

部定大學用書

# 化 學 戰 劑

---

上 冊

Augustin M. Prentiss 原 著

陳 時 偉 編 譯  
左 宗 杞  
曾 昭 掄 校 閱

國 立 編 譯 館 出 版  
商 務 印 書 館 印 行

部定大學用書

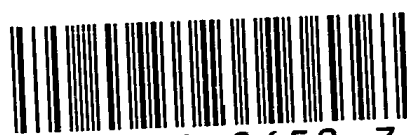
化 學 戰 劑

上 冊

Augustin M. Prentiss 原 著

陳 時 偉 編 譯  
左 宗 杞

曾 昭 掄 校 閱



3 0646 9650 7

國 立 編 譯 館 出 版  
商 務 印 書 館 印 行

## 編 譯 者 序

化學戰劑，包括毒氣、發煙劑、及縱火劑。其在第一次歐戰中發展之迅速，實無堪與匹敵的先例；而戰後之進步，亦日異月新。舉凡國防之準備，國軍之建設，攻守之方略，戰術之原則，以及國民教育與工業計劃，莫不受其影響。此次我國對日抗戰與九年前之義阿戰爭，日寇與義軍，亦先後使用毒氣、煙幕、與縱火兵器。第二次世界大戰爆發後，參戰各國的海陸空軍，皆着重煙幕之使用。縱火兵器，則除運用習知的縱火彈外，英德與蘇聯且大量使用新發明的縱火葉、噴火飛機、噴火坦克車、複合炸彈、及各式縱火子彈；美國與日本在太平洋戰場中，亦盡量運用縱火兵器。至於毒氣，則除日本外，其他參戰國家迄未採用；惟宣稱對於即將使用之報道，常散見於雙方播送的訊息中。據路透社消息：1943年在魁北克（Quebec）舉行會議時，英美曾有採用毒氣擊敗德國的計擬。在策劃大舉進攻歐陸時，英國特積極配備軍民防毒器材，以防德國屆時施行毒氣空襲，致阻礙戰事之進行。對於日寇之使用毒氣，羅斯福總統亦曾一再聲稱，必將採用同樣手段以資報復。可見大規模的毒氣戰，實有隨時出現的可能。

九一八以來，國人對於國防化學漸形注意。惟我國為科學與國防兩感落後的國家，國人研討的材料，勢須大部取給於歐美諸國之典籍。近數年來，德國方面關於化學戰爭之著作，曾經海內專家擇尤譯，惟英美重要著作之翻譯，則尚付闕如，殊有失窮搜博採，充實國防教育之旨意。

美人卜倫梯斯（Augustin M. Prentiss）所著化學戰劑（Chemicals in War）一書，取材廣博，陳義精詳，允推國防化學方面最新穎最完善之著作。關於化學戰劑施放之原理，化學戰爭實施之機構，發煙材料與縱火材料之製備，化學戰爭之技術與戰術，對於化學攻擊之戰術防護及平民防護，化學工業與化學戰爭之關係，以及化學戰爭之功效等項，尤有新穎而獨到之介紹。此書內容，不但為我國已有的譯著所不及，即歐美各國之其他刊物書報，對於上列各點，亦少有確切詳盡的闡發。是以自卜氏原著出版以來，我國與美國各大學，莫不立即採用作為國防化學教本；而青年軍官與兵工技術人

員，亦視爲必讀之書。筆者感於抗戰建國程序中，深有介紹此書之必要，爰走筆譯成，藉供國人之閱讀。惟關於毒氣偵檢方面的材料，卜氏原書未予編入，而此項知識，實爲防毒軍官與化學家所必需。近年新發明的毒氣，亦有一、二種較爲重要，在未來毒氣戰爭中，大有採用的可能。此外，第二次歐戰發生後，英德與蘇聯曾引用數種新式縱火兵器，雖其詳細結構不得而知，但其一般性能與構造，中外文獻中亦間有論及，殊有補充之必要。筆者有見及此，乃將此等材料，於適當處一一編入。至於卜氏原書，則未刪改片語。筆者淺陋，編譯未當之處，或有未免，尙乞海內專家，隨時予以指正是幸。

本書共分二十七章，大學用作國防課本時，可採用第一、二、三、五、六、七、八、九、十、十一、十二、十九、二十、二十一、二十四等十五章爲教材，其餘各章爲參考。按照部定每週教授鐘點，一年內儘可授完。軍事學校教授化學戰爭時，亦可採用此書爲教程。至教材的選取，則隨教授目的而定。例如普通性質之軍官學校，教授防毒一課時，可選用第一、二、三、五、六、七、八、九、十、十三、十九、二十、二十一、二十二、二十三等十五章。至於陸軍大學與砲兵專門等特種兵科專校，教授化學戰爭時，選取教材，自當以第二編爲重點。

本書行文力求通達，在不失原文絲毫意義之原則下，極力避免生硬難讀之詞句。至於各種專門術語之譯名，除化學名詞完全依照教育部頒布之化學命名原則外，軍事名詞，概以訓練總監部頒布之軍語釋要爲依據，王俊編譯之英漢軍用辭典爲參考。其有難於確定者，則就商於中央陸軍軍官學校之戰術與兵器諸專家，總期所譯名稱，盡能適合我國之習尚。至原書詞句與數字之間有錯誤者，亦一一將其修正。

本書初稿，荷承國立編譯館詳予審查，將應行改善之點，一一指出。復承曾昭掄、吳欽烈、顧敬心、汪逢栗、江國裕諸先生惠賜多種新穎而可貴之材料，俾筆者補充譯稿之計劃，克底於成。最後更承曾昭掄先生不憚煩勞，詳加校正，均此申謝。

民國三十三年二月序於三台 陳時偉  
左宗杞

## 卜 氏 原 序

軍用飛機 (military airplane), 坦克車 (combat tanks), 及化學戰爭 (chemical warfare), 爲第一次歐戰中三種顯著的發展。此三種新式戰爭工具, 約在同時出現於戰場。對於現代戰鬥 (modern combat) 特性的形成, 各有重要的影響。且在將來戰爭中, 必各佔更爲重要的地位。

第一次歐戰以還, 各國對於此等新式兵器的發展, 均有積極的推進。美國及其他各國, 均有多種關於第一第二兩項——軍用飛機及機械化武器——的著作。但關於化學戰爭的文獻, 雖在過去數年中, 歐洲各主要國家, 曾有相當努力, 以謀補救此項缺點, 卻未能與其戰後的發展並駕齊驅。至其所以如此, 吾人不能全然明瞭。以美國在世界工業國間的地位而言, 其化學戰爭出版物的缺乏, 實可令人驚奇; 尤其當吾人思及過去十五年中化學工業在美國的驚人發展, 此事更屬可異。

過去數年間, 歐洲方面關於化學戰爭的著作, 頗爲踴躍; 美國則僅有1921年出版之弗禮司將軍 (General Fries) 及韋士特博士 (Dr. West) 所著的化學戰爭 (Chemical Warfare) 一書。該書大部分係關於第一次歐戰中化學戰爭事務署 (Chemical Warfare Service) 的記述。此外另有一兩種典籍, 則係討論毒氣戰爭某一方面的問題。除此以外, 迄今並無一本此方面的權威書籍出現。

在軍事科目中, 似未有被人缺乏瞭解而錯誤傳述如化學戰爭者。第一次歐戰中, 化學戰爭曾遭受多種誹謗及謾罵。此等咒罵, 不但毫無事實根據, 且係故意播散的宣傳, 以影響世界中立國家的觀感, 使其反對德國; 正如中古時期 (Middle Ages) 火器 (firarms) 初次使用時所遭受的責難一般。

化學戰爭, 久爲國際會議慣愛討論的問題。原因係化學戰爭既爲一種社會集矢的題目, 且關於化學戰爭的條約協定, 儘可任意制定, 而略無遵從的誠意, 一如第一次歐戰時所遇的情形。

最後, 化學戰爭題目, 已成爲煽動性報章雜誌寫作家的適當獵場。彼等根據幻想, 製成悲慘的圖畫, 描寫飛機施放毒氣可使整個城市的居民, 一次

同歸於盡。

就此項問題的一般公衆興趣及其對於國防的重要性而論，作者認爲一種關於化學戰爭的權威美國書之產生，爲時已迫。因此乃本愛國的責任，勉爲其難。

此書之主旨有三，卽：(1)追敘化學戰爭自其發軔以迄現時在技術及理論兩方面的發展；(2)陳述美國對於化學戰爭的觀點；(3)貢獻於大衆一本對於國防安全極爲重要而被誤解及妄傳的問題之可靠書籍。

作者對於本書取材的各項參考典籍，謹致普遍的感謝。

編此書時，承美國化學戰爭事務署費歇爾少校 (Major George J. B. Fisher) 代撰『平民防護』及『對於化學戰爭的國際立場』二章，並賜予準備此書之極多而可貴的協助；又『縱火劑』一章，承第一次歐戰時從事美國縱火劑發展工作的雷博士 (Dr. Arthur B. Ray)，慨允取材於其研究所得的結果，謹此特別致謝。

書中多數插圖，係得美國陸軍部 (War Department) 許可後轉載。關於1918年德國毒氣砲擊 (German gas bombardments) 的圖表，則係得英國皇家砲兵學校 (British Royal Artillery Institution) 的許可而轉載。茲於此一併致謝。

作者復承美國化學戰爭事務署署長卜里罕少將 (Major General C. E. Brigham) 的熱情合作，使本書得底於成，感激非淺。

1937年1月序於華盛頓 卜倫梯斯

595.8  
760  
3:1

# 上册目錄

編譯者序

卜氏原序

導言

第一編 總論 .....	1
第一章 基本原理 .....	1
第一節 化學兵器與其他兵器的比較 .....	1
第二節 定義 .....	2
第三節 毒性 .....	10
第四節 持久性 .....	18
第五節 天氣對於化學戰爭的影響 .....	22
第六節 化學戰爭的方式 .....	30
第二章 製備及戰術上的條件 .....	34
第一節 製備上的條件 .....	34
第二節 戰術上的條件 .....	39
第三節 理想戰劑的條件 .....	45
第三章 化學戰劑的施放 .....	51
第一節 發射工具 .....	51
第二節 發射方法 .....	55
第三節 分散方法 .....	56
第四節 氣雲 .....	59
第五節 煙雲 .....	62
第六節 用量與有效範圍的關係 .....	62
第七節 發射彈的施放 .....	78

第八節	化學戰爭的控制	78
第四章	實施化學戰爭的軍事機構	82
第一節	第一次的歐戰中的發展	82
第二節	第一次歐戰末期的編制	84
第三節	平時編制	103
第四節	戰時編制	105
第五節	各兵種化學戰鬥威力的比較	107
第二編	化學戰劑各論	111
第五章	化學戰劑的分類	111
第一節	依照化學結構的分類法	111
第二節	依照物理狀態的分類法	115
第三節	依照生理作用的分類法	116
第四節	依照持久性的分類法	121
第五節	依照作用程度的分類法	124
第六節	依照戰術應用的分類法	125
第七節	一種適用的軍事分類法	126
第八節	標識系統	128
第六章	催淚劑	136
第一節	催淚劑的通性	137
第二節	催淚劑各論	139
第三節	各種催淚劑威力的比較	152
第四節	催淚劑的毒性	153
第五節	催淚劑的將來	154
第七章	傷肺劑	156
第一節	傷肺劑的通性	156
第二節	傷肺劑各論	157
第三節	傷肺劑毒性的比較	177
第四節	傷肺劑在第一次歐戰中的使用	178
第五節	傷肺劑的將來	179
第八章	中毒劑	181



第一節	中毒劑的通性.....	181
第二節	中毒劑各論.....	182
第三節	中毒劑的將來.....	186
第九章	起 泡 劑.....	188
第一節	起 泡 劑 的 通 性.....	188
第二節	起 泡 劑 的 分 類.....	189
第三節	起 泡 劑 各 論.....	189
第四節	各 種 起 泡 劑 的 比 較.....	209
第五節	第 一 次 歐 戰 中 起 泡 劑 的 使 用.....	210
第六節	起 泡 劑 的 將 來.....	210
第十章	噴 嚏 劑.....	212
第一節	噴 嚏 劑 的 通 性.....	213
第二節	噴 嚏 劑 各 論.....	215
第三節	各 種 噴 嚏 劑 效 力 的 比 較.....	228
第四節	第 一 次 歐 戰 中 噴 嚏 劑 的 使 用.....	229
第五節	噴 嚏 劑 的 將 來.....	229
第六節	毒 氣 摘 要.....	229
第十一章	發 煙 劑.....	231
第一節	煙 幕 的 分 類.....	234
第二節	使 用 煙 幕 的 歷 史.....	234
第三節	煙 幕 的 性 質.....	238
第四節	掩 蔽 力.....	240
第五節	產 生 煙 霧 的 原 理.....	243
第六節	用 作 發 煙 劑 的 物 質.....	243
第七節	各 種 發 煙 劑 的 比 較.....	240
第八節	發 煙 劑 的 將 來.....	261
第十二章	縱 火 劑.....	273
第一節	縱 火 劑 的 分 類.....	273
第二節	使 用 縱 火 劑 的 歷 史.....	274
第三節	用 作 縱 火 劑 的 物 質.....	276
第四節	縱 火 兵 器.....	286

第五節 縱火劑的將來..... 286

## 導 言

自上古以迄現世紀，人類皆利用物理打擊 (physical blows) 以從事戰鬥。直至第一次歐戰開始時，有組織的衝突之歷史，迄未有離開此項基本的戰鬥原則之記載。

最初，人類克服敵人，純賴徒手搏鬥。後來發明武器，手臂格鬥威力所及的距離，因以增加。但由於最初射擲武器的威力不大，直至中古時期，肉搏戰鬥仍然保持其優越地位。火器發明後，士兵方能從事於遠距離的戰鬥；利用火藥的推進力以代臂力，可以貫穿當時所有的防護工具，而於遠距離給予敵人以致命的打擊。於是在逼近敵人以前，自遠距離發射彈丸以削弱敵人，乃成爲戰術上的重要目的。

人們對於各式槍砲的極端重視，卒使此等武器的威力，達到驚人的程度，結果竟至推翻其使用的真正目的。例如現代撞擊武器——即機關槍配以各種口徑之大砲——的威力，極爲巨大。若將其適當配合於防禦陣地，可以擊退各種攻擊。士兵不能在機關槍與大砲的可怖火力下前進，而不受過大的犧牲；此種嘗試，僅僅造成無謂的損失。因此現代軍隊，不得不憑藉深而堅強的戰壕以作防護。如此固可抵禦新式火砲的威力，但戰術上的移動，亦因而大受限制。

此種結果，在美國南北戰爭 (Civil War) 時，即已預示端倪；在第一次歐戰中，則極爲顯著。在第一次歐戰中，至少在西方前線 (western front)，並無側翼可以包抄。但曝露側翼的不存在，不過指明配備充足的新式槍砲及足夠的士兵以後，戰鬥前線可以延長到不怕側翼包抄。於是線的隊形 (linear formations) 之縱深，必須加強，以使實際突破成爲不可能。而克服敵國的工作之完成，不得不運用經濟力量，以代替軍事力量。●

爲求對抗現代撞擊武器的威力，並打破其所形成的塹壕戰爭 (trench warfare) 之僵局起見，人類終於藉助於毒性氣體。人們希望引用此項新式工具以恢復戰鬥中的活動，使其得藉戰術調動及火力，以開闢勝利的途徑。

雖然毒氣並未立即滿足此等當初的希望，但繼之而起的防護技術方面

的競爭，曾經引起對於每一種具有軍事應用可能性的化合物之研究，及多數化學戰劑在戰場上的實地試驗。其結果乃形成化學戰爭（chemical warfare），開闢實施軍事力量的一種新場面。

歷史上曾有無數引用化學能力於軍事目的的較早嘗試，但均未獲得成功。詳細查考第一次歐戰以前的事例，勢將超出本書範圍。除希臘火（Greek fire）外，此等嘗試未曾產生重要的效果；更無一種堪與當時所用武器爭奪最高權。吾人之所以於此提起者，不過因此等事實，可以表示人類對於試驗任何可能的戰爭工具之熱心，以及製造此等工具之必須有賴於技術知識。

在美國南北戰爭時，化學物質用作戰爭武器的價值，即已引起軍事專家的嚴密思考。但以當時化學工業尙未發達，故在此方面並無實際的進步。第一次歐戰尙未開始以前，化學家業已發現多種具有強烈生理效應的化學物質，並已將其分類；其中一部分，早已成爲熟知的物質，且於戰前已在大量製造。因此利用此等物質作爲化學戰爭的材料，乃是自然的趨勢；而爲戰爭目的特別發展新的化合物，似無必要。然而大量製造，以供現代戰場的軍隊需要，與實驗室研究之間，尙隔有極大的鴻溝。縱令化學物質用於戰爭的可能性，業已認識，非至化學工業已經達到相當的水準，此項可能性，仍不能見諸實用。

但在第一次歐戰前數十年間，化學工業，已有迅速的發達，尤以歐洲爲甚。此項大規模新興工業中極可注意的一件，爲染料製造的驚人發展。染料製造，在二十世紀初年，大部集中於德國。1913年一年中，世界染料出產總量，約爲十五萬噸，德國約佔其中四分之三。同時該國生產85%以上的染料中間物（intermediates）；此等中間物，亦可用以製成化學戰劑。染料工廠，亦可供給製造此等戰劑所需的技術人才及製造設備。是以染料工業，顯然對於軍事具有特殊的重要性。

製造氯、硫酸、硝酸、鹼類，及氮化合物等基本化學工業，在第一次歐戰開始以前，即已達到相當的水準，尤以德國爲然。例如本身曾經大量用作毒氣而又同時爲製造其他化學戰劑的基本原料之氯氣，當時在德國的出產量，已達每年數萬噸。高度發展的煤渣工業（coal tar industry），與製造砷、溴、磷等之設備，亦均能立即給予作戰力量以重要的匡助。

萊茵河（Rhine）沿岸各大化學工廠的大規模出產，均爲化學戰爭的潛伏力。各該工廠擁有的技術人才，可以指導將其產物變爲化學戰劑的工作；

此點亦屬同等的重要。因為化學工業已經達到繁盛的階段，故僅須迫切軍事需要之策動，即足以促成化學戰爭的到臨。

在以前運動戰中至為成功之舊式攻擊方法之失效，造成1914—1915年冬季的軍事危機；而爆炸彈藥（explosive ammunition）供給的嚴重缺乏，就德國而論，益令局勢危急。德國發動第一次歐戰時，僅計劃作幾個月的猛烈戰爭，深信其貯集的彈藥足敷應用。後以此項彈藥消耗甚速，而距勝利則尚遼遠，不得已迅即動員其國家工業，以供軍事需要。德國巨大的化學工業之立即應用於此項目的，乃屬必然的現象。所可怪者，即協約國對於德國之第一次毒氣攻擊，竟是如此的驚奇。

化學物質的引用於戰爭，預示將來的戰爭工具之製造，實驗室與鑄造廠一同重要。此點很快地即被認識。即在1915年，研究軍事技術者，已經鮮有不能認明，在悠久的戰爭歷史中，將有新時代到臨。自德國在伊迫（Ypres）地方第一次施行毒氣攻擊後，二十年的經驗，不僅證實此項早期的認識，而且大大地增加軍人及科學家對於化學物質在戰爭中的任務及威力之了解。

化學物質之引用於戰爭，不但是改變現代戰鬪的特性，而且使武器的進化，加速度地進行。例如自英國在克拉西（Crécy）第一次使用加農砲（cannon）於戰場以後，百餘年間，在大砲技術方面，尚無實際的改進；但化學戰爭，自未經試驗的理論，進至公認為現代戰爭之主要兵器，歷時不過數年。

此項進步，顯然有兩方面。其一為戰爭的煅鍊——三年多的猛烈鬪爭，費盡最高度工業化國家的化學資源。另一方面，則為戰後之評價，研究及改進。後一方面，對於此項新式兵器之早期成熟，其貢獻並不亞於前者。

化學戰劑在第一次歐戰中，雖已獲得顯著的效果；但吾人以現時知識及審慎考慮將來的眼光加以觀察，則該次戰鬪中所用方法及工具，不過是一種粗陋而且淺薄的發軔。第一次歐戰以後，吾人更加明瞭化學戰爭的潛在力；此項潛在力，在當時則僅有模糊的預示。今日業已證實，一切國家，均已看到新穎而威力強大的方法，其改變作戰技術及理論的重大性，正如過去發明火藥所形成的狀態。一言以蔽之，現代軍隊，已完全進入化學戰爭的時代。

# 化學戰劑

## 第一編 總論

### 第一章 基本原理

#### 第一節 化學兵器與其他兵器的比較

欲明瞭化學戰爭 (chemical warfare) 的真實特性，應先將化學戰劑 (combat chemicals) 與其他兵器 [即爆炸兵器 (explosive weapons)] 的作用加以比較。化學彈藥 (chemical munitions) 與其他彈藥 [即爆炸彈藥 (explosive munitions)] 在效果上有數種重要的區別，顯示化學戰爭的特異與新奇，並指示其具有多種應用的可能性。此種區別之應予特別注意者，為化學戰劑的作用機構，及其空間功效與持久性能。

凡化學物質 (chemical substances) 因其具有直接的生理或化學效應而用之於戰爭者，統稱為化學戰劑 (chemical agents)。來復鎗彈 (rifle bullet) 或炸彈破片 (shell fragment) 的效力，在乎直接撞擊目標 (target)，化學戰劑則不然。此項戰劑，可於適當地點施放，藉風力吹送至目標；或以車輛飛機等載運至目的地或其上空而施放；或裝於發射彈 (projectiles) 內發射於標的。無論在何種情形下，裝盛化學戰劑的容器，僅屬一種輸送的工具。化學戰劑的效力，必須在脫離容器後，始能因其化學作用而發生。施放地點的選擇，固須適合技術及戰術上的要求；而分散手續的完成與最後效能的發揮，則有待於自然的力量 (natural forces)。此為化學兵器與其他兵器根本不同之點。

另一區別點，化學戰劑並非撞擊某一實物目標 (physical target)，乃



係瀰漫於某一地域上空的大氣中。此種地域面積的大小，隨所用化學戰劑的揮發度為轉移。組份分子 (component molecules) 的活動範圍，即是化學戰劑效力所及的區域。

吾人且試分析高級炸藥 (high explosive) 的作用，以與化學戰劑的廣大佈散功效相比較。當高級炸彈 (high explosive shell) 爆裂時，其效力全由於爆炸的震動與破片的撞擊。此種作用，僅限於爆裂處周圍的較小面積。甚或並立於同一危險區域的兩名士兵，一被炸死，一則全無損傷。類此不能確定與不能控制的結果，在毒氣 (gas) 則屬不可能。當施放毒氣時，在其毒化範圍以內，任何人均受同等的影響。除用人工防護外，雖距施放地點較遠的處所，亦難逃避其傷害，因毒氣能夠立即瀰漫於目標上空的廣大空氣間故也。

就時間而論，毒氣與其他兵器更有明顯的區別。來復鎗彈的效力，為瞬時的，撞擊後再不能發生傷害作用。毒氣則雖極易消失者，亦能維持數分鐘；持久性毒氣，則可支持至數日之久。

此外，毒氣尚有一種特點，即其具有追蹤效應 (searching effect)。匆忙掘一地洞，可供個人躲避鎗彈。樹林可用以保護一隊步兵，使之不為砲彈所擊中。毒氣則不循一定的軌道，而浮遊於空氣中，能克服一切地面的障礙物，以潛躡其目標。上述種種特殊的性能，均可增加化學戰劑的威力與應用，尤以其對於整個作戰部隊的作用為顯著。

在探究化學戰爭的基本原理以前，明瞭技術上各種術語的意義及應用，實有其必要。

## 第二節 定義

化學物質之引用於戰爭者，統稱為化學戰劑，已如上述。用於戰爭的化學材料，包括三大類：即毒氣 (gases)，發烟劑 (smoke agents)，與縱火劑 (incendiary agents)。

毒氣——毒氣即係能夠產生生理效應的化學戰劑。其使用的目的，在於傷害敵軍戰鬥人員，使其失去戰鬥力。其散佈狀態，多為液體或雲狀顆粒；但在軍事術語中，『毒氣』二字，實係包括所有因其對於人體有直接傷害作用而使用的化學戰劑。毒氣之能致人於死者，稱為致命劑 (lethal agents)，在戰場上不能致人於死或令其受嚴重傷害者，稱為刺激劑 (irritant agent)。

發烟劑——發烟劑如其名稱所示，乃係能夠遮蔽視線以達隱蔽目的的化學戰劑。此類物質雖間或具有發火或腐蝕作用，但其主要目的，則在於掩護。

縱火劑——縱火劑的目的，在於引起破壞性的燃燒，並能焚毀平時不易着火的物質。

毒劑(toxic)——凡對於人類或動物軀體之內部或外部，能引起直接化學反應 (chemical action) 以致死亡或重傷的物質，稱為毒劑。

毒性\*(toxicity)——毒性乃化學戰劑的固有毒害效應 (poisonous effect)，其大小以致命積 (lethal index) 表示之。致命積為戰劑濃度與受毒時間之相乘積。

催淚劑 (lacrimators) ——催淚劑對於眼部具有強烈的但屬暫時性的刺激作用，亦稱為催淚氣 (tear gas) (見第六章)。

傷肺劑 (lung irritants) ——此類毒氣，專門攻擊並傷害人類的肺部及支氣管 (bronchial tubes)。傷肺劑與刺激劑完全不同。前者具強烈毒性，常能致人於死；後者則無致命效應，包含催淚劑及噴嚏氣 (sneeze gases) (見第七章)。因此前人稱此類物質為肺部刺激劑 (lung irritants)，似欠正確。

中毒劑 ((systemic toxics) ——此類戰劑由於循環作用，能直接麻痺心臟及傷害神經系統，為毒氣中最毒者 (見第八章)。

起泡劑 (vesicants) ——此類戰劑，對於皮膚有起泡的作用 (見第九章)。

呼吸系統刺激劑 (respiratory irritant agents) ——呼吸系統刺激劑亦稱噴嚏氣或噴嚏劑 (sternutators)。此類物質能刺激嗅覺器官，並能引起數小時的嘔吐或頭痛。在戰場所可遭遇的濃度，不能致人於死 (見第十章)。

標示化學戰劑的符號 (symbols) ——第一次歐戰時，常用祕密符號以代表各種化學戰劑。所用符號，多為任意選擇的兩三個字母，表示初次使用時的地名或事蹟，與化學性質完全無關。<sup>2</sup>因化學戰劑大部為複雜的化合物，學名甚長，此等簡便符號，遂被普遍採用；即令無需祕密時亦然。在一短時期內，交戰雙方使用的化學戰劑殆成公開；此等祕密符號亦失其祕密性。為簡便計，此等符號迄今仍然沿用。茲將第一次歐戰時使用的主要化學戰劑與其符號，列於第一表。本書論及各種化學戰劑時，大都引用此等符號。

\* (註1) ——毒性亦稱毒作用。



第一表 化學戰劑的名稱及其符號

學 名	分 子 式	英 國 符 號 * C. W. S.	英 名	法 名	德 名	名
丙烯醛 (acrolein)	$\text{CH}_2\text{CHCHO}$	—*	—	Papite	—	—
三氯化砷 (arsenic trichloride)	$\text{AsCl}_3$	—	—	Marsite	—	—
苯溴甲烷 (benzyl bromide)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{Br}$	—	—	Cyclite	T-stoff	—
苯碘甲烷 (benzyl iodide)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{I}$	—	—	Fraissite	—	—
溴丙酮 (bromoacetone)	$\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{Br}$	BA	BA	Martonite	B-stoff	—
苯溴乙腈 (bromobenzyl cyanide)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CHBrCN}$	CA	—	Camite	—	—
溴 (bromine)	$\text{Br}_2$	—	—	—	Brom	—
溴丁酮 (bromomethylethyl ketone)	$\text{CH}_3\text{COCHBrCH}_3$	—	—	Flomomartonite	Bn-stoff	—
碳二酰氯 (carbonyl chloride)	$\text{COCl}_2$	CG	Phosgene (光氣)	Collongite	D-stoff	—
氯丙酮 (chloroacetone)	$\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{Cl}$	—	—	Tonite	A-stoff	—
苯氯乙酮 (chloroacetophenone)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COCH}_2\text{Cl}$	CN	—	—	—	—
氯 (chlorine)	$\text{Cl}_2$	Cl	Chlorine (氯)	Bertholite	Chlor	—
氯化苦劑 (chlorpierin)	$\text{CCl}_3\text{NO}_2$	PS	Vomiting gas (嘔吐氣)	Aquinite	Klop	—
苯氯乙酮	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COCH}_2\text{Cl}$	} CNS	—	—	—	—
三氯甲烷 (chloroform)	$\text{CHCl}_3$		—	—	—	—
氯化苦劑	$\text{CCl}_3\text{NO}_2$	} M-I	—	—	—	—
二氯化氯乙烯醇 (chlorinylchloroarsine)	$\text{CHClCHASOCl}_2$		Lewisite (路易氏戰劑)	—	—	—

氣

毒

漢化類 (cyanogen bromide)	BrCN	—	CB	Campellite (義)	Ce (奧)
氯化氰 (cyanogen chloride)	ClCN	—	—	Vitrite	—
3,3'-二甲氧基聯苯胺 (dianisid'in)	$[\text{NH}_2(\text{OCH}_3)\text{C}_6\text{H}_4]_2$	—	—	—	X *
二溴二乙硫 (dibromethyl sulfide)	$(\text{Br-CH}_2\text{CH}_2)_2\text{S}$	—	—	—	Bromlost
二溴二甲醚 (dibromomethyl ether)	$(\text{CH}_2\text{Br})_2\text{O}$	—	—	—	X
二氯二乙硫 (dichlorethyl sulfide)	$(\text{ClCH}_2\text{CH}_2)_2\text{S}$	HS	Mastard gas (芥氣)	Yperite	Lost; 又黃十字
二氯二甲醚 (dichlormethyl ether)	$(\text{CH}_2\text{Cl})_2\text{O}$	—	—	—	X
硫酸二甲酯 (dimethyl sulfate)	$(\text{CH}_3)_2\text{SO}_4$	—	—	Rationite	D-stoff
氯化二苯胺腓圖 (diphenylamine chlorarsine)	$\text{HN}(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{ASCl}$	DM	Adamsite (班登氏氣)	—	—
氯化二苯腓 (diphenylchlorarsine)	$(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{ASCl}$	DA	—	—	Clark I
氯化二苯腓 (diphenylcyanarsine)	$(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{ASCN}$	CDA	—	—	Clark II
溴化乙酸乙酯 (ethylbromoacetate)	$\text{CH}_3\text{BrCOOC}_2\text{H}_5$	—	—	X	—
乙基吡啶 (ethylcarbazol)	$(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NC}_2\text{H}_5$	—	—	—	藍十字-1
二溴化乙腓 (ethyl dibromoarsine)	$\text{C}_2\text{H}_5\text{ASBr}_2$	—	—	—	X
二氯化乙腓 (ethyl dichlorarsine)	$\text{C}_2\text{H}_5\text{ASCl}_2$	ED	—	—	Dick; 又綠十字-3
碘乙酸乙酯 (ethyl iodoacetate)	$\text{CH}_3\text{ICOOCC}_2\text{H}_5$	—	SK	—	—
氫磺酸乙腓 (ethylsulfuryl chloride)	$\text{ClSO}_2\text{OC}_2\text{H}_5$	—	—	Sulvanite	—
氫氰酸 (hydrocyanic acid)	HCN	—	TL 及 VN	Forestate	—
二氯化甲腓 (methyl dichlorarsine)	$\text{CH}_3\text{ASCl}_2$	MD	—	—	Methyldick
叔丙酮 (iodoacetone)	$\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{I}$	—	—	Bretonite	—

	發	煙	劑			
氯磺酸甲酯 (methylsulfonyl chloride)	$\text{ClSO}_2\text{OCH}_3$	—	—	—	—	X
氯甲酸一氯甲酯(monochloromethylchloroformats)	$\text{ClCOOCH}_2\text{Cl}$	—	—	—	Palite	C-stoff K-stoff
氯化三氯甲硫(perchloromethyl mercaptain)	$\text{CCl}_3-\text{SCl}$	—	—	—	Carbontetrachlorulfide	—
二氯化苯肼(phenylcarbylamine chloride)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NCCl}_2$	—	—	—	—	綠十字-1
二氯化砒(phenyldibromoarsine)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{ASBr}_2$	—	—	—	—	X
二氯化砒(phenyldichlorarsine)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{ASCl}_2$	—	—	—	Sternite	藍十字-1
硫代光氣 (thiophosgene)	$\text{CSCl}_2$	—	—	thiophosgene (硫代光氣)	Lacramite	—
氯甲酸三氯甲酯 (trichloromethylchloroformate)	$\text{ClCOCCl}_3$	—	—	diphosgene (雙光氣)	Surpalite	Perstoff
溴化二甲苯 (xylyl bromide)	$\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{CH}_2\text{Br}$	—	—	—	—	T-stoff
發 煙 劑						
氯磺酸 (chlorsulfonic acid)	$\text{ClSO}_3\text{H}$	X	X	X	—	X
烴類 (hydrocarbons)	—	CO	—	Crude oil (原油)	—	—
硝石+硫+漆苣+硼砂+膠 (niter, sulfur, pitch, borax, glue)	$\text{KNO}_3 + \text{S} + \text{C} + \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + \text{膠}$	Type S mixture	Type S mixture	Type S mixture	—	—
四氯化矽 (silicon tetrachloride)	$\text{SiCl}_4$	—	—	—	—	X
四氯化錫 (stannic chloride)	$\text{SnCl}_4$	KJ	KJ	KJ	GPacite	—
三氧化硫 (sulfur trioxide)	$\text{SO}_3$	—	—	—	X	N-stoff
三氯化硫+氯磺酸	$\text{SO}_3 + \text{ClSO}_3\text{H}$	FS	—	X	X	X
硫二氯化 (sulfuryl chloride)	$\text{SO}_2\text{Cl}_2$	—	—	—	X	X
四氯化鈦 (titanium tetrachloride)	$\text{TiCl}_4$	FM	—	—	Fumegerite	F-stoff
黃磷 (white phosphorus)	$\text{P}_4$	WP	WP	WP	X	—

		縱		火		劑	
鋅 + 四氯化錳 + 氯化銨 + 硫酸銨 (zinc, carbon tetrachloride, ammonium chloride, and magnesium carbonate)	Zn + CCl <sub>4</sub> + NH <sub>4</sub> Cl + MgCO <sub>3</sub>	BM	—	—	—	—	—
鋅 + 四氯化錳 + 氯化鋅 + 矽藻土 (zinc, carbon tetrachloride, zinc oxide, kiesegelguhr)	Zn + CCl <sub>4</sub> + ZnO + 矽藻土	—	—	—	—	Berger mixture	—
鋅 + 六氯乙烷 + 氯化鋅, zinc, hexachlorethane, and zinc oxide)	Zn + C <sub>2</sub> Cl <sub>6</sub> + ZnO	HC	—	—	—	—	—
硝酸銨 + 鎂 + 亞麻仁油 (Barium nitrate, magnesium, and linsced oil)	Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + Mg + 亞麻仁油	—	—	—	—	Incendiary mixture	—
過氧化銨 + 鎂 (Barium peroxide and magnesium)	BaO <sub>2</sub> + Mg	X	—	—	—	Incendiary powder	—
變質鋁熱劑 (modified thermite)	3Al + 6Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + 8Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	X	—	—	—	Modified thermitite	—
過氯酸鉀 + 石蠟 (Potassium perchlorate and paraffin)	KClO <sub>4</sub> + C <sub>n</sub> H <sub>2n</sub> + 2	—	—	—	—	Incendiary mixture	—
鈉 (Sodium)	Na	X	—	—	—	Sodium	X
固體煙 (Solidified hydrocarbons)	—	—	—	—	—	Solid oil	—
硫鋁熱劑 (sulfure thermite)	3Al + 3Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> + 3S	—	—	—	—	—	Daisite
鋁熱劑 (thermite)	3Al + 3Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Th	—	—	—	Thermite	X
黃磷的二硫化碳溶液 (white phosphorus in carbon disulfide)	—	—	—	—	—	Inflammable liquids	X

\* (註 2) —— a. C. W. S. 為美國化學戰爭務署 (American Chemical Warfare Service) 的縮寫。(b) X, 表示曾經使用而無特殊名稱或符號者。(c) ——, 表示未曾使用者。

濃度 (concentration)——濃度乃表示一定體積空氣中所含戰劑蒸氣的數量。濃度可用下列四法之一表示之：(1)每百萬份空氣中含毒氣若干份 (parts per million)；(2)每立方米空氣中含毒氣若干克 (grams per cubic meter)；(3)每升空氣中含毒氣若干毫克 (milligrams per liter)；(4)每千立方英尺空氣中含毒氣若干英兩 (ounces per thousand cubic feet)。以數字言，每立方米中的克數，即等於每升中的毫克數；與每千立方英尺中的兩數，亦相差無幾。此三法均示毒氣重量與空氣體積的比例。至於每百萬份中含若干份，乃係體積與體積相比，毒氣的分子量必須計及，故與其他三種表示方法不同。此四種濃度表示法，俱為藥物學 (pharmacology)，毒物學 (toxicology)，以及其他與化學戰劑有關的科學所採用，常有彼此變換的必要。執行此類計算的數學公式，見附錄二。

刺激濃度 (irritating concentration)——僅能引起刺激效應，而不致傷害身體組織或嚴重地妨礙工作效率的濃度，稱為刺激濃度。最低的刺激濃度，常稱之為刺激門檻 (threshold of action) 或門檻濃度 (threshold concentration)。

不可耐濃度 (intolerable concentration)——所謂不可耐濃度，即係令人不能抵抗至極其有限的時間以上之濃度。過此時限，身體某部機能必起變化。引用於催淚劑上，此項濃度，與不戴面具而能維持視覺的最大濃度，意義相同。

致死濃度 (lethal concentration)——在致死濃度的毒氣中，通常不戴面具的人停留至一定的短時間以上，必致死亡。曝露時間增加，則致死濃度的數值隨之減少。

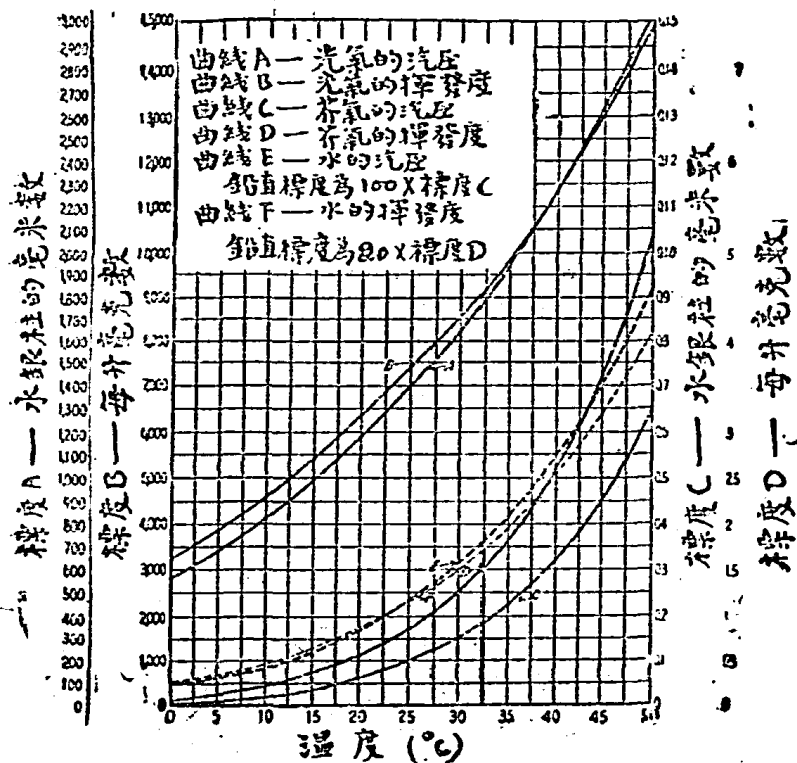
揮發度 (volatility)——揮發度表示液體在空氣中蒸發的能力。在一定溫度及壓力下，單位體積空氣內所含某種戰劑蒸氣的飽和重量，稱為該項戰劑的揮發度。揮發度隨溫度的升高而增大。某種戰劑的揮發度，若大於其曝露 10 分鐘的致死濃度，則在戰場上，即易達到致人於死亡的濃度，而此物即為一傷害性戰劑 (casualty producing agent)。揮發度與蒸氣壓力的關係，見附錄一。

水解 (hydrolysis)——物質與水起作用而產生新化合物的反應，稱為水解。水解作用，在化學戰爭上極關重要。多種化學戰劑施放後經過相當時間，即因水解而消失其作用。倘水解產物仍具毒性（例如含砷的戰劑），則

仍不失為有用的毒氣。

汽壓 (vapor pressure)——液體與易於揮發的固體物質，無時不自其自由表面蒸發。其逸出蒸氣所發生的壓力，稱為該物質的蒸氣壓力 (vapor tension)。當一物的蒸氣壓力與大氣壓力 (atmospheric pressure) 相等時，該物若係液體即行沸騰 (boil)，若係固體即行昇華 (sublime)；因在此種溫度下，其蒸氣能排擠空氣而自由衝出故也。在溫度低於沸點或昇華點 (subliming point) 時，蒸氣壓力小於大氣壓力。因此蒸氣的逸出，受周圍空氣的壓迫，遂有許多蒸氣復返於液體或固體；而蒸氣與液體或固體乃成平衡狀態 (in equilibrium)。在平衡狀態下的蒸氣，稱為飽和 (saturated) 蒸氣，其壓力稱為汽壓 (vapor pressure)。某一物質的汽壓，全視溫度而定。蒸氣不積集於液體或固體的上空，即不能達到飽和程度，亦即無所謂平衡。在此種情況下，液體遂漸由蒸發而消失。化學戰劑之在液體狀態下散佈於地面者，通常俱屬此類。汽壓與溫度，雖無概括的關係，但表示兩者關係的曲線，可由實驗結果決定之。現在已有多種化學物質，曾作此項測定。茲將水與兩種重要戰劑的汽壓溫度曲線，繪於圖一，以資比較。

第一圖 光氣與芥氣之汽壓曲線及揮發度曲線



持久性 (persistence) ——持久性乃指化學戰劑施放後的有效時間而言。凡施放後十分鐘，仍能保持需要防護的濃度者，屬於持久性 (persistent) 戰劑。施放後十分鐘即無需何種防護者，屬於暫時性 (Non-persistent) 戰劑。此乃美國的規定；其他各國不盡相同。有些國家，將持久性分作暫時性 (Non-persistent)，半持久性 (moderately persistent)，及持久性 (very persistent) 三級。其中屬於暫時性者，與美國規定完全相同；半持久性與持久性二者，實乃美國所謂持久性的再度分類。此等再度分類法，似無若何優點，後當申述之。

毒性與持久性，乃傷害性毒氣 (casualty-producing gas) 兩種最重要的性質。固有的傷害威力，繫於毒性；戰場上的有效時間，則繫於持久性。既經毒化之地段，須經過若干時間，始能無需防護而通過，亦隨持久性之大小為轉移。故持久性與毒氣戰術，實有重大的關係。毒性與持久性二者均非簡單性質，須視其他數種性質而定。茲特分別詳論於下。

### 第三節 毒性

化學戰劑的毒性，範圍甚廣；自催淚劑等類簡單的局部刺激作用起，以至氫氰酸等類致命的中毒作用，均包括在內。依照其所起的生理變化，毒性的大小，可作精確測定；不但實驗室內如此，即在戰場上所可遭遇的各種不同情況下亦然。多種重要化學戰劑的評價，及其戰術運用方式的決定，均以如此測得的毒性為標準。凡對化學戰劑欲作廣博的研究者，均應對於毒性有概要的認識。因於此處，對此方面作一簡單的敘述。

第一次歐戰開始時，德國科學界的研究，對於多種物質的毒性，已有廣博的數據 (data)；是項數據，乃係化學工業研究的一種副產品。在 1915—1918 年間，根據此等數據，多種戰劑曾被選出，並在軍事上試用。結果其中大多數物質的實在功效，與其理論價值相去甚遠，遂被擯棄。可是此種經驗，不獨對於多種化合物的絕對毒性之知識，有所增進；而且毒性與各種因素的關係，亦由之得以演出。於是基本原理得以推定；而此項問題的科學基礎，乃得完全建立。

第一次歐戰以來，各國科學家對於此方面的毒物學，一般地均予以注意；而德國人對於此項問題所表現的興趣與天才，尤始終為他國所敬重。因此，德國人對於毒氣的毒性之觀點，殊有參考的價值。吾人所討論者，亦大

致係根據德國在此方面的權威學者的意見，尤其是哈柏 (Haber)、弗魯禮 (Flury)、梅耶 (Meyer)、波其爾 (Buscher) 幾位博士的意見 (參考 1, 2, 3, 4)。

化學戰劑之所以與人體組織起作用，係由於吸入身體內部，或由於與身體表面接觸。有些物質，如芥氣等，則兼有兩種效果。然在二者的聯合毒性可以測定以前，必須分開測量。

茲先討論因吸入其蒸氣以致引起毒害作用的戰劑。空氣中毒氣蒸氣之濃度，此種毒化空氣吸入身體內之數量，與其在人體中產生的毒害效應，三者間有一定的相互關係。此等關係，哈柏博士曾有以下的論斷。

大多數毒劑，與人體接觸時，即與生活組織發生化學反應；且與之化合為一種新物質，因而毀壞之。毒害效應的程變 (degree of intoxication or poisonous effect)，與毒劑對於人體的化學反應成正比例。此種化學反應，又為下列三種獨立變量 (variables) 的函數 (function)。

(1) 曝露於毒劑中的時間。

(2) 毒劑的濃度。

(3) 生活組織的濃度 [the concentration of the living material (body tissues)]。

若  $\bar{c}$  = 空氣中毒劑蒸氣或霧滴的濃度，以每立方米中若干毫克表示之。

$v$  = 每分鐘吸入空氣的體積。

$t$  = 曝露於毒化空氣中的時間，以分數表示之。

$G$  = 身體重量，以仟克表示之。

則吸入而滯留於體內的毒劑，其數量為

$$ctv \quad (1)$$

毒害的程度  $I$  為

$$I = \frac{ctv}{G} \quad (2)$$

當毒害程度  $I$  達到一定的臨界限度 (a constant critical limit)  $W'$  時，即可致人於死。此即謂

$$\frac{ctv}{G} = W'$$

$W'$  之數值，隨動物種類與毒劑種類而變更。



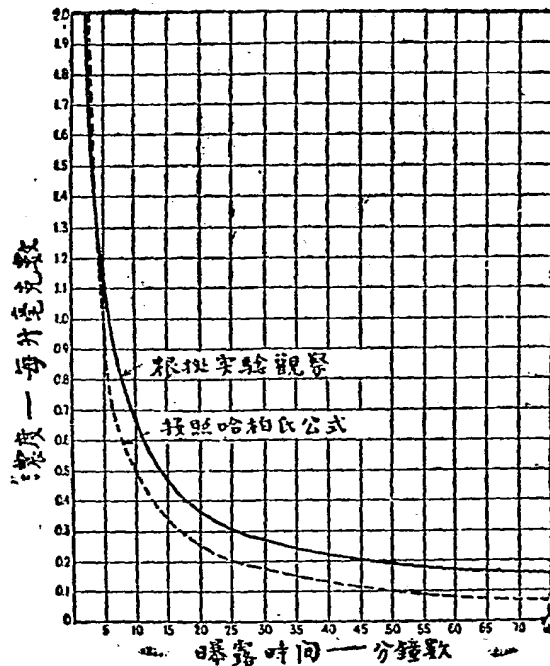
在高等動物中，每分鐘吸入的空氣與體重成正比例。故比較各種毒劑對於某一種動物的毒害作用時， $\frac{V}{G}$  為一常數。因此，

$$ct = W。$$

$ct$  的相乘積  $W$ ，稱為該項毒劑對於該種動物的致命積 (product of mortality or the lethal index)。致命積與毒性成反比例。 $W$  的數值愈小，其物愈毒。

將多種動物，曝露於多種毒氣的各種不同濃度中各若干時，觀察其致死現象，並將所得的結果表列之，即知每種毒劑最小致死濃度與曝露時間的關係，均可以一定曲線表示之。第二圖為光氣對於狗的毒性曲線；該線表示在各種不同濃度下致死所需的曝露時間。此等曲線，稱為毒性曲線 (toxicity curves)。第二圖所示曲線的形狀，可以代表所有其他此類曲線的一般形狀。由圖中曲線，可知曝露時間若在十分鐘以下，所需濃度有急劇的增加。故通常比較毒性，短時曝露，多用十分鐘；長時曝露，則用三十分鐘。

第二圖 光氣對於狗的毒性曲線



吾人試行研究各種毒劑蒸氣在身體內部所起的生理變化，即知產生局部傷害的毒劑，與引起全身中毒現象的毒劑，其作用頗有不同之點。屬於後

一類的毒劑，如一氧化碳 (carbon monoxide), 氫氰酸 (hydrocyanic acid) 等, 當吸入體內時, 一部份因受某種生理抵抗作用 (physiological counter-reactions) 而消失; 且其與身體組織 (body tissue) 所起的化學作用, 又為可逆反應 (reversible reactions)。為適應此種現象, 在哈柏公式中, 應加入一對消因素 (elimination factor)  $e$ , 而成

$$(c - e) t = W。$$

由上式中  $c$  與  $e$  的關係, 可知一種中毒劑, 必有一臨界濃度 (critical density)。在臨界濃度以下, 即無毒作用。此種推論, 與事實相符。

依照上述兩種公式, 多種戰劑的致命積, 現已根據動物試驗的結果而求出。高等動物的反應, 雖與人類不盡相同; 但在比較各個不同戰劑的毒害效用時, 此等結果, 仍不失為有價值的參考。由此算出各種重要戰劑的致命積, 列於第二表。

第二表 毒性 (吸入) 比較表 (根據哈柏氏的結果)

戰	劑	致	命	積
不可逆反應 (irreversible reactions)				
光氣 (phosgene)			450	
雙光氣 (diphosgene)			500	
路易氏戰劑 (lewisite)			1,500	
芥氣 (mustard gas)			1,500	
氯化苦劑 (chlorpicrin)			2,000	
氯磺酸乙酯 (ethylsulfuryl chloride)			2,000	
二氯化乙肺 (ethyldichlorarsine)			3,000	
溴乙酸乙酯 (ethylbromacetate)			3,000	
二氯化苯肼 (phenylcarbylamine chloride)			3,000	
氯丙酮 (chloracetone)			3,000	
苯碘甲烷 (benzyl iodide)			3,000	
二氯化甲肺 (methyldichlorarsine)			3,000	
丙烯醛 (acrolein)			3,000	
氯化二苯肺 (diphenylchlorarsine)			4,000	
氰化二苯肺 (diphenylecyanarsine)			4,000	
溴丙酮 (bromacetone)			4,000	
苯氯乙酮 (chloracetophenone)			4,000	
苯溴甲烷 (benzyl bromide)			6,000	
溴化二甲 : (xylyl bromide)			6,000	
苯溴乙腈 (brombenzyl cyanide)			7,500	
氯 (chlorine)			7,500	

(續上表)

戰 劑	致 命 積
可逆反應 (reversible reactions)	
氫氰酸 (hydrocyanic acid)	1,000-4,000*
一氧化碳 (carbon monoxide)	70,000*

觀上表,可知若每立方米空氣中含光氣 450 毫克,尋常健康的人,在其內呼吸一分鐘即死。光氣一類的戰劑,即令其濃度甚小,若呼吸時間較長,同樣地有致死的效應。此在氫氰酸及一氧化碳等中毒劑則不然。光氣的致命積為 450。按照每分鐘吸入空氣 8 升計算,光氣的致死絕對數量為 3.6 毫克;即  $8 \times 450 / 1000 = 3.6$ 。人若吸入 3.6 毫克的光氣,即令濃度小於每立方米 450 毫克,吸入較為緩慢,亦必死亡。氫氰酸的致死絕對數量,照表中致命積數值計算,平均為 20 毫克。然若濃度減小,則氫氰酸的毒作用大為減小。當濃度降至每立方米 0.03 毫克時,人體組織,可以完全抵抗其毒性。故氫氰酸在此種濃度以下,可謂無毒。一氧化碳與氫氰酸平時雖被認為具有猛烈的毒性,但因極易擴散,在戰場上難得有效的濃度,故不適於軍用。

前表所列的毒性數值,乃係根據一種動物(貓)與一種呼吸速率而測定,此點必需認清。由動物測得的結果,固可供各種毒劑的毒性之比較,但不能完全適用於人類。因各種動物對於某一種毒劑的敏感性,或較人類為大,或較人類為小。而呼吸速率,亦為一種重要的因素。人當靜止時,平均每分鐘吸入空氣八升;在運動不激烈時,平均每分鐘吸入空氣三十二升;在作激烈運動時,則呼吸速率更形增高。故若一人在一定濃度的毒化空氣中,曝露一定時間,則在運動不激烈時,所吸入的毒氣,當為休息時的四倍。體重為另外一種因素,達到同一毒害程度,體重愈大,所需吸入毒氣的數量亦愈多。因此最精確的表示,莫如指明單位體重,須吸入若干重量的毒劑,方可致人於死。然此等標準,不能應用於戰場;故須假定一種平均不變的濃度,與一定曝露的時間,方可資以鑑定。對於暫時性毒氣,曝露時間,多半定為十至三十分鐘。

第三表,為美國測定毒性所得的結果。表中數字,表示曝露十分鐘即能致命所需的毒氣濃度。在表中並將德國測定的數值,列於末行,以資比較。

\* (註 3) —— 中毒劑的致命積,隨濃度而變更;故其 c, t, 之用乘積 ct, 並非常數。

第三表 毒氣致死濃度表（曝露十分鐘）

戰劑	美國測定的結果		德國測定的結果
	毫克/升	致命積	致命積
光氣	0.50	5,000	450
雙光氣	0.50	5,000	500
路易氏液劑	0.12	1,200	1,500
芥氣	0.15	1,500	1,500
氯化苦劑	2.00	20,000	2,000
氯磺酸乙酯	1.00	10,000	2,000
二氯化乙腈	0.50	5,000	3,000
溴乙酸甲酯	2.30	23,000	3,000
二氯化苯氣	0.50	5,000	3,000
氯丙酮	2.30	23,000	3,000
苯溴甲烷	3.00	30,000	3,000
二氯化甲腈	0.75	7,500	3,000
丙醛	0.35	3,500	3,000
氯七二苯腈	1.50	15,000	4,000
氯七二苯腈	1.00	10,000	4,000
溴丙酮	3.20	32,000	4,000
苯氯乙腈	0.85	8,500	4,000
苯溴甲烷	4.50	45,000	6,000
溴化二甲苯	5.60	56,000	6,000
苯溴乙腈	0.35	3,500	7,500
氯	5.60	56,000	7,500
氫氣酸	0.20	2,000	1,000-4,000
一氧化碳	5.00	50,000	70,000

表中德國測定致命積的數值，與美國所測定者相差甚大。此種參差，可誘之於上述數種原因。或由於德國用貓作試驗，美國則用狗與鼠；或因貓對於有些毒氣特為敏感，對於別些則能抵抗；或因德國戰時所用的貓營養不良，其對於毒氣的抵抗力較健康者為弱；或因兩國所用的動物活動程度不同，呼吸速率亦異。總而言之，德國測定的毒害效應，較美國測得者為高。此即謂德國測定致命積的數值，一般地均較美國所測定者為小。德國貓的營養不良，雖差可用以解釋德國試驗所得毒害效應，何以一般地較美國所得者為高；但以上所述各種理由，均不足以解釋表中多種數字何以相差如此之巨。

另有一種解說，可由觀察第二圖毒性曲線的形狀得之。如取各種不同的曝露時間，自曲線中覓得其相當的最小致死濃度，再算出各個時間與濃度的相乘積，吾人即可得光氣致命積的差異 (variations) 如第四表。

第四表 光氣致命積之變遷

曝 露 時 間 ( 分 鐘 )	最低致死濃度 ( 毫克 / 升 )	致 命 積
2	2.00	4,000
5	1.10	5,500
10	0.65	6,500
15	0.43	6,900
20	0.37	7,400
25	0.30	7,500
30	0.27	8,100
45	0.20	9,000
60	0.17	10,200
75	0.16	12,000

由此表看來，曝露時間自二分鐘增至七十五分鐘時，致命積增加三倍。按照哈柏氏公式，致命積應為一常數 (constant)，與曝露時間無關。第二圖的虛線，即光氣底理想的毒性曲線，係根據美國關於人的數據 (曝露十分鐘於每升 0.5 毫克的濃度中)，照哈柏公式算出者。將第二圖中兩根曲線加以比較，可知觀察所得的結果，雖大致合於哈柏公式，其相符程度，尚不夠嚴密，不能使致命積成為常數。

以上所述事實，固可用以解釋數種戰劑 (例如二氯化乙腈，二氯化苯腈，二氯化甲腈等) 致命積的差異；但仍不能解釋其餘更大的差異。此種差異，有時竟大至十倍。

許多化學戰劑，在戰場上所可遭遇的濃度，無致命效應可言；其作戰功效，全在於其對於人體的刺激。一類刺激劑，其主要效應在刺激眼部，稱為催淚劑。其餘多係刺激鼻部與咽喉，稱為呼吸系統刺激劑或噴嚏劑。另有少數物質，係對其他器官起作用；例如影響耳部者，法國人稱之為傷耳劑 (labyrinthic agent)。許多致死劑，當其濃度小於致死濃度時，亦具刺激效能。

一切刺激劑，無論其具有何種生理作用，均有一不可耐界 (intolerable limit)。不可耐界者，即尋常健康而無防護的人，能忍受至一定時間以上而

不受傷害的最大濃度。所謂一定時間，通常為一分鐘。

刺激劑的不可耐界，各國專家測定後，各家所得數值大約相同，遠不若毒性結果彼此相差之大。大部份差異，可諉諸實驗差誤 (experimental error)。第五表所列，包括主要刺激劑的不可耐界，與其他戰劑之具有刺激效應者的不可耐界。

第五表 人類對於刺激劑之不可耐界

戰劑	C. W. S. 符號	毫克 / 升
氯化二苯腈	CDA	0.00025
氯化二苯胺腈	DM	0.0004
路易氏戰劑	M-I	0.0003
芥氣	HS	0.0010
氯化二苯腈	DA	0.0012
苯氯乙腈	CN	0.0045
溴丙酮	BA	0.0100
二氯化乙腈	ED	0.0100
碘乙酸乙酯	.....	0.0150
溴化二甲苯	.....	0.0150
光氣	CG	0.0200
二氯化甲腈	MD	0.0250
二氯化苯腈	.....	0.0250
苯溴乙腈	CA	0.0300
苯碘乙腈	.. ..	0.0300
溴乙酸乙酯	.....	0.0400
氯磺酸甲酯	.....	0.0400
二氯二甲醚	.....	0.0400
雙光氣	.....	0.0400
氯磺酸乙酯	.....	0.0500
氯化苦劑	PS	0.0500
丙烯醛	.....	0.0500
二溴二甲醚	.....	0.0500
苯溴甲烷	.....	0.0600
溴化氯	.....	0.0600
氯化氯	.....	0.0610
氯化三氯甲硫	.....	0.0700
氯	CL	0.1000
氯丙酮	.....	0.1000

第五表所列各化合物中，以氯化二苯肼的刺激性為最強；每升空氣中若含有 0.00025 毫克，即可令人不能忍耐至一分鐘以上；每升空氣中若含有 0.00001 毫克，即令人感覺不適。

由以上所說看來，決定一種毒氣在戰爭上的應用，劇烈毒性雖然是一種重要的因素，却非惟一的因素。在無防護面具時，刺激劑之本無強烈毒性者，亦極有效。如能欺詐敵人，或增加其防護負擔，有時寧願犧牲毒性，而利用其刺激性。例如迫令敵人不時戴上防毒面具，此事本身即成為使用毒氣的一種目的；而達到此項目的的有效方法；即為更用不致命的刺激劑。

#### 第四節 持久性(參考 6)

所謂持久性，通常乃指化學戰劑在毒化地域內的有效期間。一種戰劑的持久性，視其物理性質而定。在討論持久性時，化學戰劑可分作二類：

(1) 純粹氣體(pure gases) (例如氯氣, 光氣) 及毒煙(toxic smokes) (例如氯化二苯肼及亞當氏氣)。

(2) 液體(liquid) 及固體(solid)。(例如芥氣, 路易氏戰劑)。

屬於第一類的戰劑，施放後全部瀰漫於毒化地域的上空，毫無液體或固體滯留於地面。有時毒煙經過相當時間後，亦有沉降於地面者；但沉下的物質無關重要。真正氣體，完全與空氣混和，隨空氣流動，故其持久性約與所混和之空氣相同。當毒化地域的空氣，有一層流往他處，則此一層空氣所含毒氣亦隨之而去。但此等毒氣個別的持久性，總有少許差別。

純粹氣體戰劑(氯氣 CL 及光氣 CG) 均較空氣為重，故有向下沉降的趨勢，每每形成氣團，停滯於低凹不易通氣的處所。然由於氣體的擴散性(diffusion)，雖在極端靜止中，此項毒氣，亦漸從是類隱蔽處所散出，為空氣所沖淡，而變為無毒。

毒煙(氯化二苯肼 DA 及亞當氏氣 DM) 漸次沉降於地面，其速率與其顆粒大小成正比例。既經降落於地面，此類物質即不能再行上昇；故完全與塵埃相同，易被雨雪等沖下。

雖然，純粹氣體戰劑的擴散，毒煙的沉降，進行均極緩慢；其影響於戰劑的散失，遠不若大氣中垂直氣流(vertical air currents) 與水平氣流(horizontal air currents) 的擴散與隔分(dividing) 影響之巨大，故可忽略而不計。因此此類戰劑的持久性，幾全視風勢(conditions of wind)，地形(lay

of the land), 及地物 (covering of land) 的情況而定; 後述兩種因素, 因其能影響風勢, 故亦甚有關係。低凹處所, 或密茂樹林, 俱足延長戰劑的持久性。

屬於第二類的戰劑 (例如芥氣  $H_s$ , 路易氏戰劑 M-1) 其持久性均較第一類為大; 且其中各國戰劑的持久性, 按照其特性的不同, 復有極大的差別。此類戰劑, 大多數為液體。當裝盛該物的彈殼破裂時, 成為或大或小的點滴, 噴散於地面, 然後蒸發於空氣中。只須地面存有此項液體戰劑, 即可繼續供給蒸氣, 以彌補空中戰劑蒸氣的散失或沖淡, 使空氣得以復為致命的或刺激性的毒氣所沾染。數種固體化學戰劑, 在空氣中能直接昇華, 不經液化階段 (例如苯溴乙腈 CA), 其情形與液體戰劑相同。

此等地面液體逐漸蒸發的現象, 究能繼續若干時間, 在戰術觀點上極為重要。如不計通常外界影響, 則空氣溫度, 為決定此點的主要因素。

化學戰劑的揮發速度, 與空氣溫度成正比例。但各種戰劑揮發度的大小, 彼此極為懸殊。例如芥氣在冷天揮發極慢, 因此被毒地域空氣所含此項戰劑的蒸氣, 不足達到危害呼吸的程度。在夏天, 則其揮發速度頗為迅速; 然在適當情況下, 亦能支持三星期, 有時且達三星期以上。反之, 光氣揮發至速; 被此物毒化的曠野, 十五分鐘至三十分鐘後, 即可安全通過。

各種化學戰劑揮發度之所以大小相異者, 蓋因各種戰劑的汽壓, 參差甚大; 此等汽壓隨溫度變遷而變化的程度, 亦復不同。在某一溫度下, 一物汽壓愈大, 則其持久性愈小。但一種戰劑的揮發速度, 亦即持久性的客觀度量 (objective measure), 並非與汽壓成簡單的比例, 而係為含有其他因素的複雜的函數。

量持久性之較為滿意的辦法, 乃是將化學戰劑的揮發速度之倒數 (reciprocal) 列成一表, 作為各種戰劑的相對持久性 (relative persistence)。為便於比較計, 假定水在  $15^{\circ}\text{C}$  下的揮發速度為一。

其所以採用揮發速度的倒數者, 蓋以戰劑的揮發速度愈小, 則其持久性愈大, 二者恰成反比例。水的揮發速度, 為人所習見, 故用水作為比較的標準。至於由汽壓計算揮發速度, 可用美國物理學家郎格墨爾 (Langmuir) 氏所建議的下列公式 [見美國物理雜誌 (Phys. J.) 第 14 冊第 1273 頁]。

$$S = \frac{c_1}{c} = \frac{p_1}{p} \sqrt{\frac{M_1 T}{M T_1}}$$



在此式中， $S$  = 戰劑的持久性。

$c_1$  = 水在  $15^\circ\text{C}$  下的揮發速度。

$c$  = 戰劑在絕對溫度  $T$  下的揮發速度。

$p_1$  = 水在  $15^\circ\text{C}$  下的汽壓。

$p$  = 戰劑在絕對溫度  $T$  下的汽壓。

$M_1$  = 水的分子量。

$M$  = 戰劑的分子量。

$T$  = 空氣的絕對溫度。

$T_1$  = 相當於  $15^\circ\text{C}$  的絕對溫度。

第六表中括弧內的數字，表示苯溴乙睛及芥氣在正常熔點（melting point）以下各種溫度的液相（liquid phase）的持久性。此等戰劑，當其冷至其凝固點（freezing point）以下時，猶能保持液體狀態，就中尤以苯溴乙睛為甚。兼以工業產品中，總不免含有雜質，因此其熔點必較純粹者為低。

第六表 數種標準戰劑的持久性（水在  $15^\circ\text{C}$  下的持久性 = 1）

化 學 戰 劑	物 理 狀 態	溫 度 $^\circ\text{C}$								
		-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
CA	固體	6,930	4,110	2,490	1,530	930	610	395	260	173
	液體	(2,720)	(1,830)	(1,250)	(860)	(600)	(427)	(307)	(222)	(163)
HS	固體	2,400	1,210	630	333	181	13.9°C 時 融 化			
	液體	(1,162)	(690)	(418)	(258)	(162)	103	67	44	29
M-I	液體	96.0	63.1	42.1	28.6	19.6	13.6	9.6	6.9	5.0
雙光氣	液體	2.7	1.9	1.4	1.0	0.7	0.5	0.4	0.3	0.2
PS	液體	1.33	0.93	0.72	0.54	0.4	0.3	0.23	0.18	0.14
CG	液體	0.014	0.012	0.010	0.003	在 $8.02^\circ\text{C}$ 下 沸 騰				

第六表的用法，可舉例說明之。液態芥氣（HS）在  $15^\circ\text{C}$  下的持久性為 103，液態苯溴乙睛（CA）在  $15^\circ\text{C}$  下的持久性為 427。此即謂當除溫度以外，其他情況亦屬相同時（點滴大小相同，風的情況相同），一定數量的芥氣，由地面揮發至盡，所需時間，為同量的水所需時間之 103 倍；而苯溴乙睛所需之時間，則為同量的水所需時間之 427 倍。將苯溴乙睛與芥氣相較，

則前者所需時間爲後者的 427/103 倍，即約爲芥氣的四倍。

雙光氣與光氣，化學性質極爲相似。但其持久性的差別，成爲決定戰術上採用牠們的重要因素。光氣沸點爲  $8^{\circ}\text{C}$ ，在此項溫度以下，二者始能直接加以比較。超過此項溫度以上，光氣不復能在大氣中以液態存在，而係一種重的氣體，在平地則隨風飄蕩，在不平處則其移動路徑，由其本身重量與氣流二者所決定。在  $8^{\circ}\text{C}$  以下，光氣始能以液態存在於空氣中；但即在  $10^{\circ}\text{C}$  下，雙光氣的持久性，仍大於光氣一百倍。

芥氣 (HS) 與路易氏戰劑 (M-1) 兩物，生理作用亦極相似，其特徵在於使皮膚起泡；在液態下，此項效用最大。但此二物的持久性截然不同。在夏季時，芥氣的持久性，較路易氏戰劑大七、八倍。路易氏戰劑，在天氣溫暖時，遇潮濕易起分解；而夏季空氣，含水份特多；故從攻擊戰術立場言，此乃路易氏戰劑的缺點。反之，在冬季時，則路易氏戰劑優於芥氣。且此二物在冬季時，其持久性的差別，大於其在夏季時的差別。在冬日芥氣凝爲固體，不能浸染衣服，以與皮膚相接觸；路易氏戰劑在冬季仍爲液體，且其持久性增大，至與芥氣在夏季時的持久性相若。因此路易氏戰劑可稱爲冬季毒氣，芥氣可稱爲夏季毒氣。

苯溴乙睛爲一種催淚劑。單就持久性一項而言，堪稱戰劑之王。在低溫度下，其揮發速度極小，致空氣中所含戰劑蒸氣的數量，不足以引起生理變化。即在夏日，其持久性之大，每令其不適於用作刺激劑。因此美國方面，寧舍棄之，而採用苯氯乙酮 (CN)。苯氯乙酮製備甚易；可與火藥同裝彈內；彈殼爆裂時，立即氣化。其蒸氣有強烈的刺激作用；但易於凝聚，而沉降於地面，故自空氣中消失甚快。降落地面的固體，揮發極慢；其所發生的影響可以不計。

第六表中各數值，均以水在  $15^{\circ}\text{C}$  下的揮發速度爲標準，絕未計及蒸發所需的絕對時間。一種戰劑於施放後完全揮發所需的時間，乃由數種影響所決定。

第一，戰劑噴出後，其點滴表面平均面積的大小，似有相當關係。照理面積愈大，揮發愈速。但多數液狀化學戰劑，在此方面並無大的差別。其原因一則根據實驗室的測定結果，事實上各物表面張力 (surface tension) 大致相同。再則戰劑在施放時，其點滴大小雖可隨彈內火藥的多寡而變更；然較大的點滴，當其飛過空中或撞擊地面時，每易分散成爲小滴；而較小的點滴，因

互相接觸，亦可聯合爲大滴；結果使平均面積大致相同。故由點滴大小不同所生的影響，可以不計。

至於天氣 (weather)，地形 (ground formation)，及地物 (covering) 則不然。此三者對於揮發速度影響甚大。在此吾人只能根據經驗規則 (empirical rules) 估計其影響。若吾人比較由戰爭經驗推演而得的數據，(此項數據大致與前表所列數值相符合)，可得結論如下：——

一種化學戰劑，能在乾燥天氣及空曠平地上支持一小時者，其持久性即相當於表中數值的單位。在凸凹不平處，其數值爲此數的二倍；在茂密樹林裏，則爲其三倍。

有一點應予注意者，大雨或久雨，沖洗黏着地面的戰劑，使其持久性減小。積雪掩沒地面戰劑，使其毫無效應。凡雨雪常降之處，戰劑鮮能持久至兩三星期以上者。惟與天氣影響隔絕的頹廢房屋，以及其他類似處所，則係例外。

上述測定化學戰劑持久性的方法，可用以解決下列二事：——

(1) 未曾在戰場上使用，亦未作其他實際試驗的戰劑，其持久性可由此作可靠的判斷。

(2) 空氣溫度對於持久性的影響，其重要性僅次於氣流。在戰術上使用時，應予以考慮。此種考慮，可用上法達到之。

### 第五節 天氣對於化學戰爭的影響

化學戰劑爲天氣 (weather) 所影響，較其他兵器爲甚。但此並非謂化學戰劑使用的時機，僅限於有利的天氣。各種戰劑攻擊方式中，唯有自吹放瓶放出的氣雲，不是在任何天氣下，多少都能獲得結果。然天氣對於戰劑攻擊的方式及技術，影響確是巨大，且常爲此項企圖成功或失敗的決定因素。因此，欲求使用化學戰劑得到成功，必須澈底了解天氣對於戰劑的影響。

不論何時何地，天氣完全取決於下列六種天氣元素 (the six weather elements)：

風 (wind)。

雨雪 (precipitation)。

溫度 (temperature)。

大氣壓力 (pressure)。

雲 (cloud)。

濕度 (humidity)

天氣即是大氣(atmosphere)在某一時間及地點的情況。故敘述天氣時，最好將形成大氣情況的元素，各以數值闡明之。茲將此六種元素，分別加以討論。每種元素，多少皆與化學戰爭的實施(chemical-warfare operations)有關。例如對於毒氣氣雲(gas clouds)或煙雲(smoke clouds)發生影響的因素，以風為最關重要，雨雪次之，溫度又次之，壓力與雲再次之，濕度的影響最小。在風的因素一項下，風的方向(direction)，速度(velocity)，平穩性(steadiness)，及森林或不平地區附近的渦流(eddy currents)等，均應個別予以討論。高濕度可使一切煙霧(smokes)的效能大大增加，但亦能引起水解作用，而令有些刺激劑毀滅。雲對於煙霧上昇有顯著的影響。戰劑的持久性，則多視氣溫與風速而定。由此觀之，化學戰爭的實施，未有可將天氣元素置之不計者。

各種天氣元素的數值，絕非常數，而是時常變動。

(A)風

空氣流動之接近地球表面，而幾與之平行者，稱為風(wind)。所有其他方式的空氣流動，統稱氣流(air current)。測風者有三事必須測定；此三事即係風的方向、速度、與風陣性(gustiness)。

(1)風向——風的名稱，視其自何方吹來而定。例如空氣移動，由北而南，即稱北風。註明風的方向，通常用羅盤(compass)的八點；即東、南、西、北、東北、東南、西北、西南等是。在從事化學戰爭時，亦有採用磁力地平經度的風向(magnetic azimuth of wind)者。戰場上的風向，可用羅盤測出煙霧或塵埃在空中飄揚的方向，然後將該項結果，加 $180^\circ$ 即得；或於羅盤上安置風信旗(wind vane)以測定之亦可。從風信旗指示之方向，可求得磁力地平經度的風向。

(2)風速——風速可按第七表估計之。

風速可用一風力計(anemometer)與一時計(watch)測量之(參考7)。風力計指示風在時計所示時間內所走的距離。例如在一分鐘內，風力計所指示者為606米；意即是風在60秒鐘內所經的距離為606米。亦即：

$$606 \div 60 = 10.1 \text{ 米/秒}$$

變換風速單位,可用下列公式:

$$\text{米/秒} \times 2.237 = \text{英里/小時}$$

$$\text{英里/小時} \times 0.447 = \text{米/秒}$$

第七表 風速及徵候表

名	稱	徵	候	風速 (米/秒)	風速 (英里/小時)
無風	(calm)	靜止,煙垂直上昇。		小於 0.5	小於 1
輕風	(light air)	風的方向,僅能按煙向決定,不能 依賴風信旗。		0.5-1.5	1-3
軟風	(slight breeze)	感覺微風拂面,樹葉作輕微沙沙 聲,風信旗輕動。		1.6-3.6	3-7
和風	(gentle breeze)	樹葉小枝不踏動搖,輕旗伸直。		3.4-5.4	7-12
疾風	(moderate breeze)	樹枝動搖不息,塵土飛揚;樹葉紙 片,遇風即颯起。		5.5-9.3	12-22
強風	(fresh breeze)	樹幹全部動搖,斷枝隨風滾動,砂 粒飛揚,逆風行走不便。		9.9-14.3	22-32
烈風	(high wind)	樹枝折斷,烟囱的磚瓦脫離原位, 逆風行走困難,地面斷枝,散亂飛 舞。		14.4-32.2	32-72
颶風	(hurricane)	拔樹倒屋,凡物遇之摧折。		大於 32.2	大於 72

風速隨高度而有顯著的增加;此點自煙雲的路徑即可見之。煙雲上部速度較大,有時致使煙雲上端起滾動運動 (rolling movement)。且其上端向前移動,亦較幹部為速。在距地面一百至二百英尺間,速度增加甚快,而尤以陸地上空為甚。

在測量某處的風向與風速時,其周圍的地形與地物對於風之影響,應予以切實注意。

(3) 風陣性——在風向與風速兩方面,風受其周圍地形與地物的影響,或均較其他氣象元素 (meteorological elements) 為大。此種有四事應予特別注意,即山谷 (valleys), 建築物 (buildings), 地形 (nature of the surface), 及高度 (altitude) 是。山谷對風向的影響殊大,而對風速的影響則小。山谷有使風循其長度進行的趨勢。建築物能令其附近風速增加,且使

其方向錯亂。事實上，地形凸凹，可使經過其上的風，變為風陣 (gusts)。地形對於風速，亦有顯著的影響。陸地上的風速，在地面附近大為減少；此不僅由於磨擦，尚有空氣的互相混合及不平地面上渦流 (eddies) 的形成等原因。亂流 (turbulence) 可認作各種局部氣流的會合；此項現象，促成大氣的完全混和，而將毒氣氣雲或煙霧沖淺。風況平穩為風況錯亂的反面。

(4) 風對於化學戰爭的影響——茲就風對於持久性戰劑，暫時性戰劑，及刺激煙雲 (irritant smoke clouds) 與煙幕 (screening smokes) 的影響，分述於下：

(a) 對於持久性戰劑的影響——持久性戰劑，用於毒化地面與地物。此類戰劑不易消散，故其使用幾不受風的影響。大風可以稍微增加其揮發速度；在此項情形下，蒸氣吹散甚速，故仍不能大增其效能。

(b) 對於暫時性戰劑的影響——對於此類戰劑，風的影響極關重要；尤以使用吹放法時為甚。風的三種重要特性，——即方向、速度、與平穩性，——對於暫時性戰劑的影響，分述於次：

(一) 風向——使用吹放瓶 (cylinder) 或刺激燭 (irritant candles) 時，風的方向，必須由我方吹向敵方，始能將戰劑送至敵人陣地，而不致吹入我軍任何部份。用投射砲 (projector) 或迫擊砲 (mortar) 施放戰劑時，若敵我兩陣甚為逼近，風向亦有同樣的重要。如用砲彈 (artillery shells)、炸彈 (bombs)、或飛機 (airplanes) 施放，則風向關係較小。然若當施放時，始終有一種自敵向我的風向，則毒氣亦有吹入我陣的危險。

(二) 風速——用吹放瓶或刺激燭時，風速不得小於每小時三英里。速度較此為小的風，往往變化無定，有時漸歸消滅，或竟轉順為逆，將戰劑吹向我方。然若用砲、迫擊砲、投射砲、或炸彈施放毒氣，則此種風速的最低限度，可以毋須顧慮。

另一方面，風速不得大於每小時十二英里。速度較此為大的風，可以衝散毒氣氣雲，使其施放後立即與大量空氣相混和，而減低其濃度。且風速愈大，一定數量的氣雲，經過敵陣愈速，敵人受毒時間愈短，因而效果亦愈小。若欲得一定的效果，而又適值大風，則戰劑用量，勢須大增。普通甯願利用低速的風，俾令氣雲得以久留敵陣，使用量得以大為減省。

較大風速，有在戰壕 (trenches)，山谷促成亂流 (turbulence) 的趨勢，使戰劑上昇，阻其鑽入戰壕或掩蔽所 (dugouts)。且在大風時，一團氣雲，可

被分裂成爲相距甚遠的幾團，其間所留罅隙，足令大羣敵人，不爲毒氣所籠罩。

風速每小時十二英里的最高限度，對於大砲及投射砲的射擊，與其對於吹放瓶的吹放，有同樣的重要；因風速太大時，在未得充分效果以前，氣量即已被分裂而消散故也。

就攻擊技術而論，雖限制每小時十二英里的風速；但此種風速，已夠阻止敵人逃出氣雲以外。此點從下列數字自明。常人急走，每小時約四英里；馬快步，每小時約八英里；馬快跑，則每小時可達十二英里。

(三) 平穩性 (steadiness)——對於風向與風速，平穩性均甚重要。當施行戰劑攻擊時，在前線廣大地域內的風向與風速，至少在化學攻擊 (chemical attack) 進行中，必須保持不變；否則氣雲將爲風陣捲上而趨稀薄。再者，氣雲愈逼近我軍戰壕，風速風向愈須平穩，方爲便利。

(c) 對於刺激煙雲 (irritant smoke clouds) 與煙幕 (screening smokes) 的影響——刺激性煙雲，可自發煙燭、砲彈、炸彈等放出。若用發煙燭施放，其所受風的影響與暫時性毒氣氣雲相同。若用砲彈或炸彈施放，則只須顧及風速的最高限度，以免煙雲消散太快，不能產生足夠的效應。

煙幕亦可用發煙燭、炸彈、砲彈、或飛機施放。如用發煙燭，風的方向，必須自我方吹向敵方；速度不得超過每小時十二英里的最高限度。至於風速最低限度，則無大關係。蓋掩蔽煙幕並無傷害作用；即令風向轉變，亦無妨礙。風的平穩性，對於煙幕亦極重要；否則煙幕將被分裂，敵人可自罅隙窺見。通常當風速變更時，風向隨之而變，有時且有 180 度的轉向。大而且快的風向轉變，產生亂流，若同時風速大變則更甚。

風的變動能吹破煙幕，使煙雲迅速消失，致掩蔽效用難得成功。日光引起的對流的氣流 (convection currents)，令煙霧向上高昇，令滿意的掩蔽效果難於得到。但有大風時，空氣對流，不若微風時之甚；蓋大風將地面熱空氣與其上面及周圍的冷空氣迅速地混和，而將對流抑止。

(5) 風與安全限度 (safety limit)——使用暫時性戰劑的成功，既有類於風的情況；製定控制風向，風速與暫時性戰劑使用關係的法則，實有其必要。風向限度的規定，主要地係要顧到友軍的安全；風速限度，則在於保證使用的成功。在使用輕便吹放瓶 (portable cylinder)、刺激燭、李文氏投射砲 (Liven's projector)、及 4 英寸口徑化學迫擊砲 (4-in. chemical mortar)

(參閱第十六章)時，為策萬全起見，均須顧及風速風向的限度。在使用砲兵武器 (artillery weapons) 及 4.2 英寸口徑化學迫擊砲時，除非射程 (range) 是在一千二百碼以內，風的限度不必規定。使用芥氣及其他持久性起泡劑 (highly persistent vesicants) 的法規如下：

令 X = 我軍前線 (lines) 與目標地域近邊 (near edge of target area) 間的安全距離 (safe distance)。

A = 目標地域的深度 (在施放方向)。

B = 目標地域的寬度。

則  $X = \frac{A+B}{2}$ ，(但 X 不能小於 1,000 碼)。

### (B) 溫度與雲

(1) 溫度對於化學戰爭的影響——溫度對於化學戰爭的影響，隨戰劑的種類而異，茲分述於下：

(a) 對於持久性戰劑的影響——持久性戰劑，在天氣炎熱時使用，效力較大。在此種情形下，此等戰劑可蒸發足量的蒸氣，以傷害肺部及皮膚。天氣炎熱而無上昇氣流，為最理想的氣溫情況。當天氣寒冷時，甚難自發出的蒸氣得到起泡效應。然若人類與戰劑真正接觸 (例如穿過曾經染有戰劑的叢草樹林)，則仍將受其傷害。

(b) 對於暫時性戰劑的影響——較高溫度，對於暫時性戰劑至為不利；此點恰與持久性戰劑相反。高溫度使接近地面的空氣受熱膨脹，以致較其上面及周圍的空氣為輕，具有上昇或被較重的冷空氣頂替之趨勢，結果形成空氣的對流。此種對流，使戰劑或氣雲上昇甚速，且令其與大量空氣相混和，以致戰劑的持久性與濃度均被減小。午後在乾燥或無植物的地帶，對流更易產生。反之，在較低溫度下，空氣下層仍冷，故大氣並無顛倒換位的趨勢；因此一定數量戰劑所能產生有效濃度及相當持久性的氣雲之時間，得以延長。

在日光晴朗之日，氣溫常高，不利於施行暫時性戰劑的攻擊。一日中較冷時刻，例如半夜以迄黎明，乃係氣體攻擊的最好時間。尋常一日二十四小時當中，以日將昇時為最冷。

(c) 對於刺激煙 (irritant smokes) 與煙幕的影響——當其正在產生時，煙幕比較地不易受氣溫的影響。煙雲既成，則其所受溫度的影響，與暫時性戰劑的氣雲相同，



(2) 夜間溫度的影響——日中除非地勢或土質有顯著的差別外，在有限面積地段（假定一平方英里）內的氣溫，大致相同。風和日麗的時候，低處（特別是在窄狹山谷中的低處）的溫度，可較該地區上部高出十分之幾度。夜間接近地面的空氣層，逐漸變為較冷較密，因而沉降於山谷及低窪處所。如風力不足以推動此等冷氣團，則在一處有限的面積內，溫度可有顯著的差異。每一處有限的面積，有一臨界風速（critical value of wind velocity），其數值大都為每小時三英里左右。風速保持在每小時三英里以上時，此等冷氣團可被驅出，而與他處空氣相混和，溫度遂成一致。溫度差異問題，既繫於冷氣團下沉與風的推動能力二者之相互作用；此項差異，不僅與山谷高度有關，山谷的寬度、方向、及其表面的凸凹，以及風的方向等，均有關係。

由於地面空氣有冷卻及沉降於山谷及低窪處所的趨勢，此等低處之鄰近毒化地域者，特別在靜夜中，最易含有危險濃度的戰劑。此在駐紮部隊於鄰近毒化地域時，應予以特別注意。

(3) 雲對於化學戰爭的影響——雲的形成，對於任何化學戰劑均無直接之影響。但因雲對其他天氣元素發生影響，故對於化學戰指揮官（chemical-warfare officer）亦頗重要。雲的影響，在其能控制溫度。雲可遮掩日光，隔斷達於地球的太陽熱力之一部。炎熱晴朗之日，易起對流，可使戰劑自地面上昇甚速。陰暗多雲之日，不易發生上昇氣流；戰劑停留地面的時間，可較長久。因此晴朗天氣，不宜於毒氣攻擊；陰暗天氣，則甚為適宜。

### (C) 雨雪

雨雪對於化學戰爭的影響分述於次：

(a) 對於持久性戰劑的影響——大雨不利於任何化學戰劑的使用。在此項情形下，任何戰劑的氣雲，均被雨打下，落於地面。即對於芥氣等液體戰劑，亦可將其洗去，令其水解而破壞之。

(b) 對於暫時性戰劑的影響——光氣、氯氣等暫時性毒氣的氣雲，其濃度遇雨立即減少。雲與雹亦有類似的影響，但較雨為小。

(c) 對於刺激煙的影響——刺激煙無水解作用，故霧與微雨，對之無甚不利影響；且因其掩住煙的顏色，或竟能予以幫助。大雨大雪則不然。大雨將戰劑自空氣中洗去，與廓清其他塵埃無異。煙霧顆粒與大雪接觸時，即被帶至地面。

(d) 對於煙幕的影響——高濕度最利於使用煙幕。同理，細雨、微雪、及霧，能供給水解作用所需要的水量，故均為施放煙幕的最好時機。且有霧或微雨微雪時，能見度 (visibility) 大受限制；因而發煙材料的用量，可以減少，此蓋由於雨雪本身的掩蔽力 (obscuring power) 及煙霧在濕空氣中效力的增加。但當大雨大雪時，煙幕有被迫降落地面及自空氣中洗去的趨勢。

#### (D) 濕度

濕度乃大氣中含有水蒸氣的程度。當空氣絕對乾燥時，其濕度為零。尋常使人在炎熱天氣感覺不適者，濕度與溫度具有同等的關係。夏季潮濕之日，較之乾燥的熱天為悶人。原因係空中水分阻止人體汗液的自由蒸發，亦即取消汗液蒸發的冷卻作用之一部。濕氣又能使衣服成為較良的導熱體 (conductor of heat)；故冬季潮濕之日，每較乾燥之日為冷。絕對濕度 (absolute humidity) 的定義，為一定數量空氣中實在所含水蒸氣的重量；可以每立方英里尺若干英厘 (grains)，或每立方米若干克表示之。相對濕度 (relative humidity) 乃係大氣中實在所含水蒸氣量與其所能含水蒸氣的最高量之比。相對濕度，均用百分率表示之。關於濕度及其測量儀器的詳盡討論，不在本書範圍之內，可參閱氣象學的書籍。

濕度對於化學戰爭的影響，分述於次：

(a) 對於持久性戰劑的影響——持久性戰劑，無論用何種方法施放，空氣的濕度，對之均無明顯的影響。

(b) 對於暫時性戰劑的影響——暫時性戰劑，多不易與空中水分起水解作用。此類戰劑中，光氣的水解趨勢最大；但即此物亦不大被水分解。光氣氣雲經過極濕的空氣時，其最初一部份所含光氣的度濃，較以後各部份略低；但整個氣雲仍屬有效。

(c) 對於刺激煙的影響——此類戰劑，水解極慢，故不受空氣中水分的影響。

(d) 對於煙幕的影響——絕對濕度甚高的空氣，能將煙幕的效力大為增加。通常煙幕之形成，係由最初的化學反應，產生一種極易水解的化合物。當此物水解時，即分裂為甚小之顆粒，故煙幕在潮濕之日效力較大。戰場上，濕度的測量並非一定需要；因其他有利於煙幕施放的大氣情況，常伴有充分

<sup>6</sup> (註 4) ——例如 Milham: ——“Meteorology” The Mac. Co., New York, 1921, p. 194。

的高濕度。若濕度嫌小，而其他情形均佳，則煙幕材料之用量增多，仍可得良好之掩蔽效果。

### (E)大氣壓力

大氣壓力，即某處上空全部空氣柱的重量。一處地方，距地面愈高，則其大氣壓力愈小；因愈高則向下壓的空氣數量愈少故也。吾人對於大氣壓力及其變遷，大都不若對於其他天氣元素之易於感覺。在氣象工作上，大氣壓力常以若干英寸的水銀柱表示之。所謂30英寸的壓力，即是大氣壓力等於30英寸高的水銀柱所施之壓力。

大氣壓力對於化學戰爭的影響——大氣壓力，除能控制垂直氣流與風外，對於化學戰劑無他影響。風有自高氣壓向低氣壓運行的趨勢；壓力相差愈大，風力愈強。

上昇氣流，為一種不利的情況；因其能使戰劑氣雲被捲上昇，結果越過敵人頂上而散失。上昇氣流，常發生於氣壓低時。低氣壓地區的中心，即有上昇氣流。

下降氣流，為使用化學戰劑時所最希望者，常發生於氣壓高時；高氣壓所在地，即有下降氣流。當有下降氣流時，空氣迫令戰劑下沉，使戰劑氣雲逼近地面，發生最大效果。

## 第六節 化學戰爭的方式

關於化學戰爭的基本原理，上文已有廣泛的敘述。剩下所應討論者，為化學戰劑使用於戰鬥的方式。

在代表式的現代全面戰場中，各個兵種 (each military arm)，可認為僅負某種限定區域的責任。此種區域，為各該兵種所用兵器可及的範圍所限定。例如步兵 (infantry) 的射擊界為為一千碼，此數即係步兵來復鎗 (infantry rifles) 的實在有效距離。化學戰隊 (chemical troops) 的射擊地帶，可達距前線二千五百碼的地段。輕型砲\* (light or divisional artillery) 可超越此限制，達到距前線八千五百碼的距離。過此地帶以上，則為射程 (range) 較遠的中型砲\* (medium or corps artillery) 及重型砲\* (heavy or army artillery) 的任務，用之可達一萬五千碼的縱深。戰鬥機 (attack aircraft) 之

\* (註5) ——編譯者按，美國陸軍編制，師 (division) 屬於軍團 (corps)；軍團屬於軍 (army)，每師備有輕型砲，每軍團備有中型砲，每軍備有重型砲。

使用化學戰劑者，通常可侵犯敵陣至十五英里的深度。轟炸機(bombardment aircraft) 通常不用於砲彈射程以內。過此限度以上，可用此項飛機，在其飛行半徑(cruising radii)所及之處所(航程最遠者約爲 3,850 英里)，均可發揮其威力。機械化騎兵(mechanized calvary) 負側面攻擊的任務，可望其深入敵軍的領域(參閱第三章第三圖)。適於施放化學戰劑的兵器，可各就其特性而在各個射擊區域內使用之。

化學戰隊所用的特殊兵器，在其發放範圍以內(二千五百碼)，爲施放化學戰劑最有效的工具。是以當進攻時，化學戰隊每配屬於前線步兵單位(frontline infantry units)，與之取得密切聯絡，緊隨步兵前進，在其攻擊地點的前面，散佈毒氣及煙幕於威脅己方步兵前進的目標，以援助步兵進攻。

在化學戰隊兵器勢力範圍的更前地帶，化學戰劑與高級炸藥同樣裝入砲彈，由師砲兵以輕型砲發射之。軍團與軍備有的中型砲及重型砲，則可發射毒氣及縱火劑於更遠的距離。飛機可運用同樣戰劑，在各種不同情況下，完成其任務，而不需要陸地部隊的協助，故往往稱之爲自力完成(self-completing)的武器。爲補充並加強機械化騎兵的戰鬥力起見，可用特種化學戰隊(special chemical troops) 與之聯繫合作，施放煙幕及暫時性或持久性毒氣。

在作戰時，化學兵器的使用，具有相當的伸縮性。其所以如此，乃因化學戰劑使用的成功，常視自然及技術的情況爲轉移；而此等情況，又不能早爲預斷。因此步兵與騎兵並不攜帶化學兵器(chemical weapons)；在需要時，由其接近地帶的聯繫化學部隊(chemical unit) 協助之。後援兵種(supporting arms) 包括砲兵、空軍、及化學戰隊，通常均配備有適當的化學彈藥，以供施放化學戰劑於指定地域至相當程度之用。

由此觀之，在現代軍隊的編制中，均已將化學部隊編入，而無須更改軍隊的基本組織。但化學戰劑在戰鬥中的使用，已使戰鬥行動伸展至四度空間(fourth dimension)，完成作戰方式發展的圓環，卽由拳(fists)、棒(clubs)、箭(arrows)、彈(bullets) 依次進化，以至於利用分子(molecules) 作戰。

由於分子彈丸(molecular bullets) 的利用，人類終於獲得戰鬥的祕訣，知以巧妙的麻醉，調和血肉的犧牲。在各種化學戰劑中，其效應自單純催淚以至立即致命，吾人儘可從中加以選擇。故在可能範圍內，可用化學戰劑展

開實際毫無死亡的戰爭。此在爆炸彈藥及其他作戰工具，則屬完全不可能。

對於有致死效應的毒氣，吾人可確實預料，在某種情況下，每傷害百人中，應有若干死亡；至於因不致命戰劑而受傷者，其完全恢復健康的人數之高，實為可驚。事實上，化學戰劑的軍事價值，不在乎致人於死，而在其對於戰術局勢 (tactical situation) 的直接影響；不在乎對於個人，而在乎影響整個作戰單位 (military units)。

此種影響，可能產生的等級甚多；因此是項兵器的伸縮性，為任何其他兵器所不及。關於毒氣的擴散 (diffusion)，淡化 (dilution)，及氣雲在戰場上所走路徑等定律，均經慎重地找出；其確定性與準確性，與彈道學上的定律 (laws of ballistics) 無異。是以毒氣的有效濃度 (effective concentrations)，既可令其伸展至廣大地域；亦可加以控制，使不致於擴張至企圖毒化的地域之外。再者，在一處指定的地域之內，毒氣濃度，可以隨意增大或減小，視其任務為轉移。由此觀之，由於技術的適當使用，可以完全控制其效果，此乃化學戰爭之一種新奇及顯著的特性。

從上面所說看來，吾人可得一種關於化學戰鬥的基本原理，即任何依照戰術及技術原則而施行之頗大的毒氣攻擊，均可獲得預期的軍事效果。在以後各章中，將闡明此項原理的一種推論，即在使用毒氣時，敵人立即傷亡的數目，隨其毒氣軍紀 (gas discipline) 的缺陷而比例增高。

### 研習問題

(一) 試就作用機構，空間功效，與持久性能三方面，說明化學兵器與其他兵器的區別。

(二) 有人稱傷肺劑為肺部刺激劑，殊欠正確，試說明其理由。

(三) 測定汽壓的方法有數種，試任舉一法，並說明其應取的步驟。

(四) 設  $V_t$  為一物在溫度  $t$  時的揮發度，

$M$  為該物的分子量，

$p$  為該物在溫度  $t^\circ\text{C}$  時的汽壓，以 mm. 水銀柱計之，則計算

該物揮發度的公式為

$$V_t = \frac{M \cdot 273 \cdot p}{22.4 \cdot (273 + t) \cdot 760}, \text{ 試證明之。}$$

(五) 常人在靜止時，每分鐘須吸入空氣 8 升，試求氯化苦劑的致死絕對

數量。

(六)設戰場中每立方米空氣內含有光氣 32 毫克,常人曝露其中 12 分鐘,是否可以致死?

(七)軍事術語上,常稱路易氏戰劑為冬季毒氣,芥氣為夏季毒氣,其故安在?

(八)偵毒部隊,何以必須攜帶測風儀?試設計一種便於軍用的簡便測風器械。

(九)地形地物,對於芥氣的使用有何影響?

(十)試根據第六表,求溫度  $20^{\circ}\text{C}$  時芥氣與氯化苦的相對持久性。

(十一)試述溫度變遷,對於使用光氣的影響。

#### 閱讀書目

(一)‘Chemical Warfare School Texts’, The Chemical Warfare School, Edgewood Arsenal, Maryland, (latest revision). Book II, Chapter I; Book IV, Chapter II.

(二)Sartori-Morrison:—“The War Gases”, translated from the 2nd Italian Ed., by L. W. Morrison, Van Nostrand, 1939. Chapter I.

(三)Meyer, Prof, J.:—“Der Gaskampf und die Chemische Kampfstoffe”, 3rd Ed. S. Hirzel, Leipzig, 1938.

(四)曾昭掄吳屏合譯:——化學戰爭通論, 商務印書館發行。第一章第一節,第二章第二節(2)。

(五)劉泰庠譯:——毒氣化學, 正中書局發行,總論第一章。

(六)曾石虞編譯:——化學戰之原理與實施, 鍾山書局發行。第一、二、三、四章。

(七)化學兵器, 訓練總監部軍學編譯處譯印。第一編第二、六章。

## 第二章 製備及戰術上的條件

根據各方面的估計，已知化合物(compounds)的總數，約為三十萬至五十萬種。其中二十萬種的主要性質，曾經有人加以研究，並有數據可查(參考8)。幾乎所有的化合物，多少均具有毒害身體的效應(局部的或一般的)；因此精確地估計有毒物質(toxic substances)的總數，實為困難。不過其中約有數千種化合物，被認為具有顯著的毒性，以致明白地劃入毒物學(toxicology)範圍之內；且其毒害威力(toxic power)亦為人所習知。

在第一次歐戰中，從此巨大的數目內，化學家曾經選出三千種以上的化合物，研究其能否用作化學戰劑。結果發現其中僅有三十種左右，適合於戰場上的實際使用。自此數內，最後決定採取並經大量使用作為戰劑者，不過十二種左右。此中獲得顯著的成功者，又不過半數。吾人試一回憶，當時集合全世界主要化學家的精力，專心注意於尋覓及製造功效最強的化學戰劑，前後幾達四年之久，而所得結果如此寥寥，甯不可怪。實則此種收穫不多的原因，乃在一種化合物之成為成功的化學戰劑，必須具備極多嚴格的條件(requirements)。

此等條件，可分為兩類，即製備上的條件(technical requirements)與戰術上的條件(tactical requirements)是。製備上的條件，為能大量生產及適合各式化學兵器等問題。戰術上的條件，為與戰場上所生效果有關的諸事項。

### 第一節 製備上的條件

各類化學戰劑(毒氣、煙幕、及縱火劑)，其製備上的條件彼此相同，故毋須分開敘述。

#### (A)原料(Raw Materials)豐富

化學戰劑，欲求其在戰場上發生效力，必須使用龐大的數量。因此吾人對於製造此項戰劑的原料，首應加以考慮。一種化合物，在被採用作戰劑以前，必須有大量的原料，可供製造之用。一種物質，除非能自戰時狀態下所能利用的原料中，製得足夠應用的數量，無論其使用時的軍事效果如何優良，仍

屬不能採用作爲化學戰劑。例如一種化合物，其製造需用一種或數種本國不能生產的材料，勢必仰給於外國。此種供給的來源，戰時每易斷絕。設若失去海口或陸地邊界的控制，即中立國的接濟亦不可得。

有些材料，其需要量不甚多，且能長久儲藏而不發生變化，可由政府於平時收買足夠的儲量，以備戰時的需要。但此項情形究係例外。因此化學戰劑的製造原料，必須係本國能自給者，乃是一種首要的條件。此一條件，使大多數可作戰劑的化合物，因受國家資源的限制而不能採用。

### (B) 製造簡易

幾乎與原料來源有同樣重要性的一種條件，即製造簡易。無論一種化學戰劑在戰場上如何有效，然若製造困難，則戰時將有供不應求的危險。複雜的化學手續，需要技術優良的工人，始能勝任。而當整個工業機構加工以應動員需要時，此項工人殊不易得。再者，較爲複雜的化學製造，須有特殊的器具與設備，此點常令生產遭受限制。

因手續複雜，以致製造困難的化學戰劑，芥氣即係歷史上有名的事例。梅耶 (Victor Meyer) 氏雖在第一次歐戰之前已發明製備芥氣的方法，但法國受德國芥氣的傷害而不能構造以施行報復者，仍幾有一年之久。英國則經十五個月的努力，方纔使用此物。甚至當協約國 (Allies) 實行製造芥氣時，不得不用一種較德國所用者遠爲簡單的方法。

製造簡易，不但對於化學工業 (chemical industry) 上的要求減少，而且使戰時供給問題易於解決。手續簡單者，可於一座工廠內完成之，既省運送中間物 (intermediates) 的麻煩，又可避免數處聯合製造的困難及紊亂。

### (C) 化學穩定性 (Chemical Stability)

另一極重要的條件，爲在各種儲藏情形時的化學穩定性。許多化合物，雖其他性質適於用作化學戰劑，但因與鐵起化學反應，所以不能儲藏於鋼筒中，或裝填於砲彈、炸彈、及投射彈內，而須裝於掛鉛裏或搪瓷 (linings of lead or porcelain) 的容器或彈殼中，因而大減該項戰劑在軍事上的價值。最有效的催淚劑，多爲溴的化合物。此等化合物，易與鐵製或鋼製容器起作用。爲研究及製造裝盛此等戰劑的容器之掛裏 (linings)，曾經耗去不少的精力與時間。在美國方面，因爲生產滿意的此項掛裏如此困難，結果在第一次歐戰甫告結束的時候，美國陸軍 (United States Army) 即發明一種不含溴素的催淚劑苯氯乙酮 (CN)，可在普通情形下儲藏許久，而不起任何變



化。

#### (D) 水解作用 (Hydrolysis)

水解作用，為與化學穩定性有密切關係的一種性質。一種化合物，假若遇水即行分解，不獨其戰場效應大為減小，且使儲藏及裝填的手續，較為複雜麻煩。大氣中無時不有水蒸氣存在。故易於水解的化合物，當儲藏時，必須使其絕對不與空氣接觸；當將其裝入砲彈或他種發射彈時，亦須特別留心。

光氣遇水，漸行水解。因此在裝光氣彈時，須特別注意，未裝以前，彈殼內部須確係絕對乾燥。空氣中水蒸氣之凝集於彈殼內壁者，已足使光氣因水解而生鹽酸 (hydrochloric acid)，該酸立即腐蝕鋼製彈殼的內部。

#### (E) 聚合作用 (Polymerization)

化學的不穩定性另有一種，常使一物不適用於用作戰劑，即所謂聚合作用是。一物起聚合作用時，尋常係變為一種物理性質及生理效應根本不同的物質。例如一物以某種形式存在時，可成為強烈的催淚劑，而其聚合物 (polymer) 則全無催淚能力。故凡裝入兵器後起聚合作用的化合物，均不能應用於戰場。第一次歐戰時法國所用催淚劑丙炔醛，即有此項缺點。丙炔醛原為一種有力的催淚劑；但在儲藏時即起聚合作用，而成為一種催淚效應極小的物質。因此，此項戰劑以後即廢棄不用。

#### (F) 離解作用 (Dissociation)

化學戰劑的另一重要條件，即裝入發射彈後，能抵抗爆炸時堅厚彈殼（例如砲彈）所生的高壓及高熱，而不致於分解 (decomposition) 或離解。

為求炸裂彈殼，而且有效地分散其內貯的化學戰劑，化學彈內，均裝有適當份量的高級炸藥。當爆炸時，彈內能產生  $3,000^{\circ}\text{C}$  的高溫度及每平方英寸 80,000 磅的高壓。多種化合物在尋常溫度及壓力下極為穩定；但在炸藥爆發時的高溫高壓下，立即破裂或分解。

在有些情形下，當炸藥爆炸時，戰劑完全分解。例如將氯化苦劑與大量炸藥同用，即行全部分解而失效。故此類戰劑，不能用於各式發射彈，因其必須裝入大量炸藥，以炸裂彈殼故也。

在他種情形下，化學戰劑僅有一部份因爆炸而分解。例如過量的炸藥，可與光氣等類氣體戰劑同用。但既有一部份分解，則毒氣彈的效力，亦必隨分解程度而減小。如欲避免此種損失，可用抗張強度 (tensile strength) 較小的彈殼與低溫爆炸的火藥。第一次歐戰時，英法兩國，曾用生鐵 (cast iron)

及半鍊鋼 (semisteel)，製造此等彈殼。但此種彈殼，容量較鋼彈為小，故實際利益仍屬不多。此外尚有用薄壁鋼彈，以少量炸藥爆裂之者。但無論如何，在高溫高壓下易於分解的化合物，使用時總有限制與困難，最好能覓得在此項情形下不受影響的化合物。

分解的另一方式，即為燃燒性 (inflammability)。當爆炸時，如彈內化學戰劑着火，盡行消耗於燃燒，則其生理效應亦盡失。故用於爆炸彈藥的化學戰劑之首要條件，為能抵抗爆炸所生的高溫高壓，不致因燃燒而分解。

#### (G) 物理狀態 (Physical State)

在尋常溫度下，化學戰劑可為固體、液體、或氣體。在尋常溫度下為氣體者，必須在稍大壓力下即能壓縮成為液體；因普通發射彈所能容納的氣體物質為量過少故也。例如氯素與光氣，在尋常溫度下為氣體；但在普通發射彈所能支持的稍高壓力下，則可經壓縮成為液體。氫氰酸及一氧化碳，雖具有極強的毒性，但在尋常溫度下，稍高的壓力，不能使其液化，因此遂不能用以裝填發射彈。由此觀之，化學戰劑在尋常溫度及稍大壓力下，必須以液體或固體狀態存在，亦為一基本條件。

比較固體化學戰劑與液體化學戰劑時，就填充發射彈而論，則以固體物質較為合宜；因固體有許多優點為液體所不及。所用化學戰劑若為一固體，發射彈內部即可完全填滿，與裝填高級炸藥的發射彈無異。因此，此種化學戰劑彈與高級炸藥彈的彈道性質 (ballistic behavior) 毫無差別。若所用化學戰劑為一液體，則彈殼內部，不能完全裝滿，必須留有百分之幾的空隙，以防溫度升高時液體之膨脹。此項留出的空隙，可影響彈道性質。戰場經驗，證明此種液體填充彈的發射，必須按照特殊射程表 (special range tables) 施行之，姑不論液體填充彈是否需要特殊射程表，吾人總可斷定，液體填充彈所經路徑，確與固體填充彈不同。發射彈的散佈情形及撞擊樣式 (impact patterns)，均可反映此種異點。此項問題，在討論砲彈一章內，當再詳述之。

液體填充彈有一優點，即彈殼裂開時分散較易。照例固體需要比較大量的炸藥，始能有效分散之。且液體填充物所發生的蒸氣，亦較固體微粒易於飛入空氣中，

#### (H) 沸點 (Boiling Point)

在液體化學戰劑中，應用時當取沸點較高及汽壓較低者。通常沸點愈高，則其在尋常溫度下的汽壓愈低，而在儲藏容器內所產生的壓力亦愈大。

於是填充發射彈時，可以少留隙地；儲藏及運輸時漏出的數量亦可減少。惟沸點愈高，則所需炸藥數量愈大，因而彈內所裝化學戰劑的數量亦隨之減少。

裝填時的困難，為與沸點有關的另一種重要問題。沸點低於尋常夏季溫度的化學戰劑，例如光氣（沸點為  $47^{\circ}\text{F}$ ），必須將其先行冷至其沸點以下，始能從事裝填。此則需要冷卻設備，以便將空彈及大量光氣預先冷卻，因而使裝彈手續較為繁複。

### (I) 熔點 (Melting Point)

化學戰劑的熔點，不及沸點之重要。然若其熔點在尋常大氣溫度範圍以內，則熔點亦有相當重要性。純粹芥氣的熔點為  $57^{\circ}\text{F}$  上下；故芥氣在夏季溫度高於  $57^{\circ}\text{F}$  時為一液體，在冬季溫度低於  $57^{\circ}\text{F}$  時則為固體。欲令其彈道性能及分散情形一致，必須保持裝填時的物理狀態不變。但一物在其熔點以上，不能以固體狀態存在；故祇可加入某種溶劑 (solvent)，令其在其熔點以下的尋常溫度，亦能保持液體狀態。關於此類溶劑問題，弗禮司 (Fries) 氏（參考 9）曾由第一次歐戰所得經驗，得到下列數據：

因欲使彈內芥氣在冬季與夏季均為液體，德國人曾加上 10%—30% 的氯苯 (chlorobenzene)，其後又曾改用氯苯與硝基苯 (nitrobenzene) 的混和物 (mixtures)，再後又改用純淨的硝基苯。四氯化碳 (carbon tetrachloride) 亦曾用過。此外尚有其他多種混和物（例如氯化苦劑、氯氰酸、溴丙酮等）亦經試過，但未正式使用。數種溶劑對於芥氣熔點之影響，列於第八表。

第八表 芥氣混和物的熔點

溶 劑	氯 化 苦 劑		氯 苯		四 氯 化 碳	
	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$
加入溶劑量 (%)						
0	13.9	57	13.9	57	13.9	57
10	10.0	50	8.3	47	10.0	50
20	6.1	43	6.1	43	6.7	44
50	2.8	37	-1.1	30	3.3	33

由於熔點在尋常溫度範圍以內所引起的困難，雖可加入適當溶劑以解決之；然此等溶劑的加入，每使製造手續較為複雜，且使戰劑效力減小。

#### (J) 比重 (Specific Gravity)

第一次歐戰時所使用的化學戰劑，彼此間比重相差甚大；有較水為輕者，有比重兩倍於水者。此種比重上重大的差異，引起裝填時的困難。在另一方面，一切尋常砲彈所裝高級炸藥的比重，均與 1.5 極近。故裝入各種不同的炸藥，對於砲彈的重量變更極少。吾人所希望者，乃能使各種砲彈皆符合於標準重量。射程表即係根據此種標準重量而算出。故填充砲彈的化學戰劑之比重，愈接近高級炸藥的平均比重（即 1.5），則化學戰劑彈與高級炸藥彈的差異愈小，而化學戰劑彈填充的困難亦愈少。

#### (K) 蒸氣密度 (Vapor Density)

不論化學戰劑為毒氣或煙霧，其比重必須較空氣為大；否則戰劑脫離容器時，將立即自地面上昇，因而失去其生理效應或掩蔽功能。

除氫氰酸外，所有化學戰劑均能合乎此種條件。氯氰酸的密度，為空氣之 0.93 倍。就其生理作用而言，此物為一最易致命的毒氣；但因其蒸氣輕於空氣，不能適用於戰場。一氧化碳，亦為一種極毒的氣體。其所以不能使用於戰場，亦因其密度較空氣為小。所有各種化學戰劑，其固體或液體密度的差別，大者不過二倍；然其蒸氣密度之差，則有近乎十倍者。最輕的毒氣為氫氰酸，其蒸氣密度為 0.93；最重者為氯化二苯肼 (DA)，其蒸氣密度為 9.0。主要毒氣的平均蒸氣密度約為 5.0。

一般說來，一物蒸氣愈重，則其黏着地面，滾入低窪地域、戰壕、及掩蔽所等類的趨勢亦愈大，於是對於躲在此等處所的人員，產生更強烈更持久的效應。

就蒸氣密度而論，戰劑至少須較空氣為重，且愈重則愈適於用作化學戰劑。

### 第二節 戰術上的條件

在製備上的條件一節中，吾人曾縷述化學戰劑必須具備若何性質，方能大量生產，及適合裝填於各式發射彈中，以應現代戰爭的需要。此節所討論者，為化學戰劑應具何種性質，始能在戰場發生所需的效力，此即所謂戰術上的條件。因毒氣在戰術上的效應，與煙幕及縱火劑有顯著的區別。故此三

類戰劑之戰術上的條件，以分開敘述爲方便。

### (一) 毒氣

吾人現先討論毒氣的戰術條件。對於採取攻勢 (offensive) 時所用毒氣應具何種條件，尤將特別予以注意，因此類毒氣所需條件最爲苛刻。

#### (A) 毒性 (Toxicity)

一般言之，致命性及傷害性的毒氣，毒性爲其最重要的條件。大多數毒氣的傷害效應，與其毒性成正比例。故毒性愈大的毒氣，其效率亦愈高。換言之，即達到同一傷害結果，毒氣用量的減少，及曝露時間的縮短，均與毒性的增強成正比例。此點正與哈柏氏通則相合。該項通則，即謂毒害效應與毒性及曝露時間之相乘積成正比例（參閱第一章第三節）。對於毒性條件的惟一例外爲催淚劑。催淚劑的主要目的，不在於毒害效應，而在於以最小分量的毒氣，使廣大地域內的敵軍暫時失去戰鬥力。然此種結果，似不盡合於戰爭的要求。是類毒氣不如用以鎮壓內亂，或較爲適當。吾人儘有其他因制敵人效力遠勝於此的戰劑可資利用。故催淚劑將來是否引用於戰場，頗難預料。不過在後方訓練部隊，仍將繼續作廣博的使用，則無疑義。

除催淚劑外，毒性可視爲一切應用於戰爭的毒氣之一種基本條件。不過單憑強烈的毒性，不一定能使一種化合物成爲在戰場上有效的傷害性戰劑。一種戰劑的最後效應，尚包括其他多種因素。此種事實，在第一次歐戰初期，尚未十分注意，結果致產生許多浪費的錯誤。例如法國人根據實驗室中所得氮氰酸具有激烈毒性的結果，曾將此物用作毒氣砲彈之填充物。但結果因其在空氣中揮發極快，蒸氣又較空氣爲輕，遂使此種毒氣砲彈的發射，不能造成有效的濃度。氮氰酸更有一種特性，即當濃度未達到一定的臨界數值時，毫無毒害效應可言。此兩特性，遂使法國之凡山里特 (Vincennite) 砲彈（內裝氮氰酸），成爲第一次歐戰中化學戰爭的最大失誤之一。

#### (B) 複效應 (Multiple Effects)

重要性僅次於毒性之戰術上的條件，爲戰劑作用於身體的方式。許多毒氣，對於身體能生幾種作用。例如氯化苦劑爲一兼有催淚及傷肺兩種效應的毒氣。故對於此種毒氣，眼部與肺部俱須防護。硫酸二甲酯爲一催淚劑，同時又爲起泡劑；故眼部以及全身均應同樣防護。芥氣有三種效應，即起泡、傷肺、及催淚；故芥氣的防護最爲困難。因而在戰術上芥氣爲最有價值的戰劑之一。

就一般而論，一種毒氣所產生生理效應的種類愈多，則在戰術觀點上，其價值亦愈大。

### (C)持久性

毒氣的傷害效應，既為其毒性與曝露時間的相乘積，故傷害性毒氣的另一種重要條件，為其持久性。持久性即戰劑在毒化地域內所能支持其有效濃度的時間。無論一種毒氣的毒性如何強烈，若揮發太速，數秒鐘即行消散，則不足以產生有價值的傷害效應，此理甚明。持久性為沸點的一種函數，沸點愈高，液體蒸發愈慢，其在戰場上所可支持的時間亦愈長。又因揮發度為液體蒸發速率的一種度量，而持久性復為揮發度的一種逆函數 (inverse function)；故液體揮發度愈大，其持久性亦愈小。

### (D)效應的長久性 (Duration of Effects)

假定戰鬥的主要目標，不在致敵於死，而在予以不致命但有長期性的傷害，以期克服敵人；則能產生最長久的傷害效應者，即為最有效的化學戰劑。就此條件而論，芥氣當為第一次歐戰中所用毒氣之效率最大者。受芥氣傷害的人，恢復健康甚慢，而受傷者之死亡百分率則極低。

### (E)作用速率 (Speed of Action)

另外一種重要條件，為作用的迅速。有些毒氣對於身體的作用甚為迅速；另外一些則作用至為緩慢，受毒後須歷數小時，始有顯著的效應。例如氫氰酸在其致死濃度下，作用極速，一兩次的深呼吸，足以令人立即暈眩，數分鐘後即可死亡。反之，芥氣作用甚緩，在尋常戰場濃度下，受毒後須經數小時，始能發生顯著的症候。

不問毒氣的種類如何，凡產生效應愈快者，其獲得所期戰術的效果亦愈早。當進攻時，用以產生傷害效應的毒氣，必須作用迅速，使不過數分鐘之久的毒氣攻擊，即能令敵人立即失去戰鬥力。曝露於芥氣中者，數小時後始喪失其應戰能力。故芥氣不適用於攻擊毒氣；苟其作用速率較大，當為一更有價值的戰劑。

### (F)潛伏性 (Insidiousness)

一種毒氣，設若在開始曝露時即使人感覺不適或痛苦，則敵人可立即發覺毒氣的存在，而採取適當防護，以致毒氣無從發揮其效力。反之，若一種毒氣，其作用具有潛伏性，在必需曝露的時間內，不致使人發生不快的感覺；則在敵人尚未採取防禦以前，已能充分發揮其傷害效力。故毒氣的潛伏性愈

強，其奇襲效果 (surprise effect) 及戰術價值 (tactical value) 亦愈大。再者，毒氣產生生理效應的作用愈緩，其潛伏性的需要亦愈大。例如芥氣的蒸氣，在較低濃度下，須經數小時的曝露，始有顯著的效應。苟非其作用具有潛伏性，在低濃度下難於覺察，則部隊將不致曝露至足致傷害的時間。但因芥氣蒸氣具有潛伏性，在低濃度下幾乎無法察出。故雖作用遲緩，且受毒後非經數小時不顯若何效應，其傷害效力仍屬強大。

#### (G) 揮發度 (Volatility)

揮發度決定一種毒氣在某一溫度下可能存在於空氣中的最大濃度，故亦為傷害性毒氣的重要條件之一。在同一體積的空氣中，沸點低汽壓高的液體戰劑所產生之毒氣濃度，總較沸點高汽壓低的戰劑所產生者為大。空氣中所能含有的最高濃度（即飽和點），為該物質揮發度的直接函數（參閱第一章第二節揮發度的定義）。關於持久性、揮發度、與汽壓的數學上關係，見附錄一所載公式。

上述關於揮發度各點，對於致命性或傷害性毒氣特別重要。至於芥氣一類的阻礙性毒氣 (neutralizing gas) 及氯化二苯腴一類的困擾性毒氣 (harassing gas)，其主要企圖，不在即時的傷害效應，而最佳的戰術效果，乃在毒化地域內能維持一較低的濃度至最長的時間，是以持久性最為重要。故阻礙性與困擾性毒氣的第一條件為持久性大，第二條件為其在低濃度下能長時有效。

#### (H) 透過性 (Penetrability)

若其他條件相等，一種毒氣能透過敵人面具 (masks)，防毒衣 (protective clothing)，以及其他化學防禦設備 (means of chemical defense) 之力愈強，其攻擊威力 (offensive power) 及戰術價值亦愈大。僅僅防毒面具（雖最新式者亦然）的佩戴一事，據估計已足減小部隊活動力的四分之一，若再加上防毒衣，則部隊的體力及活動力當更形減低，於是其戰鬥力亦隨之大減。毒氣的透過力愈強，敵人的防護器具必更加累贅。故毒氣的透過性，為其戰術價值的一種重要因素。

#### (I) 不可見性 (Invisibility)

不問毒氣種類如何，當其使用有奇襲功效時，其效力最大，此點已為一般所公認。毒氣愈難為器官所發現，即愈不易為敵人所察覺，故不可見性實屬重要；因其能防止敵人望見毒氣的接近，更令敵人無從察知其濃度的大小

故也。

(J)無臭性 (Odorlessness)

毒氣在戰場上的濃度，常因其具有特別臭味，易爲人所覺察。除可見性 (visibility) 外，臭味乃最易察覺的性質，尤以夜間爲甚。故愈近於無臭的物質，其奇襲效果愈大。

(二)烟幕\*

(A)總掩蔽力 (Total Obscuring Power)

烟幕的戰術上的條件，完全與毒氣不同。烟幕的目的，在於遮蔽視線 (obscure vision)，隱蔽地域 (conceal terrain)，而不在於傷害效應。毫無臭味的性質，對此並非需要；而總掩蔽力乃係其基本條件。烟幕的評價，以其總掩蔽力爲標準。總掩蔽力，隨烟粒不透明 (opacity) 的程度及每立方英尺空氣中所含烟的密度爲轉移。換言之，烟幕的總掩蔽力，爲每單位重量材料所產生烟的體積與烟的密度之相乘積。各種化學戰劑的掩蔽力，相差甚大；祇有總掩蔽力大者，方合於用作掩蔽烟幕。

(B)持久性

持久性對於發烟劑的重要，僅次於其總掩蔽力。發烟劑的持久性愈大，則維持烟幕至一定時間所需材料愈少，而此種發烟劑愈屬有效，亦愈爲經濟。

(C)發烟能力 (Smoke-Producing Capacity)

發烟劑的第三條件，爲其發烟能力，此即指每磅發烟劑所能產生的烟量而言。每單位重量材料所能放出烟霧的多少，在各種發烟劑間，相差甚大。每磅材料能產生最大量的烟霧者，自爲最有效的發烟劑。

(D)密度 (Density)

其次，另有一種重要條件，即係烟幕的密度，或其對空氣的比重。烟粒愈重，則其上升的機會愈少，且愈易附着於所欲掩蔽的處所，而收良好的掩蔽效果。故密度或沉重 (heaviness)，亦爲一種重要條件。

(E)無害性 (Harmlessness)

烟幕的另一重要條件，爲對於人類無毒害效應。使用烟幕的目的，常爲掩蔽友軍以資保護。如烟幕具有刺激性，即令不產生不良的生理效應，部隊

---

\* (註G)——此節所論之烟幕，爲無毒的掩蔽烟幕 (nontoxic screening smokes)。毒煙 (toxic smokes) 的戰術的條件，與傷害性毒氣相同，惟應將不可見性除外。



能被籠罩的時間，必因之減少；且此事對於士氣 (morale) 亦將有不良的影響。

#### (F) 溫度

若其他條件相等，則用較熱的烟幕，不如用較冷者為佳。烟霧愈熱，上升之趨勢愈大，其掩蔽效力亦愈小。故由化學作用所產生的烟幕（例如四氯化鈦由水解生烟），具有數種優點，為由燃燒而生的烟幕（例如由油的燃燒而生之烟）所不及。

#### (G) 顏色 (Color)

白色烟幕，在多數地域內與地平線 (horizon line) 相混較易；故作一般掩蔽用時，白烟較黑色及其他顏色的烟為適宜。

### (三) 縱火劑

縱火劑的目的，在引起大火，以焚毀敵方的物資。故其基本條件，為在戰場所可遭遇之最不利於縱火的情形下，遇物即能縱火，使之燃燒。

#### (A) 溫度

縱火劑之首要的戰術條件，為其本身（不假外助）能發生極熱之火，如能噴射火焰則更佳。縱火劑所產生的溫度愈高，其引燃不易着火的目的地物之效力愈大。

#### (B) 燃燒時間 (Time of Burning)

第二種條件，為燃燒時間，縱火劑每磅材料的燃燒時間愈長，其所縱之火支持愈久，而焚毀目的物的機會亦愈多。

#### (C) 難滅性 (Unquenchability)

用於軍事上的縱火劑，須不能為水所撲滅；因水係戰場上通常可以利用的惟一滅火物。

#### (D) 自燃性 (Spontaneous Combustion)

自戰術觀點言之，自燃性為縱火材料的一種顯著優點；因使用此等縱火劑縱火時，只須將其分佈於目的地域，聽其自行燃燒，以達到其所期望的結果故也。自製備的觀點而言，自燃性的優點，在於不需導火線 (fuse) 及特別引火物，可免去許多複雜的手續。但在另一方面，有自燃性的縱火劑，引起儲藏、處理、及裝填入發射彈時各種技術上的困難，是乃其缺點。故對此需將利害仔細權衡。

#### (E) 中途熄滅 (Extinguishment in Flight)

如縱火劑係裝於分散式發射彈 (scatter-type projectile) 內,使用時將其分散於廣大的目的地域中,則縱火材料,尚須加入另一條件。該項條件,即在彈殼爆裂後,燃燒的微粒,當飛射空中時,必須不致中途熄滅。欲達到此項條件,除能自燃的縱火材料外,甚感困難;蓋當燃燒的微粒飛越空中的速度超過一種臨界速度 (critical velocity) 時,火焰必致熄滅故也。此點即係德國齊柏林飛艇 (German Zeppelins) 在倫敦 (London) 巴黎 (Paris) 投擲舊式縱火彈 (incendiary bombs) 失敗的主要原因。該項縱火彈,係由不能自燃的材料製成。其點燃或在脫離彈架時或在空中飛過一短時間後,由時間引信 (time fuse) 引燃之。故當彈尚在高空時,即行爆裂而發火;但在剩下一段下落途徑中,因速度增加至其臨界速度以上,故在未着地前,火焰即行熄滅。

根據榴霰彈 (shrapnel) 原理而製造的舊式縱火彈,亦有同樣的困難。當此等砲彈爆裂時,其中所含物質以正在燃燒的塊狀噴出;其噴出速度甚高,足將火焰熄滅。因此,如縱火材料不能自燃,則當其自發射彈噴出時,必須能保持其火焰不致熄滅,俾與目的物接觸時,尚在激烈燃燒。

### 第三節 理想戰劑的條件

關於化學戰劑的條件,上文已有相當詳盡的敘述。茲將各類理想的化學戰劑 (ideal chemical agent) 的條件及特性,分述於後,以作本章的結束。

#### (A) 攻擊用毒氣 (Offensive Gas)

戰術上取攻勢時所用的理想毒氣,應具備下列各種條件:

戰術上的條件:——

- (1) 毒性巨大。
- (2) 具有複效應 (數種生理效應)。
- (3) 具有暫時性。
- (4) 能產生最長久的生理效應 (effects of maximum duration)。
- (5) 即時發生效力。
- (6) 作用具有潛伏性。
- (7) 揮發度大 (能達戰場上的最大濃度)。
- (8) 具有透過性。
- (9) 具有不可見性。

(10)無臭。

製備上的條件：——

(1)原料豐富。

(2)製造簡易。

(3)在化學上穩定。

(4)無水解作用。

(5)爆炸時不致分解。

(6)在尋常溫度下為固體。

(7)熔點高於最高的大氣溫度。

(8)沸點低。

(9)汽壓高。

(10)比重在 1.5 左右。

(11)蒸氣密度較空氣為大(愈重愈佳)。

在各種毒氣中，以光氣(參閱第七章)最與上述各種條件相近，其對理想條件的缺陷，主要地有下列各點：無複效應，僅為傷肺劑；除非在高濃度下，無即時效應；非一無臭的物質；與水接觸時，產生白色雲霧，故非不可見；遇水漸行水解，在潮濕天氣下竟歸無效；在尋常溫度下為一氣體，裝填於發射彈之先，須以人工冷卻。但光氣雖有如許缺點，仍為第一次歐戰中最佳的攻擊用毒氣。

#### (B)防禦用毒氣 (Defensive Gas)

戰術上取防禦時應用的理想毒氣，亦應具備上述各種條件。惟是類毒氣須具持久性，不應為暫時性的物質；同時在低濃度下仍須有效。

芥氣近乎理想的防禦毒氣，但有下列幾種缺點：不能立即生效；微有臭味；不易製造；漸與空氣中及地面上水分起水解作用；在夏天為液體，冬天為固體；汽壓頗低。芥氣雖有許多缺點，仍不失為第一次歐戰中最佳的防禦用毒氣及最良之全能的傷害性毒氣。

#### (C)困擾用毒氣 (Harassing Gas)

理想的困擾敵人之毒氣，其所應具條件，與防禦用毒氣相同；惟在更小的濃度下，須仍有效，始能以極小量的戰劑，分佈於廣大地域內，而收困擾敵人的功效。

氯化二苯肅，為第一次歐戰中最有效的困擾毒氣。但此物有下列幾種缺

點：僅有一種效應，為一單純的噴嚏劑；持久性不甚大；效應的時間不久，通常不過數小時；不易揮發；具有可察覺的臭味；製造極為困難；沸點熔點均高；汽壓低；難於作有效的分散。然在適宜狀況下使用，此物實係一種效力甚大的困擾性毒氣。

#### (D)發烟劑 (Smoke Agent)

理想的發烟劑，須具備下列各種條件：

戰術上的條件：——

(1)總掩蔽力大。

(2)持久性大。

(3)發烟力大。

(4)對於空氣的比重大。

(5)發烟時溫度低。

(6)不具有害的生理效應 (no harmful physiological effect)。

製備上的條件：——

與毒氣同。

黃磷為第一次歐戰中最有效的發烟劑。然在下列各點，則與理想條件相去頗遠；除非用逐漸燃燒方法，不能使形成的烟幕持久；較空氣為輕，有迅速上升的趨勢；因其為燃燒產物，所得烟幕，溫度較周圍空氣為高，因此更增加上升的速度。由磷所生的烟霧，本身雖屬無毒；然正在燃燒的黃磷顆粒，所放出的蒸氣則甚毒，但曝露後須經長久時間，效應始行顯著。且正在燃燒的黃磷顆粒，與人體接觸時引起痛苦的灼傷。故黃磷除掩蔽能力外，實兼具傷害作用。

至於用作發烟彈填充物之製備上的條件，黃磷均能滿足。其惟一困難，在於儲藏及裝填時，必須用水掩蓋，絕不能與空氣接觸；稍稍露氣，立即着火，此乃任何自燃的材料所共有的現象。

黃磷雖有許多限制，仍為第一次歐戰中所用發烟劑之最佳者。第一次歐戰以後，曾經發現許多新式發烟劑，可由不起燃燒的化學反應以產生冷烟。此類烟幕，用飛機施放，較黃磷為適宜。但一般說來，黃磷現在仍不失為最佳發烟劑的一種。

#### (E)縱火劑 (Incendiary Agent)

理想的縱火劑，須具有下列各種條件：

戰術上的條件：——

- (1) 易於燃燒。
- (2) 燃燒時產生高溫度。
- (3) 不能為水所撲滅。
- (4) 火焰不致中途熄滅。
- (5) 具有自燃性。
- (6) 縱火的有效時間可以持久。
- (7) 火焰遇物即燒。

製備上的條件：——

與毒氣同。

在第一次歐戰中所用的縱火劑，可分為兩類：一為分散式 (scatter type)；主要地為可燃性油 (flammable oils)、松香 (resins)、煤渣 (coal tar) 等的混和物，配有黃磷、鈉、及相似的物品以引火。一為集中式 (intensive type)；主要地為鋁熱劑 (thermite) 與類似的金屬混和物；該項混和物，在化學上均係性質活潑，可產生極強烈而集中的火力者。

第一次歐戰中所用的縱火劑，無一種實屬異常的成功。戰爭結束後，此項問題，留待改良之處尚多。

黃磷的主要效用為發烟，但亦可用作縱火劑。此物雖缺乏許多應具的性質，但其功效，並不亞於第一次歐戰中所用之其他縱火材料。

(F) 結論

綜上所述關於一種化合物之成為化學戰劑所必須備具的苛刻條件，吾人不難明瞭，何以選自數十萬化合物中的毒氣，成功者竟是如此之少，何以第一次歐戰初期使用的毒氣，大部均歸失效。但此並非謂即在將來亦無極端優越的化學戰劑出現。反之，近數年來，關於化學戰爭的研究及發展方面，已有驚人的進步。將來的發展，無疑地將向兩方面進行。即：

- (1) 尋求已知化學戰劑之更有效的使用方法及工具；
- (2) 尋求效力更大的化合物。

第一次歐戰以後的進步，似偏重於探求已知化學戰劑之更有效的使用方法及工具。原因係第一次歐戰中所用之成功的化學戰劑，其效力尚未能為當時所用的軍事技術所完全發揮。在已知戰劑的力量未得完全啓發以前，關於威力更大的戰劑之尋求，自無若何巨大的利益。例如根據測定結果，一人

迅速地吸入二十毫克的芥氣蒸氣即足致死。依此計算，一噸芥氣有殺死四千五百萬人的可能。在第一次歐戰中，所用的芥氣共計一萬二千噸，因此物而致傷亡者共四十萬人；平均在戰場上消耗一噸芥氣，不過死傷三十三人。芥氣之可能的及實在的殺傷威力，相去既係如此之遠，則再事尋覓威力更大的毒氣，似屬無甚意義。反之，若竭力探求芥氣之更有效的使用方法，則芥氣必將成爲一種效力更大的毒氣。能夠增大芥氣效力的方法，已經覓得兩種，即以車輛於陸地施放，及以飛機於空中噴洒。此點後文當詳論之。

軍事上的努力，主要地雖注意於戰場上使用戰劑的技術之改良；工業研究，則仍在繼續地發明與試驗新穎的化學戰劑，其中有些，無疑地將證明爲較前此所用戰劑威力更大的物質。實際上，化學 (chemistry) 的範圍如此之廣，其可用的能力如此之大，對於化學應用於戰時或平時之最大可能性，無人可以預測。將來唯一可以斷言之事，厥爲進步 (progress)。值得贊揚的政府，決不致不顧人民的安全，而不採用日益廣大的科學領域之已有的及將來繼續不斷的進步，應用之於其軍事方面的建設。

### 研習問題

(一) 在數千種有毒的化合物中，各國專家目下認爲有價值的毒氣僅有九種至十二種，其故安在？

(二) 芥氣與黃磷，均爲極有價值的化學戰劑。但在第一次歐戰中，德國使用黃磷甚少，英國則於最後兩月中始行使用芥氣。其原因爲何？

(三) 試就製備上的條件，說明苯氯乙酮用作催淚劑的優點。

(四) 用沸水沖洗曾被毒化的器物，可以消毒，係利用何種化學反應？

(五) 丙烯醛何以不適於用作毒氣？

(六) 第二次歐戰 (1939 年 9 月——) 發生後，英國曾利用飛機投擲縱火葉 (incendiary leaves)，能恰於着地之前自行着火。該項縱火葉的設計，主要地係利用何種性質？其主要成分大致爲何？

(七) 攻擊時常使用光氣，防禦時常使用芥氣，其理由爲何？

(八) 根據理論，一噸芥氣，有殺死四千五百萬人的可能。但第一次歐戰的事實證明，戰場上消耗一噸芥氣，僅可死傷三十三人。其故安在？芥氣的實際殺傷威力，應如何增進之？

## 閱 讀 書 目

- (一) "Chemical Warfare Service Saves Millions for Industry" R. E. Sadtler, Chem. Met. Eng., 37, 88, (1930)。
- (二) Chemical Warfare Bull., A Review of Developments in the Application of Chemicals to Military Effort, Published Quarterly by the Chief of Chemical Warfare Service, Vol. 20, No. 3, July, 1934, to Vol. 22, March, 1936.
- (三) 化學兵器, 訓練總監部軍事編譯處譯印, 第一編第五章。

### 第三章 化學戰劑的施放

欲求化學戰劑有效於戰爭，必須將其在適宜的目標地域予以適當的施放 (dissemination)。施放包括兩步驟：一為藉發射 (projection) 手續，將戰劑送達於目標；一為藉分散 (dispersion) 作用，將戰劑有效地佈滿於目標地域。是以化學戰劑的施放，即由發射與分散組合而成。

本章內容，係討論施放化學戰劑的各種方法及手續，至於施放所用的武器及材料，則將在第十四章至第十八章，與使用此等器料的各兵種聯同討論之。

#### 第一節 發射工具 (Means of Projection)

在第一次歐戰中，各個兵種均曾施放化學戰劑，惟空軍 (air corps) 則未嘗施行毒氣攻擊。當 1915 年化學戰爭 (chemical warfare) 初次出現時，早有多種裝填高級炸藥的兵器，業經使用於戰場。化學戰爭，係在第一次歐戰中初次出現，戰前實無此項器材的準備，故最初的化學彈藥 (chemical munitions)，均由高級炸藥的兵器匆促改裝而成。後來的經驗，證明此類兵器，有些並不適於化學戰劑的施放，以致使用時毫無效率可言。

第一次歐戰中最初施放毒氣的辦法，係用手榴彈 (hand grenades)，其可拋擲的距離為二十五碼至三十碼。因受距離上的限制，只能在肉搏 (hand-to-hand combat) 時使用之。且使用毒氣的部隊，往往與敵人同樣感受毒氣的包圍；故惟當佩戴面具的部隊攻擊不戴面具的部隊時，方能收效。當兩方均有面具時，其戰鬥效力大體消失。

第二步發展，係將化學戰劑裝填於鎗榴彈 (rifle grenade) 內；由此法可發射二百碼至二百五十碼的距離。但此項距離仍屬太小；使用毒氣的部隊，仍有佩戴面具的必要。且對付由此等鎗榴彈放出的毒氣，面具可達完全防護的目的。故此項毒氣彈的效力，並非遠勝於毒氣手榴彈。然當用發烟劑 (尤其是黃磷) 為裝填劑時，此法對於掩護小隊步兵之進攻，確有相當效力；因此，在此方面此法繼續使用，以迄第一次歐戰之終止。

以時間次序言，第三種用作毒氣攻擊的工具雖為砲彈 (artillery shell)，



(1915年1月,德人在俄國前線初次使用);但此種最初使用的毒氣砲彈,完全失敗。直至1915年夏季,即在1915年春季用吹放瓶(cylinder)吹放法施行大規模的毒氣攻擊以後,毒氣砲彈的使用始告成功。故吾人可謂化學戰爭發展的第三階段,實係利用吹放法的施放。自吹放瓶放出毒氣的有效距離,大受天氣,及其他地方情形,以及使用吹放瓶的數量等因素的影響。在普通情形下,有效氣雲(gas clouds)的縱深,約與施放前線的長度相等;但在數次特殊實例中,有效縱深遠較此項長度為大,自吹放瓶放出的毒氣,其擴散及淡化程度的增加,約與距施放地點的順風距離(downwind distance)之立方成比例。因此欲在二千五百碼以上的距離保持有效濃度,必須施放極大量的毒氣。故除執行極大規模的毒氣攻擊外,吾人可認為在此項距離以內,為吹放瓶攻擊的有效地帶。

在1915年夏季,開始將化學戰劑裝填於小口徑(light calibers)的砲彈,隨着戰事的進展,復用以裝填大口徑(heavier calibers)的砲彈。至1917年,所有各種大小口徑的砲,均曾用以發射化學戰劑彈。但許多大口徑砲,並不適於施放化學戰劑之用。

繼砲彈之後,化學戰劑的使用展至迫擊砲(trench mortar)。但大口徑的迫擊砲,因其不易移動,發射亦太慢,不適於化學戰劑的施放。小口徑者,則彈殼容量不足,亦不適於是項用途。

隨後不久,即發現在步兵戰鬪地帶內,砲隊並不適於施放化學戰劑。此乃由於砲的發射軌道(trajjectory)過平,砲彈容量過小;且在鄰近本軍前線造成有效濃度而不害及友軍步兵,殊為困難。原來發射高級炸藥彈於此項地段內的各式迫擊砲,既亦不適於造成及維持毒氣或烟幕的適當濃度。吹放瓶吹放法,又太受風及天氣的限制。故步兵戰鬪地帶內化學戰劑有效濃度的造成,始終成為一大問題。

最後,此項問題的解決,在於英國人發明一種特別投射砲,即所謂李文氏投射砲(Liven's projector)。用此項投射砲,一次排砲(salvo),可發射多發容量頗大的砲彈,其最大射程為一千八百碼;因此可在敵人防禦陣地(defensive positions)內,造成極高的毒氣濃度。化學戰劑,當其自李文氏投射砲砲彈放出時,即已到達目標地域,不必經過無人的地帶以損失其力量,此點與吹放瓶吹放法不同。故李文氏投射砲為一種發射化學戰劑非常有效的工具。在第一次歐戰的後期,交戰雙方曾將其廣泛地採用。惟因安裝時

需要人工及時間頗多，只能使用於穩定的戰局。

爲補救李文氏投射砲的缺點，英國人又發明一種較易搬運適於野戰 (open warfare) 用的特別化學迫擊砲 (special chemical mortar)，即四英寸司托克迫擊砲 (4-in Stokes mortar)。就其移動性及容量而言，此砲可認爲係三英寸及六英寸的普通迫擊砲之折衷產品。將此種四英寸化學迫擊砲與普通三英寸迫擊砲相較，其射程及發射速率 (每分鐘二十發) 相等，移動性 (mobility) 亦幾相同，而其容量則增至三倍。因此四英寸化學迫擊砲發射毒氣的能力，幾爲三英寸迫擊砲的三倍；自爲發射化學戰劑最有價值的工具之一。同時因其易於搬運，且不論以大羣或小羣使用，均可獲得良好效果。故此項化學迫擊砲，實爲極富伸縮性的武器，可以有效地應用於各種不同的戰局。

吹放瓶、投射砲、及化學迫擊砲的使用，其目的均是在步兵戰鬪地帶內造成適當的毒氣濃度。如欲在各種戰術情形下，將此等重要地域完全毒化，此三種工具往往需聯合使用，任其互相輔助。因此，將此三種工具聯合成爲一組，總稱之爲特殊化學兵器 (special chemical weapons)。又因步兵戰鬪地帶隣近友軍，欲在其中造成毒氣及烟霧的有效濃度，需要特殊的技術與訓練，故使用此等特殊化學兵器的特殊部隊之組織，早已感覺需要。此種部隊，乃曾經特別訓練，使其能使用此等兵器，並對各種兵器的威力及限制，均能透澈了解者。第一次歐戰時，稱之爲特殊毒氣部隊 (special gas troops)。其原來編制雖屬工兵隊 (engineer units)；但因其專負施放化學戰劑之責，實係化學戰隊 (chemical troops)。

在第一次歐戰中，用飛機施放毒氣一事雖未實現；但用飛機投擲縱火彈及烟幕彈，則在戰爭初起時已有之。第一次歐戰以後，多數國家對於自飛機施放化學戰劑的工具，均已製造成功。

第一次歐戰以後，列強關於化學戰劑的施放方法，復有許多新發展；如地雷 (land mines)、毒烟燭 (toxic smoke candles)、坦克車發烟器 (smoke generator on tanks)、複合炸彈 (composite bombs)、縱火葉 (incendiary leaves)、及噴火坦克車 (flame projector tanks) 等皆是。茲將各兵種發射化學戰劑所用的工具，列於第九表。

第九表 施放化學戰劑的工具

兵 器 (munitions)	兵 種
坦克車發煙器	} .....步兵(infantry) 與騎兵(cavalry)
手榴彈及鎗榴彈	
發煙燭	
噴火坦克車	
輕便發煙器 (smoke generators, portable)	} .....步兵
81一毫米發煙迫擊砲	
毒氣吹放瓶	} .....化學戰隊
李文氏投射砲	
化學迫擊砲	
機械化化學灑散器 (chemical sprinklers)	
毒煙燭	
火焰發射器 (flame projectors)	
砲彈 (小口徑及中口徑)	} .....砲兵
飛機化學炸彈 (aerochemical bombs)	} 空軍(air corps)
複合炸彈	
縱火藥	
化學灑散器及噴散器 (sprayers)	

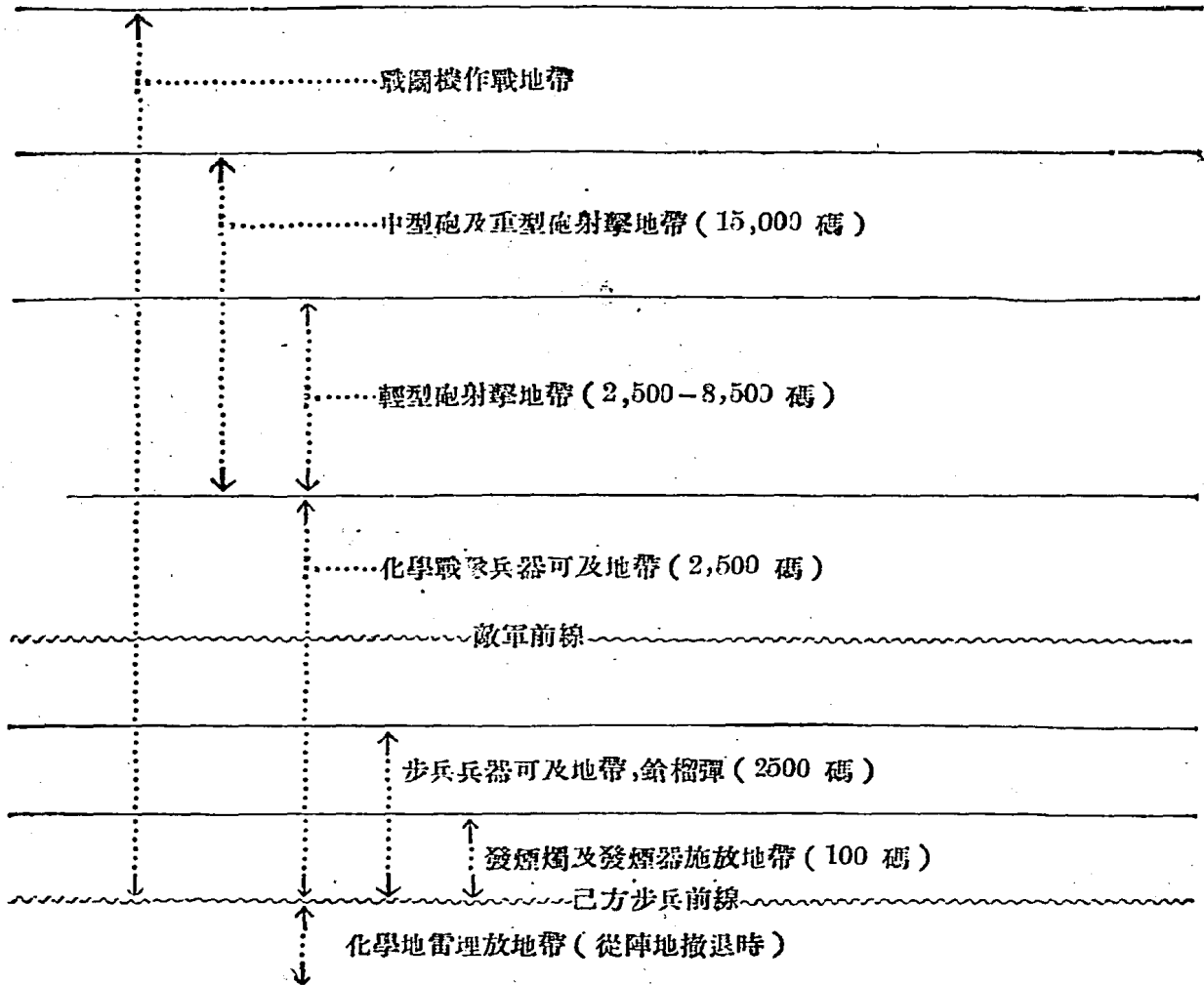
由於第一次歐戰後各國化學軍備 (chemical armament) 的增進,化學戰劑的施放,不獨可及戰場全部;即前線(front)的後方地域以及敵國內部,

凡轟炸機飛行半徑可及的處所，均可攻擊之。

為配合各種施放化學戰劑的工具，並使每種工具均能表顯其最高效率，以輔助其他工具所不及起見，遂將戰場 (theatre of operations) 依其縱深 (從前線算起) 的增加，劃分為幾段地帶 (zones)，如第三圖所示。

第三圖 戰場的地帶區分

轟炸機作戰地帶 (3,850 英里)



### 第二節 發射方法 (Method of Projection)

不問技術上所用的工具如何，發射化學戰劑於目的地域的基本方法，祇有三種。第一法將化學戰劑自安在本軍前線的容器放出，藉風力運送至目的地而散佈之；此法可稱為原點放出法 (release at origin)。第二法藉物理方法，將容器發射至目的地以後，化學戰劑始脫離容器 (例如用鎗砲發射化學

彈，飛機投擲化學炸彈，及退卻部隊埋放化學地雷等)；此法可稱為目的地放出法 (release on target)。第三法將容器裝於飛機上，散佈化學戰劑於目的地的上空，藉重力 (gravity) 作用以達目的地域；此法可稱為目的地上空放出法 (release over target)。

茲將所有可能的發射方法，列於第十表。

第十表 化學戰劑的發射方法

基本發射方法	技術上使用的工具	作戰部隊	所用化學戰劑的種類	可及的縱深 (碼)
原點放出...	毒氣吹放瓶	化學戰隊	暫時性毒氣	2,500 碼
	毒氣燭	化學戰隊	噴壺劑	1,500 碼
	火焰發射器	化學戰隊	縱火劑	60 碼
	發煙燭，發煙器	步兵，騎兵	掩蔽性煙幕	100 碼
	噴火坦克車	步兵，騎兵	縱火劑	
目的地放出.....	砲彈	砲兵	毒氣，煙幕，縱火劑	2,500 - 15,00
	化學迫擊砲彈	化學戰隊	毒氣，煙幕，縱火劑	2,500 碼
	機械化化學酒散器	化學戰隊	毒氣，煙幕，縱火劑	
	李文氏投射砲彈	化學戰隊	毒氣，煙幕，縱火劑	1,800 碼
	化學地雷	化學戰隊	毒氣	放棄的地域
	81一毫米發煙迫擊砲	步兵	煙幕	3,000 碼
	手榴彈及槍榴彈	步兵，騎兵	毒氣，煙幕，縱火劑	25 - 250 碼
目的地上空放出	飛機炸彈	空軍	毒氣，煙幕，縱火劑	} 3850 英里
	複合炸彈	空軍	毒氣，縱火劑	
	縱火藥	空軍	縱火劑	
	飛機酒散器	空軍	持久性毒氣	15 英里
	飛機噴散器	空軍	持久性毒氣	15 英里

至於發射化學戰劑所用技術上的工具及器材，在以後各章中，當與使用化學戰劑的各兵種一同討論。

### 第三節 分散方法 (Method of Dispersion)

由以前各章所述，可知在戰術觀點上，欲求化學戰劑發生功效，必須使

之與身體接觸，或使身體為毒化的大氣所包圍。在後一情形下，大氣中毒氣濃度，至少須等於曝露一定時間的最低有效濃度。因戰場部隊，通常均有掩蔽物可資利用，欲使化學戰劑能以其原來的物理狀態與身體直接接觸，在普通情形下殊不可能。因此勢須將化學戰劑在細分形狀下，極勻地散佈於目的地域的大氣內，方能造成足致傷害之毒氣濃度，以包圍無防護的身體，並由肺部及皮膚滲入體內。凡此所述，皆屬分散上的問題。

#### (A) 物理狀態 (Physical States)

在尋常戰場情況下，化學戰劑或為固體，或為液體，或為氣體。內中氣體極少；實例為氯氣及光氣。固體亦不多；如氯化二苯肼，亞當氏戰劑，苯氯乙酮等是。大多數則為液體。

氣體的分散——化學戰劑，設在尋常溫度（例如  $20^{\circ}\text{C}$  及  $68^{\circ}\text{F}$ ）及大氣壓力下為一氣體，其分散極易完成。只須使其脫離容器，即行飛入空氣中。且因其膨脹（expansion）及擴散，該物迅速滲入空氣內，直至大體混和均勻為止。故氣體毒氣的分散問題至為簡單，只須施放足量的戰劑，使其當毒雲（toxic cloud）蓋滿目的地域時，能有一種有效濃度即可。

空氣溶體 (Aerosol) 的分散——液體與固體化學戰劑的分散，遠較氣體為困難。一切液體及許多固體，雖沸點遠高於最高的大氣溫度，但在尋常溫度下，亦有蒸氣放出。從化學戰爭的觀點看來，此等蒸氣\*與真正氣體無異，但在尋常戰場情況下，大多數液體及固體化學戰劑所放出蒸氣的百分數極小，幾可忽略不計；除非加熱，始能將其大部或全部汽化以升入空氣中。故除少數戰劑在戰場為真正氣體，或在戰場溫度極易揮發者外，通常化學戰劑，多係分散成為極小之固體或液體微粒。

依照氣體定律（gas laws），在蒸氣中，每個分子皆可自由運動，故蒸氣大體服從氣體諸定律，而與空氣形成均勻混和物（homogeneous mixtures）。但在烟霧中，分子不能單獨自由運動，而係聚集成團；故烟霧不能嚴格地服從氣體定律，因而與空氣形成不均勻的混和物（heterogeneous mixtures）。此類混和物，即所謂分散系統（dispersed systems）。是項系統，包含一種氣體相（gaseous phase）（即空氣），與一種極小的固體相或液體相（solid or liquid phase）顆粒（即戰劑）。分散系統最普通的形式，為液體或固體分

（註7）——在物理學上的定義，蒸氣即係液體在其沸點以下的溫度之氣體。

散於液體中。尋常稱爲膠狀溶液 (colloidal solutions) 或膠溶體 (sols)。若分散劑 (dispersing medium) 爲水, 則該項系統稱爲水溶體 (hydrosol); 若分散劑爲空氣, 則該項系統稱爲空氣溶體 (aerosol)。膠狀溶體, 介乎真正溶液與懸濁液 (suspension) 之間; 空氣溶體, 則可稱爲真正氣體混和物與顆粒懸浮於空氣中二者之中間物。故空氣溶體, 雖爲具有彈性之流體, 但並不服從氣體定律, 而其性質, 仍係極與膠狀溶液相似。化學烟霧既爲空氣溶體, 其行爲亦大體合乎膠狀溶液的各定律。

不問空氣溶體是否爲毒烟, 或者僅係單純的掩蔽烟霧; 其分散方法完全相同。基本手續, 乃用物理或化學的方法, 將其分散成爲分子狀態放出, 而使之凝集於空氣中。由此法所得空氣溶體的構造及穩定性, 隨後受其他現象的影響, 尙發生變更。例如水分凝集於固體顆粒或液體點滴的表面, 及與空氣接觸時所發生的氧化或水解作用, 均屬於此類現象。

#### (B) 分散手續 (Processes of Dispersion)

物質的最初分散 (primary dispersion), 可用物理的或化學的方法。

物理分散法——物理方法分爲三種: 一爲藉機械力 (mechanical force) 將其分散; 例如自飛機噴散極細的顆粒是。二爲利用熱力; 例如任一物自發烟燭在空氣中蒸餾是。第三法係藉熱與機械的聯合力量, 執行分散手續; 例如化學彈內的裝填劑, 因炸藥的爆炸而分散是。

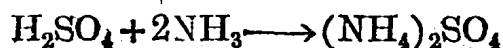
當用機械力單獨地執行最初分散時, 首先必須將化學戰劑分成極細的顆粒; 且此等細粒, 必須具有一種夠大的汽壓, 以便與空氣接觸時即行揮發。

當用熱力執行最初分散時, 液體或固體的化學戰劑, 受熱即行蒸餾, 變成蒸氣飛入大氣中, 隨即凝集而成空氣溶體。有些發烟劑 (例如磷、發烟硫酸、及氯磺酸等), 即係用此法分散。此等戰劑的蒸氣, 其功用如產霧的物質, 因其無水物 (anhydride) 與水的化合力極強, 且其與水所成的酸, 復爲吸濕性極強之物故也。例如氯磺酸及發烟硫酸的三氧化硫, 與水化合成硫酸; 硫酸復可吸收大量的水。由此觀之, 此等液體點滴造成的烟霧, 實係酸的水溶液分散於空氣中。

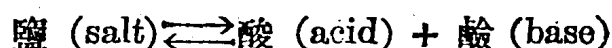
當機械力與熱力同時用以執行初步分散時, 前者將戰劑分散成爲極細的形態, 後者則使其揮發而成汽相 (vapor phase)。

化學分散法——最初分散, 若係用化學方法執行, 則將兩種物質同時在氣體狀態下放出; 由此二物所起的化學反應, 產生分散狀態的液體或固體化

合物。例如氣體狀態的氯化氫 (hydrogen chloride) 與氨 (ammonia) 起作用後，產生氯化銨 (ammonium chloride) 的濃厚白烟。同樣地，由水與硫酸酐 (sulfuric anhydride) 所生成的硫酸烟霧，遇氨則產生另一種濃厚白烟，即硫酸銨 (ammonium sulphate)：



若分解產物易於揮發，其反應又係可逆反應如上述二例，則可以通式表示之：



一切可逆反應進行的方向及其程度，隨反應物質的濃度、壓力、及溫度等因素為轉移。[其關係遵從吉卜氏的相則 (Gibb's Phase rule)，(參考 10)]。例如對於下列反應：



決定其方向的主要因素為濕氣的含量；因空氣中氣態的氯化氫與氨互相混和，即化合成為氯化銨，直至氯化銨的生成，恰為逆向反應所遏止，其反應即達平衡故也。

在各種影響烟霧生成的因素中，水的關係最為重要。水不但將酸酐（例如  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SO}_3$  等）變成其相當之酸，使其在分散狀態下析出；而且使可以水解的鹽類分解，形成膠體狀態。空中的水蒸氣，亦能附着於懸浮空中的固體微粒表面上，使其成為液狀點滴，正與多烟城市中天然霧形成的情形相同。

在化學分散法中，易於揮發及易於與水起作用的鹽，能產生最佳之烟霧。故弱酸或弱鹼的氧化物，因其與水易起作用，使用最為普通。

### (C) 結論

由上所述，化學戰劑的分散，可成為兩種形式：一為任蒸氣（或氣體）與空氣混和，造成所謂『氣雲』（gas clouds）。一為任固體或液體微粒懸浮於空氣中，造成所謂『烟雲』（smoke clouds）。此兩種分散形式，在戰場上的作用頗有區別。茲特將每種的主要性質，分別加以簡單的敘述。

## 第四節 氣雲

### (A) 密度 (Density)

當液體化為氣體時，該物自空氣中吸收熱量；故在汽化 (vaporization) 進行中，與蒸氣接觸的空氣即被冷卻。冷卻的程度，視所用材料及其濃度而



定。此種冷卻的程度雖小，但足令與蒸氣相混和的空氣，密度上有明顯的增加。加以軍用毒氣，均較空氣為重。由於此兩種現象所產生的結果，使氣雲逼近地面，並流入低窪處所。

#### (B) 側展性 (Lateral Spread)

當毒氣在空曠處所放出時，該氣立即膨脹，擴散於大氣中。此項擴散，使毒氣氣雲向側面及垂直兩方向散開。當氣雲順風流動時，方向不定的風及氣流，亦可增大氣雲的向側伸展。向側伸展，平均約為所走距離的 20%；在有利情形下，約為 15%；在不利情形下，則可達 50% 之多。

#### (C) 直升性 (Vertical Rise)

毒氣本身雖較空氣為重，並有因揮發而使空氣冷卻的現象，但當毒氣在空曠處所放出時，因其膨脹與擴散，亦能使毒氣氣雲於隨風移動時有上升的趨勢。毒氣氣雲的垂直上升，視數種因素為轉移，就中最主要者為對流的氣流 (convection current)。當地面較空氣為乾燥而溫暖，以及日光明亮時，此種氣流最強。反之，在夜間及清晨，地面較其周圍的空氣為冷，則無對流現象；故氣雲在此種情況下，垂直上升的機會較少。此種上升，在平常情況下，約為所經距離的 10%；在不利情況下，則可至 35% 之多。

#### (D) 牽曳效應 (Drag Effect)

風的速度，在沿地面處幾等於零；往上則增加甚速。因此毒氣氣雲係以一種滾轉的動作 (rolling action) 經過地面前進；其上部向前伸展較下部為快，遂成向前傾斜的姿勢，而使上部的長度增加。此項氣雲上部長度的增加，稱為『牽曳效應』。在地面施放的氣雲，此種增加，約為所經距離的 10%—30%，依地形為轉移。用飛機施放毒氣，當飛行高度約為一百英尺時，牽曳效應等於所經距離的 100%，此乃由於飛機的高速度所致。

#### (E) 濃度的變遷 (Variation of Concentration)

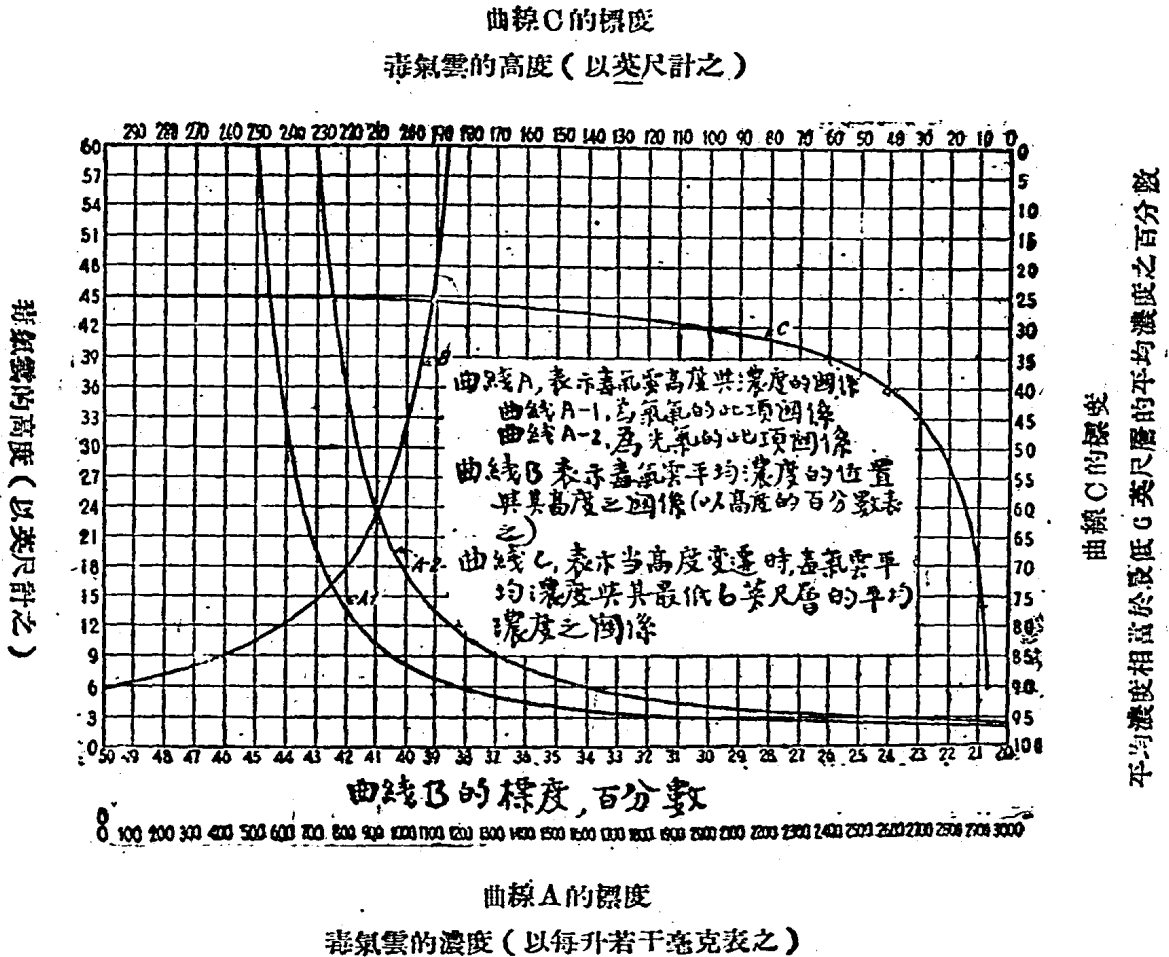
毒氣氣雲中所含戰劑蒸氣的濃度，與距離地面的高度之對數 (logarithm) 成反比例。如在高度  $H_1$  處的濃度為  $C_1$ ，更高處  $H_2$  的濃度為  $C_2$ ，則：

$$C_2 = C_1 \times \frac{\log H_1}{\log H_2} \quad (1)$$

而此毒氣氣雲下層的濃度及毒害效應均較上層為大，可於第四圖中見之。圖中曲線 A，表示距地面的高度（縱坐標）與在此高度的濃度（橫坐標）

之一般的關係，並指示此種關係的形式。

第四圖 氣雲高度與濃度的關係



(F) 平均濃度 (Average Concentration)

在一層毒氣氣雲內，平均濃度，不在氣雲之幾何的中心，而係隨氣雲高度的增加而變遷。第四圖之曲線B，即表示平均濃度的位置隨高度而變遷之情況。

如毒氣氣雲在任何一種高度下的濃度為已知數，則在其他任何高度下的濃度，可由公式(1)算出。設若在任何已知高度下的濃度均屬未知數，則可依第64至65頁上所列諸公式，自所用化學戰劑數量算出毒氣氣雲的總高及其平均濃度；然後從第四圖曲線B以決定平均濃度的位置。用此法決定其平均濃度及位置後，氣雲在任何高度下的濃度，均可依照公式(1)求出。氣雲在最低六英尺層的有效濃度 (effective concentration)，則可從

第四圖曲線C決定之。

### 第五節 烟雲

#### (A) 密度

當化學戰劑產生烟霧時，其物非在空氣中燃燒，即係在空氣中起水解作用。由此項反應所放出的熱量，足使緊靠烟霧發源處順風下游的空氣溫度升高。烟霧的上升，較氣雲為高；因含有熱烟顆粒的空氣，密度較小，有升至周圍冷空氣以上的趨勢故也。再者，烟霧在各種高度，均有同一的濃度，此點與氣雲完全不同。

#### (B) 側展性與牽曳效應

烟雲 (smoke clouds) 的側展性與牽曳效應，完全與氣雲情形相同。

#### (C) 直升性

烟雲垂直上升的速度，遠較氣雲為大；原因係烟霧顆粒吸收來自太陽的熱波 (heat waves)，以致使其溫度增高。熱之輻射 (radiation) 傳於烟霧顆粒，或自烟霧顆粒射出者，亦甚關重要，尤以在強烈日光下為甚。每個烟霧顆粒的直徑，約為  $10^{-3}$  至  $10^{-6}$  厘米，並各為一層  $10^{-3}$  厘米厚的空氣薄膜所包圍，其行為頗似一種極小的空氣球 (air-filled balloon)，受熱即上升。冷於周圍的空氣則下落。空氣的對流，雖對於氣雲及烟雲同樣地有使其上升的趨勢；輻射的影響，則只能及於烟霧。而且空氣中的烟霧顆粒，除受太陽輻射熱之外，更吸收自地面輻射上去的熱。當地面較空氣為冷時，烟霧顆粒，且經輻射方式，將其本身的熱傳於地面。因此烟雲所受地面溫度及一日時間變遷的影響，遠較氣雲所受者為大。

### 第六節 用量與有效範圍的關係

#### (A) 有效距離

在某一目的地域造成有效濃度所需化學戰劑的數量，可依照使用數量與有效範圍 (effective range) 的關係決定之。

令  $W$  = 從某一點放出戰劑的重量，以磅表示之；

$D$  = 放出戰劑的密度；

$V$  = 在尋常大氣溫度及壓力下，戰劑自某一點放出時原來的體積，以立方英尺表示之；

- $V_s$  = 戰劑經過一距離  $S$  以後的體積, 以立方英尺表示之;
- $S$  = 在任一時間  $T$ , 戰劑自放出點放出後所經的距離, 以英尺表示之;
- $T$  = 放出後經過的時間, 以分鐘表示之;
- $C_a$  = 毒雲 (toxic cloud) 的平均濃度;
- $C_1$  = 毒雲的地面濃度 (即最低六英尺層的平均濃度);
- $C$  = 最低有效濃度, 以戰劑對空氣體積的比例, 即每千份中若干份表示之 ( $C_a$   $C_1$  亦用同樣方法表示);
- $H_a$  = 平均濃度  $C_a$  距離地面的高度;
- $H_1$  = 地面濃度  $C_1$  距離地面的高度。

根據經驗, 自一點放出的化學雲 (chemical clouds) (包括氣雲及煙雲) 的大小, 可以在各種不同戰場情況下所經的距離表示之。

- 令  $S$  = 化學雲頂部 (top) 所經的距離;
- $F_s$  = 化學雲在任何一種距離  $S$  的寬度;
- $H_s$  = 化學雲在任何一種距離  $S$  的高度;
- $R_s$  = 化學雲在任何一種距離  $S$  的牽曳效應。

在各種不同戰場情況下, 以  $S$  的函數表示之  $F_s$ ,  $H_s$ , 及  $R_s$  的數值, 列於第十一表。

第十一表 化學雲之寬、高、及牽曳效應之數值\*

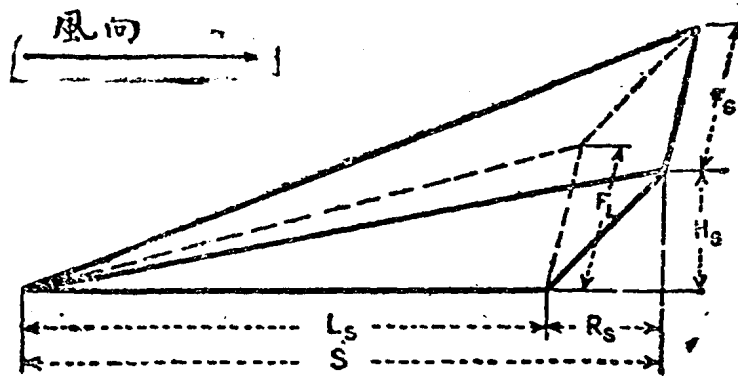
戰場的情況	天氣	一日的時間	地形	地面的溫度	風 (英里/小時)	Fs 的數值		Hs 的數值		Rs 的數值	
						氣雲	煙雲	氣雲	煙雲	氣雲	煙雲
有利	陰暗	夜間或清晨	平地	較空毒為冷	靜, 0-4	0.15 S	0.15 S	0.03 S	0.10 S	0.10 S	0.10 S
平常	陰	上午或傍晚	稍有起伏的田野		微有變動, 4-9	0.20 S	0.20 S	0.10 S	0.20 S	0.20 S	0.20 S
不利	晴	上午十一時至下午四時	不平地或樹林	較空氣為熱	有變動 大於 9	0.50 S	0.50 S	0.35 S	0.35 S	0.30 S	0.30 S

自第十一表中, 可知在平常戰場情況下, 氣雲的垂直上升, 為其所經距離的 10%; 其牽曳效應及側展距離為其 20%。當戰劑經過距離  $S$  後, 則氣

\* (註 S) —— 表中煙雲的各種數值, 只能適用於直進煙雲 (range smokes), 即直接吹向目的地者, 關於側進煙雲 (lateral smokes) 的數值, 參閱第十三章。

雲大小如第五圖所示。

第五圖 氣雲的行進 (travel of gas clouds)



在距離  $S$  處, 氣雲頂部的長度 =  $S$ 。

在距離  $S$  處, 氣雲底部的長度 =  $L_s$ 。

在距離  $S$  處, 氣雲的牽曳距離 =  $R_s$ 。

在距離  $S$  處, 氣雲底部的寬度 =  $F_L$ 。

在距離  $S$  處, 氣雲的高度 =  $H_s$ 。

由此 
$$V_s = \frac{L_s H_s F_L}{6} \quad (2)$$

但 
$$L_s = S - R_s \quad (3)$$

在平常戰場情況下,

$$R_s = 0.20S,$$

因此 
$$L_s = 0.80S,$$

$$F_L = 8.2 \times 0.8S = 0.16S,$$

$$H_s = 0.1S,$$

故 
$$V_s = \frac{0.8S \times 0.1S \times 0.16S}{6} = 0.00213S^3 \quad (4)$$

如令  $S$  的係數 (coefficient) 為  $K$ , 則公式 (4) 可變為

$$V_s = KS^3. \quad (5)$$

當毒氣氣雲的長度為  $S$  時,

$$V_s = \frac{V}{C_a} \quad (6)$$

在公式 (6) 中,  $C_a$  為距離為  $S$  時的平均濃度。將公式 (6) 中  $V_s$  的數值代

入公式(5),即得:

$$\frac{V}{C_a} = KS^3. \quad (7)$$

由此  $V = KC_a S^3; \quad (8)$

或  $S = \sqrt[3]{\frac{V}{KC_a}}. \quad (9)$

因  $V = \frac{W}{D},$

故  $W = KC_a DS^3, \quad (10)$

$$S = \sqrt[3]{\frac{W}{KC_a D}}. \quad (11)$$

自公式(1),知

$$C_a = \frac{C_1 \log H_1}{\log H_a}. \quad (12)$$

因  $C_1$  為氣雲最低六英尺層的平均濃度,自第四圖的曲線B,可知

$$H_1 = 3 \text{ 英尺}$$

$$\log H_1 = 0.4771.$$

又當氣雲達到其最大的有效長度時,

$$C_1 = C_0. \quad (13)$$

當所期望的生理效應及曝露於毒氣中的時間為一定數值時,每種毒氣的  $C$  有一定數值。

因此,當氣雲達到其最大有效長度時,

$$C_a = \frac{0.4771}{\log H_a} \times C_0. \quad (14)$$

將公式(14)中  $C_a$  的數值代入公式(10)及(11),即得:

$$W = \frac{0.4771 KCDS^3}{\log H_a} \quad (15)$$

$$S = \sqrt[3]{\frac{W \log H_a}{0.4771 KCD}} \quad (16)$$

因地面距離  $L$ , 在任何一種固定情形下,為距離  $S$  的一定百分數 [參閱

公式(3)及第十一表]; 由公式(15), 吾人可知, 欲在一處目的地造成有效濃度, 其所需化學戰劑的數量, 隨目的地的距離之立方而增加。由公式(16), 可知一定數量的化學戰劑之有效距離, 與化學戰劑的重量之立方根成正比例; 與其密度及有效濃度的立方根則成反比例。

上列各方程式中,  $K$  的數值隨其相當的  $F_s$ ,  $H_s$ , 及  $R_s$  之數值為轉移; 而  $F_s$ ,  $H_s$ , 及  $R_s$ , 又為  $S$  的函數(第十一表)。故在各種戰場情況下, 氣雲及烟雲的  $K$  之數值可列出如第十二表。

第十二表 氣雲與烟雲的  $K$  之數值

戰 場 情 況	K 的 數 值	
	氣 雲	煙 雲
有 利	0.000503	0.002025
平 常	0.002133	0.004267
不 利	0.014292	0.014292

因平均濃度距離地面的高度 ( $H_a$ ) 亦隨距離  $S$  而變更, 吾人可用  $S$  的函數表示  $H_a$ , 而將公式(15)及(16)變成  $S$  及  $K, C, D$  的函數。在任何一種固定情況下,  $K, C$ , 及  $D$ , 均為常數。但用此法時, 計算  $W$  及  $S$  的公式, 變成極複雜的形式, 反而引起實際計算上的麻煩。

一種比較簡捷的方法, 乃是根據公式(14)畫一曲線; 從此曲線, 可以直接覓得任何情況下以  $C_1$  表示之  $C_a$  的數值。然後將  $C_a$  的數值代入(10)及(11)兩公式中。上文第四圖曲線  $C$ , 即係此種曲線, 相當於各高度之  $C_a$  的數值, 以  $C_1$  的百分數表示之, 直至上升至 300 英尺為止。上升至 300 英尺, 即相當於平常戰場情況下, 距離為 3000 英尺時的毒氣氣雲。若超過此數,  $C_a$  的數值可照公式(14)求之。

為闡明從一點施放氣體戰劑 (gaseous chemicals) 時所包含的時間及空間因素, 可舉一最簡單事例 (即用吹放瓶吹放氯氣) 以說明之。假定吹放瓶能容液體氯素三十磅, 在  $20^\circ\text{C}$  ( $68^\circ\text{F}$ ) 及大氣壓力下, 一立方英尺空氣計重 0.075 磅。氣態的氯素, 其密度為空氣的 2.486 倍。故氣態氯的密度為  $2.486 \times 0.075 = 0.186$  磅/立方英尺。氯的致死濃度為 1:1,000。由公式(11), 可知在平常戰場情況下, 若其平均濃度為 1:1,000, 則

$$S = \sqrt[3]{\frac{30}{0.002133 \times \frac{1}{1000} \times 0.1835}} = 910.2 \text{ 英尺。}$$

但在此距離，地面濃度約為平均濃度的三倍。如將  $\frac{1}{1000} \times \frac{1}{3}$  代替公式(11)中的  $C_a$ ，則得：

$$S = 1,313 \text{ 英尺。}$$

$$L_s = 0.8S = 1050 \text{ 英尺。}$$

因此，三十磅的氯氣，在平常戰場情況下，當其地面濃度為千分之一（即 2.90 毫克/升，相當於曝露三十分鐘的致死濃度）時，其有效距離可達 1050 英尺。在有利的戰場情況下，同量的氯素，其同樣有效的距離，可達 1,596 英尺。在不利的戰場情況下，此種有效距離減至 557 英尺。在此項情形下，有利情況，可增加有效距離 52%；不利情況，則減少有效距離 53%。

如當時有一種平穩的風吹向目的地。其速度為每小時六英里（即每分鐘 528 英尺），則在平常戰場情況下，氯氣氣雲達到最大的有效長度（參看第五圖）所需的時間，為  $1050/528 = 1.99$ ，即約為兩分鐘。為維持千分之一的地面濃度起見，吹放瓶中的裝填劑須於兩分鐘內吹放完畢，此即謂需有每分鐘十五磅的吹放率。如吹放速率較此為小，氣雲將被沖淡，而濃度亦必隨之減小。若風的速度增加，則吹放速率，亦應隨之增大，方能保持濃度不變。

反之，當風速為每小時六英里，而吹放速率大於每分鐘十五磅時，則氣雲的最初濃度較千分之一（2.9 毫克/升）為大。氣雲經過同樣的地面距離（1,050 英尺）以後，濃度即行降低，但在達到目的地時，仍較千分之一為大。故增加吹放速率，在理論上似有益處；惟實際上則困難頗多。第一，較大的吹放速率，需要較大的壓力，壓力乃係隨速率的平方而增加。且吹放太快，則噴出的液體，沒有充分時間變成蒸氣，降落於地面，其一部份將被地面吸收而致消失。再者，地面液體，可產生局部的高濃度於隣近作戰部隊之處所；若風況不定，即有使該項部隊受毒之危險。

#### (B) 目標的大小 (Size of Target)

雲狀或浪狀施放法的另一種重要因素，為所欲毒化的目標面積之大小。

(1) 寬度 (width) —— 目標地域的寬度，須大約等於毒氣雲浪在目標



地域前邊的寬度（即第十三表中之  $F_L$ ），但不得超過之。 $F_L$  的數值，見第十三表：

第十三表  $F_L$  的數值

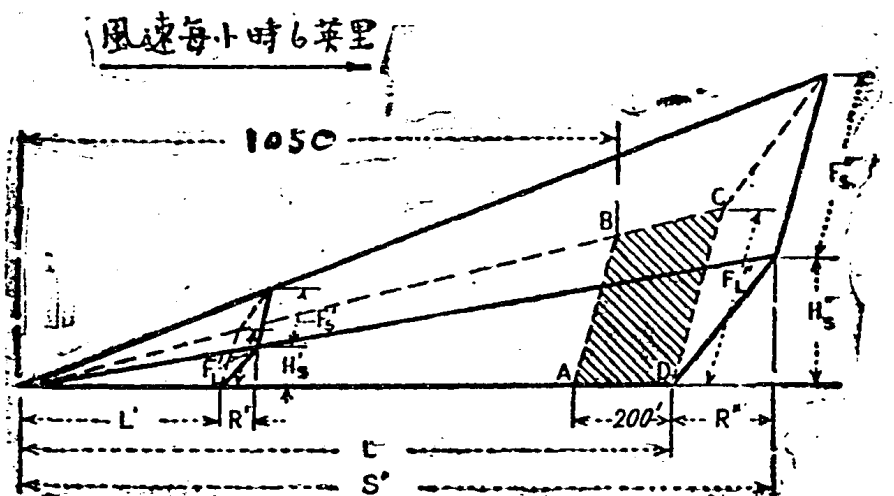
戰場的 情況	$F_S$ 的 數 值		$F_L$ 的 數 值		$L_3$ 與 $S$ 之 比	
	氣 雲	煙 雲	氣 雲	煙 雲	氣 雲	煙 雲
有 利	0.15 S	0.15 S	0.135 S	0.135 S	0.90	0.90
平 常	0.20 S	0.20 S	0.160 S	0.160 S	0.80	0.80
不 利	0.50 S	0.50 S	0.350 S	0.350 S	0.70	0.70

\*對於化學戰劑之自一點放出者，若其有效距離為一千英尺，則其在目標地域的寬度，在有利情況下，可達 150 英尺 $\left(\frac{1000}{0.9} \times 0.135 = 150\right)$ ；在平常情況下，可達 200 英尺 $\left(\frac{1000}{0.8} \times 0.160 = 200\right)$ ；在不利情況下，可達 500 英尺 $\left(\frac{1000}{0.7} \times 0.350 = 500\right)$ 。

(2) 深度 (depth) —— 目標地域的深度，若與其距放出毒氣的原點之距離相較，為數不算小，則計算時，須將其深度作為有效距離的一部份。否則，當毒氣氣雲到達目標地域的後部邊界時，其濃度已降至低於其所需的有效濃度。茲舉一例以說明之。假定自上述的吹放瓶放出之氯氣，須經過一段二百英尺深的目標地域，其前邊與吹放瓶間的距離為  $L = 1,050$  英尺。再假定施放的時間為兩分鐘，則當最初放出的氯氣到達目標地域前邊時，最後一部份的氯氣剛從吹放瓶放出。氣雲進行的速率為每小時六英里（即每分鐘 528 英尺）。其經過目標地域所需時間為 0.4 分鐘。在此時間內，氣雲將膨脹至第六圖用帶有（"）符號的字母所示之大小。同時氣雲的尾部，因吹放瓶內裝填劑業已耗盡，成為不含毒氣的空氣；其體積大小，以帶有（'）符號的字母表示之。

\*（註 2）——編譯者按，Prentiss 原書此段略有錯誤，特為更正如上。至於達到同一有效距離所需化學戰劑的重量，在有利情況下消耗最少；在不利情況下消耗最多。

第六圖 氣雲行進又一圖



圖中 ABCD = 目標面積

AD = 200 英尺

假定戰場情況平常，

$$S'' = S + \frac{200}{.8} = \frac{1050}{.8} + 250 = 1,563 \text{ 英尺};$$

$$R'' = 0.2 S'' = 312.6 \text{ 英尺};$$

$$L'' = S'' - R'' = 1,250 \text{ 英尺};$$

$$F''_{L''} = 0.16 S'' = 250 \text{ 英尺};$$

$$H''_{s''} = 0.1 S'' = 156.3 \text{ 英尺}。$$

$$V''_{s''} = \frac{L'' F''_{L''} H''_{s''}}{6} = \frac{1250 \times 250 \times 156.3}{6} = 8,140,625 \text{ 立方英尺}。$$

$$V'_{s'} = \frac{L' F'_{L'} H'_{s'}}{6} = \frac{200 \times 40 \times 25}{6} = 33,300 \text{ 立方英尺}。$$

膨脹後毒氣氣雲的體積為  $V''_{s''} - V'_{s'} = 8,107,325$  立方英尺；其平均濃度為

$$C_a = \frac{V}{V''_{s''} - V'_{s'}} = \frac{30}{\frac{8,107,325}{50,000}} = \frac{1}{50,000} \\ = 1 : 50,000。$$

其地面濃度爲平均濃度之三倍，即  $\frac{1}{50000} \times 3$ ，約爲 1 : 15,000，僅等於致死濃度之  $\frac{1}{15}$ 。

### (C) 放出時間 (Time of Emission)

由第 66 頁上所舉之例，可知三十磅氯氣，如以每分鐘十五磅的速率放出，可在距放出地點 1,050 英尺，寬  $210 * \left( \frac{1050}{.8} \times 0.160 = 210 \right)$  英尺的目標地域之上空，造成 1 : 1,000 之致死濃度。但此等濃度，須經三十分鐘的曝露，始有致命效應。故每 210 英尺的敵軍前線，需用 450 磅氯氣，始能致敵於死，即每一英尺之前線，需用 2.2 磅的氯氣，產生不致命傷害的範圍，當然較此爲大。氯氣在 1 : 10,000 的濃度（即約爲致死濃度的十分之一），即有不致命的傷害效應。故用同一重量的氯氣，可在距離 1806 英尺寬 361 英尺的目標地域，獲得不致命的傷害效果。

### (D) 與烟雲的比較 (Comparison with Smoke)

如不用氣體戰劑而用同量（三十磅）的毒烟，若密度相同，戰場情況相同，濃度爲 1 : 10,009，則

$$S = \sqrt[3]{\frac{30}{\frac{0.004267 \times 0.1865}{10000}}} = 1,556 \text{ 英尺,}$$

$$L_s = 0.8S = 0.8 \times 1556 = 1,245 \text{ 英尺,}$$

$$F_t = 0.160S = 0.2L_s = 249 \text{ 英尺.}$$

即其有效距離爲 1,245 英尺，寬度爲 249 英尺。

氣體濃度如減小十倍，其餘因素不變，則其有效距離，增加  $\sqrt[3]{10}$ ，即 2.154 倍。對於烟雲則不然；因烟雲的垂直上升爲氣雲的二倍，即  $K$  烟雲 =  $2K$  氣雲（則第十二表）故也。

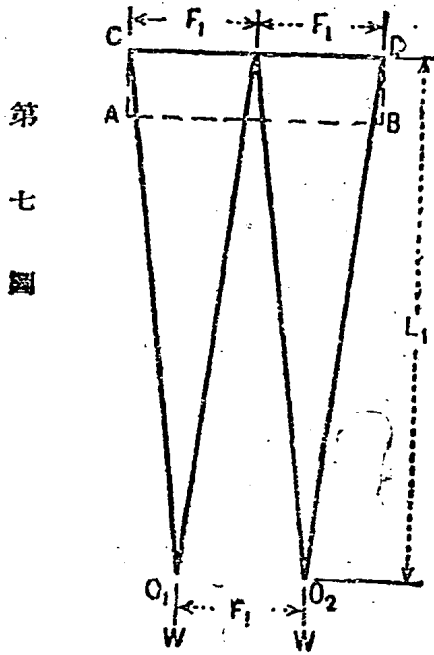
### (E) 多點施放 (Multiple Points of Emission)

以上所論關於戰劑的用量與有效範圍之關係，均限於一點施放 (emission from a single point)。實際上，毒氣氣雲攻擊法 (gas-cloud method of chemical attack)，總是大規模地實施於敵軍前線之相當大的部份。爲求毒化如此廣大面積，必須將大量化學戰劑同時自許多吹放瓶放出；此等吹

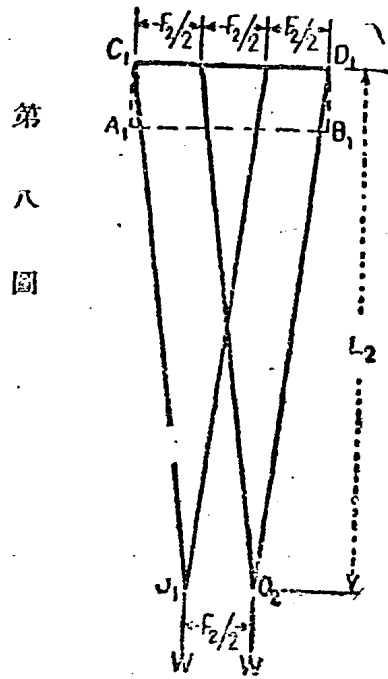
\* (註10) ——Prentiss 原書數字錯誤，特更正如上。

放瓶，平均分佈於正對敵陣的本軍前線，其長度視所欲毒化的面積而定，

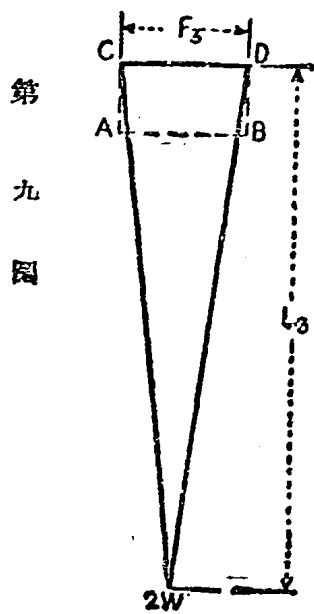
為測定自多點施放化學戰劑的用量與其有效範圍之關係，及此等施放點適合於目標面積之最當的排列 (optimum arrangement) 起見，應先研究此項問題的基本因素。在任何情形下，氣雲或烟雲的垂直上升，對於其長度常為一定的比例；故吾人可就化學雲的平面情景 (plane views) 加以討論，而使此問題較為簡單。



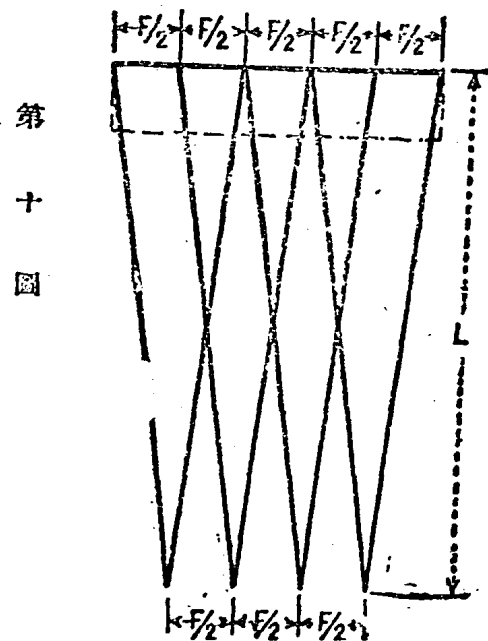
第七圖



第八圖



第九圖



第十圖

第七、八、九各圖所示，為兩隻吹放瓶（即兩個施放點）的三種可能排列之平面情景。在第七圖中，兩隻含量各為 $W$ 的吹放瓶，位於兩個施放點 $O_1$ 及 $O_2$ ，該兩點間的距離為 $F_1$ ；兩瓶並列於目標地域 $ABCD$ 前邊的平行線上，其有效距離為 $L_1$ 。如是排列，兩隻吹放瓶中的裝填劑，可於寬度為 $2F_1$ 的目標地域上造成濃度 $C$ 。在第八圖中，同樣兩隻吹放瓶位於相距 $\frac{F_2}{2}$ 的 $O_1$ 及 $O_2$ 兩點，（ $O_1$ 及 $O_2$ 間的距離為第七圖之半）；因此，氣雲在目標地域後邊 $C_1 D_1$ 線上互相重疊的距離為 $\frac{F_2}{2}$ 。如是排列，可在寬度為 $1.5 F_2$ 的目標地域造成濃度 $C$ 。

在第九圖中，兩隻吹放瓶位在一點，致其氣雲完全相合，在寬度 $F_3$ 的目標地域上造成濃度 $C$ 。吾人第一問題，為三種排列之相對的有效距離（relative range），即 $L_2$ 及 $L_3$ 對於 $L_1$ 的關係。

從圖看來，即可知在兩隻吹放瓶（即兩個施放點）之各種實際的排列法中，以第七圖及第九圖所示者，為兩種極端情形；第八圖為折衷的排列。第七圖中的有效距離，與用一隻吹放瓶相等。至於第九圖，則與用容量為 $2W$ 的一隻吹放瓶情形完全相同。由上文公式(3)及(11)，

$$L_3 = \sqrt[3]{2} \times L_1 = 1.26 L_1$$

$$F_3 = 1.26 F_1$$

將兩種極端情形加以比較，可知第九圖的有效距離，較第七圖所示者大 26%；但其所籠罩的前線寬度，則僅為第七圖的 63%。

在第八圖中，被此兩個氣雲所籠罩的地面面積，為

$$2 F_2 \frac{L_2}{2} - F_2 \frac{L_2}{8} = \frac{7}{8} F_2 L_2;$$

其體積為

$$\frac{7}{8} F_2 L_2 \times \frac{H_2}{3} = \frac{7}{24} F_2 L_2 H_2。$$

因氣雲的地面長度，為其所經距離 $S$ 之 $\frac{8}{10}$ ，側展距離為 $\frac{2}{10}S$ ，上升距離為 $\frac{1}{10}S$ ；故第七圖、第八圖、及第九圖中兩個氣雲的體積，為

$$\text{第七圖: } V_1 = 2 \left( \frac{L_1 F_1 H_1}{6} \right) = \frac{1}{3} \left( \frac{L_1}{1} \times \frac{L_1}{4} \times \frac{L_1}{8} \right) = \frac{1}{96} L_1^3;$$

$$\text{第八圖: } V_2 = \frac{7}{24} (L_2 F_2 H_2) = \frac{7}{24} \left( \frac{L_2}{1} \times \frac{L_2}{4} \times \frac{L_2}{8} \right) = \frac{7}{768} L_2^3;$$

$$\text{第九圖: } V_3 = \frac{L_3 F_3 H_3}{6} = \frac{1}{6} \left( \frac{L_3}{1} \times \frac{L_3}{4} \times \frac{L_3}{8} \right) = \frac{1}{192} L_3^3。$$

$$\text{但 } V_1 = 2 \frac{W}{DC},$$

$$V_2 = 2 \frac{W}{DC},$$

$$V_3 = 2 \frac{W}{DC},$$

在此各式中, D 為氣雲的密度, C 為其濃度。

$$\text{因此 } V_1 = V_2 = V_3。$$

$$\text{且 } \frac{7}{768} L_2^3 = \frac{1}{96} L_1^3,$$

$$L_2 = L_1 \sqrt[3]{\frac{768}{672}} = 1.045 L_1。$$

$$\text{又 } \frac{1}{192} L_3^3 = \frac{1}{96} L_1^3$$

$$L_3 = L_1 \sqrt[3]{\frac{192}{96}} = 1.260 L_1$$

由此觀之, 如以第七圖中的有效距離  $L_1$  為 100%, 則第八圖的有效距離較之大 4.5%; 第九圖的有效距離較之大 26%。

由上所述, 吾人可得一結論: 即用一定數量的化學戰劑如將其悉自一點施放, 所得有效距離為最大; 將其分為相等的兩份, 自相距等於在目標地域可達的寬度之半的兩點施放之, 則所生氣雲在目標地域上的寬度為最大。如兩個施放點的距離, 較在目標地域可達的寬度之半為大, 則目標地域上將有氣雲的裂縫。如兩點距離較在目標地域可達的寬度之半為小, 則在目標地域上, 不能得均勻之氣雲濃度 C; 在氣雲重疊處, 其濃度必大於 C。

當用兩個以上的施放地點時，以令各點間的距離等於一個吹放瓶所能籠罩之目標地域的寬度之半，其效果為最佳。此種排列，如第十圖所示。由  $N$  點放出之聯合氣雲所經的距離  $S$ ，可以下列方程式表之：

$$S = \sqrt[3]{\frac{W}{N/(N-1) KC_a D}} \quad (17)$$

因在平常戰場情況下，

$$L = 0.8 S$$

故 
$$L = 0.8 \sqrt[3]{\frac{W}{N/(N-1) KC_a D}} \quad (18)$$

以自一點施放的有效距離  $L$  為單位，其與自多點施放的有效距離之關係，列於第十四表：

第十四表 多點施放的有效距離

施 放 點 數	有效距離 (以一點施放的有效距離為單位)
1	1,000
2	1.045
3	1.053
4	1.072
5	1.077
6	1.081
7	1.084
8	1.086
9	1.087
10	1.089
$N$	1.100

由第十四表，可知有效距離，隨施放點的數目慢慢增加，當施放點無限增加時，有效距離接近一極限 (limit)，即一點施放的有效距離之 1.1 倍。再者，最宜的吹放瓶排列，即是令吹放前線 (front of emission) 等於目標地域的寬度。

從上各段所述，毒化一定地域所需要吹放瓶的數目，可以測定如下：假定目標地域寬 1,000 英尺，深 500 英尺；其與可以安置吹放瓶的最近前線之距離為 2,000 英尺。設欲於平常戰場情況及每小時六英里的風速下，在目標地域造成並保持光氣的致死濃度 $\left(\frac{1}{10,000}\right)$ 。每一吹放瓶能容光氣三十磅。求所需吹放瓶的數目及其分佈的情形。

在 20°C (68°F)，光氣的密度為 0.2654 磅/立方英尺。自公式(3)；

$$2,500 \text{ 英尺} = S - 0.2S,$$

或  $S = 3,125 \text{ 英尺}。$

$$F_L = 0.16 S = 0.16 \times 3125 = 500 \text{ 英尺},$$

$$H_s = 0.1 S = 312.5 \text{ 英尺}。$$

從第四圖曲線 B 的延長線，求出：

$$H_a = \frac{H_s}{3} = \frac{312.5}{3} = 104.17 \text{ 英尺}。$$

從公式(14)：

$$C_a = \frac{0.4771}{2.0177} \times \frac{1}{10,000} = 0.00002353$$

因  $F_L$  等於目標地域寬度之半，而最適宜的吹放瓶排列為相距  $\frac{F_L}{2}$ ，故欲用毒氣蓋住目標面積，需要四組吹放瓶，各組間的距離為 250 英尺。從公式(18)：

$$2,500 = 0.8 \sqrt[3]{\frac{W}{\frac{4}{3} \times 0.002133 \times 0.00002353 \times 0.2654}}$$

故  $W = 560 \text{ 磅}$

而所需光氣的總量為  $4 \times 560 = 2240 \text{ 磅}。$

因風速為每分鐘 528 英尺，毒氣氣雲須經五分鐘始能到達目標地域的後邊；其經過目標地域所需時間亦為五分鐘。當光氣濃度為 1 : 10,000 時，須經十分鐘的曝露，始有致死效應。故在目標地域支持此項濃度至足以產生致命傷害的時間，所用光氣，應為 2240 磅之二倍，即 4480 磅。總共所需之吹放瓶數為 150 隻，分為四組，每組間的距離為 250 英尺。



在上例中，吾人找出在與吹放前線相距 2,000 英尺 (667 碼)，面積為 500 英尺 × 1000 英尺的目標地域，造成 1 : 10,000 的濃度，需用光氣 3240 磅。如光氣能在目標地域放出，並於其上均勻分散，則在此面積上造成六英尺高的致死氣雲，僅需

$$\frac{500 \times 10000 \times 6 \times 0.2654}{10,000} = 80 \text{ 磅}$$

因此，在 2,000 英尺 (667 碼) 的距離，用氣雲吹放法，須施放二十八磅的化學戰劑，方有一磅能於目標地域發生效力。況且，造成有效濃度所需戰劑的數量，隨距離的立方而增加；故吹放攻擊法，在一千碼以上的距離，所用戰劑在數量上極為浪費。因戰劑在到達目標地域以前，已有大部份消散，或升入氣雲上層而歸於無用。因此，各種發射彈 (projectiles) 早經用以發射化學戰劑至目標，而在目標地域放出之。最初如此使用的發射彈為砲彈 (artillery shell)。隨後即引用迫擊砲彈 (trench-mortar shell)。其後更有特別的李文氏毒氣投射砲彈 (Livens gas projector bombs) 的發明，可以將多數砲彈以排砲發射之，在一瞬間，將戰劑完全放出，因而大增毒氣的開始濃度及奇襲效果。最後並有特殊 (4 英寸司托克) 速射迫擊砲 [special (4-in. Stokes) rapid fire mortars] 的設計，以便於運動戰局中，施放化學戰劑；此項兵器，在第一次歐戰中使用的效力極大。

### 第七節 發射彈的施放

如上所述，在目標地域放出化學戰劑，理論上極為經濟。但其實際利益，並不如是之大；因用發射彈發射及分散化學戰劑，亦有下列幾種困難故也。

第一種困難，係發射彈輸送化學戰劑的效率不大。彈壁須堅厚，方足抵抗發射時的震動，因而容量大受限制。化學發射彈的效率，為其所裝化學戰劑的重量與其總重之比。以此為標準，則最佳的砲彈，其效率為 12%。短射程的迫擊砲及化學迫擊砲，因其發射時震動較弱，發射彈的彈壁可以稍薄，其容量可以稍大，故化學迫擊砲彈的效率約為 30%。李文氏投射砲彈的射程更短，其化學戰劑的容量為 50%。至於裝化學戰劑的飛機炸彈及地雷，因只須在適當地方投擲或埋放，並無發射時的震動，其效率可達 60—70%。

其次，當發射彈的射程增加時，其偏差 (dispersion) 亦隨之增大，因而大減砲彈發射化學戰劑的效率。砲彈射擊的標準目標單位 (standard target)

unit), 爲一每方一百碼的方地, 通常稱爲「砲方」(artillery square)。自 75-毫米口徑砲射出的砲彈, 在距離爲三千碼時, 其偏差頗小, 約有 91% 落於砲方之內。在距離爲八千碼時, 則因偏差增大, 僅有 41% 落於砲方之內。因此, 於 75-毫米口徑砲的砲方以內造成有效濃度, 在八千碼的距離所費砲彈及戰劑, 約爲在三千碼距離所費者之 2.2 倍。其他口徑砲, 亦有同樣情形。命中於大面積目標的砲彈之百分數, 雖較命中於小面積目標之百分數爲大; 然目標面積大者, 所需化學戰劑亦較多, 不過不是完全按比例增加而已。由此觀之, 砲彈發射化學戰劑的效率, 隨射程的增加而大減。

第三種困難, 是彈殼炸裂時化學戰劑的損失, 亦爲減低化學砲彈效率的一種因素。砲彈構造堅固, 須有相當力量方能裂開。當其所裝炸藥爆炸以發生此種強大力量時, 一部份化學裝填劑被衝入土內, 一部份則被驅入六英尺以上的空氣層而歸於無效。據各方面專家估計, 如所用者爲暫時性毒氣, 當砲彈炸裂時, 其化學裝填劑之如此損失者, 約爲 25-50%。若所用者爲持久性毒氣, 損失可大爲減小。又砲彈若恰在目標地域上空爆裂, 其損失亦可大減。例如由空炸 (air-burst) 化學砲彈放出的裝填劑, 其有效部份可達 80-90%。

以上所述關於砲彈的限制, 對於射程較短的李文氏投射砲彈及化學迫擊砲彈依然存在, 不過影響較小; 對於飛機炸彈及地雷, 則影響更小。最後兩種發射彈與砲彈相較, 不獨其輸送化學戰劑的效率較大, 且其在遠射程時的偏差較小, 裂開時所需炸藥之量亦較少。

因各式化學發射彈的效率參差甚大; 故應在各個射擊地帶內, 選擇其效率最大者而使用之。因此, 特殊的施放化學戰劑之工具如吹放瓶, 李文氏投射砲, 及化學迫擊砲, 在步兵戰鬥地帶 (即自前線至距二千五百碼的距離) 內, 其效力及效率, 均遠勝於容量及效率皆小的砲彈。在距步兵前線一萬碼 (約六英里) 以上的地帶內施放化學戰劑, 則飛機炸彈的效率, 較遠射程砲彈爲大。本章第一節之末所列各式化學發射工具之正常使用地帶, 即係根據各種工具的相對效率 (relative efficiencies) 而決定者。

不論化學戰劑係用何種發射工具送至目標地域, 戰劑在脫離發射工具以後的分散情形, 與自吹放瓶放出時完全相同。換言之, 化學戰劑脫離發射彈後, 即由揮發、膨脹、擴散, 以入空氣中, 隨即形成毒雲 (toxic cloud), 隨風推進, 與由吹放瓶所形成的毒雲完全相似。

化學戰劑脫離發射彈後，其有效範圍與使用數量的關係，與自吹放瓶放出者的關係相同。惟毒雲在未達到目標地域以前因膨脹及擴散的損失，在發射彈則無之。

除能免除此種損失外，用發射彈施放化學戰劑，尚有兩種勝於吹放瓶的重要優點。第一，一切化學戰劑，不論其物理狀態如何，均可用於發射彈；而吹放瓶則只能應用於易於揮發的液體。其次，化學戰劑用發射彈施放時，可以不必計及風的方向；而使用吹放瓶時，則必須有吹向敵陣的風。如用發射彈施放化學戰劑，即令有吹向本軍前線的風，只須依照上述用量與距離的關係，調節使用戰劑的數量，令其有效距離恰在目標地域與本軍前線之間，即毫無傷害友軍之危險。

#### 第八節 化學戰爭的控制

上節所提及的最後一點，乃係化學戰爭中最重要問題之一。此事不獨使人可以決定造成，並維持有效濃度於一定距離的一定目標地域所需化學戰劑之用量；且令人可以決定在最不利情況下，於距本軍一定距離之處所能安全使用之化學戰劑的數量；此兩點實有同樣之重要。除自本軍前線吹放氣雲，需要有利的風況外，由於此等決定，化學戰劑可在任何時間任何情況下使用，而絕對保障本軍的安全。吾人可立即明瞭，如在距離本軍前線為 $X$ 的敵軍地域，造成有效濃度所需之某種化學戰劑的重量為 $W$ 磅，則在敵軍地域內脫離容器之此種戰劑的重量，若小於 $W$ ，雖在逆風時亦不致危害友軍；蓋因化學戰劑的用量與其有效範圍之關係，可同樣適用於敵我兩方陣地故也。

由於化學戰劑的用量與有效距離之間，具有此種一定的關係，化學戰爭，遂較鎗彈及高級炸藥砲彈的射擊為易於控制（control）。當砲彈脫離砲身時，即砲手亦不能知其效力究竟若何？在空中飛行時，該彈也許遇着一件障礙物，因而飛躍（ricochet），或者改變其路徑，致其最後撞擊點，與預定目標相去甚遠；即令落於目標面積以內，亦無人能預知其碎片將撞擊何處及其最後效力如何。反之，使用化學戰劑的部隊，若係曾經適當的訓練，並能透澈了解戰場上戰劑在各種濃度下的性能及其使用的方法，則一定數量的化學戰劑，經此種部隊巧妙的運用，可有一定及預期的效力。蓋戰劑在各種濃度下的性質，均係密切地符合於各種氣體定律；而此等定律可靠的程度，殆與

重力定律 (law of gravity) 相等故也。

關於此點，頗有許多誤會。不但普通人民如此，即許多高級軍事人員亦然。在和平會議 (peace conferences) 以及第一次歐戰後數年其他公開討論中，反對化學戰爭者，其主要論據，乃是一種錯誤觀念，認為化學戰爭為不可控制，不能限定其傷害效應於戰場以內，而將不可避免地伸展其傷害效應於後方，以致殺傷非戰鬥人員及平民。

代表此種錯誤觀念的言論，可於美國馬琪 (March) 將軍所著關於世界大戰一書中 (參考 11) 見之。在該書之第 333 頁上有云：

『因德國人使用毒氣於戰爭，吾人遂被迫而效尤。為自身防護計，乃有化學戰爭事務署 (Chemical Warfare Service) 的組織。雖說沒有一個士兵，甯願為砲彈裂為碎片，而不願為毒氣所殺傷；但毒氣放出後，隨風播散，空中飛鳥以及後方婦孺，均有被殺害的機會。當予初抵法國，曾在巴黎參觀羅士洛女士 (Miss Lothrop)所領導的美國團體所設之醫院，其中有一百名以上的法國婦女及兒童，係在其隣近前線之家中為毒氣所傷害者。其中尤以兒童的痛苦最為可怕，對我的印象亦最深。戰爭的手段，充其極不過殘酷；但此等一發而不可收拾以至傷及婦孺的殺人工具之使用，卻是將文明變成野蠻。』

實則婦孺受毒氣傷害者極鮮；且受傷者均係居住太近前線的地域（如上文所述情形）；在該項情形下，其成為鎗砲彈或其他兵器的犧牲品，實有同等的機會。其他滯留火線地帶內，為鎗砲彈傷害而捐棄其生命者，為數更不可勝計。

就事實而言，第一次歐戰中最大的毒氣氣雲攻擊，未有達到前線後面十公里或十二公里者。且在距前線兩三公里以上的地方，毒氣濃度已甚弱；須經長久時間的曝霧，始有輕微的傷害作用。由此種濃度而致死者，則未嘗聞之。中型砲及重型砲的正常射程 (normal range) 為前線之後十二至十五公里；居留於此項地帶內的平民，其生命顯然日在危險之中。但從未聞有人提議禁用大砲作為戰爭的武器。至於裝填高級炸藥的遠射程砲彈及飛機炸彈，則更為慘酷。在第一次歐戰中，自始至終，此兩種武器曾經大量使用於巴黎及其他遠在後方的城市。在此等城市中，非戰鬥員的平民，固有執行其平時職業，而有不受生命或肢體傷害的權利。但此等城市的無數婦孺，竟為遠射程砲彈及炸彈所殺傷或殘廢，而人道主義者對此則絕未提及。可見一

般人均承認攻擊者之任意發射高級炸藥砲彈於遠距前線的城市為合法的行為。德國人曾經發射遠射程砲彈於巴黎，一彈竟死傷教堂禮拜者至八十人之多，即其一例。此類事實，不勝枚舉。然此等大批屠殺與毀滅的舉動，因係應用陳舊及熟知的方法，遂為主張在戰爭中守人道主義者所公然承認。

關於第一次歐戰中非戰鬥人員所受毒氣傷害的記錄，絕無由於不分皂白及不可控制的攻擊而致傷者。遠射程砲彈及飛機炸彈以及其他射程在距前線十公里至十二公里以上的兵器，均未嘗用以施放毒氣；而此等地帶，則已經公認為現代戰爭的戰場。

無論反對使用毒氣於戰爭者有何等論據，但對於其效力缺乏控制性一點，則不能成為理由；因化學戰劑可以控制的程度，實遠勝於其他任何曾經使用的兵器，而其效力尤易於調節，以適合其使用的目的故也。

### 研習問題

- (一)何謂相則 (phase rule)? 試述其概要。
- (二)第二次歐戰 (1939 年 9 月——) 中，曾引用那幾種新穎的施放化學戰劑的兵器，試列舉之。
- (三)試闡明空氣溶體的意義。
- (四)在極乾燥的天氣中，易於佈成烟幕否? 試申其理。
- (五)試比較均勻混和物與不均勻混合物的物理性質。
- (六)氣雲常逼近地面並有流入低窪處所的傾向，其故安在?
- (七)設用一隻內裝 42 磅氯氣的吹放瓶，欲在平常戰場情況下，於地面造成千分之一的濃度，其有效距離可達若干英尺?
- (八)設使用內裝 35 磅光氣的吹放瓶，欲在平常戰場情況下，於一點施放，造成有效距離為 2800 英尺的毒氣雲，其地面濃度為一萬分之一，問至少須使用該項吹放瓶若干隻?
- (九)執行吹放攻擊時，施放地點間的距離，以等於一個吹放瓶所能籠罩之目標地域的寬度之半時，所得效果為最佳。試證明之。
- (十)當施放地點多至無限時，所可達到的有效距離，為自一點施放時的有效距離之 1.1 倍。試證明之。
- (十一)設有寬 1,500 英尺，深 600 英尺的目標，其與可以安置吹放瓶的最近前線之距離為 2400 英尺。欲於平常戰場情況及每小時 7 英里的風

速下，在目標地域造成並保持光氣的致死濃度 $\left(\frac{1}{10,000}\right)$ 十分鐘。每一吹放瓶能容光氣 35 磅。求所需吹放瓶的數目及其分佈的情形。

#### 閱讀書目

“Chemical Warfare School Texts”, The Chemical Warfare School, Edgewood Arsenal, Maryland, U. S. (latest revision) Book I, Chapter I.

## 第四章 實施化學戰爭的軍事機構

### 第一節 第一次歐戰中的發展

雖然在較早日期，法國即會使用催淚手榴彈，德國亦會使用催淚砲彈，但德國在 1915 年 4 月 22 日於伊迫 (Ypres) 地方施行的毒氣吹放攻擊，可以適當地稱為化學戰爭之開始。為實施此次毒氣攻擊，德國在正對攻擊目標的前線戰壕內，裝置將近六千隻內裝氯氣的吹放瓶。吹放瓶的埋放工作，主要屬於戰場工程 (field-engineering task)，故特指定工兵一團 (a regiment of engineer troops) 實施此項任務；該團 (工兵第三十五團) 乃係專為此種工作而組織，並經特別訓練者。隨後因戰事延長而增加的毒氣戰隊 (gas troops)，即以該團為中心擴充而成。

當協約國決定以毒氣攻擊報復德國時，亦摹倣德國，用工兵擔任施放毒氣的任務。故其最初的化學戰隊，係由工兵隊 (the corps of engineers) 抽調而來。隨後砲隊亦擔任施放毒氣的工作；即用野砲 (field gun) 及迫擊砲發射毒氣彈。再後步兵亦使用改良的毒氣手榴彈 (improved gas grenades)。至於縱火彈 (incendiary bombs)，則在第一次歐戰的早期即由空軍使用。至 1916 年年尾，化學戰爭，在數種方式下，已伸展至一切作戰的兵種。

緊接伊迫毒氣攻擊之後，英國與法國陸軍的第一迫切需要，為設計一種工具，使作戰部隊對於毒氣獲得防護。因此事係化學方面的問題，該兩國化學家遂被徵用，從事於此項問題的解決；而師與師以上單位所屬的參謀處 (staffs) 中，隨即有化學顧問 (chemical advisers) 加入。最初此等顧問，僅負防禦毒氣的責任。但當毒氣戰爭 (gas warfare) 漸漸擴張成為大規模的攻擊時，彼等遂兼負協助毒氣攻擊的任務。

從事毒氣攻擊，需要製造及補充特種毒氣彈藥 (gas munitions)，故須有化學戰劑製造廠 (chemical plants) 與防毒面具製造廠 (gas-mask factories) 的組織，以及迅速裝填化學彈藥並供給此等軍需品於前線部隊的便利。

最初此等工作，係由各軍原有的各單位分別負責進行，並無分工合作與

統籌支配的計劃。然當歐戰繼續進行，化學戰爭規模漸大，此等暫行辦法，顯不足以應付環境。至 1917 年夏季，各交戰國均建立一種調節與指導一切化學戰爭的中央機關。此等統制化學戰爭活動的機關，首先稱爲毒氣事務署 (Gas Services)，後以烟幕及縱火劑，亦加入化學戰爭軍備內，遂大都改稱化學戰爭事務署或化學戰爭事務部 (Chemical Warfare Services or Departments)。

當 1917 年 4 月，美國加入戰爭時，其軍隊編制中，尙無處理化學戰爭問題的機關；而係以此項責任，分給於陸軍 (army) 中所有與此最有密切關係的各單位擔任。例如醫務總隊 (Medical Corps) 負供給防毒面具及一般毒氣防護之責；兵工署 (Ordnance Department) 負責供給毒氣攻擊所需的器材；工兵總隊 (Corps of Engineers) 則擔任組織、訓練、及調遣毒氣戰隊的任務。在美國陸軍內，此種職務分擔方法，並不較在其他參戰國的軍隊裏爲成功。在美國受到此種教訓而設置化學戰爭事務署 (Chemical Warfare Service) 以調整並控制一切化學戰爭的活動以前，浪費了許多可貴的時間。美國遠征軍 (American Expeditionary Forces) 雖於 1917 年 8 月，摹倣英軍，成立一種毒氣事務部 (Gas Service)；但因並無直接取得補給及任用人員的經費及職權，遇有需要時，仍須依賴其他機關供給。

至於美國國內情形，則尤爲紊亂。例如 1917 年 5 月，曾命令醫務署 (Medical Department) 於 1918 年 6 月供給防毒面具一百一十萬具，但對於此項工作，當時毫無組織可供指揮，不得不請鑛務局 (Bureau of Mines) 供給最初的二萬五千具。兵工署雖負供給化學軍械及彈藥的責任，但並無毒氣製造及裝填毒氣砲彈的設備。在 1917 年 6 月，該署決定設立一座新的兵工廠 (arsenal)，以從事此項工作。是年 11 月，此種計劃開始實行；愛奇塢兵工廠 (Edgewood Arsenal) 因以成立。1917 年 8 月 15 日，工兵總隊奉到命令，於每一軍 (army) 中，組織一個毒氣及縱火兵團 (gas and flame regiment)。

美國爲統一各軍此等部隊及其他從事化學戰爭活動的政府機關之工作起見，復於 1917 年 10 月，成立國軍化學事務部 (Chemical Service Section of National Army)；但該部並無統制研究、製備、及策劃的職權。

直至 1918 年 6 月 28 日，美國大總統根據阿飛瞞法 (Overman Act) 頒令組織化學戰爭事務署 (Chemical Warfare Service)，成爲國軍 (Na-



tional Army) 的一種單獨部門 (separate branch), 此等紊亂情形始告肅清; 政府一切化學戰爭事務的調整及團結, 乃得實現。美國歐洲遠征軍的毒氣事務部, 則改爲化學戰爭事務署的歐洲科 (European Division)。至此化學戰爭事務署, 乃成爲陸軍中完全獨立的一機關。其規定編制的最高員兵名額, 爲官佐 4,066 員, 士兵 44,615 名。在第一次歐戰中, 實在的最高名額, 爲官佐 1,680 員, 士兵 18,838 名 (1918 年 11 月 11 日)。

在第一次歐戰中, 美國化學戰爭事務署的發展經過, 因限於篇幅, 不能加以敘述。關於其最初的變遷及最後的成就, 弗禮司 (Fries) 將軍曾有一篇詳細的記載 (參考 9)。與此項記載具有相等的價值者, 爲法克司 (Foulkes) 將軍所記英軍解決化學戰爭事務問題的經驗 (參考 12)。由此項經驗得來的教訓, 決不致錯誤。其他交戰國軍隊所得經驗, 多少與此相同。一種統一地支配並調節其政府所有化學戰爭活動的化學戰爭事務署, 實係現代戰爭所不可缺少者。關於化學戰爭上各種問題, 凡是效力較此爲低的機構, 斷不能予以圓滿解決。

## 第二節 第一次歐戰末期的編制

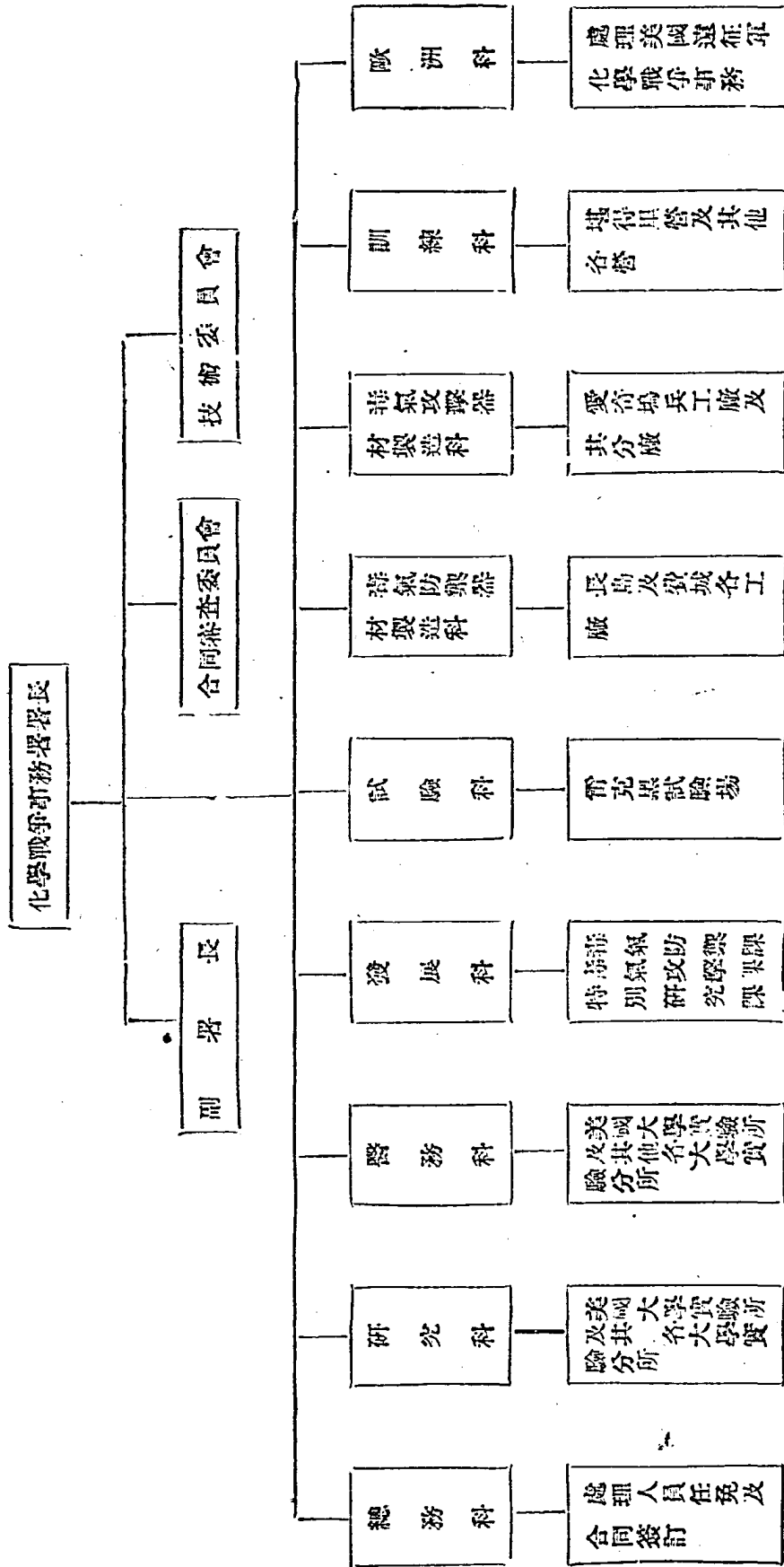
美國化學戰爭事務署在第一次歐戰末期的編制, 包括下列九科: (看第十一圖)。

- 總務科 (Administration Division),
- 研究科 (Research Division),
- 發展科 (Development Division),
- 試驗科 (Proving Division),
- 毒氣攻擊器材製造科 (Gas Offense Production Division),
- 毒氣防禦器材製造科 (Gas Defense Production Division),
- 訓練科 (Training Division),
- 醫務科 (Medical Division),
- 歐洲科 (European Division)。

### (A) 總務科

總務科包括華盛頓陸軍部 (War Department) 的化學戰爭事務署署長辦公處 (Office of the Director of Chemical Warfare Service) 及數個戰場的代表機關。其主要任務, 爲管理關於人事, 財政, 及器材補充等問題。此科

第十一圖 第一次歐戰末期美國化學戰爭事務署的編制



與國內各大學及化學工廠保持密切聯繫；並為署長調節及管理全署事務之機關。

### (B) 研究科

研究科包括一處中央實驗所 (central laboratory) ——即由鑛務局劃來的美國大學實驗所 (American University Experiment Station) ——及幾處實驗分所 (branch laboratory)。實驗分所，即設於全國各著名大學內；如約翰霍浦金 (Johns Hopkins) 大學，僕令斯敦 (Princeton) 大學，耶魯 (Yale) 大學，哈佛 (Harvard) 大學，俄海俄省立 (Ohio State) 大學，麻省理工大學 (Massachusetts Institute of Technology)，密西根 (Michigan) 大學，哥倫比亞 (Columbia) 大學，康乃爾 (Cornell) 大學，及威士康辛 (Wisconsin) 大學等，乃係其中較著者。

研究科的主要任務，為從事於一切關於化學戰爭攻擊及防禦的基本原理之研究。例如：

- (1) 最有效的化學戰劑之發現及其製造，與其最佳的使用方法之設計；
- (2) 吸收與毀滅軍用毒氣最有效的材料之發現及其製造，與其使用方法之設計；
- (3) 效率最大的防毒面具與防毒衣等之發現；
- (4) 幫助解決製備上的困難；
- (5) 收集並校閱所有關於化學戰爭的化學情報。

### (C) 發展科

發展科的任務，係將研究科所得結果加以發展，使其達到可由製造科大量製造的程度。此科分為如下三課 (sections)：

- (1) 毒氣防禦課 (Defense Section) ——此課的主要任務，為使防毒面具所用活性炭 (activated charcoal) 的大量製造方法成為完善化。
- (2) 毒氣攻擊課 (Offense Section) ——此課的主要任務，為發展芥氣及其他毒氣的較好製造方法。
- (3) 特殊研究課 (Special Investigation Section) ——此課主要任務，為關於毒氣砲彈掛裏 (linings) 及發射機括 (boortus) 方面的發展。

### (D) 試驗科

繼發展科工作之後，下一步工作，為戰場上的實地實驗。此乃試驗科的任務，在雷克黑試驗場 (Lakchurt Proving Ground) 舉行。雷克黑試驗場，

有將近一萬四千英畝的面積，有可容五十名官佐八百名士兵的營房，有化學實驗室 (chemical laboratory)，病理學實驗室 (pathological laboratory)，牧場 (animal farm)，獸醫院 (animal hospital)，機械廠 (mechanical shop)，辦公室 (administration offices)，動力廠 (power house)，冰廠 (ice plant)，醫院，以及試驗各種口徑砲彈並大規模施放化學戰劑的設備。

試驗科的主要工作，可分為兩類：(1) 試驗化學彈是否確能安全地大量製造，運往海外；(2) 試驗化學彈運輸時是否安全，並防止製造時及裝填時所生機械上的錯誤。

試驗科除將所有各種化學戰爭的計劃及器械作大規模的戰場試驗外，並執行各式化學彈於裝運以前例行的試放工作。凡經試驗科試驗結果圓滿者，始行開始製造。

#### (F) 毒氣攻擊器材製造科

毒氣攻擊器材製造科的任務，為大量製造化學戰劑，及裝填此等戰劑於兵工署所供給的適當彈藥內。此科工作，均在愛奇塢兵工廠舉行之，所有各種軍用毒氣，均係在此廠內製造，並裝填於各式發射彈中。愛奇塢兵工廠，係兵工署於 1917 年 11 月開始建築，廠址在馬里蘭州火藥海峽 (Gunpowder Neck, Md.) 地方。此廠為在化學戰爭事務署未成立以前，兵工署負責裝填化學彈藥的計劃之一部。自 1918 年 6 月 28 日，化學戰爭事務署成立後，愛奇塢兵工廠的控制及維持，即移交於該署的毒氣攻擊器材製造科。毒氣攻擊器材製造科，不獨執行毒氣製造及裝填工作，且繼續建築該廠，並發展擴張其業務。

愛奇塢兵工廠之迅速建立，為第一次歐戰中美國的優異成績。此廠廠址，原為荒野無用的一片沼澤地，雜有少許分散的田地。在極短時間內，此處即成為一座大規模的兵工廠，廠中有職員，士兵，及平民一萬名之多。不到一年，建築完成者有建築物五百五十所，新式馬路十五英里，標準狹軌鐵道 (standard and narrow-gauge railroad track) 三十六英里；同時並建有一座自來水廠，及一座供給裝填彈藥及製造氯氣所需的大規模動力廠。全部設備費，約為三千五百五十萬美金。廠內設有製造氯氣、光氣、氯化苦劑、氯化硫 (sulfur chloride)、及芥氣等工廠；並有裝填此等戰劑於各式發射彈的工廠。

在第一次歐戰中，毒氣攻擊器材製造科所出產及運送於海外的化學戰

劑之數量(參考 13,第 55 及 56 頁)有如第十五表:

第十五表 美國化學戰劑之產量及運出量(第一次歐戰時)

化 學 戰 劑	產 量 (噸)	運往海外數量(噸)	每月產量(噸) [1918年11月1日]
氯氣: 液體	2,723	1,488	895
氣體	1,104	無	1,500
氯化苦劑	2,776	1,903	1,500
光氣	1,616	420	1,050
芥氣	711	190	900
苯溴乙睛	5	無	90
黃磷	1,006	171	100
四氯化錫	695	106	91
四氯化鈦	181	無	30

在 1918 年 11 月一月中,各裝填工廠的每月裝填能力(參考 3),見第十六表:

第十六表 美國愛奇塢兵工廠裝填工廠每月之裝填能力  
(第一次歐戰時)

彈 類	枚 數
75-毫米砲彈(最大裝填量)	1,300,000*
4.7 英寸砲彈	450,000
155-毫米砲彈	540,000
6 英寸砲彈	180,000
毒氣手榴彈	750,000
發煙手榴彈	500,000
4 英寸司托克迫擊砲彈	120,000
李文氏投射砲彈	40,000
飛機縱火彈 (incendiary drop bomb)	25,000

\*(註 11)——實際上,75-毫米砲彈之每月裝填量,經證實為 1,100,000 枚。

當此兵工廠工作擴張時，有些化學戰劑有在廠外分廠製造的必要。此類廠外分廠，分設於布魯克 (Bound Brook, M. J.) [製造光氣]；史丹富 (Stamford, Conn) [製造氯化苦劑]；哈得孫河旁的海斯頂 (Hastings-on-Hudson, N, Y.) [製造芥氣]；尼亞嘎拉瀑布 (Niagara Falls, N. Y) [製造光氣]；布法羅 (Buffalo, N. Y) [製造芥氣]；肯斯瀑特 (Kingsport, Tenn) [製造苯溴乙腈]；查勒士敦 (Charleston, W. V.) [製造一氯化硫]；米特蘭特 (Midland, Mich) [製溴素]；及克銳蘭特 (Croyland, Penn) [製造氯化二苯腈] 等處。

第一次歐戰休戰 (armistice) 以後，愛奇塢兵工廠成爲美國化學戰爭事務署的主要場所。所有別處活動，均逐漸停止；一切物件及文件皆移至此處。在愛奇塢地方除兵工廠外，尙設有化學戰爭學校 (Chemical Warfare School)，愛奇塢化學戰爭教練所 (Edgewood Chemical Warfare Depot)，化學戰爭委員會 (Chemical Warfare Board)，及第二獨立化學兵營 (Second Separate Chemical Battalion) 等機關。

#### (F) 毒氣防禦器材製造科

此科係由醫務署 (Medical Department) 的毒氣防禦事務課 (Gas Defense Service) 蛻變而來。其主要任務，在於防毒面具及其他防護器材的改良、製造、試驗、及檢查等工作。

在其最後的組織狀況下，毒氣防禦器材製造科，包括下列各部份：

- (1) 戰地試驗課 (Field-Testing Section)，
- (2) 技術課 (Technical Section)，
- (3) 製造課 (Manufacturing Section)，
- (4) 採買課 (Procurement Section)，
- (5) 會計課 (Controlling Section)，
- (6) 總務課 (Administration Section)，
- (7) 執行參謀 (Executive Staff)。

戰地試驗課的任務，係於近似戰爭的情況下試驗各種防毒器材。技術課負責規定各種製法書 (specifications)，檢驗防毒面具及其零件，並監督長島試驗所 (Long Island Laboratory)，關於面具及其零件的改良及試驗工作。製造課下，在國內設有兩所裝配面具的工廠。採買課負責訂購及採買一切製造所需的材料，並監察製造課以外各工廠的工作。儲藏與運輸等問題，亦歸

採買課管轄。此課下的購買部，除防毒面具零件外，並購置其他毒氣防禦器材：例如馬匹防毒面具 (horse masks)、防毒油衣 (oiled clothing)、防護藥品 (protective chemicals)、防護用氈 (blankets)、以及訓練用的器材等項。會計課負全科記錄、計算、及支付之責。總務課規定科內人員（不論為下級官佐、士兵、或平民）的工作。執行參謀，則幫助本科科長處理一切事務。

此科工作的廣大，可於第十七表中所列戰時生產額見其梗概：

第十七表 美國防毒器材生產額（第一次歐戰時）

項 目	總 產 額	運往海外數量 (1918年11月1日)
防毒面具	5,692,499	3,938,803
額外的遮毒罐 (canisters)	3,189,357	1,805,076
馬匹防毒面具	377,881	351,270
漂白粉 (噸)	3,590	1,867
額外的眼鏡保明膏 (管)	2,855,776	2,855,776
防毒膏 (噸)	1,246	915
掩蔽部氈塗油 (加侖)	95,000	5,000
防毒衣	2,450	.....
防毒手套	1,773	.....
掩蔽部氈	191,338	36,221
群報器 (warning devices)	45,906	19,620
戰壕風扇	50,549	27,690

### (G) 訓練科

化學戰爭事務署成立以後，工兵總隊 (Corps of Engineers) 的毒氣訓練處 (Gas Training Section)，遂成爲該署的訓練科。訓練科的工作，包括下列各項：

- (1) 教導並訓練全國軍官及士兵對於化學戰爭的防禦方法；
- (2) 組織遠征歐陸的毒氣戰隊 (gas troops) 及臨時支隊；
- (3) 設立化學戰爭營 (chemical warfare camp)；

(4) 遴選並訓練遠征歐陸的化學戰隊官佐。爲達到此項目的起見，該科特在雷克黑試驗場附近成立一所訓練營，名曰堪得里營 (Camp Kendrick)。該營可容軍官及士兵一千三百名。派往前線的化學軍官，皆來此訓練。其最優者，則派至化學戰爭事務署充任毒氣軍官。

### (H) 醫務科

醫務科專負化學戰爭醫務方面的責任，軍用毒氣的藥物性質之研究，毒氣對於人類及其他動物的作用之探討，毒氣傷害的醫療，以及化學戰劑的毒性之查考，均屬此科工作的對象。其主要工作，多在『美國大學』試驗所 (American University Experiment Station)，耶魯 (Yale) 大學，威士康辛 (Wisconsin) 大學，及芝加哥 (Chicago) 的斯樸拉格研究所 (Otto Sprague Memorial Institute) 等處執行之。

### (I) 歐洲科

當美國遠征軍的毒氣事務部改爲化學戰爭事務署的歐洲科時，即將其分爲五個主要的課及幾個輔助辦公室。五個主要的課，名爲攻擊課 (Offense Division)、防禦課 (Defense Division)、技術課 (Technical Division)、情報課 (Intelligence Division)、製造及補充課 (Production and Supply Division)。輔助辦公室，則有副官室 (Adjutant's Office)、人事管理室 (Personnel Office)、聯絡室 (Liaison Office)，駐遠征軍總司令部的化學戰爭事務署代表辦公室 (C. W. S. Representative at General Headquarters, A. E. F.) 等。最後一種辦公室之所以設立，蓋因遠征軍中化學戰爭事務署歐洲科的司令部，已自遠征軍總司令部 (General Headquarters, A. E. F.)，移到輜重處的司令部 (Headquarters, Service of Supply) 一起故也 (參閱第十二圖)。



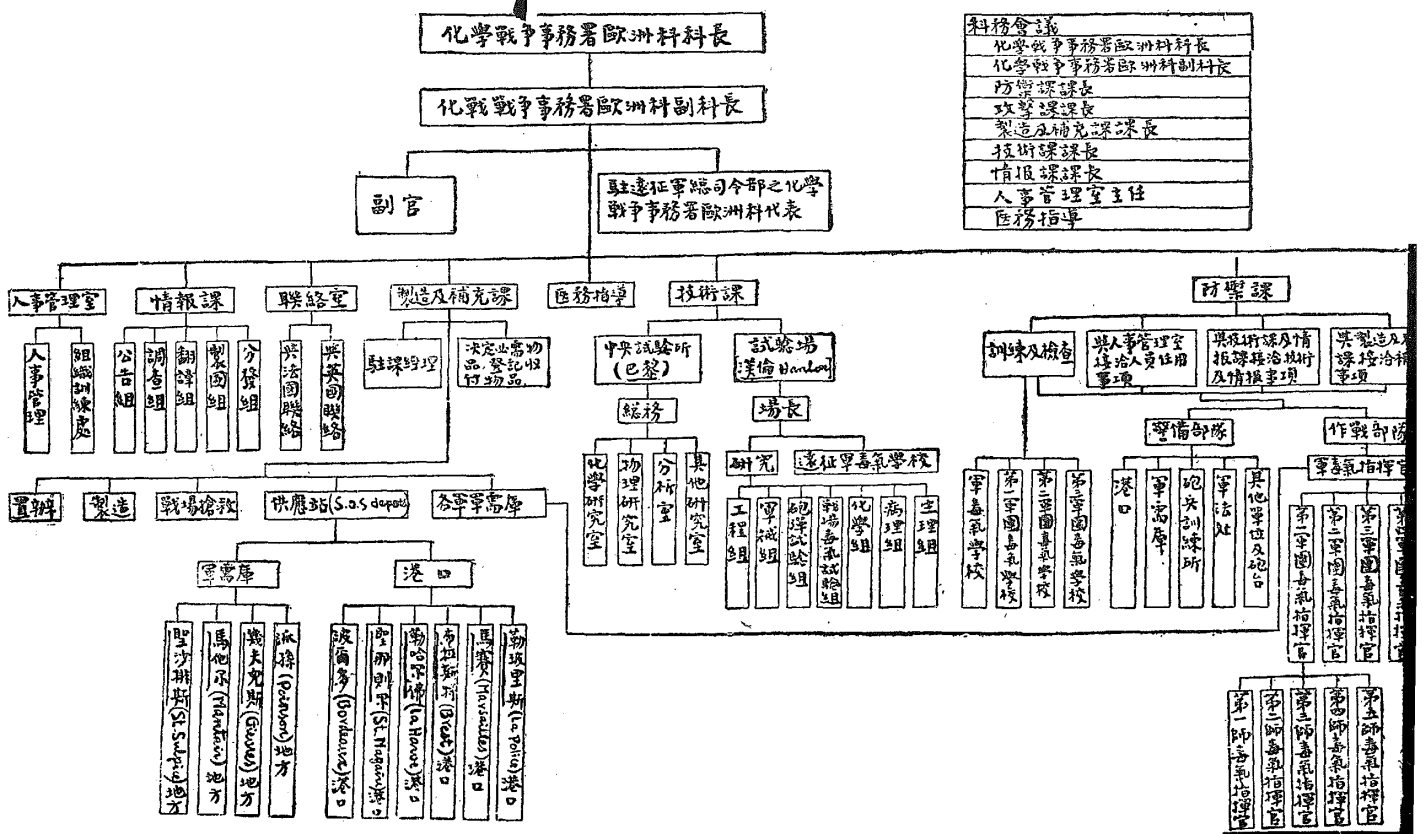
化學戰爭事務署歐洲科所規定的官兵人數，以 1918 年 11 月 11 日為最多。其數目見第十八表：

第十八表 歐洲科規定的官兵人數表 (1918 年 11 月)

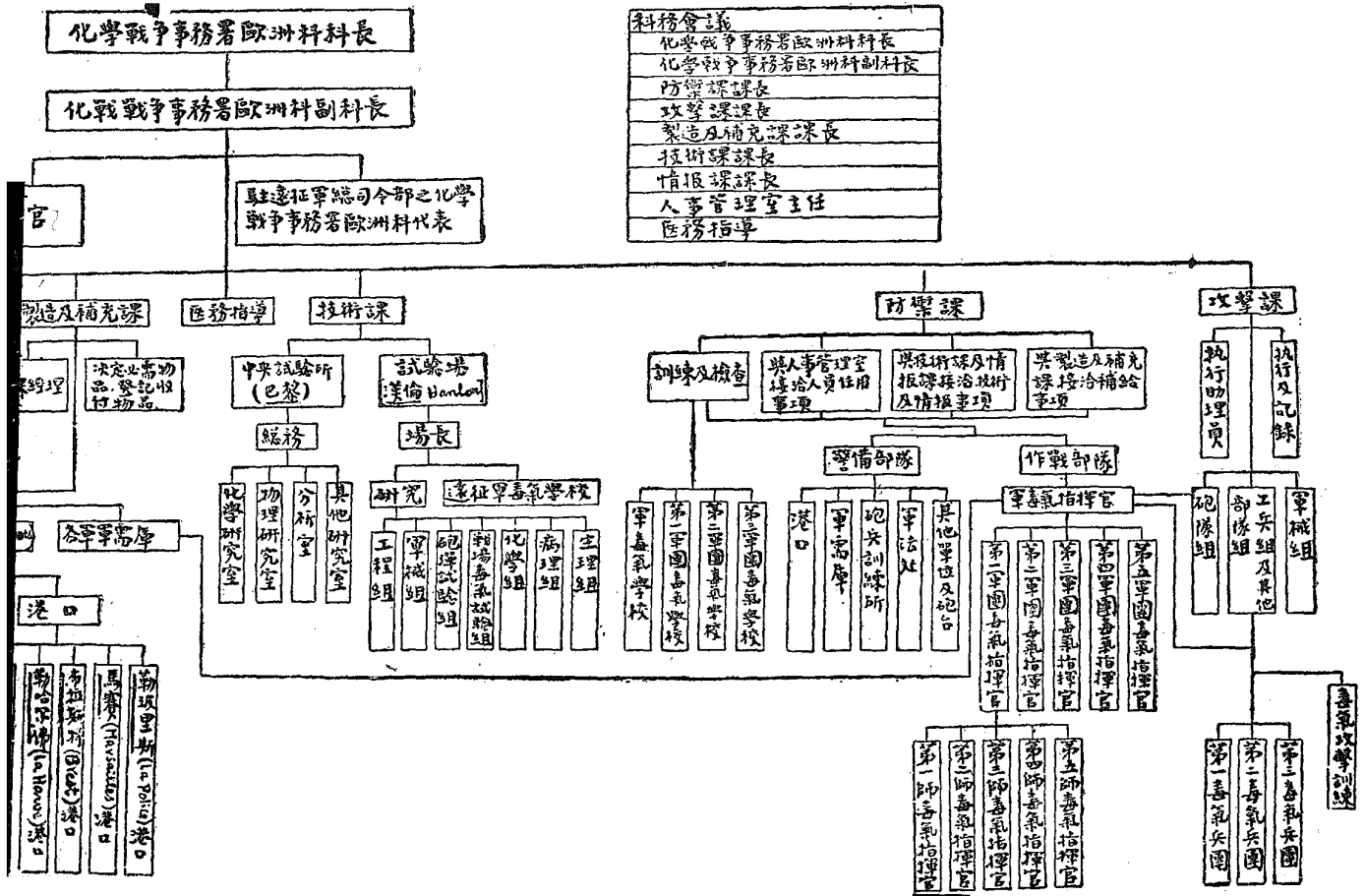
軍 官	人 數
少將 (brigadier general)	1
上校 (colonels)	9
中校 (lieutenant colonels)	27
少校 (majors)	97
上尉 (captains)	226
中尉 (first lieutenants)	459
少尉 (second lieutenants)	295
總共	1,114
士兵：	12,414

此表係根據各轄有三十師兵力的兩軍所用人數而言，其分配見第十九表：

第十二圖 歐洲科各課室職務的分配



第十二圖 歐洲科各課室職務的分配



科務會議
化學戰爭事務署歐洲科科長
化學戰爭事務署歐洲科副科長
防禦課課長
攻擊課課長
製造及補充課課長
技術課課長
情報課課長
人事管理室主任
醫務指導

第十九表 化學戰爭事務署歐洲科的編制

職 別	官	兵
<b>(一)司令部的編制</b>		
化學戰爭事務署歐洲科科长	1	
副官及助理員	8	
遠征軍總司令部參謀處的聯絡官 (liaison)	8	
書記兵,傳令兵,等		125
(a)防禦課		
課長及助理員	15	
(b)攻擊課		
課長及助理員	22	
(c)技術課		
課長及助理員	15	
(d)製造及補充課		
課長及助理員	19	
(e)情報課及其他		
情報課長及助理員與聯絡員	13	
總共	101	125
<b>(二)戰地上的編制</b>		
(a)防禦課		
軍 (army):		
軍防毒軍官及助理員	10	30
軍毒氣學校 (army gas school)	14	22
軍團 (army corps):		
軍團防毒軍官及助理員	50	120
軍團毒氣學校	40	70
師 (divisions):		
師防毒軍官及助理員	240	720
(b)攻擊課		
作戰參謀官 (field staff officers)	402	9,582
毒氣兵團 (gas regiment)		
(c)技術課		
巴黎試驗所所長及參謀	160	292
化學組		
工程組		
醫務組		
軍械組		
情報組		
聯絡人員		
試驗場指揮官及參謀人員	24	838
(d)製造課及補充課		
工廠 (毒氣發射彈及吹放瓶的裝填)		
防毒面具的搶救及倫敦製造廠		
採買	14	
軍需庫	26	552
總共	930	12,226
<b>(三)其他</b>		
與英法美等地聯絡的聯絡員	20	
總司令部與臨時兵營的毒氣軍官,毒氣學校的官兵	7	27
補充及特別的工作人員,正在訓練中的人員 (包括疾病告假的人員在內)	6	36
總共	33	63
<b>(一)(二)(三)三項總計</b>	<b>1,114</b>	<b>12,414</b>

至於實在人數，則遠較上述規定人數為少。美國所出六十師中，僅有四十二師於 1918 年 11 月 11 日到達巴黎。就中人數缺少最甚者，即為毒氣戰隊。此項部隊，原定為三十六連。當休戰條約簽字時，在巴黎者僅有七連。在第一次歐戰結束的時候，美國化學戰爭事務署所屬官兵之在法國工作者，約為軍官六百三十員，士兵二千八百名。

#### (J) 歐洲科各課室職務的分配\*

化學戰爭事務署歐洲科各課室的任務及工作，見第十二圖。茲約略分述於下：

##### (1) 歐洲科科長

化學戰爭事務署歐洲科科長，總管科中一切事務。

##### (2) 副官室

經手科長及副科長所需過目的一切事務，收發所有公文及電報。

##### (3) 醫務指導 (Medical Director)。

醫務指導，乃自醫務署 (Medical Department) 派來者；其職務為充任化學戰爭事務署歐洲科科長的顧問，解決關於化學戰爭上一切醫務問題。工作方面，為研究毒氣傷害的症狀 (symptoms)、診斷 (diagnosis)、及治療 (treatment)，並以演講或通告方式，將此類知識傳達於軍醫。

##### (4) 駐總司令部的化學戰爭事務署歐洲科代表

駐總司令部的化學戰爭事務署歐洲科代表，係代表歐洲科科長，處理一切關於供應方面的事務，並參加總參謀處第四組 (簡稱 G-4) 的參謀會議，將會議中的重要事項報告於科長。此外並負情報方面的責任，即摘錄總司令部 G-2 (總參謀處第二組的簡稱) 日誌中所有關於化學戰爭的事項，送到吐爾 (Tours) 地方化學戰爭事務署歐洲科的情報課。

##### (5) 聯絡室

(a) 與法國毒氣事務署 (French Gas Service) 的聯絡。此項責任，由一位駐在巴黎的聯絡員擔任之。該聯絡員，並兼任協約國化學戰爭同盟會秘書處的美國代表。

(b) 與英國化學戰爭事務部 (British Chemical Warfare Department) 的聯絡。此處所採方法，係指定幹練軍官，從事其所精專的工作。就中主管人

\* (註 12) ——編譯者按，Prentiss 原書在此處層次不清，標題位置不當，且與前後行文意義不甚關聯，故特將標題改正如此。

員，與聯絡室中一切活動保持聯繫；檢閱一切呈核的報告；參加英國化學戰爭委員會(British Chemical Warfare Committee)的一切集會；負責報告集會的討論情形；並須不時考察各處製造毒氣的工廠。

#### (6) 人事管理室

人事管理室，負下列各種責任：

(a) 遵照編制及需要，遴選化學戰爭事務署歐洲科各課室的人員。

(b) 如化學戰爭事務署歐洲科官員及士兵需要臨時營房時，由此室負責建造及管理。

(c) 如有關各課室需要訓練某種化學戰爭人員的學校，亦由此室負責開辦並管理。

(d) 記錄化學戰爭事務署歐洲科全體官兵的資格，並予以分類；保管關於訓練此等人員的學業成績。

(e) 依照軍官及士兵的資格與各課室的需要，分配此等人員於各處。

因此人事管理室的組織，分為兩部份如下：

總辦公室 (Headquarters Office)——化學戰爭事務署歐洲科各課室一切人員的任用及遷調命令，均由此室批發及保管；每位軍官及士兵的履歷表冊，均收藏於此室。

組織訓練處 (Organization and Training Center)——所有自美國國內派來的員兵，均先送至組織訓練處。毒氣戰隊，則依照第一毒氣兵團(First Gas Regiment) 指揮官的計劃加以訓練。同時根據歐洲科各課室的需要，訓練其他種類的工作人員。每一軍官，首先須受澈底的軍事訓練及初步的毒氣教練，使其能以接受美國遠征軍毒氣學校攻擊及防禦課程中更加繁複及精細的學理。

#### (7) 防禦課

防禦課負責編製對付敵人施放毒氣及類似物質的防禦計劃，下設四組如下：

(a) 裝配及訓練組 (equipment and training section)，

(b) 教育組 (亦稱學校組) (school section)，

(c) 防禦組 (defensive measures section)，

(d) 檢查組 (inspection section)。

化學戰爭事務署歐洲科派到美國遠征軍各軍、軍團、及師司令部的防毒

軍官及士兵，其規定名額（參考 14）見第二十表：

第二十表 歐洲科派到各部隊的人員

	軍 司 令 部	軍 團 司 令 部	師 司 令 部
下校	1		
中校	.....	1	
少校	1	.....	1
上尉	2	2	2
中尉	1	2	1
軍官總數	5	5	4
工兵上士(一級)	1		
上士	1		
中士(一級)	.....	1	
下士	2	1	1
軍曹	.....	.....	1
伍長	2	2	2
車夫 (wagoners)	2	1	1
一等兵	4	5	5
二等兵	3	2	2
士兵總數	15	12	12

嗣後以軍司令部內的規定官員人數，不合實際需要，乃改爲九人，即上校一人，少校一人，上尉四人，中尉三人。

團部及營部的防毒軍官及下級軍官 (noncommissioned officers) 以及連部的下級軍官，係由其上級機關派遣，並非由化學戰爭事務署歐洲科所委派，故不在第二十表中所示編制人員之內。

第二十一及第二十二兩表，係表示各種毒氣學校的編制：

第二十一表 軍毒氣學校的編制

	軍 官	士 兵
軍毒氣學校校長	1	
教官(防禦教程)	3	
教官(攻擊教程)	3	
士兵:		
工兵上士(一級)		2(一)*
中士(一級)		1(三)*
下士		1(二)*
伍長		1(一)*
車夫		1(四)*
一等兵		2(三)(六)*
二等兵		3(三)(五)*
每軍總數	7	11

\*(註 13)——(一)協助示範及教練。

(二)負責儲藏及小規模修理。

(三)中士(一級)負責管理辦公室,並有一一等兵及一二等兵為書記。

(四)負駕駛輕卡車(light car)之責。

(五)協助示範及小規模修理者二名。

(六)傳令者一名。



第二十二表 軍團毒氣學校的編制

	軍 官	士 兵
軍團毒氣學校校長	1	
教官	3	
士兵：		
工兵上士（二級）		2(一)*
中士（一級）		1(二)*
下士		1(三)*
伍長		1(二)*
一等兵		1(三)*
二等兵		1(四)*
每校總共	4	7
五校總共	20	35

## (8) 攻擊課

攻擊課擔任特殊毒氣戰隊、砲隊、步兵、坦克車隊 (tanks)、及空軍的毒氣配備，以及對於各種部隊小冊教材的分發；並與技術課合作，從事於標本及製法書的準備，以及毒氣戰隊所用與其他攻擊所用的工具之試驗。攻擊課復分為四組，毒氣戰隊亦歸其節制。茲分述之如下：

(a) 砲隊組 (artillery section) ——此組管理化學戰爭事務署歐洲科內所有關於砲隊使用毒氣、烟幕、及縱火材料的一切事件。

(b) 其他部隊組 (troop section) ——此組管理關於砲隊以外各部隊使用毒氣、烟幕、及縱火材料的一切事件。其範圍包括使用司托克迫擊砲，李文氏投射砲，及吹放瓶的毒氣戰隊，以及坦克車隊、空軍、步兵等。

(c) 軍械組 (ordnance section) ——關於化學戰爭所用軍械器材的一切事務，此組處在一種技術上的顧問地位。

(d) 工程組 (engineering section) ——關於戰場攻擊時所用器材的運輸及管理之一切計劃，均由工程組負責設計、發展、並製定其所需的試驗工作。

(e) 毒氣戰隊 (gas troops) ——除上述四組外，攻擊課尚轄有毒氣戰隊。該項部隊，使用特種化學兵器（如李文氏投射砲等）執行毒氣攻擊；其名稱爲毒氣兵團 (gas regiment)。毒氣兵團的編制，如第二十三表所示。按照規定每軍應有毒氣兵團一團；但實際上僅有一團的一部份，曾至法國參戰。

\* (註 14) ——(一) 協助示範及教練。

(二) 中士（一級）負責管理辦公室，伍長爲書記。

(三) 下士負儲藏之責，一等兵協助其作修理工作。

(四) 傳令。

第二十三表 毒氣兵團的編制(第一次歐戰末期)

單位	* (一) 連	營				團			衛生隊	醫務室及	軍械室	總共
		司令官	補充及修理室	三連	共計	司令部	(三、六營)	共計				
上校						1		1				1
中校						3		3				3
少校		1			1			6				7
上尉	2	2(二)		6	8	4(四)	6	52	1			58
中尉	4		1	12	13	1	48	79	6(五)			79
少尉	3		1	9	10		78	60				60
中尉牧師									2(六)			2
官佐總數	9	3	2	27	32	9	192	01	9			201
工兵上士(一級)		1p	1p		2	4p	12	16				16
工兵上士(二級)		2p	2p		4	4p	24	28				28
團部上士						2p		2				2
軍械中士										1r		1
團部下士						2p		2				2
營部上士		1p			1		6	6				6
營部下士			1p		1		6	6				6
上士	1p			3	3		18	18				18
中士(一級)	5p			15	15		90	90	1			91
伙夫長	1p			3	3		18	18				18
下士	1p			3	3		18	18				18
軍曹	10p	1p	1p	30	32	4p	192	196	6			202
伍長	30p	2r(七)		90	92		552	552		6p		558
伙夫	5p	1p	1p	15	17	2p	102	104				104
車夫	5r	1r	1r	15	17	3p	102	105				105
工匠		4			4		24	24				24
號兵	2p			6	6		36	36				36
一等兵	62p	2r	5r	186	193	6p	1,158	1,164	56	12		1,232
二等兵	128	4r	11r	384	399	12p	2,394	2,406				2,406
士兵總數	250	15	27	740	792	39	4,752	4,791	63	19		4,873
官兵總計	259	18	29	707	824	48	4,944	4,992	72	19		5,050
D式汽車						1		1				1
F式汽車		1			1	3	6	9				9
水車	1			3	3		18	18				18
有輪索艇車	1			3	3		18	18				18
摩托腳踏車(有旁坐位)	2	2	1	6	9	4	54	58	6			64
摩托腳踏車	2	2	1	6	9	4	54	58				58
腳踏車	4	1	1	12	14		84	84				84
B式卡車	6		2	18	20	1	120	121				121
AA式卡車	2			6	6	1	36	37				37
步槍	225	9	21	575	705	3	4,230	4,233			4	4,239
手槍	34	9	8	102	119	45	714	759		19		778
機關鎗	2		1	6	7		42	42				42

\*(註 15)——(一)連的組織,包括連本部(headquarters section)及四排(platoons),即一個司托克迫擊砲排及三個投射砲排。

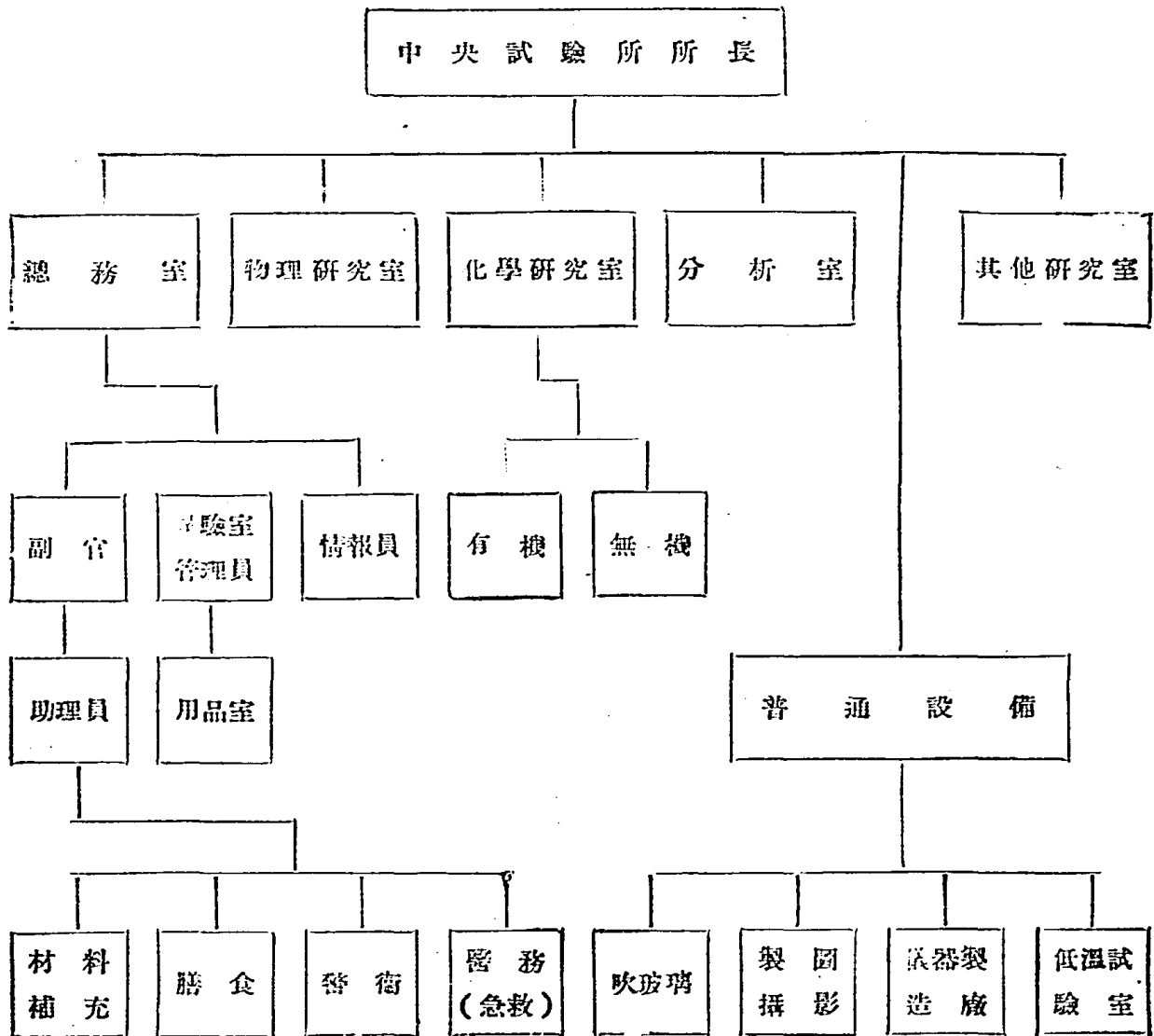
- (二)一為副官,一為化學顧問兼情報員。
  - (三)五戰鬪營,一補充營。
  - (四)一為副官,一為探買員,一為化學顧問兼情報員。
  - (五)每營指派一名醫官。
  - (六)三營共一位牧師。
  - (七)包括一名鞋匠。
- p, 表示使用手槍。  
r, 表示使用步槍。

(9) 技術課

技術課負責從事於化學戰爭器材的研究及其戰場試驗的舉行。其工作係由辦公室指派，而於中央試驗所 (central laboratory) (設在巴黎，故通稱巴黎試驗所) 及一處試驗場 (experimental field) 執行之。

(a) 中央試驗所——中央試驗所，設在巴黎，其組織係於所長之下分設五室 (參看第十三圖)。所長工作，須與各室主管人員取密切連繫。此所具有儀器製造廠，氧氣鍛接裝置，吹玻璃裝具，及冷卻機器等一般的設備，設一專員管理之。中央試驗所內所設的五室如下：

第十三圖 中央試驗所組織圖表



(一) 化學研究室 (chemical research laboratory)

(二) 物理研究室 (physical research laboratory)

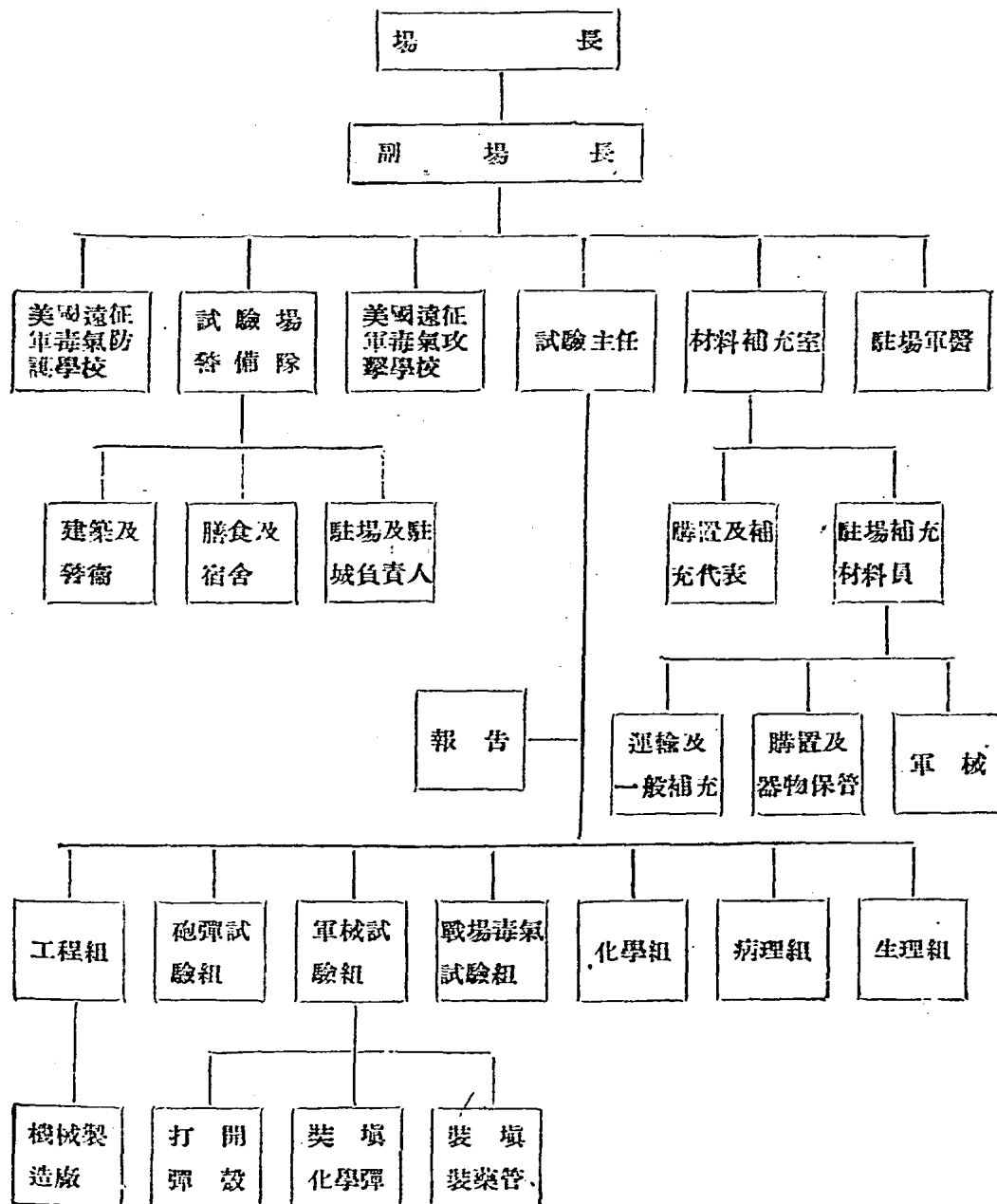
(三)分析室 (control laboratory)

(四)其他研究室 (miscellaneous research laboratory)

(五)總務室

(b)試驗場——試驗場的設立，其目的在於對毒氣、毒氣砲彈、及其他各種化學戰爭工具作大規模的試驗。其工作分數組舉行，試驗場的組織如第十四圖所示：

第十四圖 試驗場組織圖表



(一)砲彈試驗組——此組工作，為試驗毒氣砲彈及引信(fuse)；向野外動物試放毒氣彈；研究並編訂關於砲隊有效地施放毒氣砲彈的數據(data)；教授遠征軍毒氣學校攻擊方面的課程。

(二)化學組——此組工作，為分析由毒氣彈打開廠(shell-opening plant)所收集的砲彈裝填材料；採集並化驗戰場試驗時所收集的毒氣；其他化學方面的工作。

(三)工程組——此組工作，為機械裝備(包括迫擊砲及投射砲)的設計及試驗；李文氏投射砲的彈道及射程表之研究；機械製造廠(machine shop)的工作；其他研究工作。

(四)戰場毒氣試驗組——此組工作，係於空曠處試驗毒氣的性質。

(五)軍械試驗組——此組工作，為打開彈殼，試驗敵人所用的彈藥；裝填砲彈；裝填化學彈內的裝藥管(gaine)；以及關於炸藥，裝藥管等的其他工作。

(六)病理(pathology)組——此組工作，為與戰地醫院及後方醫院合作，檢驗受毒氣傷害者的身體組織；與生理(physiology)組合作，解剖戰場試驗時所用受毒動物的屍體。

(七)生理組——此組工作，為各種毒氣的毒性在室內及室外的試驗；毒氣起泡作用的試驗；防護方法及防護器材的試驗。

#### (10) 情報課

情報課(intelligence division)負責自前線採取敵人的毒氣軍紀(gas discipline)及敵人的攻擊計劃(offense plans)；並調查美國與其他協約國的防禦及作戰方法，毒氣傷害數目；以及美國與其他協約國的化學戰爭事務機關所屬之中央試驗所與試驗場等的科學數據。其任務包括探聽前方消息，編訂每週大事摘要，彙成特殊報告，並分送於各處有關的主管人員。此外尚須翻譯敵國及協約國的有關文件，且將譯文分送於各課組室所。情報課又為各課課長及辦公室負責人的消息溝通機關。其組織計分下列五組：

- (a) 公告組 (bulletin section)。
- (b) 翻譯組 (translation section)。
- (c) 調查組 (investigation section)。
- (d) 製圖組 (drafting and map section)。
- (e) 分發組 (dissemination section)。

## (11) 製造及補充課

製造及補充課，負責供給美國遠征軍化學戰爭事務署歐洲科所需的器材，並設法儲藏足量的此等物品。爲求達到此項任務起見，不得不在英法兩國設立製造廠及裝填廠，並就地購買此等器材。同時一部份器材須自美國國內運來，故須在英法設立貯藏庫 (storage depot)；且須運輸迅速，始能將補充器材按期送到。因此，此課不得不調查美國及其他協約國的補充情形，並決定何者應取之美國，何者宜購自國外市場。此課組織，無時不在發展之中，力求能以從容應付補充器材的計劃，並適應任何新發生的問題。此組各部份的名稱如下：

- (a) 軍需庫組 (depot section)。
- (b) 各軍軍需庫 (army depots)。
- (c) 製造組 (manufacturing section)。
- (d) 置辦及設計組 (requirements and planning section)。
- (e) 戰場搶救組 (field salvage)。

## 第三節 平時編制

1918年6月18日美國大總統根據阿飛瞞法 (Overman Act) 下令設立的化學戰爭事務署，乃係一種戰時組織，停戰後其職權不能繼續至六個月以上。1919年，美國政府從新規定，維持其組織至1920年6月30日陸軍改編時爲止。

當1920年六月四日美國頒布的國防法 (規定陸軍的永遠編制) 在國會中討論時，關於化學戰爭事務署究應如何處理問題，曾經詳加討論。經慎重地聽取，並考慮各方有價值的報告及數據以後，國會始決定化學戰爭事務署成爲陸軍之一永久分機關。此項重要決議，實由於化學戰爭事務署的籌備人及第一任署長威廉西伯特 (William L. Silbut) 少將的極力主張，以及曾在法國實地作戰之潘興 (Pershing) 上將與其他軍界領袖的贊助。

1920年六月四日頒布的美國國防法 (National Defense Act) 中第十二條 a 項，規定化學戰爭事務署的組織，其條文如次：

『化學戰爭事務署——茲特設立一化學戰爭事務署。化學戰爭事務署，設少將署長一人，並設自上校至少尉階級的官佐一百名，士兵一千二百名。化學戰爭事務署署長，稟承陸軍部長之命，負責改良、製造、或購買

各種發烟材料、縱火材料、毒氣、與防毒器材，並將其供給於陸軍；同時研究、設計、並試驗關於化學戰爭及其器材的一切事項；設立化學發射彈的裝填工廠及試驗場；監督全國陸軍關於化學戰爭防禦及攻擊的訓練，包括必需的教練學校在內；組織、裝配、訓練，並運用化學戰隊；以及大總統隨時命令執行的其他類似職務。』

此條所規定的化學戰爭事務署之任務，經分析後，實係下列各項：

(a) 各種發烟材料、縱火材料、毒氣、及防毒器材的調查及改良。

(b) 關於化學戰爭及其所用器材的研究、設計、及試驗。

(c) 各種發烟材料、縱火材料、毒氣、及防毒器材的獲得(製造或購買)；及此項器材對於陸軍的供給。

(d) 化學彈裝填廠與試驗場的運用。

(e) 化學戰隊的組織、裝配、訓練、與運用。

(f) 化學戰爭學校的開設。

(g) 全國陸軍的化學戰術教練之監督。

(h) 大總統所指定的其他類似職務之執行。

除上列規定職務以外，化學戰爭事務署署長並負下列各種任務：

(a) 協助參謀總長 (Chief of Staff) 解決一切與化學戰爭有關的問題，以及陸軍關於化學戰爭的配備。

(b) 管理關於化學戰爭的兵工廠、學校、建設、以及不受陸軍指揮官指揮的人員。

(c) 遵照陸軍部的政策，製定並發展化學戰爭上的戰術原則。

(d) 監督全國陸軍關於化學戰爭的訓練，包括烟幕、刺激性毒氣、及防毒器材的使用在內。

(e) 編纂關於化學戰爭事務署用人、教育、訓練、以及化學戰爭器材的使用與保管等事項必須之出版物。

(f) 與其他兵種及其他署局的主管長官合作，以謀各該種部隊所用化學戰爭器材的改良。

(g) 提出關於本署所轄部隊 [包括後備軍官訓練隊 (Reserve Officers' Training Corps)] 的組織及訓練之建議。

(h) 與陸軍部各有關長官協商一切關於國防軍 (National Guard) 及編成預備軍 (Organized Reserves) 中屬於本署管轄的組織、教育、訓練、

裝配、以及人事方面一般行政及效率等事項。

化學戰爭事務署之組織，在於實施上列各種任務，故其編制與陸軍之負有技術、補充、及部隊等任務之其他分機關大致相同。

#### 第四節 戰時編制

##### (A) 戰區機構

在作戰的時候，所有陸地或海面之已經或即將直接包括於軍事行動範圍以內者，統稱之為戰區 (Theater of War)。

後方 (Zone of Interior) —— 戰區復分為一個或幾個戰場 (Theater of Operations) 及一個後方。後方即本國領土之未成戰場的部份。如美國在美洲有戰爭，則美國本部的全部或至少一大部，大致將成為後方。若參與海外戰爭（例如歐戰），則美國全部均是後方。

後方的任務，是在適當方式及情形下，將必需工具供應於作戰軍隊的指揮官，使其能指揮如意，以完成其任務。故後方的責任，在於開發並發展作戰所必需的人力及物力上之資源。

戰場 (Theater of Operations) —— 戰場（參看第十五圖）包括戰區的作戰地方及將被侵犯或需要設防的地帶；此項地帶，由陸軍部根據作戰方策，預定戰線，及交通情形決定之。戰場通常分為交通地帶 (Communication Zone) 及戰鬥地帶 (Combat Zone)。決定戰場與後方分界處的原則，即凡使戰事順利進利（包括部隊的迅速補充）所必需的地域，均劃入戰場之內。

交通地帶，係戰場的一部份，具有補充及退卻的設備、交通線、以及迅速支援戰場全軍所需的其他準備者。此項地帶，包括介乎戰場後邊與戰鬥地帶間的全部地域。從橫的方面說，所包括者為補充、醫療、運輸等各種便利及其防護所需的全部地段。

戰鬥地帶，係戰場之為戰鬥部隊作戰時所需的部份。此項地帶，可分作軍、軍團、及師的陣地，各為其所屬單位的作戰範圍。戰鬥地帶，普通均無固定的補充及醫院設備。

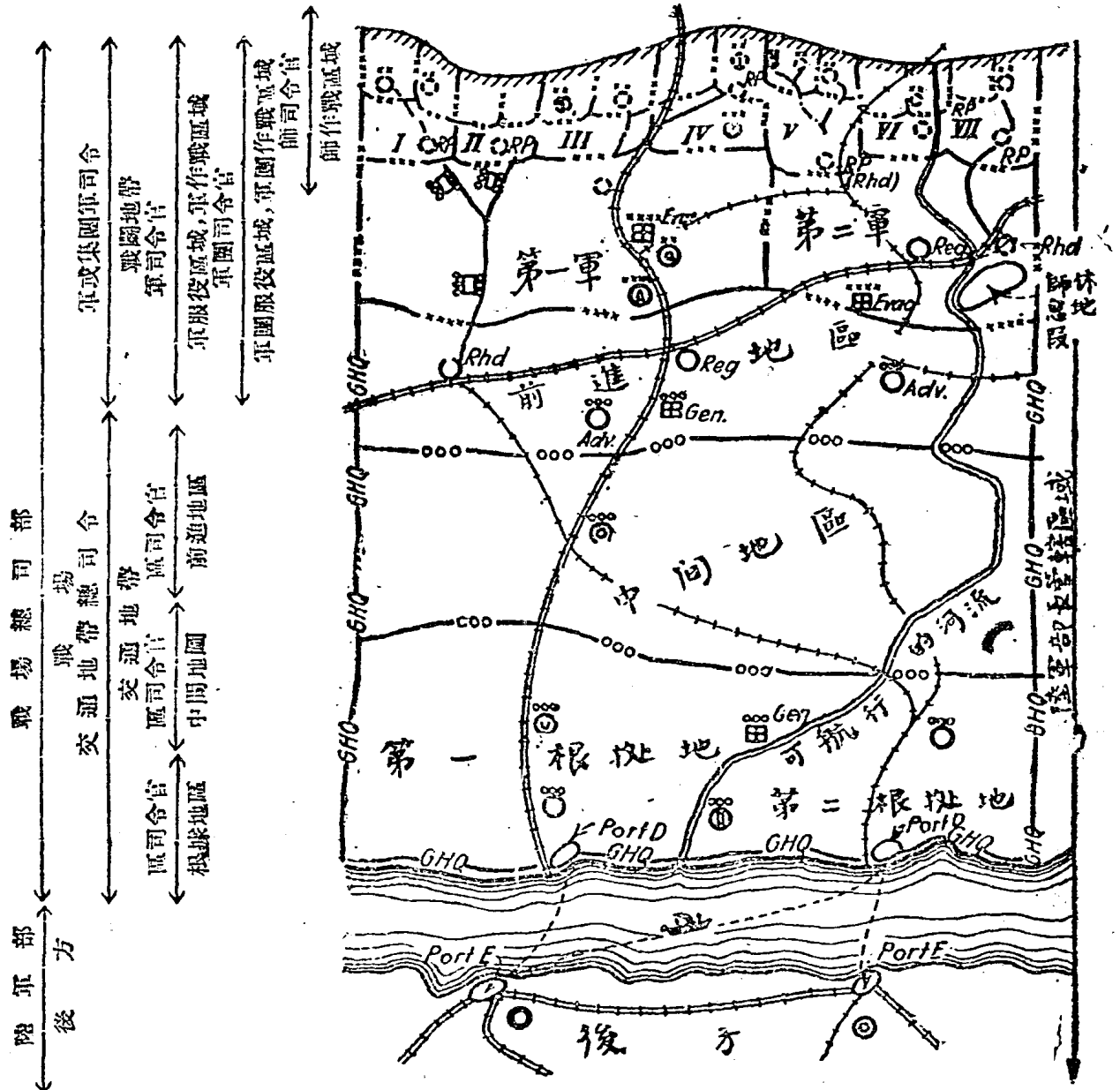
##### (B) 化學戰爭事務署的編制

在作戰的時候，化學戰爭事務署在後方的主要活動，計為：

(a) 獲得並供給戰鬥部隊所需的毒氣、發烟劑、縱火劑、防毒器材、以及化學戰隊所用的化學彈藥。



第十五圖 戰場區劃



- 說明：
- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| 1. 師臨時補給站         | 2. 師甲種補給理發所       |
| 3. 軍彈藥補給站         | 4. PR 加油站         |
| 5. 軍區運輸隊          | 6. Rhd 火車站        |
| 7. Evac 集團軍戰地醫院   | 8. 師接應補給站         |
| 9. Reg 團補給站       | 10. Evac 集團軍彈藥補給站 |
| 11. 軍區接應補給站       | 12. 軍區獸醫站         |
| 13. 軍區補給站         | 14. Gen 軍區醫療院     |
| 15. 軍區彈藥補給站       | 15. 補給根據地         |
| 17. 接應補給總站        | 18. Port 港口       |
| 19. GHQ 戰場總司令指揮區域 |                   |

- (b) 組織、裝配、訓練，並運用化學戰隊。
- (c) 選派並訓練較大作戰單位所需的毒氣軍官及士兵。
- (d) 執行國防法所規定的一般職責。

在戰時為履行此等大為增加的職責起見，化學戰爭事務署實有擴充的必要。其擴充情形，勢必完全循第一次歐戰末期美國編制的路徑；因該次戰爭的經驗，證明此項組織實屬健全，並切合戰時的需要故也。

在戰場中，化學戰爭事務署與其他補充機關相似，係在交通地帶，設立並運用一種軍需庫及補充系統，以便供應作戰部隊所需的化學戰爭器材。

在戰鬪地帶，化學戰爭事務署所屬人員計分為兩大類：一為自總司令部 (General Headquarter) 以下以至師部的參謀處之化學參謀人員。其他一類為化學戰隊，該項部隊係總司令部預備軍 (General Headquarters Reserves) 的一部份。此項分類法，正與第一次歐戰時美國的編制相同。

第五節 各兵種化學戰鬪威力的比較

在第三章第三圖中，曾經明白示出各兵種在從事化學戰爭時在前線的分配。各個兵種之相對的化學戰鬪威力 (chemical-combat powers)，可以各兵種所能發射化學戰劑於一處目標地域的速率，作為一種方便的測定。第二十四表所列，為一標準野戰軍 (typical field army) 所用主要兵器之相對的化學戰劑發射威力。

第二十四表 化學戰鬪威力比較表

數目	種類	發射率 (即每 一分鐘 每一兵 器發射 化學彈 數)	每一化學彈 所容的重量 (磅)		每分鐘放出量 (磅)							
			毒氣	煙幕*	師 彈 隊		軍 團 彈 隊		化 學 營 (三十二門 迫擊彈)		二 中 隊 飛 機	
					毒氣	煙幕	毒氣	煙幕	毒氣	煙幕		毒氣
12	81-毫米迫擊砲	30	1.2	1.5	432	540						
48	75-毫米野砲	6	1.35	1.8	389	518						
24	155-毫米榴彈砲	3	11.00	15.2	792	1094						
38	155-毫米榴彈砲	3	11.00	15.2			1584	2189				
24	155-毫米野砲	3	11.00	15.2			792	1094				
32	4.2 英寸迫擊砲	20	6.0	7.45					3840	4768		
9	飛機	1										3397
總共					1613	2152	2376	3283	3840	4768	3397	

由第二十四表看來，可知化學兵營每分鐘所能施放毒氣或發烟材料的重量，較軍團砲隊全體或一中隊飛機（九架）一次所放出者為大，並大於師砲隊全體所能發射的重量之二倍。

如將一軍所屬砲隊全部（高射砲除外）的發射毒氣能力，與三個化學兵團（通常每軍編制中規定有化學戰隊三團）比較，可更明白地表示化學戰隊的價值（參閱第二十五表）。

第二十五表 一軍（包括三個軍團兩個騎兵師）所屬  
砲隊發射化學戰劑的能力

	每分鐘發射量（磅）
十八團的 75-毫米野學，師部砲 (division artillery)	3,500
九團的 155-毫米榴彈砲，師部砲	7,128
兩團的 75-毫米野砲，騎兵師砲 (cavalry division artillery)	389
六團的 155-毫米榴彈砲，軍團砲 (corps artillery)	4,752
三團的 155-毫米野砲，軍團砲	2,376
一軍砲隊總發射量	18,145
三個化學兵團（288 門 4.2 英寸化學迫擊砲）的總發射量	34,560

自第二十五表看來，可知化學兵團三團發射化學戰劑的能力，實較一軍所屬砲隊全部為大。故化學戰隊在步兵戰鬥地帶（即自步兵前線以至距離二千五百碼處）內，乃係施放化學戰劑效率最大的兵種。

### 研習問題

（一）試參考軍事文獻，列舉日本實施化學戰爭的軍事機構。

（二）在日本陸軍的新編制（1741 年）中，每連有一化學排，其配備如何？作戰時其所負的主要任務為何，試查明列舉之。

（三）在最近的德國步兵編制中，每連有一烟幕排，有配備如何？其所負的化學任務是否僅限於施放烟幕？試查明列舉之。

\*（註 16）——煙幕的重量，係以黃磷作標準，黃磷為飛機以外（飛機只能使用四氯化鈦）一切兵器使用的標準發煙材料。

(四)在美國化學戰爭事務署的編制中，何以須設一發展科，其所負的使命為何？

(五)當戰爭的時候，一國主持化學戰爭事務的機關，在後方的主要活動為何？在前方的主要任務為何？

(六)美國化學戰爭事務署歐洲科的技術課，設有一中央試驗所，其中心工作，大部分集中於該所的化學研究室。試草擬一計劃，規定該項研究室的工作大綱。

#### 閱讀書目

- (一)Special Texts, Army Extension Courses: War Department, U. S. Government Printing Office, Washington, No. 212, "Chemical Troops", 1933, Subcourse 30-7; No. 213, "Organization of the C. W. S.," 1932, Subcourse 10-7; No. 214, "Storage and Shipment of C. W. Munitions", 1930, Subcourse 30-4; No. 215, "The Chemical Warfare Staff Officer", 1933, Subcourse 40-4; No. 217, "The Technical Divisions Organization and Operation" 1931, Subcourse 30-10; No. 218, "The Production Division, Edgewood Arsenal, 1931, Subcourse 30-11
- (二)曾昭掄吳屏合譯——化學戰爭通論，商務印書館發行，第二章第二節(1)。
- (三)砲兵專門學校編印——化學戰，第五章。



## 第二編 化學戰劑各論

### 第五章 化學戰劑的分類

化學戰劑分類的方法有數種；依其分類的目的及觀點而不同。概括言之，分類方法可歸納為兩大類，即依據理論的觀點與實用的目的是。屬於理論一類者，為依照（1）化學成分（chemical composition），（2）物理狀態（physical state），及（3）生理效應（physiological effect）的分類。屬於實用一類者，為依照（1）持久性（persistency），（2）作用程度（degree of action），及（3）戰術應用（tactical employment）的分類。此章簡略討論第一次歐戰時及歐戰後數種分類法。以符號標識列強曾經用過的毒氣之方法，亦包括在內。最後以對於分類問題的一般觀察為結論。

所不幸者，迄今所用的多數分類法，不能彼此截然區分，常有彼此重疊的情勢。此乃由於各種戰劑本身的性質使然。在下文分類討論各種戰劑時，吾人可發現殆無一種分類法可以完全免去此項缺點。然戰劑的分類，確有許多用途。為將其應用於戰場起見，應在可能範圍內，力求簡單明瞭。

#### 第一節 依照化學結構的分類法

第一次歐戰時及歐戰後，各國化學家，雖曾極力研究化學結構（chemical structure）與其對於生物的生理作用（physiological action）之關係，企圖演得一般性的定律；但嚴格說來，迄今仍無一種簡單的依照化學結構的毒氣分類法可供利用。在第二章，吾人曾述及化合物龐大的數目。由此龐大數目中，儘可覓取具有生理作用的物質。如能建立化學結構與生理作用之一般的關係，自可省去許多浪費的精力。是以化學家與毒物學家（toxicologists）多年來對於此項複雜問題曾合力研究，雖迄今未能解決此項問題，卻已得到許多線索，指示研究者可專門注意於生理效應可能性最大的幾類化合物。

因限於篇幅，吾人不能對於此項問題作詳細的討論；此事實係生理化學

(biochemistry) 及藥物學 (pharmacology) 方面的工作。但幾條業已成立並已認為有用之範圍有限的通則，則將對之加以簡單的討論。就著者所知，關於此項複雜問題最簡明的敘述，當推海得爾 (Hederer) 及埃丁 (Istin) 二氏的學說 (參考 15)。茲將二氏學說要點撮出如下。

有些金屬 (metals) 及半金屬 (metalloids) 具有強烈的毒害性質；遂使含有此等金屬的化合物，亦具有顯著的生理效應，此乃早經公認的事件。屬於此類的元素，有砷 (arsenic)、銻 (antimony)、錫 (tin)、汞 (mercury)、鉛 (lead)、及鉍 (bismuth)。此外尚有多種元素，其本身無甚毒注，但能化合成為原子團；此項原子團，雖多不能單獨存在，但能使含有該項原子團的化合物，具有特殊的生理效應。例如 (1) 能形成酸 (acids) 及鹼 (bases) 的氫離子 ( $H^+$ ) 與氫氧離子 ( $OH^-$ )；(2) 具有氧化力的  $SO_3$ ,  $SO_4$ ,  $NO_3$ , 及  $P_2O_5$  等原子團；(3) 具有還元性的  $SO_2$ ,  $SH$ ,  $P_2O_3$ , 及  $CO$  等原子團；皆屬於此類。

明瞭此種事實後，吾人不需制定概括之定律，即可依照毒性分子之組成，而判別為三類。各類具有不同之分子結構，但其生理性質則相同。

屬於第一類者，毒性原子或毒性原子團，依其原子價的不同，與一個或幾個鹵族元素 (halogens, 即氟、氯、溴、碘) 相化合，或與一個或幾個無機原子團 (如  $SO_3$ ,  $SO_4$ ,  $NO_2$ ,  $NO_3$ ,  $CN$ ) 相化合。具有此種結構的物質，均為無機化合物，其結構可以下列通式代表之：



在此式中，X 代表鹵族元素或還元性原子團，M 代表毒性原子或原子團。例如氯化汞 (mercuric chloride) 即係此類化合物的一種代表物，其結構可以下式代表之：

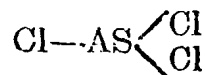


屬於此類的重要軍用毒氣，有下列數例：

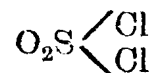
一氯化硫 (sulfur monochloride)



三氯化砷



硫二酰氯 (sulfuric chlorhydrin)

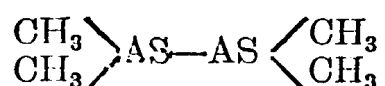


屬於第二類者，其毒性元素 (M)，係與一個或幾個有機原子團 (例如

CH<sub>3</sub>—, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>—, C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>—, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>—等)相化合,其中一部份有機原子團可為氫原子所替代(氫原子亦可視為最簡單的有機原子團)。此類化合物,均係有機化合物;其中許多可稱為有機金屬化合物(organo-minerals)。此類化合物,可以下列通式代表之:



在此式中, M代表毒性原子或原子團, R代表有機原子團。例如雙二甲胂(cacodyl), 即係此類化合物的一種代表物, 其結構式如下:



此類化合物之在軍用上具有重要性者, 有下列各例:

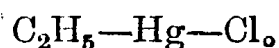
甲硫醇(methylmercaptan)	H—S—CH <sub>3</sub>
甲胂(methylarsine)	CH <sub>3</sub> —AS=H <sub>2</sub>
路易氏戰劑(III)	AS(CH=CHCl) <sub>3</sub>
甲酸甲酯(methylformate)	O=C $\begin{array}{l} \langle \text{H} \\ \text{OCH}_3 \end{array}$
丙烯醛	O=C $\begin{array}{l} \langle \text{H} \\ \text{CH}=\text{CH}_2 \end{array}$
氫氰酸	H—C≡N
苯胂(phenylarbylamino)	C≡N—C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>

屬於第三類者, 其基本原子或原子團(即毒性原子或原子團), 可以一個或幾個原子價與鹵族元素或可電離的無機原子團(ionizable mineral radicals)相化合如第一類, 而以其餘的原子價與碳, 有機原子團, 或氫相化合如第二類。為形成此種結構起見, 此類化合物中的毒性元素或原子團, 至少應為二價。此類化合物, 通稱為有機金屬鹵化物(Organo-mineral halogens), 其通式為:—



至於 R, M, X 各項符號的意義, 概如上述。

氯化乙汞(ethyl mercuric chloride), 為第三類化合物的一例, 其結構式為:—



至屬於此類的重要軍用戰劑, 有下列數例:—



芥氣	$\text{S} \begin{array}{l} \diagup \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{Cl} \\ \diagdown \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{Cl} \end{array}$
二氯化甲胂 (dichlormethylarsine)	$\text{CH}_3 - \text{ASCl}_2$
路易氏戰劑(II)	$\text{AS}(\text{CH}=\text{CHCl})_2$
光氣	$\text{O} = \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{Cl} \\ \diagdown \text{Cl} \end{array}$
雙光氣	$\text{O} = \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{Cl} \\ \diagdown \text{OCCl}_3 \end{array}$
碘丙酮 (iodoacetone)	$\text{O} = \text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{CH}_2\text{I} \\ \diagdown \text{CH}_3 \end{array}$
氯化氮	$\text{Cl} - \text{C} \equiv \text{N}$
二氯化苯胂	$\begin{array}{l} \text{Cl} \\ \text{Cl} \end{array} \begin{array}{l} \diagup \\ \diagdown \end{array} \text{C} = \text{N} - \text{C}_6\text{H}_5$
氯磺酸甲酯 (methylchlorosulfate)	$\text{SO}_3 \begin{array}{l} \diagup \text{Cl} \\ \diagdown \text{OCH}_3 \end{array}$
氯化苦劑	$\text{Cl}_3\text{C} - \text{N} \begin{array}{l} \diagup \text{O} \\ \diagdown \text{O} \end{array}$

第一次歐戰中所用的毒氣，大多數雖可依照上述方法分類，但並非謂所有戰劑均係如此。現在已知的例外，已有多種。將來新的戰劑發現時，此種例外當更增多。

海得爾及埃丁二氏，曾經提出關於軍用毒氣的另一種化學分類法（參考 15），即：

- (1) 氧化劑 (oxidizers)：例如氯素，氯化苦劑等。
- (2) 還元劑 (reducers)：例如丙烯醛，酮類 (ketones) 化合物等。
- (3) 可電離的 (ionizable) 化合物；例如氫氰酸、胂類化合物等。
- (4) 不可電離的 (nonionizable) 化合物：例如一氧化碳。

但此各類間，並無明顯的界限；且此項分類法，亦不能表示化學結構與生理作用的關係。故此種毒氣分類法，實無若何價值。

總之，毒氣的化學分類法，迄今不過是一種很簡略的初步嘗試。即僅對重要的軍用毒氣而言，任何一種化學分類法，均苦於例外太多，致使整個問題陷於困難。所幸化學分類法，在化學戰爭中並非重要，無庸作為研究的目標。在此處應該特別提及的重要事實，即已知最難抵抗的毒劑 (toxic agents)，多係同時屬於兩類化合物，即氟化物與有機砷化合物。將來大部份的化學戰劑，勢將出自此兩類。

第二節 依照物理狀態的分類法

依照物理狀態的分類法至為簡單，其根據即係以物質在平常狀況 [即溫度為 68°F(20°C) 及大氣壓力為 760—毫米水銀柱時] 下的物理狀態為標準。例如毒氣之沸點低於平常大氣溫度者，稱為真正毒體 (true gas)；氯氣 (沸點 -28°F) 即其一例。此類真正氣體，宜與『毒氣』(gas) 一名詞加以辨別。平常籠統地將一般在生理方面具有傷害效應的化學戰劑稱為『毒氣』。真正氣體，則係指在平常溫度及壓力下以氣態存在的物質而言。

一種化學戰劑，其熔點低於平常溫度，沸點高於平常溫度者，稱為液體；例如氯化苦劑 (熔點 -92.4°F，沸點 235.4°F) 是。同樣地，一種戰劑其熔點高於平常大氣溫度者，稱為固體；例如黃磷 (熔點 111°F) 是。

在第二十六表中，係將第一次歐戰時所使用的主要化學戰劑，依照其物理狀態分類列出。

第二十六表 化學戰劑依照物理狀態的分類

氣 體	沸 點°F	液 體	沸 點°F	固 體	熔 點°F
一氧化碳	-310	苯溴乙膈	+77*	二氯二乙硫	+57
氯氣	-28.3	氫氰酸	79.7	苯溴乙膈	77
光氣	+43.7	丙烯醛	126.3	氯化二苯腓	91
氫氰酸	+79.7	氯甲酸一氯甲酯	228.2	黃磷	111
		氯化苦劑	231.5	氯化二苯腓	113
		氯丙酮	243.2	乙基吡啶	154.4
		氯甲酸三氯甲酯	260.6	氯化二苯腓固	387.
		氯磺酸甲酯	269.6		
		溴丁酮	271.4		
		溴丙酮	275.		
		氯化三氯甲硫	300.2		
		二氯化乙腓	312.8		
		溴乙酸乙酯	318.2		
		硫酸二甲酯	370.4		
		路易氏戰劑	374.		
		苯溴甲烷	393.8		
		二氯化苯腓	406.4		
		溴化二甲苯	420.8		
		二氯二乙硫	57*		
		二氯化苯腓	484.7		

\* (註 17) —— 有 \* 記號者為熔點。

## 第三節 依照生理作用的分類法

依照生理作用的分類法，係以化學戰劑對於生物所生的影響為根據。在第一次歐戰中及戰後，各國所用的生理分類系統，差異頗大，茲分述於後，以資比較。

(A) 美國戰時分類法（參考 16，第一編）。

此項分類法，係依照毒性物質生所的顯著效應而分類。吾人所應注意者，任何戰劑的作用，並非限於某一種或某一類組織（tissue）。例如某種物質的蒸汽，能傷害呼吸系統，同時如任其與皮膚接觸，或亦能使其起泡。某一物質，若其在戰爭上之唯一的或者主要的效用，在其對於呼吸器官的影響，即稱之為一種呼吸系統刺激劑（respiratory irritant）。設若其傷害威力，在其與皮膚的作用，則稱之為皮膚刺激劑（skin irritant）。如此兩種效應均可利用，則此物同時屬於兩類。

(1) 呼吸系統刺激劑——當時曾經使用的化學戰劑之大多數，均為傷害呼吸器官（respiratory apparatus）者。是類戰劑，復可分為三小類如下：

(a) 第一小類戰劑的作用，主要地在於傷害肺部內吸收氧氣以輸送於血液的薄膜（membranes）。其結果為使血液內的流質（fluid）流入微小的肺泡（air sacs），阻塞氧氣對於血液的供給。由此致死者，其情況可謂與溺死者相似；不過此種情形，係將自己血管中的水引入肺中以致死。屬於此類的化合物有光氣、氯氣、氯化苦劑、雙光氣等。

(b) 第二小類戰劑，專門傷害呼吸器官內空氣過道裏面的薄膜。在平常時候，此種薄膜能阻止空氣中塵埃及病菌侵入肺部，若受此類化學戰劑的作用，則薄膜失去其保護肺部的能力。薄膜的一部份，或者腫脹而裂開，阻塞通入肺部組織的孔道，或者組織受傷損，成為病菌叢集的場所，以致發生支氣管炎（bronchitis）及肺炎（preumonia）等病症。屬於此類的戰劑，有芥氣及二氯化乙腫等。

(c) 第三小類戰劑的主要功用，在於傷害鼻及咽喉，使人感覺劇激疼痛，但無生命的危險。此類戰劑，能引起噴嚏、劇烈喉痛、鼻痛、頭痛、嘔吐、及胸部收縮作痛等現象。如受毒時間較久，亦可引起筋肉的軟弱無力，身體一部份麻痺，或其他暫時失去知覺等現象。例如氯化二苯腫，氰化二苯腫等，當

屬於此類。

(2) 催淚劑 (tear producers or lacrimators) —— 催淚劑對於眼部具有劇烈的刺激效應，能引起不斷的流淚，繼之以兩眼紅腫，乃至暫時失明。催淚劑濃度極小時，常產生此種現象。如濃度甚大，並可傷害肺部。例如苯溴乙腈、碘乙酸乙酯、氯化苦劑等，皆係催淚劑。

(3) 起泡劑 (skin blisterers or vesicants) —— 起泡劑對於皮膚具有強烈的刺激效應，其效應頗似毒性常春藤 (poison ivy)。身體表面任何部份，不論其為眼部或呼吸器官，凡與此類戰劑接觸之處即產生同一的症象。因此起泡劑如吸入體內，其作用亦與劇烈的呼吸系統刺激劑相同。芥氣即係重要的起泡劑。

#### (B) 美國戰後分類法

此種分類法，係依照戰劑最顯著的生理效應而分類 (參考 17)，其各類名稱如下：

(1) 肺部刺激劑 (lung irritants)\* —— 此類戰劑，係指吸入後能使肺部及支氣管 (bronchial tubes) 內腔 (interior cavity) 發炎 (inflammation) 及損害者；例如光氣、雙光氣、氯化苦劑等是。

(2) 刺激劑 (亦稱噴嚏劑 irritant or sternutators) —— 凡能引起劇烈噴嚏及咳嗽，以致暫時失去戰鬥能力的戰劑，均稱之為刺激劑或噴嚏劑。噴嚏劑通常用以製造刺激煙幕 (irritant smokes)；故刺激劑與噴嚏劑兩名，可視為具有同樣的意義。例如氯化二苯肼、氯化二苯胺肼、氰化二苯肼等，皆屬於此類。

(3) 催淚劑 (lacrimators) —— 凡能引起不斷的流淚及暫時眼痛的戰劑，均屬於催淚劑；例如溴丙酮、苯溴乙腈、苯氯乙酮等皆屬於此類。

(4) 起泡劑 (vesicants) —— 凡是吸收或溶解於身體任何部份，即能引起身體組織的發炎、灼傷、以致損壞者，均屬於此類。

#### (C) 英國戰時分類法

英國在第一次歐戰的初期，將毒氣分作下述的四類：

(1) 持久效應毒氣 (gases of permanent effect)。此類大體與美國所

\* (註 18) —— 在本書中，作者以傷肺劑 (lung injurants) 代『肺部刺激劑』；原因係使其與刺激鼻部及喉部的戰劑 (即噴嚏劑) 有別。前者作用，多為相當嚴重的傷害；後者則多僅限於暫時性的刺激。

謂起泡劑相當；芥氣爲其一例。

(2) 暫時效應毒氣 (gases of temporary effect)。此類大體與美國所謂肺部刺激劑相當；光氣卽其一例。

(3) 不致命的毒氣 (gases having a nonfatal effect)。此類大體與美國所謂刺激劑相當；碘乙酸乙酯爲其一例。

(4) 致命的毒氣 (gases having a fatal effect)。此類大體與美國所謂中毒劑 (systemic poisons) (見下文) 相當；氯氰酸卽其一例。

在第一次歐戰的末期，英國復將此項分類法，歸併成爲兩類；卽：——

(1) 催淚劑 (lacrimatory agents)；例如碘乙酸乙酯。

(2) 致命劑 (lethal agents)；例如光氣、氯化苦劑、芥氣等。

(D) 英國戰後分類法

第一次歐戰以後，英國改採下列的分類法：——

(a) 起泡劑 (vesicants)；例如芥氣、路易氏戰劑等。

(b) 肺部刺激劑 (lung irritants)；例如光氣、氯氣、氯化苦劑等。

(c) 感覺器官刺激劑 (sensory irritants)；例如氯化二苯肼、氰化二苯肼等。

(d) 催淚劑 (lacrimators)；例如苯溴乙腈、溴化二甲苯等。

(e) 直接毒害神經系統的毒氣 (direct poisons of the nervous system)；亦稱麻痺劑 (paralysants)；例如氯氰酸。

(f) 妨礙血液循環作用的毒氣 (gases which interfere with the respiratory function of the blood)；例如一氧化碳。

『廣泛言之，(b)(e)兩類，可認爲致命劑 (lethal agents)；(c)(d)兩類，可認爲刺激劑 (irritants)，其效應在於使人立刻失去戰鬥能力（此項效應是暫時的）；(a)類雖具有強烈的毒害性能，然若用以攻擊對於毒氣防護訓練良好的部隊，則其傷害威力，遠勝於其致命威力。』（參考 18）。

(E) 法國戰時分類法

在第一次歐戰時，法國係將毒氣分成如下的七類：——

(1) 激烈毒害性毒氣 (highly toxic gases)；例如氯氰酸。

(2) 窒息性毒氣 (suffocating or asphyxiating gases)；例如氯氣、光氣、雙光氣、氯化苦劑等。

(3) 催淚劑；例如氯丙酮、丙烯醛等。

- (4) 起泡劑；例如芥氣、硫酸二甲酯。
- (5) 噴嚏劑；例如氯化二苯胂、氰化二苯胂等。
- (6) 傷耳劑 (labyrinthic)；例如二氯甲醚。
- (7) 一氧化碳。

(F) 法國戰後分類法

第一次歐戰以後，法國將上述分類法，歸併成爲三類：——

(1) 刺激性毒劑 (irritant toxics)。此類包括：

- (a) 催淚劑；如苯溴甲烷、溴化二甲苯等。
- (b) 呼吸系統刺激劑，亦稱噴嚏劑 (respiratory irritants or sternutators)；例如氯化二苯胂、氰化二苯胂等。

(2) 腐蝕性毒劑 (caustic toxics)。此類包括：

- (a) 肺部腐蝕劑，亦稱窒息劑 (lung caustics or suffocants)，例如氯氣、光氣等。
- (b) 皮膚腐蝕劑，亦稱起泡劑 (skin caustics or vesicants)；例如芥氣、路易氏戰劑等。

(3) 一般毒劑 (general toxics)；例如氫氰酸等一類的毒氣。

(G) 德國戰時分類法

在第一次歐戰之初期，德國將毒氣分爲三大類；即：

(1) 刺激性毒氣 (irritant gases, 德名 Reizstoffe)，即產生暫時傷害效應的毒氣。此類包括：

- (a) 催淚劑；例如 T-物質 (德名 T-Stoff, 即溴化二甲苯)
- (b) 刺激劑；例如 B-物質 (德名 B-Stoff, 即溴丙酮)，Bn-物質 (德名 Bn-Stoff, 即溴丁酮)；D-物質 (德名 D-Stoff, 即硫酸二甲酯) 等。

(2) 戰鬥毒氣 (Combat gases, 德名 Kampfstoffe)，即能產生較長時間傷害效應的毒氣；例如 C-物質 (德名 C-Stoff, 亦稱 K-Stoff, 即氯甲酸一氯甲酯)

(3) 毒害性毒氣 (toxic gases, 德名 Giftstoffe)，即能致命或使人受重傷者；例如氫氰酸、雙光氣、氯化苦劑等。

在第一次歐戰之後期，德國將第二類取消，改爲兩大類；即：

- (1) 不致命刺激劑 (nonfatal irritants)；
- (2) 致命毒劑 (fatal toxic gases)。

## (H) 德國戰後分類法

在第一次歐戰以後，德國改採下列分類法（參考 19,）：

(1) 催淚劑 (lacrimators, 德名 tränenerregende Kampfstoffe)；例如溴丙酮、溴化二甲苯、苯溴乙腈、苯氯乙酮等。

(2) 噴嚏劑 (sternutators, 德名 niesenerregede Kampfstoffe)；例如氯化二苯腴、氰化二苯腴等。

(3) 肺部刺激劑 (lung irritants, 德名 lungenreizende Kampfstoffe)；例如氯氣、光氣、雙光氣、氯化苦劑、路易氏戰劑 B 等。

(4) 起泡劑 (vesicants, 德名 blasenzichende Kampfstoffe)；例如二氯化氯乙烷腴、芥氣等。

(5) 神經中毒劑 (nerve poisons; 德名 Nervengifte)；例如氫氰酸。

## (I) 結論

如將戰時各種生理分類法與戰後所用分類法相較，可知戰時分類法遠較戰後分類法為散漫。德國的戰時分類法，原則上與協約國所用者不同。即德國分類法，純係根據生理效應的程度；協約國方面，則係根據生理效應的種類。

第一次歐戰以後，各國對於生理分類法的觀點漸行接近。下列生理分類法，大體已得各國一致的公認。

(1) 傷肺劑 (lung injurants) —— 此類戰劑的效應，在於傷害肺部及氣道 (lungs and pulmonary passages)。在尋常戰場濃度下，數小時內，即可致人於死。

(2) 刺激劑或噴嚏劑 (irritants or sternutators) —— 此類戰劑的效應，在於刺激鼻部及喉部，引起劇烈的噴嚏及咳嗽。唾液 (saliva) 含有此等戰劑時，如咽入胃 (stomach) 中，即引起劇烈的頭痛 (headache)，反胃 (nausea)，及嘔吐 (vomiting)。曝露於噴嚏劑的高濃度中，亦能招致顯著的身體衰弱。不過此種效應乃屬暫時的現象，僅限於曝露期間及其後數小時以內。

(3) 催淚劑 (lacrimators) —— 此類戰劑，專刺激兩眼，使其不斷流淚。正當曝露時及在其後半小時至一小時內，亦可致暫時失明。催淚劑在戰場濃度下，鮮有具其他生理作用者。

(4) 起泡劑 (vesicant) —— 此類戰劑，能傷害所有與之接觸的身體表

面（無論體外或體內），令其起泡，並破壞其組織，一如被火灼傷者。大多數的起泡劑除對於表面有作用外，如其蒸氣被吸入肺內，亦能產生毒害作用。因其具有複效應，故起泡劑為第一次歐戰中所用化學戰劑中之傷害威力最大者。

(5) 中毒劑 (systemic poisons)——此類戰劑，能毒害血液（例如一氧化碳）或神經中樞 (nerve centers)（例如氫氰酸）；由於其停止身體運動中樞 (motor centers) 的生活機能之活動，幾可立即致人於死。就其致命所需的數量而論，此類幾為最毒的毒劑。但以其揮發過速，蒸氣密度太小，以及其他特殊性質，致其在戰場的效力大為減損。

\*△我國自國民政府成立後，始創立研究化學戰劑的機關，所用的生理分類法，係採取英美法德等國戰後分類法的優點，而將毒氣分為窒息性、催淚性、噴嚏性、中毒性、及糜爛性等五大類。至各類毒氣的定義，與上段所述者大體相同。所謂窒息性毒氣，實即上段所述的傷肺劑；所謂糜爛性毒氣，實即上段所述的起泡劑。惟自抗日戰爭發生以來，因顧及戰術上所生的效果，又將催淚性與噴嚏性兩類毒氣歸併成爲一類，統稱之爲刺激劑或刺激性毒氣。故我國現行生理分類法，係將毒氣分為如下的四類：即——

- (a) 窒息性毒氣；
- (b) 刺激性毒氣；此類中包括：
  - (一) 催淚性毒氣，
  - (二) 噴嚏性毒氣。
- (c) 中毒性毒氣；及
- (d) 糜爛性毒氣。△

除上述數種戰劑外，發煙劑 (smoke agent) 及縱火劑 (incendiary agent) 亦有生理效應。但因其僅能產生極小的或偶然的生理效應，故普通不將其列入生理分類之中。

#### 第四節 依照持久性的分類法

化學戰劑在野外的持久性 (persistency)，爲其能維持有效濃度的時間之一種度量，亦即其在戰場上作用時間的長短。故依照持久性的分類法，在實用上殊爲重要。

\* (註 19)——凡每段，每節，或每章頭尾附有△記號者，皆係譯者補充。下倣此，不另註明。



為資比較起見，特略述各主要國家在第一次歐戰時及歐戰後的此種分類法。

(A) 美國戰時分類法

美國陸軍在第一次歐戰中所採分類法，如第二十七表所示（參考 16 第一編第 18 頁）。

第二十七表 美國在第一次歐戰時根據持久性的分類法

類 別	戰 劑		持 久 性		附 註
	符 號	成 分	曠 野	森 林	
(1) 暫時性 (non-persistent)	VN	氫氰酸，三氯化砷，四氯化錫，氯仿。	十分鐘	三小時	此類毒氣，大都揮發度甚大，爆裂時即盡行化為蒸氣，形成具有致命效應的毒雲。惟以其分散入大氣中甚速，易於沖淡而消失其效力。
	Cl	氯氣			
	CG	光氣			
	CNL	主成分為苯氯乙酮			
	DA	氯化二苯腓			
	DC	氰化二苯腓			
(2) 半持久性 (moderately persistent)	NC	氯化苦劑。四氯化錫。	三小時	十二小時	此類毒氣，沸點頗高，爆裂時僅一部化為蒸氣。爆裂後所形成的化學雲，非係致命的，但具有令人立即流淚或噴嚏的刺激效應。大都係以粉狀裝填於彈內，而以霧狀散佈於空中，漸漸沉降地面，繼續放出蒸氣，以延長化學雲的有效時間。
	PS	氯化苦劑			
	PG	氯化苦劑，光氣。			
	Pcc				
	DG				
(3) 持久性 (highly persistent)	HS	芥氣	三日	七日	此類毒氣，沸點極高，爆裂時化為蒸氣的部份極少。彈內裝填物的一小部份，被分散成極細的顆粒，立即生效；大部份落於地面，逐漸蒸發，以繼續最初化學雲的效應。
	GA	苯溪乙腓			
	BA	溴丙酮			

(B) 美國戰後分類法

第一次歐戰以後，美國將中間一類（即半持久性）刪去，而減為兩類。在戰場能支持至十分鐘以上者，稱為持久性（persistent）戰劑；不能支持至十分鐘者，則稱為暫時性（non-persistent）戰劑。按照此項分類法，在重要化學戰劑中，僅有氯氣、光氣、氫氰酸、苯氯乙酮、亞當氏氣、氯化二苯肼、氰化二苯肼、黃磷、四氯化鈦等數種屬於暫時性；其餘皆屬持久性。

### (C) 其他各國分類法

在第一次歐戰時及歐戰後，英、法、德諸國均未有根據持久性分類之明顯的限定。各該國雖認為戰劑有持久性及暫時性兩類；但並未規定一定的時間限度，以作此兩類的區別。

例如英國關於此點的意見，可自下列一段論文中見之：——

『……毒氣可分為兩大類，即暫時性與持久性。

暫時性物質，在脫離容器以後，迅速地化為氣體或煙霧。如此產生的化學雲，在未被風及日光消散以前，繼續有效。

持久性物質之用於毒氣戰爭者，多為液體。當其脫離容器後，即將施放地域毒化，並繼續放出蒸氣，至相當長久的時間。芥氣及大多數催淚劑，屬於此類的代表物。當其繼續蒸發時，毒化區域順風的隣近地區，亦有危險。如遇芥氣一類傷害皮膚的毒氣，吾人應極力避免與已經毒化的地面或物件接觸。』（參考 18, 第 9 頁）。

法國人的觀點，可於海得爾（Hederer）及埃丁（Istin）二氏的言論見之：——

『因化學兵器在軍事上的應用，遂使戰劑依其總毒害效應（total particular toxic-effect）可劃分為兩類，即揮發性與持久性。揮發性戰劑，或為氣體，例如氯氣；或為沸點低汽壓高的液體，例如光氣及氫氰酸（此二物的沸點順次為  $46^{\circ}\text{F}$  及  $79^{\circ}\text{F}$ ）；或為易於分散成為微粒的固體，例如氯化二苯肼及氰化二苯肼。就中最初兩類，構成氣態氣雲（gaseous cloud）；最後一類則形成煙雲（smoke cloud）。二者在空曠處消散均速。

持久性戰劑，為沸點高汽壓低的液體。例如氯化苦劑及芥氣，其沸點順次為  $224^{\circ}\text{C}$  及  $423^{\circ}\text{F}$ ；乃係此類的代表物。此類物質所成的氣雲，逐漸變成液體微滴，凝集於地面上，然後漸漸蒸發。此類戰劑，一般地具有極大的穩定性。與空氣接觸，不易氧化，亦不易水解。』（參考 15, 第 38 頁）。

至於德國方面的意見，則可以韓斯聯（Hanslian）氏的言論（參考 20,

第 25 頁)代表之:——

『持久性的意義,是一種戰鬪用物質 (combat substance) 因戰術上的目的而放出時,滯留於毒化地域以發揮效力的時間。持久性的大小,首先係與其揮發度有關。揮發度愈小者,持久性愈大;揮發度愈大者,持久性愈小。……

自戰術的觀點言之,持久性極關重要。蓋決定某一戰劑是否適合於進攻之用,持久性為其主要的因素。進攻部隊,須穿過介乎敵我兩軍陣地之間。若攻擊勝利,尚須佔領敵軍陣地。故化學戰劑之用於協助進攻者,其持久性顯需極小,使進攻部隊到達敵陣時,能以安全佔領曾用此項戰劑毒化的地帶。在正常的戰爭情況下,於空曠處能支持十分鐘以上的毒氣,對於進攻部隊穿過或佔領曾經毒化的地域,實有相當危險。因此惟有暫時性的毒氣,始適用於進攻。然若所攻擊的陣線甚寬,不免有防禦堅固的地點;則對於此等處所,不妨使用持久性的毒氣。

如以一般的困擾或防守為目的,其所毒化的地域並非友軍所欲佔領者,則以使用持久性戰劑之效力為較大。故持久性戰劑,常在此項用途上使用之。

作戰部隊應用的化學戰劑之軍事上的分類法 (military classification), 未有不顧及持久性者。根據持久性分類,其區分愈形明晰者,其用途亦愈大。』

韓斯聯(Hanslian)氏並將幾種重要毒氣的持久性列表載出。表中所列數值,係根據黎堆勒(Leitner)氏公式算出(即郎格墨爾公式,參看第一章),而依照持久性的大小反排(小的在先)者。但韓氏並未根據持久性,將戰劑分為數類。

#### 第五節 依照作用程度的分類法

作用程度 (degree of action), 乃指化學戰劑所生傷害的嚴重性而言。各種戰劑,自單純的催淚影響以至幾乎立刻致命為止,其作用程度,彼此大不相同。

自戰場上軍事行動的觀點言之,化學戰劑可分為下列三類:——

(1) 輕傷劑 (light casualty agents) ——此類戰劑,係指具有單純的催淚效應或僅僅暫時刺激身體某一部份(例如鼻部、咽部等)的戰劑而言;

例如催淚劑及噴嚏劑。

(2) 中等傷害劑 (moderate casualty agents)——此類戰劑，使人受傷至數日或數星期之久始行痊愈；但鮮有引起永久的傷害或死亡者；例如起泡劑（芥氣）。

(3) 重傷劑 (serious casualty agents)——此類戰劑，能引起長期或永久的傷害，其死亡率亦高；例如光氣等傷肺劑是。

與根據作用程度的分類法有關，而且實際上係屬此項分類法的一種，為化學戰劑依照作用速率 (speed of action) 的分類法。按照此法，戰劑可分為即效性 (immediate effect) 的及遲效性 (delayed effect) 的兩類。一般言之，輕傷劑及重傷劑，多產生即時效應，即屬於『即效』的一類；中等傷害劑，則多產生遲延效應，已屬於『遲效』的一類。但此項規則，並非一定不移，其例外甚多。

第六節 依照戰術應用的分類法

依照戰術應用的分類法，係根據各種戰劑在戰術上的應用 (tactical use) 而將其分類。依照此項原則，戰劑可分為下列幾類：（參看第二十八表）。

第二十八表 化學戰劑依照戰術應用的分類法

戰劑	符號	種類	暫時性		持久性				掩蔽	縱火
			傷害	困擾	半持久		最持久			
					傷害	困擾	傷害	困擾		
光氣	CG	暫時性，傷害。	■	⊗						
亞當氏劑	DM	暫時性，困擾。		■						
苯氯乙爾溶液	CNS	半持久性，困擾。				■				
二氯化乙腈	ED	半持久性，傷害。			■	⊗				
芥氣	HS	最持久性，傷害。					■	⊗		
黃磷	WP	可燃固體，發煙劑。	⊗						■	⊗
六劑乙烷混合氣	HC	自然固體，發煙劑。							■	
三氧化硫 + 氯磺酸	FS	極細的霧狀液體，發煙劑。							■	
鋁熱劑	TH	縱火劑。		⊗						■

■ 表示在戰術上的主要作用。⊗ 表示在戰術上的次要作用。

- (1) 傷害劑 (casualty agents)。此類包括：
- (a) 傷肺劑；
- (b) 起泡劑；
- (c) 黃磷。
- (2) 困擾劑 (harassing agents)。此類包括。
- (a) 催淚劑；
- (b) 刺激劑 (噴嚏劑及刺激煙)。
- (3) 掩蔽劑 (screening agents) (即掩蔽煙幕)。
- (4) 縱火劑 (incendiary agents)。

### 第七節 一種適用的軍事分類法

綜合上述六種分類法，可得一種在軍事行動上切合適用的化學戰劑分類法。此種混和的或軍事的分類法 (mixed or military classification)，將所有各種戰劑，均包括在內；對於使用戰劑的部隊最為有用。

化學戰劑的性質，對於戰場指揮官最為重要者有二，即持久性與效應的種類。下列分類法 (第二十九表) 即以此二者為根據，可謂最合邏輯的軍事的分類。

### 第二十九表 毒氣的軍事分類法

#### (一) 暫時性戰劑 (Non-persistent agents)

##### (A) 傷肺劑 (lung injurants)

(1) 單純傷肺劑	}	氯氣 ( $\text{Cl}_2$ )
		氯磺酸甲酯 ( $\text{ClSO}_2\text{OC}_2\text{H}_5$ )
		氯磺酸乙酯 ( $\text{ClSO}_2\text{OC}_2\text{H}_5$ )
		氯甲酸一氯甲酯 ( $\text{Cl COO} \cdot \text{CH}_2\text{Cl}$ )
		光氣 ( $\text{COCl}_2$ )
		硫酸二甲酯 [ $(\text{CH}_3)_2\text{SO}_4$ ]
		氯化三氯甲硫 ( $\text{Cl}_3\text{C}-\text{SCl}$ )
		氯甲酸三氯甲酯 ( $\text{Cl COO CCl}_3$ )
		氯化苦劑 ( $\text{Cl}_3\text{C}-\text{NO}_2$ )
		二氯化苯肼 ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{NC Cl}_2$ )
		二氯二甲醚 [ $(\text{CH}_2\text{Cl})_2\text{O}$ ]
		二溴二甲醚 [ $(\text{CH}_2\text{Br})_2\text{O}$ ]

- (2) 毒性傷肺劑 {  
 二氯化苯肼 ( $C_6H_5AS Cl_2$ )  
 二氯化乙肼 ( $C_2H_5AS Cl_2$ )  
 二溴化苯肼 ( $C_6H_5AS Br_2$ )

(B) 噴嚏劑 (即呼吸系統刺激劑) (sternutators)

- (1) 單純噴嚏劑 {  
 氯化二苯肼 [ $(C_6H_5)_2AS Cl$ ]  
 氯化二苯肼 [ $(C_6H_5)_2AS CN$ ]  
 乙基肼脞 [ $(C_6H_4)_2NC_2H_5$ ]  
 氯化二苯胺肼脞 [ $NH(C_6H_4)_2AS Cl$ ]  
 椒氣

- (2) 毒性噴嚏劑 {  
 二氯化苯肼\* ( $C_6H_5AS Cl_2$ )  
 二氯化乙肼\* ( $C_2H_5AS Cl_2$ )  
 二溴化乙肼\* ( $C_2H_5AS Br_2$ )

(C) 中毒性毒劑 (systemic toxics)

- 氫氰酸 (HCN)  
 溴化氫 (Br-CN)  
 氯化氫 (Cl-CN)  
 二氯化苯肼\* ( $C_6H_5NC Cl_2$ )

(二) 持久性戰劑 (Persistent agents)

(A) 即效性 (immediate effect) 毒氣

- (1) 單純催淚劑 {  
 溴乙酸乙酯 ( $CH_2Br COO C_2H_5$ )  
 溴化二甲苯 ( $CH_3C_6H_4CH_2Br$ )  
 苯溴甲烷 ( $C_6H_5CH_2Br$ )  
 碘乙酸乙酯 ( $CH_2I COO C_2H_5$ )  
 苯碘甲烷 ( $C_6H_5CH_2I$ )  
 苯溴乙脞 ( $C_6H_5CH Br CN$ )  
 苯氯乙脞 ( $C_6H_5CO CH_2Cl$ )

- (2) 毒性催淚劑 {  
 氯丙酮 ( $CH_3CO CH_2Cl$ )  
 溴丙酮 ( $CH_3CO CH_2Br$ )  
 碘丙酮 ( $CH_3CO CH_2I$ )  
 丙烯醛 ( $CH_2=CH CHO$ )  
 溴丁酮 ( $CH_3CO CH Br CH_3$ )  
 氯化苦劑 ( $Cl_3C-NO_2$ )  
 二氯化苯肼\* ( $C_6H_5NC Cl_2$ )  
 二氯甲醚脞

## (B) 遲效性 (delayed effect) 毒氣

(1) 單純起泡劑 硫酸二甲酯\*  $[(CH_3)_2SO_4]$ 二氯化甲胂  $(CH_3AS Cl_2)$ 二氯二乙硫  $[(C_2H_4Cl)_2S]$ 

(2) 毒性起泡劑

二氯化苯胂\*  $(C_6H_5AS Cl_2)$ 二溴化苯胂\*  $(C_6H_5AS Br_2)$ 二氯化乙胂\*  $(C_2H_5AS Cl_2)$ 二氯化氯乙烯胂  $(Cl CH CH AS Cl_2)$ 

上述毒氣分類法，係以其首要性質為根據。此種辦法，雖係一種合乎邏輯而且有用的分類法，但在應用方面，並非一定不移。例如迄今使用的起泡劑，均屬持久性一類，其對於人及動物的影響為遲效性。但此並非謂所有將來發現的起泡劑亦必備具是項性質。起泡性與持久性之間，或起泡性與遲效性之間，均無已知的關係。反之，即效性或暫時性起泡劑的發現，其可能性極大。此類戰劑，乃係戰術上所迫切需要者，且亦無不能覓得的理由。同理，傷肺劑及噴嚏劑，亦無必係暫時性的理由；此兩類毒氣之具持久性者，亦有存在的可能。

總之，上述軍事分類法，不過是一種適合目下已知事實，合乎邏輯而且比較有用的排列法。將來若發現例外，即當加以修改，使其成為合乎新的事實之一種新的分類法。

## 第八節 標識系統

為欲向作戰部隊指示化學彈內的裝填物之種類及性質起見，各國各自採用一種特殊的標識系統 (marking system)。在第一次歐戰中，各國標識系統的基本法則，完全不同。故各國所用主要標識，均有敘述的必要。

## (A) 德國標識系統

吾人曾經提及，德國在第一次歐戰時所用毒氣分類法與協約國不同之點，乃在德國係根據毒氣所生效應的程度而分類，協約國則係以效應的種類為根據（例如謂某種毒氣為傷肺劑抑為起泡劑）。德國所用標識系統，亦係以效應的程度為基本標準，而將毒氣分為四類。其各類及各類毒氣的標識方

(註 20)——凡附有\*記號者，其主要作用為傷肺。

法,見第三十表。

第三十表 德國所用的標識系統

類	別	生 理 效 應	標 識
(1)無傷害毒氣 (harmless gases)		催 淚 劑 (德名爲 (Augenreizstoff)	白 十 字 (德名爲 Weisskreuzkampfstoffe)
溴化二甲苯 (德名: T—stoff)			
溴丙酮 (德名: B—stoff)			
溴丁酮 (德名: Bn—stoff)			
(2)輕傷害毒氣 (slightly harmful gases)		刺 激 劑 (德名爲 Reizstoffe)	藍 十 字 (德名爲 Blaukreuzkampfstoffe)
氯化二苯腴 (德名: Clark I)			
氯化二苯腴 (德名: Clark II)			
二氯化乙腴 (德名: Dick)			
(3)中等傷害毒氣 (moderately harmful gases)		起 泡 劑 (德名爲 blasenziehende kampfstoffe)	黃 十 字 (德名爲 Gelbkreuzkampfstoffe)
二氯二乙硫 (德名: Lost)			
硫酸二甲酯 (德名: D—stoff)			
(4)重傷害毒氣 (severely harmful gases)		傷 肺 劑 (德名爲 lungenreizende kampfstoffe)	綠 十 字 (德名爲 Grünkreuzkampfstoffe)
氯氣 (德名: Chlor)			
光氣 (德名: Phogen, 或 D—stoff)			
雙光氣 (德名: Perstoff)			
氯化苦劑 (德名: Klop)			
氯甲酸一氯甲酯 (德名: K—stoff)			



一切含有屬於上列任何一類毒氣的發射彈，均以其相當顏色的十字標示之。為欲指示其係屬某類中的某一種特殊毒氣起見，則另加一種標識。例如雙光氣裝填的砲彈，用綠十字為標識。如裝填物為雙光氣與氯化苦劑的混和物，則所用標識為一綠十字及數目字 1。若為光氣、雙光氣、與氯化苦劑的混和物，則標識為一綠十字及數目字 2。同樣地，氯化二苯腈的標識，為一藍十字及數目字 1；氰化二苯腈的標識，為一藍十字及數目字 2。至於用二氯化乙腈裝填的舊式發射彈，則於一黃十字外另加數目字 1 為標識，以與芥氣（標識為一黃十字）相區別。

用催淚劑及單純刺激劑裝填的舊式化學彈，其標識用大號白色字體；例如用“B”表 B-物質 (B-Stoff)， “C”， “D”， 表 C-物質 (C-Stoff) 及 D-物質 (D-Stoff) 等。就毒氣彈全體而言，並無一種通用的顏色表示之。舊式毒氣彈漆成灰色；新式毒氣彈漆成藍色，其尖頭 (ogive) 則漆成黃色。煙幕彈亦作灰色，惟上寫有黑色字母 N (Nebel, 即霧之意)，以與毒氣彈相區別。縱火彈則全部漆成紅色，其上寫有黑色字體 “Brand-Gr” (即縱火彈之意)，以與有些塗成紅色的高級炸藥彈相區別。

德國標識系統的主要缺點，為：(1) 化學彈無一種普遍的顏色，以別於其他發射彈。(2) 各種化學裝填物的相對持久性未能表示；此項持久性，在戰術上又極為重要。第二缺點，因事實上綠十字彈及藍十字彈，大體係屬暫時性，黃十字彈，則係持久性，稍可彌補。但此種事實，毋寧認為偶然，且無明晰的界限。例如二氯化乙腈一物，首先所用標識為黃十字 1；嗣後發現其為暫時性毒氣，可應用於進攻，乃改用綠十字 3 作為標識。

#### (B) 法國標識系統

法國所用化學彈，均作暗綠色，以與其他發射彈相區別。縱火彈則加漆一紅尖，以與毒氣彈相區別。至煙幕彈一項，法國並未將其分成一類。雖有數種化學彈中含有足量的發煙劑，爆裂時能產生煙霧，但仍將其屬於毒氣彈一類。

一切化學裝填物，不論其為毒氣，毒氣與煙霧，或縱火劑，均以密碼數目字 (code numbers) 表之，有時亦在彈身加上有色的帶或條 (colored bands or stripes)。此項密碼數目字，純係任意選定，並非依其化學裝填物的持久性或類別而排列；數目字的先後，似係依照其採用的年月次序。

第三十一表所示，為法國所用的主要化學彈及其標識。

第三十一表 法國的化學彈及其標識

發射彈	裝填物	標識
75毫米縱火彈	二硫化碳;黃磷;縱火劑盛於賽璐珞圓筒內。	彈身紅色,尖頭綠色,頭部底部,均註明 No. 2。
75毫米縱火彈	黃磷;不起作用的液體。	彈身紅色,尖頭綠色,頭部底部,均註明 No. 3。
75毫米毒氣彈	氫氰酸+四氯化錫+氮仿 [Vincentennite quaternaire (V4)]	彈身綠色,兩道白圈,頭部底部,均註明 No. 4。
75毫米毒氣彈	氯化氫 (vitrit); 氫氰酸 (manganite); 三氯化砷 (marsite)。	白色帶,尖頭,底部,及彈匣,均註明 "4 B"。
75毫米毒氣及煙幕彈	光氣 (collongite) $\frac{2}{3}$ ; 四氯化錫 (opacite) $\frac{1}{3}$ 。	彈身綠色,一道白圈,頭部底部,均註明 No. 5。
75毫米毒氣及煙幕彈	氯化苦劑 (Aquinite) $\frac{3}{4}$ ; 四氯化錫 $\frac{1}{4}$ 。	彈身綠色,一道橙黃色圈,頭部底部,均註明 No 7。
75毫米毒氣及煙幕彈	溴丙酮 (martonnite); 四氯化錫	彈身綠色,一道橙黃色圈,頂部底部,均註明 No. 9。
75毫米毒氣彈	芥氣 (yperite) + 溶劑	兩道橙黃色帶,註明 "20"。
75毫米毒氣彈	苯溴乙腈 (camite) 13; 氯化苦劑 100。	一道橙黃色帶,註明 "21"。
155 毫米毒氣及煙幕彈	光氣 $\frac{2}{3}$ ; 四氯化錫 $\frac{1}{3}$ 。	彈身綠色,一道白圈,尖頭註明 No. 5。
155 毫米毒氣彈	氯化苦劑 $\frac{3}{4}$ ; 四氯化錫 $\frac{1}{4}$ 。	彈身綠色,一道白圈,尖頭註明 No. 7。
155 毫米毒氣彈	芥氣 + 溶劑	兩道橙黃色帶,尖頭註明 "25"。
155 毫米 F. A. 毒氣彈	苯溴乙腈 13; 氯化苦劑 100。	一道橙黃色帶,尖頭註明 "21"。
155 毫米 F. A. 縱火彈 (勞特 Naud 式)	二硫化碳; 煤汰; 黃磷; 縱火劑盛於圓筒內。	彈身綠色,頭部紅色,黑圈。
155 毫米縱火彈 (勞特 Naud 式)	二硫化碳; 煤汰; 黃磷; 縱火劑盛於圓筒內。	彈身綠色,頭部紅色,黑圈。 ⊗

法國標識系統,乃是一種武斷的辦法,無庸多事介紹。其所用數目字,不過指示其內含係何種裝填物。除非指揮官對於此等裝填物各個的特性至為熟悉(實際此種情形極少),在戰場上使用化學彈時,幾毫無線索可尋。且彈上數目字往往漸次消失。當其難於辨認時,即不知其為何種毒氣彈。

## (C) 英國標識系統

英國所用三類化學彈相互間的區別及其與他類發射彈的區別，係用不同的顏色，塗於彈身以表示之。毒氣彈為灰色，煙幕彈為淺綠色，縱火彈為紅色。至所用毒氣裝填物的種類，則以各種顏色的線條 (stripes) 圍繞於彈身以區別之：

裝 填 物	標 識 系 統
SK ( 磷乙酸乙酯 )。	無帶。
KSK ( 磷乙酸乙酯 70% ; 酒精及乙酸乙酯 30% )。	無帶，但寫上字母 HVV。
PS ( 氯化苦劑 )。	一道白帶
PG ( 氯化苦劑 50% ; 光氣 50% )。	兩道白帶
NC ( 氯化苦劑 80% ; 四氯化錫 20% )。	一道白帶，一道紅帶，一道白帶。
VN ( 氫氰酸，四氯化錫，三氯甲烷 )。	一道白帶，一道紅帶。
CG ( 光氣 )	一道紅帶，一道白帶，一道紅帶。
CBR ( 光氣 50% ; 三氯化磷 50% )。	一道紅帶。
BB ( 芥氣 )	四道紅帶。

煙幕彈的互相區別，係於近彈鼻 (nose of shell) 處，圍尖端加上紅色圈一道，並於彈身書黑色字母 “PHOS”，以表示其係黃磷裝填的發射彈。

縱火彈一律漆成紅色，另無其他區別的標識。

英國標識系統，較法國所用者為佳。其對於各類化學彈，區別均甚明顯，且其裝填物用顏色帶指示，亦較法國所用數字易於辨認。惟此項系統，仍不能表示所裝毒氣的持久性，以作戰場上使用的指導；是乃與法國系統共有的缺點。

## (D) 美國戰時標識系統

在第一次歐戰中，美國化學彈與其他發射彈的區別，為彈身漆作灰色，上寫有黑色字體，如 “Special Gas” ( 毒氣 )， “Special Smoke” ( 煙幕 )，及 “Special Incendiary” ( 縱火 ) 等。此三類化學彈，並用不同的顏色帶，圍繞彈身，以示區別。毒氣彈用紅色帶、白色帶、或紅白二色帶；煙幕彈用黃色帶，縱火彈用紫色帶。

在毒氣彈中，裝填物之為暫時性毒氣者，以白色帶表示之；持久性毒氣

以紅色帶表示之；半持久性毒氣，則以紅白兩種色帶表示之。每一類毒氣中，並以色帶的數目，表示其持久性。例如暫時性毒氣中最易消失者，為白色帶一條；較難消失者，為白色帶二條等。同樣地，在持久性毒氣中，持久性最小者，為紅色帶一條；持久性稍大者，為紅色帶二條。

第三十二表，為美國在第一次歐戰中所用的化學裝填物及其標識。

第三十二表 美國戰時標識系統

裝 填 物	標 識 系 統
暫 時 性 毒 氣	
DA ( 氯化二苯腙 )	一道白帶。
CG ( 光氣 )	兩道白帶。
PD ( 光氣及氯化二苯腙的混和物 )	三道白帶。
半 持 久 性 毒 氣	
PS ( 氯化苦劑 )	一道紅帶。一道白帶。
NC ( 氯化苦劑及四氯化錫 )	一道黃帶*，一道紅帶，一道白帶。
PG ( 氯化苦劑及光氣 )	一道白帶，一道紅帶，一道白帶。
持 久 性 毒 氣	
BA ( 溴丙酮 )	一道紅帶
GA ( 苯溴乙腈 )	兩道紅帶
HS ( 芥氣 )	三道紅帶
發 烟 劑	
WP ( 黃磷 )	一道黃帶。
FM ( 四氯化鈦 )	兩道黃帶。
縱 火 劑	
混和縱火劑 ( incendiary mixture )	一道紫帶。

(註 21) ——四氯化錫為發烟劑，故加一道黃色帶，以表示此項事實。

由上所述，可知美國標識系統，在戰時一切辨識化學裝填物的系統中，乃是最合邏輯最有內容者。此項系統，不獨表示化學彈與其他發射彈的區別，及三類化學彈間的相互區別；並可由其標識，辨明其所含毒氣究屬持久性或暫時性，及其相對持久性的大小。此外，此項系統尚有一種優點，即設將一效力較大的毒氣代替效力較小者，無庸更換標識。例如設將一種效力較大的催淚劑代替溴丙酮，若此種新毒氣的持久性，較苯溴乙腈為小，仍用紅帶一道標識之。若新毒氣的持久性，較苯溴乙腈為大，但較芥氣為小，則新毒氣彈用兩道紅帶作為標識；而苯溴乙腈裝填的發射彈，則改用紅帶一道，以表示苯溴乙腈已變為所用持久性毒氣中之持久性最小者。

#### (E) 美國戰後標識系統

美國戰時標識系統的唯一缺點，為標識所用有色帶的數目及種類太多。但此點實由於需要辨別的毒氣太多之故。第一次歐戰以後，美國方面曾力求減少標準化學裝填物的數目。因此目下在每一類中，僅認定一種化學裝填物為標準裝填物。此即謂在暫時性毒氣，持久性毒氣，刺激毒氣，發煙劑，及縱火劑各類中，各選一種作為標準的裝填物。若有一種新的裝填物，較現在所認定的某種標準裝填物為佳，即選定該物，作為該類的標準裝填物。設前此所定標準裝填物，尚有用作替代物的可能，可留作預備標準物 (substitute standard)，否則即將其作廢。

將美國現在所用戰劑分類標識系統，與戰時所用者相較，可知現在所用者，大為簡單化。用有色帶表示化學戰劑類別的辦法，雖仍予保留；但此項有色帶，不復用以辨別同類中各種毒氣持久性的大小。若以後均照現在計劃，每類中僅有一種毒氣，則此項辦法，並無不合之處。

#### 研習問題

- (一) 何謂毒性原子？何謂毒性原子團？試各舉例說明之。
- (二) 在常用之化學戰劑中具有還元性者有那幾種？試列舉之。
- (三) 具有氧化性之化學戰劑有幾種？試列舉之。
- (四) 我國現行之毒氣分類法與歐美諸國所用者異同之點各為何？試舉其概要。
- (五) 在第一次歐戰時，德國所用毒氣分類法與協約國所用者有何不同之點？試概述之。

(六) 德國標識系統的主要缺點為何?試詳述之。

(七) 試列舉 美國現行標識系統的優點。

#### 閱讀書目

(一) “Chemical Warfare School Texts” The Chemical Warfare School, Edgewood Arsenal, Maryland (latest rev) Book II., Chapter II.

(二) 劉泰庠譯：毒氣化學，正中書局發行，總論第二、三章。

## 第六章 催淚劑

第一次歐戰中最初使用的毒氣爲催淚劑 (lacrimatory agents or lacrimators)。所謂催淚劑，即係刺激眼部使眼淚大量下流以致暫時失明的物質。在戰場上使用的濃度，此類戰劑，普通不致傷害眼球 (eyeball) 及視神經 (optic nerve)；惟在偶然情形下（例如距毒氣彈爆裂處太近，或液體戰劑飛濺於目中），眼角膜 (cornea) 亦有遭受傷患者。最初所用的催淚毒氣，其有效時間極短，以致當其開始使用時，人們均未認爲有害，故不列於 1899 年及 1907 年海牙協定 (Hague Conventions) 所禁止使用的毒性氣體 (toxic gases) 之內。實則第一次歐戰中所用催淚劑，大多數的毒性殆與許多致命毒氣 (lethal gases) 相等。關於催淚劑與致命毒氣的毒性之比較，可參閱上文第二表及第三表。

催淚毒氣應用之初，並無所謂防護。當時在尋常空曠地域所可遭遇之催淚劑的低濃度，僅有暫時性的催淚效應，無人認爲具有軍事上的功效，因此無人對其使用提出抗議。但當此等毒氣用之於戰場堡壘 (field fortifications)，較深戰壕 (deep trenches)，掩蔽部 (dugouts) 等關閉處所時，毒氣的蒸氣，可以聚集不散，而造成毒害濃度及嚴重傷害。第一次歐戰中所用的催淚劑，大多數均可在戰場造成毒害濃度，因此實係毒性氣體，而應在海牙協定禁用之列。

第一次歐戰中所用主要催淚劑，依其採用次序的先後，列於第三十三表。

從第三十三表看來，可知催淚劑分爲兩類。此兩類爲：(1) 單純催淚劑 (simple lacrimators)，即在尋常戰場濃度下，只能刺激眼部者；(2) 毒性催淚劑 (toxic lacrimators)，即在尋常戰場濃度下，不僅刺激眼部，且對身體其他部份具有毒害效應者。所有毒性催淚劑，除其催淚作用外，同時亦爲傷肺劑。氯化苦劑及二氯化苯肼兩物，其傷肺效應且較催淚效應爲顯著，故常劃入傷肺劑一類（參閱第七章）。

第三十三表 主要的催淚劑

催 淚 劑	首 先 採 用 者	最 切 採 用 年 月
單 純 催 淚 劑		
溴乙酸乙酯	法國	1914 年 8 月
溴化二甲苯	德國	1915 年 1 月
苯溴甲烷	德國	1915 年 3 月
溴丁酮	德國	1915 年 7 月
碘乙酸乙酯	英國	1915 年 9 月
苯碘甲烷	法國	1915 年 11 月
苯溴乙烷	法國	1918 年 7 月
苯氯乙腈	美國	戰後
毒 性 催 淚 劑		
氯丙酮	法國	1914 年 11 月
溴丙酮	德國	1915 年 7 月
碘丙酮	法國	1915 年 8 月
丙烯醛	法國	1916 年 1 月
氯氣苦劑*	俄國	1916 年 8 月
二氯化苯肼*	德國	1917 年 5 月

## 第一節 催淚劑的通性

催淚劑具有數種共同的性質，其最重要者為：

(1) 一切催淚劑，均具有刺激某種組織（即眼部）的威力，但無顯著傷害作用。其刺激作用為選擇性的（elective）及可逆的（reversible），僅限於刺激一種器官；且其所生刺激效應，在短時期內即行消失。

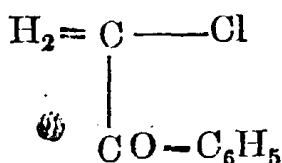
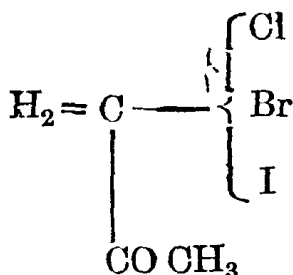
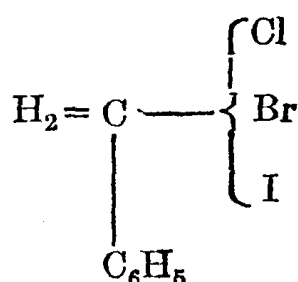
(2) 催淚劑開始發生刺激作用的濃度甚低；此即謂在極低的濃度，此類戰劑即可發生效力。例如每升空氣中含有一毫克之千分之幾，即可生效。其不可耐濃度，約為最有效的致死劑的不可耐濃度之千分之一。

\*（註 22）——凡有 \* 記號者，其主要作用為傷肺劑的作用。



(3) 催淚劑作用甚快；其所引起的生理效應，幾為立刻的（不及一分鐘）。由於眼皮肌肉之反應，受到此項影響者立即將眼閉攏。同時由於淚腺 (lacrimatory glands) 的反應，眼淚大量下流。

(4) 各種催淚劑的化學結構頗相近似。在其結構當中，以碳原子為中心，其上聯結一個鹵素原子及一個或幾個負性原子團 (negative group)；所謂負性原子團，其中所含氫原子，易為其他原子所替代。海得爾 (Hederer) 及埃丁 (Istin) 二氏（參考 15）引用雅卜教授 (Professor Job) 的意見，以下列幾種通式，表示各種催淚劑結構上的關係：



(5) 催淚劑大都為沸點高汽壓低的液體，故屬於不易揮發的持久性毒氣一類。

催淚劑雖均易溶於油脂及有機溶劑中，但皆不溶於水。當其與眼球及結膜 (conjunctiva) 的潮濕表面接觸時，並不為其水分所沖淡，而是迅速地為表皮表面 (epithelial surfaces) 所吸收。因此對於敏感的神經，立即產生一種刺激效應；由輕微的刺激感覺迅速地變為不可忍耐的刺痛，終至由肌肉的反應，將眼皮閉攏，並使眼淚分泌出來。因眼皮的閉攏，反應及淚液的過甚分泌，遂發生失卻視覺的現象。不過此種現象，尋常僅繼續至停止曝露後數分鐘為止；事後亦鮮有引起疾病或損傷者。

催淚劑一種顯著的共同特性，為其對於禽獸比較地難生效應。在第一次歐戰的早期，即已發覺對於人類具有激烈催淚作用的濃度，對於騾馬並無作用。有人曾用苯溴乙腈小心試驗，證明對狗須用一百倍的濃度，對馬須用一千倍的濃度，方能產生與對人類相等的催淚效應。人類與禽獸對於催淚劑的敏感性之此種巨大的差異，雖經戰場經驗及室內試驗予以證明，但迄今尚無令人滿意的解釋。

## 第二節 催淚劑各論

催淚劑雖在第一次歐戰中始終使用未停，但其使用，每因他種威力較大的毒氣之採用而愈受限制。上次歐戰中前後共用催淚劑六千噸，不及所用毒氣總量的百分之五。不過因其在極低濃度下即能發生效力，迫令敵人戴上面具，故雖有缺點，在戰爭中仍屬有用。此外催淚劑因其並無永久傷害作用，適於鎮壓暴動及制止內亂。自第一次歐戰以來，催淚劑在此方面的應用，已有日益增加之趨勢。

在第一次歐戰中，後來使用的催淚劑，威力遠勝於最初所用者。因此前者的重要性最大，尤以對於將來為然。但為追尋催淚劑發展的經過，及比較其各個的性質起見，茲特依其採用次序的先後，分別加以簡單的敘述。

### (A) 溴乙酸乙酯 ( $\text{CH}_2\text{Br COO C}_2\text{H}_5$ )

第一次歐戰時最初使用的毒氣，係溴乙酸乙酯 (ethyl bromoacetate)。1914年8月，法國首先用槍榴彈 (rifle grenades) 施放此種毒氣。同年11月，因溴的來源短少，法國毒氣槍榴彈，乃改裝氯丙酮（參考1）。

潘經 (Perkin) 及杜巴 (Duppa) 二氏，於1858年第一次製出溴乙酸乙酯。其法係將溴乙酸 (bromoacetic acid) 及乙醇 (ethyl alcohol) 同置於密閉管 (sealed tube) 中共熱。遠在第一次歐戰之前，此種化合物即已廣用於工業上，以製造其他化合物。其對於目部的激烈刺激效應，亦早為化學家所熟知。1912年，巴黎警察廳將其裝填於手擲炸彈 (hand bomb) 中，用以圍困罪犯，使其暫時失去抵抗能力，俾便於捕獲。此物易於製造與處理，且具有催淚性質，或即係其所以採用的原因。由於法國警察使用此種毒氣的成功，此物遂為法國軍隊所採用，用以裝填 26-毫米槍榴彈。

據德國專家考據（參考1及20），法國在第一次歐戰開始以前，確已製造大批裝填溴乙酸乙酯的槍榴彈。1914年8月，法國軍隊攜有三萬枚此

項槍榴彈至戰場，即於夏季用罄。法國方面，對此事則予以否認，並謂裝填溴乙酸乙酯的手擲炸彈，僅為警察所使用（參考 12）。不論法國是否曾於戰前製造毒氣槍榴彈，但法國軍隊於開戰數月後即使用裝填溴乙酸乙酯的槍榴彈，似為無可否認的事實。

據繆勒 (Mueller) 氏云（參考 21），溴乙酸乙酯的裝備法，所採反應的第一步，為乙酸（即醋酸）在有紅磷存在時的溴化 (bromination)。如此得出的溴乙酸，以乙醇酯化 (esterification) 之，即得溴乙酸乙酯。

溴乙酸乙酯，為一透明液體，其比重為 1.5，沸點為  $168^{\circ}\text{C}$ （即  $334.4^{\circ}\text{F}$ ），沸騰時並無分解現象。此物不溶於水。與水所起水解作用甚慢，與鐵亦不起作用。在生理方面，此物對於目部及鼻腔 (nasal passage) 的刺激性甚強；於每升空氣中含有 0.003 毫克的低濃度，即能引起流淚。其對於目部的不可耐濃度為每升 0.04 毫克。曝露十分鐘的致死濃度，為每升 2.30 毫克；故其毒性為氯氣的兩倍。其揮發度在  $20^{\circ}\text{C}$ （ $68^{\circ}\text{F}$ ）下為每升 21.00 毫克。因此其戰場濃度，幾可達致死濃度的十倍。

因溴的來源稀少，1914 年 11 月，溴乙酸乙酯即為氯丙酮所替代，以後亦未再用。故此物在第一次歐戰中的使用極屬有限。除其為第一次歐戰最初使用的毒氣以外，此物並不重要。

(B) 氯丙酮 ( $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{Cl}$ )

法名：童來特 (Tonite)

氯丙酮 (chloracetone) 的採用日期，為 1914 年 11 月。法國當時用以代替溴乙酸乙酯，裝填於手榴彈及槍榴彈內。氯丙酮係由丙酮 (acetone) 的直接氯化 (chlorination) 而得。此物為一透明液體，其比重為 1.16，沸點為  $119^{\circ}\text{C}$  ( $246.2^{\circ}\text{F}$ )，其蒸氣較空氣重 3.7 倍。氯丙酮僅能稍溶於水，遇水不起分解作用。但若儲藏過久，則此物本身有聚合成為一種生理效應不著的聚合物之趨勢。

氯丙酮具有一種刺鼻的臭味 (pungent odor)，頗似氫氰酸。在每升 0.018 毫克的濃度下，對於目部結膜 (conjunctiva) 即有催淚的效應。人類若曝露於每升 0.10 毫克的濃度下至一分鐘之久，即不能忍耐；曝露於每升 2.30 毫克的濃度下至十分鐘之久，即可致死。故此物的毒性，約與溴乙酸乙酯相等；惟其揮發度則遠較溴乙酸乙酯為大，故其尋常戰場濃度亦較高。

對於氯丙酮，碳的吸附能力甚大。雖舊式防毒面具 (gas masks)，對此

物亦可作適當的防護。兼以隨後證明溴丙酮係一較此物為佳的催淚劑；故至 1915 年，氯丙酮遂為溴丙酮及其他威力較大的催淚劑所替伐。在第一次歐戰中，僅有少量的氯丙酮曾經使用。是以此項毒氣，不過在毒氣戰爭的初期，佔有一種次要的地位。

(C) 溴化二甲苯 ( $C_6H_4CH_2CH_2Br$ )

德名：T-物質 (T-Stoff)

當德國從事尋覓威力較大的催淚劑之早期實驗時，即發現溴化物的威力，大都遠勝於其相當的氯化物；且因德國溴的來源不虞缺乏（法國及英國則不然），德國遂力謀溴化物的發展，俾能充作化學戰劑。溴化二甲苯 (xylyl bromide) 乃其最初發現可用的化合物。此項毒氣之第一次引用於戰爭，係於 1915 年 1 月 31 日，在波利莫夫 (Bolimow) 地方，用砲彈向俄軍發射。其在西方前線的第一次引用，則為同年三月在紐樸 (Nieuport) 地方用以攻擊英軍。此項砲彈之向俄軍發射，不獨為用砲彈發射毒氣的第一次\*，且為第一次歐戰中大規模施放毒氣的第一次；同年四月依迫 (Ypres) 地方有名的毒氣氣雲攻擊，猶在其後三個月。

溴化二甲苯的製備法，係將二甲苯 (xylene) 直接溴化，如此所得的產物，實係隣位 (ortho)，間位 (meta)，對位 (para) 三種異構二甲苯的溴化物之混合物。在純淨狀態下，三種溴化二甲苯均為淺黃色微帶黏性的液體；而二溴化二甲苯 (xylylene bromides) 則為固體。粗裝的『溴化二甲苯』，乃溴化二甲苯與二溴化二甲苯的混合物。用在作化學戰劑時，其形態為一種黑色的液體，比重為 1.4，沸點為  $210^{\circ}$ — $220^{\circ}C$  (即  $410^{\circ}$ — $428^{\circ}F$ )。沸騰時放出一種具有刺鼻芳香的蒸氣，頗類紫丁香花 (lilac) 的香味，其蒸氣密度，較空氣重 8.5 倍。溴化二甲苯侵蝕鋼鐵甚速，須盛於鉛製容器內，然後裝填於彈殼中。後來將彈殼用鉛及琺瑯 (enamel) 掛裏 (lining) 的方法試驗成功，防護彈殼的效力甚為滿意，遂無另用裏面的鉛製容器之必要。

溴化二甲苯，對於眼部結膜的刺激威力極大。在每升 0.00027 毫克的低濃度下，即可為感覺靈敏的人所察覺。其催淚濃度，則為每升 0.0018 毫

\* (註 32) ——嚴格言之，德國第一次在歐戰中使用的毒氣，為 3,3' 二甲氧基聯苯胺的氯磺酸鹽 (chlorsulfonate of ortho-dianisidin)。此物係一種固體粉末，用以裝填於 10.5 毫米榴霰彈 (shrapnel) 中鉛球之間。不過是項礮彈，僅於 1914 年 10 月 27 日在勒勿狹白 (Neuve-Chapelle) 地方試放一批。因結果不甚圓滿，此種材料遂被廢而不用。

克。曝露於每升 0.015 毫克的濃度下至一分鐘之久，人即不能忍耐。曝露十分鐘的致死濃度，為每升 5.60 毫克。故溴化二甲苯的催淚效應，雖較溴乙酸乙酯為強；其毒性則不過後者的一半。

溴化二甲苯之揮發度頗小（在 68° F 下為每升 0.60 毫克）故在低溫時效力不大。且此物易為防毒面具濾毒罐（canister）中活性炭所吸附，僅用面具即足資防護。因此兩種缺點及其對於金屬的侵蝕性，是以在 1917 年，此物即為揮發度較高威力較大的他種戰劑所替代。不過溴化二甲苯在毒氣戰爭歷史上仍佔一種重要的位置。德國前後發射此物約達五百噸。使用此物的結果，雖未能造成嚴重的傷害；但由此首先證明毒氣彈在戰術上的重要性，為使用威力強大的毒氣彈之先聲。

(D) 苯基甲烷 ( $C_6H_5CH_2Br$ )

德名：T-物質 (T-Stoff)；

法名：賽克來特 (Cyclite)。

第二種溴化物之為德國所引用者，為苯溴甲烷 (benzyl bromide)。此物學名，亦可書作『溴化甲苯』。其第一次使用，係於 1915 年三月在凡爾登 (Verdun) 地方。德國當時採用的目的，原在尋求一種揮發度較溴化二甲苯為大的物質，但結果在此方面並無顯著的改進。苯溴甲烷的揮發度，誠然大於溴化二甲苯，但其刺激效力，則較後者為小。法國亦曾使用此項毒氣，名之為『賽克來特』(Cyclite)。

苯溴甲烷，係用甲苯 (toluene) 直接溴化而得。其法與自二甲苯製備溴化二甲苯完全相同。純淨的苯溴甲烷，為一透明液體，其比重為 1.44，沸點為 201° C (393.8° F)。其蒸氣較空氣重 6.0 倍，具有類似水芹 (watercress) 的芳香嗅味。此物不溶於水，與水所起水解作用亦極慢。因其化學穩定性 (chemical stability) 頗大，汽壓頗低 [在 20° C (68° F) 下為 2.0 毫米水銀柱]，揮發度亦小（在 20° C 下為每升 2.4 毫克）故此物的持久性甚大。

苯溴甲烷雖確係一種眼部刺激劑，但其效力不及溴化二甲苯。其濃度達到每升 0.004 毫克以上，始呈刺激效應。其不可耐濃度，為每升 0.06 毫克。在更高的濃度下，此物亦能刺激鼻、喉、及氣管，引起流涎 (salivation)、惡胸 (nausea) 等現象。曝露十分鐘的致死濃度，為每升 4.50 毫克；溴化二甲苯則為每升 5.60 毫克。

苯溴甲烷與其他溴化物相似，對於鋼鐵具有侵蝕作用；故須裝於用鉛質或琺瑯質掛裏的容器內以保存之。此物用於戰爭上為時極短，為量亦少。蓋其刺激威力，遠不若其他化合物；其蒸氣又可完全為活性炭所吸附；而其製造所需的基本原料甲苯，復為製造高級炸藥所必需；是以用量不多。因此種種原因，此物之再度用作化學戰劑，殆屬難能。

(E) 溴丙酮 ( $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{Br}$ )

德名：B-物質 (B-Stoff)；英美符號：“BA”

法名：馬多里特 (Martonite)。

由溴化二甲苯改用苯溴甲烷的少許進步，德國認為不能滿足，因此隨即試用第三種溴化物（即溴丙酮）以求解決較易揮發的刺激劑問題。溴丙酮 (bromacetone) 一物，法國亦曾使用；惟用時係與 20% 的氯丙酮相混和，名之為馬多里特 (Martonit)。英國及美國亦曾使用此物，係用符號“BA”標示。此項化合物，乃係單純催淚劑 (pure lacrimators) 中使用最廣者。單就其裝填於發射彈中放出者而論，已在一千噸以上。其他用於手榴彈及槍榴彈等武器者，尚不在內。溴丙酮為與氯丙酮相當的溴化物，其製法完全相似，即由丙酮直接溴化而得。自性質上言，溴丙酮為一無色液體，其比重為 1.6，沸點為  $135^\circ\text{C}$  ( $275^\circ\text{F}$ )，其蒸氣較空氣重 4.7 倍。放置長久後，此物漸行分解，變成一種黑色樹脂狀物 (resinous mass)，同時放出氫溴酸 (hydrobromic acid)。故溴丙酮雖不溶於水內，亦不為水所分解，但仍為不穩定的化合物；以其在純淨狀態下亦能自行分解，有光與熱時，其分解尤速故也。

溴丙酮為第一次歐戰中所用效力最大的催淚劑之一。在每升 0.0015 毫克的低濃度下，即有刺激目部的效應，其不可耐濃度為每升 0.010 毫克；曝露十分鐘的致死濃度，為每升 3.20 毫克。故溴丙酮的毒性，係在溴乙酸乙酯（每升 2.30 毫克）與溴化二甲苯（每升 5.6 毫克）之間。

溴丙酮在  $20^\circ\text{C}$  ( $68^\circ\text{F}$ ) 下的汽壓，為 9 毫米水銀柱，其揮發度為每升 75.0 毫克。因其具有較高的揮發度，除催淚效能外，此物在戰場上常能造成毒害的濃度，故目下已將其劃入毒性催淚劑範圍之內。液體溴丙酮與皮膚接觸時，亦有起泡作用；雖其痊愈甚快，當時則極為痛苦。

在第一次歐戰中，德國僅於短時期內，用溴丙酮裝填砲彈（綠 T 字彈）及迫擊砲彈（B 式迫擊砲彈），此蓋由於丙酮在其他方面的需要日漸增加之故。英國亦曾於短時期內使用此物，嗣後即用效力較大的碘化物替代之。

法國及美國，則在第一次歐戰中，始終採用馬多里特 (Martonite) 混合劑 (即 80% 溴丙酮 + 20% 氯丙酮) 作催淚劑。惟自法國於 1918 年夏季開始使用效力較大的苯溴乙腈後，在戰事行將結束時，馬多里特 (Martonite) 混合劑的地位，正在迅速地為苯溴乙腈所取代。

(F) 溴丁酮 ( $\text{CH}_3\text{CO CH Br CH}_3$ )

德名：Bn-物質 (Bn-Stoff)

法名：高馬多里特 (Homomartonite)

1915 年夏季，因丙酮在製造無煙火藥 (smokeless powder) 及飛機蒙布噴漆 (dopes for airplane fabrics) 工業上用作溶劑的需要驟增，交戰雙方，均在尋覓溴丙酮的替代物。同年七月，德國採用溴丁酮 (brommethylethyl ketone)，法國隨即引用溴丁酮與氯丁酮 (chlormethylethyl ketone) 的混和物，名之為『高馬多里特』 (Homomartonite)，因此物化學成分及生理作用，與馬多里特 (Martonite) (即 80% 溴丙酮與 20% 氯丙酮的混和物) 至為相似故也。

由木材乾餾以製丙酮時，其副產品丙酮油 (acetone oil) 中，含有大量丁酮 (methylethyl ketone)。將丁酮直接溴化，即得溴丁酮。甫經蒸餾而得者，為一微黃色液體，不溶於水內，其比重為 1.43，沸點為  $145^\circ\text{C}$  ( $293^\circ\text{F}$ )。沸騰時稍行分解。其蒸氣較空氣重 5.2 倍。

溴丁酮的汽壓，在  $14^\circ\text{C}$  ( $57.2^\circ\text{E}$ ) 下為 1.5 毫米水銀柱。其在  $20^\circ\text{C}$  下的揮發度，為每升 34.0 毫克。故其持久性較溴化二甲苯為小。溴丁酮與其他溴化物相似，對鋼鐵有侵蝕作用，須用掛有鉛裏或瓷裏的容器以儲藏之。

溴丁酮為一種強烈催淚劑，其威力較苯溴甲烷為大，僅次於溴丙酮。其他性質，則完全與溴丙酮相似。溴丁酮的最小催淚濃度，為每升 0.0126 毫克；不可耐濃度，為每升 0.016 毫克；曝露十分鐘的致死濃度，為每升 2.00 毫克。因其毒性及揮發度均高，此物在戰場上可造成毒害濃度 (toxic concentration)，故屬於毒性催淚劑一類。

總之，溴丁酮之用作化學戰劑，其效力不及溴丙酮，其所以替代溴丙酮者，純因丙酮來源困難之故。

(G) 碘丙酮 ( $\text{CH}_3\text{CO CH}_2\text{I}$ )

法名：蒲悅同里特 (Bretonite)

法國及英國因感覺溴的缺乏，乃致力於與德國所使用的溴化物相當之碘化物的研究。結果在 1915 年後半年，有三種碘化物（即碘丙酮、碘乙酸乙酯、及苯碘甲烷）出現於戰場。此類碘化物，其刺激及毒害效應，一般說來，均勝於其相當的溴化物，但化學穩定性則較差。

最初使用的碘化物為碘丙酮 (iodoacetone)，法國於 1915 年八月，用以裝填於砲彈內而發射之。

碘丙酮，係將氯丙酮用碘化鈉 (sodium iodide) 或碘化鉀 (potassium iodide) 的乙醇溶液處理而得。剛剛裝出時，此物為一透明的微黃色液體，其比重為 1.8，沸點為  $102^{\circ}\text{C}$  ( $215.6^{\circ}\text{F}$ )。與空氣接觸即變為褐色。碘丙酮遇熱，較溴丙酮為易於分解。如放置約一星期，則變為對稱 1,3 二碘丙酮 (symmetrical diiodoacetone)。碘丙酮的蒸氣，具有顯著的刺鼻嗅味。其催淚威力，與溴丁酮（每升 0.120 毫克）相等。其毒性則較任何其他鹵化酮 (halogenated ketones) 為強。

碘丙酮僅在一短時間內為法國所使用。在 1915 年年終時，即為苯碘甲烷所替代。美國亦曾製造碘丙酮，但未嘗用之於戰場，其所用者，乃係威力較大的碘乙酸乙酯。

(H) 碘乙酸乙酯 ( $\text{CH}_2\text{I COO C}_2\text{H}_5$ )

英國符號：“SK”

1915 年 9 月 24 日羅斯 (Loos) 之役，英國首先採用碘乙酸乙酯 (ethyl iodoacetate) 作為 4.2 英寸榴彈砲砲彈 (horvitzer shell) 的裝填物。其後此物復用於裝填 4 英寸司托克迫擊砲砲彈 (4-in Stokes-mortar bombs) 及手榴彈，並成為第一次歐戰中英國的標準催淚劑。

碘乙酸乙酯的製法，與碘丙酮相似，亦係任其相當的氯化物（氯乙酸乙酯）與碘化鉀在酒精溶液中起複分解作用 (double decomposition) 而得。碘乙酸乙酯為一無色油狀液體，其比重為 1.8，沸點為  $180^{\circ}\text{C}$  ( $356^{\circ}\text{F}$ )。在空氣中，此物迅速地變成褐色，同時放出碘素。在  $20^{\circ}\text{C}$  ( $68^{\circ}\text{F}$ ) 溫度下，其汽壓為 0.54 毫米水銀柱；其揮發度為每升 3.1 毫克。在化學上，此物稍較碘丙酮為安定，但仍易於分解。對於鋼鐵，此物並無侵蝕作用。用以裝填發射彈時，無須用掛裏以資保護，此點與溴化物不同。

碘乙酸乙酯的刺激性及催淚性極強，毒性亦頗大。其最低催淚濃度，為每升 0.0014 毫克；不可耐濃度，為每升 0.015 毫克；曝露十分鐘的致死濃



度，爲每升 1.5 毫克。其刺激、催淚、及毒害效應，均較第一次歐戰中前此所用的任何催淚劑爲強。其毒性約爲光氣的三分之一。但其揮發度甚低，在戰場上不能造成致死濃度。爲增加其揮發度起見，常用乙醇沖淡，然後裝填於發射彈中。

碘乙酸乙酯，雖爲上次歐戰中威力最大的催淚劑之一，但英國採用此物，實出於不得已。蓋因溴的來源感覺缺乏，碘則可大量取給於南美洲之故。目下碘的價值頗高，來源稀少，又有威力更大的催淚劑可資利用，是以碘乙酸乙酯，將來實不宜再度用作化學戰劑。

(I) 苯碘甲烷 ( $C_6H_5CH_2I$ )

法名：福銳息特 (Fraissite)

苯碘甲烷 (benzyl iodide)，亦稱碘化甲苯，爲第一次歐戰中所用三種碘化物之最後一種。因丙酮感覺缺乏，1915 年 11 月，法國首先採用苯碘甲烷以代替碘丙酮。法國引用此物的目的，與德國採用苯溴甲烷相同。苯碘甲烷，係由苯氯甲烷與碘化鉀在乙醇溶液中起複分解作用而得。此物爲一白色晶體，其熔點爲  $24^{\circ}C$  ( $75^{\circ}F$ )，沸點爲  $223^{\circ}C$  ( $438^{\circ}F$ )，沸騰時，即完全分解。此物比重爲 1.7，不溶於水內，儲藏時極易分解。

苯碘甲烷的催淚效力，爲苯溴甲烷之二倍。其最低刺激濃度，爲每升 0.002 毫克；不可耐濃度，爲每升 0.03 毫克；曝露十分鐘的致死濃度，爲每升 3.00 毫克。其揮發度在  $20^{\circ}C$  下爲每升 1.2 毫克，僅及苯溴甲烷之半。因此在戰場上使用苯碘甲烷與苯氯甲烷等量混和劑，名爲福銳息特 (Fraissite)。

苯碘甲烷雖較碘丙酮爲佳，但其使用的時期亦短。在 1916 年，即爲丙烯醛所替代。除碘乙酸乙酯外，僅有少量的碘化物在短時期內曾爲協約國所採用。當時因溴素缺乏，乃以之作爲一種暫時的補救，但隨即爲其他效力較大的物質所取代。

(J) 丙烯醛 ( $CH_2=CH-CHO$ )

法名：迫披特 (Papite)

1916 年一月，法國首先採用丙烯醛 (acrolein) 以作手榴彈及砲彈的裝填物，意在獲得一種有效的催淚劑，而不需要溴及丙酮作爲製造的原料。丙烯醛的製備，係用硫酸氫鉀 (potassium bisulfate) 或結晶硫酸鎂 (magnesium sulfate) 爲催化劑 (catalyst)，將甘油 (glycerine) 蒸餾任其脫水

(dehydration) 而成。

剛剛製出的丙烯醛，爲一澄清黃綠色液體，具有刺鼻臭味。其任  $15^{\circ}\text{C}$  下的比重爲 0.84，沸點爲  $52^{\circ}\text{C}$  ( $125.6^{\circ}\text{F}$ ) 其蒸氣較空氣重 1.9 倍。此物甚不穩定，易於氧化成丙烯酸 (acrylic acid)。即不與空氣接觸，此物經放置後，亦漸起聚合作用而成貳聚丙烯醛 (disacryl) 或丙烯醛膠 (acrolein gum)。後者爲一毫無刺激效應的膠狀物質。

爲防止丙烯醛的聚合作用起見，法國曾加上 5% 的硝酸異戊酯 (amyl nitrate) 作爲安從劑。但該物只能阻止其聚合爲貳聚丙烯醛，而不能阻止丙烯醛膠的造成，故其功效甚微。

丙烯醛爲一頗強的催淚劑及呼吸系統刺激劑；其對於目部及喉部的效應亦同時發生。在較高濃度下，此物並係一種傷肺劑。在每升 0.007 毫克的低濃度下，即能發揮催淚效應，並對呼吸器官的結膜及黏膜 (mucous membrane) 發生激烈的刺激。此物的不可耐濃度爲每升 0.05 毫克，曝露十分鐘的致死濃度，爲每升 0.35 毫克。丙烯醛既具有毒害效應，故屬於毒性催淚劑一類。因其化學穩定性極差，此物並非第一次歐戰中成功的化學戰劑之一。在化學戰爭中，亦永不能佔有重要的位置。

(K) 氯化苦劑 ( $\text{Cl}_3\text{C}-\text{NO}_2$ )

法名：阿貴里阿 (Aquinite)

德名：克羅卜 (Klop)

英美符號：“PS” 及 “NC”

氯化苦劑 (chloropicrin)，學名三氯硝基甲烷 (trichloronitromethane)。在每升 0.002 毫克的低濃度下，此物即有催淚效應。其不可耐濃度，爲每升 0.05 毫克；曝露十分鐘的致死濃度，爲每升 2.00 毫克。氯化苦劑爲一催淚劑兼傷肺劑。因其傷肺效應遠較催淚效應爲顯著，通常將其列入傷肺劑一類。故此物將於第七章論及傷肺劑時敘述之。

(L) 二氯化苯肼 ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{NC Cl}_2$ )

二氯化苯肼 (phenylcarbylamine chloride) 爲一催淚劑兼傷肺劑。其最低催淚濃度爲每升 0.003 毫克，介乎苯溴甲烷 (每升 0.004 毫克) 與苯碘甲烷 (每升 0.002 毫克) 之間。不可忍耐至一分鐘以上的濃度，爲每升 0.025 毫克；曝露十分鐘的致死濃度爲每升 0.05 毫克。因其毒氣性能的重要遠過於其催淚效應，通常將其列入傷肺劑一類，因此將於第七章中討論

之。

(M) 苯溴乙腈 [ $C_6H_5CH(Br)CN$ ]

法名：卡米特 (camite)； 美國符號：“CA”

苯溴乙腈 (bromobenzyl cyanide)，亦稱氰溴化甲苯，\*為第一次歐戰中最後使用而效力實係最強的催淚劑。1918 年七月，法國首先採用此物。同時美國亦採用之作爲標準催淚劑；並於是年秋，開始在其（美國）國內製造此物。

苯溴乙腈，最初係於 1881 年爲來勒 (Reimer) 氏所製備。其法即將苯乙腈 (phenyl cyanide) 直接溴化而得。其在工業上的製造，則於 1914 年開始。工業上製造此物，分爲三個步驟：(1) 將甲苯氯化，以製苯氯甲烷 (benzyl chloride)；(2) 任苯氯甲烷與氰化鈉 (sodium cyanide) 在乙醇溶液中起作用，以得苯乙腈；(3) 任苯乙腈與溴的蒸氣在日光下起作用，即得苯溴乙腈。

純淨的苯溴乙腈，爲一黃白色晶體；在  $25^{\circ}C$  ( $77^{\circ}F$ ) 下，熔化成爲褐色油狀液體，其比重爲 1.47，沸點爲  $225^{\circ}C$  ( $437^{\circ}F$ )。曝露於空氣中，除最初略起分解外，在尋常溫度下頗爲穩定；惟存儲過久，仍漸行分解。熱至  $150^{\circ}C$  ( $320^{\circ}F$ ) 以上，則其分解極爲迅速。此能溶於水內，在水中分解極慢。此外此物並極易溶解於光氣，氯化苦劑，及苯乙腈等物質中。在  $20^{\circ}C$  ( $68F$ ) 下，其汽壓爲 0.012 毫米水銀柱，揮發度爲每升 0.13 毫克。在空曠處，其持久性約爲三日，在樹林中約爲七日，在地裏 (in the ground) 則爲十五至三十日。此物與其他溴化物相似，亦能侵蝕鋼鐵，只能盛於掛有玻璃、瓷、或琺瑯等裏子 (lining) 的容器中。

苯溴乙腈，具有類似變酸果實之嗅味。在生理上能使黏膜 (mucous membrane) 發生燒灼般的感覺。對於目部具有嚴重的刺激及催淚作用；同時並能引起前額劇烈疼痛。就催淚效應而論，此物威力爲溴丙酮的七倍。苯溴乙腈的濃度爲一萬萬分之一（即每升 0.000087 毫克）時，即可察覺。在每升 0.00015 毫克的濃度下，對於目部即有刺激作用；在每升 0.0003 毫克的濃度下，即發生催淚效應。其不可耐濃度，爲每升 0.0008 毫克；曝露三

\* (註 24) ——編譯者按，Bromobenzyl cyanide 一物，普通多譯爲『氰溴甲苯』。此名有令人誤會其化學結構之可能，不若『苯溴乙腈』一名爲正確。故在本書中特予改正。

十分鐘的致死濃度，為每升 0.90 毫克。因其毒性較光氣為小，其揮發度亦較低，故在戰場上不能造成毒害濃度。

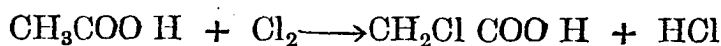
苯溴乙腈雖為第一次歐戰中威力最大的催淚劑，但有三種重要的缺點：(1) 此物侵蝕鋼鐵，須裝填於掛有特殊裏子的容器中；(2) 在化學上此物不甚穩定，於儲藏中漸行分解；(3) 此物對於加熱甚為敏感，因此殊難用於砲彈中。如所裝爆裂藥 (bursting charge) 不能減至極小量，則爆炸時，此種化學裝填物將因分解而致損失。另外尚有一種缺點，即此物在泥土中具有極大的持久性。故自戰術觀點言之，苯溴乙腈在將來應用的可能性，似甚有限。

(N) 苯氯乙酮 ( $C_6H_5CO CH_2Cl$ )

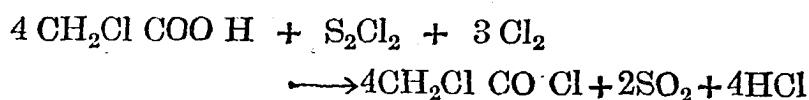
美國符號：“CN”

因苯溴乙腈在使用時有不少的困難，第一次歐戰將終時，美國乃開始研究苯氯乙酮 (chloroacetophenone) 是否適於用作化學戰劑。苯氯乙酮係 1869 年德國化學家格拉伯 (Graebe) 氏所發現。格氏並述及此物蒸氣對於目部的劇烈效應。上次大戰時，研究此物的時期太短，製造又感困難，故此物未及應用。戰事結束後不久，美國專家即確信此物為一優越的催淚劑。並將其製造方法圓滿地研究出來。該項方法，可分為下列幾步：

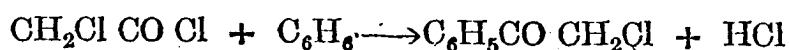
(1) 將乙酸氯化，製出一氯乙酸 (monochloroacetic acid) 其反應為：



(2) 任所得一氯乙酸與一氯化硫 (sulfur monochloride) 及氯氣起作用，而生氯乙醯氯 (chloroacetyl chloride)，其反應為：

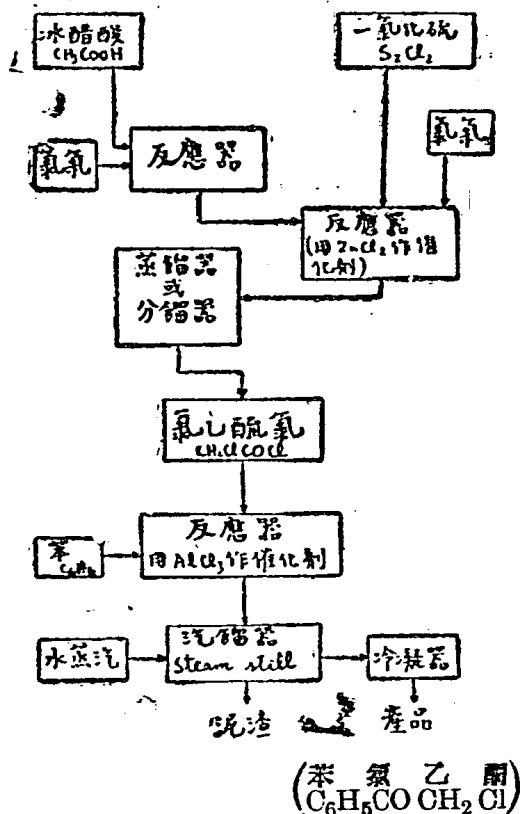


(3) 在有無水氯化鋁 (anhydrous aluminum chloride) 存在時，用苯處理氯乙醯，即得苯氯乙酮 (參看第十六圖)。



苯氯乙酮與第一次歐戰中所用各種催淚劑不同，並非液體，而是一種固體；其對於熱及潮濕的抵抗力特大。對於鋼鐵及其他金屬並無侵蝕作用，故可直接裝填於發射彈中，用澆入法 (casting) 或壓裝法 (pressing) 均可，對於操作工人皆無危險。

第十六圖 製造苯氯乙酮的程序圖表



純淨的苯氯乙酮，為一無色晶體，其比重為 1.3，熔點為  $59^{\circ}C$  ( $10^{\circ}F$ )，沸點為  $247^{\circ}C$  ( $476^{\circ}F$ )。其蒸氣在低濃度下具有類似蘋果花 (apple blossoms) 之香嗅。在  $26^{\circ}C$  ( $68^{\circ}F$ ) 下，其汽壓甚低，不過 0.013 毫米水銀柱，其揮發度為每升 0.106 毫克。

苯氯乙酮，僅略溶於水內，亦不為水所分解。沸騰時亦不起分解作用，故可蒸餾。並可在熔融狀態下澆入彈內，使裝填手續大為便利。此物亦不受高級炸藥爆炸的影響，可與等量的炸藥混合裝填。

苯氯乙酮的催淚威力，約與苯溴乙腈相等。在每升 0.0003 毫克的濃度下，即有催淚效應。其不可耐濃度，為每升 0.0045 毫克；曝露十分鐘的致死濃度，為每升 0.85 毫克。

除催淚效應外，苯氯乙酮亦為一種上部呼吸過道 (upper respiratory passage) 的刺激劑。在高濃度下，且可刺激皮膚，使起發燒及發癢的感覺；尤以身體中潮濕部份為甚。此種效應，與日炙 (sun burn) 極為相似，毫無損傷；且在數小時內即行消失。

苯氯乙酮，固可藉炸藥爆炸的力量作有效的分散；然尚有一種更屬有效

的方法，即係利用燃燒所生的熱，將其蒸入空氣中。例如將一份苯氯乙酮與三份研細的無煙火藥密切混和，則燃燒時可得極有效的分散，且無爆炸現象。此種混和劑，用於手榴彈、槍榴彈、迫擊砲彈、及砲彈，所得效果均佳。此物儲藏時至為穩定。曝露於空氣中，非經點燃，亦絕不起化學變化。

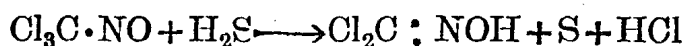
● 苯氯乙酮，易溶於有機溶劑內，故常以溶液狀態裝填於手榴彈及砲彈中。迄今曾經用過的溶液，計有三種，即：(1) CNB，由苯氯乙酮 (CN)，苯、及四氯化碳所組成；(2) CND，由苯氯乙酮與 1,2 二氯乙烷 (ethylene dichloride) 所組成；(3) CNS，由苯氯乙酮、氯仿 (chloroform)、及氯化苦劑所組成。

因其揮發度殊低，苯氯乙酮在施放後，常形成氣態氣雲；但在高濃度及低溫下，則可形成煙雲（固體微粒）。成煙雲狀態時，不與防毒面具的濾毒罐中所裝活性炭起作用，故須於濾毒罐中加裝一種機械濾煙層 (mechanical smoke filter)，以資防禦。

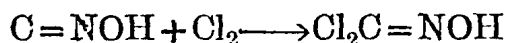
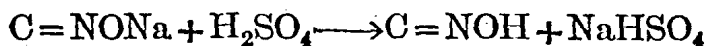
苯氯乙酮，除在正式戰爭中應用外，作為部隊毒氣訓練之用，極為適宜。其制止暴動鎮壓內亂的價值亦大；使用時既屬簡便安全，遭受者亦無釀成傷害的危險。

#### (O)△二氯甲脞肟 (Cl<sub>2</sub>C : NOH)

二氯甲脞肟 (dichloroformoxime)，簡稱光氣肟 (Phosgeneoxime)，係 1929 年由德人卜饒推兒 (Wilhelm Praudtl) 與孫勒瓦德 (Kurt Sennewald) 首先製備；乃由亞硝基三氯甲烷 (nitroso-trichloromethane) 還原而得。在亞硝基三氯甲烷的乙醇溶液中，用硫化氫或鋁汞膏 (amalgamated aluminium) 還原，均可製出此物。其反應如下：



又據貝克巴賀 (Lothar Birkenbach) 與孫勒瓦德 (Kurt Sennewald) 的研究，於 0°C 時通氮入硫酸溶液中，同時繼續注入雷酸鈉 (sodium fulminate) 溶液，亦可製得二氯甲脞肟。其反應為：



上列各法製得的產品，在平時溫度，均為無色晶體，係單斜系短柱狀的結晶。熱至 39—40°C 即熔融。在尋常溫度，即具有極大的蒸汽壓。貯藏於瓶

中，瓶壁常積有白色物，即由其昇華而得。液態二氯甲醛肟的沸點，在常壓為  $129^{\circ}\text{C}$ ，沸騰時不起分解。壓力為 28 毫米水銀柱時，其沸點為  $53-54^{\circ}\text{C}$ 。

二氯甲醛肟能溶於水及有機溶劑中，具有令人極度難忍的臭味。對於鼻腔與眼角膜有強烈的刺激作用，故為極有希望的催淚劑。如吸入此物的蒸氣，亦可令人中毒，其潛伏期 (latent period) 為 24 小時。此物可溶於皮膚中，故皮膚遇之即感灼燒而起泡，且疼痛難忍，為時甚長，其治愈亦甚緩慢。至其毒性與不可耐界，目下尚無精確的測定。因而其究應列入何類，亦未肯定解決。<sup>△</sup>

### 第三節 各種催淚劑威力的比較

某一催淚劑的攻擊威力 (aggressive power) 乃其催淚率 (specific lacrimatory power) 及其在尋常溫度 ( $65^{\circ}\text{F}$ ) 的揮發度之函數。催淚率，以產生催淚效應所需的最低濃度表示之。以此項常數作為標準，可將上述各種催淚劑，按照其攻擊威力依次排列如第三十四表。

第三十四表 各種催淚劑威力的比較

戰 劑	最低催淚濃度*毫克/升	在 $20^{\circ}\text{C}$ ( $68^{\circ}\text{F}$ ) 下的揮發度, 毫克/升
苯溴乙腈	0.00015	0.1300
苯氯乙腈	0.0003	0.1060
碘乙酸乙酯	0.0014	3.1000
溴丙酮	0.0015	75.0000
溴化二甲苯	0.0018	0.6000
氯化苦劑	0.0020	165.0000
苯碘甲烷	0.0020	0.0012
溴乙酸乙酯	0.0030	21.0000
二氯化苯腈	0.0030	2.1000
苯溴甲烷	0.0040	0.0024
丙烯醛	0.0070	20.0000
溴丁酮	0.0126	34.0000
氯丙酮	0.0180	0.1200
碘丙酮	0.0120	0.0031
二氯甲醛肟	—	—

\* (註 25) —— 最低催淚濃度，亦稱『作用門檻』(threshold of action)。

## 第四節 催淚劑的毒性

第一次歐戰中所用各種催淚劑的毒性，已於第一章述及。下列之第三十五表，乃以曝露十分鐘為標準，將各種催淚劑相對的毒性依次排列而得。

第三十五表 催淚劑的毒性

戰	劑	曝露十分鐘的最低致死濃度 (毫克/升)
	丙烯醛	0.35*
	苯溴乙腈	0.35
	二氯化苯腈	0.50*
	苯氯乙腈	0.85
	碘乙酸乙酯	1.50*
	碘丙酮	1.90
	氯化苦劑	2.00*
	溴丁酮	2.00*
	溴乙酸乙酯	2.30*
	氯丙酮	2.30
	苯溴甲烷	3.00
	溴丙酮	3.20*
	苯溴甲烷	4.50
	溴化二甲苯	5.60
	二氯甲醚醇	—

在此表中，凡加有 \* 記號的化合物，其在 20°C (68°F) 下的揮發度，均大於其最低致死濃度，故於尋常溫度下可在戰場上造成致死濃度。同時並應注意，即揮發度小於最低致死濃度的化合物（即未加有 \* 記號者），若曝露時間相當增長，雖濃度較小，亦同樣地具有致死效應。故在戰壕、掩蔽部、及樹林等處，此類戰劑能支持至十分鐘以上時，則此類化合物，仍可收致死效果。

上列一切催淚劑，其毒性均較氯氣為強；其中丙烯醛及苯溴乙腈的毒



性，甚至較光氣為大。不過苯溴乙腈的揮發度頗低，在戰場上，不能造成致死濃度。

### 第五節 催淚劑的將來

催淚劑將來在戰爭中的地位，頗難預斷。此類戰劑的優點，在於祇需極小份量，即可迫令敵人戴上面具，藉以減低其戰鬥力。在另一方面，此類戰劑，並不能造成真正傷害，且防護甚易；此則為其缺點。因此催淚劑將來勢難應用於一等強國間之戰爭；因在是項情形下，雙方軍隊均有適當的防護設備故也。但因催淚劑對於毫無防護的部隊甚為有效，將來在小規模戰役中，或將用以對付缺乏組織及半開化的民族。至於鎮壓暴動及制止內亂，則此類戰劑至為適宜，將來仍將在此方面繼續使用，自屬無可疑義。

關於主要催淚劑的性質之摘要，參閱本編末所附的第四十二表。

### 研習問題

- (一) 催淚劑之通性為何？何謂單純催淚劑？何謂毒性催淚劑？
- (二) 試寫出製造溴乙酸乙酯及碘乙酸乙酯的化學反應式。
- (三) 在第一次歐戰中，德國所用的催淚劑何以多為溴化物？
- (四) 乾餾木材，可得製造那幾種化學戰劑的原料？
- (五) 溴丁酮的效力不及溴丙酮，第一次歐戰時，德國何以採用前者作為後者之代替品？
- (六) 試比較溴化物與碘化物用作催淚劑的優劣。
- (七) 試寫出製造苯溴乙腈的化學反應式。
- (八) 苯溴乙腈的主要缺點為何？試從戰術觀點，估計其在現代戰爭中的地位。
- (九) 試列舉苯氯乙酮的優點。
- (十) 試根據製備上的條件，估計二氯甲醛肟在現代化學戰爭中的地位。

### 閱讀書目

- (一) "Chemical Warfare School Texts", The Chemical Warfare School, Edgewood Arsenal, Maryland. (latest rev.) Book II. Chapter III, Section VIII. and IX.

---

(二) 劉泰庠譯：——毒氣化學各論，第四(B)、五、六、七、八章。

(三) 吳沆編：——化學戰爭，商務印書館發行，第三章。

## 第七章 傷肺劑

### 第一節 傷肺劑的通性

傷肺劑 (lung injurants), 亦稱窒息氣 (suffocating gases) 或窒息劑, 為出現於第一次歐戰中的第二類戰劑。屬於此類的戰劑, 具有幾種共同的特性, 確是自成一類; 因此德國稱此類戰劑為綠十字物質 (Green cross substances)。一般言之, 傷肺劑均係沸點低汽壓高的液體; 脫離容器後, 形成暫時性毒氣。在生理上, 其主要作用, 為傷害體內肺部系統 (pulmonary system), 結果使流質自血液流入肺部的微小肺胞 (minute air sacs), 以致防礙氧氣對於血液的供給。由此類物質致死者, 好比溺死的人一般; 不過在此項情形下, 乃是被自己血管中流入肺部的水所溺斃。

傷肺劑在尋常戰場濃度下皆為致命的毒劑, 其共同性質如下:

(1) 有效的作用門檻 (threshold of useful action) 頗高; 每升空氣中需含一毫克至十毫克 (視戰劑種類而異), 方纔開始有效。

(2) 短時間的曝露, 即能發生效力。在尋常戰場濃度下, 僅需時數分鐘, 即可致人於死或令人重傷。

(3) 此類戰劑所引起的生理效應, 彼此相似, 計包含下列數種:

(a) 對於呼吸系統 (鼻、喉、及氣管) 黏膜的刺激效應。

(b) 肺部組織的特殊變化 (傷害)。

(c) 隨肺部組織變化而起的副作用, 主要地在血液內氣體的成分 (composition of the blood gases) 及循環系統 (circulatory system) 兩方面。

(4) 生理效應, 並非即刻顯出。致死或重傷, 通常發生於曝露後一至二小時。

以化學及生理上的觀點為根據, 傷肺劑可分為兩大類, 即: (1) 單純傷肺劑 (simple lung injurants); 及 (2) 毒性傷肺劑 (toxic lung injurants)。前者包含氯氣本身及氯的衍生物, 其作用僅限於肺部系統。後者為砷的衍生物; 因含有砷, 故除傷肺外, 並具中毒效應 (systemic poisoning effect)。

第一次歐戰中所用的主要傷肺劑，依其出現的先後，列於第三十六表。

第三十六表 主要的傷肺劑

戰	劑	首先採用者	最初採用日期
	單 純 傷 肺 劑		
	氯氣	德國	1915年4月22日
	氯磺酸甲酯	德國	1915年6月
	氯磺酸乙酯	法國	1915年6月
	氯甲酸一氯甲酯	德國	1915年6月18日
	硫酸二甲酯	德國	1915年8月
	氯化三氯甲酯	法國	1915年9月
	光氣	德國	1915年12月19日
	氯甲酸三氯甲酯	德國	1916年5月19日
	氯化苦劑	俄國	1916年8月
	二氯化苯腈	德國	1917年5月
	二氯二甲酯	德國	1918年1月
	二溴二甲酯	德國	
	毒 性 傷 肺 劑		
	二氯化苯腈	德國	1917年9月
	二氯化乙腈	德國	1918年3月
	二溴化乙腈	德國	1918年9月

## 第二節 傷肺劑各論

(A) 氯素 (Cl<sub>2</sub>)

法名：柏作來特 (Bertholite)

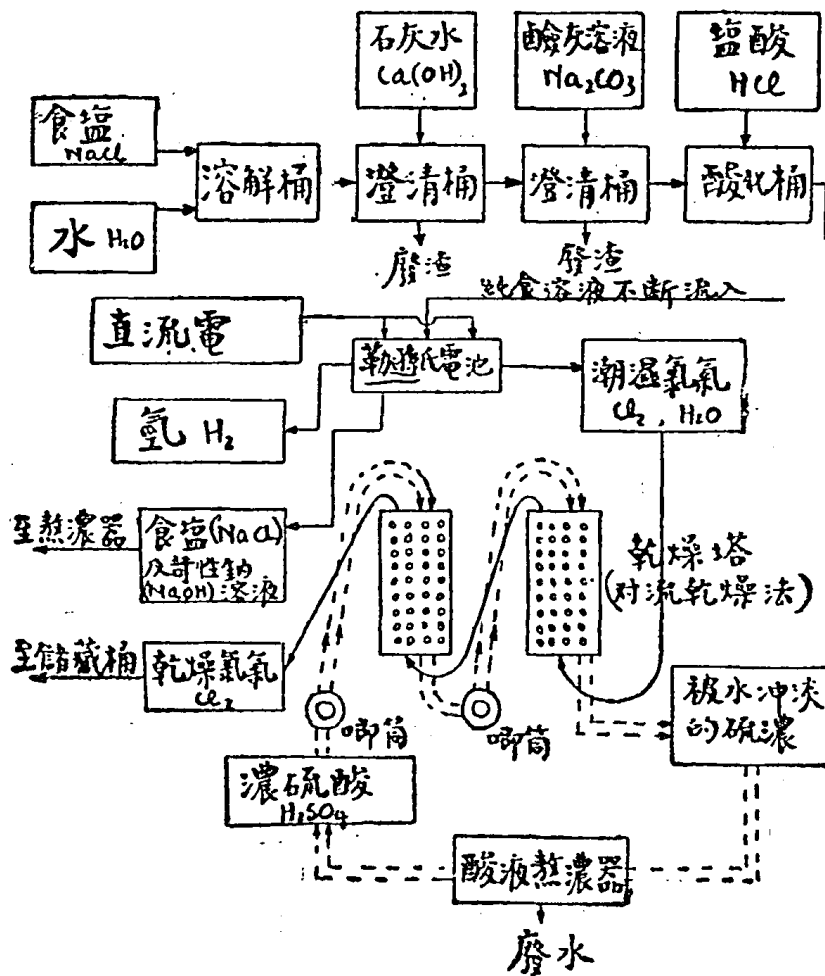
氯素 (chlorine) 為第一次歐戰中最初發揮效力的毒氣，1915年4月22日，德國在比利時的依迫 (Ypres) 地方，首次用以攻擊英法殖民部隊 (colonial troops)。該次在六公里長的前線，一共使用吹放瓶 (cylinder) 5,730 隻，氯氣 168 噸，其有效距離達順風五公里處，死傷共達一萬五千人。

之多，其中死者約有五千人，

在第一次歐戰中，氯氣為用作氣雲吹放攻擊 (cloud-gas attack) 的主要毒氣。最初當協約國方面毫無防護準備時，氯氣為一極有效的武器，死傷輒以千計。嗣後作戰部隊備有防毒面具，氯氣的效力因之大減。但其與光氣及氯化苦劑等物的混和劑，仍始終使用於第一次歐戰中。

在尋常溫度及壓力下，氯素為一黃綠色氣體，具有刺鼻臭味及腐蝕性毒害效應。在尋常溫度 (70° F) 下，稍加壓力 (約六氣壓) 即行液化。液態氯素的比重為 1.46，氣態氯素則較空氣重 2.5 倍；故施放後所成氣雲順風移動時，每緊附於地面。一升液態氯素，在 25° C 下，可產生氣態氯素 434 公升。氯素沸點為 -33.6° C (-28.5° F)，在尋常溫度下立即氣化，自容器內奔放而出。故將其裝盛於吹放瓶以施行氣雲吹放攻擊，甚為適宜；此亦即其在第一次歐戰中使用的主要方式。

第十七圖 電解法製造氯氣的程序圖表



氯素係由食鹽的電解而得；其製造程序如第十七圖所示。此物在工業上用途甚廣，需量亦多。如有水份存在，其化學性異常活潑，幾乎能與所有金屬及有機物化合。此乃氯素用作化學戰劑的主要缺點，因其極易為他物所消除故也。氯素雖極易溶解於水內，但不易起水解作用。在絕對乾燥時，氯素並不侵蝕鋼鐵，可以永久儲藏於此等容器中。

氯素雖屬於傷肺劑一類；但對於鼻、喉頭 (larynx)、及咽喉 (pharynx) 的黏膜及結膜，亦有顯著的刺激作用。

關於氯素對於人體的生理作用，吉爾客瑞斯特 (Gilchrist) (參考 '22, p. 6) 曾有下列的敘述：

氯素對於人及其他動物的生理效應，其步驟可概括如下：——

(1) 刺激感覺神經 (sensory nerves)，並引起支氣管肌肉壁 (muscular walls of the bronchi) 的劇烈疼痛及痙攣 (spasm)，以致支氣管道 (lumen) 縮小，並發生氣喘 (gasp) 現象。肌肉的痙攣旋即鬆弛，呼吸又變較易。

(2) 因此種毒氣的刺激，遂有一種發炎的滲出物 (exudate) 分出，以阻礙支氣管。

(3) 肺泡因液體的迅速注入而致氾濫，結果形成肺水腫症 (edema)，以致阻礙呼吸。

(4) 不斷的咳嗽，引起肺及皮下組織 (subcutaneous tissues) 的氣腫 (emphysema)，以及多數肺細胞的破裂，結果使空氣侵入肺部組織及頸部組織，妨礙正常呼吸。造成窒息或氣絕的現象。

氯氣之曝露三十分鐘的致死濃度，為每升 2.53 毫克；其曝露十分鐘的致死濃度，為每升 5.6 毫克。

氯素具有攻擊用毒氣之戰術的及技術的條件多項 (見第二章第三節)，即：——

(1) 毒性頗強 (曝露於每升 5.6 毫克的濃度下十分鐘，即可致死)。

(2) 暫時性 (空曠處祇可支持 5 至 10 分鐘)。

(3) 即效性 (曝露數分鐘即顯效應)。

(4) 揮發度極大 (每升 19,369 毫克)。

(5) 製造原料，用之不竭。

(6) 製造容易。

(7) 化學性穩定 (在完全乾燥狀況下)

- (8)不起水解作用。
- (9)不為爆炸震動 (shock of explosion) 所分解。
- (10)沸點低 ( $-34.6^{\circ}\text{C}$ , 即  $-30.3^{\circ}\text{F}$ )。
- (11)汽壓高。
- (12)比重等於 1.4。
- (13)蒸氣密度大 (為空氣的 2.5 倍)。

至此物的主要缺點,則為其化學性過於活潑 (當有水分存在時),防護甚易。

氯素為製造多種化學戰劑的基本原料,隨時可取得龐大數量以資應用;故對於無氯氣防禦設備的軍隊,此物始終為一種巨大威脅。但現今所用面具,對此物可以完全防護,且效力較此物為強之毒氣又甚多,故將來在一等強國間的戰爭中,氯氣本身不致再用作戰劑。

#### (B) 氯磺酸甲酯 ( $\text{Cl SO}_2\text{OCH}_3$ )

1915 年 4 月及 5 月中,德國施行毒氣吹放攻擊的成功,引起毒氣其他使用方式的設計,如用以裝填手榴彈、迫擊砲彈、及砲彈等均是。因氯氣揮發太速,不適於裝填發射彈之用,故交戰雙方均從事於尋覓適當毒氣,用以裝填各式發射彈。

首先使用於發射彈內\* 而獲得成功的毒氣,為氯磺酸甲酯 (methylsulphuryl chloride)。德國於 1915 年六月,最初採用此物。此項毒氣曾用以裝填迫擊砲彈及手榴彈,但未嘗引用於砲彈。

氯磺酸甲酯,係由硫二酰氯 (sulfuryl chloride) 與甲醇 (methyl alcohol) 起作用而得。其物為一透明黏稠的液體,比重為 1.51, 沸點為  $133^{\circ}\text{C}$  ( $272.4^{\circ}\text{F}$ ), 蒸氣較空氣重 4.5 倍。在七十五萬分之一的濃度 (即每升 0.008 毫克) 下,即發生催淚效應。對於結膜及呼吸器官 (respiratory organs) 具有強烈的刺激效應;在每升 0.050 毫克的濃度下,此項作用即屬不能忍耐。曝露於每升 2.00 毫克的濃度下至十分鐘之久,即可致死。致死原因,亦係由於肺水腫症 (edema), 與受氯氣或光氣毒害者完全相同。在  $20^{\circ}\text{C}$  下,此物的揮發度為每升 60.00 毫克。

\* (註 28) ——1915 年 1 月,德國在俄國前線,用砲彈發射溴化二甲苯 (T-物質);其時曾在此次之前,但該次並未獲得成功。

氯磺酸甲酯，僅在一極短時期內使用。1915年夏，即為 K-物質 (K-Stoff) 所替代。

(C) 氯磺酸乙酯 ( $\text{Cl SO}_2\text{OC}_2\text{H}_5$ )

法名：沙芬里特 (Sulvanite)

當德國採用氯磺酸甲酯時，法國方面，則採用氯磺酸乙酯 (ethylsulfuryl chloride) 作為砲彈的裝填物，名之為沙芬里特 (Sulvanite)。

氯磺酸乙酯，係任乙醇與氯磺酸起作用而得。其物為一無色液體，比重為 1.44，沸點為  $135^\circ\text{C}$  ( $275^\circ\text{F}$ )，沸騰時略有分解。其蒸氣在一百萬分之一的濃度下，即有催淚效應。其不可耐濃度，為每升 0.050 毫克。當其濃度達每升 1.00 毫克時，即具有毒害效能。

氯磺酸乙酯的催淚及毒害效應，均較氯磺酸甲酯為強，但其揮發度則較小。故此兩物的戰鬥價值 (combat value) 大致相等。

此兩化合物，在化學戰爭中均不重要。但在尋求效力更大的傷肺劑之競爭中，則能代表一種過程。故自今看來，此兩化合物均不過具有歷史上的重要性。

(D) 氯甲酸一氯甲酯 ( $\text{Cl COO CH}_2\text{Cl}$ )

德名：K-物質 (K-Stoff)；C-物質 (C-Stoff)。

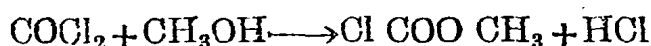
法名：拔立特 (Palite)

在尋求一種效力勝於氯氣的化學戰劑之努力過程中，德國於 1915 年六月，第一次採用氯甲酸一氯甲酯 (chloromethyl chloroformate)。當時此物之裝於砲彈中者，名為 K-物質 (K-Stoff)；裝於迫擊砲彈及投射砲彈中者，名為 C-物質 (C-Stoff)。

所謂氯甲酸一氯甲酯，實係甲酸甲酯 (methyl formate) 之未經完全氯化的產品之混和物，其成分約為氯甲酸一氯甲酯 ( $\text{Cl COO CH}_2\text{Cl}$ ) 70%，氯甲酸二氯甲酯 ( $\text{Cl COO CH Cl}_2$ ) 30%。此項混和物，為一澄清液體，其比重為 1.48，沸點為  $119^\circ\text{C}$  ( $228^\circ\text{F}$ )，蒸氣較空氣重 4.5 倍，具有類似乙醚的臭味。在生理上，此物具有催淚性能。當溫度稍高，或溫度不高而有鹼類存在時，易起水解作用。水解的產物為甲醛 (formaldehyde)、碳酸、及鹽酸。其在  $20^\circ\text{C}$  ( $68^\circ\text{F}$ ) 下的汽壓為 5.6 毫米水銀柱。

氯甲酸一氯甲酯的製備，第一步先任甲醇與光氣起作用，得氯甲酸甲酯 (methyl chloroformate)。





然後任氯甲酸甲酯於強光下氯化，則氯原子漸次取代甲基中的氫原子，而得氯甲酸一氯酯及氯甲酸二氯甲酯 (dichloromethyl chloroformate)。

氯甲酸一氯甲酯在十萬分之一（每升 0.0528 毫克）的濃度下，具有輕微的催淚效應。曝露於每升 1.00 毫克的濃度下至三十分鐘之久，即可致死。其毒性約為氯氣的五倍，但僅及光氣或雙光氣之半。故此物雖較氯氣為佳；但當雙光氣及氯化苦劑等威力更大的毒氣被採用以後，其地位不久即為此等化合物所取代。

(E) 硫酸二甲酯  $[(\text{CH}_3)_2\text{SO}_4]$

法名：悅興里特 (Rationite)

德名：D-物質 (D-Stoff)

第一次歐戰中首先採用硫酸二甲酯 (dimethyl sulfate) 者為何國，至今仍為疑案。據韓斯聯博士 (Dr. Hanslian) 氏云（參考 20 第 30—31 頁），此物係由德國首先採用；在 1915 年 8 月，即以之裝填於砲彈中，名之為 D-物質 (D-Stoff)。且據協物國方面分析德國當時所用 D 砲彈裝填物的報告，硫酸二甲酯，亦實為其化學裝填物中的組份之一種。但繆勒博士 (Dr. Mueller)（參考 21，第 96 頁），則極力否認德國曾用此項化合物；對於當時情況，則加以解釋如下：——

『德國在 1915 年即已正式試用硫酸二甲酯的傳說，並非事實。此說的由來，係因當時所用氯磺酸甲酯中，偶然有百分之幾的硫酸二甲酯，在雜質狀態下混入。此項雜質，製成的商品中仍然含有之，但從未故意加入。對此事有關的人員，決不致輕信其曾經正式採用。』

德國最初使用硫酸二甲酯，無論其確係故意採用，抑或出於偶然；但當時此物的真正價值，未為人所洞悉，則甚明顯。實則硫酸二甲酯，不僅為一種良好的催淚劑，毒性甚強，而且為一種起泡劑。此等性能，其後始為法國人所發現。1918 年 9 月，法國方面，乃用以裝填砲彈、手榴彈等，稱之為悅興里特 (Rationite)。

硫酸二甲酯的製造方法，係任發煙硫酸與甲醇起作用後，在真空下蒸餾而得。在第一次歐戰以前，化學工業上，曾用之以作胺類 (amines) 及酚類 (Phenols) 的甲基引入劑 (methylating agent)，並作檢查 (detect) 煤次油 (coal tar oils) 的試藥。

硫酸二甲酯，爲一無色油狀液體，其比重爲 1.35，沸點爲  $188^{\circ}\text{C}$  ( $370.4^{\circ}\text{F}$ )。其蒸氣較空氣重 4.4 倍，微帶葱嗅。

在尋常溫度 ( $68^{\circ}\text{F}$ ) 下，此物揮發度爲每升 3.3 毫克；故爲傷肺劑中揮發度較低起泡劑中揮發度較高者。硫酸二甲酯，極易爲水所分解。其蒸氣與空氣中的水份，迅速化合而成硫酸。此乃其用作化學戰劑的重要缺點。

在生理上，硫酸二甲酯刺激黏膜的能力甚強，尤以對於結膜及呼吸系統爲甚。其直接毒害作用，與氯氣極相似；即傷害肺部，結果釀成支氣管炎、肺炎、及肺水腫症。曝露十分鐘的致死濃度爲每升 0.50 毫克；毒性約與光氣相等。在低濃度下，此物具有腐蝕皮膚的作用 (corrosive action on the skin)，結果使皮膚起一種特殊的癢痺，據云可纏綿至六個月之久。因此，此物亦可稱爲一種起泡劑。

在第一次歐戰中，硫酸二甲酯一物，並非廣泛應用。對於其戰鬥價值，亦無明確的估計。不過因其易爲水份所分解（空氣中所含水份，已足令其分解），此物必須在彈殼爆裂的一瞬，當其蒸氣尙未被空中水份所分解以前，即行產生戰術上的效應，方可發揮其價值。此點使此物的戰鬥效力 (combat effectiveness) 大受限制，以致其將來用作化學戰劑的價值頗有問題。況且毒性及起泡性較此物爲大的化合物，亦已次第發現。因此硫酸二甲酯一物，在將來戰爭中，恐難佔有重要的地位。

#### (F) 氯化三氯甲硫 ( $\text{Cl}_3\text{C-S Cl}$ )

當 1915 年夏季，德國從事於鹵化酯 (halogenated esters) 的試驗時，法國即有將氯化三氯甲硫用作化學戰劑的計劃。是年九月，法國正式將此物引用於香檳 (Champagne) 之役。此次嘗試，亦爲法軍採用毒氣砲彈的第一次（參考 23，第 53 頁）。

氯化三氯甲硫 (perchloromethyl mercaptain)，亦名四氯硫化碳 (carbon tetrachlorosulfide)，可將甲硫醇 (methyl mercaptain) 直接氯化而得；或將氯氣通入含有少量碘的二硫化碳以製之。此物係一淡黃色液體，比重爲 1.7，沸點爲  $149^{\circ}\text{C}$  ( $300.2^{\circ}\text{F}$ )，蒸氣較空氣重 6.5 倍。在每升 0.010 毫克的濃度下，即顯催淚作用。其不可耐濃度，爲每升 0.070 毫克。曝露十分鐘的致死濃度，爲每升 3.00 毫克，其毒性約爲光氣的六分之一。

氯化三氯甲硫用作化學戰劑，有下列幾種缺點：——

(1) 毒性頗低。

(2) 具有臭味；在未產生毒害效應以前，易為敵人所察覺。

(3) 與鋼鐵接觸時，即自行分解。

(4) 活性炭易於吸附此物蒸氣，因此對之可作完全的防護。

因有此等缺點，此項化合物，採用後不久即被擯棄而為其他效力較大的化合物所替代。將來亦不致再用此物作為化學戰劑。在評論此物時，易扎德 (Izard) (參考 23) 氏曾云：——『此物的利用，其目的不過是作一種臨時的解決。』

(G) 光氣 ( $\text{CO Cl}_2$ )

法名：柯農幾行 (Collongite)

德名：D 物質 (D-Stoff)

英美符號：“CG”

光生氣 (phosgene)，簡稱光氣，為第一次歐戰中大規模使用的第二種毒氣。1715 年 12 月 19 日，德國 首先採用此物，將其與氯氣混和，在佛蘭德爾 (Flanders) 區的尼特葉 (Nieltje) 地方，向英軍 施用吹放攻擊。該次共用吹放瓶四千隻，毒氣八十八噸，結果死傷共 1,069 人，其中死者 120 人。

1916 年 2 月，法國 採用光氣，作為砲彈裝填物，以對抗德國 的 K 物質砲彈。自該時起迄第一次歐戰結束之時為止，此項毒氣，始終為協約國所用的主要攻擊毒氣；曾經大量地在吹放瓶、砲彈、迫擊砲彈、及投射砲彈等中使用。第一次歐戰中，由光氣致死者，佔毒氣致死總數百分之八十以上。關於光氣在第一次歐戰中使用的記錄，可參閱第二十五章第六十四表。

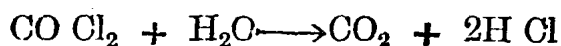
在第一次歐戰前一百餘年，化學家即已知有光氣一物。最初製出此物者，為英國 化學家約翰兌飛 (John Davy) 氏，兌氏於 1812 年，任一氧化碳與氯氣在日光下起作用而得此物。光生氣一名，即由此得來。至二十世紀初年，光氣已大量用作染料工業 (dye industry) 的中間物 (intermediate)；德國 方面，且曾以頗大的規模製造此物有年。因光氣具有熟知的毒害性能，且能大量製得；故當協約國備有對於氯氣已能完全防禦的防毒面具時，光氣遂當然地成為德國 化學家選定以代替氯氣之威力較大的戰劑。

在尋常溫度及壓力下，光氣為一無色氣體。冷至  $46.7^\circ \text{F}$ ，即凝結 (condense) 成無色液體，其比重為 1.38。在  $46.7^\circ \text{F}$  以上，此物立即蒸發；

不過其蒸發速度較氯氣為慢。蒸發時放出無色蒸氣，較空氣重 3.5 倍，具有令人窒息(stifling)但並不感覺不快的嗅味，頗似新刈的草秣 (new-mown hay)。

光氣除有特殊嗅味外，亦可由所謂煙草反應 (tobacco reaction) 檢出之。此項反應，即曾經吸入極微量光氣之人，吸煙時即有乏味的感覺。但此外尚有其他幾種氣體（如氫氰酸、二氧化硫等），亦有同樣作用，故尚須由各物特有的嗅味以區別之。

光氣在化學上不若氯氣活潑，本身為一穩定的化合物，不為大量爆炸藥 (strong bursting charges) 的爆炸所分解。乾燥時光氣並不侵蝕鋼鐵，可以永久儲藏於鋼鐵容器內。但此物對於水之感應極為靈敏；與水接觸，迅即分解成為鹽酸及二氧化碳：——



因此在裝填光氣時，即僅有微量的水份存在，亦能變成鹽酸，侵蝕彈壁，於彈內產生危險的壓力。若所成鹽酸的份量夠多，並可損毀彈殼。光氣水解既速，故在天氣甚潮時，不能作有效的使用。

光氣的沸點為 46.7° F，雖低於尋常夏季溫度，但其蒸發速率仍然嫌小，須與等量的氯氣混和，方能在戰場上造成滿意的氣雲濃度 (cloud-gas concentrations)。在第一次歐戰中，光氣始終係如此混合，以施行吹放攻擊。

光氣的毒性，為氯氣的十倍。其曝露十分鐘的致死濃度，為每升 0.50 毫克；在戰場上常可遭遇較此為高的濃度，在該項情形下，呼吸一兩次，即可於數小時內死亡。

光氣的生理效應及毒害效應，似係由其水解產物（即鹽酸及二氧化碳）而來，在體內空氣過道的上部，水份較少，作用亦較輕。但吸入較久，則有足量的光氣，在支氣管 (bronchi) 及氣管 (trachea) 中分解，發生顯著的發炎及腐蝕現象。此等效應，在肺部肺泡 (alveoli)\* 為最大；蓋在該處的空氣，已為水蒸氣所飽和故也。

光氣與氯氣不同，對於上部空氣過道的感覺神經 (sensory nerves)，僅有輕微的刺激。因此人類曝露於光氣中，較之在相等濃度的氯氣或其他有

\* (註27)——“Alveoli”即“Air Cell”，我國的標準譯名均為肺泡，亦有譯為氣房，氣胞，及氣囊者。

直接刺激性的蒸氣中，有吸入較多毒氣的可能。因此，光氣的作用，具有高度的潛伏性。受其毒害之人，每每發覺過遲，致蒙嚴重的傷害。被毒者初有暫時軟弱的感覺；但隨即恢復，且有良好的食慾。過後乃驟然變壞，常有數日內即行死亡者。

光氣爲傷肺劑中的一種典型的代表物。關於其生理作用，吉爾客瑞斯特將軍 (General Gilchrist) 曾云 (參考 24, 第 7-9 頁)：

『被光氣毒害者，最初僅有刺激氣管及支氣管的現象；咳嗽 (coughing) 並不顯著，氣腫 (emphysema) 從不發生。受毒略重者，雖呈顯輕微的症狀，仍能繼續工作一兩小時。但可驟然變壞，皮膚呈極度青紫色 (extreme cyanosis)，隨即入於虛脫 (collapse) 狀態。有些記錄指出，被光氣毒害者，往往初似受毒甚輕，但數小時後，試行體力勞動，即驟然死亡。

肺水腫症 (pulmonary edema) 發現極早。此項病症的初期，細胞未見傷損，約過五小時後，即發現滲入肺胞的流質中，含有白血球 (leucocytes)，最後則含有細胞極多。吸入光氣後，滲入肺胞的流質中，鮮有含赤血球細胞 (red blood cell) 者；稍遲則有纖維素 (fibrin) 發現。此時檢查身體，可發現小點的支管肺炎 (broncho-pneumonitis)。病狀達到最高點時，肺水腫症爲其顯著的現象。如兩三日後尙未死亡，則形成肺水腫症的流質漸被吸收，假令支管肺炎不致蔓延，肺部即漸行復原。

光氣的即時效應，事實上僅限於肺部。其所生變化，爲損傷微血管 (capillaries)。在受毒後半小時內，此項傷損即可發現。肺胞牆壁 (walls of the alveoli) 內的微血管，最初發生顯著的收縮，顯似扁下 (collapsed)；隨後則又漲大 (dilated)，充血 (engorged with blood)，形成血積病 (blood stasis)。且常有血塊 (thrombi) 發生，淤塞血管，使症狀更形加重。此項微血管的漲大及血液的淤積，爲肺水腫症的主要原因。肺水腫症既成，即迅速加劇。

解釋肺水腫症的產生，現有幾種學說。被光氣毒害而發生肺水腫的原因，則多認爲係由於裏膜細胞 (endothelial cells) 的傷害。此項傷害的主要結果，爲增加微血管的滲透性。至於血液及其循環的變化，乃其第二步現象。』

光氣的傷害效應，每因身體的運動而加重。往往肺內未被光氣傷害的部

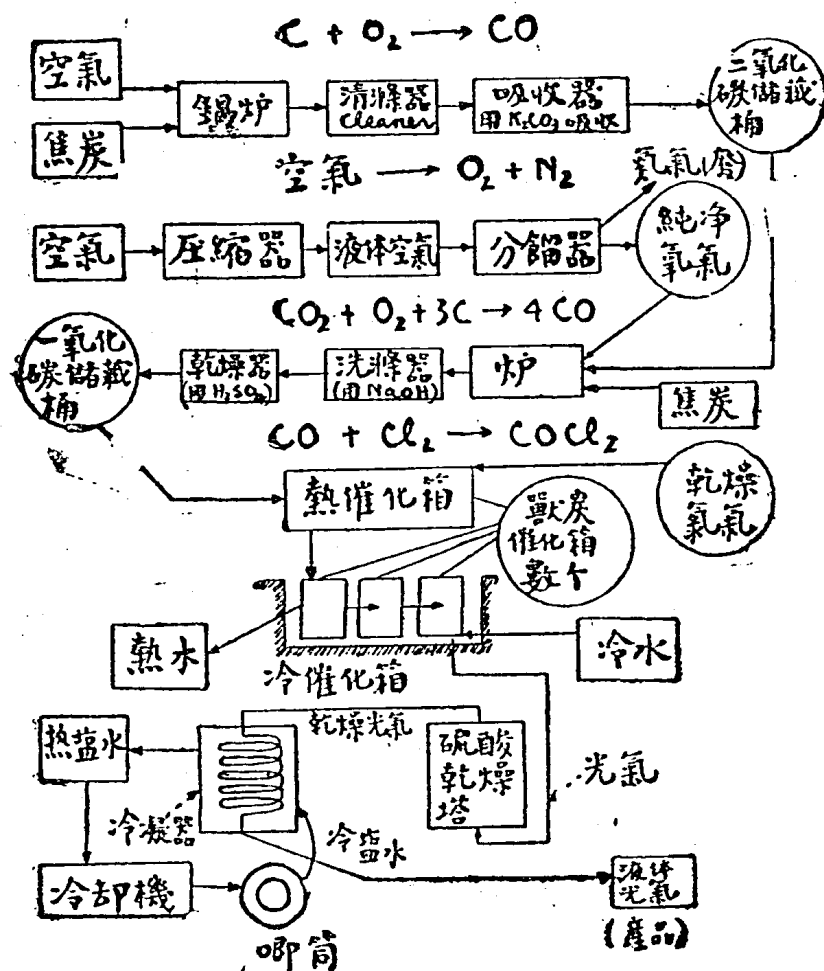
份,在休息時,原足供呼吸之需;但在運動時則形不足。尤以光氣在身體內分解而發生過量的二氧化碳時,更使此點加劇。

工業上製造光氣,即用原來所用氯氣與一氧化碳直接化合的方法。其製造程序,如第十八圖所示。與原來方法唯一不同之點,即用一種獸炭(animal charcoal)以代替日光作催化劑。

光氣用作化學戰劑,有下列幾種勝於氯氣的優點:——

- (1) 毒性較強(曝露十分鐘的致死濃度,為每升 0.50 毫克)。
- (2) 揮發度略小,持久性較大。
- (3) 蒸氣密度較大(為空氣的 3.5 倍)。
- (4) 作用的潛伏性較大。
- (5) 化學性較不活潑;故其消除及防禦,均較氯氣為困難。

第十八圖 用催化法製造光氣的程序圖表



光氣的主要缺點，為其對於身體的生理作用頗慢；及其脫離吹放瓶的速度太小，不能單獨用以施行吹放攻擊。再者，光氣頗易防護。因此將來或有為毒性較大而消除較難的毒氣所取代之可能。

(H) 氯甲酸三氯甲酯 (Cl COO CCl<sub>3</sub>)

德名：過物質 (Perstoff)；

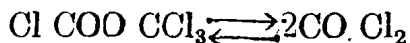
法名：超拔立特 (Surpalite)；

英名：雙光氣 (Diphosgene)

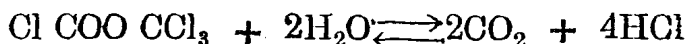
在第一次歐戰中，德人於 1916 年 5 月，在凡爾登 (Verdun) 地方，首先採用氯甲酸三氯甲酯 (trichlormethyl-chloroformate)，以報復法國的光氣彈。光氣係於同年二月開始採用，上文已經述及。

氯甲酸三氯甲酯，簡稱雙光氣 (diphosgene)，為甲酸甲酯的完全氯化物。係氯甲酸一氯甲酯 (K 物質) 經過完全氯化而得。德國化學家於研究甲酸甲酯的氯化物時，發明當代入甲基 (methyl group) 中的氯原子數目增加時，其毒害性能隨之增加，催淚性能則隨之減少。雙光氣含有氯原子最多，故為此數種化合物中催淚效應最小而毒害效應最大者。因此德國用以代替 K-物質，而作為德國裝填砲彈的標準暫時性致命毒氣。由第一次歐戰中毒氣傷亡的分析，可知如以死亡總數為標準，則雙光氣為用於各式砲彈的主要殺人毒氣。

氯甲酸三氯甲酯，為一油狀液體，其比重為 1.65，具有令人不快的窒息臭味，其沸點為 127° C (260.6° F)；沸騰時放出濃厚而略帶白色的蒸氣，較空氣重 6.9 倍。在空曠處所，此項蒸氣可支持至三十分鐘之久。在 20° C (68° F) 下，此物揮發度為每升 26.00 毫克。熱至 350° C (662° F)，或與水相接觸，(例如與身體組織中的水份相接觸)，即自行分解，成為兩分子的光氣；



『雙光氣』一名，乃由此得來。在尋常溫度及壓力下，此物遇水，即漸行分解，所得最後產物為二氧化碳及鹽酸：——



雙光氣的沸點頗高，且在其原來形式 (primary form) 下，其生理作用比較地不活潑，故此物特別適於裝填各式發射彈。裝填光氣時，須用人工將其冷卻至其沸點以下。雙光氣則不然；裝填手續至為簡單，可於戰場上施

行之。工作者除戴防毒面具外，並不需要其他防護。此點在第一次歐戰中，予德國以極大的利益；蓋如此可在接近前線的地方，臨時裝填砲彈，是項砲彈的運輸、處理、與儲藏，由此均減至最低限制故也。因此德國可利用所有各式的高級炸藥彈改裝毒氣，祇須將其在接縫處膠合(cementing)即得。至協約國方面，則因其毒氣彈係在距離前線甚遠的地點裝填，須能支持粗魯的搬運，長久的儲藏，故不能使用膠合的毒氣彈，因其恐有漏出的危險故也。

◎ 雙光氣的毒性，約與光氣相等。實際上雙光氣的毒害效應，或非其固有的特性，而係因其在身體組織內分解成爲光氣使然。

德國化學家哈柏 (Haber) 氏(參考1)引證弗魯禮 (Flury) 氏的工作，將雙光氣的致命積，定爲 500；而光氣的致命積，則爲 450。如曝露時間爲十分鐘，所需雙光氣的致死濃度，爲每升 0.050 毫克；光氣的致死濃度，則爲每升 0.045 毫克。但據美國方面測定，光氣曝露十分鐘的最低致死濃度，爲每升 0.50 毫克；較德國測定的數值約大十倍。關於此項數值的巨大差異，可以幾種原因解釋之。例如弗魯禮氏的測定，係以貓作實驗；而貓對於光氣及雙光氣，隨後曾經證明，其感應特別靈敏。且弗氏所用的貓營養不良，益增其敏感性。各國研究的結果，除對於光氣與雙光氣之毒性率(specific toxicity)有所差異外，均一致承認。此兩化合物具有同樣的生理效應，且其毒性亦係大體相等。

協約國採用光氣，作爲標準的暫時性致命毒氣；德國則用雙光氣。因此比較此兩化合物作化學戰劑之相對的價值，殊有趣味。

此兩物對於人與其他動物，均有相同的毒性及生理效應。雙光氣的持久性，約爲光氣的三倍。在空曠處所，雙光氣可支持三十分鐘；光氣則不過十分鐘。依照吾人現在所用分類系統，所有在空曠地區能支持十分鐘以上之毒氣，稱爲持久性毒氣，故雙光氣應不屬於暫時性一類。不過現在規定，暫時性毒氣以十分鐘爲限，乃是武斷的。自戰術觀點而言，支持至三十分鐘之久的毒氣，仍不失爲暫時性毒氣。暫時性毒氣可滯留於目標地域的時間，即係進攻步兵自本陣到達敵軍前線所需的時間。在最有利的情況下，如兩軍相距僅八百碼，在砲火下以最大速率進行，至少需三十二分鐘。故毒氣之不能支持三十分鐘以上者，即適用於進攻的軍事行動。

在許可的持久性限度以內，一種戰劑愈接近此項限度，其在戰場上維持有效濃度亦愈易。故持久性爲三十分鐘的毒氣，實優於十分鐘者；雙光氣即



具有此項優點。不過光氣的揮發度較雙光氣為大，故用光氣可造成較大的濃度。

光氣及雙光氣的傷害作用，其速率及纏綿性均大約相等。但光氣作用的潛伏性較大，雙光氣具有催淚性。在二十萬分之一的濃度下，雙光氣即能予人以明顯的警告；光氣則在十萬分之一的濃度，始有此項影響。此乃光氣優於雙光氣的一點。光氣及雙光氣之氣味及可見性 (visibility)，均極相似，且幾相等。惟雙光氣的刺鼻氣味略強，形成氣雲時亦較易看見。

光氣係由一氧化碳與氯氣直接化合而成。雙光氣的製造，則更需經過下列步驟：

(1) 任光氣與甲醇及碳酸鈣起作用，變成氯甲酸甲酯 (methylchloroformate)。

(2) 由氯甲酸甲酯與氯氣在電光 [紫外線 (ultraviolet ray)] 下起作用，變成雙光氣。

製造雙光氣，需用特製的掛裏反應器。故其大量生產頗為繁難。光氣遠較雙光氣為易於製造。協約國之採用光氣作為標準致命劑，此點實係其主要原因。

光氣在化學上較雙光氣為穩定，能抵抗爆炸而不致分解；雙光氣則先行離解成為光氣。雙光氣沸點較高，且其固有形態的生理作用亦較遲鈍，故裝填時較為容易；但不能用之於吹放攻擊，光氣則能如此應用。最後，雙光氣的蒸氣密度，較光氣大兩倍有餘，故其黏附地面的傾向較大，追蹤效用 (searching value) 亦較佳。

(I) 氯化苦劑 (三氯硝基甲烷) ( $\text{Cl}_3\text{C}-\text{NO}_2$ )

英名：嘔吐氣 (Vomiting gas)

法名：阿貴里特 (Aquinite)

德名：克羅卜 (Klop)

在雙光氣之後，出現於第一次歐戰中的傷肺毒氣，為氯化苦劑 (chlorpicrin)。俄國於 1916 年 8 月，首先採用此項毒氣。隨後德國及協約國雙方均採用之；有時單獨使用，有時與他種毒氣混和，裝填於砲彈、迫擊砲彈、以及施行吹放攻擊的吹放瓶內。在第一次歐戰中，氯化苦劑似為應用最廣的毒氣；但其使用總量，則或較光氣與雙光氣為少。

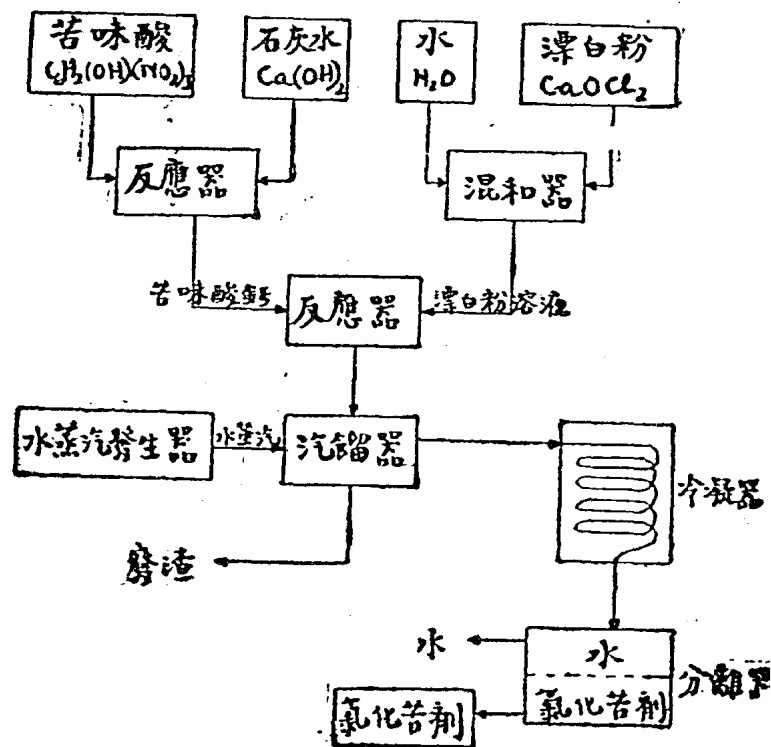
氯化苦劑與氯氣及光氣相似，在第一次歐戰以前，即為一種熟知的化

合物。此物係英國化學家斯敦浩斯 (Stenhouse) 於 1848 年所發明。在十九世紀中，對於其化學及生理性質，曾有多年的細心研究。

氯化苦劑，學名為『三氯硝基甲烷』 (trichloro-nitro-methane)，亦稱『硝仿』 (nitrochloroform)。為一無色油狀液體，比重為 1.66，沸點為  $112^{\circ}\text{C}$  ( $231.5^{\circ}\text{F}$ )；沸騰時，放出具有刺激性的蒸氣，較空氣重 5.6 倍，其臭味類似捕蠅紙 (flypaper) 的甜嗅。即在尋常溫度下，氯化苦劑蒸發亦甚速。其汽壓殊高，在  $20^{\circ}\text{C}$  ( $68^{\circ}\text{F}$ ) 下，約為 18.3 毫米水銀柱。在  $20^{\circ}\text{C}$  下，其揮發度為每升 165.00 毫克。故與氯氣混和，可用之於吹放攻擊。英人曾經使用氯化苦劑與 70% 氯氣的混和物，施行多次毒氣攻擊。是項混和物，英人稱之為『黃星毒氣』 (yellow star gas)。

氯化苦劑在化學上極為穩定；不溶於水內，不為水所分解，亦不易與酸或鹼化合。因其不易起化學作用，故當其通過防毒面具的濾毒罐時，不與罐中所含任何藥品起反應，而祇能為活性炭所吸附，因此乃係最難防禦的毒氣之一種。是以防毒面具濾毒罐的防護能力之等級。大都依照其能防禦氯化苦劑的尋常戰場濃度至若干小時為標準而定之。

第十九圖 製造氯化苦劑的程序圖表



氯化苦劑製造頗易，係以苦味酸 (picric acid) 直接氯化而得。其製造手續，為將水蒸氣注入漂白粉 (bleaching powder) 及苦味酸的水溶液內。所經程序，如第十九圖所示。由此法所得的產量，為所用苦味酸的體積之114%。因苦味酸一物，用於工業上及高級炸藥上為量甚大，漂白粉亦隨處均易取得，故製造氯化苦劑所需的原料，儘有大量可資利用。至其製法亦甚簡便。上次歐戰中氯化苦劑使用之所以甚廣，其原由即在於此。

氯化苦劑具有攻擊用毒氣所應具的性質多項。與氯氣及光氣相似，此物為致命的化合物；其主要作用，在於傷害肺部。其毒性介於氯氣與光氣之間，如下表所示：

氯化苦劑與氯氣及光氣的致死濃度

曝 露 時 間 (分鐘)	氯 (毫克/升)	氯 化 苦 劑 (毫克/升)	光 氣 (毫克/升)
10	5.00	2.00	0.50
30	2.53	0.80	0.33

氯化苦劑除致死效應（傷肺效應）外，同時亦為一種強烈的催淚劑。另外此物尚有一種優點。即其能透過尋常酸性毒氣（如氯氣與光氣等）所不能透過的防毒面具濾毒罐。氯化苦劑的傷害效應，並可展至胃部及腸部，引起反胃 (nausea)、嘔吐 (vomiting)、腸疝痛 (colic)、及痢疾 (diarrhea) 等病症。此等症狀，在戰場上頗難應付，且常纏綿至數星期之久。故雖在輕微的被毒情況下，亦常能造成巨大的傷亡損失。

使用氯化苦劑之主要的戰術意義 (tactical idea)，除利用其毒害效應外，為令其透過防毒面具，對於眼部產生一種不可忍耐的刺激，同時引起反胃、嘔吐、咳嗽等症象。此等作用，足使戴上面具的士兵卸下其面具，因而曝露於光氣一類致死效力更大而與氯化苦劑同時放出的毒氣之中。

氯化苦劑的主要缺點，為其毒性較有些隨後引用的毒氣為小，且遇熱或受過烈的爆炸震動即行分解。關於後一種缺點，根據第一次歐戰的經驗，如所用爆裂藥量與其化學裝填物的數量配合得宜，氯化苦劑仍能使用於砲彈而獲得成功。限制氯化苦劑使用的另一因素，為其持久性頗大。氯化苦劑在

空曠處所的持久爲三小時；故在尋常戰局，不適用於進攻。

氯化苦劑既有上述的缺點及限制，且新式防毒面具對於氯化苦劑大都能作適當的防護。加以威力及效果更大的致死毒氣，業經應用於上次歐戰；此等毒性，在將來戰爭中又大致仍將採用。故氯化苦劑在將來化學戰劑中的地位，殊難預斷，大抵其不復採用的可能性較大。

(J) 二氯化苯肼 ( $C_6H_5NC Cl_2$ )

二氯化苯肼 (phenylcarbylamine chloride)，係德國人於 1917 年 5 月最初採用。此物亦即第一次歐戰中德國所用單純傷肺劑的最後一種，其後兩月，德人即採用兩類完全新奇且係根本不同的化學戰劑。此兩類一爲起泡劑（黃十字物質），創始於芥氣；一爲噴嚏劑（藍十字物質），創始於氯化二苯肼。毒氣戰爭的局面，因此遂完全改觀。

德國人曾企圖獲得一種較能持久的傷肺劑，俾能在戰場上保持其濃度，至可以耗盡氣流式 (current types) 防毒面具濾毒罐的防護能力。二氯化苯肼，乃係此項努力之產品。後來此物復與芥氣相混和，用於發射彈內，以掩蓋芥氣的臭味。

二氯化苯肼，亦稱二氯化異氰苯 (phenylisocyanido chloride)，係苯芥油（即苯肼，phenyl mustard oil,  $C_6H_5NCS$ ）經氯化而得。苯芥油則自二硫化碳與苯胺 (aniline) 的作用而得之。二氯化苯肼，爲一透明液體，其比重爲 1.35，沸點爲  $210^{\circ}C$  ( $410^{\circ}F$ )，蒸氣密度爲空氣的 6.0 倍。在  $20^{\circ}C$  下，此物揮發度爲每升 2.10 毫克。其最低刺激濃度，爲每升 0.003 毫克。在一百萬分之一的濃度（即每升 0.0072 毫克）下，即顯催淚效應；不可耐濃度，爲每升 0.025 毫克；曝露十分鐘的致死濃度，爲每升 0.50 毫克。

第一次歐戰時二氯化苯肼在德國的主要用途，爲裝填 10.5 厘米輕野戰榴彈砲 (light field howitzer) 砲彈（無標記），及 15.0 厘米重野戰榴彈砲 (heavy field howitzer) 砲彈（用一綠十字爲標記）。因其揮發度殊低，持久性極大，此物不能應用於戰術上的進攻。且因其汽壓甚低，此物在戰場上往往不能造成有效的濃度。自 1917 年夏季以迄第一次歐戰終了時（參考 21, 第 85 頁），德國人發射此項毒氣一共計有七百噸。此物催淚作用尚佳，毒害效應亦尚大，但用之並未獲得顯著的成功。英人認爲此項毒氣無大價值，德國在當時亦已備有效力遠勝於此之傷肺劑（如雙光氣及氯化苦劑）；

其使用此項毒氣的理由，頗令人費解。

(K)二氯二甲醚  $[(\text{CH}_2\text{Cl})_2\text{O}]$

二溴二甲醚  $[(\text{CH}_2\text{Br})_2\text{O}]$

二氯二甲醚 (dichlorodimethyl ether) 一物，為德國使用數量較少的毒氣之一。用時多半與二氯化乙肺相混和。其最初採用，係在 1918 年 1 月；使用的目的。在於增加同時採用的二氯化乙肺之揮發度。

二氯二甲醚，為一無色液體，其比重為 1.37，沸點為  $105^\circ\text{C}$  ( $221^\circ\text{F}$ )，在  $20^\circ\text{C}$  下的揮發度為每升 0.180 毫克。其最低有效濃度，為每升 0.015 毫克；不可耐濃度，為每升 0.040 毫克；曝露十分鐘的致死濃度為每升 0.470 毫克。與此物相當的溴化物，即二溴二甲醚 (dibromodimethyl ether)，亦曾為德國人所採用；其用法與使用二氯二甲醚的方法相同。將二溴二甲醚與二氯二甲醚相較，前者沸點較高 ( $155^\circ\text{C}$ ，即  $311^\circ\text{F}$ )，揮發度較低（每升 0.022 毫克），刺激性亦較弱。須在每升 0.020 毫克的濃度下，此物始有刺激效應。非到每升 0.050 毫克的濃度，不致發生不可忍耐的效果。然此物毒性較強；曝露十分鐘的致死濃度，為每升 0.040 毫克。其密度亦較大（比重為 2.20）。

此兩化合物，除具有傷肺效應以外，對於身體的平衡器官 (organs of equilibrium) [即內耳 (labyrinth of ear)] 發生一種選擇性的特殊別作用，使被毒者感覺暈眩，搖搖欲跌，不能保持身體的平衡。是以法國將其另列一類，名之為傷耳劑 (labyrinthic substances)。

二氯二甲醚及二溴二甲醚的毒性，均較光氣為強。且其揮發度大小適宜，作用又具潛伏性，故為值得注意的毒氣。在上次歐戰中，因其使用不廣，僅限於與二氯化乙肺混和使用；故其單獨作為戰劑的價值，尚未經事實證明。但就兩物的特殊性能而言，二者雖均易為水所分解，仍屬頗有價值。

(L)二為化苯肺 ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{ASCl}_2$ )

法名：斯脫里特 (Sternite)

第一種出現於上次歐戰中的毒性傷肺劑，為二氯化苯肺 (diphenylchloroarsine)。此項化合物，德國人於 1917 年 9 月首次採用；以之充作溶劑，與氯化二苯肺一同裝填於藍十字第一號砲彈中。嗣後法人將此物與 40% 的氯化二苯肺混和使用，而稱此項混和劑為『斯脫里特』 (Sternite)。二氯化苯肺，為一澄清而略帶黏性的液體，其比重為 1.64，沸點為  $252^\circ\text{C}$  ( $485.6^\circ$

F), 蒸氣密度為空氣的 7.75 倍。此物不溶於水內, 但易溶於尋常有機溶劑中。與水接觸, 易起水解作用; 氧化劑 (oxydants) 亦可將其氧化而毀滅之。

二氯化苯胂, 因其沸點頗高, 故在尋常溫度下, 其汽壓殊低; 在  $15^{\circ}\text{C}$  ( $59^{\circ}\text{F}$ ) 下, 不過 0.0146 毫米水銀柱。

二氯化苯胂對於人與其他動物的主要生理效應, 在於傷害肺部。所致傷亡, 多由肺水腫症而來。此物對於上部呼吸過道, 亦有顯著的起泡及刺激 (嘔噁) 效應。其毒性較光氣為大; 曝露於每升 0.26 毫克的濃度下, 十分鐘即可致死。其起泡作用, 略較芥氣為遲緩, 所引起的創傷。治愈亦大都較速。

二氯化苯胂, 在上次歐戰中應用不廣。其使用目的, 係作為氯化二苯胂的溶劑, 並助其透過防毒面具的濾毒罐。60% 二氯化苯胂與 40% 氯化二苯胂的混和物, 曾被法國人所使用, 名之為『斯脫里特』(Sternite)。據稱此項混和物, 能透過當時所用的防毒面具; 且因其為一液體, 裝填時不若單獨用固體氯化二苯胂的困難。

二氯化苯胂, 在上次歐戰中有限的使用, 雖未能明白地證實其具有勝過同時使用的其他有機砷化物之優點; 但自其一般性質觀之, 此物乃係一種極有希望的化學戰劑。

(M) 二氯化乙胂 ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{AS Cl}_2$ )

德名: 第克 (Dick)

二氯化乙胂 (ethyl dichloroarsine), 係於 1918 年, 首次為德國人所採用; 意在獲得一種易於揮發的暫時性毒氣, 其作用較雙光氣及芥氣為迅速, 而效應則較氯化二苯胂及氟化二苯胂 (見第十章) 能持久者。在計劃於 1918 年春季大攻勢時, 適合此項條件的毒氣, 用之以施行步兵攻擊前的準備射擊及攻擊時的協助射擊, 其需要特大。德國化學家解決此項要求的答案, 即為二氯化乙胂。

德國製造二氯化乙胂的方法頗為繁複; 其主要步驟如次:

(1) 將氯化乙烷 (ethyl chloride) 於高壓力下用砷酸鈉 (sodium arsenate) 處理, 製成乙砷酸鈉 (ethyl sodium arsenate)。

(2) 藉亞硫酸 (sulfurous acid) 的作用, 使乙砷酸鈉還元, 成為氧化乙胂 (ethyl arsenious oxide)。

(3) 將氧化乙胂用鹽酸處理, 即得二氯化乙胂。

如此製出的二氯化乙腈，在純淨狀態下，爲一澄清而微帶黏性的液體，其比重爲 1.7，沸點爲  $156^{\circ}\text{C}$  ( $312^{\circ}\text{F}$ )，蒸氣密度爲空氣的 6.5 倍，具有頗佳的水菓香氣。在  $20^{\circ}\text{C}$  下，其揮發度爲每升 100.00 毫克。液體的二氯化乙腈，雖漸爲水所分解；但其蒸氣則似夠穩定，可在戰場上維持其平常的有效期間。水解後所得產物爲氧化乙腈；該物於吸入後亦有毒害效應。二氯化乙腈，僅微溶於水內，但易溶於乙醇、醚、苯、及氯乙烷中。氧化劑如漂白粉，過錳酸鉀等，可將其氧化而毀滅之。二氯化乙腈對於人體的主要作用爲傷害肺部，但同時亦爲一種頗強的噴嚏劑及起泡劑。其在低濃度下的最初效應，爲刺激呼吸器官。此種刺激，在每升 0.001 毫克的低濃度下曝露五分鐘，即可感覺。濃度達每升 0.010 毫克時，即因其刺激喉鼻之力殊強，令人不能忍耐至一分鐘以上。曝露十分鐘的致死濃度，爲每升 0.50 毫克；曝露三十分鐘的致死濃度，則爲每升 0.10 毫克。故對於短時曝露（十分鐘），此物毒性與光氣相等；長時曝露（三十分鐘），則其毒性爲光氣的三倍。二氯化乙腈，在每升 0.005 毫克的濃度下，對於眼部及呼吸道（respiratory tract）亦有顯著的局部刺激。其對於眼部及上部呼吸道的刺激，易於消失；但對於呼吸道下部的刺激作用，則可造成膜質氣管炎（membranous tracheitis）、肺部充血（pulmonary congestion）、肺水腫、及肺炎等症。砷素亦被迅速吸收，引起全身中毒，產生發冷、軟弱、麻痺、無精神（depression）等現象。

在短時曝露（不及五分鐘）的情形下，二氯化乙腈對於人體皮膚的刺激效力並不大。但超過五分鐘以上的曝露，則確切地引起燒灸；時間愈長，此項效應愈烈。根據作用的速率，皮膚發紅的程度，氣腫、肺水腫、以及癒愈所須時間等加以比較，則二氯化乙腈的效力，約爲芥氣的三分之二；但單就起泡效力而言，則僅及芥氣六分之一。

二氯化乙腈及其相當的溴化物（二溴化乙腈），均係與毒性相等的二氯二甲醚（參考 21，第 93，95 頁）混和使用，爲德國黃十字第一號砲彈及綠十字第三號砲彈的裝填物。二溴化乙腈（ethyl dibromarsine）的生理效應與二氯化乙腈相同；但其刺激及毒害能力則較遜。德國使用二溴化乙腈的理由，令人無從明瞭。

關於二氯化乙腈在第一次歐戰中的使用，韓斯聯（Hanslian）氏有一段記載（參考 60，第 60 頁）如下：——

『此項毒氣，與黃十字物質相似，呼入時常不爲人所注意。自其在戰場上的應用言之，此物與黃十字物質有兩點重要的區別。一爲缺乏對於皮膚的刺激；其次爲其對於鼻、喉、及胸部的傷害，在數分鐘後即行顯出，非若黃十字物質之延遲至數小時以後。吸入小量的此物（約一分鐘內吸入五立方厘米），受毒者即因呼吸困難及胸部作痛，可失去作戰能力達二十四小時之久。若吸入多量則可致死。如戴上面具時，已有少量吸入，則因受其刺激，無法保持其面具而不取下。黃十字第一號砲彈的裝填物，在地面上的持久性，較黃十字物質稍差。故如在布毒後隨即擬令步兵襲擊，此項毒氣殊爲適宜。夏天在毒氣氣雲消失後一小時，即可進入此項地域；冬天則須在兩小時以後。由此觀之，黃十字第一號物質。幾於在各方面均與綠十字物質相似，而與黃十字物質不同。』

二氯化乙腓所造成的傷亡數目，並無記錄可查，即欲得一可靠的記載，以判斷其戰鬥效率，亦不可得。但此物具有許多優越的性能；就中主要者，爲其作用迅速，持久性不大。此兩者使此物成爲一種適宜的攻擊用戰劑。作用迅速的暫時性起泡劑，在戰術上的需要殊大。故二氯化乙腓的起泡作用，雖次於其傷肺作用，但仍有價值。在將來化學戰爭的評價中，吾人希望此項化合物，能以獲得慎重的考慮。

#### (N)二溴化苯腓 ( $C_6H_5ASBr_2$ )

此項化合物，爲第一次歐戰中最後使用的毒性傷肺劑。1918年9月，德國人首次採用此物。關於其使用效力的記錄，殊屬稀少。

二溴化苯腓 (phenyldibromoarsine) 爲一無色或淡黃色的液體，其沸點爲  $285^{\circ}C$  ( $545^{\circ}F$ )，沸騰時略有分解。在  $15^{\circ}C$  ( $59^{\circ}F$ ) 下，其比重爲 2.1。加熱後所生的煙，微有催淚及噴嚏效應；但其噴嚏效應，遠較氯化二苯腓爲弱。曝露十分鐘的致死濃度，爲每升 0.020 毫克。故其毒性大於上次歐戰所用其他任何一種傷肺劑。

據協約國方面的意見，二溴化苯腓在第一次歐戰中的價值極微。其原因在於其沸點高，汽壓低，且在戰場上容易分解。然因缺乏確切的記錄，無從決定此項化合物的真實價值；故對此尚不能得到一種肯定的結論。

### 第三節 傷肺劑毒性的比較

傷肺劑既均爲沸點低汽壓高的液體，其揮發度常大於其致死濃度；故此



類戰劑的傷害及致死威力與其最低致死濃度成正比例。茲將本章所討論的各種傷肺劑，按照其致死濃度的大小，依次排列如第三十七表。在該表中，列於最前者，其威力最大；最末者威力最小。

第三十七表 傷肺劑的毒性

戰 劑	曝露十分鐘的致死濃度 (毫克/升)
二溴化苯腈	0.200
二氯化苯腈	0.260
二溴二甲醚	0.400
二氯二甲醚	0.470
二氯化乙腈	0.500
光氣	0.500
氯甲酸三氯甲酯	0.500
硫酸二甲酯	0.500
二氯化苯腈	0.500
氯甲酸一氯甲酯	1.000
氯磺酸乙酯	1.000
氯磺酸甲酯	2.000
氯化苦劑	2.000
氯化三氯甲硫	3.000
氯氣	5.600

#### 第四節 傷肺劑在第一次歐戰中的使用

第一次歐戰中傷肺劑使用的數量，超過任何其他一類毒氣；其所引起的傷亡，亦佔該次大戰中毒氣所致傷亡的大部份。在該次大戰中，此類毒氣使用的總量，據估計約為 100,500 噸；因此類毒氣而引起的死傷總數為 876,853 人。平均死傷一人，須消耗此類毒氣 230 磅。其死傷數與所用毒氣量之比，雖遠較起泡沫劑為低。但吾人必須注意，必泡劑因其持久性過大，戰術上不能引用於進攻；而傷肺劑則大都為暫時性毒氣，任何戰局中均可應用。

## 第五節 傷肺劑的將來

傷肺劑乃係主要的暫時性毒氣。當友軍於毒化後短時間內即需進佔毒化區域時，此類戰劑為唯一的適於進攻用的傷害性毒氣 (casualty gases)。故傷肺劑在將來的毒氣戰爭中，仍當佔有重要的地位。

毒性傷肺劑，在第一次歐戰中使用有限；其使用的可能性，尙未經廣泛的探測。然其高度毒害性，雙層生理效應，以及其他性質，均甚利於攻勢的化學戰爭。將來新穎的及更有效的化學戰劑，可望由此範圍內產出。

關於主要傷肺劑性質的摘要，可參看本編末所附列的第四十二表。

## 研習問題

- (一) 單純傷肺劑與毒性傷肺劑有何區別？試舉例說明之。
- (二) 試述勒遜氏電池 (Nelson cell) 之構造。
- (三) 氯氣雖效力不大，但在目下公認具有價值的化學戰劑中仍居卓越的地位，其故安在？
- (四) 在濕度較大的天氣中，適於使用硫酸二甲酯否？試述其理。
- (五) 何謂煙草反應 (tobacco reaction)？其功用為何？
- (六) 光氣對於人體的生理作用為何？試詳述之？
- (七) 試比較光氣與雙光氣的優劣。
- (八) 活性炭吸附能力的大小，係如何測定之。
- (九) 欲製造氯化苦劑 150 噸，至少須用苦味酸若干噸？
- (十) 試寫出德國法製造二氯化乙腈的化學反應式。
- (十一) 二氯化乙腈何以適用於進攻？其與光氣不同之點安在？

## 閱讀書目

- (一) "Chemical Warfare School Texts", The Chemical Warfare School, Edgewood Arsenal, Maryland, (latest rev.) Book II, Chapter III, Section II, III, IV d V。
- (二) Sarton-Morrison:— "The War Gases", translated from the 2nd Italian Ed., by L. W. Morrison, Van Nostrand 1939.
- (三) 曾昭掄 吳屏合譯:—化學戰爭通論，第一章第一節，2. A. b。

第二章,第二節,2。

(四)吳沅編：——化學戰爭,第二章。

## 第八章 中毒劑

屬於中毒劑 (systemic toxic agents) 一類的化合物。其主要作用，並不限於與其接觸的某項器官或身體的一部，而能深入肺部內壁 (epithelial lining) 的表皮，不致引起局部傷害作用。血液流過肺部，中毒劑即移入血流，擴散於身體全部組織之中，以釀成全身中毒作用 (general systemic poisoning action)，麻痺中樞神經系統 (central nervous system)，而致人於死。中毒劑為第一次歐戰中所採用的第三類化合物，在 1916 年 7 月 1 日開始使用。此類化合物不多，第一次歐戰中曾經用過者，計有下列各種：

戰	劑	首先採用者	最初採用日期
	氫氰酸	法國	1916 年 7 月 1 日
	溴化氰	奧國	1916 年 9 月
	氯化氰	法國	1916 年 10 月
	二氯化苯肼	德國	1917 年 5 月

中毒劑均屬暫時性；故其戰術上使用的方法及目的，均與傷肺劑相同。其發現及引用於戰爭，亦與傷肺劑同時。是以從戰術上說，中毒劑可視為傷肺劑的輔助戰劑，不必分開另列為一類。但其生理效應，則與傷肺劑完全不同。吾人分類方法，既係以生理效應作為主要的根據；故將中毒劑列為暫時性毒氣的一類，專章討論，實屬合乎邏輯。

## 第一節 中毒劑的通性

從化學上說，各種中毒劑，關係至為密切，皆係氰 [cyanogen (CN)<sub>2</sub>] 的衍生物 (derivatives)。此類衍生物可分為兩類。其分子中含有氰基 (—C≡N) 者，總稱為腈 (nitriles)；含有異腈基 (—N=C<) 者，總稱為肼 (carbylamines)，或異氰化物 (isonitriles)；此兩類亦可統稱為氰化物 (cyanides)。

從物理上說，中毒劑皆係比重殊小的液體，其沸點亦殊低，汽壓頗高，具有甚大的揮發度，為各類毒氣中持久性最小者。

從生理作用說來，中毒劑具有下列幾種通性：——

(a) 中毒劑雖可侵害整個循環系統 (entire circulatory system)，但其主要作用，為傷害神經中樞 (nerve centers)，使其麻痺，以致人於死。是以中毒劑對於身體的作用，仍係具有選擇性。

(b) 在致死濃度下，中毒劑作用極快。呼吸數次，在幾分鐘內即可致死。

(c) 在其臨界濃度 (critical concentration) (即每升約含 0.030 毫克) 以下，中毒劑的作用為可逆的 (reversible)。此即謂在此項濃度以下，人體顯示一種消除能力，令其毒性消失。因此哈柏 (Haber) 氏的簡單公式 (即毒性為毒氣濃度與曝露時間的相乘積)，不能適用於中毒劑；而須於公式中，另加一種因素，方可應用。此種因素，稱為『對消因素』 (elimination factor) (參閱第一章)。各種中毒劑，此項因素的數值各不相同。所謂對消因素，亦即人體經由受毒作用的相反反應 (reverse of toxic action) 所能經常對消的毒劑數量。在其臨界濃度以下，此類戰劑，對於人體不生傷害現象。即在急性中毒 (acute poisoning)，器官亦絕少傷害可見；蓋在臨界濃度以上，呼吸停滯 (asphyxiation) 至快，致傷害症候無從形成。

(d) 中毒劑的作用門檻 (threshold of action) 比較地頗低。例如氫氰酸一物，濃度一直低到其臨界濃度 (每升 0.030 毫克)，均有效力。

(e) 中毒劑毒性極強。每升空氣中含有氫氰酸 0.150 毫克，呼吸三十至六十分鐘即可致死，

(f) 中毒劑的作用，具有潛伏性。在嚴重的毒害效應未顯露以前上毫無警告朕兆 (premonitory symptoms)。

## 第二節 中毒劑各論

### (A) 氫氰酸 (HCN)

法名：凡山里特 (Vincennite)；又名  
瞞更里特 (Manganite)。

在第一次歐戰以前百餘年，工業上即知氫氰酸 (hydrocyanic acid) 為毒物中之最毒者。1915 年後半年，當各國努力作製造致命毒氣的競爭時，氫氰酸因其具有強烈的毒性，當然為各方所注意。法國首先考慮及此，該國亦為第一次歐戰中唯一使用此物的國家。因其在戰場上使用時遭遇實際上的困難，其他交戰國家，認清此物不適用於戰爭，遂均未採用。

韓斯聯博士 (Dr. Hanslian) (參考 20, 第 13 頁) 曾經引證一位法國權威學者的著作, 謂遠在 1915 年年尾, 法國即已大量地製備裝填氫氰酸及光氣的毒氣砲彈, 分別稱為四號特種砲彈 (special shell 4) 及五號特種砲彈 (special shell 5)。惟因此二物毒性太強, 且無破片功效, 遂遲遲未即引用於前線。對此吾人當憶及 1899 年及 1907 年海牙協定 (Hague Conventions) 的簽字國家, 曾經同意禁止使用專以散佈有毒氣體為目標的毒彈; 並規定凡彈類之毒氣效應大於破片功效 (splinter effect) 者, 均在禁止之列。不過彼時法國已經用過裝填氯磺酸乙酯及氯化三氯甲硫的毒氣砲彈; 德國方面, 亦曾用過裝填溴丙酮的砲彈。故法國何以遲疑未即使用裝填氫氰酸及光氣的毒彈, 殊難令人明悉其原委。當然法德兩國最初所用各種化合物, 均具有相當的催淚性, 可視作催淚劑; 但實際上那些化合物, 均有相當的毒害效應, 在尋常戰場濃度下, 能產生嚴重傷害及致命的效果, 實不能列於海牙協定所禁用的毒氣彈範圍以外。

不問法人當初為何躊躇引用裝填光氣及氫氰酸的毒氣砲彈, 至 1916 年, 終於開始採用此項彈藥。光氣砲彈, 係於 1916 年 2 月 21 日, 初次在凡爾登 (Verdun) 前線採用。同年七月一日, 法人又在蘇姆 (Somme) 河前線採用凡山里特 (Vincennite) 砲彈。採用在先的光氣, 其戰鬥價值 (combat value) 既較優越, 法國又何以決定引用氫氰酸, 亦難令人明瞭, 其唯一有力的理由, 當為發覺 1916 年德國所用的面具, 對於光氣能作適宜的防護, 對於氫氰酸則效力甚微。即此優點, 亦僅屬短期性質。德國在法國使用氫氰酸一週以前, 即知法方企圖。因此不久即對其前線部隊予以備有防禦氫氰酸的過濾層 (filter) 的防毒面具之配備 (參考 21, 第 69 頁)。此種過濾層, 含有粉末狀氧化銀 (silver oxide) 一克, 分佈於一層碳酸鉀 (potash) 的顆粒上; 對於氫氰酸, 能作適當的防護。

氫氰酸 (hydrocyanic acid), 亦稱氰化氫 (hydrogen cyanide) 其製造方法, 係將氰化鉀 (potassium cyanide) 的濃溶液, 加淡硫酸蒸餾, 用水吸收放出的蒸氣即得。在軍事上所用的無水氫氰酸, 係將用上法所得的氫氰酸水溶液, 再經分餾 (fractional distillation) 而成。純淨的氫氰酸, 為一無色液體, 其比重為 0.7。沸點為  $26^{\circ}\text{C}$  ( $79^{\circ}\text{F}$ )。此物蒸氣甚輕, 其比重不過為空氣的 0.93 倍。嗅味類似苦杏仁 (bitter almonds)。揮發度極大; 在  $20^{\circ}\text{C}$  時每升空氣中, 能含氫氰酸 873 毫克。在空曠處所, 此物放出後僅能

支持數分鐘。爲防止其蒸氣迅速擴散於空氣中起見，氫氰酸並非在純淨狀態下使用，所用者乃爲其與四氯化錫 (stannic chloride) 的混和物。同時加氯仿 (chloroform) 作穩定劑 (stabilizer)，以阻止其發生聚合作用。此種混和物，稱爲『凡山里特』 (Vincennite)；法人曾大量用以裝填砲彈。隨後氫氰酸又與三氯化砷 (arsenic trichloride)，混和應用，稱爲『瞞更里特』 (Manganite)。氫氰酸與水，可以各種比例混和；惟漸漸被水分解而成氰化銨 (ammonium cyanide)。無水氫氰酸極不穩定，分解極速，得出黑色樹脂狀物 (resinous mass)。但可加入少許強酸，或將其溶解於三氯化砷或四氯化錫中，以增加其穩定性。

按照海得爾 (Hederer) 及埃丁 (Istin) 二氏的意見，氫氰酸的毒害作用，爲一種典型的原生質毒 (protoplasmic poison)。此項中毒使活細胞的某種機能停滯，尤以氧化作用爲甚。因其制止呼吸酵素 (respiratory ferments) 的作用，遂釀成真正的內部窒息 (internal asphyxiation)。在此種情形下，人體組織，不復能利用血液中的氧氣。分析靜脈血液 (venous blood) 的結果，指出該項血液中氧氣及碳酸的含量，幾與動脈血液 (arterial blood) 中所含者相等。對於人類及其他高級動物，氫氰酸能襲擊中樞神經系統。經過短時間刺激後，肺胃神經中樞 (pneumogastric nerve centers)，血管 (vasomotor)，及呼吸神經中樞 (respiratory centers)，均被麻痺。在一般的毒害作用之後，其毒害作用漸漸阻止細胞的氧化作用 (cytoplasmic oxidation)；身體的各種組織，因此均尖銳地感覺缺乏氧氣。但神經細胞 (nerve cells) 較其他各種細胞更爲敏銳，其感受窒息作用亦最易。煩躁不安，卽爲將死的預兆；此種現象最爲顯著，蓋過其他各種陪襯的症候。

氫氰酸爲已知毒物中最毒者之一。將此物 0.05 克注入皮下，卽可致命。回德 (Vedder) 氏 (參考 25, 第 186 頁) 說過：『吸入時致命數量，一般人均相信較上述注射時所需數量爲小；事實上亦係如此。』

氫氰酸與多數毒物不同。其毒害效應乃非累積的 (cumulative)。因此哈柏 (Haber) 氏的簡單公式不能適用。反之，人體似能消除此物的效應，直至達其臨界濃度 (每升 0.030 毫克) 爲止。在此項濃度以下，吸入的蒸氣，其毒性迅速消失，故無嚴重的傷害作用發生。在臨界濃度以上，毒害效應發生至速；例如濃度達到每升 0.300 毫克時，幾分鐘內卽可致人於死。曝露十分鐘的致死濃度，爲每升 0.200 毫克；三十分鐘的致死濃度，爲每升 0.150

毫克。

氫氰酸既屬極易揮發，其蒸氣又較空氣為輕；故在戰場情況下，此物幾不能達到其致死濃度，尤以當此種氣體係從砲彈內放出時為甚。由於此種困難，及氫氰酸在未達到致死濃度前不能產生任何傷害的原故，遂使法國引用此項砲彈，成爲一種不幸的錯誤。對於氫氰酸在戰場之效用，協約國間彼此意見極爲參差。從各方搜集的事例，證明法人雖於第一次歐戰時使用四千噸以上的氫氰酸，但因此項砲彈所致的傷害，則爲數極小。

(B) 溴化氰 (Br-CN)

奧國符號：“Ce”；

英國符號：“CB”；

意名：康披里特 (Campillit)。

在法國採用氫氰酸之後，奧國隨即於 1916 年 9 月採用溴化氰 (cyanogen bromide)。最初使用的溴化氰，實爲溴化氰，溴丙酮，及苯的混和物；內含溴化氰 25%，溴丙酮 25%，苯 50%。後以此項混和物不宜儲藏，放置後其毒害效應即行減低，遂在砲彈內將溴化氰及溴丙酮分開裝填。英國亦曾在西方前線，使用內裝溴化氰的砲彈，稱之爲“CB”砲彈。

溴化氰的製法，係於  $0^{\circ}\text{C}$  下任溴素與氰化鉀的濃度溶液起作用。此物新經昇華後，爲一白色結晶的固體，其比重爲 2.02，熔點爲  $52^{\circ}\text{C}$  ( $125.6^{\circ}\text{F}$ )，沸點爲  $61.3^{\circ}\text{C}$  ( $142^{\circ}\text{F}$ )。其蒸氣重於空氣 3.4 倍，具有刺鼻之嗅及苦味。此物能溶於酒精及水中；在水中起水解作用，產生不具毒性的合水物 (non-toxic hydrate)。在  $20^{\circ}\text{C}$  ( $68^{\circ}\text{F}$ ) 下，其汽壓爲 92.00 毫米水銀柱，揮發度爲每升 200.00 毫克。與一般暫時性毒氣相較，此物的揮發度殊高；但較之氫氰酸，則不過爲該物揮發度之四分之一。

溴化氰對於人體的影響，與氫氰酸大致相同。但其毒性較弱，另外具有催淚及強烈的刺激效應。當其濃度低至每升 0.006 毫克時，此物對於呼吸系統的結膜及黏膜，即有猛烈的刺激作用。濃度達到每升 0.035 毫克時，即不能忍受。曝露十分鐘的致死濃度，爲每升 0.400 毫克。可知此物的毒性，較之光氣爲強，但僅及氫氰酸的三分之一。此外，溴化氰能侵蝕金屬，同時並起分解；貯存時亦極不穩定，能漸行聚合而成生理作用極不活潑的物質。從上述各點看來，可知溴化氰頗不適於用作化學戰劑。第一次歐戰中，由於使用溴化氰所獲得的成功，極爲微渺。是以奧國旋即廢棄不用，而採用德國的



綠十字(雙光氣)彈藥(參考 21, 第 72 頁)。

(C) 氯化氰 (Cl-CN)

法名: 莫糾里特 (Mauguinite); 又名  
飛屈特 (Vitrite)。

差不多與奧國採用溴化氰同時, 法國引用氯化氰 (cyanogen chloride) 爲化學戰劑。當時所希冀獲得者, 爲一種蒸氣較重揮發度較低在低濃度下具有累積性毒害效應的毒劑, 換言之, 即無氫氰酸的各種缺點之毒氣。

氯化氰的製法與溴化氰相似; 即在  $0^{\circ}\text{C}$  下, 直接將氰化鉀的飽和溶液氯化而得。此物爲一無色液體, 其比重爲 1.22, 沸點爲  $15^{\circ}\text{C}$  ( $59^{\circ}\text{F}$ ), 其蒸氣較空氣重 1.98 倍, 具有刺激性。在  $20^{\circ}\text{C}$  ( $68^{\circ}\text{F}$ ) 下, 此物的汽壓爲 1000 毫米水銀柱, 揮發度爲每升 3300 毫克, 較氫氰酸尤大。

氯化氰雖難溶於水內, 但易溶於有機溶劑中。在化學上此物殊不穩定; 貯藏時漸行聚合而成叁聚氯化氰 [cyanogen trichloride  $(\text{ClCN})_3$ ], 爲一生理作用遠不如氯化氰活潑的物質。但設將氯化氰與三氯化砷混和, 則其蒸氣密度增加, 氯化氰亦大爲穩定。因此法國即採用此項混和物, 稱之爲飛屈特 (Vitrite)。

氯化氰的毒害作用, 與氫氰酸大致相同; 但長期曝露於低濃度下, 其作用較爲猛烈。在高濃度下, 此物與氫氰酸相似, 迅速地使神經中樞麻痺 (尤以節制呼吸系統的神經爲甚), 以至於死。其不同於氫氰酸的一點, 即在低濃度 (每升 0.010—0.050 毫克) 下, 此物對於眼部及肺部, 均有刺激作用; 且其毒害效應具有遲效性, 頗與傷肺劑相似。曝露十分鐘的致死濃度爲每升 0.40 毫克, 與溴化氰相等。氯化氰亦爲一種中等的催淚劑; 每升空氣中含有 0.0025 毫克時, 幾分鐘內可使人大量地流淚。

(D) 二氯化苯肼 ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{NC Cl}_2$ )

此物已於傷肺劑一類中述及 (參閱第 322 頁)。因其主要作用, 爲攻擊肺部系統故也。至其輔助效應, 則類似中毒劑; 此乃由於在化學結構上, 此物爲一異氰化合物, 屬於氰化物一類。此物的中毒效應雖不重要, 但爲使分類法完全起見, 特於此處提及。

### 第三節 中毒劑的將來

各種中毒劑, 均屬已知毒物中毒性最強的一類。但此類物質極易揮發,

其蒸氣甚輕，能迅速擴散於空氣中。在未達到其臨界濃度以前，事實上幾無效應；一經達到此項濃度，其作用即殊迅速而猛烈。是以使用此類戰劑，欲於戰場中發生威力，必須在有利的天氣狀況下，於極短時間內，達到較高的濃度，俾在濃度未低落至有效臨界濃度以前，使敵人呼吸幾次，即已吸入足夠致死的份量。因須具備此項條件，故中毒劑的應用，既不經濟，在戰場上亦難收可靠的結果。但因其作用迅速，毒性甚強，利用其攻擊小範圍的目標，則效力甚大。尤以當敵人躲避在掩蔽部、深塹壕、或樹林等地方時，因其易於達到較高濃度，復能支持至幾分鐘之久，此類戰劑，最易發揮其功效。

### 研習問題

(一) 氫氰酸的缺點甚多，但在日寇目下所用的化學戰備中，氫氰酸尚佔相當的地位，試揣測其理。

(二) 何謂對消因數 (elimination factor)? 常人曝露於每升含有氫氰酸 0.025 毫克的空氣中一小時，尚無致死危險否? 試釋其理。

(三) 試寫出製造溴化氰及氯化氰的化學反應式。

(四) 二氯化苯肼何以亦具有中毒性毒氣的通性? 試從其化學結構說明之。

### 閱讀書目

(一) 化學兵器，訓練總監部軍學編譯處譯印。第二篇，第一部，第三章，第六節。

(二) 毒氣化學，劉泰庠譯，各論，第九章，1. 2. 4.

(三) 化學戰爭，吳沆編，第五章。

## 第九章 起泡劑

所謂起泡劑 (vesicant agents), 係指與其接觸後能使人類及其他動物身體內部與外部起泡的一切化合物。此類化合物, 為第一次歐戰中所用的第四類毒氣。其中多數具有強烈的毒性, 同時幾乎每種在生理上均具有複效應。一部份起泡劑, 具有中等的催淚性質, 另一部份, 能產生顯著傷肺效應; 再有一部份, 則具有中毒性的毒害作用。無論如何, 屬於此類的化合物, 其起泡性能遠較其他作用為顯著; 是乃此類物質的通性。當一種化合物的起泡效應次於其他生理效應時, 該項化合物即列入他類。例如二氯化乙腈亦能令皮膚起泡, 但其主要生理作用, 為傷害體內肺部系統, 故列入傷肺劑 (見第七章)。

當第一次歐戰爆發時, 科學上即知有七十種以上之起泡化合物 (vesicant compounds) (參考 26)。但其中僅有五種, 結果曾被採作戰劑。此中又祇有芥氣及二氯化乙腈兩物, 曾經實際使用; 其餘三種——即路易氏戰劑, 二氯化甲腈, 及二溴二乙硫 (dibromoethyl sulfide)——則在上次大戰結束時, 方始從事研究及製造, 迄未能將其引用於戰場。在前兩種物質中, 二氯化乙腈, 係主要地用作傷肺劑, 用作起泡劑的時候殊屬有限。此物雖經證明, 認為十分有效; 但在第一次歐戰中並未佔有重要的地位。反之, 芥氣一物, 則為交戰雙方普遍地採用, 功效顯著, 成為第一次歐戰最後一年的主要戰鬥毒氣 (combat gas)。事實上, 在上次大戰中, 芥氣殆佔有起泡劑的整個地位。故上次大戰中起泡劑的歷史, 實即芥氣的歷史。

### 第一節 起泡劑的通性

起泡劑除起泡作用外, 能對感受者發生複雜的生理效應, 其物理、化學、及毒害性質, 均使其自成一類, 具有多種共同的特性。因此德國遂將其另列為一類, 通稱為黃十字物質 (yellow cross substances)。

起泡劑雖易溶於動物織組的本質 (substances of animal tissues) 中, 其對於活的物質 (living matter) 之化學愛力 (chemical affinities), 則較傷肺劑為弱。故其分解較慢, 透入人體組織亦較深, 其作用範圍亦因此益為

擴大。起泡劑具有下列幾種通性：

(1) 對於身體的作用，不限於某一部份；無論何項組織與之接觸，其細胞構造 (cellular structure) 即被摧毀。

(2) 對於身體所產生的生理效應甚為緩慢；曝露後六至二十四小時，方始顯露其毒害效應。由此類戰劑致死者甚少，不過佔受毒者百分之二。

(3) 作用為不可逆的 (non-reversible)。對於細胞構造的破壞，具有永久性。治愈其所引起的傷害，須經長久的時間，隨起泡劑深入的程度為轉移。曾起作用的細胞，不能恢復。

(4) 作用門檻甚低。如芥氣濃度低至十萬分之一 (每升 0.0065 毫克) 時，曝露六十分鐘，即產生失去作戰能力的效果。濃度更低時，若曝露時間作比例的增長，亦可得同一結果。

(5) 沸點高。

(6) 汽壓低，揮發度小。

(7) 持久性大。

(8) 作用具有潛伏性；在傷害未顯出以前，幾於毫無朕兆。

## 第二節 起泡劑的分類

起泡劑可分為兩類；即：(1) 單純起泡劑 (simple vesicants)，即僅對與之接觸的部份，產生局部作用者；(2) 毒性起泡劑 (toxic vesicant)，即除局部作用外，並有毒害全身的中毒效應 (systematic poisoning effect) 者。此種區別，實用上並非重要。根據記載，所有曾經在戰爭上用過的單純起泡劑，其起泡劑功效均係其副作用；質言之，即已知的單純起泡劑，均係屬於他類戰劑的化合物。例如硫酸二甲酯，為第一次歐戰中曾經用過的單純起泡劑；但其傷肺效應，遠較起泡效應為強，故尋常多將其視作屬於傷肺劑一類的化合物。至於芥氣以及第一次歐戰以後製造的各種起泡劑，均屬於第二類。因此從實用上說來，吾人可將起泡劑，一般地視作具有毒害效應的化合物。但並非謂將來情形永遠如此，將來或能發現新的化合物，其起泡作用殊為顯著，而且單純，應該明白地確認其為單純起泡劑。

## 第三節 起泡劑各論

(A) 二氯二乙硫  $[S(CH_2CH_2)_2Cl_2]$

德名：羅斯特 (Lost)；

法名：伊迫禮特 (Yperite)；

英美名：芥氣 (Mustard Gas)。

1917年7月12日之夜，德國在佛蘭德爾 (Flander) 區域鄰近伊迫 (Ypres) 的地方，對英國前線採用芥氣 (mustard gas) 砲彈施行砲擊 (artillery bombardment)，開創化學戰爭的一種新局面。此舉使協約國驚惶失措；在未獲得任何防護辦法以前，受其傷害者人數已達數千。由於芥氣的巨大效果，使化學戰爭潛在的可怖威力，獲得表明。

在1916年中及1917年上半年，雙方所用的主要戰鬥毒氣，屬於傷肺劑一類。當時的目的，為攻擊呼吸器官，故必須吸入始能生效。至1917年夏季，防毒面具已發展至一種完善的階段，對於已知的各種傷肺劑均能完全防禦。因此是類毒氣，僅在施行毒氣奇襲，敵人未能調整其面具以前，即已曝露於毒氣中，方能發生傷害效果。換言之，即當時毒氣防護的方法，已能趕上毒氣攻擊。為打破此種僵局起見，必須於下列兩事中，求得其一。此兩事一為發現一種能透過面具的傷肺劑；其他為發明一類新的戰劑，能繞過面具以攻擊人體其他部份，因而使人失去作戰的能力。德國化學家，對此兩項問題同時獲得答案。在一方面，彼等引用氯化二苯肅 [藍十字物質 (blue cross substances)]；該物如分散得宜，能透過1917年所能製造的面具。在另一方面，彼等採用芥氣；此物能透過橡皮衣服以及皮靴等用具，當其蒸氣與人體任何部份接觸時，即能產生令人失去戰鬥能力的灼傷 (burns)。除起泡功效外，芥氣尚具有劇烈毒性，即在極小濃度下吸入，亦能引起嚴重的傷害，是以此物乃係一種近於完善的戰劑。縱令利用面具，予肺部以適當的保護；整個身體如缺乏適當防護辦法，此物仍能發揮其巨大的威力。故芥氣使用不久，即被稱為『毒氣之王』 (king of the battle gas)，且直至第一次歐戰終了時，是物始終保持其此項優越的地位。

1917年7月12日及13日，轟擊伊迫地方所用的毒氣砲彈，口徑為77-及105-毫米。彈的底部及側面，均以黃色十字作為標識。彈殼爆裂時所生的蒸氣，對於目部或胸部，均不能立即發生刺激作用；故部隊在毒彈炸裂之處，最初除鼻部感受刺激以致噴嚏外，其他毫不感覺不適。受毒二至四小時後，芥氣的毒害症候，方纔開始顯出。此項症候，起初為目部發炎，繼以嘔吐，隨後則皮膚現出赤色斑點 (erythema) 而起泡。目部結膜炎 (conjunctivitis)

ctivitis) 症殊爲顯著，當受毒者達到傷害登記站(casualty clearing stations) 時，往往實際上等於目盲，行動須人引導。

從 1917 年 7 月 12 日起直至是月底，德國每晚均在伊迫地方發射芥氣彈。7 月 21 及 22 兩日夜間，並在紐樸 (Nieuport) 地方。舉行大規模的黃十字砲彈射擊；結果所引起的巨大傷害，較之第一次在伊迫地方施行芥氣砲擊所得的效果尤爲慘重。

阿門提爾 (Armentieres) 之受芥氣砲彈射擊，始於 1917 年 7 月 20 及 21 日的夜間。同月 28 及 29 日之夜，德人復以大量黃十字砲彈攻擊紐樸及阿門提爾兩地。自是以後，德人即廣大地採用黃十字彈。直至 1918 年 7 月，由於是項彈藥的漸形缺乏，芥氣攻擊始行減少。

在芥氣攻擊的最初三週內（7 月 12 日至 8 月 1 日），受其毒害而入英國傷害登記站者，共達 14,276 人，其中死去者計有 500 人。在如此短促時期內，黃十字彈所造成的傷害數目，較之以前傷肺劑彈所致的傷害總數爲大；致死人數亦幾相等。從 1917 年 7 月 21 日至 1918 年 11 月 23 日，受毒氣傷害而入英國傷害登記站者，總數計有 160,970 人，內中死去者 1,859 人。此中傷害之由於芥氣者佔百分之七十七；由於藍十字戰劑（二氯化乙腫）者佔百分之十；由於綠十字戰劑（光氣、雙光氣、氯化苦劑）者，共佔百分之十。

關於芥氣在第一次大戰中所負任務的重要性，繆勒博士 (Dr. Mueller) 曾云（參考 21 第 75 頁）：

『假如德國化學家，當時不於德國士兵之前，持着黃十字物質（芥氣）的防禦盾牌，並授以藍十字物質的新式利劍，德國前線，決不能抗拒全世界集中軍力與物質的猛烈攻擊。』

第一次歐戰中，各國使用芥氣的總量約一萬二千噸；受其傷害者，共約四十萬人。每傷害一人，平均計用芥氣六十磅；而傷肺劑則須消耗二百三十磅，方可傷害一人。

芥氣與第一次歐戰中所用其他毒氣相同，在當時並非一種未知或者新穎的化合物。在大戰爆發以前六十年，此物即已發現；其化學性質及生理性質亦曾經研究，爲科學界所習知。芥氣最初係於 1854 年在不純淨狀態下，爲黎奇 (Richie) 氏（參考 15，第 235 頁）所製得。1860 年，哥特雷 (Guthrie) 及里滿 (Nieman) 二氏，又各獨立地製出此物；其法係將乙炔

(ethylene) 氣體通入氯化硫 (sulfur chloride) 中 (參考 27, 第 266 及 288 頁)。哥里二氏對於芥氣的起泡性質及毒性, 均加以精確的而幾乎類似預言的描寫。哥特雷云: 『甚至此物蒸氣與人體皮膚易傷的部份相接觸, 亦能產生嚴重的破壞。』 1886 年, 德國化學家維克梅耶 (Victor Meyer) 氏, 任鹽酸與二羥二乙硫 (thiodiglycol) 起作用, 亦製得芥氣, 並敘述其可怖效應。最後, 在 1891 年眼科醫生雷伯 (Theodore Leber) 氏對於芥氣的毒性, 曾作一種扼要的研究。

德國關於芥氣, 曾有極多有用的記載。故在尋求較為有效的戰鬥毒氣時, 只須設法大量生產, 並將其戰場上作實地的試驗。德國在 1917 年春季, 祕密從事此種工作, 所得結果極為滿意; 當即決定用以裝填砲彈。在協約國未覺察此項進步以前, 已積有大批是項黃十字彈藥。

純淨的芥氣, 為透明淡黃色油狀液體, 其比重為 1.27, 沸點為  $317^{\circ}\text{C}$  ( $422.6^{\circ}\text{F}$ ), 沸騰時微起分解。其蒸氣較空氣重 5.5 倍。在尋常戰場濃度下幾無嗅味; 在高濃度下, 則有類似辣根 (horse radish) 或芥菜 (mustard) 的嗅味。英人名之為芥氣 (mustard gas), 即係由此而來。但此物化學性質, 與真正的芥油 (mustard oil) 毫無關係。芥氣於  $14^{\circ}\text{C}$  ( $57^{\circ}\text{F}$ ) 下凝成固體, 作白色結晶狀。因此德國在使用此物時, 先用溶劑將其溶解, 以降低其凝固點, 使其在尋常溫度下, 永能保持一種勻一的 (液體) 體態。

芥氣的汽壓及揮發度甚低, 如第三十八表所示。

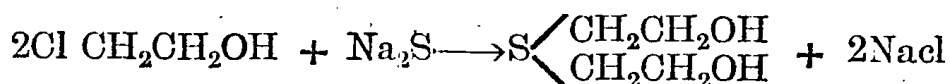
第三十八表 芥氣的汽壓及揮發度

溫 度		汽 壓 (毫米水銀柱)	揮 發 度 (毫克/升)
( $^{\circ}\text{C}$ )	( $^{\circ}\text{F}$ )		
0	32	0.0260	0.250
5	41	0.0330	0.278
10	50	0.0360	0.315
15	59	0.0417	0.401
20	68	0.0550	0.625
25	77	0.0926	0.958
30	83	0.1500	1.443
35	95	0.2220	2.135
40	104	0.4530	3.660

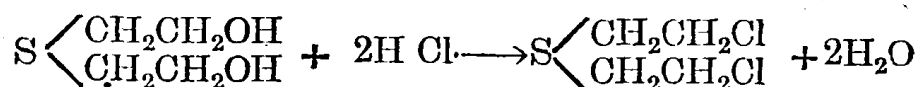
芥氣因其揮發度甚低，其在戰場上的持久性甚大。夏季在空曠處所能維持一天，在樹林中能維持一禮拜；冬季則無論在樹林或曠野，均能支持數星期之久。此物持久性之大，為其使用範圍的主要限制；在戰術上取攻勢時，凡友軍 (friendly troops) 必須通過或佔領的地域，均不能使用此物以佈毒。但在戰術上取守勢時，此物則具有特殊的價值，尤以當防止敵人佔領撤退區域時為然。

在第一次歐戰中，製造二氯二乙硫 (芥氣) 計有兩種根本不同的方法。德國採用維克梅耶 (Victor Meyu) 氏法，比較複雜。其所以採用此法，係因德人對於製造此物的主要部份，事先已有設備。當時只須建立最後一步的設備，即可成功。德國方法所含主要步驟如下：

(1) 氯乙醇 (ethylene chlorhydrin) 與硫化鈉 (sodium sulfide)，按照下列反應式起作用，造成二羥二乙硫 (thiodiglycol)：



(2) 二羥二乙硫用氣體氯化氫處理，即按照下式起氯化作用：



德國法顯著的優點有二，即：(1) 其中間產物 (intermediate products) 毫無危險性，是以製造該項中間物的工廠，對於工人毫無危險。全法中具有危險性者，僅在最後一步，即將二羥二乙硫氯化成為芥氣；但此步反應比較簡單，易於控制。故整個說來，此法對於工人的危險性，遠較另一法為小。(2) 此法產量極高，所得產品亦極純淨。因最後一步，唯一的其他產物為水，極易用蒸餾法 (distillation) 析出故也。

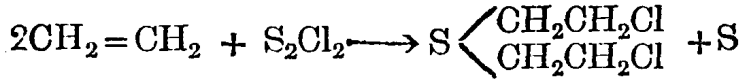
從另一方面言之，德國法手續甚為複雜，尤以製造氯乙醇時為甚。此項缺點殊難克服。製造此項中間物 (氯乙醇)，計有三部手續，每步均須細心加以節制：(1) 於  $300^\circ\text{C}$  下，將酒精蒸氣通過氧化鋁，使其分子破裂而得乙烯 (ethylene)。(2) 將乙烯氣體用唧筒抽入大的反應器，其中貯有糊狀漂白粉；在反應進行中，須將反應混和物細心地予以冷卻。(3) 用水蒸氣將所得的氯乙醇從糊狀漂白粉中驅出。

上述德國法製造芥氣的各步驟，看來似甚簡單，實際上則不然。除非化學技術上具有完善的組織與豐富的經驗可資依據，決難解決技術上所遇各

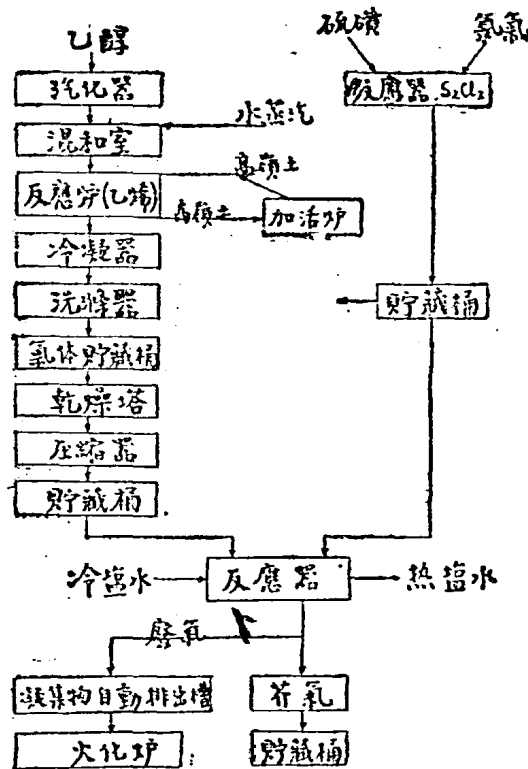


種困難。

協約國因缺乏德國人製造各種中間物的設備與經驗，不能使用德國方法，乃採用哥特雷與里滿二氏的舊法，按照下列方程式，使氣態的乙炔直接與一氯化硫起作用（參閱第二十圖），以製造二氯二乙硫。



第二十圖 用雷文斯坦(Levenstein)法製造芥氣的程序圖表

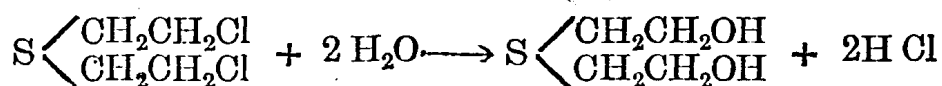


此項反應，在適當情形下，進行殊為順利。但在大量製造時，事實上常有幾種困難。例如，此項反應係自動地進行，同時放出大量的熱；在起反應時，溫度必須精確控制，使所成硫磺，能保持膠體懸態 (colloidal suspension)，不致以固體形態沉澱於反應器 (reaction vessels) 及連接管 (connecting pipes) 中。從膠態硫磺中析出芥氣，亦有相當困難。是以由此法所得的產品，不及由德國法所製得者之純淨。然其戰場功效則約略相等。

即在最好的情形下從事芥氣的製造，危險性亦極大，此點應特別注意。在此項工廠內的工人，必須備有防毒面具及最有效的防毒衣；凡曾與芥氣蒸氣接觸的任何物件，均須立即用漂白粉或其他中和劑 (neutralizing agents)

消毒。即在上述幾點預防方法均經採用的時候，仍常有因大意而遭受傷害者。惟有嚴密的紀律，纔可將此等傷害限制到合理的範圍以內。

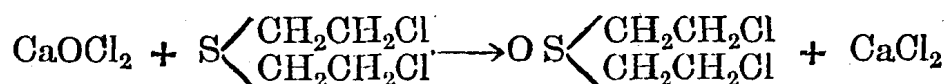
芥氣祇能略溶於水內，在水中漸行分解。在平常溫度下，其分解速率，為每升水中分解芥氣一克須時三十分鐘。在溫熱時，分解進行較速，所起為皂化作用 (saponification)，生成二羥二乙硫及鹽酸，如下式所示：



芥氣與地面上的水或空氣中的濕氣接觸時，亦有此項水解作用進行。故遇有此種情形時，芥氣即漸被毀滅。至其毀滅的速率，則隨溫度與水量為轉移。如有鹼類，鹼金屬碳酸鹽 (alkaline carbonates)，或與水可以各種比例混和的芥氣溶劑（例如酒精）等存在，亦可使芥氣的水解作用加速。芥氣易溶於有機溶劑中；例如乙醚 (ether)，氯仿 (chloroform)，丙酮 (acetone)，低分子量烷 (light paraffin hydrocarbons)。及各種動物性或植物性脂肪 (fats)，皆易使其溶解。但在石蠟 (paraffin)，凡士林 (vaseline)，及礦物油 (mineral oil) 等中，則頗難溶解。

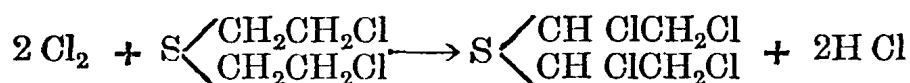
芥氣在橡膠 (rubber) 等樹脂 (gum) 中，能逐漸溶解。此外並易透過皮革及棉麻等紡織物。故用皮革及橡皮製成的靴與手套以及一切衣服，均極易為芥氣所透過，尤以與液體芥氣直接接觸時為甚。由於其具有此等顯著的溶解性及透過能力，此物殊難防禦。事實上唯一可靠的防禦方法，即將芥氣的分子毀滅，使其分解成為比較無毒的物質。

芥氣在物理性質上，雖具有溶解性及透過能力等顯著的活潑性，但其化學上的活潑性則殊屬有限；其水解的緩慢，即屬一例。因其化學性質的穩定，用漂白粉消毒的困難更形增加。芥氣與漂白粉起作用，放出大量的熱，結果所得的產物為芥氣亞碲 (mustard sulfoxide) 及氯化鈣 (calcium chloride)。



此項亞碲化合物不具毒性，故漂白粉廣用以毀滅芥氣。若使用極強的氧化劑，則有二原子氧與硫原子相結合，而得極毒的芥氣碲 [mustard sulfone,  $\text{O}_2\text{S}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{Cl})_2$ ]。此種奇異現象，亦增加除去浸染物質上所沾芥氣的困難。

氯氣與芥氣起激烈作用，將其變成無毒的多氯化物 (higher chloride)：



故用氯或對位甲苯硫醯胺二氯 (dichloramine T)，二氯化硫 (sulfur dichloride) 等氯化劑 (chlorinating agent) 消毒，亦可免芥氣分解成爲有毒產物的危險。

每升空氣中含有芥氣蒸氣 0.006 至 0.200 毫克，即可致人於死；所需濃度確數，視曝露之時間而定。具體言之，每升空氣中含有芥氣 0.15 毫克，在其內呼吸十分鐘即死。曝露三十分鐘的致命濃度，爲每升 0.07 毫克。濃度低至每升 0.001 毫克時，曝露一小時，亦可襲擊目部，使受毒者感受眼膜發炎的傷害。芥氣的毒性，較光氣大五倍，此點大增其用作戰劑的效力。

在討論芥氣的複雜生理作用時，最好引用吉爾客瑞斯特將軍 (General Gilchrist) 的下列一段言論 (參考 22, 第 45—46 頁)：

『芥氣屬於起泡劑一類。……其作用最初爲刺激細胞，最後則爲毒害細胞。芥氣的毒害症候，在四小時至六小時後方始發覺；其潛伏期 (latent period) 甚至有多至二十四小時者。濃度愈大，則曝露後至症候初現時的相距時間愈短。』

芥氣的生理作用，可分爲局部的及一般的。局部作用的結果爲眼睛發炎；皮膚上發現赤色斑點後，隨即起泡並潰爛 (celceration)，而鼻、喉、氣管、與支氣管……等部份，亦均起發炎作用 (inflammatory reaction)。

一種極饒趣味之事，即芥氣的毒性，具有種族敏感性 (racial susceptibility)，白種人較黑種人爲易於感受。各個人的敏感性亦復不同，尤以對於皮膚及呼吸器官爲甚。』

關於芥氣一物與一般起泡劑的作用機構 (mechanism of action)，曾有人費去許多時間加以研究。對此現有多種學說，可用以解釋芥氣對於活的組織 (living organism) 之毒害效應。各種學說，因限於篇幅，不便詳細敘述。其中最簡單的而又爲一般專家所公認的學說，係將芥氣的毒害效應，歸之於其分子在原生質中的水解 (protoplasmic hydrolysis)，因而在活的細胞 (living cell) 中放出鹽酸。關於此項學說，回德 (Vedder) 氏 (參考 25, 第 129 頁) 曾說：

『二氯二乙硫難溶於水內，但易溶於有機溶劑中。此即謂是物具有殊大的液體溶度 (liquid solubility) 或分配係數 (partition coefficient)。由此可逆料其透入細胞中必甚速。其迅速透入之能力，可由其對於皮膚的效應證實之。一經透入活的細胞間，此物即起水解作用，產生鹽酸，釀起嚴重的傷害效應。按照此項學說，則二氯二乙硫的作用機構如下：

(a) 由於其在脂肪中的溶度 (solubility) 甚大，此物能迅速地透入細胞中。

(b) 在細胞中此物被水分解，產生鹽酸及二羥二乙硫，此項學說極為簡單，且已為一般人所公認。

不論其傷害作用的理論如何，芥氣的效應確係毒害細胞。一切細胞，包括皮膚、黏膜、及其所有構造，如與芥氣直接接觸，即起潰爛 (necrotizing) 的現象。微血管 (capillaries) 及其他器官遇之，即起麻痺現象。

芥氣所引起的傷害，較之由物理作用或其他化學作用所引起的類似灼傷難於治療，乃吾人所熟知的事實。此種特點的解釋，為曾與芥氣起作用的血管，失去其恢復作用之性能；而潰爛的組織，更為廣大傷害作用良好的培養劑 (culture medium)。是以芥氣的灼傷作用，具有極大的感染性 (liability) (參閱參考 15, 第 239 頁)。』

芥氣最大危險之一，為其在野外低濃度下缺乏任何明確的檢定法。雖在高濃度下，此物具有類似芥菜或辣根 (horse-radish) 的特殊嗅味；但在低濃度下，此種嗅味極弱，而在該項濃度下曝露一小時以上，仍有極大的危險。例如可以察覺其嗅味的濃度，為每升 0.0013 毫克；但在濃度為每升 0.0010 毫克時，曝露一小時，即可使眼部結膜發炎，而此種濃度，即感覺最靈的人亦不能察覺。更有進者，人類對於芥氣的嗅覺，在最初曝露後即迅速地變鈍，結果致即在較高的濃度下亦毫無知覺。同時，許多嗅味，例如由強烈催淚劑所發生者，亦可用以掩飾芥氣的存在。因此將芥氣與催淚劑混和使用，成爲一種普遍的習慣。

在戰場上，芥氣既無從察覺，同時此物具有潛伏作用，在曝露數小時後，不呈明顯的症候；結果遂使此物釀成巨大的傷亡數目，此種傷亡，倘有可靠的方法檢出芥氣的存在，以警告部隊，必可大為減少。此項問題極端重要，曾經多方努力，企圖獲得一種可靠的化學檢定劑 (chemical detector)；可以適用於前線。但此項努力終無結果，此種問題仍待解決。

芥氣在  $14^{\circ}\text{C}$  ( $57^{\circ}\text{F}$ ) 下凝成固體。故須加入小量溶劑。使其在一般戰場所可遭遇的溫度下，均能保持液體狀態。如不加入溶劑，則當溫度變更時。砲彈內裝填的芥氣，由液體變為固體，致嚴重影響其彈道性質 (ballistic behavior)。因為如此，德法雙方對之均加入10%至25%的四氯化碳(carbon tetrachloride)，氯苯 (chlorobenzene,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$ )，或硝基苯 (nitrobenzene  $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$ ) 等極易揮發的溶劑。美國人找出氯化苦劑亦可用作溶劑，得到同樣滿意的結果；且該項溶劑，本身亦有毒害效應。

加入溶劑，不僅有利於芥氣彈的彈道性質，在冬季並可增加其揮發性，使其在戰地更為有效。視其所用溶劑的性質及彈內裝填炸藥的爆炸力(force of explosion)，芥氣溶液，可分散成為氣雲，或成為極細的飛沫 (spray)，其大小從極細的霧粒 (atomized mist) 以至細雨點滴大小的液體顆粒不等。此種液體顆粒，對於濕氣極為穩定，且能堅牢地附着於植物及地面上。由砲彈爆炸所形成的芥氣氣雲，在天氣乾燥時完全看不見；在天氣潮濕時，亦僅隱約可見。在空曠地域，其效力能支持六小時。在有植物以防避風及日光的處所，則能支持十二至二十四小時。

芥氣微粒，能敏捷迅速地透入所接觸的任何物件。皮靴、橡皮靴、軍服、及士兵穿戴的其他衣物裝具，均易被此物透過。因此芥氣極易為士兵沾染，以傳佈並蒸發於其他未曾直接毒化的地域。在第一次大戰中，常有一處掩蔽部內的全體人員，被一名士兵衣服上附着之芥氣所沾染而致病。

芥氣不僅由於其飛沫的傳遞，及已被沾染的衣物之攜帶，以分散於戰場及其四週，並且為經過毒化地面的風與充滿芥氣蒸氣的空氣所散播。野外實際試驗證明，速度不及每小時十二英里的風，吹過一片正常地為芥氣所飽和的地域，能傳送相當濃度的芥氣蒸氣 (每升空氣中約含芥氣 0.070 毫克)，使在順風距離五百碼至一千碼的處所，三十分鐘內即可致人於死。是以每次芥氣彈射擊之後，其液體飛沫及氣雲，立即產生直接或即時的效應；同時由毒化地域液體的揮發，隨即產生間接或持續的效果。後者或由風將有效濃度，帶往五百至一千碼的距離；或由人之曾與毒化地域布散的液體接觸，經由衣服或其他材料帶至其他處所。

因其能向戰場各方遠遠播散，而且具有潛伏作用及多種生理效應，芥氣之成為毒氣之王 (king of the battle gas)，自無足奇。將此物與同量其他各種戰劑所生的效果相較，則芥氣的傷害效率，幾為其他戰劑總平均數的八

倍。

設將上文第二章第三節中所述理想戰劑應具的性質與芥氣性質相比較，芥氣能適合下列各種條件：

(1) 此物毒性甚大（每升空氣中含 0.15 毫克時，十分鐘即可致人於死。）

(2) 此物具有複效應。

(3) 此物持久性甚大。因此用之於戰術上採取攻勢時，大受限制；但在防禦時，則此點大增其價值。

(4) 此物效應能支持相當時間，但非永久性的。

(5) 此物效應，延遲六至二十四小時後方始發生，因此減損其攻勢戰鬥效力。

(6) 此物作用具有潛伏性，不具警告性的性質或症候。

(7) 此物揮發度殊低。熱天最大的戰場濃度，可達每升 3.36 毫克，為致死濃度的十倍至五十倍。

(8) 此物能透入各類有機物質 (organic matter)。

(9) 在乾燥天氣下，此物蒸氣不可見；在潮濕天氣下，亦僅隱約可見。

(10) 在普通戰場濃度下，此物幾無嗅味。

(11) 此物製造所需原料（酒精、硫磺、及氯氣），殊為豐富。

(12) 此物製造雖頗困難，但對其製法，列強目下均已研究成功。

(13) 在化學上，此物極為穩定。

(14) 在尋常溫度下，此物水解甚慢。

(15) 此物能抵抗爆炸而不起分解。

(16) 在 57° F 以上，此物非係固體。

(17) 此物熔點非在尋常空氣的最高溫度以上；因此使用時宜加溶劑。

(18) 此物沸點甚高，為 217° C (即 422.6° F)。

(19) 此物汽壓殊低，但在尋常溫度下，仍能達到致死濃度。

(20) 此物比重 (1.27) 小於 1.50。

(21) 此物蒸氣密度，大於空氣 5.5 倍。

由上所述，可見芥氣的性質與理想戰劑的重要條件極為近似。因為如此，加以其防禦極屬困難，芥氣在將來可保有穩固的地位。吾人可以預料，在未來的化學戰爭中，除非被迄今尚未發現之其他效力更大的戰劑所替代，芥

氣將仍佔有異常卓越的地位。

(B) 二氯化乙胂 ( $C_2H_5AsCl_2$ )

德名：第克 (Dick)

二氯化乙胂 (ethyldichloroarsine)，為按照生理作用分類時最難歸類的一種；因其所生效應，可列入彼此不同的三類故也。二氯化乙胂，可視為傷肺劑，其毒性約與光氣相等。同時，此物亦為一種有力的噴嚏劑，其刺激效應約為氯化二苯胂的五分之一。最後，此物乃一具有中等效力的起泡劑，其刺激皮膚的能力，約為芥氣的三分之二；起泡作用，則為芥氣的六分之一。因其傷害威力，主要在於傷害肺部，故此物應視作傷肺劑；其噴嚏與起泡效應，則可視為輔助作用。因此在本書中，將其列入第七章傷肺劑內。其所以於此處復又提起者，不僅因其具有相當的起泡性，亦且因其最初採用及早期歷史，實與起泡劑有不可分離的關係。

1917 年下半年，德國人以使用芥氣的經驗，證明起泡劑類的毒氣為當時已經發現之傷害效應最強的戰劑。但以芥氣持久性太大，不適用於戰術上的攻勢。蓋因被其沾染的地域，須隨即被友軍佔領或通過，常致發生不可避免的損失故也。芥氣另外尚有一種缺點，即其效應的發生，常遲延至數小時以後，不能立即使人失去作戰能力，對於局部的進攻 (local attacks) 並無多幫助。為實施 1918 年春季大攻勢計劃 (grand offensive plans) 起見，德國曾要求其化學家，製造一種暫時性的而作用又係迅速的起泡劑，俾能使用於攻勢戰鬥中，獲得較好的效果。二氯化乙胂，即係此項要求的答案。此物在 1918 年 3 月西方前線開始春季大攻勢時，即為德國人所引用。

為使其與芥氣區別起見，二氯化乙胂，初名黃十字 1 號 (yellow cross 1) 物質，並擬用作與綠十字 (光氣類) 彈共同使用的標準攻勢性戰劑 (typical offensive combat agents)。但不久即發現二氯化乙胂的首要功效，並非起泡性而係傷肺性；其所引起的大多數傷害，皆由於傷肺作用。因此此種戰劑的分類標識，遂由黃十字 1 號改為綠十字 3 號 (green cross 3)；在第一次歐戰的後期，即用作傷肺劑。

關於二氯化乙胂的詳細敘述，參閱上文第七章第二節。

(C) 二氯化氯乙炔胂 ( $ClCH=CHAsCl_2$ )

美名：路易氏戰劑 (Lewisite)

二氯化氯乙炔胂 (chlorvinyldichlorarsine)，為第一次歐戰中美國人

對於化學戰爭的主要貢獻。此物在 1917 年，第一次爲路易博士 (Dr. W. Lee Lewis) 所製成；其名稱即由發現者的姓氏而來。路易氏當時目的，在試製一種新的化合物，兼備芥氣的起泡作用及肺類化合物的中毒性傷害效應。二氯化氯乙腈，可認爲係化學戰劑演進中的一次標準事例。吾人當憶及在 1917 年夏季，德國人曾引用兩類根本不同的戰劑。一爲具有起泡作用的芥氣；該物能透過衣服，灼傷與其接觸的身體任何部份，如此可以不必透過防毒面具而能發生傷害作用。其他一類即係噴嚏劑，以氯化二苯腈爲其代表物；該物分子內含砷素，如分散得宜，並能透過當時所有的各式面具。

從產生傷害說來，芥氣具有極強大的效力。但從戰術上觀察，則此物實有兩種重大的缺點。其一，用於攻擊戰鬥時，嫌其持久性太大。其二，此物的生理效應，曝露後數小時方始發生；因此當攻擊進行時，不能用之以迅速地產生傷害。至於氯化二苯腈一物，亦殊令人失望。其所以如此的主要原因，在於分散方法的技術錯誤。雖是物毒性甚大，持久性小，且能透過面具，因其分散方法殊欠妥善，故在戰場上所生功效十分低微。

1917 年年終時，德國人備有效力最大的防禦性化學戰劑（芥氣），但無滿意的攻擊性毒氣；因 1917 年的面具，對於當時使用的各種傷肺劑，均能作適當的防護故也。是年冬季，德國最高司令部 (German High Command)，計劃於 1918 年三月開始春季大攻勢。彼等對於 1917 年陣地戰中芥氣所引起的巨大傷亡數目，必得有深刻的印象。於是要求其化學家，發現一種能夠迅速地產生傷害效應的暫時性起泡劑，乃係一種自然的結果。二氯化乙腈的製備，即爲此項要求的答案。

二氯化乙腈，爲一種暫時性毒氣。其作用迅速，毒性甚強，分子內並含有砷素。但其起泡效力，僅及芥氣六分之一，且不能如芥氣之能透過衣服等物；當時所有的面具又能完全阻止其吸入肺部。二氯化乙腈，既經證明如此令人失望。故在 1918 年三月大攻勢開始時，德國人即決定將黃十字、綠十字、及藍十字砲彈合併使用，作爲主要的攻擊武器 (offensive weapons)。黃十字（芥氣）彈，用以攻擊德軍不擬深入的地域 (sectors)；綠十字（雙光氣）彈及藍十字（氯化二苯腈）彈，則當攻擊必須突過的地域時，用於主要砲擊的準備射擊（參閱第十七章第一一五、一一六、一一七、及一一八圖）。



美國人在密切地注視 1918 年春季此項發展的經過以後，深信迫切需要的物質，乃係二氯化乙腈一類的戰劑，其效力則須較大者。此即指所需的物質，乃一種毒性極強作用迅速的暫時性含砷化合物。路易氏戰劑，即為努力研究此類化合物所獲的結果。至於成就如何，惟有將來可以證明，因此物製造太遲，不及在前線採用故也。直到 1918 年 9 月，大量製造此物所遇技術上各種困難始行全部克服，製造乃得開始。當第一批產品，準備於十一月用船送往歐洲的時候，適逢休戰告成，遂投之海中任其毀滅。

一種非常奇異的事，為德國方面宣稱，德國不僅在美國人未發現路易氏戰劑以前，即知此物的一切性質，而且在 1917 及 1918 年兩年中，曾經實際從事於此物的製造。例如韓斯聯氏（參考 20，第 16 頁）曾云：

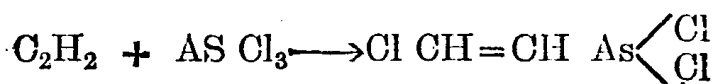
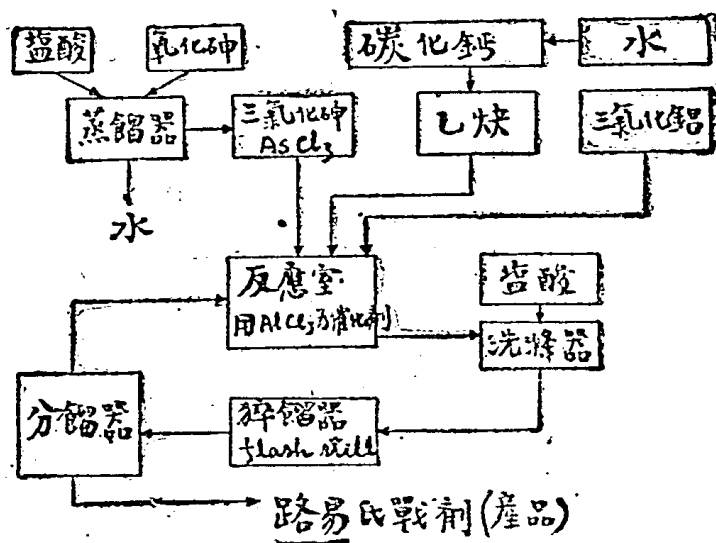
『從德國化學家韋倫 (H. Wieland) 氏的著作 (H. Wieland und A. Bloemer: "Über die Synthese der Organischen Arsenderivate", Ann., 451, 30) 中，可證明在美國人發現二氯化氯乙腈以前，德國曾於 1917 及 1918 年兩年中，完全依照德國人自己特殊的方法製造此物；是項工作，與路易氏的綜合法，各係獨立的發明。』

如此事果屬確實，則德國人在 1918 年的攻勢未用路易氏戰劑，實屬一種重大的錯誤。因經過比較試驗後，證明此物多方面的性質，均優於 1918 年所用的各項化合物故也。此種意見，亦為法國專家所贊同；此點可自下列一段海得爾 (Hederer) 及埃丁 (Istin) 二氏的言論（參考 15）見之：

『真正的砷類起泡劑，其價值迄今尚未獲得戰場上的證明。然而由於其強烈的作用及複雜的效應，是類戰劑，實值得吾人注意。此類戰劑，可認為在迅速攻擊上具有永久的價值，在軍事上，將來定能擔負首要的任務。』

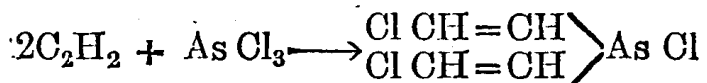
製造路易氏戰劑的方法，實得力於協約國製造芥氣方法之啓示。芥氣的造成，由於一氯化硫與乙炔的作用；路易氏戰劑的製造，則係任乙炔 (acetylene) 與三氯化砷起作用，以三氯化鋁 (aluminum trichloride) 作催化劑。如此得出的黑褐色黏稠液體，在  $0^{\circ}\text{C}$  ( $32^{\circ}\text{F}$ ) 下用鹽酸處理，即行分解；所成油狀物，於真空中分餾，即得三氯化砷的三種氯乙炔基衍生物 (chlorvinyl derivatives of arsenic trichloride)。此三種衍生物的區別，在於逐步加上一個、二個、或三個乙炔分子於三氯化砷，其作用如下式（參閱第二十一圖）：

第二十一圖 路易氏戰劑的製造程序



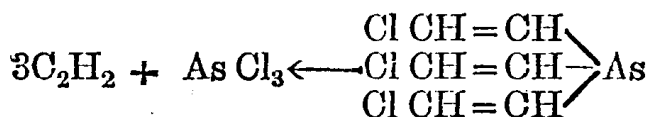
(二氯化β氯乙炔砷)

路易氏第一物 (primary Lewisite)



(氯化ββ' 貳 [氯乙炔] 砷)

路易氏第二物 (secondary lewisite)



(ββ'β'' 叁 [氯乙炔] 砷)

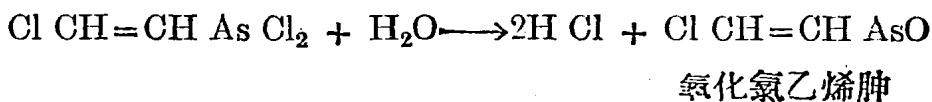
路易氏第三物 (tertiary Lewisite)

當作用開始時，有相當數量的熱放出，故須鄭重地節制乙炔氣流，使溫度不致升高，否則或將發生猛烈的爆炸。經上述反應所得的產品，亦具有爆炸性，故不能用直接蒸餾法 (direct distillation) 將其析出；須用鹽酸處理，俟所有鋁化物完全溶解後，再將所得油狀液體蒸餾之。在是項蒸餾當中，未經變化的三氯化砷首先析出（溫度直到 60°C），路易氏第一物繼之（溫度直到 100°C），最後則路易氏第二物與第三物的混和物，於溫度在 100°C 以上時蒸出。在初次蒸出的產品中，路易氏第一物僅佔百分之十八。此物最

爲活潑，係吾人最希望得到的產品。但路易氏第二物及第三物，如與過量的三氯化砷在高壓下熱至  $210^{\circ}\text{C}$ ，又可繼續變成第一物；故最後的損失甚小。

在尋常溫度下，三種路易氏戰劑均係液體，其沸點介於  $190^{\circ}\text{C}$  至  $260^{\circ}\text{C}$  之間。三者均爲具有刺激性及毒性的化合物；但在此方面，其性質強弱並非相等。第一物及第二物均爲毒性極強的起泡劑；第一物的毒性較第二物尤強，但起泡效力則不及。第三物則太不活潑，事實上並無用作化學戰劑的價值。因第一物最爲活潑，實際上在製造時，其他二物均大體變成此物；是以說到『路易氏戰劑』時，若未加以註明，其意即係指第一物（二氯化  $\beta$  氯乙炔砷）而言。

純淨的路易氏戰劑，爲無色以至淡琥珀（amber）色的油狀液體，其比重爲 1.88，沸點爲  $190^{\circ}\text{C}$  ( $374^{\circ}\text{F}$ )。沸騰時所生蒸氣較空氣重 7.1 倍，微有類似葵類（geraniums）的嗅味。此物易溶於尋常有機溶劑及石油中，但不溶於弱酸或水內。路易氏戰劑易起水解作用，按照下列迅速分解，變成鹽酸及氧化氯乙炔砷（oxide of chlorvinylarsine）：



路易氏戰劑與芥氣不同；由其水解所成的產物（即  $\text{Cl CH}=\text{CH AsO}$ ），爲一難於揮發具有毒性的起泡劑，不易被雨水所洗掉。因此路易氏戰劑在潮濕空氣及多水地帶，雖起水解作用而致本身迅速地毀滅；但其戰鬥價值，並不因此而致消失；因地面之曾被路易氏戰劑沾染者，其所生的氧化物，仍能在長時間內保持其危險性。換言之，即吾人不能認爲水解作用，能以立即毀滅路易氏戰劑的毒性及起泡性；此項變化，不過變換該項化合物的形態，其生理效應則仍然保存。在估計路易氏戰劑的真實價值時，此點極爲重要。過去有些專家，對此物易起水解作用一點過於重視，對於其他事實則完全忽視。所謂其他事實，即除此物的水解產物具有戰鬥價值外，在使用該物的大多數情況下，並無夠量的水蒸氣足以令其毀滅。多數戰鬥地帶，均屬相當乾燥；在北溫帶內多數區域，天氣常是晴朗。同時吾人亦當記憶，在嚴寒冰凍或者炎熱乾燥的地方，水解殊不重要。

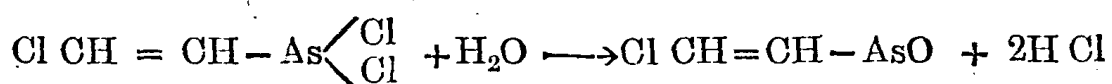
路易氏戰劑與芥氣相同之點，即在遇有鹼性化合物如苛性鈉（5% 溶液）、氨、或者活潑氧化劑如漂白粉、及次氯酸鹽（hypochlorites）的時候，立即分解；加熱時，或此項反應進行更速。是以被路易氏戰劑沾染的物質及

地域，亦可利用掃除芥氣時所用的藥品將其消毒。路易氏戰劑與芥氣又一相似之點，為其易於透入衣物、皮革、橡皮、以及人體的組織；故其防禦亦感同樣的困難。

路易氏戰劑的汽壓，遠較芥氣為大。在  $0^{\circ}\text{C}$  ( $32^{\circ}\text{F}$ ) 下，其汽壓為 0.087 毫米水銀柱，芥氣則為 0.026 毫米水銀柱；在  $20^{\circ}\text{C}$  ( $68^{\circ}\text{F}$ ) 下，其汽壓為 0.345 毫米水銀柱，芥氣則為 0.065 毫米水銀柱。路易氏戰劑的揮發度，在  $20^{\circ}\text{C}$  ( $68^{\circ}\text{F}$ ) 下為每升 4.50 毫克，芥氣則為每升 0.625 毫克；故其持久性遠較芥氣為小。根據黎推勒 (Leitner) 氏公式 (見第一章第四節) 計算，路易氏戰劑在  $20^{\circ}\text{C}$  ( $68^{\circ}\text{F}$ ) 下的持久性，為水的 9.6 倍，芥氣則為水的 67 倍。

路易氏戰劑的凝固點，為  $-18^{\circ}\text{C}$  ( $0^{\circ}\text{F}$ )，遠在尋常大氣溫度以下。故除在極冷天氣外，通常均屬液體狀態，不似芥氣的需要溶劑。路易氏戰劑在貯藏時極為穩定，不與鋼鐵起作用，此點與芥氣相同。

在生理上，路易氏戰劑的作用與芥氣相似。經皮膚或肺部侵入人體後，除起泡作用外，並呈毒害神經系統的作用。因此此物主要地為一起泡劑，其次則為毒性傷肺劑；而被人體吸收後，同時亦為一種中毒劑。路易氏戰劑生理作用的機構，亦與芥氣相同。二者均係毒害細胞；均在活的細胞內之原生質間起水解作用。路易氏戰劑，係按照下列方程式放出鹽酸：



路易氏戰劑水解時所得的另一產品，即氧化  $\beta$  氯乙烯砷，本身亦具有潰爛作用。此種砷的氧化物侵入循環系統，能被各種器官吸收，釀起砷化物特有之毒害神經系統的效應。

由此觀之，路易氏戰劑兼具局部的及一般的強烈致命毒性。外用 (externally applied) 路易氏戰劑的數量，達到每體重一磅使用 0.0173 克時，即可致人於死。人體平均重一百五十磅。如將 2.6 克 (30 滴) 的路易氏戰劑塗於人的皮膚上，即可使之致死。其最低刺激濃度 (每升 0.0008 毫克)，遠在其嗅味可以覺察的最低濃度 (每升 0.014 毫克) 以下。其嗅味之警告作用，有些專家對之言過其實。至於此物的起泡濃度 (每升 0.334 毫克)，小於  $20^{\circ}\text{C}$  下其在空氣中的飽和濃度十倍；故在戰場造成十倍於起泡所需的濃度，大有可能。吸入十分鐘的致死濃度為每升 0.120 毫克。若濃度為每

升 0.048 毫克時，則三十分鐘可以致人於死。由此可見此物的毒性較芥氣稍大。

路易氏戰劑的作用，較芥氣為迅速；此點可於下述比較見之。是項比較，係根據實驗，將兩種戰劑分別滴一滴於人的前臂而測定者（參考 15，第 304—305 頁）：

『路易氏戰劑，能於五分鐘內完全被吸收，僅有輕微燒灼的感覺。芥氣的吸收，則須二十至三十分鐘，亦無顯著的感覺。用路易氏戰劑，皮膚於三十分鐘後開始變紅，於是紅色斑點漸次增大，迅速擴張，在三小時之末，所佔面積約為  $12 \times 15$  厘米。芥氣在兩小時內，不呈顯著作用，在第三小時內呈顯鮭魚肉色 (salmon color)，其面積約為  $3.5 \times 4$  厘米。路易氏戰劑的起泡作用，在十三小時以後，現出一個約與櫻桃大小相當的大泡。不久該泡漸次合併環繞其四周的小泡，在第二十四小時，即變成單個的一枚突起的大泡，其四周有紅色邊緣。是項邊緣，其外邊與健康皮膚合而為一。由芥氣所產生的起泡作用，則在二十四小時之末，方於侵害處所的周圍，逐漸顯露環狀水泡；傷害處所的中心，向下低沉，而呈灰黃色。』

如不受附帶傳染 (secondary infection) 的時候，路易氏戰劑傷害的治愈，遠較芥氣為速。但在戰場上此種條件能否滿足，殊屬可疑。是以在戰場上所受路易氏戰劑的傷害，其嚴重性和纏綿性，大概係與芥氣相同。

路易氏戰劑在將來戰爭中的地位，尙未確定。在有利情況下，此物無疑地較第一次大戰時所用任何其他毒氣為優。至於在將來戰爭中是否會採用此物的問題，則當視戰場所可遭遇的氣候情況而定。在寒冷及炎熱乾燥的地方，此物發生的效果必佳；在潮濕多雨的區域，則其效果不免大為低落。

繆勒 (Mueller) 博士的意見（見參考 21），認為第一次大戰時，設若曾將路易氏戰劑在西方前線實際上予以使用，則美國人對之必大失所望，實則該地的氣候情況，雖全部頗屬不利，但吾人決不能斷言，路易氏戰劑經過合理的運用，亦難收效。何況其水解產物的強烈毒害性能，復可使其效應在毒化地域內支持至長久的時間。概括言之，吾人相信無論從任何方面估計將來的化學戰爭，對於路易氏戰劑必須予以鄭重的考慮。

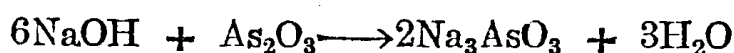
#### (D) 二氯化甲胂 ( $\text{CH}_3\text{AsCl}_2$ )

二氯化甲胂 (methylchloroarsine) 為二氯化乙胂的甲基同系物 (methyl analogue)。兩物的性質及特點極其相似（參閱第七章第二節）。第

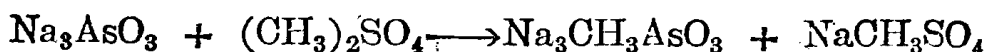
一次歐戰最後數月中，此物曾經美國人努力研究。弗魯禮 (Flurry) 氏且將其列入第一次歐戰中所用毒氣範圍之內(參考 28)。但按事實來說，則交戰雙方均無實際採用此物的記錄。設將二氯化乙肫與二氯化甲肫的特性加以比較，即知後者性質實較前者為優。是以德國人寧取前者以代替後者之理由安在，殊難令人明瞭。弗禮司 (Fries) 氏(參考 9 第 181 頁)以為德國人之所以採用二氯化乙肫，係因二氯化甲肫的製造較為困難。但二物製造困難的差異極為有限；以德國化學家的卓越才能，曾經解決多種繁雜問題而獲得成功，此項微細困難，決不足為其障礙。二氯化甲肫與第一次歐戰時所用多數化學戰劑相同，並非一種新穎的化合物。早在 1858 年，即被拜爾 (Baeyer) 氏所發現。關於其顯著的刺激效應。拜氏亦曾述及。

製造二氯化甲肫的方法頗為複雜。所包括者計有下列各主要步驟：

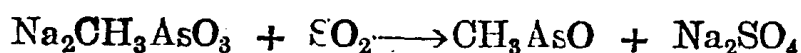
(1) 將三氧化二砷溶解於苛性鈉溶液中，即起下列反應而得亞砷酸鈉 (sodium arsenite)。此項反應，進行甚速，並放出頗多的熱。



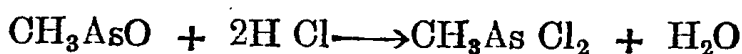
(2) 任亞砷酸鈉於  $85^\circ\text{C}$  下，與硫酸二甲酯起甲基化作用 (methylation)，得出甲亞砷酸鈉 (disodium methyl arsenite)：



(3) 甲亞砷酸鈉用二氧化硫還元，即生氧化甲肫 (methyl arsenic oxide)：



(4) 將氯化氫氣通入此項混和物中，氧化甲肫即變成二氯化甲肫：



二氯化甲肫，為一無色液體，其比重為 1.85，沸點為  $132^\circ\text{C}$  ( $269.6^\circ\text{F}$ )；沸騰時所生蒸氣，具有強烈的燒焦氣味 (burning odor)。在  $20^\circ\text{C}$  下，其汽壓為 8.50 毫米水銀柱；揮發度為每升 75.00 毫克。在化學上，此物甚為穩定。此物微能溶於水內，易溶於有機溶劑中。不能侵蝕鋼鐵。

二氯化甲肫與二氯化乙肫相似，具有起泡，毒害肺部，及刺激呼吸器官等效應。當其濃度低至每升 0.002 毫克時，仍能予鼻部以嚴重的刺激，引起噴嚏；繼則伸展至胸部，使之感受痛苦。濃度達到每升 0.009 毫克時，即有顯著的噴嚏作用。如高至每升 0.025 毫克，則呼吸一分鐘以上即不能忍受，立即釀成苦楚的氣喘 (asthma)；此項哮喘，往往繼續至二十四小時。濃度再

高，能予肺部以嚴重的傷害。當每升含有此物 0.56 毫克時，曝露其間十分鐘立即致死。曝露三十分鐘的致死濃度，為每升 0.12 毫克。

由此觀之，二氯化甲胂的毒性，約為其乙基同系物的一半。在液體狀態下，其對於皮膚的刺激亦較弱；但其蒸氣對於皮膚的刺激，則與芥氣的蒸氣相等。在液體狀態下，其透過紡織物且遠較芥氣為速。

二氯化甲胂的起泡作用，與芥氣甚為相似；但其傷害程度較輕，治愈亦較速。

二氯化甲胂的蒸氣，能被水蒸氣所水解，但不甚快；在此物產生生理作用以前，該物不致因水解而消滅。二氯化甲胂的揮發度殊大。當天氣溫暖的時候，此物在空曠處所，僅能支持一小時；在寒冷季候，則可支持二至三小時左右。

二氯化甲胂，雖未經上次大戰戰場上的事實證明其功效，吾人相信，如對其各項性質予以考慮，則其能以迅速地產生蒸氣以灼傷皮膚的作用，或較芥氣及路易氏戰劑為優。加以其持久性小；故此物在攻勢的軍事目的上，應有殊大的價值。

#### (E) 二溴二乙硫 $[(\text{BrCH}_2\text{CH}_2)_2\text{S}]$

德名：溴羅斯特 (Bromlost)

通常認為屬於第一次大戰時期的最後一種起泡劑，即為芥氣的溴素類似物，二溴二乙硫 (dibromo ethyl sulfide)，德國人稱之為溴羅斯特 (Bromlost)。嚴格說來，此物應屬於第一次世界大戰以後的產物。

在第一次歐戰的最後時期，此物即為德國人所研究。當時所致力的目標，為發現一種較芥氣尤能持久的起泡劑，應用於戰術上取守勢的戰爭；用以毒化委棄於敵人的地域，其毒化時間能支持愈長愈好。

消滅地面芥氣的三種元素，為濕度、溫度、及風。當時以為一種汽壓低，沸點高，而又不易水解的化合物，必較芥氣尤能持久，在防禦戰略上須更為有效。將溴素代替芥氣分子中的氯素，當時即係期望產生此項化合物。但二溴二乙硫，顯然未能滿足此項期望。

二溴二乙硫，在尋常溫度下為一固體，其熔點為  $21^\circ\text{C}$  ( $70^\circ\text{F}$ )，沸點為  $250^\circ\text{C}$  ( $464^\circ\text{F}$ )，沸騰時起分解作用。其比重為 2.05，揮發度為每升 0.400 毫克（芥氣比重為 1.27，揮發度為每升 0.600 毫克）。二溴二乙硫，較芥氣為易於起水解作用。

二溴二乙硫的生理作用，與芥氣極屬相似；但所引起的傷害程度則較弱。因其比重較大，在同樣大小的彈殼中，能多裝百分之五十以上的裝填物（即二溴二乙硫）。此項優點，可抵消其較差的生理性能。但其易於被水氣所毀滅，使其究竟不及芥氣之有效。故整個說來，二溴二乙硫不能認為較芥氣真正進步。在將來戰爭中，此物殊少採用的可能。

#### 第四節 各種起泡劑的比較

就(1)作用的迅速；(2)皮膚發紅 (rubefaction)，腫脹 (swelling)，及水腫 (edema) 的擴張；(3)治愈傷害所需時間的長短等三種因素而言，第一次大戰中所用起泡劑及其他化合物之具有起泡性的補助作用者，按其刺激皮膚的效力，可依遞減次序排列如下：

- (a) 芥氣
- (b) 路易氏戰劑
- (c) 二氯化苯肺
- (d) 二氯化甲肺
- (e) 二氯化乙肺
- (f) 二溴化苯肺
- (g) 二溴二乙硫

如根據毒性作一比較，則上列七種毒氣，可依其毒性大小排列如下：

戰	劑	曝露十分鐘的最低致死濃度 (毫克/升)
	路易氏戰劑	0.120
	芥氣	0.150
	二溴化苯肺	0.200
	二氯化苯肺	0.260
	二氯化乙肺	0.500
	二氯化甲肺	0.560
	二溴二乙硫	1.000



### 第五節 第一次歐戰中起泡劑的使用

第一次歐戰中各類毒氣使用的數量，起泡劑列於第二位；其使用噸數僅次於傷肺劑。用於戰場上的起泡劑，共計一萬二千噸；據估計此中芥氣佔去百分之九十五。關於其他起泡劑確實的使用數量，及其所引起的傷害數目，現無可靠的個別紀錄。芥氣幾於佔去起泡劑的整個地位，以致此類傷害通常都歸之於芥氣。在戰爭中所用起泡劑的數量，雖不及所用全體毒氣的十分之一；但由於起泡劑引致的傷害，約為四十萬人，佔去全部毒氣傷害的三分之一。傷害一人，須用起泡劑六十磅；此數約為傷肺劑傷害數目與其用量的比例之四倍。

在第一次歐戰中，起泡劑僅用以裝填砲彈及迫擊砲彈。因其汽壓過低，不適於氣雲吹放。然而由於同一原因，起泡劑如用飛機噴散器或飛機炸彈分散，必甚適宜。在將來戰爭中，起泡劑或將被空軍及砲兵大量採用。

### 第六節 起泡劑的將來

起泡劑在化學戰爭中，創立一種新穎的攻擊原則。此類物易於透過衣服，灼燒人體，而引起傷害。是以防毒面具完全不適於防禦起泡劑，必須尋求特殊的衣物以對付之。但此種防毒衣物，穿着極感不快，尤以熱天為甚；着之可大減部隊的作戰效能。同時對於防止沾染的問題，亦大感困難；不但對人畜如此，對其他物件亦然。食物及水源，必須予以特別的防護。大批物料與廣大地面的消毒工具，更須予以輕而易舉的設計。

第一次歐戰中採用起泡劑，實使化學攻擊 (chemical offensive) 大佔優勢；該次戰事終結後，留下對於起泡劑的適當防護問題，大部未曾解決。戰後各國費去極多的時間與極大的努力，以求此項複雜問題的解答。至於成功究至何種程度，則有待於未來戰爭中事實的證明。

目下起泡劑已佔化學軍備 (chemical armaments) 的中心地位。在將來戰爭中，起泡劑必佔顯要的地位，乃是必然的結果。使用此類戰劑，實為迄今戰爭最人道的方式之一種，此乃現世各國的幸運。

關於起泡劑主要性質的摘要，參閱本編末第四十二表。

### 研習問題

- (一) 試概述起泡劑的生理作用機構 (mechanism)。
- (二) 沸水能消除芥氣, 其化學反應式爲何?
- (三) 地面或器物上沾染的芥氣, 常用漂白粉消毒, 高錳酸鉀等更強的氧化劑, 亦可用以消除芥氣的毒否?
- (四) 利用雷文斯坦 (Levenstein) 法製造芥氣, 較之利用維克梅耶 (Victor Meyer) 法有何優劣之點, 試申述之。
- (五) 路易氏戰劑易起水解作用, 但其效力並不因遇水而消失, 其故安在?
- (六) 試比較芥氣與路易氏戰劑的異同。
- (七) 現代軍事家, 常稱芥氣爲防禦用起泡劑, 二氯化甲肂爲攻擊用起泡劑, 其理爲何?

#### 閱讀書目

- (一) "Chemical Warfare School Texts", The Chemical Warfare School, Edgewood Arsenal, Maryland (latest revision) Book II, Chapter III, Section VI and VII.
- (二) 化學兵器, 訓練總監部軍學編譯處譯印。第二篇第一部, 第三章, 第四節第五節。
- (三) 化學戰爭, 吳沆編, 第六章。

## 第十章 噴嚏劑

第一次歐戰中所用的第五類（即最後一類）毒氣爲噴嚏劑\*（sternutators），亦稱呼吸系統刺激劑（respiratory irritant agents），又可稱爲催嚏劑（sneeze producers）。此類化合物成爲一小類，彼此間具有多種共同的性質；德國人名之爲藍十字物質（Blue cross substances）。

1917年夏季，參戰各國所用的各式面具，均已發展到相當階段，對於傷肺劑均能作適當的防護。同時傷肺劑作用太慢，曝露後非經數小時，不能使敵人失去作戰的能力。是以尋求一種作用迅速而能透過防毒面具的暫時性戰劑，乃爲當時的迫切問題。噴嚏劑，即係德國化學家對於此項問題的解答。噴嚏劑雖絕少產生嚴重傷害，但能迅速地透過面具，引起反胃，以致繼續嘔吐。使佩戴面具成爲不可能。脫下面具後，士兵隨即陷入傷肺劑的襲擊中而受絕大的犧牲；因施放噴嚏劑的時候，往往同時施放傷肺劑故也。

第一次使用噴嚏劑的大規模毒氣攻擊，爲1917年9月德國人在優克斯黑如（Uexhuell）地方渡過杜溫納（Dvina）河時，對於俄軍的襲擊。該次德國人將綠十字及藍十字礮彈合併採用，以攻擊俄軍保衛渡口的礮隊（batteries），經過兩小時的礮擊（bombardment）以後，除開未曾知悉，是以未曾包括在礮擊範圍以內的少數礮隊以外，其他俄國礮隊，均失去還擊的能力。

1918年5月21日德國人的大攻擊，其主要依據，即在於此項毒氣的效力。協約國前線凸出部份（salient）的側翼（flanks），被芥氣所切斷；其主力（main forces）則爲綠十字及藍十字混合礮擊所攻擊。協約國最初對於噴嚏劑幾於絕對無法抵禦。若當時德國人能將此種毒煙分散成爲極細的顆粒，其結果必更爲凶險。第一次歐戰將終時，協約國於面具的濾毒罐中，加上一層棉絮及氈毯的機械過濾層（mechanical filter），因之對於此種毒煙，能得適當的防護。

協約國宣稱，德國的藍十字礮彈並無效力。此項意見的根據，爲彈內高級炸藥，不能將毒性化合物分散成爲足以透過防毒面具的微細顆粒。美國遠

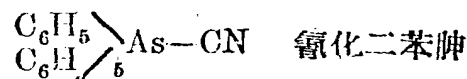
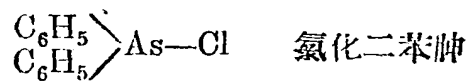
\*（註 28）——Prentin 原書此章名『呼吸系統刺激劑』。以『噴嚏劑』一名在國內較常見，故改用此名。

征軍傷亡之由於噴嚏劑者，共計 577 人，其中死去者僅三人；由此可知因此類化合物致死者為數甚少。

### 第一節 噴嚏劑的通性

一言之，噴嚏劑均係固體，其熔點殊高，蒸氣幾均可忽略而不計。是以使用時用高級炸藥將其分散，使之成為微細的煙粒。所生煙粒，於空曠處僅能支持數分鐘，因此將其列入暫時性毒氣一類。至其效力，為即效性，並易於透過當時協約國所能製造的面具。1917 年 7 月 11 日的夜間，德國人所以採用此種戰劑，主要地即因此各種理由。

一切噴嚏劑，均係砷化氫 (arsines  $\text{AsH}_3$ ) 的衍生物，含有三價的砷。在其分子中，砷原子以一價與鹵素原子 (halogen atom) 或其他一價的活潑原子團 (active group) 相結合；其餘二價，則與羰基 (carbonyl radicals) 相結合；例如：——



噴嚏劑的作用門檻 (threshold of action) 極低。在該項濃度以上，如與之接觸，即有刺激人體某些組織的能力，但並不產生顯著的損傷；換言之，即無傷害效應。其作用僅限於感覺神經 (sensory nerve) 的末端 (ends)；自解剖學上說，該處對於化學襲擊的防禦殊為薄弱，因此引起急性痛苦，肌肉反應 (muscular reflex)，及各種分泌 (secretions)，其輕重則視所用化合物的種類及侵害的部位 (region infected) 而定。呼吸系統 (鼻、喉、氣管、支氣管、肺部等) 的黏膜，既薄而且敏感，其潮濕的表面，復便利此類毒氣的附着及溶解。是以呼吸系統，最易受噴嚏劑的影響，而為此類化合物發揮其作用之優越場所。弗魯禮 (Flurry) 氏根據廣博的經驗，將此類戰劑的生理作用歸納如下 (參考 28)：——

『當此類物質，無論以固體、液體、或氣體狀態與活的細胞接觸時，均可見其強烈的毒害細胞效應。此類物質與強烈腐蝕性物質 (corrosive substances) 的區別，為在極低濃度下，亦可使受害的組織，呈顯發炎現象

及潰爛。從效應種類的觀點說來，噴嚏劑與其他刺激劑的效應並無重大差異。此類砷化合物，對於呼吸過道 (respiratory passages)、肺部、視覺器官、及皮膚外部亦有作用。結果引起急性肺水腫，微血管的嚴重傷害，並於空氣過道中形成假薄膜 (false membrane)，使目部結膜發炎及角膜表膜 (corneal epithelium) 腐爛，有時亦可使皮膚發炎，形成水泡，並摧毀其組織。傷害的一般情況，有時與光氣相以，有時與二氯二乙硫等含硫刺激劑所引起者相近。雖然大體如此，但砷化合物所產生的傷害究有某些特點。其對於感覺神經的刺激，遠較其他已知化合物的效應為強。其刺激作用，不僅伸展至直接毒化部位的黏膜，並以特殊方式，襲擊其附近的窩竅 (accessory cavities)。』

一般說來，噴嚏劑在尋常戰場情況下，不能達到致死的濃度，但具有下列之通性：

(a) 作用門檻甚低，每升空氣中含有千分之幾的毫克，即能產生明確的結果 (positive results)。

(b) 效力為即效性；曝露一兩分鐘，即足產生明顯的效應 (positive effects)。

(c) 作用為可逆的。曝露終止後，其所引起的刺激亦隨之消失。對於神經末端，並無摧毀作用；在刺激所引起的反應停止以後，神經能立即恢復其正常作用。

(d) 作用具有選擇性，僅能影響神經組織，尤以節制呼吸系統的神經為甚。

從生理的觀點說來，噴嚏劑可分為兩類；即(1)單純噴嚏劑 (simple sternutators)，(2)毒性噴嚏劑 (toxic sternutators)。其中第一類僅引起呼吸系統的局部刺激；第二類則更進一步，發揮砷化合物的中毒性毒害效應於全身。實在地說，惟有第一類的主要性能為刺激呼吸系統。至屬於第二類的化合物，以產生其他效應為主，刺激呼吸器官乃其輔助作用。是以第二類化合物，應屬於別類戰劑，而以刺激呼吸系統為其副作用，因此均在他章中討論之。

在第一次歐戰中所用的噴嚏劑，依其出現的先後，列於第三十九表：

第三十九表 第一次歐戰中所用的噴嚏劑

戰	劑	首先採用者	最初採用日期
單 純 噴 嚏 劑			
	氯化二苯胂	德國	1917 年 7 月
	氯化二苯胂	德國	1918 年 5 月
	乙基吡啶	德國	1918 年 7 月
	氯化二苯胂胂圖	美國	戰後
毒 性 噴 嚏 劑			
	二氯化苯胂*	德國	1917 年 9 月
	二氯化乙胂*	德國	1918 年 5 月
	二溴化乙胂*	德國	1918 年 9 月

## 第二節 噴嚏劑各論

(A) 氯化二苯胂  $[(C_6H_5)_2AsCl]$ 

德名：克拉克 I (Clark I)

氯化二苯胂 (diphenylchloroarsine), 係與芥氣同時採用, 作為攻擊性戰劑; 因芥氣持久性太大, 不適用於攻擊故也。當時協約國所用面具, 對於一切傷肺劑的防護, 業已完全成功。德國人之所以引用氯化二苯胂, 即在透過此等面具。為達到此項目的起見, 乃將氯化二苯胂分散成為微細的煙粒。此項煙粒, 既非氣體, 亦非蒸氣, 故不能被濾毒罐中的活性炭及鹼石灰 (soda lime) 所吸附。

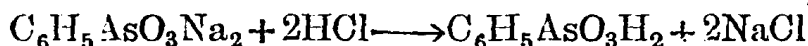
氯化二苯胂, 係於 1881 年, 為米歇里斯 (Michaelis) 及拉柯斯脫 (La. Coste) 二氏所發現。在第一次歐戰中, 德國人按照一種比較複雜的方法製造此物。其主要步驟如下:

(1) 將氯化重氮苯 (benzene diazonium chloride) 用亞砷酸鈉 (sodium arsenite) 處理, 得出苯胂酸鈉 (sodium phenylarsenate):

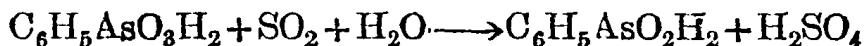


\* (註 29) —— 凡有 \* 號者, 主要地為傷肺劑。

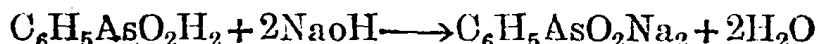
(2) 苯砷酸鈉與鹽酸起作用，得苯砷酸 (phenylarsenic acid)：



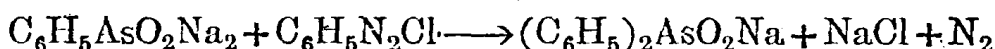
(3) 苯砷酸用二氧化硫還元，得出苯次砷酸 (phenylarsenious acid)：



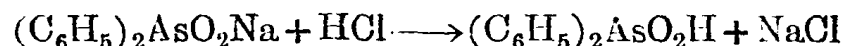
(4) 苯次砷酸用氫氧化鈉處理，即得苯次砷酸鈉 (sodium phenylarsenite)：



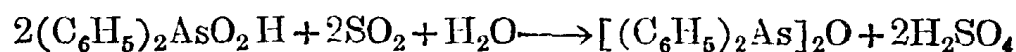
(5) 將苯次砷酸鈉用氯化重氮苯處理，得出二苯次砷酸鈉 (sodium diphenylarsenite)：



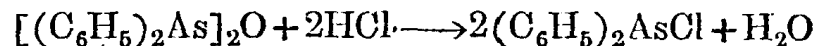
(6) 二苯次砷酸鈉與鹽酸起作用，得出二苯次砷酸 (diphenyl arsenic acid)：



(7) 二苯次砷酸用二氧化硫還元，得出氧化雙二苯砷 (diphenylarsenious oxide)：

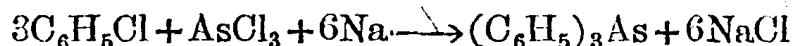


(8) 氧化雙二苯砷用鹽酸處理，即得氯化二苯砷：

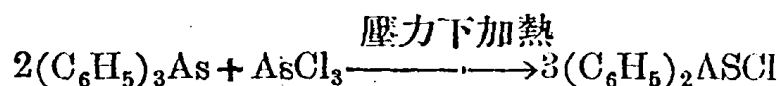


氯化二苯砷，亦可用一種比較簡單的方法製出；此法經過步驟如下：

(1) 任氯苯 (chlorobenzene) 與三氯化砷在有金屬鈉存在時起作用而成三苯砷 (triphenylarsine)：



(2) 將三苯砷於壓力下再與三氯化砷一同加熱，即得氯化二苯砷：



後述方法，為實驗室中製備氯化二苯砷的方法；其何以不能用作商業上製造方法的根據，以使生產問題大為簡便，似無若何內在的理由。據一般傳述，德國人之所以採取上述複雜方法的原因，係因此法的數種中間物，德國人曾經製過；其化學工廠的設備，使其採用此法較為適宜。如將來大量製造氯化二苯砷，特別在德國以外的國家，勢將採取比較簡單而且直接的方法，自屬毫無疑義。

氯化二苯肼，在純淨狀態下爲一白色結晶固體，其比重爲 1.4，熔點爲  $45^{\circ}\text{C}$  ( $113^{\circ}\text{F}$ )。第一次歐戰中所用不甚純淨的商品，其熔點則爲  $38^{\circ}\text{C}$  ( $100^{\circ}\text{F}$ )。此物在  $383^{\circ}\text{C}$  ( $720^{\circ}\text{F}$ ) 下沸騰，同時起分解作用。氯化二苯肼不熔於水內，但易溶於有機溶劑中，在光氣及氯化苦劑中亦能溶解。與水接觸，此物即迅速地分解而成鹽酸及有毒的氧化雙二苯肼；但在潮濕空氣中，此種反應進行極緩。因其爲一固體，其汽壓（在  $20^{\circ}\text{C}$  爲 0.0005 毫米水銀柱）可以忽略而不計。其在  $20^{\circ}\text{C}$  下的揮發度，爲每升 0.0006 毫克。

當氯化二苯肼受熱揮發時，其蒸氣在空氣中凝集，形成微細的液體點滴或固體顆粒，視溫度高低而定。此等微粒，浮遊於空氣中，一如煙霧或塵埃。但欲使此物揮發變爲顆粒狀的煙雲，必須經過真正氣體或蒸氣的階段。換言之，即須先經過加熱手續方能實現。至於用低溫化塵法 (low temperature atomization) 將此項化合物變爲真正之煙粒，乃屬絕不可能；即使溶解於揮發性的溶劑中，亦不能達到此項目的。

此種特點，其理由在於受熱揮發所得的顆粒，與由化塵法所生的顆粒，其大小相差極遠。受熱揮發時，所成顆粒極爲微細，其直徑介於  $10^{-4}$  至  $10^{-5}$  厘米之間。至於被爆炸力量分散時，因爆炸時間極短，不能將適當數量的熱傳於化合物的分子間；化合物的分散，幾完全依賴爆炸時所產生的物理力量 (physical force)。是以利用爆炸分散法所生氯化二苯肼的微粒，較用加熱蒸餾法所得者，約大千百倍。同樣地，將氯化二苯肼溶解於液體溶劑，而用機械噴散器 (mechanical sprayer) 分散，即用最好的噴散器，所分散的點滴，較之真正的煙粒，亦大若干倍。

此種事實，顯然未爲德國人所察覺。當時德國人採用氯化二苯肼，用以裝填藍十字礮彈。第一次將氯化二苯肼溶於雙光氣等易於揮發的溶劑內，而將溶液分散成爲液體的飛沫 (liquid spray)。後經證實，此法不能令人滿意，乃利用多量的高級炸藥以令其分散，但結果亦不能在戰場上發生令人滿意的效果。當時裝填氯化二苯肼的另一種錯誤，爲將所裝填的炸藥，環繞於化學戰劑四周，而不將其裝於化學戰劑的裏面。當環繞的炸藥爆炸時，所生壓力，具有緊壓化學戰劑微粒的趨向，而非將其裂散。

協約國隨後試驗的結果，證明如用加熱蒸餾法，將氯化二苯肼分散成爲真正的毒煙，則此物在戰場上極端有效。協約國並應用此項原理，製成毒煙燭 (toxic smoke candles)；但大戰隨即告終，不及應用於前線。德國人之未



能運用適當方法以分散氯化二苯胂，乃其在第一次歐戰期間，在化學戰爭上所犯少數技術錯誤之一。但此項錯誤，耗費甚為巨大。因裝填此物及其類似物（即氯化二苯胂）的礮彈，不下一千四百萬枚；且德國 1918 年的進攻，原對此物的攻勢戰鬥效能（offensive-combat power），存有極大的信賴故也。氯化二苯胂的生理作用，雖夙知其強烈；但由於德國藍十字彈所給予協約國傷亡人數的微小，可以證明此項礮彈多未能收效。

當氯化二苯胂為高級炸藥蒸炸力量所粉碎而分散，以及被熱力蒸發成為毒煙時，此物變成極細的顆粒（被熱力蒸發所得的顆粒較由爆炸分散法所得者小若干倍），浮遊於空氣中，極易透過普通面具的濾毒罐，直接發揮其效力於呼吸道（respiratory tract）。使用時若濃度極小，此物能嚴重地刺激眼部，外部感覺神經，及上部呼吸道，並能刺激皮膚外部（但是項作用不大）；若濃度較高，或於低濃度下呼吸較長時間，則並能襲擊下部呼吸道。刺激作用，最初在鼻部發生，係一種發癢的感覺；繼則發生噴嚏，隨即流出濃稠黏液，呈顯類似重傷風的景況。於是刺激擴張至喉部，發生咳嗽及窒息，終則侵害氣管（air passage）及肺部。頭痛繼續加重，尤以前額為甚，終達不可忍耐的程度；於是兩耳如受重壓，齒及牙牀亦感受苦痛。與以上各種症候同時發生的，尚有胸膛疼痛、呼吸短促、反胃等現象，不久即引起作惡（retching）及嘔吐。至是受毒者步履不穩，頭目暈眩，雙足無力，全身戰慄。

弗魯禮（Flurry）氏（參考 28）曾經描寫德國人對於氯化二苯胂的經驗如下：——

『吸入氯化二苯胂，除感覺器官的刺激現象外，並可嚴重地擾害神經系統。此種擾害，以妨礙肌肉活動，步法零亂，站立不穩（有時完全失去步行的能力）等姿態顯出。關節及四肢，隨即發生嚴重痛苦（如在濃度極高時吸入，常致發生暈眩、無力、及喪失感覺本能的現象，數小時內不能復原。如有相當份量的氯化二苯胂或與其相關的有機砷化合物由皮膚侵入，各種神經錯亂（nervous disturbances）的症候，或即相繼而生；此乃由於一般吸收的結果，不能歸諸局部的受毒作用。神經過敏（hyperesthesia），失去知覺（anesthesia），及某些部份皮膚（特別下肢的皮膚）感覺麻痺（paresthesia）等病症，時常發現。在嚴重的毒害情形下，筋抽肌縮（twitching of the muscles and convulsions）等作用，亦往往發生。』

吾人所應注意者，上述各種效應，多在該項戰劑中曝露一分鐘後，再過

兩三分鐘始開始顯露；曝露後十五分鐘左右，即達到其作用的最高點。在一般情況下，受毒後處於潔淨的空氣中十五分鐘，各種症候即逐漸減退；平均一兩小時後可完全復原。在極高濃度的極端情況下，可吸入足量的砷素，以產生全身中毒，釀成砷素毒作用的事後效應 (aftereffects)。

氯化二苯胂，在極低濃度下即發生效力。當其濃度低至二千五百萬分之一（即每升 0.0005 毫克）時，此物對於鼻部及喉部，即足產生明顯的刺激。若其濃度為每升 0.0012 毫克，即不能忍耐至一分鐘以上。濃度為每升 1.50 毫克時，曝露十分鐘即足致死。曝露三十分鐘的致死濃度，為每升 0.60 毫克。

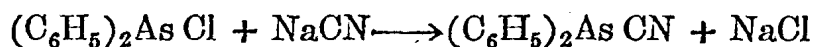
在尋常狀況下，氯化二苯胂的揮發度，不過每升 0.00068 毫克；故在空氣中，不能以蒸氣狀態達到不可忍耐的濃度。在理論上，一物在空氣中所可形成的懸浮固體微粒之濃度，毫無限制；儘可將多量的材料，蒸發於一定體積的空間，以造成極濃的煙雲。不過在戰場實際情況下，用此物甚難造成致死的濃度。是以在第一次歐戰期間，由於此項毒氣致死者極少。

#### (B) 氰化二苯胂 [(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>As CN]

德名：克拉克 II (Clark II)

氰化二苯胂 (diphenylecyanoarsine)，係於 1918 年 5 月為德國人所採用，以作氯化二苯胂的一種改良。此項改良的主要目的，乃在補救氯化二苯胂易為水所分解的重要缺點。此種新化合物，不僅克服是項缺點；其生理作用，亦遠較其氯素類似物為強。此物乃第一次歐戰中所用刺激性戰劑之最強者。

氰化二苯胂係任氰化鉀或氰化鈉的飽和水溶液，與氯化二苯胂起作用而得。當反應進行時，氯化二苯胂分子中的氯原子即為氰基所取代：



在純淨狀態下，氰化二苯胂為一無色結晶固體，其比重為 1.45，熔點為 31.5°C (91°F)，沸點為 350°C (662°F)。沸騰時起分解作用，所生蒸氣較空氣重 8.8 倍，具有類似大蒜 (garlic) 及苦杏仁 (bitter almonds) 的臭味。

氰化二苯胂，不溶於水內。其水解作用極緩，可忽略而不計。在化學上此物甚為穩定。易溶於油脂及有機溶劑中，尤以在氯仿中為甚。其汽壓極低可不必計及。揮發度較其氯素類似物尤小，在 20°C (68°F) 下，每升僅含

0.0015 毫克。

氰化二苯肼的物理性質，化學性質，及生理效應，均與氯化二苯肼極為相似；但其生理效應遠較後者為強烈，且較為纏綿。氰化二苯肼的最低刺激濃度，為每升 0.0001 毫克；其不可忍耐的濃度（每升 0.00025 毫克）僅及氯化二苯肼的四分之一。在氰化二苯肼內曝露十分鐘的致死濃度，為每升 1.00 毫克；氯化二苯肼在同一情況下，則為每升 1.50 毫克；故前者毒性較後者約強百分之五十。然事實上此點並不重要；因兩物的致死濃度均遠在戰場所可達到的濃度以上故也。祇有在有些極難碰到的情況下（例如礮彈在密閉空間爆炸，以致造成過飽和濃度），方能達到致死濃度。此項濃度，在緊靠礮彈爆裂處的附近，僅可存在數秒鐘之久；但在一般情形下，遇着此種濃度的機會極少，此點可自協約國所受藍十字彈的傷亡數目見之。當時使用此種礮彈極多，而受傷者則極少；至於死亡百分率，則幾乎小至可以忽略而不計。

從另一方面言之，氰化二苯肼，因其易於透過 1917 年及 1918 年初期所用的防毒面具濾毒罐，在此項礮彈的礮擊最初期間，能使大批部隊，暫時失去作戰能力。在此項礮擊以後，緊隨之以步兵攻擊（infantry assaults），曾在戰術上獲得頗多的利益。同時此種戰劑透過面具後，戴上面具的難於忍受。復大增傷肺劑的傷亡數目，因傷肺劑往往與此項戰劑同時使用故也。

氰化二苯肼，既在極小濃度（一千萬分之一）下，亦具有功效，故為困擾敵人的優異戰劑。即使僅發射少數礮彈，分散於廣大區域內，亦能迫令該處部隊，戴上面具，因而大減其作戰的效力及效率。用於抵抗礮隊，此物尤有特殊功效。是以藍十字礮彈，廣用於制壓礮隊的射擊（counterbattery fire）。

德國所用的藍十字礮彈，雖不能將其所含化學戰劑在極端有效的形式下分散放出；但協約國對於氯化二苯肼及氰化二苯肼的功能，仍有深刻的印象，因此立即開始設計最有效的方法以資抵抗。

英國人對此尤為奮勉，結果發明一種毒煙燭，可繼續燃燒，將化學戰劑蒸發成為真正的煙粒。在此種形態下，所得效力，較之由礮彈爆炸分散而得者遠為巨大。關於此項進步，法克斯（Foulkes）將軍（參考 12，第 250 頁）曾經說過：

『當氯化二苯肼被高級炸藥分散時，放出的物質，並非在氣體狀態下，而係微細的顆粒；此種顆粒的大小，尙未達到足以完全透過濾毒罐的

微細程度，僅在面具中加上一層稀布過濾層 (cheesecloth filter)，對於是項微粒，即能完全防護。

赫斯丁 (Hesdin) 地方中央試驗所 (central laboratory) 所長華特生 (Watson) 上校，於 1917 年 9 月，曾經提議，研究顆粒狀煙雲 (particulate clouds)。余部下一位軍官細遜 (Sisson) 氏，本着研究的精神，從德國礮彈中，括取氯化二苯肼一小撮，置於余司令部中彼の辦公室內壁爐的熱盤 (hot plate) 上。當時所獲結果極為驚人，致立將整個房子裏面的人趕出戶外。細氏並發現德國最新式面具之裝有附件 (extension)，能完全防禦藍十字礮彈者，對於此法所生的氯化二苯肼煙雲，竟完全不能防護。

此項發現，為一種新穎而有價值的意義之出發點，吾人隨即採取各種步驟，研究如何方可從適當的混和藥劑所生之熱，將氯化二苯肼作最好的揮發，以造成極端有效而且透過力極強之形體。不久即設計一種熱力施放器 (thermogenerator)；即於錫罐中裝填氯化二苯肼及分開裝填的可燃性混和物，其重量為二磅至三磅。

攻擊計劃 (plan of attack)，與以前所定應用毒氣的計劃相同。但因當煙雲濃度僅及氣雲濃度百分之一時，即具有效力，而德國人對其防禦的方法，當時又尚未發現；倘能嚴格保守祕密，自可獲絕對成功。

步兵攻擊縱隊 (infantry assaulting columns)，從事於此種攻擊的準備，遠較以前的毒氣攻擊計劃為簡單；因用此法施放戰劑時，並不需要預備陣線 (retired line) 故也。事實上因施放歷時甚短，而“M 器” (“M” device) [熱力施放器常用此名] 又係用於大規模攻擊（即利用簡便的點火裝置，使幾十萬施放器突然同時發放，與施放發煙燭的情況相同），故步兵縱隊本身，可負責協助特種兵旅 (special brigade) 以使用此種錫罐（指熱力施放器）。此種施放器與吹放瓶相似，在礮隊礮擊下並無危險；故施放此項煙雲，並施行集中的毒氣礮擊 (intensive gas bombardment)，數分鐘後，敵方礮火 (hostile fire) 必歸於靜寂。

在第一次歐戰中，“M 器”未嘗在法國應用。但其祕密倘能嚴格保守，則對於敵方士氣及戰鬥力，將始終成為一種強有力的威脅，可無疑義。倘能予以適當的及充分的利用，此項兵器，將成為戰爭上一種最重要的工具；較之一切其他曾經實地試用於戰場上以及曾經設計的武器。均屬優

良。』

氰化二苯腓，在第一次歐戰所用各種化學戰劑中，實係在低濃度下之效力最大者。每升空氣中含有此物 0.00025 毫克，吸入一分鐘即不可忍耐。人在正常休息狀態下，每分鐘吸入空氣八升；在此時間內所吸入的此物，約為 0.002 毫克。即此微量，已足使人失去作戰能力至一小時之久。人體平均重量為一百五十四磅，即約七千萬毫克。故氰化二苯腓與體重之比，為三十五萬萬分之一\*時，即具有刺激能力；在已知刺激劑中，此物實係最強者。

(C) 乙基吡啶  $[(C_6H_4)_2NC_2H_5]$

第一次歐戰中所用最後一種單純噴嚏劑為乙基吡啶(ethyl carbazole)。此物在 1918 年 7 月馬恩 (Marne) 河一役中，為德軍所引用。在物理性質上，此物為一白色片狀固體，其熔點為  $68^\circ C$  ( $149^\circ F$ )，沸點為  $190^\circ C$  ( $374^\circ F$ )。所生蒸氣，較空氣重七倍。此物能溶於酒精及乙醚中，但不溶於水內，遇水幾毫無影響。

關於此物的採用及其引用的理由，極少可靠的記載。此物的刺激作用，遠不若氰化二苯腓或氰化二苯腓；用時係與此兩種戰劑，混和裝填於藍十字礮彈內。韓斯聯 (Hanslian) 氏 (參考 20, 第 58 頁) 曾云：『事實上此物全無刺激性，僅用作腓類化合物的溶劑。』是項解釋，並無若何理由。蓋乙基吡啶本身亦為固體，使用的時候，又係與固體的氰化二苯腓混和裝填於藍十字礮彈內。是以如何能用作溶劑？吾人不能明瞭。更有進者，此物本身實具有刺激性能；不過較弱於其他噴嚏劑。

第一次歐戰中乙基吡啶的出現，迄今仍認為特殊現象之一，似無正確理由可以解釋之。其所用數量極為有限，亦未獲得令人注意的效果。此處所以提及者，不過使吾人對於噴嚏劑的記錄，得以完全而已。

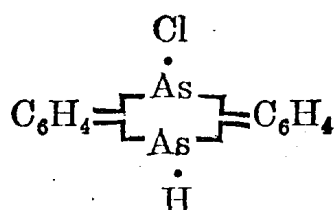
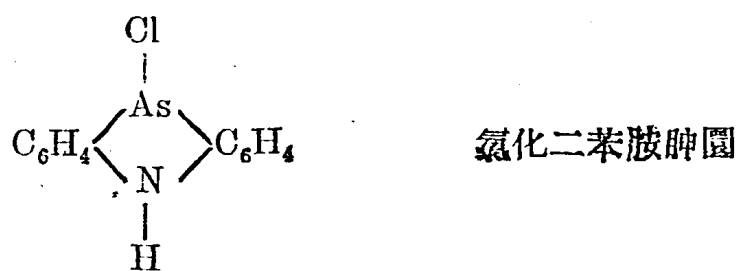
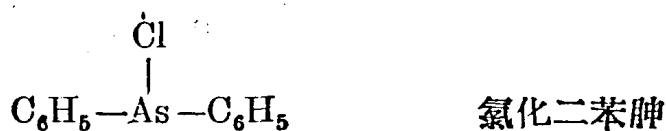
(D) 氯化二苯胂圓  $[(C_6H_4)_2NH As Cl]$

美名：亞當氏劑 (Adamsite)

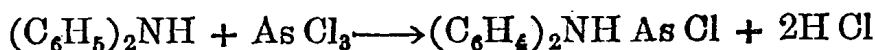
當協約國發現蒸發氯化二苯腓，使成顆粒狀煙雲放出具有甚大效力的時候，立即決定採取此種方式，抵抗德軍。但對於大量製造此物或其重要的中間物，事先毫無經驗；而德國方法又極為複雜。因此旋即感覺發明一種比較簡單的製造方法，確為必要。在尋求此項方法的過程當中，英美化學家，同

\* (註 30) ——Prentiss 原書數字錯誤。

時發明一種與此物關係密切但微有不同的化合物。而又易於大量製造。此項替代物，與氯化二苯肼性質極為相似；用作噴嚏劑，似有相等效力。此項新化合物，即係氯化二苯胺肼圓 (diphenylaminechlorarsine)。其與德國所用氯化二苯肼的區別，僅多一亞胺基 (NH)：



此種化學上的區別雖極微細，但製造問題則因之大為簡單化。製造此物，祇須將二苯胺 (diphenylamine) 與三氯化砷混和後加熱，下列反應即順利地進行而生此物：



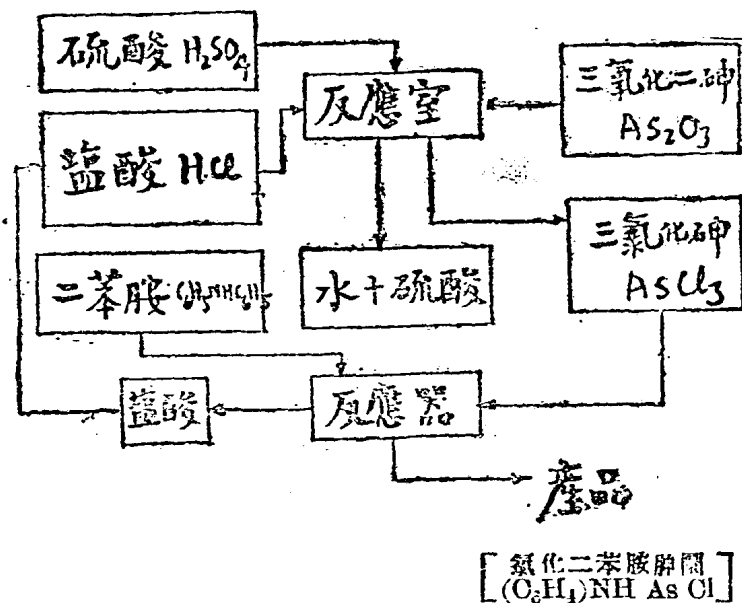
用此法所得的產品，為一暗綠色的熔性固體，可將其溶於苯或冰醋酸中，再用結晶法提淨之。美國因發明此物者為亞當少校 (Major Roger Adams)，故名之為亞當氏劑 (Adamsite)。

此物不僅製造方法簡單，所用兩種原料亦易於大量獲得。二苯胺為染料工業上廣用的中間物，戰時亦為製造無煙火藥所大量需要的穩定劑 (stabilizer)。至於三氯化砷的製備，則係將砒霜 (white arsenic,  $\text{As}_2\text{O}_3$ ) 氯化而得之。在一切砷類化學戰劑中，氯化二苯胺肼圓為最易製造者。

除英美人士在 1918 年從事於氯化二苯胺肼圓的研究及改良工作以外，德國方面宣稱，該國在此以前曾經發明，製造，並試驗此項化合物。繆勒 (Mueller) 博士 (參考 21, 第 108 頁) 說過：『製造此物的方法，早於 1915

年由勒勿苦森染料公司 (Leverkusen Farbwerk) 取得專利 (德國專利第 281049 號。)』韓斯聯 (Hanslian) 博士亦云 (參考 20, 第 58 頁):『在第一次歐戰時, 德國已製造此物, 並由韋倫 (Wieland) 氏予以試驗, 但未將其引用於戰場。』繆勒博士謂此物未能實際使用的理由, 在於其加熱易起分解。然氯化二苯胂與氯化二苯胂膈的加熱分解程度, 相差極微; 二者用作戰劑, 所具性能亦大體相等; 而後者的製造, 則大為簡易。故對於德國使用製造較難的氯化二苯胂, 殊少合理的解釋。韓斯聯博士謂關於氯化二苯胂膈的商業製造方法, 曾經義大利化學家康搭地 (Contardi) 及斐納羅利 (Fenaroli) 二氏大大地加以簡單化及完美化。且俄國刊物, 亦稱在第一次歐戰末期, 義大利人曾經實際使用此項化合物。惟義國權威人士, 從未如此宣稱; 在大戰期間, 義大利人亦從未有任何戰術上運用此物的記載。故俄人所稱, 未必確實。

第三十二圖 製造氯化二苯胂膈的程序



氯化二苯胂膈, 在純淨狀態下, 為一黃色結晶固體, 其比重為 1.65, 熔點為  $195^{\circ}\text{C}$  ( $387^{\circ}\text{F}$ )。在一氣壓下, 其沸點為  $410^{\circ}\text{C}$  ( $770^{\circ}\text{F}$ ) , 同時起分解作用。將其蒸發於空氣中, 即成微細的固體顆粒, 事實上幾無汽壓。用於化學戰爭的不純產品, 為暗綠褐色的晶體, 一部份在  $160^{\circ}\text{C}$  ( $320^{\circ}\text{F}$ ) 下液化, 大部份則須達  $190^{\circ}\text{C}$  ( $374^{\circ}\text{F}$ ) 時, 方能完全熔化。在化學上, 此物甚為穩定, 亦不受空氣中濕氣及雨雪的影響。此物難溶於水內, 其水解極慢極

難。水解所得產品，為鹽酸及一種具有毒性之氧化物，其分子式為  $[(C_6H_4)_2NHAs]_2O$ 。在尋常有機溶劑中，此物均不易溶解；而且此物亦不易溶於任何液體化學戰劑中。氯化二苯胺腫圓的煙霧，遠不如氯化二苯腫煙霧之易於燃燒。故加熱分散時，燃燒的危險，遠較氯化二苯腫為小。氯化二苯胺腫圓與金屬起作用；能侵蝕鋼、鐵、青銅、及黃銅。將其施放於空氣中，不論冷熱天氣，均祇能支持十分鐘左右，故通常將其列入暫時性戰劑一類。

氯化二苯胺腫圓的生理效應，一般說來，與氯化二苯腫相似。對於眼部及喉鼻的黏膜，具有強烈的刺激功效，並能引起劇烈的噴嚏與咳嗽。隨後產生嚴重的頭痛，胸膛的緊迫及劇痛，終至反胃與嘔吐。對於肺部及呼吸過道的刺激，初極微弱，一兩分鐘後即漸行嚴重而致不能忍受。此種劇烈效應，在感受者離開毒化空氣後，常能繼續三十分鐘之久。從生理效應的種類言之，氯化二苯胺腫圓與氯化二苯腫的區別，在於前者現出較慢而延續較長；其所起的咳嗽及對於喉鼻的燒灼痛苦，亦不若後者之強烈。當曝露時，後者的效應較為明顯；但在高濃度下，兩者有相等猛烈的作用，而後者的效應發生較快，惟不及前者之持久。氯化二苯腫，使受毒者失去戰鬥力的最長時間為一小時；氯化二苯胺腫圓則可達三小時左右，故其產生傷害的效力較大。

對於尋常的人，氯化二苯胺腫圓在平常戰場濃度下不呈顯任何嗅味；人類在吸入相當份量足以引起顯著的生理效應以前，毫無任何警覺。其刺激咽喉及鼻部的最底濃度，為每升 0.00038 毫克（即三千萬分之一）；刺激呼吸過道下部的最低濃度，為每升 0.0005 毫克；曝露三十分鐘的致死濃度，為每升 0.65 毫克；曝露十分鐘的致死濃度，為每升 3.00 毫克。

氯化二苯胺腫圓與氯化二苯腫相似，當其分散成為煙粒時效力最大。用爆炸法或蒸發法分散而得的細煙，除裝有效率最高的濾煙層外，均易透過防毒面具的濾毒罐。現代列強對於此項濾煙層（dust filter）均經相當改良；唯濾毒罐的呼吸阻力，總不免因此稍有增加，而獲得適當防護的困難，亦因此而加多。

氯化二苯胺腫圓的一切性能，既幾與氯化二苯腫完全相等，而其製造則較易；在將來化學戰爭中，除非被更有效力的戰劑所替代，此物實有保持其標準噴嚏劑地位的可能。

氯化二苯胺腫圓，除具有用作化學戰劑的價值以外，用以鎮壓暴動及內亂，亦經證明甚為有效。作此項用途時，此物常與催淚劑（苯氯乙酮）混和



裝填於手榴彈內；利用繼續燃燒之熱力，將此兩種刺激劑蒸發，成爲效力最大的形態而放出。

(E)二氯化苯胂 ( $C_6H_5AsCl_2$ )

德名：藍十字一號 (Blue Cross No. I)

法名：斯脫里特 (Sternite)

二氯化苯胂 (phenyldichlorarsine)，主要地爲一種毒性傷肺劑，曾於第七章述及。除傷肺作用外，此物亦呈顯相當的刺激呼吸器官的效應。因此德國人將其用作氰化二苯胂之溶劑，與之混和裝填於藍十字一號砲彈內。

因在第一次歐戰中，二氯化苯胂未嘗單獨使用，故對於其本身的效力，現無可靠的記載。與氰化二苯胂或氰化二苯胂約以等量混和使用時，其刺激及毒害作用，似較後二者單獨使用時爲強。此種五十對五十的混和劑所產生的毒煙，與由純淨氰化二苯胂所產生者，性質相似，惟較爲稠密，透過面具的能力則稍弱。

二氯化苯胂，除具有刺激呼吸器官的效應以外，復具有強烈的毒害作用及相當的起泡性能，故爲最有價值的毒氣之一。

(F)二氯化乙胂 ( $C_2H_5AsCl_2$ )

德名：第克 (Dick)

二氯化乙胂 (ethyldichlorarsine)，主要地亦爲一種毒性傷肺劑，曾在第七章中述及。該物刺激呼吸器官的作用亦頗強烈；濃度低至每升 0.0038 毫克（一百九十萬分之一）時，此物仍對於喉部發生輕微的刺激作用。濃度達到每升 0.0125 毫克（五十七萬分之一）時，則能強烈地刺激鼻部及喉部，並在胸部產生燒灼感覺。是項效應，於曝露終止後，尙能延續一小時。

二氯化乙胂，最初爲德國人採用時，其目的係在獲得一種作用迅速而具有暫時性的起泡劑，故最初名之爲『黃十字一號』，但旋即發現，此物的起泡作用並不猛烈，而其毒性則甚強，故即改稱爲『綠十字三號』。嗣後應用的主要目的，係在利用其傷肺性能。

二氯化乙胂，具有毒害、刺激、及起泡等效應，且其持久性小而作用迅速，故爲一種極有價值的攻勢用毒氣。

(F)二溴化乙胂 ( $C_2H_5AsBr_2$ )

二溴化乙胂 (ethyldibromoarsine)，爲二氯化乙胂的溴素類似物，其性質幾與該物完全相當。在第一次歐戰中，此物僅曾與二氯化乙胂混和裝填於

『綠十字三號』礮彈內。至關於其單獨效力的記錄，則尚付缺如。從其化學結構而論，此物應較其相當氯化物的性能稍為猛烈；但溴化物具有侵蝕鋼鐵的作用，縱有此類優點，亦為其侵蝕性質的缺點所抵消。是以此物在戰爭上的採用，其理由頗難明瞭。

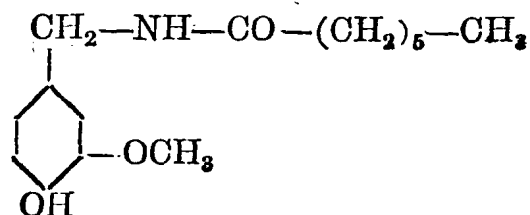
(G)<sup>△</sup> 椒氣

椒氣 (pfeffer gas) 為近年發明的毒氣，其化學結構與其生理效應，各國均保守秘密，文獻中雖間有記載，但均語焉不詳。惟其具有強烈的刺激性，且為較有希望的毒氣，則屬毫無疑義。按照其已知的性質，似宜將其列入噴嚏劑一類，但是否恰當，則有待於將來事實的證明。

柯悅博士 (Dr. N. R. Korur) 在德國防空防毒雜誌第二冊 (Zeitschrift für Gasschutz & Luftschutz B. 7. Heft 2. 45) 中論及椒氣時。曾云：

『1930 年英國報紙首先揭載椒氣的消息，謂此物能穿過各國的防毒面具，惟英國的濾毒罐可抵抗 10 至 20 分鐘。此後在毒氣文獻上，雖常論及此物，但對其成分均諱莫如深。據各專家推測，當係屬克拉克 (Clark) 一類的腴化物。

據美國毒氣化學家哥斯 (Goss) 中校云：在美國以刺激劑註冊專利的椒氣，乃為與德國專家推測者完全不同的化合物，其化學結構式為



學名應為 [甲氧酚代甲基] [庚醯] 胺 (n-Heptoyl Vanillylamid)。此項物質，可作鎗榴彈、手榴彈、毒煙燭、礮彈、迫擊礮彈、及飛機炸彈的裝填劑。如混以壓縮之二氧化碳或炸藥，可使其散佈如煙霧狀態。其數種同系物 (Homologe) 亦具有同樣功效。催淚劑或噴嚏劑如苯氯乙酮或亞當氏劑等，均可與之混和使用。此類配合物有多種，其中一種的配合成分如下：

組 份	重 量 百 分 數
椒氣	2
亞當氏劑	6
苯氯乙酮	8
氧化鎂 (Mgo)	84

關於椒氣的物理性質，各國文獻中亦均無具體的記載。據柯悅博士云，哥斯博士給與彼の樣品，為黑色黏厚的液體，有類似甲氧基酚 (hydroxy-ethoxy benzene,  $\text{HO}\cdot\text{C}_6\text{H}_4\cdot\text{OCH}_3$ ，俗名 guaiacol，德名 Guajahol) 的強烈臭味。但據柯氏的意見，純粹的椒氣應為白色結晶。柯氏任所得的樣品在火焰上揮發，初不呈顯任何刺激，熱至  $250^\circ\text{C}$  左右，即冒白煙，呈強烈刺激性，使人咳嗽甚劇，試驗者均被迫逃避室外。但如有具備濾煙層的濾毒罐，則能防禦此種蒸氣。據柯氏等研究，此物最低刺激濃度與其溶度的結果，知其刺激性較苯氯乙酮約強兩倍；其粉末狀態，易溶於氯化苦劑，溴乙酸乙酯等催淚劑中，在酒精、乙醚等有機溶劑中亦易溶解。

如英國報紙所載者，即為哥斯所稱的椒氣，其戰術功效與生理效應，與噴嚏劑實大致類似。此物雖為強烈的刺激劑，但現代面具足以防禦之，則無可疑。 $\Delta$

### 第三節 各種噴嚏劑效力的比較

噴嚏劑的效力，視其最低有效濃度 (Minimum effective concentration) 而定，此種濃度，在其有效期間內，能使敵人失去戰鬥能力。因此最低有效濃度愈小，則效力愈大。根據此項原則，可將前述各項噴嚏劑，按其效力遞減次序列出如第四十表。

第四十表 各種噴嚏劑效力的比表

戰 劑	最 低 有 效 濃 度	
	毫 克 / 升	體 積 比 例
氰化二苯腓	0.00020	1:50,000,000
氯化二苯腓腓	0.00033	1:30,000,000
氯化二苯腓	0.00043	1:25,000,000
二氯化苯腓	0.00500	1: 2,000,000
二氯化乙腓	0.00716	1: 1,000,000
二溴化乙腓	0.01080	1: 1,000,000
乙基味唑	0.01593	1: 50,000
椒氣	—	—

## 第四節 第一次歐戰中噴嚏劑的使用

根據在戰場上使用的數量，噴嚏劑在第一次歐戰時所用化學戰劑當中列於第三位。德國裝就的藍十字彈不下一千四百萬枚，停戰時僅有極小部份存留未用。在第一次歐戰中共用噴嚏劑六千五百噸；受其傷害者凡二萬人，其中死亡者則為數極微。根據傷亡統計，噴嚏劑須用六百五十磅，方可傷害一人。至於傷肺劑及起泡劑，則傷害一人，所需各為二百三十磅及六十磅。但噴嚏劑的戰術價值，遠較其單純的傷害價值為大，用此類戰劑施行制壓敵隊的射擊（counterbattery fire）及一般地困擾敵人，其效力極大。因其能透過防毒面具，使敵人感受刺激，因而被迫卸下面具，故與傷肺劑同時使用，大有助於傷肺劑效力的發揮，自屬毫無疑義，總之，噴嚏劑在化學戰爭最後一年中，確曾擔負重要的任務。雖其使用技術未曾達到最有效的方式，但吾人不能否認其在戰術上的成功。

## 第五節 噴嚏劑的將來

對於噴嚏劑的將來，頗難估計。第一次歐戰末期及戰後，協約國試驗所得結果，證明用熱力揮發此物，將其分散成為毒煙，具有極大的效力。現代各式面具，均備有特殊的過濾層，以防禦此種毒煙。此種辦法，雖具有相當效力，但並不能對之作完全的防護，同時大增面具對於呼吸的阻力。將一切條件考慮以後，吾人深信噴嚏劑在將來的化學戰爭中，將佔有重要的地位。

關於各種噴嚏劑主要性質的摘要，參閱本編末所附第四十二表。

## 第六節 毒氣摘要

第一次歐戰中及戰後所用與將予使用的毒氣四十種，在第六至第十章中，吾人已予以敘述。為參考方便起見，茲特按照生理效應的分類及其引用年月或發明年代的先後，將此四十種化合物列於下表：

## (I) 催淚劑

## (A) 單純催淚劑

1. 溴乙酸乙酯
2. 溴化二甲苯
3. 苯溴甲烷

4. 溴丁酮
5. 碘乙酸乙酯\*
6. 苯碘甲烷
7. 苯溴乙晴\*
8. 苯氯乙酮\*
  - (B) 毒性催淚劑
9. 氯丙酮
10. 溴丙酮\*
11. 碘丙酮
12. 丙烯腈
13. 二氯甲醛肟
  - (II) 傷肺劑
    - (A) 單純傷肺劑
      1. 氯氣\*
      2. 氯磺酸甲酯
      3. 氯磺酸乙酯
      4. 氯甲酸一氯甲酯
      5. 硫酸二甲酯
      6. 氯化三氯甲硫
      7. 光氣\*
      8. 氯甲酸三氯甲酯 (雙光氣)
      9. 氯化苦劑\*
    10. 二氯化苯肼
    11. 二氯二甲醚
    12. 二溴二甲醚
      - (B) 毒性傷肺劑
    13. 二氯化苯肼
    14. 二氯化乙肼
    15. 二溴化苯肼
      - (III) 中毒劑
        1. 氯氰酸

2. 溴化氰

3. 氯化氰

(IV) 起泡劑

1. 二氯二乙硫\*

2. 二氯化氯乙炔腴

3. 二氯化甲腴

4. 二溴二甲硫

(V) 噴嚏劑

1. 氯化二苯腴\*

2. 氰化二苯腴\*

3. 乙基咪唑

4. 氯化二苯腴腫圓

5. 椒氣

上表所列四十種化合物，係由三千種以上的物質選擇而來；此三千種物質，均係曾經詳細研究以決定其用作化學戰劑的價值者。如此選出的四十種化合物當中，惟標有星號\*者，在第一次歐戰中曾獲有值得注意的效果。即此少數實際成功的化合物，業已產生令人驚愕的結果，致令現代戰爭整個改觀。

甚至此等成功的化學戰劑，亦因其使用方法尚非盡善，致未能充分發揮其效力。第一次歐戰以後，列強對於成功的戰劑之使用方法及其工具的改進，均有相當的努力，所獲進步亦多。除對於第一次歐戰中所曾使用的發射器具加以改善外，並竭力研究自飛機散佈戰劑的有效工具。此項新穎的發展，可望成為將來最難抵禦的武器之一種。

各國除謀增進第一次歐戰所用戰劑的效能以外，對於效力更大的化學戰劑之尋求，亦在繼續努力研究。惟所獲結果均諱莫如深，其進展情形，無隻字公開發表。第二次世界大戰發生後，英美德蘇諸國迄未使用毒氣；惟義阿戰爭與日寇侵犯我國，義日則使用甚多。祇以義日兩國化學戰備均較為落後，其所使用的毒氣與施放的工具，尚未脫離第一次歐戰的範疇。雖則 1943 年常德會戰時，日軍曾用飛機施放毒氣，但未收顯著的戰果。是以毒氣戰備的進步實況，毒氣攻擊的真實價值，尚有待於未來事實的證明。至於普通報章及雜誌上登載關於毒氣的文獻，則不僅過分誇張，且往往全無根據。幾乎

每月都有可怖的標題，以驚駭一般民衆，謂有新穎優越的毒氣；從飛機散佈數百磅，即可使整個大都會如紐約者全歸毀滅。此類令人驚怖的報告，均屬毫無化學戰爭技術及學理上的知識之作家向壁虛構者；一經分析，即知其全無事實根據。

雖則此種報章所載的優異毒氣，吾人並不信其若何嚴重；但工業研究上，時常發見生理效應特強的化合物，則殊不應漠視。在敘述第一次歐戰所用化學戰劑時，吾人曾見每一新穎戰劑的發現，對於戰劑的有效強度 (effective strengths)，往往逐漸有所增進。如每升空氣中含有氯氣 5.6 毫克，在其中曝露十分鐘方可受傷；而氰化二苯腴則在濃度為每升 0.0002 毫克時，呼吸一分鐘即可造成傷害。噴嚏劑對於人體重量的比例為三千五百萬分之一時，即能發生效力；此在第一次歐戰中認為有效低濃度的極限。但大戰後發現的藥劑，有能以較此更少的分量（其與體重的比例約為十萬萬分之一）即發生效力者。例如治療軟骨病 (rickets) 的新藥丁種維生素 (vitamin D) [即用光照過的 ergosterol] 一英兩，對於人體所生的效力，約與六噸魚肝油相等。當吾人憶及魚肝油之通常服量為一茶匙，即可想像此項新藥效力的強大，並可認識第一次歐戰後幾年關於此項問題進步的迅速。哈特列 (Hartley) 將軍曾云 (參考 37)：

『科學的進步至為迅速；其中許多進步，將成為未來戰爭直接應用的基礎。對於毒氣戰爭問題的繼續研究，必須予以適當的地位；否則關於其防禦的準備，將毫無價值。……此項研究，唯有在軍人與科學家間保持密切的合作及同情，方能有效。除非此兩方的合作遠較第一次歐戰以前更為嚴密，成功的機會殊不為多。對於認為有價值的物質之探討及發展，乃係科學家之責任；將其結果應用於軍事問題的解決，則是軍人的工作。』

### 研習問題

- (一) 試概述已知腴類噴嚏劑的一般化學結構。
- (二) 第一次歐戰時德國使用氰化二苯腴，在技術上有何錯誤？試詳述之。
- (三) 據聞美國某工廠生產亞當氏劑的能力為每日 8000 公斤，問理論上每日至少須消耗二苯胺與砒霜各若干公斤？
- (四) 裝填噴嚏劑的礮彈，對於執行制壓礮隊的射擊，何以具有特殊效

力?

(五)利用爆炸分散法所生氯化二苯肼的微粒，較用加熱蒸餾法所得者約大千百倍，其缺點為何？其理由為何？

(六)此次日寇侵犯我國，在戰場上曾經使用的毒氣有那幾種？其施放毒氣的工具有那幾種？

#### 閱讀書目

(一)“Chemical Warfare School Texts”, The Chemical Warfare School, Edgewood Arsenal, Maryland (latest rev.) Book II, Chapter III, Section X.

(二)化學戰爭，吳沆編，第四章。



## 第十一章 發煙劑

### 第一節 煙幕的分類

煙幕(smoke)爲三大類化學戰劑中的第二類。從化學戰爭的觀點來說,煙幕係由微細的液體或固體顆粒懸浮(suspended)於空氣中而成。其使用目的,爲矇蔽敵人視線;或掩蔽友軍及重要地段,使其不易爲敵人所觀測。煙幕的使命,主要地爲防禦性;此點與毒氣截然不同。毒氣能殺傷敵人;煙幕則由其形成遮蔽的帳幕,以達防護部隊的目的。

在戰術上,依其布出的地位,煙幕可分爲兩類。其於隣近敵軍的地方布成,用以矇蔽敵軍,或至少妨礙其觀測動作,以減損其戰鬥威力者,稱之爲矇障煙幕(blanketing cloud)。其布在友軍附近,能遮斷敵人視線,使其不能瞄準射擊,而予友軍以隱蔽及保護者,稱之爲掩蔽煙幕(screening cloud)。

至於毒煙(toxic smokes)的使用,多係利用其生理效應,並非依賴其偶然發生的掩蔽能力,理應歸入毒氣範圍以內,已於第十章討論,茲不贅述。當僅用『煙幕』(smoke)二字時,吾人應當明瞭,所指爲矇障用及掩蔽用的煙幕。

在物理上,視其爲固體微粒或液體點滴所構成,煙幕亦分爲二類。前者爲燃燒所得的煙(smoke);\*後者則爲霧(fog or mist),\*由不包含燃燒的化學反應所產生。但此兩類中,每類皆能用之於矇障或掩蔽。故物理分類法,在戰術上殊無意義。

### 第二節 使用煙幕的歷史

煙幕與毒氣相似,其有計劃的使用,實係第一次歐戰中的一種新發展。但在歷史上,亦有從戰術觀點,試在戰爭中使用煙幕的零星事件之記載。例

---

\* (註 31)——編譯者按,英文 smoke (煙幕)一字,狹義上專指懸浮的固體顆粒之煙(smoke),廣義上則包含煙及霧(fog or mist)。德文書中,幾乎總是將 Rauch (煙)與 Nebel (霧)兩字同時並用,較爲科學。中文對於“smoke”一字的廣義用法,實應譯爲『煙霧』方妥。但『煙幕』一名詞業已通用,故未加以修正。

如 1700 年，瑞典國王查理十二世 (King Charles XII)，在其敵人波蘭薩克遜 (Polish-Saxon) 軍隊之前，利用潮濕稻草所生煙霧的掩護，得以渡過杜溫納河 (Dvina River)。惟此等早期的偶然結果，不能確切證明煙幕的採用為軍事上一種公認的策略。

就事實言之，第一次歐戰前一世紀中，戰場上由使用大量黑色火藥 (black powder) 所生的濃厚煙雲，既可遮蔽戰場上的視界，又可妨礙火器的效能，並足妨害部隊的移動及調遣，反認為係一種越來越討厭的事項。在美國南北戰爭的時候，此事已成為一種極端嚴重的問題，因而促進無煙火藥 (smokeless powder) 的發明，俾戰場視界，不致為黑色火藥產生的濃煙所蔽蔽。

第一次歐戰以前，煙霧既被認作陸地戰爭 (land warfare) 的障礙，故以軍事為目的的人造煙霧方法，迄未為人所注意。關於此項問題的最初試驗，係在海軍策劃下進行；此事足證掩蔽功效在海軍戰術 (naval tactics) 上的重要。

在海上曾經用以產生煙幕的方法有二：其一為英美海軍所用者，方法至為簡單，即節制進入船艦鍋爐 (ship's boiler) 的空氣，使燃料燃燒不完全，因而自煙囪 (funnels) 發生濃厚的黑煙。1913 年 8 月間，美國舉行艦隊演習 (navy maneuvers) 的時候，曾在長島 (Long Island) 用此法大量產生煙幕 (參考 9 第 310 頁)。第二法為將特別的發煙器具 (special generator) 裝於船尾甲板 (deck) 上，內貯三氧化硫、氯磺酸等化合物，利用其化學反應以產生白煙。德國海軍，曾用此項化學發煙法，於 1906 至 1907 年間從事實地試驗 (參考 21, 第 116 頁)。

根據韓斯聯 (Hanslian) 氏的著作 (參考 20, 第 322 頁)；第一次歐戰中德國海軍曾於 1915 年，用煙幕掩護幾艘巡洋艦 (cruiser)，獲得極大的成功。1916 年日得蘭 (Jutland) 之役，更大得力於煙幕。該次所用煙幕，係利用內貯氯磺酸及三氧化硫的發煙浮筒 (floating containers) 所發生。1916 年夏季，奧國艦隊 (fleet) 在法國艦隊之前於地中海 (Mediterranean sea) 內作退却戰時，亦因靈巧地運用煙幕得到成功。至於在陸戰中將煙幕在戰術上作有計劃的施放，則開始於 1915 年夏季；與毒氣戰爭開始的日期極近。

毒氣氣雲攻擊法，無疑地曾將軍事家的注意力，引至運用煙霧掩蔽一部

份。戰場以矇蔽敵人的可能性。在潮濕天氣下，施放氯氣所生的濃厚煙雲，曾予德國跟隨挺進的步兵以掩護；此事並明白地證實，煙幕掩蔽進攻部隊，確有戰術上的優點。

英軍首先採用特別發煙器具，假充毒氣襲擊，令德軍誤認所產生者為毒氣，實則乃係無毒的煙雲。在此種方式下，英軍得以不戴面具於煙幕中前進，而德軍則畏懼毒氣，致招戴上防毒面具之不利。煙幕又可用於其他欺騙敵人的計劃。例如對某一處未加佔領的地域，廣佈煙幕，使敵人認為即將施行攻擊，因而引誘敵人浪費其火力。德國人隨即採用此等戰術，並獲得美滿的效果。

第一次歐戰中，最初設計的陸地用發煙器具，為英國的發煙罐 (smoke pot)，內貯瀝青 (pitch)、牛脂 (tallow)、鉀硝 (saltpeter)、及黑色火藥的混合物；於 1915 年 7 月開始應用。第一次大規模運用煙幕，係在 1915 年 9 月 20 日加拿大軍攻擊米新山脊 (Messines Ridge) 的時候，當時曾用迫擊砲發射煙幕彈數千發。

在 1915 年下半年及 1916 年當中，主要交戰國家 (belligerent) 的部隊，對於使用發煙兵器均有迅速的進展。彼等不但運用各種特殊發煙器具，而且利用各式發射彈以裝填發煙藥劑。迄至 1916 年年尾，發煙材料已成爲手榴彈、槍榴彈、迫擊砲彈、各式砲彈，乃至飛機炸彈的一種標準裝填物。而煙幕戰術 (smoke tactics)，亦在多次重要戰役中，有助於各使用國的勝利。

1917 年秋季，煙幕在戰術上的使用，在西方前線已奠立確定的基礎。因此潘興 (Pershing) 將軍特於 1917 年 11 月 3 日電請美國陸軍部，迅速製造大量的黃磷，以供美國軍隊裝填發煙兵器之用。

以下所述，爲第一次歐戰中實施煙幕戰術而獲得美滿成功的顯著事例：英國步兵第十五旅，於 1917 年 6 月 23 日佔領阿柏森林 (Oppy Forest) 邊界的德軍陣地 (position)，即係在發煙砲彈及發煙迫擊砲彈所生煙幕的掩護下而獲得成功。此次戰役，英軍損失極小。以前英軍對於該處陣地，曾施行數度攻擊，均因未用煙幕而宣告失敗。

英國人利用煙幕所得巨大的成功，尚有兩次堪以記述。一爲 1918 年 8 月 25 日第九、第二十九兩師在米特倫 (Meteran) 地方南面所施的攻擊；一爲 1918 年 8 月 30 日加拿大軍第一、第二、及第三旅在維層阿多波 (Vis en Artois-Bogen) 地方的突進。在此兩次事例中，德軍防線 (German Front)

均在濃厚煙幕下被突破，被俘者三百至五百人。

渡河 (crossing rivers), 架橋 (constructing bridges), 及建築橋頭堡壘 (establishing bridge heads), 常因運用煙幕而獲得優異的結果。例如 1918 年 6 月 15 日, 奧軍從維多 (Vidor) 地方偷渡比阿福 (Piave) 河而達聖約凡里 (San-Giovanni), 據目擊者的見解, 此次偷渡之得以達到目的, 係因散佈濃厚煙幕, 使處在優越地勢的義國機關槍側防部隊 (Italian machinegun flanking unit), 失去視界, 而不能發揮其火力。德國人在 1918 年藉煙幕的隱蔽, 在陀曼、凡塞、凡勒易 (Dormans Vincelles-Vernouil) 完成其輸送軍隊偷渡馬恩 (Marne) 河的準備, 尤可令人注意。

協約國的多次坦克車攻擊 (tank attacks), 每由於煙幕掩護而獲得勝利。1917 年 10 月馬梅孫 (Malmaison) 之役, 法國坦克車大部份為煙幕及天然霧所籠罩, 致德軍砲擊無從奏效, 因之法方所受損失殊小。1917 年 11 月 20 日, 英軍在康卜雷 (Cambrai) 地方所施行的坦克車襲擊, 亦大得晨霧的助力。此種天然霧, 復因英軍砲隊 (artillery) 之密集發射煙幕彈 (smoke shell) 而增強。三百五十輛坦克車, 遂得分數次作波浪式的推進, 完全衝破德軍的防禦線。

法國軍事指揮官, 關於 1918 年 6 月 9 日至 12 日梅茲 (Metz) 戰役的報告, 謂抵抗德國進行部隊的右翼 (right flank) 計有主力四師, 配備有坦克車十二隊, 騎砲隊 (horse artillery) 兩團, 在有利煙幕掩蔽下施行反擊 (counter-attack), 使德軍感受嚴重的壓迫而後退。

1918 年秋季, 有計劃地使用發煙砲彈, 在法軍已成為作戰的通則。1918 年 9 月 2 日在蘇松 (Soissons) 及蘇梅 (Somey) 之役, 法國輕坦克車 (light tanks) 三大隊於煙幕掩護下向前突進。德國方面, 對於防禦坦克車雖有完善的組織與猛烈的砲火, 但法軍仍能衝破德軍防線, 奪取一仟米半寬的陣地。1918 年, 法國第四軍在香檳 (Champagne) 地方大戰時, 其坦克車隊所受德國砲隊射擊的損失, 亦因發煙砲彈的普遍採用而大為減少。

1918 年 8 月 8 日, 英軍在阿眠 (Amiens) 地方突入德軍陣線, 係用坦克車三百三十輛, 其中大部份為重型坦克車。關於此役, 福勒 (Fuller) 將軍曾作鄭重申明 (參考 30) 如下: 『在此次成功的攻擊中, 唯一人工因素, 為加入煙幕掩護射擊 (smoke barrage) 於吾國砲兵射擊計劃中, 以增加黎明時的模糊及混亂。』 1918 年 9 月 27 日, 在康卜雷聖更丁 (Cambrai-St.

Quentin) 地方的戰役中,英國第九坦克車大隊,屢次藉自其本身引擎 (engines) 的排氣管 (exhaust) 所放出煙幕的掩護,得以避免德國近射程火器 (close range guns) 的射擊。

德軍於 1918 年春夏兩季採取攻勢時,亦曾大量使用煙幕彈,以隱障敵方觀測所 (observation posts) 及堅強抵抗點 (strong points of resistance)。德國人 1918 年秋季的退卻 (retreats), 亦以運用煙幕掩護而達到目的; 尤以自馬恩 (Marne) 河撤退及自婆蒙哈默 (Beaumont-Hamel) 地方以東的山地退卻時為顯著。在此兩次退卻中,均曾佈成濃厚煙幕以資掩蔽,故德軍所受犧牲極小。

英國及美國的化學戰隊,均曾將煙幕與毒氣聯合使用。英國特種兵旅 (Special Brigade, 即化學戰隊) 為產生煙幕起見,曾使用四萬枚四英寸司托克迫擊砲發煙彈。1918 年 9 月 26 日,在阿門提爾 (Armentieres) 之北,化學戰隊一連,曾點燃發煙燭一萬五千枚,以產生煙幕。

至於內裝黃磷的飛機炸彈 (drop bomb), 在第一次歐戰中亦曾使用相當數量; 但戰術上利用飛機產生煙幕,則尚未發展至成熟階梯。

整個地說來,第一次歐戰中煙幕在戰術上的應用,實較毒氣在戰術上的應用為落後。有計劃地使用煙幕,可說是始於該次歐戰將終的時候。

在第一次歐戰的整個期間,德國人對於毒氣的運用,始終居於創造及領導的地位; 但煙幕的使用,無論在數量上或品質上,協約國均勝過德國。此蓋由於德國缺乏黃磷,而協約國則可大量利用此物之故。

德奧兩國既不產黃磷,遂不得不借重三氧化硫及其他發煙酸類以資代替。此等物質的功效,實遠遜於黃磷。無論如何,在上次歐戰最後二年中,同盟國 (Central Powers, 指德奧等國) 亦曾廣泛地採用煙幕,而且一般地均獲得相當的效果。

第一次歐戰以後,各國對於煙幕的戰術及技術 (tactic and technique) 均有顯著的進步,尤以英、美、德三國為甚。此等主要強國,不獨對於上次歐戰時所用產煙方法大有革新與改良,而且已經發展一種完全新穎的方法,即由飛機噴洒發煙材料。

### 第三節 煙幕的性質

吾人曾經指出,軍事術語中所謂『煙幕』的意義,包括兩種根本不同的

現象；即：(1)由燃燒結果，在空氣中產生稠密的固體微粒；(2)由燃燒以外的各種化學反應，在空氣中產生的液體微滴。此兩種現象，均不能歸入物質的普通三種形態(固體、液體、氣體)之內，而實屬於物質之分散(dispersed)狀態；即所謂膠體懸態(colloidal suspension)或膠狀溶液(colloidal solution)。

物質的膠態(colloidal state)，其特點為其至少係由兩相(phases)造成之極端透澈的混和物；此兩相，即係分散相(dispersed phase)與分散劑(dispersion medium)。此種『分散』的意義，即指一種物質，有規則地分佈於他種物質之中，使前者的小粒在後者(在此處指空氣)中彼此分開，而在其中懸浮。自此項見解言之，煙霧應視為一種兩相的膠狀系統，其分散劑為氣體(即空氣)，而其分散相則為固體或液體。此類膠狀溶液，從物理及化學上性質言之，均與尋常溶液(例如糖溶於水中)大不相同。膠狀溶液內的小粒，其大小可在一定範圍內變動，而不致因此失去其膠態的特性。

煙霧微粒的大小，其變動的限度極大，大者可用肉眼觀察，小者則可與一個分子的大小相等。在一般情形下，煙霧微粒的大小，介於塵埃(直徑約 $10^{-4}$ 厘米)及氣體微粒(直徑約 $10^{-7}$ 厘米)之間；其顆粒平均直徑為 $10^{-5}$ 厘米。一定數量的發煙材料，其所生顆粒愈小者，其掩蔽力(obscuring power)愈大；故散佈煙幕的目的，在於產生最大數目的最小煙粒或霧粒。

因煙幕為懸浮的固體或液體微粒，並非真正氣體(true gas)，故其行為，不與氣體擴散定律(law of gaseous diffusion)相符。由於空氣分子與煙霧小粒互相撞擊，後者即呈顯布朗氏運動(Brownian movement)，可漸漸擴散而分佈於空氣之中。較大顆粒的擴散，較之較小者為慢。此項遲慢的原因，不僅因其質量(mass)及慣量(inertia)較大，亦因其所受空氣的阻力較巨。但自事實上言之，此項擴散運動，如與散佈煙霧小粒之風及空氣對流的影響相較，又居完全不重要的地位。即使十分稠密的煙霧，其用所含煙霧小粒的重量，不過相當於所佔空間的空氣重量百分之一的一種小分數(a small fraction of 1 per cent)，故含有煙霧的空氣，與其周圍大氣的區別，不過是其中懸浮有極少數量外來的物質。

若煙霧係在熱空氣中施放，空氣因熱膨脹，變為較其四周的空氣為輕，遂向上浮，故煙霧上昇。若在寒冷空氣中施放，因無上昇氣流，則煙霧平散四周，緊貼於地面。氣雲的流動，實則僅係空氣的運動；此種事實，可用以說明

煙霧特有的行爲。

懸浮的煙霧小粒，均較空氣爲重，故其自空氣中漸次下沉的趨勢；其下沉速度雖極小，但隨顆粒的大小而變遷。按照格雷 (Grey) 及拍特孫 (Patterson) 二氏測驗，煙霧小粒之直徑爲  $10^{-4}$  厘米者（如此大小的煙霧顆粒，最爲普通），每分鐘下沉 0.071 英寸；下沉既係如此之慢，應用時可以不必計及。

與一般膠態物質相似，煙及霧的小粒，由於布朗氏運動及空氣流動，使其顆粒互相接觸，因而互相凝集以成較大的顆粒。此種結合，在濃厚的煙霧中其進行遠較在稀薄的煙霧內爲迅速。對於完全乾燥的小粒，此種結合不常碰見。至於一切液體小粒，及潮解性 (deliquescent) 固體小粒表面之凝集有濕氣者，則此種現象極爲顯著。較大顆粒數目的增加，與此項顆粒的繼續增大。均可使沉降速度增加，並使煙霧濃度逐漸減小。同時煙霧微粒愈小者，揮發愈近；因其面積與重量的比例較大故也。從上述各點觀之，可知煙幕之穩定持久者，必其顆粒極小，且爲乾燥而不易起潮解作用的固體顆粒。

#### 第四節 掩蔽力

各個煙霧小粒，均能遮蔽光線，並由反射 (reflection)，作用將光線分散，故煙幕能隱蔽能見度 (visibility)。光線被遮蔽及分散的程度，視一定空間內所含煙霧小粒的數目爲轉移；故具有最多數目的最小顆粒之煙幕，其掩蔽力 (obscuring power) 最大。

煙幕在戰術上的價值，係用其掩蔽目標的能力測定之。此項掩蔽能力，稱之爲總掩蔽力 (total obscuring power, 簡寫爲 T. O. P.)。其定義爲單位重量的發煙材料所生煙幕的體積與其密度之相乘積。煙幕密度，係指掩蔽四十瓦 (watt) 馬茲打電燈泡 (Mazda lamp) 白熱絲所需的煙幕厚度（以英尺表之）之倒數。如掩蔽此項白熱絲所需的煙幕厚度爲一英尺，則其密度爲 1。若單位重量發煙材料所生煙幕的體積，用每磅立方英尺表示，煙幕密度，係用英尺數的倒數表示，則總掩蔽力 (T. O. P.) 的單位爲每磅平方英尺。故一種煙幕的 T. O. P.，即當其厚度及密度恰能完全掩蔽四十瓦標準燈泡的白熱絲時，一磅材料所生煙幕面積的平方英尺數。

最能影響煙幕總掩蔽力的因素有三，即：

(1) 沉降速率 (rate of settling)；

- (2) 濕度 (humidity);
- (3) 溫度 (temperature)。

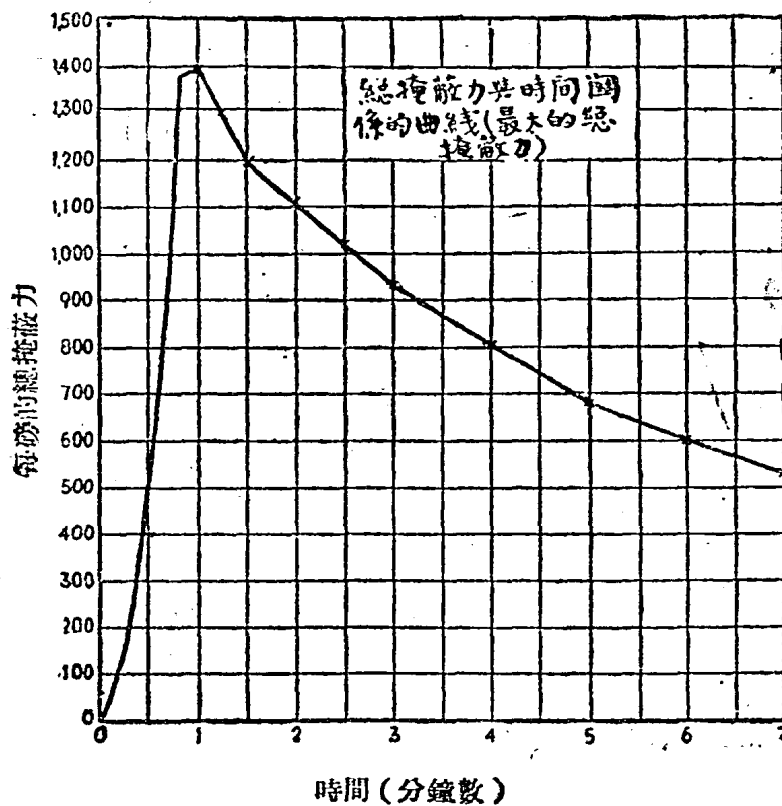
沉降速率，即由重力 (gravity) 作用，使煙霧微粒向下沉降的速度。微粒的大小及比重增加，沉降速率亦隨之增大。微粒之直徑稍大於  $10^{-4}$  厘米者 (即最常見的煙霧小粒)，依照司托克氏定律 (Stokes law) 計算，其沉降速率為 (v) 為：

$$v = 3 \times 10^{-3} \text{ 厘米/秒。}$$

司氏定律，不能精確應用於直徑小於  $10^{-4}$  厘米的小粒。此項小粒的正常沉降速率，均較由司氏定律所求得者為大。但因空氣對流的速率，通常大於直徑為  $10^{-4}$  厘米的小粒之沉降速率 (每小時 11 厘米)，故在尋常大氣中，煙霧不易下沉。惟在極端靜止的大氣中，煙粒又漸形增大而達直徑為  $10^{-3}$  厘米左右者，方有明顯的沉降現象。在靜止空氣中，經若干時間後，直徑為  $10^{-4}$  厘米的煙粒，亦有少許下沉。直徑為  $10^{-5}$  厘米者，偶爾沉降，則完全由於擴散及對流的結果 (參考 31)。

第二十三圖，表示一種標準煙幕 (Standard smoke) 的總掩蔽力與時間。

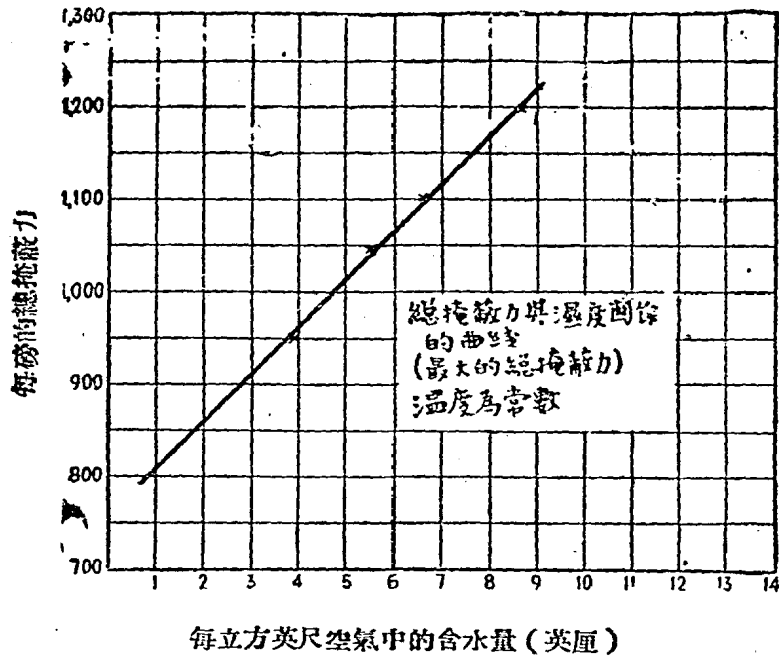
第二十三圖 B. M. 標準發煙混和物的總掩蔽力與時間關係之曲線



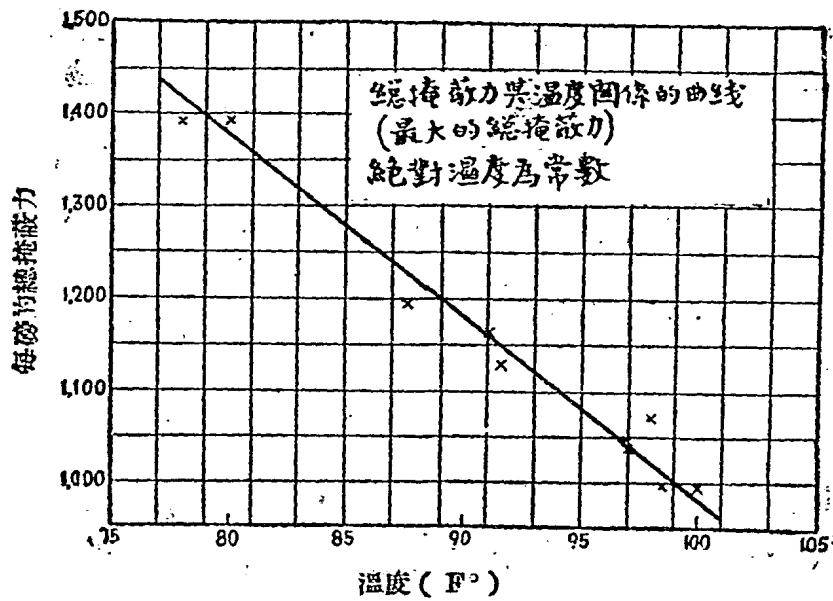


(自生成時起所經過的時間)之關係。圖中所示總掩蔽力的減少,係因顆粒漸次沉降使然。第二十四圖,表示當溫度不變時,濕度對於標準煙幕的總掩蔽力之影響。第二十五圖,表示當濕度不變時,溫度對於標準煙幕的總掩蔽力之影響。

第二十四圖 B. M. 發煙混和物的總掩蔽力與濕度關係的曲線



第二十五圖 B. M. 發煙劑的總掩蔽力與溫度關係的曲線



從第二十三圖，可見煙幕的總掩蔽力，最初急行增加，經過相當時間後，即逐漸減小。由第二十四圖，可見總掩蔽力與濕度成正比例。由第二十五圖，可見總掩蔽力與溫度成反比例。

上列各圖，表示總掩蔽力與主要因素的一般關係。對於各種煙霧雖大致可以通用，但亦有少數例外。例如黃磷的總掩蔽力，不受溫度的影響；氯化銨的總掩蔽力，則與濕度無關。然而此種事實並非重要；如第二十五圖所示總掩蔽力與溫度的關係，僅有極少例外；如第二十四圖所示總掩蔽力與濕度的關係，亦僅有氯化銨與由原油 (crude oil) 所生的碳粒煙幕，不與該圖所示曲線相符。

比較煙幕的掩蔽價值之又一標準，係用標準煙幕 (standard smoke) 作為比較的標準。所謂『標準煙幕』，係指煙幕厚一百英尺時，恰能完全掩蔽二十五支燭光 (candle power) 的電燈光者。

### 第五節 產生煙霧的原理

完善煙幕的條件，第一在於密度；此即謂一層比較薄的煙幕，能完全掩蔽位於其後的目標。第二為內在的穩定性；即所生煙霧，不易分散、沖談、及沉降。第三為發煙簡易，不需用複雜的器具或困難的手續。最後一種條件，則為所需發煙材料不虞缺乏，可以大量補充，且運輸簡便，處置時亦毫無危險。

任何煙幕，能完全適合上述各種條件者，必為分佈於空氣中之微細的固體或液體小粒。按理言之，在空氣中一定濃度的煙幕，其顆粒愈小者愈屬穩定，其掩蔽力亦愈大。惟各個小粒，究不能過於微小，而必須具有相當大小，方能分散光線。當煙粒具有足夠分散光線的大小時，其分散光線的能力，與顆粒的大小，關係大致不大。故煙幕產生問題，即為如何能使發煙材料生成適當微小的顆粒，懸浮於空氣中，而不致易於沉降。施放煙幕的成功，乃在對於下列各種通則的認識與運用。

每個液體或固體顆粒與氣體接觸，其周圍即被一層氣體薄膜 (gas film) 包圍並密切附着。祇有當另一個固體或液體顆粒射入時，方能除去或透過此項薄膜。此種氣體薄膜，發生有效的阻絕作用，使顆粒與外圍氣體相隔離，僅能用機械方法使其破壞。當此種顆粒在氣體中移動時，薄膜亦隨之移動。氣體流動掠過此項顆粒時，能使薄膜變形 (distorted) 或變薄，但不能使其完

全脫離。若注意煙霧形成的現象，可見此項薄膜，對於煙霧顆粒表面的防護作用，決無消失之時。

此種固體或液體顆粒，懸浮於氣體中不易擴散。加以其周圍氣體薄膜有阻絕作用，使其自氣體中除去極為困難。例如氣體中含有少量的氣體氯化氫，令其通過水中，即使通過速度極大，亦能將此物完全洗去，使氣體再無酸性。但若氣體中浮有煙狀的氯化銨，使其通過水中，則煙狀顆粒，大部不能除去。其理由為氯化氫係一氣體，擴散極快，能穿過水面靜止的空氣薄膜，以與水泡接觸，因而被其完全除去。固體煙粒則不能擴散，故通過水中時不被吸收。

此種固體或液體的懸浮微粒，事實上亦無結合 (coalesce) 的傾向。即令兩個微粒趨於接近，亦因執在其間的空氣薄膜之緩衝作用，使其彼此隔離。但當顆粒較大時，具有相當動量 (momentum) 的兩個顆粒，互相接近，亦能機械地穿過周圍氣體薄膜，使其彼此得以結合。倘顆粒夠大，足使此種現象發展至相當程度，即不能視作煙霧，因其過粗故也。

煙或霧一經生成，唯有經由周圍空氣中氣體或蒸氣組份的凝集，方能使其顆粒漸行增大。例如氯化銨微粒，祇有由氣體的氨及氯化氫以擴散方法透過微粒外圍的空氣薄膜，方能使微粒大小增加。霧中水滴，亦祇有由大氣中水的蒸氣透入薄膜，令其點滴增大。總而言之，欲求產生煙粒或霧粒，必由氣體組份 (gaseous components) 結合而生，不能由液體或固體組份形成。

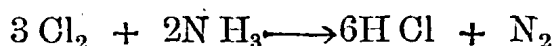
舉例言之、氯化銨煙粒的生成，係由於其氣體組份的相互作用。三氧化硫不能被水吸收，因其與水面上空的水蒸氣起作用，而形成硫酸霧滴；水蒸氣一經消耗，即由液體水的繼續蒸發，所成水蒸氣以擴散方法透過水面靜止的空氣薄膜，以資不斷的補充。氣體氯化氫，易為氨的水溶液所吸收，因其與由溶液所發出的氨蒸氣化合而成霧。惟有物質之在燃燒以前揮發者，如煙煤、黃磷等物，方能於燃燒時產生煙霧。

為產生適度微細的煙霧小粒起見，必須使發生煙霧的組份 (components)，在未凝集前為不活潑的氣體所沖淡。設對此點未加注意，則最初形成的微粒，由於其組份的不斷凝集，迅速加大，以致產生較大的顆粒。祇有當微粒初生時即佔有適度的空間，其中再不含原來的組份，方不致漸行增大。故欲形成優良的煙幕，必先產生較為淡薄之氣體，乃為事實所必需。

對於上述原理最明顯的例證，為若將黃磷在大量空氣中燃燒時，同時空

氣流通狀況又復良好，即能生成極為穩定的煙幕。倘空氣不夠，流通不暢，則所生的煙迅速沉降，其掩蔽力極小。曾經研究過的煙霧，均顯示淡化 (dilution) 具有良好的影響，即沖淡至數百倍時仍然。許多種互相起作用的氣體，當用以沖淡的空氣一百倍於其本身體積時，所得的總掩蔽力，較用兩倍或三倍空氣沖淡時，約大二十倍至五十倍。

一般言之，沖淡程度，直至開始妨礙其反應完成時均屬有益。此種限度，對於多數分子參與的反應，較之簡單的反應遠易達到。例如氯與氨的第一步反應，為



此項五次反應 (fifth order reaction) 的速率，與其濃度的五方 (fifth power) 成正比例而減小。故在沖淡的最大有利效應實現以前，已開始妨礙此項反應的完成。反之，氯化氫與氨能經大大沖淡，而不致阻止其反應的完成；故其每磅材料所生的掩蔽力，較由同量的氨及氯所生者大三倍，雖則其所生的化合物，彼此相同。

構成的煙幕，若係不能揮發的固體，則不論空氣在兩種起反應的物質間如何分佈，事實上毫無關係；任何沖淡方法，對於產生較多數目的小粒，幾於同樣有效。反之，若在反應的任何階段中，有生成液體點滴的可能，而此種點滴，在其一種組份過剩時又能漸行增大，或者此項反應，有生成兩種不同產物的可能，則沖淡方法，變為十分重要。而最佳方法，須由反應的研究以決定之。

欲求煙幕具有相當的穩定性，該項煙霧，必須不能揮發或甚難揮發。由於氯化氫及水蒸氣凝集而成的煙幕極易揮發，故在尋常空氣中迅即清朗。碳酸銨及其類似化合物所生的煙，亦有同樣現象。此等煙幕，因其較小微粒的汽壓，大於較大微粒的汽壓，故較小微粒，有自行揮發而用擴散方法穿過其周圍的靜止空氣薄膜，以與稍大微粒凝集之傾向。結果使較小的微粒逐漸減少；而稍大微粒益形增大。例如四氯化錫與水蒸氣起作用所生的霧粒，為錫酸合水物 (stannic hydrate) 與鹽酸水溶液的混和物；此種霧的能效極小，因其能迅速揮發於不飽和的空氣中。如加入氨，則因能造成一種極為安定的氯化銨微粒，故可增進此項煙幕的效能。

其他情狀若係完全相同，液體微粒的能效不及固體微粒；前者有與其任何過剩組份無限地凝集的傾向，而固體微粒，則僅在有極少量過剩的一種組

份時略行凝集，然亦隨即停止，不再繼續增大。例如由氯化氫及水蒸氣所成的霧，可以毫無限制地再與氯化氫或水蒸氣相凝集；但氯化銨小粒即令有氫或氯化氫存在，亦不致增大。潮解性的固體，因其能繼續吸收水份，使小粒變為飽和溶液，當然與霧粒具有同樣的缺點。

### 第六節 用作發煙劑的物質

物質之用作發煙劑 (smoke agents) 而得到相當成功者，可按其掩蔽能力的由來，分為五類；即：(1) 由於懸浮於空氣中的膠狀碳素微粒；(2) 由於磷酸微粒；(3) 由於硫酸；(4) 由於鹽酸，及(5) 由於氯化鋅。下文依照上列次序，分別敘述。除磷酸（最好的發煙劑）外，列於較後者均較在前者為佳。

#### (一) 第一類

##### (A) 原油

美國符號：(CO)\*

使用最早的現代產煙方法，為使軍艦鍋爐所用燃料原油 (Crude Oil) 的燃燒不完全；此法對於驅逐艦 (destroyers) 尤為適用。1915 年日得蘭 (Jutland) 之役，德國人即用原油所生煙幕，掩蔽退卻，使德國艦隊能逃脫英國海軍的追擊。此法現為各國所通用，在海洋上產生煙幕。

用作此種目的的油，為多種烴 (hydrocarbons) 的混和物，其商名為原油 (crude oil)。此物為一種比重 0.8 的液體，在  $-20^{\circ}\text{C}$  ( $-3^{\circ}\text{F}$ ) 下凝為固體，其沸點為  $200^{\circ}\text{C}$  ( $392^{\circ}\text{F}$ )。當其燃燒不完全時，能發生濃厚的黑煙；該煙掩蔽的能力，係由懸浮於空氣中的膠狀碳粒 (colloidal carbon) 而來。此種煙粒，稠密時具有輕微的窒息作用，但無其他有害的生理效應。人造煙幕之不受潮濕影響不致侵蝕物質者甚少；由原油所生的煙幕即屬其一。

由原油產生煙幕，可用下列三種方法：

(1) 加熱蒸發原油，使其於空氣中再行凝集，以形成小滴。此種煙幕至不穩定；因其油滴具有汽壓，故能變成氣態，以致煙幕漸行消失。

(2) 使油僅有一部份燃燒，析出固體的碳粒，浮遊於空氣中而成煙幕。此項碳粒，隨即凝聚 (coagulate) 成為片狀，以致迅速下沉於地。故此種煙幕極易消散，其掩蔽力不佳。

\* (註 32) ——CO 為 Crude Oil (原油) 二字的省寫。

(3)最好的方法,為將上述兩種方法合併採用,即使油燃燒不完全,同時使過剩的油蒸發。在此種情狀下,液體小粒環繞於碳素小粒之四周,以阻止其凝聚。此種煙幕作灰黑色,極為穩定。

此種煙幕,雖有沉澱炭素以阻塞煙道的趨勢,但現代化軍艦仍用此法在海上產生煙幕。此法不需特別器具,價值低廉,在短時間內能佈成大量煙幕,乃其優點。消耗二英兩 (ounce) 原油,能生標準煙幕一千立方英尺,其代價僅值美金 8 分;故原油實為產生人造煙幕價值最廉的材料。

(B)英國 S 式混和劑

第一次歐戰中,最初用以在陸地上產生人造煙幕的材料,為英國 S 式混和劑 (British type S mixture),用於裝填發煙燭 (smoke candle),即所謂 S 式標記 I 號發煙炬 (Smoke Torch, Mark I, Type S,), 內含下列組份:——

組 份	重 數 百 分 數 (%by Weight)
硝酸鉀 (potassium nitrate)	45
硫磺 (sulfur)	12
瀝青 (pitch)	30
硼砂 (borax)	9
膠 (glue)	4

嗣後此劑略有改良。用於裝填 S-1 式標記 II 號發煙燭 (Smoke Candle, Mark II, Type S-1) 者,其所含組份為:——

組 份	重 量 百 分 數
硝酸鉀	40
硫磺	14
硬瀝青 (hard pitch)	29
硼砂	8
碎煤 (coal dust)	9

各種組份,磨細、混和、篩過後,當其尚在柔軟形態時,壓入三磅的錫筒。

此項發煙燭，燃燒甚旺，時間約歷三分鐘，能產生巨大體積的黃褐色煙幕。其掩蔽能力，大部份由於瀝青中燃燒未完全的碳素微粒。其總掩蔽力甚小，不過 460；且因其所生煙幕有上昇的趨勢，易於分裂而漏罅隙，其掩蔽功效亦不可靠。但因其價值低廉，配製簡易，原料不虞缺乏，可以長久儲藏；英美兩國，在第一次歐戰期間，曾大量使用此項混和劑。

## (二) 第二類

### 黃磷

美國符號：(WP)\*

黃磷 (White Phosphorus) 為產生人造煙幕最有效的材料。磷素計有兩種同質異相體 (allotropic forms)，即黃磷與紅磷 (White Phosphorus and Red Phosphorus)。黃磷為其正常及普通的形式，係德國化學家布朗德 (Brand) 氏在 1669 年所發現。布氏並曾記下，此物在尋常溫度下能自然燃燒，其燃燒產品，為一種濃厚的白色煙幕。黃磷及紅磷，均曾應用於戰爭，但黃磷的效力遠較紅磷為大，因此其應用較廣。通常所謂磷者，即指黃磷而言。

磷在工業上大量生產的方法，係將磷礦石 (phosphate rock，即磷酸鈣) 與二氧化矽及碳在電爐 (electric furnace) 中加熱而得。美國及北非洲，均蘊藏有大量此種礦石。

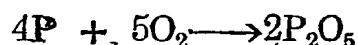
從磷礦石蒸溜出來的蒸氣，將其迅速冷卻，即得黃磷。純淨的黃磷，為蠟狀固體，其比重為 1.8，溶點為  $44^{\circ}\text{C}$  ( $111^{\circ}\text{F}$ )，沸點為  $287^{\circ}\text{C}$  ( $549^{\circ}\text{F}$ )。在化學上，此物甚為活潑。即在尋常溫度下亦易與空氣中的氧氣化合。其曝露於空氣中的表面愈大，此項作用亦愈速。黃磷在氧化時，最初發出光輝；數分鐘後，即發生猛烈的火焰，惟有將其完全浸於水中方可熄滅。故黃磷必須儲藏於水中；各項處置手續，亦須於水中行之。黃磷不溶於水內，但易溶於油脂及二硫化碳中。

將黃磷與空氣隔絕，熱至  $250^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$ ，即得紅磷。此時再用適當溶劑，溶去未曾變化的少量黃磷，可得純粹的產品。紅磷為一紅褐色無定形 (amorphous) 的粉末，其比重為 2.3。在化學上，此物性質遠不若黃磷活潑；在尋常溫度下與空氣接觸，可歷長久時間不生變化。紅磷難溶於二硫化碳及

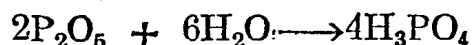
\* (註 33) —— W. P. 為 White Phosphorus 二字的省寫。黃磷英文名為 Yellow Phosphorus 及 White Phosphorus，故亦常譯為白磷。

其他溶解黃磷的溶劑內。曝露於空氣中並不發生光輝；熱至 260° C 方可着火。其蒸氣亦不及黃磷蒸氣之毒。

兩種形態的磷，均可與空氣中的氧氣化合而成五氧化二磷 (phosphorus pentoxide)：



五氧化二磷復與空氣中的水蒸氣起作用而成磷酸 (phosphoric acid)：



一磅磷與 1.33 磅的氧氣及 0.9 磅的水相化合，得 3.23 磅的磷酸。故以重量計，磷為已知發煙材料中之最佳者。紅磷發煙功效不及黃磷，故絕少單獨使用。但裝填發煙砲彈及發煙迫擊砲彈時，則曾用黃磷與紅磷二比一之混和物。

黃磷蒸氣極毒；但因其迅速氧化而成五氧化二磷及磷酸，故在尋常戰場上所能達到的濃度，對於人及其他動物毫無傷害效應。關於黃磷煙幕具有生理效應一點，各家意見不一；其所以不同，蓋因黃磷蒸氣在空氣中繼續存在的可能性究屬如何，不易確定，惟按照多次野外試驗 (field tests)，現知在野外由黃磷產生的煙幕，實無傷害作用。

除有發生煙幕的價值以外，黃磷尚有其他方面的戰術重要性，即其對於人物尚有灼傷及縱火的效應。此物與人體接觸，可引起灼傷；雖作用甚慢，但極難治愈。黃磷對於人體的燒灼作用，在心理上易生巨大影響，因此益增其在戰術上的效果。至其對於物資的縱火功效，究屬有限，僅可點燃甚易燃燒的物質；故在此方面，其功效次於鋁熱劑及其他以縱火功效為主的材料。

黃磷的主要缺點；為：(1) 貯存及處置困難；(2) 燃燒時發生很亮的火焰；(3) 因係固體，除非溶於易燃及具有危險性的溶劑中不能噴散。雖有此數種缺陷，黃磷在今日仍為最有效的發煙材料。

### (三) 第三類

#### (A) 三氧化硫 (SO<sub>3</sub>)

三氧化硫 (sulfur trioxide) 亦稱硫酐 (sulfuric anhydride)。雖則此物須在潮濕空氣中，方能發揮其最大的效果，但在第一次歐戰中，除黃磷以外，此物確為最好的發煙物質。在溫度為 400° - 450° C 下，令二氧化硫與氧氣的混和物通過催化劑 (如鉑海綿)，即得三氧化硫。亞硫酸在特種接觸爐 (special contact ovens) 中起催化燃燒 (catalytic combustion) 作用，亦可



製得此物。純淨的三氧化硫，爲一種易於流動的無色液體，其比重爲 1.92，沸點爲  $45^{\circ}\text{C}$  ( $113^{\circ}\text{F}$ )；在  $18^{\circ}\text{C}$  ( $60^{\circ}\text{F}$ ) 下，凝固爲透明的固體，其比重爲 2.75。此物能自然聚合，成石綿狀的貳聚物結晶  $(\text{SO}_3)_2$ ，其比重爲 1.97，在  $40^{\circ}\text{C}$  ( $104^{\circ}\text{F}$ ) 下，溶化成爲普通液體的三氧化硫。任三氧化硫與空氣接觸，即行激烈地發煙，產生白色濃厚的雲霧，其組份爲硫酸及亞硫酸的小滴。

三氧化硫之能形成煙幕，在於其能生成硫酸及亞硫酸霧粒；此種霧粒極小，能在空氣中存留相當時間，同時因其汽壓極低，亦不易揮發。三氧化硫蒸氣，與空氣中的水蒸氣化合，生成濃硫酸。該物再吸收水蒸氣而使之變淡，至空氣中水蒸氣與硫酸霧粒的水蒸氣達到平衡狀態時，沖淡作用方告停止。故硫酸霧粒的濃度，視空氣中的濕度爲轉移。硫酸的吸濕性，不及黃磷燃燒時所生磷酸之大；因此其小滴的生成，停止較快。故由三氧化硫所生的煙幕，不及磷酸煙幕的穩定。

亞硫酸及硫酸均有侵蝕性，故三氧化硫煙幕對於皮膚及呼吸器官，均稍有刺激效應。即當其濃度爲每升 0.01 毫克時，亦可使人乾咳 (hacking cough)；濃度增大，咳嗽更形劇烈。當其濃度爲每升 0.030 毫克時，距離二十英尺的目標，均被完全掩蔽。在潮濕天氣下，三氧化硫煙幕的掩蔽力，約達黃磷煙幕的 70%。

第一次歐戰中，德國人使用三氧化硫填充砲彈及迫擊砲彈。第一次歐戰以後，英、美、德各國均經過廣博的實驗，乃採用飛機噴洒三氧化硫及其他液體發煙材料以產生煙幕。各式輕便器具 (portable devices)，用以蒸發及噴洒三氧化硫以形成陸地煙幕者，亦經先後設計成功。

#### (B) 發煙硫酸 ( $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$ )

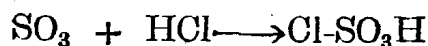
發煙硫酸 (oleum or fuming sulfuric acid) 爲三氧化硫在硫酸中的溶液，普通約含 20% 至 40% 的三氧化硫。此物爲一種濃稠液體；與空氣接觸，即行猛烈地發煙。第一次歐戰中，曾用此物在陸地及海上產生煙幕。德國人所用的特別發霧箱 (special smoke generators, 德名: Nebelkalkraketen)，係裝填發煙硫酸與生石灰。在此項發霧箱中，任發煙硫酸滴落於一層生石灰上，在數分鐘內，因反應所生的熱量 (每克分子 68600 卡) 使石灰變爲紅熱。隨後繼續滴落的發煙硫酸，遂迅速揮發。煙幕之由此等方法產生者，均爲極細的顆粒，不含較大點滴。

美國在第一次歐戰時，亦曾採用發煙硫酸。其法係將發煙硫酸以細流狀態噴射於戰車 (combat tanks) 及飛機 (airplane) 之熱的複式排氣管 (exhaust manifold) 中，以產生煙幕。此法係利用引擎中廢熱揮發發煙硫酸，以代替德國由生石灰反應所生的熱量。

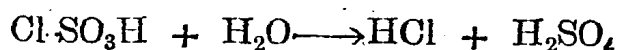
根據實驗結果，發煙硫酸的產煙能力，完全由於其所含的三氧化硫；硫酸的作用，不過是作溶劑。用於裝填各式發煙彈，以純淨的三氧化硫為佳。對於用熱繼續揮發的方法，則用發煙硫酸，可得較好的效果。

#### (C) 氯磺酸 (Cl-SO<sub>3</sub>H)

氯磺酸 (chlorsulfonic acid) 的化學性質及發煙作用，均與三氧化硫極為相似。氯磺酸係由三氧化硫與氣體氯化氫起作用而製得。



氯磺酸為一無色液體，其比重為 1.77，沸點為 158° C (316° F)。與空氣接觸即行發煙；所得產品為硫酸及鹽酸：



氯磺酸係由德國首先採用。在第一次歐戰的早期，德國即用此物作為發煙材料。其使用方法與發煙硫酸相同，亦係將其滴落於生石灰上。但因此物所生煙幕易於揮發，且不濃稠，故目下已為其他材料所替代。

#### (D) 硫二酰氯 (SO<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>)

第三種與三氧化硫有密切關係的產煙物質，為二氯化硫酰 (sulfuryl chloride)，簡稱硫二酰氯。此物係無色而具有極端辛辣臭味 (extremely pungent) 的液體，其比重為 1.66，沸點為 70° C (158° F)，與空氣中水蒸氣相接觸，即行分解，成為鹽酸及硫酸。其發煙效率，較此類中其他發煙材料均低，故不能單獨用作發煙劑。但協約國曾將其與光氣，氯化苦劑等戰劑混和，大量用於產生刺激性煙，並使毒氣的濃度可以觀測。

#### (E) 三氧化硫與氯磺酸的混和物 (SO<sub>3</sub> + Cl-SO<sub>3</sub>H)

##### 美國符號：(FS)

因四氯化鈦具有幾種缺點，化學家乃研究其液體替代品；隨即發現三氧化硫 (sulfur trioxide) 與氯磺酸 (chlorsulfonic acid) 的混和物，係一種比較優良的發煙劑。

此項混和物，在美國通常稱為“FS”；係一種比重為 1.91 的液體，在 -30° C (-22° F) 下凝為固體，其總掩蔽力為 2,250 (四氯化鈦的總掩蔽

力則為 1,900)。“FS”每磅的代價為美金 7.5 分；而 FM (即四氯化鈦) 則為每磅美金 30 分。此外“FS”水解時，不生固體沉澱，故能通暢流出，不致阻塞噴放管。至以持久性而論，此兩種煙幕沉降的速率，並無顯著的差異，故其持久性約略相等。

“FS”唯一的缺點，即其對於金屬及飛機結構有高度的侵蝕作用；但即就此項性質而論，亦不較四氯化鈦為劣。因其具備優越性能，故美國陸軍與海軍，均將其採用作為標準的液體發煙劑。

#### (四)第四類

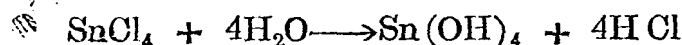
##### (A)四氯化錫 (SnCl<sub>4</sub>)

英國符號：(KJ)

法名：阿迫息特 (Opacite)

因黃磷在處置時極為危險，且不能在液體狀態下噴洒而不致妨害使用部隊的安全；各種含三氧化硫的發煙材料，又均產生硫酸，具有強烈的侵蝕性質；故尋覓不具此種缺點的發煙材料，在第一次歐戰期間曾盡最大的努力。結果所獲得者為幾種金屬氯化物 (metallic chlorides)；四氯化錫 (tin tetrachloride) 乃其中之最初發現者。

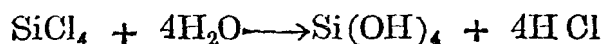
四氯化錫係將金屬錫直接氯化而得。此物為一種比重為 2.28 的液體，其沸點為 114° C (237° F)；在空氣中發煙，水解時產生氫氧化錫：



由此項反應產生的煙幕，其濃稠程度僅及三氧化硫所生煙幕的一半，但其侵蝕性較小，且對於第一次歐戰時所用面具的濾毒罐，較易於透過。因此四氯化錫的主要應用，為將其與光氣及氯化苦劑相混和，以增加此種氣雲的可見性及透過性。但因價值較昂，加以錫的缺乏；在第一次歐戰將完的時候，此物即為他種化合物所替代。

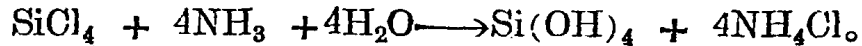
##### (B)四氯化矽 (SiCl<sub>4</sub>)

四氯化矽 (silicon tetrachloride) 為繼四氯化錫之後而被採用的發煙劑。此物係將矽 (silicon) 或碳化矽 (silicon carbide) 與氯氣在電爐中共熱而得。其物為一無色液體，比重為 1.52，沸點為 60° C (140° F)；與空氣中水蒸氣相接觸，即起水解作用而強烈地發煙。



當濃度達到每升 0.20 毫克時，即不再行水解。在該項狀態下，似已達

到一種平衡，由所生的鹽酸以阻止水解作用的繼續進行。事實上當鹽酸變成過多時，上述反應且可逆行，而使煙幕漸行稀淡。倘利用氨以中和其所生的鹽酸，則四氯化矽的水解即可順利進行，而得稠密的煙幕。



故四氯化矽單獨用以發煙，其價值極為有限；若與氨並用，則其發煙力可增大五倍，且可勝過黃磷。同時所生煙幕，對於呼吸器官的刺激作用極小。

此種煙幕，極似天然霧 (natural fog)。當英國海軍用以攻擊齊蒲留克 (Zeebrugge) 時，德國防守部隊 (defending forces) 認為由海面吹來的煙幕乃是天然霧，因此英軍得在德軍不覺中，獲得接近港口 (harbor) 的成功。此次攻擊，英軍所用的發煙工具為發煙筒 (smoke funnel)，即係一種直徑二英尺的鐵製圓筒，內中裝有四氯化矽及氨者（四氯化矽係在二氧化碳壓力下注入）。此次所得結果至為滿意。因此乃依照同樣設計，製造小型的輕便發煙背囊 (small portable smoke knapsacks)，用於陸地戰場上發煙；該項辦法，使用時亦得良好的結果。

四氯化矽與氨產煙方法的唯一缺點，即其所需設備殊嫌複雜。因此其他用於戰場上之較為簡單的發煙方法遂經研究，卒得成功。

因其揮發度之大，四氯化矽亦可用飛機噴洒以散佈煙幕。點滴下降少許距離即完全揮發，故所得結果甚佳。但氨在此種發煙法中亦屬必要，因此遂使發煙裝置較為繁複。除有此種缺陷外，氨與四氯化矽的混和物，可謂為效力最高的發煙劑之一種。

在第一次歐戰將完的時候，由於錫的缺乏，四氯化矽曾用以替代四氯化錫裝填毒氣砲彈。

#### (C) 四氯化鈦 ( $\text{TiCl}_4$ )

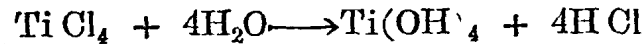
德名：F-物質 (F-Stoff)

美國符號：(FM)

用氨與四氯化矽產生煙幕，所需工具較為複雜；故協約國在第一次歐戰將完的時候，引用四氯化鈦 (titanium tetrachloride) 以代替四氯化錫及四氯化矽。

製造此物的原料為鈦礦石 (rutile)，其主要組份為二氧化鈦 ( $\text{TiO}_2$ )。此礦產生於挪威及美國的佛及尼亞 (Virginia) 洲。將該礦與 30% 的碳相混和，在電爐中熱至  $650^\circ\text{C}$ ，得出一種溶化的物體，內含氫化鈦 (titanium

carbonitride,  $TiC_4N_4$ )及碳化鈦(titanium carbide,  $TiC$ )。此項混和物與氯氣一起加熱,即得四氯化鈦。四氯化鈦爲一無色液體,其折射率(refractive index)殊大,比重爲 1.7 沸點爲  $137^\circ C$  ( $277^\circ F$ ), 在  $-23^\circ C$  ( $-9^\circ F$ ) 下,凝爲白色結晶。空氣中的水蒸氣與此物起猛烈的作用,產生鈦酸(titanic acid)之合水物及鹽酸;形成白色侵蝕性煙幕。



鈦酸合水物之存在方式爲固體微粒;鹽酸則係氣體狀態。

從上列反應式,可知四氯化鈦與四氯化矽相似,其水解爲過多的鹽酸所阻止,故不能完成。當空氣中四氯化鈦濃度極小而水蒸氣含量甚多(即五份水對一份四氯化鈦,並非理論上四與一之比)時,所產煙幕最好。由於此種特點,當其濃度低於每升 0.060 毫克,而空氣濕度又大時,四氯化鈦的掩蔽力勝於三氧化硫;但如濃度大而濕度小的時候,則四氯化鈦較差。

四氯化鈦所產生的煙幕,內含鹽酸,故具有侵蝕性;但其在戰場上所可達到的濃度,不足刺激呼吸器官,以引起咳嗽及其他令人不適的生理效應。如與氨共用,更可使所生的煙完全無害;並可中和鹽酸,使其成爲氯化銨以增加煙幕的密度。加入氨氣,約可使四氯化鈦的掩蔽力增加一倍;但所需的發煙材料,亦增加一倍,故僅從材料的重量着想,可謂毫無利益可言。且噴射兩種液體的器具,構造極爲複雜;而當四氯化鈦的使用量,與空氣中所含濕度成適當的比例時,單獨四氯化鈦一物的發煙效率亦佳。故氨的加入實非必要。

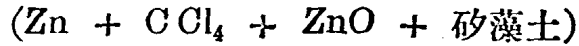
四氯化鈦,因其沸點甚高,揮發度又不過大,故特別適合於用作飛機發煙材料。用此物散佈空中煙幕,每個點滴,在完全揮發及水解以前,均已下降至頗遠的距離。因此美國在第一次歐戰後幾年,曾採用此物爲標準的液體發煙劑。但因其價值較高(得到效力相等的煙幕,所費約爲三氧化硫的二十倍),水解後遺留樹脂狀固體, (gummy solid), 阻塞噴洒器的放射小口(emission orifices); 且在液體形態下,又有侵蝕金屬的作用;故四氯化鈦,遂爲價值低廉而一般地更爲滿意的發煙劑“FS”(見上文)所替代。

產生一千立方英尺的標準煙幕,需要 0.15 英兩的四氯化鈦;如用黃磷,則祇需 0.06 英兩。故就重量比較,前者的發煙效率,約爲後者的 40%。

四氯化鈦除價值較昂外,其他性質並不優於 FS,但仍用以裝填發煙砲彈及發煙迫擊砲彈。

(五)第五類

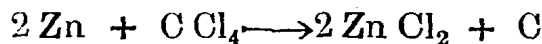
(A)柏格爾混和劑



此類發煙劑，為含鋅的化合物或混和物，能產生鋅煙 (Zinc smoke) 者。最初採用的此類混和物，為含有鋅粉與四氯化碳的混和物，係由法國化學家柏格爾 (Berger) 氏所發明，故稱為柏格爾混和劑 (Berger mixture)。在第一次歐戰中，法國最初所用的此項混和物，係由下列各物配合而成：

組 份	重 量 百 分 數
鋅粉 (zinc dust)	25
四氯化碳 (carbon tetrachloride)	50
氧化鋅 (zinc oxide)	20
矽藻土 (kieselguhr)	5

此種混和物的發煙原理，為粉狀的金屬鋅與有機氯化物（例如四氯化碳或六氯乙烷）起強烈作用而生氯化鋅：



是項反應放出大量的熱，立即使氯化鋅揮發，以形成稠密的煙幕。在反應進行中，溫度可迅速地升到 1200° C。因此須加入揮發物質（例如過量的四氯化碳），利用其揮發時吸收熱量，以調節溫度而使之降低。為防止較重的鋅粉沉降於四氯化碳的下層，特別加入矽藻土作為吸收劑，使其成為一種混和均勻的糊狀物 (paste)，俾其組份不再分離。氧化鋅的吸收力甚小；其加入混和劑，可謂無大用處。

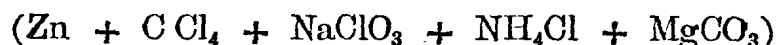
為使柏格爾混和劑着火燃燒起見，特以鐵粉 (iron dust) 及過錳酸鉀 (potassium permanganate) 作為點火混和物 (igniting composition)。此種點火物，可用普通火柴點燃之。將柏格爾混和物三磅壓入一隻與大號番茄罐頭大小約略相等的容器，上舖一層點火物，即得第一次歐戰時所用的發煙燭。

內裝柏格爾混和劑的發煙燭，較之液體發煙器具有幾種優點。第一，在點燃以前，此項混和劑化學性質極為穩定，完全無傷害效應；即令被鎗砲彈丸擊中，亦不能使其發火。第二，此項發煙燭能長久貯存，不致毀壞；貯存時

所佔空間亦小，搬運、處置、及使用時均甚簡便。第三，由此項混和劑所生的煙，完全無害；除非濃度達到每升 0.100 毫克，不致引起刺激作用，而此項濃度，在尋常戰場上決不能達到。至於此項混和劑的主要缺點，則有下列幾項。第一，反應溫度太高，散出的火星可以引火。第二，燃燒頗屬漫無規則，各種組份不能充分發揮其價值。第三，產生的煙作淡灰色，餘渣中含有相當多的碳素。柏格爾混和劑因點着及燃燒均嫌太慢；故不適於裝填發煙手榴彈、發煙砲彈、及發煙飛機炸彈。

為改良最初所用柏格爾混和劑的效力起見，曾有許多試驗工作。在化學戰爭文獻中，現有多種配合公式可查。不論其混和成分如何變遷，其產煙的一般原理則一；即供給主要反應的鋅粉與四氯化碳，其重量比例約為二比一，另外再加適量的吸收劑（如矽藻土等），使成生麵狀之糊（dough-like paste），俾各組份不致浮沉變異。

(B) B. M. 混和劑



美國改良的柏格爾混和劑，係美國礦務局（U. S. Bureau of Mines）於 1917 年配製成功，故稱為 B. M.\* 混和劑（B. M. mixture）。其組份如下：

組 份	重 量 百 分 數
鋅粉	25.4
四氯化碳	41.6
氯酸鈉 (sodium chlorate)	9.3
氯化銨 (ammonium chloride)	5.4
碳酸鎂 (magnesium carbonate)	8.3

此劑成分，較之原來的柏格爾混和劑大有更動。其更動係根據下述理由：原來的柏格爾混和物，反應不夠猛烈，且其所產生的煙幕為黑色。故第一步改良，為加上一種氧化碳素的物質，將灰色煙變為白煙，同時增加反應的速度。從經濟上着想，遂選定氯酸鈉以適應此項目標。加入氯酸鈉，大可增進煙幕的品質及數量，但同時可使燃燒速率太快，反應熱太大，致令煙幕太熱。

\* (註 34) —— B. M. 即 Bureau of Mines (礦務局) 的省寫。

第二步改良為採用氯化鋁，以代替原來的氧化鋅。氯化鋁揮發時，能吸收大量的熱，使所生的煙較冷，且可延緩反應速度，並可令煙幕密度增加（因氯化鋁本身掩蔽力甚大之故）。最後一步改良，則為應用碳酸鎂以代替矽藻土。矽藻土實非適宜的吸收劑，其成分不定，含有數量不一的水份及有機物，燃燒時又有膨脹、結塊、彎拱的缺點，因而使混和物燃燒速率不甚整齊。碳酸鎂則已證明為優良的吸收劑，可使混和物的燃燒勻整地進行，並因其以機械方式放出氧化鋁，可增加煙幕的密度。

經改良後所得的煙幕，其總掩蔽力自 1250 增至 1400。且該項煙幕，具有較好的懸垂性質 (hanging properties)，不易受流動空氣的擾亂，分散亦不致於過速。

為使標準的 B. M. 混和物 (standard B. M. mixture) 在反應開始時即行迅速地發出煙幕起見，乃另外用一種速燃混和物 (fast mixture)，其成分如下：

組	份	重	量	百	分	數
鋅粉 (zinc dust)				30.2		
四氯化碳				35.1		
氫酸鈉				24.9		
氧化鋅				9.8		

此項混和物，燃燒較標準混和物為快；因其不含氯化鋁及碳酸鎂，而用氧化鋁作吸收劑故也。

B. M. 混和物，常用以裝填發煙燭，發煙手榴彈 (smoke grenades)，及海軍用的發煙浮箱 (floating box)。凡此各種器具，除裝填標準混和物及速燃混和物外，又含下列兩種點火混和物 (starting mixtures)：

第一種點火混和物，係用以引起反應，具有下列成分：

組	份	重	量	百	分	數
硫磺粉 (powdered sulfur)				20.7		
鋅粉				63.1		
氯化鋁				16.2		

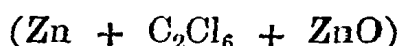


第二種點火混和物，可用普通火柴點燃。點着後燒過着火帽 (igniting cup)，以點着第一種點火混和物。第二種點火混和物的成分如下：

組 份	重 量 百 分 數
鐵粉 (用還元法製成的)	46.6
過錳酸鉀	53.4

B. M. 混和物與英國 S 式混和物相較，具有下列幾種優點。第一，此項混和物燃燒比較勻整而完全，留下較少的渣滓。第二，所生煙幕的懸垂性較佳，持久性亦較大。第三，總掩蔽力的比較，則 B. M. 混和物為 1400，S 式混和物為 460。至其缺點，則有下述兩項：(1) 吸收劑中不活潑的材料約佔百分之 25。(2) 必需用絕對不透氣的容器，以防四氯化碳的揮發。但無論如何，B. M. 混和物，實為第一次歐戰時此類混和發煙劑中之效力最大者。

(C) H. C. 混和劑



第一次歐戰以後，美國人繼續致力於 B. M. 混和劑的改進，以求獲得更好的發煙劑。隨即發現，固體的六氯乙烷(hexachlorethane)遠勝於液體的四氯化碳，因即採用作為替代品，而製成 H. C.\* 混合劑(H. C. mixture)。六氯乙烷係一種與四氯化碳同等美滿的氯素來源，因其係一固體，不需用碳酸鎂等類不活潑的填充劑 (filler) 以資吸收。在是項混和物中，並不用氫酸鈉及氯化銨，而係用氧化鋅作為吸收劑。

此項新的混和劑，用於裝填美國式第一號六氯乙烷 (H. C. M-I) 發煙燭者，內含下列組份：——

組 份	重 量 百 分 數
鋅粉	28
六氯乙烷 (hexachlorethane)	50
氯化鋅	23

\* (註 35) ——H. C. 為 Hexachloroethane 一字的省字。

點燃此項混和物，係用下列成分的點火混和物：

組 份	重 量 百 分 數
銻 (antimony)	76.4
鋅粉	11.8
過氯酸鉀 (potassium perchlorate)	11.8

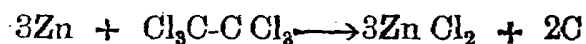
如上所述的最初 H. C. 混和劑，經繼續改良的結果，發展為下列成分的混和物，用以裝填美國式的第二號六氯乙烷 (H. C. M-II) 發煙燭：——

組 份	重 量 百 分 數	
	速 燃 混 和 物	慢 燃 混 和 物
鋅粉	36	36
六氯乙烷	43	44
過氯酸鉍 (ammonium perchlorate)	15	10
氯化鉍	6	10

裝填此種發煙燭，係用十分之九的慢燃混和物 (slow-burning mixture) 及十分之一的速燃混和物 (fast-burning mixture)。速燃混和物舖成一層，蓋於慢燃混和物上面。前者係用下列成分的點火混和物 (starting mixture) 點燃之：

組 份	重 量 百 分 數
硝酸鉀 (potassium nitrate)	42
三硫化銻 (antimony trisulfide)	26
硫化亞鐵 (ferrous sulfide)	26
糊精 (dextrin)	6

H. C. 混和劑發煙時，所起化學反應如下：



至於 H. C. 混和劑點火燃燒的手續，與 B. M. 混和劑大體相同；但其

反應比較溫和，亦不需要延緩劑 (delaying agents)。此項混和物極為穩定；其單位重量的效率，亦大於 B. M. 混和物。

如上所述第二號 H. C. 混和物 (H. C. mixture, M-II)，現為美國陸軍所用發煙燭及發煙罐 (smoke candles and pots) 的標準發煙劑。該物祇需 0.12 英兩，即可產生標準煙幕一千立方英尺，為產生鉍煙最進步的發煙劑。

### 第七節 各種發煙劑的比較

上述各種發煙劑，以及第一次歐戰後曾經用過的其他發煙材料，可按照其總掩蔽力的遞減次序，排列如第四十一表：

第四十一表 各種發煙劑總掩蔽力的比較

發 煙 劑	總 掩 蔽 力
黃磷	4,600
四氯化鈦 + 氮	3,030
三氧化硫	3,000
三氧化硫 + 氯磺酸 (FS)	2,550
鹽酸 + 氮	2,500
H. C. 混和劑	2,100
四氯化矽 + 氮	1,980
四氯化鈦 (FM)	1,900
發煙硫酸*	1,890
四氯化錫 (KJ)	1,850
三氯化磷 + 氮	1,800
氯磺酸 + 氮	1,600
四氯化矽	1,500
氯化硫 + 氮	1,425
氯磺酸*	1,400
B. M. 混和劑	1,400
柏格爾混和劑	1,250
四氯化鈦 + 二氯化乙烷 (ethylene dichloride)	1,235
硫二醯氮	1,200
氮 + 氮	750
三氯化砷	460
S 式混和劑	460
原油	200

\* (註 36) —— 熱至 450° F 時，此物的總掩蔽力增加 30% 至 50%。

在將各種煙幕的總掩蔽力加以比較時，其燃燒速率必須顧及；因燃燒緩慢的煙幕，在未達到其最高密度以前，煙粒即已開始沉降故也。溫度及濕度，對於多數煙幕的總掩蔽力，亦有重大的影響。上列各種數值，係於溫度濕度在平均狀態下所求得。溫度及濕度變遷時，上列數值變動極大。

#### 第八節 發煙劑的將來

第一次歐戰，業已證明煙幕在海陸軍戰術上的價值；在軍用武器中，煙幕實已獲得穩固的地位。戰後空軍發展，更增煙幕的重要性；此不僅指佈成戰場煙幕，飛機為一種優越的工具，亦因妨礙空軍的觀察，蔽掩更有其必要。飛機對於觀測能力大加增強。因此軍事的部署與調遣，攻擊部隊的前進及集中，均須予以適當的掩蔽及防護，使地面部隊，不受空軍的偵察與攻擊。掩蔽煙幕，為貫徹此項目標最有效的工具。

各國對於煙幕的重要性，均有深刻的印象，且莫不急急從事於優良的發煙材料之研究及其施放技術之改良。在第一次世界大戰的期間以及戰後，對此方面均有迅速的進展。

△第二次世界大戰發生後，煙幕在兵器中的地位益見增高。我國與英、美、法、蘇、德、義、日等主要參戰國家的海陸空軍，在戰術上需要使用煙幕的時機，莫不使用煙幕。1942年2月13日英倫海峽之役，英國曾出動飛機六百架，大小軍艦百餘艘，從海空兩方猛烈夾擊德方艦隊。但德國主要艦隻在濃厚煙幕掩護下，竟能安然逃脫。煙幕在現代戰爭中的價值，此事足可說明。而煙幕在將來戰爭中的地位，亦可由此斷定。△

關於各種重要發煙劑性質之摘要，載於第四十二表。至於產生煙幕的技術工具 (technical apparatus) 以及其在戰術上應用的原理，則分見於第十四至第十八各章（即專論各個兵種的化學戰戰術及戰劑諸章）。

第四十二表 重要化學的戰劑

戰劑的通俗名稱	化學名稱及結構式	C. W. S. 符號	依照生理作用的分類	依照戰術應用的分類	持久性 (夏季)
溴丙酮 (Bromacetone)	溴丙酮 $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{Br}$	BA	催淚劑	阻礙劑	空曠處3小時, 樹林中1日至2日。
苯基乙腈 (Brombenzyl cyanide) (法名: Camite)	苯基乙腈 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CHBrCN}$	CA	催淚劑	阻礙劑	空曠處3日, 樹林中7日。
苯基乙酮 (chloroacetophenone)	苯基乙酮 $\text{C}_6\text{H}_5\text{COCH}_2\text{Cl}$	CN	催淚劑	阻礙劑	固態能支持數日; 燃燒混和物僅能支持10分鐘
氯氣 (chlorine)	氯 ( $\text{Cl}_2$ )	Cl	傷肺劑	傷害劑	空曠處5分鐘, 樹林中20分鐘。
光氣 (phosgene)	碳二氯氣 (carbonyl chloride) $\text{COCl}_2$	CG	傷肺劑	傷害劑	空曠處10分鐘, 樹林中30分鐘。
雙光氣 (Diphosgene) (德名: Pertoff) (法名: Surpolite)	氯甲酸三氯甲酯 (trichloromethylchloroformate) $\text{ClCOOCCl}_3$	德名: 綠十字	傷肺劑	傷害劑	空曠處15分鐘, 樹林中1小時。
氯化苦劑 (Chlorpicrin) [嘔吐氣 (vomiting gas)]	硝基三氯甲烷 (trichloronitromethane) $\text{Cl}_3\text{CNO}_2$	IS	傷肺劑兼催淚劑	傷害劑兼阻礙劑	空曠處1小時, 樹林中4小時。
二氯化乙腈 (ethylchlorarsine) (德名: Dick)	二氯化乙腈 $\text{C}_2\text{H}_5\text{AsCl}_2$	ED	傷肺, 喉嚨刺激劑	傷害劑兼阻礙劑	空曠處1至2小時; 樹林中2至6小時。
氫氰酸 (hydrocyanic acid)	氫氰酸 HCN	法名: 第4號	中毒劑	傷害劑	空曠處5分鐘, 樹林中10分鐘。
氯化鉀 (cyanogen chloride)	氯化鉀 CNCl	法名: 第4號 B.	中毒劑	傷害劑	空曠處10分鐘, 樹林中20分鐘。
芥氣 (mustard)	BB/ 二氯二乙硫 (BB/ Dichloroethyl sulfide) $(\text{ClCH}_2\text{CH}_2)_2\text{S}$	HS	起泡劑	傷害劑	空曠處24小時, 樹林中一星期。
路易氏戰劑 (Lewisite)	β-二氯化氯乙砷 (β-chlorovinyl-dichlorarsine) $\text{ClCH}_2\text{CHAsCl}_2$	M-I	起泡劑	傷害劑	空曠處24小時, 樹林中一星期。

二氯化甲肺 (methylchlorarsine) (德名: Methylidick)	二氯化甲肺 $CF_3AsCl_2$	M-D	起泡劑兼傷肺劑	傷害劑	1 小時
氯化二苯肺 (diphenylchlorarsine) (德名: Clark I)	氯化二苯肺 $(C_6H_5)_2AsCl$	DA	噴霧劑	困礙劑	用高級炸藥分散 5 分鐘; 用燭施放 10 分鐘。
氯化二苯肺 (diphenylarsarsine) (德名: Clark II)	氯化二苯肺 $(C_6H_5)_2AsON$	CDA	噴霧劑	困礙劑	與 DA 同
亞當氏劑 (Adamsite)	氯化二苯胍肺因 (diphenylamine-chlorarsine) $(C_6H_4)_2NHAsCl$	DM	噴霧劑	困礙劑	由測流場放出者, 於空處支持 10 分鐘。
原油 (crude oil)	烴屬煙之混合物	CO	無	掩蔽劑	施放後可支持 5 分鐘
黃磷	黃磷亦稱白磷 $P_4$	WP	無	掩蔽兼縱火劑	空曠處約 10 分鐘, 視煙粒大小而定。
三氧化硫 (sulfur trioxide)	三氧化硫 $SO_3$		無	掩蔽劑	施放時有效
發煙硫酸 (oleum)	發煙硫酸 $SO_3 \times H_2SO_4$		無	掩蔽劑	施放時有效
HC 混合物	六氯乙烷 $C_2Cl_6$ ; 銻 Zn 及氧化銻 $ZnO$	HC	無	掩蔽劑	燃燒時有效
四氯化鈦 (titanium tetrachloride)	四氯化鈦 $TiCl_4$	FM	無	掩蔽劑	空曠處 10 分鐘
三氧化硫溶液	三氧化硫 $(SO_3)$ 55%; 氯磺酸 $(HClSO_3)$ 45%	FS	無	掩蔽劑	施放時有效
鋁熱劑 (thermite)	鋁熱劑 $(Al + Fe_3O_4)$	Th	無	縱火劑	無
同位油	烴屬煙之混合物	SO	無	縱火劑	無

第 四 十 二 表 重 要 化 學 的 戰 劑 (續 一)

持 久 (冬季)	性 質	暴露十分鐘的最低刺激濃度 (毫克/升或英厘/1000 立方英尺)	暴露十分鐘的不可耐濃度 (毫克/升或英厘/1000 立方英尺)	暴露十分鐘的致死濃度 (毫克/升或英厘/1000 立方英尺)	融 點	沸 點
空曠處 2 日, 樹林中 7 日。		0.0015	0.010	3.20	-54°C (-65°F)	135°C (275°F)
數星期		0.00015	0.0008	暴露 30 分鐘, 0.9; 暴露 10 分鐘, 3.5。	25°C (77°F)	225°C (437°F)
固體數星期, 燃燒混和物 10 分鐘		0.0008	0.0045	暴露 30 分鐘, 0.34; 暴露 10 分鐘, 0.85。	59°C (138°F)	247°C (475°F)
空曠處 10 分鐘, 樹林中 1 小時。		0.020	0.10	暴露 30 分鐘, 2.53; 暴露 10 分鐘, 5.60。	-102°C (-152.5°F)	-33.6°C (-28.5°F)
空曠處 20 分鐘, 樹林中 2 小時。		0.005	0.020	暴露 30 分鐘, 0.33; 暴露 10 分鐘, 0.50。	-118°C (-190°F)	8.2°C (46.7°F)
空曠處 30 分鐘, 樹林中 3 小時。		0.005	0.040	暴露 30 分鐘, 0.33; 暴露 10 分鐘, 0.50, (U. S.); 0.50 (德)	-57°C	127°C (260.6°F)
空曠處 12 小時, 樹林中 一星期。		0.009	0.050	暴露 30 分鐘, 0.80; 暴露 10 分鐘, 2.00。	-69.2°C (-92.4°F)	112°C (251.5°F)
空曠處 2 至 4 小時, 樹林中 12 小時。		0.001	0.010 (催噴嚏)	暴露 30 分鐘, 0.10; 暴露 10 分鐘, 0.50。	-3°C (-23°F)	156°C (312°F)
空曠處 10 分鐘, 樹林中 1 小時。		0.020	0.030	暴露 30 分鐘, 0.150; 暴露 10 分鐘, 0.200。	-15°C (5°F)	26°C (79°F)
空曠處 20 分鐘, 樹林中 2 小時。		0.0025	0.005	暴露 30 分鐘, 0.120; 暴露 10 分鐘, 0.40。	-6°C (21°F)	15°C (59°F)
空曠處及樹林中皆可支持數星期		0.001	0.001	暴露 30 分鐘, 0.07; 暴露 10 分鐘, 0.15。	14°C (57°F)	217°C (422.6°F)
1 星期		0.0008	最低刺激濃度 為 0.0008	暴露 30 分鐘, 0.048; 暴露 10 分鐘, 0.12。	-18.2°C (0°F)	190°C (374°F)

2 至 3 小時	0.002	0.025	暴露 30 分鐘, 0.125; 暴露 10 分鐘, 0.75。	54.8°C (-66.6°F)	132°C (269.6°F)
與夏季同	0.0005	0.0012	暴露 30 分鐘, 0.90; 暴露 10 分鐘, 1.50。	45°C (113°F)	383°C (720°F)
與 D A 同	0.0001	0.00025	暴露 10 分鐘, 1.00。	31.5°C (91°F)	350°C (662°F)
與夏季同	0.00038	0.0004	暴露 30 分鐘, 0.65; 暴露 10 分鐘, 3.00。	195°C (387°F)	410°C (770°F)
與夏季同	無	無	無	-20°C (-3°F)	200°C (392°F)
與夏季同	幾無刺激	幾無刺激	煙草無傷害	44°C (111°F)	287°C (549°F)
與夏季同	煙草幾無刺激	煙草幾無刺激	煙草無傷害	40°C (104°F)	45°C (113°F)
與夏季同	煙草幾無刺激	煙草幾無刺激	煙草無傷害	5°C	分解
與夏季同	煙草無刺激性	無刺激性	無傷害	C <sub>2</sub> ClO <sub>6</sub> 184°C (363°F)	185°C (昇華) (365°F)
與夏季同	煙草無刺激性	無刺激性	無傷害	-23°C (-9°F)	136°C (277°F)
與夏季同	煙草無刺激性	無刺激性	無傷害	在 -30°C 以下 (-22°F)	
無	無	無	無	1520°C (2732°F)	無
無	無	無	無	30°C (88°F)	無



第四十二表 重要化學的戰劑(續二)

揮 發 度 20°C (68°F)	蒸 汽 壓 20°C (68°F)	蒸 汽 對 空 氣 的 比 重	固 體 的 密 度 23°C (68°F)	可 溶 解 此 物 的 溶 劑	對 於 金 屬 之 作 用	貯 藏 時 的 穩 定 性
10.0 立方英尺空氣中 75 英兩	9 毫米水銀柱	4.7	1.60	油脂及有機溶劑	可腐蝕鐵	遇光或熱則不穩定
1000 立方英尺空氣中 0.120 英兩	0.0112 毫米水銀柱	6.6	1.47	氯苯, 氯仿, 氯化 萘, 光氣。	腐蝕鐵器, 彈內需 要鎳或錫那之裏襯	慢慢分解
1000 立方英尺空氣中 0.106 英兩	0.013 毫米水銀柱	5.2	1.30	氯仿, 氯化萘, 二氯 乙烷, 氯乙酮。	使鋼鐵變暗	穩定
1000 立方英尺空氣中 19,359 英兩	4,993 毫米水銀柱	2.5	1.49	光氣, 氯化萘, 四氯 化碳。	乾燥時無作用, 潮 濕時腐蝕甚速。	乾燥時貯於鋼鐵瓶 中, 甚穩定。
1000 立方英尺空氣中 6,310 英兩	1,180 毫米水銀柱	3.5	1.38	氯及氯化萘	乾燥時無作用, 潮 濕時腐蝕甚速。	在乾燥鋼瓶中, 甚 為穩定。
1000 立方英尺空氣中 120 英兩	10.3 毫米水銀柱	6.9	1.65	光氣, 氯化萘, 氯化 二苯腓。	乾燥時無作用, 潮 濕時則腐蝕。	在乾燥鋼瓶中, 甚 為穩定。
1000 立方英尺空氣中 165 英兩	18.3 毫米水銀柱	5.0	1.66	氯仿, 光氣, 氯, 二 硫化碳, 苯, 酒精。	使金屬嚴重變暗。	在鋼瓶中能長期穩 定。
1000 立方英尺空氣中 100 英兩	5.0 毫米水銀柱	6.5	1.70	氯乙烷	無	穩定
1000 立方英尺空氣中 873 英兩	603 毫米水銀柱	6.93	0.75	三氯化砷	乾燥時, 僅與銅起 作用, 潮濕時則均 起作用。	與強酸混和, 共同 溶於溶劑中, 方能 穩定。
1000 立方英尺空氣中 3300 英兩	1000 毫米水銀柱	1.93	1:22 (在 0°C)	有機溶劑	乾燥時無作用, 濕 用發生。	不穩定; 但加入 AsO <sub>3</sub> , 則變穩定
1000 立方英尺空氣中 0.625 英兩	0.035 毫米水銀柱	5.5	1.27	油類, 氯化萘, 酒 精, 四氯化炭。	無	貯於鋼瓶中, 極為 穩定。
1000 立方英尺空氣中 含 4.5 英兩	0.395 毫米水銀柱	7.1	1.88	芥氣, 氯化萘, 油 類, 酒精。	無	貯於鋼瓶中, 極為 穩定。

1000立方英尺空氣中 75英兩	8.5 毫米水銀柱		1.85	有機溶劑	無	極穩定
1000立方英尺空氣中 0.00068 英兩	0.0005毫米水銀柱	幾無蒸氣，皆為 固體微粒	1.4	丙酮，羰仿，氯化苦	迅速腐蝕鋼鐵	分解較慢
1000立方英尺空氣中 0.0015英兩	0.0001毫米水銀柱	8.8	1.45	有機溶劑，羰仿	迅速腐蝕鋼鐵	極穩定
可忽略	可忽略	無蒸氣，皆成煙 粒	1.65	呋喃甲醚；(fur- fural) 丙酮	極微	貯於鋼瓶中極為穩 定。
可忽略	可忽略		0.8	苯，汽油	無	極穩定
100立方英尺空氣中 0.1725英兩	0.0253毫米水銀柱	幾無蒸氣，皆成 煙粒。	1.83	二硫化炭，雜，苯。	無	不與氧氣接觸則穩 定。
可忽略	242.27 在 25°C		1.94		潮濕時起作用	乾燥時穩定
可忽略	可忽略		1.99		潮濕時起作用	乾燥時穩定
1000立方英尺空氣中 2.85英兩	0.22毫米水銀柱	幾無蒸氣，皆成 煙粒。	2.00	酒精，醚（僅指六 氯乙烷）	乾燥時無作用	穩定
1000立方英尺空氣中 86.4英兩	8.32毫米水銀柱		1.70	二氯乙烷	煙有強腐蝕性，乾 燥時及對鋼無作 用。	乾燥時在鋼瓶中甚 為穩定
在 80°C 以下 (176°F)	☉		1.91	液硝酸	液氮與水份存在時 作用迅速。	鋼瓶中甚穩定
無	無	無	3.3	無	無	穩定
無	無	無	10.0	有機溶劑	無	穩定

第四十二表 重要化學的戰劑(續三)

與水的作用水解產物	在空氣中的臭味	開始感覺的濃度(毫克/立方英尺)	生理作用	所需防護藥品
無	辛辣而令人煩悶	0.0005	蒸氣劇烈地催淚;液體能致起泡;固有毒害效應。	防毒面具;僅有吸附劑即足。
慢慢水解	似酸敗水菓	在不可感覺的嗅味中即有刺激作用	劇烈催淚,並刺激鼻部。	防毒面具;過濾罐中僅有吸附劑即足。
無	在低濃度下,似蘋果花氣味	0.0002	刺激眼部及皮膚	防毒面具;須具吸附及有效之過濾層。
小部份溶解並變成: HCl, HOCl 及 ClO <sub>2</sub>	辛辣	0.0100	灼傷上部呼吸管道。	防毒面具,僅有吸附劑即足。
易於水解	似秣草或新切之稻草	0.0044	灼傷肺的下部,使肺水腫脹。	防毒面具,僅有吸附劑即足。
水解極緩	令人厭惡,窒息	0.0088	灼傷肺的下部,使肺水腫脹。	防毒面具,僅有吸附劑即足。
微能溶解	帶有甜味,類似捕蠅紙	0.0073	催淚,刺激鼻喉;濃度加大時,能引起嘔吐。	過濾罐中裝有優良吸附劑的防毒面具。
水解極慢	刺痛,刺激	0.0010	起泡作用為芥氣 1/6;強實癢劑;使手指癱瘓。	防毒面具與防毒衣
可以任意比例混和,微能溶解	似苦杏仁	0.0010	癱瘓中樞神經系統	防毒面具,僅有吸附劑即足。
微能溶解		0.0025	刺激眼部及肺部	防毒面具,僅有吸附劑即足。
水解極慢	似大蒜之氣味	0.0013	溶解於皮膚及肺部組織中,形成灼傷。	防毒面具與良好的防毒衣。
易於水解	似向日葵,刺痛	0.014	溶解皮膚,產生灼傷,並放出極毒的氯化物,以毒害身體。	防毒面具與良好的防毒衣。

微能溶解	無		0.008	引起氣喘；呼吸困難；傷肺，皮膚起泡。	防毒面具與良好的防毒衣。
水解甚慢	HCl; DA 氧化物 (香下極毒)	似難油	0.0003	引起嘔吐，嘔吐，頭痛。	防毒面具中含有優良的濾煙層。
無	無	微似大蒜及苦杏仁	0.0003	引起嘔吐，嘔吐，頭痛。	防毒面具中含有優良的濾煙層。
不溶解，難於水解	HCl; DM 氧化物 (香下極毒)	無顯明嗅味	0.0025	引起頭痛，反胃，嘔吐，繼之以四肢虛弱。	防毒面具中含有優良的濾煙層。
無	無	微有空息嗅	無	無	無
無	在空氣中形成的煙粒為溶於水內的 $H_2PO_4$	似火柴		煙粒灼傷肌肉；蒸氣極毒，能腐爛骨格，煙則比較不毒。	煙不必防護；耐火衣，可防護燃着煙粒。
水解	$H_2SO_3, H_2SO_4$	辛辣 (acid) 窒息性煙毒		乾咳	無
水解	$H_2SO_3, H_2SO_4$	辛辣窒息性煙毒		似強酸	無
$C_2Cl_6$ 微能水解	在空氣中所成煙粒為 $ZnCl_2$ 水溶液	辛辣窒息性煙毒		固體無作用，濃煙微有空息作用。	無
水解	在空氣中所成煙粒為： $TiCl_4 \cdot 8H_2O; HCl; Ti(OH)_4$	辛辣		液體燒灼如強酸；蒸氣及煙粒刺激喉部	尋常濃度不必要；濃煙時須用面具。
作用迅速，似強硫酸	在空氣中所成煙粒為 $HCl$ 及 $H_2SO_4$ 的溶液，形成霧狀。	酸嗅或辛辣臭		液體燒灼如強酸；煙粒使皮膚感覺刺痛。	尋常不必用；高濃度下須有面具，處理液時用手套。
無	無	無		燒灼如芥末	耐火衣
無	無	無		燒灼如熱油	耐火衣

第四十二表 重要化學的戰劑(續四)

消 除 方 法	緊 急 治 療	適 用 的 兵 器	美國所製兵器的標識
鹼	用硼酸水洗眼, 用溫碳酸鈉水溶液洗皮膚。	各式發射器, 手榴彈, 雷榴彈	2 綠帶 BA gas
氫氧化鈉的酒精溶液噴劑	用硼酸水洗眼	75 毫米砲彈; 飛機噴散器。	2 綠帶 CA gas
濃而且熱的碳酸鈉溶液	用硼酸水洗眼; 用溫碳酸鈉溶液洗皮膚。	毒煙筒及手榴彈(用燃燒法放出); 溶液則用 砲彈; 4.2 英寸化學迫擊砲彈, 1 英寸化學迫 擊砲彈, 飛機發射器及發射器具。	燃燒式兵器, 漆 CN gas
鹼(固體或溶液)	使傷者靜臥, 溫暖, 治療支氣管炎。	與氯氣及氯化苦混和, 裝填吹放瓶及李文氏投 射彈。	1 綠帶 Cl gas
水蒸氣令此動水解; 鹼類 與酸類與之起作用	使傷者靜臥, 注射強心劑, 重傷者呼吸 氧氣, 治療如肋膜炎。	李文氏發射器; 吹放瓶; 4.2 英寸及 4 英寸化 學迫擊砲彈; 155 毫米砲彈。	1 綠帶 CG gas
水蒸氣使此物水解; 鹼類 與酸類與之起作用	使傷者靜臥, 注射強心劑, 傷重者呼吸 氧氣, 治療如肋膜炎。	同	
亞硫酸鈉溶液	用硼酸水洗眼, 使傷者溫暖; 嚴防喉部 感染。	與 CN 混和裝 75 毫米砲彈; 炸彈; 4 英寸與 4.2 英寸化學迫擊砲彈; 砲者用於噴射器具; 李 文氏發射器。	2 綠帶 PS gas
氫氧化鈉溶液	用溫碳酸鈉溶液洗皮膚。	砲彈, 4.2 英寸化學迫擊砲彈; 飛機噴射器具。	2 綠帶 ED gas
不需要	新鮮空氣; 噴涼水於面部; 人工呼吸。	砲彈	
不需要	新鮮空氣; 噴涼水於面部; 人工呼吸。	砲彈	
3% 漂白粉與 Na <sub>2</sub> S 的水 溶液; 水蒸氣, 氯氣, 埋入 土中。	用煤油或汽油洗傷處, 再用濃肥皂水 及熱水洗之; 拭乾; 再用溫熱清水洗 之; 藥劑宜在三分鐘內除去。	飛機噴射器; 飛機炸彈; 75 毫米砲彈; 155 毫米 榴彈; 155 毫米砲彈; 4.2 英寸化學迫擊砲彈。	2 綠帶 HS gas
氫氧化鈉的酒精溶液噴劑	用油, 溫水, 肥皂水洗之; 拭乾; 緊急治 療須迅速施行。	飛機噴射器及炸彈; 75 毫米砲彈; 155 毫米榴 彈; 4.2 英寸化學迫擊砲彈。	2 綠帶 M-I gas

氯氧化銅溶液	用肥皂水, 清水及 5% 氯氧化銅洗之; 用硼酸水洗眼。	戰彈及迫擊戰彈	2 綠帶 MD gas
氯氣	低濃度的氯氣	燃燒式彈藥	1 綠帶 DA gas
氯氣	低濃度的氯氣	戰彈	
氯氣; 漂白粉液	從漂白粉瓶中吸入低濃度的氯氣	刺激性煙霧; 燃燒式飛機炸彈; 驅逐艦的煙霧攻擊。	1 綠帶 DM gas
不需要	不需要	軍艦鍋爐中的不完全燃燒。	1 黃帶 CO smoke
不需要: $\text{CuSO}_4$ 溶液能熄滅燃燒	$\text{CuSO}_4$ 溶液; 除去麵粉; 塗苦味酸於灼傷處; 未治前監視傷部於水中。	手榴彈; 戰彈; 4 英寸及 4.2 英寸化學迫擊砲彈; 飛機炸彈。	1 黃帶 WP smoke
用清水洗		砲彈及化學迫擊砲彈, 飛機噴水器。	
用清水洗		發煙手榴彈; 飛機發煙桶。	
不需要	不需要	燃燒式彈藥; 手榴彈; 刺激棍; 發煙浮箱; 炸彈。	1 黃帶 HC smoke
鹼 (固體或溶液)	先用 $\text{NaHCO}_3$ 溶液, 後用溫水洗之, 用苦味酸治傷處。	砲彈; 化學迫擊砲彈; 飛機炸彈及啤酒器; 其他兵器。	1 黃帶 FM smoke
任何一種鹼 (固體或溶液)	與治療酸類灼傷相似	吹放瓶; 飛機啤酒器具; 砲彈。	1 黃帶 FS smoke
無	與治療普通灼傷相似	飛機炸彈, 砲彈	1 紫帶 Th incendiary
無	與治療熱液灼傷相似	飛機炸彈, 砲彈	1 紫帶 So incendiary

\* 此為其在 4998 毫米水銀柱壓力下的揮發度; 在 760 毫米水銀柱的壓力下氯氣的揮發度為每 1000 立方英尺空氣中含 3708 英兩。

† 此為其在 1180 毫米水銀柱壓力下的揮發度; 在 760 毫米水銀柱的壓力下氯氣的揮發度為每 1000 立方英尺空氣中含 4420 英兩。

‡ O. W. S. = Chemical Warfare Service (美國化學戰爭事務署) 的省寫。

## 研習問題

- (一)戰術上分煙幕爲幾類？其功用各爲何？
- (二)從物理學上講，煙與霧有何區別？
- (三)膠態顆粒與分子有何區別？試詳述之。
- (四)穩定持久的煙幕，必爲極細而又不易潮解的固體顆粒，試言其故。
- (五)令含有氯化氫的空氣通過水中，氯化氫可排除淨盡；令含有氯化銨的空氣通過水中則不然。其故安在。
- (六)試概述沖淡作用對於產生煙幕的影響。
- (七)我國近年在何處發現大磷礦？其工業價值如何？
- (八)紅磷的發煙效力何以不及黃磷？
- (九)三氧化硫所生的煙幕，何以不及磷酸煙幕的穩定？
- (十)氨與四氯化錫（或四氯化矽）並用，可大增後者的掩蔽力。試言其理。
- (十一)在第一次歐戰中，德國始終居毒氣戰爭的領導地位，但煙幕的運用卻被英法佔先，其故安在？
- (十二)試述由柏格爾混合劑進化到 H. C. 混和劑的過程及其逐步改良之點。

## 閱讀書目

- (一)Colby, Capt E. "Smoke Warfare and the Doughboy". Infantry J., September, 1928.
- (二)Almond Capt E. A.: Smoke, Infantry J., August, 1928.
- (三)Whytlaw-Gray, R., and H. S. Patterson: "Smoke—A Study in Aerial Disperse Systems", Edward Arnold Company London, 1932.
- (四)Chemical Warfare School Texts," The Chemical Warfare School, Edgewood Arsenal, Maryland (latest rev.) Book II, Chapter III, Section XI.
- (五)化學戰爭通論，曾昭掄吳屏合譯，第三章。
- (六)化學戰爭，吳沆編，第十章。

## 第十二章 縱火劑

### 第一節 縱火劑的分類

縱火劑\* (incendiaries or incendiary agents) 為化學戰劑的第三類，乃用以焚毀敵人在戰區 (Theater of War) 中物資之戰劑。此類物質應用範圍與毒氣及煙幕完全不同。毒氣及煙幕的作用對象為人員 (personnel)，其應用主要限於戰場 (field of battle)；縱火劑的作用對象為物資 (material)，其使用不限於戰線 (battle-front)，而可伸展到轟炸機 (bombing airplane) 所能達到的任何地域。在某種限度內，縱火劑亦可施之於人類，例如在第一次歐戰時，曾用黃磷及鋁熱劑 (thermite) 裝填的空炸迫擊砲彈 (air burst trench-mortar shell)，以攻擊敵軍的機關槍手 (machine gunner)。此等機關槍手，原有適當的掩護，非來復槍及機關槍的火力所能傷害者。

在戰術上，可將縱火劑分作兩類；即(1)集中式 (intensive type) 與(2)分散式 (scatter type)。集中式的縱火劑，其火焰集中於有限的空間，以引燃甚難燃燒的目標及堅固的建築物。分散式的縱火劑，係將縱火材料，分散成為多數極小的火球，分佈到相當巨大的面積，同時引燃多處易燃的目標。另外尚有一種很便利的戰術分類法，則係按照其使用的兵種而分類，其法如下表所示：——

使 用 的 兵 種	兵 器
步 兵	輕武器縱火彈 (small-arms incendiary bullets)。噴火坦 克車。 縱火手榴彈 (incendiary grenades)。及其他手執縱火兵器 hand devices)。
化學戰隊	化學迫擊砲縱火彈 (chemical-mortar incendiary projecti- les)。 李文氏縱火投射彈 (Livens projector incendiary drums)。 火焰發射器 (flame projectors)。
砲 兵	縱火砲彈 (incendiary shell)。
空 軍	縱火飛機炸彈 (incendiary aircraft bombs, 簡稱縱火彈*)， 縱火藥，複合炸彈 (composite bombs)

\* (註 37) ——編譯者按，incendiary bombs 在中國普通多譯作『燃燒彈』或『燒夷彈』；但最近規定的標準譯名，則為『縱火彈』。按此 incendiary agents 應譯作『縱火劑』；但『燃燒劑』及『燒夷劑』兩名，亦可兼用。

\* (註 38) ——亦稱燃燒彈或燒夷彈。



在技術上，縱火劑分作四類如下：

- (1) 能自然燃燒的材料 (spontaneously inflammable materials).
  - (a) 固體的；例如黃磷、鈉等。
  - (b) 液體的；例如黃磷在二硫化碳或二乙鋅 (zinc ethyl) 中的溶液。
- (2) 金屬氧化物 (metallic oxides)；例如鋁熱劑。
- (3) 氧化劑與可燃物的混和物 (oxidizing combustible mixtures)；例如過氧化鎂及鎂粉的混和物；硝酸鋇、鎂粉、及亞麻仁油的混和物等。
- (4) 單狀使用的可燃材料 (flammable materials)；例如松香、瀝青、賽璐珞、固體油 (solid oil)、以及各種可燃液體及可燃油等。

## 第二節 使用縱火劑的歷史

縱火劑與毒氣及煙幕不同；其在戰爭上作有系統的使用不始於現世，而可遠溯及於古代。在上古時期，火即為人類最無情的大敵。其在戰爭上的利用，不過進一步地證明人類多世紀來對於此項最大毀滅者 (great destroyer) 的恐怖。

在聖經上可考的古代，人類即有使用縱火劑於戰爭的思想。當時攻擊築有堡壘的城池時，攻守兩方的軍隊，彼此即拋擲燒着的油，以及內含松香與稻草的火球。最早的火焰發射器，係紀元前 424 年在岱里 (Delium) 地方所用者。此種器具，為一種中間挖空的樹幹，其下端繫有裝填熾熱的煤、瀝青、硫磺等物之小盒，用風箱 (bellows) 鼓動火焰作噴射狀，以引燃敵人的堡壘，幫助圍攻者佔奪城池。

其次使用縱火劑的可考記載，為紀元前 360 年左右特羅哀 (Trojan) 國王愛尼亞斯 (Aeneas) 利用瀝青、硫磺、麻屑 (tow)，含有樹脂的木材，以及其他易燃難熄的物質之混和物，點燃後，自城牆上傾注於攻城的敵方部隊。

其後羅馬人用拋彈機 (catapult)，發射直徑二英尺內貯極易着火材料的粗製鐵絲彈 (iron laticework bombs)，點燃後，擲於敵人堡壘。嗣後有用縱火箭 (incendiary arrows) 以焚燒掩蔽敵人的樹林者。後來復將此種縱火箭漸次增大，而以拋彈機發射之。箭頭後面帶有一根有孔的管子，內盛麻屑、松香、硫磺、及石油的混和物，於點燃後射出之。

希臘火 (Greek Fire) 的引用，可謂係縱火劑應用於戰爭的最大激勵。

據稱希臘火係在紀元後 660 年左右，由敘利亞人加里尼可斯 (Callinicus) 氏所發明；雖則在第四世紀康士坦丁大帝 (Constantine the Great) 時代，已有使用類似材料的證據。希臘火的確實成分，無從查考；蓋因數百年間，其製造方法均係保守祕密，關於其成分，未有詳細記載流傳至今故也。現在所知者，僅知其確含有瀝青、松香、石油等極易着火的物質，以及石灰與硫磺。石灰與水接觸所發生的熱量，足以點燃石油，從而燃燒其他可燃物質；石油蒸氣的爆炸，可使火焰散佈更廣。

希臘火不易熄滅，潑水適足以增加石灰的作用，而使石油散佈更廣。據稱畢贊庭 (Byzantine) 帝國（即東羅馬帝國）的軍隊，利用希臘火抵禦撒拉散人 (Saracens)，使該帝國得免於回教徒的統治幾及一千年之久。無論如何，希臘火在中古時代確曾廣泛地應用於戰爭，直至十五世紀引用火藥時方止。

自近世開始以至第一次歐戰之前，縱火劑並不常用。其原因係槍砲的引用，使兩軍在戰鬥時恆保持相當距離，以致縱火劑的效力無從達到。加以甲冑 (armor) 在防護上的利用，以及嗣後土築的防禦工事 (earthworks) 之發達，幾令可燃物質絕不曝露於戰場。此等新的狀況所造成之技術上的困難，竟使縱火劑如何方能成功地應用於戰爭，成爲一種久懸不決的問題；直至第一次歐戰時，始由近代科學予以解決。是以火在軍事上的價值，雖自古對之即有認識；但以科學方法用之於戰爭，則實至第一次歐戰期間始行發展。

縱火劑在戰爭上的功效，隨所用材料的種類及將其送到目標而令其發生作用的方法爲轉移。現代戰爭的一般情況，既不利於縱火，故有效的縱火裝備 (incendiary armament) 之發展，包括極爲繁複的化學與機械上的問題。此點吾人祇須念及其許多嚴格的技術及戰術條件，即可洞悉。同時，軍用飛機 (military airplane) 的引用，使縱火劑的應用範圍大爲增加；現在利用此種工具，可以達到戰爭活動範圍以內的任何地域。1915 年，德國空襲巴黎倫敦的時候，常常投擲縱火彈，即其一例。

法德兩國在第一次歐戰以前，均已製有縱火砲彈。一種法國樣式的砲彈，最初製造日期爲 1878 年。但此等砲彈，在第一次歐戰初期並未使用，想係無甚效力的原故。在第一次歐戰中，最初使用的縱火兵器爲縱火槍彈及射擊觀測氣球 (observation balloons) 的縱火高射砲彈。

在攻擊陸地部隊的縱火工具當中，使用最早者，為火焰發射器。此項器具，德國人在第一次歐戰以前即已發明（參考 20 第 7 頁）；但直至 1915 年始行使用。

法克斯 (Foulkes) 將軍（參考 12, 第 49 頁）謂德軍曾於 1915 年 6 月 25 日向法軍前線使用火焰發射器；但其首次使用日期，或在此時之前數月。德軍在 1915 年一月，即有火焰發射隊的組織，法軍方面，在 1915 年 4 月 29 日亦曾正式抗議此種器具的使用，均為人所共知的事實。

空軍使用縱火劑，始於 1915 年 5 月 31 日德國齊柏林飛船 (Zeppelin airship) 的首次襲擊倫敦；該次曾以飛船一隻，投擲縱火彈九十枚。

在 1915 年之末，雙方均已使用改良式的縱火砲彈，嗣後不久即用縱火手榴彈、迫擊砲彈及投射砲彈。第一次歐戰時，自始至終各主要交戰國均力謀縱火軍備的充實，故對於各式縱火彈藥的改良，進步均大，尤以縱火飛機炸彈為甚。

### 第三節 用作縱火劑的物質

#### (一) 第一類 自然燃燒的材料

##### (A) 固體

##### (1) 黃磷 (P)

英美符號：(P. W.)

黃磷 (white phosphorus) 的主要效用雖在於發煙，但以其具有在空氣中能自然着火及猛烈地燃燒的性質，故為最初應用於縱火彈藥的材料。根據經驗，對於極易着火及能以小火焰引燃的材料，黃磷甚為有效；故此物用作引燃氣球 (balloons)、飛機、樹林、麥田等的主要縱火劑。對於木材建築以及較難引燃的材料，黃磷殊無價值可言；因其燃燒溫度過低，燃燒形成的氧化物又為甚佳的防火保護層故也。

黃磷除對於物資有縱火功效外，用以對付人類亦甚有效。將黃磷自手榴彈或迫擊砲彈在空中爆裂而分散，黃磷即形成正發出火焰的顆粒，如雨一般地落下；如黏着衣服，極難刷去或撲滅。較大顆粒，且迅速燒過衣服，造成痛苦難愈的灼傷。此等性質，迅即為作戰部隊所普遍知曉。因之黃磷之恐嚇部隊及挫折士氣的功效，遠在其真實傷害能力之上。

在第一次歐戰中，黃磷會廣用於各主要交戰國的輕武器縱火彈與手榴

彈及槍榴彈中；法德兩國，且用之於縱火砲彈，英美則用之於迫擊砲彈。除輕武器縱火彈藥外，將黃磷用於所有其他彈藥時，均能同時產生掩蔽及縱火的功效，故以之屬於發煙彈或縱火彈，均無不可。關於黃磷的化學性質及物理性質，已於第十一章述及。

### (2) 鈉 (Na)

鈉 (sodium) 為富有延展性 (ductile) 的輕軟金屬，其比重為 0.97，熔點為  $97.6^{\circ}\text{C}$  ( $208^{\circ}\text{F}$ )，沸點為  $750^{\circ}\text{C}$  ( $1382^{\circ}\text{F}$ )。此物係將熔化的氯化鈉 (食鹽) 電解而得，遇水即起猛烈作用而放出氫氣。是項反應所發出的熱，足以使氫氣燃燒。故在有濕氣存在時鈉可自然燃燒。

德國人曾用鈉裝填 17.5 厘米的縱火砲彈。此種砲彈，為第一次歐戰中所用縱火彈之最大者；其中所含鈉的引燃，係藉助於鋁熱劑。第一次歐戰中所用自然燃燒的液體混和物中，亦有將鈉加入，以備與水接觸時引燃此項混和物者。除此最後一種用途以外，鈉並非一種有效的縱火材料。因此物須有相當多的濕氣始能着火；而濕氣又適足以妨礙其他物質的燃燒故也。

### (B) 液體

在容器爆裂時，液體的分散通常較佳，亦比較均勻；且液體具有黏着並透過可燃材料的趨勢，其焚毀機會較多。故液體縱火劑，實較固體者為佳。又以自然燃燒的物質不需點火裝備，且能同時於數處發火；是以能自然燃燒，復具備：(1) 短時曝露於空氣中即行燃燒，(2) 具有確實的及有效的縱火作用，(3) 處置運輸均甚安全等條件之縱火劑，實為吾人所尋求的縱火材料。

黃磷既能自然燃燒，且易溶於二硫化碳中，此兩者的混和物，即為首先試用的液體之一。但此種混和物的性質，不盡合於上述條件：第一，其縱火效力，並不優於單獨的黃磷，而有黃磷的一切缺點。第二，此物的運輸與處置均甚危險，又揮發過速，常在未能將目的物熱至其着火點 (ignition point) 以前，即已燒完。

為補救黃磷與二硫化碳混和物的缺點起見，曾有人加入各種不同的可燃性油；其加入的數量，恰使此項混和物保持均勻狀態而不致析出任何組份。但旋即發現此類混和物的燃燒強度不足，乃加入各種不同的硝化有機物 (nitrated organic compounds)，以增加反應的速率。在此等化合物中，三硝基甲苯 (Trinitrotoluene, 簡寫作 T. N. T.) 為最堪令人滿意者。此項研究的最後結果，為獲得一種含有黃磷，二硫化碳，粗製苯 (crude benzene)，

柴油 (fuel oil), 氣汰油 (gas-tar oil), 及三硝基甲苯的混和物。此種混和物堪稱滿意。其製配簡易, 運輸安全, 而效力宏大; 且調節各種組份的比例, 可以隨意控制其着火所需的時間, 或令其見空氣立即燃燒, 或令其遲延相當時間。

此種混和物燃燒的速率及傳佈, 全賴易於揮發的組份, 火焰的持久及強度, 則有賴於沸點較高的可燃物。在製備及處置此項混和物時, 只需相當謹慎, 即可免偶爾燃燒的危險。同時因其受震動時不致爆炸, 且膨脹係數不大, (每  $1^{\circ}\text{C}$  為 0.0174), 汽壓亦頗低 (在  $50^{\circ}\text{C}$  下為 580 毫米), 故不致在容器內產生過大的壓力。此項混和物, 可以單獨地或與吸收劑 (例如廢棉) 混和後應用於任何適合液體材料的兵器, 例如八英寸李文氏投射砲彈等。

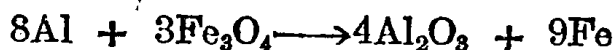
在研究自然燃燒的液體之過程中, 二乙鋅 (zinc ethyl), 磷化氫 (phosphine), 矽化氫 (silicene); 發煙硝酸 (fuming nitric acid), 過錳酸鉀, 及黃磷等物質, 均曾詳細予以試驗。結果發現黃磷與二硫化碳的混和物, 為最佳的發火材料 (material to initiate the fire); 柴油及氣汰油, 則為傳播並支持火焰的最佳物質。自然燃燒液體的問題, 在第一次歐戰中雖認為獲得相當的解決方法。但此種解決, 未及應用於戰場; 至少就美國製造的彈藥而論, 確係如此。不過吾人亦決不能謂上述的解決方式, 為在戰爭中不能令人滿意者。

用飛機施放良好的自然燃燒液體。其應用範圍至為廣泛。不僅裝填此種液體的飛機炸彈, 對於用輕木材建築的目標 (甚至城市) 極為有效; 且若調節其各種成分, 令其於達到目標時始行着火, 此種液體, 亦能於夜間以低飛戰鬪機噴洒於相當廣大的面積, 其效力極為宏偉。

## (二) 第二類 金屬氧化物

### (A) 鋁熱劑

在第一次歐戰之前數年, 即有一種氧化鐵 (iron oxide) 與鋁粉 (finely divided aluminum) 的混和物, 名曰鋁熱劑 (thermite) 者, 應用於工業上以鍛接鋼鐵。此種混和物, 燃燒時起下列反應:



並放出大量的熱 (每克分子放出的熱為 758,000 卡)。如此大的熱量, 足以將反應溫度昇至  $3000^{\circ}\text{C}$  左右; 反應停止後所成之熔渣, 復可延長熱效應

(heating effect) 若干時。但如單獨使用鋁熱劑，則其縱火作用集中於一小面積內；且熱力放出太快，以致浪費太多。對於極易引燃而能使大火分佈甚快的材料，鋁熱劑甚為有效。但此種材料，在目的地並不常有；是以很早即有採用鋁熱劑與易燃材料混和裝填縱火工具的方法。

用以點着目的物，引起焚燒，鋁熱劑可謂係第一次歐戰中所用此項材料之最佳者。至於用作二期縱火材料 (secondary incendiary material)，以延長火焰，繼續火力，則鋁熱劑不及單獨應用的可燃液體 (inflammable liquid)，亦不及用適當吸收劑吸收的此項材料，或特別配製的可燃材料 (combustible materials) 如固體油 (solid oil) 等。後述三種材料，燃燒時火焰均大，對於難於着火的目標亦有縱火的效力。設將鋁熱劑作為引起燃燒的初期縱火劑 (primary igniting incendiary agent)，則其驟然放出的熱量，大部份均被利用；而用作二期縱火材料之可燃液體及特別配製的可燃材料，隨即劇烈地燃燒，放出效力強大的火焰。適宜的二期縱火材料，不僅燃燒時火焰大而且熱，並可使目標成為易燃。

工業上所用的鋁熱劑，通常含有鋁粉三份（按重量計算），磁性氧化鐵 (magnetic iron oxide,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) 十份。在軍事上所用者，則以含鋁粉 24%（按重量計算）磁性氧化鐵 76% 者為最適宜。通常的粒狀材料，產生最好的結果；但材料的純度、濕度、及雜質的含量，均有相當的限度。

商品鋁熱劑，既為鋁粉與氧化鐵粗粒的混和物，兩者密度又係完全不同，如無防止組份分離 (segregation) 的方法，即不能用之於兵器；因兵器須受激烈的震動故也。為防止其分離起見，可將此項混和物加壓使其團結 (consolidate)；或加矽酸鈉 (sodium silicate)、硫磺、賽璐珞 (celluloid) 等黏合物 (binding substances)，使其結成硬塊亦可。

藉壓力以防止分離，可將通常的鋁熱劑，用每平方英寸一萬二千磅的壓力壓縮之，如此可使其密度增加一倍，雖受激烈震動，仍能保持團結的塊狀。但因密度增加，遂使着火較為困難，反應的傳播不定，燃燒的時間亦行延長。且壓縮的鋁熱劑，較之等體積用矽酸鈉黏合的鋁熱劑，其縱火效力並未增大，而獲得相等結果所需壓縮鋁熱劑的費用卻較多。因此種種原因，壓縮鋁熱劑遂未採作軍用器材，即英國人亦僅用以配製含有硝酸鎂 (barium nitrate) 的特殊火焰混和物 (special flame mixture)。

反之，用矽酸鈉作黏合劑 (binder)，則有數種優點。除防止分離外，並可

使鋁熱劑硬塊反應完全，與着火點不生關係。且如此黏合的塊狀物，對於震動及發射，亦無感應，可用以裝填高速度發射彈及炸彈。矽酸鈉 ( $40^\circ\text{Be}'$ ) 的最宜用量，為鋁熱劑重量的 15%。只須將液體的矽酸鈉與鋁熱劑相混和，然後用模子壓成一定形狀，再烘乾即得。因矽酸鈉（或矽酸鉀）具有此等優點，第一次歐戰時各國多用以黏合鋁熱劑。

用矽酸鈉黏合鋁熱劑時，必須將其所有水份盡行除去。但使用矽酸鈉黏合的鋁熱劑完全乾燥，卻甚為困難；因此遂試用許多他種黏合劑。就中硫磺被認為有成為良好黏合劑的可能。按照下列方程式配合的混和物，



理論上一單位重量與等量之不含硫磺的鋁熱劑所放出的熱量相等；故硫磺的加入，並不減低混和物的熱效應。但經實際試驗後，證明此種用硫磺黏合的鋁熱劑，其縱火價值並非良好。蓋因是項混和物，燃燒時起猛烈爆炸，形成小滴而分散甚廣，以致減低其縱火的效力。再者，用矽酸鈉黏合的鋁熱劑，起反應時所生熔化產物透過金屬的能力較強，其傳播縱火作用於可燃材料的效力亦較大。用硫磺黏合的鋁熱劑，雖有此等缺點，在法國仍用以裝填飛機縱火炸彈，名之為『代細特』（Daisite）。在是項縱火彈中，係利用鋁熱劑的爆炸性質，以分散裝填於彈內的其他縱火材料。

將賽璐珞溶於適當的溶劑中，已經證明為一種頗佳的黏合劑；在希望鋁熱劑具有較長的火焰與均勻的燃燒時尤為適宜。賽璐珞亦曾用之於分散式飛機炸彈 (scatter type drop bombs)，以包住縱火材料，此法主要地為德國所採用。許多有機物質如松香 (resin)、石蠟 (paraffin)、及硬瀝青 (hard pitch) 等，亦曾有人試驗其是否適於用作黏合劑，但結果不能令人滿意。

一種縱火工具，如不欲分散其所裝填的物質，則點着其中所裝的鋁熱劑，可用一種商用點火藥 (commercial igniter)。是項點火藥，含有極細的鋁粉，過氧化鋇 (barium peroxide)，及少量的粗鋁粉與黑色火藥，效力最能令人滿意。此種點火藥無爆炸反應，且可以黑色火藥點着之。如另加硝酸鉀及由還元而得的鐵粉，作為擴爆藥 (booster)，壓於其上部，則可得更佳的结果。

如欲分散裝填物，則點着鋁熱劑，需用一種完全不同的點火藥。為達到此項目的，點火藥必須起激烈的爆炸反應，俾能立即點着，並分散反應所生的產物，同時該項點火藥，又須如慢燃點火藥 (slow igniter) 一樣地安全。

第一次歐戰中關於速燃點火藥 (quick igniter) 之最好的解決，為採用英國的『阿佛乃特』 (Ophorite)。該物為鎂粉九份與過氯酸鉀 (potassium perchlorate) 十三份的混和物。『阿佛乃特』，遠較商用點火藥為易於着火，在英美均廣用為縱火發射彈的點火及爆裂藥 (igniting and bursting charge)，以及某種毒氣彈的炸藥。但『阿佛乃特』的製造，並非十分安全；第一次歐戰時，英國在其製造及裝填工廠內，曾經發生幾次嚴重的爆炸及火災。

### (B) 變質鋁熱劑 (modified thermite)

軍用上所希望鋁熱劑混和物具備的條件，為能適應各種使用的情況，及反應能產生相當的效果；至於反應生成物為何，則無庸計及。是以混和物之成分，儘可予以變更。多種混和物之以銅、鎳、錳、鉛等氧化物代替氧化鐵者均經試驗，但結果發現其在軍事應用上，並不較尋常的鋁熱劑為佳。德國曾用含有二氧化錳與鎂的混和物，於第一次歐戰初期，用以填充某些縱火彈。

嗣後，又有幾種含有非係氧化物的氧化劑之鋁熱劑混和物，曾經加以研究。由此英國人遂發明一種特殊的火焰鋁熱劑，應用於其所謂雛形縱火炸彈 (baby incendiary bombs) 中 (見第十八章)。此種混和物含有鋁粉三份，硝酸鋇六份，磁鐵礦 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) 八份，壓縮至原來體積之半而裝入炸彈。

鋁熱劑混和物之含有反應所需氧化劑以外的氧化劑者，亦經研究，但無一在軍事上具有特殊價值。根據多次試驗的結論，含有磁性氧化鐵及鋁粉的簡單混和物，乃應用於通常軍事上之最能令人滿意者。在協約國所採用的一切縱火材料中，鋁熱劑使用最廣。反之，德國雖有不少縱火飛機炸彈及砲彈，含有鋁熱劑或鋁熱劑混和物，但德國實未廣泛使用此物。

### (三) 第三類 氧化劑與可燃物的混和物

縱火混和物之含有硝酸鉀、硝酸鋇、氧化鋇 (barium oxide)、氧化鉛 (lead oxide)、或過氯酸鉀等無機氧化劑 (inorganic oxidizing agents)，與炭、硫、鎂、鋁、或有機可燃物 (organic combustibles) 等可燃物質 (combustible substances) 者，統稱為氧化劑與可燃物的混和物 (oxidizing combustible mixtures)。此類縱火劑，曾經應用於兩種完全不同的縱火兵器，即：(1) 輕武器縱火彈，及 (2) 飛機炸彈與其他特殊兵器，均經獲得成功。

應用於輕武器彈丸與飛機炸彈兩種絕不相同的兵器，勢必用絕不相同的混和物，始能獲得最佳的效果。例如用於彈丸的混和物，必須顧及單位體積的重量，反應的時間，起反應時重量的改變，以及縱火效應的種類等嚴格



的條件。

輕武器彈丸的彈道條件，較之縱火條件尤為重要。因彈丸必須能準確射擊，始能命中目標而發生效力。反之，用於飛機炸彈的混和物，則須於炸彈爆炸時，能由反應產生相當的熱量及火焰。

當然，混和物不起分離作用，在此兩種兵器中均屬重要。為達到此項目的，將混和物壓縮之，或以硫磺，蟲膠片 (shellac)、松香、瀝青、石蠟、樹脂等物黏合之均可。

下列各種代表式的混和物，曾在輕武器縱火彈中使用而獲得成功：

(一)

組 份	重 量 比 例
過氧化鋇 (Barium Peroxide, BaO <sub>2</sub> )	17
鎂粉 (magnesium powder)	2

將鎂粉混和物與酒精混和後，在二千五百磅的壓力下壓入縱火彈，使用時係以發射藥 (propellant) 點燃之。

(二)

組 份	重 量 比 例
鉛丹 (red lead, Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	9
鎂粉	1

或

組 份	重 量 比 例
鉛丹	15
鎂粉	1

在每平方英寸 15 噸的壓力下，將此項混和物壓入彈內，而以下列成分的引藥 (primer) 點燃之。

組	份	重	量	比	例
硝酸鉀				65	
硫				13.5	
銻粉 (antimony powder)				19	
蟲膠片粉 (shellac powder)				2.5	

(3) 第三種代表式的混和物，係用不同種類的氧化劑配合而成：

組	份	重	量	比	例
硝酸鋇 (barium nitrate)				64	
鐵粉				28	
亞麻仁油 (linseed oil)				8	

此中亞麻仁油一物，係用作黏合劑 (binder) 及延緩劑 (deterrent)。

用於發射彈者，因其探準效應 (tracing effect) 頗為重要，有多種所謂煙火混和物 (pyrotechnic mixtures) 曾經使用。此等混和物，在點燃時放出大量的煙及明亮的光，但其真正的縱火效力極微。是以此等混和物不能列於真正的縱火劑以內。

氧化劑與可燃物的混和物，用於飛機炸彈及其他大型的縱火兵器，其效力不及用於小型彈藥。此類混和物，僅在第一次歐戰初期用於縱火砲彈及飛機炸彈；但在許多情形下，隨後即改用鋁熱劑一類的混和物。此類混和物之用作初期縱火材料（即主要作用在點燃飛機炸彈內其他縱火材料）者，則有下列一種：

組	份	重	量	比	例
過氫酸鉀				80	
石蠟 (Paraffin)				20	

用於小型飛機炸彈，以對極易燃燒的目標縱火者，有一種良好的混和物，其成分如下：

組 份	重 量 比 例
氯酸鋇 (barium chlorate)	54
松香	16
鉛粉	14
瀝青清漆 (asphaltum varnish)	16

此項混和物，係用一種含有還元鐵 (reduced iron) 及過錳酸鉀而以石蠟作黏合劑的混和物點燃之。

此外在第一次歐戰中，尚有一種著名之氧化劑與可燃物的混和物，即所謂『席乃特』 (Scheelite) 者，其成分為六次甲四胺 (hexamethylene tetramine) 一份，過氧化鈉 (sodium peroxide) 二份，係由其發明者席勒博士 (Dr. Scheele) 而得名。據席氏宣稱，曾用此物毀壞貨船三十二艘。根據吾人試驗，依照此項比例配製的混和物，當用硫酸引燃時，在空氣中發生反應甚速，放出大量的熱與火焰，置於密閉器中則爆炸。然此物實不適用於大型的縱火兵器；惟其一種改良的方式，則有應用於有些小型飛機炸彈的可能。

#### (四) 第四類 可燃材料

此類係不加氧化劑而能單獨使用的縱火材料；包括石油、二硫化碳、木材乾餾產品 (wood distillation products)、樹脂、瀝青、賽璐珞、及其他不能自然燃燒的可燃油及液體。

此類物質的主要用途有二：即(1)用作二期縱火材料，以傳播並延長大型飛機炸彈及發射彈內初期縱火材料的縱火作用；(2)用作火焰發射器內的液體。

在研究集中式縱火飛機炸彈（對重木材建築及其他不易燃燒的目標縱火所用者）的過程當中，很早即發覺，此項兵器，必須含有少量鋁熱劑一類作用迅速發熱甚多的材料，以及大量的可燃材料。此種可燃材料為鋁熱劑所引燃時，須能放出大而且熱的火焰，且其燃燒須能支持相當時間，實際上致使目的物燃燒更易。

為達到此項目的起見，曾將多種氧化劑與可燃物的混和物，樹脂、瀝青、及重油 (heavy oils) 等，予以試驗，但均不能令人滿意。於是將可燃油吸收於棉花或廢麻中，希望吸收劑能防止油類的揮發及燃燒過速，但實際上仍

有許多缺點。如藉爆炸力而使其分散，則其集中的縱火作用勢必損失；若聽其不分散而燃燒，則吸收材料，對於目的物甚至頗有保護作用。石蠟與輕油 (light oils) 的混和物亦經試驗；用於飛機炸彈及發射彈時，因其具有不良的流體靜力效應 (hydrostatic effect)，故不甚合用。

嗣後乃從事於有系統的研究，以求獲得並發展一種適用於飛機炸彈及發射彈之更近於理想的縱火材料，而能合乎下列幾種條件者：

(1) 燃燒能支持相當時間，且能發出大而且熱的火焰。

(2) 不僅能使與之接觸的可燃材料易於着火，且能引燃在其周圍相當面積內的材料。

(3) 不含有不能燃燒或不能助燃的材料。

(4) 在製造、價格、運輸、及使用上均無重大困難問題。

(A) 固體油 (solid oil)

努力研究合乎上述條件的材料之結果，發現油類具有最為適宜的性質；其唯一缺點，為其係屬液體。為補救此點起見，曾試驗利用膠態物質 (colloidal substances)，使適用的油類混和物 (oil mixtures) 固體化。經過頗久的研究，乃發展一種簡便價廉的方法，可用以製備合乎上述條件之永久固體化的油類混和物。此種固體混和物，稱為固體油 (solid oil)。其小部份成分，為發火點 (fire point) 較低的液體，大部份則為發火點頗高的液體。因其含有發火點低的液體，故極易燃燒；且此種液體，燃燒時放出適當熱量，足以熔化並點燃發火點較高的組份，發火點較高的組份，隨即分佈於廣大面積上，透過與之接觸的材料，使其成為易燃的物質。蒸餾物柴油 (distillate fuel oils)，其發火點在  $170^{\circ}\text{C} - 225^{\circ}\text{C}$  之間者，作此用時，效果最佳。

製造固體油的原料均易獲得；其製備及裝填（裝入五十枚飛機炸彈）毫無困難。固體油應用於其他大型的縱火兵器如李文氏投射砲彈、砲彈、以及迫擊砲彈等，均甚適宜。

(B) 火焰發射器所用的液體

用於火焰發射器 (flame projectors) 內的液體混和物，其應具的條件有三。即：(1) 極易點燃；(2) 比重不能過低；(3) 因其目的在噴洒正在燃燒的液體於目標上，而不在僅僅噴以火焰，故當液體未達到目標以前，應不起燃燒。

適用於火焰發射器的液體混和物，經美國多方研究後，乃發現最能令人

滿意的混和物，應由一種重而膠黏的油或汰 (tar) 與一種流動性大的可燃液體混和而成。前者以水煤氣汰 (water gas tar) [比重為 1.044, 閃燃點 (flash point) 為  $122^{\circ}\text{C}$ ] 最為滿意；後者則以最初餾出的苯 (benzene heads) [比重為 0.756, 閃燃點為  $26^{\circ}\text{C}$ ] 或粗製苯 (crude benzene) 為最佳。二者適當的配合量為水煤氣汰 70%, 粗製苯 30%。如此配成的液體，其比重為 1.02。用之於火焰發射器內，發射軌道 (trajectory) 極佳，射程頗遠，火焰亦殊猛烈。點燃方法，係用管口的氫氣引導燈 (hydrogen pilot lamp)。此燈的優點，為不用時無光，需要時則起可靠的燃燒。此等液體混和物，當其達到發射軌道的終點時約有 30% 尚未燃燒。一次發射 0.5 加侖，可達到的距離約為一百英尺。

除美國外，第一次歐戰中其他各國所用的混和物，多由極易獲得的輕油及重油配合而成，就中尤以石油餾出物 (petroleum distillates) 與煤汰 (coal tar) 餾出物為最多。此等混和物在  $15^{\circ}\text{C}$  下的比重。約為 0.90。所用點燃方法頗多，例如將裝盛緩燃性氧化劑與可燃物的混和物之藥筒 (cartridges), 裝置管口，利用電力或摩擦引燃之，即係一法。

#### 第四節 縱火兵器

關於第一次歐戰中及戰後裝填縱火劑的各種兵器之構造及使用，將於隨後各章，與各兵種所用的一般化學器材同時敘述之。

#### 第五節 縱火劑的將來

現代戰爭，絕少遺留可燃物資於戰場，故在火線上適於使用縱火劑的目標及機會，至為有限。軍隊愈屬機械化，情形愈是如此。但軍用飛機，則在戰線後方及交戰國的腹地 (hinterlands), 開闢可用縱火劑的廣大地域。現代戰爭的勝利，乃依賴一國的工業組織，以應付大量軍事器材的需要。此項依賴的程度，且日益增加。故將來戰爭，其軍事行動將深入交戰國的後方領域，以破壞現代軍備所依據的工業。在攻擊工業中心 (industrial centers) 及後方軍事集中地域 (military concentration areas) 的時候，縱火劑將佔廣泛而且重要的地位。

第一次歐戰中，對於縱火劑的廣泛研究及發展工作，均趨向於解決近代戰爭的不利情況所造成之許多技術上的困難問題。就縱火劑本身的技術效

率而言，縱火軍備，可謂已經達到令人滿意的程度。反之，第一次歐戰時使用縱火劑的戰術效果，則常令人失望。此種情形的由來，計有兩種主要原因。一因西方前線及俄羅斯前線的自然界情況，均不利於縱火劑的使用，就中尤以西力前線為甚。不僅潮濕的天氣及土壤，不利於縱火；且目標的大部份為泥土及其他不能燃燒的建築物，以致毫無機會，使縱火劑的運用得以成功。除此項不利情況外，其次則為許多效力最大的縱火兵器，在第一次歐戰時未及設計完成，故在該次大戰中，未能測定其真正的軍事價值。

第一次世界大戰以後，關於縱火軍備發展的概況，甚少公開刊布。但在第一次歐戰中曾經證明有效的各種縱火彈藥，第二次世界大戰發生後，均已大量地引用於歐亞非各戰場；而第一次歐戰後所設計的縱火兵器，如縱火藥，複合炸彈，噴火坦克車等，亦經先後引用，且經證明其確有巨大價值。事實上，如能獲得效率更大的縱火材料及工具，則此類彈藥，必有取得更大的重要性之可能。

### 研習問題

- (一)在我國古代戰爭中，亦常採用火攻，試列舉之，並敘述其概要。
- (二)戰術上何以常稱黃磷為困擾劑？
- (三)能自然燃燒的材料，化學上必須具備何種性質？
- (四)目下效力較佳的液體自然燃燒材料，係由那幾種成分配合而成？
- (五)配製鋁熱劑時，常用賽璐珞或矽酸鈉為黏合劑，二者優劣之點為何？試比較之。
- (六)常用於配製縱火劑的氧化劑為何？可燃材料為何？試列舉之。
- (七)火焰發射器內裝盛的縱火材料，必須具備何種性能？
- (八)第二次世界大戰發生後，曾經引用那幾種新發明的縱火兵器？其功效如何？
- (九)試設計一法，完全採用國產材料，配製可作飛機縱火彈裝填料的固體油 (solid oil)，並指出所根據的學理。
- (十)煤次的主要成分為何？水煤氣次的主要成分為何？

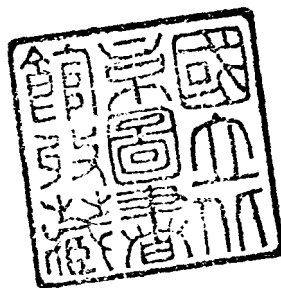
### 閱讀書目

- (一)“Simple Chemical Incendiary Devices”: Alped Stettbacher,

Hitrocellulose 9, 75-7, 100-1, 038-41 (1938).

(二)“Chemical Warfare School Texts”, The Chemical Warfare School, Edgewood Arsenal Maryland (latest rev.). Book II, Chapter III, Section XII.

(三)化學戰爭, 吳沆編, 第十一章。



中華民國三十四年六月重慶初版  
中華民國三十五年十二月上海初版

版權所有  
翻印必究

部定大學  
用書化

定價國幣伍元陸角

印刷地點外另加運費

◎(62762 A 滬報紙)

學戰劑上冊

原 著 者  
編 譯 者  
校 閱 者  
發 行 人  
印 刷 所  
發 行 所

Augustin M. Prentiss  
陳 左 會 朱 商 印 務 各 務 印 書 館  
時 宗 昭 經 農 廠 館 農 掄 杞 偉  
上海河南中路

原定價每冊一元  
為基價一元五角



