

德 譯

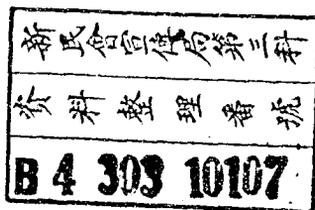
化 學 戰 講 義

第一冊（物理之部）再版

序 言

化學戰爭極爲慘酷本爲萬國公法所不許惟當歐戰中各國施用此物者仍不能免現更在祕密研究之中則將來世界和平破裂之際毒瓦斯之慘劇必將較之從前更有甚者我國愛好和平主張人道固不願以違背人道主義之武器殺人然亦不能不加以研究以期明瞭其成份及性質俾得講求防禦之方法本校有鑒於斯特編此講義以供同人之參攷焉

張治中識



22210

化 學 戰 講 義 綱 目

I 緒論

化學戰之意義

化學戰之目的

II 化學戰劑

(甲) 毒氣戰劑

1 毒害性質

2 物理性質

3 化學性質

4 軍事上應用之衡定

(乙) 爆炸氣及燃燒氣

III 兵器及器具

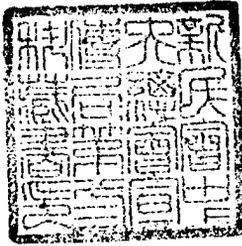
(甲) 不能移動之器具

(乙) 砲及迫擊砲

(丙) 近戰戰具

(丁) 空戰兵器

- IV 外表情况
 - A 天候之影響
 - B 地形之影響
- V 與毒氣戰有關之人體生理機能
- VI 防禦毒氣之技術
 - (甲)個人之防具
 - (乙)集團之防護
- VII 防護毒氣勤務之組織



化學戰講義

麥次納 講授

曾石虞 譯

吳光傑 校

(一) 緒論

(1) 化學戰之意義 化學戰所引用之化學戰品，除炸藥外，燒夷劑霧戰劑發光警號發烟警號傷害人體及獸體之化學戰品皆此類也。燒夷劑及傷害生物機體之化學戰品，乃用之攻擊。各種警號及霧戰劑，乃攻擊與防禦時之輔助戰具。若將此各種關係不盡密切之物，俱屬之化學戰內，則有嫌牽強矣。予今茲所欲言者，僅及二物質類，霧戰劑及損傷生物機體之戰品，此亦有實際之理由存於其間。因此二類物質，俱須受天候及地形之影響。任化學軍官者，即宜於任何時能斟酌極繁複之外因，有獨立之判斷，以匡助軍隊上之指揮。用於霧戰者，有霧戰劑及霧戰戰具。另成一類者，即毒氣戰。毒氣戰名之起

因，乃由首先引用者即為氣體。此後雖有液體及固體，但於其作用之頃，在大空中亦如氣體然，故仍可保留此名。

(2) 毒氣戰之目的 數千年前，雖有毒氣戰具之引用，惟延至近時始有真正之毒氣戰行於各種情況之下，於攻擊防禦陣地戰及運動戰時，俱可得其決勝之效。在一千一百十四年至一千一百十五年之冬季雙方演成一持久之陣地戰，因藏身於掘壕內之敵人，已非彈藥之破片所能傷及。惟毒氣於放射之點，即能擴散，無風時，則與四週空氣相混合而不留孔隙，即尖角亦能繞越，極小之孔，亦可穿過。空氣流動之時，毒氣則隨空氣氣流運行。於其放射之處可迅及達到高厚之濃度。惟背風之處，則不受其漫及。毒氣戰劑擴散時，並不遵守彈道學之定律，而依歸者，乃氣體流動之定律。故掘入壕內之敵人，亦可受其傷害。是以毒氣戰之目的，其一即為擴大兵器空間之效力。對於有生命之目標，就其作用時間之長短言，殺傷火器及化學兵器，本無不大相

同之處。二者俱可長時或短時使敵人傷害致病，且可致之於死。惟物質之破壞，則非毒氣戰之主要任務。此乃爆炸彈藥之能事。但砲彈及彈破片，於彈着點停落之後，即無破壞之效力，而毒氣戰劑中。則有長時能附着於目標（陣地房屋兵器制服）之上者，能使與此目標相接觸之敵人受其毒害，對於陣地戰，此功效極為相宜。因為于陣地戰時，可將某一地段內放射濃厚之毒氣，使敵人即不能佔守其地點。毒氣因有長時使一地段佈毒之功能，故毒氣戰之目的。其二即為延長兵器時間上之效果。毒氣戰再有一功效，雖此非其主要之目的，然起於戰場上之經驗。兵器之效果，不僅在其直接之實際傷害，而仍可在其間接使敵人之想像受其影響。蓋敵人對想像之危險，心存恐懼，而其動作，即受其惡效。故每一新兵器，俱有一精神之效果。一千九百十五年四月乃為毒氣戰戰術上第一次成效之顯著，隨後即有防禦之法。但欲適當估量其危險之大小，終為極不易之事。若將各種不同化學戰品混合並用，

(4) 化 學 戰 譯 義

雖有經驗之化學工作人員，亦不能判斷其危險之程度。有此不安之態度，則指揮時必受相當之損失。即使敵人帶上防護之器具，其戰鬥力即因之減少。且有數種猛烈之化學戰劑。其傷害之症狀常發現於數小時之後。故於一毒氣戰之後，每人俱有一不安定之心情，不知自己於作戰之時。究竟是否受有重毒，此心情能使軍紀受重大之打擊，能救此弊者，惟專門之毒氣軍官及軍醫耳。

(3) 防護毒氣之目的 防護毒氣之目的，在保存軍隊之戰鬥力，此不僅須於部隊參與作戰時行之，即戰後仍須施行。因於毒氣戰時，常有物質臨時雖不能傷害，但稍後即因之起長時之病態。毒氣之防護須依照敵人所引用物質之種類及其形式而異。惟各種防具俱能減少部隊之運動性，故過多，其害適等於過少。

(4) 霧戰之目的 霧戰之目的，其一即為偽裝。此即在使己軍能逃敵眼，做法即為在己軍陣地之前，或已陣之中，構成烟霧。或者構之於向敵之前方，

以免敵人由地上觀察我之虛實，或者構之於我陣地之上方，以免敵人由空中觀測。霧戰此外之目的，即為迷障敵眼。作法即在敵人陣地之前方，或其重要之支撐點，構成霧幕，使敵人大範圍之視線因之遮去。霧戰既有以上之兩種任務，其共同之目的，即為免除敵人之觀測。而自己仍宜保留良好之視線。由此以觀，迷障敵眼，較勝於已陣之偽裝多矣。

(二) 化 學 戰 劑

(甲) 毒 氣 戰 劑

(1) 傷害人體之性質 自軍事觀點言，毒氣戰劑之可用與否，首即在其對於人體作用之性質及強度。人體之黏液皮膜，較其他處之皮膚，較易受毒氣之傷害。故眼部及呼吸氣道最易受傷。毒氣戰劑可使眼發燒至於流淚或刺鼻使之噴嚏，或使咽喉及氣管發燒而促成痙攣之咳嗽。各種化學戰劑時而或傷及此器官，時而或傷及彼器官，因此乃有催淚氣，及發嚏氣之各種名稱。各種刺激之現象，可強至使各

種戰鬥動作受其妨礙而停止，各種刺激物中，有僅能產生純粹之刺激者，有能產生有體內後效之刺激者。砷化物屬於後類。惟砷化物尚有特點，即其潛伏時期。惟其潛伏時期長不逾一分鐘。

此外尚有化學戰劑。依其數量及性質，可使人致病或致死。此種作用即名之為毒性作用。以別我毫無毒效之刺激作用。有毒性作用之物質，常有數小時之潛伏時期。惟此中僅有硝酸及與硝酸相類之物質，其潛伏時期甚短。毒性作用多起源於肺部之表面，及通達肺部表面之呼吸氣道。惟芥氣則能使眼暫時盲瞎，亦可灼傷皮膚，但俱易醫治。

刺激物及毒害物原無根本之區分，因為凡氣體之非呼吸作用所必需者，吸之逾量，皆有毒效。惟其實際之區分，則基於其因刺激不能作戰所需之量及其因毒性而病死不能作戰所需之量之比例。

$$\frac{\text{因刺激不能作戰所需之量}}{\text{因毒害而病死不能作戰所需之量}} = \text{某分數}$$

若此比例非一小數，此即表示分子乃一小量。質言

之，此物質之小量，即可使吾人達到戰術上之目的而不致引起長時之殘傷。此類物質即可名之刺激物。

• (催淚氣發嚏氣)多為含有氯溴碘原質之物質。碘類化合物之價值太昂，且不甚安定，為用較小。溴類化合物之價值亦昂，惟溴代乙烷酮 (Bromacetone) ($\text{CH}_2\text{BrcoCH}_3$) 于面具選合之時，最宜作為試驗之用品。刺激物於選為戰鬥之用時，其作用之強度，其多量製造之可能與否，及其價值之貴賤，俱宜權衡。就此各點言，氯基氯代乙烷酮 (Chloracetophenon $\text{CH}_2\text{ClCO}_6\text{H}_5$) 最為優良。惟其刺激之強度，終不若砷類化合物之大。德人之藍十字，即此類砷化物也。其刺激作用所需之量甚小，因之其通常毒害之效乃不能呈顯。惟若將敵人砲彈在地上所擊成漏斗孔中之水飲服之，水中若含有藍十字之物，則吾人之消化器官必如平常食服砷化物而受藍十字類物之劇毒。惟此與毒氣在大空中藉濃度之作用使呼吸器官眼目及皮膚受傷刺也有別，故無關於毒氣戰之討論。美人所引用之亞當氏物 Adamsit 路委氏物

Lewisit 亦爲砷類化合物中之刺激物，惟德人尙未用之。

如引起刺激所需之量，與引起病亡所需之量相比爲一較大之數，則其物即可列爲毒害物。光氣及雙光氣屬之。其極也芥氣及精酸均屬於此類。然此二物竟毫無刺激之作用。除精酸外，此類物質皆有長時之潛伏時期，其目的不在暫時的使敵人不能作戰，而在致敵人於病亡以減少其戰鬥力。在此情形下，尙可更有進一步之區分，此區分乃基於其致病所需之量與致死所需之量之比例。

$$\frac{\text{致病之量}}{\text{致死之量}} = \text{某數量}$$

就芥氣言，此比例乃一小數。換言之，芥氣致死所需之量乃一大數，故受芥氣毒病其死亡之百分率乃爲一小數。芥氣卽視爲一致病之毒害物，就精酸言，其致病量及致死量之比例幾等於一。換言之受精酸之毒病多半終歸死亡。精酸乃顯爲致死之毒害物。介此二者之間者，光氣及雙光氣是也。其致死量約大於其致病量之十倍。惟亦可歸於致死之毒害物

中。此外尚有數物質介於刺激物及毒害物之中。氯化苦Chlorobikvin (CCl_3NO_2)能引起強烈之刺激，但終不及最優良刺激物之強。同時其毒效比光氣之毒效約小四倍，故可視為刺激物。但施用濃度甚大時亦可引起病害，甚可死亡。氯化鎂Chlovegan及氯氣其性亦相同。

以上所言乃刺激物及毒害物大概之性質及區分。後者三物不屬於此亦不屬於彼。若將各物之現象各個考察，又有其他之特點可資注意焉。

首要者即為光氣Phosgen。雙光氣之毒性亦與光氣相似。光氣于稀薄時，於中等，及密厚之濃度時，其作用皆互不相同。如於一立方米內僅有數釐(mg)或不及一釐之光氣，則可發覺一奇異之嗅味。此嗅味對於不習此物之人，即不見特別。此嗅味有如久堆之草，或陳腐之水果。汽車後所排去燃燒不全之氣體，其味亦與光氣者相似。其嗅味甚為特別，熟習之人，可立辨之。如人暴露於濃度稀淡之光氣內甚久，則不習此物之人，其注意力可因之變為遲鈍。

實際吾人嗅覺之靈敏性，並未因光氣受些微之損減。習之久者，於較長之時間，終可嗅而辨出之。惟吾人之味覺，不論曾習之與否，尙可感到一顯明不同之處。即吸煙之時，煙味變腐。此作用可以發現極稀薄之光氣，凡光氣不能以嗅覺辨者，可以此法辨之。故此法可資採取也。

最小濃度之光氣，必須能辨，否則人暴露於其稀濃度之內至數小時之久，即漸罹病症而歸死亡。此病癥起時，肺部之表面初變成能漏過液體，肺之任務乃使肺中流過之血液得到氧氣，而吸取血中之二氧化碳氣。肺部之表面，平常祇有氣體可以漏過，在此大表面上，血流與呼吸之氣流相遇。若肺表面液體亦可漏過時，則其功用有如濾器。血漿即可向外漏出，而氣槽內乃滿貯血漿，肺之容量及重量乃因之俱增，其彈性亦因之減少，此種現象之起源，醫生於吸取光氣二小時後，即可驗出，如病癥過重，則肺可漲至六倍之大。肺部之呼吸表面漸變漸少，此即所謂肺之浮腫。如此則血所得之氧氣不足，而

血中之二氧化碳漸多，凡受窒息者俱有此病象。此病象能加緊呼吸動作，此加緊之動作，即能增進身體之氧氣需要，而呼吸生理上之謬誤，即因之愈延愈增大矣。如肺上呼吸表面，被塞阻之部分甚大，則此作用即可致人於死。亦猶溺於水者死時之作用然。但實則於病象未到此程度之前，已有生命之危險預伏之矣。血液經過肺部之時，血漿即向外漏，血液自身，即漸漸變濃厚。於是心部所需完成之工作，乃須非常加緊。心部加緊工作，又增進氧氣之需量。心部動作緊張，常可引起此器官之停頓，而人乃可立即氣絕。益以各種身體之勞動，更使此危險易於發生。心部之作用如此，同時肺部之表面，或可得一徐緩之痊愈，醫生若能就上述病癥之因果，尋求癥結，則極有醫治之望。惟於醫生未着手之前，受光氣毒病者之同伴，俱可對病者有良或否之處理。凡受毒嚴重者，宜視為病重之人。受毒輕重之程度本不易推測，現祇能視暴露於光氣區域為時較久者，俱為受毒甚深之人。就軍事觀點言，此法

不便，因疑爲受毒甚深者之中，必有受毒較輕之人。但受毒輕時，因身體之操勞，呼吸生理之錯誤，又可變爲受毒甚重。是以最重要之規則，即在凡疑受有光氣之毒者，宜使其靜臥，不准其自己行動。或藉他人之力，或置於擔架之上，將其運至後方。此外宜將衣服及被蓋覆於其身，以維持其體溫，而減少其氧氣之需要。以後之事，則醫生之事矣。若人猝然入於中等濃度之光氣時，則除能察覺其嗅味外，尚可覺到眼鼻及咽喉之刺激。依濃度之大小，咳嗽之刺激可終至於痙攣。如因刺激，人即不能作戰，則其中人必有受劇毒之虞。惟咳嗽之刺激，常可使人於未受重毒之前，即不能作戰。苟彼即時離去射有光氣之區域，或帶上防毒面具，則刺激作用即漸消退，而咳嗽亦漸停止，縱受毒甚深，亦可暫時完全康復。然危險之病態，常呈顯於已呼吸光氣二小時之後。危險之病態既呈，其進展乃與受稀濃度光氣之毒者相類似矣。

中等濃度之光氣，吸後不盡即致病而死，因致病之

主因，除濃度外，尚有吸收之時間，呼吸強度與肺部表面相比之比例，作用於其間焉。常人於靜止之時，後之比例為一常數，如光氣為中等之濃度，則所得之定律，即毒效與作用積成比例。作用積即吸入之時間與光氣之濃度相乘之積。

作用積 = 吸入時間 × 毒氣濃度

如作用積超過一定之量，則受毒者即病。若再大，則其病即重。若更大於一定之限，其病害之結果即為死亡矣。對於人類不便測定此類之數量，對於他類動物，曾有試驗行之。貓之致命數為三百立方耗 (MM³) 之液體光氣，或為每立方米之空氣內光氣之數量乘分鐘數量等於四百二十之積。

$$420 = \text{Min分鐘} \times \frac{\text{Mg光氣}}{\text{M}^3\text{空氣}}$$

致命數即為致死之作用積。惟人類之感應不如貓者之靈敏，故其致命數可以下列之數表之。

$$\text{致命數} = \text{分鐘} \times \frac{1000\text{Mg光氣}}{\text{M}^3\text{空氣}} = \text{分鐘} \times \frac{000\text{耗光氣}}{\text{立方米空氣}}$$

此數不過為大約之估計，但作用積之定理，對於人類亦為有效。貓有靈敏之感應性，常可及時尋得近

處無毒氣之區域以脫病毒之危險。有防毒面具之人類，更易於及時預防而免病亡之險。中等濃度，乃戰士常易遇到之濃度。前段所討論稀淡之濃度，其效不若中等濃度之險。凡人於淡濃度苟能辨出光氣之嗅味，立時帶上面具，不須久延，即可毫無危險。中等濃度之光氣，其強度不易分辨，吾人果墮於其內，則宜於最短時期之內，戴上面具。由致命數之定律觀之，中等濃度所能肇之危險為量亦小。惟面具戴上過遲者，須特別注意而必視之為病重之人而善看護之。

暴露於濃度更高之光氣中者，始也即可受猛烈之傷害。痙攣之咳嗽起後，即無康復之時期，刺激現象即直接變為毒病現象兩作用同時演進。如人立刻即離隔光氣區域，猶可免於危病。因帶上面具僅需數秒之時間，而致命數之定律，於高濃度仍可引用。惟此定律亦略受影響。因痙攣之咳嗽，實則為有防護性之反作用。咳嗽時可暫時使呼吸停止，咳嗽後氣體始可漸深進入肺部而傷害之。惟光氣之濃度愈

高，危險亦愈大，此實事初不因茲而有變也。但高濃度之光氣不易達到，故攻者引用特種之器具，僅於重要之目標放射高濃度之光氣。防者於此等地點，應特別注意。宜求能及時戴用防毒之面具，以脫免於危險。惟高濃度之光氣，因不加注意，亦可使全部之戰鬥力喪失幾盡。此多由於咳嗽之刺激太猛，以至不能戴上面具。因之光氣即能作用於人身，遂使部隊即罹於死亡。惟若謂光氣能於戰時，瞬刻之間，即能致人於死，吾終不信。蓋以其他動物作實驗時，其立刻致死所需之濃度，已非於戰場之上所能達到者也。被光氣立刻致死者，其原因必非僅由於平常之光氣毒瘴，定有其他之作用雜於其間。如光氣分解之後，發出鹽酸，鹽酸能使血成爲酸性，將紅血色素變爲黑色血素。如此則人可即死亡，無需經過肺浮腫之階級矣。

中等之光氣濃度，乃爲易於發現之濃度。良好之部署與訓練，即可防範使之不至肇生危害。高濃度之光氣，僅用於重要之目標。故此類地點之防護設備

宜較爲嚴密。高濃度之光氣可就其因冷卻所之白霧以辨識之。凡人於此高濃度中，發生受毒之現象，卽有受猛烈毒害之虞。雖其人於此濃度所行之呼吸次數不多，然仍不能免於重毒之疑也。

呼吸光氣而中毒，此現象吾人卽作爲各種戰時毒氣之代表毒症，並以「毒氣病」名之。雙光氣所肇之病症與之相同。在工業上佔重要之氣體，如大分子量之氧化氮物等，其毒效亦與光氣相類。氯化苦亦可歸屬於此。氯化苦於淡濃度有特殊芳香之嗅味，可使目鼻咽喉起猛烈之刺激，其刺激作用較光氣者更爲顯著。於未暗伏毒害危險之前，已完全可使人不能繼續作戰。於中等濃度則尚可引起咳嗽，於高濃度更可引起嘔吐，氯化苦之致命數及作用積約大於光氣者之四倍，故毒效較光氣小四倍。離去氯化苦之區域爲時較早。則刺激之現象可完全卽時消去。如所吸之量多，則亦如受光氣之毒害者然。於暫時康復之後，卽有劇烈毒害之症候隨之。其病象及其進展，皆與光氣者相彷彿。雖略有特異之點，苟非

專門之醫生，不必詳究也。

光氣雙光氣及氯化苦首先傷害之點，爲肺之表面，此類之化學戰劑，吾人即以「傷害肺部之毒氣」名之。氯氣亦屬此類。氯氣有特殊之嗅味與漂白粉之嗅味略同，但不全似。漂白粉之嗅味由于低氯酸。低氯酸 *Untenchlorige Säure* 易於分解，放出氯氣。故漂白粉之嗅味，乃低氯酸與氯氣相混之嗅味。此嗅味可作爲辨覺氯氣之用，氯氣於高濃度卽爲刺激物，其刺激作用不在於眼鼻，而在於咽喉及低深之呼吸氣道。痙攣之咳嗽卽由此釀成，因氯氣可以腐蝕呼吸氣道，此腐蝕作用，僅氯氣有之。其他之氣體無與也。以受氯氣之毒傷後，病症上之進展，又多一現象參雜於其間焉。苟於肺部尙未發現毒象之前卽離去氯氣區域，呼吸氣道上之刺激，仍可繼續存在。此中並無暫時之康復時期，初起之刺激現象告終，危險之病症卽起。如是肺之浮腫，乃同時與呼吸氣道之發炎並存並進。氯氣之刺激性及毒害性，俱較氯化苦爲小。其毒害性較之小至九倍。換言

之比光氣即小至三十五倍。因此吸有氯氣而曾罹肺之浮腫者，爲數不常見也。於肺未浮腫之前，苟氯氣之刺激即全部消逝，則無論如何，必可免於因毒而病之危險，氯氣常用於戰爭，故氯氣之高濃度極有產生之可能。物質用爲化學戰劑時之價值，不僅在其毒害之功效，其物理及化學之性質皆極關重要，亦宜斟酌，此則將來論之矣。

惟余尙不能不續言者，即毒害肺部之氣體，引起毒病後，其後部之病歷，各氣體幾完全相同。於最初之二十四小時內，肺之浮腫即達到一最高之點，翌日肺之表面，即漸就康復。惟此並非謂從此即無生命之危險矣，因長時心部之緊張，仍可使人氣絕也。自第三日起，則危險較小，惟治之者，不得其法，如使病者身體操勞，則此後仍可有危險伏之。但 he 種病象如肺炎等若令其輾轉傳染，亦可爲債事之端。苟各種危象得以安全渡過，一二星期後，即能完全康復。若瘳療所需之時逾一二星期，則此乃特別嚴重之症，不常見也。

發炮之化學戰劑，另成一類。其實皮膚上之發炮，不過其病徵之一種。普通之原因，多由於與毒氣接觸之細胞，受其傷壞，故此類物質應名之為傷壞細胞之化學戰品。其重要之代表，即為芥氣 Senfgas。或名為伊泊里物 Yperit，其科學之名稱，為二個氯代二烷化硫 ($(C_2H_4Cl)_2S$)。在淡濃度時，其臭味較顯，有如芥子胡蘿蔔葱蒜之臭味。惟其臭味比之其他各種化學戰劑較為微弱，人處於芥氣臭味區域較久，則注意力及嗅覺皆被其變為遲鈍。或芥氣濃度與時俱增，或芥氣濃度隨時漸減，俱不能辨別。面具帶上後，如無命令則不可取下，露之於空氣中。若欲辨別大空中是否芥氣之毒效尚繼續存在，則可以命令指定一二人作試嗅，試嗅後面具仍宜戴上，以待鼻官能恢復其原狀。此後仍可指定其他之人，再行試嗅。為官長者，須留意行試嗅之人，須為嗅覺曾有休憩者。如部隊之人數不多，則試嗅不宜屢行。

短期暴露於毒氣之淡濃度中，受毒之危險甚少，就

各種氣體言固屬如此，就芥氣言亦復如此。苟無防護之人，受其毒效較久，則不必待五小時之後，即可發現其病象。惟其病之潛伏時期，常有長至五小時以上者。始則鼻部之粘膜受其傷壞，即起鼻粘膜炎。繼則咽喉及高處之呼吸氣道，受其攻害，濃厚之粘液質遂充塞於其間。此後芥氣即攻害眼部，而起眼之結膜炎，使眼唇閉結。若角膜混濁，眼即暫時失其視力矣。最重要最危險之處，即肺部受攻而起肺之氣脹。但氣脹時肺之呼吸表面，並不增減，受芥氣之毒肺亦間有浮腫之症象。但毒病重時，多無此現象芥氣能傷壞皮膚。其病狀將來當詳論之。以上所述之病狀，乃就無毒氣防具者而言。亦即病狀中之最危險者。肺部及上部之呼吸氣道，如受傷害甚劇，則亦可致人於死亡。惟其原因若何，則不如傷害肺部毒氣者之明顯矣。受毒甚重之時，除直接受傷之器官，尚有其他關係生命之器官亦可受其傷害。惟人純粹被芥氣毒傷，立刻即致死亡，乃例外之事。細胞被毒氣傷破後，則感應甚靈，易受他

病之傳染，常能傳播者即爲肺炎及氣管炎。如被芥氣之毒而發現死亡之情形，則此死亡必由此副作用而致之，由此可見芥氣毒病之經過，比之其他傷害肺部之毒氣病症者已較爲不規則矣。芥氣之潛伏時期較長，故其病狀達到極點亦較遲，惟因副作用而引起之病症，常可暗伏新異之危機。苟欲對於芥氣毒病後之死亡率數量上作一明確之解答，則殊不易。以多數之動物，作多次之實驗，作用積之定律，於相當之濃度時仍可應用。但此定律終非必然之現象，僅可視爲或然之定律。就傷害肺部之氣體言，苟試驗之動物於小於致命數內之濃度下而罹死亡，此乃例外之事。若於大於致命數內之濃度下尙能繼續生存，此更爲稀有之事。就芥氣言，則此類軼出定律之現象，即較爲繁多矣。其原因由於病歷甚長，外來之病效易於摻雜於其中，或者自身特有之抵抗力不同，亦因之能發生特異之影響。職是之故，芥氣乃不能如光氣，有一整確之數可資採用。貓之致命數約爲 140 立方耗之液體芥氣，或爲呼吸分

鐘乘每立方米空氣中芥氣耗數等於 170 之積。

$$170 = \text{Min}[\text{分數}] \times \frac{\text{Mg}}{\text{M}^3} = \text{分鐘} \times \frac{\text{耗}}{\text{立方米}}$$

此數引用之範圍，則在每立方尺空氣中芥氣重量在 25 耗 mg - 250 耗 mg 之間。依重量之濃度言，則芥氣之毒性大於光氣者二倍有半。依容積之濃度言，則大至三倍矣。惟尚有物理性質及化學性質之歧異。

此數尚不能作為定數也。若以猴為試驗之物，則其致命數為 500 立方耗。或為 $700 = \text{Min} \times \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$ 。自此

可知猴之感應其靈敏之程度，較之貓者，約遜四倍。人之感應不至大於猴者，故其抵抗力亦必較為強大。以芥氣言，對於作用積之定律尚可更作進一步之精究。吾人前已言之，在光氣之高濃度時，作用積之定律，因人有咳嗽防護之反作用，故有些許之偏差。惟芥氣則全不能引起痙攣之咳嗽，於其淡濃度時，此定律復有更為重要之偏差。傷肺氣亦有同一之偏差。惟其實際不若芥氣者之重要。此偏差之

原因，即在有機體之細胞於傷壞後能自動痊復。被傷肺氣所引起之傷處，自外表觀之於第二日起，即自動痊復。其實此痊復之作用，於傷害之初起，已同時與之並存矣。設使毒氣之濃度甚小，傷害與痊復此兩相反之作用，得互相平衡，則在此濃度時，即可不至發生毒害之現象。此分界濃度之數目，不易測定。就貓言，於光氣中此數即可作為3 甬mg。於芥氣中此數即可作為5 甬mg。故貓於光氣及芥氣中之致命數應略改而分書如下：

$$(C-3) \quad (t-1) = 310 \text{ (光氣)}$$

$$(C-5) \quad t = 160 \text{ 芥氣}$$

此二方程式若以 t 提出，更為醒目，

$$t = 1 + \frac{310}{C-3} \quad \text{光氣}$$

$$t = \frac{160}{C-5} \quad \text{芥氣}$$

如光氣之濃度為3 甬mg或芥氣之濃度為5 甬mg，若欲起致死之效，則呼吸之時間須長至無窮，換言之，此二種毒氣，於上所舉之濃度中，即毫無毒效。此不能起毒效之濃度，吾人即名之為無害濃度。

如 C 大於無害濃度，則 t 即有一定之量。就芥氣言
在 t 於 C 為較大之數量時，庶可書為

$$t = \frac{160}{C}。$$

吾前以芥氣於濃度在 25 毫 - 250 毫 mg 間之時，其對
貓之致命數即作為 $170 = Min \times \frac{Mg}{Mg}$ 亦此之故也。惟

就此式言，

$$t = \frac{160}{C-5} \quad Ct = 5t + 160$$

$$\text{若 } C = 25 \quad t = 8; \quad Ct = 200$$

$$\text{惟若 } C = 250; \quad t = \frac{160}{250-5}$$

$$Ct = 5 \times \frac{160}{250-5} + 160$$

$$= 5 \times \frac{160}{245} + 160$$

$$= 3 + 160 = 163$$

故 Ct 于濃度等于 25 - 250mg 之間，其值即由 200
降至 163。適所舉之 170，亦不過此二數平均之值
耳。如 C 愈大，即濃度愈高，則 Ct 之值即愈近 160。
就光氣言， C 之值愈大，則 t 即愈近 1，此即謂瘴癘

之咳嗽能有一分鐘絕對之防護效用。在中等濃度時， C 之值大于3，則 t 之值則較1為更大。在此中等濃度 Ct 之值，變至極小，為374與310相近。而吾所舉之420，乃其平均之值耳。余上次所舉之值，因之即略有些微之修改。就較精確之等式計算，則貓之死亡即可於下列之濃度與時間見之矣。

45Min分鐘于 10Mg之濃度 (在每立方公尺空氣中)

19Min分鐘於20Mg之濃度

$12\frac{1}{2}$ Min分鐘於30Mg之濃度

$11\frac{1}{3}$ Min分鐘於33Mg之濃度(地點 Ct 之值最小)

9Min分鐘於42Mg之濃度

5Min分鐘於84Mg之濃度

此類結果，就前舉作用積定律言，乃為偏差。為此偏差甚小，尚在謬誤範圍之內。若濃度甚大或甚低，則此類偏差乃為可觀矣。就猴言，芥氣之致命數，亦有較為精確之方程式，

$$(C - 2 = 690)$$

猴在芥氣中無害濃度究較貓者爲高，抑較爲低，現尙無充分之實驗足以確定之。在此數值未確定之前，祇可擬定貓與猴無害濃度其極限，不至互相大異。就人類言，亦可引用同一之結論，即其無害濃度，亦不過每立方米空氣中數毫(mg)之間耳。此較爲精確之方程式，於高濃度時所表現者，亦如以前所舉之 $C.t = 700$ 所表現者相同。因就其致命數言，同能顯示猴之抵抗力，較貓仍大至四倍。惟余仍須鄭重言明者，即此定律乃或然之定律，此或然之情形，就芥氣言，較就光氣言，更爲顯著。既爲或然之定理矣，則個別受毒氣病害之後，苟欲預斷其毒病最終結果究爲如何，則非其作用之量，（即濃度及時間）較作用積相差甚大時，則不易確定之矣。

芥氣尙有特別能傷及人體皮膚之性能，氮氣及氯化苦亦有之，惟甚爲微弱。於通常野外之情況下不能顯其效力，芥氣則爲已知各氣體中最能傷害皮膚之物，因其性強，故亦名之謂起炮之化學戰劑。在審

量芥氣之作用時，須明了凡無防毒面具之人，被芥氣傷害，其肺部及視官所受之傷，較其皮膚所受者常為沈重。苟其人帶有面具，則其身體上餘外無防護之各部，被芥氣傷害，視此更為劇烈。芥氣之所以重要即在於此，蓋身體全部之防護，既不易行，即能行之，而部隊之運動性必受其妨礙。

皮膚傷又可分為二種，即芥氣之蒸氣傷，與芥氣之液體傷。蒸氣所肇之傷，較為寬廣。惟所傷害之部分，多因為其皮膚感應甚靈。如腋部，生殖器官，腿及臀之內部。皮膚被傷僅於芥氣濃度高時見之，上舉之部分，於暴露之情狀下，更易受傷。是以於建造廁所時，宜特別留意防備芥氣之危險。液體芥氣之傷害，乃局部的。或皮膚觸及芥氣之小滴，或觸及沾有芥氣之器物，被其沾濕，跪坐於芥氣地底之上，操握有芥氣之兵器，行軍時擦過有芥氣之植物，皆能被其沾濕。被沾濕之點，其傷勢特別重大。一部分之芥氣，仍可因身上之體溫蒸發，化成氣態。其蒸氣又可作用於鄰近之各點，甚或作用於視

官及呼吸器官之上。

皮膚之傷害由於細胞之傷壞，前已言之矣，於數小時之內，尚不能察覺。數小時之後，則皮膚發紅，漸而即起充滿液體之水皰。如沾濕作用甚重，則此皰即如灼傷之水皰。如傷勢較為平和，則皮膚變為較黑。數星期之內，則舊皮膚死謝而新皮膚繼之而生。傷勢較重，則起水皰。水皰乃各種傳染病菌最易滋生之根據地。受芥氣之傷，其痊愈所需之時間，本已甚長，若有副生之傳染病加入其間，則其痊愈更為遲緩矣。故被芥氣毒傷後，其始也即宜使受傷之皮膚保持清潔，以後即請醫生處理。如傷處能看護得宜，則易有完全痊愈之望。但皮膚上局部之重傷。其危險終不若身體全部受傷之為甚也。

將各種皮膚傷壞之情形，作一比較，即見各部皮膚之感應性，各不相同。抵抗力最強之處即頭上手心及腳底等處之皮膚。惟就各人言，其感應性又各不相等，此或由於人種之不同，黑種人之感應性最小，各種獸類其皮膚之感應性亦各不相等。凡此不僅

就芥氣傷壞皮膚之情形爲如此。即其他傷壞皮膚之氣體，亦莫不如此。人及獸類之感應性既各不相同，故欲以各種之化學戰劑，作一比較，亦爲不易之事矣。

含有砷質之化學戰劑。亦屬於傷壞細胞之物質。其具有潛伏時期及後效之刺激性能，吾人前已言之。其刺激性能之強度，可自下列之秩序見之。

二烴基鏷化砷 $(C_6H_5)_2 AsCN$ Diphenylarsinecyanid

二烴基氯化砷 Diphenylarsinchlorid $(C_6H_5)_2 AsCl$

乙烷二氯化砷 Athylaisindichloyid $(C_2H_5)_2 AsCl_2$

亞當氏物 $C_6H_4 < \begin{matrix} N H \\ \backslash / \\ AsCl \end{matrix} > C_6H_4$

路委氏第一物 $CH_3ClCHAsCl_2$

位在第一者其效最強，位在最後者其效最弱。最前之二物其刺激之時間最短，脫離毒氣後十分鐘，其刺激即達到最高之強度，脫離毒氣後半小時至四分之三小時，其刺激現象幾完全消去。亞當氏物之刺激於脫離毒氣後二十至三十分始達其最高點，且能於脫離毒氣後，支持至一二小時。乙烷二氯化砷後

效之時間最長。可長至六至十二小時。路委氏物之刺激時間尙未明悉。其成分乃合路委氏第一物，路委氏第二物 $(\text{C}_2\text{H}_5\text{ClO})_2\text{ASCl}$ 及路委氏第三物混合而成。路委氏第二物之刺激強度，與路委氏第一物相同，而路委氏第三物 $(\text{C}_2\text{H}_5\text{ClO})_3\text{AS}$ 則毫無刺激性。

在此類物短促之潛伏時間內，（一分鐘之內）吾人即可辨出其特別之嗅味。乙烷二氯化砷有芳香之嗅味，路委氏物其嗅則如香草花之香味。

前已言之，此類物亦有毒效。惟其致命數或等於氯氣之致命數。甚或較之爲更高，故此類物不能視爲毒害物。在野外卽從未見其曾致人於死，在工廠及炸藥製造廠中，雖有人受其強烈之作用。發現沉重之病症，但亦未見有死亡之事。惟尙有一奇特之實事，可資注意。於疊次脫出此類砷化物毒效之後，人之感應性有變爲更靈敏者，有反能對於其刺激作用漸習慣之者。苟能習之，則久後雖有大濃度可使未習者喪失其戰鬥力。而習之者則反可忍之而無礙。

工廠中每日須與此類物周旋之人員，則必由能習慣其毒性之人組合成之。是以選擇不可少矣。經選擇後感應較敏之人，即可離而他去，所留任者皆感應性較鈍。雖受重毒，其病於一二月內，即可痊好。自軍事觀點言，含砷質之化學戰劑，即不能視為毒害呼吸物矣。

此類物品，亦能傷害皮膚，惟自軍事觀點言，亦無多效用。其傷壞皮膚之病象，頗與芥氣傷壞皮膚之徵象相同。惟其始也，即有一顯然之異點，被砷化物沾濕之皮膚，瞬即現劇烈之癢。且覺刺痛，故與芥氣有數小時之潛伏時期者乃有不同。惟受傷之人，因覺有癢痛，即可立時將其抹去或拭淨之。此後皮膚即發紅，或生水皰，此水皰亦可傳染病症，惟其痊癒之趨勢較芥氣灼傷者較大。益以此類物質，在野外之安定性甚小，其沾濕皮膚之幾率即漸少。且以此類物直接注於有生命之目標亦非易為之舉，更有其在野外所能發生之蒸氣濃度甚小，故其對於皮膚作用之效果亦不甚大，不過僅能使皮膚發紅，

所引起者恰如人受強烈陽光燒灼後之感覺，故吾人實不宜即稱之爲不快之感覺。

無後效之刺激物中，炔基氯代乙烷酮之作用最強。初則刺激視官，繼則刺激鼻與咽喉，呼吸氣道亦受微弱之刺激。此物尚能刺激全身各部之皮膚使之發癢，濃度高時，則覺刺痛。故僅有面具者，對之尚不能得周密之防備。惟在野外欲使其達到有毒效之濃度，此極爲不易。故苟吾人之目的不在致病或致死如警察用時，則此物最宜於引用矣。但有一事須注意者，即其對皮膚作用之強度，亦如芥氣然，常因人之不同，而可生巨大之差異。設若吾人不僅在阻礙有面具之敵人，而還使敵人之戰鬥力暫時喪失，則所須之濃度，乃爲甚高之濃度矣。

腈酸Blausäure 作爲化學戰劑，其價值各有不同之評定。德國及其聯盟各國，從未用之。法國用腈酸之範圍最大，俄國亦多用之，英國於歐戰後都亦用之，惟其量不多。德國於最初研究其毒性之時，即證明腈酸不能作爲化學戰劑。法人雖尋得其缺點，惟

根本有誤，故其補救之方法，亦不能生效。此點以後當再述及也。英人見其於野外不能生效，故亦尋知其毒効上之缺點。今特舉以相告者，蓋亦欲使人知其雖爲毒性甚強之物，然尙有其他之特性，不能用於野外也。

大空中混有精酸，則有苦杏仁之嗅味，惟此嗅味甚弱。而人之嗅覺常有不能與精酸發生作用者，就估計之結果，人類有三分之一不能察覺精酸。苟人受精酸之作用較久較強，則覺喉部被箝，頭部暈眩，卽不能直立，思想迷亂，視官不靈，此後卽有兩鬢受壓，頸痛胸痛，四肢抖顫，呼吸緊張之現象。至此時致命之毒効已顯，若人仍滯留有毒氣之大空中，則二三分鐘內，人卽死亡。由此以觀。精酸乃屬於毒効最速之物。

如果人於失去知覺之頃，卽脫去有毒之大氣，而呼吸純潔之空氣，則於數小時之內，卽可漸漸痊愈。僅於極稀有之情形，欲復原而須數日之久者。惟毒深時，亦可使下肢受長時之麻木。

若以精酸之作用，加以研究，呼吸中樞受其麻痺，乃爲顯著之作用。其進入身體時，所觸及之器官，彼不能傷壞之。反之傷肺氣及芥氣，則有此性能。在精酸使某一器官受劇烈毒効之前，必須於血管中經過一長時之路程，故精酸乃一吸收後始能生效之毒物。芥氣亦略有此性能，吾前已言之，如其毒害較爲廣大，則身體各重要之器官，俱可被芥氣傷壞卽，指此也。惟就芥氣言，其特別顯著之處，乃在其能傷害入口時之各種器官。如鼻及肺等，而精酸則無此效能矣。精酸進入身體之後，其作用則極爲繁複。其自身不僅爲特別能毒害呼吸中樞之物，且可有刺激性。使神經系之中樞，受其麻痺。惟呼吸中樞受其毒害，乃其作用中之最佔重要者。此外呼吸機能，亦可受精酸之毒害。氧氣由肺進入血中，與血成爲氧化血色素。再隨血之循環，以達於體內各部。旋即與經消化後所產生無用之物，起燃燒作用，而使之分泌於體外。若人受精酸之毒，則上述之機能，卽喪失無存。血中雖有氧氣，亦

不能行使其日常之工作。毒害肺部之氣體，能減少體內之氧氣，使血內之氧氣為量不足，而人即受窒息。若靖酸者，其使人受毒，則在體內氧氣之量並未見減少。但因靖酸之存在，已不能被變為可用矣。

故體內之細胞，亦如在通常窒息時，感受相同之傷壞。此即謂之內部窒息。或名之細胞窒息，靖酸既在體內，若欲消去其毒效，則所賴者，仍為體內之燃燒。細胞果被窒息，乃有非常重要之關係矣。苟呼吸之機能傷壞太大，則氧化血色素之氧化能力即變小，隨後新入之靖酸，更不易被氧化。病症即漸漸沈重。此自身愈變愈大之病態，即可為立時死亡之主因。

靖酸毒害之作用既如此矣，然尚有一特異之點，關於其可否作為化學戰劑至為密切。靖酸在身體之內，須穿過遠大之距離，故易有機會被氧化血色素燃燒。因此在體內靖酸之濃度縱高，因其經過之路程甚長。故即可被燃燒而喪失其毒性，是以長時呼吸後仍不致因而受毒。故靖酸之無害濃度，乃為一甚

高之值。以歐戰之戰具，尚不易達到此較高之濃度。更有進者，精酸之濃度愈高，其毒效因濃度之加高而愈加強烈。因此致命數等於一定量之定律，即不能適用於此情形矣。精酸之濃度苟略高於其無害濃度，此時頗值得吾人之研究。在此等濃度呼吸之時間較久，亦可發現毒象。於離去其被毒之區域後，亦可因之即罹死亡。是故吾人可見於脫離精酸後，如其作用甚強，則亦可發現長時不治之病症。由此已可見，精酸之病象確較爲複雜矣。若就精酸立一致命數之方程式，使其略有科學之根據，則凡此不同之主因，俱宜兼顧。惟因已行之實驗不多，故尚未發現其他相當之方程式。目前祇可以用於他化學戰劑之致命數方程式再用之於精酸。就已有之實驗，貓對於精酸之致命數即可如下。

$$(1 - 100)t = 260 \cdot$$

C 乃每立方米空氣中精酸 Mg 之重量， t 乃呼吸之分鐘數。此方程即表明凡精酸濃度小於每公尺空氣含有百 Mg 者，即不致有毒效。若濃度加高，則其毒

效亦加強。其 Ct 之方程式可寫如下。

$$(C - 100)T = 260 \cdot$$

$$t = \frac{260}{C - 100}$$

$$Ct = C \left(\frac{260}{C - 100} \right) = \frac{260C}{C - 100}$$

$C = 100$	$Ct = \infty$	$T = \infty$
140	910	6.5
200	520	2.6
500	325	.65
1000	290	.29

在適所舉之高濃度。靖酸之毒效與光氣及芥氣者相差無幾。爲比較起見，今將猴之致命數列舉如下。

$$Ct = 2800$$

C 若爲 140，則 t 卽爲 20 分鐘，或較長。惟所行之實驗不多，故無較精密之方程式。惟猴對靖酸之抵抗力比貓者至少大過三倍，由此已可略見之矣。但此中尙有一異特之點，貓與猴對靖酸其感應性之

不同，較之對其他各化學戰劑更爲顯著。若以多種之動物施以精酸，則見動物之身軀愈大者，其對精酸之抵抗力即愈強。其他各化學戰劑。各動物對其感應性之大小，則不能依此標準而釐定之。精酸所以有規則性者，或由于動物愈大，其血之循環愈緩，精酸暴露于體內消毒之作用也愈長，故于其未達腦部之時，即愈易被燃燒而毀去，動物較小，則其感應性即較大，此亦定律，凡毒氣被吸收後。須於體內經過相當之路程始可于某一器官呈顯傷壞之效者，皆可適用此定律。惟吾人就精酸言，可得一重要之結論，即精酸對人其毒效之強度，決不及其對猴者之猛厲也。

含有精根 $[C_n]$ 之物質如氯化精：chlorcyan (C_nCl) 溴化精 Bromcyan (C_nBr) 二烱基精化砷，於氣態時，依其精根之量，其對於身體之毒害作用，亦與精酸有相似之處。故同量之二烱基精化砷，其毒性較同量之精酸，約小十倍。惟平常引用二烱基精化砷時，其濃度甚小，故其因精根所生之毒效，及因其砷質所

生之毒効，皆不能呈顯。其所以被人作為化學戰劑者，純粹因其為良好之刺激物耳。溴化靖奧國曾略用之。氯化靖法國於戰爭之將畢用之。丙烷靖酸 $\text{CNOO}_2\text{C}_2\text{H}_5$ 僅于殺治害蟲用之。並未作為化學戰劑。氯靖化之毒性，當於靖酸者百分之四十二，溴化靖之毒性當於靖酸者百分之二十五，故二者俱不適於作為毒害物之用，惟彼等尚有刺激性，其刺激之強度適等於氯化苦者。是以溴化靖及氯化靖果否將來尚屬重要，已為可疑之問題矣。

以上所言，乃各化學戰劑毒害膚體之性質。綜上所論，作結如次。在毒害呼吸之物中，僅有毒害肺部及傷壞細胞之物質，極佔重要。若為吸收後始生毒効之物質，如靖酸等，其効用已不能呈顯。更有物質常有不因其毒害之効能，作為化學戰劑，而反藉其無毒之刺激性，用之於戰場，使敵人遇後，暫時即不能不退出於戰圍範圍之外。

(2) 物理性質

(甲) 蒸氣壓 物質用為化學戰劑。其最關重要之物

理性質，即其蒸氣壓。無蒸氣壓之物質，或蒸氣壓甚小之物質，向不能作為化學戰劑，蒸氣壓即物質能蒸發之根本。蒸發云者，即物質能克勝大氣施於其液態及固態上之壓力，而自身逃入空中變為氣態之現象。水與石油之蒸發，吾人已習見之，惟石油蒸發較緩，溫度高時，蒸發較速。水於攝氏表百度即起沸騰作用，此即言在百度時，水之蒸氣壓，等於大空之氣壓，即等於七百六十糎 (760mm) 水銀柱之壓力(海水平面)。換言之，使皿中之水溫度高至百度，則所發生之水蒸氣，即可完全排開空氣，如皿與空氣之間，有一接管。則內部之水蒸氣，所施之壓力，即等於外部之壓力。此時每蚌中，所包含之水蒸氣，即為600 糎 (mg)。若沸騰不止，則逾量之水蒸氣即經過管中而逃去。今若封閉此皿，使其溫度仍保持百度，則沸騰停止，而皿中氣體及液體之量仍舊不變。水在百度，其蒸氣壓力即等於 760 糎之水銀柱高。而其飽和濃度中即每蚌含有 600 糎之水量，溫度增高，則蒸氣壓力，與飽和濃度之值。

均加大。反之溫度降低，則此二值即變小。設使封閉之器皿中，盛有水燒至百度後尚繼續加熱，則皿內液態水之量即減，氣態水之量即增。氣態水之增量，比吾人實際因容積之變更以目所能觀測者，尚多至千百倍。因氣體之密度小於液體，是故此時每竝所含之水質其量必較 606 尅爲多。濃度加高，壓力即加大，如此皿上有一量壓表「Manometer」則自此表上即可見壓力漸漸加高。此實驗不宜繼續延長，因壓力過高，則皿即可爆裂。反之使此皿冷卻，則氣態之水減少，而液態之水增多。由此吾人已可見於一定之溫度，即有一定之飽和濃度，及一定之蒸氣壓力。今略舉數例如下：

溫度 (以百度表計)	飽和之蒸氣壓力	飽和濃度
0°	4.6 (公釐汞柱)	4.75 <small>每竝中之尅數</small>
20°	17.4	17.0
40°	54.9	50.9
60°	148.8	130.6
80°	354.6	295.8

100	760.0	605.8
120°	1491.3	1141.2

上舉之定律，亦可倒置其辭。即謂於一定之壓力，即有一定之沸點。如皿有水，冷之至於零度，用一抽氣機，將空氣抽去，抽至氣壓等 4.6 公釐時，則起沸騰之現象。而能將所餘之空氣排去，每蚌中能容至 4.75 釐之水蒸氣爲止。

凡各化學戰劑，其沸點低於大空之溫度者，其所生之現象，即與適所言者相同，在常溫常壓之下即爲氣體。既爲氣體，其所佔之面積甚大。故將其施用於敵人之時，必增大其壓力，緊閉於貯器之內。若將此類貯器裂開，則首先逃出者，即爲氣體。此氣體在貯器中，其濃度已超過大氣溫度所當有之濃度。氣體逃出後，則貯器之蒸氣壓力，即等於大空之壓力。惟此業已液化之氣體，其固有之飽和蒸氣壓力，尙遠大於大空之壓力。故至此時，此液體即躍沸騰矣。沸騰時，須消耗熱量，故液體自身，即漸冷卻，而其飽和蒸氣壓，即可因冷卻而降至與大

氣壓相等，或降至大氣壓之下。此後液體即徐徐沸騰，甚或僅僅蒸發而已。故欲免除此壓力之鬆弛，祇有將貯具之構造改良，使逃出者非為氣體，而為液體。其法即使具內之壓力，高於大氣壓，故液體即可被壓排出。如貯具之口為一線狀之小孔，則被壓出之線狀液體，即可分裂為極小之點。而此小點，乃可立即蒸發。所需之熱，即可取之於四圍之空氣。引用此法，則吾人所欲得之高濃度，即可於此得之矣。惟此可達到之濃度，其最高值即為於一大氣壓及其時溫度下可能存在之濃度。並非等於其時溫度所生之飽和蒸氣壓所應有之飽和濃度。因其飽和蒸氣壓，在野外不能達到之故也。此可達到濃度之最高值，亦為一理論上之數值。因實際上之濃度，被空氣之摻和而變淡，遠比此理論之數值為小，故不可不加以注意。如以各種氣體於同一狀態之下，加以比較，則見實際上所達到之濃度，常僅為此理想最高值之一分數。惟飽和蒸氣壓之所以重要者，則在其與貯具構造有密切關係，且能影響液化

氣體壓射而出時之速度。今就氯氣及光氣略舉其數值如下：

溫度	飽和蒸氣壓		最高濃度(在一氣壓時)	
	氯氣	光氣	氯氣	光氣
-33.6°	760 (耗汞柱)		3610 (每呎中之呎)	
-10.0	1999	360	3280	
0.0	2782	555	3160	
8.2		760		4280
10.0	3762	822	3050	4250
20.0	5031	1182	2950	4110
30.0	6650	1657	2850	3980

自此表即見此二種液化氣體之飽和蒸氣壓因溫度之加高，其加高也甚為迅速。反之理論上最大濃度之值，其降低也甚為微小。此降低之實事，本由於溫度增高氣體澎脹而來。氣體在野外所受者，為一數值不變之大氣壓，如其澎脹，則其濃度即變稀。再者溫度加高，飽和蒸氣壓即加大。此實事若就氯氣言，因氯氣之壓力較光氣者為高，即有一重要之情

形。凡貯器之強度，須能抵抗在大氣中高溫度下所產生之壓力。自上表所列者，已見氯氣之飽氣蒸氣壓，較光氣已大四倍至五倍餘。故氯氣貯器之壁，應比光氣貯器之壁須較爲強厚。惟較大之蒸氣壓，對於戰具又有相當之重要。苟如吾前所言者，使液體自貯器中壓出，則壓力較大者，將液體自線狀小孔中壓出也必較速，反之則較緩。液體如被壓出較速，則於戰鬥之目的爲有利。因爲毒氣能實際達到何等之濃度，此須視其蒸發之速度爲如何。噴出之液體，與空氣混合，設使此相與混合之空氣，其溫度能使噴散之液體卽刻蒸發，則蒸發速度之急徐，全視液體自貯器中逃出時之速度爲如何矣。就光氣言，其在貯器時壓出，於全年之四季，其壓力常不足以使之自貯器中壓出。因此之故，吾人乃不盡引用純粹之光氣，而摻合光氣與毒性較弱之氯氣混用之。除此摻用氯氣外，尙有其他補救之法，如引用壓縮之氣體，若二氧化碳及空氣等，使貯器內之壓力，能高至必要之高度。惟欲構成高濃度之毒氣雲

霧，以便達到所希望之目的時，則摻和二氧化碳或空氣。惟引用之量可較摻和氯氣之量爲少。且此二種氣體，其壓力因溫度而變更之差，不及氯氣之飽和蒸氣壓因溫度之變更而差之甚。故欲防溫度低時蒸氣之壓力過小，則氯氣及光氣之混合劑中，於冬季必須加入壓力氣(Druckgas)。惟將來引用液體之光氣時，無須摻和氯氣，僅僅施用壓力氣即可使之噴出而細散，此亦爲可能之事也。

大半之化學戰劑於常溫時爲液體，此即謂其飽和蒸氣壓力小於一大氣壓，其沸點即高於通常氣候之溫度。水即爲可蒸發液體中最常見之一例，其沸騰之現象，前已詳論。惟迄今應用於化學戰之器具，向未利用簡捷加熱之法，使化學戰劑變爲氣體。水因蒸發散入空氣，其他之化學戰劑，亦藉蒸發而瀰散。故吾人對於蒸發作用，應詳加考究。蒸發與沸騰不同。於大氣壓下，蒸發發生於沸點之下。沸騰則發生於相當一定之沸點。是故蒸發時，其飽和蒸氣壓必小於一大氣壓。因蒸發所產生之蒸氣，即不能

完全排去空氣。惟液體如水，既能蒸發矣，則至少一部分之空氣，必為水蒸氣排去。但究能排去至何程度，則成一重要之問題。

此問題之回答，至為簡單。不計空氣之存在與否，在一定之溫度，即有一定量之水蒸發。所蒸發之蒸氣，即可呈顯其時之飽和蒸氣壓。今舉二例。若於水銀氣壓表上之真空內，於 20°C 二十度時以足量之水加入，則因水之蒸氣壓，水銀面即降低 17.4 耗。自前次之表，即可見現在氣壓表之空處，其所含之水蒸氣，其濃度即為每立方米中有 17.0 耗。此濃度於 20°C 度，即能向外施顯 17.4 耗汞柱之壓力。若以同一之實驗，行於水銀量壓表。如以水灌於其閉管之空隙處，始也管內之水銀面與外間之空氣氣壓平衡，即等於 760 耗之汞柱。水灌入後，則閉管內之水銀面即降低 17.4 耗。故此時，每立方米之濃度亦為 17.0 耗之水蒸氣。惟此次則同時有空氣混合於其中，而閉管中總共之壓力，即為 777.4 耗。如將此量壓表裂開，則過量之氣壓立即消散。此即謂一部分

之空氣與水蒸氣即逃入空中，而使壓力由 777.0 耗汞柱降至 760.0 耗。今此與大氣相通之空隙中，其空氣及水蒸氣之氣壓，即分別減至為 743 及 17.0 耗。閉管空隙未裂之前，總共之氣壓 = 777.4 = 760 + 17.4。閉管空隙既裂之後，總共之氣壓 = 760 = (760 + 17.4)，

$$\times \frac{760}{777.4}。$$

$$760 \times \frac{760}{777.4} = 743 \dots\dots \text{裂後空氣在管中之氣壓}$$

$$17.4 \frac{760}{777.4} = 17 \dots\dots \text{裂後水蒸氣在管中之氣壓}$$

水蒸氣壓既為 17.0 耗汞柱，而每立方米中濃度亦僅為 16.6 耗矣。如是即可再有小量之水蒸氣尚可蒸發，排去空氣，以使此閉管裂後之空隙中，空氣之氣壓成爲 742.6，其水蒸氣壓成爲 17.4 耗之汞柱。此即表明以前之所言者，于此兩情形之下，飽和之狀態，俱可由同量之水蒸氣達到，不計其爲水蒸發入於真空之中，抑或蒸發入于空氣之內。惟先定之條件，即爲溫度爲一不變之值。換言之，水之飽和蒸氣

壓，與其混合各氣體之總壓，毫無關係。飽和濃度及飽和蒸氣壓，于緊閉之處，易於達到。於與空氣相結之空間，則可利用他法以達到之。如用一長毛細管，作為與空氣連結之用。雖壓力之調劑，氣體與蒸氣之輸運，仍可自毛細管中行之。惟其作用已減小而遲緩，幾不易察覺。是以適所略述之實驗，即可於量壓器上裝一毛細管行之。

在野外空曠之處，能蒸發之液體，就其飽和濃度言，此值與物體在常溫常壓即為氣體之最高濃度同為一理論之數值。飽和濃度，乃一液體於一定溫度所能達到之最高濃度。其他各情形苟無特別之不同，各液體能實際達到之濃度，僅為此最高濃度之一分數。今附一表(表三)，表內即有各化學戰劑之飽和蒸氣壓及飽和濃度。表四即各化學戰劑於一氣壓下即 760 托之汞柱壓力下之沸點。於表三表四內各化學戰劑之次序，即依其沸點之高低定之。若取一定之溫度，就其蒸氣壓之大小而重排之，各物所得之次序，亦必與此表者相同。

氯氣及光氣，前已言之。就實際言，氯氣之沸點甚低，故通常其可達到之最高濃度，總為 760 耗汞柱氣壓下可能之濃度。光氣則稍有不同，其沸點為 8.2。此溫度於平常氣候常發現之。若溫度在其沸點下，則僅有氣壓較小之濃度可以存在。此氣壓最大之時，亦不過等於此時液體光氣之飽和濃度。故表內所載者，即為此類數值。沸點以上之數值，乃非其飽和蒸氣壓下所能存在之濃度。而僅於 760 耗汞柱壓能存在之濃度，表內即不載記。惟前已言之。此於 760 耗汞柱壓能存在之濃度，因溫度之增加而減少。故在沸點時，乃光氣在空中能存在之最高濃度。冬季天氣太冷，光氣所達到之濃度即較此為稀。不僅此也，光氣因蒸發之冷卻，一部分亦可保持其液態。如光氣之分散不精細，以致空中及地面所傳導之熱不足以使之氣化時，即有此現象。光氣雲陣構成得法，則於構成之點，無液體光氣之存留。惟吾人所宜注意者乃光氣蒸發後所生之溫度，大空原有之溫度可不必顧及。苟蒸發後所生之溫度低於攝

氏表 8.2° ，則可達到之濃度其數值，即必小於一大氣壓下之濃度。

氯化碇及碇酸，其情狀與光氣者相似。惟在野外，此二物常為液態。其沸點下之飽和蒸氣壓，表中已載明。其沸點以上之飽和蒸氣壓，於野外亦同不能達到。

丙炭烯醛 (Acrolein) $\text{CH}_2\text{:CHCHO}$ 亦為一易於蒸發之化學戰劑。惟其沸點已在通常氣候溫度之上，其自身並非一重要之刺激物。

沸點較高之物質，僅其 50°C 以下之飽和蒸氣壓載於表內。其沸點則載於表四。惟有一重要之規律性宜加注意。普泛言之，蒸氣壓隨溫度之增加而加大。若吾人取一定溫度之範圍以內而觀察之，如 10° 至 30°C ，此即冬季與夏季溫度之區別，則各化學戰劑各有不同之處。以下之表中，上行乃蒸氣壓之比例，下行即飽和濃度之比例。

	光 氣	精 酸	水	氯 化 苦	碘 代 醋 酸 乙 烷	硫 酸 二 個 甲 烷	芥 氣
$P_{30} : P_{10}$	2.0	2.2	3.5	3.0	3.1	1.5	5.5
$C_{30} : C_{10}$	(1.9)	(2.1)	3.5	2.8	2.9	1.4	5.1

括弧內所包括之數值，乃空中不能存在之兩濃度相較之比例。所以列入表內者，欲使規律性得以易見也。各物質之次序，乃依其沸點之高低排之。再有一事，除水及硫酸二個甲烷外，尚可見凡各物質蒸氣壓之增加量與溫度成正比。水其物理性質特別之處甚多，乃一反常之物質。硫酸兩個甲烷亦其類也。其餘之物質，則遵守上舉之規則。下列之表可資參證也。

	氯 氣	光 氣	氯 化 精
$P_0 : P_{10}$	1.39	1.54	1.64
$C_0 : C_{10}$	(1.35)	1.49	1.58

	精 酸	丙炭烯醛	氯化苦
$P_{20} : P_{10}$	1.5	1.57	1.76
$C_{20} : C_{10}$	1.45	1.52	1.7

自此二表，同在一溫度範圍 10°C 度以內。或由零度至 10° 度。或由 10° 度至 20° 度。凡物質其沸點較高，其蒸氣壓之變更即較大。飽和蒸氣壓其變也既如此，飽和濃度之變亦如此，惟飽和濃度之數值較小耳。由上述之規則，即可見物質在野外，於夏季及冬季，其可達到之濃度，即有差異。苟物質之沸點較高，則因此所生之差異即比沸點較低者所生之差異較大。

飽和蒸氣壓及飽和濃度之關係，前已言之。若外表之情狀相同，實際可達到之濃度，則與飽和濃度為比例。此中亦有一物理之定理存焉。苟外表之情狀相同，則蒸發速度與飽和蒸氣壓成正比。今若以一定之器具作實驗，地形及氣候不變，則就此器具即

可測定每分鐘所分散之液體爲若干。既知蒸發之速度，又可知因地形及氣候之不同，所構成之濃度，被空氣變爲稀薄之速度又爲若干。地形及氣候之影響，將來再分論之。惟可達到之濃度，其重要之主因，卽爲蒸發速度，則由此可知也。但蒸發速度，尙與液體分散所用之方法，及液體於其時溫度下所發生之飽和蒸氣壓，有密切之關係焉。

各物質之蒸發可能性，既遲速各有不同，今欲研究此遲速不同將如何之現象。首就液化之氣體言，因其易於氣化，各種器具俱可使之變爲氣體，而大濃度之毒氣卽可立時產生，惟同時空氣冷卻，空中之水蒸氣卽因此凝結而現霧狀。此氣團之溫度，卽較四周空氣之溫度較冷。此類較四周空氣爲冷，而佈有毒氣之氣團，卽名之爲毒氣雲。(Gas Wolke) 毒氣雲之特點，卽在其不受氣候之影響，沸點在氣化苦者以下之液體，皆可摻和於液化氣體中，使之與液化之氣體同時蒸發，而同構成一毒氣雲。若

不用此法，則此類液體宜使其分散特別強猛，庶幾其立時可變為氣態。以炸藥裝填於彈丸之中，使液體碎裂，亦通常所用之法。惟此法終不如用針形噴口 (Duese) 之分散能得平均。液體自彈中出，一部分即散為粗大之碎滴。(Spritzer) 可與揚起之塵土飛行。惟其飛行之遠度，終不若彈丸破片者之大。因彈破片之比重 (Spezifisches Gewicht) 較大，故就其動能 (Kinetische Energie) 言其對空氣之阻力就小。且液體之碎滴因空氣之阻力，即改其形狀而裂為小粒。另一部分之液體，於彈裂之時，即裂成細微之小滴，其動能甚小，自身並無運動，但可略被空氣之氣流曳引而進。此小滴中之最小者，即直接蒸發而構毒氣團。(Gas schwaden) 毒氣團與毒氣雲之區別，即在毒氣團之濃度較小，其溫度與四周空氣無多大之差異。尚有中等之液體滴，則可隨風揚去，而構成雨團。(Regen schwaden) 因在此團中，即有雨滴落於地下。液體之分散，既分為三部，其情形則可因液體之蒸氣壓而有差殊。易於蒸發之液體，

則無雨團除粗大之碎滴外，其餘之點滴隨風揚去者皆直接蒸發為氣。而一部分之碎滴，亦可於未落地之先，化為氣體。凡此直接蒸發之各部分，即構成毒氣團。而毒氣團之濃度，即較為高厚。若將炸藥之裝量增大，則可將碎滴之量減少，大部分之液體，乃可直接氣化。各化學戰劑，於此猛烈分裂之情形下，凡易於蒸發之液體，其蒸氣壓力縱略有不同，其對能達到之濃度，並無甚大之影響。凡沸點在雙光氣以下之物質，其情形皆屬於此類，如裝填之炸藥甚少，則所成之碎滴即多，而化學戰劑蒸氣壓之略有不同，即可生相當之影響。此時毒氣團，可達到之濃度略與其飽和蒸氣壓成比例。若物質之蒸氣壓，小於雙光氣者，揮發性 (Fluchtigkeit) 愈小，則其構成之雨團，即見重要，若此時炸藥之裝量加大，則碎滴減少。沸點愈高者，則雨團之量愈多。芥氣則此情形中之最顯著者，所生之雨陣，即為毒氣團之發源處。若炸藥之裝量相等，芥氣之分裂相同，則毒氣團之濃度，即完全與飽和蒸氣壓成比例。

• 就此種大小之蒸氣濃度，雨團可由彈着點，順風之方向延廣，與揚起之土砂相等。因蒸氣壓之大小，亦可影響雨團之廣袤。蒸氣壓力愈大，其液體滴之最小者，即可立時蒸發。惟有較粗大之粒，乃殘餘而迅即落於地上，而毒氣雨團之面積即較大。蒸氣壓若更小，則毒氣團即可由極細微之灰塵點，或液體滴而組成之。此類小滴，於吾人實際所意想之時間內，尚不至蒸發或降落，故沸點在 300°C 以上之物質，所構成者，並非雨團，而為霧團或烟團。

(Nebeloder Rauchschwaden) 此霧團即不降落，而隨其濃度極小之氣團運行。故就沸點甚高之物質言，其分散即成二部。一部即為粗大之液體碎滴，或粗大之固體粒。他部即為烟團或霧團。欲使霧團或烟團之濃度較高，則需要特別之設置。因普通之器具，祇能將此類化學戰劑分為極粗之粒。

綜上所言，略可結論。沸點最低之物質，其蒸氣壓之差異，通常對於其可達到之濃度，無甚影響，因此類物質，於任何大空之溫度下，可立即氣化也。

沸點若較此略高之物質，因其蒸氣壓低小，所生之影響，則可用其他之方法以補救之。如使之與易於蒸發之液體混合，或加多炸藥裝量。若物質之蒸氣壓較上所述尤小，則實際所能達到之濃度，即完全按其飽和蒸氣壓而漸減。最終吾人應用特別之器具，使沸點甚高之物質變成者，非為氣團，而為霧團。而霧團中之濃度，比其飽和蒸氣壓下所應有之濃度，尚較為大。

惟碎滴及雨團中之雨滴，落於地上後，其作用又為若何。此問題吾人現欲探究之矣。二者皆漸漸蒸發，分散良好於地面者，即蒸發較快。與地土相混者，則蒸發極緩。如物質之沸點愈低，則於其洒落之點，所發生之毒氣濃度即較大。若有空氣氣流將初所發生之毒氣濃度吹去，則於洒落之點，則即有新濃度可代之而生。故在此等地點，於一相當之時間內，即有毒氣作用。(Gaswirkung) 或稱毒性作用。(Giftwirkung)其地點即名之為佈毒之地點。惟物質漸漸蒸發，則於佈毒點所存餘之量，即漸漸減少。而

發生之毒氣作用，即漸漸減退。迄後毒氣作用減至不能毒害器官之時，其毒性即消失，其地點即為毒性消去之點。自陣地之某點佈毒後起，迄于自然毒消止，此時間內吾人即名之為野外後效時間，(Nachwirkungsdauer im Gelände)或停滯時間，(Verweilzeit)或延逗性 (Sesshaftigkeit)。化學戰劑之蒸氣壓愈小，則其停滯時間即愈長。普泛言之，毒氣團內及後效時所能達到之毒氣濃度愈大，則其野外後效時間即愈短。反之後效長者，其毒氣濃度即愈小。因此時間與強度即成反比例，沸點甚高之化學戰劑，其毒氣作用之強度甚小，實際無多關係。職是之故，凡成爲霧團或烟團之物質，如液化之氣體然，同無野外後效時間。惟此種說法，於一定範圍以內，即專就各物質化爲氣態時言，尙爲合理。惟物質成爲碎滴或塵灰狀時，仍然存在於其佈毒之地點，可於其處停逗甚久，如其可引起其他之毒害，如傷壞皮膚等，則其地點仍爲佈毒之處。其對皮膚之作用，多因爲與皮膚接觸所致，若液體之蒸氣壓愈小，則

其存於野外之量即愈多。故與毒質接觸而所生之毒害，其強度與時間乃相平行。今以芥氣為例，以明此說。如夏季蒸氣壓高時，則芥氣之毒氣作用即強，其後效時間即短，而因接觸所生之作用，即短且弱。如在冬季蒸氣壓低時，則毒氣作用即弱，惟能於其佈毒之點，長時停逗，因之與其接觸而所生之作用，即強且久。惟將來論及凝結及溶解之現象時，於極低之溫度下，尚有一例外之情形，當續詳及之。各化學戰劑，停滯時間之值，曾按理論算出。惟計算時，祇依其飽和濃度與溫度之關係為標準，各物質之化學上安定性，(Bestandigkeit)亦與其停滯時間有密切之影響焉。

(乙)氣密 (Gasdichte) 及分子量 (Molekulargewicht)

氣密乃定量之氣體，於相同之溫度及壓力下，與同量空氣相比之值。吾人所從事研究者，皆為濃度甚淡之氣體，故吾人無須顧及其與理想氣體偏差之各點。各種氣體，因溫度及壓力變更，其氣密皆起同一無二之漲縮。茲先以波義耳定律 (Boyle) 為研究之

起點。此律謂於一定之溫度，定量之氣體，其容積與其所受之壓力成反比例。如以 V 代其受壓力 P 之容積，以 V_1 代其受壓力 P_1 之容積，則按此律即有以下之方式。

$$P_1 : P = V : V_1, \text{ 或 } P V = P_1 V_1$$

此外尚有一氣體定律，欲使其易於明瞭，須先明瞭絕對溫度表。較攝氏百度表高 273 度，格路塞定律謂，壓力不變，氣體之體積與絕對溫表為比例。故有

$$V : V_1 = T : T_1 \text{ 或 } V T_1 = V_1 T .$$

換言之，定量之氣體，於溫度增高一度時，其容積即增大。其在攝氏表零度時所佔者 $\frac{1}{273}$ ，若以 V_0 代其在攝氏表零度時之容積，則上式即成

$$V_0 : V = 273 : T$$

$$V = \frac{V_0 T}{273} .$$

今就波義耳定律之公式言，

$$(甲) \quad P_1 V_1 = P V \quad (\text{溫度} = T = \text{常數})$$

此式所表者乃溫度未變，同在 T 度時之情形，故 V_1 較其於壓力不變。假設 $P_1 = P_0$ 在攝氏表零度時之 V_0 ，根據格路塞定律即有 $T/273$ 之比例。而 V_1 即可以 $V_0T/273$ 代之。以(甲)式言， P_1 既設等於 P_0 ，則(甲)式即成

$$(乙) \quad P_0 V_0 \frac{T}{273} = PV \quad .$$

(乙)式即為一完全之氣體公式，此式所昭示於吾人者，乃 $P_1 V_1$ 及 T 三數同時變時之定則。惟吾人可將此三值中之一值，使其不變設 $P = P_0$ 則(乙)式即成

$$273V = V_0T \quad .$$

此即格路塞之定律。若使 T 不變等於 273 則由(乙)式即得

$$PV = P_0 V_0 \quad .$$

此即波義耳定律。最後吾人亦可使 $V = V_0$ 。則(乙)式即成

$$\frac{P}{P_0} = \frac{T}{273} \quad .$$

此亦即格路塞 (Gay - Lussac) 定律之所說明者。此

律謂氣體之容積不變，即使氣櫃之容量固鎖不能擴張，溫度加高一度，則此氣體之壓力即增大。其在攝氏表零度時者 $\frac{1}{273}$ ，此現象吾人前已言及。前言將液體自其貯器壓出，吾人不利用液體之飽和蒸氣壓以達之，而藉不能液化之壓力氣以完成之。因溫度降低，飽和蒸氣壓即縮小甚多。反之不易液化之氣體，其壓力則隨溫度之變更並無顯著之漲縮，此事即可由適所言者驗證之。

再就適所列舉之方程式 $P V = \frac{P_0 V_0}{273} T$ 而觀之，此式尙可化爲簡單因 $\frac{P_0 V_0}{273}$ 爲一不變之常數。可以 R 代之則每一克分子 (Grammolekal) 之氣體，其公式即爲

$$P A = R T \quad \bullet$$

此式即謂一克分之氣體所佔之體積，與其氣壓相乘之積，與絕對溫度爲比例。若以一竝爲容積之單位，一氣壓爲壓力之單位，(760 耗水銀柱) 則 R 之值即爲 0.08207。就此值如 $P = \text{氣壓}$ $T = 273$ 則

$$1, V = 0.08207, 273$$

$$V = 22,412 \text{ 升}。$$

此即言一克分子氣體，於一氣壓攝氏表零度時所佔之體積，為22.412升。若在其他較高之溫度，每一克分之氣體其容積則如下表

溫度	10°	15°	20°	25°
V =	23.52	24.05	24.62	25.26

此同一之關係，吾人尚可用另一種之說法以表出之。
 • 即謂一升之氣體，於零度及一氣壓時，即等於其一克分子之0.04463。若以M代此氣體分子量之重量，則一升之氣體，其重即等於 $0.04463 \times M$ 克。如已於常壓常溫時，量知某氣體每升之重量為G克。則其分子量即為 $M = 22.412G$ 克。空氣乃一混合物，本無分子量之可言，今知其每升之重為1.293克，則其平均之分子量應為28.98克。

如G為某氣體於通常狀態下一升之重量，則其氣密即為 $D = G / 1.293$ 。如吾人知其分子量，則其

氣密即爲 $D = \frac{M}{2893} = .034508M$ 。如每磅之重量非在通常狀態之下所測定者，或溫度及壓力皆變，惟 D 及 M 兩數值之比仍爲不變。此因各氣體及空氣，其因溫度及壓力之不同，皆生同一之差變也。第五表即各重要氣體之分子量及氣密，氣體之濃度愈淡，則其氣密與理想氣體定律所應有之值差數愈小。今以在一氣壓及零度時各氣體理論及實際之氣密作一比較，如二氧化碳理論之值應爲 1.518，實際則爲 1.529。氮理論爲 2.447，實際則爲 2.488。故彼此之差數，不過僅爲 0.7% 及 1.65% 而已。此乃指於一氣壓下各氣體皆爲純粹之狀態而言。惟在野外空氣所能達到之濃度，僅爲 2% 故其差數更爲渺小矣。

各氣體於空氣中漸漸稀淡，其所以然者，乃根據其彌散 (Diffusion) 之能力。彌散乃指二氣體自身混合之作用。各氣體彌散能力之大小，與其氣密之平方根成反比例。若就表五中觀之，則祇有易於氣化之物質可適用此定律。在空中成爲烟霧狀小粒之化學戰劑不能適用此律。今以吾人最輕之氣體精酸與最

重之氣體碘代醋酸二烷之氣密相比，其值即為7.8

• 因此其瀰散速度之比。即為 2.8 • 若以精酸與重過其 3.7 倍之光氣相比，則光氣之瀰散速度即較精酸小 1.9 倍矣。欲使精酸瀰散之速度減少，法人曾以金屬之氯化物混入其中。但結果不良，因瀰散乃與混合無關係之氣體分子運動也。

氣體在野外變為稀淡，乃由于空氣之流動，使毒氣全部移動，或因其旋動使毒氣雲即分散。如毒氣雲較空氣為重之時，毒氣雲平均氣密與四周空氣氣密相差之值愈大，則空氣流動影響毒氣之稀散作用即愈小。如毒氣雲較空氣為輕，則毒氣雲即同時可向上下各方變為稀淡。故吾人即宜研究，能使毒氣雲變為沈重之條件，所引用之物質之氣密即為此中之一因。銻氣 (Ammoniak) 及精酸之氣體，於同一溫度時，即較空氣為輕。其餘化學戰劑之氣密，俱較空氣為重。前言液化之氣體沸騰時，能自空氣吸取熱量。今列一表，表中乃計算各氣體於空中達到 2 % 之濃度後所有之比重 (Spezifisches Gewicht) 及冷却之

溫度。

氣體名	2% 毒氣雲於零 度之比重	冷 却 之 溫 度 (空 氣 等 於 零 度)	冷 却 後 之 比 重
銻 氣	.998	4.06°	1.0128
氯 氣	1.0074	3.43°	1.0201
光 氣	1.0121	4.25°	1.0278

自此表即見毒氣雲比重之變更，由於溫度降低之影響也較大，由於摻用氣密不同之氣體而變更也較小。今若就沸點較高之化學戰劑論，則見此類皆為分子量較大之物質，故其氣密即較大。惟其氣密雖較大，但其對於空氣比重之影響甚小。因其蒸氣壓甚小，蒸氣之濃度即小。如吾人欲將此類難於蒸發者之濃度加大，則須引用多量之炸藥，或用他法以增加熱量。因此毒氣雲之比重，因實際應用之緣故受熱量之效果後，比受氣密後，所生之影響為仍較多也。今有一規則，即謂通常砲彈射擊所構成之毒氣團，可與其四周之空氣相並行齊進。惟分子量重而

沸點較低之物質，(如四氯化錫沸點 114° 氣密9)乃爲此規則有利之例外。炸藥裝量增多之熱效，即可補救此例外之情形。外此質輕而沸點甚高之物質，亦爲例外。惟此乃不利之例外，因若增加炸藥裝量，則此質即直向上升也。

(丙)氣體濃度 通常氣體之濃度，多以每立方米內起數表之。此值亦可于一定之溫度算成爲耗汞柱之壓力以表之。氣體體積之百分數，亦可作爲表示其濃度之用。各種不同之表示法，各有其科學及實用之意義。

氣體濃度之重要，今再言之。于研究毒害身體性質時，曾見有無之極限濃度。並見濃度乃作用積之一因子。此皆氣體濃度之重要處。惟吾人此後所常欲研究之問題，即爲各化學戰劑用各種戰具所能達到之濃度爲若干。而此濃度能支持至若干時間，各化學戰劑之飽和蒸氣壓乃此中最關重要之一因。其餘之原因將再分論之。

(丁)蒸發熱 蒸發熱能影響毒氣雲或毒氣團構成時

之溫度。如化學戰劑之蒸發熱，空氣之比熱 (Spezi-
fische Wärme)，及空氣初始之溫度，都爲已知之量
，而所消耗之熱量，盡爲自空氣中吸去，且並無霧
構成，則即可由此計算此氣團最終達到之溫度。假
設此外尙有其他發熱之源同時作用，如彈丸爆炸發
出之熱，則此熱量亦宜包括於計算之中。果氣團構
成時，溫度低於其時之露點，(Taupunkt) 則霧成後
之濃度，即宜求知，以便計算其凝結時所發出之熱
量。由此以觀，即見此類計算所應顧及之情形爲數
不少。但此類計算之價值，則在其能顯示毒氣雲或
毒氣團能否超脫空氣流動之影響，或僅瀰漫於低窪
之地，而不籠罩暴露之高丘。此氣團或易於變淡，
抑或將向上方散去，亦俱可由此覘之。

(戊) 各化學戰劑凝結狀態時之比重 凝結狀態，即
指其液態，或無定形之固態及固體結晶之狀態，各
化學戰劑，引用於前線，俱化爲凝結之狀態，以置
於貯器之內。此貯器以砲彈作例，俱有相當之空隙
，以容納裝填之炸藥及化學戰劑或霧戰劑。(Nebel-

akampfstoff) 化學戰劑之比重愈大，則裝入貯器內者愈多，精酸之比重爲7，精溴化者爲1.9。

化學戰劑之比重，能影響彈丸之總重量，即能影響其彈道。彈丸之殼愈薄，則此影響即愈大。故每一裝有定量化學戰劑之彈丸，即宜確定其特別之射表

• (Schusstafel) 此非吾人所願，故吾人即努力於應用混合化學戰劑，裝入口徑一定之各式砲彈內時。使此各式之砲彈，其重量俱爲相等，如此則砲兵射擊時，由此式之砲彈，轉而引用他式之砲彈，即少困難矣。

(己) 冰點 (溶點 *melzpunkt*) 化學戰劑於通常天候之溫度，即能由液態變爲固態，此事即能引起各種之影響。始也各種毒氣戰具其製造乃以作爲貯盛液體物質之用，若物質化爲固體，則即不能如液體然可以簡單之方法，自貯器中壓出，不僅此也，彈丸中所盛者爲固體。其被炸藥爆破之情形，又與彈丸中所盛者爲液體被炸破之情形相迥異。在液體內，爆炸時所生之壓力，可向四周平均傳布，故盛有

液體之彈丸，祇須少量之炸藥即可使彈殼破裂，依炸藥裝量之多寡，則彈殼可平均裂為少數之大片或多數之小片。若炸藥之裝量恰當，則可使彈殼僅僅裂為少數之破片，而內中之液體亦不過略微散播而已。於此情形之下，液體則純為壓力之傳播者。反之若於固體之內，裝有炸藥，則爆炸之壓力即不能於其內平均傳佈。因壓力經過固體時，即可失去許多。例如於砲彈之內，裝盛沙泥，於彈頭裝置少量之炸藥，炸藥之四週，仍為沙泥所包圍。爆炸時，則彈頭即炸去，與彈頭相接近之彈甲，亦有數片脫去。惟其餘下部之彈甲，仍完好如故，在彈頭部之沙泥，即因之散開。而彈丸本體中之沙泥，仍盛於其內，未改其舊位。欲使盛有固體之彈丸，使其底部亦須破去，則需使炸藥之量增加。惟其炸裂終為不得平均，若彈內所裝者為固體之化學戰劑，則此類不平均之炸裂，對於其作用極為不利。如何補救，其法當於將來述之。

盛有液體之彈丸，如液體所佔去之容積頗大，則其

彈道與盛有固體者不相同，是以彈丸中之裝藥，苟因溫度變遷，即凝為固體，其彈道即變為較遠。因此於引用於常溫可以凝為固體之物質時，即可加入一溶劑。使此裝藥，於冬季嚴寒，亦可保持其液態。今列一表，表內即為在通常天候，溫度所能凝為固體之化學戰劑。

精酸	冰點為	-15°
氯化精		-6°
三個氯代二烷化砷(路委氏第三物)		$+3^{\circ}$
芥氣		3°
炔基溴精代一烷		29°
二炔基精化砷		31.5°
二炔基氯化砷		$38.$

化學戰劑，其作用常可受其冰結之影響。通常之人，設想固體無蒸氣壓，而即以固體之芥氣，遂無因氣體所產生之毒效。實則此一謬見。在冰點時，各

物質於其液體上及固體上，仍施有值量相等之蒸氣壓。在冰點以下，固體之蒸氣壓，其減小之速度，比之其液體較為急速，此外即無他區別。惟人之所以有以前之謬見者，則由於在 13° 度，芥氣之蒸氣壓甚小，以致因其野外後效所發生之濃度，即不能發生毒效。但在密閉之地區，即固體之芥氣在 13° 度，或其下之溫度，仍可藉其蒸氣之效果，發生重大之傷害。惟其對皮膚之作用，則有異乎此矣。傷害皮膚之先決條件，即為沾濕作用。(Benetzung) 二種物質互相接觸，不定即能互相沾濕。水及油之情形如何，凡人俱已知之。在塗有油之表面上，水即流去而不與之沾濕。兩種固體相置於一處，因固體各有定形，更不易使其接觸之處，互相密合。由此已可推見，液體之芥氣，對於皮膚沾濕之作用，較固體之芥氣較易。在芥氣冰點以下之溫度，固體芥氣，因接觸而產生之作用，其時間雖頗長，然其作用之強度則甚弱。惟前所列舉之冰點，乃就純粹之物質而言。平常工業製造之出品，決不能十分純淨

，其冰點即較低。因此通常工業製造之芥氣，其冰點即非 13° 度而為 9° 度。前言化學戰劑中，摻和其他物質，使之於冬季仍能保持所液態，其理亦由於此。果物質因此即能於冬季保持其液態，則其在低溫度仍能對於皮膚有強烈之接觸作用。如其化為固體，而受有強大之壓力，與皮膚相接觸，或因人類之體溫化為液體，則亦有強烈之接觸作用。在芥氣冰點以下，偶爾與芥氣接觸，其危險必小。今對於所述之情形，就軍事之觀點，作一普泛之評衡。吾人即可言，溫度在芥氣冰點以下之時，攻擊者即無受強烈接觸作用之危險。而防禦者，則須嚴密防護皮膚受芥氣之傷害。

今再列舉一表，表內之化學戰劑其冰點在通常天候溫度之上。

溴化萘 52°

綸基氯化二烷酮 ($\text{ClCH}_2\text{COC}_5\text{H}_6$) 49°

亞當氏物 $\text{C}_6\text{H}_4 < \begin{matrix} \text{N} & \text{H} \\ \text{AsCl} & \end{matrix} > \text{C}_6\text{H}_4$ 195°

此類物質引用時，或爲溶劑裝入彈藥之中，或用其他特別之裝置，使其效用得以發揮。

(庚)物質體積與溫度變更之關係 理想氣體，因溫度增高，即按定律膨脹。若氣體之性質與理想狀態有乖差之際，即爲其逼近液體狀態之時。溫度愈低，壓力愈大，則愈現此乖差之情形。於此非理想狀態之下氣體因熱膨脹之量，比理想氣體所應膨脹者爲小。而在同一之溫度，各氣體之膨脹，又各不同其度，由此吾人已可預見。體液因熱，其膨脹必小於氣體之因熱膨脹。若液體之沸點愈高，則其因熱膨脹之量愈小。因其在同一狀態之下，其隔氣體之狀態愈遠。固體因熱膨脹，較液體更爲微小。今以 0° 度之體積爲標準，略舉數例。理想氣體其膨脹之量爲 $\frac{1}{273} = 0.00366$ 。 0° 至 50° 度之氮氣。爲.00235，芥氣者爲.00084。鐵在 0° 至 100° 度者爲.000033。磁器者爲.000008。由此可見，盛有液體之固體貯器，其貯器因熱膨脹，必較內中之液體爲小。如將此貯器幾滿盛液體，得於高溫度時，液體即可完全充滿

貯器。若再提高溫度，則即可發生壓力。壓力能達到若何程度，則須視此液體因被壓之可壓性 (Zusammendruckbarkeit) 及貯器因被壓之膨脹性 (Ausdehnungsfähigkeit) 爲如何。氣體之可壓性爲 1，因在一閉結器具內之氣體，因溫度增高一度，其壓力之增加，即與其壓力不變時，溫度增加一度其體積增加之量相等，蓋同爲 $\frac{1}{273}$ 也。此分數即等於 .00366。惟貯具因溫度而膨脹甚小，尙未計及。液體及固體之可壓性及膨脹能力，比之氣體者甚爲微小。例如若壓力之單位爲大氣壓，則氮之可壓性即爲 .000118。鐵者即爲 0000064。現以滿盛物質之貯器，其內中壓力之升高計算之，貯器被甲之因熱膨脹係數 (Wärmeausdehnungskoeffizienten) 以 a 表之，所盛之物者以 A 表之。貯器之可壓性 (Zusammendruckbarkeit) 以 b 表之，所盛之物者以 B 表之。惟須注意者，壓力加大時，裝入之物即被壓，其體積即縮緊。同時貯器則受壓向外張開，其體積即脹大，貯器於一氣壓時之體積以 V。表之。所盛之物其體積以 v_0 表之。如貯

器滿盛。則 $v_0 = V_0$ 。若溫度及壓力由極小之 dt 及 dp 漸漸變至 t 及 p ，則貯器之新體積即可以下式表之。

$$V_{t,p} = V_0(1 + \alpha dt)(1 + \beta dp)。$$

此式之第一因子，即相當貯器之因熱膨脹係數所產生者。第二因子，則相當於內部之物質壓於貯器被甲上後所產生之膨脹。依同理所盛之物，其體積即為

$$V_{p,t} = V_0(1 + \Delta dt)(1 - B dp)。$$

此式之第一因子，則相當於內部物質自身因熱之膨脹。第二因子，則相當其受壓後因其可壓性所縮小之體積。此類體積之變更，若以微分之平方不計外，則有

$$dv = (v_{tp} - v_0) = v_0(\alpha dt + \beta dp)，$$

$$dV = (V_{tp} - V_0) = V_0(\Delta dt - B dp)。$$

若此貯器能抵抗所生之壓力而不爆裂，則此 dv 應等於 dV 。故吾人即得下列之方程式

$$\alpha dt + \beta dp = \Delta dt - B dp，$$

此式又可變為

$$\frac{dp}{dt} = \frac{(A-a)}{(B+b)} \cdot$$

此式即表示，壓力增加以氣壓爲單位之數值，與溫度增加以百度表爲單位之比例。

自此方程式即見如此二因熱膨脹係數之差愈大，則壓力之增加愈大，固體間此係數之差至爲微小，因之吾人即可於砲彈內，裝填固體之炸藥，而砲彈不致受熱而爆裂。惟氣體及液體之膨脹係數與固體之膨脹係數，則相差甚巨。就曾所列舉之數值觀之，鐵質貯器與理想氣膨脹係數之差即爲.00363。而鐵與氣之膨脹係數差即爲.00232。鐵與液體芥氣之膨脹係數差即爲.00081。更進一步言，貯器及裝填藥物，可壓性之和愈大。則壓力之增加即愈小。故理想氣體與鐵，其可壓性之和爲最大，等於1.00000064。鐵與氣者，即爲.00011864。由此可見氣體因熱之膨脹係數雖大，然其裝入鐵質貯器內，因熱增加之壓力仍爲微小。通常即爲.00363。若以液體之氯氣爲例，則其比例即爲.00232：.000119，即等於溫度一度之增高，即有19.55氣壓之增大。較之理想氣

體者，大至5400倍矣。由此益可見貯器滿盛液體，其危險又爲何如。故此危險必須免除。欲使貯器之外甲加厚，使之能抵抗通常最高溫度下所發生之壓力，此乃難能之事。故吾人即應轉而於裝藥時，不應滿塞，應留相當之空隙，以便液體能夠膨脹。各化學戰劑可壓性之係數，無須盡數知之。吾人可依下列之方程式，以計算貯器總容積中應留之空隙。

$$(A - a) (t_h - t_f) / [1 + A (t_h - t_f)]$$

t_h 爲天候之最高溫度， t_f 爲裝藥時之溫度。例如在零度裝藥，而預計天候最高之溫度爲 50° ，則應留之空隙就氮氣即爲 10% 。就芥氣言，即爲 4% 。如溫度之高未過 50° ，則器內壓力之增加，即等其飽和蒸氣壓之增加，且加其空隙處之空氣因熱發生之壓力，如溫度高過 50° 則壓力之加大即較爲強猛。因此時器內之液體已充滿器內之空隙也，各國之氣候不同，宜測定其可達到之最高溫度，且載明於教範之內，以資遵守。貯器盛有物質，於儲藏即不可使其溫度高過於此可能之最高溫度。此類儲器，不

可置於熱燒器物之旁，亦不可曝於日光之中。吾人已知物品曝於日光中，能較四週空氣之溫度較高。此由於不同之原因，如顏色，表面之反光性，物質之比熱，及其導熱性，外如日光之強度，亦為因子之一。因此曝於日光中之物，欲預言其溫度為如何，則為極難之事。凡貯器之盛有可蒸發之液體者，即宜置於陰處。或溫度不致太升高之室內。如室中空氣易於流通，則室內之溫度，即不致高過室外之溫度。

物質因溫度變更，由一態而變為他態，亦可有體積之增減。惟增減之量，因物而異。物質由固體熔為液體，其體積即增大，因此炸藥或化學戰劑。鎔點不甚高者，裝入彈丸之內，多鎔為液體而裝入之。

(辛)面凝 (Adsorption) 面凝作用，起於兩不同物態之接壤表面。今吾人所欲研究者，即氣體面凝於固體上之現象。此現象由於氣體於其凝結點(Kondensationspunkt)之上，能密集於固體之表面，其密集之情形，有如其在液態時者相同。根據理論之解釋，

在多數情形下，亦能承認此類想像為有理。於討論防護毒氣時，再當詳論其定律。惟此外尚有一二實事，於化學戰劑之作用有關。氣體被面凝吸去之量，因情形而不同。今有一普通之規則，即沸點愈高，則愈易被面凝。雖有例外，但就野外之面凝作用言，則此例外尚無關重要。因有面凝作用，即能使物質野外後效之差異愈大。惟重要之區別，則在辨知何種物質其對氣體面凝之作用較大，及何種地形，能促進氣體之面凝。此種區別，由於各物質化學性之不同。今就各種物質，構成表面之不同一點研究之。物質之表面，與其佔據之體積，有一比例。於一定之體積內，圓球所有之表面最小。其表面與體積之比例為 $3 : \sqrt[3]{V}$ 。若就一立方體言。其每邊之長為 A ，則其表面與體積之比為 $6 : A$ 。若以同體積之圓球及立方體相比，則其體積有以下之等式

$$4\pi V^{2/3} = A^3 \cdot$$

由此即得

$$A = 3\sqrt[3]{4\pi/3} V = 1.612V \cdot$$

而 $6 : A = 3.722 : V$ ，由此即見立方體之表面，較其同體之圓球者大 $3.722 : 3 = 1.24$ 倍。物體之角愈銳，則其形狀與圓者相去愈遠。物體之面，相結成銳角之數愈多，此比例俱愈大，表面粗糙及破裂細密之物體。皆此情形之例也。物體為微小之粒點，亦有廣大之表面。鬆碎之地面，即有一強大面凝作用。至若沙地，其沙粒之表面甚平，故其面凝作用即小。地上之植物須視其葉平坦或有毛與否，其面凝作用即因之而異。衣裳有優良之面凝作用，最強者即為羊毛織成之物，因其纖維甚粗糙也。皮革仍有面凝之性能，惟較小。極平滑之金屬片及兵器，則幾至無此性能。物質有強大之面凝作用，可增長化學戰劑于其表面上之停滯時間 (Verweilzeit)。

面凝作用對於物質之毒害作用，亦有相當之影響。吾人可設想氣體與固體起反應時，總有面凝之作用為之先驅。物質果能生毒效，則須被感應性靈敏之細胞因面凝而吸入，或被細胞面凝後，能轉運入于人體之內部。反之亦有細胞對化學戰劑，有抵抗性

而能吸住此物質，使之不致深入人體。此時即有一保護作用，惟此情形尚未經澈底之科學研究，然為有趣味之問題也。

(壬) 溶解性 (Löslichkeit) 溶解性乃指物質能完全與他物質混合之性能，此現象與表面之大小無大關係。惟表面大，能增進其溶解之速度。物質有無限制之溶度，亦有僅能一定之量能溶解者。化學戰劑多為有機物都可溶于特種之溶劑，或能互相溶解。其溶解度有大至無限者。反之，此類物質，于水中及與水相似之液體中，其溶解度極小。惟氯磺酸，丙烯醛可略溶于水。化學戰劑之溶解性，對於毒害身體作用能有影響。化學戰劑對於有機溶劑之溶解性，能使之藉脂肪腺，(Drüse) 侵入人體。反之，如不能溶於水中，則此類物質即不能藉血脈之循環深入人體，因此則有某種物質，僅能傷及身體一定某部分之細胞。自此以觀，各化學戰劑，其毒害人體之異點及同點，基於其物理之性質，比其基於其化學構造也較多。此事對於受氣體中毒之病狀，於其

理論頗有重要。但無多實際之關係也。由此已可見
水或含水之物質，常可作有防護毒効之用。

中德名詞對照表

Acrolein	丙烯醛
Acetylene	乙炔
Adamsite	亞當氏物
Aethylarsen dichlorid	乙烷二氯化砷
Arsenkampfstoffe	砷質化學戰劑
Benzylbromid $C_6H_5CH_2Br$	溴甲烷烴
Bergmischung	柏爾格混合劑
Blaehung	氣脹
Blasangriff	吹放攻擊
Blaukreuz	藍十字
Brandstoff	燒夷劑，縱火劑
Bromaceton	溴代乙酮
Brom methylathyl keton	溴甲乙酮
Brisanzmunition	爆裂藥

(2)

Brom essigsäureäthylester
 $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br} \cdot \text{Coo} \text{C}_2\text{H}_5$ 溴醋酸乙烷

Chemische Industrie 化學工業

Chemischer Krieg

Chemische Kriegführung 化學戰

Chloraceton 氯乙烷

Chloracetophenon 氯基氯代甲烷酮

Chlorcyan 氯化腈

Chlorkalk 氯化石灰

Chlorpikrin 氯化苦

Chloroform 迷蒙精

Chlorsäurephosphorsäure 氯磺酸

Cyanurchlorid 三聚腈酸

Cyanwasserstoff
(Blausäure) 腈酸

Dampfdruck 蒸氣壓

Diphenylarsen Chlorid	二烱基氫化砷
Diphenyl arsen cyanid	二烱基腈化砷
Dimethyl sulphat	硫酸二甲烱，硫酸二個烱
Detonieren	爆裂
Diphosgen	雙光氣
Ethylen	乙烱
Explosion	爆炸
Einsatz	濾淨器
Filtergeraet	濾淨具
Gasalarm	毒氣警報
Gasdisziplin	毒氣部署
Gaskampf	毒氣戰
Gasschutz	毒氣防護
Gasueberfall	毒氣襲擊
Gaswerfer	毒氣投射器
Gaswolke	毒氣雲
Gasschwaden	毒氣團
Giftwirkung	毒性作用

(4)

Kalk	石灰
Kohlen oxyde	一氧化碳
Kollektivgasschutz	毒氣集團防護
Looslichkeit	溶解度，溶解性
Lungenschaedigende Gase	傷肺氣
Lewisit	路委氏物
Maske	面具
Methylsulphat	硫酸二申
Natronkalk	鈉石灰
Nachwirkung	後效
Nachwirkung auer	後效時間
Nachwirkung im Gelaende	野外後效
Nebelkampfstoff	霧戰劑
Nebelstoff	發霧劑
Nebeltop e	發霧罐
Nebelvorhang	霧幕
Nitrosylchlorid	氯亞硝酸
Phenol	酚醇石炭酸

