

00242

勃拉克·康南特著

最新實用化學

顧均正譯

上冊



訂本

元素及其符號, 原子序數, 原子量表

元素名	符號	原子序數	原子量	元素名	符號	原子序數	原子量		
鋁	Aluminum...	Al	13	26.97	鉬	Molybdenum..	Mo	42	95.95
銻	Antimony....	Sb	51	121.76	鐳	Neodymium...	Nd	60	144.27
氬	Argon.....	A	18	39.944	氖	Neon.....	Ne	10	20.183
砷	Arsenic.....	As	33	74.91	鎳	Nickel.....	Ni	28	58.69
鋇	Barium....	Ba	56	137.36	氮	Nitrogen....	N	7	14.008
鈹	Beryllium...	Be	4	9.02	銻	Osmium.....	Os	76	190.2
鉍	Bismuth....	Bi	83	209.00	氧	Oxygen.....	O	8	16.0000
硼	Boron.....	B	5	10.82	鈀	Palladium....	Pd	46	106.7
溴	Bromine....	Br	35	79.916	磷	Phosphorus..	P	15	30.98
鎘	Cadmium....	Cd	48	112.41	鉑	Platinum....	Pt	78	195.23
鈣	Calcium....	Ca	20	40.08	鉀	Potassium....	K	19	39.096
碳	Carbon.....	C	6	12.010	鐳	Praseodymium.	Pr	59	140.92
鈦	Cerium.....	Ce	58	140.13	鐳	Radium.....	Ra	88	226.05
銻	Cesium....	Cs	55	132.91	釷	Radon.....	Rn	86	222.
氯	Chlorine...	Cl	17	35.457	銻	Rhenium.....	Re	75	186.31
鉻	Chromium..	Cr	24	52.01	銲	Rhodium.....	Rh	45	102.91
鈷	Cobalt.....	Co	27	58.94	銻	Rubidium....	Rb	37	85.48
鈷	Columbium..	Cb	41	92.91	銻	Ruthenium...	Ru	44	101.7
銅	Copper.....	Cu	29	63.57	釷	Samarium....	Sm	62	150.43
鐳	Dysprosium..	Dy	66	162.46	釷	Scandium....	Sc	21	45.10
鐳	Erbium....	Er	68	167.02	硒	Selenium....	Se	34	78.96
鐳	Europium...	Eu	63	152.0	矽	Silicon.....	Si	14	28.06
氟	Fluorine...	F	9	19.00	銀	Silver.....	Ag	47	107.880
釷	Gadolinium..	Gd	64	156.9	鈉	Sodium.....	Na	11	22.997
鋅	Gallium....	Ga	31	69.72	銻	Strontium....	Sr	38	87.63
鍺	Germanium..	Ge	32	72.60	硫	Sulfur.....	S	16	32.06
金	Gold.....	Au	79	197.2	鉭	Tantalum....	Ta	73	180.88
鈳	Hafnium....	Hf	72	178.6	碲	Tellurium...	Te	52	127.61
氦	Helium.....	He	2	4.003	鐳	Terbium.....	Tb	65	159.2
釷	Holmium....	Ho	67	163.5	銻	Thallium....	Tl	81	204.39
氫	Hydrogen...	H	1	1.0080	釷	Thorium.....	Th	90	232.12
銦	Indium....	In	49	114.76	錒	Thulium....	Tm	69	169.4
碘	Iodine.....	I	53	126.92	錫	Tin.....	Sn	50	118.70
銱	Iridium....	Ir	77	193.1	鈦	Titanium....	Ti	22	47.90
鐵	Iron.....	Fe	26	55.84	鎢	Tungsten....	W	74	183.92
氬	Krypton....	Kr	36	83.7	鈾	Uranium....	U	92	238.07
鐳	Lanthanum..	La	57	138.92	釩	Vanadium....	V	23	50.95
鉛	Lead.....	Pb	82	207.21	氙	Xenon.....	Xe	54	131.3
鋰	Lithium....	Li	3	6.940	鐳	Ytterbium...	Yb	70	173.04
鐳	Lutecium...	Lu	71	174.99	釷	Yttrium.....	Y	39	88.92
鎂	Magnesium..	Mg	12	24.32	鋅	Zinc.....	Zn	30	65.38
錳	Manganese..	Mn	25	54.93	鈷	Zirconium....	Zr	40	91.22
汞	Mercury....	Hg	80	200.61					

MG
G643
72

高級中學教科適用

改訂本

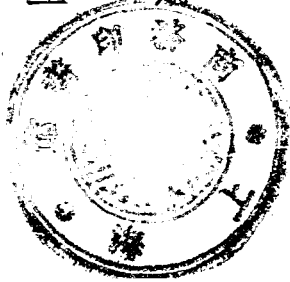
最新實用化學

在近代生活上之應用

勃拉克·康南脫合著

顧均正譯

上册



開明書店印行



3 2169 4613 1

95044

序

化學跟大多數其他的科學一樣，有着飛躍的進步。新的發現不斷在完成，更滿意的學說隨時在建立，工業上的應用日益增多。因此要使教科書與學科攜手並進，就非經常加以改訂不可。

那末著者在這個改訂本中，改動了些什麼呢？

(1) 書中課文都經修正，以期與目前的化學知識相一致，其有關於原子構造的各節，更加以仔細的改訂；對於目前化學在工業上的重要應用，也特加注意。

(2) 爲了達到上述目的起見，書中的插圖，有些已經掉換，有些已經重繪，務使讀者對於當前的化學活動，獲得一充分明晰的影象。

(3) 第三十七章是特地增入的，其說明雖極簡略粗淺，然著者之意亦僅在表示應用化學的業蹟之一斑而已。

(4) 讀者希望以其化學知識應用於進一步的科學工作，例如工程，農業或醫藥等學科的，必須懂得氣體的量度方法，因此我們就插入了這一項教材，作爲本書的第三十八章，因爲這是最易翻檢的地方，至其敘述的方式，亦以便於應用爲主。

(5) 著者鑒於像化學那樣活躍的科學，其術語孳乳日廣，欲使初學者稔習此種術語，殊非易易，術語彙解之增入（見附錄）卽以此故。此項彙解並非用以代替辭典，著者僅希望以此作爲應急之一助而已。

(6) 本書說明與課文中的細小部分，都已更正改善，希望藉此可以增加本書的精確和明晰的程度。

在另一方面，凡由教室經驗證明其確有特色的各點，本版中仍加保留：

(1) 本書仍着重於化學的原理，而以簡明易解之文字出之。化學之應用雖隨年代而不同，但其基本原理，卻始終未變。

(2) 本書試從實驗事實中闡發各種原理，藉以見原理之合乎理性而並非強記不可的。

(3) 本書遇實驗事實似乎需要解釋之處，即採用學說。對於事實與學說間的基本區別，曾特別加以強調。

(4) 把化學運用於家庭、農場或工廠中時，其技術事項愈趨繁複。故本書僅着重牠的結果與所涉及的一般方法。

(5) 由教室的經驗，指出化學跟其他科學一樣，對定律與定義須作返復申述，對計算題亦須加以充分演習。故本書中通體加入問題與計算題。

(6) 一暴十寒是學習上的大忌。經常練習乃治學的要圖。紐約州大學會*答應把所謂“監督試驗”的三組化學試題轉載在這裏，作為複習題的示範，敬致謝意。（下略）

勃拉克

誌謝 本書譯文為適於我國學校採作教本起見，曾儘量插入本國材料，承國內各大化學工廠惠賜照片，除在圖下注明外，特此合併誌謝！

譯者

* 譯注：紐約州大學會(University of the State of New York)為紐約州之大中學校及州圖書館、州博物院等之聯合團體，該會之會員稱為監督(Regent)，對於各在會機構有極大的監督和管理之權。

上册目次

第一章	緒論 化學的領域	1
第二章	物理變化和化學變化	12
第三章	元素和化合物	19
第四章	氧 燃燒 臭氧	28
第五章	氫及其用途	42
第六章	水及其組成 過氧化氫	54
第七章	道爾頓的原子說和分子說	70
第八章	符號 式 原子價	79
第九章	化學方程式和計算法	91
第十章	氯化鈉和氫氧化鈉	106
第十一章	氯和氯化氫	115
第十二章	酸類 鹼類 鹽類	138
第十三章	離子和電子	140
第十四章	原子構造 原子價	154
第十五章	硫和硫化物	166
第十六章	硫的氧化物及其酸類	180
第十七章	碳及其兩種氧化物	194
第十八章	分子量和原子量	214

最新實用化學

改訂本



查理·古德耶 (Charles Goodyear, 1800-1860) 像

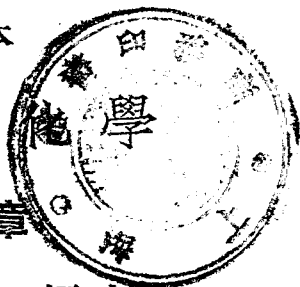
美國發明家，曾經在近百年前發現硫化橡膠之法，因而使橡膠成爲日用的必需品。據說，當他在麻薩諸塞州 (Massachusetts) 胡本市 (Woburn) 的廚房中工作時，偶然把一些橡膠與硫的混合物掉在燒熱的爐子上，就使黏軟的生橡膠變成硬度增大，塑性減低，而更爲耐用的橡皮。

改訂本

最新實用化學

第一章

緒論 化學的領域



1. 【日常生活中的化學】‘我們日常所用的無數物品，其中有不少的東西，在不多年以前，決非金錢所能買到，因為那時候還沒有這些東西。這些東西大都由微賤的地方出身，由平凡的原料造成，這種原料在一般人看來，絕不會想到那裏面藏着驚人的富源。但是到了現在，舉凡農場、礦山、森林、甚至空氣與水中所產出的東西，雖其價值甚低，可是一經用魔術般的化學方法來處理，都可以變成極端美麗，特別有用的物品了。

‘又黏又臭的煤焦油，現在已經用來製成鮮豔的染料、益味的香料、芬芳的香水和醫病的藥物；棉子上的細毛（棉花），現在可以製成精美絕倫的裝飾品、光彩奪目的塗料、富麗華貴的綢緞、經久耐用的家具以及猛烈無比的炸藥；又如骯髒的礫石可以用來製五彩的瓷釉；石灰和煤炭可以用來製人造橡皮；松枝可以用來製樟腦；甚至空氣和水，也都用來做肥料、炸藥、發動機燃料、抗凝劑（antifreeze）和嗅藥（smelling salt）等的原料。並且化學的奇蹟沒有止境，現在還只在開始之中。’

上面這幾句話，是美國故化學工程師學會（American Institute of Chemical Engineers）會長利特爾博士（Arthur D. Little）

在1919年所說的；他現在雖然已經逝世，可是這幾句話至今仍舊是很正確的。其實按照過去二十年中的進步情形看來，使我們深信凡能明瞭化學而且善於利用化學的國家，必有不可限量的前途。

2. 【古代化學的發軔】我們現在所知道的化學，雖然不過百餘年的歷史，可是牠的發軔日期卻在幾千年以前了。事實上古代的希臘人，羅馬人，特別是埃及人，對於金、銀等等金屬，早已具有充分的實際知識。他們已經懂得怎樣從礦石裏提鍊銅、錫、鐵、鉛和水銀的方法（圖1）。他們的醫生，已經知道怎樣利用動、植、

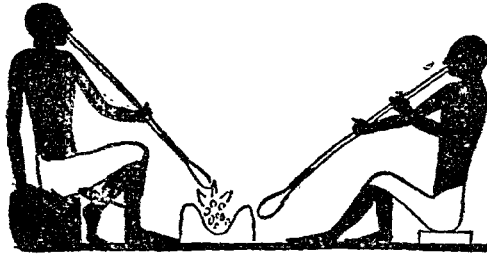


圖1. 金字塔建築時期的埃及冶煉匠

礦物的原料來製造藥品。他們應用植物性染料來染紡織品。他們對於發酵的過程和酒變為醋的方法，非常熟悉。瓷器和玻璃的製造，已經發展而成

為一種美術。不過這些工作，不外是一種手藝，他們對於這種方法的所以然，卻所知極少。

我們現在對於物質構造的若干基本觀念，應該歸功於古希臘人的啓示。小亞細亞邁利塔斯城(Miletus)的泰利斯(Thales)，是個哲學家，生當公元前六百年左右，他以為‘水’是基本的元素。其他的希臘哲學家也以為各種物質都可以用‘空氣’和‘火’經適當的變化而造成。後來亞理斯多德(Aristotle, 384-322 B. C.)假定基本元素共有四種，即火、水、空氣和土。並且當時還有人以為萬物都可以由微小的不可再分的質點融合而成的，這就是現代原子學說的發端。

3. 【中古時代的化學】對於這些古代的化學理論，在此後的幾百年中，一直沒有人去證實牠們的是真是偽，因此並無進步可言。實在他們以為那種工作是不必要的。並且這時期的學者，都致力於變賤金屬為貴金屬的工作；這一種化學，就是世俗所稱的鍊金術*(alchemy)。鍊金術士結果雖然不會達到目的，但是他們所發現的很多事實，對於日後的化學，卻極為有用。那時的亞力山大城(Alexandria)就是鍊金術士活動的中心。在第八世紀時，阿剌伯人對於鍊金術的研究，似乎比世界上其他民族為進步。由阿剌伯各大學的傳授，鍊金術遂漸漸傳入歐洲，其中如意大利、法蘭西、德意志及英吉利等國，都受到影響。所以有許多化學名詞，如 alcohol (醇)和 alkali(鹼)等等，都由阿剌伯文演變而來。

這時候，物質構成的理論，發生了一種顯著的變化。按照當時新的假說，認為元素只有三種——即‘水銀’‘食鹽’和‘硫黃’；又給這些元素選用了神祕的符號。但是後來因為所有的化學家依舊在忙着尋找變鉛、銅等金屬為金、銀的哲人石 (Philosopher's stone)，所以雖然又經過了好幾百年，化學依然毫無進步。不過這時候鍊金術的末日已經漸漸臨近了(圖 2 及圖 3)。

4. 【化學的復興】十六世紀初葉，瑞士出了一位名叫巴拉塞爾薩斯(Paracelsus, 1493-1541)的化學家，他毅然決然撕毀了昔日的化學理論，並且把已往的化學著作當做無用的廢物，而付諸一炬。²這位科學界的先鋒，曾說化學的主要目的，不是去尋找變鉛鐵為金銀的哲人石，也不是去找延年益壽的‘不老丹’(elixir)，牠的用處，是要去研究和配製治病的藥料。他不斷地反對當時通行的醫學，並且激烈的主張，凡要行醫的必先學習化學。這樣一來，他不僅使迷信的醫學，一變而為合理的醫學，並且實實在在

* 譯注：鍊金術依照部頒物理學名詞應稱‘變金術’。惟鍊金術一名習用已久，故仍舊名。

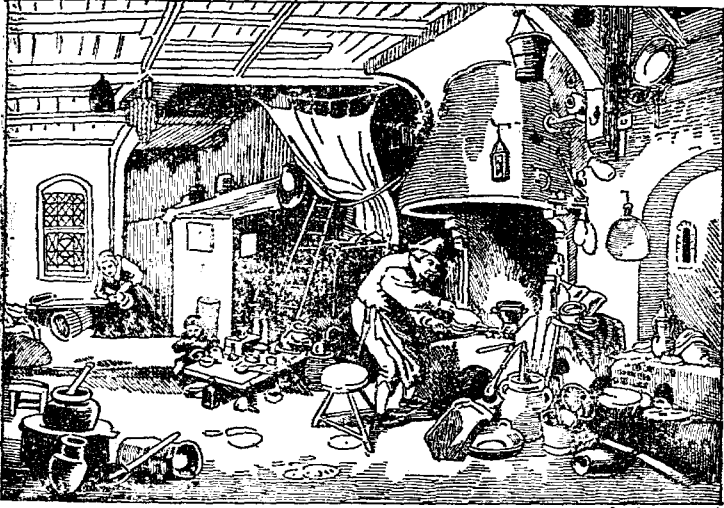


圖 2. 鍊金術士的工場

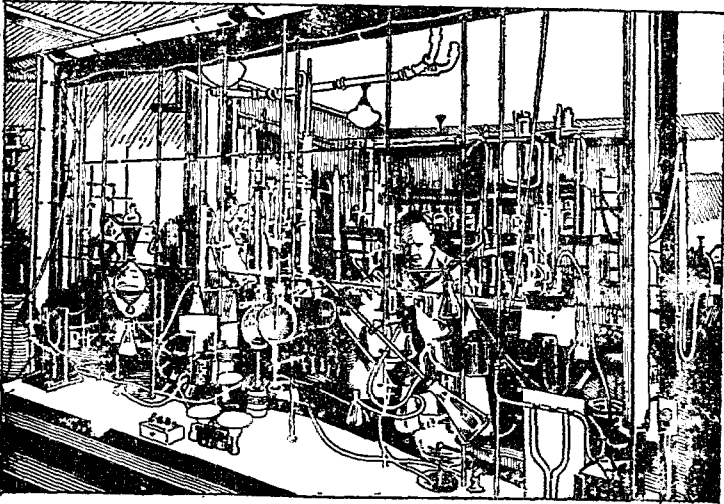


圖 3. 現代的工業化學實驗室。試將其中的設備，同鍊金術士的相比較

爲化學的研究築了一條平坦的大道,以理智做着基礎。

在巴氏的偉大的後繼者中,有一位名叫凡·黑爾蒙特(Van Helmont, 1577-1644)的,他將畢生的光陰耗費在不魯捨爾(Brussels)城外一個實驗室裏,從事化學的研究和科學的著述。他大概是第一個區別空氣、氫、二氧化碳和沼氣(marsh gas)的學者。化學語彙中‘氣體’(gas)這個名詞,實在也是他所加入的。在他以前,化學家並不認識氣體是物質。

5. 【科學的化學之發軔】到了十七世紀後半葉,由於歐洲學術的進步,引起了化學上一個很重要的變化。在這時以前,化學不過是醫生和冶金工人的工具。自此之後,化學纔成爲一種純粹科學,所謂純粹科學,就是說,牠的目的在增加我們對自然的智識;而不問研究的結果有沒有實用。波義耳(圖4)有時被尊爲科學化學的創始人,他的大著懷疑化學家(*The Sceptical Chymist*)一書,1661年在倫敦出版。在這本書裏,波氏對於希臘哲學家的限定元素爲四種,以及後來的鍊金術士的限定元素爲三種,認爲都毫無理由。他說,凡一種質素*不能



圖4. 波義耳像

(Robert Boyle, 1627-1691)

在化學史上,波氏爲區別元素與化合物的第一人。此外,波氏又致力於研究壓力對於氣體體積之效應

* 譯注: substance 與 matter 兩字,意義有別,但我國通常都譯爲‘物質’不無混淆。按 substance 係就物之成分言,其意義大都是化學的;稱 matter 係就物之實質而言,其意義大都是物理的。本書爲表示區別起見,特把 substance 譯爲質素。參看 §18。

分成兩種或兩種以上的成分的，化學家都應當稱牠為元素。

這意見和我們現在的見解十分接近，可是在那時候的化學家看來，其反動之烈，是我們所意想不到的。波義耳與牛頓(Sir Isaac Newton)同時，但是他的工作沒有牛頓那樣地立刻得到學術界的支持。然而他所創的研究方法，卻自此就為化學家所採用，直到現在。波氏又首先推重歸納的推理的價值；所謂歸納的推理，是指從實驗事實出發，再由正確觀察而推得結論的方法。

6. 【十八世紀的化學】到了十八世紀，化學家就很快地向前跨着大步，這一方面是由於技術的進步，一方面是由於交通工具的改良。各地的科學家，可以把各人研究的結果，彼此通報，以收互相切磋之效。以下各章，將縷述此期中化學發展之梗概，其中最著者，如布拉克(Joseph Black, 1728-1799)是研究灰石及生石灰的組成的；利斯特利(Joseph Priestley, 1733-1804)由加熱紅色的水銀煨渣(即氧化汞)而單離空氣中的活潑部分(氧)；卡文提什(Henry Cavendish, 1731-1810)，是以仔細研究各種氣體出名的，其中尤以利用精確度量來區別各氣體性質的方法，以及發現水及硝酸的組成，最為重要；舍雷(Karl W. Scheele, 1742-1786)是瑞典的藥劑師，他雖然家貧如洗，卻是一個非常成功的實驗家，他發現了氯、氧、氨、氯化氫以及多種有機酸；拉發西埃(Antoine L. Lavoisier, 1743-1794)應用了天平，使世人對於燃燒的真實現象，得以明瞭；此外又如道爾頓(John Dalton, 1766-1844)是教友派學校的教師，他建立了原子說的輪廓，說明了質素如何結合而成為化合物。

7. 【化學與近代生活】在我們進而研究化學科學發達的詳情以前，讓我們先來看一看化學對於世界進步有着怎樣密切的關係。

有許多人以為化學家不過是一個藥劑師，他是替醫生配方

的。固然，化學家確曾配成許多的人造藥，就某種目的而論，甚至比天然的更好，因而代替了天然藥。譬如從前牙醫生用古柯鹼 (cocaine) 作局部麻醉劑，以解除拔牙時的痛苦，可是後來化學家製出了奴佛卡因 (Novocain)，——奴佛卡因是一種人造藥，牠沒有古柯鹼那種不快的後效，所以牙醫生就用奴佛卡因代替了古柯鹼。爲了要防止應用奴佛卡因所引起的出血起見，他又加一點副腎素 (Adrenalin) 在內，這副腎素也是由人工製造的。

在從前，我們的染料如靛藍之類，是從植物中取來的。但是現在都用幾種比較簡單的原料，化合而成（即所謂合成 [synthesis]）。其實人造染料比植物性染料進步得多。牠們的優點，第一是不褪色，第二是顏色的種類更多。

在冶金學上最重要的化學發現，恐怕要算鋁了；鋁是一種由泥土中得來的元素。化學家經過三十餘年的長期實驗，最後纔獲得一種經濟的製煉法，沿用至今。還有一種金屬，直到十九世紀方纔發現，牠的名字叫鎂。這鎂，現在已經能用電解法來從事大量製造了。鎂和鋁的合金叫鎂鋁齊 (magnalium)，有極大的強度，且比鋁輕，所以是製造飛機汽車的重要原料。

還有些金屬，如鎢及鉬，以前都認爲是實驗室中的珍玩，現在也要謝謝化學家辛勤的研究，已在商業上成爲電燈絲和所謂特種鋼的原料了。

化學家對於玻璃的製造，也有很多的改進。現在我們有一種能耐高熱的玻璃，適於做實驗室和廚房用的器皿。另有一種派來克斯玻璃 (Pyrex glass, 圖 5)，質地堅硬，即遇驟冷或驟熱的變化，也不致破碎。

化學對於農事方面，可說是有着最大的貢獻，因爲化學家已知何種農作物需要何種養料，從而得以決定何種農作物應施以何種肥料（圖 6）。當化學家發現智利的天產肥料硝酸鈉產量有

限,不久就快要涸竭的時候,便奇妙地用空氣中所含的元素來製成了這種肥料。

今日化學家最重要的工作,乃在留意我們食物的供給。飲用水和牛乳,必須經常檢查是否清潔,而食物的‘贗假’ (adulteration),也得靠化學家不厭不倦的警戒,纔能防止。

8. 【化學的教育價值】 從我們週圍的世界中探索新事物,其本身就是一件最高貴的工作。但是我們研究化學,除了因為化學家的發現對於社會有重大的貢獻以外,

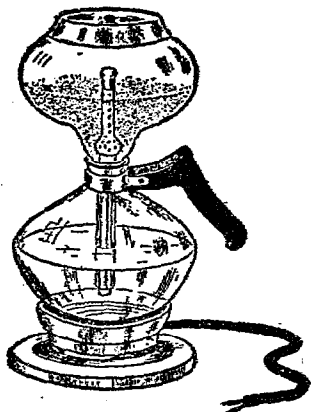


圖 5. 用派來克斯玻璃製造的咖啡壺,用電爐加熱



圖 6. 美國美恩州 (Maine) 馬鈴薯田施用人工料肥後的收穫

還有其他的價值，就是我們可以開始獲得化學所代表的科學思想方法。要獲得這種思想方法，必須有面對現實，絕不為先入見所濛蔽的習慣，這種習慣是有不可估計的價值的。並且在到困難的時候，使我們勇往直前的那種熱情，與尋求可能的錯來立即加以改正的那種習慣的衝動，都是世人公認為科學精的一部分。總而言之，倘若我們能誠意地研究化學，我們多少以獲得一點研究問題的科學方法。正確的觀察與實驗的依歸乃是研究這種科學的先導原則。

我們的格言是不輕信‘書本上說的這樣那樣’，而要‘讓我去親自去發現如何如何’。發現的方法，往往取下列各種步驟：一，我們把事實發生時的情形，加以仔細的觀察，然後把這種事搜集起來；第二，把事實分門別類，並且根據已知的事實，試加解釋；第三，我們創立一個學說，或假想，使此學說能說明新發

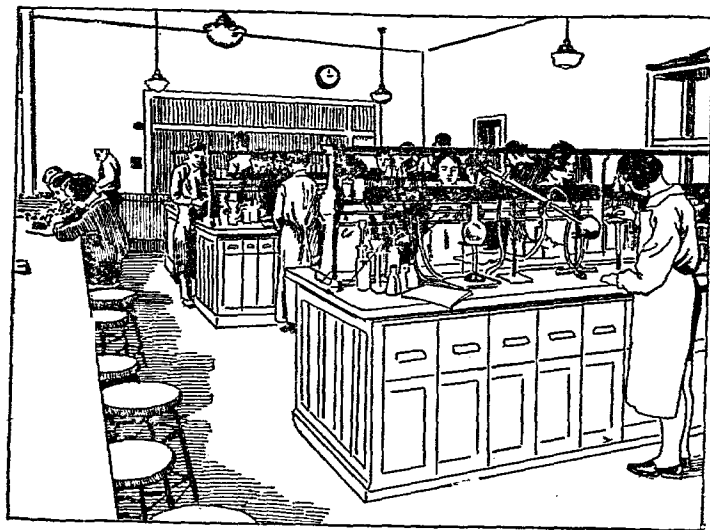


圖 7. 高級中學化學實驗室

的事實；最後，我們再搜尋更多的同類事實的數據(data)，以與早先實驗中所得的事實相比較。倘若我們的理論不很切合事實，我們就得加以修改，同時搜集更多的數據來證明這些事實。我們當然不希望應用這種實驗方法來學習一切，這是太費時候了。不過，我們在實驗室裏研究這個動人的題目時，卻無疑地可以窺見科學家研究問題的方法，並且可以學習他運用心智的習慣與思維的方法(圖7)。

第一章摘要

【古代化學史】 古代化學史可分為下列四期：

(a) 自上古時代至耶穌紀元為止。其間埃及人、希臘人和羅馬人都知道應用普通金屬如銅、錫、鐵、鉛、水銀等，以及比較少的金屬如金、銀等。他們又知道應用植物性染料。至於陶瓷和玻璃已成為一種美術。

(b) 公元1500年以前的初期，鍊金術士消耗大部分的時間和精力於尋求變賤金屬為貴金屬的哲人石。

(c) 公元1650年以前的後期，鍊金術士在尋求不老丹，並配製及試驗新質素，以供藥用。

(d) 科學的化學自波義耳(1627-1691)開始。

【化學與近代生活】 化學家給我們的有價值的質素如下：

(a) 染料——靛藍之合成。

(b) 藥料——古柯鹼和奴佛卡因。

(c) 金屬和齊(合金)——鎂和鋁，鎂鋁齊，鎢和鉬，特種鋼。

(d) 玻璃——派來克斯玻璃。

農業化學包含土壤分析和肥料製造。

各文明國的市、縣、省及中央政府，都設立專司檢查食物和飲料的機關。

【化學的教育價值】 學校中教授化學的主要目的，是使學生學習‘科學的方法’，亦即一切取決於實驗。其次的目的，是使學生明瞭近代生活中必需的某種化學藥品之性質、製法和用途。

問 題

1. 試舉出古人所熟悉的金屬五種。
 2. 在鍊金術時代，發現了哪幾種元素？
 3. 鍊金術士將金屬分做‘賤’、‘貴’兩種，試解釋之。
 4. 舉出自己家裏所有的五種物品，是在以前鍊金術士的家裏所沒有的。
 5. 誰把‘氣體’這個名詞加入到化學名詞之中的？
 6. ‘元素’的正確定義，最初是由誰定出來的？
 7. 試舉出五位對於十八世紀化學的發展有大貢獻的人物。
 8. 試舉出幾種近代生活中所用的特殊玻璃。
 9. ‘現代普通平民的生活享受，勝於百年前的帝王’。請把這句話予以證明。
 10. 怎樣의思想和行動的習慣，足以表示科學的思想方法之特性？
- * * *
11. 何謂歸納的推理？
 12. 哪一種染料在以前是從植物得來的，而現在是用化學方法製造的？
 13. 鍊金術士沒有尋得哲人石和不老丹，他們也發現其他有價值的東西嗎？
 14. 賤金屬有用，還是貴金屬有用？一切金屬中最有用的金屬屬於哪一類？
 15. 試舉出兩種為化學家所製造成功的藥物對於牙醫生和一般醫師都十分有用。
 16. 鍊金術士割傷了手指，他用下列哪一種藥品？(a)紅藥水(即色素汞(mercurchrome)的水溶液)？(b)碘酒(碘酊)？或(c)藥膏？
 17. 你覺得中世紀的‘水銀’、‘食鹽’和‘硫黃’的三元素說，比之古希臘人的‘土’、‘空氣’、‘火’和‘水’的四元素說，有否進步？試解釋之。
 18. 試看圖2鍊金術士的工場設備，(a)哪幾種儀器是你認識的？(b)他怎樣加熱？(c)他如何吹火？(d)他有電流用嗎？(e)他有煤氣用嗎？(f)他有玻璃管用嗎？
 19. 化學對於近代生活上的應用，除本書所舉之例以外，請從其他書本上再舉數例。
 20. 近代利用化學方法所發現的金屬，(a)哪一種用於飛機的製造？(b)又哪一種用來製造探測同溫層氣球的吊艇？和(c)白熾電燈？

第二章

物理變化和化學變化

9. 【物質的三態】 誰都知道：水經充分冷卻，就凝結為冰，一經煮沸，就化為水蒸氣。要是我們把冰、水、水蒸氣研究一下，就會發現牠們的成分是一樣的。這三種形體——即固體(solid)、液體(liquid)、氣體(gas)——就所謂物質的三種物理狀態(three physical states of matter)。只要狀況適當，除水以外，其他的質素也都能呈這三種狀態。試以硫黃為例。硫通常為一黃色的

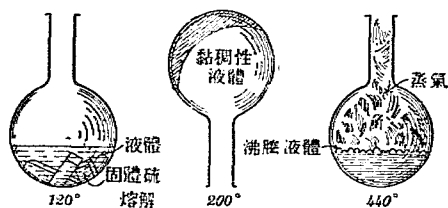


圖 8. 硫的固體、液體和氣體

固體。但經加熱後，就熔融而成為黏稠性的液體，如繼續加熱，則又變成氣體(圖 8)。就是最普通的空氣，也能夠被冷卻而液化，若再繼續冷卻，就變成固體。可見

質素的物理狀態的變化是不影響到牠的成分的。這僅是加熱或冷卻的結果。

10. 【物理變化】 上述的狀態變化也可以顛倒過來，用化學的術語來說，是可逆的(reversible)。譬如除去水中的熱可以使之凝結成冰，把冰加熱可以使之熔解為水。同樣，我們如果冷卻硫的蒸氣(氣體)，就可得到液體的硫，如果冷卻熔融的硫，就可得到固體的硫。像這樣的狀態的變化，就稱為物理變化(physical change)。其他的物理變化，例如：使電流通過鉑絲，鉑絲就

變成白熱；但是冷卻後，卻又回復原來的狀態。

11. 【常見的化學變化】 誰都知道，木材燃燒，就產生大量的熱，原來的木材是全部消失了，剩下的只是一些灰燼。這是一極平常的事情，通常我們總不會去想一想牠的意義。試想我們現在既已不再看見原來的木材，那末在木材燃燒的當時，顯然已發生了某種的變化。還有一個同樣顯著的變化，假使我們讓一段鐵，例如鐵軌，曝露多時，就見牠起初生殼，其次碎裂為棕色的粉末，即所謂鐵銹。在上述事例中，像木材和鐵等盡人皆知的質素，已當面失其所在。這些就是我們所謂的化學變化(chemical change)的例子。木材的腐爛，牛乳的變酸，肉類的臭腐，也都是化學變化常見的例子。還有如汽車機筒中汽油的爆發，照相閃光燈泡中鋁箔的突然燃燒(圖 9)；以及礮彈的爆炸等都是。在所有這些例子中，必有某幾種物料消失，某幾種新物料產生。在每一個例子中所產生的新物料的特性，顯然是和原來的物料不同的。



圖 9. 照相閃光燈泡

12. 【化學變化的經過】 把幾個典型的化學變化的經過來仔細觀察一下，倒是很有興味的。

假使我們用幾隻小鐵釘來投在一種叫做硝酸的液體中(圖 10)，就見鐵很快地溶解，而生成一團棕色的煙霧。我們若把這棕色的液體放在火焰上加熱蒸發，就見最後剩下了一種棕色的固體(圖 10)。我們可以清楚地看到，這固體並不是原來的鐵。牠是和鐵截然不同的一種新物料。

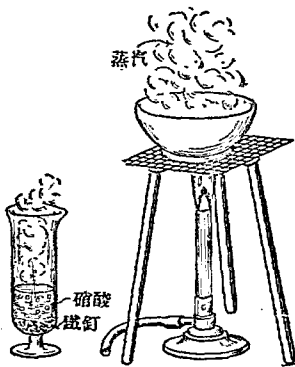


圖 10. 溶鐵釘於硝酸，再蒸乾之

假使我們在一隻燒杯裏倒些糖溶液，再用

一些濃硫酸^{*}來倒在這溶液的上面，就可見到一種顯著的變化（圖 11）。一大堆黑色的泡沫立即發生出來代替了糖。如果我們把泡沫中的黑色固體拿出來檢查一下，我們將找不到原來的糖了。

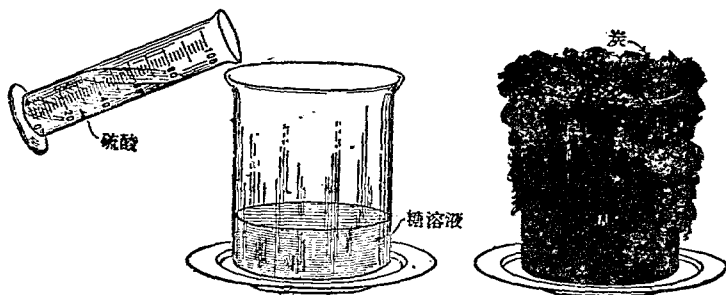


圖 11. 用濃硫酸使糖焦化

用少許研細的硫粉和鋅粉[†]混合了積成小堆。這混合物如與火焰相接觸，就立即發光，散出白色固體的煙霧。這時候我們又找不到原來的硫和原來的鋅，而只剩下些白色物質，叫做硫化鋅 (zinc sulfide)。

在每一個化學變化中，總有一種或數種的物料消失，一種或數種的新質素造成。因為在化學變化中，新質素由舊質素造成，又因為一個元素通常不能直接變成別的元素，可見化學變化顯然只是各元素的重行排列而造成新的結合。

我們知道，在化學變化中常常產生熱或吸收熱，又常常發出光。

13. 【我們怎樣認識物料】 我們知道灰燼不同於木材。我們又知道溶鐵釘於硝酸所生成的棕色固體，不同於金屬鐵。在作這樣的判斷時，我們是不自覺地利用了關於木、鐵等普通物料 (material) 的形性的日常知識。要識別一枝木棒和一條鐵桿，即使在木棒上塗了黑色的油漆，也沒有人會覺得什麼困難的，木材入水即浮，而鐵卻下沈。鐵能被磁鐵吸引，木材卻不被吸引。木

* 以用 60 克的蔗糖和 60 立方厘米的濃硫酸較為便利。

† 鋅粉的重量，須約為硫粉的兩倍。

材容易着火，鐵卻不能燃燒。這種關於某一物料的特徵，就稱為性質(property)。對於任何特殊物料，我們只要知道牠的許多種性質，就可以認識牠們，辨別牠們。

例如，水的性質是怎樣的呢？我們都知道，潔淨的水是無臭無味的液體，通常是無色的，積厚了則呈藍綠色。水在標準壓力(760毫米)下，於華氏 32 度(或攝氏零度)時凝結(freeze)，於華氏 212 度(或攝氏 100 度)時沸騰(boil)。不純粹的水，通常都在較高的溫度沸騰，較低的溫度凝結。牠的最重要的物理性質恐怕要算是密度(density)。設在 4°C. 時，有體積為若干立方厘米的水，如果我們用克來計量，就會發現一立方厘米的水剛好重一克。如果我們計量已知體積的汞(水銀)，就可發現一立方厘米的汞計重 13.6 克。所以就一般而論，我們不妨說，任何質素的密度就是單位體積的重量。因為在化學實驗室中，我們總是用克來表重量，用立方厘米來表體積的；所以我們又可以說，任何質素的密度就是該質素一立方厘米以克計的重量。例如，鋁的密度是每立方厘米 2.70 克，鉛的密度是每立方厘米 11.34 克。同樣，鋁的熔點是 658.7°C.，鉛的熔點是 327°C.。由此可知，物料的某種性質是可以數目來準確地決定和表示的。

14. 【化學變化的特性】 取研細的硫粉和鐵屑*各少許。硫粉色黃，而質輕，能溶於一種叫做二硫化碳的液體中。鐵是沈重的灰色固體，不溶於二硫化碳，卻容易被磁鐵所吸引。試把這兩種物料依照硫二鐵一(體積)的比例混合起來。然後把這混合物放在試驗管裏，置火罩上加熱(圖12)。不片刻，就見有一流輝光蔓延於全管。這時候你即使把燈火移去，這輝光仍會繼續若干時，不致熄滅。顯然，試管中已發生了足以產生這熱和光的事。如果我們把試管擊碎，檢視其中的固體，我們就將見到這是一種堅硬的黑塊。如果我們把牠磨成細粒，我

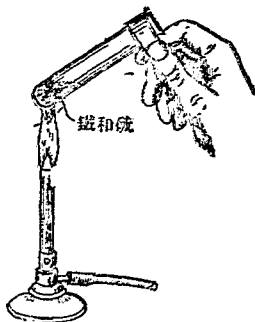


圖 12. 加熱鐵和硫

* 鐵的重量須約為硫的重量之一又四分之三。

們將發現他們沒有一類具有硫或鐵的性質。那就是說，牠們都不溶解於二硫化碳，都不被磁鐵所吸引。

在這實驗中，鐵和硫兩種質素都已消失，卻生成了一種新質素稱爲硫化鐵 (iron sulfide)。我們只要仔細地注意到原來的物料的性質，和新產生的物料的性質，就可以承認這些事實。

15. 【化學變化的另一特性】化學變化的一個極重要的例子是煤的燃燒。這現象之所以爲化學變化，顯然是由於下列的種種理由：(a)產生新質素，即從煙囪裏上昇的煤煙以及燒剩的灰燼和煤渣；(b)產生熱；(c)不能再從生成物中提煉出煤來；還有，(d)殘留物的重量較燃燒的煤爲輕。但是我們必須進一步去追究化學變化中的這種顯著的重量變化，這是否表示有一部分的煤已經消滅了呢？從煙囪裏散失掉的煤煙究竟有多少重量呢？這個特別的實驗是不容易做得準確的，所以我們要設計一個實驗，使化學變化在一個密閉器裏發生。

16. 【化學變化中總重量不變】

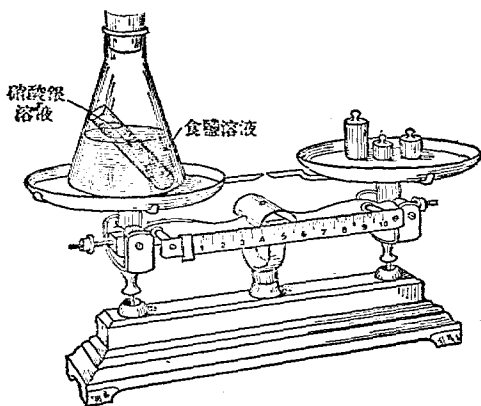


圖 13. 化學變化中總重量不變

我們可以選取任何兩種質素，只須於合併後能立即互相作用的就行。例如，我們取食鹽溶液 25 cc.，放在一隻錐形瓶裏，又取硝酸銀溶液少許，倒一個短試管裏。然後把試管插入瓶中，如圖 13 所示，並小心地把瓶子蓋緊，並測其重量。於是把瓶子傾斜，使兩種澄清的溶液相混，即生成一種白色的固體質素氯化銀。這化學變化使溫度略微升高。當瓶子冷卻後，再測其重量，就見牠的重量並沒有變更。

好許多這樣的實驗都經精密地做過了。結果表示：在每一化學變化中所生成

的全部質素的總重量與參加變化的全部質素的總重量，恰恰相等。這就是所謂物質不滅定律(Law of Conservation of Matter)，可以簡賅地敘述如下：

物質*不能創造，也不能消滅。

科學上的定律，只是業經多數實驗證明了的一般事實之概括敘述。牠又是某種物料在某種狀況下的行為方式之記述。

第二章 摘要

【化學】 化學是討論物料的組成及其所起的變化的學問。

【性質】 物料的性質就是藉以識別物料的種種特性，如顏色、硬度、滋味、密度、溶解度、熔點及其化學行為等都是。

【三種物理狀態】 物質的三種物理狀態是固體、液體和氣體。任何質素所呈的狀態，全視牠本身的性狀和牠的溫度而定。

【化學變化】 化學變化的主要特點是：

1. 生成新質素。
2. 常常發生熱和光。
3. 要從生成物中取回原來的質素，通常是非常困難的，有時簡直是不可能的。

【物理變化】 在物理變化中沒有新質素生成。這變化通常容易逆行，把質素回復原來的狀態。

【物質不滅定律】 化學變化中所生成的全部質素的總重量與參加變化的全部質素的總重量，恰恰相等。

問題

1. 怎樣使水顯現物質的三種物理狀態？
2. 仔細地說明物理變化的意義。舉出課本中沒有提到過的例子五種。

* 物質 (matter) 係泛指一切且有重量、占有空間的東西。

3. 列舉用以識別質素的五種重要性質。
4. 如有砂與糖的混合物,你將怎樣使牠們回復純淨的和乾燥的狀態?
5. 你將利用哪些性質來區別下列物品: (a)銅線與鐵線, (b)木與鐵, (c)鋁與銀, (d)白糖與麵粉, (e)水與汽油。
6. 要從黃色的玻璃粉末中分離出硫酸粉末,用什麼方法?
7. 舉出幾種各物料共通的性質。
8. 舉出五種常見的化學變化,須為本書中所未述及的。
9. 以鎚擊鐵,鐵即發熱。這是否為化學變化? 試說明其理由。
10. 擦火柴時,同時發生熱和光。這是否為化學變化? 試說明其理由。

* * *

11. 一切物料都能顯現三種物理狀態嗎? 試加以解釋。
12. 擦亮的鎂和擦亮的鉛外觀一樣,若各取一立方英寸,在不損壞各質素的條件下,你怎樣去區別牠們?
13. 下列的幾種有關於食物的操作,哪一種是化學變化,哪一種是物理變化,各說明其理由: (a)炙羊腿; (b)湯加熱; (c)消化食物; (d)溶解糖在咖啡茶中; (e)吸紙煙。
14. 樟腦放在衣服中,漸漸失其所在。這是物質不滅定律的例外嗎? 試加解釋。
15. 試抄錄下文,並填補其中的缺字:科學上的定律只是業經許多____證明了的一般____之概括敘述。牠又是某種物料在某種____下的____方式之記述。

第三章

元素和化合物

17. 【什麼是化學藥品】 在化學實驗室裏所用的物料，我們通常稱之為‘化學藥品’(chemicals)。其實，凡是在實驗室裏所用的任何質素，即使也用在家庭裏或工廠裏，我們仍可稱之為化學藥品(圖 14)。例如金、糖、水、鹽、錫、鋅、硫等，在化學實驗室裏，

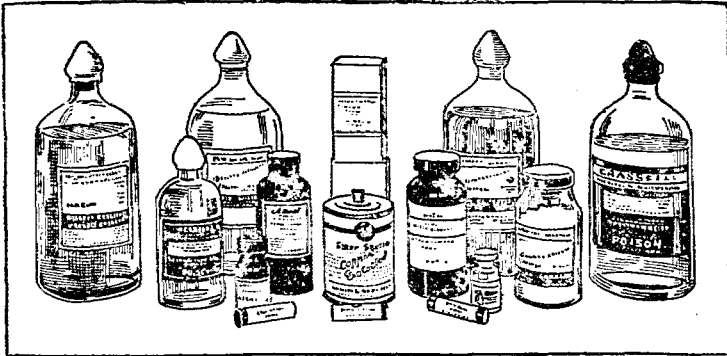


圖 14. 幾種普通的化學藥品，如硫酸、鹽酸、硝酸；氫氧化銨；鋅粒、銅片；氫氧化鈉；醚；硫酸銅；汞

稱為化學藥品；而其中如糖、鹽、水等，在廚房裏，卻變成食品了。化學藥品在運輸的時候，壓縮氣體通常都裝在鋼匣中，結晶質素都裝在廣口瓶中，液體都裝在狹口瓶中。我們在研究化學的時候，將要碰到許多的質素，這些質素現在雖然只當作化學藥品看待；但是將來一定可以證明牠們對人類有着直接或間接的價值。要把化學家所用的無數物料，找出一個井然的次序，而要簡化研

究，我們必須先來學習物料的分類方法。

18. 【質素和混合物】 試取花崗石和普通的混凝土加以考察，即可發見牠們同是由數種不同的質素所造成的。花崗石裏有三種礦物——即石英、長石和雲母。若把花崗石搗碎，這三種礦物就各自分離。普通的混凝土是用水泥、沙和碎石來混合而成的。假使我們取前章所用的鐵硫混合物，加以仔細觀察，就能辨認出其中所含的硫和鐵的質點。反之，假使我們取一堆鐵屑來加以觀察，將見其中的細粒彼此相同，並且似乎都有同樣的性質。凡物料中的任何部分都彼此相同的，稱為均勻 (homogeneous)。 化學家把這種內部完全均勻的物料，稱為質素 (substance)。凡物料由兩種或兩種以上質素屬和在一起而成的，稱為混合物 (mixture)。因此，花崗石不是一種質素而是一種混合物。硫黃和鐵都是質素，我們極容易把牠們攪和在一起，配成各種比例不同的混合物。

質素既然是一種均勻物料，則其中的每一細粒必有彼此相同的性質。所以質素的每一試料，必彼此完全相似。但是混合物的性質，卻隨成分的多少而定：例如鐵屑十份和硫黃一份的混合物呈灰色；而硫黃十份和鐵屑一份的混合物，卻幾乎呈純黃色。

所以，凡混合物必含有兩種或兩種以上的分離的成分，此種成分各自保有其固有的性質。

19. 【化合物】 水也許可以算做是最重要而又最常見的質素。但令人奇怪的是即使是最純潔的水也不是一種簡單的質素。我們利用了電流，便能很容易地把水分離為兩種完全不同的質素。

試驗時，先將適量之水（內含少量硫酸）傾入如圖15所示之儀器中，以6伏特之蓄電池組與鉛電極相連接。A管中的電極接於電池的正極，稱為‘陽極’ (anode)；B管中的電極稱為‘陰極’ (cathode)。電流通後，可假定其從陽極A經過水而流向陰極B。此時可見有氣泡由兩極向上升騰；而B管中所收集的氣體比A管中

的快一倍。等到B管中的氣體充滿之後，我們就可試驗收集得的氣體。試驗的方法，即將B管謹慎倒轉，小心地用燒着的火柴移近管口，即見管內氣體舉淡藍色火焰而燃燒。這種氣體稱為‘氫’。如將另一管倒置，把一根灼熱的木條靠近管口，即見木條發火燃燒。這種氣體稱為‘氧’。至於加入水中的硫酸，其功用在使水變為較良的電導體，事後仍存於水槽中。

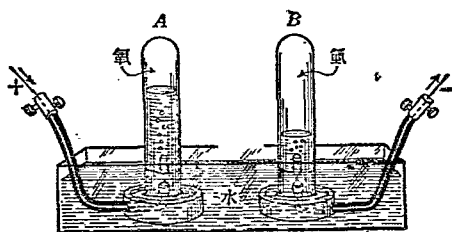


圖 15. 水的電解

由以上的試驗，可見水能被電流分離（或稱分解）為氫和氧；這種方法稱為電解 (electrolysis)。利用電解法可以表明水是一種化合物。

20. 【另一種化合物】 取紅色氧化汞(mercuric oxide)粉末細察之，因其每一細粒均彼此類似，故知其為一種化學質素。

在硬玻璃試管中，投入此種粉末少許，移置火焰下加熱，如圖 16 所示。不久管內粉末變為黑色；這時倘將一根灼熱的木條插入管中，即見木條發火焰而燃。這證明管中已發生另外一種氣體，其性質與空氣不同。試再檢視試管，則見紅粉已失去一部或全部。管壁有微粒的水銀珠附着，管壁上端較冷部分，則已成為明鏡。倘繼續加熱，則紅粉將全部消失。故由以上試驗，可將氧化汞變成兩種生成物——第一種為‘水銀’，化學上稱為‘汞’，乃溫度計中所用之銀色液體。第二種為氣體，稱為‘氧’。

由上可知，紅色氧化汞能因熱而變為汞和氧兩種全不相同的質素。凡質素能分解為兩種或兩種以上之其他質素的，就稱為化合物 (chemical

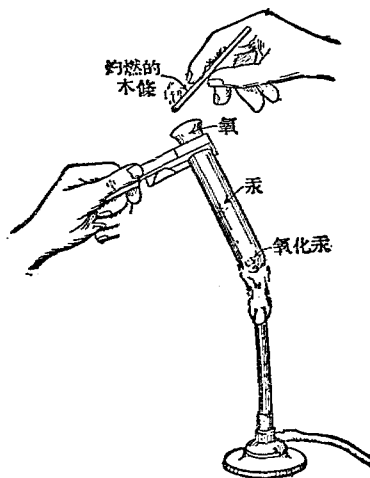


圖 16. 紅色氧化汞的分解

compound)。因此水和紅色氧化汞都是化合物。

21. 【元素的定義】 倘若我們把汞繼續試驗，要用加熱法來使之產生其他質素，或用任何其他方法來使之分解，就一定得不到什麼結果。同例，氫和氧也絕不能再分離成其他的質素。這種從未分解*成其他較簡單成分的質素，就稱為元素 (element)。科學家現在相信世間僅有九十二種元素，其中九十種已經發現（參閱卷首所附元素表）†；所有的化合物，都是由這些元素造成的。

水是由兩種氣體所組成的，其中的一種可以燃燒，另一種比空氣更易助燃。這是一個很可注意的事實。又紅色氧化汞係由一種很重的銀色液體，和一種無色氣體所組成，這似乎也很奇怪。由此我們可以推知，化合物的性質與組成此化合物的元素的性質，迥然不同。

最先對元素下明確的定義的，大概是英國的波義耳。1661年波氏曾寫道：‘元素是化學分析上的實際極限，也就是運用現今已知的任何方法，都不能使牠再分解的質素。’

22. 【由元素製成的化合物】 現在我們將要用兩種元素來製成一種化合物，這剛好是上述方法之逆。



圖 17. 碘化汞的合成

在乳鉢裏放少量的碘，再加汞數滴。起初，此兩質素各自分處，毫無改變。及用杵劇烈研磨以後（圖 17），即變成一種既不像碘又不像汞的紅色質素。這種新產生的質素為一化合物，稱為‘碘化汞’ (mercury iodide)。

我們都認識銅和硫黃，銅為紅棕色的金屬元素，硫黃為質脆色黃的非金屬元素，彼此顯然不同。若把銅屑和硫粉各少許，放在一隻小燒瓶中加熱，如圖 18 所示，則瓶內的混合物即行灼燃。於是兩元素互相結合，同時發熱生光。

* 指用尋常的化學方法而言。

† 其餘兩元素最近已有人發現，但確否尚待證實。

如把燒瓶擊破，即見瓶內產生色黑性脆的硬塊，其形性既不像銅，也不像硫。原來這時銅和硫已化爲一種化合物，叫做‘硫化銅’(copper sulfide)。

食鹽是鈉氯兩種元素所組成的化合物。鈉是一種色澤如銀性質柔軟的金屬；氯是一種黃綠色而帶毒性的氣體。糖是碳、氫、氧三元素所組成的化合物——碳之常見者爲木炭。氫、氧皆爲氣體，氫能猛烈地自己燃燒，氧能猛烈地助他物燃燒。由以上所舉各例，都可以證明化合物的性質，與組成此化合物的元素的性質之間，有着很大的差異。

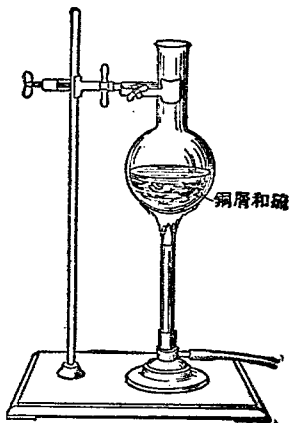
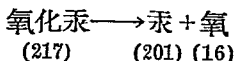


圖 18. 硫化銅的合成

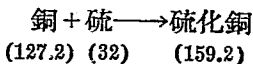
23. 【化合物有一定的組成】 化學變化通常特稱爲‘反應’(reaction)，此項變化若用簡單的式子來表示，殊覺便利，如：



在上列‘文字方程式’(word equation)中，箭號(→)可讀作‘產生’；加號(+)可讀作‘和’；全式可讀作‘氧化汞產生汞和氧’。至於括號裏的數字，是他們之間的重量比例；即 217 克的氧化汞產生 201 克的汞和 16 克的氧。

用於分解的氧化汞，不論有多少重量，據實驗證明，其重量的 $\frac{201}{217}$ ，即 92.6% 變爲汞；又 $\frac{16}{217}$ ，即 7.4% 變爲氧。

銅和硫化合而成硫化銅，也可以用簡式表示如下：



上列簡式的意義，即謂依重量而言，則 127.2 份的銅和 32 份的硫相化合，即生成 159.2 份的硫化銅。

換一句話說，即硫化銅是用 $\frac{127.2}{159.2}$ 即 79.9% 的銅，和 $\frac{32}{159.2}$ 即

20.1% 的硫所組成的。

由精密的實驗，可以證明每一種化合物都有一定不變的重量組成。全部的化學，都是根據這基本的事實而成立的。這就是所謂定組成定律(Law of Definite Composition)。

24. 【混合物與化合物的比較】 混合物與化合物的主要區別，在化合物有一定的組成，而混合物的成分的比例，卻可隨意變動。水、澱粉、糖和食鹽都是化合物，各有一定的組成。麵粉、焙粉 (baking powder) 和泥土都是混合物，組成此每一混合物的物料之量，可任意變更。我們還應當記住，混合物如鐵和硫與化合物如硫化鐵之間的另一種區別。在混合物中，我們能夠認清鐵和硫的各自的性質，我們覺察到牠的物料並不是均勻的 (§ 18)。但在硫化鐵這化合物中，我們覺察到牠的物料是均勻的，牠所有的性質，便同鐵或硫所有的，全不相同。

25. 【混合物的分離】 混合物往往容易被分成原來的成分。

譬如鐵硫混合物中的鐵，可以用磁鐵來吸出，其中的硫可以用二硫化碳來溶去。但是要想分離硫化鐵這化合物為鐵與硫，那處理的手續就沒有這樣簡單了。大抵要把一種化合物分解為其成分元素，照通例，非用劇烈的方法，如加熱到很高的溫度，或通以電流，就很難達到目的。

在鐵硫混合物中，其所有質點不過被放置在一處而已。但在硫化鐵這化合物中，

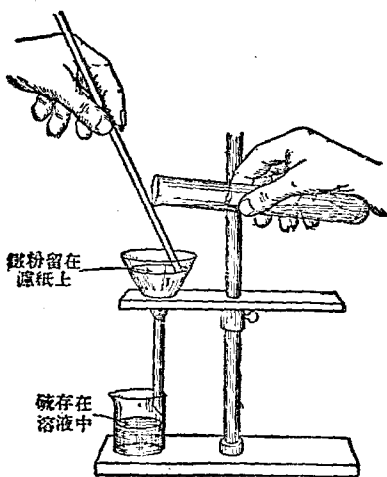


圖 19. 用過濾法從硫的溶液中分離鐵粉

則鐵硫兩種元素已起了化學的結合。結果所成的質素，其形性均與原來的兩元素完全不同。

26. 【元素的存在量】 在化學上已知的元素，雖然有 90 種，但是常見而最重要的卻只有 25 種。如圖 20 所示，地殼連大氣在內，其 97% 僅由八種元素所組成。

地殼中的大部分元素，都和其他元素化合了成為化合物而存在。不過有些元素有時也不和別種元素化合，即所謂以‘自由態’(free state)，或‘本態’(native state)而存在的。銅、硫和金便是這種元素的例子。

爲了種種目的，我們最好把元素分做金屬 (metal) 和非金屬 (nonmetal) 兩類。每個人都熟悉金屬的特性。牠們具有

光澤、能導熱及導電。其中有許多是普通質素，如鐵、鋁、銀、金、銅、鉛和鋅等。至於齊 (alloy)，普通是把某幾種金屬熔合在一起而成的。齊俗稱‘合金’，如黃銅 (brass) 就是銅和鋅所成的合金。齊中各金屬的百分比，隨用途的不同而異。近年來，齊在工程方面的應用極爲重要。鐵齊如鋼，質地既比鐵還堅硬，而價值亦不貴。

對於某一用途如嫌鋼太重，可用鋁齊來替代。如需要不起鏽的齊，就可採用銅齊和不鏽鋼。

非金屬的性質比較複雜，其中有的是氣體，如氧、氫、氮之類，有的是固體，如硫、碳之類。

人體中所含的元素，種類很少，並且有半數以上，其含量極爲微小。通常認爲動植物生存所必需的元素，是氧、碳、氫、氮、鈣、

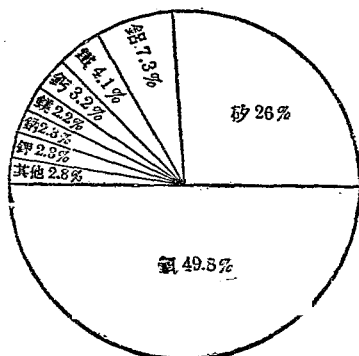


圖 20. 地殼和大氣中所含元素的存在量

磷、鉀、鐵、鎂等。然而生物體中所發生的化學變化，是十分複雜的，而且恐怕還有幾種存在量更為微小的其他元素，其對於生活機能的關係，也有同等的重要性。

27. 【化合物的數目和重要性】 由九十多種元素交互化合而生成的各種不同的化合物，其數目之多，自不待言。就現在所知道的而論，在五十萬種以上；而新的化合物，每天在製造出來，每天在研究之中。幸而其中的重要化合物，比較上並不很多，所以我們研究化學，還不致於感覺得過於繁重，否則就不易學習了。並且，我們不久就可明白，化合物可以分門別類，而每類中的化合物，都彼此相似。所以我們即使就少數的化合物加以充分的研究，對於化學的基礎智識，也不難有深切的理解。

第三章 摘要

【質素】 質素是均勻的，這意思就是說，牠的各部分都有同一的性質。

【元素】 元素是一種質素，牠在化學反應中從不會被分離為較簡單的質素。元素可以分為金屬和非金屬兩類。

【齊】 齊或稱合金，是兩種以上金屬的混合物。

【化合物】 化合物是一種質素，可被化學方法分解為兩種或兩種以上較簡單的質素。

【定組成定律】 凡化合物均有一定的重量組成。

化合物與混合物的比較

化 合 物	混 合 物
有一定的組成。 製造時發射或吸收光或熱。 只能用化學方法來分解牠。 是化學反應的生成物。	成分的比例無定。 製造時概無光或熱的跡象。 用機械的方法，往往可以把牠分離。 不是以化學力量結合而成的質素。

問題和計算題

1. 試舉出兩種含氧的化合物。
2. 怎樣證明水是化合物？
3. 哪兩種元素占地殼的四分之三？
4. 水和紅色氧化汞中有哪一種共同的元素？
5. 金以‘自由態’存在，汞以‘化合態’存在，這是什麼意思？
6. 試將下列化學名詞，各下一簡明的定義：(a)元素，(b)化合物。
7. 試列表表示金屬‘銅’和非金屬‘硫’的相異點。
8. ‘齊’（合金）和‘混合物’有什麼不同？
9. 哪三種東西為每一化學變化的特徵？
10. 試從A行中選出一個或幾個名詞，足為B行中每一名詞最準確的說明者：

A	B	
元素	空氣	鋁
化合物	黃銅	糖
混合物	麵包	檸檬汁
物質	牛乳	水銀
	鹽	純銀

* * *

11. 你能就化合物的外表，說出牠裏面含有哪幾種元素嗎？
 12. 你怎樣能證明糖中含有碳元素？
 13. 一種質素經過加熱之後仍不能分解，就可以證明牠是一種元素嗎？
 14. 倘若鋁的產量比鐵多些，試言鐵的價值為何還是比鋁賤。
 15. 哪種元素是一位美國青年學生所發現的？
 16. 為什麼元素表要隨時加以訂正？
 17. 試按近代化學的觀念，批評古希臘人將‘土’列為四大元素之一的錯誤。
 18. 現代元素的定義和波義耳氏所說的有什麼分別？
- * * *
19. 據精密的實驗，證明7克鐵可以和4克硫化合。試問化合後所得的硫化鐵有幾克？
 20. 舉出題19所用的定律。
 21. 鐵5.6克與硫化合，製出8.8克的硫化鐵，問應當用硫若干克？
 22. 硫化鐵中鐵的百分率如何？又硫占百分之幾？
 23. 試舉出說明題22時所用的定律。

第四章

氧 燃燒 臭 氧

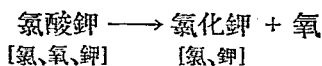
28. 【氧的重要】 在元素的研究中，我們要從氧(oxygen)開始講起。上面已經說過，氧是水和紅色氧化汞中的一種元素。我們知道牠在元素中分布最廣，蘊藏最富。我們不久就可明白，牠存在於多數岩石和礦物質如砂岩和灰岩之中。氧是大氣中最活潑的元素，因為牠能和許多其他元素相化合而成氧化物(oxide)。沒有牠，我們會感到窒息，連生命都無法維持了。氧為燃料生熱的必需品，因為木材、煤、煤氣等沒有了牠，就不能燃燒。又在供發光用的油燈或煤氣燈中，牠也是必要的。由此可知，為了牠蘊藏之富，分佈之廣，以及化學性的活潑和用途的實際，就從氧開始去作元素的系統研究，實在是非常恰當的。

29. 【氧的製法】 1774年，一個英國教士兼化學家約瑟夫·普利斯特利(圖 21)，由加熱紅色氧化汞而製得了氧。所需的熱是用透鏡把日光集中而得。普氏用一支點着的蠟燭投入製得的氣體中，發見牠燃燒得比在空氣中更



圖 21. 普利斯特利像
(Joseph Priestley, 1733-1804)
英國化學家兼教士，一般都尊
為氧的發現者

爲明亮。^{*} 在現今的實驗室中，都加熱一種稱爲氯酸鉀 (potassium chlorate) 的化合物來製氧，這就更加便利了。氯酸鉀可供藥品及製造火柴、花火之用。牠的價值遠比氧化汞爲廉，而加熱時所產生的氧也多了許多。氯酸鉀是白色結晶的固體，由鉀、氯、氧三元素所組成，加熱到適當的溫度 (360°C.)[†] 就開始熔解。若是溫度再加高，就發生氣的氣泡，而剩下了由鉀和氯所組成的另一化合物，稱爲氯化鉀 (potassium chloride)。我們可以把這個變化照下面的樣子表示出來：



如果我們取氯酸鉀少許放在試管裏小心地加熱，待正將熔解時，就插入一片點燃的木片，見沒有氧氣放出。然後在試管中投入少許稱爲二氧化錳的黑色粉末，再用前法試驗氧的存在與否。此時雖試管已漸漸冷卻，反有氧氣發生。在這個作用中，二氧化錳並沒有發生變化。

像這樣地，凡促進化學作用的速度，而其本身並不起永久變化的物料，就稱爲催化劑 (catalytic agent)，又稱觸媒 (catalyst)。

我們將要見到，觸媒在化學上扮演着一很重要的角色。藉觸媒之助，可使化學作用加速，結果就使許多工業減低了製造成本。

商業上所用的氧，現在是由液態空氣 (§ 251) 和水之電解法 (§ 15) 製得的。

30. 【氧的幾種實驗】 要研究氧的性質，就得需要多量的氧。因爲氧在今日已成爲一種商品，所以我們可以買壓縮在鋼筒裏的氧來應用。我們在需用的時候，只要把減壓活門一開，就可以放出氧來。

然而要自己製氧，也很便利。混合 4 份重的氯酸鉀和 1 份重的二氧化錳，放在

大約在同時，瑞典的藥劑師舍雷 (Scheele) 也用同法製得氧，不過他的結果一直到幾年後纔公布出來。

[†] 攝氏溫度計 (C.) 是化學上普遍採用的溫度計。見附錄。

一個薄壁的燒瓶裏，上裝導氣管(圖 22)。 所生氣體，可用廣口瓶捕集。 廣口瓶

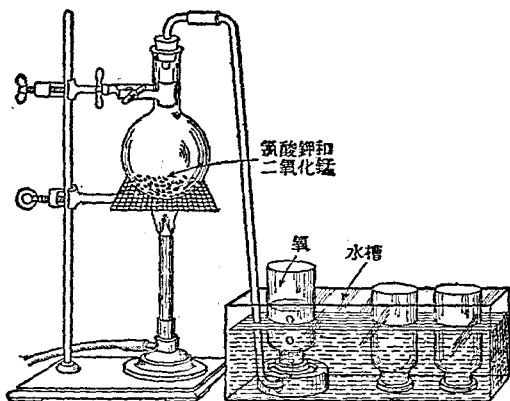


圖 22. 氧的實驗室製法

裏預先注滿清水，倒立在水槽中。當燒瓶受微熱後，氧就由導管逸出，在水中成爲氣泡而上昇瓶中。燒瓶下的火焰必須時時移開，以免氣體發生過快，致將燒瓶爆破。

我們首先應該用以前用過的檢驗法 (§ 20)，證實確已取得氧。我們投一根灼燃的

木條在一個集有氧的瓶子裏，木條即發火焰而燃，這個事實可以作爲氧的一種檢驗，因爲此外有同樣行爲的氣體，只有一種(氧化二氮)。就一般說，凡是靠了顯著的行爲或性質來鑒別質素的，就稱爲檢驗 (test)。

現在我們來看看，當各種質素被加熱了投入氧中以後，會發生怎樣的情形。



圖 24.
在氧中燃鐵

木炭：用一根銅絲繞在一小段木炭的四周，將木炭加熱，然後把牠投入一瓶氧中(圖 23)。木炭就發火而射出明亮的光輝。

硫：取小塊的硫，放在鐵匙(燃錫匙)中，在火焰上加熱片刻，使之着火，就見牠發生淡藍色的火焰。但是把牠投入氧中，卻見牠發出極燦爛的紫色光而燃燒。

鐵：薄鐵片如鑲裏的螺絲或細鐵絲等，也可以使之在氧中燃燒。先在其一端塗硫，然後用火燃硫，把牠懸吊在貯氧的瓶子裏。硫繼續燃燒，產生了很高的熱，足以把鐵點燃。

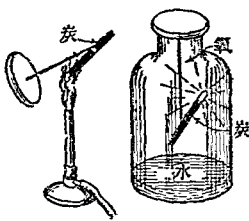


圖 23.
在氧中燃木炭

當鐵燃燒時，散出一陣燦爛的火花(圖 24)。(最好先在瓶底鋪一層砂。)

磷：磷是一種質軟的黃色物質，就是在尋常的溫度也能着火燃燒。因此在存貯的時候，常常把牠放在水底下(圖 25)。切取小段的磷放在燃燒匙裏，點着了放進貯氧的瓶子裏，就會着火燃燒起來。其火焰之猛，發光之強，使人不能逼近。所生白色的煙霧，便是這化學反應的生成物。

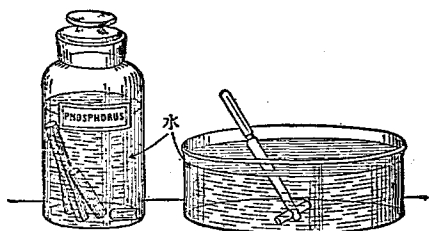


圖 25. 磷必須保存在水底下

31. 【氧的特性】 從這些實驗，我們知道，牠的最可注意的特性是這些：凡能在空氣中燃燒的質素，在氧中燃燒起來，作用更快，發光更強。牠是一種無色的氣體，不易溶解於水中，所以我們不難於水面捕集之。純淨的氧無臭無味，比空氣略重。

凡是描述質素之行爲的那種特性，稱為化學性質 (chemical property)。僅僅知道某一物料的名稱，是沒有什麼用處的。只有知道了牠的性質，纔算是真正認識牠。

氧 的 性 質

物 理 的	化 學 的
無色	不燃
無臭	助燃
無味	物料在氧中燃燒，比在空氣中更容易，更猛烈
比空氣略重	在常溫時活性性很和緩
不易溶解於水	
曾經被液化和凝固	

32. 【什麼是燃燒】 我們剛纔已經看到，各種質素在氧中燃燒比在空氣中更為迅速。因此我們可以合理地斷定，氧在燃燒作用中占着一個重要的位置。尋常所謂燃燒，是一種極重要的化學變化，所以我們對於這一作用不得不再加以鄭重的考察。在這裏，我們正好把幾個早期的實驗，順便來追敘一下。

十七世紀的化學家創燃素說 (phlogiston theory) 來解釋燃燒的現象。這學



圖 26. 拉發西挨像
(Antoine Laurent Lavoisier,
1743-1794)法國化學家,近代化學
的首創者。建立燃燒學說

‘近代化學之父’,因為他發現了燃燒作用的正確的解釋。

他在曲頸瓶中放一些水銀(圖 27),瓶頸伸入一個直立在水銀槽中的鐘瓶底下。

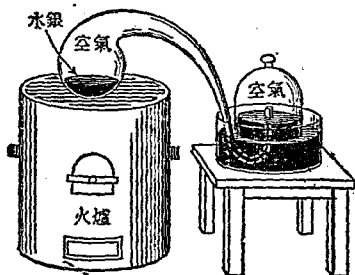


圖 27. 拉發西挨研究燃燒的裝置

發生的氣體捕集起來。他所集得的氣體的分量剛好同密閉着的空氣中所縮減去

說可簡述如下。他們說,一切可燃物都含有一種‘火質’(fire stuff),即所謂燃素,當燃燒時,燃素就成為火焰而散失於空氣中。剩下的只是些灰燼。質素像炭,燃燒時產生極少灰燼(渣)的,差不多全由燃素而成,依照這個學說,燃燒自較容易。十八世紀中,普利斯特利曾經說過,在尋常空氣中一定含有燃素,因為燃燒物常常在把燃素散給牠。並且據他的理論,若使除去了尋常空氣中的燃素,牠就會收容較前更多的燃素,同時使物質更容易在其中燃燒。因為他承認氧多少與燃燒有關,所以稱牠為失去燃素的空氣。直到法人拉發西挨出世,由他得當地利用了普利斯特利氧的發現,作成解釋,纔使世人正確地明瞭燃燒的本性。這是一個極大的發現。

33. 【拉發西挨關於燃燒的實驗】拉發西挨(圖 26)是法國著名的化學家,生於距今約 170 年以前。他有時被稱為

的分量相等。質素在這氣體中燃燒，作用極為猛烈。可見空氣的五分之一，無疑地就由這氣體所組成。拉發西挾稱牠為‘氧’。他再把前一次實驗中剩下來的其餘的氣體，混以適量的氧，使之回復原來的體積。這樣產生的一種氣體，具有與尋常空氣相同的一切性質。因此他證明，空氣中的氧就是燃燒作用中消耗掉的唯一氣體。

34. 【什麼是氧化】 我們把質素與氧所發生的反應稱為氧化(oxidation)。當氧化作用進行極速，甚至產生光、熱的時候，我們就把這變化稱為燃燒(combustion)。最常見的氧化作用的例，是煤、木材、煤氣或油類等的燃燒。在這種例子中，氧化作用進行得非常迅速，所以發生燃燒現象。

有許多氧化作用，其變化的進行，非常緩慢，並沒有顯著的光、熱發生。這現象的最好的例子是鐵的生鏽。當鐵與空氣接觸，鐵就慢慢地變成鐵的氧化物，俗稱‘鐵鏽’。所以鐵的生鏽恰恰和木材的燃燒一樣，只是鐵的變化進行得非常緩慢，熱的效應不甚顯著而已。如果鐵所接觸的空氣十分潮溼，那末牠的氧化作用就可以加速。

35. 【燃燒生成物】 燃燒既然是氧與被燃質素間的化學反應，那末這變化所生成的化合物是什麼呢？各該質素變化的經過是怎樣的呢？蠟燭燃燒後差不多完全消失了。在這例子

中，燃燒生成物是和氧自身一樣的不可見氣體。一種是水汽，一種叫做二氧化碳。我們可以把牠們收集起來，稱得牠們的重量。

在天平的A盤中置燭，上懸滿貯氫氧化鈉的玻璃管。氫氧化鈉能吸收水汽和二氧化碳。因此我們兼能稱得蠟燭和燃燒生成物的重量(圖28)。在B盤中放置適當重的砝碼，小心地使兩方平衡起來。

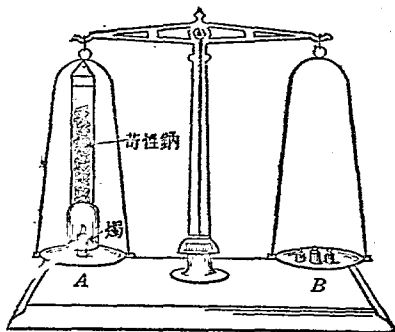


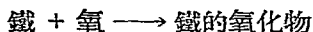
圖 28. 燃燒的生成物比燃去的燭更重。

然後把蠟燭點着，同時留心當燃燒進行的時候，B盤中的蠟燭雖然在顯明地消失下去，卻漸見沉重。從此可見由燃燒所生成的質素比燃燒掉的蠟燭反來得‘重些’。這是因為牠們除了蠟燭中已含有的諸元素外，還加上從空氣中取得的氧。

這實驗指出，如果我們稱量燃燒後所生成的質素，往往比燃燒的質素重些。此外還有一個實驗，也可用以解釋同樣的事實：

在坩堝中放一些鐵粉，把牠放在天平上用砝碼精密地測得牠的重量。然後將坩堝從天平的盤中取出，用燈火加熱。坩堝中的物質就漸漸灼熱而發生輝光，即使把燈火除去，輝光仍能繼續。這表示已有化學作用在發生了。我們把牠繼續加熱約五分鐘，然後冷卻而檢視之。你就可發現坩堝裏的鐵粉已變成一種灰色的固體，和鐵鏽一樣。這時再把坩堝放到天平的盤子裏去一稱，即見重量已增加不少。這重量的增加，又是由於空氣中的氧的緣故。原來這是由於氧與鐵相化合，而成一種含有鐵氧兩元素的新化合物。

這些實驗表示，質素在空氣中燃燒的時候，新質素是由可燃物料(combustible material)和氧所化合而成的。這種新化合物必比原來的物料為重，因為牠們除了含有可燃質素(combustible substance)以外，還加上了氧。在鐵的例子中，其生成物稱為鐵的氧化物(iron oxide)。我們可以把這個變化表示如下：



氧化物是一元素與氧的化合物。當質素在空氣中或氧中燃燒時，是往往生成氧化物的。

36. 【氧化的速度】不同的質素常以不同的速度而氧化。雖然可燃物料在各種溫度時都能與氧化合，可是無論在哪一個例子中，只要增高溫度，總會促進氧化的速度。實際上，由經驗得知，在每一個化學變化中，凡是增加溫度，必能加速作用的進行。有些質素，像磷，在比常溫或室溫略高的溫度中，已能很快地氧化，一經曝露在空氣中，便會着火燃燒起來。用下面的實驗很足以表示這個現象。

溶解少許的磷在二硫化碳中，取溶液數滴注在用三腳架擱起的濾紙上。當溶液蒸發後，剩下的磷滿佈紙上，使每小粒的磷都和空氣相接觸，不久即見全紙着火(圖 29)。在這種狀況下，磷在室溫時就已發生了燃燒作用。

37. 【自燃】 上述磷的實驗，清楚地說明了所謂自燃(spontaneous combustion)這現象的起因。漬過油的破布，若是任其疏鬆地散置着，有時也會發生火患，這是由於油類與空氣的巨大接觸面上發生了緩氧化之故。因為破布是熱的不良導體，在內部表面上發生的熱逐漸積聚，終至使全體着火。所以，凡是像這一類油漬過的布帛，都應該保藏在密閉的金屬罐裏面。

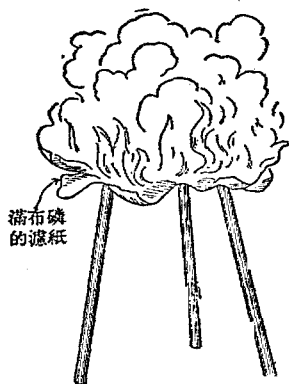


圖 29. 磷的自燃

在通風不良的煤礦穴中，甚或在巨大的煤堆中，都可以發生自燃；此外在麵粉廠和茅草棚中，如果空氣的循環不充分，不能把由緩氧化所生的熱帶走，也容易發生自燃。就是堆積在倉裏的溼草，也會因醱酵而生熱，如果所生的熱無處發散，那些草是會着火燃燒起來的。

38. 【爆炸】 若使某種氣體如汽油蒸氣或家用煤氣之類，以適當的比例與空氣或氧相混合，而用電火花把這混合物點燃，那末牠們就會爆炸起來。其他如煤屑、麵粉等粉末狀的可燃物質，也會發生爆炸。爆炸(explosion)是由於可燃性的氣態混合物或懸浮於空氣中的微塵的急劇燃燒所致。在爆炸時，放出了大量的熱，產生了大量的氣體。就是這大量的熱作用於大量的氣體，使之猛烈地膨脹起來，於是就發生了爆炸之力。因為麵粉廠及其他的工廠曾經發生過這種可怕的爆炸，所以許多新式工廠現在都裝有除塵器(dust-removing apparatus)，和防止因靜電而發生電火花的設備。

39. 【燃點】 最不容易燃燒之例，可用鐵來做代表。要

使這質素急速地燃燒，首先必須把牠變成粉末，其次把牠加熱到一個很高的溫度，最後再把牠放入純氧中。這在我們以前的實驗 (§ 30) 中已經做過了，我們把一束的鐵絲塗了硫黃，由硫在純氧中迅速燃燒所生的熱，使鐵絲達到相當的溫度。在這種狀況下，最後鐵的本身也着火燃燒了。

我們大家都知道，要使煤塊燃燒，必先用木柴引火，要使木柴燃燒，必先用紙捲引火，而要使紙捲燃燒，也要用火柴來點着。在這順序中，每種物料的燃燒，都使後一種物料溫度升高，直到煤塊最後也着火燃燒起來。某種物料在空氣中會着火的溫度，有時候就稱為該物料的燃點 (kindling point)。但是溫度只是產生燃燒的條件中的一個。細鐵粉起燃的溫度，較鐵絲為低，因為牠曝露於空氣中的面積比較地大。除了固體的物理狀況以外，四周空氣的壓力和催化劑的有無 (§ 29)，也可以決定起燃的溫度。換一句話說，影響於燃點的有好幾個條件。

在一個碟子裏燃少些的汽油，可以沒有危險*；但是汽油蒸氣和空氣的混合物，卻能迅速燃燒而引起爆炸。所以凡應用汽油 (gasoline) 之類的液體時，切勿接近沒有遮蔽的火焰，因為牠們蒸發得很快，牠們的蒸氣和空氣所成的混合物是會爆炸的。

40. 【滅火】 要撲滅一個火，我們通常總是澆些水上去，使可燃物料的溫度降至燃點以下。如果手頭有足夠的水，這方法照例是會成功的。一切滅火 (extinguishing fire) 的方法或靠冷卻可燃物料，或靠隔絕空氣，使不再有氧來供給氧化。有時候，用一條毯子就可把空氣隔絕。水的主要作用雖在冷卻燃燒的物料，實在卻兼具上述兩種利益。砂和石子常用來撲滅某種的火，如燃燒着的汽油，牠們的作用僅在隔絕空氣而把火悶熄。如後邊第十七章所述的化學滅火器，則是兼具液體的冷卻效果，和沈

不要做這實驗。

重的不燃氣體的悶熄效果。這氣體像雲霧般地籠罩在燃燒着的物料上面,而把空氣隔絕起來。還有一個釜底抽薪的滅火方法,就是把延路的可燃物料除去。所以有時候爲了要除去火災場旁邊的引火物起見,寧可把建築物炸毀。

41. 【氧的用途】 醫師碰見了患肺炎或窒息的病人,有時給他呼吸氧(圖 30)。氧又可以代替空氣,以產生高熱,如用乙炔炬(acetylene torch)和氫氧吹管(oxyhydrogen blowpipe)來燬接金屬,都用到氧。氧炔炬可以熔割鋼鐵,其鋒利如刀(\$416)。汽車的機筒爲炭所淤塞,通常也用氧來燒去。潛水艇和隧道中的

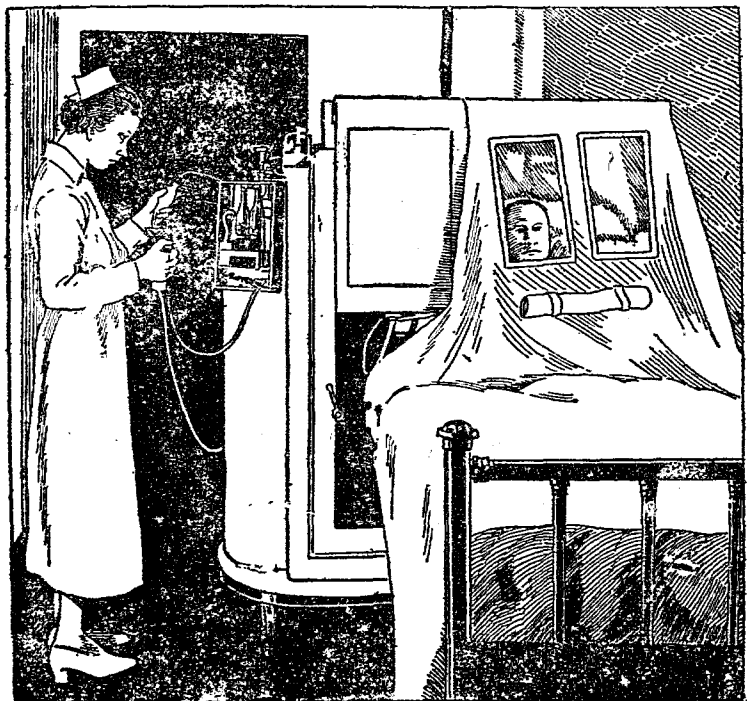


圖 30. 肺炎病人的氧幕



圖 31. 高空飛行所用的氧壓

大氣容易污濁，常把氧壓入鐵匣中，以作補充之用。由經驗得知，離地面愈高，大氣中含氧愈少，當航空員飛昇到氧的分量只及通常的一半時，就會暈迷起來。因此有人設計了一種裝置，把氧貯藏在匣裏，由導管把牠通到罩住口鼻的面具上（圖 31），以供呼吸。凡是飛行在 10,000 英尺高度以上的軍用飛機，現在都有這種壓縮氧的設備了。又在礦穴中救火及救護被毒氣所襲的礦工時，也用着同樣的器械。

42. 【臭氧, 氧的另一形態】 當電花通過空氣或氧的時候，就聞得一種特異的臭氣。據研究的結果，知道這是由於有另一形態的氧稱為臭氧 (ozone) 的存在之故。

臭氧比通常的氧約重一倍半，較易溶解於水。在常溫時，牠是一種比氧更強的氧化劑。因為牠還能夠氧化許多動植物中所含的化合物，所以又是一種漂白劑 (bleaching agent)。在歐洲的

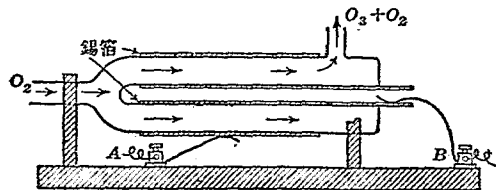
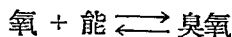


圖 32. 變氧為臭氧的裝置。接線端紐 A 和 B 與感應圈相連接

幾個大城市中，曾用臭氧來作為自來水的消毒劑 (disinfectant)。也曾有人主張，用牠來清潔室內及大廳堂中的空氣，卻不會有顯著的功

效。然而牠仍不失爲一種脫臭劑 (deodorizer)。

圖 32 所示的裝置,用以製造臭氧,但是只有百分之七的定量的氧能變成臭氧。牠從氧變成時,包含一種電能的吸收;反之,當牠回復成氧時,就以熱的形式把能放散出來。這作用可以下式表示之:



同一元素的不同形態而具有不同的能時,稱爲同素異形體 (allotropic form), 不穩定的形態(如臭氧)常有放出能而變成穩定形態(如氧)的趨向。其他元素如磷、硫、碳等,也有同素異形體,將於後數章中述之(第十五、十七、二十五章)。

第四章 摘要

【氧的製法】 氧的製法有下列數種:(a)加熱紅色氧化汞(歷史的), (b)加熱氯酸鉀(實驗室的), (c)蒸發液態空氣(商業的)。

【觸媒】 改變化學反應的速度而在作用中自身並不起永久變化的質素稱爲觸媒。例如加二氧化錳於氯酸鉀,就可使氧於較低溫度時放出,至於在同溫度時,當然使氧的放出加速不少。

【氧】 氧爲無色、無臭的氣體,比空氣略重。差不多可以和一切其他元素化合。

【氧的商業用途】 氧在金屬的熔解、切斷、煨接過程中,用以產生熱;又用於航空員、礦工、病房所用的呼吸裝置中。

【氧化】 氧化爲質素與氧化合的作用。

【氧化物】 氧與其他元素所組成的化合物稱爲氧化物。一元素在氧或空氣中燃燒時,就生成氧化物。

【化學上所謂燃燒】 化學上所謂燃燒是指一切產生光和熱的化學作用。

【尋常所謂燃燒】 尋常所謂燃燒是一種急劇的氧化作用

同時產生光和熱。

【爆炸】 爆炸往往由於某幾種氣體的混合物或某種可燃塵屑和一種氣體的混合物的急劇燃燒而起。

【燃點】 物料着火燃燒的最低溫度稱為燃點。

【自燃】 當物料在常溫時起遲緩氧化而生的熱，使其溫度升高到燃點時，就發生自燃。

【化學變化的速度】 一切化學的變化都因溫度升高而增進其速度。

【同素異形體】 元素有時以兩種或兩種以上的形態而存在，稱為同素異形體。因其所含的能量不同，故性質亦各異。

【臭氧】 臭氧是氧的同素異形體，由靜電放電而生成。臭氧很不穩定，是一種有力的氧化劑。有些地方用臭氧以清潔自來水。

問 題

1. 舉出三種不起氧化的金屬。
2. 怎樣防止金屬生鏽？
3. 金屬發黑或生鏽，是否改變重量？
4. 為什麼有時稱氧為‘助燃物’。
5. 火柴擦燃時，為什麼全體不同時着火。
6. 解釋刨成薄片的木材為什麼比整段的木材燃燒得更快。
7. 舉出三種燃點比煤更低的質素。在煤爐生火時，這些質素有什麼用處？
8. 舉出影響於質素燃點的三種條件。
9. 不經燃燒能發生光嗎？
10. 在通風不良的煤棧中，堆煤過密，為什麼容易失火？
11. 浸有草麻子油的破布，如果堆疊在小室中往往會着火，這是什麼緣故？
12. 處置油污的衣服，有何妥當的辦法？
13. 如果你的衣服着火，你將怎樣去撲滅牠？
14. 水何以能滅火？
15. 救火員和礦工為什麼要戴氧盔？
16. 汽車行裏常常用到氧，這氧有什麼用處？
17. 氧的醫療用途是什麼？
18. 戲院中的幕為什麼要用石綿來織成？
19. 為什麼臭氧是比氧更為活潑的一種氧化劑？

20. 要在實驗室裏製備多量的氧，爲什麼不像普利斯特利那樣用紅色氧化汞來加熱？

* * *

21. 良好的通風，爲什麼能使燃燒旺盛？
22. 哪一種生物靠着氧在水中的微弱的‘溶解度’ (solubility) 而生存？
23. 你用怎樣的實驗來證明鐵生鏽時耗去了一部分的空氣？
24. 氧在平流層飛行時有何用途？爲什麼？

第五章

氫及其用途

43. 【氫的所在】 水裏所含的一種元素氧，前章已經討論過；本章所要討論的是水裏所含的另一種元素氫。氫也是氣體，但在自然界中極少以自由態而存在，這是與氧不同之點。微量的氫存在於所謂天然煤氣中。天然煤氣是某一特殊處所地層下所發生的幾種可燃氣體的混合物，美國產出甚多，用以發光生熱。水煤氣 (§413) 也是用以發光生熱的，其中約含 38% 的氫；氫又存在於動植物體和人體中，不過牠們不是單體，而是同別種元素化合起來的。



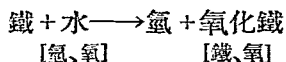
圖 33. 卡文提什像
(Henry Cavendish, 1731-1810)
卡氏爲英國當時一大富豪；他的生活好像隱士一般，終生未娶，埋頭研究理化

1776年，卡文提什(圖33)最初確定氫爲一種元素。不久，他又證明當氫燃燒之後，其唯一的產物是水；不過這元素的名稱——hydrogen (氫，意即產水之物)——卻是 1783 年法國拉發西埃 (Lavoisier) 所創定的。

44. 【氫的淨製法】 純淨的氫，無色、無味、無臭。但是用鐵來製氫，因爲鐵絲或鐵屑中含有雜質，所以製得的氫常帶極顯著的臭味。其實就是用工業原料店家出售的鋅粒和酸來製得的

氫，也有同樣的臭味。如果把這氫通過氫氧化鈉和高錳酸鉀溶液，就可把大部分的雜質和臭味除去。這樣製得的氫，混合着大量的水汽，我們用‘乾燥劑’(drying agent)，如粒狀氯化鈣等把水汽吸除，就可獲得純粹的氫。

45. 【由水製氫】 如果我們把鐵絲放在瓷管或鐵管中燒至紅熾，然後將水蒸氣從管中通過，則熱鐵就和水蒸氣中的氧化合而放出自由態的氫。我們可以把這種氫收集起來。在這個實驗中的化學變化，可以表明如下：



還有一個由水製氫的方法，比上面的更為簡單。採用這種方法只須用某種金屬和常溫的水。將小片的金屬鈉投入水中，就立

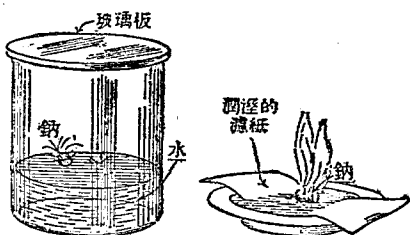


圖 34. 在水面上的金屬鈉

即發生作用(圖34)。鈉質很輕，故浮在水上，又因與水相作用，故發出噝噝的聲音；當作用將完時，每會發生輕微的爆炸，所以應當用一塊玻璃片來蓋在燒杯上面，以保護眼睛。如果我們要收集鈉與水作用所生的氫，可用下法：

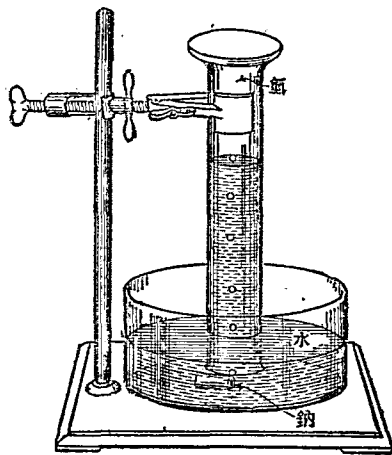
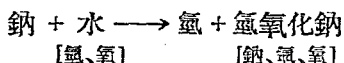


圖 35. 鈉與水作用而生氫

用錫紙包裹新切下的鈉塊，並在錫紙上穿幾個小孔。我們如果把這鈉塊投入水中，即見有氫氣泡向上昇騰。可用滿貯清水的圓筒倒放在上面，把牠們收集起來(圖35)。

倘若用鉀來代鈉，則作用更爲猛烈，其所生之熱，足以使產生的氫着火燃燒起來。用鈣的時候，鈣沈於水底；這也可用貯水的圓筒，倒放在上面來收集氫，手續比較容易。在這些作用中，金屬只能置換水裏所含氫的一半，其餘一半就和全部的氧化合而成該金屬的氫氧化物 (hydroxide)。鈉和水的反應可表明如下：



氫氧化鈉 (sodium hydroxide) 和氫氧化鉀很容易溶在水中。但大半的氫氧化鈣是不溶解而懸浮在水中的。

46. 【金屬與酸類的作用】 實驗室中最簡易的製氫法，是利用某種金屬與酸類的作用。酸類是含有氫的化合物。至於酸類的其他特殊性質，容後再加討論。最普通的酸就是硫酸 (sulfuric acid)，乃是一種很重的液體，可與水以任何比例混合。其 96% 的純淨液體，通稱濃硫酸。稀硫酸可用某定量的濃硫酸，徐徐地傾入四倍或五倍體積的水中而成。稀硫酸能與商品的鋅粒起猛烈作用而發生氫。倘使所用的鋅和酸都很純淨，則作用進行很慢。但是若在其中加入少量的‘硫酸銅’溶液，即可使作用加速。

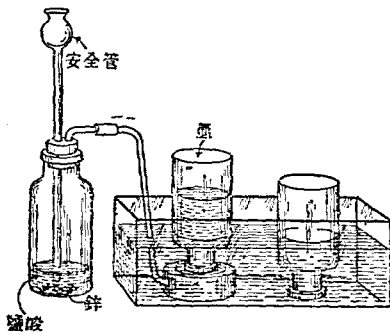
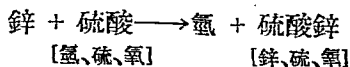


圖 36. 實驗室中製氫

在一隻蓋有雙孔瓶塞的廣口瓶中，投入鋅粒若干(圖 36)。塞上一孔內插一支薊頭漏斗，直貫至瓶底。此漏斗用以注入酸類，又用以作爲‘安全管’(safety tube)。另一孔插一導管，用以導氫於水槽，而以倒置着的瓶子來捕集牠。

這裏所起的反應可用下邊的式子來表示：



另一反應生成物‘硫酸鋅’(zinc sulfate),是一種白色固體,易溶於水。如將瓶中剩下的液體加熱蒸發,即能取得。在這裏,我們見到鋅元素已經代替硫酸中氫的位置,使氫成為自由元素了。

這是一種新的化學變化,我們稱之為置換 (displacement)。在這裏,一元素置換了化合物中的另一元素,使之自由,而與該化合物中其餘的成分相化合。

除鋅以外,我們還可用別種金屬如鎂、鋁或鐵等來置換稀硫酸中的氫。並且,我們又可用稀鹽酸來代替硫酸。

47. 【簡單的置換序】 在製氫的方法裏,我們已經

看見某種金屬,如鋅,可以置換酸中的氫。由此我們一定會聯想到:是否任何金屬都可以置換任何酸中的氫? 又,牠是否可以置換化合物中的其他元素? 換言之,這種反應是否為一種模式的反應? 要答覆這些問題,最好先來研究左方附表中所載的金屬。

鉀
鈉
鎂
鋁
鋅
鐵
錫
鉛
氫
銅
汞
銀
鉑
金

據實驗證明,在表中氫以上的各種金屬,都能置換稀鹽酸或稀硫酸中的氫;但在氫以下的各種金屬,都不能置換稀酸中的氫。這個表乃是依照各種金屬的活潑性 (activity) 次序而排列的,最上面的鉀最為活潑,最下面的金最不活潑。

關於這種排列方法的理論,容後在第三十一章中再從詳討論。

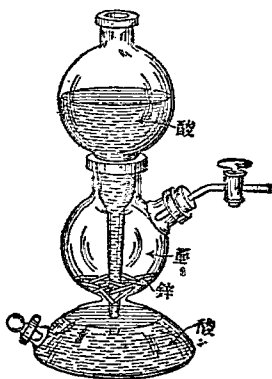


圖 37. 製氫的啓普發生器

48. 【氫的實驗】

要實驗氫,就得有一流響不淨的氫氣。要供給氫氣流,可利用啓普發生器 (Kipp's generator) (圖 37)。在此器中部的球裏,

含有少量的氫；若把導氣管上的活塞旋開，則中部球內的氣壓降低，於是下球中之酸即自行上升到中部球內，而與鋅發生作用，以補充用去之氫。如發生的氫過多，則酸被追壓鋅而停止作用，因此就可得着連接不斷的氫了*。

實驗之前，先取貯滿氫的廣口瓶一隻，以火送近瓶口；如氫裏混有空氣，即起微弱的‘爆音’(pop)；如果其中絕無空氣，則氫即平靜燃燒。

再拿一瓶氫，把牠倒置過來，高高舉起，同時插入一支燃着的小蠟燭，便可看見氫在瓶口的週圍燃燒，而插進去的蠟燭已在瓶裏熄滅了。若把蠟燭抽出，當經過瓶口有氫燃燒的地方，蠟燭又復燃燒。這種實驗可以反復數次，一直到瓶中的氫完全燒盡時為止。這個實驗，證明質素不能在氫中燃燒。

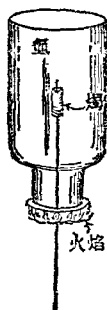


圖 38.
蠟燭在氫中不能燃燒，但氫本身卻能燃燒

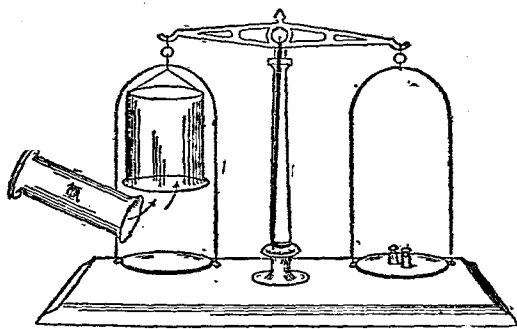


圖 39. 把氫自下注入左方的燒杯裏，則重量反見減輕

要證實氫的重量之輕，可把普通的陶質‘煙管’連在氫發生器的導管上；同時在煙管裏滴入肥皂液少許。待氫氣放出，就可以看見一隻隻充滿氫氣的肥皂泡，離開煙管，向空中飛去。

還有一個實驗，可以證明同樣的事實。把倒置的燒杯懸在天平的一端，而使之平衡，然後把氫自下注入杯中(圖 39)，則有杯的一端，即向上升。

其次，將水槽上盛氫的瓶子，在氫剛到半滿的時候，自水中取出，則瓶中一半的水，自然被空氣占據了。這時就得到等量的空氣和氫的混合物。如果把火移近這種混合氣體，即發生極響的爆音。

將陶質煙管的柄，連在發生器上，導出未曾和空氣混合的氫，以火點燃，即發生火焰而燃燒，熱度很高，但光很弱。這火光幾乎無色，有時僅略帶淡藍色。

要研究氫在空氣中燃燒後的生成物，我們可以把一隻滿貯氯化鈣的‘乾燥管’(drying tube) (圖 40)，連接在噴嘴和發生器的中間。當發生器中所有空氣都排除盡的時候，氫即發生微小火焰而燃燒。若用乾燥的冷鐘瓶，罩在火焰之上，如圖 40 所示，即見瓶上有水珠凝結，不久自瓶壁滴下。

* 氫是一種商品，常壓縮於鋼匣中，可以在市上購得。

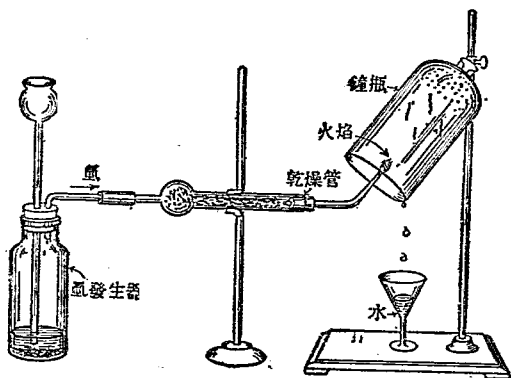


圖 40. 燃燒乾燥的氫以生成水

49. 【氫的物理性質】 上列實驗，表明了氫的若干特性。氫同氧一樣，純淨者為無色、無臭的氣體。牠的重量約當氧的 $\frac{1}{16}$ ，實在是一切已知質素中最輕的一種。因為牠是極輕的氣體，所以很容易從微小的孔隙中逸出。通常用氫來充填的橡皮球，比用發光煤氣來充填的易於縮癟，就由於這個緣故。氫僅稍溶於水，其溶解度甚至較氧為小。

如果將氫充分冷卻，再加壓力，即可變為液體。液態氫也是無色的，若讓牠迅速蒸發，即凝成無色的固體。

50. 【氫的化學行爲】 氫在空氣中燃燒，其生成物為水，水是氫氧兩氣體的最常見的化合物。



氫本身雖然容易燃燒，卻並不是助燃物；換一句話說，就是別的質素不能在其中燃燒。在尋常溫度之下，氫不易和其他元素結合，故知氫不是一種活潑的元素。但在某種情形之下，氫也可以和許多元素化合。例如將氫和氯混合在一起，曝曬在日光中，兩氣體即起猛烈的爆炸，而化合為氯化氫。又在適當狀況之下，

氫與氮可以化合而成氨。氫和硫可以化合成硫化氫，硫化氫的氣味，同壞蛋所生的臭氣相彷彿。若把氫、氧兩氣的混合物，熱至 800°C ，即發生猛烈的爆炸而成水。

試依體積比例，製成含氫二份和氧一份的混合物 (§ 19)，使之通過肥皂水，就發生充滿這種混合氣體的泡沫。然後先移去發生器，再用長柄火鉗夾燃着的火柴，把牠點燃，則此混合物即發生如槍彈般之爆音。

氫和氧雖然在較高的溫度中，能猛烈地化合，但在室溫時放在一起，雖經極長的時間也不起變化。但這時若加入某種金屬，如鉑粉之類，則反應立即發生。有時此項化合所生的熱，竟能使鉑熱至紅熾。這時的鉑，其本身並不起任何變化，僅作為一種觸媒。觸媒正如機器上所加的潤滑油一般，軸承上加了潤滑油，可使輪子易於旋轉。在化學反應中加入了觸媒，即能使反應在較低溫度中發生。

51. 【還原作用】 氫不僅在加熱時能與氧相化合，並且還可從很多的化合物中逐出氧元素；用氫可以逐出氧化銅 (copper oxide) 中的氧，即其一例。

氧化銅是一種黑色的固體，由氧和銅兩種元素所組成。將金屬銅在空氣中加熱，即得此物。這種氧化作用雖然進行得很慢，但漸漸全部的銅都能變成氧化物。現在讓我們再來逐出氧化銅裏的氧。

試依圖 41 所示，裝置儀器，使乾燥的氫通過燒熱的氧化銅。實驗時先將氧化銅置玻璃管內，加熱至紅熾，再導氫氣通過其上，即有水凝結而由管口流出。金屬銅留在管內，可由其紅色與金屬光澤而認識牠。這裏所用的氫，為什麼要乾燥的呢？

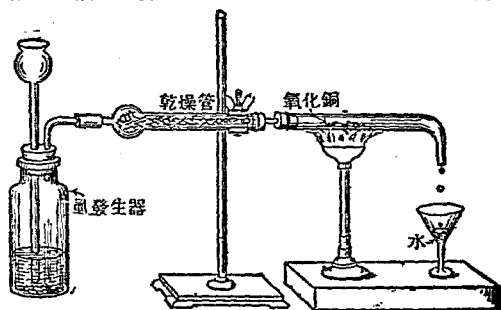
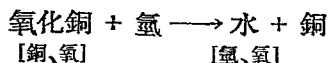


圖 41. 還原氧化銅(黑色)為金屬銅(紅色)

當氫逐出某種化合物中的氧而與之化合時，就稱該質素為

氫所還原。所以還原(reduction)主要是指氧的除去而言。在這種作用中,氫與氧化合而成水,其變化可以表示如下:



前面已經說過 (§ 34),一質素與氧化合,稱為氧化。所以在這個實驗中,是氫被氧化,而氧化銅被還原。還原作用與氧化作用是常常相伴發生的。因為倘若有一種質素被還原,同時必定有另一質素發生氧化。除氫之外,還有別種質素也可以用來做還原劑(reducing agent),碳就是其中的一種。我們以後將要明白,‘氧化’和‘還原’這兩個名詞,往往還有着較廣泛的意義。

52. 【氫的用途】 氫很少實際的用途,因其重量最輕,故很早就用來作充填氣球和飛船之用。但是因其有容易爆炸的危險,所以近年來美國採用氦來作代替品。氦雖比氫略重,但不會燃燒。氫又用以使某種植物油和動物油硬化為固體脂肪。這種方法稱為氫化(hydrogenation),詳見第二十八章。

氫燃燒所生的火焰溫度很高,若在燃氫的燈中,壓入適當的氧,則溫度更高;這種燃氫的燈極像圖 42 中所示的形式。如圖中所示,是一隻尋常的噴燈(blast lamp),用煤氣和空氣來代替氫和氧。氫氧焰的熱度極高,所以用來熔

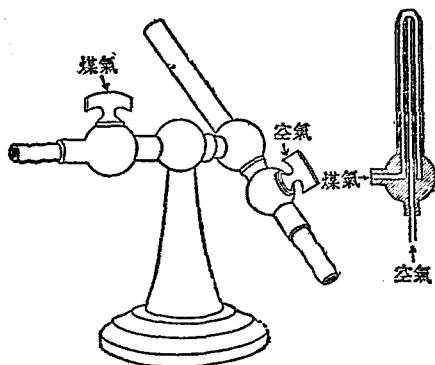


圖 42. 應用煤氣和壓縮空氣的噴燈

解鉍和其他高熔點的金屬。又在‘鉛錫法’(lead burning)中,也用氫氧焰使鉛片或鉛管燒融而互相接合。最近又應用一種所謂

‘原子氫焰’，當在第七章中再詳細說明。在合成氫 (§ 270) 的製造上，氫也是必要的。以商業的規模製造大量的鹽酸來作商品出售的，也用氫來使之與氯直接化合。又使大量之氫與一氧化碳相混合，可用作燃料，稱為‘水煤氣’。至於供商品出售的氫，則是藉水的電解而製成的 (§ 19)。

53. 【擴散】 如果把一隻滿盛氫的圓筒，倒置在另一隻滿盛氧的圓筒的口上，經數分鐘後，試檢查兩圓筒中的氣體，將發現牠們都變成了氫氧的均勻混合體。這實驗表示氫雖然輕，卻已向下移動，氧雖然比氫重十六倍，卻已向上移動。一切氣體都具有

這種特殊的運動力量。這個把兩種或多種氣體交相勻和的作用，稱為擴散 (diffusion)。各種氣體擴散於另一種特殊氣體 (譬如空氣) 中的速度，隨各氣體的密度而不同。氣體越輕，與其他氣體混合愈快。在各種氣體中，氫的擴散速度最大，牠和空氣混合的速度為氧的四倍。

溴因具有紅色，所以牠在空氣中擴散的情形很容易看出。將溴液少許，滴在一隻圓筒裏，這紅色的液體雖然五倍重於空氣，卻依然很快地蒸發，而擴散於整個圓筒 (圖 43)。

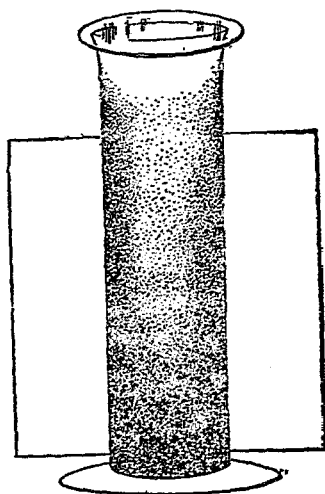


圖 43. 向上擴散的溴蒸氣

54. 【分子動力說解釋擴散】

現在我們都公認，一切質素都是由極細微的質點稱為分子 (molecules) 的所構成，而一定質素的各個分子，都是彼此相同的。在固體及液體中，各分子十分密接，但是在氣體中，各分子就離開得很遠，相互間留着很大的空隙。後來，又假定，氣體中的這種微小質點，都在以很大的速度向各方面飛行，並且牠們除非互相撞擊，或碰撞在容器壁上而被折回之外，總

是沿一直線進行的。牠們似乎沒有停留在某一地方的趨向。這就說明了氣體為什麼擴散得這麼快，並且為什麼會立刻擴散於整個圓筒，如上節所說。一切氣體分子，在平常狀況之下，都被假定在急速地運動，我們要表出這種事實，就說牠們具有動能 (kinetic energy)。

氣體的一切定律(見附錄)都可用所謂分子動力說 (kinetic-molecular theory) 來解釋。例如氣體分子撞擊容器的四壁，結果就發生把四壁向外推送之力，這就是氣壓的由來。又按照這一學說，那麼氣體受熱時的膨脹，也可以說是由於分子的運動速度增加而起。因為分子的運動速度一增加，則每一分子的反擊之力就愈強，結果使氣壓增大，克服了反對方向的壓力，而使氣體膨脹；在汽車機筒內爆發的氣體的行動，就是一個最好的例子。

55. 【新發現的各種形式的氫】 1929 年波尼弗 (Bonhoeffer) 曾經以實驗指出有兩種物理性質不同的氫。普通的氫在室溫時，含有三份的‘正氫’ (ortho-hydrogen) 和一份的‘異氫’ (para-hydrogen)。此等質素，在關於近代分子構造論的專書中，有着詳細的討論。

更近，在 1932 年，有三位美國化學家，即哥倫比亞大學的攸利 (Urey)

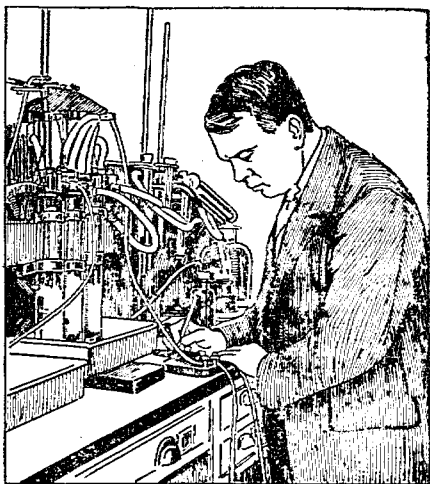


圖 44. 攸利像
(Harold C. Urey 1893-)
攸利氏曾發現‘重氫’，因而獲得 1934 年的
諾貝爾氏化學獎金

和麥非 (Murphy) 以及美國標準衡量局的布利克未得 (Brickwedde) 曾發現一種重氫, 與普通的氫極相似, 但其重為普通氫的二倍, 定名曰氘 (deuterium) 讀如刀。最近, 又發現一種極稀有的氫, 其重為普通氫的三倍*。這些都稱為氫的同位元素 (isotopes), 簡稱同位素, 容在第十八章中再加討論。

第五章 摘要

【氫的製法】 氫可用下列各法製取：

- (a) 水和某種金屬相反應。
- (b) 用某種金屬從酸中置換 (實驗室製法)。
- (c) 水的電解 (商業製法)。

【氫的性質】 氫是無色, 無臭的氣體, 質量最輕, 擴散最快。

【氫的燃燒】 氫在空氣或氧中燃燒, 則生成水。牠是一種強還原劑。當某質素被氫所還原時, 氫本身卻被氧化; 還原作用總是和氧化作用同時發生的。

【氫的用途】 氫可供充填氣球及飛船, 助油類氫化, 產生氫氧焰以造成極高的熱度, 製造合成氨; 牠與別種氣體混合, 又可以當作燃料。

【分子動力說】 所謂分子動力說, 假定 (1) 氣體乃是廣布極微質點的疏朗空間; (2) 這種質點 (分子) 在普通狀況下, 都在以高速度向四面八方飛行。

【新發現的各式的氫】 近代新發現的氫計有為兩倍重於普通氫的氫 (氘), 以及三倍重於普通氫的氫。

問 題

1. 試敘述從水製氫的方法兩種。
2. 一切酸類中共同含有哪一種元素?

* 譯註：此種重氫名曰氚 (tritium), 讀如川。

3. 怎樣可以檢驗氫中是否雜有空氣？
4. 試比較氫和氧的(a)顏色；(b)臭味；(c)密度；(d)水中的溶解度；(e)可燃性。
5. 當卡文提什發現氫的時候，他叫牠‘可燃空氣’；為什麼？
6. 捕集氫時，是否必需用水槽？
7. 舉出氫的四種重要用途。
8. 用氫充填氣球時，每易發生危險，是由於氫的哪一種性質？ 美國政府怎樣解決這個問題？
9. 為什麼我們不用氧來充填氣球？
10. 把燃着的小蠟燭，插入一隻充滿氫而倒置的瓶中，可以證明氫的哪兩種性質？
11. 要保持一瓶氫，經過一晚，應怎樣處置？
12. 在燃氫製水的實驗中，為什麼氫一定要乾燥？
13. 試解釋氫發生器中的薊頭漏斗，為什麼可以用作‘安全管’？
14. 為什麼在氫氣吹管中，氧要經過內管，而不經過外管？
15. 氫從氣球的縫隙中洩出，比空氣快呢還是慢？ 為什麼？

* * *

16. 當鋅和鹽酸反應時，氫的氣泡由鋅粒上昇；如果鋅是元素，為什麼會發生這樣的現象？
17. 用一定量的鐵，能夠分解無限量的蒸汽嗎？
18. 當還原作用發生時，可以沒有氧化作用嗎？
19. 當氧化作用發生時，可以沒有還原作用嗎？
20. 氧化銅粉末和木炭粉末，同為黑色，你用什麼化學檢驗法可以分別牠們？
21. 在本生燈中，可以用純氫來代替煤氣嗎？
22. 純氫可以很滿意地代替煤氣嗎？ 試解釋之。
23. 為什麼煤氣在煤氣燈上燃燒，十分安穩，但若有少量煤氣散逸到房中，則一經點燃，即發生猛烈的爆炸？
24. 試回憶鈉在水面上的猛烈變化（§ 45）。你的身體裏大約含有一英鎊，當你每次游泳時，有沒有冒着危險？ 試解釋之。
25. 試把前面已經讀過的三種化學反應，逐一舉例，並加簡單說明。

第六章

水及其組成 過氧化氫

56. 【所在與重要】 水是最常見和最重要的化合物。地球表面的七分之五，都為水所掩蔽。牠以不同的分量存在於許

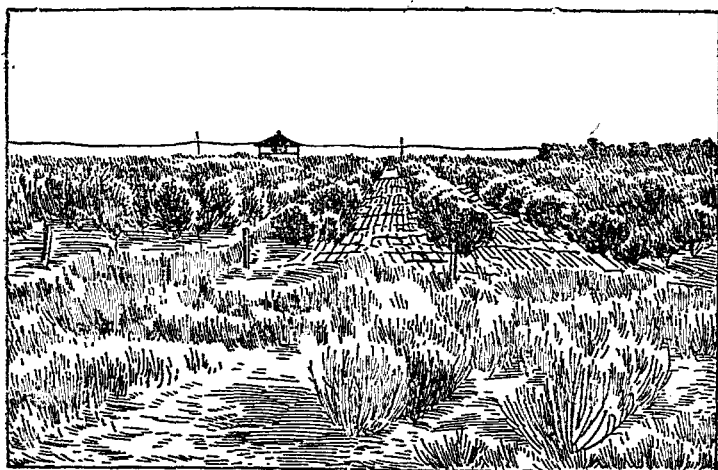


圖 45. 水是植物生長必需的養料。圖示藉灌溉之法而生長在沙漠中的果樹多最普通的物品中。在正常狀況下，土壤中總含有水分，我們大家知道，這些水分是植物生長所必需的(圖 45)。植物自身也含有大量的水。在事實上，作為食品的蔬菜至少要含四分之三的水。其中如胡瓜和蕃茄等，含水竟達百分之九十五之多。牛乳中所含的水約為百分之八十七。人體中所含的水約為百分之七十，都是從食品和飲料中得來的。大氣之中含有水汽，水汽在不

同狀況下之化爲雨，變成雪，以及牠在氣候變遷上所擔當的重要的任務，是每一個人所熟知的。

57. 【物理性質】 純水是無臭的液體。少量的水無色，但是大量的水卻呈藍綠色。水經充分冷卻，就變成無色的固體，就所謂冰。若被加熱，就沸騰而很快地化成水汽，也就是通常所謂的蒸汽。純水在標準壓力(760 毫米)下，於 0°C . (32°F .) 時凝固，於 100°C . (212°F .) 時沸騰。因爲其他質素不會恰好有這樣的凝固點和沸點，所以這種溫度可以作爲水的檢定之用。

水是徧地都有的，所以被用來規定科學上的各種標準，如溫度標上的定點(凝固點和沸點)等。在化學實驗室常用的米突制中，重量克(gram)就是一立方厘米純水在 4°C . (39°F .) 時的重量。所以選取這個溫度，是由於水在 4°C . 時密度最大。任何質素的密度(density)，就是該質素單位體積的重量。一立方厘米(cc. 或 ml. 或 0.001 升)被採用來作爲固體和液體的單位體積。但在氣體卻是用某標準狀況(760 毫米和 0°C .) 下的升(1000 cc.) 來作爲單位體積的。因此，水的密度是每立方厘米 1 克；銅的密度是每立方厘米 8.9 克；水銀是每立方厘米 13.6 克。空氣的密度是每升 1.293 克，氧是每升 1.43 克，氫是每升 0.09 克(更精確點說是 0.0898 克)。

58. 【質素的狀態變化】 當液態的水凝結成冰，或沸騰化汽的時候，我們就說牠已改變了狀態。這種從一狀態變爲別一狀態的變化，純粹是一種物理變化。所謂物理變化，我們當還記得，意思是說，在這個變化中，並沒有變更質素的化學組成 (§ 10)。質素從一狀態變爲別一狀態時的溫度，是質素的一個極重要的物理性質。例如水結成冰的溫度，被採用爲攝氏溫度計 (centigrade thermometer) 上的 0° ，和華氏溫度計 (Fahrenheit thermometer) 上的 32° 。固態的冰溶解成水的溫度也是 0°C 。液態

的水經常在慢慢地變成氣態，這個作用稱為蒸發 (evaporation)，潮溼的衣服會逐漸乾燥，便是一個習見的例子。水汽是一種無色的氣體，所以是看不見的。尋常被稱為水蒸氣的白色雲霧，其實根本不是氣態的水，而是水汽驟然遇冷，回復液態時所成的極細水滴。

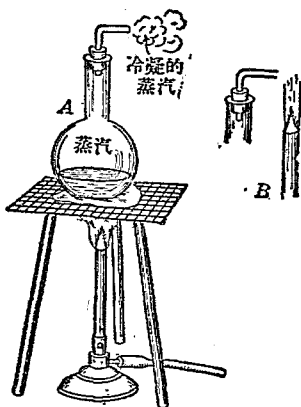


圖 46. 蒸汽的雲霧(A)經加熱後，即行消失(B)

我們可以用下面的實驗來證明氣態的水或蒸汽是看不見的。在大燒瓶中盛水少許，上加單孔瓶塞和彎曲玻璃管(圖 46 A)，然後加熱。當水急速沸騰時，就有‘蒸汽’的雲霧從管上逸出。然而燒瓶裏雖然充滿蒸汽，看起來卻很清澈。這時候我們如果用另一本生燈來放在那股噴射出來的蒸汽下方(圖 46 B)，就見那雲霧立即消失。這是由於火焰已把空氣加熱，使蒸汽不再凝結了。

在常溫時，水的蒸發很慢，但溫度愈高，則蒸發愈快。當溫度充分昇高時，水汽的氣泡從液體中上昇，我們就說這水沸騰了。在這個時候，蒸發極快。水的沸點(在 760 毫米壓力時)是 100°C . (212°F .)。質素熔解和沸騰的溫度，分別稱為熔點(melting point)和沸點(boiling point)。

59. 【熱的計量】 使一克水溫度昇高攝氏一度所需的熱，被採用為熱的單位，稱為卡路里(calorie)，簡稱為卡。使一克任何質素溫度昇高攝氏一度所需的卡數，稱為該質素的比熱(specific heat)。水的比熱是 1；汞的比熱是 0.033。這就是說，使一克汞的溫度昇高一度所需的熱，只抵得使一克水的溫度昇高一度所需的熱的三十分之一。水的比熱較任何普通質素為高。

當水沸騰時，欲使一克 100°C . 的沸水化為同溫度的蒸汽，約需 540 卡的熱，這稱為水的蒸發熱(heat of vaporization)。當冰

溶解時，欲使一克 0°C . 的冰化爲同溫度的水，約需 80 卡的熱，這稱爲冰的熔解熱(heat of fusion)。

60. 【溶解的過程】 取食鹽少許，放在一燒杯中，我們就說這固體的鹽已溶解於水。這時候牠實際的經過情形如何，這裏我們不及深論。我們只注意到那些鹽逐漸消失，而均勻地分布在水中。並且，我們如果把這所謂溶液(solution)蒸發到乾燥，就可把這鹽再收回轉來。在這個溶解過程中，鹽顯然並沒有起永久的變化。如果我們在某定量的水中增加溶入的食鹽的分量，那末到了某一限度，水就溶不下更多的鹽了。這樣的溶液就稱爲飽和溶液(saturated solution)。需要多少固體，纔能製成飽和溶液，那是要看固體的性質與水的溫度而定。糖、硫酸銅或硝石等的水溶液，也可以用同樣的方法來製成。不過我們若是要想把石蠟溶解在水中，就將發見這是不可能的。然而我們若是不用水而改用汽油來作爲溶劑，那末我們就將發現石蠟也能夠溶解，而糖和鹽卻不能溶解了。就一般說，凡溶解他物的質素稱爲溶劑(solvent)，被溶解的質素稱爲溶質(solute)。所以

$$\text{溶液} = \text{溶劑} + \text{溶質}$$

溶質通常都是固體，但也可以是液體。例如甘油和酒精都是容易和水混合的液體。其實甚至氣體也可以溶解在水中。汽水(嗶嘰水)就是溶解着二氧化碳的水。如果溶液中僅含少量的溶質，我們就把牠稱爲稀溶液(dilute solution)。倘使溶液中含有大量的溶質，我們就把牠稱爲濃溶液(concentrated solution)。

61. 【水的溶劑力】 在我們的日常生活中，永久不會碰到化學的純水，就是在實驗室中，也不常碰見化學的純水。這因爲水是一種極佳的溶劑。事實上，水有時確被稱爲萬能的溶劑，這並不是因爲牠能夠溶解巨量的一切質素，而是因爲牠差不多能夠溶解微量的任何質素。質素溶在水中的溶液，通稱爲水溶液

(aqueous solution)。一切動植物所需的食料，都是成爲溶液而輸送到細胞裏去的，水就做了輸送的工具。

62. 【天然水不是純水】 例如，海水中溶解着大量的食鹽和較少量的許多其他質素。從某種井泉取得的水，有時僅含極少量的溶解物。但是最純粹的天然水卻是雨水。然而就是雨水也含有空氣中的塵埃和溶解着的氣體。天然水中除了含有溶解在內的雜質以外，並且還往往含有許多機械地懸浮(suspended)在內的物料。例如‘泥水’中就挾着不溶解的固體的微粒，這種微粒通常都由極微小的土壤而成。

此外水中還有一種雜質，係來自泥土中的植物體和溝渠中的污水。這稱爲有機物(organic matter)。其中有一部分溶解在水裏，有一部分懸浮在水裏。因爲有機物上常生活着多數能引起疾病的細菌(圖 47)，所以是一種危險的雜質。例如，患傷寒病的人極易把傷寒病菌帶入水中，於是飲用這含有傷寒菌的水的人，就被傳染而患傷寒症。水中雜有溝渠中的污水，既然非常危險，所以在城市中必須極審慎地從無污的水源中去取水。如果找不到純淨的水源，那就非把所用的水小心地加以淨製不可。

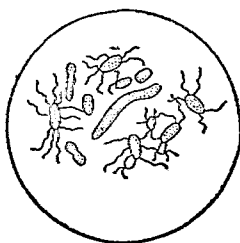


圖 47. 時常在飲用水中發現的細菌(放大)

63. 【水的淨製】 水可以用四種方法來淨製。其中只有第一個方法真能製得純水。其他的幾個方法，只是把水中不適於飲用的若干物料，除去或撲殺而已。

(1) **蒸餾法** 溶解或懸浮在水中的非揮發性的雜質，可以用所謂蒸餾法(distillation)來除去。把水放在一個特製的容器中煮沸，使所生的蒸汽經過一個冷卻管而再變爲液體(圖 48)。這種由水汽(蒸汽)變成液體的水的變化，稱爲冷凝(condensation)。發生這個變化的器具，稱爲冷凝器

(condenser)。從冷凝器末端滴下的水，是純粹的，因為所有的雜質都遺留在蒸水的容器裏了。在實驗室中，當我們需要絕對的純水來做實驗時，就用這種所謂蒸餾水 (distilled water)。蒸餾水有時也供飲用，只是因為其中不會溶有空氣或固體物在內，所以味極‘平淡’。若將空氣泡通入水中，那末這種不自然的滋味當可稍稍減弱，因為這時會有少量的空氣溶解進去，使之較為適口。

(2) 過濾法 在水中懸浮的或不溶解的物料，可設法濾去。在只能從污濁的水源中取水的城市，都大規模地用‘過濾法’ (filtration) 淨水。令水徐徐地通過

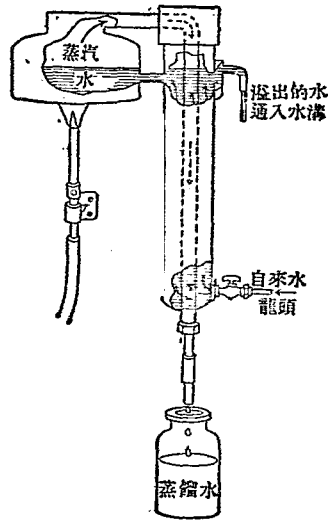


圖 48. 冷凝沸水所生的蒸汽使變成純水

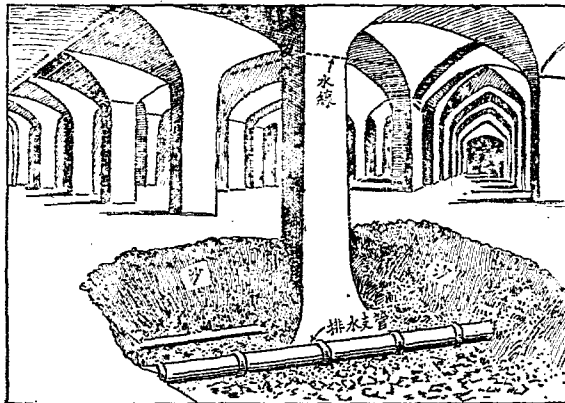


圖 49. 在混凝土建築下的濾水用砂狀

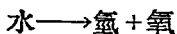
鋪有砂礫的濾牀(圖 49),於是水中的懸浮物料就被截留在小小的砂粒間。但是在濾牀下流出的水中,雖然已無懸浮物料,卻仍含有溶解着的雜質。

(3) 煮沸法 含着有害細菌的水,只消把牠煮沸片刻,即可適於飲用。這所謂淨製法,實際上並沒有把雜質除去,只是把能引起疾病的細菌撲殺而已。這種微小的植物,是不能在沸水的溫度中生活的。牠們死亡了以後,自然不能再引起疾病了。這個淨水法從衛生的立場看來,是很有效驗的。不過一般總嫌所費太貴,只有在應急需的時候小規模地試用一下。

(4) 飲用水的化學處理法 細菌還可以用煮沸以外的其他方法來撲滅。有多種化學質素,若以其微量加入水中,就可殺滅細菌。例如氯及次氯酸,就是這樣的兩種物料。但是對於這個淨水法,我們要在研究過這幾種質素以後再來討論。在近年來,這個方法已很快地得到重視。天然的流水能時時自行淨化,牠的過程就和這個方法相似。空氣中的氧溶解在水中,能和細菌起化學作用而把牠們撲滅。不過這個過程的進行是很緩慢的,所以有不少的地方,都用人工的方式來淨製城市中的用水。其法,把水從噴水管噴入空中,使空氣有足夠的機會來和水中的細菌起化學的作用。

水的組成

64. 【水的分解】 在討論化合物的時候 (§19),我們曾見水能被電流所分解,或‘撕裂’,結果就成為氫和氧。這氫和氧,我們稱之為水的成分元素,而那個方法,我們稱之為水的電解。這個化學變化可以設想為



我們又記得,我們得到的氫的體積是氧的兩倍。因此我們只要

知道了氫和氧的密度,就可以計算這兩種氣體的重量,而從這重量就可得到水的百分組成了。

例如,假使我們有兩升的氫和一升的氧。這就是在 $0.18 + 1.43$ 即 1.61 克的水中,有 2×0.09 即 0.18 克的氫,和 1.43 克的氧。也就是水中含有 $\frac{0.18}{1.61}$ 即約 11% 的氫和 $\frac{1.43}{1.61}$ 即約 89% 的氧。

65. 【水的體積合成】我們要確定水的組成,除了用分析 (analysis) 的方法外,還可以使兩體積的氫和一體積的氧直接化合而成水。這個方法稱為合成 (synthesis)。

使氫氧兩氣體化合的實驗,通常都在‘氣體燃化計’ (eudiometer) 中舉行 (圖 50)。所謂氣體燃化計是一支刻度的玻璃管,在近密閉的一端封入鉛絲兩條,介於兩鉛絲的頂端,有一個長約兩三毫米的電花隙。先在這個一端密閉的玻璃管中滿貯水銀,把牠倒立在水銀槽中。再

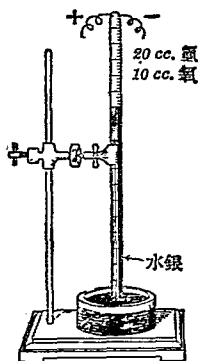


圖 50. 使氫氧化合的氣體燃化計

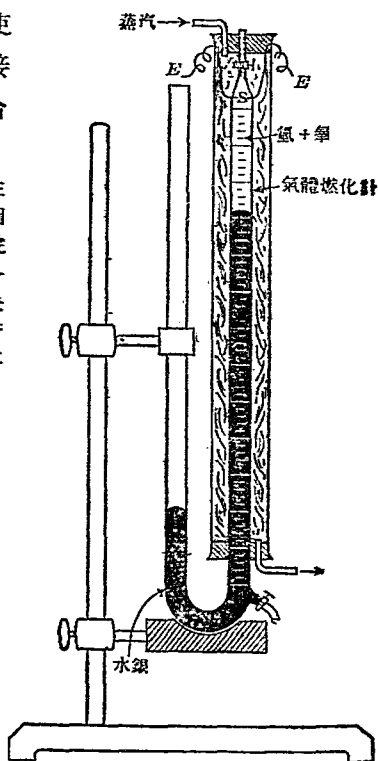


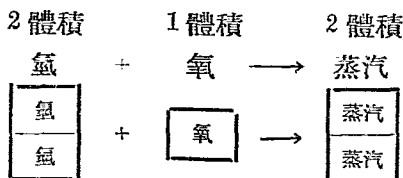
圖 51. 附有汽套*的氣體燃化計,用以使氫氧化合為水蒸氣

* 汽套中用戊醇蒸氣較用蒸汽更佳。

用電解法製成一體積氧和兩體積氫的混合氣體，導入管中，直至約 1 管高的四分之三而止。然後把兩铂絲連接於‘感應圈’，令其放出電花，就能使兩種氣體化合。這時候我們將立即看見氣體中發出閃光或火焰，水銀柱驟然下降，壁後又上昇而直達管頂。這表示所有的氣體都已消失，生成的水已令凝成一滴微小的露珠了。

如果在管外套一較大的玻璃管，而用戊醇 (amyl-alcohol) 蒸氣通過其中 (圖 51)，就可阻止所生蒸汽的冷凝。在這種情形時，看見所有的氣體都在同溫度 (約 $130^{\circ}\text{C}.$) 同壓力下計量，那末結果就會縮去三分之一的氣體。(在變化前後，須小心地調整燃化計中水銀柱的高度，使玻璃管密閉一端的水銀面和開口一端的等高)。

這個實驗表示蒸汽的體積和氫的體積相等。換言之，



66. 【該呂薩克的體積定律】 氫與氧化合成水的體積之比，恰為 2 與 1 的簡單的整數比，這是一個可異的事實。用同樣方法來仔細研究氫、氧以外的其他氣體，更發現了下列可注意的事實：在任何化學反應中，所用和所生氣體的體積往往可以用小整數的比來表出。這個所謂體積定律 (Law of Volumes) 是 1808 年該呂薩克 (圖 52) 所發現的。



圖 52. 該呂薩克 (Joseph Louis Gay-Lussac, 1778-1850) 法國化學家兼物理學家，以研究氣體化合物體積著名

比，恰為 2 與 1 的簡單的整數比，這是一個可異的事實。用同樣方法來仔細研究氫、氧以外的其他氣體，更發現了下列可注意的事實：在任何化學反應中，所用和所生氣體的體積往往可以用小整數的比來表出。這個所謂體積定律 (Law of Volumes) 是 1808 年該呂薩克 (圖 52) 所發現的。

67. 【水的重量組成】 我們已經查出了組成水的兩種氣體的相對體積。現在我們要測定牠們的相對重量。要作這個測定，可利用氫和氧化銅之間的反應。

在這個實驗中，我們用氫還原已知重量的氧化銅，也就是用氫奪除氧化銅中的氧，而把所得水的重量稱出。氧化銅中所失的重量，就是我們所用的氧的重量。實驗中所生水的重量和氧的重量之差，就是氫的重量。實驗的裝置與圖 41 所示的大致相同。氧化銅在圖 53 的玻管 A 中被還原。水收集在含有乾燥劑（如氯化鈣）的 U 字形管 B 中，並從

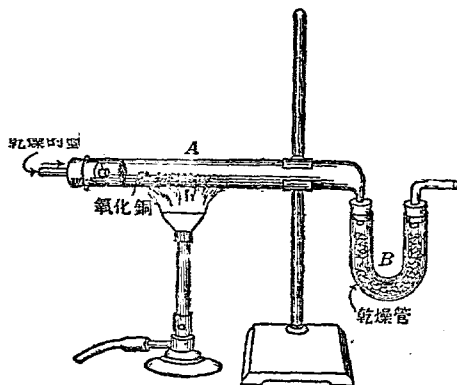


圖 53. 測算水中氫氧相對重量的裝置



圖 54. 摩黎像 (Edward Williams Morley, 1838-1923) 美國化學教授，他曾極精密地測定了水的組成

此稱出牠的重量。

用這個方法測定水的組成，乃是 1820 年柏齊利阿斯首先應用的。在最近，美國化學家摩黎曾經應用與上述相似的方法，極精密地測定了水的組成。據他的實驗的結果，1 份重量的氫與 7.94 份重量的氧化合而成爲水。這個實驗，通稱爲水的重量合成 (gravimetric synthesis)。

像這樣的實驗，其中所用物料的重量或體積，都經精密計量的，稱爲定量 (quantitative) 實驗。他種實驗，凡只觀察變化的本性

和生成物的性質的，稱為定性(qualitative)實驗。

68. 【水的百分組成】 上述實驗，很好作‘定組成定律’ (§ 23) 的說明；因為凡是純水的樣品，一經分析，都表示由 1 份重量的氫和 7.94 份重量的氧所化合而成。從化學變化中沒有重量變化這個事實(物質不滅定律)，我們知道氫占水的 $\frac{1}{1+7.94}$ ，即 11.2%。我們又知道氧必占水的 $\frac{7.94}{1+7.94}$ ，即 88.8%。換言之，水約含 $\frac{8}{9}$ 重量的氧和 $\frac{1}{9}$ 重量的氫。

69. 【什麼是‘重水’】 新近發現，在水的電解過程中，從摻酸的水中陰極附近逸出的氫，有輕重兩種。較輕的氫大量地逸出在先，較重的氫逸出在後。要是這種重氫，即所謂氘 (deuterium, §55)，在氧中燃燒起來，那末所生水的密度(1.1079 克/立方厘米)就較普通的純水為大。因此這水稱為重水(heavy water)，或稱氧化氘(deuterium oxide)。並且，這重水在 101.42°C 沸騰，在 +3.8°C 凝固。若使不用普通的水來稀釋牠，對於植物顯然是有毒的。在起初，重水只是一種化學的珍玩。但因其性質的富於趣味，就引起了多數化學家的注意和研究，在現今，無論是純粹的或混合着不同比例的普通水*的重水，都可以在美洲或歐洲買到，以供實驗的研究之用。最初製成氧化氘的是柏克萊加利福尼亞大學的劉威士教授(Prof. G. N. Lewis)。

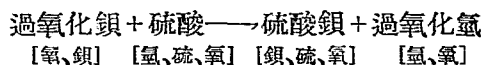
過 氧 化 氫

70. 【組成】 除了水，還有一種氫和氧的化合物，這化合物所含的氧，適為在水中與同重量的氫相化合之氧的兩倍。我們剛纔已經看到，水由 1 份重量的氫和 7.94 份重量的氧所組成。但‘過氧化氫’(hydrogen peroxide)卻由 1 份重量的氫和 2×7.94

* 本書中凡單說‘氫’，都指普通的氫，單說‘水’，都指普通的水。

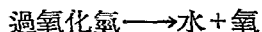
即 15.88 份重量的氧所組成。那個接頭語過 (per) 字的意思,是表示這化合物中所含的氧超過了普通氧化氫(水)中所含的氧。

71. 【製法和性質】 過氧化氫在商業上是藉冷稀硫酸作用於過氧化鋇而得。過氧化鋇 (barium peroxide) 是白色的粉末,爲鋇的氧化物,很像氧化鈣。這個作用可以表示如下:



硫酸鋇是一種白色不溶性的固體,可用過濾法除去之。將所得濾液在低壓下蒸發,即可濃縮成過氧化氫。

過氧化氫又可藉過硫酸 (persulfuric acid) 的電解而製得。純粹者爲無色之漿狀液體,不過因爲牠極易分解,故極難製得:



供醫藥用的都爲稀薄的水溶液。市上用‘雙氧水’的名義出售的,是過氧化氫 3% 的溶液。因爲牠能徐徐地放出氧,所以裝這種溶液的瓶子,往往用螺旋瓶蓋。商業上的過氧化氫能生 10 倍其體積的氧,所以有時稱爲‘10 體積溶液’。這意思是指每立方厘米的過氧化氫會產生 10 立方厘米的氣體氧。現在市上已有 30% 的溶液出售,可供化學上的應用。

72. 【用途】 過氧化氫極易放出氧,像臭氧一樣,故爲一強氧化劑。因此可用以漂白蠶絲、羊毛、頭髮、羽毛和象牙等。牠在醫藥上又用作防腐劑和清淨劑,不過把牠當作殺菌劑,那就未免有一點估計過當了。然而因爲牠所放出的自由氧的化學作用,使牠確能擔當清淨傷口和除去異物的任務。至於排除濃汁和鬆解沾有血污的乾燥綑帶,尤見奇效。

73. 【倍比定律】 前述 (§ 70) 氫和氧以近於 1 與 8 之比率結合而成水,以 1 與 16 之比率結合而成過氧化氫。我們由此

注意到跟 1 份氫相結合的氧的諸重量間，恰成 1 與 2 之比。這種情形並非水與過氧化氫所特有。以後我們將要指出，碳與氧結合而成一氧化碳，其中碳與氧的重量比是 1 與 1.33。但另有一種碳的氧化物二氧化碳，其中碳與氧的重量比是 1 與 2.66。我們一看就可明白，2.66 恰為 1.33 的兩倍。這個簡單的關係，在一氧化物 (monoxide) 和二氧化物 (dioxide) 兩個名稱中已經表示出來了。

每當兩種或兩種以上的化合物含有同樣的元素時，跟一定量的甲元素相化合的諸乙元素之間，互有簡單的關係，如 2 與 1，或 3 與 1，或 3 與 2。這個通則稱為倍比定律 (Law of Multiple Proportion)。倍比定律是約翰·道爾頓在 1804 年最先倡說的。換言之：當任何兩元素 A 與 B 化合而成一種以上的化合物時，與一定量的 A 相結合的 B 的諸重量間，必互成簡單的整數比。

這個定律與定組成定律是化學研究的基礎。在下一章中，我們將要看看道爾頓怎樣用了一種使化學成為系統科學的理論，來解釋這些簡單的通則。

第六章 摘要

【水】 水是最重要最豐富的化合物之一

【水的三態】 水以三種形態而存在：固體(冰)、液體、氣體(蒸汽)。牠在 0°C. 時凝固，在 100°C. 時沸騰。一立方厘米的水在 4°C. 時重 1 克。

【水溶液】 水是許多質素最佳的溶劑；所成的溶液叫做水溶液。

【天然水】 天然水是不純粹的；其中含有溶解着和懸浮着的物料，有時還雜有細菌。

【純水】 純水可用蒸餾法製成。懸浮物可用過濾法除去。

病菌可用煮沸法或加入少量的化學藥品來撲滅。

【水的組成】 水的組成可用分析法或合成法來表示。2 體積的氫和 1 體積的氧結合而成 2 體積的水蒸氣。

【該呂薩克定律】 化學反應中所用或所生氣體的體積往往可以用簡單的整數比來表出。

【水的重量組成】 水由 1 份重的氫和 7.94 份重的氧所組成。

【過氧化氫】 過氧化氫由 1 份重的氫和 2×7.94 即 15.88 份重的氧所組成。牠是一種強氧化劑，用以漂白及作為防腐劑。

【倍比定律】 當任何兩元素 A 與 B 化合而成一種以上的化合物時，與一定量的 A 相結合的 B 的諸重量間必互成簡單的整數比。

問題和計算題

1. 怎樣證明某種無色的液體是水？
 2. 希臘人稱水為‘元素’。最初證明牠是化合物的是誰？
 3. 水的何種性質適於 (a) 滅火？ (b) 用於熱水瓶？
 4. 怎樣表示水蒸氣是無色的？
 5. 舉出水以外的兩種溶劑。
 6. 怎樣撲滅水中的細菌？
 7. 水能用凝固法來淨製嗎？
 8. 在海洋中航行的汽船怎樣得到飲用水？
 9. 為什麼雨水是天然水中最純的水？
 10. 對於天然水而說的‘純’水，是何意義？
 11. 試將純淨的天然水和純淨的蒸餾水作一比較。
 12. 化學家製溶液時用的是哪一種水？
 13. 我們為什麼要喝水？
 14. 長期飲用蒸餾水，是否合於衛生？
 15. 怎樣用實驗來證明過氧化氫的分解？
- * * *
16. 用怎樣的方法來測定水之試樣 (sample) 中所含固體的總量？
 17. 水與其他液體相比較，何者較為重要？試述其理由。
 18. 溶液是生命的要素。一九三四年中國七省大旱災，怎樣說明了這個原理？

19. 試區別點燃氫氧混合物的電花與點燃後爆發的閃光。
20. 試辯護下列敘述：‘人為十二磅的灰和八桶的水’。
21. 試述表示水的組成的兩種分析法，和兩種合成法。
22. ‘重水’爲什麼比普通水重？
23. 怎樣從普通水中得到重水？
24. 試把重水和普通水的性質作一比較。
25. 怎樣使化學的純水較爲適口？

* * * *

26. 燃燒一百升的氫（標準狀況）。試計算所成‘液體的’水的重量和體積（以立方厘米計）。

27. 在有蒸氣套的氣體燃化計中混合 20 立方厘米的氫和 20 立方厘米的氧，點燃以後，(a)生成多少體積的蒸氣？(b)多剩些什麼氣體，有多少？

28. 使氫與 500 立方厘米的氧化合，而沒有過剩的自由氧，所需氫的重量是多少？

29. 把 20 立方厘米的氫和 8 立方厘米的氧放在氣體燃化計中點着後，生成多少體積的蒸氣？多剩些什麼氣體，有多少？

30. 抄錄並填寫所缺的字：100 立方厘米的氫和 50 立方厘米的氧的混合物爆發後，產生_____立方厘米的蒸氣，所有的體積都在 200°C. 和標準壓力下測得。

進修研究題

【飲用水】你的飲用水的來源是什麼？用哪一種方法淨製？參觀本地的自來水廠，你能就水的外觀決定牠是否適於飲用嗎？（參看 *Industrial Chemistry*, E. R. Riegel, Chap. 13.）

【水對於生命的重要】水在氣候的變化上負着何種任務？一國的興衰會受雨水的影響嗎？對於乾燥區域的給水，近年來採用何種方法？氣象學上最近有何進步？（參看 GEORGE R. STEWART, *Storm*. Randon House, N. Y., 1941）

第一章至第六章複習題

1. 區別 (a)物料與質素；(b)元素與化合物；(c)混合物與化合物。化學家曾否稱物料爲質素？
2. 說明下列名詞，並各舉一例：(a)氧化物；(b)自燃；(c)同素異形物；(d)還原；(e)觸媒（催化劑）。
3. 簡潔地寫出我們已經研究過的四條基本定律。
4. 對於上述定律，各舉一實驗以證明之。
5. 指出物質不滅定律怎樣應用於火爐中燃煤所起的化學變化。
6. 說出以前研究過的三種化學反應的方式，並簡要地各舉一例。
7. 區別下述現象爲物理變化或化學變化：(a)木材的燃燒；(b)汽油的蒸發；(c)

糖在水中的溶解；(d) 牛乳的變酸；(e) 牛油的熔解；(f) 食物的腐敗；(g) 炸藥的爆炸。

8. 每一化學變化有哪三個特點？

9. 說出下列各元素在空氣中燃燒時所生成的質素：(a) 碳；(b) 氫；(c) 硫；(d) 銅。

10. 一質素在空氣中燃燒所生的質素和在氧中燃燒所生的質素有否不同？

11. 發明‘氫氧炬’(oxyhydrogen torch)的美國人是誰？

12. 比較過氧化氫和臭氧，指出牠們的異同。

13. (a) 硫化鐵的重量比造成硫化鐵的鐵和硫的重量多呢還是少？(b) 硫化鐵所含的‘化能’(chemical energy)比造成硫化鐵的鐵和硫所含的化能多呢還是少？

14. 由燃燒蠟燭而成的二氧化碳和水汽的化合量，等於燃去的蠟燭的重量，這句話是否正確？若不正確就給牠改正。指出並敘述你改正的文句所依據的定律。

15. 貯藏庫中的煤屑堆，常因自燃而失火。懸浮在空氣中的煤粉，若被火星點着，就起爆發。試解釋自燃和爆發的不同。是否自燃通常總伴着爆發？

16. 汞、水、醇和醚等正在燒杯中沸騰。(慎勿作此實驗)。(a) 牠們汽壓的比較如何？(b) 牠們溫度的比較如何？(c) 各汽壓是多少？

17. 誰發現氧？誰發現牠在燃燒中的祇能？怎樣發現的？拉發西揆在他的實驗中原來用 50 立方英寸的空氣，在加熱水銀的 12 日中失去了多少立方英寸的空氣？同時在曲頸甕中的水銀面上發見些什麼？這紅色質素經加熱後，放出多少立方英寸的氣體？是什麼氣體？

18. 在拉發西揆著名的 12 日實驗中(見圖 27)，他在第十天末，注意到鐘瓶中的水銀面已停止上昇，而水銀上也不再生成紅色的粉末了。但是雖然如此，他還是繼續加熱了兩天。這是什麼意思？

19. 卡文提什在 1766 年發現了氫。在 1781 年，他使氫在空氣中燃燒而得到了多量的液體的水，足夠鑑別牠的確是水。但是他不能了解他自己的工作的意義。這是什麼緣故？後來闡明這個意義的是誰？

20. 比較希臘人所謂的‘元素’和拉發西揆時代的化學元素。你能說出希臘人和拉發西揆的觀點的不同來嗎？誰最先下化學元素的定義？什麼時候？

* * * *

21. 多少體積的氫可以和 11.2 升的氧一樣重？(假定溫度和壓力都在標準狀況下)。

22. 摩黎在某次實驗中，觀察 3.8193 克的氫和 30.9210 克的氧相化合。試計算氫和氧結合的比。

第七章

道爾頓的原子說和分子說

74. 【三基本定律的複習】 從所有化學質素和化學變化的研究,我們知道物質是不滅的。這個事實,可以作成如下的定律:參加化學變化的各質素的總重量和生成各質素的總重量相等。這稱為物質不滅定律。

我們又知道,化合物的最重要的特性之一,可用定組成定律表述如次:化合成一已知化合物的諸元素的重量,常成一定的比。這就是說,化合物的組成是永久不變的。

我們更知道,當甲乙兩種元素化合成一種以上的化合物時,與一定重量的甲元素相化合的諸乙元素的重量,必互成一簡單的整數比。這就是倍比定律。這三個定律,都是經過精確的操作和謹慎的觀察,而從無數次的實驗得來的。

75. 【事實和學說】 當我們碰到一連串實驗事實的時候,我們往往要自己問自己:‘這些事實何以會如此?’爲着要解釋和說明這些事實,化學家常常採用某種學說(theory)。至於定律和學說究竟有何種區別,倒是很值得給我們研究一下的。

定律(law)可以定義爲根據實驗事實的概說。牠是綜合多數研究結果的簡便方法。波義耳的定律就是一個很好的例子:若溫度不變,則一定量氣體的體積與所加的壓力成反比(第三十八章)。至於理論卻是用來解釋事實的一種科學的猜測或假說(hypothesis)。可是我們不要以爲科學上的學說是一種胡亂的猜測;牠實在是根據了我們對某一主題的所有知識而作成的合

理解釋。要是這假說適合於一切事實，那麼在沒有新發現的事實跟牠發生牴牾之前，就可以認為是很滿意的學說。若有新發現的事實和這學說不合，那麼這個學說就應當加以改正，或是全部廢棄，而另擬新的學說。一個學說往往以某種不能用實驗證明的假定，作為出發點。從這些假定，再推斷某事某事必定真確；這推得的結論越與事實符合，則學說的真確性就越大。然而我們還不能說這個學說已被證實，我們只能說這學說或許是真確的。分子運動說就是一個很好的例子，這學說除了在其他方面的成就以外，確能把氣體在各種壓力下所表現的行為，解釋得十分清楚。還有一個很好的例子，就是下面所說的道爾頓的原子說。

76. 【什麼是道爾頓的原子說】 紀元前 300 年頃的希臘哲學家，相信一切物質都由極微小而不能再分的質點所構成。他們把這種終極的物質，稱為原子 (atom)。然而古代的思想家對於自然科學的知識十分缺乏，所以還不能利用這種學說來解釋自然界的現象。

英國教師約翰·道爾頓 (圖 55) 於 1808 年創立了一種學說，其主旨與希臘哲學家相似，但其見識則更為遠大。若用道氏學說來解釋定組成定律和倍比定律，就覺得極為簡單。他與希臘諸哲人一樣，假定萬物都是由極細微的質點所組成的，他也把這種質點稱為原子。但除了這個基本的假設之外，他的觀點卻全然與古



圖 55. 道爾頓像
(John Dalton, 1766-1844)
道氏為英國教師兼化學家，曾創立化學上的化合量定律，並確立原子說

代哲學家不同。道氏的‘科學猜測’，一般人都把牠稱為原子說 (atomic theory)，曾被採用來解釋關於化合物的各種事實。所以這個學說簡直可以推為近代化學上最有用的學說。

在道氏的學說中，曾作如下的假定：

- (1) 物質是由稱為原子的微小質點所構成的。
- (2) 同種元素的所有原子，其大小和重量*都彼此相似，但不同元素的原子，其大小和重量，截然不同。
- (3) 原子能與其他原子相結合，而藉一種所謂‘化學親和力’ (chemical affinity) 來把牠們維繫在一起。所有的化合物就是由原子的這種結合而生成的。
- (4) 原子不能被分割，所以只能以整個的原子來互相結合。

77. 【元素的原子量】 原子有時被定義為：能參加化學反應的元素的最小部分。原子的重量現在雖已知道得十分精確，但因其過於微小，我們在計算時並無應用牠們的確實重量的必要，所以在實際上只是應用了各種元素個別原子間的相對重量 (relative weight)。這種相對重量，在習慣上都用氧原子做標準，因為氧所造成的化合物最多，故特定其重量為 16。根據此值，則氫原子的重量，僅略大於 1 (1.008)。元素的原子量，是根據一個氧原子的重量為 16，而比較得來的該元素一原子的重量。

現在化學家所公認的元素的原子量，詳見本書卷首的附表。對於幾種普通元素的原子量，讀者如能將其近似值默記心中，就可以省掉不少時間。表中碳的原子量是 12，氧是 16；因此在一氧化碳中要 12 份重量的碳和 16 份重量的氧相化合。換一句話說，碳和氧的比是 1:1.33；這和一氧化碳的化學分析的結果適相符合。其實，這表上的數值，都是由化合物中各元素的相對化合量推算得來的（見第十八章）。至於化合量的測定，其手續異常精密，所以原子量表，確實可以單獨地代表關於元素的某種化學事實，而不與任何理論相關。

* 阿斯頓 (Francis William Aston) 及其他諸家，近已證明此說不完全正確 (§244)。

78. 【質素的分子】 在第五章中，我們已知氣體係假定由無數稱爲分子(molecule)的微小質點所組成。大多數的普通氣體如氧、氮和氫等，牠們的每個分子都由兩個原子作化學的結合而成。至於化合物如一氧化碳，則其中的碳原子和氧原子互相結合而成爲團。這些原子團就是分子。由多數的此類分子集合起來，遂組成了我們所認識的一氧化碳氣體。

某幾種元素的氣體，如氧、氫和氮等，其分子由兩個同種元素的原子所組成。但在化合物裏，其分子卻由兩個或兩個以上的不同元素的原子所組成。譬如，水的一個分子，其中有一個氧原子和兩個氫原子。我們喝一杯(約 160 cc.)水，約計吞下 5.4×10^{24} 個*水分子，由此可以推想分子的體積是如何微小了。還有少數的氣體如氫和汞汽之類，其每分子中只含一個原子。這些氣體的分子稱爲單原子分子(monatomic molecule)。

由以上的討論，可見化合物的最小質點，至少含有兩個原子因爲一種化合物至少須包含兩種元素；而且在化合物中每種元素至少須有一個原子。現在我們可把原子和分子的研究，綜合爲下列定義：

1. 原子是能夠參加化學反應的元素之最小質點。
2. 分子是通常能夠單獨存在的元素或化合物的最小質點

79. 【物理變化和化學變化中的分子】 當氣體如空氣等液化時，我們推想到牠們的分子在所占的空間中很緊密地擠聚攏來。又當液態空氣凝結而爲固體時，我們又推想到牠們的分子在更緊密地擠聚攏來。不過在所有的這三種物態中，我們仍然推想到牠們的分子是在不息地振動。並且我們設想物體的溫度，就所以表示分子的振動速度。這些影響及於整個分子的變化，稱爲物理變化(physical change)。

* 10^{24} 之意爲在 1 之後加 24 個 '0'，即 1,000,000,000,000,000,000,000,000。

然而，倘若我們破壞原子的結合之力，而侵及質素的組成，那就發生了化學變化 (chemical change)。譬如，我們把水分解為氫和氧——這兩元素的性質與原來的水完全不同——這就是化學變化了。

80. 【道爾頓學說怎樣幫助我們解釋實驗事實】 第一，關於化合物都有一定不變的組成。依據道氏的學說，化合物是由不同種元素的原子結合而成的。例如在一氧化碳中，每個碳原子與一個氧原子相化合，就組成了一個一氧化碳分子。因為所有的氧原子，都有完全相同的重量，而每個碳原子也都有一定的重量，所以一切一氧化碳的分子，彼此都有同樣的百分組成。又因為無論從哪裏所探得的一氧化碳氣體的試樣，都是許多相同分子的集團，所以試樣的百分組成，也一定和一個分子的百分組成相同。用一般的詞語來敘述這個事實的，就所謂定組成定律。

第二，關於倍比定律。我們很容易設想一個碳原子可以不和一個氧原子結合，而同兩個氧原子結合，結果將成爲一種完全不同的化合物。在這種化合物的每分子中，有一個碳原子和兩個氧原子——亦即同碳化合的氧，爲以前的兩倍。事實上，二氧化碳就是這樣的一種質素。二氧化碳所含的氧爲一氧化碳所含的兩倍，所以在牠的分子中，我們可想到每一個碳原子是同兩個氧原子相結合的。

第三，關於物質不滅定律。我們假定在化學變化中，所有的原子都經過重行排列，但是沒有創生，也沒有消滅。因為原子既無生滅，所以參加化學反應的諸質素中的原子總數，必與反應生成物中的原子總數相等。這就是說物質是不能消滅的。

81. 【原子說的價值】 倘若原子說僅爲不可見的微小質點的‘科學猜測’，那麼我們又何必研究牠呢？令人感得興趣的是，這種學說雖然至今已歷一百餘年，但仍無一個較好的學說可以

替代牠。化學家大致同意這種學說確能滿意地解釋化合物方面的事實，而牠對於物理科學的推進，其功績在任何學說之上。並且在近年以來，更有許多新的實驗證據陸續發現，只因涉及的數理太過高深，所以不便在這裏詳論。總之，由於此等工作的結果，已使原子說日臻鞏固，科學家確信分子和原子的存在，正同確信其他不能直接觀察得到的東西一樣。

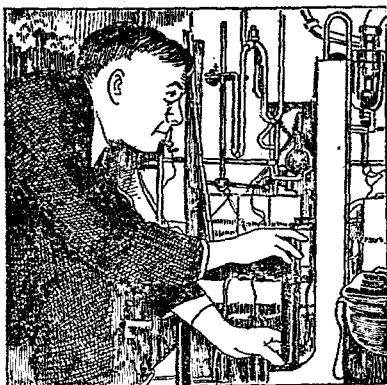
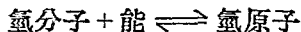


圖 56. 蘭 繆 爾 像
(Irving Langmuir, 1881-)
蘭氏為美國人，在美國化學家中他是
獲得諾貝爾化學獎金的第二人

82. 【原子氫的商業用途】 照一般的設想，普通的氫都呈分子的形態。然而最近蘭繆爾博士(圖 56)卻發現氫分子的一部分可以分裂(解離)為氫原子。解離的方法是將氫通過溫度極高的電弧。在分子分裂為原子的過程中，須吸收大量的能；所以當氫原子再結合而為氫分子的時候，這能就再行放出：



這種所謂原子氫 (atomic hydrogen) 的實際用途，為發生一種極

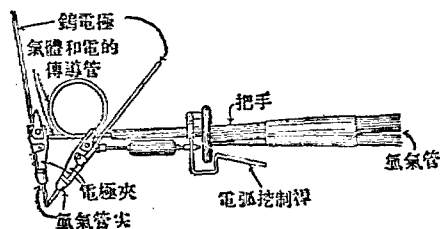


圖 57. 原 子 氫 炬

熱的火焰，稱為‘原子氫炬’ (atomic hydrogen torch)。

把一流氫氣吹過電弧，氫分子就在此解離(圖 57)。在離電弧稍遠處，氫原子復化合而為氫分子，於是就在這一點發生極高的熱

度(約 4000°C)。這樣的原子氫焰可用以焊接金屬(圖 58)。原



圖 58. 利用原子氫焰焊接金屬

子氫焰又有還原的作用,所以這種新的焊接方法更合於實用,因為在焊接物上所生足以妨礙焊接工作的氧化物膜層,可以被還原而成爲金屬。

第七章摘要

【原子構造】 物質的原子構造最先由希臘哲學家所提出,1808年英國約翰·道爾頓又根據了這種觀念來建立一種新學說,以解釋定組成定律和倍比定律。

【道爾頓的學說】 道氏學說假定下列四點:

- (1) 一切物質都由原子所組成。
- (2) 同一元素的原子彼此相似。
- (3) 原子可藉所謂化學親和力而與其他原子相結合。
- (4) 原子不可再分,所以只能用整個原子來同其他原子相結合。

【原子】 原子是能夠參加化學反應的元素的最小質點。

【分子】 分子是通常能夠單獨存在的元素或化合物的最小質點。

【原子量】 元素的原子量，是根據一個氧原子的重量為 16 而比較得來的該元素一原子的重量。

【定律】 定律是許多實驗事實的概說。

【學說】 學說先創立了若干假定事實，由此求得某種結論，以解釋一連串的實驗事實。

【假說】 假說是一種科學的猜測，如果猜測得滿意，便可成為學說。

【原子說】 原子說現在仍舊是一種學說，但是近年來科學界已發現了許多證據，使原子和分子的存在，更近於確實可靠。

問題和計算題

1. 以原子為微小質點的學說，是道爾頓所首倡的麼？
 2. 當道氏想到原子說的時候，他心裏有哪一條科學定律？
 3. 試從英文字典中找出 'Atom' 一字的來源。
 4. 試區別 (a) 假說和學說，(b) 事實和定律。
 5. 自然定律 (natural law) 和國家法律有什麼區別？
 6. 下列各名詞的意義如何：(a) 元素的原子；(b) 元素的分子；(c) 化合物的分子？
 7. 氫分子經「電弧焊接炬」(arc-welding torch) 的電弧時，發生什麼變化？
 8. 在焊接金屬的工作中，「原子氫吹炬」(atomic-hydrogen blowtorch) 為什麼優於氧氣吹管？
 9. 怎樣用定組成定律來說明水的組成？
 10. 怎樣用物質不滅定律來說明紅色氧化汞的分解？
- * * *
11. 道爾頓依據原子說所預言的什麼化學定律，後來竟被他證實？試將該定律寫出。
 12. 我們能否有 (a) 化合物的原子；(b) 元素的分子？
 13. 氧的分子和氧化物的分子，在組成上有什麼分別？
 14. 水的分子在汽化時和在電解時，其變化有什麼不同？
 15. 溫度和壓力對於氣體體積的影響，要探哪一個學說來解釋？

16. 原子說怎樣解釋 (a) 定組成定律? (b) 倍比定律? 和 (c) 物質不滅定律?

17. 抄錄下列文字, 試將其中的空白填出:

道爾頓在他的原子說中, 曾作如下的假定: 物質是由稱爲____的微小質點所構成的。同種____的所有原子, 其大小和____都彼此相似, 但____元素的原子, 其大小和____截然不同。原子能與其他____相結合, 而藉一種所謂____力, 把牠們雜聚在一起; 所有的____物就是由原子的這種____而生成的。原子不能被____, 所以只能以____的原子來互相結合。

* * * *

18. 在初期的化學史中, 也曾採用氧來作為原子量的標準, 但其所定的值是 100; 在此制中, 氫的原子量應當是多少? 現在定氧的原子量為 16, 有什麼理由?

19. 二氧化硫含硫 50% 和氧 50%, 三氧化硫含硫 40% 和氧 60%。試以此種事實說明倍比定律。

20. 碳的氧化物有兩種: 一種含氧 57.1%, 另一種含氧 72.7%。試以此項事實, 說明倍比定律。(提示: 計算氧在兩種化合物中與一定量之碳 (12 克) 相化合所需的重量。)

第八章

符號式原子價

83. 【鍊金術士所用的記號】 鍊金術士所用的記號有的導源於古希臘人，而希臘人是從埃及人學來的。還有許多記號卻顯然起源於印度。

太陽、月以及五個已知行星，在‘星相學’(astrology)上是用‘符號’(symbol)來代表的。鍊金術士幻想這些天體和金屬間有着某種相似之點，所以就採用了星相學家的符號(圖 59)。例如他們用太陽和月的符號來作為金和銀的記號。他們以為戰神(Mars,

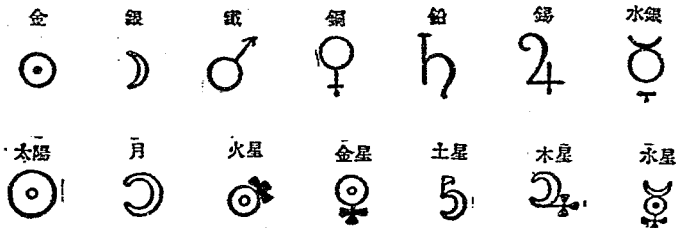


圖 59. 鍊金術士用的記號(上)，星相學家用的符號(下)

火星)與鐵有關係，因此鐵就接受了矛和盾的符號。銅用維娜斯(Venus, 金星)的鏡子來代表；鉛用農神(Saturn, 土星)的鐮刀來代表；錫用朱匹忒(Jupiter, 木星)的寶座來代表；而水銀則用神使赫姆斯(Hermes)的蛇杖來代表。

鍊金術與化學的關係，雖然不十分確定，然而鍊金術士曾經用符號來象徵化學作用，卻是一樁值得注意的事實。例如金屬在酸中的溶液，是用一隻野獸吞吃金屬符號來代表的。所以一

隻獅子吞吃太陽或月，意思是指金或銀溶解於酸中，而一隻綠色獅子咬着太陽，是象徵金與汞混合而成汞齊。

84. 【現代所用的化學符號】



圖 60. 柏齊利阿斯像

(Johann Jacob Berzelius 1779-1848)

柏氏為當時最著聲譽的化學家。曾創用近代流行的化學符號

各種元素，就可便於記載和研究，這些符號都載明在封面後的附表中。最先應用這種符號的，是瑞典化學家柏齊利阿斯（圖60）。符號通常為元素西名第一字母的大寫。例如 C 表碳，H 表氫，O 表氧，S 表硫。有的時候，碰到兩個或兩個以上的元素，其西名的第一字母都相同，就把西名中另一個重要的字母，附加在後面，但不用大寫。例如 Cl 表氯，Br 表溴，Si 表矽，Mg 表鎂。有的時候，碰到古代就知道的金屬，那末牠們的符號就依照拉丁名為準。例如 Cu 表銅

(*cuprum*)，Fe 表鐵 (*ferrum*)，Ag 表銀 (*argentum*)，Au 表金 (*aurum*)。當我們研究元素的時候，最好把幾個普通元素的符號，隨時熟記。

85. 【符號所表示的意義】符號不但用為元素的縮寫，並且還各各代表元素的一個原子。例如符號 O 代表一原子的氧，符號 H、N、Na、Fe 各各代表一原子的氫、氮、鈉、鐵。因此說得正確一點，牠們是原子的符號，而不僅是元素名稱的縮寫。

我們又知道，每一個原子各有一定的重量。 因此符號不但

表示了元素,同時也表示了這元素的一定的量。O 總是表示 16 份重量的氧,C 總表示 12 份重量的碳,H 總表示 1.008 份重量的氫。又因我們常用克來計算重量,所以我們說起原子的重量也總用克來做單位,稱為元素的克原子量 (gram atomic weight)。例如碳的克原子量便是 12 克。

86. 【化學式】 我們可以用這些符號來代表任何化合物的組成。其法係把化合物中各元素的符號相並地書寫起來。例如一分子的氯化鈉(食鹽),是由一原子的鈉 (Na) 和一原子的氯 (Cl) 所組成的,因此可用這兩元素的聯合符號 NaCl 來表示。這種代表一化合物的符號的排列,稱為這化合物的式(formula)。

如果化合物的分子中,所含任何特殊元素的原子在一個以上的,那末就在這個元素符號的右下角記一個小數碼。例如式 H_2O 就表示水的一個分子,在這個化合物中含有兩原子的氫和一原子的氧。又,一個分子中往往含有一團的原子,即所謂‘根’(radical),牠的行為在許多反應中跟單獨的原子一樣,對於這種事實就特別有指明的必要,那就是應用括弧。例如,一分子的氫氧化鈣(石灰水)可以用 $Ca(OH)_2$ 來代表。這表明一分子中含有一原子的鈣,兩原子的氧,和兩原子的氫。

如果我們知道了某元素的若干個原子可以造成該元素的一個分子,那末只消在元素符號的右下角記上一個小數碼,就可以把這個事實極簡明地表示出來。以後*我們將要見到,氫、氧、氮、氯,以及其他幾個元素的分子都是含有兩個原子的。這事實可用式 H_2 、 O_2 、 N_2 、 Cl_2 等來分別表明。因此式 H_2 是指一分子的氫,含有兩個結合在一起的氫原子。在另一方面, $2H_2$ 是指兩分子的氫,每個分子各含有兩個結合在一起的氫原子。

我們要指出任何質素的一個以上的分子,可在式前寫一個

* 詳細的討論見 § 231。

大的數碼。例如 $2O_2$ 是指兩分子的氧， $5H_2O$ 是指五分子的水。

87. 【我們從式所知道的事實】 瞭解一個式的完全意義，是非常重要的。例如硫酸的式是 H_2SO_4 ，牠的意思是指：

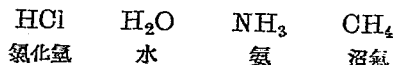
- (1) 一分子的硫酸；
- (2) 由兩原子氫、一原子硫和四原子氧所組成；
- (3) 即 2 份重量的氫，32 份重量的硫，和 64 (即 4×16) 份重量的氧；
- (4) 合成 98 (即 $2 + 32 + 64$) 份重量的硫酸。

在化學上，我們時常要用到一化合物的克式量 (gram formula weight)，所謂克式量是指式所代表的克數。例如硫酸的克式量是 98 克。

問 題

1. 我們能夠寫出元素的式嗎？我們能夠寫出化合物的符號嗎？
2. 符號和式有什麼分別？試舉例說明之。
3. 寫出下列各元素的符號：鈉、硫、矽、錳、鎂、汞、鉀、磷、鉛、鐵。
4. 說出下列符號所代表的元素的名稱：Ag, Sn, W, Ni, Au, Cu, A, Ra, As, Al。
5. 解釋下列符號的由來：Na, K, Ag, Au, Fe。
6. O_2 和 $2O$ 有什麼分別？
7. 解釋化學式 $2KClO_3$ 中符號左方的數碼的意義。
8. 敘述下列化學式所表的事實： $CuSO_4$ ； $3NaCl$ ； $2H_2O$ ； P_4 ； $Ba(OH)_2$ 。
9. 解釋化學式中括弧的用途；例如 $Ca_3(PO_4)_2$ 。
10. 說明下列諸化學式中各數碼和各字母的意義： $2H_2SO_4$ ； $10H_2O$ ； $(NH_4)_2SO_4$ ； $Fe_2(SO_4)_3$ ； $K_2Cr_2O_7$ 。

88. 【原子價幫助我們寫化學式】 在我們研究化合物的時候，我們將要覺到，各種元素所能結合的氫原子的數目，彼此大不相同。這事實可用下列諸化合物來表示：



換言之，一原子的氯只能和一原子的氫相結合，而一原子的氧能和兩原子的氫相結合，一原子的氮能和三原子的氫相結合，一原子的碳能和四原子的氫相結合。我們把元素的這種性質，稱為牠的價或原子價(valence)。元素的原子價就是與該元素的一原

子相化合的氫原子的數目。因此，氯的原子價是一，氧的原子價是二，氮的原子價是三，碳的原子價是四。

然而有幾種元素雖能與別的元素化合，卻不能與氫化合。我們對於這種元素的原子價，既然不能直接測定，自然只得用間接方法來測定了。例如鉛不能與氫化合，卻能與氧化合。但是我們知道：一原子的鉛會結合一原子的氧，而一原子的氧能結合兩原子的氫，因此我們可以斷定，假使鉛能夠與氫化合的話，那末一原子的鉛就必定和兩原子的氫相結合，所以我們說鉛的原子價是二。又如，金不能與氫化合，卻能與氯化合，即一原子的金能結合三原子的氯；但因一原子的氯能結合一原子的氫，所以我們說金的原子價是三。

我們已經知道，原子是不能用化學方法來分割的。從此可以推知，元素的原子價必定是一個整數。

89. 【我們怎樣想像原子價】 元素的原子價並沒有告訴我們，為什麼某幾種元素能互相化合，而某幾種元素不能互相化合。牠只告訴我們與各元素一原子相化合的氫原子的數目。並且，我們也不知道元素與元素到底是用什麼方法來連接在一起的。不過原子價的法則告訴我們，一種已知的化合物是由多少個原子結合起來的。對於這個結合情形，我們可以假想，由於各個原子都有某定數的鍵 (bond) 或鈎，這些鍵可以使每個原子與其他的一個或數個原子連接起來。我們當然明白，原子與原子連接起來的實際情形和圖 61 所表示的並不相同，但是我們要使原子價這個概念形象化起來，也不妨應用這個方法。

下列圖解(圖 61)表示氯化氫、水、氨、沼氣等分子中原子的想像的連接。從圖裏可以明白看出，凡元素只與一個氫原子相結合，牠們就只能有一個鍵或鈎；牠們的原子價是一。同樣，凡元素與兩個、三個和四個氫原子相結合，牠們就得分別有兩個、三個和四個鍵。元素像鋅，牠的原子價為二，若使之與原子價為一的氯相結合，就得有兩個氯原子來與一個鋅原子的兩個鍵相連接，因此牠的化學式為 $ZnCl_2$ 。

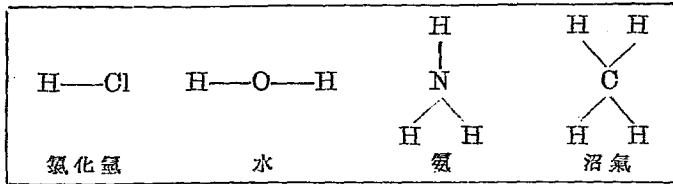


圖 61. 用鍵來表示原子價的圖解

在後面的一章(第十四章),我們將概括地討論原子構造的‘電子說’(electron theory),然後說明怎樣用電子的術語來解釋原子價。在另一章(第十八章)中,我們還要指出一個元素或一團元素的價,在實驗事實上有着怎樣的根據。

90. 【普通元素和元素團的價】 若要指出一個元素或一團元素(根)的價,可以在符號的右上角記一個+或-號,金屬(陽性元素,見§170)用+號,非金屬(陰性元素,見§170)用-號;例如, H^+ , O^{--} , N^{---} 。我們把氫當爲原子價的標準,因爲氫原子不會跟任何元素的一個以上的原子相結合。

普通原子價及根價表*

	一 價	二 價	三 價
金 屬	鈉..... N^+ 鉀..... K^+ 汞(亞汞)..... Hg^+ 銀..... Ag^+	鋅..... Zn^{++} 鈣..... Ca^{++} 銅..... Cu^{++} 鎂..... Mg^{++} 鐵(亞鐵)..... Fe^{++}	鋁..... Al^{+++} 鉍..... Bi^{+++} 銻..... Sb^{+++} 鐵..... Fe^{+++}
非 金 屬	溴..... Br^- 碘..... I^- 氯..... Cl^- 氟..... F^-	氧..... O^{--} 硫..... S^{--}	氮..... N^{---} 磷..... P^{---}
根	銨銀..... NH_4^+ 氯酸根..... ClO_3^- 氫氧根..... OH^- 硝酸根..... NO_3^-	碳酸根..... CO_3^{--} 硫酸根..... SO_4^{--} 亞硫酸根..... SO_3^{--}	磷酸根..... PO_4^{---}

* 讀者應立即把這個表記住,以省去將來的時間。

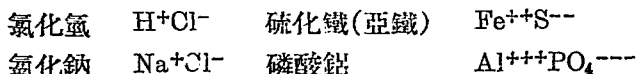
表中所示普通元素和幾個普通元素團(根)的價,就應用了上面所說價的記法。某種元素團,如鹼類中的氫氧根(OH),硫酸中的硫酸根(SO₄),硝酸中的硝酸根(NO₃)和鉍化合物中的鉍根(NH₄),雖經多數的反應,仍保持不變。這樣的元素團極像單獨的元素,稱為根(radicals)。根也有根價,和元素一樣。元素或元素團有一個價的,稱為一價(univalent),有兩個價的,稱為二價(bivalent),餘類推。

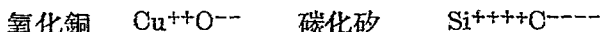
91. 【可變原子價】 從原子價表上可以看出,某幾個元素有一種以上的價。這種事實使原子價的法則變得複雜起來。差不多所有的元素都能以特殊的原子價生成若干種化合物,例如碳的原子價差不多沒有例外地是四。如在二氧化碳(CO₂)中,碳的原子價就是四(氧是二價,所以其中有兩個氧原子)。但是在一氧化碳(CO)中,牠的原子價卻是二。幸而這種例外很不多見,所以只須在碰到的時候,隨時去記住牠就是了。

有少數元素,像鐵,生成‘兩’系的化合物,其中的元素有着不同的原子價。例如有許多鐵的化合物稱為亞鐵(ferrous)化合物,其中的鐵的原子價是二。另一系稱為鐵(ferric)化合物,其中的鐵的原子價是三。像這類元素的原子價就稱為可變原子價(variable valence)。

92. 【怎樣應用原子價來寫式】 現在讓我們來看一看,我們將怎樣應用原子價表中的記載來書寫式。在這時候我們只先討論兩種情形:

1. 當原子價相同的兩元素(或根)結合而成為一化合物時,牠們是原子對原子相化合的 如下列各例所示。注意其中的原子價係用+或-的記號,放在符號的右上角(§ 90)。





2. 當原子價不同的兩元素(或根)結合而成爲一化合物時,牠們必使這一元素的總價數和他一元素的總價數相等,纔能化合。例如,水是 $\text{H}_2^{+}\text{O}^{--}$ 。因爲氫的原子價是一,氧的原子價是二,所以水分子中必須有兩個氫原子, H 右下角的 2 字就表示這個意思。又如氯化鋁是 $\text{Al}^{+++}\text{Cl}_3^{-}$, 因爲鋁的原子價是三,氯的原子價是一。二氧化碳是 $\text{C}^{+++}\text{O}_2^{-}$, 因爲碳的原子價是四,氧的原子價是二,所以牠的分子中就得有兩原子的氧來和每一原子的碳相化合。氧化鋁是 $\text{Al}_2^{+++}\text{O}_3^{-}$, 因爲鋁的原子價是三,氧的原子價是二,又因能爲 2 及 3 所整除的最小數是 6, 所以牠的分子中必須有兩原子的鋁, 和三原子的氧, 纔能使其總價數各等於 6, 即 Al_2O_3 。

由不同價的兩元素或根所組成的分子,其化學式的書寫,可以根據下列原子價法則:

甲元素的原子價 × 原子(或根)數, 等於乙元素的原子價 × 原子(或根)數。

93. 【怎樣學習原子價】 讀者如能把普通原子價或根價表立即熟記,當可節省不少時間。又當我們讀到每一個元素或根時,就立即熟記其價數,並時常用以書寫化學式,也是極重要的。最好的練習法是把我們所寫的化學式逐一驗算,使化合物兩邊的總價數相等。例如我們假使把硝酸鋅寫成了 ZnNO_3 , 於是標上了原子價,即 $\text{Zn}^{++}(\text{NO}_3)^{-}$, 我們就立即可以發現那正確化學式一定是 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 。我們如果能夠熟記每一個元素的簡單化合物,即使僅只一種,也往往有很大的幫助。例如,假定我們要知道汞的原子價。也許我們記得起紅色氧化汞是 HgO 。那末我們如果知道氧的原子價是 2, 就可斷定在這化合物中汞的原子價也一定是 2 了。

94. 【化合物怎樣命名】 凡由兩元素或一元素與一根所成的化合物,稱爲二元化合物(binary compound)。凡二元化合物僅以一種的化合價結合的,就稱爲某(非金屬,即陰性元素,見 §170, 下同)化某(金屬,即陽性元素,見 §170, 下同)。例如:

式	西名	中名
ZnO	zinc oxide	氧化鋅
PbS	lead sulfide	硫化鉛
AlCl ₃	aluminium chloride	氯化鋁
(NH ₄) ₂ S	ammonium sulfide	硫化銨

凡二元化合物中之金屬能以兩種化合價結合的,化合價較高的稱爲某(非金屬)化某(金屬),化合價較低的稱爲某(非金屬)化亞某(金屬);但亦可依式命名,而附記其原子數,稱爲若干某(非金屬)化若干*某(金屬)。例如:

式	西名	中名
FeCl ₃	ferric chloride	氯化鐵,或三氯化鐵
FeCl ₂	ferrous chloride	氯化亞鐵,或二氯化鐵

凡二元化合物以兩種以上的化合價結合的,可依式命名,而附記其原子數,稱爲若干某(非金屬)化若干某(金屬)。但西文字尾作 -ic 的,也可稱爲某(非金屬)化某(金屬),作 -ous 的,亦可稱爲某(非金屬)化亞某(金屬)。例如:

式	西名	中名
MnO	manganese monoxide	{一氧化錳
	manganous oxide	{氧化亞錳
MnO ₂	manganese dioxide	二氧化錳
MnO ₃	manganese trioxide	三氧化錳
Mn ₂ O ₃	manganese sesquioxide	{三氧化二錳
	manganic oxide	{氧化錳

* 譯註: 遇原子數爲一者,一字可略去,如二氧化錳,三氧化錳等。

Mn_2O_4	manganese tetroxide	四氧化二錳
Mn_3O_4	manganous-manganic oxide	四氧化三錳
Mn_2O_7	manganese heptoxide	七氧化二錳

凡由三元素所成的化合物,其中一元素為氧的,稱為某(非金屬)酸某(金屬),或亞某(非金屬)酸某(金屬)。亞某酸化合物(-ite compound)中所含的氧比某酸化合物(-ate compound)中所含的為少。例如:

式	西名	中名
Na_2SO_4	sodium sulfate	硫酸鈉
Na_2SO_3	sodium sulfite	亞硫酸鈉

95. 【學習原子價的困難】 要熟悉普通元素的原子價,並正確地用以書寫化合物的化學式,在初學者似乎是一樁難事。其實只要稍加實習,也容易熟練,不過他必須時時留意易陷於錯誤的地方。例如有許多實際上並不存在的化合物,依了原子價的法則,也可以寫出牠的化學式來。像鉍是沒有氧化物的,可是牠的化學式卻也可以寫得出來。在另一方面,我們以後將要碰到幾種化合物,牠們是不依照原子價的法則的。像碳化鈣, CaC_2 ; 磁鐵礦, Fe_3O_4 ; 乙炔, C_2H_2 等都是。總之,我們不要忘記化學式是實際地代表有關於實物的實驗事實的。

問 題

- 寫出下列各化合物的式:(a)氧化鈣;(b)氧化鋅;(c)氧化汞;(d)氫氧化鉍;(e)氫氧化鋁。
- 寫出下列各化合物的式:(a)氯化鈉;(b)氫氧化鈣;(c)五氧化二磷;(d)硫化錒;(e)硫酸鋅。
- 寫出下列各化合物的式:(a)化鎂;(b)氫氧化鉀;(c)硫化銅;(d)硫酸鋅;(e)碳酸鈉;(f)磷酸鈉。
- 標明下列各化合物中各根的價:(a) Na_2SO_4 ; (b) $KClO_3$; (c) Ag_2CO_3 ; (d) $PbCrO_4$; (e) $(NH_4)_3PO_4$ 。
- 標明下列各化合物中各元素的價:(a) SiO_2 (矽); (b) CCl_4 (滅火藥水);

(c) PbO (密陀僧); (d) MnO_2 (軟錳礦); (e) HgCl_2 (昇汞)。

第八章摘要

【化學符號】 元素的化學符號代表 (1)元素的名稱, (2)元素的一個原子, (3)元素的原子量, 通常以克計。

【式】 化合物的式表示化合物所含的元素及其重量的組成。

【原子價】 元素的原子價是與該元素一原子相化合或被其置換的氫原子的數目。

【根】 根是一團的元素, 牠在化學反應中的作用和單獨的元素一樣。

【寫二元化合物的式】 寫二元化合物的式, 務使這一元素的總價數與他一元素的總價數相等。

問 題

1. 糖的式是 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 。試從這式說明糖的組成。
2. 標明下列各式中的原子價: CH_4 ; AlCl_3 ; P_2O_5 ; SO_2 ; AgI ; CaBr_2 。
3. 寫出下列各式所表示的化合物的名稱: $\text{Ca}(\text{OH})_2$; KClO_3 ; ZnSO_4 ; $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$; BaCO_3 。
4. 改正下列各式: BaCl_3 ; $\text{Ag}(\text{NO}_3)_2$; $\text{Al}_3(\text{SO}_4)_2$; Ca_2SO_4 ; NH_4Br_2 ; NaPO_4 ; AlOH_3 。
5. 寫出下列各化合物的式, 並指出各元素或根的價: (a) 硫化鉛; (b) 氯化鈣; (c) 硫酸鋅; (d) 硝酸鎂; (e) 氧化銀。
6. 寫出下列各化合物的式: (a) 磷化鈣; (b) 硫化鉀; (c) 氫氧化鋁; (d) 氯化鋁; (e) 硫酸鐵。
7. 說明下列鐵的氧化物的名稱: FeO 和 Fe_2O_3 。
8. 寫出下列第一組(a)的化合物的名稱; 和第二組(b)的化合物的式: (a) CdS ; H_3PO_4 ; $\text{Cr}(\text{NO}_2)_3$; CoCl_2 ; $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; P_2Cl_4 ; WO_3 ; H_2S 。 (b) 硫化鉛; 氯化錫; 氧化錫; 硫酸鎂; 硝酸鐵。
9. 寫出下列各化合物的式: (a) 氯化鎂; (b) 氯化鈣; (c) 氟化鋁; (d) 硫酸鎂; (e) 氧化汞。
10. 假定碳和矽是四價, 寫出下列各化合物的式: (a) 二氧化矽(砂); (b) 四氯化碳; (c) 碳化矽(金鋼砂); (d) 碳化鈣; (e) 氟化矽。

11. 說出下列各化合物的名稱：(a) 錳酸的鉀鹽；(b) 氯磺酸的鈉鹽；(c) 亞硫酸的鉀鹽；(d) 鈣和硒的化合物。

12. 已知 B 的原子價是二，推出下列各式中 A, C, D 的可能的原子價： A_2B_3 ； B_2C ； B_5D_2 。 A 和 C 的化合物的式是怎樣的？ C 和 D 的式是怎樣的？

13. 抄錄下邊的表，並把相當的化合物的式填入空格中。

	氯化物 Cl^-	氧化物 O^{--}	氫氧化物 $(OH)^-$	硝酸鹽 $(NO_3)^-$	硫酸鹽 $(SO_4)^{--}$	磷酸鹽 $(PO_4)^{--}$
鈉, Na^+	$NaCl$	Na_2O	$NaOH$	$NaNO_3$	Na_2SO_4	Na_3PO_4
鉀, K^+						
銨, $(NH_4)^+$		x				
鈣, Ca^{++}						
鉛, Pb^{++}						
鎂, Mg^{++}						
鋅, Zn^{++}						
鐵(亞鐵), Fe^{++}						
鐵, Fe^{+++}						
鋁, Al^{+++}						
錫, Sn^{+++}			x			x

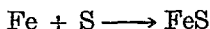
第九章

化學方程式和計算法

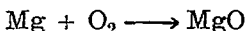
96. 【化學家爲什麼要寫方程式】 化學家採用符號和式的主要目的，乃在運用簡短精確的形式，以記述化學變化或反應時的種種繁瑣的事實。因爲物質是不可毀滅的(物質不滅定律)，所以化學家就採用方程式來表示這種變化或反應。在變化的前後，各元素都有着同樣的重量。

97. 【怎樣作方程式】 我們必須常常記住，化學方程式是根據實驗所得的事實而寫成的。牠們所代表的是實際發生的化學反應或化學變化。在本章中我們將說一說寫作方程式的機械的方法，以便學者自己去寫作。茲將前已學過的化學反應爲例，加以說明。對於這一工作，讀者應記住：一個化學方程式，若非完全正確，即係完全錯誤。

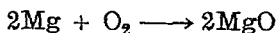
在化學方程式中，凡發生變化的物料的符號和式，都寫在方程式的左方；凡變化後的生成物的符號和式，都寫在右方；箭號表示生成的意思。例如鐵和硫化合而成硫化鐵，可表示如下：



在氧中燃鎂，可先用下式表示：

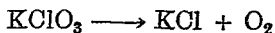


但上式是錯誤的，因爲在左方有兩個氧原子，而右方只有一個氧原子。這表示一部分的氧已經消失。所謂‘方程式’的意思是表示各元素在變化後的原子數(右方)，須與未變化時的原子數(左方)相等。我們可將此式‘平衡’如下：

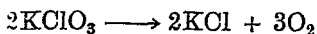


那就是使左方各原子一一出現於方程式的右方。

加熱氯酸鉀，使之分解，我們可先用下式表示：



然後再將此式平衡如下：



由以上數式，可知這種方程式並不是代數方程式，牠們是表示實際發生的化學反應的。

在入手寫方程式之前，我們必須知道以下各點：

- (1) 確實有反應發生。
- (2) 參加反應的是些什麼質素。
- (3) 生成的是些什麼質素。
- (4) 所有各質素的化學式。

98. 【書寫化學方程式的必要步驟】 作化學方程式時，共有五個步驟，茲開列如下：

- (1) 把參加反應的各質素的化學式寫在左方。
- (2) 把所知的生成各質素的化學式，寫在右方。
- (3) 校正右方，增加分子的數目，使左方各元素一齊用去。
- (4) 校正左方，增加分子的數目，以供給所生質素的需要。
- (5) 驗算全式，核定各元素的每一原子是否都已計及。

【例】氫在氧中燃燒則生成水：

- (1) $\text{H}_2 + \text{O}_2$
- (2) $\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$
- (3) $\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
- (4) $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

(5) 在左方 2 個氫分子中有 4 個氫原子；在右方 2 個水分子中有 4 個氫原子。在左方 1 個氧分子中有 2 個氧原子；在右方 2 個水分子中有 2 個氧原子。

99. 【注意】 凡氣體元素都應該用分子式 (molecular

formula)。例如氧、氫、氮和氯的分子式爲 O_2 、 H_2 、 N_2 和 Cl_2 。

記住寫在公式前的數字，是表示全式的倍數的，例如 $2H_2O$ 即等於 $2(H_2O)$ 。此即代表在二分子的水中，含 4 個氫原子和 2 個氧原子。

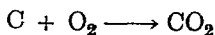
所謂平衡方程式，並不是去改變質素的化學式，僅是選取適當數目的分子，使各元素的原子數目，在方程式兩邊——相等。

100. 【化學方程式所不能表明的事項】 化學變化常常只能在一定的狀況下發生，但是這種狀況，並不能在方程式中表示出來。

〔例〕方程式 $2HgO \longrightarrow 2Hg + O_2$
 並未指出紅色氧化汞必須加熱纔能分解。又如方程式
 $Zn + H_2SO_4 \longrightarrow ZnSO_4 + H_2$
 亦未指出硫酸必須用水沖淡。

方程式並沒有說明所用的質素的物理狀態，即爲固態，液態，或氣態等等。又，作用時間的長短，有着經濟上的重要性，但在方程式中亦未說明。

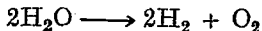
通常，凡不起變化而存在的物料，例如用作溶劑的水，和各種觸媒等，都不記明於方程式中，再如反應時所發生的熱量，通常也不在方程式中指明。例如：



僅說明了碳與氧化合而成二氧化碳，但對於反應時發生多少熱量卻並未說明，可是這在工業化學家卻正是最關心的一點。

101. 【常見反應之方程式】 今試將以前所學習過而且曾用文字來表示過的化學反應，都寫成方程式。這些方程式，讀者應當熟記！

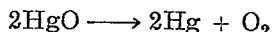
當水被電解時，即分解爲自由態的氫和氧。表示這一反應的方程式如下：



這時應用兩分子的水，以供給含有二個原子的一個氧分子，因爲自由態氫的分

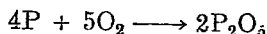
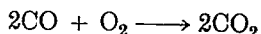
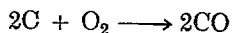
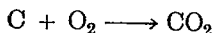
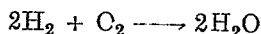
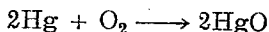
子式是 O_2 。

加熱一氧化汞，則生成氧和汞，其方程式如下：



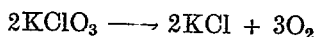
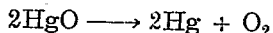
在這裏，我們仍舊取兩個一氧化汞分子，使之含有足夠的氧原子來造成一個氧分子。所生的汞為液體；我們很有理由相信，金屬中的原子往往並不結合而為分子，所以本例中，我們用 2Hg 而不用 Hg_2 來表示，即把他認為兩個單獨的汞原子。但是，我們也可以這樣想，每一個汞分子是由一個汞原子所組成的。

102. 【反應的四種模式】 (1) 直接化合或合成——有一種化學反應，適與單分解相反的，稱為合成 (synthesis)。這種反應是指由兩種或兩種以上的質素造成了一種化合物。以下的幾個方程式都是我們久已學習過的涉及氧的合成反應：

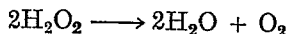


以上各方程式表示汞、氫、碳、磷等與純氧（或空氣）相接觸而加熱時所起的變化。其中有兩個方程式，表示碳在不充分的氧中燃燒，則生一氧化碳；一氧化碳再經燃燒，始成二氧化碳。

(2) 單分解——凡一種質素，因化學變化而分裂成兩種或兩種以上的簡單質素的，稱為單分解 (simple decomposition)。水的分解成氫和氧，便是這種化學反應的一例。其他的例子，可以舉示的，尚有一氧化汞和氯酸鉀的受熱而分解：



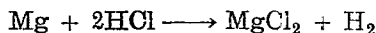
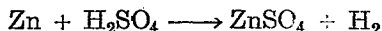
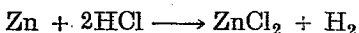
與過氧化氫的分解：



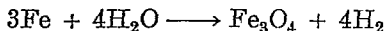
(3) 單置換或單取代——製取氫的各種方法(水的電解除

外),都是所謂置換(replacement)這一種化學反應的例子。這種反應是指一種元素代替了化合物中的其他一種或數種元素。

例如用鋅或鎂與鹽酸或硫酸相作用,則金屬即置換了酸中的氫:

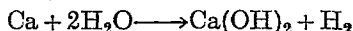
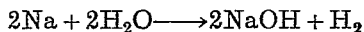


又如將水蒸氣通過燒熱的鐵上時,鐵即置換了水中的氫,而生成磁性氧化鐵(Fe_3O_4):



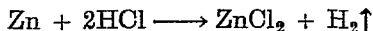
[註] 上式中的氧化鐵,其式係由實驗得來,不能用原子價法則來推算而得。

將金屬鈉或金屬鈣投入水中時,金屬即置換了水中所含的氫的半量,而生成氫氧化鈉(NaOH)或氫氧化鈣($\text{Ca}(\text{OH})_2$):

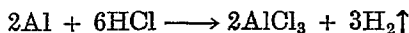


[註] 因欲表示氫是分子狀態(H_2),所以有時須加係數2於式中各質素之前。

當化合物中的一元素被另一元素置換時,有關各元素的原子之數必須有一定的配合,即使置換元素的原子價之和,與被置換元素的原子價之和相等。因為鋅的原子價是二,氫的原子價是一,所以當鋅置換鹽酸中的氫時,每一個鋅原子都置換了兩個氫原子。



當鋁與鹽酸起反應時,因為鋁的原子價是三,所以一個鋁原子能置換三個氫原子:



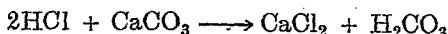
因為氫是氣體,在反應後即行放出,所以通常在 H_2 的後面加一向上的箭號(\uparrow)。

由以上諸例,可知在書寫置換方程式時,原子價法則的應用,幫助頗大。

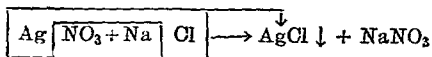
(4) 複置換或複分解——最普通的化學反應,可說是由兩種化合物的相互作用而產生了另外兩種化合物。這種反應有時

稱爲複分解(double decomposition),因爲各化合物顯然分裂成兩個部分,而每一部分再與他一化合物的不同部分相化合。

〔例一〕鹽酸(HCl)和大理石(CaCO₃)相作用,生成氯化鈣(CaCl₂)和碳酸(H₂CO₃):



〔例二〕加硝酸銀(AgNO₃)於食鹽(NaCl)溶液中,則生氯化銀(AgCl)沈澱,和存在於溶液中的硝酸鈉:



因爲氯化銀成爲固體而沈澱,故在其分子式後加一向下的箭號(↓)。

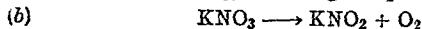
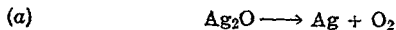
在這一類反應中,第一種化合物的第一部分和第二種化合物的第二部分相化合;又第一種化合物的第二部分和第二種化合物的第一部分相化合,

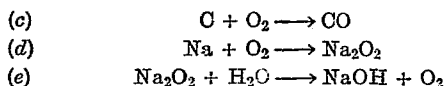
問 題

1. 化學方程式爲什麼可以稱爲方程式?
2. 化學上的哪一條定律,可用任何化學方程式說明之? 試記述此定律。
3. 在未作化學方程式時,必須先知道哪幾種事實?
4. 化學方程式所不能表示的重要事實是什麼?
5. 當銻和硫黃共同加熱時,即生成硫化銻(ZnS),試作方程式表示之。
6. 錫在空氣中加熱時,即產生氧化錫(SnO₂),試作方程式表示之。
7. 鋁和鹽酸(HCl)起反應,可得氫和氯化鋁(AlCl₃),試作方程式表示之。
8. 問題7所述的方程式,屬於哪一種化學反應?
9. 氯化鉑(PtCl₄)受高熱後即分解成鉑和氯(Cl₂),試作方程式表示之。
10. 氯化鈉溶液和硝酸銀相混合,即生白色氯化銀(AgCl)沈澱,試作方程式表示之。

* * *

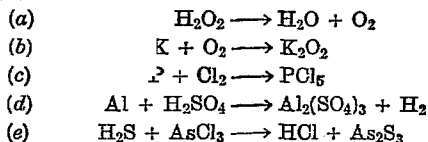
11. 單分解與複分解有什麼分別? (參看9與10兩問題)。
12. 氫發生器爆炸時所起的反應,試作方程式表示之。
13. 在氧中燃鐵,即得磁性氧化鐵(Fe₃O₄),試作方程式表示之。
14. 試作方程式表示下列兩種反應:(a)通二氧化碳氣泡於石灰水[Ca(OH)₂],即生碳酸(H₂CO₃)。(b)碳酸與氫氧化鈣[Ca(OH)₂]再起反應,而生碳酸鈣(CaCO₃)和水(H₂O)。
15. 試平衡下列各方程式:





16. 平衡方程式時，爲什麼只能增加作用物或反應生成物的分子數，而不能改變正確分子式中右下角的小數碼？

17. 平衡下列各式：



18. 試寫出以上諸式中各分子式的名稱。

19. 試作以下諸化學反應的平衡方程式：

- (a) 普里斯特利氧的發現。
- (b) 拉發西揆所作汞和空氣的實驗(此爲可逆反應)。
- (c) 卡文提什氫的發現(鐵與酸)。
- (d) 摩黎決定水的組成的方法。
- (e) 柏齊利阿斯決定水的組成的方法。

20. 試將下列儀器中所發生的反應，全部用化學式作成平衡方程式：(a)臭氣發生器；(b)氫氣吹管；(c)原子氫吹炬。

化學計算法

103. 【化學計算在工業上的重要性】 在工業化學家，化

學方程式是一種極爲重要的根據，因爲他可以藉此計算出在一定反應中，需要應用多少原料(圖 62)，以及希望獲得多少產量。但是在實際上，他絕難得到照方程式計算所應得的全部產量。因此他還須計算到工業操作的效率，就是實際產量在從化學方程式計算而得的理論產量中占着怎樣的分數。這



圖 62. 在橡膠工業中，配料是一種主要的工作

種計算都根據着反應的化學方程式，而且只須應用極簡單的算術。這種計算法可以分爲下列三大類。

模式一 由式求化合物的分子量 式不僅代表一種化合物的名稱，同時還表明一分子的重量——這重量是以氧原子等於16爲標準而求得的。由式計算分子量時，只須將分子中所有原子的原子量相加即得。因爲原子量是相對重量，所以分子量也是相對重量。

〔例一〕 碳酸鈣 (CaCO_3) 的分子量是 $40 + 12 + (16 \times 3)$ ，即 100。又硫酸銅 (CuSO_4) 的分子量是 $63.6 + 32 + (16 \times 4)$ ，即 159.6。

〔例二〕 試求石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 的分子量。石膏是結晶的硫酸鈣，每一硫酸鈣分子含有兩分子的水；此水稱爲結晶水 (water of hydration 或 water of crystallization)，與硫酸鈣作化學的結合，在分子式中小點指明，有‘加’的意思。所以 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的分子量應該是 $40 + 32 + (16 \times 4) + 2(2 + 16)$ ，即 172。

若把分子量改稱式量 (formula weight)，則與事實更爲符合，其意義也更爲明白。

模式二 由式求化合物的百分組成 若化學家已知一種化合物的式，而同時又有原子量表在手，即不難將化合物中每種元素所占的百分率算出。

〔例一〕 例如他想求碳酸鈣 (CaCO_3) 的百分組成。鈣的原子量是 40，碳是 12，氧是 16；依式 CaCO_3 計算，則式量爲 $40 + 12 + (16 \times 3)$ ，即 100。故碳酸鈣含鈣 $\frac{40}{100}$ ，即 40%；含碳 $\frac{12}{100}$ ，即 12%；含氧 $\frac{48}{100}$ ，即 48%。這個問題特別容易計算，因爲該分子的式量恰好是 100。

〔例二〕 試求氯酸鉀 (KClO_3) 的百分組成。鉀的原子量是 39，氯是 35.5，氧是 16，則式量應爲 $39 + 35.5 + (16 \times 3)$ ，即 122.5；故氯酸鉀中含有

$$\text{鉀} \cdots \frac{39}{122.5} = 0.318, \text{ 即 } 31.8\%;$$

$$\text{氯} \cdots \frac{35.5}{122.5} = 0.290, \text{ 即 } 29.0\%;$$

$$\text{氧} \cdots \frac{48}{122.5} = 0.392, \text{ 即 } 39.2\%。$$

〔驗算〕 總數爲 100.0%

〔例三〕在一噸(2000磅)硫酸銅的結晶中,能得金屬銅若干? 已知硫酸銅晶體的式爲 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 故其式量爲 $63.6 + 32 + (16 \times 4) + 5(2 + 16)$, 即 249.6。

銅的百分率爲 $\frac{63.6}{249.6} = 0.255$, 即 25.5%, 而一噸硫酸銅晶體中, 銅的重量應爲 0.255×2000 , 即 510 磅。

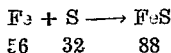
總之, 由式求一化合物的百分組成, 第一步須先算出式量, 然後用這式量來除各元素的原子量*, 而以小數表所得的商。保留三位有效數字 (§ 106)。小數點後最前的兩位數字即表示百分率。

模式三 只涉及重量的計算題〔例〕要用多少重量的鐵, 恰好同 10 克硫黃化合而成硫化鐵 (FeS)?

演算時爲避免錯誤起見, 應將計算法逐步排列清楚, 而後依次演算。

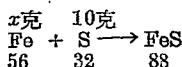
第一, 先作方程式: $\text{Fe} + \text{S} \longrightarrow \text{FeS}$

然後在各個符號和化學式下註明所代表的重量(參照本書底封面後所載原子量的近似值):



上列數字指出 56 份重量的鐵, 與 32 份重量的硫化合, 則生成 88 份重量的硫化鐵。在這裏我們得到了方程式的定量意義。

其次再讀問題, 將已知的硫的重量寫在硫的符號之上, 即 10 克; 在鐵的符號之上寫 x 克, 此即欲求的重量:



最後可依題意列比例式如下:

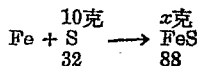
$$\frac{x}{56} = \frac{10}{32}$$

故 $x = \frac{56 \times 10}{32}$, 即 17.5 克的鐵。

現在我們可由粗略的估計來驗算答數的是否合理。在本例中, 我們已知 56 份的鐵可與 32 份的硫化合, 即所需的鐵約當硫的七分之四。故知以上所得的答數 17.5, 是合理的。像這樣的核對, 不論是誤放了小數點, 或顛倒了分子和分母, 都可以立即覺察。

* 如果式中所含任何元素的原子在一個以上, 就應採用分子中所有該元素的全部原子的重量。

〔例二〕 假定所需的鐵能如數供給，試計算從 10 克的硫可製成硫化鐵 (FeS) 若干克？



$$\frac{10}{32} = \frac{x}{88}$$

$$x = \frac{88 \times 10}{32} = 27.5 \text{ 克的硫化鐵。}$$

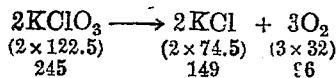
〔驗算〕 鐵重(17.5 克)+硫重(10 克)=硫化鐵重(27.5 克)。

104. 【另一解法】 已知 32 克的硫能生成 88 克的硫化鐵 (FeS)，則 1 克的硫即可產生 88 的 $\frac{1}{32}$ 克的硫化鐵，而 10 克的硫當能產生 10 倍此數的硫化鐵，即 $\frac{10 \times 88}{32}$ ，或 27.5 克。

此處計算所得的結果，雖與上法相同，但其推理的方法卻簡捷得多了。

105. 【方程式的定量意義】 我們已知一個方程式經平衡以後，就能給讀者許多極有價值的報告。牠告訴我們參加反應的質素是什麼，和生成的質素是什麼。牠又告訴我們有關各質素的分子數目。最後我們應用了式量又可求得方程式中不同質素的相對重量。

〔例〕 由加熱氯酸鉀製取氧的方程式，我們能計算出氯酸鉀、氯化鉀和氧的相對重量，如：



各分子的式量，可以由有關元素的原子量相加而得：

$$\text{KClO}_3 \text{ 的式量} = 39 + 35.5 + (16 \times 3) = 122.5$$

$$\text{KCl 的式量} = 39 + 35.5 = 74.5$$

$$\text{O}_2 \text{ 的式量} = 2 \times 16 = 32$$

因為方程式中的氯酸鉀和氯化鉀都有兩個分子，所以把各式量都乘以 2；又因氧有三個分子，所以把牠的式量乘以 3。

現在我們可以把這個方程式讀如：245 份重的氯酸鉀能生成 149 份重的氯化鉀和 96 份重的氧。

106. 【有效數字】 解答本書中各計算題所用的原子量，只須採用本書底封面後所載的近似值(approximate value)。這些數字雖不是已測定的最精確數值，但在實際應用上，已夠正確。只有在極精密的化學工作上，纔須採用已測定的最精密的數值。此等近似值至多不過三位數字，自左起算的第四位，第五位或第六位都經略去。例如鉬的精密原子量為 137.37，但我們僅採用 137 三位。同樣，在演算中，我們只須把答數用最近似的三位數字來表示。因為我們所採用的原子量至多不過三位，所以答數中的第四位、第五位及第六位數字，自然沒有什麼意義了。所以本書中計算題的答案，只需三位有效數字就夠了。在一組數字前的‘零’，如在 0.00672 中，是並不認作有效數字的；這裏的三位有效數字，是 6、7 及 2。

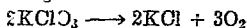
107. 【解答重量計算題的五個步驟】 由經驗得知，在解答化學計算題的時候，若是依據一定的步驟去演算，不但迅速，而且可以減少發生錯誤的機會。茲將此種步驟列下：

- (1) 把計算題中的反應，寫成一個完全的化學方程式。
- (2) 把計算題中的式量，寫在各質素的式的下方。
- (3) 把已知的實在重量，寫在該質素的式的上方，把 x (克或磅) 寫在所求質素的式的上方。
- (4) 作一分數方程式。一方為已知重量的質素的實在重量，除以該質素的式量，另一方為 x ，除以欲求重量的質素的式量。總之，兩方各以實在重量為分子，以式量為分母。
- (5) 解此方程式，並作粗略的計算，核對求得的答數是否合理。

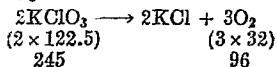
108. 【例題】 今欲製取 10 克的氧，問需氯酸鉀若干克？

試依上述五步驟演算如下：

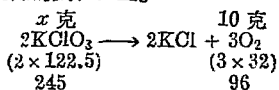
- (1) 作完全的化學方程式。



- (2) 在式的下方寫式量。



- (3) 在式的上方寫已知的實在重量。



- (4) 作分數方程式。

$$\frac{x}{245} = \frac{10}{96}$$

- (5) 解 $96x = 10 \times 245$

$$x = \frac{10 \times 245}{96} = 25.5 \text{ 克 [答數]}$$

【驗算】 245 約為 96 的 2.5 倍，所以答數應在 25 克左右。

問題和計算題

- 試計算硝酸銨 (NH_4NO_3) 中氮的百分率。
- 氯化銨晶體的化學式為 $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ，這表示每一分子的無水氯化銨是同兩分子的水相結合着的。試計算氯化銨晶體中結晶水的百分率。
- 求 100 克格勞勃氏鹽 (Glauber's salt, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 中結晶水的重量。
- 茲有膽礬 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 一噸 (2000 磅)，問其中含結晶水若干磅？
- 試計算下列各化合物的百分組成：(a) 食鹽 (NaCl)；(b) 硝石 (KNO_3)；(c) 二氧化碳 (CO_2)；(d) 氧化鐵 (Fe_2O_3)；(e) 大理石 (CaCO_3)。

* * * *

- 假定血液中的血色素 (hemoglobin) 的式為 $\text{C}_{703}\text{H}_{1203}\text{N}_{199}\text{S}_3\text{Fe}$ ，試計算其中鐵的百分率。由所得的答數看來，鐵是不重要的成分麼？試解釋之。
- 電解水而產生 10 克的氫，求同時產生氧若干克？
- 設濃鹽酸只含純氯化氫 35%，試求 100cc. 濃鹽酸 (密度為每 cc. 1.2 克) 與過量的鋅發生反應，可生成氫若干克。

第九章摘要

【化學方程式】 化學方程式所以表示實際的化學反應。牠

是某一定數目的原子在化學變化前後的分子狀況的圖象。

化學方程式務必求其平衡，即各元素的原子數在方程式的兩邊必須相等。

【寫化學方程式的準備】 在寫方程式前，必須知道下列各要點：

1. 確實發生的反應
2. 參加反應的質素是什麼
3. 生成的質素是什麼
4. 所有有關於質素的化學式

【化學方程式所不能表明的事項】 化學方程式並不指明反應的狀況。凡不發生變化的觸媒和溶劑，都不在方程式中表示。又如熱的效應和反應的速度，也並不在方程式中表出。

【化學變化的分類】 化學變化可以分作下列四大類：

- (a) 直接化合或合成
- (b) 單分解
- (c) 單置換或單取代
- (d) 複置換或複分解

【化學式】 化學式表示化合物中所含各元素的相對重量。

【化學方程式的定量意義】 化學方程式能表示參加反應各質素的相對重量。先把方程式寫出，然後應用原子量及式量，即可計算化學變化時所需要的和所產生的各種質素的重量。

【實在重量】 在化學方程式中，一質素的實在重量，對牠的式量所占的分數，等於同方程式中另一質素的實在重量，對該質素的式量所占的分數；但此種計算法每次只能涉及兩種質素。

計 算 題

1. 欲發生氧 4 克，需氯酸鉀若干克？

2. 欲發生氧 4 克，需氧化汞若干克？
3. 在題 2 中，應生成汞若干克？
4. 用鋅 6.5 克與硝酸反應，可生氫若干克？若與硫酸反應，可生氫若干克？
5. 燃燒磷 6.2 克，應得五氧化二磷 (P_2O_5) 若干克？

* * * *

6. 將蒸汽通過 100 克的鐵，待鐵全部變成磁性氧化鐵 (Fe_3O_4) 之後，問應生氫若干克？

7. 將氧化銅 (CuO) 40 克，在乾燥氫氣流中加熱，使之還原為金屬銅。試計算 (a) 所需氫的重量；(b) 所生銅的重量；(c) 所生水的重量。

8. 晶體碳酸鈉 (洗滌碱) 10 克，經小心加熱後，則得無水碳酸鈉 (Na_2CO_3)

3.70 克，試計算其中所含結晶水的分子之數。

9. 明礬的式為 $K_2Al_2(SO_4)_4 \cdot 24H_2O$ ，試計算其中所含結晶水的百分率。

10. 計算上題中明礬所含氧的百分率。

進修研究題

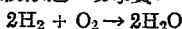
【實用化學計算】設有一觀測氣球，需氫 100,000 立方英尺，方能裝滿。若所用之氫係由 (a) 鋅與酸 (b) 鐵與酸製得，問所需原料之價值幾何？所用的酸，價值最賤的是哪一種？這兩個方法，哪一個較為經濟？

在製造時，除原料外尚有別項重要費用，此項費用應當先設法探出，方能求得製氫的全部成本。軍用氣球所需之氫，是用什麼方法製成的？（關於原料的市價，可由上海中華化學工業會主編之化學世界月刊查得 或向各大工業原料號函詢）。

第七章至第九章複習題

1. 試述下列各名詞的定義，並各舉一例：(a) 價；(b) 氧化；(c) 還原；(d) 式量；(e) 複置換。
2. 化學方程式是依據一個基本的化學定律和一個基本的學說而成立的。二者為何，試分別說明。
3. 試寫出 (a) 組中各化合物的名稱，與 (b) 組中各化合物的化學式：(a) SnS_2 ； H_3PO_4 ； Tl_2O ； $CrCl_3$ ； H_2S ； $Ca(NO_3)_2$ ； $AlPO_4$ 。(b) 氯化錫，硝酸銻，氯化鉻，磷酸鈣，硫化鋁。
4. 寫出下列各反應的平衡方程式 (全部用式表示)：(a) 氯酸鈉的分解 (加熱)；(b) 錳與硫的結合 (加熱)；(c) 硫酸與鎂的作用；(d) 硝酸銀與氯化鉀 (在溶液中) 的作用；(e) 氯化鋇和磷酸鈉 (在溶液中) 的作用。
5. 題 4 中各方程式代表何種化學反應，試分述之。
6. $2O$ ， O_2 ，與 O_3 間的區別如何？

7. 用文字詳述下列方程式所示之一切事實：



8. 下列各定律中，何者是重量定律，何者是體積定律？ (a) 定組成定律；(b) 該呂薩克定律；(c) 倍比定律；(d) 物質不滅定律。

9. 試舉例說明下列各定律：(a) 物質不滅定律；(b) 定組成定律；(c) 倍比定律；(d) 氣體體積合成定律。上列各定律各爲何人所首創？大約在什麼時代？

10. 道爾頓所假設的四點，試用自已的文句加以說明。

* * *

11. 在電弧焊接炬的‘原子焰’中和在氫氧吹管的火焰中，氫能產生極高的溫度。試解釋之。

12. 試寫出下列各反應的平衡方程式：(a) 鈉與水；(b) 製取過氧化氫；(c) 通氮於熱鎂；(d) 二氧化碳與水；(e) 氫氧炬。

13. 在火爐中燒煤的化學變化，怎樣可以用物質不滅定律來解釋？

14. 當氫與氧的混合物爆發時，其‘能’以何種方式放出？這種能在未爆發之前，以何種方式存在？試應用能不滅定律解釋這個反應。

15. 就鐵與硫化合而成硫化鐵時所發生的現象看來，硫化鐵內部所含的‘化學能’較原來的鐵與硫所含的是多呢還是少？

* * * *

16. 計算四氨硝酸銅 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4(\text{NO}_3)_2]$ 中氮的百分率。

17. 銅和氧可以依照下列組成而結合成兩種化合物：

	I	II
銅.....	79.9	88.8
氧.....	20.1	11.2

試說明這是倍比定律的例子。

(提示：計算與各化合物中一定量的氧(16克)相結合的銅的重量。)

18. 把氫酸鉀 10 克和二氧化錳 5 克的混合物，放在一隻大號派來克斯玻璃試管中，加熱製氧，(a) 試計算所發生的氧的體積(在標準狀況)；(b) 存留在試管裏的是什麼？各質素的重量有多少？

19. 今欲將含有 196 克純 H_2SO_4 的稀硫酸中之氫，全部置換，問需鎂幾克？需鋅幾克？需鋁幾克？

20. 試計算下列各化合物中的百分組成：(a) 硫酸銨， $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ；(b) 蔗糖， $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ；(c) 磷酸鈣， $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ；(d) 樟腦， $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$ ；(e) 苯， C_{10}H_8 。

第十章

氯化鈉和氫氧化鈉

109. 【食鹽即氯化鈉(NaCl)】我們已經討論過普通的化合物水。我們現在要研究第二種常見的化合物食鹽。食鹽是由鈉(金屬)和氯(氣體)兩種元素所組成的,因此稱為氯化鈉。

大量的食鹽,用為家庭中的調味品。自然界所產的粗鹽,俗稱岩鹽(rock salt),可用以凍結冰淇淋、餵飼牲畜、醃漬肉類和保藏魚類等。可是鹽的最大主顧卻為化學工業。因為牠是最賤的氯化物,所以用以製造氯氣、鹽酸、漂白粉、以及其他的氯化物。又因牠是最賤的鈉化合物,所以又用以製造洗滌碱、苛性鈉、焙用碱以及其他鈉化合物。我國永利化學工業公司的塘沽碱廠和上海的天原電化廠,便是利用食鹽來製造以上各種化學藥品的大工廠。

110. 【食鹽的所在】大量的食鹽礦牀分布在美國,奧國和德國等處。美國食鹽產量為任何國所不及,而尤以密西根省為最多,若以所產鹽質的純粹論,則紐約州當首屈一指。在海水所含的溶解物中,食鹽占較大部分,而內陸湖池,如大鹽湖和死海等的水中,也含有大量食鹽。商業用的食鹽,有由開掘岩層而得,即所謂岩鹽;有由蒸發海水而得,稱為海鹽;有由蒸發湖池之水而得,稱為池鹽;又有在鹽層附近掘井汲水煎煮而得,稱為井鹽。我國沿海各省都產海鹽,其中長蘆,山東,兩淮各鹽場,自古就很著名。至於內地各省,則四川的井鹽,湖北湖南的岩鹽,山西、陝西、青海的池鹽,產量也很可觀。用海水製鹽的方法,各處不同,我國

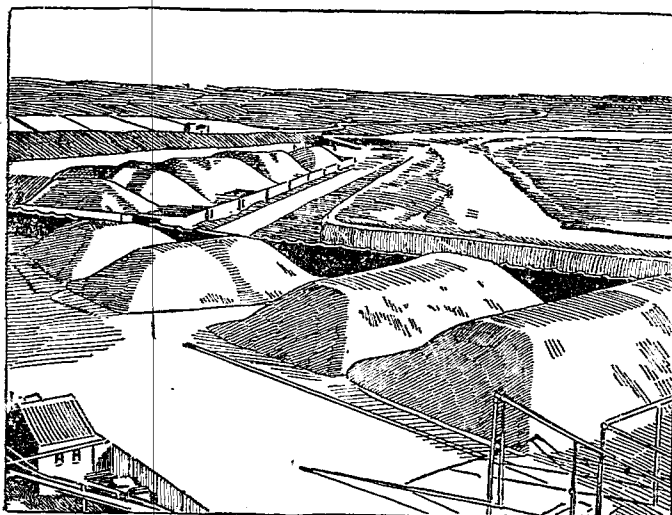


圖 63. 永利化學工業公司的鹽田, 在河北塘沽

沿海及舊金山海灣一帶所產食鹽, 都由把海水引入淺灘, 而利用天日或風力來蒸發而成。其他區域, 如蘇聯, 則利用氣候的寒冷, 使鹽水中的水分結冰而析出。不過一般都將食鹽溶液在減壓下加熱蒸發, 使純鹽首先結晶而出, 必要時再用結晶法來提純。

工業上所需的食鹽, 大都只須把天產的岩鹽, 擊成勻整的顆粒, 就可應用。至於供烹飪用的食鹽, 就非提淨雜質, 研成細小的結晶粉末不可。食鹽中通常都含有少量的氯化鈣和氯化鎂, 這種氯化物極易從空氣中吸收溼氣, 使之黏合成為塊狀。至於化學純粹的食鹽, 即除去這種雜質的所謂精鹽, 就不會從空氣中吸收水分了。我國烹飪, 向用粗鹽, 自民國四年久大精鹽公司成立後, 市上始有精鹽出售。

111. 【食鹽溶液的電解】 我們已經說過食鹽(氯化鈉)是由氯和鈉兩種元素組成的。當電流通過氯化鈉的濃溶液的時候, 就有氯氣在陽極發生, 氫氣在陰極發生(圖 64)。也許最初在陰

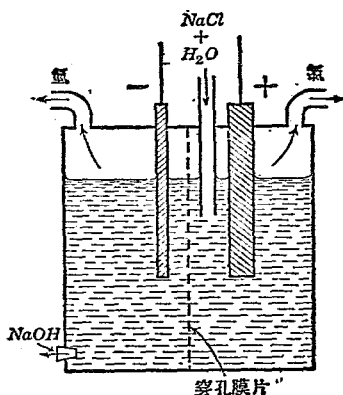
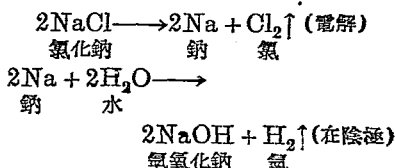


圖 64. 食鹽水電解的圖解

極附近生成鈉，可是我們已經說過 (§ 45)，這元素能很快地和水起作用，所以結果是發生了氫，並在溶液中生成了一種質素叫做‘氫氧化鈉’(sodium hydroxide)。這些變化可用下列方程式來表示：



這個電解法是製造氫氧化鈉、氯和氫*的商業方法之一。

112. 【分解食鹽的商業電解池】

商業上電解食鹽的電解池有

好幾種。圖 65 表示的是福爾斯圓筒電解池的原理。浸石墨棒於鹽水中，作為陽極(+端)。陰極(-端)為一穿孔的銅質膜片，牠的一側貼着壓縮的石綿，以防止氯氣與氫氧化鈉溶液相混合。食鹽的濃溶液從近陽極處加入。在近陰極處生成的氫氧化鈉溶液被陸續排出。這排出的氫氧化鈉溶液在高溫下蒸發後，就成為熔融狀態，可模製成任何形狀。

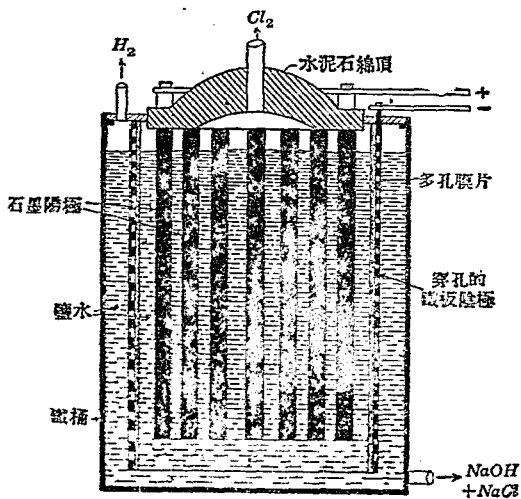


圖 65. 福爾斯電解池的縱剖面

* 因為氫是偶然製成的，所以稱為‘副產物’。

氯氣從近陽極的圓頂中的導管逸出，氫氣則從陰極外方的出口逸出。

大量的氫氧化鈉或苛性鈉(俗稱燒鹼)，都藉氯化鈉濃溶液的電解而製成。有些工廠如造紙廠之類，既需供給氯氣的漂白粉，又需苛性鈉，因此除了氫氣以外，對於氯化鈉電解的一切產品，都能立即加以利用。從陽極發生的氯氣可直接通至氫氧化鈣中，而造成‘漂白粉’(bleach)。至於以液態氯(裝於鋼筒中)供漂白用的，為量也不少，而且在日漸增多中。

問 題

1. 舉示食鹽的用途六種。
 2. 食鹽的主要來源是什麼？
 3. 舉出我國自古著名的三大鹽場。
 4. 海水中為什麼含有鹹味？
 5. 非洲土人用金塊來換食鹽；從前的歐洲人用鹽塊來當錢用。試解釋之。
 6. 某種牌號的精鹽，其廣告中有云‘大雨如注’。試解釋之。
 7. 普通粗鹽在潮溼的天氣，為什麼容易受潮？
 8. 試述用福爾斯電池製造氫氧化鈉的方法。
 9. 用電解法製造氫氧化鈉，有什麼重要的副產物？
 10. 在電解食鹽水的時候，為什麼不能在陰極得到金屬鈉？
- * * *
11. 商業上電解食鹽溶液，為什麼都用碳精板做陽極？
 12. 電解食鹽水時，為什麼必須使氫與氯隔離？
 13. 在商業上，為什麼不使鈉和氯直接化合以製成氯化鈉？
 14. 為什麼食鹽用作製造許多其他鈉鹽的原料？
 15. (a)我國沿海各省所產食鹽用怎樣的方法製成？(b)在地中海沿岸呢？(c)在冬季的蘇聯白海沿岸呢？
- * * *
16. 欲製 160 克的氫氧化鈉，需氯化鈉多少克？
 17. 應用電解法，一噸純粹的氯化鈉，可製氫氧化鈉多少磅？
 18. 若用 17 克的硝酸銀 (AgNO_3) 把所有的氯化鈉都從溶液中洗滌下來，試求溶液中含氯化鈉若干克？

113. 【鈉是一種活潑的金屬】 普通金屬像銅、鐵、錫、鉛、鋅等的被人知道及應用，已有好幾百年的歷史。就是貴金屬像

金和銀，古代人也已知道鑄冶的方法。可是有幾種金屬，牠們的性質非常活潑，在自然界並不成自由態存在，並且不容易從別的元素中把牠們分離出來。就因為這個緣故，所以鉀和鈉的化合物如食鹽和硝石等的為世人所知，遠比金屬鈉和鉀本身為早。

鈉是一種柔輦的銀白色的金屬，可用手指來任意揉捏。牠很容易受溼空氣的作用，因此牠的明亮的光澤只能在新切面上見到。因為鈉是一種極活潑的金屬，所以常密封在馬口鐵罐子裏。在實驗室中，因為用量極少，所以都保存在火油中。

114. 【德斐的發現鈉】 金屬鈉實在是一種實驗室裏的珍玩，1807年由哈姆夫利·德斐爵士（圖66）最先製得。他的裝置只



圖 66. 德斐像
(Sir Humphry Davy, 1778-1829)
德斐最初用電池組來分離鈉和鉀。
他又給礦工發明安全燈

是一隻鉛製的坩堝，連接在電池組的陽極，還有一條鉛絲，連接在電池組的陰極。先把苛性鈉在坩堝中熔化，然後進行電解，使氧在陽極放出，氫和鈉在陰極放出。在這個過程中，小粒的金屬鈉從熔融的氫氧化鈉中上升表面，等到牠和空氣相接觸時，就發火而燃。

這個金屬鈉的製法，至今還在採用，不過所用的器械比以前大，製造器械的原料比以前便宜。並且現在所用的電流，是由發電機而不是由電池組供給的。

115. 【金屬鈉與金屬鉀】 金屬鈉一向是由電解熔融的氫氧化鈉而製成的，但是現在卻都藉電解熔融的氯化鈉而製成，不

過須在氯化鈉中混入氯化鈣和氯化鋇，以降低其熔點。

在如圖 67 A 之裝置中，熔融的氯化鈉之能傳導電流正像牠的溶液一樣。氯由碳陽極(1) 放出，鈉由鋼陰極(2) 析出。因為在熔融的食鹽 (NaCl) 中，析出的金屬鈉沒有發生反應的對象空氣或水，所以成爲自由態而產出。牠比熔融的食鹽輕，成爲熔融狀態而浮於液面，可以隨時搽去。捕集在圓拱(3)裏的氯，是一種有價值的副產物，可壓縮於鋼筒中，以供應用，詳見下章說明。至於金屬鉀的製法，則和鈉完全相同。

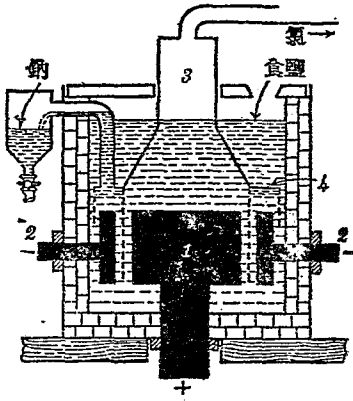


圖 67 A. 製金屬鈉的唐斯電解池
1, 陽極(用石墨製成); 2, 陰極(用鋼製成); 3, 捕集氣體的圓頂;
4, 集取金屬鈉的環形室

金屬鈉和金屬鉀都是極活潑的質素，只有不使之與空氣相接觸，纔能保存，所以通常都保藏在火油等一類的液體中(圖67B)。這兩種金屬當新切開的時候，都呈銀白色，並且質

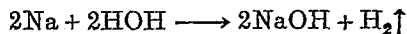


圖 67 B.
保存在火油
中的鈉

地很輕。牠們能與大多數非金屬如氧和氯等相化合而放出大量之能。鈉與水的反應前已述及 (§ 45)。至於鉀與水的反應，更是異常猛烈，當鉀和水化合時，其所發生的氫，竟至能夠着火。

116. 【氫氧化鈉的實驗室製法】 當我們使鈉與水作用而製取氫 (§ 45) 的時候，我們看見牠們的作用非常劇烈，所以在手續上只能用少量的鈉分數次加入水中。在製氫氧化鈉的時候，這是必須牢記在心的。

金屬鈉在每一分子的水中置換了一個氫原子，而把氫氧化鈉留在溶液中。這作用可用方程式表示如下：



這溶液蒸發後,就剩下一種白色的固體,即為氫氧化鈉。

117. 【氫氧化鈉的性質和用途】 氫氧化鈉是一種白色質脆的固體。供實驗室用的,通常都為條狀或粒狀(圖68),但是供工業用的,卻為溶液而裝入鐵桶中(圖69)。牠能很快地從空氣中吸收水分和二氧化碳,又極易溶解於水。凡是實驗室中需要鹼類的時候,總是採用牠的溶液。

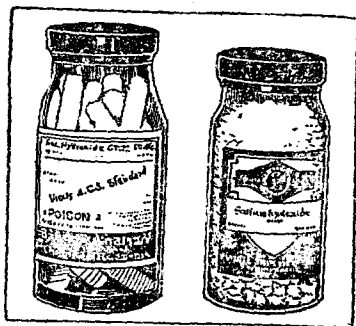


圖 68. 條狀(左)和粒狀(右)的氫氧化鈉

濃厚的氫氧化鈉溶液和溼潤的固體,本身都有強腐蝕性,極容易破壞大多數的動植物質,所以有‘苛性鈉’(caustic soda)的別稱。氫氧化鈉溶液在西洋家庭中常用作洗滌劑,因為牠能與油脂發生反應,並能溶解油脂。牠的商品名叫做‘鹼液’(lye),一般都裝在錫罐裏發售。氫氧化鈉又為極重要的工業原料。例如製造硬肥皂、紙和棉織品,精煉石油,以及製備煤焦油產品等,都得到牠(參看對191頁鹼化工一覽表)。

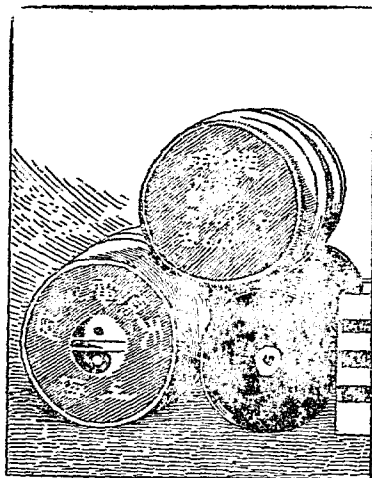
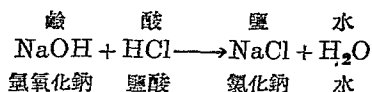


圖 69. 天原電化廠所出的燒鹼(即氫氧化鈉),裝入鐵桶中發售

118 【氫氧化鈉是一種模式的鹼類】 有一類的化合物,如氫氧化鈉(NaOH)、氫氧化鉀(KOH)和氫氧化鈣 $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ 等,其

中都含有氫氧根(OH),並且有着某種共通的性質。牠們與‘指示劑’(indicator)的作用,便是一例:牠們能變紅色石蕊試紙為藍色,變無色酚酞試液(phenolphthalein)為粉紅色。牠們都稱為鹼類(bases),能和酸類(acids)起反應而成為鹽類(salts),所謂鹽類,其性質既不同於鹼類,也不同於酸類。例如氫氧化鈉與鹽酸相作用,即生成食鹽和水:



最後,所有溶解於水溶液中的鹼類,都有一種特殊的苦澀或發燒的滋味,和一種滑膩如肥皂樣的感覺。

強烈的鹼類,如氫氧化鈉和氫氧化鉀等,稱為強鹼類(strong bases 或 alkalis)。在以後幾章,我們將要敘述其他的幾種鹼類,如氫氧化銨(氨水)、氫氧化鈣(石灰水)和氫氧化鎂(苦土乳, milk of magnesia)等。

第十章摘要

【氯化鈉】 氯化鈉在自然界中有大量產出,可用以製造其他的鈉化物或氯化物。

【食鹽電解】 將濃厚的氯化鈉溶液電解,可製成氫氧化鈉、氯和氫。

【金屬鈉的製法】 金屬鈉是由電解熔融的氫氧化鈉或食鹽而製成的。牠在化學上是一種極活潑的金屬。

【模式的鹼】 氫氧化鈉是一種模式的鹼,由一金屬和一氫氧根化合而成。

【強鹼類】 能溶於水的鹼類,如氫氧化鈉和氫氧化鉀等,稱為強鹼類。

問題和計算題

1. 金屬鈉是誰發現的？
2. 他還有什麼別的發現？
3. 金屬鈉發現於 1807 年。為什麼不能發現得比這再早一點？
4. 金屬鈉在實驗室中應怎樣保藏？
5. 氫氧化鈉在實驗室中是怎樣製成的？把這反應的方程式寫出來。
6. 舉出氫氧化鈉的若干重要用途。
7. 西洋家庭中所用的鹼液，牠的主要成分是什麼？
8. 鹼液必須放在廚房中的水槽附近，是什麼緣故？
9. 家庭中應用鹼液，對於使用的人有什麼危險？
10. 指出下列各物的組成：(a) 鹼液；(b) 苛性鈉；(c) 岩鹽。

* * *

11. 金屬鈉在自然界中為什麼沒有呈自由態的產出？
12. 金屬鈉為什麼要當為一種金屬？
13. 把一片金屬鈉曝露在空氣中，會發生怎樣的變化？（不要去試驗）。
14. 使食鹽不結塊，有什麼方法？
15. 製造一種元素，選用該元素的最廉價的化合物為原料。製造鈉是不是這樣？

* * * * *

16. 電解一噸熔融的氫氧化鈉，可製金屬鈉多少磅？
17. 製造 115 克的金屬鈉，需氫氧化鈉若干克？
18. 將 212 克的碳酸鈉 (Na_2CO_3) 與消石灰 (氫氧化鈣) 共同加熱，可製成氫氧化鈉若干克？

第十一章

氯和氯化氫

119. 【氯的發現】 1774年瑞典藥劑師社勒(Karl Wilhelm Scheele, 1742-1786)最初製得氯。當時的製法,雖然跟現在實驗

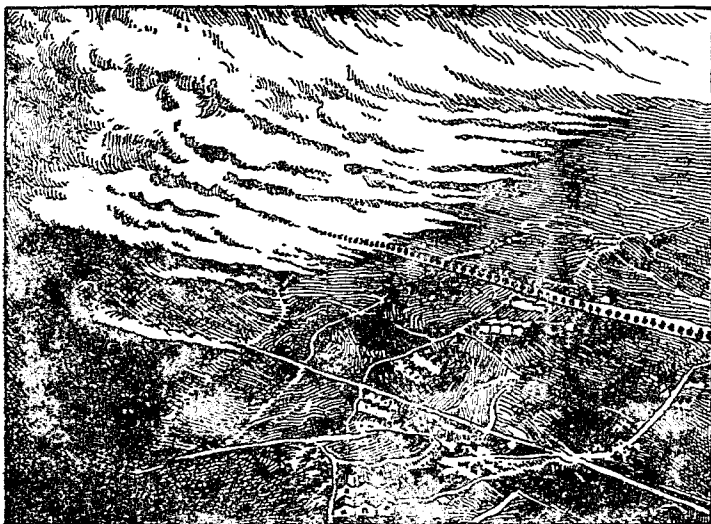


圖 70. 氯氣從前線的壕溝中放出,藉風力吹向敵軍陣地。圖中所見的白色煙霧,是液體氯蒸發時吸收附近熱能,使空氣中的水蒸氣冷凝而成的溼氣。此項圖片係在第一次世界大戰時從飛機中所攝得

室中的製法完全相同,但是氯的名稱還是由德斐爵士所給與的。至於大多數人聽到氯氣這個名稱,已在1915年,德國人採用這種惡臭劇毒的氣體來襲擊協約國的時候了(圖 70)。現在各大都市中都用氯來殺滅水中的病菌,而使之適於飲用。

120. 【氯的實驗室製法】 在前章曾述及氯的商業製法。但是在實驗室中，牠是藉氧化劑處理濃鹽酸而製得的。氧化劑將鹽酸氧化，使氫變成水而釋出氯。二氧化錳(MnO_2)就是普通所用的氧化劑。在本例中，錳與鹽酸中的半量的氯相化合。餘下的氯則當混合物加熱的時候成為氣體而逸出。氯氣有毒，所以這個實驗必須在通風良好的煙櫥(hood)內舉行。下列反應，應當熟記：

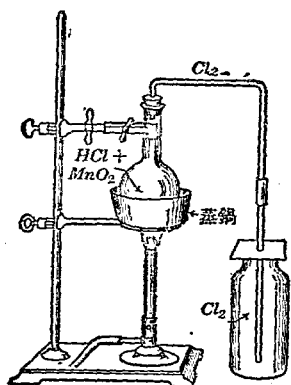
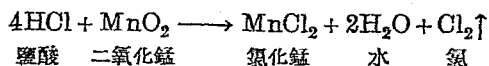


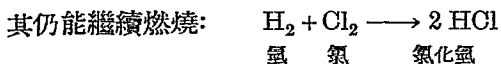
圖 71. 氯的實驗室製法

注意上式的反應生成物之一是一種氣體(氯)，所以用向上的箭頭來表示。

若是用氯化鈉和硫酸的混合物(能產生鹽酸)來代替鹽酸，以與二氧化錳相作用，其結果亦同。因為氯稍稍溶解於水，所以須用空氣置換法來集取(圖 71)。

121. 【氯的重要性質】 氯是一種黃綠色的氣體，具刺激性之臭，其性極毒，就是在低濃度的氣體中停留片刻，對於肺部也會發生重大的傷害。氯氣約為空氣之重的兩倍半。在常溫時，加以六至七大氣壓的壓力，就可使之液化，液態氯現在已成一種商品，裝在堅固的鋼筒中出售。

122. 【氯的化學活潑性】 氯是一種非常活潑的質素，在室溫時能同多種元素化合而成氯化物，同時並產生了大量的熱，若將新研碎的鎂粉(冷)和砷粉同時投入盛氯的瓶中，就立即發生火焰。又如將噴射的氫氣流在空氣中點燃後，置於氯中，將見



這個燃燒作用並沒有氧氣參加，尋常不大看見。其所以發光生熱，乃是由氫與氯化合而成氯化氫的緣故。若以呼氣吹入氯化氫的瓶中，即可見鹽酸的白霧。多數碳和氫的化合物，如石蠟等，能與氯起猛烈的反應而發生火焰。這種反應的生成物是自由碳和鹽酸(圖 72)。所以燃燒可定義為：任何作用劇烈而能發光及生顯著之熱的化學變化。

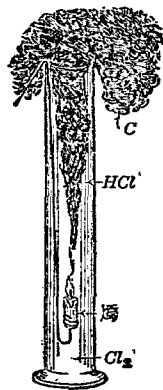


圖 72. 在氯中燃燒蠟燭的情形

123. 【氯的用途】 工業上常製造巨量的氯(圖73),以作製造其他化學藥品的原料(參看 191 頁對面工業圖表)。例如二氧化硫,四氯化碳和三氯甲烷(chloroform)等,都是氯的化合物。氯又為製造漂白劑和消毒劑的原料,如次氯酸或次氯酸鹽的稀溶液等。氯的特殊臭氣,常可

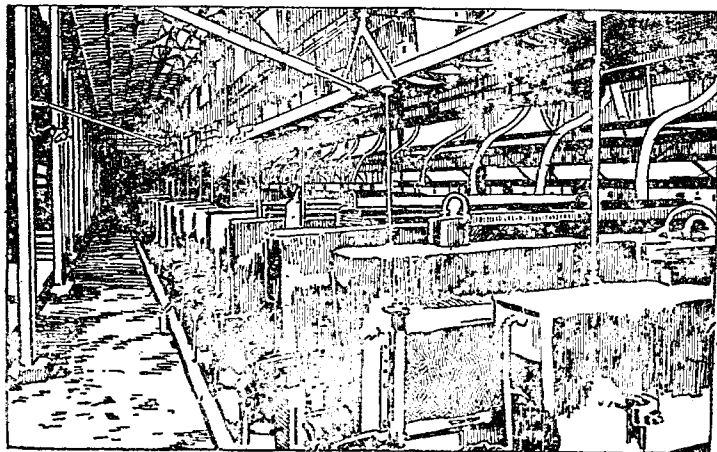
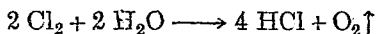


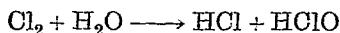
圖 73. 上海天原電化廠電解食鹽水製取氯氣的電解室(副產物為氫氧化鈉)

從洗衣作和漂布坊中嗅得。

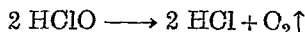
124. 【氯水和次氯酸】 氯略溶於水,在尋常狀況下,一體積的水可溶氯約三體積。其溶液帶有氯的顏色和臭味,稱為氯水 (chlorine water)。倘使將氯水曬在日光中,即逐漸分解而放出氧,如:



在製成氯水時,大約最先生成的是鹽酸和次氯酸(HClO, hypochlorous acid):



次氯酸頗不穩定,極易分解而放出氧:



因其具有氧化力,所以在工業上為一極有用之質素。

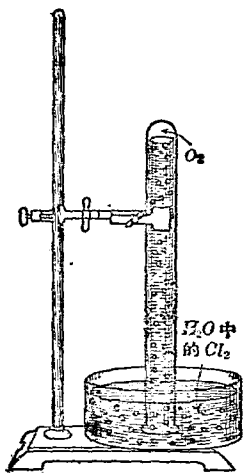
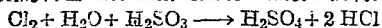


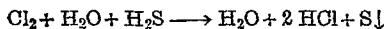
圖 74. 用日光分解氯水

次氯酸能慢慢分解而生成自由氧,可用下法證明。充氯水於試管,把牠倒立着曬在日光中,不久即見管頂即集有氣體,可設法證明其為氧(圖 74)

氯水的氧化作用,可藉氯水處理亞硫酸(二氧化硫)溶液以表示之。亞硫酸溶液在未經用氯水處理之前,即使有鹽酸存在,亦不能用氯化鋇使之產生沈澱;然若使亞硫酸被氯水處理然後再加入氯化鋇,即有多量的白色沈澱產生,這證明亞硫酸已被氧化而為硫酸了。

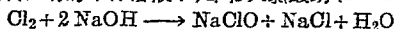


硫化氫的水溶液以氯水處理,能生成硫的沈澱,這也是由於發生了氧化作用的緣故:



125. 【次氯酸鹽】 次氯酸鹽(hypochlorites)雖可用次氯酸來製取,但不如採用其他方法,更為便利。

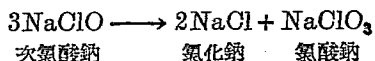
若以氯通入氫氧化鈉的稀溶液中,即有次氯酸鈉(NaClO)產生:



在這裏,實際上是氯先與水作用而生次氯酸和鹽酸,然後再由此兩種酸與氫氧化鈉起反應。次氯酸鈉又可在一隻沒有膜片的狹長電解池內由電解氯化鈉(食鹽)溶液而製成。在電解池的一極逸出氯;另一極則生氫氧化鈉。氯和氫氧化鈉溶液

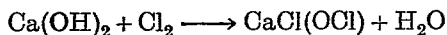
相遇，便成爲次氯酸鈉。由以上兩種方法所製得的，都是次氯酸鈉的稀溶液，其中含有多量的氯化鈉。在所謂‘茄凡爾水’ (Javelle water) 的家用漂白液中，就含有次氯酸鈉。

次氯酸鹽都是不穩定的質素，由於這種不穩定性，因此常被製爲冷稀溶液，以備應用。若被加熱或歷時過久，即自起氧化作用而成含氧較多的氯酸鹽 (chlorate)。例如次氯酸鈉加熱後，即成氯化鈉和氯酸鈉 (NaClO_3 , sodium chlorate):



以前用過的氯酸鉀，是由氯作用於溫熱的氫氧化鉀而製成的。

126. 【漂白粉】 漂白粉 [$\text{CaCl}(\text{OCl})$, bleaching powder] 係由氯氣作用於消石灰而製得(圖75A)。牠是白色的粉末，極不穩定，具有強烈的次氯酸的臭味。純粹的次氯酸鈣的化學式理應是 $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ，而漂白粉的作用，則極似氯化鈣和次氯酸鈣的混鹽 (mixed salt)，牠的化學式是 $\text{CaCl}(\text{OCl})$:



真正的次氯酸鈣是很穩定的，即所謂高試次氯酸鹽 (high test hypochlorite, 略稱 H.T.H.)，因其所含之氯較尋常漂白粉所含者達兩倍以上，故有此名。牠在淋浴室內用以洗足，以防腳趾溼癢的傳染。

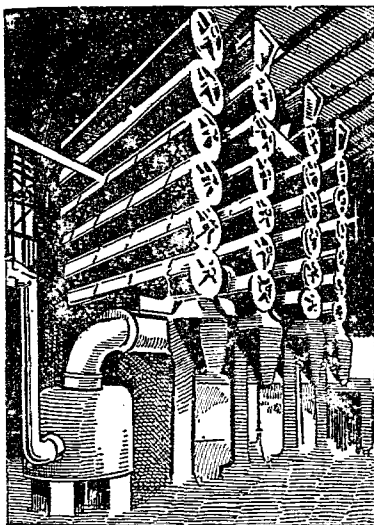
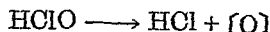


圖 75A. 天原電化廠的漂白粉機

漂白粉又稱氯化石灰(chloride of lime),因為石灰價廉,所以是商業上製次氯酸的原料(參看 191 頁對面工業圖表)。

127. 【漂白作用】 次氯酸是一種強烈的漂白劑,次氯酸及其鹽類的主要用途,即為漂白。大多數的有色物料,都是複雜的有機質素,能被氧化而變成無色的化合物。用次氯酸的稀薄溶液來處理有機質素,即可使之迅速氧化,因為牠能放出自由的**新氧***(nascent oxygen)之故:



試用色布一方,浸入氯水中,或將潤溼的色布懸於氯氣中,極易證明上述作用。乾燥的氯是沒有氧化作用的;因為氯不遇水,就不能產生次氯酸。

漂白是多種工業上的重要作業。例如大多數的紡織物,如棉布等,由於含有天然雜質而帶微黃色,故在銷售前必須先行漂白。圖 75 B 就表示漂白棉布的普通順序。棉布自轆(A)經過交錯排列的漂白粉溶液區(B)和稀硫酸區(S)。這時次氯酸

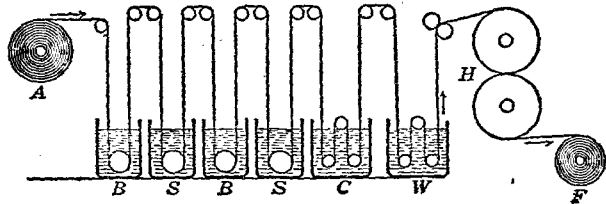


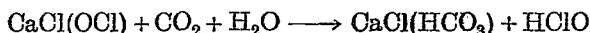
圖 75 B. 漂白之商業方法

(HClO)生成於布的纖維中間,故其效力特強。然後使此布經亞硫酸鈉溶液(C),以除去餘下的次氯酸,因其留在布上,足以損傷布質。最後再置布於水(W)中洗滌,經熱輾(H)展平,即可捲起(F),以備裝運。

普通工業上用次氯酸漂白,都於下列各法中,任擇一種:(1)通氯於冷水,製成氯水,而直接用此溶液漂白;(2)採用自電解法或使氯氣與強鹼作用而得的次氯酸鈉;(3)採用懸浮於水中的漂白粉。第(3)法可在家庭中採用。織物在漂白以後,必須將化學藥品澈底洗淨,否則將逐漸為藥品所腐蝕。

* 通常以為這種氧的活潑性是由於牠在‘原子狀態’之故,所以特用〔 〕符號來表示,以與分子的氧相區別。也有人以為該元素在釋出的同時,有‘能’放出,因而牠的活潑性就特別大。

次氯酸極易為別種酸類從次氯酸鹽中置換而得。次氯酸鹽被稀酸處理，即生成次氯酸溶液，這溶液即可用作漂白劑。商業上採用次氯酸鹽的漂白法，有如上述，即將需要漂白的物料先用次氯酸鹽處理，然後浸於稀酸中。普通家庭中如用漂白粉漂白，其所需的酸是由空氣中的二氧化碳慢慢供給的。方程式如下：



$\text{HClO} \longrightarrow \text{HCl} + [\text{O}]$ 在漂白作用中用去。

128. 【消毒和防腐作用】 疾病大都是由某種名叫細菌的微細植物所釀成而傳佈的。這種微生物通常都繁殖在腐敗的動植物質堆積的地方。次氯酸鹽極易氧化這種有機物，而把細菌殺滅，所以‘氯化石灰’久被用為家庭中的消毒劑。最近則又有採用次氯酸鈉溶液（自電解食鹽溶液而製得），以供洗拭醫院和病房中的地板和牆壁之用。

次氯酸又為外科醫術上的重要防腐劑 (antiseptic agent)，但是因為牠對於人類的肌肉有銳敏的感覺，所以僅能在特殊情形之下，採用牠的極稀溶液。在第一次世界大戰期間，曾用來包裹傷口而頗著成效的‘打金卡勒爾溶液’ (Dakin-Carrel solution)，就是次氯酸鈉的0.45-0.5%溶液。這溶液須配成幾近中性，若為鹼性或酸性，那末對於傷口的腐蝕作用就嫌太強了。又若使受傷者以適當

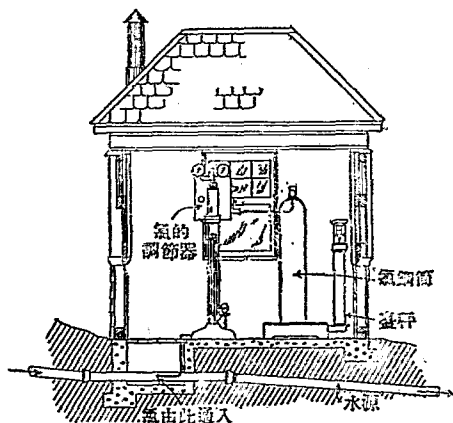


圖 76. 通氯氣於水源中以淨水的圖解

的位置躺臥着，然後用打金卡勒爾溶液繼續流入傷口，以之作爲洗滌藥，那就更爲有效了。

飲用水中的微生物，極易用次氯酸把牠殺滅。通常將少量的次氯酸鹽溶液加入水中，或使貯在鋼筒中的液態氯放出氯氣，而通入水源(圖 76)；除了極污濁的水外，大約每一百萬份水中加入次氯酸一份即可達到清淨的目的。美國各大城鎮採用這種淨水方法的，已在 80% 以上。

問 題

1. 氯氣是什麼人在什麼時候發明的？
 2. 試作一圖，表示在實驗室中依空氣置換法集取氯氣時，那導氣管是怎樣插入瓶中的。
 3. 爲什麼須用空氣置換法來集取氯氣？試舉出兩種理由。
 4. 最先使氯氣液化的是什麼人，在什麼時候？
 5. 被液化的氣體，以氯爲最早，這是什麼緣故？
 6. 氯是活潑的還是不活潑的元素，試加以說明。
 7. 氯能助燃燒，試舉兩例證明。
 8. 爲什麼氯的商業製法，不在實驗室中採用？
 9. 試述目前液態氯的兩大用途。
 10. 液態氯怎樣貯藏和運輸？
 11. 氯之用作漂白劑，其作用如何？
- * * *
12. 氯的實驗室製法中所用的兩種質素，其功用各如何？
 13. 杜勃最先用二氧化錳和鹽酸的混合物加熱而製氯，但是他以爲氯是一種氧化物；其後四十年，學術界中人亦都作如此想。這是什麼原因，試解釋之。
 14. 若將盛氯氣的筒放在盛氧氣的筒上，這兩種氣體不久便會慢慢地混成均勻的混合物，試說明其理由。
 15. 試舉二例，證明氯氣和自由的氯或化合物的氯都有極強的親和力。
 16. 試用方程式表示下列各化合作用：(a) 氯與鈉；(b) 氯與銅；(c) 氯與錳；(d) 氯與鐵；(e) 氯與磷。
 17. 用食鹽、硫酸和二氧化錳製氯時，採用此各質素的目的是什麼？
 18. 在福爾斯電解池中電解食鹽溶液，若主要目的在獲得氫氧化鈉，則氯爲副產物；若主要目的在製取氯氣，則氫氧化鈉爲副產物。試解釋之。
 19. 用燃着的蠟燭放入一瓶氯氣中，則此燭生特殊的紅色火球，而繼續燃燒，並發黑煙。假定石蠟的平均化學式是 $C_{27}H_{56}$ ；(a) 試用方程式表明這化學反應；

(b)黑煙是何物？ (c)怎樣檢定瓶中的其他生成物？

* * * *

20. 用二氧化錫 348 克和過量的鹽酸發生作用，問可得氯幾克？

21. 在第一次世界大戰期間，美國政府曾經在馬利蘭州 (Maryland) 埃治武德兵工廠 (Edgewood Arsenal) 地方製氯，每 24 小時可製成 100 噸，今假定電解效率為 100%，問每 24 小時用純粹食鹽若干？

鹽 酸

129. 【硫酸對食鹽的作用】 我們已經用硫酸 (sulfuric acid, H_2SO_4) 做過實驗 (§ 46)。無疑的，牠是化學家所用的最重要的質素。現在我們試把加硫酸於食鹽所起的變化，說明如下：

取氯化鈉一撮，置於試管中，加入濃硫酸數滴。在必要時可把牠稍稍加熱，以催起作用。不久，即見食鹽上發生氣泡，漸自酸中上升。同時並可聞得一種刺激猛烈使人窒息的臭氣。這氣體本身是無色的；然而，若在管口上吹一口氣，就有白霧發生。若以潤濕的藍色石蕊試紙放近管口，即由藍色變成紅色。這是酸類的特徵。倘使我們將浸過氨水的濾紙來代替石蕊紙，就見有白色的濃霧發生，這是‘氯化氫’ (hydrogen chloride, HCl) 氣體的特徵。

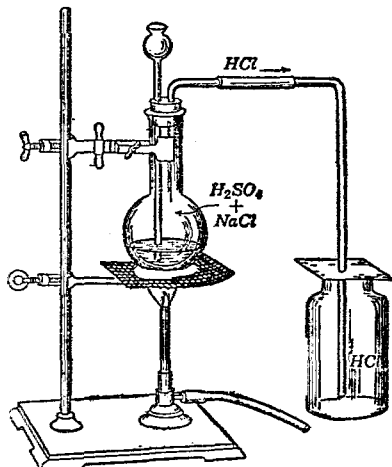


圖 77. 氯化氫發生器

130. 【氯化氫的製法】

若要進一步研究氯化氫的性質，可將儀器裝設如圖 77 所示，燒瓶內貯食鹽少許，自葫頭漏斗注入硫酸，漏斗柄須幾達瓶底。因為這氣體 (HCl) 極容易溶解於水，所以不能自水面集取。然因其較空氣為重，故可用開口的空瓶以空氣置換法集取。如需加熱，火勢務必徐緩。至於瓶中是否有此種氣體存在，可從其觸鼻的臭味和吹過瓶口時所發生的白煙來辨識牠。

氯化氫的商業製法，在原則上跟方纔所說的並沒有什麼差異。當硫酸 (H_2SO_4) 和氯化鈉 ($NaCl$) 起反應時，酸中的氫和食鹽

中的氯相化合，成爲氯化氫氣體而放出。瓶中所留存的白色固體，稱爲硫酸鈉(Na_2SO_4)，這反應分兩種步驟，茲表明如下：



因爲硫酸的沸點較高(338°C.)，而氯化氫在室溫時爲氣體，故用硫酸製氯化氫，頗爲適宜。至於在小規模製取的實驗中，卻不能發生第二步作用，因爲牠所需的熱度太高，到了這個溫度，連玻璃都要軟化了。

131. 【氯化氫的實驗】 氯化氫氣體對於水的極大溶解度，可用下列實驗表示之。

用一隻乾燥的燒瓶，滿盛氯化氫氣，蓋以雙孔橡皮塞。一孔中插入一含有水的滴管，另一孔中插入一直玻璃管，其在瓶內的一端，留有尖嘴。全部裝置配合如圖78所示。然後按滴管的橡皮球，將水數滴射入瓶中。這數滴的水溶解了大量的氯化氫氣，因此下方玻璃缸裏的水，就受大氣壓力而上昇瓶中，好像噴泉一樣。

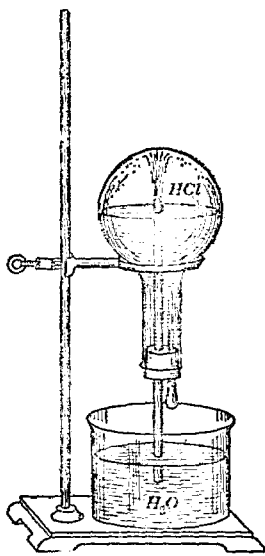
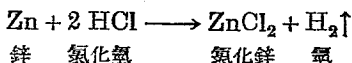


圖 78. 證明氯化氫氣極易溶解的實驗

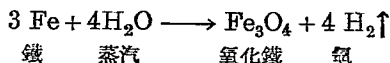
氯化氫之所以能在潮溼的空氣中成霧，就因爲牠在水中有極大的溶解度之故。空氣中的潮氣溶解了氯化氫氣體，便形成了小滴的溶液——即鹽酸——懸浮於空氣之中，而成爲白霧。

132. 【氯化氫的性質】 氯化氫是一種無色的氣體，比空氣約重四分之一。牠具有猛烈刺激性的惡臭，極容易溶解於水，在15°C.時，每立方厘米的水中可溶450立方厘米之多。氯化氫既不能自燃，也不助燃。在室溫時，其乾燥氣體與多數金屬僅能發生極緩慢之反應；在高溫度時亦僅能與少數金屬發生反應，其中的氫成爲氫氣而放出，而氯則與金屬相化合(單置換)。

氯化氫與鋅作用則生成氯化鋅 (ZnCl₂)，氯化鋅為白色的固體。此反應可用方程式表明如下：

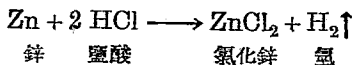


上述氯化氫與鋅的反應，極似水蒸氣與鐵相作用而生成氫和氧化鐵。此反應可用方程式表明如下：



133. 【鹽酸】 氯化氫的水溶液普通都稱為鹽酸 (hydrochloric acid)。牠的性質和乾燥氯化氫完全不同，所以兩者不能混為一談。鹽酸中所含的氯化氫，以重量計，最多可達 40%；其含 30% 以上的稱為濃鹽酸，商業上則通稱為鹽鐵水 (muriatic acid)。若以 3 倍或 4 倍體積的水沖淡濃鹽酸，即得稀鹽酸。所謂‘化學純粹’ (C.P.) 的鹽酸，是指純粹的氯化氫溶於蒸餾水中的濃溶液，乃無色液體，其密度約為每立方厘米重 1.2 克。

鹽酸是一種極活潑的質素，我們以前曾用牠來製備氫 (§47)。牠和鋅作用則發生猛烈的反應而生成氯化鋅。實則除汞、銀、銅、鉛以外，其他普通的金屬，都能與鹽酸反應而產生金屬的氯化物和氫氣。鹽酸與鋅的反應方程式如下：



這反應和乾燥的氯化氫無異，但作用甚速，而且能在室溫時進行。

134. 【鹽酸是一種模式的酸】 因為鹽酸是實驗室中極常見和極有用的酸，我們最好把牠的特性總述一下。這種特性在其他酸中，亦可發見。

1. 稀鹽酸有酸味。
2. 鹽酸能使藍色石蕊變成紅色，粉紅色‘酚酞溶液’ (phenolphthalein solution) 變成無色。

3. 許多普通金屬如鋅、鐵、鎂等，能置換並放出鹽酸中的氫，而生成氯化物。

4. 若使鹽酸與氫氧化鈉溶液混和，則生成中性的食鹽水溶液。

135. 【鹽酸的用途】 鹽酸是食物消化過程中所必需的質素，所以胃中常發見微量的鹽酸；在人體中，牠是由伴着食物吃下去的食鹽所變成的。

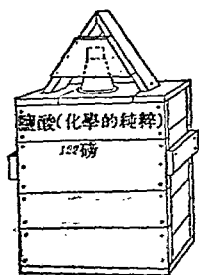


圖 79. 盛鹽酸罐的大木箱，以便轉運

濃鹽酸常大量製造，以供工業和實驗室之用。這種酸多盛於玻璃罐或陶質罐內，外裝木箱(圖79)，以便運輸。銅錫匠和鉛皮匠也常採用鹽酸，以洗淨所欲焊接的金屬面。

136. 【氯化物】 一元素與氯化合而成的化合物，稱為氯化物(chloride)。凡是由鹽酸中和鹼類所得的鹽，不論所用的鹼是什麼，都稱為氯化物。若以金屬如鋅等和鹽酸起反應，則得金屬的氯化物(如氯化鋅)。有時氯化物可由元素與氯直接化合而成，例如銻和氯(§122)是。

在所有氯化物中，除氯化銀(AgCl)、氯化鉛(PbCl₂)和氯化亞汞(HgCl)以外，其他都極易溶解於水。

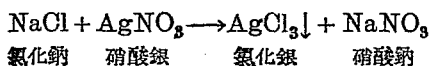
137. 【氯化物的檢驗法】 在化學實驗室中，我們往往要檢定某一種質素，這種過程稱為檢驗(test)。例如，我們已有好幾次用石蕊試紙來檢驗酸或鹼。由銀和硝酸所製成的‘硝酸銀’(silver nitrate)溶液，可用以檢驗氯化物，因為牠能和含有氯化物的溶液，生成白色凝乳狀的沈澱。沈澱是在溶液中由化學作用所生的固體；牠在這特殊的溶液中是不能溶解的。

取氯化鈉少許，溶解於水，然後加入硝酸銀溶液數滴，即見溶液中生白色凝乳狀的氯化銀沈澱(圖 80)。

將含有沈澱的液體，分為兩份。在一份中加入氨水，在另一份中加入硝酸，即

見這沈澱能溶於氨水，而不溶於硝酸。若將這白色沈澱放在日光中，就會轉成紫色。這便是有氯化物存在的一個可靠證據。

這個複分解 (§102(4)) 方程式可表示如下：



〔註〕在 AgCl 後向下的小箭頭，表示氯化銀沈澱而下降。

這種檢驗，十分靈敏，即有極微量的氯化物存在，亦能辨認。

138. 【氯化氫的分析】 氯化氫的實驗室製法，我們已經在 §130 中見到過了；現在我們再來分析這種化

合物，並用實驗來證明氯化氫是由氫和氯所組成的。這個分析法與以前分析水的方法相同 (§64)，稱為電解。

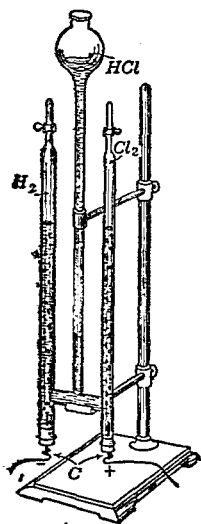


圖 81. 鹽酸的電解

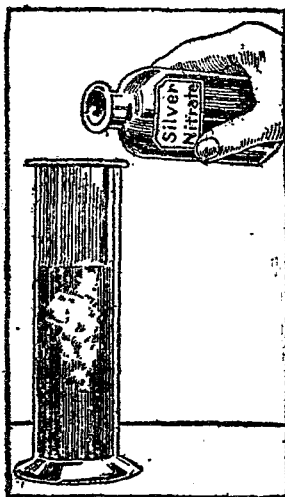


圖 80. 將硝酸銀加入鹽水中而使氯化銀沈澱

分析時所用的儀器，如圖 81 所示，將濃鹽酸盛入器內，通電流於溶液，就見陰性的 (-) 碳極上生氫，而陽性的 (+) 碳極上生氯。起初，因為氯能溶於水中，故所集的氣體分量不等，但過了片時，液體既經飽和，則氫氯兩氣即以等體積而集於管中。

在這個實驗中，我們從氯化氫的水溶液中得到了等體積的氫和氯。

139. 【氯化氫的合成】 我們也可以照合成水的方法 (§65)，把上面的實驗顛倒過來，就是用等體積的氫和氯來合成氯化氫。

先用電解法製取等體積的氫和氯的混合物，取小瓶貯濃鹽酸幾滿，並在瓶塞中插入兩條碳棒。通電流入溶

液，約經 15 分鐘。然後將出口管連接一兩端裝有活塞的堅厚玻管（圖 82）。使氫氣兩氣通過這直長的玻管後，再通入氫氧化鈉溶液，以吸收過量的氯化氫。全部儀器須用黑布遮蓋，以免受日光而發生過早的爆炸。最好讓氣體經過儀器至少達 15 分鐘以上，纔緊閉兩活塞。

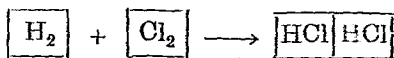
這等體積的氫氣混合物，可因鉗絲 S, S 間的電火花而起爆炸。若是把這玻管曝露在日光或鎂光之中，那就更容易爆炸了。

附留神！這兩種氣體爆炸得很快，卻沒有噪聲，只在管裏放出一個嗶嗶的微聲和一個閃光罷了。

如欲顯示所成氯化氫的體積，可將管的一端插入盛於淺皿中的水銀下面，並採用該端的活塞。因為水銀並不上升管中；也沒有氣泡逸出，故知氯化氫的體積恰等於氫和氯的體積之和。

倘使我們把玻管的一端插入水中，而將管塞拆開，即見有水急速地衝入管中。再將管中的水加以檢驗，便知管中的水都變成鹽酸了。

這些實驗證明氫一體積和氯一體積能合成氯化氫兩體積。



氫 1 體積 + 氯 1 體積 → 氯化氫兩體積

這是該呂薩克體積定律(§66)的一個極有趣味的實例。

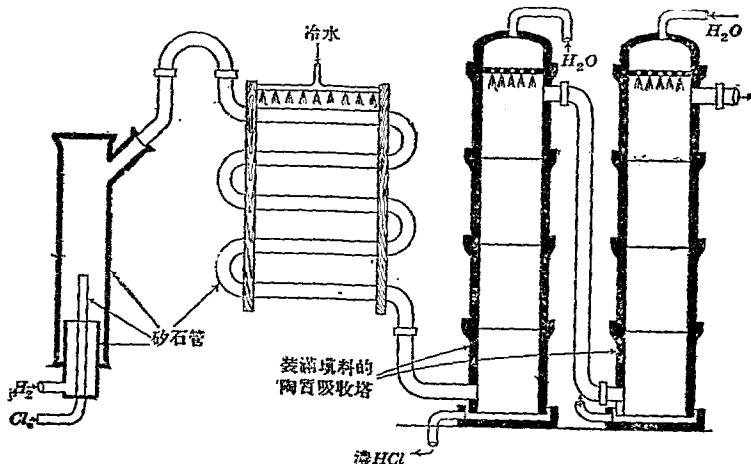


圖 83A. 鹽酸的商業合成法圖解

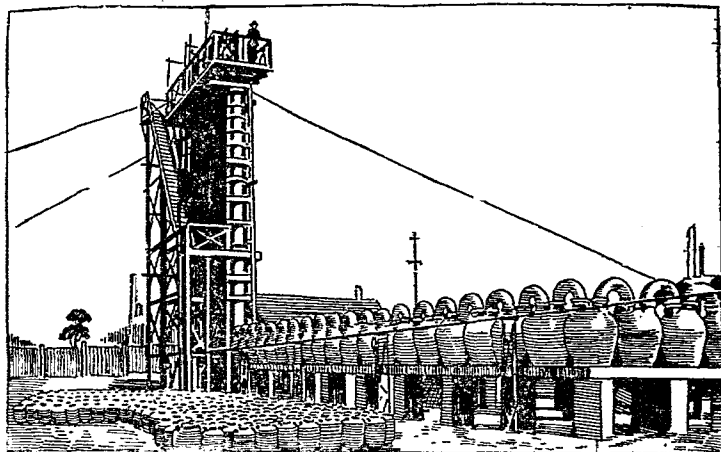


圖 83 B. 天原電化廠合成鹽酸的吸收塔

140. 【鹽酸的商業合成法】 近來在商業上大規模製造的鹽酸,是由氫氯二氣直接化合而成的。所用的氫和氯都是製造苛性鈉的副產物(§112)。製造時,係使兩氣體在矽磚室的耐酸爐中直接化合(圖 83)。所生的氯化氫氣體溶解在從吸收塔頂噴射下來的水花中,就成鹽酸溶液。

第十一章摘要

【氯的製法】

1. 在工業上,由電解氯化鈉而成。
2. 在實驗室中,由二氧化錳或其他氧化劑氧化鹽酸而成。

【氯的物理性質】

1. 黃綠色毒氣。
2. 有特殊刺激性的臭味。
3. 稍溶於水,成爲氯水。
4. 比空氣爲重。

5. 極易液化。

【氯的化學性質】

1. 不能燃燒。
2. 能助數種物質燃燒,如氫和烴等。
3. 與金屬化合成氯化物。
4. 潮溼時能漂白,因為與水生成次氯酸,而次氯酸是一種氧化劑。
5. 在強烈的日光下,或利用電火花,能與等體積的氫化合而成氯化氫。

【氯的用途】

1. 棉織品和紙漿的漂白。
2. 水的淨製。
3. 防腐劑和消毒劑。
4. 製造含氯的化合物。

【氯水】 氯水中含有溶解的氯,鹽酸和次氯酸。

次氯酸僅在溶液中發現;很不穩定,易分解而成鹽酸和氧,是一種極強的氧化劑。

【次氯酸鈉】 將氯通過氫氧化鈉的冷溶液,或電解氯化鈉溶液,都可製成次氯酸鈉。次氯酸鈉加熱便成氯酸鈉。

【漂白粉】 漂白粉又稱氯化石灰,是由氯和消石灰作用而製成的;牠的作用類似一種混鹽 $[\text{CaCl}(\text{OCl})]$ 。

【次氯酸鹽和次氯酸】 次氯酸鹽和次氯酸都是絕好的漂白劑;在工業上即採作漂白之用。

次氯酸是一種消毒劑和防腐劑,可用以淨製飲用水。氯化石灰亦可作消毒劑用。打金卡勒爾溶液是近世最有效力的防腐劑之一,牠的功用全賴所含的次氯酸鈉。

【氯化氫】 使濃硫酸與氯化鈉相作用,可製成氯化氫。又

氯化氮也可以用氮氣兩氣直接合成。

【氯化氮的性質】 氯化氮是具有刺激性惡臭的無色氣體，遇潮溼空氣即生白霧，極易溶解於水。較空氣約重四分之一。其乾燥氣體不活潑。

【鹽酸】 鹽酸(鹽鋁水)是氯化氮的水溶液。與金屬(如鋅等)起反應，即放出氮。

【氯化氮的組成】 氮一體積和氯一體積可以化合而成氯化氮兩體積。

問題和計算題

1. 在合成氯化氮時，應當注意些什麼？
 2. 為什麼氯化氮的水溶液比乾燥氣體更有用？
 3. 製造氯化氮時，什麼質素供給氮，什麼質素供給氯？
 4. 金屬銅與鹽酸不起反應，但氧化銅(CuO)則極易溶於鹽酸中，試作此方程式。
 5. 用食鹽做原料，怎樣製取 (a) 氮，和 (b) 氯化氮？
 6. 試用方程式表示製取氯化銅的四種方法。
 7. 怎樣證明某種無色的液體是稀鹽酸？
 8. 鹽酸在商業上可用合成法製造，為什麼在實驗室中不用這個方法？
 9. 試舉出四種不能從氯化氮中置換氮的金屬，並分別申述其理由。
 10. 試用方程式表示鹽酸與 (a) 鋅，(b) 鋁，(c) 鎂，(d) 消石灰，和 (e) 苛性鈉的作用。
 11. 怎樣區別鹽酸和氯化氮？
 12. 若加熱濃鹽酸，將有什麼東西逸出？試說明其理由。
 13. 怎樣證明某溶液內含有氮化物？
 14. 何以錫匠在焊接金屬時，要用鹽酸？
 15. 為什麼鹽酸不裝在洋鐵罐中運輸？
 16. 開口的濃鹽酸瓶能在空氣中生成煙霧，若在瓶口上吹氣，那白霧更濃，這是什麼緣故？
 17. 氯化氮的合成，可以說明哪一條化學定律？又以前哪一個實驗，也能說明這條定律？
 18. 試比較下列各質素的密度：(a) 氧和氮，(b) 氮和氯化氮，(c) 氮和氯化氮。
 19. 今有鹽酸一瓶，你有什麼方法可以決定它是濃鹽酸或稀鹽酸？
 20. 在實驗室中製取氯化氮時所用的各質素，試將其功用一一說明。
- * * * *
21. 試計算氯化氮的百分組成。

-
22. 使硫酸與 234 克的氯化鈉起完全的反應，問需要硫酸若干克？
 23. 使氯化鈉與濃硫酸相作用，問欲得氯化氫 146 克，需氯化鈉若干克？
 24. 使硫酸 49 克同氯化鈉起完全的反應，問可產生氯化氫若干克？
 25. 若將題 24 中所得的氣體溶於水中，製成 30% 的溶液，其密度為每立方厘米 1.15 克，問所生的鹽酸有幾立方厘米？

第十二章

酸類 鹼類 鹽類

141. 【酸類概說】 在第十一章中，我們對於鹽酸已有詳盡的討論。鹽酸只是一大類質素稱為酸類(acids)中的一種。凡酸類都含有氫。在稀水溶液中，酸中的氫可以被某種金屬所逐出。這種化學反應是一種置換作用，因為酸中的氫被金屬所置換了。另有些質素像蔗糖等，也含有氫，可是因為這氫不能被金屬所置換，所以不是酸類。一切酸類的水溶液都有特殊的酸味，並且都能使一種天然染料稱為石蕊的自藍色變成紅色。

142. 【鹼類概說】 我們已經見過，當鈉和水起反應時，就生成了氫和一種稱為氫氧化鈉(NaOH)的化合物(§45)。氫氧化鈉是白色的固體，能溶解於水。牠是一種模式的鹼類(bases)。在西洋，常把牠裝入洋鐵罐中出售，罐外標名鹼(lye)，鈉鹼(soda lye)或苛性鈉，用為強烈的‘洗濯劑’(cleaning agent)，以溶解油脂。當廚房或浴室中的水管被壅塞時，就可用濃鹼液注入管中，以溶去之。據估計，美國每年約產 800,000 噸的氫氧化鈉。牠在化學工業上應用極廣，如製造硬肥皂，即其一例。

可溶性鹼類中的氫氧化鈉(NaOH)和氫氧化鉀(KOH)，以其鹼性較強，稱為強鹼類(strong bases 或 alkalis)。氫氧化鉀的商用名稱為‘鉀灰’(potash)、鉀鹼(potash lye)或苛性鉀(caustic potash)。其他的鹼類尚有氫氧化鈣[Ca(OH)₂]，即‘消石灰’或石灰水；氫氧化鎂[Mg(OH)₂]，即‘苦土乳’；和氫氧化銨(NH₄OH)，即‘氨水’(鹿角精)等。鹼類的水溶液都有一種特殊的苦味或強烈

的澀味，和一種滑膩如肥皂樣的感覺。牠們能變紅色的石蕊質為藍色，適和酸類所引起的變化相反。牠們都含有氧和氫，這氧和氫是結合在一起的，稱為氫氧團(hydroxyl group, OH)。

143. 【鹼與酸的中和】 若使鹼溶液與酸溶液以適當的比例放在一起，則鹼和酸的特性就立即消失，可見其中已發生過化學變化。我們就稱這鹼已與酸互相中和，而稱這作用為中和(neutralization)。要決定在一定量的鹼溶液中所滴入的酸溶液之量，在什麼時候恰好達到使之中和的程度，我們可用石蕊質或其他的指示劑*(indicator)如酚酞(phenolphthalein)等來檢查牠。



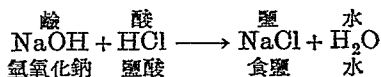
圖 84. 用滴定管使酸中和鹼

假使用 10 立方厘米的鹽酸從一滴定管(burette)(圖 84)中滴入燒杯，再加入石蕊液一兩滴，則溶液變成紅色。然後用氫氧化鈉的稀溶液，從另一滴定管中慢慢地滴入，並將溶液攪動。待有相當分量的鹼類滴入後，溶液的顏色就突然變成藍色。這是表示加入的鹼液已過量了。若再滴入鹽酸數滴，可使溶液回復紅色，再加數滴鹼液，又可使溶液變成藍色。當溶液在某一點時，無論加一滴酸或一滴鹼，都能使之變色，這時所用的酸鹼的分量纔成適當的比例。這一點稱為終點(end point)。在這樣的實驗中，必須應用滴定管，使所用酸鹼的分量，可以精密地測定。現在若使把溶液蒸發，就可以得到少量的白色固體。這就是食鹽。

144. 【製造一種鹽類】

由氫氧化鈉和鹽酸起反應，就生成氯化鈉(食鹽)和水。所生的氯化鈉全部溶解於水，所以只能由蒸發而製得之。這個重要反應的方程式可表示如下：

* 所謂指示劑是指一種質素，在酸性溶液中呈某種顏色，在鹼性溶液中呈另一種顏色。



氯化鈉是一大羣重要化合物的代表，這一羣化合物就所謂鹽類 (salts)。中和作用常常產生鹽和水。在這裏我們應該注意：鹽是由鹼裏的金屬與酸裏的氫以外之部分結合而成的。所以凡酸裏的氫被一種金屬所置換而成的化合物，就稱為鹽類。

145. 【鹼類、酸類、鹽類的命名】 化學家在紙上寫‘式’，卻並不在嘴裏講‘式’。所以對於化合物的命名法，就有切實注意的必要，因為若把一種化合物的名稱略加變更，往往會變成一種性質絕不相同的化合物的名稱。例如氯化汞 (mercuric chloride, HgCl_2) 就是昇汞 (corrosive sublimate)，含有劇毒；然而氯化亞汞 (mercurous chloride, HgCl) 就是甘汞 (calomel)，卻可用作普通的藥品。

鹼類的命名法最為簡單，通稱為氫氧化某 (金屬)，如氫氧化鈉 (NaOH)、氫氧化鈣 [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] 和氫氧化鋁 [$\text{Al}(\text{OH})_3$] 等是。

對於酸類的命名，我們必須分為含兩種元素的酸 (二元酸) 和含三種元素的酸 (三元酸)。二元酸 (binary acid) 中除氫元素外只有一種元素，就稱為氫某酸，如氫氯酸 (即鹽酸, HCl) 和氫硫酸 (H_2S)。大多數的三元酸 (ternary acid)，都含有第三種元素氧，而且同樣的三種元素往往組成了一種以上的酸。最普通的酸都從酸中所含氫氧以外的元素的名稱，稱為某酸 (-ic acid)。含氧比普通的酸少一氧原子，而化合價相同的，稱為亞某酸 (-ous acid)。例如硫酸 (H_2SO_4) 和亞硫酸 (H_2SO_3) 氯酸 (HClO_3) 和亞氯酸 (HClO_2)。惟 HNO_3 和 HNO_2 照理應稱氮酸和亞氮酸，但一般都從習慣稱為硝酸和亞硝酸。

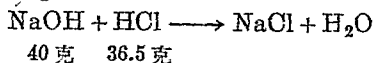
對於鹽類的命名，我們必須留意牠所從衍生出來的酸。假使這酸是二元酸，那就稱為某 (非金屬) 化某 (金屬)，例如氯化鉀

、(NaCl)、氯化鋅($ZnCl_2$)和硫化銅(CuS)等。假使這酸是三元酸，那就稱為某(非金屬)酸某(金屬)或亞某酸某。其具體的例子如下表所示：

酸的名稱	式	鹽的名稱	式
氫 氯 酸	HCl	氯 化 鈉	NaCl
硫 酸	H_2SO_4	硫 酸 銅	$CuSO_4$
亞 硫 酸	H_2SO_3	亞 硫 酸 鉀	K_2SO_3
氫 硫 酸	H_2S	硫 化 鋅	ZnS
硝 酸	HNO_3	硝 酸 鉀	KNO_3
亞 硝 酸	HNO_2	亞 硝 酸 鈉	NaNO ₂

像硫酸和亞硫酸之類，其中可以被置換的氫原子有兩個，因此我們可以有只被金屬置換出一個氫原子的鹽。這種鹽類總稱為酸式鹽(acid salt)，而各稱為某酸氫某，或酸式某酸某。例如硫酸氫鈉或稱酸式硫酸鈉($NaHSO_4$)、亞硫酸氫鈉或稱酸式亞硫酸鈉($NaHSO_3$)、碳酸氫鈉或稱酸式碳酸鈉($NaHCO_3$)。

146. 【中和在分析上的應用】 我們應用了上面所說的中和作用，很容易求得溶液中所含鹼或酸的分量。例如，假使我們知道一種鹼溶液的濃度，即每升溶液中所含氫氧化鈉的克數，那末中和此鹼溶液所需酸溶液中酸的克數，只須量得兩種溶液的體積，便可決定。我們試再複習第 105 節，可從下列方程式知道 40 克的氫氧化鈉，會和 36.5 克的氯化氫發生反應：

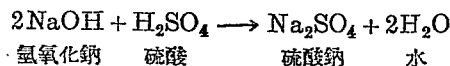


因此，假使一升氫氧化鈉溶液中含有 40 克的氫氧化鈉，又一升鹽酸溶液中含有 36.5 克的氯化氫，那末把這兩種溶液混和起來，就不會有過量的酸或鹼了。並且欲得一中和反應，也不必用盡兩溶液的全部，只要取等量的兩種溶液(如 10 立方厘米的酸溶液和 10 立方厘米的鹼溶液)就會互相中和了。凡 1000 立方厘米(即

1 升) 的溶液中含有某化合物的式量的克數, 就稱為克分子溶液 (molar solution)。

設有一克分子氫氧化鈉溶液, 今欲決定一未知濃度的鹽酸溶液, 就可用滴定管和指示劑來測定, 中和這已知量的酸溶液需要多少體積的克分子氫氧化鈉溶液。假使我們用 25 立方厘米的克分子氫氧化鈉溶液來中和 25 立方厘米的酸溶液, 那末這鹽酸的濃度當和鹼溶液相同; 也是克分子溶液。假使中和 25 立方厘米的鹽酸溶液, 只需 2.5 立方厘米的克分子氫氧化鈉, 那末鹽酸的濃度必比氫氧化鈉溶液為稀, 事實上只有十分之一克分子。假使 25 立方厘米的酸溶液要用 50 立方厘米的鹼溶液來中和, 那末我們可以斷定酸溶液中所含的分子必為鹼溶液中所含分子的兩倍; 即這酸溶液為 2 克分子。由此可知, 酸溶液或鹼溶液中 和 時所需的體積與溶液的濃度成反比例。這種決定未知的酸或鹼的濃度的方法, 稱為滴定法 (titration)。

147. 【當量溶液】 假使所有的酸和鹼都像鹽酸和氫氧化鈉一樣, 那末我們應用克分子溶液的觀念, 自然一些困難也沒有。但是有些酸像硫酸 (H_2SO_4) 之類, 一分子的酸可以中和兩分子的鹼:



因此 10 立方厘米的硫酸克分子溶液需要 2 倍的 10 (即 20) 立方厘米的氫氧化鈉克分子溶液, 始能中和。為便利計, 自然最好使等體積的鹼溶液與酸溶液相中和。我們若用當量溶液 (normal solution) 就可達到此種目的。當量酸溶液於每升溶液 (並非指溶劑) 中含有 1 克可被置換之氫。當量鹼溶液於每升溶液中含有 17 克的氫氧 (OH) 團。由此可知, 若使酸的每一分子中含有一個可被置換的氫原子, 或鹼的每一分子中含有一個氫氧團,

那末牠們的當量溶液即等於克分子溶液。若使酸的每一分子中含有兩個氫原子，那末要配成當量溶液，只須在每升中含有半式量就夠了。假使酸的每一分子中含有三個氫原子，那末要配成當量溶液只須三分之一式量就夠了。同樣氫氧化鈣 $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ 的當量溶液，每升中就應含有 $\frac{74}{2}$ ，即37克的氫氧化鈣（氫氧化鈣在水中溶解度很小，此係假定其能溶解如此之多）。

克分子溶液的最常用的縮寫是M，當量溶液的最常用的縮寫是N。因此我們稱十分之一當量溶液為 $\frac{N}{10}$ 或0.1N；2克分子溶液為2M。

第十二章摘要

【酸類】 酸類中含有氫，能被金屬所置換。牠們的水溶液能使藍色石蕊質變紅色，且通常都有酸味。

【鹼類】 鹼類為金屬或金屬根的氫氧化物。氫氧化鈉和氫氧化鉀是模式的鹼類，可由電解其氯化物溶液而得。牠們的水溶液能使紅色石蕊質變藍色，並且能中和酸類。

【鹽類】 鹽類是金屬或金屬根置換酸中的氫所生成的化合物。用酸中和鹼，就產生鹽和水。

【鹼類的命名】 鹼類通稱為氫氧化某(金屬)。

【酸類的命名】 二元酸稱為氫某酸，三元酸中最普通的稱為某(氫氧以外的元素)酸，含氧較少的稱為亞某酸。

【鹽類的命名】 二元鹽稱為某(非金屬)化某(金屬)。三元鹽依其所從衍生的酸類的名稱而稱為某(非金屬)酸某(金屬)或亞某(非金屬)酸某(金屬)。

【克分子溶液】 一克分子溶液在每升溶液中含有某化合物的式量的克數。

【當量溶液】 酸的當量溶液在每升溶液中含有 1 克可被置換的氫原子。鹼的當量溶液在每升溶液中含有 17 克的氫氧團。

問 題

- 舉示酸類的四種特性。
 - 舉出六種酸類，並各註明其分子式。
 - 舉出六種你所認為含有酸類的食品。
 - 舉出三種家用的鹼類。
 - 何謂‘鹼性反應’？
 - 鹼和酸有何區別？
 - 酸鹼中和往往產生何種化合物？
 - 說出下列各分子式的名稱，並區別其為酸類、鹼類或鹽類： H_2S ; $Zn(OH)_2$; $HC_2H_3O_2$; $NaNO_2$; $BaCl_2$; H_2SO_3 ; NH_4OH ; $Al(NO_3)_3$; H_3PO_4 ; KNO_3 。
 - 說出下列各種鹽類的名稱： $ZnCO_3$; $Cr_2(SO_4)_3$; BaS ; KNO_2 ; K_2SO_4 。
 - 完成及平衡下列方程式，並在牠的下面註出各質素的名稱：
 - $KOH + HCl \longrightarrow$
 - $NaOH + H_2SO_4 \longrightarrow$
 - $NaOH + HNO_3 \longrightarrow$
 - $NaOH + H_3PO_4 \longrightarrow$
 - $KOH + H_2CO_3 \longrightarrow$
- * * *
- 氧化物和氫氧化物間的主要區別是什麼？
 - 強鹼類，氫氧化物和鹼類間有什麼區別嗎？
 - 酸類誤入目中，應怎樣處置？
 - 喂小兒的牛乳中為什麼有時候要加一點石灰水？
 - 鹼類誤入目中，應怎樣處置？
 - 試設三個問題，其答案須都為‘氫氧化鈉’？
 - 實驗室中欲製造化學純粹的食鹽，應用何法？
 - 怎樣試驗泥土的酸性？如果發現了酸性，應怎樣處置？
 - 設有幾種白色的固體，應用什麼方法去檢查牠們是酸類、鹼類或鹽類？
 - 盛氫氧化鈉瓶子的玻璃塞，往往好像黏着似的不能拔出。試解釋之。
 - 試解釋下列各名詞的意義，並各舉一例：(a)酸式鹽；(b)二元鹽；(c)滴定法；(d)三元酸；(e)當量鹼溶液。

第十三章

離子和電子

148. 【理論的必要】 在1883年阿累尼烏斯(Arrhenius)發表離子說以前,化學家對於酸類、鹼類和鹽類在水溶液中的行為雖然搜集到很多的事實,但尚無一綜合的理論,可以解釋這些事實。其中比較重要的數項,列舉如下:

1. 純粹的水不能導電。
2. 乾燥的固體氯化鈉,也不能導電。
3. 但是兩者所造成的溶液,卻是良導電體。

149. 【當作導電體的溶液】 不同質素的水溶液,有着截然不同的導電本領。有的完全不能導電,有的卻極

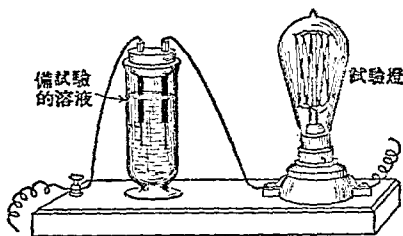


圖 85 A. 溶液導電性的試驗

容易導電。

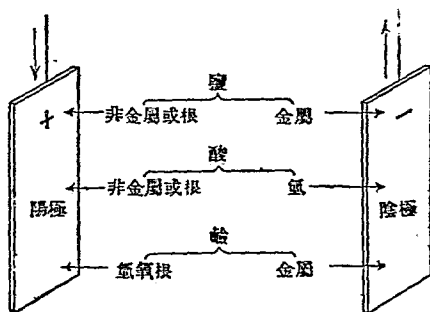


圖 85 B. 電解質中離子運動方向圖解

用了圖 85A 所示的裝置,我們就可以從事實驗各種不同溶液的導電本領。先將電極上的兩鉑絲和電路相接。一線接電燈泡,用作電阻,以節制電流,同時且可指示電流通過與否。如果電燈明亮,即可證明該溶液為良導體。

先試驗蒸餾水,然後再試驗蔗糖、食鹽、鹽酸、氫氧化鈉、醋酸、氫氧化銨和酒精等的溶

液。當試驗純水、糖溶液和酒精時，燈泡並不發光。倘用食鹽、硫酸和氫氧化鈉等的溶液，則燈泡發光極亮；若改用醋酸，或氫氧化銨的溶液，則燈絲僅略現紅色，光度極弱。

在傳導電流的溶液中，有時可以看見電極上有氣泡上升，這是溶液內發生化學變化的明證。凡酸類、鹼類和鹽類等質素，因其溶液能導電，故稱為電解質 (electrolyte)。純水以及蔗糖和酒精等的溶液，因其不能導電，故稱為非電解質 (non-electrolyte)。電流經過電解質，常伴起一種化學變化。這些導電體與金屬導電體的不同之點，就在於此。

150. 【電解質的其他特性】 酸類、鹼類和鹽類除為電解質外，還具有若干其他的特性。例如將 1 克分子的糖溶於 1 升的水中，這時水的凝固點即從 0°C . 降至 -1.86°C .；同時牠的沸點即從 100°C . 昇到 100.52°C .。倘用 1 克分子的氯化鈉或硝酸溶於 1 升的水中，那末牠們的沸點也會升高，凝固點也會降低，而且牠們的效應更遠大於蔗糖。其他一切電解質的行為大概都是如此。因此我們可以說：酸類、鹼類和鹽類，能使沸點特別升高，凝固點特別降低。

我們不久就可以知道，凝固點降低和沸點升高，直接有關於一定量溶劑中所存在的分子數目。所以電解質中所含被溶質質素的質點，似乎遠多於非電解質中所含的被溶質質點。如果我們假定，質素如食鹽等的分子溶解於水中以後，就分裂成兩個或兩個以上的部分，能在溶液中像分子一樣地自由行動，那末上述的現象就可以得到滿意的說明了。

151. 【電離】 瑞典化學家阿累尼烏斯 (圖 86) 根據了這些事實，曾創立所謂離子說 (theory of ions)。阿氏假定當食鹽溶解於水中時，即分裂而成氯的質點和鈉的質點，而每一質點上都帶着一個電荷：氯所帶的是陰電荷，鈉所帶的是陽電荷。這個作用稱為電離 (ionization)。‘電離’這個名詞由法拉第 (圖 87)

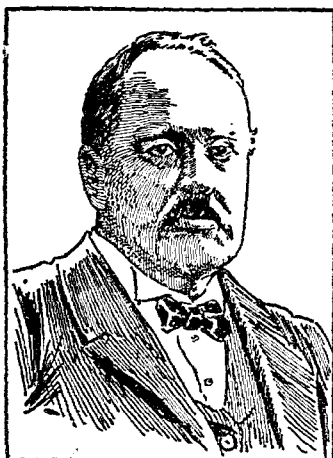
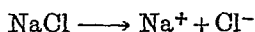


圖 86. 阿累尼烏斯像
(Svante August Arrhenius,
1859-1927)

瑞典著名化學家爲電離說的首創者，曾因此獲諾貝爾獎金

稱帶電質點爲離子 (ion) 而來，離子的意思是‘漂泊者’，所以表示帶電質點的能自由行動。至於食鹽在溶液中的變化，可用下列方程式表示之：



注意，離子均用‘+’或‘-’的記號標在各元素記號的右上角，以表示牠們的電性。

這些帶電質點或離子切不可與原子相混。牠們是帶電荷的原子或根。不過這種電荷已經把原子固有的性質完全改變了。鈉的質點決不能浮游在水溶液中，因爲鈉是一種最活潑的金屬，要立

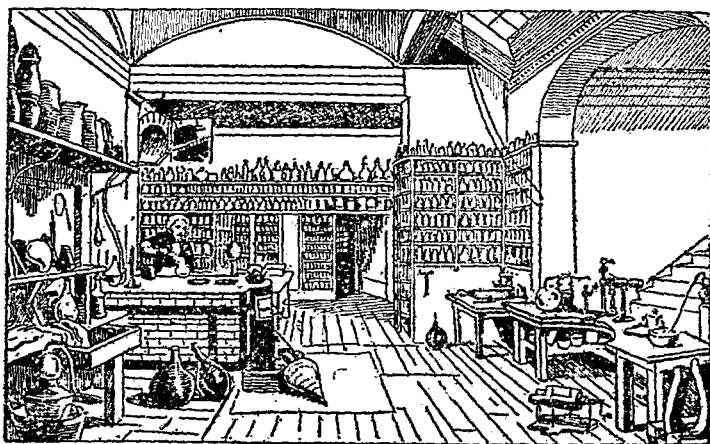


圖 87. 在實驗室中工作的法拉第 (Michael Faraday, 1791-1867)

刻與水發生反應的。然而鈉的離子卻全然不同，牠並不與水發生反應。

152. 【電解】 我們現在可用這個學說來解釋電解質的兩種事實：即電解質能導電，同時又能被電流所分解（分裂）。假使如圖 88 所示，在燒杯中放着少許鹽酸，並有兩根電極浸在溶液中。根據離子說，則在氯化氫（ HCl ）溶液中，除水以外（僅稍稍電離），還含有氫離子（ H^+ ）和氯離子（ Cl^- ），牠們都在水分子中間飛快地運動着。當電極連接於發電機 G 或蓄電池等的電源上時，一極帶陽電，稱為陽極；另一極帶陰電，稱為陰極。

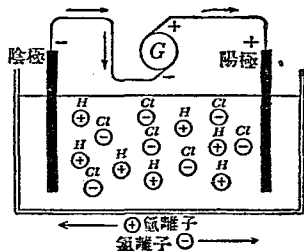
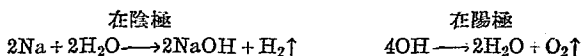


圖 88. 鹽酸電解的圖解。

153. 【電解的電離說】 當陽離子（ H^+ ）與帶陰電的極（陰極）接觸時，離子所帶的電荷即被中和，結果成為尋常的氫原子。但是我們不久即可得知（§ 231），自由的氫原子都兩個兩個結合而成為氫分子（ H_2 ），我們所看見的氣泡，就是這些分子成為氣體而逸入空中。同時，陰離子（ Cl^- ）在陽極放電，而發生氯（最初大量溶解於鹽酸中）。離子在兩極的放電，就使這些離子離開了溶液。等到這些離子離開以後，其他離子便移向相當的電極，占據了牠們的位置。這樣，電路一經接通，離子便起移動，並且確實帶着電荷。非電解質之所以不能導電，就是因為牠們沒有離子。

由此可知，離子說對於水溶液（如上述的稀鹽酸）的電解，確能給我們以滿意的解釋。有時電極上放出的原子，隨即又同水發生反應，以致作用更為複雜。氫氧化鈉的離子就是這樣；在陰極放出的鈉原子，隨即同水起反應，生成了更多的氫氧化鈉和氫。而氫氧離子一經除掉了電荷以後，又立刻分裂成水和氧。因此兩電極上所產生的氣體即為氫和氧，而同時氫氧化鈉也繼續不停地在產生。這變化可用下列方程式來表示：



154. 【電子】 當離子說初創時，我們對於電的性質猶未明瞭，至於離子上電荷的性質，就更少人談起了。因為溶液的電性是中和的，即既不帶陽電，亦不帶陰電，所以我們必需假定其中的陰陽兩電荷的數目彼此相等。由於近年來物理學的進步，我們對於電的性質已經比從前明瞭得多了。

我們現在知道電子是可以由一原子移到另一原子的最小量的陰電。電子的質量，約當最輕原子（氫原子）的 $\frac{1}{1840}$ ；電子雖能單獨存在，但通常都和質素相結合。物理學家如湯姆孫和密利根

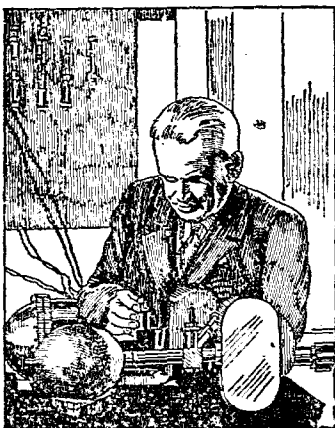


圖 89. 密利根博士像
(Robert Andrews Millikan, 1868-)
美國物理學大家，曾作電子實驗而獲 1923 年諾貝爾獎金，現從事於宇宙射線的研究

根（圖 89）等，曾經告訴我們怎樣去得到急速運動着的電子之流，以及怎樣去測量電子的質量和電子的電荷。

事實上，依據近代的理論，我們知道，萬物的本質都是電；每一個原子都有一個帶陽電荷的核，核的四周，環繞着足夠的電子，使整個的原子成為中性。因此，若是一個原子失掉了一個或多個電子，那麼牠就帶着陽電（+離子）；若是一個原子取得了一個或多個額外的電子，那麼牠就帶着陰電（-離子）。

155. 【鹽類的構造】 食鹽的晶體，現在似乎可確認為由多數離子藉電的吸引力所維繫而成的。例如，固態氯化鈉中含有陽性的鈉離子和陰性的氯離子；這些離子互相吸引，遂成固體

的形態，正同一切帶陰陽電荷的質點的互相吸引一樣（圖 90）當食鹽溶解於水中的時候（這種作用現在尚未明瞭），離子即釋去互相的吸引力而自由運動。因為溶液中含有電的運送者，即陰陽離子，所以成為電解質。如果我們使一種鹽類熔融，也能得到同樣的結果。其實熔融的鹽類倒是電的良好導體。當電流通過熔融的鹽類時，離子即在兩極放電，其作用正同牠在水溶液中的情形一樣。有幾種重要的工業操作方法，就依靠着這種熔融鹽類的電解。

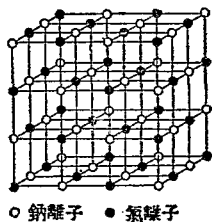


圖 90.
食鹽晶體中的離子

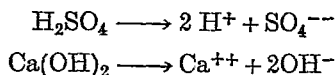
156. 【離子和原子】 上面已經說過，氯化鈉係由氯離子和鈉離子所構成。但是讀者必須記住，這類離子與金屬鈉裏的中性鈉原子或氣體氯裏的中性氯原子，是大不相同的。鈉離子是帶陽電荷的鈉原子；而氯離子是帶陰電荷的氯原子。依據現在的物理觀念，各元素原子的本身都含有一個微小的陽電核，核的四周環繞着足夠的電子（陰電），使整個原子的電性互相中和。所謂離子就是失去或增加了電子的原子。所以，一個氯原子加上一個電子（ $\text{Cl} + e$ ），即成氯離子。反之，若是一個鈉原子減去一個電子（ $\text{Na} - e$ ），即成鈉離子。在氯化鈉中，鈉離子帶陽電，就因為牠的原子失去了一單位的陰電荷；氯離子帶陰電，就因為牠的原子增加了一單位的陰電荷。在食鹽晶體中的陰陽離子，數目相同，所以牠們的電性是中和的。

157. 【電解的電子說】 我們對於電的性質，既更加明瞭，所以對於電解法也更容易了解。所謂‘電流’就是沿導電體流動着的一羣電子。所以電解時的兩個電極（圖 88），就做了電子離去溶液或進入溶液的孔道。陽性的氯離子可以在陰極獲得一電子，而變成中性的氯原子。陰性的氯離子可以在陽極放出多餘

的電子，而變成中性的氯原子。因此我們可以說，電解作用就是某化合物中的陰離子失去電子，和陽離子增加電子的變化。凡離子必須能自由地趨向電極，所以在電解時，我們或用鹽類的熔體或用鹽類的溶液。

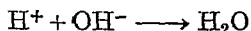
158. 【酸類和鹼類】 酸類和鹼類的重要特性，現在我們已更明瞭。當一種酸類如鹽酸溶於水中時，就生成氫離子(H^+)和某種陰離子；鹽酸所生的陰離子即氯離子。所有酸類都能生成氫離子，因此我們可以說酸類是溶於水中產生氫離子的質素。

所有的鹼類都含有氫氧團。鹼類溶解於水中，就解離*成一個陽離子(通常都是金屬)和一個陰性的氫氧根離子(OH^-)。因此我們可以說，鹼類是溶解於水而產生氫氧根離子的質素。其實酸類的各種特性，即是氫離子的各種特性；而鹼類的各種特性，即是氫氧根離子的各種特性。至於如硫酸等二鹼酸，則其每一分子可以產生兩個氫離子；又如氫氧化鈣等鹼類，則其每一分子可以產生兩個氫氧根離子：



在最近，離子說又經修改，以解釋溶劑的性質。例如在水溶液中，酸生成一種含水的氫離子($H_2O \cdot H^+$ 或 H_3O^+)稱為‘銜離子’(hydronium ion)。同樣，鹼類可視為有聯合‘質子’(proton)的趨向的質素(§ 166)。因此我們認酸是質子的授與者，而鹼是質子的接受者。這種學說對於水溶液中的簡單化學反應的理解，似乎沒有什麼幫助，故本書並不採入。

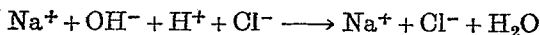
159. 【中和】 我們已知酸和鹼混合之後，即生成水和鹽(§ 144)。這事實若用離子說解釋起來，就表示酸中的氫離子和鹼中的氫氧根離子結合而生成水：



這個反應的發生，是由於僅有極少數的水分子被解離之故。因

* 譯註：解離 (Dissociate) 指分子受物理作用而發生的分裂。

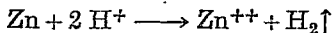
爲水分子解離爲氫離子和氫氧根離子的傾向顯得是極微小的。所以當我們用氫氧化鈉來中和鹽酸時，就產生了不解離的水分子。至於鈉離子和氯離子並不受到影響，所以仍能在溶液中自由移動：



然而因爲反應中的陽電荷數和陰電荷數彼此相等，所以這溶液的電性是中和的。這所得的結果，好像我們開頭就用氯化鈉來溶解在水中的情形一樣。若將溶液蒸發，則溶液即逐漸變濃。等到溶液達於飽和的程度，離子就開始接合，而析出固體的氯化鈉晶體。

160. 【離子反應】 水溶液中所起的反應，因爲發生於離子之間，故有一特徵，即其作用差不多都是立即發生的。例如，用一種酸來中和一種鹼的時候，其速度之快，竟無法測出。大概酸類、鹼類以及鹽類的稀溶液中所起的種種反應，我們都可認爲發生於離子之間。在書寫化學方程式的時候，我們可用離子符號以表明這種反應。上面所講的中和反應，就已用這種方法來表示過了。

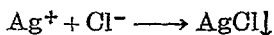
金屬置換酸中氫原子的作用，實在就是電子由金屬原子轉移到氫離子上去的作用。金屬原子失掉電子，就變成金屬離子，同時把自由氫釋放了出來。這樣的反應可以表示如下：



至於酸中的陰離子，因其對反應沒有什麼關係，所以不必寫入方程式中。

若把氯化鈉溶液和硝酸鉀溶液混合在一處，將不見有什麼變化發生。這是因爲各種不同的離子，僅在溶液中自由移動而已。可是若把氯化鈉溶液和硝酸銀 (AgNO_3) 溶液混合在一處，就立即生成了白色的沈澱 (AgCl)。這是因爲銀離子和氯離子

化成了成爲不溶解的固體氯化銀之故。銀離子和氯離子結合的越多，則氯化銀沈澱的也越多，直至氯離子或銀離子完全用盡時爲止。其反應的完成有如下式：



161. 【反應的完成】 根據以上的解釋，我們可以把所有在水溶液中完成的複分解反應(§ 102)，分爲以下三類：

(1) 反應生成物中若有一種爲不溶於水的氣體，則氣體逸出之後，反應即達到完成。稀鹽酸和碳酸鈉的反應便是一例(圖 91)：

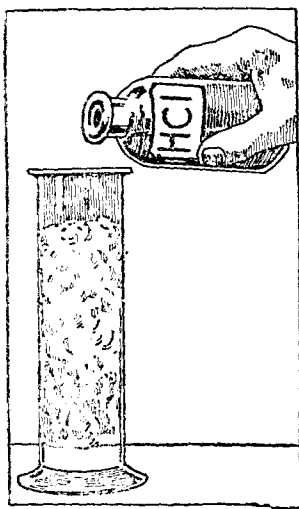
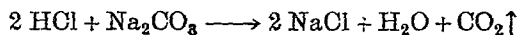


圖 91. 傾鹽酸於碳酸鈉之上，則發生氣體

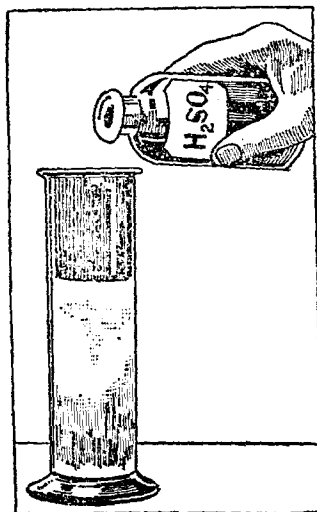
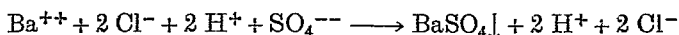


圖 92. 傾稀硫酸於氯化銀溶液之中，即生白色沈澱

若把氯化鈉稀溶液和稀硫酸混合在一處，因爲所生的氯化氫可以溶解於水中，我們就不能獲得同樣的結果；所得的僅爲各種離

子的混合物。若採用濃硫酸，且將混合物加熱，則氯化氫會化氣放出，因而反應可以完成。

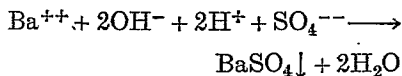
(2) 若在反應時產生一種不溶性的固體，則反應亦可達到完成。在前面 (§ 137) 所討論的氯化銀沈澱，即是一例。此外如硫酸鋇的形成 (圖 92)，也是一例，其反應如下：



(3) 若其可能的反應生成物之一僅稍稍電離，則反應亦可完成。最普通的例子是中和作用，前已述及 (§ 144)，茲不復贅。

硫酸和氫氧化鋇的反應，實為 (2) (3) 兩類的一個聯合例子。若使這溶液的電導係數用毫安培計的讀數 (圖 93) 來表示，將見當中和作用達於完成時，其電導係數實際上竟降而為零。

我們可以把這時所發生的反應表示如下：



當所加的硫酸，足使 Ba^{++} 離子全部沈澱而為 BaSO_4 時，毫安培計就降至零度。若再加入過量之酸，則其電導係數又復上昇。

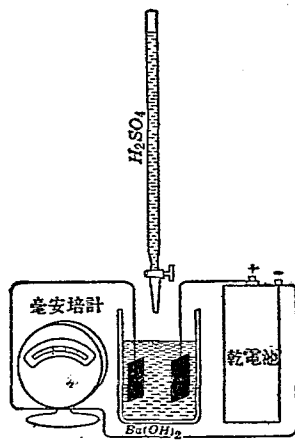


圖 93. 溶液的電導係數隨離子濃度而異

162. 【不溶於水的質素】欲

運用上述原理，我們必須知道質素之中，何者不溶於水，何者難溶於水。關於氣體之溶解度，且待下面 (§ 362) 再講；茲先列舉固體溶解度的規則如下，讀者須牢記之。

溶解度一般規則

1. 鈉、鉀和銨的一切化合物，都可溶於水中。

2. 所有的硝酸鹽、氯酸鹽和醋酸鹽，都可溶於水中。
3. 所有的氯化物，除氯化銀、氯化亞汞和氯化鉛(微溶)以外，都可溶於水中。
4. 除硫酸鋇、硫酸鉛和硫酸鈣(微溶)等類以外，其餘的硫酸鹽都可溶於水中。
5. 所有的碳酸鹽，除碳酸鈉、碳酸鉀、碳酸銨以外，都不溶於水。
6. 所有的氧化物和氫氧化物，除銻、鈉、鉀、鋇的氧化物和氫氧化物(氫氧化鈣微溶)以外，都不溶於水。

163. 【生成熱和穩定度】 前面已經說過 (§59)，熱可用卡來計量。當 23 克的鈉和 35.5 克的氯化合成 58.5 克的氯化鈉時，即有 97,800 卡的熱量放出。這一熱量稱為氯化鈉的生成熱 (heat of formation)。一般說來：凡由元素生成一克式量的化合物時，其所放出或吸收的熱稱為生成熱。

幾種化合物的生成熱

化 合 物	生成熱的卡數	化 合 物	生成熱的卡數
HCl	22,000	CO	29,000
HI	-6,100	CO ₂	97,300
H ₂ O	68,400	CS ₂ (氣體)	-28,670
HNO ₃	41,600	CuSO ₄	183,000
H ₂ SO ₄	193,600	NaCl	97,800
HCN	-24,800	Na ₂ SO ₄	328,300

注意在上表中若干數字之前，附有 - 號，表示其生成熱是負的，意即此化合物在生成時須吸收熱。還有一應注意之點，即凡化合物的生成熱較高者其性極穩定，且可由直接化合而成。反之，凡生成熱較低之化合物，其性都不穩定；其具負值的，更不穩定，甚至可以發生爆炸。當氫和氯反應而成氯化氫時，就放出大

量的熱，這種反應稱爲放熱反應(exothermic reaction)。但氫和碘化合時，熱被吸收，故欲反應進行，須繼續加熱，這種反應稱爲吸熱反應(exdothermic reaction)。

欲預測某一情形所發生的變化時，生成熱只是可供參攷的因素之一，這是讀者應當記住的。

第十三章摘要

【電解質】凡某化合物的水溶液可以導電的，這化合物稱爲電解質。凡某化合物的水溶液不能導電的，這化合物稱爲非電解質。酸類、鹼類和鹽類，都是電解質。

【離子說】離子說假定在電解質的溶液中，其分子都解離爲帶電的質點；這種帶電質點稱爲離子。

【電解】電解兼指陰離子和陽離子在各電極上的放電作用，及其所發生的化學變化。

【電子】電子是陰電的小質點（或單位電荷）；一個電子的質量約當一個氫原子的 $\frac{1}{1840}$ 。

【食鹽的晶體】食鹽的晶體已知是離子藉電的吸引力所維繫而成的固體。

【元素的原子】各種元素的原子，都含有一個帶陽電荷的微小的核，核的四周迴繞着適當數目的陰電子，足以使整個原子成爲中性。

【離子】離子是失去或獲得電子的原子（或原子團）。

【酸類】酸類是溶於水中生成氫離子的質素。

【鹼類】鹼類是溶於水中生成氫氧根離子的質素。

【電離】某幾種酸類和鹼類的電離，只能在稀溶液中達於完成。其電離的傾向微小者，稱爲弱酸或弱鹼。

【中和】中和只是氫離子和氫氧根離子化合成水的反應。

【離子反應】發生離子反應之條件爲：兩種相反電荷的離子相互作用而生成一種不溶性質素（固體或氣體）或僅稍稍電離之質素。

【生成熱】從元素生成 1 個克式量的化合物時，其所吸收或放出的熱量的卡數，稱爲生成熱。

問 題

1. 什麼是電解質？
2. 誰首創電離說？
3. 哪一類的質素或溶液是導體？
4. 在實驗室中，如何決定火油是否爲電解質？
5. 根據電子說來解釋，陰極是什麼意思？陽極是什麼意思？
6. 試將下列各溶液分爲電解質和非電解質兩類：硝酸；酒精；硝酸鈉；糖；氫氧化鈉。
7. 在電解質裏，陽離子必須和陰離子數相等嗎？試解釋之。
8. 爲什麼電子有時稱爲‘電的原子’？
9. 在食鹽晶體裏，鈉和氯的質點呈什麼形態？
10. 除水溶液之外，還有什麼地方有自由離子存在？
11. (a) 酸類的特性是從哪裏來的？(b) 鹼類的特性是從哪裏來的？
12. 抄錄下列文句並填補其中的空白：中和只是____離子和____離子____成____的反應。
13. 舉出 (a) 兩種強酸和兩種強鹼；(b) 兩種弱酸和兩種弱鹼。
14. 試作下列各名詞的定義，並舉例說明之：
(a) 電極；(b) 電解質；(c) 電解；(d) 電離；(e) 電子。
15. 溶液中的可逆反應，有哪三種方法可以使牠們完成？試用方程式說明。
* * *
16. 哪四項事實可以證實離子說？
17. 當食鹽晶體(a)磨碎時，(b)溶解於水中時，各發生什麼變化？
18. 試詳細說明鈉原子和鈉離子的區別。
19. 氫氧化鈉和氫氧化鈣是強鹼。石灰水是氫氧化鈣的飽和溶液。嬰孩的乳品中常常加入石灰水，爲什麼沒有人把氫氧化鈉溶液加到嬰孩的乳品中？試把這兩種情形都加以解釋。
20. 依照圖 93 所示裝置儀器，將硫酸溶液慢慢滴入氫氧化鋇溶液中，則毫安培計的讀數即逐漸降至零度，旋又逐漸增大，試解釋之。
21. 下列各例，何者能發生反應，何者不能發生反應，試分別述其原因，再用方程式表示之：(a) 置鎂於鹽酸中；(b) 混合硝酸鉀和硫酸鈉的溶液；(c) 混合硝酸鉛和

硫酸鉀的溶液。

22. 試用離子方程式表明。(a)混合氯化鈉和硝酸鉀兩種溶液；(b)混合氯化鈉和硝酸銀兩種溶液所起之變化。解釋其結果不同之原因。

23. 試將由於(a)氣體的逸出；(b)不溶性固體的生成；(c)弱電離質素的產生而達到完成的反應，各作一方程式以表明之。

24. 將硫酸鹽的檢驗法，作成一離子方程式。倘欲從溶液中將所有的銀全部沈澱而出，為什麼須加入過量的硫酸？

25. 抄錄下列文句並填補其空白。強酸是____傾向極大的酸，故能產生高濃度的____離子。____鹼是電離傾向極大的鹼，故能產生高濃度的____離子。弱酸和弱鹼的電離傾向都很____。

進修研究題

【德斐和他的高足法拉第】這兩人中哪一位對於促進化學的功勞較大？（參閱 MOORE'S *History of Chemistry*, 中譯本名‘化學史’，張汝訓譯，正中版。THORPE'S *Essays in Historical Chemistry*。）

【電子和電子的應用 電子是誰發現的？無線電真空管裏什麼東西發生電子流？（參閱 GEORGE R. HARRISON'S *Atoms in Action*. Wm. Morrow & Co., N. Y., 1939.）

第十四章

原子構造 原子價

164. 【為什麼要研究原子構造】 化學家很希望由研究原子構造而求得解決原子價的問題。譬如，為什麼鈉原子只能

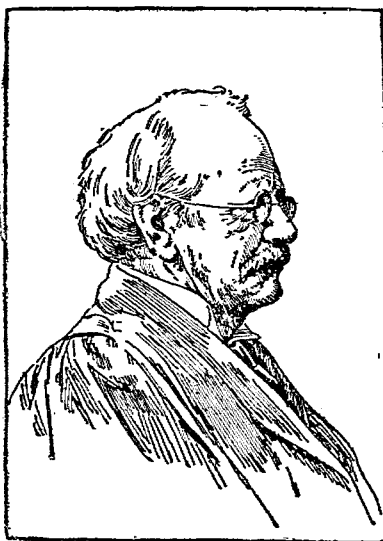


圖94. 湯姆孫爵士像
(Sir Joseph John Thomson,
1856-1940)

英國著名物理學家，曾任劍橋大學卡文提什實驗室主任多年。創立電子學說，獲得諾貝爾物理學獎金

置換一個氫原子，而鈣原子能置換兩個氫原子？又，為什麼鐵原子有時相當於兩個氫原子；有時又相當於三個氫原子？金屬和非金屬的原子之間，有什麼區別？為什麼有的原子活潑，有的不活潑？

165. 【原子的電子說】
化學家對於原子的不可分割的理論，直至 1897 年還加以承認。英國卡文提什實驗室的湯姆孫爵士(圖 94)，首先把這個堅強的信仰根本推翻，而創立一些新的學說。他以為電子(electron)是陰電的質點；一切原子都含有電子；所有的電子，不問其來源若

何，都彼此相同。後來美國物理學家密利根(Robert A. Millikan)

又把電子的質量和電荷很精密地測定了，他發現電子的質量，僅及最輕的原子氫的 $\frac{1}{1840}$ ；其所帶電荷，剛好與一價離子所帶的相等。

166. 【原子核】 1913年，拉忒福德（圖 95）又更進一步證明原子中有一個能中和陰電子的陽核（positive nucleus）。這核是他用行動極速的帶電氦原子去撞擊氮、鈉、鋁和其他元素的原子，而把牠們擊破之後所發現的。在各例中，他都得到帶陽電荷的氦原子。因此他歸納一條結論說，在一切的原子核中，必定存在着一個或一個以上的帶陽電的氦原子，這種帶陽電的氦原子，稱爲質子（proton）。

根據這個觀點，各科學家——如丹麥物理學家尼埃爾·波爾（Niels Bohr）——羣

起研究，創立了一個包含廣泛卻又簡單明瞭的原子構造說。其大意如下：所有的原子可以認爲由電子（陰電荷）和質子（陽電荷）所構成。因爲所有原子的電性都是中和的，所以每一原子中的電子和質子的數目，一定彼此相等。不過 92 種元素的原子，其質子和電子的數目與排列方法，都各自不同。換一句話說，任何元素的原子之所以異於另一元素的原子，是由於牠們的質子和



圖 95. 拉忒福德 像
 (Lord Rutherford, 1871-1937)
 曾任劍橋大學卡文提什實驗室主任，
 獲 1908 年諾貝爾化學獎金。對創立
 ‘原子核’的觀念，貢獻頗多

電子的數目與排列方法不同之故。實際上原子的全部質量，可以說都集中在原子核裏。最簡單的原子為氫原子，其中僅有一個作為核的質子，和一個迅速環繞中心核而迴轉的電子（圖 96）。

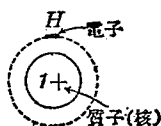


圖 96.

氫原子圖解

因此這幅核原子圖，正和太陽系一樣，中央有一個很重的像‘太陽’似的核，在離核較遠之處，環繞着一個像‘行星’似的電子。一切其他元素的原子，在核內含有更多的質子，在核外也分佈着更多的電子。最重的元素鈾，核外環繞着 92 個電子；核上所有的陽電荷，適足以中和這 92 個電子。

167. 【電子的排列方法】 關於原子中核外電子的排列方法及運動情形，有種種不同的學說；其中最有效果的學說是假定所有的電子都排列在層層相疊的同心球面上或殼上。最初的兩個電子，在比較近核的地方排成一層完全的殼；第二層殼須有 8 個電子始得完成；第三層殼也要有 8 個電子；至於第四層殼則須有 18 個電子。這種殼狀的排列方法，如圖 97 所示。

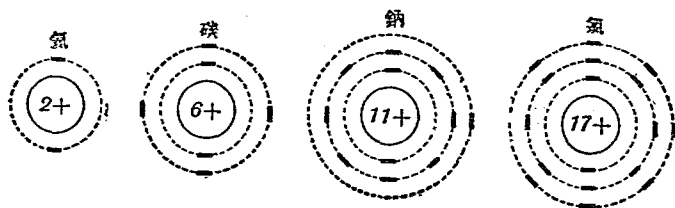


圖 97. 氫、碳、鈉、氯諸原子的圖解

據此，則氫原子有 2 電子；碳原子的第一層殼上有 2 電子，第二層殼上有 4 電子。鈉原子的第一層殼上有 2 電子，第二層殼上有 8 電子，第三層殼上有 1 電子。氯原子的第一層殼上有 2 電子，第二層殼上有 8 電子，第三層殼上有 7 電子，共有電子 17 個。電子在空間的排列原是‘三度’的，不過我們在書上難於用立體來表示，所以習慣上都以核為中心的同心圓來代表殼的層次。

168. 【核的構造】 整個的原子構造問題，雖然仍為物理學家和化學家鑽研的對象，但是有若干概念，則似乎已近於成立。第一，原子的所有質子，都位於核內。第二，原子的重量，差不多全由核的重量而來。第三，如原子為中性，則核內的質子和核外的電子數必須相等。第四，要解釋原子的實際原子量，那末牠的核內除了用來中和電子的質子以外，必定還有若干額外的質子。因此我們在電子說中，又加入一種觀念，即中子(neutron)。中子尚係 1932 年所發現，被假定為質子和電子的最緊密的結合體。每一中子包含着一個質子和一個電子，牠的形體很小，要比通常的氫原子小到數百萬倍。總之，任何原子的核，都可認為其中只含質子和中子。例如鈉原子的核，含有 11 個質子，12 個中子，這足以說明牠的原子量為什麼是 23 (圖 98)。換句話說，原子量約略等於原子核中質子數與中子數的和。

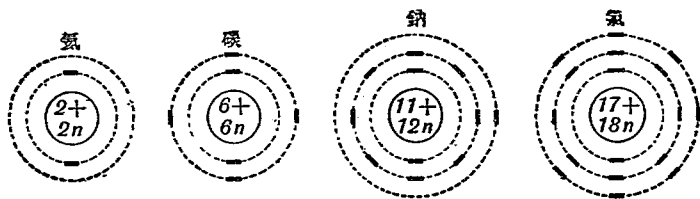


圖 98. 氫、碳、鈉、氯諸原子核的圖解

169. 【原子價的電子說】 我們最好時常記住，任何理論的價值，都要看牠的應用如何而定。也就是要問‘這個理論是否適用？’現在我們試用上述的原子的電子觀念為例，看牠是否能解釋原子價。我們已知電子的排列可以很方便地用繞核的同心殼來表示，但據更近的電子‘衛星’觀念，則這種帶電的基本質點並不集中於一點，卻分佈而成為一種帶電的雲霧而存在。但是這種狀態，不能用圖畫來表示，所以我們只得沿用較舊的模型了。

我們曾經把鈉原子表示如圖 98, 其核內有 11 單位的陽電(質子), 所以核外有 11 個電子, 這 11 個電子排列成 2 個 8 個及 1 個電子的環。故知鈉原子的最外一環只有一個電子。當這最外的一個電子失去時, 鈉就帶了一個單位的陽電, 因此其原子價爲一; 亦即鈉離子爲 Na^+ 。再舉氯元素爲例。其原子如圖 98 所示, 因爲核內有 17 單位的陽電, 所以核外有 17 個電子。其排列方法, 可假定如下: 內殼 2 個, 中殼 8 個, 外殼 7 個。在這個例子中, 其外殼須再加上一個電子纔能完成。當氯原子借得一個電子時, 其原子就帶了一單位的陰電。所以我們稱氯的原子價爲一, 以 Cl^- 表示其離子。

總而言之, 一個原子最外殼上的電子, 可以決定這原子的價。一元素的原子價, 就是牠的原子在完成其最外殼所必須取得或失去的電子的數目。

例如有些元素像氦, 其外殼的電子已經完全, 如圖 99 所示; 牠既不能取得電子, 也不能失去電子。這樣的元素的原子價是零, 所以化學性很不活潑。

170. 【電子說的金屬和非金屬觀】 依據實驗的結果, 凡如金、銀、銅等我們認爲是金屬的元素, 都是熱和電的良導體; 凡如硫等我們認爲是非金屬的元素, 卻都是不良導體, 同時也是絕緣體。又因爲物理學家向來認定電流是一種電子的流, 所以我們可以設想在金屬中必有行動自由或約束得比較鬆弛的電子存在, 這種電子運動時, 就成爲電流。我們只要一看金屬的電子圖解, 就可知道牠們外殼上的電子很少(1, 2 或 3), 這樣當然很容易失去。例如鉀和鈉的外殼, 只有一個電子(圖 100)。這個電子與原子中的其他部分, 結連得非常鬆弛, 甚至只要用光線來射過去, 就可以把牠撞掉, 這就是光電池作用的原理。我們很可以猜



圖 99.
氦原子圖解

想,在一根正在通電的銅線上,銅原子最外殼上的電子,對於導電作用必定擔當重要任務。普通無線電收音機上真空管中的鎢絲,經電流加熱以後,其外殼上的電子即被搖鬆,所以能為帶陽電的屏極 (plate) 所吸引。

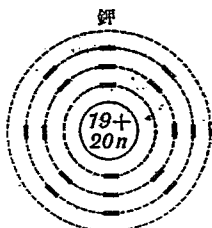


圖 100.
鉀原子的圖解

在非金屬中,我們設想其外殼上的電子和原子的其他部分結合得比較堅牢,這就說明了硫、玻璃和瓷等固體,為什麼都具有絕緣性。非金屬的最外殼,普通都近於完全,所缺少的只不過一二個



圖 101.
硫原子的圖解

電子而已(圖 101);所以牠有奪取電子而變成陰性離子的傾向。就一般說,凡原子僅能失去或取得一二個電子的,其化學活潑性必較強。

總而言之,金屬原子外殼上的電子都非常少,除了把牠放棄而給與其他原子之外,就不容易造成一個完全八隅體(octet)。但是在非金屬中,其外殼上的電子很多,只要從金屬上取得一二個電子,就可以完成此八隅體。至於由金屬和非金屬組成一種化合物,其作用可認為是金屬‘貸出’電子,非金屬‘借入’電子。經此借貸,則金屬就帶陽電荷,而非金屬就帶陰電荷了。所以按照電子說的見解,化合物中的離子,是被相反的電荷所吸引而結合起來的。

由上可知,原子最外殼上的電子數目,不僅可以決定原子的價,而且可以決定這元素的化學行為。例如牠可以決定元素是否像鈉或氯一樣的活潑,或如氬一樣的不活潑;是否像金屬一樣導電,或像硫一樣的不導電,以及是金屬或非金屬。

171. 【極化合物與非極化合物】 多數鹽類經熔融或溶解之後,都能導電。這種化合物的最普通的溶劑是水。但有些鹽

類能溶於別種液體如酒精之中，而其所成的溶液亦為電解質。據上面各節所說，鹽類的這一種性質，也可以應用電子學說來解釋的。凡是一種化合物，其液體（熔融）或溶液容易傳導電流的，似乎都由離子所組成。這一類的化合物常稱為極化合物（polar compound）。大多數簡單的鹽類都屬於這一類。蔗糖、甘油、脂肪、酒精以及其他的質素，其本身或溶液都不能導電的，特稱為非極化合物（nonpolar compound）。這一類非極化合物，除以上所舉之外，尚有氫分子（ H_2 ）、氧分子（ O_2 ）、二氧化碳（ CO_2 ）以及其他多種簡單而重要的質素。

在極化合物（如食鹽）與非極化合物（如蔗糖）之間，還有好許多難於判別的質素。譬如氯化氫的水溶液（鹽酸），雖為電解質，可是氯化氫的液體卻是非電解質。除水之外，雖有許多溶劑可以溶解氯化氫，但其所成的溶液，除水溶液之外，都是非電解質。純淨的濃硫酸是非電解質，而牠的水溶液卻是良好的導電體。可知在水溶液中，這種質素一定變為離子了；但在純淨狀態，牠們的性狀卻近於非極化合物。

172. 【極化合物的價】 按照最近對於極化合物結構的觀念，結晶的固體是由排列整齊的陰陽離子所構成的；這種陰陽離子的數目，恰好使全體成為電的中性。金屬原子失去一個或一個以上的電子，即成為陽離子。非金屬原子（如氯）或非金屬原子團（如 SO_4 ）獲得一個或一個以上的電子，即成為陰離子。我們已知（§ 169），原子變成離子時所得失的電子數，即離子的價。茲將普通離子的價，開列於下：

幾種普通離子的價

陽 離 子			陰 離 子		
一 價	二 價	三 價	一 價	二 價	三 價
H^+ Na^+ K^+ Ag^+	Ca^{++} Ba^{++} Mg^{++} Cu^{++} Zn^{++} Fe^{++}	Al^{+++} Fe^{+++}	OH^- Cl^- Br^- I^- NO_3^- ClO^-	SO_4^{--} CO_3^{--} SO_3^{--} S^{--}	PO_4^{---}

因此,當鈉和氯化合生成氯化鈉時,鈉原子就失去一個電子,而氯原子則獲得一個電子。然而當金屬鈣和氯發生反應時,每一鈣原子放棄了兩個電子而變成帶兩個電荷的鈣離子;但是要取得這兩個電子,就需要兩個氯原子,因此所生的化合物是氯化鈣。當金屬鋅溶在硫酸中時,鋅即失去兩個電子而成爲鋅離子;這兩個電子轉移到兩個氫離子上時,就使之成爲氫原子。若再把溶液蒸發,則每一個帶有兩個電荷的陽性鋅離子,就吸引一個帶有兩個電荷的硫酸根離子,而成爲硫酸鋅。



記住離子的價,在寫鹽類方程式的時候,是十分有用的。倘使我們在寫的時候記住了每種化合物的電性必須中和,那就很容易知道需要用多少個原子來互相化合了。譬如,硫酸根離子帶着兩個陰電荷,所以在硫酸鈉中必須要有兩個簡單的陽離子來跟牠結合。因爲如果我們想得着電性中和的分子,則全部陰陽電荷的‘代數和’非等於零不可。同樣硫酸鈣必定是 CaSO_4 ($\text{Ca}^{++}\text{SO}_4^{--}$); 硫酸鋁必定是 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ($2\text{Al}^{+++}3\text{SO}_4^{--}$); 如果不依這個方法化合,就會發生陰電或陽電的過剩。

173. 【電子說的化學結合觀】 當氯和鈉接觸的時候,鈉把外殼上的一個電子給與氯原子,於是鈉就帶陽電;而氯原子因爲多得了一個電子,就帶陰電(圖 102)。我們相信維繫這兩種

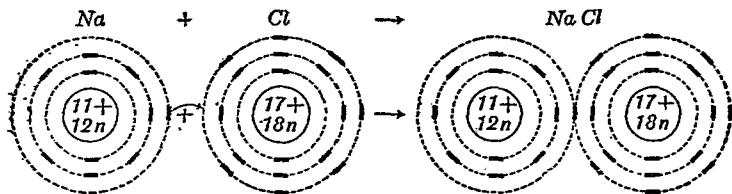


圖 102. 鈉原子和氯原子結合爲氯化鈉時的電子圖解

元素在一處的，便是牠們中間異性電荷的吸引力。由外殼上電子的授受，以造成穩定狀態的這個作用，是極化合物的範式。

有很多的化合物，如非極化合物，其原子似乎並不用這種方法來結合而成分子。試以氧分子 (O_2) 為例。在氧分子的原子之間，似乎並沒有電子的授受，而只是共同有了一對電子——這種作用通常稱為共價結合 (covalent linkage)。圖 103 就可

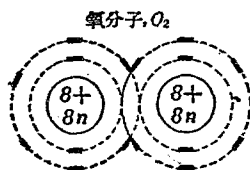


圖 103. 氧分子的電子圖解

使我們得到一個更清楚的觀念，我們從這裏可以看到氧的外殼只有六個電子，牠還需要增加兩個電子纔能成為最穩定的狀態。當兩個氧原子十分接近時，就有兩對電子成為共有。這就使兩個原子的外殼各自成為八隅體。

第十四章摘要

【原子構造大要】 1. 原子中心有一個小而且密的核，核上帶有陽電荷，原子全部的質量差不多都集中於此，在核之四周較曠闊的空間中，有電子圍繞着。

2. 核上的陽電荷數等於核外的陰電子數。所以就整個原子說，其電性是中和的。

3. 核上的電荷數等於該元素的原子序數。原子序數差不多(並不一定)都同原子量的次序一樣。

4. 電子是我們所能得到的最小的陰電荷。

5. 原子的核裏包含着質子和中子。質子是氫原子的核，中子是質子和電子最緊密的結合體。

6. 電子分布在層層相疊的‘殼’上的情形，可用圖解表示之；其第一層殼有 2 電子，第二層有 8 電子，第三層有 8 電子，第四層有 18 電子。

倘使最外殼已經完成，則元素即呈鈍性，如氮和氫是。倘使最外殼尚未完成，則該元素必能起化學作用。

【金屬原子】 金屬原子的最外殼上含電子較少(1,2 或 3)。這種原子在化學反應中，有失去電子的傾向。

【非金屬原子】 非金屬原子的最外殼上含電子較多(5, 6 或 7)。這種原子在化學反應中，有取得電子的傾向。

【原子的價】 原子的價就是原子在參加化學結合時所取得或失去的電子數目。失去電子的原子謂為具有正價，取得電子的原子謂為具有負價。

【離子】 離子是帶有電荷的一個原子或一團原子(根)。

【離子的價】 離子的價就是每個(或每團)原子在變為離子時失去或取得的電子數目。

【陽離子和陰離子】 金屬原子失去一個或一個以上的電子就變為陽(+)離子。

非金屬原子(或非金屬原子團)取得了若干個電子，就變為陰(-)離子。

【極化合物和非極化合物】 極化合物由離子所構成，當熔融時或成溶液時，能夠導電。

非極化合物的本身或其溶液，都不能導電。

問 題

1. 試舉對於原子構造知識貢獻最早而最重要的三位科學家。每人所貢獻的是什麼？
2. 原子中的電子數和質子數有怎樣的關係？為什麼？
3. 決定原子的重量的是什麼？
4. 原子核裏含有些什麼？
5. 電子和質子的(a)電荷，(b)重量以及(c)在原子中的位置，有什麼不同？
6. 質子的重量和中子的重量是否相等？
7. 試解釋下列各名詞：電子，質子，中子。
8. 原子的(a)第一層完全的殼上有幾個電子？(b)第二層和()第三層呢？

9. 原子的最外殼，要取哪兩種方法來完成牠？
10. 在原子構造上的哪一部分決定牠的價？
11. 舉出易於‘貸出’電子的元素，和急需‘借入’電子的元素各三種。
12. 舉出外殼已經完全的元素四種。又，這些元素各有什麼顯著的特性？
13. 用電子說解釋什麼是帶陽電的物體，什麼是帶陰電的物體。
14. 原子構造說怎樣解釋化學的結合？
15. 質子和中子的(a)電荷和(b)組成，有什麼不同？

* * *

16. 試以鎂為例，照波爾理論，說明原子構造為何同太陽系相似？
17. 最活潑元素的原子，其最外殼上的電子數的真相若何？
18. 氫和鉀同為一價元素，然而一為著名的非金屬，一為活潑的金屬，試以原子構造的理論加以解釋。
19. 氫是幾價？憑這價數怎樣可以解釋牠的化學鈍性？
20. 試用電子來解釋電流在金屬線上的流動。
21. 比較真空管中的電流，和銅線上的電流。
22. 按波爾理論，試作圖解表示下列各原子的構造：(a)氫；(b)氦；(c)氧；(d)氮；(e)鈉。
23. 試用原子構造圖解作一方程式，表明鈉和氯結合而成食鹽時的變化。
24. 試抄錄下列文字，並填補其中的空白：一元素的原子價就是牠的原子在完成其____殼所必須____或____的____的數目。
25. 試抄錄下列文字，並填補其中的空白：原子裏所有質子都在牠的____內。原子的重量隨其所含的____和____的數目而定。若要使原子成為中性，那麼，核內的____數目就應當和核外的____數目相等。原子裏所有的中子，都在牠的____內。

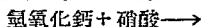
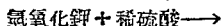
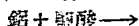
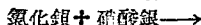
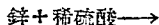
第十章至第十四章複習題

1. 試舉製氫氧化鈉的方法兩種。
2. 試解釋以下各名詞：(a)電子，(b)質子，(c)中子，(d)價，(e)極化合物。
3. 作方程式以表示氯和(a)水；(b)氫；(c)錳；(d)銅；或(e)磷的反應。
4. 製造下列各種氣體時，要用什麼方法集取：(a)氧；(b)氫；(c)氯；(d)氯化氫？為什麼？
5. 試作下列各反應方程式：(a)鈉與水；(b)氯化鈣與碳酸鈉；(c)氫氧化鈉與硫酸。
6. 試按下列各點比較氯和氧：(a)常溫時的活潑性；(b)密度；(c)顏色；(d)溶解度；(e)同氫的親和力。
7. 試作下列各反應方程式：(a)製造氯化氫；(b)由氯化氫的水溶液製氯；(c)硝酸銀對於氯化氫水溶液的作用。
8. 今有一種無色液體，疑為鹽酸，試問要採用怎樣的化學檢驗法，纔能證明

他是鹽酸？

9. 電離和電解有什麼關係？不起電解也能電離麼？不起電離也能電解麼？

10. 試作下列各反應的離子方程式：



並說明各反應能實際達於完成的理由。

* * *

11. 試用下列名詞，寫一段敘述某質素電解的文字，但須將各名詞用得適當：電解質，陽極，陰極，陽離子，電解，電極，陰離子，電子。

12. 按原子構造學說，(a)質子的總和是否應當等於電子的總和？(b)全部的電子怎樣分布？(c)元素的化學性質是從何而來的？

13. 按原子構造學說，什麼東西可以決定元素的 (a)原子價？(b)原子的重量？(c)為金屬或非金屬？

14. 在(a)一種極化合物如食鹽裏，和(b)一種非極化合物如二氧化碳裏，‘分子’這名詞在意義上有什麼不同？

15. 在所有體積相等克分子濃度相同的溶液中，其分子數如何？在所有體積相等當量濃度相同的酸溶液或鹼溶液中，其中和力如何？

16. 在 U 字形管中電解硫酸鈉，經過十分鐘後，再將其內容物攪勻，其溶液仍呈中性；可是電解氯化鈉溶液經十分鐘後，則溶液呈鹼性，試加以說明。

17. (a) 氫分子、氫原子和氫離子有什麼重要的分別？(b) 將氫分子變為氫原子，要用怎樣的裝置？(c) 試寫以上的方程式。(d) 用兩種什麼方法，可以使氫離子變為氫原子（最後更變作氫分子）？(e) 以上各法，試寫方程式表明之。

* * * *

18. 將溶有 40 克氫氧化鈉的溶液，與溶有 40 克氯化氫的溶液相混，再把他們蒸乾，問(a)其殘渣是什麼？(b)又重若干克？

19. 實驗室所用的濃鹽酸，比重為 1.20，含純 HCl 38%。試計算(a)其當量濃度，(b)克分子濃度。

20. 如欲中和溶解氯化氫 11.2 升於水而成的鹽酸，問須用 0.2 克分子濃度的氫氧化鈉溶液若干體積？

第十五章

硫和硫化物

174. 【硫的重要性及其所在】 硫元素很早就為世人所知。牠和硝石(KNO_3)、木炭(C)相混合,久已應用為黑火藥。牠是硫黃石灰混劑的一成分,用為噴灑樹木的殺蟲藥;牠供給二氧化硫,以作漂白、消毒和發冷之用。最近的實驗指出:若使鐵道枕木吸收熔融的硫,就可經久耐用。牠的最重要的用途,也許要算製造硫酸,因為硫酸在其他化學藥品的製造上,負着重大而主要的任務。

巨大的硫礦,蘊藏在西西里(Sicily)、得克薩斯(Texas)和路易斯安娜(Louisiana)等處。在那裏,又有大量的硫化物礦藏,其中金屬的硫化物有被稱為‘愚人金’(fool's gold)的黃鐵礦(iron pyrite, FeS_2),以及方鉛礦(galena, PbS)和閃鋅礦(Zinc blende, ZnS)等;又有硫酸鹽如石膏(gypsum, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$)等。

175. 【工業生產】 在美國,硫礦都蘊藏在地面下 500 到 1500 英尺的深處。因為周圍有黏土、砂礫、岩石等存在,所以不能用通常掘鑿坑道的方法來開採。美國化學家赫爾孟·弗拉虛(Herman Frasch)經過十年的研究,纔設計出一個巧妙而有效的採硫法。這方法的大要是這樣:在地下鑿掘一個很深的洞,直通到硫礦牀的底邊。洞裏插入一根直徑六英寸的粗鐵管,管中又放兩根較小的鐵管,這兩根小鐵管也是互相套着的(圖 104)。將水在高壓(100 磅/英寸²)下加熱到遠在牠的沸點以上($170^\circ C$),壓入六英寸直徑的鐵管中。這種過熱的水使固態硫融化,而把

地下的礦牀變成熔硫的地下湖。然後用壓縮了的熱空氣(約500磅/英寸²)從最小的鐵管中壓下去,把熔硫和熱水造成泡沫。熱水的壓力和壓縮空氣,使泡沫從中間的管中昇上來,流入一隻150英尺闊、250英尺長、60英尺高的木匣中。像這樣地就能使大量的硫熔融而噴到地面上來。這種硫極為純粹(超過99.5%)。當牠凝固之後,就把大硫塊打碎,直接裝在車子裏,運輸到各種需要的地方去,不再加工淨製。有時候,這種大硫塊竟有重至十四萬噸之多。

176. 【硫的性質】 硫為淡黃色、脆弱的固體,重量約為水的兩倍。不溶於水,沒有顯著的滋味或嗅味。加熱時,於114°C. 熔融而為稻黃色的液體。溫度增高時,液體的顏色逐漸變深,並且愈帶黏稠性。在235°C. 左右時,牠差不多呈黑色,並且稠厚而不能從容器中流出。溫度若再增高,牠又漸漸稀薄,至445°C. 而沸騰(§9)。在固體時,牠是熱和電的最好的絕緣體。

177. 【三種的硫】 試將普通的硫條溶解在少量易燃的所謂二硫化碳(CS_2)中,然後把這溶液傾入一結晶皿中,就見溶劑慢慢蒸發,剩下的硫成為微小的晶體。

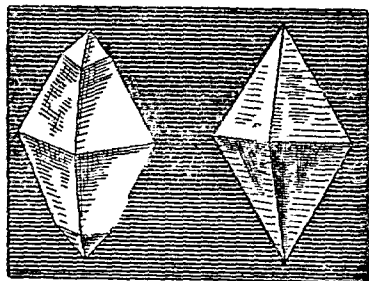


圖 105. 斜方硫晶體

假使這個實驗以大規模行之,並且稍加注意,則所成的晶體可以更其完整,如圖105所示。這種硫通常都為八面體,屬於斜方晶系,所以稱為斜方硫(rhombic sulfur)。天然產出的自由態硫,是斜方硫。硫條和硫華大部分是由這種硫的微小晶體所組成的。

若把硫先熔融而令其漸漸冷卻,就可得到另一種晶形的硫。這個實驗只要一瓩磁質的蒸發皿,是非常便利的,當熔融的硫開始凝固時,就在表面結成一張薄皮。

然後在這皮上戳兩個孔，使皮下的液態硫從一孔中流出，就見蒸發皿內部已生成一叢疎鬆的針狀晶體（圖 106 A）。

在液態硫中生成的晶體屬單斜晶系或柱狀晶系 (prismatic system)，為纖長、透明、淡黃色的針狀物，切面幾成長方形，晶尖略帶傾斜。若使硫的溫度常在 96°C . 以上，熔點以下，就可永遠保持這種晶形。若任其冷卻，則漸不透明，這是因為牠變成斜方硫的質點的緣故。

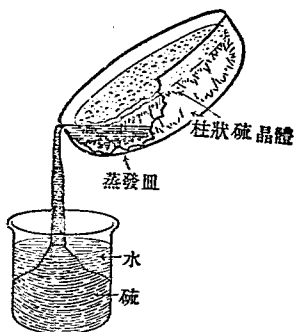


圖 106 A. 製柱狀硫晶體

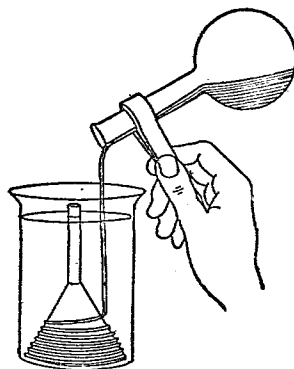


圖 106 B. 製塑性硫

現在試用尋常的硫條在小燒瓶中加熱到幾近於沸點，然後把熱硫從燒瓶中取出，使成細線狀落入一燒杯的冷水中，如圖 106 B 所示。燒杯中最好放一隻漏斗，而把細線狀的硫環繞在漏斗的四周。這樣，我們只要把漏斗取出，就可以把凝固的硫一同取出。此時硫的質地已不再脆弱，看去差不多和樹膠一樣了。

用熔硫投入冷水中突然冷卻而製成的麵糊狀的硫，稱為塑性硫 (plastic sulfur)，因其沒有結晶，故又稱無定形硫或非晶形硫 (amorphous sulfur)。這種硫的性質不很穩定，因為牠經過了若干年以後就會變成斜方硫。晶形硫能溶於二硫化碳，非晶形硫在二硫化碳中卻不能溶解。

元素的硫，還能以許多其他的形態而存在，茲不贅述。

178. 【同素異形體】 凡同一元素的不同種類，如方纔所

說的種種的硫，稱為同素異形體(allootropic forms)。然而我們不要以為硫原子也有不同的種類。這種形體的不同可以歸因於硫分子中所結合着的硫原子的數目。無論如何，不同種類的硫，總含着不同的能量。這也許是由於牠們的電子和質子排列不同之故。就硫而論，我們還沒有知道各種形體的硫分子中究竟各各含有多少個原子；不過我們的確知道硫原子有結合而為大分子的傾向，因為氣態硫的分子中竟含有八個原子之多。

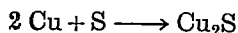
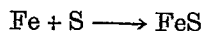
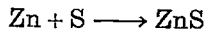
其他的元素像氧、磷、碳等，也有同素異形體。就氧的同素異形體而論，已知這不同是由於一種的分子(O₂)含有兩個原子，而另一種的分子(O₃)卻含有三個原子，並且比尋常的氧含有更多的能量之故。

179. 【硫的化學行爲】 各種硫的化學行爲，都非常相似。硫在空氣中燃燒，就產生一種有刺激性臭氣的二氧化硫(SO₂)。大半的金屬若與硫共熱，就直接結合而生成金屬的硫化物。



圖 107. 從橡樹採取乳液

我們最初研究的化學反應，就是硫與金屬鋅、鐵、銅等間的作用。牠們生成了不同的硫化物。這種反應的方程式如下：



180. 【硫在橡膠製造上的用途】 橡樹(圖 107)大都生長於熱帶，能產生一種乳狀的液質，稱為乳液(latex)。在乳液中

加入醋酸,就變成粗橡膠 (§ 371),通稱生橡膠 (caoutchouc), 根本是一種氫和碳的化合物。生橡膠柔軟而具有彈性, 但不適於供一般的應用, 因其在空氣中能逐漸氧化而變脆。若在生橡膠中混入 10% 的硫與某種金屬化合物, 然後隔絕空氣而把牠加熱到 150°C ., 就可使之稍稍變硬, 且更富彈性, 更耐久用。這種操作稱為硫化 (vulcanizing), 其產生的商品就是所謂橡皮 (圖 108)。

硬橡皮 (hard rubber, 或 vulcanite), 是在生橡膠中混以 30% 至 50% 的硫, 加熱到超過製造普通橡皮所需的溫度約 30 度以上而製成的。硬橡皮可用以製造鈕扣、自來水筆等物品, 在電器上又為極有價值的絕緣材料。

最近已能製造成一種人造橡膠 (artificial rubber, 圖 109), 與天產橡膠差不多沒有什麼分別。合成的初步原料是

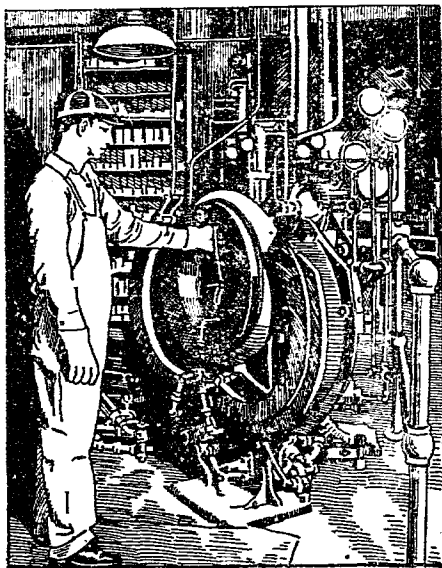


圖 108. 汽車外胎硫化

碳化鈣, 那是用煤和灰石來製成的。先把碳化鈣製成乙炔 (C_2H_2) 氣, 然後使乙炔聚合 (polymerized); 即藉觸媒之助, 使兩個乙炔分子自己互相结合起來。* 最後, 再把這種聚合物 (C_4H_4 , 乙烯基乙炔) 用鹽酸處理, 就成為氯丁二烯 (chloroprene, $\text{C}_4\text{H}_5\text{Cl}$)。† 氯丁

* 譯註: 用銅鹽為觸媒: $\text{HC} \equiv \text{CH} + \text{HC} \equiv \text{CH} \longrightarrow \text{HC} \equiv \text{C} \cdot \text{CH} : \text{CH}_2$ (乙烯基乙炔)

† 譯註: $\text{HC} \equiv \text{C} \cdot \text{CH} : \text{CH}_2 + \text{HCl} \longrightarrow \text{CH}_2 : \text{C}(\text{Cl}) \cdot \text{CH} : \text{CH}_2$ (氯丁二烯)



圖 109. 人造橡膠(新普綸)用作軟管

二烯在新製成時是一種稀薄清澄的液體，但是不很穩定，逐漸變成一種有可塑性的固體，其商業名稱爲新普綸(Neoprene)。據說這種人造橡膠對於溶劑和其他化學藥品的抵抗力遠比普通的硫化橡膠爲大，但其價格終不能與天然橡膠相競爭。結果，凡是大規模的橡膠工廠，要維持所需的橡膠的供給，仍不得不仰給於熱帶國家的廣大的橡樹栽培場(rubber plantation)。

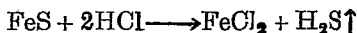
181. 【收復橡膠】 破汽車胎中的舊橡膠，大部分可以‘收復’。其法，先把牠們磨成小塊，放在有蒸汽套的圓筒(脫硫器)中與苛性鈉溶液共同加熱，以除去其棉纖維。當其在每英寸125磅的蒸汽壓力下煎煮經20小時以後，就取出洗淨、曬乾。這種粗製原料再經過一組蒸汽加熱的滾筒，把各種雜質除去，約可得70%的收復橡膠，又可再供應用。

硫 化 物

182. 【硫化氫的所在】 硫化氫 (hydrogen sulfide) 就是我們在含硫動物質腐敗時所聞得的氣體 (H_2S)，壞蛋是一個最常見的例子。此外牠又溶解於某種硫礦泉中，以及存在於火山噴出的氣體中。

183. 【硫化氫的實驗室製法】 使氫於熔融之硫上緩緩通過，氫與硫就化合而成硫化氫。不數分鐘後，即可用蘸有醋酸鉛 [$Pb(C_2H_3O_2)_2$] 溶液的紙條檢查出這氣體的存在。此時紙條上生成了黑色的硫化鉛 (PbS)，所以變成黑色。

通常實驗室中製造硫化氫的方法，是使稀鹽酸或硫酸作用於硫化亞鐵 (FeS)：



若所需之氣體不多，那末用圖 110 的裝置就較為便利。這是一支大試管，內盛稀鹽酸和幾塊硫化亞鐵。氣體由彎曲玻璃管導出。若需大量之氣體，則最好用啓普發生器 (圖 37)，牠的作用是自動的。這氣體有毒，所以一切有關於這種氣體的實驗，都應該在通風良好的煙廚內或露天舉行。

184. 【硫化氫的性質】 硫化氫無色，比空氣略重。有極不愉快的臭味。因其易溶於水，故在實驗室中為方便計，可應用其溶液。純粹的硫化氫有毒，就是用大量的空氣沖淡，還能引起頭痛和嘔吐。幸其有惡臭，故可使

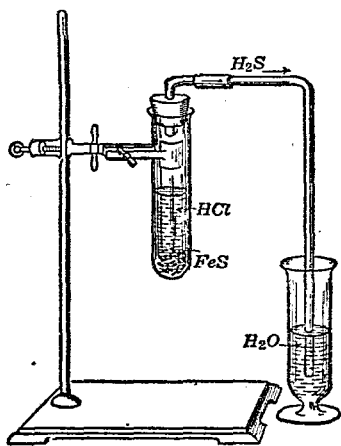


圖 110. 實驗室用硫化氫發生器

我們警覺其存在。

硫化氫易燃燒，發藍色的火焰而生成水和二氧化硫：

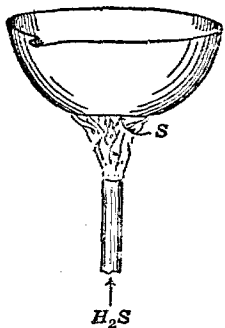
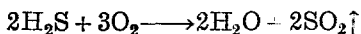
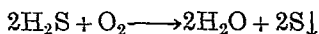


圖 111.

燃硫化氫使硫洗積

當硫化氫在瓶子裏燃燒時，因為瓶中氧的供給，不足以與氫和硫相化合，於是只有氫發生燃燒，而把硫洗積下來：



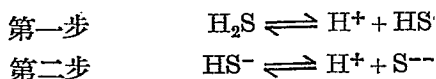
這化合物不很穩定。要證明牠，可用一隻冷瓷皿放在硫化氫的火焰中(圖 111)，就見皿上現黃色斑點；這是由於瓷皿表面有硫黃冷凝着的緣故。原來這氣體在其自己的火焰內部，已因熱而分解為其組成的元素了。

硫化氫的水溶液為極弱之酸，即所謂氫硫酸 (hydrosulfuric acid, H_2S)。牠對於石蕊試紙的作用和碳酸 (H_2CO_3) 一樣。氫硫酸以鹼類中和後，生成一種鹽，稱為硫化物 (sulfide)，可蒸發其溶液而製得之。

185. 【硫化氫的毒性】 大多數人都不知道硫化氫對於一切生活物質有劇毒的作用。溝渠中的空氣，往往含有多量的硫化氫，足以致人於死。牠的毒性作用是由於牠攝取了紅血球中的氧。在得克薩斯州某幾個油田裏，也有硫化氫存在，因為那裏的人聞慣了牠的臭味，往往不以為意，所以更為危險。在家庭中，煤氣中也有硫化氫，這可以從牠的臭味，從牠對於植物的影響，以及從銀器的變黑等事實覺察出來。

186. 【什麼是弱酸和弱鹼】 許多酸的水溶液，其導電率都比同分子濃度的氯化氫或氯化鈉的水溶液為小。這種酸類對於鋅或其他金屬的作用也遲緩不少。從種種方面看來，好像牠

們溶解在水中的分子，只有很小的一部分產生氫離子。以此理由，牠們就被稱爲弱酸(weak acid)。照離子說而論，牠們的溶液中含有許多未解離的分子，而解離的只占全部分子中的小部分。我們可以用下列方程式來表示這個可逆的作用：



同樣，有些鹼類，像氫氧化鉍，僅稍稍解離，就被稱爲弱鹼(weak base)。我們應該記住：所謂比較不同酸類和鹼類的強度，實在就是比較牠們在稀溶液中的相對解離度。我們要比較兩種酸類的稀溶液的性質，就必須應用同樣的克分子濃度的溶液，使每種溶液的一定量中各含有同數的分子。在這種等分子溶液中，酸類的強度就直接隨氫離子的數目而不同了。

鹽酸和硝酸是強酸。牠們在稀溶液中能全部解離。硫酸也是一種強酸。醋酸和亞硫酸是弱酸；硫化氫和碳酸是極弱的弱酸。鈉、鉀、鈣的氫氧化物是強鹼。氫氧化鉍是弱鹼，其主要原因是有一部分溶解着的氨成爲 NH_3 ，而存在於溶液中 (§ 266)。

187. 【實驗室中硫化氫的用途】 硫化氫能與金屬化合物的水溶液起作用，所以在分析化學上應用極廣。其所生的金屬硫化物都有特殊的顏色，所以極便於作金屬存在的檢驗。

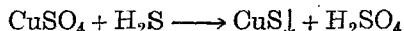
爲闡明此種應用起見，讓我們先用下列三種水溶液來實驗一下：(1)取試管溶解少許的醋酸鉛 $[\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2]$ 於水中。(2)溶解少量的白砷 (As_2O_3) 於數滴的鹽酸中，再加水稀釋。(3)溶解少量的錫鹽(如吐酒石)*於水中。然後在每一種溶液中依次通入硫化氫氣泡少許。結果就見第一試管中得黑色沈澱 (PbS) ，第二試管中得黃色沈澱 (As_2S_3) ，第三試管中得橙色沈澱 (Sb_2S_3) 。

由此可知，凡不溶於水或稀酸中的金屬硫化物，都可由通硫化氫於該金屬鹽的水溶液而製得。

* 譯註：吐酒石(tartar emetic)即酒石酸錫氧基鉀(potassium antimonyl tartrate, $\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$)

現在我們再用幾種遇石蕊質呈酸性反應的鹽溶液來實驗一下。我們先製成硫酸銅(CuSO_4)、硫酸亞鐵(FeSO_4)、硫酸鉀(K_2SO_4)的稀薄水溶液,然後各通以硫化氫氣泡。我們在銅溶液中得到黑色沈澱,而其餘兩種溶液中卻沒有沈澱。現在若再在這兩種溶液中各加氨水數滴,那末在鐵溶液中就生黑色沈澱,但在鉀溶液中卻依舊沒有沈澱。

在這個實驗中,我們看到硫化銅(CuS)能在酸溶液中沈澱,硫化亞鐵(FeS)能在鹼溶液中沈澱,而硫化鉀在酸溶液或鹼溶液中都不能沈澱。這些事實就可利用為分離銅、鐵、鉀的方法。下列方程式可以幫助我們理解這個反應:



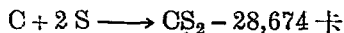
在硫酸亞鐵的例子中,其所起的反應即所謂可逆反應 (§183), 這個關係通用兩個箭頭來表示:



反應中所生的硫化亞鐵能為同時生成的稀硫酸所作用。但若加入氨水把硫酸中和,則硫化亞鐵即能實際生成。這個反應只要狀況略有變更,就會改變方向。

有些金屬,像銀和鉛,能直接和硫化氫化合而成金屬的硫化物。家庭中銀器表面的發黑,大概都歸因於硫化氫,——或從煤氣管隙縫漏出,或由燃煤時發生。家用的煤氣,雖然假定牠不含硫化氫,但通常總有微量存在。

188. 【二硫化碳】 我們已知 (§177) 二硫化碳(CS_2)能溶解硫、橡膠以及其他不溶於水的質素,所以是一種極有價值的溶劑。牠是用硫和碳來製成的:



這意思是,如果這個反應用克分子量來計算,那末要使此反應進行,就必須供給以 28,674 卡的熱。所以二硫化碳被稱為吸熱化合物(endothermic compound)。事實上這個反應所需的溫度極高,商業上通常都用電爐來加熱(圖 112)。爐中主要部分充填

着焦炭,硫從給料漏斗中加入。電極靠近爐底,其所生的熱使硫汽化,硫汽與赤熱的碳相結合,即成二硫化碳。

二硫化碳爲無色、質重的液體,於 46°C 時沸騰。據謂純粹的液體有愉快的香味。但是實際上牠常稍起分解,發生一種極不快的臭味。牠極易着火,其蒸氣和空氣混合能發生爆炸,所以在使用二硫化碳的時候,切不可接近火焰。

二硫化碳不但是有價值的溶劑,又可用以殺滅蟻類和其他的害蟲。此外又可用牠來撲滅‘草原狗’(prairie dog)*和鼠類等。牠在工業上,供製造人造絲縷絨(§435)及四氯化碳之用。

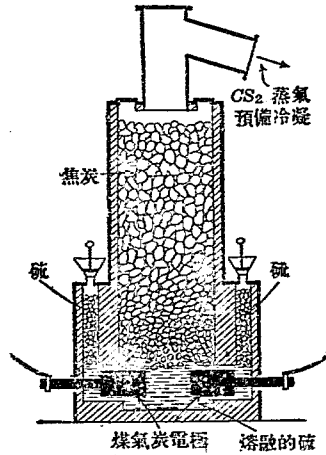


圖 112. 製二硫化碳的電爐

第十五章 摘要

【自然界中的硫及其開採法】 硫成爲自由態而產出;但也有成爲硫化物和硫酸鹽而產出的。在美國路易斯安那州和得克薩斯州,其開採方法是用過熱的水先把地下的硫熔融,然後再把牠壓至地面。

【市售的硫】 商業上都把硫製成硫華、硫條或硫塊而出售。

【硫的同素異形體】 硫的同素異形體包含斜方硫、柱狀硫和非晶形硫。斜方硫是穩定的硫;於 114°C .時熔融,於 445°C .時沸騰。牠的比重爲水的兩倍,不溶於水,而溶於二硫化碳。

* 譯註:土撥鼠之一種,學名 *Cynomys ludovicianus*, 在南美洲羣居田園,爲害農產。

【硫的化學性質】 硫在空氣中燃燒時生成二氧化硫，又能和多數元素直接化合而生成硫化物。

【硫的用途】 硫可用以製造火藥、硫黃噴射劑、二氧化硫、硫化碳、硫酸和硫化橡膠等；又可用以作木材的防腐劑。

【硫化氫的所在及其製法】 硫化氫在自然界中由含硫有機物的腐敗而生成；牠又存在於火山氣體和硫黃泉中。

在實驗室中，硫化氫係用稀硫酸或硫酸作用於硫化亞鐵而製得。

【硫化氫的性質】 硫化氫為無色氣體，有特殊的惡臭，易溶於水，比空氣略重。在多量空氣中燃燒，生成水與二氧化硫；如空氣的供給不充分，則生成水與硫。

硫化氫的水溶液稱為氫硫酸；牠是一種弱酸，能與大多數的金屬溶液生成硫化物。在化學分析上用以分離金屬。

問題和計算題

1. 指出三處自由態硫蘊藏最富的地方。
2. 指出三種天然最多的硫化物。
3. 用圖解表出弗拉盧方法的主要事實。
4. 舉出硫元素的用途三種。
5. 你在實驗室中將用怎樣的方法來證明一種黃色粉末為硫？
6. 硫的同素異形體有着哪些共通性質？
7. 試就各方面比較硫和氧的異同。
8. 解釋同素異形的意義，並列舉已經學習過的成同素異形體而存在的諸元素。
9. 用哪兩種不同的方法可以得到一質素的完整晶體？試以硫為例而說明之。
10. 列表表示硫化氫的物理性質。
11. 硫化氫的水溶液是弱酸。試解釋之。這酸叫什麼名字？
12. 在都市的空氣中，銀器極易變暗，用鉛白做的油漆極易發黑。試解釋之。
13. 紐約的沙龍礦泉(Sharon Springs)或李卻斐爾礦泉(Richfield Springs)，何以有‘硫’水之稱？
14. 寫出五種金屬硫化物及其相當的氧化物的名稱和式。
15. 試寫出下列反應的方程式：(a)硝酸鉛[Pb(NO₃)₂]與硫化氫；(b)硝酸銀

(Δ) AgNO_3 與硫化氫；(c) 氯化鋅 (ZnCl_2) 與硫化鈉；(d) 氯化銅 (CuCl_2) 與硫化氫；(e) 氯化銻 (SbCl_3) 與硫化氫。

* * *

16. 得克薩斯州的大硫礦，離地不過 1000 英尺，爲什麼不用採煤的方法來開採呢？
17. 弗拉虛方法的得有成效，依據了硫的何種性質？
18. 指出硫的同素異形體。哪一種晶體內部含化能最多？其中哪一種在室溫時最不穩定？
19. 以硫、鹽酸、鐵爲原料，你將用怎樣的方法來製硫化氫？
20. 在實驗室中，你用什麼方法來辨認硫化物？
21. 試寫出用三種不同方法製硫化銀的方程式。
22. 通硫化氫於硫酸鋅溶液中時，其反應爲可逆的。你將怎樣使之完成？
23. 若使硫化氫的水溶液在瓶中靜止若干時，就有硫沈澱下來。試解釋之。

* * * *

24. 100 克的硫化亞鐵，可製硫化氫多少克？
25. 要多少克的硫化亞鐵與稀硫酸相作用，可產生在標準狀況下的硫化氫 100 升？

進 修 研 究 題

【橡膠】 橡膠的應用，始於何時？牠在最近二十年來爲什麼變得這樣重要？橡膠怎樣用人工造成？栽培橡膠和天然橡膠有什麼不同？合成橡膠和栽培橡膠有什麼不同？（參看 *SLOSSON'S Creative Chemistry*, 中譯本名創造的化學，沙玉彥譯，新亞版；*Chemistry in Industry*, Vol. I; *WILLIAM HAYNES'S This Chemical Age.*）

【硫的故事】 在西西里，硫是怎樣被提煉出來的？西西里和意大利控制硫的市場歷數世紀之久。到了 1904 年，其情形何以大變？指出用硫爲原料的六種主要工業，並就其消費量的大小而順次排列之。（參看 *Sulphur, An Essential to Industry and Agriculture*, Texas Gulf Sulphur Co., 75 E. 45th St., New York.）

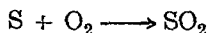
第十六章

硫的氧化物及其酸類

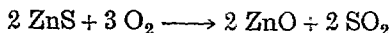
189. 【基本的化學藥品硫酸】 據估計，美國一年中硫酸的生產量為七百萬噸。硫酸之所以有這樣大量的需要，實因一切的日常用品，差不多都直接或間接地要用硫酸來製造之故。硫酸的積存量極少，通常都隨需要而製造，所以硫酸的市場狀況，可說是一國經濟景氣的氣壓計。因為製造硫酸的主要原料是二氧化硫，所以我們就從二氧化硫說起。

二氧化硫和亞硫酸

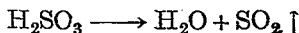
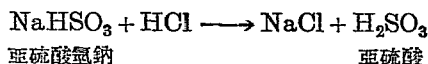
190. 【二氧化硫的製法】 我們已經說過 (§ 30)，硫在空氣中燃燒後，就生成一種氧化物，即所謂二氧化硫 (sulfur dioxide, SO_2)。這氣體具有窒息性，就是通常所謂的‘硫黃氣味’。其方程式如下：



在工業上，是把硫放在一種旋轉鼓 (rotating drum) 裏燃燒的。還有一種製法，是用一種金屬硫化物如黃鐵礦 (pyrite, FeS_2) 或閃鋅礦 (zinc blende, ZnS) 等，放在空氣中加強熱或燬燒。這方法不但能產生二氧化硫，且能生成金屬的氧化物：



在實驗室中製備二氧化硫，要不含氮或過量的空氣，可徐徐地滴鹽酸於亞硫酸氫鈉的晶體上 (圖 113)。



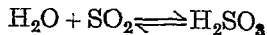
這個反應只是一種複分解作用，其生成物之一亞硫酸(H_2SO_3)，很不穩定，能分解而為水與二氧化硫，如第二方程式所示。

191. 【二氧化硫的性質】

二氧化硫為無色氣體，但有特殊刺激性的滋味與嗅味。較空氣重二倍以上*，是我們已知氣體中最容易液化的一種。這液化的氣體在尋常壓力下，於 -10°C . 時沸騰。在室溫時，因其壓力只有三、四大氣壓，所以可被保存在堅實的玻璃瓶或金屬筒裏。

氣態的二氧化硫極易溶解於水（在 15°C . 時，每 1 體積的水中約可溶 40 體積），不會燃燒，也不能助燃。

192. 【亞硫酸】 二氧化硫不但易溶於水，且能與水化合而成所謂亞硫酸 (sulfurous acid, H_2SO_3)。當其水溶液被加熱時，亞硫酸又分離為水與二氧化硫；所以牠的反應是可逆的：



亞硫酸是一種極不穩定的化合物，所以不能從牠的水溶液中去把牠分離出來。事實上，我們之所以相信牠的存在，其主要理由為我們能從此製得牠的鹽類。譬如當亞硫酸的溶液用氫氧化鈉來中和，則經蒸發之後，就得一種化學式相當於 Na_2SO_3 的質素。這事實指出了下列方程式：

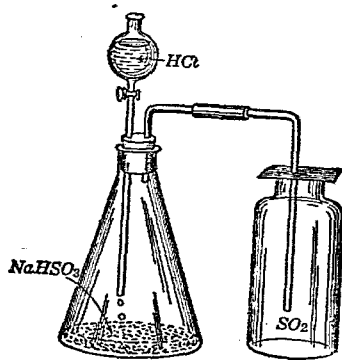
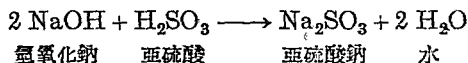
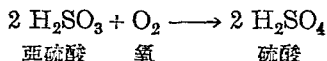


圖 113. 製二氧化硫

* SO_2 的分子量是 64；22.4 升的空氣重 29 克。



亞硫酸在空氣中能漸漸吸收氧而變成硫酸。這變化可用方程式表示如下：



因為亞硫酸極易與其他化合物中的氧相化合，故為一極強的還原劑 (§ 51)。

例如，過錳酸鉀 (KMnO_4) 是一種極好的氧化劑。其晶體溶於水中，生成一種深紫色的溶液。然而我們若把這有色的液體注入亞硫酸溶液中，結果顏色就立即消失，因為亞硫酸已把過錳酸鉀中的一部分氧奪去，卻在溶液中剩下了兩種無色的化合物硫酸鉀和硫酸錳之故。

193. 【二氧化硫的用途】 潮溼的二氧化硫氣體(即亞硫酸)常用來漂白紙漿、麥桿、蠶絲和羊毛等。因為氯會使這種物料變得生硬和脆弱，所以不宜用氯來漂白。不過二氧化硫的漂白效應過了些時是會消失的，所以被漂白的物料日久即漸漸轉成黃色。原來在漂白的時候，二氧化硫把有色物質還原了，也就是奪除牠所含的氧，把牠變為無色的化合物。但是空氣會再把牠氧化過來，而使之回復從前的顏色。

這個性質可以用下法表示。取幾朵潤溼了的有色的花，放在燃著的硫的近旁，然後用鐘瓶將其全部罩住(圖 114)。不久就見那些花都變成白色。



圖 114. 用二氧化硫漂白有色的花

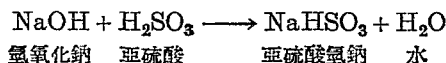
像乾果與罐裝的玉蜀黍和櫻桃等食品，有時也用亞硫酸來漂白。亞硫酸又有防腐性質，可以防止糖類、蘋果酒的發酵以及保藏種種的物品。然而要用牠來作為食物的防腐劑，卻是成問題的。牠對於植物的生命，斷然有害，試觀察凡是有這種氣體放出的熔礦廠和化學工廠的鄰

近,其植物大都凋落萎疲,可為明證。

二氧化硫又常用於機械發冷器(refrigerator)。先用由電動機拖動的壓氣機把這氣體液化,然後讓牠膨脹和蒸發。這種膨脹和蒸發的過程會吸收熱,所以可使發冷器冷卻。

但是二氧化硫的最重要的用途,卻是硫酸的製造。

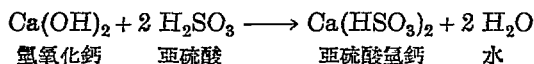
194. 【亞硫酸鹽和酸式亞硫酸鹽】 當亞硫酸為鹼所中和時,其所生的鹽稱為亞硫酸鹽(sulfite)。倘使用過量的二氧化硫通過一種鹼類的溶液,就生成了酸式亞硫酸鹽(NaHSO_3)。例如:



在酸式亞硫酸鹽中,還有一個氫原子沒有被置換。在亞硫酸鹽中,則所有的氫原子都已被置換了。這種酸式鹽,可以用半量的鹼來中和酸溶液而得,或用過量的酸來加入中性鹽而得。

試查像碳酸(H_2CO_3)、氫硫酸(H_2S)、亞硫酸(H_2SO_3)和硫酸(H_2SO_4)等酸類,每分子中都有兩個可被置換的氫原子,所以稱為二鹼酸(dibasic acid)。像鹽酸(HCl)、硝酸(HNO_3)等酸類,每分子中只有一個可被置換的氫原子,所以稱為一鹼酸(mono-basic acid)。至於磷酸(H_3PO_4)則是一種三鹼酸(tribasic acid)。

195. 【亞硫酸鹽和酸式亞硫酸鹽的用途】 用過量的亞硫酸處理氫氧化鈣或消石灰 [$\text{Ca}(\text{OH})_2$], 換句話說,就是用二氧化硫氣體不息地通入氫氧化鈣溶液中,其生成物為‘亞硫酸氫鈣’[calcium bisulfite, $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$]。其反應如下:



在製造廉價紙的時候,是先把木料切成小片,而與亞硫酸氫鈣溶液共煮。木材經煮過後,其中的膠狀的‘木素’(lignin)即被溶去,

只剩下純粹的纖維素，就成造紙所需的原料。

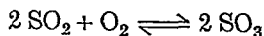
亞硫酸鈉 (sodium sulfite, Na_2SO_3) 常和一種白色的結晶質素稱爲‘草酸’ (oxalic acid) 的相混合，用以漂白草帽。這兩種質素在乾燥時並不起作用，但加水以後，牠們都溶解於水，於是其離子就發生反應。

三氧化硫和硫酸

196. 【硫酸的重要】 硫酸曾被稱爲化學藥品之王，因爲在工業上，差不多沒有不直接或間接地用到牠。爲什麼牠有這樣多的用途？牠的用途是什麼？牠怎樣用硫來造成？

在沒有回答這些問題以前，我們且先來研究三氧化硫，因爲三氧化硫在硫酸的製造中，是一個重要的中間生成物。

197. 【三氧化硫的製法】 把二氧化硫加熱，使之略與氧相化合，就能製成三氧化硫 (sulfur trioxide, SO_3)。不過這個反應是非常緩慢的。然而我們若是利用了氫與氧結合時所用的同樣的觸媒 (§ 50)，即粉末狀的鉑，那末牠們的化合就變得非常容易了。這反應是可逆的，其方程式如下：



大約在 400°C . 時，這兩種氣體差不多可以全部化合。但是在這個溫度以上，卻有逆作用發生。

這反應可用圖 115 所示的裝置來說明。我們先在硬質玻管中塞了些鉑石棉*。然後將硫燃燒，並用吸氣裝置使二氧化硫和空氣的混合物通過阻塞的鉑石棉 Pt，並把鉑石棉略加微熱。所生的三氧化硫，可導入置於碎冰和食鹽所成的冷劑中的大試管內，使之冷凝。

198. 【三氧化硫的性質】 三氧化硫是一種無色的液體，

* 將潔淨的石棉浸入氯化鉑的極濃溶液中，然後放在本生燈火焰上燒灼，就可使石棉上滿佈着極細的鉑粉。欲知其詳，可參看 PAUL ARTHUR 所著 *Lecture Demonstrations*, McGraw-Hill Book Co. 出版。

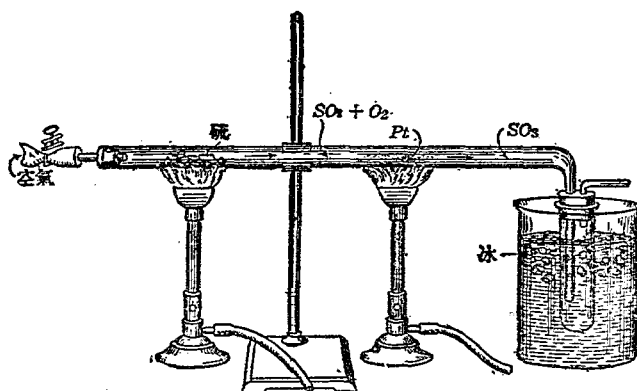
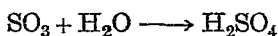


圖 115. 製三氧化硫

在 15°C . 時凝固, 在 46°C . 時沸騰。牠有兩種同素異形體 (§ 178)。一種就是方纔所說的液體, 還有一種是白色的結晶固體, 不經溶解就能昇華 (即蒸發)。三氧化硫極易與水化合而成硫酸。若把三氧化硫投入水中, 就立即溶解, 並發生多量的熱:



199. 【硫酸的製法】 製造硫酸, 現今通用兩種方法, 一種稱為接觸法 (contact process), 一種稱為鉛室法 (chamber process)。這兩種製法的第一步, 都是燃燒硫或煅燒金屬硫化物, 以取得二氧化硫。主要的困難是在第二步, 就是如何把二氧化硫變成三氧化硫。要克服這種困難, 通常都利用一種觸媒, 這兩種方法的主要差別就在觸媒的不同。在接觸法中, 其觸媒為保持一定溫度的氧化鈮 (vanadium oxide) 或鉑。在鉛室法中, 其化學變化十分複雜: 大致是用蒸汽、氮的氧化物和空氣等來把二氧化硫變成硫酸的。所用器械的裝置, 安排得十分巧妙, 使氮的氧化物不能逸出, 而可被反覆應用。

在接觸法 (圖 116) 中, 其觸媒用氧化鈮, 或如第 197 節中的實驗, 用粉末狀的鉑。

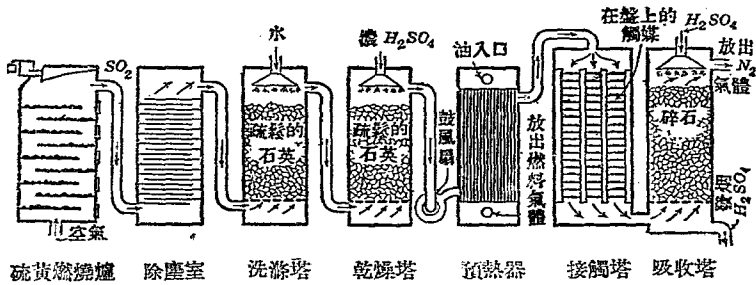


圖 116. 接觸法製硫酸的圖解

在商業製造上，所用二氧化硫和空氣的混合物中所含的塵埃和雜質，都經小心地除去。因為若不把這些雜質除去，鉑就全失去其觸媒的效力。溫度也須小心調節，使之經常保持於 400°C 。(圖 117)；因為溫度若降至 400°C 以下，反應就嫌太慢，若昇至 400°C 以上，就會起逆反應。最後把三氧化硫吸收在濃硫酸中，卻並不吸收在水中，因為三氧化硫通入水中，有變成霧狀而逸出的趨勢，很難捕集(圖 118)。結果所得的酸稱為‘發煙硫酸’(fuming sulfuric acid)。這發煙硫酸在本質上實在只是三氧化硫溶於濃硫酸中的溶液。當發煙硫酸用水稀釋以後，三氧化硫就和水相化合而成爲硫酸。

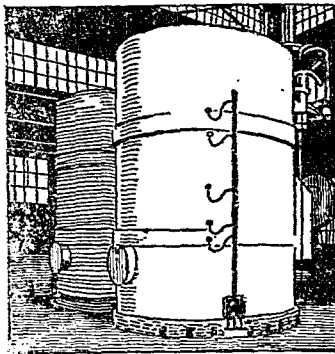


圖 117. 接觸塔

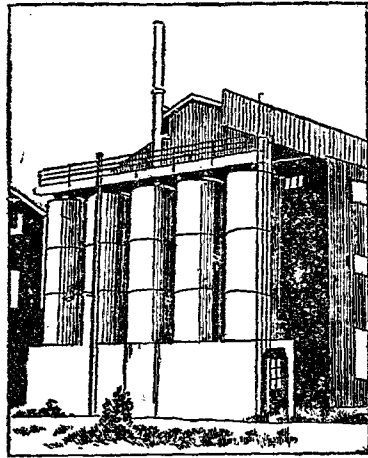


圖 118. 吸收塔

在鉛室法(圖 119)中，是用氮的氧化物來做觸媒的。最初，二氧化硫被一種棕色氣體二氧化氮(NO_2)所氧化，而成爲三氧化硫，同時二氧化氮則被還原爲一氧化氮(NO)。但一氧化氮一觸空氣，又奪取空氣中的氧而成爲氮的高級氧化物。因

此一氧化氮更迭地被空氣所氧化，被二氧化硫所還原，剛好作為氧的運送者。這個反應是在一個大鉛室裏完成的。為了供給必需的水份，使三氧化硫變成硫酸，並且為了促進其反應*起見，就用蒸汽來噴射到鉛室裏去。

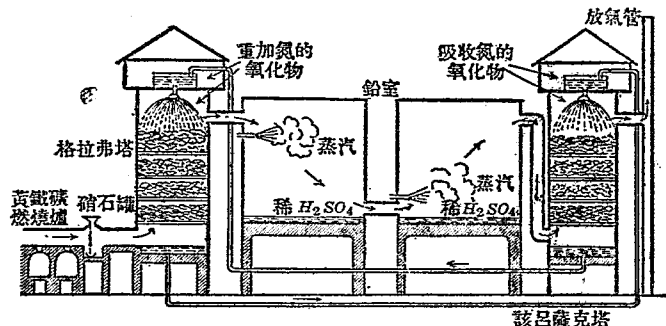


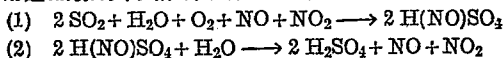
圖 119. 鉛室法製硫酸的圖解

在實際上，先令從燃燒硫或黃鐵礦的煨燒爐中發生的氣體，通過一個塔，即所謂格拉弗塔(Glover tower)，其目的在使氣體冷卻，並給以氮的氧化物。從未一個鉛室裏通出來的氣體，被導入另一塔，即所謂該呂薩克塔(Gay-Lussac tower)，使氮的氧化物吸收於濃硫酸中，然後把這酸用唧筒壓至第一塔的頂端，使被水所稀釋而放出氮的氧化物。

在鉛室中所得的酸，只含 60% 的硫酸 (H_2SO_4)。鉛室法是一個較舊的方法，但至今仍廣被採用，以製造濃度較低的硫酸。至於要生產濃硫酸，自以採用接觸法為宜。接觸法優於鉛室法之點，在不必要費大工程再加濃縮，而能直接製成任何強度的純酸。

200. 【濃硫酸的性質】 純粹的濃硫酸為無色油狀的液體，較水約重兩倍。牠的商業名稱為 oil of vitriol (中名硫鏹水)，因為在以前，這酸都用硫酸亞鐵晶體 ($FeSO_4 \cdot 7 H_2O$) 來製成，而硫酸亞鐵當時通稱為 green vitriol (綠礬)，故有此名。牠的沸點很高 ($338^\circ C$)，有極強的腐蝕性，要是潑在皮膚上，就立起灼傷。牠和水可以按任何比例而混合，同時產生大量的熱。因為濃硫

* 譯註：實際上鉛室反應的最初生成物為亞硝酸硫酸 (nitrosyl-sulfuric acid, $H(NO)SO_4$)，亞硝酸硫酸再與水相作用，始成硫酸，其反應為：



酸對於水有很大的吸引力，所以常用以乾燥多數的氣體。

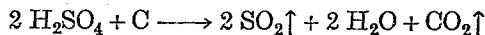
跟這種嗜水性密切相關的，就是牠的脫水作用(dehydrating action)。牠能從多數含有氫氧兩元素的質素(如糖，參看 § 12)中，把氫與氧按照組成水的比例而除去。

普通的紙大部分由纖維素(cellulose, $C_6H_{10}O_5$) 製成，我們如果要表出硫酸對於紙的作用，就可用玻璃棒蘸一些稀硫酸來寫字在白紙上。其次把紙拿到本生燈火焰的上方，隔着相當的距離，把牠烘乾。這樣，凡是紙上寫字的地方就都變成焦黑色(圖 120)，因為水分蒸發以後，稀硫酸已變成濃硫酸了。



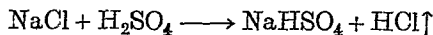
圖 120. 用硫酸使紙焦化

熱的濃硫酸是一種氧化劑，牠能被多數質素還原為二氧化硫。例如，若將碳和濃硫酸共煮，碳就被氧化：



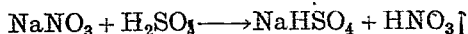
若將金屬如銀、銅、汞等來和濃硫酸共煮，牠們就被變為硫酸鹽而放出二氧化硫。鐵遇稀硫酸能很快地發生作用，遇濃硫酸卻不發生作用。因了這種理由，所以濃硫酸可以裝在鐵匣車裏運輸。

201. 【濃硫酸與鹽類的作用】 濃硫酸因為有很高的沸點，所以可用以製造更易揮發(即更易蒸發)的酸類，如鹽酸、硝酸等。例如製造鹽酸，我們可用最廉價的氯化物——食鹽：



氯化氫在室溫時為氣體。我們應該注意，上列方程式中的硫酸氫鈉(sodium hydrogen sulfate, NaHSO_4)，也是生成物之一。但是我們倘使用兩倍的鹽來與發加熱到較高的溫度，那末我們就可得到兩倍量的鹽酸。這個反應在商業上是用大規模設備來完成的。其方程式見 § 130。

要製造硝酸，我們可用最廉價的硝酸鹽——硝酸鈉(NaNO_3)：

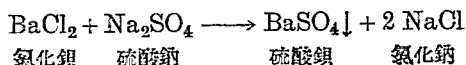


硝酸在 86°C. 時就會揮發。我們若用兩倍量的硝酸鈉，把牠加熱到較高的溫度，那末硝酸就起分解而分裂為較簡單的質素。所以硝酸的實際產量並不能加倍。

202. 【稀硫酸】 在稀釋硫酸時，須十分小心，因為這時牠能發生大量的熱。這大概由於硫酸，或則說恰當一些，應該是硫酸氫 (hydrogen sulfate) 把氫離子 (H^+) 讓給了水，而產生一個含水氫離子 [又稱為銜離子 (hydronium ion, H_3O^+)] 和一個酸式硫酸根離子 (HSO_4^-) 之故。我們必須把濃硫酸成細縷地注入水中，而不該把水注入酸中。稀硫酸和鋅、鐵、鋁等作用，就生自由氫和金屬的硫酸鹽；為鹼類所中和，則生成鹽類。稀硫酸對於水沒有吸引力，並且不是氧化劑，所以顯然不能用牠來製造氯化氫。以上所說的各點，牠與濃硫酸*全然不同，這是我們必須記着的。

203. 【硫酸鹽】 全然不含氫的硫酸的鹽類，稱為硫酸鹽 (sulfate)。每分子中仍含一個氫原子的鹽類，稱為酸式硫酸鹽 (acid sulfate) 或重硫酸鹽 (bisulfate)。許多金屬的硫酸鹽，都很重要，並且用以供普通的用途。如熟石膏 (plaster of Paris) 是含水較少的硫酸鈣 [$(\text{CaSO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$]。瀉鹽 (epsom salt) 是含水的硫酸鎂 ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)。牠們大都為結晶的固體，能溶於水。但鋇、鋇和鉛等的硫酸鹽，卻不溶於水；而鋇和鈣的硫酸鹽，只能略溶於水。

要檢驗硫酸鹽，即檢驗 SO_4^{--} 離子，可用可溶性的鋇鹽 (如氯化鋇) 加入所欲檢驗的溶液中。如有白色的沈澱生成，而此沈澱又能為鹽酸所溶解，那末我們就可斷定其有硫酸鹽存在：

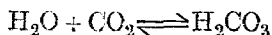


204. 【硫酸的用途】 濃硫酸在實驗室中和工業上都用

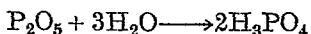
* 註：純硫酸的濃度，以 92.5 - 94% 之酸為濃硫酸，10% 之酸為稀硫酸。

作乾燥劑。大量的濃硫酸則應用於染料製造和多數用作爆發物的有機質素的生產。因其沸點很高，所以在實驗室中用以從各種鹽類中製取其他的酸。稀硫酸用於蓄電池組及電鍍；又用以清洗多數金屬表面上的銹污。在肥料工業上，也須消費大量的稀硫酸。現在牠是最廉價的化學藥品之一，每噸只須美金 15 元。因其用途之多而且廣，故硫酸可以被認作近代工業的基石之一。（參看‘化工一覽表’）。

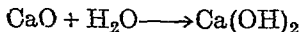
205. 【酸酐和鹼酐】 硫的兩種氧化物(SO₂ 和 SO₃)與水化合，就分別產生亞硫酸和硫酸。凡氧化物與水化合而生成酸的，通常都稱為酸酐(acid anhydride)。二氧化碳也是一種酸酐，牠與水起作用，就生成碳酸(H₂CO₃)。碳酸和亞硫酸一樣，不很穩定，一經受熱，就又變而為酐，所以牠的反應是可逆的：



還有一種酸酐，是燃磷於空氣中所得的白色氧化物。這氧化物與熱水化合了就成為磷酸。磷酸和硫酸一樣，很是穩定，不容易再變成酐：



非金屬的氧化物都是酸酐。在另一方面，金屬的氧化物與水化合了，卻生成鹼。例如，氧化鈣與水反應，即生成氫氧化鈣：

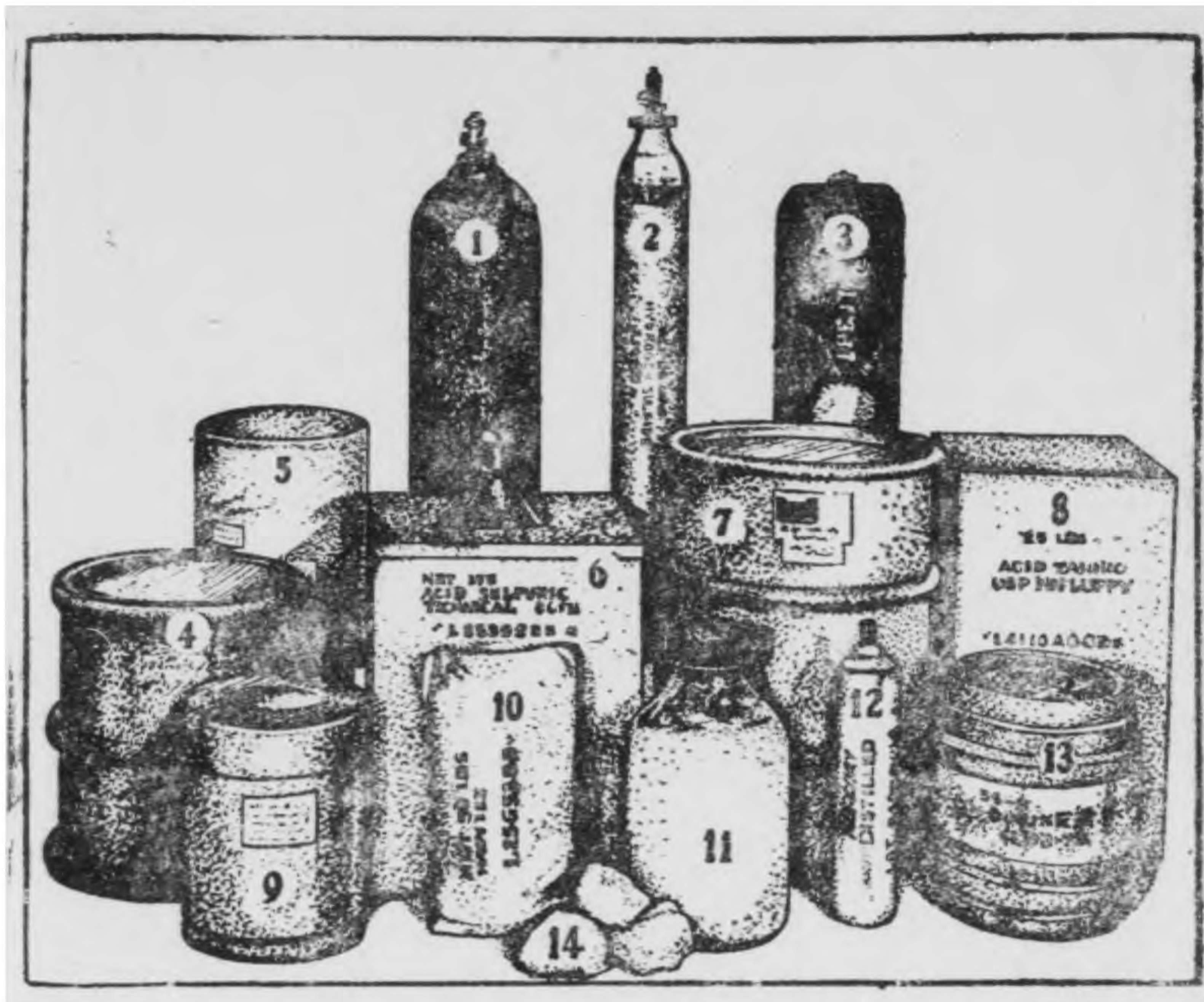


由於非金屬氧化物和金屬氧化物在行為上有這種不同，所以我們通常稱前者為酸性氧化物(acidic oxide)，後者為鹼性氧化物(basic oxide)。

第十六章摘要

【二氧化硫的製法】 製二氧化硫有下列兩法：

- (1) 燃燒硫或燬燒硫化物。

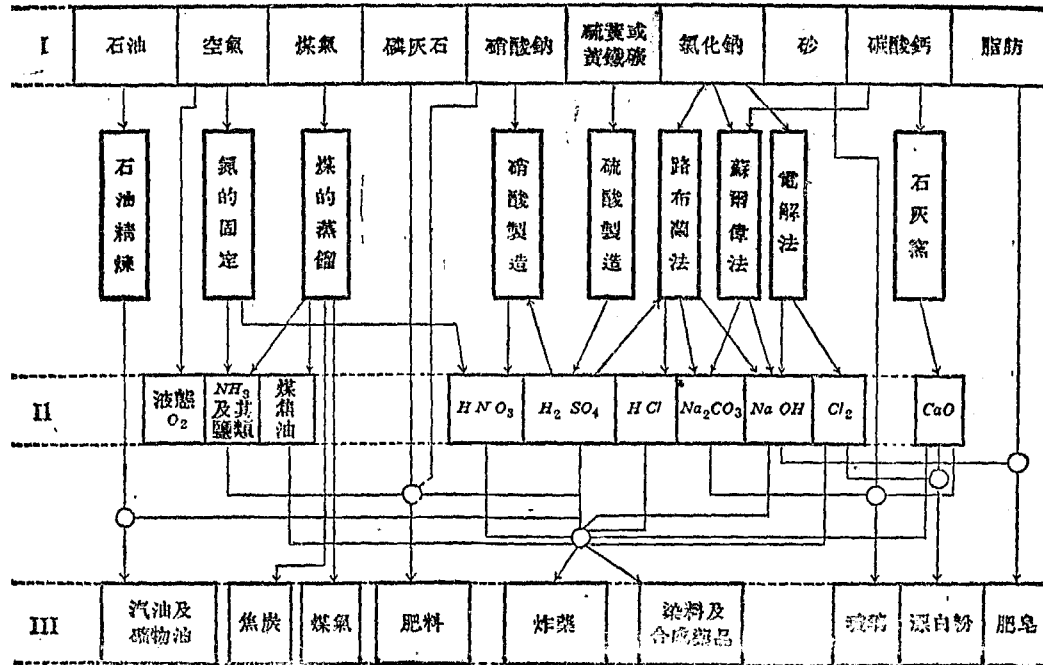


化學藥品大量裝運時所用的各種包裝

鋼筒(cylinder): 二氧化硫, SO_2 (1); 硫化氫, H_2S (2); 壓縮氮, NH_3 (3)。硬橡皮桶(hard rubber drum) (4); 皮紙筒(fibre drum) (5); 外裝木箱的酸罐(carboy) (6); 有壓緊之蓋的鐵桶(clamp-top drum) (7)。瓦楞紙板匣(corrugated paper-board carton) (8)。五加侖鐵桶(five-gallon drum) (9)。紙袋(paper bag) (10)。玻璃瓶(glass bottle) (11)。鐵瓶(iron flask): Hg (12)。木桶(wooden keg):

I_2 (13)。塊狀硫 (14), 直接裝在駁船或貨車裏。

化 工 一 覽 表
幾種較重要化學工業的原料及其出品



I, 原料 II, 化學藥品 III, 從原料及化學藥品產生的重要日用品

(2) 使鹽酸作用於酸式亞硫酸鹽。

【二氧化硫的性質和用途】 二氧化硫為無色有窒息性的氣體，比空氣約重兩倍，極易溶解於水。

牠可以用作殺菌劑、防腐劑和漂白劑，又用於某種機械發冷機（電冰箱）。牠的主要用途是製造硫酸。

【亞硫酸】 亞硫酸是二氧化硫的水溶液，很不穩定。牠是一種還原劑，有漂白和防腐的性質。牠生成兩種鹽類，一種是硫酸鹽，一種是酸式硫酸鹽。

【二鹼酸】 凡酸分子中有兩個可以被置換的氫原子，就稱為二鹼酸。

【三氧化硫】 三氧化硫是藉一種加了熱的觸媒，使二氧化硫和氧化合而成。牠和水結合了就生成硫酸。

【硫酸的製法】 製硫酸通常用兩種方法：(1)接觸法，藉觸媒之助而使二氧化硫氧化而得。(2)鉛室法，藉氮的氧化物之助而使二氧化硫氧化而得。

【濃硫酸】 濃硫酸對於水有極強的吸引力，在熱的時候可用作氧化劑。因為牠的沸點很高，所以把牠加熱時，即能從各種鹽類中製取其他的酸。

【稀硫酸】 稀硫酸能與多數金屬起反應而生成氫。牠有兩種鹽類，即硫酸鹽和酸式硫酸鹽。除了鋇、錒、鉛的硫酸鹽不溶於水，銀和鈣的硫酸鹽略溶於水外，其餘的硫酸鹽都能溶解於水。

【硫酸的重要】 一切工業上差不多都應用硫酸。

【酸性氧化物和鹼性氧化物】 非金屬的氧化物如 SO_2 , SO_3 , CO_2 , P_2O_5 等，與水反應，就成為酸，所以這種氧化物稱為酸酐或酸性氧化物。金屬的氧化物如 CaO ，與水反應，就成為鹼，所以這種氧化物稱為鹼性氧化物。

問題和計算題

1. 敘述製備二氧化硫的三種不同方法，並各以方程式表明之。
 2. 在空氣中燃硫，為什麼不能生成純粹的二氧化硫？
 3. 指出二氧化硫的三種重要用途，並說明每種用途各利用牠的哪一種性質。
 4. 指出製造硫酸的各種原料的名稱及化學式。
 5. 製造哪一等硫酸，接觸法優於鉛室法？
 6. 煮沸的濃硫酸潑在皮膚上，為什麼會引起劇烈的灼傷？試舉出兩種理由。
 7. 硫酸為強酸，是否由於其沸點很高？試解釋之。
 8. 亞硫酸和硫酸，哪一種較為穩定？其實驗的證據是什麼？
 9. 漂白草帽，用哪一種方法最為簡便？
 10. 濃硫酸為什麼可以用來製造硝酸？
 11. 製造氯化氫和硫化氫的反應，為什麼能達於完成？
 12. 濃硫酸為什麼是某些種氣體的有效乾燥劑？
 13. 糖和木材等與濃硫酸相過，即行焦化，應怎樣解釋？
 14. 用稀硫酸寫字在紙上，並不焦化，又應怎樣解釋？
 15. 假使用水來注入濃硫酸中，將發生怎樣的危險？（切勿作此試驗。）
- * * *
16. 用濃硫酸製成較易揮發的酸，是靠着牠的哪一種性質？
 17. 二氧化硫用於電力發冷機，是靠着牠的哪一種性質？
 18. 要區別氯化氫和二氧化硫，須用哪一種化學的檢驗法？
 19. 比較氯和二氧化硫的漂白作用。哪一類物料不能用氯來漂白，卻可以用二氧化硫來漂白？
 20. 草帽和新開紙在太陽光中久曬，即變黃色。試解釋之。
 21. 解釋亞硫酸(H_2SO_3)何以用作還原劑，硫酸(H_2SO_4)何以用作氧化劑？
 22. 用熱濃硫酸作用於銅以製二氧化硫，怎樣可以解釋濃硫酸的氧化作用？
 23. 市售的硫酸，一般都不作無色。試解釋此類色的由來。
 24. 怎樣檢定瓶中的硫酸為稀硫酸或濃硫酸？
 25. 有時用盛着濃硫酸的燒杯，放在藏化學天平的腐蝕，是什麼緣故？隔了幾時之後，我們見到燒杯中的液體的體積已經增加，是什麼緣故？
- * * *
26. 試計算硫酸的百分組成。
 27. 煨燒重 100 仟克純度 60% 的硫化鋅，可製成硫酸多少仟克（比重每立方厘米 1.84 克，純度 96%）？
 28. 煨燒 60 克的黃鐵礦(FeS_2)，可製成二氧化硫多少克？
 29. 要製 1 噸(2000 磅)的硫酸，含水 4%，須用硫若干？
 30. 溶液中含 26 克的無水氯化鋇，用足量的硫酸處理。問沈澱得的硫酸鋇

(BaSO₄) 重若干?

進修研究題

【工業上的觸媒】 製造硫酸，接觸法優於鉛室法之點何在？ 爲什麼接觸法還不能把鉛室法完全壓倒？ 其他應用觸媒的工業，還有些什麼？ 其他用作觸媒的質素，還有些什麼？ (DUNCAN'S *Chemistry of Commerce*, RIEGEL'S *Industrial Chemistry*. Chap. 25.)

第十七章

碳及其兩種氧化物

206. 【碳的同素異形體】 木炭、石墨和金剛石乃是同一元素的不同形態，這是很難使人相信的事。不過實在牠們的確都是元素的碳。我們可用實驗來證明牠們都能在氧中燃燒，而且都只有二氧化碳生成。碳有兩種結晶形，如金剛石(diamond)和石墨(graphite)；以及某種無定形(amorphous form)，如木炭和燈煙。將木炭在隔絕空氣的地方，加熱至極高溫度，就可轉變為石墨。又小粒的金剛石，也可用人工製成。

207. 【金剛石】 在南非洲、南美洲和荷屬東印度的某數處地方，常在砂礫堆中發現金剛石。惟天然產品，全然不像寶石。牠們的形狀大致與粗石相似，幾不透明，外表不大像晶體。這種天然產品，必須加工琢磨，切成多數晶面，使之從多數的晶面上反射光線，纔能放出耀眼的光彩，成為寶石(圖 121)。

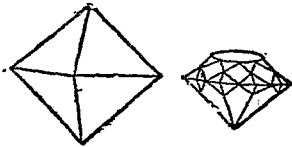


圖 121. 完全晶體和琢磨過的金剛石

金剛石在已知的質素中最為堅硬，所以只能用別的金剛石或金剛石粉末來琢磨。有些金剛石呈褐色和黑色，這種金剛石常用來割切玻璃，或鑲嵌在鑽子和岩石穿孔器的尖端，作為鑽頭。

208. 【石墨】 石墨是另一種結晶形碳，雖天產極富，但因目下需要甚多，所以常用硬煤來大規模製造。硬煤(hard coal)是一種不純淨的碳，若隔絕空氣加以高溫，即變為石墨。發生高

溫的設備，通常用電阻爐 (electric resistance furnace, 圖 122)。製造時即將強電流通過長列的煤牀；因為煤是一種電的不良導體，由其對於電流的阻力，乃產生大量的熱而使之昇至所需的溫度。這時電流對爐中的硬煤並不能促起任何化學變化，只是供給反應所需的熱能而已。這樣製成的石墨，組成均勻，不含硬渣，以供各種用途，均較天然產出者為佳。

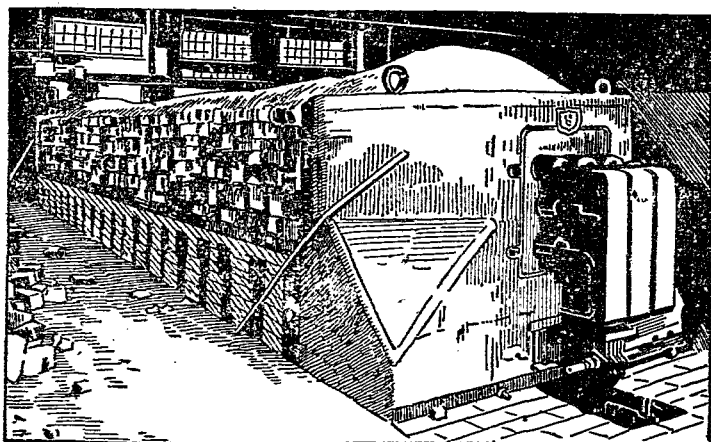


圖 122. 製造石墨的電阻爐

石墨是一種帶閃光的黑色質素，由許多細小、光滑、結晶形的鱗片所成。因為牠柔軟而膩滑，故廣用於潤滑劑 (lubricant) 的製造。因為牠在高溫時不會熔解，故常用以製造坩堝。此外製造火爐塗料與油漆也用到牠。石墨有時被稱為黑鉛 (plumbago 或 black lead)。所謂‘鉛’筆，事實上並不合鉛，只是混合着黏土的石墨而已。

209. 【非晶形碳】 非晶形碳或稱無定形碳，其製法很多。純粹的無定形碳可由加熱蔗糖而得；因為蔗糖為碳、氫、氧三種元素的化合物；在加熱時，氫和氧變成水分而散去，故僅留下無定形

碳。木炭(wood charcoal) 是無定形碳的另一形態,但其中還含有微量的雜質,故燃燒後有灰燼遺下。牠是由木材隔絕了空氣經加熱而製成的,這個隔絕了空氣而加熱的方法,稱為分解蒸餾(destructive distillation)。當蒸餾時,有木醇和醋酸等揮發物產生,

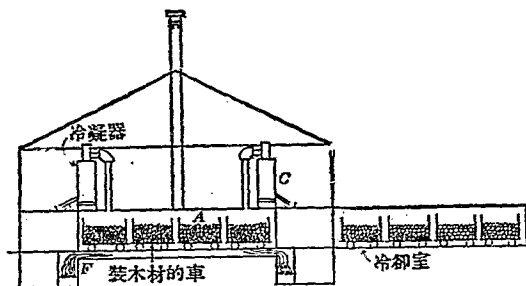
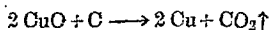


圖 123. 製木炭的工廠設備

硬煤製成,其製法與用木材製木炭相同。焦炭和木炭都可用作燃料以及冶金作業上的還原劑。

用碳來還原氧化銅,就可解釋上述用途。在硬質試管中加熱黑色氧化銅和木炭粉末的混合物(圖 124)。把試管中放出的氣體,導入石灰水中;由石灰水中所生的白色沈澱,可知其為二氧化碳。金屬銅則留在試管中:



其他的無定形碳,尚有多種,茲略述於下。燈煙(lamp-black) 就是將某種油類在有限制的空氣中燃燒而集取的煙灰(soot),我國徽州的製墨原料,即為燃燒松枝(內含松節油)所得的燈煙。黑煙末(carbon black) 是用天然煤氣

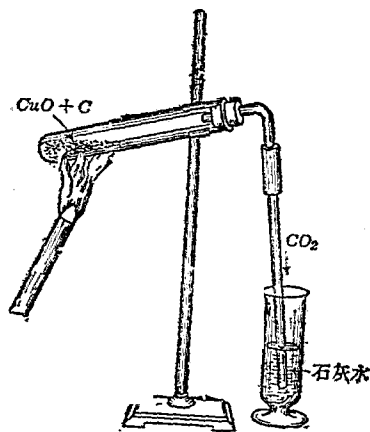


圖 124. 用碳還原氧化銅

生,舊法製造木炭都任此等質素自由逸去,但近代廠家都設法把牠冷凝而加以利用(圖 123)。焦炭(coke) 也是一種很普通的無定形碳,係用

照上述方法製成的。以上二者都不是純碳，都大量應用於製造油墨、油漆和汽車外胎等。又，將動物骨在有限制的空氣中加熱而生成的碳，稱為骨炭 (animal charcoal) 或稱骨黑 (boneblack)，多用作溶液的脫色劑。蔗糖精製為白糖時，即用骨炭脫色。由此可知焦炭、木炭和骨炭三種質素，是分別用煤、木材和動物骨經分解蒸餾而製成的。

210. 【煤】 無定形碳中最重要的一種，便是石炭，也就是普通所謂的煤。今日所用的煤，實是遠古時候活的植物。由於地殼中某種地質變化的結果，此種植物就長埋地下，又因久受壓力與高溫的作用，就使植物質起一部分的分解，分解的主要生成物就是無定形碳。無煙煤 (anthracite coal) 又稱硬煤，含碳約 90%，幾乎都呈自由態而存在。煙煤 (bituminous coal) 又稱軟煤，含碳較少；其中大部分與氫、氧、氮和硫相化合。煤可直接用作燃料，也可用以製造焦炭。

煤氣 (coal gas) 製造廠的裝置 (圖 125)，主要為下列各部分：

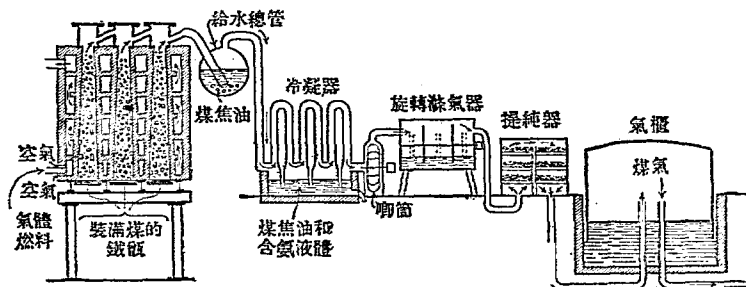


圖 125. 製造煤氣及其副產物的工廠圖解

1, 鐵甑 (iron retort) 或稱為爐，軟煤即在其中加熱；2, 一長列的塔 (tower) 和滌氣器 (scrubber)，所生氣體由此處經過，即可除去重而膠黏的物料 (煤焦油) 以及氨氣、硫化氫等；3, 氣櫃 (gas holder)，用以貯蓄提純的煤氣。焦炭則留在鐵甑裏。煤焦油 (coal tar) 和

氨,以及煤氣和焦炭等,都有極大的工業價值(圖 126)。

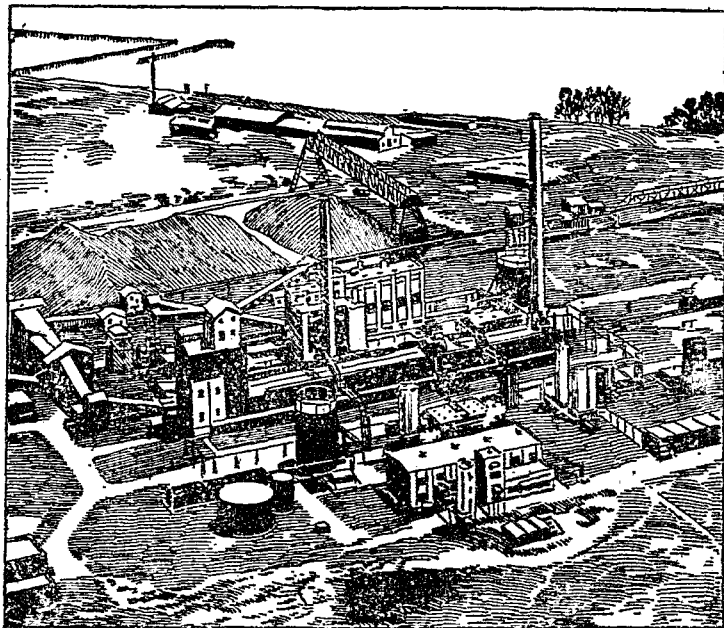


圖 126. 美國副產物煉焦爐廠

211. 【碳的化學行爲】 碳的各種同素異形體遇鹼類或稀酸類時,都不起反應。普通溶劑也不能把牠溶解;但熔融的鐵卻能溶解相當量的碳。在常溫時,各種碳的化學性質都很遲鈍。然在高溫下,牠們都能燃燒而生成二氧化碳;但若氧的供給不足,則生成一氧化碳。在高溫時,碳可用作還原劑,故常藉以除去多種金屬氧化物中的氧——由礦石提煉金屬,就常用這個方法。

212. 【碳原子的構造】 由碳原子的電子圖(圖 127),可見碳的原子核上帶着 6 個質子的陽電荷,周圍有 6 個電子環繞着:計內殼有 2 個電子,外殼有 4 個電子。於此可見碳原子有失去

外殼上的4個電子而作用如金屬,或獲得4個電子而作用如非金屬的可能。簡言之,碳的原子價,可由其所化合的元素,而為正4或負4。凡此種兼能作用如金屬或非金屬的元素,稱為兩性元素(amphoteric element)。

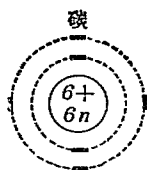


圖 127. 碳原子的電子圖

二氧化碳是一種非極化合物(§171),其電子構造如圖 128 所示。從這圖中,可見每個氧原子和碳原子共有 2

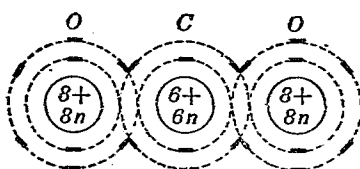


圖 128. 二氧化碳分子的電子圖

個電子,也就是碳原子本身的4個電子與兩個氧原子共有。在此種非極化合物中,各元素的原子價,即等於共有電子的數目。

碳原子既能作用如金屬,又能作用如非金屬,並且還有同別種原子共有電子的顯著趨向,這就造成了無數的碳化合物。但是牠從不成為碳離子(C^{++++})。事實上,碳化合物的研究非常重要,所以牠在化學上自成一科,這就是所謂有機化學(organic chemistry)。

碳原子既能作用如金屬,

二 氧 化 碳

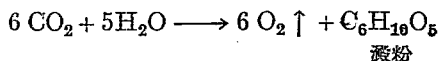
213. 【二氧化碳是怎樣生成的】 把木炭(碳)放在氧中燃燒,就生成一種稱為二氧化碳(§ 35)的氣體。木炭、焦炭、煤或木柴等等燃料,大部分都由碳所組成,故由燃燒而生二氧化碳的作用,幾乎隨處有之。此外如樹木和枝葉的腐爛,與動物體內食物的緩氧化,也有二氧化碳生成,且其規模更大。

動物生活過程的要素之一,即為食物在體內所起的緩氧化作用。這個氧化作用同時又產生溫熱,以保持體溫。發生這作用所需的氧是在吸氣時從空氣中取得的;作用後的生成物——

在空氣中燃燒碳化合物之後，欲證明有二氧化碳發生，可用燃燒着的紙片，投入一乾燥的空瓶中，趁火未熄時，即傾入石灰水少許，用玻璃片蓋上，加以振盪。

或取一隻乾燥的空瓶，倒置在燭火上，移時取下，注入石灰水少許，也可證明燃燒生成物中有二氧化碳存在。

216. 【植物需要二氧化碳】 上節曾謂自然界在經常產生大量的二氧化碳，我們驟然一想，或因此而認為大氣中必被此氣所充塞；但事實上並不如此。若取野外新鮮空氣而加以分析，則見其中所含的二氧化碳絕少超過萬分之三或四的。這是因為大部分植物都營着與動物相反的作用。簡言之，即植物由空氣中吸取二氧化碳而放出氧。在晝間，所有的綠色植物都在把二氧化碳和水轉變為一種糖，再把糖轉變為澱粉：



植物的放出氧，頗易證明。取新鮮綠葉少許，放入為二氧化碳所飽和的水中，上罩漏斗，如圖 130 所示；然後把牠曝於日光下，即見葉上有氣泡出現，漸漸長大，然後上升水面。試把放出的氣體收集在試管中，用灼燃的木片插入其中，即可證實其為氧。

在以後(第十九章)我們可以見到，空氣中所含微量的二氧化碳，極少變動。這個事實極為重要，因為牠和一切動植物的生活，都有密切的關係。

217. 【純粹的二氧化碳的實驗室製法】 在氧中燃燒碳，雖然可以製取純粹的二氧化碳，但是要把這種氣體從未用去的氧中分離開來，卻是十分困難的事。在實驗室中，通常使酸類與大理石作用，以製取二氧化

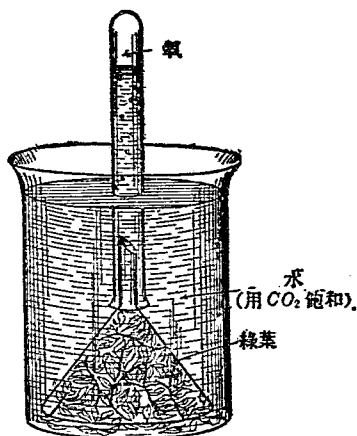
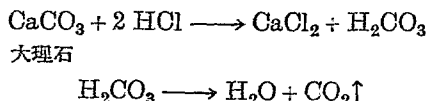


圖 130. 植物吸取二氧化碳而放出氧

碳。大理石是一種稱為碳酸鈣的化合物，牠是由鈣、碳、氧三種元素所組成的：



當一種稀酸(如鹽酸)與碳酸鹽相接觸時，即發生猛烈的起泡作用(effervescence)，直至所有的大理石或酸用盡為止。起泡作用略與沸騰相似。但沸騰時所發生的蒸氣與原液體為同一質素，而起泡作用中發生的氣體則為另一質素。

如欲集取上述化學作用中所放出的氣體，可利用製氫時的裝置(圖 36)。先將大理石數小塊放入瓶中，再由葫頭漏斗中注入稀鹽酸，作用就立即發生。所生的氣體，可依普通方法用玻璃自水槽中集取之。

218. 【二氧化碳的實驗】 要研究二氧化碳的性質，可作

下列實驗：

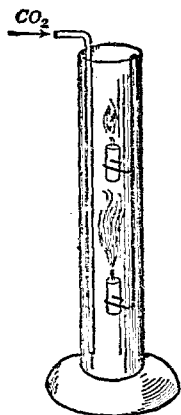


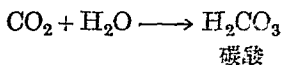
圖 131. 用二氧化碳熄滅燭火

(1) 取燃着的小燭數枝，深入盛二氧化碳氣體的瓶中(圖 131)。其較低的燭火，立即熄滅，這個現象表示些什麼性質？

(2) 取一支攪拌棒，浸入石灰水中，慢慢取出，使棒端懸有澄清的石灰水一滴。若是把這棒深入盛二氧化碳氣的瓶中，那水滴就立即渾濁。這就是二氧化碳的一種檢驗法。

(3) 取燃着的短燭一支，深入廣口燒杯內；再把以上取得的氣體一瓶傾在燭火之上，則見燭火立即熄滅。試根據這實驗，指出二氧化碳和空氣的相對密度。

(4) 取水少許，用藍色石蕊溶液數滴，注入水中，使水着色。然後把二氧化碳發生瓶內的氣體導入藍色的石蕊溶液中，數分鐘後，溶液即變紅色，此即溶液中有酸存在的證據。二氧化碳略溶於水，結果所成的溶液是一種酸，已如前述。因此在商業上常稱這氣體為‘碳酸氣’(carbonic acid gas)。



219. 【二氧化碳的性質】 從上述實驗，可知二氧化碳是

一種無色、無臭的氣體。因為牠的重量在空氣的一倍半以上，所以我們可以把牠像水一樣地從一容器傾入另一容器（圖 132）中。牠略溶於水，其溶解度隨壓力的大小而增減，與其他氣體相同。所謂汽水(carbonated water) 以及其他起泡性的飲料，如薑麥酒(即薑啤酒)等，就利用

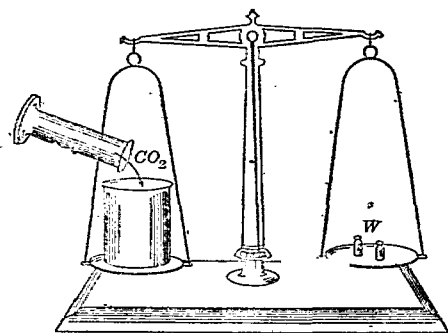


圖 132. 二氧化碳比空氣為重

這種事實，用二氧化碳於壓力下加入液體中，使之大量溶解而成。盛此種飲料的瓶子，其瓶塞仍須在壓力下封閉。當啓塞時，氣體即迅速逸出而發生常見的起泡沫作用(圖 133)。

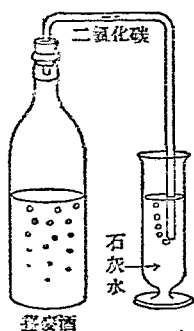


圖 133. 由薑麥酒中放出二氧化碳

二氧化碳最顯著的化學性質為其遲鈍性，即其化學行為很不活潑，既不能燃燒，亦不助燃。牠可以與水結合而成碳酸，碳酸再和鹼類起反應，能生成一類稱為碳酸鹽(carbonate)的化合物。消石灰是一種鹼類，牠的化學名稱是氫氧化鈣。當石灰水和二氧化碳相作用時，所生的白色沈澱，即為鈣的碳酸鹽。這沈澱和平常的大理石完全是相同的化合物，通稱為沈澱白雲(precipitated chalk)。

220. 【液態和固態的二氧化碳】 在常溫時，二氧化碳氣體受了充分的壓力，即凝成液體。這種液體現在已成爲商品，常裝入堅固的鋼匣中出售。當液態二氧化碳自匣中流出時，其中的一部分即迅速地蒸發，耗去了大量的熱，於是

剩下來的就凝結成雪狀的固體。

把一匣液態二氧化碳，斜置如圖 134 所示。在流出口上繫一堅牢的帆布袋，打開活門，數分鐘後，即見袋中有雪狀的固體。這固體的性質極為奇妙。假使任其放置，即很快地變成氣體而消失。若把牠的一部分置於水面，不久即行蒸發，因了蒸發時能由水中吸熱，遂使水凝結而成爲冰塊。

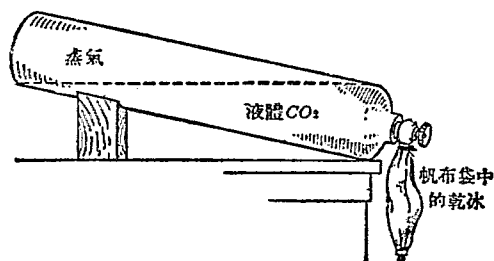


圖 134. 製造‘乾冰’

若把這種固體放在燒杯中，與乙醚相混，另取一隻盛水銀的試管插入其中，則水銀即凝成固體。乙醚的功用，乃在把試管中的熱迅速移至固體之上。

〔注意〕處置固態二氧化碳時，切勿用手，否則與之接觸的皮膚，即起凍創，和灼傷一樣。

我們利用了固態二氧化碳，極易得到 -78°C . 的低溫度。固態二氧化碳俗稱乾冰 (dry ice)，可供發冷之用，如魚類的運輸和冰淇淋的分銷，都用乾冰保藏。乾冰比普通冰有兩種優點：第一，其冷度比冰爲低；第二，牠不熔解爲液體，只變成一種絕緣的乾燥氣體，圍繞於冷藏物品的四周。乾冰之名，即由此而起。

221. 【二氧化碳的商業用途】 二氧化碳有許多常見用途。牠可以用來製碳酸飲料如薑麥酒等，前已述及。藥房裏的‘蘇打水’(soda water)原來係用‘焙用碱’(baking soda)的溶液，混以若干果酸而成；現在則把裝二氧化碳氣體的鋼匣與水管作適當的連接，使龍頭旋開時，即有含二氧化碳氣的溶液源源流出。有一種滅火器 (fire extinguisher) 就是利用二氧化碳的滅火性質而製成的(圖 135)，器內滿貯着碳酸鹽一類的水溶液，通常採用的是碳酸氫鈉(焙用碱)。器頂懸一小瓶，內盛硫酸。如將滅火

器倒置，則酸即與碳酸鹽接觸，而發生二氧化碳。所生的氣體能壓迫溶液，使牠從橡皮管中射出，而同時氣體亦隨之射出。因二氧化碳重而不能燃燒，故當其散佈於火焰四周時，便使火焰與空氣中的氧相隔離，而助水把火撲滅。這種滅火器的效力很大，只可惜笨重而不便攜帶。

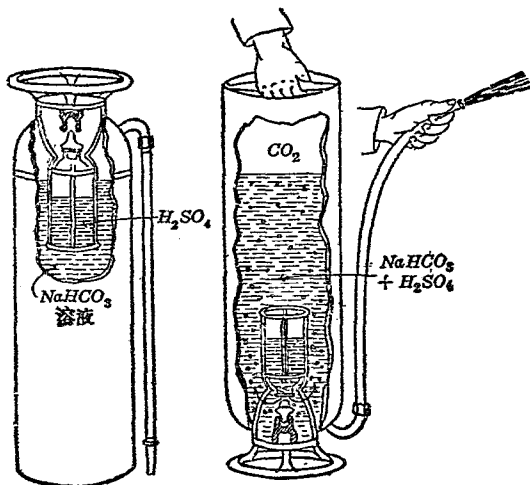


圖 135. 二氧化碳滅火器

這種滅火器的效力很大，只可惜笨重而不便攜帶。

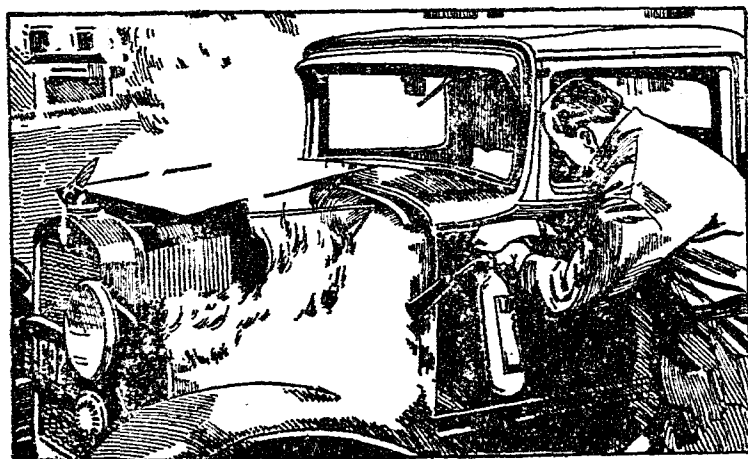


圖 136. 用貯藏液態二氧化碳的鋼瓶以撲滅汽車上的失火

在許多電廠中，常裝置着許多盛貯液態二氧化碳的鋼匣，遇火警時，這種滅火鋼匣能自動放出氣體。又盛有液態二氧化碳的小鋼瓶，對於撲滅油類或汽車上汽油的着火(圖 136)，頗為有效。

222. 【二氧化碳泡沫】 二氧化碳滅火器有一種缺點，即其氣體擴散太快。因此現在已經有一種新的方法，把二氧化碳氣體包圍在耐久的泡沫中。這些泡沫可以浮在燃着的油面上，或黏附在燃燒物的表面上。這個方法特稱為**泡沫法**(foamite method)，對於撲滅油火以及火勢尚未蔓延的其他火患，有特殊的效力。泡沫滅火器中的二氧化碳是由碳酸氫鈉(焙用鹼)溶液和硫酸鋁(鋁明礬)溶液作用而發生的；起泡劑則得自甘草根(licerice)而混合在碳酸氫鈉溶液中，其目的在防止氣體的逸散。故泡沫滅火器可射出數英寸厚的泡沫，遮在燃燒的油液上面，以隔絕氧氣的供給(圖 137 右方)。若用噴灑式滅火器中的水來撲

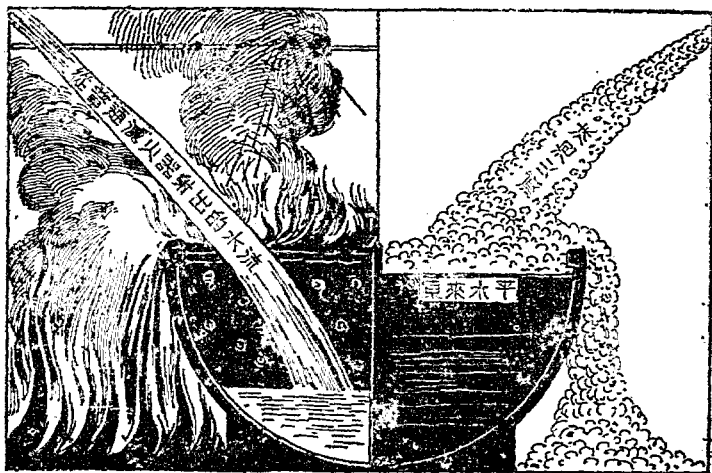


圖 137. 二氧化碳所成的滅火泡沫

滅油火，則因油輕於水，浮在水面，反使火勢更旺，如圖 137 左方所示。

一 氧 化 碳

223. 【煤火中生成一氧化碳】 一氧化碳是碳的氧化物，其中所含的氧比在二氧化碳中所含的為少，性質也完全不同。當碳或含碳的質素燃燒時，若使空氣或氧氣的供給受有限制，也就是空氣的流通不暢，就生成一氧化碳。但是當一氧化碳接觸空氣而被點燃時，則舉特有的藍色火焰而生成二氧化碳。煤爐中的煤火就由一氧化碳燃燒而生(圖 138)。最初爐柵上的熱煤碰着了由爐底通風口而來的空氣中的氧就燃燒而成爲二氧化碳，這二氧化碳氣體在經過上層的熾熱煤塊時，因爲其中空氣的供給幾近斷絕，所以又被還原爲一氧化碳。在這一層煤的上部，接近爐頂，空氣比較充足，於是一氧化碳又舉藍色的火焰，燃燒而成爲二氧化碳。這樣所生的一氧化碳，通稱煤氣(coal gas)，凡是用過無煙煤(硬煤)的人，是沒有不知道的。

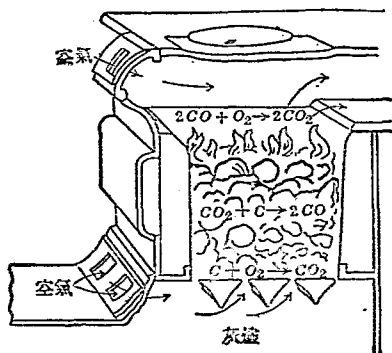


圖 138. 煤火所生的碳之兩種氧化物

224. 【一氧化碳的實驗室製法】 在實驗室中，可使二氧化碳通過盛有木炭的玻璃管以製取一氧化碳。管中的木炭必須燒至紅熱，其由管的他端流出的氣體，更須使之通過苛性鈉溶液，以除去未曾分解的二氧化碳。所得氣體即爲一氧化碳，可在水面依普通方法集取之。

因為硫酸能使蟻酸分解成水和一氧化碳；故用熱濃硫酸處理蟻酸，實為一種製取一氧化碳氣體的簡便方法。至於儀器的裝置，可參看圖 139：

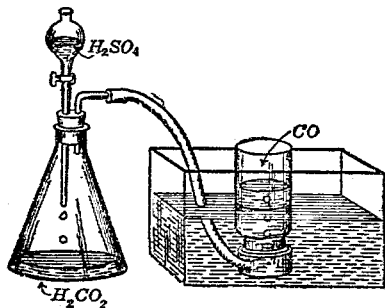
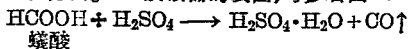


圖 139. 一氧化碳的實驗室製法

上式中的硫酸，其功用即在與所生的水結合，而幫助反應的進行。

225. 【一氧化碳的性質】 一氧化碳亦如二氧化碳，為無色的氣體，幾乎無臭，比空氣略輕，極難溶於水中。一氧化碳為難於液化的氣體之一，其最顯著之化學性質，乃是牠在空氣或氧氣中燃燒時，即發生藍色火焰而生成二氧化碳。一氧化碳又為一還原劑，能除去金屬氧化物（如氧化銅或氧化鐵）中所含的氧。在商業上都利用這種氣體在鼓風爐中還原鐵礦，詳見第三十二章。

一氧化碳的還原作用可用下列實驗來證明。在燒瓶 A 中發生一氧化碳氣（圖 140）；在 B 瓶中盛水，以供洗氣之用；硬玻璃管 C 中裝黑色氧化銅，用火加熱。這時候黑色氧化銅被一氧化碳還原為紅色的金屬銅；而一氧化碳則被氧化為二氧化碳。至於二氧化碳的產生，可由 D 瓶中石灰水的變乳濁色而得證明。其未起變化的一氧化碳，可通入水槽而收集於 E 瓶中，藉燃燭以除去之。

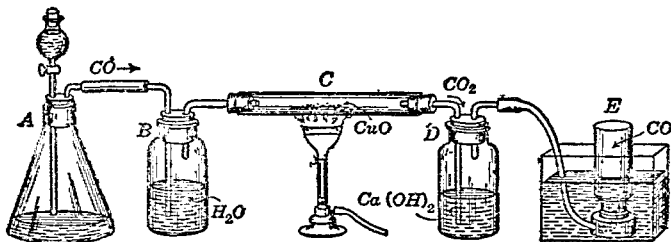
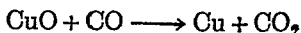


圖 140. 用一氧化碳還原氧化銅

上述實驗的結果，可用下列方程式簡明地表示如下：



226. 【一氧化碳的毒性】 空氣中含有 0.5% 以下的一氧化碳,就足以令人起劇烈的頭痛;若含量再多,在數分鐘內就可致人於死。 每年冬季,工人在密閉的小廠房內修理汽車,常有中一氧化碳毒的事件發生。 因為在汽油引擎所放出的廢氣中,往往含有少量一氧化碳氣。 所以當汽車的引擎還在開動時,汽車修理間的門戶就不宜關閉。 有時家中使用煤爐,因為通風不良,致有一氧化碳氣逸入室中,也往往會引起中毒或喪失生命的。 凡家用煤氣,尤其是所謂‘水煤氣’(water gas)都含一氧化碳,因其本身沒有臭味,致麤入空氣後無從辨知,所以特別危險。 幸而家用煤氣中通常都含有別種具有



圖 141A. 兵士所戴的防毒面具

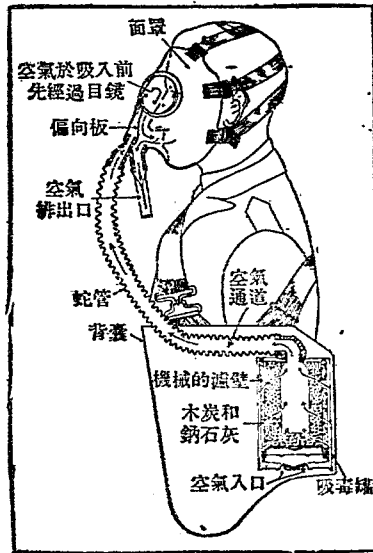


圖 141B. 防毒面具的剖面圖

特臭的質素,足為毒氣存在的警告。 在礦穴爆炸時,常有一氧化碳發生。 因為鳥類對於一氧化碳的毒性,有極銳敏的感覺,所以救護的人常隨身攜帶着金絲雀(canaries),以測探有否毒氣發生

而避免自身的危險。近年來，有人創製一種防毒面具(圖 141)，裏面裝着一層‘霍普開來特’(hopcalite)*，以供礦工在出事時的應用。中一氧化碳毒之救治方法，是用含氧 93% 和含二氧化碳 7% 的混合氣體來給病人呼吸(圖 142)。



圖 142A. 解救一氧化碳中毒時的情形

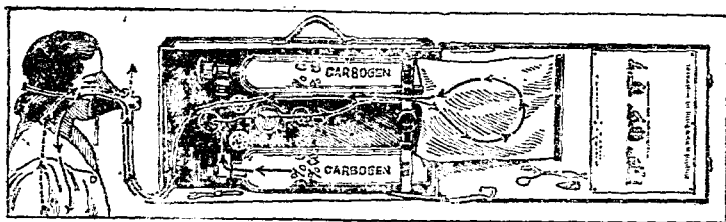


圖 142B. 用氧(93%)和二氧化碳(7%)的混合物以救治一氧化碳中毒之器械

* 註：霍普開來特乃 MnO_2 50%， CuO 40%， Co_2O_3 15% 和 Ag_2O 5% 的混合物，其功用乃在使一氧化碳變為二氧化碳，可視為一種‘催化混合劑’(catalytic mixture)。

一氧化碳之所以有毒，是因為牠能與血液中的紅血球化合，而妨礙了牠們從空氣中吸取氧氣的緣故。人類既全賴紅血球的吸收氧而維持生命，所以一氧化碳的作用就無異引起一種內室息，結果就使人發生病象，有時且致死亡。

第十七章 摘要

【碳】 碳有三種同素異形體：即金剛石，石墨和木炭。

碳在常溫時呈鈍性，在高溫時能同金屬或非金屬化合。惟不受酸類（除熱硝酸或熱硫酸外）或鹼類的作用。牠是一種重要的還原劑。

【二氧化碳】 二氧化碳是由碳或碳化合物經燃燒或腐敗而生成的。

製法：（1）在空氣或氧氣中燃燒木炭；

（2）使酸類作用於碳酸鹽。

性質：一種無色的氣體，略溶於水，能使動物窒息，但並無毒性。重量約為空氣之 1.5 倍。易於液化。蒸發其液體，即生成固體。

檢驗法：不能燃燒；使石灰水變成乳濁色；與水化合則成碳酸，碳酸能與鹼類起反應。

用途：碳酸飲料；滅火器；機製冰；‘乾冰’。

【一氧化碳】

製法：（1）碳或碳化合物在有限制的空氣中燃燒。

（2）還原二氧化碳。

（3）熱濃硫酸作用於蟻酸。

性質：一種無色而又幾乎無臭的氣體，比空氣略輕；不溶於水。性劇毒。燃燒時舉藍色的火焰而生成二氧化碳。具還原作用，能從燒熱的金屬氧化物（如銅和鐵的氧化物）中奪取其所含

的氧。

問題和計算題

1. 試舉出各種無定形碳的名稱。
 2. '鉛筆'這個名稱,爲什麼容易引起誤會?
 3. 將石墨用作(a)油漆,(b)潤滑料和(c)火爐漆,是利用牠的哪一種性質?
 4. 哪一種碳最有用? 試解釋之。又哪一種碳最珍貴?
 5. 空氣中二氧化碳的含量,僅爲萬分之四。這是否表示牠並不重要? 試解釋之。
 6. 大氣中二氧化碳的含量,爲什麼差不多保持不變?
 7. 試列表舉示二氧化碳的各種用途,並說明每種用途所憑藉的一種或若干種性質。
 8. 應用二氧化碳的滅火器,憑藉這氣體的三種什麼性質?
 9. 當揭開汽水瓶的瓶蓋時,汽水內有泡沫發生,試問有什麼方法可證明這氣泡是二氧化碳?
 10. 當二氧化碳通過過熱的氮粉上時,即生成氧化銻。試問另一種生成物是什麼?
 11. 燃燒酒精,即生二氧化碳。這對於酒精的組成有何表示?
 12. 各大城市中,每年中一氧化碳毒而死亡的人數很多。試解釋死亡的原因,並說明預防的方法。
 13. 試列表舉示一氧化碳的各種用途,並說明每種用途所憑藉的一種或若干種性質。
 14. 茲有家用煤氣兩種,分別含一氧化碳6%及33%,問哪一種的毒性更強? 試言其故。
 15. 將硬煤加入煤火之上,煤火的表面即發生藍色火焰,試解釋其原因。
- * * *
16. 試述檢驗碳酸鹽的方法。
 17. 埃及王杜特·安克·亞曼(Tut-Ankh-Amen),安葬於3000年以前,最近發掘他的墳墓,發現當時所埋的木炭依然未變,這事實可表示碳的何種性質?
 18. 試填下文中的空白: 碳有三種同素異形體,即____、____和____,各具有不同的物理____;但若在充足的氧氣中燃燒,都有____發生。
 19. 製取石墨的電爐中的電流,有什麼功用?
 20. 用電爐製石墨時,雖所用的煤極不純淨,但可製得十分純淨的石墨。試問煤裏所含的礦物雜質在這作用中變成了什麼?
 21. 二氧化錳粉末和木炭粉末同爲黑色,該用怎樣的化學檢驗法來區別牠們。
 22. 將酸傾注於一種物料上,即生起泡作用;試問這一事實足爲二氧化碳存在的證明否?

23. 若將壓力增加一倍，對於二氧化碳在水中的溶解度有何效應？
24. 起泡作用和沸騰有何區別？
25. 把一碗澄清的石灰水曝露於空氣中，經一二日後，水面起一層白色的薄皮。試加以解釋。
26. 二氧化碳常用以發冷，試說明這憑藉牠的何種性質。
27. 試作一表，以比較二氧化碳和一氧化碳的性質和用途。
28. 要區別氫和一氧化碳，應採用何種化學檢驗法？
29. 普通所謂‘水煤氣’，主要為氫和一氧化碳的混合物，為什麼用水煤氣燃燒取熱比較取光為合算？
30. 就以前讀到過的還原劑中，舉出較重要的兩種。

* * * *

31. 使碳酸鈣與過量的鹽酸相作用而製取二氧化碳；若欲取得二氧化碳 88 克，問需碳酸鈣若干克？
32. 用碳還原 40 克的氧化銅為金屬銅，問需碳若干克？
33. 燃燒含碳 80% 的焦炭 120 斤克，問所生的二氧化碳氣在標準狀況下占多少體積？
34. 把一噸含碳 90% 的煤，完全燃盡，問需氧若干噸？

修 研 究 題

【家庭中的加熱設備】 觀察你家廚房裏的爐灶，作一圖解，並標出每一部分所起的化學變化。你家裏在冬季如何取暖？試作一圖解，表示一燃燒燃料的取暖裝置。此項裝置有否將一氧化碳逸入居室中的危險。作一滅火器的表，並指出各適用於撲滅何種的火？

【裴德少將(Admiral Byrd)對於一氧化碳的經驗】 什麼東西發生這種氣體？他怎樣察覺出來？他遭到怎樣的危險？〔參閱 *National Geographic Magazine*, Oct., 1935. 譯文見 1935 年 12 月 1 日上海中華地學會出版之地學季刊第二卷第三期顧因明所譯之南極洲探險記一文。〕

第十八章

分子量和原子量

227. 【衡量原子】 因為分子和原子都過於微小，不能直接衡量，所以我們先要測定牠們跟氧原子比較而得的相對重量。驟然看來，這個工作似乎也是不可能的，不過根據了氣體的種種性質的精密推論，也就不難得到牠們的相對重量的一個近似數值。

在近年來，從事研究原子構造的物理學家已能很精密地測定原子的絕對重量。例如，氫原子的重量已測定為 1.66×10^{-24} 克。

228. 【氣體的統一性】 精確的實驗，指出一切氣體在壓力下的行為是一樣的。例如，如果溫度不變，則一定量氣體的體積與壓力成反比例。 這個關係稱為波義耳定律 (Boyle's Law)。實驗又指出，一切氣體所受溫度的影響，其行為也是一樣的。例如，如果壓力不變，則一定量氣體的體積，與絕對溫度* 成正比例。 這個關係稱為查理定律 (Law of Charles)。†

在第六章裏，我們從蒸汽的體積合成，得知



在第九章裏，我們又曾見過



更就氫、氮直接化合成氨的作用加以精密研究，可得如下的結

* 絕對溫度 = 攝氏溫度 + 273°。

† 授至此節時，教師可認閱第三十八章中所說明的氣體定律。

果：



這些實驗事實都闡明了該呂薩克定律：化學變化中作用的氣體與生成的氣體的體積，往往可以用簡單的整數比來代表。

229. 【亞佛加德羅的解釋】 對於氣體行為上的統一性這個可注意的事實，著名的意大利物理學家亞佛加德羅氏（圖 143）曾經在 1811 年作如下的解釋。他假定，在同溫度、同壓力的狀況之下，等體積的一切氣體，都含有同數的分子。換一句話說，假定溫度和壓力的狀況相同，那末 1 立方厘米的氫氣中所含的分子，



圖 143. 亞佛加德羅像
(Amedeo Avogadro, 1776-1856)
意大利社陵 (Turin) 大學
物理學教授

和 1 立方厘米的氧、氮、氯、氯化氫或其他任何氣體中所含的分子相等。

這個著名的假說，一直到 1858 年（在亞佛加德羅死後兩年）給另一位意大利教授坎尼查洛（圖 144）說明了牠的廣大的效用以後，纔為一般人所接受。到了現在，這假說已被公認為化學上的基本原理了。



圖 144. 坎尼查洛像
(Stanislao Cannizzaro, 1826-1910)
意大利北部亞歷山大大學的化學教授

230. 【從亞佛加德羅原理引出的結論】 我們必須注意，亞佛加德羅原理並不指出每立方厘米氣體中所含分子的實在數目。但是牠卻告訴我們，要比較各種氣體分子的重量，最簡單的方法是去比較各種氣體的密度；也就是去比較牠們的單位體積的重量。 對於這，我們最好用一個表來說明：

氣 體	密度 (每升的克數)	分子的相對重量
氫.....	0.09	1
氧.....	1.43	16
氮.....	1.25	14
氯化氫.....	1.64	18.9

在這個表中，對於密度我們只用牠的近似值。並且，我們是用氫來作為比較根據的，就是用 0.09 來除各氣體的密度。由此可知，在第三欄中的分子的相對重量，是把氫分子來當作標準的。

231. 【氫分子中含有兩個原子】 從亞佛加德羅原理所引出的另一重要結論，就是每一氫分子中至少含有兩個原子。 讓我們看看為什麼會有這樣的結論。在合成氯化氫的實驗 (§ 139) 中，指出



根據了亞佛加德羅的說法，我們必須假定，氫分子的數目與氯分子相等，而氯化氫分子的數目則為此數之兩倍。假如我們有一百萬個氫分子，那末我們就得有一百萬個氯分子和兩百萬個氯化氫分子。但是我們已知每一個氯化氫分子至少須含有一個氫原子。因此在兩百萬個氯化氫分子中就該有兩百萬個氫原子，而這兩百萬個氫原子應該是由一百萬個氫分子供給的。所以這個實驗指出每個氫分子至少含有 2 個氫原子(H₂)。

假使我們畫幾個代表等體積的方框(圖 145),就可幫助我們想像這個反應:

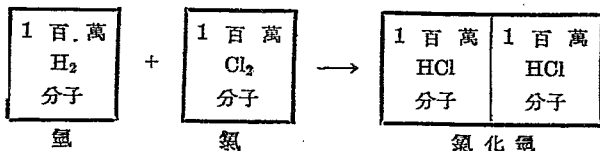


圖 145. 表示等體積的氫和氯結合的圖解

由於同樣的推論,可知氯分子也至少含有兩個原子。

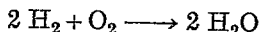
這種事實,我們可以用下列方程式來表示:



這方程式的意思是說,一個由 2 原子所成的氫分子加上一個由 2 原子所成的氯分子,生成 2 個由一原子氫和一原子氯所成的氯化氫分子。

〔註〕注意,就以上的推論看來,氫分子所含的原子數,原不限於兩個,就是任何偶數個也都適合。然而因為我們從沒有見過氫分子在反應中分離而為二個以上之部分,所以我們可決定牠的分子中只有兩個原子。

在蒸汽的合成(§ 65)中,我們見到 2 體積氫和 1 體積氧結合了生成 2 體積的蒸汽:



所以我們用了同樣的推論,可以斷定氧分子含有兩個原子(O₂)。

又從氨的合成之研究,可以斷定氮分子也含有兩個原子(N₂):

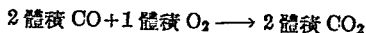


232. 【涉及氣體體積的計算題】 用分子式來寫涉及氣體反應的方程式,在實用上有許多便利。 其中之一,就是使計算各氣體體積的方法,變得簡單了。

〔例〕假定我們要計算 1 升的氧可使多少體積的一氧化碳燃盡。
我們先把方程式寫下來:



因為同數的氣體分子占據着相等的體積(亞佛加德羅原理),所以我們可以把這方程式讀為:



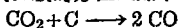
所以 1 升氧(O₂)可燃盡 2 升一氧化碳(CO),而生成 2 升二氧化碳(CO₂)。

就氣體而論,方程式中化學式的係數,就代表了各質素的相

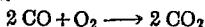
對體積。

計 算 題

1. 用紅熱的碳來還原二氧化碳的方程式如下：



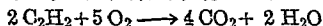
而一氧化碳燃燒的方程式則為：



問(a)還原 10 升的二氧化碳能生成多少體積的一氧化碳？ (b)燃燒 (a)題中所生成的一氧化碳，需要多少體積的氧？

2. 50 立方厘米的氫在氯中燃燒，能生成多少立方厘米的氯化氫？

3. 乙炔完全燃燒的化學作用，可用下列方程式表示：



問(a)燃燒 20 升的乙炔氣體，需要多少升的氧？ (b)能產生多少升的二氧化碳？

4. 在極高的溫度時，可依下列方程式使氮和氧直接化合而成一氧化氮(NO)：
 $\text{N}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{NO}$ 。現在要產生 10 立方尺的一氧化氮，問需要多少立方尺的空氣
 (假定空氣中含有五分之一的氧)。

5. 酒精($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)蒸氣在空氣中完全燃燒時，生成二氧化碳和水蒸氣，其方程式為：
 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3 \text{O}_2 \longrightarrow 2 \text{CO}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$ 。問(a)燃燒 20 升的酒精蒸氣需要多少升的氧？ (b)在這個過程中能生成多少升的二氧化碳？

233. 【分子量的標準】 我們方纔得知，氧分子含有兩個原子(O_2)。我們記得 (§77) 化學家一致地採用氧的原子量 16.000 來作為原子量的標準。由此計算，則氧的分子量恰好是 32.000；這是分子量的標準。我們又記得 (§103)，假使我們知道了氣態質素的化學式，那末我們只要把各原子的重量相加起來，就立即能計算出牠的分子量來了。例如，氯化氫的化學式是 HCl，因此牠的分子量就是 1.008 + 35.46，即 36.468。又乙炔的化學式是 C_2H_2 ，因此牠的分子量就是 $2 \times 12.00 + 2 \times 1.008$ ，即 26.016。

234. 【克分子體積】 化學家有時候往往把氣體的分子量用克數來作為單位，因此他們稱這種重量為克分子量 (gram-molecular weight, or molar weight)。譬如 32 克是氧的克分子量。

那末在標準狀況下，32 克的氧應占據着多少的體積呢？因

爲一升的氧約重 1.43 克(圖 146),所以在標準狀況之下, 32 克重的氧,就應有 $\frac{32}{1.43}$ 即 22.4 升的體積。假使我們把任何氣體的密度來除牠的克分子量,就總是得到 22.4 升的近似值。譬如:

- 2 克的 H_2 占 22.4 升
- 44 克的 CO_2 占 22.4 升
- 36.5 克的 HCl 占 22.4 升
- 17 克的 NH_3 占 22.4 升

因此我們可以斷定, 任何氣體的克分子量都占據着 22.4 升的體積(標準狀況)。

這 22.4 升的氣體體積,對於在實驗室中的化學家異常重要,因爲凡是能在氣體狀態下衡量的任何質素的分子量,他都可以靠了這個關係而很便捷地計算出來。他只須從一定體積的氣體在標準狀況下的重量,計算出此氣體 22.4 升之重爲多少克。因此我們可以再下一個結論, 任何氣體 22.4 升的重量的克數(溫度 $0^\circ C$. 和壓力 760 毫米),即等於該氣體的分子量。

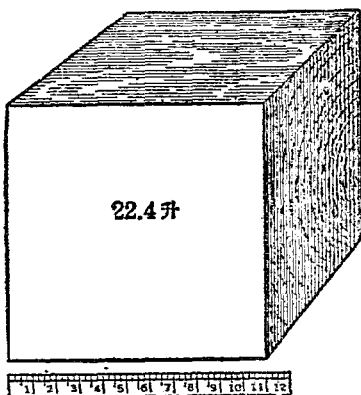


圖 146. 氣體的克分子量體積 (每邊 11 英寸的立方體)

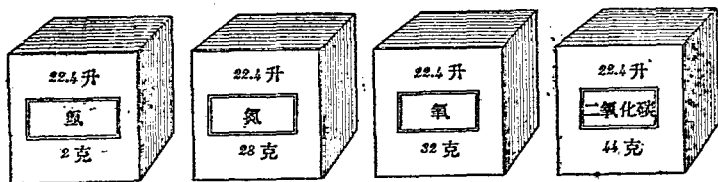


圖 147. 任何氣體的克分子量占 22.4 升

〔例〕二氧化碳每升約重 1.98 克。因此 22.4 升必重 22.4×1.98 , 即約 44 克。所以二氧化碳的分子量就近乎 44。又,氮每升重 1.25 克。因此 22.4 升必重 22.4×1.25 , 即約 28 克。所以氮的分子量就近乎 28。

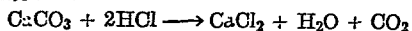
問 題

1. 20 升的二氧化碳重多少?
2. 假使一升的沼氣在標準狀況下重 0.716 克,那麼牠的分子量該是多少?
3. 某種氣體的碳化氫,在標準狀況下的密度是每升 1.27 克。牠的分子量是多少?
4. 已知一氧化碳的化學式是 CO,試計算其在標準狀況下的密度(每升克數)。
5. 假設氧化二氮的分子量是 44,試問這氣體的密度(每升克數)約爲多少?
6. 從附錄中氣體的密度表,試計算下列各氣體的分子量:(a) 乙炔;(b) 氮;(c) 一氧化碳;(d) 硫化氫;(e) 二氧化硫。
7. 氮的密度在標準狀況下是每升 0.178 克,牠的原子量是 4.00。問氮分子含有幾個原子?
8. 計算下列各氣體一升的重量(標準狀況): (a) 氮(NH₃); (b) 二氧化硫(SO₂); (c) 丙烷(C₃H₈)。
9. 試把下列各氣體依其密度增加的次序而排列之: CO; NH₃; SO₂; CH₄; Cl₂; CO₂; O₂。
10. 某氣體 150 立方厘米,在溫度 18°C., 壓力 752 毫米時,重 1.50 克,試求其分子量。(參看第三十八章中的氣體定律。)

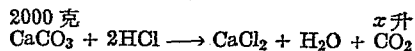
235. 【涉及重量和體積的計算題】 有些計算題,同時涉及反應中所用或所生的固體或液體質素的重量與氣體的體積。若是應用了克分子體積,那末這種計算題就很容易解決。

〔例〕 在標準狀況下,若使二仟克的大理石和鹽酸相作用,可得二氧化碳多少升? 依照只涉及重量的計算題的正規方法演算。

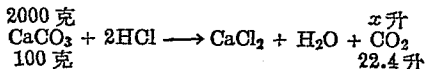
(1) 寫下完全方程式:



(2) 把實在的重量和體積寫在上面:



(3) 把式量和克分子體積寫在下面:



(4) 作分數方程式: $\frac{2000}{100} = \frac{x}{22.4}$

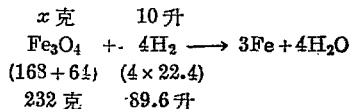
(5) 解:

$$100x = 2000 \times 22.4$$

$$x = \frac{2000 \times 22.4}{100} = 448 \text{ 升 (答數)}$$

〔驗算〕 因為 2000 克是 100 克的 20 倍，所以可預料牠的答數約為 440 升。

236. 【涉及重量和體積的另一計算題】 在標準狀況下，10.0 升的氫可以還原多少克的磁性氧化鐵 (Fe_3O_4)?



$$\frac{x}{232} = \frac{10}{89.6}$$

$$x = \frac{10 \times 232}{89.6} = 25.9 \text{ 克} \text{ [答數]}$$

〔驗算〕 因為 10 升約為 89.6 升的 $\frac{1}{9}$ ，所以可預料牠的答數約為 25 克。

〔註〕 在固體和液體之下，我們仍照常寫式量。但在氣體之下，我們就寫升數，即其分子之數的 22.4 倍。

計 算 題

1. 要發生 10 升的二氧化碳，需用純灰石 (CaCO_3) 多少克?
2. 若用稀硫酸以發生 100 升的氫 (在溫度 0°C . 及壓力 760 毫米下計量)，需用多少重量的鋅?
3. 若用稀鹽酸以發生同樣體積的氫，需用多少重量的鋅?
4. 電解 15 克的水，可得多少體積的氫 (在標準狀況下計量)?
5. 要還原 100 克的氧化銅 (CuO)，需用多少體積的氫 (在標準狀況下計量)?
6. 使鹽酸與 10 克的鋅及 10 克的鎂相作用而發生氫。試問哪一作用中發生的氫體積較多?
7. 在標準狀況下，一個盛鹽酸及過量的鋅的氫發生器中產生 11.2 升的氫。為什麼反應中不看見有別的質素生成？和氫同時產生的別的質素是什麼，重量有多少?
8. 在標準狀況下，燃燒純碳以產生 44.8 立方厘米的二氧化碳，問所需純碳該重多少?
9. 在滅火機中，從 1 仟克的碳酸氫鈉所發生的二氧化碳，其體積有多少 (在標準狀況下計量)? 其方程式為

$$2\text{NaHCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow 2\text{CO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{SO}_4$$
10. 在溫度 15°C . 及壓力 745 毫米下，用鋅從硫酸中置換出 10 升的氫。問該重多少? (參看第三十八章中的氣體定律。)

原子量*

237. 【原子量何以重要】 我們已經看到過 (§ 103) 化學式在化學方程式中有一種量的意義，這在工業操作上有着異常的重要性。各元素的原子量的精密測定，實在是一切定量化學分析的基礎。可是到此刻為止，我們始終沒有用實驗來說明水分子爲什麼用 H_2O 來代表，硫酸分子爲什麼用 H_2SO_4 來代表，而乙炔氣體分子又爲什麼用 C_2H_2 來代表。我們現在首先要討論的是，元素的原子量是怎樣用實驗來測定的，其次要討論的是，怎樣用這種原子量來求得化合物的式。

238. 【由直接比較求原子量】 亞佛加德羅原理的另一重要結果，就是使我們能夠用直接的方法來計算原子的相對重量，即原子量。我們已知 (§ 230) 氧分子的重量約爲氫分子的 16 倍，我們又知 (§ 231) 氧分子和氫分子各有 2 個原子。因此我們可以說氧原子的重量約爲氫原子的 16 倍。因爲氧的原子量已定爲 16 (§ 77)，而且被採作標準，所以氫的原子量是 1.008。

同樣，我們能夠計算得氮的原子量是 14，氯的原子量是 35.5。我們先從 22.4 升的重量以測定分子量，因爲我們已知這種分子各含有 2 個原子，所以再把測得的分子量分取一半，就得到欲求的原子量了。所可惜的是，這個方法只能應用於那些能呈氣態而存在的元素。

239. 【原子量和化合量】 假使我們把氯化氫分析起來，就知道每 35.46 克的氯必化合着 1.008 克的氫。化學家稱 35.46 爲氯的化合量 (combining weight) 或當量 (equivalent weight)。一元素的化合量或當量，就是該元素與 1.008 克的氫相化合或把牠置換所需的重量。在這裏，我們立刻就會覺到，氯的化合量就

本章中的這一節較難領悟，可留在以後來講授。

等於氯的原子量，而這原子量，是我們早已從比較元素狀態的氣體氯和氫的密度而測定了的。實在，氯的化合量必須和牠的原子量相等，因為一分子的氯化氫(HCl)僅僅含有一原子的氯和與氯化合着的一原子的氫。所以用這個方法來測定的原子量，實在比之用比較密度的方法更為精確。

可惜有些元素的化合量並不跟牠們的原子量相等。假使我們分析水(§67)，就可見到1.008分重的氫化合着8分重的氧。因此氧的化合量是8，恰為其原子量的一半。這是因為水是由一原子的氧(16)和兩原子的氫(2.016)所化合而成的。一般說來，元素的原子量或等於化合量，或為其化合量的倍數。就氧來說，這倍數是2。於此我們立即可以明白，這個倍數實在就是該元素的原子價。

讓我們再舉出一種不和氫相化合，而只能把牠置換的元素為例。鈉就是這樣的一種元素。牠的化合量可決定如下。假使我們把金屬鈉放在水裏，就生成了氫氧化鈉。如果在實驗時測定反應前後各質素的重量，我們就可知道23.00克的鈉可以置換1.008克的氫。因此鈉的化合量是23.00。

240. 【怎樣測定化合量】這裏很容易發生一個問題，就是既不能與氫化合，也不能把氫置換的元素，我們將怎樣決定牠的化合量呢？假使我們把黑色氧化銅分析一下，就見31.8克的銅與8.00克的氧相化合，亦即氧的化合量(8.00克)可與31.8克的銅相化合。因此我們可以確定，假使氫和銅能夠化合，那一定是31.8克的銅和1.008克的氫相化合。因此銅的化合量是31.8。

就一般說，若是一元素不能與氫化合，而且也不能把牠置換，那末我們可以從該元素與其他已知化合量的元素相化合的重量而求得牠的化合(或反應)量。

241. 【原子量的精密測定】元素的化合量(反應量)，可

以在實驗室中很精密地測定。我們已經說過(§238)由求得氣體的密度而測定原子量的方法。不過這個方法，做起來總不能十分準確。要求得一元素的精密的原子量，可先小心地測定其化合物(反應量)，然後再以某小整數乘之，這個小整數的選擇，在使其結果適與該元素原子量的近似值相符。化學家有種種理由，覺得使氧的原子量適為 16.00，最為便利，這就使氫的原子量成為 1.008。



圖 148. 李卻茲像

(Theodore William Richards, 1869-1928) 哈佛大學化學教授 曾因其對於原子量的工作而獲得諾貝爾獎金

由此可知，欲求原子量的精密數值，全賴化合物的精密的化學分析。所以從事這種實驗工作，必須非常謹慎，非常精細。對於原子量作系統研究的第一個化學家是柏濟利阿斯。他的方法已經後來的化學家大加改進，到了現在，凡是公認的原子量都是經過苦心實驗而得來的。李卻茲(圖 148)便是這個研究領域中的最先進的近代化學家。

242. 【由實驗而得的原子價】 我們已經由上面得知，元素的原子量或等於或倍於其化合物。乘化合物使其結果成為原子量的這個因數，便是原子價。例如，鋅的化合物是 32.7，而他的原子量是 65.4，因此鋅的原子價是二。又，鉛的化合物是

9.00，牠的原子量是 27.0，因此牠的原子價是三。換句話說，

$$\text{原子量} = \text{化合物} \times \text{原子價}$$

更就另一方面說，已知一元素的化合物而欲求原子量時，我們就

只需知道牠的原子價就行了。

243. 【度隆和佩替定律】 法國化學家度隆 (Dulong) 和 佩替 (Petit) 發現固態元素的原子量乘以比熱 (specific heat)* 總等於 6.4。

$$\text{原子量} \times \text{比熱} = 6.4 \text{ (近似值)}$$

這只是一個很粗略的法則,但是我們若用比熱來除 6.4,卻能得到原子量的近似值。我們假使再用精密的化合量來除這原子量的粗略數值,那末我們就可得到原子價的近似值。不過我們知道原子價總是一個整數,所以我們可以取最近的整數來作為確實的原子價。最後,我們再用這確實的原子價來乘精密的化合量,其得數就是原子量了。

244. 【成爲混合物而存在的元素: 同位素】 我們在以前的各項討論中,全部承認一切元素的原子都是一樣的。但是現在卻不再作這樣的想法了。照目前的學說,多數元素都由幾種不同的原子所組成,不過這不同的只是牠們的相對質量。因此這一類元素的原子量實在是一個平均數。一定元素的不同種類稱爲同位素(isotopes)。這些同位素在所有的化學反應上都相類似,所以在實際上,這元素的行爲和均勻的質素一樣。

同位素存在的證據,最初是由放射性質素(^{238}U)的研究而得來的,其後英國物理學家阿斯頓(圖 149)發明一個方法來比較個別原子的質量,於是就發現了許多普通元素的同位素。例如,原子量爲 35.46 的氯,被發現爲原子量 35 和 37 兩種同位素的混合物。下表所舉的幾個元素的同位素,就是根據阿斯頓的發現而編成的:

* 質素的比熱是使 1 克的質素增高 1°C . 所需的卡(calorie)數。卡是使 1 克的水增高 1°C . 所需的熱量。

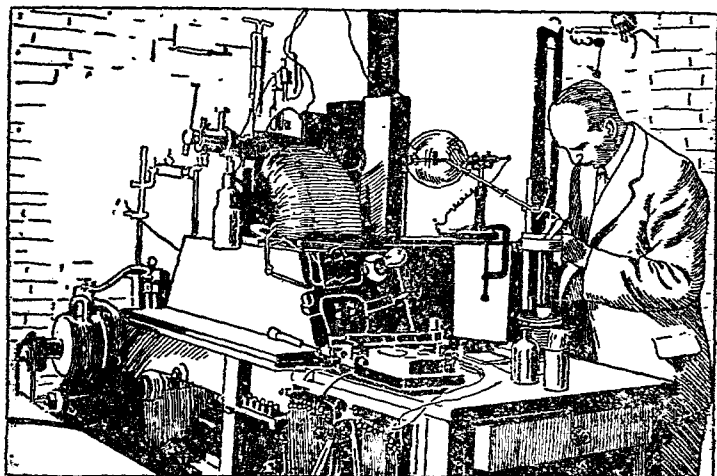


圖 149. 阿斯頓 (Francis William Aston) 在卡文提什實驗室中以質譜儀工作的情狀

元 素	原 子 量	同位素的最少數	同位素的原子量 以強度為次序
氫.....	6.94	2	7, 6
硼.....	10.8	2	11, 10
氖.....	20.2	2	20, 22
氦.....	35.46	2	35, 37
溴.....	79.92	2	79, 81

可注意的是,表中各個同位元素的原子量都是整數。

其實,早在 1815 年,普勞特氏就已倡言一切化學元素僅由氫原子團所組成。在目前,我們設想一切元素的原子都由電子、質子和中子所組成。由於電子的重量非常微小,所以我們在計算時就不妨略去,而單把質子和中子的重量來作為原子量。但質子是氫原子的核,而中子的重量又和質子相等,因此我們又回復到和普勞特的學說有幾分相似的境界了。

245. 【決定化合物的式】 要求原子量的精確數值,需要
有極大的技巧和耐心。在我們大多數人,最重要的是去學習使

用原子量的方法。

原子量的重要用途之一，是在求得化合物的式。現在讓我們來決定水、硫酸、乙炔等的式，以作例解。

水。我們已知水的百分組成如下：氫 11.19%，氧 88.81%。又根據實驗的結果，我們知道水的分子量約近於 18。由此得其解法如下：

百分組成	原子量	原子比
氫.....11.19	÷ 1	= 11.2
氧.....88.81	÷ 16	= 5.55

用原子量來除百分數(重量)，所得商數就代表了每種原子的相對數目。如果我們假定，水分子中只有 1 個氧原子，那末其中必有 2 個氫原子。換句話說，就是把第三欄中最小的一個數目來除該欄內的其餘幾個商數。即 $11.2 \div 5.55 = 2$ 。因而水的最簡式便是 H_2O 。這式的分子量是 $2 + 16$ ，即 18，剛好與實驗所得的數值相符。

硫酸。已知硫酸的百分組成如下：氫 2.04%，硫 32.65% 氧 65.31%。

百分組成	原子量	原子比
氫..... 2.04	÷ 1	= 2.04
硫.....32.65	÷ 32	= 1.02
氧.....56.31	÷ 16	= 4.08

這些商數顯然與各元素分子中的原子數成同一的比。即，其中有 2 個氫原子 ($2.04 \div 1.02$)、1 個硫原子 ($1.02 \div 1.02$) 和 4 個氧原子 ($4.08 \div 1.02$)；因而硫酸的最簡式是 H_2SO_4 。在這個例子中，其分子量極難求得，所以我們只好接受這最簡式。

乙炔。假定已知乙炔的克分子量是 26.02 克*，又知其中含有 92.31% 的碳，其餘的都是氫。欲求乙炔的式，其解法可排列如下：

* 乙炔的密度是每升 1.162 克，所以 22.4 升重 26.02 克。

	百分組成	原子量	原子比
碳.....	92.3	÷ 12	= 7.7
氫.....	7.7	÷ 1	= 7.7

由此推得的最簡式應為 CH。不過這樣一來，那末 CH 的分子量就該是 13。因此，爲了要得到準確的實驗值 26.02 克起見，就必須把式中的原子數再倍上一倍。因而乙炔的式是 C_2H_2 。

問題和計算題

1. 鋅的化合量是 32.69，比熱是 0.094。試計算其近似的原子量及其原子價。
2. 某氣體含氮 30.4%；含氧 69.6%。足以表出這組成的最簡式爲何？
3. 分析某化合物，知其中含：氫 0.84%；碳 10.05%；氮 89.11%。代表這組成的最簡式爲何？
4. 某碳化合物，以重量計，含有：碳 52.18%；氫 13.04%；氧 34.78%。牠的最簡式爲何？
5. 某礦石經分析後，知其中含鈾 84.82% 和氧 15.17%。試決定牠的最簡式。
6. 銅礦石的組成如下：銅 79.45%；硫 20.32%。牠的最簡式爲何？
7. 某質素經分析後，知其中含碳 80% 和氫 20%。又知其分子量爲 30。牠的式爲何？
8. 分析某氣體，知其組成如下：碳 73.8%；氫 8.7%；氮 17.5%。牠的分子量是 160.4。試求這化合物的式。
9. 某氣體在標準狀況下一升重 0.72 克。其中含碳 75%；氫 25%。試計算牠的分子量和式。
10. 已知某化合物中含碳 92.3% 和氫 7.7%。在標準狀況下，其蒸氣 1.10 克占據 314 立方厘米。問其式爲何？
11. 氮氣經分析後知其中含氮 82.4%，其餘是氫。試計算氮的化合量。
12. 爲了要決定問題 3 中所舉化合物的分子量，作一實驗，結果知在溫度 $20^{\circ}C$ 。和氣壓 740 毫米之下，該質素 0.250 克所生的蒸氣，在水上捕集時，計有 53.0 立方厘米。試計算該質素的克分子量，並用以訂正問題 3 的答案。
13. 由實驗得知某化合物的蒸氣 500 立方厘米重 2.23 克。該化合物含有碳 72%，氫 12%，氧 16%。試決定牠的式。
14. 問題 4 中所舉的化合物，若加熱到 $150^{\circ}C$ ，計生氣體 185 立方厘米，重 0.247 克。問 (a) 其克分子量爲何？(b) 其式爲何？

第十八章摘要

【一切氣體的統一行爲】 如果溫度不變，則一定質量的氣體的體積，與壓力成反比例（波義耳定律）。

如果壓力不變，則一定質量的氣體的體積，與絕對溫度成正比例(查理定律)。絕對溫度 = 攝氏溫度 + 273°。

化學變化中作用的氣體與生成的氣體的體積，往往可以用簡單的整數比來代表(該呂薩克定律)。

【亞佛加德羅原理】 在同溫度、同壓力的狀況之下，等體積的一切氣體，都含有同數的分子。

由此原理可推知氫、氧、氮、氯等的分子，各含有兩個原子。

【反應氣體的相對體積】 反應氣體的相對體積，可用方程式中氣體分子的係數來代表。

【分子量】 一質素的分子量為表示其分子重量之數，此數是以氧分子作為 32 而比較得來的。分子量等於各原子重量之和。

【克分子量或克式量】 任何氣體的克分子量或克式量，在標準狀況下都占據着 22.4 升的體積。

克分子量 = 在標準狀況下氣體 22.4 升重量的克數。
= 氣體密度 × 22.4。

【原子量】 一元素的原子量是表示牠的原子的相對重量的數目。氧的原子量(16)被用作原子量的標準。

【化合量或當量】 一元素的化合量或當量是該元素與 1 克(更準確些說是 1.008 克)的氫相化合或把牠置換所需重量的克數。

【原子量與化合量】 原子量或等於化合量，或為化合量的倍數。

原子量 = 化合量 × 原子價。

【度隆和佩替定律】 原子量 × 比熱 = 6.4 (近似值)。

【同位素】 同位素為同一元素的異形，牠們的原子量雖有不同，但化學行為則彼此相同。

【從百分組成求式】用元素的原子量來除牠的百分組成，所得的商，即為各種原子的相對數目。再用分子量來求得應取的最簡式的倍數。

問 題

1. 解釋 (a) 分子量和 (b) 原子量兩名詞的意義。
2. 原子的重量為什麼不用克數來表示？
3. 氯的原子量是 35.5, 氯的分子量是 71, 試正確地說明此兩句所示的意義。
4. 原子量和化合量有什麼分別？
5. 在何種狀況中, 原子量等於分子量？
6. 原子量和分子量有什麼分別？
7. 在何種狀況中, 原子量等於化合量？
8. 有時候化合量係指當量, 試解釋‘當’字在這裏的意義？
9. 為什麼採用氧原子來做原子量的標準, 而不採用氫原子？
10. 為什麼精密的原子量表須時時校正？

* * *

11. 化學家要找尋構成像氯等元素的同位素, 為什麼非常困難？
12. 課文中說‘原子量 = 化合量 × 原子價’。試以鋁為例, 解釋此式成立的理由。
13. 化學家測定元素的化合量, 為什麼能比測定氣體的分子量更為精密？
14. 說明亞佛加德羅的原理何以可用來作為決定 (a) 分子量和 (b) 原子量的基礎。
15. 根據實驗事實, 8 克的氧和 1.008 克的氫相化合; 23 克的鈉置換了 1.008 克的氫; 20 克的鈣也置換了 1.008 克的氫。問 (a) 這些數目代表了各元素的什麼數量? (b) 這些數目對各元素的原子量有什麼關係?

進 修 研 究 題

【原子量的精密測定】近代測定原子量的方法, 包含着許多實驗的要點; 然牠的基本的化學事實, 卻很簡單。請參考摩黎 (Morley) 關於氫與氧之研究 (Smitsonian Contributions, No. 980) 及李卻茲 關於氧與銀之研究 (Carnegie Publication, No. 69.)

第一章至第十八章總複習題

1. 在該呂薩克定律中, 關於溫度和壓力有怎樣的假定？
2. 定義及舉例說明下列各名詞: (a) 觸媒; (b) 擴散; (c) 同位素; (d) 電解; (e) 原子核。

3. 硫化氫的毒性較一氧化碳為弱，試解釋之。
 4. 怎樣證明各種碳的同素異形體都確實是碳？
 5. 試述大氣中氮分子和氧分子的近似的相對數目。
 6. 用分解方法，怎樣能求得水中氫氧兩元素的相對體積？
 7. 說明(a)氫離子、氫原子、氫分子；(b)氫離子、氫原子、氫分子間的分別。
 8. 寫出下列各物的式：(a)氯化鎂；(b)次氯酸鈣；(c)硫酸氫鈉；(d)氯酸銀；(e)碳酸氫鈉。
 9. 用式寫出下列各反應的完全方程式：(a) (熱)鋅與水(蒸汽)；(b)氧化鋅與硫酸；(c)鎂與鹽酸；(d)氫氧化鈉與硫酸；(e)氯化銀與硫酸鈉。
 10. 怎樣用‘硫’製成一種酸？怎樣用‘鈉’製成一種鹼？這酸和這鹼混合後發生怎樣的變化？把以上的各反應都寫成方程式。
- * * *
11. 略述科學方法的步驟。
 12. 試以‘平衡’的水族箱闡明自然界二氧化碳和氧的循環。
 13. (a) 說明酸、鹼、鹽的定義。(b) 寫出三個方程式分別闡明酸、鹼、鹽的一種製法。
 14. 一切元素都能使之呈三種物態麼？又一切化合物呢？試解釋之。
 15. 根據何種事實與學說，使我們相信氮分子含有兩個原子？
 16. 說明使我們相信氧分子含有兩個原子的事實與學說。
 17. 假使無定形硫和斜方硫以粉末狀態而混合在一起，將如何分離之？
 18. 不穩定酸和弱酸的區別如何？碳酸為不穩定酸，同時也是弱酸。試解釋之。
 19. 普利斯特利於 1774 年發現氧。他怎樣完成這發現？他明白他的工作的意義嗎？
 20. 就物質的電子說看來，金屬與非金屬的區別為何？
 21. 動物在二氧化碳和一氧化碳氣體中都會死亡。這致死的原因是否相同？試解釋之。
 22. 寫出由 (a) 硫；(b) 硫酸；(c) 黃鐵礦；(d) 亞硫酸鹽生成二氧化硫的方程式。
 23. 二氧化碳通過鹼溶液生成何物？試作此方程式。
 24. 用何種化學的檢驗法以區別 (a) 硫化鈉；(b) 亞硫酸鈉；和 (c) 硫酸鈉？
 25. 寫出硫酸作用於碳酸氫鈉的方程式。根據此項方程式，試推定滅火器中為什麼用酸式碳酸鹽而不用碳酸鹽。
 26. 作方程式以表示熱濃硫酸與 (a) 銅；(b) 銀；(c) 碳所起的反應。
 27. 把本書中述及屬於下列各劑的質素，一一列表舉出：(a) 漂白劑；(b) 氧化劑；(c) 還原劑。
 28. 用原子構造學說，解釋：(a) 鈉和氟化合時發生怎樣的變化；(b) 氫、氦、氫等的分子為什麼只含一個原子。
 29. (a) 波義耳定律的發現早在 1660 年；(b) 物質不滅定律的發現約在 1786 年；(c) 能量不滅定律的發現，竟遲至 1842 年。試解釋此種發現時間的意義。

30. 把 SO_3 , NaHSO_4 , HBr , PbO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, P_2O_5 , H_3PO_4 , NH_4OH , MnO_2 , CO_2 等化合物, 依下列項目而分類: (a) 酸類; (b) 鹼類; (c) 中性鹽類; (d) 酸式鹽類; (e) 酸酐類; (f) 氧化物類。

* * * *

31. 在空氣中燃燒二硫化碳, 生成一升的二氧化碳。問生成二氧化硫若干升?
32. 假使兩升的硫化氫在多量的空氣中燃燒, 能生成二氧化碳多少升? 這裏應用的是哪一條定律?
33. 要製造 134.4 升的氧(標準狀況), 需氯酸鉀若干克?
34. 還原 160 克的氧化銅 CuO 為金屬銅, 需乾燥的氫多少體積(標準狀況)?
35. 把下列各氣體的式依密度遞減的次序而排列之: (a) NH_3 ; (b) CO ; (c) CH_4 ; (d) He ; (e) NO 。
36. 一升的氫在標準狀況下重 1.78 克。牠的原子量是 39.9。問一個氫分子含有幾個原子?
37. 設 22.4 升的空氣重 29 克。試就硫化氫的式算出牠的分子量, 以與空氣的密度相比較。
38. 某氣態化合物半升重 1.13 克。由分析知其中含碳 23.8%, 含氫 5.9%, 含氯 70.3%。試計算其分子量及分子式。
39. 由實驗得知某氣體 250 立方厘米重 0.49 克(標準狀況)。此氣體含碳 27.3%, 含氧 72.7%。試決定其確實的式。
40. 用接觸法製造含 H_2SO_4 96% 的濃硫酸(比重 1.84)一升, 需硫若干克?

較重要的元素表

附符號, 原子量的數, 及原子價

元素	符號	原子量 約數	價	元素	符號	原子量 約數	價
鋁	Al	27	III	錳	Mn	55	II IV
鋇	Ba	137	II	汞	Hg	200	I II
溴	Br	80	I	鎳	Ni	58.7	II
鈣	Ca	40	II	氮	N	14	III V
碳	C	12	IV	氧	O	16	II
氯	Cl	35.5	I	磷	P	31	II V
鉻	Cr	52	II III VI	鉑	Pt	195	IV
銅	Cu	63.6	I II	鉀	K	39	I
氟	F	19	I	鐳	Ra	226	II
金	Au	197	I III	矽	Si	28	IV
氦	He	4	—	銀	Ag	108	I
氫	H	1	I	鈉	Na	23	I
碘	I	127	I	硫	S	32	II IV VI
鐵	Fe	56	II III	錫	Su	119	II IV
鉛	Pb	207	II IV	鎢	W	184	VI
鎂	Mg	24	II	鋅	Zn	65	II

米突制和英制中的常用單位

<p>10 毫米 (mm.) = 1 厘米 (cm.)</p> <p>100 厘米 = 1 米突 (m.)</p> <p>1000 立方厘米 (cc.) = 1 升 (l.)</p> <p>10 毫克 (mg.) = 1 厘克 (cg.)</p> <p>100 厘克 = 1 克 (g.)</p> <p>1000 克 = 1 仟克 (kg.)</p>	<p>1 cc. 水在 4° C 時重 1 克</p> <p>2.54 厘米 = 1 英寸 (inch)</p> <p>1 米突 = 39.37 英寸</p> <p>1 升 = 1.06 夸 (quart)</p> <p>1 克 = 15.4 格林 (grain)</p> <p>28.35 克 = 1 盎司 (ounce)</p> <p>1 仟克 = 2.20 磅 (pound)</p> <p>1 品脫 (pint) 水約重 1 磅</p>
---	--

最新實用化學 (上册)

三十六年九月改訂初版 卅六年十二月改訂再版

每册定價國幣二元八角

原著者	勃拉克·康南脫
翻譯者	顧均正
發行者	開明書店 代表人范洗人
印刷者	開明書店

有著作權*不准翻印

(129 P.) W

均

