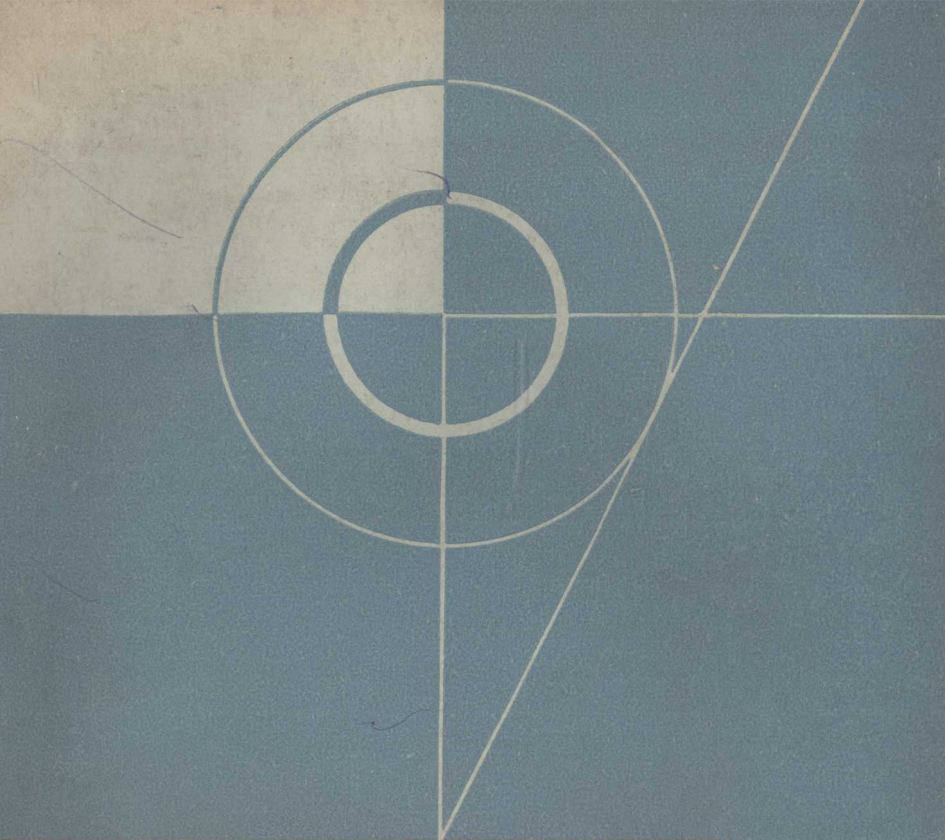




数理化自学丛书

化 学

第 二 册

数理化自学丛书

化 学

第 二 册

数理化自学丛书編委会

化学編写小組編

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书是数理化自学丛书中的第二册,內容介紹化学中有关物质結構、元素周期律和周期表、电离学說等的基本理論知識,并討論了卤族、氧族、氮族、碳族等主要元素的性质、制法、用途等。书末提出了几个简单的实验。

凡学习过初中化学或本丛书化学第一册的讀者,均可用以自学。

数理化自学丛书

化 学(第二册)

数理化自学丛书編委会

化学編写小組編

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路 450 号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

上海洪兴印刷厂印刷

新华书店上海发行所发行

开本 850×1156 1/32 印張 7 26/32 插頁 1 排版字數 193,000

1965 年 4 月第 1 版 1965 年 4 月第 1 次印刷

印數 1—37,000

統一書号 T 13119·648 定价(科二) 0.70 元

前 言

在化学第一册里，我們已学习了化学中最重要的一些基本概念、基本定律、原子-分子論和学习化学所必需的“化学用語”——元素符号、分子式、化学方程式，以及氧、氫、碳三种重要元素的化学知識。

本册里将要繼續学习更多的重要元素(包括它們的化合物)的化学知識和进一步研究化学中的一些重要理論知識——原子結構、元素周期律、电离学說等。

为了使元素化学的学习更有系統，在学习方法上，我們將不是把元素一种一种地单独拿来研究，而是根据元素的性质，把它們分成若干个“元素族”，按族进行学习。这是由于某些元素彼此不仅具有一定的相似性，而且它們性质的差异一般也很有規律，自然地形成了“族”的緣故。并且，由于同样的原因，我們也有可能在这一族里，只要选择一、二个有代表性的，或在生产上有广泛应用的元素进行深入研究，通过分析类比，就可对其他元素有一定的認識和了解。这样，既节省了時間，又能获得巩固的系統的元素化学知識。本册里将学习卤族、氧族、氮族和碳族等四族元素，其中重点学习氯、硫、氮、磷、硅等几种元素。

化学中的理論知識，例如在第一册里已經学过的原子-分子論，它能把在那里所讲到的許多化学現象概括起来成为系統的科学知識，使我們的学习更清楚，更深入。但我們将会发现，这个理論不能圓滿地解釋今后学习中所遇到的另一些化学現象，这就需要我們討論更多一些理論知識。

現在已經知道，原子是具有复杂的內部結構的，原子結構理論，就是真實地反映物質結構的現代理論，它能說明許多用原子-分子論不能解釋的現象，本冊里將扼要地介紹這個理論。

元素周期律是本冊里要學習的另一個重要理論。它正確地自然地解決了元素分類問題，明確指出了不同元素的性質間存在着規律性的聯繫。它和原子結構理論有着密切的關係，因此我們把這兩個理論合為一章，交錯地來討論。

電離學說也是化學上的重要理論之一，它是以原子結構理論為基礎的，它能說明有關溶液的許多化學的和物理的現象。

原子結構、元素周期律、電離學說是現階段學習化學的最重要的理論，學會這些是今後進一步學好化學的必不可少的條件。

我們知道，理論是在一定事實材料的基礎上總結概括得出的。學習了一定的關於物質（元素）的具體知識，有利於理論知識的學習；而學習了一定的理論以後，又可以用來指導學習關於物質（元素）的具體知識。本冊內容，就是根據這樣的方針來安排的。

我們將首先學習鹵族元素（第一章）和氧族元素（第二章），通過這兩族元素的學習，可以獲得豐富的感性知識，為第三章和第四章討論“原子結構和周期律”、“電離學說”提供足夠的事實材料。在學習了這些理論以後，接着介紹氮族元素（第五章）和碳族元素（第六章），這時就着重以這些理論為指導，闡明物質變化的規律。這樣不僅能夠使我們對現象的認識逐步提高，而且還能夠幫助我們對理論的了解更加深入。

本冊內容是在第一冊的基礎上作了相應的提高。雖然在編寫過程中，我們力求文字通俗，深入淺出，但自學時仍會遇到一定的困難。只要讀者堅持不懈，反復鉅研，一定能夠學好。

本書末也附有幾個比較簡單易做的化學實驗，希望讀者能夠創造條件，動手試試。

編者

目 录

前 言

第一章 卤族元素.....1

§ 1.1 氯气的性质.....3

§ 1.2 氯在自然界的存在, 氯气的用途10

§ 1.3 氯气的制法12

§ 1.4 氯跟氢的化合物: 氯化氢, 盐酸.....15

§ 1.5 盐酸盐20

§ 1.6 盐酸的工业制法23

§ 1.7 氯的含氧化合物26

§ 1.8 氟28

§ 1.9 溴32

§ 1.10 碘.....35

§ 1.11 卤族元素.....38

本章提要41

复习题一42

第二章 硫, 氧族元素.....44

§ 2.1 硫44

§ 2.2 硫跟氢的化合物: 硫化氢, 氢硫酸.....49

§ 2.3 硫的氧化物54

§ 2.4 硫酸和硫酸盐62

§ 2.5 硫酸的工业制法70

§ 2.6 氧族元素74

本章提要77

复习题二78

第三章 原子结构和元素

周期律80

§ 3.1 原子的结构80

§ 3.2 原子核的结构, 同位素.....84

§ 3.3 原子核外电子的排布88

§ 3.4 化学键, 分子的形成.....91

§ 3.5 用原子结构理论解释元素的化合价99

§ 3.6 元素周期律.....101

§ 3.7 元素周期表.....105

§ 3.8 元素周期表里元素性质的递变.....109

§ 3.9 元素周期律的重要意义...114

本章提要.....115

复习题三.....116

第四章 电离学说.....119

§ 4.1 电解质和电解质的电离...119

§ 4.2 电离学说.....123

§ 4.3 离子的性质.....125

§ 4.4 碱类、酸类和盐类的电离.....127

§ 4.5 电离度, 强电解质和弱电解质.....133

§ 4.6 离子反应和离子方程式...138

§ 4.7 盐类的水解.....144

§ 4.8 电解.....151

本章提要.....156

复习题四.....158

第五章 氮和磷, 氮族元素.....161

§ 5.1 氮气.....162

§ 5.2 氨.....164

§ 5.3 铵盐.....169

§ 5.4 化学平衡.....171

§ 5.5 氨的工业制法.....177

§ 5.6 硝酸和硝酸盐.....181

§ 5.7 硝酸的工业制法.....	187	§ 6.6 胶体溶液.....	219
§ 5.8 氮肥.....	190	本章提要.....	223
§ 5.9 磷.....	193	复习题六.....	225
§ 5.10 磷酸和磷酸盐, 磷肥.....	195	总复习题.....	227
§ 5.11 氮族元素	199	附录 几个简单易做的	
本章提要.....	201	化学实验.....	231
复习题五.....	204	实验一 氯气的制法和性质.....	231
第六章 硅和硅的化合物.....	206	实验二 氯化氢和盐酸的制取	
§ 6.1 硅.....	207	和性质.....	233
§ 6.2 二氧化硅.....	209	实验三 硫和硫的化合物.....	235
§ 6.3 硅酸和硅酸盐.....	211	实验四 溶液的导电性.....	237
§ 6.4 硅酸盐工业.....	212	实验五 氮肥和磷肥.....	239
§ 6.5 土壤.....	216	习题答案.....	242

第一章 卤族元素

在第一册第五章里,我們研究了物质分类的方法,各类物质的通性和一般制法。利用这些知識,不仅能够正确命名各类物质和书写它們的分子式,而且可以根据物质的分子組成,認識它是属于哪一类的物质,它应该有些什么样的性质,有哪些可能的制备方法等。

但是,同一类的物质,虽然在性质上,从而在制备方法上有着一定的共同的地方,然而对各个具体物质來說,它們除了具有所属那类物质的一般性质和制法以外,必然还有它自己特有的性质和制法。因此,我們学习了前面这一章的内容,只能說,对今后研究各种元素会有一定的指导作用;但不能认为掌握了各类物质的通性和一般制法之后,就可以不必去深入研究各种具体的元素了。

研究元素,或者具体地說,研究元素(包括由它們組成的单质和化合物)的性质、在自然界的存在、制法和用途以及这几个方面的关系,在化学里叫做**元素化学**。我們知道,化学是一門研究物质和物质变化的科学,因此,元素化学是化学里的重要组成部分之一。

在第一册第二、第三两章里,我們已經学习了氧、氫、碳三种元素。但在那里,只是一种一种单独地来研究的,还不能說是系統的研究元素化学。

从本章开始,我們將有系統地来学习元素化学。

我們知道,現在已經发现的元素有 103 种。在这 103 种元素

中，大概只有三、四十种是比較常見的，自然界絕大部分的物质都是由这三、四十种常見元素組成的。在本丛书里，主要研究其中十七种最常見的、和工农业生产最有关系的元素^①。

不同的元素(包括由它們組成的单质和化合物)，从它們的外表性状看来，好象是很不相同的。但仔細地研究了它們的結構和性质以后，現在已經知道，在这 108 种元素之間都存在着或多或少的联系。有許多元素不仅性质十分相似，而且它們性质的递变极有規律，于是可以把它們归成一“族”。因此，在化学上，系統研究元素化学，不是把各种元素单独地拿来研究，而是根据它們的性质和結構，分成若干个“元素族”(例如卤族元素、氧族元素、氮族元素等)来研究的。同一族的元素有些什么相似的地方？它們性质递变的規律怎样？各族之間存在着什么样的联系？不同族的元素的性质又是怎样演变的？有些什么規律？通过对这些問題的对比分析，我們就能掌握元素化学的系統知識。并且在丰富的事实材料的基础上，概括出物质变化的規律，以及物质变化和物质內部結構之間的相互关系。

这一章我們將研究**卤族元素**。

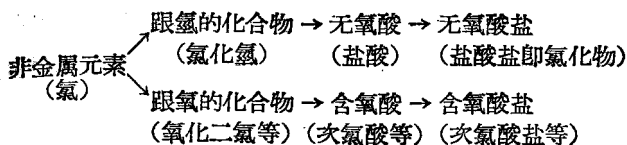
卤族元素包括**氟、氯、溴、碘**四种非金属元素。这四种元素的化学性质十分相似，它們都很容易跟金属直接化合生成盐，因此称做“卤族元素”。“卤”字的原意是“造盐”的意思，“卤族元素”就是“能生成盐的元素”。

在这四种元素中，氯不仅在工农业生产上有着广泛的应用，而且它的性质也是比較有代表性的。因此，在本章里，我們將重点討論氯的单质(称做氯气)和氯的化合物。

在研究氯的化合物时，主要按照第一册第五章无机物分类的体系，即按照：(1)跟氢的化合物，(2)跟氧的化合物两个系統来学

① 这十七种元素是：氧、氢、碳、氮、氟、溴、碘、硫、氯、磷、硅、鉀、鈉、鈣、鎂、鋁、鉄。

习,具体說来,就是:



在系統研究卤族元素(以及以后将研究到的其他各族元素)的化学反应时,也要經常根据第一册第五章里已經概括出来的物质变化的一般規律,并結合具体物质的变化和变化的条件来进行研究。那就是根据物质分类的知識,先从理論上推断出某些变化发生的可能性,然后再結合实验事实,进一步了解这些变化发生的条件和伴随着变化发生的現象,以及具体的实验装置和操作手續等。

§1.1 氯气的性质

氯的元素符号是 Cl, 原子量是 35.5. 氯气的分子式是 Cl_2 , 分子量是 71.

氯气是一种有毒的气体. 在第一次世界大战快要結束的时候, 德帝国主义为了作垂死的掙扎, 曾把氯气用作軍事毒气, 在战场上施放, 这当然不能挽救他最后的失敗. 一般大家都知道氯气是一种很厉害的毒气, 但它究竟有些什么样的性质呢? 下面我們先来研究氯气的性质.

氯气的物理性质 氯气在普通状况下是一种黄綠色的气体. 如果在一瓶貯盛氯气的玻璃瓶的后面, 放一張白紙, 这种黄綠的顏色就特別明显. “氯”就是因它的顏色而得名的, 它的希腊原文就是“綠色”的意思.

氯气具有剧烈刺激性的气味. 我們平常用的漂白粉能放出微量的氯气, 打开貯放漂白粉的瓶盖, 可以聞到这种刺激性的气味. 氯气有毒, 它能刺激我們的鼻粘膜和喉头粘膜. 吸入少量的氯气,

就会引起咳嗽和胸部疼痛;吸入多量时,会窒息死亡^①。在实验室里如果要闻氯气的气味,千万不能把鼻子凑到瓶口直接去闻,而要用手轻轻地、在瓶口煽动,使仅有极微量的氯气飘近鼻孔(见第一册附录图附 31)。

氯气的分子量是 71, 根据气体克分子体积的定义(第一册 § 3.11) 可以算出, 在标准状况下, 1 升氯气的重量应该是 $\frac{71}{22.4} = 3.17$ 克, 这 and 实际测得的结果正相符合。我们已知 1 升空气在标准状况下的重量是 1.29 克, 因此, 氯气比空气重, 它是同体积空气重量的 $\frac{3.17}{1.29} = 2.5$ 倍。因此, 如果要把氯气暂时保存在容器里, 应该把容器直放, 并用厚纸板或玻璃片盖住容器的口, 和第一册第三章里讲过保存二氧化碳气体的方法一样。

氯气在加压或冷却的情况下容易变成液体。在常温下只要加 6 个大气压的压强, 或者在常压下冷却到 -34°C 时, 氯气就会液化变成一种黄色油状的液体。把氯气液化可使体积大大减小, 便于贮存和运输。平常我们常把液氯贮存在圆柱形钢筒(和贮存压缩氧气的钢筒相同, 见第一册图 2.9) 里。把液氯继续冷却至 -101°C , 就凝成黄色固体。

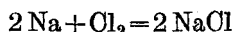
氯气在水里的溶解度, 不仅比难溶的氢气、氧气要大得多, 而且比溶解度不算太小的二氧化碳也还要大一些。在常温下, 1 体积的水大约能够溶解 2.5 体积的氯气。氯气的水溶液叫做氯水, 有强烈的氯气的气味。

氯气的化学性质 氯气的化学性质很活动, 它能够跟氢气、所有的金属以及大部分的非金属直接化合, 它还能够跟水、许多有机

① 氯气对人体的作用主要在呼吸器官方面。少量的氯气能引起呼吸器官的发炎、咳嗽并感觉到呼吸困难。氯气和呼吸器官的粘膜相接触, 就和粘膜上的水分反应: $2\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{HCl} + \text{O}_2$, 产生的氧能氧化并破坏粘膜的组织; 产生的盐酸也能刺激粘膜, 引起垂涎、流泪等病症。在严重中毒时, 将因引起肺肿以至因窒息而死亡。所以氯气是一种窒息性毒气。

化合物发生反应。下面是一些实际例子，可以说明氯气的这种活动性质。

1. 氯气跟金属的化合反应 氯气能够跟所有的金属化合，许多金属能够在氯气里燃烧。例如把燃着的小块金属钠放进盛有氯气的集气瓶里，金属钠能继续燃烧，生成氯化钠，反应的化学方程式是：



金属钠是一种柔软的银白色金属，可以用小刀切割。因为金属钠在空气里非常容易被氧化，跟水又能起剧烈反应，因此，平时都保存在煤油里。做这个实验的时候，先用镊子从煤油里夹出一小块金属钠，用滤纸吸干它表面的煤油，然后放在小块石棉布上，加热至钠开始燃烧，迅速连同石棉布一起放在燃烧匙里（这里所以要用石棉布，是为了防止燃烧匙本身也燃烧起来。因为燃烧匙一般是用铜制成的，在高温时，铜在氯气里也会燃烧），插进盛氯气的集气瓶里。金属钠在瓶里继续燃烧，发生明亮的黄色火焰，并有浓厚的白烟产生，这就是氯化钠（NaCl）的微粒。钠燃烧完毕后，可以看到集气瓶的内壁和石棉布上都附着有白色氯化钠的薄层（图 1.1）。

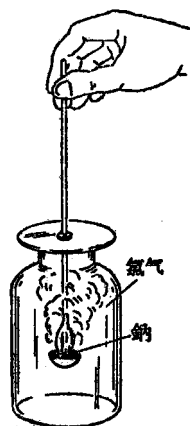
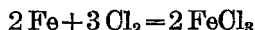
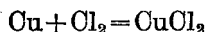


图 1.1 钠在氯气里燃烧

除金属钠以外，铜、铁等金属也都能在氯气里燃烧，生成氯化铜、氯化铁等。它们反应的化学方程式是：



找一段废旧的电线，剥去电线的外皮，取出里面的细软铜丝。把一束这种细软铜丝，先在酒精灯上灼热到发红的程度，趁热迅速插入贮有氯气的集气瓶里，铜丝就会在瓶里燃烧起来，产生一股浓厚的棕黄色的烟，这就是氯化铜的微粒。铜丝燃烧完毕后，在集气瓶里注入少量的水。用玻璃片盖住瓶口，加以搖动，结果瓶中生成绿色的氯化铜溶液（图 1.2）。

在做铁在氯气中燃烧的实验时，应先在盛氯气的集气瓶底铺一层细砂，这样可以防止燃着的铁屑落入瓶底时把集气瓶爆裂。先把少量的铁丝绒放

在薄铁片上加热,当铁丝绒开始红热时,用手指轻弹铁片,使撒入贮有氯气的集气瓶中,铁立刻就在氯气中燃烧起来,发出明亮的火花,同时生成褐色的氯化铁(图1·3).

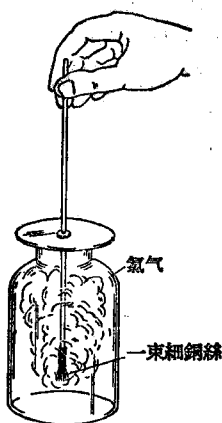


图1·2 一束細銅絲在氯气里燃燒



图1·3 鐵絲絨在氯气里燃燒

2. 氯气跟氢气的化合反应 氯气跟氢气在常温时化合非常缓慢,但在太阳光直接照射下,或点燃氯气和氢气的混和气体时,立即发生猛烈的爆炸,化合生成氯化氢气体. 氯气跟氢气化合反应的化学方程式是:



先把氯气和氢气分别盛在两个集气瓶里,用玻璃片把瓶口盖好. 把这两个集气瓶瓶口相对迭合在一起(图1·4(a)),然后抽去两瓶间的玻璃片,把两集气瓶上下颠倒反复多次,使两瓶气体充分混和(图1·4(b)). 然后把两瓶分开,各用玻璃片盖好,并在瓶外用抹布裹住. 然后取去玻璃片,把集气瓶口朝着酒精灯火焰(图1·4(c)),瓶里的混和气体就会发生没有危险的爆炸. 爆炸后立即向集气瓶里注入5~10毫升的水,用玻璃片把瓶口盖好,并加摇动. 再在瓶里滴入紫色石蕊试液四五滴,紫色石蕊立即变成红色(氯化氢的水溶液就是盐酸). 做这个实验时,在点燃混和气体以前,一切操作都只能在微弱的光线下进行,千万不要让强光直接照射. 否则在混和这两种气体时,可能发生爆炸的危险.

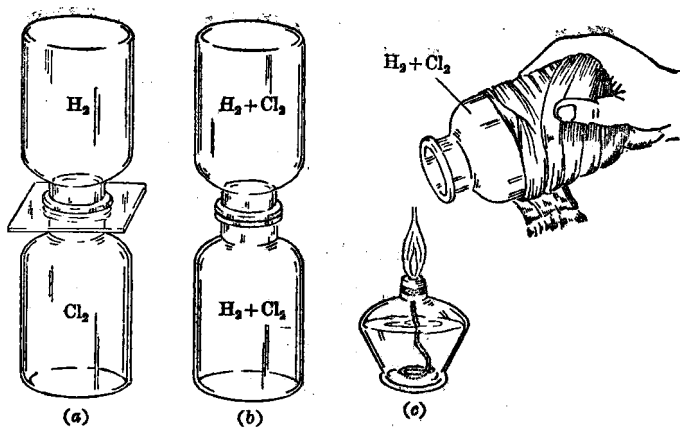


图 1-4 点燃氯气和氢气的混和气体发生爆炸

如果让氢气在氯气里燃烧，结果也同样能够相互化合生成氯化氢气体(图 1-5)。在做这个实验时，必须注意点燃氢气以前，一定要经过检纯的手续(第一册 § 2-12)。

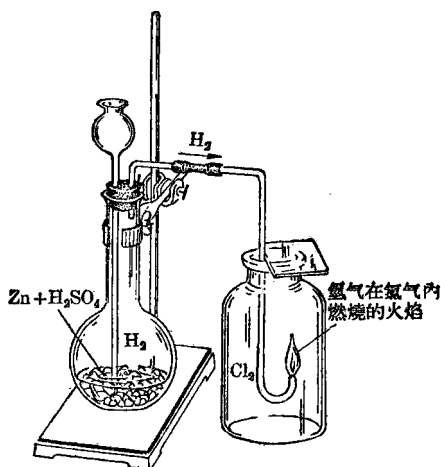


图 1-5 氢气在氯气里燃烧

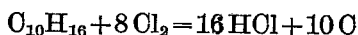
氯气不仅能够跟氢气直接化合，还能夺取某些含氢化合物里的氢，与之化合生成氯化氢气体。如果用一条蘸有松节油(松节油

的主要成分是 $C_{10}H_{16}$ 的滤纸，放进貯有氯气的集气瓶里，氯气



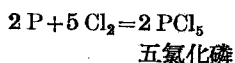
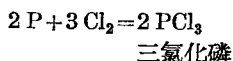
图 1-6 氯气跟松节油反应

能夺取松节油分子里的氢生成氯化氢气体，同时把松节油分子里的碳游离出来。这时我们就会看到滤纸条上面很快就蒙上一层黑烟（碳），同时瓶里充满了白雾，这白雾就是反应后生成的氯化氢溶解在空气里的水蒸气所成的盐酸珠滴^①（图 1-6）。氯气跟松节油的化学反应，可用下面的化学方程式表示：

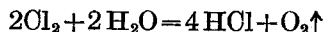


3. 氯气跟非金属的化合反应 除了碳、氧、氮等少数几种非金属以外，氯气能跟大部分的非金属直接化合。例如磷能够在氯气里燃烧。

把少量红磷放在燃烧匙里，先用酒精灯的火焰加热到开始燃烧，迅速插入貯有氯气的集气瓶里，磷在氯气里继续燃烧，发出很淡的火焰。反应结果生成三氯化磷和五氯化磷：



4. 氯气跟水的反应 氯气溶解于水，生成氯水。在氯水里，有一部分氯分子缓慢地跟水分子反应，生成盐酸并放出氧气。氯气跟水的反应可简单地用下面的化学方程式表示：



在日光照射下，这个反应进行较快。因此，氯水里除含有溶解的氯气外，还常含有盐酸。新制的氯水里含有盐酸的量很少，放置时间越长，所含盐酸也越多。

在圆底烧瓶里装满氯水，将烧瓶倒放在装有水的烧杯中，放在窗口有阳

^① 如果氯气是干燥的，又几乎不混有空气，所用的松节油又是纯净的，这时滤纸还会燃烧起来。

光的地方，经过几天以后，可以在烧瓶底部收集到一定量的氧气(图1·7)。这氧气可以拿带有余烬的火柴梗来试验。

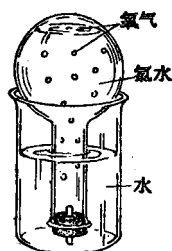


图1·7 氯水受光的作用分解放出氧气

习 题 1.1

1. 氯气有哪些重要的物理性质?
2. 新制的氯水和长久搁置的氯水在成分上有什么不同?
3. 液态氯和氯水有什么区别?
4. 为什么在混和氯气和氢气时不能让强光直接照射?
5. 把锑粉撒入盛有干燥氯气的瓶里，锑粉会立刻燃烧起来，结果生成白色的三氯化锑(SbCl_3)和五氯化锑(SbCl_5)的混和物。写出这个反应的化学方程式。

6. 写出氯气跟(1)钾，(2)锌，(3)铝，(4)硅化合时的化学方程式。

[提示：硅(Si)在化合物里的化合价是4价。]

7. 蜡烛的主要成分是碳和氢的化合物，当燃着的蜡烛插进氯气瓶里时，会有什么现象发生？试解释之。

[提示：参看松节油在氯气里燃烧的现象。]

8. 10 公斤液态氯如果完全蒸发变为氯气，在标准状况下，将占有体积多少升？

9. 铁跟盐酸反应产生氯化亚铁(FeCl_2)，铁在氯气里燃烧产生氯化铁(FeCl_3)。在这两种铁的氯化物里，氯的百分率各是多少？

10. 不用计算，直接回答：1 克分子氯气将跟多少克分子氢气完全化合？化合后产生多少克分子的氯化氢气体？1 升氯气将跟多少升氢气直接化合？化合后产生的氯化氢气体又是多少升(假定各气体处在相同的条件下)？

§1.2 氯在自然界的存在, 氯气的用途

氯在自然界的存在 前面已经讲过, 氯是一种性质非常活动的元素, 容易跟其他元素化合, 特别容易跟金属元素化合。因此, 在自然界里没有单质的氯存在。但氯的化合物却广泛地分布在自然界里, 分布最广的是氯化钠(就是食盐)。大部分食盐存在于海水中, 约含 3% 左右。除海盐外, 还有“井盐”和“池盐”。此外, 食盐还以固体状态存在于自然界, 构成庞大的岩层, 叫做“岩盐”。

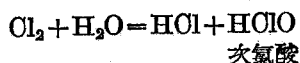
海水中除含有氯化钠外, 还含有少量其他盐类如氯化镁(MgCl_2)等。海水带有苦味, 就是因为它里面含有氯化镁等盐的缘故。

除氯化钠外, 氯化钾(KCl)在自然界里的分布也很广, 它主要以钾盐(主要成分是 KCl)和光卤石(主要成分是 $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)等矿石而存在。

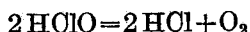
氯化钠、氯化钾等氯的化合物是工业上或实验室里制取氯气的主要原料。

氯的用途 氯气的应用很广, 主要用在漂白、消毒、制造杀虫剂等几个方面。氯气的这些用途, 和它的性质有着密切的联系。

前面讲到的氯气跟水的反应, 实际上是分两步进行的。首先是氯气跟水反应生成盐酸和次氯酸:



次氯酸是一种很不稳定的酸, 容易分解放出氧气:



因此, 次氯酸有很强的氧化性, 能够杀死水里的多种病原微生物(例如伤寒菌、赤痢菌等)。现在, 在大城市里常用氯气来消毒自来水。用氯气消毒过的自来水里会含有微量的盐酸, 但因含量很少, 对人体并没有什么害处。