

数理化自学丛书

化 学

第 三 册

数理化自学丛书編委会
化学编写小组編

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化学第三册，內容包括金属的通性、碱金属、碱土金属、鋁、鉄、阿佛加德罗定律等六章；最后并提出了几个簡易實驗，讀者可以按此练习。

本书可供相当于高中二年級文化程度或学习过本丛书化学第一、二册的讀者自学。

数理化自学丛书

化 學(第三冊)

数理化自学丛书編委会

化 學 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證出 093 号

中华书局上海印刷厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 850×1156 1/32 印张 5 4/32 摴版字数 124,000

1965 年 9 月第 1 版 1965 年 9 月第 1 次印刷

印数 1—20,000

统一书号 T 13119·671 定价(科二) 0.46 元

前　　言

在第二册里，我們已學習了一些重要的非金屬元素的知識，以及原子結構、元素周期律和電離學說。本冊將重點介紹幾種金屬元素和它們的一些重要化合物的知識；此外，為了便於學習第四冊的內容，我們還要介紹阿佛加德羅定律，氣態物質分子量的計算和分子式的確定等。

在學習幾種金屬元素之前，我們將首先學習“金屬的通性”（第一章），概括地介紹金屬元素具有的共同的物理性質和化學性質，從而聯繫到金屬冶煉的原理和方法；金屬的銹蝕，防銹的原理和方法；以及金屬的用途等等。這些內容，對以下學習幾種重要金屬元素，將起一定的指導作用。

在“金屬的通性”一章以後，我們將按族來學習以下幾種金屬：鈉和鉀（第 I 族主族），鎂和鈣（第 II 族主族），鋁（第 III 族主族）和鐵（第 VIII 族），以及這些金屬元素的一些重要化合物；並尽可能地運用第二冊里有關理論知識（原子結構、元素周期律和電離學說）作為指導。這樣，一方面使我們能很好地理解並掌握這些知識，另一方面還能加深對理論知識的認識。

本冊各章節後都附有習題，有些題目是綜合性的，解答時可能要用到前幾章，甚至前兩冊的有關知識。安排這類題目的目的，是為使讀者能把前後有關的知識，通過解題求得反復的理解和鞏固；其中較複雜的題目附有提示，以啟發思考。書末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，這對理解課文內容和熟練實驗技巧都是有好處的。

編　者

目 录

前言

第一章 金属的通性 1

- § 1·1 金属的结构和物理性质，合金 1
- § 1·2 金属的化学性质，金属活动性顺序 9
- § 1·3 氧化-还原反应 14
- § 1·4 金属的锈蚀和防止锈蚀的方法 19
- § 1·5 冶炼金属的一般方法 25
- 本章提要 30
- 复习题一 31

第二章 碱金属 33

- § 2·1 碱金属的通性 33
- § 2·2 钠和钾 35
- § 2·3 钠和钾的化合物，钾肥 39
- § 2·4 氢氧化钠(烧碱)的工业制法 47
- § 2·5 碳酸钠(纯碱)的工业制法 52
- 本章提要 58
- 复习题二 59

第三章 碱土金属 61

- § 3·1 碱土金属的通性 61
- § 3·2 镁 63
- § 3·3 钙 68
- § 3·4 硬水及其软化 73
- 本章提要 78
- 复习题三 79

第四章 铝 80

- § 4·1 铝的性质和用途 80
- § 4·2 铝的化合物 87

- § 4·3 铝在自然界里的存在，铝的冶炼法 92

本章提要 96

复习题四 97

第五章 铁 98

- § 5·1 铁的性质 98
- § 5·2 铁的化合物 102
- § 5·3 铁的合金 106
- § 5·4 生铁的冶炼 108
- § 5·5 钢的冶炼 115
- 本章提要 121
- 复习题五 123

第六章 阿佛加德罗定律 125

- § 6·1 阿佛加德罗定律 125
- § 6·2 气态物质分子量的测定 129
- § 6·3 确定物质的分子式 134
- § 6·4 在非标准状况下求气态反应物和生成物的体积 140
- 本章提要 144
- 复习题六 145

总复习题 146

附录 几个简单易做的化学实验 150

- 实验一 金属的化学性质，金属的活动性顺序 150
- 实验二 铝和它的化合物的性质 152
- 实验三 钢的回火和淬火 154
- 实验四 从草木灰里提取碳酸钾 155

习题答案 157

第一章 金属的通性

金属是由金属元素組成的一类单质。金属元素約有 80 余种，在已知的 103 种元素中占大多数。金属的初步概念以及有关的一些知識，我們在前两册的各章里（第一册 § 1·6, § 5·1, 第二册 § 3·8 等）已經學到了一些，但還沒有比較系統地研究过。我們知道，金属和非金属是单质的两大类，它們虽然沒有严格的界限，但在很多方面是有較大的區別的。从本章开始，我們將对金属作系統的研究，使在掌握一些重要的金属以及这些金属的重要化合物的知識的同时，对金属和非金属两类物质的基本区别可以获得比較深入而明确的認識。

我們已經知道，金属虽有很多種類，且各有各的性质，但它們具有一些共同的特殊物理性质，例如特殊的金属光澤、导电傳热性和展延性等，这是和非金属不同之处。在金属的制造和使用方面，也有很多共同的地方。因此，在开始学习金属之前，我們先讲述金属的通性和一些共同的問題，这对学习是有帮助的。

§ 1·1 金属的結構和物理性质，合金

金属的結構 在元素周期表里，金属元素的位置，主要处于每个周期的前部，这反映了金属元素的原子結構的特征，就是原子的最外电子层上的电子数常为 1 个、2 个或 3 个，而很少有超过 4 个的。这种結構表現在比較容易放出电子。不仅在碰到容易結合电子的原子时（例如非金属），金属原子就即失去电子而变成带正电荷的离子（阳离子），即使在单独存在时，这些电子也容易游离开

来，使部分原子变成阳离子。这就导致金属具有特殊的内部结构和某些共同特性。

金属的结构是怎样的呢？实验证明，一切金属都是由微小晶体结合而成的。在每一个晶体里，原子都按照一定的方式，有规律地排列着，并以各自的固定位置为中心，在空间进行着不规则的振动。由于金属原子的外层电子容易放出，在瞬间，这些游离开来的电子不固定属于这个或那个原子，而是在金属内部不规则地自由移动，称为自由电子。另一方面，那些失去一部分外层电子后所变成的阳离子，在振动中碰到自由电子时，会重新结合而恢复成中性的原子。当然接着原子又会放出电子而再变成阳离子。这样，科学家认为金属晶体是由中性的原子、带正电荷的阳离子和自由电子三者构成的，而且它们又在不停地进行着交换：电子离开原子，电子又跟阳离子结合。如果把它们形象地表示出来，则如图1·1所示。

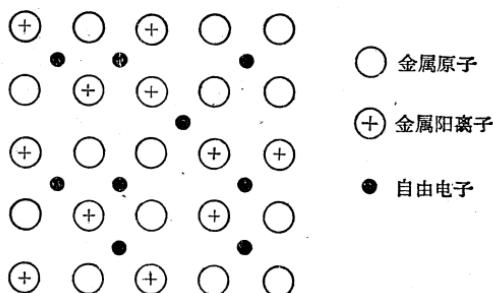


图 1·1 金属结构示意图

但是，必须指出：由于自由电子并没有完全离开金属，从整体来说，金属还是电性中和的。同时，各种不同金属的原子结构不完全相同，原子核对外层电子的吸引力也各各不同，因此，这种游离成自由电子的倾向也就各各不同了。最外层电子数愈少，离开原子核的距离愈远，放出或游离出电子的倾向愈大，这种金属元素就称为活动的金属；反之，放出电子就较困难。但在蒸气状态时，金

属一般都是由一个个单个的原子构成的。

金属的物理性质 金属具有很多共同的物理性质，这在前面已經提到。我們知道，物质的性质主要决定于物质内部的結構，因此，金属的这些特有的共同性质，亦不难从金属的特殊結構來說明。当然，各种不同的金属，由于它們晶体里的中性原子、阳离子各不同，实际排列也各不同，所以各种金属之間的性质又有所差別，甚至有較大的差別。

1. 金属光澤 具有特殊的“金属”光澤是金属最明显的特征之一，这是由于它們能强烈地反射光綫所引起的。但是这种光澤只有当金属成整块时才能表現出来，研成粉末后，絕大多数金属都变成黑色或暗灰色，只有鎂、鋁等少数金属仍保持原有的光澤。

金属的顏色，大多数为銀白色或灰色（深淺有所差別），但也有少数金属呈其他的顏色，例如金为赤色、銅为紫褐色等。工业上，把鉄、鐵的合金和鉻、錳等金属称做“黑色金属”，而把其余一切金属称做“有色金属”，这仅仅是为了称謂上的方便，把与炼鋼有关的一些金属，从其它金属中区别开来而已，与实际顏色沒有多大关系。

2. 导电性和傳热性 一般說来，金属都是电和热的优良导体，但能力有所差別。某些金属的导电性和傳热性的相对大小如图1·2所示。注意，按照导电性或傳热性的大小所排列成的次序是一致的，例如不論导电或傳热的能力，最好的都是銀和銅，最差的是鉛和汞。但金属的导电性随温度的升高而降低。

金属之所以是电和热的良导体，是因为金属晶体里存在着能自由移动的自由电子的緣故。当金属两端加上一个微小的电势差时，自由电子立刻向一定的方向移动，形成了电流。当然，自由电子的濃度大小——就是电子从金属原子中游离出来的倾向性大小的不同，是各种不同金属的导电性强弱不同的主要原因。另一方面，自由电子的移动也受到晶体中的中性原子和阳离子的阻力影

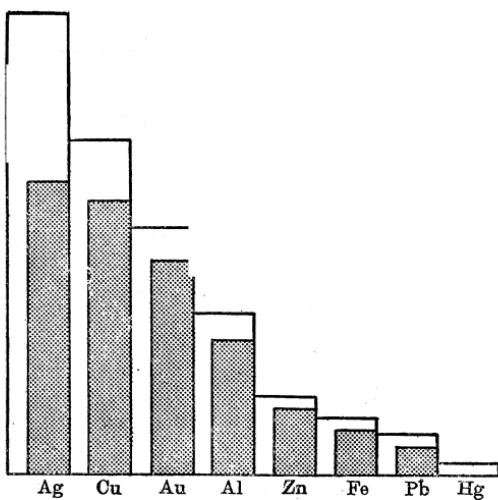


图 1·2 几种金属的傳热性(空白柱体)和导电性(有黑点柱体)

响，当温度升高时，中性原子和阳离子的振动速度和振幅都变大，这就增大了对自由电子移动的阻力，因而金属导电性随着温度的升高而降低了。

金属的傳热性也跟自由电子的存在有关。自由电子在晶体里很快移动，不断与原子和阳离子相碰撞，它們之間就会发生能量的交换或传递。当金属的一端受热时，这部分的质点——原子和阳离子的振动就会加强，表现出温度的升高，它們的能量会經過自由电子的碰撞波及到邻近的质点，从这些质点的加快振动，轉輾波及到以后的更远更多的质点，因而金属的受热状态很快就扩展开来，使整块金属的温度同样的升高了。

3. 可塑性 前面曾讲到金属有很好的展性和延性，这种性质概括地叫做可塑性。可塑性就是当物体在外力的作用下能够变形，而在外力停止作用以后仍能保持已經变成的形状的性质。大部分金属是可塑的，它們容易被煅打成各种形状，抽成綫或軋成薄片等。当然，这和金属的特殊内部结构也直接有关，但原理比較复杂，这里不談了。

各种金属的可塑性自然也有所差别，并且各有特点，例如金能打成很薄很薄的“金箔”，但抽延的性质不及鎢，鎢能抽成很细的丝（做电灯泡内的丝）；铁的延展性都不及金、银等金属。但总的说来，金属的可塑性比之非金属都是较大的，只有少数金属，例如氮族里讲到的锑和铋，以及若干其它金属如锰等的可塑性很小，所以这些金属是经不起敲打或压拉的。

必须指出，金属的可塑性，一般是随着温度的升高而增大的，所以金属的煅打、冲压、拉轧等加工操作，大都要在熾热的情况下进行。

4. 金属的比重、熔点和硬度 金属之间的比重、熔点和硬度的差别，比之前述的几种性质的差别要大得多，这是因为影响这些性质的因素不止一个。各种金属晶体的结构除了基本相同外，还有别的因素，如原子的质量、核电荷的大小、原子的排列方式等等各有差别，它们的关系非常复杂，这里不多介绍。我们仅把几种常见的金属的比重、熔点和硬度，用图1·3~1·5表示出来，读者从此可获得一个大概的印象。

从图1·3中可以看到，钾、钠的比重小于1，比水还轻；而铂要

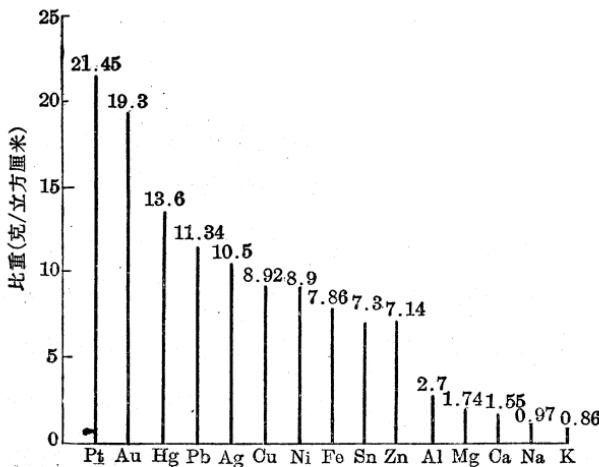


图1·3 金属的比重

比(同体积)水重 21.45 倍呢! 鋁只有(同体积)鐵的約三分之一重, 所以鋁、鎂等常用在制造飞机等需要重量輕的器械中。一般把金属的比重小于 5 的, 称做輕金属; 比重大于 5 的, 称做重金属。但这种分类, 除了說明它們的比重不同之外, 并不能反映出其他性质的差別。

从图 1·4 可以看到, 汞的熔点很低, 所以它在常温下是液体; 金的熔点是 1063°C , 比之一般炉灶或灯焰的温度要高得多, 平常不易把它熔化, 所以俗語常說“真金不怕火”。其实熔点比金高的金属还多着呢!

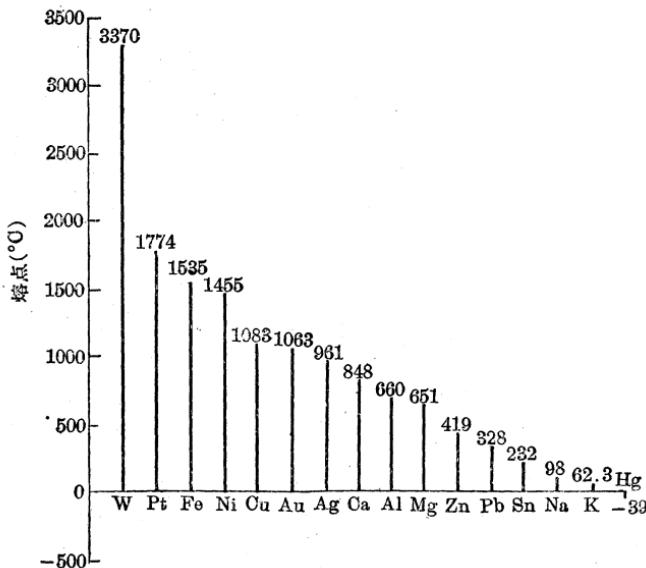


图 1·4 金属的熔点

表达物质的硬度, 科学上采用以金剛石的硬度为 10 做标准来比較的。这是任意假定的数值, 本身沒有絕對意义。从图 1·5 可看出, 鎳的硬度为 5, 就是說金剛石的硬度比它强一倍。鉀、鈉等硬度很小, 所以用普通的刀、剪就很容易切割它們。

从这三个图里, 不难得出結論, 金属的这些性质的差別是很大

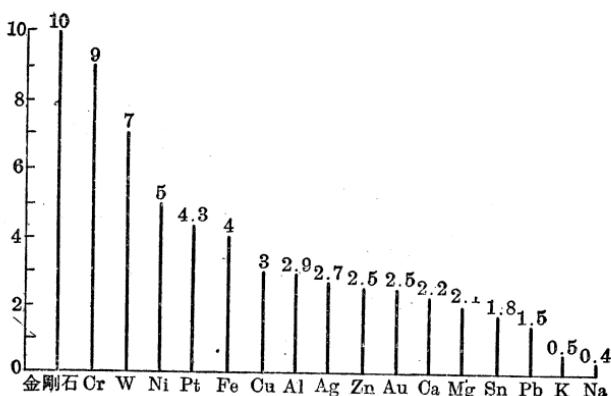


图 1·5 金属的硬度和金刚石硬度的比较

的。所以在使用金属时，我们就应根据需要有所选择了。

但是，一种纯净的金属的性质，对应用来说，往往不是全面符合要求的。例如纯铁（和熟铁近似）性质比较软弱，不易破碎，有利于展延；但熔点很高，不便于熔铸。铝的比重较小，有利于制造飞机或运输工具，但硬度不够，容易变形，不能承重。纯铜（即紫铜）的导电性很强，有利于制造电气用具，但硬度较小，比较柔软，不适宜制造机械零件和日用器具。由于科学技术的发展，对原材料的很多机械性能，例如耐高温、高强度、超硬、耐磨、弹性等等，都提出一定的标准要求。显然，任何一种纯金属，以它本身固有的性能很难适应这些要求。怎么办呢？

我国古代劳动人民已发现，在熔融的铜里加入些锡，待他们完全熔混后，冷却，制得一种青色的比纯铜（紫铜）坚硬、耐磨、强度大，适宜于制造机械零件和日用器具的材料，我们叫它青铜。后来用锌代替锡，加入到铜里，就获得另一种叫黄铜的材料，性能比青铜更有提高。这些东西，现在总称做合金。其实合金是非常普遍的，例如钢、生铁、焊锡等都是合金。合金的发现和制造，提供了很多具有特殊性能的金属原材料，给工程技术的发展提供了物质基础。下面我们就简单地来介绍有关合金的知识。

合金 顾名思义，合金應該是二种或二种以上的金属熔合在一起的物质。大多数金属，例如錫和鉛、銅和鋅、金和銀等，在熔融状态下，能完全相互溶解，冷却后成一均匀整体。但也有些金属，例如鉛和鋅，不能以任何比熔合，只能在一定限度內相互混和成均匀整体。当然，也有些金属，它們是完全不能熔合制成合金的。

此外，也有些非金属，例如碳、硅、磷、硫等，有时也能溶解在熔融的金属里而成均匀的整体，从性质上来看，我們也应称它們为合金。我們知道，生鐵、碳鋼等就是这些非金属和鐵的合金(§ 5·3)。

因此，我們說：一种金属和其他一种或几种金属或非金属熔合在一起所生成的均匀液体，經冷凝后得到的固体，叫做合金。

合金当然不单是一种简单的、象溶液一样的混和物，它的内部組成、結構是非常复杂的。有的可能已經形成了有一定組成的化合物；有的也可能是单质晶体按一定方式結合成特定晶体結構。因此合金的物理性质，除比重外，并不是它的各成分性质的总和。一般說来，多数合金的熔点均低于組成它的任何一种成分金属的熔点。有时熔点会降到出乎意料的低。例如用作电源保險絲的“武德合金”(第二册 § 5·11)，是錫、鉻、鎘、鉛四种金属依 1:4:1:2 的重量比所組成的合金。它的熔点只有 67°C ，比水的沸点还低。因此当电流过大，电路上发热到 70°C 左右时，保險絲就熔化，因而自动切断了电源，保証了用电安全。但組成这种合金的四种金属的熔点都在二、三百度以上。

相反的，合金的硬度一般都比組成它的各成分金属的硬度要大。例如上述的青銅、黃銅的硬度都比純銅、錫、鋅的大；生鐵的硬度比純鐵大得多。有时制成合金后，硬度增大的程度是惊人的，例如在銅里仅仅加入 1% 的鉻所生成的合金，它的硬度比純銅要大 7 倍呢！

总之，由于組成合金的各成分金属的相互影响，合金的内部結構就不同于原来金属的結構，使合金的几乎全部物理性质有了或

多或少的改变，除上述熔点、硬度外，合金的导电性、传热性，一般都降低很多，可塑性有增有减。

有些合金，在化学性质方面也有很大的改变。例如不锈钢（含约15%铬，约0.5%镍的合金钢）它改变了铁的容易生锈的特性，使其成耐酸、耐碱、耐腐蚀的优良材料，大大提高了铁的使用价值。

所以，为了满足和促进现代工程技术的需要，对具有极其多样性质（包括机械性能和化学性能）的合金试制研究是一个重要的课题。

习题 1·1

1. 金属原子的结构特征是什么？金属（单质）的结构特点在哪里？
2. 金属和非金属各具有哪些共同的物理性质？
3. 怎样解释金属具有良好的导电性？为什么升高温度往往会使金属的导电性减弱？
4. 金属的导电方式和电解质溶液的导电方式有什么不同？
5. 什么叫合金？它和组成它的成分金属比较，物理性质有哪些规律性的改变？
6. 为什么制造机器、工具等的金属材料一般不用纯净金属，而都用合金？
7. 据你所知，哪些用途的金属材料必须是纯金属？
8. 下列物质的组成怎样？有何用途？各利用它的何种性质？（1）不锈钢，（2）黄铜，（3）武德合金，（4）生铁。
9. 焊锡（锡铅合金）重5克，把它完全氧化成二氧化锡和一氧化铅后生成物重6.1克，问焊锡的成分金属重量比例怎样？

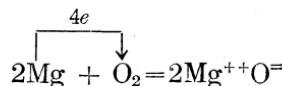
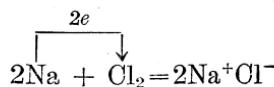
§ 1·2 金属的化学性质，金属活动性顺序

在上一节里，我们学习了金属的物理性质，知道了它们既有共同的特点，又有所差别；并知道这是由于金属的内部结构所引起的。那末，金属的化学性质是不是也有某些共同的特点呢？能否

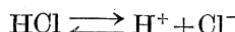
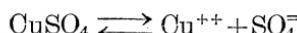
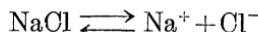
从理論上把它們概括起來呢？

在學習化學的前面兩冊時，我們曾經碰到過不少有關金屬的化學反應。例如某些金屬跟非金屬，如氧、鹵素、硫、磷等直接化合生成鹽類的反應；某些金屬從酸里，有些並從水中置換出氫氣的反應；某些金屬從另一種金屬的鹽里把後者置換出來的反應；以及大部分金屬的氧化物是鹼性的，它們的相應水化物是鹼類等等。從而，我們已經有了一些關於金屬的化學性質的具體知識。

在第二冊原子結構和元素周期律一章里，當講到分子的形成時，曾經指出過：所有元素的原子的最外電子層，都有成為穩定結構的傾向。這種傾向引起了原子相互結合而形成分子，也就是發生了化學反應。由於金屬原子的最外電子層上的電子數少，放出電子而使原子成為穩定結構的傾向性要比結合電子的傾向性大，因此金屬原子容易放出電子而變成帶正電荷的陽離子，而且典型的金屬絕不與電子相結合。這就是金屬參加化學反應時的特點。例如：



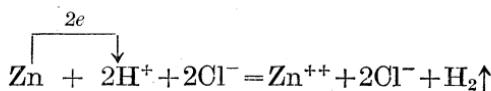
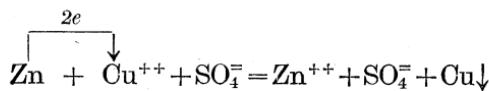
在第二冊電離學說一章里，我們知道離子化合物和極性化合物，在水溶液里會電離成陰、陽離子。例如：



在這些溶液里的陽離子，是對應的金屬原子或氫原子放出電子後帶正電荷的質點。這些質點，如果碰到電子，當然有可能重新結合，成對應的中性原子。

前面已提过，金属原子由于結構的不完全相同，放出电子的倾向性的大小是不同的，活动金属放出电子的倾向要比不活动的金属强。所以，如果有一种金属，例如鋅，分別放进上述的一些溶液里去，情况将会怎样呢？

从原子結構来看，鋅原子放出电子的倾向要比銅原子、氫原子放出电子的倾向性大，而比鈉原子的弱。所以不难想象：当鋅分別放进上述溶液后，就会把它自己的外层电子轉移到銅离子或氫离子上去，使它們結合电子后变成对应的銅原子或氫原子，从溶液里析出；而鋅原子本身就变成了阳离子进入溶液里去。用离子方程式来表示，就是：



但是，鋅在鈉离子的溶液中这种电子的轉移就不可能。

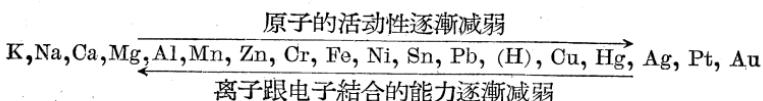
这些例子說明了，金属跟酸或盐溶液所起的置換反应的本质：就是比較活动的金属原子上的电子，轉移到氫离子或活动性較弱的金属的离子上的过程。

从上面一些具体例子来看，金属参加化学反应——不論是化合反应或置換反应——的特征都是放出电子而成阳离子。所以我们可以給金属下这样的定义：一种元素，它的原子如果在化学反应里容易放出电子而轉变成带正电荷的离子，这种元素就叫做金属。金属原子不能結合电子，也就是說，不能轉变成带負电荷的离子。到此，我們对“金属”这个概念有了更进一步的認識。

金属活动性順序 金属单质参加化学反应的本质是放出电子，那末，由于金属原子結構的不同，放出电子的难易程度有所不同，因此金属参加化学反应的活动性自然也有所差別。金属愈容

易放出电子，它就愈活动，跟其他物质起反应也愈剧烈；反之，不容易放出电子的金属的活动性就很小，它跟其他物质起反应就不容易，甚至没有反应。所以我们可以利用各式各样的反应，来比较各种金属的相对活动性程度。比如有人曾利用金属跟金属盐溶液的置换反应，对金属的活动性进行了研究。例如，前面提到的金属锌能从铜盐溶液中置换出铜；而不能从钠盐溶液中置换出钠。这表示锌的活动性比铜大而比钠小。这样把各种金属按照它们的化学活动性的降低而排列成一个顺序，称做“金属活动性顺序”（参看第一册 § 5·4）。

下面就是几种常遇的金属的活动性顺序：



这里把氢也排在顺序之中，因为它在一定程度上说具有类似金属的性质，能从某些盐溶液中置换出金属，它的本身也能被很多金属从酸溶液中置换出来。金属活动性顺序能给我们下列有关金属在溶液中进行反应的一些知识：

(1) 每一种金属可以从排在它右面的金属的盐溶液中，置换出后者。反之，则不可能。二种金属的排列位置相距越远，置换愈容易，反应速度愈快^①。

例如，锌能从铁盐溶液中置换出铁，也能从铜盐溶液中置换出铜，因为铁和铜的排列位置都在锌的右面。但锌不能从钠盐的溶液中置换出钠，因为钠的位置在锌的左面。并且，锌置换铜的反应比置换铁快，因为锌和铜的位置相距较远。

(2) 上面的情况对氢气（在大气压力下）也能适用。就是只有排在氢左面的金属才能从稀酸溶液中置换出氢气。位置愈左，置

① 置换反应的速度和盐溶液的浓度也有较大关系，特别对位置相近的金属影响更大。

換能力愈強。排在氫右面的金屬就不能從酸中置換出氫氣。

例如，鉀、鈉等最前面的幾種金屬，在稀酸中置換氫的速度可達爆炸性的程度（有危險！）。它們在常溫下跟水也能起劇烈的反應，置換出氫氣，這是我們已經知道的。但鎂、鋁、鋅等就必須在加熱情況下跟水才有反應；在常溫下只能跟酸起反應。位置在氫右面的，例如銅，則無論在什麼情況下，都不能置換出氫。必須注意，鋅跟氧化性酸的反應，例如跟硝酸反應，不是置換反應，生成物沒有氫氣的！

此外，金屬活動順序對金屬跟非金屬的化合反應，大致上也是適用的。例如跟氧的化合反應來說，鉀、鈉、鈣在常溫下就很易跟氧化合而成氧化物，因此我們只能用隔絕空氣的方法來保存它們。鎂、鋁、鋅等氧化雖較慢，但表面還是會很快生成一層氧化物。鐵、鎳、銅等，在常溫下的干燥空氣里就不易起氧化，能長時間保持金屬的光澤。至于銀、鉑、金等，即使在加熱情況下也沒有氧化。

從上面的學習，我們可以得出結論：金屬的化學性質，也同物理性質一樣，有它們的共同特點，就是在化學反應中，金屬原子都是放出電子的。並且它們的活動性有一定的規律，這和它們的原子結構有著一定的關係。

習題 1·2

1. 用離子方程式表示下列反應，並指出電子的轉移情況：

- (1) 鎂跟氯氣的反應；
- (2) 鋁跟鹽酸的反應；
- (3) 氯氣跟碘化鉀溶液的反應。

2. 怎樣從上題可以歸結出，金屬和非金屬在化學反應過程中的根本區別？

3. 什麼叫金屬？什麼叫金屬性？金屬和非金屬之間有沒有嚴格的界限？為什麼？

4. 什麼叫金屬活動性順序？它告訴我們些什麼？

5. 把下列金属：鋅、鐵、鎂、銅，分別放入硝酸鉛稀溶液中，能看到什麼現象？用金屬活動性順序來解釋這些現象。

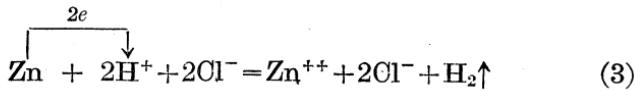
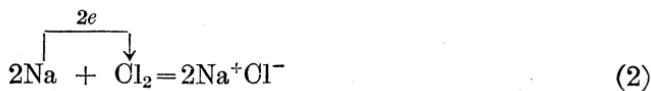
6. 怎樣解釋銅和稀鹽酸沒有反應，而跟稀硝酸能起反應（必要時加熱）？又怎樣解釋銅和稀硫酸沒有反應而跟濃硫酸能起反應（必要時加熱）？寫出反應的化學方程式。

7. 在元素周期表里的主族元素，從原子得失電子的難易程度來看，哪一種元素的金屬性最强？哪一種元素的非金屬性最强？

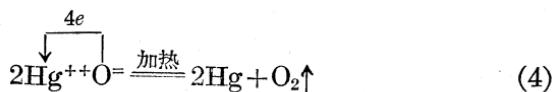
8. 用 5.25 克不純鋅粒跟稀硫酸反應，產生氫氣。當反應停止時，收集到 1.44 升氫氣（折合到標準情況下）。計算鋅的百分純度。

§ 1·3 氧化-還原反應

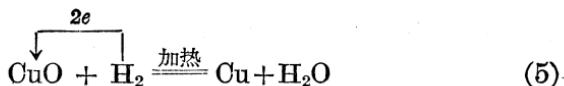
在上一節里，我們已經說明了金屬參加的一些化合反應和置換反應的本質是電子轉移過程。例如：



此外，我們還可以在曾經學過的、有關金屬或金屬化合物參加的化學反應中舉出一些例子，看出它們的本質也是電子轉移過程。例如，氧化汞的分解反應，它的本質是電子從氧離子轉移給汞離子的过程：



又例如，氧化銅被氫氣還原的反應，它的本質是電子從氫原子轉移給銅離子的过程：



由以上可見，這些反應，從形式上來看，雖然各不相同，有化合反應，分解反應，或者置換反應，但它們的本質却都是相同的，即都包括電子的轉移過程。

我們也可以看出，其中有一部分反應，如反應(1)、(4)和(5)，它們包括氧元素在內。根據在第一冊里(§ 2·3, § 2·12)學到的氧化反應和還原反應的定義(即“物質跟氧所起的反應稱做氧化反應”；“氧從一種物質里被奪取出來的反應叫做還原反應”)來看，我們可稱這些反應為氧化-還原反應(第一冊 § 2·13)。

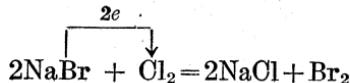
根據原子結構理論來看，這些氧化-還原反應的本質是：金屬跟氧气的化合反應是金屬原子把電子轉移給氧原子；金屬氧化物的分解或被置換是金屬離子得到了電子。就是說，氧化-還原反應，實質上是電子轉移過程。

到此，我們就會想到那些沒有氧元素在內的一些反應，例如反應(2)和(3)，它們是否也可以叫做氧化-還原反應呢？

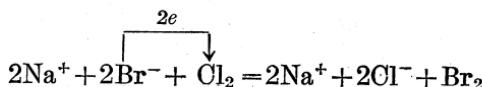
從電子轉移的觀點來看，它們的本質是和反應(1)、(4)和(5)相同的。因此應該把它們歸在一起。所以我們可以把氧化反應和還原反應的定義修改一下，使這兩個概念的涵義更廣泛：**在化學反應里放出電子的變化叫做氧化；在化學反應里得到電子的變化叫做還原。**

但是，由於物質是不滅的，有放出電子的，必同時有得到電子的。所以氧化和還原必伴同發生，它們雖然是兩個相反的過程，而實際上是統一體的兩個方面。因此我們稱這類反應叫氧化-還原反應。它的定義是：**在化學反應里，如果有一些原子或離子把電子轉移給另一些原子或離子，這樣的反應就叫做氧化-還原反應。**

注意，這裡所指的原子或離子，當然不一定限於金屬元素。例如



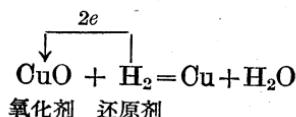
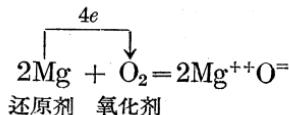
或



这个反应也是氧化-还原反应，但放出电子的是溴离子，而得到电子的是氯原子。这里的钠离子是没有变化的。

既然氧化、还原这两个概念的涵义扩大了，那末氧化剂和还原剂这两个概念自然也要作相应的扩大。

从得氧、失氧的观点來說：放出氧的物质，使別种物质得氧而氧化，自身失氧而还原的物质叫做氧化剂；反之，从別种物质夺得氧，使自身氧化，而使別种物质因失氧而还原的物质叫做还原剂。仍以下列两例來說：



O_2 和 CuO 是氧化剂；而 Mg 和 H_2 是还原剂。

但从电子的得失观点来看：氧原子和铜离子是得到电子的；而镁原子和氢原子是放出电子的。因此，氧化剂和还原剂的定义应该是：**在反应过程里，它的原子或离子得到电子的物质（例如氧气和氧化铜）叫做氧化剂；在反应过程里，它的原子或离子放出电子的物质（例如金属镁和氢气以及在 NaBr 跟 Cl_2 的反应中的 NaBr ）叫做还原剂。**

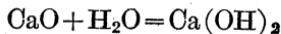
在金属活动性順序里，愈排在左面的金属愈是强的还原剂，它的对应阳离子愈是弱的氧化剂。

是否所有的化学反应都发生电子的轉移过程呢？我們来看复分解反应，例如中和反应：



反应的实质是离子的交换过程，其中并无电子轉移的过程。所以它不是氧化-还原反应。

也有一些化合反应，例如



和有一些分解反应，例如



也沒有电子轉移，所以也不是氧化-还原反应。

那末，怎样来辨别氧化-还原反应和非氧化-还原反应呢？

我們知道，元素的化合价的变化和原子或离子的得失电子直接有关（第二册 § 3·5），所以在氧化-还原反应中元素化合价必有改变。例如在镁跟氧的化合反应里，镁的化合价由 0 升高为 +2，而氧从 0 降低为 -2。又如在 NaBr 跟 Cl_2 的反应里，溴的化合价从 -1 升高为 0，而氯从 0 降低为 -1。

但是，在上述的非氧化-还原反应里，就沒有任何一种元素的化合价是有改变的。

因此，反应前后元素化合价的改变，是氧化-还原反应的特征，是区别氧化-还原反应和非氧化-还原反应的根据。

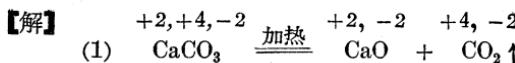
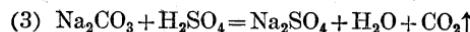
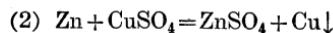
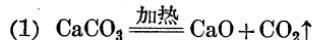
到此，我們可以这样說：化学反应可分为两大类：一类是由电子的轉移引起的，就是氧化-还原反应。它的特征是，反应前后元素化合价必有改变，如置换反应、反应物里有单质的化合反应、生成物里有单质的分解反应等，都属这类。

另一类化学反应是没有电子轉移过程的，其中任一元素的化合价不变，就是非氧化-还原反应。如复分解反应和一部分的化合反应、分解反应等都属这类。

由于氧化-还原反应的范围极广，例如金属的锈蚀、食物的腐败、金属的冶炼等都是，所以它在科学上、生产上都具有极重大的意义。

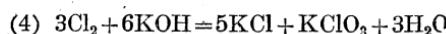
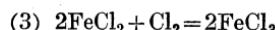
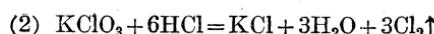
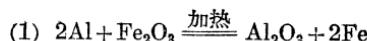
习 题 1·3

1. 根据原子结构理論，氧化-还原反应的实质是什么？因此，氧化-还原反应的定义應該怎样？
2. 狹义的（从得失氧的观点）和廣义的（从得失电子的观点）氧化反应和还原反应的定义怎样？它們有沒有矛盾？举例說明。那末廣义的定义有什么优点？
3. 从电子得失的观点来看，氧化剂是什么？还原剂是什么？在反应过程中，它們自己发生了什么变化？
4. 怎样从反应过程中有无化合价的改变来判断反应是否是氧化-还原过程？为什么可以用这个方法？
5. 辨別下列反应哪些是氧化-还原反应，哪些不是：

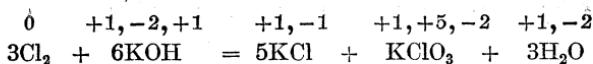


上述反应中在反应前后各元素的化合价并无改变，所以这个分解反应不是氧化-还原反应。

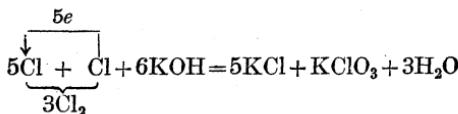
6. 在下列反应中，哪些元素氧化了，哪些元素还原了？哪种物质是氧化剂，哪种物质是还原剂？



【解】 在第(4)題中：



氯元素在反应之前是 0 价(单质原子),而在反应之后,一部分改变成 -1 价而另一部分改变成 +5 价. 其他元素的化合价不变. 因此, 在这个反应里, 氧化剂、还原剂都是氯. 我們可以把它写成:



就是說, 在 6 个氯原子中, 有 5 个是氧化剂, 1 个是还原剂.

§ 1·4 金属的锈蝕和防止锈蝕的方法

金属和合金是制造机器、国防器械、运输工具、日常用具以及建筑方面等的重要材料. 由于它們具有优良的机械性能, 因此应用范围很广, 用量也日益增加. 但是, 金属在空气中大都容易生锈, 从而减小了它們的使用价值.

我們知道, 当金属制品用旧后, 它的表面往往会失去金属光泽, 或生成粒屑状物质. 特別是铁制器, 生成的棕黄色铁锈, 质地疏松, 会层层剥落, 日久之后, 竟会全部变成铁锈, 致使不能应用.

金属生锈, 科学上叫做金属的锈蝕, 是指金属或合金由于跟周围接触到的气体或液体进行化学反应而损耗的过程.

金属的锈蝕給人类造成很大損失. 根據統計, 每年由于锈蝕而直接损耗的金属材料約占年产金属量的十分之一. 加上由于金属部分锈蝕后, 器械的性能受到影响, 而必須加以修理或縮短了它的使用期限的損失, 数字是很惊人的. 因此, 怎样防止金属锈蝕具有重大的意义.

下面我們先研究金属锈蝕的原因, 再介紹防止金属锈蝕的方法.

金属锈蝕的原因 金属的锈蝕是一个氧化反应, 从本质上来説, 都是金属原子放出电子的过程. 但是, 从引起锈蝕的原因和机

理來說，銹蝕可以分成兩種：化學銹蝕和電化銹蝕。

1. 化學銹蝕 化學銹蝕是由於金屬跟周圍環境里接觸到的物質（一般是非电解質）直接進行化學反應而引起的一種銹蝕。

例如，在高溫下，鐵、錫、鉛等和空氣接觸時的迅速氧化，這是金屬跟氧气直接反應所引起的銹蝕。具有更強氧化性的氣體或液體，例如化學工廠里或實驗室里擴散在空氣里的氯氣、氮的氧化物等跟金屬接觸時將更迅速地直接反應，使後者銹蝕。這種銹蝕的化學反應比較單純，僅是金屬跟特定物質間的氧化-還原反應。

2. 電化銹蝕 電化銹蝕是另一種金屬銹蝕的形式，它的反應過程比化學銹蝕複雜得多。金屬在潮濕的空氣里所發生的銹蝕，就是這種銹蝕的最普通的一個例子。

事實證明，鋼鐵（普通碳鋼）在干燥的空氣里，長時間不會生鏽，可是放在潮濕空氣里，很快就生鏽了。顯然這種銹蝕不是單純的跟氧气直接反應所引起的。那末，這是什麼原因呢？要回答這個問題，我們先來講一個實驗現象。

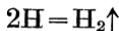
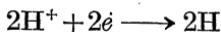
我們記得鋅粒和稀硫酸反應制取氫氣的實驗吧（第一冊 § 2·10）？我們會發現，在其他條件相同的情況下，用不純的鋅粒要比用純淨的鋅粒，放出氫氣的速度快得多。如果在純淨的鋅粒上加微量銅屑或鐵屑，放出氫氣的速度也會立刻快起來。這是什麼道理呢？

可以這樣來進行實驗：把一塊純鋅片插入盛有稀硫酸的燒杯中，開始時，有少量氣泡發生（氫氣產生了），隨即氣泡吸附在鋅片的表面上，反應越來越慢而幾乎停止了。再把一塊純銅片插進去（不碰到鋅片），可以看出上面沒有反應發生（銅和稀硫酸是沒有反應的）。於是，用一根銅絲把鋅片和銅片的上端連接起來，立刻可看到，大量的氫氣氣泡在銅片上放出來了。怎樣解釋這個現象呢？

原來當鋅片單獨插入酸溶液中時，鋅原子開始放出電子，變成鋅離子，進入溶液中：



放出的电子給氫离子得到，使其变成氫原子，結合成氫分子而放出气泡：



这就是鋅置換氫的过程。

但是，微小的氫气气泡会吸附在鋅片的表面，使鋅和酸溶液隔离开来，阻碍了鋅原子放出的电子直接轉移給氫离子。这些电子积儲在鋅片上会阻止其他鋅原子繼續放出电子，也会吸住鋅离子进入溶液去。这样，反应就減慢下来了。

如果插入一块銅片，并用导線（銅絲）和鋅片連接起来后，鋅原子放出的电子可以沿着导線传递到銅片上，在那里轉移給氫离子，使它变成氫气放出（注意不是銅和酸反应产生氫气的！）；在鋅片上因为沒有积儲的电子，鋅原子就能暢快地、不断地放出电子而变成鋅离子进入溶液中去。这样反应就大大加快了（图1·6）。

电子从鋅片經過导線移轉到銅片上去时就形成电流，这可以用电流計测量出来。图1·6的装置，就是在物理学中学到的原电池。在那里着重讲解的是电流产生的原理，而現在我們是用来說明，为什么鋅（較活动的金属）和另一种金属（較不活动的金属）連接时，它跟酸的反应会加快的原因。

到此，不難理解，在純淨鋅粒上加微量銅屑或鐵屑时，或者不純的鋅粒（即含有微量的其他杂质）实际上組成了很多个微型的原电池，这样就导致鋅原子的加快放出电子而加速置換反应的发生。

現在可以回过头来，回答金属的电化锈蝕的原因了。

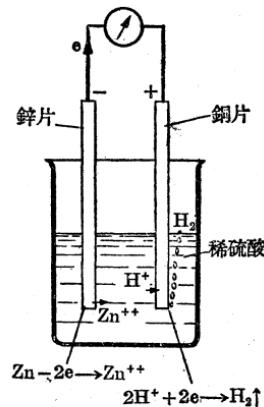


图 1·6

用鋼鐵在潮湿空氣里很快銹蝕為例來說。一般固体的表面都有吸附濕氣的性質。潮濕空氣使鋼鐵的表面上常存在一層極薄極薄的水膜。空氣里的二氣化碳或其他酸性氧化物氣體溶解在這層水膜里，就形成了弱酸性溶液。如果表面碰到過礦物鹽類，則這層水膜即變成更濃的電解質溶液薄膜。鋼鐵本身是一種合金（如碳鋼主要是鐵和碳的合金，見 § 5·3），這樣，鋼鐵的表面就形成了無數個微型原電池。如果鋼鐵中的杂质比鐵不活動（碳鋼中主要是碳），鐵就成了原電池中的負極，加快放出電子而氧化了。這就是鋼鐵在潮濕空氣里發生銹蝕的原理。

這種銹蝕就是電化銹蝕。它是指由於電解質的存在，產生了原電池作用，引起較活動的金屬放出電子而發生氧化反應的一種銹蝕。

不難理解，純淨金屬，或者表面非常潔淨、非常乾燥的金屬材料是不會發生電化銹蝕的。金屬器械的表面情況，對發生電化銹蝕有很大關係。例如凹凸不平的表面和洞穴、裂紋、鉚釘等處容易藏污納垢的地方，最易發生銹蝕。

金屬發生銹蝕大都屬於電化銹蝕類型的，它較化學銹蝕普遍得多，值得我們特別注意。

防止金屬銹蝕的方法 了解了金屬銹蝕的原因以後，我們就可以來討論防止金屬銹蝕的方法。防止金屬銹蝕一般有下列幾種：

- (1) 設法改變金屬的性質，使它不易跟周圍物質起反應；
- (2) 在金屬的表面上復蓋一層堅固的保護膜，使它和外界隔絕；
- (3) 使金屬經常保持潔淨、乾燥，避免放在潮濕處所；
- (4) 避免金屬和有腐蝕性的物質經常接觸。

第一種方法當然是最理想的。在合金一節里曾提到，有些合金，除物理性質外，在化學性質方面也有很大的改變。例如不鏽

鋼就以不生鏽的特点命名的。很多合金鋼和由有色金属制成的合金，有的具有很高的耐酸、耐碱和抗腐蝕的性质，甚至可以用作硫酸、硝酸，这样一些腐蝕性很强的物质的生产和儲存的容器。但是，这样的合金是不多的，而且价格也很貴，不能普遍应用。所以防止銹蝕主要采用第二种方法。

在金属表面上复蓋一层保护膜的具体方法有很多種。例如涂机器油、凡士林，涂干性油漆，搪瓷，鍍上或包上另一种金属和胶合一层塑料，等等。这些方法，各有各的优点和缺点，各有各的应用对象。但不論什么方法，总的要求是那层保护膜的本身必須是在特定的环境里是相当稳定的物质，并且能够紧密地附在和遮盖住金属的表面，而不易脱落。

鍍上另一种金属这个方法具有較多的优点，譬如，比較耐久、耐热和耐磨等。鍍上去的金属按理應該是一种比原来的金属不活动，本身不易氧化的金属，例如銅上面鍍层金，鐵上面鍍层錫，才能达到保护的目的。但实际上并不完全需要这样。

有些金属，例如鋁、鉻等，本身是相当活动的，容易氧化。但是它們会很快地生成一层透明的氧化物，能紧密地复蓋在它自身的表面上，因而保护了內层不再繼續氧化，起了自身防止銹蝕的作用（見 § 4·1）。“鋼精”（鋁）制品之所以耐久，道理就在这里。但有些金属不是这样，例如鐵，它的氧化物疏松而容易剝落，不能起防护作用。

現在用两种熟悉的鐵制品——鍍鋅鐵和鍍錫鐵为例，來說明两种不同性质的鍍料的不同保护作用。

鍍鋅鐵俗称**白鐵**，一般用作“鉛桶”、水落管等日用品的材料，是鐵皮上鍍一层鋅的鐵制品。鋅比鐵活动，但它有优良的保护自己的能力，即前面提到过的生成致密的氧化物保护层。因此鋅鍍在鐵皮上也間接保护了鐵。

鍍錫鐵俗称**馬口鐵**，就是用来制造煤油听、罐头等的材料，是鐵

皮上鍍一层錫的鐵制品。錫比鐵不活動，它不易氧化，有較強的抗蝕性。因此，錫鍍在鐵面上就起着隔離作用。

但是，鍍錫鐵如果表面有任何損壞，底層鐵只要有一部分裸露時，不僅會失去防護作用，而且會加速鐵的銹蝕。這是由於如果有水或其他電解質存在，裸露的鐵和表面的錫就組成一個原電池。鐵較錫活動，電子將由鐵放出，它做了原電池的負極，從而鐵迅速氧化而銹蝕了。

可是，白鐵就不會這樣。因為鋅較鐵活動，在損壞處所形成的原電池的負極是鋅而不是鐵。就是說，鋅將放出電子而氧化。這樣就防止了鐵的氧化，除非全部鋅銹蝕完了以後，鐵才有銹蝕可能。

從而可見，鍍一層較活動的金屬（當然它自身要有保護能力的）對底層金屬的防銹作用比較有利。如果鍍一層堅硬而不易磨損的金屬，如鉻、鎳等，則防銹作用將會更理想些。

必須指出，不是任何金屬都可能鍍到另一種金屬上去的。

至於鍍上去的方法，也有好多种。常用的有**熱鍍法**，即把底層金屬浸入熔融的另一金屬中，例如鐵浸入熔鋅里而鍍上一層鋅。有**噴鍍法**，即把熔融金屬加壓噴洒到底層金屬上去。有**電鍍法**，即在電解槽中，用鍍上去的金屬鹽類（例如 $ZnSO_4$ ）做成電解溶液，以底層金屬（例如鐵）做陰極，用鍍上去的金屬（例如鋅）做陽極，進行電解，鋅溶解而鋅離子移向陰極，在那裡放電成金屬鍍上（可參閱第二冊電離學說一章），等等。

第三、第四種方法對維護機器、器械，延長它們的使用壽命有很大作用。我們知道，經常使用著的器具是不會生銹的，這是由於在它上面的任何銹斑、塵埃，在使用時被去除了，不易發生電化銹蝕的緣故。要避免金屬器械受潮的道理，前面已經闡明了。此外，也要避免不同金屬放在一起，例如用鐵螺釘裝在銅板上，或者相反；否則，鐵會加速銹蝕。

习題 1·4

1. 什么叫做金属的锈蝕？从本质上讲，金属的锈蝕是属于哪一类型的反应？举例說明。

2. 根据金属锈蝕的不同原因，可以把锈蝕分成哪两种？哪一类型锈蝕比較普遍？为什么？

3. 为什么金属在潮湿的空气里比在干燥的空气里容易生锈？但沉在深水里的金属倒不易生锈？

[提示：深水里沒有空气。]

4. 为什么浴室里或卫生设备室里的金属器皿和金属铰鏈等常用銅制而不用鐵制？如果在銅制铰鏈上用一个鐵螺釘，为什么特別容易锈蝕？

5. 鋁的化学活动性較鐵要强得多，为什么鋁制品比鐵制品反而耐腐蚀得多？

6. 防止金属锈蝕的方法有哪几种？常用的是哪一种？

7. 比較白鐵和馬口鐵在防止內层鐵锈蝕的不同原理。

8. 为什么制造食物罐头要用馬口鐵不能用白鐵？而制造水桶等器具要用白鐵不能用馬口鐵？

[提示：食物腐敗后会变酸。]

9. 为什么經常使用的金属工具是比较不易生锈的？暂时停止使用的机器要涂上油？

§ 1·5 治炼金属的一般方法

金属是一类重要的材料，已如前述。因此，生产金属和合金是工业生产的重要任务之一。冶金工业就是从自然資源中取得金属的一个工业部門。

绝大多数金属元素，在自然界里是以化合态存在的。只有少数金属有游离状态——单质存在。例如，金和鉑几乎全是单质存在；銀、銅以及极少量的汞、錫等，有时也有单质存在。不难理解，这是因为这些金属的化学活动性很差，不易和其他物质发生反应所致。化学活动性强的或相当强的金属，就不可能长时间以单质形态存在于自然界中。

以化合态存在的金属元素有很多形式，例如氧化物、硫化物、卤化物、碳酸盐、硫酸盐、磷酸盐、硅酸盐等等。它们的组成有比较单纯的，也有非常复杂的，例如硅酸盐往往是一种组成很复杂的物质，这在硅的一章里已经提到过了。不论是以单质形式或是以化合态形式存在的金属，都必须经过化学方法处理，才能提炼成纯净的金属，而且提炼方法往往是在高温下进行的，所以叫做冶炼法。

不是所有含有金属或金属化合物的矿物或岩石都可用来冶炼金属的。有些由于组成过分复杂，使冶炼的化学反应复杂而且困难；有些由于杂质太多，特别是含有有害杂质而难以除尽的，就不适宜用来作为冶炼的原料。因此，冶炼金属的原料应有所选择。那些在现在技术的条件下，可以用作而且值得提炼的矿物或岩石，总称为矿石。

不要以为矿石一定是比较纯净的，恰恰相反，绝大多数的矿石都含有多少不同的杂质，有的，甚至杂质占绝对多数，而有效物质仅占百分之几或不到百分之一呢！

矿石里的杂质主要是石英、石灰石、长石，等等，它们在地层结构里，和金属矿物成层次地或羼杂地混和存在着，所以在冶金学里称为脉石。脉石多时必须预先去除，去除方法一般可用物理方法，例如利用比重的不同，用水淘洗分离。这种在冶炼之前设法去除大部分的脉石的过程，叫做选矿。选矿是一个使有效矿物浓缩的过程，它能使下一步的冶炼操作节省物料和燃料，而且也能使产品比较洁净些。所以选矿是冶金过程的第一步。

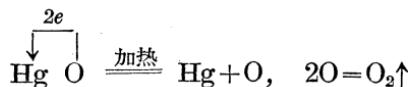
当然，矿石中有效成分含量愈多，它的质量愈高，对冶炼生产愈有利。所以矿石又有所谓贫矿和富矿之分。但是这个区分只有相对的意义。由于各种金属元素在自然界里的存在数量和分布情况不同，使有些矿石的纯度很高，而有些很低。例如，一般认为铁矿的矿石含铁量低于50%的，用来提炼已经不合算了，因此不低于50%含铁量的矿石才算为富矿。相反，对铜矿来说，含铜量在

2% 以上的矿石就不多，不利用它来提炼就没有资源了，所以含铜量大于 2% 的矿就应算是富矿了。并且，这些标准还得看各个国家的资源情况来各自规定。

从矿石的组成形式来说，最有利于冶炼的是氧化物矿。其次是硫化物和碳酸盐矿，因为它们容易轉变成氧化物。我们知道，从金属化合物里取得金属时，从本质来看，是把金属阳离子轉变成中性原子的过程。也就是把金属离子还原的过程。金属氧化物是比较容易还原的，而且它的阴离子——氧元素，容易生成气态物质而分离。所以氧化物是最理想的原料。当然很多輕金属是以氯化物等別种形式存在的，那末我們也可用这些矿物来进行冶炼。但是不論利用何种原料，原則上，必須使用一种还原剂来推进这个氧化-还原过程。

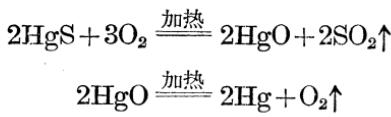
由于金属的活动性强弱不同，促使其离子結合电子而还原成金属原子所需要的还原剂的强度也就不同。所以金属的冶炼法也有多种，从类型分，主要有下列几种：

1. 加热法 排在金属活动性順序的后面几种金属，它們的离子很容易結合电子。所以它們的氧化物或硫化物，只要在空气中加强热就可以把它們还原成金属。例如在 § 1·3 里举例过的氧化汞加热分解：

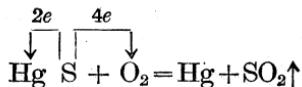


高温下，氧离子轉移电子給汞离子，使它們同时而分別氧化和还原成二种单质。

如果是硫化汞在空气里加强热，反应如下：



用电子轉移过程来表示，反应实质是：



在 HgS 分子中的硫离子(負二价的)放出 6 个电子，其中 2 个轉移給汞离子使其变成汞原子；4 个轉移給氧原子(氧气)，跟 +4 价硫原子結合成二氧化硫。

工业上就是用此方法从辰砂矿(硫化汞)制取汞的。

2. 使用还原剂法 这类方法的应用最普遍。在金属活动性順序里，前面几种輕金属之后，在汞之前的那些金属，一般都可用这类方法冶炼。但具体所用的还原剂，则又将視金属活动性的强弱不同而分別选取。当然对提炼出来的金属純度的要求也应考虑在内。常用的还原剂有焦炭、一氧化碳、氢气和活动金属等。

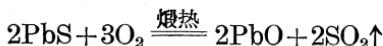
(1) 用炭作还原剂。焦炭是最普遍应用的还原剂，它的价钱最便宜，而且还原性也相当强，一般金属氧化物在高温下都能被它还原(炭同时作为燃料)。例如，从錫石(SnO_2)、赤銅矿(Cu_2O)等冶炼金属时都用此法，反应是：



焦炭对某些重金属碳酸盐矿也能适用。它們的反应是首先加热分解成氧化物，然后再还原。例如冶炼菱鋅矿(ZnCO_3)的反应是：



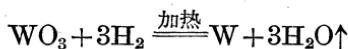
如果是硫化物矿，则可以先在空气里煅燒制成氧化物，然后再用炭还原。例如冶炼方鉛矿(PbS)的反应是：



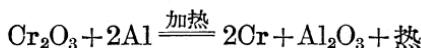
(2) 用一氧化碳作还原剂。炭是固体，可能因和矿石接触不好，还原作用会受到影响。把炭氧化成一氧化碳气体后，仍具有相当强的还原能力。在焦炭冶炼炉里，实际上，起主要还原作用的确实是那生成的一氧化碳。例如高炉炼铁的主要还原反应是：



(3) 用氢气作还原剂。用氢作还原剂的优点有二：还原能力强；不会沾污炼成的金属。对冶炼难还原的金属氧化物，或者需要制取纯净的单质时，常使用氢气，例如冶炼钨砂的反应是：



(4) 用比较活动的金属作还原剂。金属能够相互置换已在前面讲过。利用比较活动的而又价廉的金属来还原制取另一种较贵的、较难还原的金属，现在已是广泛应用的方法了。例如，铝现在已是能够大量生产的、生产成本较低的一种金属，它的活动性又很强，跟氧化合时能放出大量热能，使温度急骤升高。因此如果把铝粉跟那些活动性比它弱些的金属氧化物混和在一起灼热，引起它们的反应以后，就会发生爆炸性的强烈反应，使另一种金属离子还原。并且由于反应所生的热量，能使生成的金属熔化成液态，便于和渣滓分离与浇铸成型。难熔的铬、锰等金属现在多用此法炼制。反应如下：



3. 电解法 排在金属活动性顺序的最前面几种轻金属都是非常活动的金属，很容易失去电子，一般的还原剂就无法使这些金属离子结合电子而还原。我们必须用强有力的电子流强迫它们结合。电解法就是以这个原理为基础的。

在化学第二册电离学说一章里，我们讲过电解原理以及这种方法的应用，这里不再重复。

习 题 1·5

1. 解釋下列各名詞并举例說明：矿石，脉石，貧矿，富矿，选矿，冶炼。
2. 冶炼金属的化学反应的本质怎样？哪些类型矿石对冶炼最合适？为什么？
3. 最常用的冶炼法是哪一种？哪些是常用的还原剂？为什么要采用不同的还原剂，它的根据是什么？举例說明。
4. 电解法常用在冶炼哪些金属？它的原理怎样？
5. 含 80% HgS 的辰砂矿 2 公斤，理論上可以制得多少公斤的汞？同时能产生二氧化硫气体多少升（在标准状况下）？
6. 用炭还原含氧化亚铜 2% 的赤铜矿 100 吨，在理論上可以制得铜多少吨？

本 章 提 要

1. 金属元素的原子結構 金属元素的原子結構的特征是，原子的最外电子层的电子数常为 4 个以下。这决定了金属原子容易放出电子而变成带正电荷的阳离子的倾向。典型金属不能結合电子。从电子观点看，金属元素这个概念是：在化学反应里它的原子容易放出电子而轉变成带正电荷的阳离子的一种元素。

2. 金属结构 固态金属是晶体，是由原子按一定方式排列形成。部分原子放出电子（自由电子）成阳离子。所以金属结构是由中性原子、阳离子和自由电子构成的。

3. 金属的性质

(1) 共同的物理特性：金属都具有特殊的金属光澤、不透明、是电和热的良导体、有較大的可塑性等，金属的比重、熔点和硬度等差別很大，甚至非常悬殊。

(2) 金属的化学性质：它的共同的、基本的特点是金属原子放出电子而变成带正电荷的阳离子。愈容易放出电子的金属，化学性愈活动，放出电子的过程是氧化过程，因此，凡有金属（单质）参加的或生成的反应都是氧化-还原过程。

4. 合金 一种金属和其他一种或几种金属或非金属熔合在一起所生成的均匀液体，經冷凝后得到的固体，叫做合金。

合金的物理性质与組成它的成分物质的物理性质有很大的不同；有些合

金，在化学性质方面也有很大的改变。合金可以适用于现代技术上各种各样的要求。

5. 金属活动性顺序 把各种金属按照它们的化学活动性的降低而排列成的一个顺序。它能指示下列二点：

(1) 排在左面的金属能够从排在它右面的金属盐溶液中置换出后者；反之则不能。

(2) 排在氢左面的金属能从稀酸溶液中置换出氢气，反之亦不能。

非金属跟金属的化合反应，这个规律大致上也能适用。

6. 氧化-还原反应 从电子观点看，氧化-还原反应是电子的转移过程。在化学反应里放出电子的变化叫做氧化；得到电子的变化叫做还原。反应前后，元素化合价的改变，是氧化-还原反应的特征。

氧化剂和还原剂是指参加反应的一种物质来说的。在反应过程里，它的原子或离子得到电子的物质，叫做氧化剂；放出电子的物质，叫做还原剂。而实际发生电子得失的往往是其中一部分原子或离子。

7. 金属的锈蚀 金属或合金由于跟周围接触到的气体或液体进行化学反应而损耗的过程，叫做金属的锈蚀。锈蚀是金属原子的一个氧化过程。从引起锈蚀的原因不同，可分为化学锈蚀和电化锈蚀两种。

防止金属锈蚀的方法，原则上四种：(1) 制成合金，改变金属性能；(2) 表面复盖一层保护膜；(3) 经常保持金属表面洁净干燥；(4) 不和有腐蚀性的物质经常接触，不同的金属不放在一起。

8. 冶炼金属的一般方法 冶炼金属是指从矿石中取得金属的过程，是金属离子的一个还原过程。冶金操作主要有选矿和冶炼两步。

冶炼方法一般有加热法；使用还原剂法；电解法等几种。方法的选择，可根据金属的活动性强弱而定。

复习题一

1. 金属元素和非金属元素在原子结构上有什么不同特点？从而反映在元素周期表里，典型金属和典型非金属的位置各在哪个部位？为什么在同一周期里的元素的金属性，从左到右逐渐减弱；而在同一主族里的元素的金属性，从上到下逐渐增加？

2. 下列名词的涵义怎样？它们有无绝对的明确的科学意义？(1) 轻金属和重金属；(2) 黑色金属和有色金属；(3) 活动金属和不活动金属；(4) 贫矿和富矿；(5) 矿物和矿石。

3. 在化学第一册里，我們把化学反应分成四个基本类型，而同时又提出氧化反应和还原反应。在学习了本章之后，你对它们有怎样的进一步认识？这样分类方法的相互关系怎样？

4. 为什么說，研究防止金属锈蝕的方法和研究冶炼金属的方法有同等重要意义？从整个反应过程来看，金属锈蝕和冶炼金属同是氧化-还原过程，但它们的区别在哪里？

*5. 把一滴未知盐溶液滴在已擦亮的銅板上，經過一段时间后，用蒸餾水把液滴洗去，在銅板上留有一个光亮的斑点。如果把这銅板加热，斑点便消失了。根据上述現象，分析并推論这是什么盐溶液？并写出有关反应的化学方程式。

[提示：銅能置换什么金属？什么金属是具揮发性的？]

*6. 把 100 克重的鐵片浸在硫酸銅的溶液里，一段時間后取出，在鐵片上復蓋一层銅，用蒸餾水洗清、烘干、称量，鐵片已增重了 1.3 克。問在鐵片上復蓋着多少銅？

[提示：1 克原子鐵能置换出 1 克原子銅來。]

7. 用适当的字或詞填入下列各空白处：

- (1) 金属的活动性越____，越____放出电子，它的离子越____結合电子。
- (2) 金属原子在化学反应里容易____电子轉变成_____，从而发生了____反应。它把电子轉移給非金属____，或____或較____金属的____。在反应里，金属是还原剂，而_____等是氧化剂。
- (3) 在电解时，阴极发生的是____反应，阳极发生的是____反应；在原电池里，负极发生的是____反应，正极发生的是____反应。
- (4) 如果在金属的表面上存在着另一种____金属，或____杂质，这种金属就容易发生____锈蝕。____是正极，____是负极，电子从____到____形成电流。
- (5) 冶炼金属时，可以用比这种金属活动性較____的另一种金属作____，因为后者較前者容易____电子而使这种金属离子____。

第二章 碱 金 属

在上一章里，我們已經知道了金屬原子結構的特徵和它們的共同特性，以及一般的冶煉方法。在這基礎上，我們將選擇一些重要的、具有典型性的金屬以及它們的一些重要化合物，作比較系統的學習，使我們能在獲得有關這些金屬的知識的同時，對金屬的通性能有更深入的認識。

學習將按元素周期表的分類順序進行，本章首先學習碱金屬。

§ 2·1 碱金屬的通性

元素周期表第 I 類主族元素鋰 (Li)、鈉 (Na)、鉀 (K)、鉻 (Rb)、銫 (Cs) 和钫 (Fr) 等六種元素統稱為碱金屬，因為它們的氫氧化物都是能溶於水的強鹼。

碱金属的物理性质 碱金属都是具有強烈光澤的銀白色金屬，但表面容易氧化而失去光澤。比重都很小，熔點沸點也都很低，硬度不大，這些在金屬通性一章里，以及在下面學習鉀、鈉的性質時可以看到。

碱金属的原子结构和它们的化学性质 碱金属元素的原子序数、原子量和它们的电子层结构如表 2·1 所示。

从表 2·1 可以看出，碱金属原子最外电子层上都只有 1 个电子，次外层上都有 8 个电子。这种结构决定了它們在化学反应里很容易放出 1 个电子而变成带 1 个单位正电荷的阳离子。因此碱金属的化学活动性都非常强，是很强的还原剂。它們組成化合物时都显示 +1 价。

表 2·1 碱金属元素的原子结构

元素名称	锂(Li)	钠(Na)	钾(K)	铷(Rb)	铯(Cs)
原子序数	3	11	19	37	55
原子量	6.94	22.99	39.10	85.48	132.91
电子层结构	(+3) 2 1	(+11) 2 8 1	(+19) 2 8 8 1	(+37) 2 8 18 8 1	(+55) 2 8 18 18 8 1

随着电子层数的增多，最外层电子和核的距离愈来愈远，这个电子放出的倾向性就愈大。因此碱金属的化学活动性依 Li-Na-K-Rb-Cs 的顺序而增强。铯是化学活动性最强的金属元素①。

这是符合实际情况的。例如碱金属在空气里，常温下，都能迅速氧化生成氧化物（分子式的通式为 R_2O ）；而铯还能发生自燃。碱金属不仅能置换出酸里的氢，并且跟水也能剧烈反应，产生氢气，并放出大量的热；而铯跟水反应会发生爆炸！碱金属氧化物都能溶于水而生成氢氧化物（分子式的通式是 ROH ）。它们的氢氧化物都是强碱。所以碱金属所显示的金属性质是最强的。

碱金属组成的盐类，除锂的一些盐 (LiF , Li_2CO_3 , Li_3PO_4) 外，几乎都易溶于水。

在碱金属元素里，最有实用价值的是钠和钾，所以我们重点介绍钠和钾两种元素。

习题 2·1

- 元素周期表里第 I 类主族元素为什么称为碱金属？碱金属包括哪几个元素？写出它们的元素符号和名称。
- 画出碱金属的原子结构简图，并应用原子结构理论解释：
- (1) 碱金属里铯是最强的还原剂；

① 按理应铯是化学活动性最强的金属，但它是一种人工放射性元素，在自然界里存在量极微，存在时间极短，目前对它的性质了解得很不够，所以一般就把铯看作是化学活动性最强的金属元素。

- (2) 碱金属元素在化合物里的化合价总是 +1 价；
 (3) 化学活动性依 Li-Na-K-Rb-Cs 的順序递增的原因。

§ 2·2 鈉 和 鉀

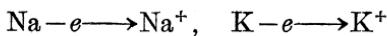
鈉和鉀的物理性质 鈉和鉀的物理性质列表如下：

表 2·2

物 理 性 质	鈉	鉀
色 澤	銀白色有光澤	同 鈉
比 重 (克/厘米 ³)	0.97	0.86
熔 点 (°C)	98	62.3
硬 度 (以金剛石为 10)	0.4	0.5
导 电 和 傳 热	良 导 体	良 导 体

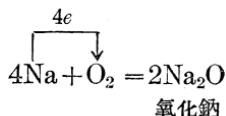
鈉和鉀的銀白色的美丽光澤只当新切开的表面上可以看到，通常見到的是一种淡黃色蜡状固体，这是由于鈉、鉀非常容易氧化，它們的表面常帶有一层氧化物的緣故。鈉和鉀是金属中最軟的，很容易切割开来。它們比水輕，所以在用来制取氢气时，能浮在水面上游动，并由于熔点低，反应热就能把它們熔化成圓珠状（參見后面图 2·1）。

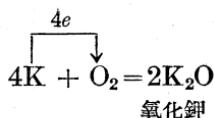
鈉和鉀的化学性质 从本质上來說，一切有鈉和鉀参与的化学反应，都是它們放出 1 个电子，轉移給別种元素的原子或离子的过程：



鉀原子比鈉原子更容易放出电子，所以鉀的化学活动性比鈉更强。一般說来，反应都是很剧烈的。

1. 跟氧的反应 在常温下，鈉、鉀跟氧气迅速化合，生成氧化物：

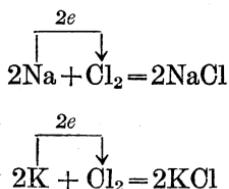




即使在空气里，这个反应也迅速进行，所以保存鈉、鉀时必須和空气隔絕。常用的方法是：大量的鈉用密封鋼筒存儲；小量的鈉則可浸在煤油里。

在加热的条件下，鈉、鉀在空气里即燃燒，在純氧里燃燒将更猛烈。燃燒时鈉呈現黃色火焰，鉀呈現紫色火焰；生成黃色粉末状的过氧化鈉 (Na_2O_2) 和过氧化鉀 (K_2O_2)。这在后面一节 (§ 2·3) 里将詳細讲到。

2. 跟氯气及其他非金属的反应 鈉和鉀都能跟氯气猛烈反应，在常温下就能燃燒起来，生成氯化物：



鈉或鉀跟其他許多非金属反应也很猛烈，例如，跟硫反应时就会发生爆炸。

3. 跟水的反应 鈉在常温就能跟水反应置换出氢气。

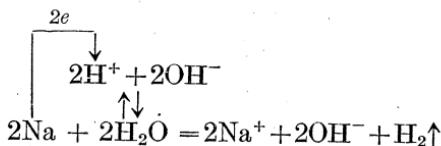
用镊子取一小块鈉（除去鈉块外面的煤油），把它投入水里，鈉块立即熔化成銀白色小球，浮在水面上，迅速地向各个方向游动，发出嘶嘶响声，鈉球逐渐变小，最后消失。这个現象，是由于因反应热而熔化成的鈉小球跟水接触处发生反应而产生氢气，把鈉球向上推动，但各部位所产生的氢气的量不等，推动力不均衡所导致的。有时反应过份剧烈，可能会把鈉小球和水液推出容器，所以最好用一只漏斗把反应容器罩起来（如图 2·1）。



图 2·1 鈉跟水起反应

如果要檢驗所产生的氫氣，可把一只試管套在漏斗管上收集。反應結束後，在溶液里加入几滴酚酞指示劑，溶液就顯示紅色。可以證明溶液里已生成了鹼。

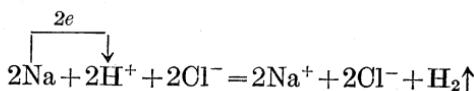
反應的實質，可用下面的離子方程式表示：



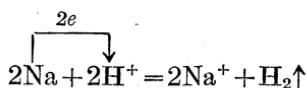
不難理解，由於鈉的活動性比氫強（參見（§1·2）金屬活動性順序），所以電子自鈉原子轉移給氫離子。

鉀跟水的反應也是這樣，只是因為它比鈉更活動，所以反應更猛烈，致使溫度升高，往往導致生成的氫氣發火燃燒。

4. 跟酸的反應 鈉、鉀跟酸溶液反應的本質和跟水反應的本質相同，但反應更猛烈得多，這是由於酸溶液裡的氫離子濃度比水裡大，所以電子轉移得更容易的緣故。例如，鈉跟鹽酸溶液反應是：



或

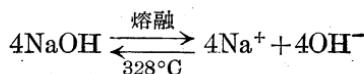


由於上述的一些反應裡都包括電子的轉移過程，所以它們都是氧化-還原反應。在這些反應裡，鈉和鉀是還原劑，非金屬原子和氫離子是氧化劑。

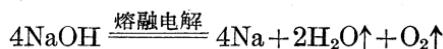
鈉、鉀在自然界的存 在 從上述的鈉和鉀的化學性質來看，它們不可能以游離態存在於自然界裡，只能以化合態存在。鈉的化合物在自然界裡分布很廣，數量也很多，主要以氯化鈉的形式存在在海水、咸水湖裡和岩層中。人類大量地從那裡把它制取出食

盐。此外，还有硫酸鈉、硝酸鈉等鈉的盐类。鉀的化合物在自然界里存在的数量也不少，但大都是組成很复杂的岩石，如长石、云母等。简单鉀盐如氯化鉶等的矿床不多。鉶是植物体内的一种重要元素，植物从土壤的养分里吸收得到。因此陆生植物和海藻燃燒后的灰分里都含有碳酸鉶。

鈉、鉶的制取和用途 由于鈉、鉶本身是强还原剂，一般还原剂不可能把它們还原出来，因此工业上用电解法制取。最初用氢氧化鈉或氢氧化鉶作原料，在熔融状态下电解；反应如下：



合併成总的化学反应为：



現在已改用氯化鈉或氯化鉶为原料进行电解了，在阳极同时得到氯气。

鈉和鉶的单质現在也有多方面的用途。例如在有机物合成中作还原剂或催化剂；制造某些合金；制取某些化合物，如氰化鈉(NaCN)、过氧化鈉(Na_2O_2)等。

习題 2·2

1. 画出鈉和鉶的原子結構以及离子結構的图式，举出它們的原子变成离子的反应各二例。
2. 根据鈉和鉶的原子結構，解釋为什么它們都是强的还原剂？为什么鉶的化学性质比鈉活动？从哪些实验或事例可以証明？
3. 怎样保存鈉或鉶？为什么？
4. 金属鈉或鉶着火时为什么不能用水灭火？
5. 現有一块金属鈉和一块金属鉶，怎样鉴别它們？

6. 从鈉和鉀的化学性质推論其他碱金属的化学性质：

- (1) 跟氧气化合的能力；
- (2) 氧化物水化物的性质；
- (3) 跟水的置换反应。

7. 金属鈉跟熔融冰晶石(Na_3AlF_6)反应，可得到金属鋁和氟化鈉。試說明鈉原子发生什么变化？哪一种原子或离子是氧化剂？哪一种原子或离子是还原剂？

[提示：冰晶石熔化后，电离生成鈉离子、鋁离子和氟离子，它跟鈉发生置换反应。]

8. 写出电解熔融氢氧化鉀制取鉀的化学方程式。

9. 为什么制取金属鈉或鉀时，必須用它們的熔融状态的碱或盐进行电解，而不用它們的碱或盐的水溶液？試舉例說明。

10. 在100克水里加入4.6克鈉，能生成多少克分子氢氧化鈉？溶液的百分比濃度是多少？

[提示：水跟鈉起反应，消耗了一部分水，因此反应后溶液总重量是剩余的水重量和生成的氢氧化鈉的重量。]

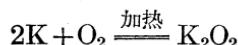
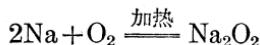
11. 1克鉀跟水反应，放出250毫升氢气(标准状况下)。試求金属鉀的純度。

§ 2·3 鈉和鉀的化合物，鉀肥

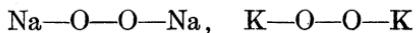
鈉和鉀的氧化物 鈉和鉀露在空气里或在較低温度下(180°C以下)跟氧化合，生成白色氧化鈉(Na_2O)和淡黃色氧化鉀(K_2O)粉末。这些氧化物都能跟水起反应，生成苛性碱——鈉和鉀的氢氧化物：



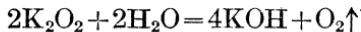
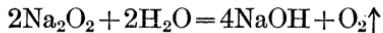
但在空气中或純氧气里加热鈉和鉀，就会生成淡黃色过氧化鈉(Na_2O_2)和过氧化鉀(K_2O_2)粉末：



在过氧化物分子里，两个氧原子自相联結成原子团，所以鈉和鉀在过氧化物里的化合价仍是 +1 价，它們的結構式是：

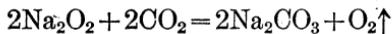


过氧化鈉和过氧化鉀跟水反应时也生成苛性碱，同时有氧气生成：



因此，过氧化鈉和过氧化鉀是强氧化剂，在工业上用过氧化鈉作漂白剂以漂白麦杆、羽毛等。

过氧化鈉露在空气里，会跟二氧化碳发生反应，生成氧气和碳酸鈉：

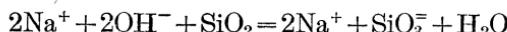


所以过氧化鈉必須保存在干燥和不跟空气接触的容器里。但利用这个性质可以用它在防毒面具和潜水艇里，以吸收二氧化碳和供给氧气。

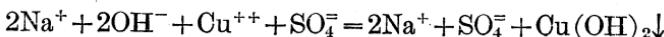
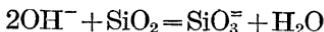
鈉和鉀的氢氧化物 鈉和鉀的氢氧化物——氢氧化鈉和氢氧化鉀——都是白色的固态物质，暴露在空气里容易潮解，在水里的溶解度都很大，溶解时会放出大量的热。它們的溶液有肥皂似的滑腻感觉，濃溶液有很强的腐蚀性，皮肤、織物、紙等都能被腐蚀，因此它們又叫苛性鈉和苛性鉀。在使用它們的固体和溶液时，必须十分小心，如果在衣服或手上沾着以后，必须立即用水冲洗干淨。氢氧化鈉和氢氧化鉀都是强电解质（强碱），即使很濃的溶液也几乎能完全电离成氢氧根离子和金属离子。因此溶液具有碱的一切性质，能跟酸、酸酐和盐等反应，例如：



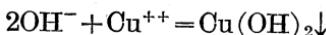
或



或



或



实验室里盛放氢氧化钠或氢氧化钾(固体或溶液)的玻璃瓶不可用玻璃塞子,因为它能跟玻璃成分里的二氧化硅反应,分别生成硅酸钠和硅酸钾(俗称水玻璃),是一种粘合剂,会使瓶颈和玻璃塞子粘连在一起。当然长期盛放它们的玻璃瓶也会被腐蚀。酸式滴定管不能装碱溶液,也是这个缘故。氢氧化钠或氢氧化钾的固体熔化或蒸煮浓溶液时,也不能用玻璃或瓷的坩埚或蒸发皿,可以用铁坩埚。

氢氧化钠是基本化学工业中最重要的产品之一。工业上又叫它烧碱。它的制取方法,我们将§2·4中介绍。氢氧化钠主要用来制造肥皂、精炼石油、造纸、制造人造丝等等。

制取氢氧化钾的成本比较高。在化学反应里氢氧化钾和氢氧化钠的作用基本上相同,可是1克分子氢氧化钠只需用40克,而1克分子氢氧化钾需要用56克。因此实验室里一般都用氢氧化钠,除非特殊的应用,如制液态钾肥皂时,才用到氢氧化钾。

钠盐和钾盐及其检验法 钠盐和钾盐一般都是无色或白色的固态物质,都易溶于水。现将比较重要的几种钠盐和钾盐,列于表2·3。

其中氯化钠(即食盐)是一种最主要的钠的化合物。它不仅是生活必需品,而且是基本化学工业上的重要原料。碳酸钠(俗称纯碱)应用很广泛,是一种基本化学工业的重要产品,它的重要性可与硫酸相比拟。

钠盐和钾盐的性质很相似,只能用特殊反应才能把它们鉴别开来。最简便的一种方法是焰色反应检验法。当钠盐或钾盐放在

表 2·3

名 称	分 子 式	俗 名	性 质	主 要 用 途	存 在 或 制 取 法
氯 化 钠	NaCl	食 盐	白色晶体, 易溶于水, 味咸	调味, 制取钠和其他氯化物, 以及氯气和其他氯的化合物	海盐、岩盐、井盐、池盐都是氯化钠
硫 酸 钠	Na_2SO_4		白色晶体, 易溶于水	制造玻璃	存在于咸水湖里
十水合硫酸钠	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	芒 硒	无色晶体, 易溶于水	泻剂、印染	
硝 酸 钠	NaNO_3	智利硝	白色晶体, 易潮解, 易溶于水, 溶液呈中性	肥料, 实验室制硝酸	美洲智利有很多矿藏
氰 化 钠	NaCN	山 奈	无色晶体, 剧毒, 极易溶于水, 易潮解	电镀、冶金、淬火和有机合成, 制 HCN , 薯粮食仓库、灭鼠杀虫	
碳 酸 钠	Na_2CO_3	纯 苏 打	白色粉末, 水溶液呈碱性	制造玻璃、炼钢、纺织、造纸、制肥皂和淨化石油等	用氨碱法制得, 见 § 2·5
十水合碳酸钠	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	洗滌碱	无色晶体, 水溶液呈碱性	洗涤	
碳 酸 氢 钠	NaHCO_3	小苏打	白色粉末, 水溶液呈弱碱性	制发酵粉, 灭火机药和制发醉粉	用氨碱法制得的中间产物
硝 酸 钾	KNO_3	火 硝	无色粒状晶体, 极易溶于水, 溶液呈中性	制取含 N 和 K 的化肥、黑火药	硝酸钾跟氯化钾热饱和溶液起分解反应后, 冷却而制得
氯 化 钾	KCl		白色晶体, 易溶于水, 溶液呈中性	肥料, 制取钾玻璃、钾和其他钾的化合物	某些盐湖里含有氯化钾, 亦是晒盐场的副产品
碳 酸 钾	K_2CO_3	钾 碱	白色粉末, 易潮解, 易溶于水, 溶液呈碱性	肥料	可用氯化钾来制取, 或从草木灰里萃取得到

无色的火焰上燃燒时，一切鈉盐都呈現黃色火焰；而一切鉀盐都呈現紫色火焰。从焰色上，就可以區別它們。

實驗室操作如下：用一根光洁无銹的鐵絲（或用鎳鉻絲、鉛筆芯，最好用鉑絲），把鐵絲的一端熔接在玻璃棒上以作把手。鐵絲的另一端圈成小环，用純鹽酸（或純硝酸）洗淨鐵絲的表面，在火焰中灼熱鐵絲看看火焰是否无色（暗桔黃色），否則應再用鹽酸洗淨。于是在小环上沾一些盐的晶体或溶液，再把鐵絲放到无色火焰中灼燒（图 2·2）。觀察火焰的顏色，就能鑑別鈉盐和鉀盐。鐵絲使用一次以后，必須用酸洗淨。

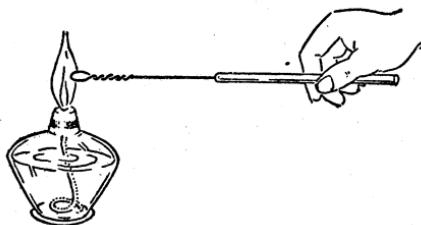


图 2·2 用焰色反应檢驗鈉盐或鉀盐

这个試驗，对鈉盐非常灵敏，即使微量鈉盐就会产生强烈的黃色火焰，因此如果焰色所呈黃色不明显，倒可能不是鈉盐了。同时試驗时必須注意，即使沾有微量鈉盐，对鉀盐的鉴定就有很大妨碍，因为强烈的黃色火焰会把紫色火焰遮盖。因此檢驗鉀盐时应用藍色的鈷玻璃隔火焰观察。因为藍玻璃能吸收黃色的光，而不吸收紫色的光，这样可以正确地檢出鉀盐。

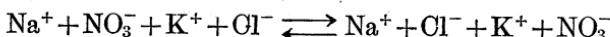
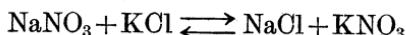
鉀肥 氮、磷、鉀三种元素是植物生长和生活所必需的营养元素，又是土壤最感缺乏的元素，所以施用氮肥、磷肥和鉀肥是增长农业生产的重要手段。在第二册里我們已介紹过氮肥和磷肥，这里我們來介紹鉀肥。

合理施加鉀肥，能使植物正常生成，不容易受病菌感染，能增强抗寒、抗旱的能力。它还能使莖秆坚实，不容易倒伏；并使糖、淀粉的合成能力提高。对块根植物施加鉀肥特別有效。現在介紹几种常用的鉀肥。

氯化鉀和**硫酸鉀**都是重要的鉀肥。自然界里氯化鉀常和氯化鈉在一起，形成鉀岩盐矿。硫酸鉀和硫酸鋁形成复盐——明矾石，因此综合利用明矾石可提供肥料(硫酸鉀)和炼鋁原料。

碳酸鉀存在于草木灰里，因此农村中常把草木灰作为肥料，例如向日葵的灰分里含碳酸鉀高达55%。一般用水浸取草木灰，将浸出液蒸发而制得碳酸鉀。碳酸鉀的水溶液呈碱性，因此不能跟氨态氮肥—— $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NH_4NO_3 、 NH_4Cl 、 NH_4HCO_3 和人粪尿等混合施肥，否則，氨容易游离出来，造成氮肥的损失。

硝酸鉀是氮鉀混合肥料，又是黑火药的成分之一。天然出产的硝酸鉀量不多，可以将硝酸鈉跟氯化鉀进行复分解反应来制取：



这个反应是可逆的。但是我們可以利用这些盐在不同温度下的溶解度不同，来促进这个反应向右进行。我們先来看表2·4：

表2·4 氯化鈉、氯化鉀、硝酸鈉和硝酸鉀的溶解度(克/100克水)

名 称 溶 解 度	NaNO_3	KCl	NaCl	KNO_3
温 度 $^{\circ}\text{C}$				
0	73	28.5	35.6	13
100	175	56	39.1	246

从表里可以看出，在較高温度下，硝酸鉀的溶解度大于氯化鈉；而在較低温度时，情况恰巧相反。因此如果把氯化鉀和硝酸鈉的热饱和溶液混和时，就有氯化鈉晶体析出。把晶体即刻滤去，将滤液蒸发濃縮，氯化鈉繼續从溶液中析出，并随时滤去。这样促使化学平衡向右移动，而生成硝酸鉀的較濃溶液。然后把硝酸鉀溶液冷却，由于硝酸鉀的溶解度迅速减小而結晶出来。这时因氯化鈉的溶解度的变化很小，只有很少氯化鈉結晶出来。这样就得到

了比較純的硝酸鉀。

要表达鉀肥的有效成分含量，通常也是用氧化物的形式即 K_2O 的百分数来表示的。例如分析純淨 K_2CO_3 試樣結果，用 K_2O 含量来表示，是：

$$\frac{K_2O}{K_2CO_3} \times 100\% = \frac{94}{138} \times 100\% = 68.1\%$$

同样，純淨 KCl ，用 K_2O 含量来表示，则为：

$$\frac{K_2O}{2KCl} \times 100\% = \frac{94}{149} \times 100\% = 63.1\%$$

因此純淨 K_2CO_3 的含鉀肥量要比純淨 KCl 的高一些。如果把它们相互折算起来，则 1 克純淨 K_2CO_3 相等于 1.08 克純淨 KCl 。計算如下：

$$1 \text{ 克} \times 68.1\% = x \text{ 克} \times 63.1\%$$

$$\therefore x = 1 \times \frac{68.1}{63.1} = 1.08 \text{ 克純淨 } KCl$$

例如，某一块田，本来施用含 0.3% K_2O 的糞肥 10 吨，如果改用純淨 KCl ，它的用量多少？可計算如下：

$$10 \text{ 吨} \times 0.3\% = x \text{ 吨} \times 63.1\%$$

$$\therefore x = 10 \times \frac{0.3\%}{63.1\%} = 0.0475 \text{ 吨} (KCl)$$

习題 2·3

1. 怎样从氢氧化鈉制备下列物质？写出离子方程式：

- (1) 硝酸鈉， (2) 硫酸氢鈉， (3) 硫酸鈉，
(4) 碳酸鈉， (5) 鈉。

2. 为什么盛放氢氧化鈉固体或溶液的瓶子，不能用玻璃塞？为什么盖子要严密？如未盖严密，对氢氧化鈉固体和溶液各有什么影响？并用化学方程式表示可能发生的化学反应。

3. 氢氧化鈉可用来吸收氯气、二氧化碳以及干燥气体，各是利用它的什么性质？

4. 为什么称氢氧化鈉为苛性鈉？它在工业上有什么用途？

5. 實驗室里熔化氫氧化鈉，你選用下面材料中哪一種制成的坩堝？並說明理由：

(1) 鐵，(2) 玻璃，(3) 石英，(4) 瓷(粘土、石英和長石製成)。

6. 寫出下列反應的化學方程式：

(1) 碳酸氫鈉轉變成碳酸鈉；(2) 碳酸鈉轉變成碳酸氫鈉。

7. 如果說“酸式鹽能跟鹼反應生成正鹽，所以碳酸氫鈉的水溶液呈酸性”，這個結論對嗎？試詳細分析之。

8. 有哪些用途是利用小蘇打遇酸劇烈地反應放出二氧化碳的性質的？

*9. 為什麼運用結晶法可以從許多混有氯化鈉杂质的鹽裡分離出氯化鈉？

[提示：比較氯化鈉的溶解度曲線和其他化合物的溶解度曲線。]

10. 從智利硝和氯化鉀來製取硝酸鉀的反應是可逆的，利用什麼原理使化學平衡向生成硝酸鉀的方向移動。

11. 為什麼草木灰不能跟氨態氮肥和人糞尿等肥料摻和施用？

12. 現在有 NH_4Cl 、 KNO_3 、 KCl 和 NaNO_3 四種化肥，怎樣用實驗來鑑別它們？寫出實驗步驟和發生的現象。

[提示：本題可列表解答如下。這裡並未全部完成，讀者可繼續進行。]

現象 步驟	I	II	III	IV
1. 各取少許，用蒸餾水溶液配成溶液				
2. 各取溶液少許，加入濃硫酸和銅片，並加熱	在試管口有棕色氣體二氧化氮生成，證明是硝酸鹽	在試管口有棕色氣體二氧化氮生成，證明是硝酸鹽	沒有現象	沒有現象
3. 用鐵絲分別沾少些硝酸鹽溶液，在無色火焰上灼燒	黃色火焰，證明是鈉鹽	隔藍色玻璃觀察火焰呈紫色，證明是鉀鹽		
結果	NaNO_3	KNO_3		

13. 含 K_2O 40%的硫酸鉀肥料，試計算硫酸鉀的百分含量是多少？

14. 含0.3% K_2O 的糞40噸的肥效相當於含 KCl 35%的鉀肥多少噸？

15. 將0.56克氫氧化鉀溶於水製成1升溶液。取出50毫升溶液用盐

酸來滴定，用去 0.01 克分子濃度的鹽酸溶液 45 毫升。試計算氫氧化鉀的純度。

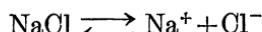
16. 用等量的碳酸氫鈉制取二氧化碳，若(1)用煅燒碳酸氫鈉法；(2)用跟酸反應法；兩者得到的二氧化碳的量是否相等？試結合化學方程式來說明。

§ 2·4 氢氧化鈉(燒鹼)的工業制法

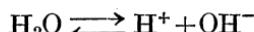
氫氧化鈉(燒鹼)是一種重要工業原料，需要量很大，所以必須大量生產。工業上生產燒鹼都採用電解食鹽水溶液的方法。現在把这个工業制法的基本原理，設備和操作方法，原料和產品的處理等分段講述于下。

化學原理 在第二冊電離學說一章中，我們已經知道，當直流通電通過電解質溶液時，離子會作定向的運動，而且分別在電極上放電發生氧化和還原反應。

那末，當直流通電通過食鹽(NaCl)水溶液時的情況怎樣呢？我們首先來考慮溶液中有哪些離子。氯化鈉是強電解質，溶入水中即全部電離成離子：



同時我們知道，水雖是極弱的電解質，但畢竟也有少量的電離：



因此，在溶液里存在四種離子： Na^+ , Cl^- ; H^+ , OH^- 。

當通入直流通電時，原來不規則運動的離子，立即會定向運動： Na^+ 和 H^+ 向陰極運動， Cl^- 和 OH^- 向陽極運動。

在陰極的表面上，由於氫離子比鈉離子容易跟電子結合，所以氫離子首先從電極得到電子還原成中性氫原子，結合成氫氣分子從陰極放出：



而 Na^+ 仍留在溶液中。

在阳极的表面上，由于氯离子比氢氧根离子容易放出电子，所以氯离子首先失去电子，氧化成中性氯原子，结合成氯气分子，从阳极放出：



而 OH^- 仍留在溶液中。

这样，电解食盐水溶液的结果，得到了三种东西：在阴极上放出的氢气，在阳极上放出的氯气，留在溶液中由 Na^+ 和 OH^- 组成的氢氧化钠（如图 2·3(a)）。所以总的反应可合并写成下列化学方程式：

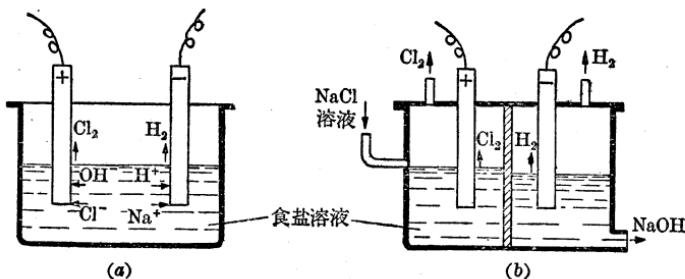
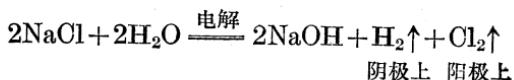


图 2·3

从图里，不难看出将会有这样的情况发生：(1) 如果氢气和氯气从溶液中出来在容器的空间内混和了，会引起爆炸；(2) 如果溶液中 NaOH 积聚太多，浓度逐渐增大，氯气不迅速离开容器，而重新溶解，它们就会发生下列反应：



这样使溶液含有杂质了。

因此，必须设法防止这些情况的发生。

我们是否可以这样设想：用一很薄隔膜使阳极区和阴极区分

开，要求它既能防止氯气和氯气的混和，但又能让溶液缓慢地渗过。这样因氯气和氯气在空间中不混和就不会发生爆炸了，而电流还能通过。此外，在阴极区装一个导管，缓慢而不断地让溶液流出，同时在阳极区也装一个导管，缓慢而不断地流入食盐溶液以平衡之。这样溶液中的氢氧化钠浓度就不会变得太大，跟氯气的副反应就不会发生了。

这个想法是能够办到的，而且事实上也的确行之有效的。在实际操作中，是用一种多微孔的、用石棉布制成的薄膜——“隔膜”把两极区隔开，用示意图来表示，如图 2·3(b) 所示。

最后应该考虑一下，制成电解容器、导管和电极等的材料。我们知道，在反应前后的物质中，氯气和氢氧化钠是有腐蚀性的，因此必须要用能抗蚀的材料。电极要导电，又必须要用导电体。根据这样要求，一般选用石墨板做阳极，铁板做阴极，铁或陶器做容器和导管。至于具体的安排，则可以有各种形式了。

工业用电解槽和操作过程 根据上述原理，工业用的电解槽有好几种形式，主要的有水平式隔膜电解槽和垂直式隔膜电解槽两种。

1. 水平式隔膜电解槽 这种电解槽是以隔膜水平地放置而命名的，如图 2·4 所示。电解槽呈长方形，用水泥制成，槽里用瓷砖衬里，上面有水泥制的盖。电解槽里并列着几个石墨制成的电极作为阳极，阴极是用一块和电解槽底面积相等的铁丝网格，网格上紧贴着石棉布当作隔膜。槽顶有一较长导管，食盐溶液可以从此连续地加入阳极区。槽底有一虹吸管，从此，烧碱溶液可以不断流出。两管都具有活门，可以调节流速。另外阳极区和阴极区各有一导管分别放出氯气和氢气。

电解槽的操作是连续的：精制过的饱和食盐溶液不断地由槽顶长导管中缓缓地注入阳极区，透过隔膜流入阴极区，从槽底虹吸管中缓缓流出。维持一定流速，使溶液保持一定深度。导管的一

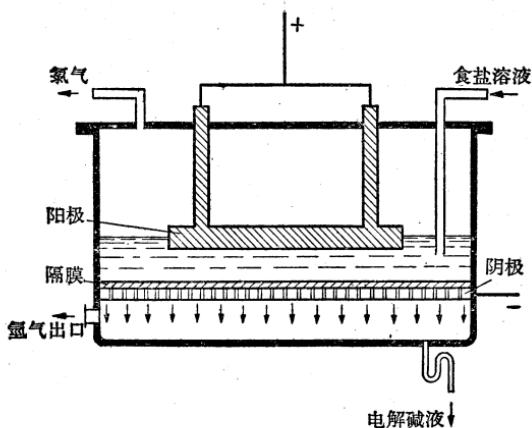


图 2·4 水平式隔膜电解槽示意图

端浸沒在电解槽內食盐溶液里，防止阳极区的氯气从这个导管中逸出。氯气（在饱和食盐溶液里的溶解度比在水里的溶解度小得多）从阳极区另一导管中放出。氢气从阴极区的导管放出。氢氧化鈉和沒有电解的食盐的混和液——电解碱液，从槽底的虹吸管中緩緩流出。应用虹吸管是为了防止空气进入阴极区去，如果空

气与氢气混和后就容易发生爆炸。

电解时电解槽里保持比較高的温度——約 $80\sim85^{\circ}\text{C}$ 左右。提高温度，是为了增快离子的运动速度，增强导电能力，从而减少电阻，以节省电能的消耗。但温度也不应过高，否则将会增加水分的蒸发。

2. 垂直式隔膜电解槽 电解槽的隔膜和槽底垂直的，叫垂直式隔膜电解槽，如图 2·5 所

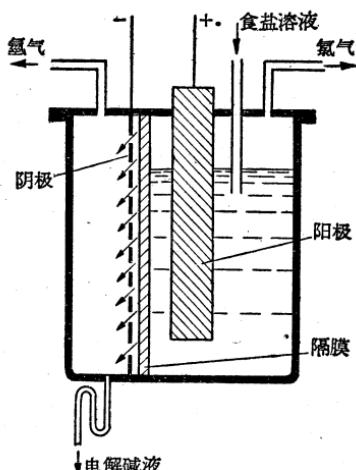
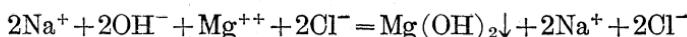
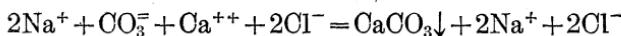


图 2·5 垂直式隔膜电解槽示意图

示：它的特点是占地面积小，电极呈板状也垂直于槽底，板状电极的两个面都接触食盐水溶液，而且阳极和阴极一个间隔一个地、平行地排列着，电极的总面积很大，有利于氢氧化钠的生成。其他和水平式隔膜电解槽完全相似。

原料和产品的处理

1. 食盐饱和溶液的精制 为了提高电解效率，溶液应越浓越好，一般制成饱和溶液。由于工业用食盐中常含有氯化镁、氯化钙等很多有害杂质，它们不仅使制成的烧碱不纯，而且在碱性溶液中， Ca^{++} 、 Mg^{++} 等将生成氢氧化物（氢氧化镁等）沉淀，堵塞隔膜孔隙，影响溶液的流通。所以溶液必须精制。精制的方法是很复杂的，将视杂质而定。去除溶液里的 Ca^{++} 、 Mg^{++} 离子，可用碳酸钠和氢氧化钠，使生成碳酸钙和氢氧化镁沉淀，经澄清后过滤即可：



其他如 SO_4^{2-} 离子也必须除去，可用氯化钡使其沉淀出来。

2. 烧碱水的处理 从电解槽里流出来的溶液是氢氧化钠和未经电解的食盐的混和溶液，一般浓度约为10%的稀碱液，俗称10度烧碱水。由于溶液中含有大量食盐，一般不适合应用，所以必须除去食盐和浓缩溶液。处理方法是加热蒸发。食盐溶解度较小，蒸发过程中逐渐成晶体析出，使碱液的纯度和浓度同时增大。浓缩到一定浓度后的烧碱溶液可以直接供某些工业应用，但也可以蒸发到全部水分除去为止，冷却后成固体的烧碱供用。从蒸发析出的食盐可再用来电解。

3. 氢气和氯气的收集 电解食盐水的另外二种产品氢气和氯气也是工业上极重要的原料。它们的收集和处理方法在第二册卤素一章里已经讲过，这里不再重复了。

除了电解法以外，现在还广泛应用苛化法来制取苛性钠，它是

用純碱溶液跟熟石灰混和一起加热：



这个复分解反应由于生成难溶的碳酸钙，反应是可以完成的。

习 题 2·4

1. 比較熔融的食盐和食盐水溶液的电解过程的相同点和不同点。写出在两个电极上发生的反应和电解反应的总方程式。
2. 画出水平式隔膜电解槽的示意图，并在图上注明：
 - (1) 阴极、阳极及其制作材料； (2) 隔膜及其制作材料；
 - (3) 食盐溶液的入口； (4) 氯气、氢气和电解碱液的出口。
3. 根据电解食盐水溶液的基本原理，回答下列問題：
 - (1) 为什么阳极不能用金属材料制作？
 - (2) 为什么要用隔膜把阴极区和阳极区隔开？
 - (3) 为什么氢氧化钠在阴极区生成？
 - (4) 为什么电解时要維持較高的温度？
 - (5) 为什么食盐溶液要精制？
4. 連續操作法在电解食盐溶液的操作中具有哪些优点？
5. 怎样处理电解碱液？怎样檢驗处理后的氢氧化钠里还含有氯化钠？
6. 什么是苛性钠？它在工业上有哪些用途？为什么苛性钠中常含有些碳酸钠？怎样去檢驗它？
7. 有一瓶苛性钠，取出1克样品溶于水中，用1M的盐酸溶液滴定至中性，共用去23.5毫升盐酸，如果样品里不含有碳酸钠和其他碱性的杂质，则該样品里含氢氧化钠的百分率是多少？
8. 把2克苛性钠样品溶于水中，在溶液里先加入硝酸至中性，然后加入过量硝酸銀溶液，有氯化銀沉淀生成。經過滤、干燥得到0.287克氯化銀。問苛性钠样品里含食盐的百分率是多少？

§ 2·5 碳酸钠(純碱)的工业制法

工业上生产碳酸钠(純碱)大都采用“氨碱法”^①。現在我們

^① 这个生产方法是比利时工程师苏尔維于1861年首先提出的，所以也叫苏尔維法。

把这个方法的化学原理、设备、生产过程和优缺点等分段讲述于下：

化学原理 从碳酸钠的分子式 Na_2CO_3 来看，它是由钠离子和碳酸根离子组成的电解质。因此，制取它最理想的方法是，用两种能提供这些离子的物质为原料，经复分解反应而得到。食盐 (NaCl) 和石灰石 (CaCO_3) 似乎是符合上述要求的最便宜的原料。但是，石灰石不溶于水，不能和食盐直接发生复分解反应生成碳酸钠。事实上，自然界里也没有其他可溶性的碳酸盐可作为原料的。因此必须先制成一种“中间产物”作为过渡。反应原理是这样的：

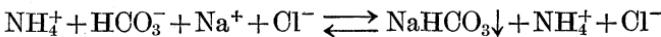
(1) 把石灰石在高温下煅烧，分解得到二氧化碳和生石灰：



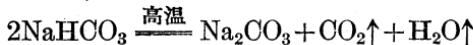
(2) 把二氧化碳通入饱和的氨水中，使生成碳酸氢铵的溶液：



(3) 碳酸氢铵溶液跟食盐溶液起复分解反应，产生碳酸氢钠沉淀作为一个中间产物：



(4) 然后，把溶液过滤得到碳酸氢钠固体，再在高温下煅烧，分解成碳酸钠：

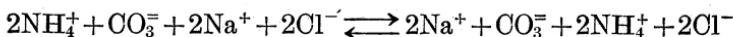


实际上，反应(2)和(3)是在同一溶液中连续进行的，它们是一组连续的可逆反应。 NaHCO_3 成沉淀析出是使这两个可逆反应的平衡向前移动的原因，也是氨碱法成功的关键。所以必须选择和采用有利于形成 NaHCO_3 沉淀的条件和措施。

首先，我们注意到温度：降低温度有利于 CO_2 气体和氨气的溶解，从而增加反应物的浓度，也就促使形成 NH_4HCO_3 的平衡向前移动，同时也就接着有利于反应(3)的形成 NaHCO_3 的平衡的向前移动。当然在反应(3)中 NaHCO_3 本身的溶解度也因温度降低

而变小，使它容易从溶液中析出，結果亦使反应(3)的平衡向前移动，从而影响反应(2)的平衡也向前移动。但是，温度降低也会影响反应(3)中的其他盐类的溶解度下降。所以我們應該選擇适当的温度，在这个温度下，既使 NaHCO_3 的溶解度較小，而且和其他盐类的溶解度比較，差別又較大。这样，就有利于 NaHCO_3 的沉淀分离。实用上，一般选择 $30\sim35^\circ\text{C}$ 的温度。

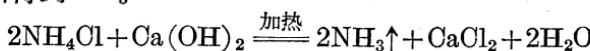
其次，我們再来研究溶液的濃度問題。我們知道，反应物的濃度越大，平衡越向前移动。所以原則上，应設法使溶液对各种溶质來說都达饱和的程度。但是，我們也应注意到 CO_2 和 NH_3 的量的比数关系。如果 NH_3 过量，反应就不是如(2)那样，而是：



这里 Na_2CO_3 的溶解度較 NaHCO_3 大得多，它不会生成沉淀，反应最后达到平衡而不再前进了。因此，必須使用过量 CO_2 ，使溶液中形成 HCO_3^- 根离子，而不是形成 CO_3^- 根离子，这是这个方法的成功的重要关键所在！实用上，先在饱和食盐水溶液中通入氨气达饱和，然后降温到 $30\sim35^\circ\text{C}$ 再通入过量的 CO_2 气体，以完成反应(2)和(3)。

此外，我們再来談談氨在反应过程中的作用問題。

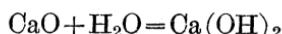
从反应(2)和(3)来看， NH_3 变成了 NH_4Cl 。如果把过滤除去 NaHCO_3 沉淀后的母液加入石灰乳 $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ ，就能发生下列反应而重新得到 NH_3 ：



这样得到的氨又可重复使用，在理論上沒有損耗。

当然，在实用上，氨是或多或少要損耗一些的。所以需要随时补充。补充用的和过程开始时所需要的适量氨，一般是用銨盐[例如 NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 等]跟石灰乳反应而制得。当然也可用氨水或液态氨。

至于石灰乳的来源也是本工业所現成的，就是反应(1)的另一种产物CaO跟水反应而得：



到此，我們可以概括起來說：生产純碱的原料是食盐(NaCl)和石灰石(CaCO₃)；产品除純碱(Na₂CO₃)外，还有一种氯化鈣(CaCl₂)，它是原料中的另外两种离子所組成的物质。由于原料不能直接反应，所以需要利用氨的作用，在一定条件下，通过一系列的反应过程才能制得純碱。过程中生成的碳酸氫鈉是一种中間产物，它的形成沉淀析出是这个方法成功的关键。

工业生产过程 根据上述的基本原理，工业上用氨碱法生产純碱时，主要分成两个阶段：(1)制成碳酸氫鈉；(2)煅燒中間产物使成純碱。流程图如图2·6所示。分述如下：

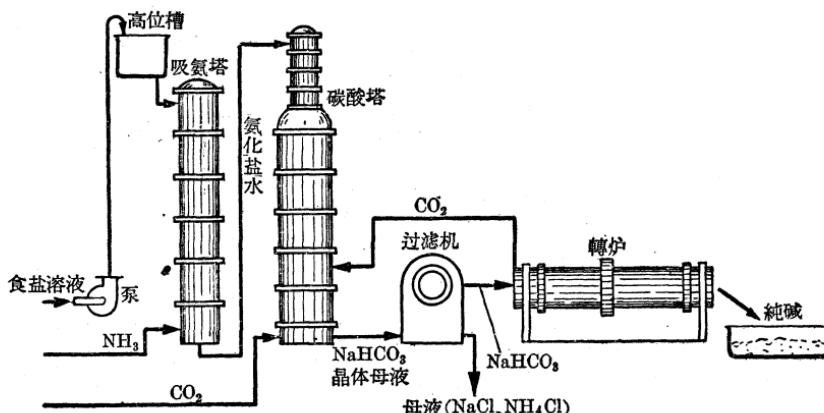
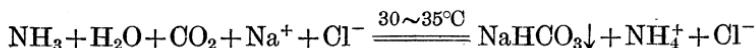


图 2·6 用氨碱法制造純碱的流程简图

I. 碳酸氫鈉的生成 先用泵把提純的飽和食盐溶液提升到高位槽儲存，从那里再自动地流入吸氨塔。当飽和食盐溶液从吸氨塔頂上淋下时，把干燥的氨气由塔底通入，这样用逆流原理让氨气溶解在食盐溶液中达飽和程度。当氨溶解于水时，放出热量，溶液的温度升高，不利于氨气的溶解(气体溶解度跟温度成反比)，因

此在吸氨塔底部有冷却装置，能把溶液冷却到25°C左右。在吸氨塔里，一小部分氨气跟水反应，生成氢氧化铵，而大部分氨气以溶解形式存在。

从吸氨塔底部出来的溶液——称作氯化盐水，用泵移到碳酸塔的顶部，从那里淋下来，同时从塔底通入过量二氧化碳，在塔里进行反应。开始，氨气、水跟二氧化碳反应生成碳酸氢铵，由于这个反应放热会使溶液温度升高，因此碳酸塔下部也有冷却装置，使温度稳定在30~35°C間，这时碳酸氢铵立即跟氯化钠反应，成碳酸氢钠晶体析出。原理中的反应(2)和(3)合并成：



从碳酸塔底部流出的悬浮有碳酸氢钠晶体的溶液，送入过滤机中进行分离。得到的晶体就是碳酸氢钠；母液里含有氯化铵和沒有起反应的氯化钠（約为原料的30%）。

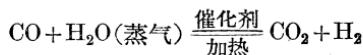
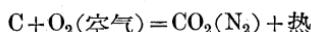
2. 煅燒碳酸氢钠使分解生成碳酸钠 从过滤机得到的碳酸氢钠晶体送入轉炉里加热煅燒。炉子不断地轉動，翻动晶体，这样可防止加热不均匀而发生粘結現象。碳酸氢钠慢慢分解生成碳酸钠，分解时放出的二氧化碳可再通入碳酸塔循环使用。

氨碱法的优缺点 这个方法的优点是原料（食盐和石灰石）成本低，产品碳酸钠的純度高（杂质大部在母液里），氨气和部分二氧化碳可循环使用，制造步驟简单，适合于大规模生产。但它也有若干缺点：最大的缺点是没有充分利用物資，在两种主要原料里，只利用了食盐中的钠离子和石灰石中的碳酸根离子，而全部氯离子和钙离子沒有利用，它們结合成氯化钙。处理这样得到的含杂质很多的氯化钙稀溶液就成为很大負担，因为要提純它是很困难的，实际用途也不大。如果把大量氯化钙排入河流中，会影响鱼类的生存和繁殖；如把它堆放起来，不仅占地很大，而且氯化钙有吸湿性，堆放的地方将成为泥濘不干的廢墟。并且，食盐的利用率也很

低，只有 70% 轉化，30% 隨 CaCl_2 溶液損失了。此外在母液里含有大量氯化銨沒有完全被回收。即使從回收的部分來看也並不很合理。我們知道，氯化銨是一種很好的氮肥（第二冊 § 5·8），它比硫酸銨（俗稱肥田粉）的肥效還要高，不會增加土壤的酸性，現在却把已經製成的氮肥回收成氨氣，這樣的生產是不合理的。

我國的科學家和工人，經過多年的苦心研究，創立了聯合制碱法。它应用了氨碱法的优点，克服了氨碱法的缺点，不仅充分利用了物資，而且同時得到兩種產品——純碱和氯化銨。

聯合制碱法的基本原理 在制純碱部分和氨碱法相同，主要區別是氨的來源不同，它不是從氯化銨回收氨氣，而由合成氨廠直接供給。這裡合成氨所需要的氮氣和氫氣是從發生爐煤氣跟水煤气制取：



同時又有大量二氧化碳生成，可以供給制碱法作原料，這樣就不需要石灰石作原料來制取二氧化碳，因此降低了制純碱的成本，也簡化了操作過程。方法中又設法讓母液里的氯化銨結晶出來，把晶体分離就是氮肥，於是母液還剩下氯化鈉可循環使用，這樣可以充分利用物質。

习題 2·5

- 用化學方程式表示氨碱法制純碱過程的全部化學反應（如果是電解質之間的反應用離子方程式表示）。並說明反應條件。
- 畫出氨碱法制純碱的生產流程簡圖，並回答下列問題：
 - 寫出各設備的名稱；
 - 說明進入和流出各設備的物料；
 - 寫出在各個設備里進行的化學反應。
- 氨碱法制純碱為什麼不用碳酸銨跟氯化鈉制取碳酸鈉，而必須先制成分間產物碳酸氫鈉，然后再制取碳酸鈉？
- 氨在制純碱過程里的作用怎樣？是怎樣循環利用的？
- 氨碱法制碱的主要优点是什么？还存在哪些主要缺点？

6. 如果碳酸鈉里含有少量碳酸氫鈉，怎样把它除去？
7. 某制碱厂用氨碱法生产純碱，每日产量 100 吨，問在理論上 (1) 需要多少吨食盐，如果利用率是 66%；(2) 需要多少吨石灰石，如果石灰石含碳酸鈣 95% (假定轉爐里放出的二氧化碳全部循环利用)。

本 章 提 要

1. 碱金属的通性 碱金属都是銀白色輕金属。它們的比重和硬度很小，熔点和沸点很低。由于它們的原子的最外电子层上只有 1 个电子，这个电子离核的距离都較大 (跟同周期元素比較)，很容易失去，因而变成带有 1 个正电荷的阳离子，所以化学性质比其他金属活动。碱金属都是强的还原剂。它們的氧化物的水化物 (氢氧化物) 的碱性也最强。

碱金属随着核电荷的递增，化学活动性越大，金属性越强。

2. 鈉和鉀

(1) 物理性质：鈉和鉀都是銀白色金属；比重較水还小；硬度很小，可以用刀切割；熔点都不到 100 °C。

(2) 化学性质：鈉和鉀的化学性质都非常活动，常温时能跟氧气、氯气发生化合反应；加热时就燃燒起来；在加热时能跟大多数非金属直接化合；跟冷水和酸溶液 (非氧化性酸) 发生置换反应，放出氢气。鉀比鈉的化学性质更活动，发生反应更剧烈。

(3) 存在和制法：鈉和鉀在自然界里都以化合态存在。电解熔融鈉或鉀的氯化物，在阴极可得到鈉或鉀。

3. 鈉和鉀的化合物，鉀肥

(1) 氧化物：鈉和鉀在較低温度下跟氧反应生成氧化物——氧化鈉和氧化鉀，它們是白色固体，跟水反应生成苛性碱。

鈉和鉀在空气里燃燒，制得过氧化鈉和过氧化鉀，遇水生成苛性碱和氧气。因此可用作强氧化剂，或用作氧气发生剂。

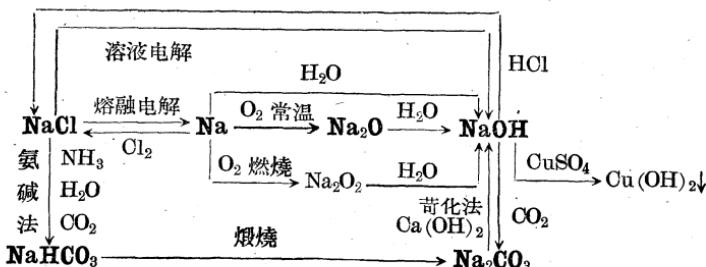
(2) 氢氧化物：氢氧化鈉和氢氧化鉀是白色易潮解的固体，易溶于水并放出大量热，具有很强的腐蝕性，因此又叫苛性鈉和苛性鉀。它們都是强碱，在水溶液里几乎完全电离，具有可溶性碱的通性。

(3) 鈉盐和鉀盐：鈉盐和鉀盐一般都是无色或白色的固体，而且都易溶于水。氯化鈉即食盐，不仅是生活必需品，又是化学工业的原料，用来制造燒碱、純碱和盐酸等产品。碳酸鈉的水溶液呈碱性，大量用于玻璃、冶金、紡織等工业上。

(4) 檢驗鈉鹽和鉀鹽可用焰色反應。鈉鹽火焰呈黃色，鉀鹽火焰呈紫色，根據火焰的顏色就可以鑑別它們。

(5) 鉀肥：氯化鉀、硫酸鉀、硝酸鉀和碳酸鉀（草木灰）是常用的鉀肥。鉀肥能使植物增強抗寒、抗旱和抗病蟲感染的能力，提高糖和淀粉合成的能力。

(6) 鈉和幾種重要鈉的化合物的性質及相互關係可列表如下：



4. 氢氧化鈉(燒鹼)的工業制法 食鹽水溶液电解法：電解提純的食鹽溶液(80~85°C)，在陽極得到氯氣，在陰極得到氫氣和氫氧化鈉。工業上，為了防止氯氣跟氫氣或氫氧化鈉發生副反應，在電解槽裡設置石棉隔膜，把陰極和陽極隔開。一般有水平式隔膜電解槽和垂直式隔膜電解槽兩種。

5. 碳酸鈉(純鹼)的工業制法 一般用氨碱法，即利用食盐和石灰石為原料，氨為媒介物质，制取純碱。它的原理是：把氨水跟過量二氧化碳反應，生成碳酸氫銨，在30~35°C時跟氯化鈉反應，制得中間產物——碳酸氫鈉，把碳酸氫鈉煅燒得到純碱。

复习題二

1. 鈉和鉀各0.1克原子跟水反應，生成的氫氧化物的重量是否相等？鈉和鉀各1克跟水反應，生成的氫氣的體積是否相同？它們跟水反應劇烈的程度是否相同？為什麼？

2. 鈉和鉀為什麼不能用手直接拿取而要用鋸子？

3. 說出下列各物質的化學成分：

(1) 燒鹼，(2) 純鹼，(3) 洗滌鹼，(4) 苏打，(5) 小蘇打，(6) 鉀鹼，(7) 水玻璃。

4. 寫出氫氧化鈉跟下列物質反應的化學方程式：

(1) 磷酸，(2) 二氧化矽，(3) 硫酸鎂，(4) 硫酸氫鈉，(5) 氧化鋅，

(6) 氢氧化鋅, (7) 氯气.

*5. 觀察放在玻璃管里的鈉柱, 發現有下列現象: 鈉柱兩端逐漸发暗, 有一薄層固体出現; 再过些时, 有液滴出現; 再过些时, 液滴又轉变成白色固体. 試解釋這些現象, 并写出各步变化的化学方程式.

[提示: (1) 鈉跟氧气反应; (2) 氧化鈉跟水起反应; (3) 氢氧化鈉潮解; (4) 氢氧化鈉跟二氧化碳反应; (5) 十水碳酸鈉风化生成碳酸鈉.]

*6. 已知純碱样品里含有較多的碳酸氫鈉. 取这种样品 10 克, 加热到重量不再减少为止, 称得生成物重 9.55 克. 問原来純碱样品里含碳酸鈉的百分率是多少?

[提示: 碳酸鈉和碳酸氫鈉混和物加热前后重量的差別, 就是加热时放出的二氧化碳和水蒸气的重量.]

*7. 用純淨的食盐溶液进行电解, 試計算 1 吨純淨食盐能制得(从电解碱液分离出来的食盐循环使用, 并假定食盐沒有損耗):

(1) 濃度为 50% 的氢氧化鈉溶液多少吨?

(2) 氢气和氯气各多少升(在标准状况下)?

(3) 如果把生成的氢气和氯气用合成法制盐酸, 能制得濃度为 35% 的盐酸多少吨?

第三章 碱土金属

元素周期表第 II 类主族元素，有鋁 (Be)、鎂 (Mg)、鈣 (Ca)、鈦 (Sr)、銀 (Ba) 和鑭 (Ra) 等六种，它們的性质和第 I 类的碱金属元素以及第 III 类的土金属元素^①都有相似的地方，因此称做**碱土金属元素**，或简称**碱土金属**。这个族里最后一个元素鑭是放射性元素，我們在第二册第三章里已简单介紹过了。本章除介紹碱土金属的一般通性外，着重研究鎂和鈣两种元素。

§ 3·1 碱土金属的通性

碱土金属的物理性质 碱土金属主要的物理性质，如表 3·1 所示：

表 3·1 碱土金属的主要物理性质

元 素 名 称	鋁	鎂	鈣	鈦	銀
顏 色	鋼灰色	銀白色	銀白色	銀白色	銀白色
比重 (克/立方厘米)	1.86	1.75	1.55	2.6	3.59
熔 点 (°C)	1284	651	848	770	704
沸 点 (°C)	2970	1110	1140	1380	1540
硬 度 (金剛石=10)	4	2.5	2	1.8	—

从上表可以看出，碱土金属中除鋁呈鋼灰色外，其余都是銀白色，新切开的表面都有金属光澤。碱土金属的硬度比碱金属大，其中以鋁的硬度为最大，銀最小（具体数据缺）。它們的比重虽比碱

① 周期表第 III 类里的鋁、銣、鈮、鑭等元素，称为土金属元素，将在下一章里討論。

金属大些，但仍都小于 5，因此也都是輕金属；其中鋯的比重最大，鈣最小。它們的熔点和沸点都比碱金属高；鋶的熔点和沸点最高，镁则最低。由此可見，碱土金属的比重、熔点和沸点，并不随着原子序数的增加而作規律性的递变。

碱土金属的原子結構和化学性质 碱土金属的原子序数、原子量和电子层结构如表 3·2 所示：

表 3·2 碱土金属元素的原子結構

元素名称	Be	Mg	Ca	Sr	Ba
原 子 序 数	4	12	20	38	56
原 子 量	9.019	24.32	40.08	87.63	137.36
电子层结构	(+4) 2 2	(+12) 2 8 2	(+20) 2 8 8 2	(+38) 2 8 18 8 2	(+56) 2 8 18 18 8 2

从上表可以看出，碱土金属原子最外电子层上都有 2 个电子（比碱金属多 1 个），次外电子层上都有 8 个电子（和碱金属相同）。在化学反应里，它們失去电子的倾向性比同周期里的碱金属原子要弱得多。因此，碱土金属的化学活动性不如碱金属强。但由于碱土金属原子最外层的电子数毕竟还是比較少的，因此比起其他金属来，碱土金属的化学性还是比較活动的。碱土金属原子失去 2 个电子后，变成 +2 价的阳离子。碱土金属在一切化合物里都显示 +2 价。

和碱金属相似，碱土金属的化学活动性也随着原子序数的增加而增强，也就是按着 Be—Mg—Ca—Sr—Ba 的順序而增强。这是因为当原子序数增大时，原子核外电子层数增多，最外层电子和核的距离漸次增大，受到核的引力則漸次减弱，因此在化学反应里失去电子的倾向性依次增大，化学活动性依次增强。

碱土金属在空气里加热时会燃燒，并放出大量的热；在常温

下，亦会逐渐氧化而生成氧化物（分子式的通式为 RO ）。碱土金属跟卤族元素能直接反应，生成稳定的化合物；跟硫、氮气在加热的条件下也能起反应。它们跟碱金属一样，不仅能置换酸里的氢，还能置换水里的氢，例如钙、锶和钡跟冷水反应很剧烈，铍和镁跟冷水反应则很缓慢（这是由于反应时生成溶解度很小的氢氧化物覆盖着表面，因此阻碍了反应的顺利进行）。

碱土金属的氧化物都能跟水起反应，生成氢氧化物[分子式的通式为 R(OH)_2]，并放出大量的热。碱土金属氢氧化物较难溶解于水（和碱金属氢氧化物不同），它们在水中的溶解度按 $\text{Be(OH)}_2-\text{Mg(OH)}_2-\text{Ca(OH)}_2-\text{Sr(OH)}_2-\text{Ba(OH)}_2$ 的顺序而逐渐增大。它们的水溶液都呈明显的碱性，并也按同一顺序而增强，氢氧化钡是一种强碱。但它们的碱性比对应的碱金属氢氧化物要弱。

由于碱土金属的化学性质相当活动，因此在自然界里它们只以化合态存在，其中最主要的是碳酸盐和硫酸盐。碱土金属的冶炼方法一般都用电解法。

习題 3·1

- 試根據鈉、鎂、鉀和鈣四种元素的原子結構，說明它們的化學活動性的順序。
- 試根據碱土金属的原子結構，說明碱土金属化學活動性的遞變規律性。

§ 3·2 鎂

鎂的性质

- 鎂的物理性质 鎂是一种銀白色的輕金属。即使在粉末状态时，也能保持金属光泽。鎂的熔点是 651°C ，介于鋅（熔点 419°C ）和鋁（熔点 660°C ）之間。

2. 镁的化学性质 镁是一种相当活动的金属，在金属活动顺序里的位置，仅次于钾、钠、钙等少数几种最活动的金属。镁在化学反应里，容易失去它最外层的2个电子，变成带2个单位正电荷的镁离子。

(1) 镁跟氧的反应。镁跟氧能强烈地化合。在常温下，金属镁就能跟空气里的氧气缓慢地发生作用，表面上生成一薄层镁的氧化物。因此金属镁在空气里久置后，它的表面就会发暗，失去原有的金属光泽。但由于复盖在镁表面的氧化物薄层的结构十分致密，能对内层的金属起保护作用，使之不再继续氧化，因此镁可以保存在空气里。

镁在空气里加热时，能够剧烈燃烧，发出含有紫外光的强烈的白光（参看图3·1）。这是由于镁燃烧时放出大量的热，它使镁燃烧后生成的氧化镁微粒（可能还有少量氮化镁的微粒）灼热并达到白熾状态，因而发出强光。

镁跟氧气化合的反应，包含着电子的转移，这可以用下面的化学方程式清楚地表示出来：

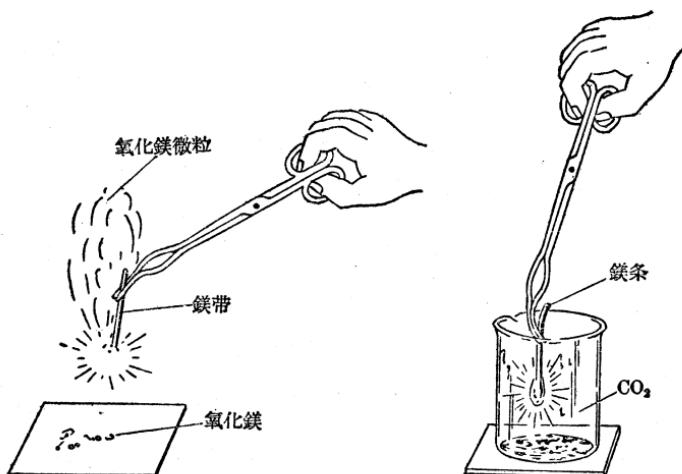
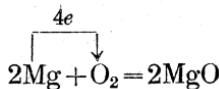


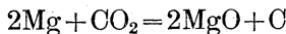
图 3·1 镁带的燃烧

图 3·2 镁在二氧化碳里燃烧

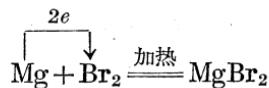


由此可以看出，在这个反应里，镁是还原剂，氧气是氧化剂。

镁不仅能够跟游离状态的氧（氧气）化合，而且还能夺取某些氧化物里的氧。在第一册里已经讲过，把燃着的镁条放进二氧化碳气体里，镁条仍旧继续燃烧，生成白色的氧化镁粉末，同时有黑色的碳游离析出（图3·2）。这个反应的化学方程式是：

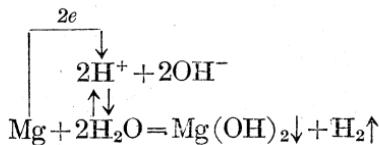


(2) 镁跟卤素、硫或氮气的反应。镁跟氯气在常温下就能起反应；在加热时，镁能跟溴、硫或氮气直接化合。例如：



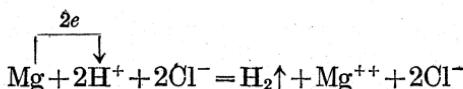
因此，镁在空气里燃烧时，除生成氧化镁外，还有少量的氮化镁生成。

(3) 镁跟水、稀盐酸或稀硫酸的反应。镁在金属活动顺序里的位置在氢的前面，它不仅能够置换出酸里的氢，而且能够置换出水里的氢。镁跟冷水的反应比较缓慢，但跟沸水的反应相当显著：

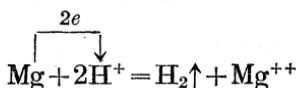


虽然生成的氢氧化镁只有极少量溶解于水，但仍可以用酚酞指示剂来检验，溶液呈碱性。

镁跟稀盐酸或稀硫酸的反应十分剧烈，放出氢气：

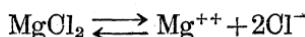


或



镁在自然界里的存在 镁在自然界里都以化合态存在，它是地壳中分布最广的元素之一。镁的主要矿物是菱镁矿(MgCO_3)，此外，白云石($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)、光卤石($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)、滑石($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、石棉($\text{CaO} \cdot 3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2$)等矿物里都含有镁。海水里也含有少量的氯化镁(MgCl_2)。氯化镁味苦，因此海水微带苦味。土壤里也含有镁盐，镁是构成植物叶绿素的重要成分，因此镁也是植物生长所必需的元素之一。

镁的制法和用途 工业上常用电解氯化镁的方法来提炼镁。将脱去结晶水的光卤石加热熔化，然后电解，镁便在阴极上析出^①：



阴极反应 $\text{Mg}^{++} + 2e \longrightarrow \text{Mg}$

阳极反应 $2\text{Cl}^- - 2e \longrightarrow 2\text{Cl}, \quad 2\text{Cl} \longrightarrow \text{Cl}_2$

总反应是： $\text{MgCl}_2 \xrightarrow{\text{熔融电解}} \text{Mg} + \text{Cl}_2 \uparrow$

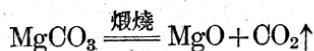
镁的主要用途是制造轻合金，例如“电子合金”里含有80%镁，微量的铝、铜和锰等金属，这种合金的比重为1.8，较纯镁(1.75)稍大，但是它的硬度和韧性都很大，广泛用于飞机和汽车的制造。又在生铁里加入0.05%的镁，制成球墨铸铁(参看§5·3铁的合金)，它的抗拉强度、耐磨性都接近于钢，应用很广。由于镁燃烧时发出强光，因此镁粉可用作发光剂，用于照明弹的制造和照相时的照明^②。

① 在电解液里还含有钾离子，但钾离子结合电子的能力比镁离子弱得多，因此在阴极上只有镁离子被还原。

② 照相用的闪光粉是镁粉和氯酸钾的混和物。

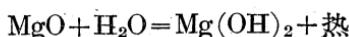
鎂的化合物

1. 氧化鎂 (MgO) 氧化鎂在工业上称做“苦土”，是一种松軟的白色粉末，通常由煅燒菱鎂矿而制得：

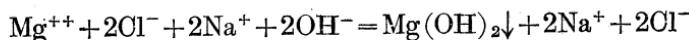


氧化鎂极不易熔化（熔点約 2800°C ），可用来制造坩埚、耐火磚和高温炉的内壁等。

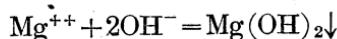
2. 氢氧化鎂 [$Mg(OH)_2$] 氧化鎂跟水能緩慢地反应，生成难溶性的氢氧化鎂，同时放出热量：



氢氧化鎂的溶解度很小，因此它可以用可溶性碱跟可溶性鎂盐反应而制得，例如，在氯化鎂溶液里加入氢氧化鈉溶液，就有白色的氢氧化鎂沉淀生成：



或



氢氧化鎂是一种中等强度的碱，它的悬浊液在医药上称做“苦土乳”，是一种抑酸剂。制造牙膏或牙粉时也要用氢氧化鎂。

3. 鎂盐 重要的鎂盐有氯化鎂 ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$)，碳酸鎂 ($MgCO_3$)，硫酸鎂 ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) 等。現将它們的性质、制法以及用途等列表扼要介紹如下：

表 3·3 几种重要鎂盐的性质、制法和用途

鎂 盐	性 质	存 在 或 制 取	主 要 用 途
氯化鎂	无色、易溶、有潮解性的晶体	光卤石的主要成分	冶炼金属鎂
碳酸鎂	白色固体、不溶于水。把 CO_2 通入碳酸鎂悬浊液，生成可溶性的碳酸氢鎂 $Mg(HCO_3)_2$	菱鎂矿的主要成分	煅燒后生成 氧化鎂，用作耐火材料
硫酸鎂 (泻盐)	白色晶体，易溶于水	存在于海水中，或由硫酸与菱鎂矿反应来制取： $MgCO_3 + H_2SO_4 = MgSO_4 + CO_2 \uparrow + H_2O$	医药上用作泻剂

习 题 3·2

1. 写出镁跟氧气、溴、硫反应的化学方程式，并指出其中哪一种物质是氧化剂，哪一种物质是还原剂。
2. 镁在空气里燃烧时生成物有哪些？为什么会发生耀眼的白光？
3. 试用化学方程式表示下列各步反应：
$$\begin{array}{l} \text{Mg} \longrightarrow \text{MgO} \longrightarrow \text{MgCl}_2 \longrightarrow \text{MgCO}_3 \longrightarrow \text{MgSO}_4 \\ \qquad\qquad\qquad \longrightarrow \text{Mg(OH)}_2 \longrightarrow \text{MgCl}_2 \longrightarrow \text{Mg} \end{array}$$
4. 现有1公斤镁粉，跟水蒸气反应，能收集到多少升氢气（在标准状况下）？
5. 写出下列各物质的分子式：
 - (1) 磷矿石，(2) 硫化镁，(3) 硫化亚铁，(4) 溴盐，(5) 白云石，(6) 光卤石。
6. 用电解法从氯化镁里提取镁，为什么不能用氯化镁的溶液，而必须用熔融状态的氯化镁。
7. 镁的化学性质相当活泼，为什么能在空气中保存？

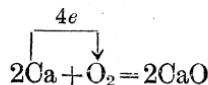
§ 3·3 钙

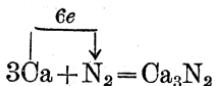
钙的性质

1. 钙的物理性质 钙也是一种银白色的轻金属，它的熔点是 848°C ，硬度比镁稍大。

2. 钙的化学性质 钙的化学性质和镁相似，但活动性比镁更强，这从下面的一些事实可以说明。

(1) 钙比镁更容易被氧化。钙暴露在空气中，表面上很快就蒙上一层松脆的氧化钙。这层氧化物很疏松，对内部的金属不能起保护作用，所以钙必须保存在密闭的容器里。钙在空气中加热时，也能燃烧，并放出大量的热，火焰呈砖红色。同时也有少量氮化钙(Ca_3N_2)生成：

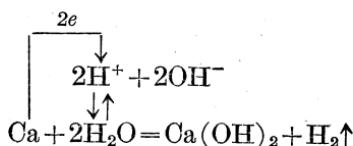




(2) 鈣跟卤素、硫、氮等非金属元素化合都比镁容易。鈣还能跟磷直接化合生成磷化鈣：



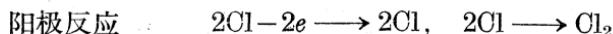
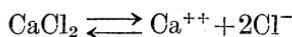
(3) 鈣跟水的反应比镁跟水的反应要剧烈。鈣在冷水里就能起猛烈反应，生成氢氧化鈣并放出氢气：



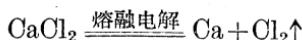
鈣在自然界里的存在，鈣的冶炼和用途 鈣在自然界里也都以化合态存在。它不仅分布很广，而且含量很大，地壳中鈣的含量占第五位(3.25%)。分布最广的鈣的化合物是碳酸鈣(CaCO_3)，石灰石、白垩、大理石等是不纯的碳酸鈣，方解石和冰洲石则是比较纯净的碳酸鈣。此外如石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、萤石(CaF_2)、磷灰石以及纤核磷灰石等，也都是鈣的矿物。

鈣的化合物也存在于土壤里和动植物有机体里。动物骨骼的主要成分是磷酸鈣。鈣也是植物的营养元素之一。

工业上用电解熔融的氯化鈣来冶炼鈣。电解时阴极上析出金属鈣：



总反应是：



鈣主要用来制造合金，含有1% 鈣的铅合金，是一种重要的轴承材料。

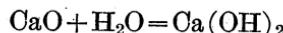
鈣的化合物

1. 氧化鈣 (CaO) 氧化鈣俗名叫生石灰，或简称石灰，是一种白色固体。它由碳酸鈣强热分解而得：



工业上用石灰石在窑内煅烧，大量生产生石灰。

氧化鈣极易跟水起反应（叫做石灰的消化或熟化），生成氢氧化鈣：

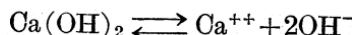


石灰消化时放出大量的热，因此有大量水蒸气逸出（参看第一册图5·1），生成的氢氧化鈣是白色粉末状固体。石灰消化后体积增大很多。因此在运输石灰时，要防止被雨淋湿或者水，否则会引起船只或其他运输工具着火燃烧或损坏。

由于石灰易跟水化合，有很强的吸湿性，因此可用作干燥剂。

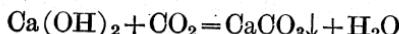
2. 氢氧化鈣 [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] 氢氧化鈣又叫消石灰或熟石灰。它是一种白色粉末状固体。在水中的溶解度不大，但比氢氧化镁大些。把氢氧化鈣放在水里，搅动后得到一种乳白色的液体，这是氢氧化鈣的颗粒在石灰水里生成的悬浊液，叫做石灰乳。石灰乳静置若干时后，悬浮的颗粒会逐渐下沉，上部澄清的液体是氢氧化鈣的饱和溶液，叫做石灰水。

氢氧化鈣是中等强度的碱，它在水溶液里能电离生成鈣离子和氢氧根离子：

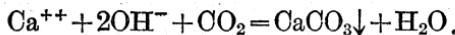


但由于氢氧化鈣的溶解度不大，因此溶液里电离生成的 OH^- 离子的浓度不可能很大，它的碱性要比氢氧化钠和氢氧化钾弱得多。

氢氧化鈣具有一切可溶性碱的通性，它容易跟二氧化碳（酸性氧化物）发生反应，生成碳酸鈣沉淀，使澄清的石灰水变得浑浊：



或



这个反应通常用来检验二氧化碳气体（参看第一册 § 3·4）。由于空气里含有二氧化碳，因此盛石灰水的试剂瓶用毕后，必须立即把塞子盖紧。

生石灰和消石灰是重要的建筑材料。消石灰、砂和水的混和物称做“三合土”，在建筑上用来粘合砖石。三合土粘合砖石后，在空气里它一方面渐渐失去水分，一方面吸收空气中的二氧化碳，使消石灰变成碳酸钙晶体而结成硬块。掺入砂可以增加硬度并使结成的硬块变成多孔性，以增加粘合的坚固性。

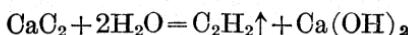
生石灰和消石灰也是农业上常用的“石灰肥料”。石灰肥料虽不能直接供给植物以营养元素，但它能降低酸性土壤的酸性，并能改进土壤的结构和增高土壤的肥力。它还能促使某些微生物的繁殖，加速土壤里含氮有机物的分解，成为易被植物吸收的养料。在施用石灰肥料时，应该注意不和氨态氮肥同时使用。因为氨态氮肥遇到消石灰时，容易生成氨气而逸散到空气里去（参看第二册 § 5·8），从而使所用的氮肥失去肥效。

生石灰和消石灰还可以用来防治农作物的病虫害，配制杀虫剂如波尔多液和石灰硫黄合剂等。

3. 碳化钙(CaC_2) 碳化钙俗称“电石”。工业上用焦炭在电炉(3000°C)里还原生石灰而制得：



纯粹的碳化钙应为无色透明的固体，工业上用的“电石”因含有杂质，一般是暗灰色的粗松坚硬物质。碳化钙遇水立即发生反应，生成乙炔（俗名“电石气”）和氢氧化钙：



碳化钙是一种重要的工业原料。

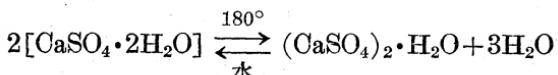
4. 鈣盐

(1) 碳酸鈣 (CaCO_3). 碳酸鈣是自然界里分布最广的一种碳酸盐. 純淨的碳酸鈣是一种白色粉末状的物质, 它的性质和碳酸镁十分相似. 碳酸鈣不溶于水, 但如果水中已溶有多量的二氧化碳, 則能使之溶解, 生成可溶性的碳酸氢鈣:



天然产的碳酸鈣如石灰石、大理石和白垩等是重要的建筑材料(参看第一册 § 3·5). 石灰石可用作炼铁时的熔剂(§ 5·4)以及制造生石灰、二氧化碳、玻璃等. 在輾米时加入少量磨細的石灰石粉末可以防止米粒的破裂.

(2) 硫酸鈣 (CaSO_4). 石膏是天然产的含有 2 个分子結晶水的硫酸鈣 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). 把石膏煅燒到 180°C , 就失去結晶水的 $3/4$ 而成燒石膏 [$(\text{CaSO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$]. 燒石膏能跟水化合重新变成石膏, 很快硬化, 体积并稍稍膨脹:

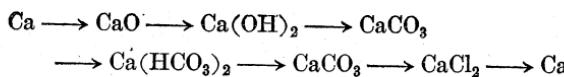


因此燒石膏可以用来塑石膏像、制石膏模型和在外科上用作固定綁帶等.

如果把石膏加热到 200°C 以上, 它将失去全部結晶水而成无水硫酸鈣, 称做“过燒石膏”或“焦石膏”, 它不能再吸水而硬化, 因此不能用来塑像或制其它模型.

习題 3·3

- 哪些实验事实可以証明鈣比镁更加活动?
- 試从原子结构来解釋鈣和镁的化学活动性不及鉀和鈉.
- 写出鈣跟氧、氯、硫化合的化学方程式, 指出在这些反应里哪一种是氧化剂, 哪一种是还原剂.
- 試用化学方程式表示下列各步反应:



5. (1) 生石灰为什么能用作干燥剂? 能用它来干燥哪些气体, 举出二个例子。

[提示: 被干燥的气体不能跟氢氧化钙或氧化钙发生反应。]

(2) 生石灰在运输或贮存时, 遇到水会引起火灾。为什么?

6. 用石灰石粉末来改良一块酸性土壤, 根据土壤分析的结果, 要加 5 吨氧化钙, 如果折算成碳酸钙应该加多少吨? 如果石灰石含有 80% 碳酸钙, 问需加石灰石粉末多少吨?

7. 烧石膏在外科医疗上用作固定绷带, 是利用它的什么性质?

8. 试说出下列各组物质的区别:

(1) 石膏、烧石膏、过烧石膏; (2) 生石灰、消石灰、石灰水、石灰乳。

9. 现有四种白色粉末, 已知它们是碳酸钙、氢氧化钙、氯化钙和硫酸钙, 试用化学方法一一鉴别。

[提示: 参见习题 2·3 第 12 题, 可用如下方式解答。]

現象 步驟	樣品	I	II	III	IV
1. 各取少許, 加入蒸餾水, 攪拌, 再滴入酚酞試劑。		沒有現象	沒有現象	呈紅色	沒有現象
	結果			氫氧化鈣	

10. 实验室里用石灰石跟盐酸反应制取二氧化碳, 现用含有碳酸钙 80% 的石灰石 250 克, 问能跟浓度为 20% 的盐酸多少克起反应? 又能生成多少升二氧化碳(在标准状况下)?

§ 3·4 硬水及其软化

水是我们日常生活里不可缺少的东西, 在工农业生产上有着

广泛的用途。植物要从水中吸取养料；鍋炉每天要消耗大量的水，把水变成水蒸气，以推动活塞和汽輪，从而带动各种机械装置。由于水是最容易得到的，而且它的比热又是一切物质中最大的，因此在冶鐵工业以及其他一些工业上要用大量的水来进行降溫冷却。另外，对大多数物质來說，水是一种很好的溶剂，在工业生产中許多化学反应都是在水溶液里进行的。

水的分布非常广，海洋里积儲着大量的水，地面上有河水、雨水等地面水，地下有深井水、泉水等地下水。所有这些水和地面上、地面下的土壤、矿物质相接触，溶解了許多杂质在內。但有的杂质多些，如海水、深井水、泉水，有的則少些。

前面我們知道，在自然界里分布最广的矿物质是鎂盐和鈣盐，因此天然水里含有的矿物杂质，主要也是鎂盐和鈣盐。一般把含有較多量 Ca^{++} 离子（鈣盐）和 Mg^{++} 离子（鎂盐）的水叫做硬水；把含有极少量或不含有 Ca^{++} 离子和 Mg^{++} 离子的水，叫做軟水。

硬水 在硬水里， Ca^{++} 离子和 Mg^{++} 离子主要以可溶性酸式碳酸盐（ HCO_3^- ）、硫酸盐（ SO_4^{2-} ）和氯化物（ Cl^- ）存在的。

硬水还可分为：

1. 暫時硬水 如果硬水里含有的是酸式碳酸盐，它是不稳定的，把水煮沸就能使之分解，生成难溶的碳酸盐沉淀从水里析出：



这样，水里的 Ca^{++} 离子和 Mg^{++} 离子就会减少或者除去，硬水也就变成了軟水。这种水的硬性是由碳酸氢鈣和碳酸氢鎂所引起的，我們称它**暫時硬水**。

2. 永久硬水 水的硬性如果是由硫酸鈣、硫酸鎂或氯化鈣、氯化鎂所引起的，这种硬水在煮沸时，不会有难溶性的鈣盐或鎂盐析出，因此不能减少水里的 Ca^{++} 离子和 Mg^{++} 离子，也不能降低

水的硬性。这种硬水我們称它永久硬水。

硬水的危害 硬水不适用于鍋炉。如果鍋炉里使用硬水，当水蒸发时，溶解在水里的鈣盐和鎂盐就会逐渐沉积出来，在鍋炉内壁上結成一层不傳热的“鍋垢”。这样不仅浪費燃料（当鍋垢厚达1毫米时，大約要多消耗5%的煤），而且因为鍋垢和鍋炉鋼板受热膨胀的程度不同，沉积在鍋炉内壁的鍋垢会发生裂縫，当水直接和高温鋼板接触时，水突然汽化，局部压强增大，鋼板因膨胀而凸出，有时由于蒸气压强突然增加过多，鍋炉就会发生爆炸。

化学工业上如果用硬水进行生产，会把 Ca^{++} 离子和 Mg^{++} 离子带入产品中，影响产品的质量。

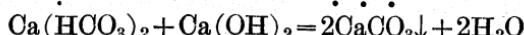
洗衣服时如果用硬水，会增加肥皂的消耗。肥皂是硬脂酸的鈉盐，它能溶于水而产生泡沫，因而有去垢的作用。如果遇到硬水，生成难溶性的硬脂酸鈣和硬脂酸鎂（参看第四册 § 2·14），就不能产生泡沫，因此不能除去衣服上的污垢。并且这些沉淀留在衣服上还会损坏織物。

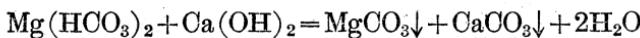
硬水的軟化 从上面所讲的硬水的危害可以看到，硬水在工业上和家庭中都是不适用的。因此在使用之前，必須加以适当处理，除去或减少硬水里所含的 Ca^{++} 离子和 Mg^{++} 离子，降低水的硬性，这称为硬水的軟化。

1. 暂时硬水的軟化方法 常用的有以下几种：

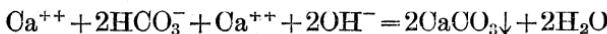
(1) 加热煮沸法。前面讲过，暂时硬水里所含的酸式碳酸盐是不稳定的，加热煮沸，就能变成难溶的碳酸盐沉淀而除去，这样水就軟化了。但是在处理大量的水时，这种方法要消耗掉很多燃料，因此很不經濟。

(2) 加碱法。在暂时硬水里加入适量的碱，溶解在水里的酸式碳酸盐也能变成难溶的碳酸盐沉淀。工业上常用消石灰（消石灰是最廉价的碱）来軟化暂时硬水，称做石灰法：

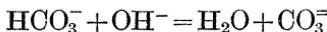




用离子方程式表示：

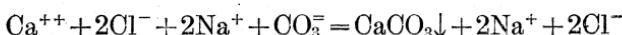
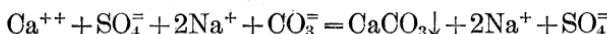


或

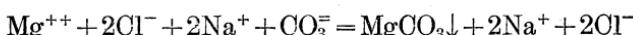
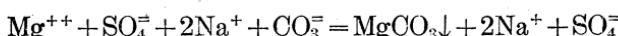
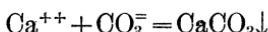


用消石灰軟化暫時硬水，消石灰的用量必須適量（水樣應該先經過分析，根據暫時硬性的大小來確定消石灰的用量）。因為如果所用消石灰的量過多，它雖然把水中原有的 Ca^{++} 离子和 Mg^{++} 离子沉淀而除掉，但它本身（過量部分）卻又引進了 Ca^{++} 离子，這樣仍然達不到軟化的目的。如果用氫氧化鈉代替消石灰，就沒有這種缺點，不過氫氧化鈉的價格較高。經過軟化的水，如含有少量鈉鹽，在工業上或家庭里應用是沒有妨礙的。

2. 永久硬水的軟化法 用加熱煮沸法不能使永久硬水軟化，加碱雖然能使硬水中的 Mg^{++} 离子變成難溶的氫氧化鎂沉淀而除去，但氫氧化鈣的溶解度比較大，一般不會沉淀析出，因此硬水中的 Ca^{++} 离子仍不能除去。永久硬水可以用純碱使它軟化。純碱在水溶液里能電離生成大量的 $\text{CO}_3^=$ 离子，跟硬水中的 Ca^{++} 离子、 Mg^{++} 离子結合成難溶的碳酸鈣和碳酸鎂沉淀（顯然，加入純碱也可使暫時硬水軟化）：



或



或

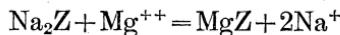
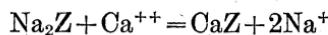


天然水常同時具有暫時硬性和永久硬性，加入純碱，可以把兩種硬性一起降低。在經過軟化以後的水里，加入適量明矾，待沉淀

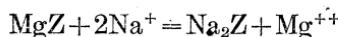
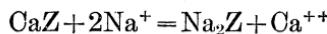
沉降，或經过滤，就得到洁淨的軟水。

現代工业上广泛使用所謂“軟化剂”来軟化硬水，人造沸石就是其中的一种。

人造沸石是一种不溶于水的鋁硅酸鈉盐 ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ 或写成 Na_2Z)。把人造沸石装在容器里，当硬水通过人造沸石时， Ca^{++} 离子和 Mg^{++} 离子跟人造沸石里的鈉离子进行交換，这样硬水就軟化了：



当人造沸石的 Na^+ 离子全部被 Ca^{++} 离子和 Mg^{++} 离子代替时，它就失去繼續軟化硬水的能力。这时可用 10% 的較濃的食盐溶液通过人造沸石， Na^+ 离子又能把 Ca^{++} 离子和 Mg^{++} 离子交換出来，重新生成 Na_2Z ：



再用水把代替出来的鈣盐和鎂盐冲洗掉，这样人造沸石又恢复了軟化硬水的能力。

用人造沸石軟化硬水，能把暫時硬性和永久硬性都降低，手續簡便，整個設備占地很小，軟化硬水过程只消耗了一些食盐溶液，是比較經濟的。

习 题 3·4

- 什么叫硬水？暫時硬水和永久硬水有什么不同？
- 自然界里的水哪一种硬性較高？井水用明矾处理淨洁后，是否是軟水？
- 什么叫硬水的軟化？軟化暫時硬水和永久硬水各有哪些常用的方法？用化学方程式表示軟化硬水的原理。
- 有一瓶水，試用簡便的方法来鉴别它是：暫時硬水，永久硬水还是軟水。

5. 用消石灰軟化暫時硬水，为什么必須适量？
6. 用加热法或加碱法軟化暫時硬水，从反应的实质来看，有何相似？
7. 如果除去天然水中所含的 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 和 Cl^- ，是否就是把硬水軟化了？試說明理由。
8. 如果在暫時硬水里分別加入下列試劑，各有何現象产生？能否把暫時硬性除去？写出离子方程式：
 - (1) 清石灰水，(2) 氨水，(3) 奇性鈉溶液，(4) 鮑和碳酸鈉溶液，(5) 盐酸。
9. (1) 为什么鍋爐用水不能用硬水？
 (2) 为什么用硬水洗滌衣服不好？
 (3) 用肥皂洗手上的粉笔灰(石膏 CaSO_4 制成)，为什么泡沫很少？

本 章 提 要

1. 碱土金属的通性 碱土金属有鋁、鎂、鈣、鋯和鋇等，它們大都是銀白色的輕金属，并随着原子序数的增加，金属性逐漸增强。它們原子的最外电子层上都有 2 个电子，化学活动性不如碱金属，但比起其他金属来仍比較活动。它們的氢氧化物較难溶解于水，水溶液也呈碱性。

2. 鎂 鎂是相当活动的金属，露置在空气里就被氧化，但表面生成的氧化膜能保护内部金属。鎂在空气里燃燒时发出夺目光輝，加热时跟大多数非金属能直接化合，跟沸水和酸发生置换反应放出氢气。鎂主要用来制造輕合金和球墨鑄鐵。

3. 鈣 鈣是很活动的金属，露置在空气里能迅速氧化，所以必須密封貯存；加热时跟大多数非金属能直接化合，跟冷水和酸能发生置换反应放出氢气。鈣主要用来制造合金。

4. 鈣和鎂的几种主要化合物

化 合 物	性 质	用 途
氧 化 鎂	白色高熔点粉末	耐火材料
氧 化 鈣	白色高熔点固体	建筑材料和石灰肥料
氢 氧 化 鈣	白色粉末	建筑材料和石灰肥料
碳 酸 鈣	是石灰石和白堊的主要成分	炼鐵、炼鋼时用作熔剂，是制造水泥、玻璃、电石和純碱的原料

5. 硬水 含有 Ca^{++} 离子和 Mg^{++} 离子的水叫硬水。

(1) 暂时硬水：含有 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 和 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 的水。它的软化法有
(i) 加热法：使 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 和 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 分解变成 CaCO_3 和 MgCO_3 沉淀。
(ii) 加碱法：使 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 和 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 跟 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 或 NaOH 等可溶性碱反应，生成难溶的碳酸盐 CaCO_3 和 MgCO_3 沉淀。

(2) 永久硬水：含有 CaSO_4 , MgSO_4 或 CaCl_2 , MgCl_2 的水。它的软化法是加纯碱，使硬水里的 Ca^{++} 离子和 Mg^{++} 离子跟 CO_3^- 离子结合，生成 CaCO_3 和 MgCO_3 沉淀，从而除去水的硬性。或利用软化剂——人造沸石 (Na_2Z)，使硬水里的 Ca^{++} 离子和 Mg^{++} 离子跟人造沸石里的 Na^+ 离子进行交换，从而除去水的硬性（人造沸石也能软化暂时硬水）。

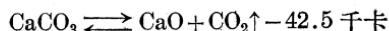
复习題三

1. 實驗室里制取二氧化碳，常用大理石跟酸在启普发生器里反应，为什么选用盐酸而不用硫酸？

【解】硫酸跟大理石反应时，生成溶解度很小的硫酸钙，硫酸钙沉积在大理石的表面，阻碍了硫酸跟大理石继续反应。

2. 煅燒石灰石制取生石灰，怎样检验生石灰里是否还含有未分解的石灰石？

3. 煅燒石灰石生成生石灰和二氧化碳，反应是可逆的：



我們要石灰石煅燒完全，可以采用哪些措施？

4. 清石灰水或氢氧化鉄溶液露置在空气里，为什么会变浑浊？試写出所起反应的化学方程式。

*5. 在氯化鈣的溶液里，通入二氧化碳气体，为什么不会生成碳酸鈣沉淀？

〔提示：碳酸鈣能迅速跟酸发生反应。〕

6. 解釋下列各名詞：(1) 氯水，(2) 氨水，(3) 硬水。并說明在这些水里各含有哪些微粒。

7. 为什么地下水流过石灰岩以后，就变成暂时硬水？

〔提示：地下水里常溶解有多量的二氧化碳。〕

8. 制取 10 吨生石灰，需要煅燒多少吨含有 90% 碳酸鈣的石灰石？

第四章 鋁

在前面兩章里，我們扼要地介紹了周期表第 I 級和第 II 級的主族元素（碱金属和碱土金属），現在順着次序，我們學習周期表第 III 級的主族元素（**土金属**）。在這一類主族里，一共有硼（B）、鋁（Al）、鎵（Ga）、銦（In）、鉈（Tl）五種元素，其中鎵、銦、鉈三種元素在自然界的存在十分稀少，對這些元素的研究也不多，是屬於所謂“稀有元素”。硼是一種非金屬元素，在自然界存在的量也很少，它的性質在許多方面和第二冊第六章里講過的矽很相似。鋁是本族元素里最重要的一種元素，在本章里我們將專門介紹有關鋁的知識。

和本族里的其他幾種元素不同，鋁是地殼里含量最多的一種金屬元素，它在自然界存在的量，僅次於氧和矽兩種元素而居第三位（參見第一冊 §1·7）。另外，鋁具有許多可貴的、適合於現代技術要求的性質，例如：比重小、導電傳熱性好、抗銹蝕性強等。因此它廣泛應用在航空、交通運輸、電器等工業上和用來製造日常生活用具等。

鋁是今天世界上有色金屬中產量較多的一種，我們在生產上和生活上經常會接觸到用鋁（或鋁的合金）製造的器械。但是鋁和鋁的化合物的性質，和前面學過的碱金属和碱土金属相比，有許多特殊的地方。掌握鋁的這些特性，對鋁制器械的製造、使用和保養，都是十分重要的。

§ 4·1 鋁的性質和用途

■ 在元素周期表里的位置和它的原子結構 在元素周期表

里，鋁处在第二周期第 III 类的主族。在这个周期里，鋁前面（第 II 类主族）的一个元素是鎂，后面（第 IV 类主族）的一个元素是硅。鎂是一种金属元素，硅是一种非金属元素。按照周期表里元素性质递变的規律来看，鋁正好处在从金属元素过渡到非金属元素的地位。这就决定了鋁（以及鋁的化合物）的特殊的化学性质，即在有些方面和金属元素相似，而在另一些方面又和非金属元素相似。

另外，从鋁的原子結構（表 4·1）来看，鋁原子核外最外电子层上有 3 个电子（次外层上有 8 个电子），在化学反应里，它能够失去这 3 个电子（变为外层具有 8 个电子的稳定結構），成为带 3 个单位正电荷的鋁离子 (Al^{+++})：



表 4·1 鋁的原子結構

元 素 符 号	Al
原 子 序 数	13
原 子 量	27
电 子 层 结 构	(+13) 2 8 3
化 合 价	+3

但是要鋁原子失去最外层上的 3 个电子，显然要比碱金属失去 1 个电子或碱土金属失去 2 个电子要困难，所以鋁的化学活动性和金属性都比它們弱。

鋁在它的一切稳定化合物里都显示 +3 价。

鋁的物理性质 鋁是銀白色的輕金属，它的比重、熔点、沸点、……（总称为物理常数）如表 4·2 所示。

鋁是热和电的良导体，它的导电性虽然比銅差些（在以銅的导电性为 1 为标准时，銅的导电性是 56.9），但由于鋁的比重只有銅

(比重=8.92)的大約30%，所以，傳導同量的電所用的鋁線的重量，比銅線可以輕得多；且由於鋁的價格比銅便宜，所以在電器工業上，有不少地方鋁正在逐漸來用以代替銅。

表 4·2 鋁的主要物理常數

比 重	(克/立方厘米)	2.70
熔 点	(°C)	660
沸 点	(°C)	2270
硬 度	(金剛石=10)	2.9
导 电 性	(以汞=1为标准)	36.1

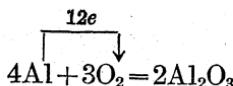
鋁有很大的延性和展性。1克鋁可以拉成長達37米的細絲，亦可以展成面積達50平方米的鋁箔（它的厚度僅0.00008毫米，即10000張這樣的鋁箔疊在一起，總的厚度還不到十分之一厘米呢！）。

純鋁的硬度不大，強度也較差，但若加入少量銅或其他金屬，硬度和強度都將大為增加，適合於用作工業材料。

鋁的化學性質 鋁雖然不如鹼金屬、鹼土金屬活動，但從它的化學性質來看，還是一個相當活動的金屬，這可以從下面這些反應來說明。

1. 鋁跟氧的反應 鋁跟氧非常容易化合。將鋁露置在空氣里，鋁表面上會很快地生成一層致密牢固的氧化鋁薄膜（簡稱氧化膜）。在電子顯微鏡下觀察，氧化膜是連續、無孔的，氣體不能透過，這就可以防止鋁內部金屬的繼續氧化；即使在高溫下，氧化膜也能起同樣的保護作用。

把鋁粉在空氣里加熱，會劇烈地燃燒，放出大量的熱（每克鋁氧化時放出7.47千卡熱，比其他許多金屬氧化時放出的熱量要多），生成的氧化鋁微粒灼熱，發出奪目的光輝，跟鎂帶、鎂粉燃燒時的現象相似：



如果鋁的表面含有杂质，氧化膜跟鋁的联結力就减弱，这时鋁就会繼續氧化而迅速銹蝕。例如当鋁的表面有少量汞存在时，氧化膜就不能跟鋁紧密联結，这样的鋁在空气里将很快地被氧化。

把鋁片表面用砂皮擦淨，或把它浸入热的碱溶液里，以除去鋁表面的氧化鋁，用水洗去鋁片上殘留的碱液。然后把鋁片浸入汞盐溶液，取出并用水洗净。由于鋁比汞活动，因此金属表面上有少量汞被置换析出，并跟鋁組成鋁汞合金；它阻止了鋁片表面致密氧化膜的生成。鋁汞合金又有很多孔隙，这样氧气就能通过孔隙很快地跟鋁反应，在孔隙中不断生成白色的氧化鋁細絲，看起来好象一把毛刷(图4·1)。这时候鋁片的温度很快升高，用手摸可感觉到。

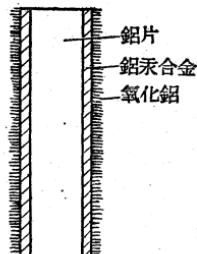
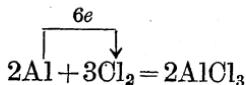


图4·1 鋁片表面
复盖鋁汞合金后，
鋁氧化生成氧化
鋁的情况

2. 鋁跟氯气以及其他非金属的反应 鋁跟氯气在微热的条件下，能剧烈地燃燒，生成无水氯化鋁晶体：

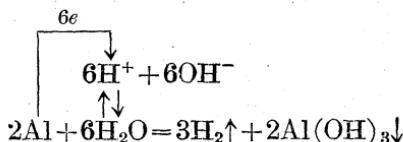


在高温时，鋁跟硫反应生成硫化鋁(Al_2S_3)。

取硫粉約2克、鋁粉約1克充分混和，放在鐵盤內。用玻棒燒紅一端，迅速插入混和物內，鋁跟硫即剧烈化合，发生火花与閃光。

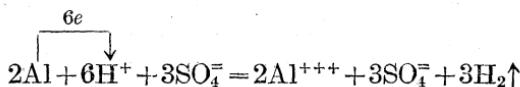
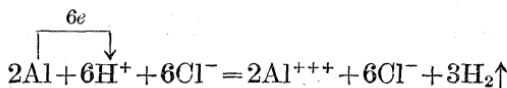
3. 鋁跟水的反应 鋁是一种相当活动的金属，在金属活动性順序里，它的位置仅次于鉀、鈉、鈣、鎂等少数几种活动金属。但是我們平常用鋁鍋或鋁壺盛水或煮水时，却看不到它跟水有什么显著的反应，这就是因为鋁表面上复盖着一层极薄的但又极致密的氧化层保护膜，使金属鋁不能和水直接接触的緣故。如果我們用前面讲过的方法，把鋁片表面的氧化膜除去，然后把鋁片投入水

中，就可看到它跟水迅速反应，置换出水里的氢：

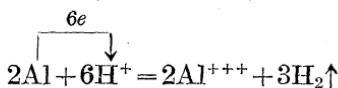


铝跟水反应时除有氢气逸出外，同时有凝胶状的氢氧化铝生成。氢氧化铝逐渐附着在铝片表面，阻碍了铝跟水的接触，因此反应速度逐渐减慢。

4. 铝跟酸的反应 铝的表面虽然复盖有一层氧化保护膜，但氧化铝能溶于酸，因此它对酸将不能产生保护作用。铝跟盐酸或稀硫酸的反应非常剧烈：

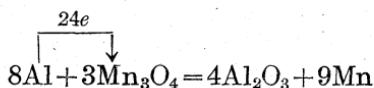
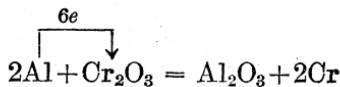


或



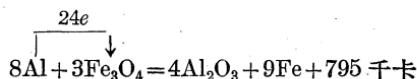
但是，冷的浓硝酸、浓硫酸跟铝几乎完全不起反应，这种现象称做“钝化”。由于这样的原因，铝的容器可以用来贮存浓硝酸或浓硫酸。

5. 铝跟金属氧化物的反应 铝不但容易跟单质的氧气直接化合，而且还能夺取金属氧化物里的氧，同时，把金属氧化物里的金属离子还原出来。所以铝可用作还原剂来冶炼他种金属。由于反应时放出大量的热，能使还原出来的金属呈熔融状态。这种冶炼金属的方法，称做铝热法，现在工业上常用它来冶炼高熔点的金属，如铬、锰等：



鋁和鐵的氧化物的混和物称做**鋁热剂**. 鋁热剂可以用来焊接鋼軌.

把鋁粉跟四氧化三鐵按1:3的比例混和，并加入适量的过氧化鋇作助燃剂[过氧化鋇(Ba_2O_2)受热分解时，放出氧气，使反应更加剧烈]. 把混和物放在坩埚里，用鎂带引火，鋁热剂发生如下反应：



反应非常猛烈，有明亮的火花喷射出来，并产生大量的热，使坩埚里的温度高达 3500°C . 这时反应生成的鐵呈熔融状态，生成的氧化鋁形成熔渣，和鐵水不相混和，而浮在鐵水上面，这些熔渣能防止下面的鐵水氧化. 把要焊接的鋼軌在焊接处用模子(耐火材料制成)围住，让鐵水从坩埚底孔流入模子(图4·2). 待冷却后，把模子去掉，鋼軌就焊接起来了. 利用鋁热剂焊接的方法叫做**鋁焊接术**.

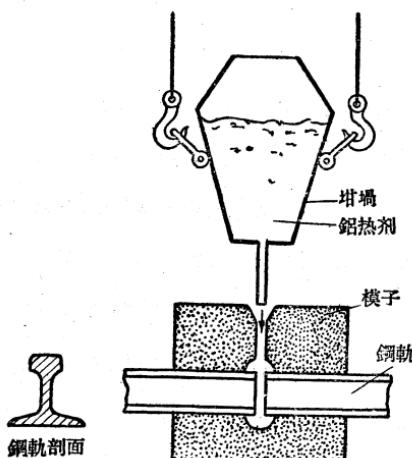
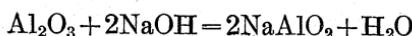


图 4·2 用鋁热剂焊接鋼軌(剖面图)

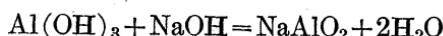
6. 鋁跟碱溶液的反应 我們知道，一般金属和碱溶液不起反应，可是把鋁片投入碱溶液里，反应却很剧烈，有氢气放出，同时鋁片逐渐溶解。这个反应过程可以分成三个步骤：首先鋁表面的氧化鋁被碱溶液溶解，生成偏鋁酸鈉 (NaAlO_2)：



其次，当鋁表面的氧化膜被溶解后，金属鋁就跟溶液里的水反应，置换出水中的氢：



最后，这个反应里生成的氢氧化鋁也能够溶解在碱溶液里，生成偏鋁酸鈉：



这样，鋁跟水的反应就不会受到凝胶状氢氧化鋁的阻碍，而能继续进行下去。由此可以看出，鋁跟碱溶液的反应，实质上是鋁跟水的反应；碱的存在，只是起了溶解氧化膜和氢氧化鋁的作用，促使鋁跟水迅速反应。因此，鋁容器不能盛碱溶液和碱性物质，否则易被腐蚀而损坏。

鋁的用途 由于鋁和鋁的合金具有許多可貴的性质，因此鋁在工业上有广泛的用途，是一种极为重要的金属材料。現在根据鋁的性质來說明鋁的主要用途。

(1) 鋁合金的比重小、强度大，可用来制造交通工具，如火車、汽車車廂，特別是用来制造飞机。用在飞机上的鋁合金，要占飞机总重量的 50% 左右。另外，鋁合金也用来制造机器的零件，例如內燃机的活塞等。它可以減輕机件重量，并可提高运转速度，减少能量的消耗。

(2) 鋁的导电、傳热性能好，可塑性强，易于加工，因此純鋁可用来制造电线、电缆和无线电器材；亦可制造炊具，如鋁鍋、鋁壺等。鋁箔可用来包装香烟、糖果，以防受潮。

(3) 鋁的抗蝕性强，可以用来制造化学工业上用的反应器、輸

送管子以及食品工业和日常生活里用的各种容器。用鋁粉制造成保护金属的涂料(銀色油漆)，可以防止其他金属锈蝕。

(4) 由于鋁跟氧結合时能放出大量的热，所以鋁粉可以用来冶炼某些高熔点的金属；制造照明彈、信号彈和爆炸物(硝酸銨和鋁粉的混和物)等，鋁热剂可用以焊接鋼軌。

习 题 4·1

1. 試以鋁在元素周期表里所处的位置，和它的原子結構來說明鋁的性质。
2. 写出鋁跟氧、硫反应的化学方程式，并指出在这些反应里，哪一种物质是氧化剂？哪一种物质是还原剂？
3. 試应用原子結構理論，解釋鋁的化学活动性較鈉和鎂弱，并举出實驗事例證明。
4. 鋁在金属活动性順序里在氢之前，为什么用鋁容器盛水或煮水都沒有氢气产生？
5. 日常使用鋁壺或鋁鍋，为什么：
 - (1) 不能用砂或煤渣来擦除鍋外煤烟或鍋內鍋垢？(2) 鍋內油膩不能用純碱溶液洗滌？(3) 不能煮酸性东西？
6. 鋁(或鋁的合金)的下列各种用途，各利用它的什么性质？
 - (1) 制造飞机和汽車外壳；(2) 高速运转的机器零件；(3) 电线；(4) 貯存濃硝酸或濃硫酸的容器；(5) 鍍或包在其他金属外面；(6) 鋁热法冶炼金属；(7) 日常用炊具。
7. 鋁热剂是什么？用鋁热剂焊接鋼軌，估計需用 2 公斤熔融鐵水，問需用鋁粉和四氧化三鐵各多少公斤？

§ 4·2 鋁的化合物

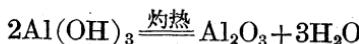
前面讲过，鋁在元素周期表里正好处在从金属元素过渡到非金属元素的中間位置。鋁的这一特点，特別明显地反映在鋁的化合物的性质上。例如鋁的氧化物既表現碱性氧化物的性质，又表現出酸性氧化物的性质，是一种两性氧化物(参看第一册 § 5·7)。

鋁的氫氧化物的碱性不仅很弱（比氫氧化鎂更弱得多），而且在一定条件下还能表现出酸性，是一种典型的两性氫氧化物。由于氫氧化鋁碱性极弱，因此鋁盐在水溶液里一般都容易发生水解反应，并使溶液呈酸性。

在本节里，我們將着重研究鋁的氧化物、氫氧化物以及几种重要鋁盐的性质、用途和制法等。

氧化鋁(Al_2O_3) 氧化鋁又称**矾土**，是一种难熔的白色物质(熔点在 2000°C 以上)。在自然界里有比較純淨的結晶氧化鋁存在，称为**剛玉**，是无色透明而极硬的晶体，它的硬度仅次于金剛石。如果氧化鋁的晶体里含有微量其他金属氧化物，就会显现出美丽的顏色。带有紅色(含有微量的氧化鉻)或藍色(含有微量鐵和鈦的氧化物)的透明剛玉晶体称做**紅宝石**或**藍宝石**。把矾土在电炉里强热使之熔化，并掺入微量的其他金属氧化物，可以制得各种顏色的人造宝石，它在組成上或性能上和天然宝石相仿。人造宝石現在广泛用作机器的高速轉动部分的轴承和钟表的钻石等。

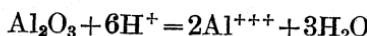
純氧化鋁可由灼热氫氧化鋁而制得：



这样制得的氧化鋁是白色粉末状物质，它能溶解于酸，也能溶解于碱。当氧化鋁跟酸反应时，它是作为一种碱性氧化物来跟酸发生反应的，反应結果生成鋁盐和水。例如，氧化鋁跟盐酸的反应：



或

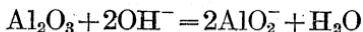


当氧化鋁跟碱反应时，它又是作为一种酸性氧化物来参加反应的，反应結果生成偏鋁酸盐^①（或鋁酸盐）和水。例如，氧化鋁跟氫氧化鈉溶液反应，生成可溶性的偏鋁酸鈉和水：

① 偏鋁酸(HAIO_2)是由鋁酸(H_3AlO_3)失去1个水分子而成，它的盐叫做偏鋁酸盐，例如偏鋁酸鈉(NaAlO_2)，其中 AlO_2^- 是-1价酸根。



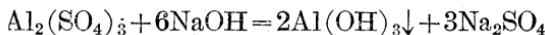
或



上述这个反应，在前面讲到鋁和碱的化学反应时，已經初步介紹过了。

氧化鋁的晶体，在酸溶液和碱溶液里都难溶解。只有在高温时，它能跟熔融苛性碱起反应，生成偏鋁酸盐。

氫氧化鋁 $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ 氢氧化鋁是不溶于水的（溶解度比氢氧化镁更小），因此它不能由氧化鋁跟水直接化合而制得。和一般不溶性碱的制法一样（参看第一册 § 5·3），氢氧化鋁可由鋁盐跟可溶性碱反应来制取。例如：



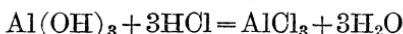
或



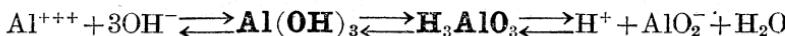
由此所得的氢氧化鋁是一种凝胶状的白色沉淀。把氢氧化鋁灼热，即分解成为純淨的氧化鋁：



氢氧化鋁具有两性，它一方面能够跟酸反应（中和）而溶解，生成鋁盐和水；另一方面又能够跟碱反应（中和）而溶解，生成偏鋁酸盐（偏鋁酸盐比鋁酸盐为稳定，因此一般生成偏鋁酸盐而不生成鋁酸盐）和水，这时，氢氧化鋁就作为一种酸（鋁酸，分子式可以写成 H_3AlO_3 ）。例如：



氢氧化鋁呈现两性，是因为它在溶液里（氢氧化鋁虽然难溶于水，但并不是絕對不溶解的）存在着如下的动态平衡：



当加入酸时，由于酸溶液里存在着多量的 H^+ 离子，跟溶液里的 OH^- 离子结合成难电离的水分子，使溶液里的 OH^- 离子大为减少，平衡向左方移动，最后反应进行近乎完全；当加入碱时，由于碱液里存在着多量的 OH^- 离子，跟溶液里的 H^+ 离子结合成难电离的水分子，使溶液里的 H^+ 离子大为减少，平衡向右方移动，最后反应也进行近乎完全。

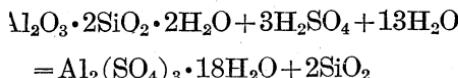
應該指出，当氫氧化鋁不和酸或碱相遇时，它这两种电离趋势都是极弱的^①。用一般指示剂来檢驗氫氧化鋁的溶液，既檢驗不出它的碱性，也檢驗不出它的酸性。由此可以看出，氫氧化鋁的碱性只有当它跟酸反应时才顯現出来；它的酸性，也只有当它跟碱反应时才顯現出来。

鋁盐

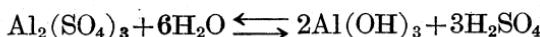
1. 硫酸鋁 $[Al_2(SO_4)_3]$ 硫酸鋁可由硫酸跟氧化鋁反应而制得：



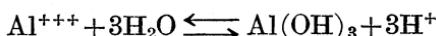
工业上用热的硫酸跟高岭土 ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) 反应，硫酸鋁的晶体 $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O]$ 可自溶液里析出：



硫酸鋁是由强酸(硫酸)和弱碱(氫氧化鋁)所成的盐，因此它溶解于水时即起水解反应，溶液呈酸性：



或



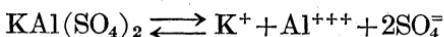
当大量水时，硫酸鋁水解后生成微量的氫氧化鋁沉淀，具有很强的吸附能力，能吸附水里的悬浮物或微生物，一起沉入容器底部，因此硫酸鋁可以用作水的清淨剂。另外，在印染工业上，硫酸

^① 氢氧化鋁的酸性比碱性更弱。

鋁常用作棉織物染色的媒染劑^①。由於硫酸鋁的水溶液具有酸性，它可以代替硫酸用在泡沫滅火器里，也可加在焙粉^②里，使之跟碳酸氫鈉反應產生二氧化碳。

2. 硫酸鉀鋁 $KAl(SO_4)_2$ 、矾 在硫酸鋁溶液中加入等克分子的硫酸鉀，使之結晶，可得無色透明的硫酸鉀鋁晶体，普通稱為明矾，分子式是 $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$ 或 $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ 。

明矾是一種複鹽。凡在水溶液里能電離生成兩種陽離子和一種陰離子或兩種陰離子和一種陽離子的複雜鹽類，叫做複鹽。明矾在水溶液里能電離生成 K^+ 离子、 Al^{+++} 离子和 SO_4^- 离子：

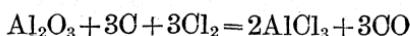


由於明矾在溶液里也能電離出 Al^{+++} 离子和 SO_4^- 离子，因此它可代替硫酸鋁作淨水劑和棉織物染色的媒染劑。此外，在制革工业上要用大量的明矾来鞣革，在造纸工业上用它来上胶。經過上胶后的紙，书写时就不会化水。

矾——1價金屬硫酸鹽跟3價金屬硫酸鹽結合生成具有通式為 $M_2SO_4 \cdot M_2^{III}(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$ 或 $M^I M^{III}(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ 的複鹽，總稱為矾。容易形成矾的1價金屬有 Li 、 Na 、 K 、 Rb 、 Cs 和 NH_4^+ 等，3價金屬有 Al 、 Cr 、 Fe 、 Mn 等。除上述的明矾外，常遇到的矾如：

銨鐵矾 $(NH_4)_2SO_4 \cdot Fe_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$ 或 $NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ，
鉀鉻矾 $K_2SO_4 \cdot Cr_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$ 或 $KCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ，
等等。

3. 氯化鋁 ($AlCl_3$) 在氯氣的氣流中加熱鋁，鋁跟氯直接化合生成氯化鋁。另外，在紅熱的氧化鋁和炭的混和物上通過氯氣，也可制得無水氯化鋁：



氯化鋁是無色物質，容易水解產生 HCl 和 $Al(OH)_3$ ，因此在

① 硫酸鋁水解後的氫氧化鋁，能吸附可溶性染料，并與之化合成為不溶性物質固着於纖維上。這種使染料固着於纖維上的媒介物，稱為媒染劑。

② 焙粉即發酵粉。

潮湿空气里会发烟。

无水氯化铝是石油和各种有机合成工业上常用的一种催化剂。

当铝溶解于盐酸中，可以结晶出含有6个分子结晶水的水合氯化铝晶体($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)。

习题 4·2

1. 氧化铝晶体能用作耐火材料，是根据它的什么性质？
2. 用化学方程式表示下列各步反应：
$$\begin{aligned} \text{Al} &\longrightarrow \text{AlCl}_3 \longrightarrow \text{Al(OH)}_3 \longrightarrow \text{NaAlO}_2 \longrightarrow \text{HAlO}_2 [\text{Al(OH)}_3] \\ &\quad \longrightarrow \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \longrightarrow \text{Al(OH)}_3 \longrightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 \end{aligned}$$
3. 铝片投入浓氢氧化钾溶液里会产生氢气，写出反应的化学方程式。
4. 以54克铝(已除去氧化膜)跟过量苛性钠溶液反应，能生成多少升氢气(在标准状况下)？
5. 用明矾为原料制备下列物质，写出反应的化学方程式：
 - (1) 明矾跟氨水反应制取硫酸钾和硫酸铵混和物；(2) 氢氧化铝；(3) 氧化铝；(4) 偏铝酸钠。

【解】



6. 明矾的下列各种用途，各利用它的什么性质？

- (1) 装在灭火机里；(2) 制焙粉；(3) 作净水剂。

7. 写出下列盐类水解的离子方程式，并说明它们对石蕊的反应各显示什么颜色？

- (1) 氯化铝；(2) 偏铝酸钠。

8. 用氯化铝溶液跟氢氧化钠溶液反应来制取氢氧化铝沉淀时，由于加入过量的碱，沉淀消失了。用什么方法可以重新得到沉淀？说明理由，并写出化学方程式。

[提示：加入适量稀盐酸或再加氯化铝溶液。]

§ 4·3 铝在自然界里的存在，铝的冶炼法

在本章一开始时就已讲过，铝是自然界里含量最多、分布也最

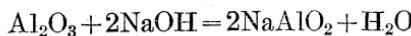
广的一种金属元素。在地壳中，鋁主要存在于鋁硅酸盐中，例如高岭土 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、长石 ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)、云母 ($\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 等。最重要的鋁矿物是鋁土矿 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, 其中 $x=1$ 或 3)、冰晶石 ($3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$)、明矾石 [$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$] 和霞石 ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) 等，它们都是炼鋁的重要原料。

鋁在自然界的存在量虽然十分丰富，但金属鋁的冶炼历史却很短，最初是在 1827 年用金属鉀还原熔融的无水氯化鋁而制得。由于鉀的价格很高，因此当时鋁比黃金还要昂贵。直到 19 世纪末发明了电解法制鋁，以及用氧化鋁-冰晶石为原料以后，鋁的产量迅速增高，鋁的价格也大幅度的下降，成为一种普遍应用的金属材料。

現在工业上炼鋁主要分成两个阶段，即(1)以鋁土矿制取純淨的氧化鋁和(2)电解熔融的氧化鋁。現分述如下：

I. 从鋁土矿提取純淨的氧化鋁 治炼鋁所用的鋁土矿必须十分純淨。但天然的鋁土矿里常混有鐵和硅的氧化物，电解时，鐵和硅都会被还原出来而混在鋁里面，影响鋁的质量。因此在用鋁土矿炼鋁之前，必须先进行提純。

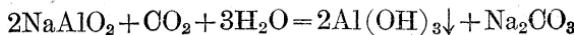
从鋁土矿提取純氧化鋁的方法，首先是将磨碎的天然鋁土矿和氢氧化鈉溶液一起共热，矿石里的氧化鋁被氢氧化鈉溶解，变为可溶性的偏鋁酸鈉：



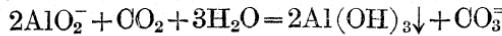
或



然后滤去不溶性的残渣(硅、鐵、鉱等杂质)，并在滤液里通入二氧化碳气体，即有氢氧化鋁的沉淀析出：



或



最后，把所得的氫氧化鋁在高溫(1200°C)下煅燒，使它分解，即得干的、純淨的氧化鋁：



2. 电解氧化鋁 純淨氧化鋁的熔點高达 2050°C ，要使它熔化，然后进行电解是很困难的。現在工业上都用冰晶石 (Na_3AlF_6 ，是氟化鈉和氟化鋁組成的复盐) 做熔剂。在电解时，先把冰晶石熔化(冰晶石的熔點約为 1000°C)，再把純淨的氧化鋁溶解在里面。把熔融的冰晶石和氧化鋁的混和物作为电解质，这种混和物的熔點比純的冰晶石或氧化鋁都要低，电解时只要維持 $940\sim 960^{\circ}\text{C}$ 的温度就能正常进行生产。

电解熔融冰晶石-氧化鋁的过程很复杂，冰晶石虽然参加反应，但反应前后仍保持不变。現在对这一反应的过程还没有一致的說法，我們这里只能简单說明电解过程总的化学方程式以及两极上的生成物：



液态鋁在阴极析出，氧气从阳极放出。如果阳极用石墨等碳素材料制成，在电解时的温度下，碳跟生成的氧气就发生反应，生成一氧化碳或二氧化碳气体。一氧化碳又会燃燒生成二氧化碳。

工业上冶炼鋁，就根据上述反应的原理和条件，設計成一个专门电解氧化鋁的电解槽(图 4·3)。

电解槽的构造主要分成两个部分：

(1) 电解槽的下部是一个长方形的平底槽，用来盛熔融电解质和制得的金属。槽身用鋼板制成，內衬耐火磚。由于耐火磚的原料是二氧化硅或氧化鎂(硅磚或鎂磚)，在高温时它们都能跟氧化鋁起反应，所以又把碳块和碳板砌在槽底和槽側。

在槽底碳块之間插有鋼棒，鋼棒的一端伸出槽外，与直流电源的負极相連接，因此整个碳衬和鋼棒組成电解槽的阴极。电解时

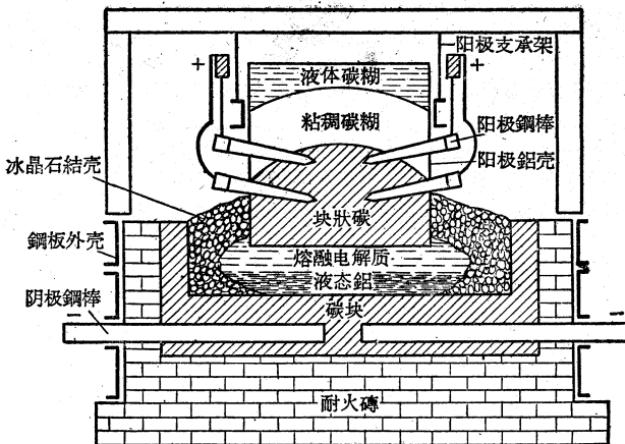


图 4·3 氧化鋁的电解槽示意图

生成的液态鋁沉积在槽底碳块上。

(2) 电解槽的上部是阳极装置。阳极外壳用鋁制成，也呈长方形，上下无底，悬挂在支架上。阳极鋁壳里注入碳糊。碳糊是用石油焦、瀝青焦（这是石油和煤焦油干馏后得到的干渣）等跟粘結剂（瀝青）混和而制成。从鋁壳侧面插入几排鋼棒，鋼棒的一端在碳糊里，另一端留在鋁壳外，与电源的正极相連接。由于阳极下部接触的熔融电解质的温度很高，所以碳糊就发生燒結，变成坚硬的一整块。阳极中部的碳糊受热以后，也变得稠厚起来。

在电解时阳极生成的氧气，不断跟碳素发生反应，把阳极下部碳素逐渐燒去，同时鋁壳逐渐熔化，因此阳极要定时下降，以保証阳极跟熔融电解质接触。阳极上部鋁壳可以接长，碳糊可以添加，把阳极下部鋼棒拔出插入上部碳糊里。这样就构成一个連續自動焙燒阳极装置。

电解氧化鋁时，阳极生成氧气，阴极生成液态鋁。为什么在电解槽里不設置隔膜，以防止两极生成物相遇而化合呢？这是因为生成的液态鋁的比重較熔融的电解质大，它們沉积在槽底，上面有熔融的电解质把液态鋁跟氧气隔开，所以氧化鋁电解槽內不需要

設置隔膜。

冶炼鋁需要消耗大量的电，制取一吨鋁大約要一万七千到二万度电。因此，努力設法減低电能的消耗，对降低鋁的成本有着重大意义。

习 题 4·3

1. 用化学方程式表示从鋁土矿提取純淨氧化鋁的反应。

2. 根据下表比較炼鋁工业和制燒碱工业：

	电 解 氧 化 鋼	电 解 食 盐 溶 液
1. 化学方程式		
2. 电解时温度		
3. 电解质和离子		
4. 电解槽制作材料		
5. 阳极生成物		
6. 阳极制作材料		
7. 阴极生成物		
8. 阴极制作材料		

3. 为什么氧化鋁电解槽不設置隔膜，而食盐溶液电解槽要設置隔膜？

本 章 提 要

1. 鋁

(1) 鋁的性质：鋁是銀白色輕金属，比重小，导电傳热性良好，可塑性强。鋁的化学性质相当活动，常用作还原剂；跟氧非常容易化合，在鋁表面生成氧化鋁保护膜；跟大多数非金属能直接化合；能跟水(除去氧化膜以后)或酸(浓硝酸、浓硫酸除外)起反应；跟碱溶液也能起反应。

(2) 鋁的制取：一般采用电解熔融氧化鋁-冰晶石的方法以制得鋁。

(3) 鋁的用途：制造飞机、汽车、电线、化学反应器、炊具以及鋁箔、鋁热剂等。

2. 鋁的化合物

(1) 氧化鋁(Al_2O_3)：氧化鋁是兩性氧化物，跟酸或鹼都能反應。它的晶体是煉鋁的原料。

(2) 氢氧化鋁 $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ ：白色凝胶状物质，不溶于水，是兩性氢氧化物，能跟酸或碱起反应。

(3) 鋁盐

(i) 无水氯化鋁(AlCl_3)：有机合成工业里用作催化剂。

(ii) 硫酸鋁 $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3]$ ：白色粉末，能水解，溶液呈酸性，可用作淨水剂，制作灭火机药剂和焙粉原料，以及印染工业上作媒染剂。

(iii) 硫酸鉀鋁 $[\text{KAl}(\text{SO}_4)_2]$ ：硫酸鉀鋁的晶体，普通称为明矾，分子式是 $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 。明矾是一种复盐，可以代替硫酸鋁作淨水剂和印染工业上的媒染剂，在制革工业、造纸工业上亦有广泛应用。

复习題四

1. 用濃氢氧化鈉溶液跟氯化鋁溶液反应，制取氢氧化鋁沉淀。最初出現沉淀，当加入过量的氢氧化鈉后沉淀消失；再滴加盐酸，沉淀再一次出現；如再繼續加盐酸，沉淀又消失。試解釋上述現象，并分別用离子方程式表示。

2. 做硫酸鋁跟氢氧化鈉反应的實驗两次，所用的溶液相同。第一次将硫酸鋁溶液滴在氢氧化鈉溶液中，得到沉淀物质；另一次将氢氧化鈉溶液滴在硫酸鋁溶液中，出現沉淀后又立刻消失。試解釋原因。

3. 根據鈉、鎂、鋁的性质(表面氧化物已除去)，回答下列問題：

(1) 把这三种金属分别投入盛有氢氧化鈉溶液的試管里，各有什么現象发生？写出反应的化学方程式。

(2) 将这三种金属各取 0.1 克原子，分別投入盛有过量的盐酸的試管里，哪一种金属跟酸反应最猛烈？为什么？哪一种金属置换出来的氢气最多？在标准状况下各能生成多少升氢气？

4. 把鋁鎂合金溶于盐酸里，再加入过量濃氢氧化鈉溶液，試問鋁和鎂各以何种化合物存在？写出反应的化学方程式。

5. 明矾能淨化水，但不能軟化硬水，为什么？

第五章 鐵

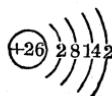
鐵和由生鐵炼成的鋼，是应用最广的金属。象工业机器、农业机械、交通工具、国防武器等的制造，现代厂房和桥梁等的建筑，都要用到大量的鋼鐵材料。所以，鐵和鋼的冶炼在国民經濟上起着极为重要的作用。

鐵是元素周期表第 VIII 类里的一个元素。与它在同一周期里的还有鉻 (Co) 和鎳 (Ni) 两种元素。这三种元素的原子最外层上的电子数都是 2，次外层上分别是 13、14、15。在参加化学反应时，它们除能失去最外层上的 2 个电子外，还能失去次外层上的 1 个电子，因此它们的性质非常相似。在本章里我們將以鐵作为第 VIII 类元素的代表，来学习它的性质和重要化合物，并介紹有关鐵和鋼的冶炼的原理等知識。

§ 5·1 鐵 的 性 质

鐵的物理性质 純淨的鐵是一种具有銀白色光澤的、坚韧的金属，比重 7.86，熔点 1535°C ，能被磁鐵吸引。鐵受到电流作用的时候，本身就会变成磁鐵，而一当电流作用去掉以后，又会立即失去磁性。工业上常利用它的这一性质，用純淨的鐵来做电磁鐵。

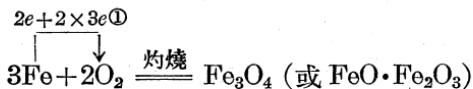
鐵的原子結構和化学性质 鐵的原子序数是 26，也就是說，鐵的原子核所帶的电荷是 +26，所以核外有 26 个电子。鐵原子的結構可用简图表示如下：



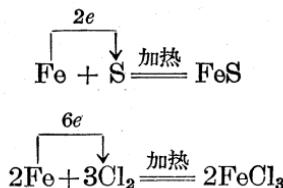
鐵原子的最外电子层上只有 2 个电子，这 2 个电子很容易失去，所以鐵是一个化学性质相当活动的金属，在一定条件之下，它能跟多种非金属、水、酸和盐等起反应。鐵原子不但容易失去最外层的 2 个电子，成为亞鐵离子 (Fe^{++})，并且还会失去次外层上 1 个电子，成为鐵离子 (Fe^{+++})。因此，通常鐵的化合物里的鐵有 +2 价和 +3 价两种。

下面我們來討論鐵的化学性质。

1. 鐵跟氧气和其他非金属的反应 常温时，鐵在干燥的空气里很难氧化，但在潮湿的空气里或在氧气里灼燒，鐵的表面就会生成一种暗褐色的四氧化三鐵：



加热时，鐵也能跟其他非金属如硫、氯等化合：



在鐵原子跟硫原子的反应里，鐵原子失去最外电子层的 2 个电子变成亞鐵离子 (Fe^{++})，硫原子得到鐵原子的 2 个电子变成硫离子 (S^-)，然后两者结合成硫化亚鐵 (FeS) 的分子。在鐵跟氯的反应里，鐵原子不但失去了最外电子层的 2 个电子，而且又失去了次外层里的 1 个电子，因而变成了鐵离子 (Fe^{+++})。氯原子得到鐵原子所失去的电子变成了氯离子 (Cl^-)，然后两者结合成氯化鐵 (FeCl_3) 的分子。鐵跟硫或跟氯的反应，在原子結構上所以会产生这样不同的变化，主要是因为氯气是一种更强的氧化剂，它夺取鐵

① 这样写法，表示三个鐵原子里的一个鐵原子失去 2 个电子，二个鐵原子可失去 3 个电子，四个氧原子共获得 8 个电子。

原子的电子的能力比硫强的缘故。

在高温下，铁还能跟碳、硅和磷等化合。例如，铁跟碳化合能生成一种十分脆硬而难熔的碳化铁(Fe_3C)。

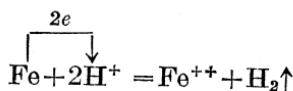
2. 铁跟水的反应 红热的铁能跟水蒸气反应，置换出氢气，并生成四氧化三铁。



工业上往往利用这个反应来制取大量的氢气。

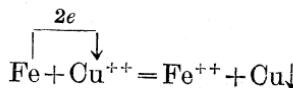
在常温下，铁不能跟水反应。但如果受到水、空气里的氧气和二氧化碳等几种物质共同作用时，铁就会发生锈蚀，生成铁锈(§ 1.4)。铁锈是铁的含水氧化物，它的成分接近于 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。它是一层松脆多孔的物质，可以让水蒸气和气体透过。因此铁表面的铁锈不能保护里面的铁不再受到锈蚀。当铁制品在潮湿的地方放置过久时，就会完全被锈蚀，我们在使用铁制物件时必须注意这一点。

3. 铁跟酸或盐的反应 在金属活动性顺序里(§ 1.2)，铁是在氢的前面，因此铁能跟酸类(如稀硫酸或稀盐酸)起反应，置换出氢气：



但在常温下，铁跟浓硫酸和浓硝酸几乎不起反应，因为铁遇到这些酸会在表面上生成一层很致密的保护膜(钝化)，从而阻碍了反应的继续进行。

铁也能跟比它活动性较弱的金属盐溶液起反应，并把这种金属置换出来。例如：



从上面鐵跟非金属、水、酸和盐的反应里，我們可以看出：

(1) 在以上各个反应里，都有得失电子的变化，所以，这些反应都是氧化-还原反应。鐵原子在这些反应里总是失去电子，它是还原剂。

(2) 鐵跟强的氧化剂(例如氯气)反应会生成+3价鐵的化合物；跟較弱的氧化剂(例如硫)反应生成+2价鐵的化合物。

自然界里的鐵 鐵是自然界里分布很广的金属，約占地壳总重量的4.2%。由于它的化学性质相当活动，所以在自然界里鐵很少以游离态存在，地壳里的鐵大都是鐵跟硫、氧等元素的化合物。

比較重要的鐵矿石有：磁鐵矿(Fe_3O_4)、赤鐵矿(Fe_2O_3)、褐鐵矿($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)、菱鐵矿(FeCO_3)和黃鐵矿(FeS_2)等。磁鐵矿和赤鐵矿是炼鐵的主要原料。鐵矿石中常含有杂质，这些杂质通常叫做脉石。脉石一般是由 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 等氧化物組成的化合物，它們主要是硅酸盐。

生物体内也含有多种鐵的化合物，其中大部分存在于动物的血紅蛋白里。人体缺少鐵，就会引起貧血症。我們在日常生活中多吃一些猪肝、菠菜、芹菜等含鐵质較多的食物，可以保証体内鐵质的需要。鐵也是植物营养必需的元素之一。如果土壤里缺乏鐵，就会影响植物体内叶綠素的生成，阻碍植物的生长。

习題 5·1

1. 写出鐵跟下列各种物质反应的化学方程式，并注明必要的条件：

硫，氯气，硫酸銅溶液，水蒸气，稀硝酸，稀硫酸。

为什么說这些反应都是氧化-还原反应？試以其中一个反应說明：哪种元素被氧化？哪种元素被还原？哪种物质是氧化剂？哪种物质是还原剂？

2. 为什么鐵跟硫反应时，生成的是+2价鐵的化合物(FeS)，而跟氯气反应时，生成的却是+3价鐵的化合物(FeCl_3)？

3. 鐵能从硫酸銅溶液中置换出銅来，銅能不能从硫酸亞鐵溶液中置换出鐵来？为什么？

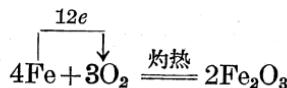
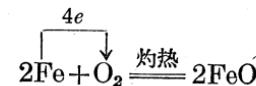
4. 鐵和鋁都是相當活動的金屬，為什麼可以用生鐵或鋁製的容器來裝運濃硝酸？

§ 5·2 鐵的化合物

這一節里我們將研究鐵的氧化物、氫氧化物、鐵的鹽類以及鐵鹽的檢驗。

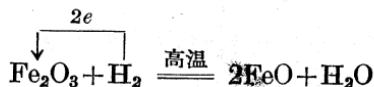
在上一節里我們已經知道，鐵跟別的物質起反應通常會失去2個或3個電子，因此，鐵能形成+2價和+3價的兩類化合物。下面所研究的鐵的氧化物、氫氧化物和鹽類中，各都有+2價和+3價的兩類化合物。

鐵的氧化物 鐵的氧化物有氧化亞鐵、氧化鐵、四氧化三鐵三種。鐵在空氣里灼熱或在氧气里燃燒時，都有黑色的氧化亞鐵(FeO)伴同紅色的氧化鐵(Fe_2O_3)生成：

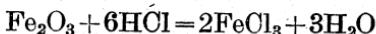
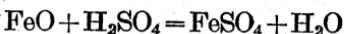


氧化亞鐵跟氧化鐵會結合生成暗褐色的四氧化三鐵(Fe_3O_4)。在錘擊赤熱的鐵時，生成的“鐵渣”就是 Fe_3O_4 。赤熱的鐵跟水蒸氣反應時，也生成 Fe_3O_4 (§ 5·1)。

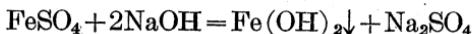
氧化鐵在高溫下跟氫氣或一氧化碳反應，會生成氧化亞鐵：



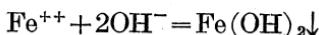
鐵的氧化物都不溶於水，和水不發生反應。但它們都是鹼性氧化物，能跟酸起反應生成鹽。例如：



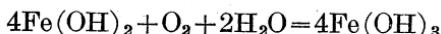
鐵的氫氧化物 与氧化亚鐵和氧化鐵相对应的碱是氢氧化亚鐵 $[\text{Fe}(\text{OH})_2]$ 和氢氧化鐵 $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$. 这二种氢氧化物都可用相应的可溶性鐵盐跟碱溶液反应而制得. 如亚鐵盐(即+2价的鐵盐)溶液跟碱溶液起反应, 就生成氢氧化亚鐵的沉淀. 例如:



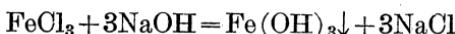
用簡化离子方程式表示:



氢氧化亚鐵是絮状的白色沉淀, 在空气里很快地被氧化, 先变成淡藍色, 再变成淡綠色, 最后变成紅褐色的氢氧化鐵:



鐵盐(即+3价的鐵盐)溶液跟碱溶液起反应, 就生成氢氧化鐵的絮状紅褐色沉淀. 例如:



用簡化离子方程式表示:



氢氧化鐵受热, 会失水而生成紅色的氧化鐵粉末:

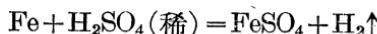


氢氧化亚鐵和氢氧化鐵都是不溶于水的碱.

鐵的盐类 鐵由于它的化合价的不同而生成两种盐类: +2价鐵盐类(亚鐵盐)和+3价鐵盐类(鐵盐). 較重要的鐵的盐类有硫酸亚鐵和氯化鐵.

I. 硫酸亚鐵(FeSO_4) 通常所見的綠矾, 就是含有7个結晶水的硫酸亚鐵晶体($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), 呈淺綠色, 很易溶解于水. 在空气里, 硫酸亚鐵晶体易失去結晶水, 同时氧化成黃褐色的硫酸鐵 $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3]$.

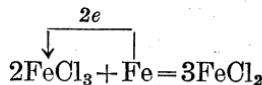
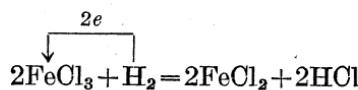
硫酸亞鐵可用鐵屑跟稀硫酸反應而制得：



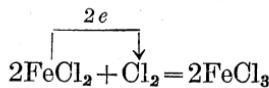
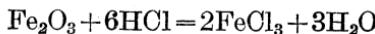
硫酸亞鐵可用来杀灭农作物害虫，在工业上，用来制造某些顏料，墨水以及在織物染色时用作媒染剂等。

2. 氯化鐵 (FeCl_3) 氯化鐵是棕黑色固体，常見的是含有 6 个結晶水的深黃色固体，容易潮解。

氯化鐵溶液遇某些还原剂(如 H_2 , Fe 等)，能被还原生成氯化亞鐵：

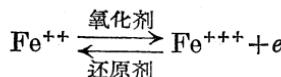


氯化鐵可用氧化鐵跟盐酸反应或由氯化亞鐵跟氯气反应而制得：



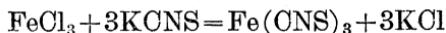
氯化鐵在医药上用作止血剂，在染料工业上用作氧化剂。

从氯化鐵的性质和制法中我們看到，氯化鐵在某些还原剂的作用下可以变成氯化亞鐵；氯化亞鐵在某些氧化剂的作用下可以变成氯化鐵。这一事实說明了 +2 价鐵和 +3 价鐵在一定的条件下是可以相互轉化的：



鐵盐的檢驗 我們可以利用无色的硫氰化鉀 (KONs) 的溶液来檢驗可溶性鐵盐(也就是檢驗 Fe^{+++})。在鐵盐溶液里滴入几滴硫氰化鉀的溶液，鐵盐溶液立刻变成深紅色，这是由于生成深紅色

的硫氰化鉄 $[Fe(CNS)_3]$ 的緣故。这个反应的化学方程式是：



簡化离子方程式是：



亞鐵盐遇硫氰化鉀溶液不显紅色。

习 题 5·2

1. 写出制取硫酸亚鐵和氯化鉄的化学方程式。它們的主要用途是什么？
2. 写出下列一系列反应的化学方程式：
 - (1) $FeO \rightarrow Fe \rightarrow FeCl_2 \rightarrow Fe(OH)_2 \rightarrow Fe(OH)_3 \rightarrow Fe_2(SO_4)_3$;
 - (2) $FeCl_2 \rightleftharpoons FeCl_3$.
3. 为什么鉄的表面会生锈？怎样用化学方法去掉鉄表面的锈斑？
4. 用硫酸亚鐵溶液跟氢氧化物溶液反应时，可以看到有絮状白色沉淀生成，但立刻就变为淡藍色，再变为淡綠色，最后变成紅褐色。这是什么緣故？写出有关的化学方程式。
5. 将新制的氯化亚鐵溶液分装在两个試管里。在一試管里加入几滴氢氧化鈉溶液；在另一試管里，加入少量新制的氯水，振蕩，再加入几滴氢氧化鈉溶液。分別能看到什么現象？說明理由，并写出有关的化学方程式和簡化离子方程式。
6. 在氯化亚鐵溶液里加入几滴硫氰化鉀溶液，有沒有变化？如果再加入少量氯水，振蕩，会发生什么現象？为什么？
7. 在少量氯化鉄溶液里加入稀盐酸和鋅粒，将看到什么現象？为什么？写出有关的化学方程式。反应完毕后，在这种溶液里滴入少量 KCNS 溶液，結果如何？为什么？
8. 在 200 毫升 0.5 克分子濃度的硫酸亚鐵溶液里，鉄的含量是多少克？
9. 1 克鉄的氯化物跟过量的硝酸銀反应，得到 2.65 克的氯化銀，問参加反应的是氯化鉄还是氯化亚鐵？用計算加以証实。

[提示：从 $FeCl_x + xAgNO_3 = xAgCl \downarrow + Fe(NO_3)_x$ ，求氯的克原子数与鉄的克原子数的比。]

§ 5·3 鐵 的 合 金

在 § 1·1 “合金” 中我們已經學到，純淨金屬的某些機械性能（如抗壓、硬度等）和耐熱、抗腐蝕等能力常常不能滿足各種生產的需要，而且製造成本也比較高；所以在一般情況下應用的金屬材料，都是合金。我們在生產和日常生活里所接觸到的鐵器，一般都是由鐵的合金所製成的。

鐵和其他金屬或非金屬組成的合金，最重要的有生鐵、熟鐵和鋼。下面我們就來分別討論。

生鐵 含碳量在 1.7% 以上的鐵的合金叫做生鐵。生鐵里除含碳外，還含有硅、錳以及少量的硫和磷。生鐵可以分成煉鋼生鐵和鑄造生鐵（簡稱鑄鐵）兩種。煉鋼生鐵里的碳常以碳化鐵 (Fe_3O) 的形式存在，它的斷口常呈銀白色，故又稱白口鐵。這種生鐵質硬而脆，很難機械加工，只宜用作煉鋼的原料。鑄造生鐵里的碳是以片狀石墨而存在的，它的斷口呈灰色，故又稱灰口鐵。這種生鐵質較軟，易加工，熔化後易於流動，能很好地充滿砂模，宜於用來製造鑄件。

將熔化的鑄鐵用鎂和硅處理後，鑄鐵中的片狀石墨會變成球狀。這種鑄鐵叫做球墨鑄鐵。它的好些機械性能比普通鑄鐵好，接近于鋼，而制取比鋼簡單，成本低，所以生產上常用来代替某些鋼材。

熟鐵 熟鐵又名煅鐵，它含碳量很少，一般在 0.03~0.04% 左右，并几乎不含有其他杂质。熟鐵富延展性，易弯曲，不易折断，可以煅接。

鋼 鋼的含碳量一般在 0.04~1.7% 之間。質坚硬，有彈性和延展性，可以煅打、壓延，也可以鑄造。鋼的物理性質和機械性質會隨着加熱溫度和冷卻方法的不同而有改變。在一定的條件下對鋼進行加熱和冷卻，從而改善鋼的物理性質和機械性質的方法，

叫做鋼的热处理。鋼的热处理的方法有多种，下面简单介紹退火、淬火、回火这三种方法。

1. 退火 即是把鋼加热到 900°C 以上，然后让它慢慢冷却。經過这样处理的鋼，硬度就較小，而韌性和延性增大。

2. 淬火 把鋼加热到 $760\sim900^{\circ}\text{C}$ ，然后立刻投入冷水或油中，让它迅速冷却。这样处理后的鋼硬度就很大，但比較脆。

3. 回火 把經過淬火处理的鋼加热到 $100\sim650^{\circ}\text{C}$ ，然后让它冷却。經回火处理后，可以增加鋼的韌性，降低它的硬度。

鋼按照化学成分不同，可分为碳鋼和合金鋼两大类。碳鋼所含的碳、硅、錳比生鐵少得多，几乎不含有硫和磷。根据含碳量的不同，碳鋼的性质也各不相同，含碳量越多的硬度越大，含碳量低的韌性較強。工业上一般把含碳量在 0.6% 以上的叫高碳鋼；含碳量在 0.4~0.6% 之間的叫中碳鋼；含碳量不超过 0.4% 的叫低碳鋼。中碳鋼和低碳鋼用来制造机器的零件、管子和釘子等。高碳鋼用来制造工具。

在鋼里增加硅、錳、鉬、鎢、釩、鎳、鉻等元素，可使鋼的机械性能、物理和化学性质发生变化，因而制得各种具有特殊性能的鋼，叫做合金鋼，又称特种鋼。例如，鎢鋼、錳鋼硬度很大，可以制造金属加工工具，拖拉机履带和車軸等。錳硅鋼韌性特强，可用来制造彈簧片、彈簧圈。鉬鋼能抗高温，可用来制造飞机的曲軸，特硬的工具等。鎢鉻鋼（又叫高速鋼）硬度、韌性都很强，可作車刀。鎳鉻鋼不受酸的侵蝕，不易氧化，是一种不銹鋼，可制化学工业上用的耐酸塔，医疗器械，日常用具等。合金鋼无论在工业上和国防上，都有着广泛的用途。

习題 5·3

1. 在含杂质 30% 的磁鐵矿和含杂质 20% 的赤鐵矿里，含鐵的百分率是多少？

2. 生鐵、熟鐵和鋼在成分和性质上有什么不同?
3. 炼鋼生鐵、鑄造生鐵、球墨鑄鐵各有什么特点?
4. 什么叫做退火? 什么叫做淬火? 經退火或淬火處理后的鋼, 在机械性能和物理性质上起了什么变化?
5. 什么叫做合金鋼? 举出四种合金鋼, 并叙述它們的性质和主要用途.

§ 5·4 生鐵的冶炼

生鐵冶炼的知識, 我們按炼鐵的原料、炼鐵的原理、高炉的构造和冶炼的过程等四个方面来叙述。

炼鐵的原料 炼鐵的原料是鐵矿石、焦炭、熔剂和空气。

鐵矿石的主要种类已在 § 5·1 中介紹过。炼鐵用的鐵矿石应该是含鐵量越高越好, 硫和磷等杂质的含量越低越好, 因为硫和磷会损坏鋼鐵的质量。黃鐵矿不能直接用来炼鐵, 就是因为用它炼成的鐵, 含硫量很多。

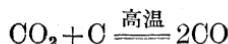
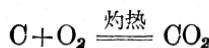
焦炭用作燃料(以供給炼鐵所需的热量)和还原剂。

炼鐵时加入熔剂可以除去鐵矿石中所含的脉石。最常用的熔剂是石灰石 (CaCO_3) 或白云石 ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$)。熔剂在受热的情况下能跟脉石形成熔点比較低的炉渣。

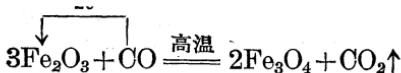
空气是供給焦炭燃燒所需的氧气。

炼鐵的原理 从鐵矿石里提炼生鐵是一个氧化-还原过程。主要是用一氧化碳作为还原剂把鐵从鐵的氧化物里还原出来。所以就鐵来讲, 是一个还原过程。

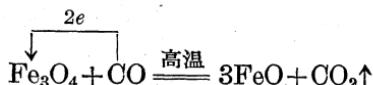
炼鐵时, 首先焦炭在灼热下跟空气中的氧气反应, 生成二氧化碳, 二氧化碳再被灼热的焦炭还原成一氧化碳。



鐵矿石里还原出鐵来的反应是逐步进行的。如所用的是赤鐵矿(主要成分是 Fe_2O_3)时, 它首先被一氧化碳还原生成四氧化三鐵:



四氧化三鐵再被還原成氧化亞鐵：



最後，氧化亞鐵被還原成鐵：



一氧化碳除了能使鐵礦石里的鐵几乎完全還原出來以外，它還能把礦石里高價錳的化合物還原成低價錳的化合物^①，然后再被灼熱的碳還原成錳：



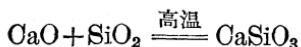
鐵礦石里的二氧化矽，也部分被碳還原生成矽：



此外，還有硫和磷還原出來。

還原出來的鐵會在高溫下跟碳、矽、錳、硫和磷生成合金。這種合金就是生鐵。它的熔點(1140~1150°C)比純鐵的熔點(1535°C)低得多。

加入的熔劑CaCO₃，在高溫下先分解生成氧化鈣和二氧化碳，氧化鈣再跟脲石(SiO₂)發生反應生成矽酸鈣，形成爐渣，浮在鐵水的上部：



高爐的構造 生鐵是在高爐(又名鼓風爐或煉鐵爐)里冶炼的。現代的高爐是用耐火磚砌成的高大建築物，爐體的外面包着

① 3MnO₂+2CO=Mn₃O₄+2CO₂; Mn₃O₄+CO=3MnO+CO₂

鋼壳。大型的高炉高达几十米，比一般的十层楼房还要高，一昼夜可以生产 2000~3000 吨生铁。

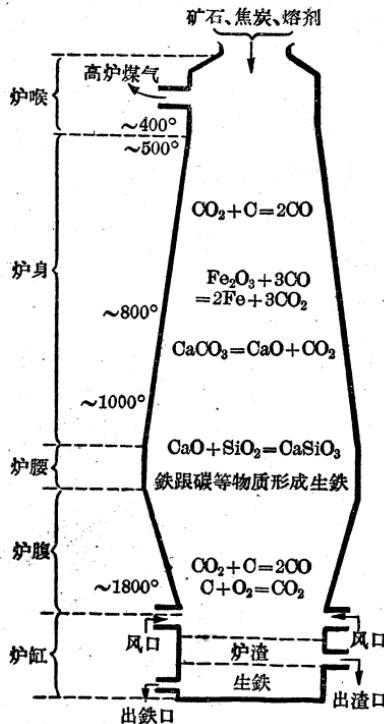


图 5·1 炼铁高炉和炼铁时炉内的化学过程示意图

出铁口、出渣口都用耐火泥封住，需要出铁或出渣时，才分别把它们打开。

高炉设计成这样的形状，和加入炉内的物料起变化时的体积是有很大关系的。

冶炼的过程

1. 装料 炉料(矿石, 焦炭, 石灰石)装在料车里，用斜的卷扬机升到高炉的顶部，由装料机加入炉内(图 5·2)。空气在热风炉里预热后，从风口鼓入炉缸的上部，气流由下而上跟炉料形成逆流。

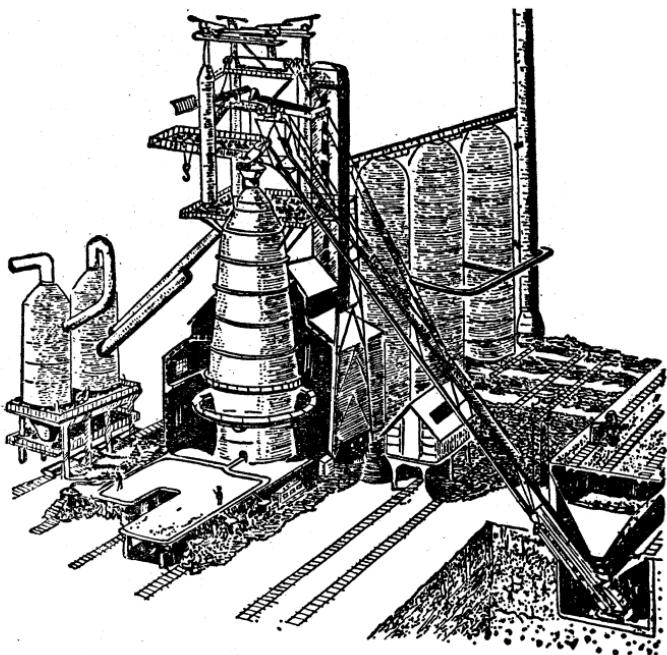
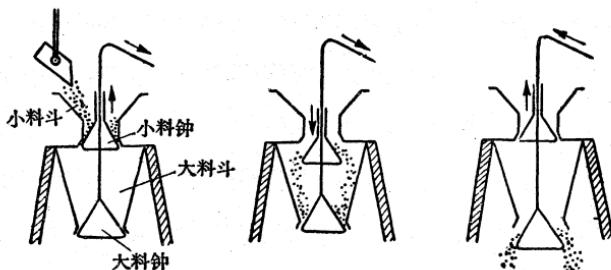


图 5·2 炼铁车间图

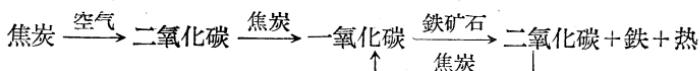
装料机(图 5·3)由二个大小不同的料斗构成,小料斗固定在大料斗的上方。大小料斗里分别装有料钟,堵住料斗的出口。炉料首先装进小料斗,这时小料斗的出口由小料钟堵着(图 5·3(a))。放下小料钟,炉料就落入大料斗,这时大料斗的出口由大料钟堵着(图 5·3(b))。然后升起小料钟,放下大料钟,炉料就落入炉内(图 5·3(c))。在大料钟放下的时候,小料钟已经堵住了大料斗和小料斗之间的道路,使炉内的高炉煤气不致逸出炉外。



(a) 炉料进入小料斗 (b) 炉料进入大料斗 (c) 炉料进入炉内

图 5·3 高炉装料机结构及装料过程示意图

2. 生鐵的熔炼 在炉缸靠近风口一帶，灼热的焦炭跟从风口鼓入的热空气反应，生成二氧化碳，并放出大量的热，使温度达到 1800°C 左右（見图5·1）。二氧化碳跟灼热的焦炭反应生成一氧化碳。生成的一氧化碳和其他气体（如空气中的氮气等）在高炉內由下而上地流动着，跟鐵矿石相遇时，把鐵从它的氧化物里还原出来，同时一氧化碳本身又变成二氧化碳。这时生成的二氧化碳又会跟灼热的焦炭反应而生成一氧化碳，一氧化碳又可使鐵矿石中的鐵还原出来。上述的反应，可简单表示如下：



上列这些反应不断地进行着，鐵就不断地被还原出来。大部分的鐵都在炉身中生成，炉身逐渐向下扩大，便于已熔化的材料向下流动，使这些材料容易跟上升的气体接触。除了鐵被还原出来以外，錳、硅、磷等元素也分別从它們的化合物里被还原出来。

在炉腰，鐵开始跟碳、錳、硅、硫、磷等元素熔合生成生鐵，炉渣也开始生成。生鐵和炉渣的生成一直繼續到炉腹。这些液态生成物形成以后，熔化的炉料的体积逐渐变小，所以炉腹逐渐变窄。

液态生成物流入炉缸。在炉缸里液体分成二层，下层是生鐵，上层是炉渣。炉渣盖在鐵水面上能防止生鐵和空气里的氧气起反应。

3. 出鐵和出渣 炉渣和生鐵在炉缸里越积越多，需要不断地放出来。出鐵时打开出鐵口，使鐵水流用耐火磚作衬里的鐵水包里，可直接运往炼鋼車間炼鋼，或注入模子鑄成鐵鉢。炉渣由出渣口流出。炉渣可用作水泥的原料，也可以用来作建筑鋪路等材料。

4. 高炉煤气的生成 在炉喉处，生成大量的高炉煤气。高炉煤气含有大約 60% 的氮气，30% 的一氧化碳，10% 的二氧化碳以及少量的氩气和甲烷。由于一氧化碳、氩气和甲烷是可燃性气

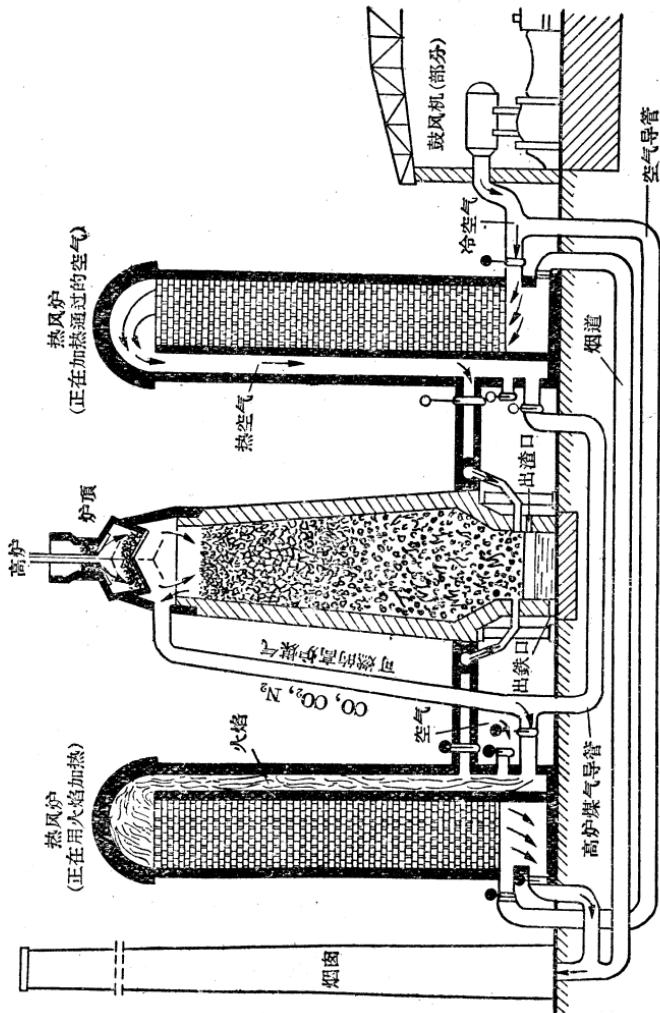


图 5·4 正在操作的高炉、热风炉剖面图

体，所以高炉煤气从炉内导出后，可用作气体燃料来预热空气。冶炼一吨生铁所得的高炉煤气约有 5000 立方米左右。

5. 空气的预热 为了减少焦炭的消耗和提高炉内的温度，鼓进高炉的空气需要在热风炉里预热。通常把这种经过预热的空气叫做热风。热风的温度一般在 $900\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 左右。

热风炉（图 5·4）是一个钢塔（高达 25~30 米），内衬耐火砖。塔内分成二室，一为高炉煤气的燃烧室（由耐火砖砌成的直立孔道），一为蓄热室（用空心耐火砖砌成的格子房）。热风炉里的热交换是这样进行的：高炉煤气在燃烧室里燃烧，生成的热的烟道气进入蓄热室把砖格子加热，待达到高温后，高炉煤气就停止燃烧，然后将冷空气以相反的方向通入热风炉，吸收砖格子所积聚的热量。空气和烟道气轮流地通过热风炉，这样就能使空气在未进入高炉以前得到预热。每座高炉通常备有三、四座热风炉轮流使用。一座热风炉燃烧高炉煤气加热蓄热室，另一座在加热通过的冷空气，空闲的可进行清扫、修理或用作后备。

高炉炼铁的技术水平可以用“高炉利用系数”来衡量。高炉利用系数就是高炉有效容积每立方米在一昼夜所能生产生铁的吨数。

习题 5·4

1. 冶炼生铁的原料是什么？在炼铁过程里各起什么作用？炼铁时有何副产品？有什么用途？

2. 从铁矿石里炼铁的原理怎样？写出铁从赤铁矿 (Fe_2O_3) 里还原出铁来的各步化学方程式。

3. 为什么高炉里只能炼得生铁而不能炼得纯净的铁？生铁的成分怎样？

4. 画出高炉的构造简图，在图上注明各部分的名称，并在每部分里用化学方程式注明所起的化学变化。

5. 某座高炉的有效容积是 1100 立方米，利用系数是 1.94，这座高炉每个月（以 30 天计）能炼出多少吨生铁？

6. 如果磁铁矿 (Fe_3O_4) 里铁的含量是 59%，炼得的生铁含铁 95%，铁的损失量是 1%，那末 1 吨磁铁矿可炼得多少吨生铁？

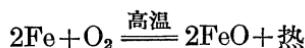
§ 5·5 鋼的冶炼

从高炉炼出来的生鐵，由于其中含有較多的碳和相當多的硅、錳、硫、磷等杂质，因此性质松脆而不坚固，不容易进行机械加工。所以，绝大部分的生鐵，都用来炼鋼。要把生鐵炼成鋼，就要設法降低生鐵中的含碳量，同时要把硫、磷等有害杂质尽量除去。

炼鋼的原理 把生鐵炼成鋼也是一个氧化-还原过程。主要是把熔融的生鐵进行氧化，使其中所含的大部分杂质变成气体和炉渣而除去。

炼鋼一般分成两个阶段，即：氧化生鐵中的杂质和使炼成的鋼脫氧。現简单介紹如下。

1. 氧化生鐵中的杂质 液态生鐵中鐵的含量大大超过其他杂质，当加入氧化剂（氧气或鐵的氧化物）后，鐵就被氧化，使部分的鐵轉变为氧化亚鐵并放出热量：



生成的氧化亚鐵会使生鐵中的杂质硅、錳、碳依次氧化：



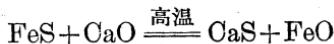
其中有放热反应，也有吸热反应。但总的来讲，放热大于吸热，因此炼鋼炉內的温度仍能提高。

如果生鐵里含硫和磷的量較多，还必須在熔炼过程里加入大量的生石灰。生鐵里含的磷，当被氧化亚鐵氧化时，生成五氧化二磷，五氧化二磷又跟氧化亚鐵反应生成磷酸亚鐵，磷酸亚鐵遇生石灰反应生成磷酸鈣，成为炉渣而除去：

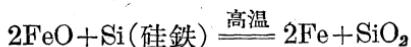
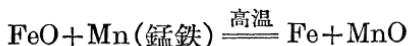




硫在液态合金里，以硫化亚鐵形式存在，遇到生石灰就起反应生成硫化鈣，成为炉渣而排出：



2. 使炼成的鋼脫氧 所有氧化反应都进行完毕后，先把生成的炉渣排出。但氧化后的液态合金里还含有少量剩余的氧化亚鐵，虽然含量不多，但会大大影响鋼的质量。因为它一方面能使鋼发生热脆性，另一方面能跟鋼里的碳結合生成一氧化碳，使鋼里发生气泡，降低鋼的坚固性。因此，必須把这少量的氧化亚鐵除去。一般在鋼将要熔炼完毕的时候，加一些还原剂（叫做脫氧剂），如錳铁、硅铁或金属铝等，它們跟氧化亚鐵反应，使鋼脫氧：



硅、錳等在各种鋼里的含量必需符合各种不同的标准。所以，加入錳铁、硅铁等脱氧剂，还可以調整鋼里硅、錳等的含量。

这里第一和第二两个反应，看来好象与氧化生鐵里的杂质时的反应相同，但其目的显然是不同的。这里的反应是使炼成的鋼脫氧，提高鋼的质量，而氧化生鐵里的杂质时的反应，则是除去生鐵里的杂质而使生鐵变成鋼。

炼鋼的方法 炼鋼的方法，一般可分成轉炉炼鋼、平炉炼鋼和电炉炼鋼三种。現简单介紹如下。

1. 轉炉炼鋼法 这种炼鋼法使用的氧化剂是空气里的氧气。把空气鼓入熔融的生鐵里，使杂质硅、錳等氧化。在氧化过程里所放出的大量热量（含 1% 的硅可使生鐵的温度升高 200°C），可使

炉內达到足够高的温度。所以用轉炉炼鋼不需另外使用燃料。

轉炉炼鋼是在轉炉里进行的。轉炉的外形象个梨(图5·5)，內壁衬有耐火磚，炉側有許多小孔(风口)，压缩空气从这些小孔里吹入炉內，所以又叫做侧吹轉炉。开始冶炼时，先把轉炉傾斜至水平位置，从入口处注入溫度約 1300°C 的液态生鐵，并加入一定量的生石灰，然后鼓入空气并轉动轉炉使它直立起来。这时，液态生鐵表面剧烈地反应，使鐵、硅、錳氧化，并生成炉渣，鋼液呈沸騰状，炉口出現小火花，但火焰短而不明亮。由于熔化的鋼鐵和炉渣的对流作用，使反应遍及整个炉內。几分钟后，当鋼液中只剩下少量的硅与錳时，碳便开始氧化，生成一氧化碳，使鋼液剧烈沸騰。炉口由于逸出的一氧化碳的燃燒而出現巨大的火焰。最后，磷也发生氧化并进一步生成了磷酸亚鐵。磷酸亚鐵再跟生石灰反应生成稳定的磷酸鈣成为炉渣。

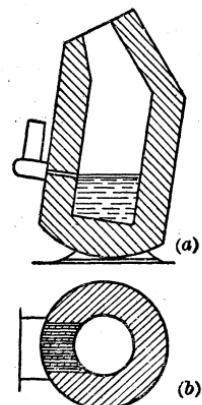
当碳与磷逐漸減少，火焰退落，炉口出現了四氧化三鐵的褐色蒸气时，表明鋼已炼成。这时应立即停止鼓风，并把轉炉轉到水平位置，把鋼水傾至鋼水包里，再加脱氧剂进行脱氧。整个冶炼过程只需 15 分钟左右。

除侧吹轉炉以外，还有一种底吹轉炉(即空气由炉的底部吹入)。这种轉炉是由英国人柏塞麦发明的，所以用底吹轉炉炼鋼又叫做柏塞麦法。使用底吹轉炉，由于空气穿过整炉的鐵水，所以炼出的鋼含氮量較高，但吹炼时鋼水的損失則比侧吹轉炉小。

2. 平炉炼鋼法

平炉炼鋼法(也叫馬丁法)是現代炼鋼的主要方法。

平炉炼鋼使用的氧化剂是通入的空气和炉料里的氧化物(廢



(a) 纵剖面; (b) 截面
图 5·5 側吹轉炉示意图

鋼，廢鐵，鐵矿石). 反应所需的热量是由燃烧气体燃料(高炉煤气，发生炉煤气)或液体燃料(重油)所供给.

平炉(图5·6)的炉膛是一个耐火砖砌成的槽，上面有耐火砖制成的炉顶盖住。平炉的前墙上有装料口，装料机就从这里把炉料装到平炉里去。熔炼时装料口用耐火砖造成的门关起来。平炉的后墙上有二个开口，下面的是出钢口，上面的是出渣口。炉膛的

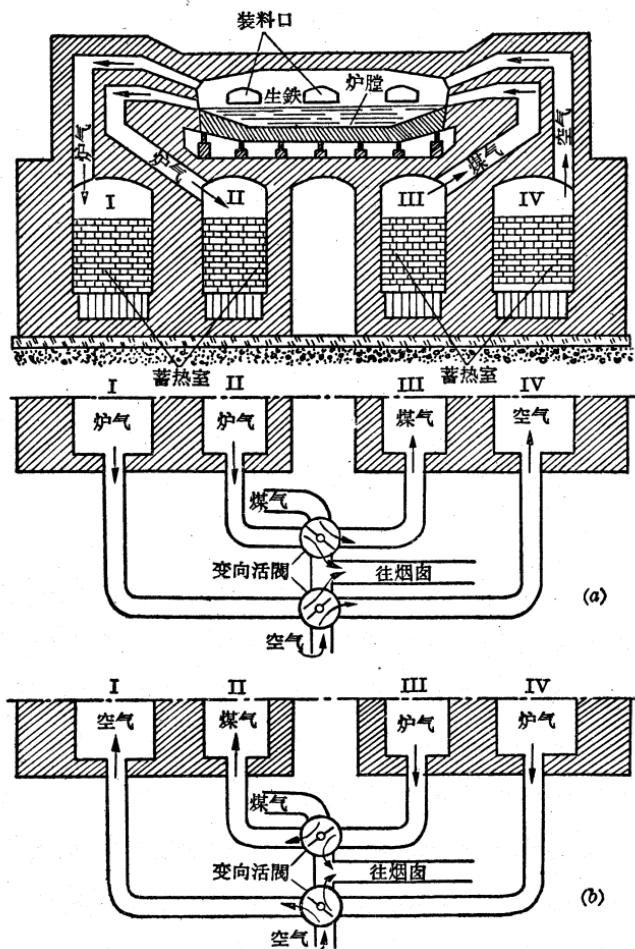


图 5·6 平炉示意图

二端都筑有炉头，炉头各有二个孔道，供导入燃料与热空气，或从炉里导出炉气之用。

平炉炼钢所用的原料有废钢、废铁、铁矿石、生铁和熔剂（石灰石或生石灰）。开始冶炼时，燃料遇到导入的热空气就在炉料面上燃烧，温度高达 1800°C 。热量直接由火焰传给炉料，使炉料迅速熔化（因为纯铁的熔点是 1535°C 而钢的熔点略低）。同时有一部分熔化了的生铁在热空气和废钢或铁矿石里的氧的作用下，被氧化成氧化亚铁，生铁里的杂质硅、锰被氧化亚铁氧化，生成了炉渣。由于炉里放有过量的生石灰，磷与硫等杂质就生成磷酸钙和硫化钙成为炉渣。其次碳也进行氧化，生成一氧化碳从熔化的金属里冒出，好象金属在沸腾一样。

反应快要进行完毕的时候，加入脱氧剂并定时把炉渣扒出。在冶炼将完成时，要根据炉前分析（用快速分析法，只需几分钟可完成）来检验钢的成分是否合乎要求。炼得的钢从出钢口流入钢水包里，再从钢水包注入模子里铸成制品或钢锭。

为了提高炉温，气体燃料或空气要在蓄热室里进行预热。

蓄热室是用耐火砖砌成空格的室（图5·6），每座平炉有二对蓄热室。在每一对蓄热室里，一个室加热气体燃料，另一室加热空气。操作时气体燃料沿着管子经过蓄热室III，空气沿着另一管子经过蓄热室IV，在炉膛口上方会合，发生燃烧。燃烧后的废气掠过炉膛，从另一方排出，把蓄热室I和II加热。经过30~40分钟后转动导管里的变向装置，改变气体方向。这时气体燃料和空气便通过蓄热室I和II受热，在炉膛上方燃烧，再经过蓄热室III, IV，使这二室加热。如此交替地改变气流方向，就可充分利用热量，使炉膛达到 $1000\sim1300^{\circ}\text{C}$ 的高温。

在平炉里不但可以加入液态的生铁，而且可以加入固态的生铁以及钢铁加工工业上的废钢、铁矿石等。同时炉料的成分没有严格的限制，可以全部用生铁，也可以全部用废钢。平炉容积大，钢的损耗少，可以冶炼出各种不同成分的碳钢与合金钢，钢的质量也高。缺点是建筑费用较高，热能的利用率较低。在平炉里如果

用含氧30%的富氧空气鼓风，同时在熔化的金属里吹入氧气，可使生产率提高70%，冶炼的时间缩短2~4小时，并可节约燃料，富氧空气也不需经过预热。

3. 电炉炼钢法 钢还可以在以电能为热源的电炉里冶炼。

使用电炉炼钢能炼出优质的合金钢。

电炉的种类很多，应用最广泛的是电弧炉（图5·7）。电弧炉的外形呈圆柱形。小型电炉的直径约2.5公尺，容量3.5吨；大型电炉的直径可达6公尺，容量达80吨。电炉的炉壁和炉底都用耐火砖衬里，炉上有一球面拱形的炉顶。靠近炉底二旁有装料口和出钢口，装料门下有一个出渣槽。电炉的电极用石墨制成，装在炉顶上用青铜箍夹住。

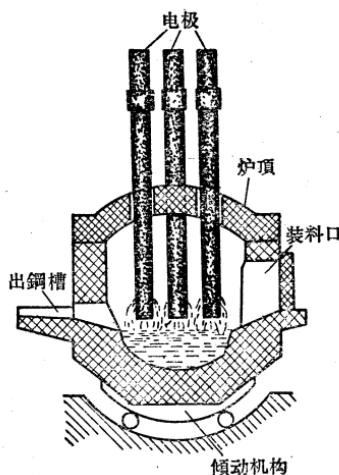


图5·7 电弧炉剖面图

炉里的热量完全来自电极和炉料之间生成的电弧，以及电流通过炉料所产生的热。电极可以不断地上下移动，用来调节温度和补充电极下端的消耗。电炉炼钢一般用冷的废钢，也可以用热的钢

表 5·1

炉名	原 料	氧的来源	热的来源	产 品 及 优 缺 点
转炉	液态生铁	空 气	杂质氧化时放出的热	出钢快，不用燃料，设备简单。铁的损耗率较大，管理不便。钢质量较差
平炉	废铁、废钢或铁矿石	空气、氧化铁、铁矿石	气 体 燃 料 燃 烧	制合金钢，质量高，管理方便。反应时间较长，消耗燃料，建设费用高
电炉	同 上	氧化铁、铁矿石	电 能	制钨、钼等高级合金钢。反应时间较平炉短，管理方便。电能消耗量大，成本高

液作原料。冶炼时把炉关闭，炉里温度高达 2000°C ，钢液能发生沸腾。整个炼钢过程约需3小时。

电炉便于管理，冶炼时间较短，可以冶炼出各种不同成分的合金钢，包括含有各种难熔金属如钨和钼的合金钢。合金元素在电炉里的损失量比在平炉和转炉里都少。但用电比用其他燃料的成本却要高些。

现将三种炼钢法列表比较（见表5·1）。

习题 5·5

1. 炼钢的化学原理怎样？和炼铁的原理有什么相同和不同的地方？
2. 炼钢一般有哪几种方法？试就每种方法的原料，使用的氧化剂，反应时热量的来源，产品以及优缺点作一比较。
3. 炼钢时用哪些物质作脱氧剂？加脱氧剂的目的是什么？
4. 炼钢开始和熔炼完毕时，都常有下列反应：



在作用上有什么不同？

5. 画出侧吹转炉的简图，说明转炉炼钢的操作过程。
6. 平炉的构造和平炉炼钢的操作过程怎样？
7. 把5克钢的试样放在氧气里灼烧，得到0.1克的二氧化碳。求这种钢里含碳的百分率。

本章提要

1. 铁

(1) 铁除具有金属光泽、延展性和导电、传热等一般金属所共有的物理性质以外，还具有铁磁性（钴和镍也具有能被磁铁吸引的性质）。铁是相当活泼的金属，在一定条件下，能跟氧及其他非金属、水、酸和盐等起反应。

(2) 在一定条件下，铁原子能失去它最外电子层上的2个电子，变成亚铁离子(Fe^{++})显+2价；还能失去次外层上的1个电子，变成铁离子(Fe^{+++})显+3价。 Fe^{++} 和 Fe^{+++} 在一定条件下可相互转变。

(3) 铁在自然界里很少以游离态存在，常见的铁矿石有赤铁矿(Fe_2O_3)，

褐鐵礦($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)，菱鐵礦(FeCO_3)，黃鐵礦(FeS_2)。

2. 鐵的化合物

(1) 鐵能形成 +2 价和 +3 价的兩类化合物：

	+2 价鐵的化合物	+3 价鐵的化合物	
氧化物	FeO	Fe_2O_3	(Fe_3O_4 可以看作 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$)
氢氧化物	$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	其中 2 个鐵原子显 +3 价，1 个鐵原子显 +2 价。)
氯化物(盐)	FeCl_2	FeCl_3	

(2) 鐵盐和亞鐵盐的檢驗：从外觀上看，鐵盐(Fe^{+++})呈棕黃色，亞鐵盐(Fe^{++})呈淺綠色。 Fe^{+++} 遇 CNS^- 会生成 $\text{Fe}(\text{CNS})_3$ ，溶液呈深紅色，而 Fe^{++} 則不顯紅色。

3. 鐵的三种重要合金

类别	含 碳 量	含杂质	机械性能	机 械 加 工	熔 点
生 鐵	1.7% 以上	多	硬 而 脆	可 鑄 不 可 煅	1150°C
鋼	0.04~1.7%	少	硬而韌有彈性	可 煅, 可 鑄, 可热处理	1300°C
熟 鐵	0.03~0.04%	少	軟 而 韌	可 煅 难 鑄	1480°C

鋼的种类：

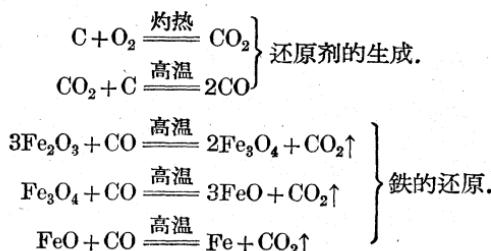
碳鋼 $\left. \begin{array}{l} \text{低碳鋼} \\ \text{中碳鋼} \\ \text{高碳鋼} \end{array} \right\}$ —— 制造机器部件，管子和釘子等
—— 制造工具

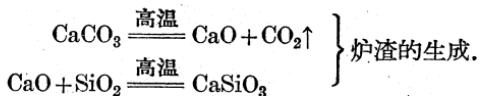
合金鋼(特种鋼) —— 在碳鋼里加入 Mn、Cr、Ni、W、Mo 等元素，使具有特殊性能，以适合不同的需要。

4. 生鐵的冶炼

(1) 原料：鐵矿石、焦炭、熔剂 (CaCO_3) 和空气。

(2) 反应原理：

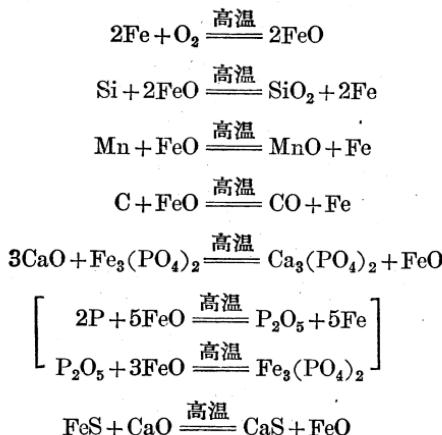




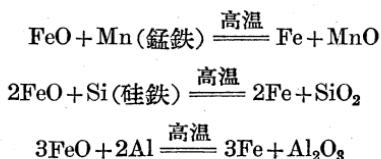
(3) 产品：生铁、高炉煤气（可预热空气）、炉渣（可作水泥、建筑材料）。

5. 钢的冶炼 炼钢的反应原理：

(1) 氧化生铁中的杂质：



(2) 使炼成的钢脱氧：



炼钢法主要有转炉炼钢法、平炉炼钢法和电炉炼钢法等三种。

复习题五

- 試用电子轉移的化学方程式，表示鐵分別跟盐酸、氯气、硫、硝酸銅溶液的反应。
 - 在新制的无色氯化亚鐵溶液中，通入氯气，则溶液变成棕黄色，再放入一些镁粉，又变为无色。写出这些反应的化学方程式。
 - 怎样利用化学方法来檢驗生铁中含有硫？
 - 現有一种含有結晶水的淡綠色晶体。将其制成溶液，如与氢氧化鉻溶液反应，会产生不溶于酸的白色沉淀。如与氢氧化鈉溶液反应，则先产生
- [复习题五]

絮状白色沉淀，很快变成淡綠色，最后变成紅褐色；再使其溶于盐酸，并滴入硫氰化鉀溶液，显深紅色。这种晶体是什么物质？写出有关的化学方程式。

5. 某黑色固体化合物，溶于盐酸会生成淺綠色溶液，同时放出腐蛋似的臭的气体，此气体通入硫酸銅溶液生成黑色沉淀。上述淺綠色溶液通入氯气后变为棕黃色，再加入硫氰化鉀溶液显深紅色。这黑色固体是什么物质？写出有关的化学方程式。

6. 磁鐵矿含鐵 64.15%，在冶炼过程里，如果有 2% 的鐵进入炉渣，同时杂质在炼得的生鐵里含量达到 5%。計算 1 吨磁鐵矿可以炼出生鐵多少吨？（理論上）

7. 某一小型高炉，每天能生产 70 吨生鐵（含鐵 96%）。按理論計算，該厂每天需用含 20% 杂质的赤鐵矿（主要成分 Fe_2O_3 ）多少吨？

第六章 阿佛加德罗定律

学完了前面各章，我們對无机物部分的化学知識，已經有了比較系統的認識。今后我們將轉入有机物部分的学习。在学习有机化学之前，有必要先来認識一个重要的定律——阿佛加德罗定律。根据这个定律，可以推导出物质的分子式；还可以說明化学反应里气态物质的体积間的相互关系。化合物分子式的测定，是研究有机化合物的組成和結構的基础，有关这方面的計算，在有机化学部分是应用得很广泛的。

在本章里我們將首先認識阿佛加德罗定律。接着在掌握阿佛加德罗定律的基础上，学习怎样测定气态物质分子量。然后，明确化合物分子式的确定过程，并研究有关确定分子式的綜合性問題的解答途徑。最后学习根据化学方程式，計算气态物质的体积的方法。

§ 6·1 阿佛加德罗定律

阿佛加德罗定律是表明气态物质在一定条件下的体积和它們所含分子个数的关系的定律。

这一定律可以在第一册里已經学过的克分子和克分子体积的概念（第一册 § 3·11），以及物理学上所曾学过的理想气体的气态方程的基础上来加以認識。

我們知道，1 克分子的任何气体，在标准状况下所占的体积都是 22.4 升，这个体积就叫做气体克分子体积。又知道 1 克分子的任何物质，所含的分子数，都是 6.02×10^{23} 个。因此在标准状况

下, 22.4 升的任何气态物质, 都含有相同的分子数 (6.02×10^{23} 个). 也就是说, 在标准状况下, 相同体积的任何气体, 都含有同数目的分子.

那末在非标准状况下, 相同体积的任何气体, 是否也含有相同数目的分子呢? 例如在温度 20°C , 压强 750 毫米的情况下, 1 升氧气和 1 升氩气所含的分子个数是否相同?

根据理想气体的气态方程

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \text{ (1),}$$

我們把在非标准状况下 1 升氧气或氩气的体积折算到标准状况下的体积:

$$\frac{750 \times 1}{273 + 20} = \frac{760 \times V_1}{273};$$

$$V_1 = \frac{273 \times 750 \times 1}{293 \times 760} = 0.9196 \text{ (升).}$$

即它們在标准状况下的体积都是 0.9196 升. 从这一計算可以看出, 在标准状况下体积相同的任何气体, 在温度和压强发生同样的变化时, 它們的体积仍然是相同的. 也就是说, 几种气体在非标准状况下, 只要都是处于同样的温度和压强之下, 同体积仍含有同数目的分子. 为什么在一定状况下, 一定体积的任何气体都含有相同数目的分子呢? 原来气体具有这样一种特性, 就是气体分子

$$(1) \quad \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (P \text{ 代表压强; } T \text{ 是絕對温度, 即 } T = t + 273; V \text{ 代表体积})$$

是理想气体的状态方程, 简称为气态方程. 这一方程表明: 一定质量理想气体的压强和体积的乘积和它的絕對温度成正比, 在一般温度和压强下, 许多实际气体都可以近似地应用这个方程.

在这里, 我們把 $\frac{P_1 V_1}{T_1}$ 作为标准状况下的状态(參見第一册 §3.11), 即 $P_1 = 760$ 毫米, T_1 为摄氏零度, 即 $T_1 = 273$, V_1 为所求的标准状况下气体的体积. $\frac{P_2 V_2}{T_2}$ 为已知的非标准状况.

有关这方面內容, 可参考物理中气体性质的部分, 或參閱本丛书物理第二册第四章 §4·9.

間的空隙特別大，分子与分子間的距离和分子本身的大小相比，要大上很多倍数。在标准状况下，气体分子間的平均距离約大于分子直徑的 15~20 倍（見圖 6·1）。例如，1 克水在液态时仅占 1 毫升左右的体积，但变为气体时（温度 100°C，压强是 760 毫米），它的体积約有 1700 毫升。即水分子由原来本身所占的体积还不不到 1 毫升（因为液态时分子之間还是有一定的孔隙的），变为气体之后，竟扩大了 1699 毫升的空間，可見气态物质分子間的距离远远超过了液态时分子間的距离。因此，气体分子本身的大小和它們間的距离相比，就可以略而不計，气态物质的体积也就主要决定于它的分子之間的平均距离。

当改变温度和压强时，一定体积的气体，只是分子間的距离发生了变化，也就是体积发生了变化，而所含的分子数目并沒有改变。

所以不論是在标准状况下或是在非标准状况下，**同温同压下，同体积的任何气体，都含有同数目的分子**。这就是**阿佛加德罗定律**^①。

阿佛加德罗定律不适用于液态或固态物质。因为液态或固态物质的分子間的距离和气态物质比起来要小得多，它們的体积不但与分子間的距离有关，而且与分子本身的大小也有影响。不同的液态或固态物质的分子大小是不同的，因此，就是在**同样状况之下，同体积的液体或固体不可能含有同数目的分子**。

关于阿佛加德罗定律，我們可以通过下面的實驗來驗証。實驗裝置如图 6·2。

用两根直徑相同、体积是 1 比 2 的玻管，加塞子，中間用一支具有活栓的

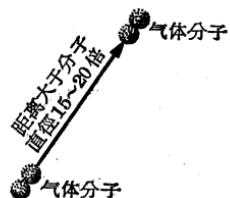


图 6·1 标准状况下，气体分子間平均距离示意图

① 阿佛加德罗是意大利人，1811 年他提出上述假說，后經別人用實驗證明了这个假說，得到普遍公认，称为“阿佛加德罗定律”。

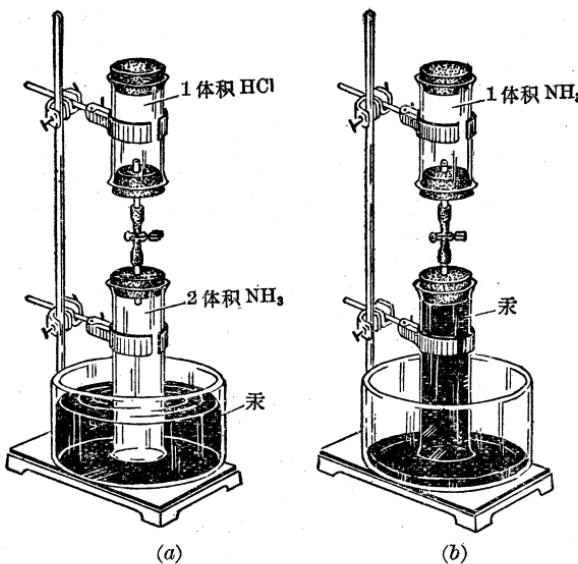


图 6·2 阿佛加德罗定律实验装置

导管连接，可使两管相通或者隔断。下管的体积是上管的两倍。

实验时，先在短管里充满水银，倒插在水银槽里，用排汞法^①收集干燥的氯化氢气体，集满后，在水银槽里塞上塞子，然后取出。在长管中用同样方法收集干燥的氨气，集满后仍放在水银槽里，装置如图 6·2(a)。这样，在管子里就有一体积的氯化氢和 2 体积的氨气。

开启活栓，玻璃中的汞逐渐进入下管，上管中出现了白烟，这是氯化氢跟氨反应生成的氯化铵晶体微粒。当汞上升到活栓时就停止了，如图 6·2(b)，可见这时两种气体已不再反应。但上管中还有一体积的气体没有用掉^②，否则汞应当把两个管子完全充满。剩下的是什么气体呢？取去管口塞子，用湿润的红色石蕊试纸检验，试纸变蓝，证明它是氨气。氯化氢和氨的体积原来是 1:2，现在剩下的是 1 体积的氨气，可见氯化氢和氨正好是 1 体积和 1 体积发生了反应。我们知道，氯化氢跟氨反应是 1 个氯化氢分子跟 1 个氨分子结合：



① 氯化氢和氨均易溶于水，所以不能用排水法集气。排汞法就是用汞（水银）代替水，和排水法一样操作以集气。不用汞也可用石蜡油代替。

② 生成的氯化铵固体仅占有极微小的体积，可以不计。

現在實驗結果是，同體積的氨跟氯化氫完全反應。顯然，在相同條件下，同體積的氨和氯化氫所含的分子數目是相同的。

習題 6·1

1. 在下面兩種情況下，兩種氣體是否含有相同數目的分子？為什麼？

(1) 在相同的溫度和壓強下，這兩種氣體的體積不同？

(2) 在不同的溫度和壓強下，這兩種氣體的體積相同？

2. 用阿佛加德羅定律解釋：在同溫同壓下，1體積的氫氣跟1體積的氯氣完全化合後生成2體積的氯化氫。

[提示：從1克分子體積的氯氣、氫氣、氯化氫里，含有多少個氯原子、氫原子來論証。]

3. 為什麼阿佛加德羅定律不適用於液態或固態物質？

§ 6·2 氣態物質分子量的測定

1. 根據在相同狀況下同體積氣態物質的重量比求分子量

根據阿佛加德羅定律，可以測定任何氣態物質的分子量。阿佛加德羅定律指出，在同溫同壓下，同體積的任何氣體含有同數的分子。因此，在一定溫度和壓強下，同體積的不同氣體的重量比就是它們每一個分子重量的比，也就是它們分子量的比。

例如在同溫同壓下，同體積的氧气、氬氣、二氧化碳一定含有相同的分子數，假設為 n 個分子，那末它們的重量(W)比是：

$$W_{O_2}:W_{H_2}:W_{CO_2} = n \times 32 \text{ 氧單位} : n \times 2 \text{ 氧單位} : n \times 44 \text{ 氧單位} \\ = 32:2:44.$$

顯然就等於它們的分子量之比。

一般地，設有 A 和 B 兩種氣態物質，令 W_A 和 W_B 分別表示這兩種物質在相同狀況下同體積的重量，以 n 表示它們的分子數， M_A 和 M_B 分別表示它們的分子量，那末，上面的關係，以數學方式表示，就是：

$$\frac{W_A}{W_B} = \frac{nM_A}{nM_B} = \frac{M_A}{M_B} \quad (1)$$

移項后可寫成：

$$M_A = \frac{W_A}{W_B} M_B \quad (2)$$

$\frac{W_A}{W_B}$ 就是在相同狀況下同體積的 A 和 B 兩種氣體物質的重量比。這種比值，可以通過實驗測定，習慣上選擇氰氣或空氣作為比較的標準，因為氰氣是最輕的氣體，而空氣是我們最常遇到的氣體。氰氣的分子量是 2；空氣是一種混和物，在標準狀況下，22.4 升乾燥的空氣重 29 克，我們就把 29 作为空氣的平均分子量。因此，在測定某氣體物質的分子量時，如果知道它和同體積氰氣或空氣的重量比，就可以運用式(2)求出它的分子量。

現在用幾個例題來說明：

例 1. 已知氣體 A 和相同狀況下同體積氰氣的重量比是 22。求氣體 A 的分子量。

【解】已知 $\frac{W_A}{W_{H_2}} = 22$, $M_{H_2} = 2$. 運用式(2)計算：

$$M_A = \frac{W_A}{W_{H_2}} M_{H_2} = 22 \times 2 = 44 \text{ (氧單位)}$$

答：氣體 A 的分子量是 44 氧單位。

例 2. 已知氣體 A 和相同狀況下同體積空氣的重量比是 1.52。求氣體 A 的分子量。

【解】已知 $\frac{W_A}{W_{空氣}} = 1.52$, $M_{空氣} = 29$, 運用式(2)計算：

$$M_A = \frac{W_A}{W_{空氣}} M_{空氣} = 1.52 \times 29 = 44 \text{ (氧單位)}$$

答：氣體 A 的分子量是 44 氧單位。

例 3. 一定體積的氣體 A, 重 1.9642 克，在同溫同壓時同體積的氰氣重 0.08987 克。求氣體 A 的分子量。

【解】已知 $W_A = 1.9642$ 克, $W_{H_2} = 0.08987$ 克, $M_{H_2} = 2$. 運用式(1)計算：

$$\frac{W_A}{W_{H_2}} = \frac{1.9642}{0.08987} = \frac{M_A}{M_{H_2}} = \frac{M_A}{2}$$

$$\therefore M_A = \frac{1.9642}{0.08987} \times 2 = 44 \text{ (氧单位)}$$

答：气体 A 的分子量是 44 氧单位。

运用式(1)，除了能测定气态物质的分子量外，反过来，若已知两种气体的分子量，也可以求出它们在相同状况下，同体积的重量比，这样就可以解决某种气体比另一种气体轻还是重的问题。特别是和同体积的空气的重量比，是决定用什么方法来收集气体的一种重要因素，有很大的实用意义。现在举例说明如下：

例 4. 判断二氧化碳、氨气在相同状况下比空气轻还是重？

【解】 已知二氧化碳的分子式是 CO_2 , $M_{CO_2} = 12 + 2 \times 16 = 44$ (氧单位)；氨气的分子式是 NH_3 , $M_{NH_3} = 14 + 3 \times 1 = 17$ (氧单位)； $M_{空气} = 29$ (氧单位)。

根据式(1)

$$\frac{W_{CO_2}}{W_{空气}} = \frac{M_{CO_2}}{M_{空气}}; \quad \frac{W_{NH_3}}{W_{空气}} = \frac{M_{NH_3}}{M_{空气}}.$$

\therefore 在相同状况下同体积的二氧化碳跟空气的重量比

$$\frac{W_{CO_2}}{W_{空气}} = \frac{M_{CO_2}}{M_{空气}} = \frac{44}{29} = 1.52;$$

在相同状况下同体积的氨气跟空气的重量比

$$\frac{W_{NH_3}}{W_{空气}} = \frac{M_{NH_3}}{M_{空气}} = \frac{17}{29} = 0.586.$$

答：二氧化碳比空气重 1.52 倍；氨气比空气轻，相当于空气的 0.586 倍。

2. 根据气体克分子体积求分子量 气态物质的分子量还可以从气体克分子体积的概念出发来加以推算，计算方法更为简单。

我们早已知道，1 克分子的任何气体，在标准状况下所占的体积，都是 22.4 升，称为气体克分子体积。当我们要求某种气体的分子量时，只须知道这种气体在标准状况下 1 升的重量（就是这种气体的比重），再乘以 22.4，就得到它的克分子量。将这个数值用

氧单位做单位，就是該气体的分子量。設以 M 表示分子量， d 表示比重，可以列成公式：

$$M = 22.4d$$

下面也举几个例題來說明：

例 5. 已知 1 升二氧化碳在标准状况下重 1.9642 克，求二氧化碳的分子量。

【解】

$$M = 22.4d$$

$$d = 1.9642 \text{ (克/升)}$$

$$\therefore M_{CO_2} = 22.4 \times 1.9642 = 44 \text{ (氧单位)}.$$

例 6. 已知 250 毫升二氧化碳在标准状况下重 0.491 克，求二氧化碳的分子量。

【解】

$$M = 22.4d$$

$$d = 0.491 \times 1000 / 250 = 1.964 \text{ (克/升)}$$

$$\therefore M_{CO_2} = 22.4 \times 1.964 = 44 \text{ (氧单位)}$$

例 7. 已知在温度 20°C 和压强 756 毫米时，215 毫升的二氧化碳重 0.3913 克。求二氧化碳的分子量。

【解】先将 215 毫升 CO_2 化成在标准状况下的体积。根据 § 6.1 中提到的公式 $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$ ，这里 $T_2 = 273 + 20$ ， $P_2 = 756$ 毫米， $V_2 = 215$ 毫升， $P_1 = 760$ 毫米， $T_1 = 273$ ， V_1 就是要求的体积。代入公式，得：

$$V_1 = \frac{756 \times 215 \times 273}{760 \times (273 + 20)} = 199.2 \text{ (毫升)}$$

再算出二氧化碳在标准状况时 1 升的重量：

$$d = \frac{0.3913 \times 1000}{199.2} = 1.964 \text{ (克/升)}$$

所以，二氧化碳的分子量是：

$$M_{CO_2} = 22.4 \times 1.964 = 44 \text{ (氧单位)}.$$

根据克分子体积求分子量的方法，也适用于液态或固态物质，只要把能轉变成蒸气状态而并不分解的液态或固态物质加热，測定在气态时若干体积的这种蒸气的重量，根据气态方程，把非标准

状况下的体积換算到标准状况，再按上法求得它們的分子量。象液态的酒精、溴，固态的碘，以及将来要学到的很多有机化合物，都可以用这样的方法求得它們的分子量。

現在也举例說明：

例 8. 已知在温度 185°C 和压强 755 毫米时，189 毫升的碘蒸气重 1.27 克。求碘的分子量，并确定碘分子是由几个碘原子組成的？

【解】用和例 7 同样的方法，先求出碘蒸气在标准状况时的体积：

$$V_1 = 189 \times \frac{755 \times 273}{760 \times (273 + 185)} = 112 \text{ (毫升)}$$

碘蒸气在标准状况时 1 升的重量是：

$$d = 1.27 \times \frac{1000}{112} = 11.34 \text{ (克)}$$

碘的分子量就是：

$$M_{I_2} = 22.4 \times 11.34 = 254 \text{ (氧单位)}$$

已知碘的原子量 = 127 氧单位；

$$\therefore \frac{254}{127} = 2$$

答：碘的分子量是 254 氧单位，碘分子是由 2 个碘原子組成的。

习 题 6·2

1. 已知某种气体和相同状况下同体积氢气的重量比是 23。求它的分子量。并求这种气体比空气輕还是重。
2. 已知水銀蒸气和相同状况下同体积空气的重量比是 6.92。求水銀蒸气的分子是由几个原子組成的。
3. 求氦气和相同状况下同体积空气的重量比。用氦气裝飞船，它的浮力比氢气大还是小，相差几倍。

[提示：氦气是单原子分子，原子量等于 4。可从氦气跟同体积氢气的重量比来比浮力。]

4. 已知温度在 17°C ，压强是 740 毫米时，150 毫升的氮气重 0.172 克。求氮气的分子量。

5. 已知下列各种气体的比重。求其分子量：

(1) 氯化氫: 1.63 克/升; (2) 一氧化碳: 1.25 克/升.

6. 在标准状况下, 某气体 235 毫升重 0.406 克. 求其分子量.

7. 在温度 20°C 压强 750 毫米时, 122 毫升的二氧化硫重 0.32 克. 求其分子量.

§ 6·3 确定物质的分子式

我們早已学会了元素的单质和化合物的分子式的写法. 也懂得了分子式所表示的三种意义——(1)代表物质的一个分子; (2)表示組成分子的各种元素的原子数和它們的重量比; (3)表明物质的分子量(第一册 § 1·9). 但分子式是怎样来的呢? 从分子式所表示的三种意义可以知道, 确定一种物质的分子式, 必需知道(1)这种物质的分子是由哪些元素組成的; (2)这些元素在分子里所占的重量比是多少; (3)这种物质的分子量.

物质的組成, 可以通过分析化学的實驗获得. 研究物质是由哪些元素組成的化学, 叫做定性分析; 进一步研究这些組成元素的重量比的化学, 叫做定量分析. 所以, 确定物质分子式的第—、二两点, 便是通过定性和定量分析来解决的, 而第三点——测定物质的分子量, 就是根据前面讲过的方法, 最后, 根据分子量和分析所获得的物质里各元素的重量百分比, 算出这一物质的分子式.

現在以氨为例來說明這一計算過程.

經過定性分析, 得知氨是由氮和氫两种元素組成的. 再經定量分析, 知道它們的百分含量是氮占 82.36%, 氢占 17.64%.

氮和氫的原子量分别是 14 和 1(准确地說应当是 1.008). 我們可以看作这就是氮和氫每一个原子的重量. 既然已經知道了一个原子的重量, 那末 82.36 份重的氮和 17.64 份重的氫中, 可以看作含有 $82.36/14$ 和 $17.64/1$ 个的原子. 所以:

$$\text{N:H} = \frac{82.36}{14} : \frac{17.64}{1} = 5.88 : 17.64 = 1 : 3$$

这个 1:3 所代表的意义，仅仅是表示一个氨分子里氮原子和氢原子的相对个数比，而氮原子和氢原子的个数，可能是 1:3, 2:6, 3:9, …, n:3n。因此氨的分子式，可能是 NH_3 , N_2H_6 , N_3H_9 , …, $(\text{NH}_3)_n$ 。而 NH_3 只不过是氨的最简式（也可以叫做实验式，因为这个式子，是由分析实验初步导出的结果）。要确定氨的分子式，还需决定于它的分子量。也就是要知道 $(\text{NH}_3)_n$ 中的 n 等于几？关于气态物质分子量的测定方法，我们已经在上一节里学过了。由实验得知氯气的比重是 0.76 克/升，所以

$$M_{\text{NH}_3} = 22.4 \times 0.76 = 17.$$

即氨的分子量等于 17，亦就是

$$(\text{NH}_3)_n = 17, \quad \therefore n = 17 / M_{\text{NH}_3} = 17 / (14 + 3 \times 1) = 1$$

由此可知，氨的最简式就是氨的分子式，即 NH_3 。

确定分子式还有另一种解法，即从计算分子量开始。仍用前例来说明。

已知氨的分子量为 17 氧单位，它的组成是含氮 82.36%，含氢 17.64%。

因此在一个氨分子里氮元素的重是：

$$17 \times \frac{82.36}{100} = 14 \text{ (氧单位)}$$

而氮的原子量是 14 氧单位，

$$\therefore 1 \text{ 个氨分子里含有氮原子} = 14 / 14 = 1 \text{ (个)}$$

同样可以知道，一个氨分子里氢元素的重是：

$$17 \times \frac{17.64}{100} = 3 \text{ (氧单位)}$$

而氢的原子量是 1 氧单位，

$$\therefore 1 \text{ 个氨分子里含有氢原子} = 3 / 1 = 3 \text{ (个)}$$

$$\therefore \text{氨的分子式是 } \text{NH}_3.$$

通过以上的叙述和运算，可见确定物质的分子式，必须具备两

个基本数据——(1)物质的重量組成和(2)物质的分子量。計算方法則有两种，它們的步驟是：

第一法

(i) 以各元素的原子量分別除各元素的重量組成，把所得的商，化成简单整数，得到原子个数之比。

(ii) 根据元素的原子个数比，写出物质的最簡式。分子式可能是最簡式的 n 倍。

(iii) 求出物质的分子量。以最簡式的式量除分子量，所得的商(必然是整数)就是表示分子式是最簡式的几倍。

(iv) 写出該物质的分子式。

第二法

(i) 求出物质的分子量，将分子量乘各元素的重量組成，得出各元素在一个分子中的重量。

(ii) 以各元素的原子量分別除各元素在一个分子中的重量，得到在一个分子中各元素的原子个数。

(iii) 写出該物质的分子式。

上面所讲的两种計算方法，第二法从分子量开始直接求出分子式，比較容易理解。在已知重量組成和分子量的情况下，运算也比較方便。但在不知道分子量时計算就不可能。由于到目前为止，还有很多物质无法測定它們的分子量，所以第一法是切合实际应用的。一般可以运用重量組成，求出最簡式，就把最簡式作为分子式来应用。例如淀粉这种物质，由分析結果，知道它含有碳 44.43%，氢 6.17%，氧 49.4%，而它的分子量还无法正确測定。因此我們只能通过第一法来求得它的分子式的最簡式：

$$\begin{aligned} \text{O:H:O} &= \frac{44.43}{12} : \frac{6.17}{1} : \frac{49.4}{16} = 3.702 : 6.17 : 3.086 \\ &= 6:10:5. \end{aligned}$$

即淀粉的最簡式是 $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ 。由于它的分子量还无法測定，因此

用 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 来表示它的分子式。这說明淀粉的分子量，可能是 $(C_6H_{10}O_5)$ 的 n 倍。这种例子，在今后学习有机化学时，将会遇到。

确定物质分子式的两个基本数据——物质的重量組成和物质的分子量，都可以通过实验获得。但是由实验得到的数据，有多种多样的表示法。当我们遇到一个問題时，首先要区别哪些数据表示的是物质組成，哪些数据可以利用来推求物质的分子量。然后用这些数据进行运算，才能获得正确的答案。为了便于理解起見，現在就以一种物质为例，用多种不同的数据表示，再举几个例題演算。

I. 以多种形式表示物质的重量組成的例 物质的重量組成，在分析化学里，总是采用“%”来表示的，但是除“%”之外，还可以有多种不同的表示法。实际上这些表示的形式，归根結蒂，都能从而求出“%”或原子个数比。

例 1. 某气态物质的分子量等于 16：

- (i) 它的組成是，C 占 75%，H 占 25%；或
- (ii) 它的組成 C 和 H 的重量比是 3:1；或
- (iii) 1.6 克这种物质完全燃燒后，得 CO_2 0.1 克分子和水 3.6 克；或
- (iv) 0.1 克分子这种物质完全燃燒后，得 CO_2 4.4 克和水 0.2 克分子；

求它的分子式。

【解】 从上面表示重量組成的各种数据，可求出分子中碳和氢的原子个数比。

- (i) $C:H = 75/12:25/1 = 6.25:25 = 1:4$
- (ii) $C:H = 3/12:1/1 = 0.25:1 = 1:4$
- (iii) 0.1 克分子的 CO_2 中含有 0.1 克原子的碳，1 克原子的碳重 12 克。
 $\therefore 0.1$ 克分子 CO_2 中含 C $= 0.1 \times 12 = 1.2$ 克。
3.6 克的 H_2O 中含 H $= 3.6 \times 2H/H_2O = 3.6 \times 2/18 = 0.4$ 克。

該物质的重 $=1.2+0.4=1.6$ 克, 可見这种物质分子中只含有C和H两种元素, 它們的原子个数比是:

$$C:H=1.2/12:0.4/1=0.1:0.4=1:4$$

(iv) 4.4克的CO₂中含

$$C=4.4 \times C/CO_2=4.4 \times 12/44=1.2 \text{ 克}$$

0.2GM的H₂O中含H $=0.2 \times 2=0.4$ 克.

这种物质0.1GM的重量 $=0.1 \times 16=1.6$ 克, 所以这种物质分子中也只含有C和H两种元素, 它們的原子个数比是:

$$C:H=1.2/12:0.4/1=0.1:0.4=1:4$$

从以上四种不同数据所得到的C和H原子个数的比都是1:4, 所以这种物质的最简式是CH₄. 分子式可能是(CH₄)_n. 已知該物质的分子量M=16, 即M=(CH₄)_n=16 氧单位,

$$n=M/CH_4=16/16=1$$

∴ 該物质的分子式是CH₄.

2. 以多种形式表示物质分子量的例 物质的分子量, 也有多种表示法, 最后都可以得到相同的結果.

例2. 某气态物质的百分組成是含O: 75%, H: 25%. 它的分子量可采用下列六种表示方法:

- (i) 分子量等于16; 或
- (ii) 它跟相同状况下同体积氢气的重量比是8; 或
- (iii) 它跟相同状况下同体积空气的重量比是0.5517; 或
- (iv) 它的比重是0.7143克/升; 或
- (v) 这种气体在标准状况下112毫升重0.08克; 或
- (vi) 这种气体在温度15°C, 压强75厘米时, 187.1毫升重0.143克;

求它的分子式.

【解】先从它的各种不同数据中求分子量M:

(i) M=16(氧单位)

(ii) $M = \frac{W}{W_{H_2}} \times M_{H_2} = 8 \times 2 = 16$

$$(iii) M = \frac{W}{W_{\text{空气}}} \times M_{\text{空气}} = 0.5517 \times 29 \doteq 16$$

$$(iv) M = 22.4d = 22.4 \times 0.7143 \doteq 16$$

$$(v) d = 1000 / 112 \times 0.08$$

$$M = 22.4d = 22.4 \times 0.08 \times 1000 / 112 = 16$$

$$(vi) \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$\frac{76V_1}{273} = \frac{75 \times 187.1}{273 + 15}$$

$$V_1 = \frac{75 \times 187.1 \times 273}{288 \times 76} = 199.5 \text{ (毫升)}$$

$$d = 0.143 \times 1000 / 199.5 = 0.715 \text{ (克/升)}$$

$$M = 22.4d = 22.4 \times 0.715 \doteq 16 \text{ (氧单位)}$$

从这六种不同的数据中所求得的分子量，都是 16 氧单位。

已知该物质的重量组成是 C 75%，H 25%，

$$\therefore C:H = 75/12:25/1 = 6.25:25 = 1:4$$

该物质的最简式是 CH_4 ，分子式可能是 $(\text{CH}_4)_n$ ，已知该物质的分子量是 16，即 $M = (\text{CH}_4)_n = 16$ ，

$$n = M/\text{CH}_4 = 16/16 = 1$$

∴ 该物质的分子式就是 CH_4 。

3. 物质的分子量及重量组成表示在同一数据中的例

例 3. 某气态物质 0.1 克分子重 1.6 克，完全燃烧后生成 0.1 克分子的 CO_2 和 0.2 克分子的 H_2O 。求其分子式。

【解】 先求该物质的重量组成：

0.1 克分子的 CO_2 中含 0.1 克原子的 C，重 $0.1 \times 12 = 1.2$ 克。

0.2 克分子的 H_2O 中含 0.2 × 2 克原子的 H，重 $0.2 \times 2 \times 1 = 0.4$ 克。

该物质的重 = $1.2 + 0.4 = 1.6$ 克。

∴ 这种物质分子中只含有 C 和 H 两种元素，它们的重量比是 1.2:0.4。

再求它分子中的原子个数比：

$$C:H = 1.2/12:0.4/1 = 0.1:0.4 = 1:4$$

故得该物质的最简式是 CH_4 。分子式可能是 $(\text{CH}_4)_n$ 。

再求该物质的分子量：

已知该物质 0.1 GM = 1.6 克

$$\therefore 1 \text{ GM} = 1.6 \times 10 = 16 \text{ 克}, M = 16 \text{ 氧单位}$$

$$\therefore n = M/\text{CH}_4 = 16/16 = 1$$

$$\therefore \text{该物质的分子式是 } \text{CH}_4.$$

习 题 6·3

1. 已知三氧化硫分子里，硫和氧的重量比是 2:3. 求它们的百分組成。
2. 分別求出硫化氢 (H_2S)，五氧化二磷 (P_2O_5) 的百分組成。
3. 根据下列各物质的百分組成，求它们的實驗式：
 - (1) Ca:29.41%, S:23.53%, O:47.06%.
 - (2) Na:57.5%, O:40.0%, H:2.5%.
4. 某物质的百分組成是含碳 92.3%，氢 7.7%. 它的分子量是 26 氧单位，求其分子式。
5. 某化合物的百分組成是含鉀 26.5%，鉻 35.4%，氯 38.1%，分子量等于 294，求該化合物的分子式。
6. 某气态物质含氮 46.67%，含氧 53.33%. 在标准状况下，該气体 112 毫升重 0.15 克。求其分子式。
7. 某气态物质含氮 30.44%，含氧 69.56%. 在温度 15°C，压强 756 毫米时該气体 106 毫升重 0.4108 克。求其分子式。
8. 一种磷和氢的化合物完全燃燒后，生成 0.05 克分子的 P_2O_5 和 1.8 克的水。在温度 27°C 和压强 750 毫米时，这种化合物 557 毫升重 1.473 克。求这种化合物的分子式。

[提示：从 P_2O_5 和水的克分子数找出 P 和 H 的克原子数，即得它们的原子个数比.]
9. 某气态物质 1.3 克，在温度 15°C，压强 752 毫米下，占有 1.181 升的体积。当它完全燃燒后，生成 4.4 克的 CO_2 和 0.05 克分子的水。求該物质的分子式。

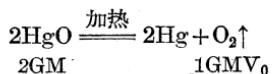
§ 6·4 在非标准状况下求气态 反应物和生成物的体积

在前面我們已經学会了应用克分子体积根据化学方程式計算气态物质的体积的問題。当反应是在非标准状况下进行时，体积

的計算必需利用理想气体的气态方程，把非标准状况下的体积換算为标准状况下的体积。現在举几个例來說明：

例 1. 加热 2.16 克的氧化汞，使它完全分解，在温度 27°C 和压强 75 厘米时，能生成氧气多少毫升？

【解】根据氧化汞加热分解的化学方程式可以看出，2 克分子的氧化汞加热后分解为 1 个克分子体积的氧气。用符号表示是：



現在先把 2.16 克的氧化汞換算为克分子数：

$$M_{\text{HgO}} = 200 + 16 = 216 \text{ (氧单位)}$$

$$\therefore \text{氧化汞的克分子数} = 2.16 / 216 = 0.01 \text{ GM}$$

再求 0.01 GM 的 HgO 在标准状况下产生氧气的体积。

已知 2 GM 的 HgO 产生 1 GMV₀ 的氧气。今設 0.01 GM 的 HgO 可以产生 x GMV₀ 的氧气。列成比例：

$$2:0.01 = 1:x$$

$$x = 0.01 \times 1/2 = 0.005 (\text{GMV}_0)$$

但 $1 \text{ GMV}_0 = 22.4 \text{ 升}$

$$\therefore \text{在标准状况下产生氧气的体积} = 0.005 \times 22.4 = 0.112 \text{ (升)}$$

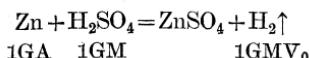
最后根据理想气体的气态方程，換算为在温度 27°C，压强 75 厘米时的体积 V_2 ：

$$V_2 = \frac{76 \times 0.112 \times (273 + 27)}{273 \times 75} = 0.115 \text{ (升)} = 115 \text{ (毫升)}$$

答：加热 2.16 克 HgO，可以生成 115 毫升氧气（温度 27°C，压强 75 厘米）。

例 2. 在 20°C 2 个大气压时，要充滿 1000 只体积为 2 升的氢气球，需要多少公斤的鋅和濃度是 2M 的稀硫酸多少升？

【解】根据硫酸跟鋅反应的化学方程式可以看出，1 克原子的鋅跟 1 克分子硫酸反应，生成 1 克分子体积的氢气。用符号表示是：



先算出要制备的氢气在标准状况下的体积 V_1

已知 $P_2=2$ 大气压, $T_2=273+20$, $V_2=2\times 1000$ 升,

$P_1=1$ 大气压, $T_1=273$, 求 V_1

$$V_1=\frac{2\times 2\times 1000\times 273}{(273+20)\times 1}=3728 \text{ (升)}$$

再把这些氢气换算为克分子体积 x :

$$1 \text{ GMV}_0=22.4 \text{ 升}$$

$$x=3728/22.4=166.4 (\text{GMV}_0)$$

已知制取 1 GMV_0 的 H_2 需 1 GA 的 Zn 和 1 GM 的 H_2SO_4 , 现需制备 166.4 GMV_0 的 H_2 , 故需 166.4 GA 的 Zn 和 166.4 GM 的 H_2SO_4 . 所需的锌折合成千克数是:

$$166.4\times 65=10816 \text{ (克)}=10.816 \text{ (公斤)}$$

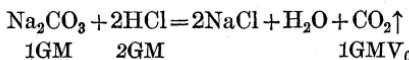
$$\text{所需 } 2\text{M} \text{ 的稀硫酸 } = 166.4/2=83.2 \text{ (升)}$$

答: 充满 1000 只体积为 2 升的氢气球 (温度 20°C , 压强 2 大

气压) 需锌 10.816 公斤和 2M 的稀硫酸 83.2 升.

例 3. 用 0.1 M 的 Na_2CO_3 溶液 100 毫升跟 0.5 M 的盐酸溶液 30 毫升反应. 試求在温度 15°C , 压强 750 毫米时, 能生成 CO_2 多少毫升?

【解】根据碳酸钠跟盐酸反应的化学方程式:



现在先算出浓度为 0.1 M 的 Na_2CO_3 溶液 100 毫升中, 以及 0.5 M 的 HCl 溶液 30 毫升中各含有多少克分子的 Na_2CO_3 和 HCl . 根据溶液克分浓度的概念可知:

$$\text{Na}_2\text{CO}_3: 0.1\times 100/1000=0.01 \text{ GM}$$

同理

$$\text{HCl}: 0.5\times 30/1000=0.015 \text{ GM}$$

$\because 1 \text{ GM}$ 的 Na_2CO_3 需跟 2 GM 的 HCl 反应

$\therefore 0.01 \text{ GM}$ 的 Na_2CO_3 需用 $2\times 0.01=0.02 \text{ GM}$ 的 HCl .

现在 Na_2CO_3 是 0.01 GM , 而 HCl 是 0.015 GM , 显然 Na_2CO_3 的量是过剩的, 因此不能从 Na_2CO_3 的量来求 CO_2 , 而要从 HCl 的量来求.

已知 2 GM 的 HCl 能发生 1 GMV_0 的 CO_2 , 设 0.015 GM 的 HCl 产生 $x \text{ GMV}_0$ 的 CO_2 . 列成比例:

$$2:0.015=1:x, \quad x=0.015/2=0.0075 (\text{GMV}_0)$$

把 0.0075 GMV_0 的 CO_2 换算成毫升数 (V_0)：

$$1 \text{ GMV}_0 = 22.4 \text{ 升} = 22400 \text{ 毫升}$$

$$\therefore V_0 = 0.0075 \times 22400 = 167 \text{ 毫升}$$

最后换算成温度 15°C , 压强 750 毫米时的体积 V_2 :

$$V_2 = \frac{167 \times (273 + 15) \times 760}{273 \times 750} = 178.5 \text{ 毫升}$$

答：用 0.1 M 的 Na_2CO_3 溶液 100 毫升和 0.5 M 的 HCl 溶液 30 毫升可得 CO_2 178.5 毫升(温度 15°C , 压强 750 毫米).

习题 6·4

1. 要制取 20 升氯化氢(温度 27°C , 压强 740 毫米), 需用多少克分子的氯化钠跟足量的硫酸进行反应?
2. 在温度 27°C , 压强 750 毫米时, 制造 1 吨硫酸铵, 需要氨气多少立方米?
3. 在 500°C 和 200 大气压下, 假定氮气与氢气完全化合生成氨, 生成 600 升氨气, 求需用氮气和氢气各多少升?
4. 燃烧 3 吨黄铁矿, 可以产生多少立方米的二氧化硫? (燃烧后气体的温度是 819°C .)
5. 在温度 7°C 压强 750 毫米时, 合成 90 克水需要氢气和氧气各多少升?
6. 在 0.5 M 硫酸铜溶液 500 毫升中, 至少要通入多少毫升 (1 大气压, 20°C) 硫化氢, 才能使铜离子全部变成 CuS 沉淀?
7. 合成 5 升氨气需氮气和氢气各多少升?

【解】 运用阿佛加德罗定律和克分子体积的概念, 对这一类问题的解法, 可以从方程式中各个分子的系数直接推知气态物质的体积.

先写出合成氨的化学方程式:



由方程式可知

	N_2	H_2	NH_3
分子数	1	3	2
克分子数	1	3	2
克分子体积	22.4	3×22.4	2×22.4
合成 5 升氨时	x 升	y 升	5 升

$$\therefore x = 1 \times 5/2 = 2.5 \text{ (升)}$$

$$\therefore y = 3 \times 5/2 = 7.5 \text{ (升)}.$$

答：合成 5 升氨气需氮气 2.5 升，氢气 7.5 升。

8. 在相同状况下，氢气跟氧气各 10 升进行反应。什么气体有剩余？剩余多少升？反应后生成水气多少升？（假定在原来状况下）

本 章 提 要

1. 阿佛加德罗定律 在同温同压下，同体积的任何气体含有同数目的分子。

- (1) 定律的适用范围：只适用于气态物质。液态和固态物质不适用。
- (2) 定律的应用：测定气态物质或气化时不分解的液态和固态物质的分子量，进一步可决定它们的分子式。

2. 测定气态物质的分子量

(1) 根据在相同状况下同体积气态物质的重量比求分子量：同温同压下，同体积气体的重量之比，等于它们的分子量之比：

$$\frac{W_A}{W_B} = \frac{M_A}{M_B} \quad \text{或} \quad M_A = \frac{W_A}{W_B} M_B.$$

一般用氢气或空气作为比较标准。

(2) 根据克分子体积的概念求气态物质的分子量：在标准状况下，气体 22.4 升的重量就是该气体的 1 克分子量。所以，只需知道在标准状况下每升气体的重量，就可求得分子量：

$$M = 22.4 d$$

“d”是气体比重，就是标准状况下，气体每升的重量，单位是克/升。

3. 确定物质的分子式

- (1) 确定分子式的具体步骤：
 - i. 由定性分析得知物质的质的组成（含有哪些元素）。
 - ii. 由定量分析得知物质的量的组成（分子中各元素的重量比）。
 - iii. 由重量比和元素的原子量求出分子中原子的相对个数比，得到最简式。
 - iv. 求出分子量。
 - v. 由最简式和分子量求得分子式。
- (2) 确定物质分子式的又一种计算方法：从计算分子量开始。由分子量、各元素的重量组成和原子量得出一个分子中各元素的原子个数，求得分

子式。

4. 計算化学反应里气态物质的体积

(1) 根据阿佛加德罗定律和克分子体积的概念，当反应物和生成物都是气体时，化学反应方程式中各个分子的系数比等于它们的体积比。所以，可以根据方程式直接推算气体的体积。

(2) 已知反应物或生成物的克分子数或重量，求非标准状况下的气态生成物或反应物的体积的方法是：根据化学方程式，应用克分子体积的概念，先求出标准状况下气态反应物或生成物的体积。然后利用理想气体的气态方程，把标准状况下的体积换算成非标准状况下的体积。

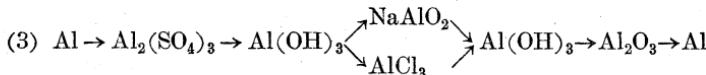
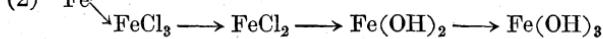
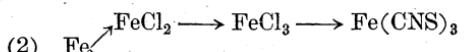
(3) 已知非标准状况下气态反应物或生成物的体积，求反应中其他生成物或反应物的重量或克分子数的方法是：先根据理想气体的气态方程，把已知的气态物质的体积换算成在标准状况下的体积。然后根据化学方程式，应用克分子体积的概念，求算其他物质的克分子数或重量。

复习題六

1. 什么是阿佛加德罗定律？怎样根据这个定律来测定气态物质的分子量？
2. 1升臭氧在标准状况下重 2.143 克，求臭氧的分子式，以及它和同体积空气的重量比。
3. 在温度 100°C、压强 750 毫米时，燃燒 1.68 克某种碳和氢的化合物，生成 3.721 升 CO₂ 和 2.16 克水，这化合物的蒸气和同体积氢气的重量比是 42。求它的分子式。
4. 燃燒 1.3 克某种碳和氢的化合物，生成 4.4 克的 CO₂ 和 0.9 克的水。这化合物和同体积氢气的重量比是 39。求它的分子式。
5. 在温度 27°C、压强 750 毫米时，把氨通入硫酸溶液，生成 26.4 克硫酸铵。求通入了多少升氨。
6. 在温度 20°C，压强 1 个大气压时，用氢氧化鈉溶液吸收 20 升二氧化碳。求在溶液里生成碳酸鈉多少克？
7. 安福粉[(NH₄)₂HPO₄]是一种磷氮混合肥料。求在温度 20°C，压强 750 毫米时，制备 1 吨安福粉，需用氨气多少立方米？85% 的磷酸多少公斤？
8. 用 3M 的稀硫酸 150 毫升跟 31.5 克亚硫酸鈉反应。求在温度 20°C，压强 750 毫米时，可以制得二氧化硫若干升？

总复习題

1. 利用哪些反应就可以进行下面一系列物质的轉变？写出化学方程式（或离子方程式）。



2. 怎样鉴别以下各組物质？写出实验手續，发生的現象和化学方程式：

- | | |
|---------------|----------------|
| (1) 硫酸鎂和硫酸鋁； | (2) 氯化鈉和氯化鉀； |
| (3) 硫酸亞鐵和硫酸鐵； | (4) 氢氧化鈉和氢氧化鈣； |
| (5) 碳酸氫鈉和碳酸鈉； | (6) 碳酸氫鈣和氯化鈣； |
| (7) 硫酸鉀和碳酸鉀； | (8) 氧化鋁和二氧化硅。 |

3. 說明下列各組名詞的區別。

- | | |
|----------------|----------------|
| (1) 金属和非金属； | (2) 黑色金属和有色金属； |
| (3) 重金属和輕金属； | (4) 生鐵、熟鐵和鋼； |
| (5) 化学锈蝕和电化锈蝕； | (6) 氧化反应和还原反应； |
| (7) 氧化剂和还原剂； | (8) 硬水、軟水和純水； |
| (9) 永久硬水和暫時硬水。 | |

4. 你认为下列各說法对不对？說明理由。

- (1) 在金属活动順序里，金属原子越容易失去电子，它的离子越容易結合电子。
- (2) 鋅跟濃硝酸发生反应能产生氮气。銅跟濃硫酸发生反应也能产生氮气。
- (3) 氢氧化鋁是两性氢氧化物，所以它的水溶液用石蕊試剂檢驗，呈酸性，又呈碱性。

(4) 鐵在氧气里燃燒后，生成四氧化三鐵。在 Fe_3O_4 分子里鐵元素的化合价是正 $8/3$ 价。

(5) 氯化鐵的水溶液呈酸性，这是因为它发生水解反应以后，生成氢氧化鐵沉淀和盐酸的缘故。

5. 怎样分离下列混和物？

- (1) 氯化鈉和氢氧化鈉； (2) 氯化鈉和氯化銨；
(3) 氯化鈉和硝酸鉀； (4) 氯化鈉和泥沙。

6. 为什么金属的导电性和傳热性比非金属好？

7. (1) 画出鉀、鋁和鐵的原子結構簡图。指出哪一种元素的金属性最强，为什么？

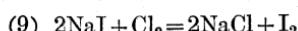
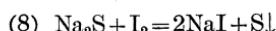
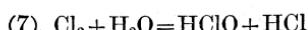
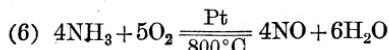
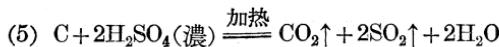
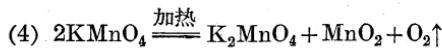
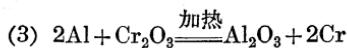
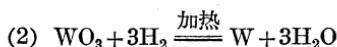
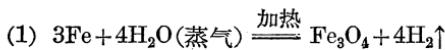
(2) 鉀、鋁和鐵的化学活动性的差別用什么實驗或事例可以說明。

(3) 根据鐵的原子結構說明它为什么具有可变化合价。

8. 下列各組物质間能发生反应嗎？为什么？能起反应的，写出化学方程式。

- (1) 銅片跟盐酸溶液； (2) 銅片跟硝酸銀溶液；
(3) 鐵片跟硫酸鋅溶液； (4) 鐵片跟硝酸鉛溶液；
(5) 硝酸鈉溶液跟氯化鉀溶液； (6) 碳酸鈉溶液跟石灰乳(氢氧化鈣)；
(7) 碳酸鈣跟二氧化碳和水； (8) 氯化鈣跟二氧化碳和水。

9. 在下列的氧化-还原反应里，哪些元素氧化了，哪些元素还原了？哪一种物质是氧化剂？哪一种物质是还原剂？



10. 怎样保存硫酸亚鐵溶液，使它不至于迅速被氧化？采用什么措施能阻止硫酸亚鐵水解反应的进行？

11. 泉水加入碳酸鈉以后，有白色沉淀产生，試分析泉水里可能有哪些离子存在？

12. 在下列溶液里，滴入濃氢氧化鈉溶液，会发生什么現象？如果加入过量氢氧化鈉，又有什么現象发生？說明所發生的現象，并写出化学方程式。

(1) 氯化鋁溶液；

(2) 氯化亚鐵溶液；

(3) 氯化鐵溶液；

(4) 碳酸氫鈣溶液。

13. 有棕黃色并含有結晶水的晶体試样，取少許溶于水，得到棕黃色溶液，把溶液分別倒在三个試管里：在第一試管里，加入硝酸銀溶液，产生白色沉淀，这种沉淀不溶于硝酸。在第二个試管里，加入硫氰化鉀溶液，溶液立即变成深紅色。在第三个試管里，加入鐵屑和盐酸，有气体放出，将溶液不断振蕩，最后溶液的顏色变成淺綠色。試推断該晶体試样是什么化合物？說明理由并写出上述反应的化学方程式。

14. 怎样鉴别小苏打、純碱、消石灰和白堊。

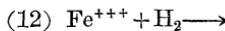
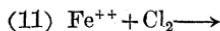
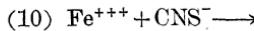
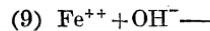
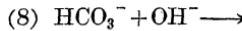
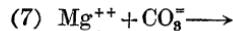
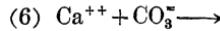
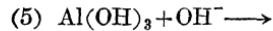
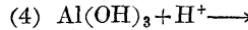
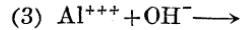
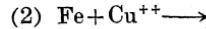
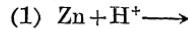
15. 有五种肥料，只知道它們是：碳酸鉀、氯化銨、硫酸銨、硝酸鈣和磷酸二氫鈣。怎样把它們一一鉴别出来？写出實驗手續，實驗时所發生的現象和化学方程式。

16. 鋅块落入汞里即溶解于汞，生成汞齐（鋅汞合金），怎样分离鋅和汞？

17. 有鐵、銅、鈉三种金属和硝酸汞、盐酸、水，通过哪些實驗，可以确定鉄、銅、鈉、汞、氫的活动順序？并說明理由。

18. 在同溫度同压强下，1 体积氮气和 1 体积氧气化合生成 2 体积一氧化氮。試證明氮气和氧气分子都由两个原子組成。

19. 完成下列簡化离子方程式，并各举一例写出完全离子方程式：



20. 把 5 克氢氧化鈉溶解在水里，制成 250 毫升溶液，問：(1) 这种溶液的克分子濃度是多少；(2) 如果用 0.5M 硫酸溶液来中和 30 毫升这种氢氧化鈉溶液，需用多少毫升硫酸？

21. 在压强为 750 毫米, 温度为 20°C 情况下, 把 0.5 克钠投入 50 毫升水里, 能生成多少升氢气? 所得氢氧化钠溶液的百分比浓度是多少? (钠跟水反应而消耗的水可不计.)
22. 如果磁铁矿含 61.5% 的铁. 在冶炼过程中, 有 2% 的铁渗入炉渣, 炼得的生铁中含杂质 5%, 计算用 1000 吨磁铁矿, 可炼得多少吨这种生铁?
23. 试计算纯净硝酸钾肥效的有效成分. 在 20°C 时硝酸钾的溶解度为 31.6 克, 1 公斤这种饱和溶液里, 含有多少克 K_2O ?
24. 如果 1 亩向日葵茎重 6500 斤, 把茎燃烧后能得到 2% 灰分. 经过分析知道, 灰分里的碳酸钾含量达 55%, 每亩向日葵茎可制得碳酸钾多少斤? 如果折算成 K_2O 可得到多少公斤?
25. 燃烧 5.6 升气体生成 16.8 升二氧化碳和 13.5 克水, 已知该气体的比重为 1.875 克/升(标准状况下), 试求分子式.
26. 某有机物 4.6 克完全燃烧后, 生成 4.48 升(标准状况下)二氧化碳和 5.4 克水. 已知该化合物的蒸气和同体积的氢气的重量比是 23, 试求分子式.
[提示: 这种有机化合物含有 C、H 和 O 三种元素.]
27. 有两种有机化合物, 它们的组成相同, 都含 C:54.55%, H:9.09%, O:36.36%. 第一种化合物的蒸气比重, 在标准状况下为 3.93 克/升; 第二种化合物的蒸气和同体积的空气的重量比为 1.52, 求这两种化合物的分子式.
28. 硝酸银跟 2.66 克的氯化钠和氯化钾的混和物起反应, 得到氯化银 5.74 克, 求混和物中两种盐的重量?
29. 27 克碳酸钠跟过量盐酸起反应, 生成 5.6 升(标准状况下) 二氧化碳, 此碳酸钠的百分纯度是多少?
30. 用上题的碳酸钠 27 克跟 200 毫升 6 M 的盐酸反应, 反应后盐酸溶液的克分子浓度是多少? (假定反应前后溶液的体积不变)

附录

几个简单易做的化学实验

实验一 金属的化学性质，金属的活动性顺序

【实验目的】 1. 认识金属的共同的化学性质；2. 认识金属的化学活动性的差别。

【实验前的准备】

1. 明确下列问题：

(1) 金属能跟哪些物质发生反应？

(2) 根据金属活动性顺序来看，哪些金属在常温时能跟氧气化合？哪些金属在加热时才能化合？哪些金属不能化合？

(3) 哪些金属能跟盐酸或稀硫酸发生置换反应？哪些金属不能？

(4) 怎样通过金属跟盐溶液置换反应，来认识金属的化学活动性差别？

2. 预备实验用品：

仪 器			试 剂		
品 名	数 量	附 注	品 名	附 注	
试 管	3	15×150 毫米	锌 粒	可用干电池外壳剪成小块代	
试 管	1	20×200 毫米	锌 粉	可用锌的锉屑代	
导 管	2	弯	盐 酸	1:1	
导 管	1	直 200 毫米	硫 酸 铜	可用中药店出售的胆矾	
单 孔 塞	1		铁 片	可用铁钉代	
橡 皮 管	1	30 厘米	铜 片	可用铜丝代	
水 槽	1		铝 片		
酒 精 灯	2		还原铁粉	可用铁的锉屑代	
铁 架 台	1	带铁夹	细 铜 线	可用花线里的铜丝	
鑷 子	1				
角 匙	1				
砂 皮	1				

【實驗內容】

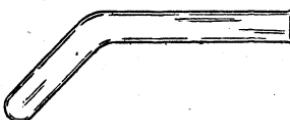
1. 金屬的化學性質：

(1) 鋅跟酸的置換反應：取鋅粒3~4顆，放在傾側的試管管口，豎直試管，讓鋅粒滑到試管底。注入1~2毫升稀鹽酸，即有氫氣產生。如果在試管口點燃時，有爆鳴聲。

用鐵片代替鋅粒，觀察結果如何？

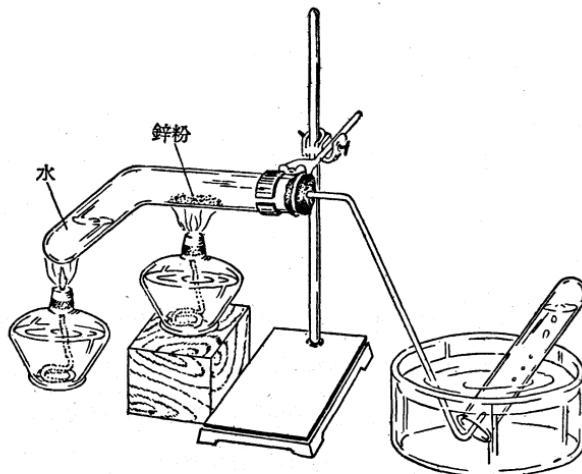
(2) 鋅跟水的置換反應：取大試管，按圖附1彎曲，並裝置如圖附2。用長玻管把水汲入試管底部約2~3毫升。

在試管的水平部分，用角匙加入少量鋅粉。把鋅粉和水同時加熱，待水沸騰以後，水蒸氣跟鋅發生反應，這時用排水集氣法收集生成的氣體。待試管里氣體集滿以



圖附1

後，把導管移出水槽，再熄燈。觀察鋅粉的顏色有什麼變化？生成物是什麼？並檢驗收集到的氣體。



圖附2

(3) 鋅和鐵跟硫酸銅溶液的置換反應：取鋅片一塊，用砂皮擦亮（除去表面氧化物），把它投入硫酸銅溶液里，隔3~5分鐘，用鎌子取出鋅片，觀察鋅片的顏色？有什麼物質沉積在鋅片上？如果投入幾塊鋅片，時間隔得更長些，溶液的顏色有什麼變化？

用鐵釘代替鋅片，觀察結果如何？

(4) 鋅跟硫的化合反应：取剛銚下来的鋅粉和研細的硫粉，按 2 与 1 的重量比（硫稍过量），混和均匀后放入試管，用玻棒压实（混和物約有 2~3 厘米高即可）。把試管固定在鐵架台上，試管不要太傾斜，用酒精灯在試管底部加热，当試管里一出現紅热时，就把酒精灯移开。觀察試管里的物质是否保持紅热？反应后生成了什么物质？

用剛銚下来的鐵粉代替鋅粉，按 7 与 4 的重量比，跟硫反应，觀察結果如何？反应后生成了什么物质？

把硫加热至沸騰，有硫蒸气产生时，把一束細銅絲放在硫蒸气里，觀察銅絲。为什么銅絲发紅？反应后生成了什么物质？

2. 金属的活动性順序：取四种不同的金属片：鋅片、鐵片、鋁片和銅片，用砂紙擦去表面的氧化物，分別置于四个試管里，各注入 2 毫升稀盐酸（或稀硫酸）。觀察是否都有氢气产生？产生氢气的速度是否相同？根据这四种金属跟酸发生置换反应的难易，排出它们的活动性順序。

實驗二 鋁和它的化合物的性质

【實驗目的】

1. 认識鋁的化学性质；
2. 认識氢氧化鋁——一种两性氢氧化物的性质；
3. 了解鋁盐的水解反应和它的用途。

【實驗前的准备】

1. 明确下列問題：

(1) 鋁为什么能跟碱溶液发生反应？

(2) 我們知道鋁是很活动的金属，能跟水起反应，但为什么鋁鍋能用来

仪 器			試 剂	
品 名	数 量	附 注	品 名	附 注
酒精灯	1		鋅 片	
試 管	5	15×150 毫米	鋅 粉	鋅片的銼屑
試管架	1		硫 酸	1:5
試管刷	1		氫 氧 化 鈉	2%
燒 杯	3	250 毫升，可用玻璃杯代 可用竹筷代	硝 酸 條	
玻 棒	1		硫 酸 鋁	可用明矾代
角 錐	1		明 矾	
鑷 子	1		碳 酸 氢 鈉	
砂 皮	1		藍 石 蕊 試 紙	

盛水或煮水？

(3) 怎样制取氢氧化铝？

(4) 什么叫两性氢氧化物？氢氧化铝跟酸或碱溶液反应，各生成什么物质？

(5) 为什么铝盐都容易发生水解反应？它的水溶液呈酸性还是碱性？

2. 预备实验用品（见上页表）。

【实验内容】

1. 铝的化学性质：

(1) 铝跟酸或碱溶液的反应：在两个试管里，分别放入2~3小块铝片。在第一个试管里注入2毫升稀硫酸，在另一个试管里注入2毫升氢氧化钠溶液。观察两个试管是否都有气体发生？为什么？

(2) 铝跟氧气的反应：把铝片一块，一端浸在碱溶液中一霎时间，以洗去铝片表面的氧化铝，再用清水冲洗干净，然后把铝片浸入硝酸汞溶液中。过2分钟以后，用镊子取出铝片，用水洗，揩干，暴露在空气中。观察铝片表面有什么现象发生？生成物是什么？用手摸铝片，为什么铝片温度升高？

(3) 用钥匙取少量铝粉，撒在酒精灯的火焰上，可以看到光亮的火星，这说明了什么？

2. 氢氧化铝的性质：在试管里盛2毫升硫酸铝溶液（或明矾溶液），逐渐滴加稀氢氧化钠溶液，振荡，至溶液开始呈碱性时，立即停止。观察氢氧化铝沉淀的色、态。

滤去上面的溶液，把氢氧化铝沉淀分装两个试管。在第一个试管里，滴加稀硫酸，振荡，观察沉淀是否消失，为什么？在第二个试管里滴加氢氧化钠溶液，振荡，观察沉淀是否消失？为什么？这说明氢氧化铝具有怎么样的性质？

3. 铝盐的水解反应：

(1) 硫酸铝的水解：把硫酸铝（或明矾）溶解在水里，用玻璃棒沾少许溶液，滴在蓝色石蕊试纸上，观察溶液呈酸性还是呈碱性，为什么？

把饱和的明矾溶液，加入饱和的碳酸氢钠溶液（或碳酸氢钠粉末，即小苏打）。为什么有二氧化碳发生，这是利用明矾溶液的什么性质？这个例子在日常生活里有何用途？

(2) 明矾的净水作用：取井水、河水、含泥沙较多的水各一杯。分别加入少许明矾粉末，用玻璃棒搅拌，静置，澄清，隔半天或一天后，水就变得澄清了。试说明明矾净水的原理。

实验三 钢的回火和淬火

【实验目的】

1. 认识钢经过热处理(淬火、回火)后性质的变化;
2. 认识钢铁发生锈蚀的主要原因和防锈的主要方法。

【实验前的准备】

1. 明确下列问题:

(1) 什么叫淬火? 什么叫回火?

(2) 钢铁在干燥的空气里, 为什么不容易发生锈蚀? 在潮湿的空气里, 为什么会很快地生锈?

(3) 在钢铁的表面涂上油漆, 为什么能防止锈蚀?

2. 预备实验用品:

仪 器			试 剂	
品 名	数 量	附 注	品 名	附 注
试 管	5	20×200 毫米	盐 酸	1:1
烧 杯	3	150 毫升	氯 氧 化 钠	10%
橡 皮 塞	2		铁 线	
缝 衣 针	2		油 漆	
砂 皮	1		凡 士 林	
锯 子	1			
鉗 子	2			

【实验内容】

1. 钢的回火和淬火:

(1) 回火: 用两把钳子夹住一只缝衣针的两端, 如果把针弯曲, 就会折断。另取一缝衣针, 在酒精灯上把它灼烧至发红, 渐渐冷却(即回火)。再把它弯曲, 钢针不会折断。经过回火处理, 钢针的硬度和韧度发生了什么变化?

(2) 淬火: 如果把回火钢针再灼烧至发红, 立即投入冷水(即淬火)。再把这种钢针弯曲, 又容易折断。经过淬火处理, 钢针的硬度和韧度又发生了什么变化?

把回火钢针弯成钩状, 再经过淬火, 可当作钓鱼钩用。

2. 钢铁的锈蚀:

取鐵絲 5 小段，用砂皮擦去鐵銹，弯成螺旋狀如圖附 3。浸入鹽酸里，用鏺子取出，水洗；再浸入氫氧化鈉溶液，用鏺子取出，水洗，揩干。

(1) 取干燥試管配橡皮塞，放入上述鐵絲一段，把塞子塞緊。

(2) 取試管配橡皮塞，放入鐵絲一段，注滿沸水，把塞子塞緊。

(3) 取試管，放入鐵絲，倒插在盛有水的燒杯里，管內鐵絲不沾着水，比水面高 3~4 厘米，如圖附 4。



圖 附 3



圖 附 4

(4) 取鐵絲一段，表面塗一层凡士林，放入試管，也倒插在盛有水的燒杯里，如圖附 4。

(5) 將鐵絲一段塗上油漆，放入試管，倒插在盛有水的燒杯里，如圖附 4。

每天觀察一次，連續觀察兩星期，做好記錄。比較它們發生銹蝕的難易，從而認識鋼鐵在什麼條件下最容易發生銹蝕。

實驗四 从草木灰里提取碳酸鉀

【實驗目的】

1. 了解草木灰肥料的有效成分——碳酸鉀的性質；

2. 巩固化學實驗的基本操作。

【實驗前的準備】

1. 明確下列問題：

(1) 碳酸鉀的水溶液呈酸性還是鹼性？

(2) 為什麼草木灰不能跟氨態氮肥或人糞尿摻和施用？

(3) 怎樣從草木灰里提取碳酸鉀？

(4) 怎樣進行溶解、過濾和蒸發等操作（參閱第一冊附錄 I, 3、4、5、6、7）？

2. 預備實驗用品：

仪 器			試 剂	
品 名	数 量	附 注	品 名	附 注
燒 杯	1	400 毫升, 可用大搪瓷杯代	草 木 灰	可用稻草灰代
玻 棒	1	可用竹筷代	硫 酸 銨	也可用氯化銨或硝酸銨
漏 斗	1		盐 酸	1:1
滤 紙	1		紅石蕊試紙	
蒸 发 皿	1	直徑 10 厘米, 可用碟子代	藍石蕊試紙	
鐵 架 台	1	帶鐵圈		
酒 精 灯	1			
鐵 絲	1			
藍色玻璃片	1			

【實驗內容】

1. 碳酸鉀的提取：在 400 毫升燒杯里，裝入草木灰 25 克，加水 200 毫升，攪拌，加熱煮沸。

待液体冷卻後，過濾。把濾液移入蒸發皿，加熱蒸發。當液体濃縮到原來的 $1/10$ 時，冷卻。取 5 毫升做下列實驗，其餘液体蒸發至干。

2. 碳酸鉀的性質：用玻棒沾少許上述液体，滴在紅色石蕊試紙上，觀察溶液呈酸性還是鹼性，為什麼？

取固体氯化銨或硫酸銨少許，加入上述溶液 2~3 毫升，微熱。在試管口，用潤濕的紅色石蕊試紙檢驗，石蕊試紙變藍，說明了什麼？

取 2 毫升上述溶液，注入 1 毫升鹽酸，有氣泡發生，這證明它是什么鹽？用潔淨的鐵絲沾取少許上述溶液，在無色火焰上灼燒，隔藍色玻璃片觀察，火焰呈紫色，這證明它是什么鹽？

习題答案

第一章

习題 1·1 9. $\text{Sn}:\text{Pb}=7:3$.

习題 1·2 8. 79.6%.

习題 1·5 5. 汞 1.38 公斤, 二氧化硫 154.4 升; 6. 銅 1.77 噸.

复习題一

6. 11 克銅析出.

第二章

习題 2·2 10. 0.2 克分子氫氧化鈉, 溶液的百分比濃度是 7.65%;

11. 87%.

习題 2·3 13. 74.1%; 14. 0.543 噸; 15. 90%.

习題 2·4 7. 94%; 8. 5.85%.

习題 2·5 7. (1) 167.3 噸, (2) 99.3 噸.

复习題二

6. 87.8%; 7. (1) 1.368 噸, (2) 各 191520 升, (3) 1.783 噌.

第三章

习題 3·2 4. 氢气 921 升.

习題 3·3 6. 碳酸鈣 8.93 噸, 石灰石 11.16 噌.

10. 730 克 20% 的盐酸, 44.8 升二氧化碳.

复习題三

8. 19.84 噌

第四章

习题 4·1 7. 鋁粉 0.857 公斤, 四氧化三鐵 2.76 公斤.

习题 4·2 4. 氢气 67.2 升.

复习題四

3. (2) 鈉跟盐酸的反应最剧烈, 鋁置換出来的氢气最多. 1.12 升, 2.24 升, 3.36 升.

第五章

习题 5·2 8. 5.6 克; 9. 是 FeCl_3 .

习题 5·3 1. 50.7%, 56%.

习题 5·4 5. 64020 吨; 6. 61.5 吨.

习题 5·5 7. 0.55%.

复习題五

6. 0.66 吨; 7. 120 吨.

第六章

习题 6·2 1. $M=46$, 比空气重 1.586 倍; 2. 1 个;

3. $\frac{W_{\text{He}}}{W_{\text{空气}}} = 0.138$, H_2 的浮力比 He 的大 2 倍; 4. $M_{\text{N}_2} = 28$;

5. (1) $M_{\text{HCl}} = 36.5$, (2) $M_{\text{CO}} = 28$;

6. $M = 38.7$; 7. $M_{\text{SO}_2} = 64$.

习题 6·3 1. S: 40%, O: 60%;

2. H: 5.88%, S: 94.12%, P: 43.66%, O: 56.34%;

3. (1) CaSO_4 , (2) NaOH ;

4. C_2H_2 ; 5. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; 6. NO; 7. N_2O_4 ;

8. P_2H_4 ; 9. C_2H_2 .

习题 6·4 1. 0.79 克分子; 2. 378 立方米;

3. N_2 300 升, H_2 900 升; 4. 4480 立方米;

5. H_2 116.4 升, O_2 58.2 升; 6. 6010 毫升;

8. 剩余氧气 5 升, 生成水气 10 升.

复习題六

2. $\frac{W_{O_2}}{W_{\text{空气}}} = 1.655$; 3. C_6H_{12} ; 4. C_6H_6 ; 5. 10 升;

6. 碳酸鈉 88.2 克; 7. 氨气 362.7 立方米, 85% 磷酸 873.5 公斤;

8. 二氧化硫 5.48 升.

总复习題

20. 0.5 M, 15 毫升;

21. 0.265 升, 1.71%;

22. 635 吨;

23. 46.5%, 147 克;

24. K_2CO_3 71.5 斤, K_2O 48.7 斤;

25. C_8H_6 ;

26. C_2H_6O ;

27. $C_4H_8O_2$, C_2H_4O ;

28. 1.16 克 $NaCl$, 1.5 克 KCl ;

29. 98%;

30. 3.5 M.

数理化自学丛书

数理化自学丛书编辑委员会 主编

代	数	(第一册)	已出版
代	数	(第二册)	已出版
代	数	(第三册)	已出版
代	数	(第四册)	待出版
平面几何		(第一册)	已出版
平面几何		(第二册)	已出版
三	角		已出版
立体几何			待出版
平面解析几何			已出版
物理	理	(第一册)	已出版
物理	理	(第二册)	已出版
物理	理	(第三册)	已出版
物理	理	(第四册)	已出版
化学	学	(第一册)	已出版
化学	学	(第二册)	已出版
化学	学	(第三册)	已出版
化学	学	(第四册)	已出版