



新世纪高等学校教材

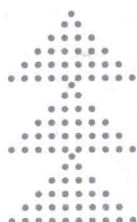
化学系列教材

WUJI
HUAXUE

无机化学

(下册)

陈亚光 胡满成 魏 朔 主 编



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

新世纪高等学校教材

化学系列教材

无机化学 (下册)

WUJI HUAXUE

陈亚光 胡满成 魏 朔 主 编



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP) 数据

无机化学. 下册 / 陈亚光等主编. — 北京: 北京师范大学出版社, 2011.8

(新世纪高等学校教材. 化学系列教材)

ISBN 978-7-303-11944-8

I. ①无… II. ①陈… III. ①无机化学—高等学校—教材 IV. ①O61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 248345 号

营销中心电话	010-58802181 58808006
北师大出版社高等教育分社网	http://gaojiao.bnup.com.cn
电子邮箱	beishida168@126.com

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印 刷: 北京中印联印务有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 170 mm × 230 mm

印 张: 21.25

字 数: 422 千字

版 次: 2011 年 8 月第 1 版

印 次: 2011 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 34.00 元

策划编辑: 范 林 责任编辑: 范 林

美术编辑: 毛 佳 装帧设计: 毛 佳

责任校对: 李 茵 责任印制: 李 啸

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

北京读者服务部电话: 010-58808104

外埠邮购电话: 010-58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-58800825

新世纪高等学校教材 化学系列教材编写指导委员会

(按姓氏笔画排序)

顾 问	刘伯里	刘若庄			
委 员	马子川	王永成	刘正平	汤 杰	孙闻东
	杜新贞	李 奇	汪辉亮	张成孝	陈亚光
	陈光巨	陈红雨	范楼珍	欧阳津	赵小军
	胡满成	郭海明			

《无机化学》编委会

主 编 陈亚光 胡满成 魏 朔

编 委 (按姓氏笔画排序)

马慧媛	王光彦	王晓红	王新军	孙亚秋
李 刚	李雪梅	李淑妮	李锦州	李慧珍
陈亚光	周百斌	周旭光	郑向军	郑泽宝
胡满成	蒋育澄	翟全国	魏 朔	

内容提要

本书涵盖教育部化学与化工学科教学指导委员会制定的“化学专业教学基本内容”中无机化学所能涉及的有关内容,共24章,分上、下两册。上册讲述化学基本原理,主要内容为原子结构、分子结构、化学热力学和化学动力学基础,弱电解质解离平衡、沉淀-溶解平衡、氧化还原平衡和配位平衡以及配合物基础知识。下册讲述元素及其化合物,结合上册的基础理论主要讨论其存在、制备、合成与生产、性质与用途,并对化合物的性质的周期性变化规律加以适当的总结。本书在内容的选取和安排上注意了与中学课程内容的衔接,同时也注意与后续课程的接续与分工。为使学生更深刻地认识无机化学的重要性,在每章的最后介绍了与该章内容密切相关的材料、工业应用实例或发展趋势。

本书可作为本科师范院校化学类各专业的无机化学教材或普通化学教材,也可作为其他高等院校与化学相关专业的教学参考书。

前言

化学是自然科学的中心学科之一。无机化学是化学学科中最古老的学科，它涵盖了所有化学分支所需要的基础理论和元素化学的基础知识。因此，无机化学既是化学学科的一个重要的独立分支，同时它也是化学学科的基础学科。

作为化学专业本科生的第一门化学基础课，无机化学在化学学科的学习过程中承担着承前启后的作用。一方面，大学新生在无机化学的学习过程中，将已有的化学知识进行提升和扩展，为后续课程和专业发展奠定基础；另一方面，在此过程中培养良好的学习方法和思维方式，使之成为受益终生的学习能力。

即使是在网络技术和电子产品日新月异的今天，书(教材)仍然是人类学习的重要工具之一。能有一部好的教材对学生而言尤为重要。所有参加编写本书的教师都为了这个目标——编写一部好的教材——而努力工作。所有参编的教师都有多年无机化学教学经验，对无机化学的内容有着深刻的认识，对无机化学的应用和发展现状有着广泛的了解。在编写教材的过程中，每位编者都对知识内容进行合理的组织和编写，做到与中学教学内容妥善衔接，不会出现过多的重复；又使教学内容由浅入深，循序渐进，有利于大学一年级学生自学。同时，按照高等学校理科化学教学指导委员会 1998 年的《化学专业化学教学基本内容》精神，在编写过程中，注意理论联系实际。在例题和习题中多选用与生产、生活相关的问题，以提高学生对化学学科

实用性的认识。同时也注意基础知识与现代化学进展相结合,在每一章中以适当的篇幅介绍与该章内容相关的研究进展、最新应用知识等,以使学生对无机化学的发展有所认识和了解,加深对化学学科在自然科学中的地位和化学在提高和改善人类生活质量和水平方面的作用的了解。

本书习题的选择以全面掌握教材内容为原则,体现教学的难点和重点。

本书的编写人员有:北京师范大学魏朔、郑向军,哈尔滨师范大学周百斌、马慧媛、李锦州、李刚,东北师范大学王晓红、陈亚光,天津工业大学周旭光,天津师范大学孙亚秋,陕西师范大学胡满成、蒋育澄、李淑妮、翟全国,贵州师范大学王光彦,河南师范大学王新军、李慧珍,大同大学李雪梅,泰山学院郑泽宝。最后由陈亚光进行了统一整理、补充、修改和定稿。

限于编者的水平有限,本书内容难免有疏漏和不当之处,敬请各位同行和使用该书的同学指正。

编 者

2010 年 7 月

目 录

第 12 章 氢和稀有气体 /1

12.1 氢及其化合物	1
12.2 稀有气体	8
习 题	15

第 13 章 碱金属和碱土金属 /17

13.1 金属单质	18
13.2 含氧化合物	23
13.3 盐类	30
13.4 锂的特殊性质	36
习 题	39

第 14 章 硼族元素 /41

14.1 硼	42
14.2 铝单质及其化合物	54
14.3 镓、铟、铊	58
习 题	61

第 15 章 碳族元素 /63

15.1 碳单质及其化合物	63
15.2 硅单质及其化合物	71
15.3 锗、锡、铅	78
习 题	87

第 16 章 氮族元素 /90

16.1 氮单质	90
16.2 氮氧化物和卤化物	91
16.3 氮的氧化物和含氧酸	98
16.4 磷	103
16.5 砷、锑和铋	112
习 题	120

第 17 章 氧族元素 /124

17.1 氧族元素的通性	124
17.2 氧及其化合物	128
17.3 硫及其化合物	135
17.4 硒、碲及其化合物	151
习 题	155

第 18 章 卤 素 /157

18.1 卤族元素的通性	157
18.2 卤素单质	161
18.3 卤化物、卤合物	167
18.4 卤素互化物、拟卤素	175
18.5 卤素的含氧化合物	180
18.6 砷的化学*	187
习 题	189

第 19 章 钛族、钒族和铬族元素 /192

19.1 过渡金属通性	192
19.2 钛族元素	195
19.3 钒族元素	202
19.4 铬族元素	208
习 题	219

第 20 章 锰族、铁系元素和铂系元素 /222

20.1 锰族元素	222
20.2 铁系元素	228

20.3 铂系元素	237
习 题	243
第 21 章 铜族与锌族元素 /246	
21.1 铜族元素	246
21.2 锌族元素	266
习 题	281
第 22 章 钪、钇、镧系元素和锕系元素 /283	
22.1 钪和钇	283
22.2 镧系元素	285
22.3 锕系元素	296
习 题	303
第 23 章 无机化合物的性质变化规律 /304	
23.1 周期性变化规律	304
23.2 物质的颜色	311
23.3 酸性和碱性	317
23.4 无机含氧酸的氧化性	319
23.5 无机化合物的热分解	321
习 题	326
主要参考书目 /327	

第12章 氢和稀有气体

氢(Hydrogen)的基态原子的电子构型为 $1s^1$ ，原子核外只有1个电子层，电子层上只有1个电子。根据基态原子的电子构型，氢可以排在周期表中ⅠA(碱金属，价电子层 ns^1)的顶端，但氢元素与碱金属在性质上相差很大。碱金属在反应中很容易失去这个电子而生成正离子，生成离子型化合物；而氢原子不容易失去这个电子，它使用这个电子与其他原子的电子配对生成共价型化合物。氢比同周期的稀有气体元素氦少1个电子，因此也可排在ⅦA，如氢和卤素原子一样可以形成双原子分子和负一价离子。但这种相似很有限，在许多反应中，卤素容易获得1个电子而生成负离子；但氢只有在同高电正性的金属反应时才会获得电子而生成负离子。氢还可以放在ⅣA碳上面，因为两个元素都具有半充满的价电子层结构，电负性相似，通常形成共价键而不是离子键。氢的这些独特性质是由氢原子独特的原子结构、特别小的半径和低的电负性决定的。因此要把氢作为独立的元素加以考虑，在周期表中按原子序数把氢放在ⅠA族元素的位置上。

周期表中零族(或ⅦA元素)有氦(Helium, He)、氖(Neon, Ne)、氩(Argon, Ar)、氪(Krypton, Kr)、氙(Xenon, Xe)和氡(Radon, Rn)六种元素。在自然界中六种元素均以游离态单原子分子形式存在，均是气体。该族元素的共同特点是反应惰性，因此在20世纪60年代以前被称为惰性气体。1962年，英国化学家巴特利特(N. Bartlett)首次合成了第一个稀有气体化合物 XePtF_6 。以后又陆续报道了一些氙的化合物以及氡的化合物。这些事实表明，该族元素是可以参加反应的。因其丰度都较低改称为稀有气体。

12.1 氢及其化合物

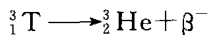
12.1.1 氢的存在

氢在地壳里的质量分数仅为0.76%，但在整个宇宙中，氢是含量最多的一种元素。除了在大气中有少量的氢气外，绝大多数的氢以化合态存在于水、化石燃料和有机体中。

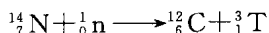
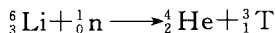
氢有三种同位素(isotope)，分别为氕(Protium, ${}^1_1\text{H}$)、氘(Deuterium, ${}^2_1\text{H}$ 或 D)、氚(Tritium, ${}^3_1\text{H}$ 或 T)。氕和氘在自然界中存在的比例为6 800 : 1

(原子个数),而氘的含量更少,仅为氢总量的 $10^{-16}\%$ (原子个数)。“isotope”这个词是英国科学家索迪(F. Soddy)于1911年开始使用的。1919年,另一位英国科学家阿斯顿(F. W. Aston)研制了质谱仪(mass spectroscopy),用来分离不同质量的物质并测定其质量。他用质谱仪先后从71种元素中找到202种同位素,但最引人关注的是氢是否有同位素。前后用了十几年时间,没有得到肯定的答案。1931年年底,美国哥伦比亚大学的尤里(H. C. Urey)教授和他的助手把4 L液氢在三相点(14 K)下缓慢蒸发,最后得到几立方毫米液氢,发现了质量数为2的重氢,称为氘。氘的发现是科学界在20世纪30年代初的一件大事。尤里因其成果获得1934年的Nobel化学奖。后来英美科学家又发现了质量数为3的氚。

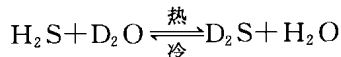
氚是半衰期(half-life)为12.6年的 β 放射性衰变体。



通常只有通过核反应才能获得 ${}^3_1\text{T}$:



${}^2_1\text{D}$ 可通过重水(D_2O)获得,而重水的制备可利用以下原理:



工厂每生产1 t重水,必须加工45 000 t天然水,循环使用150 000 t H_2S 。浓或纯的 D_2O 不能维持动植物生命,重水对一般动植物的致死浓度为60%。

氘、氚和氚的化学性质基本相同,但由于质量相差较大,导致其物理性质相差较大,如单质的熔点、沸点和临界温度依次升高。如 H_2 的沸点 $T_{\text{b.p.}} = -252.8^\circ\text{C}$ (20.4 K), D_2 的 $T_{\text{b.p.}} = -249.7^\circ\text{C}$ (23.5 K), T_2 的 $T_{\text{b.p.}} = -247.5^\circ\text{C}$ (25.7 K)。

因为氘原子的质量比氢原子大1倍, H_2O 与 D_2O 沸点上的差别反映了 D_2O 的氢键比 H_2O 的氢键更强些。

12.1.2 单质氢

1. 物理性质

氢气是由2个H原子以共价键结合而成的双原子分子,其键长为74 pm。常温下氢气是无色无臭的气体,几乎不溶于水(0 $^\circ\text{C}$ 时1 dm^3 的水仅能溶解0.02 dm^3 的氢);氢气极难溶于有机溶剂。氢气密度为空气的1/14.38,是已

知的最轻的气体。同温同压下，氢气的密度最小，常用来填充气球。氢气具有很大的扩散速度和很高的导热性。氢气是所有分子中相对分子质量最小的，其分子间作用力很弱，将氢冷却到 $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，气态氢可被液化。液态氢可以把除氮以外的其他气体冷却转变为固体。氢气的熔点为 $-259.14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

固态氢又称为金属氢。在晶格质点上为质子，而电子为整个晶体享用，所以这样的晶体具有导电性。固态氢具有六方最密堆积的晶体结构。固态氢是由美国卡内基研究所的地球物理学家霍古阿·马奥博士等人于 1989 年首次制成的。其方法是将气态氢置于两块金刚石之间，在 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温下，逐渐加压至 250 万个大气压，气态氢逐渐从透明变成褐色，最终成为黑色的超微粒化了的固态氢。固态氢的研究不仅可以为研究行星提供可贵的资料，而且在超导材料与火箭燃料研制等方面也有利用价值。值得一提的是，人类首次登上月球的飞行器使用的燃料就是固态氢。

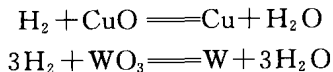
氢气可以储存在金属如 Pt、Pd 和合金(如 LaNi_5)中。

2. 化学性质

氢气分子中 $\text{H}-\text{H}$ 键的键能为 $435.88\text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ，和一般的双键键能相近，因此在常温下，氢气表现一定的惰性。但在常温下能与单质氟在暗处迅速反应生成 HF ，而与其他卤素或氧不发生反应。在点燃或加热的条件下，氢气很容易和多种物质发生化学反应。高温下，氢气是一个非常好的还原剂。氢的化学性质主要表现为：

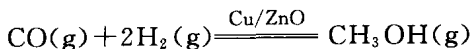
(1) 氢气在空气中燃烧生成水。氢气燃烧时火焰为淡蓝色，其温度可以达到 $3\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右，工业上常利用此反应切割和焊接金属。体积比为 2 : 1 的 H_2 和 O_2 混合物遇火会发生爆炸。

(2) 高温下，氢气能同卤素、 N_2 等非金属反应，生成共价型氢化物。大量的氢用于生产氨。高温下，氢气还能还原那些在电化学顺序中位置低于铁的金属氧化物或金属卤化物为金属：



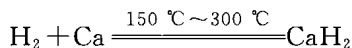
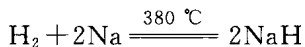
此反应多用来制备纯金属。

(3) 在有机化学中，氢气参与的重要反应是加氢反应和还原反应。例如将植物油通过加氢反应，由液体变为固体，生产人造黄油。把苯还原成环己烷(生产尼龙-66 的原料)，氢同 CO 反应生成甲醇等。也用于把硝基苯还原成苯胺(印染工业)。

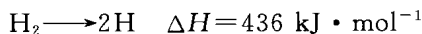




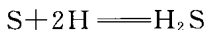
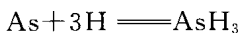
(4) 氢气与活泼金属反应, 生成金属氢化物, 表现出弱的氧化性。



(5) 氢气分子解离。氢分子虽然很稳定, 但在高温下、在电弧中、在进行低压放电, 或在紫外线的照射下, 氢分子能发生解离作用, 得到原子氢。



原子氢仅能存在半秒钟, 随后便重新结合成分子氢, 并放出大量的热。原子氢是一种比分子氢更强的还原剂, 能同 Ge、Sn、As、Sb 和 S 单质直接作用, 生成相应的氢化物。

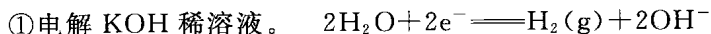


3. 氢气的制备

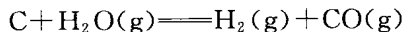
(1) 实验室方法。在实验室中, 常采用稀盐酸或稀硫酸与锌等活泼金属作用制备氢气, 但由于金属锌中常含有 Zn_3P_2 、 Zn_3As_2 、 ZnS 等杂质, 制备的氢气需要纯化后使用。



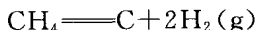
(2) 工业制法。氢气是氯碱工业的副产物。电解食盐水时, 在阳极生成 Cl_2 , 阴极产出 H_2 。



② 水煤气法。工业上也利用水蒸气通过红热的炭来获得氢气。



③ 烃裂解。在天然气储量丰富的国家, 采用烃类裂解的方法制取氢。



(3) 在野外工作时, 使用单质硅与碱反应或氢化物与水反应制备氢气。



加热硅含量高的硅铁粉末与干燥的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和 NaOH 的混合物, 会发生剧烈反应放出 H_2 。其优点是携带方便, 比酸法耗金属少, 且所需碱液浓度不高。

12.1.3 氢的化合物

氢的化合物可分为分子型氢化物、离子型氢化物和金属型氢化物三类。非

金属与氢通过共价键形成的分子，称为分子型氢化物。严格地讲，当某非金属元素的电负性大于氢的电负性时，不应称为氢化物，而应是某化氢，如硫化氢。碱金属等活泼金属与氢直接化合，以离子键结合形成离子型氢化物。除上述两类外，其余元素与氢形成的二元化合物，称为金属型氢化物。

1. 分子型氢化物

(1) 物理性质

p 区元素(稀有气体、铟、铊除外)与氢结合生成的分子型氢化物，通常情况下为无色气体或挥发性液体，不导电。当其结构相似时，氢化物的熔、沸点随相对分子质量的增大而升高。所以在同一主族中，沸点自上而下，逐渐升高。但由于 HF、NH₃、H₂O 分子间存在氢键，而使其沸点高于同族相邻元素的氢化物的沸点。

(2) 分类

根据分子型氢化物结构中价电子层结构和成键情况差异，可将氢化物分为以下几类。

① 缺电子氢化物

第ⅢA族B与Al的氢化物都属于缺电子氢化物。在乙硼烷 B₂H₆ 分子中，中心原子硼未满足 8 电子构型，两个 B 原子通过氢桥键连在一起，形成一个三中心二电子键(详见第 14 章)。

② 满电子氢化物

中心原子的价电子全部参与成键，没有剩余的非键电子，满足了 8 电子构型，形成满电子氢化物。如 CH₄、SiH₄ 等。

③ 富电子氢化物

中心原子成键后，还有剩余的孤电子对，第ⅤA、ⅥA、ⅦA 族的氢化物都属于富电子氢化物。富电子氢化物作为路易斯碱(配位体)，可以与金属离子(路易斯酸)形成大量的配合物或形成氢键。

(3) 化学性质

① 热稳定性

氢化物中非金属元素的非金属性越强，氢化物热稳定性越高。在同一周期中，从左到右热稳定性逐渐增加；在同一主族中，自上而下热稳定性逐渐减弱。如卤化氢和ⅣA族元素的氢化物的热稳定性顺序为：HF>HCl>HBr>HI，CH₄>SiH₄>GeH₄>SnH₄。

② 还原性

氢化物的还原性取决于非金属元素的非金属性的强弱。非金属元素的非金

属性越强, 氢化物的还原性越弱。在同周期中, 自左而右, 还原性减弱; 在同主族中, 从上到下, 还原性增强。如卤化氢的还原性顺序为 $\text{HI} > \text{HBr} > \text{HCl} > \text{HF}$ 。

③水溶液的酸碱性

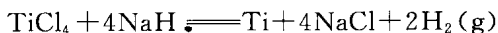
作为质子酸, 酸给出质子的能力越强, 质子酸的酸性越强。在同一族中, 随非金属元素的原子半径增加, 非金属元素结合氢的能力降低, 氢化物的酸性增加。如氧族元素氢化物的酸性顺序是 $\text{H}_2\text{S} < \text{H}_2\text{Se} < \text{H}_2\text{Te}$; 卤素氢化物的酸性顺序是 $\text{HF} < \text{HCl} < \text{HBr} < \text{HI}$ 。

2. 离子型氢化物

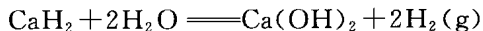
氢元素的电负性为 2.2。当氢分子与碱金属等活泼金属在较高温度下直接化合时, H 原子获得 1 个电子生成氢负离子 H^- 。在这一点氢分子的行为和卤素相似, 但对于卤素, $1/2\text{X}_2 + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{X}^-$, $\Delta H < 0$, 是放热反应; 对于 H_2 , $1/2\text{H}_2 + \text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}^-$, $\Delta H > 0$, 是吸热反应。因此, 离子型氢化物需要在较高温度下生成, 其数量远不如相应的卤化物多。

碱金属和碱土金属的氢化物为白色离子晶体, 可表示为 $\text{M}^+[\text{H}]^-$ 和 $\text{M}^{2+}[\text{H}]_2^-$ (M 为碱金属或碱土金属)。其结构类似于盐, 又称为盐型氢化物。除 LiH 和 BaH_2 具有较高的熔点 (LiH 691.8 °C, BaH_2 1 200 °C) 外, 其他氢化物均在熔化前就分解成单质。熔融态的离子型氢化物能导电。

离子型氢化物都是强还原剂。如固态 NaH 在 400 °C 时能将 TiCl_4 还原为金属钛:

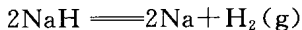


与水反应放出 H_2 :

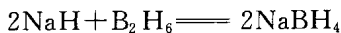


基于此反应, CaH_2 可以作为干燥剂和脱水剂, 在实验室中用于除去有机溶剂或稀有气体中的痕量水。 CaH_2 也作为氢气源, 在野外工作时使用。

电解熔融的盐型氢化物, 在阳极上放出 H_2 :



离子型氢化物在非水溶剂中能与一些缺电子化合物 (如 B_2H_6 、 AlCl_3 、 GaCl_3) 作用生成复合氢化物如 NaBH_4 、 LiAlH_4 , 它们是合成化学上常用的两种还原剂。



3. 金属型氢化物

金属型氢化物也称为过渡型氢化物。d区和f区元素一般都能形成此类化合物。这类氢化物组成不符合正常化合价规律,如,氢化镧 $\text{LaH}_{2.76}$, 氢化铈 $\text{CeH}_{2.69}$, 氢化钯 $\text{PdH}_{0.8}$ 等。在此类氢化物晶格中,金属原子的排列基本上保持不变,氢原子占据金属晶格中的空隙位置,使得相邻金属原子间距离稍有增加,所以也被称为间充型氢化物。

过渡型氢化物的形成与金属本性、温度以及氢气分压有关。过渡型氢化物的结构决定了它的性质与母体金属性质非常相似,具有金属的光泽和导电性以及明显的强还原性。热稳定性差,受热后易放出氢气。一些金属或合金是储氢的好材料。钯、钯合金及铀都是强吸氢材料,但价格昂贵。近年来,最受人们注意的是镧镍-5 (LaNi_5 , 吸氢后的组成为 LaNi_5H_6), 它是一种极佳的储氢材料。容量为 7 L、内装镧镍-5 的小钢瓶所能盛的氢气(304 kPa),相当于容量为 40 L 的 15 000 kPa 高压氢气钢瓶所容纳的氢气(质量相当)。只要轻微加热, LaNi_5H_6 即可把储存的全部氢气释放出来。除镧镍-5 外, La-Ni-Cu 、 Zr-Al-Ni 、 Ti-Fe 等吸氢材料也正在研究中。中国是稀土金属大国,研究稀土金属及其合金的吸氢作用具有更重要的意义。

12.1.4 氢元素的成键特点

1. 离子键

当 H 与电负性很小的活泼金属(如 Na、K、Ca 等)形成氢化物时, H 原子获得 1 个电子形成氢负离子,此反应只在高温条件下进行。 H^- 因具有较大的半径(208 pm)和强的还原性($\varphi_{\text{H}_2/\text{H}^-}^\ominus = -2.23 \text{ V}$),仅存在于固态离子型氢化物的晶体中。

氢原子失去电子可以生成 H^+ 。由于 H^+ 的半径很小,产生很强的极化作用。因此在与其它物质共存时,不能独立存在。如在 HCl 水溶液中, H^+ 以 H_3O^+ 形式存在。只有在气态时可以检测到独立的 H^+ 。

2. 共价键

(1) 两个 H 原子可以形成一个非极性的共价单键,如 H_2 分子。

(2) 氢原子与非金属元素的原子化合时,形成极性共价键,例如 HCl 分子。键的极性随非金属元素原子的电负性增大而增强。

(3) 在硼氢化合物(例如乙硼烷 B_2H_6)和某些过渡金属配合物(例如 $\text{H}[\text{Cr}(\text{CO})_5]_2$)中存在着氢桥键。这是一类特殊的共价键——三中心二电子键。