



绿色新能源科普知识馆

GAOXIAO BIANJIE DE
QINGNENG



氢能作为 21 世纪的绿色能源，
在未来可持续能源中占有重要地位

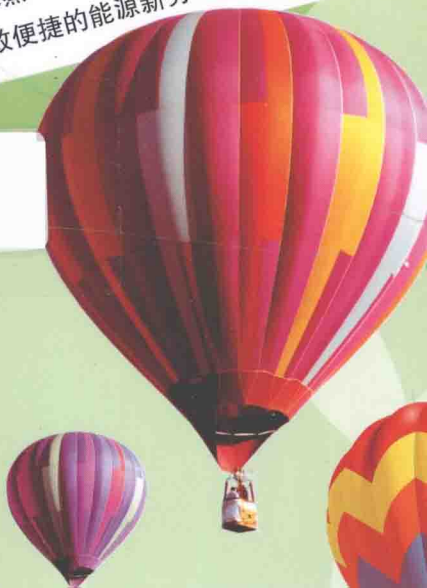
汪洋◎编

高效便捷的 氢能

氢能作为 21 世纪的绿色能源，
由于其清洁，便于储存和资源丰富的特点，
在未来可持续能源中将占有重要地位。
工业上生产氢的方式很多，
常见的有水电解制氢、煤炭气化制氢、重油及天然气水蒸气催化转化制氢等。
本书对氢能作全方位的介绍，来展现一个不一样的高效便捷的能源新秀——氢能。



甘肃科学技术出版社





绿色新能源科普知识馆

GAOXIAO BIANJIE DE
QINGNENG

氢能作为 21 世纪的绿色能源，
在未来可持续能源中占有重要地位

汪洋◎编

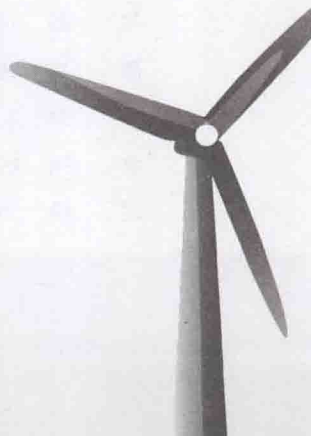
高效便捷的



氢能

由于其清洁，便于储存和资源丰富的特点，在未来可持续能源中将占有重要地位。工业上生产氢的方式很多，常见的有水电解制氢、煤炭气化制氢、重油及天然气水蒸气催化转化制氢等。本书对氢能作全方位的介绍，来展现一个不一样的高效便捷的能源新秀——氢能。

 甘肃科学技术出版社



图书在版编目 (CIP) 数据

高效便捷的氢能 / 汪洋编. — 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2014.3

(绿色新能源科普知识馆)

ISBN 978-7-5424-1929-3

I. ①高… II. ①汪… III. ①氢能—普及读物 IV.

① TK91-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 045356 号

出版人 吉西平

责任编辑 韩波 (0931-8773230)

封面设计 晴晨工作室

出版发行 甘肃科学技术出版社 (兰州市读者大道 568 号 0931-8773237)

印刷 北京威远印刷有限公司

开本 700mm × 1000mm 1/16

印张 10

字数 153 千

版次 2014 年 9 月第 1 版 2014 年 9 月第 1 次印刷

印数 1 ~ 3000

书号 ISBN 978-7-5424-1929-3

定价 29.80 元



前言

REFACE

我们生活的这个精彩纷呈的地球，能源时刻都在伴随着人类的活动而存在。人类的生存离不开能源，我们每天吃饭，是为了补充体能；天冷了，要穿上保暖的衣服，是为了保存体温，不让能量外泄；我们看电视、上网、使用手机，都需要电；汽车在路上前行，需要汽油。

自工业革命以来，能源问题就开始出现。在全球经济高速发展的今天，国际能源来源已上升到了国家战略的高度，各国都纷纷制定了以能源供应为核心的能源政策。在此后的 20 多年里，在稳定能源供应的要求下，人类在享受能源带来的经济发展、科技进步等好处，但也遇到一系列无法避免的能源安全挑战。能源短缺、资源争夺以及过度使用能源造成的环境污染等问题威胁着人类的生存与发展。

当前，能源的发展、能源和环境，已成为全世界、全人类共同关心的话题，这也是中国社会经济发展的障碍。但是，当前的状况是世界大部分国家能源供应不足，不能满足经济发展的需要。这一系列问题都使绿色能源和可再生能源在全球范围内受到关注。从目前世界各国既定能源战略来看，大规模的开发利用绿色能源和可再生能源已成为未来世界各国能源战略的重要组成部分。

我们生活在同一个地球上，开发和利用新能源，缓解能源、环境、生态问题已迫在眉睫，新能源、绿色能源如太阳能、地热能、风能、海洋能、生物质能和核聚变能等，越来越得到世人的重视。不论是从经济社会走可持续发展之路和保护人类赖以生存的地球的生态环境的高度来审视，还是从为世界上十几亿无电人口和特殊用途解决现实的能源供应出发，开发利用新能源和可再生能源都具有重大战略意义。可以这么说，新能源和可再

生能源是人类社会未来能源的基石，是大量燃用的化石能源的替代能源。

实践证明，新能源和可再生能源清洁干净，只有很少的污染物排放，人类赖以生存的地球的生态环境相协调的清洁能源。

由于现阶段广大青少年对绿色新能源认识比较单一，甚至相当匮乏，多数人处于一知半解的水平，这严重影响了新能源的推广认识和绿色低碳生活的实现，基于熟知绿色新能源知识和提高低碳意识已成为广大读者的迫切需要，我们编写了本书。

本书重点讲述了新能源知识和新能源推广应用，知识版块设置合理，方便阅读、理解与记忆。

本书集知识性、趣味性、可读性于一体，是一本难得的能源环保书籍，希望本书能为你带来绿色能源环保知识，让你在新能源推广应用之路上，为我们能够拥有一个美好的明天一起加油。



目 录 CONTENTS

第一章 氢和氢能

第一节 氢	002
一、氢的发现	002
二、氢的常识	005
三、氢的分布	006
四、氢的特性	008
五、氢的三态	014
六、氢的实验室制备	022
七、氢的应用及展望	023
第二节 高效无污染的能源——氢能	025
一、了解氢能	025
二、氢能的优点	027
三、国外氢能研究概况	029
四、氢能在中国	032
五、风光无限——氢能的未来	035

第二章 氢的制取

第一节 化石能源制氢	040
一、天然气制氢	040



二、煤气化制氢	043
三、烃类制氢	050
四、醇类制氢	052
第二节 电解水制氢	059
一、电解水简介	059
二、电解槽	060
三、电解水制氢技术进展	062
四、廉价电能的利用	065
五、电解制氢技术的未来	066
第三节 生物质制氢	068
一、认识生物质制氢	068
二、制氢的主要工艺类型	070
三、产氢微生物	073
四、生物制氢展望	077

第三章 氢的储存与输运

第一节 氢气的储存	080
一、液化储氢	080
二、压缩氢气储存	086
三、金属氢化物储氢	088
四、配位氢化物储氢	092
五、物理吸附储氢	093
六、有机化合物储氢	094
七、其他储氢方法	097



第二节 氢气的输送	101
一、氢气输送	101
二、液氢的输送	103
三、固氢输送	105
四、氢气输送的其他途径	106
五、如何提高输氢效率	107

第四章 氢的利用——燃料电池

第一节 燃料电池	110
一、认识燃料电池	110
二、燃料电池系统	113
三、燃料电池的特点	115
四、燃料电池分类	117
第二节 常见燃料电池	119
一、碱性燃料电池	119
二、磷酸盐燃料电池	121
三、熔融碳酸盐燃料电池	122
四、固体氧化物燃料电池	123
五、直接甲醇燃料电池	124
六、其他类型的燃料电池	125
第三节 燃料电池的应用	126
一、微型燃料电池	126
二、家庭用燃料电池	127
三、燃料电池汽车	128



四、燃料电池客船和飞机	129
五、工业应用的燃料电池发电系统	130

第五章 氢能的其他利用方式

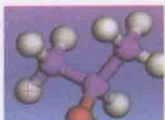
第一节 氢内燃机	134
一、内燃机简介	134
二、氢在内燃机中的应用	136
三、氢内燃机优点及不足	138
第二节 其他应用	141
一、氢在燃气轮机发电系统中的应用	141
二、氢在喷气发动机上的应用	144
三、燃烧氢气发电	147

第一章

Chapter 1

氢和氢能

氢是一种能源载体，而本书所说的氢能，是指目前或可以预见的将来，人类社会可以通过某种途径获得的，并且能够以工业规模加以利用的储藏在地球上的氢。氢大量存在于水中，因此，从这种意义上说，我们地球上的氢资源是取之不尽的。现在社会中传统能源所面临的各种问题和危机层出不穷，所以对氢能的开发有着重要的意义。



第一节 QING

氢

人们对于氢似乎有些陌生，其实它并不是新生事物，在很早以前，人们就发现了氢，而氢能的利用也已渗透到人们的生产生活中。氢气是最轻的气体，在我们呼吸的空气中就有氢气存在。氢元素广泛存在于地球的地壳和大气中，甚至在我们的身体里，氢元素也是必不可少的。但是氢到底是什么样子，我们似乎还没有太清晰的概念，下面我们就慢慢揭开它的神秘面纱，一探究竟。

一 氢的发现

谈到氢，我们不禁会问，氢是怎么来的？又是谁发现了氢呢？

早在16世纪就有人注意到了氢的存在，但因当时人们的认知能力有限，把接触到的各种气体都笼统地称作“空气”，因此，氢气并没有引起人们足够的重视。直到18世纪末，才有人开始做提取氢气的实验。因此，事实上我们很难说究竟是谁发现了氢，即使卡文迪许这位被公认为对氢的发现和研究的有过很大贡献的化学家，也认为氢的发现

不只是他一人的功劳。

早在16世纪，瑞士著名医生帕拉塞斯就描述过，铁屑与酸接触时会产生一种气体产生。他描述这种现象时说：“把铁屑投到硫酸里，就会产生气泡，像旋风一样腾空而起。”除此之外他还发现，这种气体可以在空气中燃烧。但是由于他的职业，有很多的病人需要得到帮助，因此帕拉塞斯就没有时间去做进一步的研究。就这样过了1个世纪，到了17世纪，比利时著名的医疗化学派学者海尔蒙特发现了氢。由于那时人们的智慧被一种虚假的理论所蒙



弊，认为不管什么样的气体，都不可能单独存在，既不能收集，也无法测量。这位医生也认为氢气与空气没有什么差异，便没有对氢气进行进一步的研究。

最先将氢气收集起来并进行认真研究的是英国的一位化学家卡文迪许。

卡文迪许出于对化学的热爱，很热衷于化学实验，有一次在进行化学实验时他不小心把一铁片掉入盛盐酸液体的容器中，当他正在为自己的粗心而懊恼不已的时候，却发现一奇怪的现象：盐酸溶液中产生了很多气泡。这种现象一下子吸引了他，刚才的气恼心情也全跑到九霄云外了。他飞速地思考着：这种气泡是从何而来呢？它是存在于铁片中还是存在于盐酸溶液中呢？于是，他又做了几次实验，把一定量的锌和铁投到充足的盐酸和稀硫酸中（每次用的硫酸和盐酸的质量是不同的），结果发现所产生的气

体量是固定不变的。由此卡文迪许得出结论：这种新气体的产生与所用酸的种类没有关系，与酸的浓度也没有关系。在接下来的试验中，卡文迪许用排水法收集这种气体，他发现这种气体对蜡烛的燃烧起不到任何的助燃作用，也不能帮助动物的呼吸，而且如果把这种气体和空气混合在一起，一遇到明火就会发生爆炸。卡文迪许是一位十分认真的化学家，他经过多次实验终于发现了这种新气体与空气普遍混合后发生爆炸的极限。

1766年，卡文迪许向英国皇家学会提交了一篇名为《人造空气实验》的研究报告，在报告中他讲述了把铁、锌等与稀硫酸、稀盐酸作用制得“易燃空气”（即氢气），并用普利斯特里发明的排水集气法把它收集起来进行研究。

卡文迪许经过多次实验后发现，一定量的某种金属分别与足量的各种酸发生反应，所产生的这种气体

贴士

卡文迪许很有素养，但是没有当时英国的那种绅士派头。他不修边幅，几乎没有一件衣服是不掉扣子的；他不善交际，不善言谈，终生未婚，过着奇特的隐居生活。



的量总是固定的，与酸的种类、浓度都无关；卡文迪许还发现，这种气体和空气混合后，将其点燃就会爆炸；还发现这种气体与氧气发生化学反应后生成水，从而认识到这种气体和其他已知的各种气体都不同。但是当时因为卡文迪许很相信燃素说，按照燃素说的解释，这种气体燃烧起来如此的猛烈，肯定富含燃素，在燃素说里，金属也是含燃素的。因此卡文迪许认为，这种气体是发生化学反应时从金属中分解而来的，并非来自于酸。他设想金属在酸中溶解时，他们所含的燃素便释放出来，形成了这种可燃空气。卡文迪许甚至一度设想这种气体就是所谓的燃素，没想到这种推测很快就得到当时的一些杰出化学家舍勒、基尔万等的赞同。

当时很多信奉燃素学说的学者



氢气球

认为，燃素是有“负重量”的。那时的气球是用猪的膀胱做成的，把氢气充到这种膀胱气球中，气球便会徐徐上升，这种现象曾经被一些燃素学说的信奉者们作为“论证”燃素具有负重量的根据。但卡文迪许终究是一位非凡的科学家，后来他弄清楚了气球在空气中所受浮力问题，通过精确研究，证明氢气是有重量的，只是比空气轻很多。

他是这样通过实验来检验氢气重量的：先用天平称出金属和装有酸的烧瓶的重量，然后将金属投入酸中，用排水集气法把产生的氢气收集起来，并测出体积。接下来再称量发生反应后烧瓶以及烧瓶内装物的总重量。这样他确定了氢气的相对密度只是空气的9%。可是，那些化学家仍固执己见，不肯轻易放弃旧说，鉴于氢气燃烧后会产生水，于是他们改说氢气是燃素和水的化合物。

卡文迪许已经测出了这种气体的相对密度，接着又发现这种气体燃烧后的产物是水，无疑这种气体就是氢气了。卡文迪许的研究已经比较细致，他只须对外界宣布他发现了一种氢元素并给它起一个名称



就行了，真理的大门正准备为他敞开，幸运之神也在向他招手。但是，卡文迪许受了虚假的“燃素说”的欺骗，坚持认为水是一种元素，不承认自己无意中发现了一种新元素，实在令人惋惜。

后来，法国化学家拉瓦锡听说了这件事，于是他重复了卡文迪许的实验，并用红热的枪筒分解了水蒸气，才明确提出正确的结论：水不是一种元素而是氢和氧的化合物。从此纠正了2000多年来一直把水当做元素的错误概念。1787年，他正式提出“氢”是一种元素，因为氢燃烧后的产物是水，所以在用拉丁文给它命名时，所取的含义为“水的生成者”。

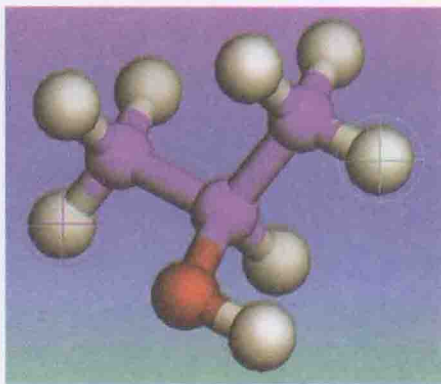


拉瓦锡

二 氢的常识

要想真正的了解氢，我们不仅要知道氢是如何被发现的，更要熟悉有关氢的一些基本常识。

氢是一种化学元素，化学符号为H，原子序数是1，在元素周期表中位于第一位。氢的原子是所有原子中最小的。氢的单质形态通常是氢气，氢气是由无色无味，而且非常容易燃烧的双原子分子组成的气体，是最轻的气体。氢原子存在于水、有机化合物和生物中，是目前为止发现的宇宙中含量最高的一种物质。另外，氢气还具有很强的导热能力，跟氧化合反应后生成水。在0℃和一个大气压下，每升氢气只有0.09克——还达不到同体积空



氢原子模型



贴士

原子序数是指元素在周期表中的序号，原子序数是一个原子核内质子的数量，数值上等于原子核的核电荷数（即质子数）或中性原子的核外电子数，拥有同一原子序数的原子属于同一化学元素。

气质量的 $1/14$ 。

氢在自然界有 2 个稳定的同位素氕（ 1H ）和氘（ 2D ），它们的相对含量分别为 99.9844% 和 0.0156%。氚（ 3T ）是放射性同位素，它的半衰期为 12.26 年。

科学家用大爆炸理论解释氢的形成。氢原子是宇宙中最早形成的原子之一。大爆炸理论假定宇宙是极其紧凑、致密和高温的。大约 100 亿 ~ 200 亿年以前，发生大爆炸后，宇宙开始膨胀和冷却。爆炸产生了一种合力，这种合力后来分解为重力、电磁力和核力。1 秒钟后，质子形成了，随后，在所谓的“最初三分钟”里，质子和中子结合形成氢的同位素——氕以及其他一些轻元素如氘、锂、硼和铍等。大爆炸发生 30 万 ~ 100 万年后，宇宙降温到 3000°C ，质子和电子结合形成氢原子。

大爆炸理论的整体框架来自于爱因斯坦的广义相对论方程，这个

方程后来被修改了无数次。

氢是宇宙中最丰富的元素，在构成宇宙物质的元素中，90% 以上是氢。太阳里面也有氢，另外，绝大多数恒星以及一些行星，比如木星主要是由氢构成。氢由于受恒星的吸引而富集到恒星上，后来氢发生核聚变形成氦，这一过程为包括太阳在内的恒星提供能量。

氢的分布

在地球上和地球大气中只存在极稀少的游离状态氢。在地壳里，如果按质量计算，氢只占总质量的 1%，而如果按原子百分数计算，则占 17%。氢在自然界中分布很广，水便是氢的“仓库”——氢在水中的质量分数为 11%；泥土中约有 1.5% 的氢；石油、天然气、动植物体也含氢。在空气中，氢气到不多，约占总体积的一千万分之五。在整个宇宙中，按原子百分数来说，氢却是最多的元素。据研究，在太阳的



地球

大气中，按原子百分数计算，氢占81.75%。在宇宙空间中，氢原子的数目比其他所有元素原子的总和约大100倍。

地球及各圈层氢都有氢分布，按照地球物理学家的意见，他们将地球分为地表，地幔，地核。氢在其中的相对含量（单位 1×10^{-6} ）分别为：地球总体 3.7×10^2 ，地核30，下地幔 4.8×10^2 ，上地幔 7.8×10^2 ，地壳 1.4×10^3 。氢在地壳中大约为第十位丰富的元素。地球中的氢主要是以化合物形式存在，其中水是氢的最重要的化合物。氢占水质量的 $1/9$ 。海洋的总体积约为13.7亿立方千米，若把其中的氢提炼出来，约有 1.4×10^{17} 吨，所产生的热量是地球上矿物燃料的9000倍。

矿物中氢可以以氢氧离子(OH)、水(H₂O)以及在某些情况下以氢离子(H⁺)形式存在（如在某些盐类矿物中）。

氢以游离气态分子的形态分布在地球的大气层中，但地表数量很少。地球大气圈底层含氢量为 $(1 \sim 1500) \times 10^{-6}$ ，其浓度随着大气圈高度的上升而增加。

氢也是生命元素。氧、碳、氢、氮、钙、磷分别占人体质量的61%，23%，10%，2.6%，1.4%和1.1%。也就是说一个正常的人，其体内氢会占10%（氧61%，碳23%，氮2%，钙1.4%，磷1%）。氢是人体内占第三位的元素，排在氧、碳之后，也是组成一切有机物的主要成分之一。

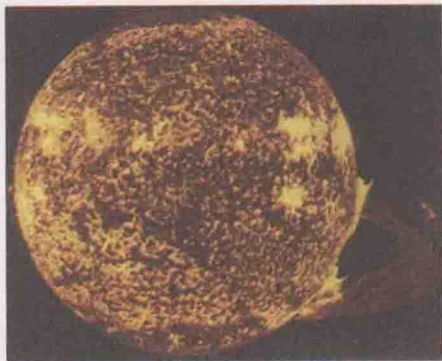
在地球的对流层大气中氢的含量很少，在地球的平流层10~50千米，几乎没有氢；在地球大气内层80~500千米，氢占50%，在地球大气外层，500千米以上，氢占70%。

太阳光球中氢的相对含量为 2.5×10^{10} ，是硅（以硅的相对含量为 10^6 计）的2.5万倍，氢元素是太阳光球中最丰富的元素。据计算，氢占太阳及其行星原子总量的92%，占原子质量的74%。CH₄存在于巨大行星的



贴士

人体组成的元素有81种,其中含量较多的是氧(O),碳(C),氢(H),氮(N),钙(Ca),磷(P),钾(K),硫(S),钠(Na),氯(Cl),镁(Mg)11种元素,共占人体质量的99.95%以上,其余组成人体的元素还有70种,为微量元素。



太阳光球

大气圈中,其数量大大超过了氢。此外,在木星和土星的大气圈中还发现少量氢。巨大的行星是由冰层围绕着的核心组成,有些是由高度压缩的氢组成。两个最轻的元素——氢和氦,同时也是宇宙中最丰富的元素。

四 氢的特性

1. 世界上最轻的气体

氢是一种化学元素,氢的原子是所有原子中最小的。氢通常的单质形态是氢气,在通常条件下氢气

是无色无味的气体,氢的气体分子由两个原子组成。

氢是宇宙中含量最高的物质。当氢处于不同的压力和温度条件下,就会呈现出不同的状态,如在101千帕压强下、零下252.87℃时,氢气就会成为无色的液体;若温度不断下降,达到零下259.1℃时,氢就会由液态变为雪花状固体。

氢原子藏在水中,它的导热能力特别强。氢与氧化合就会生成水。氢是世界上最轻的气体,在0℃的温度和正常的一个大气压下,每升氢气只有0.09克重——仅相当于同体积空气质量的十四点五分之一。

早在很久以前,氢的这种特性就使人们产生了浓厚的兴趣。在1780年的法国,著名化学家布拉克用仪器将氢气导入猪的膀胱中,制成了人类历史上第一个最早的氢气球,放开手之后,它冉冉地飞向了高空。现在,人们是在橡胶薄膜中