

## 无机化学中“氢化学与氢能”教学内容的再构探讨

顾泉<sup>1,\*</sup>, 翟全国<sup>1</sup>, 夏正强<sup>2</sup>, 乔成芳<sup>3</sup>, 高胜利<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> 陕西师范大学化学化工学院, 西安 710119

<sup>2</sup> 西北大学化学与材料科学学院, 西安 710127

<sup>3</sup> 商洛学院化学工程与现代材料学院, 陕西 商洛 726000

**摘要:** 近几十年氢元素和氢能相关基础与应用研究取得重大进展情况下, 无机化学中“氢元素和氢能”教学内容和素材丰富了许多。在时代背景下, 从加强学生“学以致用”的能力培养、注重“专业与思政同向同行”的素养培养、体现综合育人的角度看, 这块教学内容的再构更应凸显完整性和科学性、高阶性和挑战度、前沿性和研究性。

**关键词:** 无机化学教学; 氢化学; 氢能; 课程思政

**中图分类号:** G64; O6

## Reconstruction of Teaching Content of “Hydrogen Chemistry and Hydrogen Energy” in Inorganic Chemistry Course

Quan Gu<sup>1,\*</sup>, Quanguo Zhai<sup>1</sup>, Zhengqiang Xia<sup>2</sup>, Chengfang Qiao<sup>3</sup>, Shengli Gao<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> School of Chemistry and Chemical Engineering, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China.

<sup>2</sup> College of Chemistry and Materials Science, Northwest University, Xi'an 710127, China.

<sup>3</sup> School of Chemical Engineering and Modern Materials, Shangluo University, Shangluo 726000, Shannxi Province, China.

**Abstract:** In recent decades, with significant progress in the fundamental and applied research of hydrogen element and hydrogen energy, the teaching content and materials of “hydrogen element and hydrogen energy” in inorganic chemistry have been enriched. In light of these developments, the reconstruction of this teaching content should emphasize completeness and scientific rigor, elevate the level of challenge, and incorporate cutting-edge and research-oriented perspectives. This approach aims to enhance students' abilities to apply their knowledge, align professional education with ideological cultivation, and reflect a holistic approach to education.

**Key Words:** Inorganic chemistry teaching; Hydrogen chemistry; Hydrogen energy; Curriculum ideology and politics

元素化学部分的教学一直以来是无机化学教学的重要内容之一<sup>[1]</sup>。氢元素是元素周期表中的第1号元素, 是一个非常特别的元素, 单从氢的原子结构看, 它既与碱金属族相似, 又与卤族相似, 但是性质不适用于这两族元素的周期性<sup>[2]</sup>。看似简单的氢元素相关性质却并不单一, 氢元素有多种同位素, 单质有多种同素异形体, 氢形成的氢化物种类繁多、性质和应用广泛, 单质氢有很多特殊的物理化学性质, 如密度小、比热大、导热性能好、传音速度快、氢气能量密度高, 是绿色能源载体。而且, 近几十年, 在氢能的制备、储氢材料的开发、氢能的转化、氢在医学中的应用、极端条件下

收稿: 2024-04-10; 录用: 2024-07-22; 网络发表: 2024-10-08

\*通讯作者, Emails: guquan@snnu.edu.cn (顾泉); gaoshengli729@126.com (高胜利)

基金资助: 教育部“西部高校化学(师范)专业建设虚拟教研室”建设经费; 陕西省一流本科课程“无机化学”(2021年)

氢的性质<sup>[3]</sup>等领域相关研究取得了很多重要的进展。由此可见，氢元素和氢能教学内容非常丰富，在无机化学教学中不可忽视。但是，以往的国内外教材中教学内容受课时限制，仅仅包含氢的成键方式、氢气的制备、性质和应用以及简单氢化物等内容；课堂教学教师讲的很少，许多学校采用学生自学的方式，由于教材中很多高阶性、创新性、挑战性、前沿性和研究性的内容很少，提供的素材贫乏，学生获得的知识信息量太少，不利于学生自学。因此，针对教学内容陈乏，造成教师“不好教”、学生“没得学”的困境。在时代背景下，我们从凸显教学内容的完整性和科学性、高阶性和挑战度、前沿性和研究性，加强学生“学以致用”的能力培养，以及注重“专业与思政同向同行”的素养培养方面对氢元素和氢能相关教学内容进行了整理，提出了再构方案。

## 1 重构“氢化学与氢能”教学内容的探索

### 1.1 凸显基本面知识的完整性和科学性

对氢元素相关知识和内容进行了完整的、系统的重新整合，以凸显教材内容逻辑结构清晰。整个内容可整合为5个模块。第1模块为氢元素概论，介绍了氢在周期表中的特殊位置、氢元素的起源、发现和命名、氢元素在自然界中的形态和分布、氢的同位素的种类、分离和制备、以及同位素效应；第2模块为单质氢，介绍正氢和仲氢的概念、物理性质及其相互转化、氢的物理化学性质以及氢的同素异形体；第3模块为二元氢化物，介绍了二元氢化物的种类、性质和制备；第4模块介绍配位氢化物的种类、制备和性质；人类正面对着能源紧缺，环境污染等重大问题。氢能作为拥有众多优势的能源已得到世界各国的普遍关注，氢在能源领域的应用是氢的重要内容，所以单独增加了第5模块，详细介绍氢能源化学。

### 1.2 凸显内容的“高阶性和挑战度”

高等教育要重视培养大学生的综合素质<sup>[4]</sup>。大学生除了掌握一些基础知识以外，更需要接触具有“高阶性和挑战性”的内容。在实际教学中，教师应该根据教学内容的重要性对扩充的教学内容的深度和宽度进行准确把握，结合学情，构建新的知识框架，注重理论知识指导元素化学学习，分析知识间的关联，通过教学内容广度的扩充建立知识网络，结合前沿研究和跨学科发现，建立教学内容的深度，力求达到“知识-能力-素质有机融合”要求。

#### 1.2.1 扩充氢的同位素的介绍

氢元素是质子数为1的所有氢原子的总称。氢也是唯一的主要同位素有不同名称的元素。氢主要同位素有3种：氕、氘和氚<sup>[5]</sup>，此外还有瞬间即逝的人工法合成的4H-7H(表1)。

表1 氢的同位素

符号	Z (p)	N (n)	原子质量单位(u)	半衰期	核自旋	丰度
<sup>1</sup> H	1	0	1.00782-503207 (10)	稳定 [ $> 2.8 \times 10^{23}$ 年]	1/2+	0.999885 (70)
<sup>2</sup> H	1	1	2.0141017778 (4)	稳定	1+	0.000115 (70)
<sup>3</sup> H	1	2	3.0160492777 (25)	12.32(2)年[5.72 MeV]	1/2+	<sup>1</sup> H的 $10^{-17}$
<sup>4</sup> H	1	3	4.02781 (11)	$1.39(10) \times 10^{-22}$ s [4.6(9) MeV]	2-	0
<sup>5</sup> H	1	4	5.03531 (11)	$7.995 \times 10^{-22}$ s	(1/2+)	0
<sup>6</sup> H	1	5	6.04494 (28)	$2.848 \times 10^{-22}$ s [1.6(4) MeV]	2- *	0
<sup>7</sup> H	1	6	7.05275 (108)*	$2.3(6) \times 10^{-23}$ s* [20(5)* MeV]	1/2+ *	0

\*代表没有经过实验的证明，只是理论推测；括号内数据为不确定性

在介绍中特别强调了每一种同位素的发现史、研究方法、说明每一个发现的来龙去脉。从原理上分析氢的同位素的制备，例如，介绍了氢-4至氢-7的制备依据。扩充了氢的同位素分离、氢的同

位素效应、氢同位素分离中的同位素效应等相关概念和研究。显然这与科学发展和氢同位素的应用扩大相关。

### 1.2.2 扩充单质氢的介绍

1) 正氢(positive hydrogen, *o*-H<sub>2</sub>)和仲氢(secondary hydrogen, *p*-H<sub>2</sub>)。由于分子中对称位置上的氢原子的核自旋状态的不同而产生的两种氢分别被称为正氢和仲氢<sup>[6]</sup>。普通的氢气用液态空气冷却后,再使用活性炭进行吸附分离,就可以得到这两种氢。如图1所示,这两种氢的分子内原子核的自旋方向不同。分子中两个氢原子的核自旋方向相同时,由于核自旋的偶合使自旋量子数 $J$ 相当于奇数值,即为正氢;两个氢原子的核自旋方向相反时,氢的 $J$ 值为偶数值,即为仲氢。这称为核自旋异构现象或核自旋变体。显然这个内容的增加与深化原子结构理论学习相关。

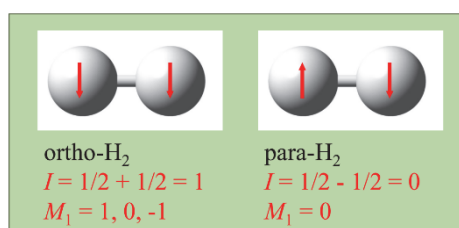


图1 氢分子的核自旋变体示意图

2) 金属氢。氢的同素异形体的种类有四种,包括原子氢、H<sub>2</sub>、H<sub>3</sub>和金属氢<sup>[7-9]</sup>。

金属氢是一种亚稳态物质,用它所产生的电能将是廉价的又是干净的,从而一举解决困扰人类的能源危机。图2表示压力增大可以得到金属氢。金属氢作为高密度、高储能、高导电、高导热以及高超导转变温度( $T_c$ )材料在输电、储能、军事、航空等领域具有重要的应用前景<sup>[10-12]</sup>。

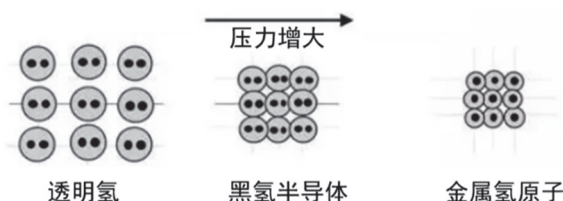


图2 氢在不同压强下的状态:透明态、不透明态和金属态

金属氢作为如此重要的材料,在科学技术的发展中会掀起一场划时代的革命,讨论金属氢的发现史和金属氢的重要应用会增加基本知识的厚度。同时对其他元素在高温高压下的新相功能材料制备起着引导作用。

### 1.2.3 扩充配位氢化物的介绍

氢化物是氢的一类重要的化合物。除了大家熟悉的二元氢化物和硼氢化钠等配位氢化物以外,还有一类发展很快的过渡金属的氢配位化合物(hydride complexes)。这类分子中氢通过共价键直接同金属原子相连而形成金属—H(M—H)配位键,可以为中性分子、阳离子和阴离子,在这类配合物中,除了氢配位体之外,还可以有其他配体(例如膦、羰基、环戊二烯基、氰离子、氨、硼氢离子、芳烃、烯烃等配体)。在周期表 $d$ 区元素中除了钪之外都能形成含末端M—H键的化合物。这类氢配位化合物在化学领域具有重要的应用<sup>[13]</sup>,它们通常是各种均相和非均相催化循环中的催化剂和催化中间体。

### 1.3 体现内容的“前沿性和研究性”

高等教育的教学内容必须要让学生体会到前沿性和研究性,这是创新性教学的前提和保障<sup>[14]</sup>。围绕氢元素的科学研究取得的丰硕的成果,将最新理论、最新研究成果、最新前沿、实践成果引入

到教学中，体现知识的前沿性和研究性，吸引学生学习兴趣，激发学生学习热情。

### 1.3.1 展示氢能化学和制氢新技术

氢能是一种绿色环保清洁的二次能源。氢能作为拥有众多优势的能源已得到世界各国的普遍关注，发展氢经济已被认为是21世纪世界经济新的转折点。随着世界的快速发展，煤、石油、天然气等传统化石燃料被过度消耗，带来了能源危机和环境污染。开发绿色制氢新方法是新能源发展的重中之重。目前人们开发的绿色制氢新方法有光催化制氢、光电催化制氢以及核能制氢等方法。虽然这些方法还没有实现工业化，但是可以为未来实现氢气绿色生产提供一些指导和启发。

1) 光催化制氢。太阳能是一种清洁高效的能源。人工光合作用利用自然光合作用的原理，将太阳能转化为氢能，在解决能源和环境问题方面具有重要的潜力<sup>[15-20]</sup>。半导体光催化分解水是温和条件下，仅利用光和颗粒半导体将水分解成 $H_2$ 和 $O_2$ 的过程。近年来，主要研究集中在高效的光催化剂设计合成。

2) 光电催化制氢。光电催化水分解结合光催化和电催化的优势，为太阳光转化为可持续的氢能提供了一种很有前途的方法<sup>[21-23]</sup>。图3为一种典型的光电催化分解水体系，由半导体光阳极和Pt阴极组成。对光电极的研究集中于光阳极上的光催化剂<sup>[24]</sup>。光阴极材料也有被研究，但是数量很少。

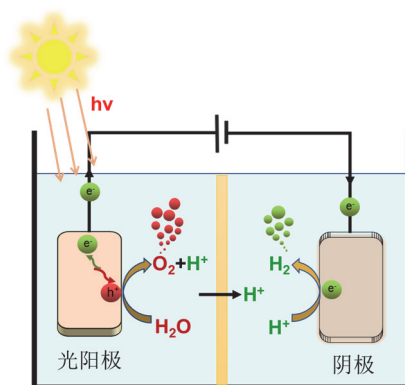


图3 太阳能光电催化分解水示意图

3) 核能制氢。核能是环保、高效的一次能源，使用可循环再利用的铀资源，有潜力成为大规模工业制氢的最佳选择。核能制氢是将核反应堆与先进制氢工艺耦合，进行氢能的大规模生产，该制备方法使能源生产和利用的过程基本实现环保零排放，也是实现未来氢气大规模供应的最具潜力的方法之一<sup>[25-28]</sup>。

### 1.3.2 提供相关用于科学研究的先进表征技术等兴趣阅读材料

科学研究的发现离不开先进科学仪器。将“氢化学与氢能”中相关用于科学研究的先进表征仪器如质谱仪(mass spectrometer)和核磁共振<sup>[29-32]</sup>等内容可以提前提供给学生，作为兴趣阅读材料供学生自学，起到激发学生兴趣和扩充知识面的作用，还可以采用安排任务的方式，学生课后完成调查报告和“课程小论文”。

### 1.3.3 展示重要研究发现

我们知道，氢原子由1个质子和1个电子构成，那么，反氢原子(antihydrogen atom)则应由1个反质子和1个正电子组成。1928年狄拉克(P. A. M. Dirac, 1902-1984)就预言了第一个反粒子——正电子的存在，正电子的工作两度获得诺贝尔奖。1933年，此前一直研究宇宙射线的安德森(C. D. Anderson, 1905-1991)发现带正电荷的电子：正电子<sup>[33]</sup>。1955年，塞格雷(E. Segrè, 1905-1989)和张伯伦(O. Chamberlain, 1920-2006)通过使用粒子加速器“Bevatron”发现了反质子，即反氢的原子核<sup>[34]</sup>。在此实验中还发现了反中子。自从发现了正电子与反质子以后，人们自然期望找到反氢原子。1996年

1月11日*Nature*以《欧洲核研究中心(CERN)庆贺探测到第一反原子》为题报道了CERN宣布制得总数为11个的反氢原子,打开了通向反物质世界的大门,引起轰动<sup>[35]</sup>。紧接着1月12日*Science*也以《物理学家制得第一个反原子》为题作了报道<sup>[36]</sup>。物理学重要杂志*Physics Letters*于次月正式发表了题为《反氢原子的产生》的学术论文<sup>[37]</sup>。随后,科学家们展开了关于反氢原子捕获、能级、光谱和性质的研究<sup>[38-42]</sup>。

#### 1.4 凸显“学以致用”的能力培养

氢,原子序数为1,氢原子核中只含1个质子,表现出独特的性质,其单质和化合物也有特殊的性质,但同时也具有一般元素所具有的性质,体现氢的特殊性和一般性。强调氢元素及其单质和化合物性质和用途等独特性、规律性、构效关系,注重理论知识对元素化学的学习。培养学生的收敛思维和发散思维,学会举一反三,利用理论指导学习,利用知识指导实践。为了实现“学以致用”的要求,还应增加应用实例,将知识和技术与生活、社会发展联系起来,因此我们在教学内容中补充物质的合成和在实际生产生活中的应用。

##### 1.4.1 介绍教师的科研

在课堂教学中围绕相关教学内容,介绍作者长期以来从事的光催化制氢方面的热点研究工作<sup>[18-20,22,23]</sup>、在研究过程中使用的研究方法以及研究感悟,以示“理论联系实际”、如何用学过的知识解决科学研究和应用中的问题。

##### 1.4.2 扩充氢能的工业制备

氢的商业生产有四个主要来源:天然气、石油、煤炭和电解,其中化石燃料是工业氢的主要来源。煤制氢技术是煤清洁利用的重要途径之一,主要包括煤气化制氢、煤焦化制氢和煤的超临界水气化制氢。煤制氢技术路线成熟,是当前成本最低的制氢方式。其中,煤气化制氢是工业大规模制氢的首选方式之一。煤气化制氢是在高温下(800–900 °C),利用水蒸汽和氧气破坏煤中的分子键,形成H<sub>2</sub>和CO的气体混合物<sup>[43]</sup>,再将CO经水气变换反应得到H<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>。图4为煤气化制氢工艺流程简图。

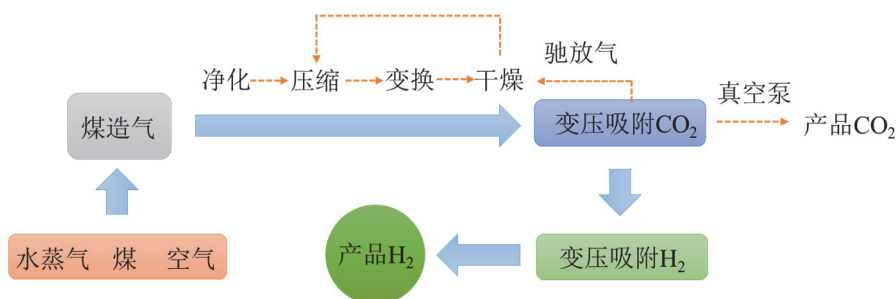


图4 煤气化制氢工艺流程简图

##### 1.4.3 介绍氢的工业、农业和医学用途

氢除了是一种清洁能源和优良的能源载体,被认为是未来主要能源之一以外,它还在工业、农业、医学等领域具有广泛的重要用途。

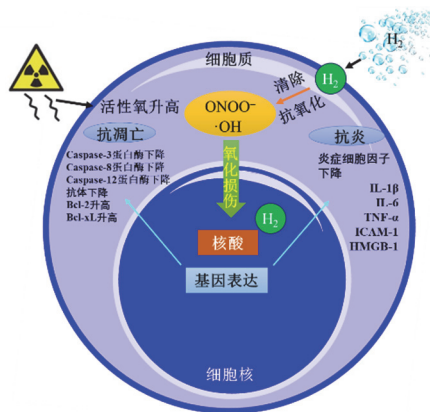
###### 1) 工业应用。

在化工领域,可以作为原料用于化工产品的合成和石油炼制。在其他工业领域,如冶金、电子、食品、轻工业等领域氢气也有广泛的用途。以下举几个例子说明:

氢是非常重要的工业合成化学品之一。围绕着合成氨,弗里茨·哈伯(Fritz Haber, 1868–1934)、卡尔·博施(Carl Bosch, 1874–1940)、阿尔文·米塔什(Alwin Mittasch, 1869–1953)和格哈德·埃特尔(Gerhard Ertl, 1936–)这4位伟大的科学家为合成氨工业的创立和发展做出了巨大的贡献,其中哈伯、博施和埃特尔先后于1919年、1931年和2007年获得诺贝尔化学奖。

甲醇是非常重要的基础化工原料,甲醇合成工艺图见图5。



图7 H<sub>2</sub>生物效应和可能的作用机制

## 1.5 注重“专业与思政同向同行”的素养培养

### 1.5.1 凸显科学世界观和方法论

金属氢的发现，掀起整个科学技术领域一场划时代的革命。不但是先进功能材料的产生源，还是多个学科发展的推动力。金属氢发现发表在顶级期刊后学者的辩论，使我们感受到科学研究精神的精髓与乐趣，这有利于提高学生学习兴趣和激发学生创造性。氘的发现给我们启示：尤里发现氘的事迹给了我们很好的专业与思政同向同行的教育，例如科学世界观的建立(唯物论和辩证法)，科学素养(追求真理、批评精神、探索精神、创新精神、勇攀高峰；实践能力、创新能力)和思维方式(学科体系、学术体系和学科思维)的培养。反氢原子的研究、制氢最新研究进展也都能体现世界观与方法论、探索精神、科学思维、科学精神的培养。

### 1.5.2 绿色化学理念和环保意识的培养

氢能是一种二次能源，它是通过一定的方法利用其他能源制取的，而不像煤、石油、天然气可以直接开采。氢能被认为是清洁能源，被誉为“21世纪终极能源”。介绍氢经济、氢经济优越性以及发展前景，重点介绍氢气的绿色制备方法。通过这些介绍，向学生传达绿色化学理念，树立学生的环保意识和责任感。

## 2 建议的“氢化学与氢能”教学内容的重构方案

### 2.1 学习要点概括

- 1) 理解氢在周期表中的特殊位置。
- 2) 了解氢在自然界中的存在、氢元素的发现和命名以及氢的同位素。
- 3) 了解氢的物理性质；掌握氢的化学性质；了解氢的同素异形体、正氢和仲氢的概念以及氢气的分析方法。
- 4) 掌握二元氢化物的一般制备方法；了解氢化物的分类、分子型氢化物、似盐型氢化物和金属型氢化物的性质和制备。
- 5) 了解配位氢化物的概念和种类、重要金属铝氢化物、金属硼氢化物、过渡元素的氢配合物的制备、性质和用途。
- 6) 了解氢经济的定义，产生背景、原理、优越性和前景，以及目前氢经济实现的技术困难。
- 7) 掌握实验室氢气制备方法；了解工业大量氢的制备方法和原理；了解最新氢气制备方法和原理。
- 8) 了解氢气的重要用途。

### 2.2 教学内容的重构方案

我们提出的“氢化学与氢能”教学内容的重构方案见表2。

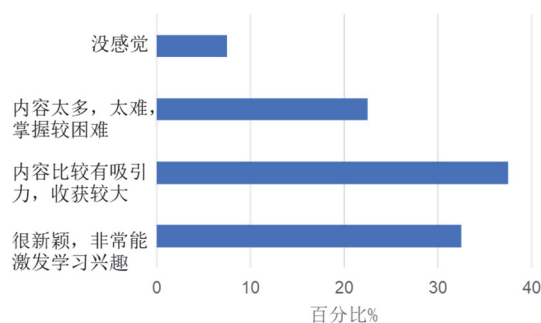
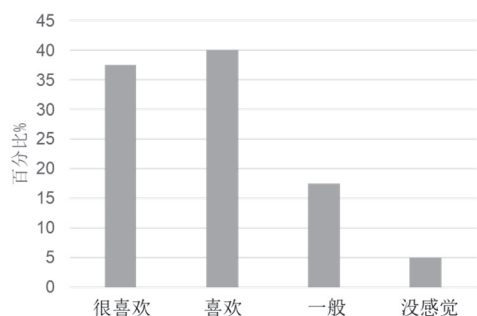
表2 建议的“氢化学与氢能”教学内容的重构方案

模块单元	内容及核心点(总学时3.5)	实施建议	内容扩充
1. 氢元素概论 (总学时0.5)	内容: 氢在周期表中的特殊位置; 氢在自然界中的存在; 氢元素的起源、在自然界中的形态和分布、发现和命名; 氢的同位素的种类、制备、分离、同位素效应 核心点: 氢的同位素的种类、制备、分离 历史事件回顾1. 氘的发现能给我们什么启示	提供典型事例和文献; 引导学生分析、发现问题, 判断、评价和整合。详略适当, 布置相关问题和任务引导学生自主探究, 在辅导课上探讨  课堂融入: 凸显科学研究和课程思政	分析氢在元素周期表中的特殊位置。氢的同位素的种类、制备、分离、同位素效应  氘发现的科学背景研究; 氘发现研究中的科学研究思想和方法; 氘发现研究给我们带来的科学世界观的建立、科学素养和思维方式等方面的启示
2. 氢单质(总学时1)	内容: 正氢和仲氢; 氢的物理性质; 氢的化学性质; 氢的同素异形体 核心点: 氢的物理性质、氢的成键特征和化学反应、氢的同素异形体的发现、制备及其应用 历史事件回顾2. 反氢原子简介	提供学习素材, 详略适当, 重点讲氢的性质和同素异形体, 强调构效关系。保证基本知识面完整; 注意概念和定义的准确性, 有一定的深度; 主要采用问题导向探究法  课堂融入, 后续提供资料, 辅导课探讨: 突出科学世界观、学科视野	补充正氢和仲氢的概念、性质、相互转化; 氢在金属中的扩散性质和生物氢的循环; 原子氢、H <sub>2</sub> 和金属氢等氢的同素异形体  反氢原子的定义、结构、制备; 反氢原子的研究简史
3. 二元氢化物 (总学时0.5)	内容: 二元氢化合物及其分类; 分子型氢化物、似盐型氢化物、过渡金属氢化物和边界型氢化物的性质和制备 核心点: 二元氢化物的种类、制备和性质 历史事件回顾3. 氢负离子简介 化学研究的物理方法介绍: 核磁共振氢谱是当代化学研究中广泛使用的表征方法	强调构效关系; 注重理论知识指导元素化学学习; 知识的应用; 课堂重点知识介绍, 课后安排与基本概念有关的问题, 引导学生自主学习 专题讲座; 调查报告; 安排任务, 指导学生开展“课程小论文”——核磁共振氢谱在化学中的应用	金属氢化物的种类、制备、性质和应用  氢负离子的定义和模型以及研究简史; 核磁共振波谱的基本概念和应用
4. 配位氢化物 (总学时0.5)	内容: 配位氢化物的一般介绍; 金属硼氢化物和金属铝氢化物的结构、制备、性质及应用; 过渡金属的氢配合物的制备、结构表征、性质及应用 核心点: 金属硼氢化物、金属铝氢化物、过渡金属的氢配合物的结构、制备、性质及应用	注重理论知识指导元素化学学习; 知识的应用; 课堂重点知识介绍, 课后安排与基本概念有关的问题, 引导学生自主学习	金属配位氢化物的种类、制备和性质
5. 氢能源化学 (总学时1)	内容: 氢经济的概念、产生背景、原理、优越性、发展前景; 氢经济实现的技术困难; 氢的制备、储存和运输以及氢能的转化设备; 氢的工业、农业和医学用途 核心点: 氢的制备、储存、运输、和应用 历史事件回顾4. 嫦娥五号带回的月壤制造火箭燃料和氧气	提供典型事例和文献为主; 介绍基本概念, 布置相关问题和任务引导学生自主探究, 在辅导课上探讨  提供学习资料, 课堂融入。凸显最新研究成果, 最新前沿; 突出我国科学家的贡献	氢经济的概念、前景和实现困难; 体现绿色化学理念  嫦娥五号探月工程; 月壤制造火箭燃料和氧气
其他教学环节	实验: 石墨烯/氯化碳光催化产氢性能测试(线下) 辅导课第1学时: 课后习题问题分析与研讨 辅导课第2学时: 三原子氢、金属氢、反氢原子、正氢和仲氢、氢负离子、氢经济问题探讨与交流 专题讲座与沙龙: 过渡金属催化产氢的研究进展		

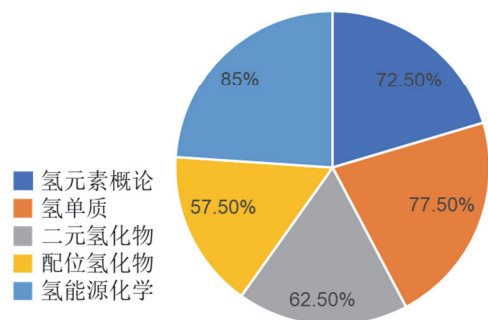
### 2.3 教学和学习效果

对教学内容进行重构,增加教学内容深度和厚度,引入了最新理论、最新研究成果、最新前沿、实践成果,这对创新教学应该是有意义的,但这种大胆的尝试对教师教学,尤其是对学生学习来说具有很大的挑战。我们了解了学生的学习感受(图8)以及统计实施这种新教学以来对学生科研兴趣的影响。调查结果显示大部分学生对于这样的教学内容的改变表示可以接受,同时也表示喜欢这样的教学内容和方式(37.5%的学生很喜欢,40%的学生喜欢)。70%的学生认为很多知识新颖,有吸引力,他们很感兴趣;但仍有22.5%的学生觉得内容较多、掌握困难。学生对各章节教学内容的学习倾向性方面,学生们对氢能源化学部分的兴趣最大,高达85%的学生选择该选项,这可能与目前能源环境问题是人类最关注的问题之一有关。而且在各专题的学习兴趣的调查中“嫦娥五号带回的月壤制造火箭燃料和氧气”内容最吸引学生。这也表示学生对最新研究结果以及科学研究及其过程很感兴趣,在提升学习兴趣上起到了非常积极的作用。

你对“氢化学与氢能”新增教学内容的感受是? (单选) 你是否喜欢“氢化学与氢能”现在的教学? (单选)



你对“氢化学与氢能”中哪些部分感兴趣? (多选)



你对“氢化学与氢能”中的哪些专题内容感兴趣? (多选)

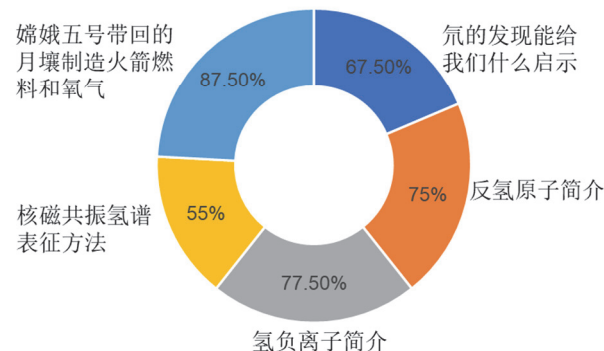


图8 对学生的学习感受的调查结果

虽然学生在校期间参与科研的情况不完全因为无机化学教学的原因,但是最新前沿和理论的讲授必然会拓宽学生的科研视野,一定程度上影响学生的科研兴趣和科研热情。发现学生能够积极参与到教师的科研中(研究性实验,大学生创新创业训练计划项目,本科毕业设计),也有一些学生参与发表了科研论文,并且有一些学生的选题与氢的制备(例如,电催化剂的制备及水分解性能研究;光催化材料的制备及光催化产氢性能的研究)等内容相关,表明影响了学生对科研方向的选择。

### 3 结语

教学内容是实现高质量教学的关键,不仅仅只是知识的传授,更要体现在对学生能力的培养和

素质的提升,以达到“知识-能力-素质有机融合”要求。建构主义认为“教学内容与学习者之间的核心关系是通过教学内容的学习和研讨,逐渐构建起学习者自己的知识体系、能力体系和情感体系”<sup>[59]</sup>。教学内容体系的构建应凸显完整性和科学性、高阶性和挑战度、前沿性和研究性,体现对学生“学以致用”的能力和“专业与思政同向同行”的素养培养。这有利于综合育人功能的实现。

### 参 考 文 献

- [1] 谢钢, 杨奇, 陈三平, 高胜利. 大学化学, **2012**, 27 (5), 36.
- [2] 李晖, 谭君蕊. 大学化学, **2020**, 35 (8), 75.
- [3] 李阔. 大学化学, **2019**, 34 (12), 35.
- [4] 张淑霞. 陕西师范大学继续教育学报, **2005**, 22 (S1), 261.
- [5] 张文博, 徐运鑫, 颜静, 耿旺昌, 闫毅. 大学化学, **2023**, 38 (7), 6.
- [6] 孙振东, 马丽莎. 物理学进展, **2017**, 37 (6), 193.
- [7] Alonso, J. A.; Retuerto, M.; Sánchez-Benítez, J.; Fernández-Díaz, M. T. *Z. Kristallogr.* **2010**, 225, 225.
- [8] Binder, J. L.; Filby, E. A.; Grubb, A. C. *Nature* **1930**, 126, 11.
- [9] Dias, R. P.; Silvera I. F. *Science* **2017**, 355, 715.
- [10] 刘明坤. 高压下典型主族氢化物与硼化物的结构和性质研究[博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2019.
- [11] 白志国, 郝美丽, 邢文芳. 宁波大学学报(理工版), **2006**, 19 (2), 272.
- [12] 孔超, 韩一丁. 国防科技工业, **2017**, No. 4, 61.
- [13] Eberhardt, N. A.; Guan, H. *Chem. Rev.* **2016**, 116, 8373.
- [14] 赖绍聪. 中国大学教学, **2021**, No. 9, 17.
- [15] Zhang, B.; Sun, L. *Chem. Soc. Rev.* **2019**, 48, 2216.
- [16] 姚怀锁, 李萌, 王双, 孙净雪. 大学化学, **2023**, 38 (7), 51.
- [17] Ding, W.; Gao, H. H.; Gu, Q.; Liu, Z. H. *Int. J. Hydrog. Energy* **2024**, 58, 1044.
- [18] Lv, Y.; Zhang, W.; Gu, Q.; Gao, Z. *Chem. Eur. J.* **2023**, 29, e202202678.
- [19] Saif, B.; Gu, Q.; Yang, P. *Small* **2021**, 17, 2103422.
- [20] Liu, J.; Jia, Q.; Long, J.; Wang, X.; Gao, Z.; Gu, Q. *Appl. Catal. B: Environ.* **2018**, 222, 35.
- [21] Faraji, M.; Yousefi, M.; Yousefzadeh, S.; Zirak, M.; Naseri, N.; Jeon, T. H.; Choi, W.; Moshfegh, A. *Z. Energy Environ. Sci.* **2019**, 12, 59.
- [22] Jia, Q.; Zhang, S.; Gao, Z.; Yang, P.; Gu, Q. *Catal. Sci. Technol.* **2019**, 9, 425.
- [23] Gu, Q.; Gong, X.; Jia, Q.; Liu, J.; Gao, Z.; Wang, X.; Long, J.; Xue, C. *J. Mater. Chem. A* **2017**, 5, 19062.
- [24] Sivula, K.; van de Krol, R. *Nat. Rev. Mater.* **2016**, 1, 15010.
- [25] Yalçın, S. *Int. J. Hydrog. Energy* **1989**, 14, 551.
- [26] Şahin, S.; Şahin, H. M. *Int. J. Hydrog. Energy* **2021**, 46, 28936.
- [27] Kubo, S. *Engineering* **2022**, 16, 16.
- [28] Yildiz, B.; Kazimi, M. S. *Int. J. Hydrog. Energy* **2006**, 31, 77.
- [29] Carrington, A.; McLachlan, A. D. *Introduction to Magnetic Resonance: with Applications to Chemistry and Chemical Physics*; John Wiley and Sons: New York, NY, USA, 1979.
- [30] 裘祖文, 裴奉奎. 核磁共振波谱. 北京: 科学出版社, 1989.
- [31] Mittermaier, A.; Kay, L. E. *Science* **2006**, 312, 224.
- [32] Meyer, B.; Peters, T. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2003**, 42, 864.
- [33] Anderson, C. D. *Phys. Rev.* **1933**, 44, 406.
- [34] Chamberlain, O.; Segrè, E.; Wiegand, C.; Ypsilantis, T. *Phys. Rev.* **1955**, 100, 947.
- [35] Campbell, P. *Nature* **1996**, 379, 101.

- [36] Watson, A. *Science* **1996**, 271, 147.
- [37] Baur, G.; Boero, G.; Brauksiepe, A.; Buzzo, A.; Eyrich, W.; Geyer, R.; Grzonka, D.; Hauffe, J.; Kilian, K.; LoVetere, M.; *et al. Phys. Lett. B* **1996**, 368, 251.
- [38] Andresen, G. B.; Ashkezari, M. D.; Baquero-Ruiz, M.; Bertsche, W.; Bowe, P. D.; Butler, E.; Cesar, C. L.; Chapman, S.; Charlton, M.; Deller, A.; *et al. Nature* **2010**, 468, 673.
- [39] Andresen, G. B.; Bertsche, W.; Bowe, P. D.; Bray, C.; Butler, E.; Cesar, C. L.; Chapman, S.; Charlton, M.; Fajans, J.; Fujiwara, M. C.; *et al. Phys. Lett. B* **2010**, 685, 141.
- [40] Eades, J.; Hughes, R. J.; Zimmermann, C. *Phys. World* **1993**, 6, 44.
- [41] Ahmadi, M.; Alves, B. X. R.; Baker, C. J.; Bertsche, W.; Butler, E.; Capra, A.; Carruth, C.; Cesar, C. L.; Charlton, M.; Cohen, S.; *et al. Nature* **2017**, 541, 506.
- [42] Baker, C. J.; Bertsche, W.; Capra, A.; Carruth, C.; Cesar, C. L.; Charlton, M.; Christensen, A.; Collister, R.; Cridland Mathad, A.; Eriksson, S.; *et al. Nature* **2021**, 592, 35.
- [43] Kothari, R.; Buddhi, D.; Sawhney R. L. *Int. J. Glob. Energy Issues* **2004**, 21, 154.
- [44] 陆建梅, 姜雪峰. *大学化学*, **2019**, 34, 29.
- [45] Renwick, G. M.; Giunarro, C.; Siegel, S. M. *Plant Physiol.* **1964**, 39, 303.
- [46] Dole, M.; Wilson, F. R.; Fife, W. P. *Science* **1975**, 190, 152.
- [47] Kang, K. M.; Kang, Y. N.; Choi, I. B.; Gu, Y.; Kawamura, T.; Toyoda, Y.; Nakao, A. *Med. Gas Res.* **2011**, 1, 1.
- [48] Chen, H.; Sun, Y. P.; Hu, P. F.; Liu, W. W.; Xiang, H. G.; Li, Y.; Yan, R. L.; Su, N.; Ruan, C. P.; Sun, X. J.; *et al. J. Surg. Res.* **2011**, 167, 316.
- [49] Zhan, Y.; Chen, C.; Suzuki, H.; Hu, Q.; Zhi, X.; Zhang, J. H. *Crit. Care Med.* **2012**, 40, 1291.
- [50] Qian, L.; Cao, F.; Cui, J.; Huang, Y.; Zhou, X.; Liu, S.; Cai, J. *Free Radic. Res.* **2010**, 44, 275.
- [51] Song, G.; Li, M.; Sang, H.; Zhang, L.; Li, X.; Yao, S.; Yu, Y.; Zong, C.; Xue, Y.; Qin, S. *J. Lipid Res.* **2013**, 54, 1884.
- [52] Kamimura, N.; Nishimaki, K.; Ohsawa, I.; Ohta, S. *Obesity* **2011**, 19, 1396.
- [53] Kajiyama, S.; Hasegawa, G.; Asano, M.; Hosoda, H.; Fukui, M.; Nakamura, N.; Kitawaki, J.; Imai, S.; Nakano, K.; Ohta, M.; *et al. Nutr. Res.* **2008**, 28, 137.
- [54] Amitani, H.; Asakawa, A.; Cheng, K.; Amitani, M.; Kaimoto, K.; Nakano, M.; Ushikai, M.; Li, Y.; Tsai, M.; Li, J. B.; *et al. PloS One* **2013**, 8, e53913.
- [55] Gharib, B.; Hanna, S.; Abdollahi, O. M. S.; Lepidi, H.; Gardette, B.; Reggi, M. D. *C. R. Acad. Sci., Ser. III* **2001**, 324, 719.
- [56] Liu, Q.; Shen, W. F.; Sun, H. Y.; Fan, D. F.; Nakao, A.; Cai, J. M.; Yan, G.; Zhou, W. P.; Shen, R. X.; Yang, J. M.; *et al. Liver Int.* **2010**, 30, 958.
- [57] Nakashima-Kamimura, N.; Mori, T.; Ohsawa, I.; Asoh, S.; Ohta, S. *Cancer Chemother. Pharmacol.* **2009**, 64, 753.
- [58] Matsushita, T.; Kusakabe, Y.; Kitamura, A.; Okada, S.; Murase, K. *Magn. Reson. Med. Sci.* **2011**, 10, 169.
- [59] 玛丽埃伦·韦默. 以学习者为中心的教学. 洪岗, 译. 杭州: 浙江大学出版社, 2006.