

# 氢能：新能源的“灰犀牛”？

■本报记者 李惠钰

6月26日，我国首部《中国氢能及燃料电池产业白皮书》（以下简称《白皮书》）正式发布。《白皮书》指出，氢能将成为中国能源体系的重要组成部分。

《白皮书》预计，到2050年，氢能在中国能源体系中的占比约为10%，氢气需求量接近6000万吨，年经济产值超过10万亿元；全国加氢站达到1万座以上，交通运输、工业等领域将实现氢能普及应用，燃料电池车产量达到每年520万辆。

不仅在中国，全球现在都在对氢能产业加速布局。然而，就在氢能当红时，当地时间6月10日，位于挪威首都奥斯陆郊外的一座加氢站发生爆炸，并引发连锁反应，目前，丰田和现代汽车都已宣布停止在挪威销售氢燃料电池汽车。

对此，有人将氢能称为最有可能成为新能源革命的“灰犀牛”。因为灰犀牛虽体型笨重，反应迟缓，一旦它向你狂奔而来，却会让你猝不及防，直接被扑倒在地。

那么，面对氢能这头“灰犀牛”，我们做好准备了吗？

## 危险性是可控的

不管从哪个角度看，氢能都很“火”。一方面，氢能作为零排放能源，被视作21世纪最具发展潜力的清洁能源；另一方面，接连爆炸也让氢燃料电池汽车的安全性再成焦点。

那么，氢能来了，安全性会成为掣肘吗？“氢气是可燃性气体，当它与空气混合在4%~74%，可产生燃烧和爆炸；氢气的点火能量极低，仅0.02毫焦。但是，氢在空气中扩散极快，所以在露天环境下，氢比汽油、天然气更安全。”中国工程院院士、中国科学院大连化学物理研究所研究员衣宝廉在接受《中国科学报》采访时说，“天然气与氢有一定相似性，均易燃易爆，密度也均小于空气，运行模式也是高压气态。现在中国有近万座天然气加气站，有近650万辆天然气汽车，均处在安全可控条件下运行。”

对于大众最担忧的氢燃料电池车的安全性，衣宝廉表示，氢储存在高压气瓶内，这种带组合阀（包括安全泄压阀）的碳纤维缠绕气瓶已经过火烧、枪击实验，均不产生爆炸现象。在车内发动机室、乘客室、驾驶员室等均安装氢气报警器，确保安全。另外，燃料电池堆的每节电池的气室内的氢都很少，在几毫升数量级，一旦电池的隔膜破碎，只要系统能及时切断氢源，电池也不会爆炸、起火。

“韩国现代的NEXO燃料电池车在2018年顺利通过欧盟新车安全评鉴协会碰



“如果储氢技术不变革，效率提不上去，成本降不下来，氢能就很难真正成为‘灰犀牛’，因为它太慢了。因此，要找到一个经济、高效、可行的储运模式，是氢能当前发展的关键。”

撞测试，获得碰撞安全5颗星，这也充分说明燃料电池车是安全的。”衣宝廉进一步举例称。

但他也同时强调，与氢打交道一定严防氢气泄漏，即使在露天环境下也是如此。在氢气运输和充装过程中，要检查充装接口和管道接口，确保密封良好，最好还要安装氢气浓度报警器。除严防氢气泄漏外，还要控制氢气流速，避免静电和火源。对压力容器，均要安装安全阀等超压的泄压装置。

“只要严格按规程操作，氢的储运与加氢站都是安全的。”衣宝廉表示，“建立规范标准并严格执行，氢的危险性是可控的，并且小于汽油和天然气。”

## 储运是“卡脖子”环节

实际上，氢能产业链主要包括了三个环节——上游制氢、中游储氢和运氢、下游用氢，而目前整个产业链最大的弱点并不是安全性问题，而是中间的储运环节。作为氢能大规模发展的基础，储氢技术的发展将直接影响氢燃料电池汽车的推进进程。

《白皮书》给出的一组数据对比就十分明显：我国氢能制储、加氢基础设施，燃料

电池及应用三个环节企业占比分别为48.5%、9.7%、41.8%。

实际上，对于加氢站建设来说，早就出现了“外热内冷”的现象。截至2018年底，我国已建成的加氢站仅有23座。加氢站审批流程复杂、盈利能力有限、回报周期长都成为其前行的“拦路虎”。

对此，衣宝廉建议，应通过加强加氢站关键材料、核心部件及技术国产化，进一步降低加氢站建设成本。另外，发展有机化合物（含烯烃、炔键的烃类或杂环化合物）吸氢和脱氢技术，用于氢的储运，降低氢的储运成本和提高储运的安全性。通过上述措施，要将每公斤氢的售价降到40元以下，使得燃料电池车的运行成本与燃油车相当。

而从储氢技术的角度，中国科学院院士、清华大学教授欧阳明高指出：“从储氢瓶开始到加氢站，氢运输、储存等所有的技术都停留在100年前的工艺水平，能效偏低、成本偏高。”

在欧阳明高看来，氢的储运是氢燃料电池汽车现在最大的难点。如果储氢技术不变革，效率提不上去，成本降不下来，氢能就很难真正成为“灰犀牛”，因为它太慢了。因此，要找到一个经济、高效、可行的储运模式，是

氢能当前发展的关键。

## 技术仍需大变革

欧阳明高强调，燃料电池比动力电池的发展大概晚十年，氢能又比燃料电池的发展晚，所以当前最重要的是氢能技术、产业和政策全方位发展。

实际上，除了储氢，制氢技术现在用的也是多年前的工艺。目前国内氢能生产方式主要有煤制氢、天然气制氢和工业副产氢，其中工业副产氢追溯其上游一次能源主要还是煤和天然气。因此，目前国内氢能生产主要还是依靠化石能源，而电解水制氢仅占2%~4%，所占份额十分有限。

在中国科学院院士、中国石油勘探开发研究院副院长邹才能看来，太阳能的电解水制氢可能是未来大规模绿色制氢的最主要方式。衣宝廉则建议最大限度地利用氯碱等工业的副产氢，同时还可以在解决二氧化碳封存或利用的前提下发展劣质煤制氢。

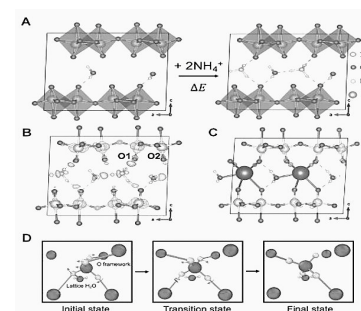
从长远角度，《白皮书》预计，2050年左右氢气年均需求约6000万吨，中国能源结构从传统化石能源为主转向以可再生能源为主的多元格局，可再生能源电解水制氢将成为有效供氢主体，煤制氢配合二氧化碳捕集和封存技术（CCS）、生物制氢和太阳能光催化分解水制氢等技术成为有效补充，整体氢能供给充裕，并可实现千万吨级绿色氢气出口。

而对于氢能燃料电池技术来说，近年来虽然取得了长足的发展，但关键材料、核心部件的批量生产技术尚未形成，催化剂、隔膜、碳纸、空压机、氢气循环泵等仍主要依靠进口，这严重制约了我国氢能燃料电池产业的自主可控发展。

衣宝廉表示，首先要实现燃料电池关键材料和部件的产业化，如电催化剂、质子交换膜、双极板和MEA、空压机、氢气循环泵、70兆巴氢瓶等，降低燃料电池堆和发动机的成本。同时，还要提高燃料电池堆的体积比功率，达到每升升3~4千瓦，减少电堆用料，达到每千瓦的铂用量小于0.2克，大幅度降低燃料电池堆成本。

“总之，通过燃料电池生产线的建立和技术进步，降低燃料电池车的成本，2025~2030年可以实现燃料电池车的运行成本与锂离子电池车持平。”衣宝廉说。与此同时，氢能燃料电池技术标准体系也亟待完善，建立完善材料、部件、系统的有效检测体系，为氢能燃料电池的技术发展、产品应用提供基础保障。

## 进展



研究  
实验过程  
示意图

本报讯 近日，记者从华南理工大学获悉，该校李雪辉课题组与牛津大学教授 Shik Chi Edman Tsang 以及中国科学院过程工程所副研究员何宏艳等人联合攻关，在木质素选择性转化研究领域取得重要进展。相关研究成果发表在《细胞》子刊《化学》期刊上。

目前，绝大多数含碳的大宗化学品，都是以石油、煤等不可再生的化石资源为原料，通过复杂转化过程获得，由此也不可避免地带来温室效应、气候变迁及环境污染等一系列问题。比如，马来酸酐是一类重要的大宗化学品，传统方法是通过苯或丁烷等石油基原料的氧化来生产，就存在诸多安全、环境等问题。

生物质资源具有来源广泛、产量巨大、可再生及其组成元素与当前大宗有机化学品接近等特点，将其高效转化为平台化合物或化学品，被认为是解决上述问题的一个重要途径。

据了解，生物质的主要组分木质素，是世界上储量最为丰富的可再生芳香族化合物，将木质素解聚制备高附加值芳香族化合物的技术备受关注。但是，由于木质素结构复杂，导致其解聚产物收率和选择性偏低，因此如何实现木质素的选择性转化是高效利用木质素及生物质的关键。

为了突破这一技术瓶颈，不同于常规解聚木质素获得芳香化合物的途径，李雪辉课题组提出选

择性断裂木质素的苯环结构并通过原位酯化等强化模式，来实现木质素高值化转化的新策略。随后，研究人员进一步深入研究发现，磷酸铜离子液体中五配位的Cu+结构是该过程的催化活性中心。

此外，课题组及其合作者还创新性地设计了一类新型微乳液反应器体系，基于木质素分子双亲性的结构特点，利用木质素的自表面活性作用模式，通过界面强化效应，实现了木质素的高效选择性解聚及自破乳过程，展示出了良好的工业应用前景。

在此基础上，研究人员进一步通过对木质素主要连接方式的解析，基于木质素主要结构单元和化学键的差异性并结合DFT计算等，设计并构建了系列木质素高效选择性解聚体系，实现了木质素特征化学键和结构单元的选择性断裂与裁剪。

据悉，该研究获得了国家自然科学基金重点项目资助。（张思玮）

相关论文信息：  
[https://www.ccell.com/chem/fulltext/S2451-9294\(19\)30231-1](https://www.ccell.com/chem/fulltext/S2451-9294(19)30231-1)

## 资讯

### 国家能源局就清洁供暖征求意见

本报讯 近日，国家能源局综合司发函，就国家发展改革委和该局起草的《关于

征求意见稿表示，要因地制宜拓展多种清洁供暖方式，保障清洁供暖均衡发展，各地要坚持宜电则电、宜气则气、宜煤则煤、宜热则热，结合资源条件、环保要求、资金实力、采暖习惯等因素，拓宽清洁供暖渠道。在城镇地区，重点发展清洁燃煤集中供暖；在农村地区，重点发展生物质能供暖；在具备条件的城镇和农村地区，按照以供热改原则继续发展“煤改电”“煤改气”，适度扩大地热、太阳能和工业余热供暖面积。

征求意见稿要求，要建立完善清洁取暖长效支持机制，保障清洁取暖工作的持续性。在峰谷分时电价、阶梯电价、电力市场化交易等方面进一步加大工作力度。优化完善“煤改气”门站价格政策，灵活运用市场化交易等方面进一步加大对工作力度。优化完善“煤改气”门站价格政策，灵活运用市场化交易等方面进一步加大工作力度。

征求意见稿强调，要继续坚持民生为重，保障群众安全温暖过冬。在新的清洁供暖设施落实能源供应、安全稳定运行之前，决不允许拆除原有供暖设施。对仍需使用煤炭取暖的用户，切实做好洁净煤供应保障工作。（计红梅）

### 国内首座油氢合建站在广东建成

本报讯 7月1日，中国石化宣布，国内首座油氢合建站在广东建成。这是全国首座集油、氢、电能源供给及连锁便利服务于一体的新型网点。

氢能被视为21世纪最具发展潜力的清洁能源，具有热值高、能量密度大、可储存、可再生、零污染等优势。我国正加快氢能开发力度，国家氢能委员会发布的《中国氢能基础设施》蓝皮书中明确到2030年，国内将建成加氢站1000座，氢燃料电池车达到100万辆。佛山市是广东省氢能发展的示范城市，《佛山市氢能产业发展规划（2018~2030年）》中明确

了“鼓励加氢站与加油站、加气站或充电桩合建”的原则，计划到2030年全市建成57座加氢站。

中国石化广东石油分公司（以下简称“广东石油”）作为全国最大的成品油销售省级企业，拥有2000多座加油站，是广东省成品油供应的主渠道。按照广东石油的部署，年内还将在佛山、云浮建成3座油氢合建站。据介绍，樟坑油氢合建站日加氢能力达到500公斤，主要服务周边使用氢燃料的公交线路及物流运输车队，氢燃料公交车加注一次只需要4分钟，可续航300公里，具有加注效率高、续航里程长、零污染、零碳排等优点。（计红梅）

# 新型储能电池为何“钠”么难

■本报见习记者 程唯加

不管是新能源汽车，还是太阳能、风能等，在人们利用这些可再生能源的同时，拥有优异性能的可充电电池都会成为关注的焦点话题。与商业化的锂离子电池相比，钠基储能电池具有价格低廉和原料易得的显著优势，因此被期待成为下一代新型储能电池。在可再生能源储存中力挽狂澜，以实现绿色大规模的能量储存与转化。

近日，《细胞》子刊《化学》在线刊登了武汉大学化学与分子科学学院教授曹余良研究团队针对高能钠—金属电池的研究进展及发展前景的总结论述。“我们想为未来该领域的研究方向提供一定的思路，同时对于不同钠—金属电池的研究也能促进对其他电池体系的理解及研究。”曹余良说。

## 锂离子电池的“替补队员”

空调遥控器突然没电？用到一半的手电筒无法发光？望着手中这些用量迅速耗竭且无法重复利用的锌锰电池，曹余良索性将几节可充电电池装入槽内。作为一类重要的储能方式，可充电电池在日常生活中发挥着难以替代的作用。

锂离子电池就是其中之一。“当对电池进行充电时，锂离子从含锂化合物正极脱出，经过电解质迁移到负极。而负极的碳材料呈层状结构，到达负极的锂离子嵌入碳层中，嵌入的锂离子越多，充电容量越高。”曹余良告诉《中国科学报》，锂离子电池的比能量高和适用范围广，不仅在便携式电子设备领域占据巨大的市场并逐渐应用在电动汽车领域，在储能方面也极具“后劲”。

但凡事过犹不及，市场需求和成本的快速增长，以及锂资源的不均匀分布，这些也引发了人们对于锂离子电池应用与规模储能领域的担忧。

“例如，一辆电动汽车的动力就相当于几个手机电池的串并联，这些会造成锂和正极材料的用量激增。倘若将其用于储能，会进一步加剧对锂资源的担忧，同时可能更加推高相关材料的价格，增加电力使用环节的负担。”曹余良介绍，在某种程度上发展高效可再生新能源的一个关键环节就是发展储能系统。是否可以发展一种锂离子电池的“替补队员”呢？为此，团队将目光转向了它的“兄弟”——钠。

“钠离子电池和锂离子电池的工作原理相似，而且钠在海洋中无处不在，储量是锂

的几千倍，更容易廉价获得。”曹余良说。不过，由于钠具有更大的离子半径和更高的氧化还原电势，相比于锂离子电池，钠离子电池一般只有较低的能量密度，合适的正负极材料也仍在探索中，商业化应用并不成熟。

## 正负极材料为何“钠”么难

针对钠离子电池能量密度较低的困境，一类低价且高能量的新型钠—金属电池应运而生，当然这离不开各种新型正负极材料的开发和利用。

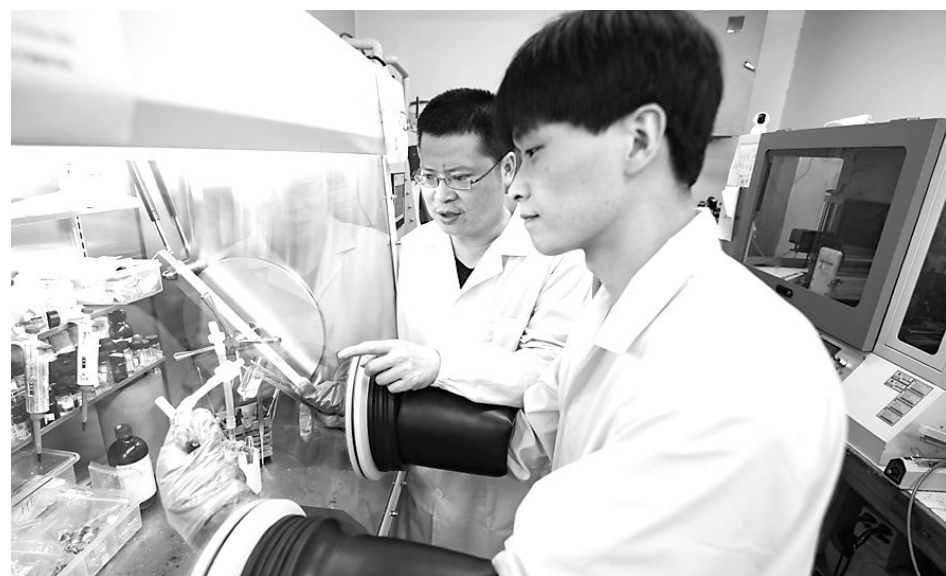
论文作者之一、武汉大学化学与分子科学学院博士王云晓介绍，这些电池体系中，钠金属被直接用作负极，可实现高达1160 mAh g<sup>-1</sup>的比容量和低至-2.714 V相对于标准氢电极电势的氧化还原电势。而丰富的O<sub>2</sub>、温室气体CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>以及单质S均可作为正极材料，从而构成各类钠—金属电池。

“理论上，这些电池体系分别以气态O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>或固态S作为正极活性材料；但实际上，正极材料往往需要负载在多孔碳中才可以表现出较高的电学活性，这些多孔碳基体并不直接参与电化学反应，而是作为电荷转移的介质和活性材料的载体。”王云晓说，正极材料和放电产物的低导电性是首要其冲的难题。“尽管构建高导电性的正极载体可以一定程度上缓解这一问题，但值得注意的是，不同的钠—金属电池可能需要不同的孔尺寸及形貌才能实现较好的电学性能。”

另外，迟缓的反应动力学和较高的过电势也是一大挑战。不过，引入催化剂可能是一种行之有效的提高正极反应活性的方法。此外，降低催化剂尺寸至纳米颗粒、量子点甚至单原子级别可以得到最大化的催化活性中心。

王云晓告诉记者，不同的电池体系对应不同的催化需求。

例如，在Na-O<sub>2</sub>体系中，催化剂的选择可能取决于其对于O<sub>2</sub>/O<sub>2</sub><sup>-</sup>的亲合性以及对电极界面O<sub>2</sub><sup>-</sup>中间体的稳定作用，如贵金属和过渡金属氧化物等；在Na-CO<sub>2</sub>电池体系中，目前仅报道了一种双金属氧化物具有一定的催化作用，可有效促进稳定放电产物Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>发生可逆电化学反应的催化剂仍在寻找中；在室温Na-S电池中，理想的催化剂应具有有良好的亲硫性，这样不仅可以与化学键合作用实现对多硫化物的固定作用，



曹余良(左一)指导研究生实验。

还可以促进不同硫物种之间转化的动力学过程。

“钠负极的钝化限制了电池的放电容量，同时充放电过程中的过电势降低了电池的库伦效率。在这一方面，我们仍需要更多的基础研究来揭示负极反应过程。另外，行之有效的抑制钠枝晶的形成以及保护高反应活性的钠金属电极的方法也仍待探究。”王云晓说，正极和钠负极的电解液相容性的全局考虑也至关重要。目前关于钠金属负极和不同正极之间的研究是相对独立进行的，而全电池的研究相对缺乏。

## 商业化前景尚不明朗

除此普遍的正负极材料问题，不同的钠—金属电池各自也存在不同的挑战，这为其商业化应用蒙上了一层阴影。

曹余良介绍，对于Na-O<sub>2</sub>电池，其反应机理尚不明确。为得到更低的过电势和更高的循环寿命，有效实现Na-O<sub>2</sub>为主要反应产物的方法仍待研究。此外，对于Na-CO<sub>2</sub>电池的研究也还十分有限，其较低的反应可逆性及较差的循环性仍亟待解决。“未来的研究可能集中在气态CO<sub>2</sub>正极的设计和高压电电解液的探索上。”

基于目前对Na-SO<sub>2</sub>电池的研究结果，

曹余良表示，NaAlCl<sub>4</sub>·2SO<sub>2</sub>无机电解质的使用对于实现Na-SO<sub>2</sub>电池的长循环、稳定性和安全性至关重要。研究可替代不稳定的钠金属的负极材料、反应机制如充放电过程中较大的电压滞后以及充电过程中具体的反应路径、新的有机电解质体系，特别是凝胶和固态电解质的研究对Na-SO<sub>2</sub>电池的发展都是亟待解决的问题。

幸运的是，对于室温钠硫电池，电学性能已取得突破性进展，然而其作用机制也尚不明确。“硫电极在不同电解液体系中的电化学行为研究十分匮乏，尤其在醚类和碳酸酯类电解液中的表现也仍缺乏令人信服的解释。因此，探索反应过程中复杂的反应机理的原位检测技术十分必要。”他说。

曹余良认为，尽管钠—金属电池的商业化前景尚不明朗，但其高能量密度及低成本优势在钠离子电池家族中仍表现出较强的竞争力。未来团队将着力开展金属钠负极的保护和优化。对于正极材料，研究将重点放在空气和固态硫电极上，同时发展非热电解液体系，提升金属钠电池的安全性。

“我们希望在钠空气和钠硫电池方向取得突破性进展，为新型储能电池的未来市场提供更多有利选择。”曹余良说。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1016/j.chempr.2019.05.026>