

蒋利军：发展中的固态储氢材料



当前我国正面临着能源安全和碳排放两大挑战，必须调整当前过度依赖化石能源的能源结构，向着低碳、清洁、智能化的方向发展。

将氢能纳入到我国整个能源体系中，有助于改善我国的高碳能源结构，保障能源安全。其应用不仅是备受关注的燃料电池汽车，还应包括氢能发电、工业应用及其建筑应用等。

国家有色金属新能源材料与制品工程技术研究中心主任蒋利军认为，在整个氢能供应链中，高密度安全储运氢已是主要的瓶颈问题。采用固态储氢既可以大幅提高体积储氢密度，又可以提高储运氢的安全性。可为解决人们最关心的氢能高密度储存和安全应用这两个问题，提供重要的解决方案。

密度高又安全的固态储氢

“固态储氢相对于高压气态和液态储氢，具有体积储氢密度高、工作压力低、安全性能好等优势。”蒋利军说，如与燃料电池一体化集成，可充分利用燃料电池余热，吸热放氢，降低系统换热用能，使得整个燃料电池动力系统的能源效率得以提高。

氢具有最高的重量比能量，但其体积能量密度很低。因此为将氢能推向实用，需大幅提高氢能的体积能量密度。

蒋利军介绍，目前一般采用高压压缩、液化或固化的方式，提高体积储氢密度。在这三种方式中，固态储氢具有最高的体积储氢密度。

因此，采用固态储氢是提高体积储氢密度的最有效途径。这是由其本征的储氢特性所决定的，氢气先在其表面催化分解为氢原子，氢原子再扩散进入到材料晶格内部空隙中，形成金属氢化物，因而其储氢密度比液氢还高。

此外，虽然氢气具有容易向上逃逸、迅速扩散的安全优势，但也依然存在着一些固有的安全隐患，如其粘度最小，易泄漏，同时氢气燃烧浓度极限范围宽，当氢气出现泄漏并局部聚集，如遇火源，易发生燃爆。

高压储氢存在着高压泄漏、液氢储氢存在着蒸发泄漏等安全隐患，固态储氢可做到常温常压储氢，储氢容器易密封，并且当发生突发事件，出现氢气泄漏时，由于固态储氢放氢需吸收热量，因而可以自控式地降低氢气泄漏速度和泄漏量，为采取安全措施赢得时间，从而提高了储氢装置的使用安全性。

固态储氢材料成果丰硕

蒋利军告诉《中国科学报》，近年来，国际上在固态储氢应用和新型储氢材料的研发方面取得了诸多进展。

成熟的储氢材料已在热电联供、储能、摩托车载燃料电池等多个领域得到应用。德国HDW公司将开发的TiFe系固态储氢系统用于燃料电池AIP潜艇中，取得了固态储氢迄今为止最成功的商业应用。

我国近年固态储氢应用也取得了较大进展。TiMn系固态车储氢系统已成功应用于燃料电池客车中，不需高压加氢站，在5MPa氢压下15分钟左右即可充满氢，已累计运行1.5万公里。40m³固态储氢系统与5kW燃料电池系统成功耦合，作为通信基站备用电源，可持续运行16小时以上。小型储氢罐已批量用于卫星氢原子钟中，为其提供了安全氢源。并已形成了3项固态储氢相关国家标准。

据蒋利军介绍，尽管上述储氢材料技术已较为成熟，并得到了实际应用，但其重量储氢率仍然偏低，难以满足车载储氢的技术要求，需要更高重量储氢率的新型储氢材料。这些高容量储氢材料多为轻元素形成的离子键、共价键氢化物，但键合力太强，放氢温度过高。

蒋利军说，对于这些新型高容量储氢材料，目前主要通过纳米化、复合化和催化等方法，来调控其热力学、动力学和循环寿命性能。近年也取得了一些重要进展。

如韩国汉阳大学制备出了三维碳材料纳米限域和过渡金属修饰的MgH₂纳米复合材料，可在80℃放出4wt%的氢气，180℃下放氢量可达6.55wt%，并具有较好的吸放氢循环性能；澳大利亚新南威尔士大学制备出具有核壳结构的镍催化氨硼烷纳米储氢材料，使原来不可逆储氢的氨硼烷具有了部分可逆储氢性能。

我国近期合成的N-Nb₂O₅掺杂的MgH₂起始放氢温度也已降至170℃。但是总体来看，这些材料仍存在热力学稳定性过高、储氢量偏低、可逆性尚差等问题。

市场为导向，走出象牙塔

尽管国内外固态储氢材料的研究成果不断，蒋利军仍认为这类材料的综合性能还不能完全满足燃料电池动力系统的应用要求，特别是燃料电池乘用车车载储氢的要求。

成熟体系的储氢材料重量储氢率偏低，这些材料包括稀土系、Ti系和TiV固溶体材料，其中最高的TiV固溶体材料可逆储氢量也仅有2.6wt%。为提高重量储氢率，开发了一系列的配位氢化物、金属氨基氢化物、金属氨硼烷等轻质高容量储氢材料，虽然具有较高的重量储氢率，但这些材料仍存在着吸放氢温度高、吸放氢速度慢、可逆吸放氢循环性能差、低成本规模化制备技术欠缺等问题。

此外，储氢材料成本偏高也是制约其发展的一个重要因素。一方面，受有色金属原料价格波动影响，储氢材料的原料成本变动大；另一方面，这些材料应用的市场还较小，制造批量小，成品率低，导致其制造成本也较高。

蒋利军说，要解决这些问题，就要让研究走出象牙塔，直接面向市场需求，与最终用户紧密合作，开展实用型储氢新材料开发、配套工程化和应用技术开发。

第一，加快成熟储氢材料的应用。要认真分析细分市场，在现有成熟的储氢材料中筛选出性价比最合适的配对材料，开展工程化和应用技术研究，使成熟的储氢材料能尽快在特定的细分市场中得到很好的应用。

第二，以产品为导向，开发高容量储氢新材料，以满足综合性能为导引，避免片面追求高容量，做到有的放矢。

第三，将成本核算引入到研发阶段，研发时不仅要追求高性能，同时要充分考虑材料成本和批量制造成本，找到原材料成本低、批量制备技术易于控制的材料和技术。

第四，由于储氢系统涉及氢和压力容器问题，使用安全至关重要，必须要以相关标准规范为保障，目前储氢材料和

系统标准规范及安全评价体系尚待完善，相关安全评价装备和检测基地也不完备，需要从宏观层面加以推动。

减少碳排放，必须发展高比例可再生能源，但可再生能源在时空间是不稳定的，需要发展氢储能等大规模储能技术，通过储能的手段，适时调配能源，将波动较大的可再生能源变成高品质能源。

蒋利军认为，氢能既可以大规模储存，又可以跨区域跨季节的调度，而且使用多样化，使整个能源体系变得更高效率、更柔性。氢能将通过电氢协同，成为整个能源结构中的桥梁和纽带，与太阳能、风能等清洁能源一起，构成清洁的、可持续的能源体系。

蒋利军对固态储氢的经济性很有信心。他认为，内蒙地区风能、稀土资源丰富，但目前弃风严重，镧铈稀土积压严重，而稀土储氢材料恰恰大量使用了镧铈元素。如能借机在当地发展风电制氢、稀土系固态储氢，则能使这两种优势资源协同发展，走出一条有中国特色的氢能发展之路。（作者：池涵）

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/news/153695.html>