

稀土系储氢合金和镍氢电池产业现状及 标准化体系建设研究

吉力强^{1,2*}, 赵瑞霞^{1,2}, 王东杰³, 景永强^{1,2}, 徐 津^{1,2}

- (1. 内蒙古稀奥科贮氢合金有限公司, 内蒙古 包头 014030;
2. 中国北方稀土(集团)高科技股份有限公司, 内蒙古 包头 014030;
3. 包头稀土研究院, 内蒙古 包头 014030)

摘 要: 为了使稀土资源得到合理而充分地利用, 对中国国内部分储氢合金和镍氢电池的生产企业进行了调研, 了解了稀土系储氢合金和镍氢电池的产业化情况、产能情况以及市场现状和发展趋势等, 并对稀土系储氢合金和镍氢电池行业存在的问题进行了分析, 针对性地提出了解决思路。同时, 从标准化的角度明确了制约储氢合金和镍氢电池产业发展的障碍, 提出了规范行业发展所需的标准体系框架, 对整个储氢合金和镍氢电池产业链的健康、可持续发展具有重要意义。

关键词: 稀土系储氢合金; 镍氢电池; 标准化体系; 新能源

中图分类号: TG139.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0277(2018)01-0149-10

目前, 世界已经进入了新能源时代, 常规的化石能源——煤、石油和天然气等日益枯竭并且不可再生, 所以如何发展和利用新能源将会关系到人类社会的长远发展。众所周知, 在新能源中氢能具有得天独厚的优势, 它环境友好, 比热量大, 而且是地球上储量最丰富的资源。氢能的开发利用是解决人类的能源以及环境问题最有效、最可行的途径之一。氢能的制备技术已经发展成熟, 目前氢能应用的瓶颈是如何储存和运输, 因此如何使储氢成本进一步降低, 储氢密度进一步提高, 并且使储氢介质

能够以较快的速度吸放氢是亟需解决的关键问题。储氢技术有多种, 常见的有高压储氢、低温储氢以及在 20 世纪后期发展起来的固态储氢等。高压储氢和低温储氢的成本较高, 而且过程中会消耗大量能源, 不利于氢气的储存和运输。固态储氢与前两种储氢方式不同, 它储氢密度大、安全性好, 从而成为新一代储氢技术^[1~4]。稀土系储氢合金就是能够使该项技术实现产业化应用的关键材料。截止目前, 稀土系储氢合金已经实现产业化应用 20 多年, 但在新能源时代到来的今天, 它作为氢能利用的储

收稿日期: 2017-03-11

基金项目: 内蒙古自治区稀标委基金项目

作者简介: 吉力强(1981-), 男, 河北藁城人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要研究方向为贮氢材料及其应用。

* 通讯联系人(E-mail: jilq1231@126.com)

DOI: 10.16533/J.CNKI.15-1099/TF.201801020

氢载体和重要功能材料,仍然具有广阔的发展空间和 应用前景,尤其是在镍氢电池被用作新能源汽车的重要动力源后,整个稀土系贮氢合金和镍氢电池行业又面临着一个重要的发展机遇。另外,发展稀土系贮氢合金和镍氢电池行业对稀土资源的平衡利用也具有重要意义。中国作为一个稀土大国,如何合理充分的利用好丰富的稀土资源,发展高性价比的稀土应用产品是当务之急。稀土系储氢合金和镍氢电池产业采用的稀土原料正是储量最为丰富的镧和铈金属,所以无论从新能源需求方面还是从资源优势方面,都有必要对稀土系储氢合金和镍氢电池行业进行长远战略规划,构建完善的标准化体系框架,促进稀土系储氢合金和镍氢电池行业健康、可持续发展。

1 国内外稀土系储氢合金和镍氢电池的产业化现状

目前,世界上批量生产稀土系储氢合金的企业主要集中在 中国和日本。中国国内的稀土系储氢合金主要产品为 LaNi_5 型,日本生产的稀土系储氢合金以 A_2B_7 型为主,全世界稀土系储氢合金的总

产量为 30000 吨/年左右。国内生产稀土系储氢合金的企业竞争异常激烈,各个企业产品的种类基本类似。21 世纪以来,中国稀土系储氢合金和镍氢电池的产量不断增长,并在 2005 年超过了日本。目前,中国是世界上最大的稀土系储氢合金生产国,但产品竞争力仍不及日本,产品档次以中低端为主,产品价格也比日本相去甚远。这主要是由于 AB_5 型储氢合金在性能上比 A_2B_7 型稍差,而国内在生产 A_2B_7 型储氢合金产品方面的工艺还不够成熟稳定,成本较高。国内生产稀土系储氢合金的企业有 10 余家,产品以 AB_5 型为主,各家企业的技术水平和工艺水平基本接近,产能约 2 万吨(见表 1)。鞍山鑫普公司生产的储氢合金粉技术指标相对较好,最早在德国瓦尔塔、日本松下、香港 GP 等世界著名大型电池企业通过认证。另外,内蒙古稀奥科储氢合金有限公司是中国国内最早生产稀土系储氢合金的企业之一,公司全套进口美国生产设备和检测设备,并购买了相关的专利和技术,产品在国内具有广泛的市场。厦门钨业是储氢合金企业的后起之秀,但发展极为迅速,产品质量稳定,是目前国内最大的储氢合金生产企业^[5]。

表 1 国内合金粉厂家汇总表
Table 1 Enterprise that produce hydrogen storage alloy powders

Number	Manufacturers	Annual production capacity/t
1	Xiamen Tungsten Co., Ltd. (XTC)	4500
2	Sihui Doublewin Industrial Co., Ltd.	4000
3	Anshan Xinpu New Material Co., Ltd.	3000
4	Jiangxi Tungsten Holding Group Co., Ltd.	2000
5	Inner Mongolia Rare Earth Ovonic Metal Hydride Co.Ltd	1500
6	Weishan Steel Rare Earth Materials Co., Ltd.	1500
7	Baotou Sander Battery Material Co., Ltd.	1200
8	Gansu Rare Earth Co., Ltd.	1000
9	Ningbo Shenjiang Technology Co., Ltd.	800
10	Zhongshan Tianjiao Rare Earth Materials Co., Ltd.	500
Total	—	20000

镍氢电池是稀土系储氢合金的应用产品,最早在日本实现商业化生产,中国的镍氢电池研究起步

也较早,当时,国家科委十分重视该技术的发展,并将其作为“八五”期间的重点研究方向,投入大量的人力、物力和资金开展“金属氢化物及其在镍氢电池中的应用研究”的课题,逐步将 LaNi_5 型储氢合金粉在镍氢电池领域的应用推向产业化。早期的镍氢电池,是以镍镉电池的替代品身份出现,由于其安全性、稳定性、环保性特点突出,迅速占领了便携式电器、电动工具、应急电源等市场,特别是镍氢混合动力汽车电池的诞生,将镍氢电池的发展推向了高峰。目前,镍氢电池正在面临着锂离子电池、新型燃料电池等多方面的挑战,但是在传统电动工具、混合动力汽车等领域仍占有绝对优势。20 世纪 90 年代后期,镍氢电池技术日益成熟,并最早在日本开始用于混合动力汽车(HEV),目前商业化的 HEV 大多采用镍氢电池技术。目前,全球镍氢电池 70% 以上在中国生产,中国已成为全球先进电池及电池材料的生产中心。

2 稀土系储氢合金和镍氢电池产业存在的问题与解决思路

2.1 存在的问题分析

稀土系储氢合金作为 20 世纪 60 年代末发现的新材料,并于 80 年代末期开始成功应用在金属氢化物-镍电池(后简称镍氢电池)上。 AB_5 型储氢合金是最早实现产业化的储氢合金,经过近半个世纪的发展,应用技术已经相当成熟。但 AB_5 型储氢合金由于受到单一 CaCu_5 型结构的限制,产品本身的储氢性能已经接近理论值,很难再有实质性的提高^[6]。这造成目前中国国内批量生产的 AB_5 型储氢合金性能接近,同质化严重,而且从表 1 中的数据也可以看出,中国国内目前储氢合金的产能已达 20000 吨,而市场对稀土系储氢合金的总需求量预计在 8000 吨左右,产能已严重过剩,再加上 LaNi_5 型储氢合金的技术门槛低,企业利润低,回款慢,发展前景很不乐观,由此造成各个生产企业的产品处在以价格竞争为主的恶性竞争中。

镍氢电池行业也存在类似问题。世界上镍氢

电池生产企业也主要集中在中国和日本,但中国企业的产品档次不及日本。2011 年国内具有一定规模的镍氢电池生产企业为 194 家,其中广东 144 家、河南 14 家、上海 6 家、湖南 3 家等。整体上看,全国 194 家企业中员工人数 3000 以上的只有 10 家,占 5%,如超霸、豪鹏、比亚迪、科力远等;人员总数 1000 人以上 3000 人以下企业 41 家,占 21%;人员 1000 人以下,200 人以下 80 家,占 40%;200 人以下 68 家,占 35%。可以看出,多数镍氢电池企业为小企业,资金力量薄弱,抗风险能力差,缺乏竞争力。而且生产自动化程度不高,属于劳动力密集型企业,多数工序需要工人手工操作,产品质量保障性差,产品市场也以中低端的小电池为主。电池型号和种类繁多,所用的原材料层次不齐,市场秩序相对混乱。与之相反,日本镍氢电池企业的产品以大电池为主,占据了大部分高端镍氢电池市场。2014 年,全球镍氢电池产量中有 70% 以上是在中国制造的,但在性价比相对较高的大型镍氢电池市场,日本则占据了绝大多数的份额。另外,由于锂电池的冲击和挤压,镍氢电池行业的发展更是举步维艰,像联科电池公司、兴泰祥电池公司和新力电池公司等相继倒闭,规模较大的生产企业盈利能力也大幅减弱^[7]。

2.2 解决思路与建议

从上述对稀土系储氢合金和镍氢电池产业现状的分析看,目前中国是稀土系储氢合金和镍氢电池的产业大国,但还不是产业强国。要摆脱目前的产业困境,必须从以下两个方面采取有效措施来共同促进中国稀土系储氢合金和镍氢电池产业的健康发展。

2.2.1 研发自主知识产权的新型储氢合金

由于目前产业化的稀土系储氢合金存在结构上的局限,所以研究开发具有非 CaCu_5 型晶体结构的新型稀土系储氢合金成为一个重要研究方向。自 2005 年以来, A_2B_7 型储氢合金的研究取得了突飞猛进的进展,它是计量比介于 AB_5 和 AB_2 储氢合金之间新结构储氢合金。 A_2B_7 型储氢合金具有超

堆垛结构,与传统 AB_5 型合金相比结构更加复杂,工艺控制水平要求更高,但它具有更好的低自放电性能和更高的储氢容量,因此国内外一直十分关注该类型合金的发展^[8,9]。一般而言, A_2B_7 型储氢合金的 A 侧主要由稀土元素和镁元素组成,B 侧一般为过渡族金属元素,组成结构一般为 RE-Mg-Ni。最初制约该类型合金产业化应用的主要是循环寿命问题,但是随着研究深入,通过元素替代和热处理工艺改善等措施,基本解决了循环寿命差这一技术瓶颈,使该合金逐步开始在镍氢电池领域应用,因此它也是当今储氢材料领域的研究热点^[10~12]。后期研究发现,Co 元素的添加对改善 La-Mg-Ni 基 A_2B_7 型储氢合金的电化学容量是有效的,添加 Co 元素的 A_2B_7 型储氢合金最大容量可以达到 410 mAh/g^[13]。除了添加 Co 以外,采用 Fe 替代部分 Ni 也会对 La-Mg-Ni 基合金性能产生重要影响,但影响机制较为复杂,随着 Fe 含量的增加,合金电极的最大放电量及循环寿命呈现先增后减的趋势^[14]。另外,据有关研究报道,镍含量的变化对 $La_{0.65}Mg_{0.35}Ni_x$ ($x = 3.0 \sim 3.5$) 的放电特性具有以下影响^[15]:合金的放电容量和抗腐蚀性与 Ni 含量的增加成反比。目前,改善 A_2B_7 型循环寿命最常见的一种方式用 Nd 部分替代 La^[16],但由于 Nd 原料的价格昂贵,所以后续又采用相对低廉的 Sm 替代了 Nd。从微观相结构看,Nd 元素的添加提高了合金中 Ce_2Ni_7 相的含量,使合金内部的杂相更少,从而改善了合金的循环寿命^[17]。

目前中国一些储氢合金生产企业积极试制 RE-Mg-Ni 系储氢合金,已取得了重要的进展。如包头三德电池材料有限公司在材料制备工艺方面有所突破,已批量生产该系合金;厦门钨业股份有限公司作为目前国内具有较先进技术的储氢合金公司,也已开始小规模生产该类型合金并进入试验阶段。目前存在的主要问题是, A_2B_7 型储氢合金中含有大量昂贵的稀土金属 Nd,导致其性价比严重降低,难以适应市场需求。在这种背景下,从电池厂家到市场都迫切需求开发一种性能与 A_2B_7 型储氢合金接

近而成本较低的替代产品。为了满足这种需求,采用廉价金属替代及改进合金制备工艺是达成目标的关键。此外,具有超堆垛结构的 A_2B_7 型储氢合金在制造过程中容易形成多相^[18~20],导致材料的稳定性下降;材料组成中含有低蒸汽压的镁元素,使得成分难以保证且存在安全隐患。因此必需开发新的产业化工艺技术。

2.2.2 构建标准化体系,促进行业健康可持续发展

除了开发自主产权的新产品以外,如何规范行业内现有的发展和竞争机制也至关重要,所以必须加快稀土系储氢合金和镍氢电池行业的标准化体系建设。标准对产品、对产业乃至对整个行业的规范指导作用是毋庸置疑的。构建标准化体系不但有利于规范市场贸易,而且它还具有显著的社会效益。符合市场需求、科学、合理的标准可以促进国家资源的优化配置,提高资源利用率。中国作为稀土大国,标准化建设对稀土行业的规范指导作用尤为重要。稀土系储氢合金和镍氢电池虽然实现产业化多年,尤其是镍氢电池在新能源汽车领域实现应用后,稀土系储氢合金和镍氢电池未来将具有更广阔的市场。但是,截止目前中国还没有一套完整的关于稀土系储氢合金和镍氢电池的产业化标准体系。因此造成目前行业内出现了如下的问题:企业多数生产是用于小电池中低档储氢合金材料,同质化严重;客户以中小企业为主,数量众多但规模较小,抗风险能力差;客户回款周期较长,而且多数客户的信誉较差,造成了很大的资金风险。这种情况不仅影响了稀土行业的发展,也降低了中国稀土产品的国际竞争力。上面也提到,中国无论在稀土系储氢合金还是在镍氢电池领域,生产水平跟日本相比还有很大的差距,要缩小这种差距,单独靠某个企业的努力是不够的,必须从行业角度进行规划和规范,跳出国内储氢合金企业恶性竞争局面。而且稀土系储氢合金和镍氢电池是一个紧密连接的产业链,储氢合金生产企业和镍氢电池生产企业必须依靠技术联合,协同发展。这就需要构建科学、

合理、符合行业实际发展状况的标准化体系框架,以此为基础促进稀土储氢材料和镍氢电池行业的健康可持续发展^[21]。

3 稀土系储氢合金和镍氢电池行业标准体系的构建

3.1 现有标准体系建设情况和企业采标情况

为了尽快转变稀土系储氢合金和镍氢电池行业产品种类繁多、层次不齐和市场秩序相对混乱的现状,必须尽快构建完善的标准化体系。2008 年 5 月 13 日国家标准化委员会正式批准成立了《全国标准化技术委员会储氢材料工作组》。2008 年 7 月 29 日到 31 日,全国稀标委储氢合金材料工作组在

包头召开了首次会议,确定了工作组未来的工作规划,并初步提出了稀土系储氢合金和镍氢电池标准体系框架。工作组计划未来几年内在储氢合金应用领域制定 2~3 种产品标准和 3~5 个相关性能检测方法标准,主要包括《金属氢化物-镍电池负极用稀土系 AB₅ 型储氢合金粉》、《储氢合金的压力-组成等温线(PCI)的测试方法》和《金属氢化物-镍电池负极用贮氢合金负极材料电化学循环寿命测试方法》。目前,前两项标准已经顺利完成起草并发布实施。《金属氢化物-镍电池负极用储氢合金电化学循环寿命测试方法》已经作为十三五计划申报起草。截止目前,稀土系 AB₅ 型储氢合金和镍氢电池的相关标准建设情况见表 2。

表 2 稀土系 AB₅ 型储氢合金和镍氢电池的相关标准建设情况表
Table 2 Standards of RE-base AB₅ type hydrogen storage alloy and MH-Ni batteries

Category	Standard name	Standard number	Implementation date
Standards of hydrogen storage alloy	RE-base AB ₅ hydrogen storage powder used in negative electrodes of nickel-metal hydride batteries	GB/T26413-2010	2011-11-01
	Method for measuring the discharge capacity of the hydrogen storage alloys used as the negative electrode of the metal hydride-nickel battery	YS/T484-2005	2005-12-01
	RE-Mg-Ni-base superlattice hydrogen storage powder used in negative electrodes of nickel-metal hydride batteries	GB/T31963-2015	2016-08-01
	Method for measuring pressure-composition isotherms of RE-based AB ₅ hydrogen storage alloys	GB/T29918-2013	2014-08-01
Standards of MH-Ni battery	Cycle life requirements and test methods for traction battery of electric vehicle	GB/T 31484-2015	2015-05-15
	Safety requirements and test methods for traction battery of electric vehicle	GB/T 31485-2015	2015-05-15
	Electrical performance requirements and test methods for traction battery of electric vehicle	GB/T 31486-2015	2015-05-15
	Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes	GB/T22084. 2-2008/	2008-11-01
	Portable sealed rechargeable single cells-Part 2: Nickel-metal hydride	IEC61951-2:2003	
	Nickle-metal hydride batteries for electric vehicles	QC/T 744-2006	2006-08-01

储氢合金和镍氢电池的相关国家标准发布实施以来,对指导和规范行业产品贸易和产品性能测试起到了积极的作用,有效减少了贸易摩擦,提高了产品性能测试的可靠性和一致性。但稀土系储氢合金由于组成成分较多,产品性能差异很大,考虑到通用性,国家标准的技术指标的范围和要求相对较宽,所以目

前的采标率并不高,多数企业通过在国家标准的基础上制定适合自身的企业标准来加强产品质量控制。而镍氢电池企业的采标率相对较高,一方面是由于镍氢电池是终端应用产品,客户对国家标准的认可度较高,尤其是镍氢电池应用于电动汽车以来,符合国家标准是市场准入的门槛,所以各企业需严格按照国家

标准要求进行生产和测试。

3.2 标准化建设存在的问题与解决思路

3.2.1 稀土系储氢合金行业存在的问题和解决思路

目前市场上在售的储氢合金成分和种类繁多,每家企业的生产工艺也不尽相同,而且不同客户对产品的要求差异大,制定统一的标准难度很大,只能靠供需双方协商确定。而且合金粉的激光粒度指标受测试设备的不同的影响较大,造成标准中指标控制范围较宽。要解决以上问题,一是要规避产品组成而重点关注产品性能,通过产品性能来界定产品牌号和类型。二是必须借助行业协会的力量,对行业内的评价指标进行统一的指导和规范。

目前无镨钕的储氢合金已经成为稀土型 AB₅ 型储氢合金的主流产品,镧铈金属替代了混合稀土金属(La、Ce、Pr、Nd)成为主要的稀土原料。而现行的 GB/T 4153-2008 标准将两组元的镧铈混合金属和四组元的镧铈镨钕混合金属制定在同一个标准中,与行业的习惯界定不同,影响了采标率。另外,标准中对镧铈配比的限制范围较窄,如果严格按照此标准执行,市场上相当一部分产品将不合格,然而下游用户在使用该类产品时,只要求稀土生产厂家能够保证同一批次的产品镧铈配比稳定且准确,对镧铈配比的范围并无太高要求。所以,随着镧铈金属的使用量不断扩大,应该跟镨钕金属一样制定单独的标准,适当放宽镧铈配比的范围,并增加评价同一批次产品主成分稳定性的块差标准。

新能源汽车作为十三五重点支持的产业,今后将会有突飞猛进的发展,车用镍氢动力电池负极材料将是未来储氢合金市场最有潜力的增长点。为了给镍氢电池提供可靠的性能保障,有必要建立车用镍氢动力电池负极材料产品标准,对车用镍氢电池负极材料的物理及电化学性能要求作出明确规定,推动稀土→储氢合金→镍氢电池→新能源汽车产业链的发展壮大。

3.2.2 镍氢电池行业存在的问题与解决思路

现有适用于容量型电池的国标 GB/T 22084-

2008/IEC 61951-2:2003 推行时间较早,其中对电池充放电的一些规定较为不适用于镍氢电池行业现状。新国标 GB/T 31484-2015、GB/T 31485-2015、GB/T 31486-2015 是针对电动汽车用动力蓄电池性能要求的,更为偏重于功率型电池性能方面,与原行标 QC/T 744-2006 相比改动较大,专业性较强,对于一些基础电池应用领域,略有不适用。为了促进镍氢电池的应用和发展,应该根据电池的使用领域进行细分,针对不同用途的镍氢电池,有不同的产品牌号或标准。例如参照现有电动汽车用动力蓄电池性能要求,可以细化为低温用镍氢电池产品标准和矿山用镍氢电池产品标准等独立的产品标准。

3.3 拟构建的标准体系框架

构建标准化体系必须符合企业和行业实际需求,所以需要首先应整理现有稀土系储氢合金和镍氢电池标准体系。由于以往的标准制定多数是单独的,有的是产品标准,有的是方法标准,而且方法标准往往不能有效支撑产品标准,使得一些标准混乱。全国稀土标准化技术委员会(SAC/TC229)一直十分重视储氢合金和镍氢电池产业的发展状况,尤其是从稀标委储氢材料工作组成立以来,紧密结合中国稀土行业实际情况,不断完善了稀土系储氢合金的标准化体系,并初步构建了稀土系储氢合金行业的标准体系框架(见图1)。其中包括了储氢合金原材料、稀土系储氢合金产品和分析检测方法等标准分类。而且,已经发布的稀土系 AB₅ 型储氢合金和稀土系超晶格储氢合金产品标准在支持储氢合金产业化、企业 and 产品准入和规范生产等工作中都发挥了重要的作用。

另外,镍氢电池作为稀土系储氢合金的下游产业,其市场需求和发展状况直接影响到储氢合金产业的发展。为了从源头上解决产业链的发展问题,必须重点研究和建立镍氢电池的标准化体系框架,使镍氢电池的优势发挥得更加充分,镍氢电池的产业化生产更加规范。根据目前镍氢电池的产业化状况,在充分研究、分析和比较的基础上,综合考虑

中国镍氢电池产业的技术发展现状,遵循标准体系编制的系统性原则、先进性原则、地方性原则、实用性原则和科学性原则,初步确定的镍氢电池产业标准体系框架如图 2 所示。体系框架分为原材料标准、产品标准和测试方法标准三大块,并给出了需要进一步建设的标准化体系内容。

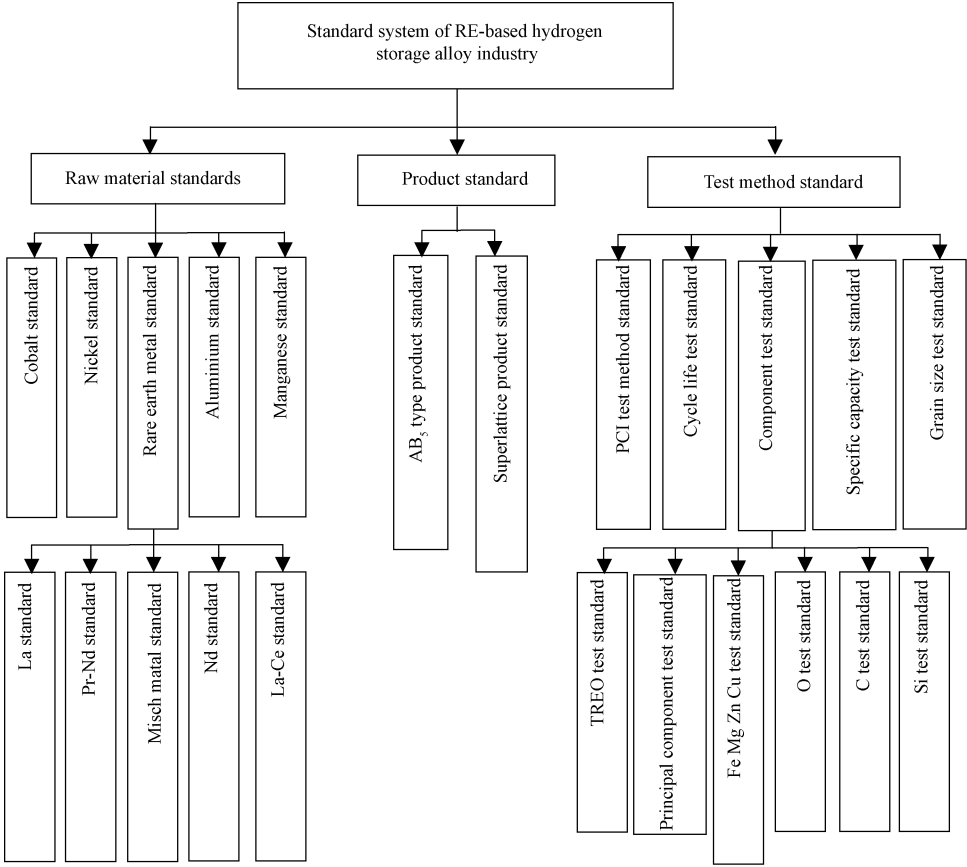


图 1 稀土系储氢合金产业标准体系框架图

Fig. 1 The standard system of RE-base AB₅ type hydrogen storage alloy

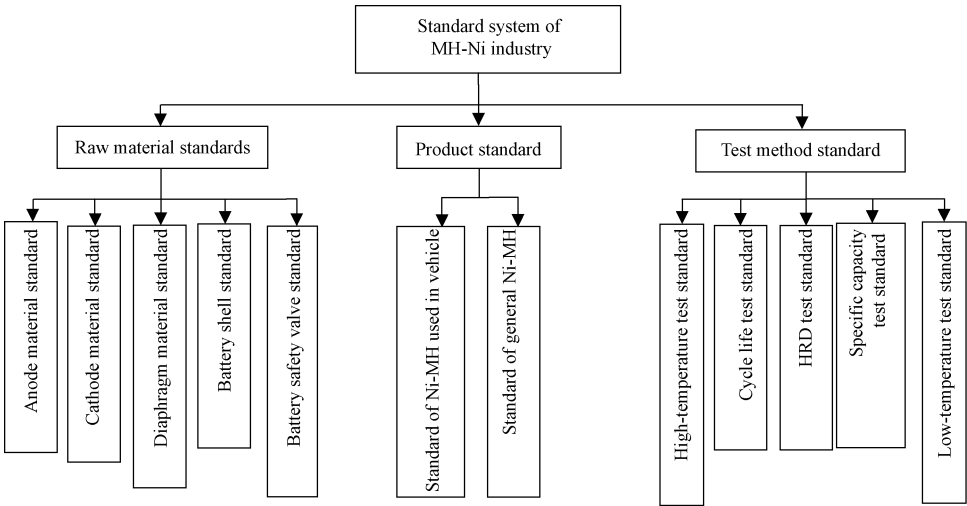


图 2 镍氢电池产业标准体系框架图

Fig. 2 The standard system of MH-Ni batteries

由于镍氢电池相关技术和市场尚处在不断地发展变化中,加上中国镍氢电池企业众多,竞争激烈,因此标准体系的协调和统一难度较大。不过,通过近两年锂电池对镍氢电池的冲击,部分竞争力较差的企业已经退出了市场,镍氢电池行业的市场竞争逐渐趋于规范化,这为镍氢电池行业标准体系框架实现统一奠定了基础。

4 结语

通过调研分析稀土系储氢合金和镍氢电池的产业化情况、产能情况以及市场现状和发展趋势等,明确了稀土系储氢合金和镍氢电池行业存在的问题,针对性的提出了解决思路。尤其是为了规范行业发展而构建了标准体系框架,对稀土系储氢合金和镍氢电池甚至对整个稀土行业的发展具有规范指导作用。同时,标准体系框架的建立对减少国内企业间的恶性竞争,加快产业健康可持续发展发挥了积极的作用。但由于产业形势瞬息万变,标准体系也要顺应市场和行业发展趋势。目前的标准体系框架以现有的标准和目前需要起草的标准为基础,但随着技术和市场的不断发展变化,仍需要对其进行不断地更新,这样才能使标准体系日臻完善,充分发挥对行业发展的规范指导作用。

参考文献:

[1] Perry M L, Fuller T F. A historical perspective of fuel cell technology in the 20th century [J]. *Electrochem Soc*, 2002, 149(7): 59-67.

[2] Solomon B D, Banerjee A. A global survey of hydrogen energy research, development and policy [J]. *Energy Policy*, 2006, 34(11): 781-792.

[3] Urretavizcaya G, Chávez A C S, Castro F J. Hydrogen absorption and desorption in the Mg-Ag system [J]. *Alloys Compd*, 2014 *Hydrogen-storage Materials for Mobile Applications*, 611(12): 202-209.

[4] Schlappbach L, Zuttel A. Hydrogen-storage materials for mobile applications [J]. *Nature*, 2001, 414 (6861): 353-353.

[5] 闫慧忠. 储氢材料产业现状及发展[J]. *高科技与产业化*, 2012, 195 (8): 68-71.

Yan H Z. Present situation and development of hydrogen storage material industry [J]. *High Technology and Industrialization*, 2012, 195 (8): 68-71.

[6] Fetcenko M A. Recent advances in NiMH battery technology [J]. *J Power Source*, 2007, 165(2): 544-551.

[7] 牛丽贤. 我国镍氢电池产业现状与发展对策研究[A]. 第三届中国包头稀土产业论坛专家报告集[C]. 包头: 中国稀土学会, 2011. 160-167.

Niu L X. Research on the current situation and development of Ni-MH battery industry in China [A]. *The Third Rare Earth Industry BBS Expert Report Baotou China* [C]. Baotou: Chinese Society of Rare Earths, 2011. 160-167.

[8] 周增林, 林晨光, 惠志林. 高容量 A_2B_7 型超晶格贮氢合金的发展历程及问题 [J]. *稀有金属材料与工程*, 2012, 41(8): 1500-1504.

Zhou Z L, Lin C H, Hui Z L. Development process and problems of high capacity A_2B_7 superlattice hydrogen storage alloy [J]. *Rare Metal Materials and Engineering*, 2012, 41(8): 1500-1504.

[9] 陈子亮, 李永涛, 张庆安. 超点阵 Re-Mg-Ni 基合金结构和储氢特性研究现状 [J]. *金属功能材料*, 2015, 46 (10): 10007-10012.

Chen Z L, Li Y T, Zhang Q A. Research status of superlattice Re-Mg-Ni based alloy structure and hydrogen storage characteristics [J]. *Metallic Functional Materials*, 2015, 46(10): 10007-10012.

[10] 王大辉, 钟燕萍, 闫汝煦, 等. $La_2Mg_{0.9}Al_{0.1}Ni_{7.5-x}Co_{1.5}Mn_x$ 贮氢合金的相结构和电化学性能 [J]. *稀有金属材料与工程*, 2010, 39(1): 30-34.

Wang D H, Zhong Y P, Yan R X, et al. Phase structure and electrochemical properties of $La_2Mg_{0.9}Al_{0.1}Ni_{7.5-x}Co_{1.5}Mn_x$ hydrogen storage alloys [J]. *Rare Metal Materials and Engineering*, 2010, 39(1): 30-34.

[11] 刘丽琴, 唐睿, 柳永宁. 稀土元素对 $La_{0.8}Mg_{0.2}Ni_{2.8}Co_{0.6}$ 储氢合金性能的影响 [J]. *中国有色金属学报*, 2003, 13(4): 81-85.

Liu L Q, Tang R, Liu Y N. Effects of rare earth ele-

- ments on the properties of $\text{La}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{Ni}_{2.8}\text{Co}_{0.6}$ of hydrogen storage [J]. Journal of the Chinese Society of Rare Earths, 2003, 13(4):81-85.
- [12] 邓安强,罗永春.La-Mg-Ni 系 A_2B_7 与 A_5B_{19} 型储氢合金电极合金的相结构与电化学性能研究. [D].兰州:兰州理工大学, 2007.
- Deng A Q, Luo Y C. Study on phase structure and electrochemical properties of La-Mg-Ni based A_2B_7 and A_5B_{19} type hydrogen storage alloy electrode alloys [D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2007.
- [13] Kohno T, Yoshida H, Kawashima F, et al. Hydrogen storage properties of new ternary system alloys: LaMg_2Ni_9 , $\text{La}_5\text{Mg}_2\text{Ni}_{23}$, $\text{La}_3\text{MgNi}_{14}$ [J]. Alloys Comp, 2000, 311(2): L5-L7.
- [14] 许剑轶, 阎汝煦, 罗永春, 等. A_2B_7 型 $\text{La}_{0.75}\text{Mg}_{0.25}\text{Ni}_{3.5-x}\text{Fe}_x$ ($x=0\sim0.3$) 贮氢合金相结构及电化学性能研究 [J]. 稀有金属, 2009, 33(3): 323-327.
- Xu J T, Yan R X, Luo Y C. Study on the structure and electrochemical properties of A_2B_7 type $\text{La}_{0.75}\text{Mg}_{0.25}\text{Ni}_{3.5-x}\text{Fe}_x$ ($x=0\sim0.3$) hydrogen storage alloy [J]. Chinese Journal of Rare Metal, 2009, 33(3): 323-327.
- [15] 春林, 盛丹, 熊玮, 等. 贮氢合金 $\text{La}_{0.65}\text{Mg}_{0.35}\text{Ni}_x$ ($x=3.0\sim3.5$) 的高温电化学性能的研究 [J]. 金属功能材料, 16(5): 8-11.
- Chun L, Sheng D, Xiong W, et al. Study on high temperature electrochemical properties of $\text{La}_{0.65}\text{Mg}_{0.35}\text{Ni}_x$ ($x=3.0\sim3.5$) hydrogen storage alloy [J]. Metallic Functional Materials, 16(5): 8-11.
- [16] 王敬, 江冰杰, 穆道斌, 等. $\text{La}_{0.7-x}\text{Nd}_x\text{Mg}_{0.3}\text{Ni}_{3.4}\text{Al}_{0.1}$ ($x=0\sim0.4$) 储氢合金的相结构及电化学性能 [J]. 中国稀土学报, 2009, 2(3): 420-422.
- Wang J, Jiang B J, Mu D B, et al. The phase structure and electrochemical properties of $\text{La}_{0.7-x}\text{Nd}_x\text{Mg}_{0.3}\text{Ni}_{3.4}\text{Al}_{0.1}$ ($x=0\sim0.4$) hydrogen storage alloys [J]. Journal of the Chinese Society of Rare Earths, 2000, 2(3): 420-422.
- [17] 周增林, 宋月清, 崔舜, 等. Nd 替代 La 对 La-Mg-Ni 系 A_2B_7 型储氢电极合金性能的影响 [J]. 中国有色金属学报, 2007, 17(1): 45-52.
- Zhou Z L, Song Y Q, Cui S, et al. The effect of Nd instead of La on the properties of the A_2B_7 hydrogen storage electrode in La-Mg-Ni system [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2007, 17(1): 45-52.
- [18] Akiba E, Hayakawa H, Kahno T. Crystal structures of novel La-Mg-Ni hydrogen absorbing alloys [J]. J Alloys Comp, 2006, 280: 408-412.
- [19] 张鲁山, 王智敏, 郭永权. La-Mg-Ni/Co 储氢合金中的相结构 [J]. 中国科学: 物理学力学天文学, 2012, 42: 46-53.
- Zhang L S, Wang Z M, Guo Y Q. The phase structure of La-Mg-Ni/Co hydrogen storage alloy [J]. Chinese Science: the Mechanical Astronomy of Physics, 2012, 42: 46-53.
- [20] 郑贞贞, 王智敏, 郭永权. 贮氢合金中的相结构 [R]. 上海: 第十届全国 x 射线衍射学术大会暨国际衍射数据中心 (ICDD) 研讨会, 2009.
- Zheng Z Z, Wang Z M, Guo Y Q. The phase structure of hydrogen storage alloy [R]. Shanghai: The tenth national x ray diffraction academic conference and international diffraction data center (ICDD) seminar, 2009.
- [21] 周秋红, 谢建伟. 推进稀土标准化的实践与展望 [A]. 第十一届中国标准化论坛论文集 [C]. 成都: 中国标准化协会, 2014. 1000-1003.
- Zhou Q H, Xie J W. The practice and prospect of promoting the standardization of rare earth [A]. The Eleventh Chinese Standardization Forum [C]. Chengdu: China Association for Standardization, 2014. 1000-1003.

Study on the Current Situation and Standardization System Construction of the RE-based Hydrogen Storage Alloy and Nickel Metal Hydride Batteries

JI Li-qiang^{1,2}, ZHAO Rui-xia^{1,2}, WANG Dong-jie³, JING Yong-qiang^{1,2}, XU Jin^{1,2}

(1. Inner Mongolia Rare Earth Ovonic Metal Hydride Co., LTD, Baotou 014030, China;

2. China Northern Rare Earth (Group) High-tech Co., LTD, Baotou 014030, China;

3. Baotou Research Institute of Rare Earths, Baotou 014030, China)

Abstract: In order to make more reasonable and fully use of rare earth resources, a research was carried out on part of the domestic hydrogen storage alloy and nickel metal hydride battery enterprises. The industrialization status, capacity and market situation of the rare earth hydrogen storage alloys and nickel metal hydride batteries were studied in this paper, and also the existing problems were analyzed. In the end, a solution was given out to the existing problems. At the same time, this paper put forward the framework of standardization system construction of the RE-based hydrogen storage alloy and nickel metal hydride batteries. It is important to make the RE-based hydrogen storage alloys and nickel metal hydride batteries develop healthily and sustainably.

Key words: rare earth hydrogen storage alloy; Ni-MH batteries; standardization system; new energy