

# La/Y 比对 $A_2B_7$ 型 La-Y-Ni 储氢合金性能的影响<sup>①</sup>

刘雯雯, 赖华生, 王玉香, 周有池  
(赣州有色冶金研究所有限公司, 江西 赣州 341000)

**摘要:** 采用真空熔炼法制备了不同 La/Y 比的  $A_2B_7$  型  $La_xY_{3-x}Ni_{9.7}Mn_{0.5}Al_{0.3}$  ( $x=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ ) 储氢合金。通过 XRD、SEM、气相 PCT 曲线和电化学充放电循环曲线测试等方法, 系统研究了 A 侧 Y 元素部分替代 La 元素对合金相结构和合金性能的影响。结果表明, 制备的合金主相为  $Ce_2Ni_7$  相, 同时还含有少量  $Gd_2Co_7$  相、 $PuNi_3$  相和  $LaNi_5$  相。主相  $Ce_2Ni_7$  相丰度随着 La/Y 比增加而逐渐增大, 当 La/Y 比为 1:2 时,  $LaY_2Ni_{9.7}Mn_{0.5}Al_{0.3}$  合金吸氢量最大, 为 1.317%。经过 150 次充放电循环,  $LaY_2Ni_{9.7}Mn_{0.5}Al_{0.3}$  合金容量保持率最高, 为 54.2%。

**关键词:** 储氢合金; La/Y 比; La-Y-Ni 储氢合金;  $A_2B_7$  型; 吸氢量

中图分类号: TG139.7

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2023.02.033

文章编号: 0253-6099(2023)02-0149-05

## Effect of La/Y Ratio on Properties of $A_2B_7$ -Type La-Y-Ni Hydrogen Storage Alloy

LIU Wenwen, LAI Huasheng, WANG Yuxiang, ZHOU Youchi

(Ganzhou Nonferrous Metallurgy Research Institute Co Ltd, Ganzhou 341000, Jiangxi, China)

**Abstract:**  $A_2B_7$ -type  $La_xY_{3-x}Ni_{9.7}Mn_{0.5}Al_{0.3}$  ( $x=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ ) hydrogen storage alloys with different La/Y ratios were prepared by vacuum melting. The effect of partial substitution of La by Y element on the structure and properties of the alloy was systematically investigated by using XRD, SEM, gas-phase PCT curves and electrochemical charge-discharge cycle curves. The experiment results show that the prepared alloy has  $Ce_2Ni_7$  as its main phase and contains a small amount of  $Gd_2Co_7$ ,  $PuNi_3$  and  $LaNi_5$  phases. The abundance of main  $Ce_2Ni_7$  phase increases gradually with the increase of La/Y ratio. When the La/Y ratio is 1:2, the  $LaY_2Ni_{9.7}Mn_{0.5}Al_{0.3}$  alloy has the maximum hydrogen absorption capacity of 1.317%. After 150 charge-discharge cycles, the alloy can have its highest capacity retention rate at 54.2%.

**Key words:** hydrogen storage alloy; La/Y ratios; La-Y-Ni hydrogen storage alloy;  $A_2B_7$ -type; hydrogen absorption

近年来,随着温室效应引起的气候变化、生态恶化等问题日益突显,我国提出了力争 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和的战略目标。大力发展氢能是实现零碳排放的有效路径之一<sup>[1]</sup>。氢能因其高能量、无污染和可持续等特点受到广泛关注<sup>[2-3]</sup>。储氢合金在一定条件下能可逆地吸放氢气,已被成熟应用于镍氢电池领域<sup>[4-8]</sup>。La-Mg-Ni 系稀土储氢合金具有较好的活化性能和较高的放电容量,可作为镍氢电池用负极材料<sup>[9-10]</sup>。但 Mg 金属活泼、饱和蒸气压高,导致 La-Mg-Ni 系合金制造难度大,合金成分难以控制,且挥发凝固的微细镁粉易燃易爆而存在安全隐患<sup>[11]</sup>。

因此,研究不含 Mg 元素的 La-Y-Ni 系储氢合金具有重要意义。Y 替代 Mg 元素,能够改善储氢合金结构稳定性,因而备受关注<sup>[12]</sup>。然而,目前缺乏 Y 元素对 La-Y-Ni 系储氢合金综合性能影响的系统研究。本文通过调整 A 端 La/Y 元素含量,分析 La/Y 比对  $A_2B_7$  型 La-Y-Ni 储氢合金性能的影响规律。

## 1 实 验

采用真空中频感应炉在 0.05 MPa 氩气气氛保护下制备  $La_xY_{3-x}Ni_{9.7}Mn_{0.5}Al_{0.3}$  ( $x=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ ) 储氢合金。为充分保证真空环境,熔炼前至少洗气

① 收稿日期: 2022-11-25

基金项目: 江西省重点研发计划项目(20203BBE53055); 江钨集团公司项目(JXTC-21A-03)

作者简介: 刘雯雯(1989—),女,江西赣州人,硕士,工程师,主要研究方向为储氢新能源、二次资源回收利用。

3次。当熔炼温度达到1600℃时,合金熔化完全,保温10min后进行铜模浇注,冷却得到铸态合金锭。取铸态合金锭在真空热处理炉和氩气气氛保护下进行退火热处理,退火制度为1000℃×4h,随炉冷却,最终得到制备的合金。实验用金属原料纯度均大于99.9%,考虑熔炼过程中金属烧损,在配料时分别额外添加3%La和2%Y(相对各自配加量,均为质量分数)。具体配料成分如表1所示。

表1 原料成分

x 值	合金成分	金属添加量/kg				
		La	Y	Ni	Mn	Al
0.2	La <sub>0.2</sub> Y <sub>2.8</sub> Ni <sub>9.7</sub> Mn <sub>0.5</sub> Al <sub>0.3</sub>	0.097	0.864	1.937	0.093	0.027
0.4	La <sub>0.4</sub> Y <sub>2.6</sub> Ni <sub>9.7</sub> Mn <sub>0.5</sub> Al <sub>0.3</sub>	0.193	0.793	1.916	0.092	0.027
0.6	La <sub>0.6</sub> Y <sub>2.4</sub> Ni <sub>9.7</sub> Mn <sub>0.5</sub> Al <sub>0.3</sub>	0.286	0.724	1.894	0.091	0.027
0.8	La <sub>0.8</sub> Y <sub>2.2</sub> Ni <sub>9.7</sub> Mn <sub>0.5</sub> Al <sub>0.3</sub>	0.377	0.657	1.874	0.090	0.027
1.0	LaY <sub>2</sub> Ni <sub>9.7</sub> Mn <sub>0.5</sub> Al <sub>0.3</sub>	0.466	0.590	1.853	0.089	0.026

采用X'pert Power型转靶X射线衍射仪(XRD)对合金进行相结构和晶型结构分析。利用Jade6.0并结合Maud软件进行Rietveld全谱拟合精修分析。采用Sirion 200型场发射扫描电子显微镜/能谱分析仪对合金样品进行形貌分析。采用Neware电池测试仪测试合金粉的电化学性能。采用日本铃木PCT测试仪测试合金粉的气态储氢性能。

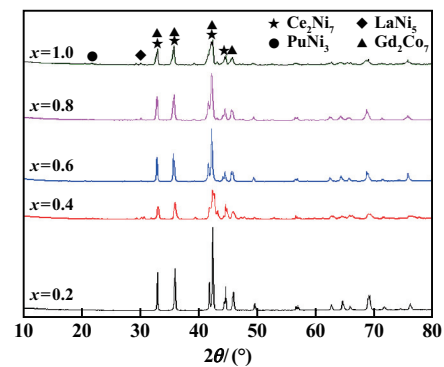
采用三电极体系测试合金的电化学性能。对电极为2个Ni(OH)<sub>2</sub>/NiOOH电极,参比电极为Hg/HgO电极,电解液为6mol/L KOH溶液。合金粉(研磨至74~98μm)与羟基镍粉以质量比1:4混合,在研钵中研磨混合均匀,20MPa下冷压成片状,制备出合金电极。在镍氢电池领域,通常以毫安时每克(mAh/g)来表示电池的克容量,即电池内部活性物质所能释放的电容与活性物质的质量之比;以毫安每克(mA/g)表示通过电极的电流密度,即通过电池内部活性物质的电流与活性物质的质量之比。合金的活化性能通过以下程序测试:合金电极在60mA/g的电流密度下充电6.5h,静置30min,等待电压达到稳定状态,再在60mA/g的电流密度下放电至1.0V,静置30min后继续以60mA/g电流密度充放电,如此循环5周,得到合金最大放电容量,记为C<sub>max1</sub>,所需的活化次数即为合金的活化次数n。合金的循环性能通过以下程序测试:将活化后的合金电极以300mA/g的电流密度反复充放电,充电时间1.2h,静置30min,放电截止电压为1V。以300mA/g充放电过程中最高容量记为C<sub>max2</sub>,记录电化学循环n周时的放电容量为C<sub>n</sub>,以合金电极第n

周的容量保持率S<sub>n</sub>来评估电极的循环稳定性。

## 2 实验结果与讨论

### 2.1 合金的相结构

图1为不同La/Y比的A<sub>2</sub>B<sub>7</sub>型La<sub>x</sub>Y<sub>3-x</sub>Ni<sub>9.7</sub>Mn<sub>0.5</sub>Al<sub>0.3</sub>合金的XRD图谱。从图1可见,合金为多相结构,主相为Ce<sub>2</sub>Ni<sub>7</sub>相,同时还含有少量的Gd<sub>2</sub>Co<sub>7</sub>相、PuNi<sub>3</sub>相和LaNi<sub>5</sub>相。其中,2H-A<sub>2</sub>B<sub>7</sub>型(Ce<sub>2</sub>Ni<sub>7</sub>型)和3R-A<sub>2</sub>B<sub>7</sub>型(Gd<sub>2</sub>Co<sub>7</sub>型)两相的特征衍射峰主要在XRD图的31°~36°范围内。为了进一步分析合金相组成,图2显示了合金XRD图谱经Rietveld法全谱拟合的结果,由全谱拟合图可知,精修结果中拟合优度参数(S)和权重因子(R<sub>w</sub>)值较小,衍射峰与拟合峰重合度较高,精修结果可信。

图1 不同La/Y比的La<sub>x</sub>Y<sub>3-x</sub>Ni<sub>9.7</sub>Mn<sub>0.5</sub>Al<sub>0.3</sub>合金XRD图谱

合金晶体参数、所属空间群、晶胞体积、相丰度列于表2。由表2可以看出,合金均为多相结构。随着La/Y比增加,2H-A<sub>2</sub>B<sub>7</sub>型(Ce<sub>2</sub>Ni<sub>7</sub>型)相丰度呈逐渐增加的趋势,同时3R-A<sub>2</sub>B<sub>7</sub>型(Gd<sub>2</sub>Co<sub>7</sub>型)相丰度呈现逐渐减小的趋势。 $x=0.2$ 时,合金由2H-Ce<sub>2</sub>Ni<sub>7</sub>相、3R-Gd<sub>2</sub>Co<sub>7</sub>相和3R-PuNi<sub>3</sub>相组成,其中主相为3R-Gd<sub>2</sub>Co<sub>7</sub>相。 $x=0.4$ 时,合金出现了少量的LaNi<sub>5</sub>相,主相为2H-Ce<sub>2</sub>Ni<sub>7</sub>相。 $x=0.6$ 时,合金由2H-Ce<sub>2</sub>Ni<sub>7</sub>相、3R-Gd<sub>2</sub>Co<sub>7</sub>相和PuNi<sub>3</sub>相组成,其中主相为2H-Ce<sub>2</sub>Ni<sub>7</sub>相。 $x=0.8$ 时,合金由2H-Ce<sub>2</sub>Ni<sub>7</sub>相、3R-Gd<sub>2</sub>Co<sub>7</sub>相和3R-PuNi<sub>3</sub>相组成,其中主相为2H-Ce<sub>2</sub>Ni<sub>7</sub>相。 $x=1.0$ 时,合金由2H-Ce<sub>2</sub>Ni<sub>7</sub>相、3R-Gd<sub>2</sub>Co<sub>7</sub>相、3R-PuNi<sub>3</sub>相和LaNi<sub>5</sub>相组成,其中主相为2H-Ce<sub>2</sub>Ni<sub>7</sub>相,且相丰度最大,为94.98%。

为了定性分析合金的物相组成,对合金的微观组织进行SEM背散射电子图像观察,结果如图3所示。图像中不同区域衬度的明暗差异与物相组成的平均原子序数有关,物相组成的平均原子序数越大,衬度越亮。从图3可以看出,合金的形貌主要以浅灰色区域

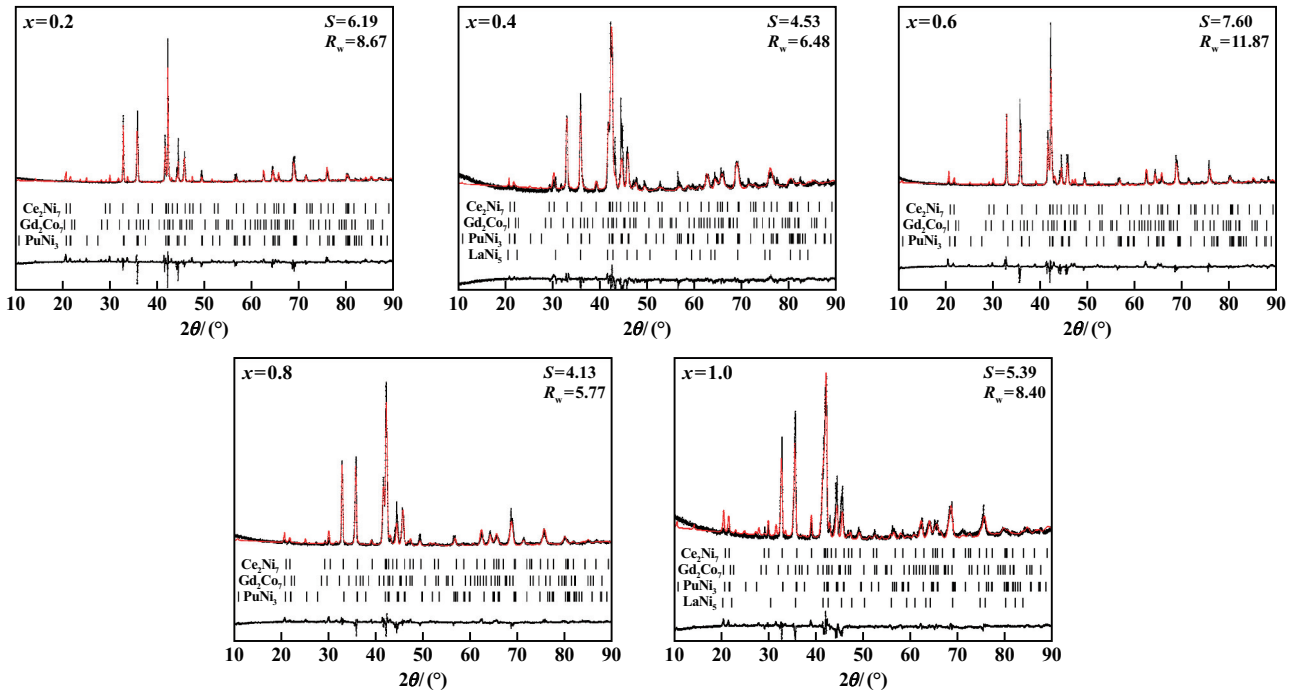
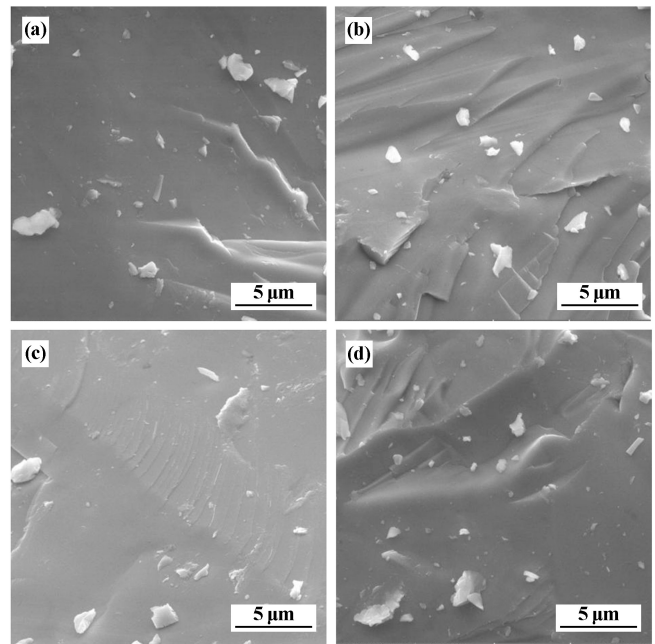


图 2 Rietveld 精修不同 La/Y 比的  $La_x Y_{3-x} Ni_{9.7} Mn_{0.5} Al_{0.3}$  合金 XRD 全谱拟合图

表 2 不同 La/Y 比的  $La_x Y_{3-x} Ni_{9.7} Mn_{0.5} Al_{0.3}$  合金相结构和晶格参数

x 值	相组成	空间群	晶格参数			相质量分数/%
			a/nm	c/nm	V/nm <sup>3</sup>	
0.2	Ce <sub>2</sub> Ni <sub>7</sub>	P63/mmc(194)	0.501	2.440	0.612	19.39
	Gd <sub>2</sub> Co <sub>7</sub>	R-3m(166)	0.499	3.688	0.916	42.57
	PuNi <sub>3</sub>	R-3m(166)	0.500	2.441	0.611	38.04
0.4	Ce <sub>2</sub> Ni <sub>7</sub>	P63/mmc(194)	0.501	2.443	0.614	55.42
	Gd <sub>2</sub> Co <sub>7</sub>	R-3m(166)	0.504	3.654	0.928	30.86
	PuNi <sub>3</sub>	R-3m(166)	0.503	2.461	0.622	13.44
	LaNi <sub>5</sub>	P6/mmm(191)	0.502	0.398	0.100	0.28
0.6	Ce <sub>2</sub> Ni <sub>7</sub>	P63/mmc(194)	0.498	2.452	0.608	75.89
	Gd <sub>2</sub> Co <sub>7</sub>	R-3m(166)	0.503	2.445	0.618	18.91
	PuNi <sub>3</sub>	R-3m(166)	0.506	0.400	0.103	5.20
0.8	Ce <sub>2</sub> Ni <sub>7</sub>	P63/mmc(194)	0.504	2.452	0.623	88.99
	Gd <sub>2</sub> Co <sub>7</sub>	R-3m(166)	0.504	3.739	0.949	5.89
	PuNi <sub>3</sub>	R-3m(166)	0.504	2.452	0.623	5.12
1.0	Ce <sub>2</sub> Ni <sub>7</sub>	P63/mmc(194)	0.501	2.436	0.612	94.98
	Gd <sub>2</sub> Co <sub>7</sub>	R-3m(166)	0.505	3.674	0.939	1.13
	PuNi <sub>3</sub>	R-3m(166)	0.504	2.451	0.622	1.99
	LaNi <sub>5</sub>	P6/mmm(191)	0.498	0.418	0.104	1.90



(a)  $x=0.2$ ; (a)  $x=0.4$ ; (c)  $x=0.6$ ; (d)  $x=0.8$

图 3 不同 La/Y 比的  $La_x Y_{3-x} Ni_{9.7} Mn_{0.5} Al_{0.3}$  合金 SEM 图

$A_2B_7$  型基体相为主,图中出现了较多的深灰色点状区域,能谱分析结果表明该区域为富 Y 相,该相的出现是由于烧结过程中 Y 原子的富集。随着 La/Y 比增加,Y 元素在  $AB_3$  相中的浓度增加值明显大于  $A_2B_7$  相。 $x=0.2$  时,合金由  $A_2B_7$  相和  $AB_3$  相组成; $x=0.4$  时,合金由  $A_2B_7$  相、 $AB_3$  相和  $AB_5$  相组成。上述分析结果与 XRD 分析结果对应一致。

### 2.2 合金的气态储氢性能

图 4 为储氢合金样品在室温下的 PCT 曲线。不同 La/Y 比的  $La_x Y_{3-x} Ni_{9.7} Mn_{0.5} Al_{0.3}$  ( $x=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ ) 合金吸氢数据列于表 3 中。由图 4 和表 3 可知,不同 La/Y 比的  $La_x Y_{3-x} Ni_{9.7} Mn_{0.5} Al_{0.3}$  ( $x=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ ) 合金均具有吸/放氢平台。随着 La/Y 比增加,最大吸氢量也随之增加, $x=1.0$  时,合金有最大吸氢

量,为1.317%。这是由于此时合金主相为 $2\text{H-Ce}_2\text{Ni}_7$ 型且相丰度占比最大,为94.98%,其他杂相含量相对较少。这与XRD全谱拟合分析结果相符。 $x=1.0$ 时,合金在吸放氢过程中出现了双平台现象。目前关于 $\text{A}_2\text{B}_7$ 型储氢合金吸/放氢过程中双平台现象主要有两

种解释<sup>[13]</sup>:一是由于合金中有2个吸氢相,合金出现的双平台分别由晶胞体积不同的 $\text{Gd}_2\text{Co}_7$ 相和 $\text{Ce}_2\text{Ni}_7$ 相引起;另一种解释是由 $\text{Ce}_2\text{Ni}_7$ 相的2种不同氢化物引起的。本试验合金中出现双平台是由 $\text{Ce}_2\text{Ni}_7$ 相和 $\text{Gd}_2\text{Co}_7$ 相的2种不同相结构引起的。

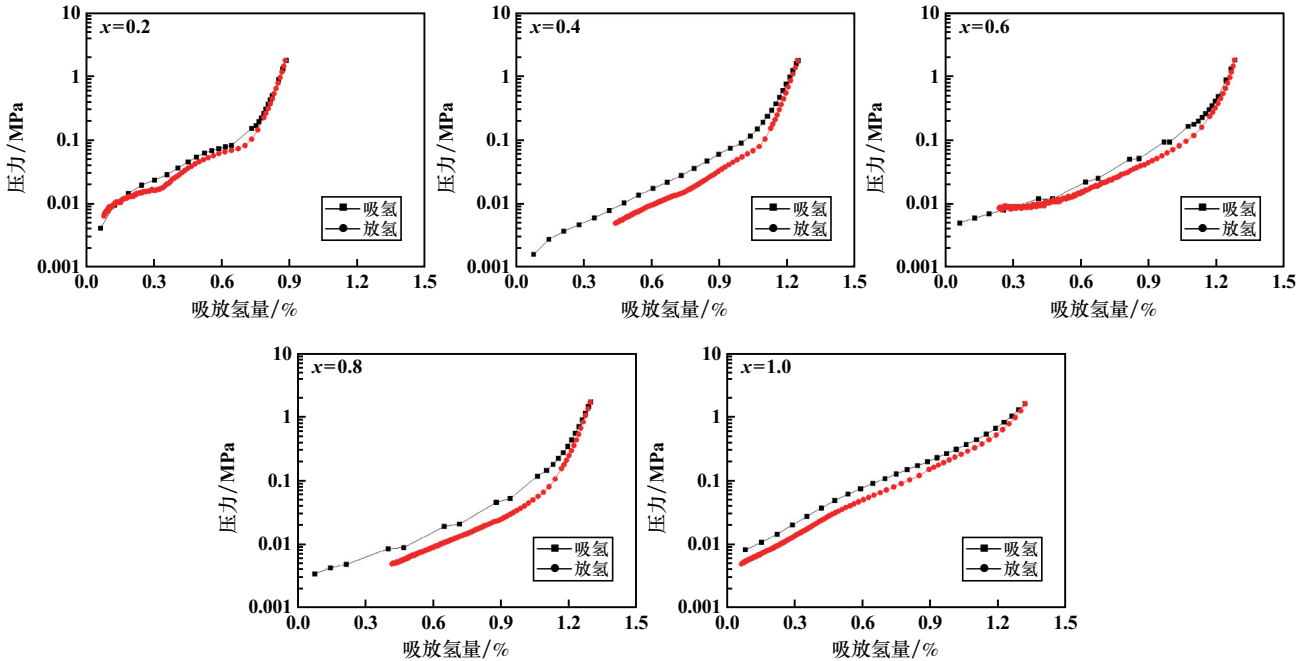


图4 不同La/Y比的 $\text{La}_x\text{Y}_{3-x}\text{Ni}_{9.7}\text{Mn}_{0.5}\text{Al}_{0.3}$ 合金PCT曲线

表3 不同La/Y比的 $\text{La}_x\text{Y}_{3-x}\text{Ni}_{9.7}\text{Mn}_{0.5}\text{Al}_{0.3}$ 合金储氢性能

x 值	成分	最大吸氢量(质量分数)/%
0.2	$\text{La}_{0.2}\text{Y}_{2.8}\text{Ni}_{9.7}\text{Mn}_{0.5}\text{Al}_{0.3}$	0.882
0.4	$\text{La}_{0.4}\text{Y}_{2.6}\text{Ni}_{9.7}\text{Mn}_{0.5}\text{Al}_{0.3}$	1.246
0.6	$\text{La}_{0.6}\text{Y}_{2.4}\text{Ni}_{9.7}\text{Mn}_{0.5}\text{Al}_{0.3}$	1.278
0.8	$\text{La}_{0.8}\text{Y}_{2.2}\text{Ni}_{9.7}\text{Mn}_{0.5}\text{Al}_{0.3}$	1.295
1.0	$\text{LaY}_2\text{Ni}_{9.7}\text{Mn}_{0.5}\text{Al}_{0.3}$	1.317

### 2.3 合金在常温下的电化学性能

#### 2.3.1 合金的活化性能

不同La/Y比的 $\text{A}_2\text{B}_7$ 型 $\text{La}_x\text{Y}_{3-x}\text{Ni}_{9.7}\text{Mn}_{0.5}\text{Al}_{0.3}$ ( $x=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ )储氢合金电极的活化曲线如图5所示。由图5可以看出,合金的活化性能较好,不同La/Y比的合金全部在第二周就能达到最高容量,合金电极的最大放电容量均超过370 mAh/g。 $x=0.6$ 时, $\text{La}_{0.6}\text{Y}_{2.4}\text{Ni}_{9.7}\text{Mn}_{0.5}\text{Al}_{0.3}$ 合金电极的最大放电容量 $C_{\text{max}1}=395.80\text{ mAh/g}$ 。

#### 2.3.2 合金的循环性能

图6为不同La/Y比的 $\text{A}_2\text{B}_7$ 型 $\text{La}_x\text{Y}_{3-x}\text{Ni}_{9.7}\text{Mn}_{0.5}\text{Al}_{0.3}$ ( $x=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ )储氢合金电极在电流密度为300 mA/g时充放电150次的放电循环曲线。由图6可知,不同La/Y比合金的放电容量整体较高,但

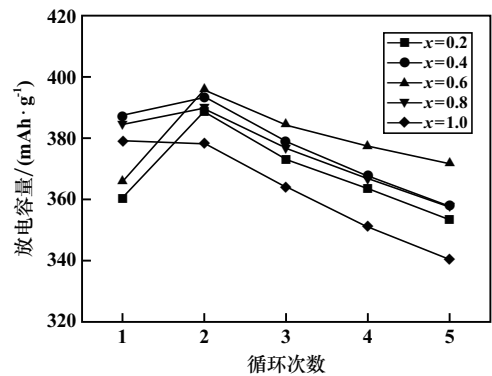


图5 不同La/Y比的 $\text{La}_x\text{Y}_{3-x}\text{Ni}_{9.7}\text{Mn}_{0.5}\text{Al}_{0.3}$ 合金电极活化曲线

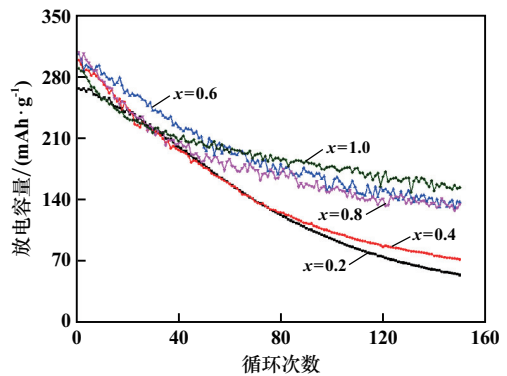


图6 不同La/Y比的 $\text{La}_x\text{Y}_{3-x}\text{Ni}_{9.7}\text{Mn}_{0.5}\text{Al}_{0.3}$ 合金电极放电循环曲线

充放电循环稳定性能有待提高。 $x=0.2$  时,对应的合金电极容量损失较大,下降速度较快,放电容量由初始的 266.5 mAh/g 减少到 55.2 mAh/g。随着 La/Y 比增加,合金电极循环稳定性逐渐提高。 $x=1.0$  时,合金初始放电容量为 289.2 mAh/g,经过 150 次充放电循环,合金放电容量  $C_{150}$  为 156.7 mAh/g,在所有合金中容量保持率  $S_{150}$  最高,54.2%,这是由于  $Ce_2Ni_7$  相比  $Gd_2Co_7$  相具有更好的结构稳定性。同时,Y 元素比 La 元素更易被氧化,因此,随着 Y 含量增加,合金电极在强碱性电解液水溶液中的腐蚀加剧导致富 Y 合金电极循环稳定性变差。

### 3 结 论

1) 通过真空中频感应熔炼和退火热处理制备的  $A_2B_7$  型  $La_xY_{3-x}Ni_{9.7}Mn_{0.5}Al_{0.3}$  ( $x=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ ) 储氢合金为多相结构,主相为  $Ce_2Ni_7$  相,同时还含有少量的  $Gd_2Co_7$  相、 $PuNi_3$  相和  $LaNi_5$  相。 $Ce_2Ni_7$  相丰度随着 La/Y 比增加而逐渐增大, $x=1.0$  时,主相  $Ce_2Ni_7$  相丰度达到最大值,为 94.98%。

2)  $A_2B_7$  型  $La_xY_{3-x}Ni_{9.7}Mn_{0.5}Al_{0.3}$  ( $x=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ ) 储氢合金的气态储氢性能随着 La/Y 比增加而增大, $x=1.0$  时,合金吸氢量最大,为 1.317%。

3) 随着 La/Y 比增加, $La_xY_{3-x}Ni_{9.7}Mn_{0.5}Al_{0.3}$  ( $x=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ ) 合金电极循环稳定性逐渐提高。经过 150 次充放电循环, $LaY_2Ni_{9.7}Mn_{0.5}Al_{0.3}$  合金容量保持率  $S_{150}$  最高,为 54.2%。

#### 参考文献:

- [1] 陈成敏. 综合能源供应站多形态供氢的规划建设探讨[J]. 矿冶工程, 2021, 41(3): 151-157.
- [2] CHI Y, FAN S S, LAND X M, et al. Hydrogen and chemical energy storage in gas hydrate at mild conditions[J]. International Journal of

Hydrogen Energy, 2020, 45(29): 14915-14921.

- [3] Joonu B K, Gwangwoo H, Yongkeun K, et al. Thermal design of a hydrogen storage system using  $La(Ce)Ni_5$  [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2020, 45(15): 8742-8749.
- [4] 赵刘强, 邓安强, 杨洋, 等. La-Nd-Y-Ni 系  $A_5B_{19}$  型退火合金的相结构及储氢电化学性能的研究[J]. 中国稀土学报, 2022, 40(2): 250-260.
- [5] LV W, WU Y. Effect of melt spinning on the structural and low temperature electrochemical characteristics of La-Mg-Ni based  $La_{0.65}Ce_{0.1}Mg_{0.25}Ni_3Co_{0.5}$  hydrogen storage alloy[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2019, 789(15): 547-557.
- [6] ZHAO H Y, XIA J L, YIN D D, et al. Rare earth incorporated electrode materials for advanced energy storage[J]. Coordination Chemistry Reviews, 2019, 390(7): 32-49.
- [7] ZHOU W H, ZHU D, LIU K, et al. Long-life Ni-MH batteries with high-power delivery at lower temperature; Coordination of low-temperature and high-power delivery with cycling life of low-Al  $AB_5$ -type hydrogen storage alloys[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2018, 43(46): 21464-21477.
- [8] 王玉香, 赖华生, 文小强, 等. 氟化物体系熔盐电解制备 YNi 合金[J]. 有色金属科学与工程, 2021, 12(1): 126-130.
- [9] 高志杰, 康龙, 罗永春. 镁含量对 RE-Mg-Ni 系  $A_2B_7$  型储氢合金结构与性能的影响[J]. 高等学校化学学报, 2012, 33(9): 2035-2042.
- [10] LIU J J, HAN S M, LI Y, ZHANG L, et al. Phase structures and electrochemical properties of La-Mg-Ni-based hydrogen storage alloys with superlattice structure[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2016, 41(44): 20261-20275.
- [11] 吉力强, 赵瑞霞, 王东杰, 等. 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[J]. 稀土, 2018, 39(1): 149-158.
- [12] 徐津, 李宝犬, 王利, 等.  $A_2B_7$  型 La-Y-Ni 与 La-Mg-Ni 储氢合金电化学性能研究[J]. 有色金属工程, 2020, 10(12): 9-16.
- [13] Dunlap B D, Viccaro P J, Shenoy G K. Structural relationships in rare earth-transition metal hydrides[J]. Journal of The Less-Common Metals, 1980, 74(1): 75-79.

引用本文: 刘雯雯, 赖华生, 王玉香, 等. La/Y 比对  $A_2B_7$  型 La-Y-Ni 储氢合金性能的影响[J]. 矿冶工程, 2023, 43(2): 149-153.

## 关于检测学术不端的公告

为弘扬良好学术风气,保护知识产权,防止抄袭、伪造、篡改、不当署名、一稿多投、一个学术成果多篇发表等学术不端行为,本刊与中国学术期刊(光盘版)电子杂志社合作,由中国学术期刊(光盘版)电子杂志社学术不端文献检测中心对本刊网络版刊登的文章进行系统检测,并按照“《中国学术期刊网络出版总库》删除学术不端文献暂行办法”,对出现以上学术不端行为的文章作出严肃处理。

特此公告!

矿冶工程杂志编辑部  
2023年4月