

电动车用动力电池的研究概况

崔萌佳, 戴永年, 姚耀春, 杨斌, 任海伦, 李伟宏

(昆明理工大学 真空冶金及材料研究所, 云南 昆明 650093)

摘要: 为了解决环境与噪音污染以及能源危机问题, 世界上许多国家都投入了大量人力物力进行电动车及动力电源的研究. 综述了电动车用动力电池的基本情况, 对目前研究开发较多的几种电动车电池的性能进行了阐述和比较, 指出了电动车电池发展过程中存在的问题, 并结合自己的研究实际, 提出了一些解决这些问题的对策, 最后展望了电动车用动力电池的发展前景, 希望能对我国电动车及动力电源的研究工作提供有意义的参考.

关键词: 电动车电池; 研究现状; 比能量

中图分类号: TM912 文献标识码: A 文章编号: 1007- 855X(2004)06- 0122- 05

Development and Prospective of Batteries for Electric Vehicle

CUI Mengjia, DAI Yongnian, YAO Yaochun, YANG Bin, REN Hailun, LI Weizhong

(Institute of Vacuum Metallurgy and Materials, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: In order to settle the problems of environmental pollution and energy crisis, many researchers from lots of countries have been made great efforts to develop novel electric vehicle powered by high performance battery. The status quo and development of batteries for electric vehicle (EV) are discussed, and the performance and the characteristics of the common- researched batteries for EV are expounded. Moreover, the problems emerging from the development of the batteries for EV are analyzed. Based on the research experiences, the author pointed out some countermeasures for solving these problems. At the end of the article, the prospective of the development of the batteries of EV is put forward. It is expected that the present paper can serve as a valuable reference for the research and development of batteries for electric vehicle in our country.

Key words: batteries for electric vehicle; research development; specific energy

0 引言

为了减少对石油的依赖程度, 控制环境污染和温室效应, 电动车作为一种环境友好型交通工具, 它的开发正在受到各国的重视. 电池作为电动车的“心脏”, 电动汽车的开发关键在于动力电池的竞争. 但由于目前动力电池的比能量不够高、充电时间长、一次充电行程短、安全性差、电池成本高等原因, 尚不能得到大范围推广, 所以电动车用动力电池的发展成了电动车发展的瓶颈.

电动车用电池的主要要求有以下几点:

- (1) 电池的总储能量 15~ 25 kWh, 电池比能量 50 Wh/kg 以上, 比功率 150 W/kg 以上^[4];
- (2) 一次充电行程不小于 100 km^[4];
- (3) 循环寿命长, 充放电次数多;
- (4) 能快速充放电, 抗过充、过放电能力好;
- (5) 电池价格便宜、消费费用低、安全性好、无污染问题等.

当前, 被认为可以用作动力车电源的有: 铅酸蓄电池、MH-Ni 蓄电池、锂离子电池、燃料电池、锌镍蓄电池、金属空气电池、钠硫酸蓄电池(或 Zebra 电池)、Cd-Ni 电池等。目前的研究热点主要集中在铅酸蓄电池、锂离子电池、MH-Ni 蓄电池和燃料电池等几个方面。

1 各种电动车电池的研究概况

1.1 铅酸蓄电池

铅酸电池具有历史悠久, 开路电压高, 成本低廉, 使用可靠, 原材料丰富及铅回收率可达 90% 等优点, 被各国电动车采用。福特公司的混合电动车用铅酸电池比功率已达 2~4 kW/kg, 比能量 60 Wh/kg。我国中船重工 712 所、武汉银泰公司正在研制高比能量的铅酸电池。但铅酸电池随着充放电次数的增加, 容量会逐渐衰减, 而且比能量较低、比功率较小、生产过程造成污染。在电动车需求的刺激下, 铅酸电池的研究也取得了很大的进展, 达到了较好的性能指标, 但作为电动车动力使用仍然面临巨大的挑战, 即必须在以下三个问题上有所提高: 提高比能量和比功率, 提高循环寿命, 快速充电^[11]。

提高比能量和比功率采取的措施主要有: 采用新型板栅合金材料以减少极板质量, 采用新型结构设计减少电池质量, 采用新型添加剂和铅膏配方提高活性物质的利用率等^[6]。提高循环使用寿命的主要措施有改进电池隔板(如采用富液式隔板, 适当地提高电解液的用量, 达到提高循环寿命的目的^[27]), 采用胶体电解质, 采用管形正极板(管形正极做密封蓄电池, 国外的经验认为必须用胶体以及用 PVC 隔板取代吸液式隔板^[3]), 改进膨胀剂的性能等^[7]。提高快速充电能力, 采取的措施主要有: 改进电池结构以降低欧姆内阻, 提高反应离子扩散速度和改进蓄电池的充电制度等来实现。

为了解决电动车用铅酸电池的主要三大技术难关, 国际铅锌研究组织于 1992 年发起成立了先进铅酸电池联合会(ALABC)。通过 ALABC 组织的两个阶段的攻关开发, 电动汽车和混合电动车(EV/HEV)用的铅酸电池已经取得了重大进展。表 1 为 EV 用铅酸电池近年来的进展情况。

1.2 MH/Ni 电池^[12~15]

MH/Ni 蓄电池正极活性物质采用氢氧化镍, 负极活性物质为贮氢合金, 电解液为氢氧化钾溶液, 其具有高比能量、高比功率、长寿命、适合大电流放电、充电快、安全性高、无污染等优点, 已被日本、美国等发达国家列为重点发展领域。本田公司研制的 MH/Ni 蓄电池电动车最高时速

表 1 EV 用铅酸电池的进展情况^[11]

Tab11 The development of lead/acid batteries for electric vehicles

时间	售价/US \$/kWh ⁻¹	比功率 /W#kg ⁻¹	比能量 /Wh#kg ⁻¹	再充电时间	循环寿命 /次	费用/US \$/#km ⁻¹
ALABC 开发 目标内	150	150	50	50%, 5 min 80%, 15 min	500	0.038
1992	200	150	25	100%, 4h 100%, 8 h	75	0.578
1995	150	150	35	50%, 5 min 80%, 15 min	500 0.054	
				100%, 4h 50%, 3 min		
1999	100	150	45	80%, 10 min 100%, 30 min	800	0.022

达 130 km/h, 丰田公司的 RAV4L 电动车最高时速也可达 125 km/h。

高温性能差是 MH/Ni 电池用于电动车的主要问题之一, 自放电大也是 MH/Ni 电池的一大缺点, 在电池使用和贮存过程中, 常出现一些低电压甚至零电压。通过表面处理和改进电极材料可以减少毛刺从而减少自放电。电池注液后, 快速封口及封口后立即充一部分电可减少微短路发生的可能性, 还可以对贮存后的低电压电池通过特殊的处理方法来消除由 Co 桥或 Mn 桥引起的短路现象, 从而也可以减少自放电。除此以外 MH/Ni 电池还存在极板材料均一性较差, 价格居高不下等缺点。今后开发应用当中要考虑的问题还有: 电池安全阀的设计、各单体电池的一致性、电池充放电过程中的散热。其中电池的散热问题, 可以从电池的充电制度、电解液加入量、隔膜的优选及电池的组合设计上对电池加以改进等方法来解决。

美国和日本等国均大力研制开发不同类型的动力车用 MH/Ni 电池. 美国先进电池联合会(USABC)将 MH/Ni 电池作为电动车主要的中期候选电源. 美国的 Ovonic 电池公司已开发出电动车用大容量方形 MH/Ni 电池, 提供给通用汽车公司作电动汽车试运行. 表 2 比较了几家具有代表性的公司开发的 MH/Ni 动力电池的性能指标.

1.3 锂离子电池^[17~24]

锂离子电池具有比能量高, 自放电小, 循环寿命长, 无记忆效应和对环境污染小等优点, 高能量的锂离子电池的比能量超过 $100 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$, 高功率的锂离子电池的比功率大于 $300 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$, 循环寿命超过 1000 次. 聚合物锂离子电池的比能量超过 $200 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$, 比功率超过 $400 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$, 循环寿命超过 500 次, 一次充电可使电动汽车行程超过 480 km, 是 USABC 实现 2010 年远期目标的电动车用锂离子电池. 日产 Hyphenmini 电动车采用锂离子电池, 其最高时速达 100 km/h, 行驶里程为 130 km. 武汉力兴、深圳比亚迪、韩国 LG 等正积极开拓锂离子蓄电池在电动车领域的市场.

制约锂离子电池作为电动车用电池的主要因素是它的安全性和价格. 电动车用电池的安全问题是必须严肃对待的问题, 也是倍受关注的问题. 锂离子电池使用过程中发生安全事故的主要原因是电池中大的短路电流使电池局部温度升高, 从而导致正极与有机电解液发生剧烈反应, 以至电池起火或爆炸. 目前 Li_2CoO_2 是广泛使用的锂离子电池正极材料, Co 的价格相当高并且不断地上涨, 而且我国的储量很少. 锂离子电池的价格大约是铅酸电池的 5~6 倍, 镍氢电池的 2 倍. 笔者认为, 要解决锂离子电池安全性和价格问题都要很大程度依赖锂离子电池材料的发展. LiCoO_2 正极材料正常充电时晶格中的 Li^+ 只有一半被脱出, 但过充电时, 其晶格中剩余的 Li^+ 可全部脱出, 锂金属沉积在负极材料表面, 而且脱锂后的终极产物不是 CoO_2 , 都会与电解液中的可燃有机物发生副反应, 产生安全问题. 如果用 LMn_2O_4 做正极材料, 电池充电时, 它晶格中的锂可以全部脱出, 终极产物是稳定的 MnO_2 , 就可以大大消除安全隐患. 就价格而言, Mn 的价格比 Co 便宜几十倍, 而且我国的 Mn 储量也很丰富. 只不过 LiMn_2O_4 与 LiCoO_2 相比容量衰减较快, 这一问题也可以通过掺杂来解决. 最近, 因 LiFePO_4 具有价格低廉、结构稳定、没有毒性对环境友好等优点, 其研究工作也倍受关注, 只要能解决其导电性问题, LiFePO_4 有可能成为很有前途的正极材料.

为了适应电动车对电池高比能量、高比功率的要求, 从 20 世纪 90 年代中期开始, 日本、法国、德国、加拿大等国进行了大容量锂离子电池研究. 1996 年, 日本 Sony 公司试制成功用锂离子电池(100Ah)驱动的电动车, 法国 Saf 公司也于 1998 年对电动车用锂离子电池(50Ah)进行中试^[24]. 表 3 为电动车用锂离子电池的性能指标.

我国天津电源所也于 1996 年开始进行大容量锂离子电池的开发, 研制成功的 55Ah 的大型圆柱型电池目前已具备小批量生产的工艺条件, 具有较好的性能, 同时该电池的各项指标也基本上符合电动车用电池的国家标准. 表 4 为天津电源所研制的 55Ah 圆柱形锂离子池的主要性能指标.

1.4 燃料电池^[25~28]

燃料电池直接将化学反应释放的能量转换成电能, 工作时十分安静, 无污染, 而且这种电池不受热效应理论的限制, 实际效率要高于内燃机, 可以达到 50%~70%, 是一种较理想的动力源. 目前燃料电池的质子交换膜的价格太高, 而且它的电极要用贵金属铂做催化剂才有较高的性能, 如果全球的铂都用来供电动车燃料电池用也只能满足 500~600 万辆车用. 此外, 怎样为燃料电池车提供燃料也是一个很重要的问题, 这涉及到生产、储存、运输等一系列的问题, 要解决这些问题必须投入巨大的人力、物力和技术力量.

日本对燃料电池电力车的开发领先于其他国家. 丰田公司已开发出采用纯氢或甲烷重整作燃料的电

表 2 电动车用大容量 MH/Ni 动力电池性能情况对比^[12]

Tabl2 Characteristics of high capacity Ni- MH batteries in the word

	电池容量 /Ah	电压 /V	电池尺寸 /mm	电池比能量 /Wh#kg ⁻¹
美国 Ovonic 公司	90	13.2	412@102@179	70
	50	12	412@102@179	70
SAFT 美国公司	100	12	390@120@195	60
日本古河电池公司	100	12	280@165@205	60
日本汤线公司	97	12	388@116@175	65
日本松下电池工业公司	100	12	388@116@175	70

动车, 还设计了一种混合结构的电动装置, 即燃料电池为主, 其他充电电池为辅的动力系统. 加拿大的 Ballard Power Systems 结合 DuPont 开发的性能良好的燃料电池用的离子交换膜, 使得燃料电池电动车使用成为可能. 丰田公司的 FCHV 和本田公司的 FCX 燃料电池电动车已在去年完成日本和美国的道路实验, 并在日本政府部门和美国的学校出售. 总之, 燃料电池要作为电动车用电池使用必须在催化剂、质子交换膜及燃料供应系统方面取得突破性进展.

表 3 电动车用锂离子电池的性能指标^[24]

Tabl 3 Specification of lithium-ion batteries ofr electric vehicles

形状	圆柱形单体电池				方形组合电池	
尺寸/mm	67@410	50@250	(0.49 L)	290@150@140	220@330@180	137@53@216
工作电压/V	3.6	3.6	3.6	28.8	28.8	125
额定容量/Ah	100	22	44	100	22	115
比能量/Wh#kg ⁻¹	110	62	143	100	55	265
比功率/W#kg ⁻¹	300	800	345	300	700	300
循环寿命/次	1200			1200		
质量/kg	3.3	1.2	1.1	29	12.5	3.3
用途	EV		HEV		SAFT(法)	
厂家	Sony(日本)	Sony(日本)	SAFT(法)	Sony(日本)	Sony(日本)	SAFT(法)

表 4 为天津电源所研制的 55Ah 圆柱形锂离子电池的主要性能指标^[20]

Tabl4 Specifications of 55Ah large-scale lithium-ion batteries developed by TIPS

质量 / kg	体积 / mm ³	工作电压 / V	额定容量 / Ah	质量比能量 / Wh#kg ⁻¹	体积比能量 / Wh#L ⁻¹	比功率 / W#kg ⁻¹	循环寿命 / 次	自放电率 / %#month	安全性
1.70	550@380	3.6	55	115	266	300	300	[15	好

1. 5 金属- 空气电池^[28- 30]

锌- 空气电池以锌为负极, 空气中的氧作为正极活性物质, 氢氧化钾溶液为电解液. 它的优点是: 原材料价廉、质量比能量较高、工作电压平稳、电池的生产过程对环境没有明显的影响. 目前, 实现商业化的锌- 空气电池以一次电池为主, 这主要与可再充锌- 空气电池的充电问题比较复杂, 锌- 空气电池电解液的吸湿与干涸, 电池的漏电有关. 锌- 空气电池要作为电动车用电源, 以上问题必须解决. 铝- 空气电池只能采用机械式充电, 使用起来不太方便. 尽管铝资源丰富, 但氧电极催化剂的价格很高. 各种因素都限制了铝- 空气电池作为电动车电源的应用. 继以色列 EFL 公司之后, 我国博信公司、通锐新能源等也进行了电动车用锌- 空气电池的研究开发.

总之, 金属- 空气电池用于电动车的很多研究还在摸索和尝试过程中.

2 结语及展望

电动车的发展与电动车用电源有着直接关系, 所以电动车用电池的研制十分重要. 从各种电池的性能及优缺点来看, 断言某一种电池会成为电动车用电池的主导的说法是不客观的. 因为, 不同的电池有着不同的性能和优点, 那它们就能适应不同的消费层次和满足不同的需要. 特别是对铅酸电池、MH/Ni 电池、锂离子电池和燃料电池来说, 在将来一段时间内, 这几种电池会共同占有电动车用电池的市场. 目前来看铅酸电池比较适合我国的消费水平, 但是笔者认为, 锂离子电池不但有着较好的性能, 而且价格下降的空间很大, 随着其材料的研究和发展, 特别是正极材料的研究和发展, 锂离子电池可能会成为被普遍接受的电动车用动力电池. 无论采用哪种电池, 单体电池的一致性都很重要, 同时还应该在电动车用电池系统的方面多做研究, 因为好的系统能延长电池寿命, 提高电池的安全性.

与燃油汽车相比, 我国在电动车方面的研究与国际水平相差不是太远, 如果能研制出符合我国国情的电动车用电池, 并能生产出被消费者接受的电动车, 将大大缓解我国由于汽车消费的急速增加而带来的环

境和能源压力.

参考文献:

- [1] 毕道治. 混合电动车电池的开发及展望 [A]. 电动车及新型电池学术交流会论文集. 上海, 2003. 6.
- [2] 吴锋, 李丽. 电动车用高率二次电池研究进展 [A]. 电动车及新型电池学术交流会论文集. 上海, 2003. 11~ 13.
- [3] 吴寿松. 论电动自行车蓄电池的改进 [A]. 电动车及新型电池学术交流会论文集. 上海, 2003. 16~ 17.
- [4] Moseley P T. The advanced lead- acid battery consortium - a world- wiide cooperation bring rapid progress[J]. J Power Sources, 1999, 80: 1~ 6.
- [5] 闫志刚, 唐民洪, 张绍辉. 电动自行车用铅酸动力电池的发展状况 [J]. 蓄电池, 2002, (3): 97~ 102.
- [6] 闫志刚, 胡信国. 提高铅酸电池活性物质利用率 [J]. 电池, 2001, 31 (2): 90~ 92.
- [7] Calabek M, Mivak K, et al. Analysis of positive plate resistance during cycling and the effect of compression [J]. J. power source, 1997, 67(1~ 2): 85~ 91.
- [8] 张文保. 电动汽车电池及其充电问题 [J]. 电池, 1997, 27 (3): 129.
- [9] 桂长清. 电动车用铅酸蓄电池 [J]. 电池, 1999, 29 (1): 31.
- [10] 李诚芳. 电动自行车及其电池 [A]. 电动车及新型电池学术交流会论文集. 上海, 2003, 18~ 22.
- [11] 胡信国, 闫志刚, 章宁琳, 董一波, 毛贤仙. 国内外电动车电池的发展近况 [J]. 电池, 2001, 31 (3): 138~ 141.
- [12] 吴伯荣. 电动车用MN/Ni 动力电池 [J]. 电源技术, 2000, 24 (1): 45~ 47.
- [13] 张俊英, 闫得意. 电动汽车用MH/Ni 电池的研制 [J]. 电源技术, 2002, 26 (2): 69~ 73.
- [14] 夏熙. MH/Ni 电池的现状与发展方向 [J]. 电池, 2002, 32 (1): 76~ 78.
- [15] 任学佑. MH/Ni 电池的发展现状 [J]. 电池, 2002, 32 (5): 302~ 305.
- [16] 赵清, 徐衍亮, 安忠良, 等. 电动汽车的发展与环境保护 [J]. 沈阳工业大学学报, 2000, 22 (5): 430~ 432.
- [17] 陈立泉. 动力车锂离子电池材料问题 [J]. 中国工程科学, 2002, 4 (11): 32~ 36.
- [18] Wehrey M C. Electric and Hybrid Vehicle technology. 1999, (99): 75.
- [19] 庄全超, 武山, 刘文元, 等. 锂离子电池材料研究进展 [J]. 电池, 2003, 33 (2): 116~ 118.
- [20] 冯熙康, 王伯良, 陈爱松, 等. 动力汽车锂离子动力电池系统的研制 [J]. 电源技术, 2002, 26 (2): 35~ 38.
- [21] 雷惊雷, 张占军, 吴立人, 等. 电动车, 电动车用电源及其发展战略 [J]. 电源技术, 2001, 25 (1): 40~ 46.
- [22] 刘业翔, 胡国荣, 禹筱元. 锂离子电池研究与开发的新进展 [J]. 电池, 2002, 32 (5): 269~ 273.
- [23] 黄学杰. 锂离子动力电池及其部分关键材料 [J]. 电池, 2002, , 32(s1): 32~ 35.
- [24] 郭炳, 徐徽, 王先友, 宵立新. 锂离子电池 [M]. 长沙: 中南大学出版社, 2002.
- [25] 陈军, 袁华堂. 日本燃料电池的发展状况 [J]. 电源技术, 2002, 26(1): 39~ 42.
- [26] 夏永姚. 高能二次电池开发的现状和展望 [J]. 产业论坛, 2003(9): 16~ 22.
- [27] 郭自强. 电动车电池概况及发展前景 [A]. 电动车及新型电池学术交流会论文集. 上海, 2003, 40~ 44.
- [28] 张文保. 电动自行车用电池和燃料电池现状 [A]. 电动车及新型电池学术交流会论文集. 上海, 2003, 23~ 26.
- [29] 张文保. 可再充锌空气电池的发展 [J]. 电源技术, 2002, 26(6): 448~ 451
- [30] 桂长清. 铝空气电池的前景 [J]. 电池, 2002, 32(5)305~ 307.
- [31] 吴锋. 绿色动力蓄电池的现状与展望 [J]. 电池, 2002, 32(s1): 9.
- [32] 汪继强. 第二十届国际原电池和蓄电池会议评述 [J]. 电源技术, 2003, 27(3): 322~ 328.