

# 电动汽车的动力电池技术\*

田玉冬,朱新坚,曹广益

(上海交通大学燃料电池研究所,上海 200030)

**摘要:**当前节能和环保正日益受到重视,因此,电动汽车已经成为各国政府和汽车企业关注的热点,正在初步形成朝阳产业。动力电池技术是电动汽车开发中需要解决的关键技术。分析国内外动力电池技术及其发展;在比较了各类动力电池的优缺点和综合性能的基础上,指出全密封铅酸蓄电池、MH-Ni 蓄电池、锂离子蓄电池、锌空气蓄电池、质子交换膜燃料电池超大容量电容器和飞轮蓄电池将是 21 世纪动力电池技术发展的目标。

**关键词:**电动汽车;动力电池;电池技术

中图分类号:TM911.48

文献标识码:A

文章编号:1003-4250(2003)03-0036-06

## 1 前言

上个世纪 80 年代以来,随着全球经济的稳步发展,汽车的产量和保有量急剧增加。这些燃油汽车所排放的废气造成空气质量日趋恶化。环境问题,特别是大气环境污染问题,已引起世界各国,尤其是发达国家的普遍关注。同时,目前世界石油资源日趋紧张,石油价格始终居高不下。因此,各国政府和各大汽车企业都正在加紧开发无排放或低排放、低油耗的清洁汽车。

进入 90 年代,以美欧为主的一些西方国家开始制订并逐步执行严厉的汽车尾气排放标准,低能耗、无污染的绿色汽车开始成为人们关注的热点。而电动汽车又是能达到这一目标的为数很少的环保型汽车。迫于形势的要求,各种新材料和新技术在电动汽车上不断被开发应用,电动汽车的发展异常迅猛。

电动汽车以车载电池为动力,具有清洁无污染、能源多样化、能量转换效率高、结构简单、使用维修方便等特点。电动汽车按照其动力能源,大体分为四种类型:

- (1) 电池电动车(BEV);
- (2) 混合型电动车(HEV);
- (3) 燃料电池电动车(FCEV);
- (4) 太阳能汽车(SCEV)。

目前电动汽车的关键技术是动力电池技术。因此,各大汽车公司都在全力开发电动汽车的核心技术——电池新技术<sup>(1)</sup>。

## 2 电动汽车对动力电池的要求

作为电动汽车用的动力电池,必须满足下列要求:

- (1) 体积小、重量轻、贮存能量密度高,使电动汽车的一次充电续驶里程长;
- (2) 能量输出密度高,使电动汽车的加速性能和爬坡性能好;
- (3) 能够快速启动和运行,可靠性高;
- (4) 循环次数高,使用寿命长;
- (5) 环境适应性强,能在一定湿度下正常工作,抗振动冲击性能好;
- (6) 环保性能好,无二次污染,并有可再生利用性;
- (7) 维修方便,保养费用低;
- (8) 安全性好,能够有效防止因泄露或短路引起的起火或爆炸;
- (9) 价格低,经济性好;
- (10) 燃料储存、处理和输送方便,能够利用现有的燃油加油系统。

这些要求不仅是满足电动汽车动力的需要,而且是让电动汽车能够与燃油汽车相竞争<sup>(2)</sup>。

\* 收稿日期:2003-03-17

基金项目:国家十五 863 项目(2002AA51700)。

作者简介:田玉冬(1968-),男,甘肃武都人,讲师,博士生,研究方向为汽车 CAD 与 CAT、燃料电池系统和复杂工业系统的控制;朱新坚(1958-),男,博导,国家十五 863 主题专家,研究方向为非线性控制系统;曹广益,男,博导,上海交通大学燃料电池研究所所长,研究方向为燃料电池技术。

### 3 可供电动汽车用的各类动力电池<sup>(3)</sup>

#### 3.1 蓄电池

##### 3.1.1 铅酸蓄电池(LAB)<sup>(4)</sup>

铅酸蓄电池已经有 100 多年的使用历史,是目前唯一大量生产的电动车电池。铅酸蓄电池的正极采用二氧化铅,负极采用海绵状铅,电解液是稀硫酸溶液,单元电压为 2V。其化学反应方程式为:



铅酸蓄电池性能可靠,技术成熟,价格低,但质量重,过充电和过放电性能差,且容易自放电,比能量、能量密度和寿命都不够理想,快速充电困难。因此,国际先进铅蓄电池联合体(ALABC)在 90 年代一直致力先进铅酸蓄电池研究,并使比能量、循环寿命及快充性能提高到 50Wh/kg(一次充电行程 160km)、600 - 800 次、50%/5min(80%/15min)。我国在“八五”计划期间国家科委也把铅酸蓄电池的改进列为重点项目予以支持,并取得了一定的进展。

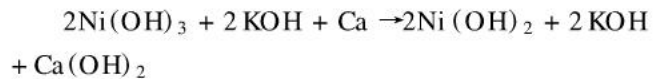
电动汽车采用铅酸蓄电池,主要是它价格便宜,如美国通用的 EV-1、克莱斯勒的 EPIC 和美国 EV 专业生产厂苏莱克亚(Solectria)的 Force EV 电动汽车。我国保定风帆公司及镇江蓄电池厂的密封铅蓄电池已在面包车(20 × 12V150Ah 电池组,最高车速 80km/h,续驶里程 100km)和小轿车(10 × 12V150Ah 电池组,最高车速 80km/h,续驶里程 100km)上试用。目前,存在的最大问题是均匀性差。

铅酸蓄电池用于电动汽车的一次充电行驶里程短(约 100 - 150km),因此,改进铅酸蓄电池,仍然是科技开发的方向之一。

##### 3.1.2 镉镍蓄电池(Cd - Ni)

镉镍蓄电池是一种碱性电池。其正极是氢氧化

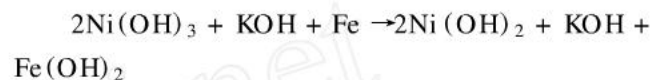
镍,负极是镉,电解质是氢氧化钾(或氢氧化钠)溶液。单元电压为 1.2V。其化学反应方程式为:



镉镍蓄电池质量轻、寿命长,大电流放电时容量稳定,且有较强的耐深度放电能力,但是价格较高,金属镉有剧毒。90 年代用于电动汽车,现在逐渐被金属氢化物镍蓄电池所代替。

##### 3.1.3 铁镍蓄电池(Fe - Ni)

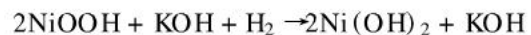
铁镍蓄电池的正极是氢氧化镍,负极是海绵状铁,电解质是氢氧化钾溶液。单元电压为 1.2V。其化学反应方程式为:



铁镍蓄电池的特点和镉镍蓄电池相同,价格也较高,并且使用中需要定期加水。

##### 3.1.4 金属氢化物镍蓄电池(MH - Ni)

金属氢化物镍蓄电池也是一种碱性电池。其正极是氢氧化镍,负极是储氢合金,电解质是氢氧化钾溶液。单元电压为 6V 和 12V。其化学反应方程式为:



MH - Ni 电池是 90 年代发展起来的一种新型绿色电池。其比能量较大,过充电和过放电性能好,可以进行快充,能带电充电,并且与镉镍电池有很好的互换性,但成本高。目前,广泛应用于便携式信息设备,MH - Ni 电池用于电动汽车主要在美国和日本进行开发。

美国 Ovonic 公司在美国先进电池开发联合体(USABC)的资助下开展电动汽车用 MH - Ni 电池的开发,研制水平达到了 USABC 制定的中期发展目标(见表 1),但成本较高。

表 1 USABC 中长期目标及 Ovonic 公司 MH - Ni 电池性能<sup>(4)</sup>

指 标	USABC(中期)	USABC(长期)	Ovonic 公司
比能量 W h/kg	80 - 100	200	70 - 80
比功率 W/kg	150 - 200	400	200 - 250
充电时间 h	< = 6	< = 3	15min(60%)
寿命 年(次)	5(600)	10(1000)	(600)
成本 美元/kWh	< 150	< 100	500 - 700
工作温度 °C	- 30 - 65	- 40 - 85	- 30 - 60

日本从事电动汽车用 MH - Ni 电池开发的主要代表性厂家为松下电池公司,成功开发了 BEV 用的

高能型电池组和 HEV 用的高功率型电池组,并且将成本降到 500 美元/kWh 左右。

我国电动汽车用 MH - Ni 电池的研究试验主要在北京有色金属总院进行(属 863 计划),共设计 10Ah、44Ah、80Ah、100Ah 四种类型,比能量分别为 55Wh/kg、58Wh/kg、60Wh/kg、67Wh/kg。组合成 6V 100Ah 电池组,比能量为 54Wh/kg,曾在电动轿车上进行了演示。

电动汽车用 MH - Ni 电池比铅酸蓄电池能量、寿命均提高 1~2 倍,一次充电续行里程可达 200~250km,但价格要贵 3~4 倍。

与之相应的有锌镍电池(Zn - Ni),比 MH - Ni 电池要便宜许多,约为铅酸蓄电池的 1.5~2 倍,但寿命较短(大约相当铅酸蓄电池 80%),尚需改进提高。日本已在电动汽车及割草机上推广使用。

### 3.1.5 钠氯化镍蓄电池(Na - NiCl<sub>2</sub> 或 ZEBRA)

钠氯化镍蓄电池是一种新型蓄电池。其正极是 Ni、Fe、Ca、Cr、Mn、Cu 等一系列过渡金属的氯化物,其中以 NiCl<sub>2</sub> 的效果最好,负极是液态金属钠,电解质是固体 β'' - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 矾土陶瓷管和 NaAlCl<sub>4</sub> 熔盐。

ZEBRA 的比能量、能量密度和比功率都较理想,且寿命长。目前国外正在加紧开发。

### 3.1.6 钠硫蓄电池(Na - S)

钠硫蓄电池的正极是带有一定导电物质的熔融硫,负极是熔融的钠,电解质是固体 β'' - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 矾土陶瓷管。单元电压为 2V 和 12V,其化学反应方程式为:



钠硫蓄电池容量大、质量轻,但使用寿命较短,并且正负极板物质必须处于高温熔融状态(300~350℃)。为此,必须有特殊的加热装置。美国、德国曾研制并用于电动汽车,但因安全问题,前景并不太看好。

### 3.1.7 锂离子蓄电池(Li - ion)

锂离子电池是 1989 年问世,1990 年由日本索尼公司首先推向市场的一种新型高能蓄电。其正极是 LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、LiNiO<sub>2</sub>、LiCo<sub>0.08</sub>Mg<sub>0.01</sub>Ni<sub>0.01</sub>O<sub>2</sub> 的化合物或碳化物,负极是球状石墨或球状石墨与片状石墨的锂碳化物 LiC<sub>6</sub>,电解质是 LiPF<sub>6</sub>/EC + DMC + DEC。单元电压为 3.6V。

锂离子电池的比能量和比功率高,充放电性能好,已在便携式信息产品中获得推广应用;并且,由于具有工作电压高、循环寿命长、自放电率低、无记忆效应、无污染等其它动力电池无与伦比的优越性,现已经成为世界公认的电动汽车动力电池的研发重点。

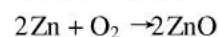
锂离子电池用于电动汽车一次充电可续行 400~500km。日本索尼公司已成功开发了两种用于电动车的锂离子蓄电池,一种是由于 BEV 的高能型锂电池(容量为 100Ah 的圆柱形单体电池,8 只串联成一个电池模块),另一种是由于 HEV 的高功率型锂电池(容量为 22Ah,8 只串联成电池模块,输出功率为前者的 2.7 倍)<sup>[4]</sup>。

我国锂离子电池的研制开发也毫不逊色,其中深圳雷天绿色电动源公司开发的锂离子电池续驶能力达到 300km,最高时速可达 120km,充电次数在 1000 次以上,单台车电池组成本在 40000 元左右。

电动车用锂离子电池推广应用的障碍之一是其价格太高,其中正极加隔膜的成本占锂离子电池总成本的 60% 以上。因此,如何努力降低隔膜及正极的成本将是今后努力的方向。法国萨弗特公司正在用 LiNiO<sub>2</sub> 及 LiNi<sub>x</sub>M<sub>y</sub>O<sub>2</sub> 等较便宜的正极材料开发低价格的锂离子电池,并已取得技术进展。德国瓦尔塔公司则正在采用更廉价的尖晶石 LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 为正极材料开发低价格的锂离子电池。与此同时,索尼公司也在努力降低其锂离子电池的售价,以加强它与 MH - Ni 电池的市场竞争能力。

### 3.1.8 锌空气蓄电池

锌空气蓄电池多为一次性充电电池,其正极是锌,负极是氧,电解质是氢氧化钾。单元电压为 1.0~1.2V。其化学反应方程式为:



锌空气蓄电池的比能量大,性能稳定,安全性好,自放电率低,回收再生方便,价格也适当,因此,有推广前途。德国、以色列已应用于电动大客车。国内也有单位在开发试验。

### 3.1.9 铝空气蓄电池

铝空气蓄电池正极是高纯度的铝,负极是氧,电解质是氢氧化钾和氢氧化钠水溶液。其化学反应方程式为:



铝空气蓄电池的比能量大、质量轻,铝回收再生方便,成本也低,但比功率较低,充放电速度较慢,电压滞后,自放功率较大。另外,还需防止工作时的过热。

## 3.2 太阳能电池

太阳能电池是直接将太阳能转变成电能的装置。太阳能电池通常用硅作为原料。目前,主要有三种结构:非晶硅、单晶硅、多晶硅。

其中非晶硅太阳能电池的光转换率为 11.1%,单晶硅太阳能电池的光转换率为 21%,多晶硅太阳

能电池的光转换率 34.3%。太阳能电池目前存在着光电转换率低、成本高的缺点,需要进一步的研究。

### 3.3 质子交换膜燃料电池(PEMFC)

燃料电池(FC)是一种直接将燃料的化学能转换为电能的能量转换装置。它能够使用多种燃料,如,石油燃料、天然气、生物燃料,以及包括再生燃料等。燃料电池正极通入氧气或空气,负极通入氢气。电解质有酸性、碱性、熔融盐类和固体等多种类型。其中质子交换膜燃料电池(PEMFC)电动汽车的理想电源。其电化学过程是:在质子交换膜的一侧供给氢,另一侧供给氧,氢原子在催化剂的作用下分解成质子  $H^+$  和电子  $e^-$ ,  $H^+$  透过质子交换膜与另一边的氧形成水分子,电子则留在原地,从而形成电势差以提供电流。

PEMFC的优点是以固体物质(质子交换膜)为电解质,易操作无腐蚀,结构紧凑,耐冲击振动,工作温度低( $80^\circ C$ ),易常温启动,具有比其他类型燃料电池更高的功率密度,比蓄电池电动车行驶距离长,综合热效率可高达 80%。另外,其正、负极物质并不贮于电池之中而在电池之外,因而无需耗时充电<sup>[6]</sup>。

最早的 PEMFC 是由美国通用电气公司(GE)和航天局联合开发于 60 年代。此后,GE 一直进行 PEMFC 系统的研究和试验。80 年代,PEMFC 的研究日趋活跃,其中加拿大国防部资助的 Ballard 公司(BPS)取得了突破性的进展。90 年代以来各发达国家竞相开发的电动汽车 PEMFC。加、美、日、德等国处于领先地位。BPS 迄今已开发了 5 代 PEMFC 电动车电池,并在电动汽车上试验成功。目前,商品化的障碍是价格及氢源问题<sup>[7]</sup>。

PEMFC 的膜和双极板材料的成本占总成本的 60%,因此,研究新的膜材料和双极板材料以及膜电极组件的大规模生产工艺是 PEMFC 研究的重要课题。目前,催化剂 Pt 的含量已由  $0.4mg/cm^2$  降至  $0.1mg/cm^2$ ,膜价格已由 700 美元/ $m^2$  降至 50 美元/ $m^2$  相当于 10 美元/kW(0.65V)和 17 美元/kW(0.75V),集流板使用表面改性不锈钢代替石墨板。但是,膜和表面改性不锈钢的生产技术被发达国家的几个供应商所垄断。

以中科院大连化物所为代表的我国 PEMFC 研制水平距离世界水平的差距很小,已经研制成功 10kW 级 PEMFC 发电系统<sup>[6]</sup>。

另一方面,为了不必在将来大规模地改造当前汽车燃料的供应基础设施,各大汽车公司正集中力量研究车载小型高集成重整器,以便将来用汽油、甲

醇、乙醇等以及部分氧化甲醇直接在汽车上制取氢气,供给 PEMFC。但这样制备的重整气含 CO 达到 1%,会使催化剂降低性能或失效,必须处理后方可送入 PEMFC。

在产业化方面,未来 PEMFC 的研究主要是稳定技术指标降低生产成本,优化电池堆和其控制维护系统。其研制目标是:比功率为  $0.4kW/kg$ ,功率密度为  $0.4kW/L$ ,成本降到 50~100 美元/kWh,启动时间为 30s(满功率),寿命为 5 000h 或 160 000km<sup>[7]</sup>。

### 3.4 超容量电容器

超容量电容器是一种高能量的储能元件,称为电蓄能器。它能够存储大量电荷,而且能迅速充放电。目前,超容量电容器作为一种新型的储能装置,各国正加紧开展对它的研究。

超容量电容器的比功率镍镉蓄电池数倍,寿命为镍镉蓄电池的 10 倍,与一般蓄电池结合使用,可增强电动汽车加速及爬坡能力,并对蓄电池起保护作用,极有发展前途。美国、日本已有商品问世,国内也在组织研究。目前,超容量电容器已开始应用于电网的负载调配和电动汽车的动力装置以及其他需要的不间断电源(UPS)。

### 3.5 飞轮电池

飞轮电池是利用飞轮的旋转惯性矩来贮存能量的,属电力机械电池,在高真空及高速旋转条件下,应用磁悬浮机理,可获得大能量。飞轮电池内部设置有电动机/发电机的能量互换装置,当飞轮加速旋转时聚积能量,称为充电;而当飞轮减速时释放能量,称为放电。

飞轮电池中的飞轮一般可以设计在 50 000~200 000r/min 超高速旋转。其贮存的比能量已超过最好的电化学电池的比能量,而且它比电化学电池具有更多的优势,如,容易测量飞轮的充电状态,对温度不敏感,充电时间较短,深度放电不会影响性能,循环使用寿命较长,对环境不会造成危害。

飞轮电池用于电动汽车一次充电可续行 580~950km,使用寿命可达 25 年以上。美国已完成样品试验。

## 4 评价车用动力电池的指标

(1) 比能量,又称为质量比能量,用 Wh/kg 表示,它标志着一次充电能驶多少里程,代表每公斤质量的电池能够提供多少能量;

(2) 能量密度,又称为何种比能量,用 Wh/L 表示,它标志着蓄电池占据车内多少空间,代表着每公

斤容积的电池能够提供多少能量;

(3) 比功率,又称为质量比功率,用 W/kg 表示,它标志着汽车的加速性能和最高车速,代表每公斤质量的电池能提供多大马力;

(4) 功率密度,又称为体积比功率,用 W/L 表示,它标志着提供一定功率的电池所占据的车内空间,代表每公升容积的电池能提供多大马力(一般可以省略);

(5) 寿命,用工作时间或总行驶里程表示,它标志着使用的经济性、方便性;

(6) 快充电性能,用充满 50%、80% 或 100% 能量所需的时间表示;

(7) 价格,用总计购入价表示,它标志着使用经济性,代表按里程计算的使用成本因素。

表 2 是各种主要电动汽车动力蓄电池的性能对比。

表 2 各种主要电动汽车动力蓄电池的性能对比

性能 电池种类	比能量 (Wh/kg)	能量密度 (Wh/L)	比功率 (W/kg)	功率密度 (W/L)	循环寿命 (次)	价格 (美元/kWh)	商品化 程度
LAB	35 - 50	65 - 90	100 - 150	120	500 - 800	80	大量生产
Cd - Ni	50 - 60	80 - 110	160 - 200	- -	1 000	130	批量生产
Fe - Ni	50 - 60	- -	160 - 200	- -	800 - 1 000	200	试验
MH - Ni	70 - 100	135 - 150	180 - 250	160	1 500 - 2 000	300 - 400	小量生产
Zn - Ni	70 - 85	- -	170 - 220	- -	300 - 400	150	试验,正应用
ZEBRA	100 - 120	132	200 - 250	- -	1 000	300 - 400	试验
Na - S	100 - 120	150	130 - 150	300	1 100	1 000	试验,正应用
Li - ion	100 - 120	170 - 250	300	- -	1 200	500 - 600	小量生产
Zn - Air	180	- -	150	- -	100	100 - 150	试验,正应用
Al - Air	200	250	100	- -	500	100 - 150	试验
汽油发动机	400	- -	540	- -	50 万 km	50	大量生产

## 5 各种电动汽车动力电池的发展空间

目前,用于电动汽车的动力电池的种类很多,而且市场竞争日趋激烈。在这种情况下,加快研究和开发适当的电动汽车动力电池并使之商品化是很关键的。

欧盟(EU)执委会已决定自 2003 年 7 月 1 日起,新销售的汽车(包括电动汽车),禁止使用铅、水银、镉和铬等重金属;并且自 2006 年 1 月 1 日起,所有汽车(包括电动汽车),禁止使用镉电瓶,建议使用 MH-Ni 和 Li-ion 电瓶。这对当前电动汽车动力电池的发展带来了一个明显的信号。

当前集中研究的电动汽车动力电池主要有如下几种:

(1) 密封双极 LAB。LAB 生产厂家很多,由于 Cd-Ni 的性价比不如 LAB 且存在镉污染,所以,发展全密封阀控式 LAB,淘汰传统的 LAB 并向双极结构和轻量发展是主要方向。最近美国开发了一种铅布双极 LAB,使比能量比提高了 50%~10%,寿命提高了近一倍;

(2) MN-Ni, Zn-Ni, Li-ion 由于电池成本高,导

致汽车整车成本比一般内燃机汽车高出一倍以上,很难为普通消费者接受,急需降低成本。Cd-Ni, Fe-Ni 比能量低,而且,Cd-Ni 存在着 Cd 污染,Fe-Ni 电池存在着需要定期加水和除去氧气等问题,相对而言锌空气电池有推广前途,价格也适当;

(3) 超大容量电容器和飞轮蓄电池,极有前途。日本已有商品问世,美国已完成样品试验。作为辅助动力电池,国内急需组织开发。

(4) PEMFC 一直被认为是电动汽车的理想电源。

作为实用开发的重点和目标应该分为近期、中期和远期。近期以改进的 LAB 为主,中期以 MH-Ni、Li-ion、锌空气电池、超大容量电容器和飞轮蓄电池为主,远期以 PEMFC 为主。

## 6 结语

进入新世纪,电动汽车动力电池技术的发展很快,技术和市场垄断日趋明显,竞争加剧。究其原因,是发达国家对未来能源技术的竞争,我国是世界上能源消费增长最快的国家,也是环境污染严重的国家。作为一个大国,发展和储备动力电池技术是解决能源短缺和环境污染的有效方法之一,也是跟

踪发达国家高新技术的一个重要领域。尽管我国在电动汽车动力电池的研究方面取得了一些进展,但研究和发展的总体水平与国际水平还有很大差距。

参考文献:

- (1) G. G. Harding. Electric Vehicles in the Next Millemium (J). Journal of Power Sources, 1999, (78): 193 - 198.
- (2) 阿布里提. 阿布都拉, 清水健一. 电动汽车的发展现状和开发动向 (J). 电工电能新技术, 2000, (1): 49 - 53.
- (3) K. T. Chan, Y. S. Wong, C. C. Chan. An overview of Energy Sources for Electric Vehicles (J). Energy Convension & Management, 1999, (40): 1021 - 1039.
- (4) 毕道治. 电动车电池的开发现状 & 展望 (Z). 电池工业, 2000, 2.
- (5) M. Nadal, F. Barbir. Development of a Hybrid Fuel Cell Powered Electric Vehicle (J). International Journal of Hydrogen, 1996, 21(6): 197 - 505.
- (6) 衣宝廉. 燃料电池 (M). 北京: 化工工业出版社, 2001.
- (7) Chritian Fellner, John Newman. High - power batteries for use in hybrid vehicles (J). Journal of Power Sources, 2000, (85): 229 - 236.
- (8) 兰泽金, 曹欣玉, 周俊虎, 等. 质子交换膜燃料电池及其在电动车上应用的现状 (Z). 能源工程, 2002, 3.

## The technology of driving cells for electric vehicle

TIAN Yu-dong, ZHU Xing-jian, CAO Guang-yi

(Fuel Cell Research Institute of Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, 200030, China)

**Abstract:** Now saving energy and protecting environment are becoming more and more important, so the electric vehicle (EV) has been the attention focus for the governments and the vehicle companies in the world, and is being formed as an industry with vitality. The driving cell technology is the key of developing EV. The paper analyzes the driving cell technology and its development, and points out that the advanced cells, such as ALAB, MH - Ni, Li - ion, Zn - Air, PEMFC, etc., will be the 21th developing goals.

**Key words:** electric vehicle; driving cells; cell technology

(上接第 24 页)

器,使系统结构大减化,造价较低。在有限的实测参数的基础上,运用专家系统进行故障诊断,使得系统灵活性增强,如进一步增加专家系统的自学能力,则可使系统具有可扩充性,性能可以逐步提高。以实测数据为基础,与专家经验结合的智能型的诊断方法是故障诊断系统发展的方向,我们在这里作了初

步的探讨,并取得了可喜的应用成果。

参考文献:

- (1) 赵锦成,等. 内燃机电站检测技术 (M). 兵器工业出版社, 1998, 2.
- (2) 王念旭,等. DSP 基于应用系统设计 (M). 北京: 航空航天大学出版社, 2001, 8.

## Fault-diagnosing system out of power station used by a equipment

YAN Ying-min, ZHAO Jin-cheng, LIU Hong-wen

(Ordnance Engineering College, Hebei Prov., Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** The power station testing system is ATE used for auto - testing the weapons of marines, which has several functions of properties testing and fault diagnosis, self - detection. Its function, principle, designing of hardware and software, and its characteristics are emphasized.

**Key words:** power station; fault diagnosis; auto - testing