

'97

# 中国电动车研究与开发

中国电工技术学会电动车辆专业委员会 编



海洋出版社

# '97 中国电动车研究与开发

中国电工技术学会电动车辆专业委员会 编

海洋出版社

1997年·北京

## 图书在版编目(CIP)数据

'97 中国电动车研究与开发/中国电工技术学会电动车辆专业委员会编. —北京:海洋出版社,1997.9

ISBN 7-5027-4399-5

I. '9... I. 中... III. 电传动汽车-研究-中国-文集 N. U469.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 20425 号

海洋出版社 出版发行

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京航空航天大学印刷厂印刷 新华书店发行所经销

1997 年 9 月第 1 版 1997 年 9 月北京第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:12

字数:26 千字 印数:1~300 册

定价:80.00 元 1.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

## 前 言

中国电工技术学会电动车辆专业委员会第六次学术大会将于 1997 年 9 月 25 日~ 27 日在广州举行, 本书收入该会议交流的论文 31 篇, 其中大会特邀报告 4 篇。遗憾的是因印刷时间限制, 有部分大会报告未能收入。

汽车是现代文明不可缺少的重要部分, 汽车工业已成为现代经济的支柱产业。然而, 燃油车辆的发展, 致使城市中尾气排放及噪声污染日趋严重, 同时还消耗了大量宝贵的石油资源。因此, 各国都不得不积极寻求开发排放低、使用新能源的新型交通工具。电动车辆由于行驶时零排放、噪声低、电能来源广阔、能源利用效率高等优点受到普遍的高度重视, 各发达国家政府和许多大企业投入巨额资金从事电动汽车技术的研究及生产开发工作。

国务院领导同志对我国电动汽车的发展非常关心, 多次为电动车作了专门批示。“七五”、“八五”期间国家投入了大量的人力物力进行电动汽车的研究开发, “九五”规划中电动汽车的发展列入了国家科委的重大科技项目。我国电动汽车工作进入一个崭新的时期。

今年是中国电工技术学会(电动车辆研究会)成立 10 周年。10 年来, 在各界的关心与支持下, 学会工作取得了较好的成绩。截止到 1997 年 8 月底专委会已拥有 128 个团体会员。我们真诚地希望大家能一如既往地支持专委会的工作, 增加专委会的凝聚力, 增强创新力, 增大专委会的实力和影响, 大家一起努力为我国电动车事业的大发展作贡献。

在电动车辆专业委员会第六次学术大会召开之际, 我们出版了这本论文集, 以庆祝电动车辆专业委员会的 10 岁生日。来稿中有一些提出了新的思路, 这些观点不一定完全正确, 方法上也有欠妥之处, 但由于电动车辆技术涉及面广, 有许多需要深入研究解决的问题, 故本书收入了部分立论还不很成熟的论文, 供大家交流参考。由于编者能力有限, 错误之处, 欢迎指正。

赖 坚  
1997 年 9 月

# 目 次

电动汽车走向产业化和实际应用的探索.....	伦景光	(1)
从美国“新一代汽车合作计划”(PNGV)看世界汽车高新技术的发展.....	陈全世 刘立群	(10)
电动自行车发展现状和展望.....	忻元敏	(15)
对加速开发我国电动车辆的建议.....	王新民	(25)
对绿色能源开发路径的探讨.....	张志勇	(27)
科技与市场相结合,促进电动车产业化商品化.....	黄宣俊	(31)
电动汽车+智能公路=未来的城市交通系统.....	张凯文	(35)
电动汽车概论.....	邓瑞华 曹可等	(38)
EV6630 电动轻型客车的研制.....	罗玉涛 廖权来	(44)
电动汽车的试验研究.....	廖权来 罗玉涛	(55)
EV6630 电动客车运行状况及分析.....	邓瑞华 尚韶生等	(62)
EQ6690EV 电动客车动力性、能量经济性试验研究.....	刘 健	(67)
轻型客货车的研究与开发.....	陈全世 伦景光等	(76)
采用三相感应电动机的电动车.....	冯金尧 梅远非等	(83)
电动微车驱动系统模糊控制技术的研究.....	万沛霖 石晓辉等	(86)
PWM D 系统中电机的各种运转状态分析.....	郑有根 蒋 辉	(92)
交流永磁电子转向电机在电动车上的应用.....	黎文锋 李优新	(97)
一种新型大功率电动汽车动力系统.....	程夕明 邵立人	(104)
一种高性能的电动汽车驱动系统方案初探.....	闵庆文 姜同凯	(109)
电动摩托车设计及实验研究.....	黄榕清 李权民等	(113)
电动自行车关键技术研究及总体设计的几点体会.....	孙晓民 齐国光	(119)
智能型电动助力车模糊控制方案.....	倪 川	(123)
电动汽车能量反馈系统设计.....	黄榕清 罗玉涛	(129)
铅酸蓄电池模型的研究.....	谭新德 谢富春	(135)
燃料电池和二次电池在电动汽车上的应用前景.....	葛正泽	(140)
动力方型金属氢氧化物-镍(MH-Ni)蓄电池研制报告.....	杨小安 贺风山	(149)
锌空气电池在电动汽车上的应用.....	张 蓬	(156)
铅酸蓄电池在电动汽车应用中应注意的若干问题.....	廖权来 罗 奔	(163)
电动汽车用高能电池——NaNiCl <sub>2</sub> Zebra 电池.....	曹佳弟 陈昆刚	(166)
具有集电 蓄电复合能源系统的都市电动汽车方案.....	刘本林 黄柱邦	(171)
快速凝固含镍 LaNi <sub>5</sub> 基贮氢电极材料——吸氢行为与组织结构.....	陈 廉 佟敏等	(175)

## CONTENTS

The Exploration on the Industrialization and Practice Applied of EV.....	Lun Jingguang (1)
Evolution of High-technology on Vehicle from PNGV.....	Chen Quanshi Liu Liqun (10)
Current Situation of Electric Bicycle and it's future.....	Xin Yuanming (15)
The Suggestion on Chinese EV Program .....	Wang Xinming (25)
Discussion on the Way of Developing the Green Energy .....	Zhang Zhiyong (27)
Combine Science & Technology with Market to Promote the Industrialization and Commercialization of Electrical Vehicle .....	Huang Xuanjun (31)
EV + Intelligent Highway = the Future System of City Traffic .....	Zhang Kaiwen (35)
The Outline of EV .....	Deng Ruihua Cao Ke (38)
The Design of EV6630 Electric Minibus .....	Luo Yutao Liao Quanlai (44)
The Test of Electric Vehicle .....	Liao Quanlai Luo Yutao (55)
The Analysis about the Performance of EV6630 Electric Minibus .....	Deng Ruihua Shang Shaosheng (62)
Test Research of the Dynamic Characteristics and the Energy Economy on EQ6690EV Electric Bus .....	Liu Jian (67)
The Development of Electric Van .....	Chen Quanshi Lun Jingguang (76)
An Electric Vehicle Driven by Three Phase Induction Motor .....	Feng Jinyao Mei Yuan Fei (83)
A Study On the Fuzzy Controlled Powertrain System for Mini Electric Vehicle .....	Wan Peilin Shi Xiaohui (86)
The Analysis of Motor's Working States under PWM-D .....	Zheng Yougen Jiang Hui (92)
A Permanent Magnetism AC Motor with the Electronic converter used in EV .....	Li Wenfeng Li Youxin (97)
A New-Type Heavy Powertrain System of Electric Vehicle .....	Chen Ximing Shao Liren(104)
Discussion on the Scheme of an Excellent Driving System for Electric Vehicle .....	Min Qinwen Jiang Tongkai(109)



The Design of Electric Motorcycle and it's Test Research .....	Huang Rongqing Li Quanmin(113)
Key Technology Research and Experiences of Electric Bicycles .....	Sun Xiaoming Qi Guoguang(119)
A Scheme of Intelligent Fuzzy Controller For Electrical Bicycle .....	Ni Chuan(123)
The Design of Energy Feedback System for Electric Vehicle .....	Huang Rongqing Luo Yutao(129)
The Research on the Model of Lead Acid Battery .....	Tan Xinde Xie Fuchun(135)
Foreground of the Fuel Cells and Quadric Cell Used in EV.....	Ge Zhengze(140)
A Study on the Prismatic Powered MH-Ni Battery .....	Yang Xiaoan He Fengshan(149)
The Development of Zinc-Air Battery for Electric Vehicle .....	Zhang Peng(156)
Some Notices when Lead-acids Batteries are used in EV .....	Liao Quanlai Luo ben(163)
Na/NiCl <sub>2</sub> (Zebra) High Energy Battery for EV Application .....	Cao Jiadi Chen Kungang(166)
A Scheme of City Electric Vehicle with Compound Power Systems .....	Liu Benlin Hang Zhubang(171)
Rapidly Solidified LaNi <sub>3</sub> based Hydrogen Storage Electrode Material Containing —Tin-hydrogen-absorbing Behaviors and Micro-structure Characteristics .....	Chen Lian Tong Min(175)

# 电动汽车走向产业化和实际应用的探索

清华大学 伦景光

最近两年电动汽车的发展已进入一个新的阶段——小批量商业化生产及推向市场的实际应用，正在法国、美国、德国和日本进行的这一新的探索受到广泛关注，他们成功的经验值得我们学习，他们遇到的困难值得我们注意，尤其是他们结合各国的情况及各自的条件在选择市场目标、车型、技术路线、各单元技术及其集成、推广应用的方式，以及政府政策、社会的支持等诸多方面的实践值得我们参考。

## 1. 法国

1995年9月1日法国标志-雪铁龙公司将标志 P106 和雪铁龙 AX（1996年12月改为 SAXO 型）两种电动小轿车投入商业化生产，在法国西南部的 Deux Sevres 省的 Cerjay 建立总装线，在线上工作的职工 60 人，每天一班生产 30 辆车，在法国巴黎、里昂、第戎、拉·罗歇尔市等地推广应用，并向意大利的都灵、英国的考文垂、瑞士的门德里西奥、瑞典的马尔默、奥地利的维也纳等地方出口。

1991年6月标志-雪铁龙公司根据法国的国情及厂情，确定要开发适合市区及近郊区作为公务和私人第二辆交通用的小型电动轿车。经过市场调查及分析，决策部门决定采用改装车方案，利用已生产多年、在市场中有良好信誉的 P106 及 AX 改装，两车大同小异，P106 年产 33 万辆，AX 也年产 10 余万辆，充分利用它们大批量生产的零部件及设计生产经验，可做到成本低、投资省、见效快、可靠耐用、配件供应维修容易，迅速形成批量生产能力。在选择电动车所需的电池、电机等各项改装用的部件，也采用成熟可靠的、成本较低的技术及产品。由于是改装车性质，汽车受到原车设计和结构等的限制，不能充分发挥电动车的优点，性能指标稍低一点，但易为所确定的目标市场用户所接受。

两车电池均采用非密封型镉镍电池，6V，100Ah，重 13kg，比能量 46Wh/kg，电池组由 20 个单体电池串联，总电压 120V，总容量 12kWh，总质量 280kg，约占整车装备质量的 25%，由著名的 SAFT 公司生产。电池组有液冷系统，保证各电池工作温度均匀及安全。这种电池可以快速充电，深放电至 100%，自放电小（每天仅有 0.5%），充放电循环寿命达 2 000 次。镉虽有毒，但可以做到 100%回收。镉镍电池最大的问题是价格昂贵，现价为 350 美元/kWh（铅酸电池约为 100 美元/kWh），大批量生产时可降至 200 美元/kWh。法国雷诺汽车公司前几年用 9 部电动汽车使用镉镍电池进行 4 年的使用试验，



由于镉镍电池比能量高、深放电、寿命长和自放电低等一系列优点，按电动汽车每走 1km 的电池成本计，镉镍电池比铅酸电池还便宜（镉镍为 5.83 美元/100km，铅酸电池为 6.83

表 1

	雪铁龙 SAXO	EV - 1
总长·宽·高 (mm)	3 718 × 1 595 × 1 381	4 309 × 1 766 × 1 281
座位数	4	2
整备质量 (kg)	1 088	1 350
有效载荷 (kg)	300	200
最高车速 (km/h)	90	128
加速时间 (s)	0 ~ 50km/h 8.3	0 ~ 96km/h < 9
最大爬坡能力	27%	
一次充电行程:		
欧洲循环工况	85km	公路 144km
市区工况	75km	市区 112km

美元/100km)。两车电机均为直流他励有刷电机 SA13 型，由法国 Leroy Somer 公司生产，工作电压 120V，额定功率 11kW，0 ~ 1 600r/min 的扭矩为 127Nm，最大功率为 20kW（1 600 ~ 5 500r/min），电机最高效率达到 91%。电机控制器由法国 Sagem 公司制造，电动汽车的其他用电设备如车载充电器、给辅助电池的 12V DC 充电器、整车电路的安全保护设备、微计算机等均组装在一个控制箱中。控制箱是液冷的，冷却系与电池冷却系相通，整个控制箱的体积是 25L，重 25kg。两车均为前置动力前轮驱动，电动机与减速器（速比 6 : 1）、差速器做成一体，经等速万向节驱动前轮，取消了离合器及变速箱，整车参数如表 1 所示。目前 P106 及 SAXO 两种电动汽车在法国的售价见表 2（单位为法国法郎，1 美元为 6.1 法郎）

表 2

SAXO		P106	
4 座轿车	2 座货车	4 座轿车	2 座货车
86 500	69 500	93 600	69 950
(含 22% 增值税)	(不含税)	(含 22% 增值税)	(不含税)

以上售价不包括电池，约比同型燃油汽车贵 20%。为了支持电动汽车的推广，法国政府给私人或公司企业 5 000 法郎（含税）补贴用于购买或租赁一辆电动汽车。法国环境保护和能源控制署（ADEME）给地方行政机关或地方团体 8 000 法国法郎补贴用于购买一辆新的电动汽车。此外，电动汽车生产厂每生产一辆电动汽车，法国电力公司（EDF）给予以 1 万法郎的补贴以使生产厂降低售价。这样，电动汽车的售价便大致与燃油汽车持平，预计当电动汽车产量达到 5 万辆时，其价格将下降到同型燃油汽车相当，届时将会取消这些补贴。为了减少用户的风险，法国电力公司、SAFT 电池厂及法国两大汽车集团（标志—雪铁龙和雷诺）合资成立一个电池公司，负责把电动汽车用的电池租给用户，并负责电池的保养和维修。电池的租金每月为 605 法郎（含税），这个价格相当于一辆

100km耗油为10L、而每月行驶840km的燃油车的汽油费用。法国电费很便宜，电动汽车走100km耗电的费用仅为10法郎。法国投产的电动汽车当前的主要用户是法国政府、地方政府各机构、大型企业（如法国电力公司、巴黎机场、欧洲隧道公司等以及3家出租车公司Citer, Budget, Avis）。这几部分用户占93%，私人仅占7%。在车型上，两座货车占60%，四座轿车占40%。

法国政府和议会积极支持电动汽车的发展，设立一个跨部的部际电动汽车协调小组。法国政府、法国国营电力公司（EDF负责全国发电和电车输送）和法国两大汽车集团签订过一个框架协议，包括以下一些要点：

(1) 力争到1999年法国电动汽车的拥有量达到10万辆。

(2) 国家和电力公司保证逐步用电动汽车替代他们目前在市区使用的行政公务燃油车辆，2000年替代率达到10%。

(3) 法国政府给私人及私营公司，环保能源控制署给地方政府及地方团体购买及租赁每辆电动汽车以5000法郎和8000法郎补贴。

(4) 成立电池公司把电池租赁给用户，租费大致与油费相当。

(5) 在地方政府协助下，法国电力公司负责在道路两旁及停车场建立必要的充电设施。

(6) 法国议会已通过一项大气质量及合理使用能源的法案。其中规定，对公司使用的服务性电动汽车，取消其年税，地方政府可以取消电动汽车的各项契税。

(7) 对电动汽车的使用可提供各种便利，如禁止燃油汽车停车的地方可允许电动汽车停车，电动汽车还可以在收费停车场停车时免费。

(8) 法国政府的部际协调小组还负责向各市政府负责人宣传电动汽车的优点及政策，组织培训，向交通安全、保险、驾驶员培训、维修保养行业介绍电动汽车有关知识。

电动汽车第一个在法国受到大力推行，这不是偶然的，除了政府，议会等最高决策人的远见及决心外，与法国一些客观条件也有密切关系，如：

(1) 法国的电力75%来自核能，15%来自水力发电，法国大气的污染主要来自汽车的排放，一旦使用电动汽车就将从根本上改善大气的污染和充分利用晚间富余的大量电力，提高整体的经济效益。

(2) 法国是个缺油的国家，汽油价格几乎等于美国的4倍，而电力却十分便宜，这样十分有利于降低电动汽车的使用成本，并与燃油车竞争。

(3) 法国拥有发达的汽车工业，全国汽车拥有量超过3000万辆。平均每1.9个人就有一辆汽车，2.3个人有一辆轿车，平均每个家庭超过两辆轿车。作为家庭第二辆车或平常仅作上下班用的轿车，一般每日行驶里程不超过80km，这是目前电动汽车技术上有可能做到的。

(4) 法国电力公司是全国统一的、国营的、便于政府领导、协调及规划。法国电池、电机、电子工业、汽车制造有良好基础，处于世界先进水平，有几十年研究、试验、试用电动汽车的经验，在政府的支持下，1993~1995年在大西洋沿岸一个7.7万人口的城市拉·洛歇尔市进行过50辆车的实际应用试验并获得成功，积累了经验。

## 2. 美国

1996年9月1日美国通用汽车公司把它们开发的两座小型电动轿车EV-1投入商业化生产，在密执安州的兰辛市建成一个制造和装配EV-1的工厂，面积1万平方米，职工50人，每天一班可装配10辆，年生产能力为2000辆。1996年12月开始，首先在美国加州的洛杉矶市、圣地亚哥市和亚利桑那州的凤凰城开始销售，每辆售价35000美元。美国电动汽车的发展受到美国行政立法的强制推动，1990年加州通过规定，在加州销售的汽车1998年将有2%是电动汽车，2001年为5%，2003年为10%。加州每年销售汽车约180万辆，占美国汽车市场11.5%。加州宣布这一规定之后，美国有10个州宣布类似的规定，这11个州汽车销售量占美国总销量的34.7%，如果这一规定如期执行，1998年将有10.4万辆电动汽车在美国出售，而2003年将达到52万辆。这是一个多么巨大的市场（注：1996年美国加州与美国各汽车公司达成协议，取消1998年2%及2001年5%的规定，但保留2003年10%的规定）。美国汽车十分普及，全国汽车保有量2亿辆，平均1.8人有一辆轿车。美国20%家庭拥有3辆及3辆以上的汽车，美国公路发达，用户对电动汽车的要求很高，动力性、安全性、舒适性等各方面都要求达到或接近燃油汽车的水平，一次充电行程不小于150km。

在研究及分析这一情况后，通用汽车公司决定研制一辆全新的两座电动轿车作为私人及公务交通用车。他们说：“EV-1不是为要买汽车的人开发的，而是为要买电动汽车的人开发的”。他们把电动汽车看作一个全新的车型，按电动汽车的要求来设计，设计每一部分、每一部件时都要问一问“这是不是最好的”，在这一思想指导下，1990年1月在洛杉矶第一次展示其第一轮样车“冲击”（Impact）曾引起轰动。在其后几年中，经四轮的改进发展为EV-1，而于1996年正式投放小批量商业化生产。在这样一个市场目标和指导思想下，EV-1的设计是从“零”开始的，打破各种束缚，大量采用最新技术，使该车在技术上处于世界领先水平，据称在EV-1研制过程中申请了23项专利，投入的研制费用达到3.5亿美元。EV-1的整车参数见表1。

EV-1采用调压阀式，免维护铅酸电池，单体电池12V，55.3Ah，重18.8kg，重量比能量为35.3Wh/kg（20A放电，约相当3h率），电池组由26个电池串接，总电压312V，总容量17.2kWh，总质量533kg，寿命450次（DOD80%），电池的材料几乎100%可以回收再生。电池电解液吸附在玻璃纤维的颤垫上，这样在出事故时电池外壳出现裂缝或在壳底穿孔，电解液的泄漏也极少。电池箱前部有电池管理系统，监测电池组的电压，电流及温度，残余电量及控制充电的模式，并有各种联锁保护装置，出事故时会自动切断主电路，电池箱内还有强制风冷系统保证各个电池温度的均匀和带走小量可能外溢的气体。

EV-1采用感应式充电器，它的工作原理类似于电力变压器，来自电网的电源经过处理成为高频交流电，后通过一圆形板插入汽车的槽形板座中，两者像变压器的初级及次级线圈耦合，通过磁场传递电能，电力传到汽车后，经整流向电池组充电。与接触式充电器不同，它没有通过金属与金属的直接接触来传递电能。圆形板上还有一套微波通信系统，它接受来自电池管理系统的信息，根据电池的残余电量、温度等参数确定充电的模式。EV-1有两种充电器，一种是车载式的，电源电压110~120V，AC，功率1.2kW。

把电池组充满需要 12 ~ 14h；另一种是标准式的，电源电压为 220 ~ 240V，AC，功率 6.6kW，把电池充满仅需 3h。感应式充电器安全，高效，可靠，使用方便，全天候工作。1995 年 1 月，作为美国汽车工程师学会 SAEJ-177 推荐标准而通过施行。与接触式充电器相比，感应式充电器的主要问题是价格较贵。美国报纸曾报道 6.6kW 的充电器价格估计约为 6 500 美元，而福特公司及克莱斯勒公司应用的接触式充电器价格为 1 000 美元，批量生产后可降至 500 美元。但通用汽车公司向传媒发放的材料中说：“感应式充电器与接触式充电器价格上的差别是很小的。”

EV-1 采用一个 3 相交流感应驱动电机，持续功率 40kW，最大功率 102kW（6 500 r/min），0 ~ 5 000r/min 为恒扭矩 1 900Nm，最高转速可达 13 000r/min。电机经两级斜齿轮减速（速比为 10.95）、差速器、等速万向传动来驱动两个前轮。电机减速器、差速器为一个整体，重 68kg，它比同级汽油汽车的四缸汽油机变速器、差速器组件减轻了 1/3。电机控制器是通用汽车公司下属德科电子公司生产的。汽车倒车靠一个开关让电机反转而实现。EV-1 的电子控制箱还包括向有关部件提供电源及控制，如空调、动力转向驱动电机、向 12V 辅助电池充电、风挡玻璃除霜、各处的润滑油泵、冷却液泵等，整个控制箱重 25kg。

EV-1 汽车的空间骨架由四种不同材料的铝合金，经过铸造、挤压，板材成形等不同工艺方法制成 165 个块件，再经铆、焊或粘结方法制成。整个骨架经过有限元分析各部分的强度、刚度都很好，做到结构轻又安全，整个骨架重 132kg，占 EV-1 装备质量 10%，而同类汽车的钢制骨架重 272kg，占整车装备质量的 20%。EV-1 的制动系是双管路前盘后鼓，前盘是通常的液压制动，后鼓是电力驱动制动，它靠步进电机张开（或收回）制动蹄而起制动作用，外加一套锁紧机构而兼作驻车制动，这样可节省由前面至后面的油管、拉线、手把等共 15 个零件，减轻 4kg。后制动鼓是用金属基的碳化硅复合材料制成，与传统结构比，又减轻了 4.4kg。EV-1 的制动系统在电子控制器协调下既得到良好的制动性能保证安全，又能回收制动能量，在车速较低时，回收制动能量达到 95%。EV-1 同时测量四个车轮的转速，在电子制动控制下，实现防止车轮抱死（ABS），而且通过对四个车轮转速分析可以监视轮胎气压是否正常，当一个车轮气压低于正常值 5psi 时，即会报警。

EV-1 采用米西林公司生产的 P175/65R-14 宽断面低阻力子午胎，轮胎的橡胶材料是低弹性损失的，胎冠薄气压高（50psi），滚动阻力系数为 0.005，比一般相同尺寸的全天候轮胎低 25% ~ 50%，铝制轮辋用挤压铸造制成，重仅 3.8kg，轮胎本身带有受到穿刺时自补密封功能，再加上低气压警报，故取消了备胎，进而取消了千斤、轮胎螺母扳手等件。前悬架是双横臂独立悬架，后悬架为五杆式结构，大量采用铝材及玻璃钢件，与传统结构比前后悬架分别减轻了 24% 与 40%。转向系统也大量采用铝材料，动力转向的液压泵由交流电机驱动。并有电子控制，耗能比同类泵小 65%，为此，EV-1 可延长里程 1km。

EV-1 车身造型追求水滴状流线型，后轮比前轮缩进去 226mm，整车外部覆盖件采用三种类型的复合材料：玻璃纤维增强模板（SMC）、反应式注射聚氨酯模铸件（RIM）和结构反应注射聚氨酯模铸件（SRIM）。整车外部覆盖件光滑美观，比钢板材料减轻

50%。而且由于没有排气系统，车身底板平整，前大灯、转向灯与车身平滑接缝，前部也不必像燃油汽车那样要大量进风冷却发动机，这些结果使 EV-1 的风阻系数降至 0.19，比一般同类轿车 0.3 左右下降了 50%，正投影面积仅有 1.89m<sup>2</sup>。

EV-1 的车身及内饰是十分讲究的。方向盘芯部骨架是镁造的，座椅底座骨架是镁做的，靠背骨架是铝做的，重仅 10kg，整个座椅比传统的减轻了 60%。EV-1 的仪表板及中间控制台是玻璃纤维增强聚氨酯模铸件，上面覆盖一层不反光的美观的聚氨酯外皮。风挡玻璃下缘有真空萤光显示器，司机坐下向前平视就从风挡玻璃的显示器上看到汽车的车速、残余电量以及各种警告讯号。EV-1 采用热泵式空调系统，双向作用，既可致冷，又可取暖，它采用电子控制的变速交流电机驱动，耗能仅为通常压缩机的 1/3，EV-1 还有空调预置系统，主人可按预定用车时间，提早 15min 用电网电能把车预冷或预热。

EV-1 还有许多现代汽车的装备，双防撞气囊、巡航车速自动控制、远距离调整后视镜、遥控中央门锁、电动升降玻璃窗、四喇叭立体声带光盘音响系统，但其环形天线是置于车顶板下，由于取消了外伸式拉伸天线，减少了风阻，使 EV-1 行驶里程可增加 1.6km。还有司机数码输入代替启动汽车的钥匙，这样可提高防盗性能。良好的动力电缆截面仅 32mm<sup>2</sup>，可传输 400A 电流。

EV-1 的实际制造成本，有传媒猜测在目前批量下约 8~9 万美元。GM 公司公开的售价为 35 000 美元，为类似汽油轿车“土星”（saturn）的两倍多一点。GM 公司也用租赁方式出租 EV-1，月租费为 400~600 美元，亦为 saturn 的两倍。目前在美国购买电动汽车可以享受优惠政策，从联邦政府获得购置价格 10% 的退税（但限额为 4 000 美元），此外在加州洛杉矶等地区从 1996 年 7 月 1 日起可获得 5 000 美元的补贴，即便如此，购买 EV-1 比同类燃油汽车还是贵不少。对 EV-1 的使用成本，纽约时报曾载文做过如下分析：一辆电动轿车头三年预计行驶 57 600km（36 000 英里），其保养维修费用很低，仅约 80 美元，主要用于更换雨刷的胶条、清洗风挡玻璃的清洁液、更换动力转向油泵的油料。如果要更换电池，一套要 2 000 美元。而维修同类汽油汽车头三年要 1 000 美元。此外，美国电费很便宜，每度电为 65 美分，走 57 600km 用于电费为 736 美元，而汽油每加仑 1.15 美元，可走 44.2km（27.5 英里）（约合 11.1km/L 汽油），走 57 600km 费用为 1 500 美元，使用成本的关键要看电池的寿命。

EV-1 从 1996 年 12 月正式走向市场，初步市场调查显示，EV-1 的潜在用户是有钱的富人、高学历人，年龄在 35~54 岁之间，他们家庭的年收入在 12.5 万美元以上。这些人综合对新技术及环保两方面的兴趣，他们家中一般有几部汽车，购买 EV-1 主要用于社交活动。国外报道截至今年 3 月，GM 公司已生产约 400 部 EV-1，其销售纪录为：

1996 年 12 月	76 辆
1997 年 1 月	48 辆
1997 年 2 月	31 辆
1997 年 3 月	11 辆

1997 年，美国通用、福特、克莱斯勒及日本丰田、本田等的改装型电动汽车也将投入市场，我们将关注他们的进展。

### 3. 德国

1995 年底德国邮政部门和电信部门采用以色列电燃料公司 ( Electric Fuel Corporation, 简称 EF 公司) 研制的锌空气电池, 改装 20 辆奔驰公司 ( BENZ ) 的厢式货车 MD410 和 44 辆欧宝公司 ( OPEL ) 的轻型客货车 Corso Combo 为电动汽车进行为期两年、总投入为 1 800 万美元的实际应用试用。如果成功, 德国邮政部门将会改装 15 000 ~ 25 000 辆邮政用车, 德国电信部门将改装 12 000 辆电信用车, 再加上不来梅省的一些地方机构用车, 总量将达 40 000 ~ 50 000 辆规模。这项计划已进行了 1 年多, 备受各方关注。

德国邮政部门拥有庞大的车队, 总数达 50 000 辆, 一直在研究如何取代其柴油车队, 包括用电动车、天然气汽车及甲醇汽车。德国邮政部门不单要求其邮车把邮件包裹在市区内送到千家万户, 而且还担负运距在 300km 范围以内的城市之间和 83 个邮件中心间的邮件运输 ( 300km 以上将靠飞机运送)。1992 年 6 月它们终于选择了以色列电燃料公司的锌空气电池来改装电动汽车这一方案。1992 年 6 ~ 12 月他们首先委托德国一个著名的独立研究试验公司 TUV Bayern Sachsen 对这种电池进行试验及评价。试验包括在德国及以色列、室内及车上, 评价包括性能、安全、环保及经济等各个方面, 结果是肯定的。1992 年 12 月至 1993 年 7 月, 他们用锌空气电池改装了一辆 BENZ 厢式货车 ( MB180 型, 载重 1 150kg ), 在慕尼黑市进行实车试验, 最高时速可达 110km/h, 一次“充电”可走 420km ( 60km/h 匀速)。试验表明, 它可以满足德国邮政用车的各项要求。1994 年 1 月 27 日在波恩开会, 正式确定进行上述规模的实车试验, 并开始进行电动汽车的改装工作、锌空气电池再生工厂设计及建造。这个工厂于 1995 年底在德国建成, 从而正式开始这项实际应用试验。

锌空气电池以锌作为负极的活性物质, 以氧为正极的活性物质, 电解质为氢氧化钾。氧是气体不能做电极, 故实际上是用能吸附氧气并在电解液的界面上能进行化学反应。传输电流的材料为电极 ( 如炭), 氧气消耗掉, 它又从空气中吸收新的氧气来持续工作。整个电池的反应



这一反应结果是锌变成氧化锌, 两电极间产生的电动势为 1.65V, 它的理论比能量可达到 1 350Wh/kg, 目前 EF 公司达到 216Wh/kg。过去锌空气电池存在的困难是比功率小, 即不能大电流放电、寿命短、充电时间长、成本高。EF 公司把锌空气电池的“充电”, 改为锌板“再生”, 这样整个系统便改为由三部分构成: 一是车载锌空气电池。二是机械式“充电站”, 把已氧化的锌板在“充电站”上用机械方法取下, 换上新的锌板给电池“充电”。三是再生工厂, 它把换下来的锌板, 进行还原处理, 重新制成新的锌板。EF 公司的单元电池负极是直径为 1mm 的锌粒, 加上其他的配料, 涂上并压实在一个板状的可以集电的骨架上, 再套上一个隔离套, 成为负极。锌板浸在氢氧化钾溶液中, 两侧是有强力气流的正极。由 22 个这样的单元电池组成一个单体电流, 外型与普通铅酸电池相似, 单体电池的电压是 31V, 总储电量为 6.25kWh。不同数量单体电池串联并联组成所需电池组, 目前装在 BENZ MD410 车上的电池性能指标如下:

总电压 320V

DOD 100 %放电时容量 150 Wh/kg

DOD 100 %时还保留 13kWh 作备用, 故总容量实为 163kWh

重量 758kg

重量比能量 215Wh/kg, 体积比能量 252Wh/L

重量比功率 98W/kg (预计 1998 可达 150W/kg), 体积比功率 115W/L

密封免维护, 这种电池的自放电率很低, 只要不供给氧气就不会放电, 这种电池在常温下工作, 在电动汽车上曾经度过酷热的夏天及驶过阿尔卑斯山, 经历 -20 °C 的严寒, 工作正常。

改装车的资料尚未全部发表, 仅发表了一些整车的参数 (表 3)

改装车的电器由德国西门子等公司提供。电池的更换用由以色列电燃料公司设计及提供的专用设备完成, 在 BENZ MD410 上换一次电池板不超过 10min。而 EF 公司还努力改进希望能做到 2min 内完成。再生工厂现在已建成了三个, 第一个建在耶路撒冷 (Jerusalem), 生产能力每小时再生 10kg 锌, 可供 10 ~ 15 辆电动车用。第二个厂建在意大利的都灵 (Turin) 市的 Trofarello 先进电池工厂内, 以许可证方式生产, 工厂和耶路撒冷的一样。第三个由德国 Uhde GmbH 和以色列的 Bateman Engineering 负责设计, 生产能力为每小时 100kg 锌, 建在德国不来梅省 (Bremen), 工厂于 1995 年底

表 3

	Benzo MD410	Opel Corso Combo 客货车
车型	厢式 包车	单排座, 后为密封厢式货车
总长 mm	4 240	4 230
载重量 kg	2 525kg	545
总重量 kg	4 600	1 500
最高车速 km/h	120	
一次“充电”行程	城市间 480km 市区 300km	400km
电池总容量	150kWh	75kWh

建成。锌粒再生过程如下:

(1)用过的锌板送到再生工厂后先解除隔离套, 把氧化锌及没有参与化学变化的锌从集电骨架中取下来

(2)在氢氧化钾溶液中把 ZnO 溶解, 得到富锌酸盐溶液, 其反应为  
$$2\text{ZnO} + 2\text{KOH} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{K}_2\text{Zn}(\text{OH})_4$$

(3)把富锌酸盐溶液注入电解沉积槽中电解, 其反应过程为:  
$$\text{K}_2\text{Zn}(\text{OH})_4 \longrightarrow \text{Zn} + 2\text{KOH} + \text{H}_2\text{O} \quad 1/20$$

(4)得到的锌重新加工, 涂压在集电骨架上, 再套上隔离套, 并运往“充电”站, 整个过程中锌没有退化和消耗。

现在在德国进行的试验是以小批量车队为基础, 在实际使用过程中, 对这种电池及改装的电动汽车进行全面的评价, 尤其是整个运作的经济性及能量效率。EF 公司认为, 当锌空气电池产量为 10 000 辆车时, 锌空气电池改装的电动汽车在欧洲价格上可以与燃油汽车竞争。产量达到 10 万辆时, 在美国也可以与燃油汽车竞争。(因欧洲汽油比美国



贵)，锌空气电池大批量生产以后其价格估计可降至 70 美元/kWh，比铅酸电池便宜。

近来的消息是：EF 公司与意大利最大的私人能源公司 Edison SpA 结成战略伙伴关系，已许可在意大利生产的锌空气电池销往意大利、法国、西班牙和葡萄牙。瑞典邮电部门及瑞典最大的电力公司 Vattenfall AB 都十分关注在德国进行的试用，已有两辆 MD410 电动货车送往瑞典试验。如果成功，其潜在的市场包括北欧各国：如丹麦、挪威、芬兰。1996 年 9 月 6 日 EF 公司与荷兰的“火车一出租车”（Train-Taxi）签署了谅解记录，荷兰政府代表也参加了签字仪式，其目标是将锌空气电池装在厢式车上，把旅客从火车站送至目的地，其长期目标是使这种电池进入荷兰、比利时和卢森堡等地。EF 公司已在美国纽约市开设了代表处，力图开拓美国的市场。

## 从美国“新一代汽车合作计划”(PNGV) 看世界汽车高新技术的发展

清华大学 陈全世 刘立群

汽车工业经过 100 多年的发展, 竞争已越来越激烈, 它不仅仅是各个企业之间的较量, 而且往往表现为国家之间整体实力的竞赛。而本世纪以来, 全球能源的匮乏, 尤其是石油资源的日益萎缩、环境污染的恶化等给汽车工业的发展提出了新课题。如何在未来的汽车工业中占据领先地位已越来越受到各国政府的重视。为了在发展和生产低油耗、低排放、更安全、维护和使用费用适中, 且能满足现代使用性能要求的汽车工业领域建立起领先地位, 美国联邦政府同汽车行业一起加入到一个史无前例的合作中来, 这就是新一代汽车的合作计划— PNGV。

PNGV 是英文 Partnership for a new Generation of Vehicles 的缩写。PNGV 计划始于 1993 年 9 月, 由美国联邦政府出面汇集 8 个联邦机构、众多的国家实验室、大学、零部件供应商和美国汽车研究院的科研资源, 并利用美国三大汽车公司在竞争前的合作研究, 来实现下列三个不同的、但相互关联的目标:

(1) 通过探索能减少汽车设计和制造时间及成本的技术, 显著地提高美国在汽车制造业中的国家竞争力;

(2) 把商业上可行的先进技术应用于传统的汽车上。

(3) 开发一种燃油经济性 3 倍于现有水平的中型轿车, 即每加仑油行驶 80 英里(折合 100km 油耗 3L); 该车应达到更高的生态再循环性, 以利于环境保护; 同时尽量保持原有的性能、效率、安全性和售价。

在诸如动力总成、能量储存、材料、制造和系统分析等方面, 通过 PNGV 计划, 许多可选技术正在不断发展中。美国实施 PNGV 计划的最终目的就是通过政府、企业、大学和科研机构的通力合作, 使美国的工业更具竞争力。

PNGV 计划的实施和实现, 将有助于美国减轻对进口石油的依赖、促进经济实力的进一步增强、提供更多的就业机会、使环境更清新、使与汽车有关的企业在全球更具竞争力, 并确保其在关键领域的技术领先地位。

PNGV 计划自实施以来, 通过来自不同组织的许多科学家和工程师的大力合作。在汽车的驱动系统设计、整车结构设计和制造、新材料应用以及整车系统分析等方面进行了深入的研究, 这些研究成果在车辆工程技术领域得到了应用和体现, 取得了显著的成果。