

胡信国 等编著

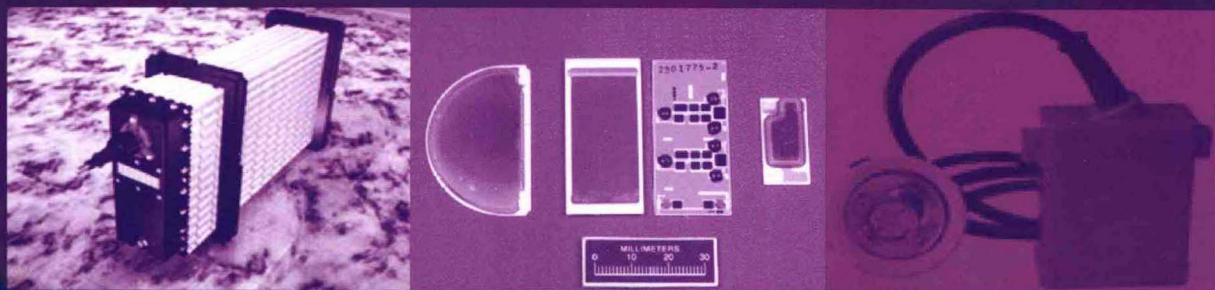
动力电池

技术与应用

第二版

DONGLI DIANCHI

JISHU YU YINGYONG

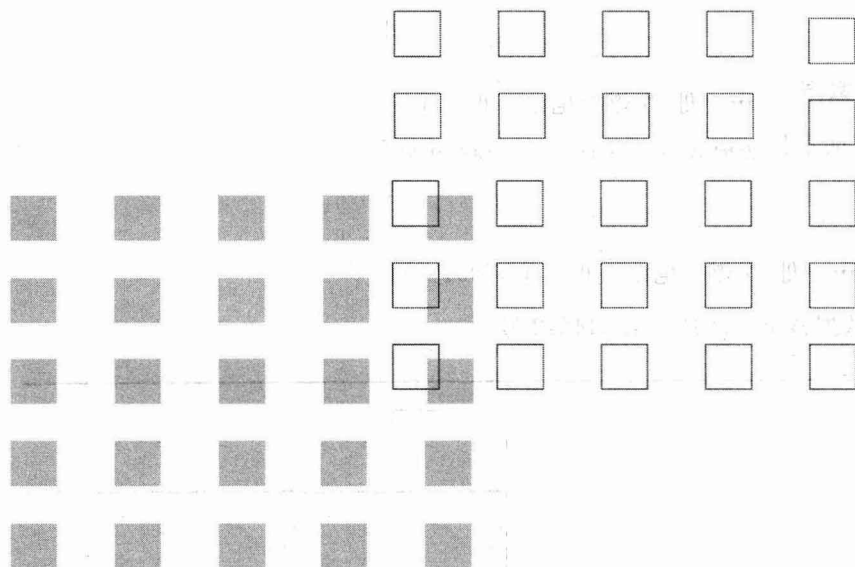


化学工业出版社

第二版

动力电池技术与应用

胡信国 等编著



化学工业出版社

·北京·

随着石油资源面临的枯竭,我国新能源汽车呈现加速发展的态势,政策扶持力度也不断加大,新能源汽车已经成为未来汽车发展的重要方向。新能源汽车包括电动汽车(EV)、混合动力汽车(HEV)、燃料电池汽车(FCV)等。目前,新能源汽车开发的最大瓶颈就是车载动力电池。

本书为推动我国车载动力电池的商业化进程,着重介绍了各种动力电池的原理、制造技术及其应用,包括动力铅酸蓄电池、动力碱性蓄电池、动力锂离子蓄电池、动力金属-空气电池、燃料电池等。与第一版相比,本书第二版新增铅-碳电池、动力铅酸蓄电池清洁化生产技术、动力锂离子电池正负极材料和制造工艺新进展,并且增加超级电容器等全新内容。本书充分反映了国内外动力电池研发的最新成果。

本书可供从事车用电池研究、开发、生产、销售和使用人员参考,也可供相关领域如新能源汽车、电动汽车行业人员参考,还可供大专院校师生作为教学参考书使用。

图书在版编目(CIP)数据

动力电池技术与应用/胡信国等编著. —2版.—北京:化学工业出版社,2013.1

ISBN 978-7-122-15581-8

I. ①动… II. ①胡… III. ①燃料电池 IV. ①TM911.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第244212号

责任编辑:朱 彤
责任校对:洪雅姝

文字编辑:王 琪
装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张23 字数638千字 2013年1月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:68.00元

版权所有 违者必究

第二版前言

自《动力电池技术与应用》第一版出版以来，受到读者的欢迎和较好评价，我们深表感谢。由于石油资源的日益紧缺和对地球环境保护的日益重视，世界各国包括我国都把新能源汽车作为本国的新兴战略产业来发展，近三年来纯电动汽车和混合动力汽车有了很大进展，技术进步显著。我国相应出台了《节能与新能源汽车产业发展规划》（2011~2020年）和《电动汽车科技发展“十二五”专项规划》，对我国新能源汽车发展路径之争有了清晰的结论，《节能与新能源汽车产业发展规划》（2011~2020年）明确了我国新能源汽车发展路线，以纯电动汽车（纯电驱动）作为主要战略取向，近期以混合动力汽车为重点，大力推广普及节能汽车。使我国新能源汽车走上循序渐进、健康发展的道路。普遍的共识是要先发展混合动力汽车，再发展纯电动汽车，最终的解决方案是燃料电池汽车。

然而发展新能源汽车，需要突破动力电池、电机和电控三大核心技术，特别是动力电池更是核心中的核心。《节能与新能源汽车产业发展规划》（2011~2020年）把突破电池瓶颈作为未来十年的研发重点，要突破动力电池核心技术，提高电池性能和寿命，降低成本。根据《节能与新能源汽车产业发展规划》（2011~2020年）精神，以及近三年来动力电池技术的巨大进步，实际应用的逐渐扩大，为编者提供了丰富资料，深感对第一版应做较大的补充和修改，以适应动力电池深入发展的需求。第二版主要增加了铅-碳电池、动力铅酸蓄电池清洁化生产技术、动力锂离子电池正负极材料和制造工艺新进展，增加了新的一章——超级电容器等。

本书共7章，主要叙述动力电池的研发历程和特点，叙述已经产业化和成为开发热点的五种动力电池的工作原理、电池材料、制造工艺技术和应用领域，其中有动力铅酸蓄电池、动力碱性蓄电池、动力锂离子蓄电池、动力金属-空气电池、燃料电池和超级电容器。

编著者所在单位已有50年从事电化学与化学电源的教学、科研和技术转化为生产力的丰富经验，具有产、学、研密切结合的优良传统，有生产第一线的大量实践经历，编著者根据自身的体会以及参考相关文献，进行了本书的编写。许多教师和工程技术人员参与工作，付出了心血。第1、2章由胡信国编写，第3章由王殿龙、戴长松编写，第4章由戴长松、王殿龙、伊廷锋、高昆、张勇、王德宇（中国科学院宁波材料技术与工程研究所）、舒杰（宁波大学）、王修利编写，其中锂离子电池电解液部分由杨春巍、刘建生、张若昕和杨培霞编写，第5章由程新群、丁飞（中国电子科技集团十八所）编写，第6章由伊廷锋、杨春巍编写，第7章由陈晓军编写。全书由胡信国统一补充、修改、定稿。

本书是受化学工业出版社之约而编写，得到很多动力电池制造企业的帮助，我们深表感谢。

动力电池的涉及面广，又正在蓬勃发展之中，编著者时间有限，难免挂一漏万，有疏漏之处，敬请专家和广大读者批评指正。

编著者

2012年11月

第一版前言

进入 21 世纪以来，能源危机和环境污染已经成为全球关注的两大焦点。过度开发和依赖石油化学资源，给人类自身带来了一系列问题。地球上的石油储藏量，按现在的消耗速度预测，未来 40 多年后，石油资源将面临枯竭。石油消耗最大的工业部门是交通运输，越是发达的国家，各种车辆，包括载人汽车、货运汽车等占石油总消耗量的比例越高。如美国，被称为汽车轮子上的国家，交通车辆的石油消耗量占本国总消耗量的 70% 以上。大量燃油车辆排放的汽车尾气碳氧化物、氮氧化物等严重污染了大气环境，地球的温室效应正在使人类生活的环境恶化，为此，世界各国都共同承诺了“节能减排”，其中一项极其重要的工作就是开发新能源汽车，包括电动车（EV）、油电源合动力的混合动力车（HEV）、太阳能为动力的汽车、生物化学燃料（如甲醇、乙醇等）替代汽油的汽车等。这些众多解决方案中，EV/HEV 是最受各国关注，也是最有希望商业化的方案。而实际上 HEV 已经大规模地成功应用。

电动车和混合动力车的瓶颈正是作为动力使用的蓄电池，如果有一种既安全可靠，又经济耐用的动力电池，其行驶单位里程的费用能够和现在的燃油费用相当，甚至更低，汽车的销售价格也 and 燃油汽车相当，那么人们可以预料，电动车和混合动力车定将在全球普及，石油的消耗量将大大下降，地球环境也将得到改善。

中国虽然在传统的内燃机汽车工业上落后于世界领先水平，但在电动车等新能源汽车领域，和发达国家处于同一条起跑线，借助成本和市场优势，中国有潜力和可能在全球电动车市场取得领先地位。中国发展电动车，将大幅度地减少温室气体排放，降低对石油进口的依赖，不仅有经济意义，而且具有重大战略意义。为了推动我国电动车行业的发展，帮助高校、企业进行研发，编著了《动力电池技术与应用》一书。

本书共 6 章，主要介绍了动力电池的研发历程和特点，还介绍了已经产业化和成为开发热点的五种动力电池的工作原理、电池材料、制造工艺技术和应用领域，其中有动力铅酸蓄电池、动力碱性蓄电池、动力锂离子蓄电池、锌-空气电池和燃料电池。

编著者所在的单位已有 50 年从事电化学与化学电源的教学、科研和技术转化为生产力的丰富经验，具有产、学、研密切结合的优良传统，有生产第一线的大量实践经验，根据自身的成果以及参考相关资料，进行了本书编写。许多教师和工程技术人员参与工作，付出了心血。第 1 章、第 2 章由胡信国编写，第 3 章由王殿龙、戴长松编写，第 4 章由戴长松、王殿龙、伊廷锋、陈猛、王修利和陈守平编写，其中 4.7 节由杨春巍、刘建生、张若昕编写，第 5 章由程新群编写，第 6 章由伊廷锋、杨春巍编写。全书由胡信国统一补充、修改和定稿。

本书得到了广州天赐高新材料股份有限公司、中国电池工业协会技术委员会等单位和浙江大学乔亦男教授的帮助，在此深表感谢。

动力电池的涉及面广，又正在蓬勃发展之中，受编著者水平所限，难免挂一漏万。若有疏漏和不妥之处，敬请专家和广大读者批评指正。

高新材料

编著者

2009年5月

目录

第1章 动力电池概论	1
1.1 动力电池的发展历史	1
1.1.1 引言	1
1.1.2 动力电池的研发历史	2
1.2 动力电池的类型与性能比较	3
1.3 动力电池的市场	4
1.3.1 电动自行车	4
1.3.2 混合电动汽车和纯电动汽车	4
1.3.3 动力电池的要求	5
参考文献	7
第2章 动力铅酸蓄电池	8
2.1 概述	8
2.2 动力铅酸蓄电池的板栅合金	9
2.2.1 概述	9
2.2.2 板栅合金对正极板性能的影响	10
2.2.3 板栅合金对负极板性能的影响	11
2.2.4 板栅材料的选择	11
2.2.5 铅合金板栅	12
2.2.6 轻型板栅	14
2.2.7 板栅的设计	16
2.2.8 正极板栅/活性物质界面结构和性能	17
2.3 动力铅酸蓄电池的活性物质	20
2.3.1 正极活性物质二氧化铅	20
2.3.2 负极活性物质海绵状金属铅	23
2.4 动力铅酸蓄电池的电解液	27
2.4.1 硫酸电解液	27
2.4.2 硫酸的电导率	28
2.4.3 硫酸的冰点	28
2.4.4 电解液分层	29
2.4.5 硫酸电解液的固定化	29
2.4.6 电解液水损失	32
2.4.7 电解液配方对高倍率 VRLA 蓄电池放电性能的影响	34
2.5 动力铅酸蓄电池的隔板	34

2.5.1	隔板的作用和要求	34
2.5.2	VRLA 蓄电池的吸液式超细玻璃纤维隔板	35
2.5.3	AGM 隔板的性能	36
2.5.4	采用管式正极板的电池隔板	37
2.5.5	不同使用情况下的电池隔板	39
2.5.6	VRLA 蓄电池隔板的研究进展	39
2.6	动力铅酸蓄电池的制造工艺	41
2.6.1	工艺流程	41
2.6.2	板栅制造	41
2.6.3	铅粉制造	45
2.6.4	铅膏的配制 (和膏)	47
2.6.5	涂板	50
2.6.6	固化和干燥	51
2.6.7	极板化成	52
2.6.8	电池的装配	55
2.7	动力铅酸蓄电池生产的一致性	60
2.7.1	生极板的一致性	60
2.7.2	化成极板的一致性	60
2.7.3	电池电解液的一致性	61
2.7.4	安全阀的一致性	61
2.7.5	电池组装的一致性	62
2.8	动力铅酸蓄电池的性能与检测	63
2.8.1	电压	63
2.8.2	充电特性	65
2.8.3	放电特性	65
2.8.4	电池内阻	69
2.8.5	VRLA 蓄电池的荷电保持能力与自放电	69
2.8.6	VRLA 蓄电池的早期容量损失与深循环	71
2.9	卷绕式 VRLA 蓄电池	73
2.10	双极性陶瓷隔膜 VRLA 蓄电池	75
2.11	泡沫石墨 VRLA 蓄电池	77
2.12	超级电池和 Pb-C 电池	77
2.12.1	超级电池的开发背景	77
2.12.2	超级电池和 Pb-C 电池的工作原理	78
2.12.3	碳材料的作用机理	79
2.12.4	超级电池和 Pb-C 电池的制造技术	86
2.12.5	超级电池和 Pb-C 电池高倍率部分荷电状态下的循环性能	87
2.13	动力铅酸蓄电池的应用	91
2.13.1	电动自行车	91
2.13.2	电动牵引车	93
2.13.3	电动汽车和混合电动汽车	93
2.13.4	低速电动汽车	94

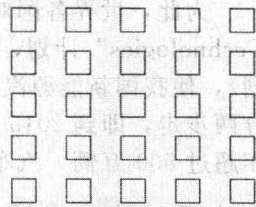
2.13.5 汽车电池由启动向辅助动力发展	96
参考文献	98
第3章 动力碱性蓄电池	99
3.1 概述	99
3.2 动力碱性蓄电池的类型	101
3.3 动力 MH-Ni 蓄电池	101
3.3.1 MH-Ni 蓄电池的工作原理	101
3.3.2 动力 MH-Ni 蓄电池的集流体材料	103
3.3.3 动力 MH-Ni 蓄电池的正极材料	107
3.3.4 动力 MH-Ni 蓄电池的负极材料	110
3.3.5 动力 MH-Ni 蓄电池的制造工艺	113
3.3.6 动力 MH-Ni 蓄电池的性能	114
3.4 动力 Zn-Ni 蓄电池	117
3.4.1 Zn-Ni 蓄电池的工作原理	118
3.4.2 动力 Zn-Ni 蓄电池的制造工艺	118
3.4.3 动力 Zn-Ni 蓄电池的正极材料	119
3.4.4 动力 Zn-Ni 蓄电池的负极材料	119
3.4.5 动力 Zn-Ni 蓄电池的现状与改进	119
3.5 动力碱性蓄电池的应用	121
参考文献	124
第4章 动力锂离子蓄电池	125
4.1 概述	125
4.2 锂离子蓄电池的工作原理	125
4.3 动力锂离子蓄电池的特点	126
4.3.1 动力锂离子蓄电池的主要优点	126
4.3.2 动力锂离子蓄电池的主要缺点	127
4.4 动力锂离子蓄电池的安全性	127
4.4.1 正极活性物质热稳定性的影响因素	128
4.4.2 负极活性物质热稳定性的影响因素	129
4.4.3 黏结剂对电池热稳定性的影响	130
4.4.4 电解液成分的热稳定性	130
4.4.5 正、负极材料比	130
4.4.6 电池结构	130
4.4.7 选择热关闭性能好的隔膜	131
4.4.8 防爆阀	131
4.4.9 动力锂离子蓄电池安全性检测项目	131
4.5 动力锂离子蓄电池的正极材料	132
4.5.1 尖晶石锰酸锂	132
4.5.2 镍钴锰三元材料	139
4.5.3 磷酸亚铁锂	142
4.5.4 磷酸钒锂	152

4.5.5	其他正极材料	160
4.6	动力锂离子蓄电池的负极材料	168
4.6.1	碳基材料	168
4.6.2	钛酸锂	173
4.6.3	锡基材料	180
4.6.4	硅基材料	184
4.7	动力锂离子蓄电池的电解液	188
4.7.1	动力锂离子蓄电池对电解质的要求	188
4.7.2	动力锂离子蓄电池用有机液体电解质	189
4.7.3	动力锂离子蓄电池用离子液体电解质	200
4.7.4	动力锂离子蓄电池用固体电解质	203
4.8	动力锂离子蓄电池制造工艺	216
4.8.1	动力锂离子蓄电池制造工艺流程	216
4.8.2	正、负极片的制造	219
4.8.3	电池的装配封装	223
4.8.4	电池的化成与分容	225
4.9	动力锂离子蓄电池的性能与检测	226
4.9.1	充放电性能	226
4.9.2	安全性	226
4.9.3	自放电与储存性能	229
4.9.4	使用和维护	229
4.10	动力锂离子蓄电池的保护电路	231
4.10.1	动力电池的特点	231
4.10.2	电池组参数	232
4.10.3	失效机理	232
4.10.4	监控电压的作用	232
4.10.5	保护方法	233
4.10.6	保护芯片	234
4.10.7	保护板	240
4.11	动力锂离子蓄电池的组装	241
4.12	动力锂离子蓄电池的管理	244
4.12.1	充电技术	244
4.12.2	均衡方法	246
4.12.3	电池组管理	248
4.13	动力锂离子蓄电池的应用	251
4.13.1	电动汽车、混合电动汽车和插电式混合动力汽车	251
4.13.2	电动自行车	254
4.13.3	电动工具	255
4.13.4	后备电源	256
4.13.5	航天和军事领域	257
	参考文献	258
	第5章 动力金属-空气电池	262

5.1 动力锌-空气电池	262
5.1.1 概述	262
5.1.2 锌-空气电池工作原理	264
5.1.3 动力锌-空气电池的空气电极	265
5.1.4 动力锌-空气电池的锌电极	268
5.1.5 动力锌-空气电池的再生	271
5.1.6 动力锌-空气电池的应用	272
5.1.7 动力锌-空气电池的问题与改进	275
5.2 动力锂-空气电池	277
5.2.1 概述	277
5.2.2 锂-空气电极工作机理	278
5.2.3 水系锂-空气电池	278
5.2.4 非水系锂-空气电池	280
5.2.5 锂-空气电池的前景、机遇和挑战	289
参考文献	290
第6章 燃料电池	295
6.1 概述	295
6.1.1 燃料电池概述	295
6.1.2 燃料电池的分类	296
6.1.3 燃料电池的特点	296
6.1.4 燃料电池的发展历史及现状	297
6.2 质子交换膜燃料电池	298
6.2.1 燃料电池的结构及工作原理	299
6.2.2 双极板	300
6.2.3 催化剂	302
6.2.4 质子交换膜	304
6.2.5 膜电极三合一组件	308
6.2.6 制造工艺	310
6.3 直接甲醇燃料电池	312
6.3.1 直接甲醇燃料电池的工作原理和特点	313
6.3.2 直接甲醇燃料电池电催化剂	315
6.3.3 DMFC用质子交换膜的渗透问题	320
6.3.4 直接甲醇燃料电池的制造工艺	322
6.3.5 直接甲醇燃料电池商品化要解决的问题	323
6.4 燃料电池的应用	324
6.4.1 车载用燃料电池	324
6.4.2 其他动力用燃料电池	328
参考文献	332
第7章 超级电容器	336
7.1 概述	336
7.2 超级电容器的工作原理	339

7.2.1	双电层电容	339
7.2.2	准电容	340
7.3	超级电容器的材料	341
7.3.1	电极材料	341
7.3.2	电解质材料	343
7.3.3	隔膜材料	344
7.3.4	其他材料	345
7.4	超级电容器的制造与检测	346
7.4.1	卷绕型超级电容器的制造工艺	346
7.4.2	超级电容器的检测	346
7.5	超级电容器的应用	347
7.5.1	电动汽车	347
7.5.2	工业与消费电子行业	350
7.5.3	新能源发电装置辅助电源	351
7.5.4	军事、航空航天	352
	参考文献	353

第1章



动力电池概论

1.1 动力电池的发展历史

1.1.1 引言

石油被誉为“经济血液”，全球的石油储量仅能供人类再使用约 40 年。但是石油消耗量的快速增长趋势仍没有得到缓解，世界石油消耗量统计与预测如图 1-1 所示。从美国石油消耗的结构（图 1-2）来看，美国汽车消耗的石油占总消耗量的 60%。汽车是石油能源的主要消耗者，也是环境污染的主要来源，汽车燃油排放大量的 CO、NO_x 等有害气体，严重地污染了人类的生存环境。

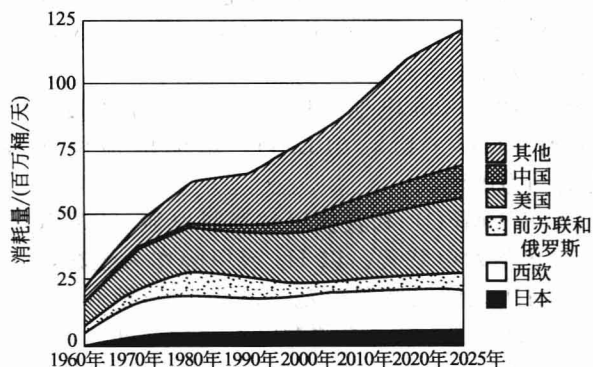


图 1-1 世界石油消耗量统计与预测

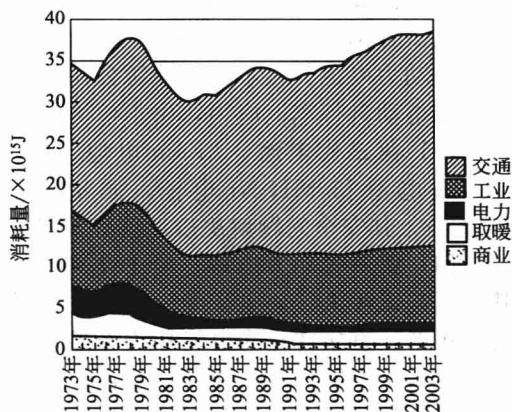


图 1-2 美国石油消耗结构

全球汽车保有量已从 2009 年的 9.8 亿辆跃升至 2010 年的 10.15 亿辆。我国汽车工业的高速发展和汽车保有量的快速增长，在拉动经济增长和提升居民生活质量的同时，不可避免地面面临着能源供应和节能减排的双重压力。2010 年和 2011 年我国产销汽车均超过 1800 万辆，超过美国成为全球最大汽车生产和消费国。到 2011 年底，我国的汽车保有量已突破 1 亿辆，保守估计到 2020 年也将达到 1.5 亿辆，届时机动车的燃油需求将高达 2.76 亿吨，超过当年全国石油总需求的 60%。我国石油资源短缺，对外依存度已经超过 50%。高速发展的中国汽车业

对世界环境和能源的影响越来越大, 据统计, 全球大气污染 42% 来源于交通车辆的污染, 大城市的交通车辆更使大气污染的比例高达 60%。我国汽车尾气排放也成为城市大气污染的重要因素, 二氧化碳排放目前已居全球第二。

为此, 世界各国对发展节能和新能源汽车高度重视, 2002 年美国推出 “Freedom Car & Technologies” 计划, 中国政府已经批准了 2011~2020 年《节能和新能源汽车产业发展规划》, 使我国新能源汽车产业发展有了清晰的战略路线图。《节能和新能源汽车产业发展规划》分两步走, 即到 2015 年纯电动汽车和插电式混合动力汽车累计产销量达到 50 万辆, 到 2020 年超过 500 万辆。汽车向电动化发展, 车载动力电池则成为主要瓶颈。

1.1.2 动力电池的研发历史

1.1.2.1 动力电池的使用特点

① 高能量 (EV 用电池) 和高功率 (HEV 用电池)。

② 高能量密度。美国先进电池联合会 (USABC) 制定的电动汽车电池中长期目标, 质量比能量要达到 $80\sim 100\text{W}\cdot\text{h}/\text{kg}$ (中期) 和 $200\text{W}\cdot\text{h}/\text{kg}$ (长期); 我国制定的电动汽车动力电池的目标, 2015 年要达到 $120\text{W}\cdot\text{h}/\text{kg}$, 2020 年要达到 $200\text{W}\cdot\text{h}/\text{kg}$ 。

③ 高倍率部分荷电状态下 (HRPSOC) 的循环使用 (HEV 用电池)。

④ 工作温度范围宽 ($-30\sim 65^\circ\text{C}$)。

⑤ 使用寿命长, 要求 5~10 年。

⑥ 安全可靠。

1.1.2.2 动力电池的研发历史

根据动力电池的使用特点、要求、应用领域不同, 国内外动力电池的研发历史大致如下。

(1) **第一代动力电池** 铅酸蓄电池, 主要是阀控式铅酸蓄电池 (VRLAB)。其优点是大电流放电性能良好, 价格低廉, 资源丰富, 电池回收率高, 在电动自行车、电动摩托车上广泛应用。缺点是质量比能量低, 主要原材料铅有污染。新开发的双极耳卷绕式 VRLAB 已经通过 HEV 试用, 其能量密度比平板涂膏式铅酸蓄电池有明显提高。

(2) **第二代动力电池** 碱性电池, 如 Cd-Ni 电池、MH-Ni 电池。Cd-Ni 电池由于镉的污染, 欧盟各国已禁止用于动力电池, MH-Ni 电池的价格明显高于铅酸蓄电池, 目前是 HEV 的主要动力电池。日本松下能源公司已为 HEV 提供了 1000 万只以上的 MH-Ni 电池, MH-Ni 电池在电动自行车上应用, 由于价格问题在市场上缺乏竞争力。

(3) **第三代电池** Li-ion 电池 (LIB) 和聚合物 Li-ion 电池 (PLIB), 其能量密度高于 VRLA 电池和 MH-Ni 电池, 质量比能量达到 $200\text{W}\cdot\text{h}/\text{kg}$ (PLIB), 单体电池电压高 (3.6V), 其安全问题解决以后将是最具竞争力的动力电池。

(4) **第四代动力电池** 质子交换膜燃料电池 (PEMFC) 和直接甲醇燃料电池 (DMFC), 其特点是无污染, 放电产物为 H_2O , 是真正的电化学发电装置。以 H_2 或甲醇作为燃料, O_2 为氧化剂, 直接转化为电能作为车载动力, 而前面所说的铅酸蓄电池、MH-Ni 电池和 Li-ion 电池均属于电能的转换和储能装置, 电池本身并不能发出电能, 必须对电池进行充电, 将电能转换成化学能, 在使用时再将化学能转变为电能作为车载动力。所以, 这类电池目前仍然要消耗由矿物燃料发出的电能。

燃料电池是车载动力的最经济、最环保的解决方案, 但是要实现商业化还有许多问题需要解决, 如价格昂贵、采用贵金属铂、铑作为催化剂、氢的储存运输、电池寿命的问题。为了解决燃油为动力的汽车排放对环境的污染, 以电池为动力的电动汽车 (electric vehicle) 和油电混合动力汽车 (hybrid electric vehicle) 成为世界各国研发的热点, 其中动力电池的研发更是成败的关键。

美国先进电池联合会 (USABC) 制定了电动汽车电池研发的中长期目标, 见表 1-1。

表 1-1 美国先进电池联合会 (USABC) 电动汽车电池研发的中长期目标

参 数	中 期 目 标	长期目标(至 2010 年)
体积比功率/(W/L)	250	600
质量比功率/(W/kg)	150~200	400
体积比能量/(W·h/L)	135	300
质量比能量/(W·h/kg)	80~100	200
使用寿命/年	5	10
循环寿命/次	600	1000
价格/[美元/(kW·h)]	<150	<100
正常充电时间/h	<6	3~6
工作温度/℃	-30~65	-40~85

2002 年美国又推出“Freedom Car & Vehicle Technology”计划，HEV 用动力电池的质量比功率为 625W/kg。要实现这些目标仍要做出很大努力。

1.2 动力电池的类型与性能比较

目前可以作为车载动力的电池类型很多，主要有阀控式密封铅酸蓄电池 (VRLAB)、Cd-Ni 电池、MH-Ni 电池、Li-ion 电池、聚合物 Li-ion 电池、Zn-Ni 电池、锌-空气电池、超级电容器、质子交换膜燃料电池 (PEMFC)、直接甲醇燃料电池 (DMFC) 等，这些电池均有车载试验，其中有的已经商业化应用，有的离商业化应用还有比较长的距离。

各类动力电池的性能比较列于表 1-2。

表 1-2 各类动力电池的性能比较

电池类别	电压/V	质量比能量 /(W·h/kg)	体积比能量 /(W·h/L)	记忆效应	循环寿命 (80% DOD)/次	价格 /[美元/(kW·h)]
VRLA	2.0	35	80	无	400	93~100
Cd-Ni	1.2	45	160	有	500~1000	1000
MH-Ni	1.2	70	240	有	500~800	1250
Li-ion	3.6	125	300	无	600~1000	2000
聚合物 Li-ion	3.6	200	300	无	600~1000	2500
Zn-Ni	1.65	75	180	无	300~500	
锌-空气		135	1000	无	可再生	

各类动力电池的体积比能量和质量比能量比较示于图 1-3。

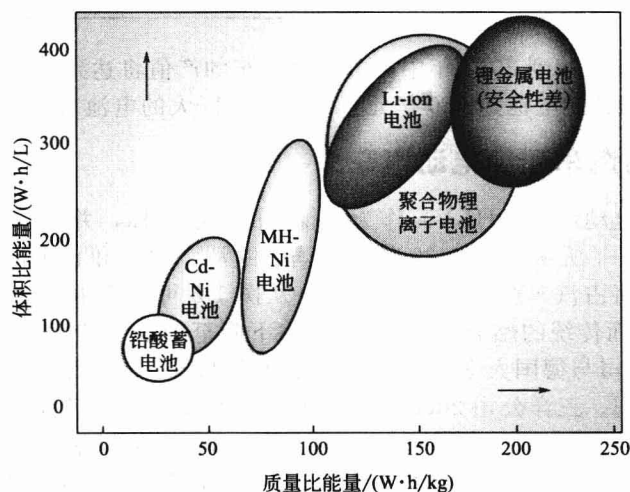


图 1-3 各类动力电池的体积比能量和质量比能量

1.3 动力电池的市场

1.3.1 电动自行车

电动自行车作为发展中国家的代步工具，近年来发展迅速，特别是中国。自1998年以来，国内电动自行车产量一直以年均40%的速度增长。2010年电动自行车产量为2954万辆，销售总量超过2200万辆，而2011年电动自行车产量为2600万辆（表1-3）。目前我国电动自行车保有量约为1.4亿辆，预计2012年中国电动自行车保有量将达到2亿辆。中国电动自行车的动力电池95%以上采用VRLA电池，Li-ion电池的使用量开始逐渐增加，以出口电动自行车、电动摩托车配套锰酸锂电池和磷酸铁锂电池为主。在发达国家，使用电动自行车是为了节省汽车的油耗，同时，电动自行车也可作为短距离的便捷交通工具，或作为锻炼使用。如2001年，日本市场电动自行车的销售量约为15万辆；2010年增至38.1721万辆；2020年，日本电动自行车的销售量将达到130万辆。2011年3月日本大地震后更迎来了电动自行车需求的震后兴旺。

表 1-3 中国电动自行车的产量、保有量和配套电池数量、容量

年 份	当年产量 /万辆	出口量 /万辆	累计产量 /万辆	保有量 /万辆	配套电池数 量/万套	配套电池容 量/ $\times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$
1998年	5.8		5.8	5.8	5.8	3
1999年	14.8		20.6	20.6	20.6	9
2000年	29		49.6	49.6	49.6	21
2001年	58		107.6	107.6	107.6	46
2002年	153		260.6	260.6	260.6	113
2003年	400		660.6	660.6	660.6	285
2004年	676		1336.6	1330.8	1330.8	575
2005年	1211		2547.6	2521.2	2521.2	1089
2006年	1950		4497.6	4421.6	4421.6	1910
2007年	2138.2	29	6635.8	6423.2	6423.2	2775
2008年	2188.6	58.7	8824.4	8292.5	8292.5	3582
2009年	2369	40.4	11192.8	9771.9	9771.9	4221
2010年	2954	65	13592.8	10626.1	10626.1	4590
2011年	2600			14000		5600

据国内权威机构预测，到2015年中国电动自行车的产值将达到1000亿元，其中配套电池160亿元，二级市场的替换电池达480亿元。这是一个巨大的电池市场。

1.3.2 混合动力汽车和纯电动汽车

世界各国将混合动力汽车（HEV）作为最现实的发展目标，并且已经大批量生产和销售，市场增长迅速，如图1-4所示。到2020年，美国、欧洲、中国和日本混合动力汽车和纯电动汽车（BEV）的比例将占汽车产量的25%左右。从图1-5可以看出，到2013年，欧洲混合动力汽车将达到70%，而传统的燃油汽车（ICE）将下降至30%。全球出现了投资车载电池热，如2006年日本三洋公司与德国大众汽车公司合作开发HEV专用大容量锂离子电池，2012年正式投入环保汽车使用。三洋公司2008年以后的8年共投资800亿日元，预计到2015年车用锂离子电池产量为1000万块/月，满足170万~180万辆HEV的需求。NEC公司与日产公司联合开发HEV/EV等环保汽车专用锂离子电池，2009年投产，可供1万辆汽车使用。丰田公司与松下公司合作大幅度增产HEV等环保车型车载电池，投资300亿日元共建Panasonic EV

能源公司，增加车载 MH-Ni 电池产量，投资 700 亿日元在静冈建设锂离子电池厂，使 HEV 产量达到全球汽车总产量的 1/10。预计到 2015 年全球混合电动汽车用电池的需求量将增加 3 倍，达到 23 亿美元。中国在动力电池上的投资热不亚于发达国家，甚至有投资过热的现象。

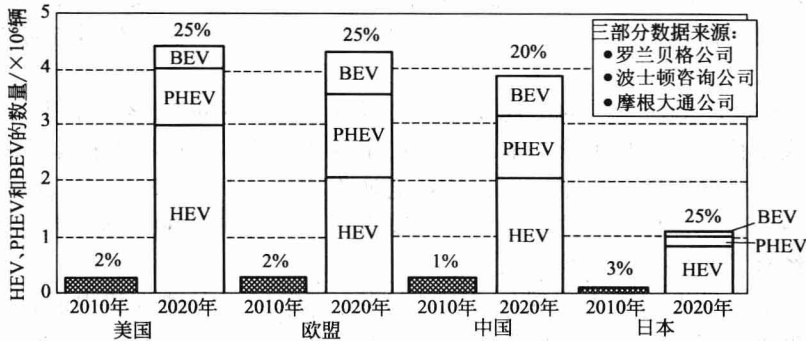


图 1-4 2010 年和 2020 年全球混合动力汽车和电动汽车发展预测数据

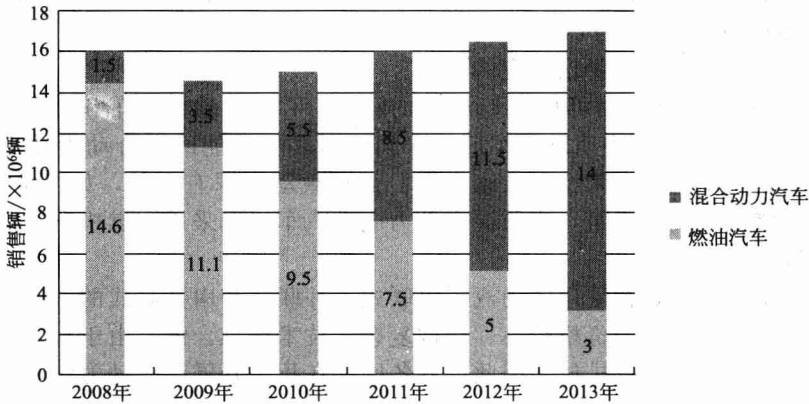


图 1-5 欧洲混合电动汽车的快速发展（来源于 G. Fraser-Bell 11ELBC Warsaw）

中国政府已经批准了《节能与新能源汽车产业发展规划》，对发展路径之争有了普遍的认同，纯电动汽车的发展不可能一步到位，包括插电式在内的混合动力是不可逾越的过程。从轻度混合动力过渡到插电式混合动力，从而实现纯电动汽车的发展，是中国新能源汽车发展的必经之路。混合电动汽车可分为微型混合、轻度混合、中等混合及全混合。目前各类油电混合电动汽车所采用的动力电池类型列于表 1-4。

表 1-4 各类油电混合电动汽车的动力电池类型

项 目	微型混合	轻度混合	中等混合	全混合
电池类型	铅酸蓄电池	VRLA 电池	MH-Ni 电池、卷绕式 VRLA 电池	MH-Ni 电池、Li-ion 电池
电池电压/V	12	36	144	>200
电池容量/A·h	50~60	15~20	6~8	6

1.3.3 动力电池的要求

电动汽车完全以蓄电池作为驱动力，行驶时无 CO、NO_x 等排放，能量转换效率比燃油汽车高，同时电动汽车还具有结构简单、运行费用较低等优点。但是，纯电动汽车对车载动力蓄电池的要求比较高。车载动力蓄电池与目前广泛使用的内燃机汽车的启动蓄电池不同，它是中等电流长时间连续放电为主，间或以大电流放电，如启动、爬坡或加速时，并且以深循环使