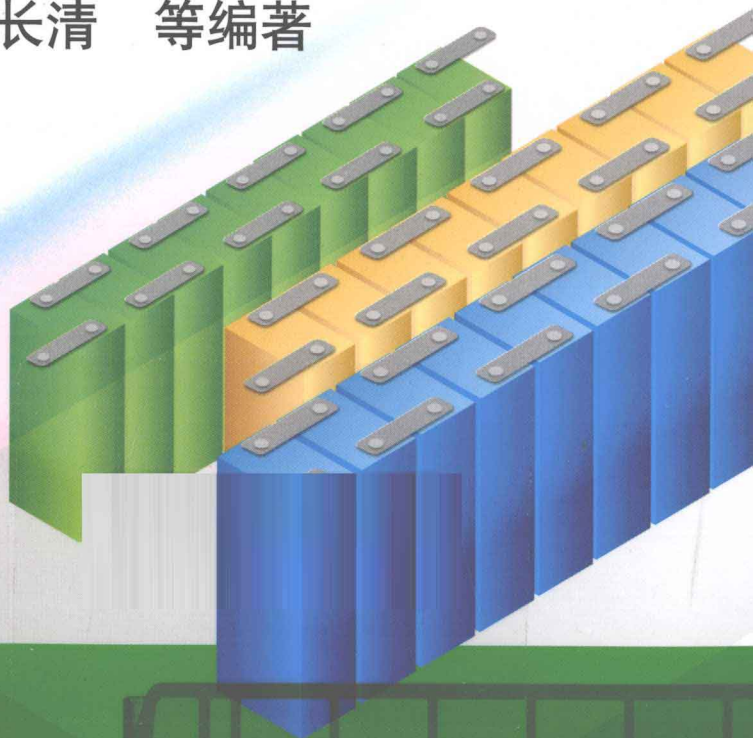


# 动力电池

第2版

桂长清 等编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

本书对作为动力电池使用的阀控式密封铅酸蓄电池、金属氢化物/镍电池、锂离子电池、燃料电池的工作原理、性能特点、电池结构、使用的主要原材料、有待解决的问题和当前国内外电动车辆及其配套电池市场发展的动态加以介绍。由于阀控式密封铅酸蓄电池用途广泛并且工艺比较成熟，它所表现出的规律性在蓄电池领域具有一定的普遍性，因而本书对它的介绍比较详细。本书中提供的数据均是从电池专著、实验室、生产车间和电动车辆实际运行结果中取得的，力求使本书体现出既有理论性又有实用性和可操作性的指导思想。

本书适合从事动力电池和电动车辆领域开发、研究、设计、生产、在线控制的工程技术人员和电池使用维护人员阅读，也可作为高等院校相关专业的教师、高年级学生和研究生的参考书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

动力电池/桂长清等编著. —2 版 —北京: 机械工业出版社, 2012. 6

ISBN 978-7-111-38634-6

I. ①动… II. ①桂… III. ①锂电池②燃料电池 IV. ①TM911

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 116766 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 林春泉 责任编辑: 李振标 版式设计: 霍永明

责任校对: 刘怡丹 封面设计: 姚毅 责任印制: 杨曦

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2012 年 8 月第 2 版第 1 次印刷

140mm × 203mm · 13.25 印张 · 404 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-38634-6

定价: 48.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

# 前 言

为了应对地球石油资源不断消耗和保护全球大自然环境，从节能减排的角度出发，世界各国都在大力开发新能源汽车，特别是采用电力驱动的汽车和助力车。当前电动助力车在我国已进入千家万户，其所使用的动力电池95%是AGM阀控式密封铅酸蓄电池。混合型电动汽车在国内外已小批量上市，主要使用金属氢化物/镍电池作为动力电池；人们把纯电力驱动的汽车动力源寄希望于锂离子电池和燃料电池。虽然经过世界各国用多种型号的汽车进行了试验和考核，并且有的国家政府对电动汽车给予了一些优惠待遇，但至今电动汽车仍没有正式被市场所接受，其主要原因是动力电池的性能、价格、安全性没有满足电动汽车的要求。

在本书第1版中对阀控式密封铅酸蓄电池、金属氢化物/镍电池、锂离子电池、燃料电池的工作原理、性能特点、电池结构、使用的主要原材料，以及有待解决的问题和国内外发展动态进行了介绍，赢得了读者的青睐。近年来世界各国都对锂离子动力电池进行了大量的研究和装车试验，取得了许多有价值的的数据，使人们对它的本性有了进一步的认识；其他几种类型动力电池也在竞争中取得了一定的进步。本着实践是检验真理的唯一标准这一原则，本书第2版保持了第1版中的精华，在全书大框架基本保持不变的情况下，对书中涉及的理论问题深入一步进行探讨，同时补充了新近从国内外电池资料、生产实践和实车运行过程中筛选出的一些有用数据（尤其是锂离子电池），供电池行业的同行们和开发电动车的专家们参考，不妥之处，诚请各位指正。愿本书能对我国电动汽车行业的健康发展贡献绵薄之力。同时在此向每章列出的专著和文献资料的作者深表感谢。

科学是在进步的，各种电池的性能、水平和人们对它们的认识也是不断发展的。动力电池市场的发展和定位体现出了一个客

观规律：每种类型的电池都有其独特的优点和不足之处，各种使用动力电池的场合也都有其特殊的使用条件和要求。只有根据不同的使用要求去选择合适类型的电池，使其费/效比最小，才能使所选用的电池在市场上有生命力。

本书在编著和修改补充过程中得到了中商国通电子有限公司和浙江昌盛电气有限公司的大力支持和帮助，许多试验和生产数据都是在那里取得的；电动车行业的朋友们提供了电池装车试运行的情况；本书在出版过程中，得到了机械工业出版社的大力支持，李振标编审、林春泉编审和杨凌秘书长给予了许多帮助，在此我们向各位致以深深的谢意。

参加本书第2版编写工作的人员有桂长清、徐克成、马伯岩、柳瑞华。

**编著者 2012年3月**

# 目 录

## 前言

<b>第一章 电力驱动系统和动力电池</b> .....	1
<b>第一节 电力驱动系统</b> .....	1
一、交流电力驱动系统和直流电力驱动系统 .....	1
二、电力驱动系统特点与环境保护 .....	1
三、电力驱动系统对电池的基本要求 .....	2
四、电动车电池的前期开发目标及当前水平 .....	3
<b>第二节 混合型电力驱动系统</b> .....	8
一、混合型电力驱动系统简介 .....	9
二、混合型电力驱动系统的特点 .....	12
三、混合型电力驱动系统对贮能装置的要求 .....	13
四、超级电容器与混合型电力驱动系统 .....	17
<b>第三节 电动车开发计划及现状</b> .....	24
一、美国电动汽车开发计划 .....	24
二、日本电动汽车开发计划 .....	25
三、欧盟计划 .....	26
四、我国新能源汽车开发计划和政策 .....	27
五、国内外电动车开发过程和现状 .....	30
<b>参考文献</b> .....	37
<b>第二章 铅酸动力电池理论基础和开发现状</b> .....	40
<b>第一节 铅酸蓄电池热力学基础</b> .....	40
一、热力学基本概念 .....	40
二、铅酸蓄电池成流反应 .....	42
三、电池电动势和开路电压 .....	43
四、电池充放电过程中的热效应 .....	51
五、电化当量和电池容量 .....	54
<b>第二节 铅酸蓄电池反应的动力学基础</b> .....	57
一、极化与过电位（超电动势） .....	57
二、电极反应过程的特征 .....	57

三、电化学反应的基本动力学参数 .....	59
四、铅酸蓄电池的反应机理 .....	62
第三节 阀控式密封铅酸蓄电池中的反应 .....	62
一、电池主反应 .....	63
二、电池副反应 .....	63
三、充电和过充电反应 .....	64
第四节 铅酸动力电池开发现状和技术性能 .....	65
一、开口式铅酸蓄电池 .....	65
二、阀控式密封铅酸蓄电池 .....	65
三、双极性密封铅酸蓄电池 .....	66
四、水平式密封铅酸蓄电池 .....	68
五、卷绕式圆柱形密封铅酸蓄电池 .....	70
六、超级电池 (Ultrabattery) .....	72
七、电动车用铅酸蓄电池开发动态 .....	74
参考文献 .....	77
<b>第三章 铅酸动力电池的设计 .....</b>	<b>80</b>
第一节 电池设计综论 .....	80
一、电池总体设计 .....	80
二、极板设计 .....	80
三、活性物质的量 .....	81
四、铅膏配方和视密度 .....	81
五、电解液密度和用量 .....	82
第二节 电池容量及活性物质计算 .....	83
一、理论容量 .....	83
二、湿铅膏、干铅膏和活性物质之间的关系 .....	83
三、活性物质利用率 .....	84
四、影响电池容量的因素 .....	84
五、正负极活性物质之间的关系 .....	86
六、活性物质与板栅之间的关系 .....	86
七、极板容量的设计计算 .....	87
八、电池容量变换经验公式 .....	87
第三节 隔膜的选择和计算 .....	89
一、隔膜的作用 .....	89
二、隔膜厚度与压力的关系 .....	89
三、隔膜孔率与压力的关系 .....	90

四、隔膜吸酸量与压力的关系 .....	90
五、隔膜压缩度对电池寿命的影响 .....	91
第四节 电解液量的计算 .....	92
一、电池放电需要的酸量 .....	92
二、极群实际吸酸量 .....	93
第五节 板栅设计 .....	95
一、板栅的结构形式 .....	95
二、板耳位置的影响 .....	96
三、筋条截面形状 .....	97
四、活性物质与板栅之间的比率 .....	98
五、板栅设计实例 .....	98
六、市售电动车电池极板 .....	98
第六节 电池极柱和连接条 .....	100
第七节 限压阀设计 .....	101
一、限压阀的作用 .....	101
二、限压阀的技术要求 .....	101
三、限压阀的结构形式 .....	101
四、限压阀帽材料选择 .....	102
第八节 电池槽、盖的设计和选择 .....	102
第九节 6DZM10 电池设计参数举例 .....	104
一、基本参数 .....	104
二、设计计算 .....	104
三、6DZM10 电池物料衡算 .....	105
参考文献 .....	106
<b>第四章 铅酸动力电池制造 .....</b>	<b>107</b>
<b>第一节 主要原材料 .....</b>	<b>107</b>
一、铅 .....	107
二、铅合金 .....	109
三、硫酸 .....	112
四、活性物质添加剂 .....	113
五、隔板 .....	118
六、电池槽和盖 .....	119
七、密封材料 .....	120
<b>第二节 板栅制造 .....</b>	<b>121</b>
一、板栅浇铸 .....	121

二、拉网式板栅 .....	123
三、板栅的质量要求 .....	124
第三节 铅粉制造及其技术特性 .....	124
一、铅粉制造 .....	124
二、铅粉的技术指标 .....	125
第四节 合膏 .....	126
一、铅膏配方的选择 .....	126
二、铅膏视密度及其对电池性能的影响 .....	127
三、铅膏的相组成及其影响因素 .....	127
第五节 涂片、固化和干燥 .....	128
一、涂片 .....	128
二、固化和干燥 .....	129
第六节 化成 .....	131
一、化成过程中的反应 .....	131
二、化成槽电解液浓度、温度和槽压的变化 .....	132
三、极板组分在化成过程中的转化 .....	132
四、电解槽化成（外化成） .....	133
五、电池化成（内化成） .....	135
第七节 电池组装与初充电 .....	136
一、电池组装工艺流程 .....	136
二、注酸和初充电 .....	138
参考文献 .....	139
<b>第五章 铅酸蓄电池性能测试和评估技术 .....</b>	<b>141</b>
第一节 电池容量 .....	141
一、容量的含义 .....	141
二、标准中规定的额定容量及其测试方法 .....	141
三、电动车用铅酸蓄电池的实际容量水平 .....	142
四、影响蓄电池放电容量的主要因素 .....	142
五、电池容量的变化规律 .....	143
第二节 电池寿命 .....	144
一、标准中规定的寿命要求及其考核方法 .....	144
二、国内常用的电动车电池寿命考核方法 .....	144
三、电池循环寿命值及其限制条件 .....	145
四、国外电动车用 VRLA 寿命考核方法 .....	146
第三节 大电流放电性能 .....	148



一、标准中规定的要求及其考核方法 .....	148
二、影响大电流放电性能的主要因素 .....	148
第四节 电池内阻 .....	149
一、蓄电池内阻的组成 .....	149
二、直流法测电池欧姆内阻 .....	150
三、交流法测电池内阻 .....	150
四、用电导测试仪测电池内阻（电导） .....	151
第五节 铅酸蓄电池内阻与容量的关系 .....	151
一、开口式铅酸蓄电池交流阻抗测试结果 .....	151
二、阀控式密封铅酸蓄电池交流阻抗测试结果 .....	152
三、阀控式密封铅酸蓄电池电导测试结果 .....	153
四、铅酸蓄电池内阻的变化规律 .....	153
第六节 密封铅酸蓄电池的电导与放电容量的相关性 .....	154
一、问题的起源和发展 .....	154
二、统计结果的局限性 .....	154
三、对电导测试结果的评价 .....	156
第七节 开路电压与放电容量的关系 .....	157
一、新电池开路电压与放电容量 .....	157
二、电池充放电循环过程中的开路电压与放电容量 .....	158
三、间断放电过程中的开路电压与放电容量 .....	159
第八节 阀控式密封铅酸蓄电池荷电态在线诊断技术 .....	160
一、荷电态的含义 .....	160
二、电导（内阻）测量法 .....	161
三、电池内阻和开路电压差联合法 .....	161
四、固定时间放电法 .....	162
五、电化学反应内阻与双层电容乘法 .....	163
六、交流阻抗参数法 .....	164
七、CDF（Coup de Fouet）现象 .....	165
八、使用微机处理器的 VRLA 电池荷电态在线评估仪 .....	167
九、线圈电感指示法 .....	167
十、电池荷电态和健康状态在线诊断研究工作小结 .....	167
第九节 由浮充信息评估电池健康情况 .....	168
一、浮充电压高低及其提供的信息 .....	168
二、由浮充电压评估电池健康状态 .....	168
三、浮充电压均匀性及其提供的信息 .....	169

四、浮充电流反映蓄电池组的健康状态 .....	169
五、电池健康状态判断原则和对策 .....	169
参考文献 .....	170
<b>第六章 阀控式密封铅酸蓄电池的充放电特性</b> .....	<b>173</b>
<b>第一节 阀控式密封铅酸蓄电池的充电特性</b> .....	<b>173</b>
一、充电反应过程 .....	173
二、恒电流充电 .....	174
三、电解液浓度和温度的变化 .....	175
四、恒电压充电 .....	175
五、充电电流对充入电量的影响 .....	175
六、混合型充电 .....	176
七、脉冲充电 .....	176
八、阀控式密封铅酸蓄电池充电的特殊性 .....	177
<b>第二节 快速充电和马斯三定律</b> .....	<b>178</b>
一、马斯电池充电三定律 .....	178
二、快速充电过程中的极化现象 .....	179
<b>第三节 电动车用铅酸蓄电池常用的充电技术</b> .....	<b>182</b>
一、充电技术与电池使用寿命的关系 .....	182
二、一些电动车用充电器的充电过程 .....	184
<b>第四节 阀控式密封铅酸蓄电池的并联充电</b> .....	<b>186</b>
一、并联充电过程中的电流分配 .....	186
二、并联充电过程中的电压变化 .....	188
三、并联充电对电池均匀性的影响 .....	189
<b>第五节 阀控式密封铅酸蓄电池的放电特性</b> .....	<b>191</b>
一、放电反应过程 .....	191
二、恒电流放电过程中的电压变化 .....	191
三、放电过程中电池的电解液浓度和温度变化 .....	192
四、过放电对电池性能的影响 .....	192
五、自放电 .....	193
<b>第六节 电池内阻与大电流放电能力</b> .....	<b>193</b>
一、欧姆内阻对电池电压降的影响 .....	193
二、电池欧姆内阻的组成 .....	194
三、改善电池大电流放电能力的途径 .....	195
<b>第七节 蓄电池组的均匀性</b> .....	<b>195</b>
一、电池组均匀性的表述方法 .....	196

二、单格电池的均匀性 .....	196
三、蓄电池组的均匀性 .....	197
四、循环寿命试验中蓄电池组均匀性的变化 .....	198
第八节 电动车电池深放电 .....	199
一、深放电试验 .....	199
二、深放电结果 .....	199
三、深放电后电池容量恢复能力 .....	200
四、深放电循环对放电容量的影响 .....	200
五、深放电循环对电池均匀性的影响 .....	201
第九节 电动自行车用铅酸蓄电池组的过放电 .....	202
一、过放电试验方法 .....	202
二、6DZM10 电池的过放电试验数据 .....	202
三、过放电量及其影响因素 .....	203
四、电池组开路电压的变化 .....	203
五、蓄电池组放电终止电压均匀性的变化 .....	204
六、过放电恢复能力 .....	204
七、过放电对电池寿命的影响 .....	204
第十节 蓄电池并联放电 .....	205
第十一节 电动车电池配组及其效果 .....	205
一、电动车电池当前水平 .....	205
二、电动车电池配组的效果 .....	206
第十二节 电动车电池失效模式和失效机理 .....	208
一、电池容量不足, 车辆跑的路程短 .....	208
二、电池容量衰减快, 使用寿命短 .....	209
三、电池均匀性劣化 .....	210
四、电池严重硫酸盐化 .....	211
五、热失控与电池 < 鼓肚子 > .....	212
六、电压很高容量不足 .....	213
七、电池贮存期间电压下降很快 .....	213
八、电池漏液 .....	213
参考文献 .....	213
<b>第七章 胶体铅酸蓄电池</b> .....	<b>216</b>
第一节 胶体电池开发历程 .....	216
第二节 胶体化学基本原理 .....	217
一、胶体 .....	217

二、胶体制备 .....	217
三、溶胶的主要性质 .....	218
四、凝胶 .....	219
第三节 硅溶胶和硅凝胶 .....	221
一、硅溶胶的制造 .....	222
二、硅凝胶的制备 .....	224
三、凝胶生成机理 .....	225
四、胶体电解质添加剂 .....	225
五、影响凝胶时间的因素 .....	226
六、 $\text{SiO}_2$ 含量对胶液导电性的影响 .....	227
七、 $\text{SiO}_2$ 含量对胶液触变性能的影响 .....	228
八、硫酸浓度对胶体电解液性能的影响 .....	228
九、钠离子对凝胶的影响 .....	229
第四节 胶体电池设计和制造 .....	229
一、胶体电池用隔板 .....	229
二、胶体电池极群 .....	230
三、设法降低电池内阻 .....	231
四、板栅与活性物质 .....	231
五、颗粒 $\text{SiO}_2$ 电池 .....	231
六、胶体电解液的灌注 .....	231
七、8DZMJ18 胶体电池设计参数举例 .....	233
第五节 胶体电池的特性 .....	233
一、两类密封铅酸蓄电池工作原理 .....	233
二、电池容量 .....	234
三、自放电速度降低 .....	235
四、电池寿命延长 .....	236
五、电池内阻及大电流放电能力 .....	236
六、耐深放电能力 .....	239
七、抗电解液分层能力 .....	240
八、浮充状态特性 .....	240
九、充电过程中的热效应 .....	241
十、低温特性 .....	241
第六节 胶体电池的其他应用 .....	241
一、风能发电系统及储能电池 .....	241
二、光伏系统和储能电池 .....	243

三、胶体电池是储能电池的优选对象 .....	244
四、胶体电池与 AGM 电池综合评价 .....	246
参考文献 .....	246
<b>第八章 金属氢化物镍电池 .....</b>	<b>248</b>
<b>第一节 金属氢化物镍 (MH-Ni) 电池概述 .....</b>	<b>248</b>
一、MH-Ni 电池结构 .....	248
二、MH-Ni 电池命名 .....	250
三、成流反应 .....	250
四、过充电和过放电反应 .....	251
<b>第二节 镍电极的特性及其制备 .....</b>	<b>252</b>
一、镍电极成流反应 .....	252
二、镍电极类型和结构 .....	254
三、活性物质 .....	254
四、镍电极制造 .....	255
五、影响镍电极性能的因素 .....	257
<b>第三节 金属氢化物电极性能及其制备 .....</b>	<b>258</b>
一、贮氢电极工作原理 .....	258
二、对贮氢合金的要求 .....	259
三、贮氢合金的类型 .....	259
四、贮氢合金的改性处理 .....	261
<b>第四节 MH-Ni 电池特性及其影响因素 .....</b>	<b>262</b>
一、电池充电及控制方法 .....	262
二、电池放电特性 .....	268
三、电池容量 .....	269
四、电池循环寿命 .....	270
五、温度对电池性能的影响 .....	275
六、电池贮存和自放电特性 .....	278
七、电池内阻 .....	280
八、电池的比能量 .....	282
九、电池的比功率 .....	283
十、可恢复的记忆效应 .....	285
<b>第五节 MH-Ni 电池的应用和市场动态 .....</b>	<b>286</b>
一、小型便携式电器市场上的 MH-Ni 电池 .....	286
二、电动自行车用 MH-Ni 电池 .....	286
三、电动汽车用 MH-Ni 电池 .....	287

四、混合型电动车用 MH-Ni 电池 .....	289
第六节 MH-Ni 电池开发动向 .....	291
一、MH-Ni 电池的进步和开发目标 .....	291
二、镍电极的研究动向 .....	292
三、贮氢合金的研究动向 .....	293
参考文献 .....	294
<b>第九章 锂离子动力电池 .....</b>	<b>297</b>
第一节 锂离子概况和命名 .....	297
一、锂离子电池的发展概况 .....	297
二、锂离子电池产品的命名 .....	298
第二节 电池工作原理及结构形式 .....	299
一、电池成流反应 .....	299
二、电池结构形式 .....	300
第三节 电池主要原材料及其特点 .....	302
一、正极材料 .....	302
二、负极材料 .....	309
三、电解质 .....	311
四、隔膜材料 .....	315
第四节 当前锂离子电池技术状态 .....	316
一、锂离子电池的综合评价 .....	316
二、锂离子电池的充放电特性 .....	317
三、电池容量及其影响因素 .....	318
四、循环寿命 .....	323
五、电池内阻 .....	328
六、比能量和比功率 .....	331
七、自放电速率和电池贮存性能 .....	334
第五节 电池安全性及其防护措施 .....	335
一、锂离子电池的安全性问题 .....	335
二、影响安全性的因素 .....	336
三、电池设计采用的安全措施 .....	337
四、使用注意事项 .....	338
第六节 锂离子电池的市场动态 .....	339
一、小容量电池占主导地位 .....	339
二、锂离子电池在电动助力车市场的地位 .....	339
三、电动汽车盼望锂离子电池 .....	339

第七节 锂离子动力电池开发方向 .....	341
一、提高锂离子电池的均匀性 .....	341
二、确保电池产品的安全性 .....	341
三、降低价格 .....	342
四、开发新的电极材料 .....	342
参考文献 .....	342
<b>第十章 电动车用燃料电池 .....</b>	<b>346</b>
第一节 燃料电池基本原理 .....	346
第二节 燃料电池类型 .....	347
一、碱性燃料电池 (Alkaline Fuel Cell, AFC) .....	347
二、磷酸燃料电池 (Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC) .....	348
三、熔融碳酸盐燃料电池 (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC) ...	348
四、固体氧化物燃料电池 (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) .....	349
五、质子交换膜燃料电池 (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC) .....	350
六、直接甲醇燃料电池 (Direct Methanol Fuel Cell, DMFC) .....	350
七、几种燃料电池的比较 .....	351
第三节 燃料电池的热力学基础 .....	352
第四节 质子交换膜燃料电池 .....	354
一、电池工作原理和基本结构 .....	354
二、双极板结构及材料 .....	355
三、质子交换膜 .....	357
四、电极反应催化剂 .....	358
五、膜电极制备 .....	359
六、电池组及其配套系统 .....	360
第五节 质子交换膜燃料电池性能及其影响因素 .....	363
一、反应气体的压力对电池性能的影响 .....	363
二、电池温度与性能的关系 .....	364
三、电池的输出功率和能量转换效率特性 .....	366
四、CO 对催化剂的毒化作用 .....	367
五、电池寿命 .....	367
第六节 电动汽车与燃料电池开发过程和现状 .....	368
一、美国 .....	368
二、日本 .....	370
三、加拿大 .....	372

四、中国 .....	373
五、燃料电池汽车展望 .....	375
参考文献 .....	376
<b>第十一章 潜艇和鱼雷动力电池</b> .....	<b>378</b>
<b>第一节 潜艇及其动力蓄电池</b> .....	<b>378</b>
一、蓄电池是潜艇动力的心脏 .....	378
二、潜艇对蓄电池的要求 .....	378
三、潜艇电池基本结构 .....	379
<b>第二节 潜艇电池发展动态</b> .....	<b>380</b>
一、铅酸蓄电池 .....	380
二、锌/氧化银蓄电池 .....	384
三、燃料电池 .....	385
<b>第三节 世界一些国家的潜艇蓄电池性能</b> .....	<b>386</b>
一、德国 DD/LN-TP 型潜艇电池 .....	386
二、英国 55KR189 型潜艇电池和 19KR229/231 型潜艇电池 .....	387
三、俄罗斯 446 和 476 型潜艇蓄电池 .....	388
<b>第四节 潜艇蓄电池性能检查和使用维护</b> .....	<b>390</b>
一、蓄电池容量检查 .....	390
二、蓄电池析氢速度检查 .....	390
三、蓄电池寿命试验 .....	391
四、潜艇蓄电池充电 .....	391
<b>第五节 潜艇 AIP 系统和燃料电池</b> .....	<b>395</b>
一、常规动力潜艇需要 AIP 系统 .....	395
二、潜艇 AIP 系统动态 .....	396
三、AIP 系统盼望燃料电池 .....	397
四、德国的燃料电池潜艇进展 .....	398
五、燃料电池的成功应用 .....	401
<b>第六节 鱼雷动力电池</b> .....	<b>402</b>
一、鱼雷动力概述 .....	402
二、对鱼雷动力电池的要求 .....	402
三、鱼雷动力电池的发展概况 .....	403
四、鱼雷动力用铅酸电池 .....	403
五、鱼雷动力用锌/氧化银电池 .....	404
六、镁/氯化银电池 .....	404
七、铝/氧化银鱼雷电池 .....	405
参考文献 .....	406



# 第一章 电力驱动系统和动力电池

## 第一节 电力驱动系统

### 一、交流电力驱动系统和直流电力驱动系统

电力驱动系统指的是由电源向电动机供电，完成推进功能的系统。电力驱动系统应包括电源、控制装置和电动机三个主要部分。由交流电网或柴油发电机组提供的交流电向交流电机供电完成推进功能，这样的系统是交流电力驱动系统，像电动机车、城市中的无轨电车均采用交流电力驱动系统；由直流电源（蓄电池或燃料电池等）向直流电机供电完成推进功能，这样的系统就是直流电力驱动系统。由于交流电网提供的电力是“无限的”，因而采用交流电力驱动系统的车辆行程可以是“无限的”。但蓄电池的储能是有限的，因而每次充足电后车辆行程也就受到了蓄电池容量的限制，燃料电池提供的电力会受到其所带的燃料和氧化剂（使用空气中的氧除外）量的限制，因而燃料电池电动车的行程也是有限的。

### 二、电力驱动系统特点与环境保护

#### 1. 能量转换效率高

电动机是电力驱动系统对外做功的执行部件，其能量转换效率一般可达到75%~90%，它比热机的效率要高得多，斯特林发动机是当前先进的高效热机，它的效率也只有30%左右，一般的热机其能量转换率更低，因而在市区内行驶，电动汽车的能量效率要比普通汽油机汽车高40%左右<sup>[1]</sup>，因而混合型电动汽车是当前世界各国争相开发的宠儿。

#### 2. 无污染、零排放、对环境友好

汽车产业的发展对人类的生存环境污染很大，尤其是大城市，各种机动车辆排出的废气，严重危害了人类的健康，各工业发达国家，这种危害尤为严重。电力驱动系统工作的结果，不会排出任何物质，