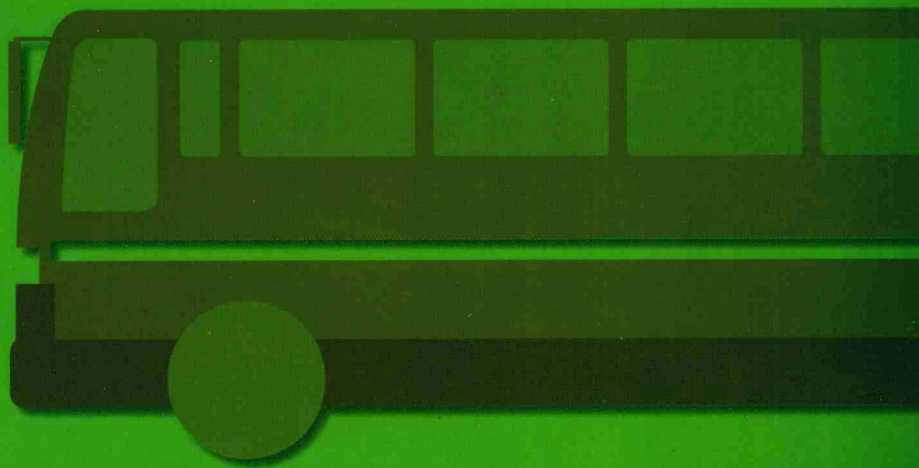


动力电池

桂长清 等 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



动力电池

桂长清 蔡正英 马 军 编著
郭 莉 柳瑞华 马伯岩



机械工业出版社

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、使用的主要原材料以及有待解决的问题和国内外发展动态加以介绍。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可作为了解和改善其他蓄电池性能的借鉴，因而本书对它的设计、生产、性能特点、在线检测技术、故障模式、使用维护技巧作了详细的介绍，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。

本书适合从事电化学专业和电动车领域开发、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. —北京：机械工业出版社，
2009. 4

ISBN 978-7-111-26111-7

I. 动… II. 桂… III. ①锂电池②燃料电池 IV. TM911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 008320 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：李振标 版式设计：张世琴

责任校对：张晓蓉 封面设计：姚毅

责任印制：李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2009 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

140mm × 203mm · 12.75 印张 · 339 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-26111-7

定价：43.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
销售服务热线电话：(010)68326294

购书热线电话：(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：(010)88379178

封面无防伪标均为盗版

前 言

当前电动助力车在我国已进入千家万户，其所使用动力电池的95%是AGM阀控式密封铅酸蓄电池和胶体电池；混合型电动汽车在国外已小批量上市，它们主要使用金属氢化物/镍电池作为动力电池；纯电力推进的汽车，虽然经过世界各国用多种型号的车辆和电池进行了试验和考核，但至今仍处于样车阶段，其主要原因仍然是制约于动力电池。现今一般认为锂离子电池是纯电力推进的汽车动力最佳候选电池。燃料电池推进的汽车虽然目前尚难预测何时上市，但燃料电池却在潜艇AIP系统中大显身手，并得到了市场的认可。此外，世界各国的潜艇仍然一律使用铅酸蓄电池作为动力电池；而在鱼雷上则使用同时具有更高比功率和比能量的锌/氧化银电池和铝/氧化银电池。

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，做到价廉物美，使其费/效比最小，才能使所选的电池有‘英雄用武之地’，才有可能进入市场。

本书将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加以介绍。只要将上述电池的设计和制造工艺作适当调整，则它们既可以作为动力电池使用，又可作为其他用电设备的电源使用。虽然如此，但每种电池的工作原理却不会因用途的不同而改变。因而本书在介绍它们的工作原理的同时，着重

IV

根据已有的实际数据对它们作为动力电池使用时的性能进行介绍和评价。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，因而本书也必然随着各种电池的发展作出新的补充和修正。

由于阀控式密封铅酸蓄电池现今在蓄电池市场上仍处于龙头地位，而且这种局面在一定时间内还难以改变；同时它的工艺比较成熟，人们对它的认识也比较深入，它所表现出的规律性会是了解和改善其他蓄电池性能的借鉴。因而本书将对它的设计、生产、性能特点、在线检测技术、故障模式、使用维护技巧作详细的介绍。同时还专列一章介绍胶体电池的工艺技术。为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，因而书中提供了从国内外电池专著、文献资料、产品样本中收集到的一些有用数据，以及我们在长期的研制和生产中总结出来的一些经验性设计参数，供电池行业的同行们和研制电动车的专家们参考。不妥之处，诚请各位指正。同时在此向每章所列出的专著和文献资料的各位作者深表感谢。

本书在编著过程中得到了中商国通电子有限公司的大力支持和帮助，提供了许多试验和生产数据；在进行电池性能检测技巧的研究过程中，也得到了一些兄弟单位的支持和鼓励；本书在出版过程中，得到了机械工业出版社的大力支持；李振标编审和杨凌秘书长给予了许多帮助，我们在此向各位致以深深的谢意。

参加本书编著工作的成员有：桂长清、蔡正英、马军、郭莉、柳瑞华、马伯岩。

作 者

2008年6月

目 录

前言

第一章 电力推进系统和动力电池	1
第一节 电力推进系统	1
一、交流电力推进系统和直流电力推进系统	1
二、电力推进系统的主要特点	1
三、电力推进系统对电池的基本要求	2
第二节 混合电力推进系统	9
一、混合电力推进系统的组合	10
二、混合电力推进系统的特点	13
三、混合电力推进系统对储能装置的要求	14
四、超级电容器	19
第三节 电动车开发计划及现状	27
一、美国电动汽车开发计划	27
二、日本电动汽车开发计划	28
三、欧盟计划	29
四、我国电动汽车重大专项	30
五、电动车现状	31
参考文献	37
第二章 铅酸动力电池的工作原理和开发现状	40
第一节 铅酸蓄电池热力学基础	40
一、电池成流反应	40
二、电动势和开路电压	41
三、热效应	48
四、电化当量和电池容量	51
第二节 铅酸蓄电池反应的动力学基础	54

一、极化与过电位(超电势)	54
二、电极反应过程的特征	55
三、电化学反应的基本动力学参数	56
四、浓差极化	59
五、铅酸蓄电池的动力学特性	60
第三节 阀控式密封铅酸蓄电池中的反应	60
一、电池主反应	60
二、电池副反应	60
三、充电和过充电反应	62
第四节 电动车用铅酸蓄电池现状	63
一、开口式铅酸蓄电池	63
二、阀控式密封铅酸蓄电池 VRLA	63
三、双极性密封铅酸蓄电池	64
四、水平式密封铅酸蓄电池	66
五、卷式圆柱形电池	68
六、超级电池(Ultrabattery)	70
七、电动车用铅酸蓄电池开发方向	71
参考文献	74
第三章 铅酸动力电池设计	77
第一节 电池容量计算	77
一、理论容量	77
二、湿铅膏、干铅膏和活性物质之间的关系	78
三、活性物质利用率	78
四、正、负极活性物质之间的关系	81
五、活性物质与板栅之间的关系	81
六、极板容量计算	82
七、电池容量变换经验公式	83
第二节 隔膜	85
一、隔膜的作用	85
二、隔膜厚度与压力的关系	85

三、隔膜孔率与压力的关系	86
四、隔膜吸酸量与压力的关系	86
第三节 电解液量计算	87
一、电池放电需要的酸量	87
二、极群吸酸量	89
第四节 板栅设计	91
一、板栅的结构形式	91
二、板耳位置的影响	92
三、筋条截面形状	93
四、活性物质与板栅之间的比率	94
五、板栅设计实例	95
六、市售电动车电池极板	96
第五节 连接条和极柱	96
第六节 限压阀	97
一、限压阀的作用	97
二、限压阀的技术要求	97
三、限压阀的结构形式	97
四、限压阀帽材料选择	98
第七节 电池槽和盖	98
第八节 6DZM10 电池设计参数举例	100
一、基本参数	100
二、设计计算	101
三、6DZM10 电池物料衡算	102
参考文献	103
第四章 铅酸动力电池制造	104
第一节 主要原材料	104
一、铅	104
二、铅合金	106
三、硫酸	109
四、活性物质添加剂	112

五、隔板	117
六、电池槽和盖	119
七、密封材料	119
第二节 板栅制造	120
一、板栅浇铸	120
二、拉网式板栅	122
三、板栅的质量要求	122
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	124
第四节 合膏	125
一、铅膏配方的选择	125
二、铅膏视密度及其对电池性能的影响	126
三、铅膏的相组成	127
第五节 涂片、固化和干燥	128
一、涂片	128
二、固化和干燥	128
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)	136
第七节 电池组装与初充电	137
一、电池组装工艺流程	137
二、注酸和初充电	139
参考文献	140
第五章 电动车用铅酸动力电池性能和测试方法	142
第一节 电池容量	142
一、容量的含义	142

二、标准中规定的额定容量及其测试方法	142
三、电动车用铅酸蓄电池的实际容量水平	143
四、影响蓄电池放电容量的主要因素	143
五、电池容量的变化规律	144
第二节 电池寿命	145
一、标准中规定的寿命要求及其考核方法	145
二、国内常用的电动车电池寿命考核方法	145
三、电池循环寿命值及其限制条件	146
四、国外电动车用 VRLA 寿命考核与失效模式	147
第三节 大电流放电性能	149
一、标准中规定的要求及其考核方法	149
二、影响大电流放电性能的主要因素	150
第四节 电池内阻	150
一、蓄电池内阻的组成	150
二、直流法测电池欧姆内阻	151
三、交流法测电池内阻	152
四、用电导测试仪测电池内阻(电导)	152
第五节 铅酸蓄电池内阻与容量的关系	153
一、开口式铅酸蓄电池交流阻抗测试结果	153
二、阀控式密封铅酸蓄电池交流阻抗测试结果	153
三、阀控式密封铅酸蓄电池电导测试结果	154
四、铅酸蓄电池内阻的变化规律	155
第六节 密封铅酸蓄电池的电导与放电容量的相关性	155
一、问题的起源和发展	155
二、深入分析国外的统计结果	155
三、对电导测试结果的评价	157
第七节 开路电压与放电容量的关系	158
一、新的阀控式密封铅酸蓄电池开路电压与放电容量	159
二、VRLA 电池循环过程中的开路电压与放电容量	159
三、间断放电过程中的开路电压与放电容量	160

第八节 阀控式密封铅酸蓄电池荷电态在线诊断技术	161
一、荷电态的含义	162
二、电导(内阻)测量法	162
三、电池内阻和开路电压差联合法	162
四、固定时间放电法	163
五、电化学反应内阻与双层电容乘积法	164
六、交流阻抗参数法	165
七、CDF(Coup de Fouet)现象	167
八、使用微机处理器的 VRLA 电池荷电态在线评估仪	168
九、线圈电感指示法	169
十、电池荷电态和健康状态在线诊断研究工作小结	169
第九节 由浮充信息评估电池健康情况	169
一、浮充电压高低及其提供的信息	169
二、由浮充电压高低评估电池健康情况	170
三、浮充电压均匀性的启示	171
四、浮充电流反映蓄电池组的健康状况	171
五、判断原则和对策	171
参考文献	172
第六章 电动车用阀控式密封铅酸蓄电池的充放电运行 和维护	175
第一节 阀控式密封铅酸蓄电池的充电特性	175
一、充电反应过程	175
二、恒电流充电	176
三、电解液浓度和温度的变化	177
四、恒电压充电	177
五、充电电流对充入电量的影响	178
六、混合型充电	178
七、脉冲充电	179
八、阀控式密封铅酸蓄电池充电的特殊性	179
第二节 快速充电和马斯三定律	181

一、马斯电池充电三定律	181
二、快速充电	182
第三节 电动车用铅酸蓄电池常用的充电技术	185
一、充电技术是影响电动车用铅酸蓄电池使用寿命的首要因素	185
二、一些电动车用充电器的充电过程	187
第四节 阀控式密封铅酸蓄电池的并联充电	189
一、并联充电过程中的电流分配	190
二、并联充电过程中的电压变化	192
三、并联充电对电池均匀性的影响	193
第五节 阀控式密封铅酸蓄电池的放电特性	195
一、放电反应	195
二、恒电流放电过程中的电压变化	195
三、放电过程中电池的电解液浓度和温度变化	196
四、过放电	197
五、自放电	197
第六节 电池内阻与大电流放电能力	197
一、欧姆内阻对电池电压降的影响	198
二、电池欧姆内阻的组成	199
三、改善电池大电流放电能力的途径	199
第七节 蓄电池组的均匀性	200
一、对电动助力车电池组均匀性的要求及其表述方法	200
二、单格电池的均匀性	201
三、蓄电池组的均匀性	202
四、循环寿命试验中蓄电池组均匀性的变化	203
第八节 电动车用铅酸蓄电池组深放电	204
一、深放电试验	204
二、深放电结果	204
三、电池容量恢复能力	205
四、深放电循环对放电容量的影响	205
五、深放电循环对电池均匀性的影响	207

第九节 电动自行车用铅酸蓄电池组的过放电	207
一、过放电试验方法	208
二、6DZM10 电池的过放电试验数据	208
三、过放电量及其影响因素	209
四、电池组开路电压的变化	209
五、蓄电池组放电终止电压均匀性的变化	210
六、过放电恢复能力	210
七、过放电对电池寿命的影响	211
第十节 蓄电池并联放电	211
第十一节 电动车用铅酸蓄电池配组和使用寿命	212
一、电动车用铅酸蓄电池当前水平	212
二、电动车用铅酸蓄电池配组的效果	213
第十二节 电动车用铅酸蓄电池失效模式和失效机理	215
一、电池容量衰减快, 使用寿命短	215
二、电池容量不足, 车行驶的路程短	217
三、电池均匀性劣化	217
四、电池严重硫酸盐化	219
五、热失控与电池“鼓肚子”	220
六、电压很高容量不足	220
七、电池储存期间电压下降很快	220
八、电池漏液	221
参考文献	221
第七章 胶体电池	224
第一节 胶体电池发展简史	224
第二节 胶体电解质的制造	225
一、硅溶胶的制造	225
二、硅凝胶的制备	227
三、胶体电解质添加剂	229
第三节 胶体电解质的性质	231
一、影响凝胶时间的因素	231

二、SiO ₂ 含量对胶液导电性的影响	232
三、SiO ₂ 含量对胶液触变性能的影响	232
四、硫酸浓度对胶体电解液性能的影响	233
五、Na ⁺ 离子对凝胶的影响	233
第四节 胶体电解液的灌注	234
一、直接灌注法	234
二、先酸后胶法	234
三、放电加胶法	234
四、两步加胶法	235
第五节 胶体电池设计和制造	235
一、隔板的选择	235
二、调整极群装配比	237
三、降低电池内阻	237
四、调整板栅和活性物质重量的比例	237
五、颗粒 SiO ₂ 电池	237
第六节 胶体电池的特性	238
一、密封工作原理和气体复合效率	238
二、放电容量	238
三、自放电速度	239
四、电池寿命	240
五、电池内阻和大电流放电能力	240
六、耐深放电能力	240
七、抗电解液分层能力	241
八、浮充电流与电池失水	241
九、充电过程中的热效率	241
十、低温特性	242
参考文献	242
第八章 金属氢化物/镍动力电池	244
第一节 金属氢化物/镍(MH-Ni)电池工作原理	244
一、电池的基本组成和结构	244

二、充放电反应	246
三、过充电和过放电反应	246
第二节 MH-Ni 电池特性	247
一、充电特性	247
二、放电特性	248
三、电池容量	250
四、电池循环寿命	251
五、温度特性	256
六、自放电特性	258
七、电池的比能量	259
八、电池的比功率	261
九、贮存寿命	263
十、记忆效应	263
十一、电池内阻	264
十二、电池充电及其控制方法	265
十三、充电方法	267
第三节 镍电极	268
一、工作原理	268
二、镍电极性能及其影响因素	269
三、镍电极的研究动向	272
第四节 金属氢化物电极	273
一、工作原理	273
二、贮氢合金应具备的条件	273
三、贮氢合金的类型	274
四、贮氢合金的改性处理	275
五、贮氢合金的研究动向	277
第五节 电动车用 MH-Ni 电池	277
一、电动自行车用 MH-Ni 电池	277
二、电动汽车用 MH-Ni 电池	278
三、混合型电动车用 MH-Ni 电池	280

四、MH-Ni 动力电池开发方向	282
参考文献	283
第九章 锂离子动力电池	285
第一节 锂离子电池概况	285
一、锂离子电池的发展概况	285
二、锂离子电池产品的命名	286
第二节 电池反应原理及结构形式	286
一、电池成流反应	286
二、电池结构形式	287
第三节 电池主要原材料	291
一、正极材料	291
二、负极材料	296
三、电解质	298
四、隔膜材料	302
五、添加剂	302
第四节 电池性能及其影响因素	303
一、锂离子电池的综合评价	303
二、锂离子电池的充放电特性	304
三、放电容量及其影响因素	305
四、循环寿命	308
五、自放电速率和电池储存性能	311
六、比能量和比功率	312
七、电池内阻	315
八、电池安全性及其防护措施	316
第五节 锂离子电池的市场动态	317
一、小容量电池占主导地位	317
二、锂离子电池在电动助力车市场的地位	318
三、锂离子电池在电动汽车上将大有作为	318
四、锂离子动力电池开发方向	319
参考文献	320

第十章 电动车用燃料电池	322
第一节 燃料电池基本原理和分类	322
一、碱性燃料电池	322
二、磷酸燃料电池	323
三、熔融碳酸盐燃料电池	324
四、固体氧化物燃料电池	324
五、质子交换膜燃料电池	325
六、直接甲醇燃料电池	325
七、几种燃料电池的比较	327
第二节 燃料电池的热力学和效率	328
第三节 质子交换膜燃料电池	330
一、工作原理和基本结构	330
二、双极板	331
三、质子交换膜	333
四、催化剂	334
五、膜电极	336
六、电池组及其系统	337
第四节 质子交换膜燃料电池性能及其影响因素	340
一、反应气体的压力对电池性能的影响	340
二、电池温度与性能的关系	342
三、电池的输出功率和能量转换效率特性	343
四、CO 的影响	344
五、电池寿命	344
第五节 电动汽车与燃料电池开发现状	345
一、美国	346
二、日本	348
三、加拿大	350
四、中国	350
五、燃料电池汽车展望	353
参考文献	353