

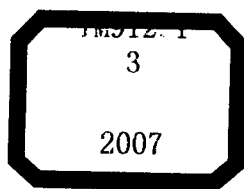
国外电气工程名著译丛

阀控式铅酸蓄电池

(澳) D. A. J. Rand 等主编

郭永榔 等译

Valve-Regulated Lead-Acid Batteries



国外电气工程名著译丛

阀控式铅酸蓄电池

Valve-Regulated Lead-Acid Batteries

(澳) D. A. J. Rand (美) P. T. Moseley 主编
(德) J. Garche (美) C. D. Parker

郭永柳 等译

机械工业出版社

本书系统地从事理、工艺到实际应用论述了阀控式铅酸蓄电池,内容包括铅酸蓄电池原理和动力学机理、板栅合金、活性物质添加剂、固化、化成、制造工艺、新型隔板、充电方法改进以及克服电池早期容量损失的有效方法;全书还对电动车辆电池要求、发展趋势、42V 电气系统、电池组管理以及电池回收再利用进行了较为系统的论述。此书是高等院校、科研单位科研人员,特别是企业技术人员的一本重要参考书。

图书在版编目(CIP)数据

阀控式铅酸蓄电池/(澳)兰德(Rand, D.A.J.)
等主编;郭永樟等译. —北京:机械工业出版社,
2006.10

(国外电气工程名著译丛)

ISBN 7-111-19908-1

I. 阀… II. ①兰…②郭… III. 铅酸蓄电池
IV. TM912.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 110603 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:冉晓华 责任校对:吴美英

封面设计:姚毅 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2007 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

169mm×239mm·16.25 印张·633 千字

0 001—4 000 册

定价:58.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68326294

编辑热线电话(010) 88379768

封面无防伪标均为盗版

作译者名单

主 编

(澳) D. A. J. Rand (美) P. T. Moseley

(德) J. Garche (美) C. D. Parker

参 编

(德) W. Böhnstedt (美) C. J. Boreiko (美) R. D. Brost

(美) K. R. Bullock (英) A. Cooper (美) T. C. Dayton

(德) J. Garche (德) K. Ihmels (德) A. Jossen

(澳) L. T. Lam (德) E. Meissner (美) P. T. Moseley

(美) R. F. Nelson (澳) R. H. Newnham (美) C. D. Parcker

(美) D. Pavlov (英) K. Peters (美) R. D. Prengaman

(澳) D. A. J. Rand (德) G. Richter (澳) M. W. Stevenson

(德) R. Wagner (英) M. J. Weighall (美) B. Wilson

译 者

郭永榔 胡俊梅 王丽丽 刘慧勇 黄明香

周学酬 郭代飞 郑燕贞 郭 曼 邓干群

潘晓萍 严文珠

译 者 的 话

随着近年科学技术的高速发展,世界石油危机、汽车尾气污染,人类的可持续发展面临着巨大挑战。开发新的化学电源,改进传统电池,发展电动车是21世纪亟需攻关的难题。虽然铅酸蓄电池已有100多年的历史,但是由于其具有成本低廉、性能稳定并不断提高、绝大多数铅可以回收再利用等优势,所以铅酸蓄电池至今仍然是除便携式电源外使用最为广泛的二次电源。主要的应用领域包括汽车起动、UPS电源、牵引、电信、电力、固定应用等。

20世纪90年代,阀控式铅酸蓄电池在我国刚刚起步,许多企业走了不少弯路,特别是作为循环应用的阀控式铅酸蓄电池,其寿命异常短,我国电动自行车的发展也经历了“三起两落”的曲折过程。近十余年来,先进铅酸蓄电池联合会(ALABC)组织各国的知名铅酸蓄电池科研院所、专家以及各大公司,对电动车用阀控式铅酸蓄电池研究进行项目分解,并组织攻关。在快速充电、克服电池早期容量损失(PCL-1, PCL-2, PCL-3)、比能量、比功率和循环寿命等方面的研究取得了突破性进展。

参加编写本书的作者全部是ALABC的单位成员及世界知名专家。全书内容涵盖了近十余年来ALABC的最新研究成果和进展、世界最新研究文献的概括和综述。全书详细论述了铅酸蓄电池原理和动力学机理、板栅合金、正负极活性物质添加剂、固化、化成、制造工艺、新型隔板、充电方法改进和克服电池早期容量损失的有效方法;全书还对电动车辆电池要求、发展趋势、42V电气系统、电池组管理以及电池回收再利用进行了较为系统的论述。迄今为止,还没有一本从机理、工艺到实际应用系统的、专门论述阀控式铅酸蓄电池的书。此书于2004年由Elsevier出版社第一次出版,通过此书可以了解国外铅酸蓄电池的最新发展现状和趋势,以及铅酸蓄电池最新制造工艺。此书是高等院校、科研人员,特别是企业技术人员的一本重要参考书,通过每一章的参考文献,读者还可以查阅到更为详细的相关研究资料。

本书由郭永槲组织翻译，并负责全书审校。

感谢 Garche 教授、Moseley 博士等原书作者同意并促成我们组织翻译此书，感谢机械工业出版社对本书的出版给予了大力的支持和帮助，同时也感谢沈阳蓄电池研究所朱复兴老师、杨凌主任给予的许多帮助。

为了符合工程技术人员传统习惯，在全书中仍使用“电位”名词，而不是“电势”。由于译者的水平和能力所限以及为了忠于原文，许多句子仍较长，且读起来也不一定很顺，另外其他不足之处也在所难免，恳请读者批评指正。

译者

2006 年 6 月于福州

前 言

自铅酸蓄电池这个概念诞生 100 多年以来，铅酸蓄电池通常是在电解液表面与外界大气压之间在无任何限定条件下操作使用，在过充电期间，通过电解电池中水失去氢气与氧气，因而对电池需要定期添加蒸馏水。大约自 1970 年以来，已出现了无需加水维护的、可以取代传统“富液式”的另一种电池，而且在这个新设计中，硫酸是不流动的，因此电池具有“防溢出”的优点，使电池能够在任意方向上放置工作（立式、卧式，甚至倒立）。

然而对所谓“阀控式铅酸蓄电池（VRLA）”技术的改变还有一些困难，经验表明这两个系统存在着根本的差异，铅酸蓄电池制造工业面临着投资与现有富液式铅酸蓄电池性能相匹配的阀控式铅酸蓄电池的巨大挑战。然而，通过了解电化学原理，研究生产改进的电池部件和优化的充电方法，已经使阀控式铅酸蓄电池成为公认的可靠设备，现在使用者利用这种电池的特殊性质在各种固定应用中储存电能。

在先进铅酸蓄电池联合会（ALABC）的赞助下，通过合作研究，阀控式铅酸蓄电池技术已经获得很大进展。主要目标是开发新一代道路交通用的阀控式铅酸蓄电池系统——纯电动车和混合电动车，以减少燃料消耗，降低排放。通过这个努力所获得的进展，最终也将有利于通信及边远地区供电的巨大市场需求。

本书详细地描述了阀控式铅酸蓄电池科技方面的最新进展，参加编写的专家都是来自铅酸蓄电池联合会成员单位或参加项目的合同单位。在编写过程中，我们的目标是尽可能使全书前后风格一致，但也允许有自然关联的不同章节之间的小部分重叠，希望本书对阀控式铅酸蓄电池现状进行详细地阐述，并且提供一种资源，使技术人员能够开发出比市场要求性能更好的新产品。

我们对 Rita Spiteri (CSIRO) 女士在出版该书过程中重新编排全文及图表所做的贡献及所表现出的专业技能表示衷心感谢。

D.A.J. Rand J. Garche

P.T. Moseley C.D. Parker

目 录

译者的话

前言

第 1 章 阀控式铅酸蓄电池——	
铅酸蓄电池工艺的变迁	P.T.Moseley D.A.J.Rand 1
1.1 铅酸蓄电池——能源持续性的一种关键技术	 1
1.2 铅酸蓄电池	 2
1.3 阀控式铅酸蓄电池	 6
1.4 铅酸蓄电池的热管理	 9
1.4.1 热产生	 9
1.4.2 热散发	 9
1.5 未来的挑战	 10
参考文献	 12
第 2 章 阀控式铅酸蓄电池的铅合金	R.D.Prengaman 13
2.1 无 Sb 板栅合金	 13
2.2 纯 Pb 正极板栅	 13
2.3 Pb-Ca 合金	 14
2.4 Sn 添加到纯 Pb 及 Pb-Ca 合金中	 17
2.5 Pb-Ca-Sn 合金	 18
2.5.1 晶粒结构	 18
2.5.2 浇铸的 Pb-Ca-Sn 合金力学性能	 19
2.5.3 Al 添加剂	 20
2.5.4 Pb-Ca-Sn 合金的腐蚀	 21
2.5.5 Sn 对电池板栅导电性的影响	 23
2.5.6 Pb-Sn-Ca 合金中添加 Ag	 25
2.6 Pb-Sb-Cd 合金	 27

参考文献	27
第3章 铅酸蓄电池的化成及正负极活性物质结构 D. Pavlov	31
3.1 前言	31
3.1.1 铅酸蓄电池极板制造	31
3.1.2 浸酸及化成现象概述	34
3.2 极板浸酸过程	35
3.2.1 阀控式铅酸蓄电池的灌酸过程	35
3.2.2 浸酸期间化学晶带的形成过程	36
3.2.3 固化的三碱式硫酸铅铅膏的浸酸过程	38
3.2.4 固化的四碱式硫酸铅铅膏的浸酸过程	43
3.3 正极板的化成	45
3.3.1 化成过程热力学	45
3.3.2 三碱式硫酸铅铅膏化成为正极活性物质的反应	46
3.3.3 三碱式硫酸铅铅膏化成为正极活性物质期间晶带的形成	49
3.3.4 β - PbO_2 与 α - PbO_2 比率及对正极板容量的影响	51
3.3.5 正极活性物质结构	53
3.3.6 PbO_2 颗粒胶体-晶体的形成	56
3.3.7 PbO_2 颗粒形成的机理	58
3.3.8 正极活性物质中微孔结构的形成及作用	59
3.3.9 碱式硫酸铅对正极板循环寿命的影响	63
3.3.10 四碱式铅膏极板化成的反应	66
3.3.11 电流集流体表面对板栅/正极活性物质界面上硫酸铅晶粒形成的影响	70
3.4 负极板的化成	72
3.4.1 化成过程热力学	72
3.4.2 负极板化成期间的反应	72
3.4.3 晶带形成过程	74
3.4.4 负极活性物质结构	76
3.4.5 化成期间负极板微孔结构的变化	78
3.4.6 膨胀剂对负极活性物质的影响	79
3.4.7 膨胀剂结构对电池电性能的影响	82
3.5 化成工艺	83
3.5.1 化成过程工艺参数	83
3.5.2 正负极板化成的各阶段	84

3.5.3 正极板化成恒流(恒压)充电方法	86
3.6 总结	89
参考文献	90
第4章 加快化成及改善电池性能的正极	
添加剂 K.R.Bullock T.C.Dayton	92
4.1 前言	92
4.2 添加剂影响的模拟	92
4.3 非导电添加剂	94
4.3.1 中空玻璃微球	94
4.3.2 羧甲基纤维素(CMC)	95
4.3.3 硅胶	95
4.3.4 其它添加剂	96
4.4 导电添加剂	97
4.4.1 铅酸钡	97
4.4.2 氧化钛	100
4.4.3 导电聚合物	101
4.4.4 SnO_2	101
4.4.5 硼化铁	102
4.4.6 镀铅玻璃丝	102
4.4.7 碳	102
4.4.8 二氧化铅	104
4.5 化学活性添加剂	105
4.5.1 硫酸盐	105
4.5.2 磷酸盐	108
4.5.3 铋	110
4.5.4 聚乙烯磺酸及盐	111
4.6 结论	112
参考文献	112
第5章 阀控式铅酸蓄电池负极板 K.Peters	115
5.1 前言	115
5.2 基本电化学特性	115
5.3 负极板添加剂	121
5.3.1 碳	122

5.3.2 硫酸钡	124
5.3.3 有机添加剂	125
5.4 充电影响	131
5.5 内催化剂的使用	134
5.6 总结	135
参考文献	136
第 6 章 阀控式铅酸蓄电池中隔板的功能 M.J.Weighall	139
6.1 前言	139
6.2 吸附式玻璃棉 (AGM) 的特性	140
6.2.1 AGM 的润湿性能	140
6.2.2 AGM 材料的物理性质	145
6.3 胶体电池	147
6.4 隔板的性质及功能	148
6.4.1 压缩特性	148
6.4.2 氧循环与再化合效率	150
6.4.3 分层与干涸	152
6.5 未来的发展趋势	153
参考文献	154
第 7 章 阀控式铅酸蓄电池的隔板材料 K.Ihmels W.Böhnstedt	155
7.1 前言	155
7.2 隔板现状	155
7.2.1 吸附式玻璃棉 (AGM) 隔板	155
7.2.2 胶体电池的隔板	157
7.3 阀控式铅酸蓄电池 (VRLA) 隔板的发展趋势	157
7.4 隔板的发展	159
7.4.1 改进的隔板	159
7.4.2 可选择的其它隔板	166
7.5 结论	173
参考文献	173
第 8 章 电池管理 A.Jossen	176
8.1 前言	176
8.2 电池管理系统的任务	177

8.3 电池管理系统的设计	178
8.4 电池数据采集	179
8.5 电池状态的确定	181
8.5.1 电池荷电状态	184
8.5.2 电池健康状态	191
8.6 电池的电气管理	194
8.6.1 充电控制	195
8.6.2 放电过程控制	195
8.6.3 多电池组系统	197
8.7 电池的热管理	198
8.7.1 空气系统	199
8.7.2 液相系统	200
8.7.3 电气系统	200
8.7.4 被动冷却系统和隔热	201
8.7.5 相转变材料	201
8.7.6 其它系统	202
8.8 电池历史数据存储	202
8.9 电池的安全管理	202
8.10 系统通信	203
8.11 结论	204
参考文献	204
第9章 阀控式铅酸蓄电池的充电技术 R.F.Nelson	206
9.1 前言	206
9.1.1 基本充电过程——化学反应及副反应	206
9.1.2 传统的充电方法	209
9.2 阀控式铅酸蓄电池的充电过程	217
9.2.1 氧循环和饱和度	218
9.2.2 气体传输和氧循环	220
9.2.3 过充电过程	222
9.3 阀控式铅酸蓄电池的现有充电方法	224
9.3.1 浮充充电	225
9.3.2 循环充电	229
9.3.3 快速充电	233
9.3.4 充电终止策略	234

9.3.5 电池充电的失效模式	236
9.4 发展和优化的充电方法	238
9.4.1 浮充充电的优化方法	238
9.4.2 循环充电的优化方法	240
9.4.3 部分荷电状态循环——正在研究的充电方法	246
9.5 总结与结论	249
参考文献	251
第 10 章 供电网中的蓄电池储能系统 C.D.Parker J.Garche	254
10.1 前言	254
10.2 历史回顾	254
10.3 储能技术	256
10.3.1 铅酸 (和先进的) 蓄电池	259
10.3.2 超级电容器	260
10.3.3 飞轮	260
10.3.4 超导磁场的能量存储 (SMES)	261
10.4 储能应用	261
10.4.1 快速备用 (发电)	262
10.4.2 区域控制和频率响应备用 (发电)	263
10.4.3 日常储存 (发电)	263
10.4.4 传输系统稳定性 (传输与配电 (T&D))	263
10.4.5 传输电压调节 (传输与配电)	263
10.4.6 传输设施延迟 (传输与配电)	263
10.4.7 配电设施延迟 (传输与配电)	264
10.4.8 可再生能源管理 (用户服务)	264
10.4.9 用户能源管理 (用户服务)	264
10.4.10 功率品质与可靠性 (用户服务)	264
10.5 蓄电池储能系统	264
10.5.1 德国熏瑙电力公司 (Elektrizitätswerk Hamermuehle)	266
10.5.2 德国柏林能源电力联合股份公司 (BEWAG AG)	266
10.5.3 德国柏林索斯特哈根蓄电池 AG	267
10.5.4 美国北卡罗来纳州斯泰茨维尔的新月电子会员公司	268
10.5.5 美国加利福尼亚州奇诺的南加利福尼亚爱迪生公司	269
10.5.6 美国威斯康星州密尔沃基的约翰逊控制有限公司	270
10.5.7 波多黎各电力局	270

10.5.8 美国加利福尼亚州弗农的 GNB 技术公司	271
10.5.9 美国阿拉斯加的 Metlakatia	272
10.5.10 德国的赫恩和博霍尔德	274
10.5.11 PQ2000	274
10.6 功率转换	276
10.6.1 基本概念	276
10.6.2 开关问题	279
10.6.3 性能问题	280
10.7 成本问题	280
10.8 结论	282
参考文献	283
第 11 章 阀控式铅酸蓄电池在汽车中的应用——车辆制造商的前景 R.D.Brost	285
11.1 前言	285
11.1.1 电池选择过程	286
11.1.2 子系统描述	289
11.1.3 初始设计阶段	289
11.1.4 失效模式和影响分析	292
11.1.5 设计鉴定计划	292
11.1.6 未来的电气负载	295
11.1.7 环境	296
11.1.8 成本	297
11.1.9 可靠性	297
11.1.10 安全性	299
11.1.11 免维护	299
11.1.12 减轻重量	300
11.2 阀控式铅酸蓄电池在汽车中的应用	301
11.2.1 汽车工业感兴趣的 VRLA 电池特性	301
11.2.2 电驱动系统	303
11.3 汽车应用	305
11.3.1 12V 汽车电池	305
11.3.2 42V 汽车电池	315
11.3.3 软混合电动车	319
11.3.4 串-并联型混合电动车	328

11.3.5 电动车	333
11.4 结论	343
参考文献	344
第 12 章 阀控式铅酸蓄电池在汽车中的应用——电池制造商的前景 G. Richter E. Meissner	345
12.1 前言	345
12.2 汽车电池及车辆电气系统的发展历史	348
12.2.1 发展初期	348
12.2.2 20 世纪的车辆供电系统和汽车电池的发展	349
12.2.3 未来十年车辆电气系统的预期变化和汽车电池的相应需求	354
12.3 汽车电池的设计、构件和制造	355
12.3.1 构件	355
12.3.2 特殊设计/特殊应用	356
12.3.3 极板组装——极群组 and 螺旋式卷绕	357
12.3.4 车辆使用的 AGM 和胶体技术	359
12.3.5 标准车辆供电系统使用的 12V VRLA 汽车电池	360
12.3.6 42V 电网使用的 36V VRLA 汽车电池	361
12.4 VRLA 电池在汽车中的应用及其与车辆的相互影响	363
12.4.1 目前车辆电气系统中的 VRLA 电池	363
12.4.2 新部件、新操作策略车辆中的 VRLA 汽车电池	365
12.4.3 VRLA 电池的状态检测和管理	371
12.5 电性能数据	372
12.6 前景展望	373
参考文献	375
第 13 章 通信和 UPS 电源应用中的阀控式铅酸蓄电池 R. Wanger	378
13.1 前言	378
13.2 阀控式铅酸蓄电池技术的特点	379
13.2.1 正极板栅腐蚀	379
13.2.2 使用寿命的改进	383
13.3 胶体电池	388
13.4 AGM 电池	392
13.5 固定应用的大电池	395
13.6 备用电池发展趋势	399

13.6.1 连续的极板制造过程	399
13.6.2 卷绕技术	401
13.6.3 先进隔板	401
13.7 结论	402
参考文献	402
第 14 章 边远地区供电系统和阀控式铅酸蓄电池 R. H. Newnham	406
14.1 边远地区供电系统的需求	406
14.2 边远地区供电系统的组成	407
14.2.1 电池组	407
14.2.2 柴油发电机	408
14.2.3 光伏列阵	408
14.2.4 风力发电机	409
14.2.5 水轮发电机	409
14.2.6 逆变器	410
14.2.7 控制系统	411
14.3 边远地区供电系统的设计	411
14.3.1 边远地区直流供电系统	412
14.3.2 边远地区交流供电系统	412
14.4 边远地区供电系统的阀控式铅酸蓄电池	414
14.4.1 优点	415
14.4.2 缺点	416
14.4.3 失效模式	417
14.4.4 更好的设计特性	420
14.4.5 最近发展	421
14.4.6 先进的操作方法	422
参考文献	426
第 15 章 铅酸蓄电池的回收与再利用 M. W. Stevenson	428
15.1 前言	428
15.2 电池的收集与处理	429
15.2.1 电池收集	429
15.2.2 电池处理	430
15.3 回收与精炼	432
15.3.1 火法冶炼	432

15.3.2 湿法冶炼	438
15.3.3 铅的精炼及合金制造	439
15.4 二次铅工业面临的挑战	442
15.4.1 处理和回收	443
15.4.2 精炼	443
15.4.3 银	443
15.4.4 锑	444
15.4.5 催化剂元素	444
15.4.6 其它元素	445
参考文献	446

第 16 章 阀控式铅酸蓄电池再利用的环境

问题 C.J.Boreiko B.Wilson	447
16.1 前言	447
16.2 回收利用的理由	447
16.3 回收率	448
16.4 废旧阀控式铅酸蓄电池的收集	449
16.5 废旧阀控式铅酸蓄电池的运输	450
16.6 回收过程	452
16.7 回收选择	454
16.8 监测与控制排放	457
16.9 工作场地的工艺控制	458
16.10 过程排放控制	460
16.11 废气的检验与分析	462
16.12 生物学监测	463
16.13 呼吸保护	465
16.14 员工的福利设施	468
16.14.1 位置	468
16.14.2 隔离	468
16.14.3 控制	468
16.15 废水控制	470
16.16 国际公约和协议	473
16.16.1 巴塞尔公约	473
参考文献	477