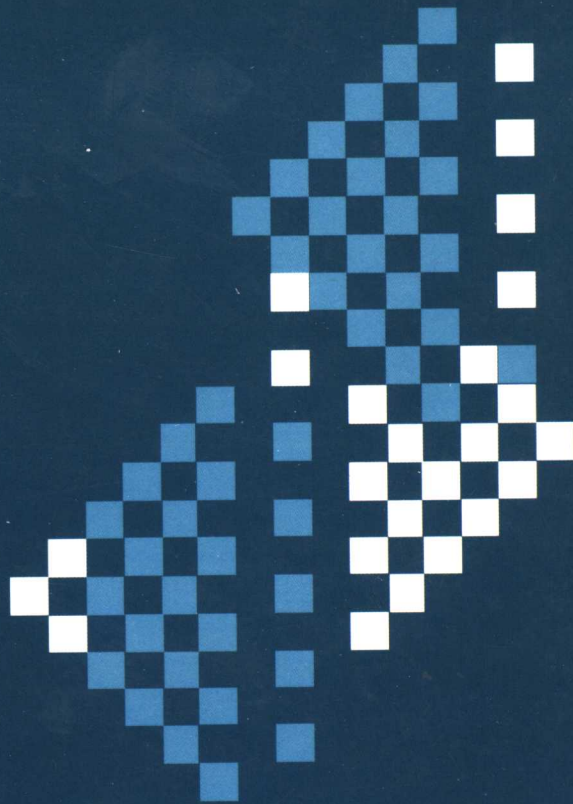


现代工程机械电气与电子控制

XIANDAI GONGCHENG JIXIE DIANQI YU DIANZI KONGZHI

■ 梁 杰 / 于明进 路 晶 主 编



人民交通出版社

China Communications Press

现代工程机械电气与电子控制

梁 杰 于明进 路 晶 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书内容包括三篇,第一篇介绍现代工程机械基本电器及常用电气控制器件,如蓄电池、交流发电机、起动机、汽油机点火系、照明设备、信号装置及仪表、行程开关与接近开关、空气开关、接触器以及各种继电器等的结构、原理及特性等;第二篇介绍自动控制系统的基本概念以及计算机控制系统的有关知识;第三篇介绍比较典型的工程机械,如沥青混凝土摊铺机、沥青混凝土搅拌设备、挖掘机及压实机械的电控系统。

本书内容新、系统,并注重了理论联系实际,实用性强,可作为相关院校工程机械专业的教材以及从事工程机械管理、使用和维护人员的培训教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代工程机械的电气与电子控制/梁杰,于明进,路晶主编. —北京:人民交通出版社,2005.2
ISBN 7-114-05456-4

I.现... II.①梁...②于...③路... III.①工程机械—电气控制②工程机械—电子控制 IV.TU6

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第011377号

书 名: 现代工程机械电气与电子控制

主 编: 梁 杰 于明进 路 晶

责任编辑: 钱悦良

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)85285656,85285838,85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 19.25

字 数: 478千

版 次: 2005年2月第1版

印 次: 2005年2月第1版第1次印刷

书 号: ISBN 7-114-05456-4

印 数: 0001—3000册

定 价: 36.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

电气与电子控制系统是现代工程机械的重要组成部分,其性能的优劣直接影响了现代工程机械的动力性、经济性、工作可靠性、运行安全性、施工质量、生产效率以及使用寿命等。随着现代施工工程要求的不断提高,电子控制系统已成为现代工程机械不可缺少的组成部分,也是衡量现代工程机械技术水平高低及先进程度的一个重要依据。

随着现代科技的迅猛发展,特别是自 20 世纪 90 年代后期以来,微电子技术、计算机技术、智能技术、网络技术、总线技术、通信技术、传感与检测技术、机器人技术等快速发展以及向工程机械领域的不断渗透,现代工程机械正处于一个机电一体化的崭新的发展时代。机械与电子、计算机等技术的有机结合,极大地提升了现代工程机械的综合技术性能。目前基于计算机技术的控制系统在现代工程机械中得到了越来越广泛的应用,计算机技术的应用一方面促进了现代工程机械由模拟控制系统向数字控制系统发展,提高了工程机械的作业精度、工作可靠性、过程自动化程度和工作效率,另一方面也使现代工程机械实现智能控制、网络化与整体控制成为可能。概括起来讲,电子控制系统在现代工程机械中的应用主要体现在以下几方面:

(1) 状态监控、检测、报警与故障诊断

用来对工程机械的动力系统、传动系统、液压系统和工作装置等的运行状态进行监控,工作出现异常时及时报警并指出故障部位。

(2) 节能与环保、提高工效

如日本小松公司的挖掘机采用的 CLSS 系统(闭式中心负荷传感系统)、韩国现代公司的挖掘机采用的 CAPO 系统(电脑辅助动力选择系统)、韩国大宇重工的挖掘机采用的 EPOS 系统(电子功率优化系统)、美国卡特匹勒公司和日本小松公司的柴油机喷油系统的电子控制等。

(3) 提高控制精度和施工质量

为了保证成品料质量和提高生产率,现代沥青混凝土搅拌设备普遍采用了冷集料的级配、集料的加热温度及称重计量等自动控制系统;为提高作业精度和施工质量,沥青混凝土摊铺机以及平地机采用了自动调平系统,沥青混凝土摊铺机还广泛采用了作业速度和供料等自动控制系统。

(4) 生产或工作过程的自动化、智能化

如沥青混凝土和水泥混凝土搅拌设备生产过程的计算机自动控制与动态监控,装载机 and 铲运机变速箱自动换档控制系统,振动压路机的振动控制系统等。

此外,目前国内外在工程机械的遥控操纵和无人化控制、机器人化、全球定位系统(GPS)和基于 GSM 移动电话网络的无线通信功能的应用、远程监控与维护技术以及机群控制与智能化管理等方面的研究也取得了较大的成果,其中的有些研究已达到实用化的阶段,如无线遥控的压路机和挖掘机在国外已研制成功并投入使用。

现代工程机械电气与电子控制技术的快速发展,一方面极大地提高了工程机械的综合性能和技术水平,同时也对施工单位工程机械的管理、使用和维护人员提出了更高的要求。为了使施工单位的工程机械应用人员及高校工程机械相关专业的广大师生全面了解和掌握现代工

程机械电气、电子控制装置与系统的结构、组成、原理、特性以及使用、检测等技术,特编写了此书。

本书除系统地介绍现代工程机械基本电器及常用电气控制器件的结构、原理、特性及使用等内容外,还以路面施工机械、压实机械及土方机械为例,较详细地介绍了目前国内主流机型电控系统的组成、线路、原理及使用等技术,同时也增加了有关自动控制基础知识和基本概念以及计算机控制方面的一些内容,以有助于读者对本书中现代工程机械自动控制装置与系统有关章节内容的理解。本书以目前较为流行的机型为主,力求内容新、系统、详实、理论联系实际和实用性强。

本书由梁杰、于明进和路晶主编,其中梁杰编写第七、八、九、十、十一章,于明进编写第二、四章,路晶编写第五、六、十二、十三章,陈勇编写第一、三章。

由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2005年1月

目 录

第一章 蓄电池	1
第一节 蓄电池的结构	1
第二节 蓄电池的工作原理和特性	6
第三节 蓄电池的容量及影响因素	10
第四节 蓄电池的常见故障	12
第五节 蓄电池的充电	14
第六节 其他类型的铅蓄电池	18
第七节 蓄电池的使用与维护	19
第二章 交流发电机及其调节器	24
第一节 概述	24
第二节 交流发电机的基本结构	26
第三节 交流发电机的工作原理	31
第四节 交流发电机的工作特性	33
第五节 其他型式的交流发电机	35
第六节 电磁振动式调节器	38
第七节 电子调节器	50
第八节 交流发电机的检修	57
第九节 调节器的检修	63
第十节 充电系运行故障的诊断	66
第十一节 交流发电机及其调节器使用注意事项	70
第十二节 微机控制交流发电机充电系统	70
第三章 起动机	73
第一节 概述	73
第二节 起动机的直流电动机	75
第三节 起动机的传动机构	81
第四节 起动机的控制装置	84
第五节 起动系统的控制电路	86
第六节 起动机的检修	90
第七节 起动系统的故障诊断	97
第八节 起动系统的使用	101
第九节 减速起动机	101
第十节 电枢移动式起动机	104
第十一节 齿轮移动式起动机	106
第四章 点火系	109

第一节	概述	109
第二节	传统点火系	112
第三节	普通电子点火系	130
第四节	有分电器微机控制点火系	149
第五节	无分电器点火系	173
第五章	照明设备、信号装置及仪表	193
第一节	照明设备	193
第二节	信号装置	198
第三节	仪表	203
第六章	工程机械电气设备总线路	211
第一节	工程机械电路图的表达方法	211
第二节	线路分析	211
第七章	常用电气控制器件	215
第一节	按钮开关	215
第二节	行程开关	215
第三节	接近开关	217
第四节	保护电器	218
第五节	接触器	220
第六节	继电器	221
第八章	自动控制系统的基本概念	223
第一节	自动控制系统的基本控制形式	223
第二节	自动控制系统的基本组成	224
第三节	自动控制系统的分类	225
第四节	控制系统的基本要求	226
第九章	计算机控制系统	227
第一节	计算机控制系统的一般组成	227
第二节	典型工业控制计算机	228
第三节	微型计算机在控制中的典型应用方式	230
第四节	常用检测元件	231
第十章	沥青混凝土摊铺机电控系统	247
第一节	车辆电控系统	247
第二节	供料电控系统	250
第三节	行驶电控系统	252
第四节	调平电控系统	256
第五节	其他功能电控系统	264
第十一章	沥青混凝土搅拌设备电控系统	266
第一节	三相异步电动机的基本控制电路	266
第二节	电动机的调速	271
第三节	集料烘干加热控制系统	275
第四节	计量控制系统	277

第五节	搅拌设备计算机控制系统简介	279
第十二章	挖掘机电控系统	282
第一节	概述	282
第二节	电子监控系统	282
第三节	电子功率优化系统	284
第四节	工作模式控制系统	286
第五节	自动怠速装置	286
第六节	电子油门控制系统	287
第七节	挖掘机电控系统的故障自诊	289
第十三章	压实机械电控系统	292
第一节	概述	292
第二节	双钢轮振动压路机操纵系统	292
第三节	主车电控系统	294
第四节	供水控制电路	297
第五节	振动控制系统	298

第一章 蓄 电 池

工程机械上用电设备所需的电能都是由蓄电池和发电机提供的。蓄电池是靠内部的电化学反应将化学能转变为电能给负载(用电设备)供电的;发电机是在发动机的驱动下,将机械能转变为电能给负载供电的。蓄电池和发电机并联连接,与用电设备的基本连接关系如图 1-1 所示。

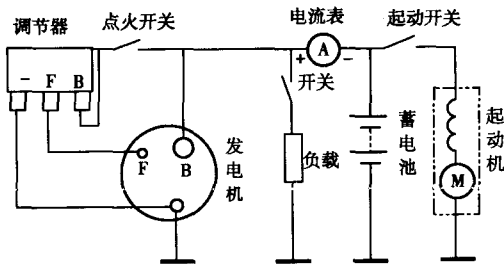


图 1-1 工程机械基本电路

蓄电池作为工程机械必不可少的电源,主要作用如下:

(1)在发动机起动时,为起动系和其他电气设备(包括发电机的激磁绕组)供电。

(2)由于各种原因(如:停车、发电机转速较低、发电机超载、发电机故障等)造成发电机不工作或输出电压低于蓄电池电压时,为电气设备供电。

(3)吸收电路中产生的过电压,稳定电网电压,保护电子元器件。

由于在发动机起动时,蓄电池必须能给起动机提供 300~600A 的电流(有的起动机最大起动电流超过 1000A),并且要能持续一定的时间(一般要求 5~10s 以上);在发电机发生故障不能发电时,蓄电池的容量应能维持车辆行驶一定的时间。因此,要求工程机械用蓄电池有尽可能小的内阻和足够的容量。

而起动用铅酸蓄电池虽然比能较低,但其内阻小、电压稳定、在短时间内能提供较大的电流,并且结构简单、原料丰富,因而在工程机械上得到广泛应用。本章主要介绍起动用铅蓄电池(以下简称蓄电池)的结构、原理、特性、使用和维护等内容。

第一节 蓄电池的结构

一、蓄电池的结构

蓄电池由 3 只或 6 只单格电池串联而成,每只单格电池的电压约为 2V,串联成 6V 或 12V 以供工程机械选用。目前国内外工程机械均选用 12V 蓄电池,需要 24V 电源时,用 2 只 12V 蓄电池串联使用。

现代工程机械用蓄电池的结构如图 1-2 所示,主要由极板、隔板、电解液和外壳 4 部分组成。

1. 极板

极板是蓄电池的核心部分,在蓄电池充、放电

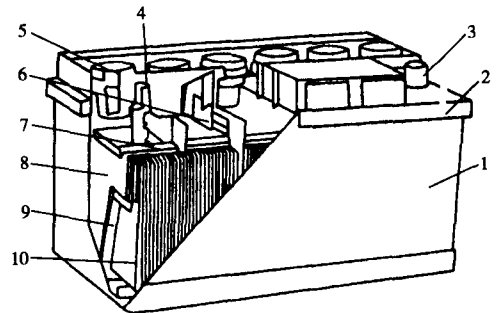


图 1-2 蓄电池结构

1-塑料电池槽;2-塑料电池盖;3-正极柱;4-负极柱;5-液孔螺塞;6-穿臂链条;7-汇流条;8-负极板;9-隔板;10-正极板

过程中,电能与化学能的相互转换,依靠极板上活性物质与电解液中硫酸的化学反应来实现。极板是由栅架和活性物质组成,形状如图 1-3 所示;栅架如图 1-4 所示,由铅锑合金浇铸而成,加锑目的是提高机械强度和浇铸性能。但是锑有副作用,它会加速氢的析出而加速电解液消耗,还易从正极板栅架中解析出来而引起蓄电池自放电和栅架溃烂,缩短蓄电池的使用寿命。目前国内外大多采用铅-低锑合金栅架,含锑量为 2%~3.5%。

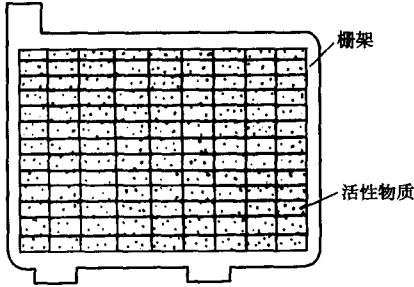


图 1-3 极板

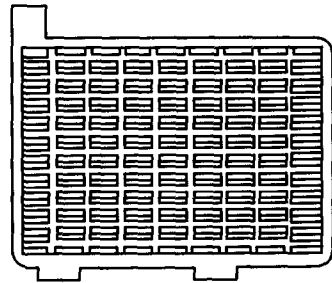


图 1-4 栅架

为了降低蓄电池的内阻,改善蓄电池的起动性能,现代工程机械蓄电池采用了放射形栅架。常用的放射形栅架结构分别如图 1-5a)和 1-5b)所示。

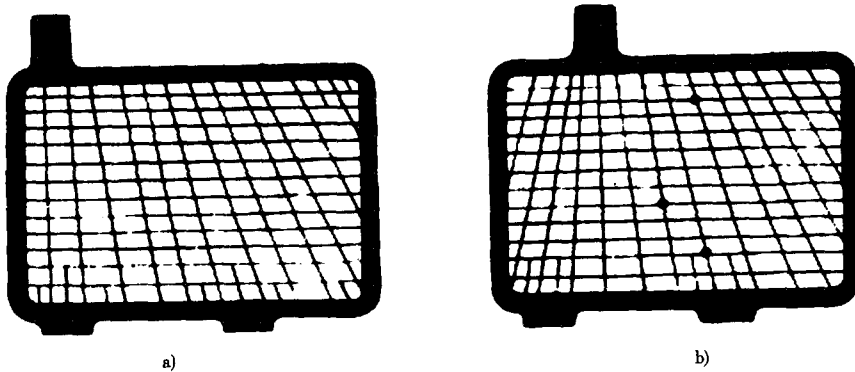


图 1-5 放射形栅架结构

极板分为正极板和负极板两种。将涂上铅膏后的生极板先经热风干燥,再放入稀硫酸中进行充电便得正极板和负极板。正极板上的活性物质为二氧化铅(PbO_2),呈深棕色,负极板上的活性物质为海绵状纯铅(Pb),呈深灰色。为了提高负极板活性物质的多孔性,防止其在使用过程中钝化和收缩,常在负极板的铅中加入少量腐植酸、硫酸钡、木素磺酸钠和木素磺酸钙等添加剂。其中木素磺酸钠和木素磺酸钙对改善蓄电池的低温起动性能有显著效果。

目前国产极板的厚度为 2~2.4mm,国外大多采用 1.1~1.5mm 厚的薄型极板(正极板比负极板厚)。采用薄型极板,对提高蓄电池的比容量(即单位尺寸所提供的容量)和起动性能都很有利。将一片正极板和一片负极板浸入电解液中,便可得到 2.1V 左右的电动势。

为了增大蓄电池的容量,将多片正、负极板分别并联,用汇流条焊接起来便分别组成正、负极板组,如图 1-6a)所示。汇流条(横板)上联有极柱,各片间留有空隙。安装时各片正、负极板相互嵌合,中间插入隔板后装入蓄电池单格内,便形成单格电池。因为正极板上的化学反应比负极板上的化学反应剧烈,所以正极板夹在负极板之间,可使其两侧放电均匀,防止两侧活性物质体积变化不一致而造成极板拱曲,所以在每个单格电池中,负极板总比正极板多一片。如

6-Q-60 型蓄电池,每个单格电池中的正极板为 4 片,负极板则为 5 片。

蓄电池的额定容量可接单格电池内正极板的额定容量来计算。因为单格电池内各片正极板均并联,所以蓄电池的额定容量 C_{20} (即 20h 率额定容量)就等于每片正极板的额定容量 C_s 乘以单格电池内正极板片数 N ,即

$$C_{20} = C_s N \quad (1-1)$$

例如,6-Q-105 型蓄电池,每个单格电池有正极板 $N = 7$ 片,每片正极板的额定容量 $C_s = 15A \cdot h$,所以该电池的额定容量 C_{20} 为: $C_{20} = C_s N = 105A \cdot h$ 。

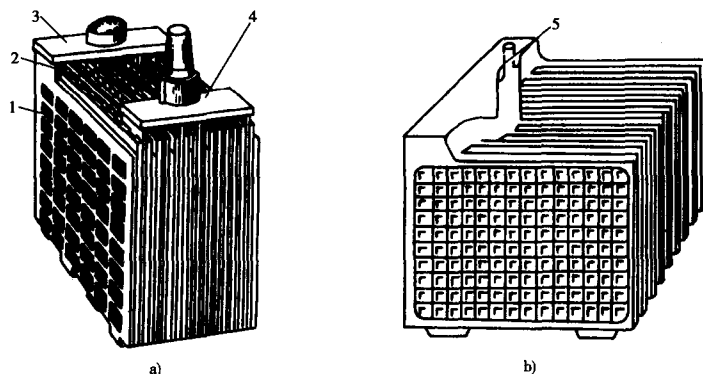


图 1-6 极板组总成构造

a) 极板组总成; b) 极板组

1-极板; 2-隔板; 3、4-横板; 5-极柱

2. 隔板

为了减小蓄电池的内阻和尺寸,蓄电池的正负极板应尽可能靠近。为了防止相邻正、负极板彼此接触而短路,正、负极板之间要用隔板隔开。

隔板应具有多孔性,以便电解液渗透,还应具有良好的耐酸性和抗氧化性。隔板材料有木质、微孔橡胶和微孔塑料等。木质隔板价格便宜,但耐酸性能差,已很少使用。微孔橡胶隔板性能好、寿命长,但生产工艺复杂、成本较高,故尚未推广使用。微孔塑料隔板孔径小、孔率高、薄而柔,生产效率高、成本低,因此目前广泛采用。

安装时,隔板带槽一面应面向正极板,且沟槽必须与外壳底部垂直。因为正极板在充、放电过程中化学反应剧烈,沟槽既能使电解液上下流通,也能使气泡沿槽上升,还能使脱落的活性物质沿槽下沉。

3. 电解液

在蓄电池充放电过程中,电解液不但起导电作用,而且参与化学反应。电解液由纯硫酸与蒸馏水按一定比例配制而成。

电解液的纯度是影响蓄电池电气性能和使用寿命的重要因素,因此蓄电池用电解液应符合专业标准 ZBK 84003—89《铅酸蓄电池用电解液》规定。由于普通工业用硫酸含铜、铁等有害杂质质量较高,普通用水含杂质较多,会加速自放电,所以它们不能用于蓄电池。电解液所用硫酸和蒸馏水应符合国家有关标准规定。

电解液密度过高、过低不但影响蓄电池的内阻和容量,而且直接影响蓄电池的使用寿命。电解液密度越高,氧化作用越强,对栅架的腐蚀就越严重;密度越低,越容易导致蓄电池在冬季

使用中会出现结冰。实际使用中,充足电后,电解液密度一般在 $1.28 \pm 0.03\text{g}/\text{cm}^3$ 之间。

4. 外壳

铅蓄电池的外壳是用来盛放极板组和电解液的容器,其材料应耐热、耐酸、耐震。目前国内多采用硬橡胶外壳和聚丙烯塑料外壳。聚丙烯塑料外壳壁薄、重量轻、外形美观、透明,便于检查电解液液面高度等蓄电池内部情况。

外壳内有隔壁,将其分成3个或6个相同大小的单格,并且相互之间不沟通,各单格底部都有凸肋,以放置极板组。凸肋间的空腔可积存极板脱落下来的活性物质,以防极板间造成短路。

外壳上口用盖封闭起来。铅蓄电池盖分为单格小盖和整体式盖两种形式。硬橡胶壳的铅蓄电池大多采用单格小盖,每个小盖上都有三个孔。中间是加液孔,内有螺纹,用以安装加液孔螺塞;两边是电桩孔,分别引出单格电池的正、负电桩。电桩穿出部位加铅衬套,装配时与电桩焊为一体。小盖与外壳之间用无蜡高温沥青和具有低温特性的添加剂配制而成的沥青封口剂密封。塑料外壳的铅蓄电池大多采用整体式盖,盖上有与各单格对应的加液孔和两个正、负端电桩孔,铅蓄电池正、负极桩便从端电桩孔中引出,其余的电桩均不露出盖,盖与外壳的密封方法采用加热熔合或粘结剂粘合。

加液孔的塑料螺塞平时旋紧在加液孔上,加注电解液或蒸馏水和检查铅蓄电池的技术状况时旋下。螺塞上有通气孔,以保证铅蓄电池化学反应中放出的气体能随时逸出。

5. 连接条和极桩

铅蓄电池的连接条和极桩均用铅锡合金铸成。连接条的作用是将铅蓄电池的单格电池串联起来,以提高蓄电池的电动势。连接方式有三种:第一种是敞露式,即连接条敞露在铅蓄电池的外部;第二种是跨桥式(图 1-7a),即在相邻单格电池之间的隔壁上端留有豁口,连接条通过豁口跨越隔壁,所有连接条均布置在整体盖的下面,第三种是穿壁式(图 1-7b),即在相邻单格电池之间的隔壁上打孔,供连接条穿过,把单格电池连接起来。后两种连接方式主要用于整体盖式铅蓄电池上,具有省铅、电阻小、起动性能好等优点,应用越来越广。

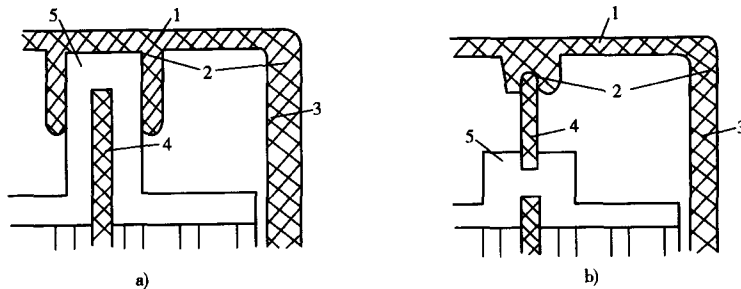


图 1-7 单格电池的连接方式

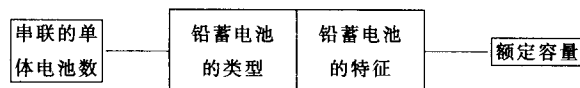
a) 跨桥式; b) 穿壁式

1-电池盖;2-粘结剂;3-电池外壳;4-隔壁;5-连接条

蓄电池的各单格电池串联后,两端的正负极桩穿出电池盖,分别形成蓄电池的正负极桩。一般正极桩标“+”号或涂红色,较粗;负极桩标“-”号或涂蓝色、绿色等,较细。

二、铅蓄电池的型号

在 JB 2259—85《铅蓄电池产品型号编制方法》中规定,铅蓄电池的型号由4部分组成,内容及排列格式如下:



(1) 串联的单体电池数用阿拉伯数字表示。

(2) 铅蓄电池类型是根据其主要用途来划分的。如起动用铅蓄电池代号为“Q”，摩托车用铅蓄电池代号为“M”。

(3) 铅蓄电池特征为附加部分，仅在同类用途的产品中具有某种特征而在型号中又必须加以区别时采用。当产品同时具有两种特征时，原则上应按顺序将两个代号并列标志。产品特征代号见表 1-1 所示。

(4) 额定容量是指 20h 放电率时的容量，单位为 A·h，用阿拉伯数字表示。

铅蓄电池特征代号

表 1-1

特 征	代 号	特 征	代 号	特 征	代 号
干荷电	A	防酸式	F	气密式	Q
湿荷电	H	密闭式	M	激活式	I
免维护	W	半密闭式	B	带液式	D
少维护	S	液密式	Y	胶质电解液	J

在产品具有某些特殊性能时，可用相应的代号加在产品型号的末尾。如 G 表示薄型极板的高起动率电池，S 表示采用工程塑料外壳、电池盖及热封工艺的蓄电池。

例如：

3-Q-90 由 3 个单体电池组成，额定电压为 6V，额定容量为 90A·h 的起动用铅蓄电池。

6-QA-105 由 6 个单体电池组成，额定电压 12V，额定容量为 105A·h 的起动用干荷电铅蓄电池。

6-QAW-100 由 6 个单体电池组成，额定电压 12V，额定容量为 100A·h 的起动用干荷电免维护铅蓄电池。

目前，免维护蓄电池型号、规格不统一。部分免维护蓄电池的型号、规格及主要参数见表 1-2。

部分免维护蓄电池的型号、规格及主要参数

表 1-2

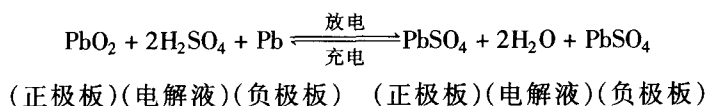
欧洲/日本 型号	通用型号	C_{20} (A·h)	长 × 宽 × 高 (mm × mm × mm)	净重量 (kg)	冷启动 电流(A)	储备时间 (min)	负荷试验 电流(A)
30B20R	NS40ZMF	35	197 × 126 × 219	10.2	275	55	135
30B20L	NS40ZLMF	35	197 × 126 × 219	10.2	275	55	135
46B24R	NS60MF	45	237 × 126 × 219	12.3	325	75	160
46B24L	NS60LMF	45	237 × 126 × 219	12.3	325	75	160
A50D20R	A50D20RMF	50	206 × 172 × 201	12.3	350	78	170
A50D20R	A50D20LMF	50	206 × 172 × 201	12.3	350	78	170
55D26R	N50ZMF	55	260 × 172 × 221	16.65	475	90	230
55D26L	N50ZLMF	55	260 × 172 × 221	16.65	475	90	230
65D26R	NS70MF	65	260 × 172 × 221	17.51	550	140	250
54533	26R60SK	45	206 × 172 × 220	12.79	410	75	200
55530	20-55	55	242 × 172 × 190	14.80	400	90	200
56318	20-63	63	293 × 172 × 175	16.60	625	100	310
56618	20-66	66	277 × 172 × 190	17.40	500	110	250

第二节 蓄电池的工作原理和特性

蓄电池作为一种可逆的低压直流电源,既能将化学能转换为电能对外供电,也能将电能转换为化学能储存起来。以下介绍蓄电池的工作原理和特性。

一、蓄电池的工作原理

根据格拉斯顿和特拉普 1882 年创立的双极硫酸盐化理论(简称双硫化理论),当蓄电池放电时,正极板和负极板之间通过外接负载构成回路,使正极板上的活性物质二氧化铅(PbO_2)和负极板上的活性物质铅(Pb)与电解液中的硫酸(H_2SO_4)作用形成硫酸铅(PbSO_4)和水(H_2O),电解液密度减小;而充电时,在外加电源的作用下,正极板和负极板上的硫酸铅(PbSO_4)与电解液中的水作用又分别转化为二氧化铅(PbO_2)、铅(Pb)和硫酸(H_2SO_4),电解液密度增大。总电化学反应方程式为:

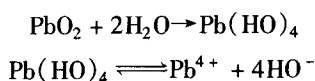


1. 电动势的建立

根据能斯特理论,金属或金属化合物插入电解液后,部分金属或金属化合物溶于电解液,当溶解达到平衡时,在金属或金属化合物与电解液之间产生了电势差,叫作电极电势。由于蓄电池正极是二氧化铅(PbO_2),负极是铅(Pb),材料不同,电极电势不同,从而形成了蓄电池的电动势。

在负极板周围,有少量的 Pb 溶于电解液生成二价铅离子(Pb^{2+}),而在极板上留下了一些电子,使极板带负电;由于正负电荷的相互吸引, Pb^{2+} 沉附于极板的表面,当溶解达到平衡时,负极板与电解液之间的电势差约为 -0.1V 。

在正极板周围,有少量的 PbO_2 溶于电解液,与电解液中的水反应生成氢氧化铅($\text{Pb}(\text{HO})_4$), $\text{Pb}(\text{HO})_4$ 又电离成四价铅离子(Pb^{4+})和氢氧根离子(OH^-)



这相当于 PbO_2 中的氧离子(O^{2-})进入电解液, Pb^{4+} 沉附于极板的表面,使极板带正电,当溶解达到平衡时,正极板与电解液之间的电势差约为 2.0V 。

因此,在外电路未接通、正负极板与电解液反应平衡时,铅蓄电池的电动势(即正负极之间的电势差)约为 $E = 2.0 - (-0.1) = 2.1(\text{V})$ 。

2. 放电过程

蓄电池将化学能转换成电能的过程称为蓄电池的放电过程。当蓄电池接上负载时,在电动势的作用下,放电电流 I_t 便从正极经过负载流向负极,即电子从负极流向正极,使正极电位降低、负极电位升高,原有的电离平衡被破坏。在正极板处, Pb^{4+} 得到电子变成 Pb^{2+} 后又与电解液中的 SO_4^{2-} 结合生成 PbSO_4 沉附于正极板上,使正极板处的电离平衡因为 Pb^{4+} 的减少而被打破,从而引起 PbO_2 不断减少;在负极板处,因为极板上的电子减少打破了负极板与电解液之间的电离平衡,从而引起负极板上的 Pb 失去电子形成 Pb^{2+} , Pb^{2+} 又与电解液中的 SO_4^{2-} 结合生成 PbSO_4 沉附于极板上;在电解液中,由于 SO_4^{2-} 的减少和 OH^- 与氢离子(H^+)相对增多,

打破原来的平衡,使相对过剩的 OH^- 与 H^+ 不断结合成水。当放电回路断开时,放电过程即被终止,正负极与电解液之间达到新的电离平衡状态;只有当正负极板上的活性物质全部转变为 PbSO_4 时,蓄电池才因为正负极板的电位差等于零,即电动势等于零而失去供电能力,放电过程才彻底停止。

蓄电池放电过程具有以下特征:

(1)正、负极板上的活性物质逐渐转变为 PbSO_4 。理论上,放电过程可以进行到正负极板上的活性物质全部转变为 PbSO_4 为止,但是,由于电解液不能渗透到活性物质内部,使活性物质不能被充分利用。在使用中,所谓放完电的蓄电池,其活性物质的利用率(表征 PbO_2 和 Pb 转变为 PbSO_4 的多少)只有 20% ~ 30%;并且随着放电电流的增大,活性物质的利用率降低,启动放电时,活性物质的利用率仅 10% 左右。所以,采用薄型极板和增加极板孔率是提高活性物质利用率、减小重量的有效途径。

(2)随着放电的进行,电解液中的 H_2SO_4 减少,水增多,电解液密度下降。在使用中,可以通过检测电解液密度来判断蓄电池的放电程度。

(3)由于 PbSO_4 的导电性能比 PbO_2 和 Pb 差,随着 PbSO_4 的增多,蓄电池内阻增大。同时,由于 PbSO_4 附着于极板表面,使电解液与 PbO_2 和 Pb 接触面积越来越小,蓄电池的供电能力逐渐下降。

3. 充电过程

蓄电池将外接电源的电能转换成化学能储存起来的过程称为蓄电池的充电过程。充电时,蓄电池接直流电源,电源的正负极分别接蓄电池的正负极(即二者是并联而不是串联)。当电源电压高于蓄电池的电动势时,在电源电压的作用下,充电电流 I_c 从蓄电池的正极流入、负极流出,电子则从蓄电池的正极经外电路流入蓄电池负极,这时正、负极板和电解液发生的电化学反应正好与放电过程相反。在正极板处, Pb^{2+} 失去电子变成 Pb^{4+} 后,使正极板处的电离平衡因为 Pb^{2+} 的减少和 Pb^{4+} 的增多而打破,从而引起 PbSO_4 不断溶解,同时形成 PbO_2 ;在负极板处, Pb^{2+} 得到电子形成 Pb , Pb^{2+} 减少打破了负极板与电解液之间的电离平衡,从而引起负极板上的 PbSO_4 不断溶解,同时形成 Pb ;在电解液中,由于 OH^- 与 H^+ 相对减少,打破原来的平衡,使水不断分解为 OH^- 与 H^+ ,同时 SO_4^{2-} 增多。当电源断开时,充电过程即被终止,正负极与电解液之间达到新的电离平衡状态;只有当正负极板上的 PbSO_4 全部转变为 PbO_2 和 Pb 时,充电过程才完全结束。

蓄电池充电过程具有以下特征:

(1)正、负极板上的活性物质逐渐由 PbSO_4 转变为 PbO_2 和 Pb 。理论上,充电过程可以进行到正负极板上的活性物质全部转变为 PbO_2 和 Pb 为止,但是,当大部分 PbSO_4 转变为 PbO_2 和 Pb 时,部分充电电流将电解水,使蓄电池正极冒出氧气,负极冒出氢气,并且随着 PbSO_4 的减少和充电电流的增大,电解水也越来越多,不但引起电解液中水的减少、蓄电池寿命缩短,还造成电能浪费。因此在使用中,当绝大部分 PbSO_4 转变为 PbO_2 和 Pb 、电解液中大量冒气泡时,就停止充电,并且在充电末期充电电流适当减小。

(2)随着充电的进行,电解液中的水减少、 H_2SO_4 增多,电解液密度上升。在充电过程中,可以通过检测电解液密度来判断蓄电池的充电程度。

(3)随着充电的进行, PbSO_4 的减少及 PbO_2 和 Pb 的增多,蓄电池内阻减小;同时,蓄电池的供电能力逐渐恢复。

二、蓄电池的特性

蓄电池作为一种化学电源,其主要技术参数电动势、内部电阻(简称内阻)和其充放电过程都有一些特点,了解这些特点对正确选择和合理使用蓄电池有重要的指导作用。

1. 静止电动势

电动势的高低,表征着电源给负载提供电压的大小,同样内阻的情况下,电动势越高,电源给负载提供的电压也越高。蓄电池的静止电动势是指蓄电池处于既不充电也不放电的静止状态时,正负极板之间的电位差,用 E_0 表示, E_0 大小主要与电解液的密度和温度有关。实际应用中,电解液密度一般在 $1.100\text{g/cm}^3 \sim 1.300\text{g/cm}^3$ 范围内, E_0 可用关系式(1-2)近似计算,

$$E_0 = 0.85 + \rho_{25^\circ\text{C}} \quad (\text{V}) \quad (1-2)$$

式中: $\rho_{25^\circ\text{C}}$ —— 电解液 25°C 时的密度, g/cm^3 。 $\rho_{25^\circ\text{C}}$ 与实测电解液密度 ρ_t 的关系如式(1-3)所示

$$\rho_{25^\circ\text{C}} = \rho_t + \beta(t - 25) \quad (1-3)$$

β —— 密度温度系数, $0.00075\text{g/cm}^3/^\circ\text{C}$; 表示电解液温度升高 1°C , 密度减小 0.00075g/cm^3 。

t —— 实测温度, $^\circ\text{C}$ 。

蓄电池充足电时,电解液密度一般在 1.28g/cm^3 左右;放电终了时,电解液密度一般在 1.12g/cm^3 左右,对应的静止电动势约在 $2.05 \sim 1.97\text{V}$ 之间。可见铅蓄电池的静止电动势随着充电和放电程度不同变化不大。因此,通过直接测量铅蓄电池的静止电动势判断其充放电程度,容易产生较大的误差,而用测量电解液密度的方法,相对误差要小一些。

2. 内阻

电源的内阻大小,决定了电源带负载的能力,内阻越小,电源带负载的能力越强,即可以输出更大的电流。蓄电池的内阻包括极板、隔板、电解液、连接条和极桩等部分的电阻。

极板电阻很小,并且随极板上活性物质的变化而变化。极板上 PbSO_4 越多,极板电阻越大。因此随着蓄电池放电,极板电阻越来越大,接近放电终了时,活性物质大部分转变为 PbSO_4 ,使极板电阻大大增加,蓄电池的供电能力迅速降低。

隔板电阻与隔板的材料、厚度及多孔性有关。在常用隔板中,木质隔板比微孔橡胶隔板和塑料隔板电阻大,微孔塑料隔板电阻最小。

电解液电阻与电解液的温度和密度有关。温度越低,电解液粘度越大,渗透能力下降,加之离子热运动减弱,电解液电阻增大。因此,蓄电池内阻随温度降低而增大。如 6-Q-75 型蓄电池,在 $+40^\circ\text{C}$ 时内阻为 0.01Ω ,而在 -20°C 时,内阻增大到 0.019Ω ,增加了近一倍。电解液密度过大时,由于粘度增加,渗透能力下降,引起电阻增大;密度过低时,电解液中的导电离子 H^+ 和 SO_4^{2-} 减少,电阻增大,实验表明, 25°C 时电解液密度为 1.208g/cm^3 电阻最小。

连接条和极桩的电阻是很小的,但是极桩的接触电阻却不可忽视,若极桩表面形成氧化物,则蓄电池的内阻将明显增大。

完全充足电的蓄电池在 20°C 时,其内阻 R_0 可根据(1-4)计算。

$$R_0 = 0.0585 \times U_e / Q_e \quad (\Omega) \quad (1-4)$$

式中: U_e —— 蓄电池的额定电压, V ;

Q_e —— 蓄电池的额定容量, $\text{A}\cdot\text{h}$ 。

综上所述可知,保持蓄电池充足电状态、采用适当密度的电解液、提高电解液的温度(如冬

季对蓄电池保温)并减小极桩接触电阻,是降低蓄电池内阻、提高蓄电池供电能力的有效措施。

3. 放电特性

是指在恒流放电(放电电流大小保持不变)过程中,蓄电池端电压和电解液密度随放电时间而变化的规律。将一只完全充足电的蓄电池以 20h 率的电流连续放电,每隔一定时间测量其单格的端电压和电解液密度,整理得到图 1-8 所示的放电特性曲线。由图可见,电解液密度随着放电时间的延长几乎按直线规律下降,这是因为放电电流恒定,电化学反应速度一定,单位时间内消耗的硫酸量和生成的水量都为定值。所以,蓄电池的放电程度与电解液密度接近成线性关系,电解液密度每下降 $0.04\text{g}/\text{cm}^3$,蓄电池约放电 25%。

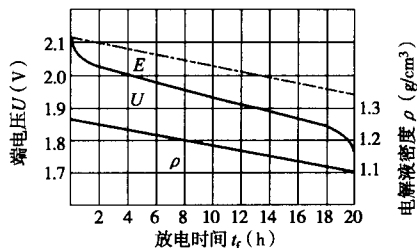


图 1-8 放电特性曲线

由于蓄电池内阻 R_0 的存在,因此放电过程中,蓄电池端电压 U 低于其电动势 E ,即

$$U = E - I_f R_0 \quad (1-5)$$

式中： I_f ——放电电流，A。

从放电特性曲线可以看出,放电开始时,蓄电池端电压从 2.1V 迅速下降,这是由于孔隙内的硫酸与活性物质反应后,孔隙外的硫酸来不及补充引起的。

放电中期,极板孔隙外渗入的硫酸量与极板孔隙内消耗的硫酸量达到平衡,由于电动势随着电解液密度的减小而减小,蓄电池内阻上的压降随着 PbSO_4 的增多而增大。因此,端电压随着放电过程的进行缓慢下降,并且下降速度高于电动势的下降速度。

放电末期,有一个特殊阶段——放电终了,对应的端电压称为放电终止电压。将近放电终了时,极板上的活性物质大部分转变成 PbSO_4 ,由于 PbSO_4 比 PbO_2 和 Pb 体积大 2~3 倍,所以 PbSO_4 的生成使极板孔隙的截面积减小,阻碍了电解液的渗透,极板孔隙内消耗掉的硫酸难以得到补充,端电压迅速下降至放电终止电压(以 20h 率放电,单格电压为 1.75V),放电过程达到放电终了。此时应立即停止放电,否则使蓄电池在短时间内端电压急剧下降为零,致使蓄电池过度放电(简称过放电)。过放电将使蓄电池产生硫化故障,导致极板损坏、容量减小。因此,应熟悉蓄电池放电终了的特征,避免过放电。

蓄电池放电终了的特征是:电解液密度下降到最小许可值,约为 $1.12\text{g}/\text{cm}^3$;单格电池电压降至放电终止电压。

放电终止电压高低与放电电流大小有关,放电电流越大,放电终止电压越低,如表 1-3 所示。

蓄电池的放电终止电压与放电电流的关系

表 1-3

放电电流(A)	$0.05 C_{20}$	$0.1 C_{20}$	$0.25 C_{20}$	C_{20}	$3 C_{20}$
连续放电时间	20h	10h	3h	30min	5min
单格电池终止电压(V)	1.75	1.70	1.65	1.55	1.5

注： C_{20} 为蓄电池 20h 率的额定容量，A·h。

4. 充电特性

是指在恒流充电过程中,蓄电池的端电压和电解液密度随充电时间变化的规律。以一定