

工程机械设计与维修丛书

# 电器、电子控制与安全系统

王力群摇王摇昕摇燕学智摇编著



# 序

近年来,在国家宏观调控政策的影响下,我国工程机械产业进入了加速增长阶段,呈现出前所未有的繁荣态势。工程机械装备已经成为我国国民经济发展的支柱产业之一,占据世界工程机械总量第七位。随着国家西部大开发战略的实施,南水北调工程、西电东送工程、青藏铁路工程的启动,迎接北京 2008 年奥运会的基础设施及场馆建设、推进乡镇农村经济发展、上海黄浦江两岸开发及世博场馆的投入、振兴东北老工业基地等众多国家发展战略的实施,都为国内工程机械产品市场的发展提供了良好的空间,同时也必将有力地拉动相关产业的发展。

据介绍,亚洲其他国家、拉丁美洲和非洲的一些国家最近也相继出台了大规模扩大公路及其他公共设施建设的项目计划,这无疑对工程机械的需求将大幅度增加,也为我国工程机械发展全球市场策略提供了最具竞争力的契机。

从 20 世纪后期开始,国际上工程机械装备的生产注重向大型化、微型化、多功能化、专用化和智能化的方向发展。德国、美国和日本当属工程机械强国,利勃海尔公司(德国)、卡特彼勒公司(美国)、沃尔沃集团(瑞典)、小松制作所(日本)等公司的产品以设计先进、安全可靠、使用寿命长而著称。

我国工程机械行业几经洗礼和经过业内人员的不懈努力,在国际市场上充分显示了强大的生命力。在我国工业化发展进程中,工程机械行业已经由初始发展阶段逐渐走向成熟时期。一些主导产品的研发、设计和制造水平都有相当程度的提高,某些产品质量也达到了用户认可的水平。同时,由于其产品价格相对低廉,在国际市场上具有一定的竞争力。在国内市场处于激烈的成本价格、质量规模竞争的形势下,中小型国产工程机械产品在我国显现出了强大的市场占有潜力。但是国际经济市场的变化无时无刻不在冲击着现有的市场份额,市场的占有份额又无时无刻不在重新组合。我国的工程机械行业如何能够继续发展、如何能够尽快提升到我国工业化的第三阶段——强壮期阶段,即无论是对产品的研究、开发、生产以及产品的综合质量和售后服务都进入国际先进行列等问题,都需要认真加以思考。

现在,我国工程机械行业的发展已经有了很好的基础,产品门类,生产规模,大、中、小企业构架和发展环境都比较好,但同国际先进的工程机械制造厂家相比差距还比较大,主要表现在产品的可靠性、使用寿命、绿色工程设计、高新技术的创新应用以及管理模式上。相对而言,我国自主开发能力还比较薄弱,有自主知识产权的产品技术较少,新产品的关键技术大部分还依赖于引进国外技术;另一方面对国外先进技术的消化、吸收、创新不足。其次,对市场反映速度慢,产品更新周期较长。而美国一些机械企业 1999 年已做到了三个“猿”,即产品的生命周期为猿年,产品的试制周期为猿个月,产品的设计周期为猿个星期。我国工程机械的规格还有空缺。以上事实表明:中国工程机械市场虽然仍可保持持续增长势头,但是中国工程机械行业的技术发展仍然任重道远。

为促进工程机械技术的发展,弥补技术图书的匮乏和不足,化学工业出版社邀请吉林大学机械科学与工程学院组织编写了《工程机械设计与维修丛书》,共 15 本,包括《内燃机》、《液压与液力传动系统》、《电器、电子控制与安全系统》、《底盘结构与设计》、《金属结构》、《人机工程与造型设计》、《现代设计技术》、《液压挖掘机》、《轮式装载机》、《斗轮堆取料机》、《推土机与平地机》、《钻孔与非开挖机械》、《振动压路机》、《现代起重运输机械》、《特种车辆》、《商品混凝土成套设备》。丛书的编写者结合多年的教学、科研、生产及管理的经验,努力将传统的经典理论和现代设计方法结合起来,注重介绍工程机械发展中的新理念、新设计方法、新技术、新工艺和新材料。

《工程机械设计与维修丛书》所有编写工作人员在此对鼓励、支持、帮助过我们的领导、同事、同行、朋友等表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中纰漏与错误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

# 前摇摇摇言

改革开放以来，基础设施的建设如火如荼。特别是西部大开发的战略方针确定之后，更大规模的基础设施建设必将随之而来。2008年北京奥运申办成功，南水北调工程开工，西气东输等，随之而来的都是大规模的基础设施建设。在这些浩大的基础设施建设中，工程机械将发挥巨大作用。

电器与电控系统是工程机械的五大组成（发动机、底盘、车身、工作装置及电器与电控系统）之一。该系统的技术水平也反映了工程机械的整体水平。如何科学管理、正确使用、规范化维护和修理工程机械中的电器与电控系统，使工程机械发挥最大效率，延长使用寿命，是施工管理者和工程机械使用者面临的一个重要问题。

随着电子技术的迅猛发展，电子控制技术在工程机械中的应用越来越普遍。例如：沥青混合料拌和设备中的材料级配、材料称重计量、燃料供给及加热温度等的控制；混凝土摊铺机中的摊铺、找平、起拱的控制；振动压路机的振动与否和供水控制；柴油发动机的调速、功率优化控制；工程机械运行状态的监控、故障自诊断等。特别是微机或微处理器融入工程机械的电控系统后，使机械、液压技术和电子技术有机结合起来，极大地提高了工程机械的技术性能，如动力性、燃料使用经济性、可靠性、安全性、操作舒适性。工程机械的作业精度，作业效率也得到大幅度提高，使用寿命得到延长。

为了能够让工程机械的管理人员、使用人员、维修人员及相关专业的师生更好地了解和认识工程机械中融有先进控制技术的电器及电控系统，便于使用者正确使用和维护这些电器及电控系统，特编写此书。

本书介绍了工程机械中传统的电器及电控系统。除此之外还较详细地介绍了融有先进技术的电器及电控系统。由于两者对比着介绍，初学者易懂。除独立电器的结构、原理、特性、使用和维护介绍之外，本书还以常用的典型工程机械为例，介绍了完整的电控系统的结构、原理、特性及使用维护。

工程建设施工现场用电安全是一个很重要的问题。为此，本书用一章的篇幅，介绍了这方面的相关知识。

本书编写过程中，参与编写的每一位同志都尽了自己的最大努力，多方收集资料，力求内容详细、完整，能满足读者的需求。

由于水平有限，难免有不当之处，敬请广大读者批评指正。

本书由王力群、王昕、燕学智等编著。全书由周贤彪、朱振东主审。

本书在编写过程中受到各界同仁和朋友的大力支持、鼓励和帮助，并参阅了有关厂家和公司的相关资料，在此一并表示感谢！

作者

2008年 远月摇于吉林大学

# 目 录

第 1 章 工程机械中的电源 .....	1
1.1 蓄电池 .....	1
1.1.1 蓄电池的结构与型号 .....	1
1.1.2 蓄电池的工作原理 .....	2
1.1.3 蓄电池的特性 .....	3
1.1.4 蓄电池的容量及其影响因素 .....	4
1.1.5 蓄电池的充电 .....	5
1.1.6 蓄电池的使用与维护 .....	6
1.1.7 其他类型蓄电池简介 .....	7
1.2 发电机 .....	8
1.2.1 概述 .....	8
1.2.2 发电机的构造、型号和分类 .....	9
1.2.3 硅整流发电机工作原理 .....	10
1.2.4 其他形式的硅整流发电机 .....	11
1.2.5 调节器 .....	12
1.2.6 电源系统的保护电路 .....	13
1.2.7 发电机供电系统的使用与维护 .....	14
1.2.8 调节器的检查与调整 .....	15
1.2.9 电源系统常见故障诊断与排除 .....	16
第 2 章 启动机 .....	17
2.1 概述 .....	17
2.2 组成与作用 .....	18
2.3 启动机分类 .....	19
2.4 启动机型号 .....	20
2.5 直流串励式电动机 .....	21
2.5.1 构造 .....	21
2.5.2 工作原理 .....	22
2.5.3 直流串励式电动机的特性 .....	23
2.6 启动机的传动机构 .....	24
2.6.1 滚柱式单向离合器 .....	24
2.6.2 摩擦片式单向离合器 .....	25
2.6.3 弹簧式单向离合器 .....	26
2.7 启动机的控制装置 .....	27
2.7.1 机械式开关 .....	27
2.7.2 电磁式开关 .....	28

摇圆缘缘典型启动机	圆缘
摇圆缘缘缘直接操纵强制啮合式启动机	圆缘
摇圆缘缘缘电磁操纵强制啮合式启动机	圆缘
摇圆缘缘缘电枢移动式启动机	圆缘
摇圆缘缘缘齿轮减速式启动机	圆缘
摇圆缘缘缘启动机控制电路	圆缘
摇圆缘缘缘启动机的故障诊断与排除	圆缘
摇圆缘缘缘缘启动机不转	圆缘
摇圆缘缘缘缘启动机运转无力	圆缘
摇圆缘缘缘缘启动机空转	圆缘
摇圆缘缘缘缘启动机异响	圆缘
摇圆缘缘缘启动机的检修与试验	圆缘
摇圆缘缘缘缘启动机的检修步骤	圆缘
摇圆缘缘缘缘启动机的检修	圆缘
摇圆缘缘缘缘启动机的试验	圆缘
第猿章摇点火系统	圆缘
摇猿缘缘缘分类	圆缘
摇猿缘缘缘对点火系统的要求	圆缘
摇猿缘缘缘缘能产生足以击穿火花塞间隙的电压	圆缘
摇猿缘缘缘缘火花应具有足够的能量	圆缘
摇猿缘缘缘缘恰当的点火时刻	圆缘
摇猿缘缘缘缘传统点火系统	圆缘
摇猿缘缘缘缘传统点火系统的组成	圆缘
摇猿缘缘缘缘传统点火系统原理	圆缘
摇猿缘缘缘缘传统点火系统工作过程分析	圆缘
摇猿缘缘缘缘传统点火系统改善措施	圆缘
摇猿缘缘缘缘传统点火系统的构造	圆缘
摇猿缘缘缘缘传统点火系统故障诊断与检修	圆缘
摇猿缘缘缘缘电子点火系统	圆缘
摇猿缘缘缘缘缘电子点火系统概述	圆缘
摇猿缘缘缘缘缘感应式电子点火系统	圆缘
摇猿缘缘缘缘缘霍尔效应式点火系统	圆缘
摇猿缘缘缘缘缘电子点火系统的故障诊断与维修	圆缘
第源章摇照明设备及信号装置	圆缘
摇源缘缘缘概述	圆缘
摇源缘缘缘缘照明设备的种类与用途	圆缘
摇源缘缘缘缘信号装置的分类	圆缘
摇源缘缘缘缘技术要求	圆缘
摇源缘缘缘缘前照灯	圆缘
摇源缘缘缘缘缘对前照灯的照明要求	圆缘

摇摇圆圆圆摇前照灯光学系统 .....	员苑
摇摇圆圆圆摇反射镜 .....	员苑
摇摇圆圆圆摇前照灯的防炫目措施 .....	员愿
摇摇圆圆圆摇前照灯的分类和结构 .....	员园
摇摇圆圆圆摇前照灯的调整和保养 .....	员员
摇摇圆圆圆摇照明系统辅助装置及电路 .....	员员
摇摇圆圆圆摇灯光继电器及其保护电路 .....	员员
摇摇圆圆圆摇前照灯的控制电路 .....	员园
摇摇圆圆圆摇照明系统典型电路 .....	员源
摇摇圆圆圆摇闪光继电器 .....	员源
摇摇圆圆圆摇电热式闪光器 .....	员缘
摇摇圆圆圆摇电容式闪光器 .....	员缘
摇摇圆圆圆摇翼片式闪光器 .....	员远
摇摇圆圆圆摇电子式闪光器 .....	员苑
摇摇圆圆圆摇电喇叭 .....	员愿
摇摇圆圆圆摇筒形、螺旋形电喇叭 .....	员愿
摇摇圆圆圆摇盆形电喇叭 .....	员愿
摇摇圆圆圆摇喇叭继电器 .....	员怨
摇摇圆圆圆摇电喇叭的调整 .....	员怨
摇摇圆圆圆摇电喇叭的正确使用 .....	员园
摇摇圆圆圆摇照明设备与信号装置的故障诊断与排除 .....	员园
摇摇圆圆圆摇照明系统常见故障诊断与排除 .....	员园
摇摇圆圆圆摇转向灯常见故障诊断与排除 .....	员员
摇摇圆圆圆摇电喇叭的常见故障诊断与排除 .....	员园
第 缘章 摇摇工程机械常用仪表及传感器 .....	员源
摇摇圆圆圆摇仪表 .....	员源
摇摇圆圆圆摇电流表 .....	员源
摇摇圆圆圆摇机油压力表 .....	员缘
摇摇圆圆圆摇水温表 .....	员苑
摇摇圆圆圆摇燃油表 .....	员园
摇摇圆圆圆摇车速里程表 .....	员园
摇摇圆圆圆摇发动机转速表 .....	员园
摇摇圆圆圆摇仪表的正确使用 .....	员源
摇摇圆圆圆摇工程机械常用传感器 .....	员源
摇摇圆圆圆摇温度传感器 .....	员源
摇摇圆圆圆摇液位传感器 .....	员愿
摇摇圆圆圆摇转速传感器 .....	员园
摇摇圆圆圆摇称重传感器 .....	员猿
摇摇圆圆圆摇角位移传感器 .....	员远
第 远章 摇摇空调系统 .....	员怨

摇摇摇概述 .....	员怨
摇摇摇车用空调系统分类 .....	员怨
摇摇摇冷气系统工作原理 .....	员怨
摇摇摇采暖原理 .....	员员
摇摇摇除霜原理 .....	员员
摇摇摇通风原理 .....	员圆
摇摇摇制冷系统主要部件及工作原理 .....	员圆
摇摇摇压缩机 .....	员圆
摇摇摇电磁离合器 .....	员缘
摇摇摇冷凝器 .....	员缘
摇摇摇储液干燥罐 .....	员缘
摇摇摇膨胀阀 .....	员远
摇摇摇蒸发器 .....	员苑
摇摇摇空调系统的主要控制装置 .....	员愿
摇摇摇发动机怠速自动调节装置 .....	员愿
摇摇摇转速与温度控制电路 .....	员愿
摇摇摇蒸发器温度控制装置 .....	员怨
摇摇摇鼓风机电路 .....	员圆
摇摇摇空调系统保护装置 .....	员圆
摇摇摇空调系统实际电路举例 .....	员员
摇摇摇空调系统的正确使用和维护 .....	员圆
摇摇摇制冷剂 and 冷冻机油 .....	员圆
摇摇摇空调系统的正确使用 .....	员猿
摇摇摇空调系统的日常维护 .....	员猿
摇摇摇空调系统的常规检查 .....	员源
摇摇摇对制冷剂泄漏的检查 .....	员源
摇摇摇空调系统的故障诊断和排除 .....	员缘
第 苑章摇摇常用工程机械电控系统 .....	员苑
摇摇摇摇推土机电控系统 .....	员苑
摇摇摇摇液压挖掘机电控系统 .....	员愿
摇摇摇摇监控系统 .....	员愿
摇摇摇摇功率优化系统 .....	员怨
摇摇摇摇工作模式控制系统 .....	员员
摇摇摇摇自动怠速装置 .....	员圆
摇摇摇摇电子油门控制系统 .....	员圆
摇摇摇摇水泥混凝土摊铺机电控系统 .....	员缘
摇摇摇摇操纵机构电控系统 .....	员缘
摇摇摇摇发动机电控系统 .....	员圆
摇摇摇摇行走机构电控系统 .....	员远
摇摇摇摇转向机构电控系统 .....	员愿

摇摇苑苑缘缘摇调平系统控制电路 .....	园园园
摇摇苑苑苑苑摇工作装置电控系统 .....	园园园
摇摇苑苑苑苑摇辅助装置控制电路 .....	园园园
摇苑苑源摇双钢轮振动压路机控制系统 .....	园园园
摇摇苑苑苑苑摇操纵系统 .....	园园园
摇摇苑苑苑苑摇主车控制电路 .....	园园园
摇摇苑苑苑苑摇供水控制电路 .....	园园园
摇摇苑苑苑苑摇振动控制电路 .....	园园园
参考文献 .....	园园园

# 第 员章 摇 工程机械中的电源

## 员 员 员 蓄 电 池

工程机械用电设备的电能，由蓄电池和发电机两个装置提供。作为两个电源之一的蓄电池，其作用有以下几方面。

- ① 启动发动机时，向启动机和点火系统提供电能。
- ② 发动机启动后，发电机输出电压低或不发电时，向用电设备提供电能。
- ③ 当发电机输出的电压高于蓄电池的电动势时，蓄电池将多余的电能转换成化学能储存起来。

实际上蓄电池是一个可逆直流电源，它与发电机并联。

蓄电池的性能和工作方式，使其相当于一个容量很大的电容器。当发电机因发动机转速波动而发出的电压波动时，以及用电负荷发生较大波动时，蓄电池可以起到缓解的作用，保持整个电气系统电压稳定。由于蓄电池能吸收电气系统的瞬间过电压，因而能保护用电设备及其内部的电子元件不被损坏。因此，绝不允许发动机在脱开蓄电池的情况下运转。

### 员 员 员 蓄 电 池 的 结 构 与 型 号

#### 员 员 员 蓄 电 池 的 结 构

##### (员) 单 格 蓄 电 池

单格蓄电池（使用蓄电池的基本单元）的结构如图 员 员 员 所示。

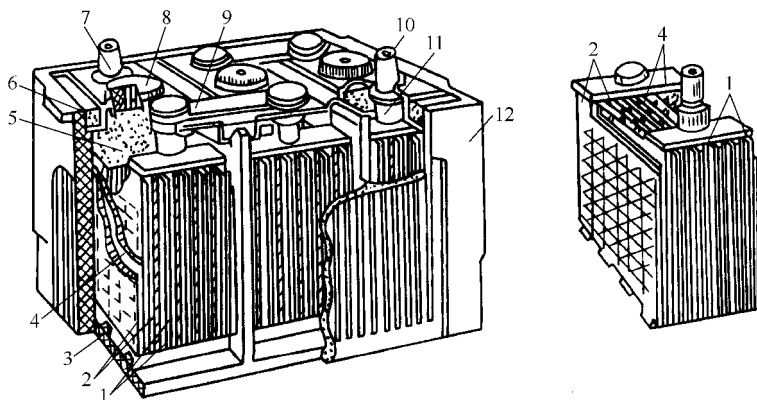


图 员 员 员 铅 单 格 蓄 电 池 的 结 构

员—正极板；圆—负极板；猿—肋条；源—隔板；缘—护板；远—封口剂；苑—负极桩；愿—加液孔螺塞；怨—连接条；员园—正极桩；员员—基桩衬套；员圆—外壳

极板是单格蓄电池的核心，分为正极板、负极板。正、负极板均由栅架和填充在其上的活性物质构成。具体结构如图 员 员 员 图 员 员 员 所示。

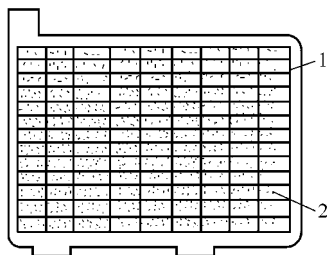


图 员 圆 极板

员—栅架；圆—活性物质

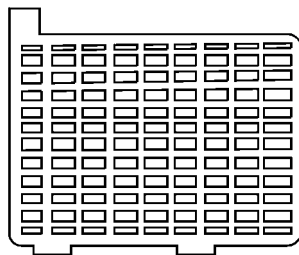


图 员 圆 栅架

正、负极板的结构完全相同，但填充的活性物质不同。正极板栅架上填充的是二氧化铅（ $PbO_2$ ），呈深棕色。负极板上填充的是海绵状纯铅，呈青灰色。

栅架一般由铅锡合金浇铸而成。其中锡的含量在 缘% ~ 愿% 之间。加入锡的目的是提高栅架的机械强度并改善其浇铸性能。但铅锡合金耐电化学腐蚀的性能比纯铅差，锡易从正极板栅架中解析出来，这将引起蓄电池的自放电和栅架的膨胀、溃烂。因此，栅架的成分正向低锡（含量小于 猿%），甚至无锡的铅钙合金方向发展。栅架的制造工艺除浇铸外，还有滚压扩展成型的方法。

国外蓄电池大多采用薄型极板，厚度在 员.5mm ~ 员.8mm 之间。国产蓄电池的负极板厚度一般为 员.5mm，正极板的厚度一般为 圆.5mm。薄型极板对提高蓄电池的比容量（极板单位尺寸的容量）和改善其启动性能都是有利的。将正、负极板浸入电解液中就构成了单格蓄电池。

### （圆）常用蓄电池

当单格蓄电池的正、负极板浸入电解液后，正、负极板间就会产生电动势。但是，单格蓄电池的电动势很低，容量也不大。真正能使用的蓄电池是由多个单格蓄电池组合而成的。其结构如图 员 圆 所示。为了使其能够组合成一体，要加上外壳。

外壳的作用是盛装单格蓄电池的正、负极板和电解液。因此，要求外壳能耐酸、耐热、耐震。以前的蓄电池外壳多用硬橡胶制成。目前，国内已经开始使用聚丙烯生产蓄电池外壳。此种外壳除满足基本性能要求之外，还具有强度高、重量轻、外形美观、透明的特点。

为了减小蓄电池的内阻和体积，单格蓄电池的正、负极板应尽可能地靠近。但正、负极板靠得太近，很可能产生短路。为避免此种情况发生，正、负极板间要加有隔板。隔板材料应具有多孔性，以利于电解液渗透，同时其还应具有良好的耐酸性和抗氧化性，且化学性能稳定。

隔板常用的材料有木质材料、玻璃纤维、微孔橡胶、微孔塑料等。由于微孔橡胶、微孔塑料的性能好且价格越来越便宜，因此目前隔板多采用这两种材料。

隔板一面平滑，另一面制有沟槽。使用时将隔板有沟槽的一面朝向正极板，因为正极板在充、放电过程中化学反应剧烈，沟槽能使电解液较顺利地上下流通。与此同时，在充电时产生的气泡可沿沟槽上升，脱落的活性物质则会沿沟槽下沉。

新型蓄电池中，将微孔塑料隔板用适当工艺制成袋状，紧包在正极板的外部，可进一步防止活性物质脱落，并简化组装工艺。

将单格蓄电池放入壳体中，注入电解液，就构成了可以使用的蓄电池。当蓄电池的正、负极板与电解液发生化学反应时，就可以完成充、放电过程。因此，电解液是蓄电池的重要

组成部分。

电解液由纯净硫酸和蒸馏水按一定比例配制而成，因此这种蓄电池又称为铅酸蓄电池。电解液的纯度和密度对蓄电池的寿命和性能影响很大。当用工业硫酸和非蒸馏水配制时，由于带入了有害物质（如铁、盐酸、锰、硝酸、铜、砷、醋酸及有机化合物等），将引起蓄电池内部自行放电，减少了其容量。电解液密度低，冬季易结冰；电解液密度大，可以减少冬季结冰的危害，蓄电池的电动势也有所提高，但密度过大，电解液的黏度增加，使蓄电池的内阻增大。密度过大的电解液对极板、隔板的腐蚀加速，将缩短蓄电池的使用寿命。电解液的密度一般为  $1.280 \sim 1.300 \text{ g/cm}^3$ 。密度值应根据制造厂的要求，依地区、气候等条件选择。不同条件下电解液的密度选择见表 1-10（按充满电时）。表 1-11 表 1-12 为配制电解液所用硫酸及蒸馏水的标准。

表 1-10 不同气温下电解液密度的选择

使用地区最低温度 /℃	冬季密度 /g·cm <sup>-3</sup>	夏季密度 /g·cm <sup>-3</sup>	使用地区最低温度 /℃	冬季密度 /g·cm <sup>-3</sup>	夏季密度 /g·cm <sup>-3</sup>
约 0℃	1.280	1.275	0℃~5℃	1.280	1.280
0℃~5℃	1.285	1.280	5℃~10℃	1.285	1.285

表 1-11 工业硫酸国家标准（GB 534-1995）

指标名称	特种硫酸	浓硫酸一级	指标名称	特种硫酸	浓硫酸一级
硫酸含量	≥ 99.9%	≥ 99.9%	氮的氧化物含量	≤ 0.005%	
灼烧残渣含量	≤ 0.005%	≤ 0.005%	二氧化物含量	≤ 0.005%	
铁含量	≤ 0.005%	≤ 0.005%	氮含量	≤ 0.005%	
砷含量	≤ 0.005%	≤ 0.005%			

表 1-12 铅蓄电池用蒸馏水标准

杂质名称	最大允许量 /mg	杂质名称	最大允许量 /mg
有机物	0.005	硝酸盐、亚硝酸盐	0.005
残渣	0.005	铁	0.005
氯	0.005	氨	0.005

为了提高蓄电池的电动势和容量，常常将 2 或 3 个单格蓄电池串联使用，其输出电压分别为 2V 或 3V。单格蓄电池的串联方法有三种，即外露式铅条连接、内部穿壁式连接和跨越式连接。具体结构如图 1-13 所示。

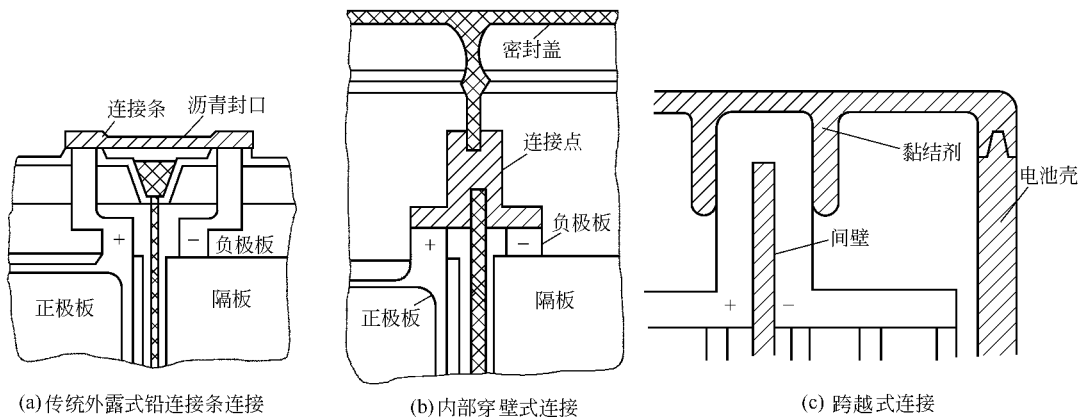


图 1-13 单格电池的连接方式

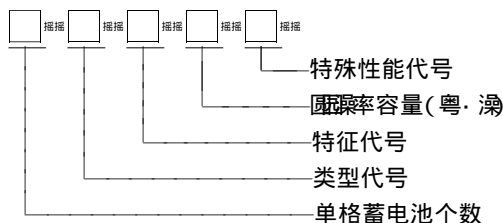
外露式铅条连接是早期蓄电池普遍采用的连接方式。虽然连接工艺简单，但耗铅量大，连接电阻大。当用启动机启动发动机时，电压降很大，功率损耗也大。且由于连接条外露，容易造成短路。外露式铅条连接方式已经被淘汰。目前生产的蓄电池都已采用内部穿壁式或跨越式连接。穿壁式连接方式是在相邻单格蓄电池的间壁打孔，连接条穿过孔，将两个不同单格蓄电池的极柱连接起来。

跨越式和跨越式连接方式与外露式铅连接条连接方式相比，具有连接条短、省材料（节约材料约 50% 以上）的特点。由于连接条短，使电阻变小，连接条上的电能损耗可减少 50%，端电压可提升 0.1V~0.2V，因此可以改善发动机的启动性能。

### 塑料槽下固定式启动用铅蓄电池的型号和规格

由于工程机械中的蓄电池都有启动发动机的功能，因此本书重点讨论启动型铅酸蓄电池。

原机械工业部颁发的 GB 1983—1983《启动型铅蓄电池标准》，用下面几部分来表征蓄电池的规格型号。



实际型号举例如下。

3-200-100-100-100-100 — 三个单格蓄电池组成，额定电压 2V，启动用蓄电池，额定容量 200Ah，100% 放电率。

6-200-100-100-100-100 — 由六个单格蓄电池组成，额定电压 6V，启动用、干荷电、高启动率蓄电池，额定容量 200Ah，100% 放电率。

6-200-100-100-100-100 — 由六个单格蓄电池组成，额定电压 6V，启动用、干荷电、免维护蓄电池，额定容量 200Ah，100% 放电率。国产启动用蓄电池产品规格见表 19-1，铅蓄电池产品特征代号见表 19-2。

表 19-1 国产塑料槽下固定式启动用铅蓄电池产品规格

序号	额定电压/V	额定容量/Ah	储备容量/h	启动电流/A	最大外形尺寸/mm		
					长	宽	高
1	2	200	100	100	180	180	180
2	2	150	75	75	180	180	180
3	2	100	50	50	180	180	180
4	2	75	37.5	37.5	180	180	180
5	2	50	25	25	180	180	180
6	2	37.5	18.75	18.75	180	180	180
7	2	25	12.5	12.5	180	180	180
8	2	12.5	6.25	6.25	180	180	180
9	2	100	50	50	180	180	180
10	2	75	37.5	37.5	180	180	180
11	2	50	25	25	180	180	180
12	2	37.5	18.75	18.75	180	180	180
13	2	25	12.5	12.5	180	180	180
14	2	12.5	6.25	6.25	180	180	180



正、负极电液摇摇 正极摇摇负极电液摇

### 原 源 电 池 电 势 的 建 立

当蓄电池的极板浸入电解液后，负极板上的金属铅有溶解于电解液的趋势。少量的铅溶于电解液生成  $Pb^{2+}$ ，在极板上留下两个电子，使极板带负电。与此同时，在正、负电荷的吸引下， $Pb^{2+}$  有沉附于极板表面的趋势。当两种变化达到动态平衡时，金属铅的溶解便停止。此时极板上的电位约为  $\phi_{Pb}$ 。

正极板处，少量的  $PbO_2$  溶于电解液，与水生成  $Pb^{2+}$  和  $H_2O$ ，再分离成  $Pb^{2+}$  和  $H_2O$ 。 $Pb^{2+}$  沉附于极板的趋势大于溶解的趋势，因而使极板呈正电位。达到动态平衡时，电位约为  $\phi_{PbO_2}$ 。

因此，当蓄电池未与负载接通且化学反应达到相对平衡状态时，其静止电动势  $E_0$  约为  $\phi_{PbO_2} - \phi_{Pb}$ 。

### 原 源 电 池 放 电 过 程

当蓄电池与负载接通时，电动势使负载电流  $I_f$  从正极经负载流向负极。这时正极电位降低，负极电位升高，破坏了原有的平衡。正极板处的  $Pb^{2+}$  和电子结合生成  $Pb$ ， $Pb^{2+}$  与电解液中的  $SO_4^{2-}$  结合生成  $PbSO_4$  沉附于正极板上。在负极板处， $Pb$  与电解液中的  $SO_4^{2-}$  结合生成  $PbSO_4$  沉附于负极板上，而负极板上的  $Pb$  继续溶解，生成  $Pb^{2+}$  和电子。若电路不中断，上述化学反应将持续进行，正极板上的  $PbO_2$  和负极板上的  $Pb$  都将逐渐转变为  $PbSO_4$ 。电解液中的  $H_2SO_4$  逐渐增多， $H_2O$  逐渐减少，电解液的密度逐渐下降。此过程可由图 1-1 描述。

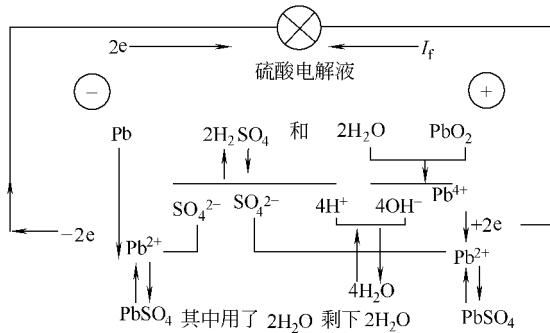


图 1-1 原 源 电 池 的 放 电 过 程

理论上，放电过程应进行到极板上的活性物质全部变为  $PbSO_4$  为止。但由于电解液不可能渗透到活性物质的最内层，因而在实际上做不到这一点。所谓放电终止的蓄电池，也只有  $10\% \sim 20\%$  的活性物质变成了  $PbSO_4$ 。因此，采用薄型极板，增加多孔率，提高活性物质的利用率是蓄电池发展的方向。

### 原 源 电 池 充 电 过 程

充电中的蓄电池，其内部的化学反应与放电时正好相反。当电压高于蓄电池电动势的外

部直流电源的正、负电极分别与蓄电池的正、负电极相接时，充电电流从蓄电池的正极流入，负极流出。此时，负极板处的  $PbSO_4$  开始进入电解液中，离解为  $Pb^{2+}$  和  $SO_4^{2-}$ 。 $Pb^{2+}$  在电源的作用下，获得两个电子变为  $Pb$ ，沉附于极板上。而  $SO_4^{2-}$  则与电解液中的  $H^+$  结合，生成  $H_2SO_4$ 。正极板处， $PbSO_4$  也开始进入电解液中，离解为  $Pb^{2+}$  和  $SO_4^{2-}$ 。 $Pb^{2+}$  在电源的作用下失去两个电子，变为  $Pb^{4+}$ 。 $Pb^{4+}$  和电解液中的  $SO_4^{2-}$  化合，生成  $PbO_2$ 。 $PbO_2$  又分解为  $Pb^{2+}$  和  $SO_4^{2-}$ ，而  $SO_4^{2-}$  与电解液中的  $H^+$  化合，生成  $H_2SO_4$ 。充电过程中，正、负极板上的  $PbSO_4$  逐渐还原为  $Pb$  和  $PbO_2$ ，电解液中的  $H_2SO_4$  逐渐增多， $H_2O$  逐渐减少，电解液的密度逐渐增大。充电时的化学反应过程可由图 1-10 描述。

充电终期，电解液的密度升到最大值，且会引起水的电解。

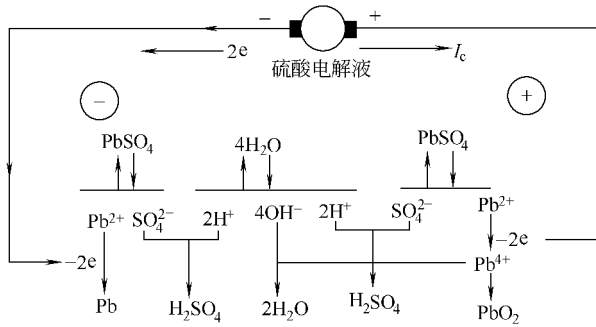


图 1-10 铅酸蓄电池的充电过程

## 1.1.1 铅酸蓄电池的特性

### 1.1.1.1 电动势

无负荷情况下的端电压（开路电压），称为蓄电池的电动势，又称为静止电动势。静止电动势用符号  $E_0$  表示，其大小与电解液的密度和温度有关。

若密度在  $1.250 \sim 1.280 g/cm^3$  的范围内时，其值可由下面经验公式计算。

$$E_0 = 0.85 + 0.00001 \rho_{25} (^\circ C) \quad (1-10)$$

式中  $\rho_{25}$  —— 电解液 25℃ 时的密度。

不同温度下测得的电解液密度，可由下面经验公式换算成 25℃ 时的密度。

$$\rho_{25} = \rho_{t} \frac{1}{1 - \beta(t - 25)} \quad (1-11)$$

式中  $\rho_t$  —— 实测的电解液密度；

$t$  —— 实测的电解液温度；

$\beta$  —— 温度系数， $\beta$  越大，其含义是，温度变化 1℃ 时电解液密度值变化 1%。

由前内容可知，电解液的密度充电时增大，放电时减小。一般在  $1.250 \sim 1.280 g/cm^3$  之间变化。与之对应，蓄电池的静止电动势也在  $2.1V \sim 2.15V$  之间变化。

### 1.1.1.2 内阻

极板、隔板、电解液、连接条等电阻的总和，即为蓄电池的内阻。它的大小将影响蓄电池输出电流的大小。特别是发动机启动时，启动机所需电流相当大，内阻的微小变化都将影响

响蓄电池的负载能力，进而影响其启动性能。

一般说来，极板的电阻很小，且随其上活性物质的变化而变化。随着充电的进行，其电阻逐渐变小。在放电过程中，其电阻又逐渐变大。当放电结束时，大量活性物质转变为硫酸铅，其电阻变得较大。

隔板的电阻取决于使用的材料及其几何尺寸。木质隔板的电阻，较其他材料的隔板要大。相同材料的隔板，越薄时电阻越小。

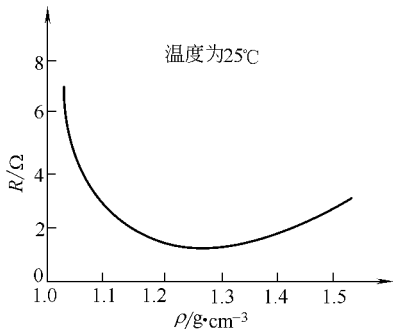


图 员 摇 电解液内阻随其密度的变化关系

电解液的电阻和它的密度密切相关，而影响密度值的一个重要因素是温度，因此，不同温度时其电阻亦不同。例如 远 型蓄电池温度为 垣 益时，其内阻约为 园 欧，当温度降到 原 益时则内阻变为 园 欧。这种关系如图 员 所示。

连接条的电阻与单格蓄电池的连接方式有关。外露式铅连接条连接方式的电阻要比其他两种连接方式大。

实际上，启动型蓄电池的内阻很小。小电流放电时对蓄电池的输出能力影响很小。但在启动机工作时，因其所需电流相当大（数百安），若内阻过大，蓄电池的端电压则会大幅度下降，影响启动性能。

完全充足电的蓄电池，温度 垣 益时的内阻可由下列经验公式近似计算。

$$R_{\text{内}} = \frac{U_{\text{额}}}{C_{20}} \quad (1)$$

式中  $R_{\text{内}}$ ——内阻， $\Omega$ ；

$U_{\text{额}}$ ——蓄电池额定电压，灾；

$C_{20}$ ——蓄电池 20 小时放电率额定容量，粤· 燥

### 员 摇 蓄电池充电特性

蓄电池的充电特性，是指恒流充电时，蓄电池的端电压及电解液的密度等参数，随充电时间变化的规律。如图 员 所示是 远 型蓄电池用 苑 电流恒流充电时的特性曲线。

为了保证充电电流，在整个充电过程中，充电电源的电压必须始终大于蓄电池的电动势和其内阻上的电压降之和。

充电初期，蓄电池的端电压上升很快，这时，极板上的活性物质和电解液的反应首先在极板孔隙内进行。极板孔隙内生成的硫酸来不及向外扩散，孔隙内的电解液密度迅速增大，导致蓄电池的电动势和端电压迅速上升。

充电中期，随着生成的硫酸不断向周围

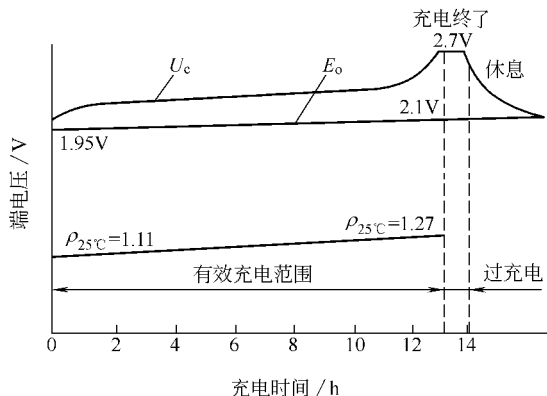


图 员 摇 蓄电池充电特性