

中等专业学校教材

客车 电气 装置

昆明铁路机械学校 叶庆文 主编

KECHE DIANQI
ZHUANGZHI

中国铁道出版社

U271
004

中等专业学校教材

客车电气装置

昆明铁路机械学校 叶庆文 主编

郑州铁路机械学校 赵文祥 主审

中国铁道出版社

1999年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本教材根据铁路中等专业学校铁道车辆专业“客车电气装置”新编教学大纲编写的。主要内容是结合铁道车辆专业的特点,重点介绍我国主型客车电气装置的构造、工作原理、运用常识及有关的实验、操作、理论分析和计算知识等,需讲授 94 学时。

本书是铁路中等专业学校教材,也可供现场职工教育、技工学校教学和有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

客车电气装置/叶庆文主编. —北京:中国铁道出版社
, 1999
中等专业学校教材
ISBN 7-113-03329-6

I. 客… II. 叶… III. 铁路车辆:客车-电气设备-专业
学校-教材 IV. U271.038

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999)第 18136 号

书 名: 客车电气装置

著作责任者: 昆明铁路机械学校 叶庆文

出版·发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

责任编辑: 吴桂萍

封面设计: 薛小卉

印 刷: 北京市彩桥印刷厂

开 本: 787×1092 1/16 印张: 12.5 插页: 2 字数: 312 千

版 本: 1999 年 8 月第 1 版 1999 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 1~5000 册

书 号: ISBN 7-113-03329-6/U·924

定 价: 19.20 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

前 言

客车电气装置从广义上讲包含所有在客车上运用的电气负载、供电系统、输配电装置以及其它自动化装置。本书所介绍的客车电气装置主要是为旅客列车提供供电和用电服务的电气装置,以及提供列车安全检测方面的电气装置。

在过去中专车辆专业的教学中,客车电气装置的内容包含在《客车设备》这一门专业课中。随着空调客车的大量出现和科学技术的发展,各种形式各异的电气装置应运而生,因而客车电气装置的内容面临更新补充及提高的问题。新编《客车电气装置》教材,增加了“客车用镉镍蓄电池”“BY-40W 变换器”“客车轴温报警器”等新内容,用新型 25 型空调发电车供电系统和车体配线等新内容取代已过时的老 25 型空调客车供电系统和车体配线等旧内容,使教材的内容得到了较多的更新。同时保留了“客车用铅蓄电池”“客车感应子发电机”和“KP-2A”型控制箱等适用内容,使教材具有一定的相对稳定性。

本书在编写过程中力图文字清楚,深入浅出,阐述正确。凡涉及到的计量单位、图文符号均采用了新的国家标准。

在教学中,教学内容的顺序,可根据教学实际需要,作灵活的安排。

本书由昆明铁路机械学校叶庆文主编,郑州铁路机械学校赵文祥主审。具体编写分工如下:沈阳铁路机械学校麻冰玲编写第一、二、三、五、七章;其余各章由叶庆文编写。

在编写过程中得到了昆明、郑州、沈阳等铁路机械学校的大力支持,在此一并表示感谢。

本书在编写中由于时间仓促,加上编者水平有限,有谬误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

1999 年 3 月

目 录

绪论	1
第一章 客车用铅蓄电池	4
第一节 TG 型铅蓄电池的构造	4
第二节 铅蓄电池的工作原理	8
第三节 电 解 液	10
第四节 铅蓄电池的特性	15
第五节 铅蓄电池的检修及充放电工作	20
第六节 铅蓄电池的故障分析及处理	22
复习题	25
第二章 客车用镉镍蓄电池	26
第一节 镉镍蓄电池的构造	26
第二节 镉镍蓄电池的工作原理	27
第三节 镉镍蓄电池的主要性能参数和特性	30
第四节 电 解 液	32
第五节 镉镍蓄电池的充放电	37
第六节 镉镍蓄电池的维护、检修及主要故障分析和处理	40
复习题	42
第三章 客车感应子发电机	43
第一节 J_5 型感应子发电机的构造及技术参数	43
第二节 J_5 型感应子发电机的工作原理	48
第三节 J_5 型感应子发电机的工作特性	53
第四节 J_5 型感应子发电机的维护、检修及试验	56
复习题	57
第四章 KP-2A 型控制箱	59
第一节 KP-2A 型控制箱的整流电路	62
第二节 KP-2A 型控制箱的稳压电路	63
第三节 KP-2A 型控制箱的辅助电路	68
第四节 KP-2A 型控制箱的结构与安装	71
第五节 KP-2A 型控制箱的调整试验及故障分析	74
复习题	80

第五章 客车用电器及车体配线	82
第一节 客车照明及逆变器	82
第二节 客车电扇	95
第三节 分散式供电系统车体配线	97
第四节 集中式供电系统车体配线	105
复习题	114
第六章 空调客车供电装置	115
第一节 空调客车供电装置的组成	115
第二节 柴油 机	118
第三节 同步发电机	133
第四节 同步发电机的励磁和并联运行	139
第五节 同步发电机及励磁系统电气故障分析及处理	150
第六节 CCK39 型软卧空调车柴油发电机供电系统	155
第七节 列车发电站总线路图	163
第八节 列车发电站的运行调整及维护、检修	172
复习题	174
第七章 客车轴温报警器	175
第一节 轴温报警器的工作原理	176
第二节 轴温报警器的结构和安装	184
第三节 轴温报警器的检修及试验	186
复习题	193
主要参考文献	194

绪 论

一、本课的研究内容和客车电气装置的基本发展情况

为了满足旅客和乘务人员旅途生活需要和改善车内卫生环境条件而在客车上装设一些机械装置,这些机械装置需要由供电设备供电并实行电气控制和检测,我们把这一类对机械装置进行供电和电气控制及检测的设备统称为客车电气装置。

学习和研究客车电气装置的构造、作用原理、维护和使用方法,以及客车电气装置的改进、发展等是《客车电气装置》课的主要内容。

在老式铁道车辆中,电能只用于照明、电扇与电动水泵。新型客车为了提高对旅客的服务质量,创造舒适的旅行环境和保证运输要求,在车辆上相继采用了电气照明、电热采暖、空气调节、餐车冰箱、播音通信、闭路电视、轴温检测报警器等装置。每辆新型客车的用电量由过去的1 kW增至40 kW左右,许多新技术在电气装置中得到广泛的应用,电气装置的面貌有了很大的变化,技术性和服务性有了明显的增强,在客车运用中的地位和作用有了明显的提高。因此,客车电气装置的内容已成为当今车辆部门工作人员尤其是中等专业人员的必备知识。

二、我国客车的供电方式及用电制

客车所需电能的供应,根据列车牵引动力的形式,客车电气化的程度,列车编组情况和供电设备的经济性等,可以采用以下三种不同的形式。

(一)单独供电

单独供电又称分散式供电。它是在每辆客车上安装一套独立的供电系统。当车辆用电量较小时,也可以每二辆或三辆车共用一套独立供电装置。此时安装有发电设备的客车称为母车,不带发电设备的车称为子车,子母车之间通过车端电力连接器沟通车内输电干线。

客车单独供电有下述三种类型:

1. 蓄电池组供电

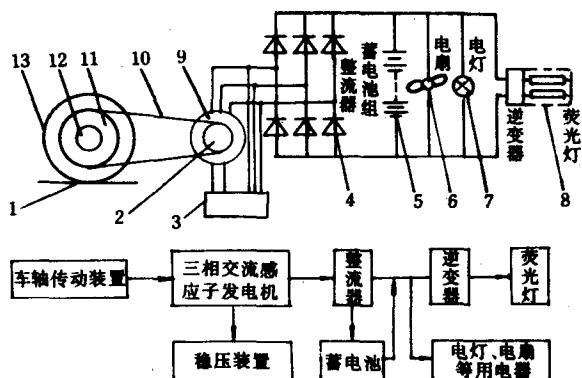
单独使用蓄电池供电的方法是根据车内负载的工作电压和功率,把若干个蓄电池组结合起来向负载供电。这种供电方式的优点是设备简单,使用方便,可靠性好,电流是纯直流成分;缺点是单位功率所占的体积和重量较大。蓄电池在放电过程中电压逐渐降低,铅蓄电池放电至端电压1.8 V时,必须停止放电并进行充电,否则会因过放电而损坏。这种供电方式宜在用电量不大的客车上使用,在国内使用的客车上不易见到。

2. 车轴发电机供电

采用车轴驱动的发电机与蓄电池组并联供电,是世界各国在普通客车上运用较广泛的一种供电方式。我国旧型客车曾采用过轴驱式的L型直流发电机,从70年代开始,在普通22型和23型客车上广泛使用三相感应子交流发电机。轴驱式发电机的工作电压,当功率小于3 kW时用24 V,功率为3~10 kW时为48 V,功率在10 kW以上时采用110 V。其供电系统的基本组成和原理如图绪-1所示。

3. 小型柴油发电机组供电

在客车底部装设小型柴油发电机组,并由其向车内的负载供电,这种方式称小型柴油发电机组供电。采用这种方式单独供电,可以减少机车牵引动力,提高供电电压,减少蓄电池用量,便于长时间停站时利用市电。但要求机组工作可靠,噪声和振动小,使用维修方便。这种供电方式适用于单独或分开连挂且装有空调装置的软卧车、宿营车和别的类型的客车。如我国长春客车厂生产的RW₂₂型空调软卧车和四方机车车辆工厂生产的YW_{22B}型宿营车采用的就是这种供电方式。



图绪-1 车轴式交直流供电装置

- 1—钢轨;2—发电机皮带轮;3—控制箱;4—主整流管;
5—蓄电池组;6—电扇;7—电灯;8—灯具;9—车轴发电机;
10—传动皮带;11—轴皮带轮;12—车轴;13—车轮。

(二)集中供电

对于用电量较大并且是固定编组的列车,采用全列车集中供电的方式。列车集中供电的电源,对于非电气化区段,由列车中的发电车柴油发电机组提供;对于电气化区段,可以由接触网通过电力机车主变压器提供。

当发电车的柴油发电机组集中供电时,供电电压一般为三相线压 400 V,相压 220 V,频率 50 Hz,通过车端电力连接器分二路向客车送电。这种供电方式的优点是用电负载和控制器件可直接采用民用产品,但所需的输电干线截面积较大,干线穿管施工难度大,对连接器插头与插座间接触电阻要求非常严格(小于 0.0008 Ω)。

我国铁路电气化接触网供电的额定电压为单相工频 25 kV,波动范围 19~27 kV,根据研究,我国由接触网供电的旅客列车,将由新型客运电力机车主变压器增设的两个辅助绕组,供给 3 kV 串联电压(并联为 1.5 kV),容量为 800 kV·A 的电能。即通过电力机车主变压器,将受电弓取得的单相工频 25 kV 的电压,转变为单相工频 3 kV 或 1.5 kV 的电压,输送给所牵引的客车。

由接触网供电的客车,其用电负载特点是:空调机组电动机为三相异步电机,其三相电源由分散于每辆客车中的三相逆变器供电;采暖电加热器与电开水炉由降压变压器提供 220 V 的单相电源;照明与通风机由带有充电机的蓄电池组供电并通过变换器变换成交流电,以保证摘挂机车时也能正常工作。

由接触网供电的客车,由于输电电压较高,因此输电干线与车端电力连接器必须具有良好的绝缘性能,连接器必须带有钥匙,以保证操作安全。

由于我国目前的主型客车已开始由 22 型向 25 型客车过渡,大量的全列空调的旅客列车将运行在全国的铁道干线上,因而集中供电的方式可望成为列车供电的主要形式。

(三)混合供电

鉴于目前铁路牵引动力存在多种类型,客车编组方式也不尽相同,因此,除上述两种供电方式外,还有混合供电方式。

混合供电有下列几种情形:

1. 客车照明与通风机由轴驱式发电机与蓄电池并联供电,而车上的采暖电热元件由电气

化铁道的接触网供电,这种供电方式适用于电气化区段运行的普通客车。

2. 客车照明和另外一些低压直流用电器由轴驱式发电机与蓄电池并联供电,空调机组由本车小型柴油发电机组或发电车供电。目前一些单独的空调客车就是采用这种供电方式。

综上所述,客车的供电系统有多种形式,在运用时应根据车种、用途、编组方式、负载类型、功率、用电要求及供电经济性等条件来具体选择。

三、本课的学习要求和方法

本课程是一门应用学科,它将直接为学生日后参加工作的需要服务,因此,要求:

1. 掌握我国主型普通客车供电装置、用电装置及主型空调客车集中供电装置的构造、工作原理和维修知识,掌握必要的操作技能,为从事检修、运用工作打下基础。

2. 熟悉客车轴温报警器的结构、原理,初步掌握其维修知识和操作技能,了解列车电视、播音和通信设备以及其它应用在客车电气装置上的新技术、新工艺和新设备,为今后客车电气装置的进一步发展做好相关知识的储备。

本课程在学习中主要涉及到电工、工业电子学及自动控制的基本理论和知识,在课程学习中应注重掌握工作原理,切忌死记硬背。也涉及到如设备装配、线路检查和连接、电工器材和电子元件的选用以及电气装置的具体操作等实用技术,因此,要求在掌握构造和工作原理的基础上,加强自身技能的培养,以适应现场的需要。

复 习 题

1. 电能铁路客车上有哪些应用?
2. 铁路客车的供电有哪几种方式?其应用的范围是什么?
3. 简述车轴发电机交-直流供电装置的工作原理。

第一章 客车用铅蓄电池

在客车供电装置中,蓄电池是旅客列车低速运行或停站时车上用电器的电源。这种电源使用的数量很多,制造、检修成本高,寿命又短,因此,我们学习蓄电池的构造、原理,掌握它的特性,力争做到正确地使用和维护,这对延长蓄电池的寿命,保证列车正常供电,降低客车检修成本等,具有重要的意义。

蓄电池是一种化学电源,它可以把电能转变为化学能贮存起来,使用时再把化学能转变为电能放出去,前一过程称做充电,后一过程称做放电。由于蓄电池的充、放电是可逆的,所以它可以反复使用,这也是蓄电池和其它化学电源的主要区别之一。

蓄电池的基本结构是由正、负极板群,隔离物、电解液和电池槽组成。根据极板所用材料和电解液性质的不同,蓄电池一般可分为酸性(铅)蓄电池和碱性(铁镍或镉镍)蓄电池两种。

在我国铁路客车上使用的酸性铅蓄电池为 TG 型(T 表示铁路用,G 为本型电池采用管式正极板)。其主要规格如表 1-1 所示。

表 1-1 供电用的酸性铅蓄电池规格

型 号	生产厂家	额定容量 (A·h)	额定电压 (V)	充 电		放电电流 (A)	电解液比重		重量 (kg)
				电流(A)	时间(h)		夏季	冬季	
TG-540	中国	540	2	60	7~15	54	1.23	1.28	
TG-450	中国	450	2	50	7~15	45	1.23	1.28	
TG-350	中国	350	2	44	7~15	35	1.23	1.28	
TG-315	中国	315	2	60	7~15	35	1.23	1.28	
BH-400	前苏联	400	2	60		70	1.27	1.27	50
BH-400	前苏联	400	2	60		62	1.28	1.28	44.5
TT4B-390	德国	390	2	62		78	1.26	1.26	34

第一节 TG 型铅蓄电池的构造

TG 型铅蓄电池的结构见图 1-1,它是由顶盖、硬沥青封口、负极板群、正极板群、隔离板、胶槽、浮标、浮标套、注液孔盖、极柱卡和防波板等组成,槽内灌注有比重 $1.260 \pm 0.005 (30^{\circ}\text{C})$ 的稀硫酸作为电解液。

现把各主要组成部分的构造作用分述如下。

一、正极板群

为了增大蓄电池的容量,获得较大的放电电流,蓄电池的极板均以多片组成,称为极板群。

铅蓄电池的正极板群见图 1-2,它是由 10 片正极板组成。每片正极板的结构见图 1-3,由板栅铅芯、套管和作用物三部分组成。板栅铅芯是用含锡 5%~10% 的低熔点铅锡合金浇铸成的,形状见图

表 1-2 正极板作用物配方

原 料	重量(kg)	原 料	重量(kg)
灰丹粉	50	硫酸镁	1
活性炭	0.5		

1-4(a)。套管是用玻璃纤维编织的,其表面浸有酚醛树脂,套在板栅铅芯的外面,见图 1-4(b)。

套管内填充作用物质,作用物质的配方参见表 1-2。它可以呈粉状灌入套管内,也可以用稀硫酸调成糊状,用挤膏机挤入套管内。

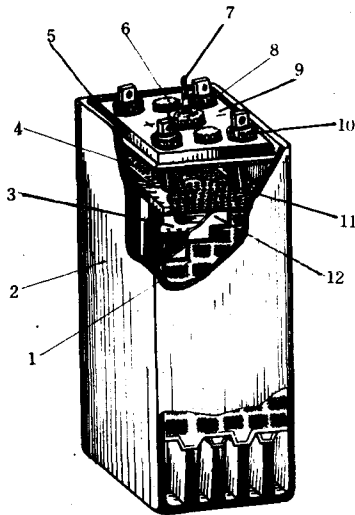


图 1-1 TG 型铅蓄电池
1—负极板;2—胶槽;3—正极板;4—防波板;
5—硬沥青封口;6—注液孔盖;7—浮标;8—浮标孔盖;
9—电池盖;10—极柱卡;11—浮标套;12—隔板。

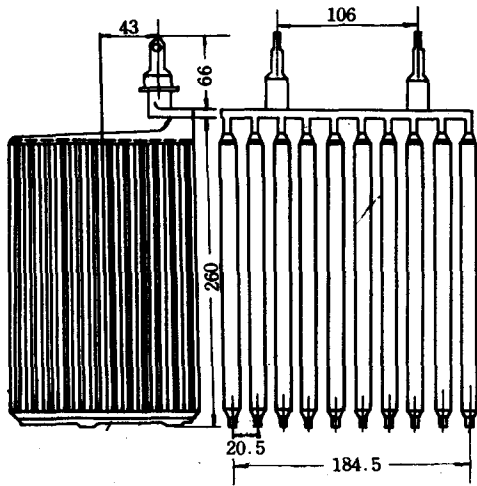


图 1-2 铅蓄电池的正极板群

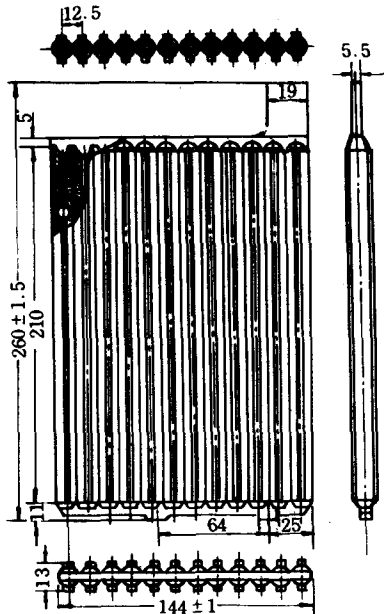


图 1-3 正极板片

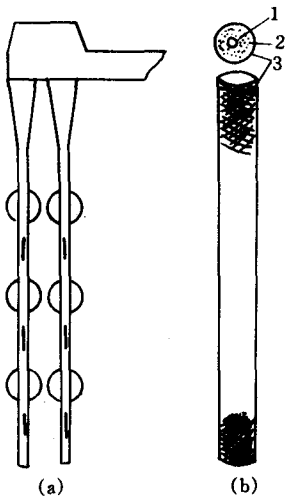


图 1-4 正板栅铅芯及套管
1—铅芯;2—作用物;3—玻璃纤维管。

二、负极板群

负极板群见图 1-5,是由 11 片负极板组成。

TG 型电池的负极板采用涂膏式。它是先用含锡量小于 12% 的铅锡合金铸成栅格状的基板,而后将糊状的作用物在基板上涂实。

负极板上的填充物俗称铅膏,其配方参见表 1-3。

表 1-3 负极板铅膏配方

原 料	重量(kg)	原 料	重量(kg)
灰丹粉	45	稀硫酸(比重 1.150)	7.5
硫酸钡	0.3	腐植酸	0.45
炭 黑	0.15	纯净水	3

在蓄电池极板群的制作中,均令负极板片数比正极板片数多一片,这是由于蓄电池在放电时正极板上的二氧化铅要变成硫酸铅,作用物质体积发生膨胀,如果正极板和负极板数量相同,放电时最外侧的一块正极板只一面发生作用,易产生单方面膨胀造成极板弯曲。

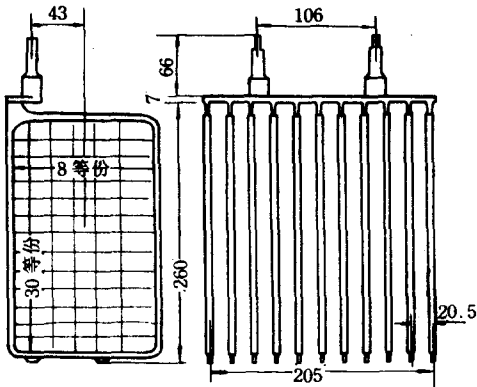


图 1-5 铅蓄电池的负极板群

按上述方法制成的正、负极板俗称生板,一般不能直接使用,因为两极板上的作用物质都是氧化铅和部分硫酸铅,必须经过电化过程使其变为有用的作用物,即正极板上为多孔性的二氧化铅,负极板上为海绵状铅,同时具有疏松适度的结构。这种电化过程通常称为化成,其操作方法如下。

1. 将正生板竖直放入浸片槽内加水浸没极板约 1 h,而后将水放掉使板片晾干,晾干时间不得少于 2 h。

2. 根据气候条件配好稀硫酸,不同室温所需硫酸的比重值参照表 1-4。

3. 将正、负生板一片隔一片排列整齐插入化成槽内,

表 1-4 化成用电解液比重值

同性极柱各出一边,插时不合格的极板应剔出。

室 温	5℃以下	5~25℃	50℃以上
比重	1.07	1.06	1.05

4. 插片后用铅锡合金焊条将同性极板的极柱上部并联焊接。

5. 焊接后进行检查,排除脱片、碰片、碰槽等现象,最后确认极性,接通电源进行化成。化成充电的过程中还应经常注意检查是否有脱焊、碰片、碰槽、反充等现象,发现后应及时纠正。

6. 充电电流及时间可参照表 1-5 所列规范。

表 1-5 化成充电电流及时间

蓄 电 池 型 号	极板容量 (A·h/片)	第一阶段		第二阶段		第三阶段	
		电流(A)	时间(h)	电流(A)	时间(h)	电流(A)	时间(h)
TG-315	31.5	5~6	6	6~8	20	5~6	4

7. 充电过程中每隔 1 h 检查一次电流、电压、比重、液温并做好记录。在后期充电阶段要每隔 30 min 检查一次,同时注意观察化成充电是否完成。如发现电解液面发生剧烈气泡,负极板片呈青灰色时则认为充电完了,应立即切断电源,防止过充。

8. 化成后的负极板片应送至烘房用强风吹干,4 h 后升温干燥。正极板片用水冲洗表面铅粉,然后送进烘房干燥,12 h 后取出并在极板管子下端 5 mm 处蘸上过氯乙烯清漆,再送进烘房直至烘干,烘房温度可控制在 40~70℃左右。

三、隔 板

隔板是用来隔离正、负极板的,防止它们互相短连。隔板多用微孔橡胶板(见图 1-6),也可以用微孔塑料或其它材料,但均应具备耐酸、多孔、坚韧和不含有害成分等条件。

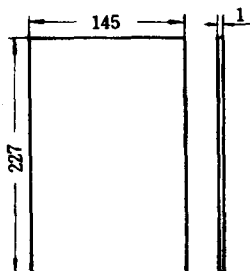


图 1-6 隔 板

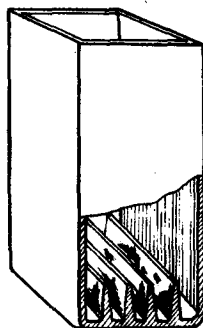


图 1-7 电池槽

四、电 池 槽

电池槽见图 1-7,它是盛装极板群和电解液的容器,用硫化硬橡胶制成,槽底部做有支持极板的垫脚,用以防止作用物脱落造成极板底部短连。

五、电池盖及浮标

电池盖见图 1-8,用硫化硬橡胶制成。电池盖上有极柱孔、注液孔和浮标孔。浮标孔在电池盖中央处,孔处装有浮标套、浮标和浮标孔盖。浮标是指示电解液液面高度的装置,用玻璃制成,它的上部有三条指示线,中间一条是蓝色,其它两条为红色。当蓝色指示线与浮标孔盖顶面在同一水平线时,表示液面高度合适;当上端或下端红线与浮标孔盖顶面在同一水平线时表示液面高度已达到最低或最高限,遇此情况应对注液高度进行调整。

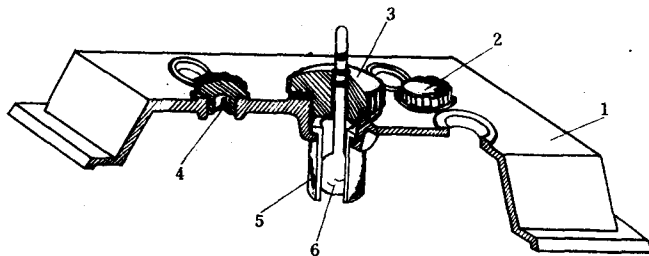


图 1-8 电池盖及浮标铅蓄

1—电池盖;2—注液孔盖;3—浮标孔盖;4—排气孔;5—浮标套;6—浮标。

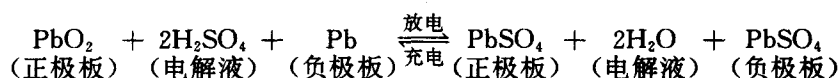
浮标在使用中有被酸液或灰尘粘附在浮标套或盖上而不能上下自由起落,失去指示作用的可能。在检查液面高度时应先用手指轻按浮标顶端看是否上下起落灵活,然后再确认液面高度。

注液孔上旋有注液孔盖,其侧面上有排气孔。注液孔盖旋下后可从此给电池补充液量,充电时电池内产生的气体可从排气孔排出。

蓄电池全部组装好以后,应用沥青将盖与槽口封固,以防进入灰尘和溢出电解液。

第二节 铅蓄电池的工作原理

铅蓄电池是由两组极板插入稀硫酸的溶液中而构成的。它在充电和放电过程中所发生的可逆电化反应是相当复杂的,提出的理论也很多,至今被人们认为比较正确的解释是二极硫酸铅说(又称为双硫化理论)。这个理论认为,蓄电池放电后两极板上的反应产物均为硫酸铅,而充电后各自又恢复为原来的铅和二氧化铅。总的电化反应可用下列方程式表示:



上述电化反应过程按双硫化理论可作如下解释。

一、放电过程

放电过程见图 1-9。放电前,电解液中的硫酸($2\text{H}_2\text{SO}_4$)离解为氢离子(4H^+)和酸根离子(2SO_4^{2-})。根据金属的活动性,负极板上的作用物质铅将有一部分丢下两个电子,以两价的铅离子(Pb^{2+})的形式离开负极板的表面进入电解液。这是由于电解液中水偶极子对负极板上铅离子的作用大于铅离子与电子间的作用而造成的结果。这种使金属离子离开金属表面进入溶液做功的力被称为金属对离子的溶解压力。每当一个正的铅离子(Pb^{2+})进入电解液时就有两个电子被留在负极板上,因而使负极板和电解液之间形成两层电荷,且负极板对电解液显示负电位。当铅的溶解压力和由于铅离子离开极板而在极板与电解液间产生的电场力相当时,铅的离解便维持在一种动平衡状态。

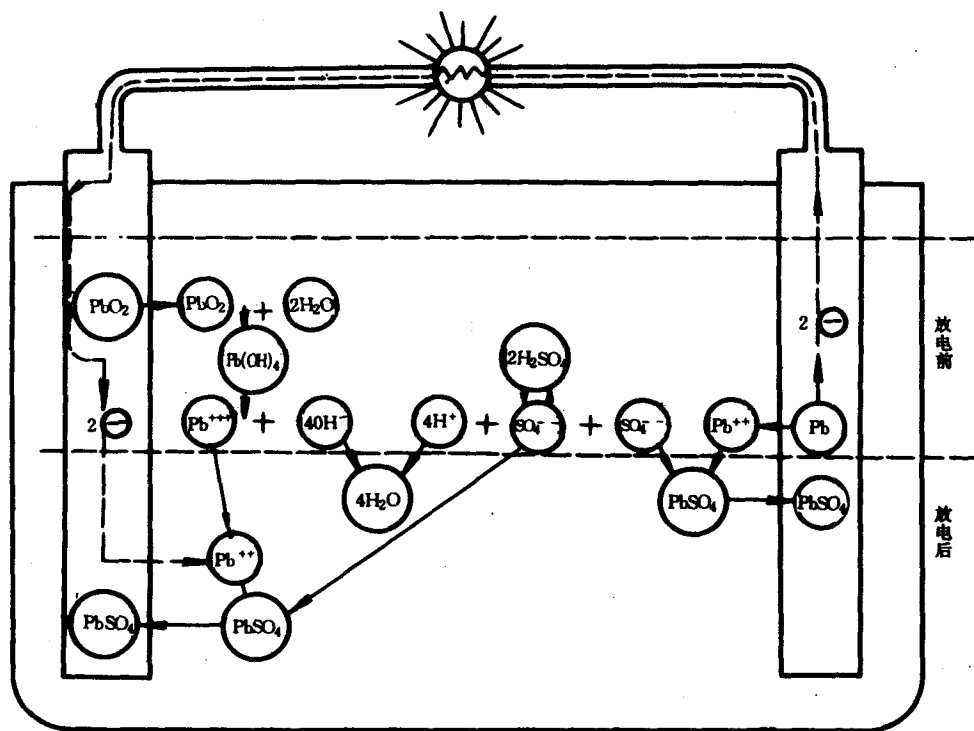


图 1-9 放电时电化学反应过程结构

正极板上的作用物质二氧化铅(PbO_2)，一般条件下在硫酸中的溶解量非常小，但在通过电流的情况下可以有少量二氧化铅进入电解液，和电解液中的水($2\text{H}_2\text{O}$)发生反应生成不稳定的氢氧化铅 $\text{Pb}(\text{OH})_4$ ，而后即离解为四价的铅离子(Pb^{4+})和氢氧根离子(4OH^-)。这时四价铅离子附着在正极板上，使正极板和电解液间也形成双层电荷，且正极板对电解液显示正电位。

在未接通蓄电池的外电路之前，两极板上的作用物质离解到一定程度均处于动平衡状态，这时正、负极板间就产生一定的电位差，也就是电池的电动势。

当接上负载使外电路闭合时，在电场力的作用下负极板上积累的电子便经过外电路向正极板上流动形成电子流。剩下的铅离子(Pb^{2+})就和电解液中的酸根离子(SO_4^{2-})化合成为溶解性很小的硫酸铅(PbSO_4)，沉积在负极板作用物质的表面上。与此同时，负极板表面与电解液间的溶解压力和电场力失去平衡，铅又开始继续电离。

正极板方面，从外电路流动过来的电子使四价的铅离子(Pb^{4+})获得两个电子后还原为二价的铅离子(Pb^{2+})，二价的铅离子再和酸根离子(SO_4^{2-})化合成硫酸铅沉积在正极板作用物质的表面上。同时电解液中的氢氧根离子(4OH^-)和氢离子(4H^+)化合成水($4\text{H}_2\text{O}$)。这种反应过程在极板上由表及里的持续进行，在负载上就得到蓄电池释放的电能。

通过上述分析可以看出，蓄电池放电的结果使负极板上的作用物质由海绵状铅变为硫酸铅，作用物质分子体积增大，极板颜色由灰色变为淡灰色。正极板上的物质由二氧化铅变为硫酸铅，分子体积也相应增大，极板颜色由暗褐色变为褐色。同时随着放电的进行，电解液中的硫酸逐渐减少而水增多，电解液的比重因此而下降。在实际工作中，我们常常利用蓄电池在放电过程中的这些变化现象，做为判断蓄电池的放电程度和放电是否终了的参考依据。

另需注意，蓄电池放电时应使其放至规定的终止电压而停止，不宜过度放电。过放电容易使和有效作用物质混在一起的硫酸铅晶体形成较大的结晶体，增大极板电阻，再充电时很难还原，严重时会导致电池容量下降。

二、充电过程

充电方法是将略高于蓄电池电动势的直流电源的正极与蓄电池的正极连接，负极与蓄电池的负极连接。充电时的电化反应过程见图 1-10。

在接通电源之前，蓄电池正、负极板上的硫酸铅(2PbSO_4)，均部分溶解于电解液中且电离为铅离子(2Pb^{2+})和酸根离子(2SO_4^{2-})。电解液中的一部分水也离解为氢氧根离子(4OH^-)和氢离子(4H^+)。当接通电源充电时，由于电源电压高于蓄电池的电动势，因此在电源过剩电压的作用下使电子由电源向电池的负极板上流动，流动过来的电子吸引带正电荷的铅离子(Pb^{2+})并与之中和，使其还原成海绵状铅(Pb)。剩下的硫酸根离子(SO_4^{2-})和电解液中的氢离子(2H^+)化合成硫酸(H_2SO_4)。与此同时，正极板上两价的铅离子(Pb^{2+})被电源夺去了两个电子变为四价的铅离子(Pb^{4+})，它和正极板附近的氢氧根(4OH^-)结合生成二氧化铅(PbO_2)和水($2\text{H}_2\text{O}$)，余下的酸根离子(SO_4^{2-})和氢离子(2H^+)则结合成为硫酸(H_2SO_4)。

显然，蓄电池充电后两极板上的作用物质被恢复为原来的状态，而且电解液中硫酸成分增加，水则减少，正极板颜色由褐色变为暗褐色，负极板颜色由淡灰色变为灰色。充电过程中的这些变化现象，也可以做为我们判断电池充电程度和是否充电终了的参考依据。

应注意，在电池充电未了，由于正负极板上的硫酸铅(PbSO_4)大部分已被还原为二氧化铅和铅，倘若再继续充电，充电电流只能起分解水的作用，结果使负极上有氢气($\text{H}_2 \uparrow$)逸出，正极板上则有氧气($\text{O}_2 \uparrow$)逸出，造成电池强烈冒气现象，此时的电化反应为：

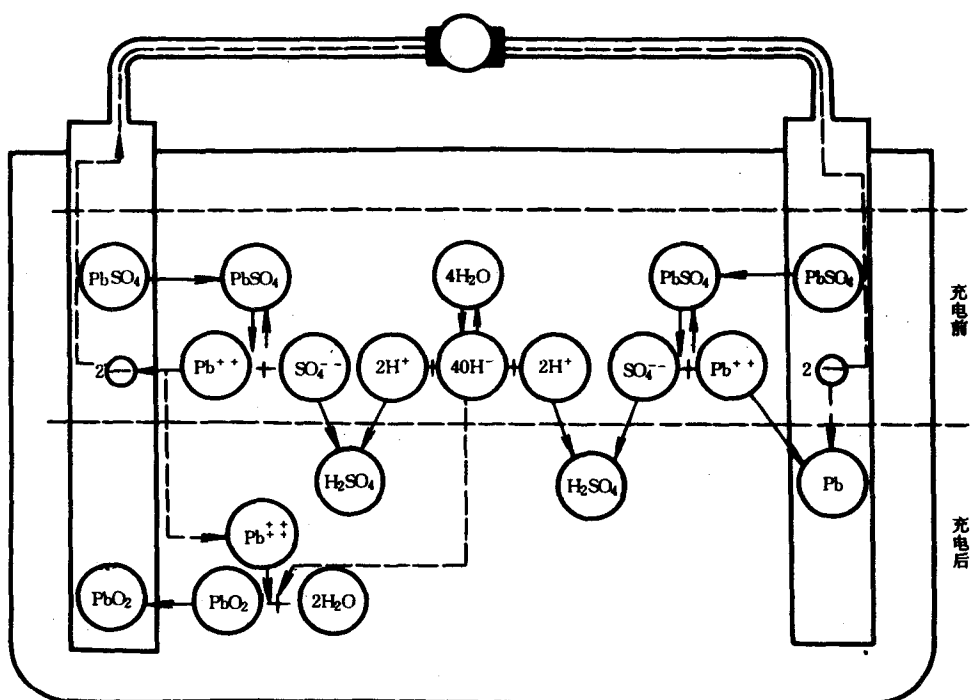
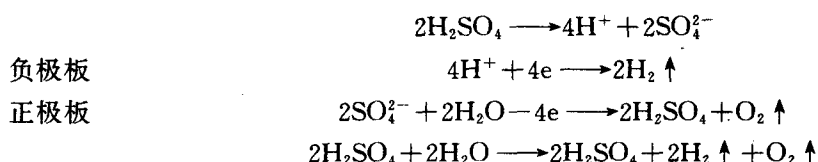


图 1-10 充电时电化学反应过程结构



因此充电终期应注意电流不宜过大且充电应适可而止，否则将产生剧烈冒气造成极板作用物质脱落，同时浪费电能。

第三节 电 解 液

铅蓄电池的电解液是用浓硫酸和纯水按一定比例调制而成的稀硫酸。所用的浓硫酸是一种无色、无臭的透明油状体，在 15°C 时的比重为 1.835，含纯硫酸 93.2%，沸点约为 338°C 。浓硫酸加热时可分解成三氧化硫和水，三氧化硫遇到空气中的水蒸气可形成白色的浓雾。所用的水必须是无色、无臭、不含氯、钙、铁、镁、硝酸及有机物等杂质的净水，不能用自来水和其它天然水代替。

硫酸和水能以任何比例互溶。硫酸和水混合时要放出大量的热。1 mol 硫酸被水无限稀释时放出的全部热量可达 98.16 kJ。

一、电解液的性质

(一) 电解液的电阻

电解液电阻可用电阻率的值来衡量。

电解液的电阻率随比重和温度而改变，同一种电解液在温度不同时测得的比重不同，电阻率也

不同。表 1-6 列出了 18℃ 时不同比重的电解液电阻率和对应的温度系数。图 1-11 是表 1-6 的曲线图,由表 1-6 和图 1-11 中可以看出,电解液的电阻率在电解液比重为 1.150~1.300 时较小。

表 1-6 电解液的电阻率(ρ)及温度系数(α)

电解液比重 (18℃)	电阻率 ($\Omega \cdot m$)	电阻率的 温度系数	电解液比重	电阻率 ($\Omega \cdot m$)	比电阻的 温度系数
1.050	346	0.0124	1.450	218	0.0202
1.100	190	0.0136	1.500	264	0.021
1.150	150	0.0146	1.550	330	0.023
1.200	136	0.0158	1.600	424	0.025
1.250	138	0.0168	1.650	558	0.027
1.300	146	0.0177	1.700	764	0.030
1.350	161	0.0186	1.750	978	0.036
1.400	185	0.0194	1.800	996	0.065

电解液的电阻率和温度的关系还可以用下式表示:

$$\rho_t = \rho_{18} [1 - \alpha(t - 18^\circ \text{C})] \quad (1-1)$$

式中 ρ_t ——电解液在 $t^\circ \text{C}$ 时的电阻率($\Omega \cdot m$);

ρ_{18} ——电解液在 18℃ 时的电阻率($\Omega \cdot m$);

α ——电阻率温度系数(18℃),单位 $1/^\circ \text{C}$ 。

电解液的电阻率对电池的影响较大,因此,电阻率值是我们合理选取电解液比重的参考条件之一。

(二)电解液的结冰点

电解液的结冰点随电解液比重的不同而不同,各种不同比重的硫酸溶液的结冰点见表 1-7。从表中可以看出 1.300(15℃)的稀硫酸溶液结冰点最低。这是因为比重低于 1.300 时容易从溶液中首先结出普通的冰,若比重高于 1.300 时易有含水的硫酸($\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)晶体析出。

既然结冰点与比重有关,然而比重又与蓄电池的充、放电状态有关,因此为了保证蓄电池的正常工作,应合理选择电解液比重,使之在最不利的情况下亦能保证结冰点在电池的工作温度以下。

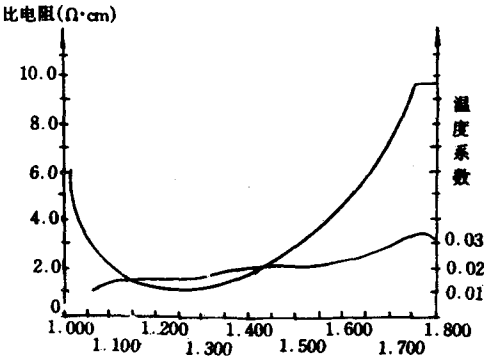


图 1-11 硫酸溶液的电阻率和温度系数

表 1-7 电解液的冰点

比重 (15℃)	冰点 ($^\circ \text{C}$)	比重 (15℃)	冰点 ($^\circ \text{C}$)
1.000	0	1.400	-36
1.050	-3.3	1.450	-29
1.100	-7.7	1.500	-29
1.150	-15	1.550	-38
1.200	-27	1.700	-14
1.250	-52	1.750	+5
1.300	-70	1.800	+5
1.350	-49	1.835	-34