

国家双高“铁道机车专业群”系列 活页工作手册式立体化教材
——铁道车辆技术专业

客车电气装置

主 编 ◎ 于文涛 牛小伟 张 嘉

副主编 ◎ 葛 磊 宋慧娟

主 审 ◎ 李应杰

西南交通大学出版社

· 成 都 ·



党的二十大报告强调要加快建设交通强国，充分体现了以习近平同志为核心的党中央对我国交通事业发展的高度重视，为新时代新征程交通强国建设指明了方向。随着铁路交通运输事业的迅速发展，铁道车辆技术装备水平迅速提高。为满足铁道车辆专业教学和铁路职工培训的需要，根据铁路高职铁道车辆专业教学指导会计划，依据中国国家铁路集团有限公司印发的《铁路客车电气装置检修规则》（技术规章编号：TG/CL 209—2022）编写本书。

本书编者及主审分别来自教学第一线从事铁道车辆专业职业教育的教师和客车现场工程师。在编写过程中紧扣现场应用和职业教育的培养目标，结合职业教育的特点和要求，在课程体系安排上，在教材内容的选取上力争做到教材的总体结构和课程目标之间的一致性，正确处理好教材的知识传授和能力培养这两者之间的关系。

本教材根据现场运用情况，对 22 型客车电气系统、客车轴温报警系统、客车行车安全监控系统、发电车供电系统部分章节内容作了调整，新增时速 160 km 动力集中动车组电气系统。

本书由郑州铁路职业技术学院于文涛（项目六、项目七、项目八、项目十二）、牛小伟（项目四、项目九、项目十四）、宋慧娟（项目一、项目二）、张嘉（项目五、项目十）、华东交通大学轨道交通学院李津（项目十三）、吉林铁道职业技术学院李原福（项目三、项目十一）、中国铁路郑州局集团公司郑州车辆段张志辉（实训部分）编写；郑州车辆段副段长葛磊提供了编写意见和部分数字资源；郑州车辆段段长李应杰担任本书主审。在此，对编写组的工作表示衷心感谢。

本书在编写和出版过程中，得到西南交通大学出版社编辑的悉心指导和支持，对他们的辛勤劳动和无私奉献表示真挚的谢意。同时，对本书参考文献中的作者致以诚挚的感谢。

由于编者水平有限，书中的疏漏和不妥之处在所难免，希望使用本书的读者批评指正。

编者

2023 年 3 月



数字资源列表

序号	数字资源名称	资源类型			页码	项目
		视频	PPT	动画		
1	客车电气装置的组成、分类及我国客车供电装置的发展	√	√		3	项目一 任务一
2	客车供电方式	√	√		4	
3	配线、车电命名、绝缘测量	√	√		6	
4	TG 型铅蓄电池	√	√		10	项目一 任务三
5	GN 型碱性蓄电池	√	√		13	项目一 任务四
6	轴驱式发电机供电系统组成及轴驱式发电机工作原理	√	√		18	项目二 任务一
7	KP-2A 型控制箱的组成及原理	√	√		27	项目二 任务二
8	列车控制系统柴油发电车	√	√		31	项目三 任务一
9	柴油机	√	√		33	项目三 任务二
10	柴油机工作原理、柴油机冷却系统、柴油机润滑系统			√	34	
11	柴油机的启动控制	√	√		36	项目三 任务三
12	柴油机调速	√	√		40	
13	三相同步发电机	√	√		43	项目三 任务四
14	发电车对外供电方式	√	√		47	项目三 任务五
15	发电车主开关电路与联络开关电路	√	√		47	
16	发电车冷却风扇电路	√	√		51	
17	发电车交流燃油泵电路	√	√		58	
18	发电车直流报警保护电路	√	√		61	
19	电源控制柜工作原理	√	√		71	项目四 任务一
20	照明控制柜工作原理	√	√		73	
21	统型应急电源概况	√	√		76	项目四 任务二
22	统型应急电源充电机	√	√		78	项目四 任务三
23	统型应急电源应急控制系统工作原理	√	√		82	项目四 任务四

序号	数字资源名称	资源类型			页码	项目
		视频	PPT	动画		
24	接触网向列车供电方案	√	√		110	项目六任务一
25	电力机车供电装置工作原理	√	√		114	项目六任务二
26	综合控制柜概况	√	√		120	项目七任务一
27	25T 型客车的供电控制与转换	√	√		124	项目七任务二
28	综合控制柜的使用	√	√		128	项目七任务三
29	25T 客车逆变器的工作原理	√	√		132	项目七任务四
30	25T 型客车充电器的基本原理	√	√		144	项目七任务六
31	CRH2 型动车组的牵引供电系统组成及原理	√	√		172	项目八任务一
32	CRH2 型动车组的辅助供电系统	√	√		183	项目八任务二
33	动车组列车信息控制系统	√	√		190	项目八任务三
34	KSL3 型电热开水炉	√	√		201	项目九任务一
35	TCL-12 型电开水炉	√	√		204	项目九任务二
36	客车集便器	√	√		208	项目九任务三
37	旅客列车信息显示系统	√	√		214	项目九任务四
38	高原车制氧系统	√	√		218	项目九任务五
39	塞拉门总体介绍			√	225	项目十任务一
40	塞拉门结构			√	225	
41	塞拉门的控制原理	√	√		227	项目十任务二
42	塞拉门气路原理图（开门 1）			√	229	
43	塞拉门气路原理图（关门 2）			√	229	
44	塞拉门气路控制系统（开门 1）			√	230	
45	塞拉门气路控制系统（关门 2）			√	230	
46	塞拉门手动开关门			√	231	项目十任务三
47	塞拉门门控单元原理图			√	231	

序号	数字资源名称	资源类型			页码	项目
		视频	PPT	动画		
48	塞拉门集中控制图			√	232	项目十 任务三
49	塞拉门障碍探测			√	232	
50	塞拉门故障处理			√	232	
51	联网型皱纹报警器			√	235	项目十一 任务一
52	轴温报警装置的结构			√	235	
53	KZS/M-1 型轴温报警装置的组成	√	√		236	
54	轴温数据记录仪			√	237	
55	KZS/M-1 型轴温报警装置的工作原理	√	√		238	项目十一 任务二
56	参数控制			√	238	
57	报警电路			√	238	
58	LCD 液晶显示器			√	239	
59	时钟			√	239	
60	直流开关电源			√	240	
61	调制解调器			√	240	
62	温度传感器			√	240	
63	温度传感器安装			√	240	
64	故障处理			√	243	项目十一 任务三
65	有可能发生故障部位及现象			√	243	
66	防滑器简介			√	253	项目十二 任务一
67	TFX1 型电子防滑器结构	√	√		254	
68	防滑器的构成			√	254	
69	防滑器工作原理简介			√	255	项目十二 任务二
70	TFX1 型电子防滑器功能	√	√		256	
71	防滑器主机			√	256	
72	防滑器排风阀			√	256	
73	压力继电器			√	256	
74	速度传感器			√	256	项目十二 任务三
75	防滑器故障			√	260	
76	客车行车安全监测系统组成	√	√		265	项目十三 任务一

序号	数字资源名称	资源类型			页码	项目
		视频	PPT	动画		
77	客车行车安全监测系统车厢级网络系统与主机	√	√		268	项目十三 任务二
78	客车行车安全监测系统车厢级检测诊断子系统	√	√		269	
79	列车级主机的显示界面及操作	√	√		276	项目十三 任务四
80	列车防护报警和客车列尾系统	√	√		282	项目十三 任务六
81	JYA-1 型交流在线绝缘检测装置	√	√		287	项目十四 任务一
82	列车电气监控系统	√	√		290	项目十四 任务二
83	火灾报警控制器	√	√		294	项目十四 任务三



上篇 理论篇

项目一 铁路客车用蓄电池	3
任务一 客车供电装置概述	3
任务二 客车蓄电池分类	8
任务三 TG 型铅蓄电池	9
任务四 GN 型碱性蓄电池	13
项目二 轴驱式发电机供电	18
任务一 客车感应子发电机	18
任务二 KP-2A 型控制箱	27
项目三 柴油发电车集中供电	30
任务一 发电车的概况	31
任务二 康明斯发电车柴油机的概况	33
任务三 柴油机的调速控制与启动	36
任务四 三相同步发电机	43
任务五 发电车电气控制	46
任务六 发电车的常见故障	65
项目四 25G、25K 型客车电气系统	70
任务一 电源控制柜与照明控制柜	71
任务二 统型应急电源概况与整流器	76
任务三 统型应急电源充电机	78
任务四 统型应急电源应急控制系统	82
任务五 统型应急电源的故障与维修	84
任务六 车体配线	88
项目五 BSP 客车电气系统	94
任务一 概 述	94

任务二	BSP 客车供电系统	97
任务三	BSP 客车照明与视听系统	103
任务四	BSP 客车蓄电池充电机	105
项目六	接触网供电	110
任务一	接触网向列车供电方案	110
任务二	电力机车供电装置工作原理	114
项目七	25T 型客车电气系统	119
任务一	综合控制柜概况	120
任务二	综合控制柜的工作原理	124
任务三	综合控制柜的使用、维护与检修	128
任务四	TGF23 系列逆变器的组成、参数与原理	132
任务五	25T-2×35 kVA+12 kVA 逆变器的使用与故障	138
任务六	25T 型充电器概况与基本原理	144
任务七	TCP4-008/600 (L) 型 DC 110 V 充电机	151
任务八	TKB2-0035D/DC 110 (L) 单相逆变器	156
任务九	系统操作与故障处理	160
任务十	DC 600 V 车下电源装置的统型工作	167
项目八	时速 160 km 动力集中动车组电气系统	172
任务一	动力车电气系统	172
任务二	拖车电气系统	183
任务三	控制车电气系统	190
任务四	时速 160 km 动力集中动车组的维修	191
项目九	25 型客车主要电器装置	200
任务一	KSL3 型电热开水炉	201
任务二	TCL-12 型电开水炉	204
任务三	客车集便器	208
任务四	旅客列车信息显示系统	214
任务五	高原车制氧系统	218
项目十	塞拉门	224
任务一	塞拉门的机械结构	225
任务二	塞拉门控制原理	227
任务三	塞拉门门控器	231

项目十一 客车轴温报警装置	234
任务一 概 况	235
任务二 KZS/M-I 型集中式轴温报警装置的工作原理	238
任务三 KZS/M-I 型集中式轴温报警装置的操作与使用	243
任务四 KZS/M-I 型集中式轴温报警装置故障与处理	248
任务五 KZS/M-II 型集中式轴温报警装置	250
项目十二 TFX1 型电子防滑器	252
任务一 TFX1 型防滑器的结构与作用原理	253
任务二 TFX1 型电子防滑器的功能与操作使用	256
任务三 TFX1 型防滑器的常见故障与处理	260
项目十三 客车行车安全监控系统	264
任务一 KAX-1 型客车行车安全监测诊断系统	265
任务二 车厢级网络系统与主机	268
任务三 列车级通信网络与主机	273
任务四 列车级主机的显示界面及操作流程	276
任务五 常见故障与处理	281
任务六 列车防护报警和客车列尾系统	282
项目十四 客车自动监测装置	286
任务一 JYA-I 型交流在线绝缘检测装置	286
任务二 列车电气监控系统	290
任务三 火灾报警控制器	294

下 篇 实 训 篇

实训一 检测硬座车配线绝缘值	301
实训二 AC 380 V 电源柜与照明配电盘故障处理	306
实训三 25 型空调客车下部单车检查（静态）	312
实训四 电开水炉故障排除	317
实训五 MS730CP 电控气动塞拉门故障排除	325
实训六 TKDT 型综合控制柜故障处理	334

参考文献	343
-------------------	-----

上
篇

理论篇



项目一 铁路客车用蓄电池 ▶▶▶

项目描述

客车蓄电池供电是客车供电的辅助形式，本项目主要介绍了蓄电池的分类、TG型铅蓄电池的结构、工作原理和使用维护、GN型碱性蓄电池的结构、原理和使用维护。

学生应了解蓄电池的工作原理、基本结构、各部分的作用及其分类，学会正确使用维护蓄电池的基本技能。

学习目标

1. 知识目标：掌握 TG 型铅蓄电池和 GN 型碱性蓄电池的结构、工作原理。
2. 能力目标：能进行蓄电池充放电、容量检测等基本电池维修操作。
3. 素质目标：养成爱护设备的良好习惯；养成安全生产及规范作业的意识；养成善于沟通的团队意识。

相关案例

1995年7月3日，某电站铅蓄电池室发生燃爆事故，造成一巡检工死亡，充电设备和蓄电池室严重损坏。事故主要原因是该蓄电池室通风设备失效，造成室内氢气聚集，巡检工在巡检时抽烟，引起燃爆。

1995年12月14日深夜，某街道蓄电池修理店充电室发生火灾，造成店内临时搭床睡觉的两名员工严重烧伤，房屋和设备烧毁。火灾原因是该店前房为修理间，后房为充电室，充电室无通风设施，晚上门窗关闭，造成室内通风不良，因充电线路接头松动产生火花放电，先引爆室内聚集的氢气，后引发火灾。

任务一 客车供电装置概述

知识要点

- 铁路客车供电方式及供电制。
- 客车车体配线、位置命名及绝缘测量。

知识储备

为了满足旅客和乘务人员旅途生活需要和改善



视频



PPT

客车电气装置的组成、分类及我国客车供电装置的发展

车内卫生环境，在客车上设有一些电气装置，这些电气装置需要由供电设备供电并实行电气控制和检测，我们把这一类为电气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。这些电气装置按照功能不同分为客车供配电装置、客车用电装置和客车安全监测装置。

我国铁路客车供电装置大致经历三个阶段：第一阶段为 20 世纪 50 年代到 80 年代，是轴驱式发动机供电，是非空调客车（包括 21 型、22 型、25B 型及进口的 24 型车）上的电气装置，为客车的照明、通风、广播、轴温报警等装置供电。轴驱式发动机和蓄电池组并联供电，当发动机停止转动或低速转动时，由蓄电池供电。随着客车电气设备的不断增加，用电量越来越大，客车供电装置发展到以发电车供电为代表的第二阶段。第二阶段是柴油发电车供电，为空调客车上的空调等交流负载供电。空调客车的研制始于 20 世纪 60 年代，广泛普及于 20 世纪 90 年代，25G 型客车定型于 1992 年，25K 型客车定型于 1998 年，25T 型客车定型于 2004 年。第三阶段是机车 DC 600 V 供电。20 世纪 80 年代，中国铁路开始研究电力机车向客车供电技术，由电力机车或内燃机车提供两路 DC 600 V（ 2×400 kW）电源给空调旅客列车，在电气化区段，采用由电力机车集中供电、客车分散变流供电方式。非电气化区段，由 DF₁₁ 改内燃机向客车提供 DC 600 V 电源。与发电车相比，机车供电好处是符合国家能源政策，供电容量充足，能较好地改善客车旅行条件，并具有显著的经济效益和社会效益，是客车电气装置发展的方向。

一、我国铁路客车的供电方式及用电制

客车供电系统用于为车上用电装置提供电能，它有单独供电、集中供电和混合供电三种方式。



视频



PPT

客车供电方式

（一）单独供电

单独供电又称分散式供电。它是在单节客车上安装一套独立的供电装置。当车辆用电量较小时，也可以每两辆或三辆车共用一套独立的供电装置，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连接车内输电干线。客车单独供电有下述三种类型。

1. 蓄电池组供电

单独使用蓄电池组供电是根据车内负载的工作电压和功率，把若干个蓄电池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，电池放电至终止电压时，必须停止放电并进行充电，否则会因过放电而损坏电池。这种供电方式在用电量不大的客车上使用，国内运营的客车上不易见到。

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形式。我国旧型普通客车曾采用轴驱式的 L 型直流发电机，从 20 世纪 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发电机。轴驱式发电机的工作电压，当功率小于 3 kW 时为 24 V，功率为 3 ~ 10 kW 时为 DC 48 V，功率在 10 kW 以上时为 DC 110 V。

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，这种供电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客车，如长春轨道客车股份有限公司生产的 RW₂₂ 型空调软卧车和四方机车车辆股份有限公司生产的 YW₂₂ 型宿营车采用的就是这种供电方式。

(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，在非电气化区段，由列车中的发电车柴油发电机组提供；在电气化区段，可以由接触网通过电力机车主变压器提供。

1. 柴油发电车供电

由发电车的柴油发电机组集中供电时，供电电压一般为线电压 400 V、相电压 230 V 三相电、50 Hz，通过车端连接器向连挂的客车分二路送电，输电干线压降应不大于 5%。这种供电制式的优点是用电负载（如异步电动机和日光灯以及控制电器与保护元件等）可直接采用民用产品，但输电电流与所需的三相四线制输电干线截面面积都较大，干线穿管施工难度较大，对联结器的插头和插座间接触电阻要求非常严格（小于 0.000 8 Ω）。因此，在可能的条件下应将供电干线电压提高。

2. 接触网供电

由于我国目前的主型客车已从 22 型转换为 25 型，越来越多的全列空调旅客列车运行在全国铁道干线上，因而集中供电的方式已成为列车供电的主要形式。

我国电气化铁路供电的额定电压为单相工频 25 kV，波动范围为 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容量为 800 kV·A、串联电压为 3 kV（并联为 1.5 kV）的电。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，其用电负载的特点是：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。

（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。

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。

二、车体配线

车体配线是客车供电装置的重要组成部分，它的作用是将供电装置、用电设备和控制保护装置连接成一个完善的电气回路，把电能安全可靠地输送到用电设备中去。客车车体配线，根据供电方式的不同分为分散式供电系统客车车体配线和集中式供电系统客车车体配线；按用途可以分为电力配线和广播配线两个系统；按车体配线在车辆中所在的部位分为车上配线和车下配线两个部分。车上配线即装在客车地板以上的供电线路，敷设在车内侧壁或车顶棚的间壁内，将电能通过配电盘分送到各用电设备；车下配线即设在地板以下的供电电路，敷设在贯穿车底的电线管内，通过分线盒和电气连接器沟通车辆间的电力系统。



视频



PPT

配线、车电命名、绝缘测量

三、车电装置位置命名方法

为了便于铁路车辆检修，对于车辆及其配件都规定了一定的方位。车辆的方位分为 1 位和 2 位。配件则根据车辆方位再按同类配件的前后左右进行分位。

车辆的分位是以制动缸活塞伸出的方向来决定的，其伸出方向为 1 位或 1 位车端。如图 1-1 所示。为了便于识别，在车体两端脚踏架外侧用白色油漆喷涂有定位标记“1”和“2”。

根据车端的定位标记，即可对各个车电机具的位置进行命名，具体规定如下：

（1）图 1-1 所示为沿车体长度方向单向排列的车电装置，按位置称呼法所列的车电机具。沿车体长度方向单行排列，如顶灯、顶扇、床灯及通过台灯，应自 1 位车端顺次数到 2 位车端，称之为第×位××机具，如图 1-1（a）所示。

（2）沿车体长度左右对称排列或虽不对称但数量较少的，如壁灯、壁扇、识别灯、电气连接器、播音连接器、厕所灯及侧灯插座等，可立于 2 位车端，面向，1 位车端，自 1 位车端右侧开始，交替数到 2 位车端，称为×位××机具，如图 1-1（b）所示。

（3）关于蓄电池及分线盒，应按第（2）条判断左右的方法，称右侧为 1 位侧，左侧为 2 位侧。每侧分别由 1 位端数到 2 位端，称之为×位侧第×位××机具。如图 1-1（c）所示。

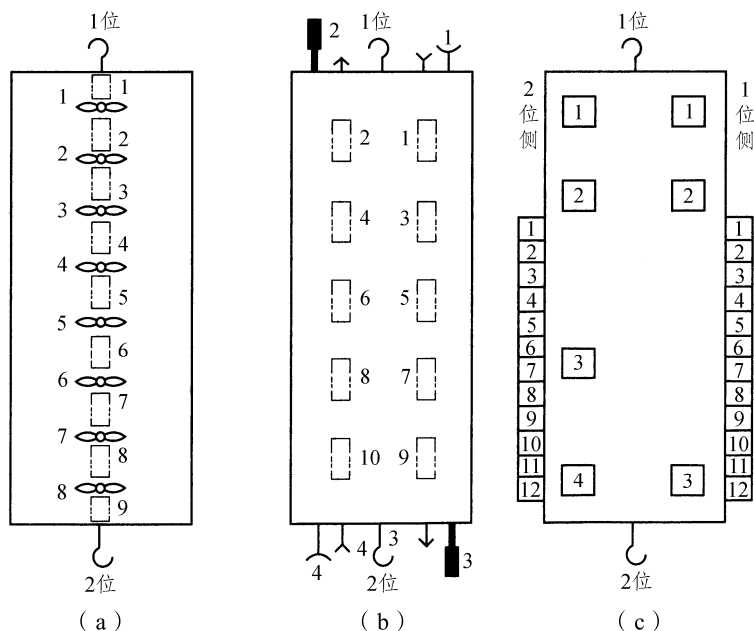


图 1-1 车电装置的位置称呼法

总之，除蓄电池和分线盒外，数量在 2 个或 2 个以上的车电机具，可以立于 2 位车端，面向 1 位车端，由近及远，由右到左顺序定位。对于数量仅有的一个的车电机具可直呼其名。

四、车体配线绝缘电阻的测量

车体配线绝缘的检测方法常用的有导线接地（又称打火法）、灯泡接地（又称亮灯法），但这两种方法只能粗略地判断漏电程度，不能准确地反映绝缘电阻值的大小。

目前，车体配线的绝缘性能常用 100 V 或 500 V 兆欧表来测量或使用直读式绝缘电阻检测表，图 1-2 所示为这种检测表的外形结构图。它是由下述三个部分组成的。

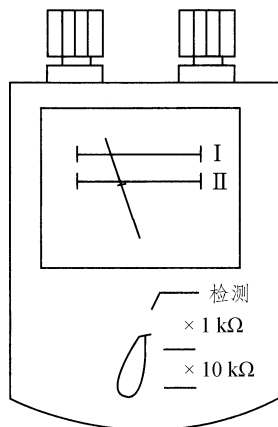


图 1-2 直读式绝缘检测表

(1) 接线柱，为了方便检测，接线柱一个接地，另一个接车体正线或负主线。

(2) 表头, 采用磁电式直流微安表。

(3) 转换开关, 它分为如下三挡:

- ① “检测”位置——检测绝缘是否接地或绝缘是否合格, 在刻度线读数;
- ② “ $\times 1 \text{ k}\Omega$ ”位置——检测全列车的绝缘用, 在刻度线读数;
- ③ “ $\times 10 \text{ k}\Omega$ ”位置——检测母车与子车的绝缘用, 在刻度线读数。

客车车体配线的绝缘测量, 用 500 V 级绝缘电阻计测量正负两线间及各车体间的绝缘电阻值应符合表 1-1 的规定。

表 1-1 客车车体配线的绝缘测量值

单位: $\text{M}\Omega$

电线类型		相对湿度			
		$\leq 60\%$	61%~70%	71%~80%	$\geq 80\%$
电力配线(24 V/48 V)		0.2	0.12	0.08	0.024
播音线		1	0.7	0.3	0.1
交流配线	100 V 以下	1	0.75	0.25	0.1
	100 V 以上	2	1.5	0.75	0.25

任务二 客车蓄电池分类

知识要点

- 客车用铅蓄电池的分类。

知识储备

20 世纪 50 年代以前, 铁路车辆上使用的蓄电池是酸性铅蓄电池, 其特点是: 规格型号多, 电气性能和技术经济指标比较落后, 采用涂膏式极板, 体积、重量大, 维修保养工作量大, 不便于拆装。

20 世纪 60—90 年代, 客车上基本使用了 TG 型蓄电池。这种蓄电池的电气性能和技术经济指标都有了改进和提高。它的极板结构是把阳极板结构做成层状, 大大提高了使用寿命。但因 TG 型蓄电池仍属酸性铅蓄电池, 它的固有缺陷无法克服, 如对环境的污染等。为了解决酸性电池存在的问题, 1986 年铁道部组织有关部门和单位进行探讨, 选择了碱性蓄电池作为客车供电电源。20 世纪 90 年代, 客车蓄电池开始使用碱性蓄电池。

目前, 国际上正积极研制开发用于高速列车供电电源的燃料电池。燃料电池是直接將燃料能源转化为电能的电池设备, 燃料电池基于电化学反应而不是燃烧供能, 因此具有“高效低噪、无辐射”的特点。氢燃料电池正被用于针对轿车、公共汽车和卡车的技术开发中。该项研究有助于提高能源效率, 通过降低对进口石油的依赖而增强国家能源安全性以及改善环境质量。

客车蓄电池按用途分为供电蓄电池、启动蓄电池两类; 按电解液性质分为 TG 型酸性铅蓄电池及 GN 型碱性镉镍蓄电池。

一、供电蓄电池

普通客车及德国进口空调客车采用轴驱式发电机与蓄电池组并联供电。当车辆停站或低速运行时，轴驱式发电机尚未建立足够电压，车上的电灯、电扇、电动水泵以及空调机组均由蓄电池组供电。普通客车采用 48 V 直流电源，蓄电池组由 24 只蓄电池串联而成；空调车采用 110 V 直流电源，由 56 只铅蓄电池或 78 只镉镍蓄电池串联而成。

DC 600 V/380 V 兼容集中供电空调客车为了保证照明、通风及控制电器使用不间断电源，采用 110 V 供电装置。这种装置由充电器、蓄电池组等部件组成。其中，蓄电池组采用 78 节中倍率碱性蓄电池，200 km/h 电力动车组采用镉镍免维护电池，额定电压为 93.6 V，容量为 100 A·h，额定充电电压为 115 V，最大允许充电电流为 25 A。充电器将 600 V 直流电变换成 110 V 直流电，向蓄电池充电的同时，向 110 V 用电负载供电。当摘挂机车或停电时，由蓄电池为照明、通风及控制电器等供电。

二、启动蓄电池

发电车和带有空调装置的软卧车或公务车中的柴油机发电机组，用启动蓄电池驱动直流电动机启动柴油机，使柴油机转速达 100 r/min 以上。

启动蓄电池具有大电流（400 ~ 1 000 A）放电、蒸馏水消耗多、充放电频繁的工作特点。

任务三 TG 型铅蓄电池

知识要点

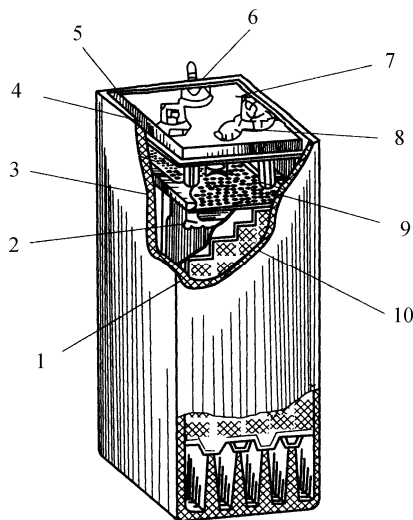
- 客车用铅蓄电池的工作原理、基本结构、各部分的作用及分类。
- 正确使用维护蓄电池的基本技能。

知识储备

蓄电池是一种化学电源，它可以把电能转变为化学能储存起来，使用时再把化学能转变为电能释放出去，前者称作充电，后者称作放电。蓄电池的充、放电是可逆的，可以反复使用，这是蓄电池和其他化学电源的主要区别之一。蓄电池根据极板所用材料和电解液性质的不同，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 表示采用管式正极板）。

一、TG 型铅蓄电池的构造与电化学反应方程式

TG 型铅蓄电池的结构如图 1-3 所示。



1—负极板群；2—正极板群；3—电池槽；4—极耳卡；5—沥青封口；
6—浮标；7—电池盖；8—注液孔盖；9—防护板；10—隔板。

图 1-3 TG 型蓄电池结构图



视频



PPT

TG 型铅蓄电池

(1) 正极板群：为增大蓄电池的容量，获得较大的放电电流，蓄电池的正极极板由 10 片组成。每片正极板又由板栅铅芯、套管和作用物质三部分构成。

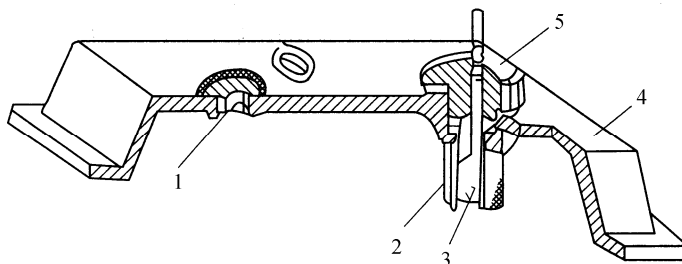
(2) 负极板群：负极板群是由 11 片涂膏式负极板组成，每片负极板由栅格状基板和铅膏两部分构成。在蓄电池极板群的制作中，均令负极板片数比正极板片数多 1 片，这是由于蓄电池在放电时正极板上的二氧化铅 (PbO_2) 要变成硫酸铅 ($PbSO_2$)，作用物质体积发生膨胀，如果正极板和负极板数量相同，放电时最外侧的一块正极板只一面发生作用，易产生单面膨胀造成极板弯曲。

新造蓄电池在工厂内要进行化成充电，其目的是要使两极板上的作用物质（此时的极板为生板）电化成有用的作用物质，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。经化成后的正、负极板群在其极板表面不仅积聚了有效的作用物质，而且也构成了电池在充放电过程中的电流通路。

(3) 隔板：隔板用来隔离正、负极板，防止它们互相短接。

(4) 电池槽：电池槽是盛装极板群和电解液的容器，其底部有支持极板的脚垫，以防止作用物脱落造成极板底部短接。

(5) 电池盖及浮标如图 1-4 所示。

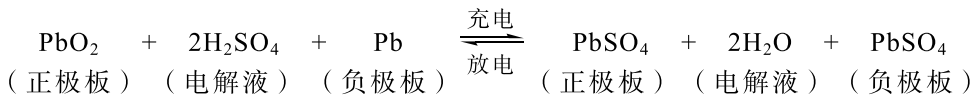


1—注液孔；2—浮标套；3—浮标；4—电池盖；5—浮标孔盖。

图 1-4 电池盖及浮标结构图

电池盖上有极耳孔、注液孔及浮标孔，浮标孔盖中央处装有浮标套、浮标和浮标孔盖，浮标是指示电解液液面高度的装置，它的上部有三条指示线，中间为蓝色，其余两条为红色。当蓝色指示线与浮标孔盖顶面在同一水平时，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，遇此情况应对液面高度进行调整。注液孔上旋有注液孔盖，其侧面有排气孔。注液孔盖旋下后可以给电池补液，充电时电池内产生的气体可从排气孔排出。蓄电池全部组装好后，用沥青将盖与槽封固，防止进入灰尘和电解液溢出。

(6) 铅蓄电池的电化反应方程式：



当蓄电池放电时，蓄电池的放电应放到规定的终止电压即停止，也就是说蓄电池不宜过度放电（简称过放电）。蓄电池过放电时，容易使有效作用物质混在一起的微小硫酸铅结晶形成较大的晶粒，增大极板电阻，再充电时很难还原，甚至结晶到一定程度后，将导致蓄电池容量严重下降。

当蓄电池充电终期时，由于正负极板上的硫酸铅（ PbSO_4 ）大部分已被还原成二氧化铅（ PbO_2 ）和海绵状铅（ Pb ），若再继续充电，充电电流只能起到分解水的作用，结果在负极板上有氢气（ H_2 ）逸出，在正极板上则有氧气（ O_2 ）逸出，造成强烈的冒气现象。因此，蓄电池充电终期应注意充电电流不宜过大，否则会产生强烈气泡，造成极板上的作用物质脱落，影响蓄电池的寿命。

二、电解液

电解液是电池进行电化学反应的参加物和内部导电的条件。铅蓄电池的电解液是用浓硫酸和纯水按一定比重调制而成的稀硫酸。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%，所用的水必须是经过净化的水（如蒸馏水），不能用自来水和其他天然水代替。其中蒸馏水中氯离子含量不得大于 5.5 mg/L，铁离子含量不得大于 5.0 mg/L，蓄电池用蒸馏水作电导实验时，其绝缘值应大于或等于 0.3 M Ω 。TG 型电池充电后的比重一般选为 1.260 ± 0.005 （ 30°C ）；放电后的比重不宜过低，一般选为 1.150（ 30°C ）。

三、铅蓄电池的特性

1. 电动势

在实际运用中，铅蓄电池的电动势可按 $E=0.85+d$ （V）计算，式中， d 是电解液在极板有效物质细孔中的比重值（ 15°C ）。在充电或放电终了后的一段不长的时间内，蓄电池的电动势在充电后略有降低，在放电后则略有升高。

蓄电池的电动势在静态时均为 2.00 ~ 2.06 V，一般按 2 V 左右计算。

2. 端电压

蓄电池的端电压随电池充放电的状态而变化。放电时端电压降低，充电时端电压要比电动势高，相差的数值等于放电电流或充电电流在电池内阻上的电压降。

3. 容量

蓄电池由充电充足状态放电至规定终止电压时所放出的总电量为蓄电池的容量，它代表蓄电池的蓄电能力。当蓄电池以恒定电流放电时，它的容量 C 等于放电电流值 $I_{\text{放}}$ 和放电时间 $T_{\text{放}}$ 的乘积，单位为 $A \cdot h$ ，即： $C = I_{\text{放}} T_{\text{放}}$ 。蓄电池的容量大小与很多条件有关，如：蓄电池的充电程度、放电电流、放电时间；电解液的比重、温度；电池的效率和新旧程度以及蓄电池极板表面进行电化反应时参加反应的作用物质的多少等。影响运行中蓄电池容量的主要因素有以下两个方面：

(1) 放电率：蓄电池放电至终了电压的快慢叫作放电率。放电率可以用放电电流的大小或者放电至终了电压的时间长短来表示。例如：一只 $315 A \cdot h$ 容量的蓄电池，以 $52.5 A$ 电流放电， $6 h$ 后达到终了电压。此时，如用电流表示放电率为 $52.5 A$ 率；如以时间表示，则为 $6 h$ 率。一般放电率多用时间表示。

(2) 电解液温度：电解液温度高时，蓄电池容量增大。反之容量下降。

为了统一考察蓄电池的容量，根据检修规程的规定，TG 型蓄电池的额定容量是以电解液平均温度为 $30^{\circ}C$ ($6 h$ 率) 的放电容量为标准。

4. 内阻

蓄电池的内阻包括极板的电阻、电解液的电阻，以及作用物质细孔内所含电解液的电阻等，其中主要是作用物质的电阻和电解液的电阻。蓄电池的内阻与电解液的温度成反比，温度高时内阻小，温度低时内阻大。此外，电池的内阻还随电池充放电程度而变化，充电时内阻逐渐减小，放电时内阻逐渐增大。

5. 自放电

蓄电池在外电路开路时其容量的无益消耗称为自放电。造成铅蓄电池自放电的因素很多，如负极板海绵状铅的自动溶解，正极板二氧化铅的自动还原和电解液中混有有害杂质等，都能引起自放电的产生。

6. 效率

表示蓄电池电量或能量利用程度的百分数称为蓄电池的效率。蓄电池的效率的表示方法有两种，即安时效率和瓦时效率：

$$\text{安时效率} = \frac{I_{\text{放}} T_{\text{放}}}{I_{\text{充}} T_{\text{充}}} \times 100\% = \left(\frac{Q_{\text{放}}}{Q_{\text{充}}} \right) \times 100\%$$

$$\text{瓦时效率} = \frac{I_{\text{放}} T_{\text{放}} V_{\text{放}}}{I_{\text{充}} T_{\text{充}} V_{\text{充}}} \times 100\% = \left(\frac{W_{\text{放}}}{W_{\text{充}}} \right) \times 100\%$$

蓄电池的安时效率一般能达到 $85\% \sim 90\%$ ，瓦时效率能达到 70% 。

四、铅蓄电池充放电工作

蓄电池的充放电工作是蓄电池检修过程中的重要环节。通过它可以检查蓄电池定检后的技术状态，同时恢复电池的容量。充、放电工作的质量对蓄电池的运用性能和使用寿命影响很大。蓄电池的充电方法有定电流充电法、定电压充电法和分级定电流充电法几种，客车电池定检中的充电均采用分级定电流充电法。几种经常进行的充放电工作的意义分述如下：

1. 初充电

初充电指新造电池使用前的第一次充电。目的是恢复新造电池在化成后的部分放电和极板作用物质未被化成的部分充分化成。

2. 普通充电

普通充电指运用电池因放电或经过检修后为恢复容量而进行的充电。

在上述两种充电过程中，如遇到电池温度接近 45°C 时应适当减小电流或采取降温措施，通常采用强通风冷却或事先将电池放在水槽中用循环水降温。充电时电解液的温度不得超过 45°C 。

3. 放电试验

(1) 容量放电：经过定期检修的蓄电池，为了检查第一次充电后的容量，应进行全容量的放电，称为容量放电。根据试验结果，可以了解充电的质量和运用电池自上次定检以后的使用情况。当测得的实际容量低于标称容量的 70% 时，一般不再装车使用。容量放电以 6 h 率电流进行放电，终止电压为 1.75 V。同车蓄电池的容量差不超过 10%。

(2) 准放电：凡实行定期检修并需分解的蓄电池，应首先进行一次部分容量的放电，称为准放电。准放电以 6 h 率电流进行放电，终止电压为 1.9 V。

4. 补充电

在列车上运用的电池，当遇到某些特殊情况，如列车中途意外停车或列车编组母车不足，以及长期停用的母车电池自放电严重等，造成电池容量过少时，可在车库内进行补充电。补充电所用电流的大小，根据电池的具体情况而定，一般以 10 h 率为宜。

任务四 GN 型碱性蓄电池

知识要点

- 客车用 GN 型碱性蓄电池的工作原理、基本结构、各部分的作用及分类。
- 正确使用维护蓄电池的基本技能。



视频



PPT

GN 型碱性蓄电池

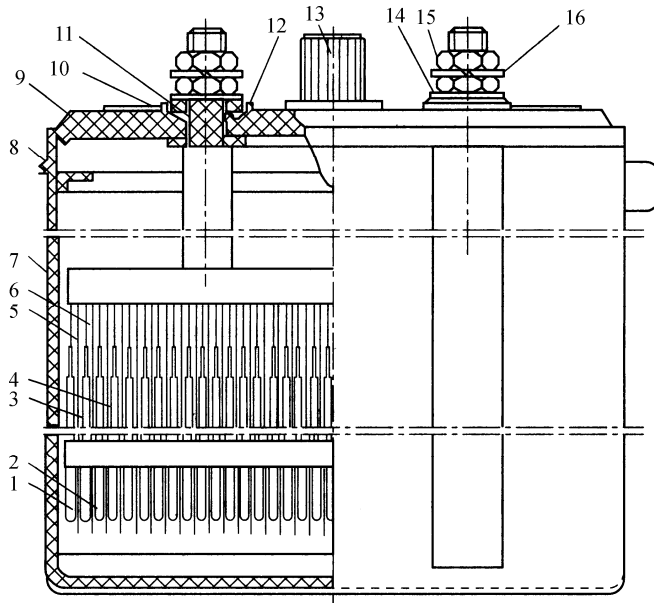
知识储备

碱性镉镍蓄电池具有腐蚀性小、环境污染小、自放电小及低温性能好、寿命长等优点。碱性蓄电池由于极板活性物质的不同，分为铁镍蓄电池、镉镍蓄电池、银锌蓄电池等，按极板结构可分为有极板盒式和无极板盒式；按外形结构可以分为开口式和密封式。镉镍蓄电池在铁路客车上的运用越来越广泛。目前使用较多的为 GN-300 型、GN-450 型等，其中 G 为负极材料镉的代号，N 为正极材料镍的代号，300 或 450 为蓄电池的容量。

一、镉镍蓄电池的构造与电化学反应方程式

1. GN 型碱性蓄电池的结构（见图 1-5）

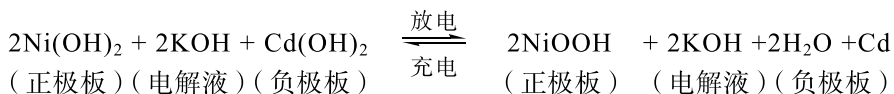
客车用的镉镍蓄电池为方形开口袋式，主要由正极板、负极板、隔离物（隔膜）、壳体和电解液五大部分组成。



1、2—负极板组；3、4—正极板组；5、6—隔膜；7—壳体；8—塑料内盖；9—塑料盖；10—极柱密封；11—极柱套管；12—金属垫圈；13—装配气塞；14—金属垫圈；15—六角螺母；16—波形弹簧垫。

图 1-5 GN 蓄电池结构

2. 电化学反应方程式



二、主要性能参数及技术要求

1. 电压

(1) 充电电压：指电池在充电时两极的电位差，即 $U_{\text{充}} = E_0 + I_{\text{充}} R_{\text{内}}$ 。

(2) 放电电压：指电池在放电时两极的电位差，即 $U_{\text{放}}=E_0-I_{\text{放}}R_{\text{内}}$ 。

(3) 额定电压：指放电过程中的平均电压。目前国际电工协会 IEC 标准规定：镉镍系列电池单只额定电压为 1.2 V。

2. 容量

容量定义与铅蓄电池相同。

3. 放电率

放电率即放电速率，碱性电池通常分为“时率”和“倍率”。

时率即按规定小时数放完额定所需的电流强度值，如 GN300 电池，额定容量为 300 A·h。按 5 h 率放电的电流强度值为

$$I=\frac{C_{\text{额}}}{5}=\frac{300\text{ A}\cdot\text{h}}{5\text{ h}}=60\text{ (A)}$$

倍率即为以额定容量值的若干倍电流（数值）放电的电流强度。如 GN300 电池以 0.2 倍率放电的电流强度为 $0.2\times 300=60\text{ A}$ ，可表示为

$$0.2C^5\text{A}=60\text{ A}$$

式中， C^5 为以 5 h 率放电的容量，一般以额定容量计算。

4. 自放电率

自放电率的定义与铅蓄电池相同。镉镍蓄电池在室温下充电后，在 $(20\pm 5)^\circ\text{C}$ 环境中搁置一个月，电池的剩余容量不低于额定容量的 90%，其放电率不大于 25%，搁置 1.5 ~ 2 个月就完全停止自放电，容量一直在额定容量的 75% 左右。

5. 寿命

蓄电池每充、放电一次叫一次循环，按 IEC 标准进行寿命实验，循环次数不小于 500 次，一般在 1 000 次以上。

6. 保存期

蓄电池的保存期为四年，其性能应符合上述主要电气性能要求。

7. 外观要求

蓄电池塑料外壳应整洁，所有金属零件应镀镍，极柱、螺母，金属垫圈应涂一层凡士林油。

8. 气塞密闭性要求

将电解液放入蓄电池中，使液面高出极板 50 ~ 60 mm，拧上气塞，蓄电池倾斜 30° 不漏液。

三、镉镍蓄电池的段修

1. 对照表 1-2 检查电解液

- (1) 用浮标测试电解液的比重（一般测试 3~5 只电池），如不符合要求应进行调整。
- (2) 测电解液的碳酸根含量。
- (3) 蓄电池以 1/5 额电流恒流放电至 1.0 V/只，倒出电解液，在确保电池内部清洁后注入所需的新电解液进行充电。放电时电解液的温度不得超过 45 °C。

2. 检查电池容量

当电池容量低于 70%时，视为寿命终止，三次循环一次符合要求即可。同车蓄电池的容量差不超过 10%。

3. 把电池按容量分类

段修时同一客车蓄电池容量相差不大于 10%；大修时，酸性蓄电池容量差不超过 5%，碱性蓄电池不超过 8%。

4. 装车前的充电

将电池按容量分类后，注入电解液，静置 2 h 后，调整液面，然后用 1/5 的额定电流恒流充电，当充入的电量为 160%时停止充电，静置 2 h 后，拧上气塞并用棉纱将蓄电池外表擦干净，待装车运用。

表 1-2 镉镍蓄电池用电解液技术要求

项目	标准			
	新电解液		使用的极限值	
外观	无色、透明、无悬浮物			
比重（15 °C）	1.19~1.21		1.19~1.21	
含量	KOH	240~270 g/L	KOH	240~270 g/L
	NaOH	215~240 g/L	NaOH	215~240 g/L
Cl ⁻	小于 0.1 g/L		0.2 g/L	
CO ₃ ²⁻	小于 4 g/L		30 g/L	
Ca Mg	0.1 g/L		0.3 g/L	
氨沉淀物（以 Al 计）				
Al/KOH Al/NaOH	小于 0.02 g/L		0.02 g/L	
Fe/KOH Fe/NaOH	小于 0.03 g/L		0.03 g/L	

复习思考题

1. 写出 TG 型铅酸蓄电池充、放电过程的电化反应方程式，并标明其极性。
2. 写出 GN 型碱性蓄电池充、放电过程的电化反应方程式，并标明其极性。
3. 什么叫容量？影响其大小的因素有哪些？
4. 碱性蓄电池相比酸性蓄电池有哪些优点？
5. 简述镉镍蓄电池段修的主要技术要求。

项目二 轴驱式发电机供电 ▶▶▶

项目描述

22 型客车是中国铁路第二代主型铁路客车,于 1956 年开始设计、试制,1959 年生产,1994 年停止生产。其主要供电方式就是轴驱式发电机供电。本项目主要学习 J₅ 型感应子发电机的构造、工作原理、发电机工作特性及使用维护,KP-2A 型控制箱的稳压原理。

学习目标

1. 知识目标:掌握感应子发电机和 KP-2A 型控制箱的结构、工作原理。
2. 能力目标:能进行发电机特性试验、控制箱的电压调节操作。
3. 素质目标:养成爱护设备的良好习惯;养成安全生产及规范作业的意识;养成善于沟通的团队意识。

相关案例

2015 年 8 月 3 日,南昌局南昌车辆段担当的 T8001 次(南昌—赣州,编组 10 辆)旅客列车在南昌客整所停留期间,4 号车 YZ_{25K}345865 车厢内发生火灾。晚开 31 min,影响本列。公安消防部门勘察发现,2 位角 DC 48 V 照明灯处剩磁为 10 高斯(Gs),灯带吊架处有熔珠。根据公安初步结论,起火的原因为应急照明灯配线受挤压导致绝缘下降,在形成回路的情况下触铁打火,引燃车顶板内可燃物而导致火灾。

任务一 客车感应子发电机

知识要点

- 客车感应子发动机的工作原理、基本结构、发动机的特性。
- 感应子发动机的性能试验、发动机悬挂松紧的调节。



视频



PPT

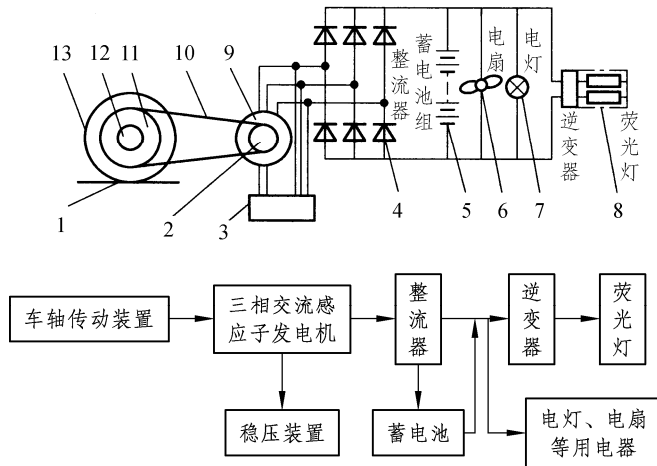
轴驱式发电机供电系统组成及轴驱式发电机工作原理

知识储备

轴驱式发动机供电装置是我国在 20 世纪 60 年代引进设计的一种用于铁路客车的供电装置。这种供电装置采用轴驱式交流感应子发电机和蓄电池组并联供电。列车运行时,车辆的轮轴通过皮带或万向轴传动装置带动三相感应子发电机工作,发电机输出的三相变频交流电经硅整流后,供车上的电气负载使用,并向蓄电池组充电,列车停站时,由蓄电池组向车上的电气负载供电。因为这种供电装置中的发电机是由车轴驱动的,所以称为轴驱式发电机供电装置。

轴驱式发电机供电装置分为轴端皮带轮带动的 J_5 型感应子发电机,输出电压为 48 V; 万向轴带动的 110 V 发电机两种。本章主要介绍 J_5 型感应子发电机的结构和原理、KP-2A 型可控硅电压自动调整装置。

目前,22 型普通客车普遍采用车轴驱动交流发电机供电装置,其电气系统主要由蓄电池、 J_5 感应子发电机、KP-2A 型控制箱、客车电扇、客车照明、逆变器,以及车体配线等组成。其供电系统的基本组成和原理如图 2-1 所示。



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。

图 2-1 22 型车轴驱式发动机供电系统图

行车时,发电机输出的三相交流电首先经过桥式整流电路整流,然后通过车体配线送给车上各种负载,包括直流负载和交流负载。向交流负载(荧光灯)供电时须经逆变器将直流电变换成交流电后方可使用。除了向车上负载供电外,还需向蓄电池充电。发电机输出电压的稳定及蓄电池充电电流的大小由控制箱来控制。列车停车或低速运行时改由蓄电池供电。

在客车车轴式交流发电机供电装置中,主要采用了感应子发电机。它属于同步交流发电机的一种,具有结构简单、维护方便、重量轻、功率大等优点。客车感应子发电机按功率可分三种,即 3 kW (J_3 型)、5 kW (J_5 型)、7 kW (J_7 型),分别适用于用电量不同的客车。目前用得最多的是 J_5 型。感应子发电机的主要技术数据如表 2-1 所示。

表 2-1 感应子发动机的技术数据

项目	额定功率	额定电压	额定转速	频率	相数
参数	5 kW	60 V (整流后)	850 ~ 3700 r/min	85 ~ 370 Hz	3

一、感应子发电机的构造

感应子发电机由机座、端盖、轴承及轴承盖、定子铁心、激磁绕组及电枢绕组和转子等部分组成。外形如图 2-2 所示，其结构如图 2-3 所示。

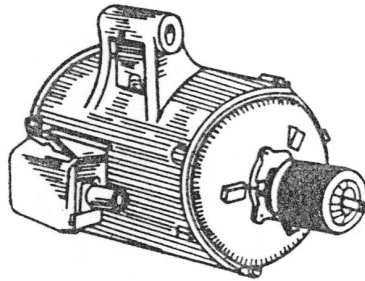


图 2-2 J₅型感应子发电机外形图

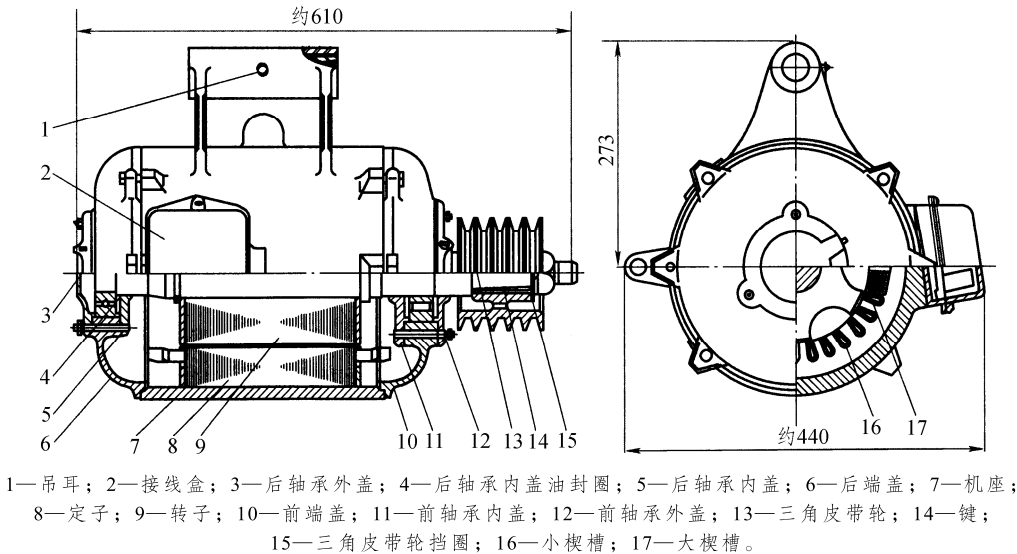


图 2-3 J₅型感应子发电机结构图

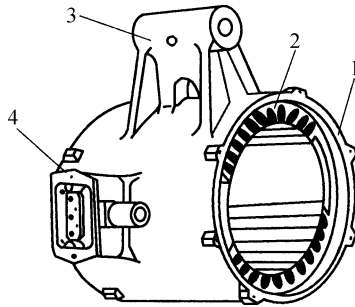
1. 机座

机座是整个发电机的支持架，承受着定子和转子的全部重量，用 QT40-10 球墨铸铁铸造。机座上有一吊耳，用以将电机悬挂在吊架上。吊耳孔内镶有表面硬化钢套或尼龙套，套孔内径为 $\phi(32.2 \pm 0.1)$ mm，套壁厚为 4 mm。吊耳上有一注油孔。

机座上在发电机引出线端装有接线盒。

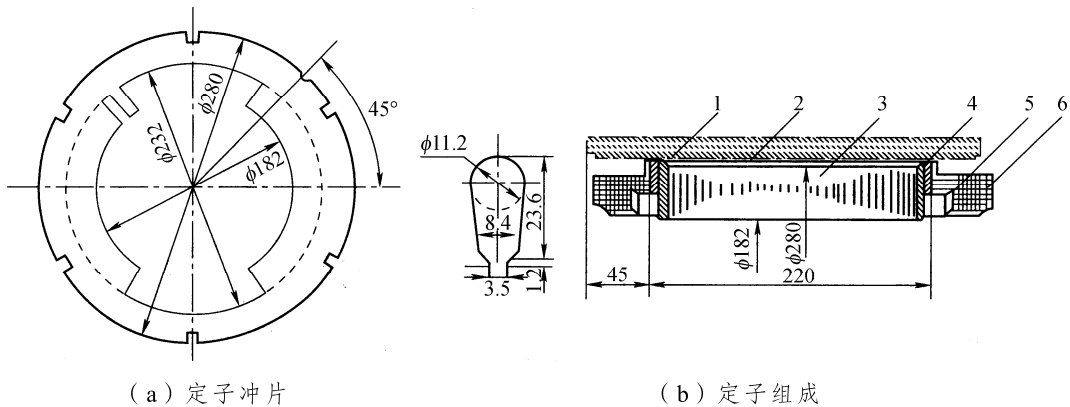
2. 定子铁心

定子铁心压装在机座内腔，用以嵌放电枢绕组和激磁绕组，同时也是电机磁路的组成部分。由硅钢片冲片叠压而成。它的内圆周上有 2 个大槽用来嵌放激磁绕组，22 个小槽用来嵌放电枢绕组（见图 2-4）。它的外周上有 6 个鸠尾槽，两端有定子端板和定子压圈各 1 块。定子冲片（见图 2-5）、端板及压圈叠压紧密后在鸠尾槽上插入夹片，夹牢后焊固而成为一个整体。



1—机座；2—定子芯片；3—吊耳；4—接线盒。

图 2-4 机座及定子铁心



(a) 定子冲片

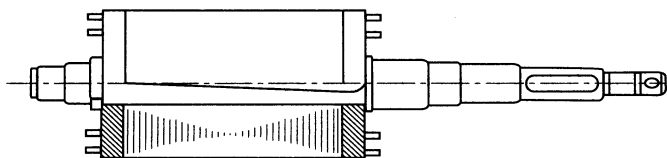
(b) 定子组成

1—定子端板；2—定子夹片；3—定子冲片；4—定子压圈；5—激磁线圈；6—电枢线圈。

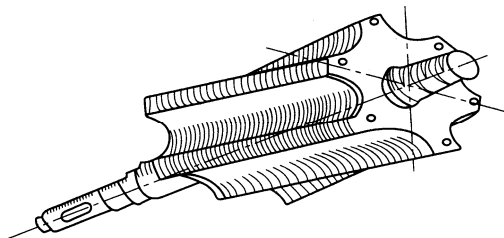
图 2-5 定子冲片及定子组成

3. 转子

转子的作用是在旋转时改变了发电机气隙中的磁通密度，使电枢绕组中产生感应电势。转子由转轴和转子铁心组成。当转子旋转时，改变了发电机气隙中的磁通密度，使电枢绕组中产生感应电势。转子铁心也采用硅钢片冲片叠压而成，目的是减少涡流损失。转子冲片的外圆周上均布有 6 个凸齿和凹槽。转子的轴用 45 号碳素钢旋制而成，轴上开有一个沿轴向倾斜 $1^{\circ}10'$ 的斜键槽。转子组装时冲片沿斜键套装在轴上，使转子的凸齿成为斜齿，其目的是改善电机输出电势的波形，同时也减少电机的附加损耗和噪声。转轴上具有 1:10 锥度的一端供安装皮带轮用。如图 2-6 所示。



(a) 转子组成



(b) 转子斜齿

图 2-6 转子组成及转子斜齿

4. 激磁绕组和电枢绕组

激磁绕组用以产生发电机的主磁场,由两个线圈串联组成,每个线圈用两根 $\phi 1.25\text{ mm}$ 的高强度漆包线并绕 150 匝。激磁绕组中通入直流电产生发电机工作主磁通。常温下激磁绕组的总电阻为 $2.3\ \Omega$,允许长时间通过的最大激磁电流为 9 A 。

电枢绕组(又称工作绕组)的作用是产生感应电势并对外输出电能。它共有 12 个线圈,每 4 个接成一相。24 V 供电时每 4 个线圈并联,48 V 供电时每 2 个线圈先串联后再并联。

激磁绕组的 2 个线圈放在定子铁心的两个大槽内,嵌好后用铝制的槽楔楔紧。两线圈采用顺向串接,通入电流后它们产生的磁通方向相同。电枢绕组的 12 个线圈嵌放在定子铁心的小槽内,并用石蜡煮过的竹制槽楔楔紧。在 J_5 型发电机中,每一激磁线圈所包围的定子铁心部分都与两个转子齿距相对应,转子转至任一位置时,与激磁线圈所包围的定子铁心部分相对应的转子凸齿总数始终是两个。

5. 端盖、轴承盖及轴承

发电机有前后端盖各一个,每一盖上装有轴承及轴承内外盖。端盖及轴承内外盖都由灰铸铁铸造而成。内外轴承用螺钉固定在端盖上,前后轴承盖上均设有注油孔。前轴承用 32311 型滚柱轴承,后轴承采用 309 型滚珠轴承。端盖是电机轴和轴承的支座,同时对电机具有密封和散热作用。

二、 J_5 型发电机的工作原理

J_5 型发电机属于交流感应子发电机,其基本工作原理是:当激磁绕组内通过直流电流时,电机内产生主磁通,磁力线经过定子齿 \rightarrow 气隙 \rightarrow 转子齿 \rightarrow 气隙 \rightarrow 定子齿而构成磁路。发电机工作时,转子不断旋转,通过电枢绕组的主磁通发生变化,磁通随着转子凸齿的旋转而运动,因此电枢绕组切割磁力线而产生交流感应电动势。转子旋转一周,电枢绕组的

感应电动势就变化 6 周，发电机就相当于有 6 对磁极，所以该电机电势的变化频率 f 可按下式计算，即

$$f = \frac{zn}{60} (\text{Hz})$$

式中 z ——转子凸齿数；

n ——发电机的转数。

由于各电枢绕组的两有效边轮流被感应，而且极性和运动方向相同，结果每个工作绕组都感生交变电势。由于三相绕组嵌线相差 120° 机械角，故发电机感生相位差互为 120° 电角度的三相对称交流电。

三、J₅ 型感应子发电机的工作特性

影响发电机端电压的因素有：发电机的激磁电流 $I_{\text{激}}$ 、发电机的转速，以及发电机的负载电流 $I_{\text{负}}$ 。

转速变化时，单位时间内通过电枢绕组的磁通量也要变化。电枢绕组上有负载电流通过时，由于电枢反应，将使主磁通削弱；另外，内阻的存在还会引起内部电压降。调节激磁电流，则发电机的磁通量就发生变化，从而使发电机端电压变化。

这四个参数间的相互变化关系称为发电机的特性，如用一组曲线来表示，就得到发电机的特性曲线。

1. 空、负载特性

在图 2-7 中，使 $I_{\text{负}}=0$ ，令发电机转速 n 为常数，改变激磁电流 $I_{\text{激}}$ ，测量发电机的端电压（即电动势 E ）便可得到发电机电动势随激磁电流变化的关系曲线，此曲线就是空载特性曲线，如图 2-8 所示。该曲线的特点是，当 $I_{\text{激}}$ 很大时，发电机电动势出现明显的下降，这一现象是由磁饱和现象引起的。

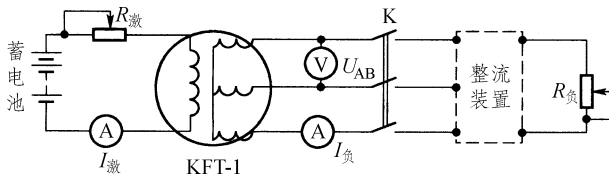


图 2-7 特性试验电路图

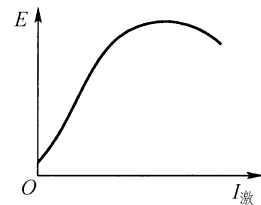


图 2-8 发电机的空载特性曲线

图 2-9 为 J₅ 型发电机的空、负载特性曲线。图中有两组曲线为空载曲线。这两组曲线均由上升曲线和下降曲线所组成，下边的一条为上升曲线，是随 $I_{\text{激}}$ 的逐步增加得到的；上边的一条为下降曲线，是随 $I_{\text{激}}$ 的逐渐减小得到的。这两条曲线的差异是由磁滞现象造成的。由图示的两条曲线可以看出，在 $I_{\text{激}}$ 一定的情况下，转速高时，电机端电压高；转速低时，电机端电压则比较低。当合上开关 K 并加上一定的负载后，可得到图中右边的一条电阻性的负载特性曲线。由图中可以看出，在转子转速 n 一定的条件下，当输出电压相同时，有负载比空载时所需要的激磁电流要大。

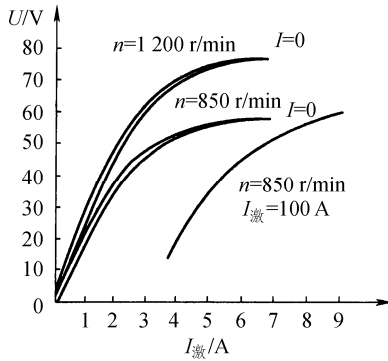


图 2-9 空、负载特性曲线

2. 外特性

发电机的外特性是指转速 n 、 $I_{\text{激}}$ 、 $\cos\phi$ 均为常数的情况下，发电机端电压随负载电流而变化的关系。J₅ 型感应子发电机的外特性曲线如图 2-10 所示。从图中可以看出，当负载电阻逐渐减小，负载电流逐渐上升时，发电机电压下降比较明显，这种外特性称为软特性。感应子发电机的外特性之所以比较软，主要是由于发电机的电枢反应较强和内阻压降较大造成的。

3. 调节特性

一般发电机的调节特性曲线，是指为了保证发电机的输出电压不变，在转速等于常数的情况下，激磁电流随负载电流而变化的关系曲线。但对于轴驱式供电的发电机，转速在运行过程中变化很大，其调节特性曲线如图 2-11 所示，它表明为保持发电机电压不变，在一定的负载电流的情况下，激磁电流与转速之间的变化关系。由两条曲线比较可以清楚地看出发电机在空载高速时需要的激磁电流 $I_{\text{激}}$ 最小，在重载低速时需要的激磁电流最大。因此，当发电机的负载和转速在较大范围内变化时，欲将发电机电压稳定在额定值，激磁电流也必须能在较大范围内进行调节。

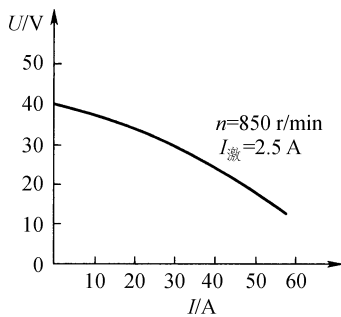


图 2-10 外特性曲线

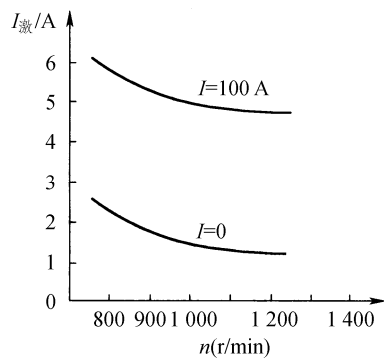


图 2-11 调节特性曲线

四、感应子发电机的维护、检修及试验

1. 日常维护

(1) 检查发电机转子和定子间有无摩擦, 卸下皮带转动小皮带轮听轴承的声音是否正常。每 9 个月给轴承注油 1 次。

(2) 检查发电机的绝缘是否良好, 各接线是否正确、牢固。

(3) 检查发电机的悬吊装置是否良好, 吊销磨耗应不大于 1 mm、销孔间隙磨耗不大于 2 mm。

2. 定期检修

发电机作定检时应将其分解, 并检查各零件是否完整齐全, 吊孔或吊孔套的磨耗是否超过规定。当电枢绕组的绝缘电阻达不到规定要求时, 应做浸漆烘干处理。测量三相绕组的阻值或电感量的不平衡情况, 以判明线圈有无短路或接线松脱的情况。电机分解时还应注意检查前后轴承, 轴承的径向间隙应不大于 0.25 mm。电机经分解检查并将不良处修理或更换损坏零件后进行组装。电机组装后应检查定子铁心的止动螺丝是否拧紧, 皮带轮是否安装好, 转子转动是否灵活, 气隙是否符合标准 (0.5 mm); 测量电枢绕组和激磁绕组与电机机壳之间, 以及各绕组之间的绝缘情况。在确定发电机各部安装牢固、转动部分灵活、绝缘情况良好后, 可以进行试验。

3. 发电机试验

1) 空载高低速试验

发电机装上试验台后, 以额定范围内的不同转速进行空载试验, 检查发电机的机械状态是否良好。检查时, 应特别注意电机定子、转子间有无相互摩擦、轴承转动的声音是否正常。

2) 三相电压不平衡度的检查

令发电机采用他激方式, 并在激磁回路中串接可调电阻和电流表。将发电机转速调至 850 r/min, 合上激磁回路的开关, 在输出额定电压的情况下分别测量发电机电压 U_{AB} 、 U_{BC} 、 U_{CA} , 检查它们的不平衡度。按 48 V 运用时, 在正反转两种情况下, 上述三个电压的差值应小于 4 V, 如果电压相差很大, 可能接线有错, 如果没有电压, 可能是激磁绕组两线圈接反。

3) 空载和负载特性试验

令发电机采用他激方式激磁, 在不同转速时, 分别测出空载和满载情况下发电机的激磁电流 $I_{\text{激}}$ 和端电压 U , 根据测量的结果画出特性曲线, 并与状况良好的发电机空、负载特性曲线相比较, 从而判定发电机的工作性能是否良好。

4) 运用试验

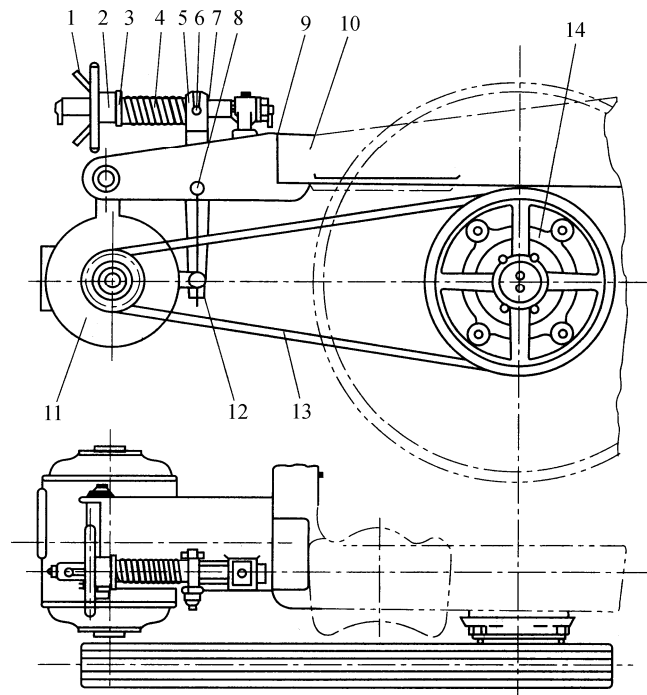
将状态良好的待试电机与控制箱配套连接, 进行运用试验, 观察发电机的起激、调压和承载情况, 最后带上额定负载运行一段时间, 当电机温度达到稳定状态后, 停车检查电机的温升 (用点温计或水银温度计测量时, 温升不大于 80 °C)。

五、发电机传动装置

1. 概况

在客车车轴式供电装置中，一般以三角皮带传动，在三角皮带传动装置中，每根三角皮带都是环形无接头的，为了便于皮带的装卸，均将车轴皮带轮装在车轴端部，故又称为轴端三角皮带传动装置（J₅型发电机轴端传动装置采用标准长轴斜套型）。整个传动装置一般安装在1位转向架的3位角，该装置主要由发电机吊架，皮带拉紧装置、轴端连接装置等组成。

发电机通过吊轴悬吊在吊架上。吊架为Π形铸钢构件，焊固于1位转向架的3位角。组焊时要求吊孔中心线与车轴中心线应平行，并要求吊架中心线与构架中心线（见图2-12）的不平行度在500 mm长度内偏差量应不大于1 mm。



1—锁母；2—调整手轮；3—弹簧座；4—调整弹簧；5—调整杠杆；6—活动弹簧座；7—调整丝杠；
8—杠杆固定销轴；9—发电机吊架；10—转向架构架；11—发电机；12—发电机滑块托；
13—B型三角皮带；14—轴箱盖。

图 2-12 轴端三角皮带传动装置

2. 传动装置的段修要求

(1) RC₄、RD₄型轴端传动装置的顶套与轴承挡圈及皮带轮接触须紧密；不装皮带轮时，轴端应更换保护套并顶紧顶套；密封圈作用良好；轴端压盖及组装螺栓不得松动，防松件齐全良好；拆卸套须给油。

(2) 皮带轮组装前须在组合面涂变压油，组装后不得有圆周方向的移动。

(3) 皮带轮裂损或因磨损至新皮带与槽底面间隙小于3 mm时需更换。

任务二 KP-2A 型控制箱

知识要点

- KP-2A 型控制箱的组成。
- KP-2A 控制箱的工作原理及稳压过程。



视频



PPT

KP-2A 型控制箱的组成及原理

知识储备

由感应子发电机的特性可知，要维持输出电压不变，必须使激磁电流随负载增减和转速的改变而改变，以达到自动控制发电机端电压的目的。KP-2A 型控制箱就是和 J₅ 型发电机配套使用的一种自动控制装置。其型号的含义是：K——客车用；P——配电箱，即控制箱；2——设计序号；A——第一次改进设计。

一、KP-2A 型控制箱的组成及原理方框图

KP-2A 型控制箱由 7 个回路组成，即主整流回路、激磁回路、测量回路、触发器回路、限流充电回路、起激回路、过压保护回路。原理方框图如图 2-13 所示，电气原理如图 2-14 所示。

其工作过程概括如下：

发电机由车轴驱动后，利用助磁开始发电，发电机输出电压的高低，由测量回路测量并输出一个相应的锯齿波电压，锯齿波电压与基准电压比较后，触发器回路根据此电压信号，在一个周期中提前或错后向可控硅提供控制极电流，使可控硅的控制角得到改变。这样，激磁回路输出的激磁电流便得到了调整，从而保证了发电机在干扰因素（转速 n 和负载电流 $I_{\text{负}}$ ）作用下的输出电压保持恒定。

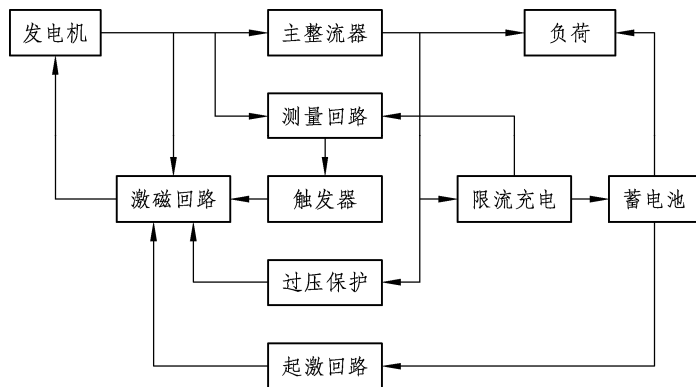


图 2-13 KP-2A 型控制箱原理方框图

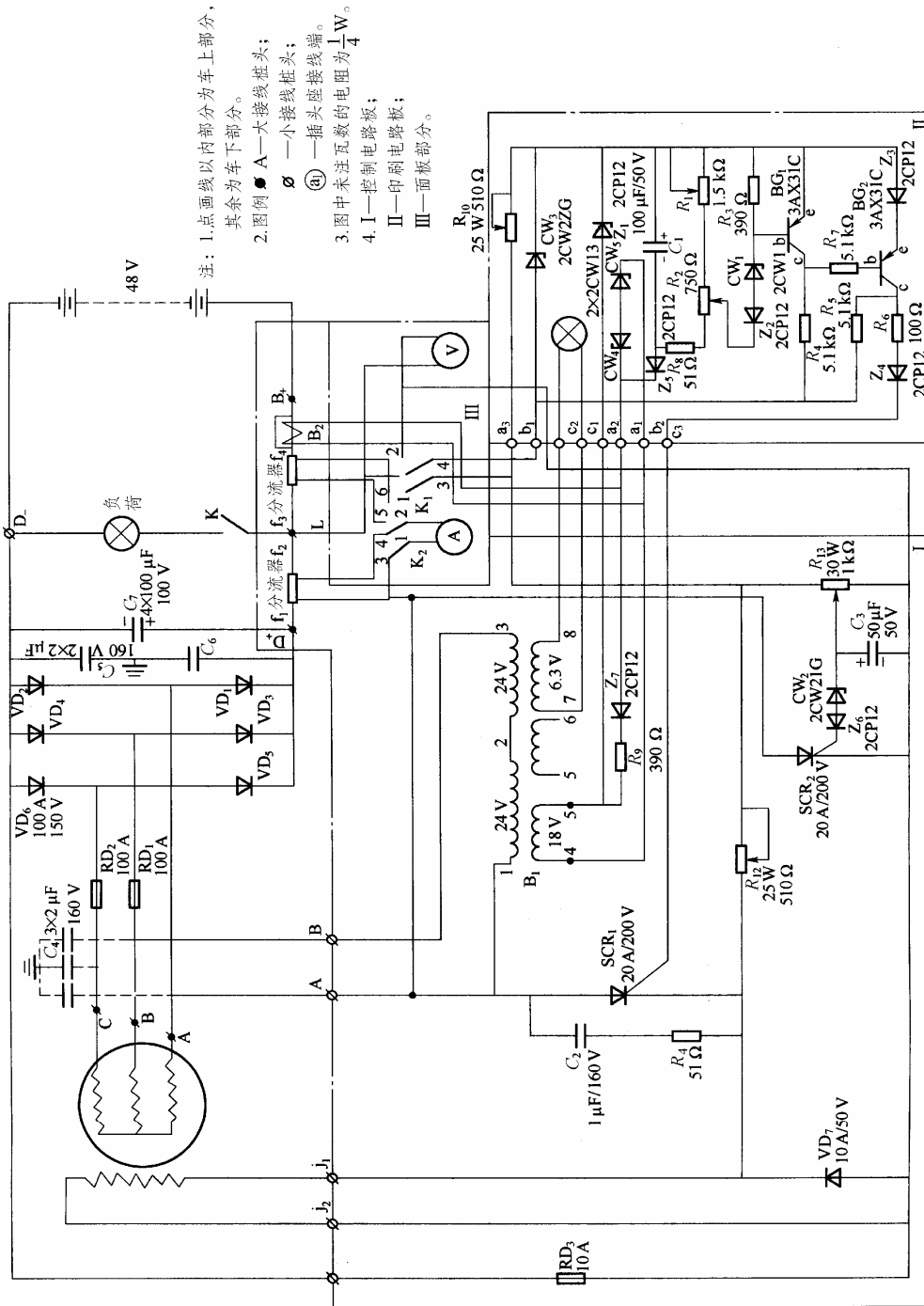


图 2-14 KP-2A 型控制箱电气原理图

二、KP-2A 型控制箱的主要技术参数（见表 2-2）

表 2-2 KP-2A 型控制箱的主要技术参数

项目	三相交流输入线 电压/V	输出直流 电压/V	输出直流 电流/A	最大充电 电流/A	过压保护 整定值/V	交流电频率 /Hz
参数	44	58±2	85	40±5	64±10	85 ~ 370

复习思考题

1. J₅型感应子发电机由哪些基本部分组成？
2. 简述 J₅型感应子发电机的工作原理。
3. 发电机在运用中，影响其端电压变化的因素有哪些？为什么？
4. 发电机的特性有哪些？怎样进行这些特性试验？
5. 发电机检修后的试验有哪几种？怎样操作？
6. KP-2A 型控制箱由哪几部分电路组成？画出原理方框图。