

职业教育双高建设系列教材

铁道车辆电气装置检修

主 编 邓 命 曾照平

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

前 言

近年来，随着铁路现代化的加快推进，铁路技术装备快速更新，大批新技术、新设备、新工艺投入现场应用，铁路劳动生产组织、岗位作业方式、技术作业规章等发生了深刻变化。特别是随着大批高速铁路密集投产运营，路网结构和规模发生了极大变化，截至 2022 年，全国铁路营业里程达 15.3 万千米以上，其中高速铁路已超过 4 万千米。铁路的快速发展，对铁路技能人才知识结构、技能结构、培养规格、培养质量等提出了更高的要求。另外，从最近的几年调研来看，铁路企业接收的职业院校毕业生专业培养质量，包括毕业生的专业知识、技能结构及培养质量与企业要求存在一定的差距。为紧密结合铁路企业现场需求，优化课程体系，提高技能人才培养质量，本书对照高等职业院校铁道车辆专业建设指导标准编写，课程内容与职业标准对接。

本书采用项目式结构编写，在于文涛、麻冰玲主编的《客车电气装置》的框架基础上进行改进编写的，参考了何忠韬、朱常琳主编的《铁道车辆电气装置检修》。前期的编写者付出了大量的辛苦和劳动，奠定了本书的基本框架，在此向前辈们表示真挚的敬意和感谢。

本书在每一个项目都新增了专业知识拓展部分，还有相应的实训项目，让学生在掌握基本专业知识的前提下，拓展知识面，提升操作技能。

本书由武汉铁路职业技术学院邓命、曾照平担任主编，彭文菁、孟素英担任副主编。具体编写分工如下：彭文菁编写项目一，孟素英编写项目二、项目三，曾照平编写项目四、项目六，邓命编写项目五、项目七，全书由邓命统稿。本书在出版过程中，得到了行业内专家、学者的大力支持，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有关作者致以诚挚的感谢。

由于编者水平有限，书中疏漏，不妥之处在所难免，欢迎使用本书的读者批评指正。

编 者

2022 年 9 月

目 录

项目一	车辆电气装置概述	001
任务一	车辆电气装置的发展历史	003
任务二	铁道车辆电气装置的组成	005
任务三	车辆电气装置的运用条件	009
任务四	车辆电气负载用量	014
任务五	车辆供电方式	020
任务六	车体配线	023
复习与思考	043
项目二	蓄电池供电系统检修	044
任务一	蓄电池供电系统概述	046
任务二	铅蓄电池	047
任务三	镉镍蓄电池	052
复习与思考	063
项目三	柴油发电机组检修	064

任务一 柴油机发电机概况	066
任务二 IFC5 型三相同步发电机	069
任务三 发电车电气控制	071
任务四 康明斯发电车柴油机概况	078
任务五 柴油机的调速控制与启动	080
复习与思考	103
项目四 AC 380 V 车辆电气系统与设备检修	104
任务一 电源控制柜与照明控制柜	107
任务二 统型应急电源概况与整流器	115
任务三 统型应急电源充电机	120
任务四 统型应急电源应急控制系统	125
任务五 统型应急电源检修与故障分析处理	127
复习与思考	134
项目五 DC 600 V 车辆电气系统与设备检修	135

任务一 接触网供电	137
任务二 综合控制柜概况	146
任务三 综合控制柜的工作原理	151
任务四 TGF23 系列逆变器的组成、参数与原理	155
任务五 TGF23 系列逆变器的使用与维护	162
任务六 25T 型客车充电器概况与基本原理	169
任务七 TKB2-0035D/ DC110 (L) 型单相逆变器	178
任务八 DC 600 V 车下电源装置的统型工作	183
复习与思考	204
项目六 25 型客车主要电器装置检修	205
任务一 KSL3 型电开水炉	207
任务二 TCL-12 型电开水炉	211
任务三 客车集便器	215
任务四 旅客列车信息显示系统	232
任务五 塞拉门系统	238
任务六 照明系统检修	247
复习与思考	261
项目七 客车安全监测装置检修	263

任务一 客车轴温报警装置	265
任务二 TFX1 型电子防滑器	276
任务三 客车行车安全监测系统及网络控制系统	282
复习与思考	301
参考文献	302

Part I

项目一 车辆电气装置概述

【项目目标】

目标类型	目标要求
知识目标	(1) 掌握铁道车辆电气装置的组成； (2) 了解客车电气装置的发展概况、运用条件； (3) 掌握我国铁路客车的供电形式及用电制式； (4) 掌握车体配线的组成及绝缘检测方法
能力目标	(1) 能指出客车供电的类型以及优缺点； (2) 能分解组装车上、车下配线，检测配线的通路与绝缘性能，处理断路、漏电及短路故障； (3) 能分解组装电力连接器，检测主要部件，处理常见故障
素质目标	(1) 具有强烈的责任和安全生产意识； (2) 具有健康的体魄，良好的生活、工作习惯； (3) 具有自我学习、解决实际问题的能力； (4) 能够分析工作中的不安全因素，并能及时采取防范措施； (5) 能够节约资源和自觉保护环境； (6) 能够与人进行良好的交流，并有团队合作精神与职业道德

【技能背景】

60 多年来,电气装置作为铁道车辆的关键系统和技术,在满足乘客旅行安全舒适性的同时,自身也得到了长足的进步和发展。我国的电气控制实现了从继电器控制到 PLC 控制以及高度智能化、信息化的飞跃;电源技术经历了轴驱供电、发电车供电、机车供电的发展历程,首创了安全可靠的高原客车和高原发电车供电系统和技术;电压制式经历了 DC 24 V、DC 48 V、DC 110 V、AC 380 V、DC 600 V,直到交流传动动力分散型动车组采用的 AC 25 kV;电气设备从基本的照明、摇头电风扇到空调机组、电开水炉、压力保护设施等车内外设施,实现了节能环保,提升了舒适安全性。

【建议学时】

4 学时

任务一 车辆电气装置的发展历史

任务描述

铁路运输的发展在我国的运输业中起着重要作用，列车的电气装置更是车辆中不可或缺的部分。为了更好地适应社会发展和人们的需求，确保车辆的正常运行和运输通畅，不断对车辆的各种电气装置进行研究、改进。本任务主要介绍车辆电气装置的发展历史和基本情况。

相关知识

铁道车辆的发展与社会需求、技术进步密切相关。铁道客车电气装置的供电制式、控制方式与是否有空调机组、电加热器等装置密切相关。控制方式在 2003 年全面实现了从继电器控制到 PLC 控制的提升；电源技术作为电气装置的核心技术，其发展历程则更是丰富多样。

非空调客车主要包括 21 型、22 型、25B 型车及进口的 24 型车，电气装置主要有照明装置、通风系统、广播系统、轴温报警装置等，母车上的轴驱发电机和蓄电池组并联供电，当发电机停止转动或低速转动时，由蓄电池组供电。轴驱发电机主要包括 LK5 型直流轴驱发电机和 KFT 型交流无触点感应子发电机。LK5 型直流轴驱发电机使用于 20 世纪五六十年代，电机功率为 3 kW，额定电压为 24 V。KFT 型交流无触点感应子发电机于 20 世纪 70 年代研制成功，功率为 3 kW、5 kW，额定输出线电压为 44 V，三相交流电经桥式整流转换为直流电，给车上负载供电，并对蓄电池组充电。与 LK5 型直流发电机相比，KFT 型发电机功率大、重量轻、结构简单、维护方便。20 世纪 80 年代进口的 24 型客车采用 35 kW 轴驱式感应子交流发电机及万向轴传动，发电机与 DC 110 V 碱性蓄电池组并联供电。25B 型软卧车和餐车也安装了空调机组（但仍是锅炉供暖），由本车车下柴油发电机组给空调机组供电。

空调客车的研制始于 20 世纪 60 年代，广泛应用于 90 年代，25G 型、25K 型车分别定型于 1992 年、1998 年，25T 型车定型于 2004 年。1966 年和 1979 年，原四方机车车辆厂（现中车青岛四方机车车辆股份有限公司）就已研制出用于广九铁路的 22 型、25 型空调发电车（时称 TZ 特种车）及空调客车，发电车柴油发电机组的装机容量为 3×200 kW，供电制式为 3NAC 380 V/220 V、50 Hz。1987 年，原四方机车车辆厂又率先研制出柴油发电机组装机容量为 3×300 kW、具有自动并车功能的大功率发电车（KD 型、2 路干线供电）。1989 年，原浦镇车辆厂、长春客车厂研制了 2×500 kW 的 MTU 柴油机组大功率发电车。1996 年，原铁道部组织原长客、四方、浦镇、唐山等主机厂在之前各自研制的发电车基础上进行了电气原理图及主要关键设备（包括柴油发动机、发电机、控制柜、

自动并车装置等)的统型。

在电气化铁路发展初期,发电车很好地解决了空调客车的供电问题,与轴驱供电相比有诸多明显的优点,具有较好的机动性和广泛的适应性,但随开行车次的增加,运行噪声和燃油排放污染对沿途的影响也凸显出来。与此同时,随着铁路电气化进程的加快普及,20世纪80年代,中国铁路借鉴国外铁道客车供电技术,开始研究电力机车向客车供电技术。这既符合国家能源政策,又能为客车提供足够容量的电源,改善旅行条件,同时增加列车编组,减轻列车自重,具有明显的经济效益和社会效益。基于当时的变流技术水平,选择了机车集中整流、客车分散变流的方式。

2004年,第5次铁路大提速开行的25T型客车,具有运行速度高(160 km/h)、长交路、一站直达或仅大站停(站停时间短)等特点,不宜加挂发电车。因此,基于前期的大量研究和技术实践,在电气化区段开始采用电力机车供电,在非电气化区段采用DF11G型内燃机车供电。“G”代表机车供电,DF11G型机车可以为列车提供2路独立供电($2 \times 400 \text{ kW}$)、2种电源(AC 380 V或DC 600 V)。

与此同时,2004年开始开展高速动车组技术的引进、消化吸收和再创新工作。辅助供电系统作为关键技术之一,主要包括辅助变流器、蓄电池组、充电机等。CRH1、CRH3、CRH5型高速动车组及CRH6型城际动车组(2012年四方股份自主创新品牌)辅助变流器输入电源取自牵引变流器的中间直流回路,通过逆变器输出三相交流电,为动车组供风系统、散热系统、空调机组、充电机等供电。其优点是实现了轻量化,同时在过分相区时,列车利用其轻微再生制动保持中间直流电压不断电。CRH2型动车组辅助变流器输入电源取自牵引变压器的辅助绕组(单相AC 400 V),经斩波整流、逆变为三相交流电,为供风系统、冷却系统、充电机等供电。所有车型的充电机均将三相交流电转换为低压直流电,为蓄电池组充电,并为控制系统及照明设备等供电。

2005年,四方车辆研究所、四方股份等共同研制开发了高原客车、高原发电车供电系统,解决了高原供电系统的技术难题,首创了安全可靠的高原铁路客车电气系统和技术,填补了世界高原铁路客车电气技术的空白。2006年,四方股份又首创了DC 600 V和AC 380 V实时兼容供电技术及其PLC控制系统,使双流制供电技术实现了国内自主研发。

任务二 铁道车辆电气装置的组成

任务描述

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，在客车上设置了一些电气装置，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供电和电气控制及检测的设备统称为客车电气装置。本任务主要介绍客车电气装置的组成和应用。

相关知识

铁道车辆是我国一种主要的交通运输工具，电气装置是铁道车辆的重要组成部分。它主要由铁道车辆电气负载、供电装置、车辆检测及监控装置三大部分组成。

在老式铁道车辆中，电能只用于照明、电扇与电动水泵。现代客车为了提高对旅客的服务水平，创造舒适的旅行环境，保证运输安全，在车辆上安装了电气照明、电热水器、空气调节、播音通信、闭路电视、轴温检测与报警及自动控制等装置。电能在车辆上的使用日益增加，电气装置也有了很大的变化，技术性和服务性有了明显的提高。

供电装置主要是不同类型的发电机和蓄电池。不同类型的发电机有着不同的输出电压和输出功率，现在运用较为广泛的是 KFT-1 型感应子式发电机，它与 KP-2B 型可控硅控制箱配套，能够输出两种电压，既能满足蓄电池充电要求，又能够满足照明负荷用电要求。电池也实现了由最早的酸性铅蓄电池到 TG 蓄电池，再到碱性电池，到燃料电池的更替。而为了满足现代列车的需要，大容量供电装置开始运用于列车。

车辆检测及监控装置，这部分主要是为了减轻列车乘务人员的工作量，提高旅客的舒适度，保证行车安全和机组正常运转而安装的各种检测、监控装置，如轴温报警装置、开水炉、列车防滑电子控制等。

一、铁道车辆电气负载

铁道车辆电气负载主要是照明用电、空调装置（HVAC）及一些制冷设备，还有满足旅客基本需求的饮食和卫生设备，以及显示器和各种专用电气设备，如接触网检查用的不间断电源（UPS）等。

车辆的电气负载包括以下几类。

（1）照明电光源。现代客车主要采用交流荧光灯，特殊部位和事故灯采用白炽灯。光源的形状和规格很多，如棒形、椭圆形、球形、环形和 U 形等。照明电光源在使用过程中，白炽灯为电阻性负载，荧光灯在低频工作时为电感性负载。

（2）空气调节与制冷装置的电气设备，主要包括制冷压缩机、冷凝器风机和空调通

风机的直流或交流电动机、取暖加热用的各种管式电热元件以及电磁控制元件等。这些电动机和电热元件所消耗的功率较大，因此不仅要求解决较大的供电容量，而且还要解决启动和保护问题。

(3) 满足旅客和乘务人员在途中生活需要的饮食和卫生设备，包括电开水炉、电冰箱、电动吸尘器和电气集便器等。其中，电气集便器是涉及客车密封的重要装置之一。另外，某些包间式客车，还要适当配有手机、便捷式计算机和电动剃须刀电源。

(4) 列车电视、播音和通信设备，包括闭路电视，收、扩、录、放多用机，列车有线电话和无线电话等。这些设备需要电压和频率比较稳定的正弦交流电或平稳的直流电。为此，车上还设有专用的交流或直流稳压电源。

(5) 普通客车使用的电扇与离心式水泵电动机，电煤两用炉以及附属的各种电气设备。

(6) 各种特殊用途的专用车辆所带有的专用电气设备，如接触网检查用的不间断电源(UPS)等。

二、铁道车辆供电装置

供电装置是客车的重要组成部分。因为供电装置的好坏及供电品质的优劣，直接影响旅客列车的运行安全和旅客的舒适程度。因此，供电装置的日常维护保养和客车检修一直是车辆部门的主要工作之一。供电装置主要有如下几种。

(一) 客车发电机

22型和25型普通客车的供电发电机，以KFT-1型感应子式发电机(又称为J5型发电机)为主。J5型发电机的输出功率为5kW，输出整定端电压为 (59 ± 1) V，直流输入电压为48V。J5型发电机具有结构简单、维修方便、适于高速运转等优点。与J5型发电机配套的控制箱最早有KP-2A型可控硅控制箱和FTZ-4型磁放大器控制箱两种。FTZ-4型磁放大器控制箱已被淘汰。为了适应铁路客车改造的需要和电气控制技术的发展，提升和改进B型客车供电系统及装备的技术水平，针对B型客车KP-2A型控制装置运用中存在的问题，有关部门又研制了KP-2B型控制装置。

J5型发电机的输出电压只有一种，既要满足负荷需求，又要适合蓄电池充电要求。为了解决这个问题，改进了J5型发电机结构，与改进的J5型发电机相配套的控制箱是KP-2B型可控硅控制箱，从而实现双路供电，一路电压较高，整定为62V左右，向电池充电；一路电压整定为50V左右，向负载供电。这种输出两种端电压的改进型发电机既满足了蓄电池充电要求，又符合照明负荷的用电需要。

(二) 客车蓄电池

20世纪50年代以前，铁路车辆上使用的蓄电池是铅酸蓄电池，其特点是规格型号多，电气性能和技术经济指标比较落后，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年代至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。它的阳极板结构为管状，大大提高了使用寿命。但 TG 型蓄电池仍属铅酸蓄电池，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 年原铁道部车辆局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。燃料电池是直接燃料能源转换为电能的电池设备，燃料电池基于电化而不是燃烧，因此具有“高效低噪、无辐射”的特点。氢燃料电池正被用于轿车、公共汽车和卡车的技术开发中。该项研究有助于提高能源利用效率，通过降低对进口石油依赖性而增强国家能源安全以及改善环境质量。

（三）大容量供电装置

轴驱式发电机，如 J5 型发电机，由于效率低，且停车时不能发电，从而限制了该供电方式的发展。随着铁路客车现代化的发展，需要不断提高旅客舒适度，大容量的用电设备，如空调机组要求供电装置不仅输出容量大，而且供电品质要好，有可靠的技术性能。因此，在 20 世纪 80 年代，出现了大容量供电发电车和大容量本车独立供电的柴油发电机组供电装置。

1983 年开始在软卧车上使用本车独立供电柴油发电机组，当时水冷式柴油采用了发电机，容量是 24 kW。1991 年推广使用了 30 kW 柴油发电机组。1994 年又开始使用风冷式 28 kW 柴油发电机组，保证了空调客车的用电需求。

大功率发电车能提供三相 380 V 交流电压，实现对空调列车集中供电，整列车的供电功率达 600 kW·A。

在电气化区段，客车供电采用接触网供电，符合国内外客车供电技术的发展趋势，既经济又可靠。根据我国的能源政策，合理的选择是采用机车向列车供电。它具有以下几个优点：① 适合高密度、短编组的运输模式；② 能源利用经济、合理，对环境污染小；③ 维修保养体系合理。

三、铁道车辆检测及控制装置

为了减轻列车乘务人员的劳动强度，提高旅客的舒适度，满足对旅客服务的需要，保证行车安全和机组正常运转，延长机组的使用寿命以及节约能源消耗等目的，客车上安装了各种检测及自动控制装置。

（1）空调装置工作的自动控制装置具有温度的自动调节、机组的自动保护和工作时间的自动显示功能。

（2）内端门的自动开闭装置。

（3）开水炉的自动补水与加热器自动开闭装置。

（4）车辆故障的自动检测装置。

（5）列车轴温报警装置。

（6）多隧道地区运行的列车照明自动开关装置。

- (7) 真空式集便器控制装置。
- (8) 列车防滑器电子控制装置。
- (9) 供电电源自动控制装置。
- (10) 列车信息显示系统。
- (11) 火灾自动报警装置。
- (12) 发电机电压的自动调节与过电压、过电流或过功率（应为欠电流）的自动保护装置。
- (13) 塞拉门自动控制装置。

任务三 车辆电气装置的运用条件

任务描述

铁道车辆电气装置的运用条件不同于地面固定的工业和民用电气设备，也不同于航空和船舶的电气设备。这些条件通常是根据运输对象、运行区间、车辆的运行品质和经济技术指标来确定的。本任务主要介绍全国通用车辆电气装置运用条件和高海拔地区电气设备工作特点及设计要求。

相关知识

一、全国通用车辆电气装置运用条件

对于旅客列车，其运用条件一般可以归纳为以下几点。

(1) 因为列车上乘坐大批旅客，所以电气装置应保证满足行车安全的要求。例如，车体配线应当可靠绝缘，杜绝因漏电或短路而发生火警的可能性；电器产生的电弧应尽可能少，电机电器的温升不应过高；悬挂在车辆下部的电气设备，应当不超出《标准轨距铁路限界第1部分：机车车辆限界》(GB 146.1—2020)的规定；悬挂部分应有足够的机械强度，防止因部件的裂损、变形和脱落，而造成车辆颠覆或脱轨等恶性事故。

(2) 电气装置工作安全可靠，重量、尺寸小，成本尽可能低，以提高车辆的技术和经济指标；电气装置的结构应尽可能简单、牢固，使用寿命长，便于日常的检查与维修。

(3) 客车运行所经地区广，气候与自然地理条件多变，对于全国通用的车辆，其电气装置应当满足下列工作环境条件：

温度变化范围	-40 ~ +40 ℃
相对湿度	≤90% (25 ℃)
海拔	≤1 200 m

环境温度高低的变化对电气装置影响比较大，如可以使蓄电池电解液的比重发生变化；继电器和接触器的线圈阻值发生变化；发电机的输出电能随温度上升而下降；润滑油融化或冻结；生橡胶或电木冻裂以及荧光灯启辉性能因温度下降而恶化等。

湿度对电气装置的影响，主要是使绝缘性能变差。

海拔增加后，空气变得稀薄，气温下降。一般电器的温升由于海拔增加而升高，但可被气温下降所补偿，否则需降低容量使用。双金属片继电器在高原使用时，其动作时间缩短，应对其动作电流重新整定。

因此，对长期使用在湿热、干热和海拔超过1 000 m高原地区的铁路车辆，其电气装置的使用技术条件应做相应调整。

铁路车辆在线路上运行时还要考虑灰尘、沙土、雨雪以及污染物的浸入问题，特别是安装在车底架下部的物品，应有良好的密封性能。

(4) 铁路客车运行方向经常变化，运行中存在振幅为 20 mm、频率为 1 ~ 100 Hz 的振动和冲击。因此，要求电气装置能够适应这种工作条件，无误动作或零件松脱、打火现象。对于安装在车底架上、由万向轴传动的轴驱式发电机或其他设备，应当考虑车辆连挂时万向轴所承受的轴向冲击力。

(5) 电气装置运行品质良好，电流、电压和频率等参数应相对稳定，对车内的无线电通信或列车播音、电视的干扰尽可能减少或根本消除，对外界干扰，如频域为 100 kHz ~ 10 MHz，声压级达到 120 dB 以上的高压线电磁干扰有足够的抵抗能力。

(6) 尽可能采用大批量生产的标准件或通用件，以降低成本，便于检修。

(7) 设计或采用的装置符合国际铁路联盟 (UIC) 标准、国家标准 (GB)、铁路标准 (TB)，或国际电工协会标准 (IEC) 及机械电子部的标准 (JB)，以提高产品的质量要求。

二、高海拔地区电气设备工作特点及设计要求

我国是一个有高原、多山的国家。为了满足绝大部分地区电气设备工作要求，铁路部门以 1 200 m 作为通用海拔。随着西部铁路建设的快速发展，特别是青藏铁路（最高海拔 5 100 m）的建设，对机车车辆电气设备提出了新的更高的技术要求。

(一) 高原气候特点

高原具有较恶劣的自然气候条件，对机车车辆电气设备性能影响较大，其有以下特点：

- (1) 空气压力或空气密度较低。
- (2) 空气温度较低，变化较大。
- (3) 空气绝对湿度较小。
- (4) 太阳辐射照度较高。
- (5) 降水量较少。
- (6) 年大风日多。
- (7) 土壤温度较低，且冻结期长。

(二) 高原气候条件对电气设备性能的影响

1. 空气压力或空气密度对性能的影响

1) 对外绝缘强度与电气间隙的影响

空气压力或空气密度降低，会引起电气间隙和外绝缘强度降低，还会引起固体绝缘材料沿表面放电能力降低，其下降程度与电场不均匀程度有关；电场不均匀程度越大，放电能力降低越大；而且与固体绝缘材料介质常数有关，介质常数较大，沿表面放电电压则会降低一些。试验表明，在海拔 5 000 m 以内，每升高 1 000 m，外绝缘强度降低 8% ~ 13%；海拔对固体绝缘材料的瞬时击穿电压无明显影响；随着空气压力的降低，电气间隙的击穿电压也随之降低，其下降程度与电场不均匀程度有关，电场不均匀程度越大，击

穿电压降得越低。

2) 对电晕及放电电压的影响

空气压力降低将使高压电气设备局部放电电压降低，电晕起始电压降低，电晕腐蚀严重。但对于 500 V 以下电气设备，可以不考虑局部放电的问题。海拔 4 000 m 以下，对小于 3 000 V 的电机设备，可以不考虑电晕的问题（交流电机除外）。低气压时，电力电容器内部气压下降，导致局部放电，起始电压降低。高压避雷器内腔因气压降低引起的工频放电电压也降低。

3) 对开关电器灭弧性能的影响

空气压力或空气密度的降低，将使以空气介质灭弧的开关电器灭弧性能降低，通断能力下降，电寿命缩短。由于气压降低，交、直流电弧的飞弧距离会增加，交、直流电弧的燃弧时间将随气压下降而延长，海拔在 2 000 ~ 2 500 m 时，燃弧时间约延长 10%，海拔在 4 000 ~ 5 100 m 时，将可能使灭弧时间不合格或分不断。交流电弧燃弧时间由于电流过零熄灭而影响稍小，但电压击穿强度降低，也可能使灭弧时间不合格或分不断。

4) 对介质冷却效应或产品温升的影响

空气压力或空气密度的降低将引起空气冷却效果的降低，对于以自然对流、强迫通风或空气散热器为主要散热方式的电气产品，由于散热能力降低，温升增加。在海拔 5 000 m 以内，每升高 1 000，温升增加 3% ~ 10%。对于自然对流冷却的电气设备，其温升增加可能会小一些；对于强迫通风冷却的电气设备，其温升增加可能会大一些。一般电器产品海拔每升高 100 m，温升增加最大 0.4 K，但对于高发热电器（如电阻器），海拔每升高 100 m，温升增加将达 2 K 以上。电力变压器温升增加与冷却方式有关，海拔每增加 100 m，干式自冷变压器的温升增加为额定温升的 0.5%；油浸强迫风冷变压器的温升增加为额定温升的 0.6%；干式强迫风冷变压器的温升增加为额定温升的 1%。对于电机温升，海拔每升高 100 m，增加额定温升的 1%。

5) 对机械结构和密封性能的影响

空气压力与空气密度的降低会引起低密度、低浓度、多孔性材料（如电工绝缘材料、隔热材料等）的物理和化学性能的变化。例如，石棉水泥制品的耐压性能下降，塑料制品中增塑剂挥发加速，冷却剂和润滑剂的蒸发加速，气体或液体从密封容器中泄漏率增加，密封容器产生膨胀、变形、易损坏。

2. 空气温度降低及温度变化（包括日温差）的影响

空气温度最高值与平均值随海拔的升高而降低。电工绝缘材料的热老化寿命取决于空气平均温度。高原环境空气温度的降低可以部分或全部补偿因气压降低而引起的电气设备温升的增加。环境空气温度补偿值为每 100 m 0.5 K。高原气温变化大，使产品密封结构容易破裂，外壳容易变形、皲裂。空气温度降低对提高放电电压有益，但其影响值较小。温度降低将使线圈电阻值减小，动作安匝数增加，机械冲击增加，机械寿命与电寿命降低。温度降低对电器开关电弧冷却有利，但影响较小。

3. 空气绝对湿度减小的影响

关于湿度对击穿电压的影响，各国科学家进行了许多试验，结果差异颇大，湿度对放电电压影响的机理尚未完全了解。一般而言，湿度与受电极形状、表面状况、间隙距离、温度、气压等参数有关。高原气温随海拔升高而降低，平均绝对湿度也随海拔升高而降低。绝对湿度降低时，电工产品的外绝缘强度也降低；换向器电机的整流火花增大，同时使碳刷磨损增加。

4. 太阳辐射照度（包括紫外线）的影响

海拔 5 000 m 时的太阳辐射照度为低海拔时的 1.25 倍。热辐射对物体的加热作用，将引起户外电器产品表面温升增加，降低有机绝缘材料的性能，使材料变形、产生机械热应力。紫外线辐射照度随海拔增高而大幅增加，海拔 3 000 m 时为低海拔时的 2 倍。紫外线会引起有机绝缘材料老化加速，使空气容易电离，导致外绝缘强度降低，电晕起始电压降低。

（三）高原电气设备的设计要求

1. 电气绝缘的修正

空气压力、温度和湿度都对绝缘性能有影响，但空气压力降低对外绝缘和电气间隙的绝缘性能影响较大。为保证电气产品在高原使用时有足够的沿固体绝缘材料表面放电的能力，以及电气产品在高原使用时电气间隙有足够的耐受电压击穿的能力，必须加大电气间隙。

2. 电器分断性能

为避免海拔对开关电器通断性能的影响，对高原使用的电气设备应尽量选用充氮密封电器或真空电器等不受海拔影响的电气设备。无法采用密封电器或真空电器的设备，应验证其灭弧性能是否符合技术要求。可采用接点串联办法来提高分断性能。对主电路、辅助电路的电气设备应尽量采用无电弧转换控制。

3. 电器温升

对高发热产品（如电阻）应考虑减负荷运用。若产品温升裕度较大，可以按原负荷运行。

4. 低温材料的选用

环境温度低时，选用材料的允许使用温度范围应满足较低环境温度的要求。例如，ABS 塑料的允许使用温度为 $-40 \sim +70$ °C，在温度低于 -40 °C 的地区使用不太合适，要改用工作温度低于 -40 °C（如 -60 °C）的塑料产品。在低温时由于机械配合应力增加，加之低温下电阻减小，电流的冲击加大或过电压衰减缓慢，若不更换材料，产品设计可靠性将大大降低。同样橡胶产品也应考虑低温的问题，保证橡胶弹性和密封要求。某些低性能的铁磁材料在低温下的导磁性能有所下降，影响电磁铁最低工作电压动作性能，需选用导磁性能更好的铁磁材料。

5. 电器的耐低温性

在温度降低时，由于线圈电阻降低，其吸合安匝数将增加较大，容易引起触头弹跳，影响机械寿命和电寿命。应对线圈进行修改设计（以高原的最高温度来核算）或增加减振措施或增加节能模块，以免影响产品性能。对低温（-40℃）有工作要求的电子设备，应选用耐低温的元器件；模拟电路在低温下容易产生特性漂移，应尽量采用数字电路；长期工作在低温下的印刷电路板，焊接端子应使用低温（-40℃）焊锡。具有热保护的电器（如塑壳自动开关），在高原会因散热问题引起保护曲线变化，应改用具有电磁保护的产品。铅蓄电池在-40℃时，其电解液黏度比0℃时增加3~4倍，其电阻率比常温增加7倍，其容量只有原来的1/10~1/5。此时蓄电池容量要按冲击负荷来选用，使用中要考虑加热、保温措施。在-40℃时，电动空压机电器因气缸阻力增加而动作不了，使用中应加温预热或采用长行程薄膜传动气缸的气动电器（不需加油）。对于有动作时间要求的电器，应验证在-40℃时其动作时间是否影响控制逻辑或保护动作时间或整定值精度。

6. 高压电器

为避免电晕出现，对于高压电气设备，在设计中应避免金属件出现尖角、截面突变等局部形状。海拔升高会降低电晕电压值，对于超出低压电气设备范畴的电气设备应考虑尽量采用耐电晕的绝缘材料。对变频调压的电气设备，由于其脉冲电压峰值较大，更要加强绝缘材料的耐电晕性能。在低气压时，高压避雷器内腔气压降低，导致工频放电电压降低，因此，在高原应选用硅橡胶无间隙氧化锌避雷器。为避免太阳辐射，高压电器应尽量装在车内。在户外使用橡胶、塑料等高分子材料至少按4倍常规紫外线辐射照度进行试验。

任务四 车辆电气负载用量

任务描述

电气负载的需要功率、效率、功率因数和功率利用系数都是在决定供电系统的容量时必须考虑的。本任务主要介绍车辆电气负载用电量计算参数、柴油发电机组额定功率、发电车的计算负荷和空调列车用电量。

相关知识

一、车辆电气负载用电量计算参数

在决定供电系统的容量时，必须考虑电气负载的需要功率、效率、功率因数与功率利用系数。

一般的电气设备，在其产品目录和说明书上都标有它的额定功率和效率。由电热元件构成的电气负载，其功率即需要功率；对于电动机，产品目录上所标有的功率，是指电动机在正常工作状态下，电动机轴上所具有的有效机械功率。电动机的需要功率比有效机械功率大，多出的部分是本身的损耗。所以，电动机的需要功率实际等于有效机械功率除以电动机的机械效率。

负载的功率因素（ $\cos \phi$ ）是对交流电路而言的，在计算交流发电机及其输电干线的功率时，需要考虑负载的功率因数。负载的功率因数大小，由其视在功率除以需要功率的商来确定。视在功率等于负载的额定电压与额定电流的乘积，单位用 $V \cdot A$ 或 $kV \cdot A$ 表示。在同一需要功率的情况下，负载的功率因数越小，它的视在功率就越大。因此，应尽可能提高负载的功率因数。

车辆所采用的三相异步电动机，在正常工作状态下的功率因数，一般为 0.75 ~ 0.85，如果电动机不满载，将可能减少至 0.5，空载时可下降到 0.25 ~ 0.30。

电热元件和白炽灯属于电阻性负载，其功率因数等于 1。一般荧光灯和控制电器，功率因数等于或小于 0.7。具有空气调节装置的旅客列车，在夏季工况时，全列车负载的功率因数一般为 0.8，而在冬季工况，则接近于 1。

车辆电气负载在大部分运行时间中并非同时工作的，特别是带有空气调节装置的旅客列车，空调装置的工况是随外温和车内定员的变化而变化的，因而列车电气负载的功率消耗也会产生相应的变化。因此，要合理地计算供电容量，还必须考虑负载的功率利用系数。

负载的功率利用系数，是指某一时间内、一组同时工作的负载，其平均需要功率与总安装功率之比。它与负载的效率、平均电网电压、负载与负载之间的工作组合方式以

及负载本身的特性等因素有关。根据国外资料，常见的车辆电气负载，其功率利用系数见表 1-1。

表 1-1 常见的车辆电气负载的功率利用系数

电气负载	功率利用系数	电气负载	功率利用系数
压缩机电动机	0.90 ~ 0.75	饮水电冰箱	1
通风机电动机	0.8	配电盘用电	0.2
冷凝器风扇电动机	0.9	吸尘器与其他生活器具	0.3
荧光灯逆变器	0.75	控制电路	0.5
电热水器	0.2	值班照明和信号灯	0.2
水箱加热器	0.2		

二、柴油发电机组额定功率

柴油发电机组是单独供电的电源，应根据某一种特定车型的电气负载用电需求来选型。若运转机组的容量 P_Y 、装机容量 P_Z 、备用机组容量 P_B ，则

$$P_Z = P_Y + P_B$$

$$P_Y = P_{JS} + P_1$$

式中 P_{JS} ——计算功率，一般按冬季计算负荷取，kW；

P_1 ——运转机组电力余量，kW。

$$P_1 = (0.05 \sim 0.1) P_{JS}$$

以 RW_{25K} 客车为例，RW_{25K} 的用电量求解过程如下：

RW_{25K} 客车的有功功率（负载的额定功率与负载的效率之比）： $P = 21.59 \text{ kW}$

RW_{25K} 客车的计算功率： $P_{JS} = 21.59 \text{ kW}$

运转机组电力余量： $P_1 = 0.1 \times P_{JS} = 0.1 \times 21.59 = 2.159 \text{ (kW)}$

运转机组的容量： $P_Y = P_{JS} + P_1 = 21.59 + 2.159 = 23.749 \approx 24 \text{ (kW)}$

柴油机单独供电系统没有备用机组，所以也就没有备用的容量 P_B ，因而柴油机单独供电系统装机容量 P_Z 就是运转容量 P_Y ，即

$$P_Z = P_Y$$

空调列车在最大负荷期间，不允许机组超载运行；在最小负荷期间，不应小于机组的 50% 额定容量；发电机组经常在经济负荷运行下能减少耗油量，降低电能成本，柴油

机的最佳经济运行状况是 12 小时功率的 75% ~ 90%。因此, 空调列车的单独供电选用的柴油发电机组额定功率应为 24 kW。

三、发电车的计算负荷

发电车的计算负荷是柴油发电机组选型的重要数据依据, 发电车的计算负荷为全列车计算负荷 P 与同时系数的乘积:

$$\text{有功功率} \quad P_{JS} = K_{\Sigma P} P \quad (\text{kW})$$

$$\text{无功功率} \quad Q_{JS} = K_{\Sigma q} P \quad (\text{kVar})$$

$$\text{视在功率} \quad S_{JS} = \sqrt{P_{JS}^2 + Q_{JS}^2} \quad (\text{kV} \cdot \text{A})$$

$$\text{或} \quad S_{JS} = \frac{P_{JS}}{\cos \varphi} \quad (\text{kV} \cdot \text{A})$$

式中 $K_{\Sigma P}$ ——有功同时系数, 取 0.95 ~ 0.98, 按冬季负荷进行设计, 则取 0.98;

$K_{\Sigma q}$ ——无功同时系数, 取 0.93 ~ 0.97;

$\cos \varphi$ ——发电站总负载的功率因数;

P ——全列车计算负荷, 取 537.5 kW。

发电车的总容量, 由柴油发电机组的额定容量决定。运转机组的备用容量, 或称为运转机组的电力余量, 用 P_B 表示:

$$P_B = P_Z - P_{JS}$$

式中 P_Z ——全车所有机组额定功率的总和, 称为发电车装机容量;

$$P_Z = P_{JS} + P_B = P_Y + P_2$$

P_Y ——在最大负荷时, 运转机组的总容量, 称为运转容量, 发电车必须有备用电力容量, 以便在机组检修或发生故障时, 备用机组运转容量 P_Y 投入运行;

P_2 ——可运转机组的备用容量, 或称为备用机组容量。

$$P_2 = P_Z - P_Y$$

P_Z 、 P_Y 和 P_{JS} 之间, 必须满足下列关系:

$$P_Z \geq P_Y \geq P_{JS}$$

发电车总的备用率:

$$B = \frac{P_B}{P_{JS}} = \frac{P_Z - P_{JS}}{P_{JS}} \times 100\%$$

单台机组的容量应根据计算负荷的大小、输电干线数、空调列车对供电连续性和可靠性的要求以及发展远景等条件来确定。空调列车在最大负荷期间，不允许机组超载运行；在最小负荷期间，不应小于一台机组的 50% 额定容量，即单台机组不应在低于 50% 额定容量的负荷下运行；发电机组在经济负荷运行下能减少耗油量，降低电能成本。柴油机的最佳经济运行状况是 12 小时功率的 75% ~ 90%。

空调列车采用两路供电干线，需要选用两台机组供电。通常单台机组容量 P_{DJ} 以冬季负荷为计算依据：

$$P_{DJ} = \frac{P_Y}{\text{机组台数}}$$

备用机组容量确定原则：

(1) 在功率最大的一台机组出现故障或需要检修的情况下，备用机组投入运行后能满足最大负荷需要。

(2) 只按 1 台机组故障或检修考虑备用量。

(3) 如无特殊要求，检修备用容量一般不小于电力计算负荷 (P_{JS}) 的 25%；如果发电车运转机组选用 2 台 300GF 型柴油发电机组，则其运转容量：

$$P_B = 2 \times 300 = 600 \text{ (kW)}$$

据此，备用机组选用 1 台 300GF 型柴油发电机组，备用容量：

$$P_B = 300 \text{ kW}$$

在一台运转机组出现故障或需要检修时备用机组投入运行后，即能满足最大负荷的需要。

因此，发电车的总装机数为 3 台 300GF 机组，总装机容量为

$$P_Z = 3 \times 300 = 900 \text{ (kW)}$$

四、空调列车用电量

以 25 K 空调列车用电量为例，电气化区段，软卧车 2 辆、硬卧车 8 辆、硬座车 9 辆、餐车 1 辆，共 20 辆；非电气化区段，减少 1 辆硬卧车，共 19 辆。

(一) 25 K 型空调客车电气负载及其额定功率

(1) 空调装置中有制冷压缩机、蒸发风机、冷凝风机、排气风机的三相感应电动机和其控制设备，列车空调机组参数见表 1-2。

(2) 根据要求确定车灯照明功率，对于 25K 型客车整车平均照度达到 300 lx，平均照明功率可取 1.3 kW。

表 1-2 列车空调机组参数

车种		软卧车	硬卧车	硬座车	餐车
空调机组		LLD29T-I	KLD40TB	KLD29T-II	KLD40TB
空调参数	制冷量/kW	29	40	58	40
	通风量/(m ³ h)	4 500	6 000	9 000	6 000
	预热量/kW	6	9	12	9
机组功率 /kW	制冷压缩机电机	2×2.75	2×5.5	4×3.75	2×5.5
	冷凝风机电机	2.2	2×1.5	2×2.2	2×1.5
	蒸发风机电机	1.8	1.8	3.6	1.8
	废气排风机电机	0.4	0.5	2×0.4	0.5
	合计	11.9	16.3	23.8	16.3

(3) 客车电开水炉, 采用 DR50-16CT1 (2) 型电开水器, 功率为 5 kW。

(4) 餐车电冰箱功率, 依据规定标准, 取 2×1.1 kW。

(5) 其他用电设备, 软卧车温水箱功率为 1 kW, 其他车均为 1.5 kW。列车播音、闭路电视、轴温检测与报警装置等用电量少, 可略去不计。

(6) 为补偿车内外温差造成的车体热损失, 软卧车补偿 12 kW、硬卧车 15 kW、硬座车 12 kW、餐车 15 kW。

(二) 各种负载的效率与功率因数

(1) 采暖的电加热器、电开水炉和温水箱电热均属电阻性负载, 其 $\cos \varphi = 1$ 。

(2) 荧光灯照明用电可取 $\cos \varphi = 0.523002$ 。

(3) 对于三相异步电动机, 当其功率负载在 60% ~ 100% 变化时, 其效率变化不大, 而功率因数却随负载与转速大小而变化。不同型号电动机在额定负载和转速情况下的效率和功率因数见表 1-3。

表 1-3 电动机效率及功率因数

电动机轴功率/kW	转速/(r/min)	效率 η	功率因数
0.4	1 410	0.74	0.76
0.5	1 410	0.74	0.76
1.1	1 460	0.79	0.79

续表

电动机轴功率/kW	转速/(r/min)	效率 η	功率因数
1.5	1 460	0.81	0.82
1.8	1 470	0.82	0.83
2.2	1 470	0.835	0.84
3.75	2 880	0.85	0.85
5.5	2 880	0.85	0.88

(三) 功率利用系数

由于空调旅客列车运行季节、车上人员和电源电压的变化,使设计安装的电气设备功率没有完全被利用。

对于空调机组按经验其功率利用系数一般只为 75%,而各种电气负载功率利用系数参照表 1-1。

(四) 列车用电量

1. 负载的有功功率 P

$$P = \frac{P_0}{\eta} K_1$$

式中 P_0 ——负载的额定功率, kW;

η ——负载的效率;

K_1 ——负载的功率利用系数。

2. 负载的无功功率 Q

$$Q = P \sqrt{\frac{1 - \cos^2 \varphi}{\cos \varphi}} \quad (\text{kVar})$$

式中 $\cos \varphi$ ——该负载的功率因素。

3. 负载的视在功率 S

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (\text{KV} \cdot \text{A})$$

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \quad (\text{KV} \cdot \text{A})$$

任务五 车辆供电方式

任务描述

车辆供电系统为车上电气负载和自动化装置提供电能，本任务主要介绍单独供电、集中供电和混合供电三种供电方式。

相关知识

早期的客车电气设备较简单，主要是照明、风扇、信号设备，品种少，要求也不高，因而供电方式也较简单，主要是采用小功率轴驱式发电机和蓄电池并联供电方式。目前，我国的非空调客运列车仍采用这种供电方式。

随着人们生活水平的不断提高及科学技术的不断发展，客车上电气设备日益增多。为提高旅客的舒适度，现代客车上大多安装了空调、信息显示设备，还有冰箱、彩电等，平均每辆车所需的功率比早期增加了几倍甚至几十倍，而且不同电器的电压制式也不同，既有直流的，也有交流的。这就对列车供电系统提出了很多新的要求，各种新型的列车供电系统也随之不断出现。从变流方式看，有采用旋转式发电机组供电的，也有采用半导体静止变流器供电的；从分布方式看，有采用集中式供电的，也有采用分散式供电的。半导体静止变流器具有噪声低、体积小、质量小、布置灵活、输入电压适应范围宽、输出电压稳定、可节能等优点，在现代客车上被逐渐推广应用。

一、单独供电

车辆单独供电是每辆车都带有一套独立工作的供电装置。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供电装置。此时，安装有发电设备的车辆称为母车，不带有发电设备的车辆称为子车，子母车之间通过车端电力连接器沟通车内输电干线。

车辆单独供电有下述三种类型：

- (1) 采用蓄电池组供电。
- (2) 采用由车轴通过皮带或万向轴驱动发电机与蓄电池组并联向车辆供电。
- (3) 采用小型柴油发电机组供电。

单独供电的特点是发电功率较小，一般为 $1 \sim 35 \text{ kW}$ ；车辆可以随意摘挂和编组，供电装置的主机不占有车内有效空间；全列车输电干线通过车端连接器贯通，并组成统一电网，因此局部故障不影响列车用电。

单独使用蓄电池供电的优点是设备简单，使用方便，可靠性较好，电流为纯直流成分；缺点是单位功率所占的体积和质量较大，蓄电池在放电过程中电压逐渐降低，铅蓄电池放电至终止电压时必须停止放电并进行充电，否则因过放电而损坏。另外，蓄电池

寿命短，损坏率高，维护工作量也大。因此，这种供电方式，只宜在用电量不大的车辆上使用。

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为广泛的一种供电方式。车辆运行时，由车轴通过皮带或万向轴传动，驱动发电机供电，可供车辆的照明等用电。当车辆停站或紧急情况而临时停车时，则由蓄电池组供电。我国旧式客车的轴驱式发电机曾采用直流发电机，而 22 型和 23 型客车则普遍采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 时为 24 V，功率为 3 ~ 10 kW 时为 48 V，功率高于 10 kW 时采用 110 V。

车轴与发电机之间的传动装置形式，一般也根据发电机的功率大小而确定：功率在 10 kW 以下时，采用平皮带或三角皮带传动，也可以采用三角皮带与齿轮副二级传动；功率在 10 kW 以上时，一般多采用万向轴传动。10 kW 以下的发电机可以悬挂在转向架的构架上，10 kW 以上的发电机一般需固定在车体底架上。

采用小型柴油发电机组单独供电，可以减少机车牵引动力，提高供电电压，减少蓄电池用电量，便于长期停站时利用市电，但要求机组工作可靠，噪声与振动较小，使用维修方便。这种供电方式适用于带有空气调节装置的软卧车、宿营车。发电机采用三相感应子交流发电机，工作电压为 110 V，功率为 10 ~ 40 kW。

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，在设备投资、节约有色金属、减少机车动力与供电设备质量以及便于运用维修等诸方面的要求都极为有利。

列车集中供电的电源，对于非电气化区段，由列车发电车上的柴油发电机组供给；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。

（一）柴油发电车供电

由发电车的柴油发电机组集中供电时，一般为线电压 400 V、相电压 230 V、三相、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积都较大，干线穿管施工难度较大，对连接器的插头和插座间接触电阻要求非常严格（小于 $0.0008\ \Omega$ ）。因此，在可能的条件下应将供电干线电压提高。

（二）接触网供电

我国电气化区段接触网电压为单相、工频 25 kV，经电力机车主变压器变换为单相、工频 $2 \times 1500\ \text{V}$ 后输送给连挂客车的输电干线，输电功率为 $800\ \text{kV} \cdot \text{A}$ 。由于输电电压较高，因此输电干线与车端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。

由接触网供电的客车，其用电负载特点是空调机组电动机仍采用三相异步电机，由分散于每辆客车中三相逆变器供电；采暖电加热器与电开水炉由降压变压器提供 220 V 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逆变器转换成交流电，以保证摘挂机车时其也能正常工作。

电气化接触网客车供电方式有机车供电、电源车供电和 DC 600 V/AC 380 V 兼容供电三种。

三、混合供电

鉴于目前铁路牵引动力还存在多种类型，铁路车辆（如机械冷藏列车）的一些特殊运输条件，除了前述两种供电方式之外，还有必要采用第三种方式，即混合供电。

混合供电方式有下列几种：

（1）车辆照明和通风机由轴驱式发电机与蓄电池组并联供电，而车上的采暖电热元件则由电气化铁道的接触网供电，这种供电方式适用于电化区段的普通客车。

（2）列车或车组正常运用时由柴油发电机组供电，而当列车或车组空载或停站时由轴驱式发电机与蓄电池组并联供电，目前与非空调客车连挂时的空调软卧客车以及机械冷藏列车中宿营车采用这种供电方式。

综上所述，车辆的供电系统有多种类型，具体选择时应从下列几个方面考虑：

- （1）车种及用途。
- （2）车辆在列车中的编组方式。
- （3）车辆电气负荷的类型，功率以及它们的用电要求。
- （4）在保证可靠供电的条件下供电设备的经济性。

任务六 车体配线

任务描述

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。本任务主要介绍车体配线基础、集中型客车的车体配线、KC20 型电力连接器和 JL1 型集控连接器。

相关知识

一、车体配线基础

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。客车的车体配线，根据供电方式的不同分为分散式和集中式；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，它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；车下配线即敷设在地板以下的供电电路，它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。

（一）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，称之为第几位某某机具，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，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，称之为几位某某机具，如图 1-1（b）所示。

(3) 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, 称之为几位侧第几位某某机具, 如图 1-1 (c) 所示。

总之, 除蓄电池和分线盒外, 数量在两个或两个以上的车电机具, 可以站于 2 位车端面向 1 位车端, 由远及近, 由右到左顺序定位。对于数量仅有一个的车电机具可直呼其名。

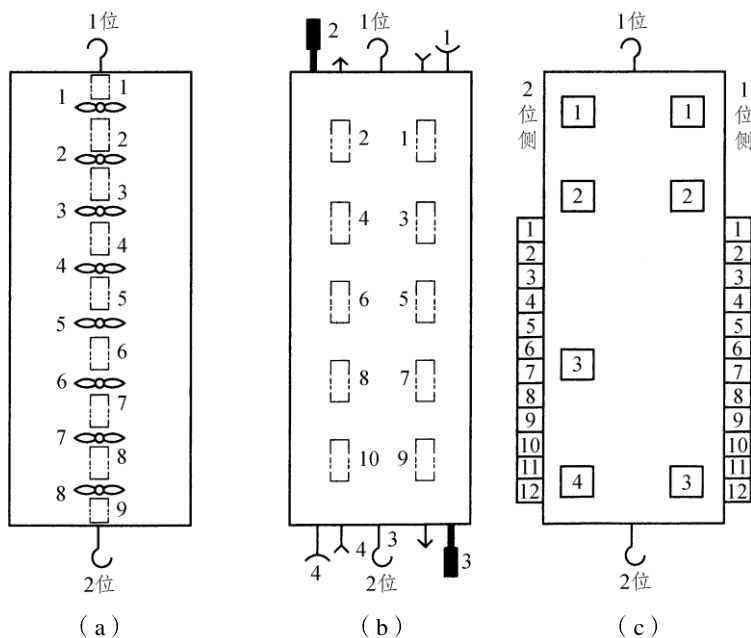


图 1-1 车电装置的位置称呼法

(二) 车体配线电工图形符号及标记

1. 电工图形符号

客车车体配线的电路图都是用符号来表示的。根据国家标准并结合客车设计部门的习惯画法, 车体装置常用的电工图形符号见表 1-4。

表 1-4 车体装置常用的电工图形符号

名称	符号	名称	称号
客车直流发电机		排风扇	
客车感应子发电机		电压表	
蓄电池组		电流表	
		扬声器	

续表

名称	符号	名称	称号
电力连接器插头、插座		电铃	
播音连接器插头、插座		熔断器	
白炽灯		导线	交叉相接
荧光灯			交叉不相接
单灯逆变器及荧光灯		正负线	
电扇		开关	
		分线盒	

2. 车体配线标记

为便于识别各车体配线，在新造或厂修客车时，必须在各配线线端扎上标示牌。标示牌用钢精轧头制作，并有钢印标记。标记符号一般用汉语拼音的字头表示。

1) 配电盘线端标示牌

配电盘线端标示牌标记符号含义见表 1-5。

表 1-5 配电盘线端标示牌标记符号含义

配电盘线端标示牌	终夜灯	半夜灯	房间灯I	房间灯II	床灯	风扇	插销	侧灯	水泵	电铃	表示灯	主回路	连接线
标记符号	ZY	BY	FJ1	FJ2	CH	FS	CX	CD	CB	DL	BS	L	H(F)

2) 控制箱线端标示牌

控制箱线端标示牌标记符号含义见表 1-6。

表 1-6 控制箱线端标示牌标记符号含义

控制箱线端 标示牌	发电机 励磁线	控制箱 负线	控制用 三相电源	控制箱 正线	蓄电池 正线	输出正线
标记符号	J1、J2	D-	A、B、C	D+	B+	L

3) 发电机线端标示牌

输出三相电源——A、B、C；

发电机励磁线——J1、J2。

4) 主整流箱线端标示牌

输入三相电源——A、B、C；

输出正主线——D+；

输出负主线——D-。

三、导线选择

(一) 导线的种类及性能

导线根据其结构和用途，一般可分为裸导线、绝缘导线和电缆线三种。裸导线为没有绝缘层和保护层的导线，它不适合用于车辆上的输配电线路。绝缘导线和电缆线通常由导电线芯、绝缘层和保护层三部分构成。导电线芯需具有导电性能好、机械强度大、防腐性能高等特性，绝缘层是将绝缘材料根据其耐受电压程度的要求，以不同的厚度包覆在线芯外面而形成的，它可以把带电体与其他部分隔绝开。对绝缘层材料的要求是，其电气绝缘及热传导性能应良好。保护层用以保护电线免受外界机械的损伤和周围介质的影响，因此要求其质地柔韧且具有相当的机械强度以及耐磨耐酸、耐油和不易燃烧的性能。

绝缘电线及电缆型号样式和型号含义如图 1-2 及表 1-7 所示。

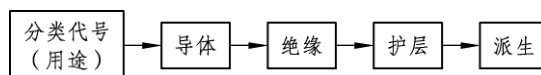


图 1-2 电线及电缆型号样式

表 1-7 电线及电缆型号含义

分类代号(用途)	导体	绝缘	护层	派生
B: 布电线 F: 飞机用(低压) Q: 汽车用(低压) R: 日用电器软线 Y: 一般工业移动电器用 YH: 电焊机用 A: 安装用 J: 电机引出线	T: 铜(一般省略不表示) L: 铝	X: 橡皮 V: 聚氯乙烯 SB: 玻璃丝 F: 四氟乙烯塑料	H: 橡胶套 Q: 铅包 BL: 玻璃丝编织涂蜡 V: 塑料护套 L: 棉纱编织涂膜 B: 玻璃丝绕包 HF: 非燃型橡胶套	R: 软 B: 扁 P: 屏蔽 V: 聚氯乙烯 Q: 轻型 Z: 中型 C: 重型 S: 双绞

(二) 导线截面选择

正确地选择导线的截面,不但能保证电力系统正常、经济地运行,而且对节约有色金属也有重大意义。选择导线截面时应考虑下述几方面的因素。

1. 发热条件

对于有电流通过的导线,由于发热而引起的温升超过其允许的最高温升值时,会使导线的绝缘材料失去绝缘性能。所以,当导线周围的介质温度为定值时,所允许通过的电流有一最大限度值,在导线持续地通过此电流的情况下,温升不应超过规定值。例如,橡皮绝缘导线的最高允许温度为+60℃,电缆线芯的长期允许工作温度不得超过+55℃。根据各种导线的最高允许温度,又可规定出各种导线和电缆的额定电流值。这样,选择导线截面时,应使该导线允许通过的额定电流必须大于持续的最大工作电流,即应选择额定电流大于最大工作电流的导线截面。

2. 导线的机械强度

导线除应有良好的电气性能外,还需具有足够的机械强度。根据机械强度方面的要求,导线所容许的最小截面积通常按其用途、工作环境及连接方式等特点各有不同的数值。

3. 导线的电压损失

当导线输送电能时,由于线路上存在着阻抗,故将产生一定的电压损失。为了保证用电设备的正常工作,电压损失不得超过一定的数值,此数值被称为允许电压损失。

客车车体配线为一般低压网路中的导线,其截面通常根据允许电压损失来选择,然后再根据发热条件和机械强度进行校验。

4. 直流电网中导线截面的确定

1) 负载集中在一端的双线制电网

在图 1-3 中, U_1 为配电盘(线路始端)处的电压(V), U_2 为负载的端电压(V); I 为负载电流(A), l 为导线一边的长度(m)。

由图 1-3 可知,导线的电压损失为

$$\Delta U = U_1 - U_2 = IR = \rho \frac{2Il}{S} \quad (\text{V})$$

则导线的截面积

$$S = 2\rho \frac{Il}{\Delta U} \quad (\text{mm}^2)$$

式中 ρ ——导线电阻率,铜为 $0.018 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ 。

2) 分布负载的双线制电网

如图 1-4 所示, i_1 、 i_2 、 i_3 、 i_4 分别为各负载的电流(A); I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 分别为各线段的电流(A); R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 分别为各线段的电阻(Ω), l_1 、 l_2 、 l_3 、 l_4 分别为各线段一边的长度(m); L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 分别为配电盘至各负载的距离(m)。

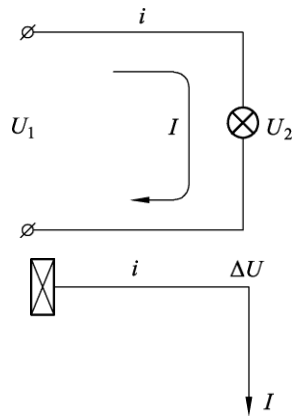


图 1-3 集中负载的电路简图

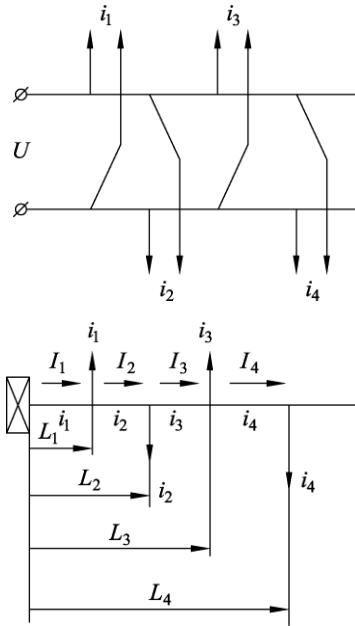


图 1-4 分布负载的电路

由图 1-4 可得下列关系：

$$I_1 = i_1 + i_2 + i_3 + i_4$$

$$I_2 = i_2 + i_3 + i_4$$

$$I_3 = i_3 + i_4$$

$$I_4 = i_4$$

$$L_1 = l_1$$

$$L_2 = l_1 + l_2$$

$$L_3 = l_1 + l_2 + l_3$$

$$L_4 = l_4$$

假定各段的导线均为同一截面积 S ，最远处负载的电压损失等于各线段的电压损失之和，则

$$\Delta U = I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 + I_4 R_4$$

将各线段的电阻以 $R_k = \rho \frac{2l_k}{S}$ 表示，并代入上式后可得

$$\Delta U = \frac{2\rho}{S} (I_1 l_1 + I_2 l_2 + I_3 l_3 + I_4 l_4) = \frac{2\rho}{S} \sum_{k=1}^4 I_k l_k$$

将 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 的数值代入后可得

$$\begin{aligned}\Delta U &= \frac{2\rho}{S} [l_1(i_1 + i_2 + i_3 + i_4) + l_2(i_2 + i_3 + i_4) + l_3(i_3 + i_4) + l_4 i_4] \\ &= \frac{2\rho}{S} (i_1 L_1 + i_2 L_2 + i_3 L_3 + i_4 L_4) \\ &= \frac{2\rho}{S} \sum_{K=1}^4 i_K L_K\end{aligned}$$

因此，计算导线截面的公式为

$$S = \frac{2\rho}{\Delta U} \sum_{K=1}^4 I_K L_K \quad (\text{mm}^2)$$

或
$$S = \frac{2\rho}{\Delta U} \sum_{K=1}^4 i_K L_K \quad (\text{mm}^2)$$

5. 交流电网中导线截面的确定

对于单相或三相交流电网中导线的电压损失，可由图 1-5 所示的电压矢量图求得。图中， U_1 为线路始端的供电电压 (V)， U_2 为负载的端电压 (V)； φ 为负载端的功率因数， I 为负载电流 (A)， R 为一根线路的电阻 (Ω)， X 为线路的感抗。

由图 1-5 所示的关系可知，线路的电压损失是线路始端电压 U_1 和负载端电压 U_2 有效值的向量差，即

$$\overline{\Delta U} = \overline{U_1} - \overline{U_2}$$

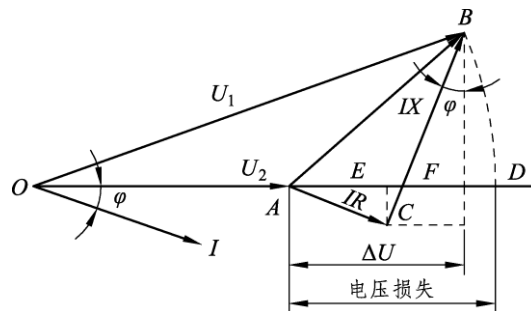


图 1-5 电压矢量图

矢量图上， AB 表示电压降的大小；若以 O 为圆心， OB 为半径作圆弧交 U_2 的延长线于 D ，则 AD 就是电压损失的大小。由于 φ 角很小，为了计算的简便，可近似地认为 $AD \approx AF$ (AF 为 AB 在 AD 线上的投影)。

而 $AE = IR \cos \varphi \quad EF = IX \sin \varphi$

则 $\Delta U = IR \cos \varphi + IX \sin \varphi$

在单相交流电网中，两根线路的电压损失为

$$\Delta U = 2I(R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

在三相交流电网中，线路的线电压损失为

$$\Delta U = \sqrt{3}I(R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

由于列车的车体配线长度 l 不大, 电抗 X 的影响较小, 故可以略去不计。若以 $R = \rho \frac{l}{S}$ 代入后, 则可以得

在单相交流电网中

$$\Delta U = \rho \frac{2Il}{S} \cos \varphi \quad (\text{V})$$

在三相交流电网中

$$\Delta U = \sqrt{3} \rho \frac{Il}{S} \cos \varphi \quad (\text{V})$$

设电压损失的百分数为

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U_2} \%$$

并以 $I = \frac{P}{U_2 \cos \varphi}$ 代入后, 则单相电路中, 导线的截面积为

$$S = \frac{2\rho l P}{\varepsilon U_2^2} \quad (\text{mm}^2)$$

三相电路中, 导线的截面积为

$$S = \frac{\sqrt{3}\rho l P}{\varepsilon U_2^2} \quad (\text{mm}^2)$$

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 (又称为打火法)、灯泡接地 (又称为亮灯法), 但这两种方法只能粗略判断漏电程度, 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 1-6 所示为这种检测表的外形结构, 它是由下述三个部分组成的。

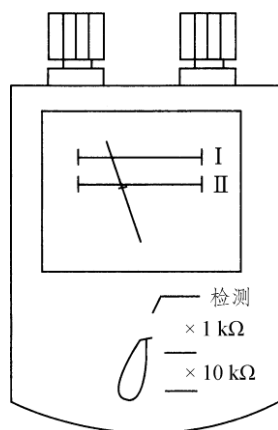


图 1-6 直读式绝缘检测表

- (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——用于检测全列车的绝缘，在刻度线读数。
 - ③ “ $\times 10 \text{ k}\Omega$ ”位置——用于检测母车与子车的绝缘，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 1-8 的规定。

表 1-8 客车车体配线的绝缘测量值

 单位: $\text{M}\Omega$

线别	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
	100 V 以上	2	1.5	0.75

五、客车集中式供电系统车体配线

目前，我国 25G、25K 型空调客车集中供电系统多采用在车列前端或尾端加挂一辆柴油发电车，车上安装柴油发电机组，通过电力电缆和车端电力连接器，将电能输送到各节客车上。有的车辆具有遥测、遥控电缆，以便将各车的测温信号以及空调机组故障显示信号传至乘务发电车，并将值班人员发出的控制指令传送到各节客车上。由于这种供电方式输送的是 380 V/220 V 三相交流电，电压较高，因此，对于这类客车的车体配线在绝缘、配线工艺等方面都有较高的要求。下面以长春轨道客车股份有限公司生产的 YZ 25 K 型空调客车为例，介绍车体配线情况。

我国长春轨道客车股份有限公司生产的 YZ 25 K 型空调客车的车体配线，包括车下配线、车上配线、连接器三大部分。

(一) 车下配线

车下配线包括输送三相交流电的主线、电力连接器及车下各负载支线等。车下主线用来沟通发电车与各车辆间的电力系统，同时供给本车用电。由于空调客车用电量较大，每辆车耗电约为 30 kW，为了使远离发电车的车辆的输入电压保持恒定，故要求车下正、负主线应有足够的截面积，以减小主线上的电压损失，保证各辆车都得到较均衡的输入电压。

在满足导线截面积的条件下，车下主线采用两路并联的方法，同时每路中的三相导线各用三根 DCYH-1-750 V 的电线并联组成，并将它们敷设在钢管内，以增加强度。

图 1-7 所示为车下配线图，其一路三相主线敷设在 1 位侧，而另一路三相主线则敷设

在 2 位侧。这两路主线可以将三相交流电同时送至车上的配电盘，以保证各负载的用电。车下有 $J_1 \sim J_4$ 四个干线接线箱， $J_5 \sim J_7$ 三个电空制动线接线箱，另还有 $J_8 \sim J_{19}$ 共 12 个接线盒，其中轴温传感器四个感温头的导线引至 $J_8 \sim J_{11}$ ，制动系统中四个轴上的速度传感器的引线接至 $J_{12} \sim J_{15}$ ，轴温传感器的导线与速度传感器的导线均由 1 位端 1 位侧引上车，制动电子防滑器的引线接至 $J_{16} \sim J_{19}$ 。1 位侧的零线横跨车底架，引至 1 位侧与 2 位端零线连接后直接接地。供本车用电的两路三相导线共六根都是由 1 位端 2 位侧引上车。

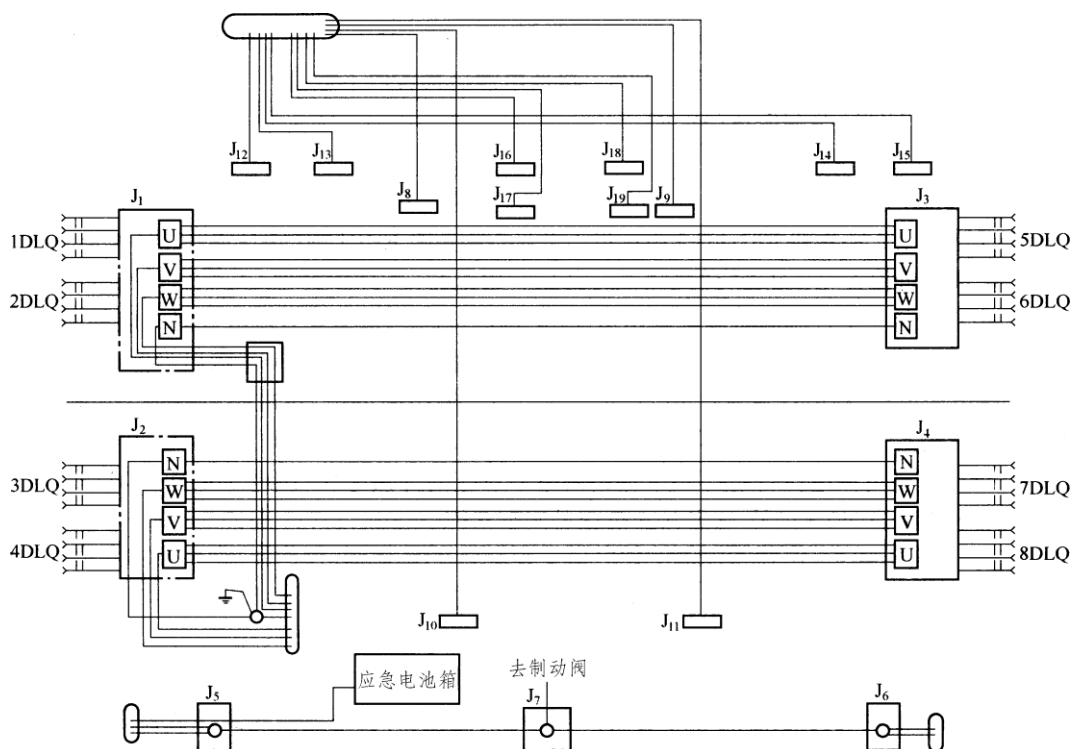


图 1-7 长春轨道客车股份有限公司 YZ 25K 型空调客车车下配线

(二) 车上配线

由车下主线输入的三相交流电，由 1 位端接线板 JXH1 引至控制柜，经电源控制柜引向空调机组控制柜、照明控制箱等电气设备。

车内的负载按电压可分下列三种。

(1) 三相 380 V 交流对称负载。空调机组各种电机、废气排风机、新风机、客室电热器、电茶炉。

(2) 单相 220 V 交流负载。车内照明、各种控制回路。

(3) DC48 V 直流负载。轴温报警器、侧灯、应急灯、电话插座、广播、水位显示、温水箱加热、信息显示等。

按负载的性质及用途，车上配线包括动力配线、照明配线、播音配线、电话配线及遥测控制线等。

1. 动力配线

空调机组的动力干线由空调控制柜 KTG 引出,一路在配电室引至 1 位端走廊顶棚上与 1 位机组插头 IKTCT 连接;另一路从 1 位端引至 1 位侧,分布在 1 位侧交流线槽内,沿着 1 位侧至 2 位端后,在 2 位端引至 2 位侧分别与 2 位空调机组插头 2KTCT 及排风机电机 PFS 连接。电开水炉 DCL 的动力干线由电开水炉控制箱引出,在 1 位端 1 位侧引至 2 位侧,与电开水炉 DCL 连接。空调控制柜与电开水炉控制箱的电源均由电源控制柜提供。

2. 照明配线

客室内由 30 盏 40 W 荧光灯组成两条光带作为客室主照明:每条光带中设一根 40 W 荧光灯(12EGD 和 29EGD)用于应急照明。通过台脚蹬上方各设一盏 2×15 W 吸顶灯;两端走廊、乘务员室各设一盏部统型 2×15 W 吸顶灯;洗脸室、配电室、厕所各设一盏 15 W 部统型壁灯;配电室、乘务员室走廊各设一盏 15 W 灯用于应急照明。另外,客室 1、2 位端头上设信息显示屏。照明干线从乘务员室的照明控制箱引出,自 1 位端引向 2 位侧,分布在 2 位侧交流线槽内。

3. 播音配线

沿着车体长度方向在客室顶部均布 4 个扬声器 1FQ-4YQ。播音干线布置在客室 2 位侧直流线槽内,两端分别引至接线板,然后与车端播音连接器的插头和插座相连。扬声器的支线上不设开关,均由广播室控制。

(三) 连接器

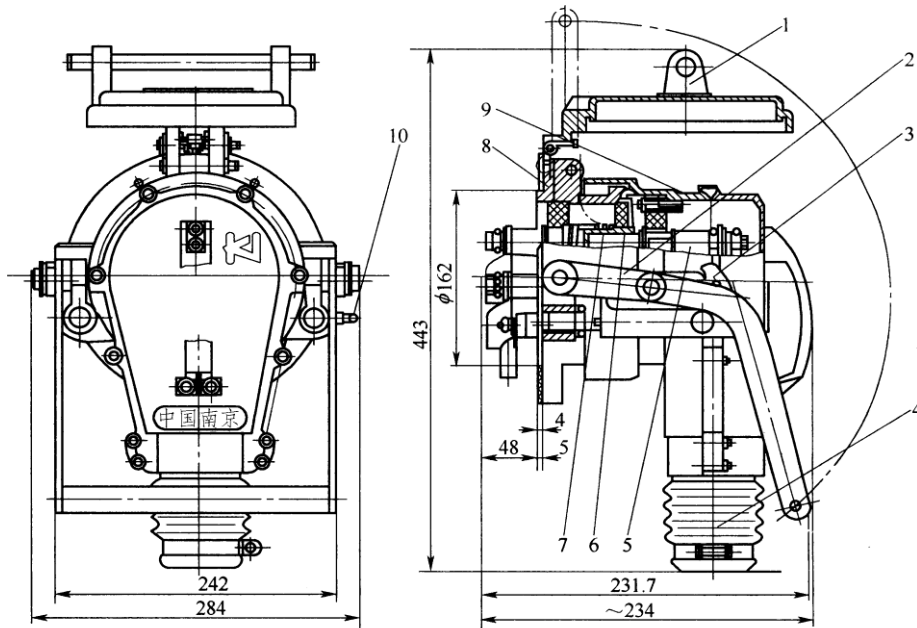
1. 电力连接器

常用的电力连接器主要有 KC20 型和 SL21 型, KC20 型电力连接器用于铁路空调客车传送三相动力电源,其具有接触电阻小、承载电流大、温升高、磨损小、寿命长、操作方便省力等优点。KC20 型电力连接器的安装尺寸和操作方式与原有铁路客车 JL₂ 型连接器完全一致,使用方便。例如,DC 600 V 车端连接器采用 KC20D 型电力连接器,外形及安装尺寸与 KC20A 型电力连接器相同,四对接触对的容量相同,其中,2 对作为 DC 600 V 正线连接,另 2 对作为 DC 600 V 负线连接。DC 110 V 采用 SL21 型电力连接器,两对接触对的容量相同,其中,一对作为 DC 110 V 正线连接,另一对作为 DC 110 V 负线连接。集控线通过集控连接器中的 2 对或 4 对接触对相连。

KC20 型电力连接器结构如图 1-8 所示,主要由插头、插座和操作机构(防护盖、摇臂)组成。插头与插座相应安装有 4 套自锁紧锥形接触对,每个插销都可自由浮动,每个插套都设置圆柱压缩弹簧,因此在插合时,能自动保证接触对准确、稳定、牢靠地连接。

2. 集控连接器

JL1 型集控连接器是用来沟通各客车的空调机组集控电缆,以便在发电车上实现集中控制。它由插头和插座两部分组成,其结构如图 1-9 所示,是一种防水、直插、机械锁紧的插头和插座,质量约 2.6 kg。



1—插座防护盖；2—摇臂；3—拉钩；4—防护套；5—插销；6—插套；
7—圆柱压缩弹簧；8—插座；9—插头；10—保险钩。

图 1-8 KC20 型电力连接器

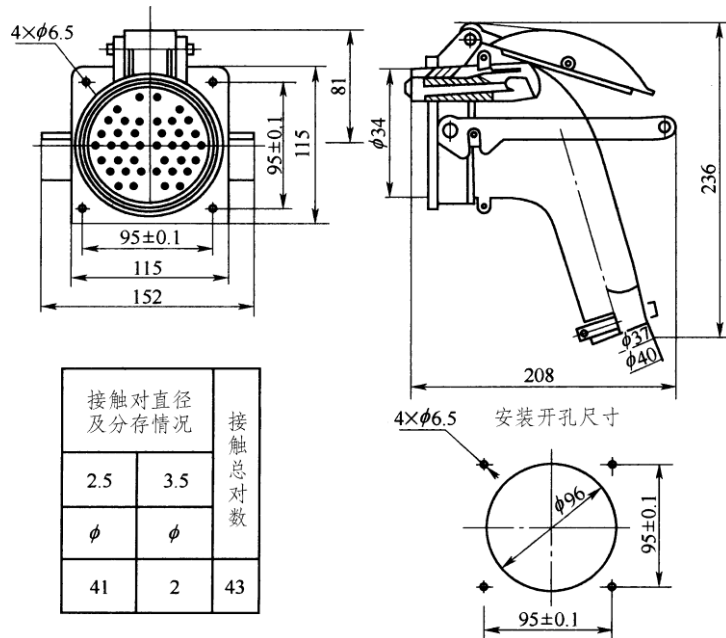


图 1-9 JL1 型集控连接器

在车体配线结束后，应进行绝缘耐压试验。根据规定，客车电力连接配线的绝缘电阻值应大于 $1\text{ M}\Omega$ ，在 50 Hz 、 750 V 电压作用下能耐压 1 min 以上；客车广播配线的绝缘电阻值应超过 $2\text{ M}\Omega$ 并在 50 Hz 、 $1\ 500\text{ V}$ 电力作用下进行 1 min 试验，导线绝缘不得击穿。

知识拓展

东芝公司对铁道车辆电气装置的技术研究

随着对地球环保意识的普遍增强，人们越来越关心铁道车辆电气装置对人和环境的适应性，为了对应这种需要，东芝公司进行了相应的研究开发。其最新研制包括下一代牵引电动机，小型电源装置和电力机车用大容量水冷式变流装置，全电气制动控制和永磁电机无传感器控制，铝制管道式利用走行风的自冷式主变压器和待机备用方式或并联运行方式的辅助电源装置等。

一、牵引电动机

(一) 牵引电动机开发动向

车辆用牵引电动机要求具有大的功率，但受转向架安装空间的限制，必须尽可能小型轻量化。为此，主要利用外部空气直接进入电动机内部冷却发热体的开放式通风方式，如近郊、通勤车采用自通风式的牵引电动机；新干线或电力机车用的大功率牵引电动机则采用强迫通风方式。

这种开放式通风，会使尘埃随风进入电机内部并堆积，不可避免地会降低冷却性能，为此，使用过程中必须定期解体、清扫电机。解体、清扫周期由使用条件和外部环境决定，如通勤、近郊车，一般每4~6年解体一次。近年来希望进一步减少维护和延长维护周期，并节省能源和降低伴随通风产生的噪声。图1-10展示了根据这些要求开发的下一代牵引电动机。

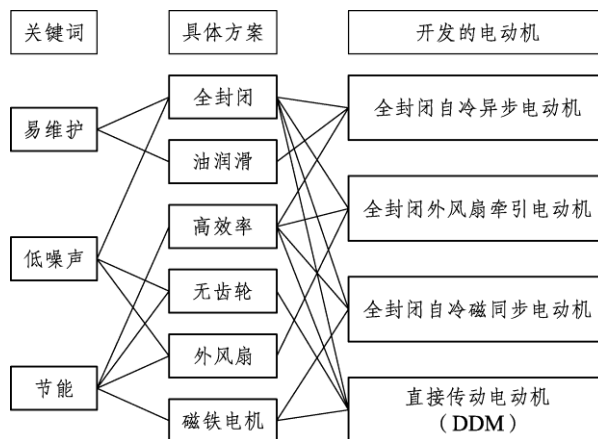


图 1-10 下一代牵引电动机

(二) 下一代牵引电动机

1. 直接驱动电动机 (Direct Drive Motor, DDM)

这种电机取消了以前必不可少的齿轮传动装置，同时把电动机全封闭，可实现无维

护。由于采用了永磁电动机，效率可提高 7%，噪声可减少 17 dB。

2. 全封闭自冷电动机

在以往的传动系统中，只要把电动机完全封闭，就能实现在开放式中无法实现的低噪声、高效率、少维护。但只有全封闭形式的永磁电动机才能与原来的自通风电机具有相同的功率和体积。另外，异步电动机若采用油润滑轴承的新技术，因其体积增加较少也能做成全封闭自冷式。

3. 全封闭外通风电动机

根据新开发的外风扇冷却的结构，异步电动机可以做成与过去自通风电机用同样的脂润滑，且体积增加不多的全封闭形式。噪声可以控制得比开放式更低，且对整体系统影响不大，也可延长维护周期。

二、变流装置

(一) 小型轻量化

将来自接触网的电力变成所希望的电压、频率的变流装置（包括主变流装置、VVVF 逆变器和辅助逆变器等）必须放在车体下的有限空间里，故尤其要求小型轻量化。如果占变流装置 1/2 体积的电源部件能做得小而轻，则安装的自由度大，维护方便。为了实现电源部件的小型轻量化，就要使作为关键部件的电力半导体器件的耐压提高、损耗降低，同时使电源部件的结构和冷却技术最佳。

用 3.3 kV/1 200 A 定额的 IGBT（其开关损耗比以往的 IGBT 降低 30%），并采取热管冷却技术开发的小型二点式逆变器，可驱动 4 台 200 kW 的异步电动机。图 1-11 所示为 2 组逆变器与冷却器一体化结构，是一种有效利用空间、小型轻量化的二合一逆变装置。在 3 个热管区的两侧各安装 1 重和 2 重 IGBT，就能实现在一个箱体内存装 2 组逆变器。

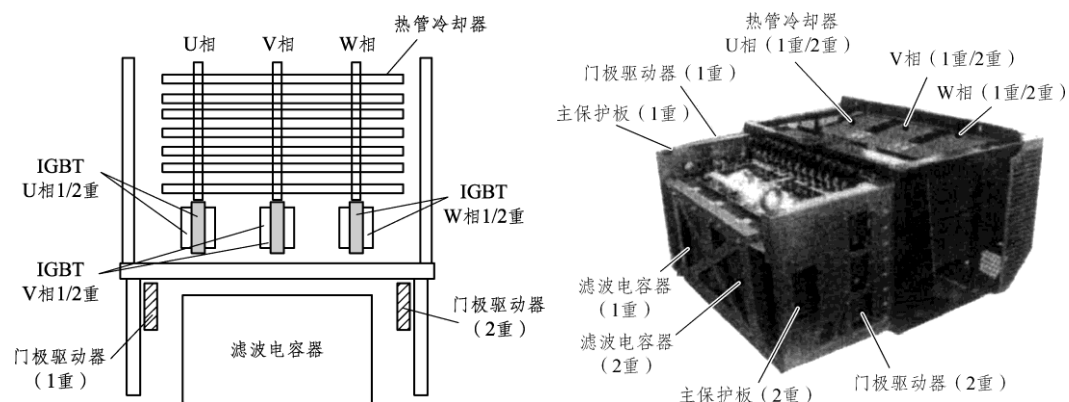


图 1-11 一个箱体内存 2 组逆变器

另外，双重式辅助电源系统的变流装置，则把备用元件和正使用的元件配置在热管的两侧，从而可更有效地利用冷却器。

（二）大容量

对大功率、大牵引力的电力机车，其变流装置必须有大的容量。图 1-12 所示为电力机车用大容量变流装置，对于交流接触网供电，其主变流装置由 3 组变流器、逆变器组件组成，各组完全独立，各自能控制 1 100 kW 的异步电动机。

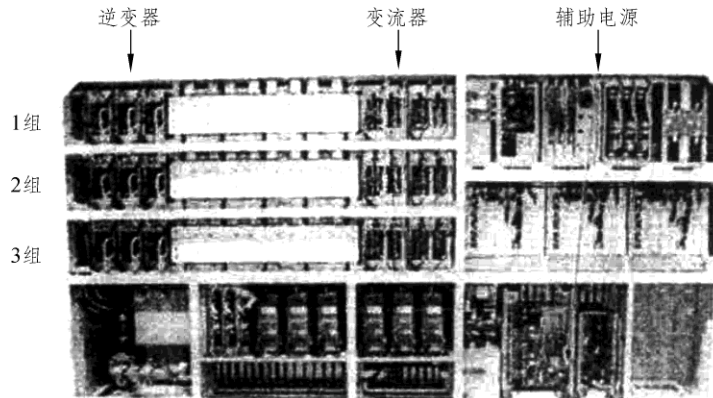


图 1-12 电力机车用大容量水冷却主变流器

在采用 4 500 V/900 A 的 IGBT 元件，构成二点式变换回路中，采用 2 个变流器并联连接，1 个逆变器并联连接。

主变流装置内还内置 230 kV·A 辅助电源，其冷却方式为，变流器和逆变器采用强制循环水冷，辅助电源采用强迫风冷，冷却系统是分开的独立系统。

三、通过控制来追求舒适和提高可靠性

（一）电气制动

由于采用矢量控制，异步电动机即使在极低的速度下也能进行稳定的转矩控制。全电气制动控制是矢量控制的效果之一，它可以实现仅用电气制动使车辆完全停住。目前的铁道车辆较多还是采用空气制动与电气制动并用的方式。

过去的滑差频率控制，在极低速度下的电动机转矩控制较困难，当要停车时就切换用空气制动。但空气制动是利用车轮与闸瓦间的摩擦，因此极其细小的转矩控制是很难的，从维护方面也要求减少闸瓦磨耗。因此停车时不切换到空气制动，只用电气制动就能停车的优点是很大的。

（二）永磁电动机的无传感器控制

过去，都要用速度传感器实现牵引电动机控制，但因为传感器及接口电路成本高、安装传感器的空间有限、传感器安装精度及其可靠性、要经常维护、信号配线又麻烦等原因，所以希望不使用传感器。在牵引电动机是异步电动机的控制中，现已实现了无传感器的控制方式。

四、主变压器

利用走行风的自冷式主变压器以前的主变压器，其冷却方式多以强迫通风为主，而在已有线路机车动车上的主变压器中，正在扩大应用通过走行风进行冷却的自冷式油冷器的冷却方式。

自冷式主变压器因为是利用走行风，不需要风机，故主变压器具有小型、轻量、低噪声、节能和少维护等优点。

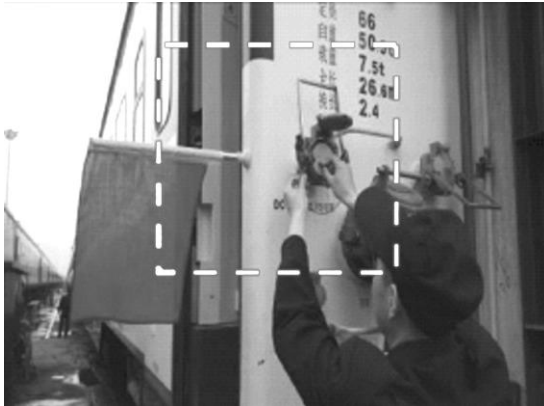
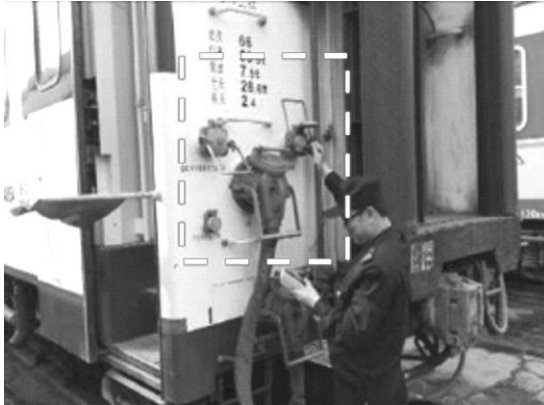

实训项目

DC 600 V 提速客车干线绝缘检测作业指导书	
适用范围	适用于库列检作业人员对 DC 600 V 提速客车绝缘检测作业
作业条件 (含配套设备)	客车整备线路
使用工具	湿度计、1 000 V 兆欧表、万用表、DC 110 V 试灯、电工工具
注意事项	1. 作业人员必须按规定穿戴劳保护用品。 2. 严禁带电作业。 3. 检测用湿度计、兆欧表等仪表工具须有定期计量校验标记且在校验有效期内
安全提示	1. 雨雪天气时, 当心滑倒。 2. 现场作业时, 不得侵限
作业步骤及质量标准	图示
<p>1. 作业前准备</p> <p>▲(1) 检查作业工具、仪器仪表外观良好。</p> <p>(2) 到安全员处办理上车手续, 填写内容字迹清晰工整, 时间准确</p>	
<p>2. 断电、复位</p> <p>▲(1) 逐辆卸载, 按程序断电。</p> <p>(2) 逐辆将配电柜主电源选择开关置于零位(断位), 同时断开 Q1、Q2 主开关</p>	
<p>3. 检查绝缘表校验情况</p> <p>以 120 r/min 摇动 1 000 V 绝缘表, 进行开路、短路试验。</p> <p>▲(1) 绝缘表在校验有效期内。</p> <p>(2) 短路试验时表针指零、开路试验时表针指向无穷大</p>	

续表

作业步骤及质量标准	图示
<p>4. 端部连接线、座检查。</p> <p>▲(1)检查列车北头电力连接线、DC 110 V 连接线及通信线，外部护套无破损，防水护套与插头处密接可靠。</p> <p>(2)电力连接线、DC 110 V 连接线及通信连接线座，密封胶圈密封、防水作用良好，接线端子、插针、插孔无缩针、缩孔、松动、锈蚀、变色、灼痕、烧损。</p> <p>★ 检查前确认I、II路干线无电</p>	
<p>5. 测试干线电气绝缘</p> <p>▲(1)在列车北头车端连接线座处使用1 000 V 级兆欧表进行DC 600 V 干线绝缘测试。</p> <p>(2)测试I路干线绝缘。</p> <p>① 将兆欧表表笔分别置于连接线正、负插针，测试正、负线间绝缘阻值。</p> <p>② 将兆欧表表笔一支置于正线插针，另一支连接车体金属处，测试正线与车体绝缘阻值。</p> <p>③ 将兆欧表表笔一支置于负线插针，另一支连接车体金属处，测试负线与车体绝缘阻值。</p> <p>(3)测试II路干线绝缘。</p> <p>① 将兆欧表表笔分别置于连接线正、负插针，测试正、负线间绝缘阻值。</p> <p>② 将兆欧表表笔一支置于正线插针，另一支连接车体金属处，测试正线与车体绝缘阻值。</p> <p>③ 将兆欧表表笔一支置于负线插针，另一支连接车体金属处，测试负线与车体绝缘阻值。</p> <p>★ 测试前确认I、II路干线无电</p>	

续表

作业步骤及质量标准	图示
<p>6. 测试 DC 110 V 干线电气绝缘</p> <p>▲ (1) 装有 DC 110 V 车列漏电检测装置的运用客车, 车列绝缘以漏电检测装置无报警为合格。</p> <p>(2) 无 DC 110 V 车列漏电检测装置的客车在北头 DC 110 V 连接器座处使用 DC 110 V/25 W 试灯测量绝缘, 正负极对地以灯泡钨丝不红为准</p>	
<p>7. 通信干线测试</p> <p>(1) 通信干线通路测试。</p> <p>▲ 列车北(南)头使用万用表对通信干线 1 位侧、2 位侧进行通路测试。</p> <p>★ 测试前车上相应电器必须关闭。</p> <p>(2) 供电控制回路测试。</p> <p>▲ ① 闭合南(北)四合一控制柜 Q12、Q18、SB2 开关。</p> <p>② 使用 DC 110 V/25W 试灯测试北(南)头集控电源负线(32 针)与供电请求(8 针)、供电允许(9 针)、集控电源正线(31 针), 是否有 DC 110 V 电源, 有控制回路正常, 无控制回路异常</p>	
<p>8. 记录、确认</p> <p>▲ 记录测试结果。</p> <p>★ 绝缘值不得低于《列车干线绝缘测试值表》(见表 1-9); 测试不合格查明原因, 彻底消除故障</p>	

续表


作业步骤及质量标准	图示
<p>9. 完工 清查工具、材料，进行场地清理。 ▲ 做到工完、料净、场地清。 ★ 按规定办理下车手续</p>	

表 1-9 列车干线绝缘测试值

单位：MΩ

线别	DC 600 V 及 DC 600 V/AC 380 V 兼容供电				AC 380 V 供电			
	运用列车		运用单车		运用列车		运用单车	
类别	线间	线地	线间	线地	线间	线地	线间	线地
<60%	2	1	4	2	2	1	4	2
61%	1.95	0.98	3.88	1.94	1.94	0.97	3.88	1.94
62%	1.9	0.95	3.76	1.88	1.88	0.94	3.76	1.88
63%	1.84	0.92	3.64	1.82	1.81	0.91	3.64	1.82
64%	1.78	0.89	3.52	1.76	1.75	0.88	3.52	1.76
65%	1.72	0.86	3.4	1.7	1.68	0.85	3.4	1.7
66%	1.67	0.84	3.28	1.64	1.62	0.82	3.28	1.64
67%	1.61	0.81	3.16	1.58	1.55	0.79	3.16	1.58
68%	1.56	0.78	3.04	1.52	1.49	0.76	3.04	1.52
69%	1.5	0.75	2.92	1.46	1.42	0.72	2.92	1.46
70%	1.44	0.72	2.8	1.4	1.36	0.69	2.8	1.4
71%	1.39	0.7	2.68	1.34	1.29	0.66	2.68	1.34
72%	1.33	0.67	2.56	1.28	1.23	0.63	2.56	1.28
73%	1.28	0.64	2.44	1.22	1.16	0.6	2.44	1.22
74%	1.22	0.61	2.32	1.16	1.1	0.57	2.32	1.16
75%	1.16	0.58	2.2	1.1	1.03	0.54	2.2	1.1
76%	1.11	0.56	2.08	1.04	0.97	0.51	2.08	1.04

续表

线别	DC 600 V 及 DC 600 V/AC 380 V 兼容供电				AC 380 V 供电			
	运用列车		运用单车		运用列车		运用单车	
类别	线间	线地	线间	线地	线间	线地	线间	线地
77%	1.05	0.53	1.96	0.98	0.9	0.47	1.96	0.98
78%	1	0.5	1.84	0.92	0.84	0.44	1.84	0.92
79%	0.94	0.47	1.72	0.86	0.77	0.41	1.72	0.86
80%	0.88	0.44	1.6	0.8	0.71	0.38	1.6	0.8
81%	0.83	0.42	1.48	0.74	0.64	0.35	1.48	0.74
82%	0.77	0.39	1.36	0.68	0.58	0.32	1.36	0.68
83%	0.72	0.36	1.24	0.62	0.51	0.29	1.24	0.62
84%	0.66	0.33	1.12	0.56	0.45	0.26	1.12	0.56
>85%	0.6	0.3	1	0.5	0.38	0.22	1	0.5
兆欧表等级	1 000 V				500 V			

复习与思考

1. 客车电气装置可分为哪几个主要组成部分?
2. 电能在铁路客车上有哪些应用?
3. 我国铁路客车现已使用的供电装置有哪几种?
4. 车辆供电方式的种类及特点有哪些?
5. 车辆设备的运用条件是什么?
6. 对于全国通用的车辆,其车辆设备应当满足什么样的工作环境条件?
7. 客车车体配线包括哪几部分?
8. 客车配线选用导线时应满足哪些条件?

