

高等学校教材

车 辆 电 气 装 置

西南交通大学 章 音 编

大连铁道学院 胡振绥 主审

中 国 铁 道 出 版 社

1994年·北京

前 言

《车辆电气装置》试用教材自1981年出版已十年有余。十几年来,随着改革开放政策的贯彻,我国国民经济获得较高速度的发展,科学技术获得很大的进步,其反映在车辆电气方面,有以下几点:

1. 根据电化学技术的发展,车辆开始使用碱性镉镍蓄电池。
2. 总结J₂型感应子发电机应用经验,为了解决轴驱式发电机与蓄电池组并联供电中充电电压与电灯电压的矛盾,延长电灯与蓄电池的使用寿命,开始试用双绕组的感应子发电机的单车交-直流供电系统。
3. 改进车上荧光灯照明设备,试制了BY-2型晶体管逆变器 and KBL型交流机组;根据荧光灯耐冲击,振动和高频工作的要求,加强灯管灯丝结构,并试用三基色荧光灯;试制和使用新型灯具,新造客车的客室照度提高到100~150lx。
4. 改进客车轴温监测与报警装置,使用铂电阻、AD590型集成温度传感器,以及测温PN结等测温元件来取代热敏电阻;用CMOS集成电路取代PMOS电路,使整机体积小、重量轻、功耗低,可靠性提高。
5. 空调机组的控制系统增设缺相、欠压和防火的保护环节,采用累计压缩机工作时间的计时器。
6. 列车集中供电的发电车采用技术更加先进的柴油发电机组,柴油机的大修时间由原来的1000h提高到24000h。发电机采用无刷励磁系统,发电车的容量扩大到 $3 \times 300 \text{ kW}$ 。
7. 开始研制由电气化铁道接触网供给客车电能的供电装置:普通客车采用电煤两用的温水采暖锅炉,干线电压为交流单相3000V;空调旅客列车由电力机车主变压器提供1500V或3000V单相交流电,容量为800kVA。在每辆客车中设置降压变压器和静止可控硅逆变器,将高压单相交流电转换成三相、220/380V、工频的交流电,供车上各种电气负载使用。
8. 单节空调车上设有30kW风冷柴油发电机组。
9. 改进车内列车播音系统,试制无刷直流电扇;在具有微波通讯的线路上,使用车上无线电话。
10. 采用氯化聚乙烯线及单极空气开关配电箱。

由于上述原因,原《车辆电气装置》试用教材的内容不能满足教学的需要,根据铁道部铁道车辆专业教学指导委员会的意见,对原《车辆电气装置》试用教材进行修订,以满足教学需要。本教材在修订时,坚持贯彻少而精原则。教学时数为60学时左右。

本书内容有少量采用日本、原民主德国和原苏联等国的产品资料,其电路符号,根据国家要求,均改用我国国家标准电路符号。

本教材由西南交通大学章音修订编写,大连铁道学院胡振绥主审,课程教学指导小组集体审定。铁道部车辆局史贵林高级工程师审阅了全部书稿,提出了宝贵意见;长春客车厂、上海局、及福州试验厂等单位为本书提供有关资料。在此,表示感谢。

编 者

1991年12月

(京)新登字063号

内 容 简 介

本书为高等学校铁道车辆专业“车辆装备”课程的专业教材,主要介绍车辆电气装置的组成及其运用条件;客车空气调节装置的自动控制系统;客车轴温监测与报警;交-直流供电装置;晶体管逆变器;车辆蓄电池;接触网供电;柴油发电机组供电;车体配线等内容。

本书是在原《车辆电气装置》试用教材的基础上修订而成的,内容进行更新,用CMOS代替PMOS电路轴温报警器,增加了镉-镍电池及接触网供电系统等新内容。本书除作高等学校铁道车辆专业的教材外,还可供路内外有关工程技术人员学习参考。

高等学校教材

车辆电气装置

西南交通大学 章 晋 编

中国铁道出版社出版发行

(北京市东单三条14号)

责任编辑 吴桂萍 封面设计 翟 达

北京市燕山联营印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米1/16 印张: 13.25 插页: 2 字数: 312千

1993年2月 第1版 1994年7月 第2次印刷

印数: 3001—6000册

ISBN 7-113-01336-8/U·413 定价: 8.90元

目 录

第一章 概 论	1
第一节 车辆电气装置的组成及其运用条件	1
第二节 车辆的电气负载	2
第三节 车辆的自动化装置	3
第四节 车辆的供电系统	4
第二章 客车空调装置的自动控制系统	7
第一节 客车空调装置的控制原理	7
第二节 控制元件	3
第三节 电动机的起停	19
第四节 电动机的变速	24
第五节 控制系统电路图	25
第三章 客车轴温的监测与报警	33
第一节 轴温的产生及其危害	33
第二节 轴温检测方法及设备	33
第三节 CMOS集成电路	34
第四节 其它集成电路	46
第五节 轴温传感器	51
第六节 轴温测量原理	52
第七节 轴位的转换与显示	55
第八节 轴温报警电路	58
第九节 电 源	60
第十节 整机电路	60
第四章 交 直流供电装置	64
第一节 概 述	64
第二节 J ₅ 型感应子发电机	65
第三节 KP-2A型可控硅式控制箱	77
第四节 双绕组电机	87
第五节 KT-1型自励恒压装置	89
第六节 原民德进口软卧车的供电系统	92

第五章 晶体管逆变器	99
第一节 概 述.....	99
第二节 客车荧光灯逆变器	102
第三节 推挽式双铁芯晶体管逆变器的设计	111
第六章 车辆蓄电池	115
第一节 用途及分类	115
第二节 铅蓄电池	117
第三节 镉镍蓄电池	124
第七章 接触网供电	129
第一节 概 述	129
第二节 普通客车接触网供电	130
第三节 空调客车接触网供电	143
第八章 柴油发电机组供电	147
第一节 柴油发电机组单独供电	147
第二节 列车集中供电	153
第九章 车体配线	187
第一节 车体配线的型式及组成	187
第二节 导线的选择	192
第三节 车体配线的绝缘	196
第四节 车端电连接器	198
附录 电气图常用图形符号	201

第一章 概 论

第一节 车辆电气装置的组成及其运用条件

铁道车辆是我国一种主要的交通运输工具，而电能是铁道车辆的重要组成部分。在老式车辆中，电能只用于电灯、电扇与电动水泵。随着电能车辆在车辆上使用日益增加，新型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，车辆上安装了电气照明、电热水器、空气调节、播音通讯、闭路电视、轴温检测与报警及自动门控制装置等。每辆新型客车的用电量由过去的1kW增至40kW左右，并有继续增长的可能。一列新型旅客列车的用电量，相当于一个中小型车站或车辆段的生产用电量。

任何一种铁道车辆的电气装置，都可以认为是由电气负载、供电系统和输配电以及它的自动化装置等组成。

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、车辆的运行品质和技术经济指标来确定的。对于旅客列车，其运用条件一般可以归纳为下列几点：

1. 因为车上乘坐大批旅客，故电气装置应保证满足行车安全的要求。例如，车体配线应当有可靠绝缘，杜绝因漏电或短路而造成火灾的可能性；电器产生的电弧应尽可能减少，电机电器的温升不应过高；悬挂车辆下部的电气设备，应当不超出GB146.1—83铁路机车车辆限界的规定；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. 要求电气装置工作安全可靠，重量、尺寸和成本尽可能少，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，便于日常的检查和维修。

3. 客车运行所经地区广大，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 $-40 \sim +40^{\circ}\text{C}$

相对湿度 90%(25℃)

海拔 1200m

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；润滑油熔化或冻结；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劣。

海拔高度增加后，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。双金属片或电器在高原使用时，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、干热和高原地区(海拔>1000m)的铁路车辆，其电气装置的

使用技术条件应作相应调整。

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20mm、频率为1~100Hz的振动和冲击（纵向3g）。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它设备，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，对车内的无线电通讯或列车播音、电视的干扰尽可能减少或根本消除，对外界干扰（如高压线等频域为100kHz~10MHz，声压级达到120dB以上）有足够的抵抗能力。

6. 尽可能采用大批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)和铁路标准(TB)，以及国际电工协会标准(IEC)与机械电子部的标准(JB)，以提高产品的质量要求。

第二节 车辆的电气负载

车辆的电气负载包括下列几个类型：

1. 照明电光源。新型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型等。对于220/380V交流供电系统，荧光灯可以采用民用的启辉电路；对于直流48V供电系统，荧光灯则采用专门的逆变器点燃。照明电光源使用过程中，白炽灯为电阻性负载，荧光灯在低频工作时则为电感性负载。

2. 空气调节装置的电气设备。其中，主要是制冷压缩机、冷凝器排风扇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。由于制冷压缩机的电动机和电热元件所消耗的功率较大，因此，空气调节与制冷装置的电气设备成为车辆突出的电气负载。它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. 满足旅客和车上乘务人员在途中生活需要的饮食和卫生设备。其中，包括电热水器、电冰箱、电动吸尘器 and 电气集便器等。另外，某些包间式客车，还要适当配备有电动刮胡刀的电源。

4. 列车电视、播音和通讯设备。其中，包括闭路电视，收、扩、录、放多用机，列车有线电话或无线电话等。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，车上还设有专用的变流机或直流稳压电源。

5. 普通客车使用的电风扇与离心式水泵电动机、电煤两用炉以及燃油锅炉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，如接触网检查车用的不间断电源(UPS)等。

在决定供电系统的总容量时，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，本身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其效率除有效机械功率。

负载的功率因数($\cos\varphi$)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,需要考虑这个值。

负载功率因数大小,由其视在功率除需要功率的商来确定。视在功率等于负载的电压与电流的乘积,单位用VA或kVA表示。在同一需要功率的情况下,负载的功率因数愈小,它的视在功率就愈大。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,一般等于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将产生相应的变化。因此,要合理的计算供电容量,还必须考虑负载的功率利用系数。所谓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、平均的电网电压、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,其功率利用系数如表1-1所示。

常见的车辆电气负载的功率利用系数

表 1-1

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	0.60~0.75	饮水电冰箱	1.0
冷暖风机电动机	0.8	配电盘用电	0.2
通风机电动机	0.9	吸尘器与其它生活器具	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
水箱电加热器	0.2		

第三节 车辆的自动化装置

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量消耗等目的,车上安装有自动化装置如下:

1. 空调装置工作的自动控制、温度的自动调节、机组的自动保护和时间的自动显示;

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;

4. 燃油锅炉的自动控制;

5. 软卧车包间内的自动呼唤装置;

6. 多隧道地区运行的列车照明自动开关;

7. 车内的停站站名与时间的自动告示牌;
8. 火灾的自动报警;
9. 发电机电压的自动调节与过电压、过电流或过功率的自动保护;
10. 车辆故障的自动检测装置。

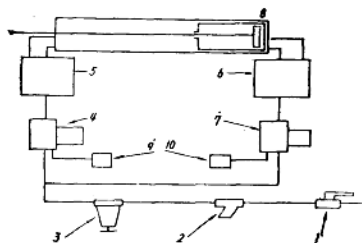


图 1-1 自动门压缩空气通路

本书将在以后章节中介绍客车空气调节的自动控制、轴温的自动检测以及发电机电压的自动调整，其余装置可从实际装置提供的资料进行分析。例如图1—1所示内端门自动开闭空气通路，该装置用0.49MPa的压缩空气经手动阀门1、过滤器2和减压阀3减压至0.29MPa，由电路操纵开门电磁阀7或关门电磁阀4工作，使压缩空气通过速度调整阀5或6，驱动风缸8将门开闭。驱动风缸的缸径为30mm，形成开门力为206N，关门力为78.5N。每开或关门一次消耗的压缩空气为

8l，排气经消音器9或10排出以减少噪声。

自动门的控制电路如图1—2所示，端子5、7分别接到车上48V直流电源。接通自动—手动开关 K_1 、 K_2 ，当踏板或光电开关 K_3 与 K_4 接通时，继电器 J 得电，其常开触头1—3与4—6接通，1—2与4—5常闭触头断开，开门电磁阀 O 得电，如图1—1所示，压缩空气进入驱动缸活塞的右腔室内，推动活塞带动车门打开。一旦 K_3 与 K_4 断开，继电器 J 待电容 C_1 放电(2.5s)结束后复位，触头1—2与4—5接通，关门电磁阀 C 得电，使门关闭。电路中 R_1 与 R_2 组成分压启动电路， C_2 是加速电容， CW_1 是箝制继电器 J 线圈的电压， D_1 与 D_2 分别是电磁线圈的续流二极管。

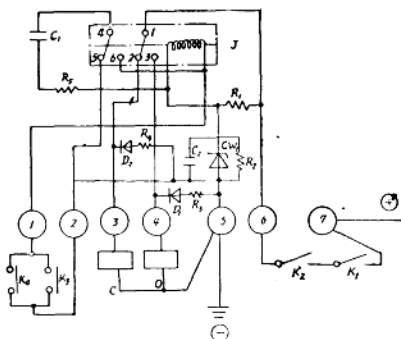


图 1-2 自动门控制电路

上述自动门控制装置是开环系统，其输出只是输入信号的反映而不影响输入。但在空气调节与电压调整装置中，输出量不仅是输入信号的反映，而且影响输入并要求输出量恒定，这些装置属于闭环系统，所采用的控制元件必须满足系统对其的要求（如放大倍数与时间常数等）。

第四节 车辆的供电系统

车辆供电系统用于为车上电气负载和自动化装置提供电能。它有单独供电、集中供电和

混合供电三种方式。

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车辆称为母车,不带有发电设备的称为子车,子母车之间通过车端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传动,驱动发电机与蓄电池并联供电;
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,并连成统一电网,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,电流系统直流成分;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 1.8V 时,必须停止放电并进行充电,否则因过放电而损坏。因此,这种供电方式,只宜在用电量不大的车辆上使用。

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比较广泛采用的一种供电方式。旧型客车的轴驱式发电机曾采用直流发电机,而新型客车则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 3kW 时为 24V ,功率为 $3\sim 10\text{kW}$ 时为 48V ,功率高于 10kW 时采用 110V 。

车轴与发电机之间的传动装置型式,一般也根据发电机的功率大小而确定的:功率在 10kW 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 10kW 以上时,一般多采用万向轴传动。 10kW 以下的发电机可以悬挂在转向架的构架上, 10kW 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。

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、减轻机车动力与供电设备重量以及便于运用维修等诸方面的要求都是有利的。列车集中供电的电源,对于非电化区段,是由列车中的发电车柴油发电机组供给的;对于电化区段,应由接触网通过电力机车主变压器提供。

由发电车的柴油发电机组集中供电时,供电电压一般为线压 400V ,相压 220V 、三相、 50Hz ,通过车端连接器向连挂的客车二路送电,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,但输电电流与所须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,对连结器的插头和插座间接触电阻要求非常严格(小于 0.0008Ω)。因此,在可能条件下应将供电干线电

压提高。

我国电气化区段接触网电压为单相、工频25kV,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300kVA。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220V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变换成交流电,以保证摘挂机车时也能正常工作。

为了使长途旅客列车均能在电化和非电化区段获得正常供电,目前正在研究采用单相大功率发电机的可能性与其它措施。

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. 车辆照明与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。

复 习 题

1. 铁路客车电能用在哪些地方? 将来发展的远景如何?
2. 船舶电气能否用在铁路车辆上? 为什么?
3. 车辆自动化电气装置有哪些? 采用自动化装置有什么意义?
4. 试述铁路客车的供电类型并指出其适用范围。
5. 已知铁路客车的制冷压缩机功率为 $2 \times 4.5\text{kW}$, $\eta = 0.85$, 满载工作, 同时工作时间为1h, 试求该负载所需的供电功率为多少kVA?

第二章 客车空调装置的自动控制系统

第一节 客车空调装置的控制原理

铁路客车为了在严寒酷暑的季节中运行时能够保证车内空气有舒适卫生的温度、相对湿度、气流速度和二氧化碳含量，而安装了空气调节装置。其中包括通风、制冷、加热、加湿等设备。

空调客车的通风设备一般采用机械强迫通风方式，它由安装在车端内顶棚或车顶单元式空调机组内的离心式通风机，以及新风道、回风道、送风道和排风道等组成。通风机工作时，从车端侧门上部或单元机组两侧的新风口吸入新鲜空气与从客室回风口吸入的再循环空气混合后，经滤尘器后由通风机压送入空气处理室（或称中央空调器），进行冷却去湿（夏季）或加热加湿（冬季）处理，再沿送风道经各个送风口送入客室或各个包间。同时，车内一部分多余的废气由排风机从客室排风口吸入，经排风道与排风口排出车外，从而保证车内空气的二氧化碳浓度不致过高，而且保持车内空气压力略高于大气压力，即保持有一定的正压。

由于客车夏季的新风量与通风量比冬季大，因此，通风机应有冬夏两种转速。此外，客车的新风量与回风量之比对制冷量与室内空气参数有影响（如相对湿度），为此在新风道和回风道内要安装风量调节板或活动百叶窗。

空调自动控制系统除了实现通风机与排风机自动启动工作之外，应能按季节要求改变通风机的转速。此外，最好还能根据制冷量与车内空气的相对湿度，调节新风回的混合比。

空调客车的制冷设备用于夏季冷却送入车内的空气，并有一定的去湿作用。目前客车上采用的制冷装置由 R_{12} 或 R_{22} 的活塞式压缩机、风冷式冷凝器，直接蒸发式蒸发器以及膨胀阀或毛细管节流器件等组成的制冷装置。

空调自动控制系统除了完成对压缩机电动机、冷凝器冷却风扇电动机的启动和中断工作之外，还必须考虑对压缩机吸、排气压力和润滑油压的保护；压缩机与管路中电磁阀连锁，以防压缩机液击。除此之外，为了适应车外气候与车内定员变化，能够自动调节制冷量，控制电路还必须以下的功能之一：

1. 改变压缩机的工作缸数；
2. 改变压缩机的轴转速；
3. 改变压缩机的运转时间；
4. 改变进入蒸发器的制冷剂流量。

空调客车的加热设备，是为了在寒冷季节将送入车内的空气进行加热和补偿车体和门窗的热损失。常用的加热设备有温水加热器和电加热器两种。加热器的布置方式通常在空气处理室中安装有电或温水空气预热器；在客室地板上安装温水散热管或分散式电热元件。

根据寒冷季节外温和车内定员数的变化，空调自动控制系统应能自动接通或切断加热元件，用改变加热功率数（电热）或进入空气预热器与散热管的循环温水量来调节加热量，对

电空气预热器还必须加设缺风保护，以防火灾。

客车在冬季运行时，如果定员少、外温低，可能使车内的空气相对湿度低于30%以下，为此在空气处理室安装有电极式或电热式加湿器。此时，空调自动控制系统应能依车内空气的相对湿度情况，自动调节加湿器的输入电流或输入时间，控制水蒸汽的发生量。

空调客车的自动控制系统在严寒或酷暑季节实现客室或包间内温度达到舒适范围，必须根据室温变化而自动接通或切断加热或制冷设备工作，这种控制和调节方式称谓定位式，控制元件主要采用继电器和接触器，故又称之为继电调节系统。这种系统结构简单，制造成本低，在舒适性空调系统中广泛采用。但机组频繁起动，继电器和接触器的触头寿命要求较高。

图2—1所示为继电系统的调节特性，制冷机组有两个并设为“强冷”与“弱冷”，温度控制器也相应地有“强冷”与“弱冷”两个电子开关，它们之间的动作温差最大为8℃并可调。

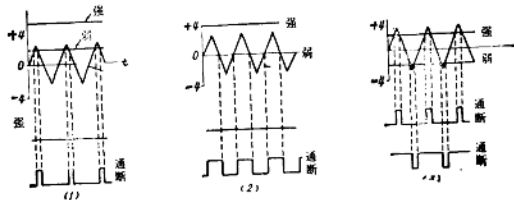


图 2—1 继电系统的调节特性

车内客室温度由温度控制器检测出，呈三角波状。如车内温度较低，则“弱冷”机组接通工作时间较短（图2—1(1)）；如车内温度较高，则“弱冷”机组工作时间较长（图2—1(2)）；如车内温度甚高，则两台机组均投入工作（图2—1(3)），但它们的工作延续时间长短不一。如果欲使两台机组工作时间相近，则控制电路必须让两台机组自动轮换充当“强冷”与“弱冷”角色。

为了提高舒适性，今后客车空调的自动控制可能采取下列几种方式：

1. 用室温、外温和太阳辐射热传感器通过微机控制数台制冷机运转，以使车内温度均匀分布。用字长8位的微机，可达到温度的相对精度为0.4%。

2. 在梅雨高湿季节，用湿度传感器来控制车内不适指数。车内不适指数为：

$$\text{不适指数} = (\text{干球温度} + \text{湿球温度}) \times 0.72 + 40.6 \quad (2-1)$$

不适指数与不适的程度关系如表2—1所示。按式2—1作出的关系曲线如图2—2所示，按不适指数要求机组的间歇运转区如图2—3中斜线区所示。

表 2—1

不适指数	不适程度	不适指数	不适程度
68	舒适	80	所有人感到不适
70	开始感到不适	86	不能忍受
75	半数人感到不适		

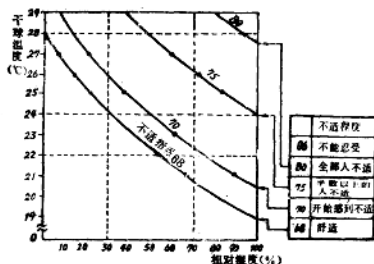


图 2-2

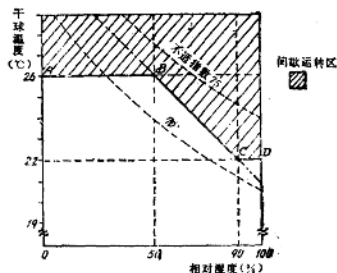


图 2-3

3. 用改变压缩机电动机供电频率方法, 对制冷量进行连续可变调节, 即VVVF法。
4. 根据车内吸烟量, 通过CO₂传感器对新风量进行可变控制。

第二节 控制元件

一、测温元件

客车自动控制系统采用的测温元件有电接点式水银温度计、热敏电阻、铂电阻和充有易挥发液体的感温包等。其作用是将温度物理量转变为电量输出, 提供一种控制信号给系统。

(一) 电接点式水银温度计

电接点式水银温度计如图2-4所示, 它有固定接点式(图2-4a)与可调接点式(图2-4b)两种。固定接点式(WXG-01f或HA₃-03型)水银温度计由玻璃管制成, 管内除温泡和毛细管之外, 还有与规定温度(如23℃、25℃)相适应位置的几个焊接点。当温度上升时, 温泡内水银受热膨胀并沿毛细管上升, 可使两个接点通过水银而导通电路; 反之, 如温度下降, 水银收缩, 而使接点与接点电路断开。固定接点通断的时间常数为70s(风速为0.28m/s时), 呆滞区 $2\epsilon \leq 0.04^\circ\text{C}$ 。这种温度传感器在原民德进口车上使用。

可调接点式(WXG-11t型)水银温度计如图2-4(b)所示, 它带有上下两个温度标尺, 二者的温度分度值和刻度范围均相同。上标尺指示温度整体值, 下标尺表示实际测定的温度值。

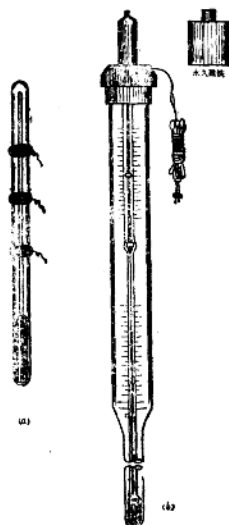


图 2-4 电接点式水银温度计
(a) 固定接点式; (b) 可调接点式。

温度计的下段制有铂丝固定触点，其一端在毛细管内为圆圈状，另一端与顶端胶木头内接线柱的铜丝焊牢。活动触点为一根细钨丝，一端伸入铂丝圆圈内，另一端接到上部扁玻璃管内的指示铁中。指示铁套在螺丝杆上，当螺丝杆转动时，指示铁可以在扁玻璃管内上下移动，以调节钨丝的位置。螺丝杆的下端伸入到铁底座小孔内定位，上端带有位于顶部胶木头内的一块扁铁。需要整定温度时，可在胶木头上套一个永久磁铁以吸住胶木头内的扁铁，转动永久磁铁，螺丝杆和扁铁一起随着转动，使指示铁上下移动。指示铁在上部刻度标尺的位置，即为整定温度值。

WXG-111型温度计的呆滞区 $\leq 0.1^{\circ}\text{C}$ ，时间常数为140s（风速0.1m/s）或45s（风速1.4m/s）。

电接点式温度计的接点可接在6V、36V、110V和220V电路中，通过的电流最大允许值相应为30mA、20mA、6mA。如果通过的电流过大，则不仅由于水银柱本身发热而影响测量的精度，而且在接点断开时所产生的电弧，还可能烧坏水银面。

（二）感温包式温度继电器

我国早期生产的空调车采用WT-1226型温度调节器，从日本进口的三菱单元式空调机组所用的DCS-S630Q5C型温度调节器，均使感温包作为测温元件。图2-5所示为该种温度调节器的结构。

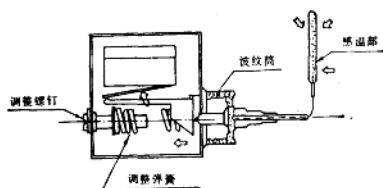


图 2-5 感温包式温度调节器

通	27.2		25.2	
断	26.1	动差	24.1	N01
通	26.0		24.0	
断	20.9	动差	22.9	N02
	↑ 温升	↓ 温降	↑ 温升	↓ 温降
	(高温设定)		(低温设定)	

图 2-6 微动开关整定温度

感温包用紫铜制成，内充有氯甲烷、丙酮和乙醚等易挥发的液体。当温度上升时，包内出现的饱和蒸气压力作用到波纹筒的内膜板上，膜板推杆推动杠杆克服调整弹簧压力而转动，使微动开关通断，从而起到控制空调机组工作及车内温度的目的。

微动开关接通与断开的温度值并不一致，其差值称之为动差，通常为 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。在单元式空调机组内，两台制冷压缩机受两个微动开关分别控制，由于整定动作温度不同（图2-6），可以使两台制冷压缩机在车内温度高、低两种状况时投入工作，这种状况称之为“强冷”和“弱冷”。

（三）热敏电阻

热敏电阻是一种结构简单、热惯性小、使用方便的测温元件，它由金属氧化物或硫化物、碲化物等半导体材料制成。常用的国产半导体热敏电阻，其型号和主要参数如表2-2所示。

半导体热敏电阻的电阻值 $R(t)$ 与温度 $t(^{\circ}\text{C})$ 的关系如下：

$$R = R_{25} [1 + \alpha(t - 25)]$$

式中 R_{25} 为 25°C 时电阻值， α 为温度系数，通常为负值且较大，如RRC₃-1型 $\alpha = -0.02$

常用的国产半导体热敏电阻的型号和主要参数

表 2-2

型 号	主 要 参 数					
	25℃时标称阻值	材料常数(K)	额定功率 (W)	测量功率 (mW)	时间常数 (s)	耗散常数(mW/℃)
RRC ₁ -1	820Ω~300kΩ	2200~3300	0.25	0.1	≤85	≥4
RRC ₁ -2	820Ω~330kΩ	2200~3300	0.5	0.2	≤115	7~7.8
RRC ₂	6.8kΩ~1000kΩ	3900~5600	0.4	0.1	≤20	7~7.8
RRC ₃	8.2kΩ~100kΩ	2200~3300	0.06	0.05	≤20	—
RRC ₄ B	3kΩ~100kΩ	3900~4500	0.03	—	≤0.5	—

1/℃，因此热敏电阻对温度变化的反应很灵敏。在使用中，可以略去导线和正常接触电阻受温度的影响，但由于生产过程的不一致性，为了达到互换目的，每一个热敏电阻应预先补偿成具有同样的阻值。

利用热敏电阻作为测温元件的温度控制器如图2-7所示。电路的工作原理如下：

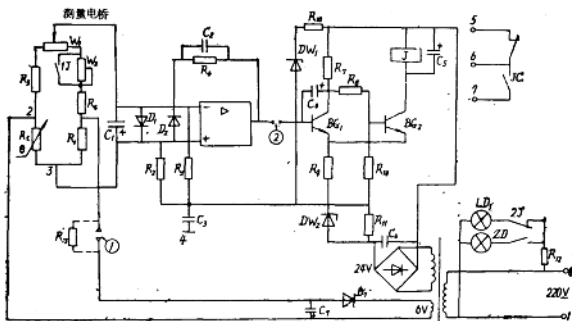


图 2-7 TC-2型温度控制器

TC-2型温度控制器使用220V单相交流电源，经变压器与整流后取得半波整流6V与全波整流的24V电压，分别供测量电桥，运算放大器与触发器。

测量电桥由热敏电阻 R_1 、电阻 R_2 、 R_3 、 R_4 及电位器 W_1 与 W_2 组成。 W_1 中心抽头提取的给定电压 U_1 与 R_1 上端提取的信号 U_2 电压输入直流运算放大器。

当车内温度上升到整定温度与差动温度之和以上时， R_1 下降， U_2 增加，即 $U_2 > U_1$ ，则放大器输出高电平，触发器翻转， BG_2 截止，继电器 J 失电，其常闭触点5—6闭合，红灯 LD_1 亮，黄灯 ZD_1 灭，此时如在夏季应使制冷压缩机电动机的接触器线圈得电而起动工作；如在冬季应切断电热器接触器线圈失电而停止工作。反之，如车内温度下降到整定温度与差动温度之和以下时， $U_2 < U_1$ ，触发器复位，继电器 J 得电，制冷压缩机停止工作或使电热器投入工作。由于空调客车冬夏两季对车内温度的要求不一致，故需采用两只温控器分别控制制冷机和电热器。

TC-2温控器的差动温度（呆滞区）为0.02~5℃，可通过 W_2 调节到1~2℃。

(四) 铂电阻

铂是一种性能稳定、防锈与抗氧化性能都很好的低阻值测温元件。测量0~50℃温度的

铂电阻采用分度号为 $B A_2$ ， 0°C 时的电阻值为 $R_0 = 100\Omega$ ，温度系数 $\alpha = 0.00393/^{\circ}\text{C}$ ，时间常数为 $<60\text{s}$ （风速 2.3m/s 时）。实用的铂电阻是将一定长度的铂电阻丝绕在陶瓷芯上，再用玻璃或瓷釉保护。铂电阻本身热惯性不大，但保护套的热惯性较大。

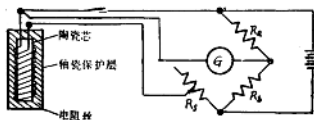


图 2-8 铂电阻桥式电路

由于铂电阻为低阻元件，接触电阻与导线电阻对其测量精度影响较大，实际使用中必须注意这一点。

如果使用单一的铂电阻，可以采用如图 2-8 所示的三线系统，将一根导线引入电桥的两边，以平衡去导线电阻中的任何变化。当电桥平衡时，铂电阻的阻值为：

$$R_t = \frac{R_A R_D}{R_B}$$

如果采用多个铂电阻时，每一个铂电阻应按接线电阻 R_D 计算出补偿电阻 $R_{\text{补}}$ 进行补偿，即

$$R_{\text{补}} = 5 - \frac{5}{2} R_D$$

二、电磁继电器

在位式空调自动控制系统中电磁继电器是一种主要的控制元件，它起到放大、联锁、保护或调节的作用。

按动作原理，电磁继电器可分为电压继电器、电流继电器、中间继电器和时间继电器，其特点和用途如表 2-3 所示。

各种电磁继电器的特点及用途

表 2-3

名 称	特 点	用 途
电压继电器	电压达到规定值时动作	电动机失压或欠压保护
电流继电器	电流达到规定值时动作	电动机过载及短路保护，直流电机磁场控制及失磁保护
中间继电器	电压达到规定值时动作 触头数较多，容量较大	信号放大或增加控制回路
时间继电器	得到动作信号至触头动作有一定延时	用于交-直流电机启动延时及切换电阻加速作用，电机自动 ($\Delta-Y$) 启动

依电源不同分为直流（12、24、48、110、220V）和交流（36、110、127、220、380V）的继电器。

电磁继电器的基本结构由反映继电器输入量的变化的衔铁、铁心及线圈组成的电磁系统和反映继电器输出的触头系统组成。

继电器的基本性能由下列参数说明：

1. 额定参数：继电器的工作电压（电流）、吸合电压（电流）和释放电压（电流）；
2. 吸合时间和释放时间：依工作快慢分快动作、正常动作与延时动作，快动作的时间小于 0.05s ；
3. 整定参数：电压继电器为动作电压，电流继电器为动作电流，延时继电器为断电延时时间；