

高等学校教材

铁道车辆 电气装置

何忠韬 朱常琳 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高等学校教材

铁道车辆电气装置

何忠福 朱常琳 主编
章 音 主审

中国铁道出版社

2007年·北京

内 容 简 介

本书主要阐述了铁道车辆电气装置的结构、组成、原理和设计计算方法。全书共分十三章,内容包括:绪论、接触网供电、柴油发电机供电、交—直流供电装置、车辆蓄电池、客车照明配电装置、车体配线、客车空调装置控制系统、客车轴温报警器、客车电开水炉、塞拉门、列车信息显示器和车辆电气装置性能试验台等。

本书是高等院校车辆工程专业本科教材,也可供有关方面的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

铁道车辆电气装置/何忠韬,朱常琳主编. —北京:中国铁道出版社,2007.4

ISBN 978-7-113-07863-8

I. 铁… II. ①何…②朱… III. 铁路车辆—电气设备
IV. U270.38

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 052450 号

书 名:铁道车辆电气装置

作 者:何忠韬 朱常琳 主编

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:阚济存

封面设计:冯龙彬

印 刷:北京市彩桥印刷有限责任公司

开 本:787mm×960mm 1/16 印张:19.25 插页:3 字数:477千

版 本:2007年5月第1版 2007年5月第1次印刷

印 数:1~3 000册

书 号:ISBN 978-7-113-07863-8/U·2063

定 价:28.00元

版权所有 侵权必究

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。

编辑部电话 010-51873133 发行部电话 010-51873124

兰州交通大学“十五”规划教材

编审委员会

主 任:任恩恩

副主任:王晓明 盖宇仙

委 员:(按姓氏笔划排名)

王 兵 王起才 朱 琨

陈宜吉 吴庆记 谢瑞峰

主 编:何忠韬 朱常琳

出版说明

近年来,兰州交通大学认真贯彻落实教育部有关文件精神,不断推进教育教学改革。学校先后出资数百万元,设立了教学改革、专业建设、重点课程(群)建设、教材建设等项基金,并制定了相应的教学改革与建设立项计划、项目管理及奖励办法等措施。根据培养“基础扎实、知识面宽、能力强、素质高”的高级专门人才的总体要求,学校各院(部)认真组织广大教师积极参加教学改革与建设,开展系统的研究与实践,取得了一系列教学改革与建设成果。

教学内容和课程体系的改革是教学改革的重点和难点,学校投入力量最大,花费时间最长,投入精力最多,取得的成效也最为显著,突出反映在教材建设方面。“十五”期间,学校共资助“十五”规划教材45本,资助普通教材56本,这些教材是一些学术造诣较深、教学水平较高、教学经验比较丰富的教师担任主编,骨干教师参编,同行专家主审而定稿的。在教材中凝聚了编著教师多年的教学、科研积累和成果,为推进教育创新、深入教学改革、提高教学质量做出了贡献。

2005年,在认真学习教育部相关文件精神的基础上,根据学校的办学指导思想 and 人才培养目标定位,各专业修订了新的人才培养方案,构建了“通识教育基础上的宽口径专业教育”的人才培养模式。为配合新的人才培养方案的实施,进一步深化教育教学改革,学校在“十五”教材建设的基础上,制定了“十一五”教材建设规划。“十一五”期间,学校将进一步加强教材建设工作,更好地发挥教材在人才培养中的重要作用。本着“重点支持优势、特色专业教材,兼顾一般教材,优选编者,保证质量”的原则,设立教材建设专项基金,力争在“十一五”期间出版一批高水平、高质量、有特色的教材。

本教材为学校“十一五”教材建设资助计划项目,并通过了学校教材编审委员会审定。希望该教材在教学实践过程中,广泛听取使用意见和建议,适时进一步修改、完善和提高。

兰州交通大学“十一五”规划

教材评审委员会

2006年4月

前 言

自 20 世纪 90 年代以来,我国铁路车辆电气装置技术发展很快,在该领域中的理论与实践都有了新的突破,在科学研究上取得了许多新的成就。为了适应我国铁路车辆电气装置技术的发展,及时反映铁路车辆电气装置技术的最新动态,满足车辆工程专业人才培养和教学的迫切需要,我们在总结多年教学经验和科学研究的基础上,编写了此书。

在编写过程中,考虑到既要使编写内容适合车辆工程专业本、专科教学,又要及时反映我国铁路车辆电气装置技术的最新进展情况,以便通过本书的学习,使读者既能了解铁路车辆电气装置技术的概貌,掌握铁路车辆电气装置的基本原理和必备的实际操作技能,又能对铁路车辆电气装置技术的未来发展趋势有所认识。基于上述考虑,本书在内容的取材安排上吸收了现有教材——西南交通大学章音教授主编的《车辆电气装置》中的精髓,继承了原车辆电气装置中的精华,例如海拔 1 200 m 以下地区电气设备工作特点及设计要求、轴驱式感应子发电机、KP-2A 交—直流供电装置、普通客车蓄电池、晶体管逆变器、普通客车车体配线等重要章节;编入了自 20 世纪 90 年代以来国内外在铁道车辆电气装置领域中的新成就,例如高海拔地区电气设备工作特点及设计要求、空调列车用电量计算方法、空调列车电气控制柜、集中式轴温报警器、KP-2B 型控制箱、空调客车照明配电装置、DC 600 V/AC 380 V 兼容供电装置、DC 110 V 供电装置、四方厂造 KD25G 型发电车、分散式供电系统车体配线、集中式供电系统车体配线、客车电开水炉、列车塞拉门、列车信息显示器和车辆主要电气装置性能试验台等内容。

本书按照铁道车辆电气装置的知识体系划分章节,并按照电器控制的一般过程:电源—导线和输电线—负载和用电器—智能控制设备和检测设备,编排各章节顺序。全书共分十三章和三个附录,授课时间为 60 学时。

本书由兰州交通大学何忠韬、朱常琳主编,西南交通大学章音主审。参加本书编写的有:兰州交通大学何忠韬(第一、二、十、十一、十二章和十三章第二、四、五、六节及附录 1)、朱常琳(第四、五、七、八章和第九章第三节及附

录2)、李小平(第三、六章,第九章第一、二、四节,第十三章第一、三节和附录3)。全书由何忠韬统稿。

本书作为兰州交通大学“十一五教材建设规划”资助教材,在规划和编写的过程中,得到了兰州交通大学教务处和机电工程学院有关老师、同学的大力支持和帮助。在此,谨向学校以及所有关心、帮助过本书编写工作的老师和同学们表示诚挚的谢意!

参加本书编写的作者多年来从事铁道车辆电气装置的教学和科研工作,具有丰富的实践经验。在本书编写过程中,参阅了大量国内外前辈和同行们撰写的书籍和期刊论文资料。但鉴于编者水平有限,书中错漏之处在所难免,恳请各位读者批评指正。

编 者

2007年4月于兰州

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 铁道车辆电气装置的组成	1
第二节 车辆电气装置的运用条件	4
第三节 车辆电气负载用电量	8
第四节 车辆供电方式	13
复习思考题	15
第二章 接触网供电	17
第一节 铁路客车接触网供电方式	17
第二节 机车向客车 DC 600 V 集中供电	20
第三节 客车逆变器分散变流装置	23
复习思考题	32
第三章 柴油发电机供电	33
第一节 柴油发电车的组成	33
第二节 IFC5 型同步发电机励磁系统	36
第三节 同步发电机的并联运行	38
第四节 发电车供电系统	41
第五节 单节客车柴油发电机独立供电	50
复习思考题	57
第四章 交一直流供电装置	58
第一节 交一直流供电装置基本组成	58
第二节 J ₅ 型感应子发电机工作原理	63
第三节 KP-2A 型控制箱	68
第四节 KP-2B 型控制箱	80
复习思考题	84
第五章 车辆蓄电池	85
第一节 概述	85
第二节 铅蓄电池	87

第三节 镉镍蓄电池	94
复习思考题	99
第六章 客车照明配电装置	100
第一节 空调客车照明配电装置	100
第二节 空调客车集中供电应急电源	103
第三节 普通客车荧光灯逆变器	110
第四节 推挽式双铁芯晶体管逆变器设计	119
复习思考题	122
第七章 车体配线	123
第一节 车体配线基础	123
第二节 客车分散式供电系统车体配线	130
第三节 客车集中式供电系统车体配线	135
复习思考题	138
第八章 客车空调装置控制系统	139
第一节 客车空调装置控制原理	139
第二节 客车空调电气控制柜	141
第三节 铁路客车电气综合控制柜	147
复习思考题	164
第九章 轴温报警器	166
第一节 旅客列车对轴温报警器的要求	166
第二节 温度传感器	169
第三节 TKZW-1T 型分立式轴温报警器	177
第四节 集中式轴温报警器	188
复习思考题	199
第十章 客车电开水炉	200
第一节 电开水炉基本原理	200
第二节 电开水炉自动进水控制	204
第三节 电开水炉工作过程控制	206
第四节 客车电磁开水炉	208
复习思考题	217
第十一章 塞拉门	218
第一节 塞拉门的特点和分类	218

第二节 塞拉门机械结构.....	219
第三节 塞拉门控制原理.....	222
第四节 塞拉门门控器.....	228
复习思考题.....	234
第十二章 列车信息显示器	235
第一节 列车卫星有线电视.....	235
第二节 列车报站系统.....	238
第三节 列车卫星定位信息显示系统.....	241
第四节 客车车厢显示器.....	250
复习思考题.....	253
第十三章 车辆电气装置性能试验台	254
第一节 客车镇流器与晶体管逆变器综合试验台.....	254
第二节 铁路客车断路器和接触器性能及可靠性测试台.....	258
第三节 铁路客车轴温报警器性能试验台.....	262
第四节 客车 J ₅ 型发电机及控制箱综合性能试验台	265
第五节 塞拉门性能检测装置.....	268
第六节 旅客列车信息显示系统测试台.....	277
复习思考题.....	282
附录 1 空调列车用电量	284
附录 2 G 型铁路客车电气综合控制柜电气元件	287
附录 3 四方车辆厂 KD25G 型发电车电气设备和电气元件	291
参考文献.....	296



第一章 绪 论

第一节 铁道车辆电气装置的组成

铁道车辆是我国一种主要的交通运输工具,其电气装置是铁道车辆的重要组成部分。铁道车辆电气装置,主要由供电系统、输配电设备、电气负载、检测及控制装置组成。

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。电能车辆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。

一、铁道车辆电气负载

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则为电感性负载。
2. 空气调节与制冷装置的电气设备。主要是制冷压缩机、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。由于这些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主要的电气负载。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. 满足旅客和乘务人员在途中生活需要的饮食和卫生设备。其中,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、笔记本电脑和电动剃须刀的电源。
4. 列车电视、播音和通信设备。其中,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,直接影响到旅客列车的运行安全和旅客的舒适程度。因此,供电装置一直是车辆部门日常维护保养和客车检修的主要工作之一。供电装置主要有如下几种:

1. 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J₅型发电机)为主。J₅型发电机的输出功率为5 kW,输出整定端电压为 (59 ± 1) V,直流输入电压为48 V。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62 V左右,向电池充电;一路电压整定为50 V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。

2. 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酸性铅蓄电池,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~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管状,大大提高了它的使用寿命。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,如对环境污染等。为了解决酸性电池存在的问题,1986年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。燃料电池是直接将燃料能源转化为电能的电池设备,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依赖性而增强国家能源安全性以及改善环境质量。



3. 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要输出容量大,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,当时发电机容量是24 kW,为水冷式柴油机。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量消耗等目的,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。

第二节 车辆电气装置的运用条件

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 and 经济技术指标来确定的。

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,应当不超出铁路机车车辆限界的规定(GB 146.1—1983);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、尺寸和成本尽可能小,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,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 $\leq 90\%(25^{\circ}\text{C})$

海拔 $\leq 1\,200\text{ m}$

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差。

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 $1\,000\text{ m}$ 高原地区的铁路车辆,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,运行中存在振幅为 20 mm 、频率为 $1\sim 100\text{ Hz}$ 的振动和冲击。因此,要求电气装置能够适应这种工作条件,不误动作或零件松脱、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)或铁路标准(TB),或国际电工协会标准(IEC)与机械电子部的标准(JB),以提高产品的质量要求。

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。铁路部门为了满足绝大部分地区电气设备工作要求,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。

1. 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,其特点为:

- (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。

2. 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小一点,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 m,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电压性能下降,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,将使产品密封结构容易破裂,外壳容易变形、皸裂。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、湿度、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,同时使炭刷磨损增加。

(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。

3. 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器设备。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、辅助电路的电器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 $-40 \sim +70^{\circ}\text{C}$,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 (例如 -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°C)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°C)焊锡。具有热保护的

