



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

电力机车电器

主 编 赵嘉涛



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

U264.1
8

中等职业教育国家规划教材

全国中等职业教育教材审定委员会审定

电 力 机 车 电 器

主 编 赵嘉涛

责任主审 连级三

审 稿 连级三 胡基士

中 国 铁 道 出 版 社

2005年·北京

内 容 简 介

本书主要介绍有触点电器的基本理论、电器的发热与电动力、电弧及灭弧装置、触头及电器传动装置、接触器、继电器、主型电器及其他电器。

本书为中等职业教育电力机车运用与检修专业的教材,也可作为成人中专、职工教育、技工学校等电力机车专业的教材,还可作为电力机务段有关运用、检修人员和有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力机车电器/赵嘉涛编.—北京:中国铁道出版社,2003.1

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-113-05043-3

I.电… II.赵… III.电力机车-电机-专业学校-教材 IV.U264.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 100140 号

书 名: 电力机车电器

作 者: 赵嘉涛 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: 方 军

编辑部电话: 市电(010) 51873134, 路电(021) 73134

封面设计: 陈东山

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16 印张: 10.25 字数: 247 千

版 本: 2003 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 3 次印刷

印 数: 9001~12000 册

书 号: ISBN 7-113-05043-3/U·1420

定 价: 13.50 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。

联系电话:市电(010)63545969,路电(021)73169

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神,落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划,根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》(教职成[2001]1 号)的精神,我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写,从 2001 年秋季开学起,国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲(课程教学基本要求)编写,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想,从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发,注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本,努力为教材选用提供比较和选择,满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材,并在使用过程中,注意总结经验,及时提出修改意见和建议,使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

前 言

本书是中等职业技术教育国家规划教材,是根据教育部 2001 年颁布的中等职业学校电力机车运用与检修专业教学指导方案及“电力机车电器”教学基本要求编写的。为了落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划的要求,本书编写过程中,力求理论联系实际,以必需、够用为原则。

一、本书内容编排特点

本书内容可以分为两大部分:第一部分为电器的基本理论,包括第一章至第四章内容。主要介绍有关有触点电器的一些基本知识及电器发热、电动力、电弧、接触电阻、振动等问题的分析以及解决问题的方法。第二部分为电力机车上所用具体电器的介绍包括第五章至第八章内容。以接触器、继电器、主型电器及其他电器的顺序作一介绍。在选择车型时以韶山₄改进型(简称 SS₄ 改型)货运机车及韶山₈型(简称 SS₈ 型)客用机车为主要车型。在内容编排中有以下几个特点:

1. 基本理论知识部分以“简”为主,仅以物理、电工中学过的一些基础知识来分析电器中应注意的一些问题。没有复杂的理论及数学推导以能解决实际电器中的问题为主,深入浅出地介绍,为后一部分具体电器中实用的一些方法和结构学习作好准备。

2. 具体电器部分以“新”为主,不仅介绍韶山₄改进型及韶山₈型机车上所用电器,而且还介绍具有发展前途的一些较新的电器,以适应后来的发展。

3. 在具体电器部分还安排了一些电器常规故障及检修的内容,以适合专业需要。

二、本教材适应的专业,课程性质及其教学目的

本教材适用对象是中等职业学校电力机车运用与检修专业的在校学生和在职、岗前培训的电力机车乘务和检修人员。通过 80 课时的课堂教学和实验,以及配合一定时间的演练与实习,要求对电力机车上所用各电器的作用、基本结构和工作原理能熟练掌握,为学习本专业后续课程作好准备。同时也要熟悉主要电器的日常保养及检修方法,为以后的实际工作打下一定基础。

三、对使用本教材的几点建议

1. 根据我国现使用电力机车车型较多,而且新的车型在不断推出的情况,本书因篇幅有限不能全部包纳,因此教学中应强调对基本知识的掌握,作到举一反三,从而具备较强的适应能力。

2. 充分利用实物进行教学并配以多种形式的辅助教学手段,使教学变得直观化、形象化、趣味化,可提高教学效果。

3. 上好实验课,不仅能提高学生的动手能力,同时也是对课堂教学的巩固和提高。本课程安排了4个实验,都是和现场实际紧密结合的内容。上好实验课,也是为以后现场操作打下基础。

本书由西安铁路运输学校高级讲师赵嘉涛担任主编,并编写绪论及第一章至第三章,由太原铁路机械学校高级讲师姜诗湘编写第四章至第六章,由内江铁路机械学校高级讲师魏华编写第七章、第八章,由郑州铁路局机务处高级工程师汪志章审阅。

本书在编写过程中,得到了全国铁道行业职业教学指导委员会、铁路中专学校机车专业教学指导委员会的大力支持,在此,致以深切谢意。

本教材通过全国中等职业教育教材审定委员会审定。由西南交通大学连级三教授担任责任主审,西南交通大学连级三教授、胡基士教授审稿。他们对书稿提出了很多宝贵意见,在此,表示衷心感谢。

编 者

2002年8月

目 录

绪 论	1
第一章 电器的发热与电动力	4
第一节 电器的发热与散热	4
第二节 不同工作制下电器的发热	8
第三节 短路时电器的发热及电器的热稳定性	10
第四节 载流导体的电动力及电动稳定性	11
小结	12
复习思考题	13
第二章 电弧及灭弧装置	14
第一节 电弧的物理基础	14
第二节 直流电弧及其熄灭	17
第三节 交流电弧及其熄灭	20
第四节 电弧熄灭的方法及装置	22
小结	27
复习思考题	27
第三章 触 头	28
第一节 概 述	28
第二节 触头的接触电阻	30
第三节 触头的振动	34
第四节 触头的磨损	36
第五节 触头材料	37
小结	39
复习思考题	39
第四章 传动装置	40
第一节 电磁传动装置	40
第二节 电磁铁的吸力与特性	41
第三节 电空传动装置	44
小结	47
复习思考题	47
第五章 接触器	48
第一节 概 述	48
第二节 电磁接触器	49
第三节 电空接触器	56
第四节 真空接触器	60

第五节 接触器的选用和维修	61
小结	66
复习思考题	66
第六章 继电器	67
第一节 概 述	67
第二节 电磁继电器	69
第三节 机械式继电器	73
第四节 继电器的选用和维修	78
小结	80
复习思考题	80
第七章 主型电器	82
第一节 受电弓	82
第二节 高压连接器	88
第三节 主断路器	93
第四节 真空断路器	101
第五节 转换开关	105
第六节 司机控制器	110
小结	118
复习思考题	118
第八章 其他电器	120
第一节 自动开关	120
第二节 避雷器	125
第三节 互感器	127
第四节 传感器	135
第五节 万能转换开关及按键开关	146
第六节 蓄电池	150
小结	153
复习思考题	153
参考文献	154

绪 论

一、电器的定义

电器是应电能的运用而产生的。由于电能与其他形式的能相比具有易转换和便于控制、调整、输送等优点,因此在生产、生活及一切科学领域中获得了广泛的应用。然而电能的产生、输送到应用并不是一个简单的过程,而是较为复杂,同时也需要一系列的控制、调整、保护装置的作用才能很好完成的过程。例如对电力电路实行通、断;对电动机实行起动、停止、正转、反转控制;对用电设备进行过载、过压、短路、断相等故障的保护;在电路中传递、变换、放大电或非电的讯号,从而达到自动检测和调节作用等。

所以,凡是根据外界特定信号,自动或手动地接通和断开电路,对电路或非电对象起控制、调整、保护及检测作用的电工设备,称之为电器。根据这个定义,电机(包括发电机与电动机)和一般的负载不应属于电器的范畴。

二、电器的分类及电力机车电器

由于电器的用途广泛、功能多样、工作原理各异,造成其产品种类繁多。故不可能用一种分类方法来说明其特点,电器的分类只能按不同的分类标准进行不同的分类。

(一)按电压高低、结构和工艺特点分类

1. 高压开关电器——高压断路器、隔离开关、电抗器、电压互感器、电流互感器等。
2. 低压开关电器——接触器、起动器、自动开关、熔断器、继电器和主令电器等。
3. 自动电磁元件——阀用电磁铁、电磁离合器、磁放大器、磁性逻辑组件、传感器和自动电压调节器等。
4. 成套电器和自动化装置——高压成套开关屏、电力用自动化继电保护屏、低压开关柜、低压控制屏、半导体逻辑控制装置、顺序控制器、无触点自动化成套装置等。

(二)按传动方式分类

1. 手动电器——如刀开关、隔离开关、按钮开关等。
2. 自动电器——如高、低压断路器、接触器等。又可根据传动原理不同分类分为电磁传动、电空传动、液压传动及电机传动。

(三)根据电器的执行功能分类

1. 有触点电器——电器通断电路的执行功能由触头实现。
2. 无触点电器——电器通断电路的执行功能是由一些电子组件来完成的。
3. 混合式电器——有触点与无触点结合的电器。一般正常工作由有触点部分完成,而转换过程由无触点部分完成。

(四)按电器使用场合和工作条件分类

1. 一般工业企业用电器——适用于大部分工业企业环境。
2. 特殊工矿企业用电器——适用于矿山、冶金、化工等特殊环境,例如矿用防爆电器和化工用电器。

3. 热带用电器和高原用电器——适合于热带、亚热带地区及高原山区而派生的电器。

4. 家用电器——近些年发展起来的适用于家庭生活环境中的电器。

5. 牵引、船舶、航空用电器——例如船用电器、航空电器,用于铁道、交通运输的各类机车及车辆上的牵引电器和汽车、拖拉机用电器。

电力机车电器属牵引电器中的一类,指牵引电器中用于电力机车上的各种电器。根据其特殊情况,电力机车电器还有一些特有的分类方法。

(一)按电器所接入的电路分类

1. 主电路电器——指使用在电力机车主电路中的电器。例如受电弓、主断路器、转换开关、高压连接器、高压互感器及电空接触器等。

2. 辅助电路电器——指使用在电力机车辅助电路中的电器。例如接触器。

3. 控制电路电器——指使用在电力机车控制电路中的电器。例如司机控制器、各种继电器及一些低压开关等。

(二)按电器在电力机车上的用途分类

1. 控制电器——用来对电力机车上的牵引设备进行切换、调节作用的电器。例如司机控制器、接触器、转换开关等。

2. 保护电器——用来保护电力机车上电气设备不受过电压、过电流及其他损害的电器。例如自动开关、熔断器、接地与过载断电器、避雷器、机械式继电器等。

3. 检测电器——在电力机车用于检测的电器。例如互感器、传感器等。

4. 受流器——用于电力机车在接触网上取流的电器。例如受电弓。

由于电力机车所用电器产品数量及品种较多,故在本书介绍电器产品时采用了按接触器、继电器、主型电器(电力机车上作用重要、结构复杂、体积较大的几种电器)及其他类型电器的产品分类方法。

三、电力机车电器的工作条件和基本要求

电力机车电器由于是在高速运动的机车上工作,所以其工作条件及环境与一般工作情况有所不同,因此相应的也有些不同的要求。

电力机车电器的工作条件和环境主要的问题是:受较强烈震动、大气环境及污染严重、温度与湿度变化大、操作频率高、工作电压高、电流波动大及安装空间位置受限制等。

(一)振动问题

机车运行中轮对通过钢轨接缝处及轨枕的弹性会使机车产生垂直方向的振动;当机车通过曲线弯道或道岔时,产生横向振动;当机车启动或制动时又产生纵向的振动。另外,机车内部的一些旋转性设备(如电机、通风机、压缩机等)也会引起一些振动。由于振动,使电器各部件受到附加力的作用,严重时会影响电器的正常工作。为此,在选用、布置、安装电器时应考虑到振动因素的影响。要注意紧固件应有弹簧垫及防松装置,以防松脱。电器中弹簧的力量及电磁吸力应适当增加,以防振动发生误动作。联结线(如母线、电子线路)连接要坚固,避免发生由于振动而产生接触不良、内部发热而造成事故。

(二)工作环境问题

由于电力机车露天运行,电器工作的环境温度变化范围大。工作时车内温度很高,车底及车顶冬天则温度很低甚至结冰。因此要求电力机车电器允许的温度范围为 -40°C 到 40°C (其中 -40°C 为存放温度, -25°C 到 40°C 为工作温度)。由于大气中的粉尘及其他污染物对

电力机车电器的腐蚀也较为严重,从而降低了电器的绝缘能力,严重时会影响其正常工作。因此,在电力机车电器选择时,相应的标准要高一些,并对电器要经常进行清扫、保养,以保证其工作正常。

(三)操作频率问题

由于机车常有起动、停车及在不同工况时进行调速的操纵,所以电力机车电器的操作频率是较高的。对电力机车电器而言则要求其操作频率的等级要高些。另外,其电气及机械寿命长一些。

(四)空间安装位置问题

由于安装电器的机车内部空间是有一定限制的,因此对电器则要求尽量小的安装尺寸。为了更有效地利用机车内有限空间,应尽量采用电器成套装置。同一电路中的电器应安装在同一屏柜上,这样既便于安装又便于检修。

总之,电力机车电器的工作条件及环境是相当恶劣的,对其正常工作有一定的影响。为此,对电力机车电器的基本要求是:动作准确可靠、有足够的电气寿命与机械寿命、有较高的操作频率及能量消耗少和便于检修。在生产上则要求质轻体小、经济耐用和便于生产。

四、发展概况及趋势

电器的广泛应用使其需求量极大,而且是随着电气化水平的提高而急剧增长。据相关资料介绍,每 10 000 kV·A 发电设备,约需高压电器 500~600 台、低压电器 40 000 件以上与之配套。在大型现代化成套设备中,低压电器或组件与电动机总安装容量之比达 0.5 件/kW 左右。例如一套 1 700 mm 的连轧机,就装有上千种的低压电器。

我国经济在不断发展,电网容量迅速增大,电力传动技术在革新,对电器提出越来越高的要求。对低压电器,要继续提高使用寿命和操作频率,对产品要减小体积、减轻重量而提高容量,降低成本。在继续发展有触点电器的同时,发展无触点电器及两者组合的混合式电器。对高压电器,则要发展大容量、快速动作、断口电压高的新系列产品。努力发展组合电器及成套配电装置。

随着我国电气化铁路及电力机车技术的迅速发展,电力机车电器在产品的结构、形式、质量方面都有了很大的改进和提高。在国产电力机车中,不断地采用了性能较好、运行可靠及免维护的接触器及继电器,真空断路器在电力机车上得到应用,无触点电器在机车上也得到越来越多的应用。总的来说,电力机车电器是向着提高工作可靠性、电气寿命,提高分断能力及减小体积、简化拆装线路、降低费用的基本方向发展。随着我国电力机车更新换代速度的加快,将有更多性能及质量更好的电器产品应用在电力机车上。

五、本课程任务

“电力机车电器”课程是为电力机车运用及检修专业开设的一门专业课。其主要任务是使学生在了解有关电器基础理论后,能掌握以韶山₄(简称 SS₄)改进型及韶山₈(简称 SS₈)型机车为主的电器的结构、工作原理及性能,并为后续课程打下基础。其主要内容如下:

1. 电器的基本理论——包括电器的发热、电动力、电弧、电接触理论及一般传动机构的原理和性能。
2. 电器产品介绍——以 SS₄ 改型及 SS₈ 型机车为主,其使用的电器以继电器、接触器、主型电器及其他电器分别介绍。主要说明其结构、工作原理及性能。其他车型上使用的较先进的电器也作部分介绍。
3. 实验课要求——通过实验课,应初步具有测试常用电力机车电器一些主要技术参数的能力。

第一章 电器的发热与电动力

电器的发热及电动力是电器中存在的两种物理现象并对电器的正常工作有一定的影响。本章对发热的原因、影响及不同工作制发热的特点进行了一定的分析,对电动力的影响及在电器中如何利用电动力也作了说明。在分析过程中计算推导尽量简化,突出特点的分析。

第一节 电器的发热与散热

一、概 述

有触点电器是由导电材料、导磁材料和绝缘材料等组成的。电器在工作时由于有电流通过导体和线圈而产生电阻损耗。如果电器工作于交流电路,则由于交变电磁场的作用,在铁磁体内产生涡流和磁滞损耗。在绝缘体内产生介质损耗。所有这些损耗几乎全部都转变为热能。其中一部分散失到周围介质中,另一部分加热电器本身,使其温度升高。

电器温度升高后,其本身温度与周围环境温度之差,称为温升。

电器的温度超过某一极限值后,其中金属材料的机械强度会明显下降,绝缘材料的绝缘强度会受到破坏。若电器温度过高,会使其使用寿命降低,甚至遭到破坏。反之,电器工作时的温度也不宜过低,因为电器工作时温度太低,说明材料没有得到充分利用,经济性差。相对体积大、重量重。

由此可见,研究电器的发热问题,对保证电器正常可靠的运行及缩小电器体积、节约原材料、降低成本、增长使用寿命等方面具有重要意义。

电器的发热与散热是一个极其复杂的过程,影响它的因素很多,很难建立一个包括一切影响因素的热过程解析公式。因此,电器的热计算只能是近似的。但经过大量实验校核后,对于不同的具体条件,应用一些经验数据也可以得到比较准确的结果。近些年来,运用计算机采用温度场计算方法可以提高计算的准确度。

为了确保电器的工作性能和使用寿命,各国电器技术标准都规定了电器各部件的发热温度极限及温升。

所谓发热温度极限就是保证电器的机械强度、导电、导磁性以及介质的绝缘性不受危害的极限温度。

因为电器工作环境直接影响电器的散热过程。我国国家标准规定最高环境温度为 $+40^{\circ}\text{C}$ (一般为 35°C),从发热温度极限减去最高环境温度即为允许温升值,即

$$\text{允许温升} = \text{发热温度极限} - 40^{\circ}\text{C}$$

当海拔 $1\,000\text{ m}$ 时各种不同材料和部件的发热温度极限列于表1-1。

关于短时发热温度极限,目前尚未制定国家标准,表1-2所列数据可供参考。

表 1-1 电器部件及材料发热温度极限

项	零 部 件 名 称	材 料 和 形 式	发 热 温 度 极 限 (℃)
1	发热温度不影响接触压力的触头	紫铜或铜合金触头 银或银合金触头	115 以不损害相邻部件为限
2	发热温度影响接触压力的触头	磷青铜 弹簧负片构成的簧片 夹形触头刀形开关铜质触头	75 75 90
3	用螺钉、铆钉紧固的导电连接	紫铜或黄铜 紫铜或黄铜接触处镀锡 紫铜或黄铜接触处镀银 铝 质	95 100 105 80
4	单层电流线圈	铜 质	145
5	软连接线	铜质镀(或搪)锡	130
6	电 阻	康铜或类似的电阻带、丝 铁路铝电阻带、丝 镍络电阻带、丝	390 640 690
7	绝缘线圈及与绝缘材料接触的 金属零件	A 级绝缘 E 级绝缘 B 级绝缘 F 级绝缘 H 级绝缘	120 135 145 170 195

注:(1)额定电压为 3 000 V 及以上的交流电器的发热极限按 GB 763 规定。

(2)单层电流线圈及电阻的发热极限同时以不损害相邻部件正常工作为限。

表 1-2 电器部件及材料短时发热极限温度

部件名称及材料	短时最高允许温度(℃)	部件名称及材料	短时最高极限温度(℃)
油中未绝缘的载流导体	250	任何情况下的铝导体	200
不和有机绝缘材料及油接触的铜和黄铜部件	300	闭合情况下的主触头	200

在环境温度为 40 ℃ 时,绝缘线圈及包有绝缘材料的金属导体的允许温升见表 1-3。

表 1-3 绝缘线圈的允许温升

绝缘材料耐热等级	线圈在空气中允许温升(℃)		线圈在油中允许温升(℃)
	长期工作制	反复短时、间断长期*及短时工作制	
A	65	80	60
E	80	95	60
B	90	105	60
F	115	130	—
H	140	155	—

* 间断长期工作制——指长期通电不大于 8 h,在此时间内,所有零件的温度均已达到稳定值。

关于表中绝缘等级的说明:由于绝缘材料的品种繁多,耐热性各不相同。为此国家标准规定按耐热性将绝缘材料分为 7 个等级,见表 1-4。

表 1-4 绝缘材料的最高允许温度

绝缘等级	Y	A	E	B	F	H	C
最高允许温度(℃)	90	105	120	130	155	180	>180

二、电器的发热

电器工作时,电流通过导电部分将产生电阻损耗。载流导体的功率损耗为:

$$P = I^2 R \quad (1-1)$$

式中 P ——电阻损耗功率(W);

I ——通过导体的电流(A);

R ——导体电阻(Ω)。

当导体中流进交变电流时,考虑集肤和邻近效应时, R 应为交流电阻。

此损耗将转变为热能。正常状态时,其中一部分散发到周围介质中去,另一部分使导体的温度升高,形成温升。如果发热时间极短(如短路时的发热),由于来不及散热,可认为损耗功率全部用来加热导体,提高导体的温升。此时可得出能量平衡公式为

$$Pt = Gc\tau \quad (\text{W} \cdot \text{s}) \quad (1-2)$$

式中 P ——电阻损耗功率(W);

t ——发热时间(s);

G ——导体质量(kg);

c ——导体的比热[$\text{W} \cdot \text{s}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$];

τ ——导体的温升($^\circ\text{C}$);

上式可用于计算短路电流导体的温升。

铁磁体在交变磁通的作用下,会在铁磁零件中产生一定的涡流。这是因为铁的导磁率很高,而磁通变化速度又快,因而产生相应的电动势和涡流损耗。同时,磁通的方向和数值变化使铁磁材料反复磁化,产生磁滞与涡流损耗可以导致铁质零件发热。一般来说,这个损耗不大。但如果制造不当;如材料较差、铁片较厚或片间绝缘不好,则涡流损耗就比较大。

磁滞与涡流损耗一般与磁通密度大小、磁通变化率及铁磁材料有关。工程上为了简化计算过程且要取得较符合实际情况的结果,通常采用公式来计算。

$$P = \left[\sigma_c \frac{f}{100} + \sigma_w \left(\frac{f}{100} \right)^2 \right] B_m^2 \times 10^{-8} \quad (\text{W/kg}) \quad (1-3)$$

式中 P ——铁磁材料的损耗(W/kg);

σ_c 、 σ_w ——分别为磁滞、涡流损耗系数,见表 1-5;

f ——电源频率,即磁通频率(Hz);

B_m ——磁通密度幅值(Wb/m^2)。

表 1-5 铁心材料的磁滞、涡流损耗系数

钢的类别	普通电机钢			高 硅 钢	
片厚(mm)	1.0	0.5	0.35	0.5	0.35
σ_c	4.4	4.4	4.7	3.0	2.4
σ_w	22.5	5.9	3.0	1.3	0.7

在交流电器中常采用硅钢片迭成导磁铁心。所以也可根据选用导磁材料的型号,直接由 YB73—70、YB73—63(冶金部关于电工用热轧钢片及冷轧钢薄板部标)查得相应型号材料的

单位铁损,经过计算而得整个铁心的损耗。

绝缘介质中的介质损耗一般与电场强度及频率有关。电场强度和频率愈高则介质损耗也愈大。对于电场强度较小的低压电器而言,介质损耗小到实际上可以忽略不计。但在高压电器中,由于电压高,介质中的电场强度大,必须考虑介质损耗并计算介质的发热。

三、电器的散热

电器工作时,只要电器温度高于周围介质及接触零件的温度,它便向周围介质散热。所以发热和散热同时存在于电器发热过程中。

当电器产生的热量与散失的热量相平衡时,电器的温升维护不变,称为热稳定状态。此时的温升称为稳定温升。若温升随着时间而变化,则称为不稳定发热状态。

电器的散热以传导、对流与辐射 3 种基本方式进行。

热传导现象的实质是通过具有一定内部能量的物质基本质点间的直接相互作用,使能量从一个质点传递到另一相邻质点。热传导的方向是由较热部分传播;或由发热体向与它接触的物体传播。热传导是固体传热的主要方式,它也可在气体和液体中进行。

对流是通过流体(液体与气体)的运动而传递热量。热量的转移和流体本身的转移结合在一起。根据流体流动的原因,对流分为自然对流和强迫对流。机车的电机、电器因受安装空间的限制,较多采用强迫对流,可加强散热,缩小体积。

热辐射是发热体的热量以电磁波形式传播能量的过程。热辐射可穿越真空和气体而传播,但不能透过固体和液体物质。

热传导、对流、热辐射 3 种传热过程可通过一定的公式或经验公式来进行计算,但是分别进行热计算是相当复杂的,而且结果不十分准确。所以在实际计算发热体表面温升时,不分别单独考虑,而是在一定表面情况和周围介质条件下,把 3 种散热方式综合起来,用综合散热系数 K_T 考虑散热,这就是通常采用的牛顿公式

$$P = K_T S \tau \quad (1-4)$$

式中 P ——散热功率(W);

K_T ——综合散热系数[W/(m²·℃)];

S ——有效散热面积(m²);

τ ——温升(℃)。

通过上式可得出,散热功率和温升及有效散热面积成正比,温升越高,有效散热面越大,则散热功率越大。综合散热系数是指温度升高 1℃,发热体单位面积散发到周围介质的功率。综合散热系数 K_T 和发热体结构、工作制、布置方式及周围介质密度,传热系数等诸多因素有关。 K_T 值由实验方法确定。表 1-6 为 K_T 的一些实验数据,供参考。在应用牛顿公式时重要的问题在于正确地选取综合散热系数。

表 1-6 综合散热系数 K_T 的实验值

顺 序	散热体表面及其特性	K_T [W/(cm ² ·℃)]	附 注
1	窄边直立的扁平铜母线	$(6 \sim 9) \times 10^{-4}$	
2	涂绝缘漆的钢或生铁表面	$(10 \sim 14) \times 10^{-4}$	
3	具有绝缘纸的线圈	$(10 \sim 12.5) \times 10^{-4}$	
4	螺旋状生铁电阻	$(10 \sim 13) \times 10^{-4}$	K_T 值对应于全部螺旋表面
5	由康铜或镍铬丝或带绕的电阻组件	$(10 \sim 14) \times 10^{-4}$	K_T 值对应于全部导体表面

第二节 不同工作制下电器的发热

电器在使用过程中,由于工作任务的要求不同,其工作时间的长短也不同。如供电系统中的一些开关,只要不出现故障和必要的检修,它就一直处于工作状态,而机车上控制空气压缩机的电器则处于一种断续工作状态。由于工作时间长短不同,故电器的发热及冷却状况也不同,从电器发热与冷却的观点我们一般将电器的工作状况分为长期工作制、间断长期工作制(八小时工作制)、短时工作制及间断工作制(反复短时工作制)几种。

一、长期工作制时电器的发热

长期工作制是指电器通电后连续工作到发热稳定,此时温升达到稳定值。其特点是电器损耗所产生的热量全部散发到周围介质中。当发热未达到稳定前,这个热量一部分用于升高导体的温度,另一部分散发到周围介质中去。根据能量平衡原理,得能量平衡公式为

$$Pdt = cGd\tau + K_T S \tau dt \quad (1-5)$$

式中 Pdt ——在 dt 时间内电器总的发热量;

$K_T S \tau dt$ ——在 dt 时间内电器的散热量;

$cGd\tau$ ——加热电器本身的热量。

通过计算可得:

$$\tau = \frac{P}{K_T S} [1 - e^{-t' / (\frac{cG}{K_T S})}] \quad (1-6)$$

不难看出,这是一条上升的指数曲线,如图 1-1 中曲线 2 所示。

当 $t \rightarrow \infty$ 时,电器的温升达到稳定值,称为稳定温升 τ_w

$$\tau_w = \frac{P}{K_T S} \quad (1-7)$$

电器各部分的稳定温升不应超过允许温升。式(1-6)中 $\frac{cG}{K_T S}$ 是一个常数,我们称之为电器的热时间常数(简称时间常数),以 T 表示

$$T = \frac{cG}{K_T S} \quad (\text{s}) \quad (1-8)$$

由上分析可得以下几点:

(1)导体的温升 τ 是随着时间的增长按指数曲线上升的。开始上升速度较快,随着 τ 的增大上升速度逐渐减慢,直到稳定温升,此时达到热稳定状态。其原因是由于散热功率和温升成正比所致。

(2)稳定温升 τ_w 与起始温升无关,它由 $P/K_T S$ 决定。当散热面积和散热条件已确定时(S 与 K_T 一定), τ_w 正比于发热功率 P ,或正比于电流的平方,电流愈大,稳定温升值也就愈大。如要限制最大温升,在散热条件不变的情况下,实际上就是限制通过的最大电流。因此,电器的额定电流值就是根据长期发热时的最大温升不超过允许温升来确定的。

(3)时间常数 T 决定于导体总的热容量与其散热情况之比。其值是由电器本身的物理参数决定的,与发热功率(电流)无关。

时间常数也可以用图解法求得。对图 1-1 中曲线工作 $t=0$ 时之切线 OB ,交稳定温升

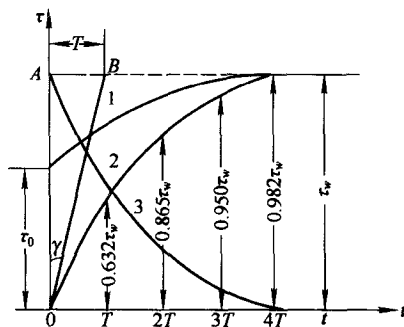


图 1-1 长期工作制时发热与冷却曲线

之水平线于 B 点, 线段 AB 即为时间常数。

总之, T 值越大, 表示达到温升稳定温升所需的时间越长。

(4) 理论上讲, $t = \infty$ 时, 温升达到稳定值 τ_w 。实际上接近稳定温升所需的时间并不需要无限长。从图 1-1 中可以看出; 当 $t = 4T$ 时, $\tau = 0.98\tau_w$, 这时温升 τ 即可认为达到稳定值 τ_w 。由于 T 与电流无关, 故对同一电器, 通以不同电流, 虽其 τ_w 值不等, 但达到 τ_w 的时间是相等的。

间断长期工作制(八小时工作制)也属于长期工作制。在电器规定的工作时间内温升早已达到稳定值, 但超过 8 h 之后必须断电源, 分断后可以清除触头的氧化物及尘垢。电器触头工作于间断长期工作制时, 其允许温升可以比长期工作制时取的略高一些。

一、短时工作制及过载系数

电器的短时工作制是指电器通电时间很短, 温升未达到稳定就停止工作, 并且下一次工作要等到电器冷却到周围介质温度。例如机车主断路器中的分、合闸电磁铁即属于短时工作制情况, 它分别仅在分、合闸时短时通电, 分、合闸结束时就断电。

短时工作制的发热和冷却曲线如图 1-2 中曲线 1、2 所示。

设短时工作制时发热功率为 P_d , 通过工作电流为 I_d , 发热时间为 t_d 。由于发热时间 t_d 很短(一般 $t_d < T$), 达不到稳定温升, 到 τ_d 时即停止发热。经分析可得

$$\tau_d = \tau_{dw} (1 - e^{-t_d/T}) \quad (1-9)$$

$$\tau_d = \frac{P_d}{K_T S} (1 - e^{-t_d/T}) \quad (1-10)$$

τ_d 以后电器冷却到周围介质温度。

假设短时温升 τ_d 恰好与某额定功率为 P_e , 工作电流 I_e 长期工作制发热的稳定温升 τ_w 相等, 即 $\tau_d = \tau_w$ 。由式(1-7)、式(1-10)可得

$$\frac{P_d}{K_T S} (1 - e^{-t_d/T}) = \frac{P_e}{K_T S}$$

变化为

$$\frac{P_d}{P_e} = \frac{1}{1 - e^{-t_d/T}} \quad (1-11)$$

P_d 与 P_e 的比值, 称为功率过载系数。它表示在温升、散热一定的条件下短时工作与长期工作相比, 功率允许过载的倍数。同时也可相应得到短时工作时电流的允许过载倍数为

$$\frac{P_d}{P_e} \approx \frac{T}{t_d} \quad (1-12)$$

$$\frac{I_d}{I_e} \approx \sqrt{\frac{T}{t_d}} \quad (1-13)$$

由以上分析可得出以下几点:

(1) 某电器在长期工作制下工作时, 其稳定温升达到允许温升。该电器若用于短时工作制时, 允许超载运行。这样可使电器得到充分作用。

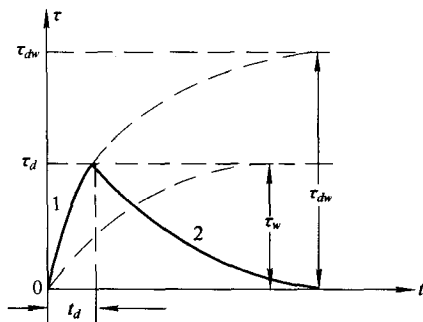


图 1-2 短时工作制时的发热、冷却曲线