



高等学校电气信息类规划教材

总主编 王耀南

电机及拖动基础 实验指导

周腊吾 杨德志 主编

湖南大学出版社

高等学校电气信息类规划教材

总主编 王耀南

电机及拖动基础实验指导

主 编 周腊吾 杨德志

副主编 欧阳明 张忠贤

刘金泽 徐祖华

主 审 熊芝耀

湖南大学出版社

2004·长沙

图书在版编目(CIP)数据

电机及拖动基础实验指导/周腊吾,杨德志主编. —长沙:

湖南大学出版社, 2004. 7

(高等学校电气信息类规划教材)

ISBN 7-81053-786-5

I. 电... II. ①周... ②杨... III. ①电机—实验—

高等学校—教材 ②电力传动—实验—高等学校—教材

IV. ①TM3-33 ②TM921-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 060477 号

电机及拖动基础实验指导

Dianji ji Tuodong Jichu Shiyān Zhidao

主 编: 周腊吾 杨德志

责任编辑: 李继盛

封面设计: 张 毅

出版发行: 湖南大学出版社

社 址: 湖南·长沙·岳麓山

邮 编: 410082

电 话: 0731-8821691(发行部), 8821315(编辑室), 8821006(出版部)

传 真: 0731-8649312(发行部), 8822264(总编室)

电子邮箱: press@hnu.net.cn

网 址: <http://press.hnu.net.cn>

印 装: 湖南新华印刷集团有限责任公司(邵阳)

总 经 销: 湖南省新华书店

开本: 787×1092 16 开 印张: 9.5

字数: 220 千

版次: 2004 年 7 月第 1 版 印次: 2004 年 7 月第 1 次印刷

印数: 1~3 000 册

书号: ISBN 7-81053-786-5/TM·7

定价: 16.00 元

版权所有, 盗版必究

湖南大学版图书凡有印装差错, 请与发行部联系

高等学校电气信息类规划教材

编辑委员会

主 任:章 兢

(湖南大学副校长,教授,博士生导师)

总 主 编:王耀南

(湖南大学电气与信息工程学院院长,教授,博士生导师)

常务副主任:彭楚武 罗 安 何怡刚 黄辉先 黎福海 黄守道 王英健

副 主 任:(按姓氏笔画为序)

王新辉 邓曙光 朱荣辉 刘志壮 陈日新 杨家红 张万奎

张忠贤 周少武 贺达江 黄绍平 彭解华 瞿遂春

委 员:(按姓氏笔画为序)

丁跃浇 方厚辉 王 辉 王 群 王建君 田学军 包 艳

刘祖润 肖强晖 李益华 李正光 李茂军 李春树 李欣然

余建坤 汪鲁才 张学军 金可音 孟凡斌 欧青立 唐勇奇

康 江 黄智伟 揭 屿 曾喆昭 熊芝耀 戴瑜兴

参 编 院 校

(排名不分先后)

湖南大学

国防科学技术大学

湘潭大学

湖南师范大学

长沙理工大学

湖南科技大学

湖南农业大学

南华大学

株洲工学院

湖南工程学院

吉首大学

湖南商学院

湖南理工学院

湖南文理学院

湖南城市学院

邵阳学院

怀化学院

零陵学院

长沙学院

湖南工学院(筹)

序

我国高等教育已经发展到大众化教育的新阶段。随着国家工业化建设迅猛发展,电气信息类专业技术人才的需求也日益增大。为了适应人才培养的这种新形势,跟踪科学技术的前沿进展,我们根据教育部面向 21 世纪电气信息类课程改革的要求,结合湖南大学和兄弟院校长期教学教改的经验,为大学电气信息类本科生编写了这套教材。

电气信息类课程是培养电类专业人才的基础课程,大量概念、理论、方法和工程案例构成了一个完整的技术知识体系。学生要开启心智、培育形成电类专业思维、打下电类专业人才的技术知识基础,必须系统地扎实地学好这些课程。为此,我们在组织编写这套教材时,特别注意了以下几个方面:

一是保证基础。作为大学基础课程,应确保基本概念、基本原理和基本方法的学习。只有透彻地理解和掌握了基础知识,才能顺利地进入电气信息技术领域的大门,才有可能进一步深造。

二是跟踪新技术。电气信息技术发展日新月异,大学教材必须及时吸纳最新技术,使学生了解学科发展动态。本套教材一方面注意反映学科各方面的最新进展,安排了扩充阅读的相关文献题录,指引学生直接接触学科前沿;另一方面还根据学科与技术的发展趋势,对经典知识进行重新组织编排。本套教材还将及时再版,及时更新内容,确保与时俱进,始终处于技术发展的最前沿。

三是注重应用。电气与信息理论源于工程实践,源于科学发现和技术发明,就像艺术源于生活一样。本套教材在讲述基本理论的同时,注重联系工程实际,并把作者的研究成果应用到其中。在正文、例题和习题中,特意安排了大量工程实用问题,通过理论和工程实际的结合,使学生学到知识并掌握方法。

四是文理渗透、启发诱导。为了提升素质,开阔视野,培养科学创新意识,理工科学生应适当了解与学科相关的课程外知识。为此,在许多教材中精心安排了“扩展与思考”的内容,以使从中体会科学思想、科学方法以及科技与人文、科学与艺术相互交融的精神和境界。

五是部分教材以多媒体 CAI 课件配合。这样可以将重要的知识点以生动形象的画面表现出来,深化认识,提高学习效果,也便于课堂教学。

本套教材经过充分研讨和论证,聘请各院校教学经验丰富、科研基础深厚的教授和副教授担任主编和编著者,是湖南所有电气信息类院校团结协作的成果,是全省最优秀的电气信息工程学科专家学者集体智慧的结晶。

本套教材的编写和出版,得到了湖南大学、国防科技大学、湘潭大学、湖南师范大学、长沙理工大学、湖南农业大学、湖南科技大学、南华大学、株洲工学院、湖南工程学院、吉首大学、湖南商学院、湖南理工学院、湖南城市学院、湖南文理学院、邵阳学院、怀化学院、零陵学院、长沙学院、湖南工学院(筹)等高校的通力合作,得到了湖南大学出版社的支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

总主编 王耀南
2004 年 6 月于岳麓山

前 言

按照《高等学校电气信息类规划教材》的编写出版计划,根据《电机学》《电机与拖动基础》等课程的教学大纲要求,我们编写了这本《电机及拖动基础实验指导》。本书的编写指导思想是:适应教育教学改革的需要,加强理论联系实际,全面提高学生的实际操作技能和创新思维能力,培养学生分析问题和解决问题的能力。

编者根据湖南大学、长沙理工大学、湖南工程学院等院校三十多年电机实验的教学实践经验和现代教学实验设施以及深入许多电机厂试验站进行调研的情况,较全面地介绍了电机实验中常用的仪器、设备及试验方法。

本书由周腊吾副教授、杨德志高级工程师(湖南大学电气与信息工程学院)主编,各章的编写分工是:第一章周腊吾副教授,第二章欧阳明副教授(长沙理工大学电气与信息工程学院),第三章杨德志高级工程师,第四章张忠贤老师(湖南大学衡阳分校电气工程系主任),第五章刘金泽老师(湖南工程学院电气工程系),第六章徐祖华老师(南华大学电气工程学院)。全书由周腊吾副教授最后统稿。

本教材在编写过程中,参考了各兄弟院校、工厂提供的实验指导书、试验报告以及产品样本等资料。书中采用国家标准规定的图形、符号和术语。

本教材可以作为全日制高等院校、电大、职大、夜大、成教、自考等各电类专业开设《电机学》《电机与拖动基础》等课程的实验指导书,也可供研究生、工程技术人员参考。

本教材由湖南大学电气与信息工程学院实验中心主任熊芝耀教授主审,罗隆福教授、黄守道教授、张志文副教授、邓建国副教授、罗德荣副教授、江岳春副教授、赖烈恩副教授、吕兴熹副教授等参加审稿工作,提出许多指导性修改意见,编者在此一并表示衷心的感谢。

编 者

2004年7月·长沙

目 次

第1章 电机及拖动基础实验的基本要求和安全操作规程	(1)
1.1 电机及拖动基础实验的基本要求	(1)
1.2 电机及拖动基础实验的安全操作规程	(3)
第2章 电机及拖动基础实验中基本物理量的测量	(4)
2.1 绝缘电阻和绝缘介电强度	(4)
2.2 直流电阻	(5)
2.3 温度	(7)
2.4 转速和转差率	(9)
2.5 功率	(14)
2.6 转矩	(17)
第3章 直流电机实验	(22)
3.1 直流电机的认识	(22)
3.2 直流发电机	(27)
3.3 并励直流电动机的工作特性和调速特性	(35)
3.4 并励直流电动机的机械特性	(41)
3.5 他励直流电动机的机械特性	(44)
第4章 变压器实验	(48)
4.1 单相变压器的空载、短路与负载特性	(48)
4.2 三相变压器的空载、短路与负载特性	(56)
4.3 三相变压器的极性和联结组	(67)
4.4 三相变压器的不对称短路	(75)
4.5 三相变压器的并联运行	(86)
第5章 异步电机实验	(91)
5.1 三相异步电动机的空载、短路与工作特性	(91)
5.2 三相异步电动机的起动和调速	(99)
5.3 三相绕线式异步电动机的机械特性	(104)

第6章 同步电机实验	(111)
6.1 三相同步发电机的运行特性	(111)
6.2 三相同步发电机的并联运行	(119)
6.3 三相同步发电机的参数测定	(126)
6.4 三相同步电动机	(133)
附录 DDSZ-1 型电机及电气技术实验装置	(139)
参考文献	(142)

第 1 章 电机及拖动基础实验的基本要求和安全操作规程

1.1 电机及拖动基础实验的基本要求

电机及拖动基础实验教学是专业智能结构培养的重要教学环节之一。其基本任务是进行实验技能的基本训练,加深对所学基本理论的认识,提高分析问题和解决问题的能力,开发创新思维能力,培养理论联系实际的作风和实事求是的科学态度,获得科学研究的初步训练。具体来说,电机及拖动基础实验的目的在于培养掌握基本的实验方法和操作技能,学会根据实验目的拟定实验线路,选择所需设备、仪器、仪表及其量程,测取实验数据,并对实验数据进行整理、分析、计算和研究,从而得出实验结果,写出实验报告。在整个实验过程中,必须严肃认真,注意力高度集中,实事求是地完成实验内容。根据电机及拖动基础实验的具体情况,要求做好以下几方面的工作。

一、实验前的准备

实验前,应复习电机学、电机与拖动基础等课程中的有关内容,认真阅读本书中的有关章节,了解实验目的、实验项目、实验方法和步骤,明确实验中应注意的问题。根据实验要求,画出实验线路图,选择实验所需设备、仪器、仪表及其量程,根据实验项目绘制好实验记录表格等。

实验前应写出预习报告,经指导老师许可后,方可进行实验。

认真做好实验前的准备工作,对于培养独立工作能力、业务素质,提高实验质量和效率是非常重要的。

二、实验的实施

1. 建立小组、合理分工

每次实验以小组为单位进行,每组 3~4 人,每人都要有明确的分工,如计算机操作、数据记录、接线、线路自检、负载调节、转速测量等工作,并在实验过程中全组人员协调操作。每人都要有计划地轮换操作,在实验中得到全面锻炼。实验数据要求准确,实验数据不容许更改,实验数据如有疑问,只能使用原有设备和仪器、仪表重新进行实验。

2. 选择设备、仪器、仪表及其量程

根据实验项目和设备的铭牌数据,选择所需仪器、仪表及其量程。仪器、仪表、设备应摆放整齐,便于检查和测取实验数据。

3. 按图接线

根据自拟线路图或本书提供的参考线路图进行接线,线路要求正确、简明。

接线原则是先串联主回路,再接并联支路,一个回路一个回路地进行。先从电源开关开始联接主要的串联电路(如果枢电路、电流表),再接并联支路(如励磁支路、电压表)。如果是三相,应三根线同时往下接;如果是直流或单相,则从一极开始,经主要线路及其各段设备、仪器、仪表,然后返回另一极。根据电流的大小,主回路用粗导线联接(包括电流表及功率表的电流线圈),并联支路用细导线联接(包括电压表及功率表的电压线圈)。全部接完后请同组的另一人检查是否有错,如有错改正。最后经指导老师检查无误后可进入下一步。

4. 接通实验设备、注意观察

实验之前,检查设备及仪器、仪表是否处于正确状态,比如仪表是否在零位、调压器是否在所要求的位置、电机是否有机卡住等。熟悉各仪器仪表的刻度,并记下倍率。指导老师许可后才能接通实验设备电源,观察所有仪表是否正常(不容许超过量程、指针反向等),对于三相电机要特别注意是否有断相情况,并观察电机运转是否正常。如出现异常现象,应立即切断电源,报告指导老师,查找原因、排除故障。一切恢复正常后,才可以继续进行实验。

5. 测取数据

预习时对实验内容与实验结果应事先作好理论分析,并预测实验结果的大致趋势,做到心中有数。实验时测量数据要求准确,特别是一些重要数据,如额定点附近数据应多测几组。

6. 认真负责、有始有终

实验结束后,应将实验数据交给指导老师审阅。经指导老师认可后,再断开电源,整理导线和实验台,归还仪器、仪表、工具等,打扫实验场地。

三、实验报告

整理实验数据、写出实验报告是实验课的重要环节。实验报告是技术文件,要求简明扼要、字迹清楚、图表整洁、结论明确。其具体内容应包括:

- (1) 实验名称、专业班级、组号、同组同学姓名、实验日期、室温。
- (2) 实验设备和仪器、仪表的名称、型号、规格、铭牌数据及编号。
- (3) 实验目的和项目。
- (4) 实验线路图,并注明仪器、仪表量程。
- (5) 实验内容和步骤。
- (6) 整理计算的实验数据。数据如果是计算所得,还应列出计算公式。
- (7) 实验曲线。所有曲线应在坐标纸上绘制或由计算机打印输出。

(8) 实验结果分析、计算以及结论和心得体会。这是对所学知识再提高的过程,是实验报告的重要部分。可以对根据不同实验方法所得到的结果进行比较,对各种实验方法的优缺点进行探讨。比较实验结果与理论分析是否相符,如有偏差,找出原因。根据国家标准或技术条件判断被试对象是否合格。

实验报告要求用实验报告纸书写,每次实验报告每人独立完成,一人一份,并按时送交指导老师批阅。

1.2 电机及拖动基础实验的安全操作规程

为了保证电机及拖动基础实验的顺利进行,确保人身安全和设备安全,实验时应严格遵守实验室的安全操作规程。

电机及拖动基础实验安全操作规程如下:

- (1) 进入实验室,态度要认真,注意力要高度集中,严禁大声喧哗、打闹。
- (2) 人体不可接触任何带电部位与转动零件;接触电机外壳,应用手背接触。
- (3) 遵守实验室各项规章制度,使用设备、仪器、仪表必须遵守操作规程,不准动用与本次实验无关的设备和仪器、仪表。经指导老师许可后方可动用其他仪器、仪表、设备和接通电源进行操作。
- (4) 实验进行时,不准离开实验岗位,并密切注视各仪器、仪表的变化。
- (5) 电源必须经过开关(或接触器)、熔断器后接入实验设备;电源进线应接到开关进线端;切断电源后,方可拆线或改接线路。
- (6) 完成接线或改接线路后,必须经指导老师检查,并在招呼其他同学引起注意后,方可接通电源。实验中如发生事故,应保持冷静,首先切断电源,防止事故扩大,并保护现场,报告指导老师,待查明事故原因和妥善处理,才能重新实验。
- (7) 实验时,不准围围巾,不准戴手套,不准穿拖鞋;注意衣服及导线不要卷入电机旋转部分;不得用手或脚去促使电机转动或停转,以免发生危险。
- (8) 电动机直接启动时,电流表及功率表电流线圈应从线路中拆离或经并联开关短路。
- (9) 实验中不得随意调换电流表量程,电流互感器二次侧不允许开路,以免产生高压损坏仪器、仪表和危及人身安全。电容器使用后应进行放电。
- (10) 完成实验后,应按照分断程序依次断开各个开关,方可拆线。
- (11) 总电源应由实验室工作人员掌控,其他人不准操作。

第 2 章 电机及拖动基础实验中 基本物理量的测量

2.1 绝缘电阻和绝缘介电强度

绝缘电阻和绝缘介电强度的测量是电机产品检验项目之一。通过绝缘电阻和绝缘介电强度的试验,可以检查出电机绝缘是否良好,有无局部缺陷等。绝缘电阻的测量属于非破坏性试验,而绝缘介电强度试验则属于破坏性试验,一旦电机绝缘有缺陷即可能发生绕组击穿,故绝缘电阻应在绝缘介电强度之前进行测量。

一、绝缘电阻的测量

绝缘电阻用兆欧表进行测量。兆欧表分手摇兆欧表和数字兆欧表两种,这里仅介绍手摇兆欧表。

1. 兆欧表的选用

根据电机额定电压,可按表 2-1 选用兆欧表。

表 2-1 兆欧表的选用

电机额定电压	兆欧表规格
500 V 以下	500 V
500~3 000 V	1 000 V
3 000 V 以上	2 500 V

2. 测量方法

如电机各相绕组的始末端均引出机壳外,则应分别测量各相绕组对机壳(或铁心)以及相间的绝缘电阻。若各绕组在电机内部已经联接好,允许仅测量所有绕组对机壳的绝缘电阻。如果是绕线式电机,还必须测量转子绕组对机壳的绝缘电阻。

3. 兆欧表的使用

兆欧表内有一永磁式的手摇发电机,发电机的电压与手摇的速度有关。因此,测量时应以兆欧表规定的转速均匀地摇动,待指针稳定后方可读数。

4. 绝缘电阻的有关规定

国家标准规定:在热态时,电机的绝缘电阻应不低于下式所确定的数值:

$$R = \frac{U_N}{1\,000 + \frac{P_N}{100}}$$

式中:R——电机绕组的绝缘电阻,单位为 MΩ;

U_N ——电机绕组的额定电压,单位为 V;

P_N ——电机的额定功率,对直流电机和交流电动机,单位为 kW;对于交流发电机和补偿机,单位为 kVA。

二、绝缘介电强度的测量

电机在系统工作时,经常受到电网和自身过电压的影响,如果电机绕组绝缘有缺陷,将有可能被击穿。所以,电机制造时必须考虑到电机可能受到的最高过电压的作用,从而选择各部分的绝缘结构以及绝缘材料。因此,电机出厂之前或者电机修理之后必须做绝缘介电强度(俗称耐压)试验。

1. 试验电源要求

试验电源电压的频率为 50 Hz,波形为实际正弦波。

2. 试验变压器容量的选择

对于低压电机,每 1kV 试验电压,试验变压器容量应不小于 1 kVA;对于高压电机,当其电容量较大时,试验变压器容量应大于由下式求得的计算容量 S_T (kVA):

$$S_T = 2\pi f C U_T U_{TN} \times 10^{-3}$$

式中: C ——被试电机的电容量,单位为 F;

U_T ——试验电压,单位为 V;

U_{TN} ——试验变压器高压侧的额定电压,单位为 V。

或者按每 5kV 不小于 1 kVA 进行估算。

对于分马力电机,每 1kV 试验电压,试验变压器的容量应不小于 0.5 kVA。

3. 试验方法

试验电压值应符合各类电机标准的规定。试验时间为 1 min。

试验时,电机应在静止状态下进行。施加的电压应从不超过试验电压的 1/2 开始,然后稳步地增加至全压,电压自 1/2 增加至全压值的时间应不少于 10 s,全压试验时间应维持 1 min。进行绝缘介电强度试验时应注意安全,试验结束后,应将试验变压器高压侧进行放电。

2.2 直流电阻

在电机试验中,为了计算电机的效率,确定绕组的温升以及校核电机的设计值,需要测量电机绕组的电阻。电阻的大小随温度的变化而变化,因此,在测量绕组实际冷态的直流电阻时,同时要测量绕组的温度,以便将测得的电阻换算到基准工作温度或所需工作温度下的数值。

电机绕组直流电阻的测量有伏安法和电桥法两种。

一、伏安法

伏安法就是利用电压表和电流表测量绕组的直流电阻。测量时应采用蓄电池或其他电压稳定的直流电源。通过电机绕组的电流不要超过其额定值的 10%,通电时间不应超

过 1 min, 以免绕组发热而影响测量的准确度。伏安法测量电阻的原理图如图 2-1 所示。

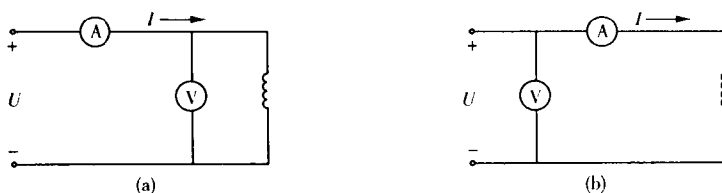


图 2-1 伏安法测定电机绕组的直流电阻

1. 测量小电阻

如图 2-1(a)所示。设电压表的内阻为 r_V , 则被测绕组的直流电阻为 $r = \frac{U}{I - \frac{U}{r_V}}$, 若忽略 $\frac{U}{r_V}$, 则所测的电阻 $r = \frac{U}{I}$ 比绕组的实际电阻偏小, 在 r_V 一定的情况下, 绕组的电阻越小, 测量的精度越高。故这种接法适合于测量小电阻。

2. 测量大电阻

如图 2-1(b)所示。设电流表内阻为 r_A , 则被测绕组的直流电阻为 $r = \frac{U - Ir_A}{I}$, 若忽略 Ir_A , 则所测的电阻 $r = \frac{U}{I}$ 比绕组的实际电阻偏大, 在 r_A 一定的情况下, 绕组的电阻越大, 测量的精度越高。故这种接法适合于测量大电阻。

二、电桥法

电桥有单臂电桥和双臂电桥两种。用电桥测量绕组的直流电阻时, 采用双臂电桥还是单臂电桥, 取决于被测绕组电阻的大小和精度的要求, 双臂电桥的测量精度较高。当绕组的电阻小于 $1\ \Omega$ 时, 必须采用双臂电桥进行测量, 不允许采用单臂电桥测量。因为单臂电桥所测的数值中, 包括了联接导线的电阻和接触电阻, 这就给低电阻的测量带来较大的误差。

用电桥测量绕组的直流电阻时, 应先估计被测电阻的大小, 并将刻度盘调到电桥能大致平衡的位置。然后先按下电池按钮, 再按下检流计按钮, 旋转刻度盘, 使检流计指针指在零处, 这时旋钮刻度指示的数值即为被测绕组的电阻值。测量完毕后, 应先松开检流计按钮, 再松开电源按钮, 以免检流计受到冲击。

用电桥法测量绕组的直流电阻, 具有准确度及灵敏度高和直接读数的优点。

无论用哪种方法测量, 电机的转子应静止不动。每一电阻测量 3 次, 每次读数与 3 次读数的平均值之差在平均值的 $\pm 0.5\%$ 范围内, 测量才认为是准确的, 取 3 次平均值作为电阻的实际值。

三、电机绕组直流电阻的计算

1. 在电机及拖动基础实验中, 电机绕组有单相、三相或多相绕组

在绕组的联接方式上, 有星形联接、三角形联接等。有的电机在外部无法将它们的各

个绕组分开,仅引出 a 、 b 、 c 三个出线端,如图 2-2 所示,此时,各绕组的相电阻应按下列方法确定:

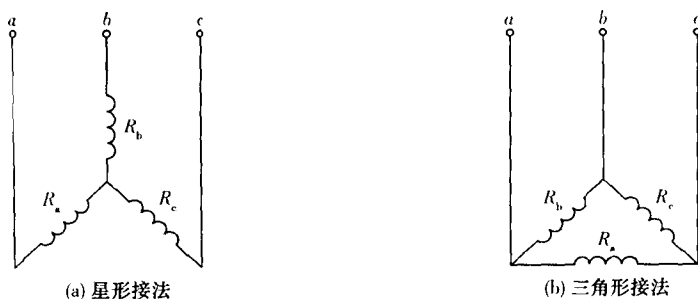


图 2-2 电机三相绕组的联接方式

对于星形接法的绕组:

$$\begin{cases} R_a = R_{av} - R_{bc} \\ R_b = R_{av} - R_{ca} \\ R_c = R_{av} - R_{ab} \end{cases}$$

对于三角形接法的绕组:

$$\begin{cases} R_a = \frac{R_{bc} \cdot R_{ca}}{R_{av} - R_{ab}} + R_{ab} - R_{av} \\ R_b = \frac{R_{ca} \cdot R_{ab}}{R_{av} - R_{bc}} + R_{bc} - R_{av} \\ R_c = \frac{R_{ab} \cdot R_{bc}}{R_{av} - R_{ca}} + R_{ca} - R_{av} \end{cases}$$

式中: R_{ab} 、 R_{bc} 、 R_{ca} ——分别为出线端 a 与 b 、 b 与 c 、 c 与 a 间测得的电阻值,单位为 Ω ;

$R_{av} = \frac{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}}{2}$, 单位为 Ω 。

2. 实际冷态直流电阻与基准工作温度时直流电阻的换算

测得的实际冷态直流电阻可按下式换算到基准工作温度时的电阻:

$$r_{ref} = r_0 \frac{K_a + \theta_{ref}}{K_a + \theta_0}$$

式中: r_0 ——实际冷态时绕组的电阻,单位为 Ω ;

θ_{ref} ——基准工作温度,对于 A、E、B 级绝缘为 75°C ;对于 F、H 级绝缘为 115°C ;

θ_0 ——实际冷态时绕组的温度,单位为 $^\circ\text{C}$;

K_a ——常数,铜绕组为 235;铝绕组为 225。

注:实际冷态指当所测温度与冷却介质温度之差不超过 2K 时。

2.3 温 度

电机中绝缘材料的使用寿命主要取决于运行时的温度。为了保证电机安全、可靠地运行,必须对电机各部分的温度进行测量。国家标准也对不同绝缘材料的最高工作温度

和温升作出了限制。表 2-2 是我国常用几种绝缘等级的最高工作温度和温升限额。

表 2-2 绝缘等级的最高工作温度和温升限额

绝缘等级	环境温度/℃	最高工作温度/℃	温升限额/K
A	40	105	60
E	40	120	75
B	40	130	80
F	40	155	100
H	40	180	125

目前,对电机各部分温度测量的常用方法有 3 种,即温度计法、电阻法和埋置检温计法。

一、温度计法

1. 温度计的选择

温度计有膨胀式温度计(如水银、酒精温度计)、半导体温度计及热电偶或电阻温度计。用温度计可以测量电机的机壳、铁心、轴承、集电环、换向器等以及周围介质温度。用温度计法具有简单、可靠、直观等优点。

2. 测量方法

测量时,温度计应紧贴在被测点表面,并用绝热材料(如橡胶泥)覆盖好温度计的测量部分,以免受周围冷却介质的影响。有交变磁场的部位(如交流电机的定子铁心),不能采用水银温度计。对大中型电机,温度计的放置时间应不少于 15 min。

二、电阻法

1. 带电测温装置测量电机绕组的温度

根据电阻随温度的变化而变化的基本原理,可测得电机绕组的温度。设电机绕组的热态电阻为 R_m ,冷态电阻为 R_0 ,则可按下式计算出绕组的温度 θ_1 :

$$\theta_1 = \frac{R_m - R_0}{R_0} (K_0 + \theta_0) + \theta_0$$

式中: R_m ——绕组的热态电阻,单位为 Ω ;

R_0 ——绕组的实际冷态电阻,单位为 Ω ;

θ_0 ——绕组的实际冷态温度,单位为 $^{\circ}\text{C}$;

K_0 ——常数,铜绕组为 235,铝绕组为 228。

2. 非带电测温装置所测温度的修正

如果不能进行带电测量,电机绕组(或其他部分)的温度,只能在电机切断电源后测量。因此,所测量的温度应修正到断电瞬间或标准所规定时间的温度。修正方法是外推法,即电机切断电源时,应测量出断电瞬间的时间 t (单位为 s)以及相应的电阻 R (单位为 Ω)。并用半对数坐标纸绘制电阻冷却曲线 $R=f(t)$ 或温度曲线 $\theta=f(t)$,如图 2-3(a)所示,将冷却曲线延长到与纵轴相交,交点的纵坐标即为断电瞬间绕组的电阻值。注意:测

量第一点电阻的时间应尽可能地短,或按国家标准规定测取第一点读数的时间进行。

如果没有半对数坐标纸,也可以利用普通坐标纸绘制电阻冷却特性曲线或温度曲线。取横坐标为时间的对数,纵坐标为电阻或温度的对数,如图2-3(b)所示。

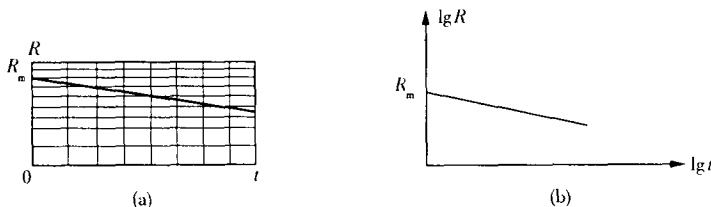


图 2-3 冷却曲线

如果断电后测得的电阻(或温度)先下降后上升,则取测得电阻(或温度)的最大值作为断电瞬间的电阻(或温度)。

电阻法具有准确度高的优点,但它只能测量绕组的平均温度。

三、埋置检温计法

大中型电机中,常常在可能出现温度较高或者用其他方法无法测量的地方埋置了热电偶或热电阻等感温元件。例如在导体与槽底之间、导体的上下层之间。它可以通过二次仪表直接读出所测部位的温度,也可通过 A/D 转换器或其他数字式仪表进行测量和监视。

热电偶是由成分不同的两种金属 A 和 B 组成,如图 2-4 所示。当联接点和仪表具有不同温度 t 和 t_0 时,回路中就产生热电动势,温差越大,热电动势越大。热电偶就是利用这个原理来测温的。

热电阻是利用金属导体或半导体的电阻随温度而变化的特性来测量温度的。热电阻埋设在被测点,测出热电阻的电阻值,再在元件材料分度表上查出相应温度,也可用电子测量转换成直接显示温度数值。

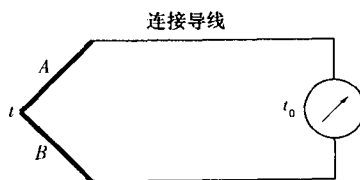


图 2-4 热电偶测温

此外,还有红外线测温仪,可以测电机转子表面温度分布情况,这里不作介绍。

2.4 转速和转差率

电机的转速或转差率是电机运行中的一个重要物理量,如何准确地测量电机的转速或转差率是十分重要的。随着科学技术的发展,特别是电子技术的发展,转速或转差率的测量方法不断地得到改进,测量精度也越来越高。这里仅介绍几种常用的测量方法。

一、转速的测量

1. 手持式离心式转速表

这种转速表的工作原理就是利用离心机旋转后,产生惯性离心力与反作用的拉力弹