

电机 与电力拖动 基础实验视频教程

主 编 刘翠玲 郭 滨
副主编 段振刚 刘雪连 孙晓荣



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电机与电力拖动基础 实验视频教程

主 编 刘翠玲 郭 滨
副主编 段振刚 刘雪连 孙晓荣



机械工业出版社

本书是《电机与电力拖动基础》课程的基本实验指导教程。全书共分10章,第1章阐述了电机与电力拖动基础实验的意义及实验的基本要求;第2章阐述了实验的预备知识;第3~10章分别阐述了直流电机认识实验,直流发电机实验,他励直流电动机机械特性测定,单相变压器实验,三相变压器联结组的测定,三相异步电动机的起动、反转与调速,三相异步电动机机械特性测定,单相电动机和步进电动机实验,并以现代的影视制作技术,将实验操作过程制成DVD视频光盘。每一项实验都设有实验原理知识要点、实验目的、实验要求、实验接线和思考题部分,学生可自助完成实验并对所学的相应知识有较全面的理解和掌握。

本书适合电气工程及其自动化等相关专业的师生及工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

电机与电力拖动基础实验视频教程/刘翠玲,郭滨主编. —北京:机械工业出版社,2010.8

ISBN 978-7-111-28959-3

I. ①电… II. ①刘…②郭… III. ①电机学-实验-教材②电力传动-实验-教材 IV. ①TM3-33②TM921-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第085623号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:顾谦 责任编辑:任鑫 版式设计:张世琴

责任校对:姜婷 封面设计:马精明 责任印制:李妍

北京振兴源印务有限公司印刷

2010年8月第1版第1次印刷

184mm×260mm·7印张·170千字

0001-3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-28959-3

ISBN 978-7-89451-515-5(光盘)

定价:29.00元(含2DVD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

《电机与电力拖动基础实验视频教程》是《电机与电力拖动基础》课程的配套教材。《电机与电力拖动基础》是研究交直流电机原理及其起动、调速、制动等拖动理论、分析方法、基本特性及变压器运行原理、特性及工程应用等的一门专业基础课程。该课程的特点是理论与实际结合紧密，原理部分抽象深奥，对初学者来说不易理解。为了使很好理解电机与电力拖动的基础理论与知识，必须加强实践环节。随着《电机与电力拖动基础》课程的改革，授课总学时的减少，课内实验学时远远不能满足实践要求，进一步开放实验室，让学生自助完成实验成为加强实践教学的重要途径之一。《电机与电力拖动基础实验视频教程》就是基于此目的而编写制作的一套视频指导教程。

《电机与电力拖动基础实验视频教程》从实际的教学需求出发，依据当前的教育教学的指导思想，结合生产实际，在 DDSZ-1 型电机及电气技术实验装置上，利用多媒体技术，按照课程教学要求的内容范围，将必做、选做实验制作成视频指导片，并编写相应的实验指导书。实验指导直观清晰，可反复播放，也可以通过网上资源库预习，便于学生自主完成实验，解决了开放性实验开展难的矛盾，为学生不断深入开展实践教学，提高教学效率，学好电机与电力拖动基础这门课程提供了很好的手段。本书是一本实用的教学书籍，有广阔的推广价值。

《电机与电力拖动基础实验视频教程》分 10 章阐述，第 1 章阐述了电机与电力拖动基础实验意义及实验的基本要求；第 2 章阐述了电机与电力拖动基础实验的预备知识；第 3~10 章分别阐述了直流电机认识实验，直流发电机实验，他励直流电动机机械特性测定，单相变压器实验，三相变压器联结组的测定，三相异步电动机的起动、反转与调速，三相异步电动机机械特性测定，单相电动机和步进电动机实验，并配以实验操作过程的视频指导。每一项实验都设有实验原理知识要点、实验目的、实验要求、实验接线、思考题部分，学生完成实验后对相应的理论知识有个较全面的理解和掌握，做到理论联系实际。

本书的特色就是附有两张实验教学 DVD 光盘，由于光盘内容录制比较早，涉及的专业术语和图形符号并未按国家标准统一，望广大读者在阅读时注意。

本书由刘翠玲、郭滨任主编；段振刚、刘雪连、孙晓荣任副主编。刘翠玲、段新安任视频编导，刘欢、刘雪连摄影，郭滨、孙晓荣、梁正编辑制作。北京交通大学范瑜教授对全书进行了审阅，并提出了许多宝贵的建议。同时得到了北京工商大学信息工程学院、数字艺术制作中心、教务处等其他相关同志从各方面给予的热情支持和帮助。另外，在编写时，参阅了一些国内外相关优秀著作和资料，作者在此一并表示诚挚的谢意。

限于作者水平和实践经验，书中可能有不少缺点和不足，恳请读者批评指正。

编者
2009 年 8 月

目 录

前言

第1章 电机与电力拖动基础实验

概述 1

1.1 电机与电力拖动基础实验的意义 1

1.2 电机与电力拖动基础实验主要内容 2

1.2.1 电机与电力拖动基础实验预备知识 2

1.2.2 电机与电力拖动基础实验装置模块的功能与使用 2

1.2.3 电机与电力拖动基础实验视频教程的内容结构 2

1.3 实验的基本要求 2

1.4 实验安全操作守则 3

第2章 电机与电力拖动基础实验预备知识

知识 5

2.1 电机实验的基础知识 5

2.1.1 基本测量方法与误差分析 5

2.1.2 电工测量仪表的基础知识 7

2.1.3 电机实验常用的测量仪器仪表 9

2.1.4 电机绝缘电阻的测量 12

2.1.5 电机绕组直流电阻的测量 13

2.1.6 电机电功率的测量 15

2.1.7 电机转速的测量 16

2.1.8 电机转矩的测量 17

2.2 实验模块的功能与使用 17

2.2.1 DD01 电源控制屏 17

2.2.2 D55-1 智能转矩、转速、输出功率表 19

2.2.3 D34-3 单三相智能功率、功率因数表 20

2.2.4 步进电动机智能控制箱 21

2.2.5 BSZ-1 型步进电动机实验装置 22

2.2.6 实验用变压器、电机 23

2.2.7 D31 直流数字电压表、毫安表、

安培表 24

2.2.8 D32 交流电流表、D33 交流电压表 24

2.2.9 DD03-1 指针式转速表 25

第3章 直流电机认识实验 26

3.1 实验原理知识要点 26

3.1.1 直流电机的结构、原理 26

3.1.2 他励直流电动机的起动、调速与改变转向的方法 29

3.2 实验操作指导 33

3.3 实验结果分析与讨论 35

第4章 直流发电机实验 36

4.1 实验原理知识要点 36

4.1.1 他励直流发电机空载特性 36

4.1.2 他励直流发电机外特性 37

4.1.3 并励直流发电机自励过程 38

4.2 实验操作指导 39

4.3 实验结果分析与讨论 43

第5章 他励直流电动机机械特性测定

测定 44

5.1 实验原理知识要点 44

5.1.1 固有机械特性 44

5.1.2 电枢回路串联电阻的人为机械特性 45

5.1.3 降低电枢电压的人为机械特性 45

5.1.4 他励直流电动机带发电机负载时的机械特性分析 46

5.2 实验操作指导 46

5.3 实验结果分析与讨论 50

第6章 单相变压器实验 51

6.1 实验原理知识要点 51

6.1.1 变压器空载和短路的电压比和参数 51

6.1.2 变压器的负载运行特性 59

6.1.3 变压器的铁损耗及铜损耗 61

6.2 实验操作指导 62

6.3 实验结果分析与讨论	66	9.1 实验原理知识要点	87
第7章 三相变压器联结组的测定	67	9.1.1 三相异步电动机固有机械特性	87
7.1 实验原理知识要点	67	9.1.2 三相绕线转子异步电动机转子 回路串联三相对称电阻时的 人为机械特性	89
7.1.1 三相变压器概述	67	9.1.3 降低定子端电压 U_1 时的人为 机械特性	90
7.1.2 三相变压器的联结组	67	9.1.4 三相异步电动机带发电机负载时的 机械特性分析	90
7.2 实验操作指导	73	9.2 实验操作指导	91
7.3 实验结果分析与讨论	77	9.3 实验结果分析与讨论	94
第8章 三相异步电动机的起动、反转与 调速	78	第10章 单相电动机和步进电动机 实验	95
8.1 实验原理知识要点	78	10.1 实验原理知识要点	95
8.1.1 三相绕线转子异步电动机直接 起动	78	10.1.1 单相异步电动机的起动与反转	95
8.1.2 三相绕线转子异步电动机转子 回路串联电阻起动	79	10.1.2 步进电动机各种运行方式的 控制	96
8.1.3 星-三角(Y- Δ)联结起动	80	10.1.3 步进电动机角位移和脉冲数的 关系	102
8.1.4 三相绕线转子异步电动机转子 回路串联电阻调速	82	10.2 实验操作指导	102
8.1.5 三相异步电动机转向的改变	83	10.3 实验结果分析与讨论	105
8.2 实验操作指导	83	参考文献	106
8.3 实验结果分析与讨论	86		
第9章 三相异步电动机机械特性 测定	87		

第1章 电机与电力拖动基础实验概述

1.1 电机与电力拖动基础实验的意义

十九世纪,电机的发明标志着以煤和石油为主要能源体系的电气化时代的开始,从而为现代工业奠定了基础。在当今工业和日常生活中,人们到处都可以找到电机的踪影。在国民经济生产中,电机工业是机械工业的一个重要组成部分,也是机电一体化中机和电的结合部位,是机电一体化的重要基础,电机可称为电气化的心脏。它对国民经济的发展起着举足轻重的作用,并随着国民经济和科学技术的发展而不断发展。

《电机与电力拖动基础》是将《电机学》和《电力拖动基础》两门课有机结合而成的。电机主要指发电机、电动机、变压器,是实现电能生产、变换、传输、分配、使用和控制类的电磁机械装置。电力拖动又称电气传动,是指电动机把电能转换成机械能,去拖动各种类型的生产机械,完成有益于生产或生活的任务。其内容主要研究交直流电机原理及其起动、调速、制动等拖动理论,分析方法,基本特性及变压器运行原理、特性和工程应用等的一门专业技术基础课程,是电气工程与自动化类专业学生学习后续专业课程所必需的专业基础,也是从事电气工程、电力系统、电力拖动、电机及控制、水电工程、工业自动化等领域工作重要的理论和技术基础。

该课程不仅有理论的分析推导和磁场的抽象描述,而且还有用基本理论去分析研究比较复杂的带有机、电、磁综合性的工程实际问题。这是该课程的特点,也是学习的难点。随着教育改革的推进,《电机与电力拖动基础》课程的学时数越来越少,选课越来越灵活,如何让学生在规定的学时内掌握应有的知识,又如何教好这门课程,给教师提出了新的难题。为了使学生很好地理解电机与电力拖动的基础理论与知识,必须加强实践环节。单靠课内实验学时远远不能满足实践要求,进一步开放实验室,让学生自助完成实验成为加强实践教学的首要途径之一。

根据以上问题,我们课程组在多年积累的教学经验基础上,着眼于人才培养目标的需要,从2004年对该课程进行了全方位的改革与建设并取得了显著效果,不仅积累了丰富的多媒体课件,而且还制作了实验教学视频片,为学生学好这门课程提供了有效的手段。《电机与电力拖动基础实验视频教程》就是基于此而编写制作的一套视频指导教程,是《电机与电力拖动基础》课程的配套教材。

《电机与电力拖动基础实验视频教程》从实际的教学需求出发,依据当前的教育教学的指导思想,结合生产实际,在 DDSZ-1 型电机及电气技术实验装置上,利用多媒体教学技术,按照课程教学要求的内容范围,将必做、选做实验制作成视频指导片,并编制相应的实验指导书。实验指导直观清晰,可反复播放,也可以通过网上资源库预习,便于学生自主完成实验,有利于解决开放性实验开展难的矛盾。同时也为学生不断深入开展实践教学,提高学习效率,学好电机与电力拖动基础这门课程提供了很好的实践手段,是一本实用的教学多

媒体书籍。

1.2 电机与电力拖动基础实验主要内容

1.2.1 电机与电力拖动基础实验预备知识

为了让学生通过实验掌握应有的电工测量技术及基本电工仪表的使用方法，本书阐述了电机实验中的基本测量与误差分析以及电工测量仪表的基础知识（即电工测量仪表的分类、测量仪器和仪表的技术指标、电工测量仪表的正确使用方法）、电机实验常用的测量仪器仪表、电机绝缘电阻的测量、电机绕组直流电阻的测量、电机功率的测量、电机转速的测量、电机转矩的测量。

1.2.2 电机与电力拖动基础实验装置模块的功能与使用

本教程的实验是基于 DDSZ-1 型电机及电气技术实验装置的，因此对其主要模块的功能与使用方法进行了介绍。

实验模块主要有 DD01 电源控制屏，D55-1 智能转矩表、转速表、输出功率表，D34-3 单三相智能功率表、功率因数表，步进电机智能控制箱，BSZ-1 型步进电机实验装置，D31 直流数字电压表、毫安表、安培表，D32 交流电流表、D33 交流电压表，DD03-1 指针式转速表，DJ11 实验用变压器和实验用直流、交流电机等。

1.2.3 电机与电力拖动基础实验视频教程的内容结构

根据《电机与电力拖动基础》课程对实践能力培养的要求：掌握直流电动机运行、他励直流电动机工作特性的测定、直流发电机实验、单相变压器实验、三相变压器极性和联结组的测定、三相异步电动机实验、交直流电动机在各种运转状态下机械特性的测定、控制电机等，《电机与电力拖动基础实验视频教程》将每一项实验内容，以现代的影视制作手段和多媒体技术，制成实验操作过程的视频指导，使学生更容易掌握理解相关知识。全书共分 10 个章节阐述，第 1 章阐述了电机与电力拖动基础实验意义及实验的基本要求；第 2 章阐述了电机与电力拖动基础实验的预备知识；第 3~10 章分别阐述了直流电机认识实验，直流发电机实验，他励直流电动机机械特性测定，单相变压器实验，三相变压器联结组的测定，三相异步电动机的起动，反转与调速，三相异步电动机机械特性测定，单相电动机和步进电动机，每一项实验都设有实验原理知识要点、实验目的、实验要求、实验接线、思考题部分，学生完成每一项实验可对相应的理论知识有个较全面的理解和掌握，做到理论联系实际。

1.3 实验的基本要求

1. 实验预习

实验前应认真研读实验指导书，复习《电机与电力拖动基础》课程教材中的有关章节，了解实验目的、项目、方法与步骤，明确实验过程中应注意的问题，对电机实验所测数据的

大体范围及趋势做到心中有数，并按实验内容准备好记录实验数据的表格。

2. 实验操作

1) 实验以小组为单位进行，每组由2或3人组成，实验进行中的接线、调节负载、测量、记录数据等工作应有明确的分工，以保证实验操作顺利，记录数据准确可靠。

2) 实验前，先熟悉实验所用的组件，并记录电机或变压器的铭牌数据。

3) 根据实验线路图及所用组件，按图接线。实验线路要力求简单明了、布局合理、操作方便。按接线原则，应先接串联主电路，再接并联支路。

4) 根据电机、变压器及所使用的设备铭牌数据，合理选择仪表量程，熟悉仪表刻度，并记下量程倍率。

5) 按一定规范起动电机（或接通变压器），观察所有仪表是否正常（如指针正、反向是否超满量程等）。如果出现异常，应立即切断电源，并排除故障；如果一切正常，即可正式开始实验。

6) 按照实验教材的操作方法和步骤，完成实验的操作过程和数据的测量、记录，并根据预测实验数据的大体范围及趋势，判断所测实验数据是否合理。

7) 实验完毕，须将实验测量数据交给指导教师审阅，经指导教师认可后方可拆线。

3. 实验报告

实验报告是实验数据和在实验中观察发现的问题，经过分析、研究、讨论后得出的书面结论或心得体会，是实验全部过程的总结。

实验报告要简明扼要、字迹清楚、图表整洁、结论明确，并应包括以下内容：

1) 实验名称、专业班级、学号、姓名、实验日期等。

2) 扼要写明实验目的，列出实验内容和实验项目。

3) 列出实验中所用仪表和设备的名称、规格型号、数量以及电机或变压器的铭牌数据等。

4) 绘出实验时所用的线路图，并注明仪表量程和电阻器阻值。

5) 整理和计算实验数据，对所记录数据的表格应说明实验的条件。数据若由计算所得，应列出计算公式，并注明各物理量单位。

6) 根据实验资料选择适当比例，用坐标纸绘出实验曲线。

7) 对实验结果进行分析，给出结论，说明实验结果与理论是否符合。对实验线路和实验方法进行讨论和提出建议，也可对某些问题提出一些自己的见解。

1.4 实验安全操作守则

为了更好地完成电机与电力拖动基础实验，确保实验时人身安全与设备安全，要严格遵守以下安全操作规程：

1) 实验室总电源由实验指导人员操作控制，其他人员不得操作。

2) 实验时，应注意防止衣服、围巾、头发以及实验导线卷入电机旋转部件。

3) 接线或拆线都必须在切断电源的情况下进行，严禁接触带电裸露部位及电机旋转部件。

- 4) 学生完成接线或改接线路后必须经指导教师检查和允许, 并提醒组内其他同学引起注意后, 方可接通电源。实验中如发生事故, 应立即切断电源, 查清问题和妥善处理故障后, 才能继续进行实验。
- 5) 电机如直接起动, 则应在起动前先检查功率表及电流表的电流量程是否符合要求。
- 6) 实验完毕应切断电源, 整理实验用线, 清理实验台面。

第2章 电机与电力拖动基础实验预备知识

2.1 电机实验的基础知识

2.1.1 基本测量方法与误差分析

1. 基本测量方法

测量的本质是用实验的方法把被测量与标准量进行比较,以求得被测量的值。测量实际上是一种比较过程,选择什么样的测量方法进行测量,首先取决于被测量的性质,其次也要考虑测量条件和所提出的测量要求。基本测量方法可以分成以下几种。

(1) 直接测量法

不必进行辅助计算就能直接得到测量值的测量方法,称为直接测量法。例如,用电压表测量电压和用电桥测量电阻,都可以直接读出被测电压或电阻的值。这种方法的特点是测出的数据就是被测量本身的值。

(2) 间接测量法

通过直接测量与被测量有已知函数关系的其他物理量,再按已知函数关系进行计算,得出被测量数值的方法称为间接测量法。例如,用伏安法测电阻,先测出被测电阻两端的电压和通过该电阻的电流,然后利用欧姆定律,间接计算出电阻数值。通常,在被测量不便于直接测量,或者是用于直接测量的仪器准确度不够时,采用间接测量法。

(3) 比较测量法

将被测量与已知的同类标准量进行比较,求得被测量数值的方法称为比较测量法。例如,用天平测量物体的质量、用电位差计测量电压、用电桥测组件参数都属于比较测量法。在比较测量法中,量具是直接参与工作的,如用天平测量物体质量时的整个测试过程中,作为质量量具的砝码始终参与工作。

根据被测量与标准量进行比较时的特点不同,还可将比较测量法分为微差法和零位法等。

(4) 组合测量法

组合测量法是利用直接或间接的办法测得一定数目的被测变量的不同组合,列出一组方程,通过解方程组得到被测量的一种方法。

2. 误差和误差分析

(1) 测量误差的分类

被测量量的真实大小称为真值。在一定的时间和空间内,被测量量的真值是一个客观存在的确定数值。在测量过程中,即使选用准确度最高的测量器具、仪器和仪表,而且没有人为的失误,要想测得真值也是不可能的。况且由于人类对客观事物认识的局限性、测量方法的不完善性以及测量工作中常有的各种失误等,更会不可避免地使测量结果与被测量的真值

之间有差别，这种差别就称为测量误差。任何测量都有误差，误差自始至终存在于一切测量过程中。

测量误差按其性质和特点，可分为系统误差、随机误差和疏忽误差三类。

1) 系统误差。在相同条件下多次测量同一物理量时，误差的绝对值和符号保持不变，或在条件改变时，按某一确定规律变化的误差称为系统误差。系统误差通常是由测量器具、测量仪器和仪表本身的误差产生的。此外，由于测量方法不完善和测量者不正确的测量习惯等产生的测量误差也称为系统误差。系统误差的大小可以衡量测量数据与真值的偏离程度，即测量的准确度。系统误差越小，测量的结果就越准确。

2) 随机误差。在测量过程中，由于某些偶然因素引起的误差称为随机误差，所以随机误差又称为偶然误差。随机误差产生的原因很复杂，如电源电压的随机波动、测试环境（如温度、湿度、压力、风速等）的随机变化、电磁场干扰、地震等。随机误差一般较小，工程上常忽略不计，只有在精密测量时需要考虑。工程上主要考虑的是系统误差。

3) 疏忽误差。由测量人员粗心疏忽所造成的误差称为疏忽误差。例如读数错误、记录或计算的差错、操作方法不正确、测量方法不合理等，都可能导致疏忽误差的出现。就测量数值而言，疏忽误差一般都明显地超过正常情况下的系统误差和随机误差，严重歪曲测量结果，对于这种含有疏忽误差的测量结果应该予以剔除。

(2) 测量误差的表示方法

真值是理论上存在而在实际上却是无法真正获取的。在实际工作中，通常是用约定真值来代替真值。它往往是采用高准确度仪表，多次测量后取平均值的结果。测量误差是指仪表显示值与约定真值之差，常用绝对误差或相对误差表示。在评定仪器仪表的准确度等级时则采用了引用误差。

1) 绝对误差。绝对误差是指某量的测量值与其约定真值之差，即

$$\Delta X = X - X_0 \quad (2-1)$$

式中 X ——测量仪表显示值；

X_0 ——约定真值；

ΔX ——绝对误差，是一个有符号和单位的量值。

2) 相对误差。两个大小不同的测量值，当它们的绝对误差相同时，准确度并不相同。例如，测量北京到上海的距离，如果绝对误差为 1m，则可以认为测量结果相当准确；但如果测量飞机场跑道的长度时，绝对误差也是 1m，则认为准确度很差。因此，常用相对误差来评价测量结果的准确度，相对误差越小，测量的准确度越高。相对误差定义为测量值的绝对误差与约定真值之比，用百分数表示，即

$$\gamma = \Delta X / X_0 \times 100\% \quad (2-2)$$

3) 引用误差。引用误差是指绝对误差除以规定值（通常指测量仪表的满度值），这一规定值常被称为引用值，故称引用误差，用百分数表示，即

$$\gamma_m = \Delta X / X_m \times 100\% \quad (2-3)$$

式中 X_m ——仪表量程满度值。

引用误差主要是用来评价仪器仪表的准确度等级。在工程应用中，测量仪表的准确度等级就是按照其最大引用误差来规定的。例如，一块电工仪表的准确度等级为 1.0 级，表示这块仪表的最大引用误差不大于仪表量程的满度值 X_m 的 $\pm 1\%$ ，即最大引用误差小于 $\pm 1\%$ 。

2.1.2 电工测量仪表的基础知识

电工测量仪表是电机与电力拖动基础实验中最常用的测试仪表。实验中常用的测量仪器仪表包括：直流电压表、直流电流表、交流电压表、交流电流表、功率表、万用表、绝缘电阻表（曾称兆欧表）、电桥、转速表、转矩测量仪等。为了正确选择和使用这些仪器仪表，有必要了解这些仪器仪表的性能和使用方法。

1. 电工测量仪表的分类

测量电量（如电流、电压、功率、相位、电阻等）的指示仪表，称为电工测量仪表。它们不仅可以用来测量各种电量，而且经过相应变换器的变换，还可以用来间接测量各种非电量（如速度、温度、转矩等）。电工测量仪表的种类很多，可以按照不同方法进行分类。

1) 按照工作原理可分为机电式仪表和数字仪表。机电式仪表是将被测电量转换为指示器（通常是指针）的机械偏转，从而直接读出被测电量的大小。机电式直读仪表又分为磁电系、电磁系、电动系、动磁系、感应系、振簧系、电热系、整流系等。由于这类仪表具有制造简单、成本低廉、稳定性和可靠性高及使用维修方便等优点，被广泛应用于科学技术和工业过程的测量和监控中，是一种基本的测量工具。









数字仪表是把电子技术和计算机技术结合起来，利用数码管或液晶显示器等直接用数字显示测量值的仪表。通常，它具有测量速度快、准确度高、易于读数、便于实现自动化测量等优点。数字仪表的种类很多，如数字电压表、数字电流表、数字万用表、数字功率表、数字相位表等。随着电子技术和计算技术的进步，数字仪表得到了迅速的发展，并在电气测量和电工测量领域得到了广泛的应用。

2) 按照被测量的不同，可以分为电流表、电压表、功率表、相位表、功率因数表、电阻表、绝缘电阻表、万用表等。





3) 按照被测量的电流性质，可分为直流表、交流表和交直流两用表。

由于电工测量的仪表种类繁多，结构、性能各异，使用中要求不一，为了便于正确选用，仅将常用的电工测量仪表的符号和标记列入表 2-1 中供参考。

表 2-1 常用电工测量仪表的有关符号

仪表名称和图形符号					
被测量	仪表名称	图形符号	被测量	仪表名称	图形符号
电流	安培表		功率	功率表	
	毫安表		电阻	电阻表	
电压	伏特表		频率	频率表	
	毫伏表		相位	相位表	

仪表工作原理图形符号

类型	磁电系	电磁系	电动系	感应系
图形符号				

电流种类图形符号					(续)	
类型	直流	交流(单相)	直流和交流	三相交流		
图形符号						
仪表准确度等级(以指示值百分数表示)符号						
0.1%	0.2%	0.5%	1.0%	1.5%	2.5%	5.0%
仪表标度盘工作位置符号						
位置	水平放置	垂直放置	与水平面倾斜某一角度			
符号						
仪表绝缘强度符号						
不进行绝缘强度试验	试验电压为 500V	试验电压为 2000V	危险			

2. 测量仪器和仪表的几项技术指标

对电工仪器仪表一般有以下要求：具有足够的准确度，变差小，稳定性好，具有适合于被测量的灵敏度，仪器仪表本身消耗功率小。

(1) 准确度

测量仪表的准确度是指仪表得出的指示值与被测量真值的接近程度，通常用准确度等级来表示。

各种仪表的测量准确度有不同的定义方法。机电式仪表的准确度是按最大引用误差来划分的；数字仪表的准确度是按显示的位数来划分的；而电子仪器是按灵敏度来划分其准确度的。

国家标准规定，机电式仪表的准确度等级主要分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 七个等级，见表 2-2。

表 2-2 电工测量仪表准确度等级和基本误差

准确度等级	0.1	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	5.0
基本误差 ≤	±0.1%	±0.2%	±0.5%	±1.0%	±1.5%	±2.5%	±5.0%

仪表准确度等级的数值越小，它的准确度就越高。例如，一个 0.5 级的仪表，表示该仪表的最大允许基本误差不超过 ±0.5%。通常，0.1 级和 0.2 级仪表是标准表，用以校验其他仪表或精确测量，实验室一般用 0.5 ~ 1.0 级仪表，工厂用作监视生产过程的仪表一般为 1.0 ~ 5.0 级。

一般情况下，仪表的准确度越高，价格也越贵，维修也越难。而且，若其他条件配合不当，高准确度的仪表也未必一定可以得到高精度的测量结果。因此选择仪表时，应综合考虑各方面的因素。

(2) 稳定性

仪表的稳定性是指在外界条件不变的前提下，测量仪器的指示值随时间的不变性，通常用稳定性来衡量。变差是指在外界条件不变且进行重复测量时，对应于被测量的实际值重复

读数可能出现的差值。对于一般电工测量的指示仪表，升降变差不应超过仪表的允许误差。稳定性是指在受到不可逆的和稳定的外界变化因素的影响后，测量仪表保持自己测量指示值不变的一种性能。稳定性常用不稳定度来表示。

(3) 灵敏度

仪器仪表能够测量的最小量值称为它的灵敏度。在直读式仪表中，常用“V/格”或“A/格”等表示。

3. 电工测量仪表的正确使用方法

- 1) 根据需要，正确选择仪表的种类、型号和规格。
- 2) 应满足仪表的正常工作条件。
- 3) 仪器仪表应按规定的位置放置，并应该远离外部的电磁场。
- 4) 仪器仪表在使用前要校准和调零（使仪表的指示器在零位上）。
- 5) 测量时要注意正确读数。如指针式仪表在读数时应使视线与仪表标尺平面垂直（如果标尺下面的表盘中有镜子时，应在标尺的物像重合处读取数据），并读取足够的位数。
- 6) 测量结束后，应将仪器仪表复位，如将电桥的检流计锁住、将万用表放在高压测量档、把调压器归零等。

2.1.3 电机实验常用的测量仪器仪表

在进行电机与电力拖动基础实验时，电机中电量的测量包括电压、电流、电功率、功率因数、频率、电路参数（电阻、电容、电感）和绝缘电阻的测量等；电机中非电量的测量包括转速、转矩、转差率的测量等。电机实验中常用的测量仪器仪表有直流电压表、直流电流表、交流电压表、交流电流表、万用表、绝缘电阻表、电桥、转速表、功率表和转矩测量仪等。

1. 直流电压表

直流电压表用于测量直流电压，有指针式和数字两种。测量电压时，必须将直流电压表与被测电路并联连接。电压表的正、负两极要与被测对象的正负端对应连接，否则指针式直流电压表的指针将反向偏转，数字直流电压表表头的第一个数码管将会显示“-”，表示极性接反。

2. 直流电流表

直流电流表用于测量直流电流，有指针式和数字两种。测量电流时，必须将直流电流表与被测电路串联连接。连接时要注意极性正确，若指针式直流电流表的指针反向偏转，数字直流电流表表头的第一个数码管显示“-”，表示极性接反。

3. 交流电压表

交流电压表用于测量交流电压，实验接线时要与被测电路并联。

交流电压的测量可分为低压直接接入测量和高压经电压互感器后在二次侧进行间接测量两种方式。一般低压主要指500V以下的电压。

测量交流电压与电流最常用的仪器仪表是电磁系仪表，因其具有结构简单、过载能力强、价格低廉等一系列优点，在实验室和工程测试中有着十分广泛的应用。

4. 交流电流表

交流电流表用于测量交流电流，实验接线时要与被测电路串联。

低压交流电流表按其接线方式，可分为直接接入和经过电流互感器二次绕组接入两种。直接接入式的交流电流表一般最大满偏电流不超过 200A，其接法是直接串联在主电路中。经过电流互感器二次绕组接入的电流表，其测量值可达 10kA。电流表应标明配用电流互感器的电流比。

5. 万用表

万用表是一种多用途仪表，可以用来测量直流电压、直流电流、交流电压和电阻等，并且有多种量程可供选择。由于具有测量种类多、量程范围宽、使用和携带方便等优点，在电气维修和测试中被广泛应用。万用表有指针式和数字两种。与指针式万用表相比，数字万用表具有可靠性高、读数清晰、单位符号显示、测量多功能和多量程、体积小、重量轻等优点，并且具有误操作报警、过载保护等功能，使用起来更方便。

6. 绝缘电阻表

绝缘电阻表是专用于检查和测量电气设备或供电线路、电机的绝缘电阻的一种便携式仪表，在电机实验中，常用来测定电机的绝缘电阻。

选用绝缘电阻表测量绝缘电阻时，其额定电压一定要与被测电气设备或线路的工作电压相对应，绝缘电阻表的量程也要与被测绝缘电阻的范围相匹配。

测量绝缘电阻不能用万用表的欧姆档测量，因为万用表测电阻时所用的电源电压比较低，在低电压下呈现的绝缘电阻不能反映在高电压作用下的绝缘电阻的真正数值，因此绝缘电阻需要用带高电压电源的绝缘电阻表来测量。

绝缘电阻表俗称摇表，表内有一手摇发电机，多为永磁发电机。发电机发出的电压与转速有关，为了维持施加在被测设备的电压一定，测量时应均匀地摇动手柄，使发电机的转速保持在规定的范围内，待指针稳定后方可读数。通常规定绝缘电阻表的额定转速为 120r/min。

对于上述测试方法存在以下缺陷：对于容量大的待测品，测试所需时间长，且恒速摇动绝缘电阻表 10min 不易做到，测量准确度较差。普通的绝缘电阻表不适用于大型变压器、并联电容、电力电缆及避雷针计数器等的绝缘电阻的测量，应采用测量范围广、充电能力强绝缘电阻表。目前，在测试现场一般采用电子式绝缘电阻表。其具有测试能力强、可实现双刻度的自动切换、测试上限宽的优点。避免了普通绝缘电阻表测试时需两个配合、恒速摇动的缺点。

7. 功率表

功率表可分为指针式功率表和数字功率表。

指针式功率表有两组线圈，即电压线圈和电流线圈，它不但能反映电压与电流的乘积，而且能反映电压与电流间的相位关系，并具有较高的测量准确度，是一种测量功率的理想仪表。功率表的电压线圈和电流线圈有不同的量程，改变电压量程是改变功率表内倍压器的电阻值。电流线圈常由两个相同的线圈组成，当这两个线圈并联使用时，电流量程较串联时增大一倍。功率表上有一个极性开关，用于指针反向偏转时改变功率表的极性，如果功率表中两个线圈有一个接反，仪表指针会反向偏转而不能读出被测数据，此时应将电流线圈两端换接或改变功率表上极性开关的指向。

一般指针式功率表采用电动式。电动式功率表分为普通功率表和低功率因数功率表。对于交流电路，为提高测量准确度，还应根据被测电路的功率因数高低，来确定选用普通功率表或是低功率因数功率表。

测量功率时应正确连接测量线路。功率表两个线圈的首端通常标有“*”标记,指明是同名端。接线时应将两个线圈的同名端短接后接至电源侧或接至被测负载侧,如图2-1所示。图2-1a、b所示是测量有功功率的两种接线方式。为减小功率表中电压线圈和电流线圈回路损耗引起的测量误差,应根据负载实际情况确定接线方式。当负载电阻大于功率表电流线圈回路电阻时(如电压较高、电流较小的场合),通常采用图2-1a的接法,也称前接法。当负载电阻小于功率表电压线圈回路电阻时,宜采用图2-1b的接法,此时测得的功率为负值。通常,功率表电流线圈回路的功率损耗一般比电压线圈回路的功率损耗小得多。而图2-1c的接法也是可以的,称为后接法。

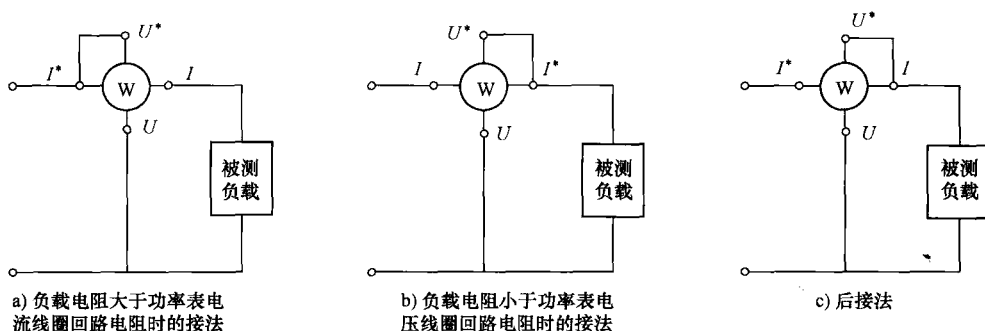


图 2-1 功率表的连接方法

正确连接测量线路后,还应根据被测电路电压高低和电流大小合理选择功率表电压与电流的量程。选择功率表量程时要注意,被测的电压和电流都要在功率表的电压和电流的量程范围内。

数字功率表实际上是用数字电压表测量功率变换器的输出电压而间接获得功率值。由于数字电压表能快速又较为准确地测出电压值,所以只要功率变换器足够准确,测出的功率也就比较准确。现在数字功率表的准确度可以做到比较高,其误差可为 $0.1\% \sim 0.02\%$ 。数字功率表的接线方法、量程选择和电动式功率表的接线方法和量程选择是一样的。

电动式功率表也可以测量直流电路的有功功率,接线方式与测量交流电路相同。

8. 转速表(仪)

电机的转速是电机实验中几乎必需测量的重要物理量之一。转速表(仪)就是用来测量电机转速的。一块转速表(仪)基本由三个部件组成:转换器(传感器、换能器),如实地反映转速变化;传动机构,起桥梁作用;测量机构,起指示或记录转速值的作用。转速表(仪)的种类很多,实验中常用的主要有以下几个种类:

1) 离心式转速表。离心式转速表是利用离心力原理制成的机械式转速表,是最传统的转速测量工具。测量时,将转速表的端头插入电机转轴的中心孔内,当转速表轴转动时,离心器上的重锤在惯性离心力的作用下离开轴心,并通过传动装置带动表针转动,当指针稳定后即能够将转速读出。一个优良的离心式转速表不但有测量准确直观的特点,还具备可靠耐用的优点,但是结构比较复杂。

2) 定时式转速表。定时式转速表是一种精密的机械式转速表。这种转速表是按照在一定时间间隔内测量旋转体转速的方法,确定转速的平均值,并由指针在表盘上直接指示被测转速值。为了测定时间间隔,在定时式转速表上装有定时机构,定时式转速表即由此得名。