

技能培训快学速用系列

电工

从业技能深入精通

张志远 主编
宋明学 韩磊 吴波 阎伟 编著



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

技能培训快学速用系列

电工从业技能深入精通

张志远 主编

宋明学 韩磊 吴波 阎伟 编著

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目 (C I P) 数据

电工从业技能深入精通 / 张志远主编 ; 宋明学等编著. — 北京 : 人民邮电出版社, 2013.4
(技能培训快学速用系列)
ISBN 978-7-115-30405-6

I. ①电… II. ①张… ②宋… III. ①电工—基本知识
IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第301885号

技能培训快学速用系列

电工从业技能深入精通

◆ 主 编 张志远

编 著 宋明学 韩磊 吴波 阎伟

责任编辑 王朝辉

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京艺辉印刷有限公司印刷

◆ 开本: 850×1168 1/32

印张: 12.125

字数: 331 千字

印数: 1—4 000 册

2013 年 4 月第 1 版

2013 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-30405-6

定价: 30.00 元

读者服务热线: (010)67132692 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号

内容提要

本书以大量的图片，系统地介绍了高级电工应知应会的基本知识和操作工艺。书中内容涉及面较宽，编写时侧重对实际运用的讲解，原理部分只作简单介绍。本书的主要内容包括：电气测量技术，电子、电力电子技术，供配电系统的运行和自动化技术，特种电动机的应用，直流、交流调速技术，复杂机械设备的电气控制系统及可编程序控制器应用技术等。

本书既可作为高级电工培训、企业电工培训及再就业转岗电工培训的教材，也可作为高等职业技术学院电气专业的教学用书。

前言

本套丛书是参考国家人力资源和社会保障部制定（2009年修订）的“国家职业技能标准——维修电工”的标准要求，立足于实践型技术培训的特点，以“加强基础知识、突出实践技术、培养动手能力”为指导思想来编写的。

本套丛书从电工基本常识讲起，由浅入深、通俗易懂，以帮助广大有志青年快速学习电工知识技术，为深入掌握电工技术提供有效的方法和提高分析、解决问题的能力。

本套丛书编写中注重学与用相结合，具有实用性和可操作性，同时注入了作者多年从事电工培训、维修电工培训和鉴定工作的实践经验，详细介绍了初级、中级、高级电工必须掌握的知识与技术工艺。简明扼要、直观易懂、图文并茂是本套丛书的编写特点。

本套丛书可用作电工技术培训、企业电工培训及再就业转岗电工培训的教材，也可用作高职高专院校电气类、机电类专业学生的技能实训教材，还可以用作职业技能培训指导用书。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，敬请广大专业人士和读者给予批评指正。

作者

目 录

第

1

电气测量技术

章

1.1 电气测量仪器和仪表	1
1.1.1 万用电桥	1
1.1.2 数字示波器	7
1.1.3 电子测量装置的防干扰技术	16
1.2 传感器的应用	34
1.2.1 传感器的分类	36
1.2.2 温度传感器	43
1.2.3 速度传感器	49
1.2.4 磁性开关及应用	54
1.2.5 光纤光电接近开关及应用	55
1.2.6 电容式和电涡式接近开关	56
1.2.7 传感器的使用注意事项	58

第

2

电子、电力电子技术

章

2.1 模拟电子技术	59
2.1.1 集成运算放大电路	59
2.1.2 线性集成稳压电源	64
2.1.3 开关稳压电源	68
2.2 数字电子技术	73
2.2.1 集成门电路	73
2.2.2 组合逻辑电路	81
2.2.3 时序逻辑电路	86
2.3 电力电子器件	92
2.3.1 功率晶体管 (GTR)	92
2.3.2 可关断晶闸管 (GTO)	94

2.3.3	功率场效应晶体管 (MOSFET)	95
2.3.4	绝缘栅双极晶体管 (IGBT)	96
2.3.5	电力电子技术的应用	97
2.4	晶闸管整流电路	102
2.4.1	三相半波可控整流电路	102
2.4.2	三相桥式整流电路	110

第

3

供配电系统的运行和自动化技术

章

3.1	变配电所的安全运行	122
3.1.1	供配电系统的自动保护	122
3.1.2	自动重合闸装置的分类	123
3.1.3	对自动重合闸的基本要求	124
3.1.4	双侧电源电力线路的自动重合闸装置	125
3.2	工厂供配电系统的微机监控	126
3.2.1	供配电系统的远动化	126
3.2.2	供配电系统的自动化	128
3.2.3	微机保护和监控装置的自动检测	130
3.3	供配电系统的远动终端与通信技术	131
3.3.1	微机电量变送器	131
3.3.2	远动终端装置的组成	132
3.3.3	远动终端装置 (RTU) 的功能	135
3.3.4	调度自动化系统的主要功能	137
3.3.5	调度自动化系统的组成	139
3.4	供配电系统的综合自动化	141
3.4.1	供配电综合自动化系统的基本功能	142
3.4.2	变电所的综合自动化系统的特点	147

第

4

特种电动机的应用

4.1	特种电动机的分类	151
4.2	伺服电动机	153

4.2.1	交流伺服电动机	154
4.2.2	直流伺服电动机	159
4.2.3	伺服电动机应用举例	162
4.3	步进电动机	167
4.3.1	基本工作原理	167
4.3.2	基本结构	170
4.3.3	步进电动机的驱动电源	173
4.3.4	步进电动机应用举例	178
4.3.5	步进电动机与伺服电动机在机床应用中的性能比较	179

第

5

直流、交流调速技术

章

5.1	直流调速技术及应用	182
5.1.1	自动控制系统的基本概念	182
5.1.2	转速负反馈直流调速系统	184
5.1.3	速度、电流双闭环调速系统	187
5.1.4	脉宽调制调速技术	192
5.2	交流调速实用技术	200
5.2.1	交流调压调速系统	200
5.2.2	变频调速技术	201

第

6

复杂机械设备的电气控制系统

章

6.1	概述	225
6.1.1	复杂机械设备电气控制系统的分类	225
6.1.2	复杂电气控制原理图的识读和分析	227
6.1.3	典型电气控制原理图读图和分析	229
6.2	T68 型镗床电气控制系统	233
6.2.1	主要结构及组成	233
6.2.2	运动形式	234
6.2.3	控制要求	234
6.2.4	电气线路原理分析	234

6.2.5	T68 镗床电气常见故障分析与检修	240
6.3	20/5t 交流桥式起重机电气控制系统	241
6.3.1	20/5t 桥式起重机的主要结构及供电特点	241
6.3.2	20/5t 桥式起重机对电力拖动的要求	242
6.3.3	20/5t 桥式起重机电器设备控制及保护装置	243
6.3.4	20/5t 桥式起重机电气控制线路分析	243
6.3.5	电气线路常见故障分析	252
6.4	数控机床的控制系统	254
6.4.1	数控机床的组成和分类	254
6.4.2	数控机床数控系统的性能	259
6.4.3	数控机床的安装与调试	264

第

7

可编程序控制器应用技术

章

7.1	可编程控制器概述	275
7.1.1	PLC 的特点及应用	275
7.1.2	PLC 的组成与控制原理	279
7.1.3	PLC 的故障诊断	289
7.2	三菱系列 PLC 指令系统及编程方法	312
7.2.1	FX _{2N} 系列 PLC 的硬件结构	313
7.2.2	FX _{2N} 系列 PLC 的技术指标及外部接线	316
7.2.3	FX _{2N} 系列 PLC 内部编程元件	332
7.2.4	FX _{2N} 系列 PLC 的基本指令及应用	332
7.2.5	FX _{2N} 系列 PLC 的功能指令	355
7.3	PLC 的控制应用实例	366
7.3.1	机床电气控制系统的 PLC 改造	366
7.3.2	传感器、变频器、PLC 综合应用	372

第1章 电气测量技术

1.1 电气测量仪器和仪表

1.1.1 万用电桥

万用电桥也称万用交流电桥或交流电桥，是一种用来测量交流等效阻抗、电容及其介质损耗、电感及其品质因数的精密测量仪器。

1. 交流电桥的基本原理

交流电桥的结构和直流单臂电桥基本一样，只是以交流电源代替了直流电源，4个桥臂是阻抗元件，在电桥的一条对角线上接入检流计指零仪，另一条对角线上接入交流电源。通过调节各桥臂参数，可使检流计上的电流为零，此时电桥4个桥臂达到平衡。

用交流电桥测量交流等效阻抗、电感和电容，要比直流电桥测量电阻复杂一些，这是因为阻抗 Z 是一个复数，除了要求相对臂的大小相等之外，还必须性质相同，才能使检流计指零仪指针指零。另外，交流电桥的平衡调节需反复进行，即交流电桥的平衡调节要比直流电桥的调节困难一些。

2. QS18A 型万用电桥

(1) 组成

将几种类型的电桥组合起来，成为能够测量电阻、电感和电容元件参数的仪器，称为万用电桥。万用电桥主要由电桥主体、音频振荡

器、交流放大器和指示检流计等组成,如图 1-1 所示。QS18A 型万用电桥由惠斯登电桥、交流电容电桥和电感电桥组合而成。



图 1-1 万用电桥基本组成方框图

(2) 电容电桥

电容电桥主要用于测量电容器的电容量 C 及介质损耗角。

① 被测电容并非理想元件,而是存在一定的介质损耗。有损耗的电容器可用两种理想电子元件组成的等效电路来描述:一种是理想电容元件与一个理想电阻元件相串联;另一种为理想电容与一个理想电阻元件相并联。为方便起见,通常采用损耗因数 D 来描述电容器的损耗。

QS18A 型万用电桥中测量电容采用了如图 1-2 所示的串联电阻式电容电桥。

② 串联电阻式电桥也称维纳电桥,主要用于测量损耗小的电容器的电容量和介质损耗。被测电容器等效为 C_X 和 R_X 串联,接入电桥的一个臂,与标准电容 C_n 接入相邻的桥臂,同时与 C_n 串联一可变电阻 R_n ,桥的另外两臂接入同轴联动的可变标准电阻 R_2 和 R_3 。当电桥平衡时

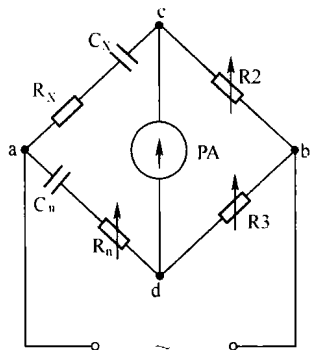


图 1-2 串联电阻式电容电桥

$$R_X = (R_2/R_3)R_n$$

$$C_X = (R_3/R_2)C_n$$

被测电容的损耗因数

$$D = \tan \delta = \omega C_n R_n$$

交流电桥的平衡调节需反复进行。要使电桥平衡,至少应调节两个参数。通常标准电容是做成固定的,因此 C_n 是不能连续变

动的，这样就必须同时调节 R_3/R_2 的比值以及 R_n ，同时兼顾上述两式。

(3) 电感电桥

电感电桥测量电感器的电感量及其品质因数。由于制造工艺上的原因，标准电容器可达到的准确度常常高于标准电感，加上标准电容器不受外界磁场的影响，对温度的变化也不敏感，所以电感电桥也常用标准电容作为比较元件，而且这个标准电容应接入与被测电感相对的桥臂上。

实际应用中的电感器用电感和品质因数 Q 来描述

$$Q = \omega L/R$$

QS18A 型万用电桥中测量电感采用了并联电阻式电桥。并联电阻式电桥又称麦克斯韦电桥，简称麦氏电桥。它主要适用于测量 $Q < 10$ 的电感元件，电路如图 1-3 所示。当电桥平衡时有

$$L_X = R_2 R_4 C_n$$

$$Q = \omega R_n C_n$$

麦氏电桥的平衡条件与频率无关。电源为任何频率或非正弦时，电桥都能平衡。

(4) 电阻电桥

QS18A 型万用电桥测量电阻采用的是惠斯登电桥，原理同直流单臂电桥。

图 1-4 为 QS18A 型万用电桥的结构示意图。图中的电桥主体为电桥的核心结构，它由标准电阻和标准电容以及转换开关组成。交流电源为晶体管正弦波音频振荡器，其输出频率为 1kHz，输出电压为 1.5V 和 0.3V，供测量电容、电感以及 $0.1 \sim 10\Omega$ 电阻之用。当测量大于 10Ω 的电阻时可使用电桥内部的 9V 直流电源。电桥还备有外接电源插孔。交流检流计指零仪由交流放大器、二极管整流器和检流计组成，称为晶体管检测放大器。

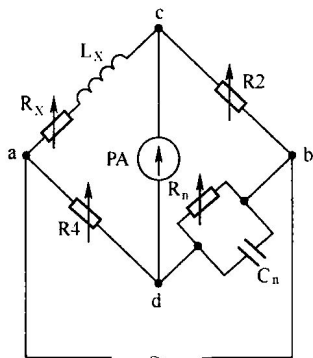


图 1-3 并联电阻式电感电桥

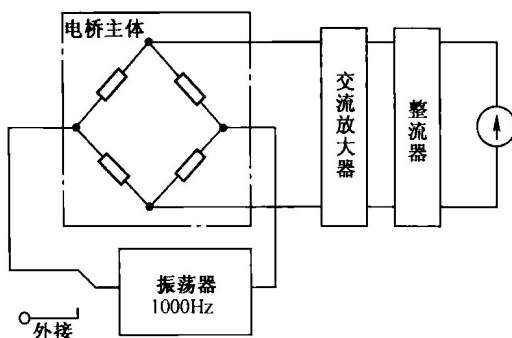


图 1-4 QS18A 型万用电桥的结构示意图

3. 万用电桥的使用与维护

(1) 技术特性

QS18A 型万用电桥的主要技术特性如表 1-1 所示。

▼ 表 1-1 QS18A 型万用电桥的主要技术特性

被测元件	测量范围	基本误差 (按量程最大值计算)	损耗范围	使用电源
电容	0~110 pF	$\pm (2\% \pm 0.5 \text{ pF})$	D 值	内部 1kHz
	110pF~110 μ F	$\pm (1\% \pm \angle)$	0~0.1	
	100~1100 μ F	$\pm (2\% \pm \angle)$	0~10	
电感 (分 5 挡)	1.0~11 μ H	$\pm (5\% \pm 0.5 \mu\text{H})$	Q 值 0~10	内部 1kHz
	10~110 μ H	$\pm (2\% \pm \angle)$		
	100 μ H~1.1H	$\pm (1\% \pm \angle)$		
	1~11H	$\pm (2\% \pm \angle)$		
	10~110H	$\pm (5\% \pm \angle)$		
电阻 (分 3 挡)	10 m Ω ~1.1 Ω	$\pm (5\% \pm 5 \text{ m}\Omega)$		10m Ω ~10 Ω 用
	1 Ω ~1.1M Ω	$\pm (1\% \pm \angle)$		内部 1kHz;
	1~11M Ω	$\pm (5\% \pm \angle)$		大于 10 Ω 用内 部直流 9V 电源

注：表中的 $\angle$ 为滑线盘最小分格的 1/2。

(2) 面板布置

QS18A 型万用电桥的面板布置如图 1-5 所示, 各旋钮作用如下。

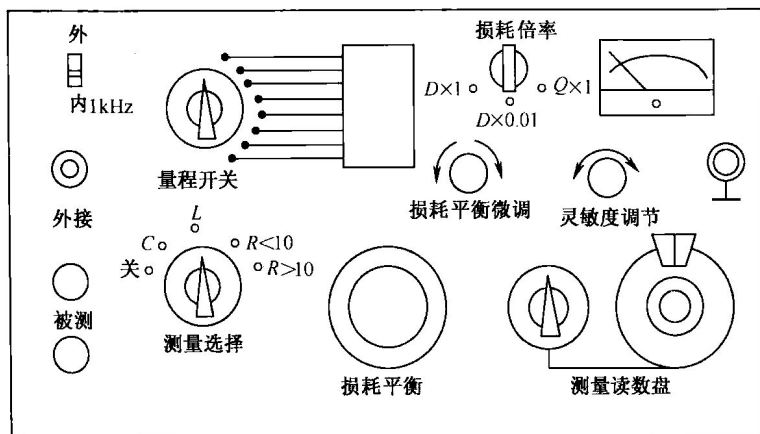


图 1-5 QS18A 型万用电桥的面板布置图

① 被测接线柱和外接插孔: 连接被测元件; 使用外接音频电源时, 由外接孔引入。

② 电源转换开关和量程开关: 转换电桥电源, 分内 1kHz 和外接两挡; 量程开关用来选择测量范围, 上面各挡的标示值是指读数在满度时的最大值。

③ 测量读数盘: 由一个步进式测量盘和一个连续可调的测量盘组成。

④ 测量选择: 转换测量功能, 进行电感、电容或电阻的测量。它又兼电源开关, 测量完毕后应置于“关”的位置。

⑤ 平衡指示表: 指示电桥是否平衡, 调节损耗平衡和读数旋钮时, 应使指针向零位偏转, 当指针接近零点时, 可认为电桥近于平衡状态。

⑥ 灵敏度调节: 调节电桥放大器的放大倍数, 开始测量时, 应降低灵敏度使平衡指示表指示小于满刻度, 当电桥接近平衡时, 再逐渐增大灵敏度。



⑦ 损耗倍率：选择损耗平衡的读数范围，分 $Q \times 1$ 、 $D \times 0.01$ 、 $D \times 1$ 这 3 个挡。测量电感线圈时，此开关放在 $Q \times 1$ 处；测量小损耗电容时，放在 $D \times 0.01$ 处；测量大损耗电容时，放在 $D \times 1$ 处；测量电阻时，此开关不起作用，可放在任何位置。

⑧ 损耗微调：微调平衡时的损耗值，一般情况下应放在“0”的位置。

⑨ 损耗平衡：被测电感或电容元件的损耗读数由此旋钮指示，此读数盘上的指示值再乘以倍率开关的示值，即为测得的损耗示值。

⑩ 接地接线柱：接地点，与仪器的外壳相连。使用时应接地，以减小外干扰的影响。

(3) 万用电桥的使用方法

① 把被测元件接在测量接线柱上，根据被测元件的性质，将测量选择旋钮转至相应的位置。

② 估计被测元件的大小，将量程开关置于合适的挡位。

③ 根据被测元件的性质，合理选择损耗倍率的挡位。

④ 调节灵敏度调节旋钮，使平衡指示表指针略小于满度。

⑤ 测量电感和电容时，应反复调节测量读数盘旋钮和损耗平衡，使平衡指示表指针最接近于零点。测量电阻时，只调节测量读数盘旋钮即可。

⑥ 读取测量值。

被测 L_x 、 C_x 、 R_x 的值 = “量程开关” 读数 $\times$ 两个 “测量读数盘” 读数之和。

D_x 、 Q_x 的值 = “损耗倍率” 读数 $\times$ “损耗平衡” 读数。

例：用 QS18A 型万用电桥测量标称值为 470pF 的电容。

问：(a) 量程选择和损耗倍率开关应放在何位置？

(b) 若两读数盘示值分别为 0.4 和 0.056，损耗平衡示值为 1.2，其电容量和损耗值各为多少？

解：(a) 量程选择开关应放在 1000pF 处，损耗倍率开关应放在 $D \times 0.01$ 处。

$$(b) C = 1000\text{pF} \times (0.4 + 0.056) = 456\text{pF}$$

$$D=0.01 \times 1.2 = 0.012$$

(4) 使用万用电桥的注意事项

- ① 按照电桥说明书选择交流电桥电源。
- ② 为获取精确的测量结果，仪表的外壳应妥善接地。
- ③ 合理布置各种仪器，连接导线应尽可能短，以减少外界干扰。
- ④ 测量前各调节旋钮均应置于“0”位置。
- ⑤ 每次更换被测元件或变更电桥内电路之前，都应断开电桥电源。

(5) 万用电桥的维护

- ① 电桥每次使用前，应将各旋钮来回旋转几次，使各接触点工作良好。
- ② 工作之前应检查各连线接头的接触情况，使用完毕应及时拆除所有连线。
- ③ 定期清洗电桥的开关和接触点。
- ④ 电桥应避免受阳光的直接照射并远离发热体；也不能置于潮湿处，以免受潮后机内元件霉变受损。
- ⑤ 每次使用后应把电桥擦拭干净，并用布遮盖好，以免细小的金属物或其他污物落入机内，造成短路或降低绝缘性能。

1.1.2 数字示波器

数字存储示波器（DSO）是现代示波器发展的一个重要方向，具有频带宽、波形触发、能自动测试、可存储波形、精度高等突出特点，还能利用 GPIB 或 RS-232 等接口和计算机连接成测试分析系统，对波形数据进行进一步地分析和处理。随着现代电子信息技术的高速发展，数字存储示波器也日益发展并得到广泛应用。图 1-6 是 GDS-820 数字彩色示波器的外形图。

1. GDS-800 系列双通道数字存储示波器的特点

GDS-800 系列双通道数字存储示波器的频宽最高达 250MHz，每一通道的取样率均为 100MSa/s；最快可观测到 10ns 的短时脉冲；单

色或彩色 LCD 显示；两个输入通道，每一通道的记录长度为 125K 点和 8 个字节的垂直分辨率，两个通道可同时采集波形；时基为 1ns/DIV~10s/DIV；具有 6 位触发计频器；自动快速调整和手动操作；4 种采集模式为取样、峰值侦测、平均和累加；游标和 15 种连续可调，自动测量以下 15 种参数为 V_{hi} 、 V_{io} 、 V_{max} 、 V_{min} 、 V_{pp} 、 $V_{average}$ 、 V_{rms} 、 V_{amp} 、上升时间、下降时间、工作周期、频率、周期、正脉宽和负脉宽；15 组存储器用于前面板设置存取；2 组存储器可用于波形轨迹记录；FFT 频谱分析；具备“program mode”和“Go/No Go”功能；视频和脉冲宽度触发；8×12 格波形显示（关闭菜单）；具有打印机接口，RS-232 和 USB 输出接口，GPIB 界面模块；可储存高达 100 组的自动编辑程序。

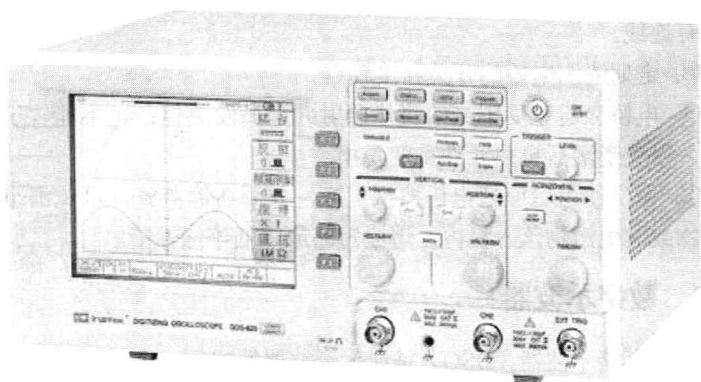


图 1-6 GDS-820 数字彩色示波器的外形图

32 位微处理器控制的 GDS-800 系列数字存储示波器可以满足大多数工业应用要求。易于操作的“Autoset”功能可自动调整测量参数；屏幕读出和电压、频率的游标测量功能使操作变得很方便；可存储 15 组不同用户在仪器上的设置并可不受约束的调出使用；利用内置的 RS-232 系列接口可以用 PC 远程控制操作；6 位计频器提供用户较精确的频率值；标准 USB 接口可用特殊软件将示波器 LCD 的屏幕转移至计算机；“Program”模式可帮助用户记录所有必要的测量指令和重