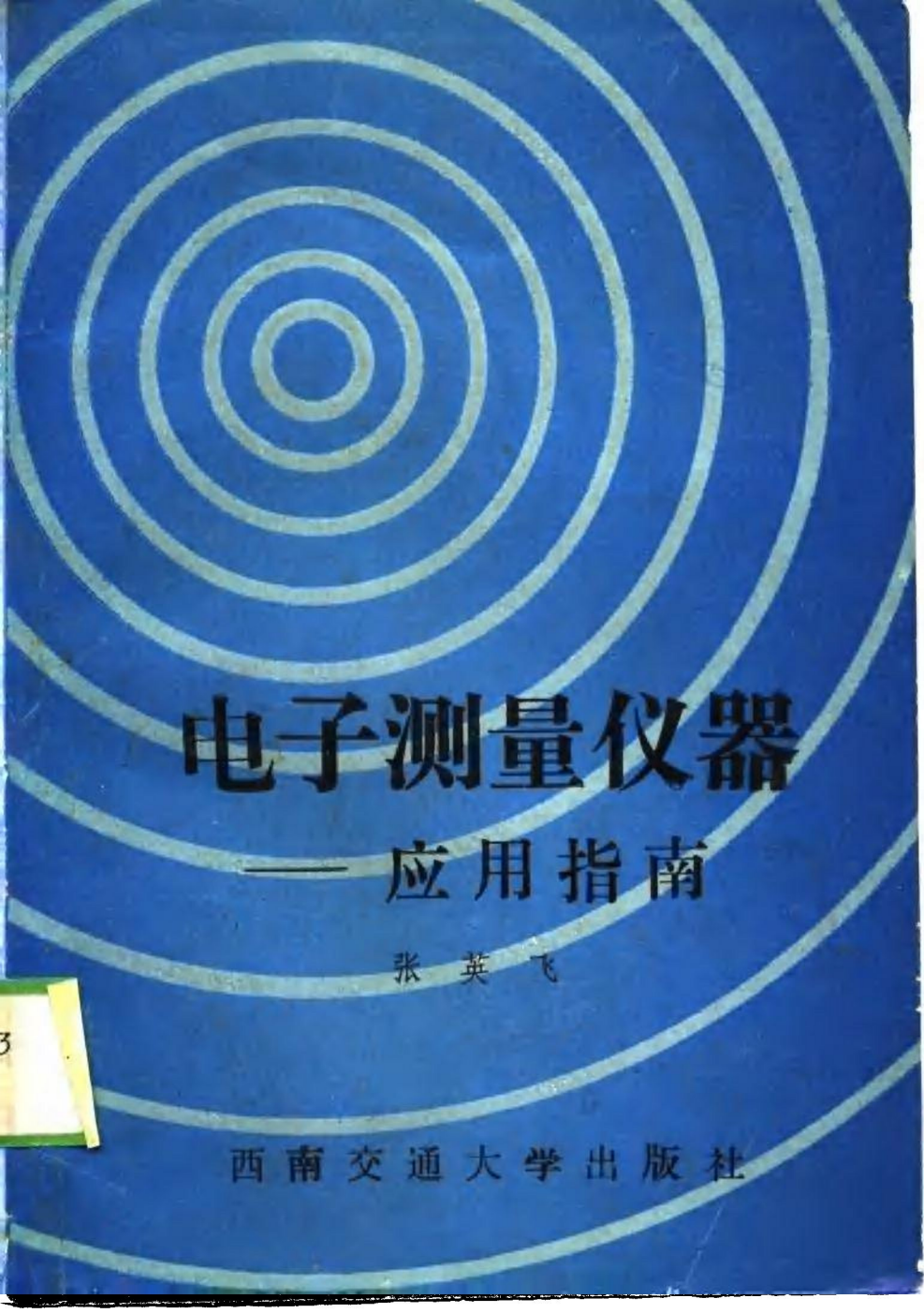


The background of the book cover is a solid blue color with a pattern of concentric white circles. The circles are centered on the left side of the cover and expand towards the right, creating a sense of depth and focus.

电子测量仪器

——应用指南

张 英 飞

西南交通大学出版社

TM93
88
3

内 容 提 要

本书包括三大部分内容：第一部分为通用电子测量仪器，包括元件参数测量仪器、电子示波器、频率和时间测量仪器、电压测量仪器和信号发生器。并且对典型通用仪器阐明了工作原理、基本组成和主要工作特性，着重介绍了正确使用方法；第二部分为智能仪器，扼要介绍GP-IB系统，典型智能仪器和测试计算机；第三部分为非电量电测量仪器，重点介绍了超声波检测仪。

本书可作为高等院校电类和非电类各专业实验教学用教材；第二部分内容在讲授时作适当充实可作为智能仪器教材；本书对从事测试技术工作和科研单位、工厂、学校的科技人员，也是一本很有实用价值的参考书。

电子测量仪器——应用指南 DIANZICELIANGYIQI ——YINGYONGZHINAN

张英飞

西南交通大学出版社出版

(四川 峨眉)

四川省新华书店发行

西南交通大学唐山分校印刷厂印刷

开本787×1092 1/32 印张：11.125

字数：246.7千字 印数：1—3000

1989年4月第一版 1989年4月第一次印刷

ISBN 7—81022—042—X/TN004

定价：2.35元

B 613735

第三部分（第七章）为非电量电测量仪器。在工农业生产、国防建设、科学研究、医学卫生及日常生活的各个领域内，人们得到的绝大多数为非电量信息，目前广泛采用由各类传感器构成的非电量电测量仪器，利用电测法能迅速而精确地获取这些信息。随着传感技术的迅速发展，近年来研制和发展了各类非电量电测量仪器。本章以超声波检测仪为例，阐述超声波传感器的工作原理及超声探伤仪和超声诊断仪的具体应用，给读者提供入门知识。

本书由北方交通大学蒋焕文教授主审，他详细审阅了全部书稿，提出了宝贵的改进意见，为提高书稿质量付出了辛勤劳动；本书的责任编辑王成照付编审为本书审校、出版付出了心血；在编写过程中得到北方交通大学卢淦、张林昌教授、孙续、李守成付教授指导和帮助，同时还得到本校电气工程系、机械工程系、通信和控制工程系等单位有关老师和同志们的支持和帮助，作者在此一并表示衷心的感谢。

限于作者水平，书中疏漏之处，殷切希望读者批评指正。

作者

1988年10月于北方交通大学

目 录

第一章	元件参数测量仪器	(1)
§1-1	概 述	(1)
§1-2	QS-18A 万能电桥	(2)
一、	主要性能	(2)
二、	基本原理	(3)
三、	使 用	(5)
第二章	电子示波器	(11)
§2-1	概 述	(11)
一、	示波器的分类	(11)
二、	示波器的基本原理	(12)
§2-2	通用示波器	(12)
一、	通用示波器的组成	(12)
二、	通用示波器的主要工作特性	(16)
三、	SBT-5 同 步示波器	(17)
§2-3	多踪示波器	(22)
一、	概 述	(22)
二、	SBE-7 二踪示波 器	(22)
三、	SR75 二踪示波器	(28)
§2-4	双扫描示波器	(32)
一、	概 述	(32)
二、	双扫描方式	(32)
三、	SR33 二踪双扫描示波器	(34)
§2-5	记忆示波器和数字存贮示波器	(42)
一、	概 述	(42)

二、	DSS6521数字存贮示波器	(42)
§2-6	光线示波器	(51)
一、	概 述	(51)
二、	SC16 光线示波器	(51)
§2-7	利用示波器的测量方法	(55)
一、	信号波形的观测	(55)
二、	电压的测量	(61)
三、	时间的测量	(63)
四、	相位的测量	(65)
五、	调幅系数的测量	(67)
§2-8	示波器的正确使用	(68)
第三章	频率和时间测量仪器	(70)
§3-1	概 述	(70)
一、	电子计数器的分类	(70)
二、	电子计数器的基本原理	(71)
§3-2	通用计数器	(72)
一、	通用计数器的组成	(73)
二、	通用计数器的主要工作特性	(74)
三、	E312A通用计数器	(75)
四、	通用计数器的正确使用	(82)
第四章	电压测量仪器	(84)
§4-1	概 述	(84)
一、	对电压测量仪器的基本要求	(84)
二、	电压测量仪器的分类	(86)
§4-2	交流电压表	(86)
一、	交流电压表的类型	(86)
二、	DY-5A型电压表	(88)
三、	DA-16型晶体管毫伏表	(90)

四、	DA-24 型 有效值电压表.....	(92)
第五章	信号发生器.....	(95)
§5-1	概 述	(95)
§5-2	正弦信号发生器.....	(96)
一、	XD22 型 低频信号发生器.....	(96)
二、	XB44 型 标准信号发生器.....	(100)
第六章	智能仪器.....	(109)
§6-1	概 述	(109)
一、	智能仪器的组成.....	(109)
二、	GP-IB 系统概述.....	(111)
§6-2	典型智能仪器介绍.....	(123)
一、	FLUKE 8520A 数 字多用表.....	(123)
二、	HP3325A 合 成器/函数发生器.....	(160)
三、	HP4192A 低频阻抗分析仪.....	(188)
四、	HP3585A 频谱分析仪.....	(228)
§6-3	测试计算机.....	(261)
一、	MDR-Z80 微计算机.....	(261)
二、	HP9836A 微计算机.....	(277)
三、	HP85B 微型计算机.....	(301)
第七章	非电量电测量仪器.....	(322)
§7-1	非电量电测量仪器的分类.....	(322)
§7-2	超声波检测仪.....	(323)
一、	超声波传感器的基本原理.....	(323)
二、	超声波探伤和超声诊断基本原理.....	(325)
三、	KT-85B 超声波钢轨探伤仪.....	(327)
四、	SSD-256 超 声 诊断仪.....	(331)
参考资料		(344)

第一章 元件参数测量仪器

§ 1-1 概 述

元件参数测量仪器是用来测量电路元件参数及在工作频率下分析电子元件特性的电子测量仪器，可测量电阻、电感、阻抗或导纳、电抗或电纳、Q值、介质损耗角正切($\text{tg}\delta$)值等参数。

元件参数的测量一般有三种基本测量方法：谐振法、电桥测量法和电流-电压法。

一、谐振法。它是利用LC回路的谐振特性来测量元件参数值，此方法适用于高频电路元件参数的测量，如Q表。

二、电桥测量法。它是以电桥的平衡原理为基础，如万能电桥，适用于低频范围内的测量。

三、电流-电压法。它是以欧姆定律为基础，即施加一恒定电压或电流到未知元件上，再换算电流或电压表示未知值，如直读式欧姆表。随着数字技术的发展，目前，采用电阻、阻抗的数字化测量方法，即正流波电流通过被测阻抗两端产生交流电压降，然后在同步检波器中进行虚部和实部分离，得到同相分量和正交分量，再采用积分式双斜A/D变换器，直接用数字显示被测值。

本章主要介绍QS-18A万能电桥。将在第六章介绍采用 μP 技术的数字化阻抗测量仪器—HP 4192A低频阻抗分析仪。

§ 1-2 QS-18A 万能电桥

一、主要性能

QS-18A 万能电桥是一种能在低频条件下测量元件参数的便携式直读阻抗电桥，也是一种通用电子测量仪器，它的主要性能指标如下：

(一) 测量范围及基本误差*列于表1-1中。

表1-1

元件名称	量 程 范 围	基 本 误 差
C	1.0pF~110pF	$\pm(2\% \pm 0.5\text{pF})$
	100pF~110 μ F	$\pm(1\% \pm \Delta)$
	100 μ F~1000 μ F	$\pm(2\% \pm \Delta)$
L	1.0 μ H~11 μ H	$\pm(5\% \pm 0.5\mu\text{H})$
	10 μ H~110 μ H	$\pm(2\% \pm \Delta)$
	100 μ H~1.1H	$\pm(1\% \pm \Delta)$
	1H~11H	$\pm(2\% \pm \Delta)$
	10H~110H	$\pm(5\% \pm \Delta)$
R	10m Ω ~1.1 Ω	$\pm(5\% \pm 5\text{m}\Omega)$
	1 Ω ~1.1M Ω	$\pm(1\% \pm \Delta)$
	1M Ω ~11M Ω	$\pm(5\% \pm \Delta)$

* ①均按最大量程计算；② Δ 为度盘最小格的1/2

品质因数Q为0~10

损耗因数D：0~0.1 (100pF~110 μ F时)

0~10 (100 μ F~1100 μ F时)

(二) 桥路使用电源

测量C、L和 $10\text{m}\Omega \sim 10\Omega$ 电阻时可使用机内 1kHz 正弦信号源，也可外接 $60\text{Hz} \sim 10\text{kHz}$ 的信号源。测量大于 10Ω 电阻时，使用内部9伏直流电源。

二、基本原理

QS-18A万能电桥由电桥测量电路、调制电路、放大电路、检波电路、指示器及电源等组成，其基本原理框图如图1-1所示。其中电桥电路是根据电桥平衡原理进行工作的，对于

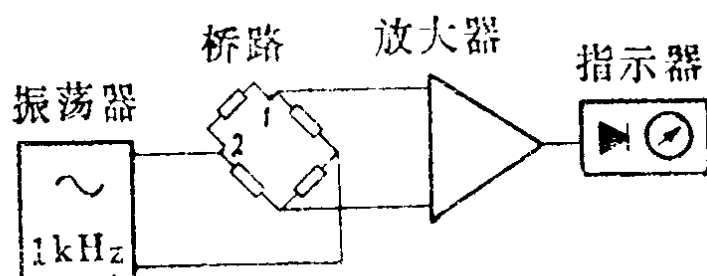


图1-1 QS-18A基本原理框图

不同性质元件的测量，通过变换测量选择开关，可组成几种不同形式的桥路。

(一) 电容测量电桥电路

当测量选择开关置于“C”，损耗倍率开关置于“ $D \times 1$ ”或“ $D \times 0.01$ ”时，测量电容的电桥电路如图1-2(a)所示，称臂比电桥，又称维恩电桥。当电桥平衡时，有下列表达式：

$$C_X = \frac{R_B}{R_A} \cdot C_N \quad (1-1)$$

$$R_X = \frac{R_A}{R_B} \cdot R_N \quad (1-2)$$

$$D = \operatorname{tg} \delta = \omega C_N R_N \quad (1-3)$$

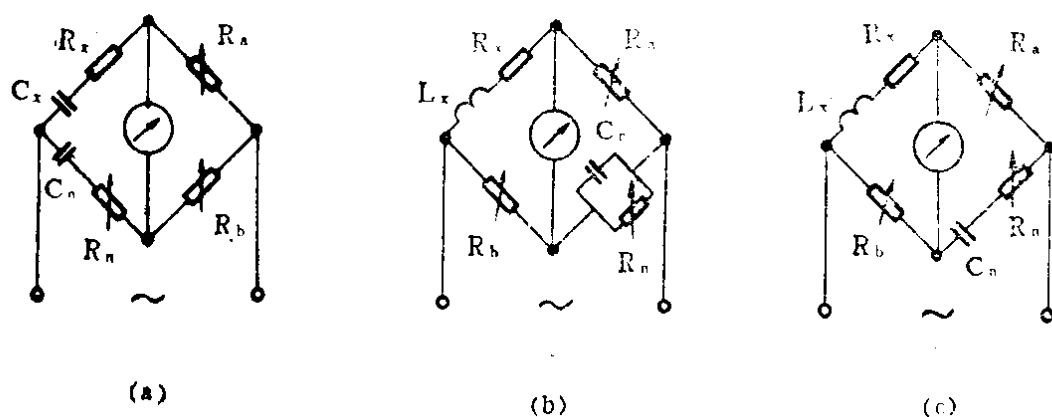


图1-2 几种形式的电桥电路

式中 C_N —— 标准电容；

R_A —— 由仪器的量程选择开关控制；

R_B —— 由读数开关和电位器旋钮控制；

R_N —— 由损耗平衡和损耗微调电位器调整；

ω —— 测试频率。

(二) 电感测量电桥电路

当测量选择开关置于“L”时，测量电感的电桥电路如图1-2(b)、(c)所示，其中(b)图称为韦氏电桥，只适用于测量Q值较低的电感线圈。这时，仪器的损耗倍率开关置于“ $D \times 1$ ”步位，当电桥平衡时，可得：

$$L_X = R_A R_B C_N \quad (1-4)$$

$$R_X = R_A R_B / R_N \quad (1-5)$$

$$Q = \frac{\omega L_X}{R_X} = \omega R_N C_N \quad (1-6)$$

(c)图适用于测量Q值较高 ($Q > 10$) 的电感线圈，而且仪器的损耗倍率开关置于“ $D \times 0.01$ ”步位，称它为海氏电桥。当电桥平衡时，可得：

$$I_X = R_A R_B \frac{C_N}{1 + (\omega C_N R_N)^2} \quad (1-7)$$

$$R_X = R_A R_B R_N \frac{(\omega C_N)^2}{1 + (\omega C_N R_N)^2} \quad (1-8)$$

$$Q_X = \frac{1}{D} = \frac{1}{\omega C_N R_N} \quad (1-9)$$

(三) 电阻测量电桥电路

当测量选择开关置于“R”时，电桥构成四臂电阻电桥，称为惠斯登电桥，电桥平衡时，可得：

$$R_X = \frac{R_A R_B}{R_N} \quad (1-10)$$

为了提高平衡指示器的灵敏度，以提高桥路测量的精确度，在平衡指示电路中设置了四级电压放大电路和灵敏度调节电位器，用来控制电桥放大器的放大倍数，以改变电桥平衡指示器的灵敏度；当仪器使用内部 1kHz 正弦信号源时，放大电路中采用 RC 双 T 选频网络作为负反馈电路，在 $f = 1\text{kHz}$ 时，双 T 网络输出很小，放大器输出最大，在其他频率正相反。因此，使放大电路对 1kHz 以外的信号频率具有负反馈作用，抑制了谐波不平衡电压。

三、使用

(一) 面板装置

QS-18A 万能电桥的面板装置如图 1-3 所示。面板上各控制器的作用介绍如下：

① 电源选择拨动开关：将开关向下拨至“内 1kHz”位置，则使用机内 1kHz 正弦信号源；当开关拨向“外”，则使用外接插孔②加入的音频信号。

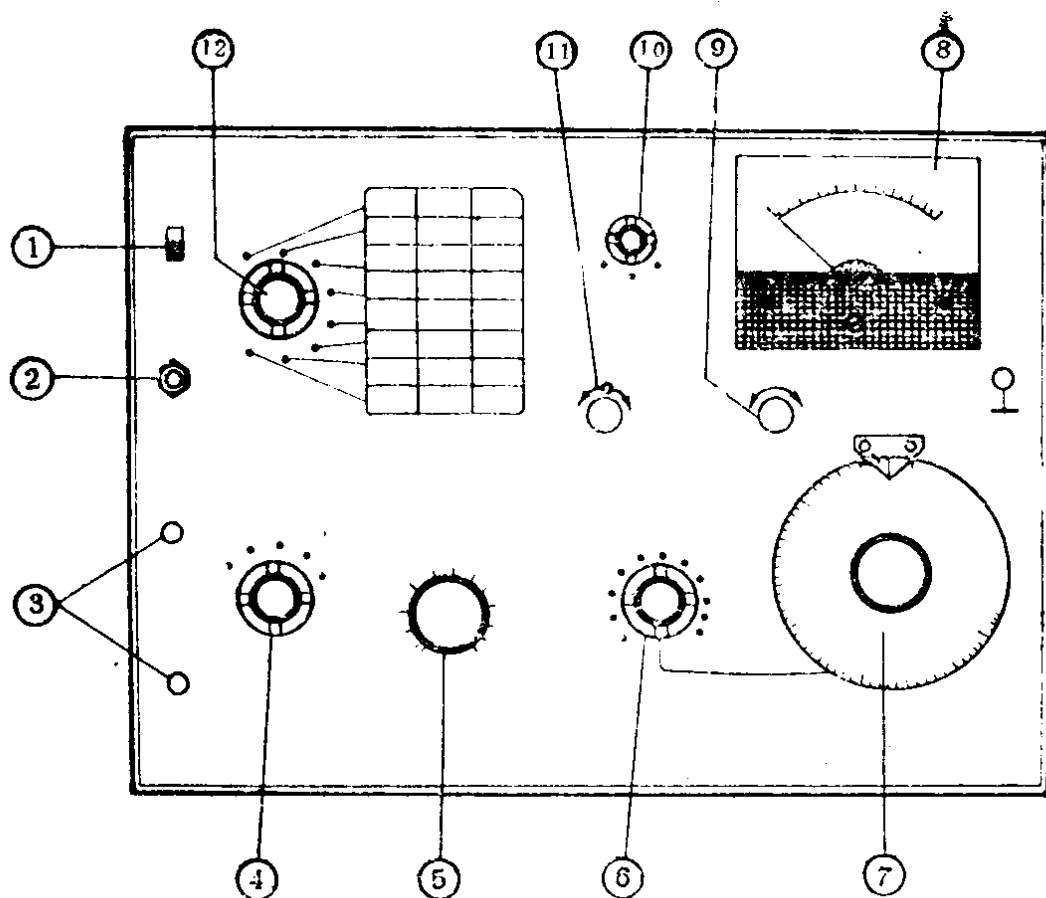


图1-3 QS-18A面板图

② 外接插孔：用来外接音频信号源作为电桥电源；当测量有极性的电容、铁芯线圈的电感时，应在C两端加直流偏置电压，给线圈通直流电流，均可通过此孔接入桥路。

③ 被测接线柱：用来连接被测元件，接线柱1为高电位，接线柱2为低电位，一般情况下不考虑其电位高低，最好把被测元件直接接在被测接线柱上，若需通过导线连接，导线宜短。在测量较小量值的元件时，应扣除导线的残余量。

④ 测量选择开关：分为关、C、L、 $R \leq 10$ 、 $R > 10$ 五档，当测量完毕，该开关应置于“关”，以延长电池寿命。

⑤ 损耗平衡旋钮：用来调节、指示被测元件L、C的损耗值。

⑥、⑦ 读数开关和度盘：用来调节电桥平衡。读数开

关设0.1~1.0十档，步长为0.1（即量程选择开关指示值的1/10）；读数度盘是一个连续可调电位器。

⑧ 指示电表 μA ：当电桥平衡时，指针最接近于零。

⑨ 灵敏度调节旋钮：用来控制放大器的放大倍数。在初始调节电桥平衡时，要降低灵敏度，使电表指示小于满刻度，在调节电桥平衡过程中，逐渐增大灵敏度。

⑩ 损耗倍率开关：用来扩展损耗平衡的读数范围，分 $D \times 0.01$ 、 $D \times 1$ 、 $Q \times 1$ 三档。在一般情况下测量空芯电感线圈时，开关置于 $Q \times 1$ 档；测量损耗值较小的一般电容时，开关置于 $D \times 0.01$ ；测量损耗值较大的电容时，开关置于 $D \times 1$ 档。

⑪ 损耗微调旋钮：用来提高损耗平衡旋钮的调节细度，通常将微调旋钮置于“0”位置。

⑫ 量程选择开关：用于选择量程范围，分八档，各档所标的数值表示电桥读数在满度时的值。

（二）测量方法

利用QS-18A测量元件参数的方法及测量步骤如下：

1. 如果已知被测量的大小时：

（1）将测量选择开关置于所需的位置（ C 、 L 、 $R \leq 10$ 或 $R > 10$ ）。根据被测量的大约数值，将量程选择开关置于适当的档位。根据不同种类的被测量，将损耗倍率开关置于相应的档位（如测量小损耗的一般电容时将开关置于 $D \times 0.01$ 档）；

（2）调节灵敏度调节旋钮，使电表指针的指示略小于满度；

（3）调节读数开关和读数度盘，同时调节损耗平衡旋钮，使电表指示趋向于零，逐步增大灵敏度，反复调节读数

度盘和损耗平衡旋钮，直至电表指示最小（零附近）或指零，这时表示电桥已达到平衡，则得被测量值为：

被测量（L、C、R）=《量程选择开关》示值×（电桥的读数开关示值+读数度盘示值）

被测量（ D_x 、 Q_x 、 $\text{tg}\delta$ ）=（损耗倍率开关示值）×（损耗平衡旋钮示值）

如果损耗倍率开关置于“Q”（“D”）位置，则电桥平衡时损耗值按 $D = \frac{1}{Q}$ （或 $Q = \frac{1}{D}$ ）计算。

2. 如果未知被测量L、C的大小时：

（1）将测量选择开关置于所需位置（C、L），量程选择开关置于最小档，根据不同种类的被测量，将损耗倍率开关置于相应的档位，损耗平衡旋钮置于1左右位置，损耗微调旋钮逆时针旋到底；

（2）将读数开关置于“0”的位置，读数度盘旋到0.05左右位置；

（3）调节灵敏度调节旋钮，使电表指针指在 $30\mu\text{A}$ 左右的位置；

（4）旋转量程选择开关由小到大逐档变换量程，同时观察指示电表的动向，看变到哪一档量程时电表的指示最小，就把量程选择开关置于该档，然后调节读数度盘使电表指示趋近于零。再调节灵敏度调节旋钮，增大灵敏度，分别调节读数度盘和损耗平衡旋钮，使电表指示再趋近于零，则能粗略的得到被测量的值为：

被测量（L、C）=“量程选择开关”的示值×“读数度盘”的示值。

然后根据1项介绍的测量方法进行精细的测量。

3. 使用外接音频振荡器测量C、L:

先将电源选择开关置于“外”的位置;把电压幅度为1~2V、频率在60Hz~10kHz范围内可变(视测量需要选择)的音频信号接入“外接”插孔,然后按上述1、2方法进行具体测量。可按下列表达式得到被测量D的值:

$$\text{被测量} D = \text{“损耗倍率开关”的示值} \times \frac{f}{1000} \times \text{“损$$

耗平衡旋钮”的示值。

式中 f ——外部音频信号的频率。

4. 电解电容器的测量

电解电容器比一般电容器有较大的损耗。对于一般正常质量的电解电容器加入极化偏压后对测量结果没有多大影响,所以一般正常质量的电容器可不加偏压进行测量。对于比较陈旧式使用了很长时间的电解电容,应在被测电容器的两端加一极化直流偏压,通过“外接”插孔加到桥路上。

加入直流偏压的极性是插头的尖端为正极,筒端为负极,为了使 R_A 上的功耗不大于1/2瓦,故在外加直流电压中串入限流电阻 $R_{\text{限}}$,其数值是:当 $C_x > 1\mu\text{F}$ 时,每100V $R_{\text{限}}$ 为5k Ω ;当 $C_x < 1\mu\text{F}$ 时,每100V $R_{\text{限}}$ 为2.5k Ω ,另外在插头两端并一旁路电容C,其值至少是10 μF 、耐压大于外加电压。

使用外加偏压测量电容时,首先将量程选择开关置于适当的位置上,再把测量选择开关置于“C”,然后再开启直流偏压电源。待测量完毕后,首先关闭直流偏压源,然后再关闭电桥电源。

5. 铁芯电感的测量

铁芯电感的测量通常采用加偏压的测量方法。在“外

接”插孔加入一个不大于200V的直流偏压，其极性同4所述。为了避免大电流流过 R_A ，也串入 $R_{限}$ 和mA表， $R_{限}$ 的功耗小于1/2瓦。不同量程位置电流值的选择见表1-2。为了避免瞬变高压，测试完毕后，应将被测电感L两端短接，然后再关闭直流偏压电源。

表1-2

满度范围	100H	10H	1H	100 mH	10mH	1mH	100 μH	10μH
R_A 电阻	1mΩ	100 kΩ	10kΩ	1kΩ	100Ω	10Ω	1Ω	0.1Ω
最大电流	0.5 mA	2.2 mA	7 mA	22mA	70mA	200 mA	200mA	200mA

在测量低Q值小电感时，电桥平衡过程中，会出现许多平衡点，应精细测量选取电表指示最接近于零的平衡点作为电桥最佳平衡点，其余的均为虚假平衡点。

第二章 电子示波器

§ 2-1 概 述

电子学中的信号大都是时间变量，可用函数 $f(t)$ 来描述。研究信号随时间变化的测试称作时域测试或时域分析，示波器能直接描绘出被测信号随时间的变化，它是时域分析的最典型仪器。

广义地说，示波器又是一台X-Y图示仪，能描绘出两个变量之间的关系，例如利用示波测试技术图示晶体管的特性曲线，构成了晶体管特性图示仪。又如信号频域分析的典型仪器频谱分析仪和数据域分析的典型仪器逻辑分析仪或称为逻辑示波器的基本原理都基于示波测试原理和测量技术。

电子示波器是电子测量中一种最常用的仪器，它能直接观测和真实显示被测信号，常用它作为生产过程和状态的监视器。目前，电子示波器已成为一种综合性的多功能的仪器。

一、示波器的分类

示波器按其性能、结构和用途，可分为五类：

（一）通用示波器，是采用单束示波管的示波器。

（二）多束示波器，是采用多束示波管的示波器。屏上显示的每个波形都由单独的电子束产生，它能同时观测、比较两个以上的波形。

（三）取样示波器，它采用取样技术将高频信号转换为低频信号，然后再进行显示。