**四川省国防计量检定人员**

**计量专业知识考试大纲**

04

电磁学专业

（2020年试行）

四川省国防计量考核委员会

2020年2月

目录

[一、（040101）直流电阻及仪器（直流电阻测量仪器） 1](#_Toc34831984)

[二、（040201）直流电阻及仪器（直流电阻） 3](#_Toc34831985)

[三、（040103）直流电阻及仪器（直流电桥） 5](#_Toc34831986)

[四、（040104）直流电阻及仪器（电阻应变仪） 7](#_Toc34831987)

[五、（040201）数字仪表（数字多用表） 9](#_Toc34831988)

[六、（040202）数字仪表（多功能标准源） 10](#_Toc34831989)

[七、（040301）交流阻抗 11](#_Toc34831990)

[八、（040401）指针式仪表 13](#_Toc34831991)

[九、（040501）电能 14](#_Toc34831992)

[十、（040601）互感器 16](#_Toc34831993)

[十一、（040701）稳定电源及电子负载 18](#_Toc34831994)

[十二、（040801）交直流高压 20](#_Toc34831995)

[十三、（040901）直流电压 22](#_Toc34831996)

[十四、（041001）电气安全（电阻类） 23](#_Toc34831997)

[十五、（041002）电气安全（电压电流类） 26](#_Toc34831998)

[十六、（041101）特斯拉计 28](#_Toc34831999)

### 一、（040101）直流电阻及仪器（直流电阻测量仪器）

**1.概述**

磁电系检流计是测量电流及电压的测量仪器，仪器的测量方法包括：测量电流及电压（动圈式），测量两个电流或电压差值（差动式）和测量电量及磁通（冲击式）。

检流计按指示装置的安全形势与读数方式可分为：标度尺内装型和标度尺分装型。

比较仪式电桥是在直流电流比较仪磁势平衡时，通过调节比较仪初级或次级匝数，从而准确调节初级被测电阻和次级标准电阻上的电流比，达到两电阻上的电压平衡，使电阻比等于匝数比，依此进行高准确度电阻比较测量的仪器。其工作原理为a、磁势平衡 b、电势平衡。

直流低电阻表是具有毫欧、微欧或更低量程的低值电阻测量仪表，常用的低电阻表的基本原理是使恒定的直流电流通过被测电阻，然后测出电阻两端的压降。再折算成电阻数值从表头显示出来。仪器一般采用四线接线方法，可以消除接线电阻和引线电阻的影响。

**2.知识要点**

* **掌握**
1. 低电阻表基值误差计算方法
2. 低电阻表绝缘电阻测量
3. 低电阻表基值误差检定方法
4. 磁电系检流表外临界电阻的测量方法
5. 磁电系检流表零位不变等级的测量
6. 磁电系检流表自由振荡周期的测量
7. 磁电系检流表电流分度值或电流常数的测量
* **熟悉**
1. 不同等级直流低电阻表基值误差的温湿度条件
2. 检定低电阻表的标准设备和其他设备的要求
3. 磁电系检流表的工作原理
4. 磁电系检流表的适用范围
5. 磁电系检流表的检定的环境条件和检定用设备
6. 磁电系检流表对零位不变等级的要求
7. 磁电系检流表对调零器的要求。
8. 磁电系检流表对倾斜影响的要求。
9. 磁电系检流表相关术语和概念
10. 直流比较仪式电桥基本误差的计算方法
11. 检定直流比较仪式电桥的标准设备要求
12. 直流比较仪式电桥的检定项目
13. 直流比较仪式电桥的检定方法
* **了解**
1. 直流低电阻表的工作原理和规程适用范围
2. 模拟低电阻表的升降变差的检定方法
3. 直流比较仪式电桥的工作原理

**3.参考文献**

1. 国防科工委科技与质量司，计量培训教材电磁学计量，原子能出版社，2002
2. JJG 837-2003 直流低电阻表检定规程
3. JJG 495-2006 直流磁电系检流计检定规程
4. JJG 506－1987 直流比较仪式电桥检定规程

### 二、（040201）直流电阻及仪器（直流电阻）

**1.概述**

直流标准电阻器是保存和传递电阻单位（欧姆）的实物标准，分为固定式直流电阻器和可调式直流电阻器。

电阻箱是利用变换装置来改变其阻值的可变电阻量具，按其变换装置结构的不同分为：旋转式电阻箱、插销式电阻箱、端钮式电阻箱。

分流器是用于测量电流和扩大测量范围的计量器具，实质为四端钮低值电阻器，当被测电流经过分流器的电流端时，在电位端产生相应的压降，通过对该电压的测量并由已知分流器的电阻值可导出被测电流值。

直流高压高值电阻器有多值高压高阻其和单值高压高值器，主要用于绝缘电阻表的检定，多值高压高阻器一般有若干个十进制电阻盘串联构成，每个十进制电阻盘由等值的单值电阻器和步进开关组成，最小步进电阻不低于100Ω；部分多值高压高阻器采用端钮式结构，或以上两种的组合。

**2.知识要点**

* **掌握**
1. 直流电阻常用检定规程的适用范围
2. 直流电阻器（箱）、直流分流器、直流高压高值电阻器的特性
3. 规程中直流电阻器（箱）、直流分流器、直流高压高值电阻器的技术要求
4. 直流电阻器（箱）、直流分流器、直流高压高值电阻器的周期检定项目和检定条件
5. 规程中直流电阻器（箱）、直流分流器、直流高压高值电阻器的检定方法
6. 直流电阻器（箱）、直流分流器、直流高压高值电阻器检定时控温要求，检定功率要求，检流计灵敏度要求，检定时所用的读数方法
7. 测量残余电阻的方法及注意事项。
8. 直流电阻器（箱）、直流分流器、直流高压高值电阻器检定结果的处理机注意事项
* **熟悉**
1. 直流电阻器（箱）、直流分流器、直流高压高值电阻器的基本原理及结构
2. 温度对直流电阻器（箱）、直流分流器、直流高压高值电阻器的影响量
3. 直流电阻器（箱）、直流分流器、直流高压高值电阻器的准确度等级及最大允许误差
4. 检定过程中热电势的影响及消除方法
5. 直流电阻器（箱）、直流分流器、直流高压高值电阻器测量不确定度的评定
* **了解**
1. 电阻单位的保存和传递及我国电阻单位
2. 直流电阻的量值传递方法
3. 直流电阻的检定系统和常用的检定规程

**3.参考文献**

1. 国防科工委科技与质量司，计量培训教材电磁学计量，原子能出版社，2002
2. JJG 166-1993 直流电阻器检定规程
3. JJG 1069-2011 直流分流器检定规程
4. JJG 982-2003 直流电阻箱检定规程
5. JJG 1072-2011 直流高压高值电阻器检定规程

### 三、（040103）直流电阻及仪器（直流电桥）

**1.概述**

直流电桥是一种用来测量直流电阻或与直流电阻有一定函数关系的量的比较仪器，它根据被测量与已知量在桥式线路上进行比较而获得测量结果。电桥至少含三个电阻臂的组合体，加上测量电阻器，从而构成一个电桥网络；电桥工作时还需要一个直流电源和一个指零仪，这些可以内附，也可以不内附。按线路的类型它有两种基本形式：单电桥和双电桥。为专门用途而设计制造的特殊电桥有史密斯测温电桥、万能比例臂电桥、比较电桥、三次平衡双电桥和四跨线电桥等。单电桥一般适用于测量中值和高值电阻；而双电桥主要用来测量低值电阻。

比较电桥是专门为检定实验室用直流电桥和直流电阻箱等直流电阻仪器的特殊单电桥。万能比例臂电桥是一个比例臂的比例值以测量盘最小步进值任意改变的电桥。被测电阻与标准电阻的比值可由万能比例臂电桥准确地确定，用来进行非十进电阻、电阻箱和电位差计等直流电阻及电阻比的测量。

**2.知识要点**

* **掌握**
1. 电桥内附指零仪的结构要求、灵敏度要求、阻尼时间的要求
2. 电子放大式内附指零仪的预热时间、指针漂移的要求
3. 不同准确度等级直流电桥检定的环境条件和使用的环境条件
4. 直流电桥不同检定方法对检定标准装置的要求
5. 直流电桥的检定项目
6. 直流电桥基本误差的整体检定、半整体检定和按元件检定基本原理、操作步骤、误差计算方法和检定结果的处理
7. 比较电桥的测量范围和基本误差要求
8. 绝缘电阻对直流电桥整体误差的影响
9. 直流比较电桥装置和直流比较电桥检定的环境条件和使用环境条件
10. 比较电桥对检定标准装置的要求
11. 比较电桥元件检定法的基本原理、操作步骤、误差计算方法和检定结果的处理
12. 比较电桥的检定项目
13. 万能比例臂电桥装置等级指数、标准温度和相对湿度范围，标称使用温度和相对湿度范围
14. 万能比例臂电桥测量电阻时附加电阻的阻值要求
15. 万能比例臂电桥对检定标准装置的要求
16. 万能比例臂电桥的检定项目
17. 万能比例臂电桥基本误差的检定方法、操作步骤
* **熟悉**
1. 万能比例臂电桥误差计算方法。
2. 直流电桥检定规程的适用范围。
3. 电桥介电强度试验对耐压试验仪的要求。
* **了解**
1. 比较电桥的基本原理。
2. 万能比例臂电桥的基本原理和功能。
3. 直流电桥相关术语和概念。

**3.参考文献**

1. 国防科工委科技与质量司，计量培训教材电磁学计量，原子能出版社，2002
2. JJG125-2004 直流电桥检定规程
3. JJG546-2010 直流比较电桥检定规程
4. JJG485-1987 万能比例臂电桥检定规程

### 四、（040104）直流电阻及仪器（电阻应变仪）

**1.概述**

应变仪是测量结构及材料在荷载作用下变形的应力分析仪器。电阻应变仪按其适用性可以分为通用的和专用的两类。通用应变仪是测量应变用的，而专用应变仪专门用来测量某一种力学参量。

电阻应变仪按其放大器原理又可分为两大类。一类是直流放大式电阻应变仪。它的供桥电压为直流电压，放大器采用差动式直流放大器或调制型直流放大器。由于供桥电压为直流电压，可以不必考虑分布电容的影响，而且操作方便，误差较小。另一类是载波放大式电阻应变仪。电桥用数千赫的正弦交流电压供电，放大器用窄带交流放大器。这种放大器稳定可靠。因此，目前广泛采用这种应变仪。

电阻应变仪按被测对象的应变变化规律可以分为：静态电阻应变仪、动态电阻应变仪、超动态电阻应变仪和静动态两用电阻应变仪等。

电阻应变仪的基本原理是：电阻片是应用电阻丝的电阻率随丝的变形而变化的关系，把力学参数（如压力、载荷、位移、应力或应变）转换成与之成比例的电学参数。电阻片在工作过程中引起的是电阻的变化。通过测量电桥可使这微小的电阻变化转换成电压或电流的变化，再经电子放大器放大，并根据某一比例常数关系，将其变换成试件的应变值而显示出来。完成上述工作的仪器叫做电阻应变仪。研究应变仪向多方面发展，针对不同的应用领域，研究出不同类型的应变仪，主要包括静态应变仪和动态应变仪。不同类型的应变仪有各自的特点，概括如下：

(1) 静态应变仪。静态应变仪主要用于测量物体低频或者静态静止状态下所受的应力。要求测量准确度高，分辨率高，温度漂移小，量程宽，测量通道多。对静态应变仪的研究主要是针对信号放大电路以及模数转换位数。对放大器的要求是偏置电压小，输入阻抗高，温度漂移小等。对模数转换芯片的要求是转换位数高，线性度高，温度漂移小。

(2) 动态应变仪。动态应变仪测量的是试件在动态变化状态下的应变，除了要求准确度高，温度漂移小之外，还要求应变仪的频率特性好，低频至直流信号，高频至100kHz以上。对模拟滤波器的要求是能够实现程控滤波，滤波特性陡峭，带内幅频特性平坦等。为了满足上述条件，要求放大器的带宽较宽，功耗小，压摆率高，驱动能力强等。动态应变仪中对测量电桥的供电电路要求也较高，要求驱动能力强、内阻小，纹波电压小，可以程控改变电桥电压等。此外一般还有如应变发生源、自动平衡，电流输出等辅助功能。

随着变形会发生电阻值变化的应变片按规定方向贴在试件表面，由于试件表面应变造成应变片的电阻值变化。人们用高灵敏度检流计测出电阻值的变化。并用此推得应变值的大小变化。

应变仪的功能：应变仪广泛应用于材料的力学性能检测中，例如测定材料拉伸模量，就是用所加负荷和同时由贴在试件表面的应变片测出的应变值经计算而得。在实验应力分析以及静力强度和动力强度的研究中，应变仪用来测量材料和结构的静态、动态拉伸及压缩应变，也可测量材料和结构上任意点的应变。在机械工业中，它可用于测量透平叶片、锅炉结构或内燃机气缸的应力等。应变仪上如果配有相应的传感器，还可以测量力、质量、压力、位移、扭矩、振动、速度和加速度等物理量及其动态变化过程，也可用作非破坏性的应变测量和检查。电阻应变仪灵敏度高、稳定性好、测试简单、准确可靠，可作较远距离的测量。它作为应变测量和各种应变式传感器的中间放大环节，是目前非电量电测技术中应用最广泛的测量仪器之一。

**2.知识要点**

* **掌握**
1. 电阻应变仪的分类、电阻应变仪各级别的技术指标。
2. 电阻应变仪的检定项目及检定条件。
3. 电阻应变仪的检定方法。
4. 电阻应变仪的检定结果的数据处理。
* **熟悉**
1. 电阻应变仪的工作原理。
* **了解**
1. 电阻应变计量的基本概念和名词术语。
2. 电阻应变片的工作原理。
3. 电阻应变测量原理。

**3.参考文献**

1. 国防科工委科技与质量司，计量培训教材电磁学计量，原子能出版社，2002
2. JJG 623-2005 电阻应变仪检定规程
3. JJG 533-2007 标准模拟应变量校准器检定规程

### 五、（040201）数字仪表（数字多用表）

**1.概述**

数字仪表是指以数字形式显示测量结果，测量或输出交直流电压，交直流电流，交直流电阻的仪器仪表，主要包括分为数字多用表和多功能标准源两大部分。

数字多用表主体是直流数字电压表，并附有能将直流电流、电阻、交流电压等转换成直流电压的各种转换电路，具有测量直流电压、直流电流、电阻、交流电压等功能。

**2.知识要点**

* **掌握**
1. 数字多用表的各项技术要求，包括定义，表达式，单位
2. 数字多用表检定线路的二线法、三线法、四线法接线方法
3. 数字多用表的检定方法、标准器及配套设备要求、标准值表达式
* **熟悉**
1. 数字多用表的测量不确定度评定
2. 数字多用表检定方法的选择
3. 数字多用表的用途，功能
4. 数字多用表的相关技术术语
5. 数字多用表的检定系统，量值传递关系
* **了解**
1. 数字多用表，程控仪器及接口技术
2. 数字多用表的双层屏蔽、滤波、数字滤波技术
3. 数字多用表的基本原理，性能特点

**3.参考文献**

1. 国防科工委科技与质量司，计量培训教材电磁学计量，原子能出版社，2002
2. JJF 1587-2016 数字多用表校准规范
3. JJG(军工)72-2015 交流数字电压表检定规程
4. JJG(军工)68-2015 交流数字电流表检定规程

### 六、（040202）数字仪表（多功能标准源）

**1.概述**

数字仪表是指以数字形式显示测量结果，测量或输出交直流电压，交直流电流，交直流电阻的仪器仪表，主要包括分为数字多用表和多功能标准源两大部分。

多功能标准源用于检测各种电力数字仪表、多功能仪表指示仪表、电能表、互感器、数字测控装置、变送器等。

**2.知识要点**

* **掌握**
1. 多功能标准源的各项技术要求，包括定义，表达式，单位
2. 多功能标准源检定线路的二线法、三线法、四线法接线方法
3. 多功能标准源的检定方法、标准器及配套设备要求、标准值表达式
* **熟悉**
1. 多功能标准源检定方法的选择
2. 多功能标准源的用途，功能
3. 多功能标准源的测量不确定度评定
4. 多功能标准源的检定系统，量值传递关系
5. 多功能标准源的相关技术术语
* **了解**
1. 多功能标准源的双层屏蔽、滤波、数字滤波技术
2. 多功能标准源，程控仪器及接口技术
3. 多功能标准源的基本原理，性能特点

**3.参考文献**

1. 国防科工委科技与质量司，计量培训教材电磁学计量，原子能出版社，2002
2. JJF 1638-2017 多功能标准源校准规范
3. JJG(军工)69-2017 直流标准电流源检定规程
4. JJG(军工)71-2017 交流标准电压源检定规程
5. JJG(军工)70-2017 交流标准电流源检定规程

### 七、（040301）交流阻抗

**1.概述**

交流阻抗计量的主要任务是复现和保存交流电阻、电容和电感的基本单位，以及扩展量程和量值传递。电容、电感和电阻是电磁学领域中重要的基本参量，按参数划分为电容参数、电容损耗参数、电感参数、交流电阻参数、交流阻抗测量仪这五大部分。

**2.知识要点**

* **掌握**
1. 标准电容复阻抗电路计算方法
2. 标准电容三端屏蔽、五端屏蔽的原理和接线方法，掌握四线法测量原理
3. 标准电容、标准电感、RLC测量仪的标准值计算方法，示值误差计算方法，合格判据，和数据修约方法
4. 复阻抗电路计算方法
5. 四线法测量原理，测量电感的接线方法
* **熟悉**
1. 电容的定义，电容量值的物理意义，介电常数的概念和单位
2. 电感的定义，电感量值的物理意义，磁导率的概念和单位
3. 电容损耗因数的定义，熟练计算电容损耗因数
4. 电感品质因数的定义，熟练计算电感品质因数
5. 标准电容计算串联等效和并联等效电路的互换
6. 标准电容、标准电感直接法和替代法检定步骤
7. 计算标准电感串联等效和并联等效电路的互换
8. 交流电桥的基本原理，灵敏度概念，各种等效电路的主、副参量的复数表达式和互换计算。
9. 交流电桥的平衡条件，能计算被测的主、副参量表达式。
10. 交流电桥和数字电桥误差表达式的含义。
11. JJG441-1986检定规程中检定环境条件要求和检定标准装置要求。
12. 直接法和替代法检定步骤。
13. 电桥短路实验和开路实验的意义和操作方法。
* **了解**
1. 影响标准电容测量不确定度的影响因素，影响机理。
2. 电容的量值传递体系，国家基准、标准的技术状况。
3. 法拉第电磁定率，安培环路定理，基尔霍夫定理的相量形式。
4. 各种结构的标准电容的特点
5. 影响标准电感测量不确定度的影响因素，影响机理
6. 电感的量值传递体系，国家基准、标准的技术状况
7. 法拉第电磁定率，安培环路定理，基尔霍夫定理的相量形式
8. 各种结构的标准电感的特点
9. 影响阻抗测量不确定度的影响因素，影响机理。
10. 法拉第电磁定率，安培环路定理，基尔霍夫定理的相量形式。
11. 各种结构的交流电桥的特点。
12. 数字电桥测量原理，内部电路结构，相敏检波原理。

**3. 参考文献**

1. 国防科工委科技与质量司，计量培训教材电磁学计量，原子能出版社，2002
2. JJG 183-2017 标准电容器检定规程
3. JJG 726-2017 标准电感器检定规程
4. GJB 8817-2015 宽量程数字RLC测量仪检定规程
5. JJG 441-2008 交流电桥检定规程
6. JJG 563－1988 高压电容电桥检定规程

### 八、（040401）指针式仪表

**1.概述**

指针式仪表包含电流表、电压表、功率表及电阻表（通称三表）及钳形电流表等。三表的基本结构是由测量机构（机械部分）和测量线路（电子部分）两部分构成。测量线路的作用是实现被测电量的转换；测量机构的作用是实现被测电量的模拟指示，从而达到直接判读所测电参量的目的。钳形电流表是由电流互感器和电流表组合而成，是一种手持式工具型多功能测量仪表，它与其它测量电流的仪表（如三表）的主要区别是能够对交、直流大电流进行在线测量。

**2.知识要点**

* **掌握**
1. 正确理解指针式仪表的各项技术要求，包括定义，表达式，单位
2. 指针式仪表的检定方法、标准值表达式
3. 指针式仪表检定装置的接线方法
4. 指针式仪表检定方法的选择，检定装置的设计
5. 指针式仪表的测量不确定度评定
* **熟悉**
1. 指针式仪表的用途，功能
2. 指针式仪表的面板符号的识别
3. 指针式仪表的类型，基本原理，性能特点
* **了解**
1. 指针式仪表的相关技术术语。

**3. 参考文献**

1. 国防科工委科技与质量司，计量培训教材电磁学计量，原子能出版社，2002
2. JJG 124-2005 电流表、电压表、功率表及电阻表检定规程
3. JJF 1075-2015 钳形电流表检定规程

### 九、（040501）电能

**1.概述**

功率和电能是电学计量科学中两个重要的，这两个参数的基本原理是相互依赖的，在测量仪器使用中是相互交叉的，在电学计量领域只研究直流及频率小于1MHz的交流电功率。

电功率是描述由电能转化为其它形式能力的能力，或传输和供应电能的能力。

电能描述了用电设备消耗的能量，或供电设备输出的能量，能量以电的形式存储、传输和转化的过程中，都用电能单位来衡量能量的多少。电做的功在电阻上转化为热能，也可通过电动机转化为机械能，通过电灯转化为光能，通过电池转化为化学能，电能是功率对时间的积分。

**2.知识要点**

* **掌握**
1. 三相交流电路原理，相量图表示法，一表法，两表法，三表法的测量方法
2. 电能表各项技术要求的检定方法
3. 电能表的各项技术要求，包括定义，表达式，单位
4. 电能表的检定方法、标准值表达式
5. 电能表检定装置的接线方法
6. 电能表检定方法的选择，检定装置的设计
7. 电能表的测量不确定度评定
* **熟悉**
1. 瞬时功率、平均功率、有功功率、无功功率、视在功率，电能的基本概念
2. 利用功率--频率变换法获得电能计数测量的原理和电能常数概念
3. 检定数据处理方法和数据修约规则
4. 电能表的用途，功能
5. 电能表的面板符号的识别
6. 电能表的类型，基本原理，性能特点
* **了解**
1. 电功率与机械功率的关系
2. 电能量值传递体系，国家基准、标准的技术状况
3. 电功率测量方法，仪器原理，计算方法
4. 电能表的相关技术术语

**3.参考文献：**

1. 国防科工委科技与质量司，计量培训教材电磁学计量，原子能出版社，2002
2. JJG 124-2005 电流表、电压表、功率表及电阻表检定规程
3. JJG 780－1992 交流数字功率表检定规程
4. JJG 307-2006 机电式交流电能表检定规程
5. JJG 596－2012 电子式交流电能表检定规程
6. JJG 440－2008 工频单相相位表检定规程
7. JJG 842－2017 电子式直流电能表检定规程
8. JJG 569－2014 最大需量电能表(电度表)检定规程
9. JJG 691－2014 多费率交流电能表检定规程
10. JJG 597－2005 交流电能表检定装置检定规程

### 十、（040601）互感器

**1.概述**

互感器是一种应用比率技术进行电信号转换的变换器，是电流互感器和电压互感器的统称。互感器能将高电压变成低电压、大电流变成小电流，用于测量或保护系统，其功能主要是将高电压或大电流按比例变换成标准低电压（100V）或标准小电流（5A或1A，均质额定值），以便实现测量仪表、保护设备及自动控制设备的标准化、小型化。同时互感器还可用来隔开高电压系统，以保证人身和设备的安全。

电压互感器是将高电压变换为低电压，主要用来测量电路电压、功率和电能，对线路中的设备提供保护，它有两个绕组，一次绕组和二次绕组，电压互感器的特点是容量很小，本身阻抗很小，且比较稳定，正常运行时接近于空载状态。按工作原理可分为电磁感应式和电容分压式两类。

电流互感器是依据电磁感应原理将一次侧大电流转换成二次侧下电流来测量的仪器。电流互感器是由闭合的铁芯和绕组组成。它的一次绕组匝数很少，串在需要测量的电流线路中，因此它经常有线路的全部电流流过，二次绕组匝数比较多，串接在测量仪表和保护回路中，电流互感器在工作时，它的二次回路始终是闭合的，因此测量仪器和保护回路串联线圈的阻抗很小，电流互感器的工作状态接近短路。

**2.知识要点**

* **掌握**
1. 电流互感器和电压互感器比差和角差的定义，以及互感器复合误差的概念。
2. 互感器初、次极线圈极性的定义，同名端的定义，同名端的测量方法。
3. 掌握互感器的等效电路，根据等效电路列写电路方程，画出互感器的向量图。根据互感器的向量图列写互感器的误差计算公式。
4. 互感器的误差特性，能对互感器的误差影响因素进行分析。
5. 额定容量、额定电压、额定负荷、额定电流比、额定一次电流、额定二次电流、实际电流比和准确度等级等概念。
6. 互感器的主要技术要求，特别是等级互感器在额定条件下的误差极限及变差极限，以及检定互感器时对负荷的要求。
7. 检定互感器的环境条件要求。
8. 检定互感器所需的主要设备，及其技术要求。
9. 互感器的检定项目和检定方法。
* **熟悉**
1. 使用互感器时应注意的事项。
2. 电流互感器和电压互感器的工作原理以及与一般电源变压器的区别。
3. 绕组极性检查方法及开路和闭路退磁方法。
4. 互感器检定装置的不确定度来源及不确定度分析方法。
5. 互感器的用途、结构、符号、接线方法。
6. 互感器校验仪的工作原理和主要测量功能。
* **了解**
1. 在测量中互感器与其它量程变换器相比具有的独特优点。
2. 互感器的量值溯源系统图及电流比例标准的自校原理。
3. 变压器的基本原理及使用方法。
4. 互感器分类方法以及各类互感器的特点。
5. 互感器的自校和各种比较检定线路，了解检定精密初级为小电流的电流互感器对称支路接地的方法和原因。

**3.参考文献**

1. 国防科工委科技与质量司，计量培训教材电磁学计量，原子能出版社，2002
2. JJG 313-12010 测量用电流互感器检定规程
3. JJG 314-2010 测量用电压互感器检定规程
4. JJG 169-1993 互感器校验仪检定规程

### 十一、（040701）稳定电源及电子负载

**1.概述**

电源是向电子设备提供功率的装置，也称电源供应器。交直流稳定电源是为被测设备或测试仪器提供工作电压、电流的电源。主要讲述直流稳定稳定电源和交流稳压电源两种类型电源。

直流稳定电源由变压器、整流电路、滤波电路、稳压稳流电路、保护电路以及显示和调节控制装置等组成，主要为负载提供电能。直流稳定电源的工作原理一般是经过变压器将电网中的交流输入量直接变压，或通过整流和脉冲调制后变压，再经过整流、滤波和稳压稳流等电路。将交流量变为稳定的直流输出量，直流稳定电源一般具有过压保护、过流保护、过功率保护等功能，直流稳定电源通常有直流稳压（恒压远源）和直流稳流（恒流源）两种工作模式，只有其中一种工作模式的电源，称为直流稳压电源或直流稳流电源。直流稳定电压的种类繁多，按输出方式，有固定输出和可调节输出之分，又有单路输出和多路输出的区别；按组装方式，可分为模块电源、嵌入式电源金额台式电源；按调整管的工作方式，可分为线性电源和开关电源；按显示类型，又可分为数字式和模拟式等。

交流稳压电源主要为仪器、设备等提供稳定的交流供电电源。交流稳压电源可分为磁饱和式交流稳压电源、稳压变压器、磁放大器调整式交流稳压器、自动调压式交流稳压电源等类型。

电子负载是通过控制内部功率或晶体管的导通量（量占空比大小），依靠功率管的耗散功率消耗电能的设备。它能够准确检测出负载电压，精确调整负载电流，同时科技实现模拟负载短路，可模拟感性负载容性负载和阻性负载。电子负载应该具有完善的保护功能，有过流保护、过压保护、过功率保护、电压反向保护和过温保护功能。

直流电子负载能模拟直流设备的不同用电状态，从而测量各种直流设备的电源性能。电子负载内部功能控制电路控制电子功率期间的功耗，吸收并消散被测电源的电能起到负载的作用。通过直流电子负载的功能控制电路，能够模拟直流电源的恒定电流、恒定电压、恒定功率、恒定电阻的工作状态。模拟负载的同时提供直流电压、直流电流和直流功率测量功能。

**2.知识要点**

* **掌握**
1. 稳定电源的允许误差表达方法、稳定电源的检定/校准环境条件要求。
2. 稳定电源的检定/校准项目、检定/校准方法、检定/校准前检查的内容和方法。
3. 直流电源示值误差、电源调整率、负载调整率、纹波电压的计算公式和方法
4. 稳定电源检定/校准中不确定度的分析方法。
5. 电子负载的允许误差表达方法、电子负载校准环境条件要求。
6. 直流电子负载常用工作模式。
7. 直流电子负载校准项目、校准方法。
8. 直流电子负载校准中不确定度的分析方法
* **熟悉**
1. 稳定电源的工作原理和用途，以及使用中的主要注意事项。
2. 电源内阻定义以及测量方法。
3. 直流电子负载的工作原理和用途，以及使用中的注意事项。
4. 直流电子负载动态电流上升速率和下降速率的计算公式和方法。
5. 直流电子负载动态电流加载时间和卸载时间的计算公式和方法。
6. 直流电子负载短路电阻的测量方法和计算公式。
* **了解**
1. 检定或校准所用标准设备交直流数字电压表、电流表、示波器、标准电阻、数字频率计、分流器、电流探头、有源负载、交流调压器的组成、工作原理和应用。
2. 电源漂移（短期稳定性）、电源过渡性（瞬态响应）、波形失真等。

**3.参考文献**

1. 国防科工委科技与质量司，计量培训教材电磁学计量，原子能出版社，2002
2. JJF 1597-2016 直流稳定电源校准规范
3. JJG（军工）77-2015 直流稳压电源检定规程
4. JJG（军工）26-2012 大电流直流电源检定规程
5. JJF（军工）85-2015 交流稳压电源稳态特性校准规范.
6. JJF 1462-2014 直流电子负载校准规范

### 十二、（040801）交直流高压

**1.概述**

在电学领域一般把1000V以上的电压称作高电压，交直流高电压主要包括交直流高压表、交直流高压分压器、交直流高压探头（衰减器）、交直流高压源；按形式和应用分为直流高电压、交流高电压和冲击高电压，目前交流高电压的应用主要集中在工频范围。高电压的溯源一般有两种方法，一种是通过比率标准，将被测高电压按一定比例降低到普通仪表壳测量范围内，供低压仪表测量；另一种高电压测量法为天平电压测量高电压或称作绝对静电电压表法。

**2.知识要点**

* **掌握**
1. 高电压测量中的主要安全注意事项。
2. 常见的交直流高电压计量仪器的检定条件、检定项目和检定方法。
3. 交直流高压基本误差检定点的选择和检定方法。
4. 负载调整率、电源调整率、纹波电压检定的方法。
5. 每种检定方法的标准设备的选择原则。
6. 变差和零值误差检定的方法。
* **熟悉**
1. 交直流高电压电压表、交直流分压器、交直流高压探头（衰减器）的组成、用途、特点和工作原理，以及使用中的主要注意事项。
2. 电阻分压器、电容分压器和阻容分压器的工作原理和分压关系。
3. 交直流高电压源的组成、用途、特点和工作原理，以及使用中的主要注意事项。
4. 交直流高电压计量仪器检定和校准中不确定度的分析方法。
5. 高电压下气体介质击穿机理和气体介质中电流与电场强度的关系。
6. 均匀电场和极不均匀电场中气体放电的各种形式。
7. 均匀电场中气体介质的击穿特性。
8. 巴申定律及其在高电压技术实践中的应用。
9. 气体、液体和固体绝缘介质电场击穿特性的异同以及典型介质的击穿电压等级。
10. 电晕放电对高电压测量的主要危害以及减小和消除电晕放电的常用办法。
11. 影响高电压电阻分压器测量准确度的主要因素。
12. 串级整流电路级数、负载电流、电源频率和滤波电容与脉动电压幅值的关系。
* **了解**
1. 高电压技术的一般应用，高电压计量通常所指的电压范围。
2. 高电压绝缘在高电压测量中的重要性，了解绝缘材料的分类。
3. 液体电介质的分类和几种常见液体电介质的属性。
4. 液体电介质的击穿机理和击穿过程。
5. 固体电介质的分类，掌握其主要击穿形式。
6. 固体电介质在直流高电压和交流高电压作用下击穿特性的异同。
7. 球隙法测量高电压的原理、特点和应用。
8. 负反馈闭环控制的高电压稳定电源的基本工作原理、组成和特点。
9. 高压静电电压表组成用途和工作原理。

**3.参考文献**

1. 国防科工委科技与质量司，计量培训教材电磁学计量，原子能出版社，2002
2. JJG 494-2005 高压静电电压表检定规程
3. JJG 1007-2005 直流高压分压器检定规程
4. DL/T 973-2005 数字高压表检定规程
5. JJG 496-2005 工频高压分压器检定规程
6. GJB/J2658-1996 1~100kV 直流高电压标准源检定规程
7. GJB/J2659-1996 1~100kV 直流高电压标准分压器检定规程
8. JJF 1517-2015 非接触式静电电压测量仪校准规范
9. GJB 8879-2016 直流高电压稳压源检定规程
10. JJG（军工）18-2012 高电压耐压测试仪检定规程

### 十三、（040901）直流电压

**1.概述**

直流电压是电磁学计量的基本参数，许多电学量由它推导得出，同时直流电压单位与国际单位制的复现紧密相关。直流电压的标准仪器主要有标准电池和固态电压标准及电位差计。

**2.知识要点**

* **掌握**
1. 直流电位差计的检定条件、检定项目和检定方法
2. 直流高电势电位差计和直流低电势电位差计测量盘的基准值和最小步进值的定义
3. 电位差计检定装置对标准器及配套设备的要求
4. 直流电位差计示值基本误差和变差的检定点的选取
5. 直流电位差检定结果的处理（化整）以及合格与否的判断方法
6. 标准电池的检定条件、检定项目和检定方法
7. 标准电池偏离20℃时电动势的表达方法和应用
8. 标准电池的检定时间和检定次数
* **熟悉**
1. 电阻型直流电位差计的构成及工作原理
2. 直流电位差计测量盘的增量线性的表达方法和应用
3. 电位差计检定装置的构成
4. 温度补偿盘、量程系数比误差的检定方法和计算
5. 标准电池的构成及工作原理
6. 使用标准电池的要求及注意事项
* **了解**
1. 直流电位差计的量值传递和测量不确定度的评定方法
2. 直流电流比较仪式电位差计的特点及工作原理
3. 直流电位差计的主要应用
4. 对检定装置开关的要求及影响其测量准确度的主要因素
5. 标准电池的量值传递和测量不确定度的评定方法

**3.参考文献**

1. 国防科工委科技与质量司，计量培训教材电磁学计量，原子能出版社，2002
2. JJG 123-2004 直流电位差计检定规程
3. JJG 505-2004 直流比较仪式电位差计检定规程
4. JJG 153-1996 标准电池检定规程

### 十四、（041001）电气安全（电阻类）

**1.概述**

接地电阻表借鉴了电桥原理，通过比例器将被测电阻与已知电阻进行比较，调节平衡后，通过已知电阻上的刻度直接读出被测接地电阻的数值。接地电阻表一般需要借助两个辅助电极：一个用于注入电流，一个用于取样电压。

通常，接地电阻表根据设计原理可以分为平衡电桥法、电压互感器比例法、数字式比例法、电磁感应法四类，它的主要技术指标包括：示值误差、位置误差、辅助接地电阻误差等。

钳形接地电阻仪基本原理是测量回路电阻，电压线圈提供激励信号，并在回路上感应一个电势，在电势的作用下在被测回路中产生电流。钳形接地电阻仪是不需要辅助电极的一种在线测量方法。

通常，钳形接地电阻仪主要有电压线圈、电流线圈和显示器组成，它的主要技术指标包括：示值误差、位置误差、临界误差等。

接地导通电阻是指交流电网供电的电器（如家用电器、电动电热器具、医用电气设备及测量、控制、试验室用电气设备），其可触及金属壳体与该设备引出的安全接地端（线）之间的导通电阻。是衡量电气设备安全性能的重要指标，同时也是对接地回路承受大电流能力的测试。

通常，接地导通电阻测试仪主要有交、直流电流源、电压测量、调节、报警、指示等装置组成，其主要技术指标包括：试验电流误差、空载电压、电阻示值误差等。

高阻计是用来测量高值电阻的仪表，其测量范围符合：Rmax/Vmax≥108Ω/V，常用高阻计分为两类：模拟指针式和数字式，高阻计主要由高压源、量程变换器和指示仪表组成，其原理是电压源的电压加到被测对象上，产生一个电流，然后测出这个电流，再折算成电阻从表头显示出来。

绝缘电阻表是电气安全检查中经常使用的工具类仪表，主要有摇表和数字式仪表两种。电阻测量范围105Ω~108Ω，准确度1%~20%。绝缘电阻的功能是阻止电流的流通，但不是绝对不导电的，只是泄露电流很少，为了防止绝缘太低，泄露电流过大，对人员及设备产生严重后果，必须进行绝缘电阻表的检定。

表面电阻测试仪是用于测量防静电物体（地面、桌子、椅子）表面电阻的专用仪器。其测试电压一般为250V、100V和10V等。在实际工作中，电荷不仅通过表面泄露也通过体积泄露，也就是说，表面电阻和体积电阻对电荷泄露均起作用。因此，在对静电防护的耗散材料进行测试时，一般采用两电极测试，其中应用最广的表面电阻测试仪就是重锤式表面电阻测试仪。

**2.知识要点**

* **掌握**
1. 接地和接地电阻的基本概念，理想导体与实际导体间区别及应用
2. 计量接地电阻表、钳形接地电阻仪、接地导通电阻测试仪、高阻计时对标准的要求及计量性能要求
3. 三点法、两点法和电压电流表法检定方法、优缺点及适用范围
4. 辅助电极接地电阻的两种影响及允许变差
5. 接地和接地电阻的物理意义，电压线圈和电流线圈的基本概念及应用
6. 钳形接地电阻仪偏心位置的影响要素
7. 钳形接地电阻仪检定点的选取因素
8. 接地电阻测试仪和接地导通电阻测试仪的区别
9. 四端法测量原理和零位补偿处理方法
10. 四种检定方法的可靠掌握
11. 高阻计的分类和绝对误差、相对误差的计算方法
12. 选用合适的电压表进行电压测量的方法
13. 电阻标准法、电压补偿法和电压电流法的掌握
14. 计算电阻率均匀时的表面电阻及体积电阻
15. 直接测量法、比较测量法和充放电测量法
16. 分辨摇表类绝缘电阻表中中值电阻、中值电压的方法，及摇表类Ⅰ区Ⅱ区Ⅲ区中分段方法及误差计算方法
17. 校准表面电阻时环境因素对其的影响（如：绝缘板、温湿度、屏蔽装置等）
18. 表面电阻测试仪的在不同电压下的选点方法
19. 电极回路电阻、电极尺寸、电极重量对电阻实测值的影响
* **熟悉**
1. 地、地线、零电位点、接地电阻、辅助接地电阻和地电压的物理意义
2. 三点法、两点法和电压电流表法中串联等效和并联等效电路的计算及互换
3. 被检阻值≤10Ω和被检阻值>10Ω时线路连接的不同点
4. 各个检定条件影响量的技术要求
5. 用合适的电流导线，减少温度变化对检定的影响，选用大功率电阻时，避免电阻过大对仪器造成损坏
6. 高电阻和微电流的物理意义及应用
7. 滤波整流、流比计的工作特点
8. 在检定绝缘电阻表中的安全问题
9. 电极尺寸、电极重量、回路电阻与电阻率的计算公式
10. 有多个电压量程的表面电阻测试仪中几何平分点、分界电阻的概念及计算方法
* **了解**
1. 影响辅助电极、电流电极、电压电极的因素，不确定度的来源及影响机理
2. 影响电压线圈、电流线圈、重复性的因素，不确定度的来源及影响机理
3. 影响电阻误差、电流误差、电流波动的因素，不确定度的来源及影响机理
4. 量值传递体系，国家基准、标准的技术状况
5. 电流互感器法、电磁感应法的测量原理和实施方法
6. 计量接地电阻表、钳形接地电阻仪、接地导通电阻测试仪时对电阻箱的要求及原因
7. 法拉第电磁定率，安培环路定理，基尔霍夫定理的原理
8. 接地导通电阻测试仪的构成原理
9. 高阻计的构成原理，特别是放大器的工作原理
10. 绝缘电阻表的构成原理，特别是绝缘电阻表基本误差的测量连线图
11. 计量过程中产生的吸收电流和泄露电流的波形图

**3.参考文献**

1. 国防科工委科技与质量司，计量培训教材电磁学计量，原子能出版社，2002
2. JJG 366-2004 接地电阻表
3. JJG 1054-2009 钳形接地电阻仪检定规程
4. JJG 984-2004 接地导通电阻测试仪检定规程
5. JJG 690-2003 高绝缘电阻测量仪（高阻计）检定规程
6. JJG 622-1997 绝缘电阻表（兆欧表）检定规程
7. JJG 1005-2005 电子式绝缘电阻表检定规程
8. JJF 1285-2011 表面电阻测试仪校准规范

### 十五、（041002）电气安全（电压电流类）

**1.概述**

耐压测试仪是对各种低压电器装置、绝缘材料和绝缘结构的耐压能力进行测试的仪器。该仪器能调整输出需要的交流（或直流）试验电压和设定击穿（保护）电流。计量的主要目的是检查耐受工作电压或过电压的能力，进而检验产品设备的绝缘性能是否符合安全标准。

通常，耐压测试仪主要部分是直流或交流高压电源、主控CPU及一些转换电路、取样电路、A/D转换器组成，它的主要技术指标包括：电压输出误差、电流输出误差、时间自动控制误差等。

泄露电流测试仪是用于测量电器的工作电源（或其他电源）通过绝缘或分布阻抗产生的与工作无关的泄露电流或绝缘材料的泄露，其输入阻抗模拟人体阻抗。是衡量电器绝缘性能和产品安全性的重要指标；

通常，泄露电流测试仪主要由阻抗变换、量程转换、交直流转换、放大、指示装置等组成，它的主要技术指标包括：泄露电流示值误差、输入电路时间常数、极化电压等。

**2.知识要点**

* **掌握**
1. 不同环境下电压示值误差、电流示值误差、时间控制误差的几种检定方法
2. 计量耐压测试仪、泄露电流测试仪时对标准的要求及计量性能要求
3. 自耦调压式耐电压测试仪及程控稳压式耐电压测试仪之间的区别及计量方法上差别
4. 击穿报警电流计量中对电阻的选取要求
5. 标准电流源法及标准数字电流表法两种检定方法的适用范围及检定方法
6. 通用型及医用型泄露电流测试仪频率范围、输入电阻、时间常数的适用范围
7. 对有不同输入阻抗的泄露电流测试仪计量时的处理方法
* **熟悉**
1. 击穿报警电流、高电压、时间控制、泄露电流、极化电压、时间常数的物理意义
2. 计量耐电压测试仪的六种适用范围及三种不适用范围
3. 耐电压测试仪伏地与接地与否不同状态下的方法，及对地小电流串扰的处理方法
4. 计量漏电流测试仪的三种适用范围及三种不适用范围
5. 在不同计量环境下对人体阻抗模型的选取方法及计量方法
* **了解**
1. 影响击穿电流、高电压、时间测量方面的因素，及不确定度的来源及影响机理
2. 影响泄露电流、极化电压、时间常数方面的因素及不确定度的来源和影响机理
3. 量值传递体系，国家基准、标准的技术状况
4. 自耦调压式耐电压测试仪及程控稳压式耐电压测试仪的原理图、半波整流及串级整流的工作原理，及这两种耐电压测试仪的优缺点
5. 通用型漏电流测试仪的原理图、不同人体阻抗模型的原理
6. 负反馈闭环高压电源在实际中的应用

**3.参考文献**

1. 国防科工委科技与质量司，计量培训教材电磁学计量，原子能出版社，2002
2. JJG 795-2016耐电压测试仪检定规程
3. JJG 843-2007泄露电流测试仪检定规程

### 十六、（041101）特斯拉计

**1.概述**

特斯拉计是对磁体进行磁感应强度测试的仪器，可用于测量直流磁场、交流磁场、辐射磁场、剩磁等各类磁场的磁感应强度。实际上，磁现象与电、热、声、光、力等各种现象有着复杂的联系，磁场中有多种多样的现象与效应，它们既是磁参量测量及非磁量的磁测量的理论基础，往往也是产生测量不确定度的来源。

现有的特斯拉计主要是根据霍尔效应或核磁共振现象研制而成，具有软件程序或硬件电路自动升降量程、非线性修正功能，同时数字式特斯拉计由单片机控制测量，具有数据处理和软件调零功能。对特斯拉计的计量主要是采用标准源法或标准表法，前者提供了一个高准确度的标准磁场，将被检特斯拉计放入其中进行检定或校准，后者是在磁场准确度不高并满足量传比的情况下用高准确度的特斯拉计检定或校准低准确度的特斯拉计。

**2.知识要点**

* **掌握**
1. 霍尔效应、核磁共振测量磁场的原理
2. 电磁感应定律、安培环路定理，基尔霍夫磁通定律和基尔霍夫磁压定律
3. 基本磁参量及其计量单位
4. 主要术语以及定义
5. 检定时环境要求、适用范围、周期检定项目、检定方法、选点要求
6. 检定装置的相关要求
7. 检定结果的处理和检定周期
8. 磁感应强度、磁强强度、磁通、介质的磁导率等物理参量单位符号及其换算关系
* **熟悉**
1. 恒定磁通磁路的基本概念
2. 特斯拉计不确定度评定
* **了解**
1. 同时比较法测量磁场的原理
2. 电磁铁产生磁场的原理

**3.参考文献**

1. 国防科工委科技与质量司，计量培训教材电磁学计量，原子能出版社，2002
2. JJG 242-1995 特斯拉计检定规程
3. 赵凯华、陈熙谋《电磁学》第二版，高等教育出版社。