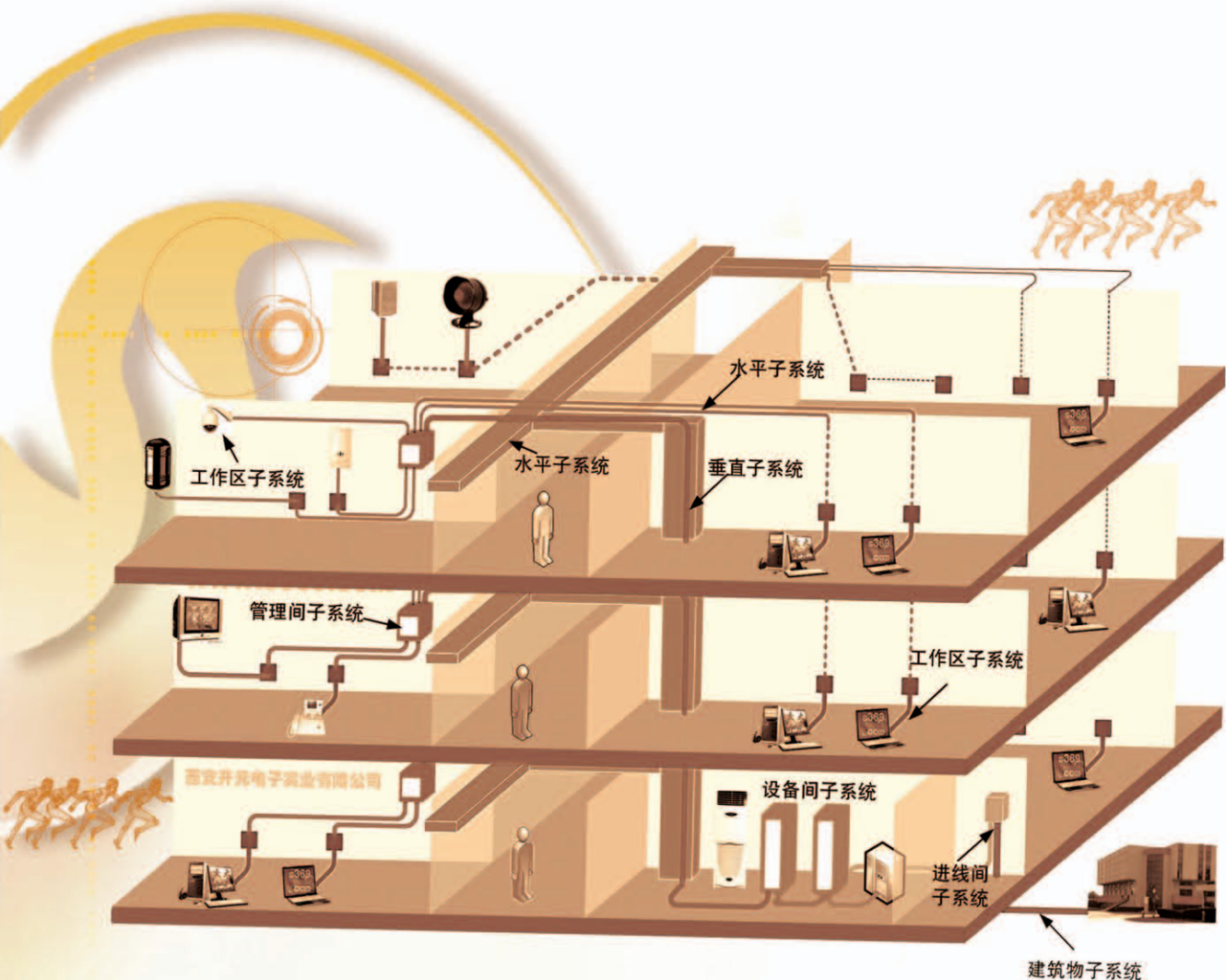




国家示范性高等职业院校建设计划资助项目

热工实验实训指导

主编 樊嘉欣 王蓓蓓 黄浩



图书在版编目 (CIP) 数据

热工实验实训指导/樊嘉欣, 王蓓蓓, 黄浩主编. —银川: 阳光出版社, 2010. 3

ISBN 978-7-80620-601-0

I. ①热… II. ①樊…②王…③黄… III. ①热工试验—高等学校—教学参考资料 IV. ①TK122-33

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第045942号

热工实验实训指导

樊嘉欣 王蓓蓓 黄浩 主编

责任编辑 张燕宁

装帧设计 宁夏画报实业有限公司

责任印制 王怀庆



黄河出版传媒集团

阳光出版社

出版发行

地 址 银川市北京东路139号出版大厦 (750001)

网 址 www.nxcbn.com

网上书店 www.hh-book.com

电子信箱 nxhhsz@yahoo.cn

邮购电话 0951-5044614

经 销 全国新华书店

印刷装订 宁夏捷诚彩色印务有限公司

印刷委托书号 (宁) 0004276

开本 787mm × 1092mm 1/16

印张 7.25 字数 100千

版次 2010年3月第1版

印次 2010年3月第1次印刷

书号 ISBN 978-7-80620-601-0/G · 340

定 价 15.00元

版权所有 翻印必究



前言

宁夏职业技术学院于 2007 年被国家教育部、财政部确定为国家一百所示范性高等职业院校立项建设单位。项目实施以来,学院以专业建设为龙头,围绕自治区经济发展战略定位。按照“专业对接市场、课程对接能力、质量对接需求”的理念,有针对性地设置和调整专业。积极实践工学结合、校企合作人才培养模式改革和课程体系改革。以“开放、合作、包容、共赢”为原则,与区域内近二百家企业实施校企合作、人才共育。在工作过程系统化的课程体系建构和工学结合专业课程建设中,以设备、工作对象、案例、典型产品等为载体,组织教学内容,实施教学,取得了一批标志性成果。为了推广在课程建设中取得的成效,决定编辑出版部分教材和实训指导书。

特别感谢合作企业给予学校的大力支持。由于编者水平所限和时间仓促,书中难免有不妥之处,恳请业内专家和广大读者指正。

宁夏职业技术学院国家示范性高职院校
建设项目教材编写委员会

二〇一〇年三月十八日

目录

CONTENTS

前 言	
绪 论	1
实训项目一 常用仪表的使用	
任务一 压力表校验测量	5
任务二 热电偶制作及标定	7
任务三 模拟式温度显示仪的校验（一）	10
任务四 模拟式显示仪表的校验（二）	17
任务五 数字式显示仪表的校验（三）	22
实训项目二 热力学实训	
任务一 $P-V-T$ 关系测定	27
任务二 饱和蒸汽压力和温度关系测定	33
任务三 气体定压比热测定	38
实训项目三 热传导导热系数的测定	
任务一 导热系数的测定	43
任务二 综合传热性能测定	47
任务三 非稳态（准稳态）法测量材料的导热性能	53
任务四 蒸汽冷凝时传热系数和换热系数测定	56
任务五 圆球法测粒状材料的导热系数	61
实训项目四 对流及热辐射换热系数的测定	
任务一 空气横掠单管时平均换热系数的测定	65
任务二 空气横掠圆柱体时局部换热系数的测定	71
任务三 空气纵掠平板时局部换热系数 α 的测定	75

任务四	强迫对流表面传热系数的测定	79
任务五	中温法向辐射时物体黑度的测定	83
任务六	换热器综合实训	86

实训项目五 流体力学实训

任务一	不可压缩流体恒定流能量方程	91
任务二	流量测量	94
任务三	雷诺实训	97
任务四	局部阻力损失实训	100
任务五	沿程阻力损失实训	103
任务六	水击演示实训	108

参考文献	111
后 记	112

绪论

一、实训总体目标

通过实训课有计划培养和训练，应达到以下几方面的要求：

1. 加深学生对所学课程的内容的理解，验证理论知识。
2. 培养学生具有一定的实践技能，树立尊重事实的思想和严谨的科学作风。
3. 学会正确使用一般的热工及流体仪表并掌握其操作规程。
4. 能较准确地测出实训数据，绘出实训曲线，分析实训结果，写出完整的实训报告。

二、适用专业

热能动力设备与应用专业。

三、先修课程

高等数学、工程热力学、传热学、流体力学。

四、实训要求

参加实训的同学，在实训过程中应该注意培养分析问题、解决问题的能力
和严谨、严肃、踏实的科学作风及爱护国家财产的优良品质。

1. 严格遵守实训室的制度和纪律。
2. 实训前，必须仔细预习实训指导书，熟悉实训目的、原理和方法等。

3. 使用仪器设备前，必须了解它们的用法及注意事项，操作时严格遵守。
4. 实训设备的连接，必须认真检查，并经教师复查后才能接入电源，开始实训。
5. 实训时，要精力集中，如实记录实训数据。
6. 保持实训室安静、整洁，未经教师同意，不得动用其他设备。
7. 实训完毕，须将实训记录经教师检查签字后，才能拆除线路。然后，把实训仪器设备整理擦净，恢复原状，方可离开实训室。
8. 发生事故时，应立即去掉电源，保持现场，并向教师报告，同时，认真检查原因，从中吸取教训。

五、实训的预习和报告

1. 仔细阅读实训讲义，搞清实训原理，明确实训任务，了解所用仪器仪表的使用方法。
2. 按实训小组讨论实训的具体步骤。在实训时既要有适当分工，如操作、记录等，又要求每人都全面了解。
3. 实训报告必须每人独立完成一份。字迹要清楚，并于实训后一周内交给教师。
4. 实训报告一般应包括下列内容：
 - (1) 测试的原始数据和观察到的现象。
 - (2) 实训数据的整理。
 - (3) 对结果的分析。
 - (4) 完成思考题。
 - (5) 对实训的收获、体会和建议。

六、实训过程

学生在实训的过程中应自觉遵守实训操作规程。以科学、求实的态度对待实训。仔细观察实训现象，认真测量实训数据。每次实训结束后，应认真填写设备使用记录。并将测得的实训数据经指导老师过目同意后方可离开。

七、实训数据的整理、实训报告的编写

实训结束后应认真、独立整理数据，写出完整的实训报告。但应注意：在对现

象进行分析讨论时，必须实事求是，不得抄袭他人数据或改变数据。

八、实训学时安排

项目名称	任务名称	必开	选开	学时
实训项目一 常用仪表的使用	任务一 压力表的校验测量	√		2 学时
	任务二 热电偶制作及标定	√		2 学时
	任务三 模拟式显示仪的校验(一)		√	2 学时
	任务四 模拟式显示仪表的校验(二)		√	2 学时
	任务五 数字式显示仪表的校验(三)		√	2 学时
实训项目二 热力学实训	任务一 P-V-T 关系测定		√	2 学时
	任务二 饱和蒸汽压力和温度关系测定	√		2 学时
	任务三 气体定压比热测定			2 学时
实训项目三 热传导导热系数的测定	任务一 导热系数的测定	√		2 学时
	任务二 综合传热性能测定	√	√	2 学时
	任务三 非稳态(准稳态)法测量材料的导热性能			2 学时
	任务四 蒸汽冷凝时传热系数和换热系数的测定	√	√	2 学时
	任务五 圆球法测粒状材料的导热系数		√	2 学时
实训项目四 对流及热辐射换热系数的测定	任务一 空气横掠单管时平均换热系数的测定		√	2 学时
	任务二 空气横掠圆柱体时局部换热系数的测定		√	2 学时
	任务三 空气纵掠平板时局部换热系数 α 的测定		√	2 学时
	任务四 强迫对流表面传热系数的测定		√	2 学时
	任务五 中温法向辐射时物体黑度的测定	√		2 学时
	任务六 换热器综合实训	√		2 学时

(续表)

项目名称	任务名称	必开	选开	学时
实训项目五 流体力学实训	任务一 不可压缩流体恒定流能量方程	√		2 学时
	任务二 流量测量	√		2 学时
	任务三 雷诺实训	√		2 学时
	任务四 局部阻力损失实训	√		2 学时
	任务五 沿程阻力损失实训	√		2 学时
	任务六 水击演示实训	√		2 学时

实训项目一 常用仪表的使用

任务一 压力表的校验测量

一、实训目的

1. 能够分析压力传感器静压测量方法并进行设备的使用。
2. 能够分析活塞式压力表校验装置的工作原理，并进行压力表的使用。

二、实训器材

1. 活塞式压力计 1 台。
2. 标准压力表 1 支。
3. 被校验压力表 1 支。

三、实训原理

活塞式压力计的工作原理是：用直接作用在已知活塞面积上的砝码重力来平衡被测压力，从已知的活塞面积和砝码重量，求得被测压力值。在油杯、加压泵以及管路中充有清洁的变压器油。在压力表接头上接上被校验的压力表，活塞上部砝码盘上加上一一定重量砝码，摇手轮经加压泵使系统中的油压升高，直至活塞被压力油顶到一定高度；这时压力表的指示值应等于砝码、砝码盘、活塞等总重量除以活塞的有效面积（即油压）。因为活塞有效面积可以准确测定，砝码重量经准确标定，因此系统中油压是可以准确标定的。被测压力等于砝码盘上和所加砝码上指示压力的总和。活塞式压力计的准确度有 $\pm 0.05\%$ 、

± 0.2% 等几种，也可以装上另一标准压力表来校验被校验压力表。

四、实训步骤

- 1. 首先使活塞式压力计空载，观察压力表的零点情况。
- 2. 用加压泵给系统缓慢加压，在表 1-1 中记录标准压力表和被校验压力表的读数，记录 3~4 个压力值。不要超过满量程。
- 3. 缓慢降压，记录 3~4 个压力值。

五、注意事项

不要超过压力表量程。

六、实训报告要求

- 1. 根据测量结果评价被测压力表的准确度等级是否达到标称等级。
- 2. 试分析可能有的误差来源。

表 1-1 标准压力表与被校验压力表读数记录表

序号	标准压力表读数	被校验压力表读数
1		
2		
3		
4		
5		
6		

【思考题】

- 1. 压力表的安装中对导压管的敷设有何要求？
- 2. 电容式压力变送器的调校分哪几部分？

任务二 热电偶制作及标定

一、实训目的

1. 制作一支满足误差要求的热电偶，使学生掌握热电偶制作和温度测量方法。
2. 实践热电偶测温的具体方法和过程，了解所用仪器的作用。
3. 能够对热电偶进行标定。

二、实训器材

1. 标准 K 型热电偶 1 支。
2. 管式电炉 1 台。
3. 温度稳定系统和调温系统 1 台套。
4. 温度信号显示表头 1 组。
5. 待测热电偶丝和绝缘材料 1 堆。
6. 热电偶点焊器 1 台。

三、实训内容

1. 焊接热电偶

- (1) 将热电偶点焊器的电源插头接到 220V 电源。
- (2) 将两只专用夹子分别接在面板插口中。
- (3) 将两根待焊热电偶顶部去绝缘层后夹在平口夹上，顶端靠紧剪齐。
- (4) 另一只夹子夹住铝箔。
- (5) 打开电源开关。
- (6) 预调按钮按下充电，充电电压应与热电偶丝直径有关，见表 1-2。
- (7) 两手分别持手柄，按动手柄上微动开关，将热电偶焊点与铝箔接触，进行焊接。
- (8) 工作结束后，关闭电源开关，拔下电源插头。

表 1-2 充电电压与热电偶丝直径的关系

热电偶丝直径(mm)	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.80
充电电压(V)	30	40	50	60	80	100	150

2. 热电偶校验

(1) 实训目的

由于现有设备是适用于 K 型热电偶的温度显示仪表（刻度为温度）。用管式电炉作为热源，用标准 K 型热电偶作为标准温度计。通过标准温度计的读数来校验同在管式电炉里的被测热电偶的测量值。要求确定该待校验热电偶的输入输出（温度 K-mV）响应曲线。

(2) 实训原理

热电偶是工业上常用来测量温度的传感元件，尤其在中高温区域，其应用更为广泛，甚至不能取代。常见的热电偶有普通热电偶、铠装热电偶及薄膜热电偶，组成热电偶的材料也是多种多样的。一般根据应用的温度环境与测量精度而选用。

热电偶在长期使用过程中，热电极和热接点容易受到氧化、污染和腐蚀，高温下热电极材料容易发生再结晶而劣化。因此，热电偶的热电特性会逐渐发生变化，使用中会产生测量误差，有时此测量误差会超出允许范围。为了保证热电偶的测量精度，必须定期进行校验。热电偶的检定（校验）方法有两种：比较法和定点法。

用被校热电偶和标准热电偶同时测量同一对象的温度。然后比较两者的示值，以确定被校验热电偶的基本误差等质量指标，这种方法称为比较法。用比较法检定热电偶的基本要求，是要造成一个均匀的温度场，使标准热电偶和被检热电偶的工作端感受到相同的温度。本装置是依照上述原理设计制造的。

(3) 校验装置

装置的主体，为保温管式电炉。采用电子调温与数字显示控温，在炉膛内放入均热体，将标准热电偶与被校验热电偶插入均热体内（注意均热体应放在炉膛中部），在电炉的一侧可插接加热电源与控温电偶，将电炉与控温箱连接在一起。在电控温箱上设有调温旋钮和电压指示表头，以便控制加给电炉的热量。两只显示仪表一只作为电炉的温度控制设定，另一只作为被检热电偶的温度指示数值。琴键开关则用来对标准热电偶与被检热电偶温度指示进行转换。

(4) 装置的操作及数据采集

用电源线将电源与仪表箱后面板上的插座相连接，用电源输出线将管炉与

仪表箱后面板上的插座相连接，用控温线将管炉热电偶插座与后面板上“控温”处的端子相连。

将均热体放在管炉炉膛中心位置，标准热电偶与被检热电偶插入均热体，并分别将连线与仪表箱后面板上的连线端子对应连接。按下开关。指示灯亮，将温度控制表的“测温”设定为开关扳向位置。旋动旋钮，同时观察温度指示，一直旋到所需温度。然后，将开关扳回到“测温”位置。

右旋恒温调节旋钮，观察电压指示，此时为初始预热升温阶段。为延长炉体使用寿命，加温电压建议控制在 40V 左右。然后，根据实训需要的恒温温度进行反复调节，直至稳定在需要的温度上。因绝对稳定是不容易控制的，应在基本稳定的条件下快速测定。

在温度基本稳定的情况下，依次按动转换按键开关，并在测温表上读取数值。根据需要，重复操作上述步骤，进行反复检测。

本装置是采用在同一温度场条件下直接进行比较的方法，以选定的 K 型标准热电偶作为标准进行比较，来标定和检验被测热电偶。

(5) 校验要求

a.热电偶在正式检定之前应先进行外观检查，观察热接点焊接是否牢固；贵金属热电极是否有严重的色斑或发黑现象；贱金属热电极是否有严重的腐蚀或脆弱现象。

b.为了减少校验工作量，对于各种不同热电偶检定点的温度都有规定。本校验装置推荐校验温度点在 600℃下进行，至少采集 6 个测量点（考虑时间问题，本实训只采集上行点），如表 1-3 所示。

c.在每一个校验点上，每只热电偶的读数不得少于 4 次，取其平均值。数据采集后进行记录。

d.按照表 1-4 允许偏差考核制作的热电偶，如果不能满足误差，则重新焊接。

表 1-3 热电偶的校验点

热电偶名称	校验点(℃)
镍铬－镍硅	400、600、800、1000
镍铬－康铜	800、400(或 500)、600

表 1-4 常用热电偶校验允许偏差

分度号	热电偶材料	温度(℃)	偏差(℃)	温度(℃)	偏差
K	镍铬－镍硅	0~400	±4	>400	占所测热电势的±0.75%
T	镍铬－康铜	0~300	±4	>300	占所测热电势的±1%

四、注意事项

1. 热电偶点焊器

未按动微动开关之前，不可使铝箔与热电偶接触，以免损坏触点，充电时，表头不要超过 150V，注意用电安全。

2. 校验装置

初期升温（~100℃）时，加热电压控制在 40V 左右；被校验热电偶和标准热电偶的测量点尽量靠近；热电偶端子的正负极与仪表接口匹配。

五、实训报告要求

- 1. 实训完毕，利用实训数据，作出所制作热电偶的标定曲线。
- 2. 分析实训中的可能误差原因。

【思考题】

- 1. 热电偶结构由哪几部分组成？
- 2. 写出下列热电偶的分度号，测量范围。
(1)铂铑 10—铂热电偶；(2)镍铬—镍硅热电偶；(3)镍铬—铜镍热电偶。

任务三 模拟式温度显示仪表的校验（一）

本实训项目以温度显示仪表为研究对象，分三个单元，进行模拟式显示仪表及数字式显示仪表校验方法的学习，从而能较全面地了解与使用显示仪表。

一、实训目的

以 XFZ-101、XCZ-101 型动圈式温度显示仪表为研究对象，了解两种动圈式温度显示仪表的不同性能，掌握动圈式温度指示仪（配热电偶）的示值校验方法，以便在实际运用中更好地正确使用它们。

1. 根据实训内容要求，查阅有关资料，全面了解动圈式仪表工作原理；
2. 按照动圈式仪表校验系统接线图 1-1 提示，完成实训线路连接工作；
3. 严格实训规程，规范实训步骤，认真完成记录表格，培养严谨的科研作风；
4. 能够对动圈式仪表示值进行校验，并能灵活运用于生产实际与科研工作中。
5. 按标准化书写格式要求，提交实训报告。

二、实训器材

1. XFZ-101 型动圈显示仪 1 支，1.0 级。
2. XCZ-101 型动圈显示仪 1 支，1.0 级。
3. UJ36 型直流电位差计 1 台，0.1 级。
4. DFX-02 直流毫伏电源 1 台。
5. ZX-25a 型旋转式电阻箱 1 台。
6. 水银温度计 1 支，0~100℃。

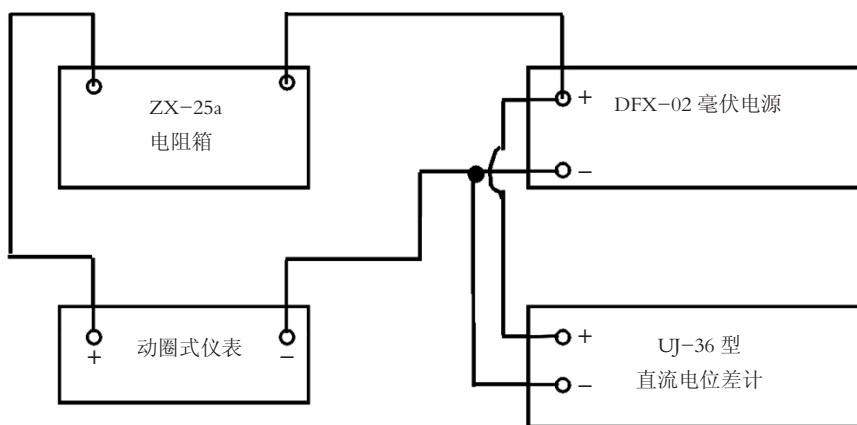


图 1-1 动圈式仪表校验系统接线图

三、实训原理

模拟式显示仪表也称指示式显示仪表，其以指针与标尺间的相对偏转角或位移量来模拟显示被测参数的连续变化的数值，具有结构简单、工作可靠、价格低廉、易于反映被测参数的变化趋势的特点，迄今为止，仍然是一种广泛采用的仪表。

为确保动圈式仪表测量的准确，实际使用的动圈式仪表均应定期进行调校，本实训仅限于示值基本误差和变差的检定。如果示值基本误差和变差（回差）超过仪表精度等级的允许值，则认为不合格，如若继续使用，则应引入修正值或降级使用。XFZ-101、XCZ-101 型动圈式温度显示仪表分度号为 K，精度等级为 1.0 级，其示值基本误差不应超过量程的 $\pm 1\%$ ，变差不应超过量程的 $\pm 0.5\%$ 。

本实训采用 UJ-36 型直流电位差计作为标准表，精度等级为 0.1 级，利用直流毫伏电源作为信号源（代替热电势）来实现仪表的校验。

四、实训内容

1. 示值基本误差检定。
2. 测量仪变差特性检定。
3. 外线电阻变化对动圈仪表示值的影响研究。

五、实训步骤

（一）实训方法

动圈仪表示值基本误差检定采用“示值比较法”，即用被检表与一个标准表同时去测某一被测量值，然后比较两个表的测量结果，以标准表的示值作为“真实值”，以被检表的示值作为“指示值”，根据误差公式便可计算出被检表的示值基本误差和变差，再根据仪表相应精度等级允许的误差规定，判断被检表是否合格。

（二）操作步骤

1. 准备工作
 - （1）按图 1 接好连线。
 - （2）将被检表水平放置；在未接通毫伏电源的条件下，对于 XCZ-101 型动