

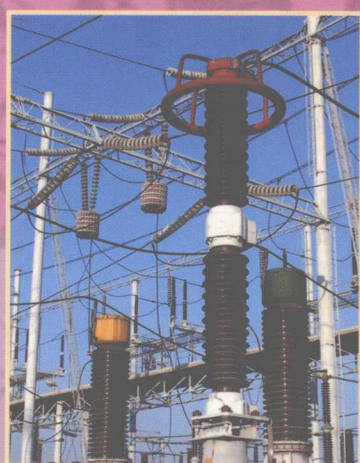
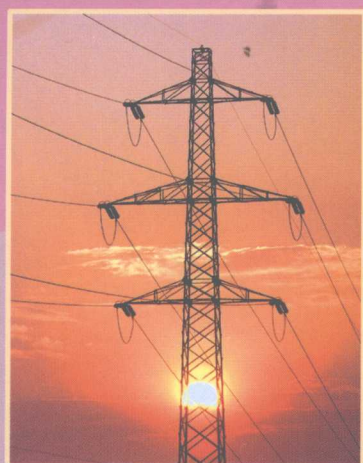
电力工人技术等级暨职业技能鉴定培训教材

(初、中、高级工及技师、高级技师适用)

总主编 丁毓山 徐义斌

电能表修校工

主 编 吴 强 裴陆国
副主编 李 伟 程云峰



DIANNENGBIAO XIUJIAOGONG

知识

技能

题库



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

电力工人技术等级暨职业技能鉴定培训教材
(初、中、高级工及技师、高级技师适用)

总主编 丁毓山 徐义斌

电 能 表 修 校 工

主 编 吴 强 裴陆国
副主编 李 伟 程云峰

 中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书根据《电力工人技术等级标准》、《中华人民共和国职业技能鉴定规范》、职业技能鉴定指导书及相关专业国家标准、行业标准和岗位规范编写,为《电力工人技术等级暨职业技能鉴定培训教材》之一。

本书共十二章,内容包括:电能计量基础知识、互感器、感应式电能计量仪表、电子式电能表、互感器的试验、用电检查和计量装置的运行管理、电能表的校验、电子电能表的校验、预付费电能表、预付费电能表故障分析与处理、电能表修理技术、机电脉冲式电子电能表结构与原理。为了便于学习和培训,每章后附有大量复习思考题及习题,并附有答案。

本书为岗位及职业技能鉴定培训教材,也可供相关技术人员及管理人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电能表修校工/吴强,裴陆国主编. —北京:中国水利水电出版社,2009

电力工人技术等级暨职业技能鉴定培训教材. 初、中、高级工及技师、高级技师适用

ISBN 978-7-5084-6159-5

I. 电… II. ①吴…②裴… III. 电度表-检修-技术培训-教材 IV. TM933.407

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 201233 号

书 名	电力工人技术等级暨职业技能鉴定培训教材 (初、中、高级工及技师、高级技师适用) 电能表修校工
总 主 编	丁毓山 徐义斌
作 者	主 编 吴 强 裴陆国 副主编 李 伟 程云峰
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 12.5 印张 296 千字
版 次	2009 年 3 月第 1 版 2009 年 3 月第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	31.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

有关电力工人技术等级及电力行业职业技能鉴定的培训教材已出版了很多,例如,由中国电力企业联合会名誉理事长张绍贤作序,原电力工业部副部长张凤祥和赵庆夫题词的《电力工人技术等级培训教材(初、中、高级工适用)》自1996年由中国水利水电出版社出版以来,已修订两次,共印刷了15次,总印数达100万册以上,深受电力系统广大读者的好评。但是,随着电力体制改革的深入,我国电力网正在向大电网、大电厂、超高压和特高压、核电站、高度自动化的方向发展,输电网和配电网正在经历着一次重大的变革。而变革最深、门类最多、面积最广的领域,还在配电网。110kV以下的配电网络,在网络设备、接线方案、保护元件、运行方式、管理方法、操作工艺等方面,皆有不同程度的更新。可见,我国电力事业的发展速度是惊人的。面对电力系统发展的新形势,以往教材的内容以略显陈旧,特别是有些内容与当代的现实相差较远。为了配合新形势下电力系统人员培训的需要,中国水利水电出版社决定,组织有关专家和培训一线的教师编写这套教材。其编写宗旨是保证编写质量,反映电力新技术、新设备、新方法,以满足当前电力企业的培训要求。全书包含三方面内容:知识、技能、题库。

为此,总主编聘请了辽宁省电力公司、铁岭电力公司、抚顺电力公司、海城供电公司、沈阳电力公司所属法库农电公司和于洪供电公司、沈阳农业大学信息电气工程学院、华北电力大学、中国农业大学信息电气工程学院、沈阳大学有关专家和教授参与编写。编写的原则是不要求面面俱到,力求少而精,抓住重点,深入浅出。电能表修校工是营业用电专业一项重要业务,特别是电子式、脉冲式电能表在广大用户中的推广使用,对本门业务增加了新领域。因此,在编写时我们着重的增加了电子式电能表的工作原理、校验和修理方面的知识。全书共分十二章,其内容包括:电能计量基础知识,互感器,感应式电能计量仪表,电子式电能表,互感器的试验,用电检查和计量装置的运行管理,电能表的校验,电子电能表的校验,预付费电能表,预付费电能表故障分析与处理,电能表修理技术,机电脉冲式电子电能表结构与原理。每章后面皆附有复习思考题与习题,并附有答案。为了配合教学中

使用，在书中标有（*）者，适于中级工使用；标有（**）者，适于高级工、技师、高级技师使用；没有标注者适于初级工。

本书编写人员有：吴强、裴陆国、李伟、程云峰、周丽、刘宁、冯勃、李奎生、刘延森、张大勇、龙云、赵博、张斌、刘挺、董洪阳、董崇、宗凉、周鑫、黄书红。

参加本书部分编写工作的还有张强、王卫东、石威杰、贺和平、潘利杰、张娜、石宝香、李新歌、尹建华、苏跃华、刘海龙、李小方、李爱丽、王志玲、李自雄、陈海龙、韩国民、刘力侨、任翠兰、张洋、李翱翔、孙雅欣、李景、赵振国、任芳、吴爽、李勇高、杜涛涛、李启明、郭会霞、霍胜木、李青丽、谢成康、马荣花、张贺丽、薛金梅、李荣芳、孙洋洋、余小冬、丁爱荣、王文举、徐文华、李键、孙运生、王敏洲、杨国伟、刘红军、白春东、魏健良、周凤春、董小玫、吕会勤、孙金力、孙建华、孙志红、孙东生、王惊、李丽丽等。

作者虽尽了很大努力，但疏漏之处定然难免，深望广大读者多加批评指正。

作 者

2009年2月于沈阳

目 录

前言

第一章 电能计量基础知识	1
第一节 电能计量的地位及其管理规定	1
第二节 计量法及计量检定	3
第三节 法定计量单位及误差	6
第四节 各种电表的功能	10
复习思考题及习题	12
第二章 互感器	14
第一节 电压互感器基本结构	14
第二节 电压互感器工作原理与接线方式	15
第三节 电流互感器基本结构	17
第四节 多抽头电流互感器	22
复习思考题及习题	24
第三章 感应式电能计量仪表	28
第一节 感应式电能表的结构和工作原理	28
第二节 电能表的接线与安装	32
第三节 计量装置管理	38
第四节 电能表客户	41
复习思考题及习题	46
第四章 电子式电能表	50
第一节 模数转换电路	50
第二节 运算放大器基础知识	55
第三节 输入电路与乘法器电路	57
第四节 电压频率转换电路 (U/f)	61
第五节 数字功率表和数字电能表	61
第六节 电子式电能表的参数	64
第七节 实现分时计量功能的数字电路	67
第八节 IC卡式电能表的工作原理	72
第九节 看门狗电路	75
第十节 电子电能表的选购	77

第十一节 单相电子式电能表的数据及接线	79
复习思考题及习题	81
第五章 互感器的试验	84
第一节 电压互感器试验	84
第二节 电流互感器的检定	87
复习思考题及习题	90
第六章 用电检查和计量装置的运行管理	93
第一节 计量装置管理的有关问题	93
第二节 电能计量装置运行中管理方法	100
第三节 电能计量装置常见故障及处理方法	101
第四节 用电检查的一般性叙述	104
第五节 用电检查管理办法	106
第六节 反窃电和电能表的现场校验	109
复习思考题及习题	113
第七章 电能表的校验	116
第一节 校验方法及一般要求	116
第二节 感应式单相有功电能表检定工作	118
第三节 感应式三相有功电能表的检定	121
第四节 最大需量与复费率电能表检定	122
第五节 感应式电能表的调整装置	124
第六节 低压表现场校验	127
第七节 高压表现场校验	130
复习思考题及习题	131
第八章 电子电能表的校验	133
第一节 标准电能表	133
第二节 电子式电能表的校验技术	134
第三节 电子式电能表校验装置	141
复习思考题及习题	144
* 第九章 预付费电能表	147
第一节 预付费电能表的工作原理	147
第二节 预付费电能表常规检验项目	149
复习思考题及习题	155
* 第十章 预付费电能表故障分析与处理	157
第一节 计度器计量故障	157
第二节 电子显示器与其他几种故障	159
第三节 单片机与通信接口故障	161

第四节	继电器与功率超限	162
复习思考题及习题		162
第十一章	电能表修理技术	164
第一节	感应电能表的修理技术	164
第二节	电子电能表的修理技术	172
复习思考题及习题		182
** 第十二章	机电脉冲式电子电能表结构与原理	184
第一节	单向脉冲式电能表	185
第二节	双向脉冲式电能表	189
第三节	机电式电子复费率电能表	190
复习思考题及习题		191

第一章 电能计量基础知识

第一节 电能计量的地位及其管理规定

一、电能计量的地位

电能是国民经济、工业、商业等人民生活的重要二次能源，电能是在现代社会中普遍使用的能源，不管是工业、商业、交通运输业还是公用事业，农业以及日常人民生活等，都是离不开电能的，如果一个现代化社会，如没有电能是没法生存下去的，所以一个国家是否发达，可以看它的电气化程度和现代化的水平以及电力工业发展是否满足国民经济和人民生活的需求。电能这个商品和其他商品有着不同转化的地方。电能表面是看不见的，但它的能力是强大的，它可以产生强大的动力，可以产生很高的温度，可以产生猛烈的光亮等。电力的生产和其他产品的生产不同，其特点是发电厂发电、供电部门供电、用户用电这三个部门是连成一个系统，不能间断地同时完成，而且是互相紧密联系缺一不可，既然如此，它们互相如何销售，如何经济计算，需要一个计量器具在三个部门之间进行测量计算出电能的数量，这个装置就是电能计量装置，主要由电能表和电流、电压互感器构成。没有它，在发、供、用电三个方面就无法进行销售、买卖，所以电能计量装置在发、供、用电的地位是十分重要的。

如中国参加了世界贸易后，电能计量装置就更显得重要，因为国外要求合理准确计收电费，特别是那些独资厂或合资厂就更加重视电能计量装置。

二、计量法中电能计量管理规定

《中华人民共和国计量法》为基本法的计量法规，这是我国法制建设上的一件大事，是把我国计量管理工作纳入法制轨道的一个重要步骤。以法律的形成确定了计量管理的模式、基本准则以及监督管理的依据。它既能保障人民的利益，又维护国家和消费者等方面利益。

(1) 加强计量监督管理，保障国家计量单位制的统一和量值的准确可靠，有利于生产、贸易和科学技术的发展，维护国家、人民的利益。

(2) 在中华人民共和国境内建立计量基准器具、计量标准器具，进行计量检定、制造、修理、销售、使用计量器具。

(3) 国家采用国际单位制，国际单位制计量单位和国家选定的其他计量单位，为国家法定计量单位。非国家法定计量单位应当废除。

(4) 制造、修理计量器具的企业、事业单位；必须具备与所制造、修理的计量器具相适应的设施，人员和检定仪器、仪表设备。

(5) 制造计量器具的单位要领取《制造计量器具许可证》，修理计量器具的单位要

领取《修理计量器具许可证》。无以上许可证的工商行政管理部门不予以办理营业执照。

(6) 制造或修理计量器具，其产品质量的检验人员必须有可靠的考核和发放合格证，并定期考核。

(7) 没有合格证的或不合格的制造、修理、销售的计量器具，属于违法，应没收违法所得，可以并处罚款。如造成人身伤亡或者重大财产损失的，对照《刑法》第一百八十七条的规定，对个人或者单位直接责任人员追究刑事责任。

三、电能计量装置规程中设计、安装规定

电能计量装置的设计安装应依据我国的有关规程规定和具体情况以及实际运行经验进行设计、安装，其要求如下：

1. 电能计量装置装设原则

电能计量装置在设计时要按以下供电部门与用电户的分界处进行装设

(1) 一般用电户计费电能计量装置应装在供用电资产分界处。

(2) 专线用电户计费电能计量装置应装在供用电资产分界处，即装设在变电所出线柜，但为了维护和抄表管理方便，一般是装置在用电户处，并加装线损表或计收线损电量电费。

(3) 设计电能计量装置应按签订供用电协议的明确计费点和计算方法进行设计电能计量装置分界处的表位。

(4) 对所辖范围内新建、扩建和改建工程中有关电能计量装置的设计不符合规定要求的不准施工，施工的也不准投入运行，并且要迅速整改合格。

2. 电能计量装置设计

电能计量装置设计时，要根据用电户的供电方式和不同电价，分别设计安装电能计量装置。

(1) 同一用电户而其用电内容有不同电价的用电户，应分别设计安装不同的电能计量装置。

(2) 同一用电电价的多个用电户（具有法人资格）可视情况，分户设计安装电能计量装置。

3. 低压电能计量装置安装

低压电能计量装置安装位置（以下简称表位）在设计安装时规定如下：

(1) 低压供电的电能计量装置的表位应设计安装在干燥、清洁、明亮、不易损坏、没有振动、无腐蚀性气体、不受强磁场影响、便于装拆表和抄表的地方。

(2) 低压三相供电的用电户电能计量装置的表位应设计安装在屋内，即进门后 3m 范围内。

(3) 低压单相供电的用电户，电能计量装置的表位应设计安装在屋外，凡城市规划指定的主要道路两侧，应装设在屋内。

(4) 基建工地和临时用电户电能计量装置的表位应设计安装在屋外，并且宜装设在固定的建筑物上或变压器台架的杆上固定。

(5) 农村用电的电能计量装置表位，一般设计安装在变压器低压侧首端，如因条件限

制，表位离变压器不能超过 20m。

(6) 居民住宅用电户，每梯间 15 户及以上的，应留设计专用表房，专用表房内的操作通道的安全净距，单列为 1.2m，双列为 1.8m，高度不少于 2.5m。同时，应有良好的自然通风和透光度。专用表房的预留面积按每 8~10 户应预留 1m² 的建筑面积。

(7) 凡未有电梯的高层住宅用电户，其电能表应设计安装在首层表房内。

(8) 高层建筑住宅实行公用变压器供电、分层装表，每户一表在首层装集中抄表装置。

4. 低压电能表的表箱表位的规定

设计安装表箱表位的高度应方便装拆表和抄表，并应考虑安全因素。

(1) 单户表箱的底部对地面的垂直距离一般为 1.7~1.9m。

(2) 多户表箱的底部对地面的垂直距离一般为 1.7~1.9m。如装设在表房内表箱的底部对地面的垂直距离不得少于 0.8m。

(3) 单户表箱安装布置原则采用横排一列式，如因条件限制，允许上下两列（或个）布置，但上表箱底对地面垂直距离不应超过 2.1m。

第二节 计量法及计量检定

一、《中华人民共和国计量法》的立法宗旨

《中华人民共和国计量法》在 1986 年 7 月 1 日起施行，标志着我国的计量工作正式纳入了法制管理的轨道，步入了一个新的发展阶段。《中华人民共和国计量法》作为国家管理计量工作的基本法，是国家实施计量监督管理的重要依据，其立法宗旨就是为了加强计量监督，保障国家计量单位制的统一和量值的准确可靠，促进生产、贸易和科学技术发展，适应社会主义现代化建设的需要，维护国家、法人和公民的利益。

二、计量标准

1. 计量器具

计量器具是指能用以直接或间接测出被测对象量值的装置、仪器仪表、量具和用于统一量值的标准物质，包括计量基准、计量标准、工作计量器具。也就是指可单独地或与辅助设备一起用以进行测量的器具称为计量器具。计量器具具有测量范围（或规格）、准确度、灵敏度和稳定性等特性。

2. 计量工作的特性

计量工作的特性是统一性、准确性、社会性和法制性。

3. 测量与计量

为确定被测对象的量值，即对被测量的大小和单位而进行的试验过程。计量是测量的一种特殊形式，是把被测量与国家基准或标准的单位进行比较，以确定合格或不合格，最后给出具有法律效应的“检定证书”或“不合格通知书”，以保证单位的统一和量值的准确可靠性。

(1) 直接测量。凡是能用仪器、仪表直接得出结果的测量都称为直接测量。

(2) 间接测量。凡不能用仪器、仪表直接测出或直接测量很复杂，一般采取先测出一些与待测量有关的量，然后根据已知的函数关系求出待测量，称为间接测量。

4. 计量检定

查明和确认计量器具是否符合法定要求的程序。凡对具体的计量器具进行量值传递，并评定该计量器具的性能，如准确度、灵敏度和稳定度等是否合格所做的一系列工作（包括加标记和出具检定证书）称为计量检定。

(1) 强制检定。由县级以上人民政府计量行政部门所属或者授权的计量检定机构，对用于贸易结算、安全防护、医疗卫生、环境监督方面，并列入《中华人民共和国强制检定工作计量器具目录》的计量器具，实行定点、定期（周期）检定称为强制检定。

(2) 定期检定。定期检定也称为周期检定，是对计量器具、精密仪表到约定校验周期时进行的例行检定，一般在标准条件下进行，检定的内容包括准确度、灵敏度、稳定性、输入特性、抗干扰特性等技术指标，以保证它们能准确、可靠地投入使用。

(3) 修理后检定。对损坏的计量器具或精密仪表修复后进行的检定，检定内容除定期检定所规定的项目外，一般可按检修内容增加一些检定项目，确认修理后的计量器具或精密仪表的功能恢复程度，以保证使用的可靠性、稳定性。

(4) 验收检定。对新购入的计量器具或精密仪表，包括对进口产品所进行的检定，除了要做形式试验所规定的项目外，还应包括外观检查，装配工艺检查等项目。

(5) 首次检定。对未曾检定过的新计量器具进行的一种检定为首次检定。

(6) 后续检定。除首次检定外的任何一种检定，如周期检定，修理后检定等都称为后续检定。

5. 计量标准

计量标准器具简称为计量标准，计量标准的作用是将计量基准的量值传递到工作计量器具。它是量值传递中的重要环节。实际使用时，因计量器具的准确度相差很大，所以多数计量标准都根据客观需要分成若干等级，并按检定系统规定的要求分别使用。

(1) 次级标准和参考标准。次级标准是指通过与相同量的基准比对而定值的测量标准。有时副基准、工作基准亦称次级标准；参考标准是指在给定地区或在给定组织内，通常具有最高计量学特性的测量标准，在该处所做的测量均从它导出。

(2) 工作标准和传递标准。工作标准是指用于日常校准或核查实物量具、测量仪器或参考物质的测量标准。工作标准通常用参考标准校准。传递标准是指在测量标准相互比较中用作媒介的测量标准。当媒介不是测量标准时，应该用术语——传递装置。

(3) 搬运式标准。搬运式标准是指供运输到不同地点时具有特殊结构的测量标准。如由电池供电的便携式频率标准。

(4) 计量标准考核的内容。计量标准考核主要包括下列四个方面的内容：

(1) 计量标准器及配套设备齐全、技术状况良好，并经指定计量检定机构检定合格。

(2) 开展量传工作的环境条件符合计量检定规程的要求。

(3) 配备具有相应项目的持证计量检定员。

(4) 具有完善的规章制度。

三、计量基准

1. 基准

基准是计量的原始依据和最高标准，具有最高的计量学特性。按其作用和用途可分为国家基准、副基准和工作基准。

2. 国家基准

在特定计量领域内，用来复现和保存计量单位，并具有最高计量学特性，经国家鉴定并批准，作为统一全国计量单位量值最高依据的计量器具。

3. 副基准

通过与国家基准比对或校准来确定其量值，并经国家鉴定批准的计量器具。副基准在全国作为复现计量单位，在国家检定系统中的地位仅在国家基准之下。

4. 工作基准

通过与国家基准或副基准比对或校准，并经国家鉴定，实际用以检定计量标准的计量器具。设立工作基准的目的主要是为了不便国家基准与副基准由于频繁使用而丧失其应有的计量学特性。

四、计量标准的作用

1. 标准在国家计量检定系统中的地位

按国家计量检定系统规定的准确度等级，用于检定较低等级计量标准器具或工作计量器具的计量器具称为标准。计量标准在国家计量检定系统中的地位在工作基准之下，在工作计量器具之上。

2. 标准量值传递

各地区或各部门所使用的计量标准器具和上级标准相对比，若对比结果其误差在允许范围内，这些标准器具就可以作为该地区或部门的计量器具的标准，下一级的标准器具与上述标准器具进行对比，若误差在允许范围内，就可以作为更下一级的标准器具。这样逐级对比，逐级传递，直至工作量具。这个过程称为量值传递。

3. 量值溯源

自下而上的追踪计量标准的过程。我国规定所有测量设备都应最终可溯源到国际或国家的测量标准进行校准。如果这样的标准不存在，则应溯源到国际上承认的相关领域的其他测量标准。

4. 检定证书

通过法定要求的程序，查明和确认计量器具是否符合法定要求的检定而出具的证明计量器具已经过检定，并获满意结果的文件。

5. 不合格通知书

声明计量器具经过检定而确认其不符合有关法定要求的文件。

五、校准

在规定条件下，为确定测量仪器或测量系统所指示的量值或实物量具或参考物质所代表的量值，与对应的由标准所复现的量值之间关系的一组操作。操作过程可以包括：标准或规程的选择，额定操作条件及外界干扰的处理，操作过程与记录及其有效性的判定，出

具校准报告或校准证书等。

第三节 法定计量单位及误差

一、计量单位与单位制

1. 计量单位

计量单位就是为了定量表示同种量的大小而约定的定义和采用的特定量。具有明确的定义、名称和符号，其数值为 1（如 1m、1kg、1s 等），用以量度同类量大小的标准量。我国规定采用国际单位制。

2. 单位制

为给定量制按给定规则确定的一组基本单位和导出单位称为计量单位制，简称单位制。而量制就是彼此间存在确定关系的一组量。

3. 简述国际单位制

由国际计量大会（CGPM）采纳和推荐的一种一贯单位制其国际通用符号为 SI。其中米（m）、千克（kg）、秒（s）安培（A）、开尔文（K）、坎德拉（cd）、摩尔（mol）等 7 个单位，并和其导出单位以及 SI 单位的倍数单位构成国际单位制。

4. 我国使用的法定计量单位

我国法定计量单位是以国际单位制为基础，同时选用一些符合我国国情的非国际单位制单位所构成的。其构成如下：

- (1) 国际单位制单位。
- (2) 国际单位制单位的倍数单位。
- (3) 国家选定的作为法定计量单位的非国际单位制单位。
- (4) 由以上单位构成的组合形式的单位。

5. 法定计量单位的使用

根据《中华人民共和国计量法》的要求，我国采用国际单位制计量单位和国家选定的其他计量单位为国家法定计量单位。凡是从事社会化的、公众化的、国际化的活动和宣传过程中如使用到计量单位的，必须使用国家法定计量单位。

二、误差

1. 绝对误差

绝对误差也称为测量误差，是测量结果减去被测量的真值。如指示值与被测量的实际值 A_x 之间的差值叫做绝对误差，若用 ΔA 表示，则 $\Delta A = A_x - A_0$ 。

2. 修正值

用代数方法与未修正测量结果相加，以补偿其系统误差的值称为修正值。是与绝对误差大小相等，符号相反的量值，用 C_x 表示则 $C_x = -\Delta A = A_0 - A_x$ ，即被测量的约定真值 A_0 减去被测量的指示值 A_x 。

3. 相对误差

测量误差除以被测量的真值。如指示值 A_x 与被测量的实际值 A_0 之差和实际值 A_0 之

比的百分数叫做相对误差，即

$$\delta = \frac{A_x - A_0}{A_0} \times 100\%$$

4. 引用误差

引用误差也叫满刻度相对误差，是指示值 A_x 与被测量的实际值 A_0 之差和仪表的满刻度值 A_m 之比的百分数，即

$$\gamma = \frac{A_x - A_0}{A_m} \times 100\%$$

5. 电能表的基本误差

电能表在参比条件下测量的相对误差，称为电能表的基本误差。

6. 方法误差

测量时所依据的理论不严密，或测量方法不够完善，或使用了某些近似公式等引起的误差，称为方法误差。

7. 系统误差

系统误差是指在重复条件下，对同一被测量进行无限多次测量所得结果的平均值与被测量的真值之差。其误差的大小和符号具有恒定偏向或按某一确定的规律变化。造成系统误差的主要原因有工具误差、方法误差、环境误差和人为误差等几个方面。

8. 偶然误差

偶然误差也称随机误差，是指测量结果与在重复的条件下，对同一被测量进行无限多次测量所得结果的平均值之差，称为偶然误差。误差的量值变化没有规律可循，不可预知，例如量值时大时小，符号有正有负。随机误差服从于统计规律，即有如下几点：

- (1) 有界性。超过一定限度的误差出现的概率为零。
- (2) 单峰性。绝对值小的误差，比绝对值大的误差出现几率高。
- (3) 对称性。当测量次数足够多时，正、负误差出现几率相等。

9. 粗大误差

粗大误差也称为疏失误差，其数据异常。这类误差主要来源于仪器故障、不正确的操作或试验条件突变、操作人员粗心、读数错误、记录错误等。

10. 环境误差

如在测量时所规定的标准环境条件包括温度、湿度、气压、振动、灰尘、电磁场、光照等条件发生变化而超出标准条件使测量产生的附加误差。

11. 电能表的基本误差特性曲线

电能表的基本误差随负载电流和功率因数变化的关系曲线称为基本误差特性曲线，也称为负载特性曲线。

三、测量精度

1. 准确度

准确度是测量结果中系统误差与随机误差的综合，表示测量结果与真值之间的一致程度。

2. 正确度

表示测量结果中系统误差大小的程度，它反映了测量过程中所有系统误差的综合。

3. 精密度

在规定的条件下获得的各个独立观测值之间的一致程度。

4. 不确定度

表示合理地赋予被测量之值的分散性与测量结果相联系的参数。表示被测量的真值所处的量值范围的评定。是以测量结果为中心，用它估价测量结果与真值相符合的程度。

5. 误差和不确定度的区别

误差是以真值为中心，它反映了测量结果与真值的差异，而不确定度是以测量结果为中心，用它来估价测量结果与真值的符合程度。因为，误差本身是不确定的，真值通常也是未知的，所以用不确定度来评价测量的质量是比较科学的。

6. 真值与约定真值

当某量值能被完善地确定，并能排除所有测量上的缺陷时，通过测量所得到的量值称作真值。真值是理想的概念，通常是测不出的。实际工作中，对于给定目的而言，被认为充分接近真值，可用以代替真值的量值，称为约定真值。

7. 系统误差包括的内容

- (1) 工具误差。
- (2) 装置误差。
- (3) 人员误差。
- (4) 方法误差（或称理论误差）。
- (5) 环境误差。

四、计量单位与误差的计算举例

【例 1】 励磁电流表的读数为 1500A，已知仪表在该温度点修正值是 -4.5A，在使用温度下的附加误差应是 2.5A，但由于导线电阻与规定值不相符，在使用温度下引起的附加误差是 -3.5A，求仪表在该值的相对误差。

$$\Delta I = \Delta I_1 + \Delta I_2 + \Delta I_3 = -4.5 + 2.5 - 3.5 = -5.5$$

$$\text{相对误差为 } \gamma = \Delta I / I \times 100\% = \frac{5.5}{1500 - (-5.5)} \times 100\% = -0.37\%$$

【例 2】 用 2.5 级电压表的 200V 档，在额定工作条件下测量某电压值，其指示值为 175.0V，试求测量结果可能出现的最大相对误差，并指出实际值的范围。

$$\text{绝对误差: } \Delta = 2.5\% \times 200 = 5 \text{ (V)}$$

$$\text{相对误差: } \gamma = \pm \frac{5}{175} \times 100\% = \pm 2.86\%$$

$$\text{实际值的范围为: } (175 - 5) \leq A \leq (175 + 5)$$

即在 170~180V 之间。

【例 3】 欲测量 60mV 电压，要求测量误差不大于 0.4%，现有两块电压表，一块量程为 0~75mV，0.2 级毫伏表，一块量程为 0~300mV，0.1 级毫伏表，问应选哪一块毫伏表，并说明理由。

量程为 0~75mV, 0.2 级毫伏表的允许误差 $\Delta_1 = 75 \times 0.2\% = 0.15 \text{ (mV)}$

量程为 0~300mV, 0.1 级毫伏表的允许误差 $\Delta_2 = 300 \times 0.1\% = 0.3 \text{ (mV)}$

而测量 60mV 电压的误差要求不大于 0.4%

$$\Delta = 60 \times 0.4\% = 0.24 \text{ (mV)}$$

所以应选用 75mV, 0.2 级毫伏表。

【例 4】 在标准的工作条件下, 用一只测量上限为 200V 的 0.5 级电压表测量 100V 左右的电压时, 绝对误差的极限值是多少? 相对测量误差的极限值是多少?

绝对误差的极限值取决于电压本身

$$\Delta U_N = U_N Y_N = 200 \times 0.005 = 1.0 \text{ (V)}$$

相对测量误差的极限值与被测量的大小有关

$$\gamma = \frac{\Delta U_N}{U} \times 100\% = \frac{1.0}{100} \times 100\% = 1.0\%$$

【例 5】 在标准工作条件下, 用一只测量上限为 100V 的 0.5 级电压表测量 50V 左右的电压时, 绝对误差的极限值是多少? 相对误差的极限值是多少?

绝对误差的极限值取决于电压表本身

$$\Delta U_N = U_N Y_N = 100 \times 0.005 = 0.5 \text{ (V)}$$

相对误差的极限值与被测量的大小有关

$$\gamma = \frac{\Delta U_N}{U} \times 100\% = \frac{0.5}{50} \times 100\% = 1\%$$

【例 6】 某电阻经高等级标准检定, 其实际值为 1000.06Ω , 用普通电桥测量时, 其测量结果为 1000.03Ω , 求测量误差。

已知 $X_0 = 1000.06$ $X = 1000.03$

测量误差为

$$\Delta X = X - X_0 = 1000.03 - 1000.06 = -0.03 \text{ (}\Omega\text{)}$$

【例 7】 利用测量电压和电阻的方法, 根据公式 $P = \frac{U^2}{R}$ 计算功率时, 已知电压 $U = 100\text{V}$, 修正值 $+0.2\text{V}$, 电阻为 50Ω , 修正值为 -0.2Ω , 若不进行修正时, 求功率测量误差及功率实际值。

设功率测量误差为 γ_P

$$\gamma_P = 2 \frac{\Delta U}{U} - \frac{\Delta R}{R} = \left(2 \times \frac{0.2}{100} - \frac{-0.2}{50} \right) \times 100\% = 0.8\%$$

功率的实际值为 P

$$P = \frac{U^2}{R} (1 - \gamma_P) = \frac{100^2}{50} \left(1 - \frac{0.8}{100} \right) = 198.4 \text{ (W)}$$

【例 8】 同一条件下, 6 次测得某点电压为 100.3V, 100.0V, 100.1V, 100.5V, 100.7V, 100.4V, 求平均测量值和标准偏差。

$$\text{平均值 } \bar{X} = \frac{1}{6} (100.3 + 100.0 + 100.1 + 100.5 + 100.7 + 100.4) = 100.3 \text{ (V)}$$

$$\text{标准偏差 } S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n - 1)} \approx 0.26 \text{ (V)}$$