

配电自动化 试验与检测

陈彬 黄建业 张功林 高原 编著

PEIDIAN ZIDONG HUA
SHIYAN YU JIANCE



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

配电自动化 试验与检测

陈彬 黄建业 张功林 高源 编著

PEIDIAN ZIDONG HUA
SHIYAN YU JIANCE



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

当前国内配电自动化建设与改造规模快速增长,新设备新技术应运而生,而关于配电自动化设备、系统及联调试验检测方面的出版物少之又少,本书编写组总结近年来的工作经验,致力于填补这一空白。

本书共7章,包括配电自动化试验基础知识、配电自动化终端试验、配电线路故障指示器试验、配电自动化主站测试、配电自动化集成联调测试、配电自动化相关新设备试验和配电自动化试验新技术及应用。

本书适用于供电企业和生产制造企业中从事配电自动化系统设计、制造、检修、试验、科研的专业技术人员和管理人员,还可供大专院校相关专业广大师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

配电自动化试验与检测/陈彬等编著. —北京:中国电力出版社,2017.11
ISBN 978-7-5198-1249-2

I. ①配… II. ①陈… III. ①配电自动化—试验 ②配电自动化—检测
IV. ①TM76

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第251082号

出版发行:中国电力出版社

地 址:北京市东城区北京站西街19号(邮政编码100005)

网 址:<http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑:罗翠兰(010-63412428)

责任校对:闫秀英

装帧设计:张俊霞 左 铭

责任印制:邹树群

印 刷:三河市航远印刷有限公司

版 次:2017年11月第一版

印 次:2017年11月北京第一次印刷

开 本:710毫米×980毫米 16开本

印 张:14

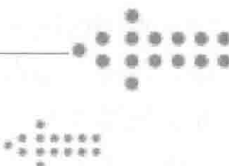
字 数:240千字

印 数:0001—1500册

定 价:66.00元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换



前言

作者团队从 2007 年起专注于配电技术研究与工程实践，恰逢 2008 年国内开始发展建设智能电网，配电自动化是智能配电网的一个重要特征，国内配电自动化建设与改造规模快速增长，时至今日，各类配电自动化新设备、新技术、新功能仍层出不穷。想要系统性地了解配电自动化相关技术的读者，可以参阅作者团队编写的《配电自动化系统实用技术》一书，该书详细地论述了配电自动化系统（含主站、子站、终端）的规划建设、设计选型、安装调试、系统验收、运行管理、检测试验等全过程各环节的内容，并阐述了当下供电企业一线技术和管理人员较为关心的配电网系统故障特征与处理技术、国内配电环节智能技术，以国内外配电自动化工程实例和智能配电网工程实例等。

在配电自动化如火如荼的发展进程中，如何防止配电自动化设备和系统“带病入网”和“带病运行”，如何使配电自动化从业人员掌握实用的试验检测技能，这些无疑是当前供电企业面临的紧迫需求。然而，较为系统全面地介绍配电自动化试验检测的理论与实践的专著少之又少。作者团队十年来在配电自动化领域针对各类设备、系统、工程等，开展了大量实验室内和现场的试验和检测，并开展了多种检测技术的研究与成套试验装置的开发。本书既是作者团队的长期试验和检测经验的总结，也是自身研究和开发成果的汇编，希望能为我国配电自动化健康发展做出应有的贡献。

本书是一本全面而深入论述配电自动化试验检测的理论和实践的著作。本书紧密结合配电自动化生产和运行实际，从实验室检测和现场检测的角度详细描述了配电自动化终端、故障指示器、配电自动化主站、配电自动化系统联调及相关新设备的试验系统、试验条件、试验项目及方法、试验类别及规则、试验方案及报告编制、试验典型案例及问题分析等知识。最后详细阐述了其研究并提出的检测新技术和相应开发的检测平台及系统，并针对终端、主站、联调、网络仿真等都介绍了相应的应用方法及实际成效。

本书共 7 章，包括配电自动化试验基础知识、配电自动化终端试验、配电线路故障指示器试验、配电自动化主站测试、配电自动化集成联调测试、配电自动化相关新设备试验和配电自动化试验新技术及应用。

本书由国家电网福建省电力有限公司电力科学研究院陈彬高级工程师任主编，负责全书内容的修改、审定工作，并执笔第2章和第7章部分内容。黄建业执笔第1章、第5章、第6章部分内容、第7章部分内容；张功林执笔第2章部分内容、第4章、第7章部分内容；高源执笔第3章、第6章部分内容、第7章部分内容。在此，感谢福州大学、国网福建电力科学研究院电气工程领域工程硕士专业学位研究生联合培养基地黄妍妍、郑闻文、江思杰等同志认真细致地完成书稿部分插图绘制和文字编校工作，同时也对书中所列参考文献的作者表示感谢。

由于编者水平有限，书中不妥或疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

陈彬

于八闽榕城

2017年8月

目 录

前言

第1章	配电自动化试验基础知识	1
1.1	配电自动化系统组成与运行	1
1.2	配电自动化试验分类及组织	5
1.3	试验误差	8
1.4	测量不确定度	15
第2章	配电自动化终端试验	29
2.1	试验系统	29
2.2	试验条件	31
2.3	试验项目及方法	32
2.4	试验方案及报告编制	46
2.5	试验典型案例及问题分析	53
第3章	配电线路故障指示器试验	57
3.1	试验系统	58
3.2	试验条件	60
3.3	试验项目及方法	62
3.4	测试方案及报告编制	77
3.5	试验典型案例及问题分析	80
第4章	配电自动化主站测试	83
4.1	测试系统	83
4.2	测试项目及方法	86
4.3	测试分类及规则	94
4.4	测试方案及报告编制	101
4.5	测试典型案例及问题分析	105
第5章	配电自动化集成联调测试	109
5.1	配电自动化系统集成类型	109

5.2	测试装备	111
5.3	测试条件	114
5.4	测试项目及方法	115
5.5	测试方案及报告编制	125
5.6	测试典型案例及问题分析	129
第6章	配电自动化相关新设备试验	133
6.1	配电自动化新设备类型及应用	133
6.2	分界开关试验	136
6.3	分布智能型终端试验	145
第7章	配电自动化试验新技术及应用	162
7.1	配电自动化终端检测新技术	162
7.2	配电自动化主站检测新技术	177
7.3	配电线路故障指示器检测新技术	186
7.4	配电自动化联调新技术	194
7.5	有源复杂配电网仿真试验新技术	203
附录 A	规划供电区域划分表	215
附录 B	t 分布表	216
参考文献		218

配电自动化试验基础知识

1.1 配电自动化系统组成与运行

1.1.1 系统组成

配电自动化 (Distribution Automation, DA) 是指以一次网架和设备为基础, 以配电自动化系统为核心, 综合利用多种通信方式, 实现对配电系统的监测与控制, 并通过与相关应用系统的信息集成, 实现配电系统的科学管理。

配电自动化系统 (Distribution Automation System, DAS) 是实现配电网运行监视和控制的自动化系统, 其组成示意图如图 1-1 所示。它由配电主站、配电终端 [包括馈线终端 (Feeder Terminal Unit, FTU)、站所终端 (Distribution Terminal Unit, DTU)、配变终端 (Transformer Terminal Unit, TTU)]、配电子站 (可选) 和通信网组成, 并通过企业总线与相关生产管理系统互联, 包括地理信息系统 (Geographic Information System, GIS)、生产管理系统 (Power Production Management System, PMS)、营销管理系统、企业资源计划 (Enterprise Resource Planning, ERP) 等。

1. 配电主站

配电主站是配电自动化系统的核心部分, 它主要实现配电网数据采集与监控等基本功能和电网分析应用等扩展功能。配电主站主要由计算机硬件、操作系统、支撑平台软件和配电网应用软件等组成, 通过基于 IEC 61968 的信息交换总线或综合数据平台与上级调度自动化、专变压器及公用变压器监测系统、居民用电信息采集系统等实时/准实时系统实现快速信息交换和共享; 与配电 GIS、生产管理、营销管理、ERP 等管理系统接口, 扩展配电管理方面的功能, 并具有配电网的高级应用软件, 实现配电网的安全经济运行分析及故障分

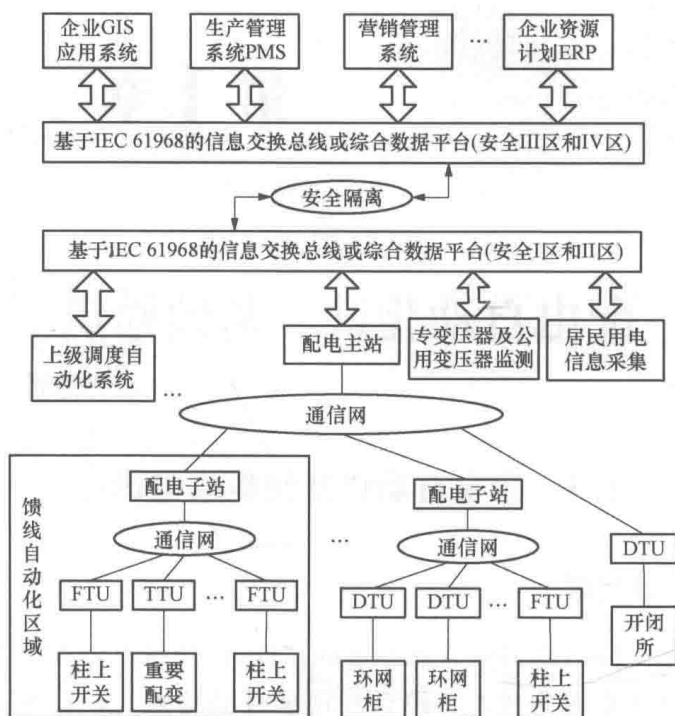


图 1-1 配电网自动化系统组成示意图

析功能等。

2. 配电终端

配电终端是安装于中压配电网现场的各种远方监测、控制单元的总称，随着配电自动化技术的发展，其他类型配电终端还包括配电线路分段控制器、分界开关、“二遥”型故障指示器等。

馈线终端 FTU 是安装在配电网馈线回路的柱上等处并具有遥信、遥测、遥控等功能的配电终端；站所终端 DTU 是安装在配电网馈线回路的开关站、配电室、环网柜、箱式变电站等处，具有遥信、遥测、遥控等功能的配电终端；配变终端 TTU 是用于配电变压器的各种运行参数的监视、测量的配电终端。故障指示器是安装在配电线路上，用于检测线路短路故障和单相接地故障、并发出报警信息的装置。其中，可利用无线或光纤等通信方式进行的故障信息传输的配电线路故障指示器又称为远传型故障指示器，一般由两部分组成：一部分是有通信功能的采集单元；另一部分是汇集单元。采集单元检测短路故障或接地故障，发出故障指示信号，通过短距离通信系统上传至汇集单元；汇集单元接收探头的数据信息，进行分析、编译，并向主站系统转发。带通信功能的故障指示器根据使用场合分为架空线型故障指示器和电缆型故障指

示器，可选择带有电流测量或（和）温度测量功能。

3. 配网通信系统

配网通信系统的主要功能是提供通道，将主站或子站的控制命令准确地传送到为数众多的配电终端，并且将反映远方设备运行情况的数据信息收集到主站或子站，从而实现主站与各子站及远方终端之间的互相通信，传递数据信息、设备状态、控制命令等功能。配电通信系统可以利用专网或公网，以配电主站与配电子站之间的通信通道为骨干层通信网络，以配电主站（子站）至配电终端的通信通道为接入层通信网络。

1.1.2 系统运行

1. 主站系统运行

运行中的配电自动化主站需实时监控配电网的运行状态，包括一次设备的有功、无功、电流、电压值等模拟量，实时量测开关位置、隔离开关、接地开关位置、保护硬接点状态以及远方控制投退信号等其他各种开关量和多状态的数字量，实时量测保护、安自装置、备自投等二次设备数据；以毫秒级精度记录所有电网开关设备、继电保护信号的状态、动作顺序及动作时间，形成动作顺序表；实时监视分析配电自动化终端运行工况，实时统计其在线率、遥控成功率等。一旦配电网出现故障，主站可以选用全自动或半自动馈线自动化模式处理。其中，全自动模式由主站通过收集区域内配电终端的信息，判断配电网运行状态，集中进行故障定位，自动完成故障隔离和非故障区域恢复供电；半自动模式由主站通过收集区域内配电终端的信息，判断配电网运行状态，集中进行故障识别，通过遥控完成故障隔离和非故障区域恢复供电。主站通过WEB发布配电网实时运行状态、历史数据、统计分析结果、故障分析结果等信息。配电自动化主站同时动态管理着系统运行状态，动态监视服务器CPU负载率、内存使用率、网络流量和硬盘剩余空间等信息；管理着整个主站系统中硬件设备、软件功能的运行状态等。

配电主站由调度中心归口管理。配电主站运行维护人员负责定期对主站设备进行巡视、检查、记录，发现异常情况及时处理。若发现配电终端（子站）、通信通道运行异常，应及时通知有关运行维护部门进行处理。

2. 配电自动化终端运行

运行的终端可以自诊断，异常时能上送报警信息，巡视人员可以通过终端的状态指示灯分析运行终端的“健康状况”。配电终端由运检部门归口管理。配电终端运行维护人员应定期对终端设备进行巡视、检查、记录，发现异常情况及时处理；建立配电终端设备的台账（卡）、设备缺陷、测试数据等记录。

3. 配电线路故障指示器运行

运行时,故障指示器除给主站发送心跳帧外,其余时间均处于休眠状态,当线路发生单相接地或短路故障时,故障指示器苏醒,采集单元经短无线上传故障信息给汇集单元。汇集单元采用双向加密方式,通过无线公网 VPN 专线网络向配电自动化主站发送故障信息,其中录波型故障指示器甚至可发送故障波形数据。配电自动化主站根据反馈的故障信息,综合研判,进行故障定位,并采用短信平台向巡视人员发送故障位置指示。巡视人员可通过短信指示,结合现场故障指示器的故障闪烁翻牌状态开展消缺工作。

配电线路故障指示器现场运维由运检部门归口管理,数据收集和故障研判由调度中心管理。运行维护人员应定期对设备进行巡视、检查、记录,发现异常情况及时处理;建立配电线路故障指示器的台账(卡)、设备消缺、异动等记录。

4. 通信系统运行

配电通信系统运行主要包括要上传遥测和遥信数据等上行数据,下达控制指令和遥调指令等下行数据,并实现网络管理。配电通信由信通部门归口管理。配电通信设备进行运行维护时,如需要中断通道,则应先取得配电主站运行维护人员的同意。当配电通信系统发生异常时,应通知通信运行维护人员及时处理。

5. 系统运行评价

配电自动化系统运行评价可以从实用化水平、供电可靠性水平、协调性水平、经济社会效益水平等方面,进行系统的、客观的分析和评价。

实用化水平评价主要包括主站月平均在线率、配电终端月平均在线率、通信系统及安全防护体系、配电网主要功能应用、馈线故障处理、遥控使用率、遥控成功率、遥信动作正确率、配电线路图完整率、中压设备异动同步更新率等评价指标。主站月平均在线率、配电终端月平均在线率是评价自动化系统设备运行情况的主要指标。通信系统及安全防护体系主要评价通信系统运行情况,包括数据网络安全防护措施和网络安全隔离措施等方面。馈线故障处理主要评价故障定位、隔离以及恢复等功能的实现,从故障定位准确率和隔离成功率等方面进行评价。遥控使用率、遥控成功率、遥信动作正确率主要评价配电自动化系统实用化情况。配电线路图完整率、中压设备异动同步更新率主要评价配电自动化与 PMS、GIS 等系统信息交互能力。

供电可靠性水平评价主要包括提高供电可靠性、降低线损、10kV 线路平均倒闸操作减少时间、10kV 架空线路平均故障定位减少时间、10kV 电缆线路平均故障定位减少时间、非故障区域平均恢复减少时间等评价指标。提高供电

可靠性主要评价配电自动化通过馈线故障处理、设备故障分析与抢修指挥管理等功能应用,减少检修停电和故障停电时间。通过比较配电自动化投运前后线损率年均降低量,评价通过配电自动化应用,优化电网运行方式,导致线损降低程度。10kV 线路平均倒闸操作减少时间主要评价通过配电自动化遥控操作改变电网运行方式,减少现场操作时间。10kV 线路平均故障定位减少时间主要评价通过配电自动化及时发现故障并准确定位,减少人工故障现场检测时间。非故障区域平均恢复减少时间主要评价通过配电自动化隔离故障,快速恢复非故障区域供电,减少停电时间。

协调性水平评价包括一、二次规划建设协调、配电自动化与通信网建设及应用协调。一、二次规划建设协调主要评价配电网规划设计与改造是否同步考虑配电自动化建设需求,通过配电终端同步投运率(含预留安装位置)体现。配电自动化与通信网建设及应用协调主要通过网络误码率和网管系统是否实现配置管理、性能管理、故障管理、安全管理等功能进行评价。

经济效益水平评价包含企业投入产出比、全社会投入产出比等评价指标。企业投入产出比是指配电自动化投资与配电自动化带给企业效益的比值。企业效益包括降低电网运行维护成本、供电可靠增益、降低线损增益和延缓电网投资。按 A+~E 不同供电分区(分类规则见附录)分别计算投入产出比,比较不同供电分区建设配电自动化的经济性。全社会投入产出比指配电自动化投资与配电自动化带给全社会效益的比值。全社会效益包括企业效益和拉动经济效益。

1.2 配电自动化试验分类及组织

1.2.1 试验分类

1. 配电自动化终端设备试验分类

配电终端设备的试验包括功能验证、型式试验、出厂试验、专项检测、到货抽检、交接检测。

功能验证是配电自动化设备根据设计要求对需要完成的功能进行验证,包括验证单个产品模块或组成系统的性能是否满足要求,验证在不同参数下的产品功能,以及验证与不同参数下的其他产品的兼容性。

配电终端设备型式试验是通过对全系列产品在电磁兼容、环境气候以及机械强度等各种试验条件下进行测试,来验证功能的正确度。

配电终端设备出厂试验是通过对其在出厂前进行功能性试验、绝缘测试,

来验证产品的出厂质量。

功能验证、型式试验、出厂试验均由生产厂家组织完成，而为了严格控制产品质量，用户可以根据产品的采购量、质量水平组织专项检测、到货抽检、交接试验。

专项检测是指针对某一批次产品组织的标前或标后检测，为产品的招标或供货提供技术依据，其检测项目可以参照型式试验进行。到货抽检是指成批装置采购到货，或根据装置的运行工况，以批次为单位随机抽取样品进行功能、性能检测，被抽查样品代表整批产品的质量水平。交接试验是设备安装后，移交运维方面开展的检测。

2. 配电自动化主站软件试验分类

按照产生测试数据的来源，主站软件测试可分为黑盒测试和白盒测试。

(1) 黑盒测试。一种以需求和功能规范及界面为基础的测试方法，这种测试方法无须了解整件内部结构，一般对编译完成的执行代码进行测试，通过给定的输入、输出响应来验证软件的功能。

(2) 白盒测试。一种以程序为基础或以程序和需求相结合为基础的测试方法，这种方法必须了解程序的结构而不考虑程序的功能。白盒测试一般由开发软件的研发单位组织，对软件系统源代码的质量进行测试，一般通过专用的软件测试工具来完成。

各种测试方法在配电自动化系统中的应用如图 1-2 所示。针对模块设计的单元测试以白盒测试方法为主，针对子系统设计的集成测试以黑盒结合白盒测试方法为主，针对系统设计和用户协议/需求的系统测试和验收测试以黑盒测试方法为主。



图 1-2 测试方法在配电自动化系统中的应用

3. 配电自动化系统试验分类

配电自动化系统在不同阶段的试验可分为出厂试验和现场联调试验。出厂试验和现场联调试验都要进行功能测试、性能测试、稳定性测试和安全性测试等。

(1) 功能测试是按照配电自动化系统功能规范及有关技术协议文件进行功能验证,具体验证协议中各种功能的完成情况。

(2) 性能测试是按照验收准则结合系统配置进行性能指标测试,这部分主要对系统各项功能的技术指标的实现情况进行测试,对每项指标都要测试足够长的时间,一般连续测试时间不少于 20min。

(3) 稳定性测试主要测试系统运行的稳定性,在出厂试验中应连续测试 72h 以上,在现场联调试验中投入试运行后在设定的工况下连续测试 3 个月,系统不能出现影响正常运行、降低实时性与可靠性等方面的故障。

(4) 安全性测试考虑系统对各种操作的检查、闭锁、记录、权限管理、密码认证、有效性审核、内部误操作、外部恶意攻击、病毒预防检测过滤等方面的防护机制与效能。随着与其他系统的互联以及因特网的融入,系统的安全性显得越来越重要。

1.2.2 试验组织

1. 测试前

测试前,需要准备好测试系统,配备测试仪器仪表及测试软件,配备足够的测试人员,针对测试过程编写测试计划或测试大纲。在测试计划中要明确编写目的,测试背景、测试内容、进度安排、测试设计说明及评价准则等。

2. 测试中

在测试过程中必须严格执行测试计划,测试记录要完备,不能有漏项。

测试计划中要阐述编写的目的、背景,测试内容要列出每一项测试项目的名称、进度安排以及测试的具体内容。

测试的条件要写明测试工作对资源的要求,包括所用到的设备及软件,如测试驱动程序、测试监控程序、仿真程序等。

测试过程要说明测试的控制方式、测试中所使用的输入数据、预期的输出数据、完成此项测试的每一个步骤和控制命令。

测试评价准则中要说明所选择的测试用例能够检查的范围及其局限性,说明用来判断测试工作是否能通过的评价尺度,如合理的输出结果类型、测试输出结果与预期输出之间的允许偏离范围、允许中断或停机的最大次数等。

3. 测试后

测试之后,要对测试内容与结果进行分析,形成测试分析报告,在测试分析报告中要明确编写目的、背景、测试概要、分析摘要及评价。

测试分析报告中的测试概要部分要用表格形式列出每一项测试标识符及其测试内容,并指明实际进行的测试工作内容与测试计划中预先设计内容之间的差别,说明做出这种改变的原因。把本项测试中实际得到的动态输出结果同动态输出的要求进行比较,陈述其中的各项发现。

测试功能的结论阐明系统经过一项或多项测试已证实的能力以及经测试证实的配电自动化系统缺陷和限制,说明每项缺陷和限制对配电自动化系统性能的影响,以及全部测得的性能缺陷的累积影响和总影响。对每项缺陷提出改进建议,评价中说明该项系统功能的开发是否已达到预定目标,能否交付使用。

1.3 试验误差

1.3.1 测量和测量误差的概念

测量指把未知的被测量值通过与已知的相应标准量值进行比较,以求得未知量值的一种实验过程。根据获得被测量值方法的不同,测量一般分为直接测量法和间接测量法两类。

(1) 直接测量法。用仪器仪表直接测量和读取被测值的一种测量方法,如用万用表测电压、电流,用电桥测电阻等。

(2) 间接测量法。指根据直接测量所读取的若干数据,通过一定函数关系计算出测量结果的一种测量方法,如用电阻法测量线圈温升,以及在短时耐受电流能力试验时,通过测量电流和时间,计算焦耳积分值(I^2t)等。

配电自动化试验中涉及的电测量主要有交流电压、交流电流、直流电压、功率、相位、频率等,均采用直接测量法进行测量。

测量中由于一些因素的限制,如测量仪表不准确、测量方法有欠缺、测量者经验不足等都可以使测得的值与被测量的“真值”之间有些差别,这一差别就称为误差。由于测量难免有误差,所以通过测量要得到被测量的真值一般是不可能的,即上述的“真值”只是理论上的,实际上无法得到。没有真值,被测值的误差也就无法计算。为解决此问题,实际测量中将准确等级更高的仪表(仪器)测得的值视为真值。例如,配电自动化试验中,要求配电终端电流、电压准确等级达到0.5%,选用准确等级高两级的万用表,即精度为0.1%或更高,将其测得的值作为相对于测量值的真值,一般称为实际值。

1.3.2 误差的分类

按表示方式和性质等的不同,误差有不同类别。

1. 按表示方式分类

(1) 绝对误差。绝对误差是测量值与被测量真值之差,即

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1-1)$$

式中 Δx ——绝对误差;

x ——测量值;

x_0 ——被测量值。

绝对误差的表示方式可以体现出测量值与被测量实际值之间的偏离程度和方向,但不能确切地反映出测量的准确程度,故还需引出相对误差的概念。

(2) 相对误差。相对误差是绝对误差与被测量真值的比,当测量值误差不大时,也可以近似用绝对误差与测量值的比作为相对误差,通常以百分数表示,即

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\% \approx \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 γ ——相对误差;

Δx ——绝对误差;

x ——测量值;

x_0 ——被测量值。

相对误差通常用来评价测量(或量具及测量仪器)的准确度,相对误差越小,准确度越高。但相对误差却不能用来评价指示仪表的准确度,因为指示仪表可测范围不是一个点,而是一个量程,在仪表标尺的不同部位,其绝对误差是不相同的,即使绝对误差在仪表标尺的全长上保持恒定,随着被测量的减小,相对误差也将增加,且有增至无限大的趋势。这样就使得在仪表标尺的各个不同部位,相对误差不是一个常数且变化很大,因此引出基准误差的概念。

(3) 基准误差。基准误差是指示仪表示值的绝对误差与基准值(测量范围上限)之比,通常用百分数表示,即

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中 γ_m ——基准误差;

Δx ——绝对误差;

x_m ——基准值。

由于仪表各示值的绝对误差不一定相等,因此,为了评价仪表的准确度,

式(1-3)中的分子取仪表示值中的最大绝对误差,则仪表的最大基准误差或仪表的允许误差为

$$\gamma_{m-\max} = \frac{\Delta x_m}{x_m} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 $\gamma_{m-\max}$ ——最大基准误差或仪表的允许误差;

Δx_m ——最大绝对误差;

x_m ——基准值。

2. 按基本性质分类

(1) 系统误差。系统误差是在同一被测量的多次测量过程中,保持恒定或以可预知方式变化的测量误差的分量。系统误差包括已定系统误差和未定系统误差,已定系统误差是指符号和绝对值已经确定的系统误差;未定系统误差是指符号和绝对值未经确定的系统误差。

(2) 随机误差。也称偶然误差,是在同一量的多次测量过程中,以不可预知方式变化的测量误差的分量。它与系统误差不同点在于它的发生和变化是随机的,即相同条件下重复测量同一量值时,误差大小和符号都在变化。

(3) 粗大误差。也称疏失误差,指测得的数据与真值明显不符的一种测量误差,是明显超出规定条件下预期的误差。

1.3.3 误差的表达

在评定误差时,常用的表征量有以下几个。

(1) 方差。方差是无限多个测量误差平方的平均值。由于无限多次测量无法实现,所以总是用有限个测量误差平方的平均值作为方差的估计值。

测量某一参数 x , 测量值的算术平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1-5)$$

式中 $\bar{x}$ ——测量值的算术平均值;

n ——测量次数;

x_i ——第 i 次测量值。

则方差为

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (1-6)$$

由统计理论分析,系统 $\frac{1}{n}$ 应取为 $\frac{1}{n-1}$ 更为合适。

(2) 标准偏差。标准偏差是方差的正平方根值,即