

全站仪的原理及其检定

QUANZHANYI DE YUANLI JIQI JIANDING

杨俊志 编著



测绘出版社

责任编辑: 金 君
朱 伟
封面设计: 赵培璧



ISBN 7-5030-1129-7



9 787503 011290 >

定价: 28.00 元

全站仪的原理及其检定

杨俊志 编著

TH761.2
1/2

测绘出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书较全面、系统地应用测量不确定度理论和术语,阐述了全站仪的测距、测角原理及其计量检定方法。主要包括:最新测距、测角原理;测距部分的检定方法;测角部分的检定方法;全站仪的正确使用等。

本书是作者在近二十年从事光电测距仪、电子经纬仪和全站仪检定方法研究的基础上,查阅了国内外大量文献编著而成。理论、技术先进,内容丰富,资料翔实,可供广大计量检定人员和测绘专业技术人员、研究人员学习,参考;并可作为大专院校测绘专业本科生、研究生的教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

全站仪的原理及其检定/杨俊志编著. —北京:测绘出版社,
2004.5
ISBN 7-5030-1129-7

I. 全… II. 杨… III. ①光电测距仪—理论 ② 光电测
距仪—检定 IV. TH761.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 044689 号

测绘出版社出版发行

(100054 北京白纸坊西街3号)

北京通州区次渠印刷厂印刷·新华书店总店北京发行所经销

2004年7月第一版·2004年7月第一次印刷

开本:890×1240 1/16 印张:10.5

字数:317千字 印数:0001~5000

定价:28.00元

序

这是我国第一本关于全站仪检定方面的著作。它的出版,对全站仪检定工作的开展以及用户更好地了解和使用全站仪是很有意义的,值得祝贺。

该书作者是一位青年科技工作者,1993—1994年在德国波恩大学大地测量研究所进修一年,1994—2000年任国家光电测距仪检测中心副主任,长期从事光电测距仪、电子经纬仪和全站仪的检测与研究工作,在该领域发表了多篇论文,颇有建树。

作者通过自身的长期实践和理论研究并参考了国内外有关资料,用比较规范的术语,在书中深入浅出地介绍了全站仪测角、测距原理,检测方法和技术。书中还反映了像测距仪的鉴别率与分辨率、测距结果不确定度的评定、竖直角测量误差的检定、动态基线的建立以及光电测距仪室内检定等一系列新的研究成果。

作者还指出了现有检定规程中存在的问题,对这些问题发表了自己的意见。仪器检定规程的技术性很强,规程应该随全站仪的发展,随检测技术与相关检测仪器的进步而修订。本书可供修订测距仪与全站仪检定规程时参考。

中南大学教授 博士生导师
张学庄

前 言

全站仪是 1970 年代发展起来的新型测量仪器,它具有测量准确度高,体积小,自动化程度高等优点,是现代化和信息化测量工作最基本的仪器。自 1990 年代初全站仪开始在我国测绘生产、工程建设和施工单位大量使用以来,受到了使用者的广泛欢迎。全站仪结构复杂,其测距和测角准确度又容易受到各种外界和人为因数的影响,为了更好地掌握仪器,发挥仪器的效益,使用者需要对仪器的测距、测角原理和检定方法作系统深入地了解,本书就是为读者提供这方面的参考。

本书是作者在学习测量不确定度理论并结合多年从事光电测距仪、电子经纬仪和全站仪检定方法研究的基础上,吸收国内外许多最新研究成果编著而成。

本书内容,大部分来自文献。其中部分内容是作者的研究结果,作者已发表的论文可以从参考目录中找到出处,有些研究结果还未公开发表,例如 § 3-2 节中的全信号数字测相方法; § 5-4 全站仪距离测量鉴别力的检定; § 5-15 仪器的(测距)准确度与测距结果的不确定度; § 6-10 补偿器补偿误差的检定; § 6-15 一测回竖直角测角标准差等。一些公用知识,作者选自所列参考文献。在参考文献中,尹立博士的博士论文[48],对于本书中某些章节的编写具有较大的启迪作用。

全书可以分为 4 部分。第一、二章主要罗列了测绘仪器计量检定的常用术语及测量结果不确定度的评定方法,这部分内容是从事仪器检定的人员必须掌握的。第三、四章主要介绍全站仪的测距和测角原理,其中仪器测距鉴别力、全信号数字测相方法等都是新内容。第五、六章介绍全站仪测距、测角部分的检定方法。其中幅相误差对测距成果的影响;距离测量重复性偏差;加、乘常数检定结果的不确定度;仪器的测距准确度与测距结果的不确定度;动态基线的建立方法;补偿器补偿误差的检定;一测回竖直角测角标准差及其测量不确定度;一测回水平方向标准差的测量不确定度等均是新内容。第八章以日本索佳公司 SET2110 全站仪为例,讲述了全站仪的基本结构和特点,介绍了正确使用全站仪的方法。

本书可供全站仪的生产、使用和检定人员,以及有关科技人员和大、中专院校学生、研究生阅读和参考。

本书完成之时,作者特别感谢国家光电测距仪检测中心的两位前任主任田伯键研究员、周英武研究员,在他们任职期间对作者的指导、关心和帮助;清华大学杨德麟教授对作者的鼓励与帮助。同时,作者也感谢德国波恩大学大地测量研究所所长 B. Witte 教授,他在作者赴德进修期间提供了指导与帮助;澳大利亚新南威尔士大学 J. M. Rüeger 博士,他为作者提供了有关资料与研究成果。

由于全站仪结构复杂,作者水平有限,书中错误在所难免,恳请读者批评指正。

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 全站仪发展概述	(1)
§ 1-2 全站仪的检定内容	(1)
§ 1-3 测绘仪器计量检定中的常用术语	(2)
§ 1-4 用测量不确定度表述测量结果质量的意义	(4)
第二章 测量不确定度评定与表示	(6)
§ 2-1 测量基本术语及其概念	(6)
§ 2-2 标准不确定度的 A 类评定	(14)
§ 2-3 标准不确定度的 B 类评定	(19)
§ 2-4 测量不确定度的报告与表示	(21)
第三章 全站仪的测距原理	(26)
§ 3-1 测距鉴别力的概念	(26)
§ 3-2 相位法测距的原理	(27)
§ 3-3 脉冲法测距的原理	(31)
第四章 全站仪的测角原理	(34)
§ 4-1 电子测角的基本方法	(34)
§ 4-2 电子细分方法	(37)
§ 4-3 竖轴补偿器的补偿原理	(38)
第五章 全站仪的测距误差分析与检定	(41)
§ 5-1 测距公式	(41)
§ 5-2 距离测量误差源及其分析	(42)
§ 5-3 测距部分检定的目的与内容	(48)
§ 5-4 距离测量鉴别力的检定	(52)
§ 5-5 距离测量重复性标准差的检定	(53)
§ 5-6 发光管相位不均匀性的检定	(54)
§ 5-7 幅相误差的检定	(55)
§ 5-8 电源电压变化引起的测距误差的检定	(58)
§ 5-9 精测尺频率的检定	(58)
§ 5-10 周期误差的检定	(63)
§ 5-11 周期误差检定中几个问题的讨论	(67)
§ 5-12 加常数的检定	(70)
§ 5-13 加、乘常数的检定	(79)
§ 5-14 加、乘常数检定中几个问题的分析	(84)
§ 5-15 光电测距仪的全室内检定法	(87)
§ 5-16 仪器的(测距)准确度与测距结果的不确定度	(90)
§ 5-17 基线场的建立与量值传递	(91)
第六章 全站仪测角部分的误差源与检定	(95)
§ 6-1 经纬仪需要满足的条件	(95)
§ 6-2 水准器水平轴与竖直轴的垂直度	(95)

§ 6-3	补偿器零点差的调整	(97)
§ 6-4	望远镜成像质量的检定	(97)
§ 6-5	度盘偏心差的检定	(99)
§ 6-6	视准轴误差的检定	(104)
§ 6-7	竖盘指标差的检定	(106)
§ 6-8	水平轴倾斜误差的检定	(107)
§ 6-9	竖轴倾斜对水平方向值和竖直角的影响	(110)
§ 6-10	补偿器补偿误差的检定	(111)
§ 6-11	照准部旋转时仪器基座位移而产生的误差的检定	(116)
§ 6-12	竖轴旋转稳定性的检定	(117)
§ 6-13	度盘分划误差及其检定	(119)
§ 6-14	一测回水平方向标准差的检定	(124)
§ 6-15	一测回竖直角测角标准差的检定	(134)
第七章	全站仪的其它检查项目及测距结果的归算	(144)
§ 7-1	全站仪的其它检查项目	(144)
§ 7-2	测距成果的归算	(145)
第八章	全站仪使用举例	(151)
§ 8-1	SET2110 全站仪的结构及主要技术指标	(151)
§ 8-2	测量前的准备工作	(154)
§ 8-3	特殊应用测量程序	(156)
参考文献		(159)

第一章 绪 论

§ 1-1 全站仪发展概述

兼有光电测距、电子测角和测量数据记录的大地测量仪器称为“全站仪”(Total Station),亦称为电子速测仪(Electronic Tachymeter、Electronic Tacheometer)或电子视距仪(Electronic stadia instrument)。第一代全站仪问世于 20 世纪 70 年代,以前西德 OPTON 厂的 Reg Elta14 和前瑞典 AGA 厂的 Geodimeter 700 为典型代表。最初的仪器体积大、重量重、能耗高,在野外作业中使用不够机动灵活。但它们的出现,展示了一种高效的三维坐标测量方法,是大地测量仪器史上具有划时代意义的革命。之后,随着微电子技术的发展,特别是微处理器应用到全站仪上,使其能够对仪器的系统误差进行修正;对其测量过程进行操作和监控;对大量测量数据进行存贮和管理;与计算机实现双向通信;在一些内存容量大的仪器上,甚至将各种测量程序装载到仪器中,使其能够完成特殊的测量和放样工作。今天的全站仪是现代化测量和信息化测量工作最有力的助手。

§ 1-2 全站仪的检定内容

全站仪作为一种计量仪器,在我国已纳入依法管理的计量器具的范围,按照《计量法》的有关规定,必须对其进行检定。依据全站仪的构成,其主要检定项目有如下几部分:

一、测角部分(电子经纬仪)

- (1) 望远镜光学性能,其主要项目包括视场角、放大倍率、鉴别率等;
- (2) 轴系关系正确性;
- (3) 补偿器对水平方向和竖直角度的补偿误差;
- (4) 一测回水平方向标准差;
- (5) 一测回竖直角标准差。

二、测距部分(光电测距仪)

- (1) 三轴(测距光束的发射轴、接收轴及望远镜的视准轴)关系正确性;
- (2) 发光管相位不均匀性;
- (3) 精测尺频率;
- (4) 辐相误差;
- (5) 周期误差;
- (6) 加、乘常数;
- (7) 仪器的测距准确度。

三、其他项目

- (1) 数据记录的正确性;
- (2) 与计算机通讯是否正确;
- (3) 应用软件是否正确。

§ 1-3 测绘仪器计量检定中常用术语

一、检 定

检定是指由法制计量部门(或其他法定授权组织),为确定和证实计量器具是否完全满足检定规程的要求而进行的全部工作。

检定是由国家法制部门所进行的测量,在我国主要是由各级计量院(所)以及授权的实验室来完成。检定是我国开展量值传递最常用的方法,检定必须严格按照检定规程运作,对所检仪器给出符合性判断,即给出合格还是不合格的结论,而该结论具有法律效应。

检定是一项的性质很明确的测量工作,除依据检定规程要给出该仪器是否合格的结论外,有时还要对某些参数给出修正值,以供仪器使用者采用。例如在对全站仪测距部分加、乘常数的检定中,除要依据检定规程给出加、乘常数数值大小供使用者修正测距结果外,还要给出检定时的环境条件和检定结果的不确定度。

检定结果具有时效性和适应性,在使用仪器的检定结果时,要注意检定结果是否在有效期内,并注意区分仪器检定时的环境条件与使用时环境条件的区别。

检定方法一般分为两种:整体检定法和分项检定法。

整体检定法:是将被检仪器直接与标准器具进行比较测量。如用双频激光干涉仪直接对钢卷尺进行检定,确定钢卷尺的尺长方程式。

分项检定法:用误差分析的方法判断被检仪器的符合性。如在全站仪测距部分的检定中,要分别对仪器的周期误差,加、乘常数等项目进行检定,并判断其相应的结果是否满足检定规程的要求。

二、检 测

检测是指对给定的产品、材料、设备、生物、物理现象、工艺过程或服务,按照规定的程序确定一种或多种特性或性能的技术操作。

检测又称为测试或试验,通常是依据相关标准对产品的质量进行检测,检测结果一般记录在称为检测报告或检测证书的文件中。

检测需要对仪器所有的性能指标进行试验,它除包含检定的所有项目外,还包括其他一些在检定中不进行检定的项目。例如全站仪的检测中,幅相误差的测试、仪器高低温试验和振动试验等,在全站仪的检定中就不是必检项目,而在全站仪的检测中,则为必检项目。

三、校 准

校准是在规定条件下,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。

校准是由组织内部或委托其他组织(不一定是法定计量组织),依据可利用的公开出版规范,组织编写的程序或制造厂的技术文件,确定计量器具设备的示值误差,以判定是否符合预期使用要求。校准合格的计量器具一般只能获得本单位的承认。

校准的目的是:

- (1) 确定示值误差,并确定是否在预期的允差范围之内;
- (2) 得出标准值偏差的报告值,可调整测量器具或对示值加以修正;
- (3) 给任何标尺标记赋值或确定其他特性值,给参考物质特性赋值;
- (4) 实现溯源性。

校准的依据是标准校准规范或校准方法,可作统一规定也可自行制定。校准的结果记录在校准证书

或校准报告中,也可用校准数据或校准曲线等形式表示。

校准和检定的主要区别如下:

(1) 校准不具法制性,是企业自愿的量值溯源行为。检定具有法制性,是属法制计量管理范畴的执法行为。

(2) 校准主要用以确定测量器具的示值误差。检定是对测量器具的计量特性及技术要求的全面评定。

(3) 校准的依据是校准规范、校准方法,可作统一规定也可自行制定。检定的依据必须是检定规程。

(4) 校准不判断测量器具合格与否,但当需要时,可确定测量器具的某一性能是否符合预期的要求。检定必须依据检定规程对所检测器具给出是否合格的结论。

四、检 查

检查是指为确定计量器具是否符合该器具有关法定要求所进行的操作。

计量器具的法定要求分三类:

(1) 计量要求:规定计量器具的计量特性以及为确保计量性能的必要条件。

(2) 技术要求:规定计量器具基本而通用的结构特性,而又对计量器具的技术发展不加任何限制,以便达到以下目的:① 计量器具的计量性能在使用中保持不变;② 测量结果可靠、简单和明确;③ 尽可能消除可能出现的欺骗行为。

(3) 行政管理要求:规定计量器具在工作寿命的不同阶段,有关标记、外观形式和实用方面的特性;提出检查计量器具是否符合计量要求和技术要求的方法;界定关于“规定计量器具”特性的授予、确认或撤消的准则。

对这三类要求相应提出了如何评价是否满足的具体做法,分别为:

(1) 计量检查:确定计量器具的实际误差及其他计量特性。如测量不确定度、示值误差、准确度等级;稳定性、重复性和漂移;读数装置分辨力、分度值、电磁干扰敏感度等等。

(2) 技术检查:为满足计量要求而必须具备的结构、安装要求,读数的可见性。是否存在欺骗的可能等等。

(3) 行政检查:赋予计量器具法定特性的检查包括标识、铭牌;型式批准、检定标记、许可证标记;有关证书及有效期;密封、锁定和其他计量安全装置的完整性;检定、修理和维护记录等等。

上述三方面的检查是对计量器具进行检定的三大方面的具体做法和要求,又称检定的三分量。

目前,计量检定规程中明确提出和规定了计量性能要求和通用技术要求。而行政管理方面的一些要求体现在有关规章、条例、办法中,有些检查的内容包含在通用技术要求、检定结果的处理及检定周期内。即检查的依据是计量检定规程及有关的计量行政管理文件。它是判断计量器具是否合格的具体操作。

五、检 验

检验是为查明计量器具的检定标记或检定证书是否有效、保护标记是否损坏、检定后计量器具是否遭到明显改动,以及其误差是否超过使用中最大允许误差所进行一种检查。

这实际上是对使用中计量器具监督的重要手段,检查它是否继续满足“法定”要求,是否处于正常的工作状态等。在计量器具控制中常常以使用中检验来进行该项工作。这种控制应该由法定计量技术机构或授权机构进行。检验后,应在该计量器具上施加适当的标识,表明其状态。在作计量特性检查时往往只应用有限的设备,对使用中的计量器具按相应的计量技术法规进行实时而较为简单的检查。因此,它构成一种“简化检定”(它可定义为:当计量器具的工作条件保证不使计量性能受损,对其不进行全部检查的一种检定)。它的检查项目可适当减少,但又要确保其处于受控范围之内。有的计量器具使用中允许误差可扩大一些。

使用中检验的要求同样也可作为使用者日常校验的依据,用规定的方法进行校准与试验以确保测量结果的准确可靠。但使用者自行校验不能作为法定依据。

六、定型鉴定

定型鉴定是一种检查,其目的是为型式批准(定义:承认计量器具的型式符合法定要求的决定。)或拒绝批准提供基础和依据。这种检查包括外观检查、操作检查以及文件资料的审查和检验,以便确认该种计量器具的性能,并向委托的计量行政部门提出报告。检验的内容和方法应形成定型鉴定大纲。

计量行政部门在接受型式批准的申请后,应指定技术机构进行型式评价(定型鉴定)。被指定的机构的条件是:① 有技术能力承担这项工作;② 管理上能满足计量行政机构的要求。在国外表现为要通过实验室认可,在我国则要通过计量认证。在负责型式评价的机构被指定后,应通知申请者。

申请者在接到通知后,应将样机和下述文件交负责型式评定的机构:① 设计任务书;② 总装图、主要零部件图和电路图;③ 可靠性设计和预测;④ 技术标准和检验方法;⑤ 研制单位所作的测试报告;⑥ 技术总结;⑦ 使用说明书。

负责定型鉴定的技术机构研究申请者所提供的资料,并根据国务院计量行政部门制定的规范制定定型鉴定大纲。大纲应经科学论证和经单位主管领导批准,并报国务院计量行政部门和委托的省级计量行政部门备案。

鉴定应按大纲进行。完成鉴定后应向委托的计量行政部门提供鉴定报告,并通知申请单位。报告应包括两个内容:一是发现的客观实际情况,另一是导出的结论和建议。报告应包括的内容:

(1) 关于型式的描述,即型式定义。其中包括有关的性能参数,数据及最大容许误差。型式定义可以使用制造者的描述及图或照片。

(2) 鉴定结果摘要,包括器具品质特性及实测对应值等。

(3) 有关批准或不批准的建议。

七、调 整

调整是为了确保仪器具有正常性能,消除可能产生的偏差,适用于使用状态必须要做的一种操作。仪器由于示值的失准或长期存放;长途运输、搬运或者冲击;仪器本身的不稳定,将失去其原有的正常性能;或者由于新的仪器使用前的安装等,均要求其性能恢复和达到适于使用状态,这种操作称为调整。例如,在全站仪的检定过程中,要调整其脚螺旋的高低,使其处于水平。又如当使用双频激光干涉仪作为检定钢卷尺的工作标准器时,应调整其反射棱镜的位置,使测量信号处于最佳状态等等。有时调整以后为了防止使用中随变变更,则要加以印记。调整的方式可以是自动的、非自动的或手动的。

§ 1-4 用测量不确定度表述测量结果质量的意义

受外界环境条件和设备本身误差的影响,测量结果中含有误差。因此,在报告测量结果时,必须对其测量质量给出定量的说明,以确定测量结果的可信程度。测量不确定度就是对测量结果质量的定量表征,测量结果的可用性很大程度上取决于其不确定度的大小。所以,测量结果必须附有不确定度说明才是完整并有意义的。在测绘行业,一直是用中误差来表示测量结果的可信程度。随着测绘学科与其他学科的相互交叉,用中误差表示测量结果质量的方法已经不能完全适应新形势发展的需求。这是因为:

(1) 在测绘仪器的计量检定中,按原国家质量技术监督局 1996 年 6 月发布的《关于正式使用“检定/校准证书”的通知》,其中要求在证书中明确给出所使用的计量标准的扩展(或合成标准)不确定度(或准确度),在给出检定/校准结果的证书中用测量结果的不确定度(或准确度)表达测量结果的可靠性。

(2) 国内的许多测绘生产单位和测绘仪器生产厂家,正在申请或已经通过了 ISO 9000 系列质量体系

认证,按 ISO 9000 系列质量体系认证要求,要对企业内部的测量仪器或提供给它方的测量结果提供详细的不确定度说明或报告。

(3) 科学技术的所有学科都需要审慎地选择各自的词汇。每个术语,应使所有的使用者对其含义的理解是相同的。虽然测绘学与计量学属于不同学科,但测绘学的重要任务之一是研究国家基准量值(长度、角度和高程)的传递方法和承担量值的传递任务,即将国家的基准数据通过一系列手段传递至待测点上,在这一层意义上讲,测绘工作亦可称之为计量工作。确定待测点的空间位置的过程也可以认为是一个量值传递的过程。因此,测绘学所选用的术语必须能表达它的内容,而且还便于非测绘专业人士阅读和引用。在计量测试领域,世界各国已广泛地采用测量不确定度来定量表示测量结果的质量。

很显然,用不确定度来表示测量结果的质量,是当前形式发展所需,也是测绘学术语规范化的必然要求。

第二章 测量不确定度评定与表示

§ 2-1 测量基本术语及其概念

一、[可测量的]量

量是表征自然界运动规律的基本概念,如轻重、大小、长短等等。量所表述的对象是现象、物体或物质,是不以人的主观意识而客观存在的。一切自然现象、物体或物质,只有用相应的量表述,才能发现其运动规律。定性区别是指量在特性上的差别,如几何量、电学量、热学量、力学量等。一类量不同于其他类量,它们之间不能相互比较。特性相同的量组合在一起称为同量,例如厚度、周长、波长可用长度单位米表示。定量确定是指确定具体的量,又称特定量,如确定某一距离的长度等。

可测量的量是现象、物体或物质的一种属性,对它可以做定性区别和定量确定。

这里所指的量都是可以采用各种方法进行测量的量,故称为可测量的量。它可由数值和测量单位的组合表示。没有测量单位的数值不能表示量,数值大不等于量大,数值小不等于量小。当然,有些可测量的量表面上看没有测量单位,如相对密度、大气折射系数等,但它们是以相同测量单位的量作为单位,并取其比值。

二、量 值

量值一般是由一个数乘以测量单位所表示的特定量的大小。量值是量的表示形式。一般说来,任何可测的量都是由数值和计量单位组合而成,如 5.34 cm, 100 Hz, 3.2 mm 等。

三、[量的]真值

量的真值是指与给定的特定量定义一致的值。它只有通过完善的测量才有可能获得。一个量的真值,是在被观测时本身所具有的真实大小,它是一个理想的概念。

四、[量的]约定真值

量的约定真值是对于给定目的,具有适当不确定度的、赋予特定量的值。有时该值是约定采用的。约定真值在实际中有时称为指定值、最佳估计值、约定值或参考值。常用某量的多次测量结果来确定约定真值。约定真值可充分地接近真值,有时可代替真值。在实际测量中,通常以被测量的实际值、已修正的算术平均值、计量标准所复现的量值作为约定真值。

五、被测量

被测量是作为被测量对象的特定量。对被测量的详细描述,可要求包括对其他有关量(如时间、温度和压力等)作出说明。被测量可以是待测量,也可以是已测量。在实践中,被测量应根据所需准确度予以完整定义,这样才能保证其值是单一的。否则,由于定义不完善会带来测量不确定度。

例如,定义的被测量是一根标称值为 1 m 的钢卷尺长度,如果要求测准至微米量级,则这样的定义就不够完整。因为被测钢卷尺受温度和压力的影响此时已不能忽略,而这些条件却没有在定义中说明。由于定义不完善,使测量结果引入了温度和压力带来的不确定度。因此完整的定义应为:一根标称值为 1 m

的钢卷尺在 25.0℃和 1 013.25 hPa 的长度。

六、测量结果

测量结果是由测量所得到的赋予被测量的值。测量结果仅仅是被测量的最佳估计值,并非真值,完整表述测量结果时,必须附带其测量不确定度。必要时,应说明测量所处的条件,或影响量的取值范围。有时,应表明测量结果是示值、未修正测量结果或是已修正测量结果,还应表明是否已对若干个值进行了平均,亦即它是由单次测量所得,还是由多次测量所得,若是单次测量,则测得值就是测量结果;若是对同一量的多次测量,则测得值的算术平均值才是测量结果。在很多情况下,测量结果是根据重复观测确定的,若是间接测量,则测得值须借助于已知的函数关系或量的单位定义,才能得到测量结果。

七、测量准确度

测量准确度是指测量结果与被测量真值之间的一致程度。准确度是一个定性的概念,即可以用准确度高,低,准确度为 2″级经纬仪,准确度为 II 级光电测距仪,准确度符合 × × 标准等说法定性地表示测量质量。尽量不要使用准确度为 0.25%, 16 mm, ≤16 mm 及 ± 16 mm 等方式表示。

特别应注意,不要用术语内精度、中误差、精密度等来表示“测量准确度”。

八、测量仪器的准确度

测量仪器的准确度是指测量仪器给出接近于真值的响应的能力。它是表征测量仪器品质和特性的最主要的指标。虽然测量仪器的准确度是一个定性的概念,但在实际应用中,一般需要用定量的概念来表达:如采用测量不确定度等级、测量仪器的示值误差、测量仪器的最大容许误差等。在测绘学中,习惯用一次测量标准差来表示测量仪器的准确度。

九、[测量结果的]重复性

测量结果的重复性是指在相同测量条件下,对同一被测量进行连续多次测量所得结果之间的一致性。这里相同测量条件是指:相同的测量程序、相同的观测者、使用相同的测量仪器、相同地点、在短时间内进行重复测量。这些条件也称为“重复性条件”。

测量重复性可以用测量结果的分散性来定量表示。由重复性引入的不确定度是诸多不确定度来源之一。重复性用在重复条件下,重复观测结果的实验标准差(称为重复性标准差) s_r 定量地给出。重复观测中的变动性是由于所有影响结果的影响量不能完全保持恒定而引起的。

十、[测量结果的]复现性

测量结果的复现性是指在改变了的测量条件下,同一被测量的测量结果之间的一致性。这里变化了的测量条件包括:测量原理、测量方法、观测者、测量仪器、参考测量标准、地点、时间、使用时的环境条件。这些条件可以改变其中一项、多项或全部,它们会影响复现性的数值。因此,在复现性的有效表述中,应说明变化的条件。复现性可以用测量结果的分散性来定量地表示。它用在复现性条件下,重复观测结果的实验标准差(称为复现性标准差) s_R 定量地给出。这里,测量结果通常理解为已修正结果。复现性又称为“再现性”。

十一、实验标准[偏]差

对同一被测量作 n 次测量,表征测量结果分散性的量 s 可按式(2-1-1)算出,即

$$s(q_k) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2}{n-1}} \quad (2-1-1)$$

式中: q_k ——第 k 次测量结果;

$\bar{q}$ — n 次测量结果的算术平均值;

$(q_k - \bar{q})$ ——残差 v_k 。

式(2-1-1)称为贝塞尔公式,用于计算单次测量标准差 $s(q_k)$ 。 $s(\bar{q}) = s(q_k)/\sqrt{n}$ 称为平均值的实验标准差,它与 $s(q_k)$ 具有相同的自由度,均为 $n-1$ 。在不确定度评定中,以平均值 $\bar{q}$ 作为测量结果的最佳估计值,以 $s(\bar{q})$ 作为由重复性引入的 A 类标准不确定度。

实验标准差简写为 s ,不应与“总体标准差” δ 相混淆, δ 由式(2-1-2)算出,即

$$\delta = \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (q_k - \mu_q)^2}{n}} \quad (2-1-2)$$

当测量次数趋于无穷, δ 为理论标准差或总体标准差,实际工作中不可能得到,能做到的只是有限次测量,即对总体取样 n 次,以贝塞尔公式算出 s ,作为 δ 的估算值,称为样本标准差。 $\bar{q}$ 的标准差 $s(\bar{q})$ 称为算术平均值的实验标准差,不应误称为“平均值的标准误差”。 $s(\bar{q})$ 由式(2-1-3)计算,即

$$s(\bar{q}) = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2}{n(n-1)}} \quad (2-1-3)$$

值得指出,样本标准差 s 并不是总体标准差的无偏估计,而样本方差 s^2 才是总体方差的无偏估计。因此在数理统计中,总是以 s^2 作为分散性的测度, s^2 是基本的量,但实际工作中使用标准差 s 更方便。这是因为它是方差的正平方根,并具有与 q_k 相同的量纲。

还应指出,算术平均值的总体方差 $\delta^2(\bar{q})$ 的最佳估计即为算术平均值的样本方差 $s^2(\bar{q})$ 。为使算术平均值 $\bar{q}$ 作为总体平均值 μ_q 的可靠估计,测量次数 n 应充分扩大。虽然式(2-1-1)与测绘学科中常用的单位权中误差表达式几乎一致,但要注意到:① 单位权中误差的概念不再使用;② 标准差只取正方根。

十二、[测量]不确定度

测量不确定度是指表征合理赋予被测量之值的分散性,与测量结果相联系的参数。在测量结果的完整表述中,应包括测量不确定度。

不确定度可以是标准差或其倍数,或是说明了置信水准的区间的半宽。以标准差表示的不确定度称为标准不确定度,以 u 表示。以标准差的倍数表示的不确定度称为扩展不确定度,以 U 表示。扩展不确定度表明了具有较大置信概率的区间的半宽。不确定度通常由多个分量组成,对每一分量均要评定其标准不确定度。评定方法分为 A、B 两类。A 类评定是用对观测列进行统计分析的方法,以实验标准差表征;B 类评定则用不同于 A 类的其他方法,以估计的标准差表征。各标准不确定度分量的合成称为合成标准不确定度,以 u_c 表示,它是测量结果标准差的估计值。

不确定度一词指可疑程度,广而言之,测量不确定度意为对测量结果正确性的可疑程度。要注意与测绘学中常用的测量结果的精度区别。

测绘学中常用的“测量结果的精度”一词,具有较大的模糊性:按精度的定义是指测量值的重复性偏差,例如用 30 m 的钢卷尺对一段距离进行了 10 次测量,表 2-1-1 给出了测量数据及其计算结果。

表 2-1-1 钢卷尺量距结果的精度计算

序号	观测值 D_i/mm	残差 $v_i = (D_i - \bar{D})/\text{mm}$	序号	观测值 D_i/mm	残差 $v_i = (D_i - \bar{D})/\text{mm}$
1	30 009	0.4	6	30 011	2.4
2	30 007	-1.6	7	30 007	-1.6
3	30 008	-0.6	8	30 009	0.4
4	30 006	-2.6	9	30 010	1.4
5	30 010	1.4	10	30 009	0.4

测量结果的精度:中误差为 $\pm 1.6 \text{ mm}$

$\bar{D}$ ——观测值的平均值, $\bar{D} = 30\,008.6 \text{ mm}$

在实际工作中,常用它来表征测量结果偏离其真值或似真值的程度,其含义等价于“测量结果的准确度”。例如测绘出版社 1996 年版的《测量平差基础》第二章第三节中,列举了一个比较两架经纬仪测角准确度的例子。原文为:为了比较两架经纬仪的观测精度,分别对同一角度各进行了 30 次观测,其观测结果列于表 2-1-2 中。该角已预先用精密经纬仪测定,其值为 $76^{\circ}42'18.0''$ 。由于此值的精度远远高于上述两架经纬仪的观测精度,故将它看成是该角的真值。试计算这两架经纬仪的精度。

表 2-1-2 两架经纬仪测角精度比较

编号	第一架经纬仪			第二架经纬仪		
	观测值 L	真误差 Δ	Δ^2	观测值 L	误差 Δ	Δ^2
1	$76^{\circ}42'17.2''$	$-0.8''$	0.64	$76^{\circ}42'19.5''$	$+1.5''$	2.25
2	$76^{\circ}42'19.5''$	$+1.5''$	2.25	$76^{\circ}42'19.0''$	$+1.0''$	1.00
3	$76^{\circ}42'19.2''$	$+1.2''$	1.44	$76^{\circ}42'18.8''$	$+0.8''$	0.64
4	$76^{\circ}42'16.5''$	$-1.5''$	2.25	$76^{\circ}42'16.9''$	$-1.1''$	1.21
5	$76^{\circ}42'19.6''$	$+1.6''$	2.56	$76^{\circ}42'18.6''$	$+0.6''$	0.36
6	$76^{\circ}42'16.4''$	$-1.6''$	2.56	$76^{\circ}42'19.1''$	$+1.1''$	1.21
7	$76^{\circ}42'15.5''$	$-2.5''$	6.25	$76^{\circ}42'18.2''$	$+0.2''$	0.04
8	$76^{\circ}42'19.9''$	$+1.9''$	3.61	$76^{\circ}42'17.7''$	$-0.3''$	0.09
9	$76^{\circ}42'19.2''$	$+1.2''$	1.44	$76^{\circ}42'17.5''$	$-0.5''$	0.25
10	$76^{\circ}42'16.8''$	$-1.2''$	1.44	$76^{\circ}42'18.6''$	$+0.6''$	0.36
11	$76^{\circ}42'15.0''$	$-3.0''$	9.00	$76^{\circ}42'16.0''$	$-2.0''$	4.00
12	$76^{\circ}42'16.9''$	$-1.1''$	1.21	$76^{\circ}42'17.3''$	$-0.7''$	0.49
13	$76^{\circ}42'16.6''$	$-1.4''$	1.96	$76^{\circ}42'17.2''$	$-0.8''$	0.64
14	$76^{\circ}42'20.4''$	$+2.4''$	5.76	$76^{\circ}42'16.8''$	$-1.2''$	1.44
15	$76^{\circ}42'16.3''$	$-1.7''$	2.89	$76^{\circ}42'18.8''$	$+0.8''$	0.64
16	$76^{\circ}42'16.7''$	$-1.3''$	1.69	$76^{\circ}42'17.7''$	$-0.3''$	0.09
17	$76^{\circ}42'16.0''$	$-2.0''$	4.00	$76^{\circ}42'18.6''$	$+0.6''$	0.36
18	$76^{\circ}42'15.5''$	$-2.5''$	6.25	$76^{\circ}42'18.8''$	$+0.8''$	0.64
19	$76^{\circ}42'19.1''$	$+1.1''$	1.21	$76^{\circ}42'17.7''$	$-0.3''$	0.09
20	$76^{\circ}42'18.8''$	$+0.8''$	0.64	$76^{\circ}42'17.1''$	$-0.9''$	0.81
21	$76^{\circ}42'18.7''$	$+0.7''$	0.49	$76^{\circ}42'16.9''$	$-1.1''$	1.21
22	$76^{\circ}42'19.2''$	$+1.2''$	1.44	$76^{\circ}42'17.6''$	$-0.4''$	0.16
23	$76^{\circ}42'17.5''$	$-0.5''$	0.25	$76^{\circ}42'17.0''$	$-1.0''$	1.00
24	$76^{\circ}42'16.7''$	$-1.3''$	1.69	$76^{\circ}42'17.5''$	$-0.5''$	0.25
25	$76^{\circ}42'19.0''$	$+1.0''$	1.00	$76^{\circ}42'18.2''$	$+0.2''$	0.04
26	$76^{\circ}42'16.8''$	$-1.2''$	1.44	$76^{\circ}42'18.3''$	$+0.3''$	0.09
27	$76^{\circ}42'19.3''$	$+1.3''$	1.69	$76^{\circ}42'19.8''$	$+1.8''$	3.24
28	$76^{\circ}42'20.0''$	$+2.0''$	4.00	$76^{\circ}42'18.6''$	$+0.6''$	0.36
29	$76^{\circ}42'17.4''$	$-0.6''$	0.36	$76^{\circ}42'16.9''$	$-1.1''$	1.21
30	$76^{\circ}42'16.2''$	$-1.8''$	3.24	$76^{\circ}42'16.7''$	$-1.3''$	1.69

$$\text{中误差 } s_1 = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{30} \Delta_i^2}{30}} = \pm 1.58''$$

$$\text{中误差 } s_2 = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{30} \Delta_i^2}{30}} = \pm 0.81''$$

国际上已避免使用中误差和精度(或精密度)的概念,在我国的法制计量部门,也不再使用这些概念。对于测绘学,也应当避免在报告测量结果时使用这些术语。

在实践中,测量不确定度可能源于以下 10 个方面:

- (1) 对被测量的定义不完善或不完整;
- (2) 实现被测量的定义的方法不理想;
- (3) 取样的代表性不够,即被测量的样本不能代表所定义的被测量;
- (4) 对测量过程受环境影响的认识不周全,或对环境条件的测量与控制不完善;
- (5) 对模拟仪器的读数存在人为偏移;