



从校园到职场

CONG XIAOYUAN DAO ZHICHANG

测量员

—— 专业技能入门与精通

第2版

陈向红 段培杰 编

独特写作架构+丰富从业经验=快速提高职业技能

精炼专业知识+典型工程实例=完全掌握专业技巧



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

从校园到职场

测量员

——专业技能入门与精通

第 2 版

陈向红 段培杰 编



机械工业出版社

本书内容包括：测量员岗位概述、测量有关基础知识、施工测量等三部分内容。

本书内容简明易懂、综合性强、内容丰富，紧密结合工程实际。

本书适用于从校园到职场的毕业生，用来提高施工和管理水平；也可供施工技术人员参考；还可作为职业技术教育相关专业的培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

测量员：专业技能入门与精通/陈向红，段培杰编．

—2版．—北京：机械工业出版社，2015.2

(从校园到职场)

ISBN 978 - 7 - 111 - 49763 - 9

I. ①测… II. ①陈…②段… III. ①建筑测量 - 基本知识 IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 058810 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：张 晶 责任编辑：张 晶

封面设计：路恩中 责任校对：张莉娟

责任印制：刘 岚

北京京丰印刷厂印刷

2015 年 5 月第 2 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 13.75 印张 · 339 千字

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 49763 - 9

定价：39.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88361066 机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294 机工官博：weibo.com/cmp1952

010-88379203 金书网：www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版 教育服务网：www.cmpedu.com

出版说明

近年来伴随着国民经济的快速发展,建筑行业的规模越来越大,需要大批的建筑工程技术人才。虽然高等教育机构每年向社会输送大量的学生,但是许多大学生专业理论不扎实、缺乏实践能力,导致就业后不能够很好地胜任工作。因此,针对初始建筑工程技术人员的迫切需求,我们策划了建筑工程技术入门系列指导丛书,包括施工技术系列用书、工程设计系列用书两大类。本系列图书为施工技术入门指导用书。

对于初始施工技术人员来说,工程施工是一项比较复杂的工作,不仅要具备扎实的理论基础,还要有丰富的实践经验。本丛书就是为他们准备的一把钥匙,帮助他们掌握施工基础知识、施工原理、施工要点等关键内容,在最短时间内适应工作岗位。

本系列图书包括:《安全员——专业技能入门与精通》《质量员——专业技能入门与精通》《造价员——专业技能入门与精通》《材料员——专业技能入门与精通》《施工员——专业技能入门与精通》《资料员——专业技能入门与精通》《测量员——专业技能入门与精通》《试验员——专业技能入门与精通》《机械员——专业技能入门与精通》《现场电工——专业技能入门与精通》。

本系列图书特点概括如下:

1. 实用性

本系列图书的内容按照实际工程的施工思路进行编写,每本书由施工基础知识、施工原理、施工要点、工程实例等内容组成。通过将以上内容有机结合,结合现行规范、规程、标准等,可以使初始施工技术人员快速地熟悉各工作岗位的工作内容与要求,并且掌握工作技巧。

2. 创新性

本系列图书作者由具有丰富教学经验的教师与具有多年工程实践经验的技术人员组成。丛书紧密结合规范与工程实际,可以使初始施工技术人员掌握施工要领。

在书稿的编写过程当中,征求了多方工程相关人员的意见和建议,作了若干次修改,衷心期待本书能够为刚走上工作岗位的施工技术人员掌握建筑工程施工技能起到积极的推动作用。

前言

伴随着国民经济的持续、快速发展,建筑业在国民经济中支柱产业的地位日益突出。建筑行业的规模越来越大,建筑队伍不断扩大,急需大批的工程施工一线人才。工程施工一线人员的管理能力、技术水平的高低,是工程项目能否高质量、按期完工的保证。工程施工测量放线是工程施工的一道重要工序,它对按图施工、保证质量、按时完成任务起着重要的作用。所以测量员是工程施工中非常重要的角色。

为了进一步健全和完善施工现场全面质量管理工作,不断提高测量员的素质和工作水平,以更多的建筑精品工程满足日益激烈的建筑市场竞争的需求,因此,编写此书供测量员学习,可供初始从业人员快速入门与提高。

本书依据《工程测量规范》(GB 50026—2007)编写,主要介绍施工现场测量管理的细节要求、测量放线人员职业技能标准、测量的规范、与测量有关工程构造的基本知识、地形图的基本知识及误差理论、水准仪及水准测量(高程测量)、测设、经纬仪及角度的测量与测设、距离丈量和直线的定线、建筑物的施工测量、高层施工测量及变形观测、市政工程测量及全站仪介绍等内容的最基本、最实用的专业知识和测量细则。基本满足建筑工程施工、建筑工程管理、建筑工程监理、道路、桥梁及给水排水工程施工等专业技术人员及测量员需要掌握的知识与技能。本书是理论与实践的结晶,在收集大量资料和广泛调研的基础上,作了深入分析和研究。针对阅读对象,在内容上力求浅显易懂,以实用为准,内容全面;根据施工技术不断进步,本书增加了工程测量中广泛使用的新仪器和新技术的有关内容,方便现场施工人员及测量员的查阅和学习;并可以指导初始测量员了解整个施工过程,系统地掌握测量工作的关键点,快速地掌握放线的技巧,顺利地适应施工工作。

本书由陈向红、段培杰编写;由李杰、张宇、刘彤主审,几位专家精心审阅并提出了许多宝贵的意见,在此对他们表示衷心的感谢。本书在编写的过程中得到张改云、甄新棉、张立斌等同事的大力帮助。

由于编者水平所限,书中可能存在不足与错误之处,诚挚地希望读者提出批评与指正。

编者

目 录

出版说明

前言

第一篇 测量员岗位概述..... 1

第1章 施工测量的管理工作 1

1.1 测量放线工作的质量管理 1

1.2 测量班组的安全管理 2

1.3 班组的料具管理 2

第2章 测量放线人员职业技能标准 3

2.1 测量放线人员应遵守的基本准则 3

2.2 初级测量放线人员技能标准 3

2.3 中级测量放线人员技能标准 4

2.4 高级测量放线人员技能标准 5

第二篇 测量有关基础知识 6

第3章 误差理论、测量规范 6

3.1 测量误差的基本知识 6

3.2 工程测量规范 13

3.3 工程测量常用的计量单位 20

第4章 工程构造的基本知识 22

4.1 民用建筑构造组成 22

4.2 工业建筑构造组成 23

4.3 市政工程构造 26

第5章 工程识图的基本知识 33

5.1 建筑施工图 33

5.2 结构施工图 42

5.3 市政工程施工图 46

第6章 地形图的识读 60

6.1 地形图的比例尺 60

6.2 地物、地貌符号 61

6.3 地形图在工程中的应用 66

第三篇 施工测量	69
第7章 测绘学的基本内容	69
7.1 测量学的基本内容	69
7.2 地面点位的确定	69
7.3 用水平面代替水准面的限度	72
7.4 测量工作概述	74
第8章 水准仪及水准测量（高程测量）、测设	76
8.1 水准测量的原理与水准仪的构造	76
8.2 水准测量的方法和记录	82
8.3 水准测量的精度要求与校核方法	86
8.4 水准测量的成果计算	89
8.5 水准测量误差及注意事项	92
8.6 微倾式水准仪的检验与校正	93
8.7 测设已知高程的方法	96
8.8 自动安平水准仪	97
第9章 经纬仪及角度的测量与测设	101
9.1 水平角的测量原理	101
9.2 光学经纬仪的构造	101
9.3 经纬仪的使用	104
9.4 水平角的测量方法	105
9.5 垂直角的测量方法	107
9.6 已知水平角的测设	109
9.7 经纬仪的检验与校正	110
9.8 角度测量误差及注意事项	114
9.9 电子经纬仪	116
第10章 距离丈量和直线的定向	124
10.1 距离丈量的工具和原理	124
10.2 已知水平距离的测设	129
10.3 直线定向	130
第11章 建筑物的施工测量	134
11.1 点的平面位置测设方法	134
11.2 施工测量概述	136
11.3 现场控制网的布设与测量	137
11.4 民用建筑施工测量	141
11.5 工业建筑的施工测量	151
11.6 施工放线的资料管理与施工测量方案编制	156
第12章 高层施工测量及变形观测	163
12.1 高层建筑轴线控制网的测设和垂直测设	163

12.2	烟囱的定位和垂直测设	166
12.3	建筑物变形观测	168
12.4	竣工测量和竣工平面图的绘制	174
第 13 章	市政工程测量	177
13.1	道路工程测量	177
13.2	桥梁施工测量	183
13.3	管道施工测量	186
第 14 章	全站仪（以科力达全站仪 KTS-440 系列为例）	190
14.1	全站仪的构造	190
14.2	全站仪的测量	195
14.3	全站仪的测设	208

第一篇 测量员岗位概述

第1章 施工测量的管理工作

1.1 测量放线工作的质量管理

1.1.1 技术复核制度

技术复核是指在施工过程中,为避免发生重大差错,保证工程质量,对重要的和涉及工程全局的技术工作,依据设计文件和有关技术标准进行复查和校核。

1.1.2 与测量放线工作有关的复核项目和内容

1. 建筑物位置

复核内容是定位复测,以控制点或规划部门指定的红线桩为准,检验其尺寸、位置。

2. 标高检验

复核内容包括:引点标高,标准水平桩,基坑(槽)底标高、垫层标高,建筑物各层标高及全高。

3. 验线

验线内容包括:建筑物基础的轴线、几何尺寸,结构层的墙身轴线,门窗口位置、尺寸,设备基础的位置线、尺寸。

1.1.3 对技术复核工作的要求

技术复核一般在施工单位内部进行,在某些分项工程施工前预先把关检查。

技术复核的做法:每一项工序完成后,先由专业工种自检,再由质量检查人员复验检查。若在预检中提出了不符合质量要求的问题,需认真进行复验。凡预检不合格的,不得进入下道工序。

技术复核的项目应有记录单,含工程名称、复核项目。检查部位由技术员填写,质量检查人员按其内容进行检查,填写核查意见,作出合格签证,列入工程技术档案。

技术复核工作是经常性的工作,应形成制度,明确技术复核的具体项目,填写发现问题以及纠正情况。

1.1.4 复核工作的人员

先是放线工班组自查,第二步由技术员、施工员(或质检员)、放线员组成检查班子(也

有的施工单位还组织工程处质检员参加) 再进行一次内部检查。

内部检查合格后施工单位方可报请甲方(监理单位)进行验收。也有的城建部门或工程质量监督部门对建筑物定位和竣工进行独立于设计、施工单位的外部检查。

1.2 测量班组的安全管理

安全管理是建筑企业生产管理的重要内容, 只有安全得到可靠的保证, 生产活动才能正常进行, 必须坚持“生产必须安全”和“安全保证生产”的原则, 建立班组安全生产责任制, 确保生产中的安全。具体内容如下:

(1) 接受安全教育。牢记“安全生产, 人人有责”, 树立“安全第一”的思想, 积极参加安全教育的活动。

(2) 掌握本工种的安全操作规程。认真学习有关安全知识, 自觉遵守安全生产的各项制度, 听从安全人员的指导, 做到不违章、不冒险, 时时处处注意人身和仪器工具的安全, 做到安全生产。

(3) 发生事故或未遂事故, 立即向项目经理报告, 参加事故分析, 吸取事故教训。积极倡导促进安全生产、改善劳动条件的合理化建议。

(4) 与其他工种交叉作业, 除考虑工种衔接、做好配合外, 同时要考虑安全作业。

(5) 严格贯彻安全施工教育制度; 贯彻安全施工责任制度; 贯彻有关安全技术操作规程。如进入施工现场必须戴安全帽, 否则不准上岗作业; 架设仪器作业时, 事先要与高空作业班组进行联系, 必要时由施工员进行协调, 防止物体高空坠落伤人。工作时全神贯注, 不准嬉戏打闹。每天班前及收工时, 必须检查工具、仪器和安全帽等, 检查工作现场是否符合安全要求等。

(6) 施工需用的生产工具及作业用的仪器、设备, 上岗作业前必须进行检查, 不准“带病使用”。

1.3 班组的料具管理

测量放线班组一般材料消耗较少。在埋石或设置观测标志时, 标志需加工, 埋设时需用水泥、砂、石料, 还需要木桩等。

测量放线用的各种仪器、工具在班组料具管理中占有重要地位, 应建立健全合理的规章制度, 包括以下具体制度:

(1) 仪器、工具的使用、保养、保管落实到人, 凡能按专人、专管、专用的仪器、工具都应有固定的存放位置, 以利于仪器的使用、维护保养。

(2) 岗位责任制度。其主要内容有: 遵守操作规程、执行保养规程, 发现问题及时报告, 防止事故的发生。

(3) 保养和修理制度。包括例行保养和定期保养, 使仪器工具经常处于良好状态, 并延长仪器设备的使用寿命。

第2章 测量放线人员职业技能标准

2.1 测量放线人员应遵守的基本准则

测量放线人员应遵守以下的基本准则：

- (1) 遵守国家法律、法规和测量的有关规程与规范，为工程建设服务，保证质量，照图施工，按时完成任务的工作目的。
- (2) 防止误差积累；保证建筑物整体与局部的正确性；确保测图精度，测量工作应遵循先整体、后局部，高精度控制低精度，先进行控制测量，后进行定位放线或测图的工作程序。
- (3) 在测量之前，先审核原始数据（起始点的高程、坐标及设计图样等），外业观测和内业计算步步有校核。
- (4) 测量方法要简捷、精度要合理相称的工作原则。合理利用资源，仪器设备的配置要适当。
- (5) 建筑物定位放线及重要的测量工作必须经自检、互检，合格后由有关单位（监理、规划部门或上级测绘部门等）验线的工作制度。
- (6) 要发扬艰苦奋斗，不怕苦、不怕累，一丝不苟和认真负责的工作作风。
- (7) 及时总结经验，具有开拓进取、与时俱进、努力学习先进技术，不断改进的工作精神。

2.2 初级测量放线人员技能标准

2.2.1 知识要求（应知）

- (1) 识图的基本知识，看懂分部分项施工图，并能校核小型、简单建筑物平、立、剖面图的关系及尺寸。
- (2) 房屋构造的基本知识，一般建筑工程施工程序及对测量放线的基本要求，本职业与有关职业之间的关系。
- (3) 建筑施工测量的基本内容、程序及作用。
- (4) 点的平面坐标（直角坐标、极坐标）、标高、长度、坡度、角度、面积和体积的计算方法，一般计算器的使用知识。
- (5) 普通水准仪（S3）、普通经纬仪（J6、J2）的基本性能、用途及保养知识。
- (6) 水准测量的原理（仪高法和高差法）、基本测法、记录和闭合差的计算及调整。
- (7) 测量误差的基本知识，测量记录、计算工作的基本要求。
- (8) 本职业安全技术操作规程、施工验收规范和质量评定标准。

2.2.2 操作要求 (应会)

- (1) 测钎、标杆、水准尺、尺垫、各种卷尺及弹簧秤的使用及保养。
- (2) 常用测量手势、信号和旗语配合测量默契。
- (3) 用钢尺测量,测设水平距离及测设 90° 平面角。
- (4) 安置普通水准仪(定平水准盒),一次精密定平,抄水平线,设水平桩和皮数杆,简单方法平整场地的施测和短距离水准点的引测,扶水准尺的要点和转点的选择。
- (5) 安置普通经纬仪(对中、定平),标测直线,延长直线和竖向投测。
- (6) 妥善保管、安全搬运测量仪器及测具。
- (7) 打桩定点,埋设施工用半永久性测量标志,做桩位的点之记,设置龙门板、线坠吊线、撒灰线和弹墨线。
- (8) 进行小型、简单建筑物的定位、放线。

2.3 中级测量放线人员技能标准

2.3.1 知识要求 (应知)

- (1) 掌握制图的基本知识,看懂并审核较复杂的施工总平面图与有关测量放线施工图的关系及尺寸,大比例尺工程用地形图的判读及应用。
- (2) 掌握测量内业计算的数学知识和函数型计算器的使用知识,对平面为多边形、圆弧形的复杂建(构)筑物四廓尺寸交圈进行校算,对平、立、剖面有关尺寸进行核对。
- (3) 熟悉一般建筑结构、装修施工的程序、特点及对测量、放线工作的要求。
- (4) 熟悉场地建筑坐标系与测量坐标系的换算,导线闭合差的计算及调整,直角坐标及极坐标的换算,角度交会法、距离交会法定位的计算。
- (5) 熟悉钢尺测量、测设水平距离中的尺长、温度、拉力,垂曲和倾斜的改正计算,视距测法和计算。
- (6) 熟悉普通水准仪的基本构造、轴线关系、检校原理和步骤。
- (7) 掌握水平角与竖直角测量原理,熟悉普通经纬仪的基本构造、轴线关系、检校原理和步骤,测角、设角和记录。
- (8) 熟悉光电测距和激光仪器在建筑施工测量中的一般应用。
- (9) 熟悉测量误差的来源、分类及性质,施工测量的各种限差,施测中对量距、水准、测角的精度要求,以及产生误差的主要原因和消除方法。
- (10) 根据整体工程施工方案,布设场地平面控制网和标高控制网。
- (11) 掌握沉降观测的基本知识和竣工平面图的测绘。
- (12) 掌握一般工程施工测量放线方案编制知识。
- (13) 掌握班组管理知识。

2.3.2 操作要求 (应会)

- (1) 熟练掌握普通水准仪和经纬仪的操作、检校。
- (2) 根据施工需要进行水准点的引测、抄平和皮数杆的绘制,平整场地的施测、土方

计算。

(3) 熟练应用经纬仪在两点间投测方向点,应用直角坐标法、极坐标法和交会法测量或测设点位,圆曲线的计算与测设。

(4) 根据场地地形图或控制点进行场地布置和地下拆迁物的测定。

(5) 核算红线桩坐标与其边长、夹角是否对应,并实地进行校测。

(6) 根据红线桩或测量控制点,测设场地控制网或建筑主轴线。

(7) 根据红线桩、场地平面控制网、建筑主轴线或地物关系,进行建筑物定位、放线以及从基础至各施工层上的弹线。

(8) 进行民用建筑与工业建筑预制构件的吊装测量,多层建筑物、高层建(构)筑物的竖向控制及标高传递。

(9) 场地内部道路与各种地下、架空管的定线,纵断面测量和施工中的标高、坡度测设。

(10) 根据场地控制网或重新布测图根导线实测竣工平面图。

(11) 用普通水准仪进行沉降观测。

(12) 制定一般工程施工测量放线方案,并组织实施。

2.4 高级测量放线人员技能标准

2.4.1 知识要求(应知)

(1) 看懂并能够审核复杂、大型或特殊工程(如超高层、钢结构、玻璃幕墙等)的施工总平面图和有关测量放线的施工图的关系及尺寸。

(2) 掌握工程测量的基本理论知识和施工管理知识。

(3) 掌握测量误差的基本理论知识。

(4) 熟悉精密水准仪、经纬仪的基本性能、构造和用法。

(5) 熟悉地形图测绘的方法和步骤。

(6) 能够在工程技术人员的指导下,进行场地方格网和小区控制网的布置、计算。

(7) 掌握建筑物变形观测的知识。

(8) 了解工程测量的先进技术与发展趋势。

(9) 了解预防和处理施工测量放线中质量和安全事故的方法。

2.4.2 操作要求(应会)

(1) 能够进行普通水准仪、经纬仪的一般维修。

(2) 熟练运用各种工程定位方法和校测方法。

(3) 能够进行场地方格网和小区控制网的测设,四等水准观测及记录。

(4) 应用精密水准仪、经纬仪进行沉降、位移等变形观测。

(5) 推广和应用施工测量的新技术、新设备。

(6) 参与编制较复杂工程的测量放线方案,并组织实施。

(7) 对初级、中级工示范操作,传授技能,解决本职业操作技术上的疑难问题。

第二篇 测量有关基础知识

第3章 误差理论、测量规范

3.1 测量误差的基本知识

测量工作的实践表明,当对某一量,如一个角度、一段距离或两点之间高差等进行多次重复观测时,尽管观测进行得十分认真细致,并且使用了精密的测量仪器和合理的观测方法,但所得的各次结果之间往往仍存在着差异,这说明观测结果中不可避免地含有测量误差。研究测量误差的任务是:分析测量误差产生的原因及其性质;合理地处理含有误差的测量成果,求出最可靠值;正确评估测量成果的精度。

3.1.1 测量误差的分类

1. 产生误差的原因

测量误差是不可避免的,误差产生的原因主要有以下三个方面:

(1) 测量工作所使用的仪器,尽管经过了检验校正,但还会存在残余误差,因此不可避免地会给观测值带来影响。

(2) 测量过程中,无论观测人员的操作如何认真仔细,但由于人的感觉器官鉴别能力的限制,在进行仪器的安置、瞄准、读数等工作时都会产生一定的误差,同时观测者的技术水平、工作态度也会对观测结果产生不同的影响。

(3) 由于测量时外界自然条件,如温度、湿度、风力等的变化,给观测值带来误差。观测者、观测仪器和观测时的外界条件是产生观测误差的主要因素,通常称为观测条件。观测条件相同的各次观测,称为同精度观测;观测条件不同的各次观测,称为不同精度观测。

2. 误差的分类

测量误差按其性质可分为系统误差和偶然误差。

(1) 系统误差。在相同的观测条件下,对某量进行一系列观测,如果观测误差在大小和符号上呈现一致性,即按一定的规律变化或保持为常数,这种误差称为系统误差。例如,用30m的钢尺量距时,尺长改正数为 Δl ,那么用这把钢尺量出的距离 D ,就包含着 $\Delta l D/30$ 的误差,量的距离越长,误差积累就越大。系统误差具有积累性,对观测成果的质量有明显的影响,但它又具有一定的规律性,一般可用下列方法消除或减弱其影响:

1) 进行计算改正。如用钢尺量距时,可通过对测量结果加上尺长改正数和温度改正数,来消除尺长误差和温度变化误差。

2) 选择适当的观测方法,使误差在观测过程中自行抵消或减弱。例如,在水准测量中采用前、后视距相等的观测方法,可消除水准仪的水准管轴不平行于视准轴而引起的高差误差;

在水平角测量中,用经纬仪盘左、盘右两个位置观测,取其平均值,就可以消除视准轴不垂直于横轴以及横轴不垂直于竖轴所引起的测角误差。

(2) 偶然误差。在相同的观测条件下,对某量作一系列观测,如果观测误差的大小和符号都不一致,表面上看不出任何规律性,这种误差称为偶然误差。例如在水准测量中,在水准尺上估读毫米数,有时偏大,有时偏小;测水平角时瞄准目标,有时偏左,有时偏右。这类误差都属于偶然误差。

在测量工作中,由于观测者的粗心大意,还可能发生错误,如读错数、记错数等。错误是不允许的,必须采取适当措施避免错误的发生。

由于系统误差可用计算改正或适当的观测方法消除,因此本节中所讨论的测量误差,仅指偶然误差。

3. 偶然误差的性质

偶然误差从表面上看似乎没有规律性,但是随着对同一量观测次数的增加,大量的偶然误差就表现出一定的统计规律性,观测次数越多,这种规律性越明显。例如,在相同条件下,观测了 358 个三角形的内角,由于观测值存在偶然误差,所以测得的每个三角形的内角和都不等于 180° ,其差值 Δ 称为真误差,即

$$\Delta = l - 180^\circ \quad (3-1)$$

由式 (3-1) 计算出 358 个三角形内角和的真误差,再按绝对值的大小,分区间统计所有误差个数,并列入表 3-1 中。

表 3-1 分区间统计的误差个数

误差区间	负误差个数	正误差个数	总 数
$0''.0 \sim 0''.2$	45	46	91
$0''.2 \sim 0''.4$	40	41	81
$0''.4 \sim 0''.6$	33	33	66
$0''.6 \sim 0''.8$	23	21	44
$0''.8 \sim 1''.0$	17	16	33
$1''.0 \sim 1''.2$	13	13	26
$1''.2 \sim 1''.4$	6	5	11
$1''.4 \sim 1''.6$	4	2	6
$1''.6$ 以上	0	0	0
总 和	181	177	358

从表 3-1 可以看出,绝对值较小的误差比绝对值较大的误差出现的个数多;绝对值相等的正误差和负误差个数几乎相同;最大误差不超过 $1''.6$ 。

在其他测量结果中也显示出上述同样的规律。大量实验统计结果表明,偶然误差具有以下特征:

(1) 在一定的观测条件下,偶然误差的绝对值不会超过一定的限值。

(2) 绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的机会大。

(3) 绝对值相等的正误差与负误差出现的机会相同。

(4) 同一量的同精度观测,其偶然误差的算术平均值随着观测次数的无限增加而趋近于零,即

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0 \quad (3-2)$$

式中 n ——观测次数, $[\Delta] = \Delta_1 + \Delta_2 + \cdots + \Delta_n$ 。

上述第四个特性是由第三个特性导出的, 说明偶然误差具有抵偿性。

3.1.2 衡量误差精度的标准

研究测量误差的目的之一, 就是对观测值的精度作出评定, 下面介绍几种衡量精度的标准。

1. 中误差

(1) 真误差。设在相同的观测条件下对某量进行了 n 次观测, 得一组观测值 $L_1, L_2, \cdots, L_n$, 设其真值为 L , 则可计算出真误差 $\Delta_1, \Delta_2, \cdots, \Delta_n$ (在实际工作中观测的次数总是有限的)。

$$\Delta_i = L_i - L \quad (i = 1, 2, \cdots, n) \quad (3-3)$$

(2) 中误差。中误差的定义公式为各观测值真误差平方和的平均值的平方根, 即

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} \quad (3-4)$$

式 (3-4) 中真误差的平方和用 $[\Delta\Delta]$ 表示。从式 (3-4) 可知, 这组观测值中每个观测值都有相同的中误差, 因此 m 又称为观测值中误差, 以此作为衡量观测值精度的标准, 中误差越小, 观测值精度越高。

例 3-1 10 个三角形组成控制网, 角度测量工作分别由甲、乙两个小组进行, 各组算得各三角形内角和的真误差如下:

甲组: $+2'', -3'', 1'', 0, -2'', +3'', -1'', +4'', -2'', +1''$ 。

乙组: $+1'', -7'', -2'', -1'', 0, +1'', +2'', +8'', -5'', +6''$ 。

由式 (3-4) 计算得

$$m_{\text{甲}} = \pm \sqrt{\frac{2^2 + 3^2 + 1^2 + 0 + 2^2 + 3^2 + 1^2 + 4^2 + 2^2 + 1^2}{10}} = \pm 2.3''$$

$$m_{\text{乙}} = \pm \sqrt{\frac{1^2 + 7^2 + 2^2 + 1^2 + 0 + 1^2 + 2^2 + 8^2 + 5^2 + 6^2}{10}} = \pm 4.3''$$

由于 $m_{\text{甲}} < m_{\text{乙}}$, 说明甲组的观测精度比乙组的观测精度高, 在乙组观测值中有较大误差存在, 其误差分布也比较离散。

2. 容许误差

容许误差又称极限误差, 用以衡量观测值是否达到精度要求, 也能判别观测值是否存在错误。由偶然误差第一特性知, 在一定的观测条件下, 偶然误差绝对值不会超过一定的限值。数理统计证明: 在大量等精度观测的一组误差中, 绝对值大于 1 倍中误差的偶然误差, 出现的概率为 32%; 大于 2 倍中误差的偶然误差, 出现的概率只有 5%; 大于 3 倍中误差的偶然误差, 出现的概率仅占 0.3%。在实际工作中, 观测次数是有限的, 所以采用 3 倍中误差作为偶然误差的容许误差, 即

$$\Delta_{\text{容}} = 3m \quad (3-5)$$

在测量规范中, 对误差的要求更为严格, 采用 2 倍中误差作为偶然误差的容许误差, 即

$$\Delta_{\text{容}} = 2m \quad (3-6)$$

3. 相对误差

真误差、中误差、容许误差都是表示误差本身的大小, 称为绝对误差。对于衡量精度来

说,有时用中误差很难判断观测结果的精度。例如,用钢尺丈量了200m和400m的两条直线,其中误差均为0.02m,因而用中误差反映不出哪个精度高些,此时,必须采用相对误差才能衡量两者之间精度的差别,现以中误差的绝对值与相应测量结果之比,且以分子为1的形式表示相对误差 K 。即

$$K = \frac{|m|}{D} = \frac{1}{D/|m|} \quad (3-7)$$

$$\text{在上例中 } K_1 = \frac{0.02}{200} = \frac{1}{10000}$$

$$K_2 = \frac{0.02}{400} = \frac{1}{20000}$$

用相对误差来衡量二者的精度可以直观地看出,后者比前者的精度高。

相对误差不能用来衡量测角精度,因为测角误差与角度本身大小无关。

3.1.3 算术平均值及其中误差

1. 算术平均值

对某量进行 n 次等精度观测,取其算术平均值作为最后结果,就是这个观测量的最可靠值,又称最或然值。现证明如下

$$\Delta_1 = L_1 - X$$

$$\Delta_2 = L_2 - X$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$\Delta_n = L_n - X$$

等式两边相加得

$$\Delta_1 + \Delta_2 + \cdots + \Delta_n = L_1 + L_2 + \cdots + L_n - nX$$

或

$$[\Delta] = [L] - nX$$

等式两边除 n 得

$$\frac{[\Delta]}{n} = \frac{[L]}{n} - X$$

令

$$\delta = \frac{[\Delta]}{n} \quad x = \frac{[L]}{n} \quad (3-8)$$

代入得

$$X = x - \delta$$

δ 为 n 次观测值真误差的平均值,根据偶然误差的第四特性,当 $n \rightarrow \infty$ 时, $\delta \rightarrow 0$ 。

即

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0$$

因此得

$$\lim_{n \rightarrow \infty} x = X$$

由式(3-8)可知,如果对某一量的观测次数 n 趋向无限多时,观测值的算术平均值就趋向该量的真值。在实际工作中,对某一量的观测次数总是有限的,根据有限次观测值求出的算术平均值就不是真值了,但可认为是观测的最可靠的结果。

2. 观测值中误差

根据式(3-4)计算中误差 m ,需要知道观测值 L_i 的真误差 Δ_i ,但所求量的真值往往是未知的,所以真误差亦无法求得。在实际工作中,是取算术平均值代替真值,将算术平均值与各次观测值之差,作为改正数代替真误差,由此推导出用改正数表示的中误差计算公式。设 L_1 ,