

铁路测量手册

中国铁道

U212.24-62

710

社

铁路测量手册

铁道部第二勘测设计院 主编

U213.24-62

710

中国铁道出版社

1998年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本手册是一部适用于铁路新线、既有线的初测、定测、施工、竣工及养护各阶段测量工作的工具书。同时,对于其他工程结构的测量,如公路桥梁、隧道的定位和施工测量亦有重要的参考价值。全手册共分四篇四十一章,内容包括线路测量、航空摄影测量、隧道测量和桥涵测量。

图书在版编目(CIP)数据

铁路测量手册/铁道部第二勘测设计院主编. —北京:中国铁道出版社,1997
ISBN 7-113-02686-9

I. 铁… I. 铁… III. 铁路测量-手册 IV. U212.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 11560 号

铁 路 测 量 手 册

铁道部第二勘测设计院主编

*

中国铁道出版社出版、发行
(100054 北京市宣武区右安门西街 8 号)
责任编辑 安鸿建 封面设计 赵敬宇
各地新华书店经售
中国铁道出版社印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:44.5 插页:3 字数:1714 千
1998 年 6 月 第 1 版 第 1 次印刷
印数:1—1500 册

ISBN7-113-02686-9/TU·551 定价:118.00 元

前 言

根据铁道部铁建函(1990)87号文精神,为适应近年来颁布的有关规范、规则的实施和新技术、新设备的推广运用,进一步提高铁路勘测水平,特编制本手册。

本手册是铁路测量的基本工具书,主要供具有一定基础知识,从事新线、既有线铁路工程勘测设计、施工及养护维修的测量人员使用,亦可供路外从事工程测量的工作人员参考。

本手册的编写主要依据是现行的《铁路测量技术规则》(TBJ101-85)、《既有铁路测量技术规则》(TBJ105-88)。在编写过程中,参编人员深入调查研究,广泛征集意见,并吸取了部分先进技术和测量方法。各设计院、工程局、铁路局、高等院校给予了大力帮助和支持,提出许多宝贵意见,在此一并致谢。

本手册由铁道部第二勘测设计院主编,铁道部第二勘测设计院、专业设计院、第二工程局、大桥工程局分别主持编写线路测量、航空摄影测量、隧道测量、桥涵测量等各篇。手册共分四篇四十一章。

在编写过程中,虽然我们力求作到与现行规范、规则相一致。但是情况在不断变化,特别近年来新技术新设备不断更新,有关规范也在修改制定中。因此,本手册内容如与规范、规则等不符之处,应按现行部颁规定及国家标准执行。

由于我们理论及实践水平有限,手册中不妥之处,恳请读者批评指正。

铁道部第二勘测设计院

1996年12月

编写审查人员名单

主编单位:铁道部第二勘测设计院

各篇主持编写单位:铁道部第二勘测设计院、铁道部专业设计院、铁道部第二工程局、铁道部大桥工程局

参加编写单位:铁道部第一、二、三、四勘测设计院、专业设计院、第二、五工程局、大桥工程局、隧道工程局

主 编:孙绍麟

各篇编写负责人:孙绍麟 熊明轩 王永国 韩英华

编写者:

第一篇 线路测量 孙绍麟 李志光 周世林 吴正刚 王为松
陈裕涤

第二篇 航空摄影测量 熊明轩 吴昌荣 张绍兰 张秀荣
陈玉昌 胡志贵 章好锐 王富贵
刘秀华

第三篇 隧道测量 王永国 罗开举 杨鉴凌 潘 鹰 王芝祥
张项铎

第四篇 桥涵测量 韩英华 秦 锐 王丕功 刘丙留 曾凡智
吴迪军 熊小莉

审查者:余景宜 朱 颖 黄永铭 胡熊良 沈邦祥 朱信复 李泽民

目 录

绪 论

第一篇 线路测量

第一部分 新线线路测量

第一章 新线线路测量程序	2
第二章 测量误差的基本知识	4
第一节 测量误差的原因和分类	4
第二节 精度评定标准	4
第三章 距离测量	7
第一节 光电测距	7
第二节 钢卷尺量距	22
第三节 视距测量	27
第四章 角度测量	29
第一节 角度观测及计算	29
第二节 经纬仪的检验与校正	31
第五章 高程测量	39
第一节 概 述	39
第二节 水准测量	40
第三节 光电测距三角高程测量	42
第四节 跨河水准测量	43
第五节 高程测量的误差调整	46
第六节 水准仪水准尺的检验与校正	47
第六章 导线测量	53
第一节 导线的布设	53
第二节 导线测量方法	54
第三节 导线与国家三角点的联测及 计算	55
第四节 导线坐标计算	65
第五节 导线测量错误的检查	70
第六节 导线点的展绘	71
第七节 真北测量	72
第七章 地形测量	76
第一节 地 形 图	76
第二节 地形测量	77
第三节 地形图的拼接与整饰	79
第八章 线路放线和交点	81
第一节 线路放线	81
第二节 交 点	85
第九章 中线测量	89
第一节 中线测量的基本要求	89
第二节 曲线测量	89

第三节 中线测设闭合差的调整	106
第十章 横断面测量	107

第二部分 既有线测量

第十一章 既有铁路测量技术要求	110
第十二章 既有铁路测量	111
第一节 里程丈量	111
第二节 中线测量	112
第三节 高程测量	115
第四节 横断面测量	115
第五节 地形测量	116
第六节 既有曲线改正计算	116
第十三章 既有站场测量	152
第一节 站场平面测绘内容和要求	152
第二节 基线测量	152
第三节 道岔测量	153
第四节 站内平面测绘	154
第五节 三角线测绘	155
第六节 高程测量	156
第七节 横断面测量	157
第八节 道岔与站线连接的测设	157

第三部分 施工测量和竣工测量

第十四章 中线施工测量	164
第一节 线路中线施工测量	164
第二节 站场股道中线施工测量	165
第三节 改建既有线、增建第二线 施工测量	166
第四节 竣工中线测量	166
第十五章 高程施工测量	167
第一节 高程施工测量	167
第二节 竖曲线测设	167
第十六章 横断面施工测量	168
第一节 路基施工放样	168
第二节 挡墙施工放样	169
第三节 钢筋混凝土预制块式整体 道床施工放样	169
第四节 断面竣工测量	170

第二篇 航空摄影测量

第一章 一般规定	171	第一节 精密立体测图仪简介	252
第一节 航带设计.....	171	第二节 仪器安全操作和保养	257
第二节 航摄资料的检查和验收.....	176	第三节 仪器作业检校	258
第三节 既有线航测时应收集的复测 及有关调查资料.....	178	第四节 立体测图	269
第四节 航测技术任务书的编制.....	178	第五节 变换光束立体测图的作业 方法	284
第二章 控制测量与像片调绘	180	第六节 AVIOPLOT RAP 机助摄影 测量测图系统作业方法	285
第一节 准备工作.....	180	第六章 原图编绘	294
第二节 像片上控制点的布设.....	181	第一节 准备工作.....	294
第三节 野外控制点的选刺.....	183	第二节 编绘的一般要求.....	294
第四节 控制点平面位置测量.....	185	第三节 编绘作业.....	295
第五节 控制点的高程测量.....	192	第七章 解析测图仪	305
第六节 内业计算.....	196	第一节 概 述.....	305
第七节 像片调绘.....	208	第二节 AC1 解析测图仪.....	306
第三章 摄影处理及像片纠正	213	第三节 BC2 解析测图仪.....	318
第一节 常用摄影药品及配方.....	213	第四节 JX-3 解析测图仪.....	321
第二节 常用感光材料.....	217	第八章 数字测图	326
第三节 航摄正片的制作.....	219	第一节 概 述.....	326
第四节 放大像片的制作.....	223	第二节 联机数字测图的系统配置.....	327
第五节 彩色像片的晒印和放大.....	224	第三节 联机数据采集.....	327
第六节 翻 拍.....	228	第四节 图形编辑.....	332
第七节 SEG-1 大型纠正仪制做像片 平面图.....	229	第五节 绘图输出.....	336
第四章 解析法空中三角测量及底图制备	236	第六节 数字测图的质量控制.....	338
第一节 概 述.....	236	第九章 利用既有航摄资料测绘铁路专业 用图	340
第二节 转刺和选刺点.....	237	第一节 概 述.....	340
第三节 用 AC1 解析测图仪进行 空中三角测量.....	239	第二节 测 图.....	340
第四节 底图制备.....	245	第三节 利用既有航摄资料测图的 基本情况.....	342
第五章 精密立体测图仪测图	252		

第三篇 隧 道 测 量

第一章 隧道测量的特点、方法和贯通测量 要求	346	第一节 优化设计	383
第一节 隧道测量的准备工作.....	346	第二节 平面控制测量设计	385
第二节 运营时期的隧道测量工作.....	346	第三节 高程控制测量设计	389
第三节 隧道控制测量的特点和方法.....	347	第四节 测量设计中应注意的问题	392
第四节 隧道贯通测量的要求.....	348	第四章 角度测量	397
第二章 贯通误差估算方法	350	第一节 方向观测法.....	397
第一节 导线测量误差对贯通精度 影响值的估算方法.....	350	第二节 导线水平角和视差角观测 方法.....	400
第二节 主副导线环测量误差对贯通 精度影响值的估算方法.....	351	第三节 角度测量有关注意问题.....	401
第三节 导线网测量误差对贯通精度 影响值的估算方法.....	353	第四节 观测成果的精度验算.....	402
第四节 三角锁测量误差对贯通精度 影响值的估算方法.....	371	第五章 距离测量	404
第五节 高程贯通误差的估算方法.....	382	第一节 钢卷尺量距.....	404
第三章 测量设计	383	第二节 2m 因瓦横基尺测距.....	406
		第三节 因瓦基线尺量距.....	409
		第四节 光电测距.....	411
		第五节 长度归算.....	413
		第六章 洞外导线测量	414

第一节	导线布设	414
第二节	导线的近似平差和简化平差	415
第三节	独立导线网严密平差	424
第七章	隧道三角测量	439
第一节	三角锁的布设	439
第二节	最弱边精度估算	439
第三节	水平方向观测和起始边边长 测量	440
第四节	隧道三角锁条件方程式的 类型及条件方程式的数目	441
第五节	条件方程式不符值的限差	444
第六节	条件观测平差方法及步骤	445
第七节	三角锁按条件观测平差算例 (方向平差)	450
第八节	分组平差法	460
第九节	间接观测平差	468
第十节	三边网、边角网误差方程式 的开列	481
第十一节	相关平差	482
第八章	洞口投点及线路进洞关系计算	486
第一节	洞口投点的布设形式与平差 计算	486
第二节	坐标转轴和线路平面计算	490
第三节	线路进洞关系计算	492
第九章	洞外高程控制测量	505
第一节	高程控制测量的任务和要求	505
第二节	精密水准测量	506
第三节	光电测距三角测距测量	509
第四节	高程测量成果计算	509

第十章	洞外控制测量成果整理	513
第一节	外业成果整理	513
第二节	提交资料内容	513
第十一章	竖井联系测量	514
第一节	竖井联系测量的任务和要求	514
第二节	联系三角形定向	515
第三节	光学垂准法投点	517
第四节	陀螺经纬仪定向	518
第五节	通过竖井传递高程的方法	527
第十二章	洞内控制测量	530
第一节	洞内控制导线的布设	530
第二节	洞内导线测角和测边	530
第三节	洞内导线的检测	532
第四节	导线计算	533
第五节	实际贯通误差的测定与调整	534
第六节	洞内高程控制测量	536
第十三章	隧道施工测量和竣工测量	538
第一节	隧道洞门仰坡放样	538
第二节	导坑延伸的中线测量	540
第三节	中线测量	543
第四节	中线侧移计算和测设	546
第五节	施工放样资料准备	547
第六节	施工断面测量及建筑放样	549
第七节	竣工测量	550
第八节	成果整理及技术总结	551
第十四章	隧道施工中与竣工后的位移 观测	552
第一节	施工过程中的位移观测	552
第二节	运营线路隧道位移观测	555

第四篇 桥 涵 测 量

第一部分 一般特大桥、大中小桥和涵洞

第一章	新线(含增建第二线与改建既有线) 的桥涵测量	558
第一节	桥梁水文及滨河路堤水文 测量	558
第二节	桥涵地形和断面测量	565
第三节	简易水文观测	567
第二章	桥涵施工测量	576
第一节	线路中线复测	576
第二节	平面控制测量	578
第三节	水准测量	581
第四节	桥梁墩台定位测量	582
第五节	极坐标法墩台定位	590
第六节	交会法测设桥梁墩台位置	593
第七节	桥梁施工放样及竣工测量	594
第八节	涵洞施工测量	597

第二部分 复杂特大桥及重要大桥

第三章	桥址勘测	598
第一节	勘测前的资料准备	598

第二节	现场踏勘	598
第三节	桥址选线	599
第四节	桥址中线测定	599
第五节	桥址断面测量	601
第六节	桥址地形测绘	604
第七节	桥址水文测量	608
第四章	桥梁施工测量	623
第一节	平面控制网的测设	623
第二节	平面控制网的平差计算	630
第三节	桥梁高程控制网的测设	636
第四节	桥址控制网的复测	641
第五节	施工控制点的加密	643
第六节	施工场地和运输线路的测量	647
第七节	桥梁墩台定位测量	648
第八节	桥梁墩台施工放样测量及 工程质量检验测量	662
第九节	桥梁架设施工测量	686
第十节	现场灌注混凝土梁的测量	693
第十一节	施工期间的水文观测	695
第十二节	施工期间的桥梁墩台变形 观测	700

绪 论

测量在铁路工程中应用十分广泛,在设计、施工、运营中要进行不同内容的测量,对线路、桥梁、隧道等不同工程的测量又有不同的要求与方法。为提高勘测质量,降低工程造价,创造优质工程,勘测时应加强总体研究,与地质、路基、桥涵、站场、通信、电力等专业密切配合,共同搞好测绘工作。

新建铁路、改建铁路和增建第二线等建设项目,一般按三阶段设计,即:初测、初步设计;定测、技术设计;施工图设计。工程简单,技术不复杂,有条件的可按两阶段设计,即定测、扩大初步设计;施工图设计。工程简单,原则明确,有条件的可按一阶段设计,即定测、施工图设计。

初测阶段的勘测工作,主要是提供铁路沿线大比例带状地形图,工点地形图及沿线水文、地质勘探资料等。地形图的测绘可采用航空摄影测量或人工测量进行。

定测阶段的勘测工作,主要将已批准的初步设计方案,结合现场的地形、水文、地质情况,将线路中心线在地面上标定出来,然后沿线路测量纵断面和横断面等。

施工阶段测量的任务主要是保证各种建筑物能按照设计位置准确地建立起来。施工前需进行“复测”,对于大型桥隧工程,为了保证施工放样精度,还要作施工控制网。各项工程完工后,则应进行贯通全线的竣工测量。

在运营的铁路线上,当需要对既有线路进行改建、增建二线、电气化改造或对既有铁路进行日常维护时,均需对既有线现状进行测量,即既有铁路测量。

航空摄影测量是进行铁路各种比例尺测图的重要手段和先进方法。该方法具有速度快、精度高、质量好等优点,在困难山区更为显著。其主要内容包括:对航空摄影的规定、摄影的处理、外业控制 and 调绘作业、空中三角测量、测绘地形图、原图清绘,以及数字化测图等。同时还包括利用既有航摄资料(主要是小比例尺)测绘铁路专用图的经验。

铁路测量按不同工程分为线路测量、隧道测量、桥涵测量。

线路测量主要包括插旗、导线测量、地形测量、高程测量、定线测量、中线测量、横断面测量等。

隧道测量主要包括洞外平面和高程测量、洞内平面和高程测量、地面与地下的联系测量、隧道掘进中的中线放样、隧道横断面测量和建筑物的施工放样。运营期间还需对隧道进行变形观测。

桥涵测量主要包括桥址地形测量、断面测量、水文测量、桥址中线测量、控制三角网的测设、控制水准网的测设、桥梁墩台定位测量、施工放样及施工测量以及运营期间的变形观测等。

铁路测量时应遵守《铁路测量技术规则》、《既有铁路测量技术规则》、《铁路线路图例符号》等的规定和要求,并应符合现行的国家、部颁规范、规则等。

第一篇 线路测量

第一部分 新线线路测量

第一章 新线线路测量程序

线路测量是指铁路在设计和施工中所要进行的各种测量工作。线路测量的主要任务是测定铁路中心线的平面位置和高程。因此,线路测量包括:①为选择和设计铁路中心线位置的各种测绘工作;②为在地面标定铁路中心线的各种测设工作;③为路基设计和施工而进行的测绘测设工作。铁路勘测设计一般要经过可行性研究报告、初测、初步设计、定测、技术设计施工图等过程。

一、为编制可行性研究报告而进行的现场勘察

铁路建设可行性研究报告是根据铁路中长期规划的要求,对建设项目在技术、工程和经济上是否合理作全面分析论证,进行多方案比选,提出评价。在提出可行性研究报告之前,应收集本线所需的技术经济资料,包括各种比例尺地形图、航摄像片、三角点、水准点资料、已有的勘测设计资料,城市建设、农田水利、交通规划、有关单位对修建本线的意见。根据收集到的资料,提出本线的铁路等级和主要技术标准意见,进行室内方案研究。一般在收集到的地形图上,根据必经的控制点对线路走向、车站分布等进行纸上研究,从中选出一个或几个可能的线路方案。并组织有经验的线路、水文、地质等专业人员,沿线路研究方案的重点地段,如:主要分水岭的垭口、控制线路方案的隧道和桥渡工点及沿线地质、地形等情况等进行实地勘察。在实地勘察的同时,还应征求地方政府和有关单位对修建本线的意见和要求,以作为可行性研究报告的内容。

二、初 测

初测是为编制初步设计进行的勘测工作。初测的主要任务是提供沿线大比例尺带状地形图、工点地形图以及沿线水文、地质勘探资料等。根据勘测任务书的要求,为提供准确可靠的测绘资料供初步设计时使用。地形图的测绘可采用航空摄影测量或人工测量进行。航空摄影测量地形图的测绘方法在第二篇航空摄影测量中阐述。本篇主要介绍人工测图时的测量方法和步骤。

(一)插旗

根据原有地形图(小比例尺),拟定线路方案。在野外标出线路走向的控制点的工作称为插旗。一般情况下,插旗的位置应为设立导线点的位置。因此,插旗的位置应便于测边、测角、测地形,并应符合设

置导线点的有关规定。

在地质复杂及重点桥隧地段,技术队长应会同有关专业人员现场商讨线路位置的可行性,以便局部修改线路拟定方案。

(二)导线

导线是测绘线路带状地形图和以后定测放线的根据。导线的布设一般是沿着大旗的方向进行,在插旗的位置或附近选一稳固并便于观测的地方设置导线点位。导线点间距离不宜长于 400m 和短于 50m,当地形平坦、视线清晰时亦不应长于 500m。当使用光电测距仪时,导线点之间的距离可增至 1000m,并在不长于 500m 处设置加点。为地形测绘的方便,在桥隧等工点附近增设加点。根据实践经验,设置的加点缺少检核条件,展绘在地形底图上时,易发生错误,造成不必要的返工,故宜将加点纳入附合导线中。

为了检核导线的精度,取得国家统一坐标,每隔一定距离应与国家平面控制点进行联测,如《铁路测量技术规则》(TBJ101—85(1986)),以下简称《测规》,规定为 30km。当国家三角点遭到损坏或受气候影响联测困难时,可采用太阳高度法等测量方法求算方位角。近年来运用 GPS 定位技术测定方位及高程,为提高勘测质量,加快勘测速度提供了有利条件。

导线边长可采用光电测距仪、钢卷尺和基线法测量。

(三)高程测量

初测阶段的高程测量主要目的是:①建立沿线的高程控制作为地形测量、定测、施工以及竣工后沿线高程控制;②测定导线点的高程。水准点高程测量是为了在沿线建立水准点并测量高程,而中桩高程测量是为了测定导线点及加桩的高程。为了方便,水准点一般每 2km 设一个,工程复杂地段每 1km 左右设一个。

铁路上习惯将水准测量称为“抄平”,水准点高程测量称为“基平”,中桩高程测量称为“中平”。

水准点高程测量可采用精度指标不低于 DS₃ 级水准仪,进行一组往返或二组单程观测,亦可采用光电测距三角高程测量的方法。水准路线应起闭于国家水准点,并应在不远于 30km 处与国家水准点联测一次。由于铁路建设在高程上与城市、水利、工矿等工程密切相关,因此应采用国家统一的高程系统,

即 1985 年国家高程基准。当附近无国家高程基准点,而利用其它高程系统时,必须求得各高程系统之间的高差,并在最后换算为 1985 年国家高程基准。

(四)地形测量

地形图是线路平纵断面设计和重点工程设计的依据,因此需要有较大比例尺、具有一定精度的地形图,测图比例尺:平坦地区采用(1:5 000)~(1:2 000),困难地区采用(1:2 000),大桥、隧道、站场等工点工程的地形图视需要可采用(1:2 000)~(1:500)。由于初测地形图是进行方案经济技术比选的基础资料,它直接影响着铁路设计工程数量的准确性。不准确的地形图将会引起设计失实,概算失准,直至影响铁路建设。同时,不准确的地形图在定测时,将出现多次改移情况,造成人力、物力上的损失。因此,初测地形测量是一项关键性的工作。

测图宽度应满足设计的需要,在线路位置可能摆动地段,地形图应测得宽一点;而对线路摆动较小地段,可测得窄一点。一般情况下,平坦地区为导线两侧各 200~300m,丘陵地区为 150~200m。地形点在图上的点间距离:当地面坡度陡于 1:3 时,不应大于 15mm;地面坡度缓于 1:3 时,不应大于 20mm。

常用的测图方法有经纬仪视距法,经纬仪和小平板联合测图法及全站仪数字化测图等。

三、定 测

定测是将已批准的初步设计方案,结合现场的地形、水文、地质情况,将线路中心在地面上标定出来,为编制技术设计(或施工图)提供详细资料,同时也是铁路施工的依据。定测阶段的勘测工作主要包括:设立铁路中线桩、测量高程、测绘横断面、工点的测绘、钻探,以及有关的调查和协议。定测阶段的勘测资料是提供编制技术设计或施工图的设计依据。在定测阶段还应确定一些局部方案,如桥与高填路基方案比选、隧道与路基或绕行方案比选、地质不良地段的绕避方案等。

线路定测工作内容分为:

(一)放线与交点(定线测量)

放线与交点的测量工作是将已批准的初步设计线路方案,把直线、曲线的控制点,在地面上标定出来,它对标定线路位置起着决定性作用。放线与交点的测量工作,一般是照初步设计纸上定线位置准确地测设到地面上,但也要结合现场的地形、水文、地质等情况对线路的位置进行必要修正。当地形、地质复杂时,还要经过实测横断面进行比选,反复测试才能最后确定。所以,这项工作兼有测量和选线两项内容,均需在现场解决。

放线的方法有支距法和拨角法。交点的测设方法有直接交点法(骑马桩法)和副交点法。

(二)中线测量

中线测量是根据已钉出的线路控制点详细地测设直线和曲线,即测设公里桩、百米桩及各种加桩,据此进行沿线纵、横断面测量。

常用的延长直线的方法有:正倒镜分中法、拨角 180°分中延长直线法。常用的测设曲线的方法有:偏角法、切线支距法、弦线支距法、长弦偏角法及任意点置镜极坐标法。

(三)高程测量

定测阶段高程测量主要指线路中心桩橛的高程测量。根据初测设置水准基点测量中线所钉桩橛高程,并逐段与水准点闭合。中桩高程测量宜观测两次。若原设水准点距中线太远或太近时(一般为 80~100m)应改移和补设水准点。

(四)横断面测量

定测横断面是为施工设计、技术设计及计算工程数量而测设的。一般应在公里桩、百米桩、曲线控制点和线路纵、横向地形明显变化处测绘横断面。在大中桥头、隧道洞口、挡土墙等重点工程地段,横断面应适当加密。

(五)地形测量

定测一般利用初测地形图,不再作全线地形测量,但需根据定测纵、横断面修改原地形图,在地形不足之处进行补测。

第二章 测量误差的基本知识

第一节 测量误差的原因和分类

测量是采用一定的方法,使用一定的仪器工具测出角度、距离、高程等的一项工作。由于使用的仪器工具不可能绝对准确,进行测量的环境千差万别,测量人员的感官差异,测量方法的不同,所以在任何情况下,使用的仪器无论如何精确,工作无论如何仔细,仍然不会得到绝对正确的结果。例如,对一段距离进行多次丈量,或对一个角度进行多次观测,它们的数值总不可能完全相同,这就是存在误差的表现。实践证明,一切观测成果都不可避免地会含有误差。

由于测量误差的存在,观测结果往往不是一个量的真值。测量的精度是以测量误差的大小来表示的。测量误差愈大,则测量精度愈低;测量误差愈小,则测量精度愈高。因此,有必要对一系列观测值进行研究,分析各种测量误差产生的原因和大小,根据生产需要,合理选用仪器、测量方法及工作环境,使测量误差限制在规定的范围之内,达到既能满足质量要求,又能大大提高测量工作效率。

一、测量误差产生原因

测量工作之所以会有误差,主要是由人为原因、仪器自身存在误差以及外界自然条件变化等因素造成的。

(一)人为原因

人的感觉器官的鉴别能力有一定的限度,无论如何仔细地工作,观测时仪器的安置、照准、读数都会产生误差。即使同样的仪器、设备,在同样的条件下,由不同的人来操作,也会得到不完全相同的成果。

(二)仪器原因

无论多么精密的仪器在制造上也不可能圆满无缺,即使经过严格地检验、校正以及最终结果的修正,都不可避免地要产生误差。

(三)外界条件的原因

测量时的外界条件如温度、湿度、空气等自然条件都在不断地变化着,因此,观测得到的结果,必然

会含有误差。

二、测量误差的分类

测量误差按其性质来分,主要分为二类:

(一)系统误差

由于测量仪器工具的不完善和外界条件的影响,使观测的误差在大小、正负号上呈现一致性;或按一定规律变化,或保持一定的常数,这样的误差称为系统误差。系统误差在一定的条件下,可以用各种方法加以消除,或者最大限度地减少其影响程度。例如,光电测距仪所测的距离含有固定误差及比例误差,固定误差与所测距离长短无关,其值为一常数;比例误差与所测距离成正比,距离愈长,误差愈大。我们在测量前通过对光电测距仪鉴定,求出其固定误差及比例误差,在所测的距离中加以改正,从而提高了测距精度。

(二)偶然误差

在相同条件下,作一系列的观测,如果观测的误差在数值的大小、正负号上都呈现不一致性,这样的误差为偶然误差。经无数次测量实践证明,在各种条件相同的情况下,大量的偶然误差是有其规律性的,在各种测量过程中都反映出来,概括起来偶然误差有以下特点:

1. 在一定的观测条件下,偶然误差的绝对值不会超过一定限值。
2. 绝对误差小的误差比绝对误差大的误差出现的机会多。
3. 绝对值相等的正误差与负误差出现的机会相等。
4. 偶然误差的算术平均值随着观测次数无限增多而趋近于零。

一切观测成果中不可避免的都含有偶然误差,只有提高仪器的精度,或对同一量进行多次重复的观测,才可以减少偶然误差的影响。

第二节 精度评定标准

测量工作完成后,要求对测量结果的精度进行评定。通常采用中误差、极限误差、相对误差作为评定精度的标准。

一、中 误 差

所谓中误差,就是各个真误差平方和的平均值的平方根,即

$$m = \pm \sqrt{\frac{[AA]}{n}}$$

式中 m ——观测值中误差；
 n ——观测次数；
 A ——真值 x 与观测值 l 之差，即 $A = x - l$ 。
 一般情况下，真误差是不知道的，通常用下式计算：

$$m = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}}$$

其中 V ——改正数（或称似真误差），其值为观测值的算术平均值和各观测值之差。

由于偶然误差正值与负值出现的机会相等，故中误差总带有双重符号。一组观测值的中误差是各个观测值误差的函数，它的大小说明一组观测值的精度。观测值愈精确，则中误差愈小；反之亦然。在等精度观测条件下，也说明这一组中任何一次观测值的精度。但中误差并不等于每个观测值的真误差，而是用来评定一组观测值精度的一个量。在观测次数较多的情况下，用中误差来衡量精度较为可靠，它能把观测值中大误差灵敏地反映出来。我国测量工作中统一采用中误差作为衡量精度的指标。

例：丈量某段距离，6次等精度观测的结果如表 1.2.2.1

表 1.2.2.1

序号	观测值 L_i (m)	$V_i = X - l_i$ (mm)	V_i^2	中 误 差
1	546.555	-6	36	$m = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}}$ $= \pm \sqrt{\frac{228}{6-1}} = \pm 6.75\text{mm}$
2	546.548	+1	1	
3	546.558	-9	81	
4	546.540	+9	81	
5	546.551	-2	4	
6	546.544	+5	25	
	$x = \frac{[L]}{n} = \frac{3\,279.296\,0}{6}$ $= 546.549$			

二、极限误差

偶然误差的第一特性告诉我们，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。如果在测量工作中所出现的误差超过这个极限值，就认为观测的质量不好，应将超出这个限值的观测值舍去不用。根据或然率理论及多次实验统计证明：大于 2 倍中误差的偶然误差，其出现的机会只有 5%，大于 3 倍中误差的偶然误差出现的机会仅 0.3%。在实际工作中，观测次数总是有限的，所以可以认为大于 3 倍中误差的偶然误差事实上是不可能出现的。因此，一般以中误差的 3 倍作为极限误差。

现行《测规》提出了更严格的要求，以 2 倍中误差作为极限误差。

三、相对误差

对于某些测量成果，只用中误差还不能很确切的衡量其精度。例如，用钢卷尺丈量两段距离，它们的长度分别为 1 000m 和 500m，其观测值的中误差均为 $\pm 2\text{cm}$ 。不能认为这两个观测值的精度是相同的，为此，我们用相对中误差来衡量其精度。所谓相对中误差，就是中误差与观测值之比，在上例中，前者为 $\frac{2}{100\,000} = \frac{1}{50\,000}$ ，而后者为 $\frac{2}{50\,000} = \frac{1}{25\,000}$ ，显然前者的精度高于后者。相对误差是个无名数，在评定精度时应将分子化为 1。在钢卷尺量距工作中，都

进行往返丈量，常用两次结果的较差与边长之比来衡量丈量的精度，这是相对误差的另一种形式。两者是两种不同的衡量精度的标准。

四、用双观测值之差求观测值的中误差

测量工作中常有对未知量以等精度进行成对观测的情况，例如：水准测量中每段线路进行往返观测；导线测量中每条导线边丈量两次等。这种成对的观测称之为双观测。在等精度双观测情况下，观测值的中误差的计算公式为：

$$m = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{2n}}$$

式中 d ——双观测值的差；

n ——双观测的次数。

例：水准测量在水准点 A 、 D 之间往返各测一次，各水准点间的距离为 1km，各双观测值如表 1.2.2.2。

表 1.2.2.2

水准 路线	高 程 差 (m)		$d = l' - l''$ (mm)	dd
	往测 l'	返测 l''		
$A \sim B$	-0.286	-0.289	+3	9
$B \sim C$	+1.426	+1.429	-3	9
$C \sim D$	+2.635	+2.630	+5	25
$n = 3$				$[dd] = 43$

$$m = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{2n}} = \pm \sqrt{\frac{43}{6}} = \pm 2.68\text{mm}$$

五、算术平均值及算术平均值中误差

对同一量进行几次观测,取其平均值作为观测值的结果,其结果即为算术平均值。在等精度观测的条件下,各观测值的中误差 m 相同,则算术平均值的中误差 $M = \frac{m}{\sqrt{n}}$ 。即算术平均值的精度比单一观测值的精度提高 $\sqrt{n}$ 倍。

六、加权平均值及中误差,单位权中误差

在实际工作中,观测成果往往是在不同的条件下得到的,例如,一个角度用相同的方法进行了两组观测,第一组观测了 2 个测回,第二组观测了 3 个测回。又如某点高程由 3 个水准点沿各自的水准路线测后求得。若要求算该角或该点的最终结果,就不能简单地取各个观测值的平均数,因为,各个观测值的精度不同。我们必须考虑各个观测值的精度,在取平均值时精度高的观测值所占的“比重”应高,而精度低的所占的“比重”应低。这个“比重”可以用一个数值来表示,此数值称为观测值的权。通常用字母 P 来表示。

一般情况下,若对某未知量 x 进行了 n 次不等精度观测,观测值为 $L_1, L_2, \dots, L_n$,其相应的权为 $P_1, P_2, \dots, P_n$,则该量的最或是值为:

$$x = \frac{P_1 L_1 + P_2 L_2 + \dots + P_n L_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n} = \frac{[PL]}{[P]}$$

上式就是不等精度观测时计算未知量最或是值

的公式,称为加权平均值。

加权平均值的中误差按下式计算:

$$M = \pm \frac{\mu}{\sqrt{[P]}}$$

式中 μ ——单位权中误差, $\mu = \pm \sqrt{\frac{[Pv]}{n-1}}$

其中 v ——最或是值 x 与观测值 L 之差,即

$$v_i = x - L_i$$

例:如图

1.2.2.1 示,从三个水准点 A、B、C 出发测量 Q 点高程,其观测值列于表 1.2.2.3。求算 Q 点的高程 x ,单位权中误差 μ

及加权平均值中误差 M (表 1.2.2.4)。

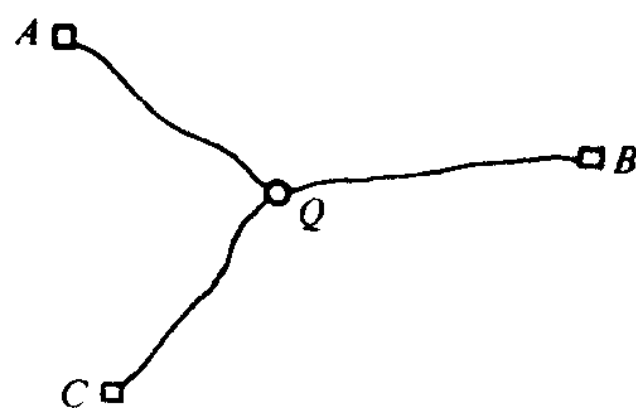


图 1.2.2.1

表 1.2.2.3

水准点	已知高程 (m)	水准线路	高差观测值	线路长度 (km)
A	20.145	A→Q	+1.538	2.5
B	24.030	B→Q	-2.330	4.0
C	19.898	C→Q	+1.782	2.0

为了计算方便,取 Q 点高程观测值的近视值为 $x_0 = 21.680$ 。

表 1.2.2.4

水准路线	Q 点的高程观测值 L (m)	距离 S (km)	$P = \frac{1}{S}$	$\delta_i = L - x_0$ (mm)	$P\delta_i$	v (mm)	Pv	Pv^2
A→Q	21.683	2.5	0.4	+3	1.2	-2	-0.8	1.60
B→Q	21.700	4.0	0.25	+20	5	+15	+3.75	56.25
C→Q	21.680	2.0	0.5	+0	0	-5	-2.5	12.50
Σ			1.15		6.2		+0.45	70.35

$$\delta_x = \frac{[P\delta_i]}{[P]} = \frac{+6.2}{1.15} \approx 5\text{mm}$$

$$x = x_0 + \delta_x = 21.680 + 0.005 = 21.685\text{m}$$

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[Pv]}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{70.35}{2}} = \pm 5.93\text{mm}$$

$$M = \pm \frac{\mu}{\sqrt{[P]}} = \pm \frac{5.93}{\sqrt{1.15}} = \pm 5.53\text{mm}$$

第三章 距离测量

第一节 光电测距

一、光电测距仪的工作原理

光电测距仪是电磁波测距仪的一种,它是以光波为载波。光电测距仪使用的光源有白炽灯和汞灯光源、红外光源和激光光源、白炽灯和汞灯光源自红外光源和激光光源出现后已逐渐被淘汰。铁路、公路等工程的勘测,一般均使用红外光电测距仪。红外光电测距仪具有重量轻、体积小、精度高、测程远、操作方便、作业效率高等特点。

光电测距仪按测程分,可分为三类:①短程光电测距仪,测程小于 3km,适用于各种工程测量和地形测量;②中程电磁波测距仪,测程 3~15km,适用于大地测量和地震测量;③长程电磁波测距仪,测程大于 15km,适用于航空、军事和空间目标的距离测量。

光电测距仪按测距精度(以 1km 测距中误差表示)分为三级:① I 级:小于 5mm;② II 级:5~10mm;③ III 级:11~20mm。

光电测距的基本原理是利用光波在空气中传播的速度为已知这一特性,测定光波在被测距上往返传播的时间来求得距离值。如图 1.3.1.1 示。光电测距仪置 A 点,发射出红外光波后被 B 点的反射镜反射回并被 A 点的光电测距仪接收。设光波在 AB 距离上往返传播的时间为 t ,则距离 D 可由式(1.3.1.1)求得:

$$D = \frac{1}{2} c \cdot t \quad (1.3.1.1)$$

式中 c ——光波在空气中的传播速度,约为 $3 \times 10^8 \text{m/s}$ 。

只要精确地求出光波往返传播的时间 t ,则距离 D 就可求出。具体实现求 D 的方法很多,如脉冲法、

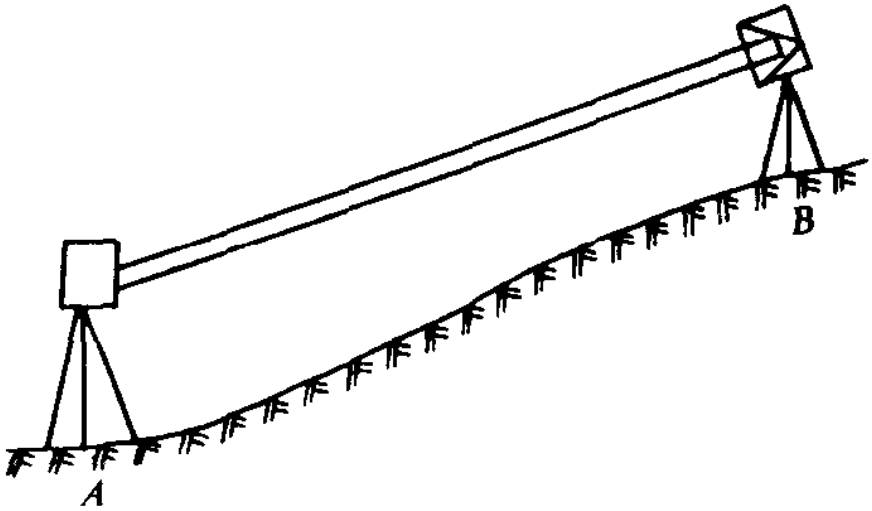


图 1.3.1.1

相位法和变频法等。在精度较高的测距仪中,一般均采用测定“调制光波”往返于被测距离上的相位差,间接求定距离,即相位法测距。相位法测距是选用一单位长度较短的精测尺来测量距离的尾数,以保证测距精度,选用一个或几个辅助尺(又称粗测尺)来测定大于精测尺的长度,然后将各测尺的测距读数组合起来,得到单一的准确距离值。例如:为了测量长度为 367.43m 的边长,选用精测尺的长度为 10m;粗测尺的长度为 1000m。用精测尺可测得不足 10m 的尾数 7.43m,用粗测尺可测得不足 1000m 的尾数 360m,将两者组合起来就可以得到 367.43m,从而完成测距工作。

中、短程光电测距仪目前一般均采用相位法测距。

二、光电测距

- (一)测距限差及竖直角观测限差(表 1.3.1.1)
- (二)记录格式(例如表 1.3.1.2)

表 1.3.1.1

测距仪精度等级	测距中误差(mm)	同一测回各次读数互差限值(mm)	测回间读数较差限值(mm)	往返或时段较差限值(mm)	竖直角两半测回较差(″)	竖直角测回间较差(″)
I	<5	5	7	$2\sqrt{2} \frac{m_D}{\sqrt{n}}$	12	8
II	5~10	10	15			
III	11~20	20	30			

注:①往返测较差必须将斜距化算到同一水平面上方可进行比较。
② m_D 为仪器标称精度。

置镜点 仪器高 (i)	观测点	水平度盘读数		采用右角		正镜 测距 (D ₁)	反射 镜高 (s)	垂直度盘读数		采 用 天 顶 角 (Z)	气 象 改 正		斜距 (cm)	平距 D	高差 $\Delta H = k + \sum R + i - l$			附注及草图					
		度 (°)	分 (′)	秒 (″)	右 (°)			角 (°)	左 (°)		偏 角 (α _z , α _g) (°)	度 (°)			分 (′)	秒 (″)	平均 值 (r′)		温度℃ 海拔高	±ΔD	D ₁ ± ΔD ₁	s _m · sin z	(k) s _m · cos z
I C173	172	117	37	12	183 15 12		183 15 08		263	18	26	34	108.340	107.602					-12.476		172 173 D 183° 15′ 08″ 174 D 156° 41′ 38″ 174		
	174	300	52	24	183 15 12		183 15 08		277	18	43												
1.350	172	278	22	06	183 15 03		183 15 03		96	41	34	17	108.341										
	174	101	37	09	183 15 03		183 15 03		82	41	17			164.360	163.023					20.868			
I C174	173	247	16	34	156 41 40		156 41 38		262	36	12	48	164.387	163.020					-20.879				
	174 1	43	58	14	156 41 40		156 41 38		273	37	40			91.546									
1.482	173	34	25	14	156 41 36		156 41 36		97	23	47	22	164.388										
	174 1	191	06	50	156 41 36		156 41 36		86	22	24			91.547	91.364					5.875			
																</							

(三) 成果计算

光电测距观测工作结束后,应及时整理和检查外业观测记录中所有计算是否正确,测量结果是否满足各项限差要求,确认观测成果全部符合要求后,才能进行内业计算。如果使用电子记簿器,应考虑使打印输出的项目与手记相同,存贮在记簿器内的各项限差要打印在观测成果的前面,以便查对。

1. 气象改正

光波在大气中的传播速度与大气折射率 n 密切相关,而大气折射率 n 又随大气温度 t 、气压 P 、水汽压 e 和气体成分的不同而变化。大气折射率是否准确,直接影响测距精度。因此,温度计、气压计应定期送当地气象站(台)校核,发现异常情况时应及时校核,误差分别超过 1°C 及 133.30Pa (即 1mmHg)时,读数应加改正值。测距时温度计及气压计应避免曝晒。

每测距一测回应读一次气温和气压,气温读至 1°C ,气压读至 133.3Pa (即 1mmHg),一般可在测站上读记。桥、隧控制测量当测边两端高差较大或边长较长时,应在测站及镜站各读一次,最后取平均值。

气象改正数一般可查仪器说明书提供的共线图或用测距仪自动改正,桥隧控制测量应按气象改正有关公式进行计算。

1963年在伯克莱(Brekleg)召开的第十三届国际大地测量与地球物理协会上决定采用下列公式计算在标准气象条件(温度 $t=0^\circ\text{C}$ 、气压 $P=101325\text{Pa}$ (即 760mmHg)、湿度 $e=0\text{Pa}$ 、 CO_2 含量为 0.03%)下,波长为 λ 的光速的折射率 $n_{\text{基}}$ 。

$$n_{\text{基}} = 1 + A + \frac{3B}{\lambda^2} + \frac{5C}{\lambda^4} \quad (1.3.1.1)$$

式中 $A=2.876.04 \times 10^{-7}$;

$B=16.288 \times 10^{-7}$;

$C=0.136 \times 10^{-7}$;

λ ——测距仪的载波波长(DI-10、DI-3、DI₃S 为 $0.875\mu\text{m}$, DM501、EOK2000 为 $0.900\mu\text{m}$, HGC-1 为 $0.93\mu\text{m}$, DM502、DM503 为 $0.86\mu\text{m}$)。

由于自然界的气象条件总是变化的,完全与标准气象条件相同的情况是难以得到的。因此,尚须按下式计算任意气象条件下光波折射率 n

$$n_{\text{任}} = 1 + \frac{(n_{\text{基}} - 1) \times P_{\text{任}}}{(1 + \alpha t_{\text{任}}) \times 101325} - \frac{55 \times 10^{-9}}{1 + \alpha t_{\text{任}}} \cdot e \quad (1.3.1.2)$$

式中 α ——空气膨胀系数 $\alpha = \frac{1}{273.16}$;

e ——湿度,该项误差影响一般可忽略不计。

为了测距仪设计的需要,仪器选定接近于作业的气象条件,例如 DI-10、DI₃S、DM501 等测距仪的设计气象条件为 $P_{\text{基}}=101325\text{Pa}$, $t_{\text{基}}=12^\circ\text{C}$,代入式(1.3.1.2)可得仪器设计时采用的某一气象条件下的基准折射率 $n_{\text{基}}$,

$$n_{\text{基}} = 1 + \frac{(n_{\text{基}} - 1) \times P_{\text{基}}}{(1 + \alpha t_{\text{基}}) \times 101325} \quad (1.3.1.3)$$

设 $C_m = n_{\text{基}} - n_{\text{任}}$,则距离的气象改正公式为:

$$\Delta D = (n_{\text{基}} - n_{\text{任}}) D_1 = C_m \cdot D_1 \quad (1.3.1.4)$$

例:瑞士 Wild DI4L 光电测距仪,采用的红外光波波长 $\lambda=0.835\mu\text{m}$,设计选用的气象条件为 $t=12^\circ\text{C}$ 、 $P=101.325\text{Pa}$ 、 $e=0\text{Pa}$ 。测距时 $t_{\text{任}}=30^\circ\text{C}$, $P_{\text{任}}=103.991$,测距读数 $D=300.146\text{m}$,求距离的气象改正数。

$$n_{\text{基}} = 1 + (2.876.04 + \frac{3 \times 16.288}{0.835^2} + \frac{5 \times 0.136}{0.835^4}) \times 10^{-7}$$

$$= 1.000\,294\,752$$

$$n_{\text{任}} = 1 + \frac{(1.000\,294\,752 - 1) \times 103.991}{(1 + 0.003\,660\,86 \times 30) \times 101.325}$$

$$= 1.000\,272\,572$$

$$n_{\text{基}} = 1 + \frac{(1.000\,294\,752 - 1) \times 101.325}{(1 + 0.003\,660\,86 \times 12) \times 101.325}$$

$$= 1.000\,282\,348$$

距离的气象改正数为:

$$\Delta D_m = C_m \cdot D_1$$

$$= (1.000\,282\,348 - 1.000\,272\,572) \times 300.146 = 0.002\,9\text{m}$$

目前,一些中、短程光电测距仪采用了以下两种气象改正装置:一种是用仪器运算电路或专用计算机在测距结果显示之前对所测距离乘以比例因数。这样,显示的距离是已经过气象改正的斜距值。另一种是将气温和气压值通过气象改正键输入测距仪,仪器自动改变精测频率,输出经气象改正后的距离结果。

2. 测距仪常数改正

仪器的常数改正,一般用于测距精度要求比较高的边长计算,如隧道测量、复杂特大桥及重要大桥的测量。对于精度要求比较低的测量,如线路测量,边长一般均不进行仪器常数的改正。

仪器的常数改正是采用作业前的检测数据(或测前、测后检测结果的平均值),对测量的距离进行改正。

(1) 加常数改正数 ΔD_c

$$\Delta D_c = C \quad (1.3.1.5)$$

式中 C ——仪器的加常数(mm)。

(2) 乘常数改正数 ΔD_R

$$\Delta D_R = R \cdot D \quad (1.3.1.6)$$

式中 R ——仪器的乘常数,mm/km;

D ——观测距离,km。

(3) 周期误差改正数 ΔD_A

根据检验求得的周期误差振幅 A 、初相角 φ 。根据式(1.3.1.7)算出在一个精测尺内每隔 0.5m 的仪器周期误差改正数,列成表格备用。

$$\Delta D_A = A \sin(\varphi_0 + \frac{i}{\lambda} \times 360) \quad (1.3.1.7)$$

式中 A ——周期误差振幅(mm);

φ_0 ——仪器的起始相位角;

i ——不足一个精测尺长的距离尾数(m);

λ ——测距仪的精测尺长度。

3. 水平距离计算

$$L = D \cos \alpha$$