



高等学校教材

交通工程测量

JIAOTONG GONGCHENG CELIANG

姚德新 主编

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高等学校教材

交通工程测量

姚德新 主编



中国铁道出版社

2017年·北京

内 容 简 介

本书全面系统地阐述了现代交通测量的基本概念、基本理论和测量技术与方法。全书共8章,主要包括绪论、控制测量、控制网平差、施工放样、线路测量、桥梁施工测量、隧道施工测量、工程建筑物变形观测等内容。

本书为测绘工程专业本科工程测量学的补充教材和土木工程专业本科(铁路与公路工程、桥梁工程、地下工程与隧道)的工程测量教材,亦可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

交通工程测量/姚德新主编. —北京:中国铁道出版社,2017.7

ISBN 978-7-113-23223-8

I. ①交… II. ①姚… III. ①交通工程-工程测量
IV. ①U412.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 132547 号

书 名:交通工程测量

作 者:姚德新 主编

策划编辑:李丽娟

责任编辑:刘红梅

编辑部电话:010-51873133

电子信箱:mm2005td@126.com

封面设计:王镜夷

责任校对:焦桂荣

责任印制:郭向伟

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

版 次:2017年7月第1版 2017年7月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:13.75 字数:338 千

书 号:ISBN 978-7-113-23223-8

定 价:30.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

前 言

工程测量学科是一门应用学科,它是直接为国民经济建设和国防建设服务,与生产实践紧密结合的学科,是测绘学中最活跃的一个分支学科。随着社会的进步,测绘科技飞速发展,工程测量的理念和手段已发生了重大变化,特别是在现代高速铁路建设中的成功应用,为铁路建设提供了重要保障。为适应测绘科技发展带来的变化,本书以现代铁路工程测量为主线,充分反映测量工作的新技术和新方法,为学生就业后尽快适应工作环境奠定坚实的基础。

全书共8章,主要包括绪论、控制测量、控制网平差、施工放样、线路测量、桥梁施工测量、隧道施工测量、工程建筑物变形观测等内容。在控制测量和控制网平差中介绍了控制测量的基本知识、基本原理、外业施测方法及控制网平差计算;在施工放样测量中,主要介绍全站仪和GPS RTK等放样的基本方法,这是施工测量的基础工作;线路测量、桥梁施工测量、隧道施工测量属于交通工程测量内容,根据工程建设中的勘测设计和施工建设阶段的不同要求,着重介绍了线路、桥梁、隧道等工程的测量工作;工程建筑物变形观测部分,主要介绍变形观测方案的确定、工程建筑物各类变形的观测方法及变形监测网数据处理方法。在章节编排上,既充分考虑了测量工作的共性,又重点突出了测量工作的个性,不但满足了教学的要求,而且也有关工程技术人员在处理相关工程技术问题时提供了参考。

本书由兰州交通大学姚德新担任主编。参加编写的还有兰州交通大学李建章和李仲勤。具体分工如下:姚德新负责第一、五、六、七、八章,李建章负责第二、四章,李仲勤负责第三章。

本书可作为高等学校测绘工程专业本科工程测量学的补充教材及土木工程本科大类(铁路与公路工程、桥梁工程、地下工程与隧道)工程测量教材。

由于编者水平所限,书中不妥及错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

2017年6月





目 录

第一章 绪 论	1
第一节 控制测量的任务及其作用	1
第二节 铁路和公路工程测量的内容及特点	2
第三节 变形观测及其意义	4
思考与练习题	8
第二章 控制测量	9
第一节 三角形网测量	9
第二节 精密导线测量	15
第三节 观测元素概算	17
第四节 全球定位系统测量	19
第五节 精密水准测量	30
第六节 三角高程测量	39
思考与练习题	42
第三章 控制网平差	44
第一节 测量平差的数学模型	44
第二节 条件平差原理	49
第三节 间接平差原理	61
第四节 GNSS 控制网数据处理	74
思考与练习题	78
第四章 施工放样	80
第一节 全站仪放样	80
第二节 RTK 放样	81
思考与练习题	88
第五章 线路测量	89
第一节 平面控制测量	89
第二节 高程控制测量	107
第三节 控制网维护测量	115
第四节 初测地形测绘	118
第五节 线路中线测设	118
第六节 线路中线资料计算	120

第七节 纵横断面测量	137
第八节 路基边桩测设	141
第九节 线路竣工测量	143
思考与练习题	143
第六章 桥梁施工测量	146
第一节 桥梁施工控制测量	146
第二节 桥梁资料及其计算	150
第三节 墩台定位及其纵横轴线的测设	160
第四节 桥梁竣工测量	168
思考与练习题	168
第七章 隧道施工测量	170
第一节 隧道施工及其测量工作的特点	170
第二节 隧道贯通误差	171
第三节 隧道控制测量	173
第四节 进洞关系计算和进洞测量	182
第五节 隧道施工中线测设	184
第六节 贯通误差的调整及竣工测量	186
思考与练习题	190
第八章 工程建筑物变形观测	192
第一节 变形观测方案	192
第二节 沉陷观测	194
第三节 倾斜观测	196
第四节 水平位移观测	198
第五节 挠度观测	200
第六节 变形观测数据处理	201
思考与练习题	210
参考文献	212



第一章 绪 论

在土木工程建设中,测量工作起着十分重要的作用,如果没有测量工作为工程建设提供图纸和数据,并及时与之配合和指导,任何工程建设都将无法实施。测量学是从人类生产实践中发展起来的一门历史悠久的科学,随着社会的发展和科学技术的进步,测绘科学也分支了若干学科,其间既相对独立又存在着必然联系。本书主要介绍控制测量,应用于铁路和公路工程建设中的工程测量以及处于测绘科学和土木工程科学边缘的分支学科——变形观测。

第一节 控制测量的任务及其作用

一、控制测量的主要任务

控制测量的基本任务是精确测定地面控制点的平面位置和高程。工程建设一般可分为三个阶段,即规划设计阶段、施工建设阶段及运营管理阶段。控制测量是直接为各项工程建设服务的,在工程建设的不同阶段,都需要建立控制网,但其任务是不同的。

1. 规划设计阶段

在规划设计阶段,为测绘各种比例尺地形图而建立必要精度的测图控制网。

各项工程建设的规划设计都是在地形图上进行的。地形图作为规划设计的基础资料之一,必须具有一定的精度,才能保证在地形图上量算数据的准确性,进而才能保证工程建设的规划设计是合理的、可靠的。显然,在规划设计阶段,为防止误差积累、使测区内精度均匀而建立的测图控制网应有必要的精度。另外,如果测区较大,地形图分幅较多,为保证地形图的正确拼接,控制网应有统一的坐标系统。

2. 施工建设阶段

在施工建设阶段,为工程建设的施工放样而建立必要精度的施工控制网。

施工放样,就是以施工控制网为基础,按照设计和施工的具体要求,将图纸上设计的工程建筑物测设于地面并予以标定,做为施工的依据。

如隧道施工中,测量工作的任务是保证相向开挖的工作面按照规定的精度在预定位置贯通;保证洞内各项建筑物以规定的精度按照设计位置修建,不得侵入建筑限界。隧道是比较特殊的工程建筑物,无论采用何种施工方法,其特点都是:开挖顺着中线不断地向洞内延伸,衬砌和洞内建筑物的施工紧跟其后,不等贯通,隧道内的大部分建筑物已经建成;隧道的实际贯通误差也只有在贯通后才能确定,一旦出错,将给工程造成巨大的损失。作为指导隧道施工的测量工作,在隧道开挖初期,以洞外控制点引测进洞;随着隧道的向前延伸且在贯通前,洞内平面控制测量只能采用支导线的形式,测量误差随着开挖的延伸而积累。为满足隧道施工的要求,为隧道施工放样而建立的隧道洞内外施工控制网应有必要的精度。

3. 运营管理阶段

在工程运营管理阶段,主要是为监测各种工程建筑物变形而建立相应等级的专用变形监测控制网,简称为监测网。工程建筑物变形的量一般都比较小,因而为变形观测建立的监测网往往也要求具有较高的精度。

二、控制网的作用

综上所述,控制网是进行各项测量的基础。如在规划设计阶段,控制网是地形图测绘的基础;在施工建设阶段,施工控制网是工程建筑物施工放样的基础;在运营管理阶段,变形监测网是观测工程建筑物变形观测点变形量的基础。此外,控制网还具有控制全局、限制测量误差的传递和积累作用。

第二节 铁路和公路工程测量的内容及特点

工程测量服务的对象种类繁多、性质各异,如工矿企业、铁路公路、水利、电力、管道及城市建设等等。对于不同的工程建设项目,工程测量有其自身的特点及要求,但从其基本原理和基本方法上讲,又有许多共同之处。在工程建设规划设计阶段、施工建设阶段及运营管理阶段,工程测量是直接为各项建设工程项目的勘测、设计、施工、安装、竣工及运营管理等一系列工程工序服务的。因此,工程测量学是研究各项工程建设在勘测设计、施工建设和运营管理阶段所进行的各种测量工作的学科,工程测量的基本任务是为各项工程建设的规划设计、施工建设及运营管理提供足够规模和必要精度的测绘保障。

铁路工程和公路工程是国家的基本建设项目,其规模大、结构复杂,都要经过勘测设计和施工的过程,建成后再交付运营。

一、勘测设计阶段

勘测就是对设计的铁路或公路综合进行经济调查和技术调查,目的在于收集设计所需技术经济资料。设计主要包括综合设计、建筑物单项设计,并提出工程的概预算等。勘测设计是一项涉及面广、技术复杂的整体工作。在此阶段先后要完成:方案研究、初测与初步设计、定测与施工图设计等工作。

1. 方案研究

方案研究就是在中小比例尺地形图上选出几个可能的线路方案和确定一些重要技术问题,提出初步选择意见。因此,在勘测设计的最初阶段,应尽可能多地搜集有关设计线路所需要的技术和经济资料,其中包括:各种比例尺的地形图、航测或遥感相片、控制测量成果等测绘资料,地质、水文、气象资料,水利、交通运输、城市和工矿企业建设规划,以及中央、地方及国防等有关部门对修建线路的意见。然后根据这些资料,并在对控制线路方向的局部重点地段(如越岭垭口、长大隧道、大河桥渡、严重地质不良地段及地形复杂地段等)进行现场踏勘及深入研究的基础上,结合工程特点,提出方案研究报告。

2. 初测与初步设计

方案研究报告经审查批准后即下达勘测设计任务书,开始初测和初步设计。初步设计阶段的勘测工作,称为初测。初测是根据勘测设计任务书,对方案研究中确定的一条主要线路及



有价值的比较线路,结合现场实际情况予以标定,沿线测绘大比例尺带状地形图并搜集地质、水文等方面的资料,供初步设计使用。

初步设计的主要任务是:对于线路来讲是纸上定线,即设计人员根据相关的初测资料,在初测带状地形图上进行选线,从线路所有方案中选出一个经济合理的方案,确定线路的位置;确定主要技术标准,主要包括线路等级、圆曲线的最小半径等;对重点工程,如桥梁、隧道等工程构筑物进行初步设计;编制纵横断面图及工程概算。

3. 定测与施工设计

施工设计阶段的勘测工作,称为定测。定测是对已批准的初步设计所选定的线路,根据带状地形图上初测导线与线路的几何关系,结合实地情况,现场进行详细标定;然后沿线测绘纵断面图、横断面图及个别工程的局部大比例尺工点地形图。定测除了为施工设计提供详细的地形资料外,还要对重点工程的地质、水文情况作进一步的勘测。

施工设计的主要任务是:根据定测资料对全线线路的平面、纵横断面及路基进行详细的设计;对所有的个体工程,如桥涵、隧道、站场、挡护工程及特殊路基等进行单独设计;提供工程数量及工程预算。

施工设计阶段形成的施工设计文件,经审查批准后,即可开始施工。

二、施工建设阶段

在施工建设阶段,测量工作是按照设计的要求,将图上设计好的建筑物、构筑物标定于地面,以指导施工,其主要任务是保证各种建筑物能按设计位置正确修建。

铁路和公路施工是一项十分复杂的技术工作和组织工作,其目的是保证工程施工的质量并在规定的工期内完成施工任务。施工前要进行一系列的准备工作,如施工场地的布置、临时设施的修建、施工机具和材料的准备等。合理地编制施工组织计划,对于控制工期的长大桥梁、隧道和重点土石方工程等重点工程应先行开工,一般小桥也应先于路基完成。

铁路和公路施工测量,按施工对象不同可分为:线路施工测量、桥梁施工测量和隧道施工测量;按其工作顺序可分为:施工复测、施工控制测量、施工放样及竣工测量。

施工前,设计单位应向施工单位进行设计交桩。设计交桩主要包括:与施工有关的初测资料和定测资料,并现场指认测量控制点和线路控制点。施工单位接收后,应立即对其进行复测,对复测合格的成果予以确认,不合格的成果,应仔细研究并会同设计人员共同解决。施工复测是施工阶段的首项工作,其主要任务是:检查控制测量的正确性,如初测导线、初测水准测量等;检查线路主要控制桩的正确性,如直线转点桩、交点桩、曲线主点桩等;补设缺损桩点,并对主要桩点进行固桩及护桩,以保证施工过程中不致丢失或万一丢失能及时恢复。

对于长大桥梁和隧道工程,其精度要求较高,为了保证施工放样的精度,必须根据工程的性质、特点和要求及施工场地的地形条件,建立相应等级的施工控制网,做为施工放样的基础。如果在勘测阶段已建立了施工控制网,则应用前应进行复测。

在施工中,有时为掌握工程建筑物变形的情况,保证施工安全,还需要为变形观测建立变形监测控制网。

施工放样就是根据施工测量控制点并结合施工场地的地形情况,将图纸上设计的线路和

各种建筑物按设计要求标定于地面,供施工使用。施工放样是一项经常性的工作,贯穿于整个施工过程。

全线工程全部竣工后,要进行竣工测量,并编制竣工文件。竣工测量是对工程进行全面的测量,以检查其平面位置、高程位置及外形尺寸与设计相符的程度,其结果将成为竣工验收的一个依据。

三、运营管理阶段

铁路和公路建成并投入运营后,随着时间的推移,在各种因素的影响下,桥梁、隧道等工程建筑物及高填土路基可能会产生变形,如位移、沉陷和倾斜等。因此,在工程建筑物的运营期间,对其进行变形观测是十分必要的。

对于铁路来讲,其线路除了路基还有轨道。轨道受行车的影响也会产生变形,故应定期地对其平面位置和高程位置进行观测,即既有线复测,以掌握变形的情况,并据此制定维修方案,或进行轨道拨道。

铁路运营一段时间后,由于经济的发展、运量的增加而将导致运力不足。此时就要对既有线路进行改造或增设第二线,以适应运量的要求。对既有线路进行改造或增设第二线,一般也要经过勘测设计和施工两个过程,但与新线相比,有其明显的特点,即勘测必须以既有线路为基础,施工不能影响正常的运营。

四、铁路和公路工程测量的特点

与一般工程测量相比,铁路和公路工程测量的特点是:测量工作与设计工作紧密配合,如初步设计阶段的实地选点、插旗,即是选线设计的内容之一又是初测导线的选点工作;测定工作与测设工作往往交错进行,如施工设计阶段的线路纵断面和路基横断面设计,是以更详细的实地断面资料为基础的,这就需要先把线路中线测设于地面,然后据此进行纵断面图和横断面图测绘。

第三节 变形观测及其意义

变形观测是处于测绘学和土木工程科学边缘的分支学科。近些年来,变形观测在国内外受到了普遍的重视。国际测量工作者联合会(FIG)于1969年在工程测量专业委员会内成立了变形观测及其自动化小组,于1978年在波恩成立了“变形观测分析专门委员会”,以便在世界范围内进一步协调和加强变形观测及其成果分析的研究工作。

一、变形及变形观测

所谓变形,是指工程建筑物由于某种原因而产生的位置、形状和大小的变化,这种工程建筑物又称为变形体。变形观测,则是对这种变形体进行变形观测和分析的过程,即定期地对变形体的有关几何量进行测量并从观测成果中整理、分析出变形规律的整个过程。变形观测的目的有两个,其一是变形的几何分析,其二是变形的物理解释。前者是对变形体的形状和大小的变化作几何描述,即获得变形体产生变形的空间状态和时间特性,确定变形值的大小及稳定程度;后者是确定变形体的变形和变形原因之间的关系,解释变形的原因。



二、引起变形的原因

在变形观测的过程中,了解引起建筑物变形的原因是很重要的。引起建筑物变形的原因较多也较复杂,如建筑物地基的工程地质、水文地质、土壤的物理性质的不同,可能会引起建筑物的不均匀沉陷,使其发生倾斜;当在砂土或黏土的地基上,兴建大型的现代化的厂房、高炉、水塔及烟囱时,随着建筑物本身荷重的增加,土壤被逐渐压缩,地基下沉,因而引起建筑物的变形;由于温度与地下水位的季节性和周期性的变化,会引起建筑物的规律变形;地震、地下开采都会造成大面积的地面沉降,不均匀沉降引起建筑物变形;动荷载的影响,如爆破、重载运输和连续性的机械振动,也会引起建筑物的变形;此外,由于勘测工作做得不充分、设计中出现错误、施工质量差、施工方法不当及运营管理工作做得不合理,都会引起建筑物变形。

三、工程建筑物变形的分类

工程建筑物的变形按其类型可分为静态变形和动态变形。所谓静态变形,通常是指变形观测的结果只表示在某一期间的变形值,即它是时间的函数。动态变形则是指在外力影响下而产生的变形。它是以外力为函数来表示的动态系统对于时间的变化,其观测结果往是表示建筑物在某个时刻的瞬间变形。

工程建筑物的变形按时间特性可分为三类:静态式、运动式及动态式。

静态式变形模型只考虑变形的空间特性,即几何特性。用静态式变形模型进行变形分析时,所关心的只是变形是否发生,或变形有多大。

运动式变形模型是在静态变形模型的基础上引入了时间因素,同时兼顾变形的空间特性和时间特性。用此模型进行变形分析时,不仅可以求出变形的大小,还可求出变形的速度和加速度。

动态式变形模型主要涉及变形的一些物理特性(如振幅、频率),通过频谱分析和时序分析等掌握动荷载瞬间产生的连续的变形规律。

四、工程建筑物变形观测的内容

工程建筑物变形观测的内容,应根据建筑物的性质和地基情况来确定,既要有重点又要顾及全局,以便能正确反映出建筑物的变化情况。

工程建筑物的变形大体可分为三类,即水平位移、垂直位移及建筑物随时间而产生的缝隙——裂缝。同一高程面上的点相对于其起始位置的位移,即水平位移;同一铅垂线上不同点的水平位移,即挠度。垂直位移均匀变化时,建筑物产生沉陷,垂直位移不均匀变化时,建筑物除产生沉陷外,还发生倾斜。工程建筑物的变形观测,按工程建筑物的变形种类可分为:水平位移观测、挠度观测、沉陷观测、倾斜观测及裂缝观测等。

五、变形观测的方法

变形观测的方法依其使用的仪器不同可分为:常规大地测量方法、物理仪器测量方法、摄影测量方法和 GPS 技术等。

1. 常规大地测量方法

常规大地测量方法是目前变形观测中最常用的方法。它是指用常规测量仪器对监测网进

行观测,经数据处理后,求得变形体的变形值。这种方法的优点是:能够提供变形体整体的变形状态;观测量通过组成网的形式可以进行测量结果的校核和精度的评定;灵活性大,能适用于不同的精度要求、不同形式的变形体和不同的外界条件。其缺点是:外业工作量大,作业时间长等。

用常规大地测量方法作水平位移观测时,角度测量可以使用光学经纬仪、电子经纬仪或全站仪;距离测量使用测距仪或全站仪。电子经纬仪和全站仪应用于变形观测,使得从野外测量到室内数据处理过程的自动化成为可能,且测量机器人已开始用于变形观测中。

用常规大地测量方法作垂直位移观测时,通常是采用精密水准测量的方法,应用的仪器主要是光学水准仪或数字水准仪。近些年来,随着全站仪器的广泛使用,用三角高程测量和测距仪高程导线进行精密高程传递,引起了测量工作者的高度重视,大量的实验结果表明,1 mm/km或更高的精度是可以达到的,进度比水准测量快得多。

2. 物理仪器测量方法

物理仪器测量方法主要有:应变计测量、准直仪测量和倾斜仪测量。和常规的大地测量方法相比,物理仪器测量方法具有:测量过程简单;容易实现自动化观测和连续监测;提供的是局部的变形信息等特点。

(1) 应变计测量

应变计测量的方法之一是通过测量两点间距离的变形值来计算平均线应变,当测量的距离和变形体的尺寸相比很小时,平均线应变可看成是某一点处的。设两点间的距离为 l ,第二周期测量时距离变形值为 Δl ,则两点间的平均线应变为: $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ 。

精密测量距离变形值主要有机械法和激光干涉法。机械法用钢瓦丝、石英棒等作为长度的标准,长度的变化用机械—电子传感器测量,精度一般为几十个微米。激光干涉法可以测到几百米,甚至几千米,测量精度在 10^{-7} 以上,真空中可达 4×10^{-10} 。

应变计测量的方法之二是直接用电阻应变计测量应变。电阻应变计测量应变的方法是:将一个导体(金属条或很窄的箔条)埋设在变形体中,当变形体中产生应变时,导体的长度随之而变,从而改变了导体的电阻,通过测量电阻值的变化求出应变。

(2) 倾斜仪测量

倾斜仪是直接测量地面或建筑物倾斜的仪器。目前倾斜仪的种类很多,大体可分为“短基线”倾斜仪和“长基线”倾斜仪。前者是在局部范围内,以垂直摆锤或水准气泡作为参考线测量倾斜的;后者一般是按照液体静力平衡的原理制成的并可适用于较长距离测量的倾斜仪。

不同的倾斜仪,测量精度差别很大。一般来讲,“短基线”倾斜仪精度范围是 $0.5'' \sim 1.0''$ 。而“长基线”倾斜仪精度很高,用水作液体的倾斜仪,每10 m距离的测量精度可达0.01 mm。用水银作为液体,测量精度可达0.001 mm。

(3) 准直仪测量

准直仪测量是应用准直仪建立基准线,测定某一点位相对于基准线的变化而求得该点的变形值。这种方法较为有代表性的是激光准直法。

激光准直根据其原理分为两类:其一是利用激光方向性强的特点,进行直接准直;其二是利用激光单色性好的优点,进行衍射法准直。激光准直法即可测定水平位移也可测定挠度和倾斜度。



3. 摄影测量方法

随着近十多年来摄影测量点位测定精度的显著提高和计算机的广泛应用,进一步促进了摄影测量技术在变形观测中的应用,特别是近年来发展起来的数字摄影测量和实时摄影测量,为该技术在变形监测中的应用开拓了更加广泛的前景。利用摄影测量进行变形观测的基本原理是:通过定期地对变形体进行摄影、量测变形点的坐标,从而求出变形体的变形值。在变形观测中,应用摄影测量方法的优点是:可以同时测定变形体上任意点的变形;提供完全和瞬时的三维空间信息;野外的测量工作量小;可以不需要接触被测物体;有了摄影底片,可以观测到变形体以前的状态。

4. GPS 测量技术

全球定位系统的应用是测量技术的一项革命性变革,它使建立三维网的监测变得简单,且不需要测站间的通视,可以免去建标、砍树之类的工作,并使监测网的一类设计有更多优化的余地。全球定位系统可以提供 1×10^{-6} 的相对定位精度,可以预计, 0.1×10^{-6} 或更高的精度终将可以达到。它在精度上和经济上的优越性将使它取代很多传统的常规测量方法。

六、变形观测的特点

1. 精度要求高

变形观测的主要目的是保证建筑物的安全或进行科学研究。为此,变形观测必须具有较高的精度。从实用的目的出发,典型的精度是 $\pm 1 \text{ mm}$, 相对精度为 10^{-6} 。而为了科学研究的目的,通常则要求达到 $\pm 0.1 \text{ mm}$ 的精度。

2. 重复观测

工程建筑物的变形是通过比较多期重复观测结果求得的。重复观测的频率,取决于变形的大小、变形的速度,以及观测的目的。通常要求既能反映变化的过程,又不致遗漏变化的时刻。

3. 观测的特殊要求

变形是由两期观测成果的差值来求算的,故可以抵消两期观测值中所包含的相同的系统误差。因此,在进行变形观测时,应尽量保持同一观测值在不同周期观测时,具有最大的相关性。相反,在定位控制网的观测中,应采取措施,尽量使误差的影响随机化。

4. 数据处理的严密性

变形一般很小,有的甚至与测量误差具有相同的数量级。所以,要从包含误差的变形观测结果中分离出变形信息,不仅要在观测过程中采取行之有效的措施,尽量减小观测误差对结果的影响,而且在计算分析中须进行严密的数据处理,以免将测量误差误作变形信息,或将局部变形误作整体现象。

5. 多学科综合分析

变形观测是针对某个具体的变形体进行的。因此,在变形监测网网形和观测方案的优化设计中,在制定变形观测的精度指标、合理而科学地分析变形观测结果,特别是进行变形的物理解释时,变形观测工作者必须熟悉要研究的变形体。这就需要具备地质学、工程力学、土力学和土建工程方面的相应知识。变形观测是处于测绘学和土建工程科学边缘的分支学科。

七、变形观测的意义

工程建筑物在施工建设和运营期间,由于受诸多因素的影响,会产生变形。工程建筑物的

变形在一定限度内是允许的正常现象,但如果超过了规定的限度,就会影响建筑物的正常使用,甚至危及建筑物的安全。因此,在工程建筑物的施工及运营期间必须对它进行观测,以确定或预测其变形的大小及其对建筑物安全的影响。例如在地质条件不良的地区(如膨胀土地地区)修建工程时,有时要对地层的稳定性进行沉陷观测;浅埋隧道施工时,为掌握地表下沉的情况,必须对地表做沉陷观测;桥梁施工期间,为保证施工安全,桥梁基础结构施工到一定程度时,需要对墩台进行监测。有许多大型工程建筑物从施工开始便进行变形观测,并延续在整个运营阶段的始终。这种观测的目的是为了保证建筑物的安全,称为安全监测。

由于土(地基)组成成分复杂,土力学对实验数据的依赖性很大,有必要在各地对大量不同基础形式的建筑物进行变形观测,为以后的设计积累资料,作为验证设计方法和修改、制定设计方案的依据。

为了对某种新结构、新材料的性能做出科学的或客观的评价,需要在一个较短的时间内,人为地使建筑物产生变形,与此同时,通过变形观测的手段获取科研数据。

由此可见,对工程建筑物进行变形观测具有重要的意义。在安全监测方面,可以检查各种工程建筑物和地质构造的稳定性,及时发现问题,防患于未然;为制定各种工程建筑物养护、维修方案等提供重要的依据。在科学上,可以更好地了解变形机理,验证有关工程设计的理论。

思考与练习题

- 1-1 控制测量的主要任务是什么?
- 1-2 在工程建设的规划设计阶段,为何要建立控制网?其作用是什么?
- 1-3 在工程建设的施工建设阶段,为何要建立控制网?其作用是什么?
- 1-4 在工程运营管理阶段,为何要建立控制网?其主要作用是什么?
- 1-5 何谓工程测量学?
- 1-6 工程测量的基本任务是什么?
- 1-7 何谓初测?其工作内容有哪些?
- 1-8 何谓定测?其工作内容有哪些?
- 1-9 施工复测的目的是什么?
- 1-10 何谓施工放样?其目的是什么?
- 1-11 铁路和公路工程测量有何特点?
- 1-12 何谓变形?变形的原因是什么?
- 1-13 工程建筑物变形分几类?其变形观测的主要内容有哪些特点?
- 1-14 工程建筑物变形观测常用的方法有哪些?其特点是什么?
- 1-15 变形观测有何意义?



第二章 控制测量

控制网分为平面控制网和高程控制网。平面控制网目前主要有三角形网、GNSS 控制网和导线网。三角形网精度高、控制区域广,但是外业工作量很大,目前大多采用测量机器人来完成数据的采集。导线网比较灵活,几乎适用任何区域,目前在小区域平面控制测量、隧道内平面控制测量、城市内平面控制测量方面具有广泛的应用。卫星定位技术建立平面控制网具有效率高、控制点之间不需要通视等优点,因此在建立大、中型平面控制网时,是一种最优的选择。

高程控制网目前主要采用水准测量方式和三角高程测量方式来建立。但在建立高精度高程控制网时,精密水准测量目前仍然具有不可替代的作用。由于水准测量存在外业工作量大,效率低下等缺点,因此大量学者研究利用精密三角高程代替水准测量建立高精度高程控制网,取得了很大的进展。

第一节 三角形网测量

一、三角形网测量基本原理

三角形网是由一系列相连的三角形构成的测量控制网,它是对以往三角网、三边网和边角网的统称。如图 2-1 所示,在地面上选择并标定出一系列点 1、2、3、…,把它们用三角形连接起来,组成某一特定基准面上的三角形网(这里仅指组成平面上的三角形网)。每个三角形至少需要观测三个量,如三个内角、三条边长、两边一角或者两角一边。如果每个三角形仅仅测量了三个内角,则整个控制网还需要确定长度基准。

如图 2-1 所示,假定观测了所有三角形中的水平角,并测定起始边长 S_{12} 和坐标方位角(α_{12}),由已知点(1 点)起算,按正弦定理依次推算出三角形网中各边的边长、坐标方位角和各点的平面坐标。

由图 2-1,按坐标正算方法可得

$$\left. \begin{aligned} S_{13} &= S_{12} \cdot \frac{\sin B}{\sin C} \\ \alpha_{13} &= \alpha_{12} + A \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_{13} &= S_{13} \cdot \cos \alpha_{13} \\ \Delta y_{13} &= S_{13} \cdot \sin \alpha_{13} \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} x_3 &= x_1 + \Delta x_{13} \\ y_3 &= y_1 + \Delta y_{13} \end{aligned} \right\}$$

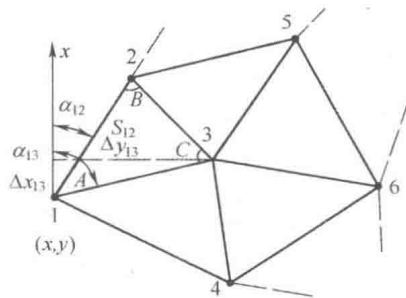


图 2-1 平面三角网示意图

即由已知的 S_{12} 、 α_{12} 、 x_1 、 y_1 和各角的观测值(或平差值) A 、 B 、 C 可求得 x_3 、 y_3 。同理,可依次求得三角形网中其他各点的坐标。

采用三角形作为平面控制网的基本图形,这是因为三角形是结构简单而图形强度又好的几何图形,计算方便,并且有几何条件检核。

显然,为了得到所有三角点的坐标,至少已知三角形网中某一点的坐标 x_1 、 y_1 ,某一边长度 S_{12} 和某一边的坐标方位角 α_{12} 。通常把这类数据统称为三角形网测量的起算数据。把在各三角点上所观测的水平角(或方向)、水平距离称为三角形网测量的观测元素。

工程测量中,三角形网中的起算数据可通过以下方法求得:

1. 起算坐标

优先选取测区内已有国家高等级平面控制点作为起算点。若测区附近无国家高等级平面控制点可供利用,则可在一个三角形点上用天文测量方法测定其经纬度,再换算成高斯平面直角坐标,作为起算坐标。保密工程或小测区也可采用假定坐标或建筑坐标系。

2. 起算方位角

当测区附近已有控制网时,则可由已有网传递方位角。若无已有网成果可供利用时,可用天文测量方法测定三角形网某一边的天文方位角作为起算方位角或用陀螺经纬仪测定真方位角作为起算方位角。个别情况下,也可采用磁北方向。

3. 起算边长

当测区内已有国家平面控制网(或其他单位施测的三角形网)时,若其精度能够满足要求,则可直接利用其边长作为起算边长。若已有网边长精度不能满足要求或无边长利用时,则可采用光电测距测定三角形网的某些边的边长作为起算边长。

三角形网数据处理通常采用最小二乘法获取待求参数最优估计值。当采用条件平差时,首先利用最小二乘原理获取各观测值的最优估计值,再利用改正后的观测值将起算坐标传递到各待求点即可;当采用间接平差时,先利用观测值和起算数据解算出各待求点近似坐标,再利用最小二乘原理直接获取各待求点坐标的最优估计值。本书第三章将重点阐述条件平差和间接平差的原理。

二、三角形网的布设和选点要求

1. 三角形网的典型图形

三角形网分为二、三、四等,三角形测量按照区域大小分为大地三角形测量和平面三角形测量。大地三角形网主要用于国家一、二等网的测量,现在完全被 GPS 网所取代。几种常用的平面三角形网如图 2-2 ~ 图 2-5 所示。

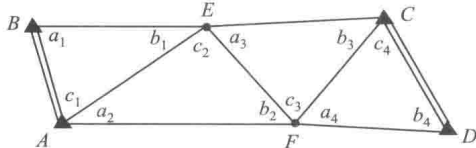


图 2-2 三角形锁

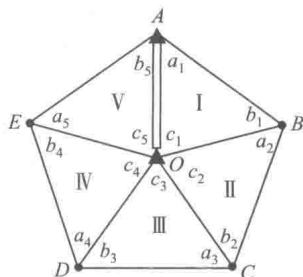


图 2-3 中点多边形

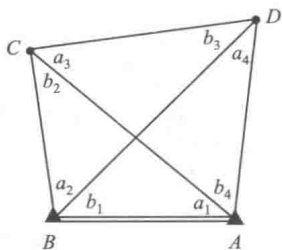


图 2-4 大地四边形

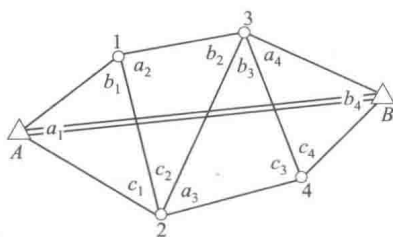


图 2-5 线性锁

2. 三角形网布设要求

作业前,应进行资料收集和现场踏勘,对收集到的相关控制资料和地形图(以 1:10 000 ~ 1:100 000 为宜)应进行综合分析,并在图上进行网形设计和精度估算,在满足精度要求的前提下,合理确定网的精度等级和观测方案。三角形网的布设,应符合下列要求:

- (1) 首级控制网中的三角形, 宜布设为近似等边三角形。其三角形的内角不应小于 30° ; 当受地形条件限制时, 个别角可放宽, 但不应小于 25° 。
- (2) 加密的控制网, 可采用插网、线形网或插点等形式。

3. 三角形网选点要求

三角形网点位的选定,应符合下列要求:

- (1) 点位应选在土质坚实、稳固可靠、便于保存的地方,视野应相对开阔,便于加密、扩展和寻找。
- (2) 相邻点之间应通视良好,其视线距障碍物的距离,三、四等网不宜小于 1.5 m;四等网以下宜保证便于观测,以不受旁折光的影响为原则。
- (3) 当采用电磁波测距时,相邻点之间视线应避开烟囱、散热塔、散热池等发热体及强电磁场。
- (4) 相邻两点之间的视线倾角不宜过大。
- (5) 充分利用旧有控制点。
- (6) 二等网视线距障碍物的距离不宜小于 2 m。

三、三角形网外业测量

三角形测量中最繁琐的外业工作是观测所有三角形各水平角。三角形网中的角度宜全部观测,边长可根据需要选择观测或全部观测;观测的角度和边长均应作为三角形网中的观测量参与平差计算。首级控制网定向时,方位角传递宜联测 2 个已知方向。

1. 角度测量

- ### (1) 三角形网测量的主要技术要求

工程测量规范中各等级三角形网测量的主要技术要求,应符合表 2-1 的规定。

表 2-1 三角形网测量的主要技术要求

等级	平均边长 (km)	测角中误差 (")	测边相对中 误差	最弱边边长 相对中误差	测 回 数			三角形最大 闭合差(")
					1"级仪器	2"级仪器	6"级仪器	
二等	9	1	$\leq 1/250\,000$	$\leq 1/120\,000$	12	—	—	3.5
三等	4.5	1.8	$\leq 1/15\,000$	$\leq 1/70\,000$	6	9	—	7