

测绘行业职业技能培训教材

大地测量

DADI CELIANG

(技师版)

国家测绘局人事司 编
国家测绘局职业技能鉴定指导中心

测绘出版社

测绘行业职业技能培训教材

大地测量

DADI CELIANG

(技师版)

国家测绘局人事司 编
国家测绘局职业技能鉴定指导中心

测绘出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

大地测量:技师版/国家测绘局人事司,国家测绘局
职业技能鉴定指导中心编. —北京:测绘出版社,2009.6
测绘行业职业技能培训教材
ISBN 978-7-5030-1926-5

I. 大… II. ①国…②国… III. 大地测量学—技术培训—
教材 IV. P22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 101997 号

责任编辑 马保卫

责任校对 阎微旭

封面设计 李 伟

出版发行 **测绘出版社**

社 址 北京市西城区复外三里河路 50 号

邮政编码 100045

电 话 010-68531160 68512386

网 址 www.sinomaps.com

印 刷 北京建筑工业印刷厂

经 销 新华书店

成品规格 210mm×297mm

印 张 17.25

字 数 540 千字

版 次 2009 年 6 月第 1 版

印 次 2009 年 6 月第 1 次印刷

印 数 0001—1000

定 价 55.00 元

书 号 ISBN 978-7-5030-1926-5/P·436

如有印装质量问题,请与我社发行部联系

编写说明

测绘是经济社会发展和国防建设的一项基础性工作。随着经济社会的全面进步,各方面对测绘的需求不断增长,测绘滞后于经济社会发展需求的矛盾日益突出。为进一步加强测绘工作,提高测绘对落实科学发展观和构建社会主义和谐社会的保障服务水平,国家对测绘事业发展越来越重视,《国务院关于加强测绘工作的意见》提出:加大测绘人才培养力度,全面提高测绘队伍整体素质;加强测绘职业资格管理,积极实施注册测绘师制度;加强基础地理信息获取和服务队伍建设,形成一支布局合理、功能完善、保障有力的基础测绘队伍。

高技能人才是我国测绘人才队伍的重要组成部分,在加快产业优化升级、提高企业竞争力、推动技术创新和科技成果转化等方面具有不可替代的重要作用。改革开放以来,我国高技能测绘人才工作取得了显著成绩,人才队伍不断壮大。但是,随着经济全球化趋势深入发展,科技进步日新月异,我国经济结构调整不断加快,人力资源能力建设要求不断提高,高技能测绘人才工作也面临严峻挑战。从总体上看,高技能测绘人才工作基础薄弱,与现代测绘技术的发展不适应。

国家测绘局《关于加强“十一五”测绘人才工作的意见》指出:认真贯彻落实中央《关于进一步加强高技能人才工作的意见》,大力加强技能人才的培养,力争用5年时间在测绘行业培养5000名左右高技能人才、1000名左右技师和高级技师;以职业院校和职业培训机构为依托,加大对技能人才的上岗培训、岗位技能培训,支持和鼓励职工参加各种职业技能学习;健全和完善技能人才考核评价制度,进一步加强测绘行业特有工种职业技能鉴定工作;大力开展多种形式的测绘职业技能竞赛、岗位练兵和技术创新活动,为测绘高技能人才脱颖而出创造条件;研究建立测绘就业和岗位准入制度,并探索把高技能人才的配备情况作为测绘单位资质评估和参加重大项目招投标的必要条件。

为推动测绘高技能人才队伍建设,配合测绘行业技师、高级技师的培训和考评工作顺利开展,我们组织编写了这套测绘行业职业技能培训教材。本套教材是测绘行业技师考评的指定培训教材,亦可供有关院校师生及其他测绘专业技术人员参考使用。

本套教材内容翔实,结构合理,统筹考虑和兼顾了测绘理论知识和实际测绘生产技能的关系,做到了理论联系实际,实现了知识和技能的统一。该教材与国家职业标准紧密结合,对国家职业标准的基本要求、工作要求以及理论知识和技能操作所占比重,特别是工作要求中所涉及的职业功能、工作内容、技能要求和相关知识,都有直接的反映和体现。同时,教材中引入了大量技术实例,融入了大量测绘实际工作中的经验、方法和技术,贯穿了测绘规范的相关规定,加强了依据测绘规范进行生产操作的理念,重点突出了测绘生产过程中技术设计、作业方案、组织实施、数据处理、技术总结、质量检验、技术指导、技术培训等各个技术环节,注重实际操作能力培养,具有较强的实用性和指导性。

本套教材由国家测绘局人事司、国家测绘局职业技能鉴定指导中心组织编写,郑州测绘学校承担本套教材的编写工作。陕西测绘局、黑龙江测绘局、四川测绘局、中国测绘科学研究院、北京市测绘设计研究院、浙江省测绘局等单位承担本套教材的审稿工作。测绘出版社对本套教材的出版给予了大力支持。此外,在2007年12月出版的由浙江省测绘局主持编写的《房产测量》测量员版教材中已经涵盖了房产测量技师的培训内容,在技师版教材中暂未单独成册。

读者在使用过程中如发现问题,可书面向国家测绘局职业技能鉴定指导中心反映,以便今后修订过程中加以完善。

测绘行业职业技能培训教材编审委员会

2009年6月

测绘行业职业技能培训教材编审委员会

主任委员 李永春 赵继成 李玉潮

副主任委员 雷 斌 韩力援 李骏元 高锡瑞

委 员 任振宇 庞秋红 曾晨曦 胡秀琴

张彦东 常 玲 刘忠卿 崔 巍

薛雁明 王军德 杨国清 尚国旗

郑殿军 侯方国

主 编 李玉潮

副 主 编 李骏元 薛雁明

《大地测量》编审人员

执行主编 杨国清

参 编 张予东 许永鹏 李 晓 赵龙平

操华胜 景德广 刘洪飞

审 稿 宋 炫

前 言

本书依据《大地测量员》国家职业标准(6-01-02-01)编写,为测绘行业大地测量员职业技能培训教材,也可供有关院校师生及其他测绘技术人员参考。

本书含三角测量和导线测量、高程测量、GPS 测量、重力测量、控制网平差和质量管理简述六部分内容。其中三角测量和导线测量部分主要包括:国家三角网的布设,三角测量外业观测,控制测量计算理论和三角测量概算的方法,精密导线测量及其外业概算等;高程测量部分主要包括:高程系统和国家水准网的布设,水准测量方法,三角高程测量,电磁波测距高程导线测量等;GPS 测量部分主要包括:全球定位系统(GPS)概述, GPS 定位的基本观测量及误差分析, GPS 的基本原理及 GPS 测量的设计与实施, GPS 数据处理等;重力测量部分包括重力测量概述,重力仪,重力测量的实施等;控制网平差部分主要包括测量平差基本数学模型和传统地面控制网平差算例等内容。

鉴于本书的主要对象为具有基本大地测量知识的高级大地测量员及以上人员,本书未将测量仪器及其使用方面的内容编入,相关内容可参看本系列书的测量员版。

本书的技术标准依据《测绘基本术语》(GB/T 14911—2008)、《国家三角测量规范》(GB/T 17942—2000)、《中、短程光电测距规范》(GB/T 16818—2008)、《城市测量规范》(CJJ 8—1999)、《国家一、二等水准测量规范》(GB 12897—2006)、《国家三、四等水准测量规范》(GB 12898—1991)、《全球定位系统(GPS)测量规范》(GB/T 18314—2001)、《国家重力控制测量规范》(GB/T 20256—2006)、《加密重力测量规范》(GB/T 17944—2000)、《国家一等重力测量规范》(CH/T 2003—1999)、《测绘产品质量评定标准》(CH 1003—1995)、《测绘产品检查验收规定》(CH 1002—1995)、《测绘技术总结编写规定》(CH/T 1001—2005)等。

书中标“*”的内容是要求高级技师必须掌握的。

本书由杨国清主持编写。其中三角测量和导线测量部分由杨国清、张予东、许永鹏编写;高程测量部分由杨国清、李晓编写; GPS 测量部分由赵龙平编写;重力测量部分由操华胜编写;控制网平差部分由杨国清编写;质量管理部分由景德广、刘洪飞编写。

本书在编写过程中,得到了编委会的诸多指导,参阅了有关教材和资料,同时,听取了部分专家和有关老师的意见,特别是充分吸收了审稿专家的意见和建议。在此,对提出意见的专家、老师、审稿人及有关参考文献的作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中定有不足不当之处,希望有关专家、读者提出宝贵意见,以便进一步修改、完善。

编 者

2009 年 4 月

目 录

绪 论	(1)
第一章 国家三角网的布设	(4)
§ 1-1 国家三角网的布设方案	(4)
§ 1-2 三角网的技术设计	(7)
§ 1-3 水平控制网的精度估算	(10)
思考题	(12)
第二章 三角测量外业观测	(13)
§ 2-1 水平角观测中的主要误差及观测操作的基本规则	(13)
§ 2-2 方向观测法	(16)
§ 2-3 全组合测角法	(23)
§ 2-4 垂直角观测法	(27)
§ 2-5 归心改正和归心元素的测定	(30)
思考题	(34)
第三章 大地测量计算理论简述和三角测量概算	(35)
§ 3-1 地球的形体和大地测量坐标系	(35)
§ 3-2 椭球的一些计算用符号和曲率半径	(41)
§ 3-3 地面观测值归算至椭球面	(45)
§ 3-4 高斯投影概述	(49)
§ 3-5 高斯投影正反算和换带计算	(52)
§ 3-6 椭球面元素投影至高斯平面	(56)
§ 3-7 三角测量成果检核	(59)
§ 3-8 三角测量概算的内容和方法	(61)
思考题	(63)
第四章 精密导线测量	(64)
§ 4-1 精密导线的布设	(64)
§ 4-2 精密导线的外业观测	(66)
§ 4-3 精密导线测量的外业概算及算例	(69)
思考题	(83)
第五章 高程系统和国家水准网的布设	(84)
§ 5-1 高程基准面和高程系统	(84)
§ 5-2 国家水准网的布设	(87)
思考题	(88)
第六章 水准测量	(89)
§ 6-1 水准测量误差及减弱其影响的方法	(89)

§ 6-2 水准观测	(90)
§ 6-3 水准测量外业计算和精度估算	(96)
§ 6-4 跨河水准测量	(100)
思考题	(107)
第七章 三角高程测量	(108)
§ 7-1 三角高程测量计算	(108)
§ 7-2 电磁波测距高程导线测量	(114)
思考题	(115)
第八章 全球定位系统(GPS)基础知识	(116)
§ 8-1 GPS 的发展及特点	(116)
§ 8-2 GPS 的构成	(118)
§ 8-3 卫星大地测量中的坐标系统	(124)
§ 8-4 卫星大地测量中的时间系统	(127)
思考题	(128)
第九章 GPS 定位的基本观测量及误差分析	(129)
§ 9-1 GPS 卫星播发的信号	(129)
§ 9-2 GPS 定位的基本观测量	(132)
§ 9-3 GPS 测量的误差来源和影响	(133)
思考题	(136)
第十章 GPS 定位的基本原理及定位方法	(137)
§ 10-1 GPS 定位的基本原理	(137)
§ 10-2 GPS 定位方法	(138)
§ 10-3 连续运行参考站系统(CORS)	(141)
思考题	(143)
第十一章 GPS 测量的设计与实施	(144)
§ 11-1 GPS 测量的技术设计	(144)
§ 11-2 GPS 测量的外业准备及技术设计书编写	(148)
§ 11-3 GPS 测量的外业实施	(150)
§ 11-4 GPS 测量的作业模式	(154)
§ 11-5 数据预处理及观测成果的质量检核	(156)
§ 11-6 技术总结与上交资料	(159)
思考题	(160)
第十二章 GPS 数据处理	(161)
§ 12-1 基线解算软件	(161)
§ 12-2 网平差与坐标转换软件	(162)
思考题	(166)
第十三章 重力场与重力测量	(167)
§ 13-1 重力场的构成	(167)

§ 13-2	大地水准面	(169)
§ 13-3	正常重力位与正常重力	(171)
§ 13-4	高程系统与地球形状	(175)
§ 13-5	重力异常	(177)
§ 13-6	重力测量与数据整理	(179)
思考题		(185)
* 第十四章 控制网平差计算		(186)
§ 14-1	测量平差的基本数学模型和公式	(186)
§ 14-2	高程网条件平差及算例	(191)
§ 14-3	导线网条件平差及算例	(195)
§ 14-4	高程网参数平差及算例	(202)
§ 14-5	平面控制网参数平差——坐标平差	(205)
§ 14-6	边角网(导线网)按方向坐标平差算例	(213)
§ 14-7	带有约束条件的参数平差及算例	(219)
§ 14-8	清华山维平差软件 NASEW 使用简介	(227)
思考题		(231)
第十五章 质量管理简述与技术文件示例		(232)
§ 15-1	质量管理简述	(232)
§ 15-2	测绘产品检查验收	(234)
§ 15-3	测绘产品质量评定标准	(238)
§ 15-4	控制网技术设计书示例	(240)
§ 15-5	测绘产品检查报告示例	(250)
§ 15-6	测绘产品技术总结示例	(257)
思考题		(265)
参考文献		(266)

绪 论

在一定的区域内,按测量任务所要求的精度,测定一系列地面标志点(控制点)的水平位置和高程,建立起控制网,这种测量工作称为控制测量。测定控制点水平位置的工作叫平面控制测量;测定控制点高程的工作叫高程控制测量。所以,控制测量是由平面控制测量和高程控制测量组成的。

广义的控制测量包括大地控制测量和工程控制测量。在全国广大的区域内,按照国家统一颁发的法式、规范进行的控制测量称为大地控制测量,这样建立起的控制网叫国家大地控制网。大地控制网中的点,叫大地控制点。研究建立国家大地控制网的理论、方法的科学称为大地测量学。

一、大地测量的任务和作用

大地测量直接、基本的任务是在广大区域上精密测定一系列地面标志点的位置(点的水平坐标和高程),建立精密的大地控制网。精密的大地控制网可以为地形测图提供控制基础;为研究地球形状和大小提供资料。一般认为,前者是它的主要技术任务,后者是它的主要科学任务。

1. 为地形测图和大型工程测量提供基本控制

大地控制网从以下三个方面体现控制地形测图:

(1)控制测图误差,保证地形测图的精度。测图中每描绘一条方向线、量一段距离,都会产生误差。这种误差在大面积测图中将逐渐传递积累,使地形、地物在图上的位置产生大的误差,并使相邻图幅不能接合。如果以大地控制点控制测图,可以把误差限制在各大地控制点和图根点之间。这就保证了地形、地物在地图上的位置足够精确,即保证了地图的精度,并且相邻图幅可以正确接合。

(2)把地球表面(球面)上的地形、地物测绘成平面图,并控制由此产生的误差。地球接近于旋转椭球体,其表面是不可展曲面。若硬性展平就会出现变形和裂口等现象,即用一般方法不能把球面上的地形测绘在平面图上。但是,大地控制点在一定旋转椭球面上的位置(坐标)是可以精密确定的,并且可以按一定的数学方法把它换算为投影平面上的点位,而后就可以把地球表面地形测绘在平面图上并控制测图误差,使地图能够拼接而不产生明显的变形和裂口。

(3)使各地的测图工作可以同时开展,并保证所测各图幅可以互相拼接。由于大地控制点的坐标系统是全国统一的,这样,不管在任何地区同时或先后开展测图工作,都不会出现相互重叠或不能拼接的现象。

2. 为研究地球形状、大小和其他科学问题提供资料

地球形体接近于旋转椭球,因此研究地球的形状、大小,就是要确定旋转椭球的长半径 a 和短半径 b , 或长半径 a 与扁率 $\alpha = \frac{a-b}{a}$ 。要确定 a , α , 必须综合利用大地测量、天文测量和重力测量的资料才能实现。所以,为研究地球形状、大小提供资料是大地测量的主要科学任务。应该指出,大地测量为确定地球的 a , α 提供资料,而 a , α 又反过来作为大地测量成果计算的必要数据,这是个相辅相成的问题。此外,地震预报、研究地壳变形、各个海水面的高差和地极周期性运动等科学问题,也要求大地测量提供资料。

3. 为空间科学技术和军事需要提供保障

大地测量可以提供精确的点位坐标、点间距离与方位、地球重力场资料或确定基本控制点相对于地球质量中心的空间坐标,以便为人造天体、远程武器的发射及其轨道的确定提供必要的资料。

二、建立大地控制网的基本方法

大地测量是由平面控制测量和高程控制测量组成的。平面控制测量是通过建立平面控制网,以确定地面点在地球椭球面上或某一投影平面上的位置;高程控制测量是通过建立高程控制网,以确定地面点的高程——地面点至某一基准面的距离。控制测量的方法可以归纳为两类:常规地面测量和卫星定位测量。

(一)建立平面控制网的常规地面测量方法

1. 三角测量

在地面上,按一定的要求选定一系列的点(三角点),以三角形的图形把它们连接起来,构成地面上的三角网或锁。每一个点设置测量标志,精确地观测所有三角形的内角,并至少测定三角网或锁中一条边的长度和天文方位角,用一定的投影计算公式,将这些观测成果化算到某一投影面上,使地面上的三角锁或网转化为投影平面上的三角锁或网,如图 0-1 所示。以化算后的平面边长 D_{AB} 为起始边,用平面三角形的正弦定理,依次解算各个三角形,算出所有的边长 D_{ij} ;以化算后的平面坐标方位角 T_{AB} 为起始坐标方位角,用化算后的平面角,依次推算出各边的平面坐标方位角 T_{ij} 。

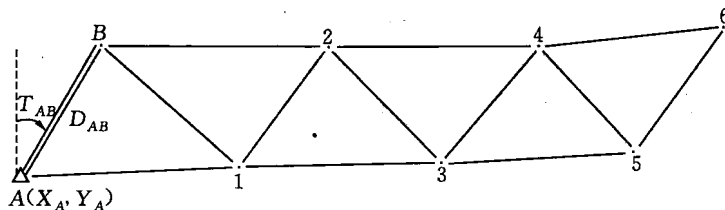


图 0-1 三角测量示意图

利用公式

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_{ij} &= D_{ij} \cos T_{ij} \\ \Delta Y_{ij} &= D_{ij} \sin T_{ij} \end{aligned} \right\} \quad (0-1)$$

算出各相邻点间的坐标增量 $\Delta X_{ij}, \Delta Y_{ij}$ 。以已知点 A 的平面直角坐标 X_A, Y_A 和坐标增量 $\Delta X_{ij}, \Delta Y_{ij}$,逐点算出各点的平面直角坐标 X_i, Y_i 。以上是三角测量的基本原理。

在电磁波测距仪和卫星定位测量方法被广泛使用以前,三角测量是主要的平面控制网建网方法。我国于 1984 年完成平差的国家天文大地网的主体形式就是三角锁或网。但三角网由于需多方向通视,并常常需建立高标,且耗时、费力、成本高,现已基本不再采用此法布设新网。代之的是卫星定位网和导线网。

2. 导线测量

在地面上,按一定的要求,选定一系列的点(导线点),以折线的形式将它们连接起来,构成导线。每个点都设置测量标志,用测距仪器测量各个导线边的长度,用经纬仪在各导线点上测量相邻导线边的水平夹角,并至少在导线一端测定出一条导线边的天文方位角(或已知其平面直角坐标方位角)。然后按一定的投影公式,将地面观测结果化归到投影平面上,使地面上的导线转化成投影平面上的导线,如图 0-2 所示。

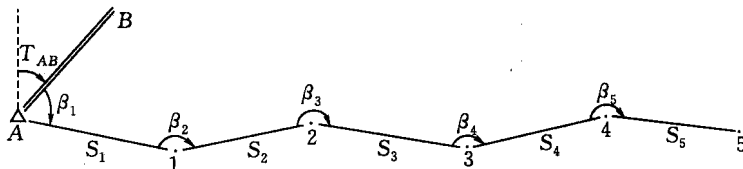


图 0-2 导线测量示意图

以已知的 AB 边的平面坐标方位角 T_{AB} 为起始方位角,用化归后的各转折角的平面角值依次推算出各导线边的平面坐标方位角 T_{ij} ,用化归后的导线平面边长 D_{ij} 和算得的平面坐标方位角 T_{ij} ,依公式(0-1)算出各相邻导线点间的坐标增量 $\Delta X_{ij}, \Delta Y_{ij}$ 。然后根据起始点 A 的已知平面坐标 X_A, Y_A 和坐标增量 $\Delta X_{ij}, \Delta Y_{ij}$ 逐一推算出各个导线点的平面直角坐标 X_i, Y_i 。以上是导线测量的基本原理。

导线测量的优点是,呈单线布设,坐标传递迅速;只需前后两个相邻导线点通视,易于越过地形、地物障碍,布设灵活;各导线边均直接测定,精度均匀;导线纵向误差较小。缺点是,控制面积小;检核观测成果质量的几何条件少;横向误差较大。因此,在不易进行三角测量的地区和隐蔽地区,一般用导线测量方法建立平面控制网。我国的传统天文大地网就是以三角测量为主、以导线测量为辅的方法建立的。

随着电磁波测距仪的普及应用,导线测量已成为常规地面测量建网的主要方法。

3. 三边测量

三边测量与三角测量的不同之处,仅在于三角测量需要观测所有三角形的各个内角,而三边测量法需要测定所有三角形的全部边长,根据三角原理由测定的三角形边长计算出各个三角形的三个内角,其他与

三角测量法完全相同。三边测量的缺点,也是要求多方向同时通视,而且检核条件太少,例如一个中点多边形只有一个检核条件。由于这些原因,纯三边网在实践中应用不多。

4. 边角同测法

在三角网或锁中,除了按三角测量的方法用经纬仪观测所有三角形的全部内角外,还用测距仪器测定网或锁中的全部三角形的边长,用以计算出各个三角点的坐标,这种布设控制网的方法称为边角同测法。边角同测法一般应用于高精度专用控制网,例如高精度变形监测网。

(二)建立高程控制网的常规地面测量方法

1. 几何水准测量

几何水准测量是建立国家高程控制网的主要方法。基本原理是:利用水准仪的水平视线读取垂直放置在水准仪前后两地面点上的水准标尺之分划线,求得两地面点间的高差,进而逐点推算出地面点的高程。其优点是精度较高,如一等水准测量的每千米偶然中误差不大于 $\pm 0.45\text{ mm}$;测得的高程以大地水准面(严格地说是似大地水准面)为基准面,具有物理意义,能够较好地为建设服务。因此,几何水准测量被广泛采用。

2. 三角高程测量

三角高程测量的基本原理是:测定地面上两点间的距离和垂直角,依三角公式计算出两点间的高差,进而求得地面点的高程。三角高程测量作业简单,布设灵活,不受地形条件的限制。其缺点是:由于受大气垂直折光的影响,垂直角观测值含有较大的误差,使得测定的高差或高程精度较低。因此,三角高程测量虽然在高程控制中得到大量应用,但必须有足够数量的直接高程点(即用几何水准测量法测定其高程的点)作为其高程起算点,以满足测绘国家基本比例尺地形图对高程控制的精度要求。

近年来,随着电磁波测距仪的完善与普及,电磁波测距三角高程测量和电磁波测距高程导线已经引起测量界的重视,并得到了初步的应用。电磁波测距三角高程导线的精度可以达到四等水准的精度。

国家水平大地控制网和高程控制网虽是各自单独建立的,建立方法也不相同,但它们之间存在密切的联系。首先,对于决定地面点的位置来说,两控制网缺一不可,在计划布设平面控制网的同时,就要考虑布设高程控制网问题。其次,水准网虽是单独建立的,但在平原地区,一些平面控制点则直接与水准点重合。三角高程网则直接与平面控制网重叠在一起,而且它需要平面控制网的边长数据。

(三)卫星定位测量

卫星定位测量是利用卫星定位接收机接收定位卫星发射的无线电信号,并通过一定的数据处理而获得测站位置的测量方法。目前正在运行的卫星定位系统有美国的 GPS 定位系统和俄罗斯的 GLONASS 定位系统。

GPS 卫星定位测量的几何原理是距离交会。观测时刻的卫星坐标可通过导航信息获得,即卫星相当于已知坐标点,因而接收机观测到至少 3 颗卫星的距离 ρ_1, ρ_2, ρ_3 (见图 0-3),就可以用距离交会法获得测站点的坐标。当然,实际测量时考虑到接收机时钟有偏差,要同时观测 4 颗以上卫星,以便解出测站的三维直角坐标 X, Y, Z 和接收机钟差 δ , 4 个未知数。

用户接收机还可进行载波相位观测。利用两个测站同步观测的相位观测值进行相对定位,即求测站间的空间坐标差 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$,可以达到高于传统地面控制网一个以上数量级的定位精度。

除美国的 GPS 系统和俄罗斯的 GLONASS 系统之外,尚有正在开发的欧洲空间局的伽利略系统。我国也参加该系统的投资与开发。另外,作为一种起步,我国自行开发的局部卫星定位系统“北斗双星定位系统”现已投入应用。它的升级系统——指南针全球定位系统正在研制开发。相信在不久的将来,我国的卫星定位事业将会达到更高的水平。

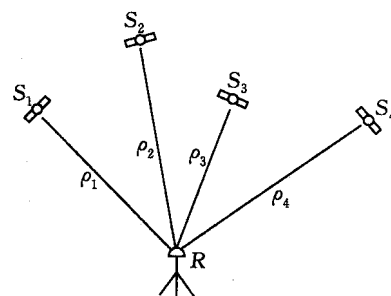


图 0-3 GPS 定位的几何原理

第一章 国家三角网的布设

我国国家平面控制网早期主要采用三角锁网的形式,在西部沙漠和西南部高山地区则多布设导线网。本章讲述国家三角网布设的原则和方案,技术设计,设计网的精度估算等内容。有关三角网的选点造标埋石等内容,请参见本书的测量员版。

§ 1-1 国家三角网的布设方案

一、国家三角网的布设形式

国家三角网按照精度的不同,分为一、二、三、四等,由高等向低等逐步建立。三角网布设的形式主要有三种。

1. 三角锁

由三角形(有时也包含有大地四边形和中点多边形)连接起来,构成向一个方向推进的锁形,称为三角锁,如图 1-1 所示。它适合于作为高级的控制骨干或在狭长地带作局部控制。

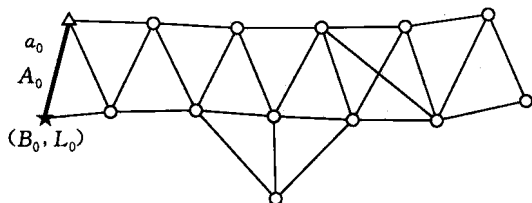


图 1-1 三角锁

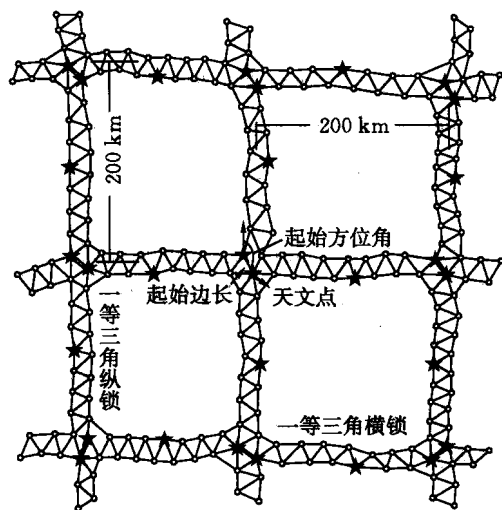


图 1-2 纵横三角锁

国家一等控制测量主要采用纵横三角锁的形式布设,如图 1-2 所示。三角形边长约 20~25 km,锁段三角形内角不小于 40°。在锁系交叉处精密测定起始边长,在起始边两端还用天文测量的方法测定天文方位角,用来控制误差传播和提供起算数据。一等三角锁的主要作用是统一全国坐标系统,控制以下各级控制测量和为研究地球形状及大小提供精确资料。

2. 三角网

用互相连接的三角形构成的网形,称为三角网,如图 1-3 所示,它可以填充在稀疏的三角锁系之间,也可以单独布设。我国二等三角网和部分三、四等三角网采用此种形式。

国家二等控制测量主要采用三角网布设,通常称为二等全面网。它是以连续三角网的形式布设在一等锁环内的地区,如图 1-4 所示。我国二等网平均边长为 13 km,网的中间通常选一条边,测定其边长并进行天文测量。二等全面网的作用是满足测图控制的需要。由于一、二等锁网中要进行天文测量,所以常称之为国家天文大地网。

3. 插点图形

在已建成的或正在建立的三角锁网中,插入一个或几个点,称为插点图形,如图 1-5 所示。这是增加原有锁网中点的密度的常见形式。

国家三、四等控制测量是在二等三角网基础上,根据需要采用插网方法进行布设,如图 1-5(a),图 1-5(b)所示。当受地形限制时,也可采用插点法进行施测,如图 1-5(c)所示。三等三角网平均边长为 8 km,四等网边长一般为 2~6 km。三、四等控制测量主要为地区测图提供首级控制。

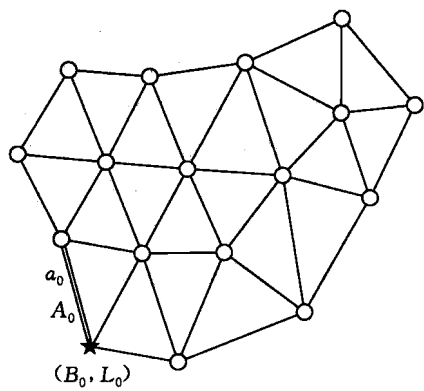


图 1-3 三角网

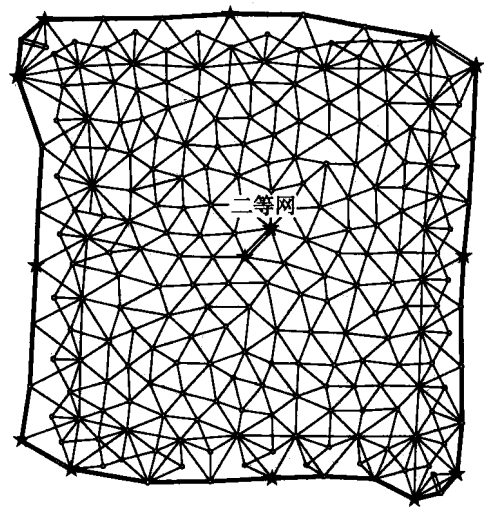
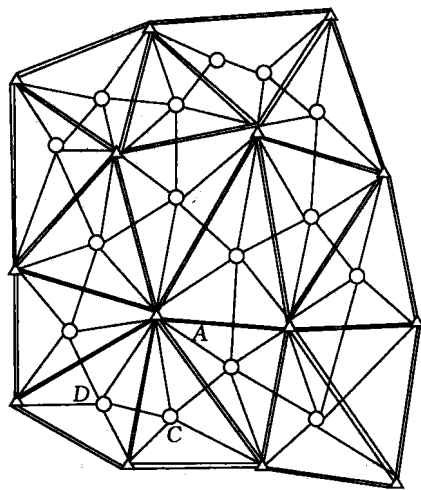
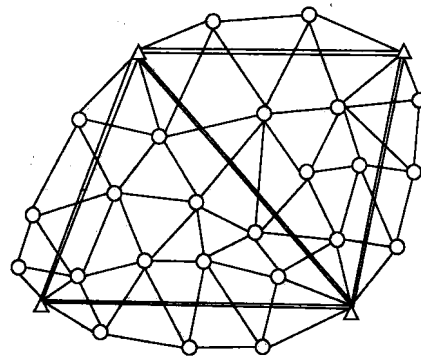


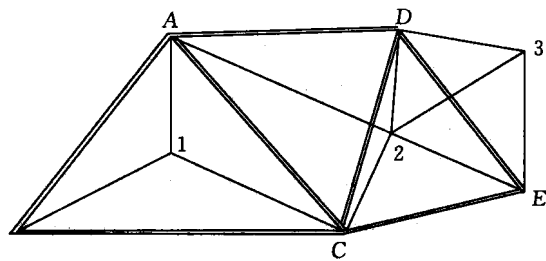
图 1-4 二等全面网



(a)



(b)



(c)

图 1-5 插点图形

二、国家三角网布设的基本原则

在一个国家范围内,按照国家统一颁布的法式、规范建立的统一坐标系统的平面控制网称为国家平面控制网。用三角测量方法建立的国家平面控制网,称为国家三角网。我国的国家平面控制网采取以三角网为主,以导线网为辅(在个别特殊困难地区无法用三角网布设时,采用导线网)的方法布设。国家三角网和国家导线网统称为国家平面控制网。国家平面控制网中的三角点和导线点统称为大地点。1980 坐标系是曾经长期使用并还在发挥着作用的国家控制网,因而我们必须熟练掌握国家平面控制网的布设情况。

建立我国的国家平面控制网必须全面考虑我国的实际情况,充分应用已有技术、装备、理论和实际经验,正确处理质量、数量、时间和经费之间的辩证关系,拟定具体的原则。国家平面控制网的最主要的技术任务是控制测图。现以控制测图为出发点,讨论国家平面控制网的布设原则。

(一)分级布设,逐级控制

我国的具体情况是幅员辽阔,自然地理状况复杂,如果以最高的精度、最大的密度,用一个等级的三角网或导线网布满全国,不但需要很长的时间和造成极大的困难与浪费,而且是难以做到的。因此,我国的国家平面控制网采取分级布网,逐级控制的原则,即控制点的密度是先疏后密,逐级加大;精度是先高后低,逐级递降。国家三角网和导线网分为一、二、三、四等共4个等级。首先以高精度的稀疏的一等三角锁或一等导线网,尽量沿经纬线方向纵横交叉迅速布满全国,形成统一坐标系统的骨干网。然后,根据各个地区控制测图的实际需要,分区、分期地在一等三角锁和一等导线环内,布设精度稍低、密度较大的二等三角网或二等导线网,成为继续加密控制的全面基础。最后,在二等三角网或二等导线网的基础上,视测图需要,加密精度更低一些,密度更大的三等和四等三角网或导线网,直接控制1:2 000比例尺地形图测图。这样既可简化国家平面控制网的布设工作,又可以比较及时地提供大地控制测量成果,以满足各地区的测图需要。

(二)具有足够的精度

国家平面控制网是控制测图的基础,它的精度必须保证测图的实际需要。各种比例尺测图规范规定:以国家大地点包括三角点和导线点为基础加密的解析图根点,相对于起算的大地点的点位中误差,表现在图上时,应不超过±0.1 mm,表现在实地上,应不超过±0.1 N mm(N 为测图比例尺分母)。

必须指出,图根点的这种误差不但取决于解析图根点测量本身的技术规格,而且和起算的大地点的点位中误差有关。因此,通常规定相邻大地点的点位中误差应小于图根点相对于起算大地点的点位中误差的1/3,即应小于 $0.1 N \times 1/3 = 0.03 N \text{ mm}$ 。这样大地点的点位中误差对测图来说可以忽略。

因此,若图根点的精度按 $0.1 N \text{ mm}$,大地点的精度必须不大于 $0.03 N \text{ mm}$,不同比例尺测图对图根点和大地点的精度要求见表1-1。

表 1-1 不同比例尺测图对图根点和大地点的精度要求

测图比例尺	1:50 000	1:25 000	1:10 000	1:5 000	1:2 000
图根点对三角点的点位中误差/m	±5.0	±2.5	±1.0	±0.5	±0.2
相邻三角点点位中误差/m	±1.7	±0.83	±0.33	±0.17	±0.07

按我国现行的《国家三角测量规范》(下称《规范》),三、四等三角点、导线点和采用插网法或插点法布设的三、四等三角点,其精度可以满足控制1:2 000比例尺测图的要求。

(三)保证必要的密度

为了满足控制测图需要,国家大地点(三角点或导线点)必须有足够的密度。国家大地点的密度,按不同的成图方法,依据测图比例尺确定。大地点的密度用平均每个大地点控制的面积或三角网中三角形的平均边长表示。

按平板仪测图,不同比例尺地图对大地点的合理密度要求如表1-2。

表 1-2 不同比例尺地图对大地点的合理密度要求

测图比例尺	1:50 000	1:25 000	1:10 000	1:5 000
平均每幅图面积/km ²	350~500	100~125	15~20	4~5
平均每幅图大地点个数	3~4	2~3	0.5~1	约每4幅1点
平均每个大地点控制的面积	约150 km ²	约50 km ²		约20 km ²
三角网平均边长/km ²	13	8		2~6

当按航测法成图时,根据成图方法的不同(如综合法、微分法等),控制点的布设形式和数量都有一些变化。

为保证测图精度所需要的控制点,一部分是国家大地点,一部分是解析图根点和进一步加密的图解图根点。因为国家大地点的作业过程严密,费用较大,所以,在保证测图精度的前提下,可以加密图根点,而国家大地点只要达到必要的精度即可。

(四)应有统一的布网方案、精度指标和作业规格

国家大地网规模巨大,为加快建网速度,满足各方面的需要,除了国家测绘部门外,水利、地质、地震、工矿、交通、林业等单位都要承担一部分国家大地网的施测工作。如果没有统一的布网方案、精度指标和作业规格,就很难建成合乎要求的国家大地网,而且容易造成重复和浪费。为此,国家测绘主管部门专门制定出《国家三角测量和精密导线测量规范》,作为布设国家平面控制网的技术依据。

《国家三角测量和精密导线测量规范》是 1974 年 6 月由国家测绘总局颁布执行的。在此之前,即 1958 年 10 月以前,根据我国的具体情况,布设国家平面控制网时,执行的是编译苏联的《一、二、三、四等三角测量细则》;1958 年 10 月至 1974 年 6 月,执行的是国家测绘总局和总参测绘局颁布的《一、二、三、四等三角测量细则》,以上三个“规范”或“细则”的布设方案、精度指标和某些技术规定略有不同。因此,在使用大地测量成果时,应加以区别。

三、我国各级三角网的布设规格和精度

我国各级三角网布设方案,是在理论和实践相结合的基础上,根据布网原则产生的,是基本符合我国实际情况的。三角网布网主要规格及各级网应达到的精度如表 1-3。

表 1-3 三角网布网主要规格及各级网应达到的精度

等 级	平均边长 /km	测角中误差(按三角 形闭合差计算)/(″)	三角形最大 闭合差/(″)	起始元素精度		最弱边边长 相对中误差
				起始边长	天文观测	
一等锁	20~25	±0.7	±2.5	1 : 350 000	$m_s \leq \pm 0.5''$ $m_A \leq \pm 0.3''$ $m_\phi \leq \pm 0.3''$	1 : 150 000
二等网	13	±1.0	±3.5	1 : 350 000	同一等	1 : 150 000
三等网	8	±1.8	±7.0			1 : 180 000
四等网	2~6	±2.5	±9.0			1 : 40 000

表 1-3 中规定的各级网规格是区别质量的数量界限,是最低指标。实际建网时应力求高于规定的精度,保证网的高质量。布网方案也不是一成不变的,应该不断利用新技术和总结新经验,使之更完善和具有更高的精度。现代由人卫大地测量建立的 GPS 控制网,就可以为天文大地网提供控制和检核,从而提高大地网的精度,我国在这方面已经作了不少工作。我国各级三角网中推算元素实际精度如表 1-4 所示。

表 1-4 各级三角网推算元素的实际精度

等 级	平均边长 /km	边长相对中误差 m_s/a	边长绝对中误差 m_s/m	方位角中误差 $m/(\prime)$	相对点位中误差 M/m
一等锁	25	1 : 164 000	±0.15	±0.87	±0.18
二等点	13	1 : 164 000	±0.08	±0.87	±0.10
三等点	7.5	1 : 70 000	±0.11	±1.80	±0.13
四等点	4	1 : 51 000	±0.08	±5.50	±0.09

表 1-4 中所列推算元素精度,是在最不利情况下三角锁网达到的最低精度。其中二等网是取其靠近一等的边,按一等锁最弱边计算的,三、四等点的精度是按三角形外插一点的不利情况计算的,同时已粗略地加入了起算边长、方位角的误差影响。

§ 1-2 三角网的技术设计

一、技术设计的意义及其主要内容

技术设计是控制测量的第一道工序,是一个决定性的环节。技术设计的优劣,将对测量工作的全过程造成重大影响。

技术设计就是要编制出技术设计书,它是制定作业计划、指导生产的重要技术文件之一。技术设计书

一般包括下列主要内容:

- (1)作业的目的和任务范围;
- (2)测区的自然地理条件;
- (3)测区已有的测量成果及其精度分析;
- (4)测区实地调查和踏勘的结果——一般应写出测区调查报告;
- (5)最佳布网方案的论证;
- (6)图上设计结果及其有关图表;
- (7)技术补充规定;
- (8)业务技术领导部门的批示及审核意见。

二、技术设计的程序和方法

(一)对点位的要求

在技术设计和选点时,平面控制点的位置应满足以下要求:

- (1)不论三角点还是导线点,其位置都应尽量选在展望良好、易于扩展的制高点上。
- (2)点与点之间构成的边长、角度、图形结构等都应完全满足《规范》的要求。
- (3)点的位置要保证所埋中心标石能长期保存,以及造标、观测工作时的安全。
- (4)确定点位时,应使观测视线避开产生水平折光的地形或地物,并使视线超越及离开障碍物一定的距离。

(二)收集、分析研究资料

为了全面了解测区情况,掌握测区特点,使技术设计切实可行,在技术设计前,应全面收集测区的各种有关资料,进行认真的分析研究。

应收集的资料有:

- (1)测区的各种比例尺(尤其是大、中比例尺)地形图、交通图和行政区划图。
- (2)已有的大地测量成果资料,如三角锁网(或导线)图,水准路线图,点之记,成果表和技术总结等。
- (3)测区自然地理情况资料,如主要的集镇、居民区、行政中心、民族、治安、交通运输、物资供应、地貌、植被、水系、土质、冻土层和气象等资料。如果在少数民族地区,还应了解、收集民俗和有关的少数民族政策等,如有必要,还应收集有关的地质资料。

对收集来的资料要进行充分的综合分析研究,把可靠、有用的资料进行整理,供实地调查和设计时参考利用。

分析大地测量成果时,应特别注重其实际使用价值,利用的可能性和利用方案。为此,对大地测量成果的分析应注意以下几点:

- (1)施测时间、等级、执行的规范或技术规定、使用的仪器、标石和觇标类型、施测单位以及计算和平差方法、成果的实际精度。
- (2)成果的坐标系统和高程系统。如果成果的坐标系统或高程系统不统一,应计算改正为国家统一的坐标系统或高程系统。
- (3)成果中采用的投影面和投影带。如果成果的投影面、投影带不统一或不合用,亦应改算为统一、合用的投影面、投影带。
- (4)应分清哪些成果可以作为起算数据,哪些成果可以直接利用作为控制,哪些成果不能采用等。

(三)测区调查与踏勘

此项工作可以在图上设计之前进行,也可放在图上设计工作完成后进行,这要根据对测区情况了解的程度决定。如果对测区情况缺乏必要的了解,此项工作就要在图上设计之前进行,反之则在图上设计之后进行,这样便于到实地检查图上设计的合理性和可行性,然后对图上设计进行必要的修正。

此项工作的主要任务是:

- (1)查找并查看已收集到的三角点、导线点、水准点保存情况和完好程度,决定这些大地点是否可以利用,尤其对这些大地点的稳定性作出正确判断。