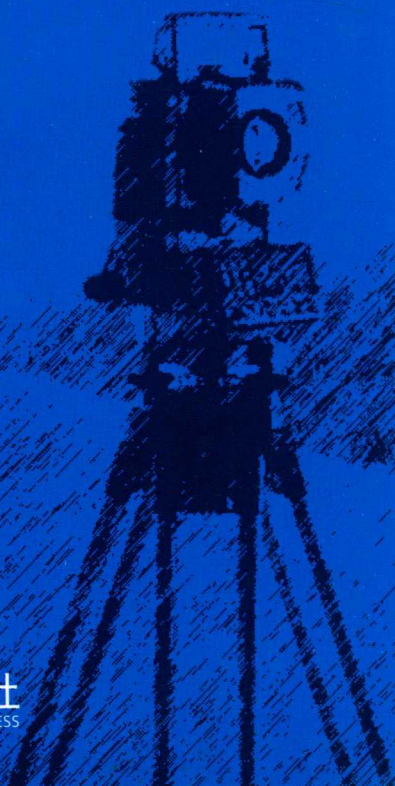


控制测量

刘岩 张齐周 谭立萍 主编



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS



控制测量

主 编 刘 岩 张齐周 谭立萍

副主编 李金生 矫丽娜 丁 剑 董仲宇



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

控制测量 / 刘岩, 张齐周, 谭立萍主编. —北京: 科学技术文献出版社, 2015. 8
ISBN 978-7-5189-0451-8

I. ①控… II. ①刘… ②张… ③谭… III. ①控制测量 IV. ①P221

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 156421 号

控制测量

策划编辑: 周国臻 责任编辑: 周国臻 王瑞瑞 责任校对: 赵 瑗 责任出版: 张志平

出 版 者 科学技术文献出版社
地 址 北京市复兴路15号 邮编 100038
编 务 部 (010) 58882938, 58882087 (传真)
发 行 部 (010) 58882868, 58882874 (传真)
邮 购 部 (010) 58882873
官 方 网 址 www.stdp.com.cn
发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销
印 刷 者 北京高迪印刷有限公司
版 次 2015年8月第1版 2015年8月第1次印刷
开 本 787×1092 1/16
字 数 332千
印 张 14.25
书 号 ISBN 978-7-5189-0451-8
定 价 35.00元



版权所有 违法必究

购买本社图书, 凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

前 言

本书采用“情境设计+项目导向+任务驱动”编写体系，注重“教中学”和“学中做”的有机衔接，为满足高职高专测绘类专业“控制测量”课程“教学做一体化”教学改革需要而编写。

根据高职教育特点，从企业聘请了生产一线专家、高技能人才共同开发体现校企合作特色的项目化教材。本书共分为6个学习情境，包括控制测量基本知识、控制测量技术设计、平面控制测量、高程控制测量、控制网数据处理、控制测量技术总结。各情境、项目、任务基于生产一线控制测量作业工作过程和学生的认知规律来编排组织教学内容，并根据具体工作过程，以项目导向、任务驱动的形式展开教学。本书编写强化了工作过程的完整性，淡化了知识的系统性，体现了学习过程与工作过程的融合。

本书由辽宁水利职业学院刘岩、广东工贸职业技术学院张齐周、辽宁省交通高等专科学校谭立萍担任主编，辽宁水利职业学院李金生、辽宁城市建设职业技术学院矫丽娜、沈阳勘察测绘研究院丁剑、辽宁省国土资源厅征地事务局董仲宇担任副主编。参加编写人员分工如下：情境一由张齐周编写，情境二由谭立萍编写，情境三、情境四由刘岩编写，情境五由李金生、矫丽娜编写，情境六由丁剑、董仲宇编写，附录由谭立萍编写。各项目、各任务分别编写完成后，刘岩对部分项目、任务予以补充、修改，并负责统稿定稿。最后由东北大学马洪滨教授统审全书。

本书为高等职业院校测绘类专业教学用书，也可供有关工程技术人员学习参考。

限于编者的水平和经验，书中难免有疏漏和不足之处，恳请使用本书的老师、同行专家和广大读者提出宝贵意见，以便日后进一步修正与完善。

目 录

情境一 控制测量基本知识	1
项目 1 控制测量基本知识	1
任务 1.1 控制测量的基本任务与主要内容	1
任务 1.2 控制网布设的基本形式	4
任务 1.3 国家平面控制网的布设原则和方案	8
任务 1.4 国家高程控制网的布设原则和方案	12
任务 1.5 工程控制网的布设原则和方案	14
任务 1.6 控制测量的作业流程	16
情境二 控制测量技术设计	18
项目 2 控制测量技术设计	18
任务 2.1 控制测量技术设计书的编写	18
任务 2.2 控制测量技术设计实例	25
情境三 平面控制测量	32
项目 3 精密角度测量	32
任务 3.1 精密光学经纬仪的结构与操作	32
任务 3.2 精密角度测量外业实施	44
任务 3.3 精密经纬仪的检验与校正	48
任务 3.4 精密角度测量误差的来源及影响	59
项目 4 精密距离测量	66
任务 4.1 电磁波测距基本知识	66
任务 4.2 电磁波测距的外业实施与内业计算	70
任务 4.3 电磁波测距的误差来源及影响	74
项目 5 导线测量	79
任务 5.1 导线测量的主要技术要求	79
任务 5.2 全站仪结构与操作	81
任务 5.3 导线测量的外业观测	91
任务 5.4 导线测量的内业计算	93

项目 6	GPS 平面控制测量	99
任务 6.1	GPS 测量技术概述	99
任务 6.2	GPS 控制网数据采集与处理	104
情境四	高程控制测量	109
项目 7	精密水准测量	109
任务 7.1	高程基准建立与水准网布设	109
任务 7.2	精密水准仪、水准尺结构与操作	116
任务 7.3	二等水准测量外业观测与记录	125
任务 7.4	精密水准测量的误差来源及影响	130
任务 7.5	精密水准测量仪器的检验	137
项目 8	三角高程测量	145
任务 8.1	垂直角观测	145
任务 8.2	三角高程测量	147
情境五	控制网数据处理	151
项目 9	椭球计算与高斯投影	151
任务 9.1	椭球的基本概念	151
任务 9.2	高斯投影概述	155
任务 9.3	地面观测值归算至椭球面	159
任务 9.4	椭球面元素归算至高斯平面	160
任务 9.5	常用测量坐标系及其转换	161
任务 9.6	工程坐标系的建立	175
项目 10	控制网平差计算	181
任务 10.1	平面控制网平差计算	181
任务 10.2	高程控制网平差计算	190
情境六	控制测量技术总结	200
项目 11	控制测量技术总结	200
任务 11.1	控制测量技术总结的编制	200
任务 11.2	控制测量技术总结实例	201
附录	控制测量基本术语	211
参考文献		222



控制测量基本知识

项目 1 控制测量基本知识



[项目提要]

本项目主要介绍控制测量工作的基本知识，包括控制测量的基本任务与主要内容；控制网布设的基本形式；国家平面、高程控制网的布设原则和方案；控制测量的作业流程等。通过本项目的学习，让学生对《控制测量》课程的相关知识有一个整体的概念，掌握控制测量在工程建设各个阶段的基本任务，了解控制网布设的基本形式及我国国家控制网的布设现状与特点，掌握控制测量工作的基本工作过程。

任务 1.1 控制测量的基本任务与主要内容

一、控制测量的含义

在进行某项测量工作时，往往需要确定许多地面点的位置。如从一个已知点出发，逐点进行测量和推导，最后虽可得到待测各点的位置，但这些点很可能是不正确的，因为前一点的测量误差将会传递到下一点，这样积累起来，最后可能达到不可允许的程度。因此，测量工作必须依照一定的原则和方法来防止测量误差的积累。

在实际测量工作中应遵循的原则是：在测量布局上要“从整体到局部”；在测量精度上要“由高级到低级”；在测量程序上要“先控制后碎部”，也就是在测区整体范围内选择一些有“控制”意义的点，首先把它们坐标和高程精确地测定出来，然后以这些点作为已知点来确定其他地面点的位置。这些有控制意义的点组成了测区的测量骨干，称之为控制点。采用上述原则和方法进行测量，可以有效地控制误差的传递和积累，使整个测区的精度较为均

匀和统一。为了测定控制点的坐标和高程所进行的测量工作称之为控制测量。它包括平面控制测量和高程控制测量。控制测量是整个测量过程中的重要环节，它起着控制全局的作用。对于任何一项测量任务，必须先进行整体性的控制测量，然后以控制点为基础进行局部的碎部测量。例如大桥的施工测量，首先建立施工控制网，进行符合精度要求的控制测量，然后在控制点上安置仪器进行桥梁细部构造的放样。

控制测量是指在一定的范围内，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，建立控制网，并监测其随时间变化量的工作。它是在大地测量学基本理论上以工程建设测量为主要服务对象而发展和形成的，为人类社会活动提供有用的空间信息。因此，从本质上说，它是地球工程信息学科，是地球科学和测绘学中的一个重要分支，是工程建设测量中的基础学科，也是应用学科。在测量工程专业人才培养中占有重要的地位。

二、控制测量的基本任务

控制测量的服务对象主要是各种工程建设、城镇建设和土地规划与管理等工作。这就决定了它的测量范围比大地测量要小，并且在观测手段和数据处理方法上还具有多样化的特点。

作为控制测量服务对象的工程建设工作，在进行过程中，大体上可分为设计、施工和运营3个阶段。每个阶段都对控制测量提出了不同的要求，其基本任务分述如下。

（一）在设计阶段建立用于测绘大比例尺地形图的测图控制网

各种比例尺地形图是工程勘测规划设计的依据。在这一阶段，设计人员要在大比例尺地形图上进行建筑物的设计或区域规划，以求得设计所依据的各项数据。因此，控制测量的任务是布设作为图根控制依据的测图控制网，以保证地形图的精度和各幅地形图之间的准确拼接。此外，对于地籍与房产测绘工作，这种测图控制网也是相应地籍与房产测量的根据。

（二）在施工阶段建立施工控制网

施工控制网是工程施工放样的依据。在这一阶段，施工测量的主要任务是将图纸上设计的建筑物放样到实地上去。对于不同的工程来说，施工测量的具体任务也不同。例如，隧道施工测量的主要任务是保证对向开挖的隧道能按照规定的精度贯通，并使各建筑物按照设计的位置修建；放样过程中，仪器所标出的方向、距离都是依据控制网和图纸上设计的建筑物计算出来的。因而在施工放样之前，需建立具有必要精度的施工控制网。

（三）在工程竣工后的运营阶段，建立以监视建筑物变形为目的的变形观测控制网

变形观测控制网是进行建筑物变形观测的依据。由于在工程施工阶段改变了地面的原有状态，加之建筑物本身的重量将会引起地基及其周围地层的不均匀变化。此外，建筑物本身及其基础，也会由于地基的变化而产生变形，这种变形，如果超过了某一限度，就会影响建筑物的正常使用，严重的还会危及建筑物的安全。在一些大城市（如我国的上海、天津）由

于地下水的过量开采,也会引起市区大范围的地面沉降,从而造成危害。因此,在竣工后的运营阶段,需对这种有怀疑的建筑物或市区进行变形监测。为此需布设变形观测控制网。由于这种变形的数值一般都很小,为了能够足够精确地测出它们,要求变形观测控制网具有较高的精度。

应说明的是,以上3个阶段的划分界线并不是十分明确的。例如在施测阶段,有可能发现技术设计不符合实际,因而需局部地修改设计,这实际上又重新进行了设计与施测;同样在控制网的使用阶段,由于包含了网的维护与补测,因而部分地重复上述前2个阶段的工作也时有发生。

三、控制测量的作用

从控制测量的工作性质来说,其主要作用在于以下几点:

(1) 控制网(点)是进行各项测量工作的基础。控制网的建立是为完成具体测量任务而进行的前期准备工作。为满足地形测绘需要,建立测图控制网;为满足工程施工需要,建立施工控制网;为满足工程运营管理需要,建立变形监测控制网。

(2) 控制网具有控制全局的作用。测量的基本原则,要求“从整体到局部,先控制后碎部”,对测图控制网而言,要求所测的各幅地形图具有一定的精度,能够相互拼接成为一个整体;对施工控制网而言,为保证建筑物各轴系之间相关位置的正确性,施工控制网要满足施工放样的精度要求。

(3) 控制网可以限制测量误差的传递和积累。建立控制网时采用分级布网、逐级控制的原则,从技术上限制了误差的传递和积累。

从控制测量的服务对象来说,其主要作用在于以下几点:

(1) 在国民经济建设和社会发展中,发挥基础性的重要保证作用。我国的交通运输、资源开发、水利水电工程、工业企业建设、农业生产规划、城市管理等事业的建设,都离不开作为规划设计依据的地形图。可以说,地形图是一切经济建设规划和发展必需的基础性资料。为了测绘地形图,就要布设全国范围内及区域性的大地测量控制网,以此为基础布设满足各种比例尺地形图测绘的测图控制网。因此,可以说控制测量在国民经济建设和社会发展中发挥着决定性的基础保证作用。

(2) 控制测量在防灾、减灾、救灾及环境监测、评价与保护中发挥着特殊作用。利用行进的GPS、甚长基线干涉(VLBI)、激光测卫(SLR)等现代测量技术,可自动连续监测全球板块之间的运动,为人类预防地震造福。控制测量还可以在山体滑坡、泥石流及雪崩等灾害监测中发挥作用。利用GPS快速准确定位及卫星通信技术,将遇难的地点及情况通告救援组织,以便及时采取救援行动。

(3) 控制测量在发展空间技术和国防建设中,在丰富和发展当代地球科学的有关研究中,以及在发展测绘工程事业中的地位和作用也越来越重要。

四、控制测量的主要内容

把控制测量看作研究对象,从科学研究的角度来说,控制测量的主要研究内容有:

(1) 研究建立和维持高科技水平的工程和国家水平控制网和精密水准网的原理和方法,以满足国民经济和国防建设及地学科学研究的需要。

(2) 研究获得高精度测量成果的精密仪器和科学的使用方法。

(3) 研究地球表面测量成果向椭球及平面的数学投影变换及有关问题的测量计算。

(4) 研究高精度和多类别的地面网、空间网及其联合网的数学处理的理论和方法、控制测量数据库的建立及应用等。

把控制测量看作一项工程,从完成工程项目的角度来说,控制测量的主要内容有:

(1) 控制网的技术设计。主要对控制网的精度指标、工艺技术方案、工程进度、质量控制等进行设计。

(2) 控制网的施测。依据技术设计报告和文件,完成控制网的选点、埋石、外业测量和数据处理。

(3) 控制网的使用与维护。主要是对控制网成果进行有效管理,为工程建设项目的后续工作提供有用资料,并对控制网进行维护,必要时进行复测或补测。

以上概述了一般意义下的控制测量的基本任务和主要内容。本书依据这些基本体系和内容,介绍了控制测量的基本理论、技术和方法。为学生对后续课程的学习及从事测绘事业的专业技术人员打下坚实的基础。

控制测量在许多方面发挥着重要作用。可以说,地形图是一切经济建设规划和发展必需的基础性资料。为测制地形图,首先要布设全国范围内及局域性的大地测量控制网,为取得大地点的精确坐标,必须要建立合理的大地测量坐标系及确定地球的形状、大小及重力场参数。因此,控制测量在国民经济建设和社会发展中发挥着决定性的基础保证作用。

任务 1.2 控制网布设的基本形式

一、水平控制网的布设形式

控制测量的主要任务就是建立各种高精度测量控制网,用于精确测定地面点的位置,为后续的测量工作提供基础保障。随着测绘技术的不断发展,控制网的布设形式也在发生变化,正在由常规平面控制网的布设形式向以现代测量新技术为代表的新一代布设形式过渡。平面控制网的基本形式主要包括三角网、导线网、GPS网,下面分别介绍。

(一) 三角网

20世纪70年代之前,三角测量是进行平面控制测量的首选方法,三角测量的体现形式就是三角网。在地面上选定一系列点位 $1, 2, \dots$ 使互相观测的两点通视,把它们按三角形的形式连接起来即构成三角网。三角网中的观测量是网中的全部(或大部分)方向值。根据方向值可算出任意两个方向之间的夹角。

由于这种方法主要使用经纬仪完成大量的野外观测工作,所以在电磁波测距仪问世以前的年代,三角网是布设各级控制网的主要形式。三角网的主要优点:图形简单,网的精度较

高, 有较多的检核条件, 易于发现观测中的粗差, 便于计算。缺点: 在平原地区或隐蔽地区易受障碍物的影响, 布网困难大, 有时不得不建造较高的觇标。

作为我国国家控制网的基本观测方法, 在以前曾发挥过重要的作用, 目前在实际工作中, 大范围控制测量都采用 GPS 静态测量, 小范围控制测量一般采用导线测量, 三角网测量方法极少使用。

任何一个三角网均包含以下三类数据:

- (1) 起算数据。控制网的已知数据, 包括起算点坐标、边长、方位角、高程等。
- (2) 观测数据。控制网中通过观测得到的数据。
- (3) 推算数据。由已知数据和观测数据经推算得到的数据 (通常为结果数据)。

根据起算数据和观测数据, 用正弦定理依次推算出所有三角网的边长、各边的坐标方位角和各点的平面坐标, 这就是三角测量的基本原理和方法。

以图 1-1 为例, 待定点 3 的坐标可按式计算:

$$S_{13} = S_{12} \frac{\sin B}{\sin C}, \quad (1-1)$$

$$\alpha_{13} = \alpha_{12} + A, \quad (1-2)$$

得到:

$$\begin{cases} \Delta x_{13} = S_{13} \cos \alpha_{13} \\ \Delta y_{13} = S_{13} \sin \alpha_{13} \end{cases}, \quad (1-3)$$

推出:

$$\begin{cases} x_3 = x_1 + \Delta x_{13} \\ y_3 = y_1 + \Delta y_{13} \end{cases}. \quad (1-4)$$

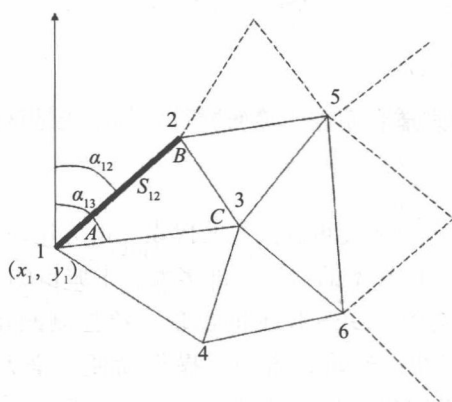


图 1-1 三角网待定点坐标计算

(二) 导线网

导线网是目前工程测量控制网较常用的一种布设形式, 它包括单一导线和具有一个或多个结点的导线网。网中的观测值是角度 (或方向) 和边长。独立导线网的起算数据是: 一个起算点的 (x, y) 坐标和一个方向的方位角。

按照不同的情况和要求,导线可以布置成单一导线和导线网。单一导线又分为附和导线、闭合导线、支导线等形式,几条单一导线通过一个或多个结点连接成网状就称为导线网。图 1-2 为三个结点组成的导线网。



图 1-2 三个结点组成的导线网

导线网与三角网相比,主要优点在于:

- (1) 网中各点上的方向数较少,除结点外只有两个方向,因而受通视要求的限制较小,易于选点和降低觇标高度,甚至无须造标。
- (2) 导线网的图形非常灵活,选点时可根据具体情况随时改变。
- (3) 网中的边长都是直接测定的,因此边长的精度较均匀。

导线网的主要缺点有:

- (1) 导线网中的多余观测数较同样规模的三角网要少,有时不易发现观测值中的粗差,因而可靠性相对较差。
- (2) 导线点控制的面积狭小。

由上述可见,导线网特别适合布设于障碍物较多的平坦地区或隐蔽地区。

(三) 卫星定位网

全球定位系统(GPS)作为现代测量技术的代表,可为用户提供精密的三维坐标。进入 20 世纪 90 年代,随着卫星定位技术的引进,许多大、中城市的测绘单位及工程测量单位都广泛应用 GPS 方法布设控制网。GPS 技术的出现,给控制测量带来了革命性改变,由于 GPS 测量精度高、测量速度快、经济、省力、操作简便、全天候工作等诸多优点,目前 GPS 方法已经占据平面控制测量绝对的主导地位。

GPS 相对定位精度,在几十千米的范围内边长相对误差可优于 10^{-6} ,完全可以满足《城市测量规范》和《工程测量规范》对城市或工程二、三、四等网的精度要求。

关于 GPS 控制网布设的主要内容在本书项目 6 中详细介绍。

二、高程控制网的布设形式

工程高程控制网的布设应遵守分级布设的原则。

关于工程高程控制网的布设方案,《城市测量规范》规定,可以采用水准测量和三角高程测量。水准测量分为二、三、四等,作为工程高程控制网或专用高程控制网的基础。首级水准网等级的选择应根据城市面积的大小、城市的远景规划、水准路线的长短而定。首级网应布设成闭合环线,加密网可布设附和路线、结点网和闭合环。只有在山区等特殊情况下,才允许布设水准支线。

三角高程测量主要用于山区的高程控制和平面控制点的高程测定。应特别指出的是电磁波测距三角高程测量,近年来经过研究已普遍认为该法可达到四等水准测量的精度,也有人认为可以代替三等水准测量。因而《城市测量规范》规定,根据仪器精度和经过技术设计认为能满足城市高程控制网的基本精度时,可用以代替相应等级的水准测量。

高程控制网是进行各种比例尺测图和各种工程测量的高程控制基础,建立高程控制网的常用方法有几何水准测量、三角高程测量和 GPS 高程测量。

(一) 几何水准测量

用水准仪配合水准标尺进行水准测量的方法称为几何水准测量法。用该方法建立起来的高程控制网称为水准网。直接用几何水准测量方法传递高程,可以取得很高的精度,它是建立全国性高程控制网、城市控制网等高精度高程控制网的主要方法。

(二) 三角高程测量

三角高程测量的基本原理是根据测站点观测照准点的垂直角和两点间的距离(平距或斜距)来计算测站点与照准点之间的高差,进而求得地面点的高程。这种方法虽然精度较低,但布网简便灵活,受地形限制较小,适用于地形起伏较大的地区或精度要求较低的场合,因此作为一种辅助方法,有时也能起到重要作用。

(三) GPS 高程测量

采用 GPS 测定正高或正常高,称为 GPS 水准。通常,通过 GPS 测出的是大地高,要确定点的正高或正常高,需要进行高程系统转换,即需确定大地水准面差距或高程异常。由此可以看出,GPS 水准实际上包括两方面内容:一方面是采用 GPS 方法确定大地高,另一方面是采用其他技术方法确定大地水准面差距或高程异常。如果大地水准面差距已知,就能够进行大地高与正高间的相互转换,但当其未知时,则需要设法确定大地水准面差距的数值。

三、控制网的质量指标

在控制网的设计阶段,质量标准是设计的依据和目的,同时又是评定控制网质量的指标。质量标准包括精度标准、可靠性标准、费用标准、可区分标准及灵敏度标准等。其中常用的主要是前 3 个标准。

(一) 精度标准

网的精度标准以观测值仅存在随机误差为前提,使用坐标参数的方差—协方差阵 D_{xx} 或

协因数阵 Q_{xx} 来度量,要求控制网中目标成果的精度应达到或高于预定的精度。

(二) 可靠性标准

可靠性理论是以考虑观测值中不仅含有随机误差,还含有粗差为前提,并把粗差归入函数模型之中来评价控制网的质量。

控制网的可靠性,是指控制网能够发现观测值中存在的粗差和抵抗残存粗差对平差结果的影响的能力。

(三) 费用标准

布设任何控制网都不可一味追求高精度和高可靠性而不考虑费用问题,尤其是在讲究经济效益的今天更是如此。控制网的优化设计,就是得出在费用最小(或不超出某一限度)的情况下使其他质量指标能满足要求的布网方案。

任务 1.3 国家平面控制网的布设原则和方案

一、布设原则

我国幅员辽阔,在大部分领域上布设国家天文大地网,是一项规模巨大的工程。为完成这一基础工程建设,在新中国成立初期国民经济相当困难的情况下,国家专门抽调了一批人力、物力、财力,从1951年即开始野外工作,一直延续到1971年才基本结束。面对如此艰巨的任务,显然事先必须全面规划、统筹安排,制定一些基本原则,用以指导建网工作。这些原则是:应分级布网、逐级控制;应有足够的精度;应有足够的密度;应有统一的规格。现进一步论述如下。

(一) 应分级布网、逐级控制

由于我国领土辽阔,地形复杂,不可能用最高精度和较大密度的控制网一次布满全国。为了适时地保障国家经济建设和国防建设用图的需要,根据主次缓急而采用“分级布网、逐级控制”的原则是十分必要的。即先以精度高而稀疏的一等三角锁尽可能沿经纬线方向纵横交叉地迅速布满全国,形成统一的骨干大地控制网,然后再在一等锁环内逐级(或同时)布设二、三、四等控制网。

(二) 应有足够的精度

控制网的精度应根据需要和可能来确定。作为国家大地控制网骨干的一等控制网,应力求精度更高些才有利于为科学研究提供可靠的资料。

为了保证国家控制网的精度,必须对起算数据和观测元素的精度、网中图形角度的大小等,提出适当的要求和规定。这些要求和规定均列于《国家三角测量和精密导线测量规范》(以下简称国家规范)中。

(三) 应有足够的密度

控制点的密度,主要根据测图方法及测图比例尺的大小而定。比如,用航测方法成图

时, 密度要求的经验数值见表 1-1, 表中的数据主要是根据经验得出的。

表 1-1 各种比例尺航测成图时对平面控制点的密度要求

测图比例尺	每幅图要求点数	每个三角点控制面积	三角网平均边长	等级
1 : 50 000	3	约 150 km ²	13 km	二等
1 : 25 000	2~3	约 50 km ²	8 km	三等
1 : 10 000	1	约 20 km ²	2~6 km	四等

由于控制网的边长与点的密度有关, 所以在布设控制网时, 对点的密度要求是通过规定控制网的边长而体现出来的。对于三角网而言, 边长 s 与点的密度 (每个点的控制面积) Q 之间的近似关系为 $s = 1.07\sqrt{Q}$ 。将表 1-1 中的数据代入此式得出:

$$s = 1.07\sqrt{150} \approx 13 \text{ (km)},$$

$$s = 1.07\sqrt{50} \approx 8 \text{ (km)},$$

$$s = 1.07\sqrt{20} \approx 5 \text{ (km)}。$$

因此国家规范中规定, 国家二、三等三角网的平均边长分别为 13 km 和 8 km。

(四) 应有统一的规格

由于我国三角锁网的规模巨大, 必须有大量的测量单位和作业人员分区同时进行作业, 为此, 必须由国家制定统一的大地测量法式和作业规范, 作为建立全国统一技术规格的控制网的依据。

二、三角锁布设方案

根据国家平面控制网施测时的测绘技术水平, 我国决定采取传统的三角网作为水平控制网的基本形式, 只是在青藏高原特殊困难的地区布设了一等电磁波测距导线。现将国家三角网的布设方案和精度要求概略介绍如下。

(一) 一等三角锁布设方案

一等三角锁是国家大地控制网的骨干, 其主要作用是控制二等以下各级三角测量, 并为地球科学研究提供资料。

一等三角锁尽可能沿经纬线方向布设成纵横交叉的网状图形, 如图 1-3 所示。在一等锁交叉处设置起算边, 以获得精确的起算边长, 并可控制锁中边长误差的积累, 起算边长度测定的相对中误差 $m_b/b < 1 : 350\ 000$ 。多数起算边的长度是采用基线测量的方法求得的。随着电磁波测距技术的发展, 后来少数起算边的测定已为电磁波测距法所代替。

一等锁在起算边两端点上精密测定了天文经纬度和天文方位角, 作为起算方位角, 用来控制锁、网中方位角误差的积累。一等天文点测定的精度是: 纬度测定中误差 $m_\varphi \leq \pm 0.3''$, 经度测定的中误差 $m_\lambda < \pm 0.02''$, 天文方位角测定的中误差 $m_\alpha < \pm 0.5''$ 。

一等锁两起算边之间的锁段长度一般为 200 km 左右, 锁段内的三角形个数一般为 16~

17 个。角度观测的精度，按一锁段三角形闭合差计算所得的测角中误差应小于 $\pm 0.7''$ 。

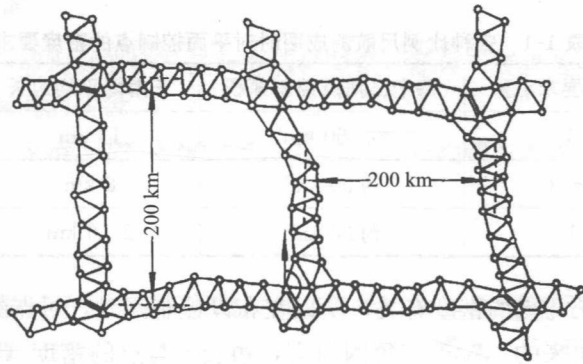


图 1-3 国家一等三角锁

一等锁一般采用单三角锁。根据地形条件，也可组成大地四边形或中点多边形，但对于不能显著提高精度的长对角线应尽量避免。一等锁的平均边长，山区一般约为 25 km，平原区一般约为 20 km。

(二) 二等三角锁、网布设方案

二等三角网是在一等锁控制下布设的，它是国家三角网的全面基础，同时又是地形测图的基本控制。因此，必须兼顾精度和密度两个方面的要求。

20 世纪 60 年代以前，我国二等三角网曾采用二等基本锁和二等补充网的布设方案。即在一等锁环内，先布设沿经纬线纵横交叉的二等基本锁（图 1-4），将一等锁环分为大致相等的 4 个区域。二等基本锁平均边长为 15~20 km；按三角形闭合差计算所得的测角中误差小于 $\pm 1.2''$ 。另在二等基本锁交叉处测量基线，精度为 1 : 200 000。

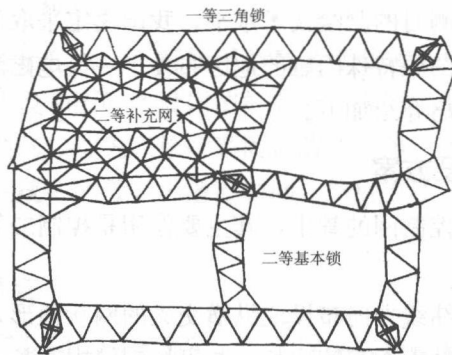


图 1-4 国家二等三角锁

在一等三角锁和二等基本锁控制下，布设平均边长约为 13 km 的二等补充网。按三角形闭合差计算所得的测角中误差小于 $\pm 2.5''$ 。

为了控制边长和角度误差的积累，以保证二等网的精度，在二等网中央处测定了起算边及其两端点的天文经纬度和方位角，测定的精度与一等点相同。当一等锁环过大时，还在二等网的适当位置，酌情加测了起算边。

二等网的平均边长为 13 km，由三角形闭合差计算所得的测角中误差小于 $\pm 1.0''$ 。由二等锁和旧二等网的主要技术指标可见，这种网的精度，远较二等全面网低。

(三) 三、四等三角网布设方案

三、四等三角网是在一、二等网控制下布设的，是为了加密控制点，以满足测图和工程建设的需要。三、四等点以高等级三角点为基础，尽可能采用插网方法布设，但也采用了插点方法布设，或越级布网。即在二等网内直接插入四等全面网，而不经三等网的加密。

三等网的平均边长为 8 km，四等网的边长在 2~6 km 范围内变通。由三角形闭合差计算所得的测角中误差，三等为 $\pm 1.8''$ ，四等为 $\pm 2.5''$ 。

三、四等三角网的图形结构如图 1-5 所示，图 1-5 a 中的三、四等三角网，边长较长，与高级网接边的图形大部分为直接相接，适用于测图比例尺较小，要求控制点密度不大的情况。图 1-5 b 中的三、四等三角网，边长较短，低级网只附合于高级点而不直接与高级边相接，适用于大比例尺测图，要求控制点密度较大的情况。

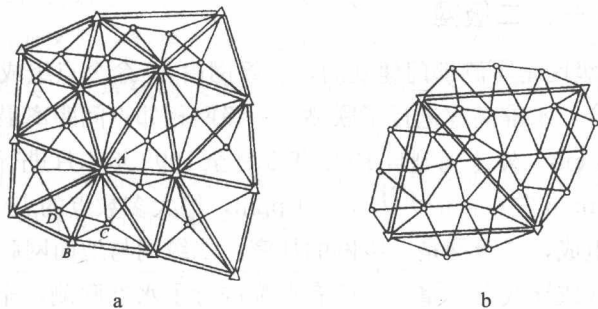


图 1-5 国家三、四等三角网

三、GPS 网布设方案

GPS 定位技术具有精度高、速度快、费用省、全天候、操作简便等优点，因此，它广泛应用于大地测量领域和工程测量领域。用 GPS 技术建立起来的控制网叫 GPS 网。一般可以把 GPS 网分为两大类：一类是全球或全国性的高精度的 GPS 网，另一类是区域性的 GPS 网。后者是指国家 C、D、E 级 GPS 网或专为工程项目而建立的工程 GPS 网，这种网的特点是控制面积不大，边长较短，观测时间不长，现在全国用 GPS 技术布设的区域性控制网很多，下面只把我国利用 GPS 技术已建立的几个全国性的 GPS 网做简要介绍。

(一) 国家 GPS A 级网

1992 年，在中国资源卫星应用中心和中国测绘规划设计中心组织协调下，由国家测绘局、国家地震局等单位，利用国际全球定位系统地球动力学服务 IGS 92 会战的机会，实施完成的一次全国性的精密 GPS 定位，建立了国家 GPS A 级网。目的是在全国范围内确定精确的地心坐标，建立起我国新一代的地心参考框架及其与国家坐标系的转换参数，以优于 10^{-7} 量级的相对精度确定站间基线向量，布设成国家 A 级网。全网由 27 个点组成，平均边长 800 km，平差后在 ITRF 91 地心参考框架中的定位精度优于 0.1 m，边长相对精度一般