

K O N G Z H I C E L I A N G X U E

控制测量学

杨国清 主编



黄河水利出版社

控制测量学

杨国清 主编

黄河水利出版社

内 容 提 要

本教材讲述常规控制测量的理论和方法。内容包括:常规平面控制网和高程控制网的设计、选点、造标、埋石,经纬仪、测距仪、全站仪、水准仪结构及其观测操作方法,控制测量计算理论及控制网的外业计算和控制网平差。书中内容注重了与时代的同步。

本教材适用于职业学校(院)测绘专业学生作控制测量学教材使用,也可作为测绘工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

控制测量学/杨国清主编. —郑州:黄河水利出版社,
2005.9
ISBN 7-80621-988-9

I.控… II.杨… III.控制测量—高等学校—教材
IV.P221

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 108345 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940 传真:0371-66022620

E-mail:yrpc@public.zz.ha.cn

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:25

字数:577 千字

印数:1—3 100

版次:2005 年 9 月第 1 版

印次:2005 年 9 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-988-9/P·48

定价:34.00 元

前 言

本教材是在原郑州测绘学校沈桂荣主编的《控制测量学》(测绘出版社, 1995)的基础上改编的。书中增加的“电磁波测距仪和距离测量”一章则主要改编自原郑州测绘学校李骏元所编《电磁波测距》(校内教材, 1996)。此次改编幅度较大, 将原书平面控制测量部分的以三角测量为主改成以导线测量为主。教材的平面控制网部分, 大体是以导线的布设、观测、计算为主轴展开叙述的。因为导线测量应先算三角高程, 因而, 本教材将三角高程部分并入导线测量中叙述, 以使导线测量的观测和计算的叙述更加完整和系统, 从而有利于读者系统掌握。除此之外, 本书还简略地介绍了三角网和测边网的计算; 增加了“电磁波测距仪和距离测量”一章。除结构改动之外, 编写时还对内容作了较大修改、更新和补充, 以使教材内容与时代同步。

本书适用于职业学校(院)测绘专业学生作教材, 书中带*号的内容为选学内容。本书也可作测绘工程技术人员参考之用。

本教材主要由杨国清主编, 李明海参加了部分章节的编写。教材在编写的过程中, 参考了兄弟院校及有关测绘单位的教科书和资料。李骏元审阅了全书, 杨晓明、王军德、常万春等对本书的编写给予了帮助, 在此一并表示感谢。由于编者水平有限, 加之时间仓促, 书中难免有缺点、错误、疏漏, 诚请读者批评指正。

杨国清

2005年9月

目 录

前言

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 控制测量的任务和作用	(1)
§ 1-2 建立控制网的基本方法	(3)
第二章 平面控制网的布设	(8)
§ 2-1 国家平面控制网的布设原则和布设方案	(8)
§ 2-2 工程平面控制网的布设原则和方案	(15)
§ 2-3 平面控制网的技术设计	(17)
§ 2-4 平面控制网精度估算	(20)
§ 2-5 平面控制网的选点、造标和埋石	(27)
第三章 精密光学经纬仪及水平角观测	(36)
§ 3-1 经纬仪的基本结构	(36)
§ 3-2 精密光学经纬仪的构造及使用方法	(38)
§ 3-3 经纬仪的几项调校	(53)
§ 3-4 精密光学经纬仪的仪器误差及其检验和校正	(57)
§ 3-5 水平角观测中的主要误差和操作的基本规则	(74)
§ 3-6 方向观测法	(82)
* § 3-7 全组合测角法	(92)
第四章 电磁波测距仪和距离测量	(99)
§ 4-1 电磁波测距仪概述	(99)
§ 4-2 脉冲法测距原理	(101)
§ 4-3 相位法测距原理	(102)
§ 4-4 DI20 红外测距仪	(108)
§ 4-5 电子全站仪	(113)
§ 4-6 拓普康 GTS-211D 全站仪	(119)
§ 4-7 电磁波测距成果的改正计算	(130)
§ 4-8 电磁波测距误差分析	(134)
§ 4-9 电磁波测距仪的检验	(140)
第五章 导线测量外业观测	(153)
§ 5-1 导线的边长观测及水平角观测	(153)
§ 5-2 垂直角观测	(157)
§ 5-3 归心改正和归心元素的测定	(161)
第六章 控制测量计算理论和导线测量概算	(170)
§ 6-1 地球的形体和大地测量坐标系	(170)

§ 6-2	椭球的一些计算用符号和曲率半径	(179)
§ 6-3	三角高程测量计算公式	(184)
§ 6-4	三角高程测量的计算	(190)
§ 6-5	地面观测值归算至椭球面	(196)
§ 6-6	高斯投影概述	(201)
§ 6-7	椭球面元素化算到高斯平面	(206)
§ 6-8	导线测量质量检验及上交资料	(216)
§ 6-9	导线测量外业计算步骤及算例	(222)
§ 6-10	高斯投影换带计算和地方坐标系	(235)
*第七章	三角网三边网外业计算简介	(245)
§ 7-1	三角网外业计算简介	(245)
§ 7-2	三边网外业计算简介	(252)
第八章	水准测量	(258)
§ 8-1	高程基准面和高程系统	(258)
§ 8-2	水准网的布设	(262)
§ 8-3	水准仪和水准标尺的结构及要求	(269)
§ 8-4	精密水准仪	(274)
§ 8-5	数字水准仪	(282)
§ 8-6	精密水准仪的检验与校正	(284)
§ 8-7	精密水准标尺的检验与校正	(291)
§ 8-8	水准测量误差及减弱其影响的措施	(294)
§ 8-9	水准观测	(302)
§ 8-10	水准测量外业计算	(312)
*§ 8-11	跨河水准测量	(323)
§ 8-12	电磁波测距高程导线测量	(334)
*第九章	控制网平差计算	(336)
§ 9-1	测量平差基本数学模型和公式	(336)
§ 9-2	高程网条件平差及算例	(343)
§ 9-3	导线网条件平差及算例	(349)
§ 9-4	高程网参数平差及算例	(360)
§ 9-5	平面控制网参数平差——坐标平差	(364)
§ 9-6	边角网(导线网)按方向坐标平差算例	(373)
§ 9-7	带有约束条件的参数平差及算例	(382)
主要参考文献	(393)

第一章 绪 论

§ 1-1 控制测量的任务和作用

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。为了某项工程建设或施测局部大比例尺地形图的需要,在较小的地区范围内,在大地控制网的基础上独立建立的控制网,叫工程控制网,这种控制测量称为工程控制测量。狭义的控制测量即指工程控制测量。

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。研究建立工程控制网的理论、方法的科学称为控制测量学。

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:

第一,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,并且相邻图幅自然可以接合。

第二,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。

第三,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、工程控制测量的任务和作用

工程控制测量的服务对象是各种工程建设、城镇建设和土地规划与管理的工作,另外还有各种变形监测工作。工程控制测量的任务和作用主要表现在以下三个方面。

1. 建立用于测绘大比例尺地形图的测图控制网

城镇建设、土地规划与管理等需要有大比例尺的地形图、地籍图;另外,在工程建设的设计阶段,工程人员也需要在大比例尺地形图上进行区域规划和建筑物的设计,并在地形图上获得设计所依据的各项数据。为此需要先建立工程所涉及区域的区域控制网,以保证大比例尺地形、地籍测图的需要。

2. 建立服务于施工放样的施工控制网

在工程建筑施工时,工程人员要将图纸上设计的建筑物,例如水库大坝、隧道桥梁、房屋建筑等放样到实地上去。放样过程中,仪器所安置的方向、距离都是依据控制网计算出来的。因而在施工放样之前,需要建立必要精度的施工控制网。

3. 建立服务于变形监测的变形控制网

大型水库、桥梁、高大建筑物在建成之后,由于各种应力的变化可能引发地层基础和建筑物本身的变形、倾斜等变化。若这种变形变化过大,会影响工程建筑物的正常运转使用,甚至危及建筑物和人民生命财产的安全。因此,一些重要工程建筑物竣工后需布设变形控制网,用以长期监测工程建筑物及其地基地层的变形。另外,大城市的地面沉降、地质断层的位移都需布设变形控制网进行监测。变形监测网一般需具有较高的精度。

以上所述的施工控制网和变形监测网统称为专用控制网。

控制测量学的主要内容是研究建立控制网的理论和方法。它和大地测量学的主要区别

是:控制测量学研究的对象是工程控制网,而大地测量学研究的对象为国家控制网。工程控制网与国家控制网又有相同和不可分割的地方,如国家控制网中的三、四等控制点,它本身就是为工程建设及测量地形图服务的;控制测量中的二、三、四等控制测量又基本上是按大地测量的理论、方法和精度施测的。因此,控制测量学和大地测量学所讨论的内容在很多方面是相同的。当然二者又是有区别的,大地测量学重点研究一、二等控制问题;控制测量学着重研究专用控制网和工程控制网的建立问题。

§ 1-2 建立控制网的基本方法

控制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

(一) 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 1-1 所示。以化算后的平面边长 D 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} 。

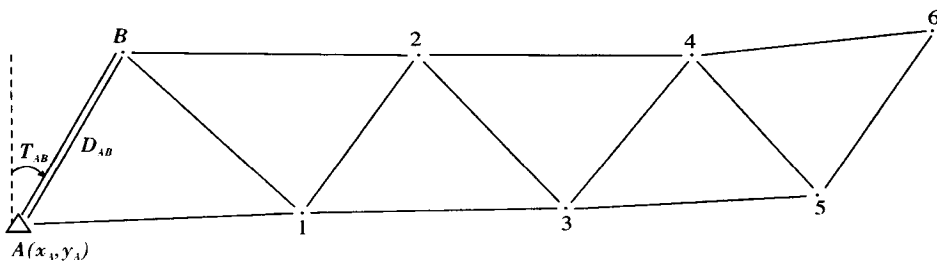


图 1-1 三角测量示意图

利用公式

$$\begin{cases} \Delta x_{ij} = D_{ij} \cos T_{ij} \\ \Delta y_{ij} = D_{ij} \sin T_{ij} \end{cases} \quad (1-2-1)$$

算出各相邻点间的坐标增量 Δx_{ij} 、 Δy_{ij} 。以已知点 A 的平面直角坐标 x_A 、 y_A 和坐标增量

Δx_{ij} 、 Δy_{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 1984 年完成平差的全国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，现已基本不再采用三角测量法布设新网。代之的是卫星定位网和导线网。

(二) 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 1-2 所示。

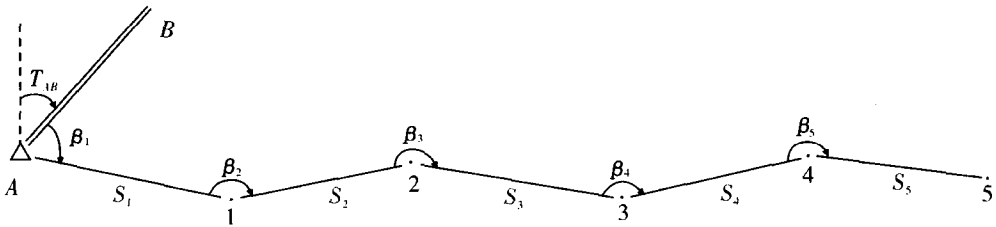


图 1-2 导线测量示意图

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(1-2-1)算出各相邻导线点间的坐标增量 Δx_{ij} 、 Δy_{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 Δx_{ij} 、 Δy_{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；且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。

(三) 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，根据三角学的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。

(四) 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

(一) 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。它的基本原理是: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。

几何水准测量的优点是精度较高,如一等水准测量的每公里偶然中误差不大于 ± 0.45 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,能够较好地为生产建设服务。因此,几何水准测量被广泛采用。

(二) 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。下面以应用广泛的 GPS 系统为例简介卫星定位方法。

全球定位系统(GPS)是美国军方开发的全球性、全天候、连续的无线电卫星导航定位系统,原为美国军方服务,后部分功能向民用用户开放。经过多年的研究开发,GPS 应用于民用

定位测量的技术不断发展完善。在控制测量方面, GPS定位测量因其具有精度高、速度快、成本低的显著优点, 已经迅速成为控制测量、特别是平面控制测量的主要方法。而相应地传统控制测量方法则主要在 GPS 无法施展的地方和领域, 以及作为 GPS 网的进一步加密, 发挥着不可替代的作用。

GPS 定位系统由空间卫星星座、地面监控系统和用户接收设备三大部分构成。

GPS 定位系统的空间卫星星座, 由 24 颗卫星组成, 其中包括 3 颗备用卫星。卫星高度约为 20 200 km。24 颗卫星分布在 6 个等间隔的轨道面上, 轨道面相对赤道面的夹角为 55° , 每个轨道面上有 4 颗卫星, 相邻轨道面的邻近卫星的相位相差 30° 。卫星轨道为近圆形, 运行周期约 11 h 58 min。卫星分布如图 1-3 所示。这样的卫星分布, 除个别地区的不长时间外, 可以保证全球任何地区、任何时刻都有不少于 4 颗卫星可供观测。这就提供了在时间上连续的全局导航能力。

卫星发播两个频率的载波无线电信号, $L_1 = 1\,575.42\text{ MHz}$, $L_2 = 1\,227.6\text{ MHz}$ 。在 L_1 载波上调制有 1.023 MHz 的伪随机噪声码(称粗捕获码, 或称 C/A 码) 和 10.23 MHz 的伪随机噪声码(称精码, 或称 P 码), 以及每秒 50 bit 的导航电文。在 L_2 载波上只调制有精码和导航电文。粗捕获码可用于低精度测距过渡到捕获精码。精码用于精密测距。

地面监控部分包括 5 个监控站、3 个注入站和 1 个主控站。监控站的主要任务是取得卫星观测数据并将这些数据传送到主控站。主控站的主要任务是收集监控站对 GPS 卫星的全部观测数据; 利用这些数据计算每颗 GPS 卫星的轨道和卫星钟改正值; 依此外推 1 天以上的卫星星历及钟差, 并按一定格式转化为导航电文以便由注入站注入卫星的存储器。注入站的主要任务是在每颗卫星运行至上空时把这类导航数据及主控站的指令注入卫星。

用户接收机的主要功能是接收卫星发播的信号, 并利用本机产生的伪随机噪声码取得距离观测量和导航电文; 根据导航电文提供的卫星位置和钟差改正信息, 就可计算接收机的位置——即测站点坐标。

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 1-4), 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 δt 四个未知数。

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

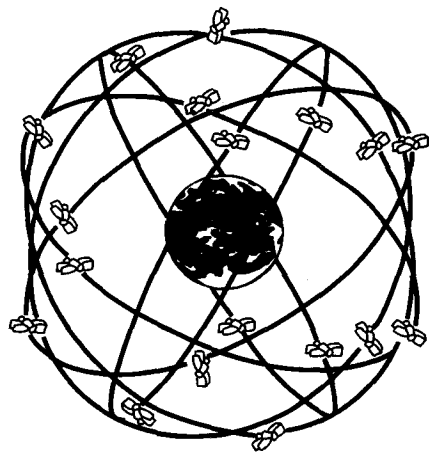


图 1-3 GPS 卫星分布示意图

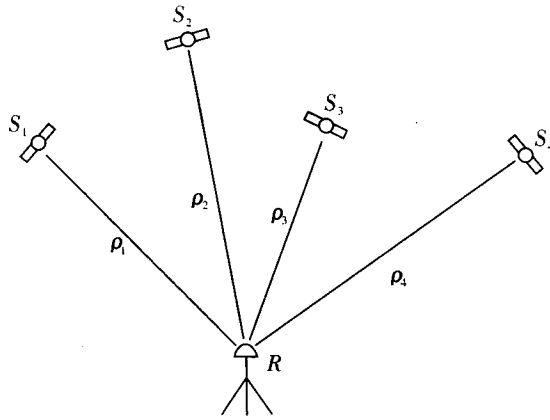


图 1-4 GPS 定位的几何原理

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,我国自己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。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。

第二章 平面控制网的布设

本章讲述平面控制网的布设,至于高程控制网的布设则在第八章叙述。本章内容涉及平面控制网的布设原则、布设方案;平面控制网的技术设计、精度估算;平面控制网的选点、造标埋石。鉴于高等级的平面控制已被卫星定位测量代替,三角网已基本不再布设,本章的实用平面控制网布设部分,主要讲述导线网的布设。导线网的观测、计算则在以后的章节讲述。

§ 2-1 国家平面控制网的布设原则和布设方案

如前所述,平面控制网分为国家平面控制网和工程平面控制网。本节先介绍国家平面控制网的布设原则和布设方案。

一、国家平面控制网布设原则

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。传统的国家高等级平面控制网虽然不会再做了,但那是我国 1980 坐标系的物质载体,是正在使用着的国家控制网,因而我们必须熟悉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广大,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,不但需要很久的时间和造成极大的困难与浪费,甚至是难以做到的,从而根本不可能保证各个地区的建设需要。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 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的迅速布满全国,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,又可以比较及时的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 $\pm 0.1 \text{ mm}$,表现在实地上,应不超过 $\pm 0.1 N \text{ mm}$ (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 2-1。

表 2-1 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
图根点相对于大地点的点位中误差(m)	± 5.0	± 2.5	± 1.0	± 0.5	± 0.2
相邻大地点的点位中误差(m)	± 1.7	± 0.83	± 0.33	± 0.17	± 0.07

按我国现行的《国家三角测量和精密导线测量规范》(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 2-2。

表 2-2 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)	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。

应当指出,《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。在此以前,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。

二、国家平面控制网布设方案

为了在全国范围内布设统一的高精度国家大地控制网(包括国家三角网和精密导线网),必须在布网原则指导下,制订统一的布网方案和精度指标,作为各地区、各单位作业的依据。我国的国家平面控制网主要布网形式为三角网,只是在青藏高原等特殊困难的地区布设了一些电磁波测距导线。现将国家三角网的布设方案介绍如下。

(一) 一等三角锁的布设方案

按照建网的第一条原则,国家第一级三角网是一等三角锁。它是在全国领土上迅速建立的统一坐标系统的精密骨干网。其主要作用是,控制二等以下大地点的加密和为研究地球形状、大小提供资料。控制测图不是其主要作用。因此,一等三角锁着重考虑的是精度问题而不是密度问题。

一等三角锁尽量沿经纬线方向布设,纵横锁系互相交叉构成格形锁网,如图2-1。锁系交叉点间的部分称为锁段,锁段长度规定为200 km左右,锁段内三角形个数一般为16~17个,并在交叉处加测起始边(精度不低于1:35万);锁段主要由单三角形构成。必要时可包括部分大地四边形或中点多边形,但锁段交叉处要用中点多边形连接;单三角形中任一角度不小于 40° ,大地四边形、中点多边形中传算距离的角度不小于 30° ;图形的边长,在山区一般应在25 km左右,平原地区应在20 km左右;按三角形闭合差计算的测角中误差不大于 $\pm 0.7''$ 。

在一等锁交叉处,起始边两端点按一等天文测量的精度测定天文经纬度和方位角,并在锁段中央的一个点上测定天文经纬度。起始方位角(也叫拉普拉斯方位角)是通过点上测定

的天文经纬度、方位角,并结合三角锁成果推算的,所以,国家一等三角锁系也称为国家天文大地网。

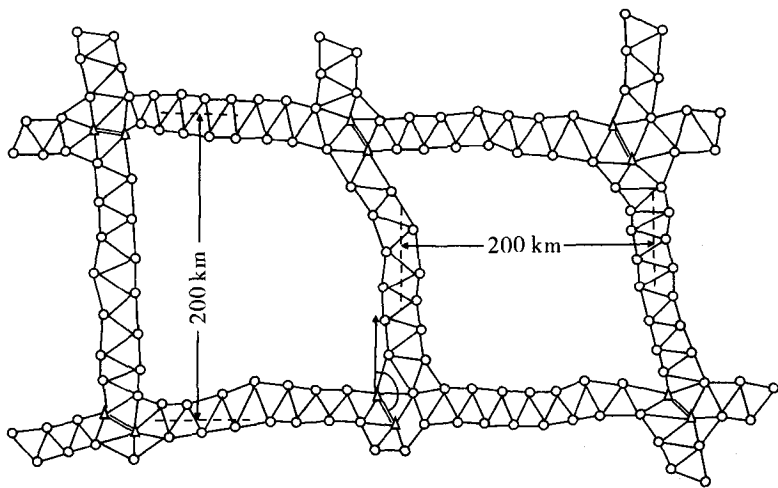


图 2-1 一等三角锁

(二) 二等三角网布设方案

二等三角网(如图 2-2)以连续三角网的形式布设在一等锁环围绕的区域内,它是加密三、四等三角点的基础,与一等锁同属于国家高级网。二等网的平均边长 13 km,根据地形条件,可在 10 ~ 18 km 范围内变通。就点的密度而论,基本满足 1:50 000 测图要求。由此可知,二等网应主要考虑精度问题,同时也要适当顾及密度,这是它的一个特点。

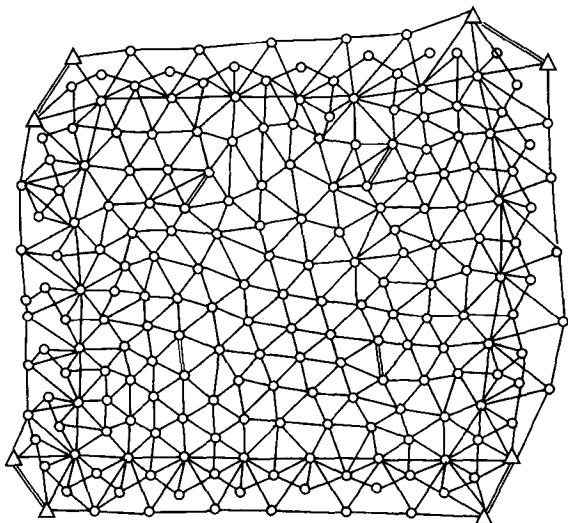


图 2-2 二等三角网

二等网中央处要测定一条起始边,并在两端点测定天文经度、纬度和天文方位角。对于较大一等锁环内的二等网,要在适当位置加测起始边,使任意一条二等边距最近的一等或二等起始边不超过 12 个三角形,或距最近的一等锁边不多于 7 个三角形。网中最小角不得小