

煤炭成人高等教育“十二五”规划教材

控制测量学

主编 于志刚



煤炭工业出版社

煤炭成人高等教育“十二五”规划教材

控制测量学

主编 于志刚

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

控制测量学/于志刚主编. --北京:煤炭工业出版社, 2014
煤炭成人高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5020-4681-1

I. ①控… II. ①于… III. ①控制测量—成人高等教育—
教材 IV. ①P221

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 232589 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址:www.cciph.com.cn
北京市郑庄宏伟印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*
开本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 11
字数 262 千字

2014 年 11 月第 1 版 2014 年 11 月第 1 次印刷
社内编号 7536 定价 26.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

前 言

近几年，作者在从事控制测量学的成人教育教学工作中发现，参加成人继续教育的学生的基础相对薄弱，对于理论的接受能力稍弱，他们更注重实践知识和技能的学习。但控制测量学的教材基本都是适用于普通本科层次，面向成人教育层次的教材还比较少。考虑到成人教育的特点，结合近几年教学的经验，并参考了其他同行的教学课程，经教研室讨论，决定编写一本适合成人教育的控制测量学教材。

本教材在编写的过程中，注重内容的调整，舍去了与规范相关的内容，舍去了分组方向观测法及偏心观测法等较为少用的内容，更注重实践中经常涉及的知识理论。

本教材由山东科技大学泰安校区测绘教研室集体编写，于志刚主编。第一、三章由于志刚编写，第六章由张晨晰编写，第二章由张纯连编写，第四章由李迎编写，第五章由钟来星编写，第七章由王永编写，第八章由赵心编写。另外，校区的关彤，泰安市城市建设设计院的姜伟伟，山东省国土测绘院的李涛也参与了本书部分整理工作。

本书在编写过程中，参考了大量的相关文献，借鉴了多位教师的资料，引用了同类书刊中的内容，在此谨向他们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，加之时间紧迫，编写仓促，书中难免存在缺点、疏漏，恳请广大读者批评指正。

编 者

2014年7月

内 容 提 要

本书的主要内容包括水平控制网布设、精密测角仪器和水平角观测、电磁波距离测量、高程控制测量、GPS控制测量、椭球上的量测计算和高斯投影等。本书注重实际应用，在内容上倾向于实际操作技能的学习。

本书是成人教育测量技术专业的教学用书，也可作为高等专科院校及中等专业学校的教学用书，同时也可作为测量工程技术人员的参考用书。

顾志千 主编

地质出版社

北京

目次

第一章 概述	1
第一节 控制测量学的基本任务和主要内容	1
第二节 控制测量的基准面和基准线	2
第三节 控制测量的布设形式	5
第四节 控制测量新技术	7
思考题与习题	10
第二章 水平控制网的技术设计	11
第一节 国家水平控制网的布设原则和方案	11
第二节 工程水平控制网的布设原则和方案	15
第三节 推算元素的精度估算	17
第四节 工程水平控制网技术设计书的编制	30
第五节 选点和埋石	31
思考题与习题	33
第三章 精密测角仪器和水平角观测	34
第一节 精密测角仪器——经纬仪	34
第二节 经纬仪的调校	36
第三节 精密光学经纬仪的仪器误差及其检验和校正	39
第四节 水平角观测中的主要误差和操作的基本规则	47
第五节 方向观测法	52
思考题与习题	57
第四章 电磁波距离测量	58
第一节 电磁波测距基本原理	58
第二节 测距误差来源及其影响	59
第三节 观测结果的化算	63
第四节 全站仪在高程测量的应用	67
思考题与习题	72
第五章 高程控制测量	73
第一节 国家高程基准和水准原点	73

第二节	高程控制网的布设	74
第三节	精密水准仪与水准标尺	77
第四节	精密水准仪和水准标尺的检验	82
第五节	精密水准测量的主要误差来源及其影响	87
第六节	精密水准测量的实施	91
第七节	正常水准面不平行性及其改正数计算	96
第八节	水准测量的概算	103
第九节	三角高程测量	105
	思考题与习题	109
第六章	GPS 控制测量	111
第一节	GPS 概述	111
第二节	GPS 定位原理	113
第三节	GPS 控制网的设计	118
第四节	GPS 外业观测	123
第五节	GPS 数据处理	126
	思考题与习题	132
第七章	椭球上的量测计算	133
第一节	地球椭球的基本几何参数及其相互关系	133
第二节	椭球面上的常用坐标系及其相互关系	134
第三节	椭球上的几种主要曲率半径及弧长计算公式	139
第四节	将地面观测值归算至椭球面	143
	思考题与习题	148
第八章	椭球面元素投影至高斯平面	149
第一节	高斯投影概述	149
第二节	正形投影的一般条件	153
第三节	高斯投影坐标正反算公式	156
第四节	椭球面上观测成果归化到高斯平面上的计算	160
第五节	工程测量投影面与投影带选择	163
	思考题与习题	166
	参考文献	168

第一章 概 述

第一节 控制测量学的基本任务和主要内容

一、控制测量学的基本任务和作用

控制测量学是研究精确测定和描绘地面控制点空间位置及其变化的学科。它是在大地测量学基本理论基础上以工程建设测量为主要服务对象发展和形成的,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。

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不同的要求,其基本任务分述如下。

1. 在设计阶段建立用于测绘大比例尺地形图的测图控制网

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,对于房地产业,这种测图控制网也是相应地籍测量的根据。

2. 在施工阶段建立施工控制网

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。

3. 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专用控制网

由于在工程施工阶段改变了地面的原有状态,加之建筑物本身的质量,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,为了能够精确地测出它们,要求变形观测控制网具有较高的精度。

以上施工和运营阶段布设的两种控制网统称为专用控制网。控制测量学在许多方面发挥着重要作用。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以及确定地球的形状、大小及重力场参数。因此,控制测量学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。控制测量学在防灾、减灾、救灾及环境监测、评价与保护中发挥着特殊的作用。控制测量学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将越来越重要。

二、控制测量学的主要内容

控制测量学的主要内容概括如下:

(1) 研究建立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,包括水平控制网和高程控制网的布设原则、布网方案、精度估计以及技术设计等,以满足国民经济和工程建设的需要。

(2) 研究建立控制网所需的精密仪器及科学的观测方法,如精密角度测量、精密距离测量、精密水准测量等所需的仪器和使用方法,误差影响的消除措施、数据的处理过程等,以获取高精度的测量成果。

(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,包括椭球的数学性质、几何参数,椭球上的量测计算,高斯投影及坐标系的转换和选择等。

以上概述了一般意义下的控制测量学的基本任务和主要内容。本书依据这些基本任务和内容,介绍了控制测量学的基本理论、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。

第二节 控制测量的基准面和基准线

一、铅垂线和大地球水准面

地球上的任意一点都同时受到两个力的作用:地球自转的离心力和地心引力,它们的合力称为重力,重力的方向即为铅垂线方向(图1-1)。

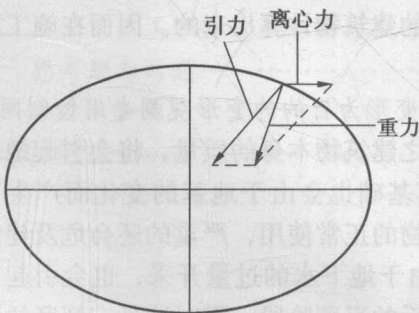


图1-1 地面任意一点的重力

处于静止状态的水面,如平静的湖泊水面,即表示一个水准面。水准面必然处处与重力方向(即铅垂线方向)垂直,否则水就要流动,处于运动状态。在地球引力起作用的空间范围内,通过任何高度的点都有一个水准面。

观测水平角时,置平经纬仪就是使仪器的纵轴位于铅垂线方向,从而使水平度盘位于通过度盘中心的水准面的切平面上。因此,所测的水平角实际上就是视准线在水准面上的投影线之间的夹角。此

外,用水准测量所求出的两点间的高差,就是过这两点的水准面间的垂直距离。对于边长的观测值,也存在化算到哪个高程水准面上的问题。

上述3类地面观测值,除水平角外,都同水准面的选取有关,特别是水准测量的结果,更是直接取决于水准面的选择。于是,为了使不同测量部门所得出的观测结果能够互相比较、互相统一、互相利用,有必要选择一个最有代表性的水准面作为外业成果的统一基准。

海洋面积约占地球总面积的71%,从总体上来说,海水面是地球上最广大的天然水准面。设想把平均海水面扩展,延伸到大陆下面,形成一个包围整个地球的曲面,则称这个水准面为大地水准面,它所包围的形体称为大地体。由于大地水准面的形状和大地体的大小均接近地球自然表面的形状和大小,并且它的位置是比较稳定的,因此,选取大地水准面作为测量外业的基准面,而与其相垂直的铅垂线则是外业的基准线。

由于地球质量特别是外层质量分布的不均性,使得大地水准面形状非常复杂。大地水准面的严密测定取决于地球构造方面的学科知识,目前尚不能精确确定它。为此,苏联学者莫洛金斯基建议研究与大地水准面很接近的似大地水准面,这个面不需要任何关于地壳结构方面的假设便可严密确定。似大地水准面与大地水准面在海洋上完全重合,而在大陆上也几乎重合,在山区只有2~4m的差异。似大地水准面尽管不是水准面,但它可以严密地解决与地球自然地理形状有关的问题。

二、正常椭球和参考椭球

虽然大地水准面最适合于作为测量外业的基准面,但是控制测量的最终目的是精确确定控制点在地球表面上的位置,为此必须确知所依据的基准面的形状。也就是说,基准面的形状要能用数学公式准确地表达出来。研究表明,大地水准面是略有起伏的不规则的表面,无法用数学公式把它精确地表达出来,因而也就不确知其形状。这是由于地表起伏以及地层内部密度的变化造成质量分布不均匀的缘故。例如图1-2中,高山的右侧是一片谷地,且山体下部有重金属矿体,因而造成左右两侧局部质量分布的较大差异,以致左侧引力增加,铅垂线向左偏斜,大地水准面稍微隆起,如虚线所示,呈现出不规则的变化。

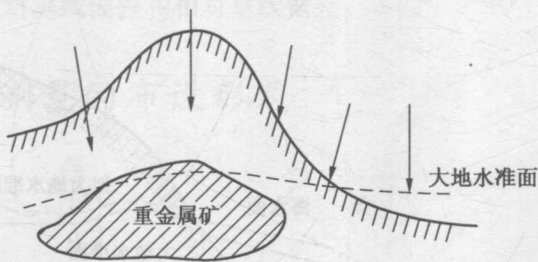


图1-2 地球表面与大地水准面

随着科学技术的发展,人类逐渐认识到地球的形状极近于一个两极略扁的旋转椭球(一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体)。对于这个椭球的表面,可用简单的数学公式将它准确地表达出来,因而世界各国通常都采用旋转椭球代表地球。它的形状和大小与椭球的长短半径 a 、 b 有关,也可用和这两个量有关的其他量来表示。

选好一定形状和大小的椭球后,还不能直接在它上面计算点位坐标,这是因为测量成果不是以这个表面为根据的,而应该首先将以大地水准面为基准的野外观测成果化算到这个表面上。要做到这一点,只选定椭球面的形状和大小是不够的,还必须将它与大地水准面在位置上的关系确定下来,这个工作称为椭球定位。

综合以上所述,把形状和大小与大地体相近并且两者之间的相对位置确定的旋转椭球称为参考椭球。参考椭球面是测量计算的基准面。世界各国都根据本国的地面测量成果选择一种适合本国要求的参考椭球,因而参考椭球有许多个。这样确定的参考椭球在一般情况下和各国领域内的局部大地水准面最为接近,对该国的常规测绘工作较为方便。然而将各国的测量成果联系起来进行国际间的合作时,则参考椭球的不同又带来了不便。因此,从全球着眼,必须寻求一个和整个大地体最为接近的参考椭球,称为总地球椭球。

总地球椭球的确定,必须以全球范围的大地测量和重力测量资料为根据才有可能。然而由于地球上海洋面积约占地球总面积的71%,因而过去只根据占少数的陆地测量成果推算总地球椭球是不可能的。近年来,由于人造卫星大地测量技术的发展,已根据人造卫星和陆地大地测量的成果求出一些总地球椭球的近似数据供使用。

三、大地高、正高和正常高

大地高系统是以参考椭球面为基准面的高程系统。某点的大地高是该点到通过该点的参考椭球的法线与参考椭球面的交点间的距离。大地高也称为椭球高,大地高一般用符号 H 表示。大地高是一个纯几何量,不具有物理意义,同一个点,在不同的基准下,具有不同的大地高。

正高系统是以大地水准面为基准面的高程系统。某点的正高是该点到通过该点的铅垂线与大地水准面的交点之间的距离,正高用符号 H_g 表示。

正常高系统是以似大地水准面为基准的高程系统。某点的正常高是该点到通过该点的铅垂线与似大地水准面的交点之间的距离,正常高用 H_r 表示。

大地高、正高和正常高及其关系如图1-3所示。

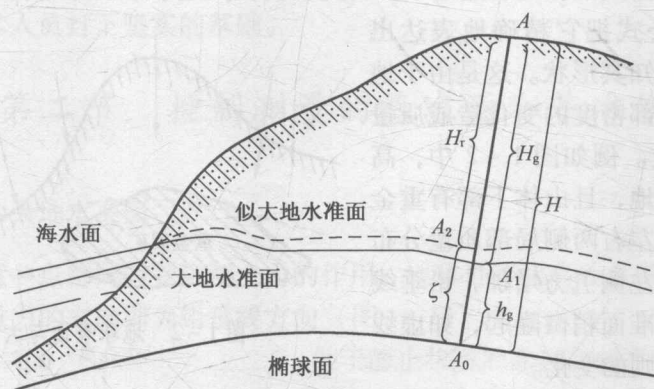


图1-3 大地高、正高和正常高及其关系

它们之间的关系如下:

$$\begin{cases} H = H_r + \zeta \\ H = H_g + h_g \end{cases} \quad (1-1)$$

式中 ζ ——高程异常;
 h_g ——大地水准面差距。

四、垂线偏差

地面一点上的重力向量 g 和相应的椭球面上的法线向量 n 之间的夹角定义为该点的垂线偏差 u ，它表示大地水准面的倾斜（图 1-4）。垂线偏差通常用两个分量来表示，一个是子午圈分量 ξ ，即垂线偏差南北分量；一个是卯酉圈分量 η ，即垂线偏差东西分量。

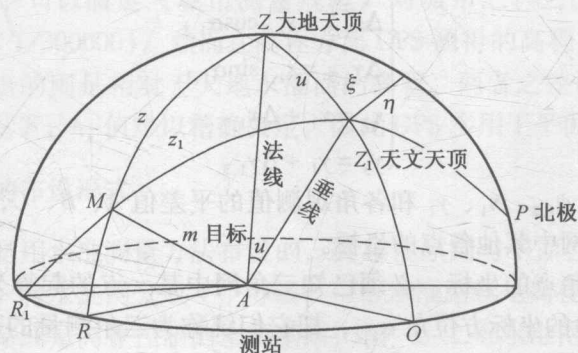


图 1-4 垂直偏差

垂线偏差的另一定义是地面点的垂线方向同正常重力方向之间的夹角 γ ，也叫重力垂线偏差。这两种定义差异，就是正常重力方向同椭球面法线之间的夹角，它位于子午面内。这个差值可以从理论上算出。两种垂线偏差可以相互换算。

垂线偏差可用于计算高程异常、大地水准面差距，推求平均地球椭球或参考椭球的大小、形状和定位，并用于天文大地测量观测数据的归算，也可用于空间技术和精密工程测量。按选取的椭球不同，垂线偏差可分为绝对垂线偏差和相对垂线偏差。

第三节 控制测量的布设形式

一、水平控制网的布设形式

1. 三角网

在地面上选定一系列点位 1, 2, ... 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。如果测区较小，可以把测区所在的一部分椭球面近似看做平面，则该三角网即为平面上的三角网（图 1-5）。三角网中的观测是网中的全部（或大部分）方向值，图 1-5 中每条实线表示对向观测的两个方向。根据方向值即可算出任意两个方向之间的夹角。

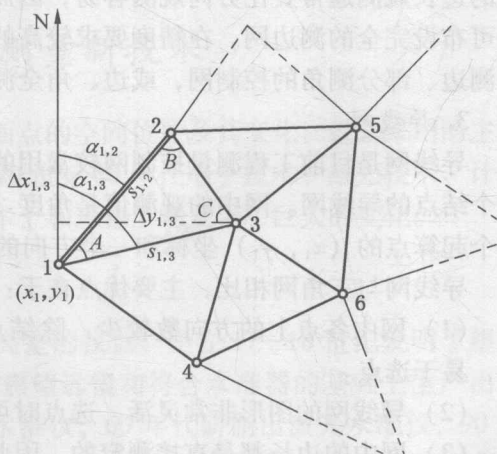


图 1-5 三角网

若已知点1的平面坐标 (x_1, y_1) ，点1至点2的平面边长 $s_{1,2}$ ，坐标方位角 $\alpha_{1,2}$ ，便可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1-5为例，待定点3的坐标可按下列式计算：

$$\begin{cases} s_{1,3} = s_{1,2} \frac{\sin B}{\sin C} \\ \alpha_{1,3} = \alpha_{1,2} + A \\ \Delta x_{1,3} = s_{1,3} \cos \alpha_{1,3} \\ \Delta y_{1,3} = s_{1,3} \sin \alpha_{1,3} \\ x_3 = x_1 + \Delta x_{1,3} \\ y_3 = y_1 + \Delta y_{1,3} \end{cases} \quad (1-2)$$

即由已知的 $s_{1,2}$ 、 $\alpha_{1,2}$ 、 x_1 、 y_1 和各角观测值的平差值 A 、 B 、 C ，可推算求得 x_3 、 y_3 ，同理可依次求得三角网中其他各点的坐标。

为了得到所有三角点的坐标，必须已知三角网中某一点的起算坐标 (x_1, y_1) ，某一起算边长 $s_{1,2}$ 和某一边的坐标方位角 $\alpha_{1,2}$ ，把它们统称为三角测量的起算数据（或元素）。观测的水平角（或方向）是三角测量的观测元素。由起算元素和观测元素的平差值推算出的三角形边长、方位角和三角点的坐标统称为三角测量的推算元素。当三角网中只有必要的一套起算数据（如一条起算边、一个起算方位角和一个起算点的坐标）时，这种网称为独立网。起算数据多于一套的称为非独立网。

2. 边角网和三边网

边角网是指测角又测边的以三角形为基本图形的网。如果只测边而不测角的为三边网。实际上导线网也可以看做边角网的特殊情况。

三角网的主要优点是：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。三角网的缺点是：在平原地区或隐蔽地区易受障碍物的影响，布网困难大。

随着电磁波测距仪的不断完善和普及，导线网和边角网逐渐得到广泛的应用。尤其是前者，目前在平原或隐蔽地区已基本代替了三角网作为等级控制网。由于完成一个测站上的边长观测通常要比方向观测容易，因而在仪器设备和测区通视条件都允许的情况下，也可布设完全的测边网。在精度要求较高的情况下（如精密的变形监视测量），可布设部分测边、部分测角的控制网，或边、角全测的控制网。

3. 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_1, y_1) 坐标和一个方向的方位角。

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。

(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。

导线网的缺点主要是：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,因而可靠性不高。

由上述可见,导线网特别适合于障碍物较多的平坦地区或隐蔽地区。

4. GPS 网

进入 20 世纪 90 年代,随着 GPS 定位技术在我国引进,许多大中城市勘测院及工程测量单位开始用 GPS 布设控制网。目前 GPS 相对定位精度在几十公里的范围内可达 $1/1000000 \sim 2/100000$,可以满足《城市测量规范》对城市二、三、四等网的精度要求(二等最弱边相对精度 $1/300000$)。然而在高程方面 GPS 测得的高程是相对于椭球面的大地高,而水准测量求出的则是相对于大地水准面的高程,两者之差就是大地水准面差距 h_g 。目前在大多数情况下, h_g 值难以精确决定,因此 GPS 多用于平面等级控制网的布设。

二、高程控制网的布设形式

国家高程控制网是用水准测量方法布设的,其布设原则与平面控制网布设原则相同。根据分级布网的原则,将水准网分成 4 个等级。一等水准路线是高程控制的骨干,在此基础上布设的二等水准路线是高程控制的全面基础;在一、二等水准网的基础上加密三、四等水准路线,直接为地形测量和工程建设提供必要的高程控制。按《国家水准测量规范》规定,各等级水准路线一般都应构成闭合环线或附合于高级水准路线上。

工程测量高程控制网的布设也应遵守分级布设的原则。

关于工程测量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,作为工程测量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,加密网可布设附合路线、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。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,用以代替相应等级的水准测量。

第四节 控制测量新技术

控制测量的基本任务,就是精密地确定地面点的空间位置及其变化,过去采用的主要方法是常规的三角测量和几何水准测量。随着 20 世纪 80 年代电子技术、激光技术、计算机技术和空间技术的迅速发展,控制测量在技术和理论上都发生了巨大的变化。

一、水准仪的发展

水准仪是根据水准测量原理测量地面点间高差的仪器,是在 17—18 世纪发明了望远镜和水准器后出现的。20 世纪初,在制出内调焦望远镜和符合水准器的基础上生产出微倾水准仪。20 世纪 50 年代初出现了自动安平水准仪,60 年代研制出激光水准仪,90 年代出现电子水准仪。电子水准仪具有测量速度快,读数客观,精度高的特点,减轻了作业人员精密照准的劳动强度,测量数据直接输入记录卡中,有利于实现水准测量内外业数据的

电子传输和管理。目前高精度的电子水准仪每千米水准测量偶然中误差为 0.3 mm。

二、精密测角仪器的发展

经纬仪的变革首先是以玻璃度盘的光学经纬仪取代了金属度盘的游标经纬仪，随后将出现自动安平水准仪的自动补偿原理引入经纬仪的竖直度盘指标系统，实现了竖直度盘指标自动归零。光学对中器的使用使垂球对中精度由 3 mm 提高到 0.5 mm。

精密测角仪器的重大发展是从 20 世纪 60 年代以来实现读数的数字化开始的。由于采用光栅度盘或编码度盘代替了光学玻璃度盘，测量数据可直接在屏幕上显示出来或自动记录在磁盘上，进而同微型计算机相结合，实现了角度观测过程中观测值的获取、传输、处理的自动化，这种经纬仪称为电子经纬仪。目前测角精度最高可达 0.5"。

三、全站仪的发展

随着计算机技术的不断发展与应用以及用户的特殊要求与其他工业技术的应用，全站仪出现了一个新的发展时期，出现了带内存、防水型、防爆型、电脑型等的全站仪。目前，世界上最高精度的全站仪测角精度（一测回方向标准偏差）为 0.5"，测距精度为 $0.6 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6} D$ 。利用自动目标识别（Auto Targets Recognition, ATR）功能，白天和黑夜（无须照明）都可以工作。全站仪已经达到非常高的角度和距离测量精度，既可人工操作也可自动操作，既可远距离遥控运行也可在机载应用程序控制下使用，可使用在精密工程测量、变形监测和几乎是无容许限差的机械引导控制等应用领域。未来，全站仪一方面向“傻瓜型”发展，不需过多的人为干预，就能高精度地完成工作；一方面向专业化发展，高级用户能对其进行编程定制。

四、空间技术的发展

1. GPS 系统

该系统全称为卫星授时与测距导航系统（Navigation by Satellite Timing and Ranging Global Positioning System, NAVSTAR GPS），简称全球定位系统（GPS）。GPS 是美国国防部于 1973 年 12 月正式批准研制，并于 1994 年 10 月全部 GPS 卫星升空，从而进入正常工作状态的空间定位导航系统。GPS 主要为军用而研制，它是一个可授时、测距的导航系统，可向全球用户提供连续、实时、全天候而高精度的四维定位。它广泛地用于民用导航、测时、大地测量、工程勘测和地壳监测等众多领域。GPS 的出现，使测量从陆基发展到空基，测量方法、理念发生了革命性的变化。

2. GLONASS 系统

全球轨道导航卫星系统（Global Orbiting Navigation Satellite System, GLONASS）是苏联为满足授时、海陆空定位与导航、大地测量与制图、生态监测研究等研制建立的，1978 年开始研制，1982 年 10 月开始发射导航卫星。自 1982—1987 年，共发射了 27 颗 GLONASS 试验卫星。该系统与 GPS 系统极为相似。GPS 与 GLONASS 参数比较见表 1-1。

3. GALILEO 系统

GALILEO 系统是欧洲独立自主的全球多模式卫星定位导航系统，可提供高精度、高可靠性的定位服务，同时实现完全非军方控制和管理。GALILEO 系统能够与美国 GPS 系统

表 1-1 GPS 与 GLONASS 参数比较

参 数	GPS	GLONASS
轨道数	6, 间隔 60°	3, 间隔 120°
卫星分布/轨道	4, 不均匀分布	8, 均匀分布
轨道倾角/(°)	55	64.8
轨道半径/km	26560	25510
轨道周期	1/2 恒星日 (11 h58 min)	8/17 恒星日 (11 h15 min)
地面重复跟踪	每个恒星日	每 8 个恒星日
载波信号	1575.42 MHz 1227.60 MHz	(1602 + K × 9/16) MHz (1246 + K × 7/16) MHz K = 通道数
编码	每颗卫星不同, 码分制	所有卫星相同, 频分制
调制码	C/A, P	C/A, P
码率 (P)	10.23	5.11
码率 (C/A)	1.023	0.511
星历数据表示方式	开普勒轨道公式	大地直角坐标系
坐标系	WGS-84	SGS-85
信号	SS/BPSK	SS/BPSK
时钟数据	时钟偏差、频率偏移、频率速率	时钟和频率偏移
轨道数据	每小时修正开普勒轨道参数	卫星位置, 速度和加速度, 每隔半小时一次

和苏联 GLONASS 系统实现相互高度兼容, 任何用户将来都可以用一个接收机采集各个系统的数据或者各系统数据的组合来实现定位导航。GALILEO 系统可以实时分米级定位精度, 这是现有的卫星导航系统所没有的。同时它还能够保证在许多特殊情况下提供服务。如果导航定位失败, 它也能够几秒钟内通知用户, 特别适合于对安全性有特殊要求的情况, 如运行的火车、汽车导航和飞机着陆等。目前该系统尚处于试验建设阶段。

4. COMPASS 系统

中国北斗卫星导航系统 (BeiDou Navigation Satellite System, BDS) 也称 COMPASS 系统, 是我国自行研制的全球卫星定位与通信系统, 是继美国 GPS 系统和苏联 GLONASS 系统之后第三个成熟的卫星导航系统。系统由空间端、地面端和用户端组成, 可在全球范围内全天候、全天时为各类用户提供高精度、高可靠的定位、导航、授时服务, 并具短报文通信能力, 已经初步具备区域导航、定位和授时能力, 定位精度优于 20 m, 授时精度优于 100 ns。

北斗卫星导航系统和美国 GPS 系统、苏联 GLONASS 系统及欧盟 GALILEO 系统一起, 是联合国卫星导航委员会已认定的供应商。2012 年 10 月 25 日 23 时 33 分, 我国在西昌卫星发射中心用“长征三号丙”火箭, 成功将第 16 颗北斗导航卫星送入预定轨道, 完成了北斗导航工程区域组网。

此外, 还有激光测卫 SLR 技术 (Satellite Laser Ranging)、甚长基线干涉测量技术 VLBI (Very Long Baseline Interferometry)、惯性测量系统 INS (Inertial Navigation System) 等

测绘技术不断出现和发展,控制测量将在国民经济和社会发展中不断发挥着基础先行的重要保证作用。

思考题与习题

1. 何谓控制测量学?
2. 控制测量的基本任务是什么?
3. 什么是控制测量的基准面、基准线?
4. 水平控制网的布设形式有哪些?高程控制网的布设形式有哪些?
5. 简述控制测量的最新发展。