

高等级公路 控制测量

聂 让 编著



AODENGJI GONGLU KONGZHI CELIANG



人民交通出版社

Gaodengji Gonglu Kongzhi Celiang

高等级公路控制测量

聂 社 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书共分八章,主要介绍高斯平面直角坐标、控制测量的外业工作、公路路线控制测量、隧道控制测量、公路控制网测量平差、GPS 卫星定位测量等内容,同时也反映了测量领域的最新科技成果。

全书理论联系实际,可操作性强,适合公路工程技术人员参考及相关专业大中专院校师生学习使用。



图书在版编目(CIP)数据

高等级公路控制测量 / 聂让编著. —北京: 人民交通出版社, 2001. 1

ISBN 7-114-03793-7

I. 高... II. 聂... III. 公路—控制测量
IV. U412.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 57048 号

高等级公路控制测量

聂 让 编著

正文设计:王秋红 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本:850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张:17.625 插页:3 字数:466 千

2001 年 10 月 第 1 版

2001 年 10 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001-4000 册 定价:33.00 元

ISBN 7-114-03793-7

U·02748

前 言

本书旨在为公路工程技术人员提供一部公路控制测量方面的参考书。全书共分八章。

第一章为绪论。主要介绍控制测量在工程建设中的作用,地球的形体和所涉及的测量基准面(大地水准面、参考椭球面)及垂线偏差和大地水准面差距的概念,以及控制测量中采用的大地坐标系统和高程系统(大地高、正高、正常高)。此外还简要叙述了国家平面和高程控制网的布设情况以及公路工程控制网的布设形式和技术要求。

第二章介绍高斯平面直角坐标、坐标的换带计算、方向和距离的改化计算、国家坐标系与工程独立坐标系之间的换算,以及在公路工程中控制测量可供选用的坐标系统。

第三章介绍控制测量的外业工作。主要包括以下四方面内容:1.平面和高程控制点的选择要求和埋石方法。2.精密测角所使用的仪器和观测方法以及测角误差来源和应采取的措施。3.高程测量中自动安平精密水准仪的使用和检验,精密水准的观测方法和步骤、误差来源和应采取的措施,电子数字水准仪的使用,以及 EDM 三角高程测量原理、精度分析、观测方法(对向观测、中间观测)和大气折光系数的测定等。4.光电测距原理及索佳 SET 系列普通型和 POWERSET 系列电脑型全站仪的结构和使用方法、光电测距的误差分析、检验方法等。

第四章介绍公路路线控制测量。主要包括导线的布设形式,导线的外业工作,导线与国家控制点的联测方法,导线点位精度的估算以及导线的成果处理等。

第五章介绍隧道控制测量。主要包括:1.隧道贯通测量的精度要求。2.隧道地面控制测量的布设形式〔中线、导线、三角锁(网)〕、测量方法及高程控制测量的实施方法。3.隧道洞内导线测

量的布设形式(单导线,主、副导线环和导线网)和测量方法,以及洞内水准测量的实施和水准点高程的调整方法。4.隧道平面控制(地面导线,主、副导线环,三角锁)测量误差对横向贯通精度影响值的计算方法。5.隧道高程控制测量(水准测量、EDM三角高程测量)误差对高程贯通精度影响值的计算方法。6.隧道三角网中推算元素的精度估算方法,对规范中经常涉及的传距角正弦对数秒差和图形权倒数的概念也作了说明。

第六章介绍桥梁控制测量。主要包括:1.桥梁三角网应满足的要求、布设形式和方法。2.按桥型估算桥轴线长度精度的方法。3.建立比尺场的方法。4.建立桥梁高程控制网的一般方法。5.过河精密水准测量应遵循的原则、布设形式和测量方法。

第七章介绍控制网测量平差。主要包括以下内容:1.测量误差的一些基本知识,如测量误差的来源及分类、评定测量精度的指标、误差传播定律的应用、权的概念、最小二乘原理等。2.直接观测平差的计算方法。3.条件平差的原理、计算方法和示例。4.间接平差的原理、计算方法和示例。5.坐标平差的原理、计算方法和示例。6.以等权代替法和多边形平差法进行水准网和三角高程网的平差。

第八章介绍GPS卫星定位测量。主要内容包括GPS的组成部分及其功能、GPS定位所涉及的坐标系统及GPS成果的坐标转换方法、GPS卫星发送的各种信号、GPS定位的观测量及定位方法、整周末知数的解算和周跳的解决方法、GPS接收机的基本结构和分类方法、GPS测量的作业模式及实施方法、GPS测量误差来源和应采取的措施,以及GPS实时动态测量原理等。此外,对美国的SA限制性政策和应采取的对应措施也作了说明。

本书重视对测量基础理论的论述,力求结合我国公路工程测量的生产实际,同时也力求将测量领域的最新科学技术成果反映出来。由于作者水平所限,书中难免有不妥、疏漏和错误之处,恳请读者指正。

作 者

2000年10月于西安

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 控制测量的任务和作用	1
第二节 地球的形体和测量的基准面	2
第三节 大地坐标系统和高程系统	6
第四节 控制网的布设	9
第五节 控制测量的发展状况	16
第二章 高斯平面直角坐标	18
第一节 高斯投影与高斯平面直角坐标	18
第二节 坐标的换带计算	21
第三节 方向和距离的改化计算	26
第四节 平面直角坐标的换算	31
第五节 公路控制测量坐标系统的选择	35
第三章 控制测量的外业工作	40
第一节 选点与埋石	40
第二节 角度测量	44
第三节 高程测量	79
第四节 光电测距及全站仪	126
第四章 公路路线控制测量	167
第一节 导线的布设形式和等级	167
第二节 导线测量的外业工作	170
第三节 导线与国家控制点的联测	173
第四节 导线的精度估算	189
第五节 导线的成果处理	196
第五章 隧道控制测量	208
第一节 隧道贯通测量的精度要求	208

第二节	隧道控制测量	210
第三节	隧道平面控制测量误差对横向贯通精度影响值的 计算方法	226
第四节	隧道高程控制测量对高程贯通精度影响的 计算方法	245
第五节	隧道三角测量的精度估算方法	247
第六章	桥梁控制测量	263
第一节	桥梁平面控制网的布设形式	263
第二节	桥梁三角网必要精度的估算方法	271
第三节	比尺场的建立和比尺墩的测量	274
第四节	桥梁高程控制网的建立	276
第五节	过河水准测量	279
第七章	公路控制网测量平差	292
第一节	概述	292
第二节	测量误差	293
第三节	衡量精度的指标	296
第四节	误差传播定律	300
第五节	直接观测平差	306
第六节	最小二乘原理	319
第七节	条件平差	322
第八节	导线网的条件平差示例	395
第九节	三角网平差示例	414
第十节	测边网平差示例	434
第十一节	边角网平差示例	442
第十二节	间接平差	448
第十三节	间接平差示例	462
第十四节	坐标平差	467
第十五节	高程测量平差	485
第八章	GPS 卫星定位测量	501
第一节	概述	501

第二节	GPS 的组成	502
第三节	GPS 定位的坐标系统	506
第四节	GPS 卫星信号	510
第五节	美国政府对 GPS 用户的限制性政策及非特许 GPS 用户所采取的对应措施	512
第六节	GPS 定位原理	516
第七节	GPS 接收机	521
第八节	GPS 测量的作业模式	532
第九节	GPS 测量的实施	536
第十节	GPS 测量误差	543
第十一节	GPS 实时动态测量	549
参考文献		554

第一章 绪 论

第一节 控制测量的任务和作用

控制测量是在一定的区域内选择适当的控制点,精确测定这些控制点的平面位置(坐标)和高程,作为测绘该区域地形图的根据和各项工作施工放样的基础。

控制测量是为各种工程建设项目服务的,因而与建设工程项目的进程密切相关。

在建设工程项目的设计阶段,需要为工程设计人员提供大比例尺地形图,以便在图上确定工程建筑物的位置,并量取设计所需要的各项数据。测绘大比例尺地形图,就必须建立测图控制网作为测图的依据。对于公路工程,由于设计是在 1:2000 带状地形图上进行的,因此测图控制通常是采用导线形式并沿路线方向布设。

在施工阶段,需要建立满足精度要求的施工控制网,将图纸上设计的工程建筑物放样到实地上去,指导施工并保证施工的质量。例如山岭隧道施工测量的任务,主要是确保隧道的相向开挖能够按照规定的精度正确地贯通,并使隧道中各项建筑物按照设计的位置修建。因此,在隧道施工之前,应先进行地面控制测量,建立地面三角网(锁)或导线网,以后根据施工的进展,将地面坐标系统和高程通过洞口、竖井、斜井或平洞传递到洞内去。在洞内再用导线测量的方法建立洞内施工控制,用以放样出相向开挖的方向。

在工程竣工后进行运营阶段,需要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，建筑物本身也对地基及其周围施加了一定的作用力，因而引起地基下沉变形，而建筑物受地基变形的影响及其外部荷载与内部应力的作用也要发生变形。这种变形如在一定的范围之内属正常现象，但若超过一定限度，就会影响建筑物的正常使用，严重者还会危及建筑物的安全乃至破坏。因此对于大型建筑物，如大桥、特大桥等，必须进行变形观测。即用控制测量的方法建立专用的变形观测控制网，在建筑物上或其周围适当的地点，埋设一定数量的标志，定期进行观测。由于工程建筑物的变形量一般都很小，为了能够精确测出这些微小的变形，因此要求变形观测控制网具有较高的精度。

根据以上所述，可见控制测量对于工程建设是必不可少的，对于公路工程也是如此。公路控制测量的主要内容就是研究建立公路工程控制网的原理和方法。

第二节 地球的形体和测量的基准面

测量工作是在地球的自然表面上进行的。地球表面上有山岭、高原、平原、盆地、河流、海洋等地形，高低起伏，是不规则的。为了确定控制点的位置和绘制地形图，就有必要把直接现测的结果归化到一个参考面上，而这个参考面必须尽可能地与地球形体的表面相吻合。因此就有必要认识地球的形体和测量的基准面的问题。

一、大地水准面

1. 水准面

地球上任何一点都要同时受到两个力的作用，一是地球自转而产生的离心力；一是地心的引力。两者的合力就是作用于该点的重力（见图 1-1）。重力的作用线是铅垂线。

处于自由静止状态的水面称为水准面。水准面必然处处与重力方向即铅垂线垂直,否则水面就会流动而不能保持静止状态。所以说水准面是一个处处与重力方向(铅垂线)垂直的连续曲面。由于地球表面附近的空或地球内部,处处都存在重力作用,所以通过不同高度的点,都有一个相应的水准面。

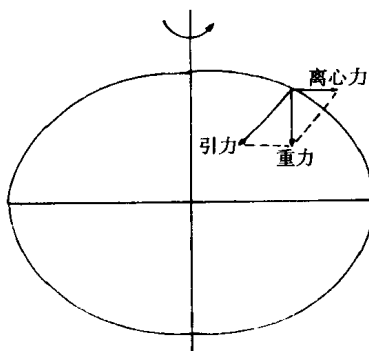


图 1-1

在观测水平角时,整平经纬仪后,仪器的竖轴即位于铅垂线方向,水平度盘与竖轴垂直,其所在的平面即是水准面的切平面。因此所测的水平角实际上就是观测方向线在水准面上的投影线之间的夹角。在测量水平距离时,也是以铅垂线为依据的,所以所测的水平距离是指不同高度的水准面上的距离。用水准测量方法测定两点之间的高差,所测高差是指过这两点的水准面间的铅垂距离。由此可见,铅垂线和水准面是测量外业所依据的基准线和基准面。

2. 大地水准面

我们已经知道,水准面有无数多个。为了使测量成果具有共同的基准面,需要选择一个十分接近地球自然表面又能代表地球形状和大小的水准面作为统一的标准。

地球的自然表面是有高低起伏的。高的如我国的珠穆朗玛峰,高达 8 848m;低的如太平洋西部的马里亚纳海沟,深达 11 022 m。虽是这样,但相对于地球庞大的体积来说仍可视作起伏很微小。此外地球上海洋的面积占地球总面积的 71%,所以静止的海水面是地球上最大的水准面。由此可以设想有一个静止的平均海水面,向陆地延伸而形成一个封闭的曲面,这个曲面(水准面)称为大地水准面,它所包围的形体称为大地体。

研究证明,在不同水准面上测得的水平角,将其归化到大地水准面上时改化很微小,完全可以忽略不计,因此在地面上测得

的角值均可直接作为大地水准面上的角值。对于地面上测得的边长,虽然不能直接作为大地水准面上的长度,但可根据公式将其化算到大地水准面上,地面点的高程则是直接由大地水准面起算。由此可见,大地水准面可以作为测量外业所依据的基准面。

二、参考椭球体

由于地球引力的大小与地球内部的质量有关,而地球内部的质量分布又不均匀,这就引起地面上各点的铅垂线方向产生不规则的变化,因而大地水准面实际上是一个有微小起伏的不规则曲面。它不是一个几何面,无法用数学公式把它精确地表达出来,因而也就不能确切知道它的形状,也就无法在这个面上进行测量成果的计算。由此看来,必须寻找一个与大地体相近,并能用数学模型表示的规则形体,作为进行测量成果计算的基准面。

长期的测量实践研究已证明,大地体与以椭圆的短轴为旋转轴的旋转椭球体极为接近,而旋转椭球体是可以数学公式严格表示的。因此世界各国通常均以旋转椭球体代表地球的形状,称为地球椭球。如图 1-2 所示,地球椭球的大小和形状以长半轴 a 和短半轴 b 或扁率 $\alpha \left(\alpha = \frac{a-b}{a} \right)$ 来表示。与大地体最接近的地球椭球称为总地球椭球。总地球椭球必须以全球范围的天文、大地测量和重力测量资料为根据才有可能确定,然而占地球面积 71% 的海洋面上的资料难以获得,所以许多国家只能根据本区域局部的测量资料推算出与本国或本区域大地水准面密切配合的地球椭球,作为测量计算的基准面,这种地球椭球称为参考椭球。由此可见,参考椭球有许多个,而总地球椭球只有一个。我国从 1949

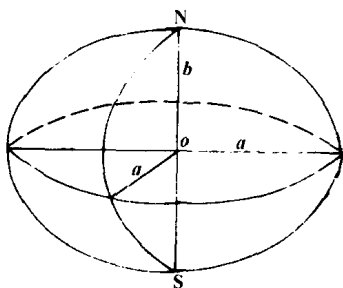


图 1-2

年起采用前苏联的克拉索夫斯基椭球,其长、短半轴及扁率为:

$$a = 6\,378\,245\text{ m}$$

$$b = 6\,356\,863\text{ m}$$

$$\alpha = 1/298.3$$

目前我国所采用的参考椭球为 1980 年国家大地测量参考系 (1975 年国际椭球),其长、短半轴及扁率为:

$$a = 6\,378\,140\text{ m}$$

$$b = 6\,356\,755.3\text{ m}$$

$$\alpha = 1/298.257$$

当前全球定位系统 (GPS) 所使用的坐标系为 WGS-84。WGS-84 椭球采用国际大地测量与地球物理联合会第 17 届大会大地测量常数推荐值:

$$a = 6\,378\,137\text{ m}$$

$$b = 6\,356\,752.3142\text{ m}$$

$$\alpha = 1/298.257$$

随着科学技术的不断进步和发展,尤其是人造卫星大地测量技术的运用和提高,已有可能实现全球使用统一的总地球椭球。

三、垂线偏差和大地水准面差距

大地水准面是一个处处与其铅垂线正交的曲面,由于地球的质量分布不均匀,大地水准面不可能是一个简单的几何曲面。所以,不论用一个总椭球面与大地水准面进行配合,还是用一个参考椭球面与部分的大地水准面进行配合,都不可能使两种曲面完全重合,因而只能寻求最佳的配合,使各处的差异达到最小,但差异总是存在。标志大地水准面与地球椭球面之间差异的量为垂线偏差和大地水准面差距。所谓垂线偏差,就是地面上一点向大地水准面作一铅垂线与该点向椭球面作一法线之间的夹角,如图 1-3

所示。而大地水准面的差距,是指大地水准面超出椭球面的高度,如图 1-4 所示。

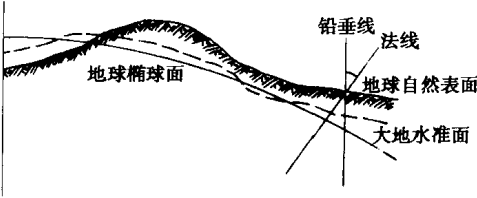


图 1-3

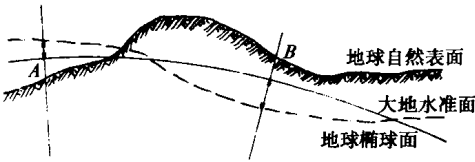


图 1-4

在控制测量中,都以参考椭球面作为计算的基准面,而实际测量时都是以大地水准面(铅垂线)为准的,为此必须把大地水准面为准的测量结果归化到参考椭球面上,然后才能进行计算。

第三节 大地坐标系统和高程系统

地面点的位置,需要三个量来确定。在测量工作中,这三个量通常用该点在基准面上的投影位置和该点沿投影方向到基准面的距离来表示。

一、大地坐标系

在控制测量中,通常采用以参考椭球体为基准面的坐标系,称为大地坐标系。大地坐标系用大地经度 L 和大地纬度 B 表示。如图 1-5 所示, M 点的大地经度 L 是指过 M 点的参考椭球面的法线的子午面与首子午面所夹的二面角; M 点的大地纬度 B 是指过 M 点的参考椭球面的法线与椭球赤道面的交角。

二、高程系统

高程系统主要有大地高系统、正高系统和正常高系统。

1. 大地高系统

大地高系统是以地球椭球面为基准面的高程系统,与大地坐标系属同一系统。如图 1-5 所示, M 点的大地高 H 是指 M 点沿过该点的参考椭球面法线到椭球面的距离。大地高随所选用的参考椭球不同而异。全球定位系统(GPS)采用 WGS-84 椭球,利用 GPS 定位技术,可直接测定观测站在 WGS-84 中的大地高。

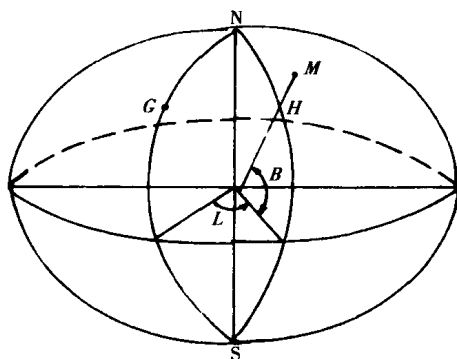


图 1-5

大地高系统在工程测量虽未得到广泛应用,但是它在与水准测量资料、重力测量资料等相结合研究大地水准面的形状方面,以及在结合高程异常资料以确定点的正常高方面,都具有重要意义。

2. 正高系统

正高系统是以大地水准面为基准面的高程系统。如图 1-6 所示,地面点 M 点的正高 H_g 是指 M 点沿该点的铅垂线至大地水准面的距离。由于地面点至大地水准面之间的水准的不平行性,所以地面点与大地水准面相垂直的铅垂线,实际上是一条曲线,它受地球内部的质量分布的影响。因此严格地说,正高是不能精确测定的。

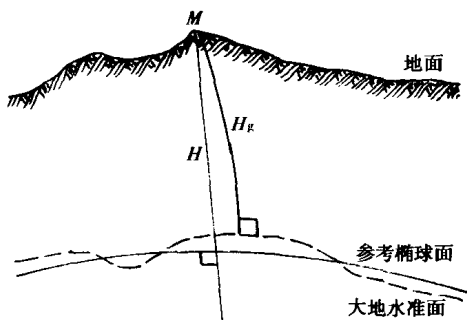


图 1-6

3. 正常高系统

正常高系统与正高系统的不同在于,它所代表的不是地面到大地水准面的铅垂距离,而是由地面到一个与大地水准面十分相近的曲面的铅垂距离。这个曲面称为似大地水准面。由此看来,正常高系统是以似大地水准面为基准面的高程系统。

由于正高无法精确求得,因此大地水准面也不能精确测定,因为正高系统是以大地水准面作为基准面的高程系统。但是正常高是可以精确求得的,似大地水准面则可以精确测定。

似大地水准面与参考椭球面之间的高程差,一般称为似大地水准面的高程异常。它可以应用天文重力水准测量方法测定,因此正常高与大地高之间可以相互转换:

$$H = H_r + \delta \quad (1-1)$$

式中: H ——大地高;

H_r ——正常高;

δ ——似大地水准面的高程异常。

研究证明,正常高与正高之差,也就是似大地水准面与大地水准面之间的距离,在山岭地区最多也只有 2m,而在平原地区则不过几个厘米,所以似大地水准面与大地水准面之间的差异一般不大。

正常高系统是我国通用的高程系统。

第四节 控制网的布设

一、国家控制网的布设

1. 国家平面控制网的布设

国家平面控制网通常以三角测量的方法建立,称为国家三角网。由于我国地域辽阔,采取了分级布设的原则,分为一、二、三、四等国家三角网。

1) 一等三角锁

一等三角锁是国家控制网的骨干,其主要作用是控制二等以下各级平面控制,并为研究地球形状和大小提供资料。

一等三角锁布设成沿经线、纬线方向纵、横交叉的网状图形,如图 1-7 所示。在一等三角锁纵、横交叉处设置起算边,起算边长度测定的相对中误差不大于 $1/350\,000$ 。起算边的两端点精密测定天文经纬度和天文方位角,以取得起算方位角。相邻两起算边之间的长度称为锁段,其长度一般为 200km 左右,三角形个数一般为 16~20 个。测角精度按一锁段三角网闭合差计算所得的测角

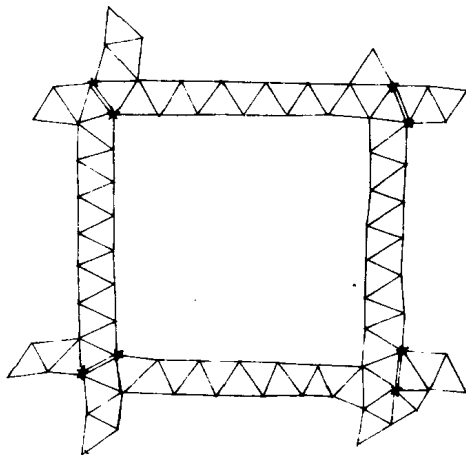


图 1-7