

高校土木工程专业规划教材

GAOXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

道路工程测量

李 超 编著

DAOLU GONGCHENG CELIANG

中国建筑工程出版社

高校土木工程专业规划教材

道路工程测量

李 超 编著



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

道路工程测量/李超编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015.2

高校土木工程专业规划教材

ISBN 978-7-112-17638-0

I. ①道… II. ①李… III. ①道路测量-高等学校-教材

IV. ①U412.24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 002968 号

全书共分 10 章, 主要包括绪论、测量仪器及工具、基本测量方法、测量误差基础知识、道路工程控制测量、地形图测绘、道路施工测量基本方法、道路中线测量、路线纵横断面测量、道路施工测量等。本书力求反映道路桥梁工程测量最新规范的内容, 在讲清基础知识的同时, 反映新技术的应用, 重视实践技能的培养和基础知识应用能力的训练。

* * *

责任编辑: 王 磊

责任设计: 张 虹

责任校对: 李欣慰 刘 钰

高校土木工程专业规划教材

道路工程测量

李 超 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 12 $\frac{3}{4}$ 字数: 304 千字

2015 年 2 月第一版 2015 年 2 月第一次印刷

定价: 32.00 元

ISBN 978-7-112-17638-0

(26844)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

我国交通基础设施正处于飞速发展时期，道路工程量巨大，需要大量的道路与桥梁工程专业人才。工程测量是道路与桥梁专业的主干专业课程，经历了一个较长的发展历程，已具备较为完善的知识结构体系和相对成熟的教学模式。然而，随着工程教育由科学化模式向技术化模式转变，其传统知识结构与教学模式存在诸多与工程教育发展趋势不相适应之处。

为了适应经济社会发展的需求，本书以测量学为基本理论依据，以道路工程建设为主线，系统详细地介绍道路工程设计、施工等各个环节的测量或测设工作，注重工程实践与理论统一，加强读者对工程系统及背景的认知。同时，本书关注先进工程技术的发展趋势，注重读者利用新知识、新技术、新工艺能力的培养。

全书共分 10 章，主要内容包括绪论、测量仪器及工具、基本测量方法、测量误差基础知识、道路工程控制测量、地形图测绘、道路施工测量基本方法、道路中线测量、路线纵横断面测量、道路施工测量等。本书力求反映道路桥梁工程测量最新规范的内容，在讲清基础知识的同时，反映新技术的应用，重视实践技能的培养和基础知识应用能力的训练。

本书由山东交通学院李超独立撰写。在本书的编写过程中，山东省交通规划设计院毕玉峰、于坤、王玉兰、程磊、王学军等工程师为本书的编写提供了许多有关道路桥梁工程的宝贵设计经验和数据资料；山东交通学院朱峰、杨永寿、赵斌臣、宋雷等老师对本书的结构体系和部分内容提出了中肯的建议，田海山、闫顺等同学在文字编辑核查方面做了大量工作。另外，本书受山东省自然科学基金项目（ZR2012EEL29）、山东省高等学校科技计划项目（J12LG04）、山东交通学院教育研究与教学改革项目（JG201310）和山东省特色专业建设专项经费的资助，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请有关专家和读者提出宝贵建议，以便进一步改善。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 测量学概述	1
1.2 测量学在道路工程中的应用	2
1.3 道路工程测量的基本程序	2
1.4 地面点位的确定	4
第 2 章 测量仪器及工具	11
2.1 测距仪器和工具	11
2.2 测角仪器	13
2.3 水准仪及水准尺	22
2.4 全站仪	33
2.5 全球卫星定位系统 (GPS)	37
第 3 章 基本测量方法	43
3.1 水准测量	43
3.2 角度测量	51
3.3 距离测量与直线定向	59
第 4 章 测量误差基础知识	67
4.1 测量误差概念	67
4.2 偶然误差的特性	69
4.3 衡量精度的标准	71
4.4 算术平均值的计算及精度评定	73
4.5 误差传播定律	75
第 5 章 道路工程控制测量	81
5.1 概述	81
5.2 导线测量	82
5.3 小三角测量	93
5.4 高程控制测量	103
5.5 坐标换带计算	105
第 6 章 地形图测绘	108
6.1 地形图基本知识	108
6.2 大比例尺地形图测绘	116
6.3 地形图数字测绘	125
6.4 地形图的基本应用	126
6.5 地形图的工程应用	127
第 7 章 道路施工测量基本方法	132

7.1	已知水平角的测设	132
7.2	已知距离的放样	133
7.3	平面点位的基本放样方法	133
7.4	高程放样	135
7.5	全站仪点位放样	137
第 8 章	道路中线测量	138
8.1	概述	138
8.2	交点、转点及转角的测设	139
8.3	里程桩设置	143
8.4	圆曲线测设	144
8.5	缓和曲线测设	152
8.6	复曲线与回头曲线测设	157
8.7	道路中线逐桩坐标的计算	161
第 9 章	路线纵横断面测量	167
9.1	基平测量	167
9.2	中平测量	168
9.3	纵断面图	170
9.4	横断面测量	173
第 10 章	道路施工测量	177
10.1	路基路面施工测量	177
10.2	涵洞施工测量	182
10.3	桥梁施工测量	189
参考文献		195

第1章 绪 论

1.1 测量学概述

测量学是研究地球的形状、大小以及确定地面（包括空中、地下和海底）点位的科学。测量的主要任务包括测定和测设两个部分。测定是指使用测量仪器和工具，通过观测和计算，得到一系列测量数据，把实际地形按照一定比例缩绘成地形图，供规划设计、科学研究和国防建设使用。测设是把图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置在地面上标定出来，作为施工的依据。

测量学按照研究范围和对象的不同，可分为以下几个分支学科：

（1）大地测量学：研究和测定地球的形状、大小、重力场、地球整体与局部运动，以及建立地球表面广大区域控制网理论和技术的科学。由于人造地球卫星的发射和科学技术的发展，大地测量学又分为几何大地测量学、物理大地测量学和卫星大地测量学（或空间大地测量学）。

（2）普通测量学：研究地球表面小范围测绘的基本理论、技术和方法，不顾及地球曲率的影响，把地球局部表面当做平面看待，是测量学的基础。

（3）摄影测量与遥感学：研究利用摄影或遥感技术获取被测物体的信息（影像或数字形式），进行分析处理，绘制地形图或获得数字化信息的理论和方法的学科。由于获取相片的方法不同，摄影测量学又可分为地面摄影测量学、航空摄影测量学、水下摄影测量学和航天摄影测量学等。特别是由于遥感技术的发展，摄影方式和研究对象日趋多样，不仅是固体的、静态的对象，即使是液体、气体以及随时间而变化的动态对象，都是摄影测量学的研究范畴。

（4）海洋测绘学：以海洋水体和海底为研究对象所进行的测量和海图编制的理论、方法的科学。主要包括海道测量、海洋大地测量、海底地形测量、海洋专题测量以及航海图、海底地形图、各种海洋专题图和海洋图集等的编制。

（5）工程测量学：研究工程建设和资源开发中，在规划、设计、施工、管理各阶段进行的控制测量、地形测绘和施工放样、变形监测的理论、技术和方法的学科。由于建设工程的不同，工程测量又可分为矿山测量学、水利工程测量学、公路测量学以及铁路测量学等。

（6）制图学：研究利用测量采集、计算所得到的成果资料，编制各种模拟和数字地图的理论、原理、工艺技术和应用的科学。它是用地图图形反映自然界和人类社会各种现象的空间分布，相互联系及其动态变化。其主要的研究内容包括地图投影学、地图编制、地图整饰、印刷等。目前，数字地图以及地理信息系统已广泛地被人们所应用。

测量学是一门历史悠久的科学，早在几千年前，由于当时社会生产发展的需要，中国、埃及、希腊等国家的劳动人民就开始创造与运用测量工具进行测量。作为了解自然、

改造自然的重要手段，测量学在国民经济和社会发展规划中应用很广，如地形图和地籍图等测绘信息是各种规划及地籍管理重要的基础信息。在各类土木工程建设中，从勘测设计阶段到施工、竣工阶段，都需要进行大量的测绘工作。在国防建设中，军事测量和军用地图是现代大规模的诸兵种协同作战不可缺少的重要保障。至于远程导弹、空间武器、人造卫星和航天器的发射，要保证它精确入轨，随时校正轨道和命中目标，除了应算出发射点和目标点的精确坐标、方位、距离外，还必须掌握地球的形状、大小的精确数据和有关地域的重力场资料。在科学试验方面，诸如空间科学技术的研究、地壳的变形、地震预报、灾情监测、空间技术研究、海底资源探测、大坝变形监测、加速器和核电站运营的监测等，以及地极周期性运动的研究，无一不需要测绘工作紧密配合和提供空间信息。即使在国家的各级管理工作中，测量和地图资料也是不可缺少的重要工具。此外，对建立各种地理信息系统（GIS）、数字城市、数字中国，都需要现代测绘科学提供基础数据信息。

1.2 测量学在道路工程中的应用

在公路工程建设中，无论对于公路、桥梁或隧道，从勘测设计、施工到竣工都离不开测量工作。当新建一条公路，在踏勘过程中就要根据测量所取得的资料，如地形图等，进行选线，来确定一条经济合理的路线；路线方案确定后，要进行路线的详细测设，也就是进行路线的中线测量、纵断面测量、横断面测量、地形测绘和有关调查测量等，以便为路线设计提供准确、详细的外业资料。当路线跨越河流时，应测绘河流两岸的地形图，测定桥轴线的长度及桥位处的河床断面，为桥梁方案选择及结构设计提供必要的的数据。当路线穿越高山，采用隧道工程时，应测绘隧址处地形图，测定隧道的轴线、洞口、竖井等的位置，为隧道设计提供必要的的数据。施工准备阶段，要将图纸上的道路中线以及桥涵隧道等构造物按规定的尺寸和位置准确无误地测设于实地，即进行施工放样测量。施工过程中，要经常通过测量手段检查工程的进度和质量。在隧道施工过程中还要不断地进行监控测量，以保证隧道的平面位置和高程正确贯通、隧道施工安全。工程竣工后，要进行竣工测量并编制竣工图，以满足工程的验收、维护、加固以至扩建的需要。在营运阶段，还要应用测量进行一些常规检查和定期进行变形观测，以确保公路、桥梁和隧道等构造物的安全使用。因此，道路工程的勘测、设计、施工、竣工及营运等各个阶段都与测量工作密切相关。

1.3 道路工程测量的基本程序

地球表面的形状很复杂，我们把地表面的固定物体如房屋、道路、河流和森林等称为地物，而把地面上高低起伏的形态如山岭、丘陵、峡谷和陡崖等称为地貌，地物和地貌统称为地形。测量的任务，一方面，是要测定地形的位置并按一定的比例把它绘在图纸上；另一方面，把图纸上的构造物按一定的比例测设到地面上。快速准确地完成测量与测设工作需要遵循测量工作的基本程序。图 1-1 (a) 所示是一幢房屋的平面图，其位置由房屋轮廓线表示，如果能确定 1、2、3、4 四个角点的位置，那么这幢房屋在地面上的位置也就确定了。图 1-1 (b) 所示是一条公路的其中一段，它的中线由直线和曲线组成，如果能

测定它的直线、直线与曲线的衔接点和曲线上的点 1、2、3……的平面位置，这段公路在地面上的位置也就确定了。图 1-1 (c) 所示为一小山头，当 1、2、3……地面坡度变化点的平面位置及其高程测定后，这个小山头的起伏变化情况就可以大致反映出来了。

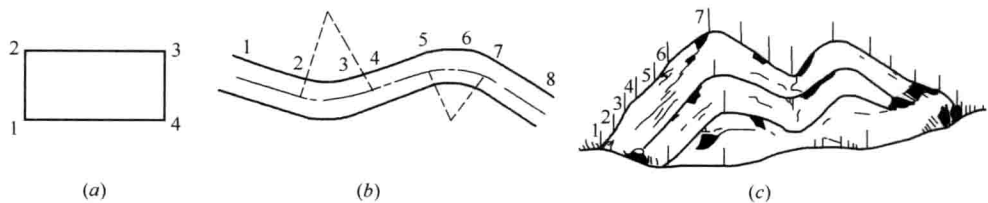


图 1-1 地形地物表示方法

从上面几个例子中可以看出，地球表面上的地物和地貌的形状和大小的构成基本上是一些具有代表性的点，如图 1-1 中的各点，测量上把这些平面方向的转折点与坡度起伏的变化点叫做特征点。特征点也称为碎部点，测量主要是测定这些碎部点的平面位置和高程。当测定这些碎部点时，不论用何种测量方法，使用何种仪器，测量的成果都会有误差存在，为了提高测量精度，防止测量误差的传递和积累，在测量工作中，必须遵循在测量布局上“从整体到局部”，在精度上“由高级到低级”，在程序上“先控制后碎部”的测量原则。如图 1-2 所示，若要测定图上的山头以及周围的地形图，必须先选在测区范围内选择若干具有控制意义的点，图 1-2 中山头周围的点 1、2、3、4、5、6 等作为控制点，用精密的仪器和较严密的测量方法测定这些控制点的位置和高程，这部分测量称为控制测量。然后再根据控制点的位置和高程测定其他碎部点的位置和高程，这部分测量称为碎部测量。

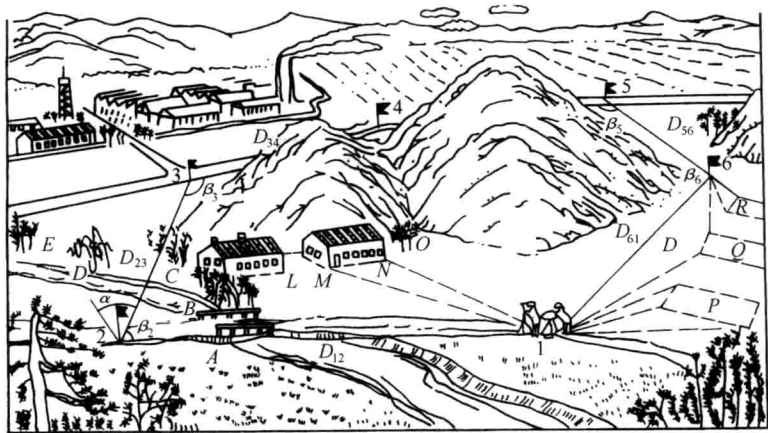


图 1-2 控制测量与碎部测量

如图 1-2 中，可在控制点 1 上测定其周围的碎部点 L、M、N 等，在控制点 2 上测定其周围的碎部点 A、B 等，同样也可在其他控制点分别测定其周围的碎部点。可以看出，用这种先控制测量后碎部测量的方法可使所有碎部点具有同样的精度，不会因误差的传递和积累而使后测的碎部点的误差增大到不能容许的程度。

1.4 地面点位的确定

1.4.1 地球的形状和大小

测量工作的主要研究对象是地球的自然表面，但地球表面形状十分复杂。通过长期的测绘工作和科学调查，了解到地球表面上海洋面积约占 71%，陆地面积约占 29%，世界第一高峰珠穆朗玛峰高出海平面 8848.13m，而在太平洋西部的马里亚纳海沟低于海水面达 11022m。尽管有这样大的高低起伏，但相对于地球半径 6371km 来说仍可忽略不计。因此，测量中把地球总体形状看做是由静止的海水面向陆地延伸所包围的球体。

由于地球的自转运动，地球上任意一点都要受到离心力和地球引力的双重作用，这两个力的合力称为重力，重力的方向线称为铅垂线。铅垂线是测量工作的基准线。静止的水面称为水准面，水准面是受地球重力影响而形成的，是一个处处与重力方向垂直的连续曲面，并且是一个重力场的等位面。水准面可高可低，因此，符合上述特点的水准面有无数多个，其中与平均海水面吻合并向大陆、岛屿内延伸而形成的闭合曲面，称为大地水准面。大地水准面是测量工作的基准面。由大地水准面包围的地球形体，称为大地体。

大地水准面和铅垂线是测量外业所依据的基准面和基准线。用大地体表示地球形体是恰当的，但由于地球内部质量分布不均匀，引起铅垂线的方向产生不规则的变化，致使大地水准面是一个复杂的曲面，无法在这个曲面上进行测量数据处理，如图 1-3 (a) 所示。为了使用方便，通常用一个非常接近于大地水准面，并可用数学式表示的几何形体（即地球椭球）来代替地球的形状，作为测量计算工作的基准面，如图 1-3 (b) 所示。地球椭球是一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体，故地球椭球又称为旋转椭球。如图 1-4 所示，旋转椭球体的形状和大小是由其基本元素决定的。椭球的基本元素是：长半轴 a 、短半轴 b 和

$$\text{扁率 } \alpha = \frac{a-b}{a}。$$

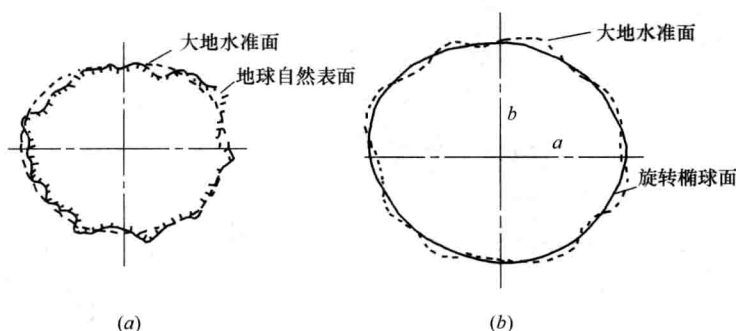


图 1-3 大地水准面

我国 1980 年国家大地坐标系采用了 1975 年国际椭球，该椭球的基本元素是：

$$a=6378140\text{m}, b=6356755.3\text{m}, \alpha=1/298.257。$$

根据一定的条件，确定参考椭球与大地水准面的相对位置，所做的测量工作，称为参考椭球体的定位。在一个国家适当地点选一点 P ，设想大地水准面与参考椭球面相切，切点 P' 位于 P 点的铅垂线方向上，如图 1-5 所示。这样椭球面上 P' 点的法线与该点对大地

水准面的铅垂线重合，并使椭球的短轴与自转轴平行，且椭球面与这个国家范围内的大地水准面差距尽量地小，从而确定了参考椭球面与大地水准面的相对位置关系，这就是椭球的定位工作。

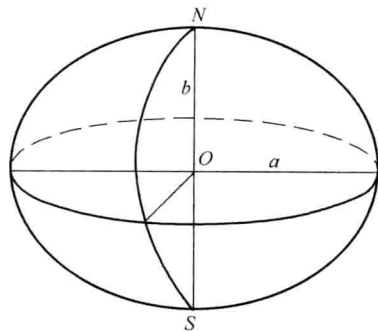


图 1-4 旋转椭球体

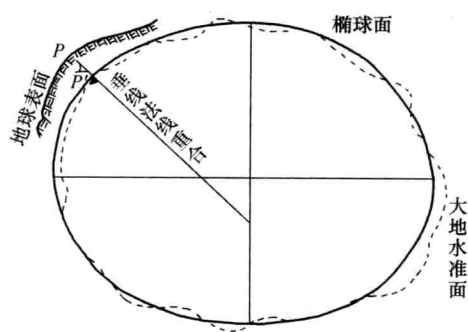


图 1-5 参考椭球体的定位

这里， P 点称为大地原点。我国大地原点位于陕西泾阳永乐镇，在大地原点上进行了精密天文测量和精密水准测量，获得了大地原点的平面起算数据，以此建立的坐标系称为“1980 年国家大地坐标系”。

由于参考椭球体的扁率很小，当测区不大时，可将地球当做圆球，其半径的近似值为 6371km。

1.4.2 测量坐标系

为了确定地面点的空间位置，需要建立测量坐标系。一个点在空间的位置，需要三个量来表示。

在一般测量工作中，常将地面点的空间位置用大地经度、纬度（或高斯平面直角坐标）和高程表示，它们分别从属于大地坐标系（或高斯平面直角坐标系）和指定的高程系统，即使用一个二维坐标系（椭球面或平面）与一个一维坐标系的组合来表示。

由于卫星大地测量的迅速发展，地面点的空间位置也可采用三维的空间直角坐标表示。

1. 大地坐标系

地面上一点的位置（如 P ），可用大地坐标 (L, B) 表示。大地坐标系是以参考椭球面作为基准面，以起始子午面（即通过格林尼治天文台的子午面）和赤道面作为在椭球面上确定某一点投影位置的两个参考面。

过地面某点的子午面与起始子午面之间的夹角，称为该点的大地经度，用 L 表示（图 1-6）。规定从起始子午面起算，向东为正，由 0° 至 180° 称为东经；向西为负，由 0° 至 180° 称为西经。

过地面某点的椭球面法线（ P_p ）与赤道面的交角，称为该点的大地纬度，用 B 表示。规定从赤道面起算，由赤道面向北为正，从 0° 到 90° 称为北纬；由赤道面向南为负，从 0° 到 90° 称为南纬。

可由天文观测方法测得 P 点的天文经、纬度 (λ, φ) ，再利用 P 点的法线与铅垂线的相对关系（称为垂线偏差）改算为大地经度、纬度 (L, B) 。在一般测量工作中，可以不

考虑这种变化。

2. 空间直角坐标系

以椭球体中心 O 为原点，起始子午面与赤道面交线为 X 轴，赤道面上与 X 轴正交的方向为 Y 轴，椭球体的旋转轴为 Z 轴，指向符合右手规则。在该坐标系中， P 点的点位用 OP 在这三个坐标轴上的投影 x, y, z 表示，如图 1-7 所示。

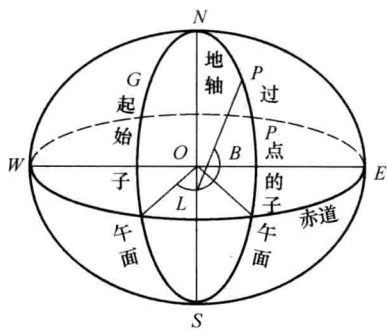


图 1-6 大地坐标系

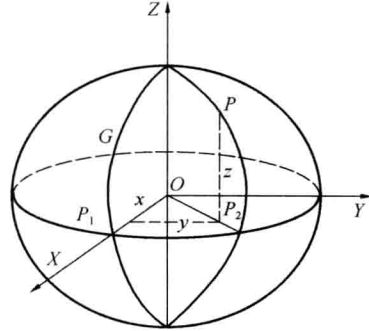


图 1-7 空间直角坐标系

3. 独立平面直角坐标系

当测区范围较小时（如小于 100km^2 ），常把球面投影面看作平面，这样地面点在投影面上的位置就可以用平面直角坐标系来确定。测量工作中采用的平面直角坐标系如图 1-8 (a) 所示。规定：南北方向为纵轴 X 轴，向北为正；东西方向为横轴 Y 轴，向东为正。

坐标原点有时是假设的，假设的原点位置应使测区内的点的 X 、 Y 值为正。测量平面直角坐标系与数学平面直角坐标系的区别如图 1-8 所示。

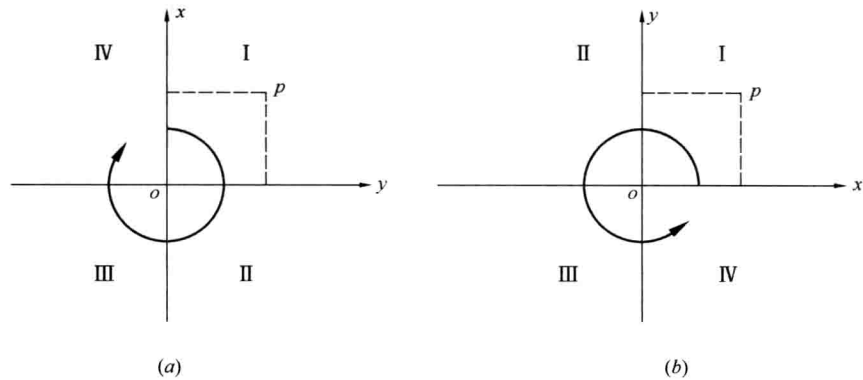


图 1-8 两种平面直角坐标系的比较

(a) 测量平面直角坐标系；(b) 数学平面直角坐标系

4. 高斯平面直角坐标系

1) 高斯投影

高斯平面直角坐标系采用高斯投影方法建立。高斯投影是由德国测量学家高斯于 1825 年至 1830 年首先提出，到 1912 年由德国测量学家克吕格推导出实用的坐标投影公式，所以又称高斯-克吕格投影。

如图 1-9 所示, 设想有一个椭圆柱面横套在地球椭球体外面, 使它与椭球上某一子午线 (该子午线称为中央子午线) 相切, 椭圆柱的中心轴通过椭球体中心, 然后用一定的投影方法, 将中央子午线两侧各一定经差范围内的地区投影到椭圆柱面上, 在将此柱面展开即成为投影面。故高斯投影又称为横轴椭圆柱投影。

2) 高斯平面直角坐标系

在投影面上, 中央子午线和赤道的投影都是直线。以中央子午线和赤道的交点 O 作为坐标原点, 以中央子午线的投影为纵坐标轴 X , 规定 X 轴向北为正; 以赤道的投影为横坐标轴 Y , Y 轴向东为正, 这样便形成了高斯平面直角坐标系, 如图 1-10 所示。

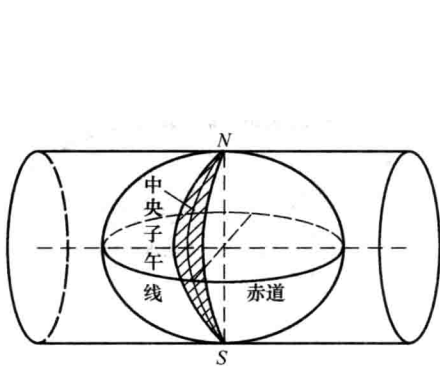


图 1-9 高斯投影

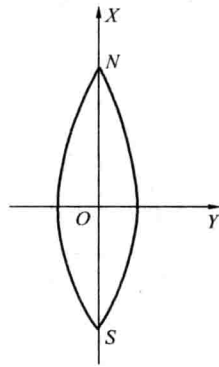


图 1-10 高斯平面直角坐标系

3) 投影带

高斯投影中, 除中央子午线外, 各点均存在长度变形, 且距中央子午线愈远, 长度变形愈大。为了控制长度变形, 将地球椭球面按一定的精度差分成若干范围不大的带, 称为投影带。带宽一般分为经差 6° 、 3° , 分别称为 6° 带、 3° 带, 如图 1-11 所示。

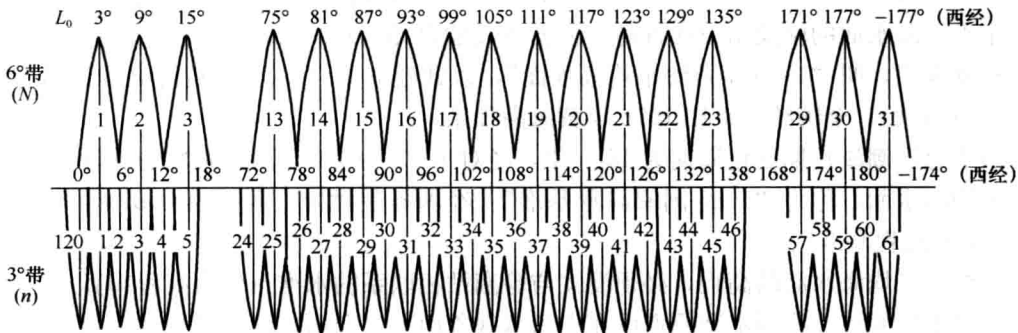


图 1-11 6° 带与 3° 带

6° 带: 从 0° 子午线起, 每隔经差 6° 自西向东分带, 依次编号 1, 2, 3, ..., 60, 各带相邻子午线称为分界子午线。带号 N 与相应的中央子午线经度 L_0 的关系是:

$$L_0 = 6N - 3 \quad (1-1)$$

3° 带: 以 6° 带的中央子午线和分界子午线为其中央子午线。即自东经 1.5° 子午线起, 每隔经差 3° 自西向东分带, 依次编号 1, 2, 3, ..., 120, 带号 n 与相应的中央子午线经

度 l_0 的关系是：

$$l_0 = 3n \tag{1-2}$$

4) 国家统一坐标

我国位于北半球，在高斯平面直角坐标系内， X 坐标均为正值，而 Y 坐标值有正有负。为避免 Y 坐标出现负值，规定将 X 坐标轴向西平移 500km，即所有点的 Y 坐标值均加上 500km，如图 1-12 所示。此外，为了便于区别某点位于哪一个投影带内，还应在横坐标值前冠以投影带带号，这种坐标称为国家统一坐标。

例如， B 点的高斯平面直角坐标 $X_B = 3275611.188\text{m}$ ， $Y_B = -376543.211\text{m}$ 。若该点位于第 19 带内，则 P 点的国家统一坐标表示为 $x_B = 3275611.188\text{m}$ ； $y_B = 19123456.789\text{m}$ 。

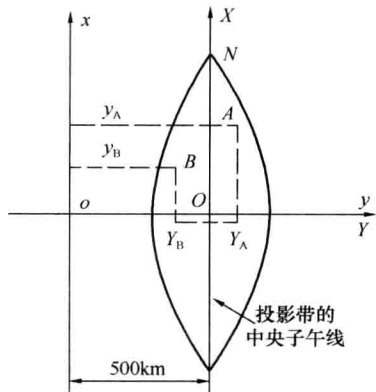


图 1-12 国家统一坐标

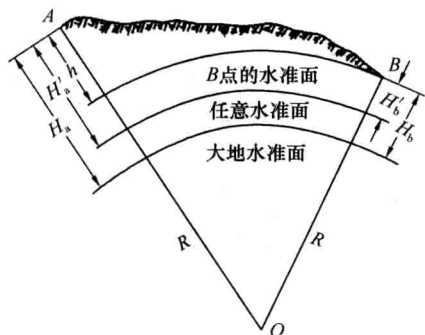


图 1-13 高程系统

5. 高程系统

为了建立全国统一的高程系统，必须确定一个高程基准面。通常采用平均海水面代替大地水准面作为高程基准面，平均海水面的确定是通过验潮站多年验潮资料来求定的。我国确定平均海水面的验潮站设在青岛，根据青岛验潮站 1950～1956 年七年验潮资料求定的高程基准面，叫“1956 年黄海平均高程面”，以此建立了“1956 年黄海高程系”，我国自 1959 年开始，全国统一采用 1956 年黄海高程系。

由于海洋潮汐长期变化周期为 18.6 年，经对 1952～1979 年验潮资料的计算，确定了新的平均海水面，称为“1985 国家高程基准”。经国务院批准，我国自 1987 年开始采用“1985 国家高程基准”。

为维护平均海水面的高程，必须设立与验潮站相联系的水准点作为高程起算点，这个水准点叫水准原点。我国水准原点设在青岛市观象山上，全国各地的高程都以它为基准进行测算。

1956 年黄海平均海水面的水准原点高程为 72.289m，“1985 国家高程基准”的水准原点高程为 72.260m。

在一般测量工作中是以大地水准面作为高程基准面。某点沿铅垂线方向到大地水准面的距离，称为该点的绝对高程或海拔，简称高程，用 H 表示。

在局部地区，如果引用绝对高程有困难时，可采用假定高程系统。即假定一个水准面作为高程基准面，地面点至假定水准面的铅垂距离，称为相对高程或假定高程。

两点高程之差称为高差。如图 1-13 所示, H_A 、 H_B 为 A、B 点的绝对高程, H'_A 、 H'_B 为相对高程, h_{AB} 为 A、B 两点间的高差, 即

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-3)$$

所以, 两点之间的高差与高程起算面无关。

1.4.3 用水平面代替水准面的限度

实际测量工作中, 在一定的测量精度要求和测区面积不大的情况下, 往往以水平面直接代替水准面, 因此应当了解地球曲率对水平距离、水平角、高差的影响, 从而决定在多大面积范围内能容许用水平面代替水准面。在分析过程中, 将大地水准面近似看成半径为 6371km 的圆球。

1. 水准面曲率对水平距离的影响

在图 1-14 中, AB 为水准面上的一段圆弧, 长度为 S, 所对圆心角为 θ , 地球半径为 R。自 A 点作切线 AC, 长为 t。如果将切于 A 点的水平面代替水准面, 即以切线 AC 代替圆弧 AB, 则在距离上将产生误差 ΔS :

$$\Delta S = AC - \widehat{AB} = t - S$$

式中 $AC = t = R \tan \theta$

$$\widehat{AB} = S = R\theta$$

$$\text{则} \quad \Delta S = R \left(\frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots \right)$$

因 θ 角值一般很小, 故略去五次以上各项, 并以 $\theta = \frac{S}{R}$ 代入,

则得:

$$\Delta S = \frac{S^3}{3R^2} \quad \text{或} \quad \frac{\Delta S}{S} = \frac{S^2}{3R^2} \quad (1-4)$$

当 $S = 10\text{km}$ 时, $\frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{1217700}$, 小于目前精密距离测量的容许误差。因此可得出结论: 在半径为 10km 的范围内进行距离测量工作时, 用水平面代替水准面所产生的距离误差可以忽略不计。

2. 水准面曲率对水平角的影响

由球面三角学知道, 同一个空间多边形在球面上投影的各内角之和, 较其在平面上投影的各内角之和大一个球面超 ϵ , 它的大小与图形面积成正比。其公式为:

$$\epsilon = \rho'' \frac{P}{R} \quad (1-5)$$

式中, P 为球面多边形面积, R 为地球半径, $\rho'' = 206265''$ 。

当 $P = 100\text{km}^2$ 时, $\epsilon = 0.51''$ 。

由上式计算表明, 对于面积在 100km^2 内的多边形, 地球曲率对水平角的影响只有在最精密的测量中才考虑, 一般测量工作时不必考虑。

3. 水准面曲率对高差的影响

图 1-14 中 BC 为水平面代替水准面产生的高差误差。令 $BC = \Delta h$,

$$(R + \Delta h)^2 = R^2 + t^2$$

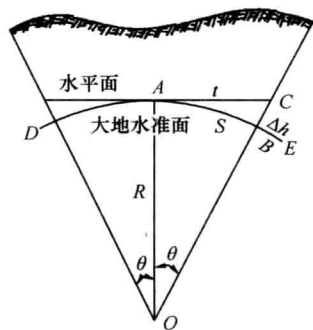


图 1-14 用水平面代替水准面

即

$$\Delta h = \frac{t^2}{2R + \Delta h}$$

上式中可用 S 代替 t , Δh 与 $2R$ 相比可略去不计, 故上式可写成

$$\Delta h = \frac{S^2}{2R} \quad (1-6)$$

上式表明, Δh 的大小与距离的平方成正比。当 $S=1\text{km}$ 时, $\Delta h=8\text{cm}$ 。因此, 地球曲率对高差的影响, 即使在很短的距离内也必须考虑。

综上所述, 在面积为 100km^2 的范围内, 不论是进行水平距离或水平角测量, 都可以不考虑地球曲率的影响, 在精度要求较低的情况下, 这个范围还可以相应扩大。但地球曲率对高差的影响是不能忽视的。

第 2 章 测量仪器及工具

2.1 测距仪器和工具

2.1.1 钢尺

钢尺是钢制的带尺，如图 2-1 所示，常用钢尺宽 10~15mm，厚 0.2~0.4mm；长度有 20m、30m 及 50m 几种，卷放在圆形盒内或金属架上。钢尺的基本分划为厘米，在每米及每分米处有数字注记。一般钢尺在起点处一分米内刻有毫米分划；有的钢尺，整个尺长内都刻有毫米分划。

由于尺的零点位置的不同，有端点尺和刻线尺的区别。刻线尺是以尺前端的一刻线作为尺的零点，如图 2-2 (a) 所示。端点尺是以尺的最外端作为尺的零点，如图 2-2 (b) 所示，当从建筑物墙边开始丈量时使用很方便。

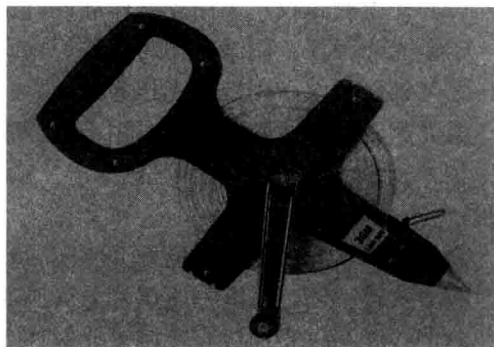


图 2-1 钢尺

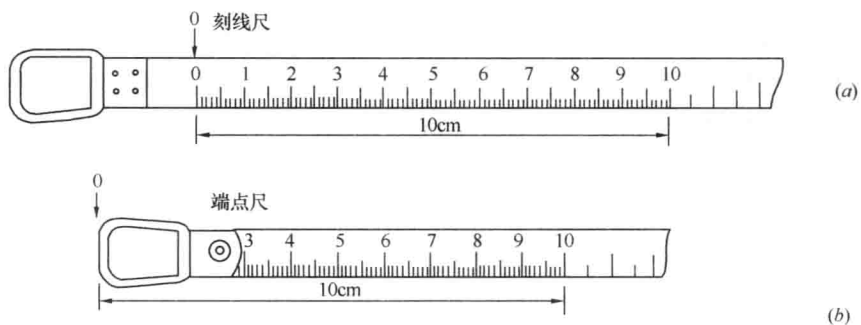


图 2-2 刻线尺与端点尺

丈量距离的工具，除钢尺外，还有标杆、测钎和垂球。标杆长 2~3m，直径 3~4cm，杆上涂以 20cm 间隔的红、白漆，以便远外清晰可见，用于标定直线。测钎用粗铁丝制，用来标志所量尺段的起、迄点和计算已量过的整尺段数。测钎一组为 6 根或 11 根。垂球用来投点。

2.1.2 电磁波测距仪

随着光电技术的发展，电磁波测距仪的使用愈来愈广泛。与传统量距方法比较，电磁波测距具有测程远、精度高、操作简便、作业速度快和劳动强度低等优点。

电磁波测距的基本原理是通过测定电磁波在待测距离两端点间往返一次的传播时间 t ，利用电磁波在大气中的传播速度 c ，来计算两点间的距离。