

高等学校土木工程类专业教学用书

土木工程测量

CIVIL ENGINEERING SURVEY

(第二版)

- 主 编 文孔越 高贵田
- 副主编 韦宏鹤



北京工业大学出版社

土木工程测量

(第二版)

主 编	文孔越	高贵田	
副主编	韦宏鹄		
编著者	马宏伟	文孔越	韦宏鹄
	高贵田	高德慈	鲍 艳

北京工业大学出版社

内 容 简 介

本书共 14 章, 全面介绍了光学测量仪器、电子水准仪、电子经纬仪、全站仪的基本知识, 控制测量和地形图测绘的理论和方法, 测量误差的基本理论及在工程测量中的应用, 以及与土建类各专业有关的测绘技术; 为适应现代科技的发展, 对大型复杂建筑物的测设和高速公路的测量, 以及全球定位系统、遥感技术、地理信息系统也作了详尽介绍。附录选编了一级注册结构工程师考试北京辅导教材基础考试部分工程测量习题 (2001—)。

本书可作为高等工科院校土建类、交通类、建筑规划、工程管理类各专业的测量学教材, 以及土建类技师和高级技师培训用书, 也可供有关工程测量人员和教师参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程测量/文孔越, 高贵田主编. —2 版. —北京:
北京工业大学出版社, 2009.1
ISBN 978-7-5639-1896-6

I. 土… II. ①文…②高… III. 土木工程-工程测量
IV. TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 137452 号

土木工程测量

(第二版)

主编 文孔越 高贵田

副主编 韦宏鹤

*

北京工业大学出版社出版发行

邮编: 100022 电话: (010) 67392308

各地新华书店经销

徐水宏远印刷有限公司印刷

*

2009 年 1 月第 2 版 2009 年 1 月第 5 次印刷

787 mm × 1 092 mm 16 开 19.5 印张 479 千字

ISBN 978-7-5639-1896-6

定价: 32.00 元

第二版前言

本书前身为1996年北京工业大学出版社出版的高德慈、文孔越主编，高贵田副主编的《测量学》和2002年北京工业大学出版社出版的文孔越、高德慈主编，高贵田副主编的《土木工程测量》（第一版）。这两本书曾经很好地服务于教学与生产实践和科研工作，受到读者的广泛欢迎。我们基于下列几点认识，对2002年《土木工程测量》（第一版）进行重新修改和编写。

(1) 应体现当前测绘新技术、新方法的发展与应用，新测量规范、规程的颁发，国家新的科学数据的公布，以及教学计划的新要求等。

(2) 应更加重视基本理论、基本技能的训练，突出基本理论、基本知识、基本技能，在这个原则下，力求精选内容、取材合理、深入浅出、精练文字，便于自学。

(3) 作为一门非测绘专业学科基础课程的教材，应紧密结合先修基础课程与后续专业课程，传授先进的实用知识和技能，使之有机地联系并得到延伸，培养学生具有时代精神及从事实际工作和科研的素质。

(4) 当今测绘技术快速发展，而传统的测绘技术仍在应用，应努力充实新技术，特别是在数字化成图和卫星定位等方面，但仍应保留广泛应用的传统技术内容，压缩删改较陈旧的内容，这样有利于教学与当前实际情况相结合。

本书由文孔越、高贵田主编，韦宏鹤副主编，第一、三、十二、十三、十四章及附录由文孔越教授执笔，第二、五、十、十一章由高德慈教授执笔，第四、九章由韦宏鹤博士、副教授执笔，第六章由高贵田副教授执笔，第七章由鲍艳博士执笔，第八章由马宏伟工程师执笔，全书插图由马宏伟、鲍艳绘制。

感谢北京工业大学出版社社长米裕民、副社长丁文健自1996年来对《测量学》、《土木工程测量》（第一版）和本书出版所做的精心安排、具体帮助和热情支持。

本书编写和修改过程中，王光遐、洪立波、马国庆、任福田、陶连金、刘运通、宋群、刘景园、田墨林、高文学、亓路宽、徐贺文、冯骥、张志清、孙国富、金江、陈之先、赵忠林、向怀坤、刘士权、刘王晋、洪越、于学仁、唐敏、欧阳伯、刘宝生等专家、教授曾提供资料，给予指导、帮助和支持，谨致衷心感谢。

由于作者水平有限，书中定有不少缺点和错误，谨请读者和同仁提出批评和指正。来信请寄北京工业大学建筑工程学院高德慈收，邮政编码100022。

编著者

2008年8月

第一版前言

本书是根据国家专业指导委员会 1999 年 10 月制定的土木类专业土木工程测量课程教学大纲要求,结合编者多年的教学、生产、科研经验和成果,并广泛征求同行和土木工程专家的意见,在 1996 年由高德慈、文孔越主编,高贵田副主编,冯翊审校,陈之先、赵忠林、娄隆厚参编,北京工业大学出版社出版的《测量学》的基础上编写而成。本教材适用于土木工程、交通工程、环境工程、市政工程、桥隧工程、建筑学、建筑工程管理、房地产经营管理及农林等专业,也可供有关工程测量人员和教师参考。

全书共 14 章,系统介绍了常规的工程测量仪器的构造、使用、检验与校正;阐明了控制测量和地形测量的理论和方法;论述了测量误差的基本理论及在工程测量中的应用;对大型复杂建筑物的测设、高速公路的测量进行了阐述;结合工程实践分别介绍了上述各专业有关测绘技术。为了开拓土木工程类各专业知识面,结合专业的需要,本教材对测绘领域的新技术、新仪器、新方法如电磁波测距、电子经纬仪、电子水准仪、全站仪、数字化测图及全球定位系统、遥感技术、地理信息系统等都作了较详细的说明。

本书由文孔越、高德慈主编,高贵田副主编。第一、三、九、十二、十三、十四章及附录由文孔越教授执笔,第二、四、五、十、十一章由高德慈教授执笔,第六章由高贵田副教授执笔,第七、八章由向怀坤博士、马宏伟工程师执笔,全书插图由娄隆厚、高德慈描绘。

在编写过程中,王光遐、张新、马国庆、李之闻、陈之先、赵忠林等专家、教授给予了指导和帮助,谨致衷心感谢!

感谢北京工业大学教材建设委员会和出版社的指导及对本书出版的热情支持!

由于作者水平有限,时间仓促,书中定有不少缺点和错误,敬请读者和同仁提出批评与指正。来信请寄北京工业大学建筑工程学院文孔越收,邮政编码 100022。

编著者
2001 年 11 月

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 土木工程测量的任务	(1)
§ 1-2 测量坐标系与地面点位的确定	(2)
§ 1-3 测量工作的基本概念	(6)
§ 1-4 用水平面代替水准面的范围	(7)
练习题	(8)
第二章 水准测量	(10)
§ 2-1 水准测量原理	(10)
§ 2-2 水准仪及其使用	(11)
§ 2-3 水准测量的实施	(14)
§ 2-4 微倾式水准仪的检验与校正	(19)
§ 2-5 精密水准仪	(21)
§ 2-6 自动安平水准仪	(23)
§ 2-7 水准测量误差及其削减措施	(24)
§ 2-8 电子水准仪	(25)
练习题	(27)
第三章 角度测量	(29)
§ 3-1 水平角和竖直角测量原理	(29)
§ 3-2 光学经纬仪	(30)
§ 3-3 水平角观测	(32)
§ 3-4 水平角观测误差及其削减措施	(35)
§ 3-5 竖直角观测	(37)
§ 3-6 经纬仪的检验与校正	(39)
§ 3-7 电子经纬仪	(42)
练习题	(44)
第四章 距离测量与方向测量	(47)
§ 4-1 钢尺量距	(47)
§ 4-2 视距测量	(51)
§ 4-3 电磁波测距	(54)
§ 4-4 直线定向	(58)
§ 4-5 陀螺经纬仪测定真北方向	(62)
练习题	(65)
第五章 测量误差的理论基础	(68)
§ 5-1 概述	(68)

§ 5-2	偶然误差的特性	(69)
§ 5-3	评定精度的标准	(71)
§ 5-4	误差传播定律	(74)
§ 5-5	等精度观测	(77)
§ 5-6	不等精度观测	(80)
§ 5-7	水准网多边形平差法	(86)
§ 5-8	最小二乘法原理	(90)
	练习题	(93)
第六章	控制测量	(95)
§ 6-1	控制测量概述	(95)
§ 6-2	导线测量的外业	(97)
§ 6-3	单一导线的计算	(99)
§ 6-4	结点导线的平差计算	(106)
§ 6-5	边角网测量	(108)
§ 6-6	交会定点	(110)
§ 6-7	三、四等水准测量	(113)
§ 6-8	三角高程测量	(115)
§ 6-9	电子全站仪及其在控制测量中的应用	(117)
§ 6-10	距离的改化与坐标的换带	(122)
	练习题	(126)
第七章	地理信息采集与地形图成图方法	(130)
§ 7-1	地理信息及其采集方法	(130)
§ 7-2	地形图的基本知识	(133)
§ 7-3	地物在大比例尺图上的表示方法	(136)
§ 7-4	地貌在大比例尺图上的表示方法	(138)
§ 7-5	传统的测图方法	(141)
§ 7-6	航测像片成图	(147)
§ 7-7	全站仪数字化测图	(150)
§ 7-8	地籍测量	(154)
	练习题	(156)
第八章	地理信息的应用	(158)
§ 8-1	概述	(158)
§ 8-2	地形图应用的基本内容	(159)
§ 8-3	地形图在工程设计中的应用	(161)
§ 8-4	地形图在土地平整中的应用	(163)
§ 8-5	地形图在城市建设中的应用	(165)
§ 8-6	地理信息系统在城市管理中的应用	(166)
§ 8-7	数字地形图的应用	(167)
§ 8-8	面积计算	(168)

练习题	(171)
第九章 全球定位系统技术	(174)
§ 9-1 全球定位系统技术概述	(174)
§ 9-2 全球定位系统的组成	(175)
§ 9-3 GPS 定位的原理	(177)
§ 9-4 GPS 接收机简介	(179)
§ 9-5 GPS 定位测量实施	(180)
§ 9-6 GPS 网测量数据处理	(184)
§ 9-7 GPS 技术在工程中的应用	(189)
§ 9-8 RTK 技术及其在工程中的应用	(191)
练习题	(192)
第十章 测设的基本工作	(193)
§ 10-1 测设已知水平距离的直线	(193)
§ 10-2 测设已知角值的水平角	(194)
§ 10-3 测设已知高程	(195)
§ 10-4 测设已知坡度的直线	(196)
§ 10-5 点的平面位置的测设	(197)
§ 10-6 用全站仪测设点的平面位置和高程位置	(198)
练习题	(199)
第十一章 建筑施工测量	(200)
§ 11-1 概述	(200)
§ 11-2 建筑场地的施工平面控制测量	(200)
§ 11-3 建筑物平面位置的测设	(204)
§ 11-4 厂房构件的安装测量	(206)
§ 11-5 建筑场地的高程控制与高程传递	(208)
§ 11-6 高层建筑物轴线的竖向投测	(209)
§ 11-7 高耸建(构)筑物的施工测量	(212)
§ 11-8 大型复杂建筑物定位测量	(213)
练习题	(221)
第十二章 线路工程定线测量	(222)
§ 12-1 概述	(222)
§ 12-2 交点测设和转角测定	(223)
§ 12-3 单圆曲线和复曲线主点的测设	(225)
§ 12-4 圆曲线的详细测设	(227)
§ 12-5 缓和曲线的测设	(230)
§ 12-6 回头曲线的测设	(237)
§ 12-7 困难地段圆曲线及缓和曲线的测设	(241)
§ 12-8 高速公路平面线型和对测量的要求	(243)
§ 12-9 线路工程中线桩坐标推算	(246)

§ 12-10	路线纵断面水准测量	(250)
§ 12-11	横断面测量	(254)
§ 12-12	全站仪在线路工程中的应用	(257)
	练习题	(257)
第十三章	线路工程施工测量	(260)
§ 13-1	线路工程路基施工测量	(260)
§ 13-2	桥梁工程施工测量	(264)
§ 13-3	隧道工程施工测量	(268)
§ 13-4	管道工程施工测量	(272)
	练习题	(275)
第十四章	变形测量	(278)
§ 14-1	变形测量的目的与精度要求	(278)
§ 14-2	垂直位移测量	(279)
§ 14-3	水平位移测量	(281)
§ 14-4	倾斜测量	(283)
§ 14-5	裂缝测量	(285)
§ 14-6	日照变形测量	(285)
§ 14-7	电子滑动式测斜仪在变形测量中的应用	(286)
	练习题	(290)
附录	一级注册结构工程师考试北京辅导教材基础考试部分工程测量习题	
	(2001—) 选编	(291)
	主要参考文献	(300)

第一章 绪 论

§ 1-1 土木工程测量的任务

一、测量学的分类

测量学是一门研究地球形状、大小和确定地面、空中、地下、海洋等物体位置以及对这些位置信息进行研究、处理、存储、管理和应用的科学。根据研究对象、采用技术手段和应用的不同,分为以下几个学科。

(1) 大地测量学 研究地球形状、大小、地球重力场以及广阔地面上建立国家大地控制网的理论、技术和方法的科学,是整个测量学的基础理论学科。在计算与制图过程中都要考虑地球曲率的影响。大地测量学又可分为常规大地测量学和卫星大地测量学。

(2) 普通测量学 研究地球表面较小区域内测量与制图的理论、技术和方法的科学。在测绘过程中不考虑地球曲率的影响,用平面代替地球曲面;根据需要建立小地区的控制网,并测绘各种比例尺地形图;进行一般的工程测量。

(3) 摄影测量学 研究利用摄影或遥感技术获取被摄物体的信息,以确定物体的形状、大小、性质及空间位置的理论、技术和方法的科学。由于摄影方式的不同,又分为航空摄影测量、地面摄影测量、航天摄影测量及水下摄影测量等。遥感技术正高速发展,摄影方式和研究对象日益多样化。

(4) 工程测量学 研究工程建设在勘测、设计、施工、竣工验收和运行管理中进行各种测量的理论、技术和方法的科学。由于对象不同,分为建筑工程测量、线路工程测量、桥隧测量和矿山测量等。

(5) 海洋测量学 研究地球表面水体(江、湖和海洋)、港口、航道及水下地貌等测量的理论、技术和方法的科学。

(6) 地图制图学 研究利用测量成果制作各种地图的理论、工艺和方法的科学。其研究内容包括地图编制、地图投影、地图整饰及电子地图的制作与应用。

在国民经济建设中,例如铁路和公路线路的选线与修建、城市居民点以及工业企业的布置与建设、水利灌溉工程的建设、各种资源的勘察开发、农业基本建设等,都需要利用测量提供的资料和图纸进行规划设计,选定经济合理的方案,并通过测量配合各项工程的施工,保证设计意图正确执行。竣工后还要编绘竣工图,以满足工程的使用、管理、维修以至扩建的需要。在国防建设上,国界的划定、国防工程的修建、战略战术的部署和具体军事行动的指挥等,都需要详细、准确的地形图和测量数据作为依据。在科学研究方面,一些以地球为研究对象或与地球有密切关系的学科,如地球形状和大小、地壳升降、海陆变迁、地震预报,以及近代航天技术的发展,都需要测量提供资料或作为研究手段。

二、土木工程测量的任务

土木工程测量属于普通测量学和工程测量学的范畴,其主要任务如下。

(1) 研究局部区域的控制测量和平差计算的理论及方法 控制测量及误差知识是所有测量的基础,这里将具体研究讨论平面控制和高程控制的布设、施测、平差计算、数据处理,还要讨论角度、距离、高差、坐标等测量的仪器和方法。

(2) 研究局部区域测绘地形图的理论和方法 地形图是土木工程勘测、规划、设计的依据,研究局部地区投影理论以及将测量资料按需要制作成地形图或电子地图的原理和方法。

(3) 研究讨论在地形图上进行规划和设计的方法 研究线路工程例如铁路和公路利用地形图选线、房屋设计和区域规划利用地形图定位、利用地形图进行土地平整和土方计算等。

(4) 研究建筑物施工放样及建筑物质量检验技术 施工放样测量是工程施工的依据,土木工程测量是研究和讨论将设计好的图纸以规定精度把建筑物、构筑物标定在实地上的测设工作的理论和方法,还要研究施工安装中的监测技术,以保证施工质量。

(5) 研究讨论大型建筑物施工和运行过程中的变形测量技术和观测方法 建筑物、构筑物在施工和运行阶段,由于受自重和外力的影响,很可能发生水平和垂直位移,变形测量理论和方法是土木工程测量的重要内容。

土木工程测量在土木建筑工程、交通工程、市政工程、水利工程、环境工程、桥隧工程、工程管理及农林建设中有着广泛的应用,学习本课程的目的要求掌握土木工程测量的基本知识、基本理论和基本操作技能,并灵活应用于有关专业工作中。

§ 1-2 测量坐标系与地面点位的确定

一、基准线和基准面

在测量学中,某点的基准线就是通过该点的铅垂线。所谓铅垂线,就是地面上一点的重力方向线。如果悬挂一垂球,当它静止时所指的方向就是重力方向。

测量主要是以地球为工作对象,地球表面起伏不平,有高山、深谷、平原、海洋等,称之为地球的自然表面。由于地球表面约 71% 是海洋,可以假想把静止不动的海平面延伸穿过陆地,包围了整个地球,形成一个闭合的曲面,这个曲面称为水准面;水准面的特点是面上任意一点的铅垂线都垂直于该点的曲面。位于不同高度的水准面可以有无数个,而以通过平均海水面的那个称为大地水准面,它就是点位投影和计算高程的基准面,由这个面所围成的几何形状称为大地球体,可以把它看做是地球的实际形状。

由于地球内部质量分布不均匀,引起铅垂线方向变化,以致大地水准面的形状相当复杂,为便于计算及制图,测量学中就选用一个和大地水准面总的形状非常接近的数学形体来代表地球形体。如图 1-1 所示,这个数学形体是椭圆 PQP_1E 绕其短轴 PP_1 旋转而成的旋转椭球体,又称地球椭球体。数个世纪以来,许多学者曾分别测算出确定地球椭球体形状和大小的元素值,即长半径 a 、短半径 b 及扁率 α 。目前,中国采用了 1979 年第 17 届国际大地测量与地球物理联合会的推荐值:

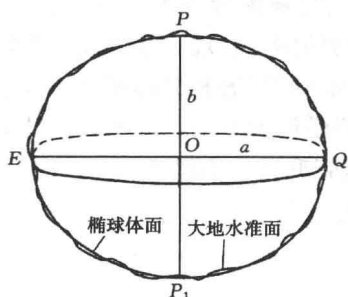


图 1-1 地球形状和大小

$$a = 6\,378.137 \text{ km}$$

$$\alpha = \frac{a - b}{a} \approx \frac{1}{298.257}$$

为了在精度许可下便于计算,可把地球近似地看成圆

球，取其半径 $R = (2a + b) / 3 \approx 6\,371\text{ km}$ ，此值已能满足一般工程测量的精度要求。

二、确定点位的坐标系

测量工作的基本任务是确定地面点位，通常是求出地面点相对于某基准面、基准线的三维坐标。下面介绍几种确定点位的坐标系，它们之间可以通过相应的关系式进行换算。

(一) 天文地理坐标系

地理坐标系是以经度和纬度表示点在大地水准面上投影的球面位置，它把整个地球置于一个坐标系中，所以又称为绝对位置。

如图 1-2 所示，地面上一点 D 的经度，即通过该点的子午面与通过格林尼治天文台的首子午面所夹的二面角，一般用 λ 表示；自首子午线以东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 为东经，以西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 为西经。通过 D 点的铅垂线和赤道平面所组成的角度称为 D 点的纬度，一般用 φ 表示；自赤道向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为北纬，向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 为南纬。一点的经纬度确定后，它的绝对位置也就确定了，例如北京中华世纪坛中心标志点的地理坐标为东经 $116^\circ 18' 54''.8$ ，北纬 $39^\circ 54' 37''.0$ 。天文地理坐标系在地面上用天文测量方法测定。

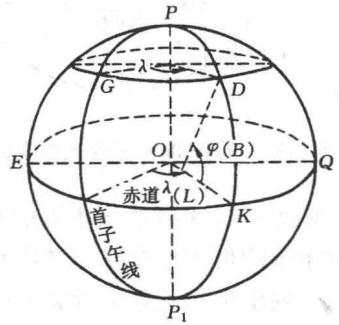


图 1-2 天文、大地地理坐标系

(二) 大地地理坐标系

大地地理坐标是用大地经度 L 和大地纬度 B 表示地面点投影在地球椭球面的位置。确定球面经度和纬度的基准线是椭球面的法线，基准面是包括法线及南北极的大地子午面，如图 1-2 所示，某点的大地经度 L 是该点的大地子午面与首子午面的夹角，某点的大地纬度 B 是过该点椭球面法线与赤道平面的夹角。大地经纬度是根据一个起始的大地原点（该点的大地经纬度与天文经纬度一致）的大地坐标，并根据大地测量所得数据推算而得到的。

中国目前最常用的大地坐标系有如下三种。

1. 1954 北京坐标系

中国天文大地网建立初期，1953 年利用中国东北边境的呼玛、吉拉林、东宁三个一等三角锁点，经过与苏联 1942 年普尔科沃天文大地网一等三角锁联测，采用克拉索夫斯基地球椭球体参数，即长半径 $a = 6\,378.245\text{ km}$ ，扁率 $\alpha = 1/298.3$ ，高程基准为 1956 高程系，原点在普尔柯沃天文台。1954 年通过天文大地网求得北京一点的坐标，以此作为中国天文大地网的起算数据，称为 1954 北京坐标系，属地心坐标系。此坐标系对中国经济、国防建设起到了重大作用，存在的问题是：采用苏联的地球椭球体参数，与近代的参数不一致；只涉及了椭球体的两个几何参数，而未涉及椭球体的物理参数；该椭球体面与中国实际情况有所出入，存在自西向东倾斜的系统误差；施测中，从原点到北京相距约 $11\,000\text{ km}$ ，联测距离长，误差大。该坐标系因存在缺点而成为中国过渡性的大地坐标系。

2. 1980 西安坐标系

中国从 1977 年起建立自己的全国统一大地坐标系，称为 1980 西安坐标系。采用的地球椭球体参数为长半径 $a = 6\,378.140\text{ km} \pm 0.005\text{ km}$ ，扁率 $\alpha = 1/298.257$ ，高程基准为 1956 高程系。其大地原点在距西安 60 km 的陕西省泾阳县永乐镇，此坐标系属于参考地心坐标系， Z 轴平行于过地球质心指向地极的方向；起始大地子午面平行于格林尼治天文台平均子午面； X 轴在起

始大地子午面内，与 Z 轴垂直并指向经度零方向；Y 轴与 Z 轴、X 轴构成右手坐标系。

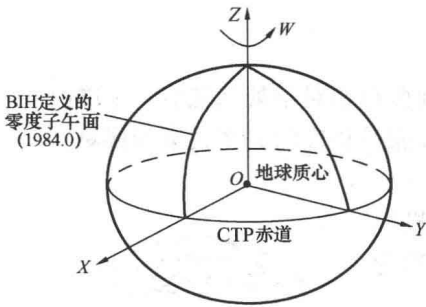


图 1-3 WGS—84 世界大地坐标系

3. WGS—84 坐标系

该坐标系为 84 全球定位系统 (world geodetic system)，是美国国防部为进行 GPS 导航定位，在 1984 年建立的地心坐标系。其几何意义是：原点位于地球质心，Z 轴指向国际时间局 (BIH) 1984.0 年为历元定义的协议地球极 (CTP) 方向，X 轴指向 BIH 1984.0 的零度子午面和 CTP 赤道的交点，Y 轴与 Z 轴、X 轴构成右手正交直角坐标系，如图 1-3 所示。采用的地球椭球体参数为长半径 $a = 6\,378.137\text{ km} \pm 0.002\text{ km}$ ，扁率 $\alpha = 1/298.257\,224$ 。

WGS—84 坐标系与中国的 1954 北京坐标系、1980 西安坐标系、城市坐标系、独立直角坐标系等均可相互变换，常用的方法是进行联测，即在一测区内利用 3 个以上公共点的两套坐标，列出坐标关系方程式，应用平差原理，解出 7 个变换参数后就得到变换方程式。

(三) 高斯直角坐标系

高斯直角坐标系是采用高斯横圆柱投影的方法建立的平面直角坐标系，是一种球面坐标与平面坐标相关联的坐标系系统。

高斯投影方法是地球划分为若干带，如图 1-4(a) 所示。从首子午线起，每隔经差 6° 为一带，将地球自西向东等分为 60 带，带号 N 依次为 1, 2, ..., 60。位于各带边缘的子午线称为分带子午线，位于各带中央的子午线称为中央子午线，设其经度为 λ ，则在东半球第 N 带中央子午线的经度为

$$\lambda = 6^\circ \times N - 3^\circ \tag{1-1}$$

每带独立进行投影，如图 1-4(b) 所示。投影时使地球椭球上某 6° 带的中央子午线与横椭圆

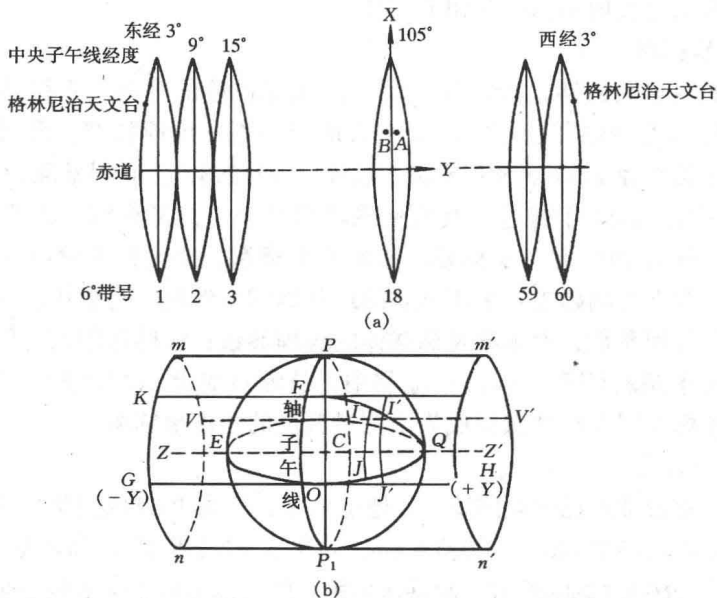


图 1-4 高斯投影与高斯直角坐标系

柱面相切，在椭圆面上的图形与圆柱面上的图形保持等角的条件下，将整个 6° 带投影到圆柱柱面上，然后将圆柱沿通过南北极的母线(mm' 及 nn')切开并展成平面，即得到 6° 带在平面上的形象。中央子午线和赤道为互相垂直的直线，分别为 X 轴和 Y 轴，交点为原点，即组成高斯平面直角坐标系。投影中，离中央子午线越远处变形越大，为减小变形也可采用 3° 带。

中国位于北半球，纵坐标均为正值，而横坐标则有正有负，为避免横坐标出现负值，规定把纵轴向西平移 500 km，并在横坐标值上冠以带号，以区别不同带的坐标，此坐标称为通用坐标。例如图 1-4(a)， A 、 B 点位于第 18 带，其自然坐标的纵坐标值 $x_A = x_B = 3\,236\,107.860$ m，横坐标 $y_A = -y_B = 056\,103.445$ m，则其通用坐标的横坐标应写为 $y_A = 18\,556\,103.445$ m， $y_B = 18\,443\,896.555$ m。

(四) 独立直角坐标系

当测区面积较小时，可不考虑地球曲率的影响，就不必进行复杂投影计算，可以直接将地面点沿铅垂线投影到水平面上，由平面直角坐标表示其投影位置。

独立平面直角坐标系规定以南北方向为纵轴，记为 X 轴，原点以北为正，原点以南为负；以东西方向为横轴，记为 Y 轴，原点以东为正，原点以西为负。原点 O 一般设定在测区的西南角，以使测区内各点的 x 、 y 坐标均为正值。

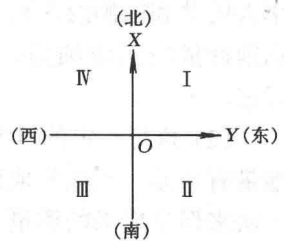


图 1-5 测量坐标系

如图 1-5 所示，高斯直角坐标系与独立直角坐标系的象限按顺时针方向编号。直线的方向按 X 轴的正向起顺时针量取夹角。用这种方式定义的测量坐标系，虽然 X 轴与 Y 轴的位置、象限顺序和直线方向的量取均与数学中不同，而数学中的公式却可直接应用到测量计算中，不需做任何变换。

(五) 建筑施工坐标系

大型建筑物、桥梁、隧道等工程中，为施工放样的方便，常用与建筑设计的主轴线平行或垂直的施工直角坐标系，称为建筑施工坐标系。将施工坐标系与国家测量坐标系联测后，可以通过坐标平移与旋转的数学关系，将两个坐标系相互换算。

三、点的高程

地面上任一点到水准面的铅垂距离称为该点的高程。地面点到大地水准面的铅垂距离称为绝对高程，又称为海拔。目前中国采用的是“1985 国家高程基准”，这个大地水准面是以青岛验潮站 1952 年至 1979 年所测定的黄海平均海面作为全国高程的统一起算面，并推得青岛水准原点高程为 72.260 m，全国各地的高程则以它为基准进行测算。原施行的 1956 年黄海高程系（青岛水准原点高程为 72.289 m，珠穆朗玛峰峰顶高程为 8 848.13 m）已废止。

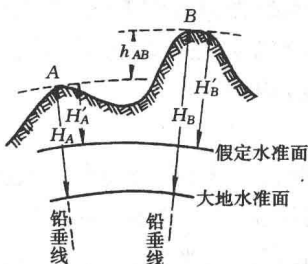


图 1-6 地面点的高程

在局部地区，也可以假定一个水准面作为高程起算面，地面上一点到假定水准面的铅垂距离称为相对高程。两点高程之差称为高差。如图 1-6 所示， A 、 B 两点的绝对高程为 H_A 、 H_B ，两点的相对高程分别为 H'_A 、 H'_B ， A 、 B 两点高差为 $h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A$ 。

自 20 世纪 60 年代以来，中国曾独立或者与国际合作，先后于

1966年、1975年、1992年、1998年、1999年和2005年对珠穆朗玛峰的高程进行了6次测定。其中2005年这一次是采用“1985国家高程基准”，运用GPS技术和雷达探测技术测定峰顶冰雪覆盖的深度，利用地球重力场模型、重力和数字地形数据，以及GPS水准资料，精化珠穆朗玛峰地区的大地水准面，提高测量精度，测得珠穆朗玛峰顶的雪面高程为8 847.93 m，该处相应的冰雪层厚度为3.50 m，峰顶岩石面高程为8 844.43 m，精度为 ± 0.21 m。

§ 1-3 测量工作的基本概念

一、测量工作的基本原则

(1) 遵守国家的测绘法律、法令和法规 土木工程测量工作是各类工程建设的先导工作，测量工作的质量直接关系到工程的质量和工期。为了保证工程测量定位正确，测量工作者必须具备与测量工作有关的法制观念，首先要遵守国家的法律、法令和法规。特别是《中华人民共和国测绘法》、《中华人民共和国建设法》、《中华人民共和国计量法》、《中华人民共和国计量法实施细则》等，还必须严格遵守有关的测量规范、规程及仪器与工具检测的规定。

(2) 执行一定的技术标准，保证精度合理 当进行测量工作时，测量成果都将不可避免地带有误差，而测量成果的使用都有一定精度要求，因此，就要有一系列的操作规定和校核方法来保证成果的质量。一方面，精度不够将不能满足工程设计与施工需要，甚至发生质量事故；另一方面，如果不顾工程实际需要而盲目追求高精度，则将造成测量工作中的人力、物力和时间的损失和浪费。

(3) 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” 为了防止测量误差逐渐传递、累积增大到不能允许的程度，首先要用较严密的方法、较精密的仪器和较严格的计算，施测一些“骨干”点位，以保证整体的精度，然后再从这些点施测另外的点。

二、控制测量、碎部测量、施工放样

(一) 控制测量

控制测量分为平面控制测量和高程控制测量。平面控制测量是将前面所说的“骨干”点组成连续的三角形，称为三角网；或组成相互连接的折线形，称为导线。用精密的仪器和较精确的方法测量它们的相对位置，并推算其坐标，这项工作称为平面控制测量，这些“骨干”点即是平面控制点。高程控制测量是由一系列水准点或三角高程点构成，亦可将三角网、导线网等平面控制点兼作高程控制点位，一般用水准测量或三角高程测量的方法测定它们的高程。这项工作称为高程控制测量。控制测量是带有全局性的工作，在比较大的测区，应根据需要按照不同的精度要求分成各种等级，逐级加密直至满足应用要求。

(二) 碎部测量

地表的外形是很复杂的，各种物体类别多种多样，地势高低起伏千差万别，在测量中将它们分为地物和地貌两种。地物是指人工建造物和自然形成的有明显轮廓的物体，如房屋、道路、沟渠、电线杆、河流和湖泊等；地貌是指地面高低起伏的形态，如平原、丘陵、山岭、河谷和洼地等。地物和地貌统称为地形。碎部测量是以控制点为依据测定碎部点（地物

和地貌的特征点)与控制点的关系。如果测量的目的只为获得地物水平投影的位置,则这种测量称为地物测量。如果既要获得地物的水平投影位置,又要获得地面的高低起伏情况,则这种测量称为地形测量。碎部测量最后成果是将测得的地物、地貌缩绘到图纸上。地物测量所取得的图称为平面图,地形测量取得的图称为地形图。

(三) 施工放样

在配合工程施工的施工测量中以控制点为依据,把图上设计的建筑物、构筑物位置标定到实地上称为施工放样,也称为测设。由于控制网是一个整体,因此,不论建筑物的范围有多大,形状有多么复杂,由各控制点测设出来的建筑物位置必能联系成为一个整体。

三、传统测量工作的三个基本观测量

测量工作的任务是确定地面点的位置,而点与点之间的相对位置关系可用距离、角度和高差来确定。如图 1-7 所示,地面点 A、B 在投影面上的位置是 a 和 b,传统的测量仪器和方法,并不能直接测出它们的坐标和高程,而是观测水平角 β_1 、 β_2 和丈量水平距离 D_1 、 D_2 ,以及施测各点之间的高差,再根据已知点 N 的坐标及高程,推算各点的点位。由此可见,角度、距离和高差是传统测量工作的基本观测量,也是确定地面点位的基本要素,称为测量三要素。

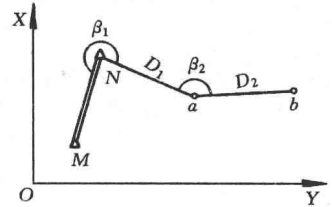
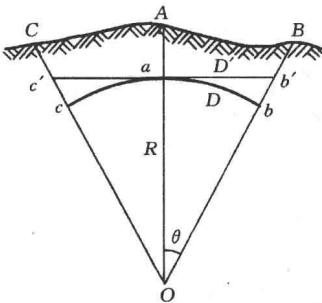


图 1-7 确定地面点平面位置的要素

应该指出,由于全站仪和 GPS 技术的应用,它们都可通过仪器内部的计算机自动计算出结果,对我们来说,则可以直接观测到待定点的坐标和高程。

§ 1-4 用水平面代替水准面的范围

如果将一个曲面铺开成平面,曲面上的图形必然产生变形。当把大地水准面上的图形测绘到平面图纸上时,只有当图形的变形不超过测量与制图误差才是许可的,因此,要研究在多大范围内才许可用水平面代替水准面。



在图 1-8 中, A、B 和 C 为地球自然表面上的点,把它们投影到大地水准面上,得到 a、b 和 c 点,此三点再投影到区域中心点 A 的大地水准面的切平面上,得到 a、b' 和 c' 点。

一、距离的变化及许可范围

用水平面上的长度 D' 代替大地水准面(近似地认为它是地球面,半径 $R = 6\,371\text{ km}$) 上的弧长 D 所产生的误差为

$$\begin{aligned} \Delta D &= D' - D = R \tan \theta - R\theta \\ &= R (\tan \theta - \theta) \end{aligned} \tag{1-2}$$

图 1-8 用水平面代替水准面 因为 $\tan \theta \approx \theta + \frac{\theta^3}{3}$ (此为 $\tan \theta$ 的级数展开式,因 θ 角很小,故已略去式中的高次项), 所以

$$\Delta D \approx R \left(\theta + \frac{\theta^3}{3} - \theta \right)$$

以 $\theta = D/R$ 代入上式, 则

$$\Delta D \approx \frac{D^3}{3R^2} \quad (1-3)$$

或

$$\frac{\Delta D}{D} \approx \frac{D^2}{3R^2} \quad (1-4)$$

以 R 值和不同的 D 值代入式 (1-4) 右边, 即可得到各对应的距离误差与该距离之比值 $\Delta D/D$, 称为相对误差, 相对误差通常化为分子为 1 的分式表示。当 $D = 10 \text{ km}$ 时, 距离误差为 8.2 mm , 相对误差为 $1/1219500$, 这在最精密的距离丈量中也是允许的, 因而在半径为 10 km 的圆面积范围内用水平面代替水准面产生的距离误差可以忽略不计, 即此时不考虑地球曲率对距离的影响。

二、高程的变化及许可范围

如图 1-8 所示, B 点对水平面的高程为 Bb' , 对水准面的高程为 Bb , 则用水平面代替水准面产生的高程误差为 $\Delta h = b'b$, 于是

$$\begin{aligned} (\Delta h + R)^2 &= R^2 + D'^2 \\ \Delta h &= \frac{D'^2}{2R + \Delta h} \end{aligned}$$

上式右边分母中, Δh 与 $2R$ 相比可以忽略不计, 再以 D 代替分子中的 D' , 则

$$\Delta h \approx \frac{D^2}{2R} \quad (1-5)$$

当 D 分别为 0.2 km 、 1 km 和 2 km 时, 代入式 (1-5), 求得相应的 Δh 分别为 3 mm 、 8 cm 和 31 cm 。因此, 用水平面代替水准面对高程的影响在较小范围内也不能忽略, 而要采取一定的操作措施或加曲率改正。

三、平面角的变化及许可范围

由于球面三角形内角和与平面三角形内角和之差为球面角超

$$\epsilon'' = \frac{S}{R^2} \cdot \rho \quad (1-6)$$

式中: S 为三角形面积; $\rho = 206265''$ 。

当 $S = 100 \text{ km}^2$ 时, $\epsilon \approx 0.5''$, 这在一般工程测量中可忽略不计。因此, 在 100 km^2 的范围内, 用水平面代替水准面, 测水平角可不顾及地球曲率的影响。

练 习 题

1. 土木工程测量的任务是什么?
2. 确定地面点位常采用哪几种坐标系? 1980 西安坐标系、WGS-84 坐标系是如何定义的?
3. 什么是大地水准面? 它有什么特性? 其作用为何?
4. 什么是绝对高程? 什么是相对高程?
5. 今测得地面两点 A 、 B 相对高程分别为 $H'_A = 85.324 \text{ m}$, $H'_B = 47.223 \text{ m}$, 其作为基准面的假定水准面的绝对高程为 58.721 m 。问: A 、 B 两点的绝对高程 H_A 、 H_B 各为多少? 试