



国家示范性高等职业院校课程改革教材

测量技术

(道路桥梁工程技术专业用)



◎ 主编 马真安



人民交通出版社
China Communications Press

国家示范性高等职业院校课程改革教材

Celiang Jishu

测量技术

(道路桥梁工程技术专业用)

马真安 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书是国家示范性高等职业院校课程改革教材,以工学结合、任务驱动、项目导向为教学理念,融入测量领域的新技术、新设备编写而成。内容包括:课程导入,水准点的高程测量,导线测量,地形图测绘与应用,道路中桩测设及纵横断面测量。

本书是高职高专院校道路桥梁工程技术及其相关专业教学用书,也可作为职业技能培训教材使用,或供从事测量工作的工程技术人员和管理人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

测量技术/马真安主编. —北京:人民交通出版社,
2009.12

ISBN 978-7-114-08036-4

I. 测… II. 马… III. 测量学—高等学校:技术学校—
教材 IV. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 210167 号

国家示范性高等职业院校课程改革教材

书 名: 测量技术 (道路桥梁工程技术专业用)

著 作 者: 马真安

责任编辑: 周往莲

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 10.5

字 数: 251 千

版 次: 2009 年 12 月第 1 版

印 次: 2009 年 12 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-08036-4

定 价: 29.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

道路桥梁工程技术专业课程改革教材 编审委员会

主 任:张亚军

副主任:王 彤 徐雅娜

委 员:欧阳伟 于仁财 姚 丽 赵永生 李云峰

于国锋 于忠涛 刘存柱 吴青伟 郑宝堂

董天文 马真安 张 辉 李立军 王力强

朱芳芳 才西月 高宏新 韩丽馥 李 波

郝晓彬 马 亮 毛海涛 王卓娅 王加弟

李光林 张新财 刘云全 王奕鹏 李荫国

孙守广 李连宏 杨彦海 赵 晖 胥繁荣

付 勇 谷力军 戴国清

序 言

教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号)明确指出:“高等职业教育作为高等教育发展中的一个类型,肩负着培养面向生产、建设、服务和管理第一线需要的高技能人才的使命”。探索类型发展道路、构建高技能人才培养模式、开发特色教学资源,是高职院校的历史责任。

2006年,辽宁省交通高等专科学校进入国家首批高等职业教育示范院校建设行列,道路桥梁工程技术专业是重点建设专业之一。几年来,该专业团队积极在“类型”概念下探索高等职业教育教学资源建设模式和“高技能人才”培养规格及培养模式。通过对公路建设工程整个过程各阶段的职业岗位和典型工作任务的调研、分析、论证,确定了面向施工一线的道路桥梁工程技术专业高技能人才的专业能力规格,即工程勘察与初步道桥设计、工程概算与招投标、材料试验与检测、道桥工程施工与组织、质量验收与评定“五项能力”规格,并结合北方地域气候特点,构建了教学安排与施工季节相结合,教学内容与施工过程相结合,校内实训与企业顶岗实习相结合的“三个结合”人才培养模式。针对“五项能力”,按照“三个结合”,着眼于实际操作、技术跟踪、综合素质,系统开展课程体系、课程内容改革,并进行相应的教学资源建设,力图通过“在学习中工作,在工作中学习”的教学过程,实现高技能人才的培养目标。

本次出版的系列教材,是专业课程改革和教学资源建设的阶段性成果,是国家示范性建设成果的组成部分,也是全体专业教师、一线工程技术人员共同的智慧结晶和劳动成果。

在教材的开发过程中,得到教育部、国家示范性高等职业院校建设工作协作委员会、辽宁省教育厅等各级领导和诸多专家的关心指导,得到众多企业、行业及兄弟院校的大力支持,在此一并致以崇高的谢意!

由于开发时间短,教学检验尚不充分,错误和不当之处难免,敬请专家、同行指教!

道路桥梁工程技术专业教材开发组
二〇〇九年四月

前 言

目前,测绘科学已成为与信息技术紧密结合的科学技术,是研究空间技术、地球科学及进行各类土木工程建设所不可缺少的重要学科。

在测绘科学已发生巨大变革和发展的情况下,测量技术作为高等学校测绘、土木工程、交通工程、建筑学等专业领域的一门重要技术基础课,其教学内容及教学形式也势必需要进行不断的更新和完善,以适应时代发展和培养各类专门人才的需要。这本《测量技术》正是编者在总结以往教学经验,为满足教学改革的需要,结合测量领域的新技术发展而编写的。书中融入了当今测量发展的许多新技术、新内容,使教材在强调基本理论的同时,具有一定的先进性和实用性。在内容编排上,充分考虑到工学结合、任务驱动、项目导向这种先进的教学理念,对高职高专人才培养及课程改革都具有非常重要的指导意义。

本书由辽宁省交通高等专科学校马真安编写课程导入和项目一,吴文波和张慧慧编写项目二,王春波编写项目三,高小六编写项目四,全书由马真安统稿并担任主编,吴文波提出了修改意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和疏漏之处,恳请读者批评指正。

编 者
2009 年 5 月

目 录

课程导入	1
知识检验	11
项目 1 水准点的高程测量	13
工作任务 1 用水准仪完成等外水准测量	14
工作任务 2 用水准仪完成三、四等水准测量	26
完成项目要领提示	28
知识小结	29
知识检验	30
项目综合训练	32
项目 2 导线测量	33
工作任务 1 用经纬仪完成角度测量	34
工作任务 2 用罗盘仪测定直线磁方位角	46
工作任务 3 用全站仪完成距离及角度测量	49
工作任务 4 用全站仪完成一条导线测量	56
工作任务 5 用全站仪完成三角高程测量	68
工作任务 6 用全站仪完成三维坐标测量	71
完成项目要领提示	77
知识小结	77
知识检验	80
项目综合训练	83
项目 3 地形图测绘与应用	84
工作任务 1 识读地形图	85
工作任务 2 完成某一区域的地形图测绘	93
工作任务 3 应用地形图	105
完成项目要领提示	112
知识小结	113
知识检验	114
项目综合训练	115
项目 4 道路中桩测设及纵横断面测量	116
工作任务 1 用常规方法放样中桩	117
工作任务 2 用全站仪放样中桩	130
工作任务 3 用 GPSRTK 放样平面点位	135
工作任务 4 道路纵、横断面测量	144
工作任务 5 高程放样	148

完成项目要领提示.....	150
知识小结.....	151
知识检验.....	154
项目综合训练.....	156
参考文献.....	157

一、测量学的任务和作用

测量学是测绘科学的重要组成部分,是研究地球的形状和大小以及确定地球表面(含空中、地表、地下和海洋)物体的空间位置,并对这些空间位置信息进行处理、储存、管理的科学。

测量学的内容包括测绘和测设两个部分。测绘是指使用测量仪器和工具,通过测量和计算,得到一系列测量数据,或把地球表面的地形缩绘成地形图。测设是指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。

测绘科学是一门既古老又在不断发展中的学科。按照研究范围和对象及采用技术的不同,可以分为以下多个学科。

大地测量学:是研究测定地球的形状和大小及地球重力场的测量方法、分布情况及其应用的学科。

摄影测量学:是研究利用航天、航空、地面摄影和遥感信息进行测量的方法和理论的学科。

地形测量学:是研究将地球表面局部地区的地貌、地物测绘成地形图和编制地籍图的基本理论和方法。

地图制图学:是利用测量、采集和计算所得的成果资料,研究各种地图的制图理论、原理、工艺技术和应用的学科。研究内容包括地图编制、地图投影学、地图整饰、印刷等。这门学科正在向制图自动化、电子地图制作及地理信息系统方向发展。

工程测量学:是研究工程建设在勘测设计、施工过程和管理阶段所进行的各种测量工作的学科。主要内容有工程控制网的建立、地形测绘、施工放样、设备安装测量、竣工测量、变形观测和维修养护测量等。工程测量学是一门应用科学,它是在数学、物理学等有关学科的基础上应用各种测量技术解决工程建设中实际测量问题的学科。随着激光技术、光电测距技术、工程摄影测量技术、快速高精度空间定位技术在工程测量中的应用,工程测量学的服务面越来越广,特别是现代大型工程的建设,大大促进了工程测量学的发展。

测量在公路工程建设中占有非常重要的地位,从公路与桥梁的勘测设计,到施工放样、竣工检测无不用到测绘技术。例如公路在建设之前,为了确定一条经济合理的路线,必须进行路线勘测,绘制带状地形图和纵、横断面图,并在图上进行路线设计,然后将设计路线的位置标定在地形图上,以便进行施工。当路线跨越河流时,必须建造桥梁,在建桥之前,测绘桥址河流两岸的地形图,测量河床断面、水位、流速、流量和桥梁轴线的长度,以便设计桥台桥墩的位置,最后将设计位置测设到实地。当路线跨越高山时,为了降低路线的坡度,减少路线的长度,多采用隧道穿越高山。在隧道修建之前,应测绘隧址大比例尺地形图,测定隧道轴线、洞口、竖井等位置,为隧道设计提供必要的的数据。在隧道施工过程中,还需要不断地进行贯通测量,以保证

隧道构造物的平面位置和高程正确贯通。

“天时、地利、人和”是打胜仗的三大要素。要有地利就要了解和利用地利。地图上详细标示着山脉、河流、道路、居民点等地形和地物,具有确定位置、辨识方向的作用。地图一直在军事活动中起着重要的作用,这对于行军、布防以及了解敌情等军事活动都是十分重要的。因此,地图早就成为军事上不可缺少的工具,获得广泛的应用;人造卫星定位技术早期用于军事部门,后逐步解密才在测绘及其他众多部门中获得应用;海洋测量技术首先是由航海的需要而产生,但其高速发展的动力主要来自军事部门的需要……等等。至今,军事测绘部门仍在测绘领域科技前沿对重大课题进行探索和研究。传统上各国测绘部门隶属于军事部门,至今,相当多国家的测绘部门仍然隶属于军事部门。随着测绘技术在各方面的应用越来越广泛,国际间测绘科技的交流日益频繁,不少国家终于建立了民用的测绘机构。

测量学的起源和土地界线的划定有着紧密的联系。非洲尼罗湖每年泛滥会把土地的界线冲刷掉,为了每年恢复土地的界线很早就采用了测量技术。早期亦称“土地测量”、“土地清丈”等,用以测定地块的边界和坐落位置,求算地块的面积。在农业为主的社会里,国家为了征税而开展地籍测量,同时记录业主姓名和土地用途等。在我国,地籍测量是国家管理土地的基础。地籍测量的成果不仅用于征税,还用于管理土地的权属,以保障用地的秩序,也为了提高土地利用的效益、合理和节约利用十分珍贵和有限的土地。

二、我国测绘技术及 3S 技术发展概况

中华人民共和国成立后,测绘事业有了很大的发展,建立和统一了全国坐标系统和高程系统;建立了遍及全国的大地控制网、国家水准网、基本重力网和卫星多普勒网;完成了国家大地网和水准网的整体平差;完成了国家基本图的测绘工作;完成了珠穆朗玛峰和南极长城站的地理位置和高程的测量;配合国民经济建设进行了大量的测绘工作,例如进行了南京长江大桥、葛洲坝水电站、宝山钢铁厂、北京正负电子对撞机等工程的精确放样和设备安装测量。出版发行了地图 1 600 多种,发行量超过 11 亿册。在测绘仪器制造方面,从无到有,现在不仅能生产一系列的光学测量仪器,还研制成功各种测程的光电测距仪、卫星激光测距仪和解析测图仪等先进仪器。在培养测绘人才方面,已培养出各类测绘技术人员数万名,大大提高了我国测绘科技水平。特别是近年来,我国测绘科技发展更快,例如,GPS 全球定位系统已得到广泛应用,全国 GPS 大地网即将完成;地理信息系统方面,我国第一套实用电子地图系统(全称为国务院国情地理信息系统)已在国务院常务会议室建成并投入使用。这说明,我国目前的测绘科技水平,虽与国际先进水平相比还有一定的差距,但只要发愤图强,励精图治,是能迅速赶上和超过国际测绘科技水平的。

1. GPS 全球定位系统(Global Position System)

全球定位系统是美国国防部为满足其军事部门海、陆、空高精度导航、定位和定时的要求而建立的一种卫星定位和导航系统。它由 24 颗工作卫星组成,其中包括 3 颗可随时启动的备用卫星。工作卫星均匀分布在 6 个相对于赤道面倾角为 55° 的近似圆形轨道面内,每个轨道面上有 4 颗卫星,轨道之间的夹角为 60° ,轨道平均高度为 20 200km,卫星运行周期为 11h58min。同时,在地平线以上的卫星数目随时间和地点而异,最少为 4 颗,最多时达 11 颗。保证在地球任一点任一时刻均可收到 4 颗以上卫星的信息,实现实时定位。

我国 GPS 技术研究和应用可分为两个阶段,第一阶段是 20 世纪 80 年代,以测绘领域的应用为主,引进 GPS 技术和接收机,开发 GPS 测量数据处理软件,以静态定位为主,现在全国施

测几千个各种精度的 GPS 点,其中包括国家 A、B 级网点。第二阶段是进入 20 世纪 90 年代,随着差分 GPS 技术的发展,GPS 定位从静态扩展到动态,从事后处理扩展到实时或准实时定位和导航。

2. 遥感技术(Remote Sensing)

遥感是指从远距离高空以信号层空间的各种平台上利用可见光、红外、微波等电磁波探测仪器,通过摄影和扫描、信息感应、传输和处理,从而研究地面物体的形状、大小、位置及其环境相互关系与变化的现代科学技术。

现代遥感技术具有以下特点:

(1)传感器不断更新。目前除了框幅式可见光黑白摄影、多谱摄影、彩色摄影、新红外摄影、紫外摄影仪器外,还有全景摄影机、红外扫描仪、红外辐射仪、多谱段扫描仪、成像光谱仪、合成孔径雷达和激光测高仪等。这些传感器用不同的方式,对电磁波不同的谱段所获得的对地观测数据,以硬拷贝的返回方式和软拷贝的传输方式提供原始的遥感数据。

(2)影像分辨率形成多级序列,可提供从粗到精的对地观测数据,全面体现在空间分辨率上。例如美国空间成像地球观测卫星公司其卫星影像分辨率可达到 1m。多级分辨率的实现,人们可以在粗分辨率的影像上快速发现可能发生变化的地区,进而在精分辨率的影像上详细分析研究这些变化情况。

(3)多时相特征,可以反复获得同一地区的影像数据。这种多时相性为人们提供了长期、系统、全面和动态研究地球表面变化规律的可能性、客观性和科学性。

我国遥感技术发展已从单纯的应用国外卫星资料到发射自主设计的遥感卫星,如气象研究的风云系列卫星。遥感图像处理技术也取得很大发展,如机载 224 波段成像光谱仪、全数字摄影测量系统等。

3. GIS 地理信息系统(Geographic Information System)

地理信息系统是以采集、存储、描述、检索、分析和应用与空间位置有关的相应属性信息的计算机系统,它是集计算机、地理、测绘、环境科学、空间技术、信息科学、管理科学、网络技术、现代通信技术、多媒体技术为一体的多学科综合而成的新兴学科。

GIS 有两个显著特征:一是它不仅像传统的数据库管理系统那样管理数字和属性信息,而且可以管理空间图形信息;二是它可以利用各种空间分析的方法,对多种不同的信息进行综合分析,寻求空间实体间的相互关系,分析处理在一定区域内分布的现象和过程。

目前,GIS 正向多功能、高精度、现势性强的方向发展。如 TGIS(TemporalGIS),研究区域随时间的演变来推测和预报“未来”,并作出科学的分析。3DGIS(三维 GIS),研究图像可视性,利用空间位置来探索空间影响。多媒体技术导入 GIS 中,使 GIS 的功能更强大,具有声音、动画等效果,可以模拟人类、动物的特征,更具有智能化。网络 GIS(WebGIS)也是当前研究领域另一个热门话题,使 GIS 的媒介对象更丰富,从而与社会、人类生活密不可分。

我国 GIS 的发展和应用较为迅速和广泛,已经成功开发出 MapGIS、Geostar、Citystar 等软件,综合和专题 GIS 的开发数不胜数。

三、地面点的坐标系统

我们知道,地面点是相对于地球定位的。如果选择一个能代表地球形状和大小且相对固定的理想曲面作为测量的基准面,就可以用地面点在基准面上的投影位置和高度来确定地面点空间位置。

1. 测量的基准面

实际测量工作是在地球的自然表面上进行的,而地球自然表面是很不规则的,有陆地、海洋、高山和平原,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%,陆地面积占 29%。人们把地球总的形状看做是被海水包围的球体,也就是设想有一个自由平静的海水面,向陆地延伸而形成一个封闭的曲面,我们把这个自由平静的海水面称为水准面。水准面是一个处处与重力方向垂直的连续曲面。如图 0-1a) 所示。

水准面在小范围内近似一个平面,而完整的水准面是被海水包围的封闭曲面。因为符合上述水准面特性的水准面有无数个,其中最接近地球形状和大小的是通过平均海水面的那个水准面,这个唯一而确定的水准面叫大地水准面,大地水准面就是测量的基准面,如图 0-1b) 所示。

由于地球内部质量分布不均匀,导致地面上各点的重力方向(即铅垂线方向)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。如果将地面上的图形投影到这个不规则的曲面上,将无法进行测量计算和绘图,为此,必须用一个和大地水准面的形状非常接近的、可用数学公式表达的几何形体来代替大地水准面。在测量上是选用椭圆绕其短轴旋转而成的参考旋转椭球体面,作为测量计算的基准面,如图 0-1c) 所示。

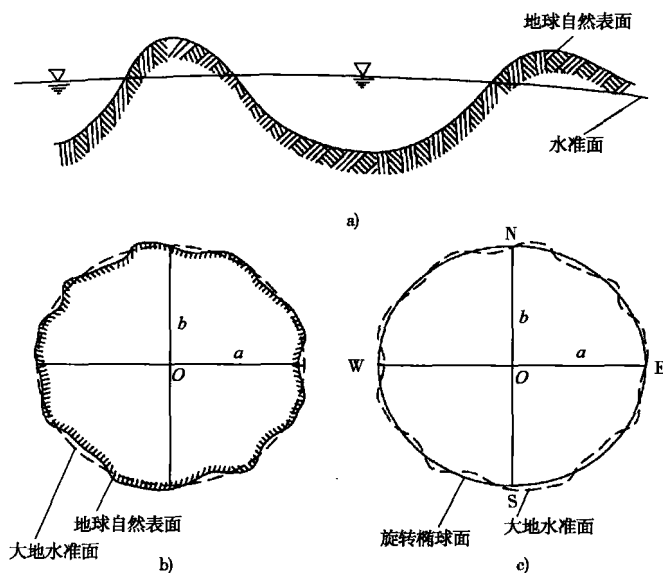


图 0-1 “三面”图

a) 地表面与水准面示意图; b) 地表面与大地水准面示意图; c) 大地水准面与旋转椭球面示意图

目前,我国所采用的参考椭球体是“1980 年国家大地坐标系”,其参考椭球体元素为:

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

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

$$\text{扁率 } \alpha = \frac{(a-b)}{a} = \frac{1}{298.257} \quad (0-1)$$

通常把地球椭球体当作圆球看待,取其平均半径为 6 371km。

2. 地面点的坐标系

地面点在投影面上的坐标,根据具体情况,可选用下列三种坐标系中的一种来表示。

1) 大地坐标系

在大地坐标系中,地面点在旋转椭球面上的投影位置用大地经度 L 和大地纬度 B 来表示。如图 0-2 所示。NS 为椭球的旋转轴, N 表示北极, S 表示南极, O 为椭球中心。

通过椭球中心与椭球旋转轴正交的平面称为赤道平面。赤道平面与地球表面的交线称为赤道。

通过椭球旋转轴的平面称为子午面。其中通过英国伦敦格林尼治天文台的子午面称为起始子午面。子午面与椭球面的交线称为子午线。

图 0-2 中 P 点的大地经度就是通过该点的子午面与起始子午面的夹角,用 L 表示,从起始子午面算起,向东自 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为东经;向西自 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称为西经。

P 点的大地纬度就是该点的法线(与椭球面垂直的线)与赤道面的交角,用 B 表示。从赤道面起算,向北自 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为北纬;向南自 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称为南纬。

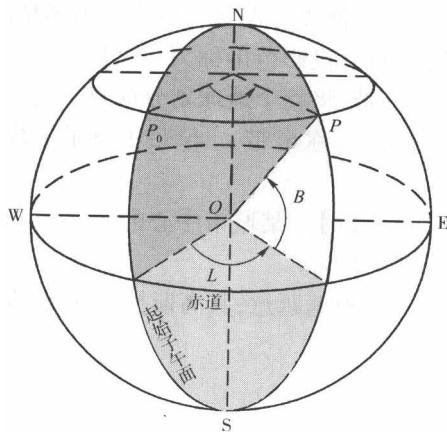


图 0-2 旋转椭球体

大地经度 L 和大地纬度 B 统称大地坐标。地面点的大地坐标是根据大地测量数据由大地原点(大地坐标原点)推算而得的。我国“1980 年国家大地坐标系”的大地原点位于陕西省泾阳县永乐镇境内,在西安市以北约 40km 处。以前使用的“1954 年北京坐标系”是建国初期从原苏联引测过来的。

2) 高斯平面直角坐标系

高斯投影是地球椭球体面正形投影于平面的一种数学转换过程。为说明简单起见,可以用下面形象的投影过程来解说这种投影规律。

如图 0-3a) 所示,设想将截面为椭圆的一个椭圆柱横套在地球椭球体外面,并与椭球体面上某一条子午线(如 NDS)相切,同时使椭圆柱的轴位于赤道面内并通过椭球体中心。椭圆柱面与椭球体面相切的子午线称为中央子午线。若以椭球中心为投影中心,将中央子午线两侧一定经差范围内的椭球图形投影到椭圆柱面上,再顺着过南、北极点的椭圆柱母线将椭圆柱面

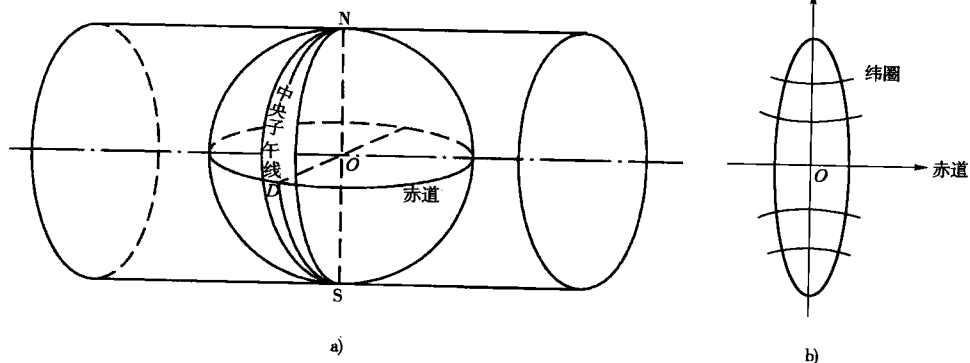


图 0-3 高斯投影

a) 投影过程示意图; b) 高斯投影带

剪开,展成平面,如图 0-3b) 所示,这个平面就是高斯投影平面。

在高斯投影平面上,中央子午线投影为直线且长度不变,赤道投影后为一条与中央子午线正交的直线,离开中央子午线的线段投影后均要发生变形,且均较投影前长一些。离开中央子午线越远,长度变形越大。

为了使投影误差不致影响测图精度,规定以经差 6° 或更小的经差为准来限定高斯投影的范围,每一投影范围称为一个投影带。如图 0-4a) 所示, 6° 带是从 0° 子午线算起,以经度每隔 6° 为一带,将整个地球划分成 60 个投影带,并用阿拉伯数字 1、2、 $\dots$ 、60 顺次编号,称为高斯 6° 投影带(简称 6° 带)。 6° 带中央子午线经度 L_0 与投影带号 N_e 之间的关系式为:

$$L_0 = N_e \times 6^\circ - 3^\circ \quad (0-2)$$

【例题】某城市中心的经度为 $116^\circ 24'$, 求其所在高斯投影 6° 带的中央子午线经度 L_0 和投影带号 N_e 。

解:根据题意,其高斯投影 6° 带的带号为:

$$N_e = \text{INT}\left(\frac{116^\circ 24'}{6} + 1\right) = 20$$

(INT——取整数)

中央子午线经度为:

$$L_0 = 20 \times 6^\circ - 3^\circ = 117^\circ$$

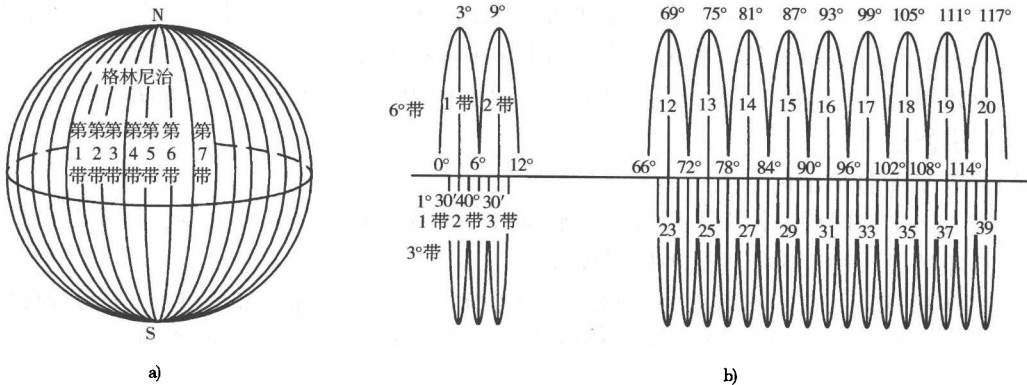


图 0-4 高斯投影平面

a) 投影分带; b) 投影平面

对于大比例尺测图,则需采用 3° 带或 1.5° 带来限制投影误差。 3° 带与 6° 带的关系如图 0-4b) 所示。 3° 带是以东经 $1^\circ 30'$ 开始,第一带的中央子午线是东经 3° 。

采用分带投影后,由于每一投影带的中央子午线和赤道的投影为两正交直线,故可取两正交直线的交点为坐标原点。中央子午线的投影线为坐标纵轴 X 轴,向北为正;赤道投影线为坐标横轴 Y 轴,向东为正,这就是全国统一的高斯平面直角坐标系。

我国位于北半球,纵坐标均为正值,横坐标则有正有负,如图 0-5a) 所示, $Y_a = +148\ 680.54\text{m}$, $Y_b = -134\ 240.69\text{m}$ 。为了避免横坐标出现负值和标明坐标系所处的带号,规定将坐标系中所有点的横坐标值加上 500km (相当于各带的坐标原点向西平移 500km),并在横坐标前冠以带号。如图 0-5b) 中所标注的横坐标为: $Y_a = 20\ 648\ 680.54\text{m}$, $Y_b = 20\ 365\ 759.31\text{m}$ 。这就是高斯平面直角坐标的通用值,最前两位数 20 表示带号,不加 500km 和带号的横坐标值称为自然值。

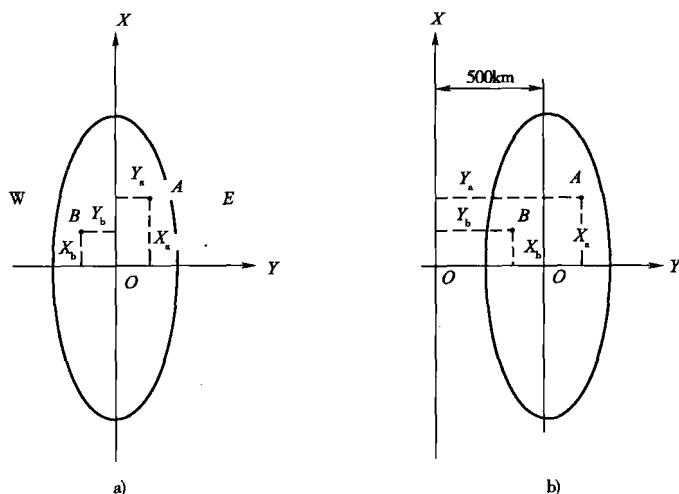


图 0-5 高斯平面直角坐标
a) 自然值; b) 通用值

高斯平面直角坐标系的应用大大简化了测量计算工作,它把在椭球体面上的观测元素全部改化到高斯平面上进行计算,这比在椭球体面上解算球面图形要简单得多。在公路工程测量中也经常应用高斯平面直角坐标,如高速公路的勘测设计和施工测量就是在高斯平面直角坐标系中进行的。

3) 平面直角坐标系

当测量的范围较小时,可以把该测区的球面当作平面看待,直接将地面点沿铅垂线投影到水平面上,用平面直角坐标来表示它的投影位置,如图 0-6 所示。

测量上选用的平面直角坐标系,规定纵坐标轴为 X 轴,表示南北方向,向北为正;横坐标轴为 Y 轴,表示东西方向,向东为正;坐标原点可假定,也可选在测区的已知点上。象限按顺时针方向编号,测量所用的平面直角坐标系之所以与数学上常用的直角坐标系不同,是因为测量上的直线方向都是从纵坐标轴北端顺时针方向量度的,而三角学中三角函数的角则是从横坐标轴正端按逆时针方向计量,把 X 轴与 Y 轴互换后,全部三角公式都能在测量计算中应用。

3. 地面点的高程系统

地面点到大地水准面的铅垂距离,称为该点的绝对高程或海拔,简称高程。它与地面点的坐标共同确定地面点的空间位置。在图 0-7 中地面点 A 、 B 的高程分别为 H_a 、 H_b 。

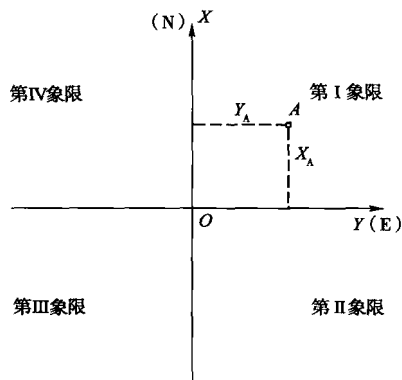


图 0-6 测量中的平面直角坐标系

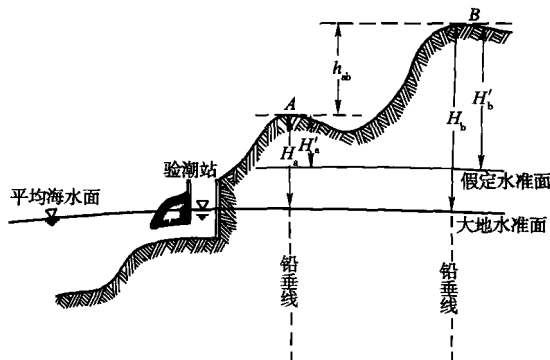


图 0-7 高程系统

国家高程系统的建立通常是在海边设立验潮站,经过长期观测推算出平均海水面的高度,并以此为基准在陆地上设立稳定的国家水准原点。我国曾采用青岛验潮站 1950 ~ 1956 年观测资料推算黄海平均海面作为高程基准面,称为“1956 年黄海高程系”,并在青岛观象山的一个山洞里建立了国家水准原点,其高程为 72.289m。由于验潮资料不足等原因,我国自 1987 年启用“1985 年国家高程基准”。它是采用青岛大港验潮站 1952 ~ 1979 年的潮汐观测资料计算的平均海面,依此推算的国家水准原点高程为 72.260m。

当在局部地区进行高程测量时,也可以假定一个水准面作为高程起算面。地面点到假定水准面的铅垂距离称为假定高程或相对高程。在图 0-7 中, A、B 两点的相对高程为 H'_a 、 H'_b 。

地面上两点高程之差称为这两点的高差,如图 0-7 中 A、B 两点间的高差为:

$$h_{ab} = H_b - H_a = H'_b - H'_a \quad (0-3)$$

四、用水平面代替水准面的范围

水准面是一个曲面,曲面上的图形投影到平面上,总会产生一定的变形。实际上,如果把一小块水准面当作平面看待,其产生的变形不超过测量和制图误差的容许范围时,即可在局部范围内用水平面代替水准面,使测量和绘图工作大大简化。以下讨论以水平面代替水准面对距离和高程测量的影响,以便明确可以代替的范围或必要时加以改正。

1. 以水平面代替水准面对距离的影响

如图 0-8, A、B、C 是地面点,它们在大地水准面上的投影点是 a 、 b 、 c ,用该区域中心点的切平面代替大地水准面后,地面点在水平面上的投影点是 a' 、 b' 和 c' 。设 A、B 两点在大地水准面上的距离为 D ,在水平面上的距离为 D' ,两者之差 ΔD 即是用水平面代替水准面所引起的距离差异。将大地水准面近似地视为半径为 R 的球面,则有

$$\Delta D = D' - D = R(\tan\theta - \theta) \quad (0-4)$$

已知 $\tan\theta = \theta + \frac{1}{3}\theta^3 + \frac{2}{15}\theta^5 + \dots$,因 θ 角很小,只取其前两项代入式(0-4),得

$$\Delta D = R\left(\theta + \frac{1}{3}\theta^3 - \theta\right)$$

$$\text{因} \quad \theta = \frac{D}{R}$$

$$\text{故} \quad \Delta D = \frac{D^3}{3R^2} \quad (0-5)$$

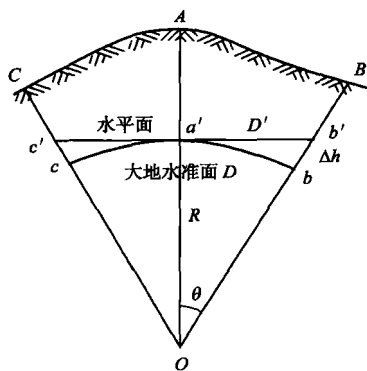


图 0-8 以水平面代替水准面

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{D^2}{3R^2} \quad (0-6)$$

式中: $\Delta D/D$ ——相对误差,用 $1/M$ 形式表示, M 越大,精度越高。

取地球半径 $R = 6\,371\text{ km}$,以不同的距离 D 代入式(0-5)和式(0-6),得到表 0-1。从表中的结果可以看出,当 $D = 10\text{ km}$ 时,所产生的相对误差为 $1:1\,220\,000$,在测量工作中,通常要求距离丈量的相对误差最高为 $1/1\,000\,000$,一般丈量仅要求 $1/2\,000 \sim 1/4\,000$ 。因此,在 10 km 为半径的圆面积之内进行距离测量时,可以把水准面当作水平面看待,而不需考虑地球曲率对距离的影响。

水平面代替水准面引起的距离误差

表 0-1

$D(\text{km})$	10	20	30	40
$\Delta D(\text{cm})$	0.8	6.6	102.6	821.2
$\Delta D/D$	1/1 220 000	1/300 000	1/49 000	1/12 000

2. 以水平面代替水准面对高程的影响

如图 0-8 所示,地面点 B 的高程应是铅垂距离 bB ,用水平面代替水准面后, B 点的高程为 $b'B$,两者之差 Δh 即为对高程的影响,由图得

$$\Delta h = bB - b'B = Ob' - Ob = R \sec \theta - R = R(\sec \theta - 1) \quad (0-7)$$

已知 $\sec \theta = 1 + \frac{\theta^2}{2} + \frac{5}{24}\theta^4 + \dots$,因 θ 值很小,仅取前两项代入式(0-7),另外 $\theta = \frac{D}{R}$,故有

$$\Delta h = R \left(1 + \frac{\theta^2}{2} - 1 \right) = \frac{D^2}{2R} \quad (0-8)$$

用不同的距离代入式(0-8),便得表 0-2 所列的结果。从表中可以看出,用水平面代替水准面对高程的影响是很大的,距离为 0.2km 时,就有 0.31 cm 的高程误差,这在高程测量中是不允许的。因此,进行高程测量,即使距离很短,也应用水准面作为测量的基准面,即应顾及地球曲率对高程的影响。

水平面代替水准面引起的高程误差

表 0-2

$D(\text{km})$	0.2	0.5	1	2	3	4	5
$\Delta h(\text{cm})$	0.31	2	8	31	71	125	196

五、测量工作概述

1. 测量的基本工作

根据前面所述,测量工作的基本内容是确定地面点的位置。它有两方面的含义,一方面是将地面点的实际位置用坐标和高程表示出来;另一方面是根据点位的设计坐标和高程将其在实地上的位置标定出来。要完成上述任务,必须用测量仪器通过一定的观测方法和手段测出已知点与未知点之间所构成的几何元素,才能由已知点导出未知点的位置。

点与点之间构成的几何元素有距离、角度和高差,这三个基本元素称为测量定位三要素。如图 0-9 所示, a 、 b 、 c 为地面点在水平面上的投影位置,确定这些点位置不是直接在地面上测定它们的坐标高程,而是首先测定相邻点间的几何元素,即距离 D_1 、 D_2 、 D_3 ,水平角 β_1 、 β_2 、 β_3 和高差 h_{Fa} 、 h_{ab} 、 h_{bc} 。再根据已知点 E 、 F 的坐标及高程来推算 a 、 b 、 c 各点的坐标和高程。由此可见,距离、角度、高差是确定地面点位置的三个基本元素,而距离测量、角度测量、高差测量是测量的基本工作。这部分内容在本书中将占有重要的篇幅。

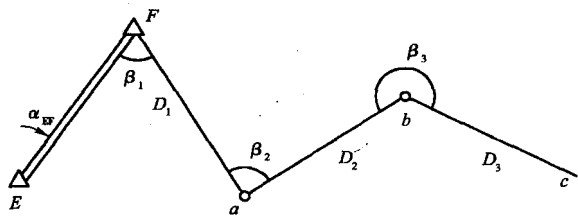


图 0-9 测量“三要素”示意图

2. 测量工作的原则和方法

在进行某项测量工作时,往往需要确定许多地面点的位置。假如从一个已知点出发,逐点进行测量和推导,最后虽可得到欲测各点的位置,但这些点很可能是不正确的,因为前一点的测量误差将会传递到下一点。这样积累起来,最后可能达到不可允许的程度。因此,测量工作