

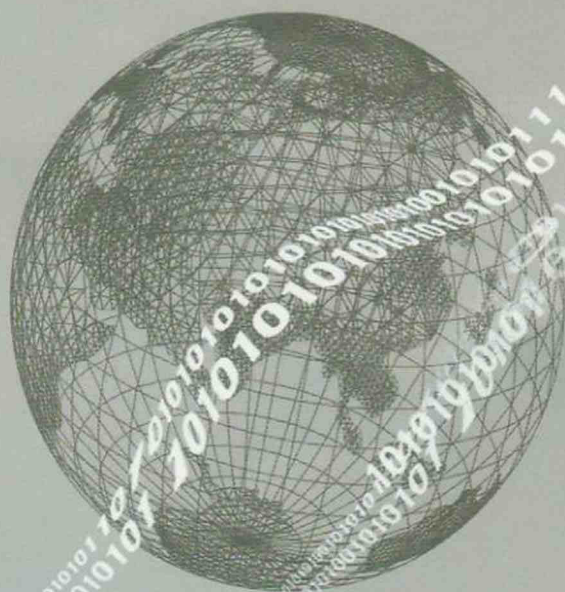
全国高职高专测绘类核心课程规划教材

地形测量技术

主 编 马真安 吴文波

副主编 柳小燕 杨 蕾

主 审 李映红



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

全国高职高专测绘类核心课程规划教材

地形测量技术

马真安 吴文波 主编

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

地形测量技术/马真安,吴文波主编;柳小燕,杨蕾副主编;李映红主审.
—武汉:武汉大学出版社,2011.11
全国高职高专测绘类核心课程规划教材
ISBN 978-7-307-09236-5

I. 地… II. ①马… ②吴… ③柳… ④杨… ⑤李… III. 地形测量—高等教育—教材 IV. P217

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 202128 号

责任编辑:胡 艳 责任校对:黄添生 版式设计:马 佳

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:chs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.whu.edu.cn)

印刷:湖北金海印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:11 字数:264千字 插页:1

版次:2011年11月第1版 2011年11月第1次印刷

ISBN 978-7-307-09236-5/P·188 定价:24.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

序

21 世纪将测绘带入信息化测绘发展的新阶段。信息化测绘技术体系是在对地观测技术、计算机信息化技术和现代通信技术等现代技术支撑下的有关地理空间数据的采集、处理、管理、更新、共享和应用的技术集成。测绘科学正在向着近年来国内外兴起的新兴学科——地球空间信息学跨越和融合；测绘技术的革命性变化，使测绘组织的管理机构、生产部门及岗位设置和职责发生变化；测绘工作者提供地理空间位置及其附属信息的服务，测绘产品的表现形式伴随相关技术的发展，在保持传统的特性同时，直观可视等方面得到了巨大的进步；从向专业部门的服务逐渐扩大到面对社会公众的普遍服务，从而使社会测绘服务的需求得到激发并有了更加良好的满足。测绘科技的发展，社会需求、测绘管理及生产组织及过程的深刻变化，对测绘工作者，特别是对高端技能应用性职业人才，在知识和能力体系构建的要求方面也发生着相应的深刻发展和变化。

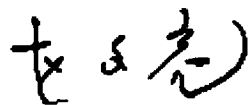
社会和科技的进步和发展，形成了对高端技能人才的大量需求，在这样的社会需求背景下，高等职业教育得到了蓬勃发展，在高等教育体系中占据了半壁江山。高等职业教育作为高等教育的必然组成部分，以系统化职业能力及其发展为目标，在高端技能应用性职业人才的培养的探索上迈出了刚劲有力的步伐，取得了可喜的佳绩，为全国高等教育的大众化做出了应有的贡献。

高职高专测绘类专业作为全国高职教育的一部分，在广大教师的共同努力下，以培养高端技能应用性人才为方向，不断推进改革和建设，在探究培养满足现时要求并能不断自我发展的测绘职业人才道路上，迈出了坚实的步伐；办学规模和专业点的分布也得到了长足发展。在人才培养过程中，结合测绘工程实际，加强测绘工程训练，突出过程，强化系统化测绘职业能力构建等方面取得了成果。伴随专业人才培养和教学的建设和改革，作为教学基础资源，教材的建设也得到了良好的推动，编写出了系列成套教材，并从有到精，注意不断将测绘科技和高职人才培养的新成果进教材，以推动进课堂，在人才培养中发挥作用。为了进一步推动高职高专测绘类专业的教学资源建设，武汉大学出版社积极支持测绘类专业教学建设和改革，组织了富有测绘教学经验的骨干教师，结合目前教育部高职高专测绘类专业教学指导委员会研制的“高职测绘类专业规范”对人才培养的要求及课程设置，编写了本套《全国高职高专测绘类核心课程规划教材》。

教材编写结合高职高专测绘类专业的人才培养目标，体现培养人才的类型和层次定位；在编写组织设计中，注意体现核心课程教材组合的整体性和系统性，贯穿以系统化知识为基础，构建较好满足现实要求的系统化职业能力及发展为目标；体现测绘学科和测绘技术的新发展、测绘管理与生产组织及相关岗位的新要求；体现职业性，突出系统工作过程，注意测绘项目工程和生产中与相关学科技术之间的交叉与融合；体现最新的教学思想和高职人才培养的特色，在传统的教材基础上，勇于创新，按照课程改革建设的教学要

求，也探索按照项目教学及实训的教学组织，突出过程和能力培养，具有一定的创新意识。教材适合高职高专测绘类专业教学使用，也可提供给相关专业技术人员学习参考，必将在培养高端技能应用性测绘职业人才等方面发挥积极作用。

教育部高等学校高职高专测绘类专业教学指导委员会主任委员



二〇一一年八月十四日

前 言

高等职业教育的目标是培养高等技术应用型专门人才,其特点是具有较强的应用性和技能性。高职教育的培养目标决定了其培养过程应更加贴近社会需要和企业生产、经营管理的实际,只有使教学与生产任务紧密结合,理论知识学习与实践能力训练紧密结合,教师所教课程与工作过程紧密结合,才能实现高职教育的人才培养目标。本教材正是基于这样一个理念而编写的。

地形测量是测绘类专业的一门专业基础课。该课程在各学校都是作为入门的专业课程开设的。通过该课程的教学,首先要使学生建立对测量学的整体概念,要求学生掌握基本的测绘学概念,为后续课程的教学打下基础;同时,要完成地形测量的理论和实践教学,使学生掌握测绘大比例尺地形图的技能以及大比例尺地形测量工程的作业流程和组织,由地形图的测绘及应用,引出控制测量、测量平差与数据处理、工程测量等专业主干课程。此外,在课程教学中,对学生进行测绘基本技能训练,也将对其测绘技能的构建起非常重要的基础作用。因此,地形测量课程教学工作的成功与否,对学生后续专业课程的学习影响极大。

本教材的编写依据本课程标准,充分体现任务引领、实践导向的课程设计思想。教材体现了先进性、通用性、实用性;采用了以项目或任务驱动的编写模式,打破了传统的教材编写模式,以能力培养为主线,更注重知识的实用性与应用性而非知识的系统性;重点突出了测量工作的测、算、绘的技能目标。本课程应达到的职业能力目标如下:

- 三大常用测量仪器(水准仪、经纬仪、全站仪)的熟练使用能力。
- 常用的测量数据处理与计算能力。
- 大比例尺地形图测绘及地形图应用能力。
- 良好的职业素质;良好的团队合作意识;具有吃苦耐劳精神、严谨的工作作风。

基于以上职业能力培养目标,全书划分为1个课程导入和4个工作项目,工作项目下共设计13项工作任务。

本书由辽宁交通高等专科学校马真安、吴文波担任主编,宁夏建设职业技术学院柳小燕、陕西交通职业技术学院杨蕾担任副主编,内蒙古建筑职业技术学院李映红对书稿进行了审定。全书由马真安统稿、定稿。

在本书的编写过程中,得到了兄弟院校老师的大力支持,在此,向这些同志表示衷心的感谢,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

2011年8月

目 录

课程导入	1
知识检验	14
项目 1 水准点的高程测量	16
工作任务 1 用水准仪完成等外水准测量	16
一、水准仪及相关工具的使用	16
二、水准测量的实施	24
工作任务 2 用水准仪完成三、四等水准测量	31
一、三、四等水准测量的主要技术要求	31
二、三、四等水准测量的实施	31
知识小结	34
知识检验	35
项目综合训练	37
项目 2 导线测量	39
工作任务 1 用经纬仪完成角度测量	39
一、光学经纬仪的操作与使用	40
二、水平角与竖直角观测	46
三、经纬仪的检校方法	50
四、水平角测量误差分析	53
工作任务 2 用罗盘仪测定直线方向	57
一、直线方向的表示方法	57
二、罗盘仪的操作与使用	59
工作任务 3 用全站仪完成距离及角度测量	61
一、全站仪基本功能	61
二、全站仪操作与使用	64
工作任务 4 用全站仪完成一条导线测量	69
一、导线测量的外业工作及精度要求	69
二、导线测量的内业计算	72
三、导线测量个别错误的查找	86
四、个别控制点的加密方法	87
工作任务 5 用全站仪完成三角高程测量	90

一、三角高程测量的基本原理	90
二、全站仪三角高程测量的实施	92
工作任务6 用全站仪完成三维坐标测量	94
一、全站仪三维坐标测量基本原理	94
二、全站仪三维坐标测量的实施	94
知识小结	101
知识检验	104
项目综合训练	107
项目3 测量数据的简易处理	108
工作任务1 观测值最可靠值的计算	108
一、误差基本知识	108
二、偶然误差的统计特性	109
三、观测值最可靠值的计算	112
工作任务2 测量结果的精度评定	113
一、评定观测值精度的标准	113
二、观测值的函数值的中误差	116
知识小结	118
知识检验	119
项目4 地形图测绘与应用	121
工作任务1 认识一幅地形图	121
一、地形图的基本知识	121
二、地物的表示方法	127
三、地貌的表示方法	132
工作任务2 完成某一区域的地形图测绘	135
一、地形图测绘前的准备工作	135
二、碎部点平面位置测定的基本方法	137
三、碎部点的视距及高程测量	140
四、地形图的测绘方法	141
五、地物的测绘	145
六、地貌的测绘	148
七、地形图测绘要注意的问题	151
八、地形图的拼接、整饰、检查验收	152
工作任务3 应用地形图	154
一、地形图的基本应用	154
二、地形图在工程规划中的应用	158
知识小结	164
知识检验	165

目 录	3
项目综合训练	167
主要参考文献	168

课程导入

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而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: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: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: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的学科。

地图制图学: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: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。主要内容包括工程控制网的建立、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,应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。其中,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……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,测绘科技国际间的交流日益频繁,不少国家建立了民用的测绘机构。

测量学的起源和土地界线的划定紧密联系着。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,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,以提高土地利用的效益,合理和节约地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,我国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1600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,还成功研制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。在测绘人才培养方面,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;在地理信息系统方面,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建成并投入使用。

1. GPS全球定位系统

全球定位系统(Global Position System)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20200km,卫星运行周期为11小时58分。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

遥感(Remote Sensing)是指从远距离高空以信外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。美国空间成像地球观测卫星公司的卫星影像分辨率可达到 1 米。多级分辨率的实现,使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

地理信息系统(Geographic Information System)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,它不仅可以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。例如 TGIS(Temporal GIS)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;3D GIS(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)也是当前研究领域中的一个热门话题,使 GIS 的媒介对象更丰富,从而与社会、人类生活密不可分。

我国的 GIS 的发展和应用较为迅速和广泛。在软件方面,MapGIS、Geostar、Citystar 等综合和专题 GIS 开发数不胜数。

三、地面点的坐标系

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。人们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成被海水包围的球体，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 0-1 (a) 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做大地水准面，大地水准面就是测量的基准面，如图 0-1 (b) 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，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 0-1 (c) 所示。

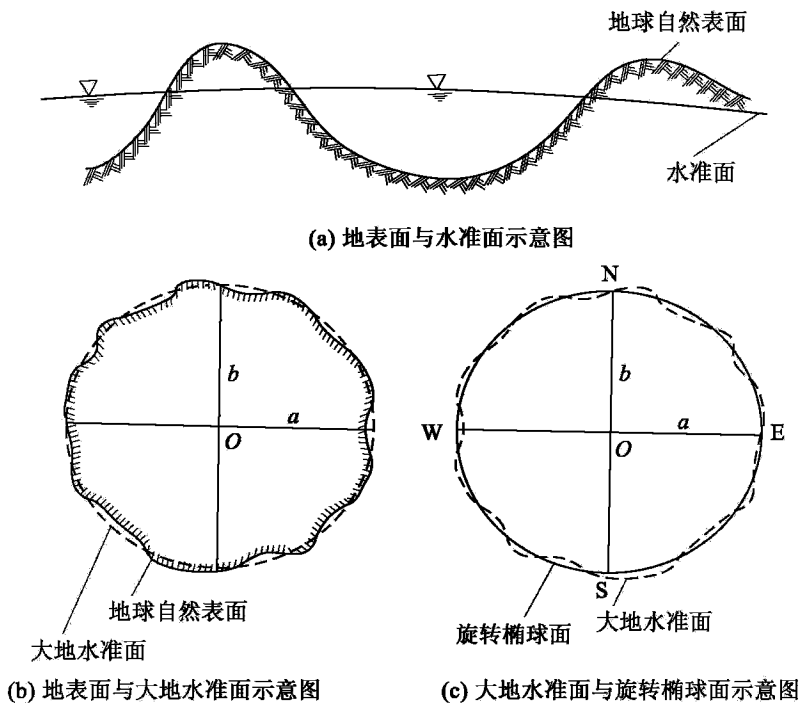


图 0-1 “三面”图

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：

长半轴 $a = 6378140\text{m}$

短半轴 $b = 6356755.3\text{m}$

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

通常把地球椭球体当做圆球看待，取其半径为 6371km 。

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统中的一种来表示：

(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。

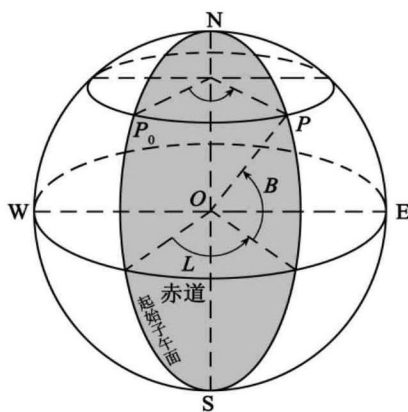


图 0-2 旋转椭球体

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。

大地经度 L 和大地纬度 B 统称为大地坐标。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”是中华人民共和国成立初期从苏联引测过来的。

(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

以用图 0-3 的投影过程来解说这种投影规律。

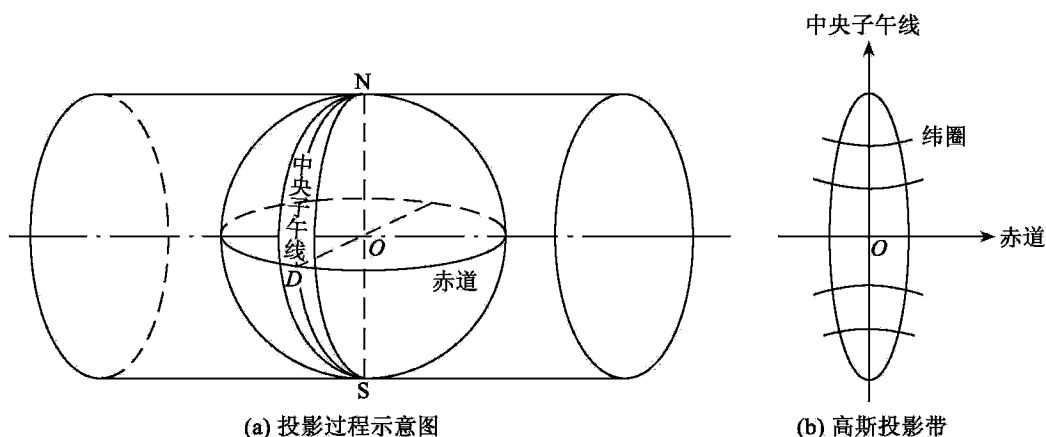


图 0-3 高斯投影

如图 0-3 (a) 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剪开, 展成平面, 如图 0-3 (b) 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, 每一投影范围叫一个投影带。如图 0-4 (a) 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, 叫做高斯 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: 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: 据题意, 其高斯投影 6° 带的带号为

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

中央子午线经度为

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

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 0-4 (b) 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

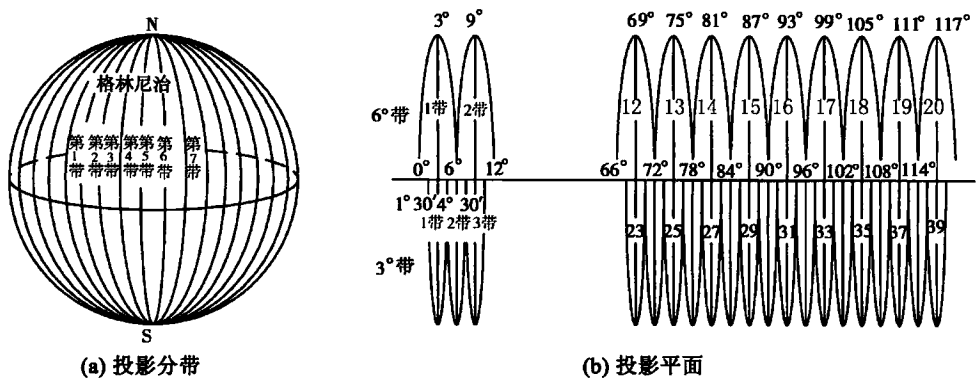


图 0-4 高斯投影平面

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 0-5 (a) 所示， $Y_a = +148680. \text{ m}$, $Y_b = -134240. 69\text{m}$ 。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 0-5 (b) 中所标注的横坐标为： $Y_a = 20648680. 54\text{m}$ ， $Y_b = 20365759. 31\text{m}$ 。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。

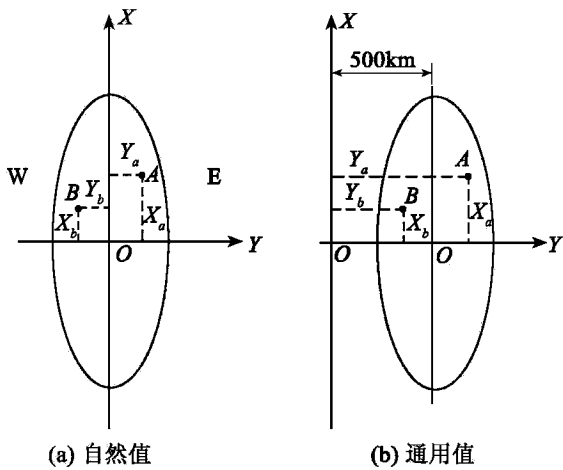


图 0-5 高斯平面直角坐标

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做平面看待，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。

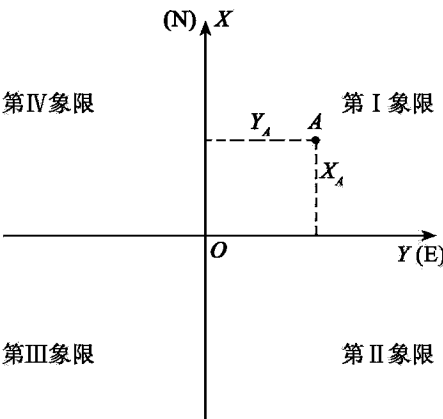


图 0-6 测量中的平面直角坐标系

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 。

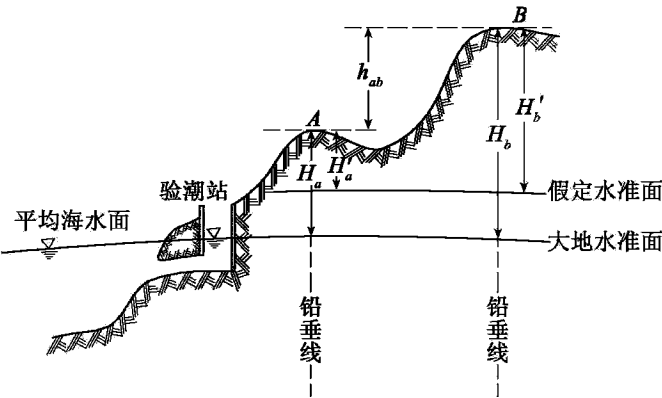


图 0-7 高程系统

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