

SIANZHU  
GONGCHENGCELIANG

# 建筑工程测量

汪荣林 罗琳 主编



 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# 建筑工程测量

主 编 汪荣林 罗 琳  
副主编 苗尚朝 王华阳  
          张小青 王小广

## 内 容 提 要

本书主要内容包括水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、测量误差的基本知识、全站仪及GPS测量原理、小区域控制测量、地形图的测绘与应用、施工测量的基本工作、民用建筑施工测量、工业建筑施工测量、建筑变形测量与竣工总平面图的编绘、线路与桥隧工程测量、地籍测量等。

本书既可作为高等院校建筑工程专业的教材,也可作为建筑施工技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

建筑工程测量/汪荣林,罗琳主编. —北京:北京理工大学出版社,2009.1  
(2009.2重印)

ISBN 978 - 7 - 5640 - 1928 - 0

I. 建… II. ①汪…②罗… III. 建筑测量-高等学校:技术学校-教材  
IV. TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 009892 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京通州京华印刷制版厂

开 本 / 787毫米×960毫米 1/16

印 张 / 18

字 数 / 380千字

版 次 / 2009年1月第1版 2009年2月第2次印刷

责任校对 / 陈玉梅

定 价 / 36.00元

责任印制 / 母长新

---

对本书内容有任何疑问及建议,请与本书编委会联系。邮箱:bitdayi@sina.com

图书出现印装质量问题,本社负责调换

# 出版说明

建筑业作为我国国民经济发展的支柱产业之一，长期以来为国民经济的发展做出了突出的贡献。特别是进入 21 世纪以后，建筑业发生了巨大的变化，我国的建筑施工技术水平跻身于世界先进行列，在解决重大项目的科研攻关中得到了长足的发展，我国的建筑施工企业已成为发展经济、建设国家的一支重要的有生力量。

随着社会的发展，城市化进程的加快，建筑领域科技的进步，市场竞争将日趋激烈；此外，随着全球一体化进程的加快，我国建筑施工企业面对的不再是单一的国内市场，跨国、跨地区、跨产业的竞争模式逐渐成为一种新的竞争手段。因此，建筑行业对人才质量的要求也越来越高。

教材作为体现教学内容和教学方法的知识载体，是进行教学活动的基本工具，是深化教育教学改革、保障和提高教学质量的重要支柱和基础。教育部自 1998 年颁布新的《普通高等院校本科专业目录》以来，多次提出深化高等教育改革、提高人才培养质量的指导性意见和具体措施，各高校（院系）根据我国经济社会发展的新形势，紧密结合建设行业发展的实际，结合本校、本院系的实际，在实践中积极探索，在改革中不断创新，总结出了许多新经验。实践证明，加强施工理论与应用的研究对于提高施工技术的高科技含量，高质量、高效率地完成大型工程建设，促进高效的施工技术成果在建筑工程中的推广应用，实现施工技术现代化，并最终实现我国建筑业的现代化具有重要作用。

为适应高等学校专业调整后教学改革的需要，北京理工大学出版社邀请国内部分高等院校老师和具有丰富实践经验的工程师、技术人员组成编写组，组织编写并出版了本系列教材。该系列教材以“教育要面向现代化，面向世界，面向未来”为宗旨，考虑土建类专业教材“教”与“学”的要求，从土建工程施工管理工作对人才的要求出发，通过对职业岗位的调查分析和论证，紧紧围绕培养目标，较好地处理了基础课与专业课的关系、理论教学与实践教学的关系、统一要求与体现特色的关系，以及传授知识、培养能力与加强素质教育的关系等。

本系列教材特点如下：

## 一、作者队伍由教师、工程师组成，专业优势突出

本系列教材作者队伍均来自教学一线和工程实践一线，其一是具有丰富教学经验的教师，因此教材内容更加贴近教学实际需要，方便“老师的教”和“学生的学”，增强了教材的实用性；其二是建筑设计与建筑施工管理的工程师或建筑业专家，在编写内容上更加贴近工程实践需要，从而保证了学生所学到的知识就是工程建设岗位所需要的知识，真正做到“学以致用”。

## 二、教材理论够用，重在实践

本系列教材严格依据高等院校人才培养目标进行定位，以适应社会需求为目标，以培养技术能力为主线，在内容选择上充分考虑土建工程专业的深度和广度，以“必需、够用”为度，以“讲清概念、强化应用”为重点，深入浅出，注重实用。本系列教材除设置主干课程以外，还设置了以实践为主旨，配合主干课程学习的实践、实训指导，注重学生实践能力的培养。

## 三、教材体例设计独特，方便教学

本系列教材内容在体例设计上新颖独特，每章前面设置有【学习重点】和【培养目标】，对本章内容和教学要求作出了引导；每章后面设置有【本章小结】，对本章的重点内容进行了概括性总结。此外，每章后面还设置了【思考与练习】，供学生课后练习使用，构建了一个“引导—学习—总结—练习”的教学全过程。

## 四、教材内容新颖，表现形式灵活

本系列教材在编写过程中，突出一个“新”字，教材以现行国家标准、行业标准为依据，编入了各种新材料、新工艺、新技术；对理论性强的课程，采用图片、表格等形式加以表现，使枯燥无味的理论学习变得轻松易懂，在方便教学的同时激发学生的学习兴趣。

## 五、教材具有现代性，内容精简

本系列教材编写过程中，编委会特别要求教材不仅要具有原理性、基础性，还要具有现代性，纳入最新知识及发展趋势。对教学课程的设置力求少而精，并通过整合的方法有效地进行精减。这样做不只是为了精减学时，更主要的是可淡化细节，强化理论、注重实践，有助于传授知识与能力培养的协调和发展。

## 六、教材内容全面，适用面广

本系列教材的编写充分考虑了我国不同地域各高校的办学条件，旨在加强学生能力的培养，尤其是在实践能力的培养方面进行了慎重考虑和认真选择，同时也充分考虑了土建类专业的特点；教材可供各高等学校、应用型本科院校、成人高等院校土木工程、建筑工程及其他专业学生使用，也可作为建筑工程施工及技术管理人员的参考用书。

教学改革是一个不断深化的过程，教材建设是高等院校教育改革的一项基础性工程，同时也是一个不断推陈出新的过程。要真正做到出精品教材，出特色教材，一方面需要编者的努力，另一方面也需要读者提出宝贵的意见和建议。我们深切希望本系列教材的出版能够推动我国高等院校土建类专业教学事业的发展，并对我国高等院校土建类专业教材的改革起到积极、有效的推动作用，为培养新世纪工程建设的高级人才做出贡献。

在本系列教材编写过程中，得到了不少高等学校教师的大力支持，受到了诸多工程建设一线工程师的指点和帮助，在此特向他们致以衷心的感谢！同时，对参与编写本系列教材和为本系列教材出版作出努力的全体人员表示感谢！

北京理工大学出版社

# 前 言

建筑工程测量属于工程测量学的范畴，在工程建设中有着广泛的应用，它服务于建筑工程建设的每一个阶段，贯穿于工程建设的始终。建筑用地的选择，道路管线位置的确定等，都要利用测量所提供的资料和图纸进行规划设计；施工阶段则需要通过测量工作来衔接，以配合各项工序的施工；竣工后的竣工测量，可为工程的验收、日后的扩建和维修管理提供资料；而在工程管理阶段，须对建筑物进行变形观测，以确保工程的安全使用。建筑工程测量的精度和速度直接影响到整个工程的质量和进度，其地位举足轻重。

“建筑工程测量”作为高等院校土建类专业必修的基础性课程，主要阐述了需要学生掌握的建筑工程测量基本理论、基本方法和基本技能，培养学生的动手、实践与创新能力。本教材根据全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会制定的教育标准和培养方案及主干课程教学大纲，以《工程测量规范》(GB 50026—2007)、《建筑变形测量规范》(JGJ 8—2007)为依据，以适应社会需求为目标，以培养技术能力为主线，在内容选择上考虑土建工程专业的深度和广度，以“必须、够用”为度，以“讲清概念、强化应用”为重点，深入浅出，注重实用。通过本课程的学习，学生应掌握建筑建筑工程测量的理论和方法，具备测绘地形图、建筑物放样、建筑物变形测量等的基本能力。

本教材共分 13 章，主要包括水准测量、角度测量、距离测量与直线定向、测量误差的基本知识、全站仪及 GPS 测量原理、小区域控制测量、地形图的测绘与应用、施工测量的基本工作、民用建筑施工测量、工业建筑施工测量、建筑变形测量与竣工总平面图的编绘、线路与桥隧工程测量、地籍测量等内容。教材中还简要介绍了常用建筑工程测量仪器、工具的基本构造与操作技巧，并通过具体的实例进行清晰的讲解，以提高学生学习的可操作性，加深学生对各知识点的理解。

为便于理解，本教材在采用文字进行阐述的同时，还列举了大量表格与图形配合进行说明，使枯燥无味的理论学习变得直观明了，方便教学的同时增强了学生的学习兴趣，从而达到理论联系实际、提高实用性的目的。

为方便教学，本教材在各章前设置了【学习重点】和【培养目标】，【学习重点】以章节提要的形式概括了本章的重点内容，【培养目标】则对需要学生了解和掌握的知识要点进行了提示，对学生学习和老师教学进行引导；在各章后面设置了【本章小结】和【思考与练习】，【本章小结】以学习重点为框架，对各章知识作了归纳，【思考与练习】以问答题和应用题的形式，从更深的层次给学生提供思考和复习的切入点，从而构建了一个“引导—学习—总结—练习”的教学全过程。

本教材的编写人员，一是来自具有丰富教学经验的教师，因此教材内容更加贴近教学实际需要，方便“老师的教”和“学生的学”，增强了教材的实用性；二是来自建筑工程测量领域的工程师或专家学者，从而使教材的编写内容更加贴近建筑工程测量实践需要，保证了学生所学到的知识就是进行建筑工程测量所需要的知识，真正做到“学以致用”。

本教材以现行建筑工程测量最新国家及行业标准规范为依据进行编写，且编入了建筑工程测量领域的最新知识及发展趋势，充分体现了一个“新”字，不仅具有原理性、基础性，还具有先进性和现代性。另外，本教材的编写充分考虑了我国不同地域各高校的办学条件，淡化细节，强调对学生综合思维和能力的培养，尤其是在工程测量实践能力的培养方面，更是进行了慎重考虑和认真选择。

本教材既可作为高等院校土建类相关专业的教材，也可作为土建工程测量人员、技术人员和管理人员学习、培训的参考教材。本教材在编写过程中，参阅了国内同行多部著作，部分高职高专院校老师提出了很多宝贵意见供我们参考，在此，对他们表示衷心的感谢！

本教材编写过程中，虽经推敲核证，但限于编者的专业水平和实践经验，仍难免有疏漏或不妥之处，恳请广大读者指正。

**编 者**

## 参 考 文 献

- [1] 国家标准. GB 50026—2007 工程测量规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
- [2] 行业标准. JGJ 8—2007 建筑变形测量规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [3] 武汉测绘科技大学《测量学》编写组. 测量学 [M]. 3 版. 北京: 测绘出版社, 1991.
- [4] 李生平. 建筑工程测量 [M]. 2 版. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2003.
- [5] 周相玉. 建筑工程测量 [M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 1997.
- [6] 顾孝烈. 测量学 [M]. 2 版. 上海: 同济大学出版社, 1999.
- [7] 覃辉, 马德富, 熊友谊. 测量学 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [8] 金其坤, 彭福坤. 建筑测量学 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1996.
- [9] 华南理工大学测量教研组. 建筑工程测量 [M]. 2 版. 广州: 华南理工大学出版社, 1997.
- [10] 张正禄. 工程测量学 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002.
- [11] 钟孝顺, 聂让. 测量学 (公路与城市道路、桥梁、隧道工程专业用) [M]. 北京: 人民交通出版社, 1997.



# 目 录

绪 论	(1)
<b>第一章 水准测量</b>	(13)
第一节 水准测量原理	(13)
第二节 水准测量的仪器和工具	(15)
第三节 水准仪的使用	(19)
第四节 水准测量的方法与成果处理	(20)
第五节 水准测量的误差及其削减方法	(26)
第六节 微倾式水准仪检验与校正	(27)
第七节 自动安平水准仪	(31)
第八节 精密水准仪和电子水准仪	(31)
<b>第二章 角度测量</b>	(37)
第一节 角度测量原理	(37)
第二节 光学经纬仪及其使用	(38)
第三节 水平角测量方法	(43)
第四节 竖直角测量方法	(45)
第五节 水平角测量的误差分析	(48)
第六节 经纬仪的检验与校正	(49)
第七节 电子经纬仪	(52)
<b>第三章 距离测量与直线定向</b>	(57)
第一节 钢尺量距	(57)
第二节 视距测量	(63)
第三节 电磁波测距	(65)
第四节 直线定向	(71)
第五节 坐标方位角的计算	(72)



第四章 测量误差的基本知识 .....	(76)
第一节 测量误差概述 .....	(76)
第二节 衡量测量精度的指标 .....	(79)
第三节 误差传播定律 .....	(80)
第四节 等精度独立观测量的最可靠值与精度评定 .....	(82)
第五节 不等精度独立观测量的最可靠值与精度评定 .....	(85)
第五章 全站仪及 GPS 测量原理 .....	(89)
第一节 全站仪及其使用 .....	(89)
第二节 GPS 测量原理 .....	(102)
第六章 小区域控制测量 .....	(108)
第一节 控制测量概述 .....	(108)
第二节 导线测量 .....	(110)
第三节 三角形网测量 .....	(122)
第四节 卫星定位测量 .....	(126)
第五节 交会定点的计算 .....	(129)
第六节 三、四等水准测量 .....	(131)
第七节 三角高程测量 .....	(134)
第七章 地形图的测绘与应用 .....	(139)
第一节 地形图基本知识 .....	(139)
第二节 大比例尺地形图测绘 .....	(149)
第三节 地形图的应用 .....	(160)
第八章 施工测量的基本工作 .....	(169)
第一节 施工测量概述 .....	(169)
第二节 测设的基本工作 .....	(170)
第三节 施工控制测量 .....	(180)
第九章 民用建筑施工测量 .....	(186)
第一节 建筑工程测量前的准备工作 .....	(186)

第二节	民用建筑施工中的测量工作	(188)
第三节	高层建筑施工测量	(192)
<b>第十章</b>	<b>工业建筑施工测量</b>	(195)
第一节	工业厂房控制网的测设	(195)
第二节	厂房柱列轴线的测设和柱基施工测量	(197)
第三节	工业厂房构件的安装测量	(198)
<b>第十一章</b>	<b>建筑变形测量与竣工总平面图的编绘</b>	(202)
第一节	建筑变形测量的一般规定	(202)
第二节	建筑物沉降观测	(204)
第三节	建筑物位移观测	(209)
第四节	竣工总平面图的编绘	(219)
<b>第十二章</b>	<b>线路与桥隧工程测量</b>	(222)
第一节	线路工程测量	(222)
第二节	桥梁工程测量	(249)
第三节	隧道工程测量	(252)
<b>第十三章</b>	<b>地籍测量</b>	(262)
第一节	地籍测量概述	(262)
第二节	地籍调查	(263)
第三节	地籍测量	(268)
第四节	地籍图的绘制	(271)
第五节	面积量算和地籍修测	(273)
<b>参考文献</b>		(277)

# 绪 论

## 学习重点

测量学简介；地球的形状和大小；测量坐标系与地面点位的确定；地球曲率对测量工作的影响；测量工作基础知识；测量常用计量单位与换算。

## 培养目标

了解测量学的定义、建筑工程测量的任务及我国测量学的发展概况；熟悉测量坐标系与地面点位的确定方法；熟悉测量工作的基本内容；掌握测量常用计量单位及换算方法。

### 一、测量学简介

#### （一）测量学的定义和分类

##### 1. 测量学的定义

测量学是研究地球的形状与大小，确定地面点之间的相对位置的科学。其主要内容包括测定和测设两个部分。测定是指使用测量仪器和工具，通过测量和计算，将地球表面的地形缩绘成地形图，供科学研究、工程规划和国防建设使用。测设是指把地形图上规划设计好的建筑物、构筑物的位置标定到实地，作为工程施工的依据。

##### 2. 测量学的分类

按研究的对象和应用的不同，测量学通常可分为以下几个分支学科：

（1）普通测量学。研究将地球自然表面局部地区的地物和地貌按一定比例尺测绘成大比例尺地形图的基本理论和方法的学科，属测量学的基础部分。

（2）大地测量学。研究地球形状、大小和重力场及其变化，通过建立区域和全球三维控制网、重力网及利用卫星测量、甚长基线干涉测量等方法测定地球各种动态的理论和技术的学科。

（3）摄影测量学。研究利用摄影或遥感技术获取地物和地貌的影像并进行分析处理，以绘制地形图或获得数字化信息的理论和方法的学科。其中航空摄影测量是测绘中、小比例尺国家基本地形图的主要方法，现也应用到大比例尺地形图的测绘中；而近景摄影测量已经在古建筑测绘、建（构）筑物的变形观测、动态目标测量等许多方面得到了广泛的应用。

（4）工程测量学。研究工程建设和自然资源开发中各个阶段进行的控制测量、地形测绘、施工放样、变形监测及建立相应信息系统的理论和技术的学科。其主要内容包括：测绘



满足工程规划和勘察设计需要的大比例尺地形图；将图纸上设计的建（构）筑物轴线桩位标定到地面上；对在施工过程中及竣工后建（构）筑物的变形进行监测。

（5）海洋测绘学。研究海洋定位，测定海洋大地水准面和平均海面、海底和海面地形、海洋重力、磁力、海洋环境等自然和社会信息的地理分布，及编制各种海图的理论和技术的学科。其主要内容包括海洋大地测量、水深测量、海底地形测量、海洋重力测量、海岸地形测量、海道测量、海洋专题测量和海图测绘等。

本书介绍的建筑工程测量主要涉及普通测量学，并包括工程测量学的基本内容。

### （二）建筑工程测量的任务和作用

#### 1. 建筑工程测量的任务

建筑工程测量属于工程测量学的范围，其主要任务是：

（1）大比例尺地形图的测绘。在规划设计阶段，应测绘建筑工程所在地区的大比例尺地形图，以便详细地表达地物和地貌的现状。在施工阶段，有时需要测绘更详细的局部地形图，或者根据施工现场变化的需要，测绘反映某施工阶段现状的地形图。在竣工验收阶段，应测绘编制全面反映工程竣工时所有建筑物、道路、管线和园林绿化等方面现状的地形图。

（2）建（构）筑物的放样。在施工阶段，不管是基础工程、主体工程还是装饰工程，都要先进行放样测量，确定建（构）筑物不同部位的实地位置，并用桩点或线条标定出来，才能进行施工。每道工序施工完成后，还要及时对施工各部位的尺寸、位置和标高进行检核测量。

（3）建（构）筑物的变形观测。对一些大型的、重要的或位于不良地基上的建（构）筑物，需要测定其在建（构）筑物荷重和外力作用下随时间而发生的变形，以监测其稳定性。建（构）筑物的变形一般有沉降、水平位移、倾斜、裂缝等。

#### 2. 建筑工程测量的作用

工程测量在工程建设中有着广泛的应用，它服务于建筑工程建设的每一个阶段。

（1）在工程勘测阶段，测绘地形图为规划设计提供各种比例尺的地形图和测绘资料。

（2）在工程设计阶段，应用地形图进行总体规划和设计。

（3）在工程施工阶段，要将图纸上设计好的建筑物、构筑物的平面位置和高程按设计要求测设于实地，以此作为施工的依据；在施工过程中用于土方开挖、基础和主体工程的施工测量；在施工中还要经常对施工和安装工作进行检验、校核，以保证所建工程符合设计要求；工程竣工后，还要进行竣工测量，施测竣工图，供日后扩建和维修之用。

（4）在工程管理阶段，对建筑和构筑物进行变形观测，以保证工程的安全使用。

总而言之，在工程建设的各个阶段都需要进行测量工作，而且测量的精度和速度直接影响到整个工程的质量和进度。

### （三）我国测量学的发展概况

在我国，远溯到上古时代，就有夏禹在黄河两岸治理水患的传说。这些都需要一定的测

量知识,或者说已开始使用简单的工具进行测量。在各个朝代测量方面都有新的内容和

发展。  
新中国成立后,测量事业进入一个崭新的发展阶段。党和政府一向关心和重视测绘事业,1956年就成立了国家测绘总局,科学院系统成立了测量及地球物理研究所,各业务部门也纷纷设立测绘机构,培养测绘人员的各级学校也相继建立。测绘队伍飞速壮大,测绘科学技术也得到快速发展。新中国成立以来,建成了全国绝大部分地区的大地控制网,近年来建立了全国的GPS控制网。测量完成大量不同比例尺的基本地形图,各种工程建设的测量工作也取得了显著成绩。仪器制造方面从无到有,现在已能生产大部分的测量仪器,并具备了全站仪和GPS系统的初步生产能力。测量技术方面,我国紧紧跟随世界最新测绘技术,进入了测绘现代化的高速发展阶段。

1992年,我国政府制定了新中国第一部《中华人民共和国测绘法》,1993年7月1日起施行;2002年又公布了修订后的《中华人民共和国测绘法》,自2002年12月1日起施行。这标志着我国的测量工作进入依法工作、规范发展的新阶段。

## 二、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。地球的自然表面极为复杂,有高山、丘陵、平原、盆地、湖泊、河流和海洋等高低起伏的形态,其中最高的珠穆朗玛峰高出海面达8 848.13 m,而最低的马里亚纳海沟低于海面达11 022 m。但是这样的高低起伏,相对于地球巨大的半径来说还是很小的,仍可忽略不计。由于地球表面上海洋的面积约占71%,而陆地面积仅占29%,因此人们设想有一个静止的海水面,向陆地延伸包围整个地球,形成一个封闭的曲面,把这个曲面看作地球的形体。

由于潮汐的作用,海水面高低不同,假定其中有一个平均高度的静止海水面,则它所包围的形体称为大地体,代表了地球的形状与大小。我们把这个平均高度的静止的海水面称为大地水准面。大地水准面上的重力位处处相等,并与其上的重力方向处处保持着正交。地球上任何一点都要受到地球引力和地球自转的离心力的作用,这两个力的合力称为重力,重力的方向线称为铅垂线,所以水准面处处与铅垂线正交。铅垂线是测量工作的基准线,大地水准面是测量工作的基准面。

然而,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,致使大地水准面成为一个不规则的复杂曲面,如图0-1(a)所示,所以无法在这个曲面上进行测量数据处理。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0-1(b)所示。

地球椭球是一个椭圆绕其短轴旋转而成的形体,故地球椭球又称旋转椭球。旋转椭球体由长半径 $a$ 和短半径 $b$ (或扁率 $\alpha$ )所决定。如图0-2所示。其关系为:

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

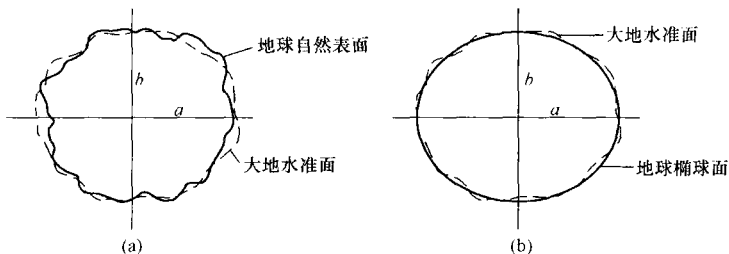


图 0-1 大地水准面与地球椭球面

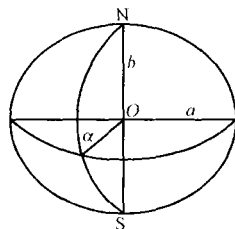


图 0-2 参考椭球面

目前我国采用的地球椭球体元素值是 1975 年“国际大地测量与地球物理联合会”(IU-GG) 通过并推荐的值:

$$a=6\,378\,140\text{ m}, b=6\,356\,755\text{ m}, \alpha=1:298.257$$

由于地球椭球的扁率很小, 因此当测区范围不大时, 可近似地把地球椭球看作半径为 6 371 km 的圆球。

### 三、测量坐标系与地面点位的确定

地面点的位置的确定是测量工作的基本任务。一个点的空间位置需要用三个独立的量来确定。在测量工作中, 这三个量通常用该点在参考椭球面上的铅垂投影位置和该点沿投影方向到大地水准面的距离来表示。其中前者由两个量构成, 称为坐标; 后者由一个量构成, 称为高程。

#### (一) 地面点位的坐标

在测量工作中, 可用地理坐标和平面直角坐标表示地面点位置的坐标。

##### 1. 地理坐标

地理坐标是用经纬度表示地面点位置的球面坐标, 可分为天文坐标和大地坐标。

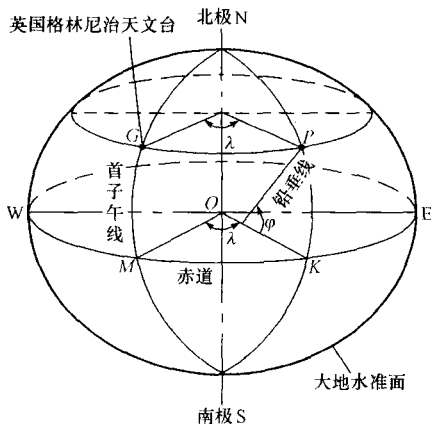


图 0-3 天文坐标

(1) 天文坐标。天文坐标是表示地面点在大地水准面上的位置, 其基准是铅垂线和大地水准面, 它用天文经度  $\lambda$  和天文纬度  $\varphi$  两个参数来表示地面点在球面上的位置。

过地面上任一点  $P$  的铅垂线与地球的旋转轴  $NS$  所组成的平面称为该点的天文子午面, 天文子午面与大地水准面的交线称为天文子午线 (也称经线), 如图 0-3 所示。设  $G$  点为英国格林尼治天文台的位置, 过  $G$  点的天文子午面称为首子午面。

$P$  点天文经度  $\lambda$  的定义是: 过  $P$  点的天文子午面  $NPKS$  与首子午面  $NGMS$  的两面角, 从首子午线向东或向西计算, 取值范围为  $0^\circ \sim 180^\circ$ , 在首子午

线以东者为东经，以西者为西经。同一子午线上各点的经度相同。过  $P$  点垂直于地球旋转轴的平面与地球表面的交线称为  $P$  点的纬线，其所在平面过球心  $O$  的纬线称为赤道。

$P$  点天文纬度  $\varphi$  的定义是：过  $P$  的铅垂线与赤道平面的夹角，自赤道起向南或向北计算，取值范围为  $0^\circ \sim 90^\circ$ ，在赤道以北为北纬，以南为南纬。

应用天文测量方法可以测定地面点的天文经度  $\lambda$  和天文纬度  $\varphi$ 。

(2) 大地坐标。大地坐标是表示地面点在参考椭球面上的位置，其基准是法线和参考椭球面，它用大地经度  $L$  和大地纬度  $B$  表示。

$P$  点的大地经度  $L$  是通过该点的子午面与首子午面的夹角，在首子午面以东的点从首子午面向东计， $0^\circ \sim 180^\circ$  称为东经，在首子午面以西的点则从首子午面向西计， $0^\circ \sim 180^\circ$  称为西经。我国地处东半球，各地的经度都是东经。

过  $P$  点作子午线的法线，该法线与赤道面的交角  $B$  即为  $P$  点的大地纬度，在赤道以北的点由赤道向北计， $0^\circ \sim 90^\circ$  称为北纬，在赤道以南的点由赤道向南计， $0^\circ \sim 90^\circ$  称为南纬。我国地处北半球，各地的纬度都是北纬。

## 2. 平面直角坐标

在工程测量中为了使用方便，常采用平面直角坐标来表示地面点位，下面主要介绍常用的两种平面直角坐标。

(1) 高斯平面直角坐标。当测区范围较小时，可把地球表面当作平面来看待。而当测区范围较大时，就不能把地球上很大一块表面当平面看待，这时，要用平面直角坐标来表示地面点，必须采用适当的地图投影方法。按一定数学法则，把参考椭球面上的点、线投影到平面上的方法叫做地图投影，投影的方法有多种，我国采用的是高斯投影。

高斯投影首先是将地球按经线划分成带，称为投影带，投影带是从首子午线起，每隔经度  $6^\circ$  划分为一带（称为  $6^\circ$  带），如图 0-4 所示，自西向东将整个地球划分为 60 个带。带号从首子午线开始，用阿拉伯数字表示，位于各带中央的子午线称为该带的中央子午线。第一个  $6^\circ$  带的中央子午线的经度为  $3^\circ$ ，任意一个带中央子午线经度  $L_0$  与投影带号  $N$  的关系为：

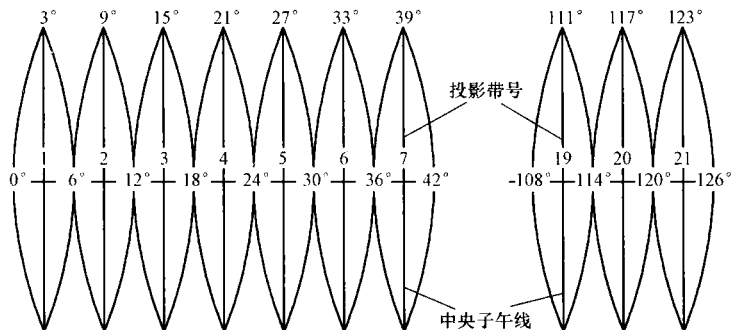


图 0-4  $6^\circ$  带中央子午线及带号





$$L_0 = 6N - 3 \quad (0-2)$$

反之, 已知地面任一点的经度  $L$ , 要求计算该点所在的  $6^\circ$  带编号的公式为:

$$N = \text{Int}\left(\frac{L+3}{6} + 0.5\right) \quad (0-3)$$

式中 Int——取整函数。

投影时设想用一个平面卷成一个空心圆柱, 把它横着套在地球参考椭球体外面, 使空心圆柱的中心轴线位于赤道面内并且通过球心, 使地球椭球体上某条  $6^\circ$  带的中央子午线与圆柱面相切。在图形保持等角的条件下, 将整个带投影到圆柱面上, 如图 0-5 (a) 所示。然后将此圆柱沿着南北极的母线剪切并展开抚平, 便得到  $6^\circ$  带在平面上的形状, 如图 0-5 (b) 所示。由于分带很小, 投影后的形状变形也很小, 离中央子午线越近, 变形就越小。

在由高斯投影而成的平面上, 中央子午线和赤道保持为直线, 两者互相垂直。以中央子午线为坐标系纵轴  $X$ , 以赤道为横轴  $Y$ , 其交点为  $O$ , 便构成此带的高斯平面直角坐标系, 如图 0-5 (b) 所示。在这个投影面上的每一点位置, 就可用直角坐标  $x$ 、 $y$  确定。此坐标与地理坐标的经纬度  $L$ 、 $B$  是对应的, 它们之间有严密的数学关系, 可以互相换算。

如图 0-6 所示, 高斯平面直角坐标纵坐标以赤道为零起算, 赤道以北为正, 以南为负, 我国位于北半球, 纵坐标均为正值。横坐标如以中央子午线为零起算, 则中央子午线以东为正, 以西为负, 由于横坐标出现负值, 使用不便, 故规定将坐标纵轴西移 500 km 当作起始轴, 凡是带内的横坐标值均加 500 km。

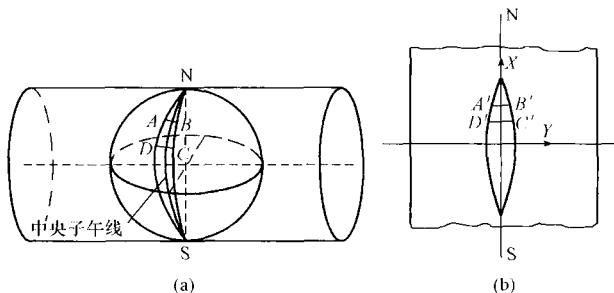


图 0-5 高斯平面直角坐标的投影

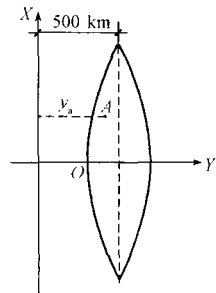


图 0-6 高斯平面直角坐标系

高斯投影属于正形投影的一种, 它保证了球面图形的角度与投影后平面图形的角度不变, 但球面上任意两点间的距离经投影后会产生变形, 其规律是: 除中央子午线没有距离变形以外, 其余位置的距离均变长。

距离变形过大对于测图尤其是测绘大比例尺地形图是不方便的。减小投影带边缘位置距离变形的的方法之一就是缩小投影带的带宽, 例如可以选择采用  $3^\circ$  带和  $1.5^\circ$  带进行投影, 其