

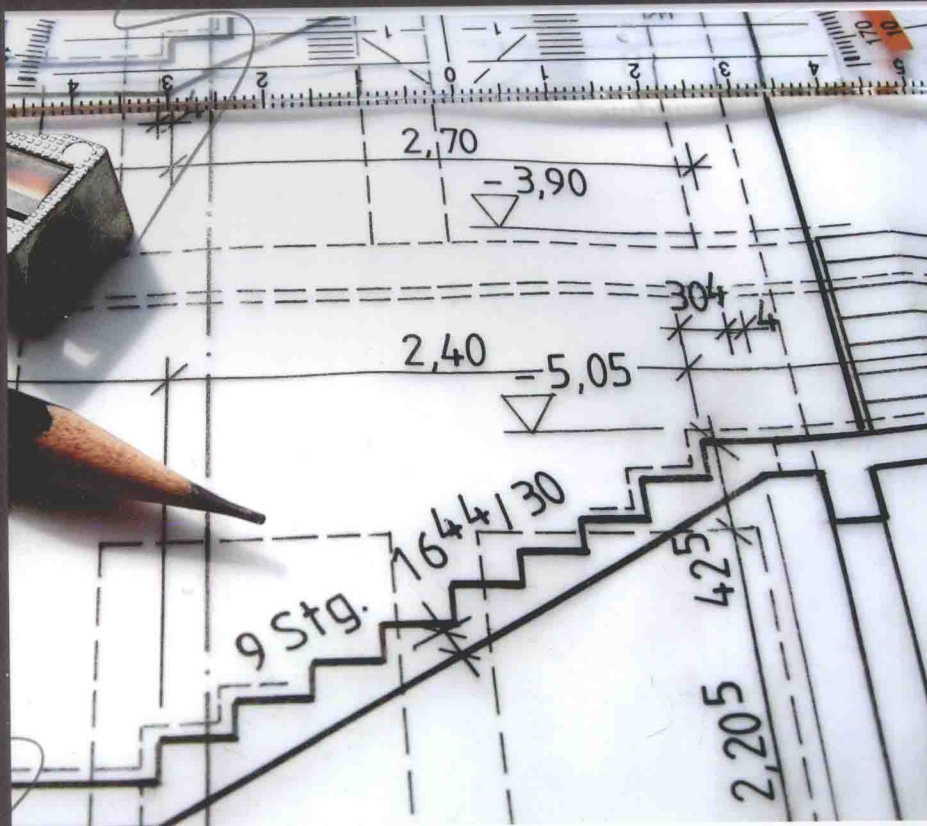


普通高等院校“十三五”规划教材

工程测量

GONGCHENG CELIANG

石杏喜 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

工 程 测 量

石杏喜 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书在论述工程测量基本概念和基本理论的基础上,系统地介绍了工程测量的实际操作方法。在编写和内容选取上,力求结合普通高等学校的实际教学要求,并注意反映近年来工程测量领域中的新设备、新技术和发展趋势。内容主要包括水准测量、角度测量、距离测量、测量误差基本理论、控制测量、地形图测绘与应用、施工测量基础及建筑工程施工测量等。

本书可作为高等学校土木工程专业或其他相关专业的教材,既适用于本科和专科的教学,也适用于相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程测量 / 石杏喜编著. —北京:国防工业出版社, 2016.1

ISBN 978-7-118-10759-3

I. ①工… II. ①石… III. ①工程测量 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 038012 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

三河市众誉天成印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 13 $\frac{3}{4}$ 字数 228 千字

2016 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 32.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

前 言

“工程测量”是各工科类专业的技术基础课。本书着重阐述工程测量的基本理论和基本知识,详细介绍工程测量中涉及的技术和方法,注重实际工作能力的培养,反映了当今测绘技术的进展情况。

本书共分9章,第1章绪论,第2章水准测量,第3章角度测量,第4章距离测量,第5章测量误差基本理论,第6章控制测量,第7章地形图测绘及应用,第8章施工测量基础,第9章建筑工程施工测量。编写本书的目的是使学生掌握工程测量的基本理论和仪器操作方法,为解决实际工程中的测量和放样问题,以及进行相关学科的研究,打下良好的基础。

本书在编写上注重逻辑性和系统性,内容精炼,循序渐进,文字叙述通俗易懂,可作为高等院校工程管理、城市规划、农业、林业、园林、土木工程、环境工程、交通工程、建筑学等专业的教材,也可作为其他相关专业的教学用书以及工程技术人员的参考书。

本书以基础理论和基本概念为重点,力求理论与实际相结合,传统技术与现代技术相对照,重点和难点详细阐述分析,各部分内容由浅入深。

本书的编写得到了南京理工大学教务处的资助。

本书的部分图表和内容取自所列的参考文献,在此向原作者一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误或不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者
2015年9月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 测量学的研究对象及其任务	1
1.1.1 研究对象	1
1.1.2 研究任务	2
1.2 测量工作的基准面	3
1.2.1 大地水准面	3
1.2.2 参考椭球面	4
1.3 测量对象的定位	5
1.3.1 坐标系	5
1.3.2 高程系统	7
1.4 用水平面代替水准面的限度	8
1.4.1 地球曲率对水平距离的影响	8
1.4.2 地球曲率对高程的影响	9
1.5 测绘工作的基本原则	10
1.5.1 测绘的基本工作	10
1.5.2 测绘的基本原则	10
练习题	12
第 2 章 水准测量	13
2.1 水准测量基本原理	13
2.2 普通水准仪的基本结构及使用	14
2.2.1 水准仪的基本结构	14
2.2.2 水准尺和尺垫	17
2.2.3 水准仪的使用	17

2.3 普通水准测量及成果计算	20
2.3.1 水准点	20
2.3.2 水准路线	21
2.3.3 普通水准测量方法	23
2.3.4 普通水准测量的成果计算	24
2.4 水准仪的检验与校正	28
2.4.1 水准仪的轴线及其应满足的条件	28
2.4.2 水准仪的检验和校正	29
2.5 水准测量误差来源	32
2.5.1 仪器误差	32
2.5.2 观测误差	33
2.5.3 外界条件的影响	33
练习题	34
第3章 角度测量	37
3.1 角度测量原理	37
3.1.1 水平角测量原理	37
3.1.2 竖直角测量原理	38
3.2 经纬仪基本结构及操作	39
3.2.1 DJ ₆ 型光学经纬仪的基本结构	39
3.2.2 读数设备和方法	40
3.2.3 经纬仪的操作	41
3.3 水平角观测	43
3.3.1 测回法	43
3.3.2 方向观测法	44
3.4 竖直角测量	47
3.4.1 竖直度盘的构造	47
3.4.2 竖直角计算	48
3.4.3 竖盘指标差	50
3.4.4 竖直角观测	51
3.5 角度测量误差及仪器检校	52

3.5.1 角度观测误差	52
3.5.2 经纬仪检校	53
练习题	53
第4章 距离测量	56
4.1 距离测量概述	56
4.2 钢尺量距	57
4.2.1 钢尺量距工具	57
4.2.2 直线定线	58
4.2.3 钢尺量距方法	59
4.2.4 钢尺量距精密方法	61
4.2.5 钢尺量距误差及注意事项	62
4.3 视距测量	62
4.3.1 视距测量原理	62
4.3.2 视距测量的观测与计算	64
4.4 光电测距原理及其应用	64
4.4.1 光电测距概述	64
4.4.2 光电测距的基本原理	65
4.4.3 光电测距方法	65
4.4.4 光电测距仪的结构	66
练习题	67
第5章 测量误差基本理论	68
5.1 误差的来源及分类	68
5.1.1 误差理论中的基本概念	68
5.1.2 误差的来源	68
5.1.3 误差的分类	69
5.2 偶然误差的性质	70
5.2.1 偶然误差的特性	70
5.2.2 偶然误差的分布密度函数	71
5.3 偶然误差的精度评价指标	72

5.3.1 算术平均值与改正数	72
5.3.2 精度评价指标	73
5.4 误差传播定律及其应用	76
5.4.1 非线性函数误差传播定律	76
5.4.2 线性函数误差传播定律	78
练习题	79
第6章 控制测量	80
6.1 控制测量概述	80
6.2 直线定向	81
6.2.1 标准方向的分类	82
6.2.2 表示直线方向的方法	82
6.2.3 正反方位角	83
6.2.4 象限角	83
6.2.5 方位角的推算	84
6.3 坐标正算与反算	85
6.3.1 坐标正算	85
6.3.2 坐标反算	85
6.4 导线测量	86
6.4.1 概述	86
6.4.2 导线测量的外业观测	87
6.4.3 导线测量的内业计算	89
6.5 前方交会	99
6.6 高程控制测量	102
6.6.1 三、四等水准测量技术要求	102
6.6.2 三、四等水准测量观测方法	102
6.6.3 三、四等水准测量测站计算与检核	104
6.6.4 三、四等水准测量成果整理	105
6.7 三角高程测量	105
练习题	106

第7章 地形图测绘及应用	109
7.1 地形图的基本知识	109
7.1.1 地形图的比例尺	109
7.1.2 地形图的分幅和编号	111
7.1.3 地形图图外注记	117
7.1.4 地形图图式	119
7.2 测图前的准备工作	130
7.3 测量和选择碎部点的基本方法	132
7.3.1 测量碎部点的基本方法	133
7.3.2 碎部点的选择	136
7.4 碎部测量	137
7.4.1 经纬仪测绘法	137
7.4.2 光电测距仪测绘法	142
7.4.3 全站仪测绘法	143
7.5 地形图的拼接、整饰、检查和验收	143
7.5.1 地形图的拼接	143
7.5.2 地形图的检查	144
7.5.3 地形图的整饰	145
7.5.4 地形图的验收	146
7.5.5 提交资料	146
7.6 地形图的应用	146
7.6.1 地形图识读与分析	146
7.6.2 地形图应用的基本内容	150
7.6.3 地形图在工程设计中的应用	155
7.6.4 平整场地中的土石方估算	158
7.6.5 数字地形图的应用	165
练习题	165
第8章 施工测量基础	169
8.1 水平距离、水平角和高程的放样	169

8.1.1	水平距离放样	169
8.1.2	水平角放样	170
8.1.3	高程放样	171
8.2	点的平面位置放样	172
8.2.1	极坐标法	173
8.2.2	直角坐标法	175
8.2.3	角度交会法	176
8.2.4	距离交会法	176
	练习题	177
第9章	建筑工程施工测量	179
9.1	施工测量概述	179
9.1.1	施工测量的内容与特点	179
9.1.2	施工测量的基本原则	180
9.1.3	施工测量的精度要求	180
9.1.4	施工坐标系与测量坐标系的换算	180
9.2	建筑工程施工控制测量	181
9.2.1	建筑基线	182
9.2.2	建筑方格网	184
9.2.3	施工场地的高程控制测量	185
9.3	多层民用建筑施工测量	185
9.3.1	测量前的准备工作	185
9.3.2	定位测量	186
9.3.3	基础施工测量	187
9.3.4	主体施工测量	189
9.4	高层建筑施工测量	190
9.4.1	高层建筑定位测量	191
9.4.2	高层建筑基础施工测量	191
9.4.3	高层建筑的轴线投测	192
9.4.4	高层建筑的高程传递	193
9.5	工业厂房施工测量	193

9.5.1	概述·····	193
9.5.2	工业厂房控制网的测设·····	194
9.5.3	工业厂房柱列轴线与柱基施工测量·····	194
9.5.4	工业厂房预制构件安装测量·····	195
9.6	线路工程施工测量·····	197
9.6.1	线路勘测阶段的测量工作·····	197
9.6.2	线路施工测量·····	198
9.6.3	曲线测设·····	200
9.6.4	带有缓和曲线的曲线测设·····	201
9.7	桥梁工程施工测量·····	203
9.7.1	概述·····	203
9.7.2	施工测量基本内容·····	204
	练习题·····	206
	参考文献·····	207

第1章 绪 论

1.1 测量学的研究对象及其任务

测量学是研究地球形状、大小,确定地球表面、空中、地下等物体空间位置的科学。它包括测定和放样两项主要内容。测定是指使用测量设备,通过相关的科学测量手段和计算方法,获取一系列的测量成果(如空间位置坐标或一定比例尺的地形图),为经济建设、国防建设、工程规划设计及科学研究等领域服务。放样也称为测设工作,是采用科学的测量方法,按照一定的精度要求,把设计图纸上建筑物的平面位置和高程标定在实地上。

1.1.1 研究对象

测量学按照研究对象及采用技术的不同,又可分为大地测量学、摄影测量学、工程测量学、海洋测量学和地图制图学。本书主要介绍工程测量学中围绕土木工程各个阶段所进行的测量工作。

测量学是一门历史悠久的学科,在人类活动和生产实践过程中逐渐发展起来的。随着现代工程建设的大规模发展,工程测量学已经逐渐受到人们的重视,并发展成为测绘学的一个重要分支。20世纪50年代,世界各国在建设大型水工建筑物、长隧道、城市地铁中,对工程测量提出了一系列要求,为了确保竣工后的工程质量,人们致力于定线放样的方法及其精度分析的研究,形成了施工测量的内容;20世纪60年代,空间技术的发展和导弹发射场建设促使工程测量进一步发展;20世纪70年代以来,高能物理、天体物理、人造卫星、宇宙飞行、远程武器发射等,需要建设各种巨型实验室,从测量精度和仪器自动化方面都对工程测量提出了更高的要求,必须采用特制的仪器设备并拟订专门的测量方法,这就是高精度工程测量。

20世纪末,人类科学技术不断向着宏观宇宙和微观粒子世界延伸,测量对象不仅限于地面,而且延伸到地下、水域、空间和宇宙,如核电站、摩天大楼、海底隧道、跨海大桥、大型正负电子对撞机等。由于仪器的进步和测量精

度的提高,工程测量的领域日益扩大,除了传统的工程建设三阶段的测量工作外,在地震观测、海底探测、巨型机器、车床、设备的荷载试验、高大建筑物(电视发射塔、冷却塔)变形观测、文物保护,甚至在医学和罪证调查中,都应用了最新的精密工程测量仪器和方法。

工程测量学的发展经历了一条从简单到复杂、从手工操作到测量自动化、从常规测量到精密测量的发展道路,它的发展始终与当时的生产力水平相同步,并且能够满足大型特种精密工程中对测量所提出的越来越高的需求。

1.1.2 研究任务

工程测量的主要研究任务包括:提供模拟或数字的地形资料;进行测量及其有关信息的采集和处理;建筑物的施工放样;大型精密设备的安装和调试测量;工业生产过程的质量检测和控制;各类工程建设物、矿山和地质病害区域的变形监测、机理解释和预报;工程测量专用仪器的研制与应用;与研究对象有关的信息系统的建立和应用等。

1. 地形图测绘

在工程规划设计中所用的地形图一般比例尺较小,根据工程的规模可直接使用 1:1 万至 1:10 万的国家地形图系列。对于一些大型工程,往往需要专门测绘区域性或带状性地形图,一般采用航空摄影测量,用模拟法、解析法或全数字化法测图。而对于 1:2000~1:5000 的局部性或带状地形图,则采用地面测量方法用模拟的白纸成图或数字化机助成图法进行测绘。在施工建设和运营管理阶段,往往需要测绘 1:1000、1:500 乃至更大比例尺的地形图、竣工图或专题图,一是满足施工设计和管理的需要,二是满足运营管理的需要。竣工图或专题图应与地籍图测绘相结合。各种大比例尺图是工程信息系统或专题信息系统的基础地理信息。

2. 控制网布设

为工程建筑物的施工放样、验收及其他测量工作建立平面控制网和高程控制网。首级平面控制网常用高精度测角网、边角网或电磁波导线等形式布设,再以插网、插点或导线加密。随着 GPS 技术的推广和应用,在许多大型工程中已开始采用 GPS 建立平面施工控制网,并用动态 GPS 技术进行施工放样工作,这对提高施工测量的效率是十分有益的。首级高程控制网一般为高精度的水准网,然后以较低等级的附合水准路线或节点水准网加密,地形起伏较大时,则用电磁波三角高程测量或解析三角高程测量代替相应等级的水准测量。

3. 建筑物施工放样

将设计的抽象的几何实体放样(或称测设)到实地上成为具体几何实体所采用的测量方法和技术称为施工放样,机器和设备的安装也是一种放样。放样与测量的原理相同,使用的仪器和方法也相同,只是目的不一样。施工放样一般采用方向交会法、距离交会法、方向距离交会法、极坐标法、坐标法、偏角法、偏距法、投点法等。除常规的光学、电子经纬仪,水准仪,全站仪外,还有一些专用仪器。目前,GPS 技术亦可用于工程的施工放样、施工机械导航定位和建筑物构件的安装定位。

4. 建筑物竣工测量

工程建设项目竣工验收时所进行的测量工作称为竣工测量,其主要目的是根据控制网点测定已有建筑物的实际位置以及部分建筑物的几何形体,以检验施工质量,为工程的验收、决算、维护等工作提供依据。竣工测量的成果主要包括竣工总平面图、分类图、辅助图、断面图、道路曲线元素、细部点坐标、高程明细表等。它们综合反映了工程竣工后主体工程及其附属工程的现状,是今后工程运营管理和维护所必需的基础技术资料,也是工程改建、扩建设计的依据。

5. 建筑物变形监测

工程建筑物及与工程有关的变形的监测、分析和预报是工程测量学的重要内容。变形分析和预报除了需要对变形观测数据进行处理外,还涉及工程、地质、水文、应用数学、系统论和控制论等学科,属于多学科的交叉领域。变形监测技术几乎包括了全部的工程测量技术,除常规的仪器和方法外,还大量地使用各种传感器和专用仪器。

1.2 测量工作的基准面

地球的自然表面是一个极其复杂的不规则曲面,高低起伏。但是,地表高低起伏程度相对于体积庞大的地球本身来说是微不足道的。而且地球表面大部分被海洋覆盖,其面积约占总地球表面积的 71%,所以,海水所包围的形体基本表示了地球的形状。

1.2.1 大地水准面

假想有一个静止的海水面,向陆地延伸形成一个封闭的曲面,这个曲面

称为水准面。水准面上每一个点的铅垂线均与该点的重力方向重合。由于海水面受潮汐的影响而不断变化,所以水准面有无数个。为此,人们在海滨设立验潮站,通过长期观测,求出海面平均高度的水准面,称为大地水准面。大地水准面所包围的形体称为大地体。

1.2.2 参考椭球面

由于地球表面陆地部分高低不平,其内部质量分布极不均匀,因此,地面上各点的重力方向也不一致,大地水准面仍然是一个复杂的不规则曲面。为了简单地用一个数学模型进行描述,通常设想用一个旋转椭球面逼近大地水准面,旋转椭球面所包含的形体称为旋转椭球体,同大地水准面最为接近的椭球面称为平均地球椭球面。如图 1.1 所示为大地水准面和参考椭球面。旋转椭球体是由椭球面 $NWSE$ 绕其短轴 NS 旋转而成的形体,其形状和大小取决于长半轴 a 、短半轴 b 和扁率 $\alpha = (a-b)/a$ 。

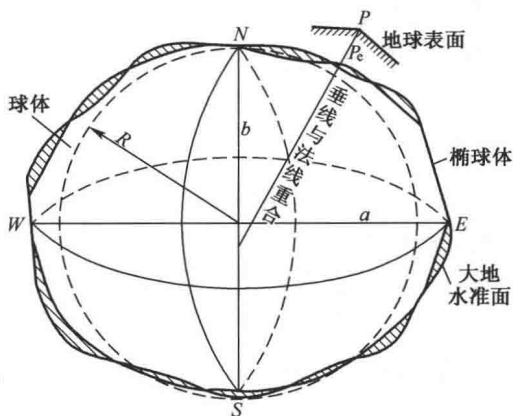


图 1.1 大地水准面和参考椭球面

为了将测量成果准确地归算到椭球面上,各国都根据自己的实际情况,采用与大地体非常接近的椭球体,并选择地面上一点或多点使椭球定位。如图 1.1 所示,地面上选一点 P ,令点 P 的铅垂线和椭球面上相应点 P_0 的法线重合,并使点 P_0 的椭球面与大地水准面相切。点 P 称为大地原点,旋转后的椭球面称为参考椭球面,其包围的形体称为参考椭球体。目前,我国采用 1975 年第 16 届国际大地测量与地球物理协会联合推荐的椭球体参数,即长半轴 $a=6378140\text{m}$,短半轴 $b=6356740\text{m}$, $e=1/298.257$ 。

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,参考椭球面及其法线是测量计算所依据的基准面和基准线。

1.3 测量对象的定位

测量对象的定位有平面定位和空间定位。平面坐标用于确定测量对象的平面位置;空间位置通过平面坐标和高程来确定,也可以通过球面坐标来确定。因此,了解测量坐标系统和高程系统是非常必要的。

1.3.1 坐标系统

在测量工作中,常用的坐标系统有大地坐标系、高斯投影平面直角坐标系、独立平面直角坐标系等。

1. 大地坐标系

测量对象的大地坐标采用大地经度和大地纬度来定义,它的基准是参考椭球面及其法线。如图 1.2 所示为大地坐标系,点 P 沿椭球面法线到椭球面上的投影是 Q , P 和 Q 之间的距离称为点 P 的大地高,过点 P 的大地子午面和首子午面所夹的二面角称为点 P 的大地经度 L ;过点 P 的法线与赤道面的夹角称为点 P 的大地纬度 B 。点 P 的大地坐标可以表示为 (L, B, H) ,从而可以确定点 P 的空间位置。

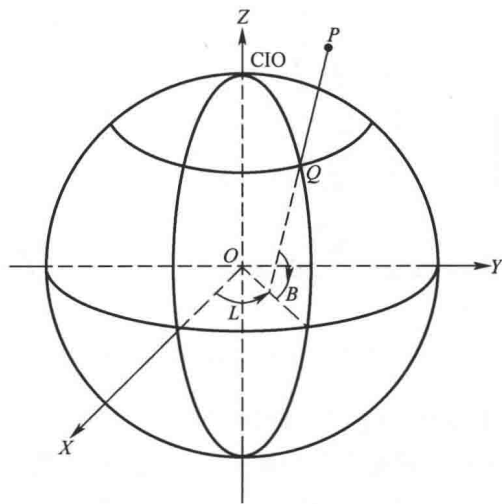


图 1.2 大地坐标系

目前,我国常用的大地坐标系有 1954 年北京坐标系、1980 年国家大地坐标系和 WGS-84 坐标系,当已知它们之间的转换参数时,这三种坐标系可以按照相关数学模型进行相互转换。

2. 高斯平面直角坐标系

大地经度、大地纬度和大地高表示的大地坐标是测量对象基于椭球面的空间位置坐标,不能直接应用于施工放样和地图测量。因此,需要将它们按一定的数学模型转换为平面直角坐标。高斯投影技术能有效地将椭球面投影成平面。

高斯投影基本原理是将椭球面以经度每 3° 或 6° 带进行划分,每一带采用高斯(Gauss)投影方式投影成平面,高斯投影属于横轴切圆柱正形投影。高斯—克吕格尔投影(图 1.3)就是将截面为椭圆的一个圆柱体面套在地球参考椭球的外面,圆柱的中心轴 EE_1 在赤道面内,圆柱面同椭球面相切在中央子午线上。按照正形投影条件将中央子午线东、西各一定经度范围投影到圆柱面上,然后将该圆柱面展开成一平面,就得出中央子午线两侧范围在平面上的投影,如图 1.4 所示。地球椭球赤道的投影也是直线,且与中央子午线正交,以前者为横轴,即 y 轴,东向为正;后者为纵轴,即 x 轴,北向为正;两坐标轴的交点 O 为原点,这就形成了高斯平面直角坐标系。为避免 y 坐标出现负值,规定将每带的 x 轴向西平移 500km。

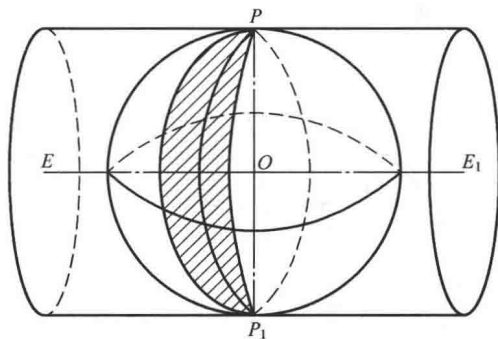


图 1.3 高斯—克吕格尔投影

为了减小高斯投影中的变形,克吕格尔提出将地球椭球面按子午线划分成适当个数的投影带,带宽通常分为 6° 或 3° ,每一投影带均有统一的带号,为了表示任一点所在的投影带,又规定 y 坐标值前加上二位数,以表示投影带号。如图 1.5 所示即为高斯—克吕格尔投影分带。