

普通高等教育“十三五”规划教材

水利水电工程测量

(第二版)

主编 陈彩苹 刘普海



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十五”规划教材

水利水电工程测量

(第二版)

主编 陈彩苹 刘普海



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本教材在 2005 年版高等学校精品规划教材《水利水电工程测量》的基础上进行了重新修订。测量误差基本知识单列为第五章,并增加了非等精度观测平差内容;平面控制测量与高程控制测量两章合并为第六章控制测量;其他章节不变。对传统的、已不常用的方法做了简要介绍或删减;详细介绍了 CASS 软件在数字化制图及工程中的应用;全球定位系统中增加了 CORS 基站及其应用内容。每章后附有复习思考题,书后附有主要仪器技术参数和参考文献。

本教材可作为高等学校水利水电工程专业、农业水利工程专业、水土保持工程专业、水文地质专业、水资源管理专业及港口与航道等专业的本、专科教学用书,也适用于上述专业的成人教育和相关的工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

水利水电工程测量 / 陈彩苹, 刘普海主编. -- 2版

. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2016. 6

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5170-4524-3

I. ①水… II. ①陈… ②刘… III. ①水利水电工程—工程测量—高等学校—教材 IV. ①TV221

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第188114号

书 名	普通高等教育“十三五”规划教材 水利水电工程测量 (第二版) SHUILI SHUIDIAN GONGCHENG CELIANG
作 者	主编 陈彩苹 刘普海
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16开本 17.5印张 414千字
版 次	2005年7月第1版第1次印刷 2016年6月第2版 2016年6月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	36.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

普通高等教育“十三五”规划教材
《水利水电工程测量》(第二版)
编写人员

主 编：陈彩苹 刘普海

副主编：张梅花 鄢继选 余宏远

编写人员：(按姓氏笔画排序)

王佳婷 (河西学院)

刘普海 (甘肃农业大学)

余宏远 (河西学院)

张梅花 (甘肃农业大学)

陈彩苹 (甘肃农业大学)

黄 珍 (甘肃农业大学)

黄彩霞 (甘肃农业大学)

鄢继选 (甘肃农业大学)

魏宏源 (河西学院)

高等学校精品规划教材
《水利水电工程测量》(第一版)
编 写 人 员

主 编：刘普海 梁 勇 张建生

编写人员：(按姓氏笔画排序)

王 京 (石河子大学)

孔明明 (扬州大学)

刘丽霞 (甘肃农业大学)

刘普海 (甘肃农业大学)

李晓玲 (甘肃农业大学)

张建生 (甘肃农业大学)

张婷婷 (沈阳农业大学)

帕尔哈提 (新疆农业大学)

姜 放 (长春工学院)

梁 勇 (山东农业大学)

第二版前言

由刘普海教授担任第一主编的高等学校精品规划教材《水利水电工程测量》，于2005年7月由中国水利水电出版社出版，并正式发行，至今历时十年，期间多次印刷，使用单位普遍反映良好，体现了原版教材的优越性、前瞻性及适用性。

随着测绘理论、测绘设备和测绘技术的不断更新与发展，高校的测绘教学不仅要紧跟发展的形势，还要有创新的理念，基于这样的原则，此次第二版教材以最大程度地满足高等学校相关专业测量学教学的需求，在加强基础理论、基本知识和基本技能编写的同时，在新理论、新方法、新动向上着眼立足，同时删除了过时的、陈旧的知识，并对原版教材的缺点和错误做了进一步的完善和修改，目的在于使教材能在培养为相应专业服务的测绘人才方面发挥更好的作用。

编写分工为刘普海：内容提要；陈彩苹：第二版前言；张梅花：第一章、第二章和第三章；张梅花和黄彩霞：第四章；黄珍：第五章；鄢继选：第六章；余宏远：第七章；陈彩苹：第八章；余宏远：第九章；鄢继选和黄彩霞：第十章和第十一章；余宏远：第十二章；魏宏源：第十三章和第十四章；王佳婷：第十五章和第十六章。本书由黄彩霞组织统稿、参加统稿的人员有黄珍、陈彩苹，最后由陈彩苹对全书进行修改以及定稿。

刘普海教授在制订修订方案及确定编写内容过程中，提出了许多宝贵意见，在统稿、审稿中与第一主编陈彩苹副教授一起做了大量的工作，使《水利水电工程测量》（第二版）教材顺利定稿。

非常感谢《水利水电工程测量》第一版教材的各位编委，是你们十年前的辛勤劳动，为我们重新修订该版教材打下了坚实的基础。我们的水平和能力有限，本教材若有错误或不当之处，敬请读者批评指正，以便第三版时再进一步完善和提高。

编者

2016年3月

第一版前言

本书是《高等学校精品规划教材》之一。本教材在编写中充分体现严谨性、成熟性和前瞻性，不仅介绍常规的测量理论、仪器和方法，还介绍了现代测绘科技的新理论、新仪器、新方法、新动向。

本教材内容翔实，结构严谨，层次分明，文字简明扼要，插图美观齐全。总体力求重点突出，定义准确，概念明晰，既便于基本理论、基本知识、基本技能的学习与掌握，又充分考虑到不同院校教学条件和教学时数的差异，具有很强的通用性。

第一章由刘普海编写；第二章、第三章由刘普海（甘肃农业大学）、李晓玲（甘肃农业大学）、刘丽霞（甘肃农业大学）合编；梁勇（山东农业大学）编写了第四章、第十一章；张建生（甘肃农业大学）编写了第五章、第六章和第七章；第八章由刘丽霞、刘普海、李晓玲合编；帕尔哈提（新疆农业大学）编写了第九章；张婷婷（沈阳农业大学）编写了第十章；孔明明（扬州大学）编写了第十二章、第十四章；姜放（长春工学院）编写了第十三章；王京（石河子大学）编写了第十五章；第十六章由王京、张建生、李晓玲合编。本书由刘普海组织统稿，参加统稿的人员有梁勇、张建生、李晓玲、刘丽霞，最后由刘普海、张建生修改定稿。

甘肃农业大学成自勇教授任主审、甘肃省基础地理信息中心白建荣高级工程师审阅了本书全部书稿，编者在此表示衷心的感谢。

在编写和统稿过程中，参阅了国内外同类测量学教材和文献，吸收采用了其中有益思想和内容，在此本教材全体编写人员对这些文献的作者表示诚挚的谢意。甘肃农业大学王引弟老师在文字录入、文字校对及插图制作等方面做了大量工作，编者在此表示感谢。

由于编者的水平有限，本教材如有错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

2010年5月

目 录

第二版前言

第一版前言

第一章 绪论	1
第一节 水利水电工程测量的任务	1
第二节 地球的形状和大小	3
第三节 地面点位的确定与表示	4
第四节 测量工作概述	10
复习思考题	13
第二章 水准测量	14
第一节 水准测量原理	14
第二节 水准测量仪器和工具的构造及使用	15
第三节 普通水准测量	19
第四节 水准测量成果的内业平差计算	22
第五节 自动安平水准仪与电子水准仪	24
第六节 水准测量误差及精度分析	26
复习思考题	29
第三章 角度测量	30
第一节 角度测量原理	30
第二节 DJ ₆ 级光学经纬仪	30
第三节 DJ ₂ 级光学经纬仪	34
第四节 电子经纬仪	36
第五节 水平角测量	37
第六节 竖直角测量	41
第七节 角度观测误差及精度分析	43
复习思考题	46
第四章 距离测量	47
第一节 钢尺量距	47
第二节 视距测量	50
第三节 光电测距	52
第四节 直线定向	54

复习思考题	57
第五章 测量误差基本知识	58
第一节 测量误差概述	58
第二节 评定观测值精度的标准	61
第三节 误差传播定律	63
第四节 等精度观测值的平差	67
第五节 不等精度观测值的平差	70
复习思考题	73
第六章 控制测量	75
第一节 控制测量概述	75
第二节 导线测量	78
第三节 交会定点	84
第四节 三、四等水准测量	88
第五节 三角高程测量	91
复习思考题	92
第七章 大比例尺地形图测绘	93
第一节 比例尺及其精度	93
第二节 地物地貌在地形图中的表示方法	94
第三节 测图前的准备工作	103
第四节 碎部测量方法	104
第五节 地形图的拼接与检查	109
第六节 地形图的整饰、清绘与复制	110
复习思考题	111
第八章 数字化测图	112
第一节 概述	112
第二节 野外数据采集	112
第三节 数据传输	114
第四节 地物编绘	115
第五节 地貌编绘	116
第六节 地形图的分幅和输出	117
复习思考题	118
第九章 地形图的应用	119
第一节 概述	119
第二节 地形图的分幅和编号	119
第三节 地形图的识读	126
第四节 地形图应用的基本内容	127

第五节 地形图在水利水电工程中的应用	129
第六节 在地形图上量算图形的面积	132
第七节 数字地形图在工程建设中应用	136
复习思考题	143
第十章 全球定位系统 (GNSS) 及其应用	144
第一节 GNSS 概述	144
第二节 GPS 的组成	148
第三节 GPS 定位的基本原理	152
第四节 连续运行参考站系统 (CORS) 简介	156
第五节 GNSS 技术的实施与应用	158
复习思考题	166
第十一章 全站仪及其应用	167
第一节 全站仪简介	167
第二节 全站仪在控制测量中的应用	171
第三节 全站仪在碎部测量中的应用	173
第四节 全站仪在施工放样中的应用	175
第五节 全站仪应用的相关知识	177
复习思考题	178
第十二章 施工放样的基本工作	179
第一节 概 述	179
第二节 施工控制网的布设	180
第三节 测设的基本工作	181
第四节 测设地面点平面位置的基本方法	185
第五节 圆曲线的测设	187
复习思考题	191
第十三章 渠道及线路测量	192
第一节 渠道测量	192
第二节 道路测量	203
第三节 管道测量	205
第四节 输电线路测量	207
复习思考题	210
第十四章 河道测量	211
第一节 概述	211
第二节 水位测量	211
第三节 水深测量	212
第四节 河道纵横断面测量	216

第五节 水下地形测量	220
复习思考题	223
第十五章 水工建筑物的放样	224
第一节 重力坝的放样	224
第二节 拱坝的放样	229
第三节 水闸的放样	232
第四节 隧道的放样	236
复习思考题	244
第十六章 水工建筑物的变形观测	245
第一节 概述	245
第二节 水平位移观测	245
第三节 垂直位移观测	256
第四节 固结观测	257
第五节 裂缝观测	259
第六节 建筑物变形观测资料的整理	260
复习思考题	264
附录	265
附录 1 水准仪系列技术参数	265
附录 2 电子水准仪系列技术参数	265
附录 3 经纬仪系列技术参数	266
附录 4 拓普康 ES-600G 系列技术参数	266
参考文献	267

第一章 绪 论

第一节 水利水电工程测量的任务

测量学是研究地球形状和大小以及确定地面点位置的科学。

一、传统测量学的分支学科

根据研究的范围和对象不同,传统的测量学已经形成以下几个分支学科:

普通测量学——研究地球表面较小区域内测绘工作的基本理论、技术、方法和应用的学科。是测量学的基础,主要研究图根控制网的建立,地形图测绘及一般工程施工测量,因此,普通测量学的核心内容是地形图的测绘和应用。

大地测量学——研究在广大区域建立国家大地控制网,测定地球形状、大小和地球重力场的理论、技术与方法的学科。由于空间科学技术的发展,常规的大地测量已发展到人造卫星大地测量,测量对象也由地球表面扩展到空间星球,由静态发展到动态。

摄影测量学——利用摄影或遥感的手段获取物体的影像和辐射能的各种图像,经过对图像的处理、量测、判释和研究,以确定物体的形状、大小和位置,并判断其性质的学科。

工程测量学——研究工程建设在勘测、设计、施工和管理阶段所进行测量工作的理论、方法和技术的学科。工程测量学的应用领域非常广阔。

地图制图学——利用测量获得的资料,研究地图及其制作的理论、工艺和应用的学科。其任务是编制与生产不同比例尺的地图。

二、水利水电工程测量的内容和任务

水利水电工程测量是为水利水电工程建设提供服务的专业性测量,属于普通测量学和工程测量学的范畴。主要有三方面的任务:

测绘——使用常规或现代测量仪器和工具,测绘水利水电工程项目区域的地形图,供规划设计使用。

测设——将图上已规划设计的工程建筑物或构筑物的位置准确地测设到实地上,为工程施工提供依据,也称为施工放样。

变形观测——在工程施工过程中及工程建成运行管理中,对其进行技术性监测和稳定性监测,以确保工程安全。

本课程涉及的普通测量学内容,是非测绘专业学生的共修内容,水利水电工程测量部分是本专业学生的必修内容。由于测绘科学具有超前服务性、现时服务性及事后服务性的特点,决定了从事水利水电工程类工作的专业人员,在工程勘测、规划设计、施工组织和工程管理中,应具有坚实的测绘知识和熟练的测绘技能,以便更好地为本专业服务。

需要说明的是,在测量实施中,测绘手段可以采用常规的测绘方法,也可以利用现代

测绘技术与成果，这就需根据所在单位现有的技术条件、工程的大小与性质、场地的自然条件及施工的难易程度等因素确定。如库区淹没线的确定可以根据传统的纸质地形图上的等高线勾绘，也可利用地理信息系统（GIS）提供的分析功能确定；水位动态监测可以用传统的航空摄影方法，也可用遥感的方法。简言之，即要考虑技术和实践上的可行性，又要考虑经济上的合理性。

三、现代测绘科学技术的发展及其在水利工程中的应用

随着国民经济的发展和科学技术的进步，尤其是计算机科学与信息科学的迅猛发展，电子计算机、微电子技术、激光技术、遥感技术和空间技术的发展和运用，为测量学提供了新的手段和方法，推动着测量学理论和测绘技术不断发展与更新。测量仪器的小型化、自动化和智能化，促使测量工作正朝着数据的自动获取、自动记录和自动处理的方向发展。

先进电子经纬仪、电子水准仪、电子全站仪在测量中已经得到了广泛的应用，为测量工作的现代化创造了良好的条件；全球定位系统（GPS）的运用与发展，为测量提供了高速度、高精度、高效率的定位技术；电子全站仪与电子计算机、数据绘图仪组成的数字化测图系统迅猛发展，已成为数字化时代不可缺少的 GIS 的重要组成部分。

“3S”技术是 RS、GIS 和 GPS 技术的统称，是目前对地观测系统中空间信息获取、管理、分析和运用中的核心支撑技术。它广泛应用于各种空间资源和环境问题的决策支持。目前正发展为一门较为成熟的技术在国土资源统计、水资源管理、灾害评估、自然环境监测以及城建规划等领域得到迅速运用。

水利信息化建设涉及海量的数据，而其中约 70% 与空间地理位置有关。组织和存储这些数据是普通的关系型数据库系统难以办到的，而 GIS 不仅可以存储、管理各类海量水利信息，还能提供可视化查询、网络发布与决策辅助支持等功能。目前，网络 GIS、组件式 GIS、三维四维 GIS、VR-GIS 等技术的发展使 GIS 为水利行业服务的领域越来越广泛和实用。此外，这些与空间位置有关的海量水利信息的存在也为 GPS 技术的运用提供了广阔的需求。随着 3S 技术与网络计算机等高新技术以及水利行业本身传统技术的更紧密结合，必将进一步促进水利信息化的快速发展，从而更大地改善我国水利建设的管理水平和工作效率。

20 世纪 90 年代后，RS 技术发展更加快速并日趋成熟，已成为水利信息采集的重要手段，广泛应用于水旱灾害监测与评估、水资源动态监测与评价、生态环境监测、土壤侵蚀监测与评价以及水利工程建设与管理等水利业务，并取得显著的社会经济效益。随着遥感信息获取技术的不断快速发展，各类不同时空分辨率的遥感影像的获取越来越容易，运用将会越来越广泛，遥感信息必将成为现代水利的日常信息源。

目前，水利信息化建设一刻也离不开“3S”技术的支持。RS 技术已经成为水利信息采集的一个重要手段，GIS 技术已经成为水利信息存储、管理和分析的强有力工具和平台，而 GPS 技术也成为获取定位信息的必不可少的手段。我们知道，包括水情、雨情、汛旱、灾情、水量、水质、水环境、水工程等信息在内的各种水利信息的获取需要一个庞大的信息监测网络的支持，RS 技术相对于传统信息获取手段具有宏观、快速、动态、经济等特点而被越来越广泛运用。

第二节 地球的形状和大小

测量工作是在地球表面上进行的，其表面是一个高低不平、极其复杂的自然面，陆地最高的珠穆朗玛峰高达 8844.43m，海底最低的马里亚纳海沟深达 11022m，但这样的高低起伏相对于半径为 6371km 的地球而言是可以忽略不计的。由于海洋约占地球表面的 71%，陆地仅占 29%，因此，地球的形状可以认为是被海水包围的球体。可以假想将静止的海水面延伸到大地球内部，形成一个封闭曲面，这个静止的海水面称为水准面。海水有潮汐变化，所以水准面有无数多个，其中通过平均海水面的一个水准面称为大地水准面，它所包围的形体称为大地体，如图 1-1 所示，它非常接近一个两极扁平、赤道隆起的椭球。大地水准面的特性是处处与铅垂线正交，然而，由于地球内部物质分布不均匀，引起重力方向发生变化，使大地水准面成为一个不规则的复杂曲面，且不能用数学公式来表达，因此，大地水准面还不能作为测量成果的基准面。为了便于测量、计算和绘图，选用一个椭圆绕它的短轴旋转而成的椭球体来表示地球形体，称为参考椭球体，如图 1-2 所示。

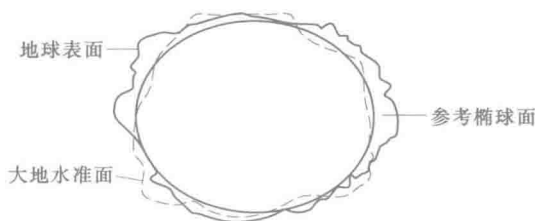


图 1-1 地球的形状

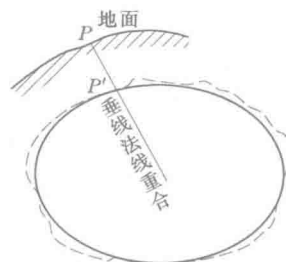


图 1-2 参考椭球定位

椭球体形状、大小与大地体非常接近，通常用这个椭球面作为测量与制图的基准面，并在这个椭球面上建立大地坐标系。

决定地球椭球体形状大小的参数为椭圆的长半径 a 和短半径 b ，扁率 α 。随着空间科学的进步，可以越来越精确地测定这些参数。目前使用的最新参数为

$$a = 6378137 \text{ (m)}$$

$$b = 6356752 \text{ (m)}$$

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

由于参考椭球体的扁率很小，当测区面积不大时，可以把地球视为圆球体，其半径

$$R = (2a + b) / 3 \approx 6371 \text{ (km)} \quad (1-1)$$

地球的形状确定后，还应进一步确定大地水准面与旋转椭球面的相对关系，才能把观测结果化算到椭球面上。如图 1-2 所示，在一个国家的适当地点，选择一点 P ，设想把椭球与大地体相切，切点 P' 点位于 P 点的铅垂线方向上，这时椭球面上 P' 的法线与大地水准面的铅垂线相重合，使椭球的短轴与地轴保持平行，且椭球面与这个国家范围内的大地水准面差距尽量的小，于是椭球与大地水准面的相对位置便固定下来，这就是参考椭球

的定位工作，根据定位的结果确定大地原点的起算数据，并由此建立了国家大地坐标系。

第三节 地面点位的确定与表示

测量工作的基本任务就是测定地面点的位置，而地面点的位置是用三维坐标来表示的。用以确定地面点位的坐标系有以下几种：

一、测量坐标系

(一) 地理坐标系

地理坐标系属球面坐标系，依据采用的投影面不同，又分为天文地理坐标系和大地地理坐标系。

1. 天文地理坐标系

天文地理坐标系又称天文坐标，用天文经度 λ 和天文纬度 φ 表示地面点投影在大地水准面上的位置，如图 1-3 所示。

确定球面坐标 (λ, φ) 所依据的基准线为铅垂线，基准面为大地水准面。 PP_1 为地球的自转轴， P 为北极， P_1 为南极。地面上任一点 A 的铅垂线与地轴 PP_1 所组成的平面称为该点的子午面。子午面与球面的交线称为子午线，也称经线。 A 点的经度 λ 是 A 点的子午面与首子午面所组成的二面角。它自首子午面向东量度，称为东经，向西量度，称为西经。其值各为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。垂直于地轴的平面与球面的交线称为纬线；垂直于地轴并通过地球中心 O 的平面为赤道面；赤道面与球面的交线为赤道。 A 点的纬度 φ 是过 A 点的铅垂线与赤道平面之间的交角，其计算方法从赤道面向北量度，称为北纬，向南量度，称为南纬。其值为 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。

天文地理坐标可以在地面上用天文测量的方法测定。

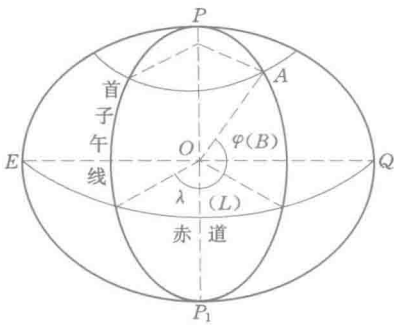


图 1-3 地理坐标系

2. 大地地理坐标系

大地地理坐标系表示地面点投影在地球参考椭球面上的位置，用大地经度 L 和大地纬度 B 表示（图 1-3），其坐标原点并不与地球质心相重合。这种原点位于地球质心附近的坐标系，又称参心大地坐标系。确定球面坐标 (L, B) 所依据的基准线为椭球面的法线，基准面为旋转椭球面， A 点的大地经度是 A 点的大地子午面与子午面所夹的二面角， A 点的大地纬度 B 是过 A 点的椭球面法线与赤道面的交角。大地经纬度是根据一个起始的大地点（称为大地原点，该点的大地经纬度与天文经纬度相一致）的大地坐标系，按大地测量所得的数据推算而得。

我国以位于陕西省泾阳县永乐镇的大地原点为大地坐标的起算点，由此建立的坐标系称为“1980 年国家大地坐标系”。

(二) 地心坐标系

地心坐标系属空间三维直角坐标系，用于卫星大地测量。由于人造地球卫星围绕地球

运动，地心坐标系的原点与地球质心重合，如图 1-4 所示。Z 轴指向北极且与地球自转轴相重合，X、Y 轴在地球赤道平面内，首子午面与赤道面的交线为 X 轴，Y 轴垂直于 XOZ 平面。地面点 A 的空间位置用三维直角坐标 X_A 、 Y_A 、 Z_A 来表示。WGS-84 世界大地坐标系是地心坐标系的一种，应用于 GPS 卫星位置测量，并可将该坐标系换算为大地坐标系或其他坐标系。

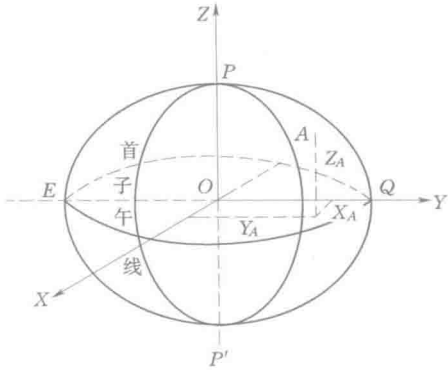


图 1-4 地心坐标系

(三) 平面直角坐标系

1. 高斯平面直角坐标系

(1) 投影变形的概念。大地坐标只能用来表示地面点在椭球体上的位置，不能直接用来测图。在规划、设计和施工中均使用平面图纸反映地面形态，而且在平面上进行数据运算比在球面上要方便得多。由于椭球体面是一闭合曲面，要将曲面展开为平面必然产生长度、面积和角度变形。为了解决这一矛盾，必须研究地图投影的问题。

考察椭球面上一个微小的图形（微分圆）在投影过程中表象的变化可知，投影后将出现图 1-5 所示的几种情况。

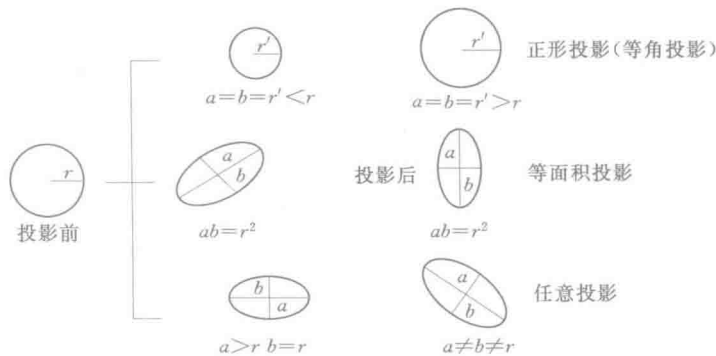


图 1-5 微分圆投影变形情况

如图 1-5 所示的变形性质，可将地图投影分为正形投影、等面积投影和任意投影。正形投影和等面积投影是两种常用的地图投影方式。

正形投影有两个基本条件：一是保角性；二是长度比的固定性。所谓保角性，是指角度投影后大小不变，这就保证了微分图形投影后的相似性。长度比是投影平面上无穷小线段 ds 与椭球上相应的无穷小线段 dS 之比，以 m 表示， $m = ds/dS$ ，长度比是一个变量，在一般情况下，它不仅随点位的不同而变化，也随方向角不同而不同（即使在同一点上）。正形投影在无穷小范围内保持椭球面与平面上的相应图形相似，其长度比 m 仅随点位而变化，与方向无关，即正形投影的长度虽然产生变形，但在同一点的各个方向上的微分线段，投影后长度比为一常数，即所谓的长度比的固定性。

(2) 高斯投影的概念。高斯-克吕格投影简称“高斯投影”，是正形投影的一种。除了

满足正形投影的两个基本条件外，高斯投影还必须满足本身的特定条件，即中央子午线投影后为一直线，且长度不变。设想有一个椭圆柱面横套在地球椭球的外面，并与某一子午线相切，椭圆柱的中心轴通过椭球中心，与椭圆柱面相切的子午线称为中央子午线或轴子午线。然后将椭球面上中央子午线附近有限范围的点线按正形投影条件向椭圆柱面上投影，之后将椭圆柱面通过极点的母线切开，展为平面，于是不可展曲面上的图形就转换成可展曲面（椭圆柱面）上的图形。

高斯投影的规律是：

- 1) 投影后中央子午线成为一直线，且长度不变，其余子午线投影后均为曲线，对称地凹向中央子午线。
- 2) 投影后的赤道为一直线，且与中央子午线正交，平行的纬圈投影后为曲线，以赤道为对称轴凸向赤道。
- 3) 经纬线投影后仍保持相互正交的关系，即投影后无角度变形。
- (3) 高斯投影分带。高斯投影中，除中央子午线投影后为直线，且长度不变外，其它长度均产生变形，且离中央子午线越远，变形越大。

当长度变形大到一定程度后，就会影响测图、施工的精度，为此必须对长度变形加以控制。控制的方法就是将投影区域限制在靠近中央子午线两侧的有限范围内，这种确定投影带宽度的工作，叫做投影分带。

投影带宽度是以相邻两子午面间的经度差 l 来划分的，有 6° 带和 3° 带两种。六度带是自英国格林尼治子午面起，自西向东每隔 6° 将椭球划分为 60 个度带，编号为 1~60，各带的中央子午线的经度 L_0 依次为 3° 、 9° 、 15° 、...。我国疆域内有 11 个六度带，自西向东编号为 13~23，各带的中央子午线的经度自 75° 开始，到 135° 。三度带是自 15° 开始以经差 3° 划分的，编号为 1~120，各带的中央子午线的经度 L_0 依次为 3° 、 6° 、 9° 、...、 360° 。在我国范围内， 3° 带的编号自西向东为 25~45，共 21 个。不难看出，三度带的中央子午线经度一半与 6° 带中央子午线经度相同，另一半是 6° 带分带子午线的经度，如图 1-6 所示。

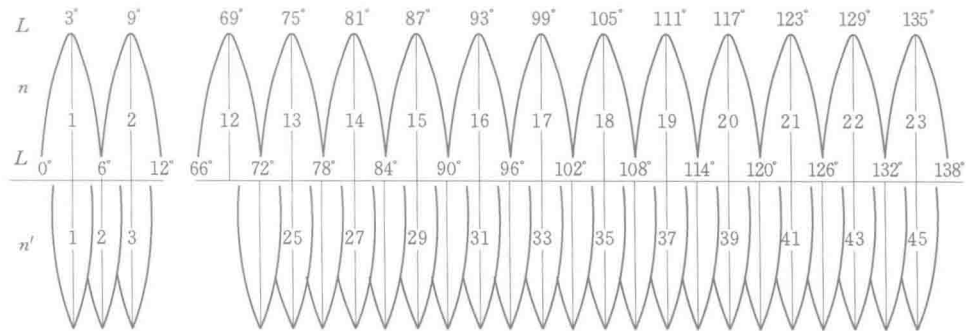


图 1-6 分带投影

带号与中央子午线的关系为（以东半球为例）：

$$\left. \begin{aligned} L_0^6 &= 6n - 3 \\ L_0^3 &= 3k \end{aligned} \right\} \tag{1-2}$$

式中 L_0^6 、 L_0^3 —— 6° 带和 3° 带的中央子午线经度；