

公路控制测量

栗志海 编著

公 路 控 制 测 量



GONGLU KONGZHI CELIANG

天 津 科 学 技 术 出 版 社

公路控制测量

栗志海 编著



天津科学技术出版社

内 容 提 要

本书以大地测量学、控制测量学及地图投影学为指导,系统、全面地论述了公路控制测量的理论和方法。全书共分八章,内容包括:地球椭球、测量计算的基准平面、实测、公路平面控制测量、公路高程控制测量、测量误差、测量平差及测量精度等。本书紧密结合生产实践,从根本上解决了目前公路控制测量中普遍存在的诸如“长度超限”、“投影变形过大”等一系列问题。

本书可作为公路工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

公路控制测量 / 栗志海编著. —天津:天津科学技术出版社, 2001.10
ISBN 7-5308-3139-10

I.公... II.栗... III.公路—控制测量
IV.U412.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 055853 号

责任编辑:丁文红

版式设计:雒桂芬

周令丽

责任印制:王 莹

天津科学技术出版社出版

出版人:王树泽

天津市张自忠路 189 号 邮编 300020 电话(022)27306314

河北省昌黎县第一印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本 787×1092 1/16 印张12.75字数 305 000

2001 年 10 月第 1 版

2001 年 10 月第 1 次印刷

定价:20.00 元

前言

我们国家的高等级公路建设始于 20 世纪 70 年代末,在此之前,由于投资规模及计算机等科学技术发展状况所限,公路勘测、设计和施工都处在一个较低的水平,公路测量理论主要以测量学为基础,这对于以实地定线为主、里程较短的低等级公路来说基本上可以满足要求。然而,在高等级公路全面发展的今天,情况已完全不同了,高等级公路一般里程较长,有时达数百公里,路线线位的确定不再以现场实测而是以纸上定线为主,公路测量必须在统一的控制系统下进行;另外,计算机技术迅猛发展,公路勘测、设计将越来越多地应用国家地理测图信息资源,这些都对公路控制测量提出了更高的要求。

笔者 1988 年于同济大学公路与城市道路工程专业毕业,分配在中交公路规划设计院(原交通部公路规划设计院),一直从事公路勘测、设计、咨询工作。作为参加人员、专业组组长、施工配合人员、项目负责人、专家组成员或组长曾先后参加或主持完成了济青(其中的部分路段,下同)、石太、京珠、福建 316 国道、海南环岛、京沈、山东博临二级公路、川藏三级公路整治、大连至庄河、四川 108 国道、成都至南充、厦门环岛、无锡至宜兴、洛阳至界首、西气东输工程施工道路、连霍线新疆奎赛公路、山东 206 国道、同三线山东两城至汾水公路等近四十个项目的预可、工可、初测和初步设计、定测和施工图设计以及咨询审查等工作。

工作初期,在测量工作中经常遇到什么是 1954 年北京坐标系,什么是高斯投影,什么是坐标换带,什么是抵偿坐标系,公路导线测量到底应该以什么作为基本技术指标,什么是严密平差,如何进行带有结点的导线网和水准网的严密平差计算,什么是黄海高程,红外三角高程什么情况下可以代替水准高程,导线、水准路线长度“超限”怎么办等诸如此类的问题。应该讲,这些问题具有一定的普遍性,有些问题一直没有得到很好地解决。其原因一是对公路控制测量不重视,认为精度高一点、低一点无所谓,没有必要深入探讨;二是没有全面建立公路控制测量概念,只是停留在导线测量和水准测量水平;三是公路与测绘属于不同的专业,上述有些问题不是普通测量学可以解决的,需要涉及测绘等相关学科知识。

本书结合笔者多年的公路勘测、设计实践,将大地测量学、控制测量学和地图投影学理论全面引入到公路测量领域,对公路控制测量进行了系统、全面的论述。书中明确指出了公路控制测量与国家控制测量之间的差别;尝试性提出了公路平面控制测量不应以最弱点点位中误差而应以相邻点相对点位中误差作为基本控

制指标观点,提出了适合公路工程特点的导线测量技术要求,解决了目前公路控制测量中普遍存在的“长度超限”问题;尝试性提出了线位投影概念,从根本上解决了目前公路控制测量中普遍存在的平面计算基准模糊不清以及由此带来的投影变形与施工测量之间经常发生矛盾等一系列问题。

本书可作为广大公路工程技术人员的参考用书。

由于笔者水平和经验有限,书中不足或错误之处敬请读者批评指正。

栗志海

2001年6月于北京

目 录

第一章 地球椭球	(1)
1.1 参考椭球	(1)
1.2 参考椭球定位	(3)
1.3 我国的大地坐标系	(5)
第二章 测量计算的基准平面	(7)
2.1 地图投影的基本知识	(7)
2.2 高斯投影概述	(9)
2.3 高斯投影的坐标换带计算	(11)
2.4 观测值的改化计算	(20)
2.4.1 地面观测值至参考椭球面的改化计算	(20)
2.4.2 参考椭球面至高斯平面的改化计算	(22)
2.5 公路控制测量与国家控制测量之间的差别	(23)
2.6 抵偿坐标系	(25)
2.7 线位投影	(29)
2.7.1 线位投影的基本概念	(29)
2.7.2 高斯投影向线位投影的转换计算	(29)
2.8 公路控制测量如何建立合适的基准平面	(31)
第三章 实测	(32)
3.1 距离测量	(32)
3.1.1 光电测距的基本原理	(32)
3.1.2 光电测距仪的测距误差	(34)
3.1.3 光电测距仪的检定	(35)
3.1.4 光电测距仪测距的水平距离计算	(36)
3.1.5 光电测距仪测距的技术要求	(38)
3.2 角度测量	(39)
3.2.1 经纬仪的基本构造及检校	(39)
3.2.2 角度测量方法	(41)
3.2.3 角度测量注意事项	(43)

3.3 水准测量	(44)
3.3.1 水准仪的基本结构与检校	(44)
3.3.2 水准测量方法	(45)
3.3.3 水准测量注意事项	(47)
3.4 造标与埋石	(48)
3.4.1 造标	(48)
3.4.2 埋石	(48)
第四章 公路平面控制测量	(50)
4.1 公路导线测量	(50)
4.1.1 概述	(50)
4.1.2 公路导线的几种形式	(51)
4.1.3 导线的基本计算	(53)
4.1.4 算例	(54)
4.2 公路三角测量	(57)
4.2.1 中点多边形	(58)
4.2.2 大地四边形	(61)
4.2.3 三角锁	(63)
4.3 隧道平面控制测量	(66)
4.4 独立控制网与主导线的连接	(67)
4.5 国家平面控制网简介	(68)
第五章 公路高程控制测量	(69)
5.1 高程的基本概念	(69)
5.2 我国的高程基准	(70)
5.3 高程测量方法	(71)
5.3.1 水准高程测量	(71)
5.3.2 三角高程测量	(74)
5.4 正常高程差的改正计算	(75)
5.5 公路高程控制测量的几种布设形式	(77)
5.6 国家高程控制网简介	(80)
第六章 测量误差	(82)
6.1 测量误差分类	(82)
6.2 观测值精度的评定标准	(83)
6.3 误差传播定律	(84)
6.4 权	(86)
6.4.1 权的定义	(86)
6.4.2 单位权中误差	(87)

6.4.3 观测值函数的权	(88)
6.5 常用权的求法	(88)
6.5.1 水准测量高差的权	(88)
6.5.2 支导线测量第 i 条边方位角的权	(89)
6.5.3 导线测量第 i 条边边长的权	(89)
第七章 测量平差	(90)
7.1 最小二乘法与严密平差	(90)
7.2 条件平差	(92)
7.2.1 条件平差原理	(92)
7.2.2 法方程式的解算	(97)
7.2.3 单位权中误差	(100)
7.2.4 最或是值函数的中误差和权倒数	(101)
7.3 单一附(闭)合水准路线平差	(104)
7.4 单一附(闭)合导线平差	(107)
7.5 结点水准网平差	(113)
7.6 结点导线网平差	(114)
7.7 测角中点多边形平差	(122)
7.8 测边中点多边形平差	(126)
7.9 测角大地四边形平差	(129)
7.10 测边大地四边形平差	(131)
7.11 测角单三角锁平差	(133)
7.12 加测一条边长的测角单三角锁平差	(134)
7.13 加测两条边长的测角单三角锁平差	(138)
第八章 测量精度	(145)
8.1 基础知识	(145)
8.1.1 算术平均值的精度	(145)
8.1.2 根据一系列等精度观测值求中误差	(146)
8.1.3 加权平均值的精度	(147)
8.1.4 根据一系列不等精度观测值求中误差	(147)
8.1.5 根据一系列较差值求中误差	(148)
8.2 角度测量精度	(149)
8.2.1 什么是经纬仪的标称精度	(149)
8.2.2 角度测量的各种限差是如何确定的	(150)
8.2.3 关于角度复测问题	(152)
8.2.4 如何根据角度观测值计算测角中误差	(152)
8.3 距离测量精度	(156)
8.3.1 什么是红外测距仪的标称精度	(156)

8.3.2	如何根据标称精度估算单一距离测量的精度	(156)
8.3.3	如何计算导线测量距离观测值的中误差	(157)
8.3.4	关于距离复测问题	(158)
8.4	水准测量精度	(158)
8.4.1	什么是水准仪的标称精度	(158)
8.4.2	水准测量测站内的各种限差是如何确定的	(158)
8.4.3	各等级水准测量的基本精度指标是如何确定的	(159)
8.4.4	水准测量测段高差不符值的限差是如何确定的	(160)
8.4.5	四等水准测量的高差闭合差 $20\sqrt{L}$ 是如何确定的	(161)
8.4.6	为何四等水准测量不要求往、返测	(161)
8.4.7	单一水准路线任意点高程中误差计算	(162)
8.4.8	关于四等水准复测问题	(163)
8.4.9	关于水准路线长度问题	(163)
8.5	三角高程精度分析	(165)
8.6	导线精度分析	(168)
8.6.1	如何计算平差之后转折角和边长的精度	(168)
8.6.2	如何计算支导线端点的点位中误差	(171)
8.6.3	如何计算角度近似平差后导线端点的点位中误差	(173)
8.6.4	如何计算导线条件平差后中间最弱点的点位误差	(174)
8.6.5	测量规范中导线测量的技术指标是如何确定的	(175)
8.6.6	如何合理地确定公路导线测量的技术指标	(176)
8.7	三角测量精度	(178)
8.7.1	单三角形精度估算	(178)
8.7.2	单三角锁精度估算	(179)
8.7.3	大地四边形精度估算	(179)
8.7.4	中点多边形精度估算	(180)
8.8	隧道贯通误差及其受地表控制测量的影响	(180)
附录		(183)
一、常用数学公式		(183)
二、条件极值		(186)
三、经纬仪、水准仪常规项目检校单		(187)
四、常用测量仪器标称精度参考值表		(191)
参考文献		(195)

第一章 地球椭球

1.1 参考椭球

地球是一个椭圆形的球体,其自然表面凹凸不平,人类的大部分工程建设就是在这个凹凸不平的球表面上进行的。一条数百公里长的高速公路实际上是在球面上(而不是在平面上)延伸的。然而,我们平时的公路设计计算一般并没有考虑球面因素影响,都是“默认”在平面上进行的。那么这个平面是什么平面呢?它与地球表面是什么关系?在阅读完本章和下一章的内容后就清楚了。

测量计算,首要的问题是要选择一个计算基准面。基准面的选择,一方面要使所选的基准面与地球自然表面尽量接近;另一方面还应使基准面上的计算工作要尽量简单方便。能不能就用地球自然表面作为计算基准面呢?显然不行,因为地球表面起伏不平,很不规则,无法用数学模型表示出来;于是人们想到了海洋面,地球表面实际上 70% 是由海洋构成的,设想把海洋面延伸并包围整个地球体,这样所形成的球体与地球自然球体十分逼近;然而,由于海洋平面无法静止下来,也就无法精确确定下来,所以海洋面也不适合作为计算基准面。

有没有与地球表面比较接近而且可以精确确定的表面呢?我们知道,地球表面上任意一个质点同时受两个力的作用,一是万有引力,即地球本身的质量对该质点的吸引力;另一个是地球自转所产生的离心力(离心力约为万有引力的 $1/300$),两者的合力称为该质点的重力。重力的方向称为该点的铅垂线方向。由于组成地球的内部物质密度不均匀,使得重力的方向变化无常。在地球的重力场中每一点都具有重力位能,我们把位能相等的点组成的平面称为重力等位面。一个处于静止状态的水面就是一个重力等位面,所以重力等位面又称为水准面。假设整个地球的海水水体是均质的,当达到重力平衡后,其表面就是一个重力水准面。我们假想让这个重力水准面在大陆下面延续,并包围整个地球球体,这样所形成的水准面称为大地水准面,所形成的球体称为大地体。大地水准面是一个物理面,它可以根据力学原理用数学方法求解。但是,由于计算方法十分复杂,所以,虽然大地体与地球自然球体逼近程度较高,但也不适合作为计算基准面。

计算基准面,虽要求应与实际地球表面尽量接近,但并不见得必须是一个实际存在的物理表面,一个假想的数学意义上的抽象表面也同样可以作为计算基准面。于是人们想到了圆球体,它与地球自然球体基本接近,而且圆球表面数学计算简单;但由于地球是一个两极稍扁、赤道稍鼓的椭球体,两者形体逼近的程度不是很理想,无法满足大部分工程测量要求,因此,圆球表面亦不理想。

经过长期的测量实践,人们终于发现地球的形体与一个旋转的椭球体极为接近。该椭球体是以一个椭圆绕其短轴旋转而形成的,椭球面相对于其他复杂表面的数学计算要简单得多。一般把这个旋转椭球体称为地球椭球。以不同大小和形状的椭圆进行旋转就会得到不同的地球椭球,其中与大地体最接近的地球椭球称为总地球椭球,而与局部区域的大地水准面比较吻

合的地球椭球,称为参考椭球。

如图 1-1, $NWSE$ 是一个椭圆,以其短轴 NS 为旋转轴,旋转 360° 就可以形成一个椭球。图中通过椭球中心 O 且包含短轴 NS 的平面,叫做子午面,它与椭球面的截线称为子午圈或经圈,子午圈的一部分称为子午线,如图中的弧 AB 。通过椭球中心 O 且与短轴 NS 垂直的平面称为赤道面,它与椭球面的截线称为赤道圈。与赤道面平行的平面与椭球面的截线称为平行圈或纬圈。

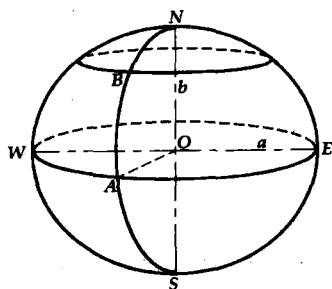


图 1-1

参考椭球的基本元素是由旋转前的椭圆的基本元素确定的,各基本元素的名称及换算关系为:

椭球的长半径: a

椭球的短半径: b

椭球的扁率 α :

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

子午圈的第一偏心率 e :

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (1-2)$$

子午圈的第二偏心率 e' :

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \quad (1-3)$$

椭圆两极处的曲率半径 c :

$$c = \frac{a^2}{b}$$

a, b, α, e^2, e'^2 称为参考椭球的基本元素,其中 a, b 称为长度元素,决定参考椭球的形状和大小。一般是用半径 a 和扁率 α 作为两个基本参数,其他基本元素值可据此求出,各元素之间关系如下:

$$\begin{aligned} a &= b \sqrt{1 + e'^2} & b &= a \sqrt{1 - e^2} \\ b &= c(1 - e^2) & c &= b(1 + e'^2) \\ a &= c \sqrt{1 - e^2} & c &= a \sqrt{1 + e'^2} \\ e &= e' \sqrt{1 - e^2} & e' &= e \sqrt{1 + e'^2} & (1 + e'^2)(1 - e^2) &= 1 \\ \alpha &= 1 - \sqrt{1 - e^2} & e^2 &= 2\alpha - \alpha^2 \end{aligned}$$

如何求得地球椭球的元素呢? 这在过去是极其困难的,它需要大量的天文地理和重力测量资料,一般只能根据本国或某一地区的测量资料,推求出与该区域大地水准面比较吻合的地球椭球。近二百年来,各国的大地测量工作者先后推求了许多参数不同的参考椭球,表 1-1 中列出了部分参考椭球的基本数据。很显然,采用多个计算基准对全球测量事业的共同发展是十分不利的。为了解决这一问题,各国的测量工作者一直都在梦寐以求地寻找一个世界通用的参考椭球,直到 20 世纪 60 年代人造地球卫星的发明,才使这一梦想变为现实。1975 年,国际大地测量和地球物理联合会第十六届大会提出了第一个通用的参考椭球元素值;1979 年,

第十七届大会又推荐了 1980 年参考椭球元素值;1983 年,第十八届大会又推荐了 1983 年参考椭球元素值。这些参考椭球参数代表了目前测绘科学技术的最高水平。虽然世界通用的参考椭球已经求得,但要改变一个国家或地区的计算基准并非易事,所以,到目前为止,世界各地仍未统一采用同一参考椭球作为计算基准。

表 1-1

参考椭球 名称	推求 年代	主要采用国家	长半径 a (m)	扁率 α
德兰布尔	1800		6 375 653	1/334
埃佛雷斯特	1830	印、巴、緬、泰	6 377 276	1/300.8
贝塞尔	1841	日、西、德、意、智、希、瑞士	6 377 397	1/299.15
克拉克	1866	美、加、墨	6 378 206	1/294.98
克拉克	1880	非洲	6 378 249	1/293.47
赫尔默特	1907		6 378 200	1/298.3
海福特	1909	比、埃、土、阿	6 378 388	1/297.0
艾黎		英国	6 376 542.178	1/299.325
斯特鲁威		西班牙	6 378 298.3	1/294.73
克拉索夫斯基	1940	原苏联、原东欧、中国、朝鲜	6 378 245	1/298.3
IAG-67	1967	澳大利亚	6 378 160	1/298.247
	1974	美国	6 378 130	1/298.25
IAG-75	1975	第十六届国际会议推荐	6 378 140	1/298.25
IAG-80	1979	第十七届国际会议推荐	6 378 137	1/298.25
IAG-83	1983	第十八届国际会议推荐	6 378 136	1/298.257

1.2 参考椭球定位

参考椭球的形状确定了以后,它与地球(准确地讲是前述的大地体)的相对关系如果不确定,还不能建立地球自然表面上的测量元素与这个参考椭球之间的数学关系,只有把这个具有确定元素的参考椭球固定地安放在地球之中,即把它与地球的相对关系永久地确定下来,这样才算完全确定了测量计算的基准面,这就是所说的参考椭球定位问题。为了便于理解,先介绍两个坐标系。

1. 天文坐标系

如图 1-2, O 为地球质心, OP 为地球自转轴, P 为北极点, K 为大地水准面上的任意一点, KK' 为 K 点的垂线方向, 包含 KK' 方向且与地球自转轴 OP 平行的平面为 K 点的天文子午面。 G 点为英国格林威治平均天文台, 过 G 点包含 OP 的平面称为起始天文子午面, 过地球质心 O 且与 OP 正交的平面称为地球赤道面, 子午面、赤道面与大地水准面的交线分别称为子午线和赤道。 KK' 与赤道面的交角 φ 称为 K 点的天文纬度, K 点的天文子午面与起始子午面的夹角 λ 称为 K 点的天文经度, 天文纬度和天文经度称为 K 点的天文坐标。这样建立的坐标系称为天

地水准面逼近,而没有更多地考虑与地球总的大地水准面之间的关系,所以,各个国家的参考椭球定位方法也互不相同。随着空间科学技术的发展和卫星测量理论在大地测量上的应用,进行全球统一的椭球定位、建立全球统一的大地坐标系的工作势在必行。

1.3 我国的大地坐标系

前两节中讲述了大地坐标系概念。不同大地坐标系之间的区别主要有两个:一是采用什么参考椭球;二是该参考椭球是如何定位的。

解放前,旧中国曾以贝塞尔椭球和海福特椭球建立过长春坐标系和南京坐标系,当时大地测量工作并没有普遍展开,这些坐标系也没有得到广泛应用,解放后不久即宣布废除了。我国全国范围内正规的大地测量工作是从 50 年代开始的,限于当时的历史条件,暂时采用了原苏联的克拉索夫斯基椭球(简称克氏椭球)作为参考椭球,没有进行参考椭球定位。1954 年和 1955 年,我国先后平差了部分地区的一等三角锁,各三角点的坐标是通过联测从原苏联传算过来的,我国就把这些点的平差结果定义为“1954 年北京坐标系”,当时也没有指定哪个三角点为大地原点,而且一直沿用至今。由于不是我们国家自己推求的椭球,又没有进行参考椭球定位,所以,这一坐标系实质上是原苏联 1942 年大地坐标系的延伸,根本不是我们国家自己独立的坐标系,大地原点不在北京,而是在原苏联的普尔科沃。我们国家控制测量常用的平面直角坐标,就是上述克氏椭球经过高斯投影(关于高斯投影的详细论述见第二章)得到的。不同的参考椭球、不同的定位方法,高斯投影的计算结果不同。

经过多年的天文大地测量得知,1954 年北京坐标系的参考椭球面都普遍低于我国的大地水准面,从东经 105 度开始,向东逐渐下降,东部沿海和东北部地区的差距最大可达 65 米,全国范围内平均为 29 米;另外,克氏椭球只有几何参数,缺少全面研究地球所需的物理参数,而且几何参数同现代精确测量所得的参数值相比相差也比较大,如椭球长半径值约大 109 米。

为了适应国家建设和发展的要求,我国于 1978 年 4 月在西安召开了全国天文大地网平差会议,会议决定建立我国独立的大地坐标系,定名为“1980 年国家大地坐标系”,大地原点设在陕西省泾阳县永乐镇。该坐标系采用 1975 年国际大地测量和地球物理联合会第十六届大会提出的 IAG-75 参考椭球,参考椭球定位是在全国范围内按 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 间隔均匀选取 922 个点,按照上一节叙述的椭球定位三个原则,拟合推算出大地原点的起算数据;新定位的椭球与我国的大地水准面密合的较好,东部、西南、西部分别出现三条大地水准零线,全国范围内与大地水准面差距平均为 10 米左右。

作为大地坐标系统的基础数据,表 1-2 中列出了克拉索夫斯基椭球和 IAG-75 椭球的主要参数值。

表 1-2

参 数 名 称	参 数 值	
	克拉索夫斯基椭球	IAG-75 椭球
长半径 $a(m)$	6 378 245.000000 000	6 378 140.000000 000
短半径 $b(m)$	6 356 863.018773 047	6 356 755.288157 528

续

参 数 名 称	参 数 值	
	克拉索夫斯基椭球	IAG-75 椭球
扁率 α	1/298.3	1/298.257
第一偏心率平方 e^2	0.006693 421622 97	0.006 694384 999588
第二偏心率平方 e'^2	0.006738 525414 68	0.006739 501819 473
极曲率半径 $c(m)$	6 399 698.901782 711	6 399 596.651988 01

由于改变国家大地坐标系是一项十分艰巨的工作,不仅原来以旧参考椭球为依据的所有大地、天文、地理等基础测量资料都要进行复杂的换算,而且还存在地图资料的应用、其他行业部门也要做相应调整等等一系列问题,所以,要全面实现大地坐标系统的变换,还需要一个过程,这也就是目前公路测量以及大部分工测部门仍使用 1954 年北京坐标系的原因。

第二章 测量计算的基准平面

参考椭球及其定位关系确定以后,测量计算工作就有了统一的计算基准。我国最基础的一、二等三角控制网曾经在此参考椭球面上进行计算。然而,椭球面虽然可以用严密的数学方法解算,但是相对于平面来说还是复杂得多,如果要求所有的工程测量计算和施工放样均以椭球面为基准面是十分困难的,甚至是无法实现的。于是,人们就设想,地球是如此之大,能不能选择一定范围的球面积,采用某种方法(比如说投影)使其与平面建立起联系,当选取的球面积大小适当时,投影所得到的平面与原来的球面相差很小,以至于工程测量可以忽略不计,这样,地球面上一定区域范围的测量计算就可以在平面上进行,而不用考虑地球是椭圆形球体这一因素的影响,这就可以极大地简化测量计算工作。本章即阐述国家控制测量和公路控制测量是如何建立测量计算的基准平面的。

2.1 地图投影的基本知识

地图我们都很熟悉,大到世界地图、国家地图,小到某项工程区域的地形图,它们都是用地形测量等方法把地表面的地形、地物、行政区划等信息,按一定的比例用各种符号表示在平面

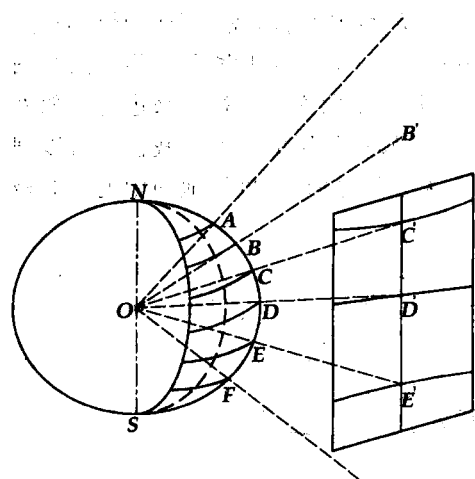


图 2-1

上的一种图纸。这里我们很容易想到一个问题,就是地球是一个椭球体,但我们使用的各种地图都是平面图,两者之间是如何转换的呢?我们不妨假想把地球按一定比例缩小成地球仪那样大小;如图 2-1,在它的内部安放一个发光点,然后把地球面上的经纬线投影到球外的一个平面上,这时,该平面上的经纬线影像就代表了地球表面一部分区域的平面表象,如果把地球上经纬线内的地形、地物点同样投影到平面上相应的网格内,就形成了该区域的地图。这就是最直观的透视投影概念。

从数学意义上解释投影,可以设想在平面上有两组相互交叉的线条,它们与地球表面一部分经纬网一一对应,如图 2-2,那么,广义地讲,平面上的这两组线就是地球表面上相应经纬网的投影。换言之,所谓地图投影,就是建立平面上的点(用平面直角坐标 x, y 表示)和球面上的点(用经纬度 φ, λ 表示)之间的关系。用数学表达式表示就是:

$$x = f_1(\varphi, \lambda)$$

$$y = f_2(\varphi, \lambda)$$

很显然,投影会产生变形,球面上一个正方形投影到平面以后就不再是正方形了,而且边长和面积都产生了一定变化。如图 2-3,设有半径 $r=1$ 的实地微分圆,图 1~6 为其不同的投

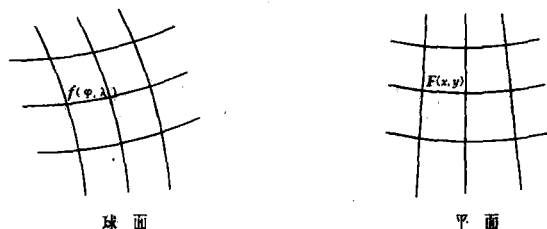


图 2-2

影影像,其中 1、2 两个投影图形形状没有变化,仍为圆,但大小发生了变化。具有这种性质的投影叫做正形投影,或称等角投影;3、4 两个图形的形状发生了变化,变成了椭圆,但面积大小没有变化,具有这种性质的投影叫做等面积投影;图形 5 中,椭圆的长短半径中有一个大小等于实地圆半径,图形 6 中,椭圆的长短半径都不等于实地圆半径,这两种投影既不等面积又不等角,称为任意投影,其中图 5 由于有一个椭圆半径等于实地圆半径,所以又可称为等距离投影。

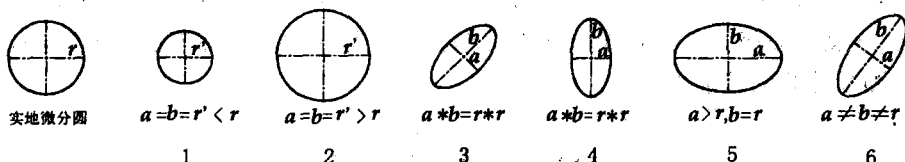


图 2-3

地图投影主要就是解决曲面(地球椭球表面)和平面(地图)之间的矛盾。解决的方法多种多样,例如,利用圆锥曲面可以展开为平面这一特性,设想把圆锥面与参考椭球表面相接,把球面上一定区域投影到该曲面上,然后再把圆锥曲面沿某一条母线展开,形成一个扇形平面,如图 2-4,这种投影方法就是地图生产中广泛采用的圆锥投影,我们常见的中华人民共和国全图就是采用这种投影方式测制的。我们也可以设想用另外一种可展曲面即圆柱面来进行类似处理,相应的投影形式称之为圆柱投影,如著名的高斯投影就是圆柱投影的一种。我们还可以把球面上的有限区域直接投影到平面上,地图投影学中称之为方位投影,如世界地图中的南北极地图就是采用了这种投影方法。

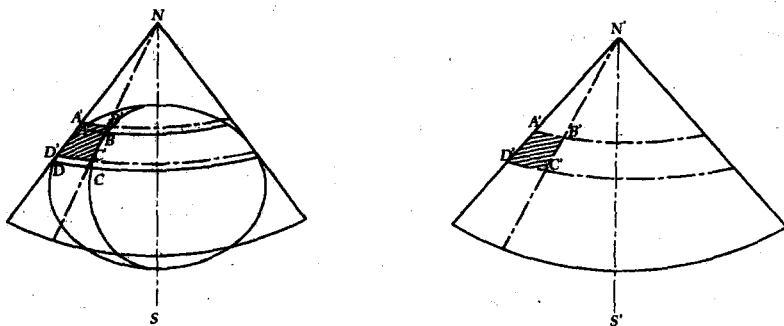


图 2-4

从投影面与地球椭球体之间的位置关系看,还有正轴投影、横轴投影、斜轴投影之分;如图 2-5 中的图 1,圆锥投影面的轴线与地球椭球的旋转轴线重合,这样的投影称之为正轴投影(也称为极投影);如图 2-5 中的图 6,椭圆柱切于地球椭球的某一经线上,这时椭圆柱轴线与赤道面重合,这种投影称之为横轴投影(也称为赤道投影);投影面的轴线既不与椭球旋转轴重合又