

地理信息采集与处理

实验教程

DILI XINXI CAIJI
YU CHULI SHIYAN JIAOCHENG

何彬彬 官雨薇 周 艳 主编



科学出版社

地理信息采集与处理实验教程

何彬彬 官雨薇 周 艳 主编



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书共分四部分,第一部分为野外地面数据采集,主要包括5个实验:角度和距离测量、水准测量、控制测量、碎步测量、地基三维激光扫描;第二部分为数字摄影测量,主要包括4D产品的制作实验;第三部分为地理空间分析,主要介绍ArcMap的基本功能、空间查询、缓冲区分析、叠置分析、网络分析等实验;第四部分为专题地图设计与数字制图,主要包括地图设计与制图实验。

本书可作为高等院校测绘科学与技术、地理信息科学、遥感科学与技术、空间信息与数字技术、土木工程、市政交通、水利水电、城市规划、环境工程、工程管理、国土资源等相关专业的实验教学用书,也可作为工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

地理信息采集与处理实验教程 / 何彬彬, 官雨薇, 周艳主编. —北京: 科学出版社, 2016.6

ISBN 978-7-03-049139-8

I. ①地… II. ①何… ②官… ③周… III. ①地理信息学-高等学校-教材 IV. ①P208

中国版本图书馆CIP数据核字 (2016) 第143745号

责任编辑: 杨 岭 李小锐 / 责任校对: 韩雨舟

责任印制: 余少力 / 封面设计: 墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年6月第一版 开本: 787×1092 1/16

2016年6月第一次印刷 印张: 18 1/2

字数: 416千字

定价: 42.00元

前 言

随着信息技术和测绘科学的迅速发展,利用多样化的地理信息获取途径,高效获取精准地理信息数据,具有实际应用价值。本书作为涉及测绘工程、数字摄影测量、地理信息系统等相关专业课程的综合性实验教程,可以帮助学生巩固所学理论知识,培养学生分析问题和解决问题的能力,训练学生实际动手能力和专业操作技能,提升学生专业综合技能。

本书共分为四部分,第一部分为野外地面数据采集,主要介绍测量学基本概念,以及5个实验的原理及步骤,包括角度和距离测量实验、水准测量实验、控制测量实验、大比例尺测图实验、地基三维激光扫描实验。第1章主要介绍地面测量的基础理论,包括大地水准面和椭球体的概念,测量坐标系(大地坐标系、空间直角坐标系、平面直角坐标系),地图投影的变形、分类及选择,地图比例尺等。第2章先介绍实验中涉及的仪器设备的使用须知及注意事项,后详细介绍水准仪、经纬仪、全站仪、RTK、三维激光扫描仪的使用方法。第3章主要介绍基于全站仪的水平角和竖直角测量、距离测量实验,以及误差分析和方位角计算。第4章简述水准测量原理及四等水准测量的流程、误差分析。第5章主要介绍测区选择、控制网布设原则、导线控制施测和控制点坐标解算。第6章主要是基于控制点坐标完成碎步测量和特殊点坐标解算,并按照地图制图原则完成数字制图。第7章主要介绍野外实验流程及点云数据的处理。第二部分为数字摄影测量,主要简要介绍相关的基础理论,并完成4D产品制作实验。第8章主要介绍数字影像的获取及重采样、自动定向、核线生成等,以及数字摄影测量实验流程。第9章主要是介绍VirtuoZo软件的基本功能及操作,以及航片内定向、相对定向、绝对定向以及影像匹配等影像预处理操作步骤。第10章主要是基于VirtuoZo软件完成单模型的4D产品制作实验,包括:数字高程模型(DEM)、数字正射影像(DOM)、数字栅格图(DRG)、数字线划地图(DLG)。第三部分为地理空间分析,主要基于常用的地理信息系统软件ArcGIS中的主要应用程序ArcMap完成地理空间分析实验。第11章主要介绍ArcMap的基本功能,包括软件启动、图层添加、符号显示、页面缩放、地图元素插入等。第12章主要是基于ArcMap完成的4个地理空间分析实验,包括空间查询、缓冲区分析、叠置分析和网络分析。第四部分专题地图设计与数字制图,主要介绍地图符号的设计与要素编辑,并完成专题地图的设计与制图。第13章主要介绍地图符号的设计以及在ArcMap中的制作,并基于不同地物特征,对应完成点、线、面要素的编辑。第14章是基于专题地图的设计原则,以实验数据为基础,完成专题制图实验。

本书凝聚了课题组多位成员的辛勤工作,具体分工如下。第一部分:第1章,何彬彬、周艳、张雪婷;第2章,官雨薇、满方微;第3章,何彬彬、刘洁;第4章,周艳、袁骞骞;第5章和第6章,何彬彬、冯倩;第7章,官雨薇、徐达松、何彬彬。第二部

分：第 8~10 章，官雨薇、张雪婷、何彬彬。第三部分：第 11 章和第 12 章，何彬彬、李优优、周艳。第四部分：第 13 章和第 14 章，官雨薇、满方微、周艳。全书由何彬彬任主编并统稿。

最后，感谢科学出版社成都分社李小锐女士为本书出版所给予的支持和帮助。

本书在编写过程中可能存在错漏之处，诚请使用本书的读者批评指正，以便再版时修订。

编 者

2016 年 5 月

目 录

第一篇 野外地面数据采集

第 1 章 地面测量实验基础	3
1.1 地球体	3
1.2 测量坐标系	5
1.2.1 大地坐标系	5
1.2.2 空间直角坐标系	5
1.2.3 平面直角坐标系	6
1.2.4 WGS-84 坐标系	7
1.2.5 方位角	7
1.3 地图投影	8
1.3.1 地图投影的变形	9
1.3.2 地图投影的分类	10
1.3.3 地图投影的选择及判定	12
1.3.4 高斯-克吕格投影	13
1.4 地图比例尺	15
第 2 章 测量仪器及使用规范	17
2.1 测量仪器使用须知	17
2.1.1 测量仪器工具的借领与归还	17
2.1.2 测量仪器使用注意事项	17
2.2 实验注意事项	18
2.3 水准仪	18
2.3.1 水准仪的分类	19
2.3.2 NL32A 自动安平水准仪	19
2.3.3 操作步骤	20
2.3.4 水准仪使用注意事项	22
2.4 经纬仪	22
2.4.1 经纬仪的分类	22
2.4.2 DJ6 光学经纬仪	23
2.4.3 DJ2 光学经纬仪	24
2.4.4 经纬仪的使用	26

2.4.5	经纬仪使用注意事项	27
2.5	全站仪	27
2.5.1	NTS-312B 全站仪	28
2.5.2	NTS-312B 全站仪的使用	29
2.5.3	全站仪使用注意事项	34
2.6	RTK	34
2.6.1	S82-C 型测量系统	35
2.6.2	RTK 作业	39
2.6.3	电脑的连接	42
2.7	三维激光扫描仪	42
2.7.1	三维激光扫描仪的分类	42
2.7.2	徕卡 ScanStation C10 三维激光扫描仪	43
2.7.3	徕卡 ScanStation C10 使用注意事项	46
第 3 章	角度和距离测量	47
3.1	角度测量	47
3.1.1	角度测量原理	47
3.1.2	水平角观测方法	48
3.1.3	竖直角观测方法	51
3.2	距离测量	54
3.2.1	视距测量	54
3.2.2	电磁波测距	55
3.3	测量误差分析	56
3.4	直线定向	57
第 4 章	水准测量实验	60
4.1	水准测量	60
4.1.1	水准测量原理	60
4.1.2	水准线路的布设	61
4.1.3	水准仪和水准尺	62
4.2	四等水准测量实验流程	63
4.2.1	实验目的和要求	63
4.2.2	仪器和工具	64
4.2.3	实验内容	64
4.2.4	四等水准测量主要技术要求	64
4.2.5	方法与步骤	64
4.2.6	水准测量中注意事项	67
4.2.7	水准测量示例	67
4.3	水准测量误差分析	70
4.3.1	仪器误差	70

4.3.2	观测误差	71
4.3.3	外界条件的影响	72
4.3.4	自动安平水准仪和数字水准仪的误差	72
4.4	水准仪的检验与校正	73
4.4.1	水准仪应满足的条件	73
4.4.2	水准仪的检验与校正	74
4.4.3	自动安平水准仪补偿器性能检验	77
第5章	控制测量实验	79
5.1	测区选择	79
5.2	控制网布设	80
5.2.1	GPS 静态控制测量	80
5.2.2	高程控制测量	81
5.2.3	平面控制测量	82
5.3	导线控制施测示例	84
5.3.1	踏勘选点及建立标志	84
5.3.2	导线边长测量	86
5.3.3	角度测量	86
5.4	控制点坐标解算	86
5.4.1	导线点坐标计算	86
5.4.2	导线测量错误检查方法	91
第6章	大比例尺测图实验	92
6.1	碎部测量	92
6.1.1	碎部点的选择	92
6.1.2	测量步骤	92
6.1.3	特殊点坐标计算	93
6.2	大比例尺制图	94
6.2.1	地图要素	94
6.2.2	数字地图制图	96
第7章	地基三维激光扫描实验	97
7.1	三维激光扫描实验流程	97
7.1.1	野外扫描方案制定	97
7.1.2	野外数据采集	98
7.1.3	注意事项	104
7.2	三维激光扫描数据处理	105
7.2.1	点云数据去噪	105
7.2.2	点云数据拼接	106

第二篇 数字摄影测量

第 8 章 数字摄影测量基本原理与实验流程	119
8.1 数字摄影测量基本原理	119
8.1.1 数字影像的获取与重采样	119
8.1.2 影像的自动定向理论	121
8.1.3 核线影像生成原理	123
8.1.4 数字高程模型生成原理	124
8.1.5 数字正射影像生成原理	124
8.2 数字摄影测量实验流程	125
第 9 章 VirtuoZo NT 基本操作实验	126
9.1 数据准备与分析	126
9.1.1 数据准备	126
9.1.2 数据分析	126
9.2 设置测区和模型参数	128
9.2.1 创建测区	128
9.2.2 相机参数设置	130
9.2.3 地面控制点设置	131
9.2.4 原始影像数据格式转换	131
9.2.5 模型建立与参数设置	135
9.3 航片的内定向、相对定向和绝对定向	136
9.3.1 内定向	137
9.3.2 相对定向	139
9.3.3 绝对定向	142
9.4 核线影像生成	146
9.5 影像匹配与编辑	147
第 10 章 VirtuoZo NT 单模型 4D 产品制作实验	149
10.1 单模型数字高程模型	149
10.2 单模型数字正射影像	153
10.3 单模型数字线划地图	160
10.4 单模型数字栅格地图	166

第三篇 地理空间分析

第 11 章 ArcMap10.1 软件功能简介	171
11.1 ArcMap10.1 安装与启动	171
11.1.1 安装 ArcMap10.1	171

11.1.2	启动 ArcMap10.1	172
11.2	ArcMap10.1 窗口组成	174
11.3	ArcMap10.1 基本功能	181
11.3.1	图层、数据框和内容表	181
11.3.2	展示图层	183
11.3.3	显示符号	183
11.3.4	识别要素	185
11.3.5	地图版面设计	186
11.3.6	页面的缩放和移动	188
11.3.7	插入地图元素	189
第 12 章	地理空间分析实验	193
12.1	空间查询	193
12.1.1	空间信息查询	193
12.1.2	要素选择	196
12.1.3	要素查找	202
12.1.4	对选择要素单独操作	203
12.2	缓冲区分析	205
12.3	叠置分析	211
12.3.1	擦除分析	211
12.3.2	标识	212
12.3.3	交集分析	213
12.3.4	空间联合	214
12.3.5	交集取反	215
12.3.6	联合	216
12.3.7	更新	217
12.4	网络分析	218
12.4.1	网络的组成和建立	218
12.4.2	网络分析的基本功能和操作	226

第四篇 专题地图设计与数字制图

第 13 章	地图符号设计与要素编辑实验	235
13.1	地图符号	235
13.1.1	地图符号概述	235
13.1.2	地图符号的视觉变量及其视觉感受效果	239
13.1.3	地图符号的设计	245
13.1.4	基于 ArcMap 的地图符号制作	247
13.2	点、线、多边形要素编辑	255

13.2.1	新建 Shapefile	255
13.2.2	基本编辑过程	256
13.2.3	线要素的输入和编辑	257
13.2.4	多边形的输入和编辑	263
13.2.5	点要素的输入和编辑	265
第 14 章	专题地图设计与数字专题制图实验	266
14.1	专题地图设计	266
14.1.1	专题地图概念	266
14.1.2	专题地图设计的一般过程	266
14.1.3	专题地图设计内容	267
14.2	数字专题制图实验	268
参考文献		285



野外地面数据采集

第 1 章 地面测量实验基础

1.1 地球体

测量学的主要研究对象是地球的自然表面，地球整体的形状和大小与测量工作密切相关，但地球的自然表面有海洋、平原、丘陵、高山等起伏形态，是一个不规则的曲面(图 1-1)。地球形状极其复杂，经过长期的测绘工作和科学调查，人们了解到地球表面上海洋面积约占 70%，陆地面积约占 29%。

由于地球的自然表面十分不规则，不能作为测量和制图的基准面，因而需要寻求一种与地球自然表面非常接近的规则曲面，来代替地球的自然表面(图 1-2)。

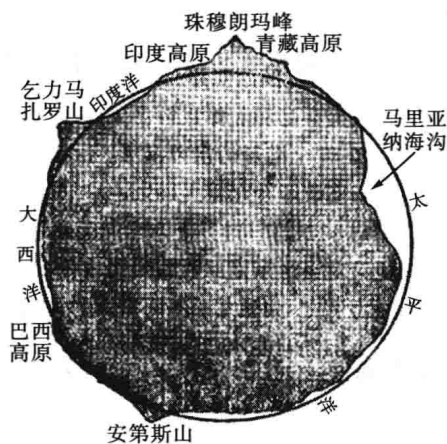


图 1-1 地球体自然表面形态

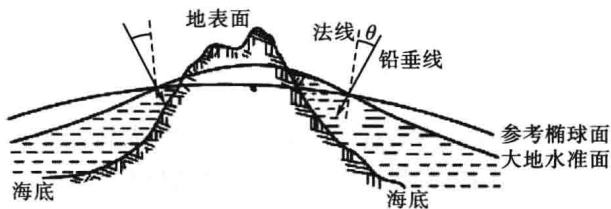


图 1-2 大地水准面

地球表面上，任一质点都同时受到离心力和引力的作用，二者的合力称为重力(图 1-3)。重力的方向也称为铅垂线方向。与重力方向相垂直的曲面有无数个，每个面上的重力位相等，构成重力等位面，即水准面。而大地水准面则是以平均海面为基准，延伸至大陆内部的水准面。

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。但在实际测量中以似大地水准面代替大地水准面，两者在海洋上完全重合，在陆地上只在山区有 2~4m 的差异。以大地水准面起算到地面的距离叫正高；以似大地水准面起算到地面的距离是正常高，即高程。

由于地球引力的大小与地球内部的质量有关，而地球内部的质量分布又不均匀，致使地面上各点的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略有起伏的不规则曲面，无法用数学公式精确表达，对于各种测量数据的处理和成图极其困难，甚至无法实现。

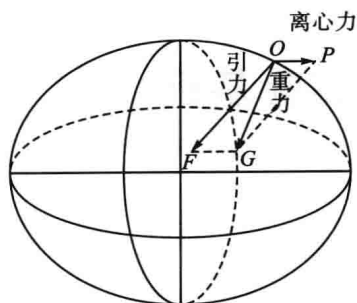


图 1-3 重力、引力、离心力

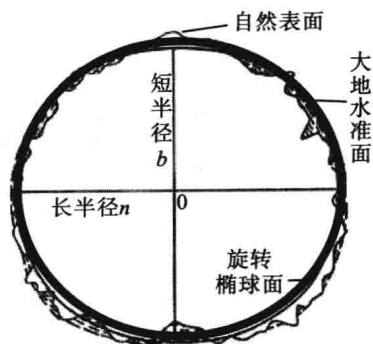


图 1-4 旋转椭球体

经过长期测量研究,地球形状极似两极稍扁的旋转椭球体,此旋转椭球面可用数学公式准确表达,在测量工作中用规则曲面代替大地水准面作为测量的基准面(图 1-4)。

地球椭球体是假想将大地体(大地水准面包围的地球形体)绕短轴(地轴)飞速旋转,以形成一个表面光滑的球体表面,代表地球的形状和大小。与大地体吻合最好的旋转椭球称为总地球椭球或平均椭球。与某个区域如一个国家大地水准面最为密合的椭球称为参考椭球。由此可见,参考椭球有无数个,而总地球椭球只有一个。

地球椭球体有 5 个基本参数,分别是长半轴 a 、短半轴 b 、扁率 α 、第一偏心率 e 和第二偏心率 e' ,其相互之间的关系如下:

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

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

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

在几何大地测量学中,椭球的形状和大小通常用长半轴 a 和扁率 α 来表示。表 1-1 是具有代表性的参考椭球体的参数值列表。

表 1-1 地球椭球几何参数

椭球名称	年份	长半轴	扁率	备注
海福特椭球体	1909	6 378 388	1 : 297.0	美国
克拉索夫斯基椭球体	1940	6 378 245	1 : 298.3	苏联
1975 大地测量参考系统椭球体	1975	6 378 140	1 : 298.257	IUGG 第 16 届大会推荐值
1979 大地测量参考系统椭球体	1979	6 378 137	1 : 298.257	IUGG 第 17 届大会推荐值
WGS-84 系统椭球体	1984	6 378 137	1 : 298.257 224	美国国防部制图局(DMA)

我国采用的参考椭球体有新中国成立前的海福特椭球体和新中国成立初期的克拉索夫斯基椭球。但由于克拉索夫斯基椭球体参数同 1975 年国际第 16 届大会推荐值相比,长半轴相差 105m,因而 1978 年我国根据实测天文大地资料推算出适合本国的地球椭球体参数,从而建立了 1980 年西安大地坐标系,并将大地原点设立在陕西省泾阳县永乐镇。我国常用的三种坐标系为 1954 年北京坐标系、1980 年西安大地坐标系和 WGS-84 坐标系,前两个是参心坐标系,后一个是地心坐标系。

由于参考椭球体的扁率很小,当测区面积不大时,在某些测量工作中,可以将地球

看作圆球，其半径为

$$R = \frac{1}{3}(a + a + b) \approx 6371\text{km} \quad (1-4)$$

1.2 测量坐标系

为了确定地面点位的空间位置，需要根据实际应用需求建立坐标系。点的位置需要用三维坐标表示。在测量工作中，一般将点的空间位置用球面或平面位置(二维)和高程(一维)来表示，它们分别属于大地坐标系、平面直角坐标系和相应的高程系统。由于卫星大地测量的迅速发展，地面点的空间位置也可以用三维空间直角坐标来表示。

1.2.1 大地坐标系

用经线(子午线)、纬线、经度、纬度来表示地面点位置的球面坐标系称之为地理坐标系，而地理坐标系又可分为天文坐标系和大地坐标系。常用的是大地坐标系。

大地坐标系是以椭球体面及其法线建立起来的坐标系，地面上任意一点可用大地经度(L)、大地纬度(B)及大地高(H)来表示。大地坐标系以起始子午面和赤道面作为在椭球面上确定某一点投影位置的两个参考面。如图 1-5 所示，过地面上任一点 P 的子午面与起始子午面夹角，称之为该点的大地经度 L ，规定从起始子午面起算，向东称之为东经，向西称之为西经，其取值范围均为 $0^\circ \sim 180^\circ$ 。过 P 点的法线与赤道面的夹角，称之为该点的大地纬度 B ，规定由赤道面向北为北纬，向南称之为南纬，其取值范围为 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。沿 P 点的椭球体面法线到椭球体面的距离称之为大地高 H ，以椭球体面起算，高出椭球体面为正，低于椭球体面为负。

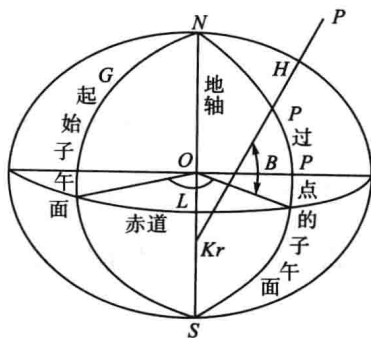


图 1-5 大地坐标系

1.2.2 空间直角坐标系

以椭球体中心 O 为原点， Z 轴与椭球体的旋转轴重合并指向地球北极， X 轴指向起始子午面与赤道面的交点， Y 轴垂直于 XOZ 平面构成右手系。在坐标系中， P 点的位置可用 OP 在 3 个坐标轴上的投影 x, y, z 来表示，如图 1-6 所示。

地面上同一点的大地坐标和空间直角坐标之间可以相互转换(图 1-7)。

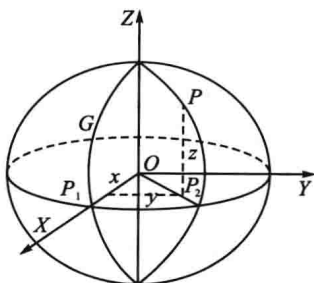


图 1-6 空间直角坐标系

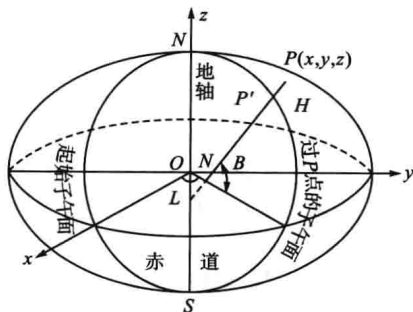


图 1-7 大地坐标系与空间直角坐标系转换关系

由大地坐标转换为空间直角坐标的换算关系为

$$\begin{cases} x_p = (N + H) \cos B \cos L \\ y_p = (N + H) \cos B \sin L \\ z_p = [N(1 - e^2) + H] \sin B \end{cases} \quad (1-5)$$

式中, e 为第一偏心率, N 为椭球体的卯西圈半径。

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}$$

由空间直角坐标系转换为大地坐标, 可采用下式:

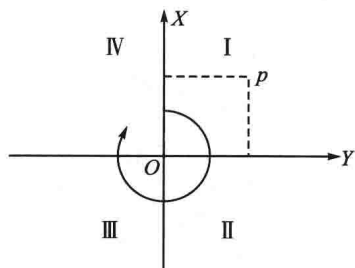
$$\begin{cases} L = \arctan \frac{y}{x} \\ B = \arctan \frac{z + Ne^2 \sin B}{\sqrt{x^2 + y^2}} \\ H = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\cos B} - N \end{cases} \quad (1-6)$$

用式(1-6)计算大地纬度 B 时, 通常情况下采用迭代法。迭代时取 $\tan B_1 = \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}$, 用 B 的初值 B_1 计算 N_1 和 $\sin B_1$, 代入式(1-6)进行第二次迭代, 直到两次 B 值之差小于允许值为止。

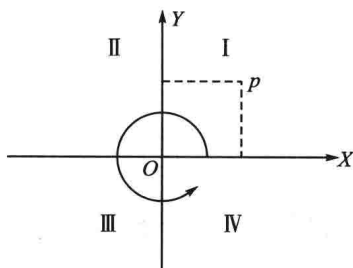
1.2.3 平面直角坐标系

由于工程建设规划、设计在平面上进行, 需要将点的位置和地面图形表示在平面上, 因此通常采用平面直角坐标系。

测量上所用的平面直角坐标系与解析几何中所采用的笛卡尔坐标系不同(图 1-8), 测量平面直角坐标系以纵轴为 X 轴, 表示南北方向, 向北为正; 横轴为 Y 轴, 表示东西方向, 向东为正; 象限顺序依顺时针方向排列。这是由于测量中以极坐标表示点位时, 角度是以北方向为准按顺时针方向计算, 而解析几何中则从横轴按逆时针方向计算, 这样 X 轴、 Y 轴互换后, 全部平面三角公式均可用于测绘计算中。



(a) 测量平面直角坐标系



(b) 数学平面直角坐标系

图 1-8 两种平面直角坐标系