

(第2版)

测量学

张序·主编



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

013022105

P2
24-2

测 量 学

(第 2 版)

主 编 张 序
副主编 连达军
参 编 袁 铭 王 颖



P2
24-2

东南大学出版社
· 南京 ·



北航

C1631702

201550810

内 容 提 要

本书为高等院校相关专业的专业基础课“测量学”教材。全书共分 15 章。第 1~5 章为测量基本知识、测量仪器的使用和测量基本原理与方法,电子全站仪测量;第 6 章为测量误差的基本知识;第 7~9 章为小地区控制测量、大比例尺地形图测绘方法和应用;第 10~12 章为建筑工程测量、道路与桥梁工程测量和管道工程测量;第 13~15 章介绍了全球定位系统(GPS)、摄影测量与遥感(RS)和地理信息系统(GIS)等基本知识。

本书可作为高等院校测绘工程、土木工程、城市规划、交通工程、工程管理、园林建筑、给排水工程和地理信息科学等专业的教材,也可作为工程测量技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

测量学/张序主编. —2 版. —南京:东南大学出版社,
2013. 1

ISBN 978-7-5641-4097-7

I. ①测… II. ①张… III. ①测量学—高等学校—教材 IV. ①P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 023364 号

测量学(第 2 版)

出版发行 东南大学出版社
社 址 江苏省南京市四牌楼 2 号(210096)
出 版 人 江建中
网 址 <http://www.seupress.com>
电子邮箱 press@seupress.com
经 销 江苏省新华书店
印 刷 扬中市印刷有限公司
版 次 2012 年 12 月第 2 版 2012 年 12 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5641-4097-7
开 本 787 mm×1092 mm 1/16
印 张 21.5
字 数 524 千
印 数 11001~16000 册
定 价 39.00 元

(若有印装质量问题,请与营销部联系。电话:025-83791830)

第2版前言

《测量学》第一版自2007年2月出版以来,受到广大读者的关注和支持。近年来,测绘科学技术取得了日新月异的发展,全站仪、电子水准仪、GNSS接收机已逐步成为当今测绘工作的常规仪器,同时,全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)、遥感(RS)技术——即3S技术,在工程各领域中得到广泛应用,因此,对测绘工程、土木工程、城市规划、交通工程、工程管理和地理信息科学等专业的学生学习测绘知识提出了新的要求。为了适应测绘技术的新变化和新要求,我们对原《测量学》内容进行了较大幅度的增删,重新修订出版。

修订后的教材依然结合各专业制定的宽口径、创新性人才培养方案,适应高素质、强能力的工程应用型人才培养的需要而编写,在修订的过程中,删除了原先的一些陈旧内容,更加注重对当前测绘科技进展的及时反映,注重培养学生的实际工作能力。第二版增加了电子水准仪及其应用,数字测图内业——南方测绘CASS编辑成图系统及应用介绍;删除了小地区控制测量章节中的小三角测量内容,增加了导线测量的查错方法实用内容;在测量误差的基本知识章节内容中,对测量中误差进行了重新定义,以反映误差理论最新理论研究;在卫星定位章节中,通过全球导航卫星系统(GNSS)引入GPS定位系统理论与方法的学习内容;对摄影测量与遥感、地理信息系统章节内容也进行了必要的增补和精简。

本书着重阐述了测量学的基本理论、基本概念和基本方法,详细介绍了测量仪器的使用方法和测量技术的工程应用,对重点和难点进行详细的论述和分析,力求理论联系实际,反映当代测绘科学技术发展方向,各章内容由浅入深,循序渐进,同时都给出了内容小结和习题,便于读者自学。

本书第1~9章为基本测量理论、方法和技术部分,各专业方向可通用;第10~12章为应用工程测量部分,各专业可根据培养目标选用;第13~15章为GPS、RS和GIS技术部分,集中反映了当今测绘技术发展的方向和应用,旨在为学生拓宽知识面、培养创新能力打下良好基础。本书适用于土木工程、交通工程、城市规划、园林、给排水工程、工程管理、地理信息科学、城乡规划建设与管理、地理科学和环境科学等专业的教学,也可供相关专业的工程技术人员参考。

本书编写分工如下:张序编写第1、2、3、5、11、15章及第8章的8.3节;连达军编写第4、7、10、12章;袁铭编写第6、13章;王颖编写第8、9、14章;第1章的1.1节、1.2节由张序、袁铭编写。全书由张序负责统稿工作。

本书有配套教学资料《测量学实验与实习指导书》,由东南大学出版社出版。

感谢同济大学潘国荣教授担任本书的审稿工作,并对本书提出了许多宝贵的意见和建议,为保证本书的质量起到了重要作用,在此谨致谢意。

本书在编写过程中,参考了书末所列的文献,在此向相关作者致谢。

由于编者水平有限,书中难免会有错误和不足之处,诚请广大读者批评指正。

编 者

2012年10月于石湖

目 录

1 绪论	1
1.1 测量学的任务和在国民经济建设中的应用	1
1.2 测绘科学定义及发展概况	2
1.2.1 测绘科学的定义与研究内容	2
1.2.2 测绘科学发展概况	2
1.3 地面点位的确定	3
1.3.1 地球的形状和大小	3
1.3.2 确定地面点位的方法	4
1.4 水平面代替水准面的限度	8
1.4.1 对距离的影响	8
1.4.2 对高程的影响	9
1.5 测量工作概述	9
1.5.1 测量工作的基本原则	9
1.5.2 测量工作的基本内容	10
1.6 测量常用计量单位及其换算	12
1.6.1 测量长度单位及其换算	12
1.6.2 测量面积单位及其换算	12
1.6.3 测量体积单位	13
1.6.4 测量角度单位及其换算	13
本章小结	13
习题与思考题	14
2 水准测量	15
2.1 水准测量基本原理	15
2.2 水准仪和水准尺	16
2.2.1 水准仪的基本结构	16
2.2.2 水准尺和尺垫	18
2.3 水准测量方法	19
2.3.1 水准仪的使用	19
2.3.2 水准测量的实测方法	20
2.3.3 水准测量的成果计算	24

2.4	水准仪的检验与校正	26
2.4.1	水准仪的轴线及其应满足的条件	26
2.4.2	水准仪的检验和校正	26
2.5	水准测量误差及注意事项	29
2.5.1	仪器误差	29
2.5.2	观测误差	30
2.5.3	外界条件的影响	30
2.5.4	水准测量的注意事项	31
2.6	自动安平水准仪	32
2.6.1	自动安平原理	32
2.6.2	自动安平补偿器	32
2.6.3	自动安平水准仪的使用	33
2.7	精密水准仪介绍	34
2.8	电子水准仪测量	36
2.8.1	电子水准仪的基本原理	36
2.8.2	电子水准仪的功能和使用方法	37
2.8.3	电子水准仪的水准测量方法	39
2.8.4	电子水准仪的检验与校正	40
	本章小结	42
	习题与思考题	42
3	角度测量	44
3.1	角度测量原理	44
3.1.1	水平角观测原理	44
3.1.2	竖直角观测原理	44
3.2	光学经纬仪	45
3.2.1	DJ6 级经纬仪基本结构	45
3.2.2	DJ2 级光学经纬仪	47
3.2.3	经纬仪的使用	48
3.3	水平角测量	50
3.3.1	测回法	50
3.3.2	方向观测法	51
3.4	竖直角测量	53
3.4.1	竖直度盘的构造	53
3.4.2	竖直角计算	53
3.4.3	竖盘指标差	55
3.4.4	竖直角观测	56

3.5 经纬仪的检验与校正·····	56
3.5.1 经纬仪应满足的几何条件·····	56
3.5.2 经纬仪的检验与校正·····	57
3.6 角度测量误差及注意事项·····	60
3.6.1 水平角测量误差·····	60
3.6.2 竖直角测量误差·····	62
3.6.3 角度测量的注意事项·····	63
3.7 电子经纬仪介绍·····	63
3.7.1 电子经纬仪的结构以及与光学经纬仪的主要区别·····	63
3.7.2 电子经纬仪测角原理·····	64
本章小结·····	66
习题与思考题·····	66
 4 距离测量与直线定向·····	 69
4.1 卷尺量距·····	69
4.1.1 量距工具·····	69
4.1.2 直线定线·····	70
4.1.3 钢尺量距的一般方法·····	70
4.1.4 钢尺的检定·····	71
4.1.5 钢尺精密量距·····	72
4.1.6 钢尺量距误差及注意事项·····	73
4.2 视距测量·····	74
4.2.1 视距测量的基本原理·····	75
4.2.2 视距测量的观测和计算·····	76
4.3 电磁波测距·····	77
4.3.1 电磁波测距原理·····	77
4.3.2 红外测距仪及其使用·····	78
4.3.3 测距成果整理·····	79
4.4 直线定向·····	80
4.4.1 基准方向·····	80
4.4.2 方位角·····	81
4.4.3 正、反坐标方位角·····	81
4.4.4 坐标方位角的推算·····	82
4.4.5 象限角·····	82
4.4.6 直角坐标与极坐标的换算·····	83
本章小结·····	84
习题与思考题·····	85

5 电子全站仪测量	86
5.1 电子全站仪概述	86
5.2 电子全站仪的结构与功能	87
5.2.1 全站仪的结构	87
5.2.2 全站仪的功能	88
5.3 全站仪的操作使用	88
5.3.1 使用前的注意事项	88
5.3.2 全站仪的操作使用	88
5.4 电子全站仪的检校	98
5.4.1 概述	98
5.4.2 全站仪的检校	98
本章小结	100
习题与思考题	100
6 测量误差的基本知识	101
6.1 测量误差的概念	101
6.1.1 测量误差产生的原因	101
6.1.2 测量误差的分类与处理方法	102
6.1.3 偶然误差的特性	103
6.2 评定精度的标准	104
6.2.1 中误差	105
6.2.2 相对误差	105
6.2.3 允许误差	106
6.3 误差传播定律及其应用	106
6.3.1 观测值的函数	106
6.3.2 误差传播定律	106
6.3.3 误差传播定律的应用	110
6.4 等精度观测值的平差	112
6.4.1 求最或是值	112
6.4.2 观测值的中误差	113
6.5 不等精度观测值的平差	115
6.5.1 权的概念	115
6.5.2 加权平均值及其中误差	116
6.5.3 定权的常用方法	118
本章小结	119
习题与思考题	120

7 控制测量	122
7.1 控制测量概述	122
7.1.1 平面控制测量	122
7.1.2 高程控制测量	125
7.2 导线测量和导线计算	126
7.2.1 导线的布设	126
7.2.2 导线测量的外业工作	127
7.2.3 导线测量的内业计算	128
7.2.4 导线测量错误查找方法	135
7.3 交会定点测量	136
7.3.1 前方交会定点	136
7.3.2 测边交会定点	139
7.3.3 侧方交会定点	140
7.3.4 后方交会定点	141
7.3.5 边角交会定点	142
7.3.6 极坐标法	143
7.4 高程控制测量	143
7.4.1 三、四等水准测量	143
7.4.2 三角高程测量	146
本章小结	149
习题与思考题	149
8 大比例尺地形测绘	151
8.1 地形图的基本知识	151
8.1.1 地形图比例尺	151
8.1.2 地形图图式	153
8.1.3 等高线	156
8.1.4 地形图的分幅与编号	161
8.2 地形图测绘	164
8.2.1 测图前的准备工作	164
8.2.2 碎部点的选择	166
8.2.3 碎部测量的方法	167
8.2.4 等高线的勾绘	169
8.2.5 地形图的拼接、检查与整饰	170
8.3 数字化测图方法	171
8.3.1 概述	171

8.3.2 数字测图系统的基本设备	173
8.3.3 数字测图方法	173
本章小结.....	182
习题与思考题.....	183
9 地形图的应用	185
9.1 地形图的识读	185
9.1.1 地形图的图外注记和说明	185
9.1.2 图廓和坐标格网	187
9.1.3 地物和地貌的识读	188
9.2 地形图的基本应用	188
9.2.1 在图上确定点的坐标	188
9.2.2 在图上求两点间的水平距离	189
9.2.3 在图上确定直线的方位角	190
9.2.4 在图上确定点的高程	190
9.2.5 在图上求两点间的坡度	191
9.3 地形图在工程建设中的应用	191
9.3.1 绘制地形断面图	191
9.3.2 在图上设计等坡线	192
9.3.3 确定汇水范围	192
9.3.4 图上面积的量算	193
9.3.5 场地平整时填挖边界的确定和土石方量计算	196
本章小结.....	199
习题与思考题.....	199
10 建筑工程测量.....	200
10.1 建筑工程测量概述.....	200
10.2 施工测量的基本工作.....	200
10.2.1 设计长度的测设.....	201
10.2.2 设计水平角度的测设.....	202
10.2.3 设计平面点位的测设.....	202
10.2.4 设计高程的测设.....	204
10.2.5 设计坡度的测设.....	206
10.2.6 铅垂线的测设.....	206
10.3 建筑施工测量.....	207
10.3.1 概述.....	207
10.3.2 建筑施工控制测量.....	208

10.3.3 建筑施工测量	213
10.3.4 高层建筑物施工测量	220
10.4 建筑工程竣工测量	225
10.4.1 概述	225
10.4.2 竣工测量	225
10.4.3 竣工总平面图的编绘	225
10.5 建筑工程变形测量	227
10.5.1 概述	227
10.5.2 建筑物的沉降观测	228
10.5.3 建(构)筑物的倾斜观测	231
10.5.4 建(构)筑物的水平位移观测	233
本章小结	234
习题与思考题	234
11 道路与桥梁工程测量	236
11.1 概述	236
11.2 道路中线测量	236
11.2.1 交点和转点的测设	237
11.2.2 路线转折角的测定	239
11.2.3 里程桩的设置	239
11.3 道路曲线测设	240
11.3.1 圆曲线的测设	240
11.3.2 缓和曲线的测设	247
11.3.3 竖曲线的测设	252
11.4 路线纵、横断面测量	253
11.4.1 路线纵断面测量	254
11.4.2 路线横断面测量	257
11.5 道路施工测量	259
11.5.1 道路中线的恢复	259
11.5.2 施工控制桩的测设	260
11.5.3 路基边桩的测设	260
11.6 桥梁工程测量	262
11.6.1 桥梁工程测量概述	262
11.6.2 小、中及大型桥梁施工测量	263
11.6.3 桥梁变形观测	267
本章小结	268
习题与思考题	269

12 管道工程测量	270
12.1 踏勘选线及中线测量.....	270
12.1.1 踏勘选线.....	271
12.1.2 中线测量.....	272
12.2 管线纵、横断面测量	274
12.2.1 纵断面测量.....	274
12.2.2 横断面测量.....	278
12.3 管道施工测量.....	280
12.3.1 准备工作.....	281
12.3.2 管道施工测量.....	282
12.3.3 顶管施工测量.....	284
12.3.4 管道竣工测量.....	286
本章小结.....	287
习题与思考题.....	288
13 GPS 全球定位系统	289
13.1 概述.....	289
13.1.1 GPS 的组成	289
13.1.2 GPS 卫星信号与坐标系统	291
13.2 GPS 定位的基本原理	291
13.2.1 伪距测量.....	292
13.2.2 载波相位测量.....	293
13.2.3 相对定位.....	293
13.3 GPS 测量的设计与实施	294
13.3.1 GPS 网的技术设计	294
13.3.2 选点与建立标志.....	295
13.3.3 外业观测.....	296
13.3.4 GPS 作业模式	296
13.3.5 成果检核与数据处理.....	298
本章小结.....	299
习题与思考题.....	299
14 摄影测量与遥感	300
14.1 概述.....	300
14.2 摄影测量基本知识及应用.....	301
14.2.1 航空摄影测量.....	301

14.2.2 数字摄影测量.....	304
14.3 遥感基本知识及应用.....	306
14.3.1 遥感的基本概念.....	306
14.3.2 遥感技术的分类及应用.....	310
本章小结.....	312
习题与思考题.....	312
15 地理信息系统及应用.....	313
15.1 概述.....	313
15.1.1 地理信息.....	313
15.1.2 地理信息系统.....	313
15.2 地理信息系统的组成.....	314
15.2.1 计算机硬件系统.....	314
15.2.2 计算机软件系统.....	315
15.2.3 地理空间数据.....	316
15.2.4 系统管理和操作人员.....	317
15.3 地理信息系统的应用.....	317
15.3.1 地理信息系统的发展概况.....	317
15.3.2 地理信息系统的数据获取与处理.....	318
15.3.3 地理信息系统的应用.....	322
本章小结.....	324
习题与思考题.....	325
参考文献.....	326

1 绪 论

1.1 测量学的任务和在国民经济建设中的应用

测量学主要研究对象是地球局部地区内的地形信息的采集、处理与应用和工程设计施工定位的基本理论、技术与方法。它的主要任务包括测定和测设两个部分。测定是指使用测量仪器设备和工具,通过测量采集得到一系列地球表面空间点位的几何数据和属性信息,经过计算处理与整理,把地球表面的地形缩绘成地形图,供经济建设、规划设计、科学研究和国防建设使用;测设是指在实施工程建设的规划、管理和设计时,需要将图纸上规划设计好的建筑物、构筑物的位置在地面上标定出来,作为施工的依据。

测量学在国民经济和社会发展规划中应用很广,测绘信息是最重要的基础信息之一。在城市规划、市政工程、工业厂房与民用建筑等工作有着广泛的应用。例如:在工程勘测设计的各个阶段,要求有各种比例尺的地形图,供城镇规划、厂址选择、管道和交通线路选线以及总平面图设计和竖向设计之用。在施工阶段,要将设计的建筑物、构筑物的平面位置和高程测设于实地,以便进行施工。施工结束后,还要进行竣工测量,绘制竣工图,供日后扩建和维修之用。即使是竣工以后,对某些大型及重要的建筑物和构筑物还要进行变形观测,以保证建筑物的安全使用。

在铁路、公路、桥梁和隧道建设中,要选择确定一条经济合理的线路和地址,需要预先测绘选址线路上条带状地形图,在地形图上进行线路设计,然后将设计好的线路位置标定在实际地面上,用以指导工程施工;当线路跨越河流时,需建设桥梁,对建设桥梁的河流区域需要测绘地形图,供桥位选择、桥台和桥墩位置确定使用;当线路穿过山岭时需要开挖隧道,开挖前,应在地形图上确定开挖隧道的位置,根据设计和测量数据确定其开挖的长度和方向,保证正确贯通。

另外,在城市建设中的房地产开发、管理与经营中,在国土资源和地籍调查中,在各项工农业基本建设中,从勘测设计阶段到施工、竣工阶段,都需要进行大量的测绘工作。在国防建设中,军事测量和军用地图是现代大规模的诸兵种协同作战不可缺少的重要保障。至于要导弹命中目标,除了应测算出发射点和目标点的精确坐标、方位和距离外,还必须掌握地球形状、大小的精确数据和有关地域的重力场资料。在空间科学技术的研究,地面沉降、山体滑坡变形的研究,救灾和突发事件应急等方面,都要应用测绘资料。在国家的各级政府管理工作中,测量和地图资料也是不可缺少的重要工具。

1.2 测绘科学定义及发展概况

1.2.1 测绘科学的定义与研究内容

随着测绘科学技术的发展和应用领域的扩大,近代的测绘学已发展为一门综合学科,它在一系列测绘新技术和新设备的帮助下,能够解决许多复杂的科学、技术与工程问题。

现代科技条件下的测绘学,是研究测定和推算地面及其外层空间点的几何位置,确定地球形状,获取地表自然形态和人工设施的几何分布及属性,并缩绘成图的学科。现代测绘学主要研究地球空间信息的采集,并具有信息处理、管理、更新等过程,是地球科学的一个分支学科。

测绘学科根据研究的重点内容 and 应用范围来分类,包括以下几门主要学科:

1) 大地测量学

大地测量学是研究地球形状、大小和变化,测定地球表面广大地区点的位置及地球重力场的理论和方法的学科。近年来,因人造地球卫星的发射和科学技术的发展,大地测量学又分为常规大地测量学和卫星大地测量学。

2) 摄影测量学

摄影测量学是利用摄影像片来测定物体的形状、大小和空间位置的一门学科。根据获得像片方式的不同,摄影测量学又可分为地面摄影测量学、航空摄影测量学、水下摄影测量学和航天摄影测量学等。

3) 海洋测绘学

海洋测绘学是以海洋水体和海底为研究对象所进行的测量理论、方法和海图编制工作的一门学科。

4) 工程测量学

工程测量学是研究工程建设和自然资源开发各个阶段中的各种测量工作的一门学科。

5) 地图制图学

地图制图学是研究地图及其编制和应用的一门学科。随着计算机技术引入地图制图中,出现了计算机地图制图技术。

1.2.2 测绘科学发展概况

测绘学是一门历史悠久的科学,早在几千年前,由于当时社会生产发展的需要,中国、埃及、希腊等国家的人民就开始创造与运用测量工具进行测量。测量工作一开始是用于土地整理。古埃及尼罗河洪水泛滥,水退之后两岸土地重新划分时,已经有了测量工作。我国汉代司马迁在《史记》“夏本纪”中就有叙述公元前 22—前 21 世纪时禹治理洪水、开发国土时“左准绳,右规矩,载四时,以开九州,通九州,陂九泽,度九山”,北宋时期,我国就发明了指南针,以后又创制了浑天仪等测量仪器,并绘制了相当精确的全国地图。指南针于中世纪由阿拉伯人传到欧洲,以后在全世界得到广泛应用,到今天仍然是利用地磁测定方位的简便测量工具。我国古代劳动人民为测量学的发展做出了重要的贡献。

随着社会生产力的发展,测量逐渐应用到社会的许多生产部门。17 世纪发明望远镜后,人们利用光学仪器进行测量,使测量科学迈进了一大步。自 19 世纪末发展了航空摄影测量后,又使测量学增添了新的内容,现代光学及电子学理论在测量中的应用,创制了一系列激光、红外光、微波测距、测高、准直和定位的仪器。惯性理论在测量学中的应用,又创制了陀螺定向、定位仪器。20 世纪 60 年代以来,由于电子计算技术的飞速发展,出现了自动化程度很高的电子水准仪、电子经纬仪、电子全站仪和自动绘图仪等。人造地球卫星的成功发射,使其很快就被应用于大地测量,自 1957 年前苏联第一颗人造地球卫星发射成功后,测绘学科中出现了“卫星大地测量”的分支。此后由美国卫星建立的全球定位系统(GPS——Global Positioning System)技术在测绘科学中得到广泛应用,建立了利用卫星无线电导航原理的全球定位系统,同时,卫星遥感(RS——Remote Sensing)技术在测绘科学中的应用,可以获得丰富的地面信息,为自动化制图提供了大面积的、全球性的资料。随着现代科学技术的发展,测绘科学也必然会向更高层次的电子化和自动化方向发展。

1.3 地面点位的确定

1.3.1 地球的形状和大小

测量工作是在地球表面的较大范围内进行的,地球的形状和大小直接与测量工作有关。

地球的自然表面有高山、丘陵、盆地、平原、海洋等起伏形态,是一个不规则的曲面。就整个地球表面积而言,海洋面积约占 71%,陆地面积约占 29%。

假设某一个静止不动的水面延伸而穿过陆地,包围整个地球,形成一个闭合曲面,称为水准面。水准面是作为流体的水受地球重力影响而形成的重力等势面,它的特点是面上任意一点的铅垂线都垂直于该点曲面的切面。

水面可高可低,符合这个特点的水准面有无数个,其中与平均海水面相吻合的水准面称为大地水准面。大地水准面所包围的形体,可以近似地代表地球的形体,称之为大地体。

由于地球自转产生的离心力,使地球形体在赤道处较为突出,在两极处较为扁平,如图 1-1 所示,其中, PP_1 为地球自转轴。

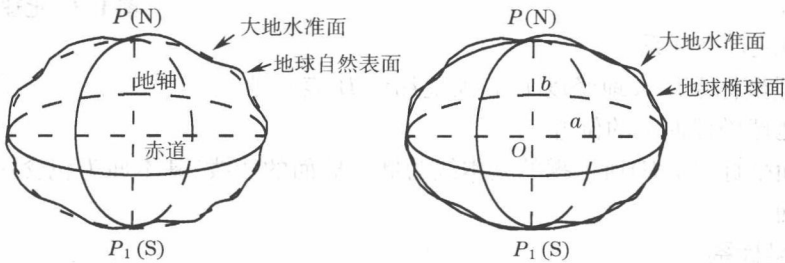


图 1-1 地球自然表面、大地水准面和地球椭球面

地球内部质量分布不均匀,重力受其影响,致使大地水准面成为一个不规则的、复杂的曲面。如果将地球表面的点位图形投影到这样一个不完全均匀变化的曲面上,将无法进行