



普通高等教育农业部“十二五”规划教材  
全国高等农林院校“十二五”规划教材

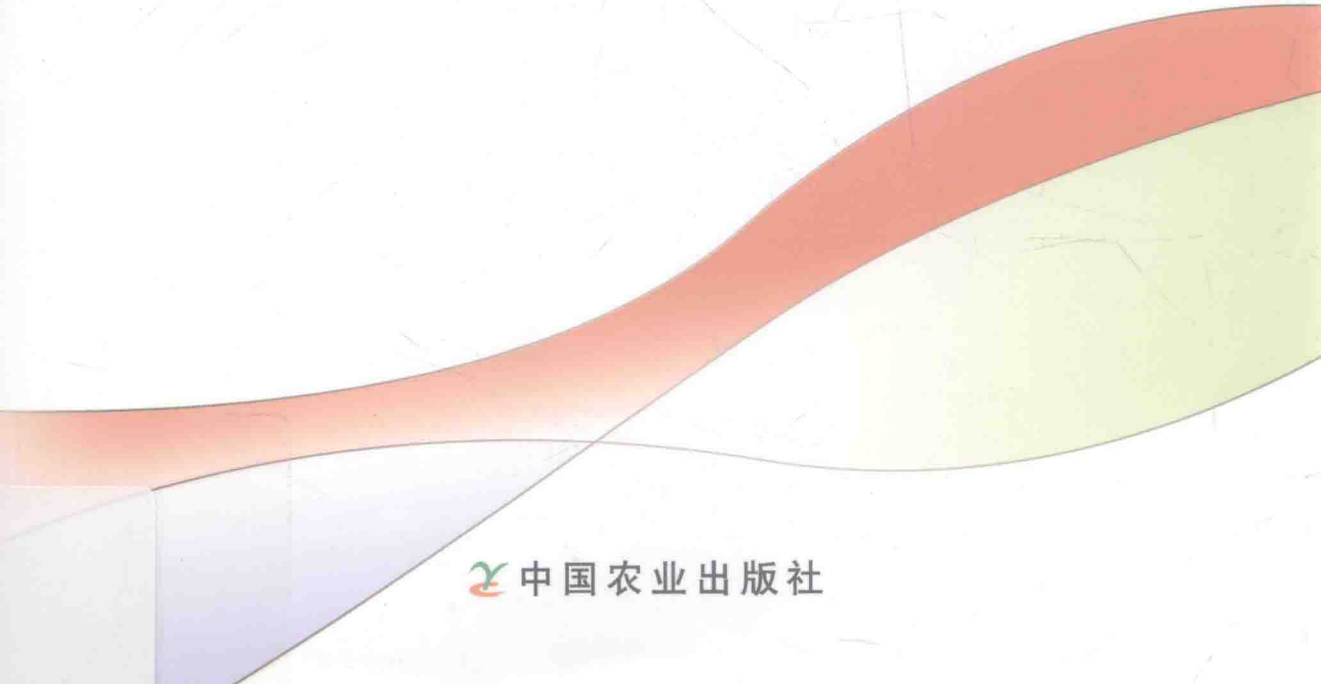



# 测量学

CELIANGXUE

第二版

◎ 张远智 主编



 中国农业出版社

普通高等教育农业部“十二五”规划教材  
全国高等农林院校“十二五”规划教材

# 测量学

第二版

张远智 主编

中国农业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

测量学/张远智主编. —2 版. —北京: 中国农业出版社, 2015. 8

普通高等教育农业部“十二五”规划教材 全国高等农林院校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-109-20647-2

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 (2015) 第 156770 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

策划编辑 夏之翠

文字编辑 李兴旺

---

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行  
2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月北京第 1 次印刷

---

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 22.25

字数: 525 千字

定价: 39.50 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

# 编 审 人 员

主 编 张远智 (北京林业大学)

副主编 吕亮卿 (山西农业大学)

樊志军 (湖南农业大学)

周春发 (中国农业大学)

参 编 何瑞珍 (河南农业大学)

刁建鹏 (西南林业大学)

王红亮 (北京林业大学)

李亚辉 (北京林业大学)

审 稿 陈学平

在农林院校的专业中，测量学是作为一门专业基础课开设的。其中，不同的专业对测量学的应用需求是不完全相同的，如对于工程类的专业（如农建、土木工程、园林工程、草业工程等）来说，大比例尺地形图的应用及工程施工测量是其关注的重点，而对于与资源调查管理、环境规划相关的专业（如林学、水土保持、自然保护区管理、城乡环境规划等），中小比例尺地形图的应用及罗盘、GPS接收机的野外使用等则成为其应用的主要方面。因此，面对不同的应用需求，如何满足农林类各相关专业对测量学应用的需求，是本教材编写的方向和目标。

本教材在经过多个农林院校各相关专业数年的使用基础上，总结经验，改正不足，一如既往地延续了第一版所注重的特色：基础性、通用性、实用性、先进性。综观本教材，有如下主要特点：①注重基本概念与理论，强调基本操作，力图使读者能够打下扎实的基本功。②讲求实用性，在中小比例尺地形图的识读与应用、野外罗盘仪的使用、面积与土方的计算等方面极其详尽与全面，使读者面对野外工作时能够“照书实施”，与以往的同类教材相比，有所突破。③概括性地介绍了手持激光测距仪、数字水准仪、GPS、数字化测图等新仪器新技术，同时对全站仪做了比较详细的介绍。希望通过这些内容的学习和了解，不仅能开阔读者的视野，而且能够培养读者解决测量问题的灵活性。④全书文字简洁扼要、叙述清晰、图文并茂、风格一致，使读者通过本教材的学习，能够增强对测量工作原理和应用深层次的理解，从而达成学习的高效率。

与第一版内容相比，本教材增加了全站仪测量、GNSS（全球卫星导航系统）介绍、GPS RTK测量等新技术，对坐标系统、数字地形测量及数字地形图应用的内容作了部分补充，对绪论等章节的叙述方式作了改进，使内容与测量新技术的发展贴合更为紧密，也更易于阅读和理解。

参加本教材编写的人员有：张远智（第1、13章）、吕亮卿（第6、12章）、樊志军（第3、10章）、周春发（第7、11章）、何瑞珍（第2、8章）、刁建鹏（第5章）、王红亮（第9章）、李亚辉（第4章），最后由张远智对全书进行统稿。此外，李亚辉对书中第2、3、4、8章的部分插图进行了修改和绘制。

本教材承蒙北京林业大学林学院陈学平教授对部分章节进行了审阅，提出了不少意见和改进建议，特此致谢！

由于我们水平有限，书中错漏之处敬请读者批评指正。来信请寄：北京林业大学林学院张远智收，邮政编码 100083，或发邮件至：zhang\_yuan\_zhi@sohu.com。不胜感谢！

编 者

2015年5月于北京



## 前 言

第1章 绪论 .....	1
1.1 测绘学简介 .....	1
1.1.1 测绘学科的定义及分支学科 .....	1
1.1.2 测绘学发展概况 .....	2
1.2 测量学及其在农林业中的应用 .....	3
1.3 地球的表述与坐标建立基准 .....	4
1.3.1 铅垂线与大地水准面 .....	4
1.3.2 旋转椭球和法线 .....	6
1.4 坐标系统 .....	7
1.4.1 大地坐标与空间直角坐标 .....	7
1.4.2 高斯平面直角坐标与地区平面直角坐标及坐标变换 .....	8
1.4.3 高程系统 .....	12
1.4.4 我国常用坐标系统 .....	13
1.5 用水平面代替水准面的限度 .....	14
1.5.1 距离误差 .....	14
1.5.2 角度误差 .....	15
1.5.3 高程误差 .....	16
1.6 测量工作的基本概念与内容 .....	17
1.6.1 确定点位坐标的方法 .....	17
1.6.2 测量工作的原则 .....	17
1.6.3 控制测量示例 .....	18
1.6.4 细部测绘 .....	18
1.6.5 施工测量 .....	18
1.7 测量的度量单位 .....	20
复习思考题 .....	21
第2章 水准测量 .....	22
2.1 高程测量概述 .....	22
2.2 水准测量的基本原理 .....	22
2.3 水准仪与水准测量工具 .....	25
2.3.1 微倾水准仪的构造 .....	25

2.3.2	其他类型水准仪的构造 .....	28
2.3.3	水准尺和尺垫 .....	32
2.4	水准仪的使用 .....	33
2.4.1	微倾水准仪的使用 .....	33
2.4.2	自动安平水准仪的使用 .....	34
2.4.3	数字水准仪的使用 .....	35
2.5	水准测量施测 .....	35
2.5.1	水准点 .....	35
2.5.2	水准测量施测方法 .....	35
2.6	水准测量的校核方法与精度要求 .....	37
2.6.1	测站校核方法与精度要求 .....	37
2.6.2	路线校核及高程计算 .....	37
2.7	光学水准仪的检验和校正 .....	40
2.7.1	圆水准器轴与垂直轴平行的检验校正 .....	41
2.7.2	十字丝横丝垂直于垂直轴的检验校正 .....	41
2.7.3	水准管轴平行于视准轴的检验校正 .....	41
2.8	水准测量误差的分析 .....	43
2.8.1	仪器误差 .....	43
2.8.2	观测误差 .....	44
2.8.3	外界因素的影响 .....	44
	复习思考题 .....	45
<b>第3章</b>	<b>角度测量 .....</b>	<b>47</b>
3.1	角度测量原理 .....	47
3.1.1	水平角测量原理 .....	47
3.1.2	竖直角测量原理 .....	48
3.2	经纬仪的种类 .....	48
3.3	DJ <sub>6</sub> 光学经纬仪的构造与读数 .....	49
3.3.1	DJ <sub>6</sub> 光学经纬仪的构造 .....	49
3.3.2	DJ <sub>6</sub> 光学经纬仪的读数方法 .....	51
3.4	DJ <sub>2</sub> 光学经纬仪的构造与读数 .....	51
3.4.1	DJ <sub>2</sub> 光学经纬仪的基本构造 .....	52
3.4.2	DJ <sub>2</sub> 光学经纬仪的读数装置 .....	52
3.4.3	DJ <sub>2</sub> 光学经纬仪的读数方法 .....	52
3.5	电子经纬仪 .....	54
3.5.1	电子经纬仪简介 .....	54
3.5.2	编码度盘测角原理 .....	55
3.5.3	光栅度盘测角原理 .....	56
3.5.4	动态度盘测角原理 .....	56



3.6 经纬仪的基本操作 .....	57
3.6.1 经纬仪的安置 .....	57
3.6.2 瞄准目标 .....	59
3.6.3 读数和计算 .....	60
3.6.4 配置度盘 .....	60
3.7 水平角测量 .....	60
3.7.1 测回法 .....	61
3.7.2 方向观测法(全圆测回法) .....	62
3.8 竖直角测量 .....	64
3.8.1 DJ <sub>6</sub> 光学经纬仪竖直度盘的位置构造 .....	64
3.8.2 竖直角的计算公式 .....	64
3.8.3 竖直角的观测方法 .....	65
3.8.4 竖盘指标差 .....	66
3.9 经纬仪的检验校正 .....	68
3.9.1 照准部水准管轴垂直于竖轴 .....	68
3.9.2 十字丝的纵丝垂直于横轴 .....	69
3.9.3 视准轴垂直于横轴 .....	69
3.9.4 横轴垂直于竖轴 .....	70
3.9.5 竖盘指标差的检验和校正 .....	71
3.9.6 照准部光学对中器的检验校正 .....	71
3.10 水平角观测的误差来源及其消减方法 .....	71
3.10.1 仪器误差 .....	71
3.10.2 观测误差 .....	72
3.10.3 外界条件的影响 .....	74
复习思考题 .....	74
<b>第4章 距离测量和直线定向</b> .....	<b>76</b>
4.1 距离测量和直线定向概述 .....	76
4.2 卷尺量距 .....	76
4.2.1 量距工具 .....	77
4.2.2 直线定线 .....	78
4.2.3 卷尺量距一般方法 .....	79
4.2.4 钢尺量距精密方法 .....	81
4.3 电磁波测距 .....	82
4.3.1 光电测距仪基本原理 .....	82
4.3.2 光电测距仪的使用 .....	84
4.4 视距测量 .....	89
4.4.1 视距测量的原理 .....	89
4.4.2 视距测量的观测与计算 .....	90

4.5 直线定向 .....	91
4.5.1 标准方向种类 .....	91
4.5.2 直线方向的表示方法 .....	91
4.5.3 正、反坐标方位角的关系 .....	92
4.5.4 几种方位角之间的关系 .....	93
4.6 罗盘仪测量 .....	94
4.6.1 罗盘仪的构造 .....	94
4.6.2 罗盘仪测定磁方位角 .....	95
4.6.3 罗盘仪使用注意事项 .....	95
复习思考题 .....	95
<b>第5章 全站仪测量</b> .....	<b>97</b>
5.1 概述 .....	97
5.1.1 全站仪的分类 .....	98
5.1.2 全站仪的特点 .....	99
5.2 全站仪的构造与功能 .....	99
5.2.1 TPS1200 系列全站仪的构造与功能概述 .....	99
5.2.2 苏州一光 OTS622BL 全站仪的功能与使用 .....	105
复习思考题 .....	121
<b>第6章 测量误差基本知识</b> .....	<b>122</b>
6.1 测量误差基本概念 .....	122
6.1.1 误差的定义 .....	122
6.1.2 测量误差来源 .....	122
6.1.3 测量误差的分类 .....	123
6.1.4 误差处理原则 .....	125
6.2 衡量精度的指标 .....	125
6.2.1 中误差 .....	125
6.2.2 相对误差 .....	125
6.2.3 容许误差(极限误差) .....	126
6.3 误差传播定律 .....	126
6.3.1 误差传播定律 .....	126
6.3.2 误差传播定律的应用举例 .....	128
6.4 等精度观测 .....	129
6.4.1 求算术平均值 .....	129
6.4.2 观测值中误差 .....	130
6.4.3 算术平均值中误差 .....	131
6.5 不等精度观测 .....	132
6.5.1 权 .....	132

6.5.2 最或是值——加权平均值 .....	134
6.5.3 精度评定——单位权中误差和加权平均值中误差 .....	134
6.5.4 不等精度观测数据处理举例 .....	134
复习思考题 .....	135
<b>第7章 控制测量与全球卫星导航系统测量 .....</b>	<b>137</b>
7.1 控制测量概述 .....	137
7.1.1 国家基本控制网 .....	138
7.1.2 城市控制网 .....	139
7.1.3 工程控制网 .....	141
7.1.4 图根控制网 .....	141
7.2 导线测量 .....	141
7.2.1 平面控制网的定位定向以及坐标正反算 .....	142
7.2.2 导线的布设形式 .....	143
7.2.3 导线测量的外业工作 .....	144
7.2.4 导线测量的内业计算 .....	146
7.2.5 导线测量错误的检查 .....	152
7.3 控制点加密 .....	154
7.3.1 角度前方交会 .....	155
7.3.2 角度侧方交会 .....	156
7.3.3 角度后方交会 .....	156
7.3.4 测边交会 .....	158
7.4 三、四等水准测量 .....	158
7.4.1 观测与记录 .....	159
7.4.2 计算与校核 .....	160
7.4.3 三、四等水准测量的成果整理 .....	162
7.5 电磁波测距三角高程测量 .....	162
7.5.1 三角高程测量的原理 .....	162
7.5.2 地球曲率和大气折光对高差的影响 .....	163
7.5.3 电磁波测距三角高程测量代替四等水准的适应范围 .....	163
7.6 GNSS系统原理及其在控制测量中的应用 .....	164
7.6.1 GPS系统的组成 .....	165
7.6.2 GPS定位原理 .....	166
7.6.3 伪距测量与载波相位测量 .....	167
7.6.4 GPS定位方法 .....	168
7.6.5 GPS小区域控制测量 .....	169
7.6.6 GPS RTK测量 .....	171
7.6.7 连续运行参考站系统 .....	172
复习思考题 .....	173

<b>第 8 章 地形图测绘</b> .....	177
8.1 地形图基本知识 .....	177
8.1.1 地形图概述 .....	177
8.1.2 地形图比例尺 .....	178
8.1.3 地形图图式 .....	180
8.1.4 等高线 .....	184
8.1.5 地形图的分幅与编号 .....	186
8.2 大比例尺地形图的传统测绘方法 .....	193
8.2.1 测图的准备工作 .....	193
8.2.2 碎部点点位的测定 .....	195
8.2.3 平板仪介绍 .....	196
8.2.4 碎部测量的方法 .....	200
8.3 地形图的拼接与检查 .....	208
8.3.1 地形图的拼接 .....	208
8.3.2 地形图的检查和验收 .....	209
8.4 地形图的清绘、整饰与复制 .....	209
8.4.1 地形图的清绘和整饰 .....	209
8.4.2 地形图的复制 .....	210
8.5 大比例尺数字化测图的方法 .....	210
8.5.1 数字化测图概述 .....	210
8.5.2 野外数字化数据采集方法 .....	211
8.5.3 数字地面模型的建立 .....	215
8.5.4 地形图的处理与输出 .....	217
8.5.5 数字测绘地形图示例 .....	219
复习思考题 .....	221
<b>第 9 章 地形图应用</b> .....	222
9.1 地形图应用概述 .....	222
9.2 地形图的获取 .....	222
9.3 地形图的识读 .....	223
9.3.1 地形图图廓外的标注 .....	223
9.3.2 分度线和坐标格网 .....	226
9.3.3 地物地貌的判读 .....	227
9.4 地形图的室内应用 .....	227
9.4.1 量测点的坐标 .....	227
9.4.2 求算两点间的距离 .....	228
9.4.3 求算点的高程 .....	229
9.4.4 确定地面坡度 .....	230

9.4.5 确定直线的方向 .....	230
9.4.6 选定最短路线 .....	231
9.4.7 确定汇水周界 .....	232
9.4.8 绘制纵断面图 .....	232
9.5 地形图的野外应用 .....	233
9.5.1 准备工作 .....	233
9.5.2 罗盘仪的野外应用 .....	233
9.5.3 地形图的定向 .....	239
9.5.4 确定站立点在图上的位置 .....	239
9.5.5 地形图与实地对照 .....	239
9.5.6 调绘填图 .....	240
9.6 面积量算 .....	240
9.6.1 解析法 .....	240
9.6.2 图解法 .....	241
9.6.3 求积仪法 .....	242
9.6.4 控制法 .....	244
9.6.5 比较总结 .....	245
9.7 地形图在平整场地中的应用 .....	245
9.7.1 方格法 .....	245
9.7.2 断面法 .....	250
9.8 电子地图及应用 .....	253
9.8.1 电子地图概念 .....	253
9.8.2 电子地图的优点 .....	253
9.8.3 电子地图的应用举例 .....	254
复习思考题 .....	257
<b>第10章 测设的基本工作</b> .....	<b>258</b>
10.1 测设工作概述 .....	258
10.2 水平距离、水平角度和高程的测设 .....	258
10.2.1 测设已知的水平距离 .....	258
10.2.2 测设已知的水平角度 .....	260
10.2.3 测设已知设计高程 .....	260
10.3 直线的测设 .....	262
10.4 点的平面位置测设 .....	263
10.4.1 用一般仪器测设 .....	263
10.4.2 用全站仪测设 .....	264
10.5 已知坡度的测设 .....	265
10.6 圆曲线的测设 .....	266
10.6.1 圆曲线主点的测设 .....	266

10.6.2 圆曲线细部测设 .....	268
复习思考题 .....	272
<b>第 11 章 农林建筑工程测量 .....</b>	<b>273</b>
11.1 农林工程施工测量概述 .....	273
11.2 控制测量 .....	274
11.2.1 建筑基线 .....	274
11.2.2 建筑方格网 .....	276
11.2.3 施工坐标系及其与测量坐标系的换算 .....	277
11.2.4 建筑场地的高程控制测量 .....	278
11.3 农林建筑物定位 .....	278
11.3.1 根据控制点进行定位 .....	279
11.3.2 根据原有建筑物或道路中心线进行定位 .....	282
11.4 农林建筑物的测设 .....	283
11.4.1 测设建筑物轴线交点桩 .....	283
11.4.2 轴线控制桩和龙门板的测设 .....	283
11.4.3 基础施工测量 .....	285
11.4.4 墙体施工测量 .....	287
11.4.5 农林建筑测设的特点 .....	289
11.4.6 任意形状农林建筑物测设 .....	289
11.4.7 农林建筑附属构筑物的测设 .....	295
11.5 农业水利测量 .....	295
11.5.1 土坝施工测量 .....	295
11.5.2 混凝土重力坝施工测量 .....	298
复习思考题 .....	300
<b>第 12 章 线路测量 .....</b>	<b>302</b>
12.1 概述 .....	302
12.2 道路测量 .....	302
12.2.1 踏勘选线 .....	302
12.2.2 中线测量 .....	302
12.2.3 路线纵断面测量 .....	307
12.2.4 路线横断面测量 .....	311
12.2.5 道路施工测量 .....	313
12.3 渠道测量 .....	318
12.3.1 渠道选线的原则 .....	319
12.3.2 渠道施工放样 .....	319
12.4 地下管道施工测量 .....	319
复习思考题 .....	322

---

第 13 章 种植与土方工程测量 .....	324
13.1 树木种植定点放线 .....	324
13.1.1 自然式配置乔、灌木放线 .....	324
13.1.2 规则的经济林、防护林、风景林、纪念林苗圃等的种植放线 .....	326
13.1.3 行道树定植放线 .....	326
13.2 造园与高尔夫球场微地形土方工程测量 .....	327
13.2.1 挖湖测设 .....	328
13.2.2 堆山测设 .....	329
13.2.3 平整场地施工放样 .....	331
13.3 山地梯田测量 .....	331
13.3.1 水平梯田的规划设计 .....	331
13.3.2 梯田定线测量 .....	333
复习思考题 .....	336
参考文献 .....	337

**【重点提示】**本章首先简要介绍测绘学科的定义及其发展概况，测量学的概念、任务及作用，概要地叙述点位表达的基础——坐标系统；然后对用水平面代替水准面的限度进行了讨论；最后对测量工作的原则和具体内容进行介绍。其中，地理坐标系、高斯平面直角坐标系、高程系的建立及相关概念，测量工作的原则及内容是本章的重点。

## 1.1 测绘学简介

### 1.1.1 测绘学科的定义及分支学科

测绘学是地球科学的一个分支学科，是研究与地球有关的地理信息的采集（测定、获取）、处理、显示、管理及应用的科学。其内容包括：研究测定、描述地球的形状、大小、重力场、地表形态及其各种变化，确定自然和人工物体、人工设施的空间位置及属性，绘制、编制各种地图及建立相关信息系统。目前，现代测绘学的技术已拓展应用于其他行星和月球上。

根据研究对象、采用技术手段和应用的不同，测绘学可以分为以下的几个分支学科。

1. **大地测量学** 大地测量学是一门研究和测定地球形状、大小、重力场和地面点几何位置及其变化的理论、技术和方法的学科。大地测量学可分为几何大地测量学、物理大地测量学和卫星大地测量学（或空间大地测量学）。

2. **普通测量学** 普通测量学是一门研究地球表面较小区域内测量与制图的理论、技术和方法的学科。在测绘过程中不考虑地球曲率的影响，用平面代替地球曲面，根据需要建立小区域的控制网，测绘大比例尺地形图及一般工程的施工测量。

3. **工程测量学** 工程测量学是一门研究各类专业工程在规划、设计、施工和运营过程中所涉及的测量理论、技术和方法的学科。根据专业工程的不同，工程测量学可分为土木工程测量、铁道工程测量、矿山工程测量等。

4. **摄影测量学与遥感** 摄影测量学与遥感是一门研究利用摄影和遥感技术，获取被摄物体的信息，进行分析、处理，以确定物体的形状、大小和空间位置，并判定其属性的学科。根据摄影方式的不同，摄影测量可分为航空摄影测量、地面摄影测量、航天摄影测量及水下摄影测量。

5. **海洋测量学** 海洋测量学是一门研究地球表面水体（江、湖及海洋）、港口、航道及水下地貌等测量的理论、技术和方法的学科。海洋测量学为海洋资源监测和管理、船舶和潜艇导航、海底光缆敷设等方面提供服务。



**6. 地图制图学** 地图制图学是一门研究地图制图的基础理论、设计、编绘、复制的技术方法和应用的学科。借助于它对地球空间信息的表达,可以反映自然界和人类社会各种现象的空间分布、相互联系及其动态变化。

随着信息技术、网络技术、计算机技术、激光技术、人工智能技术等现代科学技术的发展,尤其是以“3S”技术(全球定位系统 GPS、地理信息系统 GIS、遥感 RS)为核心的测绘科学技术与其他学科的交叉发展,测绘学科的各个分支学科开始由独立走向综合,逐渐形成一门新兴学科——地球空间信息学(geo-spatial information science,简称 Geomatics)。

### 1.1.2 测绘学发展概况

测绘学科历史悠久,测量技术起源于何时,目前尚无定论。可能是自从有了财产所有权,就有了量度财产或区分各人土地的方法。早在公元前 2500 年,巴比伦人就在使用某些测量方法,因为考古学家发现在此估计年代中的泥版上画有巴比伦的地图。在古埃及,原始的测量技术也应用于尼罗河泛滥后的农田整治和地块恢复中。在我国,《史记》记载,在公元前 21 世纪夏禹治水时,亦已采用“规、矩、准、绳”四种测量工具进行测量。由此可见,在人类社会的生产和生活历史中,测量技术作为社会发展的一种需要,在早期即得以应用。

在地图测绘方面,目前我国见于记载最早的古地图是西周初年的洛邑城址附近的地形图。在湖南长沙马王堆三号墓出土的公元前 168 年陪葬的关于古长沙国地图和驻军图《帛地图》,图上已有山脉、河流、居民地、道路和军事要素的表示。公元 2 世纪,古希腊的托勒密在《地理学指南》一书中,首先提出了用数学的方法将地球表象描绘成平面图的问题,并论述了原始的地图投影。公元 224—271 年,我国西晋的裴秀总结了前人的制图经验,拟订了小比例尺地图的编制法规,称《制图六体》,是世界上最早的制图规范之一。此后,我国历代都编制过多种地图,这说明在古代,地图的测绘已有了较大的发展。

在研究地球形状和大小方面,公元前 3 世纪亚历山大学者埃拉托色尼首创子午圈弧度测量法,实际测量纬度差来估计地球半径。我国唐代(公元 724 年)在僧一行主持下,实地丈量了河南滑州白马经过浚仪、扶沟到上蔡的距离和北极高度,得出子午线  $1^\circ$  的弧长为 132.31km,为人类正确认识地球做出了贡献。17 世纪末,牛顿和惠更斯从力学的观点出发,提出地球是两极略扁的地扁说,为证实这一论断,法国科学院于 1735 年派遣两个测量队分赴秘鲁和北欧,试图由纬度相差很大的两个弧长测量来求定两个椭球参数,澄清地球究竟是两极扁平或两极伸长还是像古希腊毕达哥拉斯提出的地球为圆球的说法。至 1739 年,经过弧长测量终于证实了地扁说的正确性,纠正了长期以来的地圆说,为正确地认识地球奠定了理论基础。1743 年,法国克莱罗论证了地球几何扁率与重力扁率之间的关系,为物理大地测量打下了基础。1849 年,斯托克斯提出利用重力观测资料确定地球形状的理论,之后又提出了用大地水准面代表地球形状,从此确认了大地水准面比椭球面更接近地球的真实形状的观念。

在测量仪器方面,我国古代制造出丈杆、测绳、步车、记里鼓车等丈量长度的工具,矩和水平等测量高度的工具,望筒和指南针等测量方向的工具。1611 年开普勒望远镜的出现,1631 年用于读取不足一个分划小数的游标尺和 1640 年用于精确照准目标的设置于望远镜两片透镜间的十字丝的出现,标志着光学测量仪器的开端。此后,1839 年第一台可携式木箱照相机的问世和 1903 年飞机的发明,则为航空摄影测量的产生创造了契机,至 1909 年第一