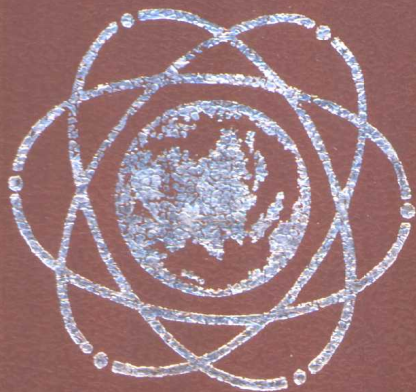


胡明城 魯 樞 編著

现代大地测量学

上册



现代大地测量学

上册

胡明城 鲁福 编著

测绘出版社

(京)新登字 065 号

内 容 简 介

本书是一部比较完整的大地测量学新著，反映了直到 1992 年大地测量学理论和方法及实用技术的新发展。全书共七篇，分上、下册出版。上册内容有：大地测量的回顾、现状与展望，几何大地测量学，物理大地测量学；下册内容有：卫星大地测量学，海洋大地测量学，动力大地测量学以及测量数据分析与平差等。

本书理论与实用并重。理论阐述力求严谨，并列举不少实例，说明各种新技术在实用中所遇到的问题及其解决方法。可供从事大地测量生产、教学、科研工作者学习参考，也可作为地球物理学及海洋学、地震学、天文学等有关专业人员的参考书。

现代大地测量学

上 册

胡明城 鲁福 编著

责任编辑：文湘北 朱龙森

*

测绘出版社出版·发行

北京大兴星海印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本 850×1168 1/32·印张 19.625·字数 497 千字

1993 年 8 月第一版·1993 年 8 月第一次印刷

印数 0 001—1 600 册·定价(平)20.00 元
0 001—0 400 册·定价(精)25.00 元

ISBN 7-5030-0566-1/P·215(平)

ISBN 7-5030-056-1/P·238(精)

前 言

自本世纪 50 年代开始,由于电磁波测距、声纳、卫星大地测量、高速电子计算机和甚长基线干涉测量等新技术的相继出现,大地测量发生了革命性的变化。它超越了过去局限性,由区域性大地测量发展为全球性大地测量,由研究地球表面发展为涉及地球内部,由静态大地测量发展为动力大地测量,由测地发展为测月和太阳系各行星。大地测量学过去只包含几何大地测量学和物理大地测量学两个基本分支学科,由于这些变革,出现了第三基本分支学科——卫星大地测量学;更由于应用范围的扩大,还形成了海洋大地测量学、动力大地测量学以及月球和行星测量学。

面对大地测量学如此丰富的内涵,作者深感有必要对它作全面而系统的论述,以反映当代大地测量的发展水平。为了保持学科的系统性和完整性,本书将大地测量学的各分支学科汇合为一个整体,各科分别专论,而又互相联系,成为一部全面而系统的大地测量学。

国际大地测量学和地球物理学联合会认为,大地测量学已发展成为一门基础地学,它有能力对地学的整个领域(包含全球板块运动、地震区的形变、地球重力场及其随时间的变化、极移、地球自转速度变化、固体潮、以卫星定位方法建立新的大地控制等)作出重要贡献。鉴于已出版的大地测量学著作中这些方面的论述较少,本书试图以较多的篇幅填补这些方面的空白,意在让地学界了解大地测量学在整个地学领域内的地位和作用,同时也拓宽大地测量工作者本身的知识面,使大地测量向更高的阶段发展。

本书着重大地测量学的基础理论，力求概念清楚，推理严谨。对于测量仪器，由于其更新换代之快远非出版速度所能及，所以本书只介绍其原理，而不涉及详细构造。对于一般的测量操作，由于同样原因而只作简要说明。读者只要了解基本原理，结合作业规范和仪器说明书，自己可以掌握。

经典理论仍然是现代大地测量学的基础，凡是目前有重要意义者，本书均作简明扼要的推证，以省篇幅。但读者按书中的思路和线索可以完全看懂，避免了查阅其他资料的麻烦。对于不属于大地测量学本身的基本理论，则采取了参阅其他文献的办法。

本书以较多的篇幅说明了大地测量学理论和新技术应用的发展过程、目前达到的水平和存在的问题，并预测今后的发展趋势。意在为教师提供较丰富的教学参考资料，并有助于科研工作者探索科研方向。

本书涉及的范围较广，作者学识有限，差错在所难免，敬希读者批评指正。

本书的写作得到了陈永龄和周江文先生的鼓励和支持，出版得到了国家测绘局的资助，测绘出版社为本书的早日问世付出了辛勤劳动。作者在此一并致谢。

作 者

1992年5月

目 录

第一篇 大地测量的回顾、现状和展望

第一章 大地测量的萌芽阶段	(1)
1.1 早期人类对于地球形状的认识.....	(1)
1.2 公元八世纪中国的弧度测量.....	(3)
1.3 公元九世纪阿拉伯的弧度测量.....	(5)
1.4 欧洲文艺复兴对大地测量的冲击.....	(5)
第二章 大地测量学科的形成	(7)
2.1 绪论.....	(7)
2.2 三角测量法第一次用于弧度测量.....	(8)
2.3 利用弧度测量证实地扁说的初步尝试.....	(9)
2.4 十八世纪初期中国的大地测量.....	(10)
2.5 地扁说的最后证实.....	(11)
2.6 几何大地测量学的形成.....	(13)
2.6.1 概述.....	(13)
2.6.2 格林尼治天文台与巴黎天文台之间的大地 联测.....	(13)
2.6.3 米制的建立.....	(13)
2.6.4 大地测量开始用于测制地图.....	(14)
2.7 物理大地测量学理论基础的奠定.....	(15)
2.7.1 克莱罗定理.....	(15)
2.7.2 重力位函数.....	(16)
2.8 天文学与大地测量学的互相支持.....	(16)
第三章 十九世纪的大地测量	(18)
3.1 数学对大地测量学的促进.....	(118)

3.2	十九世纪的弧度测量	(19)
3.2.1	西欧的弧度测量	(19)
3.2.2	德国的弧度测量	(21)
3.2.3	俄国的弧度测量和欧洲的两个大规模平行 圈弧	(22)
3.2.4	印度的一等三角测量	(23)
3.2.5	美国的一等三角测量	(24)
3.2.6	非洲的一等三角测量	(24)
3.2.7	十九世纪的最后一次弧度测量	(25)
3.3	十九世纪几何大地测量的重大成就	(25)
3.3.1	地球椭球参数的推算	(25)
3.3.2	大地水准面概念的确立	(27)
3.3.3	弧度测量的面积法	(28)
3.3.4	地壳均衡说的提出	(28)
3.3.5	基线尺的改进	(30)
3.4	物理大地测量学的进展	(30)
3.4.1	理论研究的进展	(30)
3.4.2	重力测量的进展	(33)
3.5	大地测量学的经典定义	(34)
3.6	国际大地测量学协会	(35)
第四章	二十世纪上半叶的大地测量	(38)
4.1	弧度测量的继续发展	(38)
4.2	中国 30 年代的大地测量	(41)
4.3	测量平差理论研究和大地测量数据处理方法的 进展	(42)
4.3.1	测量平差理论的研究	(42)
4.3.2	观测数据的化算	(43)
4.3.3	三角网的平差	(45)
4.4	大地测量仪器的改进	(48)

4.5	物理大地测量学理论研究的进展·····	(50)
4.6	二十世纪上半叶大地测量学发展的总结·····	(55)
第五章	现代大地测量学的形成 ·····	(59)
5.1	绪论·····	(59)
5.2	电磁波测距技术对大地测量的冲击·····	(60)
5.3	卫星大地测量学的形成·····	(65)
5.4	月球测量学和行星测量学的形成·····	(68)
5.5	二十世纪下半叶的重要大地测量工作·····	(70)
5.5.1	大地控制网的建立·····	(70)
5.5.2	天文大地网平差·····	(75)
5.5.3	大规模水准网的建立和平差·····	(82)
5.6	几何大地测量学的进展·····	(84)
5.6.1	水准测量的进展·····	(84)
5.6.2	大地天文测量的进展·····	(87)
5.6.3	惯性测量系统·····	(88)
5.6.4	从最佳权分配到大地控制网优化设计·····	(89)
5.7	物理大地测量学的进展·····	(92)
5.7.1	大地测量边值问题的离散解·····	(92)
5.7.2	国际重力参考系统的演变·····	(92)
5.7.3	绝对重力测量的发展·····	(93)
5.7.4	相对重力测量的发展·····	(94)
5.7.5	船载重力测量的发展·····	(95)
5.7.6	机载重力测量的发展·····	(96)
5.7.7	重力基本网·····	(97)
5.8	大地测量参考系的演变·····	(101)
5.9	大地测量平差理论和数据处理方法的进展·····	(103)
5.10	大地控制网的现状和前景·····	(108)
5.11	利用空间大地测量求定正高 (或正常高) 的可能性·····	(110)

5.12	空间大地测量的现状和展望	(114)
5.13	建立地球重力场模型的现状和展望	(123)
5.14	现代大地测量学的体系和基本任务	(130)
5.15	大地测量学在地学中的地位和作用	(133)

第二篇 几何大地测量学

总论		(147)
第六章 大地天文学		(151)
6.1	绪论	(151)
6.2	大地天文学的坐标系和时间系统	(153)
6.3	恒星位置及其变化	(155)
6.4	年历和星表	(157)
6.5	观测仪器	(159)
6.6	天文经度测定	(160)
6.7	天文纬度测定	(162)
6.8	天文经、纬度同时测定法	(162)
6.8.1	60°棱镜多星等高法	(162)
6.8.2	天顶摄影法	(166)
6.9	天文方位角的测定	(168)
6.9.1	概述	(168)
6.9.2	北极星和南极座 σ 星任意时角法	(171)
6.9.3	大地方位角直接测定法	(174)
6.9.4	中、低精度方位角测定法	(176)
第七章 水平角观测和距离测量		(184)
7.1	大气折射	(184)
7.2	水平角观测	(187)
7.2.1	水平角观测的误差源	(187)
7.2.2	仪器误差对水平角观测的影响	(188)
7.2.3	外界因素对水平角观测的影响	(197)

7.2.4	方向观测法和全组合测角法	(206)
7.2.5	水平角观测质量	(208)
7.3	光电测距与电子速测法	(210)
7.3.1	光电测距	(210)
7.3.2	电子速测法	(217)
第八章	水准测量	(223)
8.1	绪论	(223)
8.2	水准面的不平行性和高程系统	(226)
8.2.1	概述	(226)
8.2.2	正高系统	(227)
8.2.3	正常高系统	(227)
8.2.4	力高系统	(228)
8.2.5	地球位数	(228)
8.2.6	水准测量的重力改正	(229)
8.3	水准仪和标尺的检验	(230)
8.4	高精度水准测量	(232)
8.5	水准测量的误差源	(233)
8.5.1	概述	(233)
8.5.2	大气折光对水准测量的影响	(237)
8.5.3	潮汐对水准测量的影响	(242)
8.6	水准测量的精度估计	(245)
第九章	三角高程测量	(250)
9.1	绪论	(250)
9.2	三角高程测量的基本公式	(252)
9.3	三角高程测量的误差源	(254)
9.3.1	概述	(254)
9.3.2	大气折光对三角高程测量的影响	(255)
9.4	顾及折光影响的折光基线法和内插法	(258)
9.5	直接测定折光角的方法	(263)

9.6	三角高程测量的精度·····	(268)
9.7	电磁波测距高程导线测量·····	(273)
第十章	国家大地控制网和国家水准网的建立 ·····	(286)
10.1	绪论·····	(286)
10.2	建立国家大地控制的一般原则·····	(292)
10.3	大地控制网各推算元素的精度估算·····	(302)
10.3.1	概述·····	(302)
10.3.2	三角形单锁推算元素的中误差·····	(302)
10.3.3	大地四边形锁推算元素的中误差·····	(310)
10.3.4	三角形单锁与大地四边形锁的比较·····	(314)
10.3.5	二等补充网点位误差的估算·····	(315)
10.3.6	连续三角网中推算元素的精度·····	(318)
10.3.7	导线各推算元素的精度·····	(320)
10.3.8	三边锁各推算元素的精度·····	(321)
10.3.9	测边测角锁的纵向和横向位移·····	(324)
10.4	大地控制网优化设计理论概要·····	(325)
10.4.1	优化设计·····	(325)
10.4.2	线性规划·····	(329)
10.5	现有大地控制网的加强·····	(331)
10.6	建立国家水准网的一般原则·····	(338)
10.7	水准网的优化设计·····	(341)
第十一章	大地基准的建立和大地水准面的测定 ·····	(345)
11.1	大地基准的建立·····	(345)
11.1.1	概述·····	(345)
11.1.2	大地基准参数的求定·····	(347)
11.2	测定大地水准面的天文大地方法·····	(351)
11.3	测定大地水准面的天文重力水准方法·····	(354)
第十二章	椭球面大地测量学 ·····	(358)
12.1	绪论·····	(358)

12.2	旋转椭球面的各种几何参数	(358)
12.3	旋转椭球面的曲率	(360)
12.4	建立大地控制网的地面观测数据的化算	(362)
12.5	大地线和椭球面三角形的解算	(365)
12.6	大地测量主题解算	(369)
12.7	大地测量投影	(371)

第三篇 物理大地测量学

第十三章	总论	(383)
13.1	物理大地测量学的任务和主要内容	(383)
13.2	重力测量简史	(384)
13.3	物理大地测量学理论的发展	(388)
第十四章	位理论基础	(392)
14.1	引力和引力位	(392)
14.2	质体位	(396)
14.2.1	均质球壳和球体的引力位	(397)
14.2.2	质体位的连续性	(399)
14.2.3	质体位是一个在无穷远处正则的函数	(400)
14.3	单层位	(402)
14.3.1	平面层的引力位	(402)
14.3.2	任意形状的单层位	(403)
14.4	双层位	(405)
14.5	拉普拉斯方程和布桑方程	(407)
14.6	格林公式	(408)
14.7	球谐函数	(415)
14.7.1	勒让德多项式	(415)
14.7.2	缔合勒让德多项式	(418)
14.7.3	球谐函数	(421)
14.7.4	带谐函数	(425)

14.7.5	田谐和扇谐函数	(427)
14.7.6	球谐函数的正交性和完全正规化的球谐函数	(428)
14.7.7	函数按球谐函数展开	(430)
14.7.8	球谐函数分解公式	(432)
14.8	椭球谐函数	(433)
14.9	边值问题	(438)
14.9.1	边值问题的存在性	(439)
14.9.2	用格林方法解外部边值问题	(440)
14.9.3	用球谐函数解外部边值问题	(442)
14.10	球外调和函数的径向导数	(446)
第十五章	地球重力场	(449)
15.1	重力和重力位	(449)
15.2	水准面和铅垂线	(451)
15.2.1	水准面的定义及其性质	(451)
15.2.2	水准面的解析表示	(452)
15.2.3	水准面的曲率	(453)
15.2.4	垂线的曲率	(454)
15.2.5	重力梯度	(456)
15.3	地球引力位的球谐函数展开式	(457)
15.4	大地水准面	(460)
15.5	格林公式应用于重力位	(463)
15.6	斯托克斯定理	(465)
15.7	地球的正常重力场	(467)
15.7.1	正常重力位	(468)
15.7.2	正常重力	(472)
15.7.3	正常引力位的球谐函数展开式	(474)
15.7.4	正常重力场的实用公式	(475)
15.7.5	其他正常重力场	(479)

15.7.6	大地测量参考系	(481)
15.8	扰动重力场	(483)
15.8.1	扰动位	(483)
15.8.2	似地形面和似大地水准面	(484)
15.8.3	重力异常	(485)
15.8.4	垂线偏差	(486)
15.8.5	重力异常、垂线偏差和大地水准面高(或 高程异常)与扰动位的关系	(489)
15.8.6	球近似和 T 、 N 、 Δg 的球谐函数展开 式	(493)
第十六章	重力测量和重力归算	(497)
16.1	绝对重力测量	(497)
16.1.1	用摆仪测定绝对重力	(497)
16.1.2	利用自由落体测定绝对重力	(501)
16.2	相对重力测量	(503)
16.2.1	用动力法测定相对重力	(503)
16.2.2	用静力法测定相对重力	(504)
16.3	海洋和航空重力测量	(509)
16.4	重力参考系统	(513)
16.5	重力控制网	(514)
16.6	重力归算	(516)
16.6.1	空间改正	(516)
16.6.2	布格改正	(517)
16.6.3	局部地形改正	(518)
16.6.4	地壳均衡改正	(521)
16.6.5	各种重力归算方法的比较	(523)
16.7	重力异常的推估	(527)
16.7.1	重力异常方差、协方差和协方差函数	(528)
16.7.2	最小二乘推值法	(530)

16.7.3	平均重力异常的推估	(533)
16.7.4	重力异常与高程的相关性	(535)
第十七章	推求地球形状及其外部重力场的理论和方法	(539)
17.1	结论	(539)
17.2	斯托克斯理论	(542)
17.2.1	基本概念	(542)
17.2.2	斯托克斯公式	(543)
17.2.3	广义斯托克斯公式	(546)
17.2.4	斯托克斯公式反解	(551)
17.2.5	计算垂线偏差的维宁·曼乃兹公式	(551)
17.2.6	面积分的计算	(553)
17.3	莫洛坚斯基理论	(560)
17.3.1	莫洛坚斯基问题	(560)
17.3.2	基本积分方程	(563)
17.3.3	积分方程的解	(566)
17.3.4	莫洛坚斯基解与斯托克斯解的比较	(573)
17.4	布耶哈默尔方法	(577)
17.5	最小二乘配置法在推求地球形状及其外部重力场中的应用	(580)
17.5.1	最小二乘配置法	(580)
17.5.2	最小二乘配置法的应用	(583)
17.5.3	扰动位的协方差函数	(588)
17.5.4	协方差传播	(591)
17.5.5	重力异常协方差函数	(595)
17.5.6	地球引力位系数的协方差	(597)
17.6	地球外部重力场的延拓	(600)
17.6.1	地球上空的正常引力	(601)
17.6.2	利用空间异常计算高空扰动重力	(602)
17.6.3	利用单层密度计算高空扰动重力 (扰动重	

力的表层法)	(603)
17.6.4 扰动重力的直接上延法.....	(605)
17.6.5 球谐函数展开法.....	(607)
17.6.6 重力异常的向下延拓.....	(607)
17.7 地球重力场模型.....	(608)

第一篇 大地测量的回顾、 现状和展望

第一章 大地测量的萌芽阶段

1.1 早期人类对地球形状的认识 地球是人类生息繁衍的场所。自从人类进化到有了思维能力，有了求知欲，就要求认识地球的形状。但是，地球形状是很复杂的，人们对它的认识经历了一个漫长和逐步逼近的过程。即使到了目前科技高度发达的时代，对于地球形状虽然有了正确的认识，但其细致程度还不能满足某些科学技术的要求。

在远古时代，人类是通过简单的观察和想象来认识地球的。例如，中国的古人观察到“天似穹窿”，就提出了“天圆地方”的说法。西方的古人观察到他们所居住的陆地为海洋所包围，就认为“地如盘状，浮于无垠海洋之上”。

大约从公元前 8 世纪开始，希腊学者们就试图通过自然哲学来认识世界，开辟了用科学方法认识地球的先河。公元前 6 世纪后半叶，毕达哥拉斯(Pythagoras)提出了地为圆球的说法。大约两个世纪之后，亚里士多德(Aristotle)用物理方法作了论证，支持这一学说，于是成立了“地圆说”。

首创子午圈弧度测量法，实际测量纬度差来估计地球半径的，是公元前 3 世纪亚历山大学者埃拉托色尼(Eratosthenes)。他认为埃及的亚历山大城和赛尼城(今阿斯旺)位于同一子午线上，而且还发现夏至日正午日光在赛尼城直射井底，即太阳的天顶角为零；同日正午在亚历山大城观测日晷或垂直杆在一特制的