

高等学校教学参考书

00156

重力測量学

何紹基 編

科学出版社

重力測量学

张松海 著



重力測量學

何紹基編

測繪出版社

1957年·北京

重力測量学

何紹基編

測繪出版社

1957年·北京

重力測量学

編者	何紹基
出版者	測繪出版社
	北京宣武門外先寺西街3号
	北京市書刊出版業營業許可証出字第081号
發行者	新華書店
印刷者	地質印刷厂
	北京廣安門內教子胡同甲32号

編輯: 何炎文

印数(京)1+4,050册	1957年4月北京第1版
开本 $31^{\circ} \times 4\frac{1}{2}^{\circ}$	1957年4月第1次印刷
字数280,000字	印張 $13\frac{21}{25}$
定价(10)1.70元	



目 录

序.....	7
第一章 緒論	11
§. 1. 課程內容.....	11
§. 2. 重力測量學發展簡史.....	12
§. 3. 重力和重力加速度.....	16
第二章 擺儀觀測的理論	18
§. 4. 數學擺.....	18
§. 5. 物理擺.....	24
§. 6. 影響擺動周期的各種因素.....	26
§. 7. 周圍空氣的影響.....	27
§. 8. 溫度變化的影響.....	32
§. 9. 表速的影響.....	34
§. 10. 刀口變形的影響.....	35
§. 11. 擺幅的影響.....	33
§. 12. 磁場的影響.....	41
§. 13. 擺架搖動的影響.....	42
§. 14. 擺架搖動影響的測定.....	43
§. 15. 絕對重力測量.....	50
§. 16. 白塞爾可倒擺的理論.....	53
§. 17. 雷白索里特儀器.....	55
第三章 擺儀相對重力測定	58
§. 18. 擺儀相對重力測定法的概念.....	58
§. 19. 四擺儀.....	59
§. 20. 擺儀的安置與觀測準備.....	63
§. 21. 由觀測求擺的擺動周期.....	65

§.22.	共振改正的測定	67
§.23.	周期改正的計算	70
§.24.	擺儀常數的測定	72
§.25.	擺儀觀測計算例	75
§.26.	擺儀相對重力測定的精度估計	75
§.27.	海上觀測概述	93
第四章	相對重力測定的靜力法	99
§.28.	靜重力儀的各種類型	99
§.29.	影響於重力儀觀測的各種因素	102
§.30.	重力儀的零点變化	107
§.31.	重力儀常數的測定	110
§.32.	重力點的佈置和測定	113
§.33.	重力儀觀測結果的精度估計和平差	117
§.34.	氣體重力儀	126
§.35.	ГКМ 重力儀和 ГКА 重力儀	130
§.36.	CH-3 重力儀	132
§.37.	ГЛЭ-3 重力儀	149
§.38.	諾格重力儀	156
§.39.	GS-9 重力儀	159
第五章	引力、重力、及其位	165
§.40.	牛頓引力位	165
§.41.	位函数的基本性質	168
§.42.	具有質量的球層及球體的引力位	172
§.43.	拉伯拉斯方程和布桑方程	177
§.44.	離心力位和重力位	180
§.45.	重力位函数的級數展開	183
§.46.	大地水准面	190
§.47.	克萊勞定理	192
§.48.	天體對重力的干擾及大氣層對重力的影響	196
§.49.	行星角速度的極限問題	201
第六章	橢球體的引力	204

§.50.	質量均匀的橢球体对内部点的引力位	204
§.51.	共焦点橢球体的引力定理	213
§.52.	質量均匀的橢球体对外部点的引力位	219
§.53.	橢球是旋轉液体的均衡形狀	225
§.54.	司托克斯定理	229
§.55.	橢球狀水准面的司托克斯問題	233
§.56.	对小扁率橢球体顧及二級小的克萊勞定理	237
第七章	观测重力值的归算	244
§.57.	重力值的归算 (改正)	244
§.58.	正常重力公式、重力異常	246
§.59.	空間改正	251
§.60.	局部地形改正	253
§.61.	層間改正和布格改正	256
§.62.	均衡理論	261
§.63.	均衡改正	266
§.64.	各种归算方法比較	269
第八章	重力測量在大地測量中的应用	274
§.65.	地球橢圓体扁率的測定	274
§.66.	基本微分方程、司托克斯公式	276
§.67.	按司托克斯公式决定大地水准面形狀	281
§.68.	垂綫偏差計算公式	288
§.69.	中央区域重力異常影响的計算	296
§.70.	半徑 5 公里至1000公里环帶影响的計算	298
§.71.	远区域異常影响的改正和轉为大地坐标系統 改正的計算	305
§.72.	天文坐标的垂綫偏差改正計算例	308
§.73.	天文水准和天文——重力水准	320
§.74.	假大地水准面	326
附录		330
1.	正常重力值表	330

2. 重力改正 (归算) 用表.....	331
3. 摆动周期表.....	334
4. 摆幅改正表.....	334
5. 温度改正表.....	335
6. 气压改正表.....	336
7. 共振改正因子表.....	337
8. 重力差计算因子表.....	338
9. Δg_k 值表	339
10. CH-3A 18660 常数	340
11. CH-3 重力仪 C ₂ 值表.....	341

参考文献

序

1954年，由于教学上的需要，我曾編寫重力測量学講义進行教学。在一年多的教学实践中，对原有講义又曾作了一些修改。在这个基礎上，并参考了苏联高等学校这門課程的教学大綱寫成这本书。

本書大致可以分为兩部分：前四章主要叙述重力測量用的仪器（重力擺和重力仪）的理論和实际操作，对我國現在采用的主要重力測量仪器作了較詳細的介紹；后四章主要叙述地球形狀理論和重力測量在大地測量中的应用。在內容的順序上，力圖前后一貫；問題叙述力求明确詳細。

編寫时，主要参考書是：A.A.米哈依洛夫的“重力測量学和地球形狀理論教程”，Л. B.索洛金的“重力測量学与重力勘探”。此外，还参考了一些書籍和文献——見本書之末。編寫中，極力將最新的科学成就列入。

本書对重力扭秤和有关探礦部分未加叙述。因此，本書可作为目前我國高等学校大地測量專業和天文重力專業的教学参考書；也可供有大地測量和重力測量課程的其他專業学生及重力測量作業人員作为参考書。

本書初稿寫成后，曾經苏联專家 И. Д. 卡尔果波洛夫同志校閱，并提出了一些寶貴的意見；此外，張睿文副教授、吳天柱及

关兴君等同志曾对本书作了详尽的校阅；谨于此致以谢意。

由于编者的理论水平有限，在内容、编排次序、问题叙述等方面，缺点甚至错误在所难免，希读者随时提供意见，以便再版时加以修改。

何紹基 1956.10于北京

第一章 緒 論

§. 1. 課程內容

重力測量學，一般說來，是測量重力加速度 g ，以研究地球重力之分佈情況。它對大地測量學來說，具有特別重要的意義。利用重力測量的成果，可以研究地球形狀，地球橢圓體的扁率，及決定垂綫偏差等。

我們知道，大地測量學基本問題之一是決定地球的大小和形狀。所謂地球形狀，通常可以理解為大地水準面的形狀；它與重力之大小和分佈情況有密切之關係。在大地測量學中，曾論及用天文——大地方法決定地球大小和形狀，這是幾何的方法；利用重力成果來決定則為物理的方法。後者比前者更為優越；因為近年來，海洋重力測量已成功，因而使得佔地球表面 70% 的海洋有可能測得其重力，使地球形狀之研究更全面、更廣泛。

地球物質之分佈，亦與重力有關；因而重力測量結果亦可應用到研究地殼之構造上，進而推廣到天體之構造、形狀和發展。這樣，我們這門課程，原來是與一連串重要的科學技術部門，如天文學，測量學，地球物理學，地質學，礦山探測等密切地相聯繫，而它又是與物理學，數學分不開的。

雖然，近年來重力測量學在理論上，儀器上，實際工作上都有重大的發展，但離我們的理想還很遠，還趕不上實際的需要。特別是在我國，由於解放前國民黨的反動統治，這門科學和其他科學一樣，遭到了悲慘的命運。隨着中國人民的解放，這門科學也被徹底解放了，祖國的大地需要我們測量，豐富的地下資源需

要我們勘測；隨着社會主義經濟建設的高漲，這門科學在理論上需要研究和發展，在儀器上需要改進和大量製造，在實際工作上需要大規模展開，它有着極其遠大的發展前途。

由於這門科學之多種多樣性，在這裡，我們只述及重力測量學的基本理論、主要儀器、觀測計算方法和它在大地測量上的應用等問題。

§. 2. 重力測量學發展簡史

1. 重力的第一次測定

十六世紀末，伽利略作了第一次之重力加速度測量。他利用自由落體第一秒所經之路程測定重力 g ($s = \frac{1}{2} g$)。當然，這樣測法極難精確。測定重力較便利的是用擺。惠更斯（荷蘭人，1629—1695. Ch. Huygens）首先指出了擺動周期 T ，擺長 l 和重力加速度 g 的關係；即在擺幅無窮小的情形下：

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

若求 g ，則需測定周期和擺長。最初觀測的人們，常用一秒為擺動周期，即所謂秒擺。1644年，默先尼（Mersenne）第一次測定秒擺擺長；繼之，里西奧利（Riccioli）於1647年作了第二次測定；其後，法人皮卡（Picard）1669年作了較精確的測定。這些觀測者所用的擺（其後直至十八世紀末以前的觀測者們所用的擺也是這樣）是一個懸於綫上的金屬球，其直徑約2.5 cm.，綫之上端以夾夾住。測量夾底至球底之距離，再減去球的半徑，用這樣的方法求擺長。測定周期的方法如下：將擺掛於平時鐘前，改變綫長以使其擺動在一定時間內（例如一小時）與鐘擺一樣擺動。鐘速是用普通天文觀測法測定，但周圍空氣之影響則未計及。

那時測定重力的目的，僅僅是為了求得重力加速度“常數”。因為觀測之不精確，當時認為地面上到處之重力加速度都是一樣。直至1672年，法國天文學家里舍（Richer）觀測火星之視差

后，証明各地之重力加速度是不相等的。里舍在观测过程中，曾到赤道附近测定秒摆摆長，惊奇地發現了赤道附近的摆長比巴黎的短了約 3 m.m.。以后的观测者們，在南方的观测中，証實了里舍的結果。此后，牛頓（在 1686 年）和惠更斯（在 1691 年）确定了南方的重力加速度之所以小些，是因为地球自轉的关系。法国物理学家克萊勞（A. C. Clairaut, 1713—1765）在其著作“地球形狀理論”（1743 年）中說明了可以由重力測量求得地球之扁率。以后，广泛引起了天文学家和測量学家的兴趣，紛紛在各处进行类似之观测。

2. 摆动观测及其理論之發展

雅庫斯、珍尼和丹尼尔、白尔奴里^{*}，他們在十七世紀末十八世紀初推得了完整的物理摆摆动理論；里昂巴尔德、爱里尔（Леопард Эйлер）更指出了摆幅和周期的关系（1736 年）。

随着摆动理論的發展，观测方法也完备起来了。人們力圖找出誤差之起因及其消除的方法，改进仪器等等。現在来談談其發展之大概。

牛頓首先顧及了周圍空气对摆动之影响。他用不同材料作成的各个摆放在不同的液体中进行实验，但他观测的仅仅是摆幅的变化。此外，他首先在他自己的观测結果中引进了空气浮力的改正。1749 年，布格（Bouguer）也引进此項改正，但以后的观测者們却忽略了此項改正。

十八世紀中叶，摆的裝置曾有一些改进，但还是与从前的綫上悬重球差不多，只不过不用夾子而在摆的上部裝上尖刀口；这样，能較精确地測定摆長。

^{*} 雅庫斯、白尔奴里（Jacques Bernoulli, 1654—1705）和珍尼、白尔奴里（Jean Bernoulli, 1667—1743）均为著名的瑞士数学家，是兄弟倆。丹尼尔、白尔奴里（Daniel Bernoulli, 1700—1782）是珍尼的兒子，当时的彼得堡尔格科学院院士。

至於周期,当时亦提出較方便而精确的方法。如美蘭(Меран)建議觀測鐘摆和重力摆同时达到最大傾角时的时刻以計算周期。以后,波斯可維奇(Боскович)稍加修改,即觀測鉛垂位置符合之时刻以計算周期。这样觀測可以很精确,至今还用此法。

因为摆長的測定需要很高的精度,所以很自然地,有一种傾向要求摆本身尽可能不起变化。但即使这样,摆長仍不能精确地測定。

直到十八世紀末及十九世紀初,好些学者几乎不約而同地提出採用可倒摆,这就克服了測量摆長之困难。十九世紀中叶,开始制造可倒摆,这种摆就是以后最精密地測量重力的基础。

3. 十九世紀后半期重力測量之發展

十九世紀中叶,重力測量学有許多巨大的成就。如英国数学家司托克斯(Stokes)計算空气对摆动周期的影响,其結果至今还採用。更重要的是导出一个重要的定理,指出地球形狀可以用重力測量来决定的可能性。当时这个定理並未引起人們的注意,因为它需知道全球之重力分佈情况,当时在这方面知道得很少。虽然現在达到这一点还很远,但已对此定理十分重视,且暫時在不大的区域内已把它应用到实际推求地球形狀中去了。

还須提到地壳均衡假說之出現,它首先指出了重力測量在研究地壳構造上的意义;这个假說也仅在二十世紀初才得到应用。

十九世紀后半期,德国学者赫尔默(Helmert)在他的傑作“高等測量学的数学和物理理論”(Die mathematischen u. physikalischen theorien d. höheren geoläsie, Lpz., 1880—84.)第二卷中,詳細地研究了利用重力測量資料来測定地球扁率的問題。他批判地分析了在他以前所有的重力觀測数据,並選擇了較好的122个重力点計算出正常重力公式。

这122个重力点是用絕對重力測量的方法得来的,这样要化許多時間,且不易得到精密的結果,因此,1881年司丹涅克