

高等学校苏联专家讲义

重力勘探

A. A. 柴可夫 著

地质出版社

高等学校苏联专家讲义

重 力 勘 探

A. A. 荣可夫 著

地 质 出 版 社

1959·北京

本書是苏联榮可夫(A. A. Юнков)教授1955年在中国講学时編写的講义。

本書分兩篇：第一篇講地球重力場的簡短理論、引力勢一次導數(Δg)及二次導數的測量方法和觀測數據的整理方法。第二篇講重力異常的解釋方法，并舉出了許多實際應用的例子。作者全面地、系統地論述了重力異常的解釋問題，提出了一些新的解釋方法，這是本書最大的特點。仔細閱讀他舉出的實例，可以幫助我們正確地了解重力勘探在地質勘探工作中的作用。

本書可作為地球物理勘探專業的教學參考書，也可供野外工作人員及研究人員閱讀。

本書由長春地質勘探學院翻譯組同志集體翻譯，經地球物理探礦教研室部分教師校對，最後由張昌達同志校訂。

高等學校蘇聯專家講義

重 力 勘 探

著 者	A. A. 榮 可 夫
譯 者	長春地質勘探學院翻譯組
出版者	地 質 出 版 社 北京宣武門外永光寺西街3號 <small>北京市書刊出版業營業許可證出字第050號</small>
發行者	新 華 書 店
印刷者	北 京 市 印 刷 一 廠 北京西便門內南大道乙1號

印數(京) 1—1,800冊 1959年4月北京第1版
開本 31"×43" 1/32 1959年4月第1次印刷
字數 430,000 印張 20張 插頁 5
定價 (10) 2.75元

目 录

緒論	8
第一篇 地球重力場的簡短理論。引力勢一次和二次函導數的測定及其結果的整理方法	
第一章 地球重力場的簡短理論	13
§ 1 引力	13
§ 2 離心力	16
§ 3 重力勢的概念	17
§ 4 引力勢，勢函数的主要性質	18
§ 5 拉普拉斯方程式	21
§ 6 離心力勢	23
§ 7 重力勢，等勢面和梯度	24
§ 8 重力勢的二次導數	26
§ 9 三軸扁球體的勢	30
§ 10 扁球體表面上重力的分佈，克列羅方程式	35
§ 11 重力的正常值	38
§ 12 重力勢二次導數的正常值	39
§ 13 交換坐標系時勢的二次導數的換算	42
第二章 重力加速度的動力測量法	46
§ 14 重力加速度測量方法的分類	46
§ 15 數學擺	47
§ 16 物理擺	50
§ 17 重力加速度的絕對測定	53
§ 18 重力加速度的相對測定	55
§ 19 振擺儀的構造	55
§ 20 用重合法來測定振擺的週期	59
§ 21 觀測的步驟	64
§ 22 振幅校正	67
§ 23 溫度校正	68
§ 24 空氣密度校正	69
§ 25 時鐘行程校正	70
§ 26 擺座共振的校正	74

§ 27 重力值的計算	74
§ 28 重力值的校正。異常的导出和概念	76
§ 29 重力異常圖的繪制	79
§ 30 海洋上測定重力值的原理	80
第三章 重力加速度的靜力測定法	84
§ 31 靜力法的一般概念和重力儀的分類	84
§ 32 CH-3 重力儀構造的原理及其平衡方程式	85
§ 33 CH-3 重力儀的主要構件	88
§ 34 CH-3 重力儀的調節	101
§ 35 用 CH-3 重力儀進行觀測	111
§ 36 CH-3 重力儀測量結果的整理	115
§ 37 諾伽重力儀	125
§ 38 用諾伽重力儀觀測的方法及其結果的整理	132
§ 39 ГКА-НИИГР 重力儀	137
§ 40 ГКА 重力儀常數的測定	154
§ 41 用 ГКА 重力儀進行觀測。觀測結果的整理	160
§ 42 野外工作的方法和技术	163
§ 43 在測量地區內測點的佈置	164
§ 44 基點上 Δg 的測量方法	164
§ 45 基點網測點上 Δg 測量的平差	165
§ 46 普通測點上測量 Δg 的方法	176
§ 47 在一條或者幾條測綫上測得的 Δg 值的評價	177
§ 48 補充測點的佈置	178
§ 49 普通測點上測量結果的整理	179
§ 50 重力異常的計算	181
§ 51 重力異常的圖示	183
§ 52 重力測量的設計	184
第四章 引力勢二次導數的測定	188
§ 53 總論	188
§ 54 艾特維斯扭秤構造原理	189
§ 55 扭秤的平衡方程式	192
§ 56 扭秤的運動方程式	196
§ 57 扭秤常數的測定	199
§ 58 二次導數的計算	206
§ 59 Z-40 扭秤的描述	211
§ 60 Z-40 扭秤觀測前的準備	219

§ 61 S-20 扭秤的描述	222
§ 62 S-20 扭秤的調節	231
§ 63 扭秤的測量	237
§ 64 地形測量工作	239
§ 65 地形影响的計算	241
§ 66 測量結果的整理和異常值的計算	259
§ 67 二次導數測量的精確度	260
§ 68 二次導數的圖示	262
§ 69 根據扭秤的觀測結果計算 Δg 的方法	266

第二篇 重力異常的解釋

第一章 关于異常的一些討論	269
§ 1 異常的定义	269
§ 2 重力異常的來源	271
§ 3 異常的探明	271
§ 4 異常的評價	276
§ 5 異常的補充研究	277
§ 6 異常的大小和形狀	278
§ 7 異常的不光滑現象	279
§ 8 異常的复杂性	282
§ 9 異常的分类	284
§ 10 異常的物理—数学解釋	286
§ 11 異常的物理—数学解釋方法	287
§ 12 異常的地質解釋	291
§ 13 岩石的密度	292
§ 14 重力勘探的应用範圍	294
第二章 Δg 異常的解釋	298
§ 15 总論	298
§ 16 基本公式	298
甲. 反演問題法	303
§ 17 方法的內容	303
§ 18 三軸橢球体	304
§ 19 旋轉橢球体	308
§ 20 繞水平軸旋轉的橢球体	321
§ 21 繞垂直軸旋轉的橢球体	327

§ 22 球体	332
§ 23 橢圓柱体	335
§ 24 圓柱体	341
§ 25 平行六面体	342
§ 26 無限長的直角柱体	344
§ 27 傾斜阶梯(斷層)	347
§ 28 垂直阶梯(斷層)	349
§ 29 無限長的三棱柱体	350
§ 30 異常的比較	353
§ 31 关于異常分类的一些意見	356
§ 32 兩岩層分界面的确定	361
乙. 选择法	362
§ 33 方法的內容	362
§ 34 計算 Δg 的量板	362
§ 35 解正問題和反問題	366
丙. 直接法	367
§ 36 方法的內容	367
§ 37 三度矿体	368
§ 38 二度矿体	373
§ 39 关于計算三度和二度矿体質量的精确度的一些資料	376
丁. 关于解釋方法的一些討論	378
§ 40 各种解釋方法的評價	378
§ 41 各种推断方法的应用范围	379
§ 42 引起異常的地質原因的闡明	380
第三章 勢的二次导数異常的解釋	382
§ 43 总論	382
§ 44 基本公式	382
甲. 反演問題法	386
§ 45 方法的內容	386
§ 46 三軸橢球体	387
§ 47 繞水平軸旋轉的橢球体	395
§ 48 繞垂直軸旋轉的橢球体	404
§ 49 球体	407
§ 50 橢圓柱体	408
§ 51 圓柱体	411
§ 52 橢圓拋物体	412
§ 53 旋轉拋物体	413

§ 54 拋物柱體	434
§ 55 平行六面體	436
§ 56 傾斜階梯(斷層或接觸)	437
§ 57 垂直階梯(斷層或接觸)	434
§ 58 水平三直角柱體	447
§ 59 水平角柱體	448
§ 60 傾斜層	452
§ 61 垂直層	456
§ 62 異常的比較	457
§ 63 異常的分類	459
● 乙. 選擇法	460
§ 64 方法的內容	460
§ 65 計算二次導數用的量板	461
§ 66 用量板解正問題和反問題	466
丙. 直接法	467
§ 67 方法的內容	467
§ 68 三度礦體	468
§ 69 二度礦體	470
§ 70 有關求質量的精確度的一些數據	472
丁. 關於解釋方法的一些討論	474
§ 71 解釋方法的比較	474
§ 72 解釋方法的應用	475
§ 73 引起異常的地質原因的闡明	476
第四章 重力勘探實際工作的一些資料	477
§ 74 重力勘探能解決的地質問題	477
§ 75 普查區域性構造	477
§ 76 普查含油構造	482
§ 77 普查含煤構造	499
§ 78 鈦礦的找礦和勘探	501
§ 79 鉻鈦礦床的找礦和勘探	505
§ 80 硫化礦床的找礦和勘探	510
§ 81 剛玉礦床的找礦和勘探	512
§ 82 一些其他礦床的找礦和勘探	513

緒 論

現代地球物理學研究的自然現象的範圍頗為廣大，包括從宇宙深處到地球內部深處所發生的許多自然現象。

地球物理學研究的自然現象的範圍既然如此廣闊，它當然會分成幾個不同的方面。第一方面，是研究宇宙空間所發生的自然現象；第二方面，是研究在地球上所發生的現象，這包括對大氣圈、水圈和重圈的研究。每一個圈都具有自己的特點，因此也要求用不同的方法進行研究，而研究地球範圍內所發生的自然現象的地球物理學又分成相應的三個方面。它們各自具有研究的任務和方法。

研究重圈自然現象的地球物理學，又可分為理論的和應用的。

理論地球物理學的任務是研究地球形狀、構造及在地心深處過去和現在發生的過程的跡象。而應用地球物理學則是利用前者所得的結果，來發展國民經濟的各個部門。

由於用地球物理學解決國民經濟任務的多样性和特殊性，應用地球物理學目前又分成工業地球物理學和勘探地球物理學。

工業地球物理學是為消費品生產的要求和它們的開采而服務的。作為我們研究對象的勘探地球物理學的任務，是研究地殼上部的地質構造，以便普查及勘探礦產。

勘探地球物理學的基础是物理學、數學和地質學等三門自然科學課目中的有關部分。去掉上述三門課目中的任何一門，就會破壞現代勘探地球物理學的內容，縮小它在地質勘探工作過程中的作用、地位和應用的可能性。

勘探地球物理學由下列各種方法所組成，即：重力勘探、磁法勘探、電法勘探、地震勘探、放射性勘探法、地熱學勘探法和各種測井

法。每种方法还有许多不同的具体形式，可用来独立地进行各种地質普查和勘探。所有各种方法都彼此取长补短，綜合而成为地質勘探工作的一种有力的工具。

勘探地球物理学的主要任务是研究地壳上部的地質構造、普查及勘探矿产。

勘探地球物理学的根本方法是研究地表上所观测到的自然或人工物理場的分佈和变化。

显然，自然和人工物理場的存在是由地球的物質構造决定的。各物理場的差別相应地也是由于地球物質成分的某些物理性質的差別决定的。

重力勘探是勘探地球物理方法的一种，它的依据就是地球上物質的一种很重要的性質——吸引其他物体的能力，而这些現象的强度又取决于在一定的体积中所包含的物質数量（即通常所謂的物質密度）。地球物質的密度一般來講决定了引力場，特别是引力場的强度。由于密度的变化，引力場也随之变化。物質的密度除决定着引力場外，还决定着离心力場。这两个場的代数和称为重力場。

地表上重力場的各种測定方法之总合称为重力測量学，而說明重力場分佈的地質原因的解釋方法的綜合，其中也包括重力測定在內，則称为重力勘探。

地表上重力的分佈主要取决于地球內部密度的分佈和地球的形狀。根据万有引力定律，在接近較大密度的物体时，引力就增大，而在接近較小密度的物体时，引力也就减小。这样就引起了重力局部性的变化——即所謂重力異常。異常的規模、形式和强度均取决于和圍岩有密度差的物体的大小、形狀和深度。

例如，若有一背斜褶皺，核心是致密的石灰岩，它上面为疏松的粘土砂質岩層所复盖，則在地面上將有重力的正異常。此異常的大小取决于石灰岩和砂泥質岩密度差的大小和背斜層埋藏的深度。

在其他構造及矿床上也可以發生类似的異常。一般來講，含有兩

个深度相同的隣接岩層，只要具有足够的密度差，在接触綫上就可觀測到重力異常。这一情况也就决定了在地質填圖和普查与勘探矿产的实际工作中重力勘探的应用范围。近五十年来对这方面进行了不少的研究。

至于重力学，它有較長的历史。早在十八世紀时，已經發明了用振摆測定重力的方法，同时这些最初的測量結果已被应用于大地測量学，借以解决地球的形狀問題。現在，在解决大地測量方面的問題上重力測量学有着更大的意义。由于苏联大地測量学家的工作創造了一門新的科学，称为“測地重力学”。

談到重力測定發展的最初阶段，不能不談到俄罗斯天才的罗蒙諾索夫的傑出工作，这些工作对所研究的問題有着直接的关系。罗蒙諾索夫首先确定：“物体的重力不是恒定的，而是不断变化的”。这就是說，重力和磁力相似，并不是恒定的，而是随着時間週期地变化着的。罗蒙諾索夫为了証明这一断言，于十八世紀中叶，曾經制造了第一批重力仪模型。其中有一种称为差分气压計，它是現代气压型靜力重力仪的雛形。据現有資料，还知道罗蒙諾索夫制造过一种灵敏的天平仪器，它是現代某些彈簧重力仪的雛型。可惜的是，用这些仪器进行測定所得的数据絲毫沒有保存下来，仅知罗蒙諾索夫曾經化了几年工夫进行这些觀測，并且在彼得堡科学院的會議上曾作了关于这些觀測的报告。

在十九世紀中，制造了适合于勘探振摆仪，在許多国家里，曾使用这些振摆进行重力測定。从十九世紀初期起，开始在俄罗斯国土上进行振摆的重力測定，俄罗斯傑出的航海家 Ф. П. 李特克是这项工作的創始者。他用振摆所測定的第一个点是在堪察加的彼得罗巴甫洛夫斯克。在十九世紀后五十年間，發現了并部分地研究了莫斯科区域的重力異常。許多俄罗斯的学者从事了这一異常的研究工作。莫斯科大学教授 Ф. А. 斯盧德斯基 (1841年—1897年) 曾經成功地对这一異常作了地質解釋。可以認為，是 Ф. А. 斯盧德斯基第一个制訂了重

力異常的地質解釋方法。

但是，由于用振摆进行測定的效率低而准确度又不高，所以在地区勘探工作中沒有广泛地应用重力法。測定一个振摆仪測点，需要复杂和長时间的操作，時間約一晝夜，而所測得的重力值的誤差超过了許多地質上有意义的重力異常的数值。只有在使用了扭秤和重力仪以后，重力法在勘探工作中才得以广泛应用。

扭秤是一种对地表上重力变化感觉非常灵敏的仪器，它是匈牙利物理学家罗蘭德·艾特維什在十九世紀末發明的。艾特維什曾用自己的仪器在匈牙利平原上进行了重力測量，并且对測量的結果作了解釋。以后，扭秤又有了很大的改进，提高了生产率，并使之更适合于野外的的工作条件。因此重力探矿在扭秤測量的基础上初步地發展起来了。

近年来，在重力勘探的实际工作中，能够測定相对重力值的重力仪起了主要的作用。重力仪和振摆仪相比，其工作效率和准确度都高得多。因而也就有可能被用来解决各种不同的地質勘探問題。在許多情况下，重力仪不仅成功地代替了振摆仪，而且也替代了扭秤。然而，在解决某些地質勘探問題时，特别是在金屬地球物理学方面，扭秤至今也还有專門的用途。

重力勘探和勘探地球物理的其他方法一起，在苏联，从苏維埃国家成立的日子起，就开始發展起来了。1921年由П. М. 尼基弗罗夫教授在庫爾斯克磁異常区域进行了第一次的扭秤測量。早在国内战争时期，由于列宁的倡議，在該地区就已經进行了地球物理工作。由于这些工作以及以后鑽探工作的結果，于1923年發現了世界上最巨大的鉄質石英矿床，而后来，又找到了富鉄矿。在勘探庫爾斯克磁異常、克里沃罗格和其他鉄矿时，重力法的結果很有价值。

二十年代初，开始采用重力法来普查鹽丘。在苏联用这方法發現和勘探了很多的鹽丘，这对于普查油田起了很大的作用。在索利卡姆鉀鹽矿区，重力勘探工作得到了很多有价值的結果。

在普查第二巴庫、中亞細亞、高加索以及其他地區的含油構造時，重力法在過去和現在都有很大的作用。

用重力法勘探頓巴斯和其他含煤區的地質構造時，曾得到了非常寶貴的結果。在某些區域中，可以採用這一方法直接找出含煤層並且圈定其範圍。

目前重力勘探能成功地應用來普查和勘探鉻鐵礦、黃銅礦和其他礦產。

蘇聯科學家對於建立和發展重力勘探這門科學的貢獻巨大，在重力勘探的理論方面，有 П. М. 尼基弗羅夫、О. Ю. 施密特院士、Г. А. 甘布爾采夫院士等。在重力勘探的儀器方面，有 Н. Н. 薩姆索諾夫、С. А. 波德杜布內、М. С. 莫洛登斯基、А. М. 洛津斯卡婭、Л. В. 索洛金等人。在用重力勘探解決不同地質問題的方法研究方面，有 А. Д. 阿爾漢格爾斯基院士、П. М. 尼基弗羅夫、Н. Н. 薩姆索諾夫、В. В. 費登斯基、Э. Э. 弗齊阿季、Н. Н. 米哈依洛夫、Ю. Н. 戈丁等人。

第一 篇

地球重力場的簡短理論。引力勢一次和二次導數的測定及其結果的整理方法

第一章 地球重力場的簡短理論

§ 1 引 力

重力勘探法的根據是萬有引力定律，這個定律是在1687年由伊薩克·牛頓首先提出的。這個定律是：兩個物體的質量為 m_1 和 m_2 ，距離為 r ，其引力 Q 為

$$Q = K \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (1.1)$$

其中 K 是引力常數，它決定於所取的單位制。

假設 $r=1$ 和 $m_1=m_2=1$ ，由公式(1.1)得出 $Q=K$ 。由此可知 K 就是相距一個單位長度時兩個單位質量間的作用力。

引力常數 K 的數值經過多次的測定，現在取為 $K=66.7 \times 10^{-9}$ C.G.S.

只有在真空中，才可把公式(1.1)中的質量 m_1 和 m_2 看作絕對質量。如果質量 m_1 的密度為 σ_1 ，體積為 V_1 ，質量 m_2 的密度為 σ_2 ，體積為 V_2 ，而 m_1 和 m_2 在密度為 σ_0 的介質內相互作用，按阿基米德原理^①公式為：

① 這里利用阿基米德原理引進剩餘密度的概念只是一種比喻，不是證明 校者

$$m_1 = (\sigma_1 - \sigma_0) \Gamma_1, \quad m_2 = (\sigma_2 - \sigma_0) \Gamma_2 \quad (1.2)$$

量 $(\sigma_1 - \sigma_0)$ 和 $(\sigma_2 - \sigma_0)$ 称为剩余密度。显然，它可以是正的，也可以是负的。

假设有一个质量为 m 的物体。在它的周围形成了引力场，并且它对另一个质量为 $m_1=1$ 的物体产生作用力 F ：

$$F = K \frac{m}{r^2} \quad (1.3)$$

数量 F 称为场强，也可写成另一式：

$$F = \frac{Q}{m_1} \quad (1.3a)$$

若将公式(1.3a)和牛顿第二定律的公式相比，可把力场强度看成为在这场内的任一物体所具有的加速度。

上面所讨论的引力场是一个矢量场，因为每一点的场强不仅有大小，而且还有方向。由于这一原因，对这些场的运算变得复杂了。如果我们有几个引起引力场的物体，那末空间任一点的力场强度将是每一物体所引起的力场强度的和。由于力场强度是矢量，因此这样的总和应该是几何和。

如果预先将矢量场换成标量场，则关于所讨论的场的运算就可大为简化。这种换矢量场为标量场的方法之一即投影法。

每一个力可分为三个沿坐标轴的分力，这三个分力都是标量。这样，一个矢量场就为三个标量场所代替。

假设在图1的 $P(a, b, c)$ 点上有一质量 m ，在 $A(x, y, z)$ 点上有一质量 $m_1=1$ 。

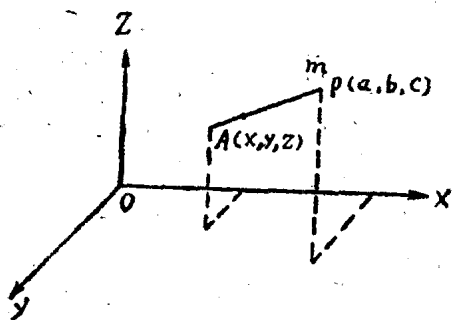


图 1

力场强度 F 的分量将为：

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \cos \alpha; \\ F_y &= F \cos \beta; \\ F_z &= F \cos \gamma, \end{aligned} \right\} \quad (1.4)$$

其中 $\cos \alpha$ 、 $\cos \beta$ 、 $\cos \gamma$ 是直綫 AP 的方向余弦。

显然，

$$\cos \alpha = \frac{a-x}{r}; \quad \cos \beta = \frac{b-y}{r}; \quad \cos \gamma = \frac{c-z}{r}; \quad (1.5)$$

$$r^2 = (a-x)^2 + (b-y)^2 + (c-z)^2.$$

当考虑到(1.3)和(1.5)式时，可将力場强度的分量写成：

$$\left. \begin{aligned} F_x &= Km \frac{a-x}{r^3}; \\ F_y &= Km \frac{b-y}{r^3}; \\ F_z &= Km \frac{c-z}{r^3}. \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

以上的关系式对一个質点說是正确的。如果有几个質点作用于 P 点，則对每一个質点都可写出这同样的关系式。

將沿同一坐标軸的分量相加，合力的三个分量如以下各式所示：

$$\left. \begin{aligned} F_x &= \sum Km \frac{a-x}{r^3}; \\ F_y &= \sum Km \frac{b-y}{r^3}; \\ F_z &= \sum Km \frac{c-z}{r^3}. \end{aligned} \right\} \quad (1.7)$$

当产生引力的物体不是集中在几个点上，而是分佈在一定的体积中时，令在每一特定的点上的質量为 dm ，則对整个体积分得：

$$\left. \begin{aligned} F_x &= \int_V K \frac{r-x}{r^3} dm; \\ F_y &= \int_V K \frac{r-y}{r^3} dm; \\ F_z &= \int_V K \frac{r-z}{r^3} dm. \end{aligned} \right\} (1.8)$$

§ 2 离 心 力

当繞着任一特定軸發生轉动时，質量为 m 的質点受到一个沿着轉动半徑方向离开中心的力的作用，此力称为离心力。

由于地球的自轉，作用在地球上每一点的，除了引力以外，还有离心力。作用于單位質量上的离心力的大小可用下式表示：

$$P = \frac{v^2}{\rho}, \quad (2.1)$$

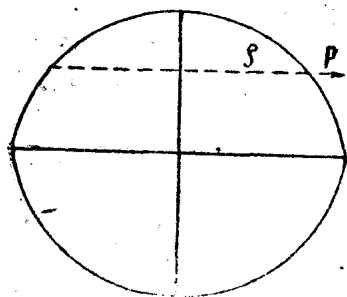


圖 2

其中 v 是綫速度；

ρ 是从該点到轉动軸的距离（綫綫的半徑）；

离心力 P 的方向是沿半徑方向离开軸的（參閱圖 2）。

考虑到綫速度 v 可用角速度表示如下。

$$v = \rho \omega,$$

因而可將 (2.1) 改写成：

$$P = \omega^2 \rho. \quad (2.2)$$

我們把离心力分解为沿着坐标的分量。取地心为坐标原点， oz 軸为轉动軸， ox 和 oy 軸在赤道面內。

离心力 P 的分量可写为：