

高等
109849

基本馆藏

圖書

油 田
地球物理勘探法教程
上 册

苏联 Л.В. 索洛金等著



石油工业出版社

35611 109849

5/4038

71K2

高等 学校 教学 用 书

油 田

地球物理勘探法教程

上 册

苏联 П.В.索洛金等著

阮尚弘译

經苏联高等教育部审定作为石油学院
及石油系地質系教科書

石油工業出版社

內 容 提 要

本教程譯文分上下兩冊出版，上冊談三種勘探方法：重力勘探、磁法勘探及電法勘探。除說明各種方法的物理原理外，對於應用的主要儀器以及井儀器進行觀察的方法，都有詳細敘述。

本書可作石油學院地質勘探系學生教科書，也可用作其他高等學校地質系學生的參考書。地球物理師和地質師在實際工作中也可以參考這本書。

**Л. В. СОРОКИН, В. О. УРЫСОН,
Л. А. РЯБИНКИН, В. А. ДОЛИЦКИЙ**
КУРС ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
РАЗВЕДКИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

根據蘇聯國立石油燃料科技書籍出版社

1960年列寧格勒版翻譯

統一書號：15037·184

油田地球物理勘探法教程

上 冊

阮世弘譯

*

石油工業出版社出版（地址：北京六鋪炕石油工業部十号楼）

北京市書刊出版業營業許可證出字第083號

北京印刷廠一厂排印 新华書店發行

*

787×1092¹/₂₇開本 * 印張11張 * 216千字 * 印1—4,600冊

1960年11月北京第一版第一次印刷

定價(1961.7)元

目 录

第一部分 重 力 勘 探

第一章 重力勘探通論	1
§ 1. 重力勘探的要点	1
§ 2. 重力学和重力勘探發展史	2
§ 3. 重力勘探法在苏联探索石油中的应用	12
第二章 重力場的簡單理論	13
§ 4. 重力位和地球体	13
§ 5. 地球体表面上的重力公式	17
§ 6. 重力位的二次导数	22
第三章 重力測定法	25
§ 7. 重力的绝对測定	25
§ 8. 用摆仪測定相对重力值	28
§ 9. 摆仪观测的进行和所得数据的整理	33
§ 10. 重力仪通論	44
§ 11. 莫洛金斯基式重力仪	49
§ 12. 諾卡尔特式石英絲重力仪	54
§ 13. 在水面上的重力測定	57
§ 14. 重力值校正	59
§ 15. 重力異常及其圖示法	64
第四章 重力位二次导数的測定	67
§ 16. 扭秤的原理	67
§ 17. 扭秤的結構	70
§ 18. 扭秤的观测方法及其数据的整理	81
§ 19. 二次导数 W_{xz} , W_{yz} 等观测值的校正	83
§ 20. 二次导数 W_{xz} 等的異常值及其圖示法	89

第五章 重力勘探的数学理论	93
§ 21. 各种形状物体 Δg 值的计算	93
§ 22. 各种不同形状物体与数 V_{xz} 和 V^A 的计算	97
§ 23. 依 Δg 、 V_{xz} 等值求质量组合的形状、 大小和组成要素	102
§ 24. 重力勘探的一般原则	105
第六章 重力勘探的实际应用	107
§ 25. 重力测量的应用条件及其形式	107
§ 26. 岩层密度的测定	111
§ 27. 在解决地质问题上重力普查的意义	113
§ 28. 油田的重力勘探	114
§ 29. 重力测量的组织和进行步骤	121

第二部分 磁 法 勘 探

第七章 磁法勘探基础	125
§ 30. 磁法勘探的要点和其历史	125
§ 31. 磁学的基本定律	128
§ 32. 地磁	132
§ 33. 岩石的磁化系数和磁法勘探的应用范围	142
第八章 磁法勘探仪器	146
§ 34. 垂直磁力仪	146
§ 35. 垂直磁力仪公式	151
§ 36. 垂直磁力仪刻度的定值	153
§ 37. 垂直磁力仪的误差	154
§ 38. 垂直磁力仪的温度校正	156
§ 39. 水平磁力仪	158
§ 40. 水平磁力仪公式	160
§ 41. 航空地磁测量仪器	161
第九章 磁法勘探的实施	162
§ 42. 野外观测	162
§ 43. 观测记录的整理	165

§ 44. 磁力圖的地質解脫	167
§ 45. 磁法勘探的設計	172
§ 46. 磁法勘探的應用	174

第三部分 電 法 勘 探

第十章 電法勘探的基本原理	176
§ 47. 電法勘探概要	176
§ 48. 岩石和天然水的電阻率	179
第十一章 電阻率法	183
§ 49. 地下電流的分佈。視電阻率	186
§ 50. 按兩接地点之間的電阻值求電阻率	192
§ 51. 四電極法	195
§ 52. 視電阻率的測定	193
第十二章 電阻率法用的儀器設備	206
§ 53. 野外用電位計	206
§ 54. 電位計的計算	211
§ 55. 電源	212
§ 56. 導線和接地用金屬棒	214
§ 57. 脈動換向器	216
§ 58. 電阻選擇替換器和電話	218
§ 59. 電測站	220
第十三章 電測深	222
§ 60. 電測深的實質	222
§ 61. 電測深結果的圖示	224
§ 62. 理論電測深曲綫	232
§ 63. 理論電測深曲綫的圖解繪制法	236
§ 64. 二層及三層剖面曲綫的解釋	240
§ 65. 特種圖板	245
§ 66. 多層剖面曲綫的解釋	248
§ 67. 各向異性剖面的電測深	252
§ 68. 構造剖面 and 構造圖	253

§ 69. 电測深的設計	251
第十四章 电測剖面	258
§ 70. 电測剖面的类型	258
§ 71. 电測剖面的形式和測点間的距离	262
§ 72. 电測剖面的設計及应用	266
第十五章 綫圈法	267
§ 73. 綫圈法的文質	269
§ 74. 野外观測	273
第十六章 自然电位差的观測	274
§ 75. 地电流	274
§ 76. 不極化电極	277
§ 77. 自然电位差地方性異常的观測	279
§ 78. 自然电位差變異的观測	281

第一部分 重力勘探

第一章 重力勘探通論

§ 1. 重力勘探的要点

重力勘探是地球物理勘探方法之一，它是要研究由于地壳的岩層引力所引起的万有引力場。但是，地球上某一部分的引力場，不可避免地要受到地球其他部分引力的影响，和地球自轉所發生离心力的作用；所以，我們就不得不观察所有上述作用力的合力；这个合力就称为重力。而研究地面上重力分佈的科学，就称为重力学。

一般地說，如地面有位移，重力会發生变化，第一是因为地球的离心力，在赤道为最大值，到兩極則減少为零；第二是因为地球是兩極压扁的扁球体，因而，万有引力在赤道上小于兩極；最后是因为地壳是由不同密度的岩層所組成，所以，毫無疑問，在地面上如有位移，重力也要改变。

現在可以想像下面这种重力观察值使用法：地球的直徑和自轉速度都是已知值，这样，我們就可以算出地面上任一地区的离心力；从观察值減去离心力，所得的差就是万有引力，利用这些材料，我們就可以对地球的形状和地球中、特别是在地壳上部質量的分佈情形，作出某种結論。

地球形状問題是高等大地測量学的研究对象，而研究地壳

上質量的分佈情形是發展重力勘探的基礎。

值得注意的是，地面上重力的變化並不大：主要是由於離心力和地球扁平所引起自赤道至兩極重力的變化，不超過兩極重力值的 0.5%。而由於地殼上層不均勻岩層所引起的重力變化，則很少能達到全量的 0.01—0.001%，普通比這數值還小得多。這些情況，就使所進行的重力勘探工作有很大的困難，這就要求在野外非常精確地測定極微的重力變化。所以，雖然重力學已經有了三個世紀的歷史，但重力勘探的開始應用和其發展，還不過是近幾十年的事，就是在能製造精確而又方便的重力儀器之後。

§ 2. 重力學和重力勘探發展史

意大利科學家伽利略在十六世紀末期所作的第一次重力加速度測定，可以說是重力學的起源。伽利略利用了他所發明的定律：自由下落體在落下後第一秒內所經距離的長度等於它的重力加速度的一半。因為當時的度量技術水準不高，而他所用的方法卻需要極精確地測定很短的時間間隔，並且他又沒有考慮到發生誤差的許多原因，所以，伽利略所測得的重力加速度是非常不正確的。

應用擺錘測定重力加速度比較方便。擺的振動週期和其長度及重力加速度值，有着簡單的比例關係。由於擺振動的等時性，所以用不着去測定不易測准的只是一次振動所需的時間（週期），而可以測定次數相當多的振動所需的時間，再除以振動次數。至於擺長的問題，物理擺的長度是很難測定準確的。為了要便於測定該長度，早先第一批觀察者曾尽可能地製造了一種近似數學擺的物理擺，他們用一個掛在綫上的小型金屬負荷作為擺錘。

最初，測定重力加速度時，只要求這樣的一些物理常數數

值，因为当时认为，地球表面上的重力到处是一样的，而根据起先不甚精确的观测结果，也就证明这种见解好像是正确的。但在 1672 年观测卡英纳地区(南美)的重力加速度时，发现所得的值小于在巴黎所得的数值。这样，就第一次证明了地面上各地区的重力加速度是不同的。这个在南方重力较小的事实，使人们得到了这样的结论，认为地球和其他行星一样，不是圆球体而是一个扁球体。十八世纪中叶，法国科学家克利洛发表了一篇论文，说明可以利用重力观察来测定地球的扁平度，这就引起了当时的天文学家和测量学家对重力测定的兴趣，自那时起，他们就尽可能地在各地区进行重力加速度的测量。

在同一时候，伟大的俄国科学家罗蒙诺索夫提出了一个超时代的问题：重力随时间变化的测定。他为这个目的曾制造了一种特别的仪器设备。

后来渐渐地改变了摆的振动理论，同时也改进了观测方法。在追求更正确地测定重力加速度时，不但发现了许多误差的来源，而且还把它们对观测结果的影响计算了出来。这时仪器的构造也获得了改进。

十九世纪上半期所发现的可逆摆和其理论，是一个明显的进步，这样，就大大地增加了测定重力绝对值的正确性，根据这种测定，就可以直接由观测中计算出重力绝对值。

第二个巨大的进步，是在十九世纪的末期，那时，发明了很便利而正确的测定重力相对值的摆仪，这种仪器只能测定二个地点的重力差；又发明了扭秤，以测定某些重力位二次导数的值。在测定相对值的仪器发明以后，重力值的测定数大为增加：在这种仪器发明以前一共仅测定了一百多次，而在以后三十年内(到第一次世界大战为止)，就超过二千五百次，其中不少是在俄国测定的(四百次以上)。

在十九世紀研究重力學理論方面，值得注意的是科學地証明了用重力值可以求得地球的真实形狀，并且指出了进行工作的方法，因此，更証实这些观测对高等大地測量学所具的重要意义。一般地說来，十九世紀重力學的發展，無論是在理論上或实用上，都是为高等大地測量学服务的，甚至于扭秤，在最先也只是为大地測量用，即在小地区内为研究大地球体之用（地球的真实形狀）。

在二十世紀初叶，第一次大战前，重力學的發展还是朝着原来的方向，在第一次大战期間和以后，重力學又开辟了新的应用范围，即应用于地質学，地質勘探工作，因而称为重力勘探；在短短的十年中，重力勘探的工作量就大大地超过了所有的其他重力观测和研究。

在起初，重力勘探的主要仪器是扭秤，一部分为摆仪，以后又制出了一种新的很准确而效率又很高的測量重力用的仪器，称为重力仪。重力仪不但代替了摆仪，并且在許多地方还代替了扭秤。

在俄国，和同时在其他国家，开始应用重力勘探的，可以說就是1916—1917年施旦倫堡在莫斯科重力異常区所作的重力观测，这次观测目的是要查明引起这一異常的質量分佈情形。

在十月革命后的最初几年内，由于我們大都能理解的原因，沒有进行过重力观测，但在1921年已經开始用重力观测（測定重力值和用扭秤观测），以解决在庫尔斯克磁力異常区域内勘探时所發現的一些純地質学上的問題，說明鉄矿的成層深度、位置和形狀等。这些研究得到了巨大的成就，同时也刺激了重力學在地質勘探上应用的發展。在个别地区，也开始了重力異常的观测，因此其工作量逐渐增大到空前未有的規模，在許多方面更超过了其他国家。

重力观测在苏联的發展情况可自表I看到，表I中列有苏

联历年进行的重力测量和扭秤观测的次数^①。

表 1

年 代	重力测定次数	扭秤观测次数	年 代	重力测定次数	扭秤观测次数
1920	2	—	1950	309	6 700
1921	23	15	1951	620	16 400
1922	8	25	1952	770	21 000*
1923	29	45	1953	980	—
1924	49	106	1954	1250	—
1925	32	880	1955	1500	—
1926	54	1500	1956	1990	—
1927	80	2600	1957	2120	—
1928	156	2900	1958	850	—
1929	178	3800			

* 扭秤观测次数只列举到 1953 年，因为此后并未公佈数据，但其次数显而易见一定是逐年增加的。

还須指出，这些观测虽偏于地質勘探方面，但所得材料大部可以用于大地测量上，而且事实上也已經这样做了。

重力学在苏联如此迅速的發展，引起了許多問題，例如：重力观测工作干部的培养，必要仪器的制造，观测及其进行方法的研究，材料的应用等等。必須注意的，要直接应用国外的經驗是有困难的，因为他們的重力勘探是由私人企业进行的，而他們的实验方法和所得結果都是保守秘密的。

在最初几年中，訓練了一批大学数学系的畢業生作重力观测工作干部。自 1926 年起，国立莫斯科大学开始講授重力学的課程，这是在苏联最早出現单独設立的重力学課程。以后在各个矿业学院和石油学院(列宁格勒，莫斯科等)的地質勘探系內，在莫斯科奥尔忠尼啓则地質勘探学院地球物理学系內，

① 本表內所列重力測量次数系根据茲維列夫的資料。

都开始培养重力学家。这些高等学校和高等技术学校培养出并且还在繼續培养着不少高級工程师。至于中等技术干部，則經常是由莫斯科和列宁格勒各个机构所設的專門訓練班和其他技术学校培养的。

在旧俄时代，全部重力觀測所需的仪器都是由外国供給的。十月革命后，在苏联的各个机关中，一共只有約十架摆仪（施捷尔聶克式和施九克拉特式），是測定重力相对值用的，和二架扭秤（大型吉开尔式）。起先的觀測，就使用这些仪器。由于对仪器需要的急速增長，起先不得不从国外进口，但自1927年起，在苏联也开始制造这类仪器了。第一个制造摆仪的是列宁格勒的天文研究所（亞历山大罗夫），那里先制造了附有 $\frac{1}{4}$ 秒摆的仪器，以后又制造了在苏联已經有的施捷尔聶克式摆用的摆架；后来更能完全地制造几种新型的帶有施捷尔聶克式摆及柱形極小摆的摆仪，該研究所还制造了一种輕便的摆仪，可以用在“北極”漂泊站进行觀測。此外，还制造了所謂光学計数計。

比列宁格勒天文研究所稍晚一些，在索洛金指导下在施且尔堡国立天文研究所（ГАИЦ）內也开始进行了制造重力仪的設計工作。他們先將三摆摆架改成为四摆摆架；后来又制成两个三摆摆架和許多加以技术改进的輕型四摆摆架；这种摆架和底座，再加上装箱的总重量約为30公斤，为普通施九克拉特式四摆摆架重量的三分之一。因此，用这种仪器在交通不便的地区，如大森林和南北極区等，比較易于进行觀測。除了摆架之外，国立天文研究所还制出一种可以安放在一般天文表盒內的光学計数計；这种計数計，后来应用得很广泛。以后又制出海洋觀測用的設備，高速測定重力值的設備和其他許多輔助仪器。

除了制造上述各种新型摆仪而外，在中央測量、航測及制

圖科學研究所(ЦНИИГАИК)的參加下,“航測儀器”工廠也開始了生產施九克拉特式的普通儀器(這儀器的構造不需要研究)。

從此,蘇聯就不再需要自國外輸入擺式重力儀了。

經過類似的途徑,蘇聯也保證了扭秤的供應。起先,扭秤是從外國訂購的;到1925年就由科學院數理研究所(尼基福洛夫)開始製造,它們先製造了基開爾式(小型)的扭秤。以後由應用地球物理研究所繼續這項工作,但最後是由“地質勘探”工廠擔任。1935年起開始乙形搖桿和斜臂扭秤的製造。

在重力儀的製造方面,也得到了巨大的成就。中央測量、航測及制圖科學研究所就設計成(莫洛金斯基)新穎而非常成功的彈簧式重力儀;這種儀器的製造方法後來也被地球物理及地球化學勘探科學研究所(НИИГРР)所掌握了。以後就大批的製造這種儀器。現在,這種儀器已經廣泛地應用在野外觀測中。在石英絲重力儀製造方面,該研究所也有一定的成就。

除了重力觀測用的基本儀器如擺儀,扭秤及重力儀而外,還製出有新穎設計的輔助儀器,例如:求積儀(加漢 布尔 差夫及呂斯濟黑的),用以測定來自不規則形狀物體的引力,重力視距儀(列奧都夫斯基的),用以減輕扭秤觀測值地形校正的工作量,用以測定擺振動照像記錄的儀器(索洛金),岩層密度測定儀(山松諾夫)及其他等等。

在第一次大戰以前,俄國已經研究過並且很好地掌握了常用的擺儀觀測法,因此,在進行重力測定時並沒有感覺到很多困難。同時,根據已知的方法,又發展出新的觀測方法。這一點可以從下列新方法和戰前所用方法的比較看出來:天文表的校準可以不必經由天文觀測,而利用無線電時間訊號,這樣,重力的觀測就可以不再受天氣的限制,在進行觀測時,可以盡量地應用時間訊號,以減少由於天文表走動時不均衡而引起的誤差;應用了同時觀測二個至四個擺的方法,以減少擺架搖動

的影响，并縮短了觀測的时间；掌握了海洋觀測；提高了計算摆架搖动影响的准确度。在摆仪新觀測法的掌握和發展方面，国立天文研究所起有主要的作用。

在扭秤的觀測方面，情况就不同了，它还需要进一步的掌握。因此，对于扭秤的使用，还需要进行大量的研究工作。必須研究它在野外工作中的用法和仪器性能上的常数；必須研究野外觀測的准确性，外界条件(如温度等)对仪器常数的影响，地形影响的校正等問題。某些机关在进行野外工作时也很好地做了这些工作(庫尔斯科磁力異常特別考察团，地震研究所，应用地球物理研究所等)。

所以，不論在摆仪或扭秤方面，苏联已經很快地具备为了成功地进行重力觀測所必需的条件，如：受过訓練的觀測者，觀測队所需仪器的供应和进行觀測的方法等。所以，这方面的觀測进行得很广泛。

起初十年的重力測定，是由各个机关(天文的、大地測量的、地質勘探等)在不同地区进行的。觀測和数据整理的方法常常是不一样的，因此，所得材料也不一致。就是觀測点的分佈也非常不均匀；例如在莫斯科附近，烏克蘭，恩巴，阿塞拜疆等地区，觀測点分佈很密，而在苏联其他大部分地区，却都还没有进行过觀測。而且这些所得的材料，又分散在各机关內，很难收集起来。这样，虽然还不致于不能繪制全国性的重力圖，以解决国内某些一般地質構造問題及測量工作問題，但也使这些工作增加了許多困难。

上述缺点，要求成立一个專門进行重力測定工作的机构。1932年9月20日劳动及国防委员会公佈了关于苏联进行一般基本重力勘探工作步骤的特別決議。在該決議中，第一，确定了重力測定点的平均密度，即每一千平方公里測定一点，这样，全国測定点的总数为21800个。第二，决定由苏联重工業

部測量总局(即現在的苏联部長會議直屬測量及制圖管理总局)負責重力勘探工作以及整理、綜合并公佈以前所得的和將來能得的最後重力值。

此後，重力值的測定，雖然還是由各個機關進行，但是大家都根據累積經驗所製定的共同操作規程進行工作。此項操作規程規定了觀察的方法和時間，檢查方法，海拔及測點經緯度的測定及其他工作細則^①。

然後，又將以前幾年測定的結果都收集起來，加以修正後出版了一本“1933年以前蘇聯測定重力點目錄”。在這本目錄中，列舉了2724個重力測定值。這本目錄的出版，就好像是把公佈一般重力勘探工作決議以前所作的重力測定工作做了一個總結。

自表1中可以看出，決議發佈後，蘇聯每年的重力觀測次數就增加得更快了。為了使大家明了蘇聯重力測定工作的規模，我們可以把它與當時各國所進行這項工作比較一下。假如把外國文獻中所載重力測定次數都收集在一起，則在1927—1929年內，蘇聯進行的重力觀測次數和其他各國的總次數相等。而在1930—1932年內，在蘇聯進行的測定次數已經幾乎等於除蘇聯以外全世界各處進行次數的二倍。關於以後在國外進行的次數，因為沒有資料，所以無法比較。

除了陸地上外，在蘇聯領海如黑海、里海、鄂霍次克海和日本海等地區，也進行了重力測定（索洛金，維克洛維赤，費丁斯基）。

上述的重力測量，對全世界重力勘探工作有重大的意義。這些測定在“北極”漂泊重力站進行，共測定了二十點，其中最北的一點幾乎就在北極（距北極7—8公里）。

① 後來這個指示又作了幾次修正。

在应用扭秤测量工作方面，也有很大的成就。1921年庫尔斯克磁异常地区开始这类观测，至1925年暂停，但同时又开始在其他四处进行观测，即在依里茨卡附近鹽田，下泰吉爾产鋇区，都索尔(恩巴)的油田和克利沃罗格鉄矿区。在1926年又在阿普希朗半島和沙立卡姆斯克附近进行观测。总之，以后使用扭秤的重力工作规模逐年加大；除了上述地区外，在其他的油田、鉄矿、煤田等地区，也开始了观测工作。

在各地区进行扭秤重力勘探工作的次数可以有上百的次数，因此，不可能用几句话来介绍每一地区的重力勘探工作。至于历年用扭秤观测的次数，则可见于本节开始的表1。必须注意，表中所列，并未包括全部数据，因为有些材料并未公佈。但是这些数字还有几分是正确的，并且总会比实际数字少。

茲將重力勘探地区所进行的观测次数列举在表2中。

表 2

测 量 对 象	观 察 次 数
石油及天然气田	24000
鉄矿产地	15000
鹽 田	6500
煤 田	9000
鋇鉄矿产地	4000

在进行扭秤观测时，更研究了野外观测材料的地质解释方法。这一方面的工作，在庫尔斯克磁力异常特别考察团工作时就已经开始了，那里，在1923年第一次对在薩台科夫克村所作观测进行了解释(索洛金)，解释结果为以后的鑽探所证实。解释方法的改进以后由应用地球物理研究所(尼基福洛夫)