

油层物理基础

苏联 Ф·И·卡佳霍夫著

石油工业出版社

內 容 提 要

本書分三篇。第一篇介紹油層的機械性質、熱力性質、電學性質、粒度組成、比面、孔隙率、滲透率、油氣水飽和度和碳酸鹽含量，確定這些性質的方法和儀器，以及這些性質與開發和開采油田的關係。第二部分介紹油、氣、水在油層條件下的性質和這些性質在采油過程中可能發生的變化。第三部分介紹油、氣、水、岩石系統的分子表面現象，確定這些現象的方法和儀器，以及這些現象在采油工藝中的作用。

本書適合于油田開發和采油科學研究人員和工程技術人員閱讀；也可供石油院校有關專業師生參考。

Ф. Н. КОТЯХОВ
ОСНОВЫ ФИЗИКИ
НЕФТЯНОГО ПЛАСТА

根據蘇聯國立石油燃料科技書籍出版社(ГОСГОПТЕХИЗДАТ)

1956年莫斯科版翻譯

統一書號：15037·433

油 層 物 理 基 礎

張朝琛譯 劉懋寧校

*

石油工業出版社出版 地址：北京六 號石油工業部內

北京市書刊出版業營業許可證出字第083號

石油工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

850×1168^{1/32} 開本 * 印張 11^{9/16} * 270 千字 * 印 1—1,500 冊

1958年10月北京第1版第1次印刷

定價 (10) 1.90 元

原編者的話

要合理的開發油氣田，保證從油層中探出最大量的石油，必須深入地研究油、水、氣和油瀝的物理性質，研究油層中所發生的過程。近 10—15 年來，無論是在蘇聯還是在其它國家，這些問題的研究都有很大的發展，從而創立了油層物理這門新的石油科學。現在完全有根據認為，對於這一科學領域來說，這一名稱是不夠確切的，因為對油層中所發生的各種過程，油層及其中所含的油、水和氣的各種性質進行進一步的研究的結果證明，這些問題在很大程度上屬於物理化學範疇，並不僅是屬於物理學範疇。因此，把它叫做油層物理化學，就比叫做油層物理要正確些。然而在當時，“油層物理”這一名詞卻曾經足夠精確地表達了事物的實質。地下水動力學中的物理基礎，最先是出現在 Л. С. 列依賓孫院士卓越的研究著作中，他用普通的滲濾理論來研究油氣田的開採過程。

儘管蘇聯和外國在油層物理方面都進行了很多研究，但在這一領域中系統性的著作卻極少，而且已有的著作的內容也遠不符合這一門科學的發展水平。因此應當歡迎 Ф. И. 卡佳霍夫“油層物理基礎”一書的問世。本書作者多年來積極地研究了採油工藝的物理基礎，他的研究成果在本書中得到了充分的反映。

本書的顯著成就是所闡述的材料與具體的礦場資料結合緊密，分析了油層中所發生的物理現象。書中總結作者自己成就的章節應給以最大的注意。

在本書中，相當全面的闡述了蘇聯在油層物理方面所進行的研究工作，以及部分國外作者的研究工作。

本書一至九章，十三至十五章是 Ф. И. 卡佳霍夫寫的；十章

是化学科学碩士 A. Ю. 納密奧特写的；十一和十二章是矿山工程师 B. H. 馬孟写的。

“油層物理基础”这本书，适合石油工業中广大的工程技术人员和科学研究人員閱讀。

教授 M. M. 庫沙柯夫

目 錄

原編者的話

緒論	1
----	---

第一篇 含油岩石的性質

第一章 岩石的粒度組成和比面	1
----------------	---

§1 岩石粒度組成的一般概念和它的实际意义	1
§2 篩析	5
§3 沉降分析的原理	7
§4 岩心的沉降分析	9
§5 岩心粒度分析結果的表达方式	13
§6 岩石的比面	15
§7 比面与岩石其他参数之間的联系	16
§8 比面之測定	18
§9 确定油層的平均比面	20

第二章 岩石的孔隙度	21
------------	----

§1 孔隙度之一般概念及其实际意义	21
§2 假想的及实际的土壤之孔隙度	25
§3 确定孔隙度的原則	28
§4 測定膠結性岩样体积之方法	29
§5 測定岩样孔隙体积的方法	30
§6 測定岩石顆粒体积的方法	31
§7 确定膠結性岩石之完全孔隙度	32
§8 确定膠結性弱岩石之完全孔隙度	35
§9 測定松散岩石的孔隙度	37
§10 确定岩石的有效及运动孔隙度	38
§11 确定油層的平均孔隙度	40

第三章 岩石的滲透率	41
------------	----

§1 滲透率之一般概念及其实际意义	41
§2 多孔介質中的直綫滲濾定律	43
§3 滲透率与孔道大小的关系	48
§4 多孔介質中直綫滲濾定律的極限	54
§5 多孔介質中非直綫滲濾定律之範圍	60

§ 6	油層的水平垂直滲透率	61
§ 7	有效滲透率	63
§ 8	相對滲透率	67
§ 9	測定岩石滲透率的裝置	72
§ 10	用來測定滲透率的岩樣之製備	79
§ 11	用諾莫圖計算岩石的滲透率及孔隙的平均半徑	80
§ 12	根據油井的生產指數確定油層的有效滲透率	84
§ 13	按照岩心分析資料確定油層的平均滲透率	88
§ 14	確定油層相鄰區段的平均滲透率	89
§ 15	裂縫性岩層之滲透率	90
第四章	岩心的水油飽和度	93
§ 1	石油和水在油藏中的分佈情況	93
§ 2	取岩心	94
§ 3	測定岩心束縛水和石油飽和度的方法	96
§ 4	關於岩層束縛水含量與其滲透性的關係	105
§ 5	按照實驗室數據計算油層中石油儲量的體積法	106
第五章	岩石的碳酸鹽含量	111
§ 1	關於岩石碳酸鹽含量之一般概念	111
§ 2	確定岩層碳酸鹽含量的方法	111
§ 3	確定油層的平均碳酸鹽含量	117
第六章	岩石的機械性質	120
§ 1	岩石的彈性	120
§ 2	確定岩石壓縮系數的方法	122
§ 3	岩石在各種變形下之強度	124
§ 4	岩石的硬度	125
§ 5	岩石的堅實性	128
§ 6	岩石的抗压強度	129
§ 7	岩石的抗剪強度	130
§ 8	粘土質岩石的膨脹及泡軟	131
第七章	岩石的熱學性質	134
§ 1	岩石的熱力狀況	134
§ 2	岩石的熱容量	135
§ 3	岩石的導熱性	138
§ 4	岩石的溫度傳導性	141
第八章	岩石的電學性質	145
§ 1	比電阻及電導率的一般概念	145

§ 2	矿物組成对岩石电导性的影响	146
§ 3	各种水溶液的比电阻	148
§ 4	岩石的电导性与其孔隙度之关系	150
§ 5	岩石的电导性与其湿度及水、油饱和度之关系	155
§ 6	温度对岩石电导性的影响	160
§ 7	岩石的电导性与其渗透率之关系	161
§ 8	确定岩石比电阻的方法	164
§ 9	岩石的电化学活性	166

第二篇 石油、天然气和水在地层条件下之性質

第九章 天然气的性質 169

§ 1	天然气的一般特性	169
§ 2	油層气体的体积、压力及温度之間的关系	172
§ 3	油層中气体的粘度	181

第十章 地下石油的性質 190

§ 1	關於油層条件下石油性質的一般評述	190
§ 2	油田如同是單相的或兩相的碳氫化合物系統	191
§ 3	飽和压力	197
§ 4	气体在石油中的溶解度	201
§ 5	地下石油的体积系数	216
§ 6	地下石油的密度	220
§ 7	地下石油的壓縮性	223
§ 8	地下石油的粘度	225

第十一章 地下石油性質的研究 230

§ 1	研究地下石油性質的方法	230
§ 2	研究地下石油的設備	231
§ 3	深井油样的取得	240
§ 4	地下石油性質之實驗測定	246
§ 5	用計算法确定地下石油之性質	261

第十二章 油層水的性質 268

§ 1	油層水的矿化程度	268
§ 2	确定束縛水中氯化物之方法	271
§ 3	油層水的体积系数	272
§ 4	水的热膨胀	274
§ 5	油層水的壓縮性	274
§ 6	气体在水中的溶解度	275
§ 7	油層水之粘度	278

第三篇 石油-气体-水-岩石系統之分子表面性質

第十三章 表面張力及表面能。潤湿作用.....	281
§ 1 一般的評述.....	281
§ 2 表面張力及表面能.....	282
§ 3 溫度和压力对表面張力之影响.....	287
§ 4 吸附作用和吸附層的結構.....	291
§ 5 吸附作用和表面張力之間的联系.....	294
§ 6 表面層的性質.....	296
§ 7 潤湿作用.....	298
§ 8 潤湿的动力滯后現象.....	304
§ 9 表面弯曲所引起的毛細管压力.....	307
第十四章 确定分子表面特性之方法.....	313
§ 1 液-液和液-气分界面上的表面張力之測量方法.....	313
§ 2 用毛細管上升法量測表面張力.....	315
§ 3 用液滴計量法測定表面張力.....	318
§ 4 用气泡或液滴的最大压力法測定表面張力.....	320
§ 5 用量測液滴尺寸的方法确定表面張力.....	322
§ 6 潤湿角之量測.....	326
第十五章 毛細管現象在採油工艺中的作用.....	330
§ 1 概述.....	330
§ 2 岩石中不同大小的孔隙对含油边緣推进不均匀性的影响.....	331
§ 3 兩種液体的弯液面在毛細管及多孔介質中的运动.....	332
§ 4 兩種不相混合液体的混合物在毛細管及多孔介質中的流动.....	337
§ 5 混合物的运动特性对有效及相对滲透率之影响.....	344
§ 6 毛細管力对油層石油採收率之影响.....	347
§ 7 毛細管力对砂堵性質之影响.....	353
参考文献.....	355

緒 論

油層物理是石油科學的一部分，它研究岩石、石油、天然氣和水的物理性質，以及在油層中所發生的各種物理過程。

油層物理所涉及的問題很多，並且它們的性質是互不相同的，因此研究油層物理時就必須用到像物理學、物理化學、膠體化學、地下水力學和礦場地質學等等。正是由於問題的多样性，它們之間的相互聯繫密切，這就必須將油層物理分成爲一門獨立的學科。

要實現油層的合理開發，就需要仔細地研究岩石、油、水和氣在油層條件下的性質。爲了正確的實行油層的合理開發，就必須了解油層中石油的絕對和工業儲量，要會選擇開發方案和規定採液速度。爲了解決這些問題，就必須知道油層的許多水文地質性質，尤其是油層的物理及物理化學性質。例如爲了確定油層中石油的絕對儲量，就必須知道油層含油部分的體積、孔隙度、含水飽合度和石油的體積係數。爲了確定工業儲量，除上面所列举的數據以外，還必須知道油層的最大採收率。

可以用不同的速度從油層中採油。但是從時間上，尤其是從採收率上來看，不能認爲任何一種採油速度都是有效的。必須特別注意油層的石油採收率，因為它與採油時在油層中所發生的物理及物理化學現象有關係。

大家都知道，絕大多數的油層按其滲透率、孔隙度、顆粒組成等來說都遠不是均一的。即使油層有着同樣的滲透率及孔隙度，那麼在這種情況下，由於其中存在有大小不一的岩石顆粒，孔隙的大小也將是不同的。因為液體在不同大小的孔隙中的流速不同，含油邊緣之推進也就不會是均衡的。

含油邊緣推進不均衡，就會在油層中形成許多微小的油芯。油芯就是聚集在個別或數個孔道中的少量石油，這些石油被水所包圍。如果這些微小的油芯兩邊相應點上的壓力差不超過毛細管壓力，那麼就會有相當大量的石油留在油層中而不能採出。油層的不均勻性愈大及水油界面上的表面張力愈大，不能從油層中採出來的石油也就愈多。當是水驅油時，在一定的條件下油層的石油採收率還取決於水的潤濕能力。如果水能潤濕油層，那麼油層的石油採收率就應該較大。在運動過程中，水的潤濕能力不僅取決於各種物理化學因素，而且還取決於油水接觸面在孔道中的運動速度和孔道本身的結構。由於這些緣故，當各種液體在油層孔隙中流動時，潤濕性在數量上的特徵，亦即潤濕接觸角的大小，就具有很大的意義了。

除了上面敘述的以外，液體和氣體在油層情況下的狀態，對油層的合理開發也具有相當重要的意義。

大家知道在大多數油藏中，水和石油氣都與石油同時存在。視石油及氣體的數量，以及油層中的溫度和壓力的不同，石油氣既可能全部溶解在石油中，也可能在油層中處於游離狀態。譬如說，當油層壓力降至飽和壓力以下時，部分天然氣就在油層中處於游離狀態。在這種情況下，油層的生产能力就降低了，因為隨着氣體和石油的比例的改變，油層的相對滲透率猛烈下降。與此同時，由於許多油滴堵住了部分油層的孔隙，也就使得油層的石油採收率減低。這樣，在設計及實行油層的合理開發時，油層的壓力、溫度和飽和壓力是具有很大意義的。

採油時井底附近油層的狀態也是十分重要的。在油田開發中常常有這樣的情形，就是在鑽井過程中泥漿中的水滲入了油層，試油時油層不出油，使油井不能投入生产。在某種情況下，水和油形成混合物，堵塞住油層的孔隙，降低油層的生产能力。滲入到油層中的水能够在油層孔隙中移動，但由於混合物在毛細管

中运动之特殊性質，它的移动速度是很小的。在这种情况下，有决定性意义的是孔道的尺寸、边界層的厚度和水油界面上表面張力的大小。当在井底进行酸处理时，这些因素同样也有很大的意义。

因此，不管考察与採油有关的什么样的問題，都与油層个别孔隙中所發生的現象有关系。

按照所規定的採液量决定構造上的井数及井位。此时除了各种地質因素以外，应考虑的是油層的滲透率及油層中液体和气体的粘度。对生产井是如此，而對於二次採油和維持油層压力时的注入井也是如此。

这里所述的並未概括尽油層物理所应研究的一切問題。但已經可以很清楚地看出，油層物理对科学的開發油田有多大的作用。

現在研究油層的物理及物理化学性質时，主要是採用實驗室分析法，即在實驗室內分析从井中取出的岩心以及井下油气样。

近些年来所积累下来的研究油層中液体及气体性質之經驗表明，分析从井中所取出的油和气的井下試样，就可以获得能够足够精确地表征出油層整个含油部分的油气的性質。

这方面的缺点是分析的岩心是在鑽井过程中取出的，它的截面和一口井通常所佔有的油層面积相比是太小了。

尽管如此，只要取心和以后的分析組織得正确，根据岩心資料研究油層性質是完全合理的。当正确的取岩心及分析岩心时，可以获得整个井底附近的滲透率及个别井段的滲透率。这些資料的实际价值是很大的，这是因为，一方面它們对确定生产井和注入井的生产能力有决定性的意义；另一方面，如果取心完整，可以根据分析資料在地層的地質構造圖上繪出等滲透率及等孔隙度綫，判断地層的滲透率及孔隙度变化的方向，判断油層中含油邊緣推进的主要方向，以及重新分配各井之間的採液量和注入量。

第一篇 含油岩石的性質

第一章 岩石的粒度組成和比面

§1 岩石粒度組成的一般概念和它的实际意义

岩石的粒度組成 是指岩石中各种大小不同的顆粒之含量。

土壤学方面的很多研究 [31, 120, 88] 都証实, 在这种或那种岩石中, 各种顆粒的数量比值、决定它的孔隙度、容积比重^①、滲透率及毛细管力的大小等等。

油矿地質方面的各种著作, 特别是 B. M. 尼可拉耶夫的著作[162], 指出含油層的粒度組成在一定程度上会影响到它的开採方式和其中水的矿化程度。粒度組成同样还对生产層的採收率 [55] 和油層中所發生的各种生物化学过程有影响。机械分析是研究沉积岩成因, 特别是油田成因的起始阶段。

对含油岩層粒度組成进行的許多研究及对比 [121、174、18、187、103] 証明, 所有岩石的粒度組成基本上都可用直徑为 1—0.01 公厘的粒級来表示。

岩石粒度組成的不均匀性, 可以用不均匀系数来表示。

不均匀系数 是两种砂粒直徑的比值, 前一种砂粒与較小砂粒的重量佔全部砂子总重量的 60%, 后一种砂粒与較小砂粒的重量佔全部砂子总重量的 10%^②。對於顆粒的大小和組成都是均一

① 容积比重系指單位体积的岩石之重量, 不同于組成岩石的顆粒本身的比重。

譯者

② 这一数值完全是假定的意思。

的砂子來說，不均勻系數等於 1。岩石中砂子粒級的范围彼此相差愈大，其不均勻系數也就愈大。

因为岩石的粒度組成決定岩石的許多物理性質，因此为了表示出这些性質，曾經提出过許多以粒度組成为基础的分類法。对油層來說，應該認為最方便的分類法是按照顆粒大小將岩石分为三大类：砂岩、細砂岩和泥砂岩[156]。

第一类——砂層或砂岩，主要由 1—0.1 公厘的顆粒所組成；第二类——細砂岩，由 0.1—0.01 公厘的顆粒所組成；第三类——泥砂岩，由小於 0.01 公厘的顆粒組成。根据这一分類法，含有 50—80% 的 1—0.1 公厘的顆粒的岩石屬於砂岩，含有 50—80% 的 0.1—0.01 公厘的顆粒的岩石屬於細砂岩，而含有 50—80% 的小於 0.01 公厘的顆粒的岩石則屬於泥砂岩。从所規定的三类岩石中还可以構成第四类，即上述任何粒級在岩石中的含量都不到 50%。在近似地表示岩石的机械組成和对比油層方面，这种分類法是最方便的。

可用篩析和沉降分析法，对含油岩石按其顆粒大小进行粒度分析。篩析主要用於砂岩，而沉降分析則用於細砂岩和泥砂岩。

§ 2 篩析

对鬆散岩石採用篩析，为的是要分出 0.05 以上直到 6—7 公厘，甚至 100 公厘的砂粒[209, 97]。在实验室内进行篩析时，一般都是用細金屬絲織成的篩子。这些篩子相互間的区别是每一吋長度上的篩眼数目不同。

为了表征成套的篩子，有若干种不同的量制。苏联应用最广的量制列於表 1 中。这些篩子的量制有着模数为 $\sqrt{2}$ 和 $\sqrt[4]{2}$ 的級差，亦即按照这些量制，相隣篩子之孔眼面积的比值約在 1.2—1.41 的范围內变动。

装有整套进行岩石机械分析的篩子之仪器如圖 1 所示。

实验室用的筛子的标度

表 1

具有模数为 $\sqrt{2}$ 的标度, 标度的基数 是 0.074 公厘(200 眼)		具有模数为 $\sqrt[4]{2}$ 的标度, 标度的基数 是 1 公厘(18 眼)	
在 25.40 公厘长 度上的孔数	孔眼的直径 公厘	在 25.40 公厘长 度上的孔数	孔眼的直径 公厘
1	25.4	—	—
—	18.35	—	—
—	13.33	—	—
—	9.42	—	—
3	6.68	—	—
4	4.69	—	—
6	3.33	7	2.83
8	2.36	8	2.30
10	1.65	10	2.00
—	—	12	1.68
14	1.17	14	1.41
—	—	16	1.19
—	—	18	1.00
20	0.83	20	0.84
28	0.59	25	0.71
—	—	30	0.59
35	0.42	35	0.50
—	—	40	0.42
—	—	45	0.35
48	0.39	50	0.30
65	0.21	60	0.25
—	—	70	0.217
—	—	80	0.177
100	0.15	100	0.150
—	—	120	0.125
150	0.10	140	0.105
—	—	170	0.088
200	0.074	200	0.074
—	—	230	0.062
250	0.061	270	0.053
325	0.043	325	0.044

电动机 2 装在仪器的基座上，它通过联接器 3 带动装在机座 1 外壳中的振动机械。筛子 4 装在可以沿着两根导柱 5 移动的底盘 6 上，并用卡箍 7 加以固定。在小轴 8 上装有偏心轮。偏心轮与卡箍横架 9 相连接。通过偏心轮使筛子以 300 转/分的速度作旋转运动。

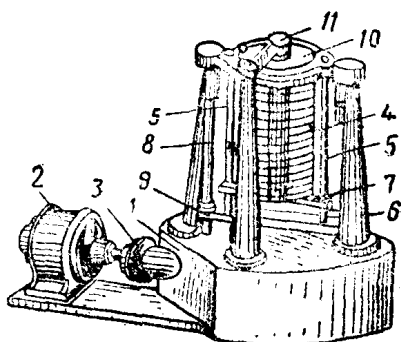


圖 1 篩析用的儀器

筛子 4 从上面用顶盖 10 压紧。撞击器 11 每分钟自动地撞击顶盖 180 下，使筛子发生振动，使砂粒均匀地过筛。

在筛子的底下有一个小盘，小于 0.074 或 0.053 公厘的砂子就落在盘中。

常称出重量为 50 克的岩样确定岩心的机械组成，这些岩样事先要好好地加以抽提，并在温度为 107°C 下烘干至恒重。筛 15 分钟。延长或减少筛的时间，都会得到不正确的结果。安德列阿仁的研究 [39] 指出，筛的时间延长会使筛出的粒级增多；同时确定，为了获得最正确的结果，连续筛的时间也不应该少于 12 分钟。当筛得过久时，由于彼此摩擦试样就会成为岩粉。为了确定所得到的各粒级在试样中的百分含量，可在精确度达到 0.01 克的工业用的天平上称量每个筛子以及小盘内的颗粒重量。在筛出之后，全部粒级的总重量与原来岩样重量之差别不应大于 1—2%。

为了要确定试样中小于 0.074—0.053 公厘的粒级的含量，可用沉降分析法。常用通过最细筛子的砂子来作沉降分析；如果这种砂子不够，可使用专门准备的砂子。

§ 3 沉降分析的原理

大家知道，沉降分析法是以按照斯泄克斯定律量测分散内相

之顆粒在分散介質中之沉降速度为根据的。

根据基本的水动力学方程式，斯滝克斯确定出球形的固体顆粒在液体中下沉的速度

$$v = \frac{gd^2}{18\gamma} \left(\frac{\rho_1}{\rho} - 1 \right), \quad (\text{I.1})$$

式中 d ——顆粒直徑；
 v ——顆粒的运动速度；
 ρ ——液体密度；
 γ ——液体的动力粘度；
 g ——重力加速度；
 ρ_1 ——顆粒的密度。

在推导公式(I.1)时，斯滝克斯曾做了某些假設，因此这一公式是有一定应用范围的。这些假設条件如下：

- 1) 顆粒應該是球形；
- 2) 在粘性的和不可压缩液体中顆粒的运动相当緩慢，而且距离容器壁及底無穷远；
- 3) 顆粒的沉降应以定速进行；
- 4) 顆粒應該是坚硬的並有着光滑的表面；
- 5) 在运动着的顆粒与分散介質之間的界面上，不應該發生滑动。

虽然有这些假定条件，但是斯滝克斯公式对实际目的來說仍具有足够的精确度，在大多数情况下，可以按照顆粒在液体中的下沉(沉析)速度来确定顆粒的平均尺寸。只当运动着的顆粒尺寸小於 50μ 和大於 100μ 时，这一公式才有显著的誤差。在上述的顆粒尺寸的范围以內，正如安德烈阿仁等的研究著作[39]所証实的，顆粒与球狀如相差不大，就不会对确定顆粒的平均有效直徑發生显著的影响。对顆粒在分散介質中下沉速度影响較大的是它的濃度。因此許多著作[39, 83, 87, 88, 94, 97, 99]，都研究了允許濃

度的大小，提出了許多極為不同的建議。一部分人提議重量濃度為0.2%；另外一些人建議1%；其他一些人提議2.5%；還有一部分人建議4%；等等。儘管這些數據是相互抵觸，然而目前可以認為，在沉降分析時岩石顆粒的重量濃度不應超過1%是肯定的[103]。

§4 岩心的沉降分析

用沉降分析的方法來劃分岩石的粒級，並不是一種精確的岩石與土壤的分類法。由於製備岩樣的方法不同，不僅用不同儀器，就是用同一個儀器分析，也得不出相同的分析結果。

此外，用某些儀器時，常常需要經常的觀測和花費大量的時間，特別是使用淘洗法的儀器，如薩巴寧儀器等等。根據理論上的計算[120]，要在這些儀器中將顆粒分開（當細和粗的粒級不大於2%時），對每一粒級必須進行55次的淘洗工作。

因為研究粒度組成與分析大量的岩心有關，所以岩心的沉降分析法應該是十分簡便，不很費力，而且具有足夠的精確度。因此特別值得注意的是已在某些技術領域中獲得廣泛應用的吸管型儀器。

與淘洗懸濁液類的儀器和取沉淀物樣類的儀器比較起來，應用吸管型儀器無疑地是大大的跨進了一步。用他來分析岩心的粒度組成之所以是十分理想，還因為在岩心的沉降分析中主要的是確定0.01—0.05公厘和小於0.01公厘這兩種顆粒的粒級。若要確定包含更細的顆粒之粒級，就只有當它們的含量比較大（10—20%）時才能認為是合理的。在岩心之沉降分析中應用最廣

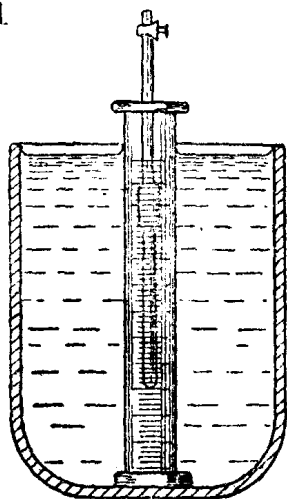


圖2 沉降分析儀