

石油科学进展 1

油田水地球化学

[美] A. G. 柯林斯 著

18181



200363034



石油科学进展 1

油田水地球化学

[美] A.G.柯林斯 著

林文庄 王秉忱 译

王秉忱 校订



00267236

5058/26



石油工业出版社

内 容 提 要

本书系石油科学进展丛书之一。全书共分十六章，反映了油田水地球化学的最新研究成果。

主要介绍油田水的物理性质、化学成分测定方法及其分析资料解释，油田水的成因、分类；水在石油的生成、运移、聚集及演化过程中的作用，勘探油气藏的地球化学方法，以及油田水的处理方法等。

可供石油地质、油田水文地质、地球化学、油田开发及储运专业技术人员、科研人员及有关院校师生参考。

* * *

本书除第14章为王秉忱译，第10章为杨忠辉译之外，其余均为林文庄译。全书由王秉忱校订。

A. GENE COLLINS

GEOCHEMISTRY OF OILFIELD WATERS

(Developments in petroleum science, 1)

Copyright © 1975 by Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam

石油科学进展 1

油田水地球化学

〔美〕A. G. 柯林斯 著

林文庄 王秉忱 译

王秉忱 校订

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

轻工业出版社印刷厂排版

北京顺义燕华营印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 20³/₄印张 1插页 509千字 印1—4, 930

1984年10月北京第1版 1984年10月北京第1次印刷

书号: 15037·2466 定价: 2.20元

序

编写本书的目的是提供有关油田水分析化学和地球化学方面的资料。本书试图使人们认识地下油田水的重要性，因为油田水与油、气的起源^①、运移、聚集和生成^②有关，从而关系到油、气的勘探和开采。书中有一章简单地介绍了油田水的成因问题。由于油田水能构成环境污染的公害，所以本书对油田水的处理和从中回收有用组分的方法，也做了描述和评论。

大量的参考文献表明，本书主要依赖于其他人的工作。读者查阅这些文献时，会大大地扩展在这门学科的知识领域。^③

最后，鉴于作者相信这本书不是完美无缺的，趁此机会请求读者提出建设性的批评。

A.G.柯林斯 (Collins)
俄克拉何马州巴特尔斯维尔 (Bartlesville)
美国矿产局巴特尔斯维尔能源研究中心

① 原文为Origin，在本书中一般译为成因，但在这里译为起源更确切些。——校者

② 原文为maturation，本作成熟或熟化解，此处应译为生成，即最后生成之意。——校者

③ 在这段话下面，删去了两段向一些人致谢的话。——本书中译本责任编辑

目 录

序

第一章 绪论	1
参考文献	3
第二章 地下油田水取样	4
1. 地层测试	5
2. 含有溶解气体的试样	6
3. 在出油管取样	8
4. 井口取样	8
5. 测定不稳定性质或物质的试样	9
6. 供稳定同位素分析用的试样	9
7. 试样容器	9
8. 试样描述表格	10
参考文献	11
第三章 油田水某些物理性质和无机化学组分分析	12
一、质量检查标准	12
1. 分析方法的选择	12
2. 精密度	13
3. 准确度	13
二、试样的初步处理	14
1. 标准溶液	14
2. 测定的准确度	14
3. 试剂药品和溶液	15
4. 取样	15
三、分析结果报告	15
1. 有效值	16
2. 舍入数	17
四、合成盐水	17
五、pH值的测定	18
六、Eh值的测定	19
七、悬浮固体	20
1. 浊度计	20
2. 悬浮固体的分析	21
八、电阻率	21
1. 试剂	22
2. 仪器	22
3. 电池的制备	22

1

4.	电池的电阻	22
5.	测定方法	22
6.	计算的电阻率	23
九.	比重	23
十.	滴定法	23
1.	酸度、碱度和硼酸盐的硼	23
2.	钙和镁	27
3.	氨氮	29
4.	氯化物	30
5.	溴化物和碘化物	30
6.	氧	32
7.	二氧化碳	34
8.	硫化物	34
9.	硫的化合物	35
十一.	火焰光谱分析法	36
1.	锂	36
2.	钠	38
3.	钾	39
4.	铷和铯	39
5.	锰	40
6.	锶	41
7.	钡	42
十二.	原子吸收光谱法	42
1.	干扰	43
2.	燃烧器和溶剂	43
3.	锂	44
4.	钠	45
5.	钾	45
6.	镁(1)	46
7.	钙(1)	47
8.	镁(2)	48
9.	钙(2)	48
10.	锶	49
11.	钡	50
12.	锰	50
13.	铁	51
14.	铜	51
15.	锌	52
16.	铅(1)	52
17.	铅(2)	52

十三、发射光谱	53
1. 钡、硼、铁、锰和锶	54
2. 铍	57
3. 铝	58
十四、稳定同位素的质谱法	58
1. 氘	58
2. O^{18}	58
十五、比色法	59
1. 干扰	59
2. 铁	60
3. 铜	62
4. 镍	62
5. 铅	64
6. 锌	65
7. 镉	66
8. 磷酸盐	68
9. 硅	69
10. 硝酸盐的氮	69
11. 砷	69
12. 氟化物	71
13. 碘化物	71
14. 硒	71
15. 钡	73
十六、重量分析法	74
1. 硫酸盐	74
2. 钡	74
十七、其他方法	75
1. 钠	75
2. 可溶性固体	76
3. 余酸	76
4. 醋酸溶液	77
参考文献	78
第四章 油田水化学分析资料的解释	81
一、计算可能存在的化合物	81
二、待测化合物的测定	82
三、图解绘制	83
1. 蒂克尔图解	83
2. 赖斯特勒图解	85
3. 斯蒂夫图解	85
4. 其他方法	86

参考文献	86
第五章 油田水中一些无机组分和物理性质的意义	87
一、 锂	87
二、 钠	89
三、 钾	91
四、 铷	92
五、 铯	92
六、 铍	92
七、 镁	93
八、 钙	94
九、 锶	95
十、 钡	97
十一、 锰	97
十二、 铁	98
十三、 铜	99
十四、 锌	99
十五、 汞	99
十六、 铅	100
十七、 镉	100
十八、 硼	100
十九、 铝	102
1. 碱度	102
2. 酸度	102
二十、 硅	103
廿一、 氯化铵	103
廿二、 磷	104
廿三、 砷	104
廿四、 氧	104
廿五、 硫	105
廿六、 硒	105
廿七、 氟	106
廿八、 氯	106
廿九、 溴	107
卅、 碘	109
卅一、 一些物理性质的意义	110
1. 氧化—还原电位	110
2. pH值	112
3. 离子半径	113
4. 密度	113
5. 蒸汽压	114

6. 沸点	114
7. 冰点	114
8. 粘度	114
9. 渗透压	114
10. 比热	114
11. 导热率	114
12. 表面张力	114
参考文献	115
第六章 盐水中的有机组分	117
一、不含氮的有机化合物	118
二、含氮的烃类	120
三、脂肪酸	121
四、环烷酸和腐殖酸	122
五、水中石油的测定	123
六、油田盐水中的有机酸	124
参考文献	125
第七章 油田水的成因	128
一、一些水的术语定义	128
二、沉积岩	130
1. 风化作用	130
2. 侵蚀作用	130
3. 搬运机理	130
4. 风化产物的分选作用	132
5. 碎屑物的沉积环境	133
6. 碳酸盐的沉积环境	133
7. 蒸发岩的沉积环境	134
8. 有机质的沉积	136
9. 二氧化硅的沉积	136
10. 沉积物的压实作用	137
11. 沉积物的成岩作用	137
12. 石油和天然气	139
三、油田水的组分	140
四、关于油田盐水成因的调查研究	146
1. 干盐湖沉积	150
2. 大陆坡钻井	150
3. 关于石油的聚集	150
4. 萨布克哈沉积物和有价值矿物的搬运	150
5. 盐水的分类	151
6. 离子缔合作用	151
7. 关于岩性学的问题	151

8. 关于深度和盐度的问题	152
9. 碘化物	152
10. 热盐水	152
11. 油田盐水与蒸发海水的对比	152
12. 离子交换	154
13. 矿层	157
14. 隔膜浓集的盐水	162
五、结论	165
参考文献	166
第八章 油田水的分类	172
一、帕尔米尔分类法	172
二、苏林分类法	174
三、博雅尔斯基对苏林法的修正	177
四、奇巴塔雷夫分类法	178
五、绍勒尔分类法	182
六、油田盐水的分析	185
七、分类方法的应用	186
1. 计算方法	186
2. 分类方法的解释	187
3. 比值	195
4. 三元图解	198
八、讨论	199
九、结论	200
参考文献	200
第九章 水对石油的产生、运移、聚集和变质的某些作用	202
1. 压实作用	202
2. 产生和运移	203
3. 聚集作用	205
4. 变质作用	206
5. 结论	209
参考文献	209
第十章 石油和天然气勘探的地球化学方法	212
一、引言	212
1. 方法的类型	212
2. 实例	212
3. 生油岩	213
4. 水与烃类	215
二、水文地球化学研究和方法	215
1. 有机化合物	215
2. 无机化合物和有机化合物	217

3. 无机化合物	218
4. 物理性质	219
5. 流体力学方法	220
6. 图件	220
三、评论	221
四、由维谢尔对得克萨斯州的德拉韦尔砂层所进行的研究实例	221
1. 德拉韦尔上部砂层的电位测量平面图	221
2. 地层水	223
3. 地层水图	225
五、其他地区的地层水图件	226
六、结论要点	230
参考文献	231
第十一章 地压力储油层	235
1. 地压力	235
2. 异常压力的来源	236
3. 墨西哥湾沿岸地区的异常压力	237
4. 异常压力的检测	243
参考文献	244
第十二章 油田水的可混性	246
一、井筒和地层损坏	247
二、钙化合物在各种盐溶液中的溶解度	248
三、钡和锶的硫酸盐在盐水溶液中的溶解度	249
四、钡和锶的一些硫酸盐溶解度的实验测定	250
五、实验研究的结果和讨论	250
六、盐水的稳定作用	255
七、地下水的混合	257
参考文献	259
第十三章 油田水中的有用矿物	261
一、油田水中碘和溴的回收	262
二、从盐水中回收的矿物	263
三、淡水生产	268
四、初步的经济评价	269
五、盐水处理	272
六、价值估算(删略)	276
七、结论	276
参考文献	276
第十四章 地下处理	278
一、卤水处理工作的历史	278
二、地下注入	278
三、地下处理的现代技术	279

四、经济状况与油田卤水处理	280
五、注入井与处理井	282
六、合格的地质区	282
七、适宜的处理地带	283
八、处理地带的评价	283
九、钻探和完井时的考虑	286
十、流体运移	287
十一、地下废水处理的风险	288
十二、州的管理与税款刺激	288
十三、处理系统的费用	290
十四、结论	291
参考文献	291
第十五章 盐水中某些硅酸盐矿物的溶解度	293
一、矿物组分和结构的研究	293
二、在25℃和1大气压下硅酸盐的溶解度	294
三、实验仪器	298
四、实验方法	301
五、基本方程式	301
六、实验数据和经验方程	303
七、摘要和结论	307
参考文献	307
第十六章 油、气井钻探、生产和伴生废水处理作业对环境的影响	308
一、钻井	308
1. 钻井液和泥浆	308
2. 井的化学处理	310
3. 腐蚀抑制剂	311
4. 其他添加剂	311
5. 来自石油的可能污染	311
二、生产	312
1. 来自原油的可能污染	312
2. 来自天然气的可能污染	313
3. 来自油田盐水的可能污染	313
4. 报废的、未经防漏的处理池下面或附近残余盐的浓度	314
三、处理	315
1. 地下处理	315
2. 处理前有价值元素的回收	316
参考文献	317

第一章 绪 论

人们远在钻凿第一口油井以前,就知道有石油存在,开始仅限于用作药剂、润滑剂和防水剂。美国印第安人发现了几处油、气泉,给早期的美国移民提供了这方面的资料。早期的村落通常靠近盐渍地,以便得到盐。这些盐泉常被石油污染,很早的时候是致力于掘井以获取更多的盐,但结果却是发现了与盐水伴生的、并不是人们所需要的油和气。在阿巴拉契亚山脉(Appalachians)地区,许多盐水泉沿背斜顶部出现〔罗杰斯(Rogers)和罗杰斯,1843年〕。

1855年,发现石油蒸馏产生一种类似于煤焦油的低粘度油,它作为一种照明剂,比鲸油更好〔豪厄尔(Howell),1934年,第2部分〕。这个消息激励了对与石油伴生的盐水的寻找。1859年,C.E.德雷克(Drake)采用打盐井的方法,在宾夕法尼亚州靠近泰特斯维尔(Titusville)的油溪(Oil Creek)钻了一口井。他在21米深处打出了油,这第一口油井每天约产原油35桶〔迪基(Dickey),1959年〕。

初期,石油生产者不了解石油和盐水一起被发现的意义。事实上,直到1938年为止,储油层中隙间水的存在仍不能被普遍认识〔希尔苏伊斯(Schilthuis),1938年〕。托里(Torrey,1966)确信,早在1928年,就知道储油层中存在着分散的隙间水;但是,他的看法却遭到他同事们的抵制,因为大部分产油井在完井时不产任何水。油、气与水混合物的存在被格里斯沃尔德(Griswold)和芒恩(Munu,1907)所承认,但他俩认为,石油和水有明显的分离;而且,油、气和水混合物不是发生在油井钻开储油层之前的砂层中。

直到1928年才建立了第一个商业性的分析岩芯实验室(Torrey,1966)。所试验的第一块岩芯取自布雷德福(Bradford)第三砂层〔是从宾夕法尼亚州麦基恩县(McKean County)布雷德福油田取来的〕。标绘了这个岩芯的饱和百分率和孔隙百分率^①与深度的关系,构成一张油和水饱和度的表示图。由于可溶矿物盐类从岩芯中被提取出来,导致托里猜想水是产油砂层中所固有的。此后不久,在宾夕法尼亚州卡斯特尔城(Custer City)附近钻了一口试验井,遇到其含油饱和度比布雷德福砂层下部的平均含油饱和度要高。此含油饱和度高是归因于一种未被发觉的水浸作用,当选择试验井的位置时,尚不知道有这种作用存在。砂层的上部未取芯。朝着用贝克尔式顿钻岩芯捞筒得到的第一块岩芯切块的末端,原油开始流进井内,其速度如此之快,以致没有必要对砂层的第二个截面的切块加水。因此,对布雷德福砂层下面1米处,在无水井眼中采用油基取芯。为了测试饱和度,把取自这个截面的两块试样保存在密封容器中。分析了这两块试样,其含水量约占孔隙体积的20%。这口井用硝化甘油射孔后,每天约采出10桶油,而并没有水。因而,通过岩芯分析和完井后的产油率试验所产生的迹象清楚表明,布雷德福砂层储油层中存在着固有的、不能移动的水,这些水保持在其孔隙系统中,并不能用常规的泵抽法把它采出(Torrey,1966)。

费特克(Fettke,1938)第一次报导了水在产油砂层中的存在。然而,他考虑这可能是由钻井过程中带入的。

芒恩(1920)认为,运动的地下水可能是油、气运移和聚集的主要原因。然而,直到米尔斯(Mills,1920)指导进行了几个关于运动的水与气对水—油—气—砂层和水—油—砂

^① 或译为饱和系数和孔隙系数。——校者

层系统的作用的实验室进行实验为止，这个理论才有了大量实验资料来支持。米尔斯断定说：“与油的运移一样，在水的浮力推动下，油、气的上倾运移，以及由于水流所引起的油、气上倾或下倾，二者都是影响油、气聚集和采收率的主要因素之一”。这种理论被他的许多同时代人严肃地回答并完全否定了。

里奇 (Rich, 1923) 主张：“在引起石油聚集或其保存方面，与其说是浮力的影响，倒不如说是水流的影响”。他不相信石油的水力聚集和冲刷要求有一种快速水流运动，而宁可说，石油是一种岩石流体的不可缺少的组分，并且可与岩石流体一道以很慢或者以相对快的速度被带动。

在宾夕法尼亚州石油工业的早期阶段，没有认识到开采时水驱油的效果。然而，却通过防止操作人员将水通过非堵塞井注进储油砂层的法律。尽管有这些法律，某些操作人员为了在含油砂层中着手进行注水，于布雷德福油田秘密地打了在相对较浅的含地下水砂层中下套管的井。1907年，在宾夕法尼亚州麦基恩县的布雷德福油田，记载了人工注水的效果；并且，大约五年以后，在附近的纽约油田变得明显了 (Torrey, 1950)。为了从事这种注水作业的工程研究，进行了储油砂层体的容积计算，证实了隙间水一般存在于含油砂层中。加里森 (Garrison, 1935) 和希尔苏伊斯 (1938) 得出了关于水和油在孔隙岩体中分布的详细资料；还有“原生”水的成因和存在，以及关于水饱和度与地层渗透率关系的资料。

“原生”这个词被莱恩 (Lane, 1908) 和戈登 (Gordon, 1908) 所首次采用，指的是与沉积物一起沉积下来的隙间水。岩石压实作用和矿物成岩作用的过程，导致大量的水从沉积物中被驱出，并通过渗透性较好的岩层流出沉积物。所以，现在在任何孔隙中的水与围绕颗粒沉积时形成的那种原生水则不同。怀特 (White, 1957) 重新规定了定义，把原生水叫做“化石”水，这种水在相当长的地质时期内不与大气接触。因此，原生水与雨水和岩浆水^①不同。雨水进入岩石是在新近的地质时期；岩浆水来自地壳深部，从来没有与大气接触过。

当时，石油工程师和地质学家们已知，与石油伴生的水，可根据它们在储油层中所呈现的化学特性的知识来辨认。一般地说，从不同地层来的水中，其可溶化学组分大不相同，这样，就容易鉴别出来自某一特殊地层的水。但是，在某些地区，来自不同地层的水中可溶解组分的浓度没有明显差异，因而，辨别这些水是困难的，或者是不可能的。

与石油一起采出的水量，常随着石油采出量的降低而增加。假如这是边水，可以不去管它；如果是底水，则可回堵这口井。但是，常见的是从浅部砂层，由于套管漏泄或完井有毛病而超越进入井内的侵入水，这样的井可加以修补。

在某些油田，与石油一起采出了大量的水，必须将石油从水中分离出来。大部分石油可用沉淀法提取出来。然而，常见的是一种水包油的乳化液形式，它是非常难于破乳的。在这种情况下，要将油加热和加入各种表面活性化学剂使之分离。

初期，将这种水倾倒在土地上，让它渗入地表以下。大约到1930年，油田水以就地排放来处理，这样，常杀死鱼类，甚至地面上的植物。在1930年以后，一般的处理方法是让水在土坑里蒸发，把水注入产油砂层、或者注入另外的深部含水层。在这些处理实践中，首先关心的是，在将水泵入注水井之前，需要清除水中所有的石油和碱性沉淀物，以防止接受废水的地层孔隙空间被堵塞。也要查明废水和许多含水层中水的化学可混性。

与石油一起采出的水，其重要性越来越大。过去许多年来，认为这些水是废物，并以某

^① 有些文献中译为初生水。——校者

些方法处理掉。将这些水注入储油岩层起着三种效用：(1)可以增产石油(二次开采)；(2)利用潜在的污染物质；和(3)在某些地区控制地面沉降。

在美国，与石油一起采出的水量非常之大。1970年，每天约采出3.78兆升的水和1.51兆升的石油。在一些较老的油田，常采出95%的水和5%的石油。

石油开采当中的注水法发展很快，1970年，美国采出的油田水中，大约有一到二分之一的水被回注。注水量每年在增长。在许多油田，用注水法二次采油的数量等于用一次开采法采出的石油数量。

把这些水注入储油岩层，为了防止地层孔隙被堵塞，必须将悬浮固体和石油从水中清除出去。注水系统要求有分离器、过滤器，并且在某些地区，为了把注水系统的腐蚀和堵塞减少到最低限度，还采用化学和物理控制法的脱氧设备。

在大多数储油层的注水当中，采出的水量不足以有效地回采增加的石油。所以，在储油层中必须添加补充的水。利用来自其他水源的水，要求采出水与补充水的混合水必须在化学上是稳定的，以便不能形成堵塞的固体。例如，若采出的水中含有相当多的钙，则不能与含有大量碳酸盐的水相混合，因为它能沉淀出碳酸钙，从而阻碍了注入水的注入。二次采油注水的设计和成功操作，要求充分了解所采用水的组分。

与石油一起采出的水的化学分析资料，在石油开采上是有用处的，例如，在一次和二次开采时，可以辨认侵入水的来源，设计注水和处理盐水的方案，以及处理防止腐蚀的问题。在电测录井解释中，要求了解可溶固体浓度和隙间水的组分。这些资料，对于对比各个地层单元和这些地层单元中各含水层之间的关系，以及研究地下水的运动也都是有用的。若不深入了解这些水的本质，则不可能了解石油或其他矿物的聚集过程。

参 考 文 献

- Dickey, P.A., 1959. The first oil well. *J. Pet. Technol.*, 11:14-26.
- Fettke, C.R., 1938. Bradford oil field, Pennsylvania, and New York. *Pa. Geol. Surv., Fourth Ser., Bull.*, M21:1-454.
- Garrison, A.D., 1935. Selective wetting of reservoir rock and its relation to oil production. In: *Drilling and Production Practice*. American Petroleum Institute, New York, N.Y., pp.130-140.
- Griswold, W.T. and Munn, M.J., 1907. Geology of oil and gas fields in Steubenville, Burgettstown and Claysville Quadrangles, Ohio, West Virginia and Pennsylvania. *U.S. Geol. Surv. Bull.*, No.318, 196 pp.
- Howell, J.V., 1934. Historical development of the structural theory of accumulation of oil and gas. In: W.E. Wrather and F.H. Lahee (Editors), *Problems of Petroleum Geology*. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Okla., pp.1-23.
- Lane, A.C. and Gordon, W.C., 1908. Mine waters and their field assay. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 19:501-512.
- Mills, R. van A., 1920. Experimental studies of subsurface relationships in oil and gas fields. *Econ. Geol.*, 15:398-421.
- Munn, M.J., 1920. The anticlinal and hydraulic theories of oil and gas accumulation. *Econ. Geol.*, 4:509-529.
- Rich, J.L., 1923. Further notes on the hydraulic theory of oil migration and accumulation. *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.*, 7:213-225.
- Rogers, W.B. and Rogers H.D., 1843. On the connection of thermal springs in Virginia with anticlinal axes and faults. *Am. Geol. Rep.*, pp.323-347.
- Schilthuis, R.J., 1938. Connate water in oil and gas sands. In: *Petroleum Development and Technology*, AIME, pp.199-214.
- Torrey, P.D., 1950. A review of secondary recovery of oil in the United States. In: *Secondary Recovery of Oil in the United States*. American Petroleum Institute, New York, N.Y., pp.3-29.
- Torrey, P.D., 1966. The discovery of interstitial water. *Prod. Monthly*, 30:8-12.
- White, D.E., 1957. Magmatic, connate, and metamorphic water. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 68:1659-1682.

第二章 地下油田水取样

与石油伴生的地下水受到一些力的作用，这些力促进了水的混合和均质性。但不能认为它们已经混合得很好，而就不需要注意取样技术了。某一含水层中的局部条件通常是这样的不同，以致对于某个给定的地下水体而言，可以不是相同的组分。地下水的组分通常随深度而变化；同时，在同一含水层中在横向上也有变化。水质的变化可能是由于其它水的侵入，以及从含水层排泄与补给含水层所引起的。想得到某个给定地下水体的代表性试样是非常困难的，因为任何一种水样都是总水体中非常小的一部分，它在组分上可有很大变化。为了得出表示总水体组分特征的综合图幅，通常需要采集和分析许多试样。另外，水样也可随时间变化，如气体从溶液中散逸出来，使过饱和溶液接近于饱和溶液。

假如可能的话，采样的地点应进行选择，使之符合于包括某个产油地质盆地的综合网状系统。选择采样地点须考虑如下几点：

- (1) 这个采样点是否较好地符合对主要成分进行水化学评价的总体计划？
- (2) 这个采样点是否会得到与其他采样点所获资料相对比的较好资料？
- (3) 这个采样点对给定地区盐水总的化学特性来说是否更有代表性？

试样的价值与了解关于其来源的真实性成正比；所以，应选择水源资料较多的采样点才是有效的。

为了监测目的，可在同一取样点以充分的、多次的时间间隔选取水样，这样，在取样时间之间的水质上不会发生重大变化。水质成分的变化可能是由于水的运动速度、泵速或其他水渗入的变化而引起的。可在石油伴生水中发生的变化已在表2-1中作了说明。

表2-1 石油伴生水成分的变化 (毫克/升)

组 分	一 号 井		二 号 井		三 号 井	
	1947	1957	1947	1957	1956	1959
钾 和 钠	29062	25000	46038	45924	1491	856
镁	1100	1200	2011	2200	30	2
钙	5900	5500	14200	14400	60	10
重碳酸盐	34	12	24	12	600	1300
硫酸盐	14	50	3	52	200	0
氯化物	58500	51800	102100	102800	2000	300
可溶固体总量	94610	83562	164376	165388	4381	2968

一号井水样表明通常所发生的变化程度。二号井的水样，于1947~1957年之间，在分析测定的精度范围内没有发生变化^①。三号井水样变化剧烈，说明有不同来源的水侵入。

由于储油层的开采，一些石油伴生水有变得更稀的趋势。这种稀释现象，可能是因为随

^① 这个结论不恰当，因重碳酸盐与硫酸盐有很大变化。——校者

着石油和盐水连续产出使压力下降，稀释水从邻近压实粘土层运移到储油层所引起的〔沃利斯(Wallace, 1969)〕。

石油伴生水的组分随地质构造中采集水样的位置而变化。例如，假若水面是倾斜的，则更稀的水大概会出现在构造的高侧。有时，含盐度沿构造向上增高，到油水接触面的点上为最大值。通常，这是因为雨水渗入而造成的。

用地层测试器所取得的试样很少能代表真正的地层水。钻井时，有意保持井筒压力，使之高于地层压力，泥浆滤液从钻井泥浆中渗出而进入可渗透的地层。这种滤液是首先进入试验取样器的液体。

最能真实地代表地层水的试样，通常是在油井生产一段时间以后，在邻近井筒的所有外来流体都被洗净时所取得的。完井后立刻取样，可被钻井液和（或）完井液，例如含有许多种化合物的水泥滤液、示踪流体和酸类所污染。

1. 地层测试

假如能正确地进行地层测试，就可以得到可靠的地层水样。泥浆滤液是首先流进地层测试器的流体，并发现泥浆是在液柱的上部，下面紧接着是油。在液柱下部某点上，可发现有代表性的地层水样。这个地点是变化的，它受岩性特征、泥浆压力、泥浆类型和试验持续时间的影响。每次移动钻杆后的水是最佳的试样。通常，可溶固体的总量是向下逐渐增高的，当成为常数时，则可得到纯的地层水；假如一直到井底，其浓度继续增高，则不能取得有代表性的试样。取流动水的试验，给出了确有保证的未受污染的水样。如果仅采用一种地层测试水样进行分析，则应取地层测试器顶部的水，因这是最后进入地层测试器的水，因而受污染可能最小。

图2-1和图2-2说明了具有不同构件的两种地层测试器。图2-1是说明哈利伯顿公司(Halliburton Company)的一种地层测试器；图2-2是说明斯仑贝尔油井服务公司(Schlumberger Well Services Company)的一种地层测试器。其他公司同样也提供了适当的地层测试器。在整个试验期间参考了一些特殊品种的地层测试器，其目的仅仅是为了鉴别，并没有指望美国矿产局的承认。地层测试器能提供渗透性计算中所需的压头、压头递减和压力恢复数据(布雷德霍夫特(Bredehoeft, 1965))，以及测定附加的储油层的其他参数资料，例如气/油比和储油层消耗等有关资料〔麦克阿里斯特斯(McAlister等人, 1965)〕。在井眼里，重要层位之间的隔离是采用与钻杆及其接头相连的封隔器来实现的。打开地层测试器阀门，使地层流体流入钻杆。在地层测试器的底部用计量器来记录压力。

为了保证获得有代表性的水样，可测定在钻杆下部间隔所取水样的pH值、电阻率和氯化物的含量。通常，在过渡带会发现该带下面，显然有未被污染的地层水存在。在过渡带上面，pH值、电阻率和氯化物含量将有变化；而在过渡带下面，上述数值将变为恒定。如果用于实验室分析的水样，能得到肯定的污染迹象，则两种最重要的指示试验是pH值和过滤试样的颜色。假定过滤的试样仍保持棕黄色或褐色，且其颜色甚至用加压过滤方法仍不能除去，则它可能是被钻井泥浆滤液所污染。可把试样放在白色点滴板上，以鉴定其颜色。为了对泥浆滤液的存在进行正鉴定，可取用钻井泥浆试样，让它同蒸馏水起反应，起反应的水用来分析测定参予泥浆组成的离子；同时，对可疑的污染试样进行分析测定，假如它含有这些离子的话。

从得克萨斯州雷恩斯县(Rains County)斯莫科维尔(Smackover)石灰岩中用地层测试器所取的水样分析表明，因用地层测试器所取水样不恰当引起误差的情况。从一段