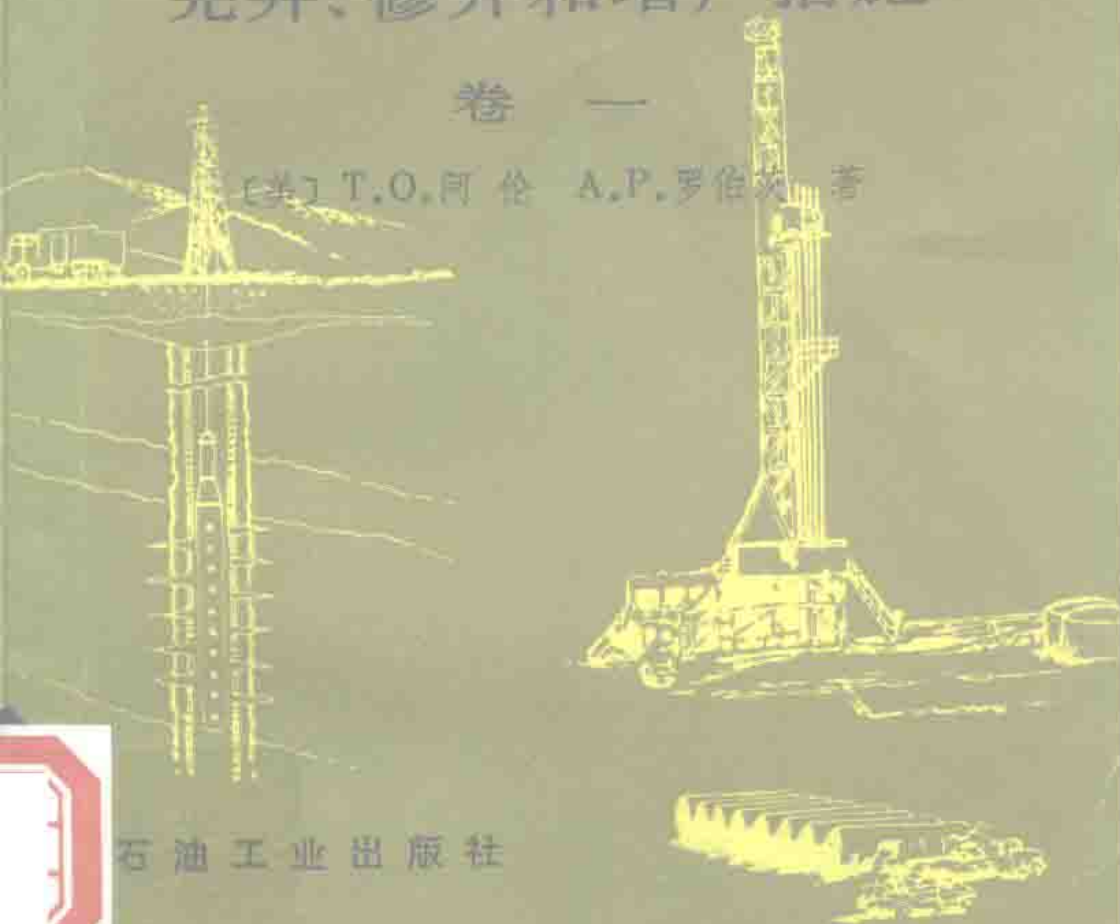


采油作业

完井、修井和增产措施

卷 一

[美] T.O. 阿伦 A.P. 罗伯茨 著



石油工业出版社

内 容 提 要

本书分两卷出版,共包括二十章(卷一有八章,卷二有十二章),内容介绍了与完井、修井和增产措施等采油作业有关的各个学科的现代有用理论、工艺方法和井下仪器与工具。书中对各项采油作业的设计、施工和工艺操作以及所需泥浆、水泥、添加剂等材料都有指导性的阐述。

本书适合广大采油工程技术人员使用,也可供石油院校采油专业师生参考。

THOMAS O.ALLEN and ALAN P.ROBERTS
Production Operations
Well Completions, Workover, and Stimulation
Volume 1
Oil and Gas Consultants International, Inc.
Tulsa 1978

采 油 作 业 完井、修井和增产措施 卷 一

〔美〕T.O.阿伦 A.P.罗伯茨著

胡智勉 牟而中 徐鸿书 任汝星 康大中 译
罗英俊 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)
妙峰山印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

850×1168毫米 32开本 11⁷/₈印张 310千字 印1—3,400

1983年8月北京第1版 1983年8月北京第1次印刷

书号: 15037·2426 定价: 1.45元

目 录

第一章 采油作业中的地质问题	1
§1. 引言	1
石油和天然气的产地	3
油气聚集的圈闭	3
储油岩中的裂缝和节理	4
§2. 砂岩油藏	7
§3. 影响砂岩油藏特性的地质因素	11
孔隙度和渗透率	11
根据露头研究预测页岩薄夹层	13
粉砂和粘土含量对砂岩渗透率的影响	14
矿物胶结对砂岩渗透率的影响	14
渗透率随结构改变而变化	14
渗透率与束缚水饱和度的关系	16
河道砂岩或河流相砂岩的识别	16
砂岩储集层简要的地质控制情况	19
§4. 地质概念在特定砂岩油藏中的应用	19
尼日尔三角洲的油层描述	19
沉积学在油气田开发中的实际应用	22
俄克拉何马州埃尔克城油田的油层描述	24
§5. 碳酸盐岩油藏	38
§6. 地质概念在碳酸盐岩油藏中的应用	42
在完井和油井增产措施方面圣安德列斯油层的重大变化	43
碳酸盐岩环境概念在提高采收率方案的完井中的应用	46
地质工程队把边缘水驱改成面积注水以增加采收率	48
详细的油藏描述——设计气驱混相驱的关键	52
参考文献	56
地质术语选编	58

第二章 完井中的油层研究	61
§ 1. 引言	61
§ 2. 石油和天然气的烃的特性	61
组分	62
相	62
分子特性	62
纯烃	64
烃类混合物	65
反转凝析气	67
天然气	67
烃资料的实际应用	67
原油特性的相关性	70
§ 3. 储油层的特性	72
孔隙度	72
渗透率	72
相对渗透率	74
润湿性	76
流体的分布	77
§ 4. 储油层中的流体流动	79
井筒周围的压力分布	79
井筒周围的径向流	80
通过射孔孔眼的线性流	81
井底流动压力低的原因	83
§ 5. 储油层特性对完井的影响	85
油层驱动机理	85
油层的均质性	91
参考文献	93
第三章 试井	95
§ 1. 生产试井	95
引言	95
定期的生产试井	96
生产能力或供油能力试井	96
不稳定压力试井	103

参考文献	111
§ 2. 地层测验器试井	113
引言	113
压力恢复分析理论	115
注意获取良好的试井资料	126
压力曲线的“艾波”分析	132
参考文献	144
第四章 注水泥	146
§ 1. 引言	146
§ 2. 注水泥材料	147
水泥在油井中的作用	147
水泥的制造、组分和特性	147
油井专用水泥的选择	150
油井水泥应有的性能和特性	155
§ 3. 水泥添加剂	157
水泥添加剂的功用	157
水泥速凝剂	158
水泥缓凝剂	159
注水泥的失水控制	163
水泥浆粘度控制	164
低比重添加剂	165
加重添加剂	169
防漏失添加剂	172
§ 4. 水泥胶结力	173
实验室中对胶结力的测定	173
套管和水泥之间的胶结	175
地层和水泥之间的胶结	176
§ 5. 水泥浆的流动性能	177
流动计算公式	178
§ 6. 顶替机理	181
影响环形空间流动和泥浆顶替因素	182
实验室研究要点	183
接触时间	186

计算机解法·····	186
重要因素摘要·····	186
实践性·····	187
§ 7. 注水泥成本·····	187
§ 8. 特殊条件下的固井工艺新发展·····	189
高温井注水泥·····	189
低温环境中注水泥·····	192
通过气层注水泥·····	195
盐水水泥·····	196
缓凝水泥·····	198
膨胀水泥·····	199
稠化水泥浆·····	200
尼龙纤维加强水泥·····	200
触变水泥·····	201
§ 9. 注水泥实践·····	201
注水泥前的实际考虑·····	201
注水泥期间考虑的问题·····	204
注水泥后考虑的问题·····	207
参考文献·····	209
第五章 完井设计 ·····	212
§ 1. 引言·····	212
§ 2. 影响完井设计的因素·····	212
油藏条件·····	212
机械的重要性·····	213
完井方法·····	214
§ 3. 常规的管柱程序·····	216
单层完井·····	216
多层完井·····	219
§ 4. 异常的管柱程序——多层无油管完井·····	222
§ 5. 生产套管柱的尺寸·····	223
流入动态关系·····	223
油管中的压力降·····	226
通过油管和井口限制产生的压力降·····	232

出油管线中的压力降	232
§ 6. 完井层段	234
参考文献	236
附录	238
永久性油井完成	238
无油管完井	239
下套管及注水泥实践	239
无油管井的射孔	241
机械采油	242
无油管井的修井	244
参考文献	245
第六章 油管柱、封隔器及井下控制装置	247
§ 1. 油管柱	247
钢级	247
油管连接	247
油管柱的设计	261
高强度油管	262
钢材的物理性质	262
高强度油管的敏感性	264
油管检验	265
油管装卸业务	266
高强度油管用的工具	267
下油管操作	267
参考文献	269
API出版物目录	269
§ 2. 封隔器和地面控制装置	270
采油封隔器	270
选择封隔器应综合考虑的问题	270
压力和温度变化的影响	274
永久弯曲或“螺旋”	278
重力坐封封隔器的卸压	280
可取出的封隔器	281
永久封隔器	285

封隔器内孔插座	288
水泥封隔器	288
§ 3. 井下控制设备	293
安全装置	293
地面控制的安全阀	296
操作注意事项	298
井底油嘴和调节器	299
井下注入安全阀	301
参考文献	302
第七章 油、气井射孔	304
§ 1. 引言	304
§ 2. 射孔枪的种类	304
子弹射孔枪	304
聚能喷流射孔枪	305
其它射孔方法	308
§ 3. 射孔枪性能评价	308
流量指示装置的发展	309
各种压井液对射孔的影响	310
地层强度对射孔枪性能的影响	312
井下射孔评价	315
§ 4. 影响射孔枪射孔结果的因素	315
射孔堵塞	315
射孔孔眼堵塞的清除	316
压力差的影响	317
干净压井液的影响	317
抗压强度的影响	317
射孔密度	317
射孔成本	318
压力和温度限制	318
油井控制	319
套管和水泥环损坏	320
需要控制的射孔枪间隙	320
深度测量	322

定向射孔·····	322
穿透能力与孔眼尺寸·····	323
裸露炸药聚能喷射射孔枪在使用上的限制·····	324
§ 5. 在井筒中具有压力差的干净液体中射孔·····	325
§ 6. 最佳射孔实践摘要·····	326
参考文献·····	328
附录·····	330
美国石油学会的射孔枪评价试验·····	330
建议使用美国石油学会 RP43 的试验数据·····	332
第八章 完井和修井液·····	337
§ 1. 功用、要求和选择标准·····	337
压井液密度·····	337
固相含量·····	337
滤液性能·····	338
失水·····	338
相对粘度特性·····	338
腐蚀生成物·····	339
机械方面的考虑·····	339
经济·····	339
§ 2. 地层损害和固相的关系·····	339
完全清除固相·····	339
完井压井液的失水控制·····	340
§ 3. 原油压井液的实际应用·····	340
原油·····	340
柴油·····	341
§ 4. 清水压井液的实际应用·····	341
水的来源·····	341
配制盐水所用盐的种类和浓度·····	342
乳化和润湿性问题·····	343
粘度控制——失水量控制·····	343
需要增加密度处的盐溶液·····	349
清洁盐水洗井液的管理和维护·····	354
§ 5. 一般水基泥浆·····	355

§ 6. 油基或油包水乳化泥浆.....	355
§ 7. 泡沫.....	356
§ 8. 射孔用压井液.....	357
§ 9. 封隔液.....	357
§ 10. 压井.....	360
参考文献.....	361
附录.....	362
符号和缩写词.....	366

第一章 采油作业中的地质问题

§ 1. 引言

在一百多年油、气田开发期间，地质研究为油气层的发现、开发和开采提供了大量的资料。

同地质学家一样，工程师们也早就利用等厚线、构造图、等压图、岩心与测井资料、试采及其它数据来指导有关油、气田开发和工艺措施。但是，要靠这些手段来外推或预测井筒以外孔隙度和渗透率在垂向和横向上的连续性，往往是不充分的。不稳定压力试井提供出一些补充线索，但是，它只代表通向井筒的多孔地带油层特性在垂向和横向变化的平均值。

多井试验，特别是“脉冲”测压试井法有助于确定油井间孔隙度的连续性，而降低液面试井可帮助确定油层界限。但是，各种不稳定压力试井的全部结果在层状地带都是不可靠的，特别是因地层损害作用使某些地层堵塞或部分堵塞时更是如此。

过去二十年间的各种研究，侧重于油层地质的更为广泛地分析对油田开发与开采工艺的重大意义，尤其着重于流体在油层中的流动与沉积环境和沉积历史的相互关系。这些研究可以为外推和预测井筒以外储油岩石的性质及油层流体的流动，提供更为可靠的基础。

本章旨在重点阐述解决采油作业中有用的地质科学技术，提出若干油层研究实例，以说明改进砂岩油层和碳酸盐岩油层描述的价值。整个油层的地质描述，都必须与油层流体的流动数据、油层产量变化情况和油层动态预测结合起来，以便作出油层实际的递减方案。

哈里斯 (Harris) [18]在其1974年的论文“地质学在油层

增产措施中的作用”中概述了地质对油层特性的控制，指出了地质控制对油层动态的意义。哈里斯的图1-1表示根据地质和油藏工程研究得出的一个好的油层描述所需要的综合输入数据资料。

在此种研究中，地质学家的一些职能可能是：

1. 为地质和油层研究选择岩心样品；
2. 确定沉积环境和生油岩；
3. 依沉积变化研制修正的沉积模型；
4. 绘制构造图；
5. 绘制整个油层岩石性质变化的横剖面，并拟定其它表示方法；

法；

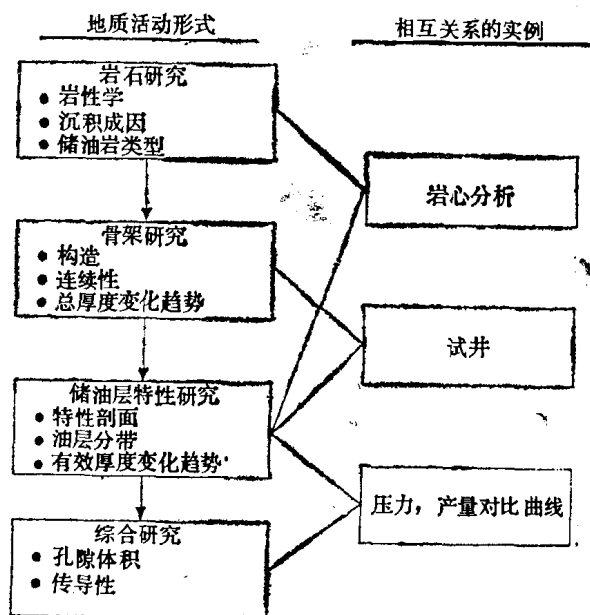


图 1-1 在油层描述中地质及工程活动的关系〔18〕

6. 研究孔隙度和渗透率的（变化）趋势，包括横向及垂向对流体流动的遮挡，特别是根据油层的沉积史和沉积后期的变化来预测其变化趋势。

图1-2表示由地质及油藏工程方面综合研究得到的典型资料。

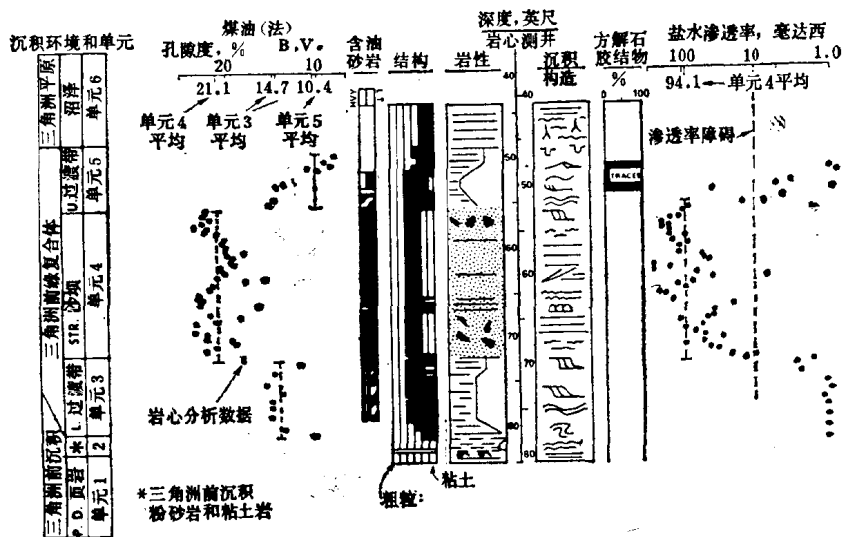


图 1-2 地层特性剖面示例[18]

石油和天然气的产地

大部分油层和气层是在砂岩或碳酸盐岩中发现的。产自页岩、火山岩和裂缝性基岩（玄武岩）的油、气量很少。如把砂岩油层和碳酸盐岩油层的重要性进行比较时，则砂岩更丰富一些，而石灰岩是更为重要的碳氢化合物储集层，如图 1-3 所示。

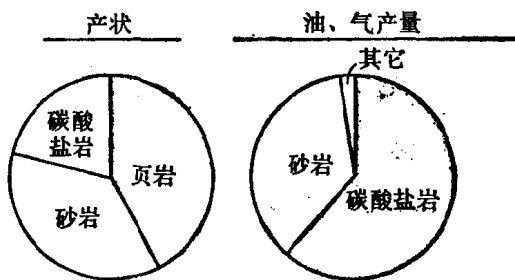


图 1-3 砂岩和碳酸盐岩的重要性[15]

碳酸盐岩中的油气之所以占有较大比例，是因为中东地区的许多油气藏产生了巨大影响。

油气聚集的圈闭

石油、天然气或油气工业性聚集的三个条件是：

1. 有生油岩；
2. 具有多孔的、可渗透的储油岩；
3. 有不渗透的盖层。

圈闭可以是构造的、地层的，或者是两者的组合。一些较常见的圈闭类型如图1-4、1-5、1-6、1-7、1-8和1-9所示。

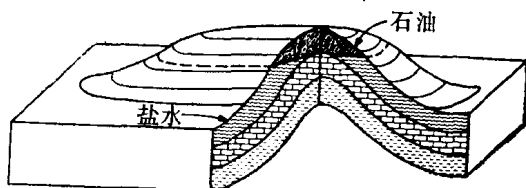


图 1-4 背斜构造中的石油聚集

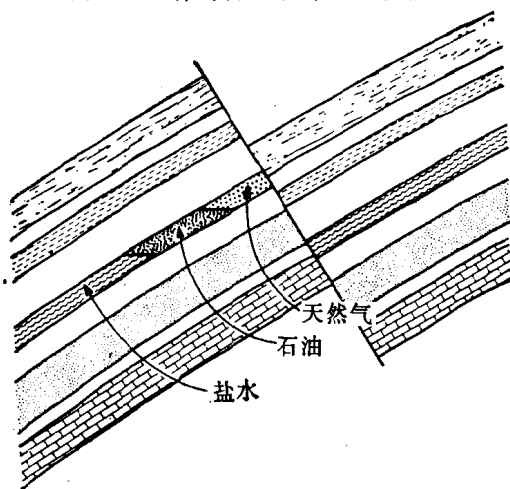


图 1-5 由断层作用形成的构造圈闭

储油岩中的裂缝和节理

储油岩的力学特性可能是多种多样的。有些可能是塑性或半塑性的，并有弯曲和形变，但无断裂。另外一些则是硬而脆，并有断裂或破碎，但无弯曲。不论是拉伸和压缩力都可使储油岩断裂。在得克萨斯州和路易斯安那州的墨西哥湾沿岸地下约15,000英尺深处发现的页岩，就是塑性岩石的实例。

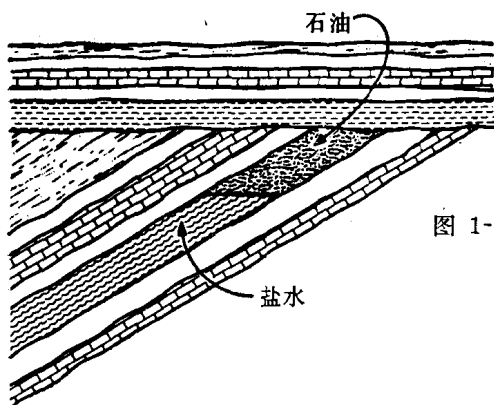


图 1-6 在不整合面下聚集的石油

图 1-7 在刺穿型盐丘附近聚集的石油

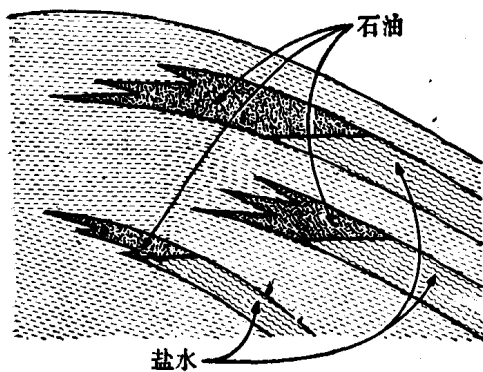
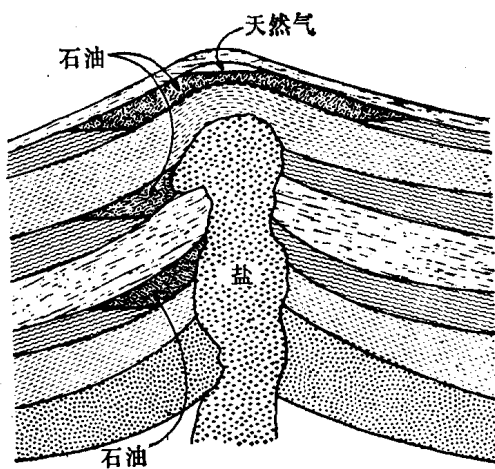


图 1-8 在砂坝型砂岩透镜体中聚集的石油

大部分白云岩的强度很高，塑性很小，当受到高应力时往往发生断裂、而不弯曲。在中东各大油田发现的那种断裂系统，可能是由区域应力引起的。裂缝是这种储集层的主要流动通道，而碳酸盐岩基质的渗透率变化也很大。

即使区域应力往往对盐丘周围的全体断裂和断层起作用，而在得克萨斯州和路易斯安那州的墨西哥湾沿岸与盐丘有关的断层确代表局部应力引起的断裂，而不是由区域应力引起的。这些断层一般是闭合的，沿断裂面很少有流动通道。

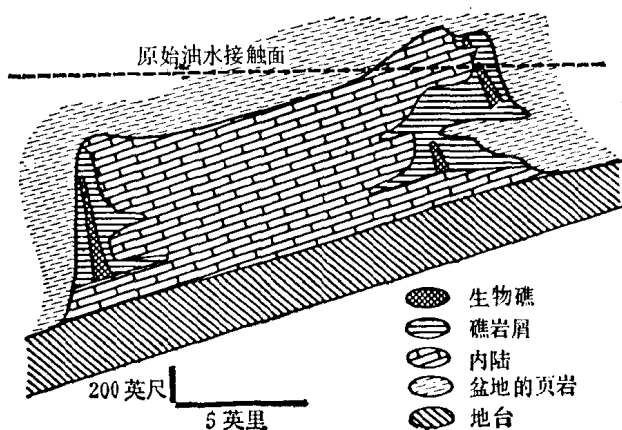


图 1-9 礁的顶部聚集石油〔20〕

纵向或接近纵向的平直断裂，其节理是闭合的。节理呈平行方式，间距从几厘米到数米。断裂面的方向在很大区域内是固定的，节理一般是在深处闭合。但是，在水力压裂作业过程中，节理往往被支撑开，而在压裂酸化时节理常受到腐蚀而形成流动通道。在钻井、注水泥或压井作业期间，若水压张开了节理，其结果可能造成循环液的部分滤失，或者更严重时会使循环液全部滤失。

在注水过程中节理张开是常见的，结果导致扫油效率降低。全世界大部分油气层都在一定程度上发现过节理；但是，节理最常出现在压缩强度高的岩石中，特别是在碳酸盐岩中。平行节理

可能延续数英里，而节理系统可蔓延几百平方英里。

线理或节理有时出现在地表，其方向和地下节理的方向一致。在岩心中常常发现节理象垂向裂缝一样；但是，用取心钻头常常不能穿透间距很宽的断裂。得克萨斯州米德兰附近二迭纪盆地的斯普拉柏雷层趋向带，以及得克萨斯州北部和俄克拉何马州西部的马尔马通趋向带就是含油储集层节理广泛发育的实例。

§ 2. 砂岩油藏

从砂岩采出的大部分油气都是来自河成沉积的沉积物产生的。形成陆相、过渡相和海相沉积的河成沉积物的环境和沉积模型如图1-10、1-11和1-12所示^[22]。以河成沉积物作生油物质的沉积实例是在第三纪时期，由继承河流所形成的数百个油层，包括那些与密西西比河和尼日尔河有关的油层。

拉特罗布河沉积的沉积物构成了澳大利亚巴斯海峡近海各油田，而奥里诺科河则形成了特立尼达近海丰富的砂岩沉积。加拿大的麦肯基 (McKenzie) 三角洲沉积、阿拉斯加的普鲁德霍湾油田、科威特的布尔甘油田以及印度尼西亚的许多油层都是原生河成沉积的。

在三角洲复合体所发现的沉积模型如图1-13所示。图中描绘了冲积层、分流河道、三角洲和海洋堤坝沉积。在俄克拉何马州埃尔克城油田发现的这种沉积模型，是在全世界发现的河成沉积例证。

图1-14表示河流中的水流如何侵蚀河湾外侧而沉积在内侧，形成了点砂坝，散布在弯曲的河漫滩上。许多重要的油气田，包括尼日尔三角洲地区的大量油层都是由点砂坝生成的。

重要的风成沉积砂丘的砂岩储集层是较稀少的。二迭系的罗地里根得 (Rotliegenden) 地层则是明显的例外情形，它从德国经过荷兰一直延伸到英国东南部，那里采出的天然气最初是从古老的砂丘沉积获得的。由罗地里根得地层形成的重要油层，是