

油田化学剂新发展

美国专利文献汇编

[美] 迪斯塔内 编

石油工业出版社

译者的话

本书是根据美国从 1979 年 1 月以来发表的有关油田化学专利文献编写的, 它提供了最新的又较详尽的技术资料, 并是有关内容的专利文献指南。

自五十年代以来, 我国一直进行油田化学的研究工作, 并且不断将研究成果运用到工业生产中去, 取得了显著的效果。随着油气田生产的发展和科学技术进步, 油田化学更感迫切需要。为此, 我们翻译了这本书, 供我国石油、天然气钻井、开采及从事油田化学的工程技术人员、研究人员及大专院校师生参考。希望能结合我国实际及以往经验, 更好地运用到我国石油工业中去, 使油田化学为石油工业服务。

本书由金静芷(序言、导言、第三章、第五章、第四章第二节(8, 9))、罗梯夫(第一章、第二章、第六章)、陈春英(第四章第一节)、焦守谔(第四章第二~四节)译。

本书的校者是金静芷(第一章、第二章、第六章)、罗梯夫(第三章、第四章第一节(1~10)、第二节(1~7)、第五章)、陈立滇(第四章第一节(13~31))、惠晓霞(第四章第二节(10~17))。全文由金静芷审校。

序 言

这本内容广泛的书，是介绍在一次采油和提高采收率方法中使用的化学剂、修井和完井液所用化学剂，及油井维修所用有效添加剂的。本书是根据 1979 年 1 月以来发表的美国专利编写的，填补了在技术进步到油田使用之间的空挡。本书包含了自我们于 1979 年出版《原油钻井液》一书以来的新发展。

本书是检索和获取美国专利文献有关资料的基础资料出版物。因此，它为两个目的服务，即提供详尽的技术资料，并可用其作为本范围内专利文献的指南。本书按照去掉法律术语和法律措辞，刊出所有重要资料的方针，介绍有关油田化学范围内的先进商业性的最新发展。

美国专利文献是世界上收集最多最广泛的技术资料。本书汇编的技术资料比从其他来源获得的资料更实用、更商业化、更及时。从专利选取的技术资料非常可靠，而且内容广泛，所含资料必须是合适的资料，避免了由于“不适当泄露”而受到限制。特别是包括了在收集年代内美国发表的有关专题的所有专利。在选取专利方面没有偏见。

专利文献包括期刊文献中得不到的大量资料，是基本商业性有用资料的原始来源，是为那些最初依靠期刊文献的人们所忽视的资料。人们认为在新方法开发方面，专利申请和专利转让之间有一段拖延时间，但似乎可以大致同时，甚或在拖延前先进行工业性实践。

这些专利中有许多正进行工业性使用，工业上使用与否是技术转让的机会。因此，本书的主要目的是叙述一批可得到并可能成功的技术，这就可开辟研究和开发的有利领域。本书包括的资料可使你在进入研究领域前建立一套系统的基础知识。

按本方法编写的目录起题目索引作用，其他索引为公司、发明者和专利号，目的是为便于寻找本书资料。

导 言

近年来, 能源价格的高涨已引起石油工业使用更有效的新方法开采地下油气的极大兴趣。许多从前钻的、已考虑“报废”或储量已枯竭的井, 目前正按新方法重新试验和恢复工作, 用能获得的最佳成本合算来开采最多的油。

大多数现代井是由旋转钻井法钻的, 该法使钻头在井眼最低点转动, 同时从地面泵入钻井液或“泥浆”在切削过程中起润滑作用, 还将钻头活动所产生的岩石碎屑带出。泥浆在井内还产生压力支撑井壁直到固好套管。钻井是复杂的, 并且是有些冒险的作业, 因为有些井必须钻凿好几英里深才能达到油藏。目前从立于海床的平台上钻了许多近海井, 其含油钻屑的排放致使环境污染加重, 而且生产中的漏失和泄漏也造成了污染。

但是, 全世界石油储量的减少, 致使一次采油方法不能令人满意, 因为留下了大量的残余油被圈闭在含油层不易出入孔隙中。依靠现代技术, 应用二次和三次采油技术, 目前有可能采出油藏中更多的油, 这些技术也应为提高采收率技术, 可从每口油井产出更多的油(二次和三次采油是指采用这些方法的程序, 同一种方法对于一口油井可认为是二次开采, 而对于另一口油井则为三次开采)。

最广泛应用的增产技术是注水, 这种方法目的在于冲刷出被圈闭在岩石孔隙中的石油, 水中加有各种聚合物或表面活性剂, 或两者联合使用, 可使注水方法大大改善, 提高产油量。人们对于注蒸汽工艺和应用可膨胀气体驱替圈闭的油也感兴趣。

地层压裂和酸化工艺也是引起关注的技术, 水力压裂液应具备优越的粘度和携带固体颗粒的性能。对于含天然树脂的压裂液, 对影响延迟稀释液体介质的破胶添加剂也是感兴趣的课题, 这种添加剂有助于从压裂地层中除去压裂液。

本书汇总了 200 多项方法, 这些方法应用许多有关采油方面的化学剂, 在这个有很大潜力的领域内, 就熟练技术而论, 这是无价的资料来源。

目 录

第一章. 一次采油技术.....	1
§ 1 钻井作业	1
1. 深井钻井.....	1
2. 采用冷冻钻井液钻松软地层.....	3
3. 动力压井制服井喷的方法.....	5
4. 斜井清洗.....	7
5. 防止油粘附在设备表面的方法.....	9
6. 化学活化的封隔元件.....	10
§ 2 钻屑处理	11
1. 无氧化环境下钻屑热处理.....	11
2. 钻屑蒸汽处理.....	12
3. 处置钻屑的洗涤器—分离器系统.....	12
§ 3 缓蚀剂	14
1. 取代吡啶.....	14
2. 四元聚乙烯杂环化合物.....	14
3. 炔基氧化甲胺的卤衍生物四元化合物.....	16
4. 1,4-噻嗪的含硫醚季铵衍生物.....	17
5. 1,4-噻嗪的含砷季铵衍生物.....	19
6. 酰基化的羟基烷基胺基烷基酰胺.....	21
7. 山梨糖醇、苯并三唑及磷酸盐.....	23
8. 羧酸酯和酯族醇.....	24
9. 磷酰基化的氧烷基化多元醇和亚硫酸盐.....	25
10. 钻触媒亚硫酸盐除氧剂.....	26
11. 钻井液中注入氮气.....	27
12. 井筒涂保护层的方法.....	27
13. 在正规基础上保障油井处理.....	28
§ 4 防垢剂和除垢剂	30
1. 马来酸二钠垢转化剂.....	30
2. 除硫酸钙的转化剂型除垢剂.....	32
3. 溶解硫垢的酸和钒催化剂.....	32
4. 二烷基二硫化合物的增产效果.....	33
5. 双环的大环聚醚与有机酸盐.....	33
6. 羧甲基单环的大环聚胺盐.....	37

7. 加醛酸洗剂	37
8. 碳酸锌四铵作为 H_2S 清除剂	39
9. 氧烷基化的尿素磷酸酯	39
§5 其它清洗作业	40
§6 重油的输送	41
1. 阴离子表面活性剂和碱性剂	41
2. 磺酸盐表面活性剂与松香皂或环烷酸皂	45
§7 页岩油开采	46
第二章 钻井、修井和完井液	49
§1 水基粘土基钻井液	49
1. 木质磺酸钛或锆	49
2. 氧化镁、膨润土与木质磺酸铁-铬盐	50
3. 腐蚀酸盐稀释剂	51
4. 海泡石粘土的增剂	51
5. 脂肪族植物油与4,4'-硫撑二苯酚反应产物	52
6. 含非牛顿胶体系统的钻井液	52
7. 多乙氧基化的硫化脂肪醇	55
8. 多乙氧基化的硫化脂肪酸和聚烷撑二醇	55
9. 妥尔油馏分润滑添加剂	56
10. 钻杆解卡剂	56
11. 钻井液回收	58
§2 水基无粘土钻井液	60
1. 胍胶和氧化镁	60
2. 胍胶和木质磺酸盐	61
3. 羟烷基纤维素和氧化镁	61
4. 多环、多羧酸与碱的反应产物	62
5. 多糖衍生物的铝交联剂	63
6. 稳定页岩的钻井液	64
§3 油基钻井液	65
§4 修井与完井液	67
1. 不同颗粒大小的盐桥堵剂	67
2. 低滤失组分	68
3. 泡沫钻井液和修井液组成	70
4. 酚醛树脂和聚环氧乙烷	72
5. CMHEC 与重铬酸盐的凝胶	73
6. NaCl和KCl的抗粘结剂	73
第三章 压裂和增产技术	74
§1 酸液组分	74
1. 多价金属交联剂	74

2. 含碘氧化还原系统·····	76
3. 聚合物、酸、醛和酚的混合物·····	76
4. 酸和乙烯基吡咯烷酮三聚物溶液·····	77
5. 烷氧基化的丙烯酰胺基烷基磺酸聚合物·····	79
6. 二烯丙基二甲基氯化铵聚合物作稠化剂·····	81
7. 自行破乳的乳化酸·····	81
8. 非离子型表面活性剂凝胶·····	82
9. 氢卤酸母体·····	82
10. 地层中产生氢氟酸·····	85
11. 乙酰丙酸-柠檬酸多价螯合剂·····	86
12. 用磺基水杨酸螯合铁·····	86
13. 用氟硼酸清洗支撑的裂缝·····	87
§2 压裂液组分·····	88
1. 羟丙基纤维素和聚(马来酸酐/链烯-1)·····	88
2. 羟丙基纤维素和聚(马来酸酐/烷基乙烯醚)·····	90
3. 聚半乳糖甘露聚糖胺和羧基化共聚物作稠化剂·····	91
4. 聚半乳糖甘露聚糖胺甲基醚·····	91
5. 聚半乳糖甘露聚糖胺二烷基丙烯酰胺醚加合物·····	93
6. 羟基醚、五价磷和醇的反应产物·····	94
7. 聚合物、酚和醛的混合物·····	95
8. 聚合物和铬(Ⅲ)、碳酸盐及草酸盐离子·····	95
9. 磷酸酯铝盐·····	97
10. 硅酸碱金属盐凝胶·····	99
11. 用于低温地层的压裂液·····	100
12. 高温交联剂·····	101
13. 降摩阻聚合物·····	102
14. 低含油乳化液·····	102
15. 水、氯仿和表面活性剂的混合物·····	104
16. 延缓释放的破乳剂·····	105
17. 低滤失泡沫液·····	106
第四章 提高采收率方法 ·····	107
§1 表面活性剂水驱体系·····	107
1. 硫酸化的聚氧乙烯脂肪醇稠化剂·····	107
2. 用分配系数调节表面活性剂的体系·····	108
3. 阴离子型表面活性剂烷基磺酸盐·····	109
4. 季铵两性表面活性剂·····	110
5. 季铵磺酸盐和醇·····	111
6. 两性磺化磺酸盐·····	111
7. 烷基芳基磺酸盐·····	112

8. 原油磺化	112
9. 从石油磺酸盐中萃取石蜡烃	114
10. 醚键合的磺酸盐作稠化剂	114
11. 磺化反应的有机添加剂	114
12. 石油磺酸盐、助表面活性剂及仲醇	115
13. 二烷基苯聚氧乙烯烷基磺酸盐助表面活性剂	116
14. 石油磺酸盐与二聚氧乙烯烷基苯邻二酚	117
15. 石油磺酸盐和烷基硫醇聚氧乙烯硫酸盐	118
16. 规定当量分布的石油磺酸盐	119
17. 磺化的烷氧基化的喹啉衍生物	119
18. 单和二烷基苯聚乙氧基烷基磺酸盐混合物	120
19. 烯基丁二酐与叔胺的反应产物	122
20. 多元羧酸作牺牲剂	123
21. 木质素磺酸盐作牺牲剂	123
22. 木质素磺酸络合物	125
23. 先注脂肪醇再注皂	126
24. 用高剪切速率预处理表面活性剂液体	126
25. 胶束驱油时使用的堵剂	127
26. 预冲洗液	130
27. 两组油层的注水方法	131
28. 依次注两种表面活性剂液体	133
29. 微乳液的制备方法	134
30. 环烷酰基磺基三甲基铵内酯表面活性剂	135
§ 2 聚合物驱的成分	137
1. 表面活性添加剂改善渗透性	137
2. 苛性酶处理改善渗透性	137
3. 增加乙烯基吡咯烷酮聚合物的分子量	138
4. 乙烯基吡咯烷酮聚合物溶液随后表面活性剂驱油方法	139
5. 丙烯酸-丙烯酸酯聚合物	140
6. 在聚合过程中加盐	142
7. 多异氰酸酯交联的烯化氧线性非离子多糖反应产物	143
8. 两性电解质共聚物	145
9. 用2,3-环氧乙烷-1-丙醇烷氧基化的丙烯酰胺与乙烯磺酸共聚物	145
10. 用2,3-环氧-1-丙醇烷氧基化的乙烯磺酸	147
11. 用氧乙烯烷氧基化的乙烯磺酸	147
12. 用氧乙烯烷氧基化的丙烯酰胺与乙烯磺酸的共聚物	147
13. 磺化聚酚	147
14. 用醇提高生物聚合物的热稳定性	148
15. 用防老剂和醇提高生物聚合物的稳定性	149

16.	降低水与石油的相对流动	150
17.	由肺炎杆菌生产杂多糖	151
18.	改性的 <i>Xanthomonas</i> 杂多糖	152
§ 3	气驱和热采法	153
1.	注产生氮气的液体	153
2.	阁楼油藏的开采方法	154
3.	用可燃气两步采油的方法	156
4.	用水蒸汽和气体两步采油的方法	157
5.	亚硫酸氢铵水溶液	159
6.	重油的开采	160
7.	利用地下燃烧源生产烃类	161
§ 4	地层预处理的组成	162
1.	用多价金属离子螯合物处理地层	162
2.	用含氮化合物稳定油层	163
3.	用钾盐稳定油层	163
4.	氧化的聚胺稳定剂	163
5.	酰化的聚醚多元醇预处理剂	164
6.	硅酸盐-活化的木质磺酸盐凝胶	165
第五章	固砂和封堵	166
§ 1	封堵材料	166
1.	用阻滞剂选择性封堵	166
2.	酰胺聚合物凝胶	167
3.	球状微粒凝胶	169
4.	聚合物、产生酸的盐和蜜胺树脂凝胶	171
5.	自动起泡液组分	171
6.	软封堵材料	173
7.	封堵裂缝地层	175
8.	磁带颗粒	177
9.	不用钻机封闭报废层的方法	177
10.	中和的离子键聚合物溶液	179
11.	聚丙烯酰胺-二醛凝胶	181
12.	交联水合性的多糖	182
13.	二氧化钛封堵液	183
14.	封堵地层洞穴装置	184
§ 2	固砂技术	185
1.	替置鼠洞液	185
2.	胶凝水-环氧树脂液	187
3.	环氧树脂砾石充填的烯二醇破胶剂组分	189
4.	氨基甲酸乙酯预聚物	191

5. 氢氧化钙和钙盐.....	192
第六章 固井	194
§1 固井液组分	194
1. 木质磺酸盐衍生物.....	194
2. 控制凝固时间的添加剂.....	196
3. 炭黑添加剂.....	197
4. 防止注水泥后流动.....	198
5. 永冻层中固井.....	199
6. 水膨胀型粘土的预剪切处理.....	200
§2 隔离液与化学洗井液	201
1. 化学冲洗及失水控制.....	201
2. 油酰胺分散剂体系.....	202
3. 磺酸盐-油酰胺分散剂体系	204
4. 高温隔离液.....	205

第一章 一次采油技术

§1 钻井作业

1. 深井钻井

P.L.Guerber 在美国专利第 4 185 703 号(1980 年 1 月 29 日,转让给法国 Coyne-Bellier Bureau d'ingenieurs 公司)叙述了几千米甚至一万米的深部钻井方法。

地层钻进过程最好以下列方法实现,不同上覆钻进层段相应地选用与之对应的填充物(指钻井工作液——译者注),使之在对应的裸眼层段所有各点均呈液态,考虑了地温和压力随裸眼深度增加而增加的规律。

可采用不同方法使岩屑依靠悬浮性从井底加速上返。

首先,至少在钻具附近保持井眼填充物(指下行泥浆到达井底呈液态——译者注)的温度略低于其沸点是可能的。因而当开始沸腾时,产生的气体有一部分就会被钻屑颗粒吸附,加速颗粒上返。液态填充物中的所有气体还能形成一股上返流势,它携带岩屑至填充物的自由液面。

按照第一项改进方法,钻进过程可借助安装在地面的泵对井眼中的液态填充物进行循环。泵的吸管沉没于井眼填充液中,泵的输出管与井眼中几乎呈垂直状态的导管上端相连接,

其下端则接近于井底。由于钻屑上行至液体表面基本借助于浮力,泵的工作排量可相对降低,井中也可选用内径偏小的导管。由于也可使用柔性导管,而其重量和成本较现有旋转钻井方法使用的管柱大大减轻。

第二项改进方法是钻井时,在所需的压力下,将一种密度较井眼填充液还小的流体打入井底。这种流体可能是一种密度较填充液小的液体,但最好是使用一种气体或压缩空气。它以最小工作排量加速钻屑上返至液体表面,其机理与上面例举的填充液形成气泡的作用相同。同样也可使用廉价的小口径柔性导管把压缩空气打入井底。

按本方法组成的钻井装备列于图 1.1。横截面为 A 的钻具 O 用连接件 2 悬挂于支承件 C 末端。支撑件甚长,支撑件的截面积 L 自固定在钻具 O 的下端到上端 L 逐步加

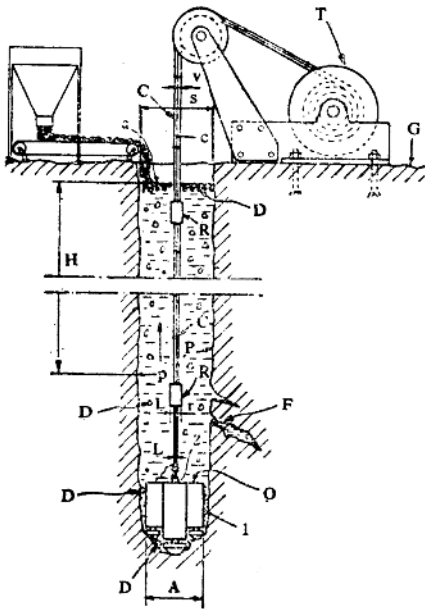


图 1.1 深井钻井设备

大。

支撑件C的构成，比如说是用长为 15000 米的钢缆组成，那么靠近连接件 2 到钻具 O 处的截面就为 1 厘米²，而离此 8000 米远处的横截面则成为 12 厘米²了，如此等等。在钢缆C的各预定点固定有截面积为 r 并具有适当电阻值的电阻元件R。该装备还备有电缆 c，由电阻元件R和装于钻具O中的马达供电。电阻元件尺寸和安置的详细情况将于下面介绍。

按此法用上述装备钻井，例如 15 000 米的深井，可采用如下程序。

首先，用常规技术钻井，深度最多钻到 2 000 米，这时采用足够截面S的钢缆，借助绞车T下放钻具O。通常情况是深度超过 2 000 米的地层，如含有平均密度本身小于3时，这时可住与支撑件C所带的下行钻具O 接触的裸眼底部填三氯化铋的固体碎片。

裸眼底部的温度接近 70°C，钻进装置下部电阻元件R提供的电能可使温度提高到三氯化铋的熔点。在大气压力下三氯化铋的熔点为 72°C。钻具O的马达开动，同时钻具的铣鞋或转盘与充满熔态三氯化铋的裸眼底部相接触。为了有利于继续钻进，应至少在整个裸眼事先填满固相三氯化铋的下部，通过分布在钻具O的支承件C上的各个电阻元件R进行供热，使之达到熔点。

因此，事实上钻具O是浸没在液体中进行工作的。另一方面，泥块或岩屑D，以及任何可能产生的滤液（一般为水），由于其密度较低（小于 3），会自动向上移动到液态三氯化铋的表面 a 上。若该表面接近地面G，则这些钻屑和滤液D极易被清除。

如果该表面处于一定深度，同样有可能用熟知的简单方法搬去浮在自由液面的钻屑。若超过 2 000 米，但充满液态三氯化铋的裸眼下段井壁P出现破裂或坍塌部分F，液态三氯化铋可直接进入这些破裂、坍塌部分，因温度降低使之固结，从而起到阻止任何这类破裂和坍塌的影响。巩固了裸眼井壁，防止或减少了漏失。

再者，钻进中液态三氯化铋作用于裸眼井壁P的压力 p 与离自由液面的垂直距离H及液态三氯化铋的密度成正比；这时静水柱压力 p 抗住地层压力，因此不需要用套管保护，能确保裸眼井壁的稳定。但须注意的是，静水柱压力 p 随井深H而增高，将导致三氯化铋熔点的提高，当井深增加，唯有增加热量才能维持其液态。

只要不出现漏失，在液态三氯化铋中的钻进可持续到一定深度，即接近三氯化铋沸点的地层温度处稍浅一点深度（大气压力时的沸点为 230°C），该沸点仍然受静液柱压力 p ，当然也受深度H控制。液态三氯化铋的应用使至少钻达 4 500 米深度成为可能，此深度处的温度接近 217°C。

为了能超过此深度继续往下钻进，可向液态三氯化铋自由液面加入硒的碎块，硒在标准状态下呈固态。硒的密度接近 4.6，就是说大于液态三氯化铋的密度。硒块缓慢沉至其深度相当约 4 500 米的井底。硒在该处遇到 217°C的温度使之熔化。只要钻具O的支承部件或支承钢缆C中的电阻元件R提供少许热量，这就使液态硒中钻具O的继续钻进成为可能，深度可钻达地温低于硒沸点（标准压力下其沸点为 689°C）的地方，即深度可钻达约 9 500 米。

采用碲来代替硒，最后钻进深度约可达15 000米，碲的密度为 6.2（其熔点为450°C，沸点在大气压力下为 1 390°C）。

在所钻地层的平均密度甚小和不存在污染风险的情况下，前述的钻进方法中的第一步可

用硫（比重为 2）取代密度为 3 的三氯化铋）硫在标准压力下的熔点（ 120°C ）和沸点（ 444°C ）能使液态硫实现 3 000~7 200 米深度的钻进。

2. 采用冷冻钻井液钻松软地层

采用冷冻钻井液在地壳上打井以使井壁冻结，这是大家所熟知的方法。某些粘土层须就地保持其凝固力和固定性，若使用非冷冻的钻井液，这种地层就不稳定，并有害于钻进，此外，若使用冷冻钻井液，岩心就具有较高的屈服点，易从未固结岩石中取出，这是由于钻进过程岩心冻结，不易解体之故。

很明显，循环介质的温度应低于要冻结的地层液的凝固点，并且等于或高于循环介质本身的凝固点。这类钻井液可以是各式各样的液体，如盐水、盐水泥浆、柴油，以及油水乳化液等。按照众所周知的办法实现钻井液的速冷；常用于冰（固体二氧化碳）达到这一目的，钻井管柱可用隔热材料制备，以便有效地使井底尽量致冷。

一个未涉及的问题是如何穿过含有软粘土或塑性粘土，以及软页岩（板岩）地层钻小眼井。在此条件下，由于泥包的影响，这些钻硬地层的镶硬合金牙轮钻头、金刚石钻头或其它型式钻头的进尺甚微。为了使钻头在井底的时间尽量维持长一点，也就是尽量减少钻头磨损，最好选用这些类型中的一种。通常乐于选用金刚石钻头，因为它不用滚动轴承。

W.H.Van Eek 和 A.W.J Gruppig 在美国专利第 4 191 266 号（1980 年 3 月 4 日）叙述了适用于硬地层的钻头打泥质软页岩地层或软地层的方法。

如冷冻钻井液常含有起码足以冻结钻头附近部分岩石的冷源的话，按照本方法能在软泥质或塑性泥质及软页岩（板岩）地层或同类性质的软地层中采用适于软硬层的钻头打井。这一方法特别与直径为 200 毫米（8 英寸）或小于 8 英寸的小裸眼井有关，但必要时这一方法也适用于较大直径的钻进。一般乐于选用金刚石钻头打小眼井。

前已表明，只要起码在井底附近的岩石通过向钻井液适量放热而形成冻结，那么上述的泥包作用就不会发生。金刚石钻头应用的不利一面将变为有利。钻头的转速越快，每转的进尺则越小，要达到和其它钻头相同的进尺，金刚石钻头的转速要加快（和 100~200 转/分相比时，需 400 转/分）。由于每转的进尺小，这就给靠近钻头端面的泥质层和同类性质的低渗透地层的冻结提供了良好机会，从而上述的泥包影响就不会出现。这方面应注意的是，为获得好进尺，按常规对砂层和类似

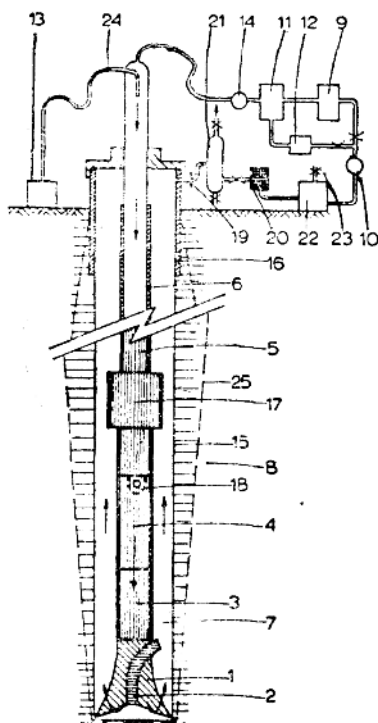


图 1.2 冷冻条件下钻井

渗透层的致冷是不必要的，须知用金刚石钻头打这种地层通常不存在任何困难。

装备的特点是，地面钻井液系统至少包括制备冷冻钻井液的冷冻器；冷冻部分钻井液的制冰机；混合（搅拌）冷冻液和致冷液的方法、使冷冻液通过地面泥浆系统，以及打入钻井管柱的辅助设备。再者，根据需要，应备一台压风机或类似设备以供往钻井液中加入气。如有可能，把冷冻器和制冰机合并成一台设备。最后，为控制井口压力，例如在分离器之前的连接部位应备有一个或多个密封防喷器和至少一个可调节流部件。

参看图 1.2 对这种流程图的说明。钻取岩心 2 过程中的取心钻头 1 通过水马达 3（电动马达）和钻铤或钻杆 4 连接到空心钻柱 5，用隔热材料 6 将钻柱的管子涂覆。马达 3 被钻井液驱动，以此在地层 8 中形成井眼。

低井熔钻井液或泥浆的制备是通过制冰机 9 把一部分液体转化为冰态来实现的，冰被输入进液罐 11，和冷冻装置 12 制备的水基盐溶液在该罐中混合。混合物用泵 14 并沿管柱 5 下流至钻头 1，经由钻头水眼，然后继续沿管柱 5 和井壁 15 之间的环形空间即导管 16 上行。

钻具还备有一个或多个封隔器 17，它能紧贴井眼 15 的冻结井壁封闭环形空间。空心钻管可由自动单阀阀 18 关闭以防液体回流。

导管 16 和振动筛 20 之间的连通部位装有一个节流器 19，随之还装有一个回收钻井液或泥浆中气体的分离器 21。钻屑或岩心以及还可能存在的冰块，如不事先集中到分离器 21，可在振动筛 20 上从钻井液中清除，滤液进入收集罐 22，用泵经制冰机，或可能时经冷冻装置泵走。附加的液体和化学剂可通过管线 23 进入收集罐 22。最后，用压力机 13 加空气，经由管线 24，进入钻柱 5。

虚线 25 是表明井外地层冻结的大致范围。钻井装置的地面操作是由石油工业所熟知的常规绞车来实现。一般说来，钻达同样深度时，用本方法所需的绞车能力要比通用方法小。

例：用金刚石块镶嵌的金刚石钻头打一口深 1 500 米、直径为 127 毫米（5 英寸）的井眼。钻头、钻铤和戴纳钻具共约长 10 米（393 英寸）。钻柱由重量约 3 公斤/米（8.825 磅/英尺）、直径 73 毫米（2 7/8 英寸）的管段组成，管外包覆厚为 12.7 毫米（1 1/2 英寸）的隔热套，其总直径为 98 毫米（3 7/8 英寸）。隔热套的绝热值为 0.3 瓦每米开 [W(mk)]（ 50×10^{-8} 英热单位/秒·英尺·°F），平均钻速为 3 毫米/秒（0.01 英尺/秒）。井底岩层温度为 55°C（131°F），地面温度 10°C（50°F）。

钻井液的组成如下：

NaCl	296 克/升水	
山软木土	40 克/升水	
絮凝凝胶	15 克/升水	
密度(比重)	1200 公斤/米 ³	
塑性粘度	7 毫帕	大气压下，+20°C
塑性粘度	21 毫帕	大气压下，-20°C
表观粘度	9 毫帕	大气压下，+20°C
表观粘度	24.5 毫帕	大气压下，-20°C

钻井泥浆中含有相同组成的冰块 10%（体积）。泥浆排量为 8.2 升/秒（130 加仑/分），钻井液进口温度 -20°C（-4°F），返出温度 -10°C（14°F）。放热量（相当于冷

源提供量)约为 530 千焦耳/秒(500 英热单位/秒)。

井底基面上的液体压力为 17.6兆帕(2550磅/英寸²)，钻井液中加入空气或氮气后，则为 14.8兆帕(2150磅/英寸²)。在环形空间顶部节流阀上的压力约为12 兆帕(1740 磅/英寸²)。

3. 动力压井制服井喷的方法

由于在许多情况下，钻井作业中当钻开高压产气层时，可能发生井喷。气体从高压地层进入井中，与钻井泥浆混合，滞留在泥浆中，使泥浆比重降低，从而使井中静水压头低于地层压力。从井中起出钻柱时也可能发生井喷。起初钻柱引起泥浆下移，结果使井筒中液面降低，从而也导致静水压头低于高压地层压力。

发生井喷时，可采用各种应变措施来制服井喷，并使油气井处于控制之下。措施之一是钻救险井，在靠近事故井附近钻开地层，使两井之间在地下沟通。然后从救险井打入液体，进入事故井，以施加足够静水压头，堵住地层气流进入井中。

两井间的连通是经导致井喷的高压砂层构成，或者通过两井都射开的个别高渗透层构成。为了提高两井之间的导流能力，可对该地层进行酸化，也可进行压裂。但在绝大多数情况下不这样做，因为产生的裂缝一般趋向于垂向，特别在地层深度超过 3 000 英尺的情况下无一例外。这是由于在此深度下，上覆层压力通常超过地层具有的水平应力。

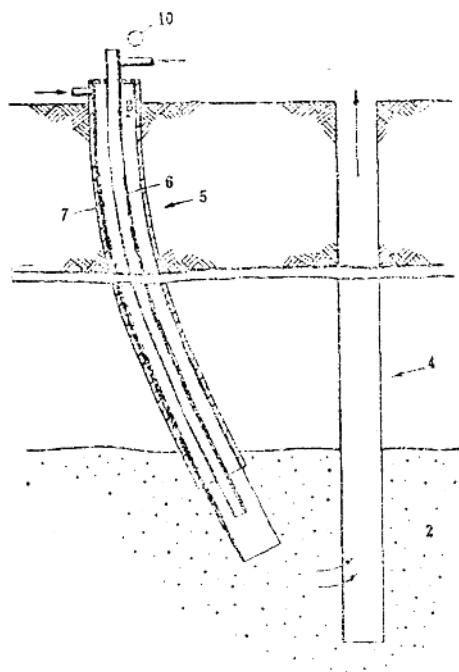


图 1.3 井喷事故井和救险井

E.M. Blount 在美国专利第 4 224 989 号(1980 年 9 月 30 日，转让给莫比尔石油公司)叙述了用救险井注液体压住井喷的改进方法。在实施该措施中，最初压井阶段使用的是低密度液体，它所产生的静水柱压力低于地层静压力。

将低密度液体以一定泵速打入救险井，并进入事故井以便在事故井中产生流动摩阻，摩阻分压力加静水柱分压力就超过了地层静压力，但要低于地层破裂压力。以递增的泵速继续打入低密度液体，直至足以使事故井达到堵住导致井喷的高压层气流的泵速为止。然后向救险井打入高密度液体，使之产生一个高于地层静止压力的静水柱分压力。高密度液体打入救险井并进入事故井时，其泵速低于低密度液的最大泵速。摩阻分压力与静水柱分压力应低于地层破裂压力。

图 1.3 说明事故井 4 和救险井 5 钻达地层 2 的情况。

救险井最好下有油管柱 6 和套管柱 7，形成油套环空 8，压井液从环形空间注入。油管头备有监控井下压力的压力表。

用动力压井液压井时，救险井的井底压力理所当然地必须大于事故井的井底压力，以便

调节液流从救险井到达事故井的摩阻损失。救险井的井底压力等于井口压力与静液柱压力之和减去摩阻压力损失。井喷事故井的井底压力等于静水柱压力与摩阻压力损失之和。这里假定事故井的井口压力等于 0，因为井处于无控制状态。

一旦井喷事故井形成单相流状态，事故井和救险井中的静液柱分压力就会基本趋于一致，同时救险井的井口压力将等于救险井和事故井中及两井间连通地层层段的摩擦分压力的总和。它们之间的关系可用下列诸式表达：

- (1) $BH_{p_b} = BH_{p_r} - F_{p_c}$
- (2) $BH_{p_b} = H_{p_b} + F_{p_b}$
- (3) $BH_{p_r} = WH_{p_r} + H_{p_r} - F_{p_r}$
- (4) $WH_{p_r} = F_{p_r} + F_{p_b} + F_{p_c}$

式中 WH_{p_r} ——井口压力；

H_{p_r} ——静液柱压力；

F_{p_r} ——摩擦压力损失；

BH_{p_r} ——井底压力；

r, b, c ——救险井、井喷事故井、两井间通道。

摩擦分压力可由熟悉工艺的人所掌握的任一种方法进行计算。环空处于流态的情况下，以磅/英寸² 为单位的摩擦压力损失 F_p 可由下式表达：

$$(5) \quad F_p = (11.41 f L \rho Q^2) / d^5$$

式中 f ——范宁摩擦系数；

L ——井深，英尺；

ρ ——流体密度，磅/加仑；

Q ——流量，磅/分钟；

d_c ——等效直径，英寸。

动力压井作业时，低密度流体以足够高的排量泵入救险井环形空间，以造成井底压力高于地层压力与流体经由救险井至事故井的摩擦压力损失之和。进入事故井的低密度流体具有的压力高于地层压力。与此同时，以低泵速向油管柱内泵油，以便使油管头和油管鞋之间的压力差基本成为一恒值。换言之，就是往油管柱泵注液体速度恰好使油管柱内充满液体，所产生的摩擦损失可忽略不计。这样一来，油管头与油管鞋之间的压力差就等于静水压头了。其结果是：读出的井口压力，加上静液柱压力计算值，就反映出救险井的井底压力，以此来连续监测井底压力的变化。

泵入救险井环形空间的液体逐步加大排量，使液体在湍流条件下从救险井进入井喷事故井并沿事故井上返，直至事故井中静液柱分压力与摩擦分压力之和超过使气体从地层进入事故井的压力为止。最后堵住了进入事故井的气流，同时井中开始从两相流动转为单相流动。在此进程中，监控救险井的井底压力，确保不超过地层破裂压力。事故井中一旦出现稳定流状态，就开始逐渐换成较高密度流体。注入救险井环形空间的液体，最好至少有两次加重使其密度逐步提高，能适应稳定压井需要的最终密度。

若一口救险井的能力不足以使事故井出现稳定流局面，则需加打一口或多口救险井。当然每口救险井须按上述方法操作，即在某一井口压力下向救险井泵入动力压井液，与该井口压力相关的井底压力既要高于地层压力，又要低于地层破裂压力。

下面举例介绍采用该法进行动力压井制服井喷的过程。事故井下的套管通径为 8.535 英寸，井中钻井管柱外径为 5 英寸。计算井深为 10 210 英尺，导致井喷的高气层的垂直深度为 9 650 英尺。油藏工程研究结果得出，井喷前可根据邻井测得，该气层的静止地层压力为 7 100 磅/英寸²。地层破裂压力估计为 8 500 磅/英寸²左右。

在井喷事故井附近钻一口总深为 10 900 英尺（相当垂直井深 8 560 英尺）的定向救险井。该井下有内径为 8.535 英寸的套管，井中安装外径为 3 1/2 英寸的油管。井斜测井表明救险井底部离井喷事故井 27 英尺。

在动力压井过程中，可用深水来作为动力压井液。水的密度为 8.33 磅/加仑，静水头值相当于 0.433 磅/英寸²·英尺。为了事先创造压井条件，将水打入救险井的环空，使井中泥浆经由油管返出。一旦井中泥浆替完，开始进行酸化工艺，以增加两井间的连通性。以 4 桶/分钟左右的低排量从油管打入浓度为 15% 的盐酸液。按此排量注酸 40 分钟以后，泵排量降到 3 桶/分钟左右。短时间后环空的井口压力下降 350 磅/英寸²，这表明两井间建立起连通。

再打一些附加酸以后，开始动力压井，对环空提高泵的注入排量，由 4.3 桶/分钟最后增加到 125 桶/分钟，相应地井口压力由 2 010 磅/英寸²提高到 5 840 磅/英寸²。油管由注酸改为注水，而当对环空的注入排量达到 35 桶/分钟时，对油管的注入排量由 4 桶/分钟降到 1 桶/分钟，并保持恒定直到压井完成为止。在油管中形成一个基本不变的静水头，在整个压井过程中，计量油管井口压力来监控井底压力。

从压井后约 34 分钟，当环空注入的泵排量为 85 桶/分钟时，在井喷地点的喷势被告知基本停止。其后，泵排量提高到 125 桶/分钟，并使之保持约 15 分钟，此时井口压力为 3 290 磅/英寸²，井喷再次发生。

在动力压井过程中，打入救险井环空的水的总体积为 5 220 桶。此阶段结束后，开始改打 14.5 磅/加仑的中等比重钻井泥浆，其初始泵速在 3 460 磅/英寸²的环空井口压力下为 73 桶/分钟。中等比重泥浆的泵速固定在 83 桶/分钟，维持约 8 分钟，此时泥浆开始进入井喷事故井。

此后，向环空注入的泵排量持续递减到约 49 桶/分钟，注入 1 525 桶中间泥浆后，开始改注 16.5 桶/加仑的较重泥浆，由起始排量 49 桶/分钟降到 15 桶/分钟，直到注入的泥浆量足以充满两口井的环形空间。此后，16.5 桶/加仑的泥浆排量最后逐步递减到 1 1/2 桶/分钟。

4. 斜井清洗

从产层开采油气时，从地表打定向井到产层已越来越普遍了。定向钻井往往在地下某个地方把井偏离垂向使之引向偏远的产层。定向井或斜井可以从垂向偏斜 90° 达到所指望的目的产层。

S.O. Hutchison 和 G.W. Anderson 在美国专利 4 187 911 号（1980 年 2 月 12 日。转让给雪弗龙公司）叙述了从定向井清除诸如砂子之类物质的方法，该井在其深度的某个具体部位偏离垂向 30°。清洗用的油管柱从地面下到定向井需要泡沫液的位置。油管柱带扶正器，确保油管柱与井中现有导管例如套管柱、生产衬管或生产油管基本处于一个同心轴线，以便通过生产油管进行清洗工作。在地面产生气液比至少为 10 标准英尺³/加仑，但不超过 30 标准英尺³/加仑的气和液体的泡沫液，并至少以 30 英尺/分钟的循环速度注入井中，并进行循环，以便从井中清除掉物质。