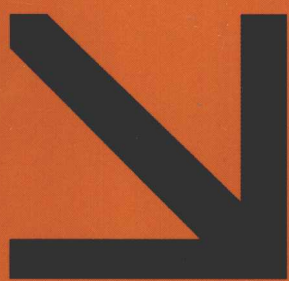
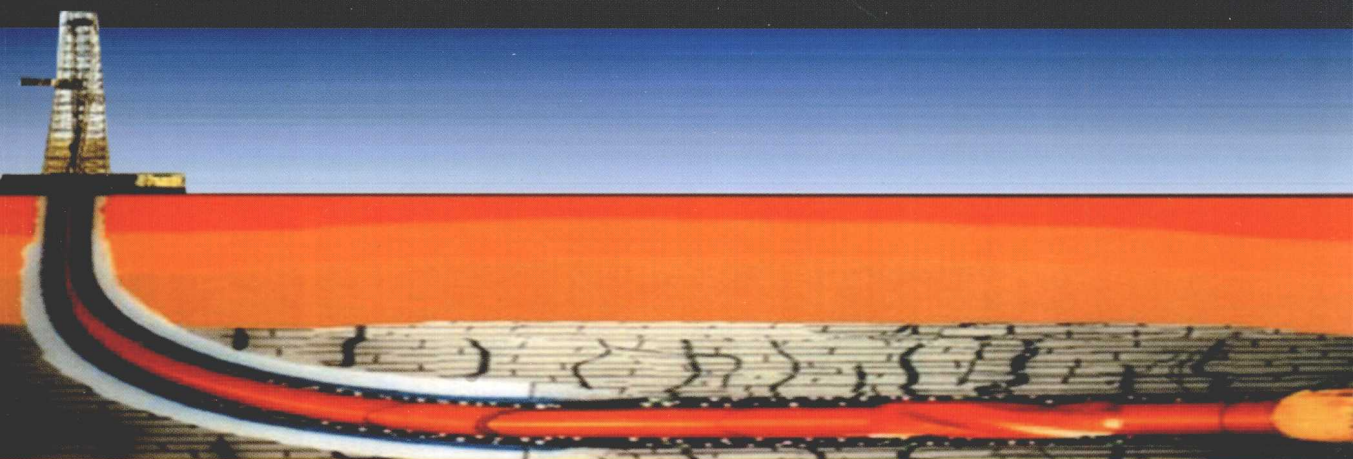


定向 钻井

技术与作业指南

魏学敬 赵相泽 编著



Directional Drilling
Technology and
Operation Guide

石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要讲述定向钻井过程中的基本工艺技术及施工中常用的测量技术。全书共分 12 章,主要内容有定向井基本概念、定向井专用工具、定向井设计与计算、定向井轨迹控制理论与技术、定向测斜仪操作规程、定向井测量技术、双驱导向钻进技术、水平井钻井技术、套管开窗侧钻技术、定向井井下复杂与事故处理等。

本书适用于钻井工程技术人员、技术工人阅读参考,也可作为高职高专石油钻井技术专业学生的选修课教材和定向钻井工程技术人员的培训教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

定向钻井技术与作业指南 / 魏学敬, 赵相泽编著.

北京:石油工业出版社, 2012.5

ISBN 978-7-5021-8974-7

I . 定…

II . ①魏…②赵…

III . 定向井 - 油气钻井 - 指南

IV . TE243-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 042745 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010) 64523583 发行部:(010) 64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2012 年 5 月第 1 版 2012 年 5 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:23.25

字数:590 千字

定价:96.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

定向钻井目前已成为陆地和海上油田开发的主要手段。在地面上难以建立井场和安装钻井设备进行钻井的地区，要勘探开发地下的油气资源，唯一的办法就是从该地区附近打定向井。在海洋或湖泊等水域上勘探开发石油最好是建立固定平台，或采用移动式钻井平台，或从岸边打定向井、丛式定向井。当在钻达油气层所经过的地层中有难以穿过的复杂地层时，用绕障定向井可以绕过这些复杂地层。在发生断钻具、卡钻以及井喷着火等恶性事故的情况下，采用侧钻井、救援井是处理此类事故的有效方法。近年来，各类水平井、大位移井、多分支井和二维及三维多目标井的出现和发展，更是把定向井的应用推进到了优化油藏开发方案，增加产量，提高采收率的范围。定向井在石油勘探与开发中得到了广泛的应用。

与直井相比，水平井能够在储层面积一定的情况下扩大渗流面积，在保证产量的情况下减少钻井进尺、节省材料费用，是提高产量和油气藏采收率的有效手段之一。水平井技术在油田开发中具有明显优势，突出表现在它可以开采常规直井难以开发的低渗低效油藏、高黏稠油油藏及其它各种不同类型的油藏，能够较好地缓解水锥进、气锥进，增大泄油面积，提高最终采收率。侧钻水平井主要用于开发老油田；多分支井主要用于开发多油层油藏；阶梯式水平井主要用于二次或多次穿过一层或多层油藏。

本书作者在从事定向井钻井技术服务和钻井技术培训过程中，发现现有有关定向井钻井的图书偏重于理论，主要是轨迹控制，对井下工具的使用、测量仪器的使用等介绍比较少，为了让更多的基层技术人员和技术工人掌握定向井钻井的实用技术，我们对十几年从事定向钻井的经验和资料进行归纳总结，编写完成《定向钻井技术与作业指南》，希望对从事定向钻井的相关人员具有参考借鉴作用。本书部分内容来自中原油田内部培训资料，同时编写时考虑了定向井钻井知识的系统性和完整性，于是本书非常适用油田井队工人培训。

本书在编写过程中参考了大量图书和资料，对其作者表示衷心感谢。同时还要感谢石油工业出版社章卫兵主任的鼓励和支持。由于编者长期在钻井基层单位工作，对定向井钻井的理论可能存在理解不到位的地方，书中不当之处，敬请批评指正。

魏学敬 赵相泽

2011年12月 于中原油田

目 录

第一章 绪论	1
第一节 定向钻井技术的起源与现状	1
第二节 定向井应用领域	3
第三节 定向井的类型	6
第四节 定向钻井技术发展应用分析	9
第五节 定向钻井技术发展前景和发展趋势	14
第二章 定向井基本概念	16
第一节 井眼轨迹的基本概念	16
第二节 磁偏角的校正	24
第三节 子午线收敛角的校正	27
第四节 重力线收敛角的校正	31
第三章 定向井专用工具	33
第一节 定向接头	33
第二节 无磁钻铤	35
第三节 螺杆钻具	40
第四节 中空螺杆钻具	48
第五节 稳定器	53
第六节 PDC 钻头伴侣	58
第七节 键槽破坏器	59
第四章 定向井设计与计算	60
第一节 定向井设计计算方法	60
第二节 测斜数据计算方法规定	66
第三节 定向井轨道设计原则	69
第四节 设计方法	71
第五节 设计实例	77
第五章 测量技术	81
第一节 测量的性质和特点	81
第二节 测量仪器分类和应用范围	82
第三节 测量仪器的基本原理	83
第四节 氢氟酸瓶测斜仪器	91
第五节 磁罗盘测量仪器	91
第六节 有线随钻测斜仪	99
第七节 电子多点测斜仪	105

第八节	陀螺测斜仪	109
第九节	MWD 无线随钻测斜仪	115
第十节	电磁波式无线随钻测量仪器	126
第十一节	声波随钻测斜仪	130
第十二节	旋转导向钻井技术	131
第十三节	随钻测井系统 (LWD)	135
第六章	双驱导向钻井技术	155
第一节	概述	155
第二节	造斜能力特性分析	155
第三节	钻井参数优选	168
第四节	现场应用	169
第七章	直井段轨迹控制技术	176
第一节	井斜原因分析	176
第二节	井斜控制技术	179
第三节	其他防斜钻井技术	184
第四节	直井段常用钻具组合及丛式井防撞措施	186
第五节	井斜的处理	187
第六节	垂直井段实例	189
第八章	定向井轨迹控制理论与技术	197
第一节	定向造斜	197
第二节	增斜段控制技术	203
第三节	稳斜段控制技术	204
第四节	降斜段控制技术	205
第五节	方位漂移规律分析	206
第六节	轨迹控制模式	208
第七节	丛式井的防撞计算	216
第八节	方位扭转角计算	219
第九节	二维水平井铅垂靶的人靶计算	223
第九章	定向井常用定向方法及测斜仪操作规程	226
第一节	定向井常用定向方法	226
第二节	电子多点测斜仪操作规程	230
第三节	45 型有线随钻测斜仪操作规程	232
第四节	P-MWD 无线随钻测斜仪操作规程	242
第五节	SDI MWD 无线随钻测斜仪操作规程	251
第六节	KEEPER 陀螺测斜仪操作规程	259
第七节	磁性单点照相自浮测斜仪测量规程	262
第八节	650MWD 系统仪器操作	264
第十章	水平井钻井技术	279
第一节	概述	279

第二节	水平井段轨道设计	282
第三节	水平井井眼轨道控制	288
第四节	着陆控制	293
第五节	水平井段控制技术要点	298
第六节	钻井液、钻进参数和测量	299
第七节	应用实例	304
第十一章	套管开窗侧钻技术	318
第一节	概述	318
第二节	锻铣开窗侧钻工艺	318
第三节	磨铣开窗工艺技术	322
第四节	小井眼裸眼段井下安全施工措施	328
第十二章	定向井井下复杂与事故	330
第一节	概述	330
第二节	影响定向井安全的因素	334
第三节	造斜率低原因分析及措施	337
第四节	方位偏差大原因分析及措施	338
第五节	钻出新井眼原因分析及措施	339
第六节	黏附卡钻原因分析及措施	341
第七节	坍塌卡钻原因分析及措施	346
第八节	砂桥卡钻原因分析及措施	347
第九节	沉砂卡钻原因分析及措施	348
第十节	缩径卡钻原因分析及措施	349
第十一节	键槽卡钻原因分析及措施	350
第十二节	落物卡钻原因分析及措施	351
第十三节	钻具事故原因分析及措施	352
第十四节	复杂井的通井划眼操作	359
第十五节	井漏原因分析及措施	360
参考文献	363

第一章 绪 论

定向钻井被称之为“使井筒按特定方向偏斜，钻遇地下预定目标的一门科学和艺术”。虽然近年来这项技术日趋科学化，但其真正的科学和艺术奥秘仍待人们去探索。

第一节 定向钻井技术的起源与现状

美国定向钻井技术的起源可追溯到 19 世纪后期。那时没有考虑稳定钻具控制井筒轨迹。后来井筒测试发现，那些“垂直井”远非是垂直的。

起初认为非垂直井有一系列的缺点，是出于如下考虑：

(1) 需要更多的进尺才能钻遇生产层。斜井比垂直井耗时长、成本高。

(2) 在斜井筒内不能确定生产层的真实垂直深度，因此下一步钻井井位不易确定。

(3) 井筒形状弯曲，造成钻具磨损程度增加，易发生故障。井筒弯曲也使以后的打捞工作难以进行。

(4) 如果井筒穿过租界，经营者就会因侵犯别人租地而受到起诉，事实上曾有过几起这类案例。这样就导致在钻井合同中列出“偏斜条款”，该条款规定许可倾斜度不大于 5° 。因此，钻井中必须控制井筒轨迹曾经成为一项规定。

20 世纪 30 年代初，在加利福尼亚亨廷滩油田计划完钻了第一口有记录的实例定向井。在那时，一般是在近海栈桥上竖立井架，开发浅海滩下的油田，后来一位具有创新精神的钻井承包商改变这种做法，他在陆地上立井架钻丛式井，井筒延伸到海床之下。这就是今天所谓定向钻井的开端。

定向井是指按照预先设计的井斜方位和井眼的轴线形状进行钻进的井，或者说，凡是设计目标偏离井口所在铅垂线的井都属于定向井。定向井是相对于直井而言的，并且是以设计的井眼轴线为根据区分的。直井的井斜角为零度，没有井斜方位角。尽管实钻的直井都有一定的井斜角，甚至有的井斜角很大，但仍然属于直井。定向井又可分为二维定向井和三维定向井，也是以设计的井眼轴线形状为根据划分的。凡是井眼形状只在某个铅垂平面上变化的定向井，都称为二维定向井。它们的井斜角是变化的，而井斜方位角是不变的。三维定向井则既有井斜角的变化，又有井斜方位角的变化。实钻的二维定向井井眼轨迹虽然既有井斜角的变化，又有井斜方位角的变化，但仍然属于二维定向井。

最早采用定向钻井大都是在井下落物周围的侧钻。如果井底落物不能打捞出来，钻井人员必须在其周围进行侧钻。早在 1895 年就曾使用特殊的工具和技术达到这一目的。

后来定向钻井得到了进一步的推广应用。1934 年在东得克萨斯康罗油田完钻了一口定向救险井。钻井位置距失控井一定距离，定向钻井与失控井相交，然后向井内泵入重质液体压死失控井。

钻进救险井需要准确地控制方向和监测。“单点测斜仪”进行方向监测可使操作人员相当准确地绘制出井筒轨迹。偏斜工具如造斜器可以按照要求的方向定向。早期的单点测斜仪依靠磁性罗盘，这种罗盘会受到钻具和套管的局部磁场影响，引用了非磁性接箍和陀螺监测仪提高了在这种条件下的使用精度。

二次世界大战末，石油需求量增长刺激人们到边远海域进行勘探。海底储藏着大量的油气资源，但海洋钻井费用高昂遏制了人们的勘探活动。从一座中心平台钻定向井可减少许多单井平台。没有定向井许多海上油田都不能经济的开发。海上开发促使大量采用定向钻井，降低成本的持续努力促使产生出新工具和新技术提高效率。在过去的 20 年间进行了许多技术革新，其中包括计算机编制钻井方案、井下螺杆和涡轮钻具的广泛使用、水平井钻井技术和随钻测量技术 (MWD)。

我国的定向钻井技术始于 1956 年，当时在苏联专家的帮助下，在玉门油田打了一批定向井。20 世纪 60 年代，在苏联专家撤离后，我国完全依靠自己的力量，在四川钻出了许多高难度的定向井和水平井，曾达到相当高的水平，与当时世界先进水平的差距并不大。在当时，我国是世界上第二个钻成水平井的国家。但在 20 世纪 60 年代中期以后，我们与世界先进水平的差距拉大了。70 年代到 80 年代初期，在江汉、胜利和渤海等油田，定向钻井仍在继续，钻了一批小斜度定向井。从 1985 年到 2000 年的 15 年，我国连续三个五年计划，集中了国内大油田、石油高校和科研院所的力量，对定向井、丛式井、水平井和侧钻水平井等关键技术进行了重点攻关，取得了极其显著的成果，大大缩短了与世界先进水平的差距。期间，我国海上油田发挥对外合作的优势，在大位移井技术方面也取得了重大突破，1997 年创造了大位移井的几项世界纪录。进入新世纪以来，我国的定向钻井事业正面临着新的发展机遇。

20 世纪 80 年代以来的 20 多年，是国内外定向钻井技术高速发展的时期。在该时期，起主导作用的是硬件的发展：在测量仪器方面，使用了磁通门和加速度计，出现了电子测量仪和随钻测量仪；在造斜工具方面，开始出现了由弯外壳螺杆钻具组成的滑动导向钻井系统，进而出现了多种形式的旋转导向钻井系统，从而显著地提高了定向钻井的技术水平，

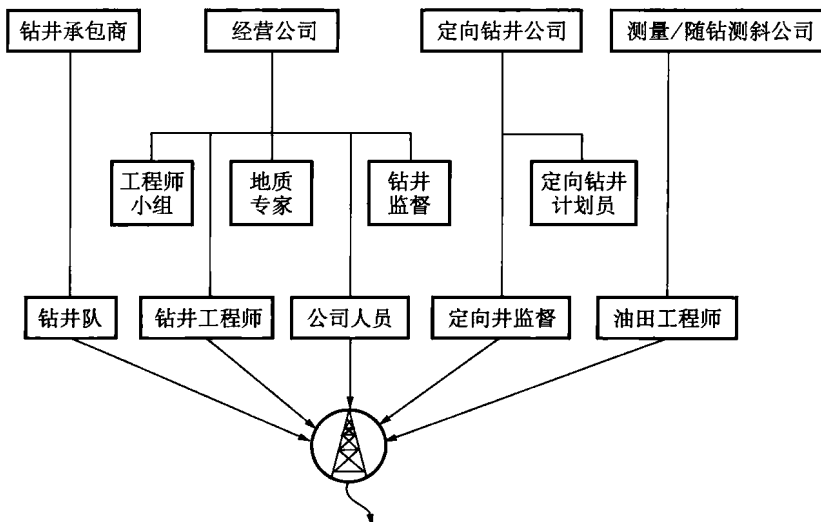


图 1-1 定向钻井的钻井和计划人员配备

大大提高了定向钻井的质量、速度和效益。

目前，我国定向钻井技术与国外先进水平的差距也主要在于硬件方面。应该说，在定向钻井技术的理论研究方面，我们并不落后，甚至在某些方面是领先的。

尽管钻井技术取得了多方面的进步，但是工作人员仍急需要进行适当地培训，积累使用这项技术的经验以达到最大的经济效益。定向钻井服务公司已经达到所要求的专业水平，经营公司很可能邀请这些公司进行井的设计，并派出定向技术人员监督现场施工。定向技术人员负责按照既定的轨迹定向钻进，成功地中靶。定向钻井的所有人员配备如图 1-1 所示。除了在井场工作的人员外，还包括了设计阶段和监督钻井进度的人员。

第二节 定向井应用领域

定向钻井目前已成为陆地和海上油田开发的主要手段。定向井在石油勘探与开发中得到了广泛的应用。在地面上难以建立井场和安装钻井设备进行钻井的地区，要勘探开发地下的油气资源，唯一的办法就是从该地区附近打定向井。在海洋或湖泊等水域上勘探开发石油，最好是建立固定平台，或采用移动式钻井平台，或从岸边打定向井、丛式定向井。当在钻达油气层所经过的地层中有难以穿过的复杂地层时，用定向井可以绕过这些复杂地层，称为绕障定向井。在发生断钻具、卡钻以及井喷着火等恶性事故的情况下，采用侧钻井、救援井是处理此类事故的有效方法。近年来，各类水平井、大位移井、多分支井和二维及三维多目标井的出现和发展，更是把定向井的应用推进到了优化油藏开发方案，增加产量，提高采收率的范围。另外，在非石油勘探开发领域，例如煤层气、卤水、地热、天然气水合物、固体矿产等的勘探和开采，以及地下核试验的采样等，定向钻井技术也有着非常广泛的应用。

一、地面环境条件的限制

当地面上是高山、森林、城镇等，在地面上难以建立井场和安装钻井设备进行钻井的地区，要勘探开发其地下的油气资源，需要从该地区附近打定向井；油气资源埋藏在农田、牧场等地下，为了少占耕地或防止污染环境，需要打定向井；油气资源埋藏在湖泊、沼泽、河流、沟壑、海洋之下，难以安装钻机或者安装钻机和钻井作业费用很高时，为了勘探和开发它们下面的油田，最好是钻定向井。如图 1-2 所示。

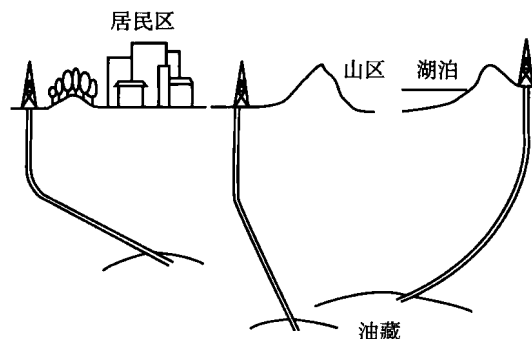


图 1-2 地面环境条件的限制示意图

二、避开地质障碍的钻井

有些石油储层与盐丘构造有关。盐丘的局部可能直接覆盖在储层上，以至于钻垂直井钻遇油层必须穿过盐层。钻穿盐层会出现冲蚀严重、循环漏失和溶蚀等问题，最好的方法是避开盐丘钻定向井。对于断层遮挡油气藏，定向井比直井可发现和钻穿更多的油层，如果垂直钻穿斜度大的断层面有滑移的可能，采用定向钻井可能避免这一问题，如图 1-3 所示。

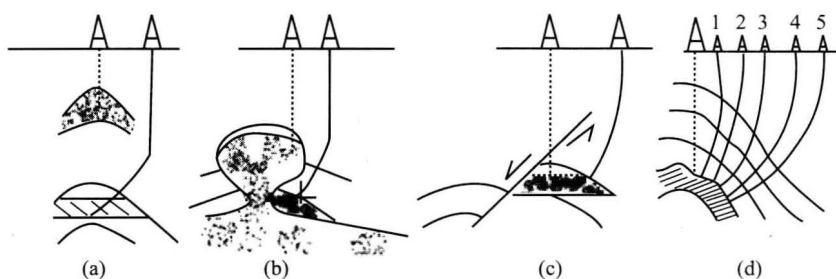


图 1-3 地下地质条件的要求示意图

(a) 复杂岩层；(b) 盐丘；(c) 断层；(d) 高陡构造

三、处理井下事故的特殊手段

在钻井时，井下落物可能卡在井底。这种情况可能是由于钻具发生断脱或者进行倒扣时，钻具下部掉入井内。如果井下落物不打捞出来，就不能继续钻进。在旋转钻井早期，就已经意识到在落物旁侧钻比报废井眼重新开钻要便宜得多。

在落鱼顶部打水泥塞，并候凝牢固。在此基础上造斜钻出新井眼。最先使用造斜器在落鱼周围造斜，但目前大多使用井下马达带弯接头造斜。使用随钻测斜技术或者导向工具，可以使弯接头按照要求的方向定向。随钻测斜和制导工具可连续监测井筒轨迹。一旦在落

鱼周围侧钻成功，井眼可继续向下延伸中靶，如图 1-4 (a) 所示。侧钻也可以用于重钻井和重新完成井。如果原井不能钻遇预定地层或者开发枯竭，原井筒可以回填，然后侧钻开发新层。如果在下入套管井段造斜，必须在套管上开窗侧钻。这种方法也可以用于探井，利用同一井眼侧钻不同层位。

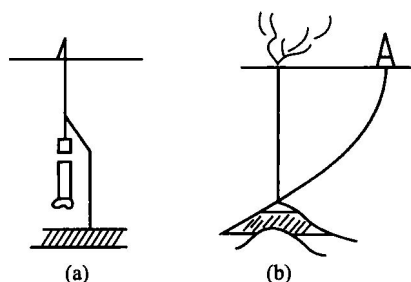


图 1-4 处理井下事故的特殊手段示意图

(a) 侧钻井；(b) 救援井

在发生井喷，不能进行压井的情况下，钻救险井可以对油气井进行安全控制。往往在地面钻一口救险井与事故井贯通，进行引流或压井，从而可处理井喷着火事故，如图 1-4 (b) 所示。

四、控制直井钻井

为了垂直地钻遇目的层，防止钻出租地边界或地质开发计划要求，为了更合理地开发油气田，要求所钻的井眼的油层所构成的地下井网尽量与布井情况相符，必须使用定向技术。稍微偏离设计井眼轨迹可以采取改变某些钻井参数或者改变下部钻具组合 (BHA) 来

纠正。偏离严重需要使用井下马达和弯接头来纠斜或者采用侧钻。定向井的斜井段也可能出现类似的问题。

五、海洋开发钻井要求

在过去 20 年间，定向钻井的主要应用之一是开发海上油藏。墨西哥湾、北海和其他地区海下蕴藏着大量的油气资源，建大量单独的钻井平台钻垂直井显然是费用高昂和行不通的。开发大油田的常规方法是在海床上安装钻井平台，在平台上钻定向井。精心设计井底位置以便达到最高的采收率。所有必需的采油设施都可集中安装在平台上，然后用管线和油罐把油输送出去。在北海恶劣的气候条件下，钻井和采油平台要高出海面 500ft，距最近陆地 100mile。从一些大的平台可以钻 50 多口定向井（图 1-5）。

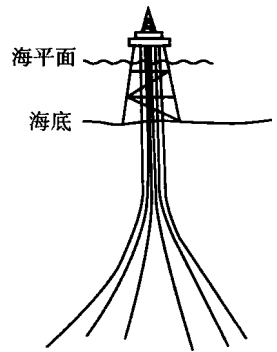


图 1-5 从固定平台上钻开发井

六、水平井钻井的要求

一般定向井井斜达 60° 左右。井斜度增加会出现许多钻井问题，会大大增加钻井成本。但是，大斜度井和水平井有许多优点，其中包括：

- (1) 增加平台的泄油面积；
- (2) 防止气锥和水锥问题发生；
- (3) 增加生产层的穿透厚度；
- (4) 提高采收率与技术效率；
- (5) 由于钻穿多条垂直裂缝提高了裂缝性油藏的生产能力。

钻水平井投资极高，只有油井生产能力增加才能证明经济上是合算的。在钻井前，必须估价潜在的经济效益和风险。水平井钻井和完井必须改变常规钻井方法及安装特殊的钻井设备（图 1-6）。水平井眼（短半径钻井）同样也能解决一定的地层问题（图 1-7）。

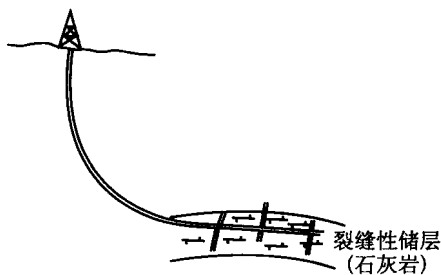


图 1-6 钻穿多条垂直裂缝示意图

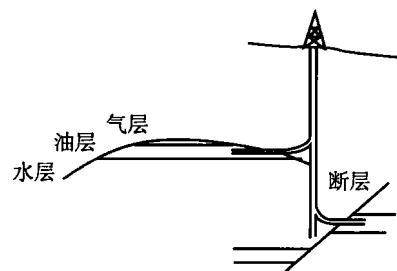


图 1-7 短半径钻井示意图

七、提高油藏采收率的需要

对于薄油层，定向井和水平井比直井的油层裸露面积要大得多。另外，侧钻井、多底井、分支井、大位移井、侧钻井、水平井、径向水平等定向井的新种类，显著地扩大了勘探效果，增加了原油产量，提高了油藏的采收率。

第三节 定向井的类型

定向井根据钻井的目的、钻井工艺技术及施工方法的不同，有多种分类标准。

一、按施工技术方法分类

1. 自然弯曲定向井

利用地层的自然造斜规律进行井眼轴线设计，在常规钻井施工过程中，只通过移动井位或改变井斜角、井斜方位角，必要时利用井斜控制理论辅以一般的增斜、降斜措施，即可按设计的井眼轴线钻达目的层的井，称为自然弯曲定向井，又称为初级定向井。

2. 人工弯曲定向井

采用造斜工具和技术措施克服地层自然造斜的影响，或者利用地层自然造斜规律与造斜工具相结合，使井眼轴线按设计的井眼轨道钻进、弯曲并钻达目的层的井，称为人工弯曲定向井，又称为受控定向井。

二、按设计井眼轴线形状分类

1. 二维平面定向井

井眼轴线形状只在某个铅垂平面上变化的定向井，称为二维平面定向井。二维平面定向井的井斜角是变化的，而井斜方位角是不变的，如图 1-8 (a) 所示。

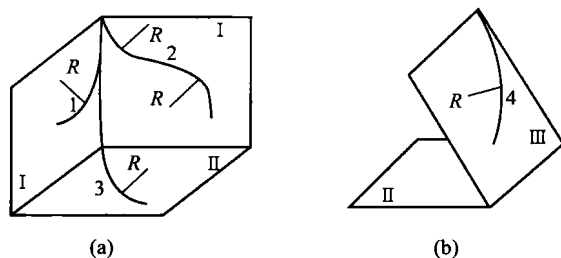


图 1-8 二维、三维定向井示意图

(a) 垂直平面和水平面内的井眼轨道；(b) 倾斜平面内的井眼轨道

I—垂直平面，II—水平面，III—倾斜平面；

1—井斜角改变，方位角不变；2—井斜角改变，方位角不变和反方向改变；

3—井斜角不变，方位角改变；4—井斜角、方位角同时改变

2. 三维定向井

设计井眼轴线可以在三维空间内，也可以在三维空间的某个倾斜平面上变化的定向井，称为三维定向井。三维定向井既有井斜角的变化，又有井斜方位角的变化，如图 1-8 (b) 所示。

二维和三维定向井按井眼轨迹形式的不同又可分为曲线型、直线与曲线的组合型等多种形式，如图 1-9 所示。

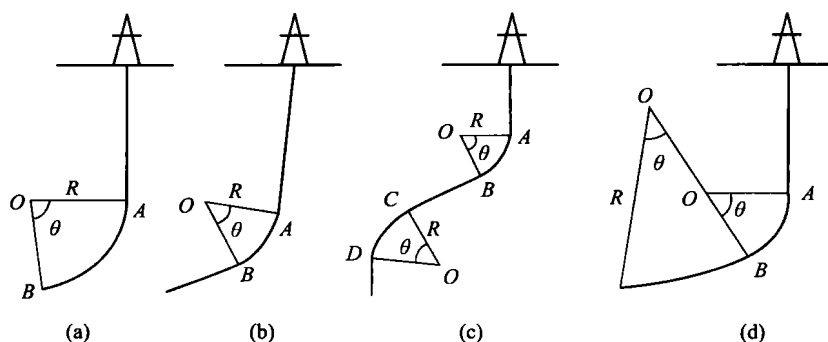


图 1-9 直线与曲线不同组合的井眼轴线示意图

(a) 垂直线—曲线型；(b) 斜直线—曲线—斜直线型；
(c) 垂直线—曲线—斜直线—曲线—垂直线型；(d) 垂直线—曲线—曲线型

三、按设计最大井斜角分类

1. 低斜度定向井

低斜度定向井设计井眼轨道中的最大井斜角不超过 15° ，此类井由于井斜角小，钻进时井斜方位不易控制，井眼轨迹控制难度较大。

2. 中斜度定向井

中斜度定向井设计井眼轨道中的最大井斜角在 $15^\circ \sim 45^\circ$ ，此类井在钻进时井斜角、井斜方位角较易控制，井眼轨迹控制难度相对较小，是目前应用最多的一种定向井，又称常规定向井。

3. 大斜度定向井

大斜度定向井设计井眼轨道中的最大井斜角在 $46^\circ \sim 85^\circ$ ，井的斜度大、水平位移大增加了井眼轨迹控制的难度和钻井成本。

4. 水平井

水平井设计井眼轨道中的最大井斜角在 $86^\circ \sim 120^\circ$ ，此类井在井斜角达到设计要求后，还要沿近似水平方向钻进一定长度，如图 1-10 所示。水平井钻进难度相对较大，多数需要特殊设备、钻具、工具、仪器以及特殊工艺。

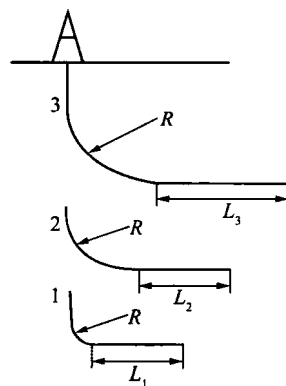


图 1-10 水平井示意图

1—短半径水平井，2—中曲率半径水平井，
3—长曲率半径水平井

四、按井底结构分类

1. 单底定向井

只有一个井底的定向井称为单底定向井。

2. 多底定向井（或井下分支定向井）

主干井（首先完成的井，又称主井）完成后，再从主干井内钻出其他分支井的定向井，称为多底定向井，又分为一级分支定向井和多级分支定向井。

1) 一级分支定向井

所有分支井均从主干井开始分支的井称为一级分支定向井。它又可分为：

(1) 平面型一级分支定向井，图 1-11 (a)、图 1-11 (b) 为单向（同向）羽状井，主干井倾斜或垂直开井，支井与其在同一方位；图 1-11 (c)、图 1-11 (d)、图 1-11 (e) 为双向羽状井，主干井垂直或倾斜，支井则与其方位相反。

(2) 空间型一级分支井，主干井垂直或倾斜，支井在主干井上按照设计顺序向几个方向弯曲钻达预定目标的井，又称空间型集束井，如图 1-11 (f) 所示。

2) 多级分支定向井

主干井上有分支井，分支井上再钻分支井的定向井称为多级分支定向井。主干井和分支井可在一个平面上，如图 1-11 (g) 所示，也可在不同平面上。

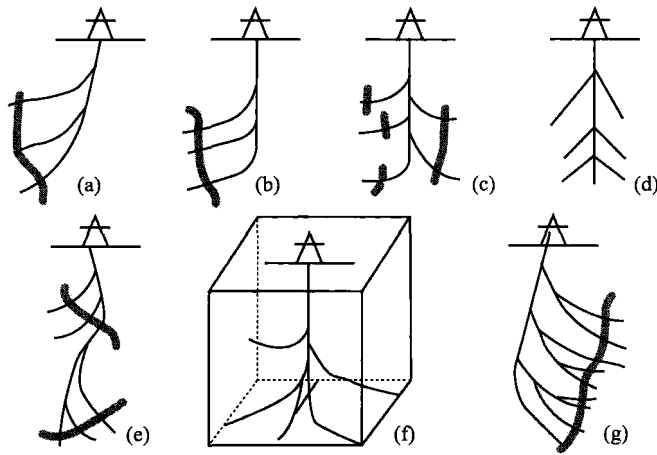


图 1-11 多底定向井结构分类示意图

- (a) 主井倾斜的单向羽状井；(b) 主井垂直的单向羽状井；(c) 主井垂直的双向羽状井；
(d) 主井垂直的双向羽状井；(e) 支井不对称的双向羽状井；(f) 空间型集束井；
(g) 多级分支定向井

五、按一个井场或一个钻井平台所钻井的数量分类

1. 单一定向井

在一个井位上只钻一个井眼的定向井称为单一定向井。

2. 双筒井

用一台钻机交叉作业，同时钻出井口相距很近的两口定向井称为双筒井。

3. 丛式井

凡在一个井场或一个平台上有计划地钻几口或几十口定向井，这些井统称为丛式井。

六、按钻井的目的分类

救援井、煤层气分支水平井、多目标井、修井、绕障井、连通井、多底井等。随着定向钻井技术的发展，定向井的种类还在不断增多。如：水平多底井、水平径向井、丛式水平井、连通井、大位移井和同层分支水平井等，使定向钻井技术得到了进一步的完善。

第四节 定向钻井技术发展应用分析

一、水平井钻井技术

水平井钻井技术综合了多种学科的一些先进技术成果，是近 20 年来发展最快、推广应用最广的一项重要的钻井技术。随着世界科学技术的进步，水平井钻井工艺技术和设备仪器也在不断改进，水平井设计的施工难度越来越大，轨迹控制的精度要求越来越高，水平段要求延伸的更长且在储层中的穿行率更高。该技术今后必将继续作为勘探开发的重点技术而得到进一步发展。

1. 水平井钻井技术现状

水平井钻井技术自 20 世纪 80 年代开始大规模的加速发展，主要分布于美国、加拿大、中国等近 70 个国家。由于水平井钻井技术近年来的快速发展，目前已变成一项成熟的常规钻井技术，在钻井总数中占有相当大的比例（图 1-12）。

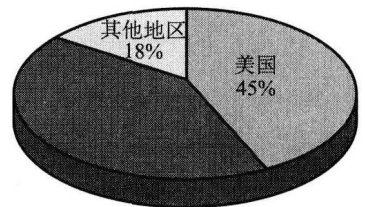


图 1-12 全世界水平井比例数

国外水平井技术指标：

(1) Maersk 油气公司在 Dan 油田钻的 MFF-19C 水平井测深达 9031.5m，水平段长 6020.7m；

(2) 1999 年 3 月，Maersk 油气公司在卡塔尔 AlShaheen 海上油田应用 Ensco-97 钻机和 Sperry-Sun 的定向钻井和可调稳定器钻成了 CA-14A 井，该井的水平段长达 6377.9m，测深 7785m，垂深仅 990m；

(3) 加拿大阿尔伯特一油田的 H1、H2、H3 丛式水平井平均井深 597m，平均垂深仅 162m，是世界上最浅的水平井；

(4) 丛式井口数最多的，海上平台为 96 口，人工岛为 170 口。

我国水平井的应用在逐年增加，中国石油天然气集团公司 2007 年前 8 个月已完成水平井施工 610 口，2008 年突破 700 口。

截至 2006 年底，中国石化累计完成水平井 840 口，先后将水平井技术应用到全国 21 个油田，并在全国 16 个油田推广了这项技术，使其产业化见到良好效果。中国石化历年完成的水平井数量如图 1-13 所示。

中国石化通过应用地质导向、超薄油层水平井技术等一系列新技术，已实现了由水平井单井设计到区块整体挖潜的突破，实现了薄油层水平井的技术突破。以 FEWD（随钻地层评价）为“核心”技术的超薄油藏水平井钻井配套技术，在开发超薄油藏水平井方面达到了国内领先水平，钻井成本由原来直井的 3 ~ 5 倍降为 1.2 ~ 2.0 倍，油气产量是直井的 3 ~ 9.3 倍，应用规模逐步扩大，为难动用储量的开发提供了重要保障。

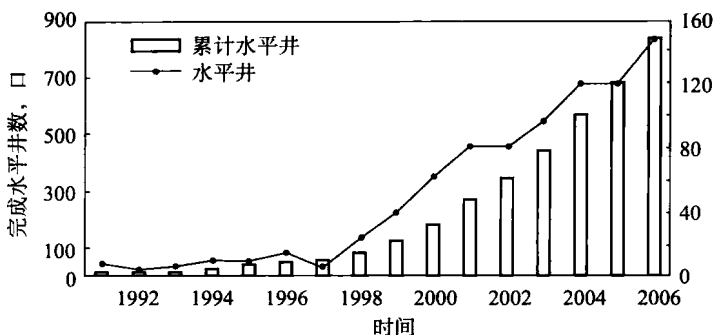


图 1-13 中国石化历年完成的水平井数

国内水平井技术指标：

(1) 最深的水平井：新疆塔里木油田的河东 1-2 井，完钻井深达到 6476m，水平段长 400m；

(2) 水平段最长的水平井：由中原油田 5012 队在卡塔尔施工的 DK586 井，水平段长 1632.51m；

(3) 最大的丛式井组：胜利油田的河 50 丛式井组，该井组的 42 口井中，有 41 口是定向斜井。

2. 水平井钻井技术发展趋势及重点

国外水平井钻井成本降低得益于信息化、智能化相关技术的发展和普遍应用，如：MWD（随钻测量）、LWD（随钻测井）、SWD（随钻地震）、DDS（钻井动态数据采集）、GST（地质导向技术）、FEWD（随钻地层评价）等随钻测量技术、井下动力钻具、旋转导向控制技术等，而国外水平井的高效益得益于其多学科的综合设计和施工。国外水平井钻井技术正在向集成系统发展，其应用正向综合应用方向发展，该技术已用于油田的整体开发。

通过我国水平井技术的长足发展，在今后几年内，FEWD、LWD 随钻地质测量评价技术将得到更广泛的应用，深层水平井钻井技术将得到新的发展，井间剩余油开发、开窗侧钻水平井将得到更普遍应用。

二、多分支井钻井技术

多分支井钻井技术是指在一口主井眼中钻出若干进入油气藏的多分支井眼，该技术的众多优势使其得到世界各国的高度重视，近年来快速发展，显示出良好的经济效益和应用前景。

1. 国外多分支井钻井技术现状

1997 年英国壳牌等公司在阿伯丁举行了多分支井技术进展论坛，并按照复杂性和功能性建立了 TAML 分级体系，将多分支井的完井方式分为 1 ~ 6 级和 6S 级共 7 个等级。世界上第一口 TAML 五级多分支井是壳牌公司 1998 年在巴西近海 Voador 油田从半潜钻井平台上钻的一口反向双分支注水井；同一年壳牌公司在加利福尼亚州一口陆上井成功地安装了一个六级完井的主一分井筒连接部件。据不完全统计，贝克休斯、哈里伯顿、斯派里森、威德福等公司现已研制成功了近 20 套多分支井系统，并钻井数千口。

截至 2006 年底，世界上已钻多分支井 8000 余口，其中，一级多分支井 5000 多口，二级多分支井 2000 多口，三级多分支井 616 口，四级多分支井 351 口，五级多分支井 104 口，六级多分支井 25 口（图 1-14）。

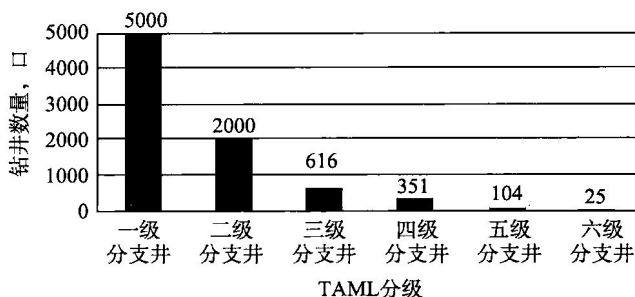


图 1-14 世界多分支井钻井数量统计

国外多分支井的技术指标：

(1) Baker Hughes 公司创出分支水平井水平段最长记录为：两多分支井水平段总长 4500m，三多分支井水平段总长 8319m。

(2) 美国德州 Galveston 油田所钻的 78 口井中共有 535 个主分支 (legs)，每口井约 6 ~ 8 个主分支，共约 30.5×10^4 m。主分支井中最多达 12 个侧分支 (lateral)，如图 1-15 所示。

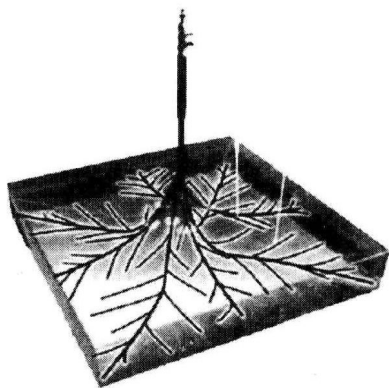


图 1-15 Galveston 油田的分支井

2. 国内多分支井钻井技术现状

通过几年的攻关研究并引进先进工具，国内多分支井钻井技术已趋成熟，目前完井水平达到 TAML 五级，

实现了多分支井固井、射孔完井。我国已完成了自行设计的鱼骨状多分支井钻井。2006 年 9 月至 2007 年 5 月，胜利油田先后完成了 5 口鱼骨状水平多分支井。

国内多分支井技术指标：

(1) 国内分支最多的多分支井为长庆安塞油田杏平 1 井的 7 分支水平井，是累计水平段最长的一口多分支井，主水平井完钻井深 2768m，主水平段长 1203m，水平段总长度 3503m，全井累计进尺 5068m，多分支井段油层钻遇率 87.7%；

(2) 国内完钻最深的分支井是塔河油田 TK908DH 四级多分支井，两分支完钻井深分别达到 5234.55m 和 5239.64m，两分支水平段分别为 449.84m 和 500m，创国内多分支井井深最深纪录和垂深最深 (4597m) 纪录。

3. 多分支井钻井技术新进展

1) 六级多分支井完井技术

六级多分支井技术是当今蓬勃发展的高新钻井技术。发展六级多分支井技术的目的是通过使用复杂的采油系统来降低总的油田开采成本，它主要用于开发稠油油藏、低渗透油藏、裂缝性油藏等，同时六级多分支井技术较其他级别的多分支井技术有其更大的技术优势。