

石油深井钻井

译文集

地质出版社

TB245

1

3

石油深井钻井译文集

孙锡令 杨长城 译

王子源 杜永发 校

6x27/113



地 质 出 版 社

B 169093

内 容 提 要

本书为《美国石油工程师学会》在七十年代召开的三次重要深井钻采技术讨论会的论文集的译文选集。原书为三本书，共收集深井钻采论文50篇，本书选译其中十二篇，内容包括深井钻井完井设计、钻井工艺、操作技术、设备、生产管理等方面以及典型深井、超深井实践经验总结。

本书取材较新颖，内容较全面。所论述的理论和实践，能反映七十年代后期美国深井、超深井钻井技术与生产水平。

适用于地质、石油部门从事钻井、试油、矿机等专业的科研、现场生产、管理及教学等方面的事业技术人员和工人。

石 油 深 井 钻 井 译 文 集

孙锡令 杨长城 译

王子源 杜永发 校

地质矿产部书刊编辑室编辑

责任编辑：徐一啸

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：787×1092¹/₁₆印张：7⁵/₈字数：177,000

1984年6月北京第一版·1984年6月北京第一次印刷

印数：1—1,910册 定价：1.50元

统一书号：15038·新1023

出版说明（译者的话）

美国石油工程师学会在七十年代先后召开三次重要的深井钻采技术讨论会，发表论文50篇。（论文）涉及的内容比较广泛，不仅包括深井钻井工艺、装置和深井钻井实践，还介绍了深井钻井的科学管理方法，值得借鉴。对从事石油钻采工程的技术人员和管理人员均有一定的参考价值。

为了力争全面反映美国深井钻井工艺技术水平和管理水平，我们从中选译了有关钻井、完井、泥浆、装备和管理等方面12篇较有代表性的论文。

本书前6篇由孙锡令翻译，后6篇由杨长城翻译；由王子源同志审校，杜永发同志参加了本书部分译文的审校及一些编辑加工工作。

由于译、校水平有限，难免存在错误和缺点，希望读者批评指正。

目 录

SPE 5170	深探井钻井技术与操作要点	J. R. 坎德勒 (大贝辛石油公司) (1)
SPE 5179	尤因塔盆地深井钻井和完井实践	B. J. 科林斯, J. A. 莱顿 (海湾石油公司) (12)
SPE 5182	世界最深井的泥浆概述	W. 麦克法兰德, R. 梅尔 (因科服务公司) (23)
SPE 6430	世界最深气井——詹姆斯一号井	J. W. 莱奥纳德 (谢夫隆公司) (31)
SPE 6435	空气钻井技术	L. W. 库珀, R. A. 霍克 (阿莫科采油公司); B. R. 佩内 (莫兰钻井公司) (39)
SPE 6438	超深井钻机——德尔塔76号钻机	J. C. 小麦克莱恩 (德尔塔钻井公司) (57)
SPE 7701	阿那达科高压深井完井设计与完井装置	H. E. 小林德塞 (MWL工具供应公司) (63)
SPE 7844	抑制性无墩土聚合物泥浆降低了钻井成本	D. G. 威利阿姆斯 (密执安、威斯康星管道公司); S. C. 琼斯 (艾姆科服务公司, 哈里波顿分公司) (72)
SPE 7854	钻井工业中的硫化氢	D. R. 卡特, N. J. 亚当斯 (学徒与资料企业公司) (76)
SPE 7841	1974—1978年美国深井钻井发展趋向	T. 道杰梯 (石油情报公司) (93)
SPE 7850	深井钻井中发生问题的原因以及可能的解决方案	T. B. 奥布林, OGB工程 (105)
SPE 7848	深井钻井事业的管理方法和工程准则	E. F. 克里门梯奇 (石油技术服务分公司) (112)

注: SPE 5170, 系美国石油工程师学会论文编号5170号。

SPE 5170 深探井钻井技术与操作要点

J.R.坎德勒(大贝辛石油公司)

一、前言

15000英尺(4572米)以下的深井钻井作业,继续引起了钻井界大多数人的注意。这份长篇的深井(超过15000英尺)文献,主要论述了获得全面成功的一个特殊方案。一个钻井队在大胆地试验这一最新的方案过程中,很少碰到日常操作和特殊的技术问题。自从钻井深度达到31441英尺(9583米)以来,深受石油工业界许多人士的称赞。他们以为钻达这样深度的主要技术和操作问题都已获得解决。但事实并非如此。作者认为,这篇论文具有广泛的基础和走向成功的意义。在设计和指挥24小时现场管理的可靠性两方面的水平,均可证明这一点。设计超过15000英尺的井中途夭折,达不到最终的井深和评价油气显示的目的,是很平常的。这篇论文的目的,就是介绍在深井钻井过程中,每天可能遇到的操作和技术方面的问题。这些问题具有普遍意义,而与施工地区无关。提出技术和操作上存在的缺点,并给与重点考虑,希望其他钻井队能减少他们的问题,也就是把将来的开支减到最低程度,多打深井,为能源短缺的国家提供更多的储量。

二、钻井计划与设计

(一) 数据资料的收集与研究

为使深探井钻井获得成功,实际的工作早在开钻前的几个月,就在钻井工程师的办公室里开始了。在这段时间里,套管串设计、套管鞋位置、预计的钻井问题及处理方案均已制定出来,这些工作将直接关系到整个设计的最终成败。如果以上的主要设计工作,是在下述的客观条件下完成的:(1)时间紧;(2)缺乏预付资金;(3)缺乏综合计划;(4)进行这项设计工作的工程师是附加有其他的工作的。那么,钻井计划的最终结果,将反映出这些不利的原始条件。但是,在为数不多的情况下,钻井工程师被委派去承担一项从预算中拟定出来的深井钻井计划,同时还是一项急速地设想出来的,未加研究也未具体化的计划。并要求具体设计外界对预算影响的计划。一开始就必须制定预算费用和预算有关的计划。通常,危害深探井计划的是那些影响设计和成本的预算,而不是后来可能出现的一些实际问题和确定良好程序的工程设计。目前的通货膨胀形势,有希望对那些坚持利用预算关系设计,而不重视实践的作法施加压力。在上述条件下开始着手制定的深探井钻井计划,成本异常高,而且又冒风险。

为使深探井计划落实,先授权给一名钻井工程师,令其大量地接触承包商、服务公司

万到五百万美元的深探井钻井总体安排（或一揽子计划）是荒谬的。但即使在保密的情况下，也没法去收集所有可以利用的资料和数据。因为这些资料数据对于这位工程师做出决定是必要的。“入出相等”，这个谚语也适用于一项计划的准备。虽然，在许多情况下，由于探区的争抢激烈，确实需要无条件地保密。然而，为了保护服务公司或承包商的机密，作者的看法是：许多钻井队在关于掌握资料的能力和秘密地探询方面，对服务公司等单位要求过高。而实际上发生的失密现象却是从一个钻井队到另一个钻井队，比在整个服务公司之间多。

从现存的公司记录和各管理机构搜集汇编一切可以利用的数据资料，是进行深井设计的第一步。此时，关于接触外部原始资料的权力，应由钻井工程师履行。不是一上手就对可利用的数据资料进行独立的研究，而是一开始只随便与外界的可能资料来源进行联系，这当然不利于尽快地搞出设计模式来。钻井工程师在开始与商业组织机构接触以前，要求对该地区有个基本的了解。一开始就要收集、划分并分析所有可利用的泥浆比重、钻井的问题和故障提示。在开始进行研究时，就将范围限制在周围的一个狭小的地区内是一个严重的失策。最好调查一下邻井资料。如果存在潜在故障或泥浆比重方面的问题，那么在整个构造上的所有井的资料都要调查，以便做出正确的决定和消除在邻井曾出现的一些异常情况。尽管上述工作是很费时间的，以及常常对于管理来讲也是无效的，但此项调查研究是绝对必要的，而且不应委任给一名技术员。实际上对新资料分析、推断、预测可能要发生的问题，要比原来的资料更加明确，对引起问题的真正原因能很好地了解。在许多情况下，对一个地区已经确认下来的问题可以通过改变钻井措施加以防止。认真的调查研究是不能取代的。对本地区的情况有了基本的了解以后，应接触外部的原始资料，以便充实原来的有限的资料，并核对一下最后的结果。

（二）套管尺寸（口径）的设计

基础套管程序的设计是深井钻井计划的第二步。套管的设计者往往忽视可能出现的现场操作问题和技术状况。这样，可能使设计出来的套管尺寸给施工造成一些限制。在生产中多半有这样一种倾向，设计套管程序时，只有套管尺寸和费用之差，而不看整个完井总项目的费用之差。由于现场操作水平之故，增大套管串尺寸，本来是合算的。但是用来证明这点的诸多因素，很难与节约的费用数挂上勾。尽管如此，这些因素是相当重要的，关系到设计的井能否钻成，并进行成功地测试评价。深探井钻井，由于好多事件是未经历过的，所以要求选择的路子是允许变化的。不必过份强调套管尺寸设计是关系到井的最终成败作用。例如，从强度观点看，用5½英寸套管完井，在结构上是最均衡的。5½英寸套管的工具选择也是最有利的。从钻井的观点看，假如完井的井眼尺寸设计为7⅞英寸到8½英寸或8¾英寸，统计结果表明，并能成功地打成，测试评价的可能性也一定增加。尽管作者没有统计的基本数据来证明上述论点，但是认为，通过获得成功的8½英寸井眼的对比研究，证明了前面的论点。

常常用来证明选用大套管是正确的理由如下：

1. 工具的刚性和坚固性。通过数字的直接比较，在20,000英尺(6096米)深处，4½英寸钻杆的传导能力(*telegraphic ability*)要比3½英寸钻杆的大得多。刚度是直径的四次方函数。4½英寸钻杆的刚度系数等于410, 3½英寸钻杆的刚度系数等于150, 它们的折算系数为2.73。如果是负责的, 并要对一~二百万美元投资做出最后决定, 特别是对于20,000英

尺深度来讲,就会将这个折算系数取为整数了。坚固性可通过钻头的重量加以比较,一只 $6\frac{1}{2}$ 英寸的钻头重35磅,而一只 $8\frac{1}{2}$ 英寸钻头重83磅。

2. 万一考虑打捞时的刚性和坚固性因素,则除了强拉的时间极短外,目前捞获落物的成功率也得到了改善。因此打捞作业也变得容易多了。

3. 刚度大时,井斜会减小。井眼比较直,弯曲应力小,压差卡钻的可能性小。与井眼的接触力小,因而增加了井眼的稳定性。这些因素都减少了打捞作业。

4. 如果经过尾管进行钻进,由于工具内径增大,从而改善了钻头处可能出现大肚子井眼的地方、尾管与上层套管的重叠处以及较大套管的上部的水力清洗状况。因此,卡钻的危险减少,若万一发生卡钻,由于能广泛地选择可通过油管的工具,使打捞作业简化。这些工具也很结实而可靠。

5. 由于较大的完井设备的耐久性、刚性和可靠性都增大了,所以完井作业也得到了加强。由于套管与井眼尺寸的比值增加,从而改善了固井的成功率,例如, $5\frac{1}{2}$ 英寸套管下入 $7\frac{7}{8}$ 英寸或 $8\frac{1}{2}$ 英寸井眼内,与 $4\frac{1}{2}$ 英寸或5英寸套管下入 $6\frac{1}{2}$ 英寸井眼里相比,前者的比值大于后者。

上述这些论点,虽然不能与成本的节约直接挂上钩,但必将指导套管的设计者,不要以不同套管尺寸的直接比较作为依据。

(三) 套管壁厚(即重量/英尺)的设计

和套管尺寸设计的情况一样,作者的意见是,对套管壁厚设计的影响,从操作上的考虑要比壁厚和费用的直接比较分析多的多。在这方面费用灵敏度的分析特别适用。例如,某一口普查探井的套管串,可能是一个N80/P110钢级的组合设计。通过费用灵敏度的分析,很可能会看出:全部采用P110钢级的管串,其费用仅增加2~5%。根据井的总成本来计算,这一增加仅相当于0.5~1.5%。如果预料会出现井斜问题,那么在井的成本中增加0.5~1.5%,很有可能达到总的设计井深,而且在套管里不会出现问题。因为P110套管串硬度大,如果套管极度磨损,可进行回接或下入技术套管。

着手选择壁厚和钢级时,在套管串设计最后确定下来以前,设计者应考虑以下几点:

1. 怎样准确地了解井底压力?套管费用增加5%,可能使套管串抗挤或抗内压强度增加15%。

2. 怎样准确地估计地层的顶界?如果预计的地层下移1000英尺,抗挤值是否满足?

3. 是否预计到井斜问题?如果井斜,以前选用较厚的或较高钢级的套管经验是否合适?

4. 套管串将可能有多少旋转小时的磨损?以前选用较厚的或较高钢级的钢管的经验还是否正确?

5. 是否存在磨蚀问题?如果存在则要改变钢级。

在成本灵敏度试验中,作者确认,具有不同壁厚和钢级的复合管串与同长度的单一钢级强度偏高的管串之间的费用之差为 $\pm 15\%$,其对应的安全系数从0.85增加到1.15。这就相当于井的总成本平均增加 $\pm 5\%$ 。上面的任何一个安全系数,都可以将开头的节约5%的费用抵销掉。最后,如果确定下来采用一个由不同壁厚和钢级组成的复合管串设计,那么按设计将套管下入井内统计一下其结果,可能会是什么样呢?一个套管测量公司告诉作者,在所有复合壁厚管串的井中,进行逐项检查,发现有80%的井会找出一或二根

套管是有问题的。这对于一口一百万到五百万美元的20,000英尺深井来说,是不幸的!这个统计结果,着重说明了在井场对全部管子进行检查是正确的,而不能只进行局部检查。

(四) 套管接箍

如同套管壁厚的分析一样,成本灵敏度的分析也要应用到接箍上。高级的本体接箍(即整体的)要比标准的每英寸8扣接箍大约贵6%。所有套管损坏事故,有86%发生在丝扣连接处。所以在深井中,在接箍上多花些钱,使井的总成本增加2%左右应该认可。问题在于,如果丝扣连接处的工作压力和强度都接近于管体时,那么这种具有高级的本体接箍的套管,可能发生的事故,从理论上讲下降86%。另外的调查发现,西得克萨斯有75%的超深井,由于上扣处泄漏,在一层或几层套管串上,出现了压力增加的现象。因此,在高压区推荐用具有金属对金属密封的套管。另外,API(美国石油学会)的调查表明,套管泄漏的70%发生在入井前的水压试验上,泄漏点在接箍铣磨端部,可能是由于铣磨时的跳动造成的。丝扣连接处泄漏的主要原因是,在现场上扣时,由于丝扣油裂解和丝扣油涂抹不均。

此外,API接箍除没有特殊的压力密封,而且还产生应力,从而导致连接性能很差,极易损坏。API标准的公扣与接箍上扣时,因公扣比接箍稍大,实际上是强行拧入接箍内的,公扣受压应力,母扣受拉应力。在许多情况下,特别是对于低级钢的套管,上扣时产生的圆周应力加上内压造成的圆周应力,足以使丝扣连接处产生屈服。对于API每英寸8圆扣的套管,标准的紧扣位置是手紧位置后再紧三圈。但是在现场,不能准确地控制动力大钳的上扣圈数,实际上,操作者都希望能在三圈的基础值上允许有 ± 1 圈的偏差(API-RP-5CI,允许 ± 2 圈)。假定接箍外径标准的5英寸—23.6磅/英尺(壁厚约8mm)每英寸8圆扣的API套管,计算按规定紧扣三圈所产生的圆周应力为:

(1) 计算的公扣圆周压应力为90,000磅/英寸²;

(2) 计算的接箍环箍应力为75000磅/英寸²。

若过度紧扣,上了四圈,产生的应力如下:

(1) 计算的公扣圆周压应力为120000磅/英寸²;

(2) 计算的接箍环箍应力为100,000磅/英寸²。

应指出的是,在后面这种情况下,就是P110钢级的接箍,其环箍应力也已超过了屈服点。这些环箍应力,还没有考虑由于内压引起的附加圆周应力。

作为一个比较,海德里尔(即Hydril公司)三级密封的丝扣连接所产生的应力如下:

(1) 计算的公扣圆周压应力为44000磅/英寸²;

(2) 计算的接箍环箍应力为34000磅/英寸²。

在API丝扣连接中,除了没有压力密封及产生极度的环箍应力以外,特别是对于厚壁套管,API接箍本身的强度低于管体。例如,9⁵/₈英寸套管的标准接箍重量是47磅,除非另有规定。9⁵/₈英寸—53.5磅/英尺(13.84毫米)的P110钢级套管,也装的是47磅的接箍;7英寸—35磅/英尺(12.65毫米)的P110钢级套管,装的是29磅的接箍。所有的套管事故,有86%发生在丝扣连接处,因此,在考虑深井的套管串设计时,一定要选择高级的丝扣连接形式。

总之,作者的看法是,操作因素尽管很难与实际成本参数联系起来,但在管串设计考虑因素中,必须给予相当的重视。套管的性能是在高温下,慢慢对平滑的试样加载而求得

的。实际的现场条件是重复的冲击载荷，温度已增高了，仍使用同样的性能数据。设计的安全系数在正常情况下是：抗内压1.1，抗外挤1.125*。对于丝扣扣根最薄处的抗拉安全系数为1.75。套管好象一口井的“脊椎骨”。作者的看法是，任何一口深探井节约费用的努力，优先考虑的必定是集中在好多难以确定的钻井成本上，因为钻井成本将占一口井总成本的70%左右。对于一口深探井，为了节约，套管设计系数采用标准的1.1、1.125和1.75。但是漏掉了实际操作因素的影响。

（五）计划准备

一口深探井在钻井计划准备过程中，初期出现的差错之一，是把套管鞋的位置规定的太具体。除了按管理部门所规定的各层套管鞋座落深度以外，各层技术套管的设计，要依据具体情况和预计的问题，而不是根据已确定的某一深度。套管程序应将迫使在某一井段下入技术套管的具体理由、问题及该井段情况加以叙述。如奥布林（T. B. O'Brin）指出的那样，“一口井总是能提供足够的、有关操作问题的资料”、“总会提供有资格的人员，去分析可利用的资料，做出决定，以便管理一口井的钻井施工。”

（六）钻井合同

钻井合同，不应该根据可利用设备的费用，进行严格地比较来签定。评价一个合同的最重要的方面，是要看执行该合同的人的能力怎样。奥布林还指出，“深井钻井成功的关键是人”。在评价一个合同时，人员因素至少占一个合同评价总分的51%。而且，一个很难评价的附加费用因素变成了主要的因素，关系到一口深探井能否成功地完成。当能提供合适的人员时，除了最低的开价以外，按每尺增加200美元/天的计日花费是最小的。钻机功率不足比人员差要好些，因为这是可以由有资格的、责任心强的人员（从钻工到井队长）来弥补的。钻井合同应要求从开钻到完井进行24小时监督。这种要求并不意味着降低人员身份，倒可以说是为了对人员缺点进行了解。一项耗资一百万到五百万美元的工程项目，要求某人在任何时候都能掌握所有的操作。处于紧张体力劳动的人们，有一种倾向，就是忽视或不注意观察显而易见的危害安全的事故和可能发生的井内问题。

三、实际钻井操作

（一）操作监督

钻机到井位时，操作者（井队）应与监督人——钻井工程师或地质人员和泥浆工程师密切合作。一口深探井能够成功地钻成和测试评价，是在井场实际配合的结果。最好能在井场估计出可能出现的问题，并拿出正确的解决办法。一名地质人员，在井场要及时提供所钻地层岩性。若有地面显示，也能及时提示。这样可以提高井的评价。此外，尽管在计划期有关人员很难办到，但还是不应该随意更换人员。除了真正需要的人员以外，一个也不能多，否则解聘。人员变动总要使施工的连续性和一致性受到损失。如果地质人员更换了，也会影响地层的对比和漏失。将人员从操作岗位上调开后，而油井总是提供有关操作的足够资料。不论是什么情况，对整个计划是不利的。操作状况的资料数据和在深探井钻井过程中出现的特殊情况，都是为获得有用的资料。最仔细地观察上部井眼的状况，看来

* 原文为1.25——译者注

是完全没有必要的。但实际上,对后来(下部井段)的关键监视,能够花钱不多地解决可能发生的其他方面的成本问题。主要是有的人尚不能与24小时的钻井作业紧密相联。

必须强调的是,需要有一名24小时都在井场值班的钻井工程师。如果井场配备有钻井工程师,就能凭借他的基础知识考虑、分析、计划、设计和熟悉整个计划,正确地找出存在的问题和对实施整个计划以可能的影响。而且,万一发现问题,由于他们以前经历过及有远见,能正确地处理,所以可使后来的计划设计,在经济上实现最优化。此外,由于在井场钻井工程师的介入,或者至少能有机会介入,使得管理和作业的气氛协调。他能够就问题解答“为什么”、“什么理由”和“怎样产生的”。设置这一人员的目的是履行基本的管理任务。为了发挥人们的最大效能,认为这是很必要的。此外,井场钻井工程师还有以下作用:

- (1) 把技术带到了现场;
- (2) 可以把问题看得远一些;
- (3) 起一个间接的管理作用;
- (4) 使服务公司为该井发挥出最大的效能。

服务公司需要的人员是高度专业化的,正如任何一项交易冒险一样,为他们各自的机构获得收入和利润。利润的刺激因素迫使这些服务公司与操作管理机构紧密联合。在任何一个竞争的团体组织中,人员素质、设备、效能都是有差异的。现场人员素质,设备和效能与公司自称的能力也有很大出入。因为钻井工程师是管理部门的一名助手。在服务公司的实际效能与作业管理的联系中,起到很重要的作用。如果人员、设备和效能低于标准,作业单位就向服务公司施加压力。

井场钻井工程师作为管理部门的一名助手,在服务公司的人员进行特殊作业的关键时刻(即将开始施工时),他有一个最后的机会,可对服务公司的人员提出要求与指导。许多服务公司的人员,知识面的专业化达到了如此地步,即对关系他们切身利益的一起事故或错误,可能导致一百万到五百万美元的一口井报废缺乏理解。

往往对现场进行24小时监督管理的建议感到惊讶。然而,今天工程的复杂性、费用的巨大,都迫使做如下的考虑。

1. 实际上,一口深探井是在一个尚未勘探过的新区,是在设备能力和技术知识都处于边缘状况下,连续不停地施工的。当在这样的新探区施工时,万一估计错误,保留的安全系数不多,不足以补偿,加强监督会使可能出现的错误减到最少。

2. 生产和技术的发展,导致人员更加专业化。经验和知识很广的人不多,因此要加强监督。

3. 利润压缩,致使服务公司管理部门的许多人员的价值明显地降低。为了自我预防,也要求24小时加强监督。

(二) 钻井作业(实施)

大贝辛石油公司(Great Basins Petroleum Co)特别信任在它的油田上工作的人们。甚至这些人可在该公司的井上就当前的和审议中的作业做最关键性的决定。但是,这种决定的活动余地要掌握到一定程度,即被大贝辛石油公司认为是“很好的油田作业”原则。当下列一些原则在加利福尼亚深井钻井中制定出来时,它们的应用范围就不限于大贝辛石油公司了。

1. $9\frac{3}{8}$ 英寸技术套管下入 12000 英尺 (3657.6 米) 左右, 套管鞋处的井斜没有超过 2° 。 $9\frac{3}{8}$ 英寸技术套管以下, $5^\circ-6^\circ$ 的井斜认为是可以的。上述的井斜规定, 在大贝辛—坦纳斜 (Tenneco) 31X—10 井 (21640 英尺~6595.9 米) 中没有发生任何问题。当然, 井斜有问题, 应该坚持努力, 遵守上述标准。

2. 钻铤、配合短节、扶正器, 每旋转 400~500 小时至少要进行一次“磁粉荧光”探伤。如果在首次检查探伤以后, 再探测出多于一或二个部位的毛病时, 遭到强力扭转或暂时被卡, 或需要扩孔时, 就要把探伤周期提前为 250 小时左右。

3. 当井眼尺寸为 $8\frac{1}{2}$ 英寸或更小时, 最多用 3 个立柱钻铤。采用过渡钻杆 (即厚壁钻杆) 来增加钻压。这样可以减少井眼抽汲、压差卡钻和钻具扭断事故。大贝辛石油公司认为这三条的好处, 在深探井作业中得到了充分地证明。三个立柱钻铤中的每一个立根, 上端都联接一个整体翼片式扶正器。不主张为了防斜, 将所有扶正器全部联接到最后下一个立柱钻铤上。大贝辛公司在 $8\frac{1}{2}$ 英寸井眼里, 用了多达 40 个单根的过渡钻杆。大贝辛公司的经验证实, 使用这样的钻具, 其下部结构毫无问题。

4. 和上述的过渡钻杆一起, 大贝辛公司还使用了上、下震击器。只要震击器能避免一次 12000~21000 英尺 (3657.6~6400.8 米) 的打捞作业, 大贝辛公司就认为, 至少震击器的本钱已捞回来。并可以继续用在 5~10 口井上使用。这个节约的数值, 尚未考虑很长时间的打捞时间及可能造成的 (不好测量的) 套管磨损。否则, 节约的值就更多了。

5. 围绕着采用“泥饼刮除器”和 10 个立根的“短程起下钻”工艺, 存在着许多争论。大贝辛公司认为, 在钻速为 ± 100 英尺/小时 (± 30.5 米/小时) 和具有异常孔隙压力井段, 使用“泥饼刮除器”是合理的, 可起到清洁和改善井眼的作用, 并将刚形成的泥饼中所嵌入的钻屑清除掉, 形成一个更加不渗透的, 更加薄的泥饼。泥饼刮除器可使钻屑重新分布, 将钻屑甩向井眼四周, 有利于钻屑的运移。在 12000 英尺 (3657.6 米) 以下的异常压力井段, 泥饼刮除器的作用是: (1) 远距离探测由于泥浆比重偏低引起页岩井段产生近似塑性向内流动的缩径或井塌; (2) 指导确定安全起下钻的井段间距 (或时间间隔)。

6. 特别在加利福尼亚钻深井时, 荐用一名 24 小时值班的泥浆工程师。在压力梯度不同的 5000~21640 英尺 (1524~6595.9 米) 井段, 由于异常压力引起的页岩坍塌和钻屑中页岩量很多, 要求泥浆比重高达 18.0 磅/加仑或 137 磅/英尺³ (2.20 克/厘米³)。页岩引起的粘度问题及有时临界泥浆比重变化范围仅为 0.1~0.2 磅/加仑或 2~4 磅/英尺³ (0.008~0.016 克/厘米³)。这就要求随时严密地监视泥浆性能。斯威科 (Sweco) 公司的固相分离器是一组改进的防砂装置。可以改善操作者维持泥浆性能的能力; 减少化学处理; 改善泥饼性能; 减少了泥浆泵、水龙头盘根、泥浆管线的维护保养, 增加了可靠性。水龙头和泥浆管线若在井深 20000 英尺处出问题, 可能导致恶性事故。

7. 15000 英尺 (4572 米) 以下, 只要有可能, 应考虑把起下钻安排在白天进行。统计资料表明, 所有井喷的 80% 都发生在起钻中, 而且大多数发生在早夜班。因此, 根据统计的事实, 人员在白天作业不仅仅操作机敏, 而且还能考虑到 15000 英尺以下使用的滑动轴承钻头。每趟起下钻期间, 十之八九要检查每个防喷器; 钻铤也要进行荧光磁粉探伤, 保径扩眼器和扶正器可能要更换。从上述这些要做的工作看, 在白天起钻是更加安全, 更加有效的, 所以应坚持这一点。

8. 在 12000~15000 英尺还应考虑放大钻头喷嘴尺寸, 钻头水力状况方面的不利影响

也可置之不顾,以防止因泥浆等效循环 (*equivalent circulation*) 而导致井漏,也避免伴随井漏而产生井涌(轻微井喷)的危险。从控制井涌的观点看,井队应该考虑限制水力喷射,将泵压控制在1000到1500磅/英寸² (70~105大气压)下钻进。泥浆泵在±30冲/分、泵压达到2300~2800磅/英寸² (161~196大气压)时,能可靠地进行工作吗?(意思是冲速太低,泵压过高不合理——译者注)。

(三) 固井

最复杂的方面之一,就是要解决深井固井问题。泥浆性能、水泥浆性能、井底温度和压力、排量及环空间隙的不断变化和相互影响,顶多使固井设计困难些。可是,下钻井尾管和生产尾管的效果却是不一致的。在设计一口深探井的固井工作时,要对受各种因素影响的流动,做如下几项试验。

1. 为了获得多次一致的结果,必须在井场附近找到质量稳定的水源。如果有稳定的水井供应,就应不考虑沟水或流动的水源。如果最后实际固井时的水源与水泥浆试验时所使用的不同,那么,水泥浆混合试验是不可靠的。

2. 在水泥浆混合凝固的同时,流动度的检查必须按预计的温度进行,这一预计温度变化幅度为20~25°F (-6.67~-3.88℃),试验时上、下限温度都要做。不能过分相信加了高温缓凝剂的水泥浆的流动度。如果井底温度比预计的温度低20°F (-5.67℃),那么,可泵送的时间就不是4小时,可能具有12小时的可泵送时间。在这12小时期间可能发生泄漏;水化水不足,重物可能沉淀和架桥;气侵也可能发生;由于存在窜槽,导致整个固井工作失败。固井成功与否,将取决于固井设计者对流动度随温度变化的试验的准确性。可通过温度、流动度这两个因素的优选,加以改善。

3. 在进行温度对流动度影响的试验时,还要试验对含有50%水泥的水泥浆,在套管鞋处停泵10分钟左右的情况。在这样的条件下,可泵送时间会下降50%。但在设计中,很少考虑这种情况。备用的水泥车组,直接连到管汇,时刻准备开泵,认为采用这种方法来对付可能的中途停泵是合理的。

4. 无论是水基泥浆还是油基泥浆,在高比重的情况下,水泥浆和泥浆之间的隔离液处是非常敏感的地方。如果不使用隔离液,可能造成接触区粘度很高,甚至出现憋泵情况。这500英尺(152米)高的隔离液的比重,必须严加控制,以防止气侵发生。

5. 水泥及化学添加剂的性能是不同的,而且他们的相互影响作用是很敏感的。水泥掺混有可能不充分,最后可能导致事故。因此,为了按设计要求的性能进行最后的检查,必须将水泥及添加剂运至井场后再掺合,并取最后一次水样。在配制水泥浆和泵送之前,对掺合的情况再进行一次最后的检查。

就水泥浆流动度、相互接触作用、顶替性能等逐方面的试验的重要性,即要向施工设计人员又要向固井公司的人员反复强调。但那是做不到的。作者认为,甚至大多数固井人员,包括固过深探井的人员,可能对由于深井固井失败而产生的主要影响(*domino abbeet*)及其经济损失缺乏理解。出现窜槽后,要求挤水泥作业,可能导致在井眼里丢下金属和橡胶一类的东西,阻碍了将来完井工具的下入。甚至使地层的评价都成了问题。由于挤水泥作业,留下了一个麻烦问题,即损害了油层,结果开采失败。

在12000英尺以下采用平衡法注水泥塞时,必须考虑替入一段重泥浆。其体积等于钻杆内容积的25%,比重要比循环泥浆高1.5磅/加仑或10磅/英尺³ (0.18克/厘米³)。这段重

泥浆也是最后替浆量的25%。可不考虑压缩系数,水泥浆被替出后是平衡的。但不能替多了,当将钻杆卡在转盘上时,由于钻杆内泥浆柱高于环空,完全不会产生水泥浆倒流。由于替到钻杆内一段等于最后替浆量25%的重泥浆,促进了封堵的成功,并且大大地简化了施工作业。

(四) 完井和评价

最后,如果对所有有显示的和感兴趣的地层不能做出明确的评价,对所有从事深探井钻井的操作者来讲是不幸的。在异常压力区,这种失败率特别高。这种异常压力在15000英尺以下通常会碰到。用了60天到6个月的完井和评价时间,结果剩下的未得到回答的问题,比得到回答的问题还多,这种情况并非罕见。由于没有获得明确的结果,就等于丢掉了1~5百万美元。在许多异常压力地区,特别是在加利福尼亚,进行深探井钻井时,大体上是这种情况。在加利福尼亚,通过测井解释和油气显示,确定感兴趣的地层是不成问题的。但是,要取得对这些地层的明确的评价是很难的。通常是由于产生了一些机械方面的问题,如下了套管的井,在频繁地起下钻或金属落物粘在套管壁上,在充分地洗井以前就完井了。管理部门从现实的结果、费用及整个计划报废中变得更加清醒。

今天,在加利福尼亚,油管或封隔器完井工具事故已不再是问题。完井工作本身的设计已简化,仅仅采用了固定式封隔器和密封组件。设计的简化具有如下优点:

- (1) 事故最少;
- (2) 桥塞作用最少;
- (3) 为射孔枪提供了最大的活动间隙;
- (4) 井内落物事故的可能性很小;
- (5) 万一出事故,最易打捞,成功率最大。

在任何异常高压地区的完井测试过程中,伴随着重晶石和水泥块,在油管和尾管中形成砂桥及地层破碎问题,必须加以考虑。洗井问题的严重程度是随着引起异常压力而变化的。如果异常压力是由于构造运动或储集层的倾斜造成的,那么发生地层破碎的严重程度,要比由于地层不能排出埋藏的水而造成的破碎少得多。在后一种情况,地层的固结是最低的,因此地层破碎现象最严重。作者认为,加利福尼亚的异常压力,就是不能(*inability*)排出埋藏水型的,似乎也存在某些构造作用的影响。在渗透率低的砂岩中含有粘土的地区,岩屑引起的问题也将增加。加利福尼亚的深部地层也具有这些特点。

如果原始岩石应力是按原始地质条件下考虑的,那么异常压力井在最后采油期间为什么洗井特别成问题,是可以理解的。

在加利福尼亚的克恩县,大贝辛公司的坦纳科31X—10号井(21640英尺),估计18600英尺(5669.3米)处的井底,地层孔隙压力为17450磅/英寸²(1221.5大气压)。当量泥浆比重为18.0磅/加仑或135磅/英尺³(2.16克/厘米³),相应的上覆岩层压力为20270磅/英寸²(1425.2大气压)。必然,在原始地质条件下,产生的基岩应力仅为2820磅/英寸²(198.3大气压)。计算表明地层在5270英尺(1606.3米)左右被封隔,接着继续沉积埋藏。另一种观点认为,5270英尺是正常压实,而胶结的岩石是处在18600英尺的环境下。

因为孔隙压力在采油期间要减小,所以上覆地层压力就传到了基岩体上。现有的资料表明,5270英尺的平均压缩强度,在加利福尼亚是7300磅/英寸²(512.3大气压)。因此,一旦孔隙压力下降到4480磅/英寸²(315大气压),作者认为,岩石破碎和崩散将开始同时发

生。渗透率最低的那些地层将发生横向崩散。地层破碎坍塌将一直进行，直到射孔孔眼处被地层掉块堆成了砂桥为止。

根据上述理由，要使深探井的评价工作最佳，归结如下几条：

(1) 用微电极，微侧向和邻近侧向测井方法，可估算感兴趣的地层和有显示的地层的渗透率。与深探井钻井有关的主要问题之一是寻找具有工业性渗透率的地层。油气显示实在是个平常的事。作者认为，随着计算机处理并解释测井结果的方法出现，降低了渗透率计算的重要性，而更强调饱和度。具有工业性价值的地层所要求的三项指标是：(1) 饱和度；(2) 孔隙度；(3) 渗透率。只有前两个指标，而没有第三个指标，是不能算满足工业价值的要求的。

(2) 经测井解释表明，在与该区类似井的平均渗透率比较，有些地层的渗透率要好些。仅仅对这些地层才可以在洗井液中进行不均衡地射孔。起初，对那些渗透率可疑的地层不应射开；如果可能，任何“灰色层组”（可疑层组——译者注）都一律不射开，直到测试结束为止。若需要时，可以进行选择性的补救射孔。不在低渗透地层和页岩射孔，这样可避免通常由于对这些非工业性的地层进行射孔而引起的地层坍塌崩散。

(3) 对感兴趣的或油气显示的层位，采用限制性射孔工艺；例如，在10英尺(3米)间隔内射3发，或在50英尺(15米)间隔内射10发。这种方法将射孔处形成砂桥所需要的崩塌岩屑，减少到了最低程度。

(4) 将一口井交付生产时，应考虑采用快速降液面法。尽管这种方法目前来讲还是一种理论，但是从原理上看，似乎是可取的。这一理论认为，当突然产生颗粒尺寸较大的大量崩散碎屑，发生桥堵现象时，目前应用的那种慢慢地降液面的方法，已经无济于事了。建议一开始就采用二倍于产生崩散碎屑的压力，在那样的深度内降液面；例如，在18600英尺处，岩石开始崩散破碎，发生在油、气层受压为4420磅/英寸² (310.8大气压)的情况下，那么快速降液面的方法，要求油、气层受压保持在8840磅/英寸² (621.5大气压)。

除了补充的完井和评价方法同时试验成功之外，大贝辛石油公司还将把上述的那些评价准则引入到将来的在加利福尼亚钻的深探井中去，并进行进一步验证。

四、提 要 和 结 论

成功地钻成一口深探井的综合要求如下：(1) 人员；(2) 采用的工艺技术要符合实际。要注意常常易被漏掉的成本因素；(3) 细微的现场操作作业；(4) 现场的管理监督。以上逐项互相配合才能成功。在上述的四项环节中，特别指出的是，若忽略了人的因素，将会导致钻井问题丛生，且费用很高。

为成功地钻成一口深探井，具体的结论和建议如下：

1. 计划设计和成本结算要在调查收集并核实资料与数据的基础上进行。不能以一个预先想好的预算费用，确定一口井的计划。

2. 设计套管程序时，无论是尺寸还是壁厚，都要以实际的、但常常被漏掉费用的这个因素 (*often cost-evasive factor*) 为基础。但又绝对不能以尺寸的直接费用或壁厚的直接费用为依据。

3. 除非另有资料指明，套管鞋的井深位置应按具体的问题和条件来设计，不能将套

管下一个预先已确定好的深度。

4. 要依据人员的能力来确定钻井合同的签定。不应一美元一美元的计算。

5. 应提供24小时的井场管理监督。由承包商监工员和“井队总监——钻井工程师”组成联合的监督,或由泥浆工程师和地质师组成。

6. 应考虑将钻铤立根数减到最少程度,代之以过渡钻杆。每旋转400~500小时,要对钻铤进行荧光磁粉探伤。是否提前,要视井眼缩径及使用上下震击器等复杂情况的严重程度来决定;放大钻头喷嘴尺寸,以便万一发生井漏可允许泵入稠泥浆堵漏。

7. 在设计深井技术套管或尾管固井施工时,要寻找一个稳定的水源以供混浆用。可以用当地的水井,必要时动用市政水源。测水泥浆流动度时,对设计温度的上下限(设计温度 $\pm 20-25^{\circ}\text{F}$)都要做试验。掺合好的水泥运到井场后,在配注水泥前,实际上还要做最后一次检验。准备用水泥车组接入管汇中,一旦工作车组出毛病,即可参加泵注。在用平衡法打水泥塞时,为防止倒流,替浆量的25%应是重泥浆,比循环系统的泥浆高1.5磅/加仑或10磅/英尺³(0.16克/厘米³)。

8. 在编制完井和评价计划时,特别是对于异常压力井段,要考虑到可能伴随重晶石和水泥块出现地层碎屑而引起的洗井问题。不能因采用计算机处理和解释测井资料而掩盖了渗透率的重要性。要用微电极、微测向和邻近侧向测井来估算渗透率。仅仅对那些感兴趣的或有油气显示的并具有较好渗透性的地层采用限制性射孔方法。如果岩石应力分析表明,有可能出现崩散和破碎现象,则将拖延洗井,并阻碍评价;在降液面时要考虑一种方法,凭此种方法能防止地层的破碎岩屑在射孔处形成桥堵,使测试评价的成本减到最低程度。

参 考 文 献

- [1] Drilco, Div. of Smith International, Inc.: *Drilco Drilling Assembly Handbook*, 1968.
- [2] Weiner, P. D. and Swell, F. D.: "New Technology for Improved Tubular Connection Performance," Paper SPE 1601 Presented at SPE-AIME 41st Annual Fall Meeting, Dallas, Tex., Oct. 2-5, 1966.
- [3] Odum, Melvin D.: "Deep Well Tubular Design Considerations," Paper SPE 3166 Presented at SPE-AIME Central Plains Regional Meeting, Amarillo, Tex., Nov. 15-17, 1970.
- [4] Macarthur, Melvin D.: Interoffice Memorandum, "Hoop Stress," Hydril Co., Los Angeles, Calif., Sept. 30, 1966.
- [5] O'Brien, T. B.: "What It Takes to Drill Ultra-Deep Wells Successfully," *World Oil* (Aug. 1, 1973).

SPE 5179 尤因塔盆地深井钻井和完井实践

B.J.科林斯, J.A.莱顿 (海湾石油公司)

一、前 言

尤因塔盆地位于美国犹他州的东北部。自从1970年5月,油田的谢尔-迈尔斯(Shell-Miles)一号井打成,此后的钻井活动发展到现在仍很活跃。这口井的油层,在12900英尺(3931.9米)左右,初期日喷产量为1100桶/天(174.9立方米/天)。接着打井210口,并进行了完井作业(见图2)。开动钻机25~40台。

主要产油层是瓦山兹(Wasatch)层。有一小部分油产自绿河层。产层走向在北东~西南方向上延伸,宽10~15英里(16.09~24.14公里)。该油田的原油日产量大约上升到62000桶/天(9857立方米/天),见图1。

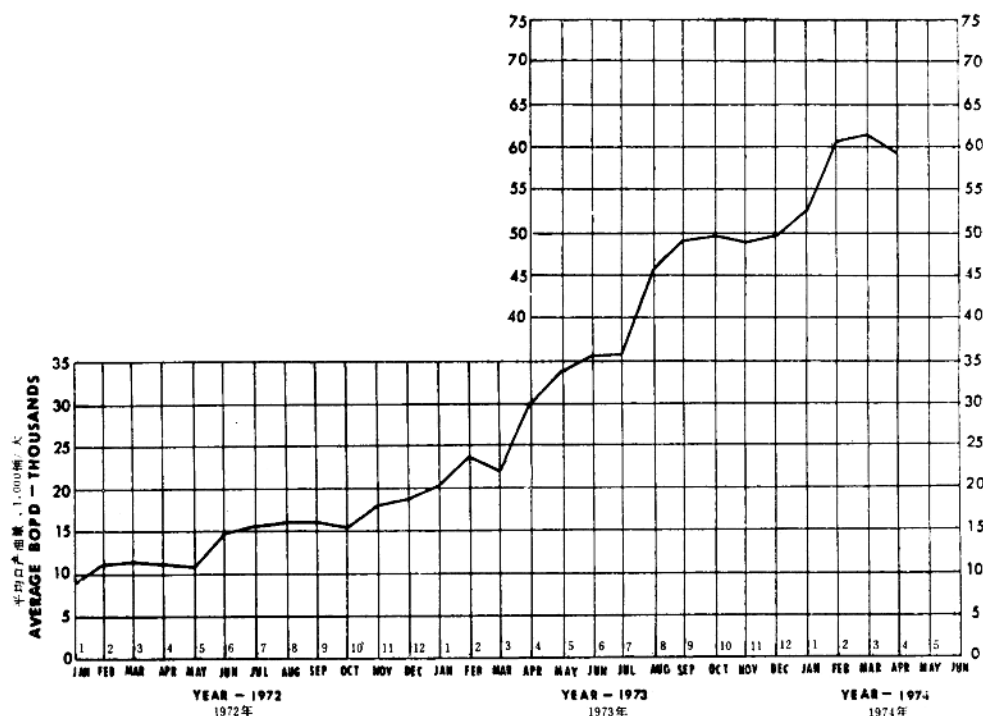


图 1 尤因塔盆地瓦山兹油层平均日产量, 桶