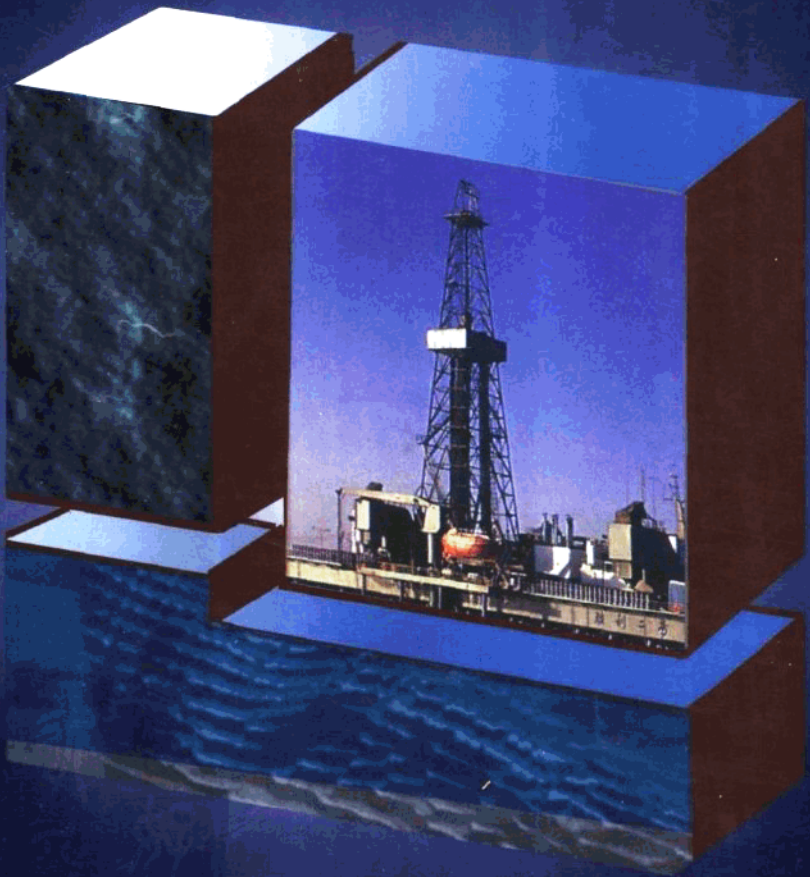


低渗透油田钻井、完井及测试技术

# 研讨会论文选集

中国石油学会石油工程学会钻井工作部 编



石油工业出版社

PETROLEUM INDUSTRY PRESS

# 低渗透油田钻井、完井及测试技术 研讨会论文选集

中国石油学会石油工程学会钻井工作部 编

石 油 工 业 出 版 社

## 内 容 提 要

本书系 1998 年 10 月由中国石油学会石油工程学会钻井工作部组织召开的“低渗透油田钻井、完井及测试技术研讨会”的优秀论文选集，反映了目前我国开发低渗透油藏的钻井技术水平。

本书可供从事石油钻井等有关专业的科技人员以及院校师生参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

低渗透油田钻井、完井及测试技术研讨会  
论文选集/中国石油学会石油工程学会钻井工作部编.  
北京:石油工业出版社,1999.11  
ISBN 7-5021-2818-2

I. 低…

II. 中…

III. ①低渗透油层-油气钻井-学术会议-文集

②低渗透油层-完井-学术会议-文集

③低渗透油层-油气钻井-生产测井-学术会议-文集

IV. TE2-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 63085 号

石油工业出版社出版  
(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)  
石油工业出版社印刷厂排版印刷  
新华书店北京发行所发行

\*

787×1092 毫米 16 开本 12.25 印张 314 千字 印 1—1000

1999 年 11 月北京第 1 版 1999 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2818-2/TE·2205

定价: 16.00 元

## 前 言

中国石油学会石油工程学会钻井工作部继 1996 年“水平井钻采技术研讨会”、1997 年“深探井钻井、试油及新颖装备技术交流会”之后，于 1998 年 10 月又组织召开了“低渗透油田钻井、完井及测试技术研讨会”。这次会议的主题是采用先进适用的钻井、完井技术，经济有效地开发低渗透油藏。目前低渗透油藏在石油资源量和探明储量中约占四分之一，现有 23 亿 t 的低渗透油藏探明储量尚未动用，因此，及早研究并形成开发低渗透油藏的先进适用配套技术，具有重要的意义。这次会议上，代表们主要介绍了以下几种适用于低渗透油藏的钻井配套技术：

- (1) 小井眼钻井、完井及配套技术。
- (2) 水平井和老井侧钻水平井钻井、完井技术。
- (3) 保护油层技术。
- (4) 深射孔和复合射孔技术。

来自石油系统科研院、所、校的 16 个单位 62 位代表参加了会议。会议入选论文 41 篇，会上宣读了 34 篇，其中有 25 篇被评为优秀论文。为使这些技术成果广泛地交流和推广，石油工程学会钻井工作部决定将会议评选出的优秀论文汇集成册正式出版。这些论文凝聚着作者的辛勤劳动，反映了开发低渗透油藏的钻井技术水平。希望本论文选集能对石油钻井科技人员以及大专院校师生有所帮助。

中国石油学会石油工程学会钻井工作部  
1999 年 3 月

## 采用先进适用的钻井、完井技术 经济地开发低渗透油藏（代序）

国内对低渗透油藏的划分界限已取得共识，凡渗透率低于  $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的油藏，通称为低渗透油藏。如进一步细分，则渗透率为  $50 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的称低渗透， $10 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的称特低渗透， $1 \times 10^{-3} \sim 0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的称超低渗透。国外低渗透油藏的界限一般为  $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

根据全国第二次油气资源评价，石油的总资源量是 940 亿 t，其中低渗透油资源量为 210.7 亿 t，占 22.4%。据 1996 年年底的统计，石油总探明储量是 173 亿 t，其中低渗透油探明储量为 46.6 亿 t，占 26.9%；在已探明的低渗透油的储量中，已动用 23.6 亿 t，未动用的有 23.0 亿 t。随着勘探工作的深入，低渗透油藏探明储量还会不断增加。这种情况给我们提出了三个需要重视的问题：

(1) 低渗透油藏的资源量和探明储量均约占石油总量的四分之一，这是一个不容忽视的客观事实，因此我国石油工业要持续发展，就必须十分重视低渗透油藏的勘探开发工作。

(2) 低渗透油藏的油井产量都很低，而油气价格在今后一段时间内仍会处于低价位，从作业上能否做到低成本，是决定能否开发这类油藏的关键。要降低作业成本，在“吨油成本”上有利可图，唯一的出路就是不断开发高新技术，向高新技术要效益。

(3) 从长远的战略角度来看，为经济地开发低渗透油藏而及早研究并形成开发这类油藏的先进适用配套技术，是十分必要的。

国内已经动用了 23 亿多 t 的低渗透石油储量，开发了几十个这样的油田，但大量的井用的是常规的钻井完井技术，这对降低钻井成本和“吨油成本”效果还不理想。近十几年来，我们陆续开发了 4 项适用于低渗透油藏的钻井完井技术，取得了成功的经验，但也发现了其不足和局限之处。这 4 项技术是：

### 1. 小井眼钻井完井技术

近几年，大庆、吉林等油田钻成了一批 6" 井眼下 4"~4½" 套管完井为主的小井眼井，统计结果是，小井眼井的钻井费用较常规井降低了 15% 左右，取得了一定的效果。但这个效果与国外报导的降低 25% 相比，还有较大差距。究其原因，我们降低 15% 费用的效果主要来自套管、水泥、钻井液等材料节省的途径，而我们使用的钻机绝大部分是“大马拉小车”，没有专门的适合小井眼钻井的钻机，因此，在钻前工程和钻机日费上，费用几乎没有降低；还有一个问题是小井眼井的推广面不大，影响规模效益。开发、采油、修井与钻井多专业的协调配合及同步发展上做得不够，制约了这项技术的大面积推广应用。从总体上评价小井眼钻井完井技术，它可以降低钻井采油费用，但不能提高单井产量。

### 2. 水平井和老井侧钻水平井钻井完井技术

这项技术由于可以横穿储层几百米到 1~2km，较之常规井可扩大泄油面积几十倍到上百倍，故具有“少井高产”的突出优点。实践已经证明，水平井的产量一般为常规井的 3~5 倍，低渗透储层也是这样。但是，这项技术只能是 1 井 1 层（台肩式的水平段可穿断块油藏或穿两层，但其效果还是 1 井 1 层），对多油层只能穿其主力层，如对多油层每层钻 1 口水平井，则显然开发费用要增加，故这项技术对多油层开发就有其局限性。

### 3. 保护油层技术

目前国内保护油层技术的研究,经过十几年的努力,已取得了很明显的效果。对低渗透油层研究的结果表明,主要为水敏损害,特低渗透层主要为水锁损害。不同地区油藏敏感性损害情况有所不同,大量的开发实践告诉我们,对  $50 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  的低渗透油藏,需要采取保护措施,对特低和超低渗透率油藏大都是在压裂后投产,是否需要投入大量费用进行保护,需要进行理论研究和经济评价,根据研究分析的结果,决定应采取的技术。

### 4. 深射孔和复合射孔技术

目前国内的射孔深度(地面砂岩靶)最大可达到1m,这对于穿透侵入带沟通油流通道(包括低渗透层在内)和提高油井产量十分有利。近三年来,大庆、辽河油田相继试验成功了复合射孔技术,该技术的实质是将射孔完井和高能气体压裂两项技术合二为一,利用炸药和火药的燃速差来实现先射孔后压裂,一次点火,在瞬间完成两次工作,根据300多口井中的实践,证明该项技术经济实用,效果明显。

开发低渗透油藏的各项技术都应满足一个总的要求,即是否有利于降低“吨油成本”。目前某些低渗透油田的“吨油成本”已经接近或超过市场油价,已谈不上什么经济效益,显然我们还需要进一步有针对性的改进技术。

几点认识和建议:

(1) 在市场经济条件下,一项技术是否能在生产中得到推广应用,决定于其是否能产生经济效益。在当前油气价格低迷的情况下,要强化“吨油成本”的观念。低渗透层油井的产量很低,更有必要从高新技术上挖潜力找出路,努力降低“吨油成本”,提高经济效益。

(2) 总结以往开发低渗透油藏的钻井完井实践,可以认为,小井眼井、水平井或老井侧钻水平井、保护油层和深射孔或复合射孔等四项为主的钻井完井配套技术,是当前开发低渗透油藏先进适用的钻井技术。但应该强调,小井眼井、水平井等技术还必须创造条件加以推广,取得规模效益,并在推广中针对其存在的问题,不断加以完善与提高。

(3) 90年代在国外兴起的多分枝水平井技术,能进一步减少开发井数量,大幅度提高单井产量,有利于减少环境污染,更好地发挥水平井少井高产的优点,可使采用水平井技术开发仍处于经济边缘的油田,具有经济效益。有希望成为开发低渗透油藏,降低“吨油成本”的最佳技术途径,建议组织论证及立项攻关(详见“多分枝水平井是开发低渗透油气藏的先进适用技术”一文)。

(4) 另外,在常规的钻井、完井技术方面,可以根据油藏和地层的特点,积极研究适用有效的新技术,促使经济效益的提高。如高稳定微粒气泡低密度钻井液、欠平衡钻井、干式压裂技术(即用液态  $\text{CO}_2$  作携砂液的压裂技术)等。

(5) 无论是完善、优化组合过去成功的技术,还是多分枝水平井的开发研究,都必须切实做到开发地质、钻井完井、采油修井三方面的统一认识,合作协调,相互支持。要解放思想,大胆改革某些传统的工作方式,简化一些耗资大而不必要的工序和要求,树立以效益为中心的指导思想,以适应集团公司职能转变和油气价格低迷的现实。

王关清 陈元顿 周煜辉

1998年11月

## 目 录

- 多分枝水平井是开发低渗透油气藏的先适用技术 ..... 周煜辉 葛云华 (1)
- 吉林油田低渗透油藏小井眼丛式井钻井技术 ..... 崔月明 汪海阁等 (9)
- 大庆外围低渗透油田压裂技术的应用 ..... 张安富 侯德林等 (15)
- 欠平衡钻井工艺技术研究与应用 ..... 程晓年 罗维 (22)
- 小井眼固井工艺技术研究与应用 ..... 严世才 刘赫志 王显诚 (29)
- 小井眼直井钻具性能评估与动强度计算 ..... 孙超 刘巨保等 (40)
- 小井眼固井综述 ..... 黄柏宗 吕光明 刘平 (46)
- 小井眼钻井可大幅度降低低渗透油藏开发成本 ..... 王力 张凤民等 (56)
- 小井眼水力加压钻具的研究及应用 ..... 翟洪军 李玉海等 (63)
- 小井眼固井顶替效率研究 ..... 万发明 吴广兴等 (68)
- 吐哈油田低压、低渗透地层固井技术的研究与应用 ..... 杨昌龙 陶世平等 (75)
- 新疆油田低渗透储层试油技术 ..... 朱东明 魏少波 王六荣 (83)
- 水平井水平段长度优化设计方法研究 ..... 胡月亭 周煜辉 苏义脑 (90)
- 低渗透油气藏保护油气层钻井工艺技术研究 ..... 汪海阁 周煜辉 (98)
- 管外封隔器在高压、低渗透油藏完井中的应用 ..... 张明昌 张宏军 (102)
- 射孔—高能气体压裂复合工艺技术 ..... 郭伟 (106)
- 国内外低渗透、特低渗透油气层保护技术 ..... 樊世忠 (112)
- 低渗透砂岩油藏储层损害预测与诊断技术研究及应用 ..... 刘红 刘柏林 常鸣 (116)
- SP-1 井储层保护的实践与认识 ..... 李德江 李荣顺 (123)
- 渤南油田入井流体对地层的损害因素探讨 ..... 任占春 董学让 (129)
- 吐哈油田低渗透裂缝油田钻井过程中的储层保护 ..... 马德禄 (136)
- 低渗透、特低渗透储层的潜在损害问题及对策 ..... 杨贤友 (144)
- 新庙地区低渗透油田钻井液、完井液技术 ..... 周保中 张凤民等 (150)
- 江苏油田低压、低渗透油藏钻井液、完井液技术 ..... 薛芸 (157)
- 低压、低渗透油藏(包一块)钻井液、完井液油层保护技术 .....  
..... 张来昌 柳颖 廖润康 (162)
- 低产非自喷井地层测试流动曲线解释方法 ..... 王俊魁 刘国志 王书礼 (169)
- 大庆油田特低渗透砂岩储层钻井液损害与保护 ..... 宋瑞宏 宋广顺等 (176)
- 钻柱应力波频谱分析技术的应用 ..... 刘志国 郭学增 (182)

# 多分枝水平井是开发低渗透油气藏的先进适用技术

周煜辉 葛云华

**摘要** 本文根据低渗透油气藏的特点,说明了利用多分枝水平井开发低渗透油气藏的技术与经济的可行性,指出多分枝水平井技术是开发低渗透油气藏的经济有效手段。多分枝水平井钻井的两个关键技术是轨道的整体设计和完井方法。本文详细介绍了国外在这两个问题上的最新进展。最后,还对我国如何开发多分枝水平井技术提出了建议。

## 一、前言

在石油的资源量和探明储量中低渗透油气藏均约占四分之一,现有 23 亿 t 的低渗透油气藏探明储量尚未动用,因此如何开发好低渗透油气藏并使之具有经济效益,就成为影响陆上石油工业持续发展的重要问题。90 年代兴起的多分枝水平井可以进一步发挥水平井少井高产的突出优点,有希望成为解决开发低渗透油气藏具有经济效益问题的最佳技术途径。

## 二、减低投资、提高采收率是多分枝井技术的发展动力

多分枝井是一口从主井筒钻出,且回接到主井筒内的一个以上水平或斜分枝井筒的井。多分枝井可以是新井,也可利用老井侧钻形成,多分枝水平井克服了现有水平井“一井一层”的局限,故适用范围较广。

多分枝井是在常规定向井基础上发展起来的,早在 50 年代就已经出现,多分枝水平井(Multilateral Well)是多分枝井(Multibranch Well)中的一种类型,其分枝井筒全部是水平井,由于 80 年代水平井技术才成熟,所以它到 90 年代才发展起来。多分枝水平井技术的发展还有其经济背景,即油气价格长期保持较低水平,迫使各油公司多方寻找能降低“吨油成本”的新技术。研究认为:水平井能使一个用直井开发不具有经济效益的油田具有开发的可能,而多分枝水平井则有可能使即使用水平井开发也仍处于经济边缘的油田开发具有经济效益。其理由是多分枝水平井可以:

- (1) 进一步增加油藏的泄流面积,提高原油采收率;
- (2) 进一步减少开发井数量;
- (3) 相应减少开发井钻井进尺;
- (4) 大幅度提高单井产量;
- (5) 有利于减少环境污染和环境压力。

所以多分枝水平井是作为一个能降低“吨油成本”的创新技术来进行研究与开发的。

关于多分枝水平井是否确实能降低“吨油成本”的问题,在多分枝水平井已经钻得较多的地区,可得到如下“吨油成本”的初步统计:

- (1) 在美国 Austin Chalk 地区,直井:水平井:多分枝水平井=1:0.48:0.39。



(2) 在欧洲北海地区, 直井:水平井:多分枝水平井 = 1:0.77:0.56。

北海地区的比值较 Austin Chalk 的稍高, 其原因是后者的多分枝水平井绝大部分采用裸眼完井方式, 而前者根据储层性质采用复杂的下套管固井完井方式, 且这种完井方式正处于工业性试验阶段, 对发现的问题需及时研究改进, 相应增加了费用, 待技术成熟后, 其比值还要降低一些。由这些初步工业应用的结果, 有理由认为: 多分枝水平井有希望成为解决低渗透油气田开发具有经济效益问题的最佳技术途径。

### 三、多分枝井水平井井眼轨道的几何形状及其适应性

#### 1. 多分枝水平井的整体几何形状分类及命名方法

多分枝水平井的整体几何形状可划分为三类: 平面型 (指在水平面上)、层叠型 (指在垂直平面上) 和层叠平面型。对于复杂的构型可给一个形象名词加以描述, 如“鱼脊型” (鲑鱼骨状形)、“星型”、“Y 字型”、“鸡爪型”、“鱼尾纹型”等。其命名方法是: 井眼几何形态加分枝井筒数量。如层叠式三筒分枝水平井、平面式反向双筒分枝水平井等。

多分枝水平井采用哪一种整体几何形状, 取决于以下三个方面的限制和要求, 即油藏地质构造形态的复杂性、钻井技术上的风险性以及采油修井工艺方面的要求程度。假设没有重大的钻井限制和风险, 分枝井的几何形状可以复杂些, 以尽量满足注采开发方案的要求。如果风险较大, 则宜于采用简单的几何形状。

#### 2. 多分枝井的应用场合

图 1 至图 3 是平面型井眼轨道, 这种几何形状适用于开发低渗透油层、薄油层、裂缝性油层、注水后的“死油区”以及岩性封闭等油藏。其优点是能大幅度增加泄油面积、沟通裂缝、钻达不均质油层中的富集区, 以及连接几个游离的死油区或岩性封闭油藏, 从而能大幅度地提高多分枝井的单井产量和油田采收率。这种几何形状的优点是实现了“一层多井”。

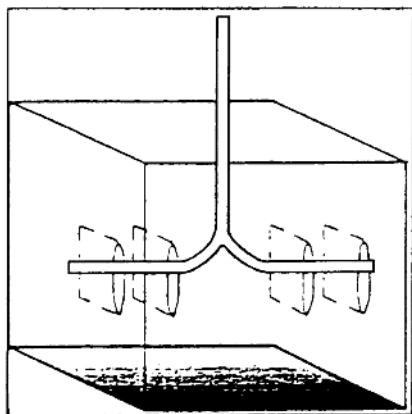


图 1 平面型反向式  
双筒分枝井在天然裂缝油藏中的应用

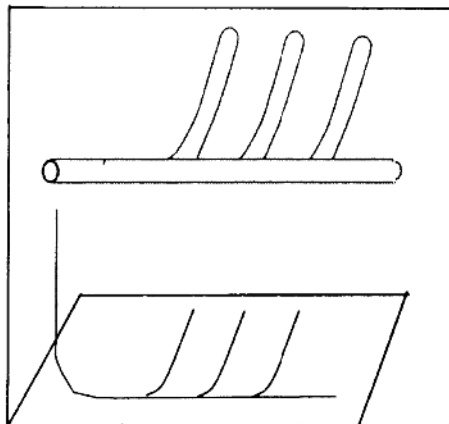


图 2 平面型 (梳子型) 四筒  
多分枝水平井几何形态

图 4 至图 6 是层叠型井眼轨道形状。这种几何形状适用于开发多油层油藏、巨厚油层、被断层错开的油层、被泥质薄层遮挡的油藏以及重油油藏等。在重油油藏的一口井中, 同时

既可注蒸汽又可采油，从而较大幅度地提高一口开发井的使用效率。但是，如果几个油层的压力差别较大需要进行分采，则对完井系统要求较高，完井费用会有所提高。这种轨道的优点是实现了“一井多层”。

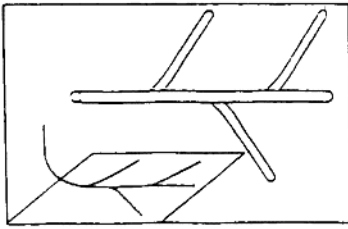


图3 平面型反向式四筒  
(或鱼脊) 分枝井几何形状

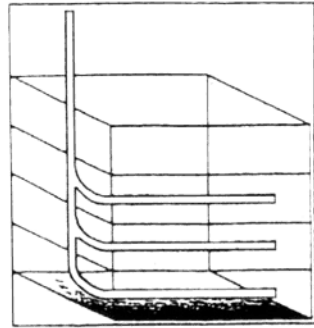


图4 层叠型三筒分枝井  
在层状油藏中的应用

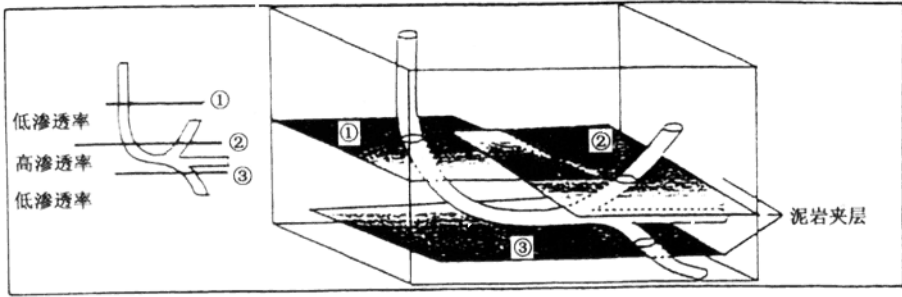


图5 层叠型三筒多分枝井用于钻穿泥岩夹层示意图

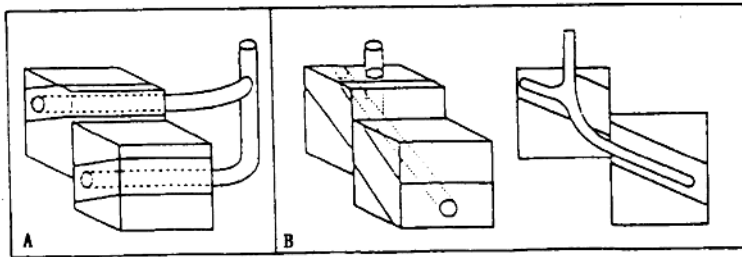


图6 层叠型同向或反向双筒分枝井在封闭断块油藏中的应用

图7是层叠平面型井眼轨道。它是前面两种几何形状的叠加。故这种多分枝水平井在理论上兼有前两种的优点，但因为它对完井系统的要求极高，目前工艺上尚未过关，故现在仅用于裸眼完成的超短半径径向多分枝水平井中。

## 四、多分枝水平井完井工艺技术的发展

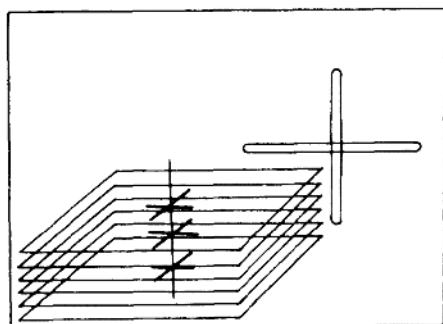


图7 平面层叠式径向多分枝井几何形态

多分枝井早在 50 年代就已经出现，但以后在生产中没有得到广泛的应用，究其主要原因是完井技术没有过关。采用裸眼完井只适用于碳酸盐岩、火成岩等稳定的裂缝性储层，对绝大部分砂岩及破碎性碳酸盐岩储层并不适用，要开发多分枝水平井技术必须要解决这个问题。从 90 年代初开始集中力量解决多分枝水平井的完井系统问题，主要的努力集中在解决完井系统中的“三性”：

(1) 连接性 (Connectivity)，即各分枝井筒的完井管柱都要和主井筒的套管相连接，其连接处要具有机械上的整体性，以解决井壁稳定和储层出砂问题。

(2) 分隔性 (Isolation)，即具有把各分枝井筒的不同压力的油气流分隔开来的能力，以解决分采问题。

(3) 贯通性 (Accessibility)，即各分枝井筒都要和主井筒贯通，可以从主井筒向任一分支井筒重入，以满足采油和修井作业的要求。

到目前为止，已开发出近 20 种多分枝水平井的完井系统，按照其满足“三性”的不同程度，其结构相应由简单变到复杂，国外把完井系统分为 7 级：

第 1 级：主井筒和分枝井筒全部裸眼完井 (图 8)。这一级完全不能满足“三性”的要求，但在早期完成的多分枝水平井中基本上都采用这种完井方式。

第 2 级：和第 1 级的区别是在主井筒中下入 2 个封隔器和滑阀 (Sliding Sleeve) (图 9)。这种完井方式初步具有分隔的作用，但没有连接和贯通的功能。

第 3 级：和第 2 级的区别是增加了在分枝井筒中甩入带封隔器的筛管或割缝尾管 (图 10)。由于 3 点封隔较第 2 级增强了分隔性和连接性，但仍不能贯通。

第 4 级：和第 3 级的区别是各分枝井筒的筛管可以回接到主井筒 (图 11)。较第 3 级在

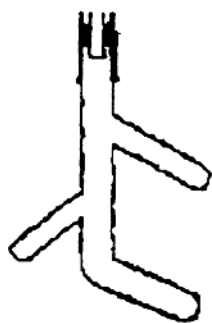


图8 主井筒和分枝井筒全部裸眼完井的 1 级完井方式

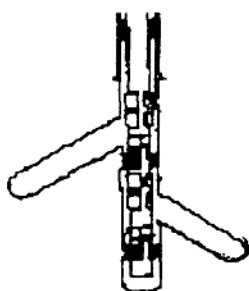


图9 主井筒中下入两个封隔器和滑阀的 2 级完井方式

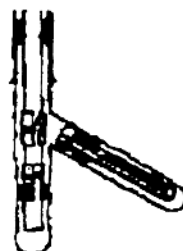


图10 第 3 级完井方式

连接性上增强，并且最上部的分枝井筒可以重入。

第5级：和第4级的区别是各分枝井筒的筛管分别用封隔器挂在主井筒。并且在两个封隔器间装有分流器（Diverter），在主井筒中用油管把各部件串接起来（图12）。较第4级增强了连接性和分隔性，初步具有了选择性重入的功能。

第6级：主井筒下套管固井完成，最下部（第1个）分枝井筒挂筛管完成，其余分枝井筒在开窗后甩入筛管（图13）。这种完井系统既可用于新井也可用于老井，较前5种系统大幅度减少了

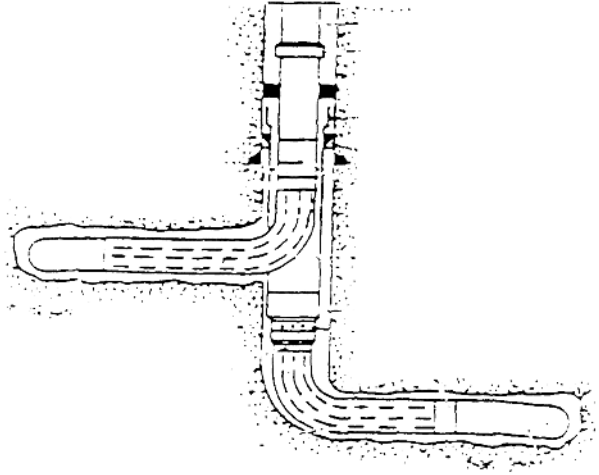


图11 第4级完井方式示意图

连接处的缺口（裸眼井段），在满足“三性”要求上又提高了一步，但仍未实现机械上的整体性。

第7级：主井筒和各分枝井筒全部下套管（尾管）固井完成，实现了连接性；用开窗、切断、预制窗口的不同方法解决了贯通性；用在主井筒中装多油管分流头（Splitter）解决了分采问题（图14）。这种系统基本满足了“三性”的要求。

从以上分级中可以看到：

- (1) 在满足“三性”方面，第1级完全不能满足，第7级基本满足；
- (2) 在完井工作量、风险和费用方面，第1级最少最低，第7级最多最高；
- (3) 第2~6级在功能、完井工作量和完井费用三方面是过渡（渐增）的。

下边简要介绍了3种较典型的多分枝水平井的完井系统，这3种系统达到第6级或第7级的水平，而且都在生产中应用过。

#### 1) Halliburton公司3000系统（第7级）

名称中的3000是指在各分枝井筒中可下入3000ft的尾管或筛管，在实际使用中已超过这个长度。其施工顺序为：

(1) 主井筒下套管（9 $\frac{5}{8}$ "，7"）固井，钻第1分枝水平井，挂尾管固井射孔或挂带封隔器的筛管完成；

(2) 下入由初始铣锥（Starting Mill）、空心斜向器（Hollow Whipstock）、封隔器、定向接头等组成下部结构的钻柱，定向，坐封隔器，开始铣主井筒的窗口；起出后，下入开窗

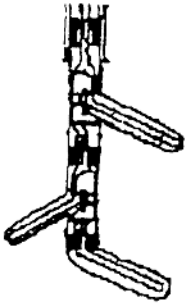


图12 第5级完井方式示意图

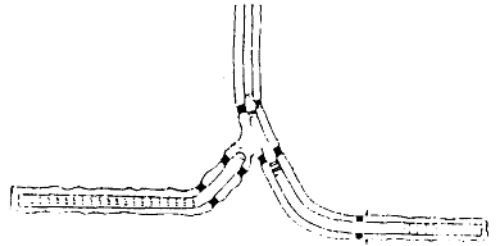


图13 第6级完井方式示意图

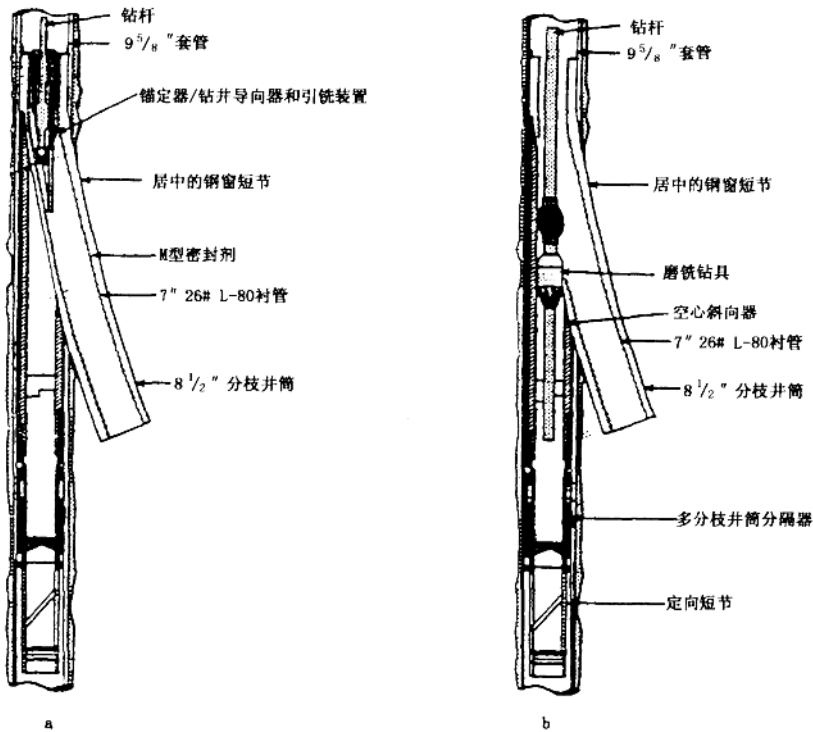


图 14 第 7 级完井方式 (Halliburton 3000 型) 示意图

a—下锚定器/钻井导向器和引铣装置

b—下钻铣钻具扩铣到名义尺寸  $6\frac{1}{8}$ "

铣锥 (Window Mill) 和修窗铣锥 (Watermelon Mill), 开窗完毕;

(3) 钻第 2 分枝水平井, 挂尾管固井射孔, 或挂带封隔器的筛管完成;

(4) 下入带护套 (Mill Guide), 形似倒挂的斜向器, 防止铣锥磨第 2 分枝井尾管上壁的小尺寸铣锥, 对第 2 分枝井尾管开窗, 并向下钻掉空心斜向器水眼中的充填物 (一般是环氧树脂) 和坐封隔器用的高压胶管, 贯通第 1 分枝水平井筒。

这个系统 (见图 14) 由 Halliburton 公司与 Weatherford 公司 (硬质合金工具公司) 于 1994 年开始联合开发, 1996—1997 年与挪威 Norst Hydro 油公司联合, 在北海的 Oseberg, Starfjord, Troll 等油田试验使用成功, 现已在世界其他地区推广。

## 2) Baker 公司 Root 系统 (第 7 级)

其施工顺序的第 (1), (2), (3), (4) 步与 Halliburton 公司 3000 系统基本相同, 从第 (5) 步开始有区别

(5) 下套铣打捞筒, 把伸入主井筒套管内的第 2 分枝水平井的尾管铣断, 再向下套铣斜向器, 并全部打捞上来 (封隔器仍留在井下), 贯通第 1 分枝水平井;

(6) 下导向器 (Deflector), 定向装在第 2 分枝水平井的窗口位置, 为重入创造条件;

(7) 根据合采或分采的要求下入相应的油管柱, 这一步也可和第 6 步一次完成。

图 15 为 Baker 公司 Root 系统岔口构造完成后生产和修井作业管柱结构示意图。

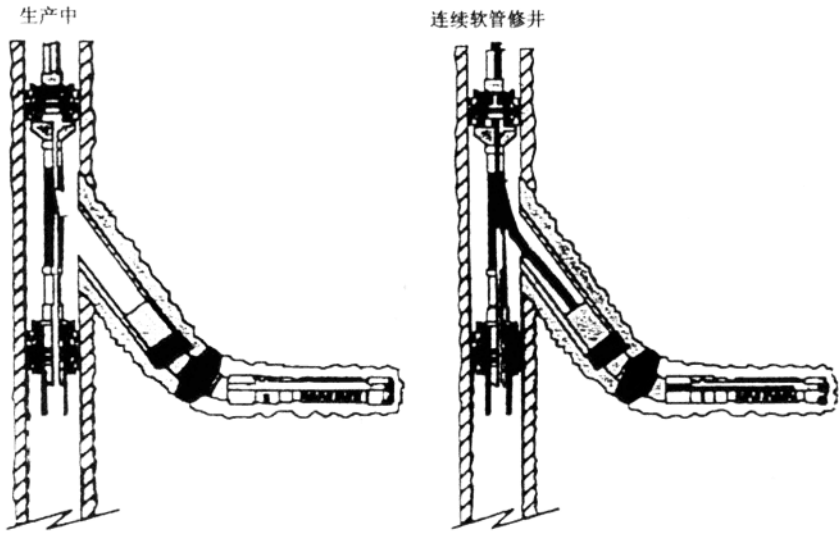


图 15 Baker 公司 Boot 系统 (采油与修井作业) 示意图

Baker 公司动手研制多分枝水平井完井系统较 Halliburton 公司早两年, 合作的硬质合金工具公司是美国著名的 Tri - State 公司。由于动手开发的时间较早, 其使用地区也较多。

### 3) Sperry Sun 公司 LTBS 系统 (第 6 级)

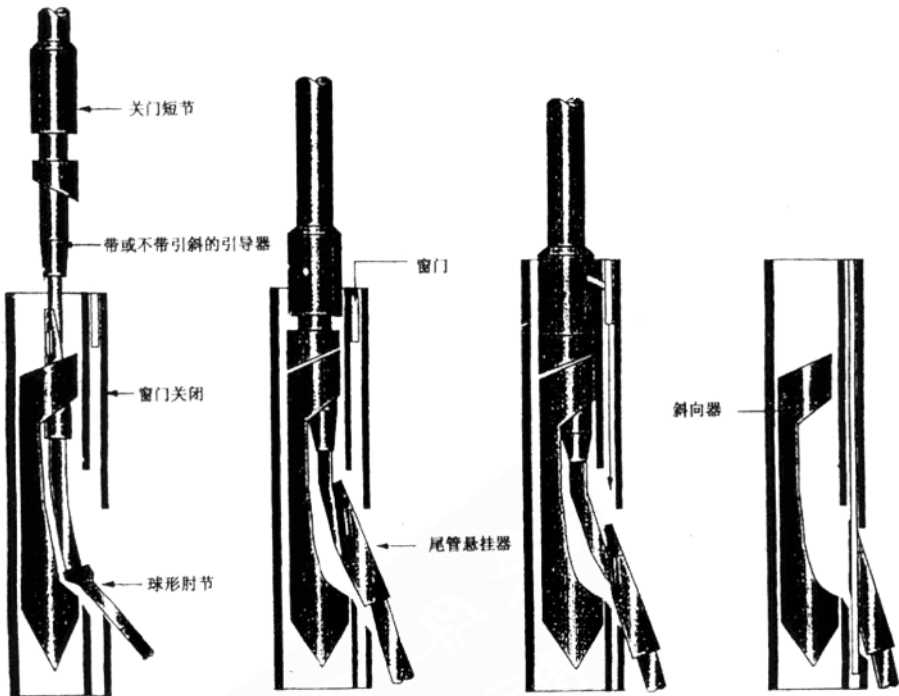


图 16 Sperry - Sun 公司分枝井筒回接系统 (LTBS) 示意图

这个系统（见图 16）的特点是在主井筒的完井管柱上具有带活动插板的预制窗口，所以只能是筛管完井。其施工程序为：

(1) 在主井筒中下入带预制窗口的套管，各窗口的下入深度与方向要与设计中的各分枝水平井筒相应；

(2) 下可回收式斜向器和封隔器到最下一个窗口的位置，定向使斜向器面向窗口；

(3) 下钻钻掉由易钻材料制成的预制窗口外挡板，钻出第一分枝水平井井眼；

(4) 下入第一分枝井的筛管，把筛管挂在预制窗口上；

(5) 下入窗口关闭工具推动预制窗口中的插板下移关闭第一分枝井筒窗口；

(6) 下钻回收斜向器与封隔器，上移到第 2 个窗口的位置，并重复 (2) 以下的各步骤；

(7) 在各分枝井筒完成后，根据采油需要，下开窗口工具把相应窗口插板上推，打开窗口。

这个系统于 1993 年在加拿大首先使用成功。

1996 年，意大利 Agip 油公司组织了 16 位专家对这 3 家公司的多分枝水平井完井系统作了调查分析比较，其对施工风险性的意见值得我们参考：3000 系统的施工风险最小，在所有施工的井中还没有 1 口井失败过；Root 系统在铣断尾管和回收作业中失败过，使井报废，风险较大；LTBS 系统在许多细节上（如能否顺利推动插板关闭窗口，能否使尾管顺利挂到预制窗口上等）需要改进。当然 3000 系统也有不足，如因为井下留有空心斜向器等，其水眼直径显然较尾管内径要小，这就限制了油管 and 相应下井工具的尺寸。所以，目前各种完井系统还在不断改进完善的过程中。

## 五、认识和建议

(1) 多分枝水平井进一步发挥了水平井“少井高产”的突出优点，从而可降低“吨油成本”，故有很大可能成为解决开发低渗透油气藏经济效益问题的最佳技术途径。

(2) 多分枝水平井虽然只用于钻开发井，但它既可以用于钻新井，也可以用于老井侧钻，其适应范围较广。

(3) 建立能适应各种类型油气藏和能满足采油修井要求的完井系统，是多分枝水平井钻井技术中的主要难点。

(4) 在确定采用那一级别的完井系统时，要根据油气层的性质而定，决不是级别越高越好；相反，采油修井应简化要求，尽可能采用较低的级别，以减少施工的风险及完井费用，对于低渗透储层更应如此。

(5) 国内即使研制出多分枝井水平井的完井系统，也决不等于就能钻成多分枝水平井，更不等于就能取得多分枝水平井的经济效益，还必须组织多专业配套攻关。开发专业要搞清包括剩余油在内的油层情况，要研究出预测多分枝水平井产量的方法，作出经济效益分析，并与钻井人员共同确定多分枝水平井的最优井身结构。钻井专业还要研究井眼轨道测量、控制技术和完井系统的施工工艺。采油人员要研究适应多分枝井的采油管柱结构，以及在这种井中如何实施压裂注水注气等工艺。

### 作者

周煜辉，教授级高工，电话 010-62097775；葛云华，高工，电话 010-62098338；北京市学院路 910 信箱石油勘探开发科学研究院钻井所，邮编 100083

# 吉林油田低渗透油藏小井眼丛式井钻井技术

崔月明 汪海阁 张凤民 何军

**摘要** 吉林油田未动用地质储量中绝大多数为低渗透油藏。如何提高低渗透油藏的开发效益已成为油田发展中的一项重大课题。1997年吉林油田采用小井眼丛式井钻井技术对降低低渗透油藏的开发费用进行了有益的尝试。在比较典型的低渗透油田——新庙油田庙3区块试验了4口井径为152.4mm、井深超过1855m、最大水平位移超过500m的小井眼丛式井。本文介绍了钻井设计和施工情况,重点探讨了小井眼丛式井井眼轨迹控制、环空水力学及水力参数等问题。与同地区常规丛式井相比,钻井速度基本持平,平均每米钻井成本降低19.1%,4口井累计节省钻井成本110余万元,取得了较好的经济技术效益。实践表明,小井眼丛式井钻井技术是降低低渗透油田开发费用的有效途径之一。

## 一、前言

吉林油田已探明未动用的地质储量近3.2亿t,其中低渗透储量占92.4%。如果采用常规技术开发,经济效益差甚至无经济效益。就低渗透油田的有效开发而言,我们认为重点和关键是解决单井产量低、油田开发建设的投资规模大、原油生产成本过高的技术问题。1997年,吉林油田在比较典型的低渗透油田——新庙油田庙3区块,采用小井眼丛式井钻井技术,开发扶余油层和杨大城子油层,为降低低渗透油藏的开发费用进行了有益的尝试。

庙3区块储层以粉砂岩为主,泥质含量为12.7%,储层渗透率为 $1.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,孔隙度为9%~16%,储层最大孔喉半径为 $6 \mu\text{m}$ ,最小为 $0.1 \mu\text{m}$ ,油井自然产能几乎为零,压裂施工后才有一定产能,属于低孔隙、低渗透油藏。油层中部深度1650m,采用矩形井网开采,排距200m,井距400m;采用抽捞油工艺生产,要求最大井斜角小于 $45^\circ$ 。采用ZJ-15D型钻机施工,4口小井眼丛式井取得了较好的经济效益和社会效益,为吉林油田近3.2亿t低渗透储量的开发寻求了一条切实可行的途径。

## 二、井身结构与套管程序

根据庙3区块的地质特点及开采要求,在进行井身结构设计时决定一开用 $\Phi 311\text{mm}$ 钻头钻至40m,下入 $\Phi 244.5\text{mm}$ 表层套管,封隔第四系不稳定地层。二开用 $\Phi 165\text{mm}$ 钻头钻至造斜点,然后用 $\Phi 152.4\text{mm}$ 钻头钻至设计井深,下入 $\Phi 114.3\text{mm}$ 油层套管固井。

## 三、井眼轨迹控制

井眼轨迹控制是小井眼丛式井钻井技术中的一项关键技术。由于井眼和钻具尺寸小,钻具组合对上部井眼曲率以及钻井参数等因素的影响要比常规井眼敏感得多,井眼轨迹控制难度增大。



## 1. 钻具组合的选用

庙1-40平台4口井主要采用以下两类基本钻具组合。

### 1) 动力钻具组合

$\Phi 152\text{mm}$ PDC +  $\Phi 120\text{mm}$ 单弯螺杆 ( $0.75^\circ$ ) +  $\Phi 105\text{mm}$ 无磁钻铤 +  $\Phi 121\text{mm}$ 钻铤3根 +  $\Phi 89\text{mm}$ 钻杆。

### 2) 转盘钻具组合

组合A:  $\Phi 152\text{mm}$ PDC +  $\Phi 151.4\text{mm}$ 螺扶 +  $\Phi 121\text{mm}$ 短钻铤 +  $\Phi 151.4\text{mm}$ 螺扶 +  $\Phi 105\text{mm}$ 无磁 +  $\Phi 151.4\text{mm}$ 螺扶 +  $\Phi 121\text{mm}$ 钻铤 +  $\Phi 121\text{mm}$ 上、下震击器 +  $\Phi 89\text{mm}$ 钻杆。

组合B:  $\Phi 152\text{mm}$ PDC +  $\Phi 151.4\text{mm}$ 螺扶 +  $\Phi 105\text{mm}$ 无磁钻铤 +  $\Phi 121\text{mm}$ 钻铤1根 +  $\Phi 151.4\text{mm}$ 螺扶 +  $\Phi 121\text{mm}$ 钻铤1根 +  $\Phi 151.4\text{mm}$ 螺扶 +  $\Phi 121\text{mm}$ 钻铤 +  $\Phi 121\text{mm}$ 上、下震击器 +  $\Phi 89\text{mm}$ 钻杆。

组合C:  $\Phi 152\text{mm}$ PDC +  $\Phi 151.4\text{mm}$ 螺扶 +  $\Phi 105\text{mm}$ 无磁钻铤 +  $\Phi 151.4\text{mm}$ 螺扶 +  $\Phi 121\text{mm}$ 钻铤1根 +  $\Phi 151.4\text{mm}$ 螺扶 +  $\Phi 121\text{mm}$ 钻铤 +  $\Phi 121\text{mm}$ 上、下震击器 +  $\Phi 89\text{mm}$ 钻杆。

组合D:  $\Phi 152\text{mm}$ PDC +  $\Phi 151.4\text{mm}$ 螺扶 +  $\Phi 105\text{mm}$ 无磁钻铤 +  $\Phi 121\text{mm}$ 钻铤18根 +  $\Phi 121\text{mm}$ 上、下震击器 +  $\Phi 89\text{mm}$ 钻杆。

组合E:  $\Phi 152\text{mm}$ PDC +  $\Phi 105\text{mm}$ 无磁钻铤 +  $\Phi 121\text{mm}$ 钻铤18根 +  $\Phi 121\text{mm}$ 上、下震击器 +  $\Phi 89\text{mm}$ 钻杆。

## 2. 井眼轨迹控制的影响因素分析

由于使用的钻具尺寸小,因此钻柱的刚性降低、柔性增加,与常规井眼相比,井眼轨迹变化受上部井眼曲率及钻井参数等影响尤为突出。

### 1) 上部井眼曲率的影响(表1)

表1 上部井段曲率对井眼轨迹的惯性影响

井号	井段 m	上部井段曲率 ( $^\circ$ )/30m	本井段曲率 ( $^\circ$ )/30m	钻具组合
庙3-42	400~600	+2.00	+1.35	B
庙5-40	978~1120	-3.27	-1.20	B
庙5-40	1120~1260	-1.20	-0.07	B
庙5-40	1260~1430	-1.20	-0.90	C
庙3-38	450~685	+4.20	+0.90	C
庙3-38	1379~1470	-2.20	-0.60	D

注:“+”表示增斜,“-”表示降斜。下同。

表1为3口井中不同井段上部井眼曲率对井眼轨迹的惯性影响。

由表1可见,增斜钻具组合B在上部井段为增斜趋势时增斜,在降斜趋势时先降斜后稳斜;而微增斜钻具组合D,C在上部井段增斜趋势时增斜,而在降斜趋势时降斜。原因是小井眼钻具组合柔性大、刚度低,受井眼曲率影响大,克服曲率惯性能力差,相反,井眼曲率惯性限制了钻具组合本身性能的发挥。实钻过程中,可通过优选钻具组合来克服这种惯性。

### 2) 钻井参数的影响