

◀ 管理与发展 ▶

中国陆上油气水平井技术成效及新思考

吴月先

(四川石油管理局 井下作业公司, 四川 隆昌 642150)

摘要: 中国是世界上水平井技术实力较强的国家之一, 陆上水平井体系中有 L 形水平井、套管开窗侧钻水平井、多分支水平井、多阶梯水平井、水平分支井和连通水平井等 6 个系列, 每个系列中又有较多的种类。水平井在中国陆上油气田整体开采、治理边底水、提高薄油层产出能力和油气勘探开发评价等方面卓有成效, 促使更大规模地应用水平井。在全面分析水平井技术成效的基础上指出: 钻水平井要注重保护储集层, 提高水平井段储层钻遇率, 提高水平井的产量; 水平井开发方案论证应超前, 以有效避免水患出现; 应尽快改变井下作业技术滞后的局面; 钻井工艺技术科研立项要全方位进行; 加快进入水平井国际市场的步伐。

关键词: 陆地; 油气藏; 水平井; 分支井; 侧钻

中图分类号: TE243 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-0890 (2007) 02-0083-04

随着勘探开发的进一步深入, 常规油气藏的勘探开发范围越来越小, 而特种油气藏的勘探开发范围和领域却越来越大。水平井具有巨大的技术优势, 是油气藏高效勘探开发的重要手段。中国的水平井技术日益成熟, 已进入水平井技术自主创新的阶段, 促使水平井数量大幅度增加、种类多样化、经济效益和社会效益同步发展^[1-6]。笔者对中国陆上油气水平井的技术成效进行了全面分析, 将中国水平井体系分为 6 个系列, 并指出了水平井技术的发展趋势及建议。

1 中国水平井技术体系

1.1 L 形水平井

L 形水平井数量较多、种类也较多。该类型水平井井身结构中的直井段、斜井段、水平段和井底均只有一个, 也是认识复杂水平井系列的向导。国内已钻成的有代表性的 L 形水平井主要有: 垦东 405-平 1 井, 水平位移 2 073.00 m, 垂位比 1:1.74^[7]; 垦北 21-平 1 井, 水平位移 3 167.34 m, 垂位比 1:1.2, 是国内陆上水平位移最大的水平井^[8]; 孤平 1 井, 水平段长达 1 054.15 m, 是国内陆上水平段最长的井^[9]; 大港油田张海 502FH 井, 水平位移达 4 128.56 m; 青海涩北气田涩 H1 井, 井深 1 612.58 m, 最大井斜角 91.98°, 水平位移 664.68 m, 水平段长 402.03 m, 是国内海拔最高的水平井; 新疆油田 HW9802 井^[10], 是目前国内垂深最浅的大井眼超浅层水平井, 水平位移

329.42 m, 垂深 144.09 m, 垂位比为 1:2.29。

1.2 套管开窗侧钻水平井

套管开窗侧钻水平井比较普遍, 在新井和老井中都可进行, 甚至可以在裸眼井段内进行, 井身结构中往往还包含原直井的残留部分, 但主要的井身结构组成部分与 L 形水平井相同。侧钻水平井可分为中、短曲率半径和超短曲率半径水平井。中国石化集团侧钻的 TK412CH 井, 井深 6 073.52 m, 水平井段长 545.91 m。库侧 1 井于井深 6 335 m 处开窗侧钻水平井一次成功, 创国内套管开窗侧钻开窗点最深纪录。

1.3 多分支水平井

多分支水平井是由 L 形丛式水平井组简化而来的, 又集成了侧钻水平井技术。根据分支井完井类型、完井方式和完井难度, 国外把分支井完井技术分为 TAML6 级^[11]。其井身结构中只有一个直井段, 但有多个斜井段、水平段和井底。多个水平段可在同层或异层中以各自的方位展布, 以此实现全井合采或分层开采。胜利油田桩 1-支平 1 井是国内首口防砂双分支水平井, 两个水平分支以 30°角斜交, 采用膨胀式封隔器、扶正器和带眼金属毡滤砂管完井, 完井技术达到了 TAML4 级^[12]。

收稿日期: 2006-09-11; 改回日期: 2006-12-27

作者简介: 吴月先 (1945—), 男, 四川简阳人, 1970 年毕业于成都地质学院石油系, 中国石油学会会员, 高级工程师, 长期从事压裂酸化地质科研工作。系本刊通讯员。

联系电话: (0832) 3918435

1.4 多阶梯水平井

多阶梯水平井是在 L 形水平井基础上发展起来的,于先钻成的 L 形水平井的水平井段前端斜钻过下隔层,再于下一产层内水平钻进,以此类推在一口井中可以具有多个水平段和多个斜井段,但直井段和井底却分别只有一个。多阶梯水平井较多分支水平井省去了多次侧钻的需求,也较 L 形水平井省去了钻多个直井眼的工程量。多阶梯水平井可进行全井合采或分采。中国石化集团已钻成多口多阶梯水平井^[1]。长庆苏里格气田苏平 1 井是四阶梯水平井,完钻井深 4 289 m,水平井段总长 869.5 m。TZ16-12 井是国内陆上首口双台阶水平井,最大井斜角 93°,垂深 3 866.15 m,水平井段长 250 m。

1.5 水平分支井

水平分支井中包含有裸眼音叉型、裸眼羽状型(或鱼骨型)和两者的复合型种类,特别是裸眼羽状水平井已成为发展中的主流。羽状水平井(或鱼骨型水平井)是在主水平段两侧侧钻多条水平分支井段,所有水平分支井段在同一地层内彼此平行分布,并由近及远、由长逐步变短。其井身结构中只有一个直井段和斜井段,有多个水平井段和井底。羽状水平井适宜于单层开采,尤其是低渗层开采。山西省煤层气田的煤层气井 DNP02 井,水平总进尺 7 687 m,拥有 13 个水平分支,煤层钻遇率 90%,垂深 200 m,煤层气产量约为 $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。胜利油田钻成了拥有自主知识产权的首口羽状水平井——CB26B-支 P1 井,投产时原油产量 100 t/d,为邻井的 3 倍。

1.6 连通水平井

连通水平井是指钻一口 L 形水平井与一口或两口直井(生产井)于同一地层内连通。胜利油田在江苏省砾硝开采中应用连通水平井技术,钻成 18 对“U”形连通井^[13]。辽河油田首座深煤层地下气化炉,则采用新钻的 L 形水平井小 M2 井,旨在与原采煤层气的直井(小 31 井)进行地下洞穴式连通,但目前仍未实现“U”形井身结构^[14]。在煤层气开采中是以主水平井段与一口直井于同一煤层中以洞穴式相连通,达到直井抽水、水平井采气的目的。胜利油田郑科平 1 井是由 L 形水平井与直井于同一稠油层内连通的,直井注蒸汽辅助重力泄油,连通水平井高效开采稠油^[15]。

2 水平井推广应用的效果

2.1 油气田整体开采效果显著

新疆塔里木哈得 4 油田成组薄油层(单层厚度小于 1 m)的开采难度大,采用双阶梯水平井开发,储层钻遇率超过 80%。该油田共钻水平井 83 口(占开发井的 89%),实现了注采平衡,使油田可采地质储量增至 $1.1022 \times 10^8 \text{ t}$,原油产能达到 $200 \times 10^4 \text{ t/a}$,稳产 3 a 就新增产值 51.58 亿元,净现值达 7.62 亿元。塔中 4 油田可采程度在 67% 以上,而含水小于 50%,展示出水平井整体开采效果明显。

胜利临盘油田面积 1 367 km²,石油地质储量 $2.5 \times 10^8 \text{ t}$,开采数十年后主力断块开发层系早已进入高含水期,由于一般的油田挖潜措施效果很差,于是采用水平井注采配套,51 口水平开发井(占开发井 3%)的产油量占该油田原油产量的 7%,原油产能上升到 $11 \times 10^4 \text{ t/a}$,累计增产原油 $58.3 \times 10^4 \text{ t}$,增加可采地质储量 $117 \times 10^4 \text{ t}$,而水平井钻井成本仅是直井的 1.2~2.0 倍,而获得的油气产量是直井的 3.0~9.3 倍,整体效果明显。

2.2 治理边底水效果明显

有明显底水或边水存在的油气藏,开发中应尽可能使底水或边水均衡推进,以达到高效开采的目的。非平衡开采往往导致油井过早产水,以至于造成底水锥进、边水单相舌进,最终降低采收率。采用水平井开采能有效解决底水锥进、边水舌进的问题,提高开采效益。水平井开采还有助于降低地层压力损失幅度和地层压力下降速度,能有效进行分层增能驱油,尤其适宜于作调整井开采“水上漂”的薄油层。胜利油田辛 151 断块改用水平井开采后,平均单井原油产量达到 90 t/d,采收率提高到 60% 以上。孤岛中 1 区块馆陶组具正韵律地质特征,原开发直井含水 90% 以上,边底水的推进使油藏上部的剩余油难以有效采出,改用 10 多口水平井开采,单井原油产量超过 25 t/d,成为治理边底水的典范。

2.3 提高薄油层产出能力

国内的薄油层分布也较广泛,因单层厚度很薄,有效储层就更薄了,致使油气资源可观而不可采,压裂作业也难以进行。而水平井开采由于具有供给范围和泄流面积大、油气产出阻力小的特点,可实现成组薄油层的高效开采。胜利油田营 32-平 2 井是一口同一薄层内的 4 分支水平井,原油产量

20 t/d, 为邻近直井产量的 4 倍以上。塔里木哈得 4 油田成组薄油层 (单层厚度小于 1 m), 主要采用双台阶水平井开采, 原油产能 200×10^4 t/a。

2.4 油气勘探开发评价

用水平井进行油气藏开发评价较普遍, 而用水平井进行油气藏勘探评价有利于油气藏勘探新发现, 并抓住时机及时调整勘探部署, 扩大勘探成果; 有利于油气田优化开发井类型, 制定科学的开发方案, 合理部署调整井, 实现注采更精细配套。

塔河油田奥陶系灰岩油藏, 由于具有缝洞型储层结构特征, 滤失系数大, 致使酸化、加砂压裂作业不仅代价高, 且难以进行。因此, 尝试采用水平井进行开采, 沟通更多的缝洞, 以扩大供给范围和泄油面积, 达到高效开采的目的。TK238H 水平井储层钻遇率 92%, 原油产量 204.74 t/d; TK405CH 井侧钻水平段长 242.76 m, 使原无产出能力的直井获得高产工业油流; TK430CH 井侧钻水平段长 400 m, 原油产量高达 500 t/d。据此评价结果, 塔河油田 2006 年侧钻水平井增至 29 口。

辽河油田一口定向井原油产量 $6 \text{ m}^3/\text{d}$, 在该井内侧钻新 22PF1 和新 22PF2 双分支水平井段 (双分支同层反相位), 全井自喷式生产原油产量达 $30 \text{ m}^3/\text{d}$, 为辽河油田推广应用多分支水平井开采提供了依据。磨溪气田为孔隙型云岩低渗气藏, 为提高开采效益, 在磨 75 直井侧钻水平井磨 75H 井, 水平段长 516 m, 储层钻遇率 71.97%, 射孔井段总长 368.5 m, 初产天然气 $5.61 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。经酸化后, 天然气产量上升到 $17.93 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 而同一层系同井场的直井天然气产量却只有 $2.78 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 据此该气田推广应用水平井开采。

3 新的思考及提示

1) 钻水平井要注重保护储集层。水平段钻进速度一般较直井段慢, 由此引起地层浸泡时间增长, 造成储层伤害的可能性就更大。钻井中保护储集层可提高探井发现油气层机遇, 还可降低水平井投产的技术难度和开发成本。因而采取欠平衡、气体钻井技术、低损害钻井液钻水平段均能降低对储层的损害, 宜于推广应用。

2) 提高水平段储层钻遇率。目前多数水平井的储层钻遇率小于 90%, 部分地区甚至小于 80%。应用地质导向技术钻水平段可提高储层钻遇率, 因此, 应加大地质导向自主创新力度, 增加地质导向

方面的投入。国内在 100 多口水平井钻井施工中成功应用了地质导向技术, 特别是胜利油田目前所钻的水平井均采用了地质导向技术, 大大提高了中靶准确率和油气井产量。

3) 提高水平井的单井产量。目前水平井数量增加了, 而单井产量却有下滑的趋势, 因此, 要提高方案的科学性, 防止井间干扰。水平调整井主要针对资源潜力较大的层系, 尤其是剩余油富集区。目前多报道水平井的产量与直井对比结果, 而水平井产量与试井评价分析结果相配套的报道少, 只有理想条件下的产量才是较佳的。因此, 水平井效果评价不能只进行宏观产量对比, 还应排除不同生产压差等因素的干扰, 相比而言采用采油指数和采气指数作效果对比较简便可行。不同类型水平井的效果评价, 还需考虑储层井段长短, 特别应考虑产出剖面的不同。

4) 水平井开发方案论证应超前。开发方案论证应延伸至勘探阶段, 水平井较直井勘探效果好, 开发方案中要部署水平井, 还需进一步评价水平井类型, 据此选择较好的水平井系列作大面积井网部署, 以防止不必要的反复。油田开发的过程是变化的过程, 正常条件下底水不断上升、油柱不断缩短、含油面积不断缩小, 开发方案就要不断调整。直井堵水调剖仅是中间过程, 当产油剖面小到一定程度时, 就得侧钻水平井采薄“油帽”。目前的开发调整井也更多地如此进行, 这比用直井作为加密调整井更有优势。

5) 有效避免水患出现。边底水油气藏多在地面监测, 这是不科学的作法, 井下监测才具有真正意义。就其整体而言, 底水上升速度和边水推进速度更是监测的重点。采用水平井有针对性分层注水增能驱油, 不会增加底水上升速度和边水推进速度。即使侧钻水平开发调整井时, 能不能引起边底水水患的关键在于侧钻与封水是否协同。

6) 井下作业技术滞后的局面应尽快改变。水平井试井、修井、测试、试井分析、一次性分段酸化和加砂压裂, 均多在 L 形水平井中进行, 而目前国内的水平井系列多达 6 个, 技术发展的空间很大, 应加快井下作业技术发展的步伐。中国石油集团和中国石化集团应加强井下作业技术交流与合作, 这是市场经济发展的必然要求。

7) 钻井工艺技术科研立项要全方位进行。钻井手段须多样化, 用大尺寸连续油管进行套管开窗侧钻水平井是技术发展的方向, 先期引进进行试验

很有必要。水平井钻井技术只有不断创新, 才能满足深层煤炭地下气化开采的需要和油页岩、油砂矿地下热裂解气化开采的需要及增压挤油开采的需要。中国是世界上特种油气藏的地质大观园, 钻水平井的地质领域很大, 特别需要加快水平井钻井工艺技术的超前研究。

8) 加快进入水平井国际市场的步伐。在国内自主经营的油气田内钻成多种类型水平井的基础上, 参与国内合作经营油气田水平井反承包项目竞标, 是走向国际市场的良好途径。中国石油集团和中国石化集团在国外自主经营的油气田或合作经营的油气田, 应大力吸引国内的钻井队参与招投标, 加快国外油气田的勘探开发步伐, 提高产能和效益。以其水平井钻井技术、业绩和成效树起品牌形象, 拓宽国际市场, 提高全方位水平井钻井工程技术服务的能力, 从而自主进入水平井国际市场。中国石油集团在委内瑞拉英特甘博低渗老油田中树起了用阶梯水平井增产的示范工程。辽河钻井公司在阿曼 Daleel 油田树起了钻多分支水平井勘探开发的示范工程。

4 结 论

1) 中国陆上油气水平井体系较完善, 拥有 6 个系列和多个种类。水平井技术有向更综合性发展的趋势, 尤其是向丛式井组发展的趋势。更多的水平井种类仍有待科学界定, 各种水平井的命名模式尚待进行专业学术探讨、规范。

2) 中国陆上油气水平井技术日益成熟, 实现了技术、装备、专业队伍的配套, 拥有较强的水平井钻井实力, 创造了多项国内新纪录, 水平井的成效也逐步显现出来, 产生了良好的经济效益和社会效益。

Discussions about China Onshore Horizontal Drilling Technology

Wu Yuexian

(Downhole Service Company, Sichuan Petroleum Administration, Longchang, Sichuan, 642150, China)

Abstract: China is one of countries with the advanced horizontal drilling technology. Onshore horizontal well system consists of L-shaped horizontal wells, casing sidetrack horizontal wells, multilateral wells, multi-step horizontal wells, horizontal multilateral and interconnecting horizontal wells, etc. Each type of well system can be classified into more subdivisions. Horizontal well has been successfully used to produce onshore reservoirs, to control bottom and edge water, to improve productivity of thin pay zones and to evaluate oil and gas exploitation, etc. Based on the comprehensive analysis for the technique of horizontal wells, this paper suggests that drilling horizontal wells must emphasize pay zone protection, increase the pay zone hit ratio, and increase production rate of the horizontal well. The production proposal should be justified to avoid problems caused by water. The lag of downhole service technology should be improved as soon as possible. The research and development in drilling technology should be implemented comprehensively to speed up the pace of entering the international horizontal well market.

Key words: land; oil and gas reservoir; horizontal well; multilateral well; sidetracking

3) 中国石油集团、中国石化集团须更广泛深入地合作, 发挥技术优势互补性强的潜力, 促使共同发展, 加快陆上油气勘探开发步伐。

4) 中国陆上油气水平井钻井技术已进入集成创新、自主创新的新阶段, 且全面创新的空间还很大, 应提高水平井技术的适用性、针对性、高效性, 力求拥有更多的专利项目和特色技术, 以满足国内外水平井市场的新需求。

参 考 文 献

- [1] 张桂林. 胜利油田水平井钻井技术现状与发展趋势 [J]. 石油钻探技术, 2005, 33 (2): 66-70.
- [2] 张清德. 中国石化集团钻井技术现状及展望 [J]. 石油钻探技术, 2006, 34 (2): 1-6.
- [3] 中国石油天然气勘探开发公司. 坚持集成创新 开拓海外业务 [J]. 石油科技论坛, 2006, 121 (3): 35-39.
- [4] 辽河石油勘探局, 辽河油田分公司. 扬水平钻井威力 铸稠油开发利器 [J]. 石油科技论坛, 2006, 121 (3): 15-19.
- [5] 四川石油管理局, 西南油气田公司. 研发气体钻井技术 开发复杂大型气田 [J]. 石油科技论坛, 2006, 121 (3): 25-28.
- [6] 长庆油田公司, 长庆石油勘探局. 挑战低渗透极限 促进跨越式发展 [J]. 石油科技论坛, 2006, 121 (3): 53-59.
- [7] 张桂林. 胜利油田钻井技术现状及发展方向 [J]. 石油钻探技术, 2006, 33 (1): 74-78.
- [8] 都振川, 秦利民, 周跃云. 垦北 21-平 1 大位移水平井的设计与施工 [J]. 石油钻探技术, 2000, 28 (5): 9-11.
- [9] 朱全塔, 邱正松. 孤平 1 井超长水平段水平井钻井技术 [J]. 石油钻探技术, 2005, 32 (6): 68-71.
- [10] 王新, 宋朝晖, 林晶, 等. 直井钻机钻超浅层稠油大位移水平井钻井完井技术 [J]. 石油钻探技术, 2006, 34 (1): 20-23.
- [11] 安克, 王敏生. 胜利油田分支井钻井技术现状及展望 [J]. 石油钻探技术, 2003, 31 (6): 7-9.
- [12] 王正湖, 唐志军, 王敏生, 等. 国内第一口分支水平井钻井技术 [J]. 石油钻探技术, 2001, 29 (1): 7-9.
- [13] 吴敬涛, 杨彦明, 周继坤, 等. 连通水平井钻井技术在芒硝矿中的应用 [J]. 石油钻探技术, 1999, 27 (4): 7-9.
- [14] 杜锋. 辽河油田煤炭地下气化技术分析与实践 [J]. 石油钻探技术, 2006, 34 (5): 83-86.
- [15] 周跃云. 郑科平 1 井复合大井眼水平井钻井技术 [J]. 石油钻探技术, 2004, 32 (3): 38-40.

[审稿 都振川]