

杜229块蒸汽驱窜流调控技术研究与应用

王伟伟

中国石油天然气股份有限公司辽河油田公司, 辽宁 盘锦 124010

摘 要: 杜 229 块超稠油油藏蒸汽驱试验区井组自转驱以来, 部分生产井出现了蒸汽窜流突破, 造成油井温度高、产液高、含水高、产油量低等开发矛盾, 影响了蒸汽驱开发效果。分析认为主要影响因素为各单井井距大小、转驱前采出程度不同; 井组储层物性差异大, 非均质性强; 地层倾角大、蒸汽超覆作用; 井网局部不完善。从提高注汽效率和改善回采效果两方面入手, 研究应用了动态调整注汽参数, 吞吐引效, 控制套压, 对生产井调剖、暂关, 调整机采工作参数, 大修、侧钻、补钻更新井以完善井网, 同心双管分注, 化学调驱等技术手段进行动态调控。研究达到了改变蒸汽窜流走向, 抑制蒸汽突破, 使井组区域蒸汽均衡扩展的目的。

关键词: 杜 229 块; 超稠油油藏; 蒸汽驱试验区开发; 蒸汽窜流; 影响因素; 调控对策

DOI: 10.3969/j.issn.1006-5539.2014.05.015

0 前言

辽河油田杜 229 块位于曙一区南部, 属互层状边底水中厚层超稠油油藏, 构造上位于辽河盆地西部凹陷西斜坡中段, 于 1998 年开始采用 100 m 井距正方形井网直井蒸汽吞吐开发, 2001 年产量达到高峰后开始逐渐递减, 进入开发后期。为了维持稳产, 探索超稠油油藏直井吞吐后期接替技术, 2007 年在杜 229 块兴 IV、V 组规划 29 个蒸汽驱井组, 同年在区块中东部开展蒸汽驱试验 4 个井组, 2009 年底又扩大实施 3 个井组, 共有注汽井 7 口, 生产井 33 口。近年来, 年采油量维持在 5×10^4 t 以上的水平, 采出程度已达到 53.8%, 提高采收率 23.2%, 取得了较好的开发效果。但是, 井组自转驱以来部分生产井出现不同程度的蒸汽窜流或突破现象, 表现为产液量、含水和井口温度上升, 产油量减少, 油气比降低。而蒸汽窜流是蒸汽驱开发成败的关键, 出现蒸汽窜流或突破, 势必使蒸汽带扫油系数降低, 平面上形成条状不均匀推进, 留下大量死油区, 垂向上蒸汽驱扫范围缩小, 影响开发效果。为此, 针对试验区井组蒸汽窜流或突破等开发矛盾, 深入分析原因, 从提高注汽效率和改善回采效果两方面入手, 采取注采动态调整技术手段, 控制蒸汽带流向, 调整平面压力分布, 促使蒸汽前缘均匀推进, 延长蒸

汽驱有效开采期, 提高采收率。研究也为继续扩大蒸汽驱规模和持续发展提供技术借鉴。

1 蒸汽窜流影响因素分析

1.1 井距大小及各单井采出程度不同

试验区转驱前, 由于井组内各单井吞吐轮次参差不齐, 周期长短不一, 注汽量多少和加热半径范围各不相同, 使各单井采出程度差异较大, 同时受井距及转驱前地层温度、压力、构造高低等因素影响, 井组内油井热连通程度不同而受效程度不同, 导致生产井响应差异大。转驱后, 井距小、采出程度高时, 蒸汽吞吐阶段与注汽井间窜流严重的油井容易造成蒸汽窜流突破, 突破后蒸汽不能均匀推进, 影响蒸汽波及效率, 造成产量波动; 而井距大、采出程度低时, 地层处于高压地带且地层温度场范围小的油井, 难以与注汽井形成热连通, 蒸汽窜流响应程度小, 油井不易受效。试验区转驱后有 6 口井出现蒸汽突破, 3 口井不受效。

1.2 储层物性差异大, 非均质性强

试验区生产层位为兴隆台油层兴 IV、V 组, 油层受构造形态及沉积相控制, 韵律性复杂, 纵向及平面上渗透率变化大; 纵向及平面上隔层、夹层分布不规则; 油砂

收稿日期: 2014-04-30

作者简介: 王伟伟(1982-), 女, 山东德州人, 工程师, 学士, 主要从事油田稠油开发研究工作。

体在空间分布不均,物性、厚度及连续性变化大;油层物性及原油黏度在纵向及平面上变化也大。油层物性差异大,非均质性强,高、低渗透层分布不均,势必导致平面上注入的蒸汽沿高渗透层窜流突进,蒸汽推进不均匀,造成注汽井热量散失,降低热能利用率,留有死油区难动用。监测资料显示,试验区吸汽油层蒸汽纵向波及程度仅为40%~50%,主要为处于上部物性较好的兴Ⅳ组,其吸汽量占总注入量78%,油层吸汽差异大,使纵向及平面动用程度不均^[1-3]。

1.3 地层倾角及蒸汽超覆作用

受地层倾角及蒸汽超覆作用影响,倾角越大,蒸汽上浮作用使上部易受到蒸汽波及,油层上部吸汽大于下部,井组生产井受效差异越大,低部位油井生产效果越差。试验区内地层高倾角部位达到15°,由于汽液密度差异,地层倾角大会加剧重力分异作用,蒸汽会在油层上部流动,沿上倾高部位方向窜流严重,易形成窜流通道,造成上部生产井窜流。窜流使蒸汽平面波及具有方向性,无法在整个油层纵向厚度上均匀推进,导致蒸汽波及体积系数低,波及范围缩小,生产井受效不均衡,影响开发效果。分析历次吸汽剖面监测资料发现,中心注汽井不同程度出现蒸汽超覆,且超覆现象逐渐严重,造成蒸汽窜流严重,油层动用不均。

1.4 井网局部不完善

完善的井网是蒸汽驱开发成功的重要前提之一,而导致井网不完善的主要原因是出砂、套坏等井况差的井关井,井网不规则及注采不对应。只有井网完善、各方向排液量稳定,才能实现多方位泄流降压,延缓局部单方向蒸汽高压窜流,满足地层压力均衡下降和蒸汽带均衡推进的驱替方式的需要,蒸汽腔才能在平面多方向均匀扩展,才能提高蒸汽波及效率。井网不完善会使蒸汽驱替具有方向性,局部方向形成死油区,造成生产井排液不足,产量低,汽驱受阻;而在其它方向的生产井注汽速度及强度相对增加,产量高,甚至出现蒸汽窜流突破,影响蒸汽平面波及效率^[4]。试验区转驱后有8口井发生套管变形,其中3口井关停。

2 蒸汽窜流调控技术对策

2.1 动态调整注汽参数,延缓突破时间

蒸汽驱初期注汽速率最佳操作条件为1.6~1.8 t/(d·m·hm²),随着汽驱时间延长,由于区块地质体的特点不同,不同区域油井汽驱效果差异大。通过动态调整注汽速率、注汽强度和蒸汽干度等参数,改变地下油层吸汽状况,延缓蒸汽突破时间。油层上倾部位储层物性好,且倾角大的部位的油井受效好,因此蒸汽将优先突破。在蒸汽注入过程中,为实现蒸汽向下运动,可降低上排

注汽井注汽干度以增加下倾方向压力梯度;再降低下排注汽井注汽强度,以减弱上倾方向蒸汽浮力。依次类推,最终使所有注汽井下倾方向压力梯度增加,热水重力驱油作用增强,下部油层扫油系数提高,实现井组均衡吸汽,减缓蒸汽窜流发生。

2.2 吞吐引效,缓解单方向窜进

在蒸汽驱替阶段,由于储层平面非均质性、注采井距的差异及转驱前油井采出程度差异等因素影响,局部注采井间油层热连通程度低,生产井间蒸汽驱受效差异较大。对受效弱和不受效生产井采取吞吐引效措施,利用吞吐引效的注汽量来提高注采井间的热连通程度,建立地层温场,进一步降低生产井周围地层压力,扩大加热半径,缩小生产井间蒸汽驱受效差异,从而调整蒸汽腔平面温度场和压力分布,控制蒸汽窜流或蒸汽带走向。试验区在转驱后,对个别生产井周围地层温度较低、原油流动性差和产液量低的未受效井实施吞吐引效13井次,实现井组多方向均衡泄流,抑制蒸汽单方向窜流,汽驱效果显著。

2.3 合理控制套压,实施定压管理

套压是指油管 and 套管之间环形空间内的压力。套压越大,油层渗流阻力越大。在汽驱井生产中,套压的大小直接影响产量的高低,套压过高无法达到增产效果,过低又容易造成井温上升影响生产。最佳套压值既要使深井泵有一定沉没度,又要有一定套压值,即在达到油井配液要求的前提下,合理控制套压,避免油井过早出现高温窜流现象,影响蒸汽驱替效果。控制套压时,掌握放压速度,以0.10 MPa/min为宜,放压过快易引起油层激动出砂或蒸汽窜流突破,放压过慢控压效果会变差。试验区对6口蒸汽突破井实施控制套压生产,使井口温度维持在正常范围内,避免了因温度过高而被迫关井或抽喷,保证了油井持续生产。

2.4 生产井调剖或暂关,抑制蒸汽突破

对高温、高产液、高含水生产井采取调剖或暂关措施,改变注汽井汽驱方向,缓解蒸汽局部突进,使蒸汽多向扩散,促使井组内生产井均匀受效。以杜32-53-33井为例,蒸汽驱替过程中,井口温度由83℃上升到127℃,出现了严重蒸汽窜流现象。初期采取降冲次措施,日产液量虽然下降,但井口温度仍维持在115℃左右,采取停关7d避窜后起抽不出。对该井实施吞吐引效,并结合调剖措施,调整油层纵向动用程度,措施后的吸汽剖面显示该井高渗层吸汽量降低20%。投产后,恢复正常驱替生产,井口温度维持在80℃左右,产量与配产量基本吻合,没有出现蒸汽窜流突破现象。分析认为注汽井汽驱方向已经改变。对试验区出现蒸汽突破的5口井,实施调剖、暂关措施,有效控制缓解了蒸汽窜流突破问题。

2.5 调整机采工作参数,控制液量排速

由于储层非均质性的影响,蒸汽波及具有一定方向性,井组内部分井高温、高产液,而部分井无受效或受效弱。为此,对井组内生产井产液量、动液面及井口温度等变化资料进行跟踪,分析确定调整工作参数,有选择性地对产液量超过配产液量 20% 以上的生产井采用降冲次以及调整防冲距等方法,控制蒸汽推进速度,限制井组内高产液井的产液量。同时将产液量控制在配产的水平上,强制蒸汽向其他方向扩散,扩大蒸汽波及体积,提高热能利用率,防止蒸汽单向窜流突破,减少蒸汽窜流抽喷的发生。对受效弱井增加冲次生产,提高排液速度及驱替压差,促进蒸汽推进,以液牵汽,改善井组驱替效果。试验区转驱后 5 年内,实施调整抽油机工作参数 276 井次,累增液 223 640 t,增油 42 491 t。

2.6 及时完善井网,实现多方位泄流

部分井因套管严重变形、错断或井内落物等原因导致关井,因此井网不完善,平面排液不均衡,影响蒸汽腔平面均匀扩展,进而影响蒸汽驱替效果。为了完善井网,实现注采对应,使蒸汽腔平面均匀扩展,提高汽驱平面波及效率,均衡井组内注汽井与生产井之间连通程度,减少蒸汽窜流发生。对井况差的井及时进行大修、侧钻、补钻更新井,以完善井网,恢复停产井,校正不规则注采井网,实现多方位泄流,完善注采井间全方位对应关系。针对井组内井况差的井的实际情况,累计实施补钻更新井 7 口,侧钻 9 口,大修 2 口,将井网完善程度由 77.6% 提高到 96.8%,注采井数比由 1:2.5 提高至 1:3。

2.7 同心双管分注,按需调控注汽量

同心双管分层注汽技术是将物性参数和吸汽能力

相近、渗透率极差 ≤ 4 的相邻油层分成上下 2 个或 3 个油层组注汽单元,采用同心双管进行分层注汽。其中外管对上部注汽单元注汽,在外管内部下入内管,对下部注汽单元注汽。内外管均采用伸缩补偿方式,内管采用插入式滑动密封装置密封内外管环空。采用双管柱悬挂注汽井口,井口蒸汽分流前采用旋流器、混相器、等干度分配室实现对井下各注汽单元油层等干度分配蒸汽量^[5]。通过对 7 口井实施同心双管分层注汽,使分注的上、下油层吸汽达到配汽要求,按需灵活调控各层注汽量,降低高渗透层蒸汽窜流程度,取得较好的分注效果。

2.8 化学调驱工艺,调整蒸汽驱扫范围

针对因油层层数多、井段长、渗透率级差大、隔夹层小而无法实施机械分注技术的注汽井,实施化学调驱封堵技术,强迫改变蒸汽走向,调整油层平面及纵向动用程度。

2.8.1 氮气泡沫调剖技术

氮气泡沫调剖技术是将氮气、高温发泡助排剂伴随蒸汽注入注汽井油层。氮气为高温发泡助排剂起泡提供气相,提高泡沫耐温、耐压及热稳定性,降低水汽流度比,产生贾敏效应,封堵蒸汽窜流通道,提高蒸汽驱替波及系数,抑制水、汽窜流和蒸汽超覆作用,扩大油层纵向吸汽厚度,改善蒸汽驱替效果。高温发泡助排剂可降低

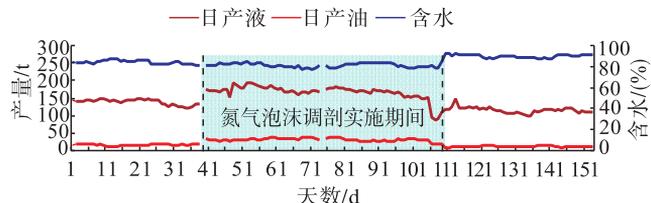


图 1 实施氮气泡沫调剖技术前后日产效果对比

表 1 三相泡沫调剖实施前后效果对比

井组	有效 天数/ d	措施前				措施后				对比			
		油压/ Mpa	液量/t	油量/t	含水/ (%)	油压/ Mpa	液量/t	油量/t	含水/ (%)	油压/ Mpa	液量/t	油量/t	含水/ (%)
杜 32-50-K34	68	4.0	8 323	1 332	84	5.1	9 248	1 665	82	1.1	925	333	-1.8
杜 32-48-36	84	5.5	12 264	1 349	89	5.8	13 188	1 846	86	0.3	924	497	-3.0
杜 32-52-32	92	5.2	14 315	2 577	82	5.8	15 548	3 265	79	0.6	1 233	688	-2.8
杜 32-50-K34	76	4.0	10 062	1 610	84	5.4	10 868	2 065	81	1.4	806	455	-2.8
杜 32-50-38C	80	4.2	9 248	1 850	78	4.5	11 680	2 336	80	0.3	2 432	486	2.0
杜 32-52-32	105	4.5	14 196	2 697	79	5.4	16 590	3 152	81	0.9	2 394	455	1.6
杜 32-50-K34	83	4.0	11 819	1 891	84	4.5	13 363	2 241	83	0.5	1 544	350	-1.0
合计	-	-	80 228	13 305	-	-	90 485	16 570	-	-	10 257	3 265	-

油水界面张力,提高驱油效率。另外,有效氮气泡沫只能在渗透率高、含油饱和度低($< 20\%$)的蒸汽窜进带通道内产生,增加流动阻力,而不会在含油饱和度高的低渗透

油层内产生^[6-8]。在杜 32-48-36 试验井组实施该技术,生产 4 个月,井组内 5 口受效井增液 9 926 t,增油 1 786 t,见图 1。3 口吞吐引效受效弱井监测套管气中氮气含量

达到40%,说明有效加强了井与井之间平面热连通程度。

2.8.2 高温三相泡沫调剖技术

有选择性地封堵高渗透层或大孔道,有效抑制蒸汽进入高渗层,提高注汽压力,迫使蒸汽转向低渗层等未驱替带,增大波及体积,抑制汽窜发生,调整油层纵向吸汽剖面,改善蒸汽驱替效果。该技术的药剂成分是由聚合物凝胶、固相颗粒、表面活性剂组成的综合体系,其中聚合物溶液携带固相颗粒进入高渗透层封堵;聚合物溶液成凝胶后,增加体系强度和封堵效果;泡沫体系在地层中产生“贾敏效应”,调剖、改变蒸汽走向;凝胶体系中高温表面活性剂可改变地层润湿性,降黏助排^[9-10]。目前该技术实施7个井组,注汽压力平均提高0.7 MPa,合计增液10 257 t,增油3 265 t,有效改善了井组平面及纵向动用不均的矛盾,见表1。

3 结论

a) 动态调整注汽速率、注汽强度和蒸汽干度等注汽参数,可有效改变倾角不同部位油层的吸汽状况,延缓蒸汽突破时间,实现井组均衡吸汽。吞吐引效措施可调整蒸汽腔平面温度场和压力场分布,扩大蒸汽波及半径,降低生产井间蒸汽驱替受效差异,提高未受效井或受效弱井的注采井间热连通程度。

b) 对于蒸汽突破井,加强套压控制,实施定压管理,可保证油井持续生产,避免因井口温度过高而被迫关井或造成油井抽喷,延长油井生产时间;对生产井调剖或暂关,可改变蒸汽驱动方向,使蒸汽多方向扩展,促使生产井均匀受效,有效抑制蒸汽突破问题。

c) 灵活调整冲次等工作参数,控制产出液,以液牵汽,既可控制蒸汽推进速度,防止蒸汽单向突破,又可提高排液速度及驱替压差,促进蒸汽推进,改善蒸汽驱替效果。对井下技术状况差的油井,及时实施大修、侧钻、补钻更新井,完善注采井网,实现注采对应,多方位均衡泄流排液,保证蒸汽驱替效果。

d) 同心双管分注技术能够有效将物性相近的油层强制分成几个注汽单元,根据各层段油层厚度及动用状况,灵活分配注汽量,实现分层注汽,调整油层纵向动用程度。化学调驱工艺技术能够有效封堵油层高渗透部位,迫使蒸汽转向低渗透部位,调整油层平面及纵向动用不均,扩大蒸汽波及范围,提高注汽效率。

参考文献:

- [1] 张方礼,赵洪岩. 辽河油田稠油注蒸汽开发技术[M]. 北京:石油工业出版社,2007.99-100.
Zhang Fangli, Zhao Hongyan. Technology of Steam Flooding

of Heavy Oil in Liaohe Oilfield [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007.99-100.

- [2] 高博. 汽驱动态调控技术在齐40块井组中的应用[J]. 石油地质与工程, 2010, 24(1): 84-86.
Gao Bo. Application of Dynamic Regulation of Steam Drive Technology in Block Qi40 Well Group [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2010, 24(1): 84-86.
- [3] 王中元. 齐40块蒸汽驱蒸汽波及规律研究[J]. 特种油气藏, 2007, 14(4): 65-67.
Wang Zhongyuan. Study on Steam Sweep in Block Qi40 Steam Drive Process [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2007, 14(4): 65-67.
- [4] 刘文章. 稠油注蒸汽热采工程[M]. 北京:石油工业出版社, 1997.429-434.
Liu Wenzhang. Engineering of Heavy Oil Thermal Recovery by Steam Injection [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997.429-434.
- [5] 周明升,曹建新. 双管注汽技术在稠油水平井开发中的应用[J]. 石油地质与工程, 2008, 22(5): 81-82.
Zhou Mingsheng, Cao Jianxin. Application of Double-tube Steam Injection in Horizontal Heavy Oil Well [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2008, 22(5): 81-82.
- [6] 唐纪云. 稠油热采井氮气泡沫封窜技术研究与应用[J]. 特种油气藏, 2009, 16(2): 23-26.
Tang Jiyun. Technical Study and Application of Channeling Sealing by Nitrogen Foam for Heavy Oil Thermal Recovery Well [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2009, 16(2): 23-26.
- [7] 卢川,刘慧卿,卢克勤,等. 浅薄层稠油油藏氮气泡沫调驱适应性研究[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(1): 70-73.
Lu Chuan, Liu Huiqing, Lu Keqin, et al. Study of Adaptability of Nitrogen Foam Flooding in Shallow Layer of Heavy Oil Reservoir [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(1): 70-73.
- [8] 袁士义,刘尚奇,张义堂,等. 热水添加氮气泡沫驱提高稠油采收率研究[J]. 石油学报, 2004, 25(1): 57-61.
Yuan Shiyi, Liu Shangqi, Zhang Yitang, et al. Enhancing Heavy Oil Recovery with Hot Water Flooding by Adding Nitrogen and Surfactant [J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(1): 57-61.
- [9] 赵玲莉. 三相泡沫调剖技术及应用[J]. 油田化学, 1994, 11(4): 319-321.
Zhao Lingli. Application of Three Phase Foam Profile Control Technology [J]. Oilfield Chemistry, 1994, 11(4): 319-321.
- [10] 龙华,王浩,赵燕. GH-高温调剖剂的研制与应用[J]. 特种油气藏, 2002, 9(5): 88-90.
Long Hua, Wang Hao, Zhao Yan. Development and Application of GH High Temperature Profile Control Agent [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2002, 9(5): 88-90.