

·油气采收率·

示踪剂辅助判断多井组火驱燃烧前缘位置

袁士宝¹, 蒋海岩¹, 李秀明², 种新明³, 王科科⁴

(1.西安石油大学石油工程学院, 陕西 西安 710064; 2.中国石油辽河油田分公司勘探开发研究院, 辽宁 盘锦 124010; 3.中国石油新疆油田分公司采油一厂, 新疆 克拉玛依 834000; 4.中国石油新疆油田公司风城油田作业区, 新疆 克拉玛依 834000)

摘要: 考虑到目前还没有较为简单成熟的火驱燃烧前缘分析计算方法, 根据火驱特点, 选用适宜的示踪剂对气窜方向进行监测, 依据物质平衡基本思想, 建立了判断多井组火驱燃烧前缘位置的新方法, 即以示踪剂监测结果为依据来分析注气井和产气井之间的连通关系, 进而计算燃烧前缘的距离。以辽河油区火驱矿场试验区为例, 对6井组进行计算, 并结合工程和地质因素分析了燃烧前缘不均匀发展的影响因素; 与平均劈分注气量的估算方法进行对比, 示踪剂辅助判定火驱燃烧前缘方法能较准确地指示井组间的气体流动方向和不同方向的流量, 该结论通过结合目的层沉积相分析得到了验证。示踪剂辅助方法避免了盲目劈分产气量所造成的计算误差, 计算方法简便可行, 计算结果准确可信。

关键词: 火驱 气窜 示踪剂 燃烧前缘 影响因素 多井组

中图分类号: TE357.41

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2014)03-0052-03

火驱(也被称为火烧油层)是一项蒸汽吞吐后提高稠油油藏采收率的重要措施, 中国的辽河、新疆和吉林等油区都在进行广泛的现场试验, 已经形成了实验分析^[1-2]、数值模拟^[3-4]、效果预测^[5]和动态分析^[6-7]等系列技术。从现场的试验过程来看, 根据火驱状态对地下燃烧情况进行控制和调整尤为重要, 也就是通常所说的控火和管火^[8-9], 准确客观地掌握气窜及地下燃烧状态需要对火驱机理进行深入的研究, 并且要根据火驱特点借助油藏监测方法获取地下信息, 王史文等在胜利油区火驱试验中尝试应用示踪剂监测气窜, 阐述了示踪剂的筛选和施工办法^[10], 但是未能结合火驱动态, 对检测数据进行综合分析。笔者研究认为, 通过多井组示踪剂监测可以准确分析地下气体窜进方向, 并可结合生产动态数据准确计算火驱燃烧前缘位置。

1 区块简况和火驱面临的主要问题

辽河油区 Du66 块位于断鼻构造的最高部位, 埋深为 1 116~1 298 m, 原始地层压力为 10.82 MPa, 油藏温度为 42.3 °C, 地面原油粘度为 1 360 mPa·s。1987 年进入全面蒸汽吞吐热采, 截至 2005 年平均吞

吐周期为 8.7 个, 呈现出低产低效特征。

为提高该块采收率进行了火驱先导试验, 虽然已取得了明显的增油效果, 但是由于是在油藏蒸汽吞吐后期进行的, 油藏中留存大量未采出的水, 这部分次生水体可以使燃烧前缘温度降低(观察井测温显示均约为 300 °C), 导致即使干式燃烧的注气过程也同样产生了湿式燃烧的效果^[2]。由于蒸汽热前缘不断地向外围扩展, 相邻吞吐井之间形成了复杂的汽窜通道, 统计发现, 火驱阶段气窜严重的生产井大多可以追溯出蒸汽汽窜的井史。从试验现场的生产数据来看, 一线井在大量排放废气(火驱产生的残余气体, 主要含有 N₂, CO₂, CO 和少量 O₂)的同时, 远处的二线井和三线井也有废气排出, 如此复杂的连通关系势必会对燃烧前缘均匀推进产生负面效应, 目前示踪剂法是监测气体推进方向的最为经济有效的方法。

2 示踪剂监测在火驱试验区的应用

参考王史文等^[10]的示踪剂筛选办法, 结合火驱的特点, 选用了一种耐高温的气体作为火驱示踪剂, 该气体可以随注入空气分配到各生产井, 而且

收稿日期: 2014-03-26。

作者简介: 袁士宝, 男, 讲师, 博士, 从事热采及油藏管理方面的研究。联系电话: (029)88382673, E-mail: upcysb@126.com。

基金项目: 陕西省教育厅科研计划项目“低渗油田高压注空气地面监测与调控技术”(2013JK0860)。

不参与燃烧前缘的反应,检测方便,是理想的火驱示踪剂。

由于气体的流量较大,气体示踪剂的取样频率较高,注入后要立即在对应监测井取样,每天取样2~3个。取样周期为1~3个月,峰值过后,应继续取样一段时间后再停止。

在现场监测样品中示踪剂的质量浓度大致为 $10^{-10} \sim 10^{-9}$ g/L^[10-11],参考火驱试验区典型的反九点井网和100 m井距计算,最后确定单井每次注入气体示踪剂200 kg。在检测实际样品时,根据检测到的峰面积积分数据,在工作曲线上查出示踪剂在样品中的质量浓度,或根据标准工作曲线方程计算出示踪剂在样品中的质量浓度。为了检验气体示踪剂的性能,在试验区内A井组(图1)进行了现场试验。

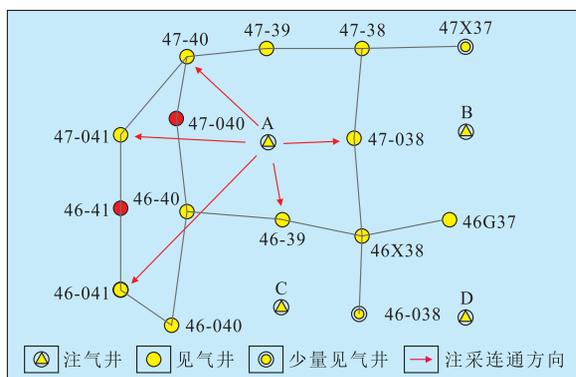


图1 A井组注采连通方向示意

向注气井A中注入气体示踪剂(图1),分析结果表明,46-40至46-041和47-041井方向地下窜通程度较高,为燃烧前缘主推进方向;47-038井方向地下连通性较好,没有形成直接的气窜通道,燃烧前缘为正常推进;47-38和47-39井方向上驱替程度差,燃烧前缘推进缓慢。试验井组的施工和示踪剂测试结果(图1)表明,该气体示踪剂可以应用于火驱气窜方向监测并指示出各生产井的分配比例。

理论上每口生产井都有可能和任何一口注气井有连通关系,那么就需要对每口注气井都进行示踪剂监测才能清楚掌握气体地下窜进方向和比例,所以对试验区内6口注气井都进行了示踪剂监测。

3 结合示踪剂方法综合判断燃烧前缘位置

对于火驱而言,燃烧前缘的位置是一个重要参数,只有掌握了燃烧前缘位置才能准确掌握火驱动态并做出相应的调整。传统的物质平衡方法^[12]通过计算生产井产出废气量计算注气井到生产井之

间的燃烧前缘位置,但是由于没有办法判断多井组共同生产时生产井气体的来向,所以只能采用平均分配的办法进行近似计算。示踪剂监测为深入挖掘生产动态数据提供了可能。

3.1 计算燃烧前缘位置的物质平衡法

油层燃烧后,某一油井方向上的燃烧前缘位置^[12]可表示为

$$R = \sqrt{\frac{360V}{\pi\alpha H}} = \sqrt{\frac{360Q_{分}Y}{\pi\alpha H A_s}} \quad (1)$$

式中: R 为各油井方向的燃烧前缘位置, m; V 为各油井方向的燃烧体积, m^3 ; α 为各油井方向的分配角度, ($^\circ$); H 为油层厚度, m; $Q_{分}$ 为各油井方向的分配产出气量, m^3 ; Y 为各油井方向的氧气利用率, %; A_s 为油层燃烧率, 即单位体积油砂燃烧消耗的空气体积, m^3/m^3 。

对于单井组火驱,式(1)可以较准确地计算出燃烧前缘位置,而对于多井组火驱就很难区分出生产井产出气来自于哪口注气井,需要对注气量进行劈分,所以用示踪剂测试时得出的气体分配量的差异来对注气量进行劈分。

3.2 测试井组气体分配率分析

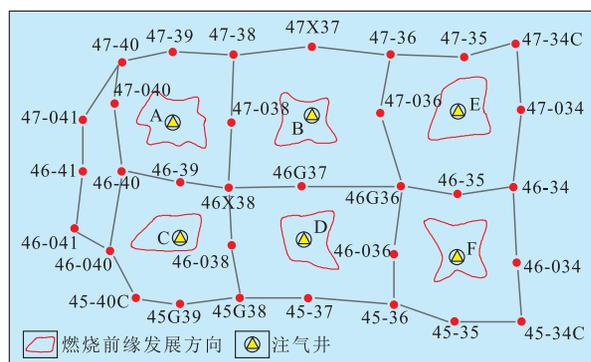
用某一方向上示踪剂检测量与各方向的检测总量之比来表示示踪剂分配率,其表达式为

$$\beta = \frac{\alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i} \times 100\% \quad (2)$$

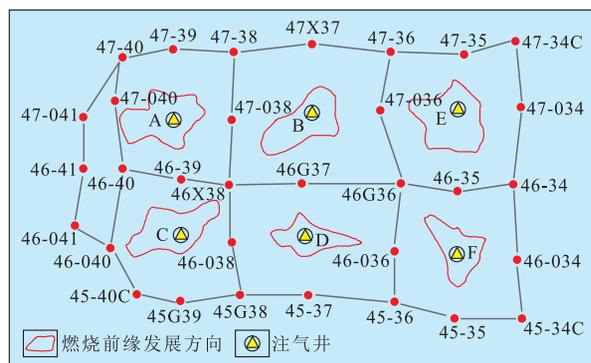
式中: β 为井组内示踪剂分配率, %; α_i 为某一测试井的示踪剂检测量, 10^{-9} kg; n 为井组内测试井总数。

根据该试验井组的生产数据,利用式(1)分析燃烧前缘位置,多向受效的生产井产气量按照受效方向进行平均劈分,氧气利用率按照实际产出气体的组成进行计算,根据九点井网特点计算分配角度为 45° ,计算每口注气井对应于生产井方向上的燃烧前缘位置(图2a)。由图2a可见,燃烧前缘推进距离比较均匀,尤其是中部的生产井,因为对于多向受效井采取了平均分割的方法,所以不能反映该井的真实来气方向和来气量。井温观测发现生产井46X38井明显出现温度上升现象,说明该井是燃烧前缘主要的发展方向,但是估算方法不能对其进行准确描述。示踪剂测试反映其主要来气方向是D井,而进行平均劈分估算后,不能反映D井对该方向的贡献。

示踪剂辅助分析燃烧前缘步骤如下:①确定示踪剂在井组内的分配率以及受效方向,按照分配率



a—估算气量法



b—示踪剂辅助法

图2 火烧试验区燃烧前缘位置分布

劈分注气井的注气量,劈分公式即为式(2);②结合储层沉积相性质,分析各生产井的排气状况,以验证示踪剂的分析结果;③根据排气情况核算该生产井来气量和来气方向;④确定生产井来气方向和气量,应用式(1)计算燃烧前缘位置;⑤绘制井组内燃烧前缘的位置等值图。基于以上分析,考虑结合示踪剂测试、油藏地质等方面的资料,综合分析气体的来向,对燃烧前缘位置进行综合判断和计算。按照示踪剂监测结果绘制燃烧前缘位置(图2b),分析结果和图2a有很大不同,观察图2b的燃烧前缘位置发现,燃烧前缘呈现单向或双向发展较多,较少呈现多向均匀受效现象,下一步调整的重点应该放在几口明显出现燃烧前缘突进的注气井调堵上,通过人为控制使其均匀发展,固体颗粒和空气泡沫是较为理想的调堵剂。

3.3 燃烧前缘不均匀发展的影响因素

工程因素 工程因素主要包括点火和注气时受热不均和注气速度不协调。火烧试验区内注气井都是采用注蒸汽预热方式进行点火,在注蒸汽阶段很容易出现蒸汽沿原有汽窜通道单方向滞留过多的问题,导致这一侧热量积累过多,其他方向没有足够热量点燃油层,而积累热量多的一侧也恰恰是含油饱和度较小的一侧。进入正常注气阶段后,很容易形成燃烧前缘的单侧推进;另外,注气速度

设计得过大也会导致其推进速度过快,而且气体超覆现象严重。

地质因素 地质因素主要是指注气井和生产井附近储层的非均质性。蒸汽吞吐后期,地下的情况比较复杂,而储层的岩石物性发生变化的程度较小,把储层沉积相图和燃烧前缘发展方向结合起来观察发现,燃烧前缘的推进在很大程度上受控于储层沉积相。

对6口注气井与火驱目的层沉积相的相对位置(图3)分析发现:①对于处于同一相带内且各方向上没有明显岩性变化的注气井和周围一线生产井,注入气受效井呈现多向受效方式。如E井位于分流河口坝微相内,周围一线井各方向上无明显岩性变化,示踪剂显示其受效较均匀,这种情况下火驱燃烧前缘的波及面积也是最大的。②如果发生岩性突变或受到遮挡,注入气受到阻挡后的发展方向多呈现单向,如A井位于分流河口坝前端,井的东部和南部被边滩包围,导致示踪剂测试时显示这2个方向受效微弱,注入气主要向西部、北部发展。同样, D井西南方向上受阻也能在沉积相图上找到原因。③如果示踪剂测试结果和实际排气量出现明显矛盾,这时需要以排气量为准进行后续计算。F井示踪剂显示南部注采不连通,而排气量显示该井排气量稳定且气量很大,该井属于这一类情况。

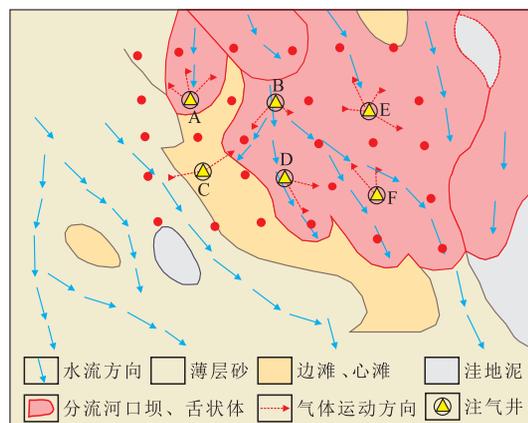


图3 示踪剂指示注气主要受效方向

由此可见,燃烧前缘发展方向和储层沉积相有很强的相关性,沉积相的类型和展布情况决定了气体的大致运动方向,这也间接地验证了示踪剂辅助分析结果的正确性。

4 结论

对于蒸汽吞吐后地层流体分布复杂情况而言,

(下转第65页)