

ZJD 油田 CO₂ 气水交替驱实践及认识

王 婧 (中国石化华东油气分公司泰州采油厂, 江苏 泰州 225300)

摘 要: ZJD 油田是大型断鼻构造岩性油藏, 具有大倾角、薄储层、低渗透、强水敏、异常高压的特征。油田采用大斜度井 + 直井组合井网、大井距、压裂改造、同步 CO₂ 混相驱开发, 效果显著。但随着驱替过程的推进, CO₂ 驱油流度比过大导致的黏性指进日益凸显, 气窜通道形成后, 换油率、油藏压力保持水平不断降低, 油藏由混相驱向非混相驱过渡, 气驱效果逐渐变差。ZJD 油田以注入压力为主要标尺, 实施 CO₂/ 水交替注入, 发挥五方面的相互作用机理, 迄今为止累增油 3.93×10⁴t, 阶段换油率 2.6t.CO₂/t.oil。

关键词: 大倾角; CO₂/ 水交替驱; 交替周期; 换油率

CO₂ 驱油是一项国内外普遍认知和应用成熟的提高采收率技术, 苏北盆地多个低渗透油藏实施该项技术。苏北盆地低渗透油藏埋藏深、物性差、储层非均质性严重。一类油藏水驱开发早期效果明显, 但含水上升速度快、稳产期短, 油井很快进入高含水期, 提高采收率难度加大; 而另一类油藏注水注不进, 采油采不出, 压裂改造增产短效, 长期有效动用难度大。两类油藏实施 CO₂ 驱以来, 阶段内能形成混相, 取得较好的开发效果。室内实验得到的 CO₂ 混相驱油效率往往可达 90% 以上, 但现场随着开发进程的不断推进, 地层压力的下降、储层的非均质性、CO₂ 气体本身的大流度、重力超覆等因素, 造成 CO₂ 极易气窜, 且不断加剧, 从而导致开发效果变差, 难以达到室内实验的驱油效果。针对 CO₂ 驱油流度比过大, 气窜严重的问题, CO₂/ 水交替注入的方式可有效改善 CO₂ 驱替效果。

1 油藏概况

ZJD 油田是一个由近东西的北界断层及一组北北东、北北西的派生正断层共同控制的大型断鼻构造岩性油藏。油藏构造西部地层倾角高达 50 度, 中部地层倾角最低也有 27 度, 油藏中深 2500m。主要含油层系为Ⅲ砂组, 砂岩厚 6~26m, 单层砂厚 1.3~6.4m, 储层厚度分布不均, 平均孔隙度 17.8%, 平均渗透率 5.61mD, 为中孔、低渗储层。储层具有中强水敏、强速敏, 弱碱敏无 - 弱酸敏的特征。阜三段地层压力系数 1.38, 温度梯度 3.6℃/100m, 属异常高压、正常温度系统。

ZJD 油田于 2012 年投入开发, 采用大斜度井 + 直井组合井网, 井距 300~350m, 多数油井采用压裂投产。2013 年~2015 年逐步转同步 CO₂ 驱开发, 其中 Z3 块充分利用地层大倾角顶部驱井网, Z1 块采用内部点状驱井网, 总体组建 4 注 8 采的 CO₂ 驱井网。CO₂ 驱主要开发层系为Ⅲ砂组 1、3~5 小层, 平均注采井距约 350m, 单井日注气量 13~25t, 见效周期 1~3 个月, 受效井 6 口, 单井日增油 3~9t, 受效增油期 6~14 个月。受效期后, 各井组 CO₂ 相继气窜, 油井产量降幅 50%~85%, 换油率大幅下降。

2 CO₂/ 水交替驱油机理

CO₂ 驱替一旦受效后, 气油两相流度差造成的黏性指进愈发明显, 气油比不断上升, 产量逐渐下降, 此时注入井与受效井间形成明显气窜通道, 换油率、油藏压力保持水平平均降低, 油藏由混相驱向非混相驱过渡, 长此以往, 气驱效果逐渐变差。ZJD 油田形成气窜后, 油井含水 16~25%, 油藏整体仍处于低含水期, 剩余油大量富集。通

过气水交替注入, 可发挥五方面机理的相互作用。一是水能快速补充地层能量, 提高油藏压力水平, 有助于恢复混相驱替; 二是针对 CO₂ 的黏性指进, 可动水会改变粘滞力/重力比和流度比。在垂向渗透率与水平渗透率的比值小于 1 时, 采用气水交替注入会使混相驱的粘滞力/重力比增大, 流度比降低, 控制驱替前缘的相对稳定性, 把水驱的宏观波及效率和气驱的微观驱替效率有效地结合在一起; 三是利用气与水在多孔介质剪切作用下形成的微小泡沫, 泡沫流的粘度显著增大, 使流度比得到改善, 同时泡沫的可压缩性和贾敏效应, 可以抑制水的指进, 调整吸水剖面, 扩大波及体积。四是气相和水相交替驱扫不同孔径的含油孔道, 有效地提高波及体积。五是形成气水两相流动的干扰, 影响油水相对渗透率曲线特征, 使残余油饱和度降低, 原油采收率得以提高。

3 CO₂/ 水交替驱矿场实践

3.1 交替周期

以 ZJD 油田 CO₂ 驱注采特征为基础, 结合苏北其他油田 CO₂/ 水交替驱的经验, 以注入压力为主要标尺, 油井生产指标为辅助标尺, 建立 ZJD 油田水气交替周期图版。当注入压力高于 P₁ 时, 即注水高压难注, 改转注 CO₂ 气, 当注入压力介于 P₁、P₂ 之间, 即压力处于中高水平, 但油井相对平稳, 可保持目前注入方式; 当注入压力介于 P₂、P₃ 之间, 即处于中低水平, 且油井气油比极高, 改转注水; 当注入压力低于 P₃, 即达严重气窜时, 可实施化学调驱 (图 1)。



图 1 ZJD 油田气水交替模式图

3.2 现场实施及效果评价

截止 2020 年 8 月, ZJD 油田有 3 个井组开展过 CO₂/ 水交替, 实现累增油 3.93 万 t, 阶段换油率 2.6t.CO₂/t.oil, 均取得良好的开发效果, 其中 Z3 井组共实施过 3 轮次 CO₂/ 水交替。第一轮次累注入 CO₂ 气段塞 1.6 万 t, 累注入水段塞 0.7 万方, 实现增油 0.45 万 t, 换油率 2.59t.CO₂/t.oil; 第二轮次累注入 CO₂ 气段塞 1.5 万 t, 累注入水段塞 0.3 万方, 实

现增油 0.57 万 t, 换油率 2.43t.CO₂/t.oil; 第三轮次累注入 CO₂ 气段塞 1.4 万 t, 水段塞仍在注入, 目前实现增油 0.3 万 t, 换油率 4.43t.CO₂/t.oil (图 2)。随着轮次的增加, 注水和注气压力呈上升趋势, 交替周期变短, 注入压力升高。

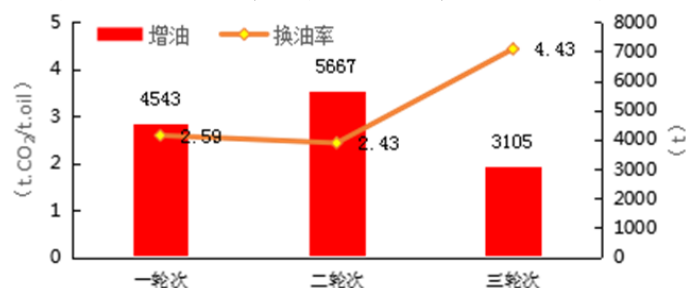


图 2 Z3 井组 CO₂/水交替驱效果图

表 1 Z3 井组 CO₂/水交替实施情况

轮次	注入方式	周期 (月)	累注量 (万 t/ 万方)	压力 (MPa)
1	注气	25	1.6	4.5~13.8
	注水	10	0.7	6~23.1
2	注气	19	1.5	10.8~26.6
	注水	4	0.3	17.4~30.6
3	注气	16	1.4	18~27.5
	注水	3	0.25	16.1~21.3

(上接第 151 页) 整的矿井都应当采用短壁综采的采矿方式, 这样才能更好地保证矿山产业的效率与质量。

3 矿山产业技术与自动化技术的结合

3.1 自动化技术对矿山产业人工压力的缓和

在矿井中什么事情都有可能发生, 而且一旦发生就是严重的人身安全问题。因此, 矿井开采工作人员往往都面临着高风险、高压力的工作。也是因此, 矿山产业往往都面临着较大的人工压力。而到了如今, 随着计算机技术、矿山产业技术以及自动化技术的普及与更新, 现在的有关企业完全可以通过将这些技术应用于矿井开采工作之中, 来减缓工作人员的工作压力, 保证工作人员的人身健康安全。同时, 计算机技术可以很好地发挥自动化技术在矿山产业之中的优势, 对进行开采矿井的具体情况进行分析, 可以大幅度提高矿山产业的工作效率, 从而变相地提高矿井开采产业的自动化水平。除此之外, 科技的进步使得矿山产业获得了越来越多高科技的设备来进行支撑。如通信功能在矿山产业中的应用, 自动化技术对于矿井情况的分析以及对于整体设备的检查与修理, 都大幅度的提高了矿山产业的工作效率, 进一步促进了矿山产业的发展。

3.2 自动化技术对于采矿效率的提升

虽然起步较晚, 但我国矿山产业的自动化程度也在不断地提高, 相关系统也在不断地更新以达到更加优越的智能化。举例来说, 如今的计算机可以通过监测开采机的运行情况, 来分析矿井开采情况, 确定开采机是否有故障等问题。而自动化技术的应用又可以更好地帮助开采机来根据矿井中不同的情况来选择更具优势的矿山产业技术, 借此来提高开采机的工作效率。所以说, 有关企业如果想要提高自身的经济效益与工作效率, 就必须不断的提高自身使用的自动化技术。

4 结论

①针对 CO₂ 驱油流量比过大, 气窜严重的问题, CO₂/水交替注入的方式可有效改善 CO₂ 驱替效果; ②针对 CO₂ 混相同步驱油藏气窜后井间、储层差异性富集剩余油, 通过气水交替注入, 可发挥五方面的机理相互作用。一是补充油藏能量, 二是三方面结合扩大波及体积, 三是影响油水相对渗透率, 提高驱油效率; ③以注入压力为主要标尺, 油井生产指标为辅助标尺, 可建立水气交替周期图版。

参考文献:

- [1] 熊霄. 气水交替改善 CO₂ 驱开发效果与应用 [J]. 长江大学学报 (自科版), 2016, 13(16): 35-37.
- [2] 汤瑞佳, 王贺谊, 余华贵等. 水气交替注入对 CO₂ 驱油效果的影响 [J]. 断块油气田, 2016, 23(3): 355-362.
- [3] 陈祖华, 孙雷, 杨正茂等. 苏北低渗透油藏 CO₂ 驱油开发模式探讨 [J]. 石油学报, 2020, 42(3): 97-106.

作者简介:

王婧 (1986-), 女, 工程师, 2012 年 7 月毕业于成都理工大学油气田开发地质专业, 现任职于中石化华东油气分公司泰州采油厂地质研究所, 一直从事油田开发工作。

3.3 机械化开采的完善

自动化技术的应用, 很大程度上提高了矿山产业的生产效率与产量。虽然如今来看, 自动化技术在有关企业的各个部门以及各个生产流程都有着不同程度的使用, 相关的技术也在不断地实践中进行着完善与改进。但整体来看, 距离一些西方国家仍有着不小的差距。因此, 我们应当正视自己的不足, 发扬我们的优势, 不断改进自动化技术在矿山产业之中的应用, 借此来提高矿山产业的发展速度。

4 结束语

综上所述, 随着时代的发展, 人们的生活日新月异, 在新时期, 社会不断进步, 社会环境也发生了巨大的变化。在这样的环境之下, 为了更好地推动矿山产业发展的脚步, 提高有关企业在市场中的竞争力, 我们需要将矿山产业技术与自动化技术进行结合并应用在矿山产业之中。同时, 为了进一步提高自动化开采的工作质量与工作效率, 我们要不断学习先进的矿山产业技术, 更新现有的自动化技术, 从而提高自动化开采的质量与效率, 让矿山产业获得更加长远的发展, 提升有关企业的经济效益。

参考文献:

- [1] 李小峰. 自动化控制在矿山机械设备设计与制造中的应用探讨 [J]. 科技风, 2019.
- [2] 庄松岩. 自动化控制在矿山机械设备设计与制造中的应用探讨 [J]. 世界有色金属, 2018, 508(16): 42-42.
- [3] 李文敏. 矿山设备中机械自动化技术的应用研究 [J]. 商品与质量, 2019, 000(009): 197.

作者简介:

陶力中 (1983-), 性别: 男, 民族: 汉, 籍贯: 山西襄汾, 学历: 本科, 职称: 工程师, 研究方向: 采煤。