

二氧化碳驱油工艺技术探讨

王 磊

(辽河油田石油化工技术服务分公司, 辽宁 盘锦 124000)

摘 要 据国际能源署统计, 全球二氧化碳排放量在 3000 亿至 6000 亿吨之间。由于二氧化碳在油和水中的高度溶解的气体, 当其大量溶解在原油中时, 可以增加原油的体积, 降低其粘度, 减少油水摩擦。二氧化碳驱油技术的原理是将二氧化碳注入油藏以加速石油回收, 该技术可用于储油性较差的深层, 也可用于复杂的油配方, 如低渗透、高粘度和高凝油。自从 1950 年代在美国开始二氧化碳驱油研究以来, 二氧化碳技术发展迅速, 现在该技术更是得到了加强, 技术稳定可靠。

关键词 二氧化碳 驱油 吞吐注采

中图分类号: TE3

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)01-0049-03

1 我国二氧化碳驱油的实践和前景

在我国, 二氧化碳具有较大的石油勘探潜力。根据第二次研究和我国海上先进油田修复技术的结果, 在参与勘探的常规石油部门的 101.36 亿吨原油中, 原油储量已准备好进行二氧化碳驱油, 使用二氧化碳驱油可以增加约 1.6 亿吨的储量。此外, 在 63.2 亿吨低密度获取的原油储量中, 尤其是 50% 左右的未利用区域, 二氧化碳驱比水驱具有更明显的技术效益。然而, 二氧化碳驱油技术在我国还处于研究和实践的领先技术。随着技术的进步和用途的扩大, 可以预见二氧化碳将成为我国提高石油开发效益和采收率的重要资源。

我国在二氧化碳驱油技术方面做了很多先行研究。例如, 中国大庆油田使用加氢净化装置生产的干净二氧化碳来测试, 虽然现场试验因油藏气道的存在而影响了流动效率, 但总体上达到了降低截水、提高采收率的效果。因此, 中原油田石化总厂建成了年产 2 万吨二氧化碳排放装置, 产能提高 20%, 年增产原油 5 万吨以上^[1]。

2 二氧化碳采油技术概述

2.1 二氧化碳采油技术优势

二氧化碳注入技术是一种除注水外还能提高原油采收率的方法, 这一点已经被许多理论研究和生产实际效果所证明。与其他高性能油品技术相比, 二氧化碳采油技术具有以下优势^[2]:

1. 驱油效果好。该技术在海外已得到广泛应用, 并被证明是一种先进的采油技术, 对生产和经济效益有积极影响, 与水效应相比, 这种方式会将采收率

提高约 15%。

2. 适用范围广泛。该技术可用于储油设施较差的深层油坝。它也可用于复杂的油配方, 如低渗透、高粘度和高凝油。

3. 对油层无伤害。

4. 施工操作方便。

5. 工艺技术逐渐成熟。

2.2 二氧化碳性质

在常温常压下, 二氧化碳是一种致密、无色、无味的气体, 粘度非常低。二氧化碳的临界温度为 31.11℃, 临界压力为 7.53MPa 或 1071psi。高于此临界温度时, 二氧化碳以气体形式存在, 并且其尺寸随着压力的增加而增加。二氧化碳的沸点温度为 -78℃, 压力为 0.58MPa 或 83psi; 二氧化碳的液态温度为 17℃, 压力为 2.1MPa。二氧化碳在水中极易溶解, 其溶解度随压力增加而增加, 随温度增加而减少, 随盐度增加而减少。在大多数情况下, 油藏的温度高于临界温度, 因此很难将二氧化碳转移到油层中。

3 二氧化碳驱油作用机理

研究稠油、高凝油和轻油中二氧化碳驱油的主要方法可归纳如下:

3.1 使原油体积膨胀

注入二氧化碳后原油产能的扩大有三个因素: (1) 原油体积增加, 含油孔隙体积增加, 为石油流入内部创造了有利条件; (2) 水流后, 油层中的残油残渣通过注入二氧化碳而膨胀, 从孔隙中抽出, 降低残油饱和度; (3) 泄漏的油滴从孔隙空间中提取水分, 使水

系统可以进行排水而不是吸水的过程，并改变了入口相，为各种条件下的油流动创造了良好的环境。

3.2 降低原油粘度

一旦二氧化碳溶解在原油中，原油的粘度就会急剧下降。当二氧化碳完全饱和时，原油的粘度可能下降到 1/10 或 1/100。随着原油粘度的升高，其粘度也随之下降，其中粘度降低对原油精炼的影响尤为明显。降低原油的粘度有助于提高原油的流动性。因此，可以注入一定量的二氧化碳，以实现石油的最佳流动。换句话说，可以加入一定量的二氧化碳，以达到最佳的石油流动效率。

3.3 多级混相驱油

一旦二氧化碳注入地层中，它就会与原油储层混合。在特定温度和压力下，二氧化碳和原油形成单一化合物以混相驱油。在此期间，内部张力很低，可用油量很高，采收率可以达到 90% 以上。在低压下，二氧化碳仅部分减少，当压力高（6.9~9.7MPa）和温度高（55°C）时，二氧化碳会不断向燃料中释放低重量的碳氢化合物，形成二氧化碳富气相。丰富的气相加剧了二氧化碳和石油的裂化，在高压下二氧化碳的含量接近原油，可以加速汽化原油，与原油形成完全无法分解的相。

3.4 降低界面张力

二氧化碳在油和水具有溶解作用，减少了分子间作用力引起的相互作用。这改变了油和水的流入量，即油相的等量输入增加而水的流入量减少，以生产更多的油。

残余油饱和度随着油水表面张力的降低而降低；大多数油藏中油水界面张力为 10~20mN/m。如果剩余油浓度趋于零，则油水界面张力应降至 0.001mN/m 以下。界面张力低于 0.04 mN/m 时，回收率将显著提高。CO₂ 采油的主要作用是置换和蒸发原油中的简单碳氢化合物、大量碳氢化合物等，显著降低油水不相容性和残留油含量，从而提高原油回收率。

3.5 蒸发原油中间烃组分

二氧化碳是一种非常强大的汽化物，可以从原油中的 C5~30 范围提取碳氢化合物并提高原油液体的流动性。

3.6 形成溶解气驱

随着开采期的进行，地层的压力会逐渐降低，开始溶解在原油中的二氧化碳会大量释放，形成一个熔

融气体发动机，可以提高释放水的生产率。

上述二氧化碳与原油的作用，是一个通用的参考。在不同的生产环境和不同类型油藏的不同生产时间，二氧化碳的作用机制也不同。例如，在简单的油源中，二氧化碳在促进油和溶解气体的运动方面起着重要作用。

4 二氧化碳采油工艺分类

二氧化碳在石油工业中的使用包括：注入和吸入二氧化碳（促进单一来源进入的措施）；连续注入二氧化碳；充斥碳颗粒；同时注入水；二氧化碳 + 轻质石油气。因此，我们专注于二氧化碳注入和吸收过程的各个阶段，以及二氧化碳驱油过程。

4.1 气态二氧化碳吞吐采油工艺

4.1.1 液态二氧化碳气化工艺

采用注入液体后加热气化的技术方法。即从储蓄罐送来的二氧化碳开始被压缩、吸入到地层的压力中，然后被燃烧。

4.1.2 二氧化碳气态注入工艺流程

一般情况下，二氧化碳由液态二氧化碳罐输送到施工现场，由低压泵引向柱塞泵。经柱塞泵升压后，由吸入支泵管供油，在压力下送入熔炉。液态二氧化碳被导入熔炉，内部发生热交换，吸热后温度升高，空气中的二氧化碳就会在压力作用下进入地层。根据所需的各种程序，二氧化碳可以从油层的空间注入，或从油管注入，或包在油层的顶部，然后注入油管。

4.1.3 气态二氧化碳注入参数设计

二氧化碳气体的设计参数受重力压力的形成和炉温等因素的影响。参数的大小取决于炉子的功率，结合建筑源的实际情况，最大功率只能为 360 千瓦。

4.1.4 气态二氧化碳注入后焖井时间

汽化二氧化碳气体的最佳焖井时间为 10~15 天。在稠油油藏孔隙度和渗透率低的油藏中，焖井时间应更长。

4.1.5 气态二氧化碳注入后回采速度

二氧化碳吞吐的第一阶段，通常有一个驱动时间，喷发时的生产压力差应控制在 0.51 兆帕 / 天，喷期满后用机械吸除油污。当送液量急剧上升时，调整输入参数，当液位变化不大时，调高侧升和泵送，其他参数保持不变。

4.2 液态二氧化碳吞吐注采工艺设计

液态二氧化碳提油工艺与气态二氧化碳提油工艺的区别如下：

1. 直接注入二氧化碳。

2. 注射速度不是由设备测量的, 可以相应增加抽真空的速度。

3. 二氧化碳在油层中加热需要时间, 油线温度恢复到原来温度的90%, 一般需要48小时, 完全恢复一般需要7~8天, 所以焖井的持续时间一般为2~3天。

4. 其他条件与气体情况基本相同。

4.3 气(CO₂)-气(N₂)段塞吞吐采油工艺

原油成功地从地层中提取出来, 必须要满足两个条件: 即油藏内的压力足够高和原油含水量高。气(CO₂)-气(N₂)段塞是在开发原油液体时增加压力。

这是由氮气和二氧化碳与原油相互作用的方式决定的。氮本身不溶于水, 在原油中的溶解度也很低, 弹性系数大。注入地层后, 增加压实度, 才易溶于原油。

由于二氧化碳对降低常规稠油粘度具有积极作用, CO₂-N₂段塞气和浓缩油生产工艺是资源严重短缺的稠油的理想选择。试验结果表明, 段塞长度越短越好, 段塞长度一般为0.2、0.3PV。长时间连接油层的高压, 由于氮气和二氧化碳的密度差异, 很容易迫使氮气分解二氧化碳, 造成流量不平衡。段塞比通常为1:1至1:3, 另一种注入气体的方法是将气体均匀地分成几种, 可以防止氮气进入二氧化碳。

5 二氧化碳驱油的应用前景

5.1 二氧化碳驱油的意义

目前, 世界上许多油田都采用注水方式, 面临着石油再生和水资源短缺的需求。对此, 近年来, 国外大国积极推进二氧化碳排放采油技术的开发和实施。该技术既能满足油田开发需要, 又能解决二氧化碳封存和大气保护问题。该技术不仅适用于常规油藏, 也适用于低渗、特低渗透油藏, 可以大大提高原油采收率。2006年, 美国共有153个改进的石油修复项目, 其中82个是二氧化碳修复项目。国际能源署估计, 通过二氧化碳技术得到的石油将从3000亿桶增加到6000亿桶。将二氧化碳注入枯竭的石油储量可以增加油气田的产量, 这已成为石油生产的共识。90%以上的二氧化碳纯度可用于提高采收率, 二氧化碳在水中溶解后, 水的粘度可增加20~30%, 运移性能可增加2~3倍; 油中二氧化碳溶解后, 原油体积增加, 粘度降低30~80%, 二氧化碳驱油通常可以将采收率提高7~15%, 并将油寿命延长15~20年。二氧化碳的来源可以在能源厂、化肥、水泥厂、化工厂、炼油厂、天然

气加工厂等行业的开采中找到, 不仅可以减少温室气体排放, 还可以增产油气。

5.2 二氧化碳驱油的实践争前景

在能源紧缺和节能减排的背景下, 二氧化碳排放具有更广阔的推广和利用潜力。有关部门应及时采取相应措施, 支持政策, 加快该技术的开发和实施。专家表示, 二氧化碳驱不仅适用于常规油藏, 特别是低渗、特低渗透油藏, 还可以大大提高石油采收率。根据油田不同的地理条件, 所有额外生产的原油需要1到4吨, 两吨二氧化碳可使原油产量增加油田总储量的10%左右。二氧化碳在我国具有巨大的石油潜力, 根据第二次中国陆上已开发油田提高采收率潜力评价与策略研究, 在参与研究的101.36亿吨传统石油储量中, 适合二氧化碳排放的原油储量估计为12.3亿吨, 预计使用二氧化碳驱可增加160万吨。但是, 二氧化碳排放技术在我国还不是研究和使用的领先技术。可以预见, 随着技术的进步和应用的增加, 二氧化碳将成为我国提高石油开发效果、提高石油采收率的重要资源^[3]。

6 结语

二氧化碳驱油技术已经得到证实。据不完全统计, 目前世界上正在进行的二氧化碳驱油项目约有80个, 美国是拥有最大二氧化碳驱油项目的国家。一个油藏中每年沉积的二氧化碳量约为20~3000万吨, 其中300万吨来自天然气厂和化肥厂。根据第二次中国海洋石油开发战略潜力考察研究的结果, 二氧化碳在我国具有石油勘探的潜力。我国已探明原油储量63.2亿吨的低渗透油藏, 尤其是50%未开发储量, 使用二氧化碳驱油具有更明显的技术优势。可以预见, 随着技术的进步以及消耗量的不断增加, 二氧化碳将成为我国提高油田开发效果、提高采收率的重要资源。

参考文献:

- [1] 杨翠萍. 二氧化碳驱配套工艺技术研究与应用 [J]. 化学工程与装备, 2019(06):93-95.
- [2] 于中奇, 李金禹, 王海静. 二氧化碳驱压井工艺技术在Y93-C16井的应用 [J]. 化学工程与装备, 2018(08):196-197.
- [3] 李红正, 吴建朝. 二氧化碳驱油工艺技术探讨 [J]. 化学工程与装备, 2017(09):173-175.