

双水平井SAGD循环预热工艺研究与应用

张甜甜 中国石油辽河油田勘探开发研究院

【摘要】现代化建设目前正在进入高速期，无论是工业化生产还是人民群众生活，都正在朝着科学化、机械化方向发展，这从一定程度上保障了我国社会经济发展。但是与此同时，高速发展的社会对石油资源的需求量越来越大，这给石油开采行业提出了新的要求，原本的工艺技术在今天已经不再具有合理性，基于原有技术对开采工艺进行创新已成必然。本文就根据辽河油田实际开采经验，对双水平井SAGD循环预热工艺进行深入分析。

【关键词】SAGD循环预热；双水平井；超稠油

【DOI】10.12316/j.issn.1674-0831.2022.05.021

引言

石油资源被誉为工业的血液，无论是经济建设还是社会生产都离不开石油资源的支持，即使是简单的日常生活也需要石油产品才能稳定进行，不难看出石油资源的重要性。但是在不断开采的过程中，一些油田的浅层油藏以及高渗透油藏已经被开采殆尽，利用新技术新工艺对地层进行处理、提升石油资源开采效率，是石油开采行业目前的发展共识。双水平井SAGD循环预热工艺正是在这种情况下应运而生的，它能够从根本上保障油藏开发效率，确保石油资源稳定供应，在实际生产过程中应用双水平井SAGD循环预热工艺，具有一定的现实意义。

一、双水平井SAGD循环预热影响因素分析

蒸汽辅助重力泄油（SAGD）技术是一种具有先进性的开采技术，它能够保证驱油效率、提升石油资源采收率，经过一段时间的应用，得到了越来越多的认可和关注，根据实际应用情况来看，双水平井SAGD循环预热工艺主要可以分成启动阶段和生产阶段。在启动阶段中，比较常见的技术措施有蒸汽吞吐预热启动和循环预热启动两种，其中注蒸汽循环预热启动技术具有更稳定的加热效果，启动效果比较平稳，能够让蒸汽腔以稳定均匀的形态逐渐扩张，最终形成的蒸汽腔比较大且加热效果好，能够保证石油资源的开采效率等，但是与此同时也必须看到，其除了拥有一系列优势之外，还存在配套循环预热管柱结构复杂、预热参数优化困难、循环预热机理不成熟等一系列问题，没有能够与之相配套的同注同采工艺技术，也没有成功的案例可以作为参考。目前，越来越多的技术人员开始对双水平井SAGD循环预热工艺的工艺机理、注采参数设计、管柱结构进行研究，也确实取得了一定的阶段性成果，比如有一部分技术人员提出了无接箍长冲程抽油泵、注采一体双管井口等多

项关键技术设备，在应用实验中保证了循环预热效果。除此之外，双水平井SAGD循环预热工艺的最终使用效果往往受到多方面因素的共同作用，比如说油藏物性、钻井轨迹、循环管柱结构及循环预热操作参数等都可能影响最终的预热质量，其中油藏物性条件并非人力可以改变，但是除此之外的其他因素都可以在技术人员的努力下得到保障，从而最终提升双水平井SAGD循环预热工艺应用效果。根据实际工作经验来看，循环过程操作参数是优化控制循环预热技术的重中之重，对这一参数进行调整和优化，是确保双水平井SAGD循环预热工艺应用效果的不二之选，但是这项工作有一定的难度，工作人员需要同时考虑蒸汽循环速度、井底蒸汽干度、蒸汽循环压力、井间施加压差的大小和时机等一系列要素，才能保证最终的预热水平。具体来说，对参数进行优化设计的要点可以从几方面理解：第一，蒸汽循环速度。蒸汽循环速度是循环预热效果的主要影响因素，循环速度是否合理，直接决定着循环预热的有效性，其能够对循环启动时尾端见汽时间、循环过程加热水平井段油藏的均匀性和循环预热时间周期产生巨大的影响，在蒸汽循环速度过慢的情况下，井间温度场发育不均匀、井间温度也会逐渐下降，即使在一段时间后提升循环速度，也并不能保证井中间温度得到明显的增加。更重要的是，蒸汽循环速度并不能太高，在速度过快的情况下，其基本上无法完成热传递，也就不能使井间区域温度得到明显升高，在热循环速度不断增加的过程中，其返回时携带的热量会逐渐增加，进而发生压力和热量损失，不利于双水平井SAGD循环预热效果。第二，井底蒸汽干度。在蒸汽热循环速度保持稳定的情况下，井底蒸汽干度越高、温度场分布越均匀、井间温度升高得越快。实际上，井底蒸汽干度和蒸汽循环速度一样，都会在达到某

个值以后发生反作用,比如在井底蒸汽干度过高的情况下,井间中间区域温度增加将变得十分缓慢,环空温度达到稳定的时间也会更短。第三,循环预热压力。在循环预热压力比较大的情况下,蒸汽循环速度和饱和度都会提升,这能够让双水平井SAGD循环预热工艺效果得到提升,但是在一些非均质油藏当中,过大的循环压力也可能导致形成优先渗流通道,不利于后续石油资源开采控制,更不利于双水平井SAGD循环预热工艺的后续应用。不难看出,井底蒸汽干度、蒸汽循环速度、循环预热压力都决定着双水平井SAGD循环预热工艺的质量,工作人员需要根据实际情况合理控制上述参数,确保双水平井SAGD循环预热工艺的应用效果。

二、SAGD循环预热配套工艺技术应用要点

1.注采参数设计

结合辽河油田油藏开采的实际需求,根据双水平井SAGD循环预热工艺的应用实验参数等,合理设计注采参数,是保证工艺应用效果的重中之重。在辽河油田A实验区块中,工作人员根据实际情况提出了设计方案,具体的设计注气量为12000t,注气压力为4~7MPa,注气干度为75%~80%,注气速度为4.5~5t/h,同时产液量为80~90t/d,井底温度为200~220℃,产出液温度为170~180℃,采注比为1。

2.井下双管柱结构

为了确保双水平井SAGD循环预热工艺的应用效果,需要将注采双管柱同时下井,而想要达到这一目标,就必须要对其管柱结构进行调整和设计,工作人员对不同管柱结构的型号尺寸进行了反复模拟,最终确定了最佳的设计参数,在保证双管柱同时下井的基础上,保证了注汽和采油的最佳效果,让双水平井SAGD循环预热工艺得以发挥应有的作用。根据水平井开采需求,其套管的外径为准244.5mm、内径为准220mm,另外为保证悬挂强度和双管悬挂的便利性,技术人员认为注汽和举升的两管柱最大外径之和应该小于准200mm。根据实际的应用情况来看,这一管柱结构设计参数非常合理,保证了举升能力及石油开采效果。

3.无接箍长冲程抽油泵

双水平井SAGD循环预热工艺能否取得实质性应用效果,很大程度上取决于抽油泵型选择是否合理,工作人员在过去的很长一段时间内,被同注同采举升工艺技术的难题所困扰,相比于传统的预热工艺,双水平井SAGD循环预热工艺对管柱的同步性要求更高,经过反复尝试和调整,最终确定套管内径为准220mm,注汽管柱最大

接箍外径为准108mm,另外考虑到尺寸的限制,抽油泵接箍最大外径应小于准93mm。在确定了参数标准以后,工作人员又结合现有的抽油泵设备,选择了准70mm泵,该泵型接箍外径为准107mm,能够满足双管柱同时悬挂的工艺要求,经过一定的设备和技术调整,其接箍外径减小为准93mm。根据具体的应用情况来看,这一抽油泵具有活塞直径大的优势,能够确保双水平井SAGD循环预热工艺应用效果。

4.注采一体双管井口

结合双水平井SAGD循环预热工艺的应用需求,技术人员对原有井口结构进行了分析,并研究出了新的注采一体双管井口,相比于传统井口结构,其具有更可观的稳定性,能够耐温350℃、耐压22.5MPa,耐温耐压性能的提升,使之能够在双水平井SAGD循环预热工艺应用中保持稳定,为石油开采提供有力支持,解决了传统井口结构的井口偏心、提升断管等一系列问题,在提升法兰的支持下,传统井口结构提升受力不均的缺陷也迎刃而解。

5.液压封井装置

双水平井SAGD循环预热工艺的应用难度比较大,除了对井口结构等有要求之外,其本身具有高温高压的特征,因此保证生产安全也是课题之一,在这种情况下技术人员提出了安装液压封井装置的思路,这种装置的特殊性在于其能够实现全封和半封液压封井,还可以根据实际情况完成井口密封和远距离抢喷控制等,保证了开采的安全性。最重要的是,这种液压封井装置当中的密封填料为新型耐高温、耐磨蚀材料,即使是在双水平井SAGD循环预热工艺中,面对150~180℃的高温环境,也能够稳定使用两个月左右,具有一定的安全保障效果。

6.集输工艺流程

集输工艺流程设计是否科学合理,决定了双水平井SAGD循环预热工艺的最终应用效果,根据双水平井SAGD循环预热工艺应用实验情况及有关经验,技术人员提出了配套高温井口取样器、高温称重式油井计量器、回压控制系统、停机保护及超速保护系统等一系列措施,从而保证双水平井SAGD循环预热工艺中能够实现井口高温高压取样、在线高温产出液计量、井口回压控制等,还能够油井出现超压及电机超速时油井保持正常生产。

7.循环预热工艺现场试验效果

双水平井SAGD循环预热工艺目前还处在探索应用阶段,但整体工艺流程已经比较成熟,从2008年至今,其应用规模不断加大,时至今日已经在各大油田都有所应

用。经过技术人员的反复调整以后,双水平井SAGD循环预热工艺开始在辽河油田的实际开采中发挥作用,经实践,两口水平井间建立了很好的热连通,取得良好的试验效果,能够从根本上提升石油资源开采效率。

8.循环预热配套工艺技术

(1)井筒预热阶段中确定见汽点。在这个过程中,工艺的主要应用目标为确定水平段见汽点,在长时间向双水平井中注入高干度蒸汽的基础上,将井筒中原本存在的冷积液替换出来,使蒸汽中携带的热量传导到地层当中,从而达到加热井筒及周围地层的效果。而随着过热饱和蒸汽的不断注入,在某一时刻饱和蒸汽将会变成饱和水,此时的相态转折点即为见汽点,而在注汽时间不断增加的情况下,见汽点将逐步前移。目前,技术人员常通过蒸汽性质法和温压法判断见汽点位置,取得了一定的实际应用效果:①蒸汽性质法。在饱和蒸汽到达极值的情况下,井筒内部的温度开始逐渐均匀并不再产生温度差,前后端温度可能略有差异但并不明显,而在饱和蒸汽未到达脚尖时,在见汽点后端温度分布趋势改变,等距离温降明显增大,温度分布趋势改变点即温降转折点为见汽点。②温压法。所谓的温压法指的就是通过模拟井筒内温、压分布特征,确保水平段环空温度和压力分布稳定。在饱和蒸汽到达脚尖的情况下,脚尖处监测温度拟合压力可近似代表井底压力且与套压趋于一致;而在饱和蒸汽未到达脚尖的情况下,脚尖处监测温度拟合压力不能代表井底压力且小于套压。以FHW101P井为例,通过蒸汽性质法和温压法判断脚尖见汽时间都取得了比较可观的成果,且两种方法判断见汽时间吻合。

(2)均衡提压阶段提升水平井温度。在这个过程中,双水平井SAGD循环预热工艺应用难度骤然提升,技术人员需要通过一定的技术手段提高I井和P井井底压力、提高水平段温度,并尽可能缩短预热时间。在蒸汽到达脚尖后,井底压力1.5MPa左右,水平段温度200℃左右,井间油层预热速度慢。结合具体的数据分析情况来看,在脚尖见汽后环空压力越高、井间温度越高,井间对流加强,井间原油黏度均衡下降,但不能使环空压力超过油藏破裂压力。

(3)稳压循环阶段。在这个阶段中,技术人员的主要目标在于保持井下流体相态稳定、均匀预热井间油层,在稳定循环一段时间以后,利用数值模拟跟踪当I井和P井井间中点温度,发现该位置温度达到90~100℃、原油黏度为1000mPa·s左右,此时原油的流动性已经比

较高,可进行连通试验,出现连通迹象后进入微压差泄油阶段。

三、结语

辽河油田是我国最大的稠油、高凝油生产基地,生产规模大、石油资源质量高,具有十分可观的开采效果,但是经过一段时间的开采后,原有的工艺技术已经不再具有应用价值,无法满足辽河油田生产需求,在这种情况下技术人员进行了一系列技术创新。双水平井SAGD循环预热工艺在辽河油田生产中的应用,就取得了比较可观的成果,在今后的工作中,技术人员需要从注采一体双管井口、液压封井装置、集输工艺流程等方面分别入手,进行进一步研究,确保双水平井SAGD循环预热工艺能够发挥更加可观的作用。

参考文献:

- [1]王琪琪,林伯韬,金衍,陈森,潘竞军.SAGD井液扩容对循环预热及生产的影响[J].石油钻采工艺,2019.
- [2]王永佩.水平井过热蒸汽循环预热井筒传热模拟[J].北京石油化工学院学报,2019.
- [3]李朋,张艳玉,孙晓飞,李冬冬,刘洋,陈会娟.SAGD循环预热割缝筛管参数影响规律研究[J].工程热物理学报,2020.
- [4]桑林翔,王立龙,吴永彬,王美成,王丽.SAGD电加热启动技术油藏适应性研究[J].特种油气藏,2020.
- [5]孙君,孙艳萍,周文超,付云川,王磊.溶剂辅助SAGD开采油砂快速启动技术[J].石油钻采工艺,2020.
- [6]赵睿,孙新革,徐斌,罗池辉,孟祥兵.SAGD快速启动技术现状及前景展望[J].石油钻采工艺,2020.
- [7]杨兆臣,于兵,吴永彬,王丽,张家豪,佟娟,姜丹,张崇刚.超稠油溶剂辅助SAGD启动技术油藏适应性研究[J].特种油气藏,2020.
- [8]赵东亚,卢帆,曹磊,李兆敏,鹿腾,杨建平.基于模糊综合评价的烟道气辅助SAGD过程评价[J].化工进展,2021.
- [9]林日亿,郭彬,李轩宇,杨勇,韩飞,王新伟,张建亮.过热蒸汽SAGD循环预热模拟及方案优化[J].中国石油大学学报(自然科学版),2021.

作者简介:张甜甜(1987-),女,汉族,辽宁盘锦人,本科毕业于西南石油大学石油工程专业,工程师,研究方向:油气田开发工程,现从事SAGD开发研究。