



于奇超稠油:荒漠中的上产新“绿洲”

西北油田加强基础地质研究,一体化推动技术迭代升级,实现于奇西地区超稠油规模效益开发

□本报记者 王福全 通讯员 金燕林

5月20日,小满,在西北油田于奇西地区,与当地的气温一样,原油生产场景一片火热。一周前,于奇5-23井获得油气突破,目前保持稳定生产。这是今年于奇西地区部署建产的第十口井。西北油田于奇区块自2004年投入开发以来,一直处于低产低效难动用状态。2022年至今,于奇西地区投产新井26口,最高日产原油达810吨,累计产量相当于前18年总产量的2.3倍。以“超稠油”闻名的于奇区块,如何从连续多年坐“冷板凳”一跃成为增储上产的“座上宾”?

于奇5-20井完井试油作业现场。刘红新 摄

集,由于采集精度低、品质差,导致断裂的形态、格局模糊,缝洞体的边界不清晰,整体成像效果较差,研究人员只能“雾里看花”。于奇西地区平均原油密度达到1.022克/立方厘米,比塔河油田前期已开发的“最稠油”还要高。原油从井底举升到井口的过程中,温度降低会造成黏度急剧上升,堵塞井筒无法正常生产。为保证原油能从井底顺利开采出来,需要注入超过两倍于地层产油量的稀油增加流动性,令稀油更加紧俏。

从表层转向深层

于奇201井部署于于奇西地区于奇5-1北东向主干断裂带中部。2014年6月,钻井作业进入目的层厚度158米后,集中改造浅层80米范围内的储集体,结果未获得油气流,目的层评价为干层,开发被搁置。

2023年9月,研究人员依据新的地质认识成果,朝着该井主干断裂带深部缝洞体进行侧钻,进入目的层厚度328米后,集中改造储层获高产油气流。油井投产初期原油日产量38吨,目前压力稳定,累计产量超6400吨。

“地质理论认识的新成果为多口油井获得油气突破指明了重要方向。”西北油田岩溶地质领域专家汪彦说,“面对塔里木盆地特有的超稠油难题,我们不断深化地质理论认识,再盘‘家底’,先后开展‘塔河北部风化壳岩溶难动用区开发动用对策研究’‘断裂分级精细解析’‘岩溶基础地质研究’等6项基础研究,逐步勾勒出通往断裂深部的路径。”一项项新认识、新成果合力推动于奇西地区“地下再认识、地域再拓展、储量再增长”。

西北油田重新开展高精度三维地震资料采集,解决了于奇西地区地质研究“雾里看花”的问题。“但是,新难题随即而来。”塔河油田开发研究所开发基础研究室主任马海院说,“主要表现在无法识别缝洞体的外部边界、无法测算内部充填情况、无法判断不同规模断裂作为油气运移和调整通道的能力。”

2022年,西北油田组织各领域的骨干研究人员开展“地震-地质-工艺”一体化协同基础研究。

在地震研究方面,研究人员对不同尺度断裂的样式、期次及成因机制开展研究,并预测其作为油气运移和调整通道的能力,同时,综合利用多种地震属性和实钻资料进行研究,有效提高了该地区目的层层位及有效缝洞体的预测精度。

在岩溶基础地质研究方面,他们通过恢复古岩溶时期构造背景、地貌形态及水系结构等特征,准确认识到于奇西地区的缝洞体主要表现为两种形态:一种是以纵向延伸为主的孤立缝洞,多形成于断裂较发育的部位,缝洞体之间横向不连续;另一种是横向较连续的管道型缝洞体,呈间隔分布。

经过持续攻关,多项新成果推动解决了地下溶洞识别难及油气运移通道等关键问题。研究人员创新建立了基于过度溶蚀残留型断裂控储模式及强剥蚀区缝洞储集体的有效性识别标准,这对精准定位有效目标

储层起到了重要作用。

他们首次将人工智能与常规识别方法结合,创新形成塔河碳酸盐岩断裂分类检测技术,判断出3条规模大断裂带,以及其作为边界的矩形夹持区为储量有利评价区;确立了“三带一区”为有利评价区的思路,标志着于奇西地区的储量动用对象从表层开始拓展到了中深部。

2022年以来,于奇西地区目的层厚度由150米提高至253米,投产新井26口,区块最高原油日产量达到810吨,一跃成为塔河油田稳产上产的新亮点。

一体化推动产能提升

2023年3月,西北油田在于奇3-2北东向主干断裂带上部署的于奇3-2CH井获得油气突破。这是“大斜度井斜穿+分段酸压+电泵放大压差”一体化技术推广应用的结果。

“我们应用新的地质工程一体化技术,采用大斜度水平井设计,实现了同时控制浅层、深层两个规模缝洞体的目标。分段酸压完后,单井动用储量由17万吨提高至48万吨。”塔河油田开发研究所所长张娟介绍,超稠油井原油密度大,在自喷生产后,地层压力及产液量会快速下降,需要及时采用电泵增产、放大生产压差等举措保证油井稳定生产,于奇3-2CH井初期原油日产量达到105吨,目前累计产量超2.6万吨。

实现规模效益采收,“超稠”是绕不过去的难题,采用传统钻井工艺容易产生稠油侵入井筒和凝管风险。

传统处理方式是采用环空平推,即在钻杆和井筒间隙中泵入高密度钻井液,以增加液体的液柱压力,使已经流入环空中的稠油重新流至地层,确保井控安全,但容易伤害储层,影响后期生产。

为了将超稠油储量变成实实在在的规模产量,西北油田从多年稠油开发实践中总结经验、对症施策,并对工程工艺技术进行迭代升级。

他们形成了“循环疏导为主,降黏剂和分散剂辅助稠油治理”的技术组合,当流入钻杆和井筒间隙中的稠油量较少,不足以造成稠油凝管时,采用循环疏导方法,从钻杆中泵入钻井液将已经进入井筒中的稠油循环出来,确保继续钻进,既避免了伤害储层,又保障了后期生产;当流入钻杆和井筒间隙中的稠油量较多,循环疏导无法解决时,向钻井液中加入稠油降黏剂或者分散剂,降低稠油的黏度,然后采用循环的方法将超稠油循环至地面。

通过地质工程一体化及技术迭代升级,于奇西地区实现钻井控制多套储集体、酸压沟通多套储集体、放大生产压差扩大井周储集体动用范围的目标。近两年,该地区油井平均产能较2022年之前提高了八成。

虽然成绩喜人,但于奇西地区已勘探开发的区域只是在超稠油开发领域打造出的“一小块‘绿洲’”,对塔河油田超稠油来说,还有很多未知的区域需要探索,还有众多的难题需要攻克。

知识链接

什么是超稠油?

稠油就是比较黏稠的石油,因黏度高、密度大、流动性差,难以从地下采出。有的稠油黏度高达上百万毫帕·秒,像黑泥一样,可用铁锹铲起、用手抓起。超稠油指黏度大于5万毫帕·秒的石油。

在西北油田于奇西地区的中深部,发育有大量的云灰岩孔洞层,超稠油密度大于1.02克/立方厘米,属于超重质油(密度大于等于1克/立方厘米),其沥青质和胶质含量较高,大幅降低了流动性,难以从岩石表面剥离下来,无法从储层流进井筒。

于奇区块超稠油开发主要创新技术

技术1:“过度溶蚀残留型”断裂控储模式及强剥蚀区缝洞储集体有效性识别技术

于奇西缝洞层结构及控制因素复杂多样,有效储层的识别和定位较为困难。该技术明确了储集体发育的控制因素及有效性预测方法,有效提高了规模缝洞体的控制程度,钻遇率明显提高,自然完井率由12.5%升至50%。

技术2:塔河碳酸盐岩断裂分类检测技术

于奇5井区高精度三维资料采集处理后,断裂的整体格局和形态较为清晰,但对不同走向、规模的断裂对油气的调整和疏导能力还缺乏整体认知。通过应用人工智能与常规识别方法相融合的碳酸盐岩断裂分类检测技术,落实了“三带一区”的有利评价区,识别出3条有利充注路径,建立了油气充注及调整的模式。

技术3:“大斜度井斜穿+分段酸压+电泵放大压差”一体化技术

于奇西地区缝洞储集体的发育整体受断裂控制,在浅层、深层均有分布,“一井一洞”的动用方式不能满足效益开发需求。应用该技术后,可在部署大斜度井的同时控制浅层、深层多套规模缝洞体,通过分段酸压提升单井动用储量,通过电泵转抽方式解决超稠油井无法稳定生产的问题,实现了缝洞体由浅向深、从单一控制到多控多动的转变。

企业实践

河南油田

37年稠油老油田开发成本持续走低

□本报记者 常换芳 通讯员 范宁 单朝玉

今年前4个月,以稠油生产为主的河南油田采油二厂生产原油11.78万吨,产量保持在计划线上运行,生产成本同比降低4020万元,打开了稠油低成本开发新局面。

地下资源呈碎片化,油藏薄、埋藏浅,开发了37年的稠油老油田如何保持稳产?如何实现生产成本持续走低?面对困难,要主动出击、创新作为,才能突出“重围”。该厂厂长蔡汉文说。

开发稠油首先要做实“热”文章。该厂有着成熟的稠油油藏注蒸汽开发经验,通过加强注汽管网和井筒全程保温,锅炉热效率由83.6%升至95.4%,蒸汽干度由73.8%升至85.1%,管线沿程热损失由327瓦/平方米大幅降至160瓦/平方米。

为了在碎片化的油藏中找到新的资源阵地,技术人员通过复查老井发现了沉寂30多年的付湾油田具有开发潜力。他们利用已有管线和设备,实现付湾油田及时投产,节约投资165万元;先后对付湾油田8口井实施热力试采,部署开发井7口、评价井3口,累计产油3300多吨,新增控制储量超150万吨,开辟了新的资源阵地。

该厂还积极转变开发方式。杨浅20普通稠油水驱油藏平面窜流严重、驱油效率低,他们利用“通道定量识别+逐层深部调剖+降黏复合驱”集成技术,将该区油藏转为水驱开发。杨21226井应用后,日产量由0.8吨升至5.6吨,综合含水率下降6个百分点。他们扩大该技术应用范围,与油田工程院实施技术风险承包,杨浅20区块日产量由2.9吨升至10.7吨,增油超3300吨。

多年注蒸汽开发后,汽窜问题日益凸显,注汽效果逐步变差。对此,该厂及时从单井注汽转为面积组合注汽,并配套开展热化学复合提高采收率先导试验,提高热能利用率。热化学复合驱提高采收率先导试验在8个井组开展,增油6400吨。

针对油藏类型复杂、开发方式多样等特点,技术人员形成了薄层稠油油藏蒸汽吞吐经济开采等8项油藏开发特色技术,以及氮气辅助吞吐、注采一体化等5项工艺,为效益开发提供了有力支撑。

稠油生产成本中,燃料费和电费占到46%以上。对此,该厂对暂时无法注汽、无有效治理对策的高含水井,采取堵水、调剖调驱等措施,控减无效产液量;对生产过程需掺水的井,通过全过程保温、完善工艺配套等措施,精准控掺水;研发错峰远程控制程序,可利用手机APP远程控制高架罐、电磁加热器等高能耗电设备,多利用谷电、绿电,持续为设备“瘦身”。

为缩减燃料费支出,该厂打出“一降两提(降集输系统用气量,提升产回收气产量与用气设备热效率)”组合拳,持续开展锅炉烟气余热、采出水余热利用工艺攻关,日均消耗天然气从1.96万立方米降至1.49万立方米;精细地质评价,实施气井补孔、配套天然气回收管网等措施,回收利用自产气78万立方米。

他们还攻关“光热+套管燃气热+谷电+蓄热”多能互补技术,解决了高凝油井电耗大、成本高等问题。9口井应用后,累计节电32.6万千瓦时,节约电费28.2万元。

“三上”于奇 三次失利

西北油田勘探开发研究院塔河开发研究所副所长张晓晓研究塔河稠油开发已经16年,但当他面对于奇区块超稠油开发时也犯了难。

塔河油田位于塔克拉玛干沙漠北缘,于奇区块位于塔河油田北部,2021年以前,区块共部署16口井,建成12口井,最高原油日产量60吨,平均单井累计产原油仅1.1万吨,大量的储量未得到有效动用。

面对沉睡的储量,西北油田先后在于奇区块东部、中部和西部3个区域开展地震资料采集。最终,面积800平方公里的于奇西地区被选为“落子之地”。

之所以看好于奇西地区,是因为它有一个“好邻居”。塔河油田12区北部与于奇西地区相连。2019年,西北油田在12区北部完钻油井12口,全部建产,单井日均产量22吨,新井当年产原油2.1万吨,收到较好的开发效果。这两个区域处在同一条断裂系统,地质背景极为相似。

“多年的研究表明,于奇西地区受多期构造和岩溶叠加影响,储层具有强岩溶、强剥蚀、强改造的地质特点,且浅层储集体充填严重,改造破坏强,岩溶缝洞储层结构复杂多样。”张晓晓说,“于奇西地区已历经20年的开发,西北油田曾经‘三上’于奇,但三次失利。”

2002~2004年,西北油田甩开勘探,在于奇西地区部署3口探井,仅1口井见油。原油成分以早期残留的超重质油为主,储层不发育,缝洞体内有60米的充填,导致供液能力较差。

2007~2013年,参考塔河油田主体区块“串珠状反射体是规模缝洞储集体响应”的成熟认识,西北油田再上于奇。于奇5井获得高产油气流,证实该区域奥陶系具备规模成藏潜力,随后滚动评价于奇5井区,提交探明储量1255万吨。但是,向地区东部甩开评价的3口探井均失利。

2014~2020年,西北油田按照“顶部完整、下部缝洞保存好”的思路优选部署于奇西1井,测试获轻质油,之后滚动部署4口井,其中3口井未建产,规模开发再次遇阻。

“在超稠油区块获得轻质油,说明了于奇西地区晚期油气充注模式复杂,富集规律不清。”张晓晓说。

地震资料缺陷影响了油藏认识研究。于奇西地区原有的地震资料为2003年采

在世界剩余石油资源中,约70%是稠油。持续、有效、经济的稠油开发成为各国石油增产的重要方向。

我国稠油资源量约200亿吨,现已探明35.5亿吨,开发潜力巨大。在塔里木盆地,稠油油藏主要集中在塔河油田,稠油密度、黏度均呈北西高、南东低特点。油藏呈现“两超三高(超深、超稠、高含胶质沥青质、高含硫化氢、高矿化度)”特征,多位于6000米以深的超深奥陶系,黏度在20万~180万毫帕·秒,沥青质含量超30%,硫化氢含量密度1万~12毫克/立方米,矿化度超22毫克/升。

实现稠油规模效益开发,科技创新是首要驱动力。西北油田经过近20年的探索攻关,先后攻克了致稠机理、稠油降黏、高

专家视点

科技创新是实现稠油规模效益开发的首要驱动力

□西北油田岩溶地质领域专家 汪彦

效举升等技术难题,创新形成了包括稠油举升、化学复合降黏、电泵+尾管悬挂举升在内的一系列稠油勘探开发工程技术,并广泛推广应用。2014年,“超深井超稠油高效化学降黏技术研发与工业应用”获得国家科技进步一等奖。应用这些技术,西北油田稠油累计产量超过5000万吨。

随着油田开发向于奇西、十二区北等超稠油区块推进,很多成熟技术“水土不

服”。对此,西北油田坚持以应变,推动超稠油快速复产、钻井提速提效、储改高效增产、地面配套保障等技术迭代升级,并强化勘探开发一体化、地质工程一体化,形成了超稠油精准举升、井筒长效举升、超稠油综合降黏、钻井改造一体化等新技术,初步收到较好效果。

开发对象变化带来的新难题,绝非一朝一夕就能解决。目前,西北油田在超稠

油开发方面仍需攻克举升介质的替代、井筒堵塞治理、地层化学驱等难题,并没有成熟的经验可以借鉴。接下来,西北油田将继续加大跨学科、跨团队联合攻关力度,力争尽快突破瓶颈,在前瞻性研究和原始创新上取得实质性进展;坚持以开放视野谋划和推动创新,与系统内外研究所、高校等扩大科技合作“朋友圈”,加强基础地质理论和综合地质研究攻关。