



碳酸盐岩油气勘探 “前世今生”

□冯 帆

碳酸盐岩是由方解石、白云石等自生碳酸盐矿物组成的沉积岩。碳酸盐岩主要在海洋中形成,少数在陆地环境中形成,是重要的油气勘探对象,全世界50%以上的石油和天然气储存在碳酸盐岩中,如中东的盖瓦尔、巴西的卢拉、哈萨克斯坦的卡萨甘等知名油气田,以及国内的普光、元坝、塔河、顺北等油气田。

由于碳酸盐岩油气藏数量众多、特征各异,碳酸盐岩本身的形成演化也具有复杂性,同时,古老的碳酸盐岩地层往往经历多期构造运动改造,所以针对碳酸盐岩油气藏的类型划分方法也多种多样。从油气藏储层的储集孔网类型及成因角度,可以分为岩溶缝洞型、断控缝洞型和相控礁滩型三大类,其在国内的代表性油气田分别为塔里木盆地的塔河油田、顺北油气田、四川盆地的普光和元坝气田。

塔河油田是我国第一个古生界海相亿吨级大油田,它的发现标志着塔里木盆地古生界碳酸盐岩领域获得重大突破,结束了我国海相古生界没有大油田的历史。塔河油田作为典型的岩溶缝洞型油气藏,储集空间由长时间的表生岩溶作用形成,油气通过岩溶缝洞系统储集和运移。岩溶缝洞一般沿大型不整合面呈准层状集中分布于不整合面之下0~50米,最大深度为200~300米,其形成和演化均与岩溶作用密切相关。岩溶作用往往形成规模不等的溶蚀孔、洞、缝,所以岩溶储层的储集空间以溶孔、溶洞及溶缝为主,非均质性极强。

顺北地区超深层走滑断控缝洞型油气藏的重大勘探突破,拉开了走滑断控缝洞型油气藏勘探开发的序幕。这类储层具有纵向连通、横向非均质性强的分布特点,断裂带主断面附近发育多组“洞穴—破碎角砾—多角度构造缝”的储集空间集合体,构成“簇状”储层核—带结构,其中角砾带储集性能最优。其主要的形成机制以走滑断裂带的构造破裂作用为主,叠加埋藏流体的改造作用,形成了不受构造埋深控制的规模储集体。顺北油气田深大断裂带“控储、控藏、控富”油气富集模式,丰富了海相碳酸盐岩储层成因类型,将碳酸盐岩有效储层埋深延深至8500米以下,拓展了海相碳酸盐岩超深层的勘探潜力,完善了海相碳酸盐岩储层形成理论,刷新了石油地质传统认识。

碳酸盐岩相控礁滩型油气藏主要受沉积相带展布的控制,油气分布受高能相带控制,储层在优势储集相带的基础上叠加后期改造作用形成,基质孔隙度较高,储层均质性强于岩溶与断控缝洞型油气藏,孔隙类型以原生粒间孔、格架孔及在此基础上改造形成的粒间溶孔、晶间(溶)孔为主。其中,台缘礁滩相碳酸盐岩油气藏是相控礁滩型油气藏的主要类型,全球排名前十大大型天然气藏中有两个为台缘礁滩型气藏,国内以生物礁滩沉积为主的碳酸盐岩气藏主要分布于四川盆地环开江—梁平海槽带及塔里木盆地塔中1号坡折带。四川的普光、元坝气田均是典型的台缘礁滩型相控岩性油气藏,其主要储层为长兴组—飞仙关组台缘生物礁滩复合体。

(作者单位:石油勘探开发研究院)



“云”生处， 新生界发现新油藏

江汉油田在八面河油田发现颗粒云岩储层， 初步预测地质储量超千万吨

□黄予剑 刘 猛 徐清洲 姜建琼

近日,江汉油田在八面河油田的颗粒云岩评价工作捷报频传:面120-7-斜7井首次在地120区中部突破工业油流;面23-斜3井初期获日产8吨工业油流,实现了地22区到地23区的含油连片;面14-18-7井和面14-8-27井复查试油成功,实现了西区到南区的含油连片。

“没想到口口井都见油,新油藏能够有这么大的场面!”江汉油田勘探开发研究院清河工程所所长张再昌感叹。

2022年以来,江汉油田在八面河油田首次发现颗粒云岩储层,并开展一系列科研攻关。从算不上“替补”层次,到现在多点开花、惊喜连连,在历经37年勘探开发的八面河油田,颗粒云岩储层成为“夺油新生代”横空出世。

发现 白云生处有人家

在八面河油田海滩区块,羊3-21-斜18井作为证实新发现的首口试油井,2022年6月投产以来,已经累计产油超1500吨。

“如果把地下层位比作一个个运动员,这口井试油的沙四段5砂组按照过去的地质认识是不含油的,连‘替补’都算不上,根本没有上场比赛机会。”张再昌说。

八面河油田位于东营凹陷湖盆边缘,平面上细分为海滩区、南区、东区、西区等6个主力产区,纵向上主要含油层系位于新生界古近系的沙河街组,地层主要以砂岩、泥岩和灰岩为主,其中的沙四段厚度200~320米,又细分成6个砂组。

“过去我们的思路就是找砂岩,没有砂岩的地方直接跳过。”张再昌和八面河原油开发打了18年交道,他说,“去年江汉油田在海滩区块实施产建项目,也是在4砂组以上的砂岩里开发。”

在八面河油田历史上,一些井钻探到沙四段5砂组,冒出了一些油花。“按照砂岩的找油思路,这里的测井解释是干层,但是一些测井指标又和标准的干层不一样,到底是什么储层,一直困扰着我们。”张再昌说。去年,江汉油田以海滩区块产建项目为契机,部署了一口取芯并羊3-17-斜18井,旨在系统了解地下储层情况。

科研人员对海滩区块5砂组的取芯薄片鉴定后,显示矿物成分中方解石和白云石占比71.5%,颗粒云岩为主要岩石类型及储集层。颗粒云岩是碳酸盐岩的一种,与灰岩测井响应特征相近,因此过去一直被当作灰岩,认为是干层、不含油。

“新生界是指新生代时期形成的地层,距今6000多万年。当时这里是一个很大的湖泊,我们现在开发的位置处于湖盆边缘的南斜坡带。”江汉油田勘探开发研究院清河工程所副所长杨伟介绍,“在湖泊深水环境里沉积的泥晶白云岩、灰质白云岩,随着气候干旱、水分强蒸发,水体变浅,沉积岩暴露在海面之上,它们与空气中的二氧化碳接触后,形成很多溶蚀孔,加上湖浪不断冲刷,这些岩石被打碎、改造,最终形成了颗粒云岩。”

科研人员通过对取芯资料进行含油饱和

度测试,证实了该层位的含油性,改变了人们沿袭多年的传统认知。

“根据目前的室内试验数据,这里的颗粒云岩储层孔隙度一般在16.4%~27.02%,渗透率在87.9~445毫达西,总体表现为中高孔中渗储层,酸液反应速度快,溶蚀率较高。”江汉油田工程院清河工程所副所长钱勇介绍。他们选取海滩区块产建井和老井,对沙四段5砂组进行酸化产能评价,4口井均获得成功。其中,羊3-21-斜18井初期日产油5吨以上,由此打开八面河油田颗粒云岩研究和评价的突破口。

拓展 拨开云雾见青天

科技的力量唤醒了这块沉睡已久的油藏。初战告捷之后,大家有了新的疑问:八面河油田颗粒云岩储层规模到底有多大?会不会是昙花一现?

科研人员把目光转向八面河油田西区、南区。“西区、南区一直是主力区块,老井数量多,资料丰富,方便开展历史取芯井资料复查及老井测井二次解释。”张再昌说。

江汉油田勘探开发研究院测井人员来到八面河油田,连续作战,先后完成500余口老井的测井二次解释工作。

“过去八面河油田勘探开发主要针对常规砂岩油藏展开,前期基于砂岩储层的图版和标准,显然已不适用于颗粒云岩。”从事测井解释工作的曾芙蓉介绍,“例如在砂岩储层的图版里,声波时差小于300微秒/米就会被认为是干层、不含油,我们现在需要对新油藏各类岩性的流体识别标准和图版进行深入研究,重新建立一套颗粒云岩测井解释标准。”

面对沙四段砂岩、颗粒云岩混积,岩性组成复杂且结构复杂多变,缺乏系统性针对性的岩石物理试验数据,岩性识别与划分难度大、有效储层识别难度大等新挑战,科研人员开展测井技术攻关,基于岩芯分析矿物成分和测井响应特征,分析不同岩性敏感测井曲线,建立不同岩性的测井响应特征和识别标准,完善颗粒云岩、砂泥岩的测井岩性及油层识别技术,初步形成了一套颗粒云岩解释评价方法,科学



科研人员在观察颗粒云岩岩芯。

徐清洲 摄

划分颗粒云岩储层,为地质学家提供准确的储层参数,同时,对地层流体性质进行综合分析,提供准确的油层分段。

通过一系列对比,科研人员发现,西区 and 南区沙四段4砂组与海滩区块颗粒云岩储层具有类似的测井响应特征,随即在地120区、面22区、面14区相关层位部署开展试油评价,整体落实颗粒云岩储量规模。

围绕地质新认识,相关配套工艺技术研究也同步展开。“过去的工艺措施都是针对砂岩储层。现在我们围绕颗粒云岩室内试验及岩性规律认识,不断优选配方,先后完成112样次的岩芯溶蚀试验,初步形成低成本酸化开发技术。”江汉油田工程院清河工程所所长姚金焯说。在开发层系上,他们采取“两步走”,先单层试油确定各小层含油性,再多层合试落实产能。

从西到东,老井试油捷报频传,不断为科研攻关注入“强心剂”:西区10口井平均单井日产量4.5吨以上,南区两口井平均单井日产量4吨以上,不仅证实了该储层具有经济动用潜力,而且呈现出多点开花、连片发展的可喜局面。

规划 八面河八面来风

近日,八面河油田面121-X7井开展老井复查,射孔抽汲获日产13.6吨工业油流。

“这口井是颗粒云岩储层取得突破以后,首口未采取工艺措施的高产井,是探索低成本开发的有益尝试。”清河采油厂副厂长叶文波说。八面河油田主要是稠油Ⅱ类油藏,储层品质相对较差,原油“出厂”价格更低,推进颗粒云岩储层低成本效益开发势在必行。

根据前期研究,颗粒云岩储层投产初期产量较高,但下降较快,需要配套注水开发。江汉油田在地14区、面22区建立注水试验井组,结合基础研究成果,深化产能、含水、递减、注水受效情况等再认识,厘清颗粒云岩开采特征,有效支撑下一步产建工作。

从发现到拓展,再到规划实施,江汉油田坚定“老区不老”信念,上下合力,集智攻关。油田开发管理部牵头成立颗粒云岩攻关项目组,突出效益为先,集结地质、物探、测井多专

业骨干组建攻关团队,重点开展沉积相、岩性、储层及流体等关键环节研究工作,以现场与室内、物探与地质、勘探与开发紧密结合的方式开展基础研究攻关,进一步明确了八面河颗粒云岩勘探有利区及资源潜力。

清河采油厂与科研单位协同作战,做好钻前勘察、环评环评,统筹钻机高效运行,全过程管控施工质量和安全,高效推进颗粒云岩评建工作。

“围绕颗粒云岩储层效益开发,厂院联合攻关,大家不断研究实践,再研究再实践,就像多人实时在线编辑Word文档,修改完马上就能看到结果,不仅大幅提升工作效率,而且推进科研成果与现场应用的螺旋式上升。”江汉油田勘探开发研究院副院长荣焱青说。目前实施的颗粒云岩油藏老井复查工作,阶段投入产出比为1:2.5,增强了大家效益开发新油藏的信心。

八面河八面来风,新油藏孕育新希望。2022年以来,八面河油田颗粒云岩储层共实施老井复查24井次,初期平均单井日产量3.8吨,累计产油8000余吨,通过潜力摸排,初步预测新增储量超千万吨。

目前,按照“落实一块、评价一块、研究一块”的思路,江汉油田加快滚动评价井及老井复查井实施,推进M22区2024年产建方案编制;深化M120区评价,为2025年产建做准备;稳步推进M4区—M14区研究,拓展阵地,为2026年产建做准备,力争每年产建动用一块、滚动储备一块,实现五年动用千万吨储量目标,为老油田持续稳产拓展“新版图”。

知识链接

●颗粒云岩

颗粒云岩是碳酸盐岩的一种,矿物成分中方解石和白云石占比超过70%。八面河油田位于东营凹陷湖盆边缘,早期低能环境沉积的泥晶白云岩、灰质白云岩,随着持续蒸发、陆源输入减少,暴露在海面之上,经湖浪破碎、改造形成颗粒云岩。

八面河油田颗粒白云岩主要发育两种储层类型,为典型的岩溶型储层。一是生周滩岩溶型,岩石组分以灰质白云岩为主,孔隙类型以生物格架孔、生物溶孔为主,呈花斑针孔、溶洞状;二是颗粒滩岩溶型,岩石组分以砂质白云岩为主,孔隙类型以粒间溶孔、粒间孔为主,呈针孔和“花瓣”针孔状。

颗粒云岩储层孔隙度一般在16.4%~27.02%,渗透率在87.9~445毫达西,总体表现为中高孔中渗储层。

●新生界

新生界是指新生代时期形成的地层,包括古近系、新近系和第四系。除古地中海海相新生界比较发育外,其他地区多以陆相为主。我国新生界除西藏、新疆、东南沿海和台湾等地有海相沉积外,其余均为陆相沉积。新生界中含有丰富的矿产,如煤、石油、岩盐等。

●八面河油田颗粒云岩勘探开发面临哪些难点?

第一,岩相复杂,优势储层分布规律待进一步研究。颗粒云岩与其他岩相交错组合,有利储层识别难度大,分布规律尚不明确。

第二,投产初期含水差异影响因素尚不明确。目前评价试油井基本处于未动用状态,但初期含水差异较大,含水和构造、储层关系仍然需要深化研究。

第三,提高单井产能的工艺有待进一步评价。多层合采时以笼统酸化为主,各小层能否实现均勾改造尚不明确,酸压的可行性尚处于探索阶段。

●形成了哪些阶段性成果?

当前,江汉油田初步建立了颗粒云岩沉积模式,确定了颗粒云岩储集类型,预测新增储量规模千万吨,形成低成本酸化开发技术。接下来,江汉油田将以“落实千万吨规模储量降地、实现规模高效动用”为目标,坚持勘探开发一体化,加强基础研究,强化工艺配套,突出已控制区开发技术政策优化研究,分批次建设;加强预测区滚动评价,实现滚动接替;推进空白带探索新发现,做好资源储备。

江汉油田加强颗粒云岩储层配套工艺攻关,探索低成本增产工艺体系

创新工艺打开原油新宝藏

□黄予剑 王建红

8月20日,在八面河油田面121-斜8井井场,技术人员根据岩性特点及储层特征,采用针对性的酸液体系及工艺参数,开展颗粒云岩储层新一轮老井复查工作。

地质认识的突破让老油田发现了新油藏,然而如何将其开采出来,同样考验着工程技术人员。

“研究发现,颗粒云岩在八面河油田广泛分布,不同区块的层位、岩性存在差异性,比如海滩区块主要位于5砂组,西区主要位于4砂组。溶蚀试验显示,海滩区的盐酸溶蚀率远小于西区。在复查过程中,需要‘一块一策’针对性地优化工艺措施。”江汉油田工程院清河工程所所长姚金焯介绍,过去他们的酸化工艺主要针对砂岩油藏,目前正在全力攻关颗粒云岩配套工艺。

今年以来,他们先后挑选了不同区块不同

层系岩芯开展酸液评价优选试验。目前,已完成160余次室内试验,取得了大量有效的试验数据,为确定不同区块颗粒云岩的酸化增产工艺体系打牢了基础。

“对孔隙性储层,基质酸化是在低于储层破裂压力条件下注入酸液,溶蚀地层矿物,形成酸溶蚀孔洞,提高油气产量。对天然裂缝发育的储层,基质酸化溶蚀并沟通天然裂缝系统,大幅提高产能。”该所副所长钱勇介绍,“酸液合理选择及酸溶蚀孔形态对酸化效果起到主要作用。”

面22区块作为2024年产建阵地,结合该区块的前期试验数据,科研人员发现,相关层位岩芯盐酸溶蚀率高达90%,结合前期的实际应用效果,决定在该区块采用以盐酸作为主体的酸液体系,同时开展针对性的注入参数优化工作。

“盐酸作为常用无机强酸,成本低、溶蚀力强,并且反应生成物可溶、无沉淀,是基质酸化

的首选,同时,通过调整注酸排量可以增加酸液深入地层的距离。”该所作业室主任李靖说。为防止酸化后残酸对井筒及地面管网设备腐蚀,他们在室内优选酸化用缓蚀剂、铁离子稳定剂等添加剂,进一步完善配方,同时,在酸化前期准备时,指派专人严把配液质量关;施工过程中,实时调整施工参数、及时返排残酸,确保施工质量。

“我们还首次应用镍碳化合物抽油泵防止残酸腐蚀,在常规油管内衬一层超高分子量聚乙烯管材,钢制抽油杆上包覆高分子材料,采用物理隔绝模式减少残酸对管杆的腐蚀影响。”该所采油室主任杨文波介绍。

下一步,江汉油田将结合勘探开发工作部署,进一步加强基础研究,“一块一策”开展岩石力学试验、复杂岩性酸液酸压规律研究、酸液体系优选和综合性产能评价,明确不同区块主导增产工艺技术,推动八面河油田颗粒云岩油藏增储上产取得更大突破。