

供应
保障责任编辑:秦紫函
电 话:59964339
邮 箱:
qinzih@sinopec.com
审 校:张春燕
版式设计:赵博周“油”列国
油事精彩

走滑断裂研究 推动四大盆地勘探突破

能源经纬

□邓 尚

塔里木盆地顺北地区走滑断控新领域油气勘探获得突破后,迅速成为增储上产的主阵地。中西部塔里木、四川、鄂尔多斯、准噶尔四大盆地均为压扭性叠合盆地,走滑断裂普遍发育,推动走滑断控领域油气勘探向四大盆地拓展,意义重大。

中国石化高度重视走滑断控领域原创技术策源地建设,持续引领走滑断控领域油气成藏理论与技术攻关,设立“中西部大型盆地走滑断裂体系成因及控藏机制研究”重大项目群,石油勘探开发研究院联合西北油田、勘探分公司、西南油气、华北油气、胜利油田、物探院等单位,产学研用一体化攻关,依托国家级、集团公司级科技攻关项目及油田生产项目整体推进,实现基础研究与技术创新成果的快速转化。

四大盆地勘探成果显著

近年来,中国石化加大中西部四大盆地走滑断控领域攻关力度,目前已进入集中攻坚阶段。

在塔里木盆地,早期油气勘探主要围绕古隆起展开,对走滑断控领域的探索始于向斜坡区—低隆区勘探。跃进1井等重点探井的突破,拉开了斜坡区—低隆区油气发现

的序幕。2015年,顺北油气田的发现标志着走滑断控领域获得重大突破。2016年以来,走滑断控油气藏勘探开发实践不断深入,形成了一系列走滑断裂控储控藏机制新认识,相继落实了顺北5号断裂带、顺北4号断裂带等4个亿吨级油气富集带。

在四川盆地,“十二五”期间开始探索川东涪陵地区走滑断裂,永兴1井在二叠系茅三段钻遇白云岩储层。“十三五”以来,系统研究川东涪陵、川东南綦江、川西南井研等地区走滑断裂及其控储控藏作用。2017年,建立断相溶三控型油气藏部署思路,在涪陵地区15号走滑断裂部署的泰来6井在茅三段试获气流。2019~2020年,建立断溶双控部署思路,在綦江地区部署的两口探井获得下二叠统天然气勘探新发现。

在准噶尔盆地,早期以构造圈闭、构造—地层岩性圈闭为主要勘探对象,先后发现了莫西庄油田、永进油田。对于盆内深洼带,前期认为不发育大规模走滑断裂,以低序次层间断裂为主。近10年,走滑断控油气藏理论的丰富和发展,开拓了准噶尔盆地超深层勘探新领域及接替阵地。在断相双控型油气藏理论指导下,在准中深洼带领域部署了征10井,实现二叠系上乌尔禾组和三叠系克拉玛依组勘探突破;建立断相溶三控型油气藏部署思路,在准西断壳体领域部署了排66等井,落实了准西规

模增储阵地。

在鄂尔多斯盆地,早期认为克拉通盆地内断裂不发育。“十二五”以来,随着地震勘探技术进步,发现盆内广泛发育近直立状高陡断裂,具有断面直立、垂直距小、多期活动的中小尺度走滑断裂特征。近年来,“断缝体”概念的提出及相应表征方法的进步,迅速推动了走滑断裂构造认识与油气勘探开发进展,并建立断相双控型油气藏部署思路,推动了鄂南致密油的有效动用。同时,建立断相、断溶双控油气藏部署思路,带动了杭锦旗新召、大牛地西部等地区的高效勘探。

形成一系列理论技术创新成果

中国石化在走滑断控领域取得一系列创新成果,初步完成了对走滑断裂解析、油气成藏理论与勘探评价技术的知识产权布局,构建了企业标准体系,在国内外形成了较大影响力。

在走滑断裂综合解析技术与成因序列方面,建立了压扭性盆地走滑断裂发育的4种地质模型与分布序列,揭示了大型盆地内部走滑断裂发育的必然性和分布的规律性,相比国内外前期依靠野外露头定性描述走滑断裂变形样式、重点关注盆内单断裂或单体系的解析,研究的解析方法更具多样性、

针对性、先进性和系统性。

在走滑断控储集体内部结构表征与刻画方法方面,前期研究以核带结构成储认识为主,仅建立了适用于常规储层的叠后稀疏脉冲反演等地球物理方法。本轮研究将走滑断控储层从核带结构成储认识提升至“簇状”多断面认识,从单一均质模式提升至“横向分带、走向分段、纵向非均质性”模式,阐明了断裂—岩相—溶蚀叠加控制的4类储集体形成机制,建立了从隆起区到覆盖区断控储层的分布序列。

在走滑断控多类型油气成藏模式与富集机理方面,前期研究仅明确了碳酸盐岩断控缝洞型油气藏富集规律,未针对走滑断控油气藏建立针对性评价方法。本轮研究建立了断裂、岩相、流体耦合控制下的不同岩性地层走滑断控油气成藏动态模式,形成了全过程多参数的多类型油气藏断控目标评价技术,对勘探开发更具指导性与可操作性。

各大盆地边界条件、地层结构及演化过程等地质条件迥异,源—储—盖等地质条件也不尽相同,因此,应在盆地内部不同成因走滑断裂有序分布的规律性认识指导下,加强走滑断裂与源、储等条件协同演化研究,科学指导勘探部署。

(作者为石油勘探开发研究院西北地区勘探开发研究中心副经理)

塔里木盆地

突破“禁区”开采超深油气

科研人员利用大数据资料开展走滑断裂研究。
邵光玉 摄

□本报记者 王福全 通讯员 况安鹏 阮俊宝

日前,顺北油气田新断裂带再获油气突破,部署在10号断裂带的第一口探井——顺北10X井测试获得高产油气流,证实顺北油气田中部油气区整体含油气。这里由于埋藏深度大,曾一直被视为油气勘探“禁区”。

顺北油气田超深层断控缝洞型储集体是伴随走滑断裂发育而形成的一类特殊储集体。钻探实践揭示,该区域油气藏主要沿区内主干走滑断裂带分布,储集空间主要为构造破裂作用形成的缝洞体系。油气藏相态变化大,具有“西油东气、北油南气”的特征,并具有走滑断裂埋深大、成藏过程复杂等特点。

2015年,西北油田部署在顺托果勒低隆起中部的顺托1井和北部的顺北1—1H井测试相继获得高产油气流。

2015~2016年,针对顺北1号断裂带展开评价的6口钻井全部获得高产油气流,宣告了顺北油气田的发现。此后,勘探不断向西部、南部和东部多条断裂带拓展。

2018~2020年,顺北5号、7号断裂带相继获得油气突破。2021年以来,部署在4号、8号断裂带上的5口井相继获日产千吨油当量高产,顺北勘探全面展开。截至目前,顺北油气田在不同断裂带初期测试获得日产千吨油当量的井达到26口,进一步证实顺北油气田奥陶系碳酸盐岩整体含油气,断裂带是油气富集的有力部位。

顺北油气田勘探取得重大商业发现以来,西北油田联合系统内外科技力量,不断推进勘探开发一体化、地质工程一体化,在顺北地区开展一体化融合式基础研究、科技攻关,创新形成以断裂解析建模型、缝洞描述选靶区、空间雕刻定规模、结构表征识连通、轨迹优选增动用、优快成井精中靶、分类改造提产能为主要内容的高产井“七要素”关键技术,先后发现4个亿吨级油气区带,建成超200万吨油当量年产能阵地。

2022年,顺北油气田生产原油119万吨、天然气16.5亿立方米。其中,顺北4号断裂带的井全部实现高产,年产量当量占顺北油气田总产量的74%,建成中国石化“少井高产”示范区。

四川盆地

从灰岩缝洞到白云岩遍地开花

科研人员在金山101井井场观察出筒岩芯。
余 洋 摄

□冯 柳 李素华

四川盆地中二叠统勘探早期主要集中分布在川南构造高部位的灰岩缝洞型储层,资源探明率不足6%。

西南油气科研人员开展了大量野外地质调查和风险勘探工作。近年来,川西北、川北等地区相继在滩相白云岩、热液白云岩储层取得突破,证实中二叠统油气藏不完全受缝洞和构造控制,明确了浅滩发育有利相带和走滑断裂对二叠系油气成藏的控制作用。

“四川盆地断裂普遍发育,其中走滑断裂是川南探区特殊的一种断裂形式,就好比一扇推拉门发生横向移动,它不仅有利于油气输导,而且有利于形成‘断溶体’储层。”科研人员贾雷甫说。

见到走滑断裂发育时,科研人员既兴奋又担忧,兴奋的是断裂对储层形成及油气运移有重要改造和输导作用,担忧的是尚不明确后期是否会对油气聚集成藏起破坏作用。

2020年,在井研—犍为区块斜坡区部署的普仁1井,在栖霞组首次钻遇39米厚的白云岩储层,但该段酸压测试结果并不理想。科研人员转而瞄准茅口组顶部的岩溶缝洞储层,测试获产3.54万立方米/日,进一步增强了探索中二叠统的信心。

攻关小组进一步充分利用各成员专业技术优势,地质与物探、室内与室外、微观与宏观、理论与实践等相结合,大胆提出新的认识:有古断裂、古构造就有气藏,现今构造不是控藏的决定因素,斜坡区也可以成藏,下一个目标就在断裂带附近。

科研人员基于区域地质背景、基础地质研究和高精度三维地震资料,建立了滩相白云岩、白云质灰岩或灰质白云岩控储模式,形成了高精度断溶体立体空间雕刻技术和薄层滩相白云岩储层预测技术及断层演化与油气动态成藏分析技术,明确了井研—犍为区块茅口组规模成藏的地质模式。

之后,他们部署的金山101井在二叠系栖霞组白云质灰岩储层获得工业气流。

“西南油气近期在川中、川南、川东等地区已部署多口探井,未来可期!”西南油气勘探开发研究院勘探三所所长宋晓波说,下一步将加快探索滩相白云岩、走滑断裂带等多个领域,实现从灰岩缝洞到白云岩遍地开花。

准噶尔盆地

“铁板”里开出新天地

科研人员开展井位部署研究工作。
边广治 摄

□本报记者 于 佳 通讯员 贾玉涛

7月4日,在新疆北部的准噶尔盆地,胜利油田勘探开发研究院的地质科研人员正对地下6000米深处的地质情况进行研究。

近年来,胜利油田按照“走滑断裂控制油气分布及富集”的新认识,评价优选永进等7个走滑断裂有利区带,在准西—准中地区持续取得勘探发现,开拓了新领域,为现阶段勘探规模增储和中长远可持续发展提供了阵地。

在准中地区,烃源岩埋深普遍大于6000米,油气如何从这么深的地方运移到浅部层系?

长期以来,科研人员认为永进油田构造特征表现为“铁板一块”,多年来勘探工作一直没有获得突破。这是由于对地质认识不到位,加之地震勘探技术对深层构造样式识别能力有限,科研人员始终认为地下断层不是很发育。

随着研究逐渐深入,近年来,科研人员不断转变观念,对地下地质条件重新认识与研究,通过开展有针对性的野外地质调查、加强区域构造背景研究、攻关构造精细解释技术,形成了准噶尔盆地走滑断裂“OVT五维解释分组系、分频相干分序级、基于应力应变的构造层析分期次、数值模拟分类型”四分法综合解析技术,重新揭示了准噶尔盆地走滑断裂的发育机制,并对该盆地走滑断裂的展布特征有了新认识。

通过系统研究准中地区构造,他们发现了中拐、莫索湾北、莫索湾南、芳草湖、白家海、阜东等多个走滑断裂带。

科研人员以关键成藏期为节点,评价不同时期断裂的输导性和封闭性,认为准中各大走滑断裂带均为油气运移的有效通道,沟通了深部烃源岩,使得油气能够在纵向上运移,并在不同层系的有利圈闭中聚集成藏。他们还还对油气藏进行系统解剖,认为有利储层相对对油气富集也起到关键控制作用,并提出了“断压控输、相储控藏”的油气成藏模式,通过综合研究和整体评价,认为准中永进、征沙村、莫西庄等7个地区是油气聚集成藏的有利区带。

2020~2022年,胜利油田在准西、准中永进地区侏罗系、准中埋深大于6000米的超深层均斩获可观新增储量。

鄂尔多斯盆地

在“断缝”中寻找油气

科研人员正在进行岩芯观察描述。
郭萌萌 提供

□本报记者 马献珍 通讯员 付豫蓉 贾春晓

华北油气开展走滑断裂带成因及形成机制研究,优选走滑断裂带有利勘探目标,指导部署多口探评井获得高产,落实了大牛地气田下古生界天然气储量阵地,以及镇泾和彬长中生界石油储量阵地。3年来,累计提交三级油气储量明显增加。

鄂尔多斯盆地以发育大面积岩性油气藏著称,长期认为盆地内部是“铁板一块”,但勘探开发实践发现,盆地内部发育基底断裂,在后期构造作用影响下,发育多期、多组、多种断裂,断裂体系具有一定的继承性,其中古生界、中生界主要发育走滑断裂,影响了油气成藏与富集。

以前,科研人员并未对断裂开展系统研究,对盆地断裂展布规律认识不清,性质及成因机制不明确,走滑断裂控储、控藏机制不确定。

在立项研究过程中,科研人员先后开展8次野外考察,明确走滑断裂野外露头特征,编制鄂尔多斯盆地及周缘断裂体系分布特征有关图件,以及各区域走滑断裂成因机制、应力分析图件。

科研人员查明了盆地主要走滑断裂分布规律,明确了断裂“分区—分型—分层—多期”发育规律,建立起盆缘—盆内断裂耦合发育模式;建立了走滑断裂分级刻画技术方法,形成了走滑断缝体内部结构表征技术;明确了盆地不同级序走滑断裂控储作用差异性,建立了重点地区断裂控储、控藏模式。这些创新成果对优选勘探目标和层系、提出勘探部署建议具有重要意义。

中生界断缝体油藏取得商业发现和重大突破。科研人员精细描述太昌、红河等8条断裂带,指导镇泾、彬长区块探井部署,多口油井实现突破,提交了控制储量。

盆地下古生界碳酸盐岩岩溶油气藏实现新突破。科研人员开展斜坡“断裂沟通、双向补给、相控分带”岩溶模式,指导大牛地气田多口探井取得突破,落实千亿立方米储量区,首次提交了天然气探明储量,实现了下古生界领域的纵向拓展;在盆地西缘麻黄山西探区部署的宁古1井,于克里摩里组岩溶油气藏取得新发现,实现了盆地西缘新领域的拓展。