

打破思想桎梏 突破勘探极限

随着勘探程度不断加深,未发现油气资源的“藏身之所”越来越难以寻找,勘探发现的难度越来越大。近年来,中国石化勘探科研人员持续解放思想、打破思维定式,通过深化资源-超深层成烃、成藏、成藏机理研究,在海相碳酸盐油气富集规律、深部走滑断裂带成藏认识、页岩油气“二元富集”理论、深层煤层气富集机理等理论认识方面取得进步,不断突破勘探成烃、成藏、成藏极限,引领拓展了勘探领域与资源阵地。本版整理部分理论创新带来的极限突破案例,以期对勘探科研工作有所启示。

在勘探实践中收获更大的油气发现

——关于油气勘探哲学思想的再认识

勇于探索,在未知中开拓获得非常规勘探突破

油气勘探突破相当于“发明创造”,头脑中有油,就会充满探索未知领域的热情和动力。如果说普光和无灰田是勘探人员在不懈坚持中创新理论认识发现的,那么涪陵页岩气田则是围绕普光气已超800亿立方米、涪陵页岩气年产量已占天然气年总产量的10%以上,这一系列实践成果不仅验证了中国特色页岩气成藏理论的正确性,更形成了一套可复制、可推广的页岩气勘探开发技术体系。

科学组织,在运行中保障高质量油气勘探

只要具备良好的生储盖组合条件,头脑中有油,就会充分把握油气成藏条件与油气富集规律,按照“整体研究部署、分步实施勘探、灵活调整策略”的勘探部署思想,科学制定“战略突破、战略展开、战略准备”的部署层次,遵循该区域各处地质的规律,在龙马溪组岩层稳定、储层条件优越,是被广泛认可的“潜力区”。2011年部署首钻,2012年测试获工业页岩气20.3亿立方米高产,实现我国首个大型页岩气商业气田的勘探突破,同时也验证了“二元富集”理论的正确性。

在明确页岩气成藏规律后,勘探团队面临的核心难题是如何突破复杂地质条件下勘探开发技术瓶颈。实践中,勘探团队立足涪陵

中国工程院院士 郭旭升

1990年之前,勘探人员在该区先后勘探21口探井并无实质性进展,同样认为其不具备勘探价值的“海槽”,勘探工作一度停滞。这一因地质于新区勘探中人们对地质沉积格局和成藏规律的认知受限。2000年后,勘探团队重点从地层学、沉积学基础研究,突破了背斜构造高点控油及海相相滞相储层,开发了“三元控油”和“多元保储,复合控采”的理论新认识,为发现国内首个海相整装大灰田——普光气田奠定了理论基础。

无灰田气的勘探突破,同样源于对超深层成藏理论的创新认知和不懈坚持。无灰田地区作为四川盆地最后一个登记探矿权的区块,被认为不发育构造圈闭,勘探前景不佳。但受普光气田发现的启示,“海相难相气藏非严格受构造控制”,坚定了勘探团队在平缓构造区勘探的信心。果断放弃了这个矿权,并快速论证探井。基于二维地震资料部署的首口井无灰田1并未钻透油气藏的油,但是由于对台缘带难相大灰岩成藏的信心,坚持在新采集三维地震资料分析的基础上,勘探团队大胆实施钻探,发现了优质储层,突破传统探井“师古不师古”,不被所谓“禁区”所束缚,去粗取精、去伪存真,创新勘探理论与地质模式,从而指导勘探部署。在四川盆地普光和无灰田两个气田的勘探过程中,不懈的坚持和认识上的突破起到了决定性作用。

突破禁区,在坚持中创新实现海相勘探突破

勘探取得突破,最根本、最首要的是勘探思维的创新和认识上的突破。面对未知领域和油气成藏,头脑中有油,就会充满信心,在复杂情况下,坚定信念,在坚持中创新,形成“持续”气藏。这个理论突破了“原位滞留”的传统认识,引出了“接力输导”概念,解释了高过成藏熟龄页岩油气如何富集的问题。在像井研这种有机质丰度(TOC)低于1%的区带,只要其处于天然气区域性运移的有利路径上,就可能形成单元,且保存条件完好,同样可以形成工业气藏。

“非常规勘探要有‘非常规’思维。”西南油气勘探开发研究院副院长魏晓霞说,“以前用龙马溪组的标准来评价筇竹寺组,一定程度上限制了对筇竹寺组的客观认知。筇竹寺组要突破,需要成烃-成储-成藏的地质理论创新,打通工程技术迭代进步。”2022年,西南气率先转变传统



华东油气员工在南阳页岩气田胜11-1HF井现场巡检。 沈志军 摄

胜利油田:突破页岩油商业开发成熟度极限

业内一般认为,成熟度高于0.9%的页岩油才具备商业开发价值。胜利油田创新提出陆相断陷盆页岩油“成化早生、无机控油、源储一体、相封断控”富集理论认识,实现成熟度0.5%-0.9%的页岩油高效勘探开发,提交国内首批亿吨级页岩油探明储量

刘徐峰

【勘探领域】陆相页岩油

【勘探因素】

2012年,借鉴北美页岩油勘探开发经验,胜利油田在济阳拗陷部署了4口页岩油探采水平井,但因页岩油富集规律认识不清和钻井压裂技术不成熟等原因屡陷亏损而归。

因为已发现的济阳页岩油比较稠,密度大、黏度高,即使有油,在纳米级的微孔隙中也很难流动,即能流动,也不能获得高产。国外石油公司得出结论:“济阳页岩油没有商业开采价值。”

【理论创新】

胜利油田岩芯库里有20000多米页岩岩芯,连起来高超过两座珠穆朗玛峰,为了解页岩油提供了“第一手资料”。

从外观看,济阳页岩岩芯就像千层饼一样,黑白交替、层次分明。胜利油田勘探开发研究院科研人员介绍:“深色纹层属于冬季寒冷沉积,大规模微生物钙埋藏,有机质富集。浅色纹层属于夏季季节沉积,高湿、藻类繁盛,微生物作用为主,有机质比较少。”

随着荧光光谱计下,科研人员将目光对准页岩岩样,电镜扫描显示出“0.71”,这个数值就是Ro(镜质体反射率),反映的是页岩有机质生产页岩油的能力。

“页岩岩样,正以‘低门槛、高效益’的姿态,从理论上的边缘走向实践的中心,于浅处写奇缘。”

【攻关感言】

华东油气勘探开发研究院院长高玉巧:要实现勘探新突破,思想解放是前提,理论创新是核心,实践验证是路径。从阳春沟区块“三维构形理论新认识到‘吸呼气解吸’技术创新,每一次突破都是对“经验铁律”的勇敢挑战。当熟知的地质规律被重新定义,当技术的利剑刺破传统壁垒,那些曾被忽略的地质特征,终将汇聚成保障国家能源安全的磅礴力量。

陆相页岩气的“不凡”,不在于深度的标识立异,而在于以科学之眼洞察本质,以创新之手点石成金。在这片曾被低估的“浅”土之下,一个亿级资源新领域正待开启,为能源革命写下最生动的注脚。

西南油气:突破页岩气有机质丰度极限

四川盆地寒武系筇竹寺组热演化程度高、有机质丰度低,西南油气创新提出以“陆-槽-槽”沉积模式与“连续型气藏接力输导”为核心的理论认识体系,解释了高过成熟阶段页岩气有机富集的问题,在有机质丰度低于1%的区带,同样可以形成工业气藏

本报记者 薛 婧 通讯员 邓正仙

【勘探领域】海相页岩气(寒武系)

【勘探因素】

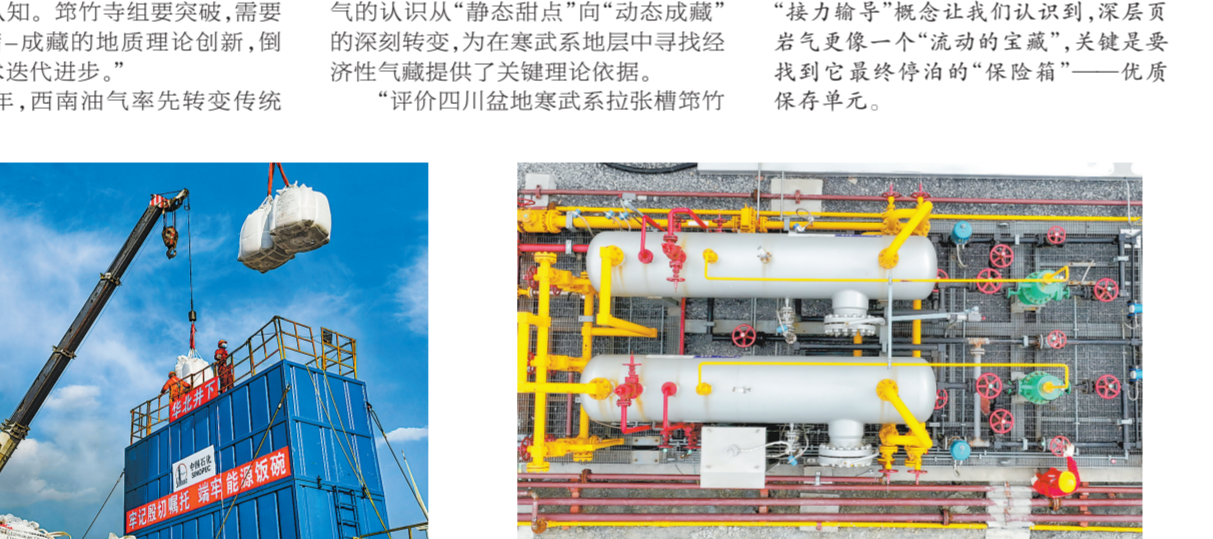
海相页岩气中,以志留系龙马溪组为代表的钱—中深层页岩气已实现规模开发。然而,与之前起步的“中-深层页岩气——寒武系海相页岩气”一直难有起色。

“我们聚焦寒武系页岩气成藏富集机理研究,创新提出以‘陆-槽-槽’沉积模式与‘连续型气藏接力输导’为核心的理论认识体系,实现从宏观沉积格局到微观成藏机理的跨越式认知突破。”董晓霞说。

四川盆地寒武纪地质是由古陆(陆)、深水槽盆(槽)、深水陆棚(棚)共同组成的复杂古地理格局。深水槽盆区是有机质富集的核心场所,生烃能力强,页岩气可原地自生自储,而在高温高压的驱动下,有部分沿页岩内部的微裂缝、层理面等通道向盆地边缘进行短距离、接力式的运移,在受到良好顶板封闭的储集单元内重新聚集,形成“连续”气藏。这个理论突破了“原位滞留”的传统认识,引出了“接力输导”概念,解释了高过成藏熟龄页岩油气如何富集的问题。在像井研这种有机质丰度(TOC)低于1%的区带,只要其处于天然气区域性运移的有利路径上,就可能形成单元,且保存条件完好,同样可以形成工业气藏。

【理论创新】

“非常规勘探要有‘非常规’思维。”西南油气勘探开发研究院副院长魏晓霞说,“以前用龙马溪组的标准来评价筇竹寺组,一定程度上限制了对筇竹寺组的客观认知。筇竹寺组要突破,需要成烃-成储-成藏的地质理论创新,打通工程技术迭代进步。”2022年,西南气率先转变传统



中国石化首席工程技术人员郭彤彬(右二)指导西南油气勘探人员观察页岩岩芯。 张南希 摄

华东油气:突破浅层页岩气埋深极限

传统认为2000米以浅的页岩气保存条件不佳,是“鸡肋”,华东油气创新“有效应力-地层倾角”双因素模型重构保存理论,以及“近零流压”举升工艺激活吸附气潜能,将小倾角气藏逸散的限制深度从2000米缩减至900米,新增可动储量91.3亿立方米

本报记者 沈志军

【勘探领域】页岩气

【勘探因素】

长久以来,2000米被视为页岩气保存条件的“生死线”。华东油气位于四川盆地边缘的阳春沟区块,南倾浅层页岩埋深不到2000米,最浅处甚至已大面积出露地表。

“传统认知中,浅层意味着‘鸡肋’,是勘探的‘低效区’,难以实现商业勘探开发。”

【理论创新】

华东油气科研团队以地质本质为突破点,发现页岩并非被动容器,而是具备“自封闭”天然活性系统。其核心在于有效应力对微裂缝的闭合控制——当有效应力达到15兆帕临界值时,页岩渗透率呈数量级下降,形成“三维封存屏障”。更关键的是,这一临界页岩并非固僵,而是随着埋藏动态调整:在倾角小于15度的平缓构造区,效益动用深度底线可上提至900米。

其更深远意义在于,浅层开发使得钻井成本大幅下降,单井投资回收期缩短,为页岩气产业从“政策驱动”向“市场驱动”转型注入了强劲



阳城页岩气集气站现场。李俊新 摄

江汉油田:突破页岩气有效气层厚度极限

国内外普遍把30米作为页岩气有效气层厚度的下限。江汉油田创新理论认识,认为红星地区二叠系页岩有机质产率高、生烃强度高,具备形成大型气田的生烃条件,实现不足20米厚的薄层页岩气有效开发,提交国内首批二叠系页岩气探明储量

□本报记者 夏梅 通讯员 刘媛媛

【勘探领域】海相页岩气(二叠系)

【勘探因素】

涪陵志留系页岩气获得商业突破后,为跳出涪陵、走出志留系,寻找新区新层系规模增储阵地,江汉油田科研人员将目标转向红星地区二叠系新层系页岩气。

“经过系统对比分析,我们认为红星地区二叠系发育多套紫色页岩,具有有机质丰度高、热演化适中,可能具备良好物质基础。”江汉油田高级专家郭彬表示。但已实现商业开发的川东志留系页岩气相比,红星二叠系页岩气具有厚度薄、岩性相复杂、构造变形复杂、地形地貌复杂“一薄三复杂”特点,缺乏相适应的基础理论,关键技术和配套工艺,勘探面临诸多挑战。

【理论创新】

科研人员有针对性地开展基础研究工作,通过对露头剖面系统观察和取样分析,开展老井精细对比,认为与志留系页岩岩性比,二叠系奥峡坪组页岩具有高有机质、高灰质、高有机质占比的特征,具有良好的生物物质基础及储集性。

但厚度普遍不超过20米的薄层,让科研人员犯了“难”。此前,国内外普遍把30米作为页岩气有效气层厚度的下限,郭彬峰指出,薄层页岩厚度足够的页岩气,二叠系页岩家底“富不富”是他们首先要解决的难题。



江汉油田员工在红星区块红7HF井现场巡检。 宋国梁 摄

华北油气:突破煤层气商业开发深度极限

“十四五”以前,国内煤层气勘探开发主要聚焦1000米以浅的浅层煤层气,深层煤层气一直是勘探开发“禁区”。华北油气明晰深层煤层气富集机理,走出了“深部含气量低、没有勘探潜力”的传统思维定式,实现了埋深近3000米深层煤层气战略突破

□本报记者 宋翔宇 通讯员 马超

【勘探领域】深层煤层气

【勘探因素】

我国深层煤层气资源丰富,主要分布于鄂尔多斯、四川、准噶尔、沁水等盆地,其中鄂尔多斯盆地资源最为丰富,估算资源总量达24.3万亿立方米,占全国深层煤层气资源量的53%,是目前国内深层煤层气增储上的主战场之一。

鄂尔多斯盆地深层煤层气资源主要分布在三叠系地层,煤层主体埋深超过1500米,普遍呈现“东部浅西部深、东北西厚西南薄”特征。处于该层东部的华北油气大型气田,具有良好的厚度大、分布稳定、含气性高等有利条件,成为中石化深层煤层气领域勘探开发主要主力目标。

“十四五”以前,国内煤层气勘探开发主要聚焦1000米以浅的浅层煤层气,深层煤层气具有“埋藏更深、应力更大,产出更难”的特点,资源禀赋差异大,物质渗透率低,煤层气吸附-解吸机理更为复杂。限于地质认识和技术条件不成熟,1500米以深层煤层气一直是勘探开发“禁区”。

【理论创新】

华北油气在鄂尔多斯盆地的煤层气勘探始于20世纪90年代,先后经历了浅层煤层气勘探、深层煤层气探索、



我国首个二氧化碳地热示范项目投产

5月19日,我国首个中深层地热能超临界二氧化碳地热热泵示范项目在河南郑州投产,填补了国内相关技术空白。

该项目由中国华能河南分公司下属清洁能源公司联合西安热工研究所共同建设,依托中国华能自主研发的井筒密封、防腐及智能监控等技术,将二氧化碳输送至2500米深的地壳并加热升温,再回流地面向供暖水换热供热,全过程不取地下水、不污染地表、不扰动地质环境,实现清洁安全闭环式发电。

【攻关感言】

胜利油田高级专家李军亮:颠覆性认识的诞生,必须有破除传统认识的勇气与魄力。利用页岩油的突破性进展,靠的就是突破权威、坚持自主创新。我们也有借鉴北美经验去突破,但道路不通。后来发现,唯有自己将最基础的理论研究透,才能实现科技创新的突破。济阳页岩油勘探实践也再次证明,“权威”是可以学习的,也是可以超越的,只有敢闯敢试,突破思想的桎梏,才能在原本认识的“禁区”里找到属于自己的宝藏。

【理论创新】

胜利油田高级专家李军亮:颠覆性认识的诞生,必须有破除传统认识的勇气与魄力。利用页岩油的突破性进展,靠的就是突破权威、坚持自主创新。我们也有借鉴北美经验去突破,但道路不通。后来发现,唯有自己将最基础的理论研究透,才能实现科技创新的突破。济阳页岩油勘探实践也再次证明,“权威”是可以学习的,也是可以超越的,只有敢闯敢试,突破思想的桎梏,才能在原本认识的“禁区”里找到属于自己的宝藏。

【理论创新】

胜利油田高级专家李军亮:颠覆性认识的诞生,必须有破除传统认识的勇气与魄力。利用页岩油的突破性进展,靠的就是突破权威、坚持自主创新。我们也有借鉴北美经验去突破,但道路不通。后来发现,唯有自己将最基础的理论研究透,才能实现科技创新的突破。济阳页岩油勘探实践也再次证明,“权威”是可以学习的,也是可以超越的,只有敢闯敢试,突破思想的桎梏,才能在原本认识的“禁区”里找到属于自己的宝藏。

【理论创新】

胜利油田高级专家李军亮:颠覆性认识的诞生,必须有破除传统认识的勇气与魄力。利用页岩油的突破性进展,靠的就是突破权威、坚持自主创新。我们也有借鉴北美经验去突破,但道路不通。后来发现,唯有自己将最基础的理论研究透,才能实现科技创新的突破。济阳页岩油勘探实践也再次证明,“权威”是可以学习的,也是可以超越的,只有敢闯敢试,突破思想的桎梏,才能在原本认识的“禁区”里找到属于自己的宝藏。

【理论创新】

胜利油田高级专家李军亮:颠覆性认识的诞生,必须有破除传统认识的勇气与魄力。利用页岩油的突破性进展,靠的就是突破权威、坚持自主创新。我们也有借鉴北美经验去突破,但道路不通。后来发现,唯有自己将最基础的理论研究透,才能实现科技创新的突破。济阳页岩油勘探实践也再次证明,“权威”是可以学习的,也是可以超越的,只有敢闯敢试,突破思想的桎梏,才能在原本认识的“禁区”里找到属于自己的宝藏。

【理论创新】

胜利油田高级专家李军亮:颠覆性认识的诞生,必须有破除传统认识的勇气与魄力。利用页岩油的突破性进展,靠的就是突破权威、坚持自主创新。我们也有借鉴北美经验去突破,但道路不通。后来发现,唯有自己将最基础的理论研究透,才能实现科技创新的突破。济阳页岩油勘探实践也再次证明,“权威”是可以学习的,也是可以超越的,只有敢闯敢试,突破思想的桎梏,才能在原本认识的“禁区”里找到属于自己的宝藏。