

安岳 奇迹

——中国石油创新古老碳酸盐岩理论技术探索古隆起纪实

文·张舒雅 图·包升

截至3月底,四川盆地安岳大气田探明天然气地质储量6574亿立方米。其中,龙王庙组气藏探明地质储量4403亿立方米,累计产天然气109.04亿立方米。龙王庙组气藏从发现到快速探明再到高效建成110亿立方米产能,仅用了不到3年时间,相当于发现建成了年产千万吨级的大油田,创造了中国大型整装气藏从发现到全面投产的最快速度纪录,堪称世界油气勘探开发奇迹。安岳速度也为低油价下油气田高效勘探开发树立了新样板。

速度的背后,是长达半个多世纪的积累与沉淀。在一次次勘探实践中,在日以继日的研究摸索中,中

国石油创新并形成了独具特色的古老碳酸盐岩成藏理论及技术系列,成功指导我国最大单体海相碳酸盐岩整装气藏——安岳气田发现。至此,一个跨世纪的梦想终于得以实现。

对此,俄罗斯科学院院士A·E·康托洛维奇评价说:“中国石油在四川盆地古老碳酸盐岩油气勘探的重大发现,是新世纪前15年世界石油天然气地质学的最辉煌成就之一,必将彪炳史册!”

半个世纪的持续勘探与创新,中国石油人不仅铸就了石油勘探史上的不朽丰碑,也开启了古老碳酸盐岩勘探的新篇章……

锲而不舍 古隆起勘探曲折中前行

没有先进的设备,缺乏配套的技术,以传统的“背斜控藏”理论作指导,上个世纪40年代开始,中国石油人“三上”威远地表构造,终于在1964年成功发现我国首个海相整装气田——威远气田。之后,随着勘探工作的不断深入,几亿年前古地质的逐步完善,川中古隆起(亦称乐山—龙女寺古隆起)成为重点研究对象。

古隆起是地质历史时期形成的隆起构造。正所谓“人往高处走,水往低处流”,油气与人相似,也喜欢朝着高处运移聚集。基于“古隆起是油气运移、聚集的最有利场所”这一经典地质理论,再加上古隆起的高部位已经成功发现了威远气田,人们对川中古隆起这个面积超过6万平方公里的大型古隆起充满期待。“古隆起上再找一个威远气田”,成为几代石油人的共同梦想。

然而,追梦之路并非一帆风顺。在威远气田发现后的40余年间,石油人几上几下,先后尝试了21口探井,结果要么是水,要么是微气,要么是气水同出。这让不少地质工作者心生彷徨:6亿年间,古隆起经历了无法想象的起伏变迁,古老生烃源岩是否因为太“老”了而失去了生成天然气的能力?就算还有生气能力,经过几亿年的沧海桑田,“气龙”是否早已“溜走”?难道说,偌大的古隆起就只有“威远”这么一个

独生子……

质疑声、迷茫感并没有阻碍石油人继续探索古隆起的决心与行动。进入21世纪,中国石油再次把古隆起天然气勘探作为重大攻关课题,云集国内精英,发挥多学科联合、多单位协同的综合优势,开始了新一轮的地质综合研究。

2006年,中国石油在古隆起上部署了3口风险探井。可惜的是,此轮探索并没有让石油人与大气田相遇。2007年,以震旦—寒武系为目的层的宝龙1井,未钻遇好储层,产微气;汉深1井,震旦系储层发育,但保存条件差,有水产出;磨溪1井,其浅层长兴组获高产气流而提前完钻,该井与位于后来取得大突破的磨溪8井几乎同井场,石油人与大气藏擦肩而过。

2009年,经过又一轮多家单位背靠背的平行攻关,中国石油最终把勘探目标锁定在高石梯—磨溪构造,部署风险探井2口。屡败屡战,这一回石油人有预感,寻找了半个多世纪之久的大气田就要现身了。2011年,部署在高石梯构造的高石1井与2012年部署在磨溪构造上的磨溪8井在震旦系灯影组测试,双双获日产超百万立方米高产。

此时,古隆起勘探再次面临命运抉择——经研究发现,磨溪8井寒武系龙王庙组遇厚达35米的好储层见到气显示,但由于缺乏成熟技术,借用威远地区



开发一方气田,保护每寸水土。



合理调配,精心操作,确保龙王庙组气藏天然气平稳外输。

链接

油气勘探领域常见名词

构造: 是地壳或岩石圈各个组成部分的形态及其相互结合的方式和面貌特征的总称。任何构造都是岩石或岩层受了内力或外力作用而产生的原始位态或面貌,以及各种原始位态或面貌的改变。

背斜: 在地壳运动的强大挤压作用下,岩层会发生塑性变形,产生一系列的波状弯曲,其中形状向上凸起的弯曲叫背斜。由于背斜岩层向上拱起,且油、气的密度比水小,所以背斜常常可以储油、储气。

古隆起: 是指在过去某一地质时期形成的隆起构造。

系、组: 在地质学上,分别为属于地层系统分类的不同级别。界是地层系统分类的第一级,系是地层系统分类的第二级,统是地层系统分类的第三级,组是地层系统分类的第四级。如:寒武系龙王庙组(寒武系:地史上将始于距今约5.7亿年、止于距今约5亿年这段时间称寒武纪,在寒武纪形成的地层称寒武系。寒武系分为上统、中统、下统三套地层,龙王庙组为寒武系下统地层。)

拗陷、凹陷: 指地壳上不同成因的下降构造。拗陷和凹陷分别表示不同级别的盆地构造单元,拗陷比凹陷高一阶,拗陷属于盆地内一级构造单元,凹陷属于盆地内二级构造单元。

圈闭: 是一种能阻止油气继续运移并能在其中聚集的场所。一个圈闭由三部分组成:①储存油气的储集岩;②储集岩之上具有防止油气散失的盖层;③有阻止油气继续运移的遮挡物,这种遮挡物可由地层的变形如背斜、断层等造成,也可以是因储集层沿上倾方向被非渗透地层不整合覆盖,以及因储集层沿上倾方向发生尖灭或物性变差而造成。但是圈闭中不一定都有油气,只有油气进入圈闭才可能发生聚集并形成油气藏。一旦有足够数量的油气进入圈闭,便可形成油气藏。

通内主要为湖坪沉积,缺乏高能相带规模储层的传统认识,发展了碳酸盐岩储层沉积学理论,大大拓展了勘探领域,一扫人们对古老碳酸盐岩能否发育规模储层的质疑。

按照传统经典理论,古隆起高部位是油气勘探的有利部位。可此近半个世纪,石油人在此屡屡碰壁。此时,几个疑问不停地萦绕在石油人脑海:安岳地区所处的古隆起构造低部位是否能形成特大气田?如果能,气藏的主控因素是什么,又是否具备整体勘探的地质条件……石油人大胆想象,谨慎论证。经过5轮集中攻关以及持续的科学研究,发现安岳地区紧邻古裂陷生烃中心,为桐湾期碳酸盐建隆与加里东期构造叠加而成的继承性古隆起,发育震旦和寒武系两套古丘滩体规模储层,发育两类大型构造—岩性地层古圈闭。而古裂陷、古丘滩体、古圈闭、古隆起的

时空有效配置,正是控制安岳特大型气田的形成与富集最关键要素。

而这“四古”中,古裂陷是控制油气成藏的核心,控制着生烃中心、丘滩体展布、源储配置、侧向遮挡;古丘滩体控制着规模优质储层展布、古圈闭形成和油气富集;岩性地层古圈闭决定着油气成藏与保存条件;古隆起是控制油气聚集与油气藏演化的关键所在。以这“四古”要素为核心,中国石油创建了古老碳酸盐岩“四古”成藏理论,有效指导安岳特大型气田战略发现。

这一系列地质勘探理论的重大突破,不仅揭秘了6亿年桑沧巨变的特大型气田的形成机理,还有效推动勘探由古隆起高部位向低部位、由构造气藏向地层—岩性气藏、由单一气层向多气层的转变,带动了川中古隆起的整体认识、整体部署、整体勘探、整体开发。

百步穿杨 钻入地宫擒气龙

俗话说,上天容易入地难。探知地下奥秘,深挖地下宝藏,必须借助技术“慧眼”。

安岳特大气田目的层时代古老、埋藏深度大、高温高压、储层物性差、非均质性强。如何有效识别优质储层、精细描述岩性圈闭,实现快速钻探、提高气层评价精度、提高储层改造水平,是决定能否快速高效勘探与探明的关键。

对此,中国石油不断攻关不断创新,形成了地震预测、快速钻井、测井评价以及气层改造4项配套技术,为安岳特大气田高效勘探提供强力技术支持。

地震预测是油气勘探的“眼睛”。针对深层地震成像精度低、储层精细刻画难等问题,中国石油攻关形成了提高分辨率等4项地震预测技术,储层描述精度高达85%,较之前提高了15个百分点。

钻头不到,油气不冒。面对纵向上多压力系统、岩石可钻性差、钻速慢等难点,中国石油攻关形成并深结构优化、高效PDC钻头优化、钻井液优化等3项快速钻井技术,钻井周期由208天缩至100天,大大节约了时间与成本。

测井评价是地层“密码”的“破译者”。针对灯影组、龙王庙组岩性复杂、储层有效评价与流体判别精度低等技术瓶颈,中国石油攻关形成了特殊矿物定量识别、核磁共振孔隙结构评价、三维核磁共振流体识别、产能预测等4项测井评价技术,气层解释精度提高到92%,提高了26个百分点。

在气层改造方面,针对储层非均质性强、吸酸性差异大、气藏高温高压、机械分层难度大等难题,中国石油攻关形成了基于PVT实验优化排量和酸量、可降解暂堵球技术等2项气层改造技术,单井用酸规模降低50%,酸化测试产量增长4倍至10倍。

在不断攻关、不断自我超越的过程中,中国石油的古老碳酸盐岩勘探技术系列获得社会各界的肯定。其中,获国家发明专利11件、软件著作权4件、技术秘密3项。

在成熟的地质理论的指导下,在先进适用的技术助力下,四川盆地安岳特大型气田勘探开发收获累累硕果。在勘探上,安岳气田特大型气藏群储量规模基本控制,一个总体储量规模超万亿立方米的大气田胸有

成竹。开发上,运用标准化设计、规模化采购、工厂化预制、模块化组装、数字化管理、标准化评价“六化”理念,仅用3年时间建成110亿立方米产能,预计总体规模将超过150亿立方米,为川渝地区的天然气供应及绿色清洁发展再添新动力。

作为我国地层最古老、热演化程度最高、单体储量规模最大的特大型气田,安岳特大气田在长达半个世纪勘探过程中的积淀及理论技术,极大地丰富了古老碳酸盐岩地质理论,对于推动我国乃至世界克拉通盆地古老碳酸盐岩的高效勘探具有重要意义。



精心施工,连通管网,变产能为产量。



2012年11月16日,磨溪9井龙王庙组喜获高产。

的测井解释图版进行解释,结果“似水非水、似气非气”。试气?工作量和投资巨大,且把握不大;不试?强烈的预感又时刻在石油人心里回荡。

有时,一个伟大时刻的诞生除了需要深厚的业务学识底蕴,还需要非同寻常的魄力与勇气。经过反复的科学论证,中国石油决策者们解放思想,一锤

定音——“实践出真知,在最有产水的地方试油!” 艰难的抉择迎来了更大突破。2012年9月,磨溪8井寒武系龙王庙组试气获得日产110万立方米高产工业气流,开辟了寒武系这一战略领域,实现了川中古隆起勘探历史性突破。追寻了半个多世纪的梦想终于得以实现!

精雕细刻 新理论引领大发现

油气勘探,就是求证“有没有,在哪里,怎么样,有多少”的过程。油气地质理论,是勘探进行求证的指南和行动依据。

高石1井的突破给石油人提振了信心,巨大的压力也相伴而生。圆梦古隆起,亟须地质理论的创新与成熟作支撑。而当时,四川盆地古老生烃源岩能否形成规模资源、古老碳酸盐岩能否发育规模储层、古隆起构造低部位能否规模聚集形成特大气田、气田的主控因素是什么等一系列重大基础理论难题尚未有定论,亟待解决。

为此,中国石油迅速启动“四川盆地海相碳酸盐岩大型古隆起大气田成藏理论与高效勘探技术”重大专项研究,突出科研与生产、地质与工程、基础与应用、研究与部署四个一体化,通过几年产学研联合攻关,在实践—认识—再实践—再认识的基础上,针对核心问题重点攻关,取得了重大科学发现和理论创新,有效地指导安岳大气田整体勘探、快速探明。

对于古老生烃源岩能否形成规模资源的疑问,地质学家和勘探工作者们基于野外地质剖面,钻井地质资料的深入研判、地层的划分对比以及地震资料的反复解释,结合上扬子地区晚元古代区域构造

背景,提出了一个大胆假设:晚震旦世—早寒武世在高石梯—磨溪构造与威远气田之间可能发育存在一个南北向的巨型凹槽,发育巨厚的烃源岩。

光靠想象不行,还得依靠事实来印证。石油人决定在预判的凹槽中心部署钻探高17井,对这一“猜想”进行验证。

果然,钻探发现该区灯影组三段、四段地层缺失,确实存在巨型凹槽。这个凹槽便是德阳—安岳台内裂陷。该裂陷的发现打破了扬子克拉通盆地“铁板一块”古构造格局,改变了前人对四川盆地震旦纪—寒武纪构造稳定的传统认识,发现了厚达400余米的优质烃源岩。通过对灯影组、龙王庙组天然气资源的重新评估,资源总量达到5亿立方米,是此前资源评价结果的10倍以上。其中,来自台内裂陷的资源贡献超过60%。资源中心的确定,进一步坚定了在高石梯找大气田的信心,并为“甜点区”的勘探指明了方向。

在台内裂陷发现基础上,石油地质科技人员通过深入细致分析研究,建立灯影组侧向台缘、龙王庙组双颗粒滩沉积新模式。

该模式解释了成储机理,发现了灯影组、龙王庙组两套大面积分布的优质储层,从而突破扬子克拉