

文章编号:1672-9854(2009)-02-0071-08

中国海相油气田勘探实例之十一

四川盆地五百梯石炭系气田的勘探与发现

沈平¹,徐人芬²,党录瑞²,左云安²

(1 中国石油西南油气田公司勘探处; 2 中国石油西南油气田公司重庆气矿)



沈平

摘要 五百梯石炭系气田位于重庆市开县和四川省开江县境内,是一个具有统一气水界面的大型整装气田。气田发现于1989年,探明地质储量为 $539.88 \times 10^8 \text{m}^3$ (1993年)。石炭系气藏的气体来源于下伏志留系,为低含硫低含二氧化碳的优质干气。储层沉积相主要为海湾浅滩微相,有形成粒屑白云岩的有利条件,沉积物间歇性暴露水面,后生成岩变化作用彻底,溶孔发育。气田构造处于四川盆地开江古隆起东侧斜坡带,遭受剥蚀程度的不均匀性使局部区域石炭系缺失,由此形成大型构造-地层复合圈闭。论述了气田勘探和发现的历程及石炭系气藏的主要地质特征,总结了取得勘探突破的实践与认识。

关键词 四川盆地; 五百梯气田; 地层-构造复合圈闭; 石炭纪; 海相地层; 气藏特征; 油气勘探史; 勘探启示

中图分类号: TE122.14 **文献标识码**: A

沈平 1963年生,教授级高级工程师。1982年毕业于西南石油学院勘探系,长期从事油气勘探研究与管理工作。通讯地址: 610051 成都市府青路一段3号; 电话: (028)86012539

1 气田概况

五百梯气田是川东地区发现的第一个大型整装气田。该气田位于重庆市开县和四川省开江县境内,区域构造位于四川盆地川东高陡构造带中部,是大天池构造带北段东翼断层下盘的潜伏构造,处于开江古隆起东侧斜坡。1979年4月,原四川石油管理局在五百梯潜伏构造首钻邓1井,钻遇断层凹陷区,石炭系产水 $6.5 \text{m}^3/\text{d}$ 。由于没有寻找到有效的构造解释及评价方法,致使勘探停顿了近10年时间。至1989年1月,在五百梯潜伏构造高点附近钻探天东1井,主探目的层石炭系,同年8月完钻,石炭系测试获高产工业气流。至1993年底,五百梯气田石炭系气藏勘探阶段基本结束,期间共完钻探井16口,其中获工业气井12口、水井2口、干井2口,探井成功率75%,获天然气探明储量 $539.88 \times 10^8 \text{m}^3$,除获石炭系气藏外,兼探发现了上二叠统长兴组生物礁气藏,获探明储量 $47.23 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

五百梯气田自1992年12月天东2井投入开发以来,至今共钻开发和滚动井34口,获工业气井31口,截止2008年9月底,五百梯气田累计采出天然气 $118.02 \times 10^8 \text{m}^3$,目前年稳定产量为 $12.24 \times 10^8 \text{m}^3$ 左右,成为川东地区的主力气田之一^[1]。气田的基本参数归纳于表1。

2 勘探发现的主要历程

2.1 川东相18井石炭系首获工业气流,勘探重点转向孔隙性储层

1977年4月在川东相国寺构造相8井钻遇石炭系白云岩溶孔储集层,引起了地质家们的重视。1977年10月加深钻探相18井,在石炭系取心并分析化验,确定溶孔白云岩为石炭系黄龙组,测试产气 $85.05 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。此后,川东地区全面铺开对石炭系的勘探,对象主要是一批中隆、低潜构造,如相国寺、卧龙河、福成寨、张家场等(图1)。由此,勘探重点从裂缝性储层转向孔隙性储层。

收稿日期:2007-11-12;改回日期:2009-03-20

表1 五百梯气田基本参数表

气田名称	五百梯气田	
地理位置	重庆市开县和四川省开江县	
区域构造位置	四川盆地东部大天池构造带	
发现井(时间)	天东1井(1989-08)	
发现井产量	测试流量 $111.82 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$; 无阻流量 $226.12 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$	
首次产气时间	1992-12-16	
油气产能	$23 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ (2007)	
探明地质储量(年份)	$539.88 \times 10^8 \text{ m}^3$ (1993)	
可采储量(年份)	$404.91 \times 10^8 \text{ m}^3$ (1993)	
储量丰度	$3.84 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$	
发现依据	借鉴大池干井成功勘探经验的基础上,对大天池构造带进行整体解剖,在开江古隆起斜坡带优选地层-构造复合圈闭部署钻探	
油气藏特征	圈闭类型	构造-地层复合圈闭
	圈闭形成时间	燕山期
	含气面积(年份)	140.45 km^2 (1993)
	圈闭高度	1230 m
	气藏埋深	4020-5100 m
	气藏厚度	(最大含气高度为 1270 m)
	天然气来源	志留系
	天然气类型	干气
	天然气成分	CH ₄ 含量: 96.96%; C ₂ H ₆ 含量: 0.57%; H ₂ S 含量: 0.032%; CO ₂ 含量: 1.00%
	地层压力	60.05 MPa
	压力系数	1.33
	盖层时代与岩性	二叠系梁山组铝土质泥页岩
	储集层	层位
主要岩性		细粉晶角砾溶孔白云岩
沉积环境		海湾潟湖浅滩与潟湖潮坪沉积
总厚度		25-42 m
有效厚度		8.47-27.15 m
孔隙类型		裂缝-孔隙型
孔隙度		0.15%-26.39%, 平均 6.21%
渗透率		一般 $(1.0-2.5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均 $0.77 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$
含气饱和度	80.77%	

2.2 一批高陡构造勘探相继失利,石炭系勘探裹足不前

1979—1988年,在大池干井、南门场、大天池、板桥、蒲包山等一批高陡构造的勘探中相继失利,其主要原因是构造与储层方面存在认识上的误区,大多是因钻入构造复杂带而失利,典型的有门1井、门2井、板1井、池3井、邓1井等。1979年4月,原四川石油管理局在天池构造带北段东翼下盘钻探邓1

井,该井钻入下盘断凹之中,完钻层位志留系,石炭系厚度 14.5 m,主要岩性为角砾溶孔白云岩,储层厚度较薄,测试产水 $6.5 \text{ m}^3/\text{d}$ 。邓1井的钻勘失利揭示出大天池构造带构造上的复杂性以及地层存在局部缺失、减薄的现象。自此,大天池构造带的勘探停顿了近8年时间。

2.3 建立川东高陡构造带构造模式,勘探获重大突破

20世纪80年代末,针对川东一批高陡构造勘探上的失利,勘探工作者首先认识到必须解决地腹中构造形态的正确归位问题。为此,结合当时的钻井地质分析,确定以大池干井构造带为突破点,地震上采用了F—K偏移技术对其进行了成功解剖,即非对称型高陡构造带地腹中存在主体高带、主体断凹、陡翼外侧潜高带、缓翼外侧潜伏高点。这种认识在大池干井的龙头构造——吊钟坝主体高带——的池11井、磨盘场—老湾陡翼外侧潜高带的池22井的钻探中得以证实,这两口井均获高产工业气流。针对这一成功实例,对大天池构造带开展地震构造分析研究工作,得出在构造东翼断下盘也存在类似于磨盘场—老湾潜高带的认识。

2.4 五百梯天东1井、2井突破,揭开石炭系勘探新领域

根据地震处理解释成果以及综合地质分析研究,终于在石炭系勘探上停顿了将近8年之后,优选出五百梯潜伏构造作为勘探突破点,于1989年1月在重新解释的五百梯潜伏构造高点附近部署了天东1井、天东2井,在龙门潜伏构造部署了天东4井。1989年9月完成天东1井,石炭系钻厚 30.5 m,主要岩性为砂屑溶孔白云岩,有效储层厚度 25.46 m,平均有效孔隙度 8.02%,该井酸后测试产气 $111.82 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,天东2井产气 $88.78 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,均获高产工业气流。此外,同期在龙门潜伏构造完成的天东4井也钻获工业气流。以上的勘探发现正式揭开了大天池构造带石炭系气藏勘探新领域,使川东地区天然气勘探进入新的高速发展时期。

2.5 高时效获取商业储量,合理布井网完成气田评价勘探

五百梯是川东地区发现的首个大型气田,随后

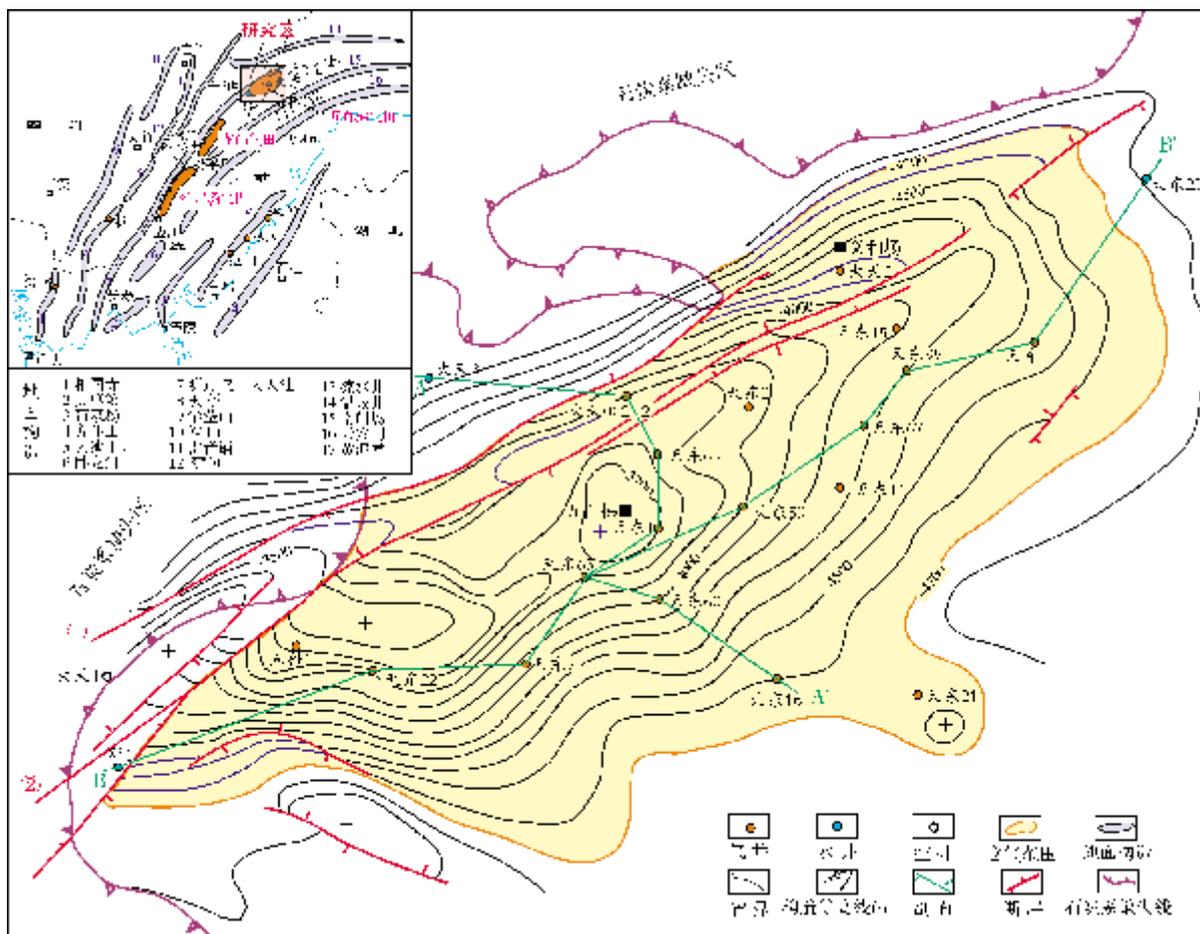


图1 五百梯气田构造位置与石炭系气藏含气分布图

确定以迅速高效获取商业储量、并为构造带的整体勘探摸索经验的指导思想去安排早期气藏描述。五百梯构造初步告捷后,面临的主要任务:一是研究大天池构造北段主体与五百梯潜伏构造形态特征,搞清楚圈闭类型及圈闭规模;二是搞清楚石炭系分布,初步了解储层发育情况;再者就是开展气水关系的早期预测,初步了解含流体分布情况。通过对以上问题的研究,对构造与圈闭、地层分布有了较清楚的认识,根据对川东地区石炭系压力系数分布情况及特征研究,初次确定的气水界面在 $-4700\sim-4500\text{m}$ 之间。第一评价井围绕在 -4500m 圈闭范围内进行部署,包括天东7井、天东10井、天东11井、天东15井等,钻探均获工业气流。第二评价井围绕在 -4700m 等高线附近进

行部署,包括天东16井、天东21井、天东23井。其中,天东21井石炭系顶界海拔为 -4652m ,测试获气 $11.63\times 10^4\text{m}^3/\text{d}$;天东23井石炭系顶界海拔为 -4814m ,测试产水 $0.23\times 10^4\text{m}^3/\text{d}$,最终探明的气水界面为 -4700m 。

1993年对五百梯气田开展气藏精细描述^{①②}。至此,在五百梯潜伏构造及大天池构造北端的义和场高点共完成探井16口,探井成功率75%,以合适的井网,高效、省时地完成了五百梯气田石炭系气藏的勘探。气藏描述确认,五百梯气田石炭系属于地层—构造复合圈闭气藏,储集岩主要为颗粒砂屑溶孔白云岩、角砾溶孔白云岩,储集类型为裂缝—孔隙型,探明的含气面积为 140.45km^2 ,获探明储量 $539.88\times 10^8\text{m}^3$ 。

① 费怀义,吴继余,等. 五百梯气田石炭系气藏精细描述. 四川石油管理局勘探开发研究院,1993.

② 徐国盛,等. 川东石炭系气藏精细描述及提高采收率配套技术研究. 成都理工大学,2008.

2.6 发现构造带整体含气，勘探成果不断深化

五百梯石炭系气藏的勘探发现揭示出大天池—明月峡构造带良好勘探前景。与此同时，油气田勘探工作组织了包括地震、地质、钻井、测井方面技术人员开展对大天池—明月峡构造带展开整体评价研究，按先大后小、先易后难的原则进行整体勘探部署。1994年勘探龙门—明达潜伏高带，1995年开始重点勘探沙坪场潜伏高带，均取得了重要勘探发现。期间相继在主体高带的明月北、天池铺、肖家沟，构造带西缓翼的安仁、大树坝、观音桥等发现了一批中小型气田。截至目前，大天池—明月峡构造带共发现含气构造(主要产层)9个，获天然气探明储量 $1\,263.87 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，获控制储量 $102.33 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，获预测储量 $26.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

需要说明，五百梯石炭系气藏勘探过程中还兼探发现了上二叠统长兴组生物礁气藏。1989年6月，天东2井钻至井深3764~3769m发生井涌，观察岩屑，见粉晶白云岩，决定中测井段3789.79~3843m，产气 $3.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。1989年6月，天东21井钻至4305~4307m钻时加快；观察岩屑，溶孔白云岩较发育，决定中测井段4312.34~4381.30m，产气 $23.56 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。五百梯长兴组生物礁气藏是开江—梁平海槽东北侧首个发现的边缘礁滩气藏，其重要意义体现在为后来的黄龙场、七里北、高峰场等礁滩气藏的勘探提供了成功的范例。

3 气藏主要地质特征^[2]

3.1 古隆起斜坡带发育大型地层—构造复合圈闭

五百梯气田位于大天池构造带北倾没端，地褶皱强度中等，三叠系以下有断层发育，构造相对简单完整(图1,图2)。构造背景处于开江古隆起的斜坡带东侧，在沙罐坪东—白岩山—巫山坎南一线存在一个南北向石炭系侵蚀带，并在构造的上倾方向形成了完全遮挡，形成大型的构造-地层复合圈闭。

1993年对五百梯石炭系开展气藏精细描述，在地层及储层分布、构造与圈闭、地层压力、气水关系的基础上确认构造断层上盘的义和场高点与断层下盘的五百梯潜伏构造为同一个圈闭系统。

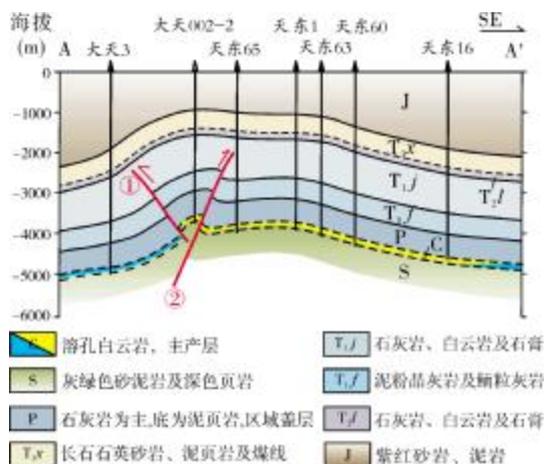


图2 五百梯气田NW-SE向连井剖面及岩性分布图

其中，五百梯潜伏构造的圈闭条件是：东南和东北方向以-4700m最低构造等高线形成封闭，西面以大天②号断层控制，西南面则以石炭系缺失带为封闭条件。圈闭要素是：高点海拔为-3430m，最低圈闭海拔为-4700m，长轴26km，短轴7km，圈闭面积为 135.25 km^2 (图1)。

义和场局部高点的圈闭条件是：东北及北面以-4700m最低构造等高线形成封闭；东南面以大天②号断层控制；西南面则以石炭系缺失带为封闭条件。圈闭要素是：高点海拔为-3200m，最低圈闭海拔为-4700m，长轴26km，短轴2km，圈闭面积为 40.5 km^2 (图1)。

1993年在对地震、钻井、地层与储层、气水关系等研究的基础上，确定五百梯石炭系气藏的含气面积为 140.45 km^2 ，并上报了该含气范围内的探明储量。

3.2 有利的海湾潟湖浅滩相与潮坪相沉积广泛分布

五百梯气田所在大天池构造带位于川东局限海湾沉积区中部中央隆起带东侧边缘区，具有明显的微地貌优势，主要微相有海湾潟湖浅滩相及潟湖潮坪相，间歇性暴露地表概率大，频繁接受大气淡水淋滤对沉积物的后生改造，对储层发育十分有利，在五百梯潜伏构造形成了一套各类溶蚀孔洞发育的白云岩储集层。其中以海湾浅滩亚相沉积的各类粒屑白云岩为最佳，可形成I、II类储层；角砾白云岩次之，可形成II、III类储层。

3.3 受长期剥蚀作用影响,地层厚度变化大

受云南运动影响,在局限海湾内沉积的石炭系经长期剥蚀,现今残存的地层为上石炭统黄龙组,在整个川东地区分布面积约 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。五百梯气田范围内石炭系厚度为 0~42 m,主要岩性为角砾白云岩、颗粒砂屑白云岩、粉晶白云岩、泥—细晶灰岩、石膏等。通过对岩性、岩相及古生物特征、电性特征的研究,川东地区石炭系黄龙组由下而上可分三个段(图 3),主要特征如下。

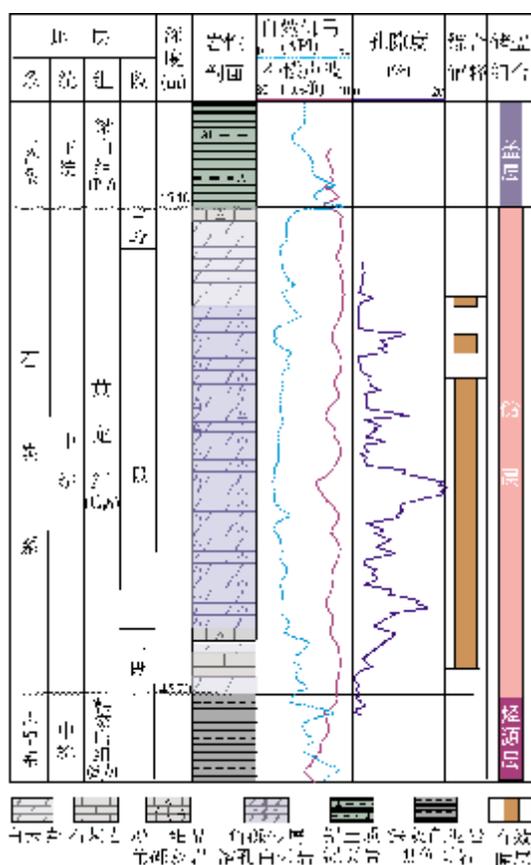


图 3 五百梯气田石炭系柱状剖面及储盖组合图

黄龙组一段 岩性为灰岩与含陆源石英砂的砂屑白云岩。上部为褐灰色细—粗晶次生灰岩,灰岩中一般见角砾,下部砂屑白云岩与灰岩互层,白云岩中少见零星针孔。电性特征:深、浅侧向呈块状高阻,自然伽马呈高值,与下伏中志留统泥质岩类的高自然伽马明显分界。本段岩性致密,无储集性,厚度 0~8.5 m。

黄龙组二段 岩性以虫屑、砂屑细粉晶白云岩,

粉—细晶白云岩,角砾白云岩为主。针状溶孔发育,局部密集形成溶孔层。生物以有孔虫、介形虫、棘皮、蓝藻为主,其次为瓣腮、腹足、珊瑚、筴等。白云岩中间夹薄层去白云石化灰岩。电性特征:深、浅侧向电阻比一段的低,呈锯齿状。自然伽马上部有一高值段,中下部呈齿状低值。本段是主要储集层段,残厚 2.9~33 m。

黄龙组三段 因其遭受剥蚀程度不同,残厚变化较大。主要岩性有细粉晶角砾灰岩、细粉晶白云岩、角砾白云岩等。电性方面,深、浅侧向呈明显厚层状高阻,自然伽马呈齿状低值。该亚段孔隙发育较差,在五百梯有零星储层发育,是石炭系的次储层段。本段残厚 0~6 m。

黄龙组三段的上覆地层为下二叠统梁山组铝土质泥页岩,作为石炭系的直接盖层。

3.4 储层特征及其分布

(1) 具各种孔隙、洞穴、裂缝互相搭配的储集空间

川东石炭系储层的储集空间总体可分为孔隙、洞穴、裂缝三大类。其中,孔隙类型包括粒内粒间溶孔、砾内溶孔、铸模孔及粒间晶间孔等;洞穴由溶蚀扩大的孔隙或裂缝构成,一般洞径 2~20 mm;裂缝可分为早期成岩干缩缝、构造性裂缝、复合性溶蚀缝。五百梯石炭系储层的一个显著特点是孔洞缝发育,有效孔洞密度一般为 50~64 个/m;岩心面孔隙率高,一般为 3%~8%;有效裂缝密度一般为 10~23 条/m,高于其他构造。

(2) 具有中等孔隙发育的物性特征,但渗透性较差

统计结果表明,石炭系孔隙度分布范围为 0.15%~26.39%,平均有效孔隙度为 6.21%。中段的 天东 1 井区、天东 2 井区、大天 2 井区一线孔隙发育较好,南北段的天东 22 井区、天东 8 井区、天东 17 井区孔隙发育相对较差。

石炭系储层非均质性较强,基质渗透率变化较大,最大的大于 $97.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最小小于 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,一般 $(1.0 \sim 2.5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $0.77 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。气井不稳定试井,解释产层渗透率多数小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最大的天东 1 井为 $9.87 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最小的天东 7 井仅 $0.0016 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。压力恢复和压力降落试井研究发现石炭系气藏各井普遍表现出复合地层渗

流特征。

五百梯石炭系储集岩存在 I、II、III 类储层,以 II、III 类为主。根据岩石实验、试井、气田生产等方面研究,石炭系气藏以各种孔隙为储集空间,裂缝作为主要渗滤通道,储集类型为裂缝—孔隙型。

(3) 纵横向上具连续性、成层性及大面积储层分布特征

在五百梯区块,黄龙组二段地层厚度分布较稳定,白云石化较彻底,储层发育充分,储层在纵向上连续性好,成层性好,横向上具有大面积分布的特征。对完钻各井资料统计显示,有效储层厚度一般为 8.47~27.15 m,气藏平均储层厚度达 17.71 m,厚储层区分布于潜伏构造中段,构造南北段储层发育较薄(图 2,图 4)。

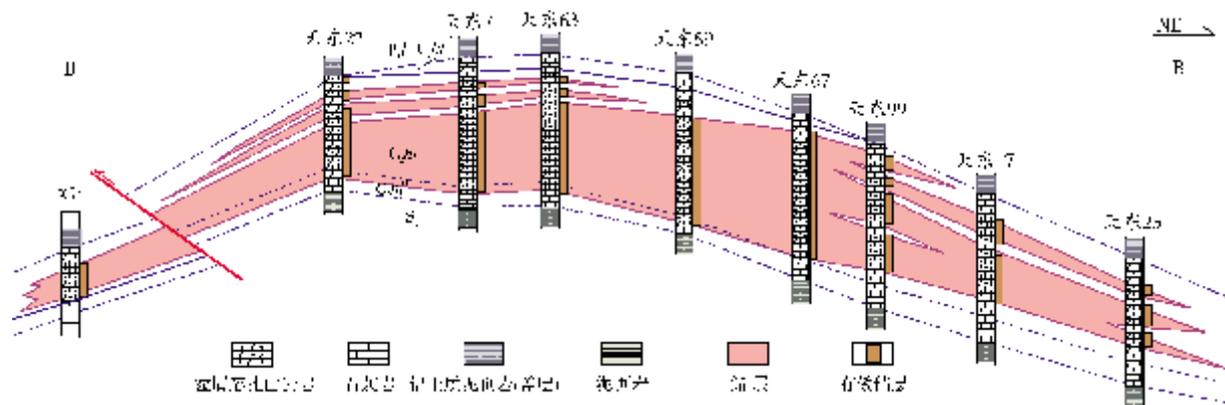


图 4 五百梯气田石炭系储层 SW-NE 向连井剖面图

3.5 低含硫的优质干气藏

天然气组分分析表明,石炭系气藏天然气成分以甲烷(CH_4)为主,一般含量为 96%~97%,乙烷以上烃

类一般含量为 0.4%~0.6%,非烃类气体(N_2 、 H_2 、 He)一般含量为 0.5%~0.8%, H_2S 含量为 0.4~2g/m³, CO_2 含量为 27~31g/m³,干燥系数为 145~152(表 2),属于低含硫较低二氧化碳的优质烃类干气气藏。

表 2 五百梯石炭系气藏天然气组分分析数据表

井号	相对密度	气体含量						临界温度 (°C)
		CH_4 (%)	C_2 (%)	N_2 (%)	H_2 (%)	CO_2 (g/m ³)	H_2S (g/m ³)	
天东 1	0.5754	96.96	0.57	0.81	0.032	27.256	2.084	192.7
天东 2	0.5755	97.06	0.48	0.73	0.033	29.963	0.960	192.6
天东 11	0.5763	96.97	0.52	0.71	0.031	31.252	1.045	192.8
天东 15	0.5760	96.97	0.52	0.78	0.034	30.552	0.400	192.6
天东 16	0.5781	96.83	0.47	0.70	0.029	35.856	0.314	192.9
天东 21	0.5746	97.25	0.43	0.56	0.026	29.429	1.931	192.7
大天 2	0.5750	97.11	0.44	0.77	0.034	29.466	0.662	192.5
五科 1	0.5704	97.44	0.63	0.88	0.044	18.459	0.001	191.8

3.6 气水分异明显,具有统一的气水界面

五百梯石炭系是一个大型气藏,充满度达 100%,最大含气高度为 1270m,在气藏范围内气水的高低分异明显,属于边水气藏。勘探早期,根据地层压力系数对气水界面进行了预测,按-4700m 的含气范围确定评价勘探方案,评价结束后,根据天东 23 井、大天 3 井水井资料进一步确认气水界面为-4700m,气

田十多年来的开发也进一步证实了五百梯石炭系是具有统一气水界面的大型整装气田。

4 勘探启示

4.1 扎实的基础地质研究为石炭系勘探奠定基础

20 世纪 80 年代中期,西南油气田勘探部门开

展了一轮针对以有孔储层为对象(包括石炭系、飞仙关组)基础研究工作的地震方面完成了5条横贯东西七排高陡构造带的地震测线采集处理解释工作,基本弄清楚了川东隔档式高陡构造的地腹格局。基础地质研究认为,石炭纪晚期在现今的川东地区形成一个局限海湾,沉积相属于局限海湾蒸发潮坪沉积,主要沉积微相包括潟湖相、海湾(潟湖)浅滩相、浅海洼地。根据石炭系残厚、岩性特征、生物组合等分析,在川东石炭纪局限海湾可分为三个沉积地貌单元,分别是垫江、达县、万县沉积洼陷区和开江—梁平中央隆起带(即三凹一隆),指出围绕中央隆起带和凹陷边缘斜坡周边区域是石炭系勘探有利区^[2]。

从川东地区的勘探经验看,沿开江—梁平中央隆起带及凹陷斜坡带,各构造一般都具有较高孔隙度、较厚的储层及较高的储量丰度。如大天池构造带、大池干井构造带、七里峡构造带等等,五百梯乃至整个大天池—明月峡构造带所获重大发现得益于扎实的基础地质研究工作。

4.2 优选圈闭目标进行钻探部署,滚动勘探周边构造

众所周知,志留系的黑色页岩和深灰色泥岩是川东地区石炭系天然气的主要烃源岩,含丰富的笔石等生物,有机碳含量高,一般厚度为80~130m,有机质丰度在1.65%,最高达3.15%。地化分析资料表明,生油能力折合成天然气当量约为 $51.5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,排烃能力为 $13.9 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。

川东地区的开江古隆起是一个具有继承性的古隆起,加里东期主要在开县至梁平一线,印支期逐渐迁移至开江至达县。需要说明的是,在古隆起周边地区,因沉积或剥蚀作用造成局部石炭系缺失,而地层的缺失成了天然气运移中的横向屏障,隆起及斜坡带具有就近优先俘获油气的时机和位置,使得从志留系向上运移的油气富集在古隆起周边的大型构造-地层复合圈闭中。基于以上研究成果,在五百梯潜伏构造高点部署的天东1井、天东2井一举取得成功。截止目前,在古隆起周边已发现了一批大中型气田,如五百梯、龙门、沙坪场、沙罐坪、双家坝等(图1)。勘探现状说明,在古隆起的周边是油气指向区,对油田富集成藏十分有利。类似的区域并有条件形成大型构造-地层复合圈闭的有南门场构造带和凉水井—板桥构造带,这是今后石炭系勘探的重要领域之一。

4.3 坚持多学科多工种联合攻关,获取最佳勘探效益

五百梯以及整个大天池—明月峡构造带勘探的核心问题是:构造及圈闭可靠性、形态特征、规模大小、地层与储层发育分布、流体性质及其分布情况。针对上述问题,组织了地质、地震、测井、油藏工程等多学科联合研究。

大天池—明月峡构造带是川东地区典型的高陡构造(两翼倾角甚至直立倒转),主体出露灰岩,地形高差达800~1000m,地震采集质量差别很大。为此,地震工作采用适合于山区的的静校正技术,叠前叠后去噪技术、适合于高陡构造的地震偏移技术(如F-K偏移、变速射线偏移、串级偏移、叠前偏移等),这些技术手段成功地解决了这类高陡地腹构造的形态及断层展布,使地腹构造格局得到正确的归位,弄清楚了目的层的构造圈闭要素。

五百梯气田所在大天池构造带处于开江隆起带中央,石炭系厚度普遍较薄,局部区域石炭系剥蚀殆尽,残存地层厚度在0~42m之间,非均匀性剥蚀形成大量的侵蚀条带和侵蚀窗,需要从地震上着手进行研究。主要根据石炭系顶界反射波的波组合、波形特征、振幅强弱等来判断,直观的表现是石炭系连续分布区域呈双强反射,双强消失的地方石炭系可能缺失。从振幅上判断,存在石炭系的地方振幅往往较强,反之较弱。在预测储层发育状况时主要采用速度反演方法,对石炭系储层解释由定性向定量过渡,使储层评价与横向预测技术得到了延伸。

从已钻井中筛选不同石炭系厚度的井,作出相应模型正演,同时开展高分辨率地震及速度反演,从而达到解决石炭系有无、好坏等关键问题。上述地震措施为正确部署探井和评价井起到了不可或缺的作用。此外,对钻井实施动态跟踪,纵向上所反映出的构造异常都被及时反馈到地震处理、解释之中去,这种地震、地质相结合的圈闭评价方法是一套快速的应对系统,是动态的。大天池—明月峡构造带的整个勘探评价均运用这一应对系统,为构造带的成功勘探提供了可靠技术支撑。

利用测井及测试技术,主要是为及时了解储层。利用探边试井技术,早期开展对气水界面及不同介质边界的预测工作,为下步勘探决策提供依据。针对大天池构造带山高、林密、坡陡等自然条件恶劣的情

况, 钻井措施上实施定向井技术、侧钻分支井中靶技术, 确保了地质目标的成功实现。研究钻井剖面的地层岩性组合、地层压力剖面变化, 精心设计, 采用先进、适用的井筒技术系列等, 最终达到了布置最佳的井网、减少钻井取心工作量、缩短钻井周期、提高勘探效益的目的。

根据以寻找大中型气田为目标战略决策, 油气田勘探开发工作组织保障系统确保了各单位、各工种的密切配合, 为大天池—明月峡构造高效勘探提供了重要支撑, 其中五百梯气田石炭系气藏共用了 16 口探井, 获探明储量 $539.88 \times 10^8 \text{ m}^3$, 平均每口

探井获探明储量 $33.74 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。后续勘探的沙坪场气田仅用 6 口探井就探明天然气储量 $397.71 \times 10^8 \text{ m}^3$, 平均每口探井探明天然气储量 $66.285 \times 10^8 \text{ m}^3$, 经济技术指标均创造了川东地区勘探的最好水平。

参考文献

- [1] 冉隆辉, 陈更生, 徐人芬. 中国海相油气田勘探实例之一: 四川盆地罗家寨大型气田的发现和探明[J]. 海相油气地质, 2005, 10(1): 43-48.
- [2] 沈平, 徐人芬, 李宗银. 川东五百梯气田成藏条件及高效勘探经验[J]. 天然气工业, 1998, 16(6): 5-9.

编辑: 赵国宪

Cases of Discovery and Exploration of Marine Fields in China (Part 11): Wubaiti Carboniferous Gas Field in Sichuan Basin

Shen Ping, Xu Renfeng, Dang Rurui, Zuo Yun'an

Abstract: Wubaiti Gas Field is located at the boundary of Chongqing City with Sichuan province. It is discovered in August, 1989 and began to yield gas in December, 1992. It is a large-sized massive Carboniferous reservoir that covers a trap area of 140.45 km^2 with a unified gas-water interface and has held the total proved gas reserves in-place of $53.988 \times 10^8 \text{ m}^3$ till the end of 1993 and yield $230 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{d}$ of gas in 2007. Wubaiti reservoir is an anticlinal/stratigraphic trap that is sited at the east side of Kaijiang Paleouplift Slope in eastern Sichuan Basin. The reservoir gas derived from the underlying Silurian black shale and dark grey mudstone is the excellent dry gas with low content of sulfa and carbon dioxide. The reservoir mainly consists of gulf-shoal facies grained dolomite, which was exposed in surface intermittently and underwent with complete late-diagenesis. Exploration and exploitation history and experience, general geological characteristics of the Carboniferous reservoir of the field are reviewed in detail.

Key words: Carboniferous; Marine formation; Stratigraphic-structural trap; Characteristic of reservoir; Exploration history; Wubaiti Gas Field; Sichuan Basin

Shen Ping: male, Senior geologist, Professor. Add: PetroChina Southwest Oilfield Company, 3 Yi Duan, Fuqin Rd., Chengdu, Sichuan, 610051 China