

四川盆地五指山构造天然气成藏条件新认识^{*}

杨毅 戴鸿鸣 黄东 周子琰 王逊

(西南石油大学)

杨毅等.四川盆地五指山构造天然气成藏条件新认识.天然气工业,2008,28(6):65-68.

摘要 五指山构造为四川盆地尚未勘探的区域,开展含油气性评价研究对于选择有利勘探区带、拓宽勘探领域和降低新区勘探风险具有十分重要的意义。综合应用构造史恢复和磷灰石裂变径迹分析、卫星遥感解译与野外地质考察、储层对比等方法,深入研究了该区的气藏成藏条件。结果表明:五指山构造形成于喜山期,寒武系洗象池群储层物性与资阳、威远地区大致相似,但震旦系灯影组储层物性则比后两者差;五指山地区下寒武统平均生烃强度为 $63 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,具备形成大中型气田的物质基础,但烃源岩生气高峰期在晚二叠世早期至白垩纪,圈闭形成期与生气期不相匹配。据威远气田天然气具有明显的水溶气特征而推测五指山构造的成藏模式也是以水溶气为主。根据地层水中天然气溶解度的回归方程,计算出五指山构造因地层抬升从震旦系灯影组地层水中可解析出的游离气为 $217.7 \times 10^8 \text{ m}^3$,而该区油气地球化学勘探也证实了有较强的油气活动。因此,该区具有良好的勘探前景。

关键词 四川盆地 五指山构造 烃源岩 储集层 气藏形成 水溶气 勘探前景

五指山构造为四川盆地尚未勘探的区域,开展含油气性评价研究对于选择有利勘探区带、拓宽勘探领域和降低新区勘探风险具有十分重要的意义。五指山构造位于四川盆地西南边缘,区域构造处于四川盆地川西南低陡褶皱带南端。行政区包括马边、沐川等县。该构造勘探程度低,到目前仅进行了野外构造测量和地球化学勘探工作。

从构造展布特征分析,五指山构造主要受北东向和北西向两组挤压应力作用形成,构造呈特殊的“人”字型,可分为“五东背斜”和“五西背斜”(图1)。其中“五西背斜”轴向为 $\text{NW}40^\circ$,向南西方向倾伏,

核部出露下三叠统嘉陵江组。“五东背斜”轴向为 $\text{NE}55^\circ$,核部出露上二叠统玄武岩,背斜顶部平缓,两翼不对称。

一、构造面积大,幅度高,形成期晚

根据野外地质调查,结合卫星遥感解译和区域地质构造特征,推测五指山地腹震旦系、寒武系构造圈闭面积大、幅度高,与威远气田震旦系、寒武系具有可比性,其主要依据如下:

(1)野外地质剖面观察,五西、五东背斜构造形迹清楚(图2)。

(2)区内构造形成时期晚,各层构造具有同期卷入特征。借助邻区地震解释剖面分析,地腹各层构造形迹相似,具有同心褶皱特征。采用平衡剖面技术,对邻区构造演化史恢复表明,中三叠世前构造未形成(图3)。从五指山取样的磷灰石裂变径迹分析表明(图4),中三叠世至新第三纪,工区长期处于下降环境,接受沉积,新第三纪以来在喜山运动作用下处于抬升剥蚀演化阶段,因而推测五指山构造形成于喜山期。

(3)根据区内构造展布特征。主要受 $\text{SW}-\text{NE}$ 和 $\text{NW}-\text{SE}$ 方向的挤压应力作用形成,具有断弯褶

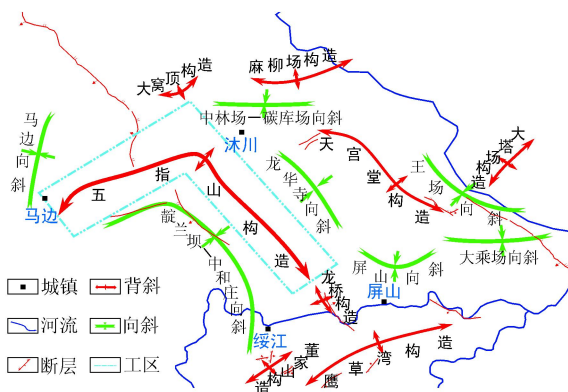


图1 五指山构造示意图

^{*} 本文受到四川省重点学科建设项目(编号:SZD0414)的资助。

作者简介: 杨毅,1981年生,硕士研究生;主要从事石油地质研究工作。地址:(610050)四川省成都市新都区西南石油大学硕士05级6班。电话:(028)83035266,13458599585。E-mail:zzyy@swpu.edu.cn

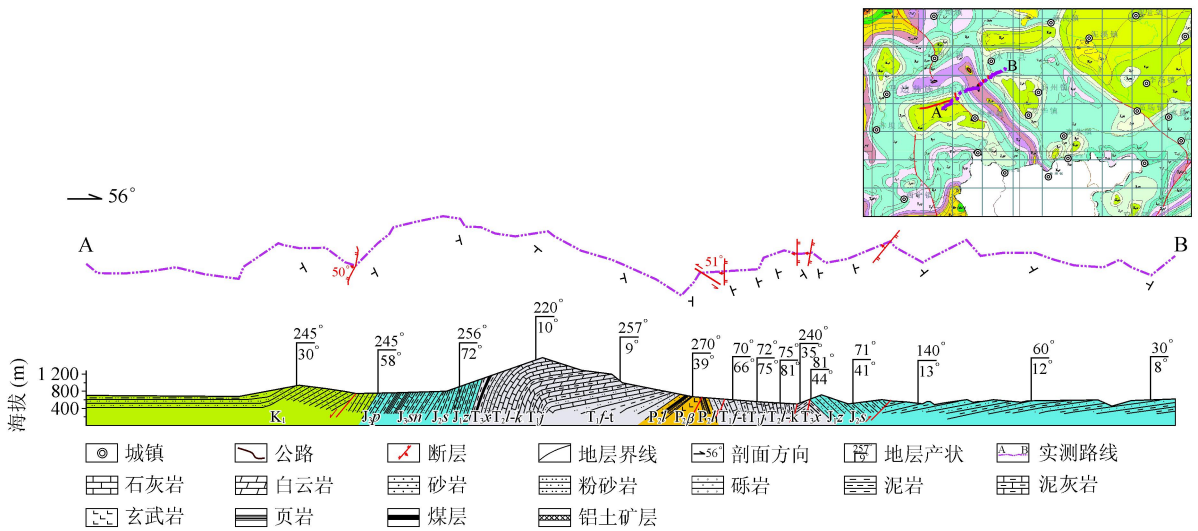


图2 过五指山东翼实测剖面图

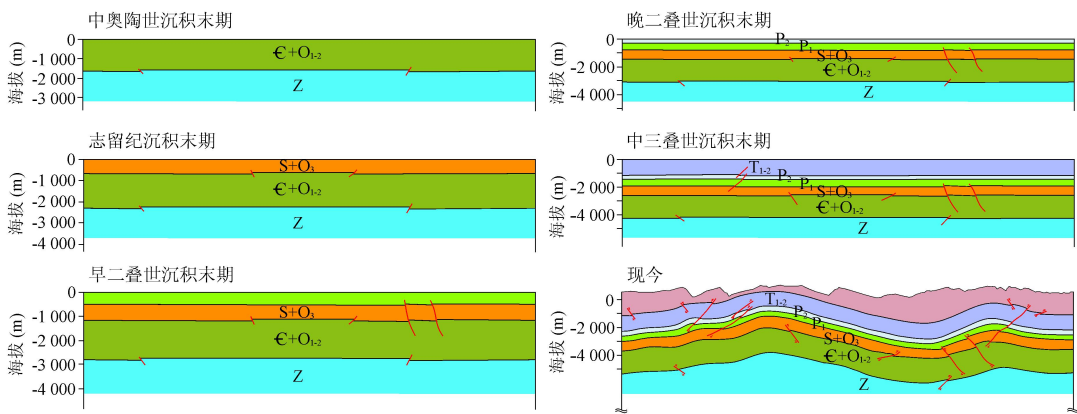


图3 邻区构造演化史图

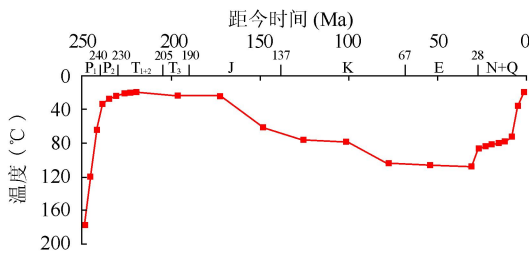


图4 磷灰石裂变径迹图

皱作用形成构造的特点。因此根据卫星遥感解译,并结合野外地质考察,按断弯褶皱理论,计算了五指山震旦系、寒武系构造圈闭特征,五指山震旦系顶面圈闭面积约 360 km²,闭合高度大于 2 000 m,寒武系顶面圈闭面积约 260 km²,闭合高度大于 1 500 m。

二、寒武系洗象池群和震旦系灯影组是主要储集层

五指山地表已出露二叠系,二叠、三叠系已不具备成藏保存条件。寒武系洗象池群和震旦系灯影组

可能成为该构造主要储集层。

从野外观察和井下资料表明震旦系灯影组储集层具有厚度大、分布广、孔洞缝发育等特点。据统计,孔隙度为 0.13% ~ 6%,其中低于 1% 者占 24.52%,1% ~ 3% 者占 60.64%,高于 3% 者占 14.84%。从邻区地质研究表明,震旦系灯影组储层主要发育于灯影组中下部的白云岩,区内累计平均厚度可达 900 m,占地层厚度的 80%,分布稳定。据对盆地内 6 509 个样品的统计结果^[1],震旦系灯影组储层平均孔隙度为 2.17%;据资阳和威远地区 8 208 个岩样分析结果统计,其平均孔隙度仅为 1.89%。在研究区西南部雷波抓抓岩和马边雪口山剖面上,野外观察岩溶不发育,据 4 个岩样分析,最大孔隙度 3.1%,最小为 1.0%,平均为 2.05%,渗透率平均为 10.9 × 10⁻³ μm²。而在研究区东南部的习水桑木镇剖面上 5 个岩样分析,最大孔隙度 2.61%,最小为 1.35%,平均为 2.06%。研究区位于宜宾岩溶盆地,推测其岩溶发育程度可能较资阳、威远低,但与习水

和抓抓岩剖面大致相似。据老龙 1 井和马边雪口山剖面的 21 个压汞分析样品分析,孔隙度平均 2.93%,渗透率平均 $1.8066 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;压汞曲线表现为细歪度;排驱压力普遍较高(平均为 6.55 MPa),孔喉分布偏向细喉,属低孔低渗小吼型储集层。

中上寒武统洗象池群为大套白云岩,是目前威远气田的主力产气层,研究区该套地层平均厚度 260 m,分布较稳定。据对盆地内 1 071 个岩心样品的统计^[1],寒武系储层平均孔隙度 1.06%;据威远地区 1 214 个岩样分析结果统计,其平均孔隙度仅为 1.20%,渗透率平均为 $0.194 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;而在研究区西南部马边雪口山剖面,据 2 个岩样分析,最大孔隙度 1.9%,最小为 1.4%,平均为 1.65%,渗透率平均为 $0.223 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,在研究区东南部的习水桑木镇剖面上 7 个岩样分析,最大孔隙度 5.53%,最小为 1.65%,平均为 2.93%,渗透率平均 $1.81 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。研究区位于绵阳—资中岩溶高地,推测其岩溶发育程度可能与资阳、威远大致相似,威远地区寒武系储集类型为裂缝—孔隙型储集层。

三、烃源岩发育,生烃强度大

该区烃源岩纵向上主要有寒武系筇竹寺组、志留系龙马溪组、下二叠统、三叠系嘉陵江组等 4 套。而根据邻区威远气田主要储层洗象池群和灯影组研究表明,烃源主要来自寒武系筇竹寺组^[2-3]。宋家荣(1994)计算的全川下寒武统平均生烃强度为 $70 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,而此次据区内样品分析计算的下寒武统平均生烃强度为 $63 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,说明该区具备形成大中型气田的物质基础。

由于四川盆地地下古生界震旦系油气藏的形成受乐山—龙女寺古隆起影响较大,而研究区在烃类大量生成的过程中一直处于加里东古隆起的斜坡或低洼区,故以也处在古隆起斜坡或低洼区的自深 1 井下寒武统烃源岩有机质演化史来说明(图 5),在下寒武统烃源岩 R_o 值在志留纪末已达 0.85%,进入主成

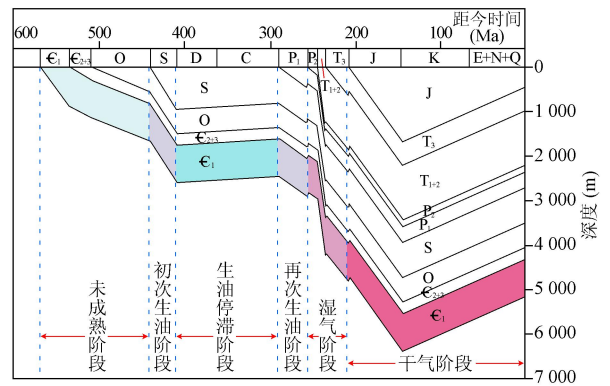


图 5 自深 1 井下寒武统烃源岩有机质热演化史图

油期,有机质开始生成液态烃,由于加里东运动的抬升作用,下寒武统烃源岩埋深变浅,部分地区遭受剥蚀,古地温降低,有机质进入生烃停滞阶段。从二叠纪开始,继续下降接受沉积,下寒武统烃源岩进入生油窗开始生油,至晚二叠世,进入高成熟期,有机质大量生成油裂解气。燕山期,进入过成熟期,有机质大量生干酪根裂解气。

总的来看,早二叠世末期以前已结束成油高峰期,而晚二叠世早期至白垩纪为成气高峰期。且五指山地区较自深 1 井离古隆起距离更远,推测生油气高峰期要更早些。

四、可能形成震旦系灯影组水溶性气藏

从威远震旦系灯影组天然气组分分析(表 1),甲烷所占烃类比例极高, C_3 以上的烃类几乎没有;且水溶气中的二氧化碳含量是溶解前的 5 倍,氮气含量是溶解前的两倍^[4],表明威远地区震旦系灯影组天然气具有明显的水溶气特征^[5]。地层水从深层运移到浅层的过程中,地层水对天然气既起到了载体作用又起到了过滤作用,这种作用能使天然气进一步甲烷化^[6];气态烃在水中的溶解度的研究也表明高压下溶解到水中的气态烃在减压释放时,甲、乙、丙、丁烷的释放量依次减小^[7]。五指山构造形成时

表 1 威远震旦系天然气组成及碳同位素统计表^[2]

井号	层位	天然气组成(%)							
		CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	H ₂ S	CO ₂	N ₂	Ar	He
威 2	Z ₂ dm ₈₊₄	85.07	0.11		1.31	4.86	8.33	0.053	0.25
威 27	Z ₂ dm ₈₊₄	86.70	0.09		1.36	5.04	7.39	0.045	0.305
威 30	Z ₂ dm ₈₊₄	87.21	0.08		1.00	4.12	7.33	0.046	0.204
威 39	Z ₂ dm ₈₊₄	86.74	0.12		1.22	4.53	7.08	0.071	0.27
威 100	Z ₂ dm ₁	86.80	0.13		1.18	5.07	6.47	0.046	0.298
威 106	Z ₂ dm ₁	86.54	0.07		1.32	4.82	6.26	0.043	0.315

期与大量排烃时期不匹配,但喜山期构造抬升幅度大,地层水中的溶解气因温度、压力下降可解析出来,保存在构造圈闭中,形成大中型气田。

根据地层水中天然气溶解度与温度、压力、地层水矿化度的函数关系^[4],计算最大埋深和现今埋深地层水中天然气溶解度的差值,以圈闭面积、储层厚度及孔隙度算出岩石体积和岩石中地层水的体积,估算出现今构造圈闭中地层水里解析出的天然气体积。威远构造震旦系顶部圈闭面积为 850 km^2 ,地下水体积 $142.8\times 10^8\text{ m}^3$,溶解度差值 $2.52\text{ m}^3/\text{m}^3$,从地层水中解析出的游离气 $360\times 10^8\text{ m}^3$,目前威远气田探明储量为 $408\times 10^8\text{ m}^3$ 。五指山地区震旦系最大埋深时天然气溶解度为 $4.93\text{ m}^3/\text{m}^3$,现今地层水中天然气溶解度为 $2.69\text{ m}^3/\text{m}^3$,结合五指山构造震旦系顶部圈闭面积、闭合高度、储层厚度及邻区孔隙度分析资料,研究认为:该区地下水体积约 $97.2\times 10^8\text{ m}^3$,喜山期因构造运动可从地层水中解析出的游离气为 $217.7\times 10^8\text{ m}^3$ 。

通过对五指山地区所做地球化学勘探表明,该异常区中 C_1 、 C_2 、 C_3 、 δC 、 Hg 、 K_s 、 Fe^{2+} 均有良好的异常显示,各指标异常组合齐全,形态结构相似,空间分布位置吻合性好,说明该地区可能具有较强的油气活动。

五、结论与认识

(1)通过邻区构造史恢复和磷灰石裂变径迹分析,五指山构造形成于喜山期。根据卫星遥感解译,并结合野外地质考察,计算五指山震旦系顶面圈闭面积约 360 km^2 ,闭合高度大于 $2\ 000\text{ m}$,寒武系顶面圈闭面积约 260 km^2 ,闭合高度大于 $1\ 500\text{ m}$ 。

(2)由于五指山构造地表出露地层较老,二叠、三叠系已不具备成藏条件,储层主要在寒武系洗象池群和震旦系灯影组,寒武系洗象池群储层与资阳、威远大致相似,震旦系灯影组储层较资阳、威远差。区内下寒武统平均生烃强度为 $63\times 10^8\text{ m}^3/\text{km}^2$,具

备形成大中型气田的物质基础。

(3)从威远地区震旦系天然气具有明显的水溶气特征,且五指山构造形成时期与排烃时期不匹配分析,五指山构造成藏模式是以水溶气为主。即在喜山期五指山构造形成使得地层抬升,地层水中的溶解气因温度、压力下降而解析出来,保存在构造圈闭中。

(4)基于地层水中天然气溶解度的回归方程,计算出五指山构造震旦系灯影组从地层水中解析出的游离气 $217.7\times 10^8\text{ m}^3$,从该区油气地球化学勘探表明,也证实了该地区有较强的油气活动,具有良好的勘探前景。

致谢:本研究工作中得到中国石油西南油气田公司蜀南气矿刘旭宁、贺雪萌、彭海润、童俊文、梁仲才等高级工程师的大力支持,在此表示衷心感谢!

参 考 文 献

- [1] 王一刚,陈盛吉,徐世琦.四川盆地古生界—上元古界天然气成藏条件及勘探技术[M].北京:石油工业出版社,2001:1-215.
- [2] 戴金星.威远气田成藏期及气源[J].石油实验地质,2003,25(5):473-478.
- [3] 戴鸿鸣,王顺玉.四川盆地寒武系—震旦系含气系统成藏特征及有利勘探区块[J].石油勘探与开发,1999,26(5):17-20.
- [4] 郝石生,张振英.天然气在地层水中的溶解度变化特征及地质意义[J].石油学报,1993,14(2):12-22.
- [5] 王兰生,苟学敏,刘国玉,等.四川盆地天然气的有机地球化学特征及其成因[J].沉积学报,1997,15(2):49-53.
- [6] 郝石生,黄志龙,杨家琦.天然气运聚动平衡及其应用[M].北京:石油工业出版社,1994:30-49.
- [7] N B 维索茨基.天然气地质学[M].戴金星,吴少华,郑汉璇,等译.北京:石油工业出版社,1986:13.

(修改回稿日期 2008-04-08 编辑 居维清)