

四川盆地加里东古隆起震旦系气藏成藏控制因素

李国辉, 李翔, 杨西南

(四川石油管理局地质勘探开发研究院, 四川成都 610051)

摘要: 四川盆地加里东古隆起的形成演化具有长期性和复杂性, 使得古隆起震旦系的天然气成藏有早有晚。早期成藏主要发生在印支期; 晚期成藏主要发生在喜山期。每期成藏可以划分出3种不同的成藏类型: 即高捕集高阻抗、高捕集低阻抗及低捕集。天然气藏的主要控制因素为“两高一强一关联”, 即较高的封存能力、较高的构造部位、较强的构造形变, 晚期形成的圈闭与古油气藏具有密切关联。

关键词: 震旦系; 古隆起; 气藏; 成藏类型; 控制因素; 四川盆地

第一作者简介: 李国辉, 男, 34岁, 工程师, 石油地质

中图分类号: P618 文献标识码: A

四川盆地震旦系灯影组是一套以藻白云岩为主的台地沉积, 基质平均孔隙度2.3%, 全直径孔隙度平均4.56%。主要烃源岩为下寒武统筇竹寺泥页岩, 有机碳平均质量分数达0.97%, 平均生烃强度达 $70 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$, 是下古生界最具生烃潜力的烃源岩。灯影组的直接盖层(寒武系筇竹寺组)除在川西边缘因加里东运动形成小范围的灯影组剥蚀窗外, 盆地内均有分布, 古隆起顶部稍薄(100~450 m), 坳陷区厚度较大。因此, 震旦系灯影组具有较好的含油气地质条件。但是, 到目前为止, 四川盆地仅发现威远震旦系气藏, 资阳地区及龙女寺构造虽钻探获气, 但均为小产量气井, 钻探效果不理想。造成这种现象的原因, 除了与勘探程度低有关外, 更重要的是, 乐山-龙女寺加里东古隆起经历了长期的演变过程, 构造运动多期改造使天然气成藏复杂化。

1 古隆起的形成与演化

1.1 形成

乐山-龙女寺古隆起的形成受基底控制, 具有同沉积隆起兼剥蚀隆起性质。桐湾期灯影组在盆地内的残留厚度为400~1200 m, 绵竹-资阳-荣昌-大足一带为相对隆起区, 残厚400~650 m, 由此向南、向东及向北增大。

桐湾运动之后, 经过寒武、奥陶、志留纪沉积,

古隆起显示出顶薄翼厚同沉积隆起特征。从恢复的厚度看, 古隆起顶部古生界累计厚度为1597 m, 南、北两翼分别为3291 m和2155 m。发生在志留纪末的加里东运动, 使古隆起普遍遭到不同程度地剥蚀, 至二叠纪前, 古隆起顶部志留系全被剥蚀, 形成面积约 $6.25 \times 10^4 \text{ km}^2$, 近于准平原化的不对称裙边状的巨型隆起(图1)。震旦系顶部隆起幅度在川西达3.2 km, 川中达2.6 km。

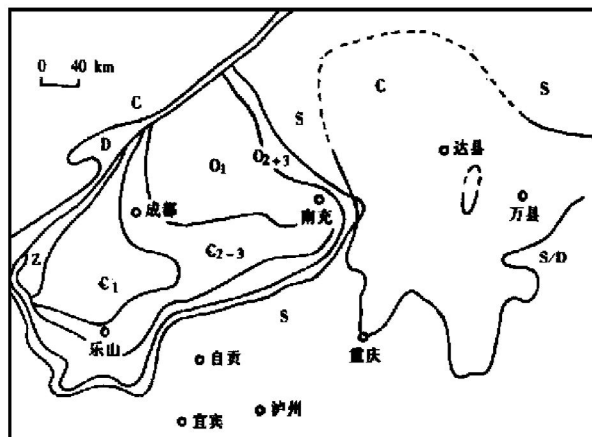


图1 四川盆地二叠纪前古地质图

Fig. 1 Paleogeologic map of Prepermian in Sichuan Basin

1.2 演化

二叠纪以后, 古隆起进入演化阶段。

(1) 川西及川东南地区古生代的隆起渐转为中、新生代坳陷, 使古隆起轴线逐渐向东南偏移。二叠纪前, 古隆起轴线位于雅安-资阳北-遂宁-龙女寺北。喜山期, 叠隆起带轴线位于老龙坝-威远-磨溪-龙女寺, 古隆起西段轴线偏移距离达80 km左右。

(2) 古隆起始终表现为向东倾伏的鼻状隆起, 西段震旦系顶海拔高于东段, 二叠纪前东西高差 700 m, 侏罗纪前为 1 000 m, 现今威远构造比磨溪-高石梯潜伏构造带高 2 400 m。

(3) 印支期, 由于沉积-构造运动的反向变化, 在古隆起轴部形成一些古背斜圈闭, 如资阳古背斜群、遂宁古背斜、江油古背斜等, 这些古背斜呈台阶式分布, 是早期油气聚集的重要圈闭。喜山期, 乐山-龙女寺古隆起继承演变为老龙坝-威远-磨溪-龙女寺叠隆起带, 同时也是构造圈闭主要形成期。除在叠隆起轴部形成威远背斜、磨溪-高石梯潜伏构造带等大型圈闭外, 隆起西段震旦系顶圈闭以低陡断褶构造为特征, 东段以低平小型圈闭为特征。

由此可见, 乐山-龙女寺古隆起在加里东运动定型之后, 经历了印支、燕山、喜山期多构造旋回改造, 使古隆起具有多期(次)油气运聚及成藏特征。

2 油气运移、聚集特征

2.1 印支期

震旦系灯影组的主要烃源岩(下寒武统)在不同的古构造部位具有不同的演化程度。二叠纪前寒武系底面 R_o 值在坳陷区最高达 2.2%, 斜坡带为 0.6%~1.0%, 古隆起顶部及北部源岩区有机质尚未成熟; 印支早期, 古隆起顶部及北部源岩区进入成油期, 南斜坡带进入成油高峰期; 印支晚期, 古隆起顶部及北部源岩区大范围进入成油高峰期, 南斜坡带进入成油高峰晚期, 坳陷区进入过成熟期。因此, 烃源岩有机质热演化程度参差不齐, 供烃中心具迁移性。印支期是油气大量生成时期; 同时也是油气的大规模运移和聚集期。

2.2 燕山-喜山期

喜山期, 古隆起继承发展为老龙坝-威远-磨溪-龙女寺叠隆起带; 印支期形成的油气藏因构造运动的多期性和不均一性导致天然气再次运移, 并在新的地质条件下重新聚集。由于烃源岩有机质演化程度进一步提高, 全部进入成熟期, 生烃能力有所降低。因此, 晚期形成的圈闭除了捕集烃源岩晚期生成的天然气外, 一个突出的特征是: 部分圈闭还可捕集来自古油气藏中再次运移的天然气和因构造抬升形成的水溶脱附气等。

3 成藏类型及控制因素

3.1 成藏类型

加里东古隆起震旦系的多期(次)油气运移聚集决定了油气成藏也具有多期(次)性。根据古隆起演化、烃源岩演化及圈闭条件等特征, 震旦系油气成藏分为早、晚两期。

早期成藏始于烃源岩开始成熟至成油高峰期, 即加里东-印支期, 并主要发生在印支期。这一时期的古背斜圈闭主要有资阳地区古背斜群、遂宁古背斜及江油古背斜, 它们均位于古隆起轴部, 容易成藏。此外, 分布在资阳地区(推测还有大兴-汉王场地区、荣昌-大足地区)的各种高高低低、大小小较分散的非背斜圈闭也可聚集油气, 形成非背斜油气藏。晚期成藏发生在早期成藏之后, 因构造运动多期性和不均一性导致天然气再次运移的成藏, 主要在喜山期。因而晚期成藏既是早期成藏的继续, 同时又赋予新的特征。根据圈闭对油气捕集和封存能力的大小, 每期成藏又分为高捕集高阻抗、高捕集低阻抗、低捕集 3 种类型(表 1)。

表 1 四川盆地震旦系天然气成藏类型表

Table 1 Natural gas pool forming types of Sinian in Sichuan Basin

成藏类型		成藏时期	典型圈闭或构造
高捕集	高阻抗	早期	遂宁古背斜
		晚期	威远构造, 等
	低阻抗	早期	资阳古背斜, 等
		晚期	大兴场、汉王场等构造
	低捕集	早期	资阳非背斜圈闭
		晚期	盘龙场潜伏构造带, 等

(1) 高捕集高阻抗型。圈闭不但具有较高的捕集油气能力, 而且具有较高的封存能力。在早期成藏中, 这类圈闭具有较大规模, 且位于古隆起轴部, 具有十分优越的捕集油气条件, 易形成古油气藏。古油气藏在后期演化中未遭到较大破坏, 圈闭较稳定, 天然气再次运移规模小, 具有良好继承性。如遂宁古背斜, 在二叠纪前形成以后, 一直位于古隆起东段轴部, 圈闭变动较小, 而且还能继续捕集晚期天然气, 因而具有良好的含气条件。在晚期成藏中, 圈闭的高捕集能力不但表现在能够优先捕集来自烃源岩的天然气, 而且还能优先捕集来自古油气藏中再次运移的天然气及水溶气。如威远构造, 燕山期形成古背斜, 随着古隆起轴部的向南偏移, 喜山期成为隆起部位最高、闭合幅度最大的构造圈闭; 资阳古油气藏位于威远背斜西北翼, 具有捕集再次运移天然气的条件, 形成混源气藏, 磨溪-高石梯潜伏构造带也属此类。

(2) 高捕集低阻抗型。圈闭同样具有较高的捕

集油气能力,但封存能力相对较低,因而这类圈闭含油气性欠理想。早期成藏的资阳古油气藏,在后期演化过程中,由于古隆起轴线逐渐向东南偏移,一方面印支期古背斜逐渐萎缩、消亡;另一方面,圈闭的构造部位由印支期古隆起轴部逐渐变为喜山期斜坡,古油气藏封存能力下降,天然气再次运移,成为残余气藏。在晚期成藏中,圈闭位于加里东期下寒武统剥蚀窗内(如大兴场、汉王场、周公山等)及盆地边缘(如长宁、大窝顶、天宫堂、大两会等),这些区域封存能力较低。

(3) 低捕集型。可以分为两种情况,一种是圈闭虽处在古隆起顶部,但均为小型圈闭;一种是处在古隆起斜坡及坳陷区,圈闭可为大型圈闭也可为小型圈闭。这类圈闭一般与古油气藏关系不明显,仅能捕集烃源岩有机质晚期生成的天然气及部分水溶气,但圈闭大多具有良好的封存条件,也有一定的勘探价值。如盘龙场潜伏构造带,是古隆起大型构造之一,该构造位于古隆起南斜坡,形成于喜山期,由于形成时间晚,构造部位较低,圈闭无法捕集古油气藏中再次运移的天然气,气源略显不足,但封盖条件良好,圈闭仍有一定含气性。

3.2 控制因素

四川盆地加里东古隆起震旦系天然气主要控制因素可以概括为“两高一强一关联”,即圈闭具较高的封存能力、较强的构造形变、较高的构造部位,晚期形成的圈闭与古油气藏具有密切的关联性。

(1) 较高的封存能力。这是保障圈闭在聚集油气之后,不致于被破坏的关键。圈闭的封存条件,主要取决于:①盖层的连续性。从四川盆地震旦系钻探情况看,位于盆地边缘的曾1、会1、宁1、窝深1、宫深1井等均产淡水。这些圈闭虽然具有较高的构造部位,有些甚至为大型圈闭,但因出露地层较老,断层发育,导致地表水渗入,影响了油气层的封存。②圈闭与加里东期剥蚀窗距离的远近。加里东运动形成的灯影组及下寒武统剥蚀窗在二叠纪前使部分油气散失,二叠纪以后也可使部分油气外泄,因此,位于加里东期灯影组、下寒武统剥蚀窗内(或附近)的圈闭,其封存能力在一定程度上受到影响,这类圈闭主要有大兴场、汉王场、周公山、毡帽山、沙坪铁厂等构造圈闭。③构造运动的频度和

强度。早期成藏形成的古油气藏,在后期演化过程中,因构造运动的多期性和不均一性,引起圈闭规模及圈闭所处构造部位发生变化,使圈闭封存能力降低从而导致天然气再次运移。

(2) 较强的构造形变程度。一方面可以形成较大规模的圈闭;另一方面可以形成较发育的裂缝系统,改善储集条件。圈闭规模越大,控制并捕集油气能力越强,成藏几率越高;反之,圈闭越小,捕集油气能力越低,成藏相对较难。裂缝发育程度与构造形变程度有直接关系。勘探表明:震旦系灯影组储层以溶蚀孔洞为主,但非均质性强,须有较发育的裂缝搭配,方具较高储集性能。如威远气田,溶蚀孔洞(平均洞密度1.3个/m)远不如资阳地区(平均洞密度25个/m)发育,但裂缝较发育(平均缝密度24.75条/m),从而形成具有统一的原始气水界面(震旦系顶海拔-2434 m)和统一原始气藏压力(29.533 MPa)的块状气藏。资阳地区虽有较发育的溶蚀孔洞,但该区裂缝不发育(平均缝密度4.22条/m),溶蚀孔洞连通性差。资阳气藏表现为多气水、压力系统较分散的小型气藏。

(3) 较高的构造部位。油气运移的方向总是由坳陷区指向古隆起顶部。因此,位于构造高部位的圈闭优先捕集油气,特别是晚期形成的圈闭。构造部位高,不但对捕集烃源岩有机质晚期生成的天然气具优越性,而且对捕集来自古油气藏中再次运移的天然气及水溶气也有优越性,成藏相对容易。

(4) 现今圈闭与古油气藏关系。由于晚期成藏是在早期成藏基础上进行的,二者互有差异,又相互关联。晚期形成的圈闭只有与早期形成的古油气藏保持密切关系,方具备形成大、中型气田的优越条件。这里有两种情况:一种是现今圈闭紧邻古油气藏,并位于古油气藏上翘方向,如威远构造紧邻资阳古油气藏,资阳气藏中再次运移的天然气,一部分被威远背斜捕集;另一种情形是现今圈闭与古油气藏处于同一地理位置,同一构造部位,如磨溪-高石梯潜伏构造带,是由遂宁古背斜继承发展形成的,在早期成藏过程中,遂宁古背斜可形成古油气藏。现今构造圈闭与古油气藏具良好的重叠性,古今圈闭一脉相承,因而成藏条件良好,也具有形成大、中型气田的条件。

CONTROLLING FACTORS OF SINIAN GAS POOLS IN CALEDONIAN PALEOUPHIFT, SICHUAN BASIN

Li Guohui Li Xiang Yang Xinan

(Research Institute of Geological Exploration and Development, Sichuan Petroleum Administration, Chengdu, Sichuan)

Abstract: The formation and evolution of Caledonian paleo-uplift in Sichuan Basin possessed long-term and complicity. This resulted in different pool-forming stages of Sinian natural gas of the uplift. The early stage of pool-forming occurred in Indo-Chinese Epoch; the late stage was in Himalayan Epoch. Each pool-forming stage could be divided into three types i. e. high entrapment with high resistance, high entrapment with low resistance and low entrapment. The main controlling factors of Sinian gas pools in Caledonian paleo-uplift are high sealing capability, high position of the structure; strong tectonic deformation and a close interconnection between the late-stage formed traps and the paleo-reservoirs.

Key words: Sinian; paleo-uplift; gas pool; pool-forming type; controlling factor; Sichuan Basin

《石油与天然气地质》改版启事

《石油与天然气地质》1999 年以新的形象迎接新世纪的到来, 这是读者的需要、作者的需要、时代的需要, 我们诚望仍然得到社会各界的支持与厚爱。

新版本《石油与天然气地质》为大 16 开, 彩印封面, 并设置: 前沿探索、争鸣论坛、油气空间、技术经纬、科研思维与方法、书评、消息报道诸栏目。我们将一如既往地报道作者有价值的研究成果, 满足广大读者高层次的需求。为增强期刊的学术性、前沿性、综合性, 我们特别欢迎前沿探索、学术争鸣、科研思维方法等

栏目的来稿, 只要达到刊出水平, 将优先发表。同时也征集典型的、新颖的宏观或微观的地质现象照片, 以具科学价值, 又有艺术品味者为首选, 在封面的显要位置刊出。

《石油与天然气地质》为全国优秀科技期刊、自然科学核心期刊, 被国内外权威检索系统所收录, 在石油与天然气领域享有一定的声誉, 所刊论文和广告, 都能在国内、国外产生广泛的影响, 诚望诸君善作选择。

《石油与天然气地质》编辑部