

川南阳新统碳酸盐岩致密储层的非均质性及储层模式

罗 平 罗蛰潭¹⁾

(成都地质学院)

本文采用地面与地下地质、静态地质与动态生产资料相结合的方法,分析并讨论了控制阳新统碳酸盐岩致密储层的古岩溶、断裂和压溶作用等非均质因素。建立了三个级次的储层模式。依据孔隙、溶洞和裂缝在储集体中的分布和配置关系,建立了11种可能的渗流介质储层模式。应用上述模式对气田生产资料和压力恢复曲线进行了正演研究,初步证明了模式的实用价值。

二叠系阳新统碳酸盐岩致密储层,是川南天然气区的主力生产层位。对该储层的研究已经有了相当长的历史和相当深入的程度,但是还有尚待认识清楚和解决的问题。这些问题的主要方面是:

1.对非均质储集体的内部结构的认识有待深入。前人多从宏观角度研究阳新统气藏:诸如用构造曲率、拱曲体法预测裂缝系统(戴弹申等,1980²⁾;王允诚等,1985³⁾;及其他)、气区构造的地面裂缝调查(戴弹申等²⁾,1980)以及依据地下地质资料的分析了解气藏的规模和特征(路中侃等,1982⁴⁾;唐泽尧等,1982^[1];陈立官,1985⁵⁾)等等。已认识到气藏是赋存于一个个裂缝、溶洞系统之中的,但是对于这类非均质储集体内部结构的研究做得不够,认识需要深化。

2.静态与动态相结合的储层地质研究,这方面的工作甚少,没有建立完整的储层地质模型。搞动态的工程人员所设计的储层模型考虑的尺度小,过于理想化,不能代表非均质储集体的特征。而地质人员侧重于储集体的空间静态研究,没有提出渗流介质的储层模型。这种动静分离的储层研究,势必影响到建立合理的储层模式。

3.对古岩溶和压溶等非均质因素的认识有一定深度,但还需要在理论上进一步提高。

更为重要的是若能用罗蛰潭(1982)⁶⁾提出的系统工程观点研究储层,在学术思想上将对非均质储层的研究更进一步。我们知道,从广义上讲,各种地球物理方法是一种

本文1988年5月30日收到,1989年1月10日改回。

1) 博士研究生罗平之导师。

2) 戴弹申等,1980,四川盆地二叠系阳新统裂缝特征及分布规律。四川石油管理局勘探开发研究院报告。

3) 王允诚等,1985,四川盆地碳酸盐岩的储集空间结构研究。成都地质学院石油系研究报告。

4) 路中侃等,1982,四川盆地气田地质结构特征及今后工作建议。四川石油管理局地质勘探开发研究院报告。

5) 陈立官等,1985,在川南二叠系阳新统中找气的新途径——排水找气。成都地质学院石油系科研报告。

6) 罗蛰潭,1982,油气储层地质学的初步探讨。中国地质学会60周年纪念暨学术报告会宣读论文。

了解地层性质的反演方法。而油气井测试更是一种有效的了解油气藏性质的反演方法。但是,反演往往具有多解性,因此需要使用地质资料加以验证。现场开发人员一般将这项工作建立在岩芯观察、岩样分析数据和地下地质的基础之上。对于均质的储集岩,这已足够充分,但是对于非均质性储层,如裂缝性储层,岩芯尺度小,所测数据难以代表岩层,所作观察如同管中窥豹,难以了解非均质储集体的总体特性。因此,本文采用正演问题的研究方法,即以野外地质调查为主,综合地下地质资料为辅,动态结合静态,从宏观系统到微观系统多层次的储层地质研究思路,在综合前人成果的基础上,提出了三个级次的储层模式。这些模式得到了生产资料的初步印证。

一、地质概况

川南气区的构造在总体上为一三角形组合(图1)。西边为较陡的北东向构造,南边为纬向构造带,东边为南东向或经向构造群,中心是各组系构造形迹复合叠加的低缓构造。离气区最近的阳新统露头位于长宁复合大背斜的周缘。

阳新统属于二叠系下统,自下而上是梁山组、栖霞组和茅口组。阳新统总厚350—420m。梁山组厚0—3m、栖霞组厚100—150m、茅口组厚200—270m。上覆地层

是二叠系乐平统,下伏地层是志留系韩家店组,均为平行不整合接触。阳新统为浅海台地相碳酸盐岩,主要是藻屑、瓣、棘屑、有孔虫、腕足、腹足、三叶虫及其它生物碎屑构成的生物碎屑灰岩。

阳新统灰岩非常致密,7000多个井下岩芯和露头样品的孔隙度平均值小于1%,渗透率平均值小于 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

阳新统气藏公认为自生自储类型。其大部分层段的有机碳值大于0.1%,达到生油岩标准。

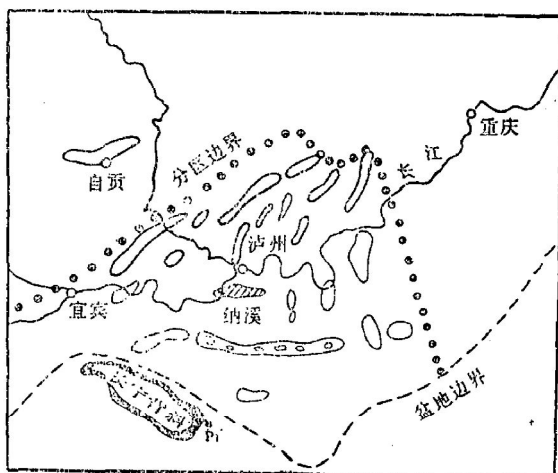


图1 川南地区局部构造分布略图

二、非均质因素的地质分析和储层模式

(一) 一些特殊储集体及其沉积构造模式

峨嵋地裂运动是早二叠世期间,台块沉积区内各类储集体的控制因素。峨嵋地裂运动^[2]从晚古生代到中三叠世在上扬子地台区内,由南向北迁移(从广西开始,逐步扩展到四川),规模不断增大,为多期多幕的与深部地幔物质活动有关的地壳拉张运动。早二叠世末,在川、滇、黔、桂喷发的大量玄武岩是峨嵋地裂运动达到高潮的物质表现。川南位于华蓥山深断裂和宝兴-宜宾深断裂所限的块断或台块之上^[2],早二叠世期间,邻区地幔活动引起的热膨胀效应,必然会导致川南台块有限度地上升和下降。相应地,必然会在川南的阳新统沉积建造中有所反映,形成诸如塌积角砾岩,古岩溶和珊瑚、海百合

礁丘灰岩等。

1. 塌积角砾岩

塌积角砾岩是沉积盆地内同沉积活动断层的产物。在珙县珙泉镇的麒麟山东首, 首次确定了川南地区有它的存在(图版 I-1)。

角砾岩厚约20m。角砾为微晶灰岩, 多在5—15cm之间。为粗大它形晶的白云岩所充填, 产出层位是栖霞组的顶部。

角砾岩的存在证明早二叠世峨嵋地裂运动的拉张活动, 已深入到川南台块区的南缘。

2. 古岩溶

前人一般认为早二叠世末的东吴运动是使阳新统发育岩溶的主要地质事件^[3]。贾疏源(1986)则提出了层间古岩溶的观点。所谓层间古岩溶是指阳新统在早二叠世沉积期间, 曾多次暴露于大气水环境下形成的岩溶。

(1) 阳新统顶部古岩溶

虽然对早二叠世末发育在阳新统顶部的大规模古岩溶有一致的认识, 但是人们一直在寻找与此有关的直接证据——具有风化物质的溶洞。同时, 对古岩溶的影响深度到底有多大, 看法则比较模糊。

在兴文新华处, 找到了阳新统顶部(P_1^{34})具有风化充填物的溶洞。如图版 I-2所示, 溶洞底部有一个碎屑物垫层。垫层下细上粗, 具有泥质碎屑与灰岩岩屑交互或混杂的层理, 有时可见到一些黑色碳质碎屑散布于纹层之中。垫层之上是方解石斑块。溶洞大小一般在20—40cm之间。在长宁背斜地区, 古岩溶的发育深度有限, 在5—20m之间。

(2) 层间古岩溶

具有储层意义的层间古岩溶有两期。一期是近阳新统顶部的 P_1^{33B} 古岩溶, 另一期是 P_1^{32B} 古岩溶。

A. P_1^{33B} 古岩溶

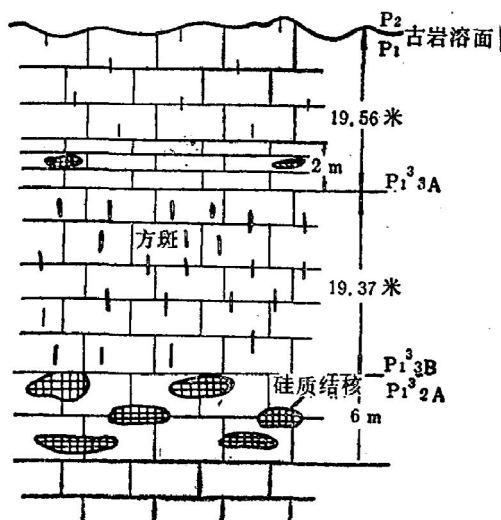


图2 近阳新统顶古岩溶(古宋)

P_1^{33B} 古岩溶岩层厚近20m(图2), 岩性为质纯的生物滩相亮晶红藻灰岩。灰岩中有四种斑块: 灰岩代表母岩, 白色方解石斑块代表溶洞, 绕白斑块的黑色斑块或晕带是溶孔中充填的固化沥青和白铁矿, 褐色晕带是在现代大气水条件下白铁矿氧化区(图版 I-3)。这些分带斑块现象说明绕溶洞周缘有发育较好的溶孔。

古岩溶在古宋地区发育良好, 追踪5km无变化。

B. P_1^{32B} 古岩溶

在兴文石林, 古岩溶是近20m厚的具白云化斑块、含棘屑亮晶红、绿藻灰岩。该段上部产出长条状垂直层面的方斑(长20—30cm,

宽3—7cm),下部为球状方斑。岩溶方斑带呈透镜状,从密集带到稀疏处半径约1km左右。往西20km处,仍有少量层段(3m)出现密集方斑。

$P_1^{33}B$ 古岩溶,由于靠近阳新统顶部,前人将其归入阳新统顶部古岩溶。事实上,它是一次层间古岩溶。 $P_1^{33}A$ 与 $P_1^{33}B$ 均为块状亮晶红藻灰岩,但位于阳新统顶部的 $P_1^{33}A$ 的岩溶方斑非常稀少且小,远不及 $P_1^{33}B$ 的岩溶方斑发育。况且介于 $P_1^{33}A$ 与 $P_1^{33}B$ 之间的是2m厚不渗透的中薄层泥质灰岩。另一方面,碳、氧同位素数据也表明 $P_1^{33}A$ (85—88层)与 $P_1^{33}B$ (82—84层)是不同的两次大气水岩溶事件^[4]。

(3) 古岩溶发生的可能机制

多层古岩溶的存在反映川南台块在早二叠世有多期上隆。茅口中、晚期在川南南面的黔西北、滇北(罗志立,1988)有大量玄武岩喷发活动,与 $P_1^{33}B$ 和 $P_1^{32}B$ 古岩溶形成时间一致。古岩溶和以玄武岩浆喷发为代表的拉张运动是同一地质事件(峨嵋地裂运动的某一幕或几幕)在不同大地构造单元上的不同表现形式。早二叠世末,晚二叠世初,上扬子地台大面积玄武岩浆喷发与川南地区的全面上隆,导致形成阳新统顶部古岩溶是峨嵋地裂运动达到高潮时的不同表现形式。

3. 珊瑚层状礁和海百合灰岩

在兴文新华处,第一次发现了珊瑚层状礁(图版I-4)。隶属于茅口组 $P_1^{32}B$ 段。礁体高2m,珊瑚块体占礁岩体积的70%左右,呈叠垒状的块状造礁格架,绝大多数珊瑚块保持原始生长状态。造礁珊瑚属于四射珊瑚亚纲的群体伊波雪珊瑚。珊瑚礁是良好的孔隙型储集体。其面孔率达5—8%,孔隙类型为白云石晶间溶孔和珊瑚体内微溶孔。

覆于礁之上的是8m厚的海百合灰岩。其下部海百合茎碎片粗大(达厘米粒径),往上碎屑粒径变小。海百合灰岩的一个重要特征是白云石化。白云石化作用导致较高的孔隙度,面孔率达5—10%。

珊瑚层状礁与海百合灰岩在横向上稳定,并且具有较高的基质孔隙度,它们是一有意义(10m)的透镜体状储集体。

4. 特殊储集体的沉积构造模式

如前所述,早二叠世上扬子地台的沉积大地构造环境,总格局是“台块-台槽”模式^[2]。川南地区位于较稳定的台块区,其南面是云南、贵州广义的台槽沉积区。深部地幔活动引起的拉张性峨嵋地裂运动不时影响到川南沉积区,导致局部或全区的海平面升降,使该区较浅水的生物滩丘等水下高地间歇性地出露水面,以致形成古岩溶透镜体。此外,局部地区的拉张断裂活动导致在深水断陷槽中形成塌积角砾岩。位于台块边缘的浅水区形成礁或生物丘之类的生物灰岩建造(图3)。川南存在几类与沉积环境有关的透镜状储集体,是天然气勘探中值得重视的领域。

(二) 储集体结构模式

1. 压溶与岩石的致密性

导致阳新统储层非常致密的最重要因素是压溶。碳酸盐岩是由众多压溶“响应单元”构成的岩体^[5]。岩石单层、各种结核、斑块等是常见的响应单元。这些响应单元间的界面就是压溶构造产生的场所^[6]。压溶方式可概括为两种。(1)集中式(显式)压溶,(2)弥漫式(隐式)压溶。隐式压溶不产生明显的压溶构造;显式压溶则产生如缝合

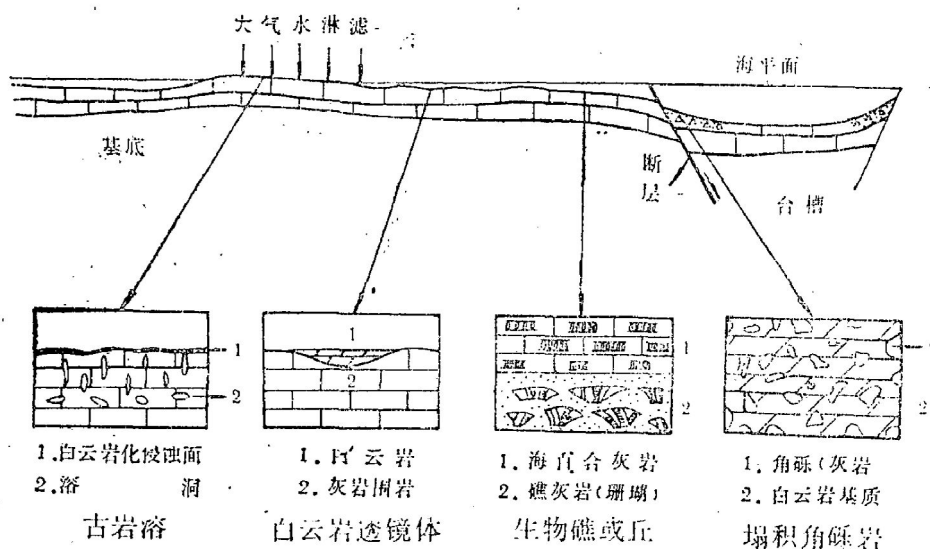


图3 川南阳新统特殊储集体的沉积-构造模式

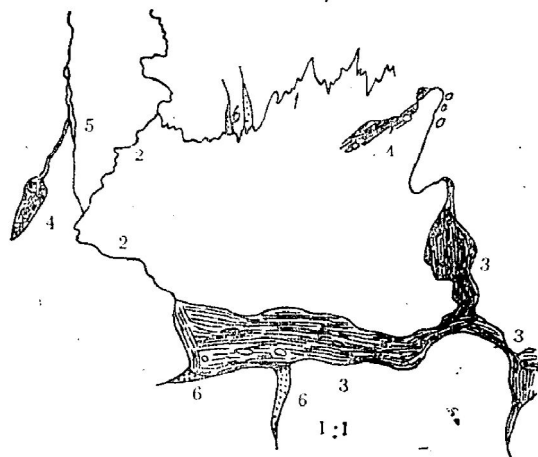


图4 压溶构造综合图

1—纪录曲线状缝合线, 2—圆滑曲线状缝合线, 3—压溶残留物聚集团块, 4—绕生物碎屑的缝合线交织束, 5—缝合线交织束, 6—楔形裂缝

线之类的压溶构造。川南阳新统的压溶构造主要分为四类六种(图4)。(1)缝合线: a. 记录曲线状, b. 圆滑曲线状; (2)压溶残留物聚集团块(非缝合线压溶构造, 图版Ⅱ-1); (3)缝合线交织束: a. 绕生物碎屑的, b. 正常的; (4)压溶楔形裂缝。压溶构造遍布整个阳新统。在 P_1^{33} 、 P_1^{32B} 和 P_1^{22B} 、 P_1^{21A} 色浅质纯的灰岩中, 主要出现尖峰状纪录曲线缝合线; 在泥质、有机质含量高的暗色灰岩, 如 P_1^{21B} 、 P_1^{31} 及一些含白云石化骨屑条斑的层位, 产出压溶团斑。机械压实作用强烈的薄层状泥质灰岩具有隐式压溶的显微构造。

从Choquette^[7]的碳酸盐岩的孔隙度与深度关系曲线可以看到: 早期物理(机械)压实作用发生在1—250m深度左右, 它能使灰质沉积淤泥的孔隙度由80%降至60%; 灰质颗粒沉积物由40%降至35%左右。深埋藏的压实作用(化学压实作用)及其引起的压溶沉淀胶结作用, 能使4000m深度以下的灰岩孔隙度降至5%以下。川南地区的阳新统在喜山运动之前, 埋深曾达到4600m以上, 按照Choquette的深度与孔隙度关系曲线, 它的孔隙度在5%以下, 与实测孔隙度平均值小于1%基本一致。因此, 只有在油气早期进入孔隙溶洞系统, 或有机质热裂解产生超抑制压溶作用或压溶胶结作用的层段或部位, 才可能保存有利的储集空间。或者, 后期形成次生孔隙的部位, 如喜山运动以来的断裂作用及伴随的深部岩溶作用造就的孔隙空间, 才可能是天然气藏形成的潜在区。总之, 阳新统储层的总格局是致密岩石内包藏着众多非均质因素制约的储集体。

2. 断裂储集体的结构模式

川南阳新统断裂储集体可归纳为三类(图5)。

(1) 断裂角砾岩带溶洞——裂缝储集体(图版Ⅱ-2, 图6)

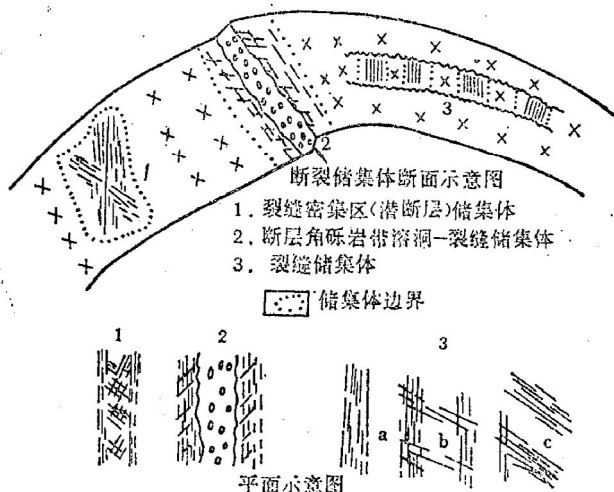


图5 断裂型储集体结构模式

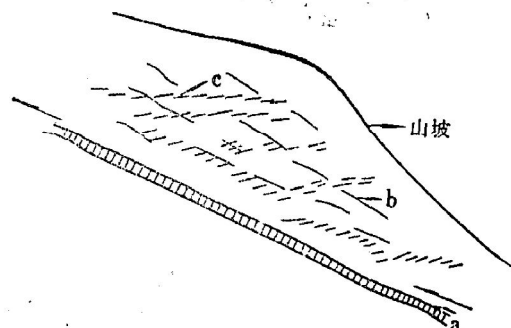


图6 与断层有关的裂缝(兴文石林天良洞)

a—断层滑动面的垂直张裂缝,
b—平行断层面的第一序次裂缝,
c—与断层锐角相交的派生剪张裂缝

在断层上盘出现三组裂缝: a. 断层滑动摩擦面上, 垂直断层面的密集裂缝带, 厚仅10—20cm; b. 与断层面平行的共生裂缝; c. “入”字派生裂缝。断层破碎带由于深部岩溶和方解石交代充填已方解石矿化。方解石和萤石包体测温数据¹⁾表明, 方解石是在深部热水(190℃)条件下形成的。

断层间砾岩与周缘裂缝构成良好储集体。角砾岩厚2.5m, 顶部存在0.3m的空洞(局部地段); 方解石矿体中有时产出少量固体沥青块。断层角砾岩与周缘裂缝形成一个总厚约25m以上的二维展布的储集体。

资料表明在断层角砾岩带出现井漏和钻具放空(表1)。如图7所示, 牟14井钻在一断层破碎带上, 在钻井过程中漏失泥浆达38m³以上。测试产量达60.6万m³/d。

表1 断层角砾岩储集体的部分资料

井号	产气层位	断层位置	产气量 10 ⁴ m ³ /d	岩芯或岩屑产出物	钻井显示	压力恢复 曲线类型
纳28	P ₁ ³ 2C	上盘和角砾岩	23.21	乳白色、白色方解石 5%		
牟14	P ₁ ³ 4	上、下盘及角砾岩	60.6		井漏	
纳39	P ₁ ³ 3B	上盘和角砾岩	134.42	半透明方解石 5%	井漏	双重孔隙
付32	P ₁ ³ 2B	上盘和角砾岩	19.34			
纳47	P ₁ ³ 2B+C	角砾岩	产水 600m ³ /d	6m半透明方解石岩芯, 上、下为角砾岩		双重孔隙
纳59	P ₁ ² 1B	断层(?)	12.24	大段半透明、半自形方 解石 2—15%		

1) Liuxiao zeng et al., 1986, Diagenesis of Lower Permian carbonate rocks in Xingwen County, South Sichuan. Report of Chengdu College of Geology.

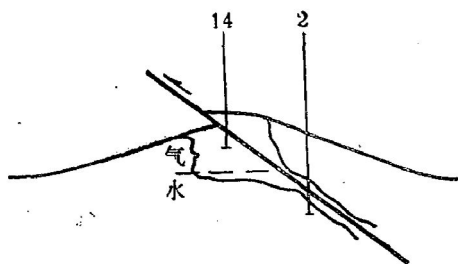


图7 牟2、14井断层角砾岩带储集体

(2) 裂缝密集带(潜断层)储集体

在裂缝密集带出现一条约5 m长的小断层(或潜断层)。潜断层较围岩的裂密集得多,并已开始角砾化(图版Ⅱ-3),具有良好的渗透性。潜断层裂缝密集带是规模有限的良好储集体。

(3) 裂缝群储集体

裂缝相是指容易形成裂缝的地层或地层组。阳新统的裂缝相是栖霞组的 P_1^{22} 和 P_1^{21A} ,以及茅口组的 P_1^{32B} 和 P_1^{33} 。其中以 P_1^{32B} 和 P_1^{33B} 这两段(古岩溶)质纯、性脆、具块状层理的生物碎屑滩相亮晶藻屑灰岩的裂缝最为发育(图版Ⅱ-4)。

裂缝群就是在裂缝相中以一定间距平行出现的密集裂缝丛体。从显微裂缝到大的构造裂缝,它们一般都具有这种间稀间密波浪式(空间)分布的群体产出规律。表2和图版Ⅱ-5是裂缝群的调查数据和直观影象。裂缝群中的单根裂缝延伸有限,但裂缝之间以左接或右接的方式转换相连,多根裂缝的“接力”效果,使裂缝群等于一根大裂缝。

表2 裂缝群的部分统计数据

地 点	裂 缝 群			单 根 裂 缝	
	宽度 (cm)	间距(m)	密度 (条/m)	宽度 (mm)	长度(m)
古 宋	50±10	4—6	20—30	2或3	1—2
兴文石林	30—200	5—7	6—36	1±	2—4
兴文新华	80—250	100—150	20—50	1—20	2—30+
珙县巡场	200		5—8	1—10±	8—15

裂缝产出的另一特点是多以一组裂缝群为优势,两组裂缝均等发育者较少。

气田地质资料与野外调查结论相符。如纳43-6-33井储集体位于背斜轴线,是一纵裂缝群起连通作用的储集体(图8)。

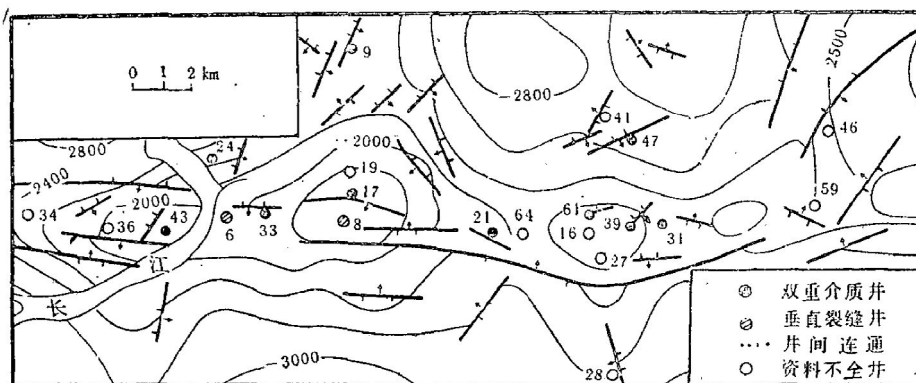


图8 纳溪构造阳新统部分井位图

断裂储集体是岩石受力发生断裂的结果。阳新统致密碳酸盐岩按断裂发展过程,可划分为三个阶段,对应着三类储集体。(1)初期,在裂缝相中形成裂缝群储集体;(2)应力的进一步作用导致形成裂缝密集带,向断层过渡,即潜断层阶段;(3)岩体

进一步破裂位移, 形成断层角砾岩带储集体。这种宏观地质体的破裂过程与经典实验中岩石的破裂过程一致^[6]。

(三) 渗流介质的储层模式

1. 油气井压力测试解释与理论模型

试井解释就是使“理论油藏”的响应尽可能地与实际油藏的响应相接近, 从而获得油气藏的有效参数, 因此试井解释依赖于储层模型。如果选择不当, 计算出来的储层参数是错误的。

图9表示理论模型与油气井压力测试解释的关系。曲线的三段形态与模型的三个组成部分密切相关。分析Horner直线段可求得储层参数 Kh 。这段半对数直线段代表的是无限水平均质储层的径向流。求得的 Kh 即可代表均质油气藏, 又可代表单一裂缝介质的储层。这就是反演问题的多解性。所以, 必须通过对地质资料的合理分析, 建立可靠的基础模型, 才能获得正确的储层参数, 才能正确评价储层。

2. 储层模型的建立

基础模型有均质和非均质两种。均质模型是用Horner直线段分析油气藏平均 Kh 的依据。阳新统中的礁丘生物灰岩、古岩溶透镜体等储集体的基础模型可处理成孔隙型、溶洞型的均质模型(图10中的模式1和2)。另外, 裂缝密集带储集体, 亦可用单一介质模型来表征(图10模式3)。

阳新统储层中的非均质储层模型主要是双孔隙(双重介质)模型。孔隙-溶洞、溶洞-裂缝、孔隙-裂缝分别两两组成双孔隙模型(图10中的模式4、5、6)。例如, 岩溶储集体, 其基础模型可用模式4表征。当岩溶体中发育裂缝时, 可能出现孔隙-溶洞-裂缝三孔隙模型(图10模式7)。

经典的双孔隙模型是Barenblatt等(1960)建立的。这个模型的基本意义是将均质多孔的岩块和非均质的裂缝处理成两个“等效”的渗流介质。第一介质由裂缝组成, 它是流体流向井眼的通道; 第二介质是基块孔隙, 它是向第一介质补充流体的源。这个模型的一个基本假设是储层中任何无穷小体积内都含有大量的裂缝和大量的基质。理论计算表明, 试井曲线在半对数曲线上出现两条平行的直线。

表征双孔隙介质系统的两条平行直线是否能在试井曲线上有表现, 依赖于两个参数

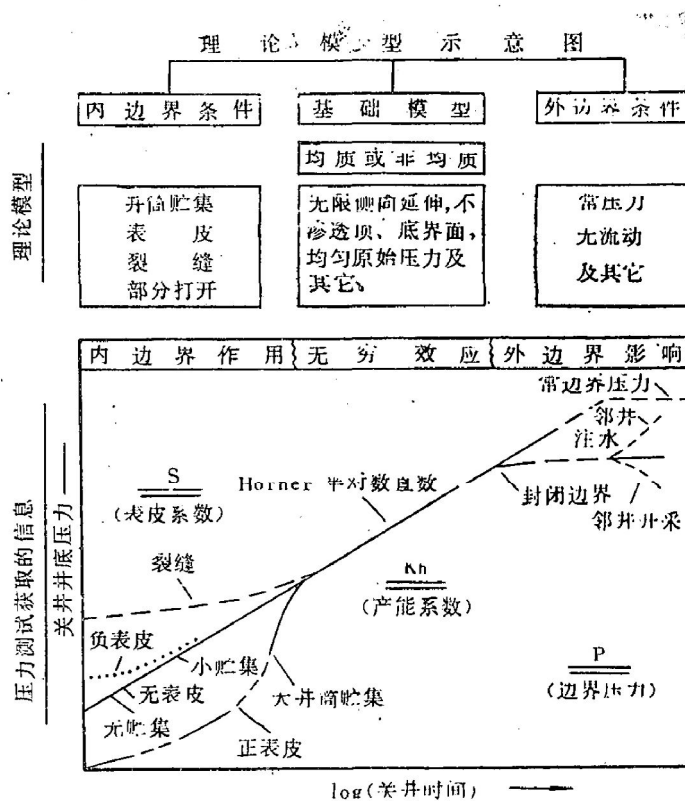


图9 理论模型与油气井压力测试数据分析的关系

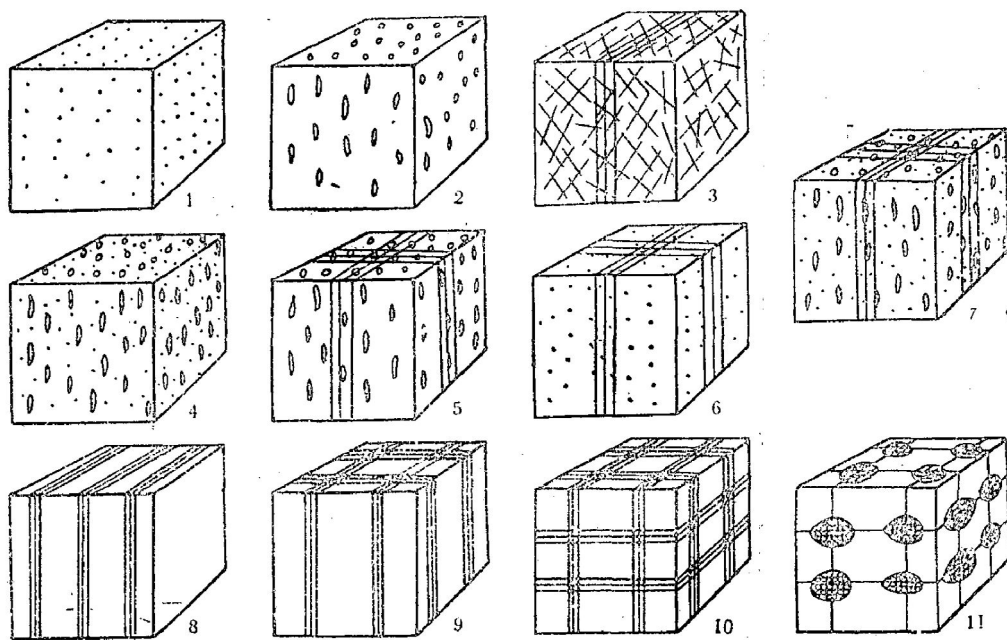


图10 渗流介质的储层模式

1、2、3—单一介质型储层模式，4、5、6—双重介质型储层模式，8、9、10——一、二、三组裂缝群储层模式，11—两级裂缝双重介质型储层模式，7—三重介质型储层模式

ω 和 λ 。

ω 反映裂缝弹性容积水平，称为弹性容积系数：

$$\omega = \frac{\Phi_f C_f}{\Phi_f C_f + \Phi_m C_m} \quad (1)$$

Φ_f 、 Φ_m 分别是裂缝、基质孔隙度， C_f 、 C_m 分别代表裂缝、基质的弹性系数。当 ω 大时，反映裂缝孔隙度高，试井曲线的两平行直线靠得近。当 ω 趋近于1时，即基质非常致密， Φ_m 趋向0，裂缝孔隙度占主要，只出现代表裂缝介质的Horner直线，这就是裂缝密集带储集体的模式3。

λ 反映两孔隙系统之间流体的补充能力，称为窜流系数：

$$\lambda = \frac{\alpha K_m r_w^2}{K_f} \quad (2)$$

式中， α 是岩块形状系数； r_w 井径； K_m 、 K_f ，分别是基质和裂缝的渗透率。当 λ 相当大，大于 10^{-5} 量级时^[8]，表明基质渗透率与裂缝渗透率接近。试井曲线上的第一直线段就可能被早期井筒影响所掩盖，只出现第二直线段，从而表现出均质模型的动态特征。

理论计算表明， K_f/K_m 比值在1到2个数量级以上才能建立合理的双孔隙模型。

所以，断层角砾岩带储集体，古岩溶、双裂缝群与古岩溶复合的储集体，它们的基本模型都可表征为双孔隙模型。

对于单一裂缝群储集体，其储层模式为图10中的模式8。穿过井眼的一组裂缝群等效于一根大裂缝。如前所述，裂缝群中的单根裂缝延伸有限，多根裂缝的连接作用，使裂缝群等效于一根延伸相当距离的大裂缝。

这种裂缝的渗流机制可用 Cinco^[9]描述垂直裂缝机制表征。Cinco (1982)认为有限导流能力垂直裂缝有四个渗流阶段：a. 相当于无限导流能力裂缝的线性流阶段，在双

对数坐标下, 其试井曲线斜率为 $1/2$; b. 有限导流能力裂缝的双线性流阶段, 其试井双对数曲线的斜率为 $1/4$; c. 地层线性流阶段; d. 拟径向流阶段。所以, a、b两阶段的曲线斜率是分析储层垂直裂缝发育状况的基础。

(四) 实例分析

图11列出了部分井的试井曲线特点及其代表的基础模型。纳39、43、33和9井(图8)等是断层角砾岩带储集体。断裂时产生的裂缝, 以及沿裂缝和在角砾岩内发生的深部岩溶作用形成的溶洞^[3], 构成第一孔隙介质; 基质孔隙和细小的溶孔为第二介质。在试井曲线上表现出双孔隙介质的特征。如纳39井, 井下2665—2667m的 $P_1^{32}B$ 为一断层角砾岩储集体(下盘), 其上盘 $P_1^{31}B$ 裂缝发育。钻井过程中, 岩屑中有透明或半透明方解石(5%以上), 伴有泥浆漏失; 测试产量 $28.31\text{万m}^3/\text{d}$ 。压力恢复曲线为双重介质型(图11)。此外, 纳47井的 $P_1^{32}B$ 段也是一良好的断层角砾岩储集体。在井深3179—3185m段取芯, 几乎全为白色半透明方解石(6m厚), 其上、下为角砾化的灰岩围岩, 测试产水达 $600\text{m}^3/\text{d}$, 证明是一良好储集体。

项 目	类 型	单一介质型	双 重 介 质 型			低导流垂直 裂缝井型
			$\omega \leq 10^{-3}$	$10^{-3} < \omega < 10^{-1}$	$\omega \geq 10^{-1}$	
曲 线 形 态	单 对 数					
	双 对 数					
井 号		阳 7 荔 6	付 31, 22, 宋 8, 9, 1, 纳 61, 43, 临 23, 中 3, 鹿 3, 牟 8,	宋 5, 2, 4, 纳 31, 丹 9, 8, 阳 49, 33, 牟 7 寺 47, 朱 2	纳 24, 9, 33, 21, 17, 39, 宋 7, 付 32, 朱 3, 4, 洞 10, 况 3	纳 6, 纳 8, 纳 41 合 22

图11 压力恢复曲线分类图

修改自史乃光(王允诚, 1985)

位于背斜轴部的纳6井(图8), 其压力恢复曲线为有限导流裂缝井型(图11)。地面裂缝调查证实, 为纵裂缝群储集体。纳43和33井(图8)则为双重孔隙介质动态曲线的储集体(图11); 地质资料证明它们是与断层有关的储集体。由于位于中间的纳6井, 其纵裂缝将纳43井和纳33井的两个断层角砾岩带储集体串联起来, 从而构成了纳43-6-33井裂缝群——断层角砾岩带复合储集体。

纳溪气田有16口工业气井, 分别隶属于13个互不相关的裂缝、溶洞储集体。其中大部分与断层角砾岩储集体有关, 部分与裂缝群有联系。

三、结 论

1. 依据系统思想多层次的储层研究思路, 用正演研究方法, 将地面地质与地下地质

相结合,静态与动态相结合,建立并验证了阳新统碳酸盐岩致密储层三个级次的模式。

2.确定了峨嵋地裂运动影响到川南的直接证据:断层塌积角砾岩。

3.应用岩石学、岩溶学及同位素地球化学理论,区分和讨论了两类古岩溶及其储层意义。应用峨嵋地裂运动观点解释古岩溶的成因机制。此外,在阳新统中发现了珊瑚层状礁等有关储集体。

4.对断裂型储集体进行了分类和理论总结,深化了前人对裂缝性油气藏的认识。

5.建立了11种可能的渗流介质储层模型,并得到数理分析和矿场开发资料的初步验证。

6.对阳新统碳酸盐岩中的压溶构造作了理论总结,并指出它们对储层的不利影响。

7.川南阳新统的断裂储集体具有非层状不规则的特点,受多种非均质因素的控制。建议勘探圈闭内、外及向斜、单斜中的断裂储集体;建议垂直于储集体的延长方向打斜井或水平井,将同一方向有规律分布的各个储集体串联起来,提高勘探的成功率,减少气藏开发的基本投资。

对给予本文以资料支持和对问题共同讨论的各位同志表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 唐泽尧等, 1982, 四川盆地海相碳酸盐岩储集层模式。油田开发论文集, 第1集, 石油工业出版社。
- [2] 罗志立等, 1988, 地质论评, 第34卷, 第1期。
- [3] 黄华梁、吴葆青, 1985, 中国岩溶, 第4期。
- [4] 卢武长等, 1986, 矿物岩石, 第6卷, 第3期。
- [5] Wanless, R., 1979, Jour. Sed. Petrology, Vol. 49, No.2, P. 0437—0462.
- [6] Nelson, R.A., 1985, Geological analysis of naturally fractured reservoir. Gulf Publishing Company Book Division.
- [7] Choquette, Ph. W., 1987, Geoscience Canada. Vol. 14, No.1, P. 3—27.
- [8] Warren, J. E., and Root, P. J., 1963, Soc. Petroleum Engineers Jour. Vol. 3, P. 245—255.
- [9] Cinco, H., 1982, SDE 10043, Proceedings Vol. 2, P.639—666.

HETEROGENEITIES AND MODELS OF TIGHT YANGXIN CARBONATE RESERVOIRS IN SOUTH SICHUAN

Luo Ping Luo Zhetan
(Chengdu College of Geology)

Abstract

Heterogeneous factors that control the paleo-karstification, pressure solution and fracturing of tight Yangxin carbonate reservoirs are explored, and

three grades of reservoir models are established in this paper based on geological data of south Sichuan. The distribution and origin of these special reservoirs such as paleokarst, colluvial breccia and stratiform coral reef are proposed according to Emei taphrogenesis. The main factors leading to the tightness of Yangxin carbonate rocks are pressure solution and cementation, in which the structures of the pressure solution can be summarised into 4 types and 6 kinds. The development of the fractures in the carbonate rocks underwent three stages, correspondingly formed three fracturing reservoir bodies such as fracture swarms, dense fracture zones (potential faults) and faulted breccia zones. In accordance with the distribution and association of the pores, vugs (or cavities) and fractures, the authors have constructed 11 potential models of vadose medium reservoirs. These models are proved to be essentially effective in analysing pressure-rebuilding curves and subsurface geology of gas field.