

铁山区块储层测井评价技术及分析

文华川* 王兆年

(四川石油管理局勘探部)

内容提要 位于四川盆地川东南拗褶区西北的铁山区块是具有多产层、多圈闭和多储层类型特点的含气区块。钻井资料表明其勘探潜力很大。充分利用现代测井技术及评价技术,加强对储层类型、岩性、物性等参数的分析研究工作,可取得良好的勘探效果。

主题词 四川东部 测井 储层 评价

铁山区块位于四川盆地川东南拗褶区的西北,包括铁山南构造、铁山北构造、云和寨

构造、龙会构造、九岭场高带、大堰乡高点、金窝高带、铁东高点、李家场高点、华蓥山东北

预测裂缝发育区带的钻探效果

近年来,我们先后在川南、川东、川中及贵州赤水等地区,对该方法进行了现场试验,所预测的裂缝发育区带及建议的新井位,在不同地区均得到了良好的效果。在川东地区下三叠统飞仙关组建议的9口新井位及川南下二叠统建议的5口井位,目前均被矿区采纳,正在组织实施。在川南地区朱、鹿、榕、坎、庙等构造上所做的工作,同已钻井进行统计分析,得到如下结论:按主应力强度圈出16块有利地区已钻8块,其中张应力集中区2块,已钻1块,完井2口,获气井2口,探井成功率为100%;应力扰乱区5块,已钻3块,完井13口,获气井11口,水井1口,干井1口,探井成功率为84.6%,裂缝机遇率达92.3%;应力异常区9块,已钻4块,完井8口,获气井3口,水井3口,干井2口,探井成功率为37.5%,裂缝机遇率为75%。由此可

见,该方法对寻找裂缝性油气藏具有较大的实际效益,有大力推广应用的价值。

参 考 文 献

- 1 陈子光.岩石力学性质与构造应力场.地质出版社,1986
- 2 纳尔逊 R A,柳广第等译.天然裂缝性储集层地质分析.北京:石油工业出版社,1991
- 3 蒋孝煜.有限单元法基础.北京:清华大学出版社,1984
- 4 胡 明,秦启荣等.断层应力效应分析及其在裂缝性储层研究中的应用.新疆石油地质,1992;(3)
- 5 胡 明.构造应力场扰乱分析及其在裂缝性储层研究中的意义.见:中国科协首届青年学术年会四川卫星会议论文集(上册).成都:成都科技大学出版社,1992;248~251
- 6 甘昭国等.四川盆地褶皱形成时间及其对油气聚集的控制.天然气工业,1988;(4)

(修改回稿 1992-12-05)

* 610051,四川省成都市府青路一段3号。

倾没端和黄柳场东北高点等 11 个构造,其分布如图 1。表 1 统计了区块内各层综合测井资料采集的情况。从已钻 20 口井看,除石炭系外,其它各层数控测井的比重不大,取心井和测试井所占比重也小。然而, C_2 、 P_2^2 和 T_{1f} 测试获气效果良好, P_1 和 T_{1c} 测试工作量小,同样也都见到了工业气流。

对这样具有多产层、多圈闭及多储层类型气田,充分利用现代测井方法及其评价技术,深入研究储层性质,对进一步扩大勘探成果和发展测井评价技术都会大有裨益。

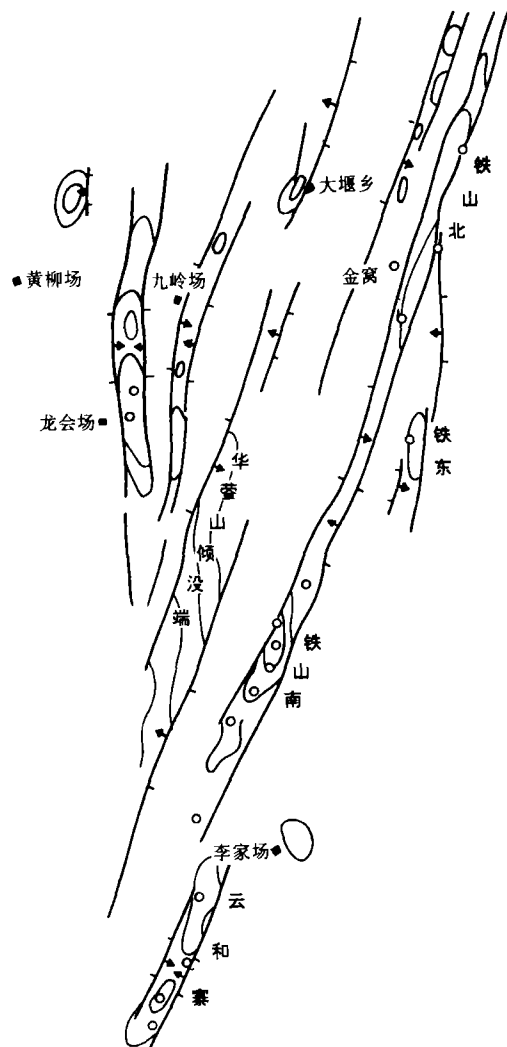


图 1 铁山区块构造分布和已钻井井位示意图

表 1 铁山区块综合测井资料采集现状

地 层		C_2	P_1	P_2^2	T_{1f}	T_{1c}
已钻井数(口)		13	16	19	20	20
综 合 测 井	总井数(口)	10	15	18	20	20
	CSU 系列	1	2.5	3	3.5	0
	DDL 系列	6	4.5	7	4	0
	3600 系列	1	2	0	0	0
	801 83 系列	2	3	4	8.5	14
	581 系列	0	3	4	4	6

储层测井评价技术

用测井方法进行储层评价,不是孤立地依靠测井资料研究储层,而是以储层的岩性、物性、含油性以及地层水性为依托,大量使用测井信息对储层作尽量完善的、系统的再反演。在铁山区块,少数井层用数控测井系列采集了 12 种测井资料以及电缆地层测试资料,但多数井层未用数控测井采集资料,而只采集有 801 或 83 系列所拥有的 DLL、BHC、CNL、GR 和 CAL 几种测井资料。利用这些测井资料所包含的多种有用测井信息,对储层作评价,可以提高评价精度。例如,LSS 包含的 Δt 和 VDL 图形,它们分别用于计算声波测井孔隙度(φ_s),从而估计地层孔隙度(φ)和探测、分析裂缝的存在、及其产状和发育情况。而且,LSS 经波形处理还可计算出纵波速度、横波速度和纵波平均能量及横波平均能量等信息。它们是研究岩性、岩石力学性质、岩石破裂压力和裂缝性质的有用资料。由此可见,现有测井资料为进行储层评价提供了良好物质基础。

然而,任何储层都是岩性、物性、含油性以及地层水性的复杂统一体,依据测井评价

储层存在一个多解性的困惑。故必须明确每一种测井信息说明储层问题时有哪几种可能,而多种测井信息能综合地说明储层问题的哪一种可能(指最相关即矛盾最少的一种可能)。反复运用这两种思维逻辑,才能达到最佳的反演。

1. 岩性分析

区内储层岩性都是石灰岩、白云岩类,但矿物成分除方解石、白云石外,还常含石英、硬石膏、石膏、有机碳、黄铁矿等,其泥质又包含不同的粘土矿物成分,构成了一个复杂的岩体。岩性分析应着重注意。

(1)泥质评价中要小心两点,一是非放射性泥质(如 P_1 等地层中的高岭石、绿泥石)的影响;二是 C_2 、 P_1 等地层中的放射性“骨架”的影响。

(2)岩矿成分识别在应用计算机测井分析程序处理时,应选准(矿物)模型,尽量使用优化程序,并特别注意多用交绘图对特征层点作直观分析,作为计算机分段精细处理的依据。

2. 孔隙度评价

(1)孔隙度测井影响因素

泥质含量和粘土成分、岩矿成分、储层非均质性、天然气效应以及其它因素(如测量方式、井眼环境、刻度标准与参数选择的不规则性等)的影响,都会改变BHC、LSS、CNL、FDC等孔隙度测井的响应。只有分清各种影响因素作用的原理、条件和影响幅度,并设法消除一些、利用一些,以获得更好的分析结果。例如,储层空隙中天然气对BHC和CNL的影响,一方面使所求 φ_s 及 φ_N 偏高和偏低,另一方面又由此提供了发现天然气层的重要显示。后者为我们利用,前者则须在求解 φ 时注意选择合适方法,使天然气的影响程度减到最小。

(2)非均质储层的孔隙度概念

在裂缝性储层里(铁山区块各层均在此

范畴),不管是基质孔隙型(A型)、裂缝—孔隙型(B型),还是裂缝型(C型)储层,都具有程度不等的非均匀孔隙特征,主要储层 C_2 也不例外。鉴于此,以下两点应予特殊考虑:

① φ 本身不是一个固定值,就是在井眼周围有限空间里也各部分不均一。同一块岩心上取标准分析样测的 φ 值与全直径岩心测的 φ 值相对差值达16%~18%,绝对差值达0.5%~4.64%(据川东 C_2 资料)。因此,在以岩心 φ 为标准去衡量、估价测井 φ 时,必须采取具体分析的态度。

②各种测井 φ (例如 φ_s 、 φ_N)不仅由于响应机理(如垂直裂缝)不同、受影响因素程度不同而有所差异,而且由于不同孔隙度测井的探测深度和探测空间部位不同也可不吻合。因此,在考虑用哪种或哪几种孔隙度测井来求解 φ 时,必须根据储层孔隙类型、井眼条件、天然气影响等因素来选择适应性最好的方法,并注意即便在一口井一个层系中的不同层段也可能作不同的选择。

(3) φ 的求解方法

有直观法、解析法和经验法等。在勘探阶段,只能用前两种,不能用经验法,经验法仅适用于老区。解析法和直观法一般牢靠,也实用方便,是普遍适用的测井分析法。直观法中的重迭法应慎用。交绘法通常有效,求解 φ 和发现天然气影响快速直观,问题是要根据不同的侧重来选择哪两种测井方法的交绘,并要已知主要岩性。例如,表2所列已测试天然气高产的鲇滩白云化层段几乎无裂缝,而 φ 确高,属A型储层。由于泥浆侵入浅,使CNL呈显著的天然气效应,发育的蜂窝状溶洞孔可能使BHC欠反映,导致 φ_N 、 φ_s 及相关的3种交绘孔隙度 φ_{SN} 、 φ_{ND} 、 φ_{SD} 以及基于这两种孔隙度测井用CRA程序处理的 φ_{CRA} 都存在明显的偏差,只有密度测井孔隙度 φ_D 与岩心测定 φ 最为接近。这里一个有利条件是井眼好,而决定性的是该段高孔、较均匀、

少缝且泥浆侵入浅而 FDC 探测空间泥浆冲洗较彻底。因此,这段储层使用各种方法都不如单一用 FDC 求解的好。

表2 铁山5井 T₁f 岩心与测井孔隙度对比

	φ_b	φ_D	φ_N	φ_S	φ_{SN}	φ_{ND}	φ_{SD}	φ_{CRA}	$\frac{A_{LLD}}{A_{LLS}}$
上	18.5	19	2.3	6	4	8	10.5	5	$\frac{6000}{800}$
中	21~ 23.95	23	7.5	8.5	6	11.5	17	6.5~ 13	$\frac{6000}{600}$
下	10±	10.5	1.3	6.7	3.5	3.4	8.5	5	$\frac{4000}{1000}$

(4) φ 成果评价

表2是 A 型储层情况中的一种。对于其它情况,特别是 B 型和 C 型储层不可忽略的非均质孔隙结构,测井孔隙度评价就复杂得多,除天然气影响外,其它影响因素特别是前述非均质孔隙结构对测井响应的作用非常突出。本文仅以铁山12井 C₂为例(图2),图中⑨层测井判断裂缝非常发育,岩心情况也是如此,但岩心分析孔隙度(φ_b)仅2.0%,这显然是未包含裂缝空间的片面反映,主要只测到了其岩石基质的 φ 。这时,该层真实的 φ 必须靠测井来求解,考虑到前述各种影响因素, φ_N 太偏低、 φ_S 太偏高(网状裂缝、非垂直裂缝)、 φ_{SN} 和 φ_{SD} 似偏高,真实的 φ 应接近 φ_D 或 φ_{ND} ,即10.3%~18%;⑩层泥浆侵入很浅,看来合理的 φ 应接近 $\varphi_D=4.8\%$ (φ_b 为3.4%,且有洞缝发育);⑪层泥浆侵入中等,岩心上无缝洞, φ_{ND} 、 φ_{SN} 、 φ_b 均较好地反映出真实 φ 值;而⑬层由于井眼突变(扩大),使 φ_D 等多种测井孔隙度偏高,只有 φ_{SN} 、 φ_{ND} 接近 φ_b 。另从图2可见,目前常规的 CRA 处理由于方法欠优,使得效果不理想,应引起注意。总之,应根据各种测井和地质资料对所分析层(小层)的具体情况仔细地、系统地分析,结合井眼、储层结构、侵入、岩矿、泥质和各种测井方法的特性来考虑,才能对测井及岩心

孔隙度成果作出正确评价,求准地层真实的孔隙度。

3. 裂缝分析

铁山区块内 P₁、C₂、T₁c¹和部分 T₁f、P₂²有 B 型和 C 型储层,对它们须作裂缝分析才能完善储层测井评价。同时,也使测井分析避免由于对裂缝及其产状认识不清而引起的错误选择和错误评价。

进行裂缝分析的要领是充分利用双侧向幅度差及电阻率值、声波变密度(VDL)图形显示、FIL 或 HDT 显示、各种 φ 测井间的关系以及 MFSL、CAL(含双井径)等资料的信息,还有 RFT 测试时各深度点仪器推靠、密封、测压成败及测压时间等资料,结合可能的岩心观察作出储层裂缝发育和产状分布关系及其与均匀孔隙空间关系的结论。

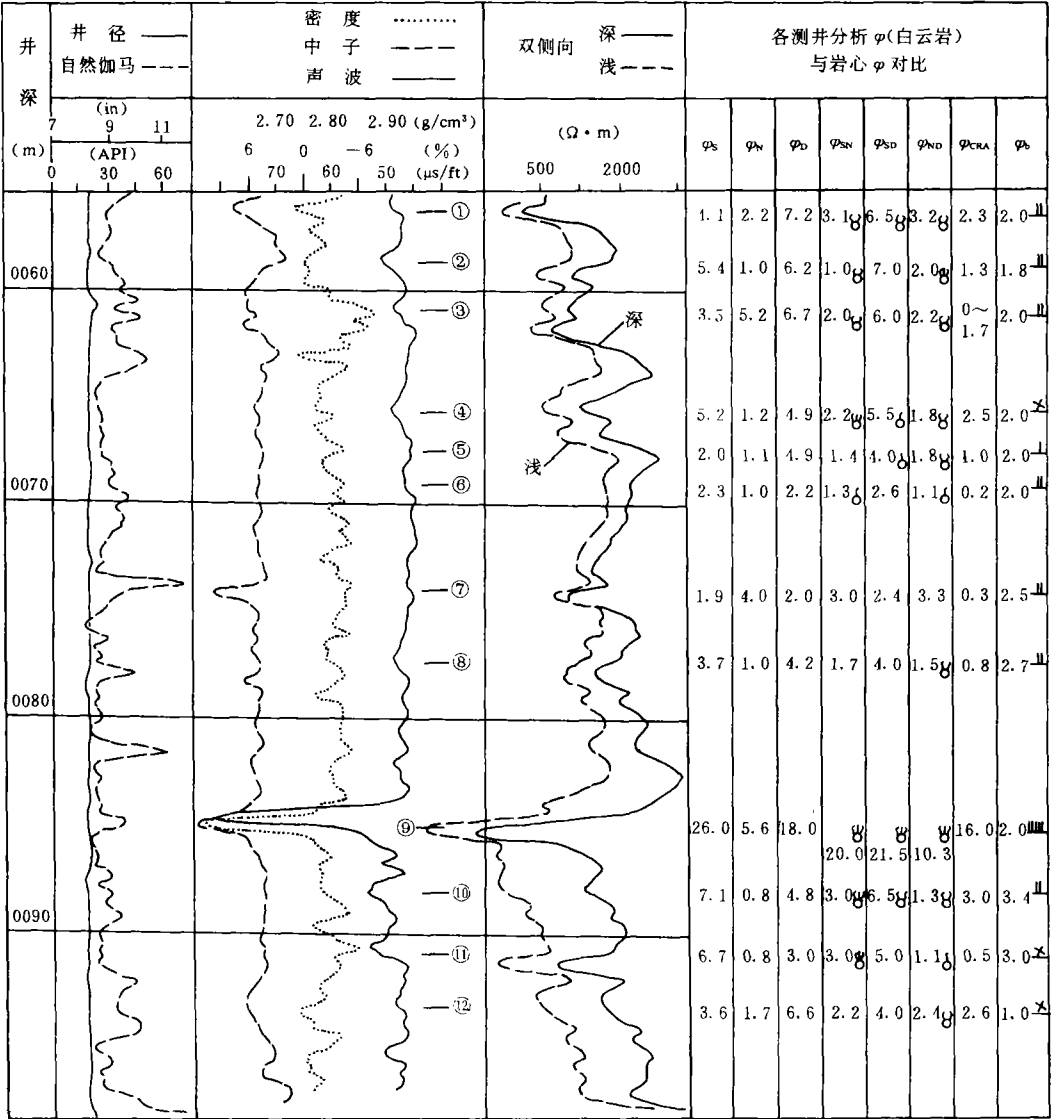
4. 产层判别

通常以测井求解含气饱和度>50%来划分有储渗条件的产气层,但这是一般化的相对法则,并非有具体科学依据。应当侧重于以所有测井曲线变化、数值和交绘图技术为基础,在关键层点处对储层模型进行思维分析式的反演和正演,甚至如此反复多次,最终获得的包括产层判别在内的完整储层模型与全部或大多数测井曲线、数值间的最佳吻合,从而确定出产气层、产水层和气水同层。

铁山区块储层评价

1. 中石炭统

C₂受云南期侵蚀影响,其厚度变化大。现 C₂残留厚度33.5~82m,南段薄北段厚,但无稳定变化规律。测井分析其岩性为含泥质很少的白云岩,有些地层 GR 高达70~900API,而 NGS 表明是含有机械($>5\text{ppm}$)引起,钍、钾含量却分别低于4ppm 和2%。例如图2中⑨层 GR 高达44API 但并非含泥质,其 NGS 为:钾0.6%、钍1.8ppm、铀4.8ppm,岩心已证明



图注: 1. 6、8、8 分别表示交会图上天然气影响由轻到重,无标注者为无天然气效应; 2. φ_{CRA}为用CRA程序计算机处理的孔隙度; 3. X、I、II、III 分别表示岩心上无裂缝、几乎无洞缝、有洞缝发育和洞缝极其发育

图2 铁山12井石炭系孔隙度成果评价

为纯白云岩,测井显示有非构造的网状缝发育,为主力气层。因此,C₂中划分渗透层不能一见高GR就否定。残厚较薄的铁山南和云和寨两构造,除铁山8井接近水区(φ_N~Δ_l交绘图)和铁山3井无测井资料外,C₂中井井都

见有孔洞缝发育程度不等的气层,均已试油。铁东北、铁东C₂残厚虽大,但测井分析为干层、水层。龙会1井因事故C₂未获测井资料,虽有大段多层合试资料,但不能得出结论。综上所述,该区块今后钻探前景尚好。铁山南、

云和寨 C_2 气藏已具有投入开发的产层条件; 铁山南两倾没端含水; 龙会场尚待继续勘探, 应同九岭场、金窝、李家场、大堰乡等高带、高点和华蓥山东北倾没端一样展开预探; 黄柳场东北高点地处川中隆起区, 尤应重视; 铁山北尚应在1号井以东找准高点布井1口; 铁东不必再探。以后探井的测井采集要多取 NGS、VDL、FDC 资料, 以判明泥质和确定孔隙度及网状微细裂缝情况, 从而划清产层、求准储量。

2. 下二叠统(阳新统)

浅海沉积的 P_1 在全川对比良好, 但本区 P_1 顶侵蚀幅度较大, 残留 $P_{1\frac{1}{2}}$ 以下地层。GR 比川南高, 多为 25~40API, 构造裂缝形成条件不及川南好。铁山北、龙会场、铁山南南部有裂缝储集体, 铁东、云和寨已钻井无裂缝。测井显示铁山9、1井均应获气, 铁山2、7、12井、龙会1井亦可能获气。如对龙会场、九岭场、金窝、铁山北、铁山南钻探 C_2 时兼探 P_1 , 对 P_1 取全 VDL、NGS、HDT、FIL 等测井资料, 认真选层测试, 定可找到含气裂缝储集体。

3. 上二叠统长兴组

由于生物礁及其它因素的变化, 使本区 P_2^2 厚度及其中低 GR (<15API) 层累厚变化很大, 如表3。可见由南到北厚度变薄且起伏颇大, 而低 GR 层累厚和渗透层累厚变化更大。云和寨、龙会场 P_2^2 一般厚 300m 以上, 但无低 GR 层、渗透层。铁山南生物礁包括铁山4、5、14、2等井, 北至铁山13井已消失, 向南可能延及12井甚至铁山3井。在铁山6、8井较厚的低 GR 层多半与生物礁无关。云和寨、龙会场迄今测井无孔缝发育显示。铁山南礁体已有2口井产气, 其中14井产大气, 从测井分析看此气来自裂缝。铁山2、12井是否与铁山4、5井同属一个礁体、还是点礁, 尚需多井 HDT 和干扰试井证实。

表3 铁山各井 P_2^2 厚度变化情况(从南到北)

井 号	3 ¹⁾	12	2	14 ²⁾	4 ²⁾	13 ¹⁾	8	铁东 2	6 ²⁾	1 ¹⁾	7 ¹⁾	9 ¹⁾
地层 厚度 ³⁾	314	327	258	251	344	279	280	232	175	173	100	163
低 GR 层厚 ³⁾	119	213	>115	84	302	18	268	0	149	0	0	63
渗透 层厚 ³⁾	9.5	15	101	59	105	0	0	21	8	14	10	0

注: 1) 中途测试; 2) 测试获工业气流的井; 3) 单位: m。

今后, 应将寻找 C 型、B 型储集层气藏并重, 但主要集中在铁山南、铁山北和铁东区域内, 对其它高带、高点宜作兼探。应加强采集 RFT、FDC、HDT、VDL 等测井资料, 及时评价孔隙度、裂缝等情况。

4. 下三叠统飞仙关组

这里 T_{1f} 前景极好, 测井和不太多的测试资料表明其潜力很大, 可能会大范围获气。 T_{1f} 厚度稳定, 一般在 32~38m 左右, T_{1f}^{3-1} 中低 GR 层厚度变化大, 低 GR 层累厚多在 300m 以上。其孔隙度不低于 P_2^2 礁云岩的 A 型和 B 型储层, 并广泛分布, 多为鲕粒灰岩, 但有比其它区块显著增多的云化现象, 晶间、粒间溶孔发育, 测井见局部高孔段(铁山5井高达 23%)。除铁山7、9井以北的岩性变差外, 其余各井均有渗透层。应扩大铁山获气成果并对云和寨、龙会场选井测试。要增加 FDC、HDT、RFT、VDL 和 FIL 测井资料, 澄清是粗孔细喉的鲕粒灰岩, 还是经云化、强重结晶作用而发育的晶间孔、粒间孔、溶孔的白云化岩层, 确定裂缝类型和发育程度, 从而查明 T_{1f} 鲕滩演化和储渗条件, 搞清找气潜力。

5. 下三叠统嘉陵江组

T_{1c}^2 在铁山南广泛分布有低孔的 B 型储层, 但铁山北、龙会场、云和寨和铁山南的南北两端希望不大。 T_{1c}^1 在铁山南值得注意, 测井已显示铁山5、13、14井 T_{1c}^1 下部 and 上部有

川东石炭系气藏分类及特征研究

张高信*

(四川石油管理局川东开发公司)

内容提要 川东石炭系气藏受继承性古隆起的控制和后期的系列次生改造,形成了大面积分布的有利含气区。本文系统地总结了石炭系气藏的类型和不同类型气藏的开发特征,并提出了今后高效开发石炭系气藏的具体方法。

主题词 四川东部 石炭系 气藏 开发特征

川东石炭系气藏 受继承性古隆起的控制

川东的开江古隆起是一个继承性的古隆

起,从志留纪末到中三叠世都处于古斜坡和古隆起的核部,对石炭系气藏的成藏和富集起到了很好的控制作用。

志留纪末期,川东处于乐山—龙女寺古

C型储层的气层,待测试。应注意采集 FDC、VDL 资料,特别在测井显示较好时,应加强 RFT 测试,以便取得地层含流体情况资料。

综上所述,本区块具有有利的勘探领域,需要进一步扩大勘探并以更多样的测井信息和解释方法去认识这些领域。现在,铁山南 C_2-T_{1c} 共计 4 套储层均可作为独立气藏投入评价勘探和开发;铁东除 P_2^2 外,其余已无希望;铁山北应继续勘探 P_1 和 P_2^2 ,加强试油工作,搞清其生产能力。龙会场、九岭场高带应开展 P_1 和 T_{1f} 预探;云和寨 C_2 进入开发并预探 T_{1f} ;华蓥山东北倾没端、李家场高点、黄柳场东北高点、大堰乡高点等应以 C_2 为第一目的层,兼探 T_{1f} 、 P_2^2 、 P_1 和 T_{1c} 各层。

提高测井评价效果

(1)信息质量第一是测井评价成功之母。要具备采集各种类型不同种类的测井信息的

手段,有针对性地选用。测井刻度和测量参数的正确、适当的测井时间、井眼质量的好坏以及加强各个环节的测井质量控制系统是保证质量的关键。信息种类除前述外,还强调普及 NGS 和 FDC,以取代 GR,并完善三种求解孔隙度的方法,这有利于找准气层、计算储层参数。

(2)掌握地层特性。搞清岩性是测井分析的基础。采用 NGS、FDC、HDT、 P_e 值、纵横波速度比,并参考多种岩性和孔隙度交绘图反复计算、分析,从而正确划分岩性。

(3)单纯注重利用计算机大段连续处理尚有不足。不管是区域参数、井眼因素还是井层参数,在一口井剖面上都总是变化的,这严重地影响着应选用的测井方法和处理、解释方法,故应对小层特别是有代表性的小层作精细分析。

(本文收稿 1992-09-22)

* 630021,四川省重庆市大石坝。

Xiangxi Group in Moxi Gas Field; NGI 13(3), 1993; 17~20

In the light of recent seismic data and boring fruits, the diapir action of paleo-survived hillock caused by arch stress at the top of Leikoupo Formation in Middle Triassic in Moxi gas field in the centre of Sichuan is demonstrated in this paper. The writer considers that the concealed piercement structure evolution led by the diapir action in Xiangxi Group in overlying Upper Triassic is the basic reason of forming fractured gas reservoir in Xiangxi Group, thus providing a new territory for studying fracture distribution rules and surveying favourable area.

Subject Headings: central part of Sichuan, Upper Triassic, concealed piercement structure, evolution, gas enrichment.

Zhang Zongming, Hu Ming, Qin Qirong and Chen Jiming; **Forecasting Fracture Zone of Carbonate Rock by Using Finite Element Method**, NGI 13(3), 1993; 21~26

In this paper, the basic principle and computation of finite element method is described, the general procedure in computing structure stress field in the historical period of geology is put forward, by using the method, the result of forecasting fracture is analysed, and the effect of structure stress field on fracture growth of carbonate rock is illustrated by example to provide a new study medium for reasonably exploring fractured gas reservoirs.

Subject Headings: finite element method, carbonate rock, stress, fracture forecast.

Wen Huachuan and Wang Zhaoan; **Logging-Evaluating Technology and Analysis of the Reservoir of Tieshan Regional Plate**, NGI 13(3), 1993; 27~32

Tieshan regional plate in southeast depression folded zone in Sichuan Basin is a gas-bearing area possessing multiple reservoirs and multiple traps. The drilling data indicates it has a large exploration potential. The writers consider that so long as the modern logging technology and evaluating technology are fully used to help analysing and studying the parameters of reservoir types, lithology and physical properties, a favorable result of exploration can be obtained.

Subject Headings: southeast part of Sichuan, logging, reservoir, evaluation.

Zhang Gaoxing; **Classification and Character Study of Carboniferous Gas Reservoir in East Sichuan**, NGI 13(3), 1993; 33~40

Controlled by succession palaeohigh and the series of secondary reform in later period, a big bearing area is formed in Carboniferous gas reservoir in East Sichuan. The type of Carboniferous gas reservoir and the developing characters of different gas reservoirs are summarized in this paper. The exact way to effectively develop Carboniferous gas reservoir is also posed.

Subject Headings: east part of Sichuan, Carboniferous, gas reservoir, development character.

DRILLING/PRODUCTION TECHNOLOGY AND EQUIPMENT

Song Huaqing, Li Xingren and Li Xianrong; **Technique of Oriented Drilling to Target by Applying Strata Self-Deflecting**, NGI 13(3), 1993; 41~47

With the help of statistically arranging the well deflection data from conventional drilling in Southwest Sichuan, the natural deflecting rule of drilling inclined stratum in this district has been studied. The new method of using the calculable distance moving along the opposite direction of natural deflecting as surface survey well location is proposed out and the nearby places of target formations have been drilled through the well site practices of Zi-19, Yin-27 and Jie-27.