

文章编号: 0253- 9985(2003) 01- 0091- 06

天然气藏地球化学描述方法及其应用

唐 艳

(中国石化新星石油公司西南石油局地质综合研究院, 四川成都 610081)

摘要: 天然气轻烃指纹的测定一般限制在 C_8 以内, 在全烃色谱上可检测出 55 项参数, 其中 16 项参数的聚类相关系数大于 0.52, 可作为天然气地球化学描述参数指标, 判识天然气藏内部的分隔性和联通性。新场气田 Jp_1 气藏依此指标, 可划分出 4 个含气单元, 目前, 大多已知气田均分布于这些单元中。

关键词: 天然气藏; 轻烃指纹; 地球化学; 含气单元; 新场气田

作者简介: 唐艳, 女, 40 岁, 工程师, 有机地球化学

中图分类号: TE122.3 文献标识码: A

气藏地球化学描述主要是在常规油气藏描述的基础上研究气藏流体成分组成与性质的变化, 直接揭示流体的连通与其空间上的分布变化规律。流体在相互连通的空间内长期储存时, 由于分子不停地运动和相互渗透的结果, 其宏观的物理性质和化学性质必然是均匀一致的。如相邻的两个类似的流体储集体之间是不连通的, 或是相互隔绝的。则对这种不同性质的油气藏, 应分别进行开发, 实行“分而治之”的政策。

1 描述方法

1.1 参数

气藏地球化学描述主要是进行天然气的对比, 故天然气轻烃指纹的测定范围就限定了在天然气中含量较高的 C_8 以内的烃类化合物的测定上。利用全烃色谱在这一区间共测定出 55 种不同的烃类化合物的含量(表 1), 根据这些化合物的物理化学性质的不同, 确定 28 种参数为天然气藏地球化学描述参数(表 2)。

28 项参数按其各自的地球化学意义可分为 5 类。

(1) 1~ 4 号参数: 反映天然气总烃组分变化的宏观指标。

(2) 5~ 12 号参数: 反映 $C_5 \sim C_8$ 的各种烷烃及其异构体组成变化的指标。

(3) 13~ 18 号参数: 反映环烷烃类变化的指标。

表 1 X154 井天然气轻烃指纹分析结果

Table 1 Analysis results of light hydrocarbon fingerprint of natural gas in X154 well

组分	质量	组分	质量
甲烷	-	正庚烷	0.245
乙烷	25.091	甲基环己烷	1.134
丙烷	8.213	2,2- 二甲基己烷	0.037
异丁烷	1.778	乙基环戊烷	0.035
正丁烷	2.037	2,5- 二甲基己烷	0.031
2,2- 二甲基丙烷	0.108	2,4- 二甲基己烷	0.028
2- 甲基丁烷	0.959	1, 反 2, 顺 4- 三甲基环戊烷	0.012
正戊烷	0.629	3,3- 二甲基环己烷	0.020
2,2- 二甲基丁烷	0.174	1, 反 2, 顺 3- 三甲基环戊烷	0.009
异戊烷	0.000	2,3,4- 三甲基戊烷	0.000
2,3- 二甲基丁烷	0.126	甲苯	0.215
2- 甲基戊烷	0.309	2,3- 二甲基己烷	0.000
3- 甲基戊烷	0.205	2- 甲基, 3- 乙基戊烷	0.029
正己烷	0.347	2- 甲基庚烷	0.090
2,2- 二甲基戊烷	0.038	4- 甲基庚烷	0.050
甲基环戊烷	0.222	3,4- 二甲基己烷	0.000
2,4- 甲基戊烷	0.035	1, 顺 2, 顺 4- 三甲基环戊烷	0.000
2,2,3- 三甲基丁烷	0.022	3- 甲基庚烷	0.224
苯	0.072	1, 顺 3- 二甲基环己烷	0.080
3,3- 二甲基戊烷	0.045	1, 反 4- 二甲基环己烷	/
环己烷	0.584	2,2,4,4- 丙甲基戊烷	0.052
2- 甲基己烷	0.419	1- 甲基, 反 3- 乙基环戊烷	0.022
2,3- 二甲基戊烷	0.048	1- 甲基, 顺 3- 乙基环戊烷	0.000
1,1- 二甲基环戊烷	0.053	1- 甲基, 反 2- 乙基环戊烷	0.013
3- 甲基己烷	0.148	1- 1 甲基乙基环戊烷	0.013
1, 顺 3- 二甲基环戊烷	0.000	1, 反 2- 二甲基环己烷	0.059
1, 反 3- 二甲基环戊烷	0.047	正辛烷	0.145
3- 乙基戊烷	0.044	正壬烷	0.090
1, 反 2- 二甲基环戊烷	0.082	正癸烷	0.000

表2 气藏地球化学描述参数

Table 2 Parameters of gas reservoir geochemical description

顺序号	参数	顺序号	参数
1	C_{3-4}/C_{5-6}	15	(环烷烃 C_5/C_8) 环己烷 环戊烷
2	C_{5-6}/C_{7-8}	16	(环烷烃 C_5/C_8) 环己烷 甲基环戊烷
3	C_2/C_3	17	(环烷烃 C_5/C_8) 甲基环己烷 二甲基环戊烷
4	C_3/C_4	18	(环烷烃 C_5/C_8) 二甲基环己烷 三甲基环戊烷
5	(烷烃 C_5/C_8) 正构+ 异构	19	苯
6	(烷烃 C_5/C_8) 正构	20	甲苯
7	(烷烃 C_5/C_8) 异构	21	苯/ 甲苯
8	(烷烃 C_5/C_8) nC_5/iC_5	22	芳烃
9	(烷烃 C_5/C_8) nC_6/iC_6	23	烷烃 C_{5-6}/C_{7-8}
10	(烷烃 C_5/C_8) nC_7/iC_7	24	环戊烷 $C_{5-6}/$ 环己烷 C_{7-8}
11	(烷烃 C_5/C_8) nC_8/iC_8	25	环己烷 C_{6-7}/C_8
12	(烷烃 C_5/C_8) 正构/ 异构	26	异构单环化/ 异构多环化
13	(环烷烃 C_5/C_8) 环戊烷	27	己烷/ 环己烷
14	(环烷烃 C_5/C_8) 环己烷	28	苯/ 环己烷

(4) 19~ 22 号参数: 反映芳烃变化的指标。

(5) 23~ 28 号参数: 反映各种烃类本身或它们之间含量的综合性指标。

上述 5 类 28 项参数中, 有 16 项参数的聚类指数大于 0.52(表 3), 可以作为地球化学描述的主要参数。

表3 气藏地球化学描述主要参数

Table 3 Major parameters of gas reservoirs geochemical description

序号	参数	序号	参数
1	C_{3-4}/C_{5-6}	9	(环烷烃 $C_5\sim C_8$) 环己烷 甲基环戊烷
2	C_{5-6}/C_{7-8}	10	苯/ 甲苯
3	(烷烃 $C_5\sim C_8$) nC_5/iC_5	11	烷烃 C_{5-6}/C_{7-8}
4	(烷烃 $C_5\sim C_8$) nC_6/iC_6	12	环戊烷 $C_{5-6}/$ 环 己烷 C_{7-8}
5	(烷烃 $C_5\sim C_8$) nC_7/iC_7	13	环戊烷 C_{6-7}/C_8
6	(烷烃 $C_5\sim C_8$) nC_8/iC_8	14	异构单环化/ 异构多环化
7	(烷烃 $C_5\sim C_8$) 正构/ 异构	15	己烷/ 环己烷
8	(环烷烃 C_5/C_8) 环己烷 环戊烷	16	苯/ 环己烷

1.2 方法流程

天然气地球化学描述是从单井的地球化学描述入手, 应用地球化学分析技术, 首先建立典型的

气藏地球化学剖面, 结合气藏地质和油气藏开发工程资料, 继而建立气藏三维模型, 划分流体存储单元(图 1), 为指导气田开发提供新的依据。

2 应用实例

以川西新场气田蓬莱镇组气藏 Jp_1^5 气层为例进行气藏描述。

2.1 天然气轻烃指纹特征

$Jp_1^1\sim Jp_1^5$ 各层气由浅层到深层的变化规律是很明显的(表 4): C_{3-4}/C_{5-6} 的比值由浅层的 3.385 逐渐增至 3.476 再增加到 3.551, 反映新场地区天然气的聚集保存条件由 Jp_1^1 向下至 Jp_1^5 逐渐变好, 因而在气藏中被保存下来的分子才能逐渐增多。分子较大的一些烃类, 如碳数在 5 以上的, 尤其是碳原子数在 6 以上的烃类在地层条件下为液态。但同时有蒸汽与其伴存的烃类指标的变化则与之相反, 由于它们转化成蒸汽时运移快, 就会出现浅层的有关比值增高的现象, 如 C_{5-6}/C_{7-8} 的全烃比值由 Jp_1^5 层的 1.418 到 Jp_1^4 的 1.633 和 Jp_1^{1-3} 的 1.735。烷烃相关指标增加的更为明显, 由 Jp_1^5 的 2.876 增至 Jp_1^{1-3} 的 3.498。这些数据对比表明, 该比值的变化主要是受烷烃比值的变化控制, 这是因为, 在这个碳数范围内烃类烷烃所占比例是最大的。

正构烷与异构烷的比值也是有较强的变化规律的。在碳原子数相同的情况下, 异构体的沸点温度低, 容易变成蒸汽而气化, 当保存条件好时, 在天然气中的异构体蒸汽就会相对增多, 而导致正/ 异比埋深增加而有规律地变小的现象。表 4 中所列 $n-C_5/i-C_5$, $n-C_6/i-C_6$, $n-C_7/i-C_7$ 等比值的变化都显示出了上述特点。在天然气中, 一些粘度较大的环烷烃, 如环己烷和苯的蒸汽, 则随气层埋深的增加而增加。

由此可以看出, 影响天然气轻烃指纹指标变化的因素主要有两大类: 一是影响天然气运移和聚集的储盖条件组合; 另一类是烃类本身的物理化学性质。

2.2 Jp_1^5 层天然气轻烃指纹的横向变化

在对气样进行轻烃指纹分析以后, 筛选了 16 组对比指标: (1) C_{3-4}/C_{5-6} ; (2) C_{5-6}/C_{7-8} ; (3) $n-C_5/i-C_5$; (4) $n-C_6/i-C_6$; (5) $n-C_7/i-C_7$; (6) $n-C_8/i-C_8$; (7) C_{5-8} 的正/ 异比值; (8) 环己烷与环戊烷的比值; (9) 环己烷与甲基环戊烷的比

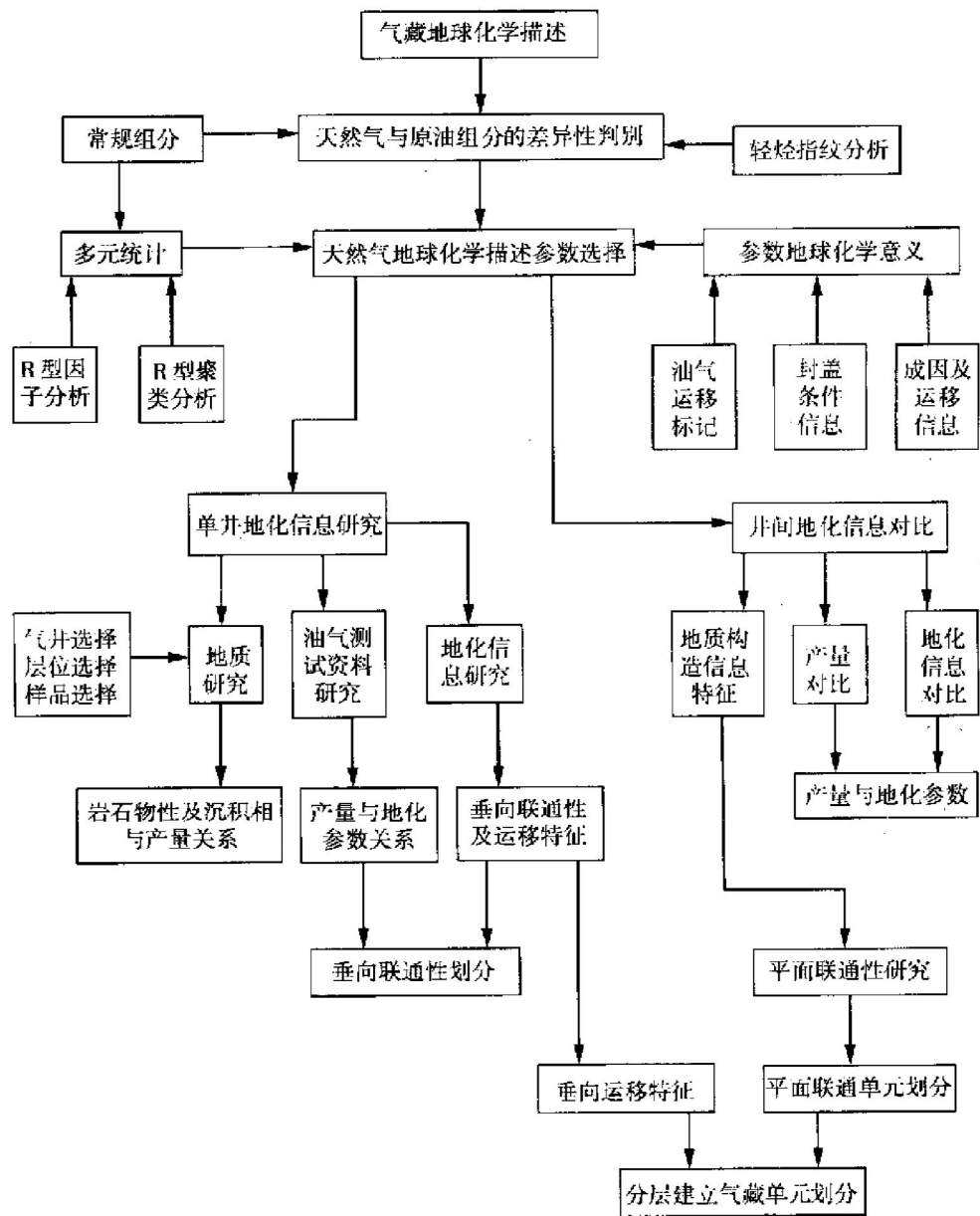


图 1 气藏地球化学描述方法流程

Fig. 1 Process of gas reservoir geochemical description

表 4 新场气田蓬一气藏 $Jp_1^1 \sim Jp_1^5$ 层天然气轻烃指纹对比

Table 4 Fingerprint correlation of natural gas light hydrocarbons in $Jp_1^1 \sim Jp_1^5$ of Peng-1 gas pool, Xinchang gasfield

气层	$C_3 \sim 4 / C_5 \sim 6$	$C_5 \sim 6 / C_7 \sim 8$	nC_5 / iC_5	nC_6 / iC_6	nC_7 / iC_7	烷烃 $C_5 \sim 6 / C_7 \sim 8$	环己烷 $C_6 \sim 7 / C_8$	己烷/环己烷	萘/环己烷
$Jp_1^{1 \sim 3}$	3.385	1.735	0.581	0.464	0.457	3.498	8.100	0.954	0.040
Jp_1^4	3.476	1.633	0.571	0.451	0.456	3.428	8.590	0.804	0.065
Jp_1^5	3.551	1.418	0.549	0.431	0.395	2.876	8.638	0.730	0.077

注: 以上数据均为各层的平均值

值: (10) 苯/甲苯; (11) $C_5 \sim 6 / C_7 \sim 8$; (12) 环戊烷 ($C_5 \sim 6$) 与环己烷 ($C_7 \sim 8$) 比; (13) 环己烷系 $C_6 \sim 7 / C_8$; (14) 异构单取代/异构多取代; (15) 己烷/环己烷; (16) 苯/环己烷。其中, 第 1~2 项反映总烃组分变

化; 第 3~7 项及第 11 项反映烷烃变化; 第 8~9 项反映环己烷与环戊烷的比例; 第 10 项反映芳烃的变化; 第 12~13 项反映环烷烃的变化; 第 14~16 项反映取代基的变化。

结果表明,这些参数之间具有很强的相关性,而且比值的变化具有明显的规律性,有关比值都是向高产井区逐渐增大或变小(图2)。但在变化过程中,不同的指标又略有不同,反映出天然气在运移过程中既受到了构造的影响,又受到了岩性变化的控制。在垂向运移为主的背景下也显示出了向构造高部位聚集的迹象,但这种侧向运移显

然是受到了储层岩性变化的控制,因而为同井区之间显示出一定的分隔性。在新场气田 Jp_1^5 层含气范围内有4个 $C_5 \sim C_7$ 高值区呈NEE向展布,位于这些区块中心的气井自西向东分别是: X16井, X22井, X218井和 X264井等,在这些钻井中都获得了较高的工业气流,显然与它们的聚集保存条件是分不开的。

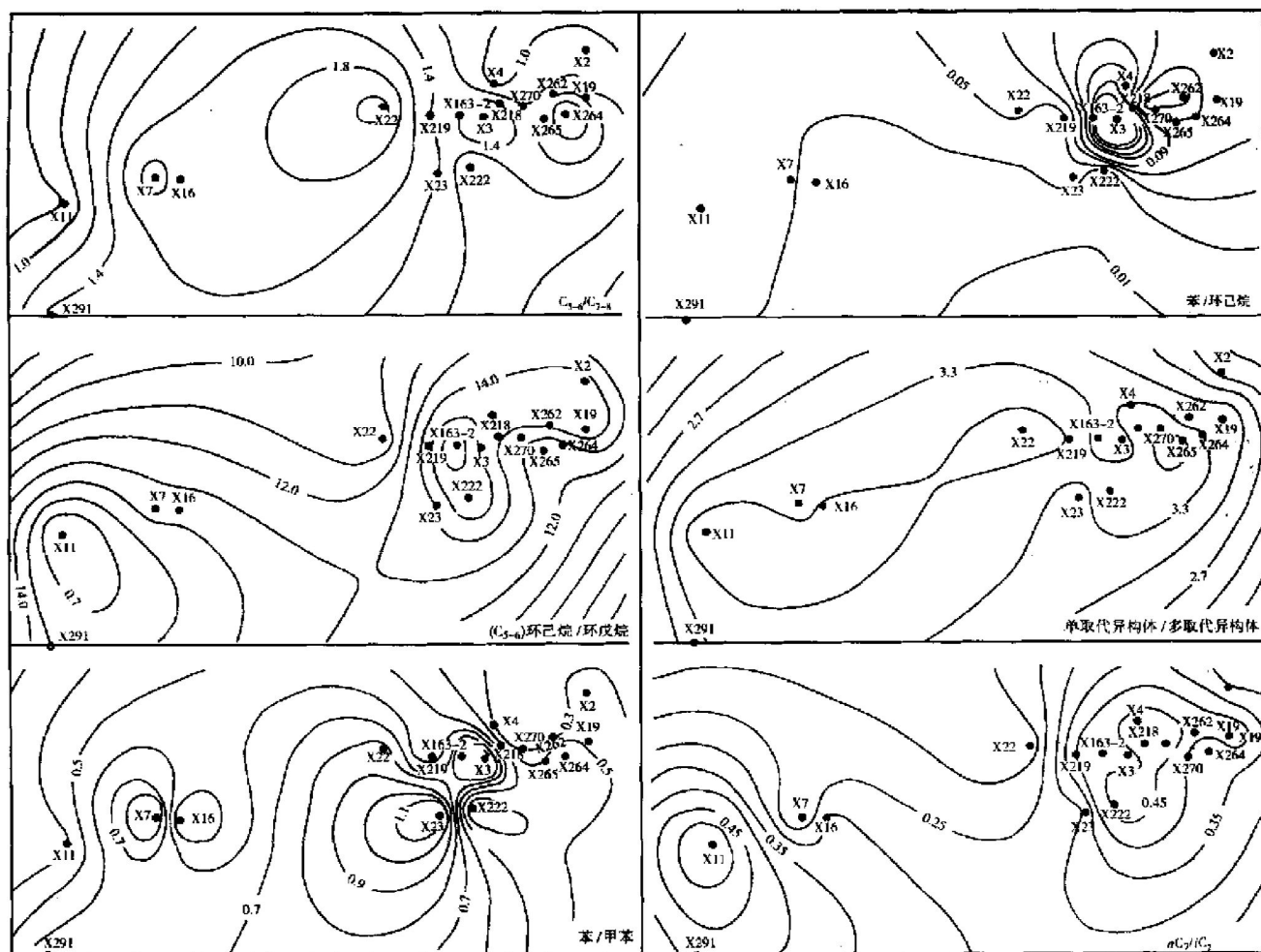


图2 Jp_1^5 气层轻烃指纹参数比值等值线

Fig. 2 Contour diagram of parametric ratio of light hydrocarbon fingerprint in JP_1^5 gas reservoir

在埋深较浅的气层中低分子烷烃比值的变化非常敏感,可以反映天然气聚集保存条件好坏;到了埋深较大的气层时,由于高分子的烃类相对增加,有时分子量较大的芳烃比值的变化也可以反映天然气聚集条件的好坏,如苯与甲苯的比值明显增高时,该井区的含气性或产量一般都高。在相距较近的 X2, X3, X4 井区,该规律表现得非常清

楚(表5):苯/甲苯比值接近1的或超过1的地区含气情况都比较好,因此气井产量也高。

2.3 含气单元划分

同一气层(或气藏)不同气井所产天然气组分的差异性反映了气层(或气藏)内部的分隔性,而相邻气井所产天然气组分的同一性或近似性则反映了气层(或气藏)内部的联通性。因此,从地球

表 5 新场气田 Jp⁵层气井产量与苯/ 甲苯比值的关系

Table 5 Relationship between gas- well production and the ratio of benzene and toluene in Jp⁵ gas reserervoir , Xinchang gasfield

井号	苯/ 甲苯	日气产量/ 10 ⁴ m ³	日无阻流量/ 10 ⁴ m ³
X2	0. 359	0. 319 8	0. 478 4
X3	1. 250	1. 762 9	/
X4	0. 271	0. 391 8	/
X7	1. 000	1. 277 5	2. 351 8
X11	0. 364	0. 239 5	/
X22	0. 842	5. 024 6	15. 503 1
X23	1. 300	1. 171 8	2. 970 7
X163- 2	0. 937	3. 617 3	5. 421 9

化学角度划分含气单元的主要依据则应是各井区所产天然气组成成分的异同及反映这些变化的各种地化指标或参数。气藏地球化学描述中所使用的各种对比指标或参数, 从不同侧面反映了各井区所产天然气的基本特征。依据各单元内代表性气井所产天然气地化特征(表 6) Jp⁵层由西到东可划分为 4 个含气单元(图 3) 。

表 6 Jp⁵层各含气单元地化批标对比

Table 6 Correlation of geochemical indicators in Jp⁵ of various gas- bearing units

地化参数	含气单元			
	I	II	III	IV
C ₃₋₄ / C ₅₋₆	3. 618	3. 525	4. 198	3. 211
C ₅₋₆ / C ₇₋₈	1. 470	1. 614	2. 078	1. 287
n- C ₅ / i- C ₅	0. 556	0. 560	0. 502	0. 510
n- C ₆ / i- C ₆	0. 453	0. 422	0. 290	0. 466
n- C ₇ / i- C ₇	0. 424	0. 315	0. 158	0. 465
n- C ₈ / i- C ₈	0. 166	0. 026	0. 000	0. 130
(C ₅₋₈) 正构烷/ 异构烷	0. 472	0. 415	0. 347	0. 461
环己烷/ 环戊烷	15. 091	13. 750	9. 897	17. 167
环己烷/ 甲基环戊烷	2. 142	2. 050	1. 864	2. 467
苯/ 甲苯	0. 667	0. 333	0. 842	0. 937
烷烃 C ₅₋₆ / C ₇₋₈	3. 237	3. 079	4. 162	2. 338
C ₅₋₆ 环戊烷/ C ₇₋₈ 环己烷	0. 220	0. 244	0. 357	0. 187
环己烷 C ₆₋₇ / C ₈	5. 940	12. 260	16. 370	9. 780
异构单取代/ 多取代	3. 213	3. 627	3. 749	3. 163
己烷/ 环己烷	0. 750	0. 745	0. 495	0. 811
苯/ 环己烷	0. 036	0. 012	0. 056	0. 143
CH ₄ / %	89. 510	94. 190	93. 670	94. 410
C ₂ H ₆ / %	5. 410	5. 701	5. 360	3. 296
干燥系数	16. 550	16. 520	17. 480	28. 640
相对比重	0. 612 6	0. 592 8	0. 593 6	0. 588 4
日测试气产量/ 10 ⁴ m ³	0. 696 8	2. 328 9	15. 503 1	5. 421 9

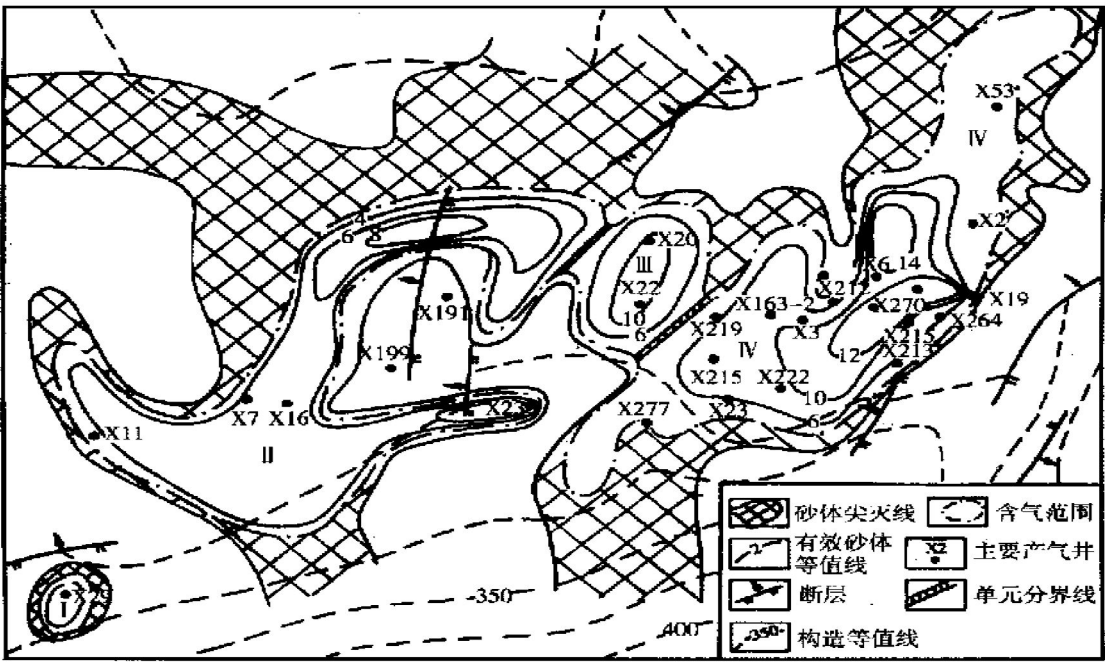


图 3 新场气田 Jp⁵气层主要产气井分布
Fig. 3 Distribution of main gas wells producing from Jp⁵ gas reserervoir in Xinchang gasfield

3 结论

(1) 新场气田蓬一气藏天然气组分变化和轻烃指纹的对比研究证实蓬一气藏各含气层之间的

色层效应非常明显。深浅层天然气轻烃指纹对比结果表明, 由浅至深天然气的聚集保存条件逐渐变好, 预示在蓬一气藏以下还可以找到更多的天然气。

(2) 在有利天然气聚集的区块或层段, 利用聚集保存条件正相关的地化参数值的增高和与之负

相关的参数变小的规律。可判别一个地区或区块的含气性好坏。

GAS RESERVOIR GEOCHEMICAL DESCRIPTION : METHOD AND APPLICATION

Tang Yan

(*Research Institute of Geology, Southwest
Petroleum Bureau , SINOPEC, Chengdu, Sichuan*)

Abstract: Fingerprint testing of light hydrocarbons in natural gas has commonly been limited to C_1 – C_8 . 55 parameters have been detected from total hydrocarbon chromatogram, and clustering relation coefficient of 16 parameters has been calculated to be more than 0.52. 4 gas– bearing units have been determined with this indicator, where most proved gasfields distribute.

Key words: natural gas reservoir; light hydrocarbon fingerprint; geochemistry; gas– bearing unit; Xinchang gasfield

(Continued from Page 90)

DAMAGES OF INJECTION WATER QUALITY TO RESERVOIRS IN TAIXING OILFIELD AND THEIR COUNTERMEASURES

Liu Bin¹, Yang Qi¹, Tan Shihai²

(1. *Wuxi Institute of Experimental Petroleum Geology, EPRI, SINOPEC, Wuxi , Jiangsu;*
2. *Pilot Production Team of East Petroleum Bureau , SINOPEC, Taizhou, Jiangsu*)

Abstract: The factors and mechanism of damages of injection water quality to reservoirs have been analyzed, based on the characteristics of reservoirs and fluid from Taixing oilfield. Water injectivity is mainly affected by two major factors, i. e. water– sensitive damage and precipitation and scaling caused by the incompatibility between injection and formation waters. To prevent injection water causing damages to reservoirs, it is necessary to put antiexpanding and anti– scaling additives timely, regularly and quantitatively. After numerous tests, the antiexpanding additives TDC– 5 and A– 25, and anti– scaling additives TH– 8185 show relatively good results. Additionally, by improving water treatment technology and setting up desoxygenation and membrane– filtering systems, the contents of dissolved oxygen and suspended solids in the water might come to the standards of injection water quality.

Key words: injection water; water quality; reservoir; damages; countermeasure