

文章编号: 1001- 6112(2004)06- 0542- 05

周口坳陷上古生界油气资源潜力分析

全书进¹, 饶丹², 孔凡军¹, 刘司红¹, 蒋永福¹

(1. 河南油田勘探开发研究院, 河南 南阳 473123;
2. 中国石化石油勘探开发研究院 无锡实验地质研究所, 江苏 无锡 214151)

摘要: 周口坳陷石炭—二叠系煤系地层有机质较丰富, 含煤性好, 岩性岩相稳定, 具有较强的生烃潜力。二次生烃是其显著特征, 二次生烃量大小受源岩初始成熟度、生烃潜量和终点成熟度的制约。坳陷内二次生烃条件相对较好的是谭庄—沈丘凹陷和倪丘集凹陷, 并已在倪丘集大王庄构造南 12 井下第三系获得过源自石炭—二叠系的工业油流, 展示出该区煤成油气勘探前景广阔。

关键词: 有效烃源岩; 二次生烃; 热演化史; 资源潜力; 上古生界; 周口坳陷

中图分类号: TE122. 1

文献标识码: A

周口坳陷主体是一个在华北块体上发展起来的具有中生代不同结构和不同性质的叠合盆地。在南华北 10 多个中生代盆地中, 周口是一个研究程度相对最高、面积最大的盆地, 它也是这些盆地中唯一钻遇多层多井油气显示、单井出过工、但至今尚未找到一个工业油气藏(田)的盆地。目前已经在 22 口井中分别见到了石炭—二叠系、下白垩统及老第三系的油气显示, 还在周参 10、12 及周 19 井试获了少量的原油, 倪丘集大王庄构造南 12 井下第三系获得过 4. 6t/d 的产能, 据可靠油/源对比, 证实其烃源来自上古生界石炭—二叠系煤系地层, 预示出该区煤成油气勘探前景广阔^[1]。

1 有效烃源岩

1.1 有效烃源岩展布

周口坳陷石炭—二叠系为一套海陆过渡相含煤沉积, 地层总厚约 1 000~ 1 500 m。其中煤系地层厚约 800~ 950 m, 煤层厚约 30~ 40 m, 含煤系数约 3. 8%~ 4. 2%, 具有厚度变化小、岩性岩相稳定、含煤性好、有机质比较丰富和煤层厚而分布连续的特征^[2]。石炭—二叠系具有生烃潜力的岩石主要有煤、暗色泥岩及部分灰岩。其中以煤最为重要, 次为暗色泥岩(含碳质泥岩)及灰岩。

印支—燕山期以来, 整个南华北经受了强烈的

褶皱断裂和抬升剥蚀, 石炭—二叠系原型盆地完全解体。据钻井和物探资料, 周口坳陷南部石炭—二叠系已基本剥蚀殆尽, 只有中部凹陷带和北部凹陷带有石炭—二叠系不同程度的保存, 剥蚀强度由南向北减弱。如图 1、2 所示, 石炭—二叠系煤层和暗色泥岩主要分布于鹿邑、倪丘集、谭庄—沈丘和襄城凹陷, 凹陷区的煤层厚度一般在 30~ 40 m 左右, 局部可达 47 m(周参 8 井), 凹陷边缘由于剥蚀厚度变小。鹿邑和倪丘集凹陷的暗色泥岩厚度较大, 面积较广; 其次为谭庄—沈丘和襄城凹陷; 舞阳凹陷只有局部分布, 厚度一般在 50~ 150 m, 凹陷中部在 100~ 150 m 以上。

1.2 有效烃源岩生烃潜力

煤是周口坳陷石炭—二叠系最主要的烃源岩, 不仅厚度大、生烃潜力高, 类型也较好, 有机碳含量 R_o 为 6. 92%~ 71. 86%, 平均为 34. 7%, 太原组和山西组主要煤层的生烃潜量 $S_1 + S_2$ 为 144~ 219 mg/g, 氢指数 I_H 为 210~ 275 mg/g, 有机质类型属 I_H 型, 属好的烃源岩。

石炭—二叠系煤系暗色泥岩, 总的特征是有有机质丰度较低、生烃潜量低、类型差、变化大, 能具生烃条件的只是其中一部分。据 9 口井 166 个泥岩样品的有机碳含量统计结果, 有机碳含量 $R_o < 0. 5\%$ 者高达 53%, R_o 为 0. 5%~ 1. 0% 者占 26%, $R_o > 1\%$ 者只占 21%, 生烃潜量在 0. 1~ 9. 65 mg/g 左右, 变

收稿日期: 2004- 07- 26.

基金项目: 中国石化集团公司科技项目(P02005).

作者简介: 全书进(1963—), 男(汉族), 湖南南县人, 高级工程师, 主要从事油气地质研究与勘探工作.

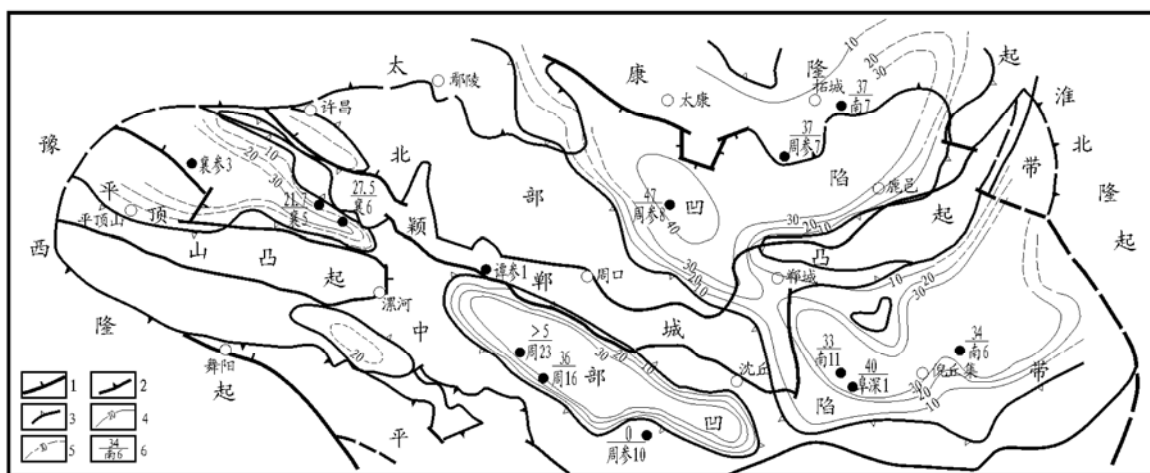


图1 周口坳陷石炭—二叠系煤层等厚图

1. 边界断层; 2. 地震地层尖灭线; 3. 石炭—二叠系剥蚀线; 4. 煤层等值线; 5. 推测煤层等值线; 6. $\frac{\text{煤层厚度(m)}}{\text{井号}}$

Fig. 1 Isopach map of the Carboniferous-Permian coal layers in the Zhoukou Depression

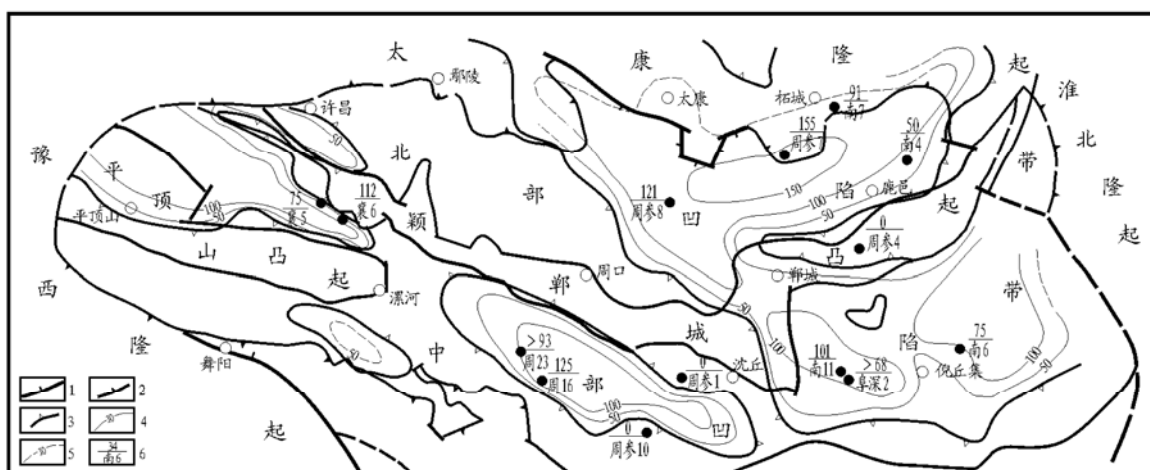


图2 周口坳陷石炭—二叠系暗色泥岩等厚图

1. 边界断层; 2. 地震地层尖灭线; 3. 石炭—二叠系剥蚀线; 4. 暗色泥岩等值线; 5. 推测暗色泥岩等值线; 6. $\frac{\text{暗色泥岩厚度(m)}}{\text{井号}}$

Fig. 2 Isopach map of the Carboniferous-Permian dark argillite in the Zhoukou Depression

化较大, 有机质类型属 ④型 。

周口坳陷石炭—二叠系暗色泥岩厚度一般为 50~ 150 m, 煤层厚 10~ 40 m, 泥岩比煤层厚。按有机碳量估算, 1 m 煤相当于 22 m 暗色泥岩的有机碳量。如果暗色泥岩的平均厚度为 100 m, 煤层的平均厚度为 30 m, 那么按有机碳量度量, 煤与暗色泥岩之比为 6.6: 1, 暗色泥岩的有机碳量不到总量的 20%。所以, 无论是从有机质丰度、生烃潜量和有机质类型看, 煤都是石炭—二叠系的主力烃源岩, 有举足轻重的作用, 且下部优于上部。

暗色泥质烃源岩的生烃潜量与煤(含石煤和碳质泥岩在内)相比大约小 40 倍。由此可见, 煤是石炭—二叠系的主力烃源岩。

倪丘集凹陷太原组灰岩的有机碳含量为 1.34%, 沥青“A”含量为 0.08%, 烃含量为 $175 \times$

10^{-6} , 生烃潜量为 1.28 mg/g, 有机质类型属 ④型 。周口地区石炭系灰岩厚约 30~ 50 m, 最厚达 60 m, 有一定的生烃潜力。

2 热演化史及二次生烃

2.1 源岩埋藏史及热演化史

周口坳陷石炭—二叠系源岩的埋藏史分为 3 个阶段: 1) 印支期前石炭—二叠系均处于稳定沉降埋藏阶段, 最大埋深约 2 300~ 2 700 m, 地温可达 70~ 110 °C, R_0 可达到 0.5%~ 1.2%, 已进入油窗阶段, 完成了第一次生烃过程; 2) 印支—燕山期全盆地隆升剥蚀, 由于地温降低, 生烃过程可能逐渐中断, 但各地的隆升幅度和持续时间不同; 3) 早第三纪开始, 全盆整体沉降沉积。差异是 $I_3 - K_1$ 开始各凹陷的降

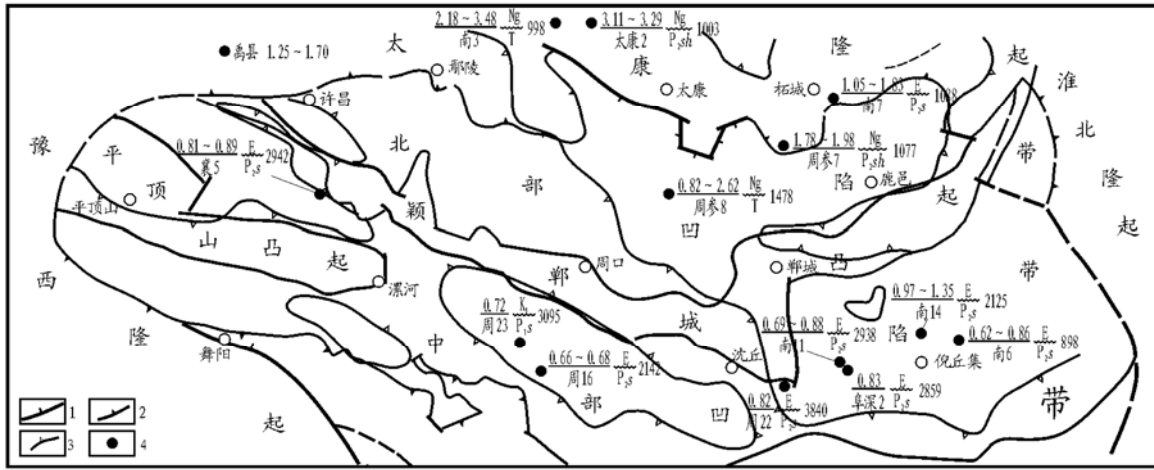


图3 周口坳陷石炭—二叠系源岩现今 R_0 分布图

1. 边界断层; 2. 地震地层尖灭线; 3. 石炭—二叠系剥蚀线; 4. $\frac{R_0}{\%}$ 上覆地层 井号 下伏地层 界面埋深

Fig. 3 Present R_0 distribution of the Carboniferous-Permian source rocks in the Zhoukou Depression

升和沉降沉积分异加剧, J_3-K_1 盆地只局限于中部地区, 而下第三系盆地则较多, 它们都经历了快速下沉和缓慢抬升的过程, 沉降幅度各地不一、差别明显, 从而限制了石炭—二叠系二次生烃的范围和强度。

三叠纪沉积中心位于济源—郑州—太康—鹿邑一带, 呈 NW 向展布, 中心地区原始沉积厚度达 2 000~ 3 600 m, 并向南北两侧变薄。印支期前周口地区石炭—二叠系埋深估计可达 2 500~ 3 800 m 以上, R_0 可达 0.5%~ 1.2% 左右。由于周口中部坳陷带处于三叠系沉降中心的东南侧, 三叠系较薄, 石炭—二叠系埋深较小, 成熟度较低, 而鹿邑凹陷处于沉积中心区, 埋深较大, 成熟度较高, 从而奠定了现今演化程度北高南低的锥型, 但成熟度(R_0 值)不会大于 1.5%。

印支期以来, 周口坳陷隆升剥蚀作用南强北弱; 到燕山期, 北部特别是鹿邑凹陷和太康隆起区三叠系剥蚀较小^[3], 石炭—二叠系埋深仍然较大。由于靠近北部(济源—开封—永城)深水热变质作用带, 受深水热变质作用的作用较强, 进一步加深了有机质成熟作用和生烃过程, 从而奠定了现今 R_0 值北高南低的格局(图 3)。

2.2 二次生烃

二次生烃是有条件的。首先, 烃源岩要有一定的生烃潜力(剩余), 成熟度相对较低^[4], 只有这样, 才能生成足以形成工业油气藏的油气。如果烃源岩的成熟度已很高, 生烃潜力已快枯竭, 即使有二次生烃的温度条件, 也不足以形成油气聚集。研究认为, 二次生烃初始成熟度越低越好, 生烃潜量越高越好, 埋深适中地温梯度越好^[5,6]。

经过印支、燕山、喜山三大构造运动的改造, 石炭—二叠系原型盆地完全解体, 被分割成大小不等、形状各异的块体, 分布于中生代盆地之下。同一凹陷的不同部位, 石炭—二叠系的埋藏史和受热史都有较大差别。加上石炭—二叠系的初始成熟度在剖面上和平面上也是变化的, 古地温梯度也是变化的。利用周参 10 井和谭参 1 井的 R_0 回归方程有一定的代表性, 用它们表示周口坳陷 J_3-K_1 和 E-Q 时期 R_0 值与埋深的关系, 并用这一关系式计算二次生烃门限深度(谭参 1 井下第三系埋深与 R_0 关系: $D = 661.53 + 4311.305R_0$; 周参 10 井下白垩统埋深与 R_0 关系: $D = 919 + 2559R_0$)(表 1)。

利用二次生烃面积以及该面积内源岩的厚度、烃源岩的二次生烃初始成熟度和终点成熟度及差值、烃源岩的生烃潜量或有机质丰度、类型等 3 项参数来描述二次生烃量, 并结合区域盖层发育情况和构造活动情况, 对周口坳陷各凹陷石炭—二叠系源

表 1 周口坳陷石炭—二叠系源岩二次生烃初始成熟度及生烃门限深度

Table 1 Initial maturity and hydrocarbon generating threshold depth of secondary hydrocarbon generation for the Carboniferous-Permian source rocks of the Zhoukou Depression

凹陷名称	二次生烃 初始成熟度 $R_0, \%$	J_3-K_1 期 二次生烃门限 深度/m	E-Q 期 二次生烃门限 深度/m
鹿邑凹陷	1.20		5 834
倪丘集凹陷	0.80		4 110
谭庄—沈丘凹陷 (西部)	0.75	2 838	3 894
谭庄—沈丘凹陷 (东部)	0.68	2 660	3 590
襄城凹陷	0.85		4 530

表2 周口坳陷石炭—二叠系源岩二次生烃综合评价表

Table 2 Comprehensive evaluation of secondary hydrocarbon generation for the Carboniferous-Permian source rocks in the Zhoukou Depression

凹陷名称	二次生烃面积/km ²	烃源岩厚度/m ($\frac{\text{煤岩}}{\text{暗色泥岩}}$)	成熟度 $R_o, \%$		二次生烃门限/m ($\frac{\text{深度}}{\text{最大埋深}}$)	初生生烃潜量/(kg·g ⁻¹) ($\frac{\text{煤}}{\text{暗色泥岩}}$)	二次生烃时间	区域盖层发育情况	断裂及构造活动情况	评价类别	
			初始值	预测终点值							
鹿邑凹陷	583.53	$\frac{10\sim 35}{50\sim 150}$	1.0~1.2	1.7	0.70	$\frac{4\ 970\sim 5\ 800}{8\ 000}$	$\frac{< 82\sim 150}{< 0.62\sim 2.0}$	E ₂ —Q	不清	发育	㊟
倪丘集凹陷	532.27	$\frac{10\sim 35}{50\sim 100}$	0.8	1.47	0.67	$\frac{4\ 110}{7\ 000}$	$\frac{82\sim 150}{0.63\sim 2.0}$	E ₂ —Q	不发育	发育	㊟
谭庄—沈丘凹陷 西部 E—Q	1 395.78	$\frac{10\sim 35}{50\sim 100}$	0.75	2.17	1.42	$\frac{3\ 894}{10\ 000}$	$\frac{82\sim 150}{0.63\sim 2.0}$	E ₂ —Q	不发育	很发育 多期活动	㊟
谭庄—沈丘凹陷 东部 J ₃ —K ₁	1 395.78	$\frac{10\sim 35}{50\sim 100}$	0.68	1.98	1.30	$\frac{2\ 660}{6\ 000}$	$\frac{82\sim 150}{0.63\sim 2.0}$	K ₁ —E	不发育	很发育 多期活动	㊟
襄城凹陷	420.02	$\frac{10\sim 30}{50\sim 100}$	0.85	1.47	0.62	$\frac{4\ 530}{7\ 000}$	$\frac{82\sim 150}{0.63\sim 2.0}$	E ₂ —Q	良好	发育	㊟
舞阳凹陷	0	$\frac{10\sim 20}{30\sim 50}$									不具备

表3 周口坳陷上古生界二次生烃资源量统计表

Table 3 Resource statistics of secondary hydrocarbon generation for the Upper Paleozoic of the Zhoukou Depression

凹陷	凹陷面积/km ²	二次生烃面积/km ²	煤层厚度/m	暗色泥岩厚度/m	成熟度 $R_o, \%$		二次生烃潜量/(m ³ ·t ⁻¹)		密度/(10 ⁸ t·km ⁻³)		泥岩 C 含量, %	聚集系数	生气量/10 ⁸ m ³	资源量/10 ⁸ m ³
					初始值	终点值	煤	泥岩	煤	泥岩				
鹿邑凹陷	2 500	583.53	10~49	50~150	1.0~1.2	1.7~2.5	82~150	0.62~2.0	12.5~14	23.5	1.91	0.005	88 624	443
襄城凹陷	1 000	420.02	10~49	50~100	0.85	1.47	82~150	0.62~2.0	12~12.5	23.5	1.75	0.005	38 785	194
舞阳凹陷	1 900	0	10~20	30~50						23.5	1.01		0	0
谭庄—沈丘凹陷	2 823	1 395.78	10~49	50~100	0.715	2.17	82~150	0.62~2.0	12~12.5	23.5	1.34	0.005	250 141	1 251
倪丘集凹陷	2 300	532.27	10~49	50~100	0.8	1.47	82~150	0.62~2.0	12~12.5	23.5	1.9	0.008	49 150	393
合计	11 523	2 931.6											426 699	2 281

岩的二次生烃进行综合评价(表2)。

3 资源潜力分析

根据烃源岩综合评价结果,结合有效烃源岩面积、厚度、丰度等资料,按体积法计算上古生界各凹陷的天然气资源量(表3)。由表可知,周口坳陷上古生界天然气总资源量达 $2\ 281 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。平面分布上谭庄—沈丘凹陷最大,约占上古生界总资源量的55%,是周口坳陷上古生界油气勘探的首选区域;其次是鹿邑凹陷和倪丘集凹陷,分别占上古生界总资源量的19%和17%;再次是襄城凹陷。

4 结论

1) 周口坳陷上古生界具有生烃潜力的岩石主要有煤、暗色泥岩及部分灰岩。其中以煤的潜力最大,

次为暗色泥岩(含碳质泥岩)及灰岩。

2) 二次生烃是周口坳陷石炭—二叠系源岩的显著特征。其中以谭庄—沈丘凹陷和倪丘集凹陷二次生烃条件相对最好;其次是鹿邑凹陷和襄城凹陷,舞阳凹陷不具备二次生烃条件。

3) 周口坳陷上古生界天然气总资源量为 $2\ 281 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。其中谭庄—沈丘凹陷所占资源约为上古生界总资源量的55%,是周口坳陷上古生界油气勘探的首选区域。

参考文献:

- 1 张功成,吕锡敏,王定一. 南华北中、新生代盆地构造特征及其石油地质意义[J]. 断块油气田, 1998, 5(6): 1~9
- 2 周兴熙. 南华北盆地构造演化与天然气资源[A]. 中国含油气区构造特征[M]. 北京: 石油工业出版社, 2000, 139~148
- 3 陈瑞银,余小庆,徐思煌. 周口鹿邑凹陷埋藏演化史恢复及油气远景评价[J]. 滇黔桂油气. 2002, 15(1): 30~33

- 4 汤达祯, 王激流, 张君峰等. 鄂尔多斯盆地东缘煤的二次生烃作用与煤层气的富集[J]. 石油实验地质, 2000, 22(2): 140~ 145
- 5 袁政文, 何明喜, 宋建华等. 周口残留盆地油气前景分析[J]. 石油实验地质, 2003, 25(6): 679~ 683
- 6 宫色, 李剑, 张英等. 煤的二次生烃机理探讨[J]. 石油实验地质, 2002, 24(6): 541~ 544

POTENTIAL ANALYSIS OF THE UPPER PALEOZOIC HYDROCARBON RESOURCES IN THE ZHOUKOU DEPRESSION

QUAN Shu-jin¹, RAO Dan², KONG Fan-jun¹, LIU Si-hong¹, JIANG Yong-fu¹

(1. *Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Henan Oilfield, Nanyang, Henan 473123, China;*
2. *Wuxi Research Institute of Experimental Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China*)

Abstract: The Carboniferous-Permian coal measures strata in the Zhoukou Depression have stronger hydrocarbon-generating potential, which process abundant organic matter, rich coal and steady lithology and lithofacies. The obvious character of the depression is secondary hydrocarbon generation. The amount of secondary hydrocarbon generation depends on initial maturity, hydrocarbon-generating potential and final maturity. The places which have better secondary hydrocarbon-generating potential in the Zhoukou Depression are the Tanzhuang-Shenqiu Sag and the Niquiji Sag. The industrial oil flow was obtained from the Paleogene of well Nar-12 at the Dawangzhuang Structure in the Niquiji Sag. It indicated that the exploration prospects of coal-derived hydrocarbon in the area was extensive.

Key words: effective source rock; differential evolution; secondary hydrocarbon generation; resource potential; the Paleozoic; the Zhouko Depression

(continued from page 541)

TYPES AND CHARACTERISTICS OF TIGHT CLASTIC ROCK GAS POOLS IN THE WEST SICHUAN DEPRESSION

ZHU Tong¹, YE Jun²

(1. *Research Institute of Exploration and Production, SINOPEC, Beijing 100083, China;*
2. *Southwest Branch, SINOPEC, Chengdu, Sichuan 610051, China*)

Abstract: After years of exploration and development, over 20 tight clastic rock gas pools have been found in different regions and formations in the West Sichuan Depression. However, there is no unified division standard for the types of tight clastic rock gas pool. Based on the achievements of gas pool description and exploration, according to the cause of trap and compaction and pressure, the division standard and method suitable for this region are put forward. thus dividing gas pools into 3 types (structure-lithology, structure-digenesis and structure-fracture) and 5 inferior types. The characteristics of typical pool types are also described.

Key words: type division; tight clastic rock gas pool; the West Sichuan Depression