

文章编号:1001-6112(2005)04-0321-06

应用成藏门限理论评价 吐哈盆地前侏罗系油气资源潜力

左胜杰^{1,3}, 贾瑞忠², 庞雄奇³

(1. 中国石化集团 国际石油勘探开发有限公司, 北京 100083; 2. 中国石化 中原油田分公司
勘探开发研究院, 河南 濮阳 457001; 3. 石油大学 石油与天然气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249)

摘要:针对油气区远景资源潜力评价中缺乏定量依据的问题, 提出了一种评价油气远景资源潜力的新概念——成藏门限, 论述了油气成藏门限的地质含义及地质证据, 并应用基于成藏门限理论开发的“油气成藏体系定量评价系统”对吐哈盆地前侏罗系油气资源潜力进行了定量评价, 计算其油、气远景资源潜力分别为 3.354×10^8 t 和 2.652×10^8 m³, 原油资源探明率仅为 15%, 表明吐哈盆地前侏罗系仍具较大勘探潜力。

关键词:成藏门限; 资源潜力; 前侏罗系; 吐哈盆地

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

研究油气分布规律, 评价油气远景资源潜力一直是勘探家的主要任务。国内外石油地质学家们在长期的勘探实践中提出了多种油气勘探理论: 源控论^[1], 复式油气聚集带^[2], 富油气凹陷^[3], 排烃门限控油气^[4-5], 坡折带低水位砂体控烃^[6] 和含油气系统控烃^[7] 等, 从多个角度阐述了油气分布规律, 提高了勘探效率。但总体上, 目前国内外对油气分布规律的研究仍以定性为主, 在具体指导勘探部署时缺乏定量依据, 如有些地方可以找到丰富的油气, 有些地方却没有油气, 二者之间的判定标准是什么?

本文提出了一种评价油气远景资源潜力的新概念——成藏门限, 并对吐哈盆地前侏罗系的油气资源潜力进行了定量研究。

1 油气成藏门限的概念与地质含义

作为一种流体矿产, 油气自形成后就处于连续的散失和聚集的动平衡之中。油气在生排运聚散过程中存在一系列地质门限: 生烃门限, 排烃门限……每一门限代表了不同成藏阶段损耗烃量的临界下限值。成藏门限是指油气成藏体系内形成具有工业价值油气藏过程中必然耗散的最小烃量, 从

物质平衡的角度而言, 即研究区油气排出源岩后尚未进入圈闭成藏前的最低损耗量。

油气的损耗途径可分为源岩残留, 储层滞留, 盖前排失和运移流散等。油气在成藏体系内部的散失机理主要包括岩石吸附, 毛细管封堵, 地下水溶(油), 地下油溶; 油气向成藏体系外部的散失主要包括油气扩散和水溶流失以及成藏后的构造破坏等(图 1)。成藏门限实际上是一个成藏临界地质条件, 满足这一条件, 油气藏可以形成; 反之则不能成藏。

2 油气成藏门限存在的地质证据

统计分析、物理模拟实验和地质剖析结果都表明了油气成藏门限的客观存在。

2.1 统计分析表明存在成藏门限

并非所有的沉积盆地都是含油气盆地, 在全球已划定的 517 个盆地中, 具有大油气田的盆地有 73 个, 只含中小油气田的有 138 个, 仅见油气流的有 47 个, 无重要油气发现的盆地有 259 个^[8]。除了所处勘探阶段不同和技术原因外, 一些盆地未进入成藏门限可能是根本原因。

俄罗斯学者维索茨基在研究了不同沉积盆地的

收稿日期: 2004-08-26; 修订日期: 2005-05-19。

作者简介: 左胜杰(1975—), 男(汉族), 河南柘城县人, 博士、高级工程师, 从事海外油气项目开发与管理工作。

基金项目: 国家科技攻关项目(2001BA605A09)。

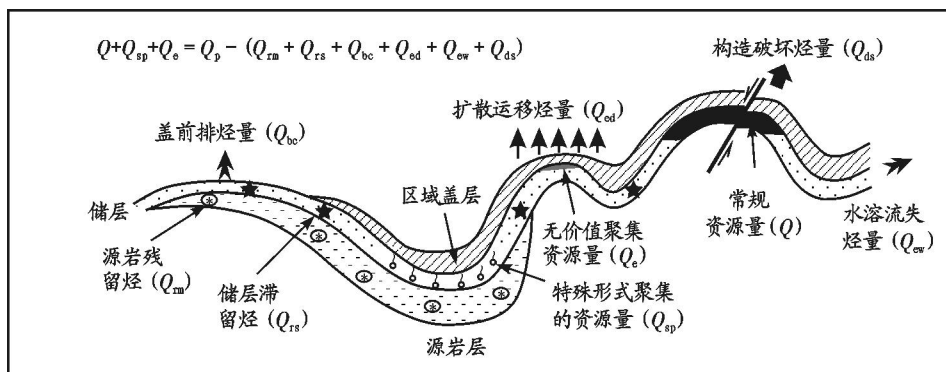


图 1 油气成藏过程地质概念模型

Fig. 1 Sketch map showing the geological concept model of oil and gas reservoir forming process

天然气富集特征后,指出源岩生气强度是天然气藏形成的主控因素,在生气强度小于 $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 的地区没有发现大、中型气田^[9]。戴金星等对我国天然气的分布特征进行研究^[10~12]也得出类似的认识,即形成特大型天然气藏的源岩生气强度需超过 $50 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,形成大中型气田的生气强度需超过 $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,如果研究区源岩的生气强度低于 $10 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,则找到气田的可能性很小。

我国大中型油田发育区源岩的生油强度统计也表明,大油田主要分布在生烃强度大于 $200 \times 10^4 \text{ t}/\text{km}^2$ 的地区,中小型油田分布在生烃强度为 $(100 \sim 200) \times 10^4 \text{ t}/\text{km}^2$ 的地区,而在生烃强度小于 $45 \times 10^4 \text{ t}/\text{km}^2$ 的地区目前尚未发现有工业价值的油藏。造成这种现象的根本原因也是在生烃强度小的地区,由于生烃量未能饱和各种损耗烃量,没有富余的油气聚集成藏,换言之,这些地区尚未进入成藏门限。

2.2 物理模拟和数值模拟实验均表明存在成藏门限

当源岩开始向外大量排烃时,烃类首先进入到邻近的输导体系中,再向有利的圈闭中运聚成藏。油气在初次运移和二次运移阶段都要遭受损耗。近年来,国内外学者针对油气二次运移过程进行了大量的物理模拟和数值模拟^[13]。一些学者坚持“油气在二次运移过程中损耗量巨大”的观点,因为油只有在输导层内达到 $20\% \sim 30\%$ 的饱和度之后才能以游离态运移。Schowalter^[14], Catalan^[15], 查明^[16], Thomas 和 Clouse^[17]通过模拟实验证实,在运载层中形成连通的运移通道需要达到的最低饱和度分别为 10% , $10\% \sim 30\%$, $10.4\% \sim 10.6\%$ 和 $5\% \sim 15\%$,这部分油饱和度主要是以残余油的形式沿运移通道损耗了。李明诚甚至认为,90%以上的烃量耗散于二次运移过程中^[18]。有的学者则认为,这一损耗量并不大,因为油是通过体积极有限的优势通

道从源岩排出后进入圈闭的,油气运移空间可能只占整个输导层的 $1\% \sim 10\%$ ^[19]。然而,不论哪一种观点都隐含了一个共同的前提,即油在运聚过程中必须损耗一部分才能聚集成藏,即存在一个成藏的临界地质条件,系统内排出的烃类只有满足了运移过程中的最低损耗后才能聚集成藏,进入成藏门限。

天然气二次运移也需在输导层达到临界运移饱和度后才能发生。Schowalter 认为, $5\% \sim 10\%$ 的气饱和度足以产生“亮点”异常^[14],说明这些气还没有形成连通的气焰,故气临界饱和度应在 10% 以上。郝石生指出,以 10% 作为气开始运移的饱和度适用于大多数储集岩^[20]。

扩散作用是影响天然气成藏系统进入成藏门限的一个重要因素^[21,22]。尽管天然气在地下岩石中的扩散速度十分缓慢,但在漫长的地质历史时期中却可以连续不断地进行,而且其累积扩散量十分可观,足以毁掉一个具有工业价值的天然气藏^[23,24]。

图 2 是依我国一般地质条件计算获得的 1 km^3 沉积岩层在不同埋深条件下耗散气量的极小值(天然气成藏门限)。它表明,如果在这一体系中源岩排出的气量小于该极小值,则不可能有游离相态的天

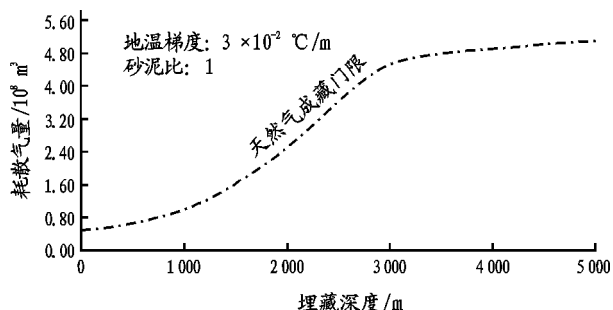


图 2 每立方千米沉积岩耗散甲烷量与埋深关系图

Fig. 2 Relationship between the methane consumption per cubic kilometre of sedimentary rock and burial depth

然气富集。

2.3 地质剖析结果表明存在成藏门限

油气在运移途中的散失主要包括源岩残留(孔隙水溶和油溶(气),岩石吸附),储层滞留(岩石吸附,孔隙水溶和油溶(气)等),区域盖层形成前排失,运移过程中流散(围岩吸附,压实水溶解流失,扩散等),构造变动破坏等。下述现象可判定运移途中散失的部分烃类:

- 1) 钻井过程中发现的微含油、油迹、油斑的砂岩和微含油的生物碎屑灰岩等油气显示;
- 2) 测井解释的含油水层,油水同层;
- 3) 用肉眼难以观察到的分散于水中和吸附于岩石表面的微量烃;
- 4) 挥发逸散于大气的烃类;
- 5) 由于地层剥蚀、氧化作用所形成的重质稠油。

综上所述,油气在运移成藏过程中必然要遭受损耗。油气的散失量与多种地质因素密切相关,诸如生—储—盖配置,圈闭,构造要素,储盖层物性,岩石颗粒表面特征,水动力条件,流体性质等。当油气生成量满足了各种形式的损耗需要并开始在圈闭中聚集时,该成藏体系即已进入成藏门限。自然界中的不同盆地由于生烃量和(潜在)损耗量相对大小的变化,造成了现今含油气性的差异,只有那些进入成藏门限的盆地才具有勘探价值。因此建立烃类聚、散的定量概念,即成藏门限的概念对于资源评价和指导具体目标区的油气勘探具有重要意义。

3 油气成藏门限研究方法原理

油气成藏门限研究方法主要是在对成藏体系进行地质剖析的基础上标定各项损耗烃量参数,并确定主控因素,建立定量模式,最后通过模拟计算求得各种损耗烃量,将其累加即可得出成藏门限(图 3)。计算损耗烃量时将其分为源岩残留、储层滞留、盖前排失、运移流散等 4 种形式^[4]。

4 吐哈盆地前侏罗系油气远景评价

吐哈盆地是新疆三大含油气盆地之一,自石炭纪以来地层发育齐全,其中地表出露及钻井揭示的前侏罗系地层包括石炭系、二叠系和三叠系^[25-30]。继 1995 年艾参 1 井在二叠系获得工业油流,玉东 1 井和鲁克沁构造鲁 2 井钻探成功,目前探明石油地质储量 $0.55 \times 10^8 \text{ t}$ ^[31],揭示了吐哈盆地前侏罗系具有一定的勘探潜力。然而迄今对其远景资源潜力一

直没有定量的认识。为指导下步勘探部署,寻找储量接替目标,尝试应用成藏门限理论评价其资源潜力。

利用自行开发的“油气成藏体系定量评价系统”计算了吐哈盆地前侏罗系各种形式的损耗油量,发现源岩残留油量最大,达 $92.5 \times 10^8 \text{ t}$,占 67.93%;其次为运移过程中的水溶损失量和扩散损失量,二者合计为 $18.7 \times 10^8 \text{ t}$,约占 13.77%;储层滞留油量为 $4.54 \times 10^8 \text{ t}$,约占 3.34%;盖前排失油量最小,只有 $0.94 \times 10^8 \text{ t}$,仅占 0.7%。可见源岩残留和运移流散是本区影响成藏门限的最关键因素。上述各种损耗油量之和即为该区的成(油)藏门限($116.67 \times 10^8 \text{ t}$)。换言之,如果吐哈盆地前侏罗系的生油量小于这一数值,则表明该区尚未进入成(油)藏门限,不具石油勘探潜力。

计算表明,吐哈盆地前侏罗系总生油量约为 $139.8 \times 10^8 \text{ t}$,表明该区已进入成藏门限,勘探实践也证明了这一点。从总生油量中减去成藏门限即可得到该区的可供聚集油量为 $23.21 \times 10^8 \text{ t}$ 。由于研究区后期遭受了构造变动,由此造成的损失油量约为 $19.3 \times 10^8 \text{ t}$,因此吐哈盆地前侏罗系石油远景资源量约为 $3.354 \times 10^8 \text{ t}$ (图 4)。可见,该区资源探明率仅为 15%左右,仍有较大的勘探潜力。

同理可对吐哈盆地前侏罗系的各种损耗气量进行计算。结果表明,运移流散气量为 $1.345 \times 10^{13} \text{ m}^3$,占 38.41%;其次是源岩残留气量,为 $1.07 \times 10^{13} \text{ m}^3$,占 30.54%;储层滞留气量为 $3.10 \times 10^{12} \text{ m}^3$,占 8.87%;盖前排失气量最少,只有 $9.48 \times 10^{11} \text{ m}^3$,仅占 2.7%。上述各种损耗气量之和即为天然气的成藏门

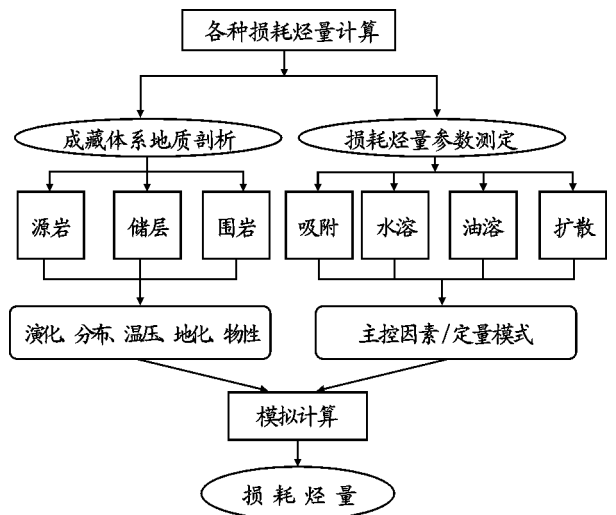


图 3 油气成藏体系内损耗烃量的计算流程

Fig. 3 Flow chart showing the calculation of dissipated hydrocarbons in oil and gas reservoir forming system

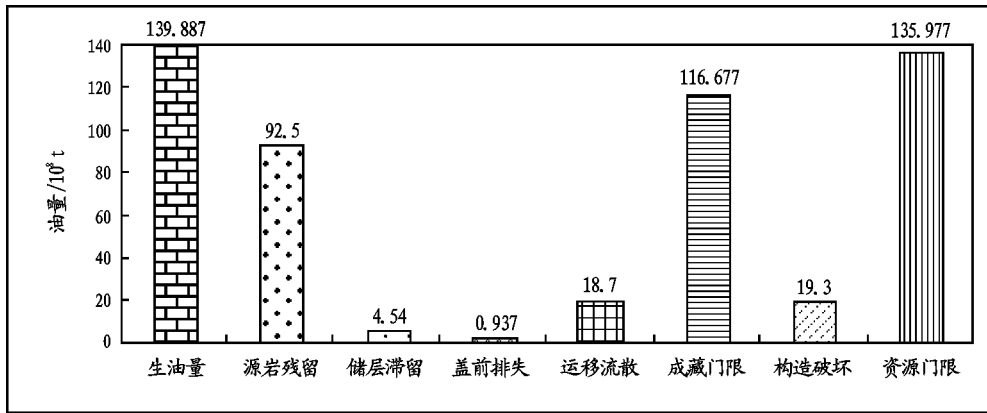


图 4 吐哈盆地前侏罗系成(油)藏门限计算结果

Fig. 4 The calculation results of oil reservoir forming threshold in Pre-Jurassic Formations in the Turpan-Hami Basin

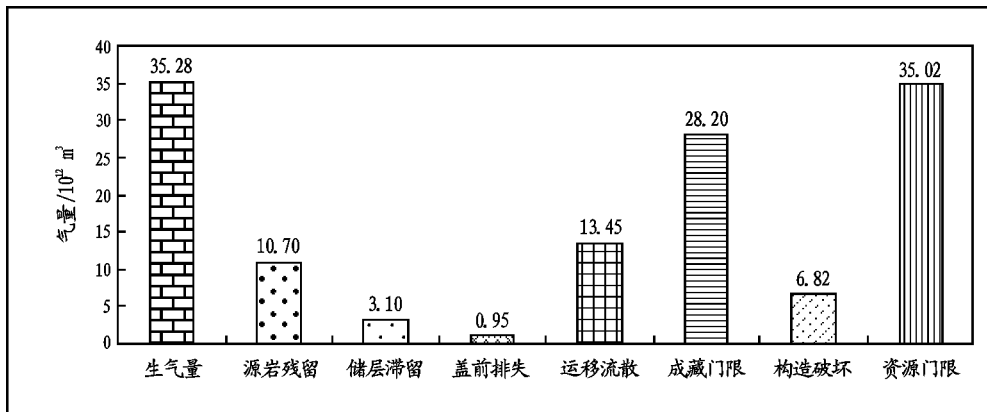


图 5 吐哈盆地前侏罗系成(天然气)藏门限计算结果

Fig. 5 The calculation results of gas reservoir forming threshold in Pre-Jurassic Formations in the Turpan-Hami Basin

限($28.20 \times 10^{12} \text{ m}^3$)。计算表明,本区的生气量为 $35.28 \times 10^{12} \text{ m}^3$,说明本区已进入天然气的成藏门限(图 5)。进一步可计算出该区后期构造破坏气量为 $6.82 \times 10^{12} \text{ m}^3$,据此可求出其天然气的资源门限为 $35.018 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。最后可求出吐哈盆地前侏罗系天然气的远景资源量为 $2\ 652 \times 10^8 \text{ m}^3$,其资源规模与塔里木盆地克拉 2 号气田^[32]的地质储量规模相当。

5 结论

成藏门限系指油气成藏体系内形成具有工业价值油气藏过程中必然耗散的最小烃量,满足这一临界地质条件,油气藏可以形成,反之则不能成藏。

勘探实践统计分析,物理模拟实验和地质剖析结果都表明了油气成藏门限的客观存在。自然界中的不同盆地由于生烃量和(潜在)损耗量相对大小的

变化,造成了现今含油气性的差异。只有那些进入成藏门限的盆地才是真正意义上的含油气盆地。

应用成藏门限理论对吐哈盆地前侏罗系油气成藏门限进行了计算,评价其油、气远景资源潜力分别为 $3.354 \times 10^8 \text{ t}$ 和 $2\ 652 \times 10^8 \text{ m}^3$,原油资源探明率仅为 15%,仍具较大勘探潜力。

参考文献:

- 1 胡朝元. 生油区控制油气田分布—中国东部陆相盆地进行区域勘探的有效理论[J]. 石油学报,1982,3(2):24~27
- 2 胡见义. 渤海湾盆地复式油气聚集(区)带的形成与分布[J]. 石油勘探与开发,1986,13(1):1~8
- 3 高瑞祺,赵政璋. 中国油气新区勘探(第三卷)—渤海湾盆地隐蔽油气藏勘探[M]. 北京:石油工业出版社,2001.18~42
- 4 庞雄奇. 排烃门限控油气理论与应用[M]. 北京:石油工业出版社,1995.1~245
- 5 庞雄奇,姜振学,李建青等. 油气成藏过程中的地质门限及其控油气作用[J]. 石油大学学报,2000,24(4):53~57

- 6 林畅松,潘元林,肖建新等. “构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2000, 25(3): 260~264
- 7 Magoon L B, Dow W G. The Petroleum system from source to trap[M]. AAPG Memoir 60, 1994. 17~231
- 8 陆克政,漆家福. 含油气盆地分析[M]. 北京:石油工业出版社, 2001. 155~278
- 9 维索茨基. 天然气地质学[M]. 戴金星译. 北京:石油工业出版社, 1986
- 10 戴金星. 中国大中型气田有利勘探区带[J]. 勘探家, 1996, 1(1): 6~9
- 11 戴金星. 中国天然气的聚集区带[M]. 北京:科学出版社, 1997. 1~251
- 12 戴金星. 威远气田成藏期及气源[J]. 石油实验地质, 2003, 25(3): 473~480
- 13 张发强. 石油二次运移的模式及其影响因素[J]. 石油实验地质, 2003, 25(1): 69~75
- 14 Schowalter T T. Mechanics of secondary hydrocarbon migration and entrapment [J]. AAPG, 1979, 63(2): 723~760
- 15 Catalan L, Fu Xiaowen, Chatzis I, et al. An experimental study of secondary oil migration[J]. AAPG, 1992, 76(5): 638~650
- 16 查明. 断陷盆地油气二次运移与聚集[M]. 北京:石油工业出版社, 1997. 10~12
- 17 Thomas M M, Clouse J A. Scaled physical model of secondary oil migration [J]. AAPG, 1995, 79(1): 19~29
- 18 李明诚. 油气运移研究的现状与发展[J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(2): 2~3
- 19 Hindle A D. Petroleum migration pathways and charge concentration: A 3-D Model [J]. AAPG, 1997, 81(9): 1451~1481
- 20 郝石生,柳广弟,黄志龙等. 油气初次运移的模拟模型[J]. 石油学报, 1994, 15(2): 21~31
- 21 Dickey P A. Possible primary migration of oil from source rock in oil phase[J]. AAPG, 1975, 59(2): 337~345
- 22 马立元. 地层条件下天然气扩散过程中地球化学组分变化的模拟实验研究[J]. 石油实验地质, 2004, 26(4): 365~369
- 23 付广,陈章明,万龙贵. 烃浓度盖层封闭天然气的有效性及其研究意义[J]. 沉积学报, 1997, 15(1): 147~151
- 24 付广,陈章明,任继红. 天然气扩散损失量估算方法及其应用[J]. 断块油气田, 1999, 6(4): 6~8
- 25 任战利,姜洪训,柳益群等. 吐—哈盆地周缘艾维尔沟、桃园子剖面二叠—侏罗系生油岩的有机地球化学特征[J]. 石油实验地质, 1994, 16(1): 1~9
- 26 刘林玉. 吐鲁番拗陷中上侏罗统储集层成岩作用研究[J]. 石油实验地质, 1997, 19(2): 173~178
- 27 李文厚,柳益群,冯乔等. 吐哈盆地侏罗系沉积相带与砂体的展布特征[J]. 石油实验地质, 1997, 19(2): 168~172
- 28 刘林玉,柳益群. 吐鲁番—哈密盆地北部中上侏罗统储集层裂缝特征[J]. 石油实验地质, 1997, 19(4): 368~370
- 29 卫延召,戴金星,赵长毅. 吐哈盆地台北凹陷西部油源浅析[J]. 石油实验地质, 2001, 23(2): 191~194
- 30 刘爱永,陈刚,刘林玉. 吐哈盆地三叠系砂岩的孔隙类型及次生孔隙形成机理探讨[J]. 石油实验地质, 2002, 24(4): 345~353
- 31 王昌桂,杨飏. 吐哈盆地二叠系油气资源潜力[J]. 新疆石油地质, 2004, 25(1): 17~18
- 32 陶土振. 塔里木盆地克拉2气藏流体包裹体与油气充注运移期次[J]. 石油实验地质, 2002, 24(5): 437~440

APPLY POOL-FORMING THRESHOLD THEORY TO EVALUATE PRE-JURASSIC RESOURCE POTENTIAL OF THE TURPAN-HAMI BASIN, NORTHWESTERN CHINA

Zuo Shengjie^{1,3}, Jia Ruizhong², Pang Xiongqi³

(1. International Petroleum Exploration and Production Corporation, SINOPEC, Beijing 100083, China;
2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Zhongyuan Oilfield, SINOPEC, Puyang, Henan 457001, China; 3. Key Laboratory for Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education, University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: One of the key tasks of petroleum explorationist is to evaluate resource potential of various petroliferous basins. The Pre-Jurassic Formations in Turpan-Hami basin, located in Xinjiang province in the northwest of China, have been explored for several years, but its quantitative resource potential is still unclear. A new concept for petroleum resource potential assessment that is called hydrocarbon pool-forming threshold has been proposed. It refers to the least hydrocarbon amounts dissipated during the process of pool formation in petroliferous basin. The existence of hydrocarbon pool-forming threshold has been proved by statistical analysis, physical and numerical simulation and geological phenomena. Due to the relative magnitude of hydrocarbon generation amount and its potential dissipation amount, different basins have different oil and gas resource potential. Only the basins that had entered the pool-forming threshold

have exploration potential. By utilizing the new theory, the oil and gas resources of the Pre-Jurassic formations in Turpan-Hami basin have been calculated to be 3.354×10^8 tons and $2.652 \times 10^8 \text{ m}^3$ respectively. The proved ratio of oil is only 15%, which indicates the great potential of Turpan-Hami basin for further exploration.

Key words: hydrocarbon pool-forming threshold; resource potential; Pre-Jurassic Formation; Turpan-Hami Basin

(上接第 320 页)

- | | |
|--|--|
| <p>35 Cathles L M, Smith A T. Thermal constraints on the formation of Mississippi Valley-Type lead-zinc deposits and their implications for episodic basin dewatering and deposit genesis[J]. <i>Econ Geol</i>, 1983, 78:983~1002</p> <p>36 Bodner D P, Sharp, Jr J M. Thermal variations in the South</p> | <p>Texas subsurface[J]. <i>AAPG Bulletin</i>, 1988, 72(1): 21~32</p> <p>37 Powley D E. Pressures and hydrogeology in petroleum basins [J]. <i>Earth - Science Reviews</i>, 1990, 29: 215~226</p> <p>38 Tigert V, Al-shaieb Z. Pressure seals-their diagenetic banding-patterns[J]. <i>Earth - Science Reviews</i>, 1990, 29: 227~240</p> |
|--|--|

THEORY OF EPISODIC MIGRATION AND ACCUMULATION: EVIDENCE AND EXPLORATION SIGNIFICANCE

Zhao Jingzhou

(*Xian Petroleum University, Xian, Shannxi 710065, China*)

Abstract: It is evidenced that episodic migration and accumulation is rapid, efficient and periodic as a kind of reservoir formation, and therefore significant to the formation of mid-large oil and gas fields. Like gradual migration and accumulation of hydrocarbon, episodic migration and accumulation is also found to be quite common type of reservoir formation in petroleum basins. Compared with gradual migration and accumulation, episodic migration and accumulation is particularly important in basins that experienced strong orogenies, fault activity or have abnormal pressures. Unlike gradual migration and accumulation, which is more important in cratonic basins, episodic migration and accumulation is more important in foreland and rift basins. It should be noted that episodic migration and accumulation is not fully controlled by hydrocarbon generation window in time, but mainly by tectonic events (fault activity in particular) and evolution of abnormal pressure as well. Consequently, history of tectonic changes, fault activity and/or abnormal pressure development determine that of episodic migration and accumulation. The theory of episodic migration and accumulation is not only an important supplement to the traditional theory of petroleum geology, but also broads the exploration domain and further defines the exploration orientation of mid-large oil and gas fields.

Key words: theory of episodic migration and accumulation; evidence of episodic migration and accumulation; fluid compartment; regularity of migration and accumulation; exploration significance