

文章编号: 0253-9985(2004)05-0496-05

准噶尔盆地淮南坳陷侏罗系含气潜力

王金琪

(中国石化西南石油分公司, 四川成都 610081)

摘要: 准噶尔盆地淮南坳陷多层烃源岩叠合, 生烃丰度之高为国内罕见。二叠-三叠系由于埋藏过深, 除通过断层向浅层输送外, 原层已无勘探意义。侏罗系是评价很高的供烃层系, 在坳陷中心埋深可达 10 000 m; 并已致密化或超致密化, 晚期难以形成常规油气聚集。侏罗系经历了早期形成深盆地阶段和晚期深盆地破坏、改造、调整阶段。主要含气领域包括: (1) 北大坡可保留部分深盆地; (2) 山前挤压形成的三排构造, 通过烃源断层在浅层构造中形成次生气藏; (3) 虽已超深, 但侏罗系晚期裂缝可能重新组成高储、高产气藏, 仍具很大的勘探潜力; (4) 在深盆地气区, 有利相带厚层大砂体和古圈闭等“甜点”, 其含气资源潜力应特别注意。

关键词: 高丰度气源; 早期成藏; 深盆地; 喜山期改造; 超致密化; 非常深埋; 淮南坳陷

中图分类号: TE122.1 文献标识码: A

Gas potential of Jurassic in southern Junggar depression

Wang Jinqi

(Southwest Petroleum Company, SINOPEC, Chengdu, Sichuan)

Abstract: The multilayer source rocks in southern Junggar depression are characterized by their extremely high abundance of hydrocarbon generation. The Permian and Triassic have been buried very deeply in the depression, so they would not have any exploration significance anymore except transporting hydrocarbons upward along faults to shallow reservoirs. Although the Jurassic is a good source of hydrocarbons, conventional accumulations would not be formed in later stage, because it has been deeply buried, as deep as 10000m in the center of the depression, and has become tight and ultratight strata. The Jurassic had experienced early formation of deep basin gas and later destruction, modification and adjustment of deep basin gas. Gas accumulations may exist in the following areas. (1) Some deep basin gas reservoirs might have been preserved in Beidapo (Northern Big Slope) area; (2) The 3 rows of structures formed in foothill belt by compressive and shear tectonic movement. Hydrocarbons might have migrated along faults to the shallow structures, resulting in formation of secondary gas reservoirs; (3) Although the Jurassic has very large burial depth, it might become prolific gas reservoir with large reserves again, as a result of the fractures formed in Later stage, thus it would still have large exploration potential; (4) In the deep basin gas area, large attention should be paid to the gas potential in the “sweet points”, such as thick and large sandbodies and ancient traps in the favorable facies zone.

Key words: high abundance of gas generation; early reservoiring; deep basin gas; modification during Himalaya movement; ultratightening; very deeply buried; southern Junggar depression

作者在“中国大型致密砂岩含气区展望”^[1]一文中, 把准噶尔盆地淮南坳陷侏罗系作为 4 大类型之一的典型。它的两大特点: 一是高丰度含气; 二是非常深埋。长期以来, 淮南坳陷侏罗系气源

虽特别丰富, 但经多年勘探所获成果不多, 这与该区地史的特殊性和一定时期理论、技术条件有关。在地震、钻井等新技术快速发展的今天, 重新认识淮南含气规律, 采取新的战略、战术, 很有必要。

天山两侧的前陆拗陷,淮南和库车有其共同性^[2],山前构造带“烃源断层”对次生气藏都很重要。其相异处不在于烃源丰度,最大的区别是两个拗陷的地史发展不相同。库车拗陷三叠-侏罗系烃源岩,一直到新第三纪之前埋藏都很浅,新第三纪晚期-第四纪急速深埋,迫使烃源岩短期内进入生烃高峰,砂岩还来不及成岩致密化,也没有形成“深盆气”的机会。同期发生推覆、滑脱、褶皱,油气“热炒热卖”,并通过烃源断层及时向浅层输气,在优质盖层下聚集成藏。淮南拗陷经历了长期持续深埋,重要的含烃层系(二叠-三叠系)多沉降在10 000 m以下。尽管其生烃条件最佳,但淮南拗陷已很难考虑其自身成藏的意义。当然,二叠系在埋藏相对较浅的盆地北部、腹部和东部,是无可比拟的最现实的烃源层。

淮南坳陷侏罗系天然气资源一直评价很高^[3~6],但由于其成藏史的曲折复杂,根本不能用常规的观点看待,需要认真分析、思考。

1 深盆地阶段

淮南坳陷从侏罗纪开始,逐步进入北天山山前统一前陆均衡沉降阶段,坳陷中心侏罗系最厚达 4 500 m^[7],但坳陷内部侏罗系几乎没有钻井控制,有关沉积相和生、储层情况,多根据边缘推定。

侏罗系可分为两大沉积组合^{*}: 下侏罗统八道湾组(J_1b)、三工河组(J_1s)及中侏罗统西山窑组(J_2x), 以煤系及湖相沉积为主, 是区内重要的生烃层系; 中侏罗统头屯河组(J_2t)及上侏罗统齐古组(J_3q)、喀拉扎组(J_3k)为燕山运动一幕后台地相对萎缩阶段的沉积, 由杂色层逐渐过渡为红层。坳陷中心在昌吉一带, 并向盆地西北延伸。侏罗系煤系地层最大厚度达 $2\,000\text{ m}^{[8]}$, 其中暗色泥岩最厚约 $500\text{ m}^{[9]}$ (图 1)。煤层最大累积厚度超过 100 m , 煤的预测储量居全国首位^[8], 为世界巨型聚煤盆地之一^[10]。淮南坳陷侏罗系生气条件非常有利, 生、储层组合配置很好, 有人^[11]估算侏罗系天然气资源量高达 $8 \times 10^{12}\text{ m}^3$ 。

侏罗系沉积后,局部隆升剥蚀,白垩系全面超覆其上,坳陷中心略向西移。头屯河组底在白垩纪末埋深约4 200 m(图 2- b),总体仍向西北延伸。发展到下第三纪末,坳陷中心头屯河组底最深约6 200 m(图 2- c),呼 2 井在下第三纪古地温梯度

21.3 °C/km; 向腹部显著增加, 盆参 2 井在侏罗—下第三纪古地温梯度为 31.3~26.5 °C/km^[12]。由此, 分布在约 40 000 km² 范围内的侏罗系, 下第三纪末埋深约 3 000~7 000 m, 古地温应在 90~180 °C, 处于重要的生烃(气)阶段。下第三纪以后深坳内生气量相对较少。关于侏罗系暗色泥岩及煤层总生气强度, 因坳陷内部缺乏直接参数, 导致预测的出入很大: 高者认为侏罗系三个生气中心最大生气强度为 400 × 10⁸ m³/km², 350 × 10⁸ m³/km², 400 × 10⁸ m³/km² (图 1-b); 有的说可达 150 × 10⁸ m³/km²^[9]; 还有认为总生气强度为 30 × 10⁸~80 × 10⁸ m³/km²^[13], 少部分认为 100 × 10⁸ m³/km²^[9]。也有采用源岩潜力指数 (SPI) 方法计算, 中、下侏罗统生烃强度为 13.98 t/m² (约合气 140 × 10⁸ m³/km²)^[5]。若以暗色泥岩和煤层综合平均生气强度 80 × 10⁸ m³/km² 考虑, 估计侏罗系在坳陷内生气总量可达 320 × 10¹² m³, 并且还可能接受深部烃源条件更

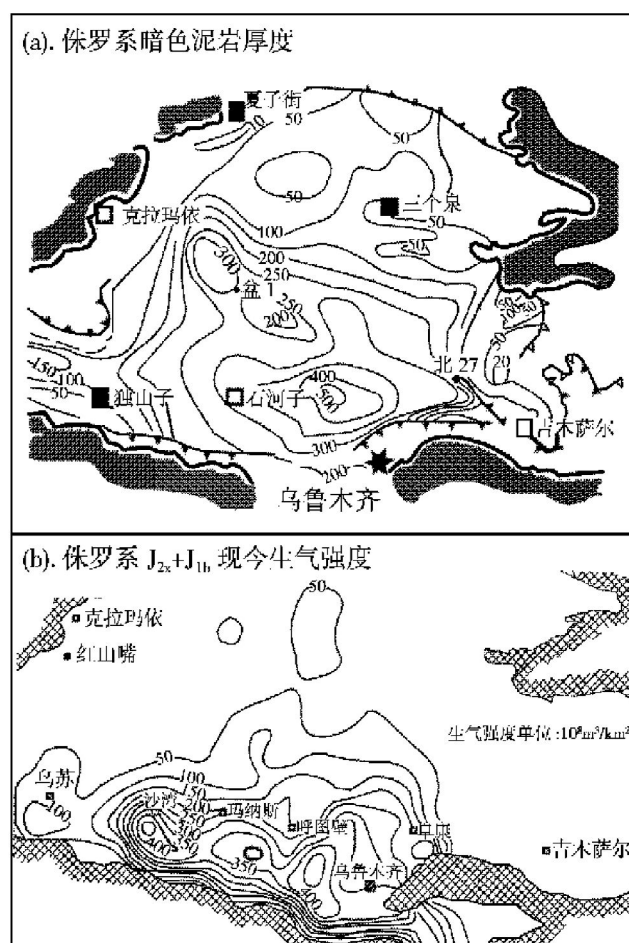


图 1 淮南坳陷侏罗系气源丰度图*, [9]

Fig. 1 Diagram showing the abundance of Juassic gas source in Southern Junggar depression

* 罗立民. 河湖沉积体系三维高分辨率层序地层学研究. 博士论文, 1997

好的二叠-三叠系的气源。侏罗系主要生气期(约在下第三纪末)距今时间短,储层致密化后孔喉狭

小,天然气未形成高浓度聚集,推测扩散损失量很小。因此,淮南坳陷侏罗系高丰度含气是可信的。

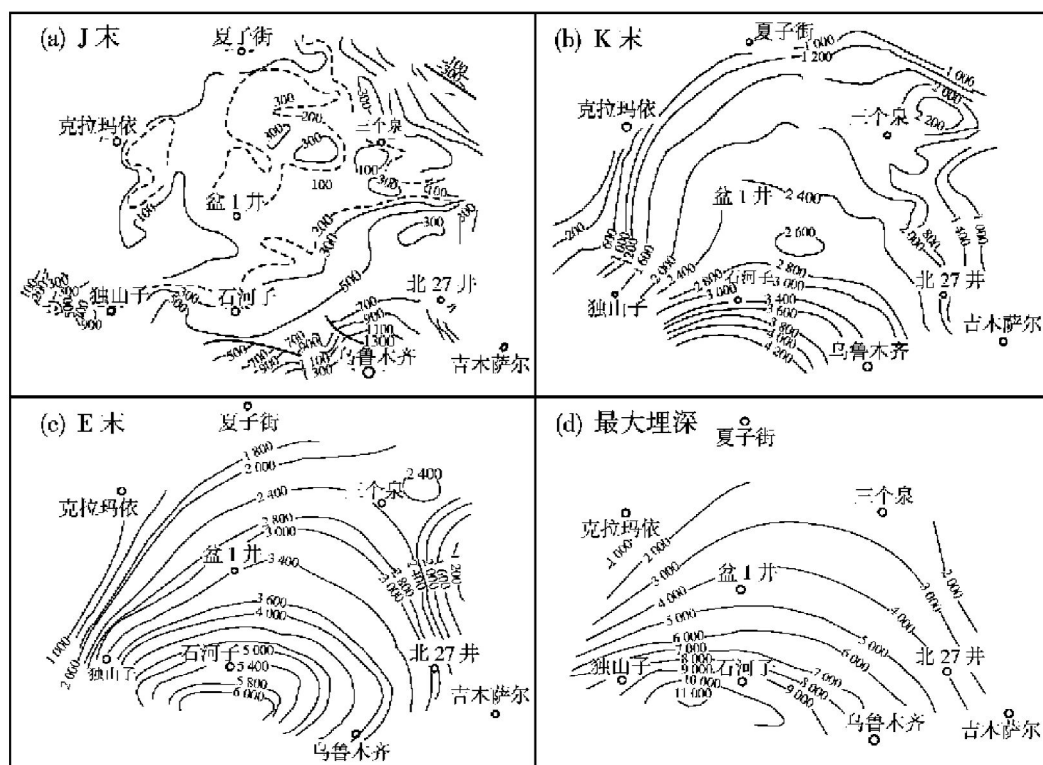


图2 准噶尔盆地侏罗系上、下组合界面埋深发展简图^[8]

Fig. 2 Sketch map showing burial evolution of the boundary of Jurassic upper and lower depositional systems in Junggar basin

淮南坳陷发展过程中,在侏罗系砂岩普遍致密化之前,生烃高峰期各种圈闭聚集的古油气藏,十分重要,特别是北大坡厚层大砂体尖灭或相变地带,将成为以后深盆气的“甜点”。

淮南坳陷侏罗系在砂岩继续深埋过程中逐步致密化。受沉积速率、矿物组成、古地温、流体动力学影响,各地致密化程度有区别^[1],淮南可能低于川西而高于库车。大致到下第三纪末,淮南坳陷除边缘和北部地区,侏罗系基本上都达到致密砂岩级别。丰富的气源就近充注于致密砂岩基质孔隙中,形成不需要局部圈闭的大面积深盆地。本区砂岩发育,盆参2井等砂岩总厚在500 m左右。由于地压梯度显著增高,水将被迫透过毛管阻力向边缘排泄,如山前的齐古侏罗系油田普遍有“大水层”及浓烈的H₂S臭味^[8];西部车排子也有封闭性地层水。天然气不易克服毛管阻力,只有溶于水中的部分气体有所散失。而且根据盆参2井资料,早在86.7~103 Ma,侏罗系上部已形成严密的压力封闭^[14]。

综上所述,约在白垩-下第三纪期间,淮南坳陷侏罗系砂岩经历长达140 Ma持续深埋、压实,逐步形成四周隆升面积约40 000 km²的高丰度大型深盆地,是淮南侏罗系资源量的顶峰阶段。深盆地为超高压型,类似于东绿河盆地^[15],属Law等^[16]的深盆地II阶段。

2 深盆气的改造

上第三纪-第四纪,淮南坳陷侏罗系深盆地经历了重要的改造和伤害。南部侏罗系经历10 000 m深埋后,最终成为北天山推挤构造带;北部缓翼仍保留了深盆地,但部分地区由于侏罗系深埋超致密化而失去进一步勘探的意义。

喜山运动期间,北天山持续向盆地强烈推挤扭动,甚至越过坳陷中心,并形成三排构造带。有关这方面的论述非常多^[3, 6, 13, 17],大都认为深盆地气源通过断层进入浅层构造形成次生气藏,是淮南天然气资源的主要依托,但长期勘探效果不甚理想。山前众多构造虽位于烃源最富地区,同时也

是坳陷最深部位, 晚期侏罗系砂岩多已超致密化, 坳陷南侧原侏罗系深盆地已彻底改造。天然气成藏系统也不再遵循生、储、运、圈等常规运行, 要求新的思路建立新的天然气系统。第一, 要认清浅层构造的主要气源。持续埋深近 10 000 m 的中、下侏罗统烃源岩晚期生气量已很少, 砂岩超致密化后也缺乏运移输导能力。而早期聚集的油气藏和原深盆地甜点, 充注并压缩了丰富的天然气, 将成为晚期成藏的主要气源。第二, 喜山期褶皱、断层和裂缝, 使超致密僵滞的气重新活跃, 一部分在深部侏罗系储层中组成裂缝性气藏; 一部分顺着断裂向低势区运移。第三, 浅层构造显然是垂向系统的低势区, 浅层构造幅度大、封盖层好(如安集海河组 E_{2-3a})、砂岩储层好^[18](如紫泥泉子组 E_{1-2z}), 相互配套, 就能聚集成藏。而储量大的气藏必须有充足的早期已富集成藏的气源。

伴随上第三纪、第四纪坳陷的继续下沉, 淮南坳陷南部下沉很深, 导致部分深盆地超致密化僵滞。而范围广阔的坳陷北大坡, 受力微弱, 埋深变化不大, 侏罗系深盆地得以保存。改造后, 淮南坳陷保留下来的深盆地范围已明显缩小, 而且其中

还有一部分由于深度过大无法开采。

现今深盆气的北界是过渡式的。由于侏罗系没有出露接受地表水, 不太可能呈现气水倒置的明显界面, 可能形成和北美许多深盆地类似的气、油倒置格局。彩南和马桥凸起上的原油都证明有中、下侏罗统暗色泥岩的贡献^[4, 19], 属侏罗系油气系统, 莫北油藏以北油源主要来自二叠系。关于储层物性差异致油、气分藏, 在石南油气田成藏史研究中已有很好的分析^[20]。当陆梁南坡已在侏罗系中发现成群油田, 原以为莫索湾-马桥地区探油志在必得, 却意外受阻^[21]。主要原因是侏罗系埋藏加深, 物性变差, 液体油的活动不顺畅, 此带成为油气交替区。莫索湾凝析气田盆 5 井三工河组日产气 $25 \times 10^4 \text{ m}^3$, 凝析油 82 m^3 ; 莫北凸起上的莫北 2 井则以产油为主, 产气次之。原深盆地中心和南翼在喜山运动后已解体, 现保留深盆气的南界为北大坡侏罗系砂岩致密和超致密的过渡带, 推定其在埋深 6 000 m 左右。

3 主要含气领域

本区明显分为北大坡(I)和山前构造带(II)两大领域(图 3)。

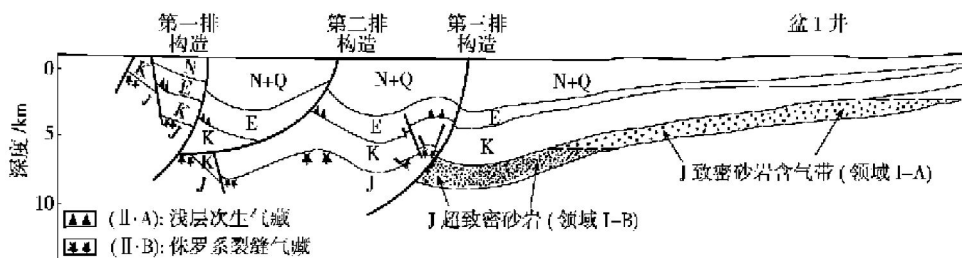


图 3 淮南坳陷构造横剖面示意图

Fig. 3 Schematic structural cross section in southern Junggar depression

3.1 北大坡(I)

北大坡在上第三纪之前曾经是淮南特大型深盆气的北翼缓坡。上第三纪—第四纪之后, 分为两部分。

领域(I-A), 属北大坡保留深盆地部分, 面积约 $18\,000 \text{ km}^2$ 。现存有效深盆地下限深度推定为 6 000 m, 主要是由于深盆地储层孔、渗性差, 难以进行规模性二次运移聚集, 一般以大面积贫矿为主, 单井产量不高, 因而存在经济临界线的问题。北美深盆地普遍埋藏浅, 所以发展很快。

1991 年绿河盆地超高压深盆地估算资源量下限深度为 5 600 m (18 500 ft)^[15]。最近尤因塔盆地待发现天然气资源量最大深度为 7 300 m (24 000 ft)*。由此, 我们暂定深度 6 000 m 为经济临界线, 上限到中央隆起带(约 4 000 m)。深于 6 000 m 深度的作为远景潜力区。

在大约 $18\,000 \text{ km}^2$ 范围内, 侏罗系烃源岩(包括煤)目前仍处于生气阶段, 最重要的是地史上长期接受深拗和深层运移来的油气, 气源比较充裕, 而且散失量很少^[14], 预期领域(I-A)资源量当

* Dyman T S. 美国待发现的深层天然气资源评价, 周惠生, 译. 四川石油普查, 2003

以万亿立方米计。但是该领域侏罗系总体偏深,近期着重从厚层大砂体和早期圈闭等“甜点”入手。淮南最好的砂体在三工河组,以三角洲或扇三角洲沉积为主,坡折带巨厚砂体发育^[22],盆参2井单层砂岩最厚达200 m。运用地震技术查明主要河流和三角洲体系,分析地史时期各类有利圈闭,提高探井命中率,减小风险,并争取获得中、高产气井和控制高丰度储量。只有采用最先进理论和技术,本领域才能获得生命活力,以利于大面积展开。至于6 000 m以深部分,必须根据上部勘探掌握的规律和经验后,伺机向下开拓。

领域(I-B)目的层埋深在6 000 m以下,含气砂岩已超致密化,是原来深盆地丰度最高地区(生、储条件最好),目前大量天然气压缩在基本不连通的孔隙中,可暂不考虑。

在北大坡中,地震剖面上往往见到从侏罗系通至白垩系的断层,油气进入白垩系砂岩,有泥岩夹层及下第三系安集海河组(E_{2-3a})作区域封盖层,可能形成上翘尖灭和岩性气藏,应统筹考虑。

3.2 山前构造带(II)

本区侏罗系及其下伏的二叠-三叠系烃源岩厚度大,生气强度非常高(图1)。燕山及早喜山期构造相当活跃^[23],古构造及地层岩性圈闭发育。推测在白垩-下第三纪期间适时形成过一批侏罗系大型油气藏,并且完善了巨型深盆地。上第三纪-第四纪,天山推挤隆升和山前急速沉降并行,彻底改变了淮南坳陷中心及南侧石油地质格局。

(1) 领域(II-A)山前推覆构造浅层次生气藏(呼图壁型)。喜山晚期三排推挤扭动构造带的多数局部背斜圈闭定型。构造带通至深部的烃源断层发育,其上又有安集海河组高压泥岩封隔^[24],诸多有利条件相互配套形成远源次生气藏。该领域是淮南坳陷当前最现实的勘探领域,可选择压力封隔完整和剪切扩容的有利构造^[7]优先勘探。但是,大储量次生气藏要求深部气源的充分供给,因此,只有早期的适时聚集并有晚期构造裂缝发育重新组成的气藏,才有充足的供气源头。本领域找到气藏、气井不难,找到富集次生气藏则仍很艰难,必须深入进行地质发展史的研究。

(2) 领域(II-B)深部侏罗系裂缝重组气藏。该领域气源丰度高,成藏地质条件有利,天然气地质资源量可能比淮南其他领域要多。但除边缘构造外,埋深都在6 000 m以下,钻井条件又特别复

杂,很难开展工作。但考虑到目前成藏理论和勘探技术皆有长足的进步,应该开始对深部气藏聚集规律及其可行性进行研究。淮南坳陷中心及南侧陡坡,初步推定侏罗系在白垩-下第三纪时期曾形成过一批大、中型油气田,随后成为深盆地中心。上第三纪-第四纪侏罗系油气田深埋至10 000 m以下,储层基本超致密化而失去资源意义。但在喜山运动多期推挤扭动构造作用下,晚期定型的一大批构造圈闭,断层、裂缝发育,有可能重新组成一批气藏,在古、今圈闭叠合处形成大储量高产区。由于北天山对盆地的推挤作用,侏罗系普遍有所抬升,第一排构造有些侏罗系已接近地表,二、三排背斜抬升1~3 km,给超深层油气勘探带来希望。

4 小结

上述(I-A, II-A, II-B)三个领域都有相当的天然气资源量。但由于埋藏深和成藏条件复杂,侏罗系气藏反而难以列入勘探视线,甚至有关论述也极少。随着准噶尔盆地油气开发的高度成熟,抗风险能力的增强,以及高新技术的应用,这些深部的资源将会引起重视。回忆1995年前后,轮南-塔河地区三叠系次生油藏火热之时,下古生界油气探井连连失利而跌入低潮,但仍有坚持奥陶系油气具有更大远景的观点^[25],历史已作了回应。当然,淮南坳陷侏罗系比塔北地区奥陶系埋藏更深,地质规律更为复杂,风险更高。因此,成藏理论的研究必须走在前头;采用高新地震技术尽可能摸清、搞准深部情况;然后考虑超深科学探井,步步为营,努力取得突破。

参 考 文 献

- 1 王金琪. 中国大型致密砂岩含气区展望[J]. 天然气工业, 2000, (1): 10~15
- 2 况军, 刘得光. 准噶尔盆地南缘与塔里木盆地库车坳陷天然气成藏条件对比[J]. 新疆地质, 2001, 22(4): 287~290
- 3 王屿涛, 蒋少斌, 李海伟. 准噶尔盆地南缘天然气特征分析及勘探目标选择[J]. 天然气工业, 1997, (5): 77~78
- 4 王震亮, 陈荷立, 宋岩. 准噶尔盆地侏罗系天然气特征[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 133~136
- 5 李耀华. 淮南前陆盆地油气成藏条件及有利勘探区[II]. 天然气工业, 2002, (增刊), 51~55
- 6 吴晓志, 王立宏, 宋志理. 准噶尔盆地南缘构造应力场与油气运聚关系[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(2): 97~100

(下转第512页)

大,已被证实是本区主力油田的烃源灶,因此,目标区内油源条件好。

综上所述,从圈闭条件、储集条件、盖层条件、封堵条件和油源条件等方面综合来看,I号目标是本区AG组的最有利勘探目标。

致谢:在研究过程中,得到了童晓光的技术指导以及雷鸣、张杰的诸多帮助。窦立荣、潘校华、程顶胜在资料收集和交流讨论等方面提供了大力支持。在此,谨表示诚挚谢意。

参 考 文 献

- 徐怀大.寻找非构造油气藏的新思路[J].勘探家,1996,1(1): 43~ 47
- 徐怀大.从地震地层学到层序地层学(代序)[A].见:徐怀大,赵政璋,樊太亮,等.从地震地层学到层序地层学——油气盆地的定性化与量化描述[C].北京:石油工业出版社,1997. 1~ 10
- 薛良清.层序地层分析在裂谷盆地油气勘探中的应用[J].石油学报,2000,21(5): 7~ 11
- Hubbard R J. Age and significance of sequence boundaries on Jurassic and early Cretaceous rifted continental margins[J]. AAPG Bull, 1988, 72(1): 49~ 72
- McHargue T R, Heidrick T L, Livingston J E. Tectonostratigraphic development of the interior Sudan rifts, Central Africa[J]. Tectonophysics, 1992, 213: 187~ 202
- 王秀林,汪望泉,李素珍,等.M盆地的构造特征及与油气的关系[J].石油与天然气地质,2000,21(1): 76~ 79
- 张亚敏,陈发景.穆格莱德盆地形成特点及勘探潜力[J].石油与天然气地质,2002,23(3): 236~ 240
- 童晓光,窦立荣,田作基,等.苏丹穆格莱德盆地的地质模式和成藏模式[J].石油学报,2004,25(1): 19~ 24
- 徐怀大.陆相层序地层学研究中的某些问题[J].石油与天然气地质,1997,18(2): 83~ 89
- 薛良清.湖相盆地中的层序、体系域与隐蔽油气藏[J].石油与天然气地质,2002,23(2): 115~ 120
- 张功成,陈新发,刘楼军,等.准噶尔盆地结构构造与油气分布[J].石油学报,1999,20(1): 13~ 18
- 新疆油气区石油地质志(上册)编写组.中国石油地质志(卷十五):新疆油气区上册“准噶尔盆地”[M].北京:石油工业出版社,1993. 277~ 279
- 高瑞祺,赵政璋.中国油气新区勘探(二卷):中国陆上天然气勘探新领域[M].北京:石油工业出版社,2001. 229~ 236
- 胡社荣,侯慧敏,吴因业.西北侏罗系煤成油研究中的煤田地质学方法[J].石油学报,1997,18(4): 14~ 17
- 邱东洲,余谦.中西部新一论油气资源战略接替区评选[J].新疆石油地质,2002,23(6): 456~ 465
- 邱楠生,查明,王绪龙.准噶尔盆地演化历史模拟[J].新疆石油地质,2000,21(1): 38~ 41
- 张义杰,王绪龙,刘得光.准噶尔盆地天然气资源勘探战略与对策[J].新疆石油地质,2001,22(5): 386~ 389
- 张年富,准噶尔盆地腹部莫索湾油气成藏条件与成藏模式[J].石油勘探与开发,2001,(5): 17~ 20
- Mcpeek L A. Eastern Green River Basin: a dereloping giant gas supply from deep, overpressured upper Cretaceous sandstones[J]. AAPG Bull, 1991, 75(6): 1 078~ 1 098
- Law B E, Dickinson W W. Conceptaal model for origin of abnormally pressured gas accumulations in low-permeability reservoirs[J]. AAPG Bull, 1985, 69(8): 1 295~ 1 304
- 孙自明,何治亮,牟泽辉.准噶尔盆地南缘构造特征及有利勘探方向[J].石油与天然气地质,2004,25(2): 216~ 220
- 王屿涛,谷斌,王立宏.准噶尔盆地南缘油气成藏聚集史[J].石油与天然气地质,1998,19(4): 291~ 294
- 王绪龙,康素芳.准噶尔盆地腹部及西北缘斜坡区原油成因分析[J].新疆石油地质,1999,20(2): 108~ 112
- 王屿涛,徐长胜,王静.准噶尔盆地石南油气田成藏史分析[J].石油勘探与开发,1999,26(1): 28~ 31
- 邱中建,龚再升.中国油气勘探(第二卷)“西部油气区”[M].北京:石油工业出版社,1999. 343~ 345
- 张年富,齐雪峰,王英民.准噶尔盆地侏罗系 III 层序底界上下砂体预测与有利区评价[J].石油与天然气地质,2002,23(2): 145~ 149
- 宋岩.准噶尔盆地天然气聚集区带地质特征[M].北京:石油工业出版社,1995. 56~ 57
- 赵桂萍.准噶尔盆地南缘异常高压及其与油气成藏关系[J].石油与天然气地质,2003,24(4): 327~ 331
- 王金琪.塔里木盆地油气活动史观[A].见:康玉柱.中国塔里木盆地石油地质文集[C].北京:地质出版社,1996. 16~ 26

(上接第 500 页)