

文章编号: 1001-6112(2011)01-0050-06

塔里木盆地巴楚隆起油气保存条件与勘探方向

顾 忆¹, 邵志兵¹, 赵 明², 何光玉³

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151;

2. 中国石油化工股份有限公司 西北油田分公司, 乌鲁木齐 830011; 3. 浙江大学, 杭州 310027)

摘要: 巴楚隆起经历了加里东中期(晚奥陶世末)、海西早期(中泥盆世末)、海西晚期(晚二叠世)、印支—燕山和喜马拉雅等多次构造运动, 其中喜马拉雅中期运动是其最重要的隆起形成期。不同期次的构造演化对该区油气保存条件影响极大。中寒武统膏盐岩、中、下石炭统泥岩、下二叠统库普库兹满组泥岩是区内较好的区域性盖层。综合分析盖层特征及油气保存条件影响因素, 认为巴楚隆起平面上存在巴楚隆起南缘和巴楚隆起东部 2 个保存条件较好的部位, 纵向上存在中、下寒武统盐下保存条件比较好的层位, 巴楚隆起南缘、巴楚隆起东部及中下寒武统盐下是下步有利的勘探区带。

关键词: 油气保存条件; 盖层; 勘探方向; 巴楚隆起; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

Hydrocarbon preservation and exploration in Bachu Uplift of Tarim Basin

Gu Yi¹, Shao Zhibing¹, Zhao Ming², He Guangyu³

(1. *Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China;*

2. *SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China;*

3. *Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)*

Abstract: The Bachu Uplift of the Tarim Basin had experienced several tectonic movements during the middle Caledonian (the end of the Late Ordovician), the early Hercynian (the end of the Middle Devonian), the late Hercynian (the Late Permian), the Indosinian—Yanshanian and the Himalayan, among which the middle Himalayan was the most important stage for uplift formation. Different stages of tectonic movements had great effects on hydrocarbon preservation conditions. The Middle Cambrian gypsum-salt rocks, the Middle—Lower Carboniferous mudstones and the Lower Permian Kupukuziman Formation mudstones were good regional cap rocks in the region. Based on integrated analyses of seal properties and hydrocarbon preserving conditions, it was pointed out that there were 2 locations with better conditions for hydrocarbon preservation in the uplift: the southern margin and the east part. Vertically, horizons under the Middle—Lower Cambrian salts were favorable for preservation. Therefore, the southern margin and the east part of the Bachu Uplift as well as the Middle—Lower Cambrian subsalt reservoirs are the favorable targets for future petroleum exploration.

Key words: hydrocarbon preservation condition; cap formation; exploration directions; Bachu Uplift; Tarim Basin

巴楚隆起位于塔里木盆地西部, 构造位置处于塔里木盆地中央隆起区的西段, 呈北西—南东向展布, 面积约 47 500 km²。巴楚隆起油气勘探始于 1950 年代后期, 迄今已发现巴什托油气藏、亚松迪油气藏、乌山气藏以及和田河气田, 是塔里木盆地重要的含油气区, 但勘探程度较低。2007 年以来, 中国石化对巴什托油田 BK2, BK3, BK4H 等一系

列井的钻探, 相继在石炭系、泥盆系获得工业油气流和良好的油气显示, 特别是 BK2 井在上泥盆统东河塘组和中上泥盆统克孜尔塔格组上部砂岩段获得油气的突破, 推动了巴—麦地区向深部扩展勘探。之后钻探的巴探 4 井在二叠系、石炭系、泥盆系录井见有良好的油气显示; 巴什托油田 BK8 井在泥盆系克孜尔塔格组亦获工业油气流, 均表明巴

收稿日期: 2010-09-07; 修订日期: 2010-12-19。

作者简介: 顾忆(1962—), 男, 教授级高级工程师, 主要从事油气地质研究工作。E-mail: guyi_syky@sinopec.com。

基金项目: 国家科技重大专项项目(2008ZX05005-002)资助。

楚隆起具有较大的油气勘探潜力。

1 构造特征及其演化

塔里木盆地是一长期发育在多种板块构造运动体制下,由多种类型原型盆地经改造叠合而成的大型复合型盆地^[1]。早古生代,巴楚隆起与麦盖提斜坡、塔西南坳陷、阿瓦提坳陷为一统一的稳定克拉通盆地。海西晚期,巴楚隆起西北部开始抬升,但巴楚隆起中、东部仍为一水下低隆。早、中三叠世成为一南东倾浅凹,中三叠世后发生的印支—燕山运动使巴楚地区抬升,巴楚隆起的雏形形成。中

新世末的喜马拉雅中期运动使巴楚隆起基本形成。而上新世末的喜马拉雅晚期运动,则使巴楚隆起定型。因此,巴楚隆起并不完全是一个继承性古隆起,其形成既与西昆仑、南天山隆升活动有关,又与柯坪弧形推覆体有关(图 1)。

总体来看,巴楚隆起在古生代与阿瓦提坳陷、麦盖提斜坡统一发展,中生代隆坳过渡,新生代对立发展。巴楚隆起在早古生代为一北东倾斜坡,至晚古生代为一南东倾水下低隆,到中生代则为一南东倾浅凹,至新生代才成为南东倾断隆,因此不完全是一个继承性的古隆起。

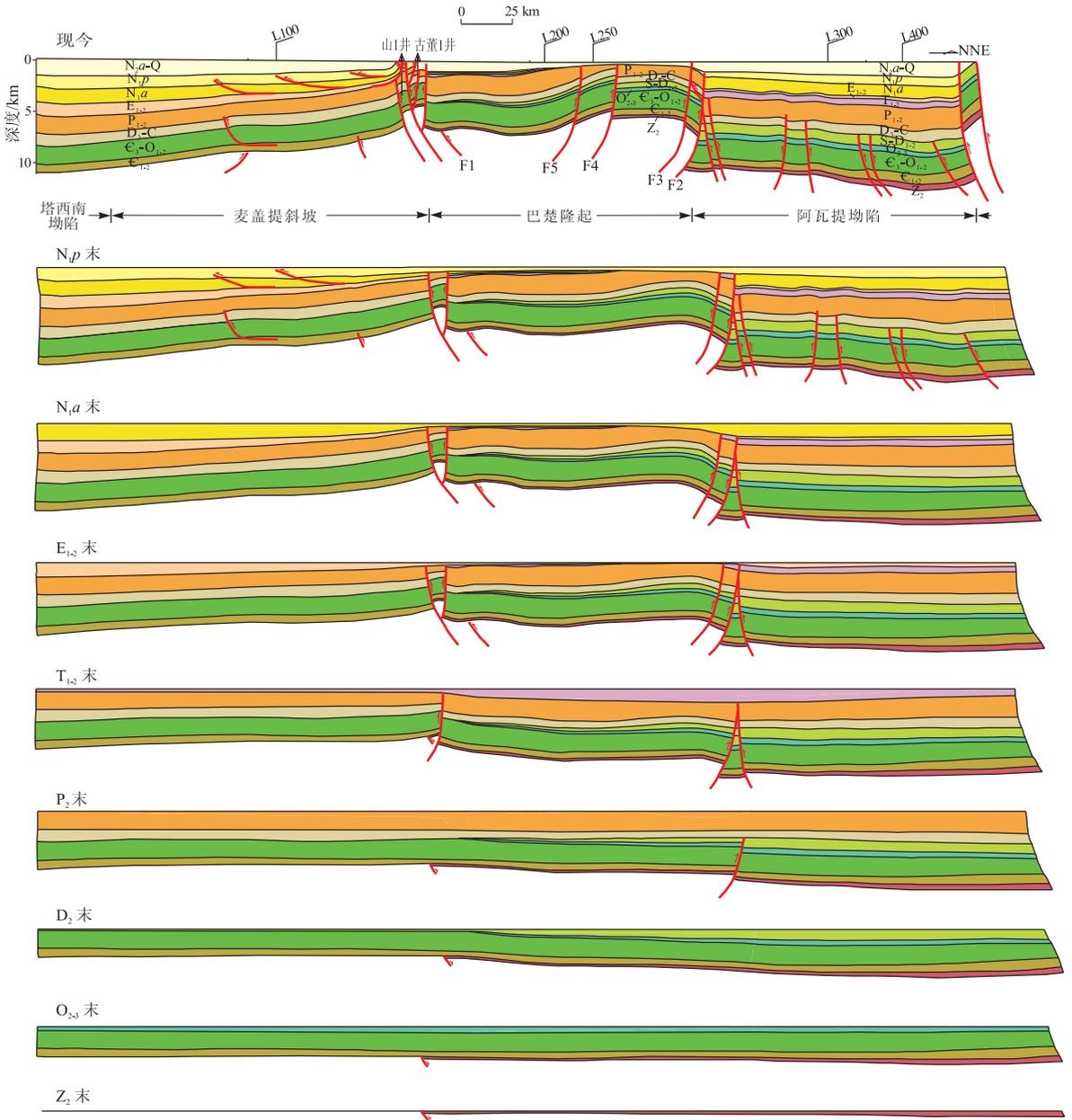


图 1 塔里木盆地巴楚隆起区域地震测线 Z15 构造发育史剖面

F1. 玛扎塔格断裂;F2. 吐木休克 I 号断裂;F3. 吐木休克 II 号断裂;F4. 卡拉沙依 I 号断裂;F5. 卡拉沙依 II 号断裂

Fig. 1 Tectonic evolution along seismic line Z15 in Bachu Uplift, Tarim Basin

2 油气保存条件

勘探实践表明,巴楚隆起油气储层主要发育于寒武—奥陶系及石炭系碳酸盐岩、泥盆系碎屑岩储层^[2]。

寒武—奥陶系碳酸盐岩储层岩石类型主要有白云岩、灰岩及其过渡岩类。主要分布于下寒武统肖尔布拉克组、上寒武统丘里塔格下亚群和奥陶系丘里塔格上亚群(蓬莱坝组、鹰山组、一间房组)。灰岩主要分布于中、下奥陶统上部,中、下奥陶统下部和寒武系则以白云岩为主,灰岩较少。寒武—奥陶系沉积、成岩之后,经历了加里东期至印支—燕山期的多次构造抬升、暴露、剥蚀,形成了分布较广泛的岩溶作用。表生风化壳岩溶是本区寒武—奥陶系碳酸盐岩储层的主要成因。

石炭—二叠系碳酸盐岩储层主要发育于下二叠统南闸组、上石炭统小海子组和下石炭统巴楚组生屑灰岩段。浅滩、蒸发潮坪相带控制了储层的发育,白云石化、溶蚀、破裂作用是控制碳酸盐岩储层发育的主要因素,台缘浅滩是白云石化储层发育的有利地区。

泥盆系碎屑岩储层主要发育于上泥盆统东河塘组一中、下泥盆统克孜尔塔格组上部。

2.1 盖层特征

碳酸盐岩储层的盖层岩性主要为泥岩、膏盐岩和致密碳酸盐岩。泥岩主要分布于下二叠统库普库兹满组、下石炭统巴楚组泥岩段、志留系依木干他乌组、柯坪塔格组 and 上奥陶统。膏盐岩主要分布于中寒武统和中、下石炭统卡拉沙依组,致密碳酸盐岩分布于下寒武统一奥陶系和下二叠统南闸组、石炭系。

2.1.1 中寒武统膏盐岩

钻井揭示,中寒武统阿瓦塔格组普遍发育的膏岩、盐岩及泥岩是良好的区域盖层。据同 1、方 1、和 4 及和田 1 井统计,膏盐岩累计厚度分别为 150, 179, 158, 193 m, 分别占层厚的 39.3%, 52.8%, 47.7%, 58.1%。根据中寒武统沉积微相中钻井膏盐岩厚度占地层总厚的比例,以中寒武统地层厚度为基础,预测了巴楚隆起中寒武统膏盐岩厚度分布(图 2)。

2.1.2 志留系依木干他乌组泥岩

依木干他乌组泥岩厚 150~270 m,占地层厚度 65%~92%,单层厚一般 2~10 m,最厚达 61 m。该层厚度稳定,全区分布,为区域性泥岩盖层。和田 1 井依木干他乌组泥岩突破压力大,平均为 7.71 MPa,

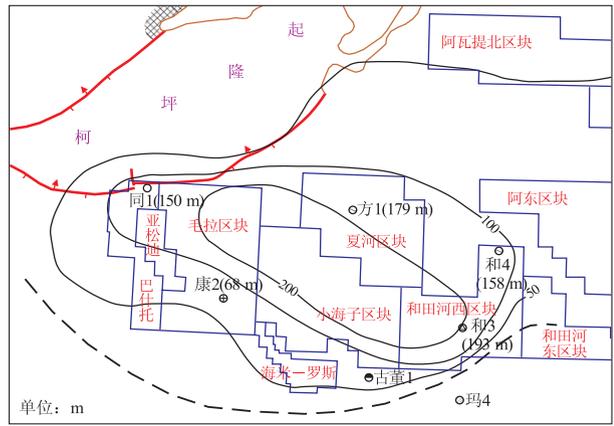


图 2 塔里木盆地巴楚隆起中、下寒武统膏盐岩厚度分布

Fig. 2 Thickness of gypsum-salt rocks in Middle-Lower Cambrian, Bachu Uplift, Tarim Basin

是区内东部很好的区域性盖层。

2.1.3 中下石炭统泥岩

下石炭统巴楚组泥岩为潮坪相沉积,以泥岩为主,夹含膏泥岩、粉砂质泥岩,泥岩厚 32~176.5 m,占地层总厚 80%以上,分布集中,单层厚度 4~12 m,为区域性盖层。中、下石炭统卡拉沙依组下段为潮坪相—局限台地相沉积,膏质泥岩、膏岩、泥岩、泥灰岩和致密碳酸盐岩互层。该组岩性组合变化较大,局部膏岩可达数十米,如麦 6 井、玉 1 井、康 2 井等,泥岩最厚可达 100 多米,向西碳酸盐岩增多。该层段区域分布稳定,是较好的区域性盖层。

2.1.4 下二叠统库普库兹满组泥岩

库普库兹满组为泥岩、粉细砂岩不等厚互层,泥岩厚 100~500 m,占地层 50%~90%左右,单层厚 5~15 m,最大单层厚度大于 30 m,向北剥蚀减薄,如巴 5 井、方 1 井等已剥蚀殆尽,但总体该组泥岩厚度大,分布稳定,是较好的区域性盖层。

2.2 构造演化与油气保存条件

巴楚隆起经历了加里东中期(晚奥陶世末)、海西早期(中泥盆世末)、海西晚期(晚二叠世)、印支—燕山和喜马拉雅等多次构造运动,其中喜马拉雅中期是其最重要的隆起形成期。不同期次的构造演化对油气保存条件影响极大。

2.2.1 加里东中期至海西早期

加里东中期至海西早期构造运动,造成巴什托、亚松迪、毛拉及小海子区块西部缺失上奥陶统,小海子区块东南部玛扎塔格构造带上奥陶统一泥盆系缺失,中、下奥陶统长期裸露,对海西早期形成的油气保存不利。

2.2.2 海西晚期

海西晚期构造运动使巴楚地区发生构造反转,

由先前的向南东倾伏的鼻状隆起转变为向北西倾伏的向斜带,沉积盖层遭受不同程度剥蚀。方1井、古董1井揭示,二叠系和石炭系大部分被剥蚀,导致泥盆、志留系埋藏变浅,保存条件不利。

2.2.3 喜马拉雅早期

喜马拉雅早期运动使南北两侧的断裂以及西北侧的柯坪断裂开始活动,巴楚隆起雏形开始形成。喜马拉雅中期运动使巴楚及其邻区处于强烈的南北向挤压兼走滑应力场中,两侧边界断裂强烈活动,对巴楚隆起北部早期形成油气藏或局部构造有较大的破坏作用。

南部古生界在断裂逆冲作用下形成牵引背斜为主,海西晚期是本地区早期局部构造的主要形成期,且后期(尤其是喜马拉雅中期)对其破坏作用强度相对于巴楚隆起北缘和西北部要弱,古生界保存相对完整,油气保存条件较好。

2.3 断裂活动对油气保存条件的影响

区内发育多条逆断层和压扭断层,这些断层主要形成于加里东中期、海西早期、海西晚期、印支—燕山期以及喜马拉雅早、中、晚期。其中以喜马拉雅中期最为发育,其次是喜马拉雅早期和晚期,再次是海西晚期和印支—燕山期,海西早期和加里东中期相对最不发育。这些断裂在巴楚隆起西段(巴什托、亚松迪、毛拉区块)和东段(小海子、夏河与和田河东、西区块)具有不同的发育特征,对区内保存条件有不同的影响。

西部巴什托—亚松迪—毛拉区块以发育喜马拉雅期,特别是喜马拉雅中期的逆断层和压扭断层为主,东部小海子、夏河与和田河东、西区块发育的断层不仅有海西晚期和喜马拉雅早、中、晚期,而且还有加里东中期、海西早期和印支—燕山期。分析表明,巴楚隆起东、西部的断裂具有明显不同的活动特征,东部活动早,现今断裂大多自晚震旦世就已经开始了活动;而西部活动晚,现今断裂大多晚至喜马拉雅早期才开始活动。因此,喜马拉雅早期以前,巴楚隆起的西部明显比东部要稳定。喜马拉雅早期以后,巴楚隆起的东部要比西部稳定。

2.4 火山活动对油气保存条件的影响

巴楚隆起南部,早二叠世晚期火山喷发活动频繁,基性玄武岩大面积分布(康2井厚210 m,山1井厚约450 m,玛4井厚279 m,巴东4井厚约380 m),基性辉绿岩顺层侵入寒武系—奥陶系碳酸盐岩,康2井下奥陶统在井深3 391.5~3 815 m夹辉绿岩,中寒武统在井深5 311~5 556.5 m夹2层巨厚层辉绿岩,方1井在寒武系—下奥陶统夹2

层辉绿岩,共厚38 m,伽1、巴5、皮1、和4、和3等井寒武系—志留系均钻遇辉绿岩,但未见岩株、岩筒等垂直沉积层的刺穿侵入活动现象。基性辉绿岩的顺层侵入活动使寒武—奥陶系碳酸盐岩等顶、底板围岩产生强烈热蚀变作用,但影响范围一般仅2~4 m,重力、航磁异常图上无明显异常,表明对古生界油气藏的破坏有限。

在隆起北部,海西晚期构造运动除发生断裂逆冲作用下形成牵引背斜构造外,并伴随有较大规模的岩浆侵入和火山喷发活动,尤其是岩浆侵入的刺穿活动对古生界油气藏的破坏性较大,不利于油气保存,如小海子水库、瓦吉里塔格等地区的海西晚期的岩浆侵入形成的岩筒、岩株等。

3 油气勘探方向

3.1 油气成藏条件

3.1.1 烃源岩及其演化

塔西南地区主要发育寒武系—奥陶系和石炭系2套烃源岩^[3-4]。最近研究认为,塔西南坳陷和阿瓦提坳陷2个有利的油气源区主要发育中、下寒武统,中、上奥陶统和石炭系3套烃源岩。中、下寒武统烃源岩以潟湖相碳酸盐岩为主,中、上奥陶统烃源岩以斜坡相泥质岩为主,石炭系烃源岩以泥质岩为主,碳酸盐岩次之^[5]。

中、下寒武统烃源岩厚度大、分布广,主要发育与蒸发潟湖—浮游藻有机相有关的烃源岩,有机质丰度中等,TOC平均0.5%~1.0%。在塔里木盆地中西部地区该套烃源岩最厚可达200 m,一般为100~150 m。中上奥陶统在麦盖提斜坡及塔西南坳陷缺失,厚度不大。与本区有关的中上奥陶统烃源岩主要发育于阿瓦提坳陷中、上奥陶统萨尔干组、上奥陶统因干组源岩。石炭系烃源岩泥质岩和碳酸盐岩均有分布,并以泥质岩为主。泥质烃源岩分布以玛参1井为中心,最大厚度约100 m;碳酸盐岩烃源岩厚度相对较小,最大厚度位于群5井,约厚50 m,沿群5—山1—玛4井一带为烃源岩发育带,厚度约30~40 m。石炭系烃源岩总厚度在10~140 m,其成熟期与圈闭形成期相配套,有利于烃类的运移和聚集。

中、下寒武统在加里东晚期—海西晚期大量生油,主体区在印支—燕山期后生烃停滞,麦盖提斜坡、塔西南和阿瓦提坳陷烃源岩在喜马拉雅期大量生气,为本区提供了丰富的油气资源。中、上奥陶统烃源岩在麦盖提斜坡缺失,在巴楚隆起主体自海西晚期以来基本处于演化停滞状态,其主要烃源岩

区位于阿瓦提坳陷,海西晚期以来仍可大量生烃。

石炭系烃源岩分布较为局限,主要分布于麦盖提斜坡和塔西南坳陷,喜马拉雅期成熟度可达到成熟—高成熟阶段,可为本区提供一定的油气资源。巴楚隆起烃源岩成熟度低,对油气的贡献小。

3.1.2 有利储盖组合

根据储盖组合中储集性能和封盖能力的优劣,结合区域分布及油气(水)产出情况,认为本区主要的储盖组合有:

1)中寒武统膏盐岩为盖层下寒武统白云岩为储层的储盖组合和上寒武一中、下奥陶统,中、下寒武统层内储盖组合。

中寒武统膏盐岩厚度大、分布广,是本区最好的区域性盖层,其下部中下寒武统白云岩发育较好的溶蚀孔洞型储层,该储盖组合全区分布。方 1 井在该储盖组合中产水,目前尚未发现此类油气藏。但从白云岩的储集性和膏盐岩的封盖能力来看,两者的配置无疑是完美的,综合分析认为该储盖组合为 I—II 级储盖组合。

中寒武统上下膏盐岩段之间发育 40 m 灰岩、白云质灰岩,溶蚀孔洞发育,为较好储层,构成较好的层内储盖组合,下寒武统内部的白云岩溶蚀孔洞型储层与同层不渗透性泥粉晶白云岩也可组成较好的层内储盖组合。

中、下奥陶统下部—上寒武统白云岩溶蚀孔洞型储层发育,储层段厚度大,储层质量也优于中、下寒武统,钻井过程中漏失严重,和 4 井产水,其盖层主要为层内不渗透层,因而该层内储盖组合也是较好的储盖组合。

2)上奥陶统为盖层、中下奥陶统碳酸盐岩为储层的储盖组合。

中、下奥陶统碳酸盐岩主要发育中等—差的表生风化壳岩溶型储层,其盖层东部为上奥陶统,封盖条件较好,方 1 井该组合产水,总体评价为 II—III 级储盖组合;西部为志留系,盖层条件较差。

3)下志留统塔塔埃尔塔格组、依木干他乌组泥岩、粉砂质泥岩为盖层,上寒武统一中、下奥陶统碳酸盐岩为储层的储盖组合。

以上寒武—下奥陶统灰岩、云岩互层段灰岩、云岩为生、储层,以下志留统塔塔埃尔塔格组、依木干他乌组泥岩、粉砂质泥岩为盖层的储盖组合发育于巴楚隆起志留—泥盆系覆盖区域,如伽 1、康 2 等井皆为此种组合形式,目前尚未发现油气藏。

4)下石炭统巴楚组泥岩为盖层、泥盆系碎屑岩、中下奥陶统为储层的储盖组合。

C_1b/O_{1-2} 是本区最好的储盖组合,巴楚组中段以泥质岩为主,厚 67~120 m,为区域性优质盖层,中、下奥陶统上部为表生风化壳岩溶型储层,与巴楚组底部砂砾岩一起组成储层。该组合分布于巴楚隆起志留—泥盆系缺失区域的山 1 井—玛扎塔格一带及其南部,已发现和田河气田和山 1 井气藏。

C_1b/D_3d 也是本区重要的储盖组合,已在 BK4H, BK8 井获工业油气流。

5)中、下石炭统卡拉沙依组为盖层、巴楚组上段(生屑灰岩段)为储层的储盖组合。

卡拉沙依组下段岩性为泥、膏岩,致密碳酸盐岩,为较好的区域性盖层,巴楚组上段孔隙—裂隙型储层发育,巴什托、亚松迪及和田河气田在该组合中已发现油气藏,为较好的储盖组合。

6)下二叠统库普库兹满组为盖层、下二叠统南闸组 and 上石炭统小海子组为储层的储盖组合。

库普库兹满组以泥岩为主,累计厚 100~500 m,为区域性盖层,南闸组和小海子组储层为云岩、颗粒灰岩、发育粒间、粒内溶蚀孔、晶间孔、晶间溶孔,为好—较好储层,已发现巴什托、亚松迪油气藏,为好—较好储盖组合。小海子组内的储盖组合分布于巴什托—亚松迪一带及以北地区。

3.2 有利勘探区带

综上所述,巴楚隆起平面上存在南缘和东部 2 个保存条件较好的部位,纵向上存在中下寒武统盐下保存条件比较好的层位。因此,巴楚隆起南缘、东部及中下寒武统盐下是下步有利的勘探区带。

3.2.1 巴楚隆起南缘

从区域构造保存条件分析,巴楚隆起南缘构造活动(尤其是喜马拉雅期)相对北缘弱,岩浆侵入活动较弱,南部以海西期形成的牵引背斜构造为主,海西晚期发育的局部构造的保存条件相对于北部及西北部要好,受到的后期(喜马拉雅晚期)的破坏作用相对较弱,利于早期形成的油气藏的保存,也是喜马拉雅中晚期油气运移指向的前缘。

3.2.2 巴楚隆起东部

巴楚西部隆起早(晚泥盆世—石炭纪),东部隆起晚(晚三叠世—早白垩世)。但巴楚西部断隆的形成时间是在古近纪时期,明显要晚于东部断隆(晚三叠世—早白垩世)。这种形成时间上的差异,实际上就是巴楚东部断隆与西部断隆走向明显不一致的根本原因。因此西部形成的早期构造有比较好的保存条件,对早期形成的油气藏的保存极为有利。但由于巴楚隆起大部分局部构造形成于喜马拉雅中期及其以后,晚期形成的断裂对油气藏的

保存起着至关重要的作用。因此,从保存条件来说巴楚隆起东部显然强于西部。

3.2.3 中、下寒武统盐下

从钻井及地震资料来看,巴楚隆起中、下寒武统广泛分布膏盐岩,一般膏盐岩厚度在 200 m 左右。膏盐岩的封盖性能是毋庸置疑的,由于膏盐的塑性较大,上部的断裂可沿膏盐面滑脱,构造运动对盐下的白云岩储层影响较小,若有合适的圈闭和油气来源就可以形成油气藏,其中和田 1 井盐间见到气测显示,即与膏盐岩的较好的保存条件有关。

参考文献:

[1] 丁文龙,林畅松,漆立新,等. 塔里木盆地巴楚隆起构造格架及形成演化[J]. 地学前缘,2008,15(2):242-252.

[2] 陈强路,周凌方,张根法,等. 塔里木盆地巴楚—麦盖提地区油气勘探领域评价[J]. 石油实验地质,2009,31(4):343-349.

[3] 高志龙. 塔里木盆地巴楚隆起烃源岩特征及其油气源研究[J]. 石油实验地质,2000,22(4):319-324.

[4] 马红强,王恕一,蔺军. 塔里木盆地巴楚—麦盖提地区油气运聚与成藏[J]. 石油实验地质,2006,28(3):243-247.

[5] 吕修祥,周新源,皮学军,等. 塔里木盆地巴楚凸起油气聚集及分布规律[J]. 新疆石油地质,2002,23(6):489-492.

(编辑 黄 娟)



(上接第 49 页)

参考文献:

[1] Magara K. Giant oil accumulations and their real concentration efficiency[J]. Bull Geol Soc Malaysia,1993,33:303-311.

[2] 邱蕴玉. 扬子区海相地层油气保存单元的划分与评价[J]. 海相油气地质,1996,1(3):39-44.

[3] 郭彤楼,楼章华,马永生. 南方海相油气保存条件评价和勘探决策中应注意的几个问题[J]. 石油实验地质,2003,25(1):3-9.

[4] 马永生,楼章华,郭彤楼,等. 中国南方海相地层油气保存条件综合评价技术体系探讨[J]. 地质学报,2006,80(3):406-417.

[5] 陈洪德,倪新锋,刘文均,等. 中国南方盆地覆盖类型及油气成藏[J]. 石油学报,2008,29(3):317-323.

[6] 王津义,涂伟,曾华盛,等. 黔西北地区天然气成藏地质特征[J]. 石油实验地质,2008,30(5):445-449.

[7] 胡晓凤,郭永强,何文斌. 从盖层演变与油气演化配置看湘鄂西油气保存条件[J]. 江汉石油科技,2006,10(2):16-20.

[8] 柳广弟,李剑,李景明,等. 天然气成藏过程有效性的主控因素与评价方法[J]. 天然气地球科学,2005,16(1):1-6.

[9] Magoon L B, Dow W G. The petroleum system from source to trap[M]. Tulsa: AAPG,1994.

[10] 吴元燕,平俊彪,付建林,等. 中国油气藏破坏类型及分布[J]. 地质论评,2002,48(4):377-383.

[11] 姚雪根. 四川盆地天然气藏的破坏与保存条件剖析[J]. 海相油气地质,2007,12(4):21-36.

[12] 邓模,吕俊祥,潘文蕾,等. 鄂西渝东地区油气保存条件分析[J]. 石油实验地质,2009,31(2):202-206.

[13] Runar Nygard, Marte Gutierrez, Rolf K. Bratli, et al. Brittle - ductile transition, shear failure and leakage in shales

and mudrocks[J]. Marine and Petroleum Geology, 2006, 23:201-212.

[14] 武蔚文. 贵州东部若干古油藏的形成和破坏[J]. 贵州地质,1989,18(1):9-21.

[15] 王强,张渠,腾格尔,等. 黔东南地区寒武系固体沥青的油源分析[J]. 石油实验地质,2009,31(6):613-615.

[16] 赵泽恒,张桂权,薛秀丽. 黔中隆起下组合古油藏和残余油气藏[J]. 天然气工业,2008,28(8):39-42.

[17] 刘树根,马永生,孙玮,等. 四川盆地威远气田和资阳含气区震旦系油气成藏差异性研究[J]. 地质学报,2008,82(3):328-336.

[18] 罗璋. 余杭泰山古油田[J]. 浙江地质,1995,11(1):63-68.

[19] 赵孟军,张水昌,赵陵,等. 南盘江盆地古油藏沥青、天然气的地球化学特征及成因[J]. 中国科学 D 辑:地球科学,2007,37(2):167-177.

[20] 张义纲. 天然气的生成聚集和保存[M]. 南京:河海大学出版社,1991.

[21] 王守德,郑冰,蔡立国. 中国南方古油藏与油气评价[J]. 海相油气地质,1997,2(1):44-50.

[22] 刘光祥,王守德,潘文蕾,等. 四川广元天井山古油藏剖析[J]. 海相油气地质,2003,8(1-2):103-107.

[23] 李艳霞,钟宁宁. 川东石炭系原油裂解型气藏成藏史分析[J]. 石油与天然气地质,2007,28(2):275-279.

[24] 王清晨,蔡立国. 中国南方显生宙大地构造演化简史[J]. 地质学报,2007,81(8):1205-1040.

[25] 郭旭升,梅廉夫,汤济广,等. 扬子地块中、新生代构造演化对海相油气成藏的制约[J]. 石油与天然气地质,2006,27(3):295-305.

(编辑 徐文明)