

文章编号: 0253-9985(2007)02-0299-10

含油气盆地中膏盐岩层对油气成藏的重要影响

赵振宇^{1,2}, 周瑶琪^{1,2}, 马晓鸣², 冀国盛²

(1. 中国石油大学 油气资源与环境地质研究所, 山东 东营 257061;

2. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257062)

摘要: 多数盆地的膏盐岩为蒸发成因, 部分地区则为深部热卤水作用的产物。研究表明: 膏盐岩的形成环境 (主要是陆相湖盆蒸发环境) 有利于有机质的保存, 为油气生成提供物质保障。深部热卤水作用致使深部热流体上侵, 将提高烃源岩的油气转化效率以及为无机油气藏的形成提供了条件。膏盐岩能使其下部地层保持较高的孔隙度并且形成次生孔裂隙 (但也可堵塞下部地层原生孔隙), 同时本身也可成为油气的运移通道或储集空间, 是其下部异常高压系统得以形成的重要条件, 有利于油气藏的保存。膏盐层可以单独封盖油气, 也可与断层联合封堵, 具有很好的封盖能力。膏盐层对其上、下地层的区域构造样式产生影响, 也限制了油气运移的途径和聚集层位。

关键词: 含油气盆地; 膏盐岩; 油气成藏

中图分类号: TE112 322

文献标识码: A

The impact of saline deposit upon the hydrocarbon accumulation in petroliferous basin

Zhao Zhenyu^{1,2}, Zhou Yaoqi^{1,2}, Ma Xiaoming², Ji Guosheng²

(1. Institute of Petroleum Resources and Environment, China University of Petroleum, Dongying, Shandong, 257061;

2. School of Earth Resources and Information, China University of Petroleum, Dongying, Shandong, 257061)

Abstract Saline-deposits in most basins are formed through evaporation and some are the products of deep thermal brine. Research shows that (1) the formation environments for saline deposits dominated by evaporate environments in continental lake basins are favorable for the preservation of organic matters and the generation of hydrocarbon; (2) the upward intrusion of deep thermal fluid enhances transformation ratio of hydrocarbon in source rocks and provides for the formation of inorganic oil and gas accumulations; (3) saline deposits are favorable for the maintenance of high porosity and the formation of secondary pores and fissures in the underlying strata but sometimes they may cause the plugging of the primary pores and apart from that saline deposits themselves serve as excellent hydrocarbon migration pathways or reservoir space. Their presence is regarded as an important condition for the formation of the underlying abnormally-high pressure systems thus is favorable for the preservation of oil and gas pools; (4) saline deposits have wonderful sealing capacity and make good cap rocks by themselves or in combination with faults; (5) saline deposits have an impact upon the regional structural styles of layers above and under it and controls over migration pathways and accumulation horizons.

Key words petroliferous basin; saline deposit; hydrocarbon accumulation

世界上许多含油气盆地油气藏的形成都与膏盐岩有关。膏盐岩的分布主要集中在北半球, 以欧亚板块最多, 其次是北美, 南半球为数不多。我

国膏盐岩主要分布在东、西部具有盐湖相沉积的盆地, 从东部渤海湾盆地的黄骅拗陷开始, 向南经济阳拗陷、冀中拗陷、东濮凹陷, 再往南至南襄盆

收稿日期: 2006-11-27

第一作者简介: 赵振宇 (1980-), 男, 博士研究生, 石油地质

地、江汉盆地等均有分布^[1~4]。西部主要分布在塔里木盆地的库车坳陷和柴达木盆地等^[5]。在国外, Moody (1959), Levorsen (1967), North (1985), Schreiber (1988), Tissot and Welte (1984) 等在他们的专著中也讨论了盆地油气与膏盐岩的关系^[6~8]。

不同的区域沉积环境, 膏盐岩成分会相差很大。但主要由石膏、硬石膏、变水石膏组成, 含少量石盐、盐类矿物、白云石、粘土、有机质、铁的氧化物等^[9, 10]。由于膏盐易溶、易变、致密性以及转化为硬石膏时脱出大量结晶水等特点, 使其不仅可以成为很好的盖层, 而且在一定条件下可以储存油气。另外, 膏盐层下常形成异常超压带和各种盐丘(或盐刺穿)构造, 为油气的运移和聚集提供了通道和空间^[11]。

据前人统计, 世界上 334 个大油气田中, 盖层为盐岩、石膏的占 33%^[12]。• • 维索次基 (1975) 认为: 世界上约 35% 的天然气储量与含石膏层有关。在油、盐共生盆地中, 有 46% 的油气层产于盐系地层之下, 41% 的油气层产于盐系地层之上, 13% 的油气层产于盐系地层之间^[13]。因此, 探讨盆地中膏盐岩层对油气成藏的影响具有重要意义。

1 膏盐岩成因探讨

1.1 蒸发成因

蒸发成因的膏盐岩, 主要发育于干旱气候条件下封闭一半封闭的沉积环境。海相泻湖、海湾、潮坪及海滨萨布哈是膏盐生成的有利场所, 陆相盐湖和大陆萨布哈同样也是生成膏盐岩的好地方^[4, 14]。

泻湖-海湾型膏盐岩: 发育于海水循环交替不畅、盐度不正常的泻湖和海湾环境之中。潮汐、波浪作用显著减弱, 发育水平层理, 岩性以白云岩、白云质灰岩为主。石膏层延伸稳定, 具条纹、条带状构造, 致密状或糖粒结构, 沉积厚度、规模以远离泻湖开口一端最好^[15, 16]。

潮坪-萨布哈型膏盐岩: 发育于平缓倾斜、间歇性暴露的潮间带—潮上带。它没有稳定的水体, 是海退后停积洼地的海水蒸发沉积而成。具砂纹交错、脉状、透镜状层理, 干裂、瘤状构造发

育, 紫红色氧化带明显, 石膏层薄, 且与砂泥岩互层, 横向变化大, 尖灭再生快。

以上两种海相蒸发成因的膏盐岩, 在我国四川盆地、羌塘盆地、江汉盆地、长江中下游地区奥陶系、三叠系、第三系地层中广泛发育^[4, 17, 18]。

陆相湖盆蒸发成因的膏盐岩主要发育于内陆湖泊蒸发环境, 以硫酸盐类沉积为主, 形成于蒸发量远大于降雨量的最低水位期^[19~22]。此类型膏盐岩在我国陆相含油气盆地普遍发育, 例如: 渤海湾盆地中部的黄骅坳陷, 东南部的东营凹陷、冀中坳陷、东濮凹陷等, 且膏盐层主要发育于沙河街组三、四段。

关于膏盐岩的形成过程, 部分学者认为^[23, 24]: 沉积早期湖盆扩大, 气候湿润, 雨量充沛, 湖盆边缘沉积以水下冲积扇为主。随后湖盆开始缩小, 以细砾及砂泥沉积为主。沉积晚期气候干热, 蒸发量大于降雨量, 出现了膏盐沉积。在这种间歇性盐湖—盐湖的沉积环境中, 发育了冲积扇—干盐湖体系沉积和湖盆中心大面积分布的膏盐沉积等。第三纪以后, 受全球干旱气候的影响, 我国西部塔里木、准噶尔以及柴达木盆地等普遍发育盐湖(主要处于 CaSO_4 成盐阶段, 局部可达 NaCl 成盐阶段), 沉积了近千米厚的膏盐和含膏质泥岩^[25~27]。

判别膏盐岩为陆相湖盆蒸发成因的依据主要有以下几个方面: 1) 膏盐岩多分布在凹陷的沉积中心; 2) 膏盐岩与暗色泥岩(油页岩)在横向上呈相变关系, 在垂向上呈频繁韵律互层; 3) 陆相化石组合特征; 4) 某些膏盐岩发育段有较薄的红层, 偶见沉积间断, 局部发育干旱氧化的环境标志^[22, 28~30]。

1.2 深部热卤水成因

在某些油气田(特别是超大型油气田)膏盐层厚可达几百米, 例如伊朗西南部中新世晚期膏盐层厚度达 700 m, 中亚土库曼东北部的硬石膏有 400 m 等^[8], 如此巨厚的膏盐层蒸发成因难以解释, 随着地震技术与深部钻探的发展, 一些地质学家开始对传统的成盐模式提出了质疑^[1, 15, 31], 同时认为在影响盐类矿床的诸因素中, 构造运动是最主要的, 它不但解释了盐类沉积的岩相模式及盐层构造变化, 同时又解释了盐类物质的多源性和卤水演化的复杂性^[16, 32]。

这种新理论的提出, 主要有以下 8 个方面的依据^[1, 23, 31, 33]:

1) 成盐期的气候不一定是干旱的, 有过相对潮湿的气候。如非洲西海岸早白垩世含盐盆地为赤道湿润气候; 上莱茵地堑古近系的石盐、钾盐堆积中发现了丰富的沼泽和森林古植物; 普里皮亚特地堑含盐岩系的苔藓植物以及中国东部新生代裂谷盆地的含盐系中存在着大量的有机质, 有的则与鲕岩成互层状分布等。

2) 含盐系底部或含盐系中存在着一些很典型的热液矿物。如: 黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、电气石、白云母、金云母、透闪石、钾铁盐、黄铜矿、玉髓、萤石等^[34]。其中一些中新世盆地盐矿中 Cu、Pb 和 Zn 含量高于正常海水十万倍^[35]; 青海查尔干盐矿的 Li 可工业回收; 西西伯利亚油田卤水中 Ba 和 Mn 高出海水几千倍, Hg 和 Pb 高出海水几百倍, Zn、Co 和 An 高出海水几十倍; 柴达木盆地盐湖中 Li、B、Cs、Sr 和 Ba 浓度也很高。

3) 中国东部中、新生代 (三叠纪除外) 含盐系的盐岩相不是单纯的蒸发模式, 大多为偏心单盐岩相 (或称“偏心牛眼式”) 和小盆巨盐模式^[36]。

4) 盐矿形成的同位素年龄远远晚于其所赋存的地层的年龄, 这对“盐类是原生沉积的成因观点”提出了挑战。

5) 盐矿中流体包裹体形成的均一化温度比围岩高。

6) 膏盐建造与矿床同生沉积。沉积金属硫化物的卤水不能仅靠海水蒸发浓缩而成, 其必然发生过复杂的水-岩反应, 并淋滤和汇聚了成矿物质^[37]。

7) 碳-氧同位素组成的差异。例如南京周冲村三叠系膏盐建造的碳酸盐岩夹层具有较高的 $\delta^{18}\text{O}$ 值, 高于同时期正常海相灰岩的氧同位素值。根据 $\delta^{18}\text{O}$ 值与古温度的关系式 ($t = 17.04 - 4.34\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} + 0.16\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}^2$) 计算, 其形成温度为 $34 \sim 52^\circ\text{C}$, 明显高于海水的温度, 反映其形成过程中有热卤水的参与。尽管 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值 (0.3‰) 属海相环境, 但较大的变化范围 ($-2.1\text{‰} \sim 2.5\text{‰}$) 说明其形成于剧烈变化的环境中, 可能与热卤水周期性注入盆地有关。通常情况下, $\delta^{13}\text{C}$ 高正值与蒸发环境的高盐度相对应, 而高负值暗示注入的热卤水中富含 ^{12}C ^[17, 38]。

8) 大量盐类物质的来源问题。有人曾计算

过, 1 000 m 厚的海水层完全蒸发才能沉淀 40 cm 厚的硬石膏, 因此堆积 400 m 厚的硬石膏需 1 000 km 的海水层方能生成^[25]。

同时, 一些学者从大地构造、深部热流体运动等方面为新理论的建立提供佐证, 认为这种含膏盐的含油气盆地, 其深部上地幔常呈上拱状, 而中、下地壳中常有低速、高导层。正是这种特殊的深部结构, 使得地幔流体 (富含 K、Na 和 Li 等碱金属, 富含 F、Cl 和 Br 等卤素, 富含 CO_2 、CO、 H_2 和 He 等挥发份及气体) 可以上升, 进入壳内低速、高导层后, 由于蛇纹石化橄榄岩中含有丰富的 Ni 和 V 等铁族元素, CO_2 和 CO 与 H_2 得以进行费托合成反应, 从而形成了幔源烃。地幔流体中富含的 CO_2 和 He 气体则进入储集层后形成气藏。地幔流体进入沉积盆地, 与有机质、粘土、黄铁矿等反应, 或催化生烃, 或加氢生烃, 从而形成了一系列烃类包括未熟、低熟油、过渡带气等等, 在有的地区则具有热液烃的特点^[12, 15, 31, 32, 39]。

该模式很好地解决了下列地质问题: 1) 膏盐与油气共生的机理问题; 2) 在高盐环境中, 蒸发岩是否生油问题; 3) 在高盐环境沉积岩有机质的高转化率问题; 4) 中国东部裂谷盆地大量出现的低熟、未熟油、过渡带气的问题; 5) 与烃类油气藏相邻的 CO_2 气藏、He 气藏的形成问题。

2 膏盐岩形成环境有利于有机质的保存

根据前人的研究, 膏盐岩的形成环境有利于有机质的保存, 并为转化成油气提供雄厚的物质保障^[6~7]。罗马尼亚学者巴尔茨通过对 108 块盐岩分析发现, 每 100 g 盐岩中的有机质含量达到 $15 \sim 4\,500\text{ mg}$ 仅次于粘土或泥岩的 $600 \sim 3\,000\text{ mg}$ 因此他指出, 罗马尼亚从古生界到上白垩统间最有远景的生油岩在泻湖相和含盐层系中。Douglas W 等指出, 蒸发盐型的环境具有巨大的有机物质生成能力^[19]。在我国东部陆相含膏盐沉积盆地, 蒸发岩系发育的层位与生油岩形成的层位完全共存在一起。例如江汉盆地上始新统、下始新统一古新统, 黄骅坳陷中始新统, 苏北盆地下始新统以及汶口凹陷渐新统一上始新统等。

关于膏盐形成环境有利于有机质的保存, 一些学者给出了如下解释^[4, 40], 认为: 在蒸发岩形成

初期, 由于水体盐度增加或不同盐度水体的混合, 底部水体近于停滞, 因此造成大量各种生物的死亡。但是由于河流不断地供给生物和有机物质, 因此湖泊中有大量的各种生物和有机质。当湖泊盐度继续增高, 进入的各种生物就会死亡, 沉于湖底, 湖盆底就形成弱氧化-还原环境, 造成腐殖泥相。这样河流不断地输送生物和有机物质, 湖泊中的生物不断死亡堆积, 为油、气的形成提供了雄厚的物质基础。因此, 在膏盐的形成和沉积环境中能够形成大量的有机质, 并且在这样的环境中, 对于有机质的保存和向油、气转化都是十分有利的。

3 膏盐岩层对油气储集层物性的影响

3.1 膏盐层有利于下部岩层保持较高的孔隙度

膏盐层具有较高的热导率, 使其下部地层热量容易散失, 成岩作用缓慢。同时膏盐层较高的毛细管排遣压力, 促使下部储集层压实作用减弱, 因而使砂岩中的高孔隙度得以保持^[13 41 42]。例如: 渤南洼陷沙河街组三段、四段富含膏盐岩, 渤深 5 井在 5 000 m 深度的孔隙度仍有 9.11% (依据测井资料计算), 依据物性关系预测, 6 250 m 深度的孔隙度仍可保留在 5%。该洼陷其它探井如

渤深 3、渤深 4、义深 8、义 115、义 104、义 117 井等 5 000 m 平均孔隙度均在 5% 以上^[43]。在滨里海凹陷富盐西坡带 5 000 m 深处, 泥盆系石英砂岩仍保留高达 24% 的孔隙度。塔里木盆地秋立塔克地区的东秋 5 井, 古近系膏盐层下的白垩系砂岩裂缝发育, 孔隙度大, 储集性能非常好^[27 44]。吐哈盆地中的台北凹陷、渤海湾盆地的东营凹陷等, 膏盐层下伏地层也都具有较高的孔隙度^[45~46]。如图 1, 由于大套盐膏层的存在, 东营凹陷北带“盐下”地层形成了相对独立的压力系统, 在一定程度上抑制了压实作用, 有利于原生孔隙的保存。

3.2 膏盐层对储层次生孔隙的影响

膏盐层对储层次生孔隙的影响主要表现在两个方面: 1) 当埋深达到一定深度时, 石膏会脱去大量的结晶水转化成硬石膏, 这些水可以富含有机酸, 具有溶解作用, 增强流体-岩石反应, 溶蚀矿物, 形成次生孔隙^[5 14 46]。例如我国渤海湾盆地的渤南洼陷和东营凹陷, 其中一些次生孔隙带的发育就与此有关 (图 2)。

2) 若硬石膏作为胶结物充填在储集层中, 并且后来没有流体侵入, 即硬石膏没有被溶解, 那么将使储集层的孔隙度降低, 物性变差。例如: 美国 and 加拿大的威廉斯顿盆地奥陶系和上泥盆系; 美国西得克萨斯州二叠系^[48]; 我国塔里木盆

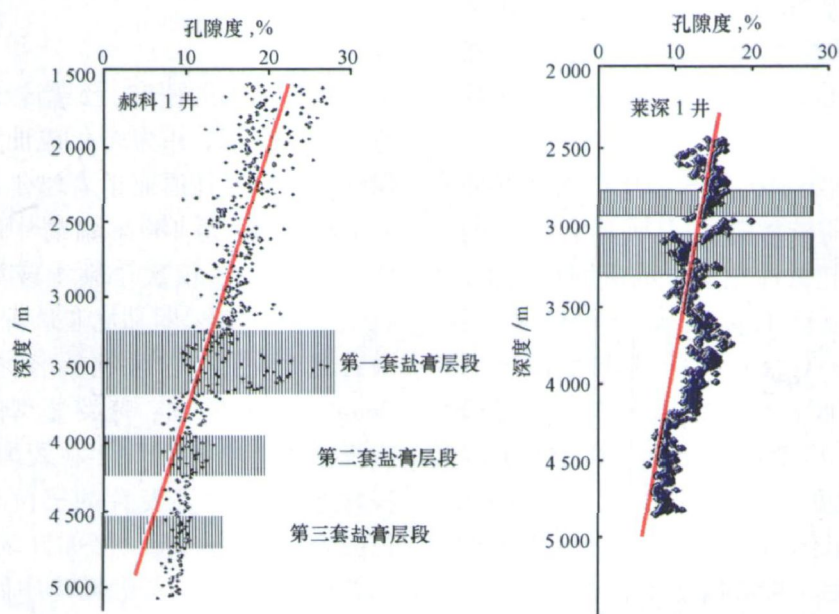


图 1 东营凹陷单井孔隙度变化与膏盐层的关系

Fig. 1 The relationship between porosity and saline deposits in single wells Dongying sag

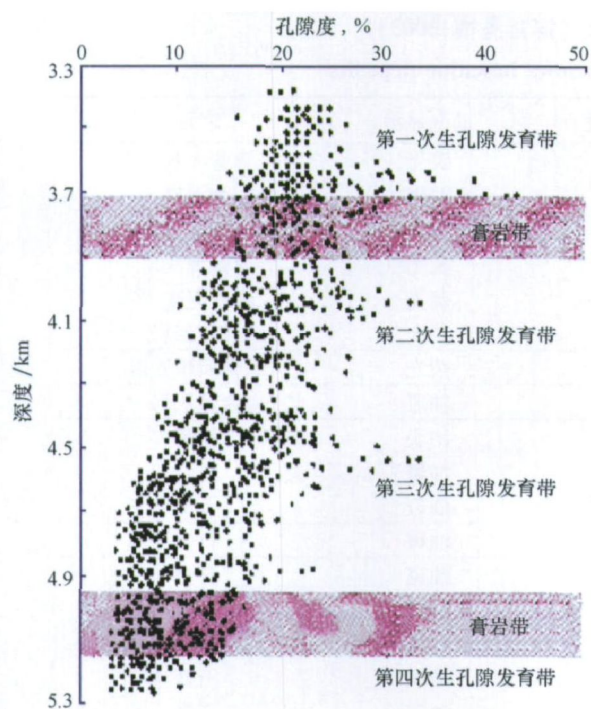


图 2 渤南洼陷深层次生孔隙垂直分布带
(据譙汉生, 2002)

Fig. 2 Vertical distribution of the secondary pores
in the deep of Bonan subsag

地塔北隆起轮台断隆新生界^[36]以及东营凹陷民丰洼陷沙河街组四段下部部分储层物性变差(孔隙度低),就是由于硬石膏的充填作用造成的^[28 49 50]。如图 3 东营凹陷丰 8 井 4 081.5 m 处孔隙中的充填物致使储层的物性变差。

3.3 膏盐层也可以发育储集空间

当石膏向硬石膏转变时,随着水分的散失,其

体积将减少 30%,有利于硬石膏晶间孔的形成,从而导致膏盐层具有较好的储集油气的作用。石膏通常在 80~90℃时开始失水,转化成硬石膏,在 100℃时形成亚稳定的 γ -硬石膏,150℃时形成稳定的 β -硬石膏,193℃时形成更稳定的 α -硬石膏^[14 27]。在渤南洼陷,膏盐层多出现在沙四段上部,对应深度 3 500~4 000 m,温度 105~165℃之间,因此推测这些膏盐层已经转化成硬石膏,形成了一定的储集空间,可以储集油气^[38~40]。此类储集层主要发育在膏盐层内部,储集空间以原生孔隙为主,在深层聚集一定量油气,而后随着底层抬升发生缩性变形,油气被封闭在膏盐层内。在渤南洼陷钻遇膏盐层的 48 口探井中,10 口井在 3 000 m 深度的石膏、膏泥岩、灰质膏泥岩段内见油气显示(如表 1)。

尽管到目前为止,还没有发现以硬石膏岩作为油气储层的油田或气田。但是,石膏脱水转化成的硬石膏确实可形成晶间孔。在没被其它矿物胶结的情况下,这些晶间孔是有能力储存油气(尤其是气)的,因此,不能忽视对深层硬石膏岩储集能力的研究^[51]。同时笔者认为,研究深层储集体物性必须与油气成藏史分析相结合,进行动态研究,判断好孔隙发育与油气主要运移期次的先后关系,这样对勘探开发才有实际意义。

4 膏盐岩层对地层异常压力的影响

当膏盐层埋藏到一定深度时,石膏转化成硬

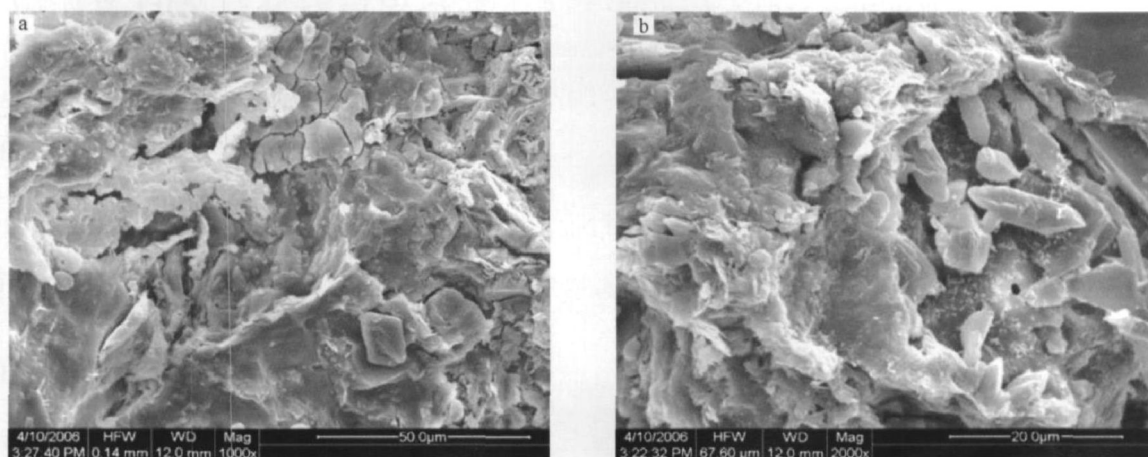


图 3 孔隙中分布的泻利盐及芒硝 (a)-硬石膏、丝片状伊利石以及白云石 (b)

Fig. 3 Photos showing the epsomite, mirabilite (a), anhydrite, filamentous illite and dolomite (b) in pores

表 1 膏盐层内油气显示统计表 (据宫秀梅, 2003)
Table 1 Statistics of hydrocarbon shows in saline deposits

井号	层位	深度 /m	膏岩厚度 /m	油气显示	岩性
义深 6 井	Es ₄	3 504.5~3 508.0	3.5	荧光	含膏泥灰岩
		3 511.0~3 512.0	1.0	油斑	膏泥岩
		3 522.5~3 523.5	1.0	荧光	膏泥岩
		3 536.5~3 540.0	3.5	荧光	含膏泥灰岩
		3 560.5~3 569.5	9.0	荧光	含膏泥灰岩
		3 573.5~3 576.5	3.0	荧光	含膏泥岩
义东 36	Es ₄	3 734.0~3 736.0	2.0	荧光	石膏质粉砂岩
义 97	Es ₄	3 303.5~3 306.0	2.5	油斑	含膏灰岩
义 41	Es ₄	3 094.5~3 095.0	0.5	团块	石膏
		3 104.5~3 105.0	0.5	油斑	石膏
		3 110.0~3 112.0	2.0	油斑	石膏
义 160	Es ₃₊₄	3 421.5~3 425.0	3.5	油斑	石膏
义 160	Es ₄	3 427.5~3 431.5	4.0	油斑	石膏
		3 435.0~3 437.0	2.0	油斑	石膏
		3 440.5~3 445.0	4.5	油斑	石膏
		3 445.0~3 449.0	4.0	油斑	石膏
		3 462.0~3 464.0	2.0	油斑	石膏
		3 465.5~3 466.0	0.5	油斑	石膏
		3 467.0~3 468.0	1.0	油斑	石膏
罗 16	Es ₄	3 486.5~3 187.0	0.5	油斑	膏质白云岩
罗 20	Es ₄	3 013.5~3 014.5	1.0	油斑	灰质石膏岩
		3 018.0~3 018.5	0.5	油斑	灰质石膏岩
		3 025.5~3 027.0	1.5	油斑	石膏
		3 049.0~3 050.0	1.0	油斑	含膏泥质白云岩
		3 050.5~3 051.5	1.0	油斑	含膏泥质白云岩
		3 051.5~3 052.5	1.0	油斑	白云石膏岩
		3 053.5~3 054.0	0.5	油斑	含膏泥质白云岩
		3 056.0~3 057.0	1.0	油斑	白云质含泥石膏岩

石膏脱出的结晶水进入相邻地层后, 将增大岩层中的孔隙流体压力, 形成欠压实带; 此外, 盐膏层非常致密, 自身的排替压力很高, 尤其是在封闭系统中更易形成高压。据测井资料推算, 克拉 2 井的库姆格列木群含膏盐泥岩的突破压力高于 60 MPa, 因此石膏含量较多的地方容易出现异常高压^[50~52]。

渤南洼陷膏盐层段以下主要为异常高压, 其中义 171、义 17、义 160 井和罗 17 井的压力系数处于 1.7 左右^[42, 50]。东濮凹陷文东地区膏盐层之上的压力系数为 0.85~1.25, 但其下压力系数骤然上升到 1.5~1.8, 最高可达 2.0^[45]。库车坳陷膏盐层下部储集层中的异常压力系数也非常高, 其中克拉 2 气田克拉 2 井古近系库姆格列木组砂质白云岩段 3 495.66 m 处, 实测地层压力为 75.94 MPa, 测得压力系数高达 2.22, 而古近系底砂岩和白垩系巴什基奇克组砂岩 3 749.33 m 处测得地层压力为 74.36 MPa, 其对应的压力系数为 2.02。

这种巨厚的盐岩和膏泥岩盖层是其下部储层异常高压得以保存的重要屏障, 其本身成为压力过渡带, 也属异常压力带^[11, 41, 53]。

5 膏盐岩层对油气的封盖作用

由于膏盐层具有塑性强、易流动的特点 (盐岩层在常温常压下为固态或弱塑性, 但其埋深达 500 m 时, 盐岩开始进入软化点, 3 000 m 时可以达到极强的流动性), 因此未破裂的致密膏盐层在盖层分级中属于特级盖层, 比泥岩的封盖能力更强^[20, 53~54]。据岩心资料分析, 东濮凹陷所有膏盐层中膏泥岩累计厚度约占 36%。库车坳陷第三系膏盐层、膏泥岩层基本覆盖整个坳陷, 厚度巨大 (100~3 000 m), 封盖力强, 为形成最重要的富气单元 (白垩系油气系统) 发挥了重要作用。还有渤南洼陷、华北文留气田、川南二叠、三叠系气藏、柴达木盐湖气田的膏盐层 (或蒸发岩层) 都是良好

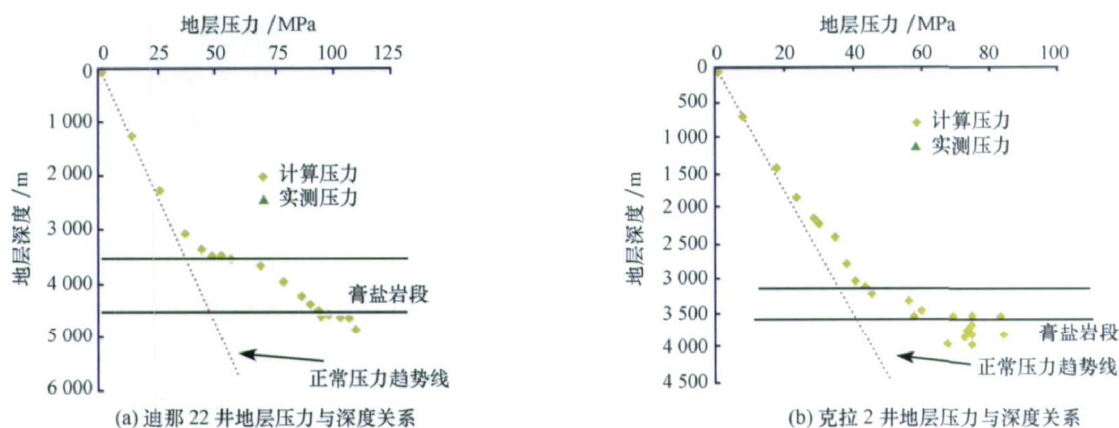


图 4 库车坳陷单井地层压力与深度关系

Fig. 4 The relationship between reservoir pressure and depth in single wells, Kuche depression

的盖层^[25, 49, 55]。在国外的墨西哥湾、滨里海等很多盆地中, 膏盐层对油气的聚集和保存也都起到了很好的封盖作用^[51]。

按照膏盐层与储集层的配置关系, 将膏盐盖层分为 2 种类型: 1) 膏盐间储集层的盖层: 主要发育在膏盐岩与砂岩互层的部位, 砂岩被周围的膏盐层包围, 易形成岩性油气藏。如渤深 3 井、义 113 井、新渤深 1 井、渤深 4 井等在膏盐层内均发育砂岩储集层, 均见到良好的油气显示。另外, 从综合录井图可见, 在膏泥岩与砂岩交互发育的层段, 砂岩层有油气显示, 其间的膏泥岩没有油气显示, 如义 160 井、义 17 井^[49]。2) 膏盐下储集层的盖层: 该类型是民丰洼陷、渤南洼陷、库车坳陷最具特征的膏岩盖层, 通常与附近断层一起封堵膏盐下的油气。如渤深 4 断阶带的义 160 井; 陈家庄凸起南坡丰深 1、丰深 8 井, 永 559 井; 库车坳陷的吐孜 1 气田、克拉 2 号、大北 1 号大气藏等油气分布均受断裂带和上部膏盐层的双重控制, 在膏盐下形成了岩性-构造油气藏^[40~48, 56] (图 5)。

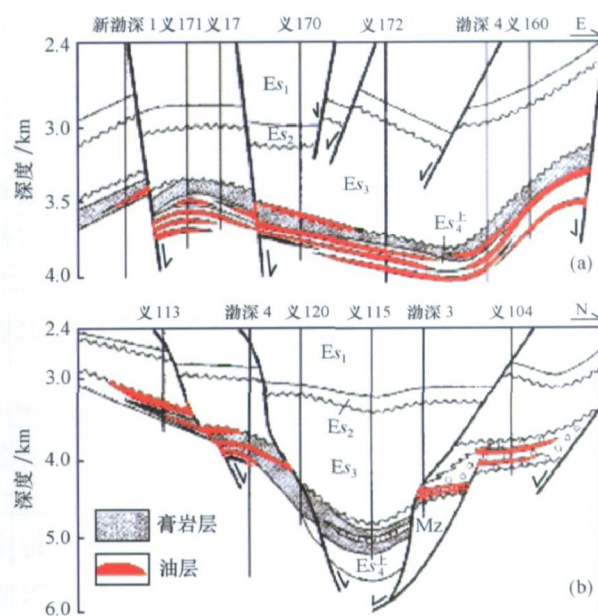


图 5 渤南洼陷深层油藏东西向 (a) 及南北向 (b) 剖面

Fig. 5 Sectional views of the deep hydrocarbon accumulations in Bonan subsag (a) west-east direction and (b) north-south direction

6 膏盐岩层对区域构造样式、油气运移和聚集的影响

6.1 膏盐岩对区域构造样式的影响

当膏盐层埋深为 3 000 m 时, 地温可接近 100 ℃, 压力可达 58.6 MPa。在这种情况下膏盐岩流动性极强。膏盐层的存在使该地区深、浅部地层在变形过程中发生拆离, 从而使上、下地层在构造应力大小、合应力方向、构造样式等诸多方面存在明显区别^[16, 30]。

例如济阳坳陷中的东营凹陷、黄骅坳陷、库车坳陷的秋里塔格构造带, 第三系膏盐质地层把上、下岩层分割成两种变形带。其上成岩程度低, 纵向自由度大, 形成大幅度滑脱、推覆构造, 构造样式以断展褶皱为主, 应力释放的比较彻底, 地层流体压力基本保持正常。处于盐膏层封盖之下的地层, 成为地应力积累相对较强的层带, 加之上覆岩层的巨大静压, 构造变形强烈, 发育了众多的逆掩、逆冲断裂, 构造样式以断弯褶皱为主。此外, 很多断裂只发育在下构造层中, 断层在盐膏层底部消失。少数

大的断裂穿过盐膏层,但断至上构造层后,断层样式却发生变化,垂向错距减小,水平滑距加大,局部还有正断裂和由其构成的地堑^[13 26 27]。

由于膏盐岩的运动,形成了各种盐构造(如盐丘),为油气聚集提供了场所。截至 20 世纪 80 年代末,世界上 45% 的天然气和 11% 的石油与盐丘有关^[57 58]。墨西哥湾、北海、波斯湾、欧洲西北部、前苏联的费尔干纳、乌拉尔等地区都有盐丘。在我国很多盆地都发育有非刺穿的盐构造。例如江汉盆地的王场油田、东濮凹陷的文留油田、东营凹陷中央隆起带、塔里木盆地库车坳陷、羌塘盆地雁石坪等,在有利的构造部位寻找刺穿油气藏是大有可为的^[13 25 42]。

6.2 膏盐岩对油气运移的影响

在盐丘附近,由于盐度和温度的共同影响,引起流体的密度差,从而导致地下水发生自由对流(热盐自由对流)。在美国路易斯安娜海湾盆地,由于膏盐岩的存在,发生了大规模的自由对流,导致油气亦发生运移,对油气成藏具有重要的影响^[9]。

另外盐运动可形成盐柱和盐刺穿构造,盐柱的持续上升,可以使高压生烃泥岩体上面的致密“壳”发生拱张,形成一些开启的断裂、裂缝,从而使其中的含烃流体向上运移,在墨西哥湾盆地这种现象很普遍^[52 58]。库车坳陷在喜山晚期发生的新生界盐拱作用,形成了一系列为正断层切割的新近系张性断块,这些断层就成为下部三叠系—侏罗系烃源岩油气向上运移穿过巨厚膏盐层(超过 2 000 m)的最理想通道^[44 59]。国内外还有许多盆地都具有由于盐层上拱在其上形成张性构造(断背斜)带的实例。如东濮凹陷的文留油田、渤海湾东营凹陷中央隆起带、墨西哥湾盆地等^[25 57 58]。

6.3 膏盐层对油气性质、聚集层位的影响

库车坳陷秋里塔格构造带油气聚集在东段和西段差别很大,东段迪那 2 气田产出凝析油,却勒 1 油田产出黑油,前者的密度和粘度均高于后者^[13]。主要生油岩分布于侏罗系和三叠系两套地层中,而膏盐层作为该构造带乃至整个地区的主要盖层,其形成时期决定了圈闭成藏的时期及聚集层位。东段膏盐层主要分布于新近系,其圈闭

捕获油气的历史区间较晚,没有捕获到侏罗系生成的黑油,因此油气主要聚集在新近系及其以下地层;而西段膏盐层主要分布于古近系,其捕获油气的历史区间相对较长,因此捕获了侏罗系早期生成的石油,并储集在古近系及白垩系地层中^[20 27 30 49]。

由于膏盐层热导率相对较高,通常情况下附近烃源层有机质的成熟度将会降低,降低的幅度取决于含膏盐层的厚度及膏盐的含量(库车坳陷降低的幅度 3~20% 左右)。膏盐岩层越厚,侧向变化幅度越大,其热效应越明显。在秋里塔格构造带和克拉苏构造带,其下伏的地层温度较低,对应的地表热流值大,在拜城凹陷的下部,地层温度较高而对应的地表热流值则较低^[38]。

7 结论与讨论

近年来,含油气盆地中膏盐岩与油气的关系已经倍受关注,特别是深部油气的勘探开发(大于 4 000 m),需要我们更加了解高温高压下膏盐岩的物理、化学特性以及与围岩、地质流体(包括深部和浅部)的相互作用等对油气成藏的影响。由于膏盐岩具有易溶、易变、致密性以及转化为硬石膏时脱出大量结晶水等特点,使其不仅可以成为很好的盖层,而且在一定条件下可以储存油气。另外,膏盐层下常形成异常超压带和各种盐丘(或盐刺穿)构造,为油气的运移和聚集提供了通道和空间。

通过大量的勘探实践与研究,认为膏盐岩与油气成藏的关系主要表现在如下几个方面:

1) 在膏盐形成和沉积的弱氧化—还原环境有利于有机质的保存和向烃类的转化。深部热流体(主要为热卤水)上侵形成膏盐时,提高了周围岩层中烃源岩的油气转化效率,同时也为无机油气藏的形成提供了条件。

2) 由于膏盐层具有较高的热导率和毛细管排遣压力,减缓了地层的压实作用,因此促使其下部地层保持较高的孔隙度。当埋深达到一定深度时,石膏会脱去大量的结晶水转化成硬石膏,这些水可以富含有机酸,具有溶解作用,增强流体—岩石反应,溶蚀矿物,形成次生孔隙,但如果这些流体不能及时排除或被其它流体带出,也可堵塞下部地层原生孔隙。

3) 由于膏盐层对压力有抑制效应,常常使得下部地层欠压实,形成异常压力。另外,石膏向硬石膏转化脱出的大量结晶水,排入临近地层中,常常会增大地层中的孔隙压力从而形成超压。同时由于膏盐层具有致密、易流动的特点,因此能使其下部异常高压系统得以保存,这样更加有利于油气藏的保护。

4) 膏盐层可以单独封盖油气,也可与断层联合封堵,具有很好的封盖能力,是非常优质的盖层。

5) 由于膏盐层能形成油气运移通道和含油气圈闭以及发生热盐自由对流,使油气发生运移,因此膏盐层对其上、下地层的区域构造样式、油气性质将产生不同影响,同时也限定了油气运移的途径和聚集层位。

参 考 文 献

- 1 金强,黄醒汉. 东濮凹陷下第三系深水成盐模式 [J]. 华东石油学院学报 (自然科学版), 1985, 9(1): 1~14
- 2 纪友亮,张世奇,李红南. 东营凹陷下第三系陆相盆地序地层学研究 [J]. 地质论评, 1994, 40(S0): 97~105
- 3 易士威,王权. 冀中坳陷富油凹陷勘探现状及勘探思路 [J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(3): 82~86
- 4 李任伟,辛茂安. 东濮盆地沉积岩的成因 [J]. 沉积学报, 1989, 7(4): 141~147
- 5 蔡春芳,梅博文,马亭,等. 塔里木盆地有机酸来源、分布及对成岩作用的影响 [J]. 沉积学报, 1997, 15(3): 103~109
- 6 North F K. Petroleum geology [M]. London: Allen and Unwin press, 1985
- 7 Schreiber B C. Evaporites and hydrocarbons [M]. New York: Columbia University Press, 1988
- 8 Tissot B P, Welte D H. Petroleum formation occurrence [M]. New York: Springer-Verlag press, 1984
- 9 Evans D G, Nunn J A. Groundwater flow, heat and salt transport near salt diapirs [J]. Eos, 1989, 24: 1 097~1 098
- 10 刘细元,袁存堤,蒋金明,等. 江西省上白垩统会昌膏盐段的建立 [J]. 东华理工学院学报, 2005, 28(3): 201~205
- 11 Hunt J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments [J]. AAPG Bulletin, 1990, 74: 1~12
- 12 Ulisses T M, Carry D K. Development of sediment overpressure and its effective thermal maturation: application to the Gulf of Mexico Basin [J]. AAPG Bulletin, 1996, 79(9): 1 367~1 396
- 13 张朝军,田在艺. 塔里木盆地库车坳陷第三系盐构造与油气 [J]. 石油学报, 1998, 19(1): 6~10
- 14 Jowett E C, Cathles L M, Davis B W. 蒸发盐沉积盆地中石膏脱水深度的预测 [J]. 国外油气勘探, 1994, 6(4): 391~401
- 15 邓永高. 华北及邻区早第三纪蒸发岩盆地的形成机制 [J]. 地球科学, 1987, 12(1): 337~347
- 16 Ge Hongxing, Jackson M P A. The salt structures, petroleum traps and their synthetic utilization [J]. Journal Nanjing University (Geoscience edition), 1996, 32(4): 640~649
- 17 范洪源,李文达,王文斌,等. 长江中下游海相三叠系膏盐层与铜、铁矿床 [J]. 火山地质与矿产, 1995, 16(2): 32~41
- 18 罗建宁,朱忠发,谢渊,等. 羌塘盆地膏盐岩及其与油气勘探的关系 [J]. 沉积与特提斯地质, 2003, 23(2): 1~8
- 19 Kirkland D W, Evans R. Source-rock potential of evaporitic environment [J]. AAPG, 1980, 65(2): 139~148
- 20 Xia X Y, Wang X B, Chen J F, et al. Studies on composition of fluid inclusions and carbon isotope of carbon dioxide in ultra-high pressure metamorphic rocks in the Shuanghe area, Dabie orogen [J]. Science in China, 1999, 29(4): 314~320
- 21 Degenes E T, Ross D A. Stratabound metallic ore deposits found in active rift and the vicinity [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1976, 46: 129~154
- 22 纪友亮,冯建辉,王声朗,等. 东濮凹陷下第三系沙三段盐岩和膏盐岩的成因 [J]. 沉积学报, 2005, 23(2): 225~231
- 23 刘孟慧,赵林. 东濮凹陷文留地区盐下含气层系的储层特征 [J]. 华东石油学院学报, 1986, 10(2): 1~6
- 24 吴崇筠,薛淑浩,钱凯,等. 中国含油气盆地沉积学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1993
- 25 齐兴宇,张阳,王德仁. 文留油田,中国陆相大油田 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997
- 26 吕锡敏,皮学军,任战利,等. 库车前陆盆地含油气系统的地质特征 [J]. 天然气地球科学, 2004, 15(3): 214~217
- 27 马东升. 地壳中大规模流体运移的成矿现象与地球化学示踪—以江南地区中低温热液矿床的地球化学研究为例 [J]. 南京大学学报, 1997, 33: 1~10
- 28 Andrew D H. Petroleum migration pathways and charge concentration: a three-dimensional model [J]. AAPG Bulletin, 1997, 79(9): 1 451~1 481
- 29 陈发亮,朱晖,李绪涛,等. 东濮凹陷下第三系沙河街组层序地层划分及岩盐成因探讨 [J]. 沉积学报, 2000, 18(3): 384~388
- 30 周宇章,陈汉林. 新疆库车坳陷晚白垩世隆升的裂变径迹证据 [J]. 资源调查与环境, 2002, 23(3): 179~184
- 31 袁见齐,高建华. 中国中生代盐盆地的构造控制 [J]. 地球科学, 1987, 12(4): 337~347
- 32 杜乐天. 幔汁 (HACONS) 流体的重大意义 [J]. 大地构造与成矿学, 1989, 13(1): 91~99
- 33 张景廉,朱炳泉,张平中,等. 地壳的新地球物理与石油无机合成说 [J]. 地球物理学进展, 1997, 12(4): 91~97
- 34 Schumacher D, Abrams M A. Hydrocarbon migration and its near-surface expression [J]. AAPG memoir, 1996, 66: 139~242
- 35 帅开业. 南方中生代地质构造演化与蒸发岩建造 [J]. 现代地质, 1987, 2: 207~230
- 36 徐天光,顾家裕,薛淑浩. 塔里木盆地轮台断隆第三系盐湖沉积环境研究 [J]. 沉积学报, 1998, 16(3): 137~140
- 37 侯增谦,杨竹森,李荫清. 碰撞造山过程中流体向前陆盆地大规模迁移汇聚: 来自长江中下游三叠纪膏盐建造和区域蚀

- 变的证据 [J]. 矿床地质, 2004, 23(3): 310~326
- 38 杨树春, 卢庆治, 宋传真, 等. 库车前陆盆地中生界烃源岩有机质成熟度演化及影响因素 [J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(6): 770~778
- 39 郭彦如, 王新民, 张景康, 等. 膏盐矿床与大气田的关系 [J]. 天然气地球科学, 1998, 9(5): 18~27
- 40 赵澄林, 朱筱敏. 沉积学原理 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2001
- 41 Luo Quansheng. Significance of the Tertiary plaster salt rock in Taibei depression to migration and accumulation of hydrocarbon [J]. Petroleum Exploration and Development, 1999, 27(1): 29~31
- 42 孙海龙. 渤南洼陷膏盐层发育与深层储层次生孔隙发育的关系 [J]. 河南石油, 2005, 19(2): 14~18
- 43 Liu Zhihong, Lu Huaifu, Li Xijian, et al. Tectonic evolution of Kuqa rejuvenated foreland basin [J]. Scientia Geologica Sinica, 2000, 35(4): 482~492
- 44 吕修祥, 金之钧, 周新源, 等. 塔里木盆地库车坳陷与膏盐岩相关的油气聚集 [J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(4): 20~21
- 45 李熙哲, 杨玉凤, 郭小龙, 等. 渤海湾盆地压力特征及超压带形成的控制因素 [J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(3): 236~242
- 46 袁静, 王乾泽. 东营凹陷下第三系深部碎屑岩储层次生孔隙垂向分布及成因分析 [J]. 矿物岩石, 2001, 21(1): 43~47
- 47 李国蓉, 司俊霞, 石发展. 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组储渗空间类型与形成机制 [J]. 成都理工学院学报, 1997, 24(1): 17~23
- 48 雷怀彦编译. 蒸发岩与油气形成的关系 [J]. 天然气地球科学, 1996, 7(2): 22~28
- 49 徐士林, 吕修祥, 杨明慧. 库车坳陷膏盐岩对异常高压保存的控制作用 [J]. 西安石油大学学报, 2004, 19(4): 5~9
- 50 宫秀梅, 曾溅辉. 渤南洼陷古近系膏盐层对深层油气成藏的影响 [J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(5): 24~27
- 51 王东旭, 曾溅辉, 宫秀梅. 膏盐岩层对油气成藏的影响 [J]. 天然气地球科学, 2005, 16(3): 329~323
- 52 Hanor J S. Kilometre-scale thermohaline overturn of porewaters in the Louisiana Gulf Coast [J]. Nature, 1987, 327: 501~503
- 53 王连进, 叶加仁. 沉积盆地超压形成机制述评 [J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(1): 17~20
- 54 吕延防. 油气藏封盖研究 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996
- 55 Machel H G, Krouse H R, Sassen R. Products and distinguishing criteria of bacterial and thermochemical sulfate reduction [J]. Applied Geochemistry, 1995, 10(4): 373~389
- 56 周兴熙. 库车油气系统油气相态分布及其控制因素 [J]. 天然气地球科学, 2004, 15(3): 205~213
- 57 王典敷, 汪世忠. 王场油田—中国陆相大油田 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997
- 58 Fox J. Salt structures in the deepwater Gulf of Mexico [J]. Offshore, 1998, 58(6): 131~133
- 59 马新华, 魏国齐, 钱凯, 等. 我国中西部前陆盆地天然气勘探的几点认识 [J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(2): 114~117

(编辑 武新民)

第 12 届能源大会研讨中国、印度及美国对能源的竞争

由阿联酋战略研究中心 (ECSSR) 举办的第十二届能源大会于 2006 年 11 月 19 至 21 日在阿布扎比 ECSSR 会议大厅举行。

本届大会的主题是“中国、印度及美国对能源的竞争”。会议围绕包括中国、印度及美国在内的世界各国因对石油的需求不断增加而如何保证石油供需平衡、稳定市场价格、共同维护至 2030 年全球能源供给安全及将采取的战略等议题进行了讨论。来自中国、美国、新加坡、印度等能源领域的专家、学者对目前世界能源形势及未来全球能源安全战略作了精辟论述。

11 月 19 日, 中国驻阿联酋大使高育生对中国能源及未来发展战略作了发言。他说, 2005 年, 中国 GDP 达到了 2.2 万亿美元。中国为全球第二大能源生产大国, 目前其能源消费更依赖于国内供应。2005 年, 中国石油进口达 1.36 亿吨, 占全球石油进口的 6%。为了减轻对进口石油的依赖, 中国采取了一系列措施如扩大国内能源开发、控制消费、多方面开发其他能源如风力、水力发电及利用太阳能等。面对全球对能源需求的增长, 中国愿意和世界其他石油生产国及消费国合作, 在互惠互利的基础上共同维护全球能源供给安全。

(高岩摘自《世界能源导报》)