

文章编号:0253-9985(2006)05-0571-13

中国南方膏盐岩分布特征

金之钧,龙胜祥,周雁,沃玉进,肖开华,杨志强,殷进垠

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:全球膏盐岩盖层虽然所占比例较小,但封盖了大多数已发现油气储量,并且是许多大型、特大型油气田的主要盖层,对油气聚集与保存具有重要意义。中-下三叠统膏盐岩盖层与四川盆地天然气分布的密切关系也表明,膏盐岩分布特征研究是认识、评价中国南方天然气保存条件不可忽视的重要因素之一。膏盐岩主要形成于盆地发展演化的中、后期。在中国南方,膏盐岩盖层主要发育于中-下寒武统、石炭系、中-下三叠统及白垩系—古近系,但分布不均,其封盖作用的重要性差异很大。受沉积、构造环境及后期破坏作用的影响,中-下寒武统膏盐岩主要分布在四川盆地东、南部及黔西北地区;石炭系膏盐岩盖层主要分布在湘中区;白垩系—古近系膏盐岩盖层主要发育于江汉盆地。中-下三叠统膏盐岩厚度最大、分布最广,对区内天然气的封盖作用最为重要,对四川盆地、黔北区、楚雄盆地及中、下扬子部分地区的天然气都起到重要的封盖作用。

关键词:保存条件;膏盐岩;海相沉积;油气成藏;中国南方

中图分类号: TE112.2

文献标识码: A

A study on the distribution of saline-deposit in southern China

Jin Zhijun, Long Shengxiang, Zhou Yan, Wo Yujin, Xiao Kaihua, Yang Zhiqiang, Yin Jinyin

(Petroroleum Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083)

Abstract: Although accounting for a small proportion of the cap rocks all over the world, the saline deposit is of vital importance for accumulation and preservation of hydrocarbons, for it serves as seal to most of the discovered hydrocarbon reserves and is also the major cap rock in many huge and giant oil and gas fields. The close relationship between the Middle - Lower Triassic saline deposit cap rock and the distribution of natural gas in Sichuan basin suggests that distribution of saline deposit is crucial to the understanding and evaluation of the gas preserve conditions in southern China. Saline deposit forms mostly during the middle and late stages of basin development. In southern China, saline deposit cap rock are mainly developed in Middle - Lower Cambrian, Carboniferous, Middle - Lower Triassic, and Cretaceous-Paleogene, but they are unevenly distributed and have different sealing importance. Under the influence of deposition, tectonic settings, and late destruction, the saline-deposit rock of Middle - Lower Cambrian mainly distribute in the eastern and southern parts of Sichuan basin and the northwestern part of Guizhou province; the Carboniferous saline deposit mainly distributed in the central of Hunan province, and the Cretaceous-Paleogene saline deposit mainly occurs in Jiangnan basin. The Middle - Lower Triassic Saline-deposit, with the widest distribution and the biggest thickness, plays an important role in the sealing of natural gas in Sichuan basin, northern Guizhou Province, Chuxiong basin, and parts of the Middle-Lower Yangtze.

Key words: preserve condition; saline-deposit; marine deposit; hydrocarbon reservoiring; southern China

40多年的油气勘探实践和综合研究表明,保存条件是中国南方海相油气成藏的关键要素,已

成为基本共识^[1~6]。但是,如何正确认识评价保存条件,如何有效开展中国南方海相油气勘探研

收稿日期:2006-09-13

第一作者简介:金之钧(1957—),男,教授、博士生导师,石油地质

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(2005CB422100)

究工作,已经成为摆在中国南方油气勘探研究面前的突出问题。笔者认为,对区内膏盐岩分布特征研究是正确认识评价中国南方保存条件的重要关键因素之一,由于区内具有多旋回改造特点,对海相油气前景评价应该“反演”,即结合沉积构造演化史首先查明膏盐岩分布保存有利区,然后寻找有利圈闭及储层,进一步开展石油地质评价。

1 膏盐岩的封盖作用与油气成藏

对全球大型油气田(藏)盖层岩性的统计表明,常规油气资源的直接盖层主要有泥页岩和盐(膏)岩两种类型。虽然泥页岩盖层分布最广,比例最大(占80%以上),但泥页岩所封盖的石油储量仅占全球石油储量的22%;而分布面积仅占8%的盐(膏)盖层,却封盖了全球总油气储量的55%^①。统计中国13个主要含气盆地,其中4个盆地发育膏盐岩,勘探发现气田165个,占全国气田总数的40%;探明气层气储量 $15\,718.6 \times 10^8 \text{ m}^3$,占全国气层气总储量的36%。勘探实践表明,在四川盆地,中-下三叠统气田产层明显受膏盐岩展布范围控制,川南地区19个主要气田分布

表明了膏盐岩盖层对油气聚集与保存具有重要意义^[7](图1)。

岩性对毛细管封闭能力的影响很大,不同岩性其毛细管封闭能力明显不同(表1)^[8]。毛细管封闭能力最强的是岩性细而塑性强的膏盐岩和泥岩。粉砂质泥岩和泥质粉砂岩、生物灰岩等也有一定的毛细管封闭能力,但较膏盐岩和泥岩的毛细管封闭能力要弱,只能成为较差的油气封盖层。

在地质历史时期的构造运动过程中,脆性岩石受构造应力作用易产生裂缝,而塑性岩石受力变形过程中则趋于塑性变形。岩石的塑性是随压力、温度(埋藏深度)和岩性变化而变化的一种岩石性质,膏盐岩的可塑性高,塑性系数为2.003~2.170,高于泥岩1.53倍,更高于泥灰岩。当上覆岩层超过一定厚度时,在高温高压的地质环境中,泥质岩就可能产生裂缝;泥灰岩也许有较高的驱替压力,但在受力变形的条件下,要比盐岩、硬石膏、泥质岩和富含有机质岩更容易发生断裂,蒸发岩则能够成为极好的塑性盖层。作为大中型油气田盖层的最好岩性是膏盐岩和泥岩。国内外许多勘探实例已经证明了膏盐岩具备极强的封闭性能,是很好的盖层。^[9~17]

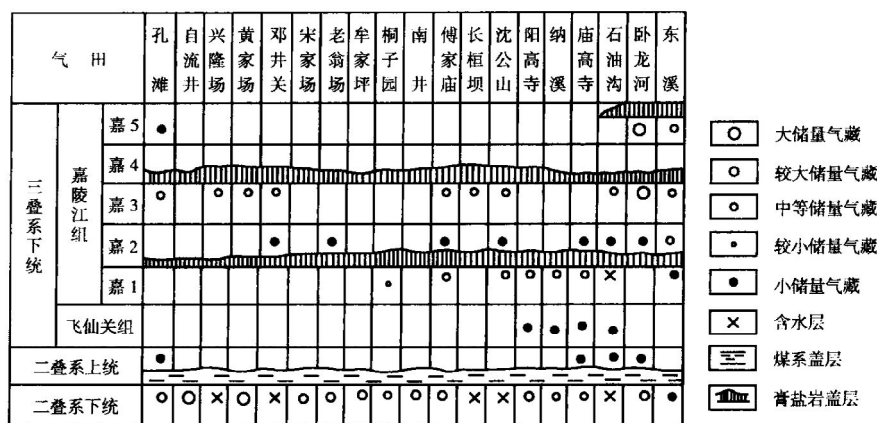


图1 四川盆地川南地区二叠系、三叠系气藏分布与区域盖层关系^[7]

Fig. 1 Relationship between the distribution of Permian and Triassic gas reservoirs and regional cap rock in southern Sichuan basin

表1 贵州地区不同岩性突破压力对比^[8]

Table 1 Break-through pressures of different rocks in Guizhou

岩性	膏岩	泥岩	粉砂质泥岩	泥质粉砂岩	石灰岩	白云岩
突破压力/MPa	>74	12~30	8~12	5~10	6~8	3~8
地区及层位	赤水 T ₁ c	黔东 ε ₁	赤水 S ₁	黔南 D ₂	黔东 O ₁	紫云 P ₂

① 殷进根. 亚洲石油地质特征与资源分布. 博士后出站报告, 2003

例如,对美国怀俄明和犹他州中央逆掩断层带的油气圈闭评价,蒸发岩盖层的存在与否是其重要因素。一项对世界最大的25个气田的特征分析表明,所有分布在逆断层带以内的气田,都依赖于其具有蒸发岩盖层^①。因此,在相对稳定区的含油气盆地,页岩、泥灰岩盖层就可以作为“有效盖层”;若含油气盆地处于构造活动带或经历多期次构造运动改造,一般对盖层岩性条件的要求更高,多需要膏盐岩作为封盖层。在中国南方,由于经历了多期次构造运动,膏盐岩盖层的分布对于评价区内天然气前景更为重要。

2 膏盐岩盖层的纵向分布特征

膏盐岩是一套特殊的沉积体,与特定的沉积环境密切相关,主要发育于沉降速率小于沉积速率盆地,部分发育于沉降速率等于沉积速率环境。

因为,只有在沉降速度小于沉积速度情况下,湖海盆的沉积环境才有可能大范围的由半封闭性的潟湖转化为封闭性的盐湖环境,盆地水体盐浓度才有可能急剧增高,进入膏盐岩大量沉积阶段。

在沉降速度等于沉积速度情况下,盆地沉积环境可以已由局限海逐步演化为潟湖环境。随着蒸发作用的加强,相应出现蒸发成因的碳酸盐和石膏沉积。

显然,膏盐岩形成环境主要与盆地发展的中、后期密切相关。

总结中国南方诸盆地沉积多旋回发展演化特点,有利于出现多期的膏盐岩沉积环境。膏盐岩盖层分布的层位主要有中-下寒武统、石炭系、中-下三叠统、白垩系-古近系(图2)。

在晋宁运动以后,中国南方扬子地区进入早期台地演化阶段,经过震旦纪的陆相、海陆交互和盆地相碎屑岩沉积和大陆、深海火山喷出相沉积以后,逐渐过渡到以碳酸盐岩为主的碳酸盐岩台地和深海硅质岩沉积阶段。中寒武世逐渐海退,台地水体变浅、以潮坪相和局限台地相泥页岩、白云岩沉积为主,黔中地区及四川盆地东部首次出现膏盐岩沉积环境。

奥陶纪-志留纪沉积特征是盆地由发展演化至衰亡的阶段,但是后期沉积旋回并不完整,大部

分地区缺失晚志留世沉积,总体不具备膏盐岩发育环境。泥盆纪为局部地区盆地裂陷时期,直到石炭纪,总体为盆地发展特点。但是江南隆起局部地区由于沉积环境动荡,沉积旋回明显,第二次出现了膏盐岩沉积的环境。

二叠纪,中国南方迎来古生代规模最大的海侵,形成了最为壮观的巨型碳酸盐台地。三叠纪嘉陵江期沉积环境发生了重大变化,古陆物源供给减少,为海平面频繁升降形成的碳酸盐台地与蒸发岩交替出现的浅海台地。海侵时以浅水开阔台地为主,海退时局限浅海台地发育。在中三叠世雷口坡期物源来自东侧,同时异相的巴东组红色碎屑岩由东往西减少,上扬子地区主要为碳酸盐台地及蒸发岩沉积为主。第三次出现了膏盐岩沉积的环境。

中三叠世末的印支运动,使扬子地台整体抬升,隆升成陆,结束了本区的海相沉积历史,进入陆相沉积发展阶段。

在陆相盆地晚期盆地萎缩衰亡阶段的晚白垩世-第三纪,由于与特提斯海联系的通道关闭,中国南方主要发育内陆湖盆,在内陆湖盆中普遍发育厚度不等的以石膏、芒硝、钙芒硝和石膏、岩盐甚至钾盐的膏盐岩地层,第四次出现了膏盐岩沉积环境(图2)。

上述4次膏盐岩沉积环境中,第三次沉积纵向上控制了四川盆地现今主要的油气田(藏)分布(威远气田除外),第四次沉积纵向上与江汉盆地与苏北盆地现今主要的陆相油气发现相吻合。

3 膏盐岩盖层的平面分布特征

统计表明,受沉积、构造环境及后期破坏作用影响,上述层位的膏盐岩地区分布差异性很大。其中,中-下三叠统膏盐岩分布最为广泛,石炭系零星分布。平面上,保存条件较好的地区是四川盆地、江汉盆地、下扬子句容-海安地区以及楚雄盆地。

3.1 中-下寒武统

中-下寒武统膏盐层属浅水蒸发台地相沉积,现今残存区仅见于四川盆地东南部、黔北及滇东北局部地区,主要分布在清虚洞组上部、石冷水组

① 殷进垠. 亚洲石油地质特征与资源分布. 博士后出站报告, 2003

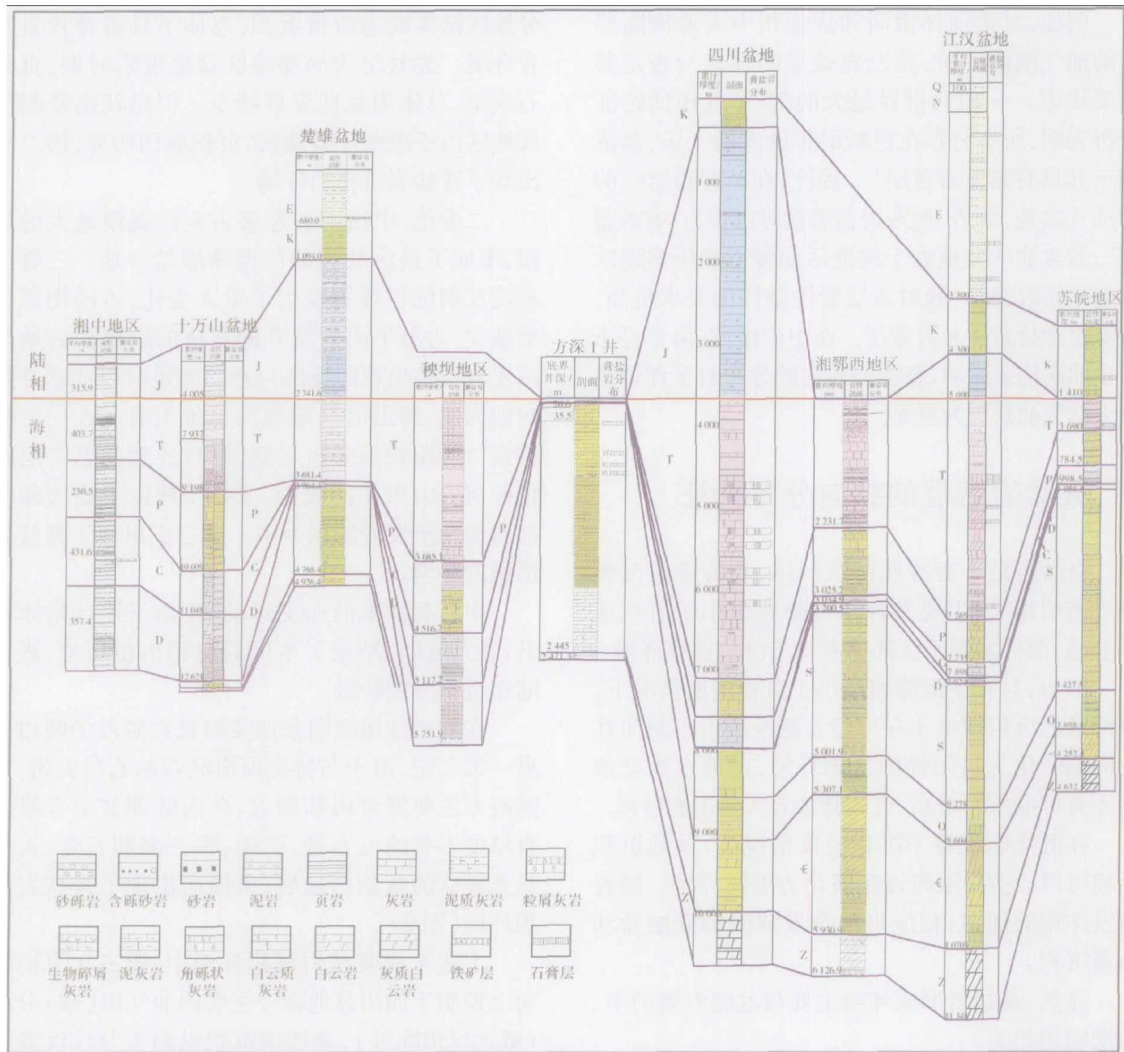


图2 中国南方膏盐岩分布层位及区域对比

Fig. 2 Stratigraphic distribution of saline-deposit and regional correlation in southern China

以及娄山关群下部(四川盆地的高台组、龙王庙组),但厚度变化较大,以四川盆地分布最广;中-下寒武统膏盐岩厚5.0~70.0 m,最厚处位于重庆-江津地区(大于70.0 m);滇黔地区根据杨惠民等^[6]15口钻井资料统计,以绥阳-务川一带膏盐层累计厚度最大,清虚洞组在绥阳二井厚8.8 m,石冷水组和娄山关群在绥阳一井厚59.7 m。岩性主要是石膏和白云质石膏,其次是膏质或含膏质白云岩。地表的相应层位中由于淡水淋滤溶蚀膏盐地层产生膏化作用常呈膏溶角砾岩。四川盆地威远气田震旦系、寒武系气层表明了寒武系膏盐层对于寒武-震旦系天然气封盖作用的重要性,但因深埋地腹,寒武系膏盐层分布范围还有待进一步研究(图3,图4)。

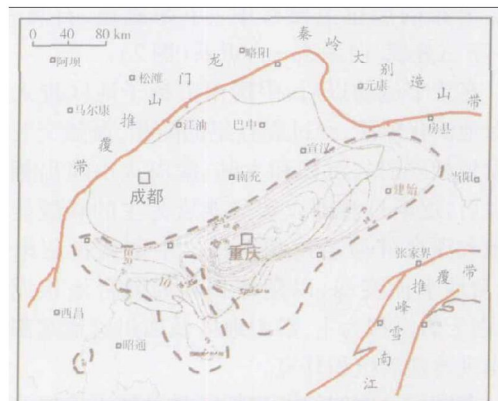


图3 四川盆地中-下寒武统膏盐岩分布

Fig. 3 Distribution of the Middle-Lower Cambrian saline-deposit in Sichuan basin

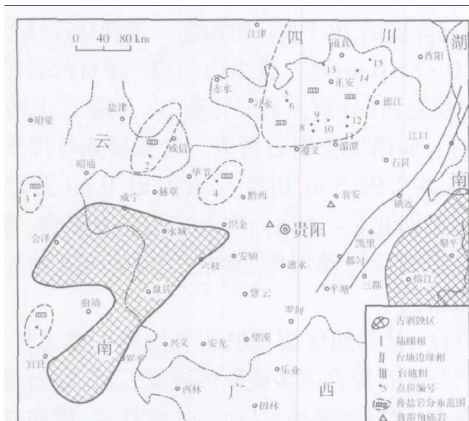


图4 贵州以及邻区寒武系膏盐岩分布
Fig. 4 Distribution of the Cambrian saline-deposit in Guizhou and its neighboring area



图5 湘中地区膏盐岩分布
Fig. 5 Distribution of saline-deposit in the central of Hunan province

3.2 石炭系

石炭系膏盐岩盖层主要在湘中地区局部发育,分布在下石炭统梓门桥组,构成了湘中地区的局部盖层。其中涟源凹陷西部的冷水江市—温塘和东部的石山冲地区发育3~5层石膏层,湖南涟源涟7井石膏累计厚度达14.5 m,湖南邵阳邵5井石膏层累计厚度7.5 m,湖南涟源涟深2井石膏层则较薄,仅1.5 m。邵阳凹陷石膏层主要见于邵1(1.1 m)、邵14井(3.6 m)(图5)。

3.3 中-下三叠统

中、下三叠统膏盐岩分布最广,是中国南方最为发育,保存最好的地区。主要发育于下三叠统嘉陵江组和中三叠统雷口坡组,膏盐岩厚50~600.0 m,以川中、川西南部地区最为发育;而在印支期泸州古隆起及开江古隆起区部分膏盐层遭受剥蚀,厚度小于50.0 m。中扬子江汉盆地主要保存于当阳和沉湖复向斜,厚度50.0~100.0 m(图6)。此外,在四川盆地东北部下三叠统飞仙关组

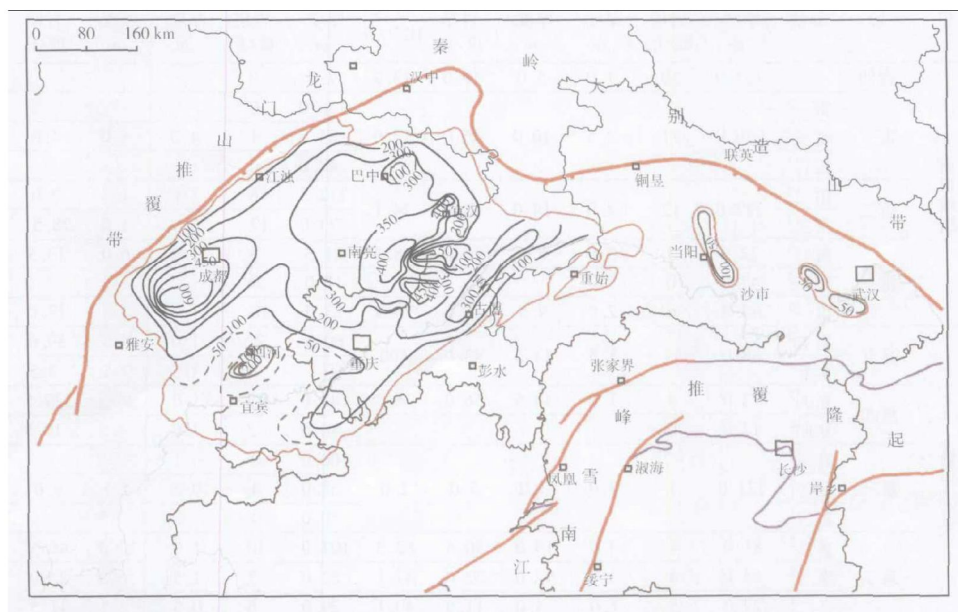


图6 四川盆地及邻区中-下三叠统膏盐岩分布
Fig. 6 Distribution of the Middle-Lower Triassic saline deposit in Sichuan basin and its neighboring area

的飞四段及飞三段上部也夹有膏盐薄层及条带。

3.3.1 川东北地区

在通江、南江、巴中地区(以下简称通南巴地区)中三叠统雷口坡组(T2l)膏盐岩以白云岩、灰岩与硬石膏岩频繁间互为特点,膏盐岩主要发育于雷一段至雷三段,雷四段由于印支运动中期的抬升,遭受剥蚀,在西南段的川巴88井雷四段厚137.0 m,而在涪阳坝一带的川涪82井仅厚7.0 m。雷⁻¹段和雷⁻³段的膏盐岩横向分布稳定、连续,对比性较好,其余各段的膏盐岩横向变化较大,连续性与对比性较差(表2);硬石膏岩以川巴88井最厚,达180.5 m;川涪82井较薄,为66.0 m,分别占地层厚度的22.4%及12.9%。

通南巴地区嘉陵江组膏盐岩层位极为稳定,对比性、连续性好且厚度较大,是区内区域性优质盖层。嘉五段在川巴88井膏盐岩连续分布达83.0 m(占地层厚度的100%)。嘉四段是区域上最重要的膏盐岩发育层段。川巴88井上部(嘉四²)厚73.0 m,为硬石膏夹白云岩,其中硬石膏层厚56.0 m

(占地层厚度的76.7%);涪阳坝一带膏盐连续厚度达52.0~85.0 m;嘉二段由白云岩-硬石膏岩组成3个沉积旋回(分别为嘉二¹、嘉二²及嘉二³),在每一旋回上部都发育硬石膏岩。膏盐层累计厚度在川巴88井为93.5 m,川涪82井为81.0 m(表2)。

受后期北东-南西向构造挤压应力影响,膏岩层向高点部位滑动增厚,形成沿北东向隆坳相间的分布格局。

宣汉-达县地区雷口坡组各层段主要为灰岩、白云岩与硬石膏岩呈多旋回的频繁互层,硬石膏岩以层数多,单层厚度小,纵向上连续性差、横向变化大、对比性较差为特点(表3)。主要发育在嘉四段上部(嘉四²亚段)、嘉二段及嘉五段,以嘉四段最重要,具纵向连续分布厚度大,横向连续性好的特点;其次是嘉二段,虽厚度不如嘉四段,但亦横向连续好,其余层位的连续性和对比性则较差(表3)。

区域对比,通南巴和达县-宣汉地区的下三叠统嘉陵江组一中三叠统雷口坡组膏盐岩十分发育,为区内普光、通南巴等大气田的形成提供了极为有利的封盖和保存条件。

表2 通南巴地区中-下三叠统膏盐岩盖层分布

Table 2 Statistics of the Middle-Lower Triassic saline deposit in Tongnanba area

地 层				川巴 88 井					川涪 82 井						
统	组	段	亚段	地层 厚度/ m	膏盐 岩层 数/层	最小 厚度/ m	最大 厚度/ m	膏盐 岩厚 度/m	厚度 比*, %	地层 厚度/ m	膏盐 岩层 数/层	最小 厚度/ m	最大 厚度/ m	膏盐 岩厚 度/m	厚度 比*, %
中三叠统	雷口坡组	雷四		137.0	10	1.0	5.0	19.0	13.9	7.0	0				
		雷三 ³								130.0	0				
		雷三 ²		270.0	11	2.5	10.0	46.0	17.0	83.5	1	4.0	4.0	4.0	5.0
		雷三 ¹								48.0	0				
		雷二 ²		282.0	12	2.0	14.0	68.0	24.1	112.5	6	1.0	1.5	7.0	6.0
		雷二 ¹								73.0	17	0.5	3.0	28.5	39.0
		雷 ⁻³		22.0	3	3.0	8.0	15.0	68.2	21.5	5	1.0	6.0	13.5	62.8
		雷 ⁻²		47.0	0					17.0	0				
		雷 ⁻¹		44.0	6	2.5	9.5	32.5	73.9	23.5	10	1.0	2.5	13.0	55.3
下三叠统	嘉陵江组	嘉五 ²		83.0	17	1.5	14.5	83.0	100	60.5	22	1.0	9.5	59.0	97.5
		嘉五 ¹								60.5	1	3.5	3.5	3.5	5.8
		嘉四 ²		73.0	8	1.0	18.5	56.0	76.7	142.0	18	1.0	26.5	137.5	96.8
		嘉四 ¹		12.0	0					40.0	3	1.0	8.5	10.5	26.3
		嘉三 ³								100.0	0				
		嘉三 ²		171.0	1	3.0	3.0	3.0	2.0	35.0	4	0.5	4.5	9.0	25.7
		嘉三 ¹								50.0	0				
		嘉 ⁻³		81.0	4	3.0	19.0	50.5	62.3	107.0	10	1.0	12.0	46.5	43.5
		嘉 ⁻²		68.0	4	3.0	12.0	32.0	47.1	52.0	7	1.5	6.0	23.0	44.2
		嘉 ⁻¹		27.0	5	1.0	4.0	11.0	40.1	29.0	6	0.5	3.5	11.5	39.7
		嘉一		>15.0						420.0	0				

* 厚度比 = 膏盐岩厚度/地层厚度。

表3 达县-宣汉地区三叠系膏盐岩盖层分布

Table 3 Statistics of the Triassic saline deposit in Daxian-Xuanhan area

地 层			川 64 井			北 2 井			川付 85 井			川 25 井			川岳 83 井		
统	组	段	地层 厚度/ m	膏盐 岩厚 度/m	厚度 比, %	地层 厚度/ m	膏盐 岩厚 度/m	厚度 比, %	地层 厚度/ m	膏盐 岩厚 度/m	厚度 比, %	地层 厚度/ m	膏盐 岩厚 度/m	厚度 比, %	地层 厚度/ m	膏盐 岩厚 度/m	厚度 比, %
中三叠统	雷口坡组	雷三	208.0	0	0	197.0	20.0	10	333.0	63.0	19.0	185.0	0	0	85.0	0	0
		雷二	588.0	21.0	21.0	273.0	89.0	65.0	215.0	66.0	31.0	378.0	51.0	14.0	322.0	107.0	33.0
		雷一	132.0	0	0	>96.5	>23.5	0	101.0	25.0	24.0	56.0	7.5	13.0	33.0	6.5	20.0
		嘉五	109.0	0	0				475.0	17.0	35.0	69.0	2.0	3.0	33.0	2.0	6.0
下三叠统	嘉陵江组	嘉四	170.0	113.0	99.0				250.0	156.0	63.0	215.0	116.0	54.0	213.0	165.0	78.0
		嘉三	182.0	0	0				184.0	1.5	0.1	199.0	0	0	186	4.0	2.2
		嘉二	142.0	22.5	48.5				178.0	73.0	41.0	>90.0	>37.0	0	195.0	68.5	35.0
		嘉一							355.0	0	0	未钻穿			338.0	0	0
地层			川岳 84 井			川 1 井			双石 1 井			雷西 2 井			雷西 1 井		
统	组	段	地层 厚度/ m	膏盐 岩厚 度/m	厚度 比, %	地层 厚度/ m	膏盐 岩厚 度/m	厚度 比, %	地层 厚度/ m	膏盐 岩厚 度/m	厚度 比, %	地层 厚度/ m	膏盐 岩厚 度/m	厚度 比, %	地层 厚度/ m	膏盐 岩厚 度/m	厚度 比, %
中三叠统	雷口坡组	雷三	113.0	2.0	1.8	97.0	0	0									
		雷二	229.0	95.0	42.0	>161.0	>78.0		273.0	57.0	21.0	287.0	53.0	19.0	333.0	60.0	18.0
		雷一	44.0	16.0	37.0												
		嘉五	36.0	3.5	58.0				217.0	45.0	155.0	155.0	42.0	27.0	177.0	63.0	36.0
下三叠统	嘉陵江组	嘉四	51.5	8.5	90.0				424.0	412.0	97.0	77.0	36.0	46.0	294.0	129.0	44.0
		嘉三	182.0	1.5	1.0				242.0	2.0	0.1	203.0	0	0	164.0	0	0
		嘉二	177.0	65.0	99.0				212.0	82.0	39.0	186.0	56.0	30.0	178.0	64.0	36.0
		嘉一	334.0	0	0				341.0	0	0	342.0	0	0	342.0	0	0

* 厚度比 = 膏盐岩厚度/地层厚度。

3.3.2 鄂西-渝东地区

鄂西-渝东地区下三叠统膏盐岩盖层主要发育在嘉陵江组嘉四段、嘉五段以及嘉二段(表4)。盖层有效分布区主要为石柱复向斜以及万县复向斜,而利川复向斜、方斗山复背斜、齐岳山复背斜区则大部分或全部暴露。

嘉陵江组嘉四、嘉五和嘉二段的膏盐都比较稳定,嘉四段膏盐岩主要分布于上部,厚48.0~96.0 m,占该段地层厚度的54.0%~86.5%,层位稳定,厚度变化不大,但嘉五段膏盐岩主要发育于嘉五²段,占地层厚度的16.0%~25.8%,单层厚度7.5~19.0 m,最大可达43.0 m(盐1井),层位分布稳定,厚度变化不大,有自南向北减薄的趋势,是本区膏盐岩盖层发育的重要层位之一。嘉二段膏盐岩与白云岩组成3个沉积韵律,厚度11.5~51.0 m,占该段地层厚度的6.6%~30.2%,最厚可达70.0 m(建34井),单层最大厚度为6.0~22.0 m,横向分布稳定,是本区膏盐岩盖层发育的重要层位。中三叠统巴东组也有少量膏盐岩发育,分布零星,纵向上连续性差、横向变

化大,基本不具封闭性能。下三叠统嘉陵江组膏盐岩盖层以石柱复向斜,由于其层位稳定,厚度变化稳定,构成为石柱复向斜地区天然气最重要的区域盖层。嘉陵江组和雷口坡组膏盐岩层不仅是四川盆地中-下三叠统众多气田的直接盖层(图6),也是四川盆地海相地层与上覆陆相地层含气系统区域封隔层,其间天然气很少相混,说明了区域性岩层的分布对油气封盖的重要意义。

3.3.3 江汉盆地区

江汉盆地下三叠统嘉陵江组膏盐岩以嘉四段-嘉五段为主,岩性为石膏、云膏岩,石膏质白云岩及含膏白云岩,但厚度变化较大。平面上以江汉南部断块区的牌洲、红丰、天门地区分布较厚,最厚处位于复向斜中心的牌参1井、丰1井,达135.0 m和339.5 m,向西北厚度减薄,到天门地区的岳参1井,厚度仅12.5 m。宜昌斜坡带的当阳地区连片性也较好,但厚度稍小,如当深3井嘉五段103.0 m、嘉四段65.0 m。澧县地区也局部分布,最大膏盐层的厚度为13.5 m,但在裸露区已基本被溶蚀,现今也只是局部的直接盖层。此外,

表 4 鄂西-渝东区三叠系下统嘉陵江组膏盐岩盖层分布
Table 4 Statistics of saline deposit in the Triassic Jialingjiang Formation
in western Hubei province and eastern Chongqing

地 层		卷店构造卷1井						盐井构造盐1井						建南构造建63井					
组	段	地层		膏盐岩				地层		膏盐岩				地层		膏盐岩			
		厚度/ m	层数/ 层	最小/ m	最大/ m	厚度/ m	厚度比, %	厚度/ m	层数/ 层	最小/ m	最大/ m	厚度/ m	厚度比, %	厚度/ m	层数/ 层	最小/ m	最大/ m	厚度/ m	厚度比, %
嘉陵江组	嘉五	220.0	7	5.5	17.5	36.5	16.6	197.0	4	44.5	53.0	59.5	30.2	186.5	5	5	28.0	12.0	25.8
	嘉四	131.5	5	3.5	47.0	96.0	73.0	100.0	3	6.0	52.5	73.5	73.5	117.5	3	1	67.0	92.5	78.7
	嘉三	203.5	0					212.5	0					216.5	2	1	1.0	2.0	
	嘉二	170.0	4	3.0	16.5	29.0	17.0	183.0	2	19.5	22.0	41.5	22.7	169.0	7	2	19.5	51.0	30.2
	嘉一	259.5						247.0	0					250.5	0				
地 层		建南构造建43井						建南构造建30井						建南构造建23井					
组	段	地层		膏盐岩				地层		膏盐岩				地层		膏盐岩			
		厚度/ m	层数/ 层	最小/ m	最大/ m	厚度/ m	厚度比, %	厚度/ m	层数/ 层	最小/ m	最大/ m	厚度/ m	厚度比, %	厚度/ m	层数/ 层	最小/ m	最大/ m	厚度/ m	厚度比, %
嘉陵江组	嘉五	187.5	8	8.0	20.0	35.5	18.9	191.5	11	2.0	16.5	38.0	19.8	134.0	9	1.5	16.5	31.5	16.0
	嘉四	112.0	5	2.5	50.5	86.5	77.2	106.0	12	1.0	37.5	85.0	80.0	100.5	9	1.0	24.0	65.5	65.2
	嘉三	216.0	1	2.0	2.0	2.0		219.5	0					257.0	0				
	嘉二	166.5	7	1.0	15.5	36.0	21.6	174.5	3	1.5	6.0	11.5	6.6	224.0	3	7.5	11.0	27.5	12.3
	嘉一	260.5	0					254.0	0					318.5					
地 层		建南构造建34井						建南构造建44井						建南构造建31井					
组	段	地层		膏盐岩				地层		膏盐岩				地层		膏盐岩			
		厚度/ m	层数/ 层	最小/ m	最大/ m	厚度/ m	厚度比, %	厚度/ m	层数/ 层	最小/ m	最大/ m	厚度/ m	厚度比, %	厚度/ m	层数/ 层	最小/ m	最大/ m	厚度/ m	厚度比, %
嘉陵江组	嘉五	189.0	10	5.5	12.5	45.5	24.0	192.5	8	5	13.0	34.5	17.9	187	5	9.5	25.0	39.0	20.9
	嘉四	90.0	6	4.5	10.0	48.5	53.9	103.5	8	3	15.5	65.5	69.3	100	4	9.0	26.5	62.0	62.0
	嘉三	222.5	2	2.5	2.5	5.0		224.5	1	3	3.0	3.0		230	1	3.0	3.0	3.0	
	嘉二	182.5	7	6.0	19.5	70.0	38.4	181.0	6	1	4.0	13.0	7.2	170	9	1.0	8.0	42.5	25.0
	嘉一	256.0						258.5	0					259	0				
地 层		龙驹坝构造龙4井						龙驹坝构造龙1井						新场构造新1井					
组	段	地层		膏盐岩				地层		膏盐岩				地层		膏盐岩			
		厚度/ m	层数/ 层	最小/ m	最大/ m	厚度/ m	厚度比, %	厚度/ m	层数/ 层	最小/ m	最大/ m	厚度/ m	厚度比, %	厚度/ m	层数/ 层	最小/ m	最大/ m	厚度/ m	厚度比, %
嘉陵江组	嘉五	200.5	1	25.5	25.5	25.5	12.7	>104.0						477.5	11	3.0	100.5	285.0	59.7
	嘉四	228.5	13	4.0	27.0	117.5	51.4	320.5	20	1	48.0	155.5	48.5	202.5	5	1.0	128.0	140.0	69.0
	嘉三	230.5	1	2.5	2.5	2.5		259.5	0					274.0	1	4.0	4.0	4.0	
	嘉二	180.5	6	1.0	6.0	16.5	9.0	176.0	9	1	9.5	29.5	16.8	>96.4	>2	1.5	>17.5	>19.0	
	嘉一	255.0	0					251.0	0										

* 厚度比 = 膏盐岩厚度/地层厚度。

鄂东南断褶带的武 1 井也钻遇嘉陵江组膏盐岩 45.0 m。江汉北部断块区的钟祥—京山一带位于剥蚀区(图 7)。

3.3.4 下扬子地区

下扬子地区中三叠统膏盐岩及含膏岩类主要发育于中三叠统周冲村组(安徽省称为东马鞍山组),无为地区的 N 参 4 井在中三叠统黄马青组(T_2h)和扁担山组(T_2b)也见白色的石膏层,岩性为含膏白云岩及膏岩层,为潮坪—泻湖相沉积。在芜湖—南京—镇江一带,石膏—硬石膏可以富集成

工业矿床,表明了原始沉积环境有利于膏盐岩形成,由于后期复杂的构造运动膏盐岩主要保存较好的地区是在南京—镇江、南陵—无为盆地以及黄桥地区等几个残留中心。

南京市周冲村 195-2 孔、195-3 孔表明,周冲村组除了顶部一段白云岩和泥质岩不含膏盐岩外,中下部均有膏盐岩发育。195-2 孔周冲村组上部为灰、灰黄色厚层角砾状灰岩与白云岩互层,下部硬石膏发育,厚 83.5 m。195-3 孔周冲村组中部深灰、灰黑色中厚层致密白云岩与硬石膏互层,厚 75.0 m。从黄桥地区已有钻井显示,周冲村

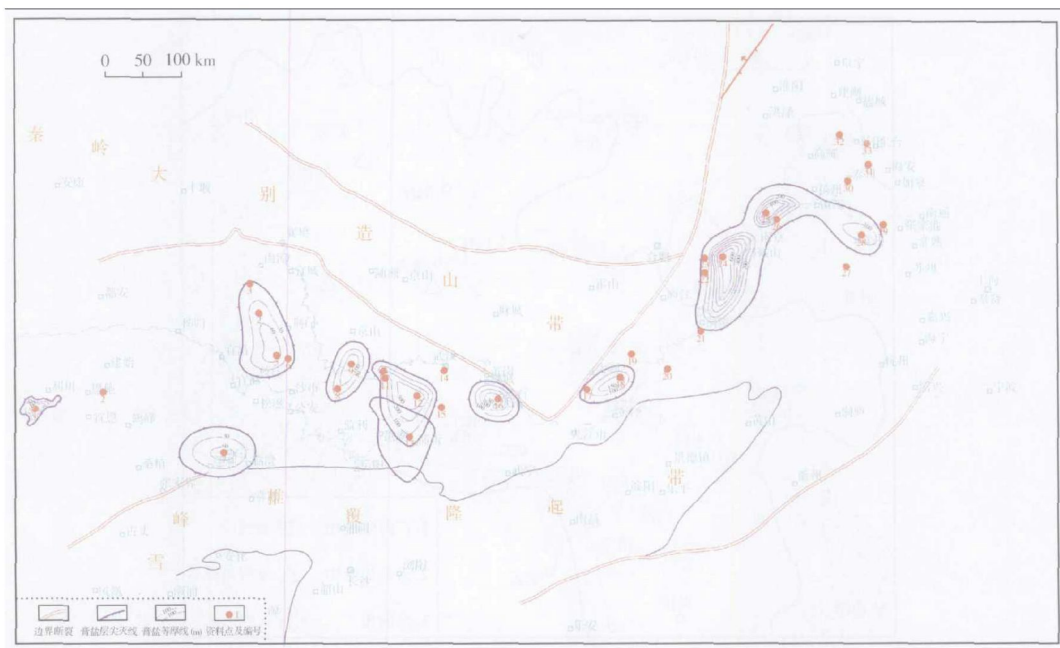


图7 中-下扬子地区中-下三叠统膏盐岩分布

Fig. 7 Distribution of the Middle - Lower Triassic saline deposit in Middle and Lower Yangtze area

组仅有 N7 井及长 1 井有所揭示,长 1 井周冲村组膏盐岩盖层岩性主要为膏质云岩、云质膏岩、含膏泥质云岩、云质石膏岩、含膏云岩,厚达 223.5 m; N7 井周冲村组岩性主要为硬石膏层及膏质云岩,厚达 272.3 m。周冲村组中部巨厚质纯的膏盐层可作为中生界、上古生界油气藏良好的局部直接盖层。

3.3.5 滇黔桂地区

滇黔桂地区中-下三叠统膏盐层比较完整保存分布在赤水、绥江地区和平坝、六枝、水城地区。赤水、绥江地区的膏盐层集中分布在下三叠统嘉陵江组,属局限台地蒸发相沉积。赤水地区膏盐层厚度一般 45.0~100.0 m,单层最大厚度可以达到 53.3 m,是赤水地区嘉陵江组气藏的直接盖层,其上又有 1 500~2 000 m 的侏罗系、白垩系泥岩作为上覆盖层,封盖条件良好。平坝、六枝、水城地区的膏盐层多分布于下三叠统永宁镇组和中三叠统关岭组,属于早-中三叠世坳陷带之背海一侧半封闭咸化环境下的沉积,累计厚度小,且不稳定,盖层条件差。威宁-遵义-大方一带因隆升遭到剥蚀,受到淋滤溶蚀作用,尚有零星的膏溶角砾岩显示(图 8)。

3.4 白垩系—第三系

3.4.1 江汉盆地

江汉盆地白垩系—第三系为一套红色砂泥岩类夹膏盐层组成,其中泥岩和膏盐岩层累积厚度约 700.0 m,最大单层厚度可达 100.0 m。膏盐岩相对集中于新沟组上段顶部,新沟组下段底部和白垩系顶部,这三套膏盐岩在横向上的分布各有特点(表 5)。新沟组上段膏盐岩厚度平均为 5.0~10.0 m,其中以沔阳凹陷分布较稳定,一般凹陷中心厚度大,向凹陷边缘厚度逐渐变小;新沟组下段膏盐岩厚度平均为 1.0~5.0 m,局部地区加厚如江陵凹陷沙 4 井膏盐岩厚到 320.5 m,苏 3 井厚度达 91.0 m;白垩系膏盐岩厚度平均 1.0~5.0 m,在潜江凹陷北部,小板凹陷和岳口低凸起、沔阳凹陷分布较稳定,局部也有加厚现象如小板凹陷板 73 井区膏盐厚度达 72.0 m,潜江凹陷潭参 1 井膏盐厚度为 122.3 m。平面上,白垩系膏盐岩厚度最大的地方位于潜江凹陷,厚度大于 96.0 m,其次是小板凹陷、江陵凹陷、沔阳凹陷,厚度介于 2.0~50.0 m,陈参 1 井膏盐岩累计厚度达 165.0 m。第三系膏盐岩盖层在小板、潜江、江陵凹陷及通海口凸起、岳口低凸起均

图8 贵州以及邻区三叠系膏盐岩分布^[6]

Fig. 8 Distribution of Triassic saline-deposit rock in Guizhou and its neighbouring area

表5 江汉盆地白垩系一下第三系膏盐岩厚度统计

Table 5 Statistics of saline deposit of the Cretaceous - Paleogene in Jiangnan basin

		m									
层	位	潜江凹陷		沔阳凹陷		小板凹陷		江陵凹陷		岳口低凸起	
系	组	区间值	平均值	区间值	平均值	区间值	平均值	区间值	平均值	区间值	平均值
第三系	新沟组上段	0~40.5	5.0	2.0~67.0	10.0	1.5~20.0	10.0	0~46.0	5.0	0~28.0	5.0
	新沟组下段	0~91.5	2.0	0~23.0	5.0	0~2.0	1.0	0~320.5	2.0	0~25.0	1.0
白垩系		0~122.3	1.0	0~6.5	0.5	1.3~72.0	5.0	0~30.5	1.0		

有分布,以小板凹陷厚度最大,板参1井区厚度达363.4 m。它们对海相地层的油气均能起到一定的保存作用(图9,图10)。

3.4.2 下扬子地区

下扬子区上白垩统盐层主要发育在盐城凹陷,以浦口组二段—四段白色盐岩、膏岩为主。据钻井揭示,淮安地区膏盐岩最发育,苏131井浦口组二段、三段膏盐岩累计厚度大于1 050.0 m(未穿),N参1井三段膏盐岩厚度324.0 m。另外,在建湖地区建1井、盐城地区的苏参1井、溱潼地区的苏103井、泰州地区的苏4井、黄桥地区的N6等井浦口组中也夹有石膏层(图11)。整体认为,下扬子地区浦口组膏盐岩只有盐城凹陷淮安地区厚度特别大,特别集中,其它地区厚度和分布面积都较小。

3.4.3 滇黔桂地区

白垩系一下第三系的膏盐层分布在楚雄盆地和十万大山盆地。

楚雄盆地白垩系一下第三系膏盐岩主要发育于江底河组和元永井组,由于遭受到淋滤剥蚀,膏盐岩分布不均匀,只是零星小片分布,部分岩性为膏溶角砾岩,但在元永井、黑井、大姚县等地区膏盐岩发育完整厚度可以超过200.0 m,单层厚度最大超过118.8 m(大姚县ZK3孔)。下第三系含盐层段厚达147.0~308.0 m,矿层累计厚度57.0~266.0 m以上,单矿层厚6.0~118.6 m^①(表6)。另外,在螃蟹阱附近露头观察到含盐层段厚近100.0 m,其中矿层厚约20.0 m。据此可以推测本区白垩系一下第三系膏盐层是较为发育的,是楚雄盆地的重要盖层(图12)。

① 云南省十四地质大队. 云南省大姚县石羊矿区钾盐普查评价地质报告. 云南省地矿局,1980

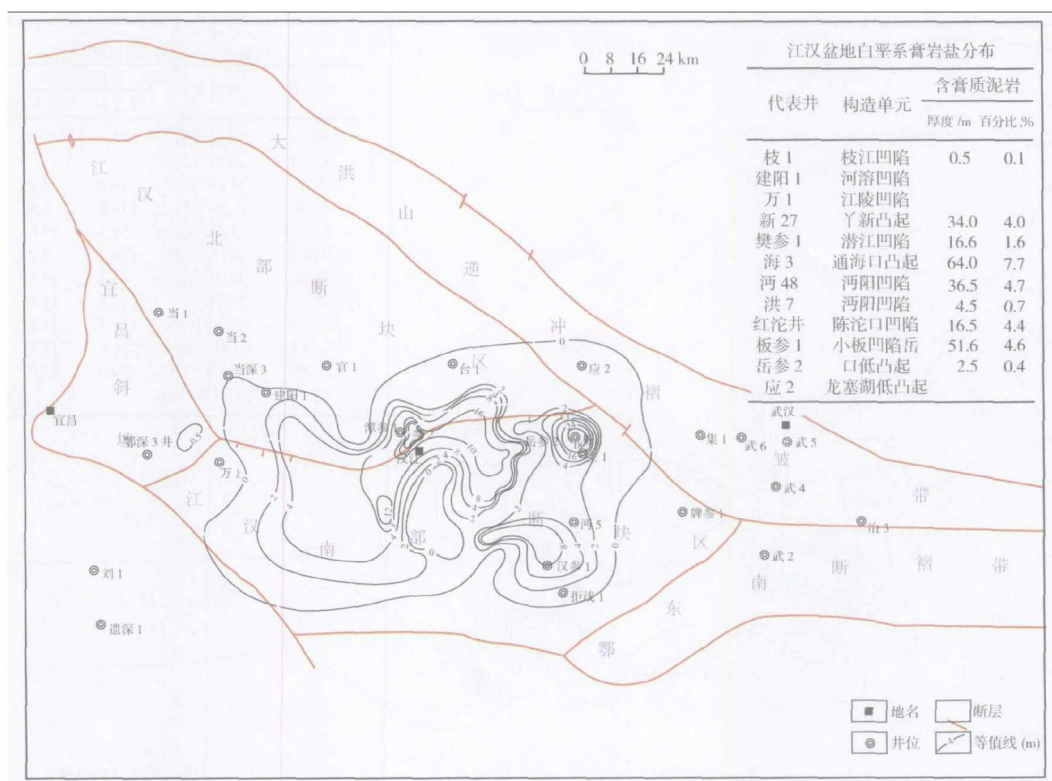
图9 江汉盆地白垩系膏盐岩盖层等厚图^①

Fig. 9 Isopachous map of the Cretaceous saline deposit in Jiangnan basin

十万大山盆地东端的陶圩,据 ZK101 钻井结果,在 497.2 m 含石膏粉砂质泥岩为主的地层中,夹有两套芒硝,分别厚 70.4 和 14.5 m;盆地南部的平吉、陆屋等地,有储量达数亿吨的大型石膏矿床,石膏呈似层状、脉状;盆地中部的定西 1 井,井下也见较多的石膏。白垩系以砂泥岩为主,是十万大山盆地重要的区域盖层和上覆盖层,上白垩统中夹膏盐层,对盖层的封闭性能将有很程度上的改善。但由于资料有限,目前尚无法预测本区膏盐层展布情况。

4 主要结论

1) 膏盐岩主要形成于沉积盆地发展演化的中后期,盆地发育具有沉积速率大于或等于沉降速率特点。膏盐岩盖层虽然所占比例较小,但封盖了全球绝大多数已发现油气储量,对油气聚集与保存具有重要意义,是正确认识评价南方保存条件的关键因素。

2) 南方膏盐岩盖层纵向上主要发育于寒武系、石炭系、中-下三叠统及白垩系-下第三系地层中。寒武系和中-下三叠统膏盐岩盖层较厚,对油气的封盖能力最强。

3) 中-下三叠统膏盐岩盖层与四川盆地油气分布关系密切;嘉陵江组 and 雷口坡组膏盐岩层不仅是四川盆地中-下三叠统众多气田的直接盖层,也是四川盆地海相地层与上覆陆相地层含气系统区域封隔层,其间天然气很少相混,说明了区域性岩层的分布对油气封盖的重要意义。

4) 南方膏盐岩盖层平面上分布范围很广,但不同地区分布差异性很大。中-下寒武统膏盐岩主要分布在四川盆地东部、东南部及黔西北地区;石炭系膏盐岩盖层主要分布在湖南湘中地区;中-下三叠统膏盐岩盖层在四川盆地全区发育,在江汉平原当阳及沉湖地区、下扬子的南陵-无为盆地沿长江地区也有分布;白垩系-下第三系膏盐岩盖层主要发育于江汉盆地、句容-海安地区及滇黔楚雄盆地。

① 胡晓凤. 江汉盆地南部区块白垩系-第三系保存条件评价和勘探目标选择. 江汉油田, 2002

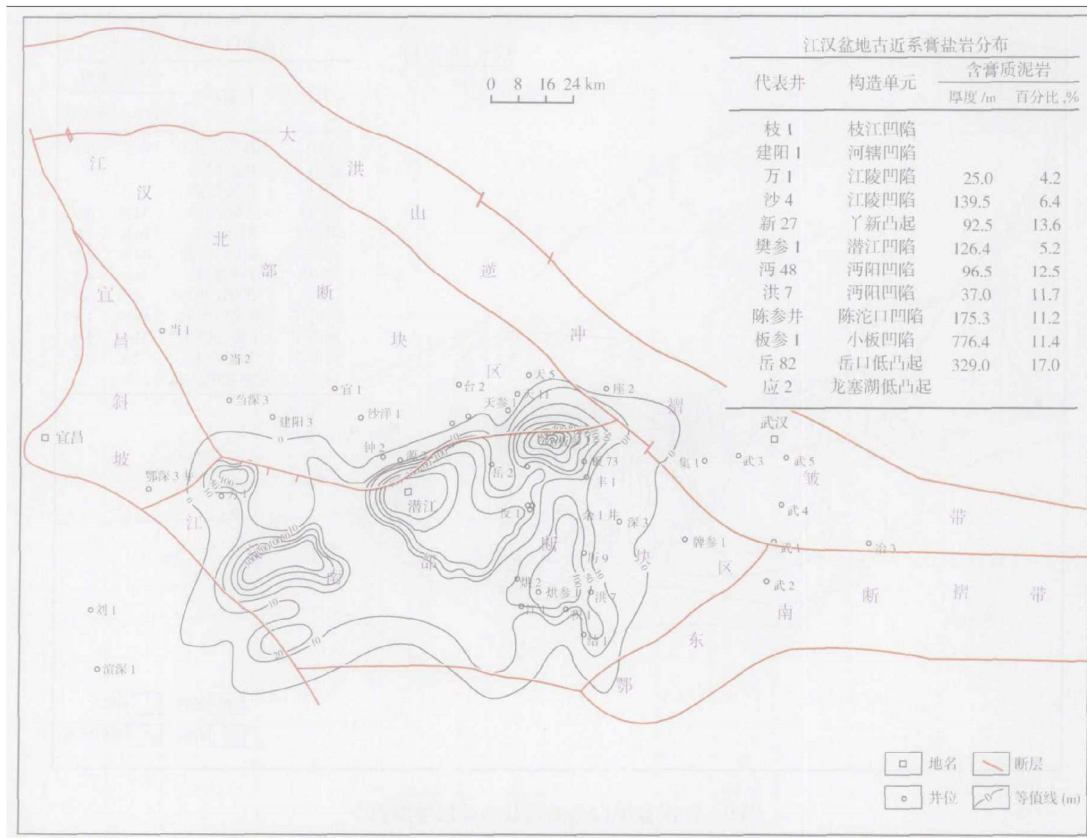
图10 江汉盆地古近系膏盐岩盖层等厚图^①

Fig. 10 Isopachous map of the E saline deposit cap rock in Jiangnan basin

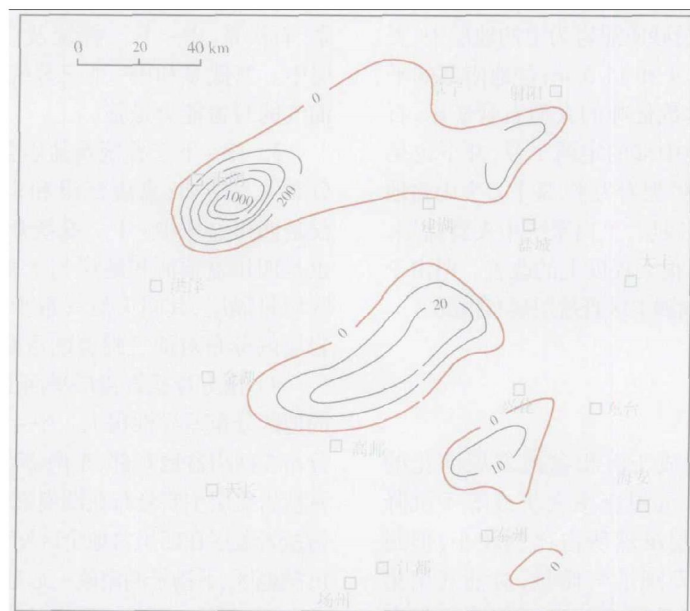


图11 苏北盆地白垩系膏盐岩分布

Fig. 11 Distribution of the Cretaceous saline deposit in Subei basin

① 胡晓凤. 江汉盆地南部区块白垩系—第三系保存条件评价和勘探目标选择. 江汉油田, 2002

表6 石羊矿区周边古近系盐井统计

Table 6 Statistics of Paleogene salt wells around Shiyang mining area

孔号	孔深/m	地层厚度/m	矿层厚度/m	单矿层厚度/m	平均品位, %
ZK1	1 041.4	170.0	70.1	6.2~24.3	33.1
ZK2	996.3	308.1	266.3	6.0~113.2	24.6
ZK5	906.1	147.3	139.6	21.0~118.6	42.9
ZK11	996.5	150.7	57.1	22.0(1层)	25.4

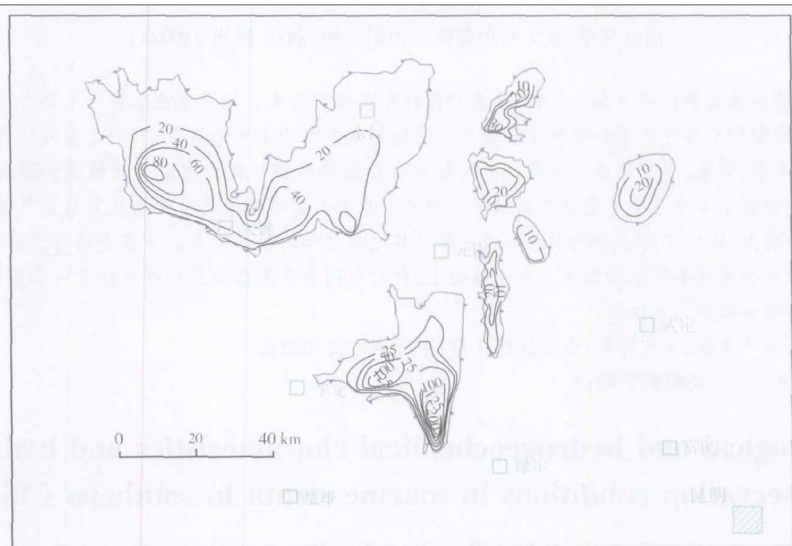


图12 楚雄盆地第三系膏盐岩分布

Fig. 12 Distribution of the Tertiary saline deposit in Chuxiong basin

致谢:感谢王庭斌教授对本文的指导及修正。

参考文献

- 马力,陈焕疆,甘克文,等.中国南方大地构造和海相油气地质[M].北京:地质出版社,2004.328~450
Ma li, Chen Huanjiang, Gan Kewen, et al. Geotectonics and petroleum geology of marine sedimentary rocks in southern China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004. 328~450
- 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
Ma Yongsheng, Lou Zhanghua, Guo Tonglou, et al. An exploration on a technological system of petroleum preservation evaluation for marine strata in South China[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(3): 406~417
- 沃玉进,肖开华,周雁,等.中国南方海相系油气成藏组合类型与勘探前景[J].石油与天然气地质,2006,27(1):11~16
Wo Yujin, Xiao Kaihua, Zhou Yan, et al. Types of marine plays in southern China and exploration prospects[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(1): 11~16
- 吴冲龙,杜远生,梅廉夫,等.中国南方印支-燕山期复合盆地体系与盆地原型改造[J].石油与天然气地质,2006,27(3):305~315
Wu Chonglong, Du Yuansheng, Mei Lianfu, et al. Composite basin-and-range system and reformation of basin prototype in Indosinian-Yanshanian in South China[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 305~315
- 肖开华,沃玉进,周雁,等.中国南方海相系油气成藏特点与勘探方向[J].石油与天然气地质,2006,27(3):316~325
Xiao Kaihua, Wo Yujin, Zhou Yan, et al. Petroleum reservoir characteristics and exploration direction in marine strata in southern China[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 316~325
- 杨惠民,刘炳温,邓宗淮.滇黔桂海相碳酸盐岩地区最佳油气保存单元的评价与选择[M].贵阳:贵州科技出版社,1999.1~286
Yang Huimin, Liu Bingwen, Deng Zonghuai. Assessment and selection of optimum units for hydrocarbon preservation in the Dian-Qian-Gui marine carbonate region [M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press, 1999. 1~286
- 戴金星,裴锡古,戚厚发.中国天然气地质学(第二卷)[M].北京:石油工业出版社,1996.43~45
Dai Jinxing, Pei Xigu, Qi Houfa. Natural Gas Geology in China (Vol. 2) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996. 43~45
- 杨传忠,张先普.油气盖层力学性与封闭性关系[J].西南石油学院学报,1994,16(3):7~13
Yang chuanzhong, Zhang xianpu. Relationship between dynamics of caprocks and characteristics of seal [J]. Journal of Southern-western Petroleum Institute, 1994, 16(3): 7~13

(下转第593页)

- Wang Yunpu. The formation of Triassic brine in southwest of Sichuan basin [A]. In: International geology exchange thesis (5) [C]. Beijing: Geology Publishing House, 1980. 184-189
- 14 汪蕴璞. 古水文地质研究内容与方法[J]. 水文地质与工程地质, 1982, 6(3): 223-230
- Wang Yunpu. The contents and methods of ancient hydrogeology [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1982, 6(3): 223-230
- 15 楼章华, 金爱民, 付孝悦. 海相地层水文地球化学与油气保存条件评价[J]. 浙江大学学报(工学版), 2006, 40(3): 501-505
- Lou Zhanghua, Jin Aimin, Fu Xiaoyue. Study on hydrogeochemistry and evaluation technology of petroleum preservation conditions for marine strata [J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2006, 40(3): 501-505
- 16 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
- Ma Yongsheng, Lou Zhanghua, Guo Tonglou, et al. An exploration on a technological evaluation system of petroleum preservation evaluation for marine strata in South China [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(3): 406-417
- 17 何登发, 马永生, 杨明虎. 油气保存单元的概念与评价原理[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 1-8
- He Dengfa, Ma Yongsheng, Yang Minghu. Concept and appraisal principles of hydrocarbon preservation unit [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1): 1-8
- 18 沃玉进, 肖开华, 周雅, 等. 中国南方海相系油气成藏组合类型与勘探前景[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(1): 11-16
- Wo Yujin, Xiao Kaihua, Zhou Yan, et al. Types of marine plays in southern China and exploration prospects [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(1): 11-16
- 19 郭彤楼, 楼章华, 马永生. 南海相油气保存条件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
- Guo Tonglou, Lou Zhanghua, Ma Yongsheng. Several problems on oil and gas preservation and their commercial prospecting in marine sequences of South China [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2003, 25(1): 3-9
- 20 成艳, 陆正元, 赵路子, 等. 四川盆地西南边缘地区天然气保存条件研究[J]. 石油实验地质, 2005, 27(3): 218-221
- Cheng Yan, Lu Zhengyuan, Zhao Luzi, et al. Study on the preservation condition of gas reservoir in southwestern edge of Sichuan basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(3): 218-221
- 21 冯增昭. 关于油气保存单元[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 388-390
- Feng Zengzhao. About oil and gas preservation unit [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(3): 388-390
- 22 何登发, 马永生, 杨明虎. 油气保存单元的概念与评价原理[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(1): 1-8
- He Dengfa, Ma Yongsheng, Yang Minghu. Concept and appraisal principles of hydrocarbon preservation unit [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1): 1-8

(编辑 武新民)

(上接第583页)

- 9 Kirkland D W, Evans R. Source rock potential of evaporitic environment [J]. AAPG, 1980, 65(2): 139-148.
- 10 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
- Luo Jianning, Zhu Zhongfa, Xie Yuan, et al. The gypsolith and its bearings on the oil and gas exploration in the Qiangtang basin in northern Xizang and southern Qinghai [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2003, 23(2): 1-8
- 11 罗权生, 荆文波, 聂朝强. 台北凹陷第三系膏盐岩对油气运聚的意义[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(1): 29-31
- Luo Quansheng, Jing Wenbo, Nie Zhaoqiang. Significance of Tertiary plaster salt rock in Taipei depression to migration and accumulation of hydrocarbon [J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(1): 29-31
- 12 王东旭, 曾藏辉, 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): 329-333
- Wang Dongxu, Zeng Jianhui, Gong Xiumei. Impact of gypsolith on the formation of oil and gas reservoir [J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(3): 329-333
- 13 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
- Ji Youliang, Feng Jianhui, Wang Shenglang, et al. Origin of salt and gypsum rock in the Third Member of Shahejie formation of Lower Tertiary in Dongpu depression [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(2): 225-231
- 14 徐士林, 吕修祥, 杨明慧, 等. 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
- Xu Shilin, Lü Xiuxiang, Yang Minghui, et al. Controlling effect of gypsum and salt rocks on abnormally high pressure in Kuche depression [J]. Journal of Xi'an Shiyou University, 2004, 19(4): 5-9
- 15 Volozh Y, Talbot C, Ismail Zadeh A. Salt structures and hydrocarbons in the Pricaspian basin [J]. AAPG Bulletin, 2003, 87(2): 313-334.
- 16 Tang Liangjie, Jin Zhijun, Jia Chengzao, et al. Poly-phase salt tectonics and hydrocarbon accumulation in Tarim superimposed basin, northwest China. Science in China (Series D), 2004c, 47(S0): 104-113
- 17 Tang Liangjie, Jia Chengzao, Jin Zhijun, et al. Salt tectonic evolution and hydrocarbon accumulation of Kuqa foreland fold belt, Tarim Basin, NW China [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2004a, 41(1-3): 97-108

(编辑 陈喜禄)