

东营凹陷盐—泥层构成及其特征

刘晓峰, 解习农, 姜涛, 张成

中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

摘要: 含盐层序原始沉积的典型特征是盐类岩石与超压泥岩等构成互层的多韵律结构。盐和泥作为一个整体, 与纯粹的厚层的盐或泥相比, 其塑性变形能力和行为具有特殊性。针对这一特点, 提出了盐—泥层和盐—泥构造的概念。盐—泥层是指盐类岩石与超压泥岩呈互层的沉积层序, 具有一定的塑性或流动性。盐—泥构造是由盐—泥层的流动变形而形成的一类构造样式。盐—泥层的概念在含盐盆地中具有较广泛的适用性。

关键词: 含盐层序; 盐—泥层; 盐—泥构造; 东营凹陷。

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2005)05-0604-05

收稿日期: 2005-03-03

Composition and Characteristics of Salt-Mud Bed in Dongying Depression

LIU Xiao-feng, XIE Xi-nong, JIANG Tao, ZHANG Cheng

Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: Saline sequences exist in the lower fourth number of the Shahejie Formation and the first number of the Kongdian Formation in the Dongying depression. The typical feature of primary sediments of the saline sequence is the rhythmic succession characterized by interbeds of evaporite and overpressured mudstone, which is prevalent in continental fault basins in China. As a whole, a salt-mud bed is different from a pure salt bed or mud bed and its plastic forming structures are also different. So the concepts of “salt-mud bed” and “salt-mud tectonics” are proposed in this paper. “salt-mud bed” refers to sedimentary sequence consisting of the interbeds of evaporite and overpressured mudstone, which has ductile or fluid properties. “salt-mud tectonics” is a kind of tectonics resulting from the distortion of a salt-mud bed flow. The concept of salt-mud bed will assist research into the genetic mechanism and structural style of salt-mud tectonics.

Key words: saline sequence; salt-mud bed; salt-mud tectonics; Dongying depression.

0 引言

世界范围内,许多含油气盆地中发育塑性岩层,主要有盐岩层和超压泥岩层。这些塑性岩层在沉积盆地演化的历程中,形成了丰富的塑性变形构造样式——盐构造和泥构造——以其奇特的构造样式和风格以及聚集丰富油气资源的神奇魔力而令地质学家为之痴迷。

我国东部中、新生代断陷盆地中普遍沉积了石盐岩、石膏盐和超压泥岩互层夹少量砂岩等的塑性岩层,并形成了相应的塑性变形构造。这些塑性岩层

与纯粹的盐岩层或泥岩层有着显著的差异,导致了它们的塑性变形构造与典型的盐构造或泥构造相比,在变形机制、变形样式等方面均具有特殊性。正如袁见齐和蔡克勤(1985)所指将我国中、新生代盐体与国外著名盐丘发育区相比差别是显著的。除了地质构造环境上的不同外,其中最主要的可能是盐层原始沉积特点的差别。Stewart *et al.* (1996)也认识到,单一的、纯的盐相比盐和泥的互层对断裂发育有不同的影响。因此,本文以渤海湾盆地东营凹陷的盐和泥互层层序及其塑性变形构造为切入点,探讨这类塑性岩层的基本特征。

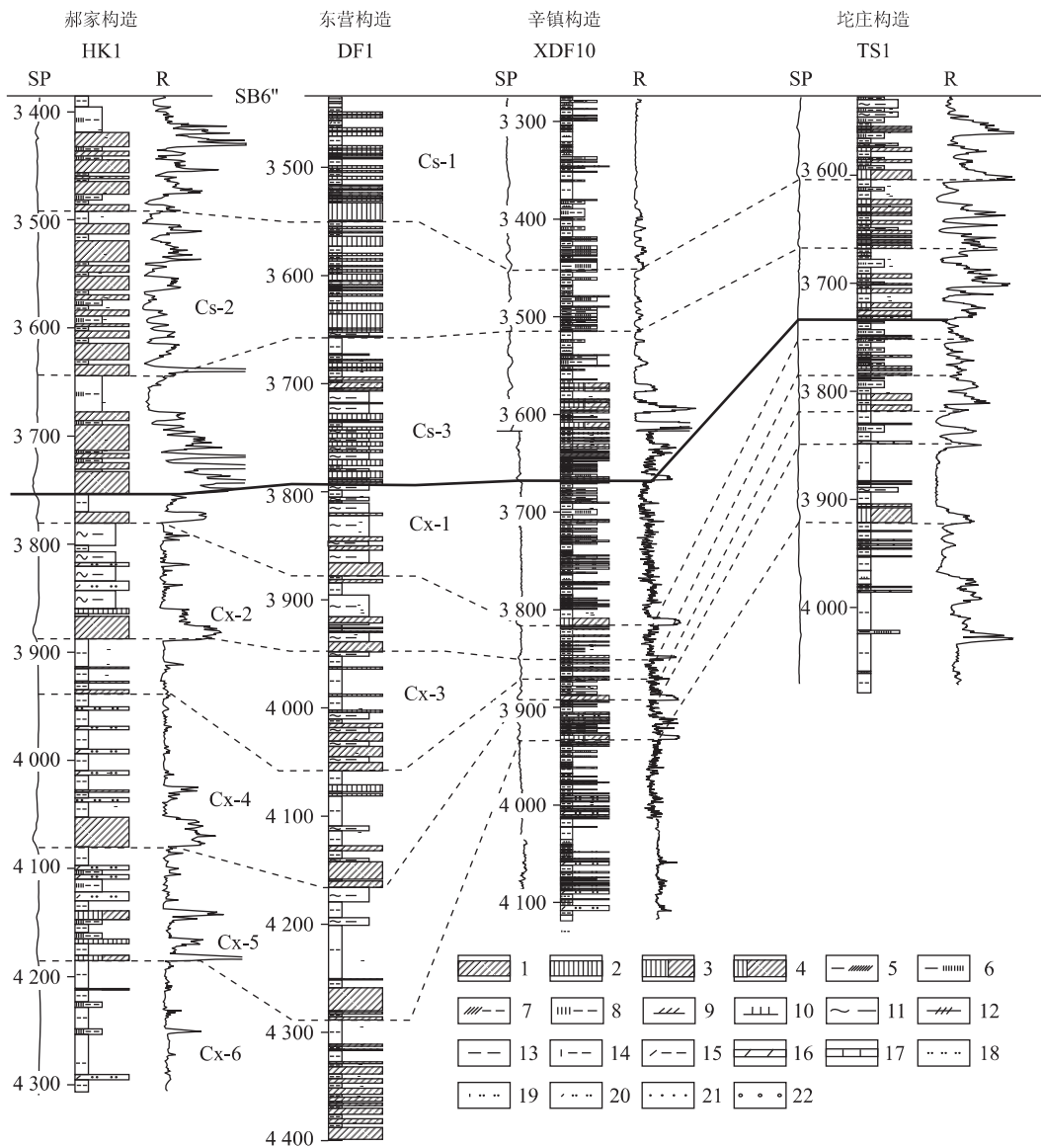


图 1 东营凹陷沙四段下亚段含盐层序沉积特征对比(单位:m)

Fig. 1 Comparative sketch of sedimentary characteristics of saline sequences in lower fourth member of Shahejie Formation in Dongying depression

Cs. 上部旋回; Cx. 下部旋回; 1. 石盐岩; 2. 石膏岩; 3. 石膏质石盐岩; 4. 含石膏石盐岩; 5. 泥质石盐岩; 6. 泥质石膏岩; 7. 石盐质泥岩; 8. 石膏质泥岩; 9. 含石盐泥岩; 10. 含石膏泥岩; 11. 软泥岩; 12. 油页岩; 13. 泥岩; 14. 灰质泥岩; 15. 白云质泥岩; 16. 白云岩; 17. 灰岩; 18. 粉砂岩; 19. 灰质粉砂岩; 20. 白云质粉砂岩; 21. 泥质粉砂岩; 22. 砾岩; SP. 自然电位曲线(mV); R. 电阻率($\pi \cdot m$)

1 盐—泥层和盐—泥构造的概念

1.1 东营凹陷含盐层序特征

据现有的钻井资料, 东营凹陷含盐沉积发育于沙河街组四段下亚段(简称沙四下)和孔店组一段(简称孔一段)。沙四下含盐层序由灰色泥岩和灰白色、白色、无色石盐岩、石膏岩组成。该套含盐层序分布范围广泛, 在盆地各构造单元都有揭露。沙四下含盐层序可划分出上、下 2 个较大的沉积旋回(图 1)。

下部旋回(记作 C_x)由若干个石盐岩—石膏岩—泥岩夹粉砂岩序列的小旋回构成。盐岩层厚度较小, 碎屑岩厚度较大。该旋回反映的是间发性水流作用的间歇盐湖的沉积特征。该旋回的底部为红色砂岩与泥岩互层夹盐岩。上部旋回(记作 C_s)以盐类岩石沉积为主, 夹泥岩, 一般不含砂岩, 大致由 3 个小旋回构成。该旋回代表了盐湖沉积。郝家构造、坨庄构造石盐岩很发育, 代表了盐湖沉积中心相; 东营构造以石膏岩为主, 辛镇构造主要为泥岩和石膏岩, 属边缘

表 1 东营凹陷钻井含盐层序基本数据统计

Table 1 Basic data of saline sequences from drills in Dongying Depression

m

钻井号	DF1	DF2	DF8	XDF10
统计井段	3 385.0~4 400	3 768~4 152.5	3 408.0~4 336.96	3 266.0~4 014.0
含盐层序厚度	1 015.0	384.5	928.96	748.0
石膏岩	141.0/9.0	188.5/15.0		
石盐岩	156.5/9.5	17.0/8.0	42.0/10.5	46.5/5.0
含石膏石盐岩		2.0/2.0		65.0/7.0
泥质石膏岩/石盐岩			323.5/22.5	65.0/8.0
盐岩总厚(比例)	338.5(33.35%)*	207.5(53.97%)	365.5(39.35%)	176.5(60.0%)
膏盐质泥岩			24.5/3.5	90.0/6.5
软泥岩	144.0/8.0	26.0/6.0		42.5/3.0
泥岩	544.0	151.0	530.5	392.5
砂岩、砾岩			8.5/4.0	30.0/3.0
白云岩、灰岩	9.5/4.0			16.5/4.0
钻井号	HK1	TS1	FS1	N11
统计井段	3 395.0~4 212.5	3 515.0~4 075.8	3 991.5~4 227.0	3 763.0~3 826.0
含盐层序厚度	817.5	560.8	235.5	63.0
石膏岩	18.0/7.5		66.0/16.0	
石盐岩	174.0/20.5	2.0/1.0	61.0/11.0	20.0/7.0
含石膏石盐岩	74.0/14.5	92.0/11.5		2.5/1.0
泥质石盐岩/石膏岩			12.0/3.0	
盐岩总厚(比例)	266.0(32.54%)	94.0(16.76%)	127.0(53.93%)	22.5(35.71%)
膏盐质泥岩	105.5/33.0	90.5/6.5	71.5/7.5	8.0/2.0
软泥岩	73.0/10.0	19.0/3.0		
泥岩	326.5	337.3	37.0	32.5
砂岩、砾岩	47.0/4.0	11.5/2.0		
白云岩、灰岩		8.5/4.5		

注: * 含杂卤石和钙芒硝 20.5 m; “/”之前表示总厚度,之后表示单层最大厚度。

相。该旋回构成了较完整的蒸发岩相序(缺乏钾盐相),具有浓缩性盐湖沉积的特征。

目前只有 XDF10 和 HK1 揭示中央隆起带的孔一段发育含盐层序。主体为紫红色泥岩、白云质泥岩、灰质泥岩与紫红色白云质粉砂岩、灰质粉砂岩、粉砂岩互层,夹灰白色泥质石膏岩。据地震资料推测孔一段局部存在较厚的含盐层序。

综合钻井资料,东营凹陷含盐层序原始沉积的典型特征是:石盐岩、石膏岩、泥岩、软泥岩及少量砂岩构成了互层的多韵律结构。该层序具有如下特点:(1)盐类岩石单层厚度较薄。石盐岩单层最厚达 20.5 m(HK1 井),石膏岩单层最厚达 16.0 m(FS1 井)。这与世界上许多盐构造发育的盆地中的盐层厚度是无法比拟的。如 Santos 盆地下白垩统(Aptian)蒸发岩原始沉积厚度大约为 1 000 m,在沉积中心部位推测可达 2 000 m(Szatmari *et al.*, 1996)。加拿大北极群岛西部的中奥陶统下 Bay Fiod 组盐层厚度从 60~2 200 m,局部更厚(Harrison, 1995);(2)在含盐层序中,纯的盐类岩石所占比例较小(表 1),

一般小于 60%,平均约为 38%。盐类岩石含量高的有 XDF10 井(60.00%)、DF2 井(53.97%)、FS1 井(53.93%),均位于北部陡坡带,相比之下洼陷中心部分泥岩的比例较高;(3)泥岩和软泥岩均是欠压实、超压的。盐类岩层集中发育段的超压强度更大,这与盐类岩石封闭能力强有关。

1.2 盐—泥层和盐—泥构造的概念

东营凹陷内发育的塑性变形构造的物质基础是含盐层序——由石盐岩、石膏岩以及软泥岩、泥岩交替的多韵律沉积,其中盐类岩石并不占明显的优势。针对此,本文提出盐—泥层和盐—泥构造的概念。盐—泥层是指盐类岩石与超压泥岩呈互层的多韵律的沉积层序,其中盐和泥有着大体相似的塑性变形行为,并共同形成某些特定的塑性构造样式。由盐—泥层的流动变形而形成的构造称之为盐—泥构造,区别于纯粹的盐构造或泥构造。在此概念中,强调的是盐和泥作为整体卷入同一构造变形作用之中,而非单独的盐类岩石或泥岩类。由于盐—泥层与单纯的盐或泥有显著的差异,因而它们所形成的构造也会

呈现出自身的特性来,尽管这种特性还取决于其他的因素。

2 盐—泥层的特征

(1)盐—泥与典型的盐或泥相比,物理性质有着显著的差异,这种差异必然要影响到它的变形行为,从而形成具有特色的构造样式。盐—泥层中盐与泥的塑性是相互促进、相互制约的。例如与石盐岩互层的石膏,在脱水过程中结晶水转化为游离状的自由水,会使石膏具有极大的塑性。同时,游离水会湿润石盐岩使其更具塑性。石膏与泥岩构成互层,会增加泥岩孔隙流体压力,使其更具塑性。虽然如此,盐—泥层的流动能力总是弱于纯的盐或泥。正如一些学者已经认识的,我国中、新生代盐层中夹有大量的碎屑岩,必然会降低盐体整体的变形能力。

(2)盐—泥层中孔隙流体是超压的。盐—泥层也是由盐类岩层分隔的若干个层状展布的次级超压流体封存箱的组合。盐层优良的封闭性能,导致盐间和盐下泥岩孔隙流体超压强度较大;并且,由于盐类岩石的溶解作用,会导致超压含盐流体形成。超压含盐流体的存在对盐—泥构造发育、盆地流体活动和油气运移均会产生深刻的影响。

(3)盐—泥层中的泥岩往往富含有机质而成为有效的烃源岩。本区沙四下灰色泥岩的有机碳含量为1.37%,氯仿沥青“A”含量为0.37%,是有利的生油岩。许多学者也指出,断陷盆地是中国中、新生代成盐作用的一个特点,盐层间的碎屑层既是重要的生油岩,也是主要的油气聚集岩层(马新华等,2000)。盐—泥层中往往发育砂岩储层。虽然砂岩会降低盐—泥层的塑性,但有时会有利于油气成藏。盐—泥层可被视作一个独立的含油气系统。

(4)盐—泥层在沉积盆地演化过程中会形成丰富的盐—泥构造样式及其相关的油气圈闭。

3 盐—泥层和盐—泥构造的普遍性

盐—泥层的概念虽然是针对东营凹陷的含盐层序而提出的,然而它并不仅仅局限于该凹陷内,可被推广到其他的含盐盆地。

渤海湾盆地东濮凹陷古近系发育了12个含盐韵律组,累计厚度逾1000 m。其岩性组合为盐岩、泥

膏岩、泥岩及灰质页岩。盐层厚度通常为10~30 cm。石膏常与泥岩互层。泥岩多深灰色至黑色、富含菱铁矿及生物化石碎屑,与泥膏岩渐变接触(林又玲等,2000)。江汉盆地潜江组主要岩性为石膏、盐岩与泥岩夹砂岩的韵律,其中潜三、四段为潜江凹陷主要的生油层系。冀中坳陷孔店组中部为泥岩与石膏岩、膏泥岩互层,留楚地区发育底辟构造。豫东坳陷区舞阳凹陷核桃园组二段上部和一段的盐岩发育,为一套岩盐、泥岩、泥膏岩、膏盐岩等。

塔里木盆地艾协克地区石炭系巴楚组膏盐岩段为灰白色盐岩、膏盐岩夹薄层膏泥岩和泥岩。单层盐岩层一般厚5~8 m,总厚度可达28 m。该段厚115~225 m。据岩性组成特征可细分为:下部盐岩夹泥岩或膏泥岩薄层亚段;中部盐岩与泥岩互层亚段;上部为厚层盐岩夹泥岩、膏泥岩薄层亚段;顶部为膏岩及泥岩薄层亚段(岳建华等,1999)。吐哈盆地台北凹陷渐—中新统桃树园组膏盐岩发育最厚,地层总厚度在800~1000 m,膏盐层累计最厚达520 m,占地层总厚度的52%~65%。膏盐层与泥岩及砂岩常构成不等厚间互层,组成多个含盐沉积韵律。膏盐单层厚一般在2~25 m,最厚达30 m。与泥岩、石膏互层的砂岩以粉砂岩为主(罗权生等,2000)。

可见,与东营凹陷相似,这些盆地的含盐层序有一显著的共性——石盐岩、石膏岩、泥岩、软泥岩及少量砂岩构成了互层的韵律结构。在这些盆地中也发育了不同程度的塑性变形构造(费琪和王燮培,1982)——盐—泥构造。

4 结论

东营凹陷含盐层序原始沉积的典型特征是:盐类岩石与超压泥岩等构成互层的多韵律结构——这在我国陆相含盐盆地中具有普遍性。盐和泥作为一个整体,与纯粹的厚层的盐或泥相比,其塑性变形能力和行为都有特殊性。针对这一特点,本文提出了盐—泥层和盐—泥构造的概念。盐—泥层是指盐类岩石与超压泥岩呈互层的沉积层序,具有一定的塑性或流动性。盐—泥构造是由盐—泥层的流动变形而形成的一类构造样式。盐—泥构造与纯粹的盐构造或泥构造相比具有特殊性。认识到盐—泥层的特殊性,更利于从本质上揭示它们的塑性变形构造(袁见齐和蔡克勤,1985;费琪和王燮培,1982;戈红星等,1997)——盐—泥构造。

References

- Fei, Q., Wang, X. P., 1982. A preliminary study on diapiric structure in oil and gas-bearing basins in eastern China. *Oil and Gas Geology*, 3(2): 113—123 (in Chinese with English abstract).
- Ge, H. X., Jackson, M. P. A., Vendeville, B. C., 1997. Structural evolution of the Wenliu salt diapir and graben, Bohai Bay. *Acta Petrolei Sinica*, 18(2): 35—40 (in Chinese with English abstract).
- Harrison, J. C., 1995. Tectonics and kinematics of a foreland folded belt influenced by salt, Arctic Canada. In: Jackson, M. P. A., Roberts, D. G., Snelson, S., eds., Salt tectonics: A global perspective. *AAPG Memoir*, 65: 379—412.
- Lin, Y. L., Wu, X. T., Pan, J. N., et al., 2000. Salt depositional model of the Shahejie Formation of Palaeogene in Dongying depression. *Journal of Palaeo geography*, 2(4): 66—75 (in Chinese with English abstract).
- Luo, Q. S., Jing, W. B., Nie, C. Q., 2000. Significance of the Tertiary plaster salt rock in Taibei depression to migration and accumulation of hydrocarbon. *Petroleum Exploration and Development*, 27(1): 29—31 (in Chinese with English abstract).
- Ma, X. H., Hua, A. G., Li, J. M., et al., 2000. Saline petroleum basins. Petroleum Industry Press, Beijing, 1—112 (in Chinese).
- Stewart, S. A., Harvey, M. J., Otto, S. C., et al., 1996. Influence of salt on fault geometry; Example from the UK salt basins. In: Alsop, G. I., Blundell, D., Davison, I., eds., Salt tectonics. *Geological Society Special Publication*, 100: 175—264.
- Szatmari, P., Guerra, M. C. M., Pequeno, M. A., 1996. Genesis of large counter-regional normal fault by flow of Cretaceous salt in the South Atlantic Santos basin, Brazil. In: Alsop, G. I., Blundell, D. J., Davison, D. J., eds., Salt tectonics. *Geological Society Special Publication*, 100: 259—264.
- Yuan, J. Q., Cai, K. Q., 1985. Salt structures of Mesozoic and Cenozoic in eastern China. In: Huibei Association of Petroleum, ed. Evaporate and Hydrocarbon. Press of Petroleum Industry, Beijing, 1—9 (in Chinese).
- Yue, J. H., Han, Y. Y., Hu, B. C., 1999. Research on genetic mechanism of salt body in Carboniferous in Aixieke region of Tarim basin. *Xinjiang Geology*, 17(2): 157—164 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 费琪,王燮培,1982. 初论中国东部含油气盆地的底辟构造. *石油与天然气地质*, 3(2): 113—123.
- 戈红星, Jackson, M. P. A., Vendeville, B. C., 1997. 文留盐构造成因与掩埋机制. *石油学报*, 18(2): 35—40.
- 林又玲, 吴贤涛, 潘结南, 等, 2000. 东濮凹陷老第三系沙河街组盐类沉积模式新见. *古地理学报*, 2(4): 66—75.
- 罗权生, 荆文波, 聂朝强, 2000. 台北凹陷第三系膏盐岩对油气运聚的意义. *石油勘探与开发*, 27(1): 29—31.
- 马新华, 华爱刚, 李景明, 等, 2000. 含盐油气盆地. 北京: 石油工业出版社, 1—112.
- 袁见齐, 蔡克勤, 1985. 中国中新生代的盐体构造. 见: 湖北省石油学会. 蒸发岩与油气. 北京: 石油工业出版社, 1—9.
- 岳建华, 韩燕英, 虎北辰, 1999. 塔里木盆地艾协克地区石炭系盐体成因机制研究. *新疆地质*, 17(2): 157—164.