

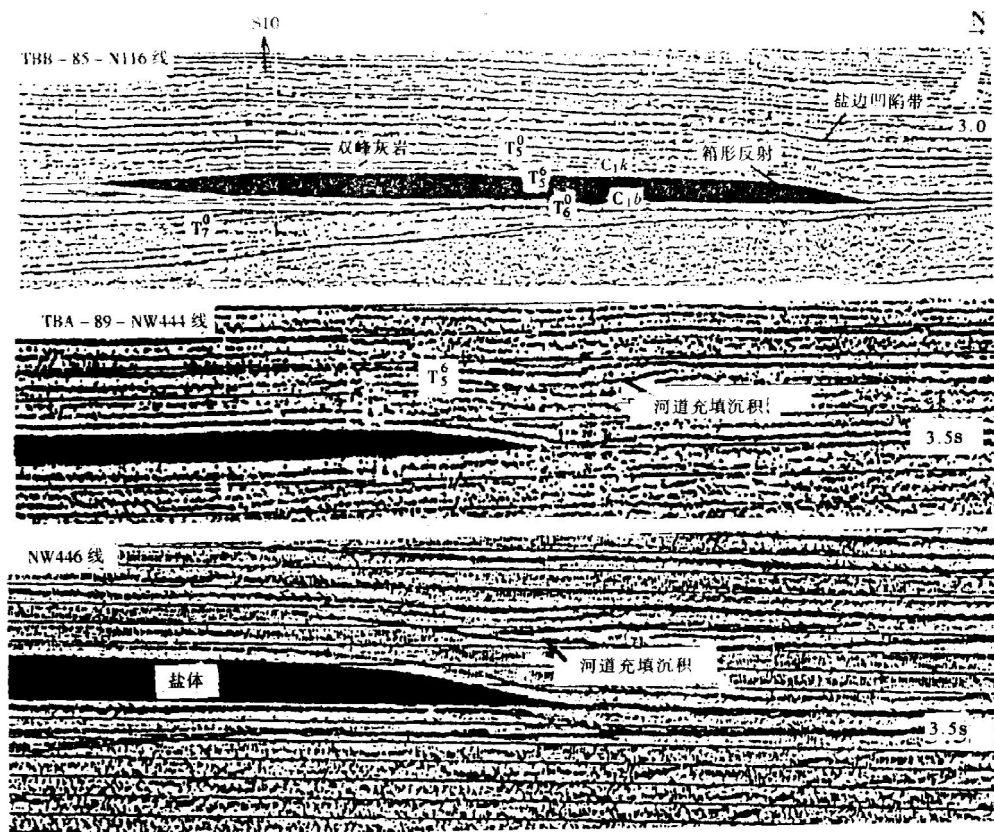


图2 通过盐体的典型地震剖面

Fig. 2 Typical seismic sections across salt body

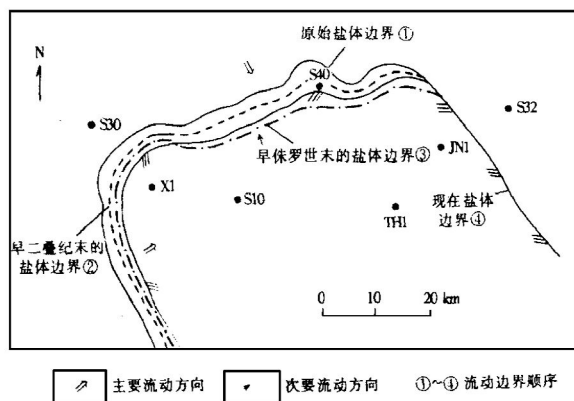


图3 石炭系盐体流动方向、期次和距离示意图

Fig. 3 Sketch map of flow direction, stages and distance for Carboniferous salt body

2.2 活动的时间和期次

地震剖面资料显示,本区的盐体在地史时期曾经历了三次较大规模的塑性流动。第一次是在早二叠世末期,由于盐体的塑性流动,造成盐边的物质亏损,使石炭系下陷形成盐边凹陷带。第二次是在三叠纪末期,局部地区可能延续至早侏罗世早期,由于盐体的塑性流动,造成了三叠系或下侏罗统下陷形成凹陷带。这两个凹陷带具有向盐体流动方向侧向上叠迁移的特点。凹陷带内充填了河道沉积物,尤

其在石炭系顶部凹陷带更为明显,地震剖面上显示为顶平底凸的透镜体,内部显示前积反射结构,并向盐体流动方向侧积迁移,代表了河道向盐体流动方向的侧向加积作用(图4a, b, c)。局部地区的凹陷带上部发育小型张性断层,可能是由于盐的塑性流动突发盐边局部地层下塌而形成;在盐体内局部地区由于盐体的塑性上拱造成了上覆地层的小规模逆冲而形成小型逆断层(图4d, e, f)。第三次可能发生在晚第三纪末期,盐体向北发生塑性回流,西部边界仍向东迁移,最后基本定型于现今的盐体边界,该期盐体塑性流动,未产生明显的局部构造。

2.3 迁移的方向和距离

我们可以根据盐边凹陷带的宽度来定量的表征盐体在地史时期的迁移距离。从盐体等厚度图中可以发现,现今盐体的边界形态与塑性流动前基本相似,但盐体三次迁移的距离相差较大。早二叠世末期,整个北部边界迁移距离最大,向南迁移了约2~2.8 km,西部边界向东迁移了约2 km。三叠世末期情况相反,西部边界比北部边界迁移距离要大,西部向东迁移了约2~2.5 km,北部向南迁移了约1~1.8 km,盐体的东北边界迁移距离相对要小一些,约1 km左右。按照盐体流动的理想模型,盐

边下陷带的最低点 D_1 , D_2 (即向斜的轴线位置) 往往与盐体尖灭点 L_1 , L_2 (或盐边尖灭线) 的位置上下一致, 故盐边下陷带宽度的一半即为盐体塑性流

动的水平距离 L_0 , L_1 或 L_1 , L_2 (图 5)。晚第三纪末期, 盐体向北塑性流动约 0.6~1.5 km, 西部仍向东流动约 0.4~0.5 km, 迁移距离比前二次要小一些。

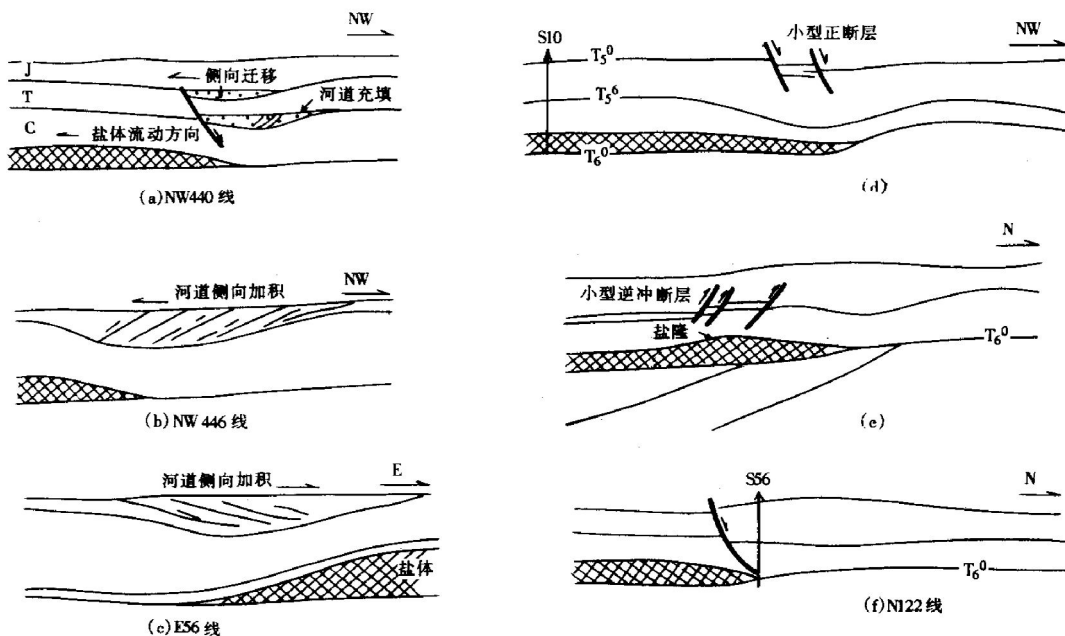


图 4 盐边构造带的地层形变和断裂特征

Fig. 4 Structure features and stratigraphic deformation of salt edge tectonic belts

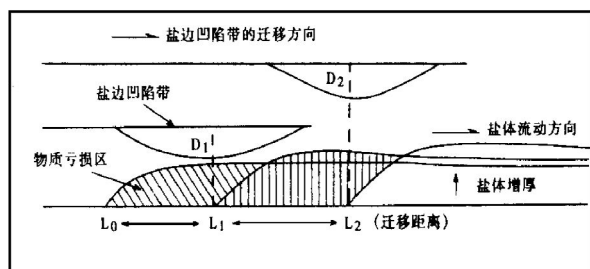


图 5 盐体塑性流动与盐边凹陷带关系的模型

Fig. 5 Model of relationship between salt body plastic flow and salt edge depression belt

3 塑性流动与圈闭

与盐体塑性流动有关的构造圈闭在油气地质勘探中占有十分重要的地位, 盐丘在世界各地分布极为普遍, 除墨西哥湾地区外, 还有美国密西西比州克拉克县的奎特曼油田、南阳油田、丝柏溪油田和普尔沃油田等主要的盐构造圈闭油田。我国东部含油气盆地第三系普遍发育岩盐层, 如江汉盆地的潜江凹陷、渤海湾盆地的东濮凹陷等的盐构造圈闭已成为油气聚集的重要场所^[1~8]。勘探实践证明, 塔里木盆地北部石炭系盐边构造带已发现多个油气田, 成为目前该地区的重要油气勘探领域。

3.1 盐构造圈闭的类型

研究区由于盐体塑性流动形成的主要构造圈闭类型有: 盐脊背斜、盐丘背斜、盐边向斜^[9]。

3.1.1 盐脊背斜

是盐边构造带极为重要的一种局部构造圈闭类型, 已发现 3 个与此圈闭有关的油气田。这种背斜是由于盐体向南流动造成盐边盐层加厚上隆而形成的, 与盐层的尖灭线平行, 并向尖灭线方向倾没。沿这条盐脊的上覆三叠系中发育一系列的盐脊背斜圈闭(图 4)。这类圈闭的闭合面积和幅度相对较小, 平均闭合面积为 4 km², 闭合幅度为 13 m。圈闭周缘常发育一系列周边正断层, 可成为油气运移的良好通道。断层走向常与盐体边界走向一致, 断达盐边即消失。在平面上圈闭常发育于盐体边界发生内凹或转折处。

3.1.2 盐丘背斜

发育于盐体上部的石炭系、三叠系, 是由于盐体发生塑性流动不均匀上拱而使上覆地层褶皱形成的。这类圈闭的闭合面积和幅度相对较大, 平均闭合面积为 15 km², 闭合高度为 26 m, 且伴生断裂少, 常位于盐体厚度加大的上部。

3.1.3 盐边向斜

是盐边构造带的一种主要伴生构造, 由盐体发

生塑性流动后产生物质亏损而形成, 常常被河道沉积物充填。在地震剖面中显示的盐边向斜呈顶平底凸的透镜状, 内部可见清晰的前积反射结构, 反映了河道的侧向加积作用, 前积倾向指向盐体的流动方向。研究区发现了石炭系和三叠系两条围绕盐体边界的盐边向斜带, 向斜带宽度分别为4~6 km和2~3 km, 纵向上两个盐边向斜构造带具有顺盐体流动方向侧向上叠的特点。该向斜带中的河道砂体有较好的孔渗性能, 因此向斜带可成为油气运移的重要通道, 也可望成为今后寻找岩性圈闭的有利场所。

3.2 盐底辟构造不发育

一般而言, 盐一经埋藏, 其密度保持不变。当含盐层系埋深至1 800 m以上时, 承受超压的泥岩被充分压实, 其密度会超过盐层的密度而形成负密度差(密度反转)。一旦存在密度反转, 盐就可能形成底辟^[3,4,8]。研究区的含盐层系埋深在5 000 m以上, 具备发育底辟的条件; 但研究区的盐体主要以岩枕和低幅度盐丘背斜(隐刺穿底辟)为特点, 未发现有盐刺穿底辟现象。究其原因可能有:

(1) 发育底辟的盐层厚度绝大部分在1 000 m或2 000 m以上, 盐底辟构造也常常发育在盐层厚度大于1 800 m以上的盐层高点鞍部的侧翼, 而研究区的盐层厚度平均为160~200 m左右, 不足以提供发育盐底辟所需的盐源层。

(2) 研究区盐层的上覆地层为双峰灰岩和泥岩。灰岩的高温高压压缩试验结果表明, 当温度在100 ℃, 试验强度为163.1 MPa时, 应变率为0.9%/s, 仍处于脆性状态而不破裂。上覆于双峰灰岩的泥岩层厚度较大, 其密度也大于盐层的密度, 故存在密度反转, 但此状态下盐层的流动梯度为盐层浮力引起的梯度值的2倍^[8]。因此, 浮力和差异负荷(上覆层压力)相比, 差异负荷对研究区盐层变形的作用比浮力更有效, 导致盐层以侧向流动为主, 而非垂向上拱穿刺。

4 结论

塔北隆起区是塔里木盆地最重要的油气聚集区带之一。因盐体的塑性流动形成的盐边构造带圈闭是该地区极为重要的油气勘探领域。石炭系盐体发育于滨岸潮间蒸发泻湖环境, 它的形变史受到区域构造运动的控制, 其塑性形变规律又制约着盐边构造带圈闭的时空分布。

本区的盐体在地史时期经历了三次塑性流动: 第一次是在早二叠世末期, 盐体发生向南的塑性流动, 流动距离约2~2.8 km, 形成了石炭系盐边凹陷带, 凹陷带宽度约4~6 km; 第二次向南的塑性流动发生在晚三叠世一早侏罗世早期, 流动距离约1~2.8 km, 形成了三叠系或下侏罗统盐边凹陷带, 其宽度约2~3 km, 并造成了重要的三叠系盐边构造带圈闭。第三次向北的塑性回流发生在晚第三纪末期, 流动距离约0.5~1.2 km, 此次流动未形成明显的构造圈闭。

构造圈闭的空间组合规律: 在平面上可划分为盐边构造带和盐上构造带, 盐边构造带以发育低幅度盐脊背斜圈闭为主, 圈闭面积和闭合幅度均较小, 背斜脊线平行盐体边界分布, 在一个圈闭内可形成多个高点。盐上构造带以发育低幅度盐丘背斜圈闭为主, 往往位于盐体厚度加大部位, 圈闭面积和闭合幅度相对较大。垂向上以盐拱背斜和挤压背斜为主, 这种组合常常使局部构造的高点发生侧向偏移并伴有小型挤压逆断层和滑塌正断层。盐脊背斜圈闭已成为研究区重要的油气勘探领域, 盐丘背斜圈闭和盐边向斜带也可望成为今后油气勘探的重点靶区。

感谢中国新星石油公司西北石油局规划院的大力支持。

参 考 文 献

- 1 Jackson M P A, Robert D G, Snelson S. Salt tectonics: a global perspective[J]. AAPG Memoir, 1995, 65: 237~417
- 2 Jenyon M K. Salt tectonics[M]. London and New York: Elsevier Applied Science Publishers, 1986. 33~173
- 3 Scott L M, Moore D C. Subsalt play, Gulf of Mexico: a review[J]. AAPG Bull, 1997, 81: 871~896
- 4 Wilson H H. The age of salt in the Gulf of Mexico basin[J]. Journal of Petroleum Geology, 1993, 16: 125~152
- 5 王燮培, 费琪, 张家骅. 石油勘探构造分析[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990
- 6 Ge Hongxing, Jackson M P A, Vendeville B C. 文留盐构造成因及掩埋机理[J]. 石油学报, 1997, 18: 35~40
- 7 贾振远. 中国东部陆相含蒸发岩盆地形成特点与油气[A]. 见: 湖北省地质学会. 蒸发岩与油气[C]. 北京: 石油工业出版社, 1985, 110~116
- 8 Jackson M P A, Galloway W E. 墨西哥湾沿岸第三纪大陆边缘构造与沉积类型及其在油气勘探中的应用[M]. 刘民中, 译. 北京: 石油工业出版社, 1988
- 9 Jenyon M K. 盐流动所引起的上覆碎屑岩层的某些形变[J]. 王国纯, 译. 国外油气勘探, 1988, 1: 66~77

(下转第223页)

DETERMINATION OF OIL RESERVOIR WETTABILITY IN TWO-PHASE DISPLACEMENT EXPERIMENT OF SANDROCK MODEL

Zhu Yushuang Qu Zhihao Kong Lingrong Chen Rong Li Jinfeng

(*Geological Department, Northwest University, Xian, Shanxi*)

Abstract: The reservoir's wettability can be determined in the displacement experiment of oil and water with the natural sandstone micromodels. A lot of information is used in the experiment. Some details should be noticed: 1. the reliability of the natural sandstone micromodels and the experimental fluid should be noticed, and various factors that may probably effect the reservoir's wettability should be considered in making the model; 2. the wettability determining methods should be correct. When using the distribution state of oil and gas to determine reservoir wettability in displacing oil by water or after the displacement, other methods should be synthesized; when using the interface of oil and water to determine reservoir wettability, the interface in thick and thin pore passages should be observed together, and the affection of wettability hysteresis should be avoided; when using the automatic suction quantity of oil and water to determine reservoir's wettability, it should be carried out under the similar fluid state in pore space.

Key Words: wettability; determining method; sandrock model

(上接第 219 页)

PLASTIC DEFORMATION AND OIL-GAS TRAPS OF CARBONIFEROUS SALT BODY IN NORTHERN TARIM BASIN

Zhou Jiangyu¹, Lin Zhongmin², Zhou Linfang³, Luo Chuanrong³, Wang Xiepei⁴, Xiao Zhaohui³

(*1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou; 2. Northwest Bureau of Petroleum Geology, CNSPC, Urumqi; 3. Research Institute of Petroleum Exploration, CNSPC, Jingzhou, Hubei; 4. Institute of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan*)

Abstract: On the analysis of tectonic-depositional setting, the Carboniferous salt-bearing set in North Tarim Basin mainly formed in the hot and dry evaporating lagoon environment of beach intertidal zone controlled by sea level changes with the thickness of 80~ 221 m. Under the influence of regional tectogenesis, the salt body underwent three times of plastic fluxion in geological history. The first time was in the late stage of Early Permian, the salt flowed 2~ 2.8 km southwards; the second time was in Late Triassic-Early Jurassic, the salt flowed 1~ 2.8 km southwards again; the third time was in the end of Tertiary, the salt turned to flow northwards for 0.5~ 1.2 km. The salt flow resulted in several kinds of structural traps mainly including salt ridge anticline, salt dome and salt edge syncline. It has been proved by facts that the salt ridges are major oil and gas-bearing structures while the rest two kinds should also be taken into considerable account.

Key Words: salt body; plastic fluxion; trap; Carboniferous; Tarim