

试论同生断层对山东大汶口红层碎屑岩盆地盐类沉积的控制作用

刘 鸣 皋

(山东省地质矿产局第一地质大队)

前 言

众所周知,构造作用在盐类矿床形成过程中起着重要的控制作用。著名的盐矿地质学家博歇特(H. Borchert)虽然不承认区域构造条件对盐类沉积有决定性影响,但是他也不否认,对于巨厚的蒸发岩系来说,“其沉积确实有赖于气候条件和构造运动的配合”(1)。构造作用,特别是同生断层的形成和演化对中、新生代含油气盆地中油气藏形成和储集的影响,已为我国许多石油地质工作者所研究,取得了重要成果[1、2、3]。袁见齐在总结我国碎屑岩型盐类矿床地质特征时也指出⁴⁾:“成盐盆地发生发展历史,主要就是研究各级断裂的发生发展过程”。

本文试图通过对山东大汶口红层碎屑岩型盆地的构造分析,探讨蒸发岩盆地与区域裂谷构造的关系,指出同生断层在控制盆地的形成与演化、同生断层对盆地进一步分割、盆地卤水的运移和盐类物质沉积分异所起的重要作用。

一、区域地质背景

大汶口盆地位于鲁西断块北部、泰山以南50km。盆地周边出露太右界泰山群变质岩系(同位素年龄24—25亿年)及部分下古生界地层,其北为新甫山凸起,南为东蒙凸起,东与汶东盆地相通。它与蒙阴盆地、汶东盆地(包括羊流店、陈汶两个次一级盆地)组成轴向西北、形似锯齿状的汶蒙凹陷带(见图1),是在燕山运动构造格局的基础上形成的中生代晚期—早第三纪凹陷带。这个凹陷带是沂沭裂谷——郯庐裂谷在山东境内一部分——演化后期的产物。

参加有关科研专题研究的还有魏翊振、王效席等同志。

- 1)石油部物探局地质室渤海湾组,渤海湾地区华北运动与油气生成和富集。未刊稿。
- 2)谭试典等,1979,渤海湾盆地区域构造发展史兼论油气生成与富集。石油部物探局研究院。
- 3)谭试典,1979,华北盆地区域构造发展特征及油气勘探新领域探讨。石油部物探局研究院。
- 4)袁见齐,1981,碎屑岩型盐类矿床的地质特征,未刊稿。

尽管今天人们对沂沭裂谷(或断裂带)的形成时间、演化模式还存在不同认识或分歧^[2],但许多事实使人相信,它是主要活跃于白垩纪并波及新生代早期的,位于中国东部活动大陆边缘内部的大陆裂谷带^{[3][4]}。

据许志琴等研究^[3],该裂谷发展分两个阶段:第一阶段为晚中生代时期。晚侏罗纪时期,在地壳穹起的基础上,沂沭裂谷顶部及其两翼微弱缓慢扩张,河湖相夹火山沉积物(蒙阴组、莱阳组)堆积在缓慢下沉的树枝状断陷盆地中,但轴部裂谷则处于挤压上拱状态,大部分缺失这一沉积;早白垩世时,沿沂沭裂谷早期裂隙喷发了大量的偏碱性中基性—中酸性火山岩。喷发活动漫及轴部裂谷两侧的北西向鲁西裂谷支和北东向鲁东裂谷支,显示了轴部裂谷与两侧裂谷支之间的空间和成因联系。第二阶段为新生代时期。轴部裂谷于喜马拉雅山运动开始时即挤压隆起,随后趋于消亡,但其北段昌潍凹陷和鲁西裂谷支在始新—渐新世时继续发育和向西扩展,并有强烈的张裂断陷活动:断陷作用因袭和牵就原有北北西—北西和北东—北东东向两组断裂,形成一系列充填巨厚下第三系红层碎屑岩沉积的半地堑型盆地。

鲁西裂谷支中,已知泰莱、汶东、大汶口、泗水、平邑五个盆地的下第三系地层中有蒸发岩沉积,它们距离沂沭轴部裂谷仅60~130km。虽然在泰莱、大汶口两盆地北部边缘,沿边界断层已见含橄榄辉绿岩侵入,但是否有沿这些断裂上升的深部卤水补给尚待进一步研究。图1表示出汶蒙凹陷带的构造背景及凹陷带内几个盆地的构造轮廓,这几个盆地在早第三纪的沉积演化序列是:随着支裂谷由东向西的缓慢扩张,沉积中心依次由东而西迁移,东端的蒙阴盆地以粗碎屑岩和砂岩为主,特别是始新统官庄组一段红层碎屑岩最为发育;汶东盆地以细碎屑岩和化学沉积岩为主,以始新—渐新统厚层石膏层和湖相泥灰岩广泛发育为特征;最西端的大汶口盆地不仅发育有始新—渐新统巨厚灰色含膏层段,还夹有厚数百米的含盐(石盐、硫酸钠镁盐、硫酸钾镁盐)系沉积,渐新世后期盆地累积降深最大,近3100m,勘查资料业已证实,大汶口盆地成盐期卤水明显来自盆地东南隅与汶东盆地连通处的“通水夹道”,故认为汶蒙凹陷带成盐期含盐水体体系由东向西补给,含盐水体依此顺序浓缩,为一多级盆地演化模式。

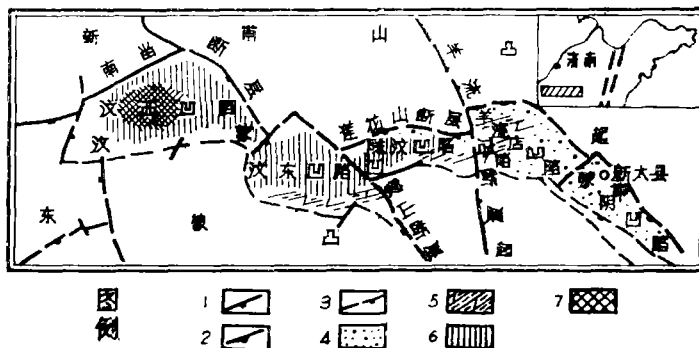


图1 汶蒙凹陷带构造及沉积演化示意图

- 1.二级断层; 2.三级断层; 3.剥蚀边界线; 4.碎屑岩;
5.泥岩、泥质碳酸盐; 6.石膏岩; 7.石盐岩

二、大汶口盆地构造格局

大汶口盆地面积仅320km²，盆地及其周缘地区，按地质和地震反射剖面资料¹⁾，划分为三个构造层，它们有不同的褶皱形态：太右界构造层的褶皱轴向及泰山群片麻理走向为北西320°—340°，陡倾斜，为强烈混合岩化的刚性结晶基底；不整合复盖其上的下古生界构造层是厚约1400m，以碳酸盐岩为主的寒武—奥陶系浅海相沉积，为一近东西走向、向北缓倾斜（10°—20°）的单斜层；新生界构造层以下第三系红层碎屑岩、泥灰岩类为主体，总厚可达3000m左右，为极缓倾斜（3°—7°）的不对称向斜褶皱；褶皱轴向北东50°。大汶口盆地周边部岩层大致向盆内倾斜，盆地北缘为南留弧形断裂所切割、限定。由于断层活动的牵引、拖曳，近盆地北缘断层处岩层以小于5°的倾角微微南倾。盆地周边断续有海拔100—500m的低山丘陵环绕，盆内为广阔平坦的汶河冲积平原，显示山间盆地的地貌景观。

大汶口盆地是在鲁西断块隆起背景上，沿一组共轭的X型扭裂发展起来的半地堑式断陷盆地。盆地的沉陷，据古生物（介形虫类）及孢粉鉴定资料分析，发生于始新世至渐新世；由图2可以看出，盆地的沉陷作用主要受北西—北西西和北东—北北东两组交切断裂控制。值得注意的是，盆地内七条断层均为同生正断层（表1），它们限定或进一步切割了盆地断块，形成了总体向北西倾斜的箕状凹陷，并构成了盆地内若干矩形或豆腐块式次级断块。被分割的次级断块即沉降幅度各异的诸构造洼地，各洼地蒸发岩沉积时期的沉积岩相组合见表2。

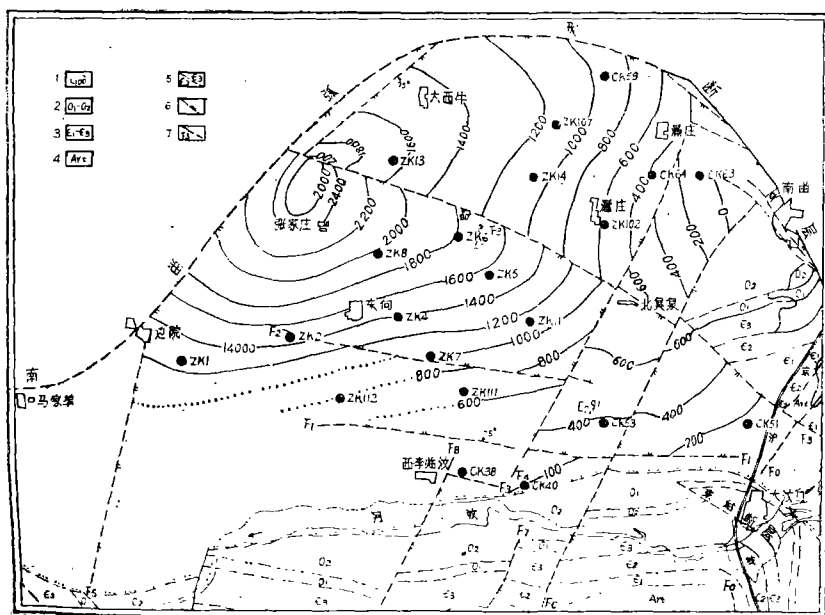


图2 大汶口盆地TC（砾顶）构造图

1. TC（官一段砾岩顶面）等深浅及等相位线；
2. 奥陶系；
3. 寒武系；
4. 泰山群；
5. 实测、推测地层界线；
6. 地层不整合接触线；
7. 实测、推测正断层及编号

1) 参见胜利油田地质调查一大队汶西凹陷地震概查报告。

表1 大汶口盆地主要断裂特征

断裂组及编号		断层走向	规模 (延长; km)	下降盘落 差 (m)	断层性质	切穿地震反 射层层位
边界断层 (南留弧形 断层)	F _n (西段)	N45° E	35	>3000	同生正断层	T _{g2} -T _{g1} -T ₄
	F _n (东段)	N29° W	15	>1700	"	"
北西—北西西	F ₁ -F ₃	N50—80° W	10—23	100—630	"	T _{g2} -T _{g1} -T ₆ *
北东—北北东	F ₄ -F ₆	N20—30° E	9—17	500 (F ₄ , F ₅)	"	T _{g2} -T _{g1} -T ₆

*其中的F₂,只切穿T_{g2}-T_{g1}-T_c,即只活动于官庄组一段形成时期及其前期

表2 同生断层分割的次级构造洼地和凸起*

次级洼地或凸起	分割断层	初始形 成时间	晚始新世—渐新世 (E ₂ -3E ₂) 沉积特征	
			岩 相	岩石组合
东向洼地	F _n , F ₂ , F ₃ , F ₄	E ₂ g ¹	灰色膏盐 岩盐相	泥灰岩—硬石膏岩—石盐岩 (含硫酸钠镁—钾镁盐)
满庄—大西牛洼地	F _n , F ₃ , F ₆	E ₂ g ¹	灰色膏盐相	粘土岩—泥灰岩—硬石膏岩
北西遥洼地	F ₁ , F ₃ , F ₄ , F ₁₀	E ₂ g ¹	"	"
临汶洼地	F ₄ , F ₂ , F ₉	E ₂ g ² ₁	"	"
洼里洼地	F _n , F ₅	E ₂ g ²	碎屑岩相	含砾砂岩—砂岩—粘土岩
上泉凸起	F _n , F ₃ , F ₅	E ₂ g ² ₁		

*以盆地块断运动剧烈时期E₂g²₁及E₂₋₃g²₂的沉积特征为主要划分依据

三、大汶口盆地同生断层的形成、演化和同沉积沉降

(一) 同生断层的形成和演化

盐类矿床勘查实践表明,按照沉积盆地断层的性质,可将其分为“同生的”(contemporaneous)和“沉积后的”(post-depositional)或“非同生的”(non-contemporaneous)两类^[5]这具有十分重要的意义。

1. 特征

一般认为,与上升盘同一层位相比较,断层下降盘地层厚度增加是同生断层的证据(图3)。由于同生断层的断裂活动与同时期的沉积作用相伴随,因而,这种断层控制了断层活

动所波及区域的沉积作用；而下降盘沉积表面的形态则限制了整个沉积断块中沉积物的分布。大汶口盆地中同生断层有明显的鉴别标志而与非同生断层相区别；

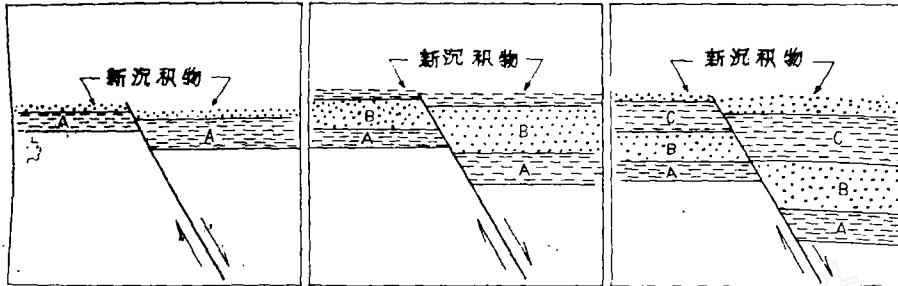


图3 同生断层演化略图 (据F.R.Hardin)

- (1)断层下降盘的沉积层与上升盘相应层位相比较,厚度明显增加,如F₁断层两侧下第三系厚度在上升盘CK42钻孔中为54.09m,在下降盘的CK53钻孔中增至480m;
- (2)断层两侧岩层厚度虽不等,但各个岩段或层次基本上——对应;
- (3)大体以同生断层为界,某些碎屑岩或蒸发岩系常常发生明显的相变。如盆地南部F₁断层(图4)北侧(即下降盘)的CK53钻孔中见193.11m的含膏岩系,其南侧(上升盘)则无石膏沉积,相应层位相变为泥灰岩。

由于第四系的大面积复盖,除个别断层外,盆地中同生断层均为隐伏断层,其中仅少数钻孔能遇到断层带。因此,划定这些断层不能不主要依据地质剖面中岩层的显著不连续、地震反射剖面中同相轴的不连续现象以及重力和电法资料。实践表明,地震剖面中同相轴的显著不连续现象,对推测断层的存在并正确布置钻孔有重要意义。

2.形成和演化

首先,大汶口盆地中两组交切的同生断层均为张性正断层,为在引张应力场条件下形成的重力断层;以断层两侧岩块的升降运动为主,水平位移占很次要地位。其形成特点是:

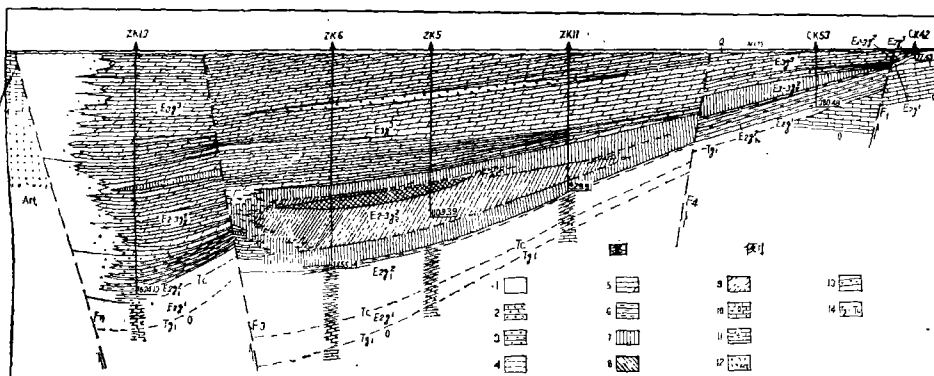


图4 大汶口盆地岩相剖面图

1. 第四系和第三系; 2. 砾岩相; 3. 砂砾岩相; 4. 砂岩相; 5. 泥灰岩相; 6. 粘土岩相;
7. 膏盐相; 8. 钠镁盐相; 9. 石盐相; 10. 奥陶系; 11. 寒武系; 12. 泰山群; 13. 辉绿岩;
14. 地震反射层代号 (Tc—官庄组一段砾岩顶部; Tg—奥陶系顶部)

(1) 从盆地外非同生的北北东向断层(F_6 、 F_7 、 F_8)及北西—北西西向断层(东站断层等)的展布和它们并未伴随显著垂向位移的情况分析,盆地内的两组同生断层,沿袭了原有的北北东、北西—北西西向棋盘格式断裂雏形,在同生断层活动期间沿走向和纵深有所发展,它们大多属继承性断裂。

(2) 少数第三纪新生断层为先拗后断。在始新一渐新世期间,盆地以北部过村为中心,沿南留断层作持续大幅度裂陷,南部却相应抬升。盆地内远离主断层的下第三系地层,在岩层弹塑性变形强度极限范围内,以挠曲(即倾斜)的形式出现,如 F_2 — F_3 之间地区,构造洼地地面无断裂。当岩层受力超过了弹塑性变形极限,则产生断裂,如盆地西缘是明显的拗陷区,官庄组一段沉积时为盆外斜坡(无沉积),官庄组二段下部沉积时期沉陷加剧,形成盆地西缘断层台阶(F_5)。

(3) 诸同生断层均以沉降幅度最大的过村—东向一带为中心,由四周向这个中心倾斜,其下降盘逐级下掉,显示明显“重力断层”格局。

其次盆地内同生断层具有较长期的演化历史。诸断层之间、同一断层不同时期的活动又具有显著的差异性:

A. 除 F_2 断层外,其余诸断层在整个始新一渐新世官庄组沉积时期几乎均有活动;

B. 诸断层的断幅各异,但以盆地边界断层为最大,达3060m。远离该断层的盆地南部阶梯状断层的断距逐渐减小(100—630m),产生盆地第三系地层向盆地边界断层倾斜的景观;

C. 由于断裂活动的长期性(>3000万年)和不同时期活动的不均一性。诸同生断层在不同沉积层位中的断距也不等:如 F_3 断层在官庄组三段底面处的断距(垂距,下同)为80m,至官庄组二段上部底界及下部底界断距为290m和550m,至官庄组一段底界断距为630m,反映了同生断层同沉积生长的特点,即愈近底部沉积层位的累积垂向断距愈大。

D. 同生断层的生长指数是判断断裂活动剧烈程度的重要标志。表3列出了五条主要同生断层的生长指数及其平均值。据此,盆地同生断层的演化可分为三个阶段:

官庄组一段(E_2g^1)沉积时为初发期,生长指数仅1.86;

官庄组二段下部($E_2g^2_1$)沉积时为剧烈活动期,生长指数为2.18,为官庄组二段下部巨厚红层的形成提供了有利的构造条件;

官庄组二段上部($E_2-3g^2_2$)沉积时为明显衰减期,生长指数最小(1.78),造成了较为宁静的蒸发岩沉积环境;官庄组三段(E_3g^3)沉积时断层活动进一步衰减,但少数断层活动性增强。

(二) 同沉积沉降和构造—沉积演化阶段

分析盆地东部、南部、西部近边缘地区与盆地中心区(即东向洼地一带)的地层厚度、岩性和岩相并进行对比,不难发现,按博歇特的蒸发岩盆地典型构造控制机理——通过沙坝和隆起带前盆地的轻微上升或拗陷,即小规模的局部运动,引起区域性沉积作用重要变化——难于解释如下事实:

(1) 盆地边缘下第三系厚仅数十米,而在盆地沉积中心总厚大于3000m,在中间地带一般厚800—1200m,边缘与中心区下第三系厚度相差数十倍;

表3 盆地主要断层的生长指数

断层	活 动 时 期	E_2g^1	$E_2g_1^2$	$E_{2-3g_2}^2$	E_{3g}^3
F_1			2.10	2.05	1.70
F_3 (中段)		1.31	2.04	1.51	1.25
F_3 (西段)		2.67	1.92	1.47	1.25
F_4		1.06	3.15	2.27	4.80
F_5			1.78	1.61	5.48
平 均		1.86	2.18	1.78	2.90

- (2) 盆地边缘区、中间区及沉积中心区具有相同的地层层序和相同的一级沉积旋迥，即剖面下部均为砾岩为主的粗碎屑岩和砂泥岩，中部为蒸发岩系，上部为泥灰岩类细碎屑岩；
- (3) 在官庄组二段蒸发岩沉积时期，可划分六个沉积相区，碎屑岩、泥灰岩、膏盐、石盐和钾盐等相区呈偏心牛眼式围绕沉积中心分布；
- (4) 盆地内诸同生断层往往就是蒸发岩沉积的岩相分界线或岩相变化的标志线(图5)。

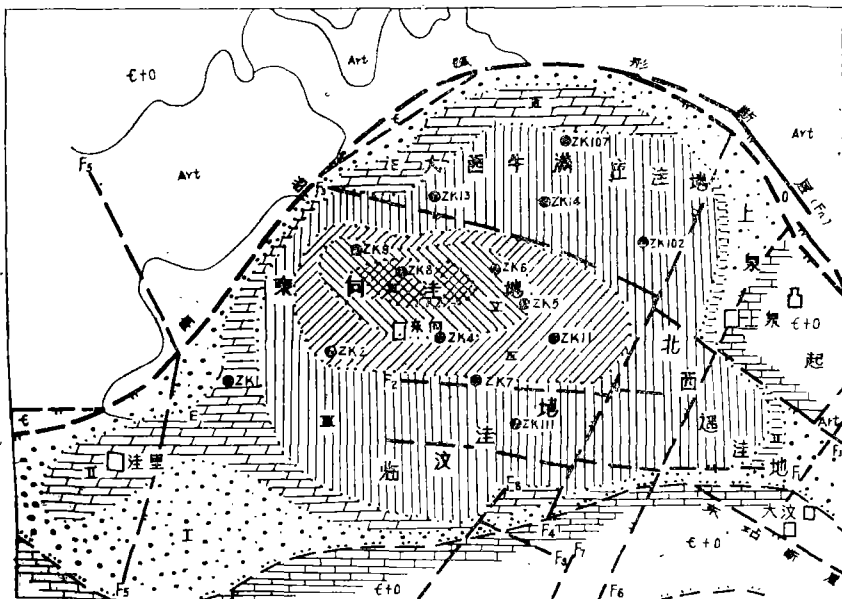


图5 盆地次级断块(构造洼地)及蒸发岩沉积阶段岩相分布略图。
 图中相区代号: I.砂岩、砾岩相区; II.泥岩、泥质碳酸盐相区;
 III.膏岩相区; IV.石盐相区; V.钠镁盐相区; VI.推测钾镁盐相区

作者认为,同生断层的差异性活动导致盆地内被切割的次级断块的差异性沉降,即所谓的同沉积沉降或准同沉积沉降,是下第三系沉积厚度、岩性岩相变化和蒸发岩相带分布的重要控制因素。正如朱夏所指出的^[6]，“不论盆地的类型如何……总要发生沉降,才能形成盆地”。盆地的发生和发展就是沉降和沉积补偿的过程。综合已有资料,认为盆地经历了四个构造—沉积演化时期:

1. 初始期:始新世早期盆地开始断陷,三条主要断层(F_2 、 F_3 和 F_n)控制了盆地沉降—沉积的初始边界,面积仅 165km^2 。一套以灰质砾岩、砂砾岩为主的、分选性很差且局部显示水流方向的棕红色—灰绿色粗碎屑沉积,反映了当时地形高差较大、以山麓堆积—洪积相至滨湖相沉积为主的不均衡补偿沉积环境。此即官庄组一段沉积期,沉积最厚达 500m 。

2. 剧烈沉降—沉积期:始新世中期为盆地裂隙沉降—沉积时期。由于诸同生断层的大规模活动,湖盆已具雏形。各同生断层生长指数和升降幅度的差异性,导致本时期末盆地被分割成六个沉降幅度不同的次级断块。沉积物以巨厚补偿性红色粘土岩为主,夹少量砂质粘土岩、细砂岩,见波状水平层理、小型斜层理。这套红层构成官庄组二段下部,最厚接近 700m ,几乎遍布整个盆地,属氧化浅湖相碎屑岩沉积。

3. 平静发展期:盆地沉降—沉积作用持续发展、环境较为宁静的时期。由于预备盆地卤水的持续补给及其进一步浓缩,在较长期的燥热气候条件下,沉积了厚度接近 900m 的内湖相蒸发岩系。

4. 余动萎缩期:盆地差异性沉降活动减弱,但整体沉降加剧,湖盆水域扩大、加深,以厚层泥灰岩为主的淡化湖相沉积。至早渐新世晚期,湖盆被填满,总体上升,经喜马拉雅运动二幕,结束了早第三纪的构造—沉积演化历史(表4)。

四、同生断层控制下的差异性沉降和岩盐的构造圈闭

(一) 沉降速率和次级断块沉降的差异性

统计表明(表5),与区内寒武—奥陶系 $0.001\text{mm}/\text{年}$ 的沉积速率相比较,大汶口盆地在早第三纪时具有快速沉降、快速沉积的特点。以盆地最深沉降区 Tg_1 (奥陶系顶面)的反射界面深度 3060m 作为盆地早第三纪最大沉降深度,以早第三纪时期内的诸沉积层的厚度来表示不同沉积阶段的沉降幅度。由于未考虑沉积后压实作用的影响,早期的沉降速率可能估计不足,晚期的沉降速率可能估计过高。

同生断层控制下盆地沉降的差异性表现在时、空两方面:在时间上,差异性表现为盆地第三系沉积基面在不同时间沉降速率的不均一性,即从始新世到渐新世,诸同生断层的生长指数有从较小值→较大值→最小值→再大值的趋势性变化,导致了盆地碎屑岩(官庄组一段及二段下部)→化学岩(官庄组二段上部)→碎屑岩(官庄组三段)一级沉积旋回的形成;在空间上,差异性表现为盆地被分割的次级断块沉降幅度的巨大差异:主要受到盆地斜坡台阶式断层(F_1 — F_3)控制的斜坡带断块仅沉降了 720 — 180m ,而受盆地边界断层控制的断谷带东向断块,沉降深度达 3060m ,为卤水分异和盐类物质沉积创造了极为有利的条件(表6)。

表4 大汶口盆地新生代构造演化特征

构造旋回	地 层 系 统			厚 度 (m)	沉 积 相 及 岩 石 组 合	地 壳 运 动	构 造 特 征	岩 浆 活 动	
	界	系	统						
阿尔卑斯旋回	新 生 界	第 四 系 上 第 三 系 下 第 三 系			河流冲积与残积		新构造运动与地震		
					泛平原相泥岩组合	喜马拉雅运动三幕			
				三 段	湖相泥灰岩组合	喜马拉雅运动二幕	持续地、大规模差异性升降运动为主, 以张性断裂发育为特征		辉绿岩侵入
				二 上 部	盐湖相蒸发岩组合				
				下 部	红色碎屑岩组合	喜马拉雅运动一幕			
				一 段	红色碎屑岩组合				
加里东旋回	下古生界	奥陶系	中 统		滨浅海相碎屑岩—碳酸盐岩组合	晚燕山运动	升降运动为主, 宽缓开阔褶皱		

表5 大汶口盆地沉降速率及其与东营等断块之对比*

断块凹陷名称	块断运动时期			
	喜马拉雅运动一幕		喜马拉雅运动二幕	
	幅度(m)	速率(mm/y)	幅度(m)	速率(mm/y)
大汶口	2130	0.11	900	0.06
东营*	>4000	0.20	2500	0.17
汶东*	2000	0.10	770	0.05
昌潍*	1600	0.08	0	0
任丘*	2000	0.10	1300	0.09
保定*	4000	0.20	上升	

*东营等五断块数据,引自石油部地球物理探矿局地质室渤海湾组《渤海湾地区华北运动与油气生成和富集》一文。

表6 被分割次级断块沉降深度与蒸发岩系厚度

构造位置	次级断块	最深沉降(m)	蒸发岩系总厚度(m)	蒸发岩系数
	(洼地)名称	(A)	(B)	(B/A)
断阶带(斜坡带)	北西遥洼地	720	216.77	0.30
	临汶洼地	1200—1500	248.08	0.17—0.21
	满庄一大西牛洼地	1800	359.76	0.20
断谷带(中心带)	东向洼地	3060	492.13	0.16

(二)膏—盐相变和岩盐的构造圈闭

1.膏—盐相变

盆地膏盐与石盐相之间的相变,是研究构造作用对蒸发岩沉积影响的重要标志之一。地处盆地断阶带(斜坡带)上的诸洼地以厚层石膏(硬石膏)或石膏(硬石膏)与泥灰岩的互层沉积为特征,其最高浓缩矿物未超过石膏,断谷带上的东向洼地既含石膏,又发育巨厚的含盐岩系。研究表明:膏盐相区与石盐相区之间的这一相变,是在同生断层控制下,盆地次级断块的差异性沉降所提供的有利古地形条件的结果。现以膏盐相区的ZK14钻孔和石盐相区的ZK6孔为例进行分析:

(1) ZK14孔中蒸发岩系总厚286.31m,均为膏层及其淡化夹层;ZK6孔中蒸发岩系总

厚497.08m, 其中膏层及其淡化夹层为309.14m, 石盐岩及易溶夹层为187.94m。显然, ZK6孔蒸发岩系厚度的增加主要是由石盐及其他易溶盐的沉积引起的。

(2) 两钻孔中蒸发岩系对比标志层(ZK6孔中为青灰色、暗紫色白云质泥岩、粘土岩, 厚3.40m; ZK14孔中为深灰色泥灰岩, 厚1.15m) 延伸稳定, 把蒸发岩系分为早、晚两个沉积序列。

(3) 两钻孔中蒸发岩以标志层上、下六层淡化层进行对比, 其二、三级韵律基本对应。如盐上膏层(I_3)均以泥灰岩—硬石膏韵律互层段为特征; ZK6孔的含盐系(I_2)对应ZK14孔的厚层状多层硬石膏; 两孔盐下膏层(I_1)均为夹泥灰岩薄层的硬石膏。

上述事实也表明, 虽然两孔显示的沉降幅度存在差异, 蒸发岩系岩性组合和由沉淀矿物所代表的盐卤水浓度不同, 但它们都经历了大体相同的多次淡化—浓缩演化过程, 卤水演化的总趋势是一致的; 且两孔蒸发岩沉积的各个层段大体一一对应, 两孔所处次级断块经历了统一的块断运动。

2. 盐类的沉积分异和岩盐的构造圈闭

尽管盆地各类蒸发岩面积达180km², 占盆地总面积的56%, 但石盐相区仅局限于东向构造洼地, 面积不足50km², 明显地为四条断层(F_3 、 F_4 、 F_2 、 F_n)所围限。据胜利油田 T_6 — T_7 地震反射层资料, 此洼地内官庄组二段地层和蒸发岩呈一向北西倾斜、逐渐增厚的楔形体, 平面上呈一向东南突出的舌形。据山东省地质矿产局物探队加密地震剖面资料, 控制沉积的基面形态, 是以 F_3 断层持续的、脉动性升降活动为背景的“反向构造鼻”。这一构造形态在 Tg_1 构造图上已有轻微扭曲显示, 在TC构造图(图2)上见扭曲幅度加大, T_7 — T_6 两反射界面则渐趋完全成形。上述构造环境是巨厚岩盐沉积的有利条件, 古盐凹地形促进了盐类矿物的沉积分异。

关于卤水按比重或密度分层的问题, 许多学者进行过深入探讨。瓦里亚什科(M. N. Valyashko)⁷在他所绘制的“海水密度增加后体积变化曲线图”及有关著作中, 把密度1.1及1.2(g/cm³, 单位下同)分别作为从浓缩水体中结晶石膏和石盐的起点。博歇特等^[1]以里海附近的卡拉博加兹湾的实例, 指出了远离里海的湾内浓卤水($d > 1.4$)与其近海一侧低密度($d = 1.14 \sim \geq 1.10$)卤水的分层情况。考虑到东向洼地为沉降最深的次级断块, 成盐期与其毗邻断块之间有数十米以上的高差, 我们设想, 在盆地临近石盐沉积阶段, 较高密度卤水局限于东向洼地中, 其周边的几条围限断层和形成的台阶或陡坎构成了高密度卤水($d \geq 1.2$)的极限延伸边界(图6)。

博歇特等探讨白云质灰岩、石膏和石盐之间的相变时指出^[1]: 在极端条件下, 这种相变反映着盆地不同部分的沉积作用持续时间不同。前述ZK6和ZK14两钻孔剖面对比表明如果不考虑石盐沉积, 则成膏与成盐构造洼地中的石膏沉积及其淡化夹层的沉积速率是相近的。ZK14孔蒸发岩中观察不到显著的沉积间断。鉴于石盐的沉积速率远远大于石膏, 因此作者相信, 石盐相区的石盐沉积与其毗邻的构造洼地相应层位的石膏沉积是等时或准等时的, 卤水的重液分离起了重要作用。一富含 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等离子的较高密度卤水定向迁移到较低洼的东向洼地, 不断晶出石盐及硫酸钠镁盐、硫酸钾镁盐, 而钙硫酸盐则在其外侧密度较低的卤水中结晶出来。

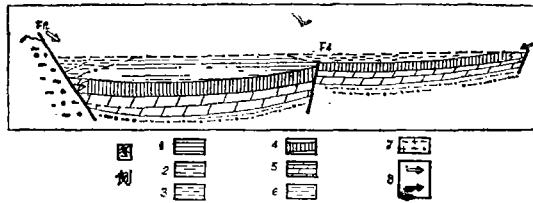


图3 成盐期构造洼地不同密度卤水分布予想图

1—3: 密度 $d=1.20$ 、 $1.10-1.20$ 和 <1.10 的卤水; 4.硬石膏岩; 5.泥灰岩
6.粘土岩; 7.片麻岩; 8.陆源淡水及较浓缩卤水(黑箭头)补给方向。

五、沉积中心的迁移与钾盐沉积

盐系剖面分析表明,在以蒸发岩系内的标志层划界的成盐早期和中晚期,随着盆地沉降中心的转移,盐类沉积中心曾有过迁移。早期沉积中心位于陈家大坡的ZK6孔附近,这里以石盐沉积起始时间最早、盐层层数多、盐层最厚为标志;而中、晚期,沉积中心迁至军寨—张家庄一带,即ZK8—ZK9孔一线。偏移距离约为2.5km。

盆地中ZK8孔圈定的无水钾镁矾矿层位于杂卤石石盐岩中,视厚度为1.18m,埋深1085.65—1086.83m,预测分布面积 5km^2 。这层矿层延至ZK6孔相应层位相变为硫酸钠镁盐岩;而延至ZK9孔则相变为含杂卤石石盐岩。按照盐类矿物结晶的顺序及对盆地的构造分析,可以认为,在ZK8—ZK6孔连线附近钾盐矿层较厚而稳定。

我们设想,盐类矿物的晶出受 F_3 同生断层不同延长部分下降盘沉降幅度差异的影响十分敏感,如硫酸钾镁盐的浓缩中心靠近ZK6孔是由于这里靠近 F_3 断层中段,在官庄组二段上部沉积时期, F_3 断层中段生长指数为1.51,大于北段的增长指数1.47,因此造成了稍远离控盆边界断层(F_n)的局部成钾洼地;同时避开了盆地西北边缘强烈淡水的补给,也是钾盐形成的重要条件。

结 论

(一) 山东大汶口盆地和鲁西其余四个早第三纪红层碎屑岩型盆地中蒸发岩沉积的分布表明,具有大陆裂谷性质的沂沭裂谷带,在其演化的消亡阶段的侧翼扩展活动,对蒸发岩的沉积和分布有重要控制意义。汶蒙凹陷带等支裂谷凹陷带的形成和次盆地的多级演化,对于盐类物质的迁移和聚集有重要作用。

(二) 早第三纪红层碎屑岩和蒸发岩沉积,是控盆边界断层和阶梯状断层切割的盆地断块差异性同沉积沉降的产物。同生断层的形成和演化,对盆地次级断块的分割、形成和差异性沉降,起着决定性作用。

(三) 盆地中在长达数千万年的始新一渐新世时期一直活动,这种活动是不均衡的:在断层发展的第二阶段,即始新世中期,断层大幅度的升降活动,奠定了盆地次级断块分割的格局,是蒸发岩沉积时期卤水运移的古构造—古地形前提条件。

(四) 同生断层控制下的盆地诸次级断块(构造洼地)沉积基面的形态、产状及其沉降规模控制着下第三系地层分布、厚度和岩石组合类型;而盆地断阶带构造洼地中膏盐和断谷

带构造洼地中石盐、硫酸钠镁盐和硫酸钾镁盐的沉积，是在统一的浓缩盐湖水体中含不同盐类离子、不同密度的卤水分异的结果。

本文承蒙山东省地质矿产局艾宪森总工程师审阅，李善风同志代为清绘图件，一并致谢！

参 考 文 献

- 〔1〕Borchert, H., O. Mair, 1964, Salt Deposits—The Origin, Metamorphism and Deformation of Evaporites. D. Van Nostrand Company Ltd. (中译本, 袁见齐等译, 1976, 盐类矿床. 地质出版社。)
- 〔2〕张化民, 1981, 郯庐断裂带的研究历史与现状. 山东地质情报, 第1期, 第103—112页。
- 〔3〕许志琴, 1984, 郯庐裂谷概述. 构造地质论丛(3), 第39—46页。
- 〔4〕许志琴, 1980, 谈谈裂谷. 地质论评, 26卷, 第3期, 第260—264页。
- 〔5〕Hardin, F. R., C. Hardin, Jr., 1961, Contemporaneous normal faults of Gulf Coast and their relation to flexures. Bull. Ass. Petrol. Geol., (45)2, pp.238—248.
- 〔6〕朱夏, 1980, 关于盆地研究的几点意见. 石油实验地质, 第3期。
- 〔7〕Valyashko, M. G., 1972, Playa Lakes—a necessary stage in the development of a salt-bearing basin. Geology of Saline Deposits Proc., Hanover Symp., 1968. UNESCO, 1972.

THE EFFECT OF CONTEMPORANEOUS FAULTS ON THE
SALINE DEPOSITION IN A BASIN OF REDBEDS—CLASTIC
ROCKS IN SHANDONG, CHINA

Liu Minggao

(The First Geological Brigade, Shandong Bureau
of Geology and Mineral Resources)

Abstract

A potash deposit, which was discovered, for the first time, a few years ago, is located in the Dawenkou Basin of Shandong Province in China. The potash-bearing bed occurs as an intercalated one in the multi-beds of rock salt in the second member of the Guanzhuang formation of the Eocene-Oligocene sediments. The author has proposed some views in terms of the specific conditions of the potash salt deposition based on the geological and geophysical exploration results and synthesized relevant data:

1. The salt-bearing basin is controlled by the regional rift zone—the Yishu Fault Zone which is the middle segment of the Tancheng—Lujiang Fault Zone. It was an inland rift that activated predominantly during the Cretaceous. The expanding activity of the flanks of the rift during its waning stage has had a great influence on the generation of the basin and the occurrence of the evaporites.

2. The deposition of redbeds—clastic rocks and evaporites in the basin was a result of differential contemporaneous deposition—subsidence that the fault—blocks in the basin underwent.

3. The development of most of contemporaneous faults in the basin was accompanied with the sedimentation. The evidence shows that the fault activity was nonuniform and that the extensive faulting during Eocene has led to a framework of fault—block cutting which provided favourable paleo-structural and paleo-topographical conditions for the movement of brines.