

文留盐背斜形成与油气富集

许化政

(中原油田勘探开发研究院)

该区沙三₄亚段是典型的盐棚相沉积,岩盐厚度大、纯度高、分布广。由于基底断块的不均衡升降活动,导致含盐地层有不同的埋藏深度。在差异压实力作用下,塑性岩盐棚面向构造高部位流动和局部集中,进而因盐体拱胀导致上覆地层弯曲变形和断裂形成盐丘和盐背斜。其后的盐上覆层因引张而发生断陷并使盐背斜复杂化。由此形成的各种盐构造为以后的油气聚集提供了多种类型的圈闭,使文留地区在全凹陷中含油气丰度最高。

前言

东濮凹陷的文留地区,具有多种盐构造和盐圈闭,在全凹陷中含油气丰度最高,深入研究这一地区的盐流构造,对于探讨盐层力学性质、盐流运动特点和圈闭形成过程,以及提高含盐盆地油气勘探的认识水平,显然是有益的。

文留地区的盐构造和盐圈闭是借助于钻井和地震发现的。特别是该区完成三维地震工作之后,盐流构造的形态更趋明朗化了。原始沉积的盐岩层具较强的反射特征,强振幅,连续性好,在三维地震剖面图上



图1 沉积区的强振幅连续地震相(左)
析盐拱区的弱振幅杂乱地震相(右)

形如“铁轨”,横向容易追索,主要存在于前梨园洼陷、柳屯洼陷等盐岩韵律层未发生形变的部位。而在盐拱的核部,则由于地层的强烈变形,出现弱振幅,杂乱地震相,有时出现空白(图1)。由于盐的流失而出现“细颈变形”和由于盐的局部加厚形成“盐枕”的地区,则会出现地层的

上超或下超地震相。上述地震反射特征已得到钻井的证实。

与盐流动有关的盐构造在文留地区普遍存在,而尤以文23块盐背斜最为典型,本文重点描述该构造的形成发育过程,同时简要介绍部分与盐流动有关的其它圈闭类型。

一、岩盐特征及分布

含盐地层的岩性特征和分布状况是盐流构造存在的物质基础,只有具有较大厚度和

较高的含盐比例,并且不是与区域性坚硬性岩层频繁互层,才有可能在地质应力作用下发生盐的流动。

东濮凹陷北部沙河街组第三段是一套较典型的盐湖相沉积,发育有三套盐膏层段:沙三⁴、沙三³和沙三²亚段(表1)。

表1 东濮凹陷沙三³段盐岩分布表

层位	盐层厚度 (m)	累计厚度 (m)	分布面积 (km ²)	分布地区
二亚段	300—600	100—400	410	卫城地区、柳屯-海通集注站、前梨园注站
三亚段	400—600	100—600	285	濮三地区、伊屯注站
四亚段	600—1800	300—700	470	文留地区、柳屯-海通集注站、前梨园注站

在三套含盐地层中,沙三⁴亚段沉积厚度最大,含盐比例最高,且位于高抬隆和深洼陷并列出现的文留、柳屯-海通集和前梨园地区,因此,目前发现的盐流构造亦主要发育在这些地区的沙三⁴亚段。

沙三⁴亚段主要由厚层—块状岩盐夹薄—中层石膏和泥页岩的韵律组成,全盐型剖面可划分为37个盐韵律6个盐组。单个盐韵律一般具1—3层块状岩盐,单层盐厚度一般7—26m,最大厚度可达48m(文159井),岩盐间夹薄层高电导率泥页岩或石膏,盐组间有较厚的泥岩隔层。岩盐的主要成分为氯化钠,也含有少量的其它氯化物、硫酸盐、粘土、有机物和铁矿物,常有较好的晶粒,粒径8—12mm,它形为主。因泥质混入,岩盐多是浅灰—灰色半透明状。石膏为白色纤维状晶体,纹层状,厚数毫米—1cm,与黑色泥页岩互层;少见厚层状。灰黑—黑色泥页岩质纯性脆,具浓烈沥青味,以薄层为主,只在韵律层间见厚层状隔层。因含盐韵律剖面中,岩性组合以塑性岩盐、脆性膏岩和软性泥页岩为主,故可在差异压实力作用下发生塑性岩盐的流动。

平面上,沙三⁴亚段盐膏岩与泥页岩、粉砂岩呈指状交错,并且由文留以全盐型剖面而四周过渡为半盐型剖面或砂泥岩型剖面(图2)。

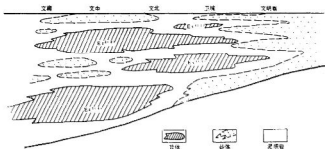


图2 沙三⁴段盐相变示意图

二、盐的水平运移和盐背斜形成

盐的比重为 2.2g/cm^3 ,它基本不随埋藏深度的变大而变化,而其它沉积物则随压实成岩作用增强、固结程度增高而比重变大,并在埋深约800 m深度超过盐密度。随着埋藏深度继续变大(约900—1100 m),岩盐会因地温升高和地层静压力的增加而成胶塑状态,这可从本区钻井深度超过900 m后岩盐段并径的挤压变形得到证实。同时,盐与其它固态沉积物之间的密度差也随埋深变大而增加。当同一连续岩盐层因埋藏深度不同造成与围岩密度差不同和上覆地层静压力不同时,即导致岩盐向压力低部位(一般为构造或地形高部位)的塑性流动。

文留盐背斜的发育和形成大致可划分为以下五个阶段:

1. 沉积期

渐新世早期,由于东濮凹陷东部边界断层——兰聊断层的持续活动,在沙四段沉积背景下,沉积了以含盐为主的沙三²亚段。从该亚段所含微古生物、岩性、沉积构造分析表明,岩盐形成于半深湖—深湖相环境,以文留地区为岩盐沉积中心,向四周盐厚度变小,层数变少(图3-A)。

2. 盐运移期

岩盐流动的初始发生时间大约在沙三²沉积后,沙三²沉积时期。其证据是,沙三²亚段稳定砂泥岩韵律层在文留地区地层厚度大致相当,岩性也基本相同,邻井之间地层对比相对容易。而沙三²地层则明显地受盐构造控制,不但厚度变化较大,岩性也明显不同。在现今为盐核的顶部,沙三²亚段明显减薄,一般不足100 m,以砂泥岩为主;而在盐核的侧翼——文东、文西地区,地层则厚至600—1000 m,以岩盐和暗色泥岩的韵律为主。地层对比证明,由盐核顶部至侧翼,岩性逐渐变细,厚度逐渐增大,看来是沙三²岩盐的流动聚集造成地形高差,并在一定程度上控制了沙三²亚段的沉积。

沙三²盐的流动与沙三²时期强烈的构造活动有关。沙三²时期,由于文留地区基底的强烈隆升,文东、文西断层相继产生,造成文留中央地垒和其两侧洼陷带的地形高差。地垒西侧柳屯—海通集洼陷沙三²亚段岩盐上覆层沙三¹—沙三²亚段厚1600 m左右,东侧前梨园洼陷厚1000 m左右,而地垒厚仅400 m左右。这样,在文留地垒和两侧洼陷带,沙三²亚段岩盐承受完全不同的地层压力,这种压力差导致塑性地体的顺层流动,造成文留盐块盐的局部集中,形成底平顶凸的透镜状盐核(图3-B)。

盐拱现象在文留中央地垒普遍可见,北至二探75—316测线,南至76—298测线,南北长达20余公里,而隆起幅度则以地垒北部文23块最大。盐拱幅度与基底隆起幅度有关,312测线地垒基底隆起幅度约450 m,盐拱强烈;316测线地垒块隆起幅度仅170 m左右,盐拱程度就弱;而南部298测线,沙三²亚段岩盐虽然沉积较厚,但由于基底隆起幅度小,盐拱现象基本未发现。由此可看出盐上地层压力差在盐流过程中的动力作用。

3. 拱胀期

岩盐的局部集中和拱胀必然产生对上覆地层的刺穿应力,且由于盐核顶部覆盖层沉积薄,成岩程度差,当盐核发展到一定程度和上覆地层压力差达一定程度时,就必然导

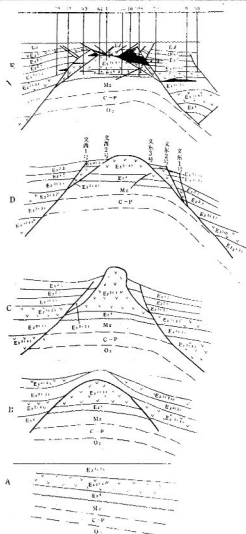


图3 文留盐背斜发育过程示意图

致盐核顶部覆盖层的张裂和盐的刺穿,形成盐丘。这一现象是局部的,目前只在盐核幅度最大的文23块发现。

发生这一地质事件的证据是,盐核顶部缺失沙三³、沙三²、沙三¹亚段和沙二段,沙三¹亚段岩盐与沙一段膏盐或含膏泥岩直接接触。如果说沙三²、沙三¹亚段和沙二段是由于基底隆起和盐核拱升而来沉积的话,沙三¹亚段应该是存在的,目前的钻探证明它只分布在文西2号、文东3号断层下降盘,且厚度相对较大,具区域沉积的特点。分析认为是由于沙三¹亚段盐核的大面积拱张,使盐上覆盖层沙三¹亚段—沙二段未成岩(或成岩程度差)沉积物向两侧张裂,盐流突出地表。目前沙一段与沙三¹亚段的接触面积,可能即是盐上覆盖层的张裂面积,约为 $1 \times 2.4 \text{ km}^2$ 。

这一事件可能发生在沙二时构造剧烈活动期,盐的拱张造成沙二段的剧烈破碎和逆拱张应力方向的阶梯式上升(图3-C)。

4. 滑塌期

由于基底的继续隆起和盐丘的拱张,一方面使盐块与两侧洼陷带水平高差变大,同时产生向两侧方向的掀斜应力,加之沙三¹亚段塑性地层的存在,为沿塑性层面发生重力滑脱提供了有利条件。盐丘两侧的重力滑脱主要表现为原已存在的文东、文西断层的分文,分别产生文东2、3号断层和文西2号断层。这些断层主要发育在沙三¹含盐层段,下降盘滑脱块地层完整,地层(尤其是沙三¹岩盐层)向断层面低头弯曲,形成逆牵引变形。上升盘盐拱强烈,断层则在盐核中消失。至此,文留盐背斜形成,沙四段储集层上覆底平顶凸的盐核,侧翼为沙三¹亚段滑脱盐块,为以后煤成气的聚集提供了空间(图3-D)。

5. 淋滤和再沉积期

沙二时,东濮凹陷整体抬升,文留地垒盐丘部位出露水面,盐丘顶部因淋滤溶解而流失并形成洼地。

盐流失的证据是盐丘顶部钻井中(文23井、文4井)泥岩、泥膏岩(厚30—50 m)地层的出现,它可能是地表水淋滤形成的“盐帽”,盐丘侧翼钻井中在沙三¹亚段顶部都未发现这种岩性的地层。

沙一时,湖盆区域性下沉,水域扩大,盐丘顶部淋滤洼地中接受沙一段沉积,从而形成沙三¹亚段盐膏岩与沙一段直接接触,并由于东营组 and 上第三系的沉积覆盖,成为深埋盐丘(图3-E)。

至此,文留盐构造形成三层结构:

上层:未成岩(或成岩程度差)的沙一段、东营组沉积物。

中层:塑性可流动的沙三¹亚段岩盐的律层。

下层:已经压实成岩、坚硬的中生界和石炭二叠系基底。

由于三层的力学性质不同,在区域拉张应力作用下,分别产生不同的形变。下层主要表现为区域性隆起,其中构造简单,断层很少。中层主要表现为流动和滑塌,地层剧烈褶皱,杂乱无章,厚度变化大。沙三¹含盐层段由盐背斜两侧厚仅300m向核部急剧增厚至800—1000m,上层中的未成岩(或成岩程度差)沉积物“漂浮”在高粘滞性沙三¹盐丘上,受顶部引张而发生地堑式陷落,形成一系列向心式下掉的同生断层。

三、其它与盐流有关的构造或圈闭

1. 盐枕

在盐流方向上受封闭断层或古老坚硬地层阻挡产生盐的局部集中, 形成盐枕。从时间上讲, 这种现象发生在盐丘形成之后, 文东、文西断层将沙三⁴含盐地层切开, 盐流无法顺层向构造高部位运移而形成“枕状”盐富集。由于没有发生盐刺穿作用, 盐枕处只出现盐层的加厚, 而没有破坏地层层序, 三维地震剖面上比较容易识别, 可见反射波组朝断层面的低头弯曲。这种现象主要见于文东、文西断层下降盘, 上升盘为坚硬的古生界, 如三维60测线(图4)。

2. 细颈变形

细颈变形是与盐拱伴生的地质现象, 主要见于盐丘的侧翼, 断层未能将沙三⁴盐层完全断离, 下降盘地层中由于盐的流失, 地层变薄, 从而出现沙三⁴岩盐前缘地震波组顶部向盐流通道(一般为断层面)的低头弯曲和波组底部的向上翘起, 波组中部反射出现上翘或下翘现象, 如三维131测线所见(图5)。



图4 盐枕
(3D-60测线E₂₁*反射波组)



图5 细颈变形
(3D-131测线E₂₁*反射波组)

3. 盐楔

形成时间相对较晚, 一般在构造格局形成后, 含盐地层被断离, 由于断层的错发活动, 盐流沿断层面压力释放带挤入, 形成楔状岩盐侵入体。在地震剖面上, 出现岩盐反射波组与断层面的小角度斜交, 以及盐上地层地震反射波组的局部紊乱, 如三维60测线所见(图6)。

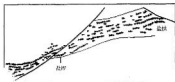


图6 盐楔
(3D-60测线E₂₁*反射波组)

钻井发现的盐流沿断层面挤入现象较多,但地震剖面上不易识别,较典型的见三维60、156、A₁和274剖面。由于盐流的挤入,使断层具良好封闭性质,这可能是文留地区出现较多断层封闭油气藏的主要原因。

四、盐流圈闭与油气富集

东濮凹陷是我国东部诸含油气盆地中含油气丰度较高的地区,而其探明油气储量的90%以上又集中分布在凹陷北部约400km²含盐区内。这一方面与含盐盆地中的生油条件较好有关,而更重要的是盐流形成的各种构造和圈闭为油气聚集提供了条件,特别是盐流发生的时间较油气大规模运移时期早,盐流方向与油气运移方向一致,盐流形成的构造和圈闭对以后的油气聚集就更为有效。目前发现的与盐流(或盐墙)有关的油气藏类型有:

1. 盐背斜气藏:如文留沙四段气藏。沙四段砂岩储集层上部为底平、顶凸的单凸镜状沙三⁴亚段盐体,侧翼为滑塌盐块,为聚集石炭二叠系煤成气提供了圈闭条件(图7)。

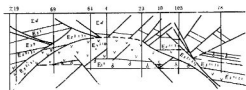


图7 文留盐背斜气藏

2. 盐地槽油气藏:包括由盐岩滑塌形成的侧向封堵,如文19块油气藏(图8);以及由盐枕形成的侧向封堵油气藏,如濮深7气藏(图9)。

3. 断层逆挡油气藏:包括断层将盐层切断,上升盘储集层与下降盘盐层对接形成的

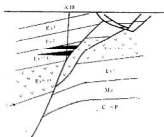


图8 盐岩滑塌封堵油气藏

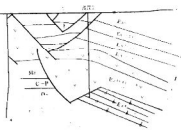


图9 盐枕逆挡油气藏

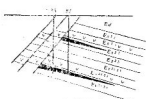


图10 断层遮挡油气藏

岩盐侧向封堵油气藏, 如文85块油气藏(图10); 以及由盐楔封堵形成的油气藏, 如文9块油气藏(图11)。

4. 岩性油气藏, 如文58块油气藏, 沙一段下部盐岩和含膏泥岩向东相变为砂泥岩, 从而为聚集东侧洼域洼陷运移来的油气提供了圈闭条件(图12)。

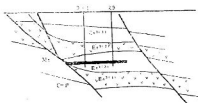


图11 盐楔遮挡油气藏

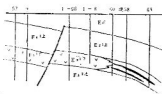


图12 岩性油气藏

五、结 语

1. 文留地区的盐流动是伴随基底不均衡的升降活动发生的地质事件, 二者之间存在着因果关系。由于文留基底隆起幅度和两侧洼陷带下陷幅度都较大, 并有厚度差别较大的盐上沉积体系, 从而产生差异压实作用, 为沙三⁴亚段岩盐的蠕性流动提供了动力。由于基底隆起部位沉积薄, 沉积物成岩程度差, 岩盐遂流向该处形成底平顶凸的盐丘及有关盐构造。

2. 岩盐的流动大致可分前后两个时期, 前期(沙三¹—沙三²)因沙三⁴亚段含盐地层连续, 主要表现为中央隆起带文留地垒盐丘的增长, 是岩盐的主要流动期; 后期(沙三¹—东营期)因沙三⁴亚段含盐层被文东、文西断层隔离, 洼陷中的盐供应中断, 文留盐丘基本定型, 而在文东、文西断层下降盆地形成一系列盐枕、盐楔, 但由于发生时间晚, 岩层固结程度高, 加之地层高差相对小, 盐流现象不如前期明显。

3. 由于基底隆升和盐丘增长是同时发生的, 且盐丘升长幅度受制于基底隆起幅度, 因此, 二者对沉积作用的影响程度就不易区分, 同时增加了盐丘升长过程的辨识难度。本区的盐流现象和盐丘升长过程是借助于高密度钻井和高精度三维地震发现和逐步加深认识的, 安与同志和三维解释组的同志为此做出了贡献。

参 考 文 献

- [1] 姜维华, 1987, 石油勘探与开发, 第3期。
- [2] 陈松东等, 1984, 石油与天然气地质, 第5卷, 第4期。

THE FORMATION OF SALT ANTICLINE AND HYDRO-CARBON ENRICHMENT IN WENLIU AREA

Xu Huazheng

*(Research Institute of Petroleum Exploration
and Development, Zhongyuan Oilfield)*

Abstract

The E_3^4 submember in Wenliu area is a typical salt lake deposit. The rock salt is of great thickness, high purity and wide distribution. The uneven elevation and subsidence of basement fault blocks led the saline formation to vary in buried depth. Under differential compaction, the plastic rock salt flowed towards the structural apex along horizons and locally concentrated. And then, the arching of the salt body made the overlying formations curve, deform and fracture, thus forming salt domes. The salt dome apex slumped under gravity and arching force and formed a salt anticline. Subsequently, the overlying cover on the salt dome resulted in graben-subsidence and made the salt anticline more complicated due to the tensile force. Other structures associated with salt flowage are: salt pillow— "pillow like" salt enrichment formed in the flow direction due to fault or hard formation barrier; salt wedge— "wedge shaped" intrusion of salt flow along fault fracture zone; slender thin deformation— locally thinned formations due to salt loss. The salt flowage phenomena mentioned above provided various types of traps for hydrocarbon accumulation later on. These traps, in conjunction with favourable oil-generation condition, made Wenliu area become the most abundant place in hydrocarbon resources of the whole depression.