

准噶尔盆地南缘西段的重力构造

况 军

(新疆石油管理局勘探开发研究院)

该区已识别出三个重力构造,即:霍玛吐滑片、托斯台滑褶、高泉膏盐岩雏底辟。本文概述了重力构造特征,探讨了重力构造形成的地质条件,并定量计算了重力滑动构造的失稳初滑角。

关键词 准噶尔盆地 重力构造 滑片 滑褶 底辟 滑脱席 失稳初滑角

准噶尔盆地南缘西段是盆地的重要油气勘探区之一。近几年,随着地球物理勘探工作的开展,对该区的构造特征已有了一定的认识^[1]。本文旨在对其重力构造进行剖析,以期为进一步油气勘探提供地质依据。

一、重力构造特征

区内已识别出来的重力构造有:霍玛吐滑片、托斯台滑褶和高泉膏盐岩雏底辟(图1)。

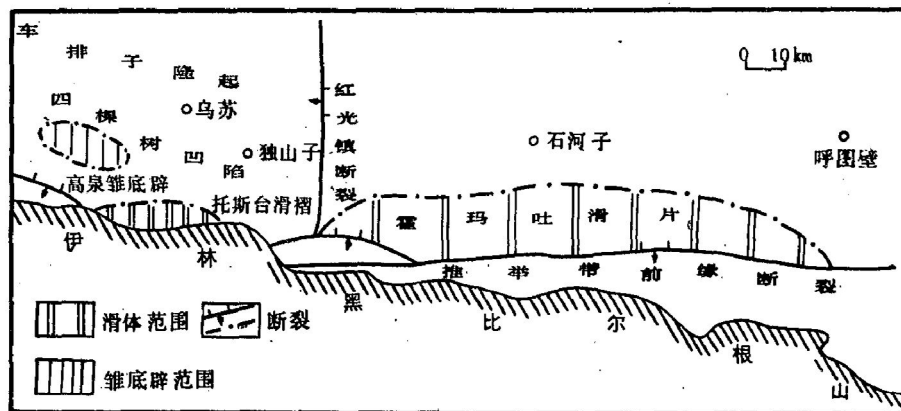


图1 准噶尔盆地南缘西段重力构造位置图

(一) 霍玛吐滑片

位于呼图壁—独山子一线以南,平面上呈向北突出的弓形。滑片翼展长(弦边)140 km,宽(箭长)28 km,平均厚3.5 km,面积2740 km²,体积9450 km³,是一巨型重力滑脱体。滑体由第三系组成,滑脱席是下第三系安集海河组。

滑片由三部分组成(图2):

1. 前缘冲压带:即霍玛吐滑脱体前缘呈弧形突出的挤压带,弧形带长约155 km,在地面

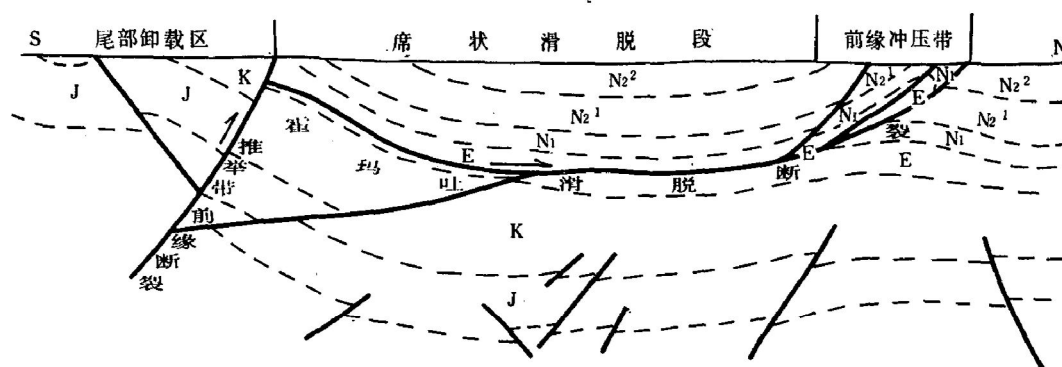


图2 霍玛吐滑片的剖面特征

组成了霍尔果斯、玛纳斯、吐谷鲁三个自西而东展布的无根倒转小背斜，小背斜为两条分支冲断层夹持，其南下第三系安集海河组倒叠于上第三系沙湾组之上。这种无根倒转背斜和倒叠层序正是重力滑脱体前缘带的构造特征。在滑片前缘冲压带之下存在着石油勘探要寻找的原地背斜构造，其特征为两翼宽缓、对称，轴面近似直立，具有与扭动机制相关的同心褶曲。

2. 席状滑脱段：位于前缘冲压带以南，由滑脱断裂平缓地沿下第三系安集海河组内的泥岩滑行而使滑片呈席状滑脱的构造段，为典型的凹面向上两端翘起的岩席，是滑片的主体。其所以能在安集海河组中滑脱，是与该组由暗灰色泥岩与薄层石灰岩组成厚达 800 m 的柔塑性地层及已为钻井证实的该组内存在的异常高压（平衡泥浆比重 2.0 g/cm^3 ）有关。

3. 尾部卸载区：即滑片后缘的高推举断块带。它与霍玛吐滑片的形成互为因果。正是由于喜马拉雅运动晚期，北天山块断隆升形成的重力位势使滑片形成，滑片后缘拉张卸载，故在此带中因上覆失载而在新的重力均衡调整下出现了落差达 3000—4000 m 的大推举。此断距同滑片厚度几近相同绝非巧合。此外，卸载区宽度 15 km 左右，同霍玛吐滑片滑移距 8—14 km 接近，也正是应有的面积补偿。

笔者采用了平衡剖面法等三种方法对霍玛吐滑片的最大滑移距确定如下：

- (1) 平衡剖面法确定为 8—13 km。
- (2) Elliott 的弓与箭法^[2]确定为 14 km。
- (3) 卸载区面积补偿法确定为 15 km。

自滑片中心向两翼滑移距减小，为滑片长的递减函数，并由前缘的冲压性质在两侧转变为扭压边界。

(二) 托斯台滑褶

位于乌苏以南的北天山山麓带上，主要是由中生界组成的大型重力滑脱构造。滑体东西长 30 km，南北宽 10 km，厚 2 km，分布面积 260 km^2 ，体积 540 km^3 。上三叠统小泉沟组和下侏罗统三工河组欠压实泥岩共同组成了滑脱席。

托斯台滑褶有前后两部分组成（图 3）。

1. 前部褶皱带：滑脱体前半部的褶皱及断裂作用十分强烈，有三排东西向展布的背斜带，容大小不一的背斜有 20 个之多。断裂有逆冲断层、正断层和扭断层。其总的构造特征是：位于最北面的背斜带构造变形最剧烈，背斜狭长，两翼陡窄，倾角 70° — 80° ，北翼大多倒转，南北皆发育逆冲断层，并为北西向展布的扭断层切割。居于中排背斜带的背斜亦基本为狭长形，两翼较为紧闭、陡窄，北翼在局部地区倒转并发育逆冲断层，南翼则存在小断距的正断层。南

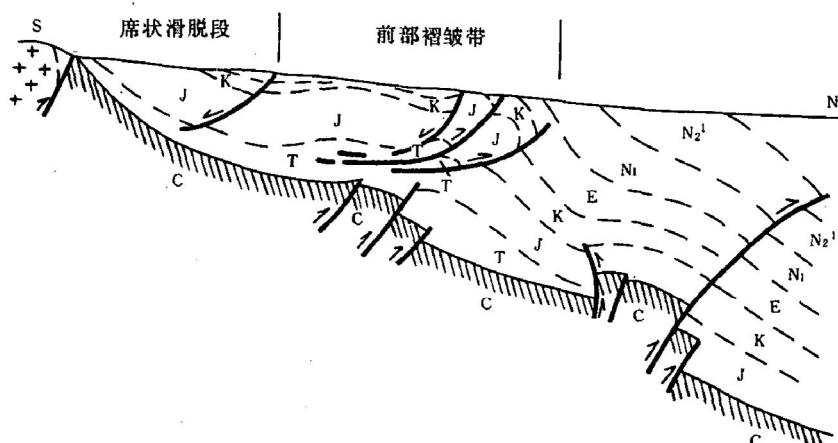


图3 托斯台滑褶构造剖面图

排背斜与前二者在形态上差异较大，基本为两翼宽缓且对称的长轴背斜，仅发育正断层。

2. 席状滑脱段：即滑体后半部呈片状滑移的构造段。由三叠系一下第三系组成，呈北倾东西展布的单斜，底部三叠系覆盖在石炭系浅变质岩层之上。

据地球物理资料解释，滑脱体之下的古生界表现出压扭性堑-垒结构特征，可划分出一堑一垒和一斜坡。滑脱体北面的中新生界单斜带恰位于古生界地垒之上，滑脱体前部褶皱带中的中排及北排背斜带对应于其下的地堑，而南排背斜带和席状滑脱段则在古生界斜坡之上。这种深浅层次构造的不和谐组合配位及滑褶体表征出来的构造特征，正是重力滑动构造的特有标志（见图3）。

（三）高泉膏盐岩锥底辟

是发育在四棵树凹陷内上第三系塔西河组（ N_2^1 ）中，由巨厚的膏、盐岩等蒸发岩类塑性流动集中拱曲上覆地层而形成的重力构造。此构造最先在地震剖面上误判为废弃河床充填砂体，后经研究分析认为是膏盐岩底辟构造。因膏盐岩未刺穿上覆地层，尚属底辟构造的初始

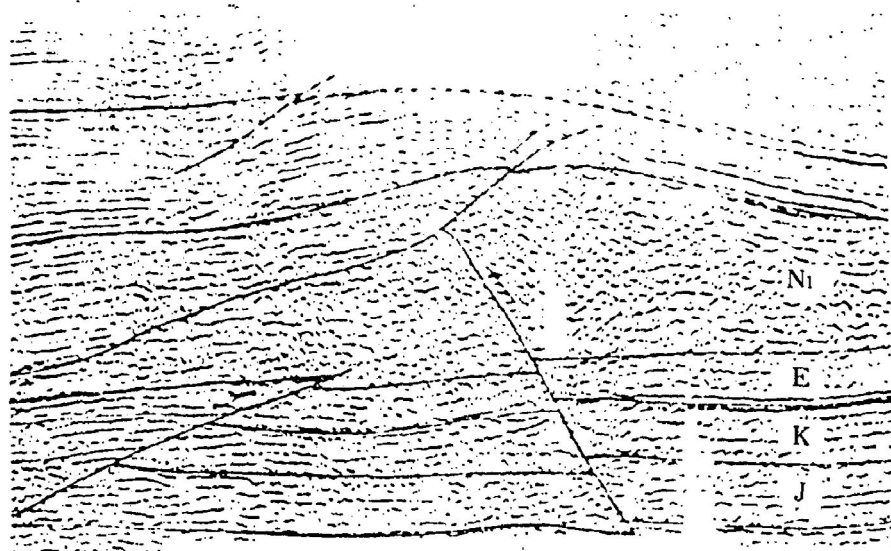


图4 高泉膏盐岩锥底辟地震解释剖面

阶段, R. E. 查普曼 (1982) 将此类构造定义为雏底辟^[3]。

高泉膏盐岩雏底辟在平面上沿四棵树凹陷轴部呈近东西向展布, 椭圆形, 面积约 140 km², 埋深达 2000 m。底辟体底部地层平直, 上部地层拱曲, 主体部位增厚明显, 并见有北倾和南倾的逆断层。这类构造在重力异常图上一般表现为重力低, 磁力图上无显示, 地震剖面上层速度高 (图 4)。

二、重力构造形成的地质条件及地质环境

重力构造在自然界分布十分广泛, 而沉积盆地边缘更是其发育的良好场所。油气勘探表明, 不同类型的盆地都或多或少地有重力构造的存在。离散大陆边缘沉积区的构造大都是重力构造^[4]; 中国东部裂谷型盆地中有着各种类型的重力构造^[5]; 准噶尔盆地西北缘克-夏推覆体是巨型的重力滑脱构造^[6]。重力构造不同于其它由外力作用形成的构造, 它的形成需要特定的地质条件和地质环境。由于重力滑动是岩体在自身重力位势驱动下沿着塑性底板或滑面顺坡滑移, 因而斜坡及优良的滑脱席是其必备的地质条件; 山麓及山前带以及沉积速率相对较高的大陆边缘区、岸坡带是这类构造发育的主要地质环境。而底辟是由于足够厚的膏、盐岩及部分泥岩在一定的埋藏深度下, 由物质的密度空间分布不均, 如密度反转、横向上差异压实, 以及构造力作用下而使膏、盐岩及泥岩塑性集中流动、拱曲及刺穿上覆地层而形成。因此, 它必然发育在有足够厚的柔塑性地层分布的区域内。

下面对以上三个重力构造形成的地质条件及地质环境逐一讨论。

(一) 滑脱席特征

霍玛吐滑片的滑脱席下第三系安集海河组 (E_{3a}) 为半深湖—深湖环境中沉积的泥岩夹薄层泥灰岩, 厚度约 800 m, 是已被证实的生油岩系^[7]。其上由于快速堆积了厚逾 5000 m 的上第三系粗碎屑沉积, 因泥岩层受压实与排液不平衡及有机质生烃等因素而在泥岩体中形成异常高压, 处于欠压实状态。泥岩层柔塑性增大, 摩阻降低。在独山子背斜轴部及霍尔果斯背斜上正是该层组泥岩沿断裂上涌至地表形成较大规模的泥火山。此外, 南缘探井钻至此层系时, 不仅需要高比重泥浆平衡井下压力, 且若三分钟不活动钻具即有被膨胀泥岩箍住的危险。最具代表性的是安集海背斜上的安 3 井, 于 2314 m 深处钻遇此层系时井下高压气将 32 m 长的落井钻具喷出井口, 但一喷即止, 这充分表现出是泥岩体中的高压作用。统计不同地区钻遇此层系时探井所用平衡泥浆比重如表 1。

表 1 部分探井钻遇高压泥岩时泥浆使用状况

井 号	井 段	平衡泥浆比重 (g/cm ³)	井 况
安 1 井	2393 m 之下	1.9—1.92	仍有气侵发生
霍 2 井	1448 m 之下	1.94—2.26	井涌, 泥浆比重增至 2.26
独 62a 井	2700 m 之下	1.92	仍有气侵发生

无疑, 下第三系安集海河组具异常高压、柔塑性较强及低摩阻的泥岩层是霍玛吐滑片的优良滑脱席。

托斯台滑褶构造的底部滑脱席是上三叠统小泉沟组及下侏罗统三工河组泥岩, 泥岩层厚

度皆在 200 m 以上。确定其为滑脱席的主要依据为：(1) 滑脱体中部前缘及西部区域分布着 4 个泥火山群，泥火山沿断裂分布，至今活动不息，喷出物主要是源于上述两组中的泥，间夹水、油和气。(2) 在其前缘将军沟背斜钻井中，当钻至三工河组顶部层段时，比重 1.6 g/cm^3 的泥浆平衡不了井下压力，发生井喷。这些现象表明：小泉沟组和三工河组是一套高孔隙压力地层，并具有相当高的柔塑性，故可成为重力滑动构造的优良滑脱席。值得进一步讨论的是这两套泥岩层的高压形成问题。小泉沟组和三工河组泥岩的时代较之安集海河组为老，有机质丰度甚低，因之其异常高压形成机理与后者亦异。笔者分析是由于喜马拉雅构造运动期间该区大幅度隆升，上覆第三系遭受剥蚀厚度达 3000 m 之巨。大量卸载，而小泉沟组和三工河组泥岩层因封闭条件好，孔隙中流体压力释放不畅而形成层内的异常高压。这两套具高孔隙压力的泥岩除形成挤入、挤出构造外，亦可成为重力滑脱的滑脱席。

(二) 重力滑脱构造的失稳初滑角计算

重力滑脱构造形成的另一重要条件就是必须在斜坡上方能形成。那么，人们自然会问，斜坡倾斜角要多大才能造成岩席的重力滑脱？笔者尝试地对霍玛吐滑片和托斯台滑褶的失稳初滑角进行了定量计算（图 5）。

当岩石在失稳初滑条件下：

$$\begin{aligned} S &= \tau \\ \tau &= \gamma G h \sin \theta \end{aligned}$$

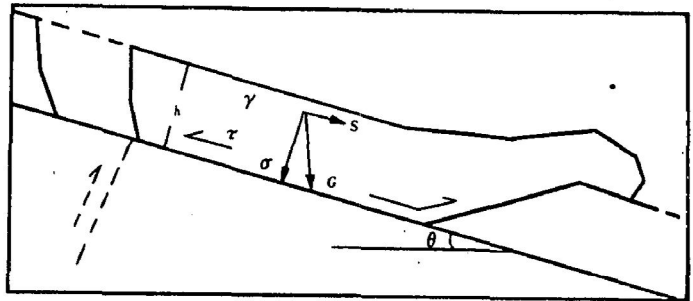


图 5 重力滑动构造的力学分析图

$$\sigma = \gamma G h \cos \theta$$

得

$$\tan \theta = \frac{\tau}{\sigma} \quad (1)$$

式中：S 为下滑力， τ 为抗滑力， θ 为失稳初滑角， γ 为滑体平均密度，G 为重力，h 为滑体厚度， σ 为滑体总压力。

由

$$\sigma_1 = \sigma - P$$

而

$$\lambda = \frac{P}{\sigma}$$

得

$$\sigma_1 = (1 - \lambda) \sigma \quad (2)$$

式中： σ_1 为有效正压力，P 为滑脱席孔隙压力， λ 为滑脱席孔隙压力系数。

由库伦定律

$$\tau = \sigma_1 \tan \varphi + C \quad (3)$$

(2) 式代入 (3) 式中，得

$$\tau = (1 - \lambda) \sigma \tan \varphi + C \quad (4)$$

式中： $\tan \varphi$ 为泥岩摩擦系数，C 为泥岩抗剪强度。

(4) 式代入 (1) 式，得

$$\tan \theta = (1 - \lambda) \tan \varphi + \frac{C}{\sigma} \quad (5)$$

(5) 式中最后项比值数量级很小，可忽略不计。泥岩摩擦系数一般也为常量，故影响滑脱失稳初滑角的主要因素是滑脱席的孔隙压力系数 λ 。

对已有钻井资料和泥火山资料的准噶尔盆地南缘而言，求取 λ 值并非难事。

$$\lambda = \frac{\gamma_1}{\gamma}$$

式中： γ_1 为平衡泥浆比重或泥火山喷出物密度， γ 为滑体平均密度。

则有

$$\operatorname{tg} \theta = (1 - \frac{\gamma_1}{\gamma}) \operatorname{tg} \varphi \quad (6)$$

对于霍玛吐滑片， γ_1 取 2 g/cm^3 ， γ 取 2.36 g/cm^3 ， $\operatorname{tg} \varphi$ 取 0.577 。计算出 $\angle \theta$ 等于 $5^\circ 12''$ 。即霍玛吐滑片的失稳初滑角为 $5-6^\circ$ 。

对托斯台滑褶皱体， γ_1 取 1.8 g/cm^3 ， γ 取 2.38 g/cm^3 ， $\operatorname{tg} \varphi$ 亦为 0.577 。计算出 $\angle \theta$ 等于 8° 。即托斯台滑褶皱的失稳初滑角为 8° 。

若考虑到重力扩展作用，以上计算出的失稳初滑角还可再小些。

霍玛吐滑片和托斯台滑褶皱分别位于北天山的山前及山麓带上，由于在喜马拉雅运动期间，尤其是晚喜马拉雅构造幕使北天山快速地呈块断式隆升，准噶尔盆地紧临天山一带翘升，形成北倾的斜坡带。当其倾角达到失稳初滑角时，巨大的岩席在重力位势作用下沿滑脱席滑动，即形成重力滑动构造。

(三) 高泉膏盐岩雏底辟的形成

自二叠纪以来，准噶尔盆地南缘沉降中心自东向西迁移。晚第三纪时，已迁移至四棵树凹陷内。塔西河期时，四棵树凹陷成为一独立发展的深凹陷。据地震及钻井资料，其沉降中心区地层厚度是周缘区的 5 倍。由于当时气候干热，蒸发作用强烈，使凹陷内出现“牛眼式”沉积模式，即最外缘为砂泥岩沉积区，向内变为硫酸盐岩沉积区，最内部为盐岩沉积。在剖面上相互叠置的蒸发岩类成为底辟形成的必备物质基础。塔西河期之后，凹陷南部的北天山开始隆升，使塔西河组之上堆积了厚约 3000 m 的上新统磨拉石建造。底辟构造开始形成。

形成底辟构造因素有三：(1) 埋深于 3000 m 深处的膏盐岩层的密度远小于上覆层密度，出现密度反转；加之膏盐岩层的柔塑性明显增加。(2) 上新统为退覆型沉积，横向上岩层的岩性及密度变化很大，即由凹陷边缘的高密度粗碎屑沉积向凹陷内部变为低密度的细颗粒层。对下伏的膏盐岩层差异压实作用显著，必然促使膏盐岩由高压区向低压区流动、集中。(3) 构造作用形成规模不大的断裂，断裂下盘的膏盐岩相对于上盘载荷大，因此膏盐岩向断裂上盘运移集中（图 6）。

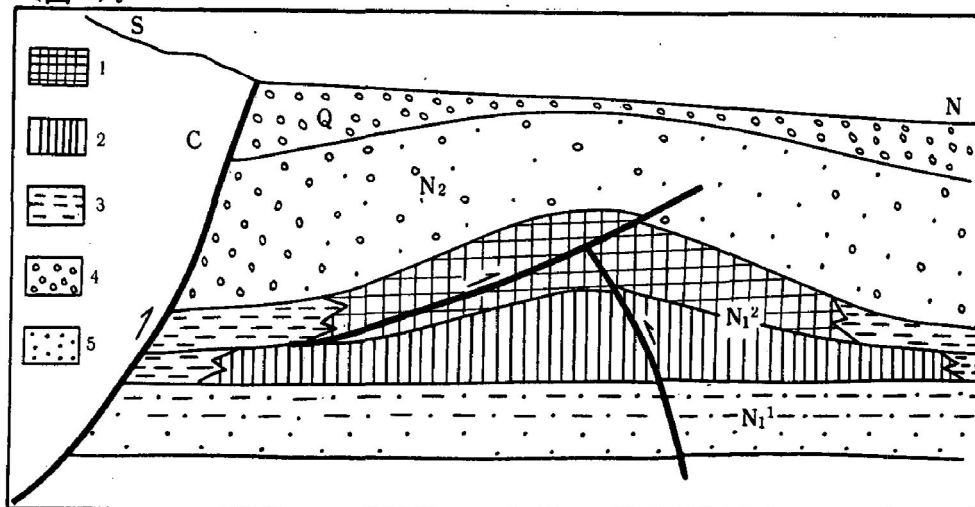


图 6 高泉膏盐岩雏底辟形成图

1—盐岩层，2—膏岩层，3—泥岩层，4—砾岩层，5—砂岩层

高泉膏盐岩雏底辟仅是底辟的最初发展阶段, 进一步发展, 膏盐岩挤入至上覆层中则形成真正的底辟构造。

三、结 论

1. 在准噶尔盆地南缘已发现霍玛吐滑片、托斯台滑褶及高泉膏盐岩雏底辟等3个重力构造。

2. 下第三系安集海河组欠压实泥岩是霍玛吐滑片的滑脱席, 其高压异常的形成是由于压实与排液作用不平衡及自身的生烃作用。托斯台滑褶的滑脱席是上三叠统小泉沟组及下侏罗统三工河组泥岩段, 由于晚期上覆层的大量卸载, 因泥岩孔隙压力释放不畅而形成高压异常层。

3. 斜坡是重力滑动构造的必备条件, 经定量计算霍玛吐滑片的失稳初滑角为 $5-6^{\circ}$, 托斯台滑褶的失稳初滑角是 8° 左右。

4. 高泉膏盐岩雏底辟形成于塔西河组巨厚的膏盐岩沉积中, 其产生原因有: (1) 膏盐岩层与上覆层密度反转; (2) 断裂活动诱发; (3) 上覆层差异压实作用。

参 考 文 献

- [1] 况 军等, 1989, 新疆石油地质, 第10卷, 第1期。
- [2] Elliott, D., 1976, Phil. Trans. Roy. Soc. London, Vol. 283, PP. 289—312.
- [3] R. E. 查普曼, 1982, 石油地质学; 李明诚等译, 1989, 石油工业出版社。
- [4] M. P. A. 杰克逊等, 1984, 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; 刘民中译, 1988, 石油工业出版社。
- [5] 谭试典等, 1988, 石油与天然气地质, 第9卷, 第2期。
- [6] 吴庆福, 1985, 石油学报, 第6卷, 第3期。
- [7] 范光华等, 1985, 新疆石油地质, 第6卷, 第4期。

GRAVITY STRUCTURES IN WEST PART OF SOUTH MARGIN OF JUNGGAR BASIN

Kuang Jun

(Institute of Petroleum Exploration and Development, Xinjiang Petroleum Administration)

Abstract

Three gravity structures, Huomatu sliding block, Tuositai sliding folds and Gaoquan gypsum-salt diapir, are recognized in the west part of the south margin of the Junggar Basin.

Huomatu sliding block is located at the north Tianshan Mountains foreland to the

south of Hutubi—Dushanzhi region. It is 140 km long from east to west, 28 km wide in N-S direction, 3.5 km thick on average. It covers an area of 2740 km² and the volume is 9450 km³. The sliding mass consists of Tertiary sediments. The sliding sheet is formed by less-compacted argillaceous rock of the Eocene Anjihaihe Formation. The high-pressure anomaly was resulted from the unbalance between compaction and liquor draining as well as its hydrocarbon generation. With the methods of balanced section, bow and arrow and width compensation of unload area, maximum slide distance was determined to be 15 km, and primitive slide angle 5-6°.

The Tuositai sliding fold is located at the north Tianshan Mountains to the south of Wusu. It is a big gravity-slide structure mainly formed by Mesozoic sediments. The sliding mass stretches 30 km long in E-W direction, 10 km wide in S-N direction, 2 km thick. It covers an area of 260 km² and the volume is 540 km³. The bottom sliding sheet consists of the Upper Triassic Xiaoquangou Formation and the less-compacted argillaceous rock of the Lower Jurassic Sangonghe Formation. The high-pressure anomaly is resulted by large amount of unloading due to denudation of the upper strata in the late stage and the impediment of the release of argillaceous pore-pressure. Its primitive slide angle is measured to be 8° by quantitative calculation.

The Gaoquan embryonic diapir was developed in the Upper Tertiary Taxihe Formation in the Sikeshe sag. It stretches nearly E-W direction, covers an area of 140 km² and is buried at 2000 m deep. The diapir was resulted from gypsum and rock-salt that arched the overlying strata. The formation cause of this structure are: 1. the reverse of densities from gypsum and salt to overlying strata; 2. the induction of fault movement; 3. the differential compaction of the overlying strata.

盆地模拟方法研究取得成果

利用现代电子计算技术进行盆地系统模拟的方法研究,是地矿部“七五”期间的重要科研项目。承担此项的地矿部石油地质中心实验室盆地研究室,最近提交了《沉积盆地油气评价系统的动态数学模拟方法》专题研究报告,取得了有意义的成果。

以油气评价为目标的盆地系统数学模拟方法的研究,是当前石油地质科技攻关的重大课题之一。这种方法以电子计算机为重要工具,动态地模拟地质历史过程,形象地揭示其与油气生成、运移、聚集的相互关系,提供各种预测性图件,计算油气资源量,指出油气所在位置,提供勘探部署的依据。从而更深刻地认识沉积盆地,提高油气预测能力,减少勘探风险。因此,它具有很高的理论价值,又有重大的经济效益。

石油地质中心实验室只用一年多时间,就建立了一种实用的油气盆地动态模拟系统,并在苏北、四川和酒泉盆地进行了适应性应用。在苏北盐城凹陷,建立了一系列模型,明确指出油气成熟度和油气可能聚集区。对川西凹陷孝泉气藏,进行了天然气运移效率的模拟,为天然气勘探部署,特别是对裂缝圈闭气藏提供了勘探依据;与中国地质大学(武汉)合作,对酒西盆地地质特征进行了系统模拟,展现了盆地内各凹陷油气生成运移的过程,评价了不同的有利地区。

(钮惟基)