

文章编号: 1006-6616 (2000) 01-0077-07

# 埕岛地区古生界构造有限变形研究

戴俊生<sup>1</sup>, 孟召平<sup>2</sup>

(1. 石油大学资源系, 山东 东营 257062;

2. 中国矿业大学(北京校区), 北京 100083.)

**摘要:**该文将有限变形理论应用到埕岛地区古生界构造变形研究中。在基本构造特征和构造演化历史分析的基础上, 将变形过程人为分解, 建立了位移函数, 计算了该地区古生界底面各点变形过程中位移矢量在东西、南北和铅垂方向的分量, 定量描述了地质构造的变形特征, 并分析了位移分量与构造活动期的对应关系。

**关键词:** 地质构造; 有限变形; 位移

**分类号:** P542

**文献标识码:** A

在地质构造研究中, 构造变形是一项重要的研究内容, 包括定性研究和定量研究两个方面。目前对构造变形的定量研究主要是对同一地质体的相对位移测量, 在许多情况下相对位移是无法直接测量的, 因为找不到可供测量的点。如走滑断层的走滑量, 在多数情况下是无法直接测量的。本文把有限变形力学理论应用到埕岛地区古生界构造变形的研究中, 在分析基本构造特征的基础上, 通过位移函数计算, 求出古生界底界面任一点在变形过程中的位移矢量, 定量地描述了构造变形特征。

## 1 基本构造特征

埕岛地区位于山东省渤海海滩埕岛油田。构造上属于渤海湾盆地渤中拗陷埕北低凸起的东南部, 靠近渤中拗陷、济阳拗陷和埕宁隆起三者的交汇处。西南以埕北断层为界与埕北凹陷相邻, 北东倾伏于渤中凹陷, 向东与渤南凸起相连, 南邻黄河口凹陷(图1)。古生界呈隆起状态构成潜山, 内幕构造为被断层强烈切割的向NE倾斜的单斜, 断层和裂隙十分发育, 溶蚀作用强烈, 第三纪生油凹陷环绕周围, 油气资源丰富。

### 1.1 构造层

根据沉积建造类型、构造特征、地球物理特征和地层接触关系等, 埕岛地区的地层可划分3个构造层。

**1.1.1 太古界构造层** 该构造层是一套深变质岩, 属于泰山群。据区域资料分析, 强烈变形的片麻岩、流褶皱和韧性剪切构造发育。地震剖面表现为杂乱反射, 能量较弱。

**1.1.2 中、古生界构造层** 本构造层包括古生界和中生界两个次级构造层。古生界构成潜山的主体, 是本次研究的目标层, 区内仅保留下古生界。据钻井和区域资料, 下古生界为碳酸盐

收稿日期: 1998-03-18

作者简介: 戴俊生(1958—), 男, 1999年获中国矿业大学博士学位, 石油大学(华东)资源系副教授。

图1 埭岛油田区域构造位置图

Fig. 1 The tectonic place of the Chengdao oilfield

1. 断层; 2. 下第三系尖灭线; 3. 古、始新统尖灭线

断层改造的背斜构造。

## 1.2 基本构造格局

埭岛地区的古生界整体为向 NE 方向倾斜的单斜,埭北断层、埭北20断层和埭北30断层将其切割成3个断块,每个断块翘起的高部位组成一个潜山构造带。3个潜山构造带分别位于埭北断层、埭北20断层和埭北30断层的上升盘,呈帚状向南收敛于埭北低凸起的南端(图2)。

## 1.3 构造演化史

本区古生界自形成以来,其构造形态经历了复杂的变化。归纳起来有如下几个阶段。

**1.3.1 古生代稳定克拉通发展阶段** 古生代期间,整个华北地台为稳定克拉通内部沉降型盆地,沉积了一套岩性和厚度横向稳定的海相、陆相和海陆交互相地层。下古生界以滨海、浅海相碳酸盐岩为主,上古生界为含煤碎屑岩。加里东运动发生在早古生代末期,地壳平稳上升遭受剥蚀,溶蚀作用明显,造成中石炭统与中奥陶统之间的平行不整合。古生代末期的海西运动也是一次平稳的抬升运动,埭岛地区范围较小,因此可以认为整个古生界是均一的。

**1.3.2 印支期褶皱发育阶段** 本区侏罗系与下伏古生界呈角度不整合接触。由于缺失三叠系,故可能形成该角度不整合的只有印支运动和海西运动。但是从区域上分析,在华北地区海西运动是一次升降运动,没有形成明显的角度不整合;印支运动是一次褶皱运动,许多地区可见到下侏罗统与三叠系之间的角度不整合<sup>[1]</sup>。埭岛地区古生界中的褶皱构造应该是印支运动的产物。该构造运动还造成地壳抬升,古生界遭受一定程度的剥蚀。

**1.3.3 燕山期潜山早期发育阶段** 本区侏罗—白垩系的分布受断裂的控制,存在于埭北20断层的下降盘和埭北古1断层的下降盘,加之沉积建造特征,均说明它们是裂陷作用的结果。与此同时,侏罗—白垩系中还存在着逆冲断层和褶皱构造,它们是挤压作用的产物。上述现象说明燕山运动表现为伸展断陷和挤压褶皱交替发生,燕山运动对古生界的改造主要表现为断块掀斜。侏罗—白垩系的活动断层以埭北20断层为代表,该断层的活动不仅切割了古生界,而且使古生界断块发生掀斜旋转,属于潜山构造的早期发育阶段,高部位遭受剥蚀,结果造成上古生界大面积缺失,下古生界局部缺失和大面积减薄。

岩建造和碎屑岩建造,由寒武系和中、下奥陶统组成,厚度1200~1400m,整体为向 NE 倾的单斜,断层切割严重。在 NW—SE 向古背斜的背景下存在一系列轴向近 EW 的小型宽缓褶皱,且多被断层切割。中生界仅发育侏罗系和下白垩统,以碎屑岩和火山碎屑岩为主。中、古生界构造层是渤海湾盆地前裂陷期的产物,埋藏深度中等,曾经历了弹塑性变形,变形程度中等,伸展断层、逆冲断层和褶皱构造发育。

**1.1.3 新生界构造层** 该构造层由下第三系、上第三系和第四系陆相碎屑岩构成,伸展断层和披覆构造是主要构造。伸展断层主要发育在下第三系中,披覆构造位于潜山顶部,表现为受



图2 埕岛地区古生界底界构造等深线图

Fig. 2 The structural isobathic lines on the bottom of

Palaeozoic group in Chengdao region

1. 等深线/m; 2. 断层线; 3. 断层面

**1.3.4 早第三纪潜山构造定型阶段** 早第三纪是渤海湾盆地的主要伸展裂陷期<sup>[2]</sup>, 众多伸展断层的强烈活动使古生界在掀斜旋转的同时被逐渐埋藏于地下, 潜山构造逐渐定型。作为潜山的古生界经历了数次构造变动, 形成了复杂的裂隙发育带, 多次的抬升剥蚀淋滤使溶蚀孔隙相当发育。

**1.3.5 晚第三纪和第四纪埋深加大阶段** 晚第三纪和第四纪属于渤海湾盆地的后裂陷期。断裂活动基本停止, 地壳发生均衡调节, 表现为整体下陷。古生界潜山被进一步埋深, 并接受下第三系形成的油气。

## 2 有限变形理论的应用

### 2.1 基本原理

根据有限变形力学理论可以求出变形体的位移函数<sup>[3]</sup>。假定目标层变形前为一个平面, 选择固定参考系  $\{X^i\}$ , 拖带系  $\{x^i\}$  嵌合在构造变形体中, 拖带系  $\{x^i\}$  初始和固定系  $\{X^i\}$  同胚。构造变形相对位移函数形式为:

$$u^1 = u = u(x, y) = \bar{X}(x, y) - x$$

$$u^2 = v = v(x, y) = \bar{Y}(x, y) - y$$

$$u^3 = w = w(x, y) = \bar{Z}(x, y) - z$$

式中  $(\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z})$  是目标层变形后的坐标, 也就是现时坐标。它是已知的, 可以从钻井或地震资料中获得; 而  $(x, y, z)$  是目标层变形前的坐标, 即未变形状态空间参照平面坐标, 这是

未知的;  $u$ 、 $v$ 、 $w$  是一点沿三个坐标方向的位移分量。对于空间参照面可由多元统计法或空间解析几何法确定, 目标层变形前的坐标必位于参照平面上, 故应有关系:

$$z = b_0 + b_1x + b_2y$$

这里  $b_0$ 、 $b_1$ 、 $b_2$  为常数。

一个点变形前的位置可通过在它附近的变形前位置坐标已知的一个或多个点来确定。那些已知点称为未知点的关联点, 并假设变形区域面积大小不发生改变, 同时, 假定目标层未知点与其关联点之间的距离保持不变。

图3中  $P$  点为未知点,  $A$  点为已知的关联点。变形后的  $A'$  及  $P'$  坐标已知, 由基本假设得知:  $AP = A'P'$ 。假设  $AP$  平行于  $A'P'$ , 即  $AP$  这根杆绕  $A$  点在过  $AP$  并垂直于水平面的  $N$  平面内转动, 这个垂直面的方位不发生改变, 而只是平移到  $N'$ 。它的法线方向数之比为  $n_1:n_2:n_3 = \frac{\bar{X}_{P'} - \bar{X}_{A'}}{A'P'} : \frac{\bar{Y}_{P'} - \bar{Y}_{A'}}{A'P'} : 0$ 。垂直平面  $N$  与初始参照平面  $Q$  的交线  $AP$  可由下列方程组确定, 即

$$\begin{cases} b_1x + b_2y - z + b_0 = 0 \\ -n_2x + n_1y + d_0 = 0 \end{cases}$$

这里  $d_0$  为一常数, 由此可得

$$\begin{cases} x_p = x_A + p \cdot A'P', & p = n_1/d \\ y_p = y_A + q \cdot A'P', & q = n_2/d \\ z_p = z_A + r \cdot A'P', & r = (b_1n_1 + b_2n_2)/d \end{cases}$$

其中  $d = \sqrt{n_1^2 + n_2^2 + (b_1n_1 + b_2n_2)^2}$

在研究中可任选一点为关联点, 并假设该点在变形前后的位移量为零, 进而计算出每一点的位移矢量<sup>[4]</sup>。

## 2.2 位移量计算

以研究区的西南角为原点, 向东为  $X$  轴方向, 向北为  $Y$  轴方向, 向上为  $Z$  轴方向建立直角坐标系, 以古生界的底界面为目标层, 现时坐标位于此界面上。在几亿年的地质历史中, 古生界从形成时的水平岩层到今天的形态, 变形过程十分复杂。为了使问题简化, 人为地将此过程分为两个阶段, 即先倾斜再变形为今天的形态。为此, 对目标层进行了深度一次趋势面计算(图4)。此趋势面被认为是古生界复杂变形前的形态, 即初始参照平面。在研究区的西北部取一点, 并假设该点复杂变形前后的位移量为零, 以该点为起点用关联点的方法展开计算, 求出各点在东西、南北和铅直方向上复杂变形的位移分量(图5~图7)。

## 2.3 计算结果分析

从位移矢量的分量上讲, 图5中研究区南部存在一个位移正值区, 反映由西向东的位移, 最大位移量达3500m。东北部主要为位移负值区, 反映由东向西的位移, 最大位移量达2100m。两者相对位移量最大达5600m, 说明埕北古1断层曾有过较强的左旋扭动。图6中研究区南部主要为位移负值区, 反映由北向南的位移, 东北部主体为位移正值区, 反映由南向北的位移, 两区之间最大相对位移量达4000m, 说明近  $SN$  方向左旋扭动和  $NE-SW$  方向伸展活动的存在。

图3 关联分析

Fig. 3 Interrelated analysis

Q 为初始参照平面; S 为目标层变形后的形态



图4 埕岛地区古生界底界一次趋势面等值线

Fig. 4 The isolines of linear trend surface of the bottom of Palaeozoic group in Chengdao region



图5 埕岛地区古生界底界东西方向位移量等值线

Fig. 5 The isolines of the displacement component on east-west on the bottom of Palaeozoic group in Chengdao region

从图7中可看出研究区中部有一个近 SN 向的位移正值区，反映抬升活动，最大抬升量达 1000m，西部和东部主体为位移负值区，反映下降活动，这一状况同古生界被埕北20断层切割成两个各自西升东降的掀斜断块相一致。

从水平位移量上讲，把图5和图6叠加起来可以看出研究区南部主要为向 SE 方向位移，东北部主要为向 NW 方向位移，说明近 EW 向断层（如埕北古1断层）和 NE—SW 向断层（如埕北30断层）的伸展活动以及 NW—SE 向的左旋扭动。



图6 埭岛地区古生界底界南北方向位移量等值线

Fig. 6 The isolines of the displacement component on south-north on the bottom of Palaeozoic group in Chengdao region



图7 埭岛地区古生界底界铅垂方向位移量等值线

Fig. 7 The isolines of the vertical displacement component on the bottom of Palaeozoic group in Chengdao region

从位移量与构造活动的关系上讲,同一地区同一时期构造活动的性质和方向具有相对稳定性,这种稳定性在各个方向的位移量上得到了较好地反映。将前述构造演化史分析与位移量计算结果结合起来,可以看出EW方向位移量特征反映出的近EW向左旋扭动可转换成NE—SW向挤压,基本上是印支期构造活动的表现。铅垂方向上的位移量特征所揭示的两个断块的EW向掀斜旋转基本上是燕山期构造活动的反映。SN方向位移量特征反映出的NE—SW

方向的伸展可造成断块沿拉伸方向掀斜旋转,主要是早第三纪构造活动的表现。一次趋势面所反映的岩层倾斜活动主要是燕山期和早第三纪构造活动综合作用的部分结果。

笔者认为,有限变形理论可应用于构造活动位移量的计算,是构造运动学研究的一种定量方法。埕岛地区古生界构造变形位移量的计算结果,定量地描述了该地区主要断层和断块的活动特点。

### 参 考 文 献

- [1] 宋鸿林, 葛梦春. 从构造特征论北京西山的印支运动 [J]. 地质论评, 1984, 30 (1): 77~80.
- [2] 戴俊生, 漆家福, 陆克政. 渤海湾盆地早第三系构造样式的演化 [J]. 石油学报, 1998, 19 (4): 16~20.
- [3] Wang Chong, Chen Zhida. Microrotation effects in material fracture and damage [J]. Journal of Engineering Fracture Mechanics, 1991, 38 (2): 147~155.
- [4] 孟召平, 王冲, 彭苏萍, 等. 地质构造有限变形几何分析及其应用 [J]. 煤炭学报, 1998, 23 (2): 119~123.

## FINITE STRAIN STUDY ON PALEOZOIC STRUCTURES IN CHENGDAO REGION

DAI Jun-sheng<sup>1</sup>, MENG Zhao-ping<sup>2</sup>

(1. Resources Department, University of Petroleum, Dongying, Shandong 257062, China;  
2. China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

**Abstract:** This paper applies the theory of finite strain to the study of Paleozoic structures in Chengdao region. A displacement function is established by resolving the straining processes based on the analysis of the basic tectonic features and their evolution. The E-W, N-S and vertical components of the displacement vectors of points on the bottom surface of the Paleozoic are calculated so as to give a quantitative description of the deformations. The correlation between the displacement components and the periods of tectonic activities is analyzed.

**Key words:** geological structures; finite strain; displacement