

石油科技发展与研究

SHIYOUKEJIFAZHANYUYANJIU SHIYOUKEJIFAZHANYUYANJIU

石油大学(华东)青年科学技术协会 编

石油大学出版社



《石油科技发展与研究》编委会

主 任	仝兆岐		
副 主 任	刘文田	张延庆	
委 员	(以姓氏笔划为序)		
	山 红 红	王 宗 贤	纪 友 亮
	李 兆 敏	吴 晓 东	陈 兴 奎
	陈 国 明	张 延 庆	郝 点
	姜 汉 桥	姜 再 兴	秦 积 舜
	徐 怀 民	管 志 川	

主 编	张延庆	李兆敏
-----	-----	-----

希望寄托在
青年人身上

李秀生 
九七年六月

选准前进目标

确定科学方法

脚踏实地苦干

坚韧不拔追求

全兆岐

一九九七年六月

攀登造就硕果累累

奋斗谱写辉煌人生

邵其绪

一九九七年冬月

前 言

当今世界,科学技术已经成为经济发展和社会进步的首要推动力量。随着人类知识积累的不断丰富和科学技术基础的日益雄厚,科技发展的速度越来越快,对科学技术队伍的需要也日益迫切,特别是对青年科技人才的培养和成长也日益显得重要。

邓小平同志十分重视青年科技人才的成长。他指出:“科学的未来在于青年,青年一代的成长是我们事业必定要兴旺发达的希望所在。”“希望中国出现一大批三四十岁的优秀的科学家、数学家、文学家和其他各种专家。”青年是跨世纪的一代新人。青年科技工作者要树立远大理想,把个人的前途命运同国家和民族的命运紧密结合起来,立振兴中华的雄心壮志,为早日把我国建设成富强、民主、文明的社会主义现代化强国奋力拼搏。

石油大学(华东)青年科学技术协会是石油大学(华东)党委领导下的全体青年教师和青年科技工作者的群众团体,是学校培养跨世纪人才的重要场所和发展石油科学技术事业的有力助手。校青年科协成立的目的是为广大青年科技工作者提供高层次、综合性、大规模的学术交流舞台,加强我校青年科技工作者同国内外、校内外的交流,为青年人的成长提供场所。广大青年科技人员必须选准前进的目标,确定科学的方法,脚踏实地苦干,坚韧不拔地追求科学真理,在青年科协这一舞台上唱出最美最强劲的科学主旋律。

刘友田

目 录

断面形态与滚动背斜	陈书平	王智都	宋金友(1)
与沉积环境有关的粘土矿物特征研究综述	马在平	李守军(6)	
利用小波变换研究地震层序模型	吴国忱	印兴耀	王艳仓(12)
东营凹陷下第三系深部(大于 3500m)储层成岩作用特征和成岩模式	操应长	姜在兴	张磊茹
.....			王留奇(18)
高含水期地质模型研究思路和内容	林承焰	信荃麟	侯连华
.....			徐守余
一种新的扇三角洲沉积相模式及其石油地质意义	董春梅	林承焰	张磊茹(24)
沉积扇型式与海(湖)平面升降变化	董春梅	林承焰	杨剑萍(29)
灰色理论在储层横向预测中的应用	张军华	杜启振	阮建新
.....			杨国权(35)
用铈、钡比值作为划分沉积相指标的探讨	李守军	孙镇城	彭立才(39)
用分块延迟 KL 变换提高地震记录的信噪比	张广智	印兴耀	吴国忱
.....			张紫晶(43)
利用地震资料预测含气砂体的方法	杜启振	张军华	田景星(47)
粘土矿物分布特征与生油岩沉积环境的关系——以苏北盆地为例	王文军	陆梅娟(51)	
水淹级别的判别方法研究及其应用	侯连华	王京红	林承焰
.....			陈利
小波变换在信号奇异性检测中的应用	张军华	阮建新	陆基孟(61)
东辛油田营 72 断块沙三中亚段储层成岩作用及其潜在损害因素分析	赵长勋	黄金柱	王淑玲(67)
.....			
东辛油田营 72 断块沙三中亚段孔隙度测井解释模型研究	王淑玲	黄金柱	赵长勋(70)
陕北延长组低渗砂岩油层油气富集因素	刘勇		(80)
快速预测在临盘油田敏感性评价中的应用	邱隆伟	姜在兴	操应长(83)
板南地区沙二段滨 IV 油组沉积微相研究	邵德艳	左松华	熊文君
.....			周丽清(88)
VSP 旅行时反演	张昌君	余嘉梅(93)	
关于钻柱上虚应力等问题的讨论	韩志勇(98)		
刮刀钻头防斜打直技术的探讨与实践	张桂林	孙伟香	宋法银(102)
单牙轮钻头钻弹塑性地层的合理性探讨	余志清	韩庆(106)	
对深井钻进过程中岩石的热冲击和热疲劳现象的探讨	余志清(112)		
造坑机理新析及坑形尺寸的确定	邢纪国	杜健(115)	
长庆油气田地层可钻性级值剖面建立方法的分析研究	陈俊	夏早平(120)	
采用随钻实时数据预测地层压力	曹基元	刘强国(125)	
聚类分析方法在长庆油田地层压力预测中的应用研究	夏早平	陈俊(129)	
智能化套和柱强度优化设计	吕苗荣(132)		
滨海地区金属滤砂管的应用	罗文美	孔庆恩	刘成文(139)
底水稠油先期防砂完井技术研究	刘文宏	刘艳红	张恒(146)
小井眼井控作业中环空水力参数的确定	史明义	王文刚	岳发辉(150)

井斜角对水平井井眼净化的影响	孙伟香 朱法银 胡明君(155)
Herschel-Bulkley 流体在光滑圆管内紊流流动规律的初步研究	刘成文 李兆敏 陈桂各 张洪伟(159)
运用基本方程研究非牛顿流体圆管层流流动规律的统一方法	李兆敏 刘 佳 陈桂和 张洪伟(164)
水力旋转喷射解堵技术在注水井中的应用	李根生 黄中伟 许玉寿 马加计 张武威 翟所斌 钟桂生 杜书国(168)
采油用剂评价仪的开发和应用	客进友 张洪泉 张贵才(173)
二次流动对异形喷嘴射流的影响	客进友(177)
钻井液主参数分析与优化应用	刘胜娃(180)
水力旋流器处理油田含油污水情况介绍	王立新 李忠堂(187)
镍基合金喷焊层组织性能的研究	陈建民 杨宝德 王彪 张秀梅 陈琳 王槐平(192)
浅谈钻井术语中几个常见的问题	曹慕元(197)
边远井节能试采用设备的应用研究	殷家富 李跃海(200)
旋转射流结构特性研究	步玉环 王瑞和 沈忠厚 周卫东(204)
提高海上 30" 抗冰隔水导管固井质量的研究	刘东青 梁希奎(209)
直井内套管开窗侧钻优选窗口位置的探讨	张建国 崔红英 韩志勇(211)
关于水平井井身结构设计中波动压力系数的讨论	管志川 葛洪彪 刘兴坤(215)
水平井筒流动分析	周生田 张琪(221)
井筒储存对干扰试井确定裂缝方位影响的研究	姚军 李爱芬 张培茂(227)
地面驱动螺杆泵生产系统抽油杆柱组合设计模型	陈德泰(232)
国产三缸单作用钻井泵失效模式及其原因分析和失效树综合评判	牛勇 侯郡 赵庆(236)
美国煤层气技术发展状况	吴晓东 刘慧卿(242)
用三项式预测气井产能研究	唐洪俊(249)
无限大均质地层变井储时压力动态	张艳玉(252)
超声乳化液选择性堵水试验研究	孙仁远 郭云亮 秦积舜 张文斌(257)
粘土双液法调剖机理研究	张志英 秦积舜(260)
断块油藏水驱油效果分析	洪心广 陈月明 谷建伟(264)
疏松砂砾岩油藏导热系数	郭平 张奎祥 李玉彬 庞雷君(271)
含水率的变化对地层渗透率的影响	刘振宇(276)
新型无污染页岩抑制剂的研究	樊泽霞 高锦屏 王兰兰(280)
离心法测毛管力曲线的机理分析及计算方法对比	李爱芬(283)
利用分形结构因子评价岩芯的非均质性	张红玲 郭云亮 崔笛(288)
低频电流热采数学模型及应用	雷光伦 陈月明 涂彬(292)
油井产能预测方法在吐哈丘陵油田投产中的应用研究	王杰祥(297)
井下伴热电缆在拟井筒条件下发热功率研究	王海文 孙成堂 刘朋义 王伟(301)
示踪剂产出曲线分析方法的改进	李淑霞 陈月明(305)
拉普拉斯空间试井解释技术	朱国君 姚军 王丽(309)
微生物采油技术	汪卫东 蒋焱(312)
基于神经网络的泥浆泵故障诊断的探索研究	杨其俊 裴峻峰 田佳禾(317)

喷瓷管道热喷玻璃涂层结合性研究	王勇 董立先 赵卫民(322)
过热蒸汽炉管的性能分析	王世圣 杨国安 周光军 路永明等(326)
102-DA 脱硫槽安全性分析	周光军 杨国安 路永明等(331)
预估控制在线应用研究	吴勇浚(334)
用动量定理推导“同步阀”机构力学方程	杨国安 翟玉生 路永明(338)
焊接工艺参数对 20CrMo 钢扩散焊接头性能的影响	周鹤法 张晓东(341)
国产抽油机游梁的力学分析	常玉连 孙 超 邹龙庆 汤淑文(344)
R610 甲醇反应器安全性评定与寿命估算	崔学政 杨国安 王世圣 路永明等(349)
废热锅炉上升及下降管线安全性分析	杨国安 路永明 周光军 李玉海 秦卫将 孙名东(352)
一种新型液压抽油机的工作性能分析及液压系统的改进	马春成 荀 昊 于桂杰(355)
齿轮齿条液压抽油机	荀昊 马春成 张国春 于桂杰(359)
我国液压抽油机的技术现状和发展	马春成 荀 昊 张国春 于建东(363)
钢丝绳芯橡胶带的研制与试验效果分析	李新华 魏志华(367)
链条抽油机的应用与发展	李新华 黄伟(370)
地面驱动螺杆泵抽油杆柱受力及变形分析	徐建宁 彭勇 牛建军(375)
大型热管式空气预热器的设计	杨肖强 许康 王弥康等(383)
热焦化固井防砂工艺研究	张克勤 梁金国 沈惠坊 田淑英 侯方卓(387)
孤岛蜡油催化裂化的实验室研究	叶智刚 马志涛 蔡升平(391)
UNIFAC 基团贡献法预测大庆原油全馏分相平衡	宋春敏(396)
三氧化硫在工业中的应用	李涛江 战玉富 吕俊奇(401)
装置进料换热器积垢成因探析	涂永善 杨朝合 邹贤忠 张建芳(405)
世界石油工业与油价循环周期波动分析预测	叶智刚 蔡福安(410)
浅析清管过程中的蜡堵问题	邢晓凯 张树文 顾春孝(417)
地块面积分割的扫描算法	王心众 万剑华(420)
利用 GPS 进行形变监测的技术问题	高希余 王心众(424)
盐渍土若干基本特性的分析研究	战永亮 张延庆 俞然刚 张旭东(427)
关于两转一进步与振兴天然气工业的思考	唐建生 安贵龙(432)
改变世界的 INTERNET	顾丽红 吴少刚(436)
非均匀有理 B 样条曲线光滑性的证明	李宗民 葛元康(439)
理解科学认识技术	赵东治 武继兵(441)
磁处理技术微观机理的实验证据	汪仲清 周开学 耿宏章(443)
超声换能器频带宽度的影响因素	李书光(446)
雷电近区地面电场响应的物理机制	关继鹏 黄柳宾 李文瀛(448)
石油大学(华东)科研基金十年回顾与思考	姜梅芳 赵东治(450)
合作成果归属约定的特点及对技术合作的影响	李树坤(454)
为科研项目服务刍议	焦念友(457)
发展股份制企业集团是促进国有企业改革的有宜探索	王乐升(460)
启发性教学在《石油加工》课中的应用	郑锦荣(463)

断面形态与滚动背斜

陈书平

王智帮

宋全友

(石油大学勘探系) (胜利油田地质研究院) (石油大学勘探系)

摘要 滚动背斜是盆地中普遍存在的一种有规律分布的构造形式。但目前对滚动背斜这一概念的含义及其形成机制尚存在不同的看法。本文首先明确了滚动背斜的概念,然后分析了断面形态与上盘褶皱作用的关系。我们认为在控制滚动背斜形成的诸因素中,断面形态是最重要的因素。断面在剖面上可分为下凹型、上凸型、坡坪型和直线型。在平面上可分为弧型和直线型,这些不同的断面形态控制的上盘褶皱作用的特点也是不同的,其中下凹型和坡坪型断层的上盘以及弧型断层的内凹侧最容易形成滚动背斜。在本文最后,我们提供了沾化、车镇凹陷中的两个滚动背斜的实例。

关键词 滚动背斜 断面形态 理论模型 形成机制 实例

作者简介 陈书平,1965年生,硕士,讲师,从事构造地质学和大地构造学的教学和科研工作

一、前言

滚动背斜这一概念首先是由鲍威尔在研究科罗拉多高原中提出的,后来人们在世界许多地区发现了这一构造。人们不再认为这种构造是一种“反常”构造,而是与盆地下降断裂作用相伴生的一种重要构造。

所谓滚动背斜指的是沿非平面正断层上盘滑动而引起的层面弯曲而形成的背斜构造。由于受断面特征和其他因素的影响,这种滑动作用有时形成滚动背斜,有时并不形成背斜,而仅仅引起层面的倾斜,同向倾斜(断面与层面向同倾斜)称为正牵引或拖曳、反向倾斜称为逆牵引,也称翻卷、反倾、滚动背斜、顺倾和反倾统称为滚动构造或统称为滚动。

对滚动背斜构造的描述已从简单的形态描述发展到运动学模型的建立、物理模拟和计算机模拟,以前对其形成机制存在着三种观点① 断裂前已经存在的褶皱,被断层切断而保留了下来。② 断裂作用的同时伴生的褶皱构造。③ 沉积后由于挤压作用而形成的背斜,即所谓的“反转”。根据我们的定义,我们认为第一种机制和第三种机制形成的背斜不能称为滚动背斜,只有第二种机制形成的背斜才能称为滚动背斜。

控制滚动背斜形成的因素可能很多,但我们认为断层面的形态对滚动背斜的发育起主导作用。

一、剖面形态及滚动背斜模型

从剖面上看,断层面的形态有四种类型,它们分别是下凹型(也称铲型)、上凸型、坡坪型和直线型。

1. 下凹型断面

下凹型断面是盆地中一种常见的断面形态类型,为简单起见,我们讨论一个弯曲的情况(图 1-1)。实际上,下凹型断面可以划分成有限个这样的一个弯曲。

上盘沿如图 1-1 所示的断面发生滑动时,由于水平位移和垂向位移不协调,必然在两盘中间引起空缺,这一空缺将很快被由于重力作用引起的上盘塌陷所补充,从而引起如图 1-2 所示的变形。上盘变形分为三个区,活动轴面左侧无变形区,非活动轴面左侧及生长轴面上侧的天变形区和由活动轴面、非活动轴面、生长轴面和断面围限的膝折区。所谓活动轴面就是过下盘断面拐点 a 引出的面,走向与断面平行,倾向与断面相反,其倾角即塌陷角或塌陷方向,根据岩石力学内摩擦角理论为 $65^{\circ} \sim 75^{\circ}$ 。凡是经过该面的地层都发生膝折作用。非活动

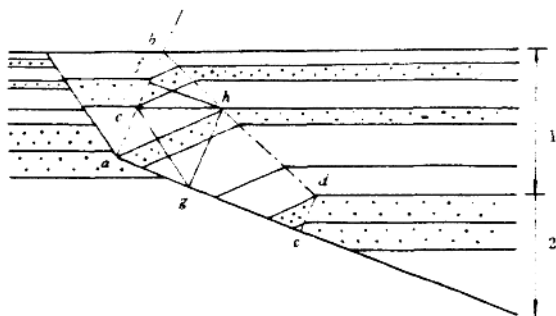


图 1-1 下凹断面的一个弯曲及上盘褶皱

ab —活动轴面; acd —非活动轴面; bd —生长轴面; ac —相当点; 1 —生长地层; 2 —非生长地层; eh —原始层面; ah — eh 塌陷后层面; eg —平行于上部断面; fh —平行于下部断面

在原始层面水平的条件下, $\angle feh$ = 塌陷角 φ , $\angle eha$ = 塌陷后倾斜岩层的倾角 γ , $\angle age$ = 上部断面倾角 α 与下部断面倾角 β 的差, $\angle eah = \varphi - \gamma$, $\angle aeg = 180^{\circ} - \varphi - \alpha$, $\angle cfh = 180^{\circ} - \varphi - \alpha$

轴面是从上盘断面拐点 c 引出的与活动轴面平行的面,示膝折作用的下限。生长轴面是连接活动轴面和非活动轴面的面,与沉积作用有关,示膝折作用的顶限。

现在讨论膝折区倾斜岩层的产状与断面产状和塌陷角的关系。

根据正弦定理,在 $\triangle aeg$ 中有:

$$\frac{ag}{\sin \angle aeg} = \frac{ea}{\sin \angle age} \quad (1-1)$$

同样在 $\triangle eah$ 和 $\triangle efh$ 中有:

$$\frac{eh}{\sin \angle eah} = \frac{ea}{\sin \angle eha} \quad (1-2)$$

和

$$\frac{fh}{\sin \angle feh} = \frac{eh}{\sin \angle efh} \quad (1-3)$$

将(1)、(2)、(3)式进行整理并考虑 $ag = fh$ 得

$$\frac{\sin \angle eah \cdot \sin \angle feh}{\sin \angle aeg \cdot \sin \angle efh} = \frac{\sin \angle eha}{\sin \angle age} \quad (1-4)$$

根据图 1-1 中的角度关系有:

$$\frac{\sin(\varphi - r) \sin \varphi}{\sin(\varphi + \alpha) \sin(\varphi + \beta)} = \frac{\sin \gamma}{\sin(\alpha - \beta)} \quad (1-5)$$

式中 α ——上部断面倾角;

β ——下部断面倾角;

φ ——塌陷角;

γ ——膝折区倾斜岩层倾角。

假如地层为原始倾斜的,倾向与断面相同,倾角为 δ ,则塌陷后地层的倾角与断面倾角、塌

陷角、原始倾斜岩层的倾角之间的关系通过将式(1-5)进行简单的处理就可以得到。即将式(1-5)中的 $\sin\varphi$ 用 $\sin(\varphi - \delta)$ 代替, $\sin\gamma$ 用 $\sin(\gamma - \delta)$ 代替就可以了, 得:

$$\frac{\sin(\varphi - \gamma)\sin(\varphi - \delta)}{\sin(\varphi + \alpha)\sin(\varphi + \beta)} = \frac{\sin(\gamma - \delta)}{\sin(\alpha - \beta)} \quad (1-6)$$

式中 δ ——原始倾斜岩层倾角;

γ ——塌陷后倾斜岩层倾角。

值得指出的是在下凹断面情况下, 如果不考虑其他因素, 而仅考虑断面形态引起的上盘滚动作用, 则很难形成圈闭构造, 只形成地层的反向倾斜, 要形成滚动背斜还需要有其他条件, 例如, 在盆地中经常存在的: ① 沉积层的原始倾斜。由于断层的影响, 盆地中的沉积地层往往朝向盆地中心或凹陷中心倾斜, 即顺倾。② 差异压实作用。在盆地或凹陷的边界区沉积物往往较粗, 压实率和压实量较小, 而近凹陷中心粒度较细, 压实率和压实量较大, 这经常引起层面向盆地或凹陷中心的倾斜。这两种情况与断面引起的反倾相结合就形成了滚动背斜。

2. 上凸型断面

上凸型断面形态与下凹型断面同样的处理方法, 将它简化成一个弯曲(图 1-2), 而整条断层可以认为是有限个这种简单弯曲的组合, 图 1-2 中上盘变形同样分成三个区, 右侧的无变形区, 左侧无变形区及由活动轴面、非活动轴面、生长轴面和断面所围限的膝折区或塌陷区。这种情况下, 塌陷引起的地层的倾斜与断面倾

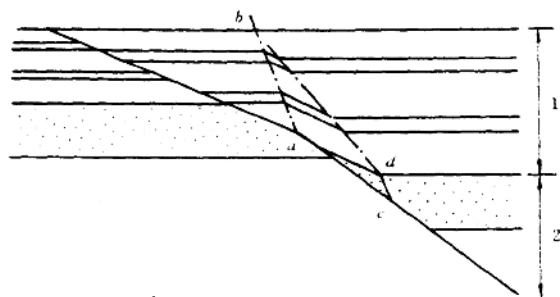
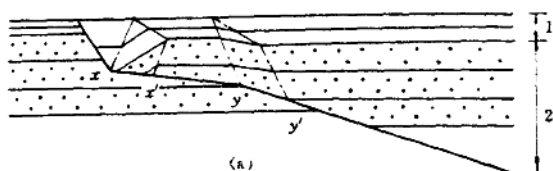


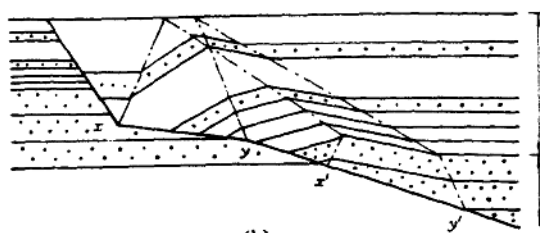
图 1-2 上凸型断面及上盘褶皱

ac—相当点; ab—活动轴面; ca—非活动轴面; bd—生长轴面;

1—生长地层; 2—非生长地层



(a)



(b)

图 1-3 坡坪型断面及上盘褶皱作用

a—初始拉伸; b—大量拉伸; x'—为 x 的相当点; y'—y 的相当点;

1—生长地层; 2—非生长地层; 3—生长轴面

向一致, 上盘整体呈一鼻状构造, 具有正牵引的特点。描述下凹型断面情况下的倾斜岩层的产状、断面产状和塌陷角的关系式在这里同样是适应的。

3. 坡坪型断面

坡坪型断面形态可以看成是上凸断面和下凹断面的复合, 其简化模型见图 1-3(a)。图中显示在初始拉伸情况下, 由下凹断面和上凸断面引起的两个膝折区没有发生重叠, 上盘整体表现为箱状背斜的特点。图 1-3(b) 图中, 随拉伸量的增大, 同断裂活动的沉积层的加厚, 两个膝折区叠合。在叠合区, 由于受两个方向塌陷的影响, 使层面的倾角变缓, 倾角

大小是两个膝折区原始倾角的差,倾向与原始倾角大的相一致,上盘褶皱的特点逐渐由箱状向尖棱状过渡,且在剖面上出现尖棱褶皱与箱状褶皱叠合的现象,在更下部的地区地层显示正牵引的理象。总起来说,在坡坪型断面情况下,上盘变形出现滚动背斜和鼻状构造相重叠的现象。

最后,关于直线型断面,盆地中较少发育直线型断面,而且直线型断面一般不易形成滚动背斜,在此不再讨论。

二、断层平面形态及与滚动背斜的关系

断面在平面上看具有两种形态,直线型的和弯曲型的。

对于直线型断层,如果断面在剖面上是弧型的话,则形成滚动背斜的特点是圆柱状背斜,不能形成圈闭,背斜轴平行于断层线;如果断面在剖面上是直线型的,则不能形成滚动背斜。

对于弯曲型断层来说,不论断面在剖面上是直线型的还是曲线型的,都可以形成滚动背斜,且往往发育在平面弯曲型断层内侧下降盘上,其形成机理可以用图 1-4 作出解释。

在图 1-4 中,根据矢量和成和分解的处理方法,我们有:

$$\overline{ad} + \overline{ac} = \overline{ab}$$

$$\overline{ae} + \overline{ec} = \overline{ac}$$

同样地对 F_2 断层也可做上述的处理。

如果 F_1, F_2 的夹角小于 90° , 则 $|\overline{ae}| > |\overline{af}|$, 将形成长轴平行于主扩展方向的滚动背斜。如果 F_1, F_2 的夹角大于 90° 而小于 180° , 那么 $|\overline{ae}| < |\overline{af}|$, 上盘将形成长轴与主扩展方向垂直的滚动背斜。总之,平面弯曲断层的内侧下掉盘最容易产生滚动背斜。

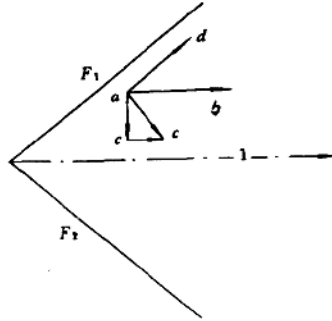


图 1-4 弯曲断层与上盘褶皱作用

l — 中线及主扩展方向; ab — F_1 主伸展矢量; ad — 主矢平行于 F_1 分量; ac — 主矢法向分量(法矢); ae — 法矢垂直于中线分量; ec — 法矢平行于中线分量

三、实例

在对渤海湾盆地济阳坳陷中的沾化、车镇凹陷的构造研究中,我们发现了许多很好的滚动背斜,它们的特点是在平面上主要受 NEE 或近 EW 向断层的控制,长轴与断层线近平行,多发育在弯曲断层内侧下掉盘上。从剖面上看,主要发育在第三系地层中,有的为滚动背斜,有的为鼻状构造,有的是两种形式的叠合,其中两个比较典型的实例如图 1-5。

图 1-5(a)取自车镇凹陷的大 1 断层,断面为铲型,上盘表现为滚动背斜。图 1-5(b)取自沾化凹陷的垦利断层,断面形态为典型的坡坪式,上盘变形特点是从浅部到深部为滚动背斜和鼻状构造。

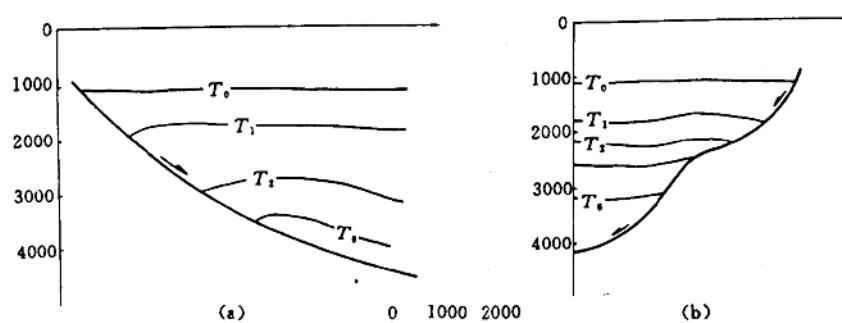


图 1-5 典型滚动背斜

a—车镇凹陷大 1 断层(603 测线); b—沾化凹陷星利断层(109 测线)

参 考 文 献

- [1] 王燮培等. 同生断层与石油勘探, 武汉地质学院(现中国地质大学)石油教研室教材. 1985
- [2] Hongbin Xin 等. Origin of Rollover, AAPG, 1992. 4: 509—529
- [3] Jean Braun 等. A Simple Kinematic Model for Crustal Deformation along Two and Three-Dimensional Listric Normal Faults Derived from Scaled Laboratory Experiments, Journal of structural Geology. 1994; 16: 1477—1490

与沉积环境有关的粘土矿物特征研究综述

马在平 李守军

(石油大学资源系)

提要 综述了国内外应用粘土矿物特征分析沉积环境的主要研究成果及研究进展。着重介绍了在不同沉积环境中形成的粘土矿物元素地球化学特征、矿物相组合特征及组构特征,同时也介绍了粘土矿物结晶度、晶形及特殊的粘土矿物种类与沉积环境的关系。

关键词 粘土矿物 沉积环境分析 应用矿物学

第一作者简介 马在平,男,1962年12月生,硕士,讲师,从事矿物、岩石学教学和研究

一、前言

粘土矿物分布广泛且对环境有特殊的敏感性,因此,利用粘土矿物特征分析沉积环境的工作受到沉积学、地球化学、地理学等领域研究人员的重视。本文谨介绍国内外在与沉积环境有关的粘土矿物元素地球化学特征、粘土矿物相及矿物相组合特征、粘土矿物组构特征等方面的主要研究工作成果。

二、粘土矿物元素地球化学特征

1. 元素硼

早在1932年,Goldschmid和Peters即认识到泥质沉积物中硼与介质的盐度有关。此后,Walker和Price(1963)^[1]、Adams等(1965)^[2]、Couch(1971)^[3]进一步提出了确定粘土矿物中硼与盐度关系的定性或定量分析方法,这些方法分别被国内学者称为沃克或沃克尔(Walker)法、亚当斯(Adams)法、考奇或柯奇(Couch)法。根据国内外文献资料,利用粘土矿物中的硼分析沉积环境,其结论的可靠性与具体分析方法的选择、自然水体中硼分布的一般规律及选样和测试技术有关。简介如下。

(1) Walker法、Adams法和Couch法的适用范围 应用Walker法、Adams法和Couch法计算介质盐度的共同前提条件是要求消除继承硼的影响。因此,在物源区地球化学背景不清的情况下,一般要求对物源区粘土矿物进行测定,确定继承硼的数量,以消除其对沉积环境分析结果的影响。此外,Walker法根据粘土矿物吸附硼量及经过换算得到的相当硼值划分盐度区间,属定性分析方法,适用于粘土矿物以伊利石为主的情况。Adams法和Couch法为定量分析方法,前者适用于盐度较高(16%~33%)、粘土矿物成分以伊利石为主的情况;后者适用于盐度范围较广(1.3%~35%)、粘土矿物成分较复杂(伊利石、蒙脱石、高岭石等共存)的情况。在沉积岩成岩作用过程中,蒙脱石、高岭石伊利石化等粘土矿物转化现象普遍,因此,要将成岩后的粘土矿物换算成初始(成岩之前)粘土矿物含量,在应用Couch法时,特别需要注意这一

点。钱凯等(1982)在应用 Couch 法计算东营凹陷早第三纪湖水盐度的工作中,认为埋深及由此引起的压力变化是促进蒙脱石、高岭石伊利石化的主要因素,并据此就恢复初始粘土矿物含量进行了尝试^[4]。但 Perry 和 Hower(1972)比较了美国湾岸地区不同地温梯度的两口井中蒙脱石向伊利石转化的温度和深度的关系,发现压力可能对蒙脱石向伊利石转化起阻碍作用^[5]。而 Pollastro 等(1993)的最新研究成果说明,在多数情况下,温度是控制蒙脱石伊利石化的最主要因素^[5]。看来在今后的工作中,尚需对如何恢复初始粘土矿物含量作进一步的研究,以提高沉积环境分析结果的可靠性。

(2) 自然水体中硼分布的一般规律 据研究,现代海洋(盐度 35‰)粘土沉积物中的硼含量一般大于 100mg/L,而现代淡水湖泊(盐度小于 1‰)粘土沉积物中的硼含量一般为 30~60mg/L。有学者提出,粘土沉积物中硼含量大于 100mg/L,多属海相沉积;硼含量小于 40mg/L,属陆相的可能性最大;硼含量在 40~100mg/L 时,则属海相或陆相的可能性都有^[6]。但是,近年来的研究发现,内陆盐湖水体具有很高的含硼量。如我国西部现代盐湖水中硼含量可以高出海水数倍至数百倍,而西藏北部 18 个咸化湖粘土沉积物中的硼含量均高达 160~500mg/L,达到或超过了正常海相沉积物中的硼含量^[7]。因此,可以认为,粘土矿物中硼含量指标更宜于用来判断盐度大小,当用作划分海陆相的标准时,需与其他标志(如生物、岩性、沉积构造等)相结合,否则,会得出错误的结论。根据国外资料报道,淡水、半咸水和咸水粘土沉积物中硼含量一般分别宜定为小于 44mg/L、44~102mg/L 和大于 102mg/L,其当量硼数值分别为小于 200mg/L、200~300mg/L 和 300~400mg/L。

(3) 选样和测试技术 在应用粘土矿物中硼的含量判别沉积环境时,样品选择与处理、测试方法等,可能对分析结果产生显著的影响。据龙天才(1988)研究^[6],含粗碎屑的样品,其硼含量测定值一般要偏低 10%~30%,而含白云母、电气石、海绿石等富硼矿物的样品,实测硼含量将偏高,因此,野外采集的无论何种样品,都需经过破碎、过筛、提纯等处理,从而得到小于 0.001mm 的粒级部分。在应用硼含量判别沉积环境的微相时,所选样品应有同一物源区且属同一沉积盆地。其次,用光谱法测定硼时,最好不同炭极而用铜极,因为炭极一般含硼,常使含硼量测定值偏高。此外,为了消除样品的不均匀性,一个样品应测数次,并取其平均值。目前,国内外不同研究者在选样和选用测试技术方面尚未有统一标准,例如,相当一部分人的分析样品粒级为小于 0.002mm,因此,降低了研究结果的可对比性。

2. B/Ga 值

硼与镓的地球化学性质差别明显。前者地球化学活动性强,在水中可以发生长距离迁移;后者地球化学活动性较差,迁移能力较弱。据刘英俊(1984)报道,在淡水成因的岩石中,镓的含量为 20~25mg/L,在海洋成因的岩石中,Ga 含量为 7~10mg/L。国内外现代和古代沉积盆地(包括一些含油气盆地)粘土矿物中的 B/Ga 值分析结果亦反映,海相沉积成因的 B/Ga 值高于淡水。而且,国外一些报道认为,B/Ga 值小于 1.5 为淡水相,5~6 为近海岸相,大于 7 为海相。但是,据孙镇城等(1992)研究,我国部分盐湖湖底沉积泥样的 B/Ga 值可达 120.3,远远大于国外提出的 B/Ga 值标准,并且,随湖水盐度升高,B/Ga 值也有所增加^[7]。因此,粘土矿物 B/Ga 值更宜作为盐度指标,用其判别海陆相时,应与生物、岩性、沉积构造等标志相结合。

目前,对不同盐度水体粘土矿物 B/Ga 值的分析结果并不完全相同。国内许多人认为,B/Ga 小于 3 为淡水相、3~4.5 为半咸水相、大于 4.5 为咸水相。李成凤等(1988)以对东营凹陷沙河街组古盐度进行定量计算的结果为依据,确定 B/Ga 小于 1.5 为淡水相、1.5~3 为半咸水相、大于 4~5 为咸水相。上述划分水体盐度的 B/Ga 值标准的差异,可能与研究地区的地球化

学背景值及选样和测试技术不同有关。

3. B-Ga-Rb 相关性

由于硼、镓、铷地球化学性质不同,在由陆相淡水向海相咸水环境过渡时,它们在粘土矿物中被吸附的相对含量也发生有规律的变化。岛田显郎等(1973)提出 B-Ga-Rb 三元素相关图来区分海陆相沉积环境,取得较好的效果。陈荣林(1995)在研究塔里木盆地中侏罗世海泛事件沉积时,亦发现由陆相淡水环境向海相咸水环境过渡时,多数样品的硼、镓、铷含量值落在上述 B-Ga-Rb 三元素相关图的海陆过渡区^[8]。

4. 其他元素地球化学特征

除硼含量、B/Ga 值、B-Ga-Rb 相关性外,有研究发现锶易被粘土矿物吸附,碳酸盐矿物颗粒对锶也有捕获作用,因此,锶在泥岩,特别是在钙质泥岩中的含量较高。过去,人们认为 Sr/Ba 值大于 1 为海相沉积, Sr/Ba 值小于 1 为陆相沉积,实际上,对盐湖沉积粘土矿物研究结果表明,与 B/Ga 值类似, Sr/Ba 值更宜用来确定古盐度^[9]。此外,尚有根据粘土矿物或泥质沉积物 Fe/Mn 值、 Al_2O_3/MgO 值确定盐度的报道。其中,提出 Fe/Mn 值指标的研究者认为, Fe/Mn 值越小,盐度越高。而 Al_2O_3/MgO 值指标的提出,主要依据对盐湖沉积粘土矿物化学成分的研究,例如,在察尔汗盐湖未成盐阶段(气候较湿润,湖水盐度较小),绿泥石族矿物主要为铁绿泥石,粘土矿物 Al_2O_3/MgO 值较高;成盐阶段(气候变干,湖水盐度较高),绿泥石基本为镁绿泥石,粘土矿物 Al_2O_3/MgO 值较低^[9]。但是, Fe/Mn 值和 Al_2O_3/MgO 值指标在沉积环境分析工作中尚未得到广泛应用,其准确性有待进一步研究。

值得一提的是, Spears(1973)在研究英国某地石炭纪泥岩时发现, Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 等常量元素离子在泥岩中的含量与盐度关系密切。在海相泥岩中, Mg^{2+} 含量高于淡水和微咸水相泥岩,而 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 含量低于淡水成因的泥岩^[10]。但是,如何应用有关粘土矿物中的 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 含量确定盐度,也需继续探讨。

三、粘土矿物相和矿物相组合特征

1. 矿物相组合

对不同环境下粘土矿物(主要为高岭石、伊利石、蒙脱石、绿泥石)组合特征的研究报道十分丰富,其中,以对海相沉积的研究成果最为突出。例如,早在 1941 年, Dietz 即测定了采自世界各大洋的现代沉积物标本,发现在近岸地区,高岭石较富集。赵全基(1992)对中国近海粘土矿物分布特征研究发现,自北向南,伊利石含量变化不大,绿泥石含量稍有降低,高岭石含量升高,蒙脱石含量降低。而自岸向海方向,高岭石含量逐渐降低,伊利石或蒙脱石含量逐渐升高^[11]。 Weaver(1960)认为,粘土矿物在标志陆源滨海环境方面是很有效的。此外, Biscaye(1965)等对现代海洋沉积物的研究表明,伊利石是海洋中最丰富的粘土矿物。而且,已有研究发现,海相地层含较多伊利石和绿泥石。一般认为,伊利石在海洋环境能够稳定存在,而高岭石主要形成于陆上风化环境,在海洋环境中,高岭石要向伊利石转化,因此,高岭石主要在特定气候带的近岸地区分布。亦有研究指出,水动力作用造成的机械沉积分异作用,对海相沉积物中粘土矿物组合有明显影响,如在渤海中部、南北黄海中部等封闭、半封闭海域,水动力作用较弱,细粒沉积发育,蒙脱石和伊利石较富集^[11]。

关于湖相沉积物中粘土矿物组合特征的研究报道较少。徐昶(1993)发现,中国柴达木盆地盐湖粘土矿物组合与澳大利亚东南部盐湖粘土矿物组合相同,粘土矿物种类皆为伊利石、绿泥