

油区构造分析

戴俊生 李理 编

0.2

石油大学出版社

油 区 构 造 分 析

戴俊生 李 理 编

石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

油区构造分析/戴俊生主编. —东营:石油大学出版社,
2002. 11
ISBN 7-5636-1719-1

I. 油… II. 戴… III. 含油气盆地—地质构造—
研究 IV. P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第090092号

油区构造分析

戴俊生 李 理 主编

责任编辑:陆丽凤(电话 0546—8391282)

封面设计:孟卫东

出 版 者:石油大学出版社(山东 东营,邮编 257061)

网 址: <http://sunctr.hdpu.edu.cn/~upcpres>

电子信箱: upcpres@sunctr.hdpu.edu.cn

印 刷 者:青岛胶南印刷厂

发 行 者:石油大学出版社(电话 0546-8392563)

开 本: 787×1092 1/16 印张:12.875 字数:297千字

版 次:2002年12月第1版第1次印刷

印 数:2000册

定 价:15.60元

前 言

本书系统地介绍了含油气地区构造地质学研究的内容和方法,重点介绍了含油气盆地、油区构造样式、二级构造带、生长构造、断层封闭性、裂缝和地应力。本书可作为地质和地球物理专业本科高年级的选修课教材,也可作为研究生相关课程的教材,还可供石油勘探技术人员阅读参考。

本书包括八章,第一、七、八章由戴俊生和李理编写,第二、三、四、五章由戴俊生编写,第六章由李理编写,全书由戴俊生统稿。

由于编者水平所限,书中欠妥之处定会不少,敬请读者指正。

作 者

2002. 9

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 油区构造分析的主要内容.....	(1)
一、含油气盆地.....	(1)
二、油区构造样式.....	(1)
三、二级构造带.....	(2)
四、生长构造.....	(2)
五、断层的封闭性.....	(2)
六、裂缝.....	(3)
七、地应力.....	(3)
第二节 主要研究进展.....	(4)
一、含油气盆地构造分析.....	(4)
二、构造样式的分类.....	(4)
三、反转构造.....	(5)
四、生长构造.....	(6)
五、定量构造分析.....	(6)
六、覆盖区构造研究.....	(7)
七、断层封闭性研究.....	(7)
八、裂缝测井识别和定量研究.....	(7)
第二章 含油气盆地	(9)
第一节 含油气盆地的概念.....	(9)
第二节 含油气盆地的类型.....	(10)
一、分类原则.....	(10)
二、威尔逊旋回.....	(12)
第三节 伸展盆地.....	(13)
一、大陆内初始裂谷.....	(14)
二、大陆内断陷—坳陷盆地.....	(15)
三、大陆间原洋裂谷.....	(15)
四、拗拉谷.....	(18)
五、被动大陆边缘.....	(18)
六、边缘海盆地.....	(22)
七、伸展盆地的形成机制.....	(24)
第四节 压缩盆地.....	(28)
一、弧前盆地.....	(28)



二、残留洋盆地	(28)
三、前陆盆地	(30)
第五节 走滑盆地	(33)
一、走滑拉分盆地	(33)
二、走滑挤压挠曲盆地	(35)
第六节 克拉通内盆地	(35)
一、克拉通内简单盆地	(36)
二、克拉通内坳陷盆地	(36)
第三章 油区构造样式	(37)
第一节 构造样式的概念	(37)
第二节 伸展构造样式	(38)
一、基底伸展构造样式	(38)
二、盖层伸展构造样式	(39)
第三节 压缩构造样式	(42)
一、基底冲断层与压缩断块	(43)
二、盖层冲断层系与相关褶皱构造	(43)
第四节 走滑构造样式	(47)
一、基底走滑断层与花状构造	(48)
二、盖层横推断层与雁列褶皱	(48)
第五节 反转构造	(49)
一、反转构造的概念	(49)
二、正反转构造	(50)
三、负反转构造	(51)
四、反转构造的力学机制	(51)
第四章 二级构造带	(54)
第一节 含油气盆地内部构造单元	(54)
一、一级构造单元	(54)
二、亚一级构造单元	(54)
三、二级构造单元	(55)
四、三级构造单元	(57)
第二节 逆牵引构造带	(58)
一、概念	(58)
二、基本特征	(58)
三、成因机制	(60)
四、与油气的关系	(61)
第三节 古潜山构造带	(62)
一、概念	(62)
二、基本类型	(63)

三、成因	(64)
四、与油气的关系	(67)
第四节 超覆不整合构造带	(68)
一、概念	(68)
二、基本特征	(68)
三、与油气的关系	(69)
第五节 岩层尖灭构造带	(70)
第六节 滑脱型断层—褶皱带	(72)
一、概念	(72)
二、基本特征	(72)
第七节 其他几种二级构造带	(73)
一、断裂阶梯状构造带	(73)
二、单斜构造带	(73)
三、背斜构造带	(74)
四、长垣	(75)
第八节 二级构造带的分布规律	(75)
第五章 生长构造	(78)
第一节 生长背斜	(78)
一、基本特征	(78)
二、分析内容	(79)
三、与油气聚集的关系	(84)
第二节 生长断层	(85)
一、概念	(85)
二、基本特征	(85)
三、生长断层的分析	(86)
四、生长断层的形成机制	(89)
五、旋转法编制平衡剖面	(92)
第三节 底辟构造	(95)
一、底辟构造的基本结构	(95)
二、底辟构造的类型	(96)
三、底辟构造样式	(97)
四、底辟构造的形成机制和发育模式	(100)
第六章 断层的封闭性	(103)
第一节 断层封闭性的研究现状	(103)
第二节 断层封闭理论及封闭机理	(104)
一、断层封闭理论	(104)
二、断层封闭机理	(105)
第三节 断层封闭性的研究方法	(106)



一、断层的力学性质	(106)
二、断层的产状及两侧岩性配置	(112)
三、断层活动时期	(115)
四、断层的受力状况	(115)
五、断层封堵系数	(119)
六、泥岩涂抹	(120)
七、构造应力场	(123)
八、模糊判断评价断层的封闭性	(125)
第四节 断层封闭史的综合研究	(130)
一、沉积埋藏史	(130)
二、构造演化史	(131)
三、应力场演化史	(131)
四、断面承受主应力	(132)
五、实例	(132)
第七章 裂缝	(140)
第一节 裂缝识别	(141)
一、岩心裂缝观测	(141)
二、裂缝的测井识别	(144)
三、裂缝的地震识别	(147)
第二节 裂缝预测	(149)
一、地质类比法	(149)
二、分形分维法	(150)
三、剖面曲率法	(157)
四、构造应力场模拟	(159)
五、有限变形计算	(164)
第八章 地应力	(167)
第一节 水平主应力方向计算	(167)
一、岩心古地磁定向	(167)
二、声速法	(171)
三、井壁崩落法	(173)
四、井斜统计法	(175)
五、现今水平主应力方向计算结果比较	(176)
第二节 水平主应力值计算	(178)
一、声发射法计算现今最大主应力	(178)
二、水力压裂法计算现今最小水平主应力	(179)
三、井壁崩落法计算现今水平主应力	(182)
四、现今水平主应力计算结果比较	(183)
第三节 现今地应力场模拟	(183)

目 录

一、基本原理	(183)
二、C 断块沙四段顶面现今地应力场模拟	(184)
参考文献	(189)

第一章 绪 论

第一节 油区构造分析的主要内容

石油和天然气的生成、运移和聚集与地质构造有着密切的关系。在油区,构造活动通过对沉积环境的控制能够导致烃源岩的形成,构造沉降作用造成烃源岩在埋藏条件下产生石油和天然气,岩层和断裂为油气的运移提供了通道和路径,构造应力是油气运移的重要动力,构造圈闭为油气的聚集提供了场所和条件,构造作用伴随着油气藏形成的全过程。在石油和天然气的勘探和开发过程中,地质构造是必须首先考虑的问题。为了服务于石油和天然气的勘探和开发,油区构造分析应主要包括如下几个方面的内容。

一、含油气盆地

随着石油勘探的发展,含油气盆地的概念自20世纪50年代被提出后不断完善和发展。含油气盆地是指在一个相当长的地质时期内,在一种构造成因的不规则平面上,由沉积物沉降堆积所形成的并在其以后地质历史中有油气生成和聚集过程的实体(信荃麟等,1993)。从盆地尺度上讲,含油气盆地主要的构造研究内容包括盆地的类型、形成环境和成因机制。

20世纪60年代及以前,盆地构造研究的理论基础是地槽-地台说,20世纪60年代晚期以后,板块构造理论被应用到盆地构造研究中,并不断深化。在我国,20世纪60年代和70年代,地质力学观点被广泛应用在盆地构造研究中。盆地类型反映着盆地形成的大地构造环境和地球动力学条件,不同类型的盆地常有不同的油气成藏过程和含油气远景。

盆地的形成主要受地球动力学环境控制,软流圈和岩石圈板块的变化和活动决定着盆地的性质和空间位置。另外,负荷作用、岩浆房塌陷、非均衡作用等也可造成地表下陷形成沉积盆地。

二、油区构造样式

油区构造样式是指含油气地区具有相同或相近成因和形态特征的地质构造组合,它们在类似的变形条件下将会重复出现。在油气勘探中,构造样式研究是为了预测油气圈闭类型,同时为解释地震资料提供合理的地质模型。构造样式分析所要考虑的问题主要包括几何学、运动学、动力学和时间,这四个因素有一定联系。几何学分析是通过地表观察及地震剖面解释来获得三维构造几何特征,将各种变形组合的应变场与应力场结合起来。运动学分析是侧重于将板块运动与构造演化序列结合起来,对构造位移变化进行推断。动力学分析主要考虑全球三种动力学系统:伸展构造系统、压缩构造系统和走滑构造系统。含油气区的构造样式具有层次性,有盆地尺度的,有构造带尺度的,也有局部构造尺度的,还有



微观尺度的。构造样式具有时间性,同一地区的构造样式在时间上组成发育演化序列。

三、二级构造带

二级构造带由位置相邻的、有一定成因联系的正向局部构造所组成,属于盆地内部二级正向构造单元。二级构造带对油气具有控制作用,常是油气聚集带,是盆地内油气勘探的重点对象。依据盆地基底的卷入情况和局部构造的类型,通常将构造带归纳为盖层构造带和基岩潜山构造带两类,前者进一步划分为背斜型构造带和断裂型构造带。背斜型构造带包括滚动背斜构造带、中央背斜构造带、披覆背斜构造带、断展背斜构造带、断弯背斜构造带、滑脱背斜构造带、流动背斜构造带、纵弯背斜构造带等。断裂型构造带包括断阶构造带、冲断构造带、断块构造带、断裂构造带等。潜山构造带包括侵蚀潜山构造带、褶皱潜山构造带、单断潜山构造带、双断潜山构造带、断阶潜山构造带等。

二级构造带的发育具有明显的规律性,特定类型的盆地发育着特定的构造带种类,而且构造带的分布具有特定的规律性,研究这种规律性对油气勘探有着重要意义。构造带的成因机制与盆地的成因密不可分,而且代表着局部构造的成因。

在含油气盆地中,局部构造包括背斜、向斜、鼻状构造、断块等。作为正向局部构造,背斜、鼻状构造、断块等是构造圈闭和构造油气藏的基本单元,是寻找油气的直接目标。局部构造的研究内容包括它们的类型、成因、分布规律和含油气性。目前对局部构造的分类主要有形态分类和成因分类两种,前者注重观察,后者强调分析。局部构造的成因和分布受盆地动力学环境的控制。在含油气盆地中,局部构造的含油气性决定于圈闭条件及构造发育与油气运移在时间和空间上的配置关系。

四、生长构造

生长构造是指在沉积过程中长期发育的构造,也称同沉积构造或同生构造,主要包括生长断层和生长背斜两种。由于生长构造主要发育在沉积盆地中,而且与油气有着密切的关系,因此受到石油地质学家的广泛重视,并总结出了一系列基本特征。生长构造的研究方法常用的有断层生长指数分析、编制生长背斜宝塔图、计算剖面伸展(压缩)量和伸展(压缩)率、编制平衡剖面。另外,还有计算生长断层面结构要素、计算滑脱深度等方法。以往对张性和张扭性生长断层研究的较多。近年来,在我国西部准葛尔、柴达木等盆地中已发现许多生长逆断层,在东部渤海湾盆地也发现有生长逆断层。

五、断层的封闭性

断层的封闭性是指断层对油气的封堵能力。断层封闭机理主要有三种形式:涂抹作用、碎裂作用和成岩胶结作用。涂抹作用是指塑性的泥质物或其他非渗透性岩层被拖曳进断层带敷在断层面上,产生的涂抹物对流水起有效的封堵作用。碎裂作用是指由于断层在位移期间的挤压和破碎作用形成断层泥,从而实现对断层的封堵。成岩胶结作用则是由于断层破碎带的产生有利于胶结物的生成,降低了断层带内物质的渗透能力,对断层起封堵作用。

从断层的力学性质来看,压性断层断层紧闭,断层岩致密,颗粒紧密排列,缝洞极不发

育,孔渗性能差,特别是其中发育的断层泥或糜棱岩有很好的封闭性。张性断层一般具有开启性,常常是油气运移的通道。覆盖区断层的力学性质可以通过录井信息、声波测井信息、地球物理信息、地层水矿化度和油田开发静态资料来判断。断层力学性质的定量研究是通过研究断面应力大小来实现的。通过计算断层面的正应力和剪应力,再结合被断层岩石强度、岩性组合及断层岩特征,即可判断断层在任一深度、任一地段的封闭性。

断层的封堵模式主要有主应力封堵模式、岩性配置封堵模式、产状配置封堵模式、时间配置封堵模式、泥岩沾污带封堵模式和剪切带封堵模式。断层封闭性的定量研究方法主要有断层封堵系数、泥岩沾污因子等。

六、裂缝

裂缝不仅构成油气的储集空间,而且连通其他类型的储集孔隙。在低渗透油藏和潜山油藏中裂缝是控制油气富集和产能的主要因素,对裂缝储层的正确认识和描述是有效开发该类油田的关键。裂缝识别是根据裂缝在地质、地球物理等资料上的响应,认识并描述裂缝。岩心观察、镜下统计、测井资料识别、地震资料识别、开发数据分析等是裂缝识别的有效方法。裂缝预测是根据裂缝的发育特点或形成机制,采用地质学、物理学、数学等方法,研究裂缝的分布规律。地质类比、物理模拟、构造应力场模拟、变形模拟、岩层曲率计算、分形分维等是裂缝预测的有效方法。

裂缝的成因和影响因素很多,研究裂缝的方法也很多,每一种方法的依据可能是裂缝的一种成因机制,也可能是某种统计规律,因此用单一的方法研究裂缝很难获得满意的结果。岩心观察法只能用于取心井段,其代表性常受到限制,可以作为裂缝研究的约束条件。镜下统计法应用于微观裂缝,可以作为宏观裂缝研究的补充。测井方法和地震方法属于间接研究方法,其结果具有多解性,必须以正确的地质认识为前提,地震方法的分辨率低。地质类比法需要对研究区和对比区做深入的地质研究工作,其研究结果常以定性为主。物理模拟法以物体变形过程中产生破裂为原理,其结果只能作为实际情况的近似。构造应力场数值模拟以物体受力发生破裂为原理,实际工作过程中对许多边界条件进行了简化和假设,而且地质模型的正确建立具有很大的难度。变形模拟法抓住了物体变形发生破裂的控制因素,但是对地层的变形进行了简化。岩层曲率法以物体弯曲变形过程中产生破裂为原理,但是对岩层的弯曲变形机制没有做充分的考虑。分形分维法以物体的自相似性为原理,受统计数据是否具有代表性的限制。上述各种方法都是研究裂缝的有效方法,但是都有限制条件。在同一地区综合应用多种方法,可以对各种研究结果进行比较验证,提高研究精度。

七、地应力

地应力是指地壳中的应力,在油气勘探开发中有着十分重要的作用。地应力是油气运移、聚集的动力之一,古地应力场影响和控制着地质历史中油气的运移和聚集,现今地应力场影响和控制着油气田在开发过程中油、气、水的动态变化。现今地应力的研究可为注采井网的布置、调整及开发方案设计提供科学的背景资料。目前研究地应力的方法很多,其中声速法、井壁崩落法和井斜统计法等是确定水平主应力方向的有效方法。声发射法不



仅能够计算现今最大主应力,而且能够计算各个构造期的古最大主应力。水力压裂法是计算现今最小水平主应力的有效方法。在井斜的情况下,井壁崩落法还能够计算现今水平主应力。

第二节 主要研究进展

近年来,由于沉积学、地层学、大地构造学、材料力学、地球物理学和地球化学等相关学科的发展,以及盆地分析、板块构造理论、层序地层学理论、地球物理资料处理与解释、构造物理模拟、构造数值模拟等新理论、新技术和新方法的不断涌现和改进,使油区构造研究取得了巨大成就。归结起来主要在如下几个方面获得了重大进展。

一、含油气盆地构造分析

板块构造学的提出为含油气盆地分析提供了大地构造背景的依据,使含油气盆地分类学研究活跃起来。20世纪80年代以来发表了一系列涉及含油气盆地分析的重要著作。如A. D. Miall(1990)的《盆地分析原理》、Edwards & Samtugrossi(1990)的《离散、被动大陆边缘》、Bidde(1991)的《活动边缘盆地》、Leighton *et al*(1994)的《克拉通内盆地》、Landon *et al*(1990)的《陆内裂谷盆地》、Beaumont(1987)的《沉积盆地及形成机制》等。同时国内学者也发表了许多有关盆地构造样式的论著,具代表性的如朱夏(1983;1986;1990)、刘和甫(1992;1993)、陈发景(1988;1992)、罗志立(1989)、陆克政(1992;1996;1998)、何登发(1996)等。这些研究成果对含油气盆地的类型、构造特征、成因机制和大地构造环境进行了深入细致的分析,揭示了构造样式、盆地类型和板块构造的关系。将含油气盆地的分析建筑在板块构造和地球动力学系统的基础之上,提出伸展盆地、压缩盆地和走滑盆地的分类方案和盆地内部伸展构造体系、压缩构造体系和走滑构造体系的研究内容。

二、构造样式的分类

构造样式分类是构造样式研究的基础,曾经有多种方案被提出。进入20世纪70年代以后,随着板块构造理论研究的深入,成功地把地壳的变形过程和岩石圈板块运动联系起来,形成了一个全球性的统一概念。在此基础上,T. P. Harding 和J. D. Lowell(1979)提出了有重要影响的分类方案。该方案首先强调基底是否卷入,将构造分为基底卷入型和盖层滑脱型两大类,又根据变形的力学性质和应力传递方式进一步细分为八种基本类型。基底卷入型构造样式包括扭性断层组合、压性断块与基底逆冲、张性断块和翘曲;盖层滑脱型构造样式包括滑脱逆冲——褶皱组合、滑脱正断层、盐底辟构造和泥底辟构造。该方案的最大优点是将板块构造的分析与油气勘探紧密结合,明确提出了各种构造样式在板块构造中主要发育部位以及鉴别准则,并阐述了影响构造样式形态和产状变化的因素。按基底是否卷入划分构造样式有其明显的不足,该方案将不同力学性质的构造归为一个大类,难以概括一个盆地或地区总的构造性质,也难以直接揭示构造的几何学和运动学特征,而且有些构造样式与基底卷入和盖层滑脱均无直接联系(汤良杰,1996)。

刘和甫(1993)以地球动力学背景为基础,强调构造样式与形成盆地的动力学具有一

致性,划分出伸展构造样式、压缩构造样式和走滑构造样式三大系统,然后按其卷入深度进一步划分出基底变形和盖层变形。

在伸展构造(Extensional tectonics)中,正断层是最基本的结构要素。Wernicke 等(1982)在研究美国西部“盆岭区”伸展构造时,按照构造几何学和运动学特征将正断层划分为旋转(Rotation)和非旋转两类,并指出平面式(Planar)和铲式(Listric)两种断层面形态。在此基础上,漆家福等(1995)进一步划分出非旋转平面式正断层、旋转平面式正断层、铲式正断层和坡坪式正断层四种基本类型。伸展构造中还包括有拆离断层(Detachment fault)、伸展断块体、铲式扇、伸展双重构造(Extensional duplex)、变换断层(Transfer fault)等。

冲断层、冲断系统和褶皱构造是压缩构造的基本要素。冲断系统(Thrust system)包括双重构造、叠瓦冲断系统和三角带。Mitra(1986)修改了Boyer和Elliott(1982)的分类,将双重构造分为独立断坡背斜和后倾双重构造、真双重构造和叠覆断坡背斜。叠瓦冲断系统(Imbricate thrust system)包括被侵蚀的双重构造、前缘叠瓦扇、后缘叠瓦扇和盲叠瓦冲断层组合。三角带最先被用于描述加拿大落基山南部冲断带的终端,后又称为插入的冲断层楔形体。与冲断层相关的褶皱主要有滑脱褶皱(Detachment fold)、断展褶皱(Fault propagation fold)和断弯褶皱(Fault bend fold)。

在走滑构造(Strike-slip structure)中,走滑断层是最重要的,伴随其活动常形成各种有规律的构造组合,主要有雁列褶皱、雁列剪切破裂、雁列张性破裂、主走滑断层带和花状构造等。

在现今的构造样式分类中,研究者趋向于结合研究目的和研究对象的性质进行综合分类。如何登发(1996)将川西盆地的构造样式总结为断层传播褶皱、断层转折褶皱、背冲牵引褶皱、断层牵引褶皱、突发褶皱、三角形变形带、滑脱褶皱、拖曳褶皱等。陈发景等(1996)将库车拗陷的构造样式划分为四种,即被动顶板双重构造、叠瓦逆冲断层系、背冲和对冲构造、与逆冲断层相关的褶皱、横向构造带或横向构造变换带。戴俊生(1998)将渤海湾盆地早第三纪构造样式划分为非旋转地堑、旋转半地堑、滚动半地堑、复式半地堑和走滑地堑五种基本类型。

三、反转构造

反转构造(Inversion tectonics or inverted structure)早在20世纪20年代就已有报道,但直到20世纪80年代末和90年代初才引起构造地质学家和石油地质学家的广泛重视。有关反转构造和盆地反转的研究成果集中反映在Cooper等(1989)主编的《Inversion Tectonics》和Coward(1994)的论文“Inversion Tectonics”中。但目前有关反转构造的定义、分类、应用范围、与油气的关系等问题的分歧尚很大。Glennie and Boegner(1981)提出的反转构造主要是指原来的构造沉降后来逆转而形成构造隆起。Harding(1985)认为构造反转是构造起伏在极性上的变化,如原来的构造低转变为构造高,当规模大时称为盆地反转构造。Cooper等(1989)指出盆地反转可定义为原来由一个断层系控制的盆地,后来受挤压或扭压而产生隆起,使部分盆地充填被挤出。一些石油地质学家将反转构造限定为大陆裂谷环境早期正断层上盘的逆向活动所形成的构造。多数人认为反转构造应包括正反



转和负反转两种,前者指早期为伸展正断层活动,晚期为挤压逆断层活动;后者指早期为逆断层,后期为正断层。刘和甫(1993)认为反转构造也应包括由于走滑断层位移方向改变所产生的构造。

反转构造应指在构造演化中伸展构造系统和挤压构造系统相互转化和相互作用的产物,它与地动力条件改变有关,是不同阶段、不同地动力条件下构造变形或体系的叠加与复合的构造样式。研究反转构造有助于分析盆地构造演化历史,使人们认识到从伸展断陷到挤压变形是盆地演化的常见模式。从油气勘探角度出发,早期伸展断陷通常是烃源岩的形成时期,后期挤压变形往往与油气的形成、运移和聚集成藏相联系。因此,研究含油气盆地的反转构造对寻找有利的含油气区带,发现含油气构造具有重要意义。

四、生长构造

早在20世纪60年代,Ocamb(1961)就指出生长断层的“落差随深度增加而增大,下降盘地层厚度比上升盘相应的地层厚度明显增大”,揭示了生长构造的本质特征,为用厚度分析法研究生长构造奠定了基础。生长断层在平面上常表现为弧形、雁行排列和分叉合并现象,下降盘地层明显增厚,落差随深度增加而增大,剖面形态常为上陡下缓的铲形,下降盘砂层层数多、厚度大,常伴有滑动构造、逆牵引背斜和掀斜旋转断块(王燮培,1990)。生长背斜具有顶薄翼厚、下陡上缓和顶部岩性粗翼部细等特点(冯石等,1983)。生长构造的研究方法常用的有断层生长指数分析、生长断层落差分析、编制生长背斜宝塔图、计算剖面伸展(压缩)量和伸展(压缩)率、编制平衡剖面(戴俊生,1995)。另外,还有计算生长断层面结构要素(Wernicke & Burchfiel, 1982)、计算滑脱深度(Gibbs, 1983)等方法。目前对张性和张扭性生长断层研究的较多,许多学者都曾提到过生长逆断层,但论述较少。近年来,在我国西部准葛尔、柴达木等盆地中已发现许多生长逆断层(吴庆福,1987;顾树松,1997;杨绍清,1997)。在东部渤海湾盆地也发现有生长逆断层(杨克绳,1985)。

五、定量构造分析

随着经济发展对构造研究精度要求的提高,计算机手段在地质研究中的广泛应用和与构造地质学相关的边缘学科的发展,使构造研究逐渐由定性化向量化发展。在几何学方面,地球物理参数与构造形态的数学关系式已建立(Abdelrahman, 1989; Jhnson, 1992)。用几何作图法能确定拆离面的产状和深度(Axen, 1988; Williams & Vann, 1987)以及构造几何形态,如面积平衡法(Wilkerson, 1991)、人字形折线作图法、滑移线作图法(Williams & Vann, 1987)、横剖面复原等。在运动学方面,可用宏观和微观方法确定位移方向和位移量的方法和标志有地质填图、断层擦痕、矿物纤维、次级破裂、桥构造、构造透镜体、牵引构造、瑞德尔剪切、S-C条带结构、褶皱理、拉伸线理和鞘褶皱、旋转变斑和碎斑系、包体痕迹或雪球构造、书斜式滑移、晶体位移、非对称眼斑和石香肠、动态重结晶、优选光性方位、方解石e双晶纹等(庄培仁,1996)。用平衡剖面方法和剖面分析法能够计算伸展量和压缩量。在动力学方面,盆地构造沉降量的计算、构造应力场数值模拟、构造变形物理模拟等都属于定量研究方法。

六、覆盖区构造研究

在覆盖区无法直接观测构造形态,应强调多种手段配合查清构造形态,综合研究阐明构造成因,加强区域背景研究,恢复构造演化历史等(曹代勇等,1991)。研究内容包括环境背景分析、形态特征分析、盆地坳陷分析、岩浆地热分析、平衡转换分析、系统整体分析、应变应力分析、应力动力分析、发育演化分析和模拟数值分析等十个方面(王桂梁,1989)。在解决构造背景、构造形态和构造成因等三个基本问题的基础上建立构造模式并进行构造预测。以综合勘探为基础,生产勘探与专题研究相结合、区域构造研究与矿区构造研究相结合、宏观构造研究与微观构造研究相结合、定性分析与定量研究相结合、形态研究与成因研究相结合(钱光谟,1994)。多源信息复合是当前地学领域的一项新技术(马建文,1993)。它以计算机数据处理和数字图像处理为核心,以多源地学数据库为基础,充分利用各种地质信息,多层次、多尺度、全方位地揭示研究对象的内部结构及本质(曹代勇等,1996)。

七、断层封闭性研究

断层封闭性的研究进入20世纪90年代,取得了新的进展。Knipe于1992年详细论述了断层封闭物中微组构的演化和发展过程,分析了影响封闭物的形成时间、封闭能力、连通性和封闭强度及稳定性的因素。Antonellini和Aydin研究了断层作用对断层带物性的影响及其形成的空间几何形态和变形结构;Gibson认为断层封闭主要取决于断层带内的封闭物;Berg 1995年研究了泥岩剪切带的起源、性质及结构和成分,并讨论了其封闭能力。

曹瑞成等(1992)从统计角度总结了评价断层封闭性的参数或标志,应用逻辑信息法建立了早期勘探区断层封闭程度的统计预测模型用于判断断层对油气的遮挡作用。吕延防等(1995、1996)利用“非线性形影射分析”方法判断断层的封闭性,并对断层侧向和垂向两方面进行组合判断来判别断层的综合封闭能力。鲁兵等(1996)探讨了异常超压与断层封闭性之间的关系。

八、裂缝测井识别和定量研究

裂缝的研究进入20世纪90年代后,在测井分析测试方法和设备的新进展主要有:

(1) 电磁测向仪,它是一种快速准确测量裂缝方位并记录裂缝倾角、宽度、走向等描述裂缝数据的仪器。

(2) 声波速度各向异性和表面荧光分析,可以用来确定原位应力方位。

(3) CT扫描仪,有助于探索肉眼观测不到的裂缝。

(4) 斯通利波反射,它是利用声波波形来确定裂缝位置的新技术。

(5) 微Lambda测井,用于坚硬岩石中探测与分析裂缝,它可以区分开启与闭合裂缝。

(6) 环形声波测井,用于探测垂直裂缝系统并确定其走向。

(7) 全井眼地层微电阻率成像(FMI),主要利用FMI井壁成像测井仪,它可以以一般静态图像、标定到浅侧向测井的静态图像、动态加强图像三种方式成像。其中第一、三种图



像用于定性识别裂缝,第二种图像用于裂缝的定量计算,可输出平均裂缝宽度、裂缝长度(每平方米井壁所见到的裂缝长度之和)及裂缝的视孔隙度(单位井段所见裂缝的视开口面积与FMI图像的覆盖面积之比)。

裂缝研究还表现在逐步由定性向定量方向发展,主要有利用数值模拟、分形分维等方法对裂缝进行确定量预测。

1. 分形分维法

1980年,有学者从理论上证明分形理论可用于碳酸盐岩地区裂缝的研究,并介绍了用分形理论建立裂缝分布的实际模型。以后又有人证明分形理论还可用于其他岩性的裂缝研究中。进入20世纪90年代,大量的研究表明,用分形来表征裂缝已成为裂缝定量分析的一种新方法(Velde B. and Duboes J. *etc.*, 1990),并且通过研究认为,当裂缝的分维 D 大于1.34,裂缝就能构成互相渗流的裂缝网络(Barton C. C., 1995)。此外,应用地震资料计算分维进行裂缝研究也日益受到重视(彭仕宓等, 1998)。

2. 神经网络模式识别

由于裂缝的发育和孔隙流体的存在使地震传播速度下降、频率下降、反射波振幅增大、能量显著增大,在三维地震数据体中,通过各个方向切片,拾取振幅信息,做出其平面分布,便可依据极性反转的振幅高值即负极大值划分出裂缝油气发育带。

3. 数值模拟方法

随着有限元方法的日益成熟,构造裂缝的数值模拟取得了重大进展,发展为从构造应力场和应变场入手的有限元数值模拟法(Ramstad L. R., 1977; 李定龙, 1994),因而也就从褶皱区张(剪)性裂缝的定量预测发展到多种地质构造条件、多层状和复杂边界条件下的张性、剪性裂缝的定量预测。