

平衡剖面技术

及其在油气勘探中的应用

梁慧社 张建珍 夏义平 / 著

575

地质出版社

平衡剖面技术 及其在油气勘探中的应用

梁慧社 张建珍 夏义平 著

地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

平衡剖面技术及其在油气勘探中的应用/梁慧社等著.
北京:地震出版社, 2002.12

ISBN 7-5028-2192-9

I. 平… II. 梁… III. 地震剖面-平衡技术-应用-油气勘探 IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 087328 号

内 容 提 要

本书介绍了平衡剖面技术的基本原理、方法及计算机模拟原理,从实际应用出发,讨论了平衡剖面制作时的关键技术问题。平衡剖面技术是构造定量分析和油气勘探的实用技术,同时本书也强调剖面的真实性与合理性的结合是平衡剖面方法追求的目标,可靠的第一手资料和合理的几何学解释是成功的基础。本书重点以中国中、西部前陆盆地为例,介绍了平衡剖面技术在盆地分析和油气勘探中的应用,提供了在复杂地区进行盆地定量研究的技术和方法。

本书可供从事盆地构造分析、油气勘探的地质工作者,特别是从事地震处理与解释人员参考。也可供高等院校从事地质、地球物理及石油地质的教师、研究生和大学生参考。

平衡剖面技术及其在油气勘探中的应用

梁慧社 张建珍 夏义平 著

责任编辑:张友联

责任校对:庞娅萍

出版发行:地震出版社

北京民族学院南路9号

邮编:100081

发行部:68423031 68467993

传真:68423031

门市部:68467991

传真:68467972

总编室:68462709

传真:68467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

经销:全国各地新华书店

印刷:北京地大彩印厂

版(印)次:2002年12月第一版 2002年12月第一次印刷

开本:787×1092 1/16

字数:199千字

印张:7.75

印数:0001~1000

书号:ISBN 7-5028-2192-9/P·1146 (2758)

定价:18.00元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题,本社负责调换)

序

平衡剖面技术是科学探索与油气勘探相结合的产物，现在该项技术已被广泛接受，并在油气勘探中得到应用。本文作者在多年研究的基础上，从平衡剖面的基本原理，到平衡剖面的计算机模拟，从理论分析到实际应用进行了全面介绍，对于盆地构造分析，特别是前陆盆地构造研究及复杂地区的油气勘探都有一定的启示作用。

平衡剖面技术实际是构造分析的定量化研究，说到底是要解决地质问题。因此，在制作剖面时首先要解决剖面的真实性问题，平衡剖面绝不仅仅是一个几何游戏。有人认为引进一套先进软件，经过计算机处理的就是平衡剖面，这是片面的，甚至是错误的。平衡剖面软件的检验，使剖面在几何学上更趋合理性。但软件不能代替人的思维，一条平衡的剖面，更重要的是剖面的真实性，要能反映真实的地质情况，剖面的解释必须要符合地质规律，符合构造变形规律。正如作者在书中所讲，一条好的剖面应当是一个地区构造特征的浓缩，反映了剖面制作者对整个区域构造的认识。剖面的真实性和合理性是平衡剖面的两个重要方面。

平衡剖面提出的一系列几何学法则是对剖面解释的限制，可以较好地避免解释中的随意性，对提高解释的精度起到了保证作用，因此，平衡剖面方法对于石油勘探中的地震剖面解释工作来讲是非常重要的。石油勘探需要编制构造图，这是最基础的图件，而地震剖面解释是编图的最基础工作。当然，也不能只把平衡剖面作为剖面解释的工具，它应当是一种思想，定量研究的重要途径，也是一种思路，要反映在研究的全过程中。这在本书编写中也得到了很好的体现。

本书的编写有一个特点，并不是用大量篇幅讨论原理、方法，而是将方法的应用融入实例分析之中。书中引用的实例具有较扎实的研究基础，是作者在多年研究中成果的积累。每个实例都是对一个地区的综合研究，包含了多种方法的运用。在选区上，侧重了对中、西部地区前陆盆地的研究，特别是复杂地区构造的解释，具有一定的代表性。其中，龙门山地区、库车拗陷、准噶尔盆地南缘的研究，解决了这些地区在二维剖面上的一些基本的构

造问题，为后来的研究和油气勘探奠定了良好的基础。目前，在库车拗陷和准噶尔盆地南缘都实现了油气的突破。

平衡剖面技术发展到今天，已经在构造分析和油气勘探中起到了重要作用，相信随着理论的深化和方法的完善，特别是向三维方面的发展，加上勘探技术的进步，将会在油气勘探中发挥更大的作用。

中国科学院院士

A stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Ma Jun, a Chinese geologist and academician.

2002.9.

前 言

平衡剖面技术起源于 20 世纪 50~60 年代的石油工业,是科学探索与油气勘探相结合的产物。什么是平衡剖面?平衡剖面首先应当是真实的剖面,要尽可能真实地反映实际的地质情况。这就需要我们尽可能多地利用已有的资料,包括沿剖面线直接观察到的露头资料、剖面两侧露头资料的投影、沿剖面线可利用的地球物理资料的解释及剖面线附近钻井资料等。其次,平衡剖面又应当是合理的剖面,在构造简单的地区,有时利用观察到的资料就可以建立一个比较完整的剖面,但在构造复杂地区,由于资料的缺乏和资料质量等因素,剖面中会留下许多空白,需要进行推断,这种推断具有很大的主观性和随意性。因此,要建立一条合理的剖面,或者是一条可以被接受的剖面就需要对解释的随意性进行限制,平衡剖面技术就是提供了一系列限制条件,以保证剖面解释的合理性。既真实又合理的剖面就是平衡剖面。勘探技术的发展提供了更多可利用的资料,保证了构造解释的真实性,而解释技术的发展则提供了更多的检验手段,保证了构造解释的合理性,两者的结合为构造研究和油气勘探提供了最基本的保证。

毫无疑问,平衡剖面技术对油气勘探具有重要的实际意义。首先,根据平衡剖面原理建立的区域剖面可以更合理地解释盆地的构造样式和构造变形过程,为盆地的形成演化研究提供依据,这是进行盆地油气资源评价和油气勘探的最基础工作;其次,正确进行构造剖面的复原,由平衡剖面反演制作的演化剖面可以合理地解释盆地的形成过程和埋藏历史,为油气的生成、运移和成藏过程研究提供依据;第三,运用平衡剖面技术可以较好地确定地下构造的形态,这是钻探成功的基本条件。正是由于平衡剖面在油气勘探中的这种重要意义,该项技术得到了迅速发展。平衡剖面的早期研究主要集中在北美,对前陆褶皱-冲断带研究的深入起到了重要作用。早期的平衡剖面主要是手工制作。到 80 年代中、后期,平衡剖面技术得到了迅速的发展,并逐步由手工制作剖面到计算机模拟,出现了多种计算机软件。随着该项技术应用的深入,平衡剖面技术也逐渐由二维模拟向三维模拟发展,真正成为了油气勘探中的一项重要实用技术。

对平衡剖面的系统研究可以分为两个阶段:第一个阶段以 Dahlstrom 1969 年发表的论文为代表,他第一次系统地提出了平衡剖面的概念和基本的几何学原理,这是许多地质学家对北美地区复杂构造长期研究的结果,是平衡剖面技术发展的里程碑。第二个阶段以 Woodward 1989 年的讲义为代表,主要介绍了平衡剖面技术的应用,是平衡剖面技术实践的一个总结,在此期间,地质学家经过

大量的实践之后积累了丰富的研究资料。应当说，到目前为止，平衡剖面技术在压性地区应用更为广泛，尤其是在前陆褶皱-冲断带地区。这一方面是由于该项技术起源于对褶皱-冲断带的研究，如北美的阿尔伯特、阿帕拉契亚等地区，另一方面，也是由于褶皱-冲断带中复杂的构造特点，增加了对平衡剖面技术的需求。

笔者真正接触和学习平衡剖面技术是在攻读硕士学位期间，在导师刘和甫教授的指导下，阅读了大量有关文献，并在完成论文和参加科研工作中进行了初步的尝试，最早是在龙门山地区，手工制作了平衡剖面。之后，与新疆石油管理局合作，开发了第一套平衡剖面软件。在以后的研究中又先后与石油物探局、西北石油局和石油大学进行合作，对平衡剖面软件进行了完善，并先后在准噶尔盆地、塔里木盆地、吐哈盆地、柴达木盆地、松辽盆地、中国南方等地区进行了应用。因此，本书也是笔者近年来研究成果的总结和平衡剖面技术应用的体会。

本书的编写是在刘和甫教授指导下完成的。在本书所涉及的研究工作中得到了国家自然科学基金委员会、西南石油地质局、新疆石油管理局、石油物探局、西北石油地质局、大庆石油管理局、吐哈盆地指挥部、中国石油天然气总公司研究院、河南油田研究院、石油大学等单位的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

几年前就有意将平衡剖面应用的一些体会写成书，许多石油界的朋友也希望此书尽早面世，但总觉不太成熟，几经耽搁，到今方才完稿。由于研究时间跨度较大，文中引用资料反映当时的勘探水平。近年来，随着勘探技术的发展，尤其是这些地区油气勘探力度的加大，又积累了大量高质量的资料，相信对这些地区的构造及油气资源的认识会更加深入。本书只是提供一种思路和研究方法，书中涉及的资料仅供参考。

在本书的编写及出版过程中，得到了石家庄经济学院领导和同行的支持和帮助，特别是得到了学院专著出版基金的资助，在此表示衷心的感谢。同时也将此书献给石家庄经济学院建校五十周年，感谢学院多年的培养，并祝愿学院的明天更美好。

作者
2002. 10

目 录

第一章 平衡剖面基本原理与方法	(1)
第一节 平衡剖面的原理与研究意义	(1)
一、进行剖面的合理性检验	(2)
二、构造变形定量分析	(3)
三、模式化解释	(3)
第二节 平衡剖面的几何学法则	(4)
一、面积守恒	(4)
二、层长一致	(5)
三、位移一致	(6)
四、缩短量一致的原则	(7)
第三节 建立平衡剖面的基本步骤	(8)
一、剖面的选择	(8)
二、剖面中资料的利用	(8)
三、滑脱面深度的确定	(8)
四、剖面的平衡	(9)
五、剖面的复原	(9)
第二章 平衡剖面计算机模拟原理	(11)
第一节 剖面分析基础	(11)
一、剖面结构分析	(11)
二、剖面几何要素的描述	(11)
三、剖面模拟的运动学分析	(13)
第二节 平衡剖面关键技术	(13)
一、滑脱面的确定及其意义	(13)
二、塑性变形的处理	(15)
三、剥蚀量恢复	(15)
第三节 平衡剖面正演模拟	(16)
第四节 平衡剖面反演模拟	(23)
第三章 川西龙门山地区构造演化	(25)
第一节 龙门山前陆褶皱冲断系构造样式	(26)
一、冲断层系的分带	(27)

二、基底冲断层与挤压断块	(27)
三、盖层褶皱-冲断层系	(30)
第二节 川西前陆褶皱-冲断带变形序列与平衡剖面	(32)
一、冲断作用扩展顺序	(32)
二、构造叠加作用	(34)
三、平衡剖面与构造古地理复原	(35)
第三节 川西前陆盆地演化与龙门山冲断带形成机制	(37)
一、川西前陆盆地演化	(37)
二、褶皱-冲断带形成机制	(39)
第四章 准噶尔盆地南缘构造分析	(41)
第一节 区域构造背景	(41)
一、天山构造带	(41)
二、天山构造带及相邻盆地构造演化	(42)
第二节 构造分带与构造样式	(43)
一、北天山山前冲断-推覆带 (I)	(43)
二、齐古楔冲构造带 (II)	(45)
三、霍尔果斯双重构造-断弯褶皱带 (III)	(45)
四、安集海冲隆构造-断展褶皱带 (IV)	(46)
五、前缘斜坡-平缓褶皱带 (V)	(47)
第三节 构造变形作用特点	(48)
一、滑脱面的作用	(48)
二、对楔冲作用的认识	(48)
三、构造样式的分布特点及控制因素	(50)
第四节 准噶尔盆地南缘构造演化	(50)
一、上古生代早期张裂活动与大陆边缘盆地发育	(50)
二、上古生代晚期俯冲与早期海相前陆盆地发育	(51)
三、中生代晚期陆相磨拉石盆地发育	(52)
四、冲断褶皱带发育	(52)
五、重力滑覆带发育	(52)
第五章 库车拗陷构造分析	(53)
第一节 区域地质格架	(53)
第二节 构造分带与构造层次	(53)
一、南天山强烈变形推覆带	(55)
二、黑英山后缘楔冲构造带	(55)
三、喀桑托开-依奇克里克双重构造带	(55)
四、秋里塔克反向冲断-三角构造带	(55)
五、亚肯平缓褶皱带	(55)

六、沙雅前缘隆起带	(56)
第三节 构造样式及其变化	(56)
一、双重构造组合	(56)
二、突隆构造	(56)
三、褶皱类型	(56)
四、走滑断层	(57)
五、正断层组合	(57)
六、盐构造	(57)
第四节 剖面平衡与古地理复原	(57)
一、克孜勒苏河剖面	(58)
二、库车河剖面	(60)
三、克孜勒努尔剖面	(62)
四、阿依库木齐剖面	(63)
五、古地理复原	(65)
第五节 有利油气聚集带分析	(65)
一、库喀-依奇克里克油气聚集带	(65)
二、秋里塔克油气聚集带	(65)
三、亚肯油气聚集带	(66)
四、亚哈油气聚集带	(66)
第六章 吐哈盆地构造分析	(67)
第一节 盆地构造单元划分	(67)
一、吐鲁番拗陷	(67)
二、了墩隆起	(68)
三、哈密拗陷	(68)
第二节 构造带的划分及主要变形样式	(68)
一、博格达山逆掩推覆带	(68)
二、山前楔冲构造带	(70)
三、断弯褶皱及双重构造带	(71)
四、前缘断展褶皱带	(73)
五、前缘斜坡带	(74)
第三节 构造样式的分布规律及控制因素	(74)
一、构造应力场	(75)
二、滑脱面的确定及控制作用	(75)
三、构造层次与变形样式	(75)
四、走滑构造及其在变形中的作用	(75)
五、构造迁移规律	(76)
第四节 盆地构造平衡与复原	(76)
一、褶皱作用的几何模拟	(77)

二、双重构造几何模拟	(80)
三、叠瓦构造的几何模拟	(80)
四、吐哈盆地构造带演化模型	(80)
五、吐哈盆地构造剖面复原	(81)
第七章 焉耆盆地构造分析	(84)
第一节 构造分区及其特征	(84)
一、博湖拗陷	(84)
二、焉耆隆起	(85)
三、和静拗陷	(86)
第二节 构造样式的划分及主要类型	(86)
一、构造的平面展布特征	(86)
二、构造的剖面特征	(86)
三、构造变形特征	(88)
第三节 构造分带及其展布规律	(92)
一、近东西向的挤压构造带	(92)
二、北西向的变换构造带	(92)
第四节 平衡剖面与构造演化	(95)
一、剖面的选择及平衡步骤	(95)
二、平衡结果讨论	(95)
三、中、新生代盆地构造演化	(95)
第五节 焉耆盆地的叠加与改造	(102)
一、石炭纪拉张背景下的裂陷盆地	(103)
二、三叠-侏罗纪山前挤压盆地	(103)
三、新生代山间盆地形成	(104)
第八章 松辽盆地平衡剖面应用	(105)
第一节 张性盆地平衡剖面应用特点	(105)
第二节 松辽盆地构造变形特征	(107)
一、松辽盆地构造背景	(107)
二、松辽盆地主要构造样式	(107)
第三节 松辽盆地构造演化	(108)
一、区域剖面分析	(108)
二、徐家围子断陷剖面分析	(108)
三、松辽盆地构造演化	(111)
参考文献	(112)

第一章 平衡剖面基本原理与方法

平衡剖面 (Balanced Cross Sections) 技术诞生于石油勘探的实践,从 Dahlstrom (1969) 提出这一概念至今已经历了 30 余年的时间。在此期间,平衡剖面技术不断得到完善,许多学者从平衡剖面的概念到方法进行了系统的研究,并进行了大量的实践,积累了丰富的经验 (Hossack, 1979; Jones, 1982; Elliott, 1983; Gibbs, 1983; Ramsay, 1987; Jones, 1987; Depore, 1988; Moretti, 1989; Rowan, 1989; woodward, 1989)。如今,该项技术已成为油气勘探中的一项重要的实用技术,对于正确判定地下构造,合理进行盆地恢复及进行资源量计算有着重要的意义。平衡剖面方法本身也在不断地得到发展和完善,应用范围不断扩大,同时经历了由手工制作剖面向计算机模拟、由二维模拟向三维模拟的重要发展。

第一节 平衡剖面的原理与研究意义

平衡剖面技术是根据物质守恒定律推出的,自然界的任何事物都是力求达到平衡的稳定状态,例如,生态平衡,地质学中拉张与挤压的平衡,剥蚀与沉积的平衡等。旧的平衡态的破坏与新的平衡态的建立是相辅相成的。就全球构造而言,一个地区的拉张必然伴随着另一个地区的压缩,否则就无法保持地球表面积的恒定。对于一条剖面而言,剖面的缩短与地层的加厚是一致的,否则就不能保持剖面面积的守恒,平衡剖面正是根据这一原理提出了一系列几何学法则并以此制约在剖面解释中的随意性。

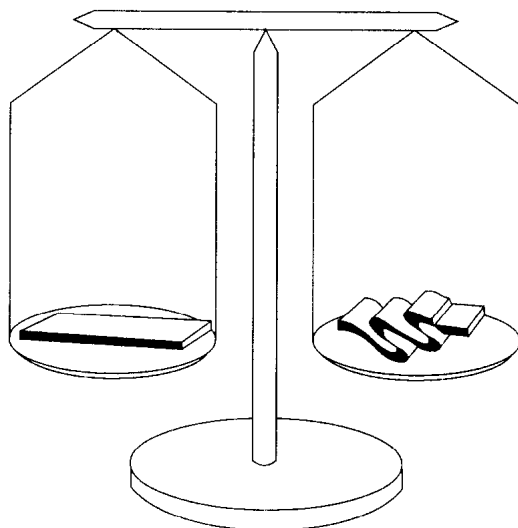


图 1-1 平衡剖面概念示意图 (Ramsay, 1987)

Ramsay (1987) 在解释平衡剖面的概念时用图示形象地表示了其含义 (图 1-1), 图中

的天平一端为变形的岩层,另一端为未变形的岩层,两者只是发生了形态的变化,而作为变形的物质是不变的,也就是说岩石的体积是不变的,在地质解释中就是要保持两者相等。Elliott (1983) 对平衡剖面的概念作了严格的定义,首先剖面应该是可以被接受的剖面,即剖面上的构造应是在露头上观察到的或者证实是确实存在的,这是从地质学含义上所作的限制;其次它必须是合理的剖面,即能够将剖面合理地恢复到未变形的状态,既合理又可以被接受的剖面就叫做平衡剖面。

在实际应用中应注意区分不同的概念,防止将平衡剖面的概念简单化。

(1) 平衡剖面并不等于复原剖面。在实际应用中常有人把平衡剖面的制作看作是一个简单的几何调整,看作是一个简单的构造拉平。平衡剖面首先应当是一个真实的剖面,它应当尽可能多地利用所有观察和收集到的资料,并综合地运用到剖面中。一条好的剖面应当是一个地区构造特征的浓缩,也反映了剖面制作者对整个区域构造的认识。一个对地质一知半解或者对研究区域不熟悉的人绝对不可能作出一个真正的“平衡剖面”。其次,平衡剖面应当是合理的,这就是要对剖面中缺乏资料的地区进行合理的推测,从平衡剖面的几何学法则对解释和推断进行限制,减少随意性。为了检验剖面是否平衡,需要将变形剖面进行复原,制作复原剖面。但不能把一个简单的复原剖面作为平衡剖面,因为任何一条剖面无论其合理与否,都可以进行复原,一条剖面可以有多种不同的解释,也就有多种复原方案,如果简单地把复原剖面当作平衡的剖面,就会得出错误的结论。

(2) 应注意区分不平衡的剖面与不能平衡的剖面,这是两个不同的概念,不平衡的剖面是指在解释中存在着不合理的因素,经过检验修改后可以获得平衡的剖面。而不能平衡的剖面是指所选剖面中由于本身的地质因素,如剖面线选择与构造方向交角太大,或剖面线穿过走滑构造带等,这些因素决定了剖面本身并不符合平衡剖面的前提,如果用平衡的原理进行修改,反而会误入歧途。

平衡剖面方法目前主要应用于以下几个方面。

一、进行剖面的合理性检验

用平衡剖面进行剖面的合理性检验是平衡剖面应用的最主要的一个方面。地质学家经常需要用地表观察到的事实去推断地下深处可能出现的构造形态。在地质研究和油气勘探中我们需要建立许多横剖面,以了解区域构造特征和变化规律,在油气勘探中,地震剖面的解释是构造成图的基础,是圈闭评价的依据。因此,剖面的解释是否正确就直接影响到我们对区域构造的认识和油气勘探的效果。在建立剖面时,已有资料往往无法使我们建立一个完整的剖面,尤其是对地下构造的认识,由于缺乏资料而需要进行推断,即使是有地震剖面的地区,也会由于构造原因或其它原因,在剖面中出现许多资料空白区,如何合理地进行解释而不是人为的简单推测,这正是平衡剖面方法所要研究的范畴。

正如 Elliott (1983) 在文中叙述的一样。“平衡的剖面是合理的,但不一定是真实的剖面,但不平衡的剖面却一定是错误的”。平衡剖面可能只是一种模式,且可能有多种解释,但与不平衡的剖面相比,它满足了大量的合理性限制,因此,可能更接近于正确 (Woodward, 1989)。因此,绝不能把平衡剖面当作是包治百病的灵丹妙药,它必须与其它方法结合使用才能收到良好的效果。

二、构造变形定量分析

在对剖面进行平衡检验和合理复原之后,即可计算构造变形量,其计算公式为:

$$\text{变形量} = \text{复原剖面长度} - \text{现今剖面长度}$$

变形量的计算可以为古构造复原或古盆地范围的恢复提供定量数据,为正确进行油气资源评价提供依据。进行岩相古地理复原和盆地复原显得特别重要,我们现在看到的盆地范围是经过构造变形后的结果,对于油气勘探和油气评价来讲,我们需要了解盆地形成时的范围、沉积体系的分布等。尤其是在前陆褶皱-冲断带中,强烈的挤压作用常常造成地层的大量重叠和岩相带的缺失,如图 1-2 (a)、(b)、(c) 所示,我们必须通过构造的复原来恢复初始岩相带的关系,并确定有利相带的现在位置,为油气勘探提供依据。

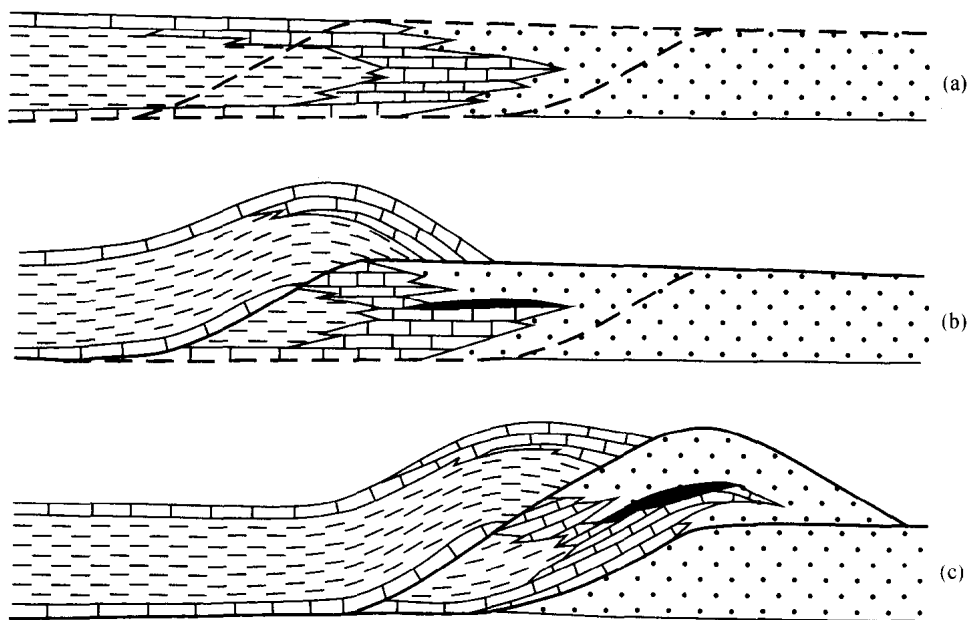


图 1-2 逆冲构造区沉积相的变化

在逆冲构造区沉积相的变化经常会被上覆的逆冲断度所掩盖,在平面上显示出相带的突变。因此,正确地进行构造复原和岩相恢复,寻找有利的相带,对油气勘探是非常重要的 (Woodward, 1989)

三、模式化解释

在对剖面进行解释时经常遇到一些非常复杂的情况,而令我们无从下手。根据平衡剖面的原理,运用正演模拟的方法,可以提供一系列构造变形的模型,这些模型的产生是严格受平衡剖面的几何学法则限制的,因此,所获得的剖面都是平衡的。正演形成的模型可以为实际的剖面解释提供参考。形象地讲,我们现在看到的变形剖面就像一个摔坏的盘子,仅靠留在地上的残片就很难想象其破坏的过程,如果我们拿出一些完整的盘子用不同方式做破坏性试验,用实验结果与观察的现象去进行比较,具有相近结果的就可以作为一种可能的解释。正演模拟也可以生动地塑造构造发育的过程,为研究油气形成和演化的历史提供参考。根据平衡剖面原理编制的计算机软件为该项技术在油气勘探中的应用推广开辟了道路,为地震解

释的定量化研究奠定了基础。

第二节 平衡剖面的几何学法则

如前所述,平衡剖面方法是根据物质守恒这一自然界的基本定律提出的,但地质问题是复杂多变的,为了便于进行定量研究,需要对复杂的地质问题进行合理的简化,将三维的问题简化为二维或一维来解决,所谓合理的简化,就是其前提条件要与研究区的实际情况相符合。

一、面积守恒

面积守恒是指剖面由于缩短所减少的面积应当等于地层重叠所增加的面积(图1-3),变形前后只是剖面的形态发生了变化,剖面的总面积没有改变。面积守恒定理是由体积守恒定理推断来的,其前提条件是变形主要发生在沿构造运动的方向上,也就是 b 轴方向上无应变,或者可以忽略不计。这种条件在大多数前陆褶皱-冲断带中是具备的。

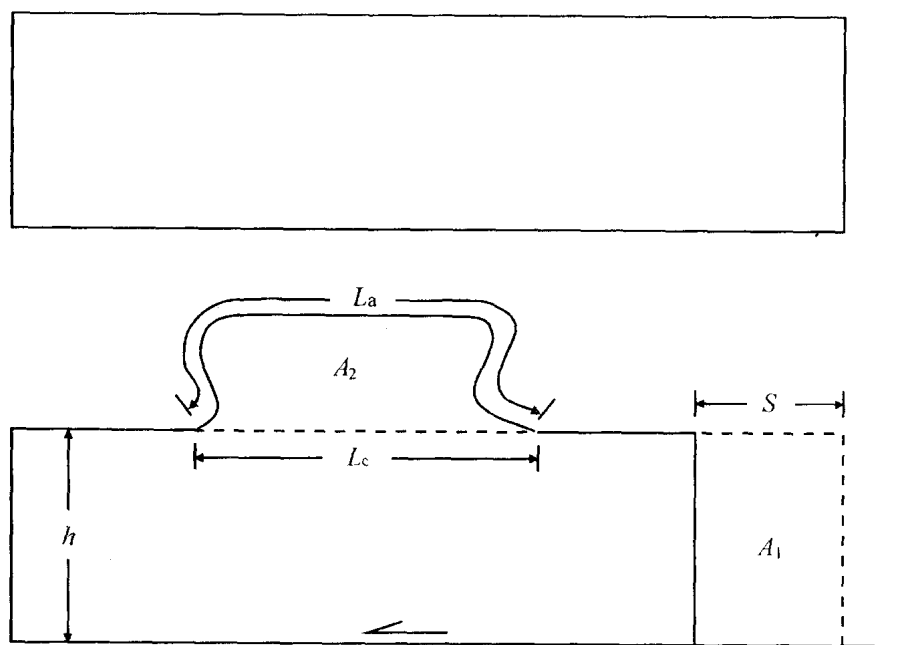


图1-3 面积守恒原理示意图 (Dahlstrom, 1969)

h = 变形剖面的厚度

$$A_2 = A_1 = h \times S = h \times (L_a - L_c)$$

平面应变: $A_1 = A_2$

$$\text{线缩变量: } S = L_a - L_c \quad h = \frac{A_2}{L_a - L_c}$$

根据这一原理可以计算剖面的缩短量或滑脱面深度,其前提是先推算出两者之一。在滑脱面为已知的情况下,可以根据滑脱面的深度和剩余面积来计算构造变形量。

缩短量 = 剩余剖面/原始地层厚度 (到滑脱面的深度)

剩余面积是指以一个层面为准, 首先确定该层面的区域高度, 也就是相对没有经过变形的层面高度, 以此为基准, 高过区域高度部分的面积即为剩余面积, 见图 1-3 中的 A_2 。原始地层厚度是指卷入变形地层的原始厚度, 其上界应以我们计算剩余面积所选择的参照层面的区域高度为准, 下界以底滑脱面为准。底滑脱面是指变形的下限, 其下为未卷入变形的原地系统。底滑脱面的深度可以通过地球物理方法、钻井资料及卷入变形的地层柱的厚度来计算, 但最可靠的方法是在地震剖面上找到变形作用的下限, 再根据速度资料计算滑脱面的深度。

反过来, 如果我们知道了剩余面积和缩短量, 就可以求出滑脱面的深度。这里, 缩短量可以通过岩层的拉平求得。以上方法实际上是比较理想的情况, 实际的地质情况可能要复杂得多, 因此在实际应用中要运用多种方法相互验证, 以求获得最佳结果。

二、层长一致

层长守恒定理是在面积守恒的基础上简化而来的, 其前提条件是在变形过程中地层的厚度未发生明显的变化, 地层只是发生了断裂、褶皱, 而没有发生透入性变形。这样, 变形过程中各层的长度应当是一致的。层长守恒定理在剖面平衡中应用较多, 在使用前应首先研究其使用条件, 可以通过测量岩层中砾石、鲕粒的应变来确定地层是否发生过透入性变形。对大部分前陆地带而言, 该条件是适用的。

如图 1-4 是层长一致原理的示意图。图中表示了不同状态下的层面关系。图 1-4 (a) 表示未变形的岩层。图 1-4 (b) 表示各层具有一致的变形。图 1-4 (d) 中沿构造走向变形并不一致, 但各层的长度是一致的, 变形的不一致由一条垂直褶皱轴向的变换断层所调节。

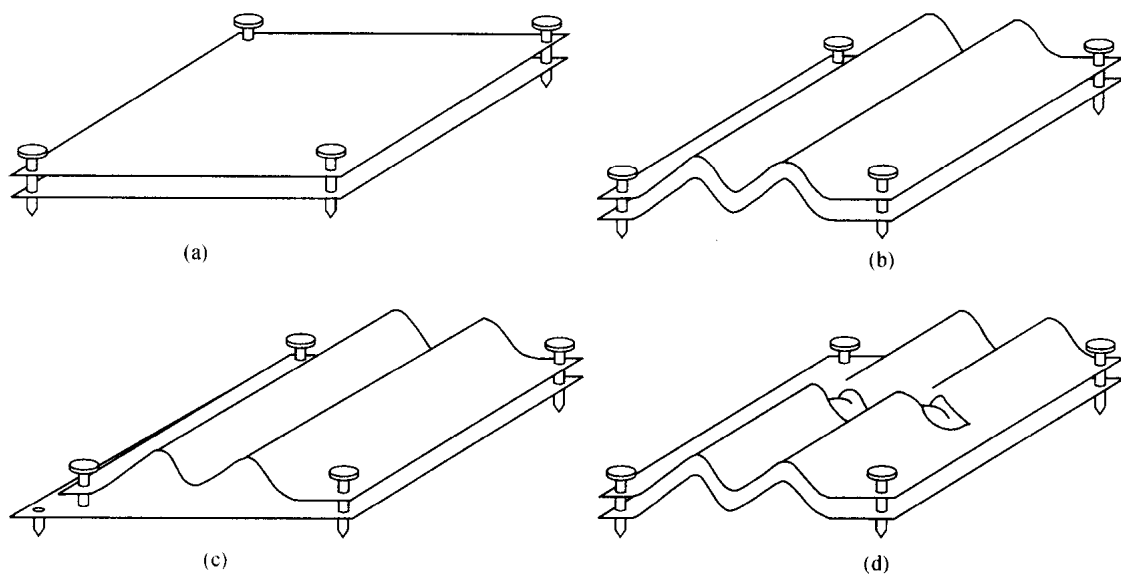


图 1-4 层长一致原理示意图 (Dahlstrom, 1969)

在具体测量层长时首先要选择参照线, 也称固定线或钉线 (pin line)。参照线一般应选在未变形的前陆或褶皱的轴面, 只有在两个参照线之间的地段才能保证层长的一致。参照线的选择不应穿过滑脱层, 也就是说在滑脱层上下的地层长度是不一致的。反过来, 我们也可

以这样推断,即如果上下层长不一致,则其间可能存在着一个滑脱面,如图1-4(c)。

运用层长一致原理进行剖面的检验除了前面提到的限制条件外,还应当注意两种情况,在逆冲带中,要选择变形前的地层进行对比,也就是要选择前造山期的层序,同造山期的地层长度要比前者短。而在张性地区,要注意同沉积构造作用的影响,年轻的地层会比老地层长度大,这是正常的。

但在实际应用中,要保持剖面中各层的长度都一致是不可能的,因为地层中有软硬层之分,一般软弱地层在变形中容易发生塑性变形,层厚也不能保持恒定。因此在具体工作中,常选用关键层作为平衡依据。关键层就是在变形过程中相对强硬的岩层,岩层的厚度和长度基本保持恒定,选择几个关键层而不是所有岩层进行平衡。在完成关键层的平衡之后,再对其它层进行处理。

三、位移一致

位移一致性的原则是进行断块间平衡的最有用工具。岩石发生断裂后沿断裂面发生位移,原则上沿同一条断层各对应层的断距应当一致(图1-5),但实际上断距不一致的情况却很常见,应当作出合理的解释。断距不一致的情况可以用多种方法来解释,如断层向上发生分叉,这样各分支断层的断距之和应当等于主断层的断距;断层的位移也可以由向上的褶皱所代替或发生透入性变形(图1-6)。因此,如果发现断层断距不等,应根据实际情况作出相应的解释。同生断层本身断距不守恒,不能用断距一致的原则进行检验。

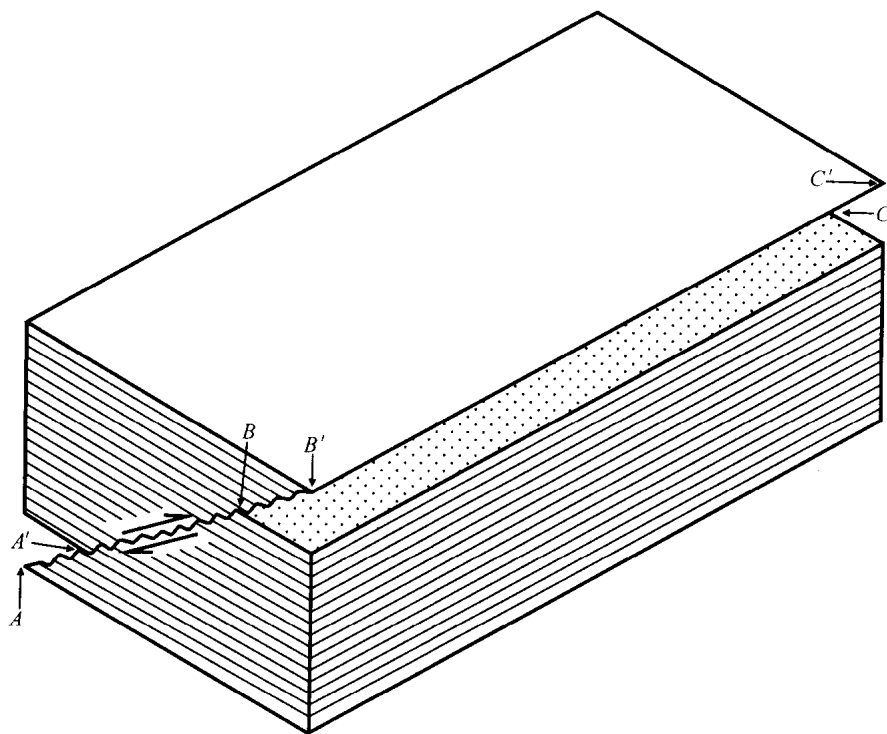


图1-5 位移量一致原理示意图 (Dahlstrom, 1969)