

盆地三维构造—地层格架的矢量剪切原理及方法

田宜平 刘海滨 刘 刚 吴冲龙

(中国地质大学资源学院, 武汉 430074)

摘要: 三维矢量剪切功能的强弱, 是衡量所建立的盆地三维数字体质量的重要标志. 在阐述了基于 B-Rep 模型的盆地三维数字体矢量剪切原理之后, 探讨了在计算机上实现矢量剪切的技术途径与方法. 以线条、填充多边形、曲面和注释 4 种图元的剪切为基础, 建立了一个较为完善的盆地三维数字构造—地层体的矢量剪切模型, 并且编制了相应的软件. 使用这一技术方法和软件系统, 对珠三凹陷进行了实际的矢量剪切分析, 取得了良好的效果.

关键词: 三维盆地模拟; 构造—地层格架; 三维数字体; 矢量剪切; B-Rep 模型.

中图分类号: P544⁺.40; P628⁺.3 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2000)03-0306-05

作者简介: 田宜平, 男, 讲师, 1972 年生, 1996 年毕业于中国地质大学研究生院, 获硕士学位, 在读博士生, 主要从事盆地模拟研究和三维模拟软件开发.

盆地在三维空间中的动态演化模拟, 是当前盆地模拟发展的重要趋势, 而实现这一技术目标的基础是建立真三维的空间信息系统^[1,2]. 因此, 空间分析、空间编辑和空间查询功能, 特别是盆地三维构造—地层格架模拟功能以及模拟结果的三维矢量剪切功能的强弱, 是衡量模拟软件质量高低的重要标志. 矢量剪切优于位图剪切的地方, 是所生成的图形仍然是矢量图形, 保存了原有的几何拓扑关系, 且效率高. 矢量剪切技术是空间分析技术的难点和关键之所在. 高效的矢量剪切技术将使盆地三维构造—地层格架模拟结果不仅能够支持盆地油气成藏动力学模拟的功能, 而且能够作为对油气系统进行输导体系和储层分析的有力工具.

1 矢量剪切的基本原理

盆地三维构造—地层格架的矢量剪切包括切剖面、刻方柱和三维剖分等操作. 从几何学角度看, 矢量剪切可分 X 方向、Y 方向、Z 方向和任意方向剪切. 其基本方法原理为: 取出所有图形数据点, 判断此点是在剪切面的哪一侧, 保留在其中一侧的数据点, 舍弃在另一侧的数据点; 然后求出剪切面与所保

留图形的交点, 并将这些交点按照图形的拓扑关系形成相应的填充区. 例如, 矢量剪切平面方程为 $a \cdot x + b \cdot y + c \cdot z + d = 0$, 则 $a \cdot x + b \cdot y + c \cdot z + d < 0$ 和 $a \cdot x + b \cdot y + c \cdot z + d > 0$, 分别代表了矢量剪切平面两侧的图形. 一旦确定保留其中一侧, 便同时舍去了另一侧.

本系统的三维盆地构造—地层格架数据体是在二维地震地质解释剖面的基础上, 引入三维 GIS 数据结构^[3]中的一种 B-Rep 模型. 通过 B-Rep 模型 (boundary replacement 边界代替法) 和多种插值方法模拟而成的. 所谓边界替代法即用实体的边界来代替实体, 各边界的联系通过几何拓扑关系来建立. 这种拓扑关系是实现矢量剪切的依据. 图 1 中的单体是由 4 个曲表面和两个填充区端面围成, 其中, 上、下曲表面为地层界面, 左、右曲表面为断层面或相界面, 前后填充区端面为沉积相在地震剖面上的形态. 假如将此单体编号为 $d0$, 则可以将两个填充区端面编号为 $d0$, 4 个曲表面编号分别为 $d0b1$, $d0b2$, $d0b3$, $d0b4$. 为了矢量剪切计算方便, 规定上曲表面编号为 $d0b1$, 下曲表面编号为 $d0b2$, 左曲表面编号为 $d0b3$, 右曲表面编号为 $d0b4$.

当矢量剪切面裁剪到此单体时, 可让计算机按上述方法原理分别对它与各面的相交情况进行判断, 求解出边界交点, 再保存交点的空间数据及其属性数据, 舍弃相应的图形, 然后将按交点的上下左右



图 1 三维盆地构造-地层体的空间拓扑关系

Fig.1 Spatial topological relationship of 3-D basin tectonic-stratigraphic entity



图 2 线条的剪裁方法举例

Fig.2 A example of line-cutting method

的关系形成剪切后的填充区.如果有多个单体时,可以根据单体的编号(如 d_0)来区分各单体的交点,分别形成对应的填充区,并赋予相应的属性,这样就保存了原来的拓扑关系.

2 图元的裁剪方法

构成一个单体的基本图形(简称图元)有:线条、填充多边形、曲面,有时为了标识该单体还需加上注释.为了实现对盆地三维数字构造-地层体的矢量剪切,必须先具体地探讨对这 4 种图元进行裁剪的途径与方法.

2.1 线条裁剪

通常一条线可以分成几个线段.如图 2 所示,线条分为 6 个线段,因而有 6 个线段端点.剪切面在图中用一直线表示.具体剪切方法如下:首先决定哪几个点保留,假如保留图中剪切面下方的图形,则第 1,3,5,6 点保留,再将相邻保留点的序号依次相减(用后面的点号减去前面的),此例中为 $3-1=2$, $5-3=2$, $6-5=1$.然后检查序号差值,如果不为 1,则表示有断点,随即统计断点数,并保留所有断点的空间数据,进而将相邻保留点之间的线条分解成断点数+1 条线条.最后,利用相应的线段与剪切面的



图 3 直线段与无界平面的求交问题举例

Fig.3 Illustration of calculating intersection point between line segment and unbounded plane

关系来求解各断点处的交点坐标.此例中分别采用了线段 12、线段 23、线段 34、线段 45 和剪切面 S.所求出的 A, B, C, D 4 个交点,分别与相邻的原线条保留点形成了 3 条新的线条,即 1A, B3C 和 D56.利用本法在进行线条裁剪时,为了防止将起始点或终止点裁剪掉,造成在保留点的序号差值出现混乱,必须对起始点和终止点进行特殊判断.

直线段与无界平面的求交问题,可借用图 3^[4]来说明.图中的 A, uB, wC, D, tE 都为向量.线段的向量表示形式为

$$Q(t)=D+tE,$$

平面上的点表示为

$$P(u,w)=A+uB+wC;$$

如果线段不平行平面时,则交点

$$R=P(u,w)=Q(t),$$

即: $A+uB+wC=D+tE$.将其两边点乘 $(B\times C)$,得 $(B\times C)\cdot(A+uB+wC)=(B\times C)\cdot(D+tE)$.

由于 $B\times C$ 既垂直于 B ,又垂直于 C ,故有

$$(B\times C)\cdot A=(B\times C)\cdot(D+tE).$$

可以解出:

$$t=\frac{(B\times C)\cdot A-(B\times C)\cdot D}{(B\times C)\cdot E}.\tag{1}$$

由于是解决线段与平面求交问题,在求出交点后应该进一步判断其是否在该线段内,同时还要考虑线段与平面平行的问题.

2.2 填充多边形的裁剪

对于填充多边形的裁剪,可以理解成对边界的线段进行裁剪,但是要考虑填充多边形的封闭性,具体方法如下:首先按照线段的裁剪方法将填充多边



图 4 填充多边形的裁剪举例

Fig.4 Examples of cutting filled polygon

形的边界裁剪成几段线条,起始线段和终结线段因为首尾相连,可以看作一段线条;然后将每段线条分别与剪切面(图上表示为直线)构成独立的填充多边形,最后判断各个填充多边形与原始填充多边形的包含关系,从而确定所保留部分的有效填充区域.

例如,图 4 中有 3 种填充多边形 A, B, C , 数字为各多边形边界的点的序号,由于填充多边形具有封闭性,故起始点和终止点重合;小写英文字母为剪切面与各填充多边形边界的交点.假定要留取剪切面左边的图形,而裁剪掉右边的图形.这时,对于填充多边形 A ,边界将被分为 3 段, $0-1-a, a-2-3-b$ 和 $b-4-5$.其中, $a-2-3-b$ 将被裁剪掉,起始段 $0-1-a$ 和终止段 $b-4-5$,将与剪切面合并围成一个新的填充多边形 $S(0-1-a-b-4-5)$.对于填充多边形 B ,边界将被分为 5 段, $0-1-2-a, a-3-b, b-4-c, c-5-d$ 和 $d-6-7-8$.其中 $a-3-b$ 和 $b-c-5-d$ 将被裁剪掉,剩下 $0-1-2-a, b-4-c$ 和 $d-6-7-8$.由于 $0-1-2-a$ 和 $d-6-7-8$ 为起始段和终止段,可将两条线条合并,与剪切面(线)合围成一个新的填充多边形 $S(0-1-2-a-d-6-7-8)$,而让 $b-4-c$ 与剪切面(线)合围成另外一个新的填充多边形 $S(b-4-c)$.填充多边形 $S(0-1-2-a-d-6-7-8)$ 包含了填充多边形 $S(b-4-c)$,而 $S(b-4-c)$ 不属于原来填充多边形的范围,应当剔除,所以新的填充多边形应该为 $0-1-2-a-b-4-c-d-6-7-8$ 围成的区域.判断填充多边形的包含关系的简单办法是:取填充多边形内部的一点,然后采用夹角之和检验法^[1]来判断它是否在另外一个填充多边形的

内部.交点的求解算法仍可采用式(1)计算.而对于填充多边形 C ,边界将被分为 7 段, $0-1-2-a, a-3-4-b, b-5-6-e, e-8-9-d, d-10-c, c-11-12-13-f, f-14-15$,其中 $a-3-4-b, e-8-9-d, c-11-12-13-f$ 将被裁剪掉,剩下 $0-1-2-a, b-5-6-e, d-10-c, f-14-15$.由于 $0-1-2-a$ 和 $f-14-15$ 为起始段和终止段,将合并围成一个新的填充多边形 $S(0-1-2-a-f-14-15)$, $b-5-6-7-e$ 和 $d-10-c$ 分别构成另外两个新的填充多边形.填充多边形 $S(b-5-6-7-e)$ 被 $S(0-1-2-a-f-14-15)$ 所包含,故有效填充区域为 $0-1-2-a-b-5-6-7-e-f-14-15$.而新填充多边形 $S(d-10-c)$ 与 $S(0-1-2-a-b-5-6-7-e-f-14-15)$ 没有包含关系,所以 $S(d-10-c)$ 也是有效填充多边形.

2.3 空间曲面的裁剪

计算机虚拟空间曲面可以用四边形网络或三角形网络来表达.这两种网络的矢量剪切方法原理一



图 5 空间曲面的裁剪举例

Fig.5 A example of cutting space curved face



图 6 珠三凹陷三维数字构造-地层体的矢量剪切

Fig. 6 Vector cut of 3-D digital tectonic-stratigraphic entities of Zhusan depression
a. 裁剪前; b. 裁剪后

致,以四边形网络为例(如图 5 所示),可以分别用四边形的每个边来与剪切面求交,这样就将曲面与平面求交问题转化为线段与平面求交问题.对每个四边形进行求交运算后,只要将所有有效的填充多边形合并成一个曲面,便可解决空间曲面的裁剪问题.

2.4 注释的裁剪

注释在数据结构中属于点,只需用一个坐标便可以有效地控制其空间位置.在一般情况下,裁剪注释的简单做法是判断其坐标点是否在剪切面的有效区域内:是则保留,不是则裁掉.而当注释为矢量型的情况时,问题复杂一些,可以按 3 种精度来处理:串精确度、字符精确度和笔划/像素精确度.具体做法如下:采用串精确度进行裁剪时,当字符串整个在剪切面的有效区域内予以显示,否则不予显示;采用字符精确度进行裁剪时,当字符串某个字符在剪切面的有效区域内显示该字符,否则不显示该字符.采用笔划/像素精确度进行裁剪时,要具体判断字符串的哪些像素、笔划的哪一部分在剪切面的有效区域内,然后采用字符裁剪法^[4]进行处理.

3 应用实例

笔者根据上述的实体拓扑关系,将珠三凹陷的实际地震勘探解释剖面转化为三维数字构造-地层体之后,采用本文的矢量剪切方法对其进行任意方向的矢量剪切.剪切的结果仍然得到矢量图形,且保持原拓扑关系(图 6),不仅可以有效地支持三维盆地模拟,还可以支持进行盆地构造格架、层序地层、沉积体系、输导体系、储层、圈闭及其他有关问题的

空间信息查询、检索和分析.

4 结论

能否顺利高效地进行各种空间信息的查询和分析,是衡量三维盆地模拟所建立的三维数字构造-地层体的质量的重要标志.矢量剪切技术是其中的关键技术.本文根据矢量剪切的基本原理,提出线段裁剪、填充多边形裁剪和空间曲面裁剪 3 种方法,同时引入注释裁剪方法,建立了基于 B-Rep 数据结构的三维盆地数字体矢量剪切方法模型,并且编制了相应的软件.利用这一技术成果对珠三凹陷实际数据所进行的模拟和剪切实践,证明了本文所提出的方法具有可行性和实用性.

参考文献:

[1] 吴冲龙,张洪年,周江羽.盆地模拟的系统观与方法论[J].地球科学——中国地质大学学报,1993,18(6): 741~747.
[2] 吴冲龙.计算机技术与地矿工作信息化[J].地学前缘,1998,5(1~2): 343~354.
[3] 李清泉,李德仁.三维地理信息系统中的数据结构[J].武汉测绘科技大学学报,1996,21(2): 128~133.
[4] 孙家广,杨长贵.计算机图形学[M].第二版.北京:清华大学出版社,1995.

VECTOR CUT PRINCIPLE AND METHOD FOR
3-D TECTONIC-STRATIGRAPHIC BASIN FRAMEWORK

Tian Yiping Liu Haibin Liu Gang Wu Chonglong

(Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The intensity of 3-D vector cut is an important indicator for the quality test of a 3-D digital basin model established. After the reiteration of vector cut principle of the B-Rep model-based 3-D digital basin, this paper deals with the technical approaches and methods for the actualization of the vector shearing function on a microcomputer. On the basis of vector shearing of four graphical primitives: line, polygon, surface and text, the author established a relatively perfect vector cut model for 3-D digital tectonic-stratigraphic basin, and, furthermore, wrote the corresponding software. The vector cut analysis of the Zhushan depression by means of this technical approach and software system has brought about an expected result.

Key words: 3-D basin modeling; tectonic-stratigraphic framework; 3-D digital basin; vector cut; B-Rep model.

第 15 届国际 HKT 学术会议在成都召开

第 15 届国际喜马拉雅—喀喇昆仑—西藏学术讨论会(Himalaya-Karakoram-Tibet Workshop, 简称 HKT 会议)于 2000 年 4 月 22~24 日在成都西藏饭店国际会议厅举行. 来自澳大利亚、加拿大、中国、美国等 16 个国家及中国香港、台湾两个地区的 205 名学者出席了这次国际盛会. 我国著名科学家、中国科学院院士孙鸿烈、刘东生、丁国瑜、李廷栋、肖序常、刘宝、曾融生、陈、许志琴等出席了会议. 这次会议由我国科技部和国土资源部联合主办, 并得到中国国家自然科学基金委员会、中国科学院、中国地震局、中国地质学会、中国青藏高原研究会、国际地科联岩石圈委员会、四川省科学技术委员会、油气藏地质及开发工程国家重点实验室等鼎力支持. 成都理工学院、中国地质大学(北京)、中国地质科学院等单位具体负责这次会议的承办工作. 中国青藏高原研究会理事长孙鸿烈院士主持了会议开幕式, 四川省副省长李进和科技部副司长邵立勤作了重要讲话. 国土资源部副部长寿嘉华出席了闭幕式, 并发表了重要讲话.

这次大会的主题是新世纪的青藏高原研究, 其中包括喜马拉雅地质、喀喇昆仑及帕米尔地质、缝合带地质、青藏高原腹地地质、青藏高原北缘地质、青藏高原东缘地质、青藏高原周边盆地、青藏高原与全球气候、青藏高原与资源、青藏高原的环境科学等 10 个专题. 我国学者通过这次会议向国际同行交流了近期在东喜马拉雅地质构造、阿尔金断裂的构造演化、藏北高原的演化、青藏高原的深部构造与活动构造、亚洲季风等领域取得的丰硕研究成果.

会议闭幕前, 经与会各国代表协商决定, 第 16 届 HKT 学术会议由澳大利亚主办.

与会代表一致认为, 这次会议开得很好, 是历届 HKT 会议规模最大的一次会议, 尤其是充分展示了国内外学者近年来在青藏高原本部所取得的研究成果, 克服了以往偏重喜马拉雅的弱点. 这次会议将对我国实施西部大开发战略, 合理开发青藏高原的资源, 保护生态环境, 促进经济的可持续发展, 开展国际科技合作, 起到积极的推动作用.