

# 多界面三维矢量 GIS 拓扑关系

李青元

中国测绘科学研究院 (Liqy@casm.ac.cn)

(受国家自然科学基金49771059支持)

# 概要

1. GIS在地学类应用中存在的问题
2. 三维GIS在GIS市场中的位置
3. 三维GIS 研究现状
4. 三维GIS的相关学科
5. 五组拓扑关系
6. “一面片三层”的概念
7. “一面片三层”在二维的推广
8. “界面引入体划分”

# 1 GIS在地学类应用中存在的问题

- 现有的GIS虽然可以用DEM(数字高程模型)处理高程,但没有建立空间目标的三维拓扑关系,使得很多真三维操作难以实现。
- 地质、水文、地球物理、矿山、环境、地震预报、地下管线、海洋、气象等领域需要大量的真三维操作。
- 断层表达是地质、水文、矿山、环境、地球物理、地震预报所特有的问题,是地学类三维GIS必须解决的问题。

## 2 .三维GIS在GIS市场中的位置

- 并不是所有应用都需要真三维GIS, 对于大部分应用二维就够了。(用户:70%,贡献:55%)
- 对于三维景观、城市大部分应用2.5维就够了。(用户: 10 %, 贡献: 10%)
- 对于城市管网、海洋、气象等应用, 2.5维能满足大部分要求, 但真三维会工作得更好。(用户: 15%,贡献: 20%)
- 对于地质、水文、矿山、环境、地球物理、地震预报等领域一定需要真三维。(用户: 5%,贡献: 10%)

### 3.三维GIS 研究现状

- 已认识到现有GIS在处理三维问题上的不足,并已从不同的角度对三维GIS进行了研究。
- 难度远大于二维 GIS与三维 CAD
- 在许多基本概念上还不清楚
- 基本概念模型尚未建立
- 拓扑关系尚不成熟
- 成熟的商品化软件尚未出现
- 如何从目前2.5维GIS向真三维,四维GIS发展,是GIS理论研究中急待解决的问题

# 前人对三维GIS理论的研究

- Molenaar.M（型式化描述）
- Rongxing Li（实体几何）
- 郭达志、韩国建教授(线性八叉树)
- 陈军（三维九交模型、三维Voronoi）
- 龚建雅、夏宗国（面向对象模型）
- 李清泉、李得仁（多种模型集成）
- 龚建华

## 4.三维GIS的相关学科

- 二维、2.5维GIS
- 三维几何造型、三维CAD、医学CAD
- 虚拟现实

## 4.2 三维几何造型 边界表示法中的拓扑关系

- 结点—边
- 边—起点—终点—起始面—终结面
- 环—边
- 面—外环—内环—体
- 体—面



# 5. 五组拓扑关系

尽量保证拓扑信息的完整性,减少冗余,方便查找

- 结点—始边—终边
- 边—起结点—终结点—环
- 环—边—内邻曲面片
- 曲面片—外边界环—内边界环—  
正面相邻多面体—负面相邻多面体
- 多面体—曲面片

## 6. ‘一面三层’的概念

- 问题的提出:(五组拓扑关系的第四组)

曲面片—外边界环—内边界环

—正体相邻—负体相邻

要求:每一曲面片的一面只有一个多面体与其相邻。当  
有多个多面体与其相邻时,要对曲面片划分子片,  
使每一子片的每一面只有一个多面体与其相邻

## 二维拓扑关系中的边

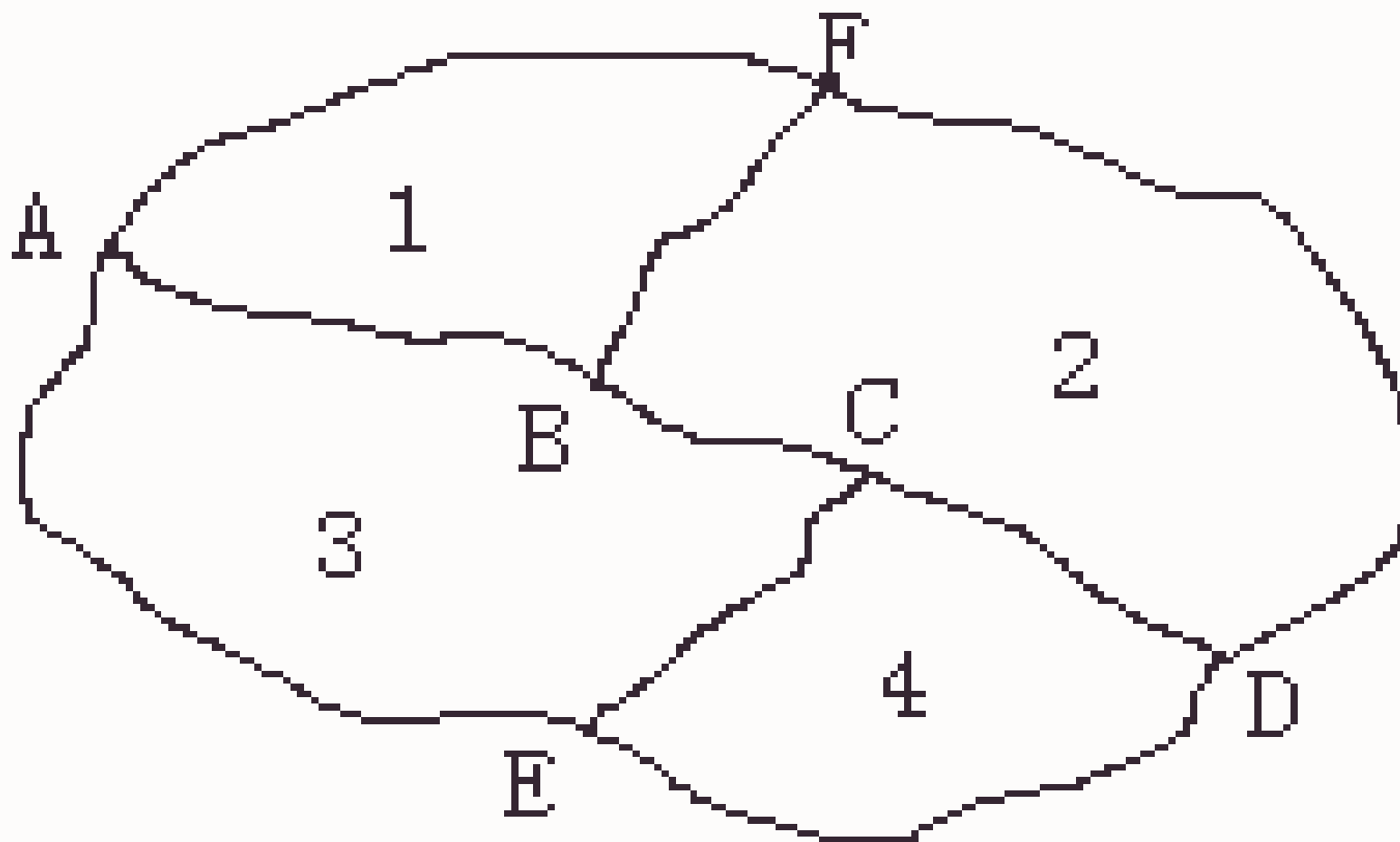


图 1 二维GIS中每条边只有一个左多边形，一个右多边形

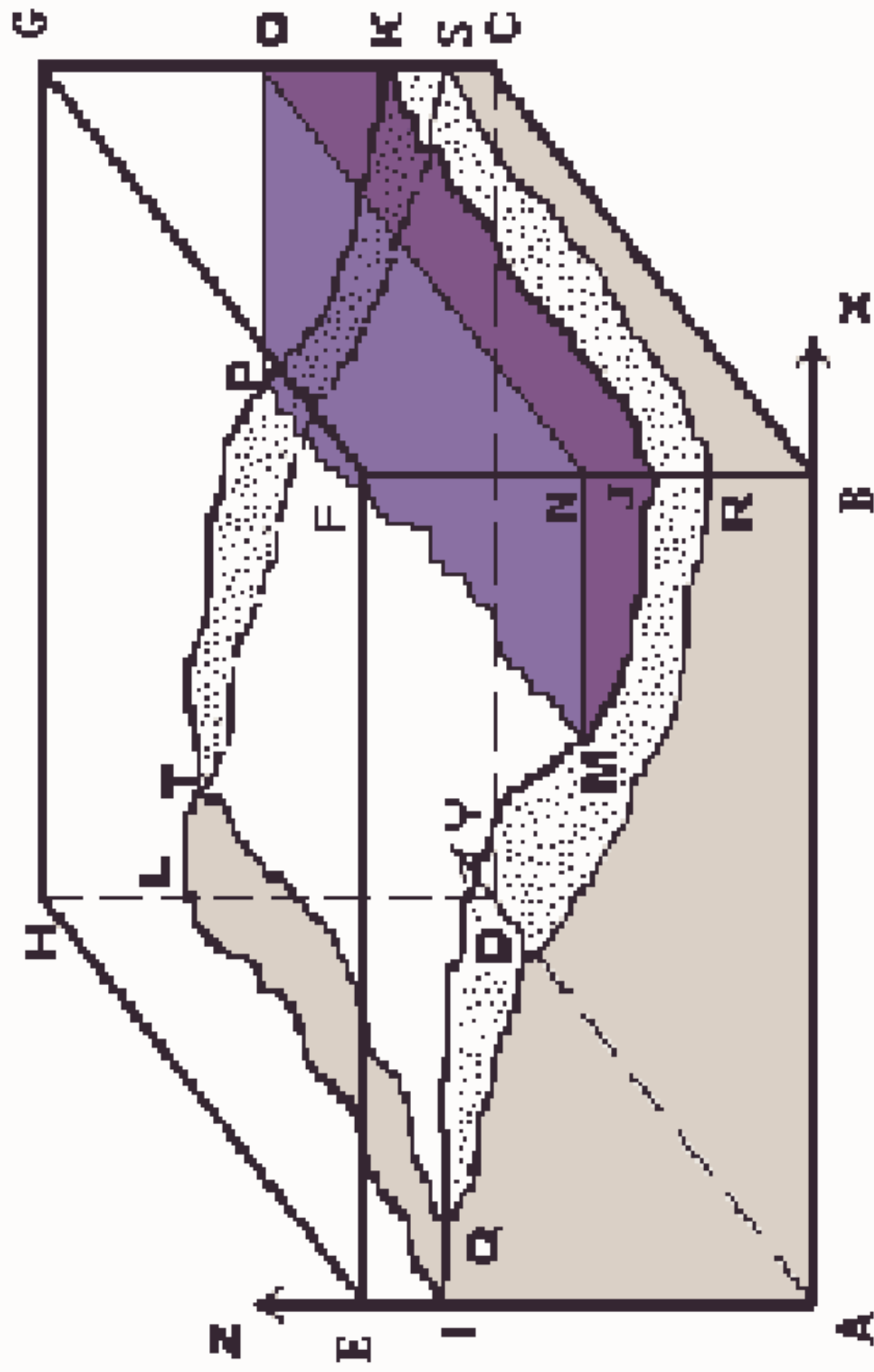


Figure 2. The ground-surface should be divided into three sub-surfaces

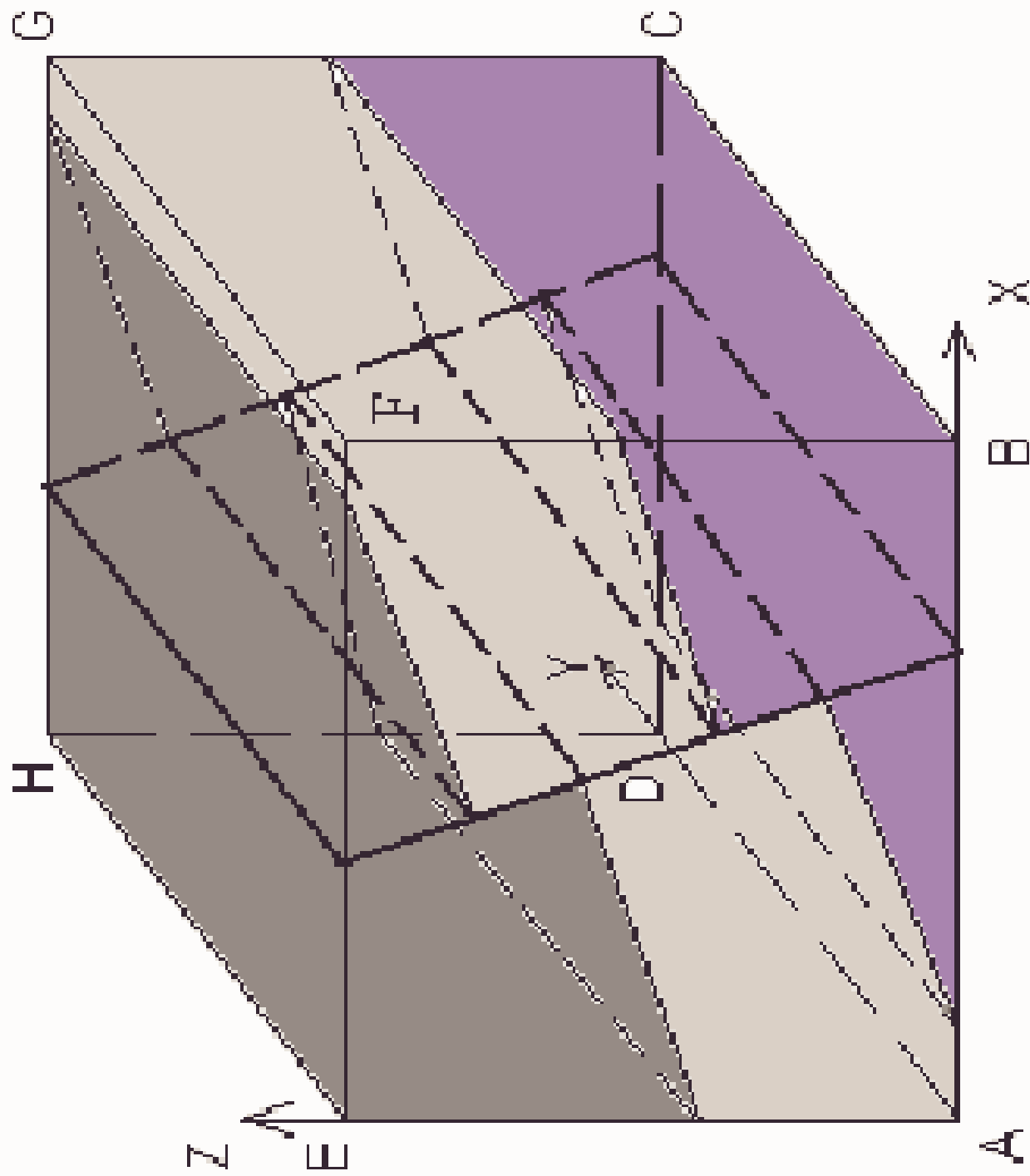


图3-5-2断层面上下子片分裂不一致

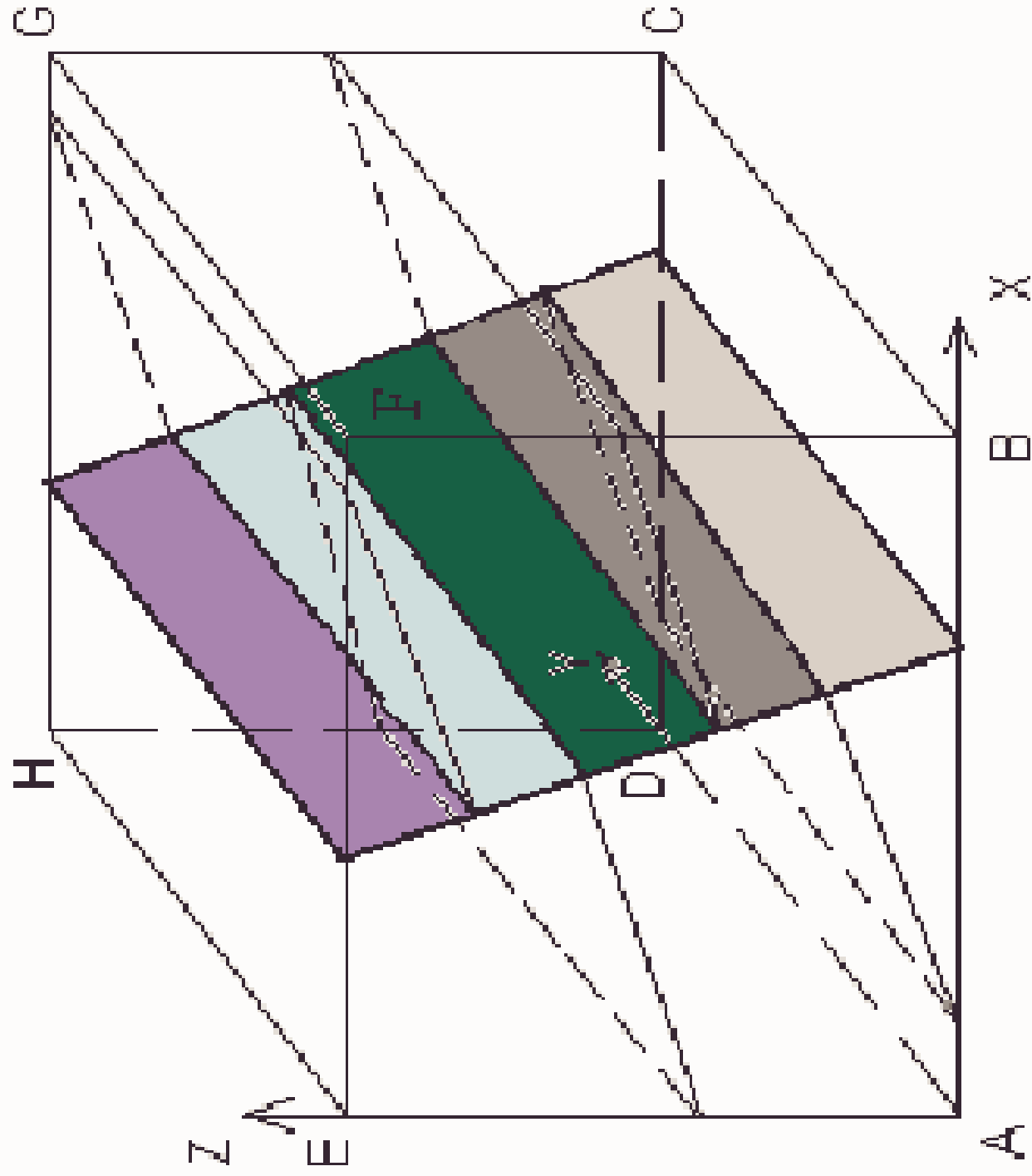


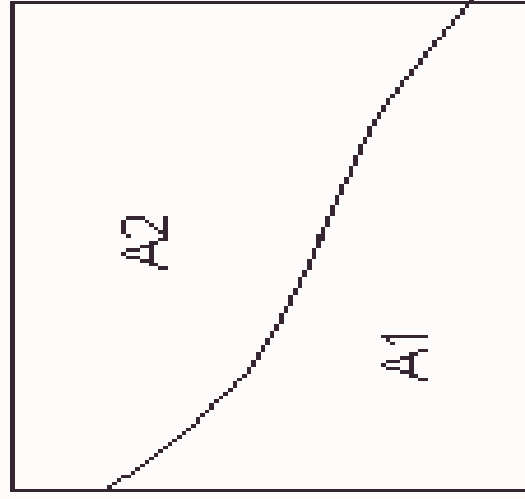
图3-5-2断层面上下子片分裂不一致

为了使每一子片的一面只有一个多面体相邻,对于地形面应划分成三个子片,对于断层面应划分为五个子片,这样又非常不自然,自然界的一个面硬分成几个面,面片的正面于负面的子片划分没有什么关系。我们希望,既要保持一个面的完整性,又要保持正面与负面子片划分的独立性,还要使正面与负面的划分保持一定的联系。

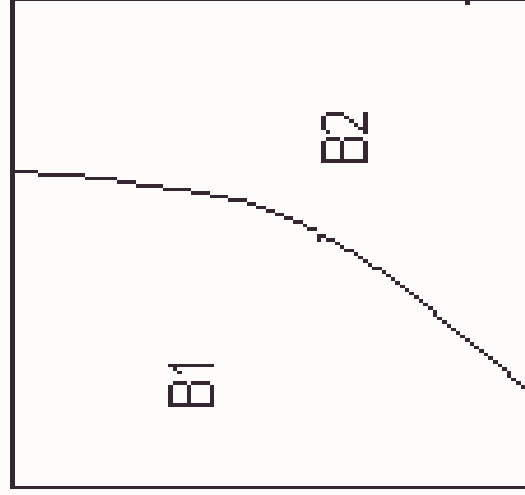
## “一面片三层”的概念

将一个曲面片看成有三层，即正面层、中间层、负面层。正面层针对正面进行子片分裂，负面层针对负面进行子片分裂，中间层将正、负面的子片分裂线迭合起来进行子片分裂，因而中间层的子面将正、负面的子片联系起来

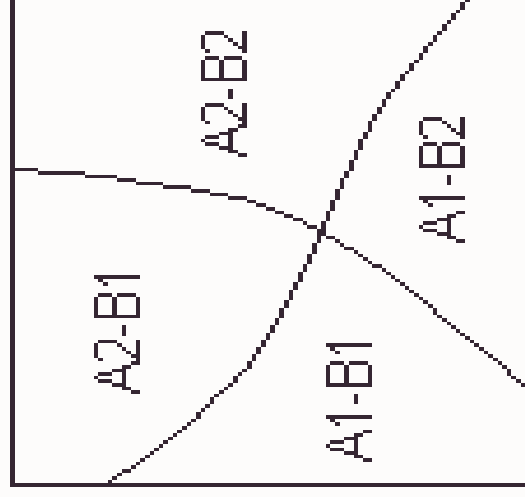




正面层子片



负面层子片



中间层子片

图3-5-3 一片三层

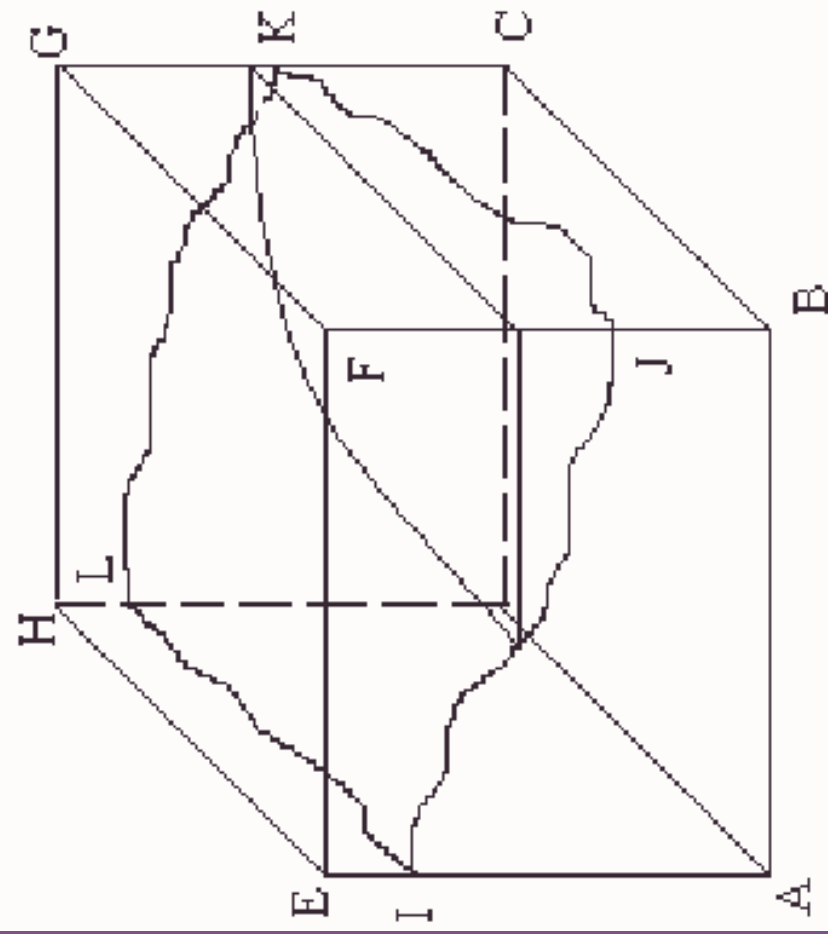


图5-3-1 水体顶面与地形面(正面)  
交于岸线

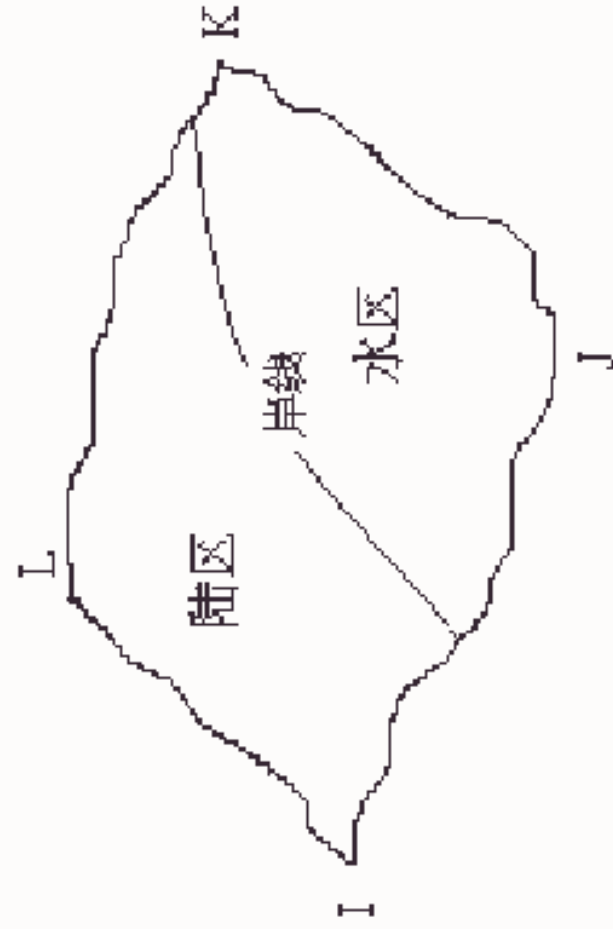


图5-3-2 岸线将地形面分成陆区水区

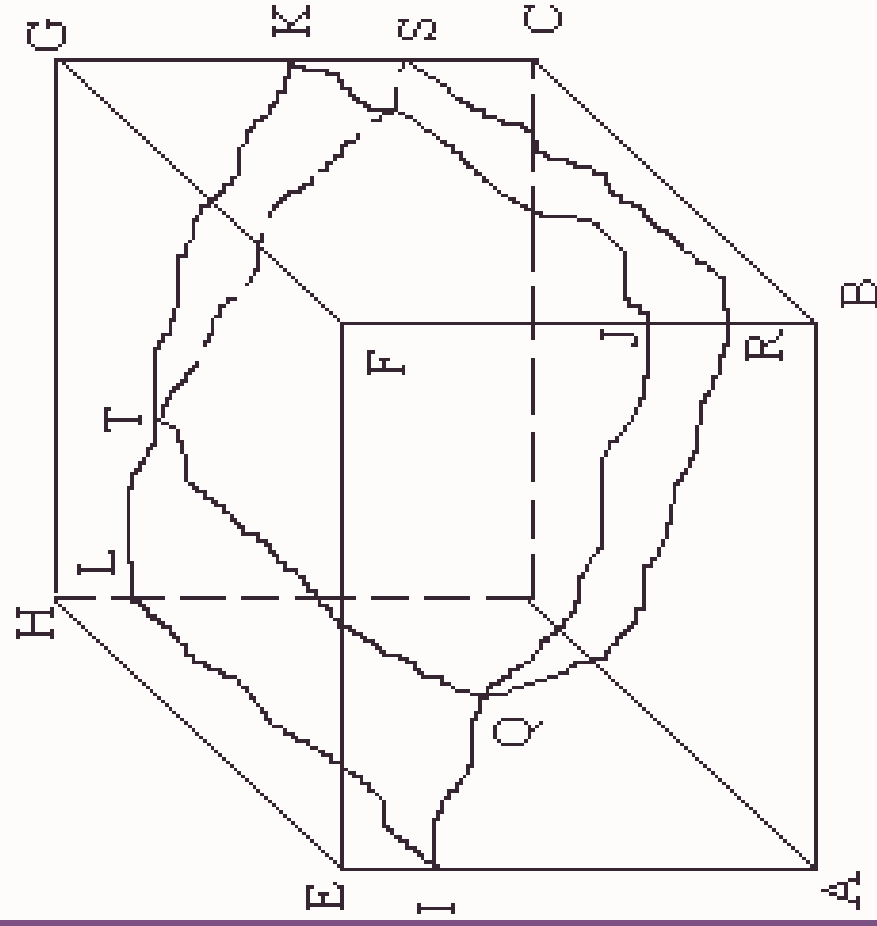


图5-3-3 松散层底面与地形面交于  
基岩露头线

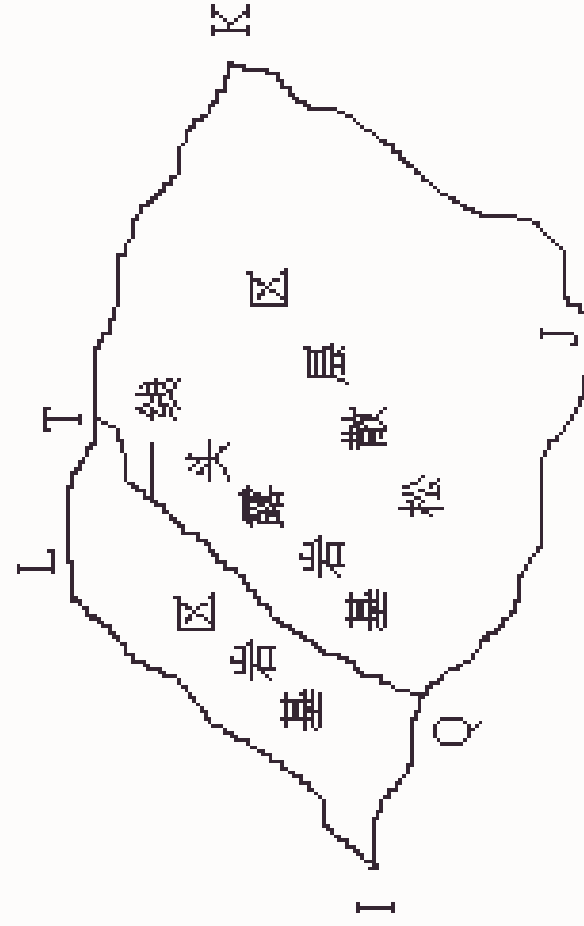


图5-3-4 基岩露头线将地形面  
(负面)分为基岩区, 松散区

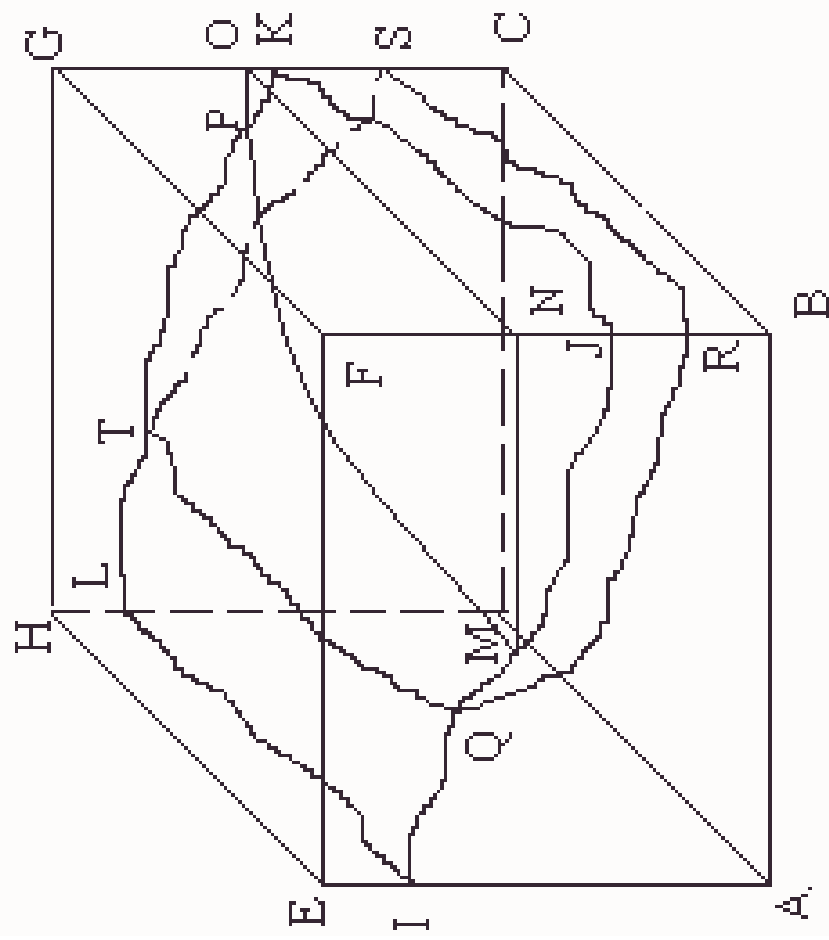


图5-3-5 地形界面正面分裂与负面分裂  
同时存在

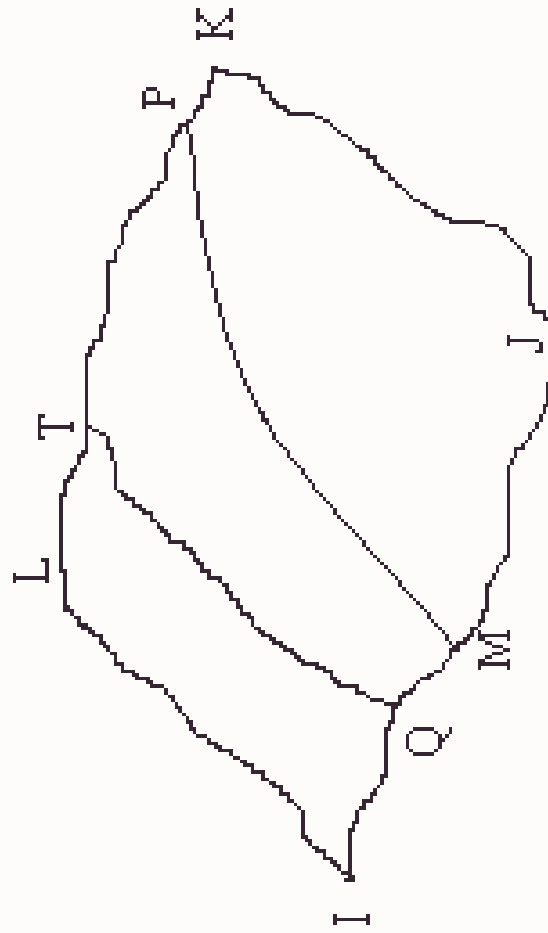
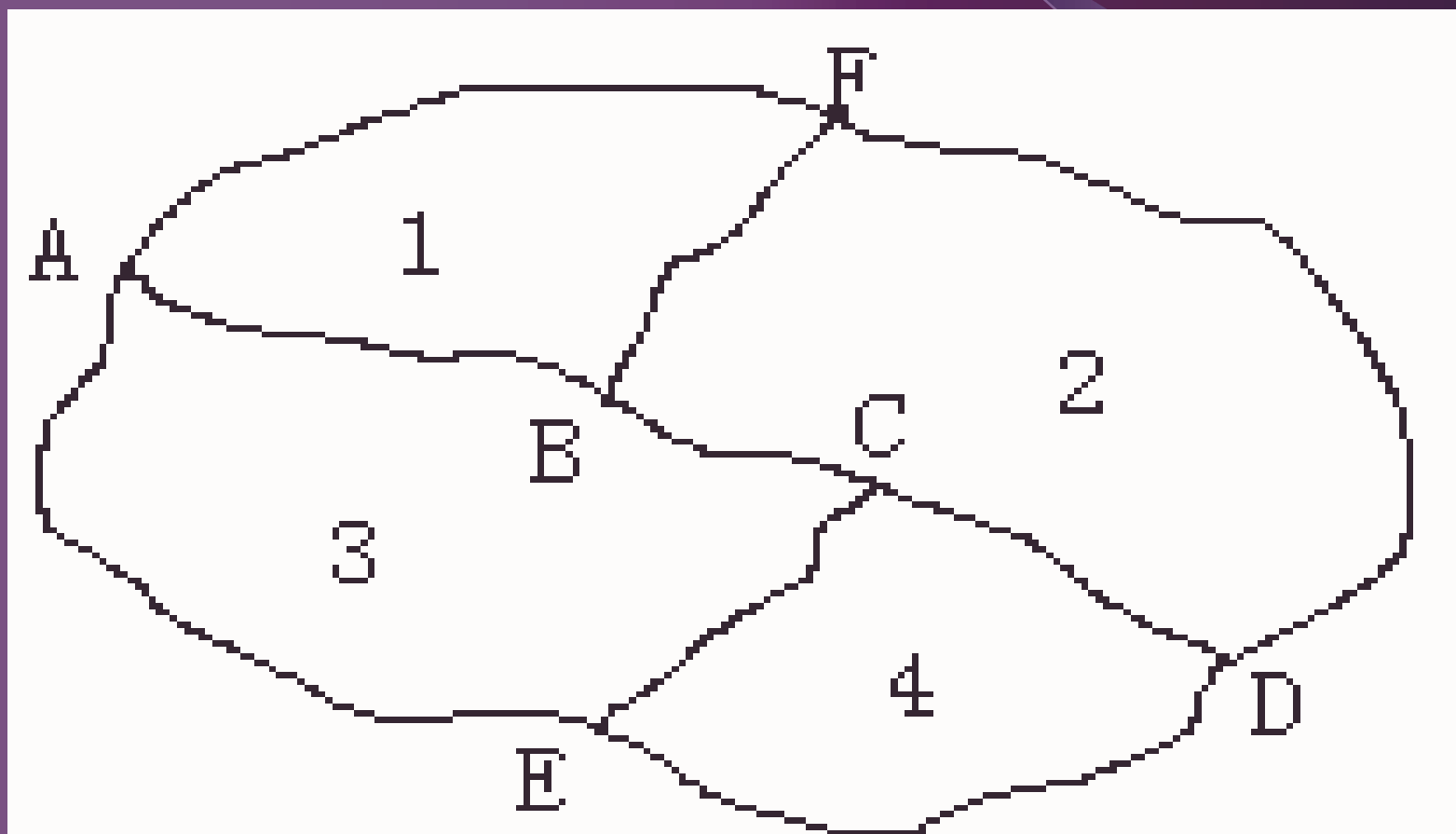


图5-3-6 地形界面中间层分成  
三个多边形

## “一面三层”在二维中的推广

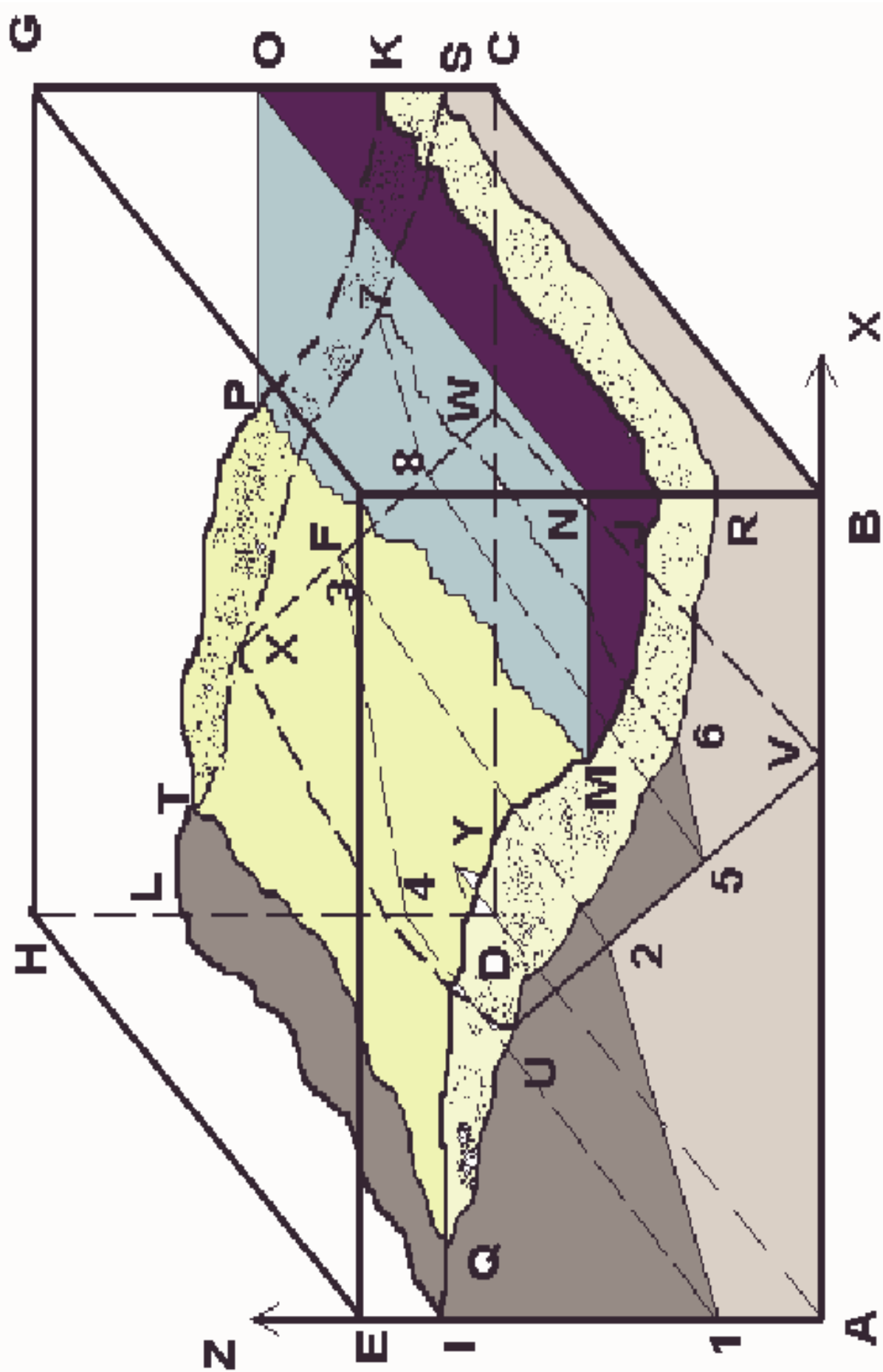
- 如果 A D 是一条高速公路、铁路或比较大的河流，1、2、3、4 分别是行政区划的分区。即对高速公路、铁路、河流等常成为行政区划自然界的线状地物就可以按照类似于三维中“一面三层”的概念建立拓扑关系，即将线状地物分为左、中、右三层。笔者暂且将其称为“一线三层”(左半线、右半线)。



- 在“一线三层”中，左层根据线段的左侧多边形进行分裂；右层根据线段的右侧多边形进行分裂，中层将左右层的分裂迭合起来进行分裂。图 1 中，线段 A D 需要建立“一线三层”的拓扑关系，线段 A D 的左层分裂为 A C、C D 两段，线段的右层分裂为 A B、B D 两段，线段 A D 的中层分为 A B、B C、C D 三段。显然，中层的线段分裂方案就是传统二维GIS中对线段 A D 的分裂方案。按照“一线三层”的概念建立起来的拓扑关系，高速公路、铁路、河流等自然的线状地物的完整性得以保留，线状地物左右两侧的区域划分各不相干，通过中层又能够将左右两侧的区域划分联系起来。

# 7 ‘界面引入- 体划分’

- 问题的提出:怎样建立与维护五组拓扑关系





## ●‘界面引入- 体划分’

对任何一个内部构造复杂的研究区,从没有任何内部构造的简单体域开始建立拓扑关系,逐个引入分界面,每引入一个分界面,就对体域进行一次划分,由引入界面将原来的一个体域一分为二,并调整拓扑关系。界面引入的次序是由大到小,由新到老。

# 从没有任何内部构造的简单体域开始

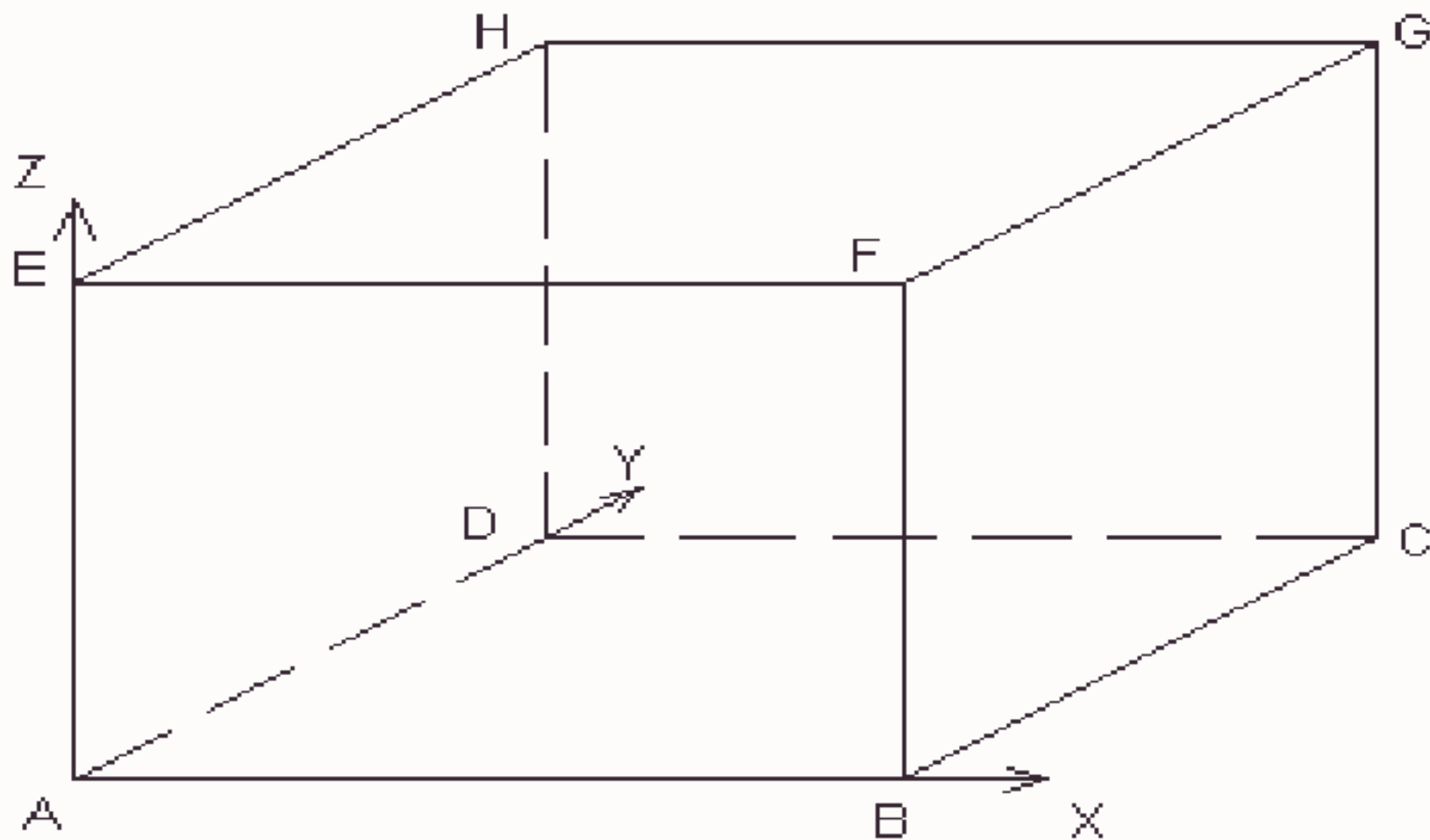


图 3-6-2

# •引入地形界面

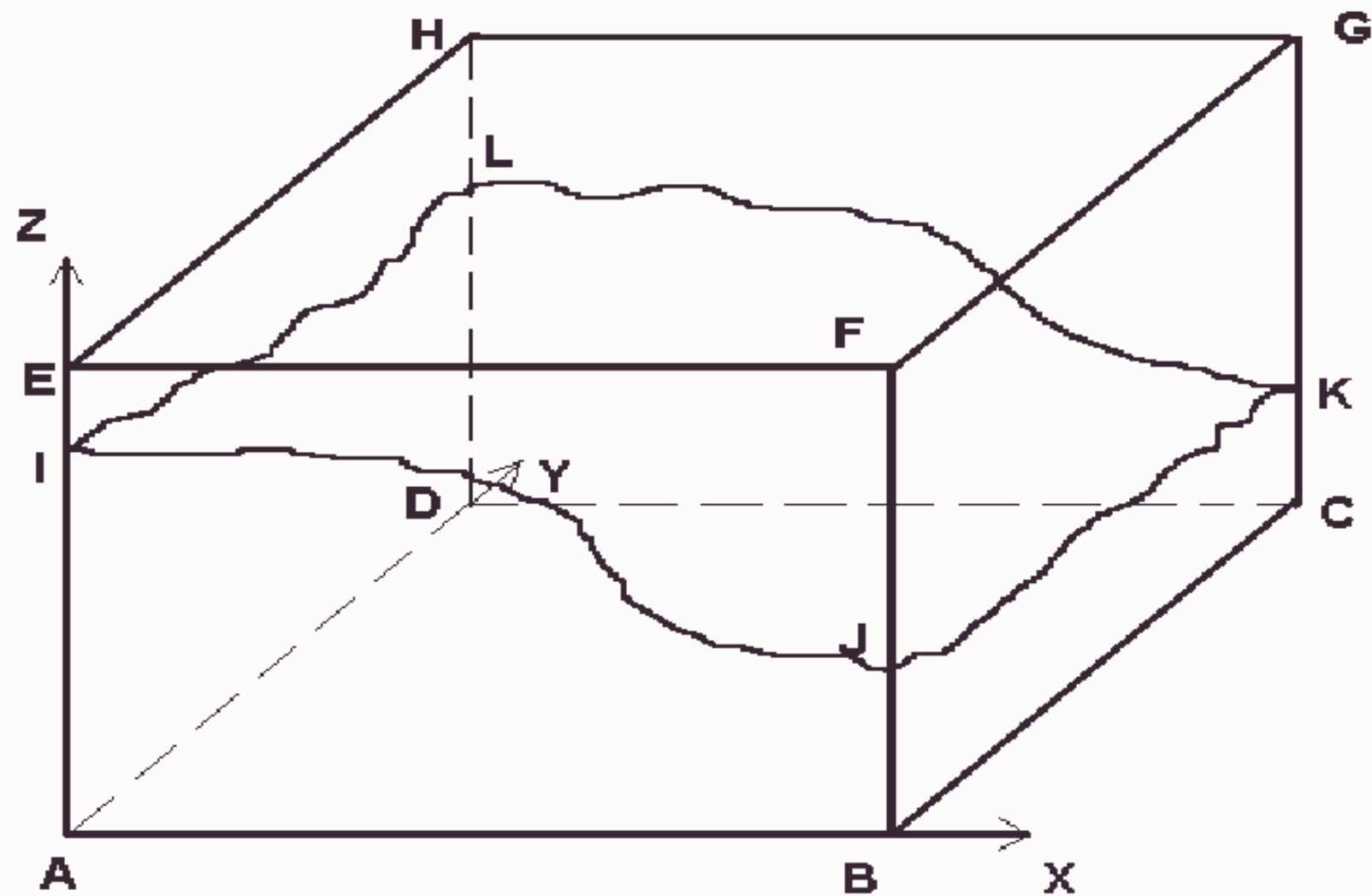


图 3-6-3



# •引入不整合面

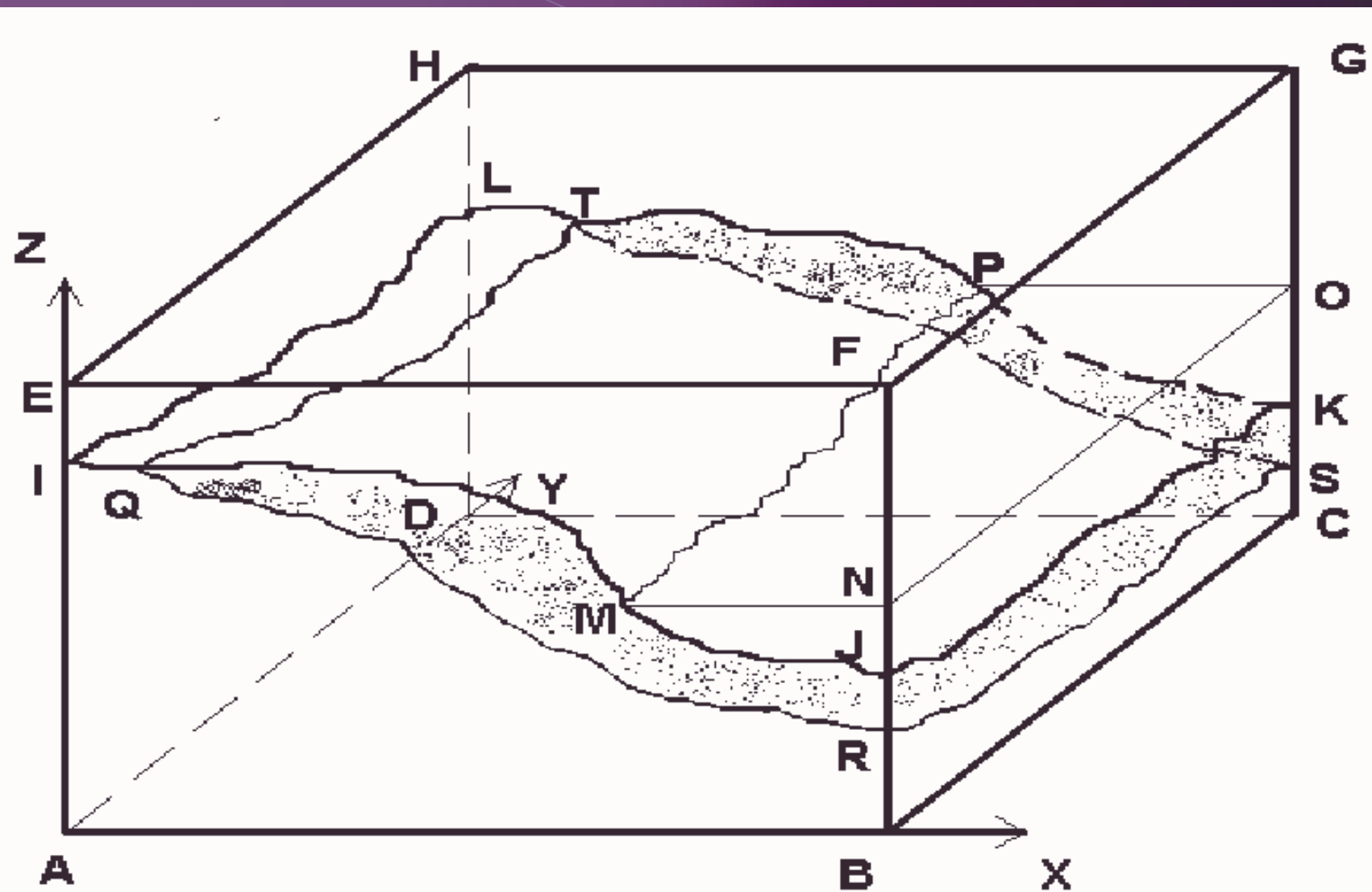


图 3-6-5

# •引入断层面

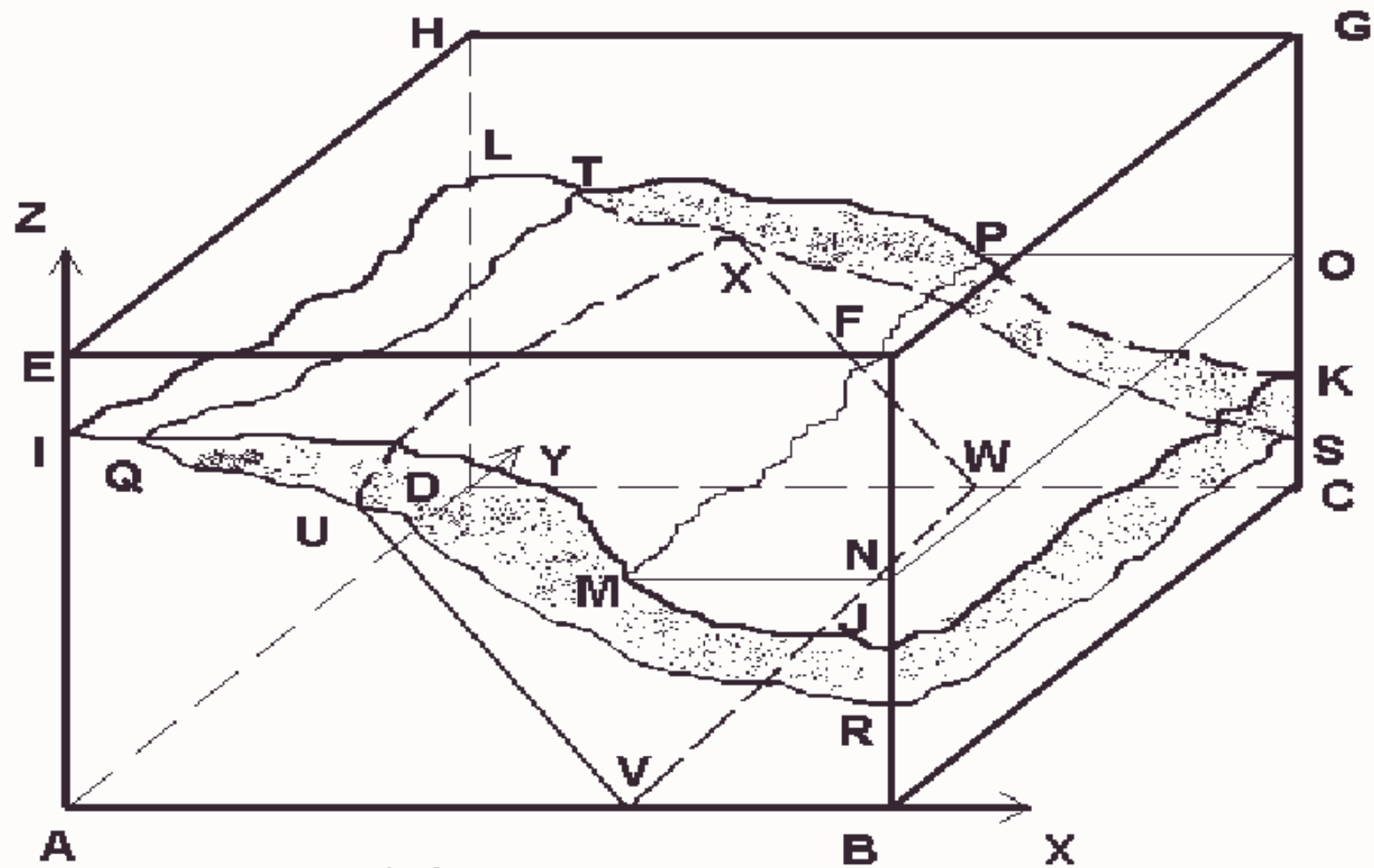
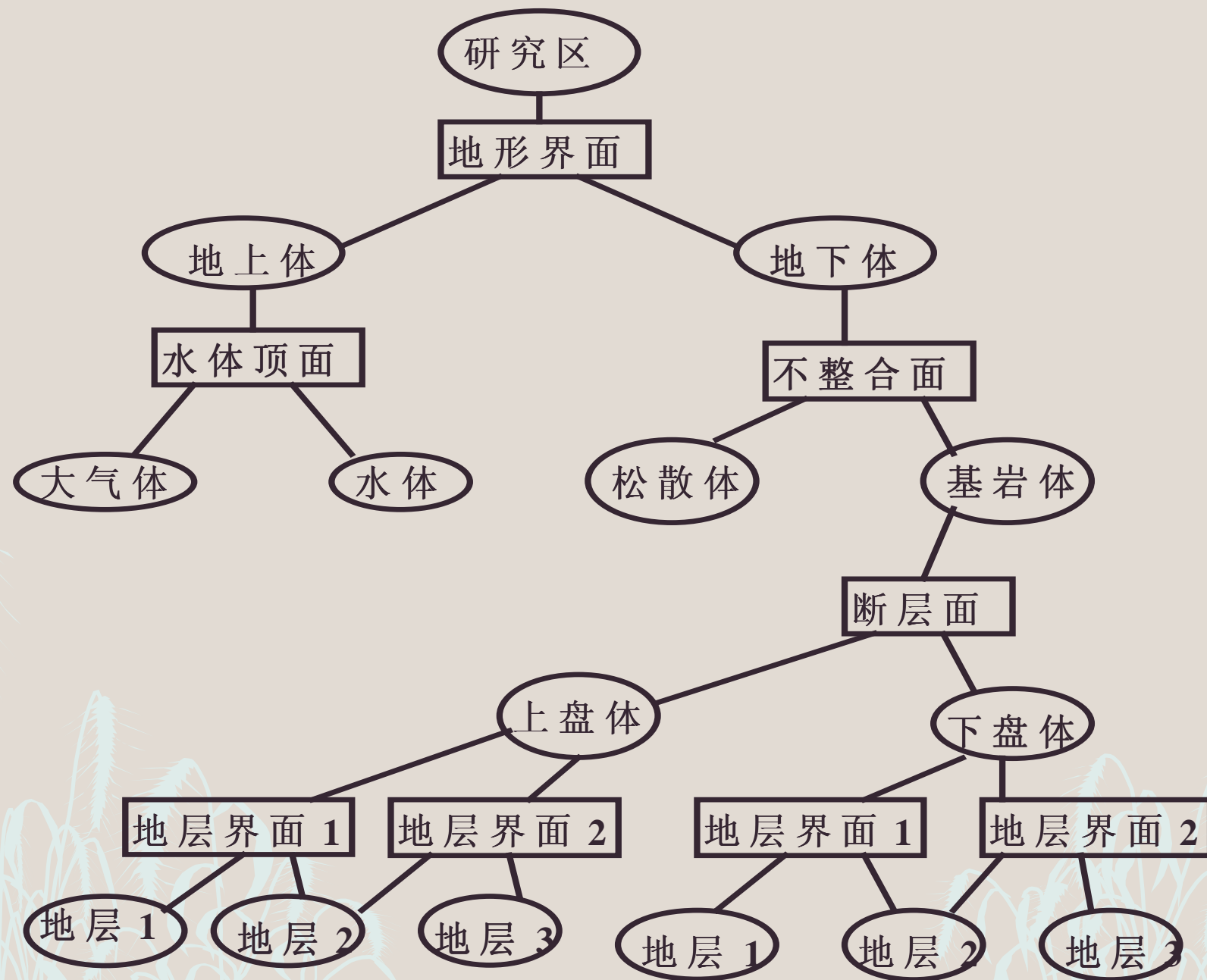


图 3-6-6







# 构造地质领域的应用

- 表达各种地质体的空间位态和相互之间的交切关系，进行各种三维查询和三维分析。常见的三维查询如查询某一地层的空间分布，某一条断层切割哪些断层和地层，它本身又被哪些断层所切割。

# 水文地质领域的应用

- 三维体域的连通性、临接性，以及体域求交、体与面求交、体于线(钻孔)求交、面与线求交线等功能，对于研究充水层、隔水层、断层、矿层的三维空间分布的相互关系，以及地下水的运动规律、可能突水部位等具有特殊的意义。

# 矿山地测领域的应用

- 巷道、工作面的空间位态和它们与断层、矿体、夹矸体、软岩体含水体之间的 交切关系

# 三维 GIS与三维几何造型 拓扑关系的异同

## 三维几何造型

- 单个零件的顶点,边,面
- 由零件 通过CSG树 组装成机器
- 面是形体的边界
- 一个边只有两个邻面
- 单一体划分

## 三维GIS

- 自然界的体,面,边,点
- 由整体细化形成CSG树
- 面是不同体的分界面
- 一个边有多个邻面
- 多重体划

# 8. 三维体插值

- 1. 三维几何元素

点  
线  
面  
体

- 2. 怎样描述体内的属性变化

- 均匀--一个属性值
- 不均匀--

- 继续细分至局部均匀
- 体函数-->体插值

# 三维数据场

## 三维数量场

$$\text{Value} = f(x, y, z)$$

例如物质密度

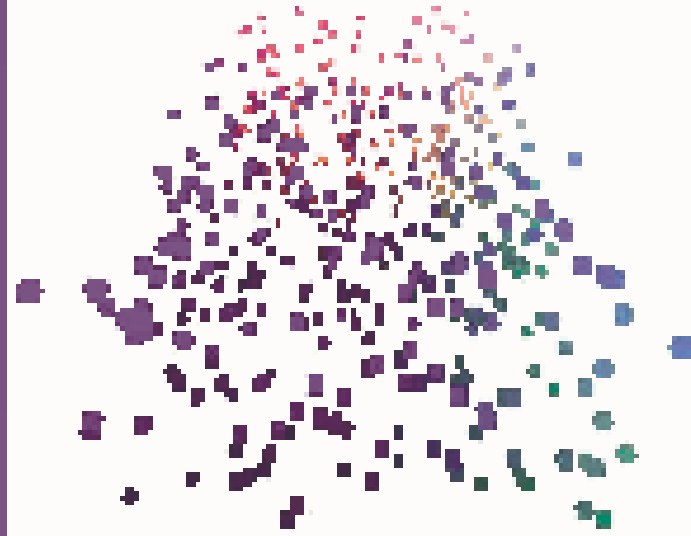
## 三维矢量场

$$\text{Vector} = V(x, y, z)$$

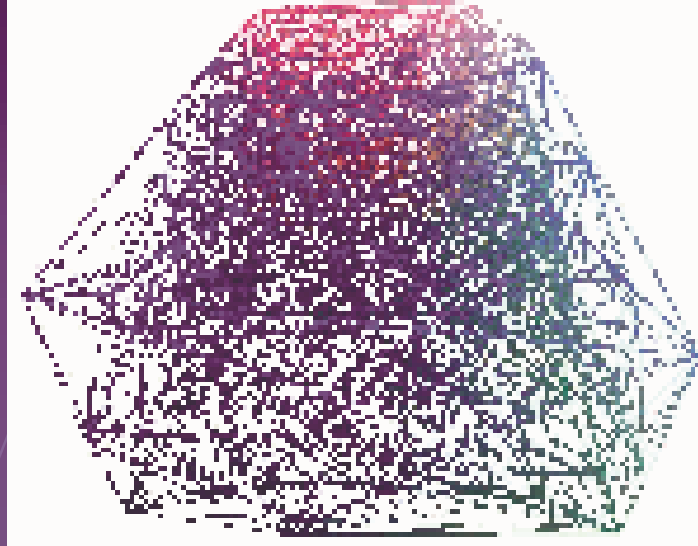
例如风,水流, 磁场,地应力场

## 两类体插值

- 已有自然界面，如地层界面，插值只在同一体内。
- 没有明显的自然界面，在插值函数的密度变化最大的梯度带上划分界面。



a)



b)

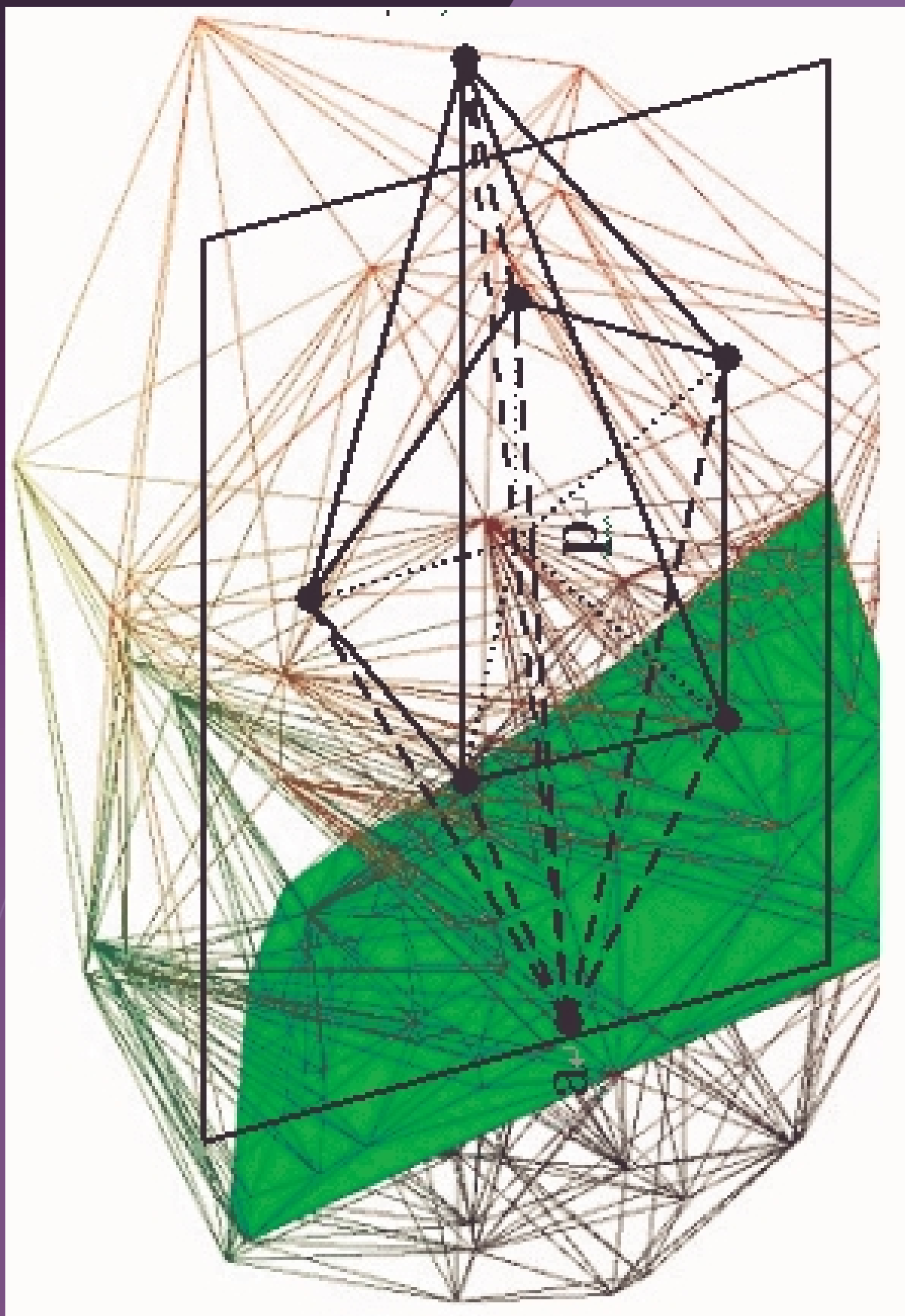


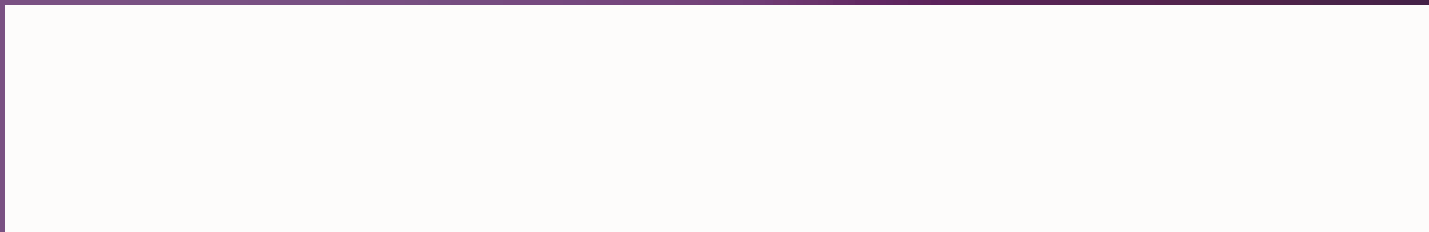
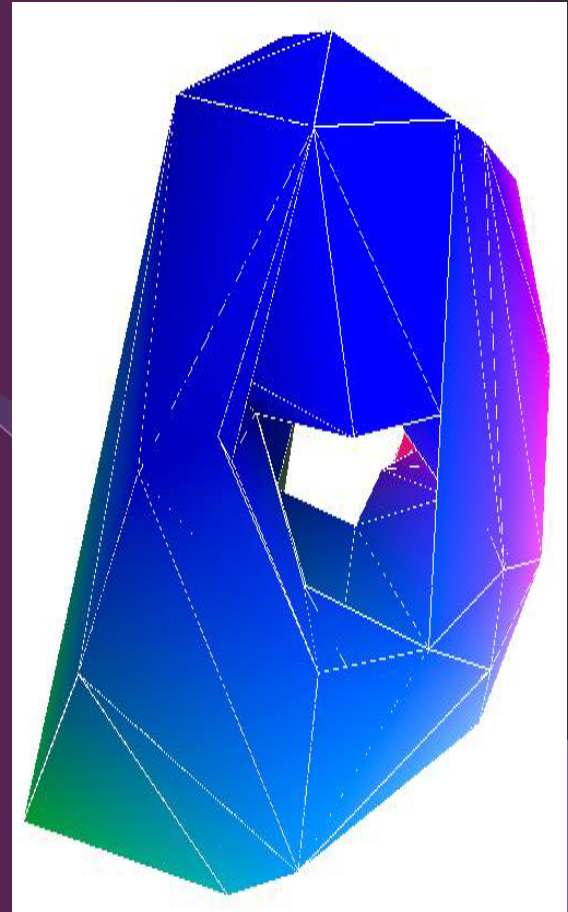
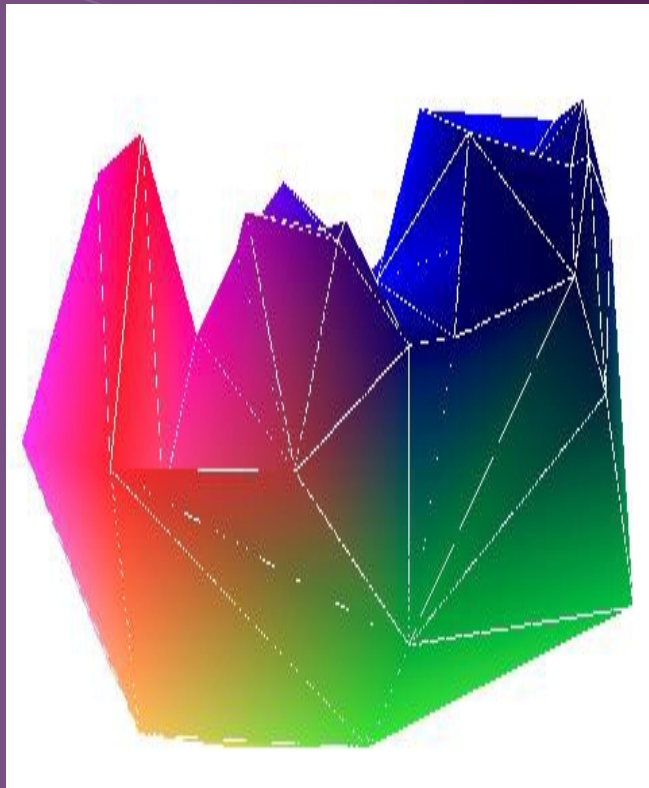
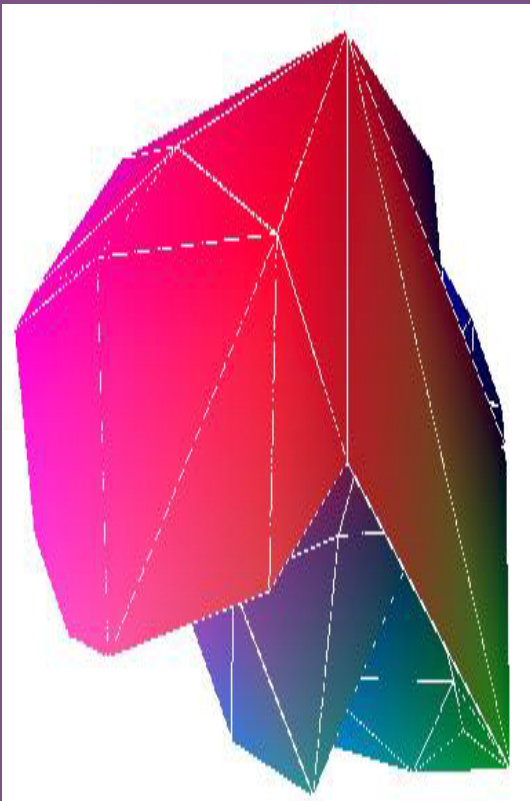
c)

图 2. 由三维空间任意散点构造四面体格网

Fig 2. Tetrahedron mesh c construct from 3D space random points







## 9. 三维曲面

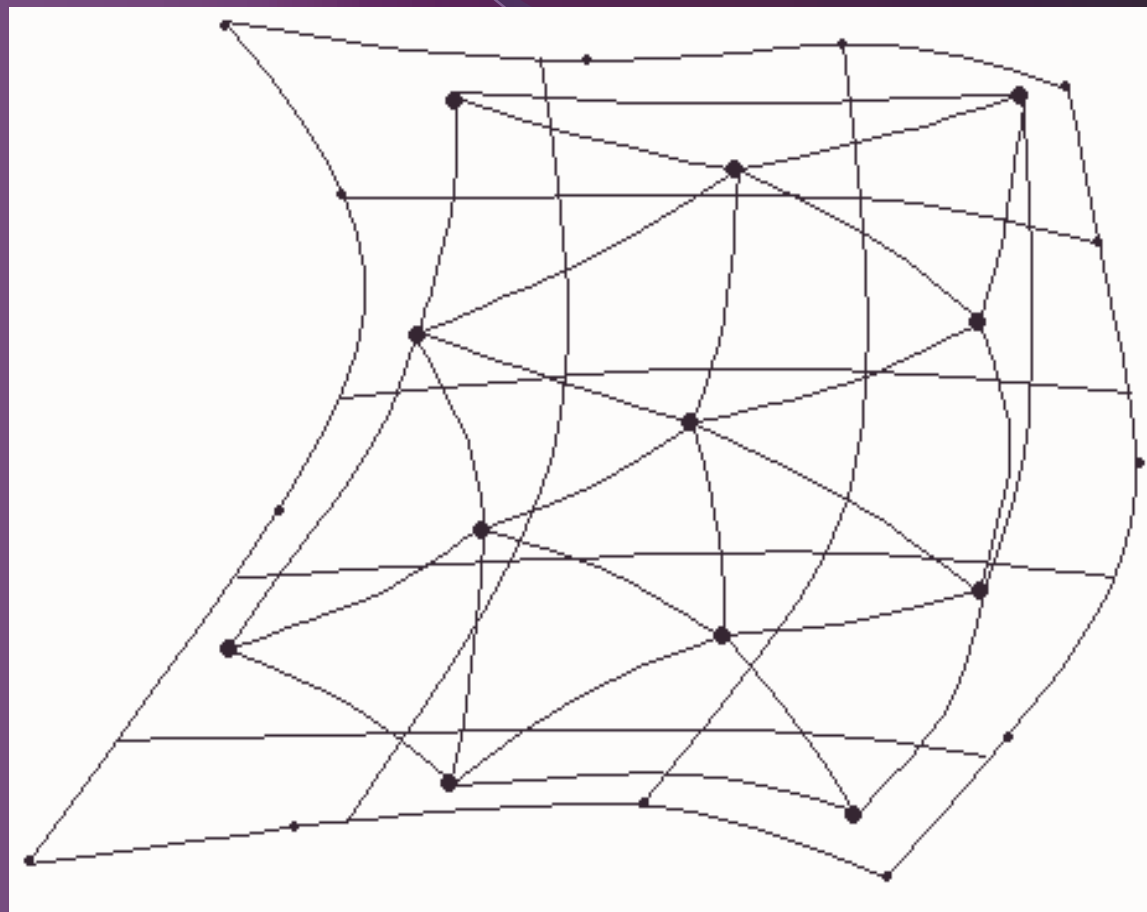
- 1.TIN表达三维曲面的不足
- 2.三维三角剖分
- 3复杂曲面的三维三角剖分

# TIN表达曲面的存在问题

- TIN(Triangle Irrugular Net)是2.5维GIS中对三维地形表面进行描述的常用方法。它是将三维曲面上的随机采样点投影到平面上，进行平面三角剖分建立TIN。其应用前提条件是曲面形状比较简单，不能出现近于直立甚至倒转的情况

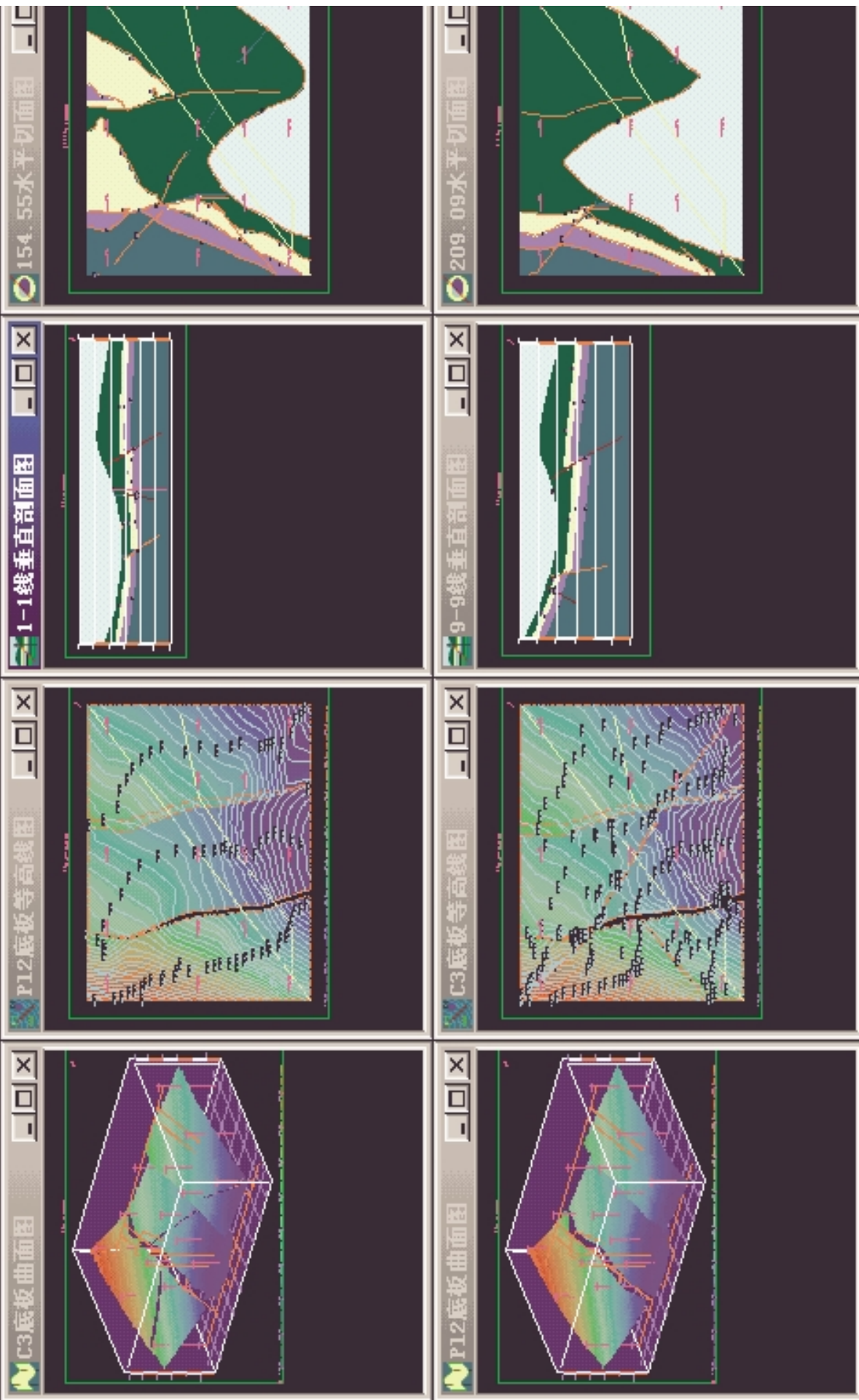
# 三维三角剖分

● 沿着曲面进行三维三角剖分可能是一种有效的方法<sup>[13]</sup>。曲面三维三角剖分是三维CAD和计算几何中进行曲面三维重建的途径之一，已有很多的研究



# 三维可视化动态地质模型 (3D)

F文件 L描述 S设置 B建造 E编辑 Q显示 P操作 Y绘制 T工具条 W窗口 H查询



待命 渲染图显示

X: 1218.00

Y: 913.50

Z: -917.40

T:

中开地质模型

NUM 17.0

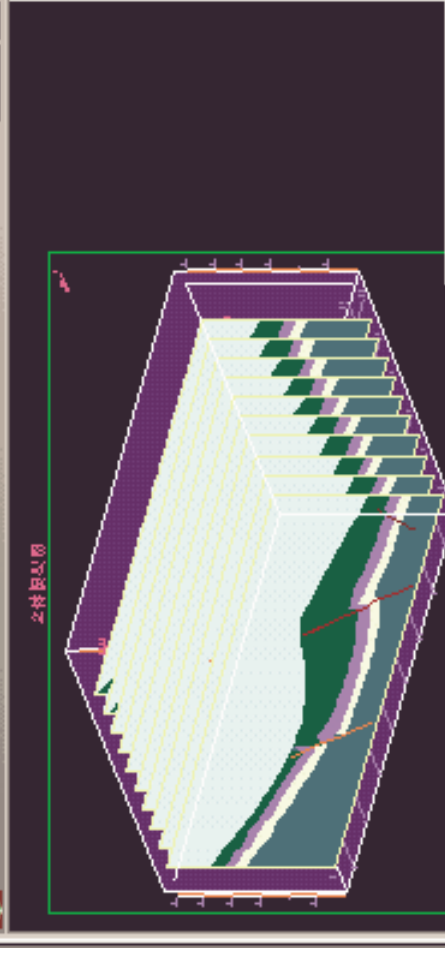


# 三维可视化动态地质模型 (3D)

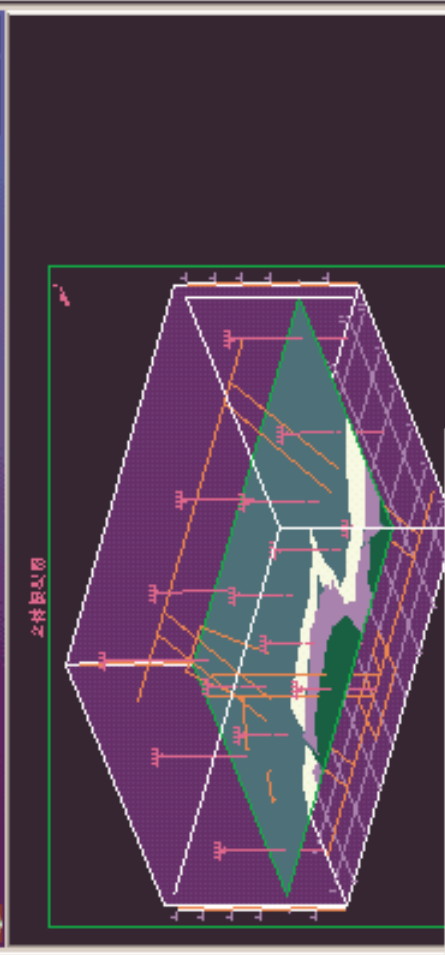
F文件 F描述 S设置 D解释 B建造 E编辑 Q显示 P操作 T工具条 W窗口 H查询



立体模型图



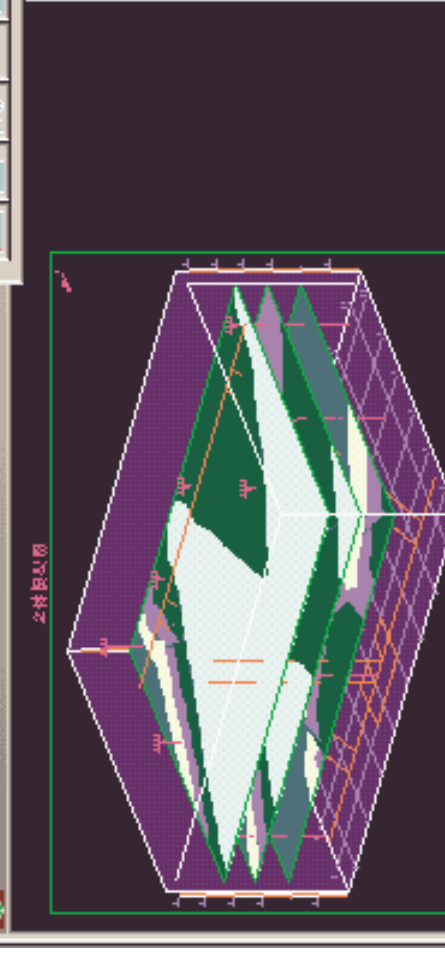
立体模型图



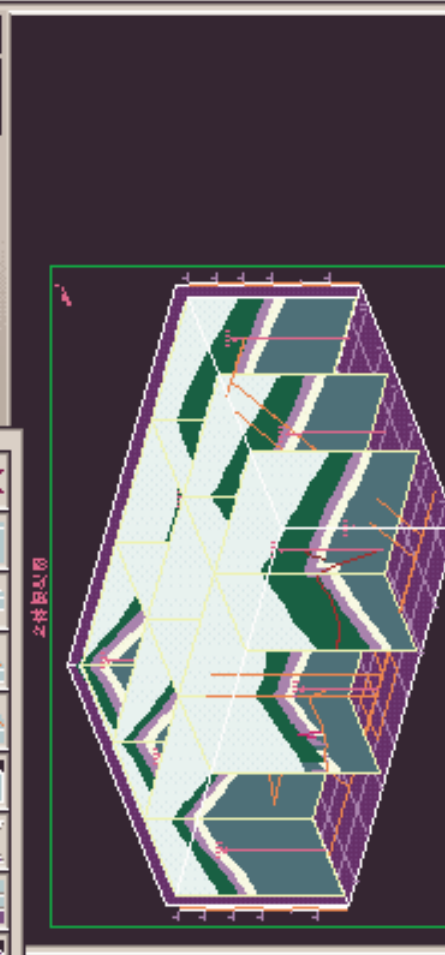
## 操作工具条



立体模型图



立体模型图



立体模型图



待命

剖面面族

X: 3048.9628550 Y: 511.92233837 Z: 400.

T:

中开地质模型

NUM

11:13:11



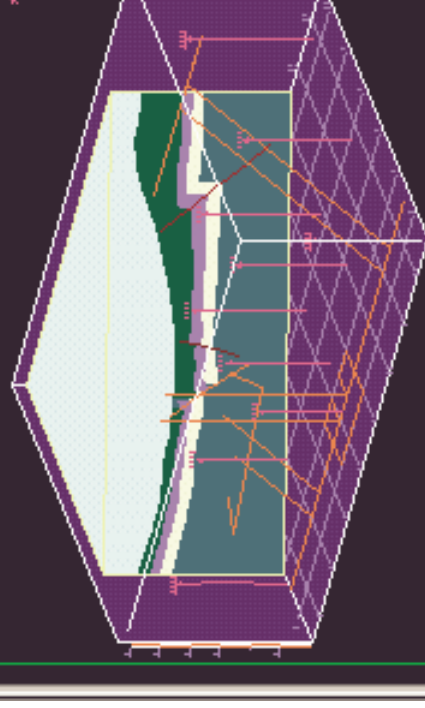
# 三维可视化动态地质模型 (3D)

F文件 I描述 S设置 D解释 B建造 E编辑 Q显示 P操作 E绘制 I工具条 W窗口 H查询



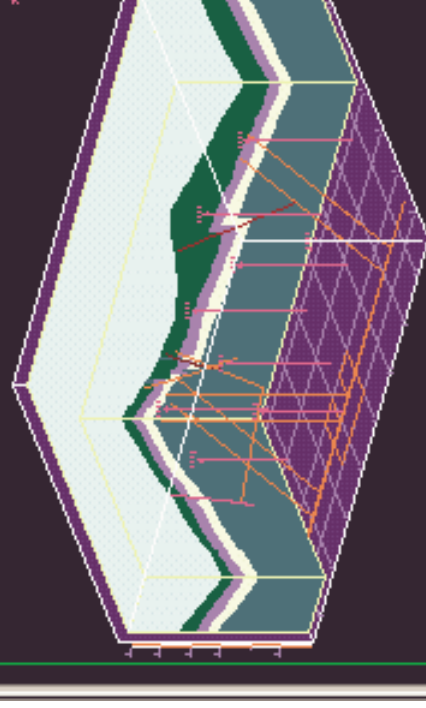
立体模型图

全地形数据



立体模型图

全地形数据

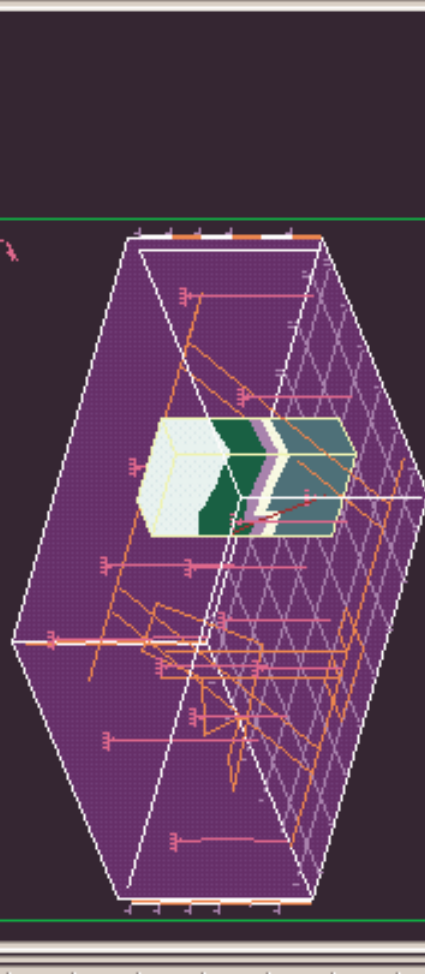


- A切单剖面
- B切剖面簇
- C切折剖面
- D切水平面
- E水平面簇
- F栅格剖面
- G交叉剖面
- H多水平面
- I立体切割
- K立体挖除
- L提取子域
- M层面揭露
- N层块组合

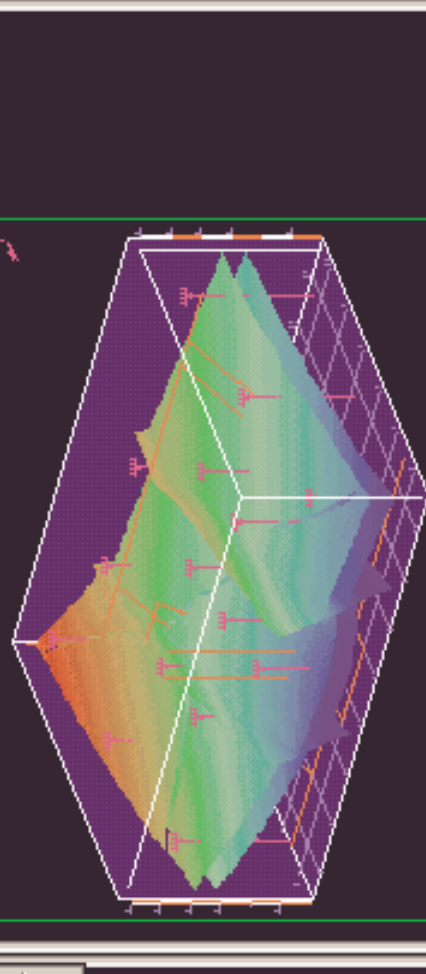


立体模型图

全地形数据



操作工具条



切割操作

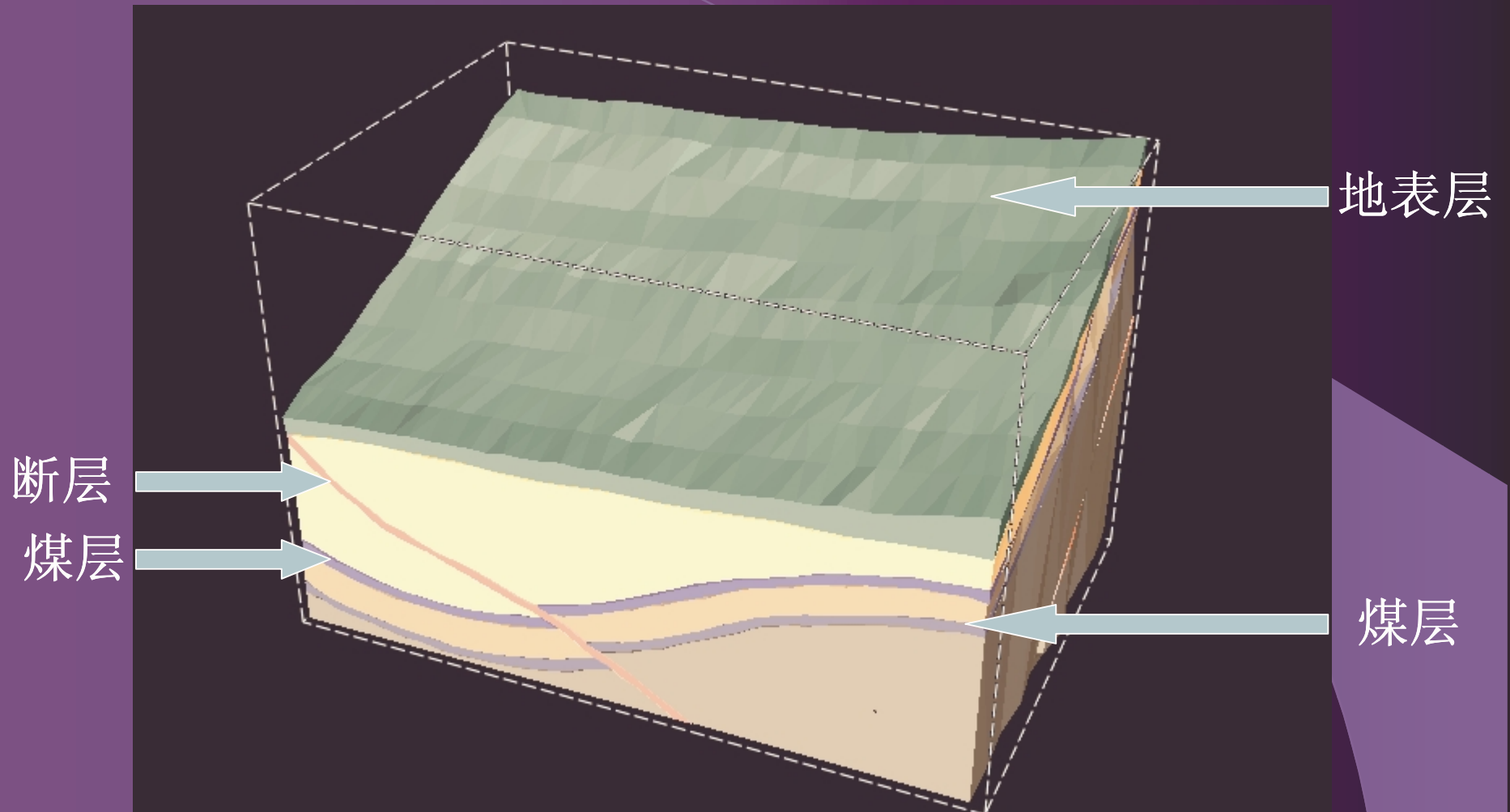
F1 101 鼠标 二维 3D 2D 单幅 渲染 固定 俘获 全局 正常

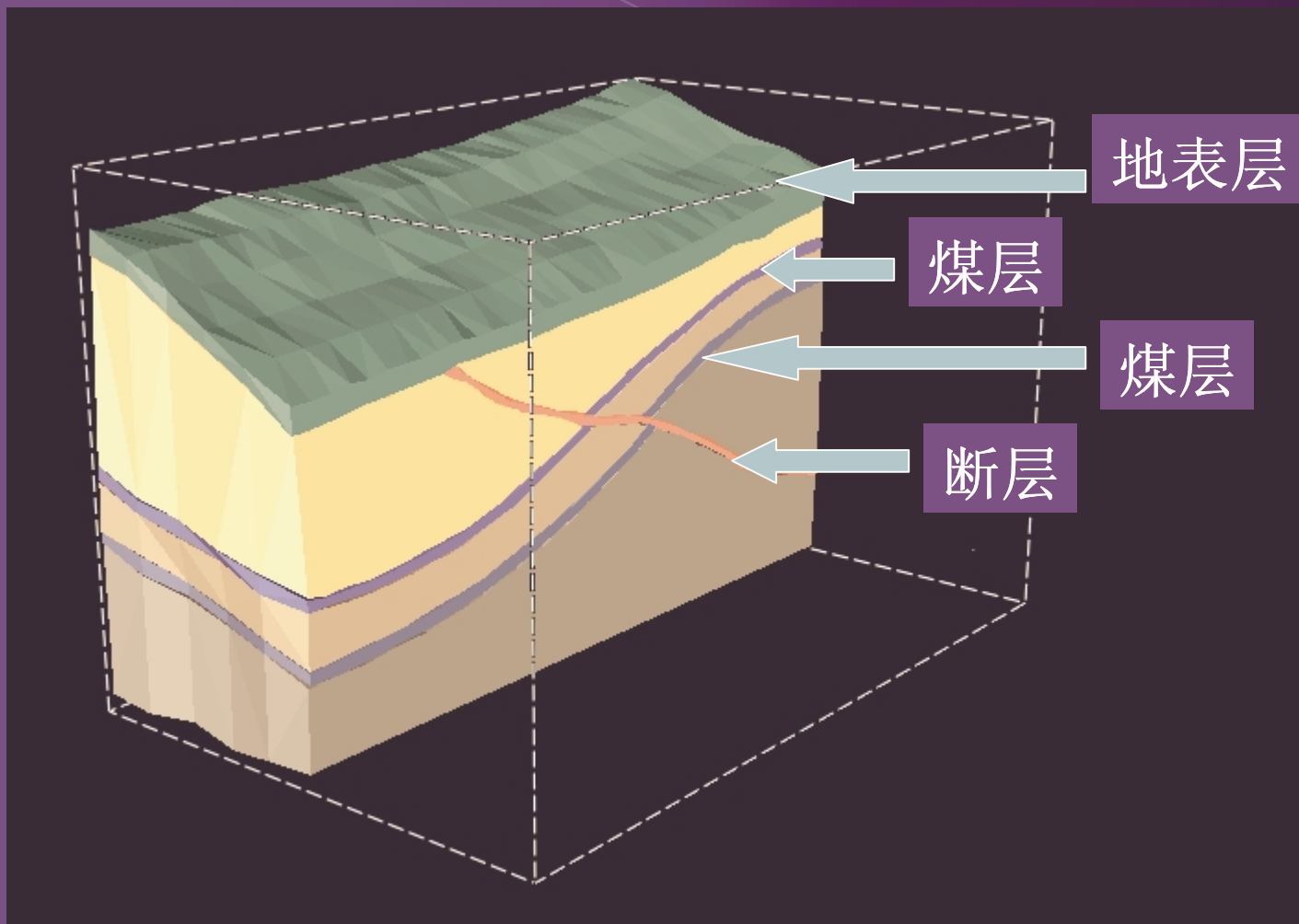
X: 1044.4668005 Y: 2485.2585436 Z: 400. T: 中开地质模型 NUM 10:59:36



# TITAN 三维建模软件

# 实体模型



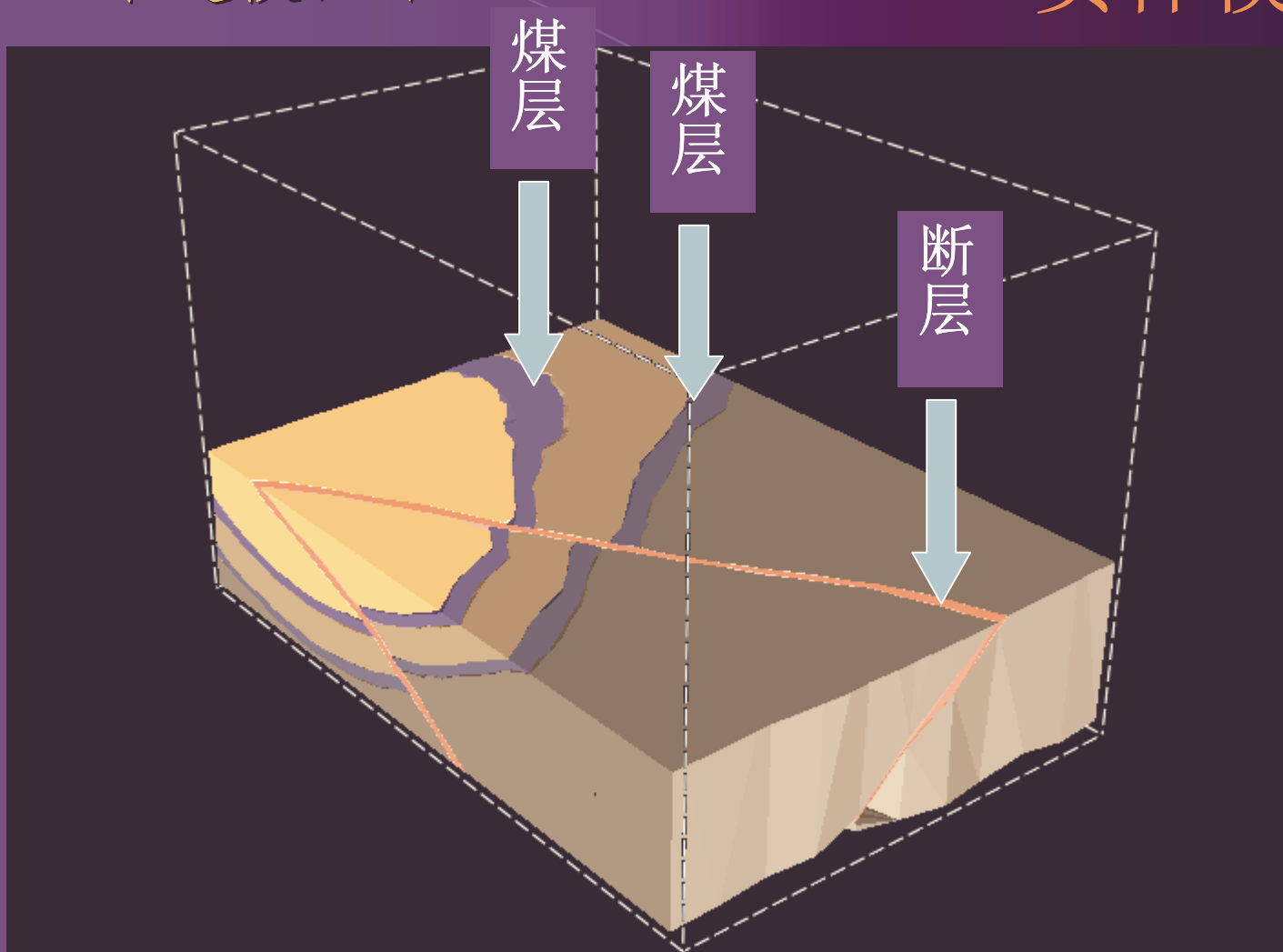


垂直切割



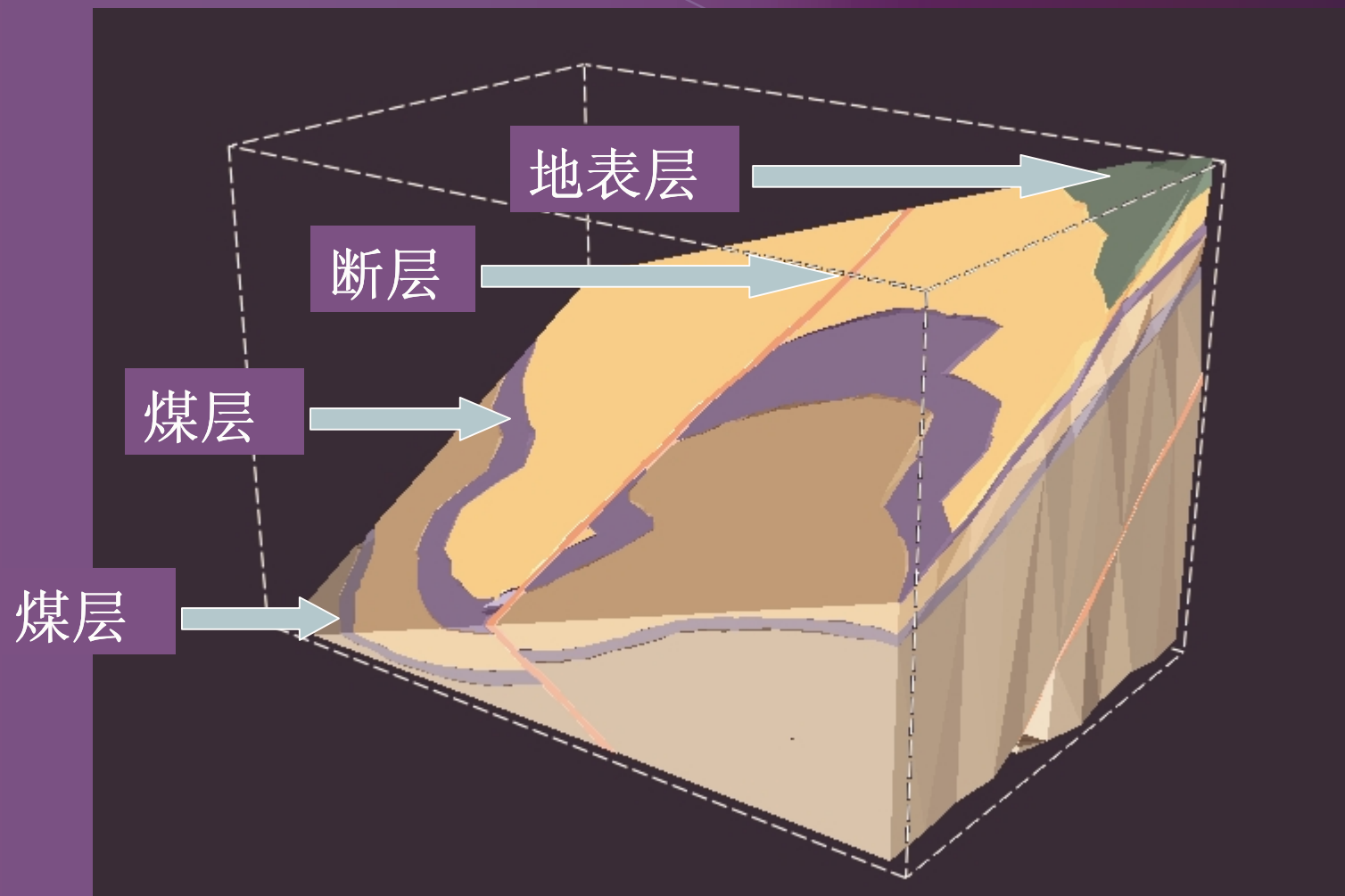
TITAN 三维建模软件

实体模型



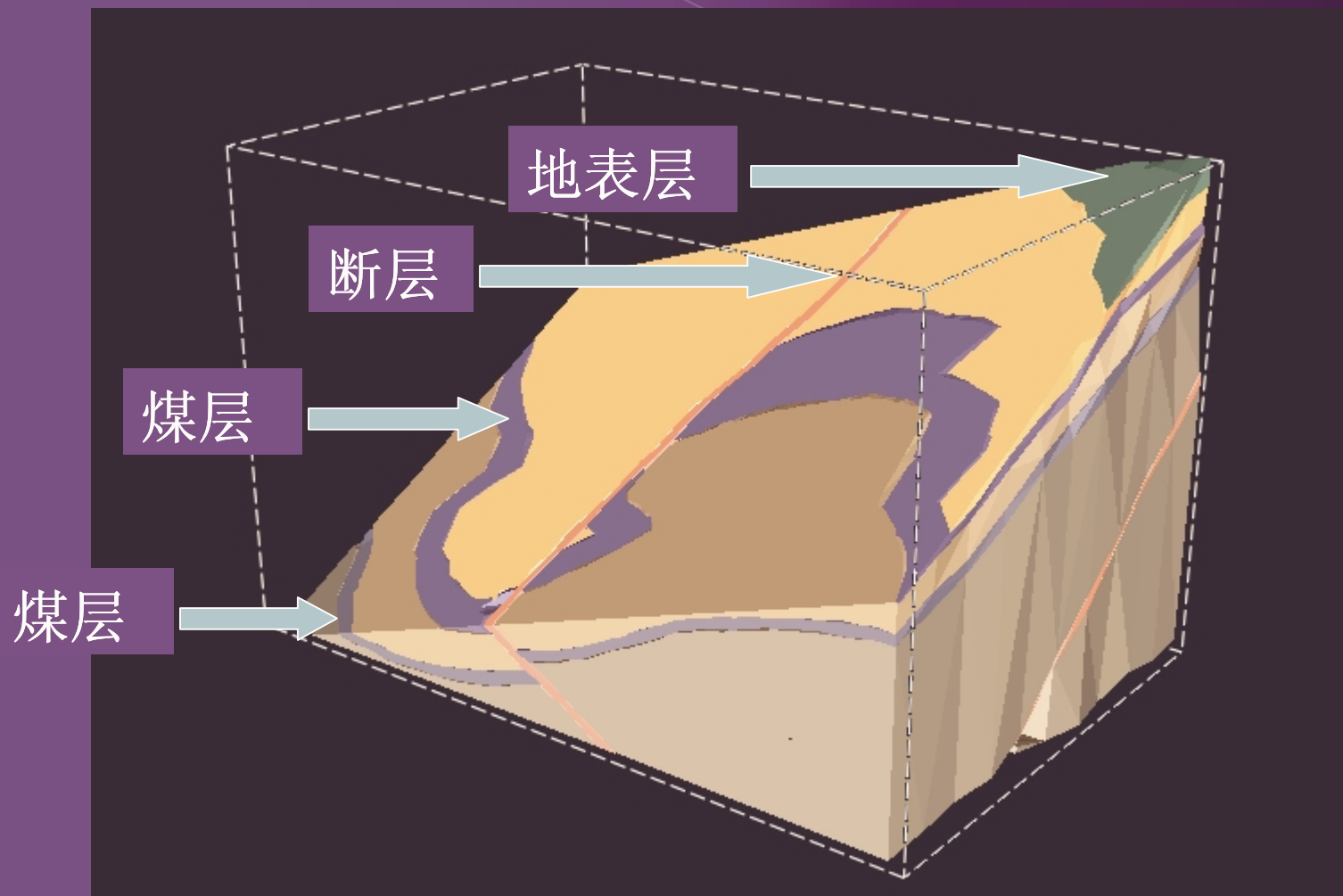
水平切割





任意切割





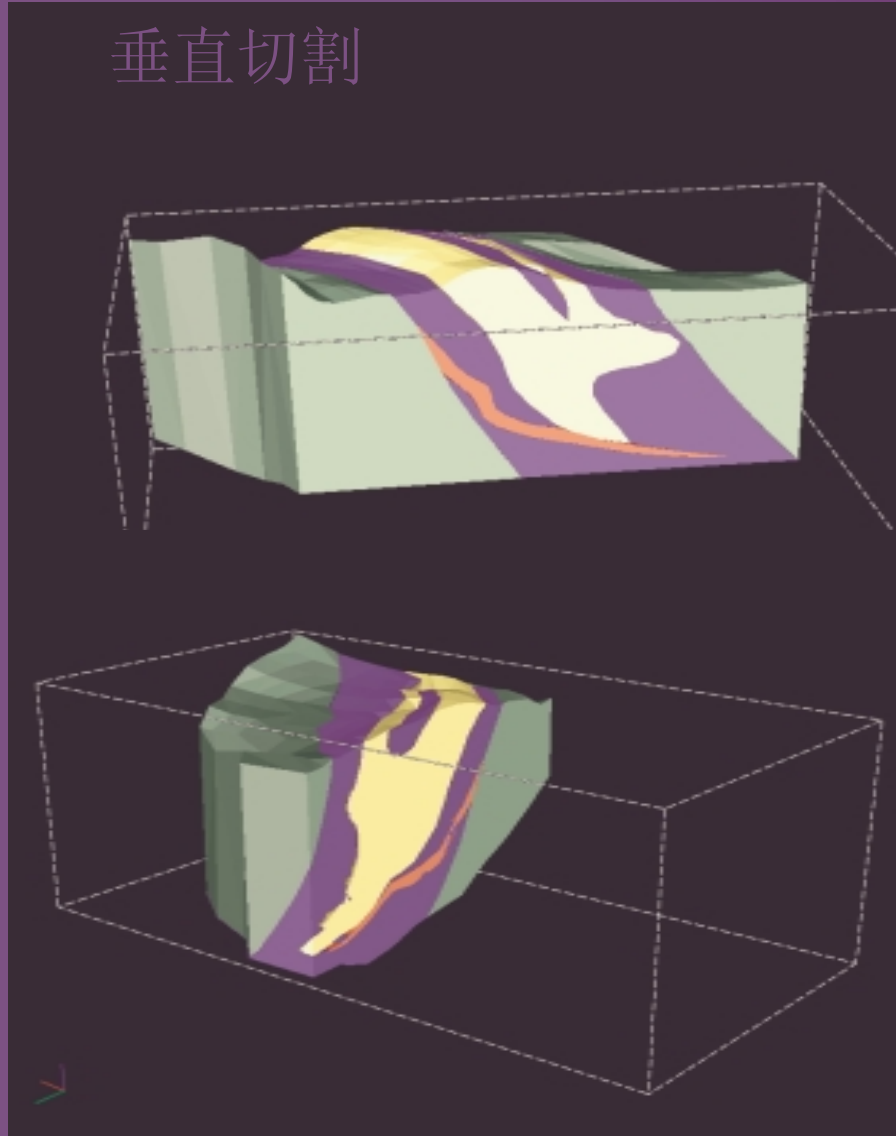
任意切割



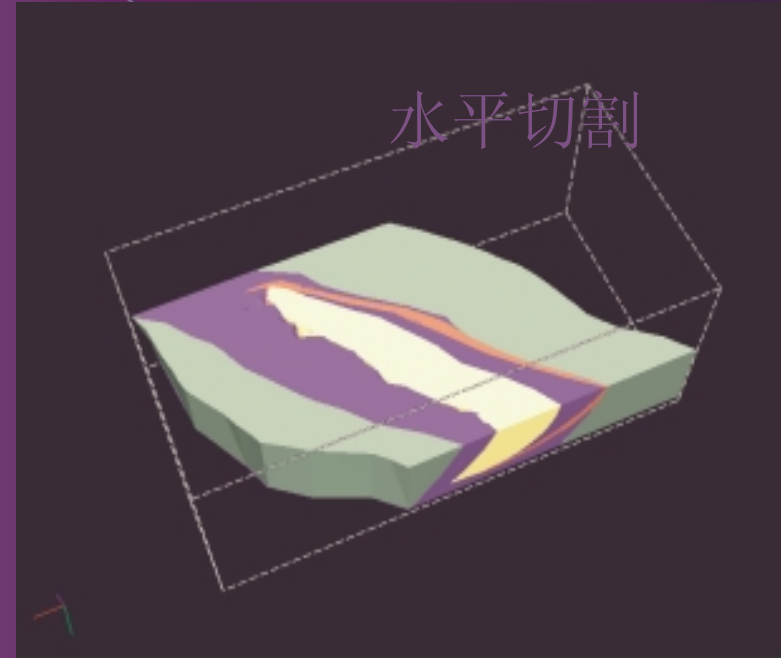
## TITAN 三维建模软件

## 金属矿模型

垂直切割

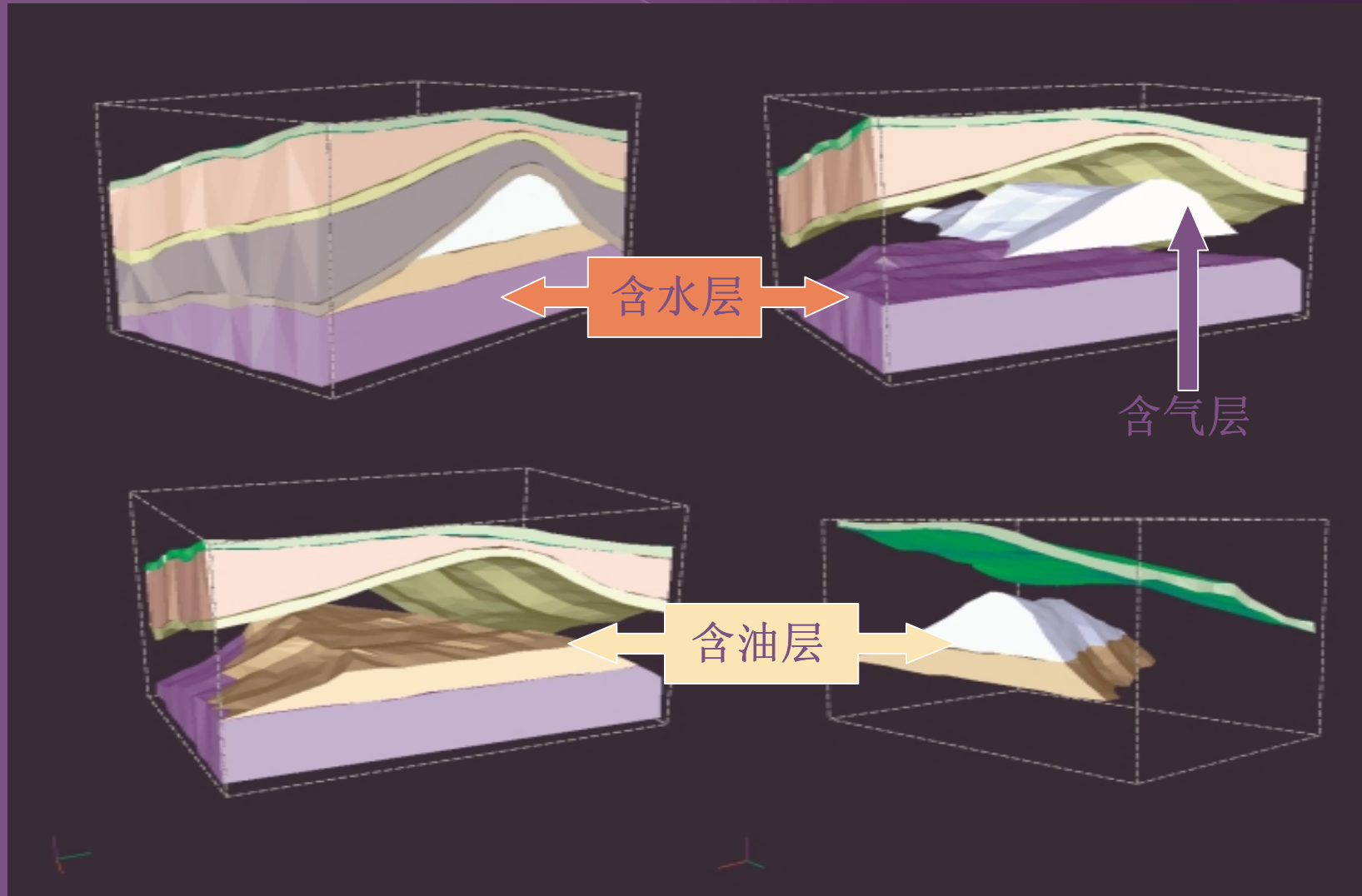


水平切割

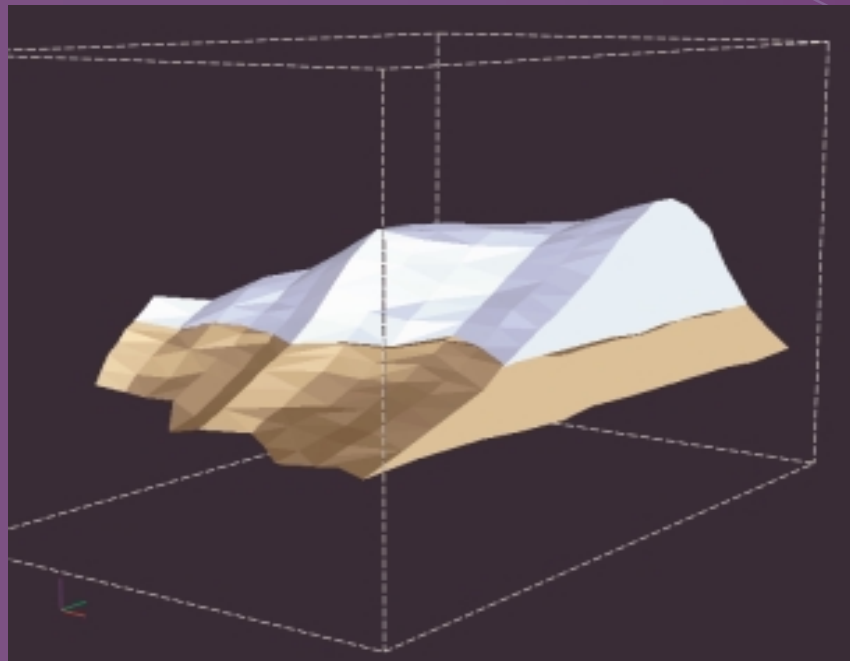


# TITAN 三维建模软件

# 储油构造模型



## TITAN 三维建模软件

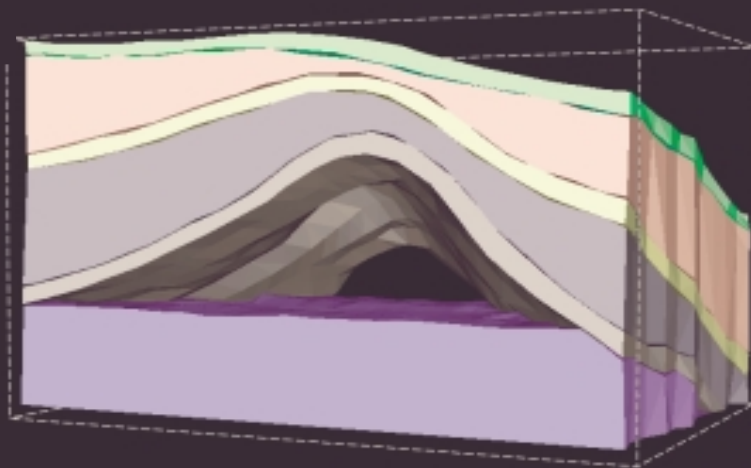


## 储油构造模型



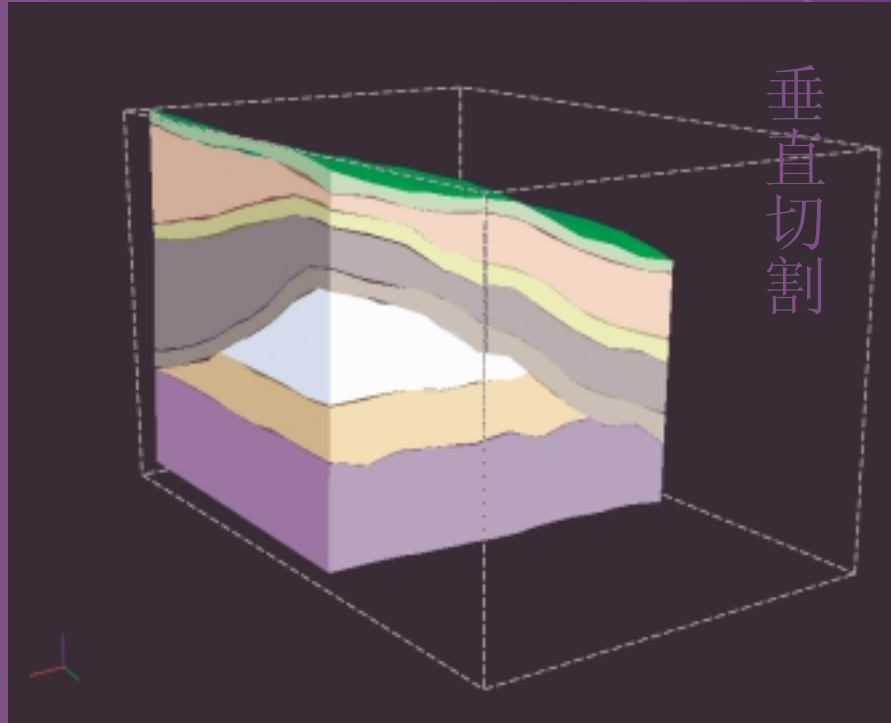
计算油气储量

油气储空间形态

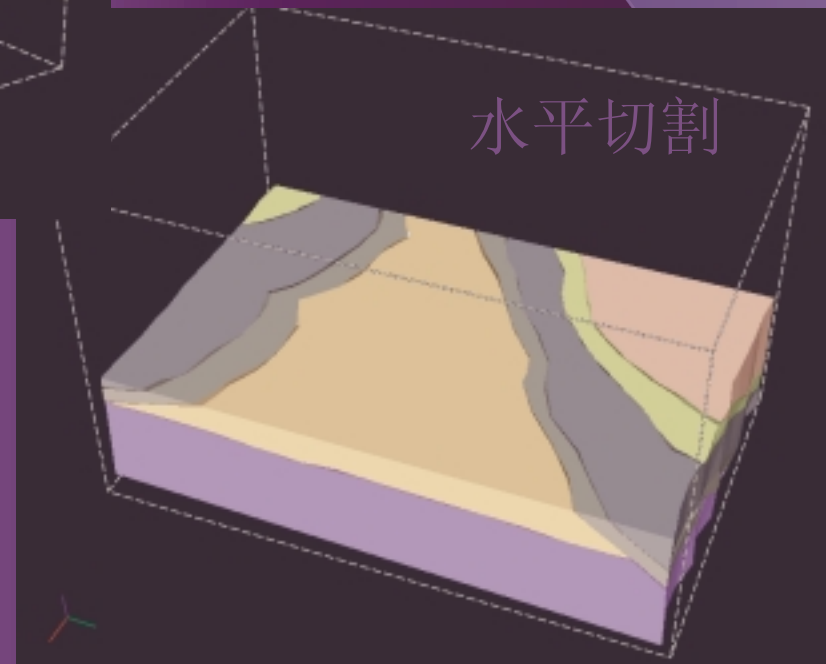




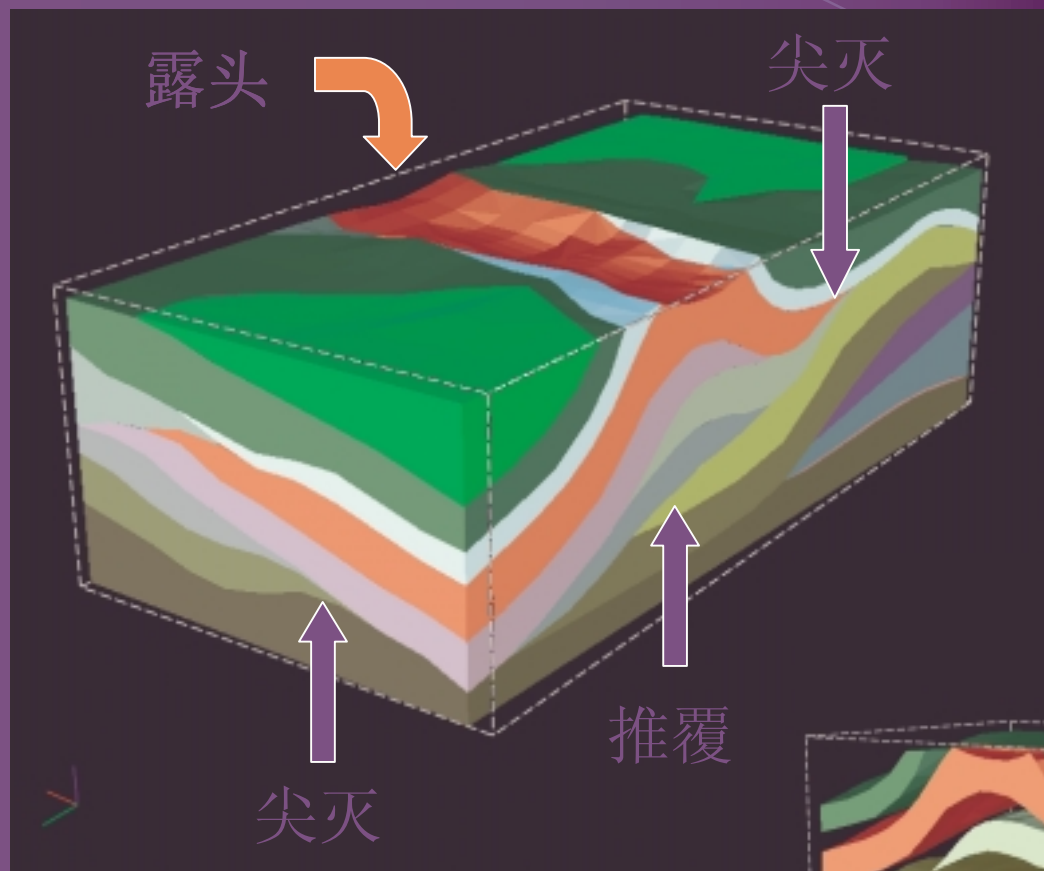
## TITAN 三维建模软件



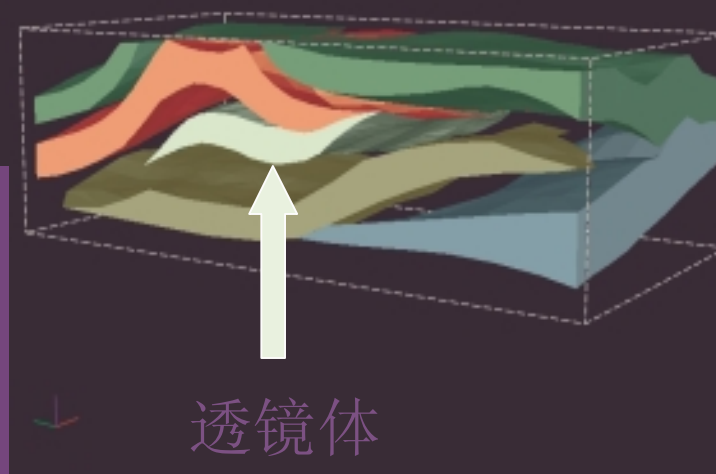
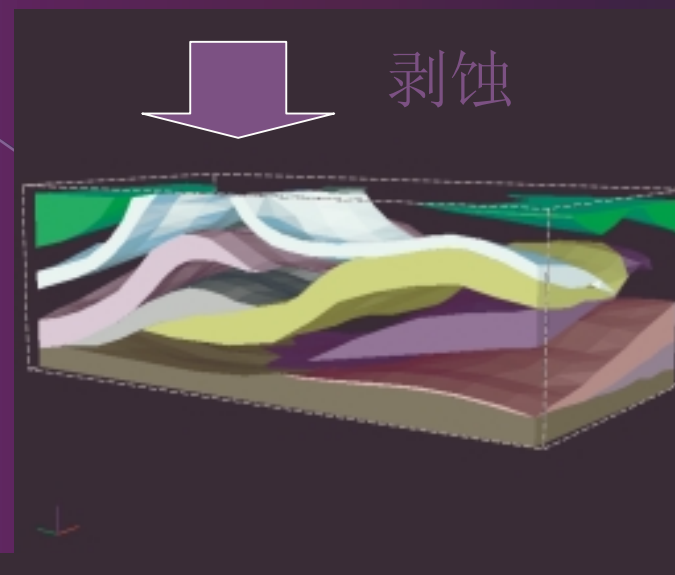
## 储油构造模型



## TITAN 三维建模软件



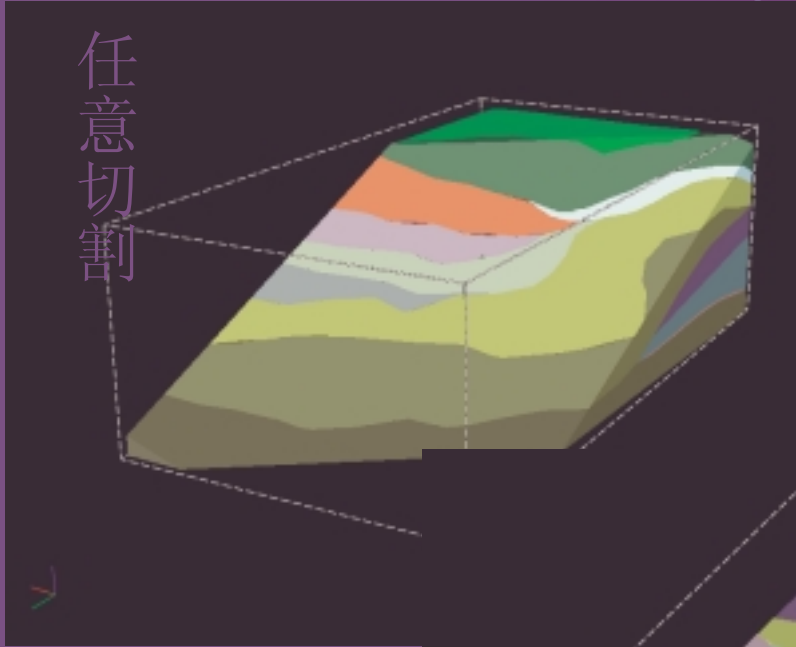
## 复杂构造模型



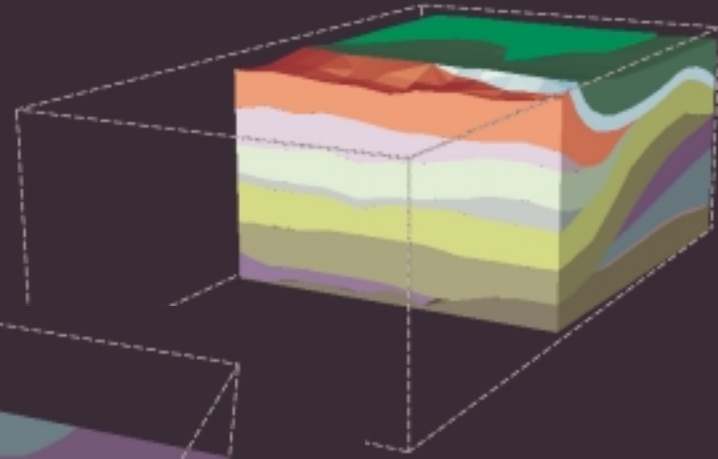
# TITAN 三维建模软件

## 复杂构造模型

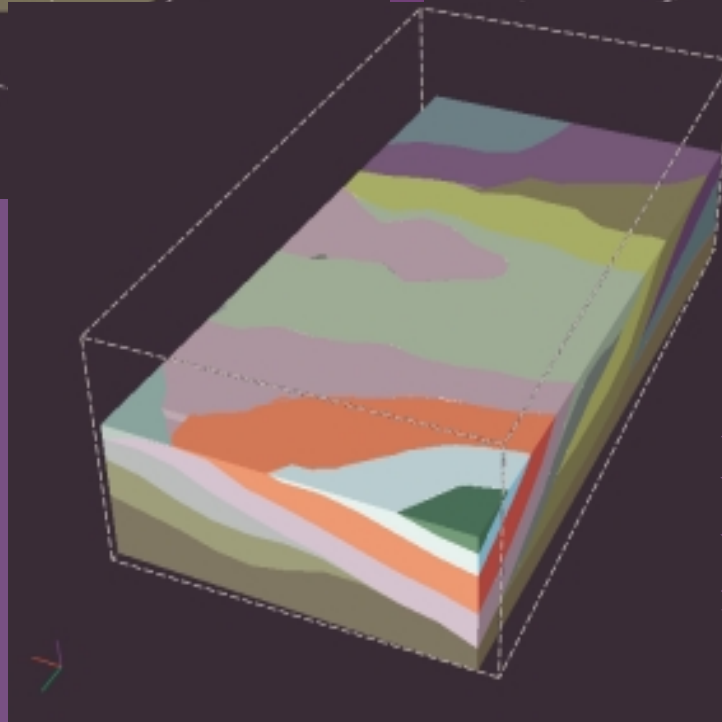
任意切割



垂直切割



水平切割



# 思考

- 中国成长起了一批国产GIS、CAD厂商(与欧洲相比), 中国GIS厂商应做好走向世界的准备。
- 中国有自己的嵌入式操作系统和浏览器
- 中国应该有自己的3维GIS平台
- 中国应该有自己的IDL产品

## 2 .三维GIS在GIS市场中的位置

- 并不是所有应用都需要真三维GIS, 对于大部分应用二维就够了。 (70%,55%)
- 对于三维景观、城市大部分应用2.5维就够了。 (10 %,10%)
- 对于城市管网、海洋、气象等应用, 2.5维能满足大部分要求, 但真三维会工作得更好。 (15%,20%)
- 对于地质、水文、矿山、环境、地球物理、地震预报等领域一定需要真三维。 (5%,10%)