

# 一种三维GIS矢量数据结构的研究\*

## ——以矿山应用为例

陈云浩 郭达志

(中国矿业大学北京校区研究生部, 北京, 100083)

### The study on 3D-GIS vector data structure

Chen Yunhao, Guo Dazhi

(Beijing Graduate School of China University of Mining and Technology, Beijing, 100083)

**Abstract** Discussing the shortcoming existing in the traditional data structure and according to the underground mining condition and referring to 2D vector GIS topologic data structure, the authors propose six groups structures to describe topologic relations among six elements: Point, node, ARC, Ring, Surface, Body, and Complex object. "Levels tree" is to be used to maintain the six group topologic structures dynamically. Finally, the authors give a whole description of a typical complex object of underground mining. Some experiments are made to prove that the six group topologic structures raises the needs for spatially oriented GIS from the points of view of mining related activities and the data structure on maintain topologic structure can be reduced to a large extent by using the "Levels tree" technique.

**Keywords** 3D-GIS, Vector data structure, Six group structures, Levels tree, Mine

**摘要** 本文针对传统数据结构的不足, 借鉴二维矢量数据结构, 并结合矿山实际情况, 提出了用六组拓扑结构来刻画: 点- 结点, 弧, 环, 曲面, 体域和复杂地物之间的拓扑关系。引入“层次树”来动态维护这六组拓扑结构。最后针对一典型的矿山实体, 给出了基于这六组拓扑结构的完整描述。实践证明: 用本文所提出的六组拓扑结构能够很好地刻划出矿山实体的特点, “层次树”的引入则可大大减少数据维护所需的辅助操作。

**关键词** 三维地理信息系统 矢量数据结构 六组拓扑结构 层次树 矿山

**分类号** TP311.12

## 1 引言

矿山地理信息系统(Mine Geographic Information System)所处理的空间数据,从本质上讲是三维连续分布的,而且垂直方向上的信息和水平方向上的信息具有同等重要的意义。现有的GIS软件虽然可以用数字高程模型来处理空间实体的高程坐标,但是由于它们无法建立空间实体

的三维拓扑关系,使得很多真三维操作难以实现,故被称之为二维GIS或2.5维GIS。矿产资源勘探、采矿作业、地表下沉、地下水运移、地应力分布,以及环境污染等均为三维现象,当试图以二维系统来描述它们时,就不能精确地反映、分析或显示有关数据。如何建立起适应矿山地理信息系统的三维数据结构已成为矿山地理信息系统研究中迫切需要解决的问题。

\* 收稿日期: 1997-12-26, 截稿日期: 1998-10-20。陈云浩,男,25岁,博士生。研究方向: 遥感与GIS及其应用。国家自然科学基金资助项目(编号: 59478013)。

许多学者对三维 GIS 的理论进行了研究。文献[1]提出的三维矢量数据模型, 仅能很好地表达规则实体, 因而不适应于矿山这种复杂的实体, 而且该模型将三维实体简化为均值的, 这显然不能充分地对矿体进行描述。文献[2]从理论上分析了三维空间信息系统涉及到的空间对象以及它们之间的联系, 探讨了矢量与栅格混合结构集成的数据模型。文献[3]讨论了三维空间实体的拓扑关系, 并给出了三维空间实体的形式化描述方法。另外, 文献[4, 5]等亦有三维 GIS 理论方面的论述。从根本上讲, 现有的 GIS 理论与实践均处于理论探讨和实验阶段, 还需加强与具体实体相结合的研究。其进一步工作尚依赖于数据库技术和虚拟现实等技术的发展。

在矿山地理信息系统三维建模研究方面, 李青元<sup>[6]</sup>等做了大量工作, 提出的三维矢量数据结构能够较合理地描述矿山地质实体。但该数据结构基本上只适合于互斥、完整体域所构成的自然目标实体。实际上矿山实体中包含大量的人工构造物(如巷道、井筒等); 而且矿山实体中体域之间不完全是互斥关系, 还有包含等关系; 另外, 矿山实体中不仅有体域, 还有面、线、点域等实体。如何描述这种复杂的目标实体, 本文从矿山实际应用出发, 提出一种适合矿山地理信息系统的三维矢量数据结构。

## 2 三维 GIS 矢量数据结构的拓扑关系定义

如何建立、维护空间元素的拓扑关系是三维 GIS 研究领域中的一个核心问题。拓扑关系的建立使得各种空间的操作与信息查询易于实现。然而三维 GIS 中的三维拓扑关系建立是一个棘手的问题, 因为所研究目标的结构极其复杂和不规则。从侧重于矿山实际应用的三维 GIS 研究出发, 我们认为, 复杂地物可用充满空间的各种体域、组成体域的曲面、构成曲面的边界环、组成环的弧、弧上的结点来描述; 一般来说, 体域是目标实体的基本构成; 认为任何复杂的实体都是由体域(自然的或人工的)构成的; 体、面、线、点是一个动态的概念, 在不同的比例尺或不同的研究重点时可以相互转换。例如对整个矿井来讲, 巷道可认为是线域, 而对某个工作面来讲, 巷道则是体域。按上述思路 and 观点, 考虑保持拓扑信息的完整性、易扩展性, 提出用以下 6 组关系来描述矿山 GIS

三维矢量结构的拓扑关系。

(1) 复杂地物—体关系: 复杂地物与组成它的体域。在该拓扑关系中加入对复杂地物属性的描述或指向属性记录文件的指针。

(2) 体—复杂地物—曲面关系: 体域与由其所构成的复杂地物, 体域与包围该体域的曲面, 以及与该体域相邻的体域。体拓扑结构中可加入对体域属性的描述。

(3) 曲面—环—体域关系: 曲面与组成曲面的环以及该曲面所包围的体域(正面邻体)和包围该曲面的外部体域(负面邻体)。一个曲面可能由若干个环构成, 其外环取正, 内环取负。在曲面拓扑结构中加上若干值样条弧(如等高弧)或插值函数, 就可确定该曲面的空间形态。

(4) 环—弧—曲面关系: 环与构成该环的弧以及该环所包围的内部曲面(内邻曲面)和包围该环的外部曲面(外邻曲面)。

(5) 弧—结点—环的关系: 弧与该弧的起结点、终点及包含该弧的环。环有正负之分, 环方向与弧的方向一致时, 取正号; 反之取负。在弧拓扑结构中加一系列坐标串, 可确定该弧的形态。

(6) 结点—弧的关系: 结点及从该结点出发的离开弧段和以该结点为终点的到达弧段。

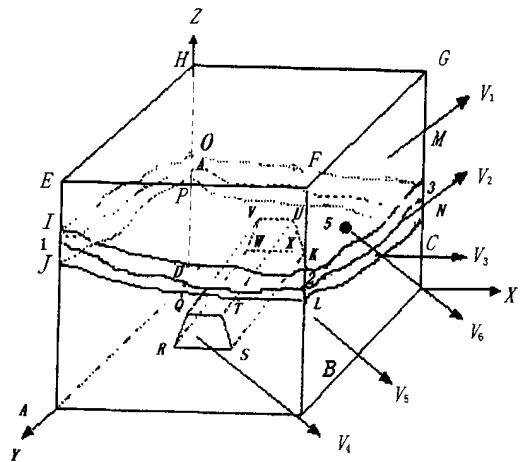


图 1 典型矿山实体

Fig. 1 A typical body of mine

显然以上 6 组拓扑关系可转化成二维 GIS 的拓扑关系。现结合一具体实例说明用以上 6 组拓扑结构如何进行拓扑描述。

## 3 三维 GIS 矢量数据结构拓扑关系的建立

如图 1 所示为一典型的矿山现象。其物理意

义如下: 煤层上覆岩层为页岩 ( $V_1$ ), 中间为煤层 ( $V_2$ ), 煤层底板为砂岩 ( $V_3$ )。在煤层中赋存着一层很薄的夹矸(用 1, 2, 3, 4 点连线的  $V_5$  所示)。在底板砂岩中开拓了一条运输集中巷 ( $V_4$ )。另外, 还探测到在煤层某处有一瓦斯集聚点 ( $V_6$ )。

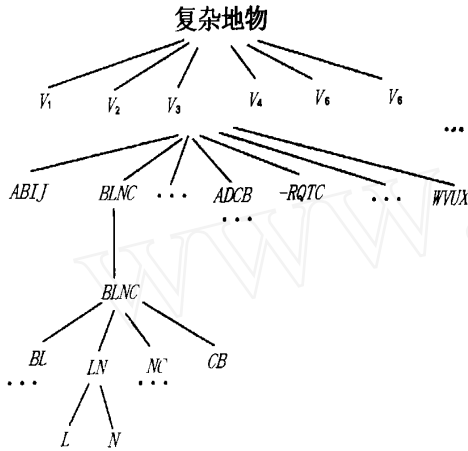


图 2 层次树关系图

Fig 2 The relation of 'Levels tree'

对于像图 1 这样不太复杂的模型, 按层次分解方法来建立上节所定义的 6 组拓扑算法。复杂地物分解成若干组体域, 将这些体域分别分解成各自组成的曲面, 再将曲面分解成环, 进而将环分解为弧段和结点。

经过对图 1 复杂地物进行的层次树分析(如图 2 所示), 即可按定义的 6 组矢量拓扑关系来建立对图 1 的拓扑描述。其中煤层中夹矸层视为特殊的体域, 仅有面积而无体积概念。对  $V_6$  瓦斯集聚点视为无体积、无面积概念的特殊体(点)域。

表 1 复杂地物—体拓扑

Tab 1 Topologic relation of complex object and body

复杂地物	组成的体域	属性/指向记录文件的指针
V	$V_1$	某运输集中巷及其围岩状况
	$V_2$	
	$V_3$	
	$V_4$	
	$V_5$	
	$V_6$	

如需要详细描述复杂地物的属性, 则用属性记录文件的方式加以记录, 用指针来穿引。

表 2 体—复杂地物—曲面拓扑

Tab 2 Topologic relations among body, complex object and surface

体域	由体域组成的复杂地物	构成体域的曲面	邻体	属性
$V_1$	V	<i>EFKI, FGMK, GHOM, HEIO, EHGF, IKMO</i>	$V_2$	页岩
$V_2$		<i>IKLJ, KMNL, MOPN, OIJP, -IKMO, JLN P</i>	$V_1, V_3$	煤层
$V_3$		<i>JLBA, LN CB, N PDC, PJAD, -JLN P, ABCD, -QTSR, -TUXS, -QVUT, -QRWV, -RSXW, -UVWX</i>	$V_2, V_4$	砂岩
$V_4$		<i>QTSR, TUXS, QVXUT, QRWV, RSXW, UVW</i>	$V_3$	运输集中巷
$V_5$		1234	$V_2$	夹矸
$V_6$		5	$V_2$	瓦斯集聚点

曲面以指向所包围的体域方向为正, 远离所包围的体域为负(右手法则)。

表 3 曲面—环—体域关系拓扑

Tab 3 Topologic relations among surface, ring and body

曲面	组成曲面的环	正面相邻体	负面相邻体	值样条弧/插值函数
<i>EFKI</i>	<i>EFKI</i>	$V_1$	域外	/
<i>IKMO</i>	<i>IKMO</i>	$V_1$	$V_2$	...
<i>JLBA</i>	<i>JLBA -QTSR</i>	$V_3$	域外	/
<i>QTSR</i>	<i>QTSR</i>	$V_4$	域外	/
<i>TUXS</i>	<i>TUXS</i>	$V_4$	$V_3$	/
1234	1234		$V_2$	...
5	5		$V_2$	/

通过值样条弧(或插值函数)可以刻划出曲面空间形态。本例中巷道设为理想巷道(巷道的断面

形状-梯形、拱形或圆形, 可通过弧—结点—环拓扑加以区分和描述), 故曲面 *QVUT* 等不需值样条弧(在上表中以斜杠表示)。实际上随着巷道掘进和煤层开采, 巷道不可避免地发生空间形态的变化。这种复杂巷道可通过值样条弧来刻划其空间形态。具体说, 在巷道形态发生较大变化的地段取值样条弧加以描述。通过一系列值样条弧(这些值样条弧可进一步用结点—弧拓扑加以描述), 则可刻划出巷道的空间形态的变化; 如巷道的空间形态变化具有某种规律, 则可用插值函数近似描述; 或值样条弧和插值函数配合使用。视巷道的形态变化和要求的精度不同而灵活掌握。体域  $V_5$ ,  $V_6$  为无体积的特殊体域, 因而曲面 1234 和曲面 5

无正面相邻体域。

表 4 环—弧—曲面拓扑

Tab 4 Topologic relations among ring, ARC and surface

环	组成环的弧名	内邻曲面	外邻曲面
EFKI	EF, FG, GH, HE	EFKI	JLBA
IKMO	IK, KM, MO, OI	IKMO	
JLBA	JL, LB, BA, AJ	JLBA	
QTSR	QT, TS, SR, RQ	QTSR	
TUXS	TU, UX, XS, ST	TUXS	
1234	12, 23, 34, 41	1234	
5	5	5	

表 5 弧—结点—环拓扑

Tab 5 Topologic relations among ARC, Point, node and ring

弧	起结点	终结点	包含该弧的环	坐标串
EF	E	F	EFKI, -EHGF	...
IK	I	K	IKLJ, IKMO, -EFKI	...
12	1	2	1234	...
5	5	5	5	...

若弧为直线段, 则仅需记录起点与终点坐标即可。若弧为曲线段, 则应记录一系列的中间坐标, 用以刻划曲线段的形态。中间坐标的记录个数则视曲线段的弯曲程度和要求精度的高低而定。

表 6 结点—弧拓扑

Tab 6 Topologic relation of Point node and ARC

结点	指针		坐标		
	离开弧名	到达弧名	X	Y	Z
E	EF, EH	IE			
F	FG, FK	EF			
1	12	41			
5	5	5			

通过层次树关系图, 可以逐步将复杂地物转化成如上所述的六组拓扑关系。这种方式建立起

来的拓扑关系明确, 层次分明, 能大大降低软件算法实现难度, 并具有较高的空间查询和分析效率。

### 4 结束语

矿山 GIS 软件的开发和应用迫切需要具有真三维的数据结构。本文从矿业应用实际出发, 提出了采用: 复杂地物—体, 体—复杂地物—曲面, 曲面—环—体, 环—弧—曲面, 弧—结点—环, 结点—弧这六组拓扑关系来刻划目标实体, 并以层次树关系图作指导, 就一典型矿山现象生成其拓扑关系。该矢量数据结构描述的中心是体域, 而把面域、线域、点域看作特殊的体域, 并按体域形式存贮。当研究中心变化时, 如原来的线域或点域被视为体域时, 这种数据结构则为以后的数据扩展奠定了基础。初步实验表明, 用六组拓扑关系来描述, 易于生成拓扑关系, 方便检索。

矿山作业实际上是三维而且是动态过程。假设图 1 中巷道正在底板掘进, GIS 将如何描述? 随着工作面推进, 矿山压力重新分布, 瓦斯积聚点的形态和位置将发生改变。这种现象三维矢量数据结构如何组织和描述? 因此有必要在三维矢量数据结构的基础上, 继续进行时空四维数据结构的研究。

### 5 参考文献

- 1 Molenaar M. A Topology for 3D Vector Data Maps. ITC Journal, 1993(1): 25~ 33
- 2 龚健雅, 夏宗国. 矢量与栅格集成的三维数据模型. 武汉测绘科技大学学报, 1997, 22(1): 7~ 15
- 3 郭薇, 陈军. 基于流形拓扑的三维空间实体形式化描述. 武汉测绘科技大学学报, 1997, 22(3): 201~ 206
- 4 郭达志. 地理信息系统基础与应用. 北京: 煤炭工业出版社, 1997. 63~ 68
- 5 李德仁, 李清泉. 一种三维 GIS 混和数据结构研究. 测绘学报, 1997, 26(2): 128~ 133
- 6 李青元. 三维矢量结构 GIS 拓扑关系及其动态建立. 测绘学报, 1997, 26(3): 235~ 240