



第2章 数字矿山数据组织与结构

主讲人：毕林

2024年8月13日



目录

- 2.1 矿山认知与模型
- 2.2 采矿与空间数据
- 2.3 矿山空间数据模型
- 2.4 矿山主要空间数据
- 2.5 开采业务管理模型



2.1

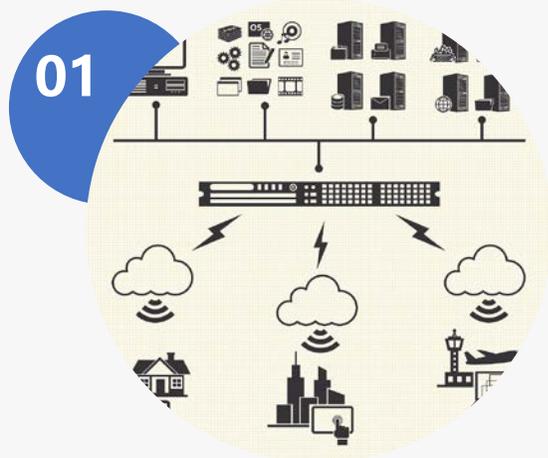
矿山认知与模型

矿山开采生产与经营管理新模式的变革背景





2.1.1 现实世界的认知过程



现实世界

空间认知是一个信息加工过程，地理世界复杂且海量信息，需去粗取精、去伪存真。



概念世界

通过观察、抽象、综合取舍，得到实体目标，定义、编码结构化和模型化。



数字世界

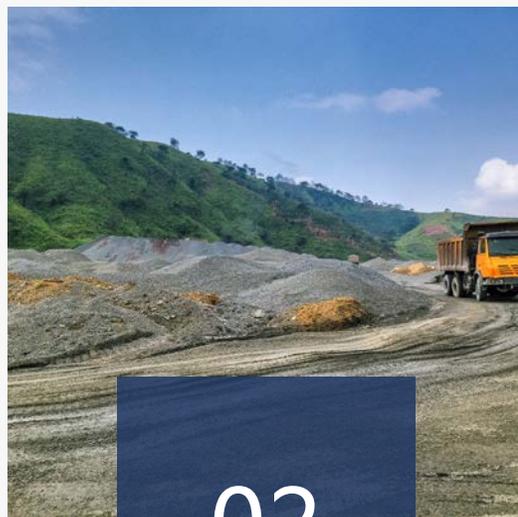
任务是将图形模拟的空间物体表示成计算机能够接受的数字形式。



01

三个层面

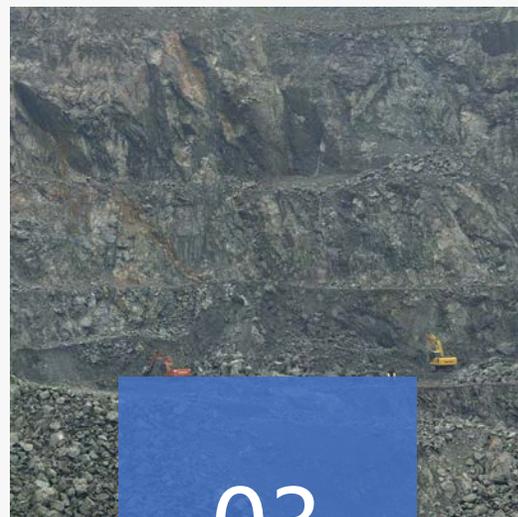
现实世界、概念世界和数字世界，涉及地理现象转化为数字世界相关信息。



02

事物分类

地理世界存在客观世界，事物及其相互联系处在此世界中，分为对象与性质两类。



03

概念世界

概念世界是现实世界在人们头脑中的反映，客观事物在概念世界中称为实体。



04

数字世界

数字世界是概念世界中信息的数据化，现实世界中的事物及联系在此用数据模型描述。



2.1.2 空间认知三层模型



空间数据模型

空间数据模型由概念数据模型、逻辑数据模型和物理数据模型三个层次组成。

概念数据模型

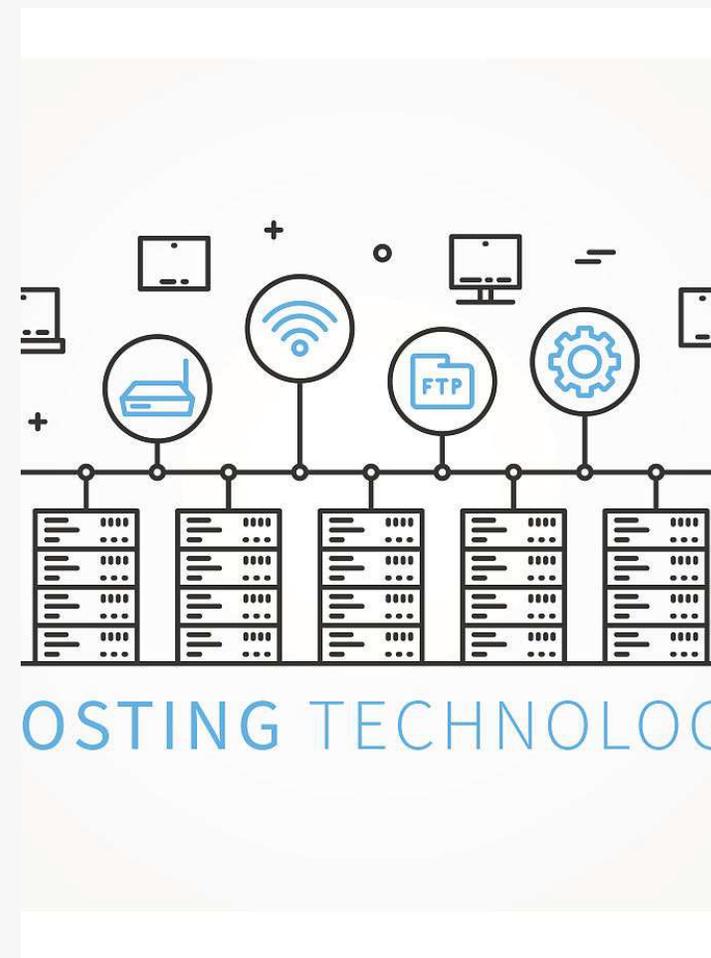
概念数据模型是关于实体和实体间联系的抽象概念集，描述了现实世界中的实体和联系。

逻辑数据模型

逻辑数据模型表达了概念模型中的数据实体及其间关系，提供了数据的结构和关系。

物理数据模型

物理数据模型描述了数据在计算机中的物理组织、存储路径和数据库结构，决定了数据的存储方式和访问方式。





1) 概念数据模型



概念数据模型

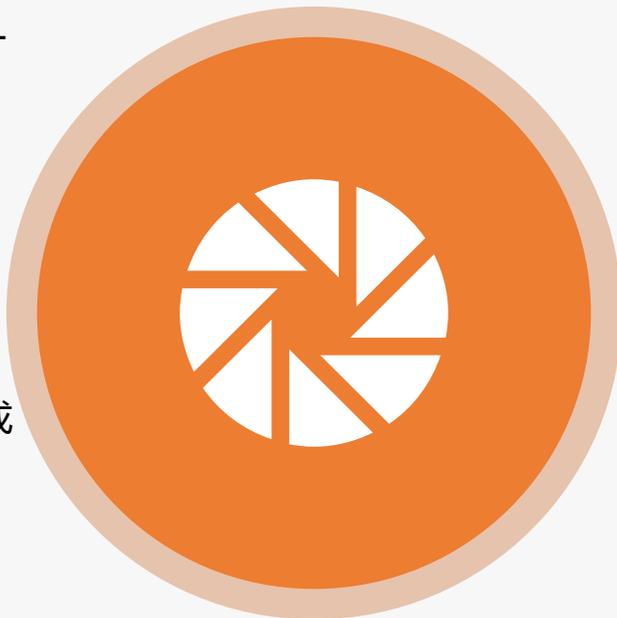
概念数据模型是人们对客观事实或现象的一种认识，也称为语义数据模型。

外模式

不同的人对同一客观现象的抽象和描述会形成不同的用户视图，称为外模式。

GIS概念数据模型

GIS概念数据模型是考虑用户需求的共性，用统一的语言描述、综合、集成的用户视图。



矢量数据模型

矢量数据模型是一种常见的数据模型，适用于描述各种地理要素，如点、线、面等。

栅格数据模型

栅格数据模型适用于描述图像、视频等多媒体数据，每个元素都有唯一的地址。

栅矢一体化数据模型

栅矢一体化数据模型同时考虑矢量和栅格数据，具有更高的灵活性和实用性。



2) 逻辑数据模型



逻辑数据模型的概念

逻辑数据模型将概念数据模型确定的空间数据库信息内容表达为数据项、记录等之间的关系。

逻辑模型的种类

常用的数据模型包括层次模型、网络模型和关系模型，每种模型都有其特点和适用场景。

层次模型与网络模型

层次模型和网络模型能显式表达数据实体间的隶属或层次关系，网络模型能表达复杂的多对多关系。



关系数据模型

关系数据模型使用二维表格表达数据实体间关系，通过关系操作查询和提取数据。

优点与缺点

层次模型和关系数据模型各有优点，层次模型操作灵活，关系数据模型基础在于关系代数和关系操作。

效率问题

关系数据模型难以表达复杂对象关系，在效率、数据语义和模型扩展等方面还存在一些问题。



3) 物理数据模型



逻辑数据模型转换

逻辑数据模型不涉及底层物理实现细节，计算机处理的是二进制数据，因此需要将逻辑数据模型转换为物理数据模型。在物理组织中，需要考虑操作效率、响应时间、空间利用和总的开销等因素，以实现数据的优化存储。

层次模型物理表示

层次模型的物理表示方法包括物理邻接法、表结构法、目录法等，网络模型的物理表示方法则包括变长指针法、位图法和目录法等。

关系模型物理表示

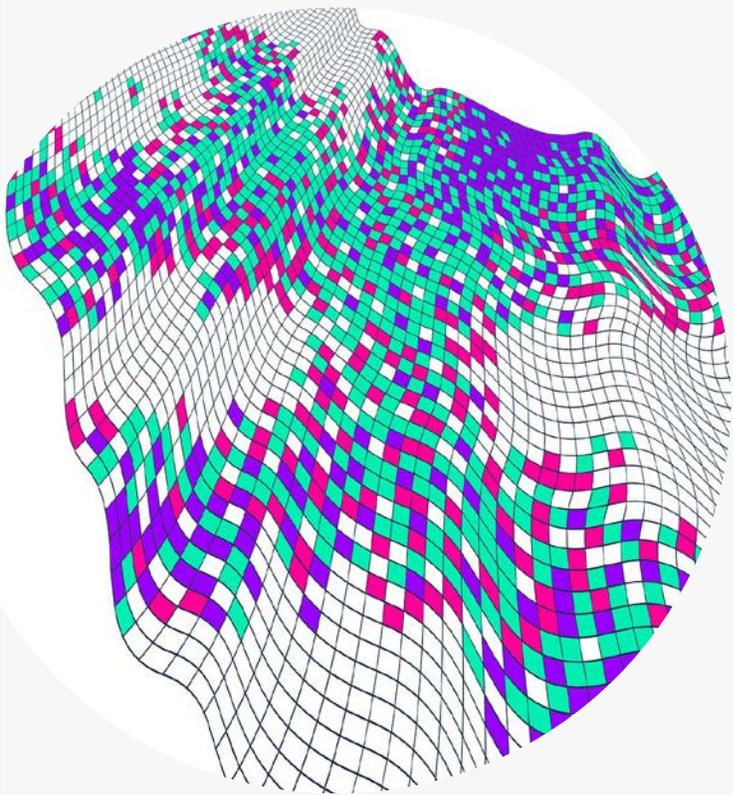
关系模型的物理表示通常使用关系表来完成，物理组织则主要考虑如何以最优的形式在外存储器上存储数据。

网络模型物理表示

网络模型的物理表示方法有变长指针法、位图法和目录法等



2.1.3 空间表达的数学基础



数学在空间表达中的应用

数学在空间表达中发挥着重要作用，是解决空间计算和空间关系的重要工具。

几何学的基础地位

几何学是数学的重要分支，主要研究空间中点、线、面等基本元素之间的几何关系。

拓扑学的发展

拓扑学是几何学的发展，主要研究空间元素在连续变形下的不变性质和变化规律。

数学在空间表达中的重要性

数学在空间表达中具有重要地位，为解决实际问题提供了有力工具。



1) 空间参考系统



空间参考系统

空间参考系统是地理空间数据表达格式与规范的重要组成部分，保证了空间数据共享的实现。

坐标系选择

在地理信息系统中，根据实际需求和精度要求选择合适的坐标系进行定位和定向，确保数据的准确性和共享性。

投影种类

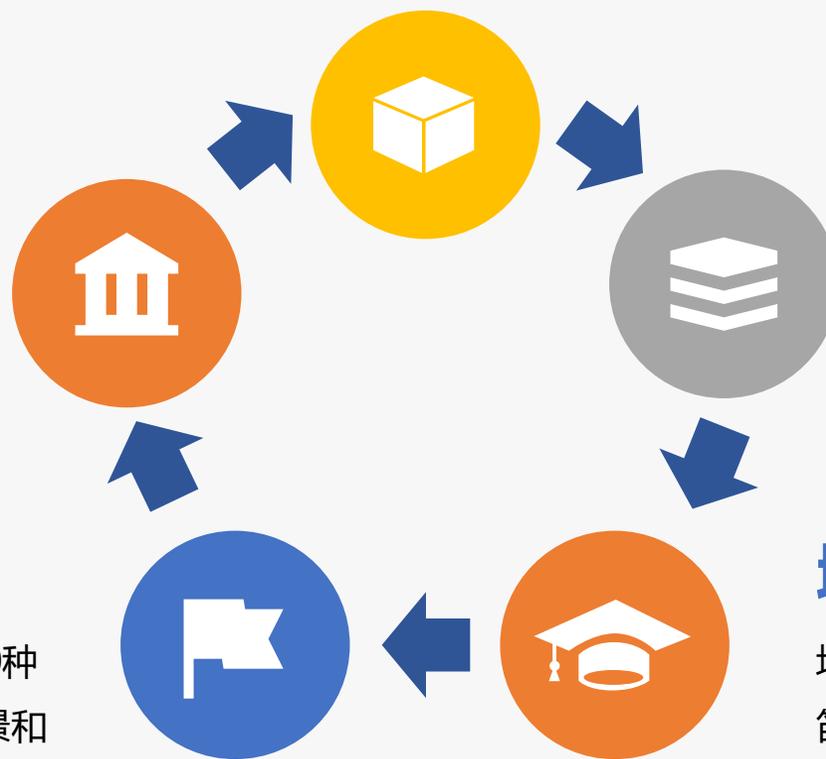
地图投影的种类很多，据估计超过200种，每种投影方法都有其特定的应用场景和优缺点。

坐标系

坐标系是空间参考系统的基础，它采用规则的、可用数学方法描述和表达的椭球面来代替地球表面。

地图投影系统

地图投影系统则是将球面或椭球面投影到笛卡儿平面直角坐标系中，以进行地理定位和定向。





2) 时空尺度



尺度是地理信息科学中的重要概念，是矿山地空信息的重要特性。

01

地理实体具有固有的空间属性，仅在特定尺度范围内有效。

03

比例尺在数字化地图中失去意义，因为计算机中存储的数据与距离无关。

05

时空尺度定义了人们观察地球的一种约束，是揭示地理现象规律性的关键因素。

02

空间数据在不同观察层次上遵循不同规律，体现不同特征。

04



3) 图形表达



空间数据的特征

空间数据具有重要特征，即空间性，包括空间位置、空间形状和空间关系等，这些特征通常用图形来表达。

图形表象的多样性

由于客观世界的纷繁复杂，图形表象的形式也是多种多样的，能够反映空间要素的数量或质量特征，表现空间要素的组合结构特征。

图形表达的优势

图形及其空间组合是在自然和人类综合的、多向的驱动力作用下产生的，能够科学地显示空间实体和现象的特征、分布及规律。

揭示地理现象的变化

有的图形表象可以揭示地理现象的发展变化过程与规律，而用表格和文字来实现同样的目的往往更加繁琐和抽象。



2.2

采矿与空间数据

矿山开采生产与经营管理新模式的变革背景



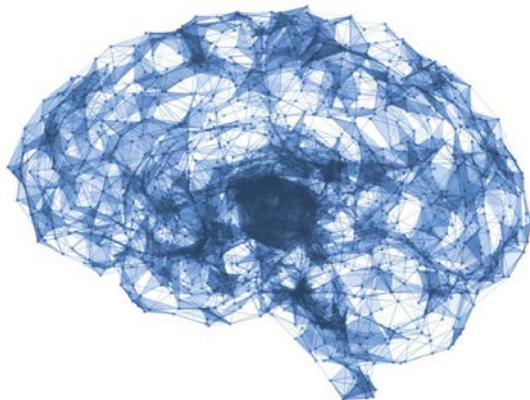


2.2.1 采矿活动的空间特征



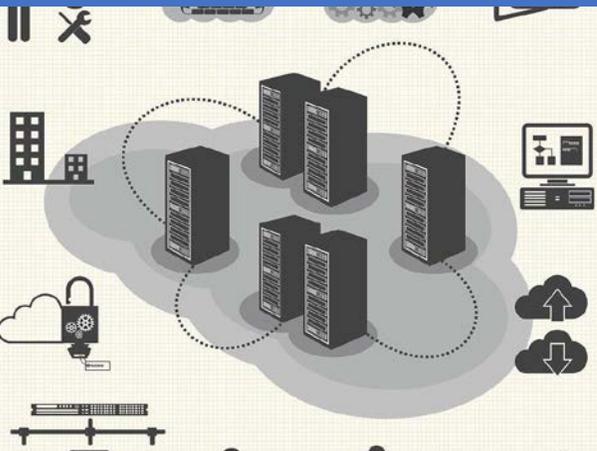
矿山企业主要目的

将矿石开采出来，开采活动发生在矿山空间，人类对该空间信息的认知是模糊的，它会随着开采过程的不断推进逐渐清晰。



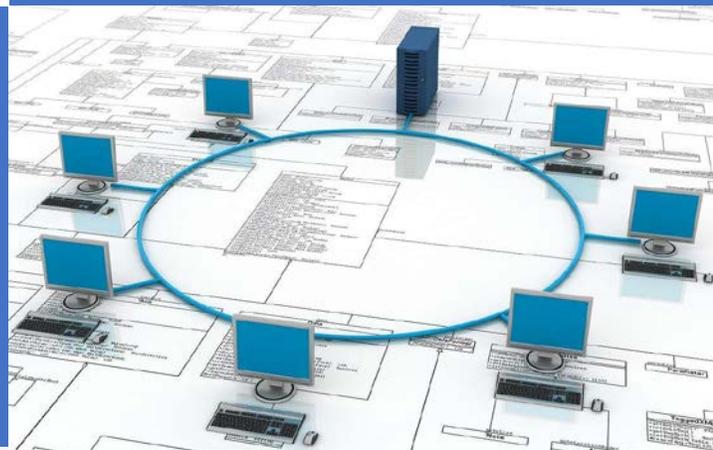
空间数据特点

空间数据是数字矿山需要重点研究的对象，且其空间数据有其显著的特点，会随着开采过程的不断推进而逐渐清晰。



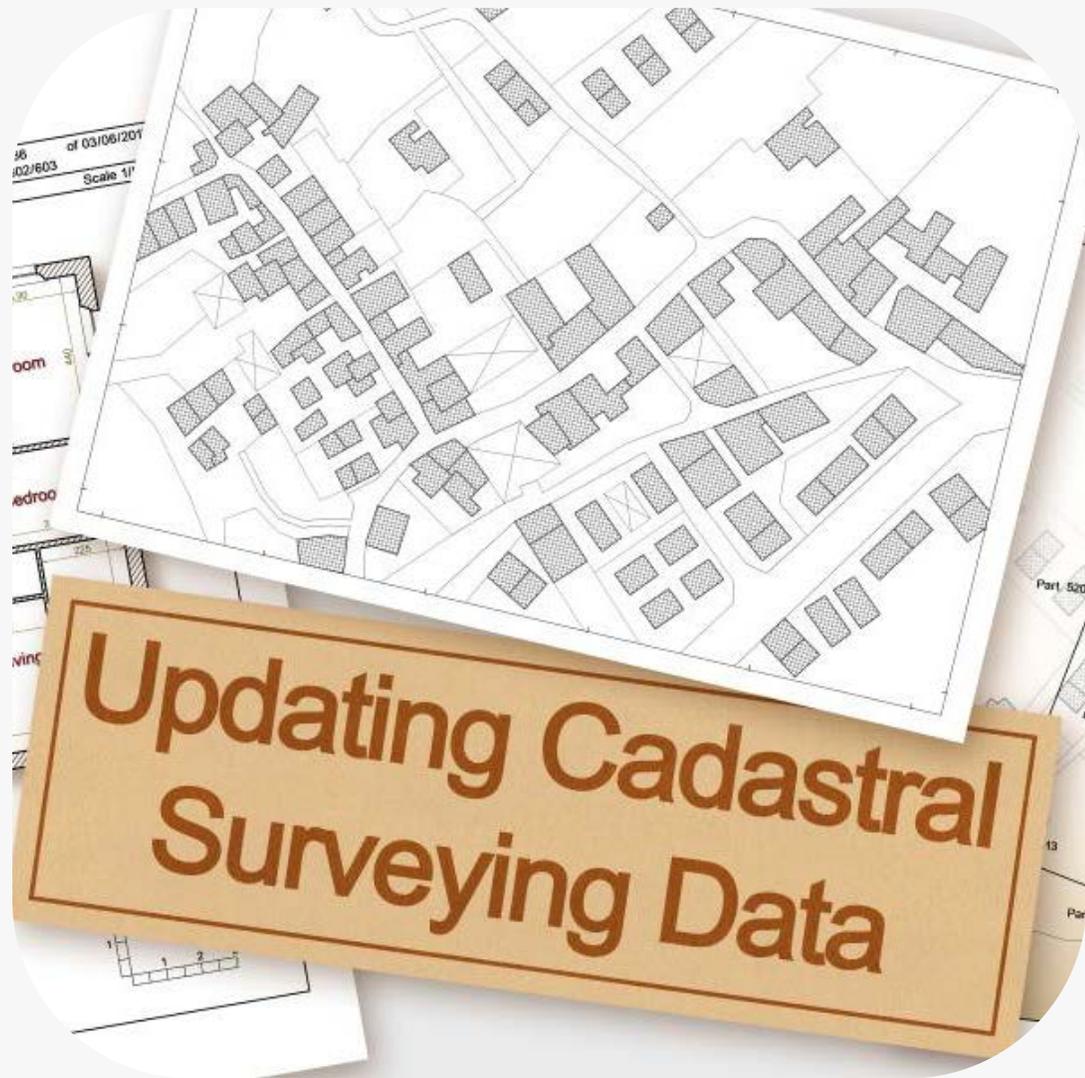
空间范围和认知变化

空间范围是变化的，空间认知是逐渐清晰的，开采活动会对空间进行扰动的，空间数据是数字矿山需要重点研究的对象。





2.2.2 矿山空间数据的特征



矿山空间数据多维关键特征

矿山空间数据涵盖地质、地形、资源分布、环境等多维关键因素，对矿山的规划、设计、开发、监管至关重要。

地质特征核心地位

地质特征是矿山空间数据核心，包括矿产分布、岩性、地层结构等，指导采矿工作实施，选择适当采矿工艺和设备，提高采矿效率。

地形特征至关重要

地形特征对矿山基础设施建设和矿区设计影响巨大，了解地表地形特征有助于合理规划交通网络，优化设备摆放，确保采矿作业安全高效。



2.2.2 矿山空间数据的特征



资源分布与采矿方案

资源分布是矿山空间数据重要特征，包括矿体形状和资源含量等，为矿山规划提供科学依据，设计合理采矿方案，确保经济效益。



环境特征与可持续发展

环境特征是矿山空间数据关键组成部分，包括水资源、植被分布、气候条件等，合理管理和利用水资源，保护周围植被，监测气候变化，降低矿山对环境的影响。



地理信息系统 (GIS) 数据

地理信息系统 (GIS) 数据在矿山空间数据中扮演着桥梁和支撑的角色，提供空间坐标、地图等信息，整合和分析各类空间数据。



矿山空间数据多维分析

矿山空间数据基本特征涉及多个层面，包括地质、地形、资源分布、环境等多个方面，有助于提高矿山的生产效率，降低环境影响，实现可持续发展。



2.3

矿山空间数据模型

矿山开采生产与经营管理新模式的变革背景





1) 矢量数据结构



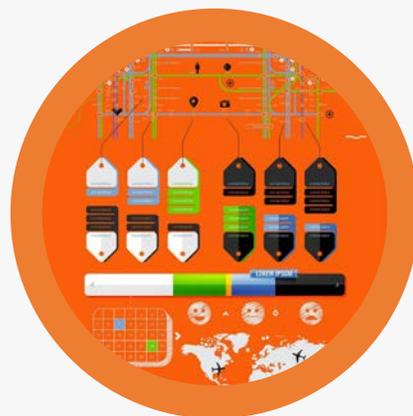
矢量数据结构

利用欧几里得几何学中的点、线、面及其组合体来表示地理实体空间分布的数据表达方式。



地理空间直观表达

矢量数据结构直观地表达地理空间，精确地表示实体的空间位置，能通过拓扑关系描述空间关系。



地图多维实体表达

矢量数据结构对地图上出现的多维实体具有较强表达力，能方便地进行比例尺变换、投影转换以及输出到绘图仪等设备上。



2) 栅格数据结构



栅格数据结构

栅格数据结构是一种将空间分割成有规则的网格，并在每个网格上给出相应属性值来表示地理实体的数据表达形式。

栅格数据的坐标信息

每个网格单元称为像元或像素，是栅格数据结构中的基本信息存储单元，其坐标位置可用行号和列号确定。



像元或像素

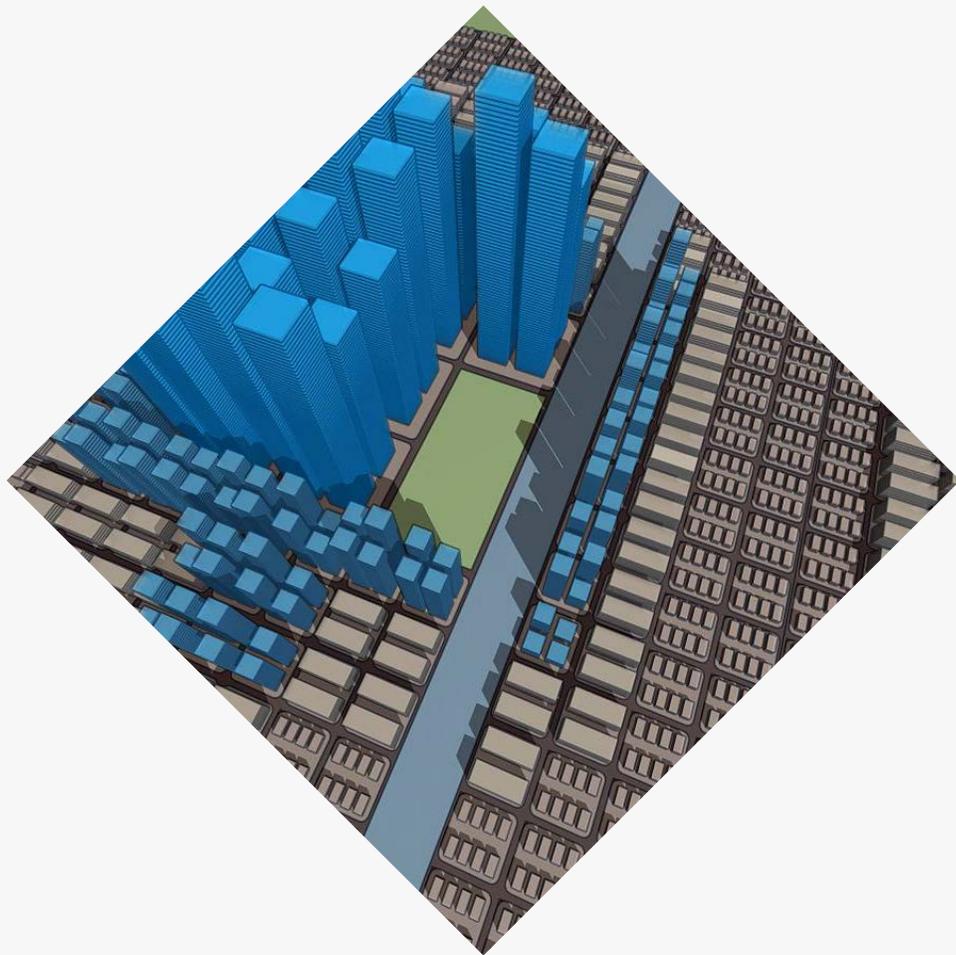
像元大小决定栅格数据的精度，是衡量栅格数据质量的重要指标，直接影响到数据的准确性和可靠性。

像元大小

基于矢量和栅格数据结构衍生出各种表达二维和三维空间的数据结构和数据模型，如面模型、体模型、场模型等。



2.3.1 面模型数据结构



基于面模型的建模方法

侧重于3D空间实体的表面表示，如地形表面、地质层面、构筑物及地下工程的轮廓与空间框架。

模拟的表面

所模拟的表面可能是封闭的，也可能是非封闭的，根据实际需求进行选择。

TIN模型和Grid模型

TIN模型和Grid模型通常用于非封闭表面模拟，而B-Rep模型和Wire Frame模型通常用于封闭表面或外部轮廓模拟。



01

规则网格

规则网格是由规则的、等间隔的网格单元组成的结构，具有结构简单和易于处理的特点，适用于规则几何体的表示和计算。

02

不规则网格

不规则网格是由不同形状和大小的网格单元组成的结构，具有自适应性和适用于复杂几何体等特点，特别适用于表示和处理具有复杂几何形状、非均匀分布的数据或非结构化数据的情况。

03

边界表示法

是以物体边界为基础来描述几何形状，它采用矢量法表达三维目标。每个物体均由有限个面构成，每个面由有限条边围成的有限个封闭域定义，每条边由起点和终点定义。

04

参数函数法

参数函数曲面表示法是一种用参数方程形式表示曲面的方法。通过参数方程，曲线上的每个点都由一个或多个参数的函数表示，可以通过变化参数的值来获得曲线上的不同点，从而构建整个曲面。

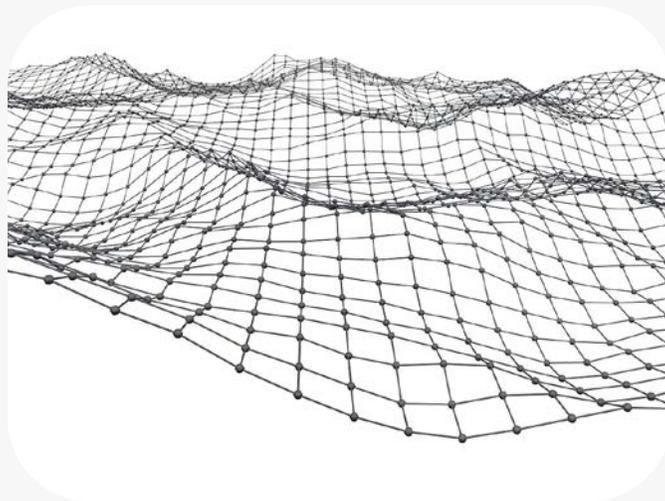


1) 规则网格



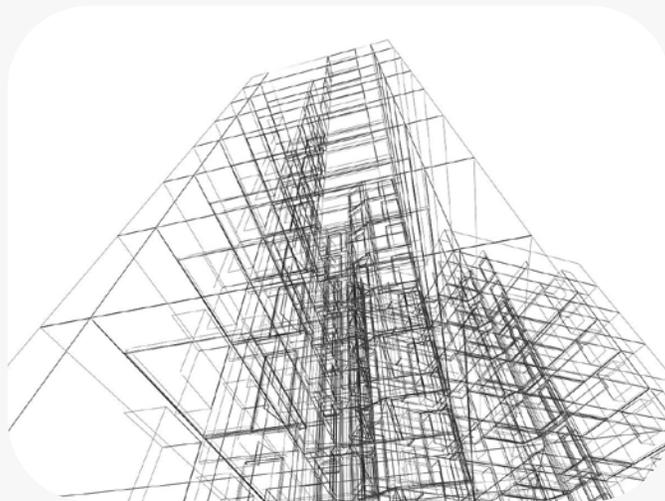
规则网格结构

规则网格是由规则的、等间隔的网格单元组成的结构，具有相同的形状和大小，以及平行的边界。



易于处理

规则网格的结构简单，对于计算机而言，其处理起来相对容易，在计算和算法上更具有效率。



结构简单

规则网格的结构简单，不需要存储每个顶点的坐标，使得计算机处理起来相对容易。

适用于规则几何体

规则网格特别适用于规则的几何体，如盒子、圆柱等，能够提供高效的表示和计算。



2) 不规则网格

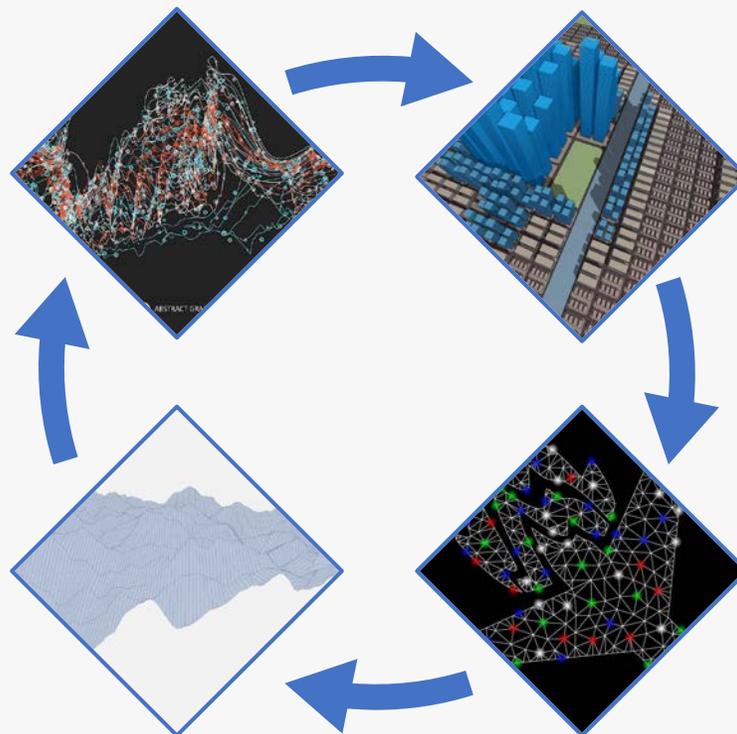


不规则网格的介绍

不规则网格是由不同形状和大小的网格单元组成的结构，最常见的不规则网格是不规则三角网。

不规则网格的优势

在一些应用中，数据可能是不规则分布的，这时不规则网格更适合描述这种非结构化的数据分布。



不规则网格的适用性

不规则网格适用于表示和处理具有复杂几何形状、非均匀分布的数据或非结构化数据的情况。

不规则网格的特点

不规则网格可以根据几何形状的复杂性自适应地分配更多的网格单元，以提高对几何体的准确表示。



3) 边界表示法



01

边界表示法

边界表示法是以物体边界为基础来描述几何形状，采用矢量法表达三维目标。

02

有限个面构成

每个物体均由有限个面构成，每个面由有限条边围成的有限个封闭域定义。

03

边界表示法的作用

边界表示法中，空间实体的几何信息和拓扑信息是分开存贮的，有利于图形生成和几何特性计算，也易于实现拓扑一致性检验。

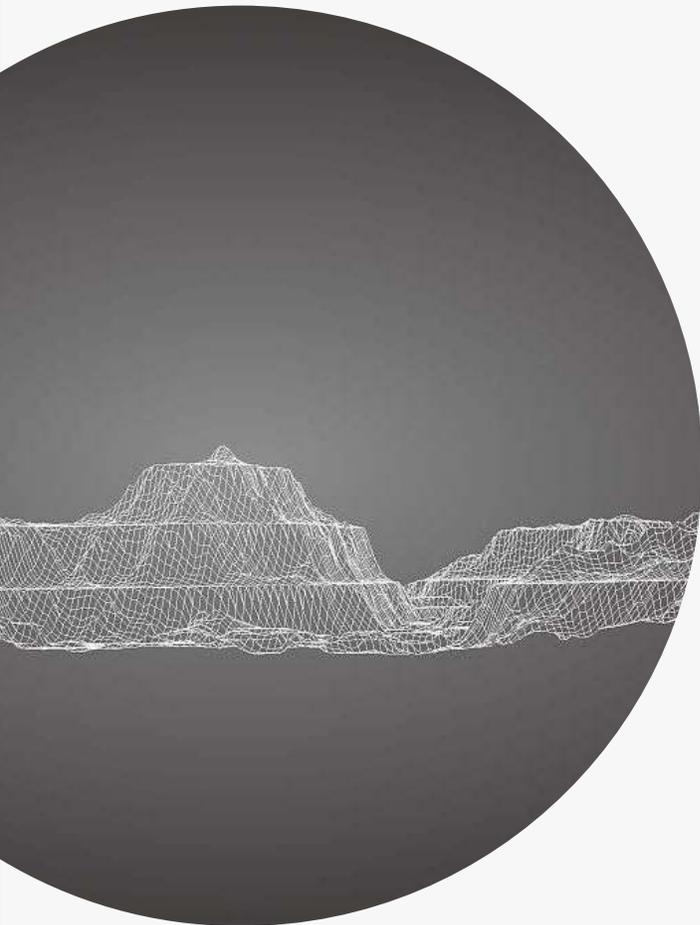
04

边界表示法的缺点

边界表示法数据维护的工作量较大，并且难于精确表达带有曲面的空间实体。



4) 参数函数法



参数函数曲面表示法

参数函数曲面表示法是一种用参数方程形式表示曲面的方法，可以通过变化参数的值来获得曲面上的不同点，从而构建整个曲面。



特点与性质

参数函数曲面表示法具有灵活性和可变性，可以通过调整参数的值来修改曲面的形状、大小、方向等属性，并进行各种变换。



数学表达

参数函数曲面表示法通常使用数学函数来描述曲面，这使得它在数学建模和计算机图形学等领域中具有广泛的应用。



4) 参数函数法



01

二次曲面

二次曲面的参数方程常常以二次多项式形式表示，例如椭圆球面的参数方程。

02

Bézier曲面

Bézier曲面是由一组控制点控制的曲面，其参数方程形式由Bézier基函数和控制点坐标决定。

03

NURBS曲面

非均匀有理B-样条曲面是由一组控制点和权重控制的曲面，其参数方程形式与Bézier曲面类似。

04

应用领域

参数函数曲面表示法在计算机辅助设计、计算机图形学、三维建模等领域中有广泛的应用，能够提供对曲面进行精确建模和控制的有效手段。



2.3.2 不规则三角网 (TIN)



TIN的基本元素

结点是相邻三角形的公共顶点，也是用来构建TIN的采样数据，边是两个三角形的公共边界，面是由最近的三个结点组成的三角形面。

TIN的优点

不规则三角网能随地形起伏变化的复杂性而改变采样点的密度和决定采样点的位置，能克服地形起伏不大的地区产生数据冗余的问题。

TIN的应用

利用不规则三角网来绘制三维立体图具有较好的显示效果，同时还能按地形特征点如山脊、山谷及其他重要地形特征获得地形数据。

TIN的数据存储

TIN的数据存储方式比格网DEM复杂，它不仅要存储每个点的高程，还要存储其平面坐标、节点连接的拓扑关系，三角形及邻接三角形等关系。

不规则三角网的优点

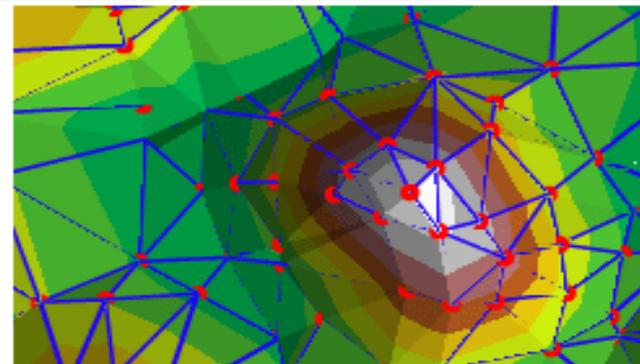
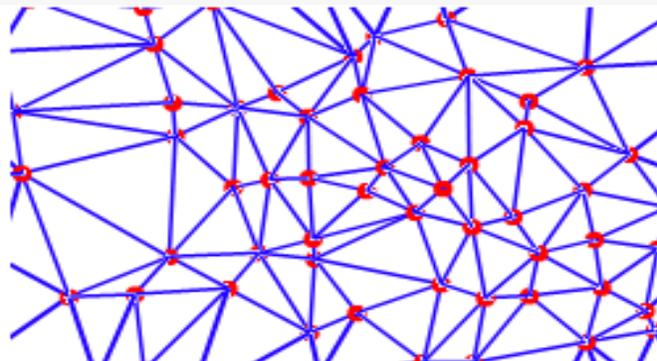
不规则三角网方法能够较好地表示复杂地形，缺点是数据结构复杂，不便于规范化管理，难以与矢量和栅格数据进行联合分析。

三角网的缺点

由于三角网是不规则排列的，计算每一点高程值的实时性不如规则网格模型，需要进行额外的计算和处理。



2.3.2 不规则三角网 (TIN)



♥ 共享顶点与面列表

不规则三角网的一种常用表示方法是使用共享的顶点列表和面的列表，这种方法在许多情况下都非常方便和高效。

☁ 半边定义

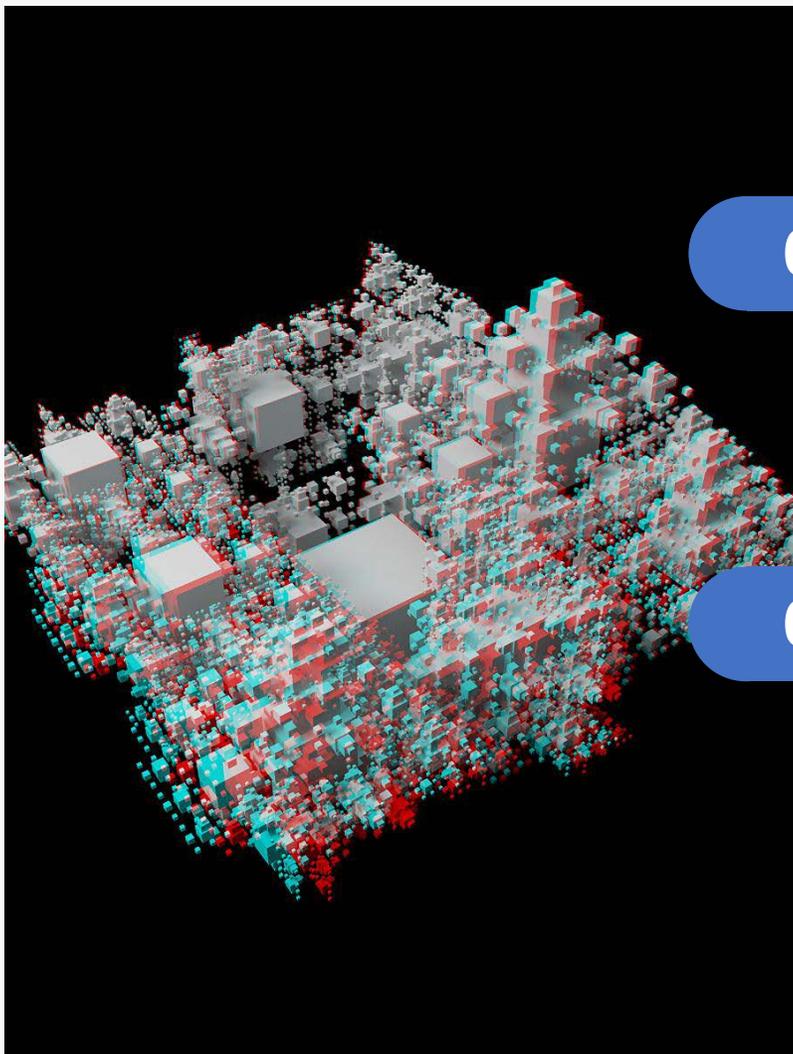
半边是边的一半，通过沿其长度分割边来构造，半边对的两条边有相反的方向，半边数据结构支持众多查询在恒定时间内执行。

🔥 半边数据结构

半边数据结构是更为有效的方式，通过记录边的左右三角形或三角形的相邻三角形来提升查询和遍历速度。

👍 数据结构特点

半边数据结构的大小是固定的且紧凑的，没有使用动态数组，即使包含了面、顶点和边的邻接信息也是如此。



01

体模型3D空间表达

体模型基于3D空间的体元分割和真3D实体表达，体元的属性可以独立描述和存储，因而可以进行3D空间操作和分析。

02

体元模型类型

体元模型可以按体元的面数分为四面体、六面体、棱柱体和多面体等类型，也可以根据体元的规整性分为规则体元和不规则体元两个大类。



1) 三维栅格结构

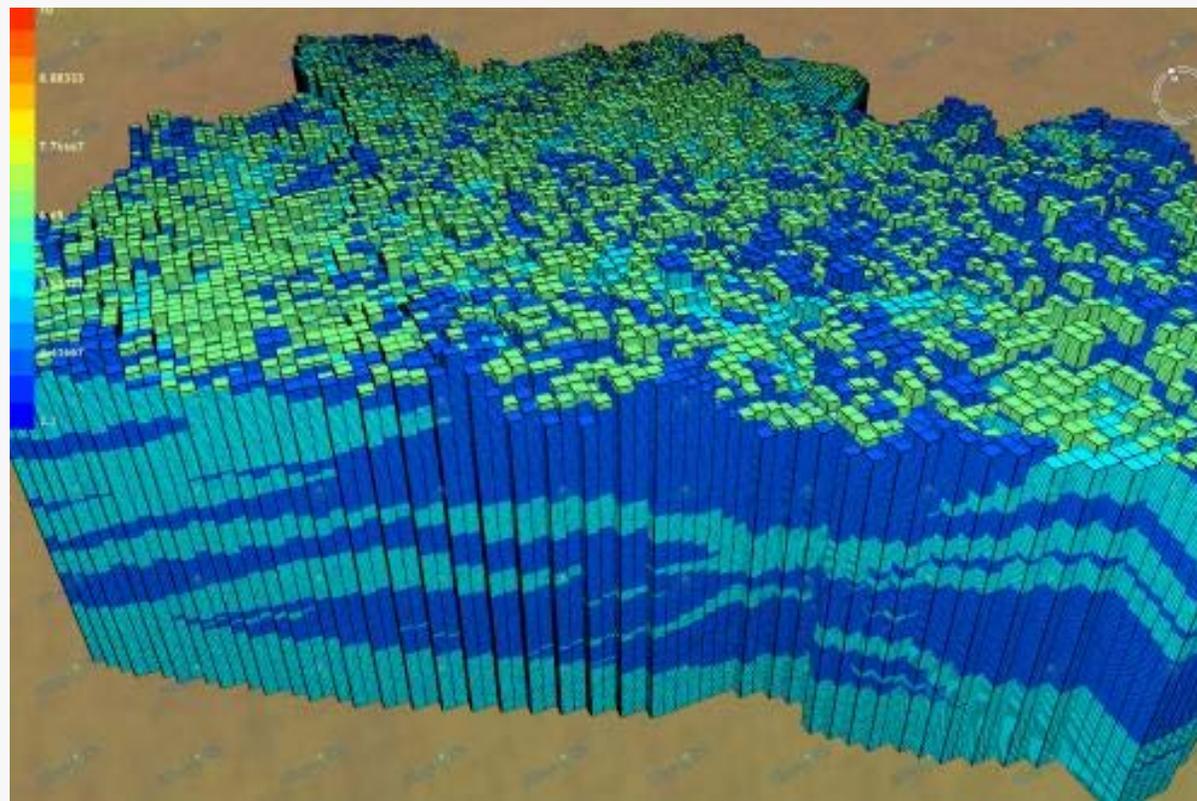


三维栅格结构

三维栅格结构是一种基于体元表示的数据结构，将地理实体的三维空间分成细小的体元，并建立与属性的实时关联。

三维栅格结构优点

八叉树结构具有树的深度小，遍历速度快的特点，其编码方法有普通八叉树、线性八叉树、三维行程编码八叉树等。





2) 八叉树结构



八叉树结构

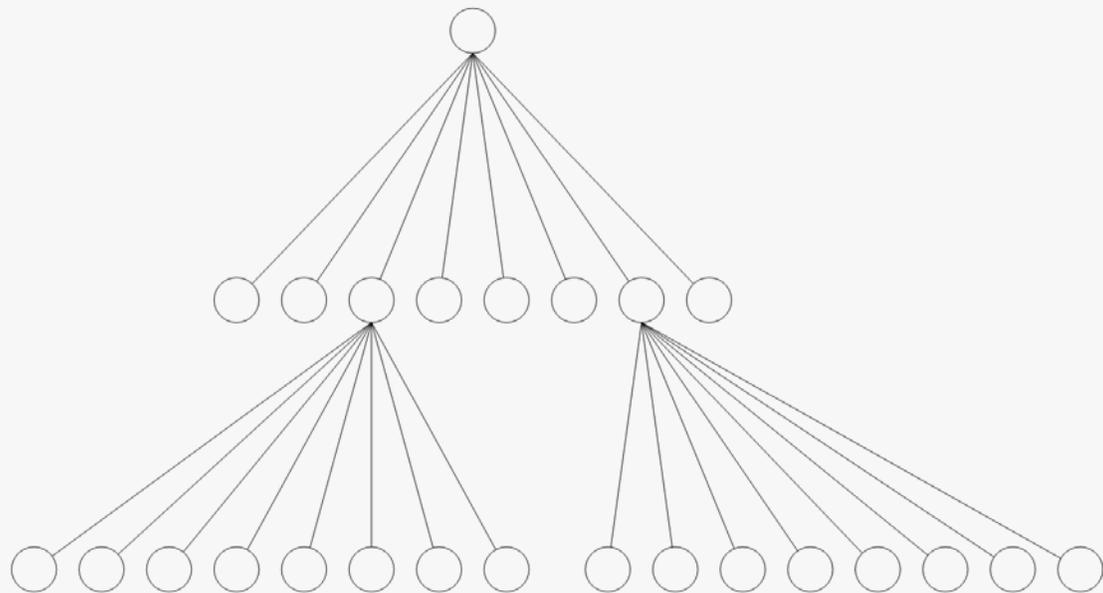
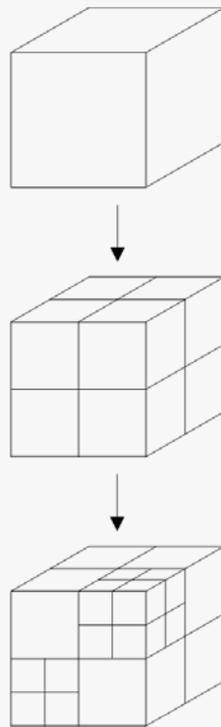
八叉树结构是由四叉树结构推广到三维空间形成的一种三维栅格数据结构，其树形的结构在空间分解上具有很强的优势，一定程度上克服了等边长立方体栅格数据量大的弊端。

八叉树结构特点

八叉树结构将一个立方体的三维空间等分为八个卦限，如果某一个卦限内的物体属于同一属性就不再细分，否则将该卦限再细分为八个卦限，直到每个体元内都属于同一属性或达到规定的限差为止。

八叉树结构优势

八叉树结构具有树的深度小，遍历速度快的特点，其编码方法有普通八叉树、线性八叉树、三维行程编码八叉树等。





3) 结构实体几何模型

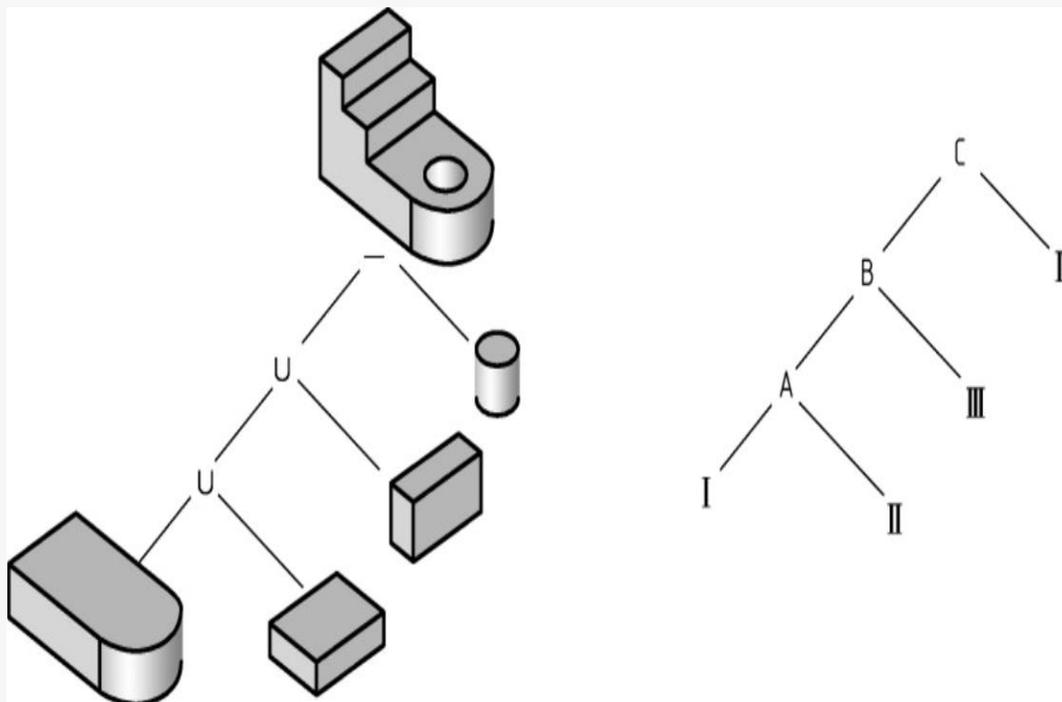


结构实体几何模型 (CSG)

是将简单的几何形体（如立方体、球体等）通过集合运算（并、交、差）和刚体几何变换（比例、平移、旋转）形成一棵有序的二叉树，以此表示复杂形体。

CSG结构特点

在几何形状定义方面具有精确、严格的优点，形状数据结构包含在判别函数的方程式中，故模型的误差很小。体和面是结构实体几何法的基本定义单位，因而其数据结构简单，存储空间小。





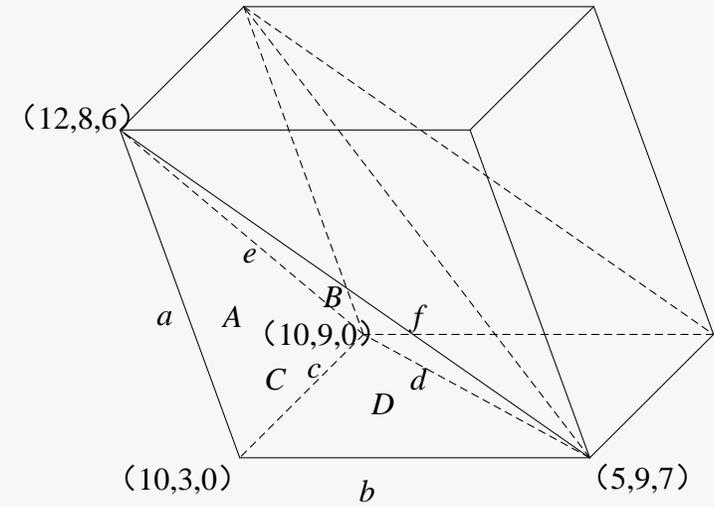
4) 四面体格网模型

四面体格网模型

模型是用紧密排列但不重叠的不规则四面体格网来表示空间目标，其实质是二维TIN结构的三维扩展。

四面体格网模型的优势

它可以提供更多的细节，从而使模型更加真实。它可以用于创建复杂的三维空间模型，如自然场景、建筑物、机器人等。



四面体

体号	面号	属性
...		
1	A, B, C, D	
...		

节点

点号	X	Y	Z	属性
1	12	8	6	
2	10	3	0	
3	10	9	0	
4	5	9	7	
...				

线

线号	起点	终点	属性
a	1	2	
b	2	4	
c	2	3	
d	3	4	
...			

三角形

面号	线段号	属性
A	a, c, e	
B	d, e, f	
C	a, b, f	
D	c, b, d	
...		



2.3.4 混合模型数据结构



基于面模型的建模方法

侧重于3D空间实体的表面表示，通过表面形成空间轮廓，便于显示和数据更新，但难以进行空间分析。

基于体模型的建模方法

侧重于3D空间实体的边界与内部整体表示，使用体元描述实现空间表示，易于空间操作和分析，但存储空间大，计算速度慢。

混合模型

综合面模型和体模型的优点，以及规则体元与不规则体元的优点，取长补短，用于更全面的3D建模和空间分析。



1) TIN-CSG混合构模



TIN-CSG混合构模

TIN-CSG混合构模是城市三维GIS构模的主要方式，TIN模型表示地形表面，CSG模型表示城市建筑物，两种模型的数据分开存储。



模型集成

表面集成

为了实现TIN与CSG的集成，在TIN模型的形成过程中将建筑物的地面轮廓作为内部约束，把CSG模型中建筑物的编号作为TIN模型中建筑物的地面轮廓多边形的属性，并且将两种模型集成在一个用户界面中。



2) TIN-Octree混合构模



TIN-Octree混合构模

TIN-Octree混合构模是一种混合模型，它结合了TIN（三角形索引网络）和Octree（八叉树）的优点。



模型优势

TIN-Octree混合模型有效地表达了三维空间物体的表面和拓扑关系，并利用指针建立了TIN和Octree之间的联系。



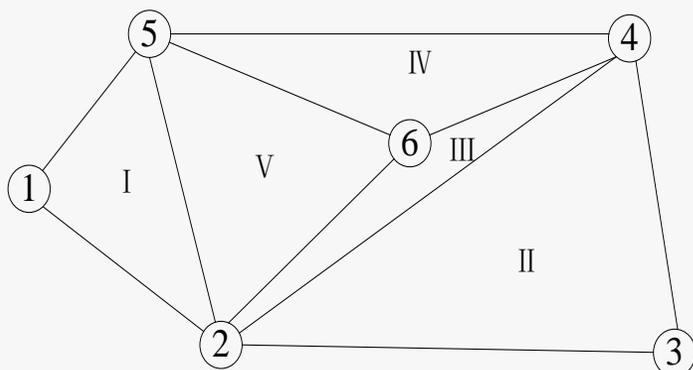
数据结构

TIN-Octree混合模型的数据结构由相邻三角形文件、节点文件、坐标文件、指针文件和八叉树文件等五个文件构成。





2) TIN-Octree混合构模



三角形邻接表

三角形编号	邻接三角形
I	0, V, 0
II	III, 0, 0
III	V, IV, II
IV	V, 0, III
V	I, IV, III

指针文件结构表

三角形编号	八叉树指针
I	1
I	1
II	30
III	37
IV	37
V	572
V	573

三角形节点表

三角形编号	节点编号
I	1, 5, 2
II	2, 4, 3
III	2, 6, 4
IV	6, 5, 4
V	2, 5, 6

八叉树文件存储结构

地址	键值	级
1	1	18
2	30	17
3	37	17
4	572	16
5	573	16

节点坐标表

节点编号	坐标
1	X_1, Y_1, Z_1
2	X_2, Y_2, Z_2
3	X_3, Y_3, Z_3
4	X_4, Y_4, Z_4
5	X_5, Y_5, Z_5
6	X_6, Y_6, Z_6

TIN-Octree混合模型

TIN-Octree混合模型及其数据结构如图所示，TIN模型描述八叉树模型所反映的三维目标的表面细节。

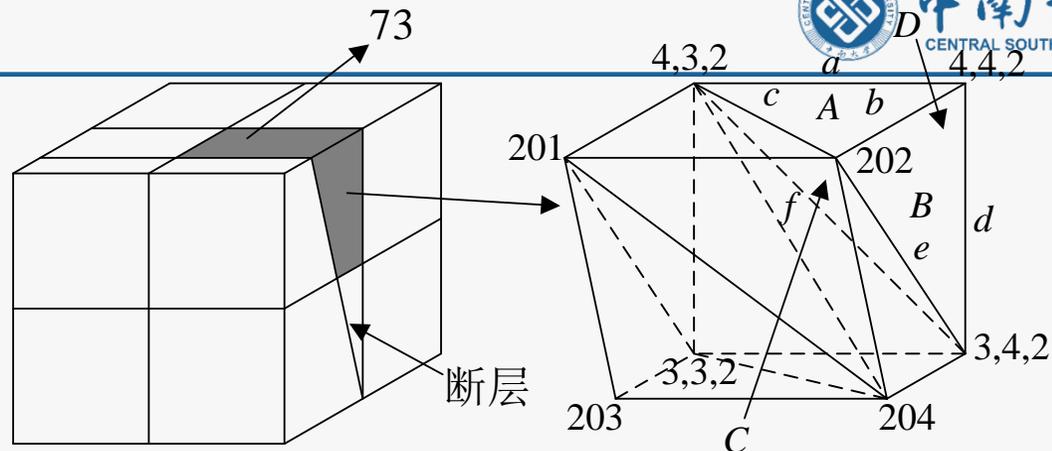




3) Octree-TEN混合构模

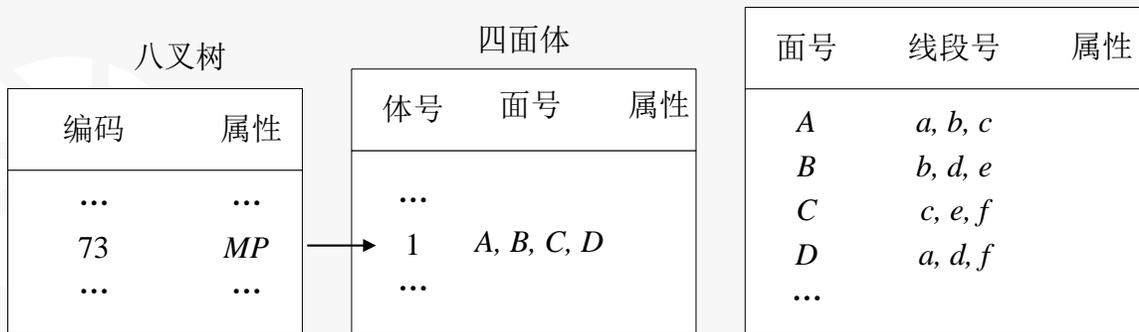
八叉树与四面体格网结合

李德仁院士提出八叉树结构与四面体格网结合的混合数据结构，发挥两种数据结构的优点。



Octree-TEN模型

Octree-TEN模型是一种混合数据结构，以Octree作整体描述，以TEN做局部描述，能够解决复杂情况的建模问题。



八叉树与四面体格网结合的方法

通过八叉树编码可以得到八分体的顶点，将它们与八分体内的特征点结合起来形成局部四面体格网。



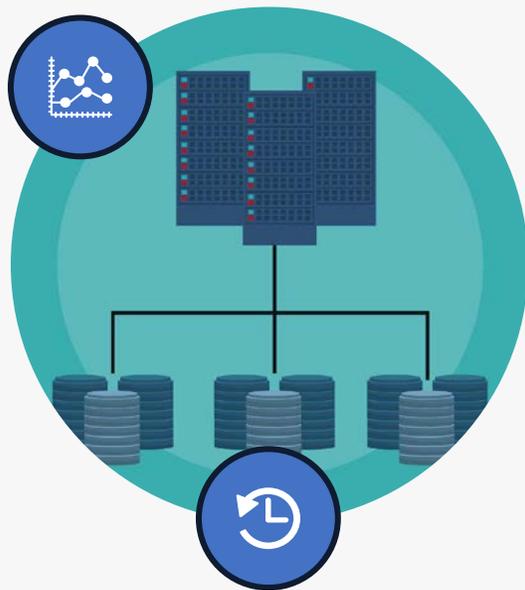


2.3.5 场模型数据结构



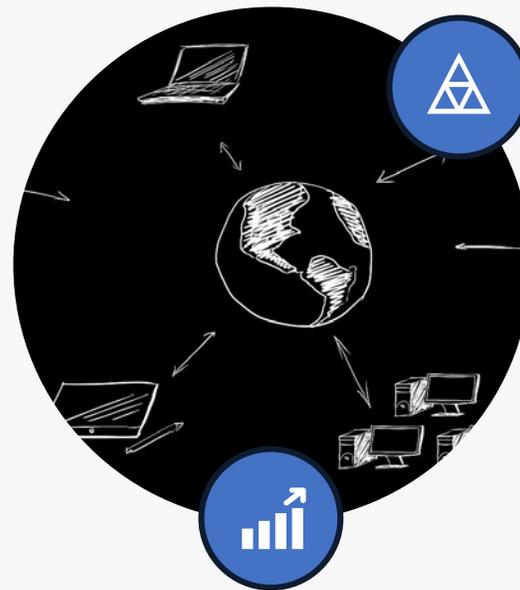
场模型数据结构

场模型数据结构是一种用于模拟场或现象的数据结构，通常由一组数字、字母和符号组成。



数字

数字是场模型数据结构中的基本元素，用于表示场或现象的属性、状态和变化。



字母

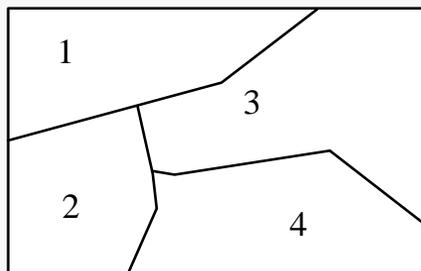
字母是场模型数据结构中的辅助元素，用于表示场或现象的边界条件、控制参数和计算公式。

符号

符号是场模型数据结构中的特定元素，用于表示场或现象的初始条件、终止条件和计算结果。



1) 栅格模型



1	1	1	3	3
1	1	3	3	3
1	2	3	3	3
2	2	4	4	3
2	2	4	4	4

栅格数据结构

栅格数据结构是一种表达现实世界的方式，通过坐标隐含和属性信息明显的特点来表达。

空间坐标

每个像元的空间坐标不一定要直接记录，因为像元记录的顺序已经隐含了空间坐标。

栅格数据

栅格数据结构简单，常用于属性场的表达，每个像元由行列号确定其平面位置。

属性编码

通过给像元赋予属性，可以表达该像元所覆盖的空间实体的类型或属性值的编码。





2) 数学模型



数学模型的重要性

数学模型在物理场、工程场、经济场等许多领域中都发挥着重要的作用，是解决各种实际问题的关键。



隐函数模型

隐函数模型是一种重要的数学模型，它通过将问题分解为多个变量之间的关系，间接地表达了场的数学模型。



神经网络场

神经网络场是一种模拟人类神经系统的模型，它通过连接多个神经元，模拟了大脑的信号传递和信息处理过程。





(1) 隐函数



隐函数定义场

隐函数可用来表示场，场中每个点的属性值都是连续变化的。



隐函数形式

隐函数是指在一个方程中，一个变量的表达式不是显式给出，而是通过方程的其他部分来定义。



隐函数应用

隐函数在数学和工程领域中是常用的建模工具，可以用来描述各种物理现象和化学反应。



隐函数求导

隐函数方程通常要求导数来分析场的性质和行为，以便更好地理解 and 解决实际问题。



(2) 神经网络场



神经网络场处理

在神经网络场中，通常会使用卷积神经网络或其他深度学习架构来处理空间数据。

神经网络场应用

神经网络场在计算机视觉、图像处理 and 模式识别等领域中发展迅速，尤其在三维建模技术中。

神经网络场作用

神经网络场可用于分析和处理各种类型的场数据，如图像场、音频场和视频场等。

神经网络场

神经网络场是一种表示场的方法，将神经元或神经网络层的输出解释为场的属性值。

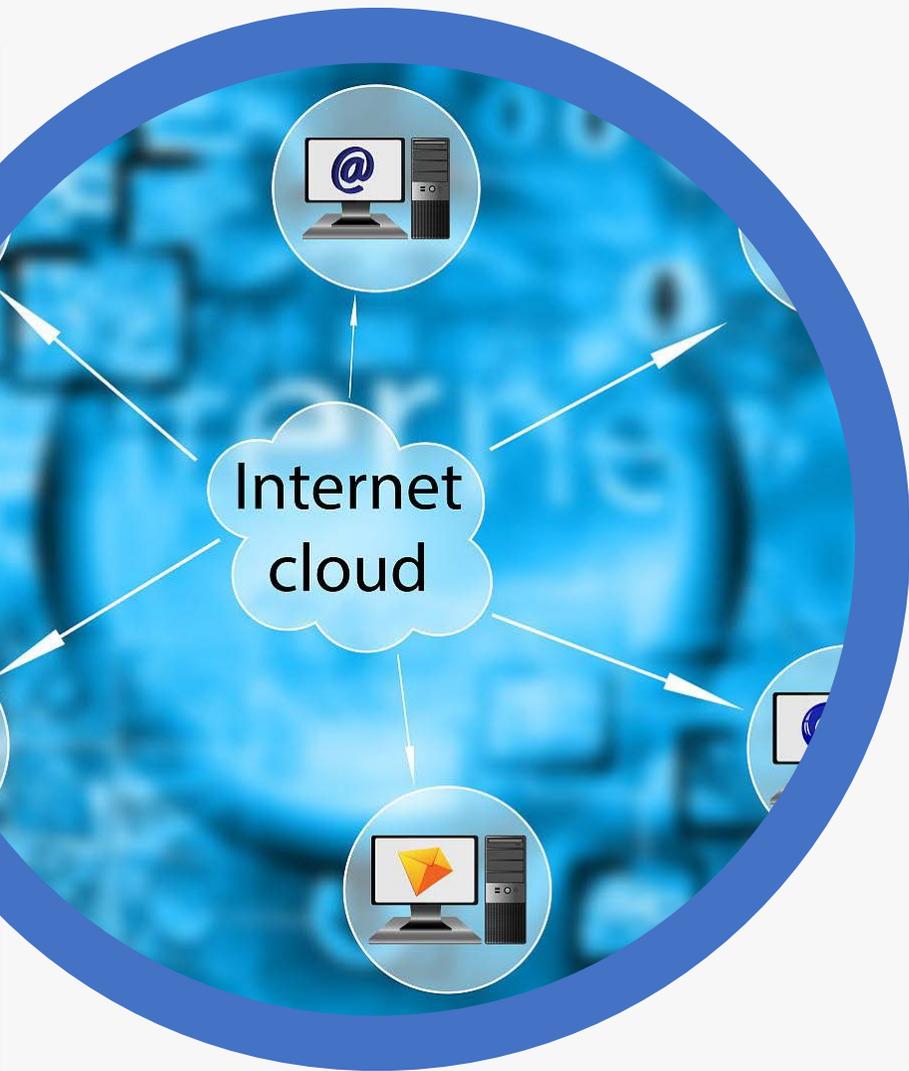


神经网络场应用领域

神经网络场在多个领域中都有应用，包括但不限于计算机视觉、图像处理、模式识别等。



2.3.4 网络模型数据结构



01

网络模型数据结构概述

网络模型数据结构是用于网络模型化的一种数据结构，它能够高效地存储和操作网络模型数据。

02

网络模型数据结构定义

网络模型数据结构包括节点、边、属性等基本元素，以及这些元素之间的联系和约束。

03

网络模型数据结构应用

网络模型数据结构在风网解算、路网优化、露天矿就境界优化等领域都有广泛的应用。



1) 网络模型基础-图论



图的定义



图由一些点和这些点之间的连线组成，每个点称为顶点，边集是顶点的非空有限集合。

顶点个数和边数



顶点的个数用 n 表示，边的条数用 m 表示，通常用数字、字母或符号表示。

图论介绍

图论是数学的一个重要分支，主要研究图的性质、关系和算法。

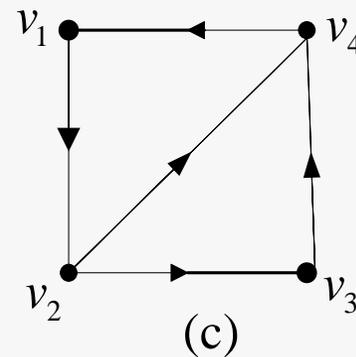
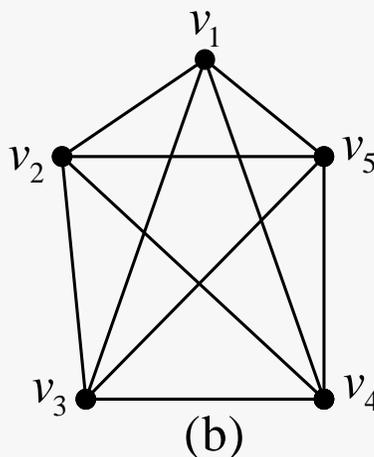
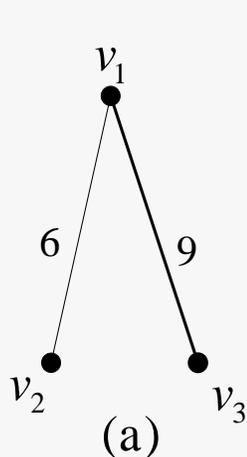
顶点集和边集

顶点集是指所有顶点的集合，边集是指所有边的集合，而边一般用 E 表示。





(1) 无向图和有向图



01

无向图和有向图的定义

无向图是没有方向的图，有向图是有方向的图。

02

无向边和有向边的区别

无向图中的边称为无向边，有向图中的边称为弧。

03

顶点、弧和有向图记法

连接两顶点 v_i 和 v_j 的无向边记为 (v_i, v_j) 或 (v_j, v_i) ，连接两顶点 v_i 和 v_j 的有向边记为 $\langle v_i, v_j \rangle$ 。

04

起点、终点和弧头、弧尾

有向图的弧的起点称为弧头，弧的终点称为弧尾。

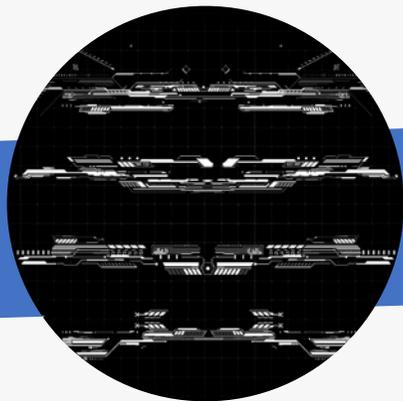
05

顶点集和弧集

有向图一般记为 $D=(V, A)$ ，其中 V 为顶点集， A 为弧集。



(2) 简单图和完全图



边的定义

在图中，边是连接两个顶点的线段，又称之为邻边。

。



端点的定义

图的端点是边的起点和终点，称为相邻边。

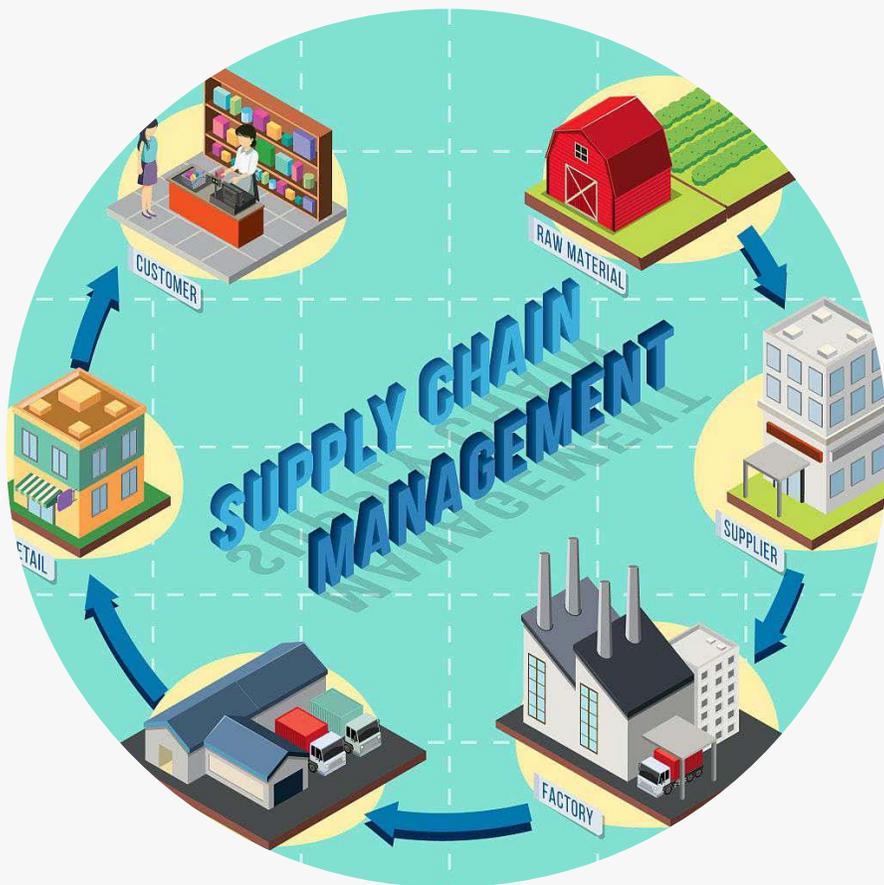


重边的定义

如果两条边与有共同的端点，则称边与相邻。



(2) 简单图和完全图



环的定义

两 endpoint 均相同的边为环。

孤立点的定义

不与任何边相关联的顶点为孤立点。

简单图的定义

无环且无重边的图称为简单图。



(2) 简单图和完全图



完全图的定义

任意两点均相邻的简单图称为完全图。

完全图的顶点数

含个顶点的完全图记为。





(3) 赋权图



● 赋权图定义

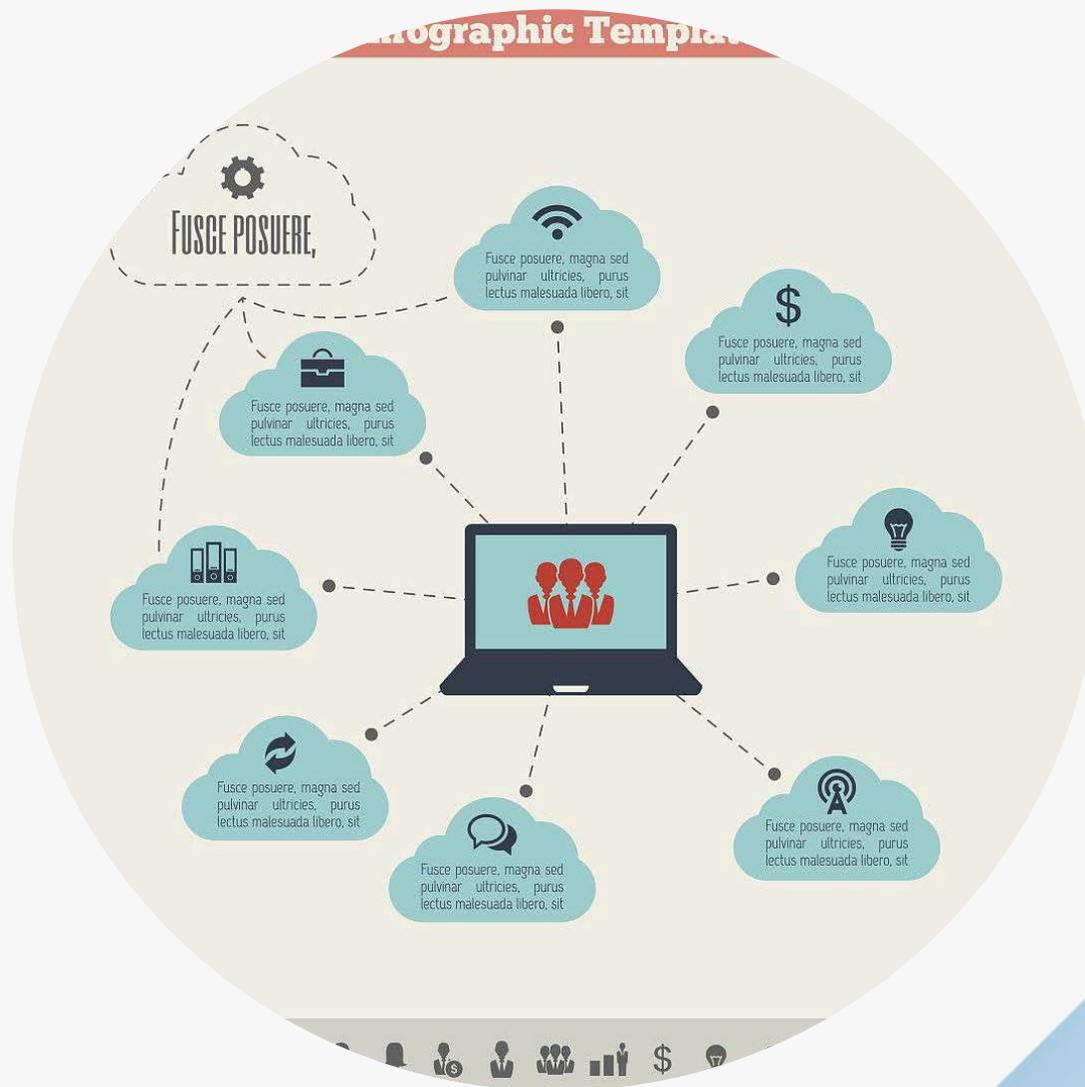
如果图的每条边都附有一个实数，则称图为赋权图，实数称为边的权。

● 赋权图也称为网络

赋权图中的权可以是距离、费用、时间、效益、成本等。

● 有向赋权图定义

如果有向图的每条弧都被赋予了权，则称为有向赋权图。





(4) 顶点的度



无向图中的度

在无向图中，与顶点关联的边的数目称为度，记为。



有向图中的度

在有向图中，从顶点引出的弧的数目称为出度，记为，从顶点引入的弧的数目称为入度，记为，称为的度。



奇顶点与偶顶点

度为奇数的顶点称为奇顶点，度为偶数的顶点称为偶顶点。



图的度数和边数关系

给定图，所有顶点的度数之和是边数的2倍，即。

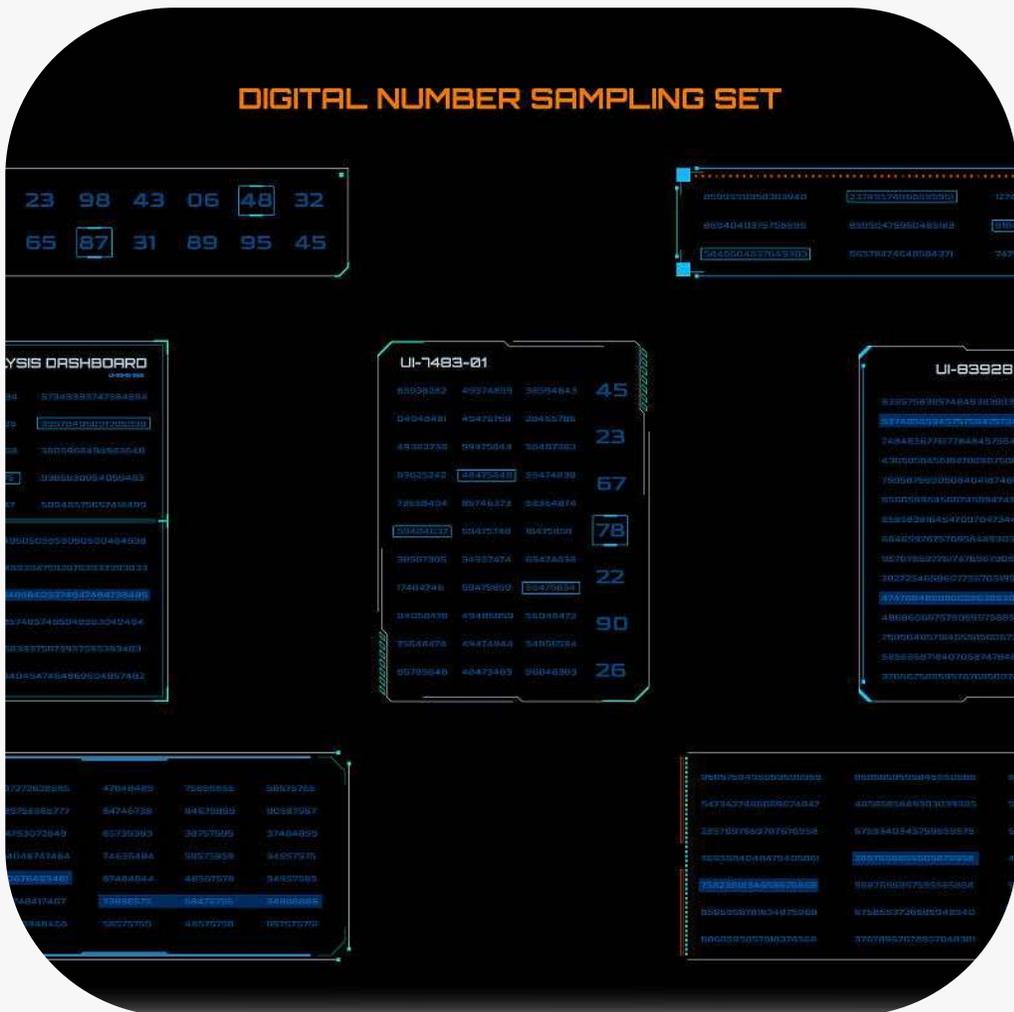


奇顶点数量要求

任何图中奇顶点的总数必为偶数。



(5) 子图



子图定义

设G和H是两个图，如果G中存在一个子图H，使得H中每个节点都存在于G中，则称H为G的子图。

生成子图

如果G的子图H满足H中的每个节点都存在于G中，并且H中存在边，则称H为G的生成子图。



(6) 道路与回路



图论中, 设 $G=(V,E)$ 是给定的图, 其中 V 是顶点集合, E 是边集合, 对于任意一对顶点 u 和 v , $d(u,v)$ 表示从 u 到 v 的路径上的边数。

道路与迹

在图中, 各边相异的道路称为迹 (trail), 各顶点相异的道路称为轨道 (path)。

道路与回路



回路与圈

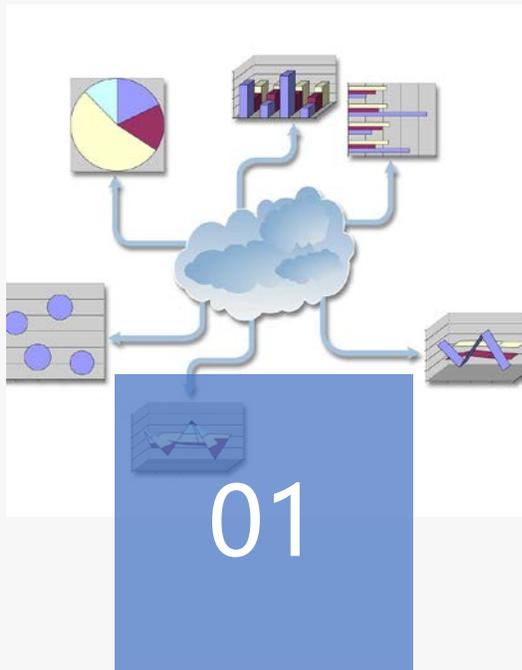
对于轨道, 当 $u=v$ 时, 轨道长度为2; 当 $u \neq v$ 时, 轨道长度为1。

顶点距离

起点和终点重合的道路称为回路, 起点和终点重合的轨道称为圈。



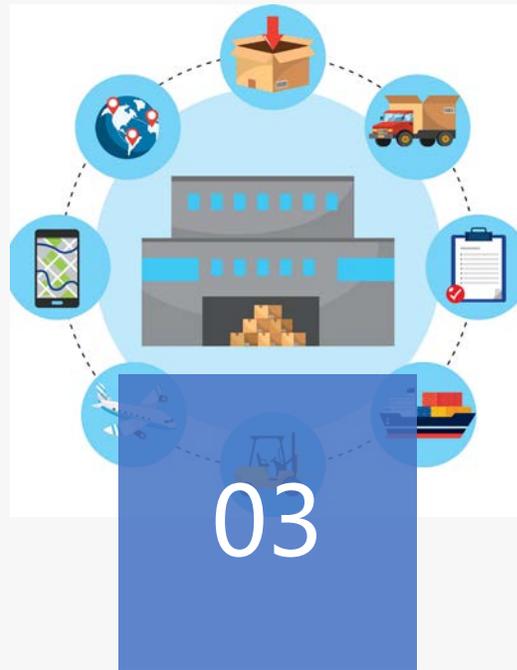
(7) 连通图与非连通图



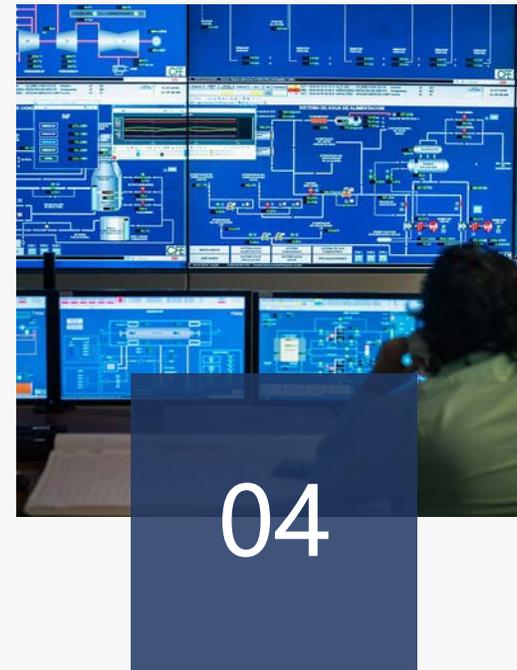
在无向图中，如果从顶点到顶点存在道路，则称顶点和是连通的。



如果图中的任意两个顶点和都是连通的，则称图是连通图。



非连通图中的连通子图，称为连通分支。



在有向图中，如果对于任意两个顶点和，从到和从到都存在道路，则称图是强连通图。



2) 图的矩阵表示



本节均假设图为简单图，其中， E 分为顶点与边的关联矩阵和顶点与顶点的邻接矩阵。

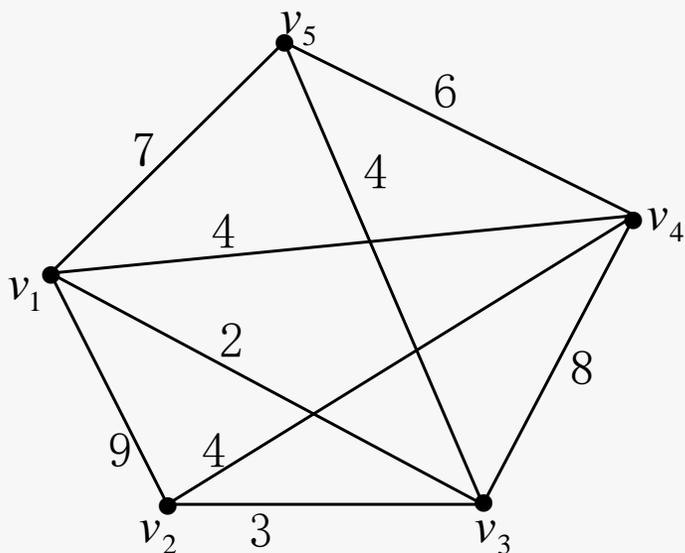
图的矩阵表示

对于无向图，其关联矩阵，对于有向图，其关联矩阵。

关联矩阵

对无向非赋权图，其邻接矩阵，对有向非赋权图，其邻接矩阵，对无向赋权图，其邻接矩阵。

邻接矩阵



$$A = \begin{bmatrix} 0 & 9 & 2 & 4 & 7 \\ 9 & 0 & 3 & 4 & 0 \\ 2 & 3 & 0 & 8 & 4 \\ 4 & 4 & 8 & 0 & 6 \\ 7 & 0 & 4 & 6 & 0 \end{bmatrix}$$



3) 网络数据模型



地理网络

地理网络是GIS中独特的数据实体，由线性实体连接形成系统。现实世界中，资源由网络传输，实体间联络由网络实现。



地理网络特点

地理网络具有空间定位上的地理意义和目标复合上的层次意义，与图论中的网络相比具有复杂地理目标的特点。



网络数据模型

网络数据模型是现实世界网络系统的抽象表示，空间实体被抽象为点、线、面目标，构成网络的基本元素是线性实体及连接交汇点。



弧或链或边

网络的几何形状可被数字化或由现有数据源导入，且必须具有实际应用的适当属性。



(1) 链 (Link)

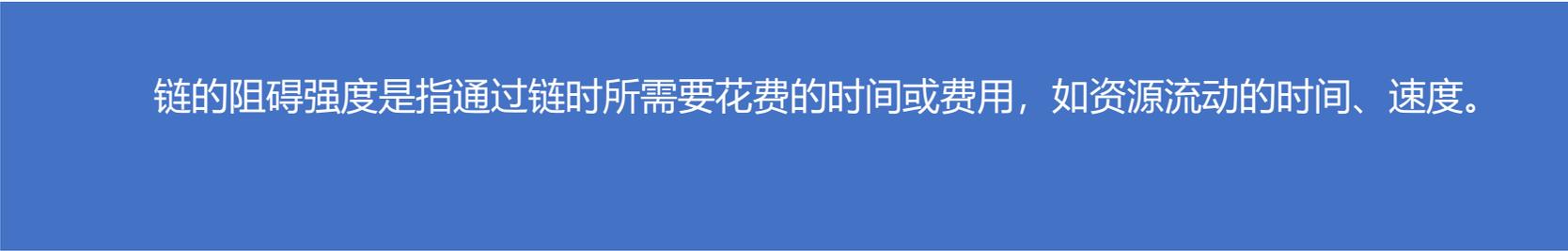


DATABASE

链是构成网络的骨架，是现实世界中各种线路的抽象和资源传输或通信联络的通道。



链包括图形信息和属性信息，链的属性信息包括阻碍强度和资源需求量。



链的阻碍强度是指通过链时所需要花费的时间或费用，如资源流动的时间、速度。



(1) 链 (Link)



链是有方向的，资源沿着不同方向流动时所受到的阻碍强度可能相同或不同。



链的资源需求量是指沿着网络链可以收集到的或可以分配给一个中心的资源总量。



不同链有不同需求量，但一条链上只有一个资源需求量。

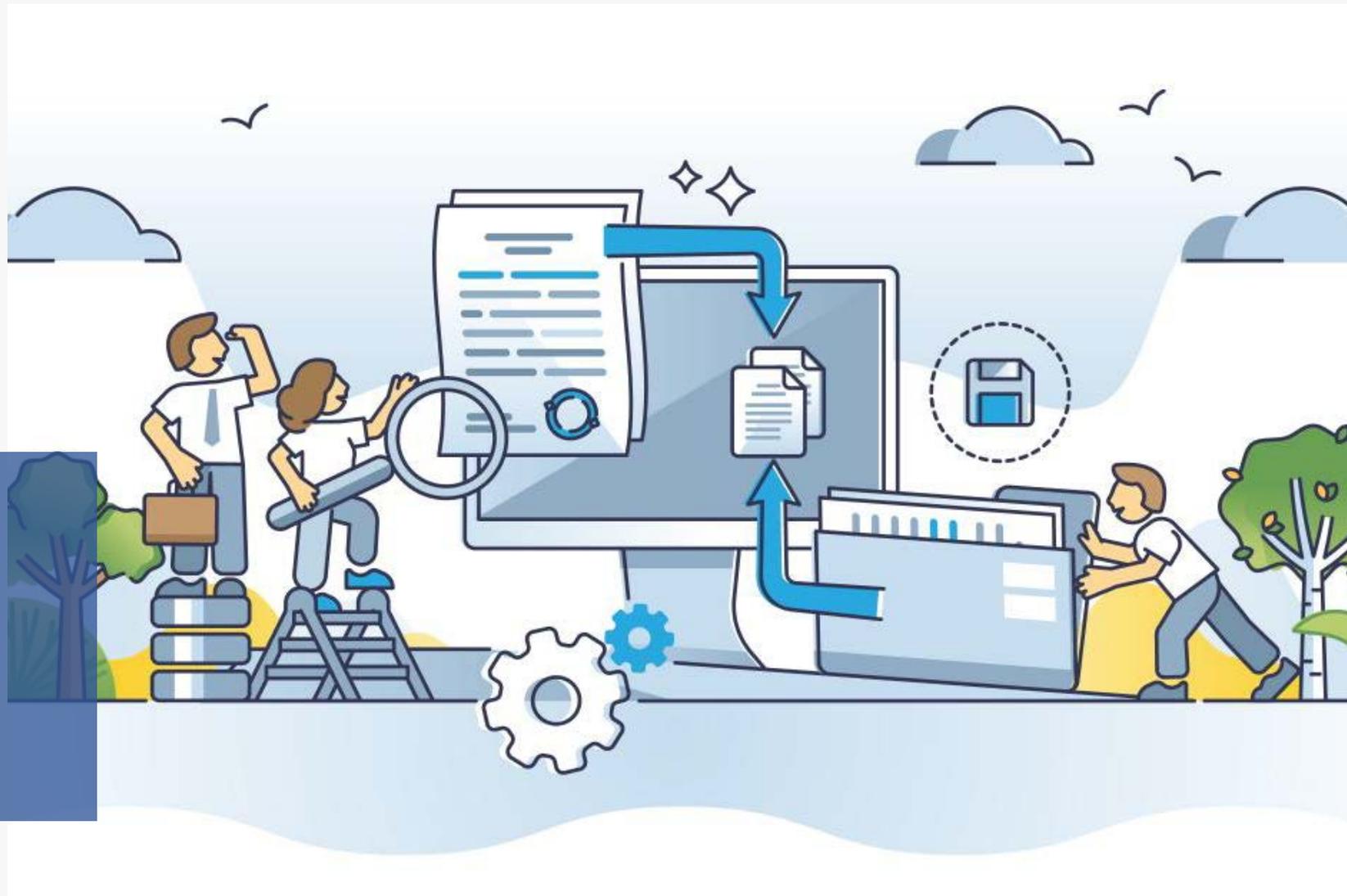


(1) 链 (Link)



在资源分配中，必须严格考虑资源的需求量，分配给一个中心的各个弧段资源需求量的总和不能超过该中心的资源需求总容量。

在路径分析中，资源需求量是一个可选择的属性，选择这个属性后，资源需求总量就会沿着所经历的弧段累积起来。





(2) 结点 (Node)



结点

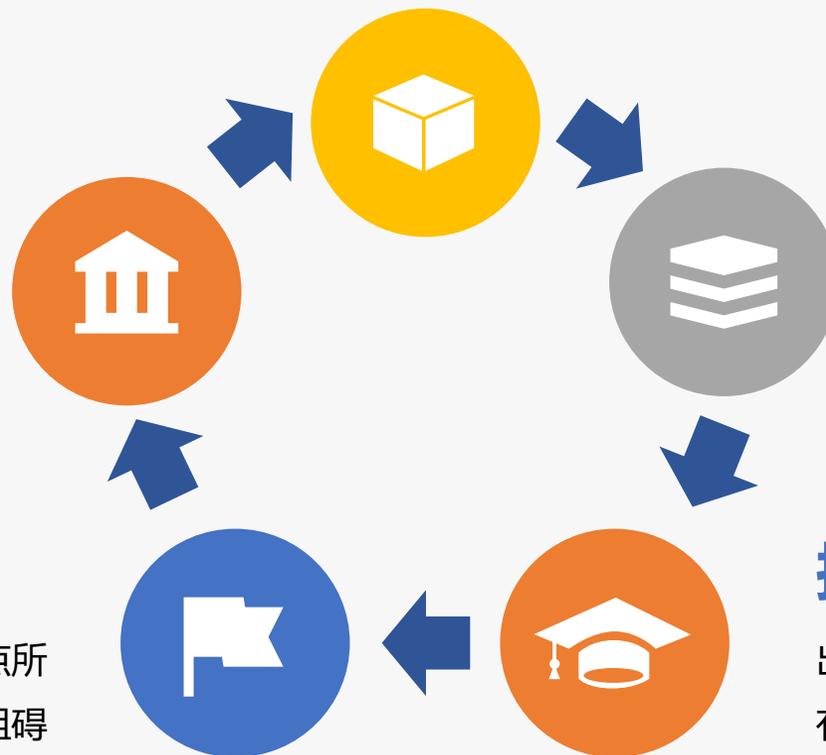
网线的端点与汇合点，表示交叉路口、中转站、河流汇合点等，其状态属性包括阻碍强度和资源需求量等。

站点

资源增减的结点，状态属性包括站的阻碍强度和站的资源需求量，分别代表与站有关的费用、时间等和资源需求量。

中心

具有容量，能够接受或分配资源的结点所在的位置，状态属性包括资源容量和阻碍强度。



障碍

禁止资源在网络中的链上流动的点，状态属性为阻碍强度，如拐弯的时间和限制。

拐点

出现在网络链中的分割结点上，状态属性有阻碍强度，如拐弯的时间和限制。

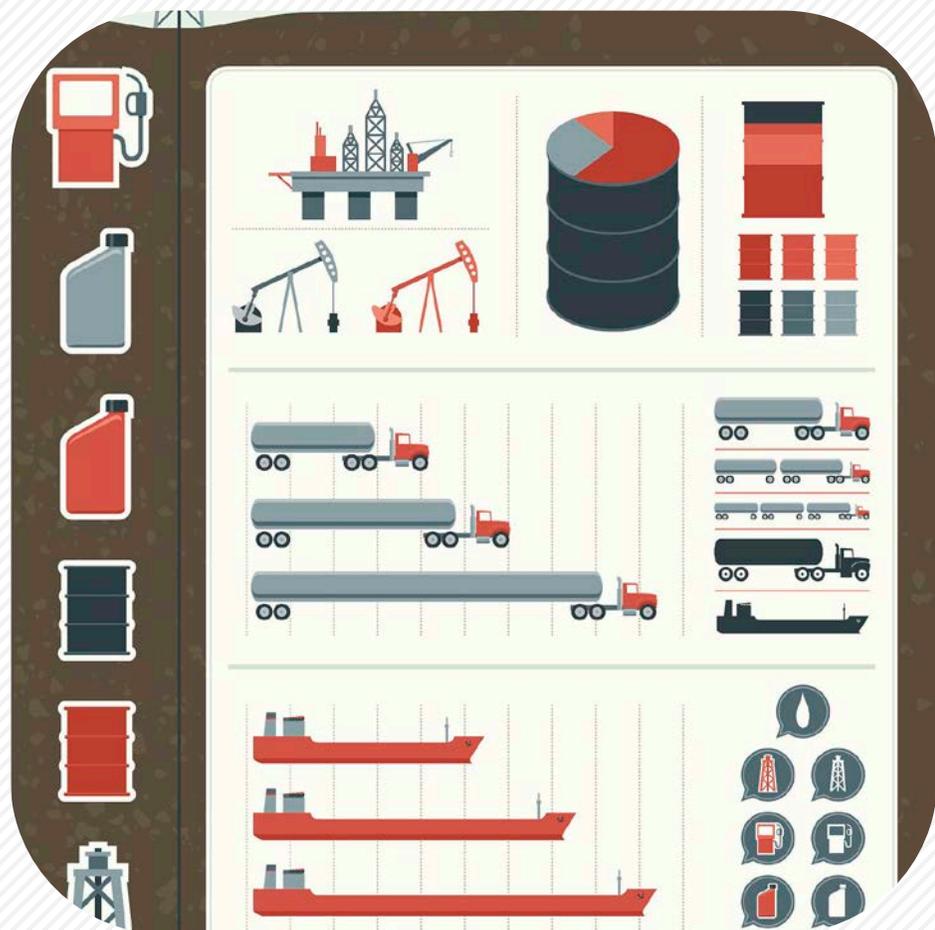


2.4

矿山主要空间数据

矿山开采生产与经营管理新模式的变革背景





● 矿山测量空间数据作用

矿山测量的空间数据是数字矿山的基础数据，用于地质勘探、资源管理、矿山设计、生产监测、环境保护、安全管理及决策制定。

● 矿山测量空间数据形式

矿山测量的空间数据可采用多种形式，包括矢量数据、栅格数据、点云数据、地质数据、水文和环境数据以及地震和振动数据。



1) 矢量数据



点数据

点数据包括地理位置的坐标和属性信息，通常用于标记重要地理点，如采矿设备、孔位、采矿工作面等。

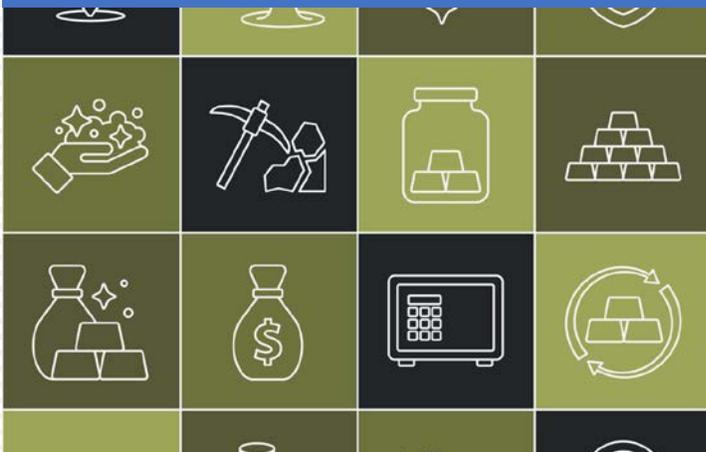
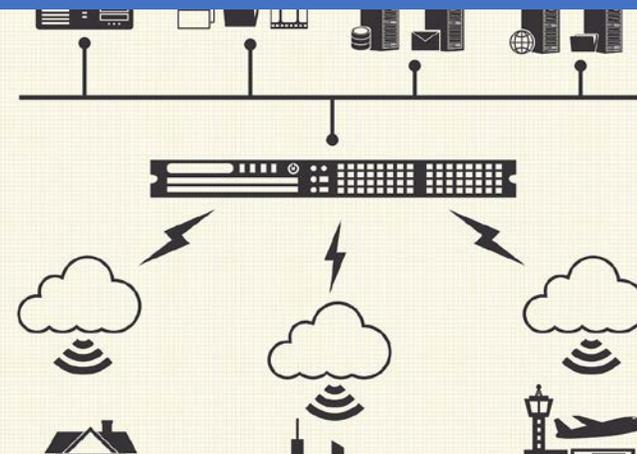


面数据

面数据用于表示具有面积的地理要素，如采矿区域、矿体、矿坑和地物覆盖，在矿业工程中有多种应用。

线数据

线数据表示具有长度和方向的地理要素，如道路、管道、输送带等，通过这些数据可以构建网络数据辅助于网络空间分析。





2) 栅格数据



高程数据

高程栅格数据表示地表或地下的海拔高度，通常以数字高程模型 (DEM) 或数字地形模型 (DTM) 的形式存在。



图像数据

图像栅格数据包括卫星图像、空中摄影图像和激光扫描图像等，用于地表特征识别和变化监测。

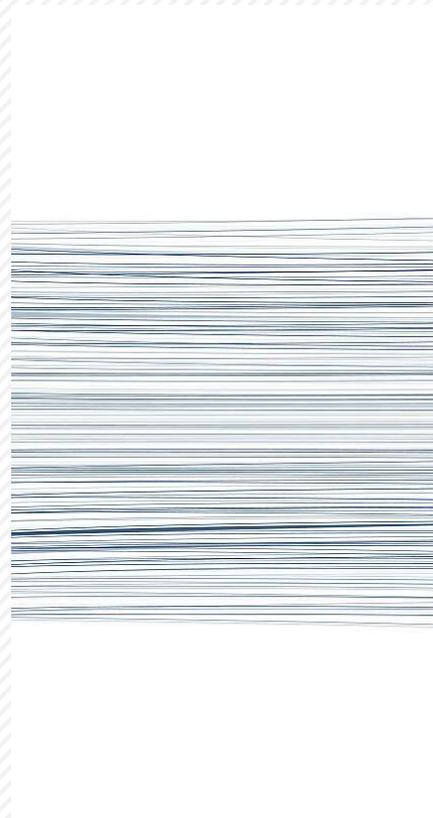


遥感数据

遥感栅格数据是从卫星、飞机或无人机等遥感平台获取的数据，用于资源勘探、地质分析和环境监测。



3) 点云数据



点云数据的定义

点云数据是大量离散点的集合，用于描述地理要素的表面形状，通常由激光扫描或无人机获取。



点云数据的应用

点云数据在地理信息系统、地质勘探、环境监测等领域广泛应用，能够高效地提取地物信息。



4) 地质数据

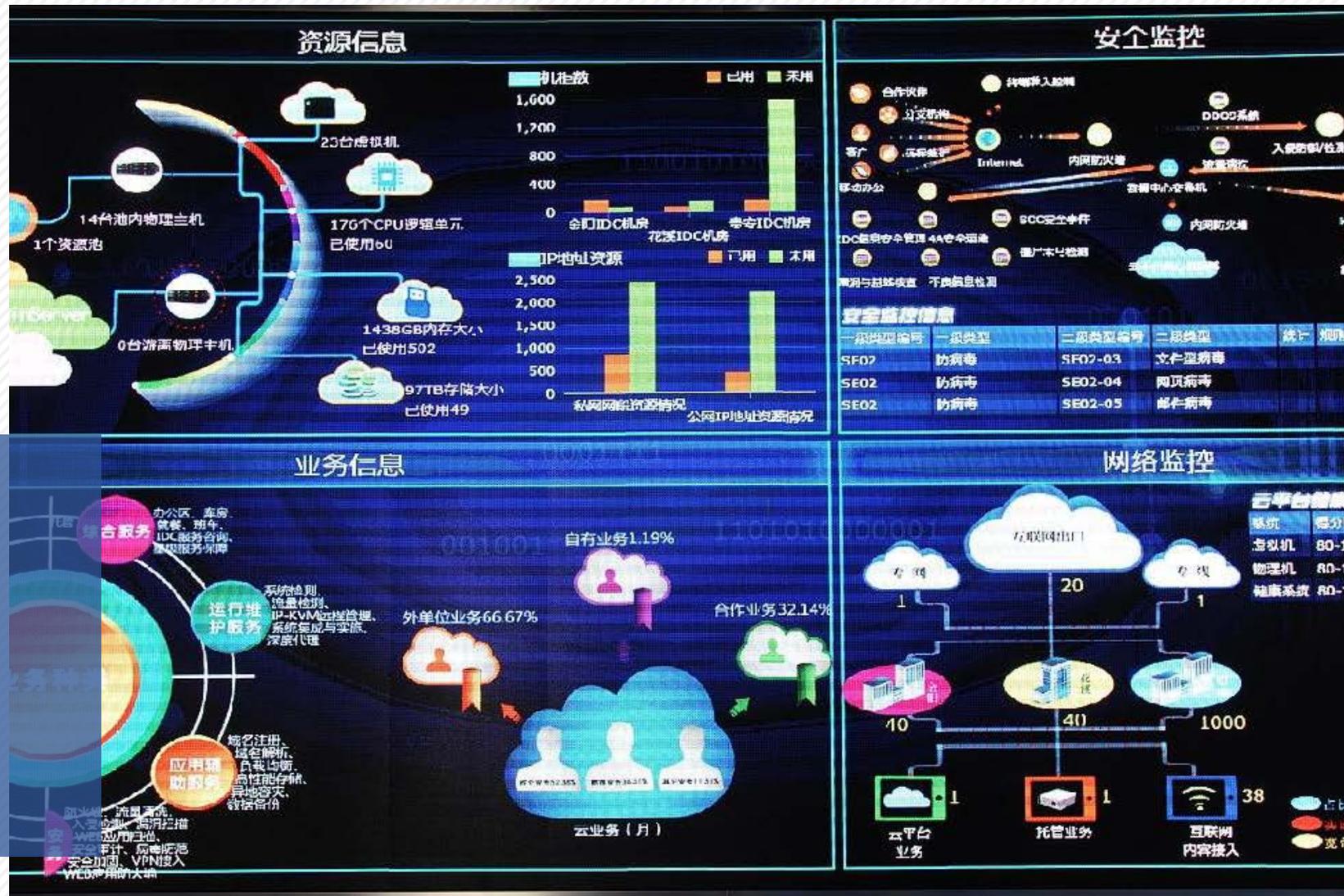


地层模型的含义

地层模型用于表示地下岩层的分布、属性和结构，有助于资源勘探和地质建模。

矿床数据的意义

矿床数据包括矿石品位、矿石类型和资源量等信息，用于资源估算和开采计划。





5) 水文和环境数据

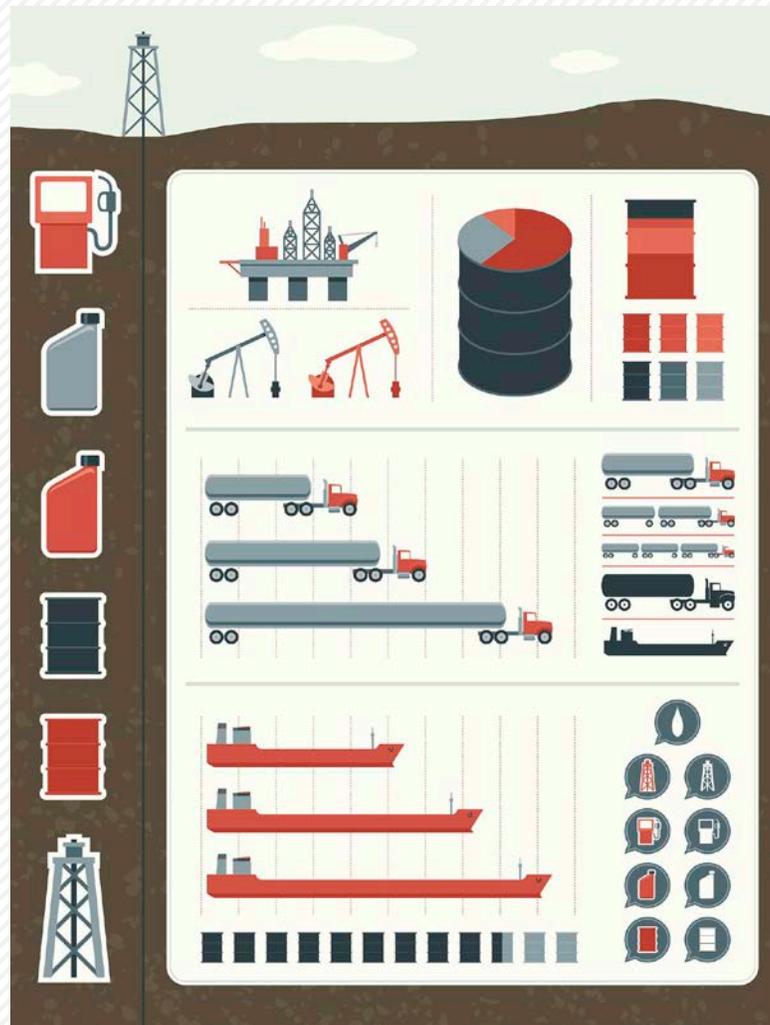


地下水数据的作用

地下水模型用于表示地下水流、水位和水质分布，有助于水资源管理和矿山排水。

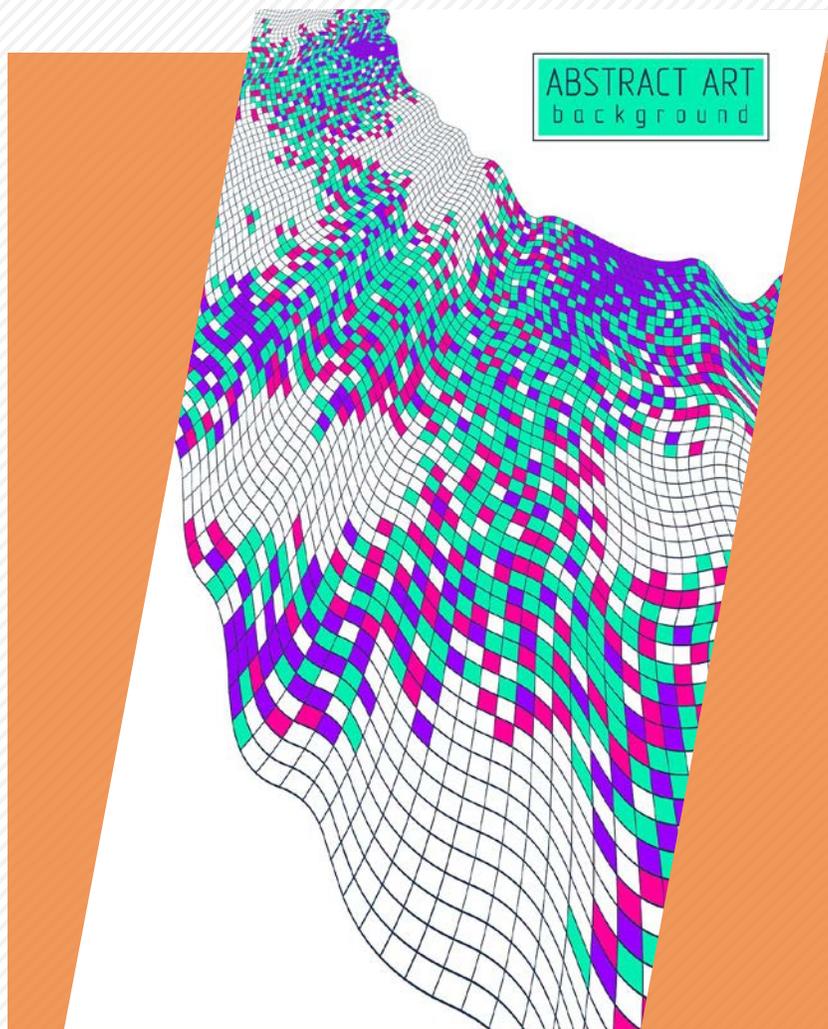
环境监测数据的意义

环境监测数据包括大气污染、水质、土壤质量、生态系统健康等环境方面的数据。





6) 地震和振动数据



地震数据

地震数据包括地震事件的地点、震级和震源深度等信息，用于微震监测、地震监测和风险评估。

振动数据

振动数据记录了爆破、挖掘和机械运作等引起的振动信息，用于监测和控制振动影响。



矿山设计数据

矿山设计数据由设计院提供，部分由矿山自己的设计部分提供，是基建、采矿生产的主要依据。

辅助系统设计数据

供电、排水、充填、供气、供水等系统设计数据，包含管道、线路的几何布局 and 参数。

运输系统设计数据

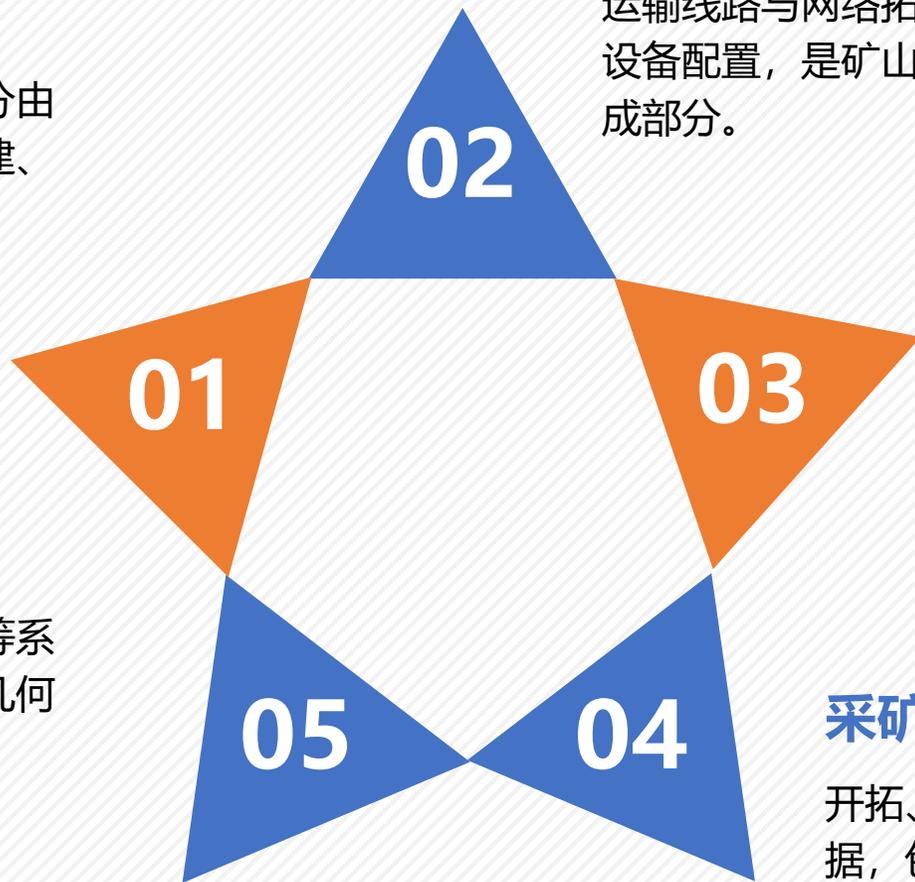
运输线路与网络拓扑数据，以及运输设备配置，是矿山运输系统的重要组成部分。

通风系统设计数据

通风线路与网络拓扑数据，以及通过构筑物的布局 and 位置，是矿山通风系统设计的基础。

采矿工程设计数据

开拓、采准、回采三个阶段的设计数据，包含矿坑、坑道、井筒、隧道和巷道的几何布局 and 参数。





1) 运输系统设计数据



01

运输系统设计数据

运输系统设计数据包括运输线路与网络拓扑数据，以及运输设备配置。

02

运输线路与网络拓扑数据

运输线路与网络拓扑数据是矿山运输系统的重要组成部分，用于描述地下矿山或地下工程中的巷道网络。

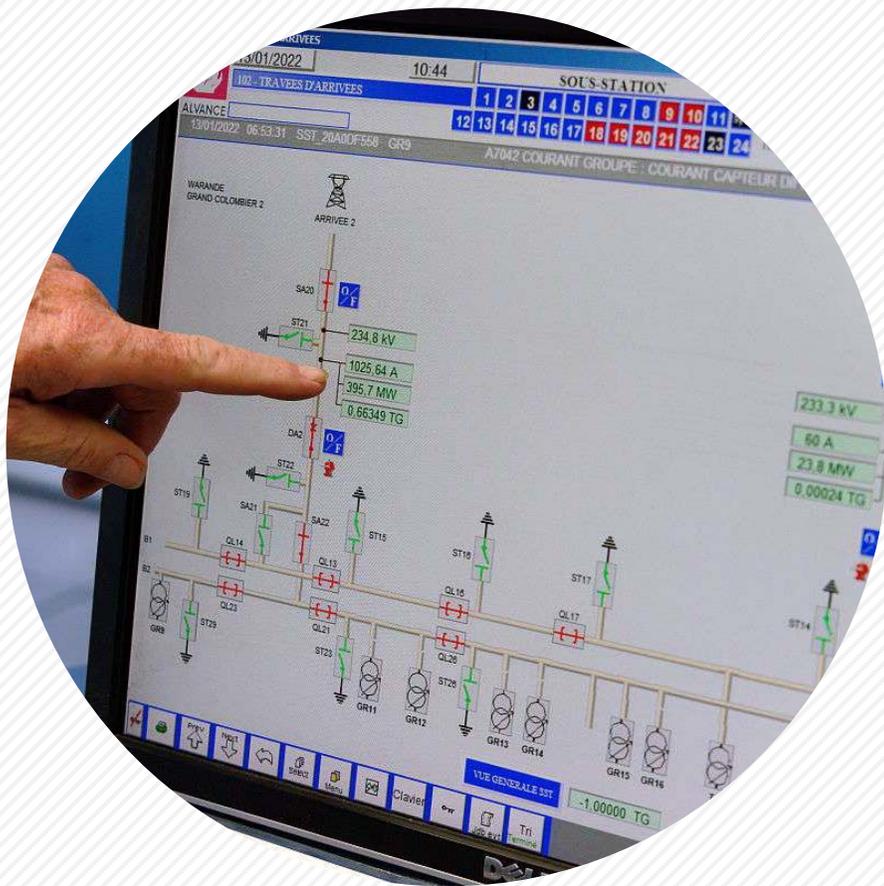
03

运输设备配置

运输设备配置包括道路、轨道、输送带等运输设施，以确保矿石的高效、安全地从矿山中转移到其他地点。



2) 通风系统设计数据



通风线路与网络拓扑

包括巷道长度、角度、高度等，是建立矿井通风网络模型的基础。

构筑物布局与位置

包括矿井、巷道、斜坡等，是确定矿井通风网络模型的关键。

设备布局与位置

包括管道、线路等，是实现矿井通风的必要条件。



3) 采矿工程设计数据



01



开拓设计数据



包括开拓方式、工作面、巷道等，是采矿工程设计的基础。

02



采准设计数据



包括采准方式、工作面、巷道等，是采矿工程设计的关键。

03



回采设计数据



包括回采方式、工作面、巷道等，是采矿设计的核心。



4) 辅助系统设计数据



供电系统设计数据

包括变电所、配电室、线路等，是供电系统的核心。

排水系统设计数据

包括排水设备、管道、线路等，是排水系统的关键。

充填系统设计数据

包括充填设备、管道、线路等，是充填系统的核心。

供气系统设计数据

包括供气设备、管道、线路等，是供气系统的关键。

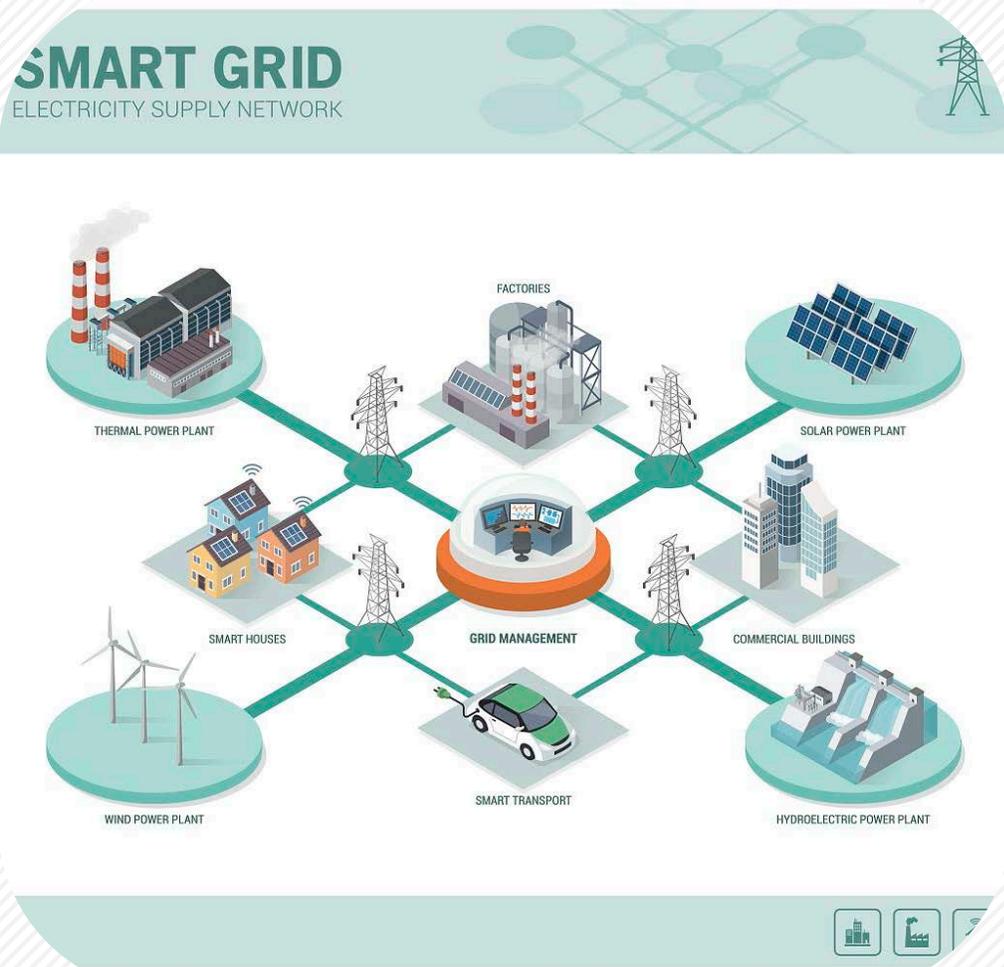
供水系统设计数据

包括供水设备、管道、线路等，是供水系统的核心。





5) 环境保护和生态设计



环保设计

矿山环保设计是矿山设计的重要组成部分，旨在保护矿山环境，实现可持续发展。

生态修复

生态修复是采矿结束后的重要工作，通过修复生态，恢复矿山景观，保护地球家园。



6) 采掘 (剥) 计划数据



采掘计划

采掘 (剥) 计划数据包括作业设备及工队所作业的地点、时间周期、作业任务与目标。

露天矿坑模型

露天矿坑模型是对露天矿采矿场地进行三维建模的过程，可用于矿山设计、规划、生产优化和环境评估等方面。

。



7) 数字化图件



数字化图件

数字化图件是由设计成果输出的施工图件，用于指导施工和后续管理，是数字矿山数据的重要组成部分。

施工图件

施工图件包括矿山整体和局部的平面、剖面、立体等图件，是沟通设计、施工和生产的重要桥梁。



模型建立

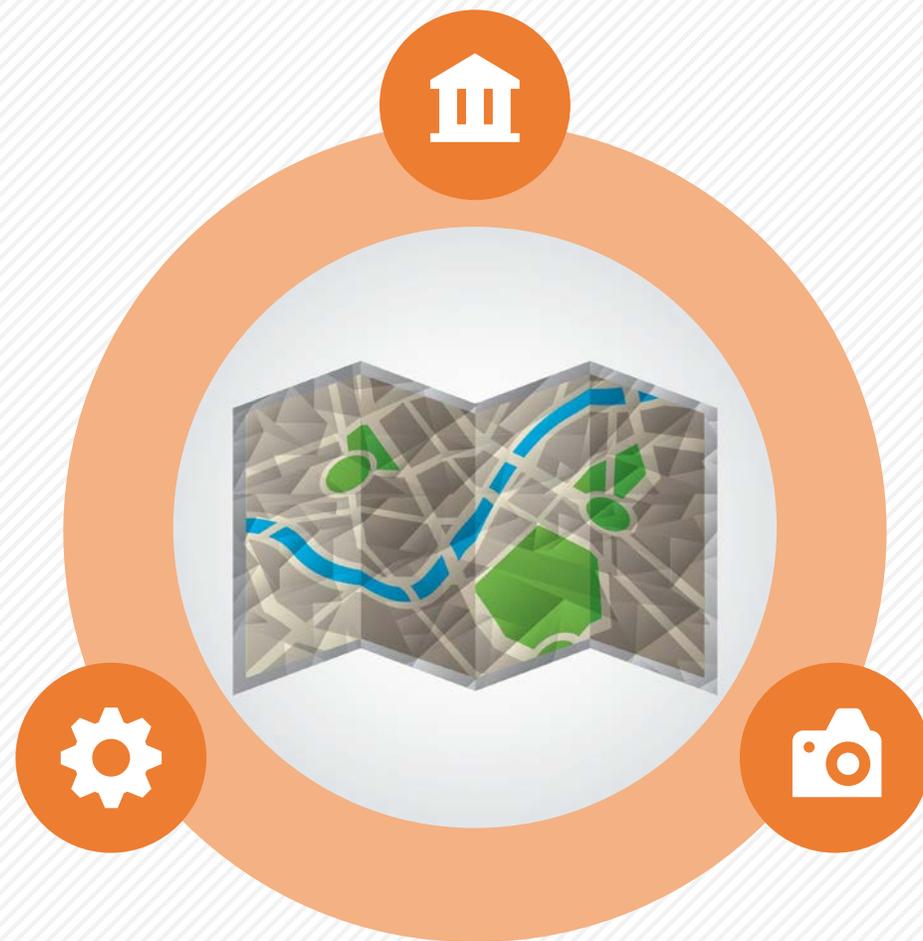
模型数据基于测量数据与设计数据，通过某种规则建立，旨在直观表达工程形态与空间位置，辅助精确计算资源储量和工程量。

模型分类

模型分为三维模型，用于表达工程形态和空间位置，以及二维模型，用于表达设计成果和施工要求。

模型特点

模型特点包括基于规则建立，易于理解，方便计算，以及表现工程形态和空间位置。





1) 矿山工程结构模型



井巷工程模型

井巷工程是矿山人工工程的重要组成部分，井巷工程三维建模是较为典型的基于中心线—断面三维构模。

01



02

硐室模型

矿山硐室三维模型是指对矿山中的硐室进行三维建模，可以使用计算机辅助设计软件或三维建模工具进行。

采场结构模型

采场底部结构是采用有底柱采矿方法矿山中重要描述对象，底部结构三维模型有助于优化采场设计和提高生产效率。

03

04

露天矿坑模型

露天矿坑模型是对露天矿采矿场地进行三维建模的过程，常采用计算机辅助设计、地理信息系统或矿山规划软件。



2) 矿山地质结构模型



岩层模型

岩层模型是对地下岩层进行三维建模的结果，可以利用地质学、地球物理学、工程地质学等领域数据，使用计算机辅助设计、地理信息系统或地质建模软件。

矿体模型

在地质勘探工程中，地质学家根据区域地质背景设计勘探工程，将勘探工程所确定的地质界线和分析成果反映到剖面图上，对地质体进行解译。

地质构造模型

地质构造模型是对地球内部结构和地质构造特征进行建模的结果，基于地球物理学、地质学和地球科学数据，包括地震测定、地磁测定、地形测绘等。



3) 矿山地质属性模型

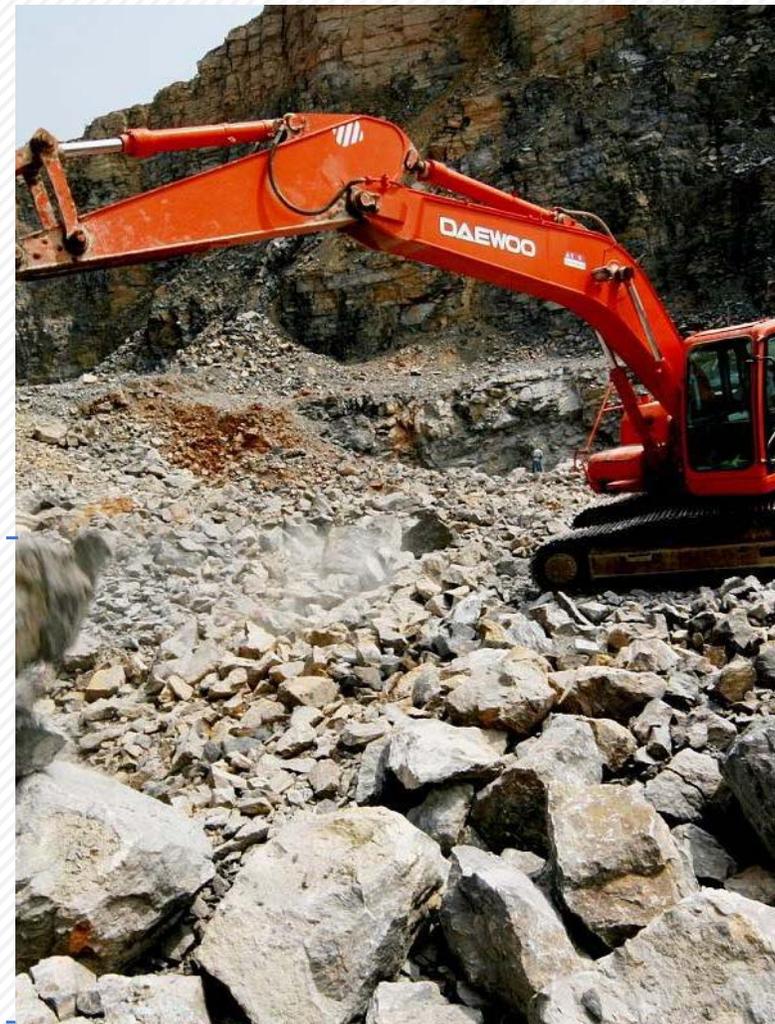


矿山地质属性模型

矿山地质属性模型是对矿山区域内地质属性进行三维建模的结果，通过整合地质勘探数据，如岩性、矿化程度、地层结构等，将地质信息在空间上进行呈现。

地质属性模型应用

矿山地质属性模型有助于规划、矿藏评估、资源管理等决策过程，当前矿业软件的地质属性模型通过块段模型或块体模型表达，未来趋势是通过场模型来表达地质属性模型。





4) 矿山常见网络模型



巷道网络模型

巷道网络模型是对地下巷道系统进行三维建模的结果。

矿井通风网络模型

矿井通风网络模型同样是建立在井巷工程之上的，主要关注巷道之间的拓扑关系。

露天矿运输网络模型

露天矿运输网络模型是在露天矿场中，用于将采矿现场产生的矿石、矿渣等物料从采矿区域运送到其他地方的一系列运输设施和路径。

运输设施和路径

网络系统包括道路、轨道、输送带等各种运输设施，以确保矿石的高效、安全地从矿山中转移到其他地点。



2.5

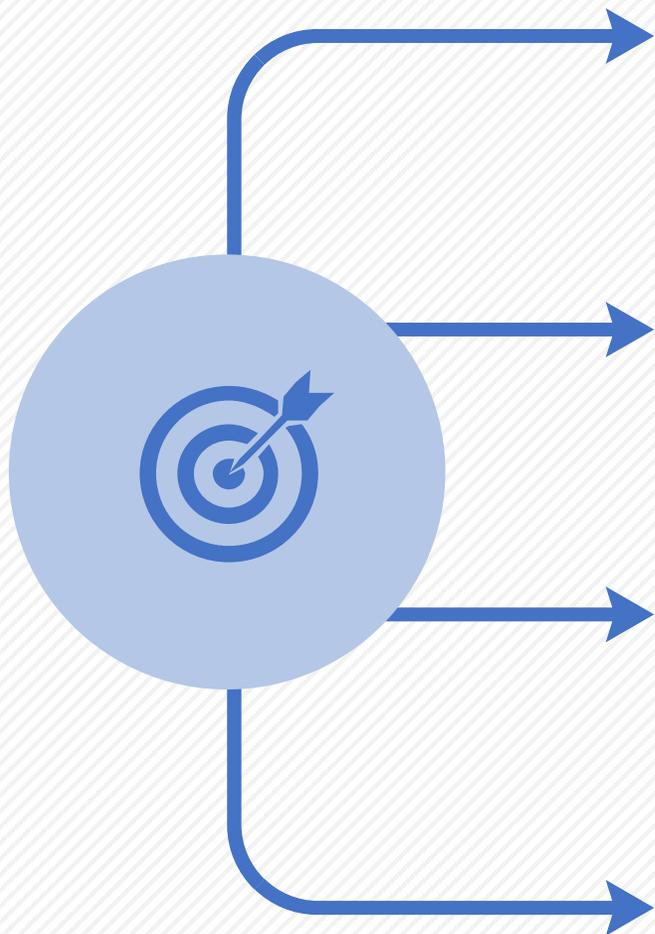
开采业务管理模型

—— 开采生产与经营管理新模式的变革背景





2.5.1 开采业务管理模型概念



模型定义

开采业务管理模型是服务与开采组织、管理的业务逻辑模型，具有时空特征，但没有与其对应的物理对象。

数据形式

在数据形式上与矿体模型、工程模型等没有区别，但在物理世界并没有现实实体与其对应，所以不需要有严格精度要求的几何外形。

模型作用

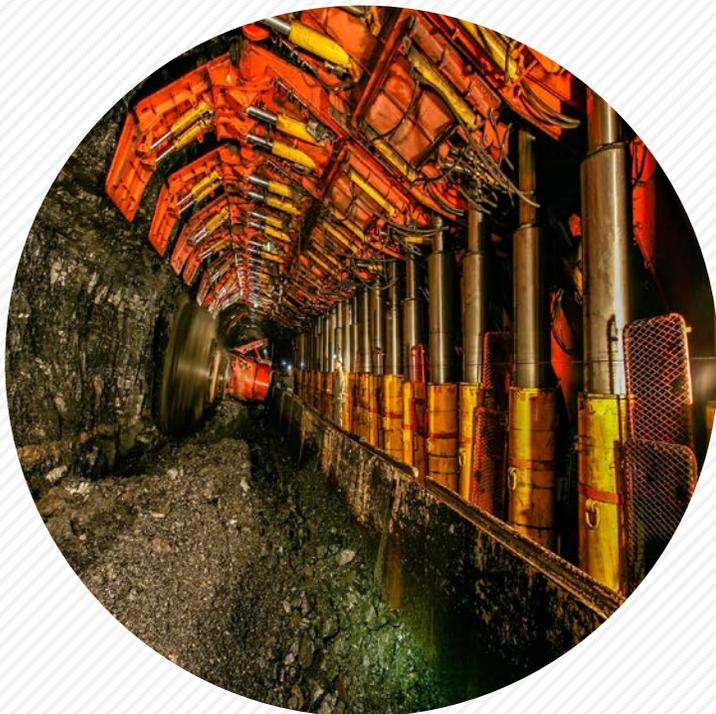
重点是它不再是切割矿体、岩体等产生，而是根据业务管理精度要求建立几何模型，具有重要意义。

模型分类

包括采场模型、中段模型、台阶模型、勘探线储量模型、开拓储量模型、采准储量模型等，都是管理业务的数据概念模型。



2.5.2 开采业务管理模型的意义



业务管理数据计算与承载

过去业务管理数据的计算和承载是通过切割矿体来实现，这样处理会产生诸多问题。

矿体切割的问题

切割矿体导致数字垃圾产生，矿体模型动态变化后需要重新切割，工作量大且麻烦。

数据一致性与完整性

切割矿体前后不能保证数据的一致性和完整性，业务模型可以解决以上所有问题。

业务模型的优势

业务管理数据的计算和承载以及可视化都不再切割矿体，而是通过建立业务模型来实现。



2.5.3 开采业务管理模型的应用



业务模型本身没有对应的现实对象，它仅是一个逻辑概念，一般通过一些简单的几何线条及定义参数即可自动产生。

更新模型

其中一部分业务模型是在采矿的基本参数确定后就不再变化，除非调整这些参数；另一部分业务模型则根据管理粒度的要求不断产生不同的模型。

建立模型



计算业务数据

可视化业务模型的方法有两种，一种是直接展示业务模型，另一种是求业务模型范围内容满足条件的块段再求其等值面展示。

可视化业务模型

基于业务模型计算业务数据，通过业务模型约束块段模型计算得到，而块段模型中当然有矿体空间信息。



Q&A