



中南大學
CENTRAL SOUTH UNIVERSITY



第4章 数字矿山三维模型构建

主讲人：毕林

2024年8月13日



目录

- 4.1 地面模型构建
- 4.2 地质结构模型建模
- 4.3 地质属性模型建模
- 4.4 开采工程建模
- 4.5 矿山网络模型建模
- 思考题

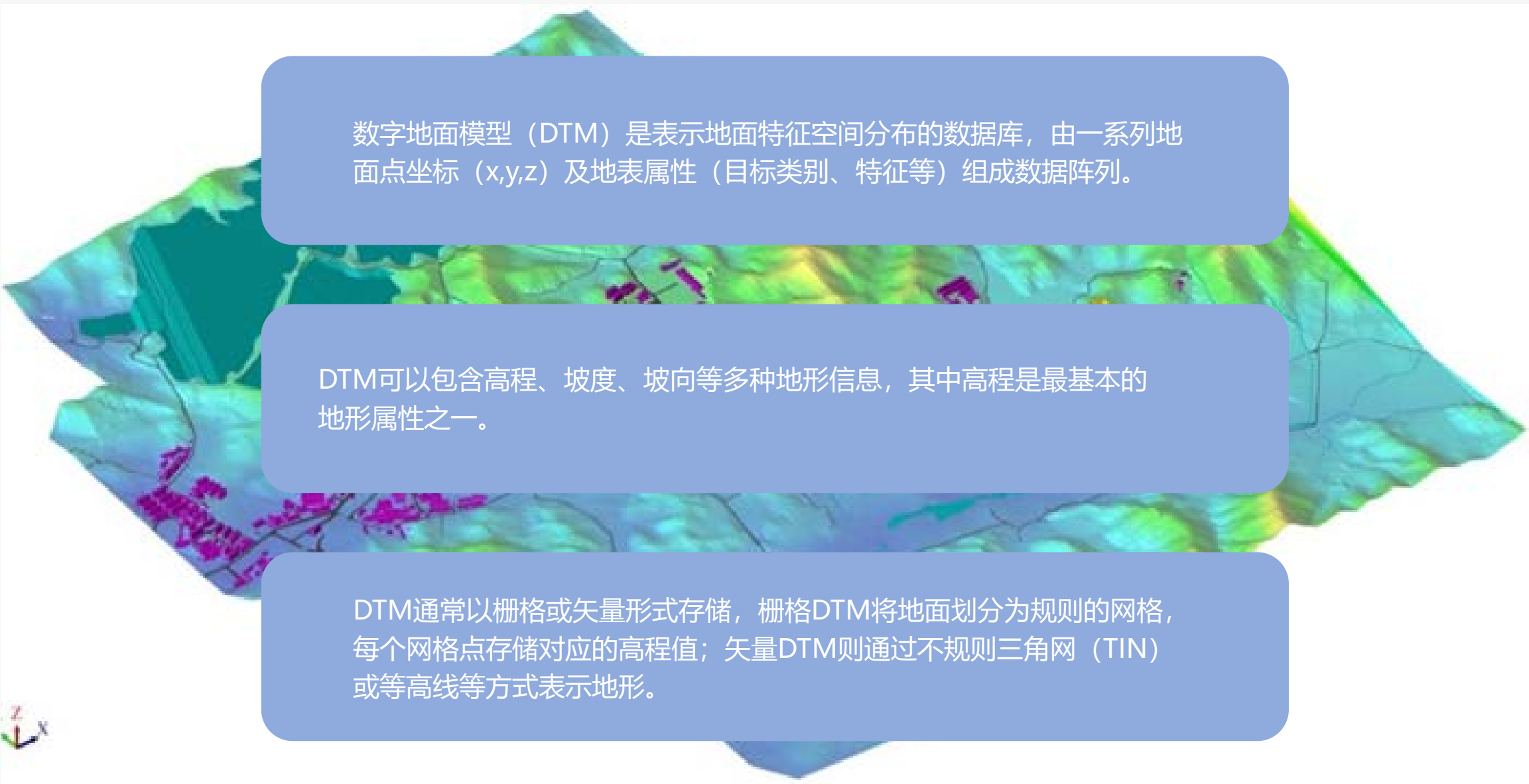


4.1

地面模型构建

矿山开采生产与资源管理新模式的变革背景





数字地面模型（DTM）是表示地面特征空间分布的数据库，由一系列地面点坐标 (x,y,z) 及地表属性（目标类别、特征等）组成数据阵列。

DTM可以包含高程、坡度、坡向等多种地形信息，其中高程是最基本的地形属性之一。

DTM通常以栅格或矢量形式存储，栅格DTM将地面划分为规则的网格，每个网格点存储对应的高程值；矢量DTM则通过不规则三角网（TIN）或等高线等方式表示地形。





01

最小角最大

Delaunay三角剖分中，每个三角形最小角是所有非Delaunay剖分所形成三角形最小角中的最大值，可以保证生成的三角形接近等边三角形。

02

外接圆不包含其他点

Delaunay三角剖分中，每个三角形的外接圆内不包含其他点，可以保证生成的三角形接近等边三角形，避免出现狭长或扁平的三角形。

03

局部优化

在插入新的点时，需要检测新三角形及其邻近三角形，使其符合三角剖面，可以采用局部优化算法（LOP），该方法交换凸四边形的对角线，保留短的那条对角线。



01

静态三角网

在整个建网过程中，已建好的三角网不会因新增点参与构网而发生改变，辐射扫描算法、递归分裂算法、分解吞并算法、逐步扩展算法、改进层次算法等都属于静态三角网构网法。

02

动态三角网

在构网时，当一个点被选中参与构网时，原有的三角网被重构以满足Delaunay外切圆规则，增量式算法和增量式动态生成和修改算法是属于动态三角网构网算法。

03

三角网生长算法

三角网生长算法是一种典型的静态三角网生长算法，通过计算三角形外接圆的圆心和半径来完成对邻域点的搜索，还可以预先将数据按X或Y坐标分块并进行排序。

04

引入约束线段

在确定第三点时还要判断形成的三角形边是否与约束线段交叉，引入约束线段可以进一步优化三角网的生长算法，提高其适应性和效率。



格网DEM介绍

Grid模型用一组大小相同格网描述地形表面，也可叫作格网DEM。同TIN模型相比，格网DEM具有简单的数据结构，便于存储和管理。



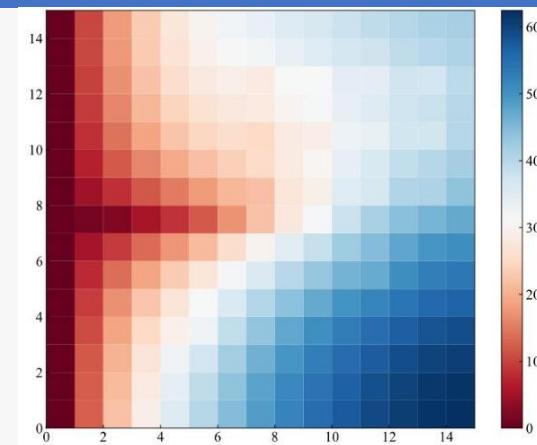
构建格网DEM的方法

运用离散点构建格网DEM是在原始数据呈离散分布，或原有格网DEM密度不够时使用的方法，其基本思路是选择一个合理的数学模型。



格网DEM的数据组织

格网DEM的数据组织类似于图像栅格数据，每个像元的值为属性值（如高程值），即格网DEM是一种高程矩阵。





格网DEM的优点

格网DEM数据结构简单，便于管理，有利于地形分析，便于绘制立体图，但格网点高程的内插会损失精度。

格网大小的影响

格网过大会损失地形的关键特征，如山峰、洼坑、山脊等；不改变格网的大小，不能适用于起伏程度不同的地区。



附加地形特征数据

规则格网的高程矩阵，可以很容易地用计算机进行处理，还可以计算等高线、坡度坡向、山坡阴影和自动提取流域地形。

数字摄影测量技术

数字摄影测量技术是DEM数据采集最常用的方法之一，用于生产DEM，数据点的采样方法根据产品的要求不同而异。



格网DEM转TIN

格网DEM转TIN是将规则分布的采样点生成TIN的特例，目的是减少TIN顶点数目，保留地形信息。

局部插值算法

使用局部插值算法可以将数字化等高线数据转为规则格网的DEM数据，但插值结果可能会出现不满意的结果。

等高线转格网DEM

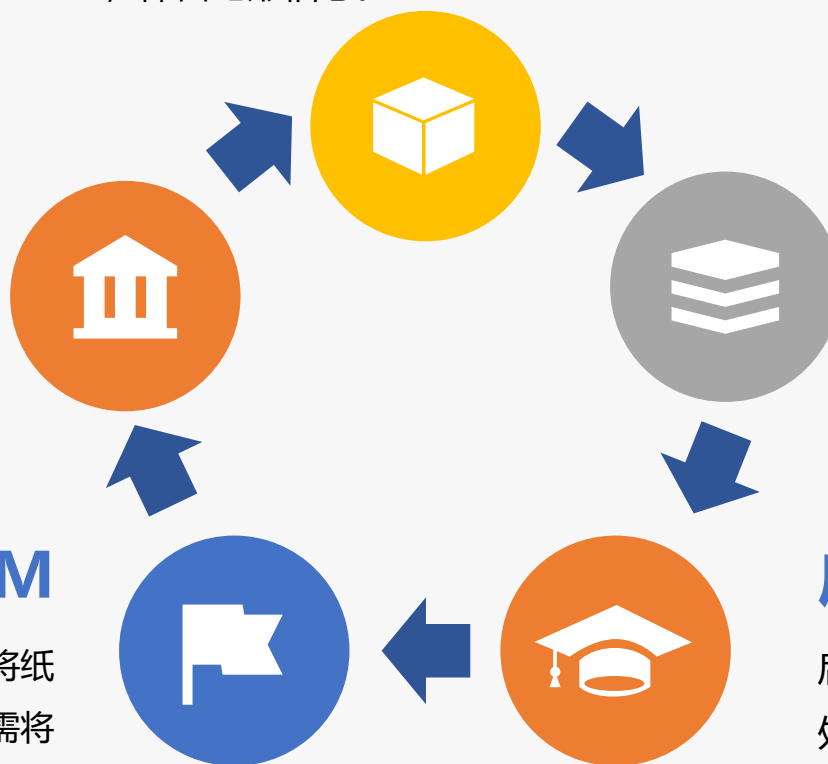
等高线是表示地形常见的线模式，可以将纸质等高线图扫描后自动获取DEM数据，需将数字化等高线转为格网高程矩阵。

保留重要点法

保留重要点法是保留规则格网DEM中的重要点来构造TIN的方法，通过比较计算格网点的重要性，保留重要的格网点。

启发丢弃法

启发丢弃法将重要点的选择作为优化问题处理，寻求TIN与规则格网DEM的最佳拟合，通过迭代计算逐渐删除不太重要的点





4.2

地质结构模型建模

矿山开采生产与经营管理新模式的变革背景





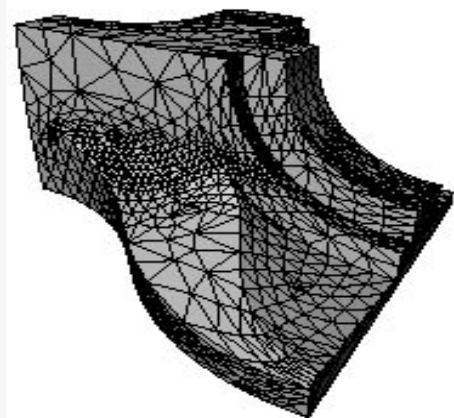
地质结构建模可以分为两种不同的方法，显式建模方法与隐式建模方法。目前显式建模应用较为广泛，但建模过程繁琐，建模质量难以保证；隐式建模方便快捷，建模质量高，但该方法目前属于起步阶段，对于复杂特殊形态地质体难以适应。

传统



显式建模

- 交互过程繁杂
- 无法对逐步精细化的模型进行**动态更新**
- 生成的**模型质量差**等先天性缺陷
- 需要进行**开口边、自相交**等模型有效性检测

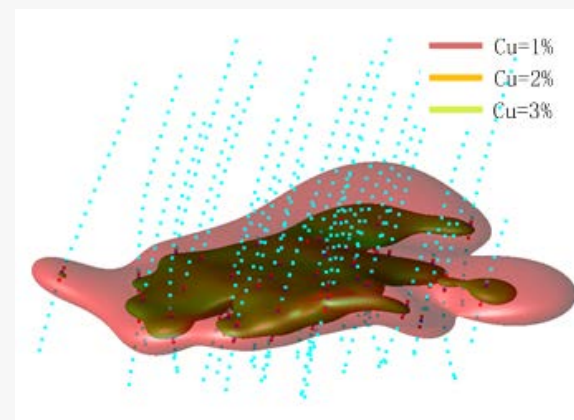


新兴



隐式建模

- 交互过程简单，基于地质规则**形状可控**
- 模型建模速度及**动态更新**速度快，实时性高
- 克服生成的**模型质量差**等先天性缺陷，应用范围广
- 便于集成**完整无缝拼接**的地质体模型





显式建模方法

显式建模方法采用网格模型来显式地表达任意复杂的地质模型，通过组织网格单元之间的拓扑关系来对地质体进行建模。

显式建模原理

显式建模方法以钻孔、地质结构、地表等数据为基础，通过几何规则和轮廓线拼接来重构地质体模型。

依赖人工解译

显式建模方法依赖于地质剖面的人工解译和轮廓线的逐步拼接方式，常用的轮廓线拼接算法包括最大体积法、最小表面积法等。



人工解译的优势

由于可以利用可靠的人工解译线框对矿体边界进行准确限制，使得基于轮廓线拼接的显式建模方法成为矿体建模的主要方法。

存在的问题

显式建模方法的两个主要步骤均主要靠人工经验和人机交互，存在工作效率低、主观随意性大、无法对逐步精细化的模型进行动态更新等问题。

显式建模应用

显式建模方法主要用于矿产资源勘查和开采领域，可以进行地质体的划分、开采设计等工作。

模型质量的问题

从模型质量来看，基于轮廓线拼接的显式建模方法生成的模型经常存在大量退化的三角面片，在模型拼接的时候则容易生成大量不封闭的开口边或自相交的三角面片。



隐式建模定义

隐式建模采用隐式函数来间接地表达任意复杂的地质模型，通过等值面提取方法进行地质体可视化。

隐式建模方法

离散化地质数据为插值约束，求解插值方程获得隐式函数，利用等值面提取方法重构出表征地质模型的隐式函数。

隐式建模优势

隐式建模方法可以快速动态更新模型，处理多域地质体模型且保证模型间较好的接触关系。

隐式建模原理

将地质体划分为多个区域，根据数据和规则插值相应的隐式函数，通过等值面提取方法进行地质体可视化。

隐式建模应用

隐式建模方法适用于创建平滑的地质体表面模型，如矿体、沉积物层和断层等，可以生成不同尺度的高质量三维模型。

隐式建模挑战

隐式建模方法应用领域不够广泛，因为插值结果具有未知的“黑盒效应”，复杂矿体重构需要地质规则约束。





同步前进法

同步前进法轮廓线连接的基本思想是，在用三角形片连接相邻两条轮廓线上的点列时，使得连接操作在两条轮廓线上尽可能同步进行。

同步前进法的优点是算法简单实用，编程易于实现，该算法是目前较为常用的一种算法，缺点是当轮廓线点数相差较大，容易产生交叉现象，轮廓线出现凹凸现象时容易受到凹凸的影响而出现相邻轮廓线上点的错位连接。

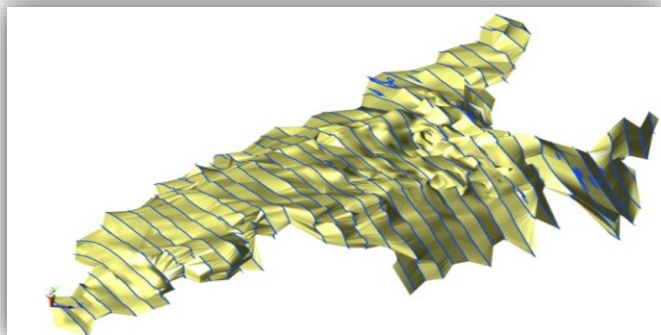
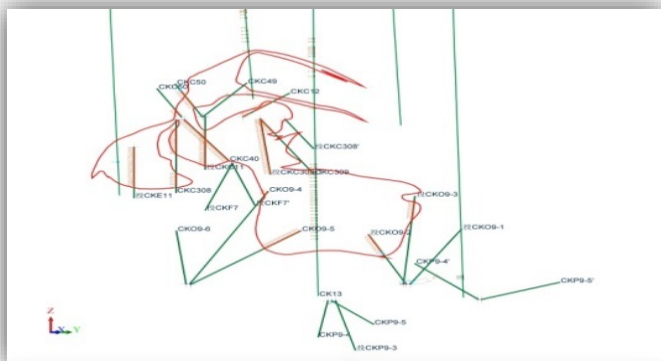
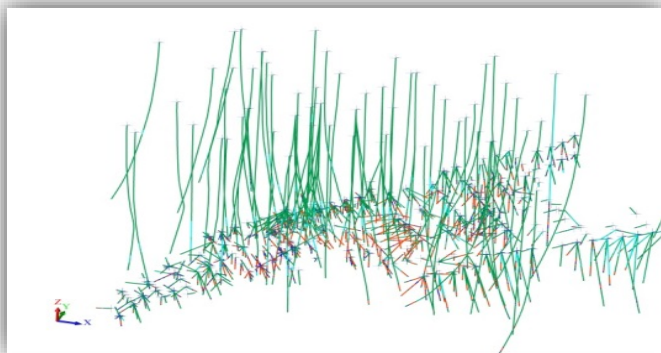
最短对角线法

最短对角线法是一种最常见局部优化算法，算法的基本原理为将2条轮廓线投影、缩放和平移到同一大小的长方形上，以保证两条线互为中心且形状相似。

最短对角线法算法比较简单，该算法对于轮廓线形状比较接近情况下生成的模型质量好，然而当轮廓线形态差异较大或轮廓线上点数相差较多时，可能会产生不好的三角网结果，容易出现相邻轮廓线上点的错位连接口。

切开-缝合法

切开—缝合法通过坐标转换将相邻轮廓线的顶点坐标投影至轮廓线所在平面，通过计算完成轮廓对应（中心重合，大小一致），搜索距离最近的点对作为控制点对，统一轮廓线对绕行方向，将轮廓线对从控制点对处切开，分别展开成两条平行的直线段，将线段上的所有顶点纳入平面点集，构建无约束Delaunay三角网，最后将两条轮廓多段线从切开处缝合。



- 大量的人工交互，建模效率低下；
- 依赖经验，易造成模型多解性和不确定性；
- 建模过程繁琐，结果难以保证；
- 容易出现拓扑错误，需要后期检验和修正；
- 模型表面粗糙，棱角尖利，工程应用范围有限；
- 模型动态更新过程复杂；
- 多域地质体对象集成困难，易出现缝隙和重叠；
- ...



插值方程求解

根据钻孔约束数据建立插值矩阵，求解大型线性方程组，获取插值方程未知系数，建立表达矿体边界距离场分布的径向基类隐式函数。

钻孔数据约束

创建钻孔数据库，根据样品组合结果提取钻孔数据，离散化样段与非样段信息，构建插值数据接触点约束和离面点约束。

隐式模型重构

构建空间规则数据场并进行离散化，采用体素生长法对隐式函数按移动立方体进行采样计算，重构矿体三维模型。

先验地质规则量化

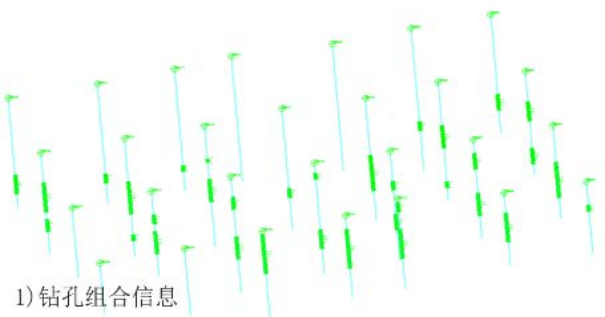
分析钻孔样段间的拓扑关系，建立矿体外推信息和必要的人工解译要求。

插值趋势约束

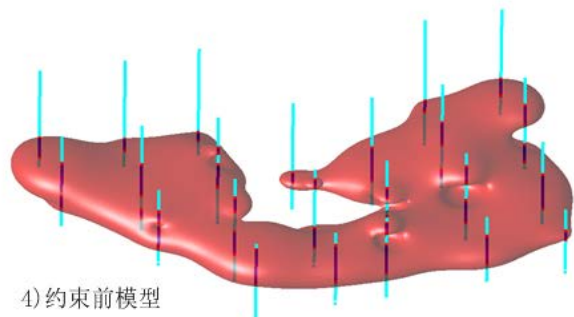
根据先验地质规则，采用插值约束点、插值约束线和插值趋势面等方法建立矿体外推信息、局部约束线、各向异性趋势等约束条件。

模型动态更新

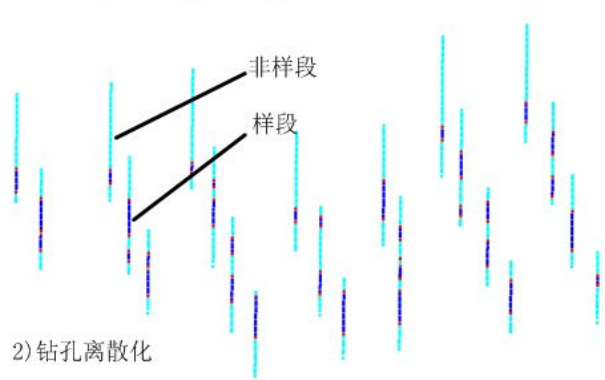




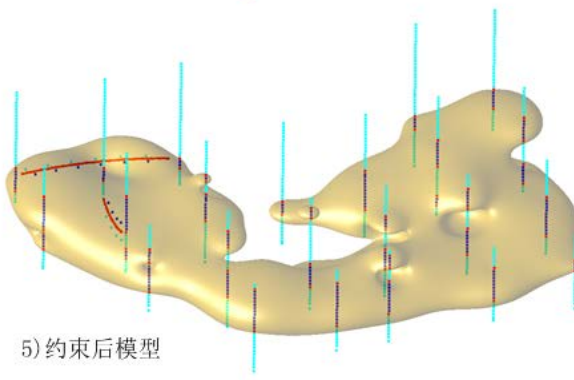
1) 钻孔组合信息



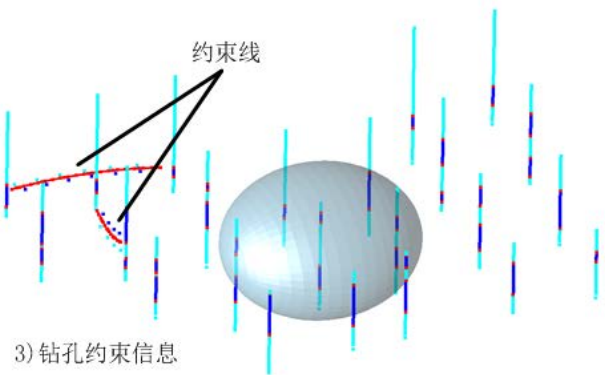
4) 约束前模型



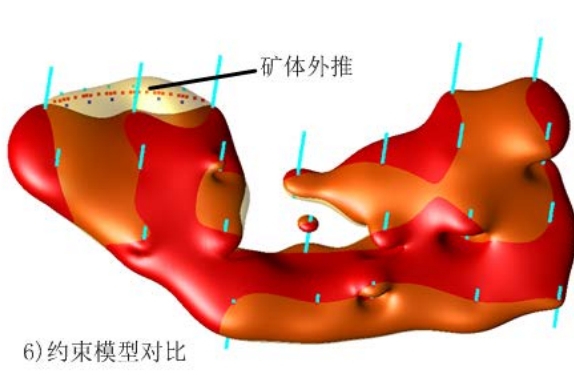
2) 钻孔离散化



5) 约束后模型

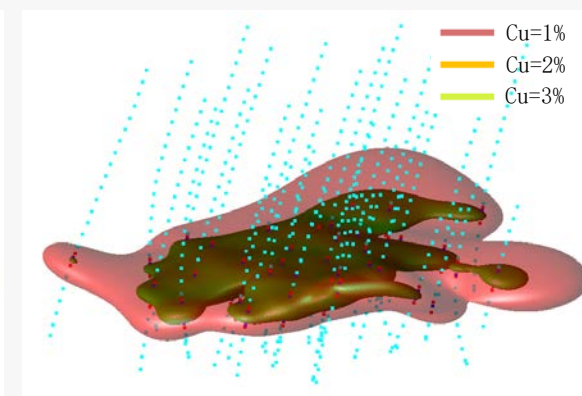
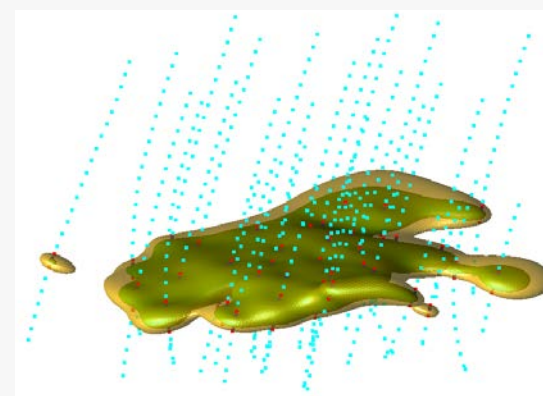


3) 钻孔约束信息



6) 约束模型对比

直接基于钻孔数据建模



矿体模型动态品位壳

可以很好反映不同经济指标下矿体模型的空间分布趋势，对隐式模型进行动态更新。



地层层序划分

依据地质学理论，结合所有钻孔信息，以地层在纵向位置上出现的频次高低为原则，建立合适算法，对地层进行统计排序。

形成岩层实体模型

岩层实体模型的构建过程需要根据各个地层界面生成三维实体模型。对于简单的钻孔数据，可以直接根据钻孔地层边界点的组织关系构建地层界面并结合地层尖灭规则构建三维岩层实体模型。



建立统一钻孔分层

将各个钻孔地层进行连线划分，理想状态分布的地层，其钻孔地层的连线较为简单，呈规则层叠状态，但真实地层的分布较为复杂，需要建立统一钻孔分层规则以还原真实的地层界面连线规则。

地层界面建模

以建立的统一钻孔分层规则为基础，自动或半自动地确定不同地层界面对应的边界点。根据建立的钻孔数据信息，在各个钻孔地层界面处标记同一地层的坐标点；将各个地层的外围标记点用线段连接，形成地质体边界。



确定建模范围及插值参数

根据工程设计和勘察精度要求，确定地层建模范围、钻孔数据范围和模型曲面拟合等参数。首先通过钻孔坐标范围确定要进行三维地层建模的区域，然后根据地层建模精度和自动建模速度的要求，设定最佳的曲面拟合网格间距。

构建岩层实体模型

地层实体创建步骤以地层界面插值得到的各个地层为基础，结合层序划分规则和地层尖灭规则进行整合得到三维地质体模型。相比于单个地层界面的插值，岩层实体模型的重建需要采用涉及多个等值面提取的曲面重构方法，确保得到的模型各个地层界面满足拓扑流形的特征。

提取地层点集及地层界面插值

对于各个地层，以确定的地层点集为基础，采用克里金插值、径向基函数插值等空间插值方法以一定网格间距插值拟合生成较光滑的地质曲面，得到表示不同地层形状的网格模型。



断层面建模

根据一系列地质剖面上的断层线数据，采用特定的轮廓线重构曲面算法来生成相应的断层面；根据等高线图上的断层线数据来构造断层面三角网。

采用类似于地层建模的TIN表面模型法构建初始地层网格模型。TIN表面模型法是利用不规则的三角形面片建立物体表面模型的方法，可以采用Delaunay三角剖分来实现地质三维模型构建。

构建初始地层面

考虑断层 地层构建

首先需要确定断层线影响区域，然后采用约束Delaunay三角剖分的方法对局部区域进行三角重构。移除地层面上正断层线之间多余的三角形和边界轮廓外非规则三角形以形成具有错断效果的地层面模型。



断层面插值

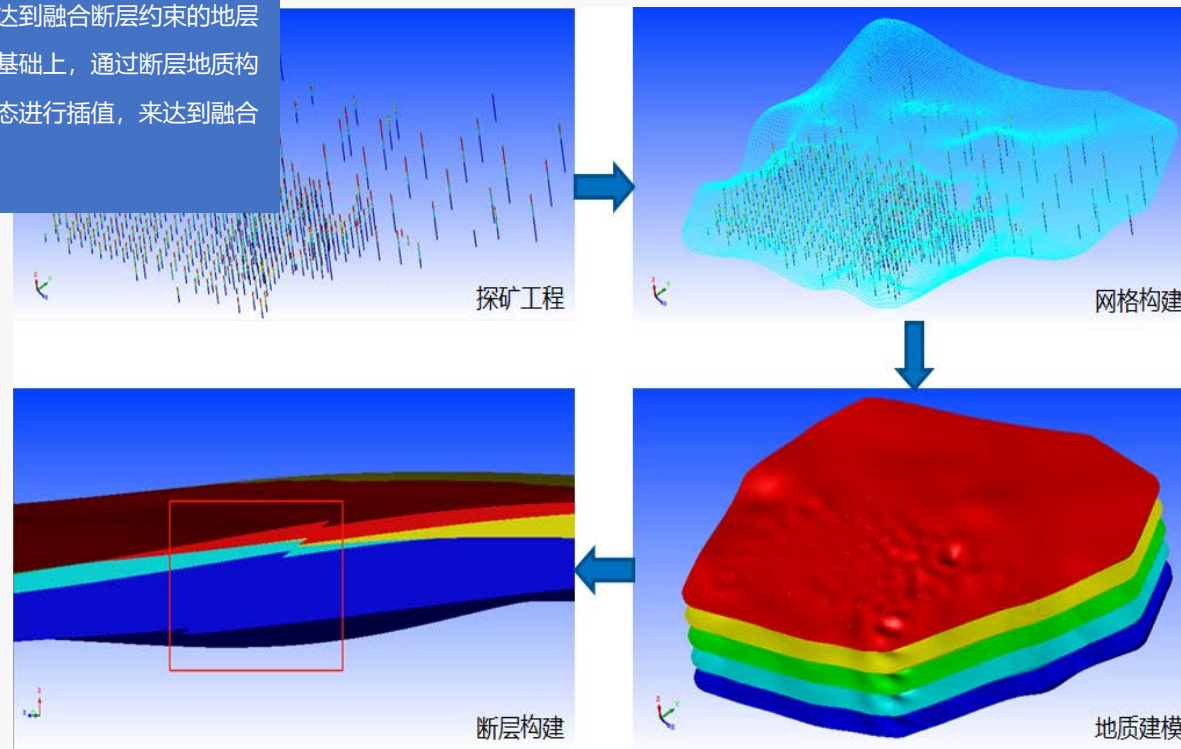
断层交线是断层建模的基础数据。断层建模时，首先提取断层交线控制点在各个地层的坐标，通过地质剖面图内插出控制点出露位置，同一断层编号的断层点用三维线连接起来，生成三维断层交线并指定断层线的约束方向。最后，采用含约束线方向插值的空间插值方法重构断层面模型。

融合断层插值

融合断层的地质体插值方法可以分为两种类型。一种是将断层模型看作一种断层插值函数，并将断层两侧的插值约束分割为不同区域融合到地层数据插值中，来达到融合断层约束的地层插值目的。另一种是在断层面插值的基础上，通过断层地质构造运动的方式还原地层数据的原始状态进行插值，来达到融合断层约束的地层插值目的。

地层面插值

可供选择的地层面插值算法很多，常用的有反距离插值法、自然邻域插值法、线性插值法、克里金插值法、径向基函数插值法等。但由于地层结构的复杂性、各向异性，一般无法用统一的拟合算法插值所有地层。





4.3

地质属性模型建模

由开采生产与资源管理新模式的变革背景





属性建模

属性建模是在三维地质结构模型基础上，利用采集到的空间属性信息，采用地质统计学方法，完成三维属性建模，主要表征实体内部属性。



块段模型

对于复杂地质体通常采用块段模型表达地质属性模型，构建块段模型实现地质属性建模的方法统称为体素法。



分层体素法

分层体素法是通过矿体上表面高程数据创建三维网格，将矿化区域划分为立方体或六面体单元，并对网格进行赋值或插值。



体素法优点

体素法可以较好地进行统计分析和数值计算，但对于反映复杂的地质结构较困难。



分层网格法优点

分层网格法适用于对成层性较好的矿体的地质结构表示，可以方便地进行数值计算和分析，但是对于复杂的地质结构的表达能力较弱。



块段模型建立

通常块段模型是在表面模型的基础上经过边界约束建立形成的，经过定义剖面、剖面编辑、表面模型生成、块段划分、边界约束和属性估值等步骤。

钻孔模型生成

采用钻孔数据（包括孔口数据、测斜数据、样品数据等）建立钻孔模型，为地质体建模提供基础。

剖面定义与编辑

定义剖面，即根据钻孔建模生成的钻孔数据划分钻孔边界，定义剖面步长和剖面宽度并生成剖面；剖面编辑，即根据定义好的三维钻孔剖面，圈定矿体、地层和断面。



表面模型生成

将同属于一个矿体的剖面线相连形成表面模型，为块段模型的建立提供基础。

块段划分与边界约束

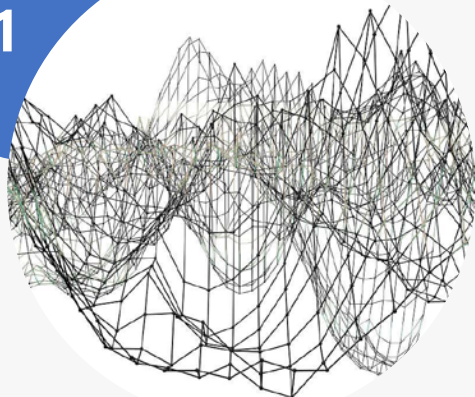
对目标地质体进行块段划分，用地质体表面模型对实体模型进行边界约束，在边界处进一步细分，以逼近地质体的空间形态。

属性估值

通过样品组合、样品分析、变异函数计算、选择正确的估值方法、确定估值参数等一系列过程对块段进行属性估值。



01

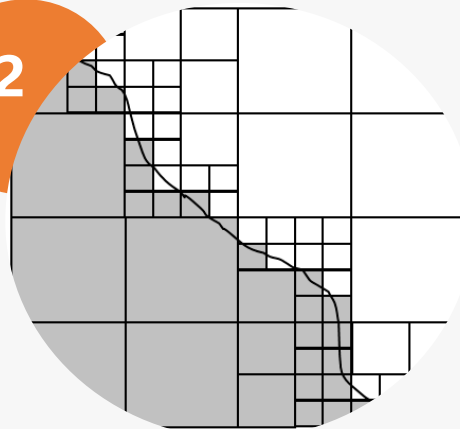


八叉树模型应用



八叉树模型的应用领域广泛，学者们对此进行了深入研究，理论和方法日益成熟。

02



地学数据应用挑战



地学领域海量数据应用对八叉树模型提出了更高的要求，需考虑存储空间与处理效率。

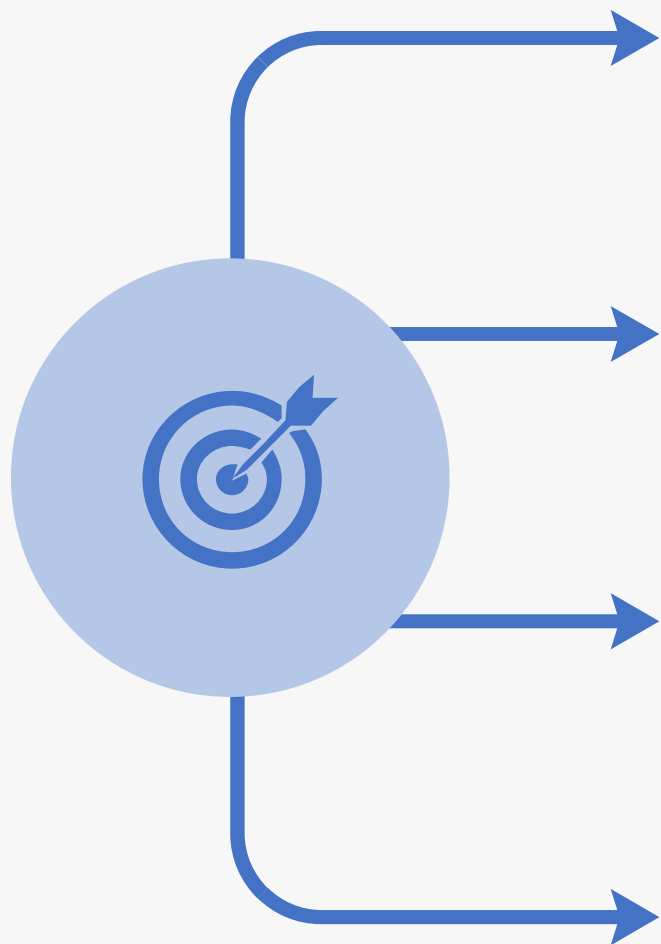
03



八叉树查询效率



八叉树模型因失去栅格模型的规则性，查询效率较低，需采用正确的编码和索引技术。



编码实现方式

八叉树模型的编码和实现方式包括常规（指针）八叉树、线性八叉树、深度优先编码和三维行程编码。

指针八叉树

指针八叉树是八叉树模型的一种显式实现方式，使用内存指针建立结点关系，查询效率高，但浪费存储空间，只适用于内存实现。

线性八叉树

线性八叉树主要面向数据压缩，保存和处理叶结点，叶结点中存储结点的属性信息和空间位置信息。

线性八叉树限制

与指针八叉树相比，线性八叉树定位时间一般比较长，查询时间随着结点数量的增加而增加。

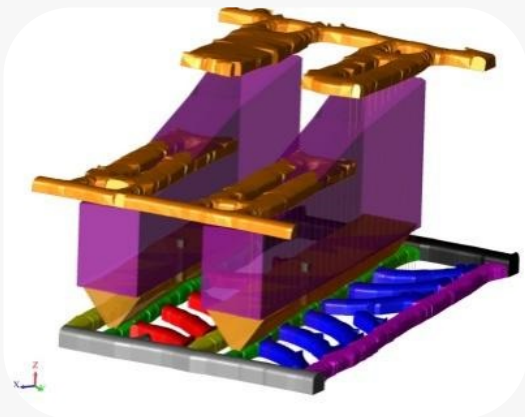


4.4

开采工程建模

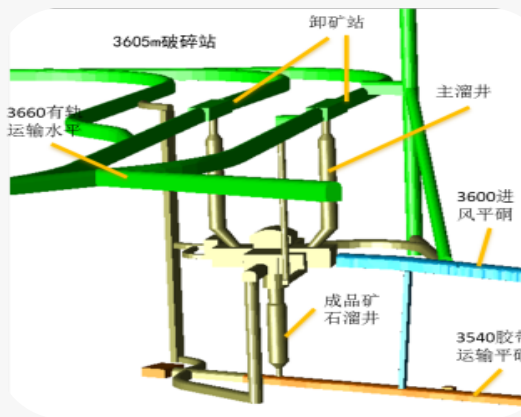
由开采生产与经营管理新模式的变革背景





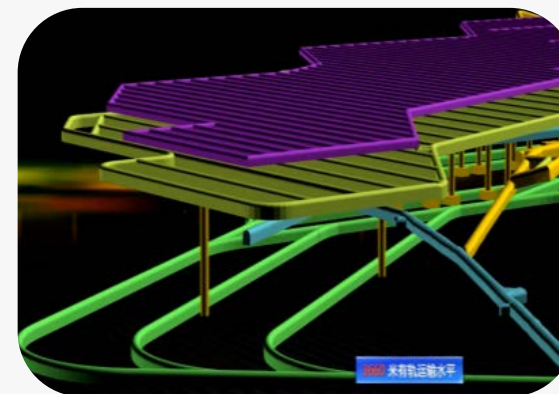
开采设计模型

开采设计模型是基于设计数据构建的三维模型，用于仿真模拟和优化设计。



三维表征设计成果

模型以三维形式表征设计成果，便于直观理解和分析。



模型应用

模型可用于仿真模拟、优化设计，提高开采效率，降低潜在风险。



设计采出模型

设计采出模型是用于表征采矿设计中的应采出矿产空间范围的三维数字化模型。

模型建立的目的

设计采出模型的建立与矿产开采规划和设计息息相关，目的在于为矿产开采提供空间参考。

模型的作用

设计采出模型可以帮助矿产开采过程中的决策制定、资源分配和风险管理。

模型的分类

设计采出模型分为基于设计崩落范围和基于开采设计数据两种类型。

模型的数据基础

设计采出模型不仅为采矿单位提供了空间信息，还为安全管理和资源储量统计提供了可靠的数据基础。





设计崩落范围

设计崩落范围是拉底工程、凿岩工程和采场结构等设计共同确定的三维空间范围，作为采出的边界。

崩落法开采

崩落法开采得到的设计采出模型，其采出范围是由相关设计共同组成的三维空间范围和采出边界。



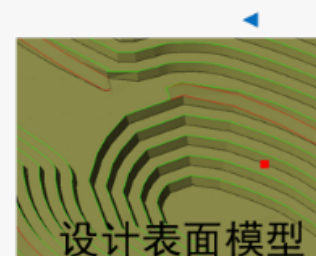
采出模型的基础

开采设计数据是设计采出模型建模的基础，用于准确定义矿产空间范围和采矿单元边界。

建模数据的重要性

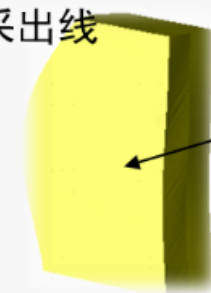
基于开采设计数据的设计采出模型，能够更好地满足实际生产需求，提高矿产资源利用效率。

露天矿



设计采出模型

地下矿



设计采出模型



采矿工程三维模型

基于实测数据构建的三维数字化模型，用于准确表征采矿工程与掘进工程的空间范围。

模型意义

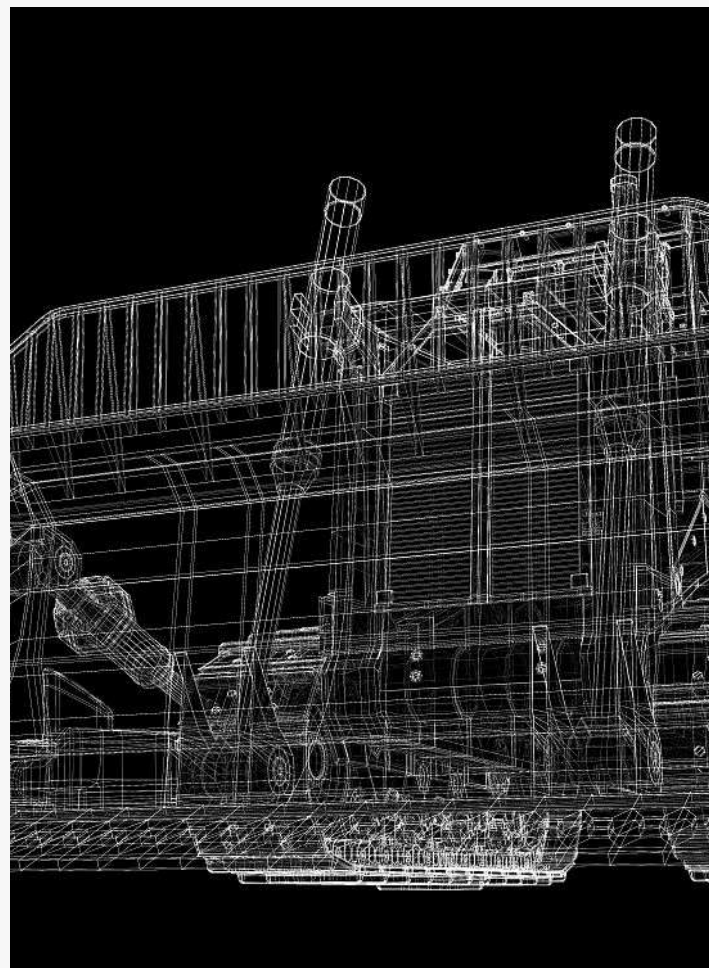
为采矿工程领域的决策制定、资源管理、安全监测和工程规划提供可视化工具。

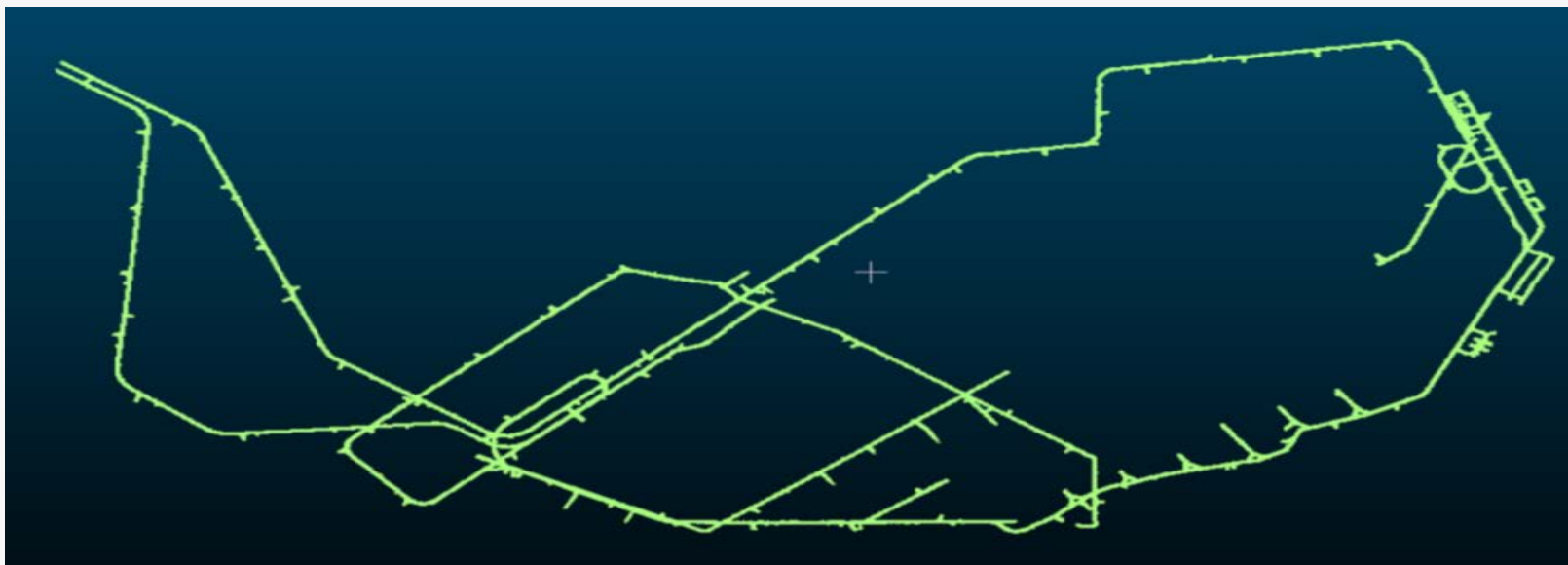
模型内容

包括各种矿产开采环境下的空间信息，如露天矿场的采场情况、台阶形态，地下矿井的井巷结构、采空区形状等。

三维模型的作用

基于实测数据构建，准确反映采矿工程和掘进工程的现实情况，提高采矿活动的效率和安全性。



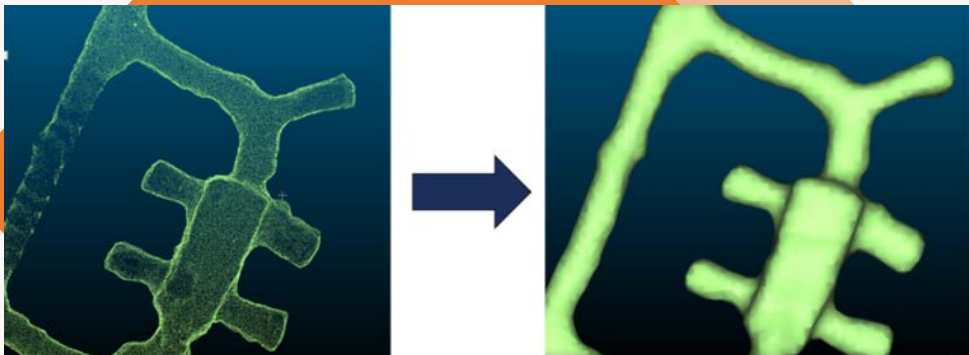


井巷工程三维建模方法

井巷工程三维建模方法分为基于实测腰线数据的巷道建模法、基于三维激光扫描的点云重建法和图像摄影测量法。

腰线法建模

腰线法建模基本流程为根据底板中线调整腰线生成巷道底板边界线，建立顶板中心线网络拓扑图并提取连通路径，建立断面轮廓线并提取局部空间网格，对空间网格和底板边界线进行三角化并生成连通三维巷道实体。



三维激光扫描技术

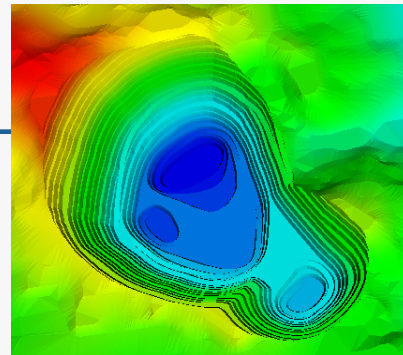
三维激光扫描技术克服了传统测量技术的局限性，提高了数据获取效率，通过预处理、点云拼接、数据精简、特征提取和网格化等操作来重建三维实体表面模型，具有更好的几何完整性、丰富的特征和更强的真实感。

图像摄影测量法

图像摄影测量法通过拍摄地下巷道标定位置的连续图像，结合地下控制点测量、角点检测和立体匹配等步骤分析巷道图像，基于图像的三维实体重建技术已日趋成熟。



露天矿坑三维建模



车载三维激光扫描建模

移动测量车集成GNSS、LS、IMU和CCD等传感器，采集激光点云和影像数据，通过联合解算获取高精度地表三维测量数据。



无人机倾斜摄影测量建模

通过无人机倾斜摄影技术拍摄的图像带有空间位置信息，可以较真实地反映拍摄地区的相关地理属性。



图像预处理

对无人机倾斜摄影获取的图像进行预处理，确保图像中不存在空间扭曲或变形等现象。否则需要进行修复或删除。



图像对齐

在图像中添加像控点，通过光束法进行平差解算，得到加密点完成对图像的对齐。



点云数据生成

使用影响匹配算法对所有图像中的同名点进行匹配，得到点云数据，表达拍摄对象的细节信息。



三维模型生成

采用点云重建算法将生成的密集点云构成TIN三角网模型，通过计算将模型数据对应的纹理信息进行结合，生成带有纹理的三维模型。



4.5

矿山网络模型建模

—— 矿山开采生产与经营管理新模式的变革背景





道路网构建方法

现有的道路网构建方法主要分为三类，包括传统测绘方法、遥感影像道路提取方法和GPS数据采集的路网构建方法。



传统测绘方法

传统测绘方法存在着自动化程度低、周期长、成本高等缺陷，同时由于矿山道路网变动频繁且无规律可循，导致该方法无法有效应用于露天矿山实际生产中。



遥感影像道路提取

基于遥感影像的道路提取方法，由于露天矿山道路光谱及空间特征较为模糊，导致非目标噪声干扰严重，使得该方法无法适用于露天矿山道路网的提取。

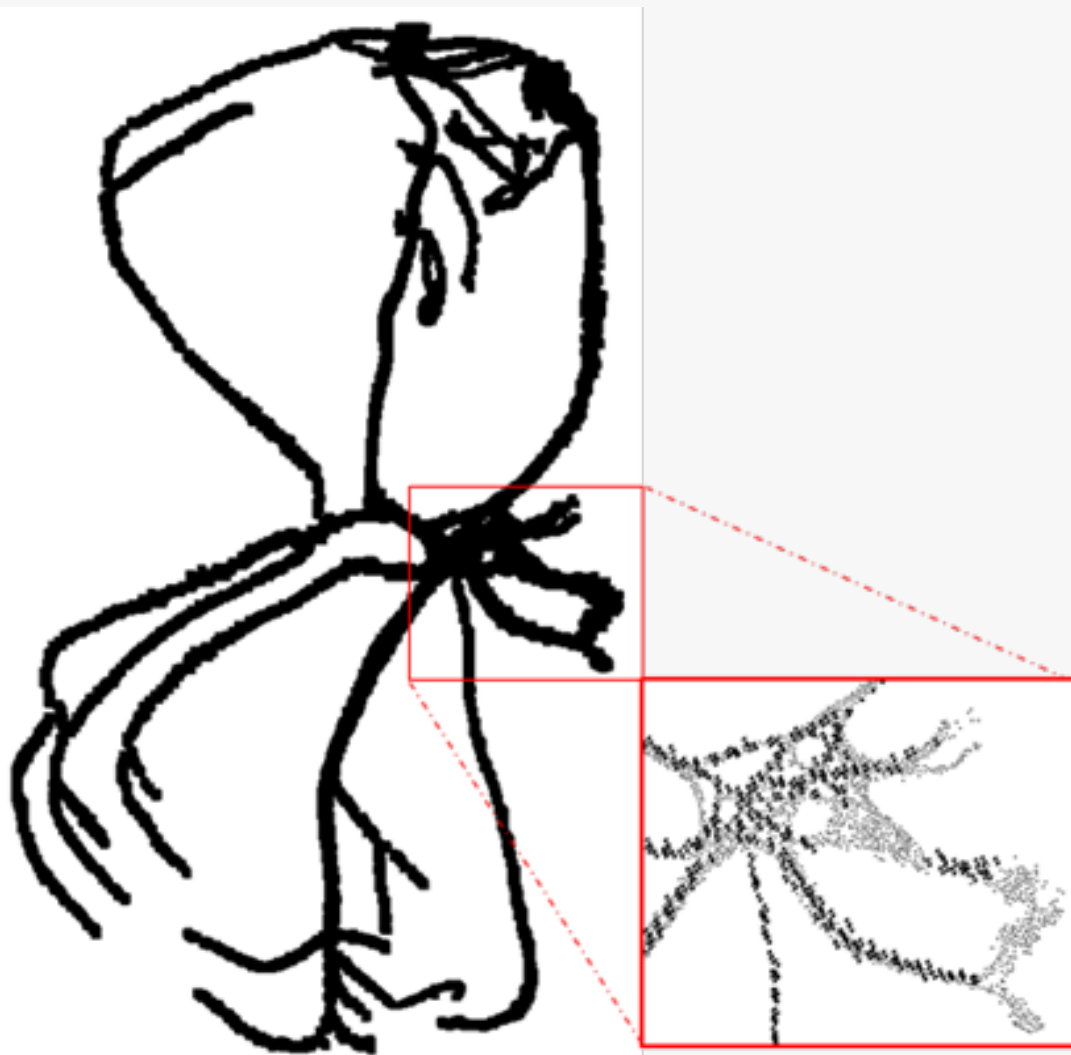


GPS数据采集路网构建

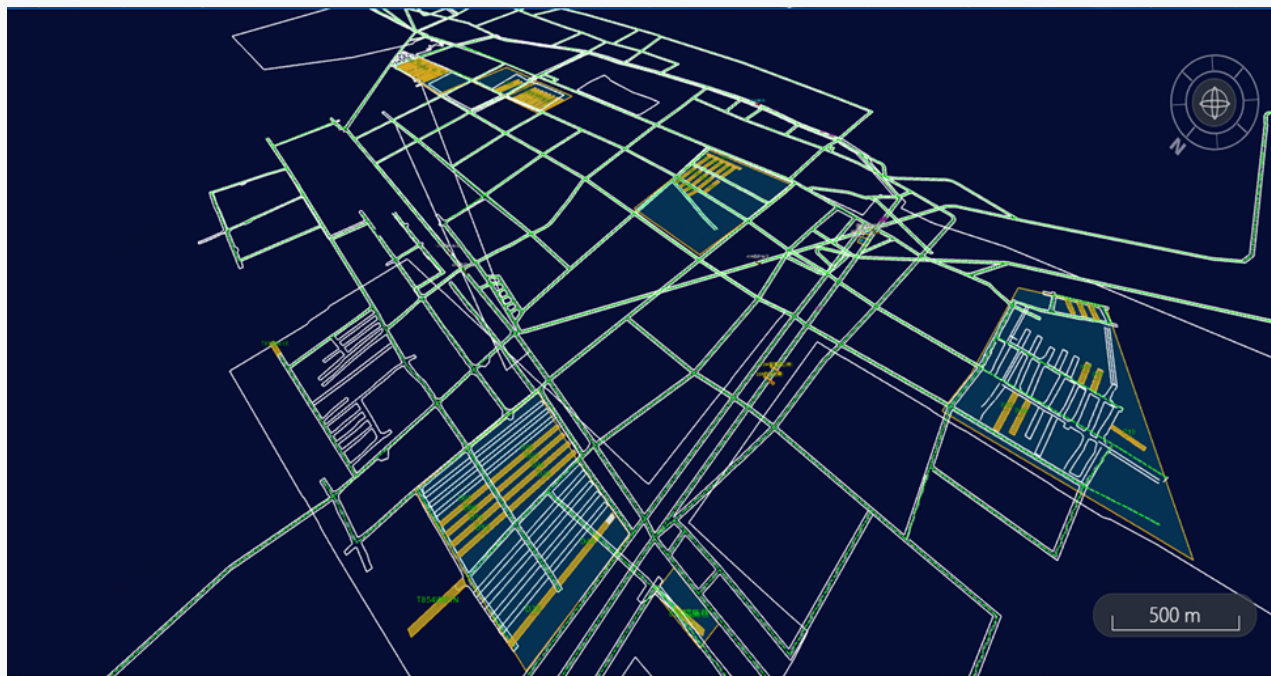
基于GPS数据采集的路网构建方法，许多研究学者在GPS数据的基础上研究了城市道路网的自动构建方法，并取得了一定的成果。



露天矿运输网络模型



露天矿运输网络构建可以直接利用GPS轨迹点云数据来构建栅格道路模型。该方法的基本流程为：根据GPS数据在空间分布的横向跨度 X_{span} 和纵向跨度 Y_{span} ，以及路网的精度 Tol ，构建 $M \times N$ 的网格。根据构建的 $M \times N$ 的网格，相应地初始化一个像素为 $M \times N$ 的二值图像，根据 $M \times N$ 网格中落入的GPS点数，对图像的各个像素点赋值0或1。



生成巷道中线

利用井下导线测量数据，通过计算导线点与帮侧的距离，可以求出整条导线对应的所有中线点坐标，进而形成巷道底板中心线。

构建中心线网络

中线求交并打断，根据导线点逼近的若干条中线在巷道交岔口处不一定有公共点，求出交点并打断成两段分段中线。

生成巷道实体模型

采用中线加断面生成巷道实体模型的建模方法，以巷道中线为基础，将巷道断面沿着中心线放置，再逐断面拼接形成三角网模型。



管道建模的组成

管道建模可以由管段建模和管点建模来组成，地下矿管道网络三维建模方法一般可以分为CSG建模法和B-Rep建模法。

CSG建模法

管网中的管件和附属物结构复杂但辨识度高且重用率高，应对其进行精细建模以突出管网的细节描述，基于CSG表示法将管网中的若干管件和附属物实体依照树形结构拆分为最小单元的几何对象，由此得到的CSG组件通过三维建模软件进行实体的几何变换、布尔运算、放样等操作，得到对应的管件模型。

CSG方法的作用

结构实体几何法（CSG）利用三维建模软件中已有的基本体元或是自助创建简单体元，进行几何变换和布尔操作等动作来构成一个物体模型，基于CSG方法生成的模型精细逼真无冗余信息，而且详细地记录了构成实体组成部件的详细特征参数。



B-Rep建模法

- 采用B-Rep表示法可将任意管道拆分为“点-线-环-面-体”层次结构，由此提取管道的表面特征作为管道模型的基本构造单元，随后采用管道建模的方法对管线进行批量的参数化建模，完成大范围管段三维模型的构建。

B-Rep方法的作用

- 边界表示法（B-Rep）是一种基于层次结构的表示方法，可以保存关于面、边、点的属性信息及其相互之间存在的拓扑关系，基于B-Rep方法构建的三维模型能保存关于面、边、点的属性信息及其相互之间存在的拓扑关系，可基于这些信息进行空间分析。



矿井通风网络模型

矿井通风网络模型分为通风网络几何模型及其关联的属性数据，其中属性数据可以直接采用属性列表的形式关联在几何模型上。

通风网络属性数据

通风网络属性数据分为节点属性数据和分支属性数据，这些数据在矿井通风网络模型中占据着重要的地位。

构建的方法

生成巷道中心线是通风网络几何模型构建的基础，可以通过巷道设计中心线或巷道实测中心线数据来获取。



构建中心线网络

在获取巷道中心线后，利用几何网络层拓扑关系构建方法确定节点与分支间的拓扑邻接关系，并修正部分拓扑关系。

关联通风设施及通风属性

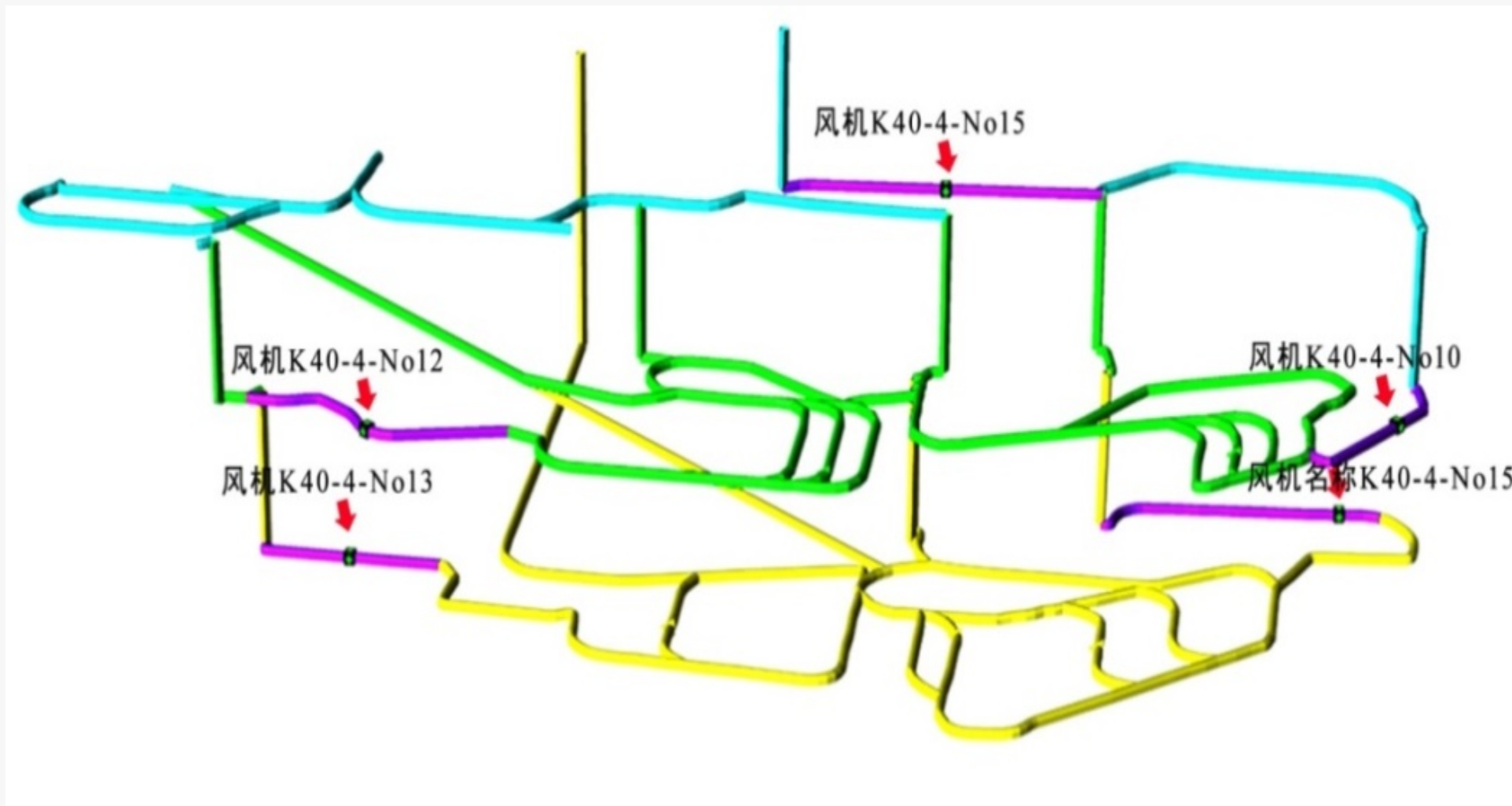
在构建了通风网络拓扑关系之后，根据井下通风实测数据确定通风网络的基础参数数据，并关联到节点属性和分支属性上。

构建巷道实体模型

类似于地下矿运输网络巷道模型构建过程，巷道实体模型构建可以采用中线加断面的巷道实体建模方法。



矿井通风网络模型





4.6

思考题

—— 矿山开采生产与经营管理新模式的变革背景





- 分析TIN和Grid两种数据构模特点，分别有哪些优缺点？
- 地质结构建模方法包括显式建模和隐式建模，这两种建模方法有什么优缺点？
- 什么是地质结构模型？什么是地质属性模型？地质模型的这两种表示方式有什么区别？
- 用八叉树表达块段模型有什么好处？为什么？
- 开采工程建模需要构建哪些模型，分别如何构建？模型有何用处？
- 数字矿山需要构建哪些网络模型？分别如何构建？模型有何用处？



Q&A