Doi:10. 3969/j. issn. 1671-4172. 2022. 03. 016

基于 Surpac 软件的矿区三维地质体建模

张学强,刘亚静

(华北理工大学 矿业工程学院,河北 唐山 063000)

摘　要:三维地质建模可以对复杂的地质体进行直观的显示和表达,有利于展现地质体的内部形态特征,便于矿山的管理与地质研究。以某铁矿床为研究对象,对该地区相关地质资料进行整理和收集,对地质勘探线数据和生产勘探线的钻孔数据进行信息化处理。基于三维矿业建模软件 Surpac,建立矿区地质体数据库、地质体实体模型和巷道模型。同时建立矿体模型,为圈定有效的开采边界提供依据,并根据此模型及生产勘探线数据建立局部矿体模型加以比较、更新。建立的地质体整体模型可为生产勘探过程提供技术支撑,为矿山的开采计划提供指导。

关键词:Surpac 软件;三维地质建模;地质体模型;实体模型;矿山开采

中图分类号:TD178　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1671-4172(2022)03-0100-08

3D geological body modeling in mining area based on Surpac software

ZHANG Xueqiang,LIU Yajing

(College of Mining Engineering,North China University of Science and Technology,
Tangshan Hebei 063000,China)

Abstract:Three-dimensional geological modeling can visually display and express complex geological bodies, which is conducive to showing the internal morphological characteristics of geological bodies and facilitating mine management and geological research. Taking an iron deposit as the research object,the relevant geological data in the region are collated and collected,and the data of the geological exploration line and drilling data of the production exploration line are processed by information technology. Based on the three-dimensional mining modeling software Surpac,the geological database,geological entity model and roadway model of the mining area are established. At the same time,the orebody model is established to provide the basis for delineating the effective mining boundary,and the local orebody model is established according to the model and the production exploration line data to compare and update the model. The establishment of the overall geological model provides technical support for the production and exploration process and provides guidance for the mining plan of the mine.

Key words:Surpac software;3D geological modeling;geological body model;entity model;mining

地质体的三维形状模型及其构建过程可以广泛用来帮助分析那些形状结构十分复杂的、非均质的各种形状地质体[1]。运用三维地质建模技术,三维立体化的地质体模型能够精准而又形象地构建出来,进而有效地表达出地下地质体的三维地质空间展布,使各地质体之间的相互关系得到更加清晰的呈现,这对于相关人员开展地质研究十分有利。三维地质的建模技术在近几十年的发展非常快,许多地质工作者在进行地质研究的过程中,对三维地质建模的关注度很高,并进行了大量实践上的工作,在相关研究上得到了许多成果。

目前的三维建模大多表达为地质体中矿体的三维建模,针对的大多为成矿预测与找矿问题,整个地质体分析的三维建模表达不多,但这对于后续工程项目的研究十分重要,必不可少。同时它也存在一

收稿日期:2021-12-05

基金项目:河北省自然科学基金项目(D2019209598)

作者简介:张学强(1995—),男,硕士研究生,大地测量学与测量工程专业,主要研究方向为地理信息系统理论与应用。

些技术问题，由于目前存在各种地质结构的高度复杂性、地质现象的高度不确定性、地质数据的高度海量性，导致地质体三维动态模型快速地构建、表达和进行动态模型更新都具有一定困难[2]。因此，加快地质体三维模型构建及更新地质模型构建技术，探索相应方法解决当前地矿资源勘查处理工作中普遍存在的许多地质体模型建模困难的实际问题，使用适宜的地质建模处理软件，从而更好地实现三维模型地质体地层结构和地质成分的基本表达形式可视化、分析结果可视化和工作过程管理可视化十分重要。

地质统计学是研究同时具有随机性与结构性，或空间相关性与依赖性的自然现象的一门科学。针对形成原因不同、矿物类型不同的矿山，地质统计学估值方法各有不同，构建矿体三维模型经常运用经验模式、综合地质特征、地球物理化学特征等方式结合的方式。运用地质统计学方法建立的三维地质模型，对于提高目标矿床地质矿产资源勘查水平、实现矿山保有资源储量可视化与定量化有重要意义[3]。同时对探矿以及开采能够提供便利，减少开发成本，对优化矿山持续勘探成本都有着重要的意义。

本文基于已有的钻孔数据，进行地质体三维建模，提高各种类型地质体三维模型的构建效率，构建更具灵活性。这有利于三维地质建模理论的发展，同时这对其方法的开展具有重要意义。同时，为复杂深层内部地质体的测量资料进行全方位和科学化的查看、度量、统计、分析以及研究利用提供了重要数学数据模型以及理论数据基础，使地下深层内部的复杂地质体直观而又准确地展示了出来，包括地质体矿体的内部深层空间结构及其形态，并且反映出各个矿体之间的相互关系，为诸多采矿工程应用项目的施工设计规划实施以及管理研究提供重要数据参考。

1　地质概况

本文研究铁矿为接触交代矽卡岩型磁铁矿床，矿体产于结晶灰岩或大理岩层间裂隙中，走向延长 435 m，宽度为 50～100 m，平均厚度 10～44.20 m。矿体形态以透镜状为主，局部呈“帽状”，走向近南东，倾向东，倾角 10°～15°。矿石为混合矿，主要为高硫高镁富铁矿石。

矿区目前正在开发生产过程中，许多矿体以及靠近矿体周边的岩体的绝大部分都必须利用巷道对自身加以支持和保护，目前生产中存在成本高、产能低、安全性差等问题[4]。

2　数据准备

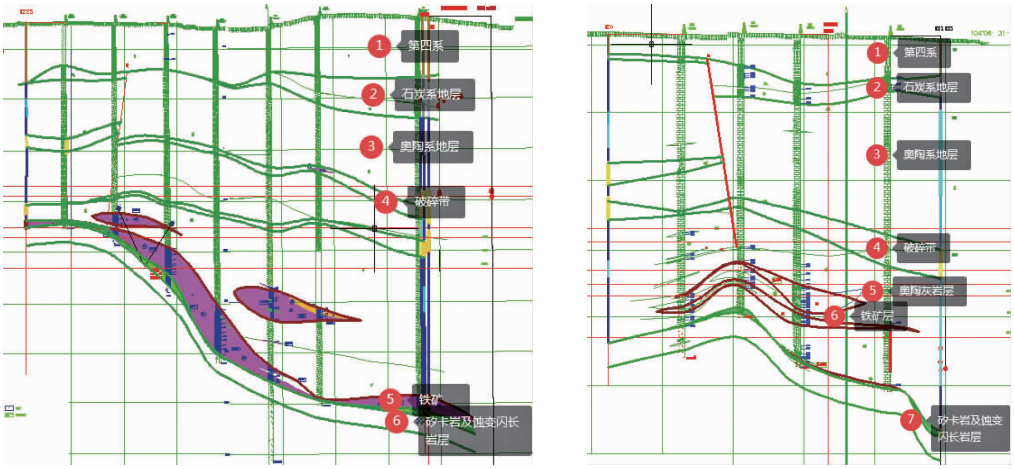
对目前矿区的已知地质体开展三维地质建模系统研究，在理论研究基础上，使用地质三维建模软件 Surpac，对研究区域内的地层、矿体、岩体、巷道等进行处理分析，进而建立其实体建模，最后有效构建出矿区内的地质体三维模型。

收集的数据主要包括矿区内的大量勘察及探测数据，以及各种地形图数据、地质报告等资料。这些收集的数据主要有综合地质剖面地形图和钻孔柱状图等。在勘探线剖面图中共有 98 个钻孔，在周围帷幕线中共有 72 个钻孔数据。钻孔数据包括钻孔坐标及高程。其勘探线剖面图上的钻孔提供了各个深度的岩性信息，主要包括矽卡岩、铁矿、蚀变闪长岩、灰岩等岩性。

勘探线剖面图是将同一勘查路线上的工程资料以及对地表地质的研究成果综合汇总而成的，其表示了各个岩层的位置、蚀变现象、矿体及分布位置等[5]，通过对 0 线剖面、1 线、1-2 剖面到 6-7 线剖面图进行整理，根据基岩地质图，结合帷幕注浆孔数据以及水文地质报告，确定了地层类型，主要包括石炭系地层、奥陶系地层、破碎带、矿体层以及矽卡岩和蚀变闪长岩层。

本研究中收集整理到的勘探线剖面主要有 12 条，很清晰展现了研究区内地质体的形态特征和各个地层位置，使得地层信息、断裂信息及矿体信息等便于提取出来。本研究中借助 AutoCAD 软件进行剖面各种信息的提取工作，并在 Surpac 软件中进一步完成整个地质体三维模型的建立[6]。图 1 为其中两幅剖面图。

根据钻孔柱状图的分层，图 1a 和图 1b 被分成若干地层，有的地层在不同深度多次出现，分别有第四系地层、石炭系地层、奥陶系地层、破碎带、铁矿层、矽卡岩层和蚀变闪长岩层。



(a)2线地质剖面图 (b)5-6线地质剖面图

图 1 地质剖面图

Fig. 1 Geological profile

3 地质数据库建立

本文共收集到 170 个钻孔资料(包括勘探线剖面图中 98 个,周围帷幕线中 72 个),勘探线剖面图 12 张,该资料数据主要内容包含了岩石的岩性数据和岩石化验数据,以及地质体各个地层的数据等。

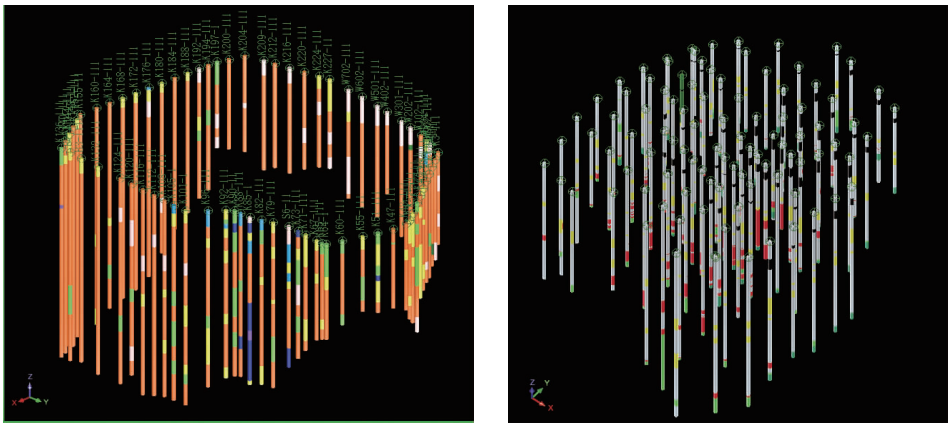
在研究区数据收集整理之后,对其进一步的分类以及筛选,根据 Surpac 软件所要求的地质数据库结构,使数据符合其数据类型和数据格式[7],表 1 为其要求的钻孔表结构,钻孔表结构包括孔号、Y 坐标、X 坐标、Z 坐标、钻孔最大深度及孔迹线形式,将整理筛选好的钻孔数据录入到 TXT 文件中。本研究区帷幕线一周共 72 个钻孔,均有效完成了数据的录入,帷幕线上的钻孔提供了吕荣值信息,根据统计帷幕线上吕荣值统计表的信息,将不同深度的吕荣值信息标明至钻孔上,结合水文地质报告,将吕荣值分为几段后分别赋予不同颜色,表示在钻孔上,便于之后区分不同钻孔深度的透水率大小。12 个剖面线上共完成 98 个钻孔的数据录入,有效地建立了地质数据库[8]。

地质数据库建立完成后,使用 Surpac 软件内的三维图形显示系统的相关功能,把钻孔的名称以及钻孔的深度数据在三维空间里进行显示,修改数据显示出的风格,给岩石不同岩性数据赋不同的图形颜色,显示内容包括钻孔的吕荣值数据、轨迹线、岩性、地层划分等,将帷幕注浆孔及勘探线剖面的钻孔数据展示在图 2 中。

表 1 被录入钻孔的属性结构

Table 1 Attribute structure of borehole

孔号	Y 坐标	X 坐标	Z 坐标	钻孔最大深度	孔迹线
					CURVED



(a)帷幕注浆孔 (b)勘探线剖面的钻孔

图 2 钻孔三维空间显示图

Fig. 2 3D spatial display diagram of borehole

图 2 中(a)图的钻孔颜色结合水文地质报告，将吕荣值分为 7 个段分别赋予不同颜色，用于表示不同深度的透水率大小。其中吕荣值 0 至 0.1 为浅红色，0.1 至 1 为橙色，1 至 2 为黄色，2 至 5 为绿，5 至 10 为青色，10 至 100 为蓝色，100 以上为紫色。图 2 中(b)图的颜色根据地层的岩性赋予，其中灰色为灰岩，红色为铁矿层，绿色为矽卡岩。

4　地质体模型构建

4.1　基于 Surpac 实体模型的构建

4.1.1　地质体建模技术方法

实体模型建立的基本原理为：

1)制作勘探线剖面轮廓线。地质勘探数据的大量获取都主要是通过地质钻探过程得到，逐个绘制勘探线剖面图，各剖面间有相互平行的关系，所以勘探线剖面图是实体在该剖面上的轮廓线，即二维平面上一条封闭的没有自己相交的线。

2)从一系列剖面上的轮廓线，将各个剖面连接起来，建立带有轮廓的三角网。这种算法是实体建模的重点算法。

对于地质体表面建模，实体模型是较好的描述方法。国内外大部分的三维矿业软件系统都是从勘探线剖面图上获得平行轮廓线，然后连接平行线轮廓线来建立矿体的三维实体模型，Surpac 中剖面线法就是支持相邻轮廓线来建立地质体的三维实体模型的方法：将各条勘探线剖面放入三维空间，在各种各样地质因素的综合考虑下，相邻的剖面线之间连接成三角网，实体模型便建立了起来。如图 3 所示。

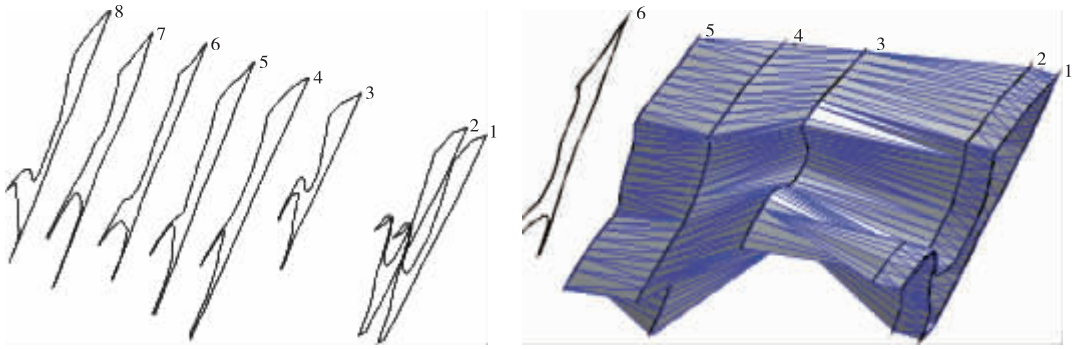


图 3　根据一组空间轮廓线生成三维面数据(来源于 Surpac 文档)

Fig. 3　3D surface data generated by a set of spatial contour lines

4.1.2　平行轮廓线连接基本原理

假设两条相邻的平行平面上各有一条轮廓线，上轮廓线上的点列为 $P_0, P_1, P_2, \cdots, P_{m-1}$，下轮廓线上的点列为 $Q_0, Q_1, Q_2, \cdots, Q_{n-1}$，如图 4 所示，点列按照逆时针的方向排列[9]。把这些点列用线段连接起来，就会得到两条多边形，这些多边形近似地表示了轮廓线形状，每一条直线段称为轮廓线线段。

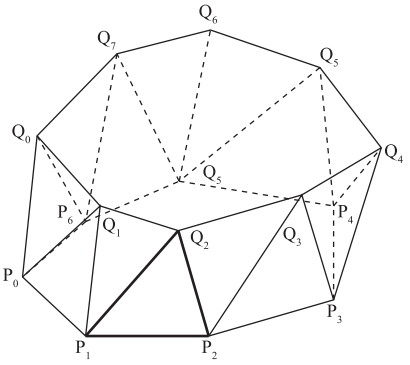


图 4　跨距节点、水平弧和垂直弧

Fig. 4　Span nodes, horizontal arcs, and vertical arcs

连接上轮廓线上一点和下轮廓线上的一点的线段称为跨距，一条轮廓线线段，以及该线段两个端点与相邻轮廓线上的一点相连的两段跨距就构成了三角面片，称为基本三角面，组成三角面片的两个跨距称为左跨距和右跨距。实现两条凸轮廓线之间的三角面模型重构就是要用一系列相互连接的三角面片将上下两条轮廓线连接起来。

实体模型构建的流程图如图 5 所示。

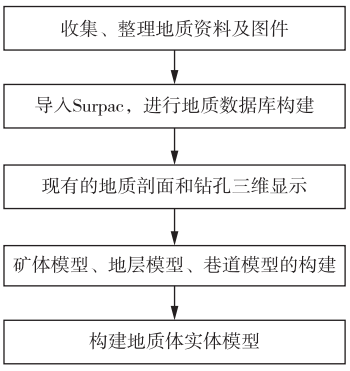


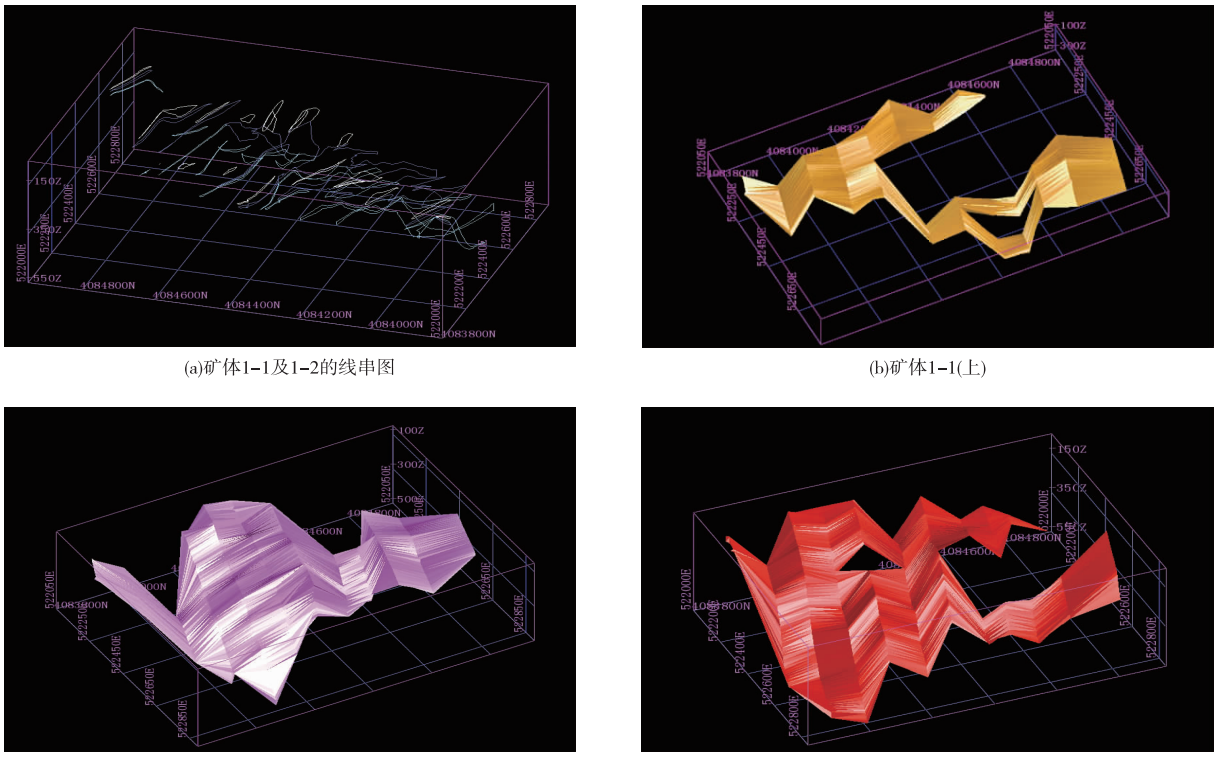
图 5　实体模型构建流程图

Fig. 5　Flow chart of entity model construction

4.2 矿体模型的构建

根据矿区的 12 个剖面提供的 CAD 剖面图,在 Surpac 软件中手绘出每个剖面的矿体线串文件,主要包括 1-1(上、下)矿体和 1-2 矿体。再利用 Surpac 软件里的创建三角网功能,把相邻的线串依次进行连接,构建出矿区内矿体实体模型。完成的实体模型见图 6。

本文根据位置和品位分类建立了三个矿体模型,按深度从上到下分别为 1-1(上、下)矿体和 1-2 矿体。三个矿体的建立能够准确地掌握矿体的空间形态以及矿体和整个地质体的空间位置关系,对之后的开采设计和矿体的储量估算等具有重要意义。



(a)矿体1-1及1-2的线串图

(b)矿体1-1(上)

(c)矿体1-1(下)

(d)矿体1-2

图 6 矿体剖面及矿体模型

Fig. 6 Ore body profile and ore body model

4.3 地质体地层模型的构建

各个地层的三维地质模型构建能更好地实现地质体空间结构和地层成分的基本表达形式可视化、分析结果可视化和预测过程设计可视化。从可视化角度立体分析地质体的空间形态和展布,从三维可视化研究角度立体化地分析三维地质体的空间地层形态和结构展布,为进一步深入开展三维地质预测研究提供大量基础数据资料[10]。主要的地层包括石炭系地层、奥陶系地层、破碎带、奥陶系灰岩层、矿体层以及矽卡岩和蚀变闪长岩层。整个研究区域的地层信息图见图 7,其中蓝色为灰岩层,黄色为破碎带层,灰色为石炭系层,绿色为矽卡岩层,青色为蚀变闪长岩层,棕色、粉色及红色分别为矿体 1-1(上、下)和矿体 1-2。

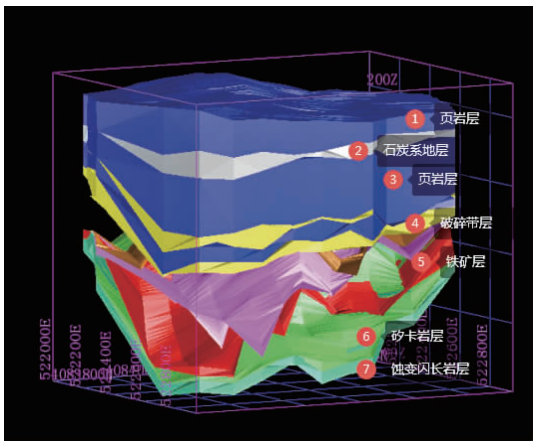


图 7 地层综合图

Fig. 7 Comprehensive stratigraphic map

4.4　巷道模型的构建

基于 Surpac 的三维巷道模型构建的方法有两种:第一种是按照巷道的中线建立巷道实体模型,这种方法一开始需要在软件中绘制出巷道设计的中线,之后通过 Surpac 中的中线与剖面线功能创建出巷道三角网,最终形成巷道实体模型;第二种是根据测量数据生成巷道的实体模型,此种方法根据现场实际测量的数据,通过绘制此数据代表顶底板的线文件,利用巷道的顶底板模型创建三角网,建立巷道的实体模型[11]。对已有的两种建立模型的方法进行比对,根据研究区的数据来源等信息,选出合适的方法。本文运用第一种模型方法,构建了四个不同深度的巷道模型,其中两条主要为海拔－170 m 和海拔－230 m 处的巷道,巷道的综合模型如图 8 所示。

矿体的施工以及开采需要巷道的支持,所以建立巷道模型是十分有必要的。建立地下采矿巷道三维模型后就能及时准确获得地下采掘工作面与巷道的空间位置关系,有利于事故的提前预测预警,进而指导安全生产,保障地下工人的生命安全。同时根据矿体与巷道的相对位置关系,能够对之后的巷道施工进行指导。本文建立了四个不同深度的巷道模型,对于之后的矿山工作更具有指导意义。

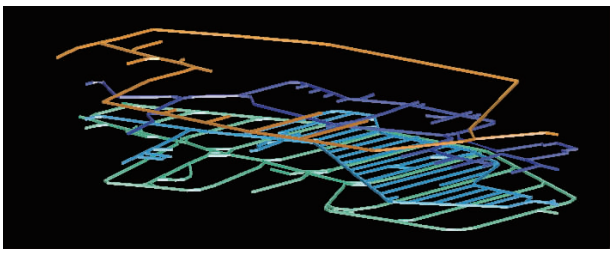
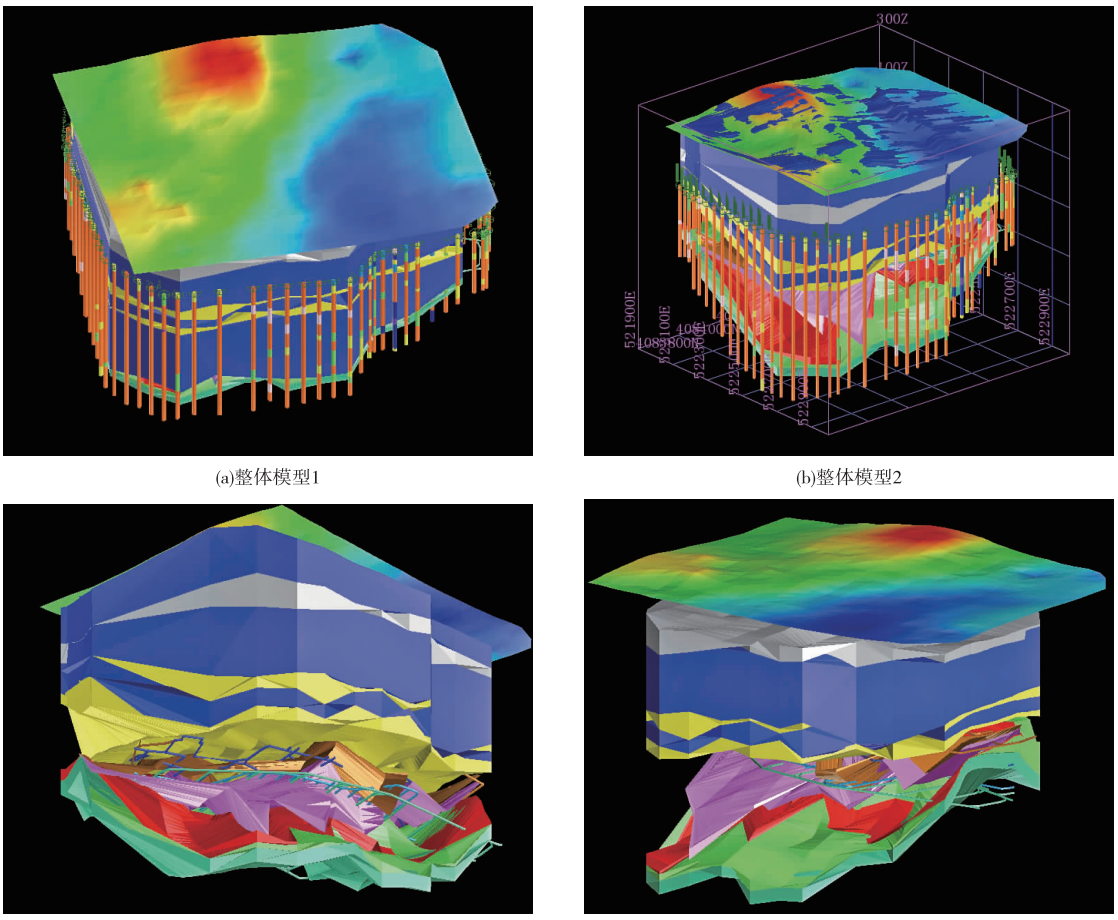


图 8　巷道模型

Fig. 8　Roadway model

4.5　地质体整体模型的构建

根据以上建模的成果,生成整个研究区域的整体模型,包括地表实体模型、矿体模型、地层模型、巷道模型以及帷幕注浆孔等。所建整体模型见图 9。



(a)整体模型1　(b)整体模型2

(c)整体模型3　(d)整体模型4

图 9　整体模型

Fig. 9　Whole geological model

图 9 中(a)图主要表达了该矿区的地表模型,其直观地表达出矿区所处环境的地形变化,中部区域海拔较高,其余位置较低。(b)图包括了矿区的地表模型、矿体模型、地层模型及帷幕注浆孔,整体的表现了矿区的地质体模型。(c)图及(d)图主要从不同角度表达了巷道模型和地质体模型的位置关系,可以看出巷道主要在铁矿层的位置分布。

4.6 生产勘探线矿体模型构建

在矿体开采过程中,为了生产开采的需要,根据原来剖面线数据以及参照已经建立的矿体模型,矿区在矿体局部若干个生产勘探线打出了新的钻孔。根据新的生产勘探线数据,构建出局部生产勘探线的矿体模型,主要包括矿体 1-1(上、下),并和原来的矿体模型相比较。局部图中蓝色为矿体 1-1 上,黄色为矿体 1-1 下,构建好的模型图以及比对图分别见图 10、图 11。

根据图上可以看出生产勘探线的局部矿体 1-1(上)与原模型相差不大,局部矿体 1-2 一部分与原来相似,另一部分与原来有较大的差异,比原来的矿体多出一部分新矿体。说明了原来所建模型基本支持了开采的过程,与实际矿体位置相差不大,有比较良好的应用效果。但也有与实际不相符的地方,此时还需根据开采过程进行随时的更改更新,随采随改,提高模型的准确性。

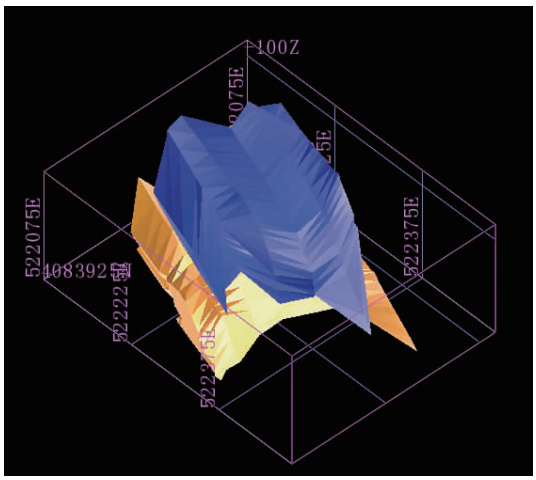
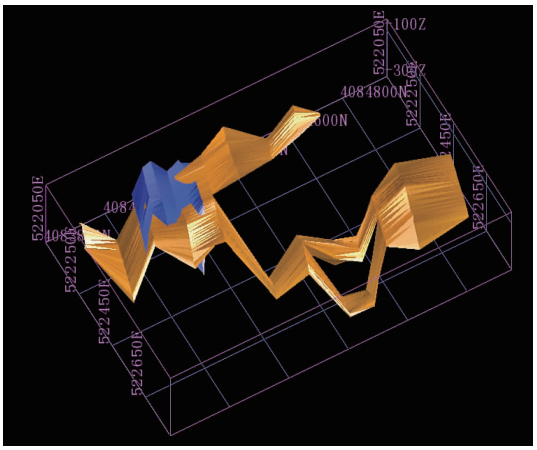
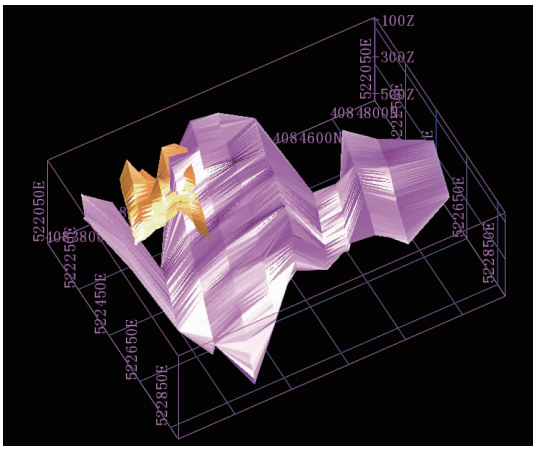


图 10 局部矿体模型

Fig. 10 Part of the orebody model



(a)矿体1-1(上)



(b)矿体1-1(下)

图 11 矿体模型对比图

Fig. 11 Orebody model comparison diagram

5 结论

1)通过详细介绍实体模型建立的算法和Surpac软件相关功能,对建立实体模型的原理有了更深入的认识,更能通过灵活使用软件,对对象进行实体建模。

2)以某铁矿的三维地质建模作为研究对象,研究出了比较适合此矿区的建模过程,建立了矿区的地表模型、矿体模型和整个矿区的地质体模型。通过各种建模的方式,使矿区的地质形态以及矿山的构建更加直观地显示出来。同时对整个矿区地层的分层建模也使得建模更加具体精细。

3)这种三维地质实体建模提高了模型的精细化表达、使模型可视化效果更加详细。为之后的数据操作处理以及数据的实时更新提供基础,为矿体的块体模型及品位模型做好了前期的准备。

参 考 文 献

[1] 娄渝明. 基于地质三维建模的西藏雄村矿区 2 号矿体深部资源定量预测[D]. 成都:成都理工大学,2019.
LOU Yuming. Quantitative prediction of deep resources of No. 2 orebody in Xiongcun ore area, Tibet, Based on geological 3D modeling[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2019.

[2] 邓浩. 面向隐伏矿体预测的三维地质建模与空间分析若干技术研究[D]. 长沙:中南大学,2008.

DENG Hao. Some technical studies on 3D geological modeling and spatial analysis for concealed orebody prediction[D]. Changsha:Central South University,2008.

[3] 黄松. 山博赛金矿床地质统计学模型构建与三维成矿预测[D]. 北京:北京科技大学,2020.
HUANG Song. Construction of geostatistical model and three-dimensional metallogenic prediction of Shanbosai gold deposit[D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing,2020.

[4] 郭斌,王社光,王庆刚,等. 中关铁矿底部出矿嗣后充填采矿方法试验研究[J]. 现代矿业,2021,37(2):47-49,52.
GUO Bin, WANG Sheguang, WANG Qinggang, et al. Experimental study on mining method with backfill at the bottom of Zhongguan iron mine[J]. Modern Mining, 2021, 37(2):47-49,52.

[5] 原野,王贺,曹辉,等. 深埋矿体移动带三维圈定方法及应用[J]. 有色金属(矿山部分),2020,72(5):87-89.
YUAN Ye, WANG He, CAO Hui, et al. Research on 3D delineation method for movement zone of deep ore body[J]. Nonferrous Metals(Mining Section),2020,72(5):87-89.

[6] 贾东会. 青海卡尔却卡铜多金属矿床三维地质建模及定量预测[D]. 北京:中国地质大学(北京),2016.
JIA Donghui. Three-dimensional geological modeling and quantitative prediction of Kalceka copper polymetallic deposit in Qinghai province[D]. Beijing: China University of Geosciences,Beijing,2016.

[7] 黄超,郎兴海,娄渝明,等. 西藏雄村Ⅰ号矿体三维地质建模与深部可视化应用[J]. 地质通报,2021,40(5):753-763.
HUANG Chao, LANG Xinghai, LOU Yuming, et al. 3D geological modeling and deep visualization application of Xiongcun I ore body in Tibet[J]. Geological Bulletin, 2021, 40(5):753-763.

[8] 朱荣跃. 矿山工程三维地质可视化建模分析及应用[D]. 长春:吉林大学,2014.
ZHU Rongyue. 3D geological visualization modeling analysis and application of mine engineering[D]. Changchun: Jilin University,2014.

[9] 黄继先,毛先成,邓浩. 一种面向三维地质剖面的形体表面重构算法[J]. 地理与地理信息科学,2017,33(1):19-22,34.
HUANG Jixian, MAO Xiancheng, DENG Hao. A surface reconstruction algorithm for 3D geological profile[J]. Geography and Geographic Information Science,2017,33(1):19-22,34.

[10] 张浩浩,李旭. 蒙其古尔铀矿床三维地质模型构建及应用[J]. 铀矿地质,2021,37(3):519-527.
ZHANG Haohao,LI Xu. Construction and application of three-dimensional geological model of Mengqigul uranium deposit[J]. Uranium Geology,2021,37(3):519-527.

[11] 侯恩科,张志华,邓念东,等. OpenGL 环境下两种巷道三维建模方法的比较[J]. 矿业研究与开发,2009,29(5):59-62.
HOU Enke, ZHANG Zhihua, DENG Niandong, et al. Comparison of two roadway 3D modeling methods in OpenGL environment[J]. Mining Research and Development, 2009, 29(5):59-62.

(编辑:周叶)

(上接第 90 页)

[2] 易露,张华. 铜山口铜矿露天边坡稳定性分析[J]. 采矿技术,2021,21(5):75-78.
YI Lu,ZHANG Hua. Stability analysis of open-pit slope in Tongshankou copper mine[J]. Mining Technology, 2021, 21(5):75-78.

[3] 杨天宝. 某白云岩矿露天边坡稳定性分析[J]. 矿业工程,2021,19(6):23-26,31.
YANG Tianbao. Stability analysis of open-pit slope in a dolomite mine[J]. Mining Engineering,2021,19(6):23-26,31.

[4] 刘志军,周丹,鄂玉强,等. 某露天矿边坡稳定性分析[J]. 采矿技术,2021,21(6):25-28.
LIU Zhijun,ZHOU Dan,E Yuqiang,et al. Analysis of slope stability in an open-pit mine[J]. Mining Technology, 2021, 21(6):25-28.

[5] 张亚宾,谭志远,高锋,等. 高陡边坡下挂帮矿开采方法与稳定性分析[J]. 矿业研究与开发,2019,39(5):15-18.
ZHANG Yabin, TAN Zhiyuan, GAO Feng, et al. Mining method and stability analysis of hanging gang ore under high and steep slopes[J]. Mining Research and Development,2019, 39(5):15-18.

[6] 吕鹏. 基于信息技术的深凹露天矿高陡边坡稳定性综合分析研究[D]. 北京:北京科技大学,2019.
LYU Peng. Comprehensive analysis and research on the stability of high and steep slopes in deep concave open pit mines based on information technology[D]. Beijing:University of Science and Technology Beijing,2019.

[7] 谷岩. 基于 Geo-Slope 露天边坡稳定性分析及治理方案选择[J]. 采矿技术,2016,16(4):22-23.
GU Yan. Based on Geo-Slope open-cast slope stability analysis and control scheme selection[J]. Mining Technology, 2016, 16(4):22-23.

[8] 云霞. 企业职业健康安全管理体系与安全生产标准化融合研究[J]. 工业安全与环保,2020,46(8):67-69.
YUN Xia. Research on the integration of enterprise occupational health and safety management system and safety production standardization[J]. Industrial Safety and Environmental Protection,2020,46(8):67-69.

[9] 冯德润. 基于赤平投影-强度折减法的露天矿边坡稳定性研究[J]. 有色金属(矿山部分),2021,73(5):52-57.
FENG Derun. Research on slope stability of open-pit mine based on stereographic projection-strength reduction method[J]. Nonferrous Metals(Mining Section),2021,73(5):52-57.

(编辑:周叶)