

黑龙江云山石墨矿复杂地质体三维建模研究

卿得成

(中冶长天国际工程有限责任公司,湖南 长沙 410007)

摘要:为了推进矿山数字化、智能化建设,为矿山资源高效开采及利用提供理论和三维基础研究资料至关重要。文章以黑龙江云山石墨矿为研究对象,利用 DIMINE 数字矿山软件整合钻孔数据库,对矿床地质特征进行了分析,探讨其地质意义,分析岩性与矿体分布特征,对矿区岩性进行归类合并,将多种岩性合并为片岩类、第四系类、碳酸岩类、变粒岩类、脉岩类和构造相关类六大类,建立复杂地质体三维模型。研究结果表明:该模型直观展示了岩层空间分布规律,可为矿床成因分析、资源协同开采及爆破技术优化提供数据支撑,对提升石墨资源综合利用价值具有指导意义。

关键词:石墨矿; 钻孔数据库; 三维模型; 复杂地质体

中图分类号:P619.25⁺²

文献标志码:A

文章编号:1673-8993(2025)06-0014-06

doi:10.13402/j.gcjs.2025.06.069

Study on 3D modeling of complex geological body in Yunshan graphite mine, Heilongjiang province

QING Decheng

(Zhongye Changtian International Engineering Co., Ltd., Changsha 410007, Hunan, China)

Abstract: In order to promote the digitalization and intelligence construction of mines, It is crucial to provide theoretical and three-dimensional basic research data for the efficient mining and utilization of mining resources. This article takes Yunshan graphite mine in Heilongjiang province as the research object, integrates the drilling database with DIMINE digital mining software, analyzes the geological characteristics of the deposit, discusses its geological significance, analyzes the distribution characteristics of lithology and ore bodies, classifies and merges the lithology of the mining area, and combines various lithology into six categories: schist, Quaternary, carbonate, granulite, dike and structural correlation, and establishes a three-dimensional model of complex geological bodies. Research demonstrates that the model intuitively shows the spatial distribution law of rock strata, provides data support for the genetic analysis of ore deposits, collaborative exploitation of resources and optimization of blasting technology, and has guiding significance for improving the comprehensive utilization value of graphite resources.

Key words: graphite mine; the drilling database; three-dimensional model; complex geological body

三维地质建模是地质理论与计算三维可视化技术结合产物,其在近三十年时间得到飞速发展。在矿山建设方面,国内外广泛应用矿业软件建立矿床或地质体模型,实现矿山生产的动态管理及

资源的合理利用^[1-2]。目前成熟的矿业软件有 Dimine、Micromine、Surpac、Datamine 等,为矿山设计的三维可视化及矿山智能化建设奠定了基础。特别是近些年,三维地质建模技术在国内矿山应

收稿日期:2025-03-26

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2020YFC1909602)

作者简介:卿得成(1982—),男,高级工程师,从事矿山设计及咨询方面的工作。

用实际案例较多,国内学者及研究人员在理论与技术方面也取得了一些研究成果^[3-4]。为了推进矿山数字化、智能化建设,为更高效开采利用矿山资源。本文以云山石墨矿为例,将对矿床地质特征进行分析,探讨其地质意义,根据收集矿区钻孔数据库原始资料,重点分析岩性与矿体分布特征,对矿区岩性进行归类合并,以Dimine软件为平台构建该矿山复杂三维地质体模型。以期为该地区石墨资源的系统开发以及提升综合利用价值提供参考数据,为该矿山数字化、智能化建设提供基础研究资料,为同等类型矿山的数字化、智能化建设提供技术指导。

1 矿区地质特征

矿区位于四方山林场复式背斜北东翼,区内地层较发育,发现的石墨矿体赋存在中~新元古界兴东岩群大盘道岩组下部结晶片岩中,矿体产状与地层一致。

1.1 地层

区内出露的地层有中~新元古界兴东岩群大盘道岩组(Pt_{2-3d})和第四系河床、河漫滩堆积层,石墨矿体赋存于大盘道岩组下部结晶片岩。

1.1.1 中~新元古界大盘道岩组(Pt_{2-3d})

岩层走向呈北北东、近南北向,倾向总体东南~偏东,倾角 $25^{\circ}\sim 45^{\circ}$,走向延长约为3 600 m,宽度约为3 500 m。由于受后期褶皱构造、断裂构造影响,地层强烈褶曲变形和错断,同时矿区内混合岩化发育,原岩层序、厚度已无法恢复,属局部无序、总体也无序的地层层序,地层厚度只代表了地层出露的一定宽度,已不代表原来意义上的地层厚度。

根据矿区钻探、槽探工程控制的岩性与含矿情况,将该组地层划分为上、下两个岩性组合。下部岩性组合有石英片岩、石墨片岩、石墨石英岩、长石片岩、斜长片岩、局部夹少量的变粒岩、大理岩、混合岩(或片麻岩)组成的片岩层,含20层石墨矿层;上部岩性组合有黑云微斜条痕状混合岩、均质混合岩及少量条带状混合岩,夹黑云斜长片麻岩、黑云片岩、绢云石英片岩、云母石英片岩、石英岩、黑云斜长片岩、长石云母片岩、矽线片岩。

大盘道岩组下部片岩组合:地表分布在矿区15~36线间,岩性为石英片岩、石墨片岩、石墨石英岩、长石片岩、斜长片岩、局部夹少量的变粒岩、大理岩、混合岩。地层走向呈北北东、近南北向,倾向总体东南~偏东,倾角 $25^{\circ}\sim 75^{\circ}$,具有向北收拢、向南敞开的特征。剖面上呈不规则条带状、厚层状、大的透镜状产出,具有地表陡立,延倾向逐渐变缓的特点。片岩组合内发育有多层石墨矿层,矿层状产与地层状一致。

大盘道岩组上部混合岩组合:分布在矿区的北、东、西面,由黑云微斜条痕状混合岩、均质混合岩及少量条带状混合岩组成,夹黑云斜长片麻岩、黑云片岩、绢云石英片岩、云母石英片岩、石英岩、黑云斜长片岩、长石云母片岩、矽线片岩。

上述岩石组合显示大盘道组上段为泥~粉砂质岩、炭质页岩夹杂碳酸盐、火山岩沉积。呈层状连续分布。兴东群大盘道组自下而上总体上呈碳酸盐岩建造,与远陆核区特征相一致。沉积环境相对稳定,原岩形成于大陆板块边缘及岛弧区浅海与近海环境。在变质作用过程中,以热能为主要,温度较高,地壳热流值在大范围内均匀分布,属角闪岩相,为中~高温低压变质作用。

1.1.2 第四系(Qh)

主要分布在矿区南部和东部,沿鸭蛋河谷及其支流分布,由坡积和冲积沙、砾石夹少量粉质黏土组成,厚度为5~10 m左右。

1.2 构造

1.2.1 褶皱

云山石墨矿位于四方山林场复式背斜北东翼,局部小褶皱非常发育,大者数十米,小者数厘米,致使地表产状变化较大,局部地层有倾向北西或北东的现象。

1.2.2 断裂

根据断层性质、产状和形成顺序,可将其分为南北向、北东向及北西向3组。矿区内主要较大的断裂有4条:南北向断层 F_4 、北东向断层 F_1 、 F_3 、北西向 F_2 断层。

1.3 变质作用

矿区内变质岩比较发育,为一套较深变质岩系。以受区域变质作用和混合岩化为主,其次迭

加了接触热力变质作用,其表现为区域变质岩和混合岩在矿区占主导地位,接触变质岩相对很少。根据变质作用类型不同,将矿区变质岩划分为区域变质岩、接触变质岩和混合岩。

1.3.1 区域变质岩

矿区区域变质岩较为复杂,由于经历多期变质和构造运动影响,变质程度较深,变形程度较强,达到中高角闪岩相,致使岩石层序无法恢复,变质岩石多样。区内区域变质岩以各种片岩、混合岩、大理岩和石英岩居多,其次有少量片麻岩、变粒岩等。矿体岩性主要为石墨片岩、含石墨的各类变质岩。

1.3.2 接触变质岩

矿区内接触变质岩不发育,仅在个别钻孔中见到砂卡岩,砂卡岩岩石原岩多为大理岩。

1.3.3 混合岩

矿区内混合岩发育,分布在矿区的西、北、东三面,混合岩化破坏了石墨矿体层的完整性,但对石墨结晶具有积极作用。根据混合岩结构构造将区内的混合岩划分为条痕状混合岩、均质混合岩、条带状混合岩。混合岩局部也含石墨,但石墨品位较低。

1.4 侵入岩及岩脉

1.4.1 侵入岩

矿区侵入岩为元古代混合花岗岩,混合花岗岩比较发育,主要呈脉状产出。混合花岗岩脉多沿片理侵入,对矿体的破坏较小,受花岗岩脉影响的石墨矿体有程度不等的混合岩化或硅化。混合花岗岩脉形成略晚于矿体,对矿体有轻微的破坏影响。

1.4.2 岩脉

区内脉岩发育多呈零星分布,规模小。有的穿入地层,有的在混合花岗岩中出现。其中包括正长岩、斜长花岗岩、二长花岗岩、混合花岗岩、石英脉等,其中最为发育的是正长岩。区内脉岩多沿层理贯入,对矿体连续性影响较小。

2 地质体三维可视化模型的建立

2.1 钻孔数据的采集与管理

钻孔数据主要通过工程钻探获得,是矿体与岩层三维建模的原始数据。云山石墨矿地质数据库使

用 DIMINE 数字矿山软件建立,该软件系统利用 Excel 数据库来负责管理云山石墨矿体与岩层的原始数据,由矿山提供。该数据库主要包括 4 个文件:“孔口文件(Collar)”、“测斜文件(Survey)”、“样品文件(Assay)”、“岩性文件(Geology)”。

2.2 处理数据库文件及生成钻孔轨迹

(1) 把矿区钻孔数据库 4 个文件导入到 DIMINE 软件系统中。该地质数据库共计含勘探线 22 个,钻孔 268 个,其中地表大钻孔 217 个、沿勘探线方向小钻孔及水平勘探钻孔 51 个,样品数据 15 851 个,可通过二维视图以图形的方式来显示和查询。

(2) 数据检查主要检查数据是否越界、交差以及钻孔数据的完整性,其目的在于提高数据的精确性、正确性和对矿体及岩性描述的科学性^[5-6]。针对矿山提供钻孔数据库处理与识别遇到的问题,主要为以下几类:1) 部分钻孔缺失开口坐标,如:ZK11-1 等,根据矿山现场联系,补充提供;2) 部分钻孔描述区间超过了孔深。收集矿山原始实际数据并核查,确定修改相关数据;3) 钻孔数据中描述的区域重叠、岩层数据描述缺失等等相关情况。核查原始数据并确认修改。

(3) 处理数据库文件,生成钻孔数据库文件,生成钻孔轨迹,如图 1 所示。

2.3 岩性分类统计及归类

2.3.1 岩性分类统计

根据钻孔数据库共统计岩性 26 种,其中有主要岩性 9 种:片岩(sch, 出现 1 720 次)、石英岩(qz, 1 423 次)、大理岩(mb, 912 次)、花岗岩(grn, 369 次)、混合岩(mi, 238 次)、第四系(qh, 164 次)、变粒岩(jnt, 139 次)、角闪岩(abl, 128 次)、片麻岩(gn, 64 次)。该矿地质数据库三维可视化图如图 1 所示。每个钻孔上不同岩层岩性反复交替出现,给地质解译和三维建模带来一定困难,为此需要对该数据库进行过滤和分析,以便找出岩层三维空间分布规律,结合该矿区地质报告,综合分析该地区岩层形成与分布规律,科学合理地构建地质体三维模型。

2.3.2 岩性归类

此研究初步按照 26 种岩性进行解译,构建矿

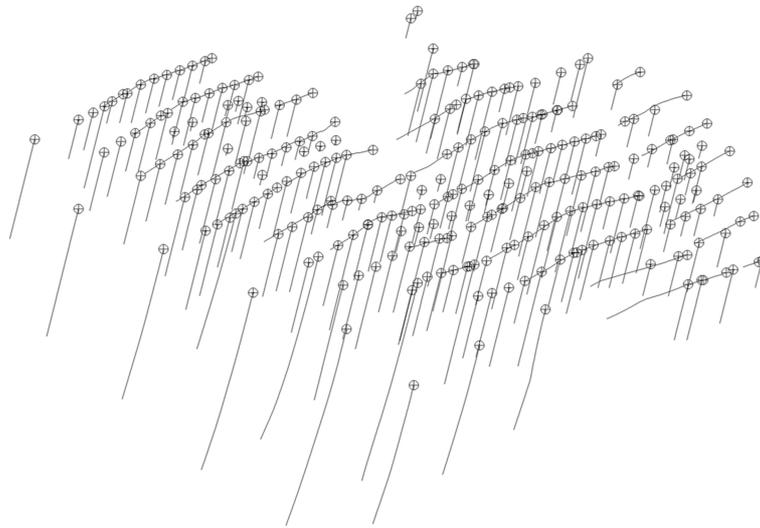


图 1 云山石墨矿地质数据库三维可视化图（不带岩性）

区三维地质体模型，但地质体模型显示各岩性三维实体交叉多，岩性整体分布较乱，对矿体分布规律研究指示性较低。为更科学合理地构建地质体三维模型，本文结合矿区岩性与矿体分布特点，经过和相关研究单位的地质专家反复讨论，对该矿区岩性进行合并归类，归类如表 1 所示。

根据以上岩性归类原则，重新处理好数据库文件，生成钻孔数据库文件。

3 岩性三维实体建立

3.1 钻孔数据库的解译

解译矿山地质数据库，该矿山勘探线共 22 条，勘探线号分别为 11、7、3、1、0、2、4、6、8、10、12、16、18、20、22、24、26、28、32、N18、N22、N24^[7]。对照地质数据库文件格式和数据结构，将云山石墨矿地质数据库按“勘探线号”字段进行分解，得到各勘探线剖面上的钻孔数据，生成勘探线号文件 22 个。在三维空间分勘探线解译岩性的圈连，岩性圈连接外推原则：剖面间相邻钻孔，1 钻孔见到该岩性，相邻钻孔未见到该岩性，岩层圈定推断原则为为工程间距的 1/2 尖推。勘探线岩性典型剖面解译图如图 2 所示。

3.2 分岩性提取岩性线并建立实体

按勘探线分类提取第四系(Qh)、构造相关类(F)、片岩类(Sch)、碳酸盐相关类(Mb)、变粒岩类(Jnt)、脉岩类(Dike)6 类岩性线，分岩性连接实体。岩性剖面间沿走向和倾向连接原则：主要

表 1 矿区岩性归类

新归类及代码	原岩性分类	原岩性代码	出现频次
第四系(Qh)	风化砂	es	5
	第四系	Qh	164
	槽探回填土	soil	7
构造相关类(F)	构造角砾岩	sb	21
	构造破碎带	F	14
片岩类(Sch)	片麻岩	gn	64
	片岩	sch	1 720
碳酸盐相关类(Mb)	大理岩	mb	912
	透辉岩	di	26
	矽卡岩	sk	5
	斜黦帘石岩	cz	8
	透闪岩	tsy	4
	绿帘石岩	ep	3
变粒岩类(Jnt)	变粒岩	jnt	139
	粗安岩	td	1
	石英岩	qtz	1
	石英岩	qz	1 423
	硅质岩	si	1
脉岩类(Dike)	花岗岩	gm	369
	混合岩	mi	238
	闪长玢岩	schby	1
	石英脉	q	3
	细晶岩	xjy	9
	闪长玢岩	diorite porphyrite	1
	辉长岩	v	1
	角闪岩	abl	128

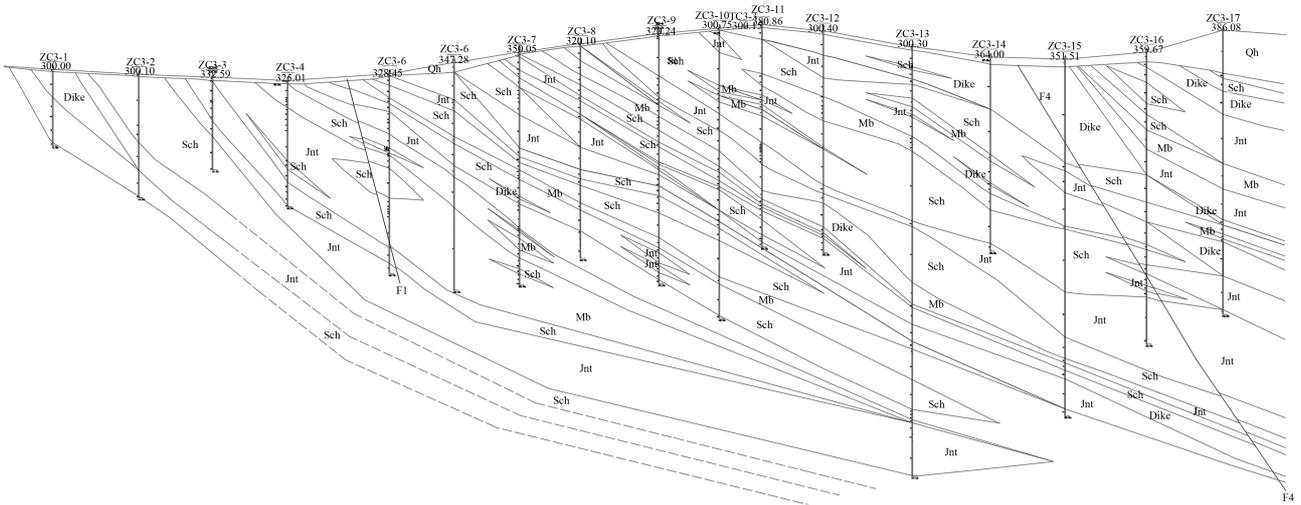


图 2 云山石墨矿 3 号勘探线剖面解译图

根据岩性赋存的空间位置、产状、岩性及控矿构造等地质特征的综合研究、分析对比而确定连接。外推原则：剖面间连接岩层外推原则需保持一致。全部统一线推，推断距离调整为勘探线间距的一半，推出去交叉的部分可以适当调整。以第四系(Qh)为例，建立的实体如图 3 所示。

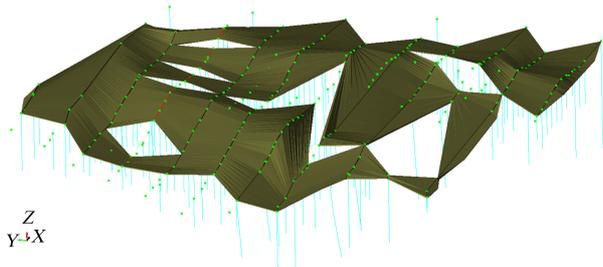


图 3 第四系岩层模型

3.3 岩性模型整体处理与分析

分岩性线建立岩性实体线框文件，在岩性线框建立过程中，出现多个加叉的情况，处理这种现象一般有以下几种方法：1) 原始剖面岩性分类界线需要调整；2) 根据原始钻孔剖面分类线解译线框实体，圈连空间部分出现交叉，交叉部分根据岩性分布特征，加密并调整岩性形态分布线；3) 根据钻孔数据库解译的矿体与各岩性分布特征，结合矿区岩层形成特征，反复调整局部线框特征，岩性模型如图 4 所示。

4 结 论

本文综合考虑矿区岩层复杂性及岩层数较多，

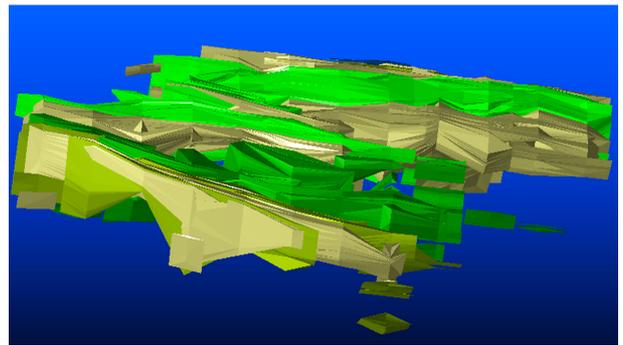


图 4 矿区岩层模型示意

在建立每个岩层的三维模型后，再进行大类岩层三维建模，按岩性将岩层进行分类合并，分为 6 大类，即片岩类、第四系类、碳酸岩类、变粒岩类、脉岩类和构造相关类。在每个勘探线剖面上，按照大类岩层提取岩层线，建立大类岩层模型，并与云山矿地表模型进行 Boolean 运算，确保岩层模型与矿山现状相符合。建立的石墨矿复杂地质体三维模型(DIMINE 模型)，为今后研究矿床成因提供基础资料。另外，在分析矿山工程地质条件，研究矿体爆破破碎机制与能耗特性，推导围岩、矿体的动态本构模型与破坏准则，建立炸药、爆破参数与矿体特性智能匹配模型研究爆破作用下矿岩分离与堆积规律，研发矿岩协同差异化精细控制爆破技术等方面研究提供了详细三维实体数据，对该地区石墨资源的系统开发以及提升综合利用价值有一定指导意义，为同等类型矿山的数字化、智能化建设提供技术指导。

参考文献:

- [1] 张菊明. 三维地质模型的设计和显示[M]. 北京:地质出版社,1996:158-167.
- [2] 张洋洋,周万蓬,吴志春,等. 三维地质建模技术发展现状及建模实例[J]. 东华理工大学学报,2013(3):403-404.
- [3] 李莹,肖克炎,陈建平. 基于立方体模型的三维矿体模拟与资源评估[J]. 地质通报,2010,29(10):1547-1553.
- [4] 吴冲龙,何珍文,翁正平,等. 地质数据三维可视化的属性、分类和关键技术[J]. 地质通报,2011,30(5):642-649.
- [5] 陈庆发,杨家彩,高远等. 大型复杂地质体三维数值模型构建方法比较研究[J]. 岩土力学,2016(增刊2):753-760.
- [6] 邹艳红,刘雯,黄望等. 面向矿床三维动态建模的地质勘探数据库增量更新方法[J]. 地质学刊,2016(3):372-383.
- [7] 张寄丹,王大伟,赵国龙,等. 黑龙江省萝北县云山石墨矿区资源储量核实报告[R]. 佳木斯:黑龙江省第六地质勘查院,2019.
-
- (上接第 13 页)
- [12] 皮晓东,孙权,罗果萍,等. 球团矿还原膨胀机理研究概况[J]. 烧结球团,2017,42(4):28-34.
- [13] DWARAPUDI S, BANERJEE P K, CHAUDHARY P, et al. Effect of fluxing agents on the swelling behavior of hematite pellets [J]. International Journal of Mineral Processing,2014,126:76-89.
- [14] MANOJA K M, SRISHTI M, BHAGIRATHA M, et al. Effect of basicity on the reduction behavior of iron ore pellets [J]. Arabian Journal for Science and Engineering, 2018,(43):5989-5998.
- [15] GUO Yuhua, XIE Jun, Gao Jiajun, et al. Study on the production and metallurgical properties of fluxed pellets with high hematite content [J]. Metallurgist, 2017, 61(7-8):638-645.
- [16] 兰臣臣,卢建光,吕庆,等. 碱度对镁质低硅球团矿冶金性能的影响[J]. 烧结球团,2022,47(4):49-57.
- [17] 贾鹏飞. 碱度对白云鄂博铁精矿压团矿强度和还原膨胀性能的影响[D]. 包头:内蒙古科技大学,2019.