

矿产资源三维地质建模规范 铁矿

Specification for 3D geological modeling of mineral resource
Iron deposits

2024 - 09 - 19 发布

2024 - 12 - 19 实施

目 次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 三维地质建模基本要求 3

5 数据汇集与处理 5

6 三维地质建模 6

7 模型质量控制 9

8 建模成果 10

附录 A（资料性）三维空间数据模型类型..... 11

附录 B（资料性）铁矿勘查各阶段与矿业开发阶段三维地质模型说明..... 12

附录 C（资料性）探矿工程类建模数据的字段说明..... 13

附录 D（资料性）矿体模型构建示意图..... 18

附录 E（资料性）三维地质模型应用..... 19

参考文献 20

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由山西省自然资源厅提出、组织实施和监督检查。

山西省市场监督管理局对标准的组织实施情况进行监督检查。

本文件由山西省自然资源标准化技术委员会（SXS/TC26）归口。

本文件起草单位：山西省矿产资源调查监测中心、山西省煤炭地质物探测绘院有限公司、中国地质大学（武汉）、武汉地大坤迪科技有限公司。

本文件主要起草人：付丽强、康志军、武丽红、侯莉、曹慧玲、李俊英、尹冰一、李彦飞、龚杰立、王斌峰、吴晗、崔玉柱、郭喜运、乔利鹏、高敏、李瑞娜、吴冲龙、田宜平、张夏林、李岩。



引 言

铁矿资源的三维地质模型是勘查区内地质信息的有效数字化载体,为了规范三维地质模型构建过程中的数据采集与处理、主题数据库建设、建模方法的选择及模型成果的管理,确保所建立的三维地质模型质量安全、精度可靠及实用性强,制定本文件,以此作为我省铁矿资源三维地质建模工作的统一技术要求。

矿产资源三维地质建模规范 铁矿

1 范围

本文件规定了铁矿三维地质建模的基本要求、数据汇集与处理、地质模型构建、模型质量控制以及建模成果管理等方面的技术要求。

本文件适用于山西省内铁矿资源勘查、开发中三维地质建模及其质量监控、成果验收等工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

| | |
|------------|------------------------|
| GB/T 13908 | 固体矿产地质勘查规范总则 |
| GB/T 13923 | 基础地理信息要素分类与代码 |
| GB/T 18894 | 电子文件归档与电子档案管理规范 |
| GB/T 33444 | 固体矿产勘查工作规范 |
| DD 2015-06 | 三维地质模型数据交换格式 (Geo3DML) |
| DD 2019-12 | 三维地质模型元数据标准 |
| DZ/T 0078 | 固体矿产勘查原始地质编录规程 |
| DZ/T 0079 | 固体矿产勘查地质资料综合整理综合研究技术要求 |
| DZ/T 0179 | 地质图用色标准及用色原则（1:50000） |
| DZ/T 0197 | 数字化地质图图层及属性文件格式 |
| DZ/T 0200 | 矿产地质勘查规范 铁、锰、铬 |
| DZ/T 0274 | 地质数据库建设规范的结构与编写 |

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

地质空间数据 Geological spatial data

简称空间数据, 地质实体对象的空间位置、形态、规模、产状和几何拓扑关系的表征, 包括定量和定性两种形式, 以定量为主, 可采用栅格数据和矢量数据等形式表达。

3.2

地质属性数据 Geological attribute data

简称属性数据, 地质参数在空间的分布特征, 包括地层、构造、岩体和矿体的岩性、成分、蚀变、品位以及地球物理、地球化学参数。地质属性数据具有多类、多层次和多主题的特征。

3.3

地质数据标准化 Geological data standardization

简称标准化, 按地质行业规范要求、建模需求和地质数据库规定的标准数据格式, 进行数据整理和规范化。进行标准化的数据主要包括地质图件类、表格类、文档类及元数据类; 重点对不同时期、不同

勘查阶段、不同勘查工程所获取的空间数据和拓扑关系转换到统一的坐标参照体系；对钻孔岩心及其他地质描述数据的术语语义和层位归属进行一致化、标准化。

3.4

面元数据结构模型 Facet structure model

简称面元模型,采用特定的面元形式对具有表面(层面)特征的地质体进行描述的数据模型,例如地形表面、地层层面、断层面、地质结构面和地质体轮廓等。

3.5

体元数据结构模型 Volume element structure model

简称体元模型,基于三维空间的体元分割和真三维实体表达,用于描述三维地质体内部结构和属性变化特征的数据模型。

3.6

混合数据结构模型 hybrid data structure model

简称混合模型,采用面元和体元数据结构模型相结合的方式对地质空间内同一个或多个地质体进行几何特征、属性特征进行表征的数据模型。

3.7

三维地质模型 Three-dimensional geological model

在三维空间环境下表征地质体的空间形态与特征,以及地质参数在空间分布规律与变化特征的数字模型。

3.8

三维地质结构模型 Three-dimensional geological structure model

基于各类地质数据建立的表达地质体及结构构造空间展布与相关关系的三维地质几何模型,反映三维空间内各地质体的形态、空间位置及关系的集合。

3.9

三维地质属性模型 Three-dimensional geological attribute model

反映地质实体内部包括各类物理、化学性质与特征在内的属性参数的三维地质模型。基于三维地质结构模型,采用本文件所规定的体元模型进行三维空间网格划分;然后利用各类勘查数据、分析测试数据等,根据地质体属性空间分布规律,采用插值、拟合或随机模拟等方法对所有体元进行属性值计算后,给地质模型中的每个单元体赋属性值,就形成了三维地质属性模型。

3.10

主题数据库 subject database

主题数据库是一种为适应地矿勘查、开发领域的多主题数据存储、管理和服务而建立的数据库。主题数据库具备统一的概念模型和数据模型,实行术语、符号标准化,并兼顾地矿行业的当前与未来需求,通过系统分析、模型设计和数据规范化来形成与各种业务主题相关联的数据库。

3.11

虚拟钻孔 Virtual borehole

利用计算机技术创建的虚拟钻孔,其数据内容与真实钻孔保持一致。建模前可用于补充勘查数据;建模中可用于检查模型的质量;建模后可用于模拟钻探过程。

3.12

辅助地质剖面 Auxiliary geological section

简称辅助剖面,是一种在剖面上进行的人机交互地质信息推测方法。通过在三维空间内竖切垂直剖面图,将所有过辅助剖面的已知信息投到剖面图上,并结合地质规律、地质认识,人为地在空白段或资料少的区域补充地层面、矿体范围等信息,并能返回到三维空间中,作为推断资料参与建模。若空白段或资料稀少的区域有新的钻孔或地质剖面时,则可进行动态更新。

4 三维地质建模基本要求

4.1 目的任务

铁矿三维地质模型的构建工作的目的是通过矿体区域范围内的三维地质模型构建,对各类地质实体的可视化重构与表达,深入分析地质对象、矿体的空间结构,表达各类地质参数在三维空间中的分布特征。为进一步开展资源勘查、资源量估算、成矿预测、成因研究、矿山开采设计提供直观、准确的数据支持。

主要任务是:依据所建模的类型与对应的勘查开发阶段,基于各种地质资料和数据,利用计算机技术和三维建模软件,建立铁矿的地质与地理、结构与属性一体化的三维模型。

4.2 工作程序

铁矿三维地质建模工作流程见图1,技术路线见图2,工作程序如下。

- a) 确定三维地质模型构建的目的,主要应用场景及分析目标。
- b) 根据三维地质模型的类型选择空间数据模型,参见附录 A。
- c) 收集与勘查开发阶段相适应的地质数据集,包括建模范围内的各种地质与地理空间数据、属性数据、文档报告、元数据等。
- d) 数据的标准化与主题数据库构建,按照统一原则(坐标系统一、比例尺统一、地质体单元统一)进行数据的标准化与规范化工作,并将标准化后的数据录入到主题数据库中。
- e) 基于三维建模软件,采用自动化或人机交互式的方式,构建地质与地理、结构与属性一体化的三维地质模型。
- f) 进行模型质量检查与评定,包括:模型对象的数据完整度,地质对象间空间拓扑关系的正确性,建模数据与模型的匹配度等,最后对模型质量进行评定,编制相关成果文档并归档。
- g) 三维地质模型的应用,基于研究目标,利用三维模型与建模软件提供的功能开展地质空间分析、资源量估算等。

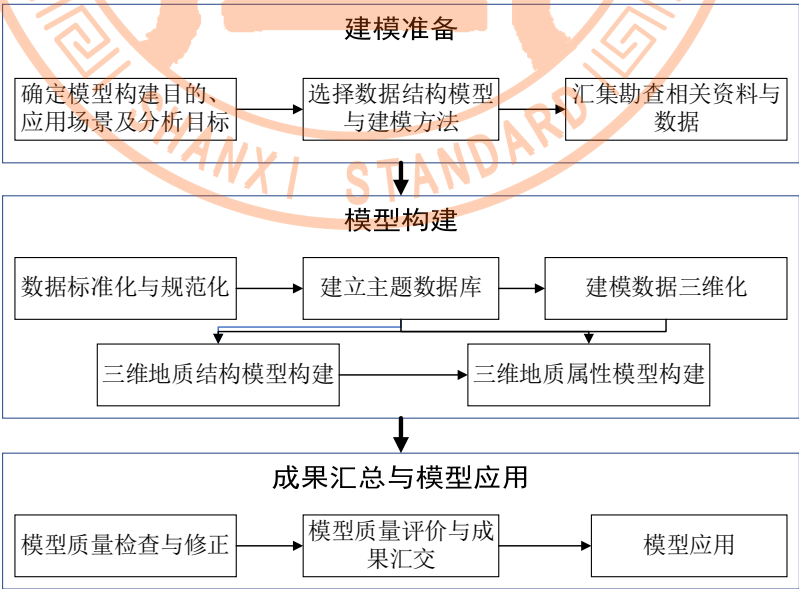


图1 铁矿三维地质建模工作流程

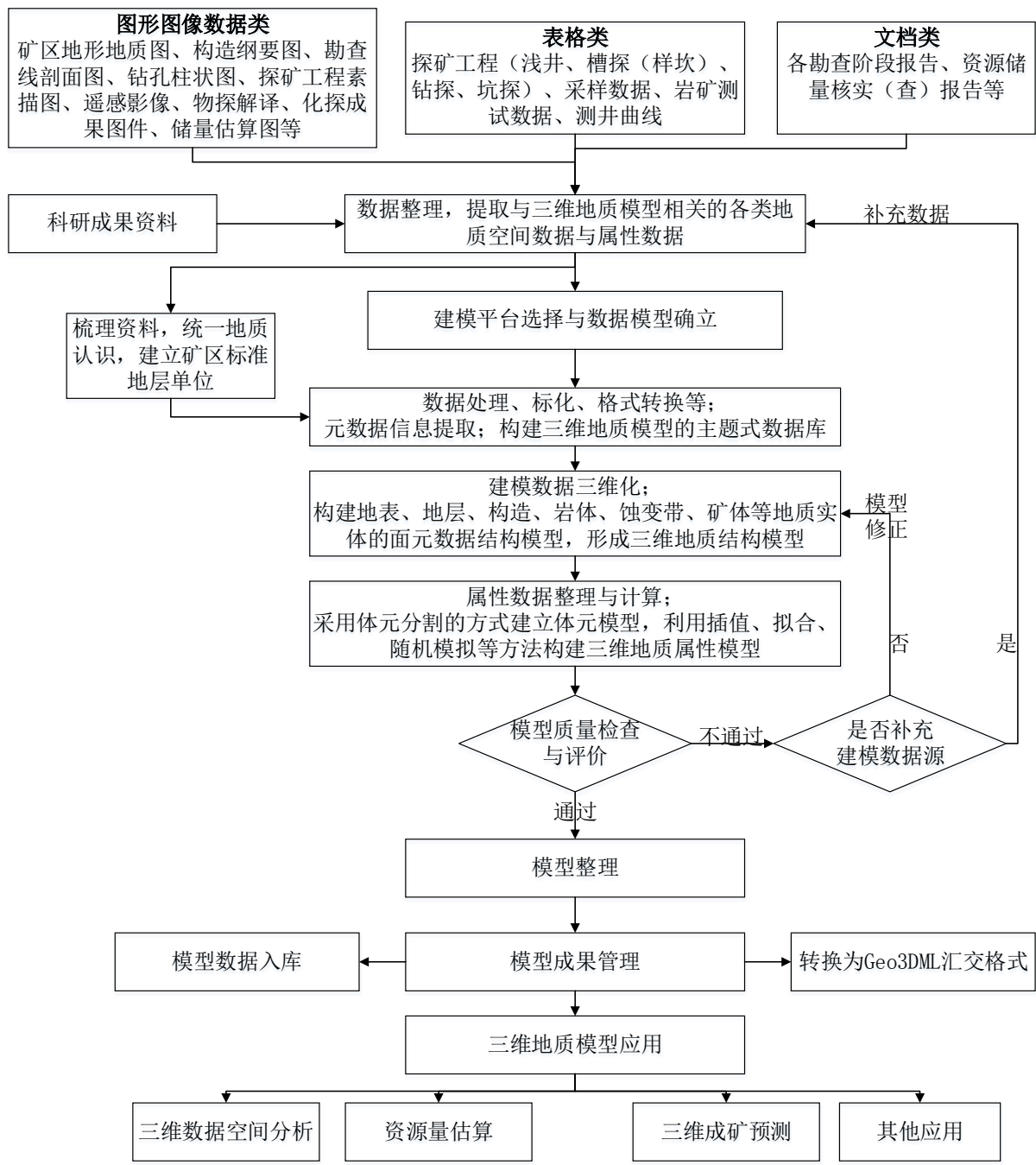


图2 铁矿三维地质建模技术路线

4.3 数据来源与要求

4.3.1 进行铁矿三维模型构建的数据来源于矿产资源勘查开发各阶段的地质资料，可采用地形地质图、实测地质剖面图、地球物理数据、地球化学数据，勘查线剖面和探矿工程数据等。

4.3.2 所使用的数据应符合 GB/T 33444、GB/T 13908、DZ/T0078、DZ/T 0079、DZ/T 0179 和 DZ/T 0200 的要求。

4.4 三维地质模型的基本要求

- 4.4.1 所建立的模型应包括三维地质结构模型与属性模型，三维地质结构模型满足建模范围内的地质构造表达、矿体（矿化）空间形态与变化，三维地质属性模型表达各类地质参数的空间分布与变异性。
- 4.4.2 所建立的三维地质模型采用的建模数据、表达内容等参照附录 B 的说明。
- 4.4.3 应在地形测量、地质填图、地球物理、地球化学、遥感、探矿工程（浅井、槽探、钻探、坑探）所获取的数据资料基础上进行模型建设工作。
- 4.4.4 选用的三维地质建模软件须具备铁矿勘查数据管理（基于主题数据库）、三维模型的高效显示、属性模型的动态加载、可基于三维地质模型编制各类符合铁矿勘查开发所需的二维图件。
- 4.4.5 选用的三维地质建模软件所建立的三维地质结构模型、属性模型须支持 Geo3DML 交换格式的转换。

5 数据汇集与处理

5.1 数据汇集

- 5.1.1 应汇集矿产勘查开发及综合研究过程中形成的各种原始数据、图件和统计表格等地质资料，并按照性质和来源对其进行系统整理和分类，分为基础地理、基础地质、勘查工程、地球物理、地球化学、和其他相关数据。
- 5.1.2 基础地理数据应包括地形、行政边界、地貌、水系、植被、居民地、交通、特殊地物、地名、地理坐标格网、生态保护区、自然保护区、压覆区等要素，数据分类应符合 GB/T 13923 的要求。
- 5.1.3 基础地质数据应包括区域地质调查、矿产调查、勘查区大比例尺地质填图等形成的野外观测与地质编录数据、文字报告、图件、测试数据及相关资料。
- 5.1.4 勘查工程数据应包括浅井、槽探、钻探、坑探等各类勘查工程施工过程中所获取的各种文字记录、特征描述、矿物与化学成分、物理力学性质测试，以及柱状图、剖面图、平面图和各类素描图等。此外，还应包括与矿产资源评价相关的工业指标、矿石小体积质量及矿石工业品级等，数据应符合 DZ/T 0200 的要求。
- 5.1.5 地球物理、地球化学数据应包括各类航空地球物理勘查、地面地球物理勘查、井中地球物理勘查，岩石、土壤、水系沉积物地球化学勘查等所获取的数据以及解译或解释结果。
- 5.1.6 矿山地质资料包括铁矿开发过程中形成的反映矿体特征的相关数据，包括采矿工程和探矿工程编录、测量数据、样品采集与测试、资源量估算等形成的各类资料。
- 5.1.7 在铁矿矿产勘查过程中与成矿条件研究相关的岩浆岩相、沉积相和变质相分析的成果，构造控矿的构造空间特征，以及与成矿预测相关的母岩、围岩、蚀变、矿体和各种找矿标志等。

5.2 数据处理

- 5.2.1 应梳理收集的各类资料，建立对于勘查区的统一地质认识，包括统一的地层单元，岩体类型与分布、构造空间特征、成矿模式、控矿条件与成矿要素等。
- 5.2.2 应将各类原始数据处理成为地质建模可用的源数据，包括进行资料地质语义一致性处理、数据格式标准化处理、空间参考系统一致性处理等。
- 5.2.3 对于纸质的图形和图像数据应进行数字化、矢量化，并进行几何校正；对于文字记录或测试表格应按照其性质和来源进行系统的整理和分类，并进行规范化和标准化处理。
- 5.2.4 利用 DEM、等高线和点云等数据，建立地表模型。也可将影像数据作为纹理映射在相对应地表模型上，以补充地表模型的信息表达强度。
- 5.2.5 应将平面地质图、勘查线剖面图、坑探索描图、槽探索描图、浅井素描图、物化探解释剖面图和钻孔柱状图等进行处理，赋以统一的空间参照系和高程坐标。对构造、地层、岩体、矿体、矿化蚀变

带、岩浆岩相、沉积相和变质相等，进行识别、解释、描述和定位等处理。数字化地质图图层及属性文件格式应符合 DZ/T 0197 的要求。

5.2.6 对以钻孔为代表的探矿工程(浅井、槽探、钻探、坑探)资料进行数据处理，可抽象为以钻孔为代表的表格数据，主要字段应包括钻孔编号、孔口坐标(X、Y、Z)、终孔深度、测斜深度、倾角或天顶角、方位角、分层信息、岩性、样品编号、取样位置、样长和分析测试结果等，参见附录 C。

5.2.7 依据整理后的勘查工程数据，录入主题数据库后，对勘查工程进行三维化处理，以点、线段、多段线、三维空间平面等形式定位至三维空间中。

5.2.8 根据剖面图的实地坐标及高程进行三维空间的几何校正，将二维形式的剖面图定位至三维空间中。

5.3 主题数据库建设

5.3.1 主题数据库应使用所选建模软件的数据库系统进行建设，应能够存储和管理 5.1 中所规定的各类数据。

5.3.2 主题数据库应存储和管理三维模型数据，包括三维地质结构模型数据和三维地质属性模型数据。

5.3.3 主题数据库的数据类型应包括空间数据和属性数据。空间数据一般应以三维空间中的点、线、面和体等矢量形式表达，可以文件形式存储或要素集形式存储，属性数据可以表格形式存储。

5.3.4 主题数据库采用统一规范的空间数据编码体系，应符合 DZ/T 0274 的编码规范。基本功能应包括空间数据和属性数据的导入、导出、存储、查询和更新等，能实现空间数据及属性数据的高度集成。

5.3.5 主题数据库中应包含元数据的存储与管理，能够依托元数据进行数据溯源。元数据信息应符合 DD 2019-05 的要求。

5.3.6 随勘查与开发工作的推进，应将生产的新数据及时录入主题数据库中，进行数据的完善与补充。

6 三维地质建模

6.1 三维地质模型类型

6.1.1 在铁矿的勘查开发各个阶段所建立的三维地质模型包括三维地质结构模型、三维地质属性模型。三维地质属性模型应在三维地质结构模型的基础上，采用体元方式进行三维空间剖分，并通过计算方法为每个体元赋以量化的特定属性值，形成三维地质属性模型。

6.1.2 可结合勘查开发的阶段要求，根据三维地质模型的应用需求，建模数据的来源、格式和建模对象的性质、类型，以及空间分析、资源量估算等应用场景，为三维地质模型选择数据结构模型。

a) 当以地质对象的几何形态和空间分布特征为建模目标时，宜采用面元数据结构模型。

b) 当以地质对象的内部属性以及各物性参数的空间分布特征为主要建模目标时，宜采用体元数据结构模型。

c) 当以地质对象的空间特征与物性参数空间分布特征进行分析时，宜采用混合数据结构模型。

6.1.3 三维结构模型用于描述和表达地层、构造、岩浆岩、矿体、蚀变带等地质空间对象的形态、分布、空间拓扑关系等。

6.1.4 三维属性模型用于描述和表达各地质实体内部、整个模型空间内某一种或多种地质参数在三维空间中的分布与变化情况，包括全铁、磁性铁、金属矿物和脉石矿物的成分、粒度、含量，矿物相种类及含量，化学成分，有益有害元素及含量，共伴生矿产及含量。

6.1.5 三维地质结构模型中，对于具有开放性的地质对象，宜选择 TIN、Polygon 或 Grid 等进行表达；对于具有封闭性的地质对象，宜选择 B-Rep 或 Polyhedron 进行表达。

6.1.6 三维地质属性模型中，对于在空间上具有单一性和渐变性特征的属性，可选择使用非规则体元

进行描述；对于在空间上具有连续性分布的属性，可选择使用规则体元或非规则体元进行描述，规则体元划分的大小应以能表达最小空间辨识度为基准进行划分，参见附录 A 中表 A. 2。

6.2 建模范围

6.2.1 铁矿三维地质建模范围应与对应的勘查开发阶段所圈定的区域相对应，与探矿工程控制的矿体分布范围保持一致。平面范围以拐点的地理坐标或大地坐标形式标定，深度范围以海拔高程标定，最小深度不低于各类剖面所标识的最大深度。

6.2.2 应采用以勘查线剖面或探矿工程为主的数据，结合地质剖面、地球物理数据、地球化学数据和遥感数据等构建铁矿三维地质模型，勘查线剖面或探矿工程间距应与勘查区的实际勘查工程间距一致。当勘查线剖面或工程数量不足时，可根据地质或物化探资料进行补充。

6.2.3 矿体的深部及外围，可按照勘查线的延伸方向补充地质推断剖面或地球物理数据解释剖面，补充剖面线的间距按照实际勘查工程间距的“2 倍～3 倍”进行布设。

6.2.4 三维地质建模所使用的坐标系统为 CGCS2000 国家大地坐标系，投影类型为高斯-克吕格投影，高程基准为 1985 国家高程基准，建模前应进行各类数据的坐标系转换，使得用于建模的数据与建模范围相匹配。

6.3 空间数据三维化

6.3.1 应对具有空间信息且用于三维地质模型构建的所有数据进行三维化处理。

6.3.2 钻孔数据应以多段线形式描述钻孔迹线，以孔口坐标确定起点，以实际终孔位置为终点，以钻孔迹线表达钻孔轨迹。

6.3.3 浅井、探槽、坑探可视为钻孔数据进行三维化处理。

6.3.4 探矿工程中的样品、物化探、简易水文观测等数据应根据钻孔迹线计算三维空间中的坐标，用于三维属性模型中体元属性值计算，并将其作为样本点数据作为三维地质属性模型检查的依据。

6.3.5 地形地质平面图中各种地质界线（地层、岩性、构造等）应根据三维地表模型进行投影计算，获取三维空间的地表地质界线。

6.3.6 地质剖面数据应首先取得剖面上所有基线转折点（含剖面起止点）的图上坐标(X/Y)和对应的空间坐标(X/Y/Z)，利用空间对应关系进行剖面数据三维化。剖面中所表达的矿体、样段、蚀变、探矿工程、地层界线、构造线等一并进行三维化。

6.3.7 对于岩石、土壤与水系沉积物地球化学勘查所取得的数据，依据采样分析结果，绘制对应的等值线，应根据勘查时的采样网格与建模区域进行空间匹配，依据地表模型进行三维化。

6.4 三维地质结构模型构建

6.4.1 三维地质结构模型构建应包括各类地质界面构建，地质体（地层、岩体、蚀变体、矿体等）构建，地质体属性赋值与拓扑关系描述等。

6.4.2 使用建模软件从主题数据库中获取各类建模源数据，采用计算机自动处理和人机交互处理的方式，分别建立包括地表、探矿工程（浅井、槽探、钻探、坑探）、地质体（地层、岩体、矿体、蚀变体）等的三维地质结构模型，交互处理的重点是地质体（包括矿体）的接触关系、拓扑关系以及矿体的分叉与复合等分支对应关系。

6.4.3 地表模型应表达地表的形态特征，采用面模型进行表达，所构建的源数据为等高线或 DEM、高程点集合（测量控制点、钻孔孔口等）、剖面数据中的地表线。

6.4.4 断层模型应表达断层面、断裂带或剪切带的产状、规模、期次、级别、相互关系及断层对矿体形成与分布的影响等。用于建模的源数据可采用探矿工程中的断层标示点、剖面图上的断层线、地形地质图上的界线与产状标识、构造图上的断层多边形等，生成断层面模型或者较复杂的断裂带（剪切带）

模型。断层建模过程中应设置边界约束，处理断层之间的切割关系、断层和建模区边界关系，进行断层拓扑检查。

6.4.5 地层模型应表达地层、岩性及构造分布特征，明确地层的空间展布、地层归属、沉积环境、地层层序和接触关系、受构造控制的状态等。在构造的约束下，按照“确定地层单元—提取地层线—生成地层面—封闭地层体”的步骤建立地层模型。

6.4.6 侵入岩体模型应表达岩体单元归属，岩体的侵位期次、岩性、岩相、岩体之间及岩体与构造、地层之间的接触关系。提取岩体边界线时，在岩体边界发生转折弯曲的部位可视具体情况增加控制点，保证岩体边界的形态合理性。

6.4.7 变质岩模型应表达岩体单元归属，变质岩类型、岩性、变质相、原岩建造等。

6.4.8 矿化蚀变带模型应表达蚀变岩的种类和边界，反映蚀变岩与构造、围岩、矿体之间的关系。

6.4.9 矿体模型应反映矿体的数量、形态、产状、空间分布以及形态变化等基本信息，正确反映矿体与围岩、构造之间的关系。对于产状相对较陡（倾角大于 45° ）的矿体，可使用中段地质平面图、采掘平面图建模；对于产状较平缓的矿体，可使用各类剖面图或资源量估算图确定边界外推范围，并以此为边界约束进行建模。

6.4.10 矿体建模方法采用自动插值与人机交互相结合的方式，在不同剖面间进行矿体模型构建时，采用形态对比、产状约束、增加辅助线的形式构建矿体模型。对于矿体对比中出现的分支与复合现象，在两条剖面中间位置进行分支与复合变化处理，通过修改矿体轮廓线、加密矿体轮廓线、添加矿体轮廓线分割与对应关系的控制线等方法，处理相邻剖面矿体的对应、拼接和分支等问题，并对其进行验证和编辑。添加、修改、加密的矿体轮廓线应符合 DZ/T 0200 中矿体圈连的要求。矿体模型构建示意图见附录 D。

6.4.11 采空区模型应能够反映在生产过程中矿体的开采情况。建模数据源为生产过程中形成的剖面图、采掘平面图、资源量估算图，在平面上和纵向上确定采空区的范围，其建模方法同 6.4.10 的矿体建模方法。

6.4.12 各类地质体模型构建完成后，应对各地质体添加相应的属性字段，依据不同的地质体对象进行属性赋值，例如断层的属性值为代码、名称、时代、类型、走向等信息。

6.4.13 对地质体对象进行配色，应参照 DZ/T 0179 的要求。

6.5 三维地质属性模型构建

6.5.1 三维地质属性模型构建应选择体元建模方法，主要通过三维地质结构模型网格化的方法实现。依托三维地质结构模型，对三维地质体进行内部剖分；然后依据地质体的属性特征、物性变化规律等对每个体元进行赋值、插值或随机模拟等方法赋以特定的属性值，形成三维属性模型。

6.5.2 所构建的属性模型应反映地质空间中地质参数的连续性与非连续性，属性应包括地层、岩性、蚀变类型与强度、矿物类型（主要为磁铁矿、赤铁矿、镜铁矿、假象赤铁矿、钒钛磁铁矿、褐铁矿、菱铁矿等）、矿物含量、共伴生矿产及含量等。亦可根据应用与分析需求增加相关地质参数。

6.5.3 为描述上述属性数据，其类型可使用枚举类型、字符型、整型、浮点型与计算型；对于部分定性类型的描述，可通过定量化方法转换为浮点型或枚举型进行表达，如蚀变类型与蚀变强度，其中蚀变类型可使用枚举值进行表达，蚀变强度可通过设定的浮点型数据 $[0.0, 1.0]$ 进行表达。

6.5.4 对于空间上具有连续性特征的属性（如蚀变强度、品位等），应采用空间插值计算的方式进行赋值；对于空间上为具有渐变性特征的属性（如岩性、岩相等），可采用随机模拟方式，通过计算体元物性参数的概率进行赋值；对于具有单一性特征属性（地层、矿体）采用直接赋值的形式。

6.5.5 插值赋值方法可根据数据特点和具体需要选择自然邻点插值法、距离幂次反比法、趋势面插值法、样条函数插值法、离散平滑插值法和克里格法等合适的插值方法。

6.6 模型修正与整理

6.6.1 模型初步建立完成后，应检查三维地质结构模型中所表达的各类地质体对象的空间特征与拓扑关系是否符合地质规律与地质认识，特别是矿体边界是否与剖面、平面图所限定的边界一致。然后将三维地质结构模型和三维地质属性模型进行叠加，对照已有的数据查找偏差及错误，并完成模型的修正工作。

6.6.2 应检视探矿工程的三维模型所揭示地质现象（矿化、断裂、褶皱等）是否与三维地质结构模型相一致，并对不一致的地质实体及该实体存在空间拓扑邻接关系的地质体进行修正。

6.6.3 针对三维地质属性模型，应对照 6.3 中三维化后的样本数据进行检查，判断样本数据所在的体元属性取值范围是否达到建模目的，属性分布规律与地质认识是否一致。可基于三维地质属性模型采用生成平面、剖面地质图的方式进行检查。

6.6.4 在三维地质结构模型修正后，应对三维地质属性模型进行重新生成，并将其所涉及的属性进行重新计算与赋值。

6.6.5 应对修正后所建立的所有模型进行整理，按照地质对象（地层、岩性、构造、矿体等）、勘查工程、体元模型等分别存入数据库中并进行管理；应对与体元模型匹配的属性模型（文件形式）进行元数据描述，并入库管理。

7 模型质量控制

7.1 质量检查

7.1.1 三维地质模型建立完成后，应对模型进行质量检查，判断其是否与已有资料相符合。

7.1.2 应按照三维地质模型构建的整个工作流程进行检查，从合规性、合理性、准确性、完整性四个方面进行检查。

7.1.3 合规性检查主要包括：建模任务目标与要求、基础数据整理、建模过程方法、模型检查修正等内容。

7.1.4 合理性检查可采用三维视图、随机剖面生成、指定中段检查、等值线等方式。应重点检查勘查工程未控制的区域。主要包括：三维地质模型与已查明矿体及工程的对应情况，工程定位精度，矿体或其他地质体圈定是否恰当，各类地质界线、界面形态特征、空间展布、边界范围、产状和相互制约关系等，各类地质实体形态、边界和相互关系等。

7.1.5 准确性检查应包括：模型精度检查，模型与基础数据、分析数据的一致性检查，可采用目测、量测、统计等方法。

7.1.6 完整性检查应包括：模型建模范围与深度、建模资料使用的齐全性、数据处理和入库完整程度、模型元素连续完整性、属性模型值不为空等。

7.1.7 模型质量检查的结果应作记录，对检查后不符合要求的部分，应通过补充数据、添加约束等方法完善主题数据库，并对模型进行编辑与修改。

7.1.8 经过模型质量检查，确认三维地质模型质量合格后，对模型进行整饰，包括清除模型编辑过程数据，对模型进行轻量化处理及配色等。模型配色应参照 DZ/T 0179 的要求。

7.2 质量评价

7.2.1 完成三维地质建模工作后，应参照已有地质资料及地质认识，对铁矿三维地质模型质量进行评价。

7.2.2 应评价数据结构模型和建模方法是否符合具体的三维地质建模任务要求，结构模型和属性模型是否与原始数据精确对应。

7.2.3 应评价模型构造面与地质实际构造面趋势的一致性，包括产状变化与揭露点的一致性、地层分层数据与地层界面的吻合程度。

7.2.4 应评价建模中所使用的空间插值方法与具体资源类型、地质特征及其空间数据分布规律的适应性。

7.2.5 应评价各类型勘查工程、勘查线剖面、地形地质图等数据的融合程度。

7.2.6 应对地层、构造、岩浆岩、矿化蚀变带、矿体、夹石、钻孔在三维地质模型中的空间位置关系，进行拓扑关系评价。

8 建模成果

8.1 建模成果说明书

8.1.1 三维地质建模完成后，应编写铁矿三维地质建模成果说明书。该说明书可融入对应勘查开发阶段的报告中。

8.1.2 建模成果说明书主要内容应包括：地质模型名称、原始资料情况、三维地质特征、建模软件和方法、建模成果(数据库、格架模型、属性模型及模型应用等)、三维地质模型元数据(建模单位、建模人员、建模时间、空间参照系等)、模型的质量控制及验证结果。

8.2 模型数据体

8.2.1 三维地质模型数据体修正和整饰后，应进行模型固化，并转换为 Geo3DML 交换格式进行存储，可用于随报告进行汇交。

8.2.2 三维地质模型在转换为通用格式后，可实现脱离原建模软件进行展示。

8.2.3 三维地质模型数据体与地质建模成果报告经检查合格后，应及时存放于安全的介质中，便于查询和进一步完善模型时使用。对涉密的电子文件应进行加密处理。

8.3 模型管理与维护

8.3.1 三维地质建模是一个动态的过程，随着勘查开发数据的增加与对矿体地质认识的加深，需要不断更新和维护主题数据库与三维地质模型，不断形成新的版本。

8.3.2 主题数据库和模型宜采用版本管理的方法，包括时序版本和建模版本。

8.3.3 应根据矿产勘查数据的形成时间，在三维地质建模的主题数据库中建立不同时间段的数据集合，一个时间段的所有数据构成一个时序版本，每个时序版本是独立的。

8.3.4 建模版本的数据可来自于不同的时序版本，即从不同时序版本或依据空间不同地质条件约束选取建模数据集合（三维地质体建模主题数据库）。

8.3.5 三维地质建模数据和成果应按照有关规定归档，归档应符合 GB/T 18894 的要求。

8.3.6 三维地质模型数据可通过发布服务，将不同模型及时发布到 WEB 端或移动端，在二三维一体化框架下支持地质模型的数据服务和功能服务，所转换三维模型符合 OSG 以及中国地质调查局颁布的 Geo3DML 等格式规范（DD 2015-06）。

8.3.7 基于三维地质模型可开展相应的应用研究，形成各类应用成果，参见附录 E。所形成的应用成果宜作为建模成果的一部分，同建模成果说明书、模型数据体一同进行版本管理，成果应用版本应与模型版本相一致。

附 录 A
(资料性)
三维空间数据模型类型

表A. 1 铁矿三维建模可使用的三维空间数据模型

| 结构模型 | 属性模型 | | 面-体混合模型 |
|--------------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|
| | 规则体元 | 非规则体元 | |
| 不规则三角网 (TIN) | 体素 (Voxel) | 四面体 (TEN) | TIN-CSG |
| 边界表示模型 (B-Rep) | 结构实体几何 (CSG) | 三棱柱与广义三棱柱 (TP & GTP) | TIN-Octree |
| 多边形与多面体 (Polygon & Polyhedron) | 规则块体 (Regular Block) | 非规则块体 (Irregular Block) | Wire Frame-Block |
| 格网 (Grid) | 八叉树 (Octree) | 实体 (Solid) | TIN-Corner Point Grid |
| 线框 (Wire Frame) | | 角点网格 (Corner Point Grid) | TIN-GTP或TIN-TEN |
| 多层DEMs | | | |

表A. 2 建模比例尺与体元模型大小划分对应关系表

| 比例尺 | 1:100000 | 1:50000 | 1:25000 | 1:10000 | 1:5000 | 1:1000 | 1:500 |
|----------|----------|---------|---------|---------|--------|--------|-------|
| 平面划分 (m) | 50 | 50 | 25 | 10 | 5 | 1 | 0.5 |
| 纵向划分 (m) | 20 | 20 | 10 | 5 | 2 | 0.1 | 0.1 |

附录 B

(资料性)

铁矿勘查各阶段与矿业开发阶段三维地质模型说明

B.1 普查阶段

- 建模对象：矿化潜力较大的普查区。
- 建模的数据包括：地形地质图、物探、化探、遥感、稀疏取样工程等数据。
- 建模方法：基于地形地质图和各种地质剖面建立三维地质结构模型；基于地质参数、物探、化探数据等建立三维地质属性模型。
- 模型表达的数据内容：地层、构造、岩浆岩、矿化蚀变。

B.2 详查阶段

- 建模对象：系统采样工程控制的详查区。
- 建模的数据包括：大比例尺地形地质图、探矿工程、勘探线地质剖面、物探、化探、遥感、系统取样工程与样品分析等数据。
- 建模方法：基于地形地质图、钻孔数据和勘探线剖面建立三维地质结构模型；基于地质参数、物探、化探与系统取样工程测试数据等建立三维地质属性模型。
- 模型表达的数据内容：地层、构造、岩浆岩、矿化蚀变、矿体、成矿元素空间分布。

B.3 勘探阶段

- 建模对象：具有工业价值的勘查区。
- 建模的数据包括：大比例尺地形地质图，探矿工程，勘查线地质剖面，电法、磁法勘探剖面，测井、井中物化探等数据。
- 建模方法：基于地形地质图、探矿工程和各类型地质剖面建立详细的三维地质结构模型；基于物探、化探与样品测试数据等建立属性模型。
- 模型表达的数据内容：地层、构造、岩浆岩、矿化蚀变、矿体、岩性、成矿元素空间分布。

B.4 矿业开发阶段

- 建模对象：矿权范围所划定的区域。
- 建模的数据包括：大比例尺地形地质图、探矿工程、勘探线地质剖面、中段采掘工程平面图、资源量估算投影图、矿山地质、水文地质勘察、测井、化探以及样品测试等数据。
- 建模方法：基于地形地质图、各类探矿工程和勘查线剖面建立三维地质结构模型；基于物探、化探与样品测试数据等建立三维地质属性模型。
- 模型表达的数据内容：地层、构造、岩性、矿化蚀变、矿体、采空区、各元素空间分布、井巷工程。

附 录 C
(资料性)
探矿工程类建模数据的字段说明

表C.1 勘查区信息表

| 字段名称 | 类型 | 长度 | 小数 | 单位 | 备注 |
|--------|----------|-----|----|----|---------------------------------|
| 勘查区编号 | VARCHAR2 | 15 | | | 描述勘查区编号值，使用数字与字符编码表示。 |
| 勘查区名称 | VARCHAR2 | 80 | | | 描述勘查区名称值，直接用文字或字符描述。 |
| 项目名称 | VARCHAR2 | 60 | | | 当前勘查区所隶属于的项目名称。 |
| 项目承担单位 | VARCHAR2 | 120 | | | 项目承担单位的名称。 |
| 所属行政区 | VARCHAR2 | 12 | | | 描述所属行政区值，按 GB/T 2260 项下所列代码。 |
| 左经度 | NUMBER | 9 | 1 | 度 | 左经度的值，以十进制数字表示，小数位为6位，不足6位自动补0。 |
| 右经度 | NUMBER | 9 | 1 | 度 | 右经度的值，以十进制数字表示，小数位为6位，不足6位自动补0。 |
| 上纬度 | NUMBER | 8 | 1 | 度 | 上纬度的值，以十进制数字表示，小数位为6位，不足6位自动补0。 |
| 下纬度 | NUMBER | 8 | 1 | 度 | 下纬度的值，以十进制数字表示，小数位为6位，不足6位自动补0。 |

表C.2 勘查区样品分析项目表

| 字段名称 | 类型 | 长度 | 小数 | 单位 | 备注 |
|--------|----------|----|----|----|--|
| 勘查区编号 | VARCHAR2 | 15 | | | 描述勘查区编号值，使用数字与字符编码表示。 |
| 分析项目ID | VARCHAR2 | 6 | | | 分析项目的ID值，顺序编码。 |
| 分析成分名称 | VARCHAR2 | 15 | | | 对应分析项目所分析的元素或化合物的成分名称。 |
| 分析成分代码 | VARCHAR2 | 15 | | | 对应分析项目所分析的元素或化合物的成分代码，通常以元素或化合物的化学式标识。 |
| 测试值单位 | NUMBER | 13 | 9 | | 测试项目对应的测试值单位。 |

| 字段名称 | 类型 | 长度 | 小数 | 单位 | 备注 |
|--------|--------|----|----|----|----------------|
| 测试值小数位 | NUMBER | 9 | 0 | | 测试值的精度，小数点后位数。 |
| 测试精度 | NUMBER | 10 | 9 | | 测试项目对应的测试值的精度。 |

表C.3 钻孔概况表

| 字段名称 | 类型 | 长度 | 小数 | 单位 | 备注 |
|-------|----------|----|----|----|------------------------|
| 勘查区编号 | VARCHAR2 | 15 | | | 描述勘查区编号值，使用数字与字符编码表示。 |
| 钻孔编号 | VARCHAR2 | 16 | | | 描述工勘施工时的编号值，在一个勘查区内唯一。 |
| X坐标 | NUMBER | 11 | 3 | m | 投影坐标系下大地坐标。 |
| Y坐标 | NUMBER | 12 | 3 | m | 投影坐标系下大地坐标。 |
| Z坐标 | NUMBER | 9 | 3 | m | 高程基准下海拔。 |
| 终孔深度 | NUMBER | 8 | 3 | m | 钻孔终孔时的深度值。 |
| 钻孔方位角 | NUMBER | 8 | 2 | 度 | 钻孔终孔后，经测量与计算后的方位。 |
| 钻孔倾角 | NUMBER | 8 | 2 | 度 | 钻孔终孔后，经测量与计算后的倾角。 |

表C.4 钻孔地质记录表

| 字段名称 | 类型 | 长度 | 小数 | 单位 | 备注 |
|--------|----------|----|----|----|------------------------|
| 勘查区编号 | VARCHAR2 | 15 | | | 描述勘查区编号值，使用数字与字符编码表示。 |
| 钻孔编号 | VARCHAR2 | 16 | | | 描述工勘施工时的编号值，在一个勘查区内唯一。 |
| 分层号 | VARCHAR2 | 5 | | | 顺序编码,用于索引排序。 |
| 分层起始孔深 | NUMBER | 8 | 2 | m | 分层起始孔深。 |
| 分层终止孔深 | NUMBER | 8 | 2 | m | 分层终止孔深。 |

| 字段名称 | 类型 | 长度 | 小数 | 单位 | 备注 |
|----------|----------|----|----|----|-------------------------|
| 分层岩心长度 | NUMBER | 8 | 2 | m | 分层岩心的总长度。 |
| 地质代号 | VARCHAR2 | 16 | | | 分层所属地层的符号。 |
| 岩石名称 | VARCHAR2 | 80 | | | 岩石名称。 |
| 年代地层单位名称 | VARCHAR2 | 20 | | | 分层的年代地层单位。 |
| 岩石地层单位名称 | VARCHAR2 | 20 | | | 分层的岩石地层单位，同勘查区地层单元保持一致。 |

表C.5 钻孔测斜记录表

| 字段名称 | 类型 | 长度 | 小数 | 单位 | 备注 |
|--------|----------|----|----|----|---|
| 勘查区编号 | VARCHAR2 | 15 | | | 描述勘查区编号值，使用数字与字符编码表示。 |
| 钻孔编号 | VARCHAR2 | 16 | | | 描述工勘施工时的编号值，在一个勘查区内唯一。 |
| 测点号 | VARCHAR2 | 8 | | | 进行测斜测量时的顺序编码。 |
| 测点深度 | NUMBER | 8 | 2 | m | 测点所在深度。 |
| 顶角采用值 | NUMBER | 8 | 2 | 度 | 通过多次测量所采用的顶角值，值域范围在[0, 90]。 |
| 方位角采用值 | NUMBER | 8 | 2 | 度 | 通过多次测量所采用的方位角值，正北为0度，顺时针方向，值域范围在[0, 360]。 |

表C.6 钻孔采样记录表

| 字段名称 | 类型 | 长度 | 小数 | 单位 | 备注 |
|-------|----------|----|----|----|--------------------------|
| 勘查区编号 | VARCHAR2 | 15 | | | 描述勘查区编号值，使用数字与字符编码表示。 |
| 钻孔编号 | VARCHAR2 | 16 | | | 描述工勘施工时的编号值，在一个勘查区内唯一。 |
| 样品编号 | VARCHAR2 | 30 | | | 描述采样时进行的样品编号，与后续的分析编号一致。 |
| 样品类型 | VARCHAR2 | 16 | | | 描述样品的类型。 |

| 字段名称 | 类型 | 长度 | 小数 | 单位 | 备注 |
|--------|--------|----|----|----|-------------|
| 采样起始孔深 | NUMBER | 8 | 2 | m | 采样的起始深度。 |
| 采样终止孔深 | NUMBER | 8 | 2 | m | 采样的终止深度。 |
| 样长 | NUMBER | 8 | 2 | m | 采样的长度。 |
| 岩矿心长度 | NUMBER | 8 | 2 | m | 采样所属岩矿心的长度。 |

表C.7 钻孔样品分析结果表

| 字段名称 | 类型 | 长度 | 小数 | 单位 | 备注 |
|--------|----------|----|----|----|-------------------------------|
| 勘查区编号 | VARCHAR2 | 15 | | | 描述勘查区编号值，使用数字与字符编码表示。 |
| 钻孔编号 | VARCHAR2 | 16 | | | 描述施工时的编号值，在一个勘查区内唯一。 |
| 样品编号 | VARCHAR2 | 30 | | | 样品编号，与钻孔采样编号对应。 |
| 分析编号 | VARCHAR2 | 16 | | | 分析编号，顺序编码。 |
| 分析项目ID | VARCHAR2 | 6 | | | 分析项目的ID值，顺序编码，对应表C.2中的分析项目ID。 |
| 分析值 | NUMBER | 13 | 9 | | 分析项目的结果值，单位对应表C.2中的测试值单位。 |

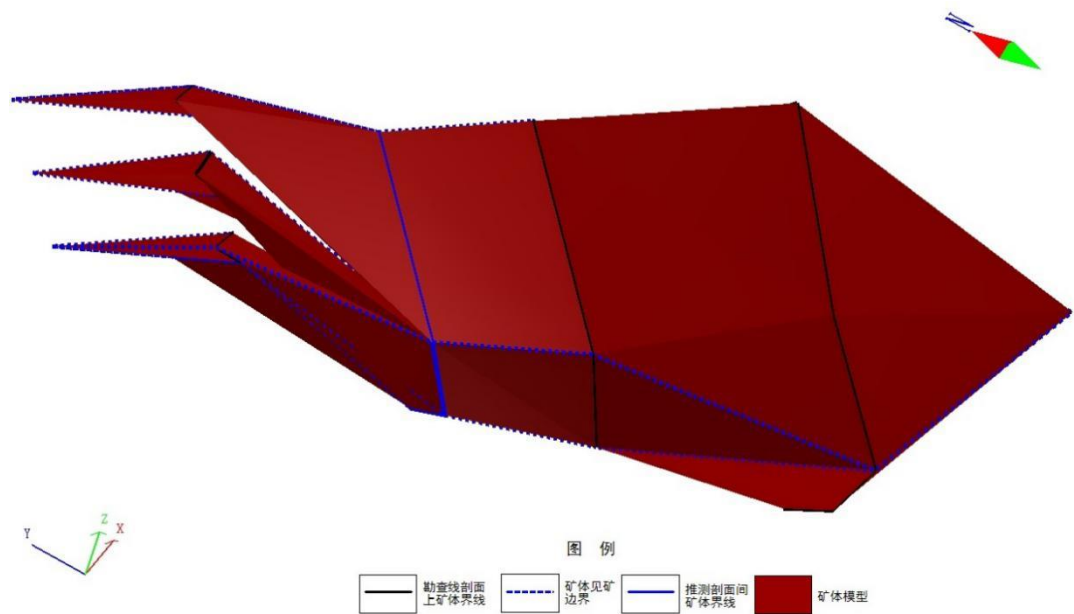
表C.8 勘查线基线信息表

| 字段名称 | 类型 | 长度 | 小数 | 单位 | 备注 |
|-------|----------|----|----|----|--|
| 勘查区编号 | VARCHAR2 | 15 | | | 填写统一的勘查区编码。 |
| 勘查线编号 | VARCHAR2 | 12 | | | 在勘查线布置图上的勘查线编号。 |
| 基线编号 | VARCHAR2 | 6 | | | 描述基线编号值，以十进制表示，直接用数字描述。 |
| 基线方位 | NUMBER | 8 | 4 | 度 | 基线方位的值，以十进制数字表示，正北为0度，顺时针方向，值域范围在[0, 360]。 |
| 起点X坐标 | NUMBER | 11 | 3 | m | 勘查线起点X坐标的值，以十进制数字表示。 |

| 字段名称 | 类型 | 长度 | 小数 | 单位 | 备注 |
|-------|--------|----|----|----|---|
| 起点Y坐标 | NUMBER | 12 | 3 | m | 勘查线起点Y坐标的值，以十进制数字表示。 |
| 起点Z坐标 | NUMBER | 9 | 3 | m | 勘查线起点Z坐标的值，以十进制数字表示，值域范围在[-8000, 8000]。 |
| 终点X坐标 | NUMBER | 11 | 3 | m | 勘查线终点X坐标的值，以十进制数字表示。 |
| 终点Y坐标 | NUMBER | 12 | 3 | m | 勘查线终点Y坐标的值，以十进制数字表示。 |
| 终点Z坐标 | NUMBER | 9 | 3 | m | 勘查线终点Z坐标的值，以十进制数字表示，值域范围在[-8000, 8000]。 |



附录 D
(资料性)
矿体模型构建示意图



图D.1 勘查线剖面间连接矿体模型示意图

对于矿体对比中出现的分支与复合现象，在两条剖面间进行分支与复合变化处理，通过修改矿体轮廓线、加密矿体轮廓线、添加矿体轮廓线分割与对应关系的控制线等方法，处理相邻剖面矿体的对应、拼接和分支等问题。如图D.1左侧所示，在两条剖面上，同一个矿体编号的圈矿边界（黑色实线）出现分支现象，如采用1/2外推方式，则在两条剖面中间按照矿体变化趋势构建一个矿体边界线，在该边界线内按照分叉的趋势分割为3个矿体边界，然后分别对应另一条剖面上同一个矿体的三个矿体边界线，采用polyhedron的数据结构模型构建三维空间的矿体模型。

附录 E (资料性) 三维地质模型应用

E.1 三维数据空间分析

E.1.1 三维地质模型可用于静态和动态的剖切分析、井巷虚拟开挖分析、钻孔虚拟钻进分析等可视化剪切操作与分析。

E.1.2 可根据地质体结构特征和业务分析需求,通过垂直切片、水平切片、任意切片、路径切片等方式对模型进行剖切处理,并制作剖面图和水平切面图。

E.1.3 可在地质体模型任意指定位置生成带有属性信息的虚拟钻孔,或者在三维地质体内部挖去一定形状的空间,并进行开挖土石方量计算。

E.1.4 可进行三维趋势面分析、坡度计算、剖面计算、等值线分析、空间统计分析、空间变异性分析、空间位场分析、空间数据挖掘和成矿规律分析。

E.1.5 可对三维模型进行空间数据和属性数据的双向查询、显示和输出,可对建模主题数据库进行查询、检索及输出,可通过三维地质模型进行空间与属性数据的一体化描述、组织、管理和应用。

E.2 资源量估算

E.2.1 可根据给定的长度进行样品组合,将品位等信息通过长度加权的方法提取到若干点上,并按等间距的原则给样品加权插值。

E.2.2 可对组合样进行数学统计分析,获取均值、方差、标准差、变量系数、频率分布、偏度及峰度等参数;可进行变异函数计算,为体元模型的克里格插值等提供依据。

E.2.3 可建立矿体品位模型,表达铁矿物含量在三维空间中的分布特征。

E.2.4 在赋予小体积质量等属性数据后,可采用体积法、有限元法等进行不同坐标区间、不同标高区间、不同品位区间、不同矿体或矿段的资源量估算。

E.3 三维成矿预测

E.3.1 可基于三维地质模型的体元数据结构,定量挖掘控矿因素、物化探异常、矿石矿物组合与蚀变带等矿化有利信息,建立资源三维定量预测模型。

E.3.2 可基于证据权法、信息量法或克里格法等数学地质方法,对各预测要素进行评价,圈出矿体深部及周边找矿靶区。

E.3.3 可基于体积估计法、丰度值估计法或克里格法等,对找矿靶区进行资源量估算。

E.4 其它应用

E.4.1 可在矿产资源分布、矿权分布、资源储量动态更新等基础上,模拟采矿过程,辅助进行采矿方案设计,优化控制采矿进度和生产管理等。

E.4.2 可将相同或不同软件环境下构建的采掘工程、给排水系统、机电设备、监控设备、地表厂房、交通设施等三维模型,通过转换接口,与铁矿三维地质模型进行集成,实现虚拟数字矿山的一体化显示。

参 考 文 献

- [1] GB/T 17766 固体矿产资源储量分类
 - [2] GB/T 18341 地质矿产勘查测量规范
 - [3] GB/T 25283 矿产资源综合勘查评价规范
 - [4] DZ/T 0069 地球物理勘查图图式、图例及用色标准
 - [5] DZ/T 0075 地球化学勘查图图式、图例及用色标准
 - [6] DZ/T 0187 地面磁性源瞬变电磁法技术规程
 - [7] DZ/T 0302 煤炭地质勘查图示图例
 - [8] DZ/T 0383 固体矿产勘查三维地质建模技术要求
 - [9] DZ/T 0338.1 固体矿产资源量估算规程 第1部分：通则
 - [10] DZ/T 0338.2 固体矿产资源量估算规程 第2部分：几何法
 - [11] DZ/T 0338.3 固体矿产资源量估算规程 第3部分：地质统计学法
 - [12] CH/T 1008 基础地理信息数字产品 1:10000 1:50000数字高程模型
 - [13] CH/T 9015 三维地理信息模型数据产品规范
 - [14] CH/T 9016 三维地理信息模型生产规范
 - [15] CH/T 9017 三维地理信息模型数据库规范
 - [16] CH/T 9024 三维地理信息模型数据产品质量检查与验收
-