

长江中下游地区玢岩型铁矿床资源 储量估算研究

张明明,周涛发,袁峰,李晓晖,李修钰,贾蔡

合肥工业大学资源与环境工程学院,合肥,230009

内容提要:玢岩型铁矿床是长江中下游的一种典型矿床类型,矿床空间特征复杂,矿体形态多样,规模大小不一,对资源储量估算工作带来一定的难度。本文对长江中下游玢岩型铁矿床进行了资源储量估算研究,实现先进的三维矿业软件 Surpac 和传统地质研究方法的结合,在收集整理矿床地质综合资料的基础上,建立了矿体三维模型、脉岩三维模型、夹石三维模型等。并依照国家标准,以传统可靠性程度分类为依据划分资源储量类别,以建立块段约束体模型的方法,进行玢岩型铁矿床三维储量估算工作。实现了三维空间解译、搜索椭球参数的确定、资源储量的可靠程度分类、储量估算的全过程,并对传统可靠程度分类和 Surpac 软件提供的可靠程度分类的结果进行了对比分析,证明该方法完全满足我国资源储量估算工作的相关标准,可为提交地质勘探报告服务。本项成果在长江中下游玢岩型铁矿床及类似的复杂固体矿床储量快速、精确计算方面具有重要的实践意义和推广价值。

关键词:可靠程度;资源储量分类;储量估算;搜索椭球体;Surpac 软件

矿产资源储量估算是地质矿产工作的重要组成部分,是地质勘查报告的核心内容,也是衡量地质矿产工作价值的重要依据(陈前军等,2007;赵增玉等,2010)。我国在长期矿产资源储量估算工作中已总结出不少珍贵的方法和经验,形成自己的一套执行标准,特别是在固体矿产资源储量地质可靠程度分类工作中已出台《固体矿产资源/储量分类》国家标准(编号 GB/T 17766-1999,以下简称《分类》),指导储量评价工作的顺利进行。我国传统的固体矿产资源储量估算工作以几何学方法应用最为广泛(张起钻等,2008;国土资源部储量司,2000;李守义等,2003)。这种方法主要是以计算矿床平均品位及矿体体积为主要目标,在二维图件分析的基础上,少量计算机参与,获得资源储量估算结果,具有原理简单,操作方便的优势,当对储量估算精度要求不高、矿体形态简单或品位变化不大时最为适用。但由于人工参与较多,工作量大,耗时耗力,且受矿产经济效益制约,当勘探工程或圈矿指标发生变化时,需要

重新绘制图件,重复进行资源储量估算工作,浪费大量人力物力,且难以满足复杂的固体矿产资源储量估算工作的要求。

近些年来随着计算机技术的迅猛发展,我国在传统块段法储量估算的基础上实现了 SD 法(袁勇等,2009;陈国华等,2003;朱志祥等,2004;李石桥等,2006),这种方法把大量人力从重复计算中解脱出来,使储量估算过程实现计算机化。但这种方法的思想仍建立在二维图件编绘的基础上,平均品位等指标参数具有单一性,无法根据品位等数值的空间分布进行动态估值。Surpac 软件的引入,使在三维空间中进行统计分析从而实现资源储量估算,这种方法可以充分考虑一定范围内样品的空间联系,所以较之传统几何学方法,估算精度有了很大的提高,常用的方法有距离幂次反比法、相关分析法和克里格法等地质统计学方法(孙玉建,2006,2008;孙英君等,2004;张宝一等,2007;杨东来等,2007)。Surpac 软件使矿床能在三维空间中直观体现,能够

注:本文为安徽省自然科学基金项目(编号 090415213),国家自然科学基金项目(批准号 40830426),“十一五”国家科技支撑计划项目(编号 2009BAB43B02),国土资源部公益性行业科研专项项目(编号 201011047-07),国家“深部探测技术与实验研究专项计划”专题(编号 SinoProbe-03-02-05)、安徽省公益性地质工作项目(批准号,2007-1,)和新世纪优秀人才支持计划项目(编号 NCET-10-0324)资助的成果。

收稿日期:2010-11-12;改回日期:2011-03-15;责任编辑:郝梓国。

作者简介:张明明,女,1981年生。合肥工业大学资源与环境工程学院 GIS 系讲师,在职博士研究生。专业为矿物学、岩石学、矿床学,主要从事地质体三维建模应用及成矿预测方向的工作。通讯作者:周涛发,男,1964年生。教授,博导。矿物学岩石学矿床学专业。Email: tfzhou@hfut.edu.cn。

DOI:CNKI:11-1951/P.20110715.0858.013 网络出版时间:2011-7-15 8:58

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1951.P.20110715.0858.013.html>

将矿床地质数据库建立、矿体三维建模、资源储量估算一体化实现,在一定程度上推动了我国资源储量评价工作的发展。但由于 Surpac 软件是以搜索椭球体半径为依据划分块段,很难和《分类》中依据地质可靠程度划分的块段一一对应,因此很难被地质勘查报告引用,造成 Surpac 在矿产资源储量估算中的瓶颈。

本文在长江中下游某玢岩型铁矿床中研究基于三维的资源储量估算,结合我国传统矿产资源储量地质可靠程度分类标准进行块段的划分。并将分块段进行估算的结果与传统垂直断面法进行比较,保证了其可靠性。同时,本文利用 Surpac 软件有效地解决了传统几何方法所存在的问题,在符合我国地质勘查规范的基础上,成功进行三维空间中的分块段资源储量估算,实现了 Surpac 软件在复杂的玢岩型铁矿床资源储量估算及提交资源储量报告中的科学应用,使国际先进的矿业软件与国内勘查、采矿的传统工作方法相结合,在固体矿产资源的储量计算方面具有重要的实践意义和推广价值。

1 长江中下游玢岩型铁矿床简介

长江中下游成矿带位于中国东部的长江中下游地区,位于扬子板块北缘的长江断裂带内,长期的构造作用、岩浆活动和成矿作用形成了断隆区和断凹区的次级构造格局及丰富多样的铁、铜、金多金属等矿床组合(常印佛等,1991;翟裕生等,1992;唐永成等,1998;Pan and Dong 1999;Mao et al. 2006;Zhou et al,2007,2008;周涛发等,2008,2010),金属矿床计有 200 余处,矿床类型多样,由 7 个各具特点的矿集区组成(图 1),自西向东依次为鄂东南、九瑞、安庆-贵池、铜陵、庐枞、宁芜和宁镇矿集区。其中宁芜盆地和庐枞盆地位于长江中下游成矿带的东段,是我国最重要的玢岩型铁矿床矿集区(图 1),是中国东部最重要的铁矿矿集区之一,铁矿石储量超过 40 亿吨(宁芜玢岩铁矿编写组,1978;周涛发等,2010)。

玢岩铁矿是由我国地质工作者首先提出的,指在陆相安山质火山岩分布区,与辉石闪长玢岩-次火

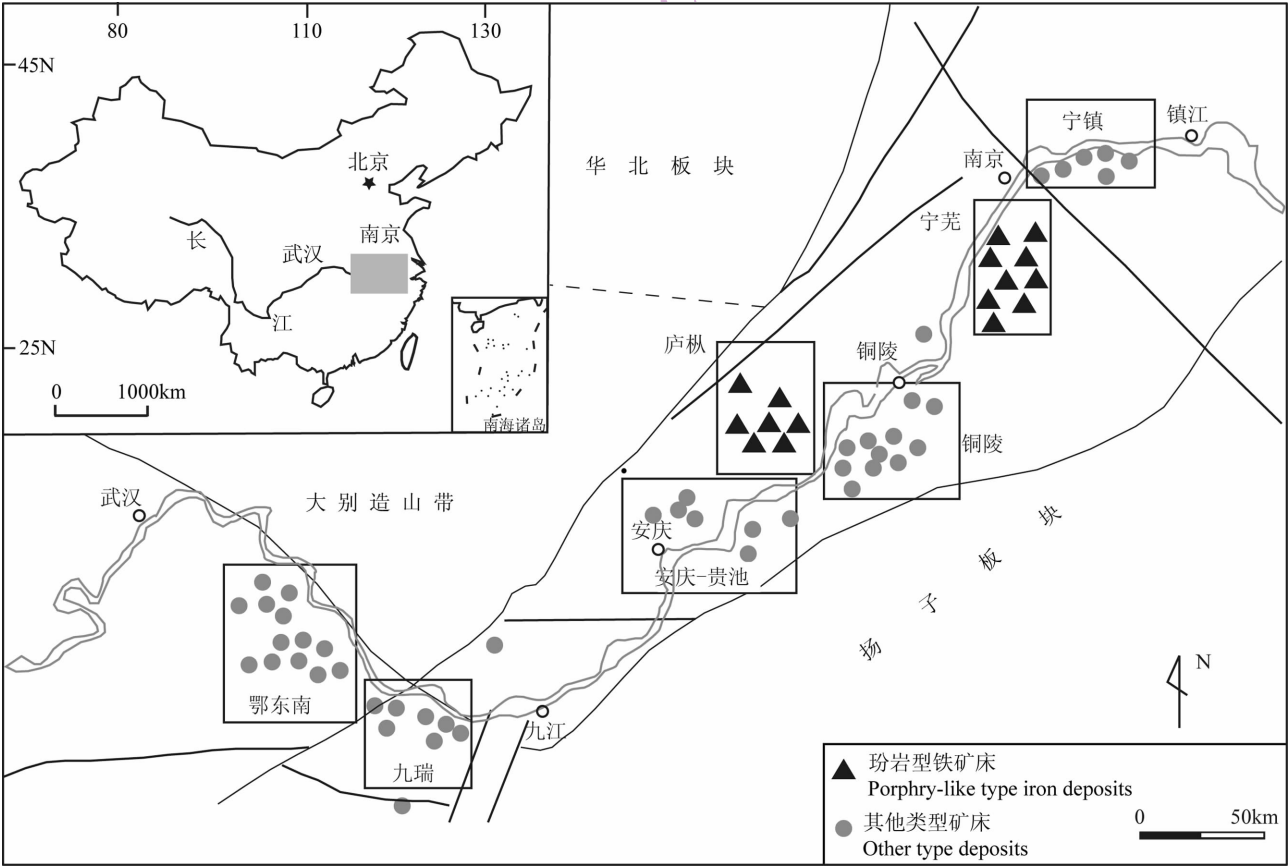


图 1 长江中下游成矿带主要矿集区和矿床分布略图(据翟裕生等(1992);Pan and Dong(1999);改绘)
Fig. 1 Distribution of ore concentration areas and deposits in middle-lower Yangtze River area
(after Zhai Yusheng et al. ,1992; Pan and Dong,1999 ;modified)

山岩或火山-侵入岩体在空间、时间以及成因上联系的一组以铁为主的矿床(宁芜研究项目编写小组,1978)。宁芜矿集区玢岩铁矿床分为 8 式:产于火山岩中的铁矿床为龙旗山式、竹园山式、龙虎山式;产于次火山岩体(辉石安山玢岩-辉长闪长玢岩)及其附近火山岩层中的铁矿床为梅山式、凹山式、陶村式;产于次火山岩体与前火山岩系沉积岩接触带中的铁矿为凤凰山式和姑山式。庐枞矿集区的玢岩型铁成矿系列包括 4 个亚类(周涛发等,2010):①龙桥式铁矿床——龙桥铁矿床、马鞭山铁矿床;②罗河式铁矿床——罗河铁矿床、泥河铁矿床;③大岭式铁矿床——大岭铁矿床;④盘石岭式铁矿床——盘石岭铁矿床。长江中下游成矿带玢岩型铁矿床矿体的产出部位多样,形态复杂,大小不一,出现以铁氧化物及磷灰石和透辉石等矿物组合为主的铁矿床,与白垩纪火山岩-次火山岩关系密切。

2 储量估算的理论方法

近年来三维建模软件的引入,使可视化的统计学方法得以发展,本文选择 Surpac 软件进行资源储量估算的研究工具,在三维空间中通过划分“块”来进行空间域的统计(孙玉建等,2006),即根据矿体地质特征和采矿方法,将矿体分割成若干大小相等、各相应边相互平行的长方体,为这些长方体在数据库中添加字段赋以各种属性,表征矿体所在位置的相关特征。这些属性包括此“块”所属的矿体编号、平均品位、资源储量类别、估计方差、所引用的已知信息点数、所引用的工程数、估值时的搜索椭球体等(侯景儒等,1998)。对每个“块”的估值,可选择距离幂次反比法和地质统计学方法等。其中地质统计学方法要求单指标圈矿,即使用边界品位甚至低于边界品位的指标进行圈矿,以保证估值在完整的地质域进行。而我国传统方法中使用双指标圈矿,即人为将矿体划分为低品位和工业品位,无法保证矿体地质域的完整性。因此本文选择距离幂次反比法进行估值,这种方法可忽略数据的完整性要求。

2.1 距离幂次反比法资源储量估算

距离幂次反比法建立在区域化变量基本原理基础之上,即假设待插值的空间点属性值在一定的范围内具有相关性(侯景儒等,1998;王仁铎等,1988),其基本原理是:假定区域化变量之间存在相关性,并且这种相关性可以定量地表示为样点(值已知的“块”)与待估点(等待估值的“块”)之间的距离的幂次成反比。

距离幂次反比法的基本公式为(李章林等,2007;Bartier,1996):

$$Z^*(B) = \sum_{i=1}^n Z(x_i) \lambda_i, \tag{1}$$

其中 $Z^*(B)$ 为待估点的属性值; $Z(x_i)$ 为已知采样点的属性值; λ_i 为已知点的权重。确定权重 λ_i 的方法为:

$$\lambda_i = \left(\frac{1}{d_i^k}\right) / \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^k}\right) \tag{2}$$

式中, d_i 为待估点与已知点之间的距离; k 为 d_i 的幂指数,其取值视具体情况而定,通常可取 1、2、3 等整数,已有研究显示, k 取 2 时估值效果最好(Davis, etc, 1986; Franke, 1982)。

距离幂次反比法还有一个重要的特点就是,各样点的权重之和为 1,即有下式成立:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \tag{3}$$

所以,该方法对于未采样点的估计值是未采样点属性真值的无偏估计,在多数情况下都能给出一个较合理的估计值。

2.2 利用搜索椭球体为“块”估值

估值就是根据已知信息推断估计未知信息,在矿山勘查开采中,最常见的就是通过线性或非线性方法为已经产生的工程数据加权后估计将要开采盘区的品位值。利用搜索椭球体为待估点估值,就是利用包含在搜索椭球体范围内的已知数据加权平均后赋值于椭球体中心的“块”。

对“块”进行估值时,应将样品限定在一定的范围内,使附近的数据对较远的数据有屏蔽作用,理论上随着距离的增大,数据之间的相关性降低,而搜索邻域过大将使计算费用增加(Goovaerts, 1997)。因此,应合理确定搜索邻域的大小。搜索邻域一般呈椭球形,故也称搜索椭球。椭球体不仅有大小、还应有方位,一般来说,椭球体长轴应与矿体最大连续性方向一致。

搜索椭球体表现的是矿体内部矿化现象的各向异性,如何确定搜索椭球体参数是距离幂次反比法储量估算的关键步骤。设定椭球体的各项几何参数与矿体模型的关系如图 2 所示,椭球体的中心对应于“块”的中心点,短轴方向对应于矿体的倾向,短轴的倾斜角对应于矿体倾角,长轴方向对应于矿体走向,高对应于矿体的真厚度方向。

3 在长江中下游玢岩型铁矿床中的应用研究

本文在长江中下游选择了具有代表性的某玢岩

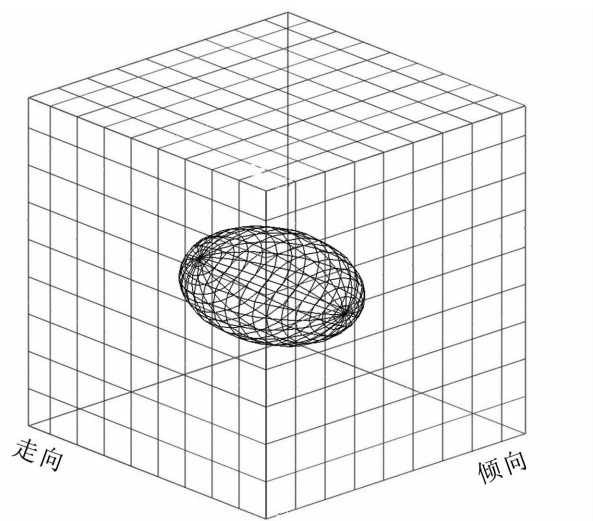


图 2 矿体模型与椭球体模型关系示意图
Fig. 2 Relationship of mineral model and ellipsoid model

型铁矿床进行应用研究。该矿床位于长江中下游断陷带内,产于火山岩和次火山岩体中,受火山-岩侵型穹窿构造控制,主要成矿母岩及赋矿围岩为闪长玢岩,主要矿物成分为磁铁矿、黄铁矿、硬石膏等,围岩蚀变强烈,具有规模大、有用成分多、矿体形态复杂等特点。本文在该矿床中进行地质体三维建模,并利用距离幂次反比法进行资源储量估算,流程为:三维空间矿体解译→建立三维矿体模型→计算搜索椭球参数→建立矿体块体模型→去除夹石、脉岩→根据地质可靠程度划分块段区域→反距离加权插值→矿体储量报告。

3.1 三维空间解译及实体模型的建立

根据取样分析结果,并综合考虑该玢岩型铁矿床的矿化特征、矿体的形态、空间产出规律,矿体厚度变化及其尖灭趋势、矿石品位变化等因素,首先在三维空间中进行地质体边界圈定(图 3a),划分矿体地质域(图 3b),圈定脉岩地质体(图 3c)及夹石地质体模型(图 3d)。

3.2 搜索椭球体参数的确定

对该玢岩型铁矿床进行综合研究,通过矿体空间分布特征确定椭球体参数,矿体走向方向的长度通过纵勘探剖面的矿体解译线求平均值确定,倾向方向(宽度)和矿体厚度通过横勘探剖面的矿体解译线求平均值确定,参数由如下公式确定:

倾向方向(宽度) $W = \sum_{i=1}^n w_i$,其中 w_i 为每条横勘探线倾向方向(宽度)的加和平均;

钻孔方向(厚度) $T = \sum_{i=1}^n t_i$,其中 t_i 为每条横勘探

线钻孔方向(厚度)的加和平均;

走向方向(长度) $L = \sum_{i=1}^n l_i$,其中 l_i 为每条横勘探线走向方向(长度)的加和平均;

在矿体严格按照原则圈定的前提下,矿体边界约束足以保证矿体内部数据不受外部数据影响,考虑到矿体内部的矿化都具有一定的联系,因此在确定搜索椭球体参数时,可设置搜索范围为全范围搜索(最大搜索半径、最大垂直搜索距离均为 9999)。在估值时限定参与每个块估值的样品数为 1~15 件,则可保证以待估点附近的数据为主导。

3.3 矿体块体模型的建立

该玢岩型铁矿床基本勘探线间距为 200m×150m,加密勘探线间距为 100m×75m。定义块体模型的基本长宽尺度为加密勘探线距的 1/5,高程方向上的块尺寸为组合样长的 2 倍,因此块体模型的大小设定为 20m×15m×3.4m。为提高块体模型估值以及与实体模型符合的精度,结合最低可采厚度,本文对基本块进一步划分子块,子块被定义为基本块体体积的 1/64,即 5m×3.75m×0.85m。同时,根据矿体的空间形态设定块体模型的方位角为 50°、倾角 0°、倾伏角 0°。图 4 为具有代表性的主矿体资源储量估算块体模型。

3.4 玢岩型铁矿床资源储量估算

距离幂次反比法进行资源储量估算的基本思想是将整个地学空间作为统一的研究目标,在其中根据已知样本点的值,利用插值方法获取未知点的值,在进行资源储量分类时则根据相应的数值约束得到不同类别的资源储量估算,当矿体控制程度发生变化时,只需要修改相应的数值约束即可得到新的结果,而无须对已经建立的矿体模型重复构建,节约大量的工作。

我国储量估算中地质可靠程度分类是根据现有工程分布情况综合确定,为使 Surpac 软件资源储量估算结果满足《分类》中所规定的地质可靠程度分级要求,同时使估值结果可以与传统几何方法进行对比验证,根据《分类》要求,本文在查明此玢岩型铁矿床地质、构造特征及主要控矿因素,对矿体的赋矿部位、形态、产状、空间分布和规模进行分析,对矿石质量、矿石类型分布特征及变化规律有了一定程度的理解,并对矿床的开采技术条件、矿石的加工技术性进行详细实验、调查的基础上,结合矿体实际工程控制网度及单矿体圈定原则等条件,在勘探工程分布图中对可靠程度分类进行平面圈定(图 6a)。根

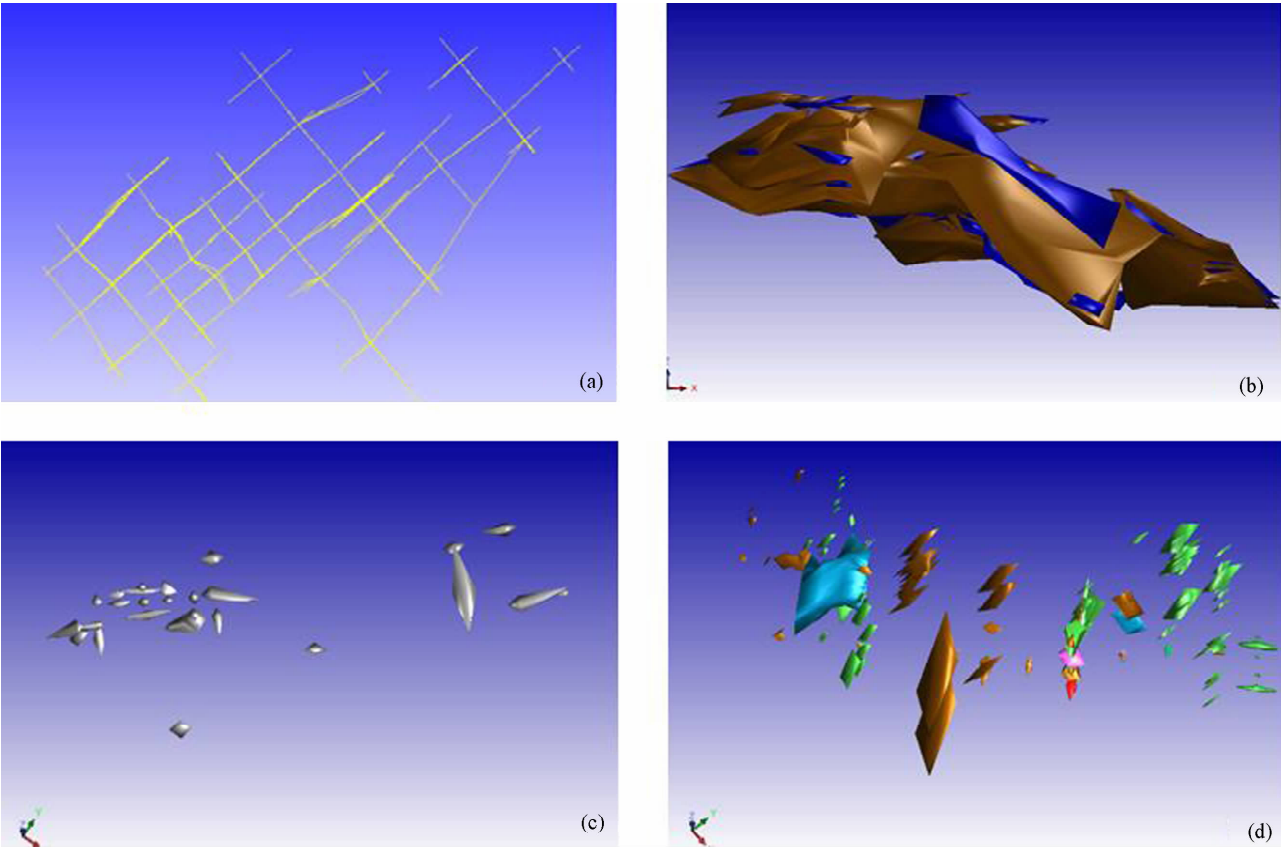


图 3 长江中下游某玢岩型铁矿床三维空间中的地质体边界圈定

Fig. 3 Delimitation of ore bodies in three-dimensional space

(a)—剖面间矿体地质域的圈连;(b)—三维视图中圈定的矿体地质域;(c)—三维视图中圈定的脉岩模型;(d)—三维视图中圈定的夹石模型
(a)—Connection of ore body between profile;(b)—delimited ore bodies region in three-dimensional view;(c)—delimited vein rock model in three-dimensional view;(d)—delimited bastard model in three-dimensional view

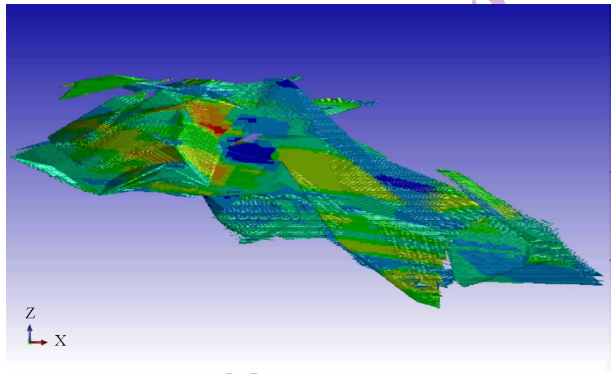


图 4 某玢岩铁矿床主矿体资源储量估算块体模型

Fig. 4 “block” model of main ore bodies of one porphyry iron deposit

据控制程度分类平面图,在 Surpac 系统的三维空间中,分别建立标高为 0m 及 -2000m 的 331 块段、332 块段水平断面,利用“两个段之间”建立实体模型的工具,以铅垂面的方式在三维空间中分别建立各矿体 331(探明的)(图 6b)、332(控制的)(图 6c)

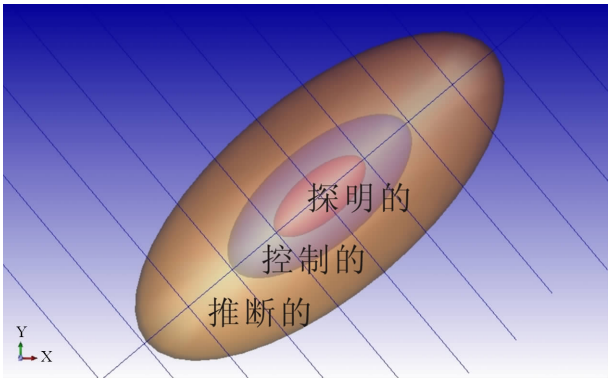


图 5 搜索椭球体尺寸基数

(基本勘探线间距为 200m×150m)

Fig. 5 Base number of research ellipsoid size
(Interval of basic exploratory lines;200m×150m)

可靠性块段约束体模型,其中,332 块段约束体模型为去除 331 块段约束体模型剩余部分。在 Surpac 的块体模型工具中,分别将图 6b、图 6c 的体模型作为 3DM 约束条件,和主矿体块体模型(图 4)进行相

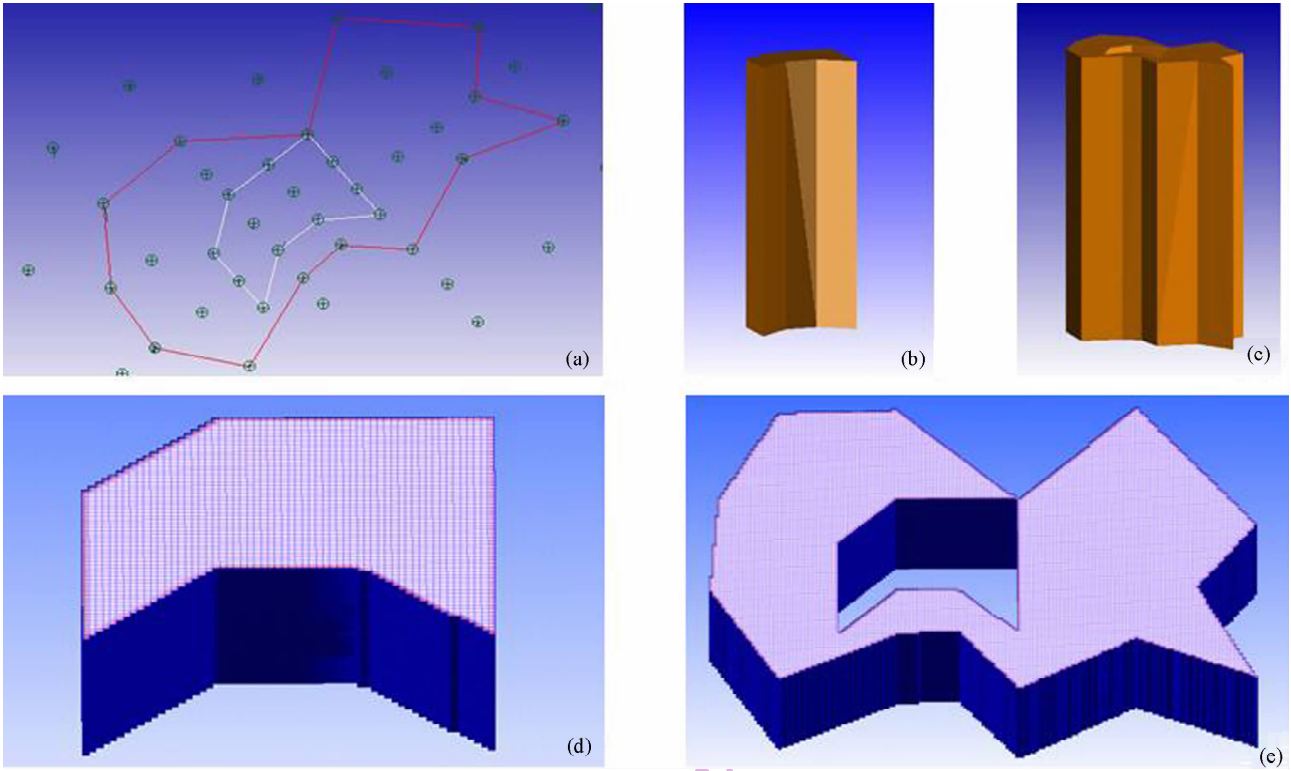


图 6 Surpac 实现控制程度分类

Fig. 6 Classification of control level using Surpac

(a)—控制程度分类平面图(基本勘探线间距为 200m×150m,白色线圈表示控制程度分类等级为探明的,红色线圈表示控制程度分类等级为控制的);(b)—331 块段约束体模型;(c)—332 块段约束体模型;(d)—331 块段约束内的“块”;(e)—332 块段约束内的“块”
(a)—Diagram of control level classification (Interval of basic exploratory lines: 200m×150m, white circles depict the control level classification is measured, red circles depict the control level classification is controlled); (b)—constrained model of 331 block; (c)—constrained model of 332 block; (d)—“block” of 331; (e)—“block” of 332

交运算,获得 331、332 块段约束范围内的块体模型(图 6d,图 6e)。分块段的资源储量估算工作分别在块段约束范围内利用 Surpac 提供的距离幂次反比法进行,由此,可得到满足《分类》标准的各地质可靠程度范围内的储量,结果见表 1。

表 1 主矿体资源储量估算结果

Table 1 Reserves estimation of main ore body

资源量类别	矿石品级	体积(m³)	矿石量(万 t)	平均品位(%)
331	工业品位	8043035	2865.36	32.80
	低品位	147502	46.42	20.31
332	工业品位	16662879	5740.83	29.26
	低品位	1237706	395.21	21.61
333	工业品位	11598707	3939.51	27.76
	低品位	1453277	454.54	19.72

为验证 Surpac 软件资源储量估算结果的可靠性,本文选择了主矿体的 331 块段采用传统的垂直

平行断面法进行了资源储量验证。验证结果见表 2,误差相对值均小于 2%,平均品位也十分接近,证明使用 Surpac 软件进行资源储量估算,并按照传统可靠性程度分类的方法,所得的结果是真实可靠的。

表 2 主矿体 331 类资源储量估算结果对照表

Table 2 Comparison of main ore body reserves estimation 331

矿石品级	Surpac 软件估算结果		垂直断面法估算结果		相差值	
	矿石量(万 t)	平均品位	矿石量(万 t)	平均品位	绝对值	相对差(%)
工业	2865.36	32.80	2912.18	33.51	-46.82	1.63
低品位	46.42	20.31	45.89	20.26	+0.53	1.14
工业+低品位	2911.78	32.60	2958.07	33.20	-46.29	1.59

综上所述,本文的储量估算方法既能利用 Surpac 的强大三维建模功能,又能较好地满足我国

现行规范,为储量估算工作而建立的三维矿体模型、三维块体模型也能够直接为矿山企业使用,为矿山企业进行采矿工程设计、矿山开采日常管理奠定良好的基础,在固体矿产的资源储量估算工作中较好地实现了传统方法和国际通行方法的接轨。本文成果在类似于长江中下游成矿带玢岩型铁矿床等复杂的金属矿床的固体矿产资源储量快速、精确计算方面具有重要的实践意义和推广价值。

4 结论

本文在长江中下游某玢岩型铁矿床中进行资源储量估算的研究,主要取得以下成果:

(1) 解决了玢岩型铁矿床由于空间形态复杂带来的资源储量估算难题,提高了传统储量估算方法中使用单一平均品位计算的精度。

(2) 既采用了国际通用的统计学观点,将整个地质域作为统一整体进行“块”的估值,又参考了我国传统资源储量估算中的可靠性程度划分的标准,用建立块段约束体模型的方法实现了先进技术与我国传统矿床勘探方法的有机结合。

(3) 在矿床勘探工作程度提高的情况下,只需要建立新的块段约束体模型对原有的矿体三维模型重新约束就能满足新的可靠性程度划分的要求。

(4) 本文研究成果在长江中下游成矿带玢岩型铁矿床及类似复杂的金属矿床的固体矿产资源储量快速、精确计算方面具有重要的实践意义和推广价值。

参 考 文 献

常印佛,刘湘培,吴言昌. 1991. 长江中下游铜铁成矿带. 北京:地质出版社:71~76.

陈国华,龚羽飞. 2003. 河南金渠金矿区采用先进的SD法储量计算审定方法效果显著. 地质与勘探, 39(01):66~69.

陈前军,毛晓梅,李享洲. 2007. 固体矿产资源储量估算软件的设计与实现. 资源环境与工程, 21(4):460~465.

国土资源部储量司. 2000. 矿产资源储量计算方法汇编. 北京:地质出版社:297~309.

侯景儒,黄竞先. 1998. 实用地质统计学. 北京:地质出版社:1~9, 32~36.

李石桥,郭俊华,许利文. 2006. SD法储量计算系统在金矿勘查区中的应用——以甘肃阳山金矿为例. 地质与勘探, 42(01):77~80.

李守义,叶松青,编. 2003. 矿产勘查学. 北京:地质出版社:8~19.

李章林,张夏林. 2007. 距离平方反比法矿产资源储量计算模块设计与实现. 地质与勘探, 43(6):92~97.

宁芜研究项目编写小组. 1978. 宁芜玢岩铁矿[M]. 北京:地质出版社:196.

孙英君,王劲峰,柏延臣. 2004. 地质统计学方法进展研究. 地球科学进展, 19(2):265~270.

孙玉建. 2008. 地质统计学在固体矿产资源评价中的若干问题研究. 中国地质大学(北京):1~99.

孙玉建,孟伟,万会. 2006. 矿产资源储量估算中工程控制程度划分的探索. 地质与勘探, 42(6):81~84.

唐永成,吴言昌,储国正,邢凤鸣,王永敏,曹奋扬,常印佛. 1998. 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质. 北京:地质出版社:60~85.

王仁铎,胡光道. 1988. 线性地质统计学. 北京:地质出版社:1~16.

杨东来,张永波,王新春,等. 2007. 地质体三维建模方法与技术指南. 北京:地质出版社:65~69.

袁勇,王志龙. 2009. 储量计算克立格法与SD法的对比分析. 内蒙古石油化工, (4):41~43.

张宝一,尚建嘎,吴鸿敏,刘修国,吴信才. 2007. 三维地质建模及可视化技术在固体矿产储量估算中的应用. 地质与勘探, 43(2):76~80.

张起钻,杨建功. 2008. 固体矿产资源储量估算应注意的问题. 地质与勘探, 44(4):74~78.

翟裕生,姚书振,林新多. 1992. 长江中下游地区铁铜矿床. 北京:地质出版社:1~120.

赵增玉,潘懋,田甜,乔金海,刘钊. 2010. 固体矿产资源储量估算系统中垂直断面法的实现. 地质与勘探, 46(3):547~552.

中华人民共和国国家标准——固体矿产资源/储量分类. 1999. GB/T 17766-1999.

周涛发,范裕,袁峰,宋传中,张乐骏,钱存超,陆三明, David R Cooke. 2010. 庐枞盆地侵入岩的时空格架和对成矿制约. 岩石学报, 26(9):2694~2714.

周涛发,范裕,袁峰. 长江中下游成矿带成岩成矿作用研究进展. 2008. 岩石学报, 24(8):1665~1678.

朱志祥,晏玖德. 2004. SD法在湖北大冶鸡冠嘴铜金矿床资源储量核实中的应用. 地质与勘探, 40(04):82~84.

Bartier P. 1996. Multivariate interpolation to incorporate thematic surface data using inverse distance weighting (IDW). Computers & Geosciences, 22(7):195~199.

Davis, John C. 1986. Statistics and Data Analysis in Geology. John Wiley and Sons, New York.

Franke R. 1982. Scattered Data Interpolation: Test of Some Methods. Mathematics of Computations, 33(157):181~200.

Goovaerts P. 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press.

Mao J W, Wang Y T, Lehmann B. 2006. Molybdenite Re - Os and albite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of Cu Au Mo and magnetite porphyry systems in the Yangtze River valley and metallogenic implications. Ore Geology Reviews, 29(3~4):307~324.

Pan Y M, Dong P. 1999. The Lower Changjiang (Yangzi/Yangtze River) metallogenic belt, east central China: intrusion and wall rock-hosted Cu-Fe-Au, Mo, Zn, Pb, Ag deposits. Ore Geology Reviews, 15(1):177~242.

Zhou TF, Yuan F, Yue SC, Liu XD, Zhang X, Fan Y. 2007. Geochemistry and evolution of ore-forming fluids of the Yueshan Cu Au skarn- and vein-type deposits, Anhui Province, South China. Ore Geology Reviews, 31:279~303.

Zhou Taofa, Fan Yu, Yuan Feng, Lu Sanming, Shang Shigui,
David R Cooke, Sebastien Meffre, Guochun Zhao. 2008.
Geochronology of the volcanic rocks in the Lu-Zong (Lujiang-

Zongyang) basin and its significance. *Science in China (Series
D-Earth Sciences)*, 51(10): 1470~1482.

Reserves Estimation of Porphyry Iron Deposit in the Middle-Lower Reaches of Yangtze River Area, China

ZHANG Mingming, ZHOU Taofa, YUAN Feng, LI Xiaohui, LI Xiuyu, JIA Cai
Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, 230009

Abstract

Porphyry iron deposits are a typical deposit in the Yangtze River area. The deposits are of complicated spatial features and varied orebodies and sizes, thus resulting in some difficulties for resource reserve estimation. With focusing on resource reserve estimation of porphyry iron deposits in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River area, this study successfully combined 3D Surpac with traditional research method and established 3D models for orebodies, dykes and gangue minerals based on collecting and integrating a variety of geological data. Based on national standards and the traditional methods of reliability classification to identify types of resource reserves, 3-D reserve estimation of porphyry iron deposits was conducted using a domain constrained model. This study carried out an integrated estimation process, from the 3-D spatial interpretation, determination of ellipse parameters to probability classification and estimation of resources reserves, and compared the traditional method with the approach by Surpac and their results. The research results suggest that the latter can completely meet the requirements of related national standards for resources reserve estimation and can serve for submission of geological exploration reports. The result will have important practical significance and popularization value due to its quick and precise calculation of solid mineral resource reserves of the porphyry-type iron deposits in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River area and similar complicated solid deposits.

Key words: reliability standard; resources and reserves classification; reserves estimate; search ellipsoid; Surpac