doi:10.3969/j.issn.1674-3636.2012.04.366

三维矿产资源潜力评价中GIS空间分析的应用研究

赵增玉[1],潘　懋[2],郭艳军[2],金　毅[3],屈红刚[4]

(1.江苏省地质调查研究院,江苏 南京 210049; 2.北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室,北京 100871; 3.河南理工大学资源环境学院,河南 焦作 454000; 4.中国地质调查局发展研究中心,北京 100037)

摘要:三维矿产资源潜力评价是近年来随着三维地学建模技术的发展而提出的,为大比例尺矿产预测、危机矿山中深部找矿提供了新的思路和技术手段,而三维空间分析则是在三维地学模型基础上的进一步分析和应用。介绍了三维矿产资源潜力评价的概念、流程以及目前常用的GIS空间分析手段。针对三维矿产资源潜力评价,分别从成矿分析、控矿信息提取、控矿信息综合和评价结果分析4个方面阐述三维查询分析、三维缓冲分析和三维叠加分析等不同三维空间分析手段的应用。通过安庆铜铁矿实例,展示了该矿床三维矿产资源潜力评价中GIS空间分析的应用。

关键词:矿产资源潜力评价;空间分析;三维地学建模;GIS;安徽安庆

中图分类号:TP391.41　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1674-3636(2012)04-0366-07

0　引　言

随着三维地学建模技术的发展以及GIS在矿产资源评价中的推广,地质人员可以在三维矿床模型的基础上进行三维矿产资源潜力评价。三维矿产资源潜力评价是通过三维地学建模理论和技术,结合矿床地质分析,建立三维矿床模型,并利用三维GIS空间分析,对现有的三维矿床模型进行综合分析,判断矿床成因以及建立找矿模式,最后定位预测和定量评价具有成矿潜力的地区,为下一步的深部或周边找矿提供依据,指导进一步的勘探工程部署。

很多学者结合三维GIS优势,充分利用GIS可视化和空间分析功能,提出在三维GIS环境下新的预测方法。Jones等(2009)提出多尺度的三维地质模型,从小比例尺区域地质图到大比例尺的野外地质露头,甚至野外照片结合起来,为分析成矿地质规律提供了非常便利的手段;Jackson(2010)充分利用地质、地球化学、地球物理数据,在三维可视化环境下,利用化探分析方法,通过矿化过程中稳定元素的分布分析地层之间的相关性,同时定位导致三维化探异常的基岩,更好地解释了元素分布现象,充分发挥了化探方法在三维GIS矿产资源评价中的作用。

从国内外研究成果可以看出,三维空间分析在三维矿产资源评价中占据十分重要的地位。因此,如何更好地利用三维GIS空间分析功能,是三维矿产资源评价急需解决的难题。

在前人研究成果基础上,首先介绍三维矿产资源潜力评价的基本流程,接着分别从成矿分析、控矿信息提取、控矿信息综合和评价结果分析4个方面阐述如何将GIS空间分析应用于三维矿产资源潜力评价。以安庆铜铁矿为例,运用GIS查询分析、缓冲分析和叠加分析对该矿床进行了资源潜力评价及结果分析。

1　三维矿产资源潜力评价

1.1　基本流程

根据前人成果,可大致将三维矿产资源潜力评价分为五大步骤:资料入库、矿区三维矿床模型建立、控矿信息提取、综合评价和结果分析等(图1)。

收稿日期:2012-01-06;**修回日期**:2012-02-07;**编辑**:陆李萍

作者简介:赵增玉(1984—　),女,工程师,博士,构造地质专业,E-mail:85500043@qq.com

万方数据

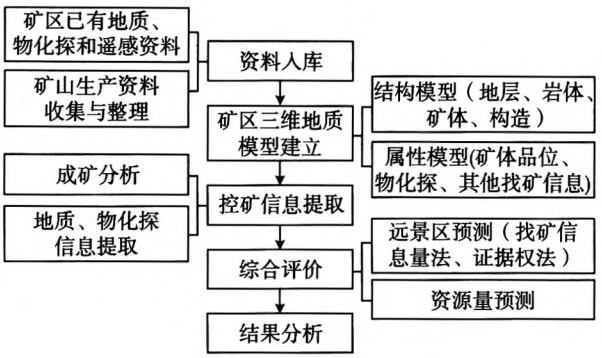


图 1　三维矿产资源潜力评价基本流程

数据库是矿区三维地质模型建立的基础之一，也是三维矿产资源潜力评价最根本的数据来源。三维控矿信息提取是对矿区三维地质模型的解释和分析，综合评价是对控矿信息提取结果的应用和表达，结果分析是对综合评价结果的地质解释及分析。

（1）资料搜集与入库。数据库存储和管理了研究区已有的地质、物化探和遥感资料以及矿山生产资料，包括矿床普查、勘探过程中形成的各种钻探资料、大比例尺地球物理测量、地球化学分析数据、岩矿分析数据等。

（2）根据已入库的资料及已有剖面和平面数据进行研究区三维地质建模。三维地质建模包括三维结构模型(矢量模型)构建和三维属性模型(栅格模型)构建。其中，三维结构模型中，地层、岩体、矿体、构造的结构模型可分别根据剖面图提供的相应的地层界限、岩体边界、矿体轮廓线、构造线来构建。三维属性模型构建可建立矿区矿体品位、物化探数据等的三维属性模型。

（3）对基于矿区的三维地质模型进行成矿分析和三维控矿信息提取。成矿分析是在三维矿床模型的基础上，结合对矿区矿床地质特征的研究，分析得到主要的控矿因素；三维控矿信息提取是利用三维空间分析功能将控矿因素提取出来，每个控矿因素作为单独的一个图层参与三维综合评价。

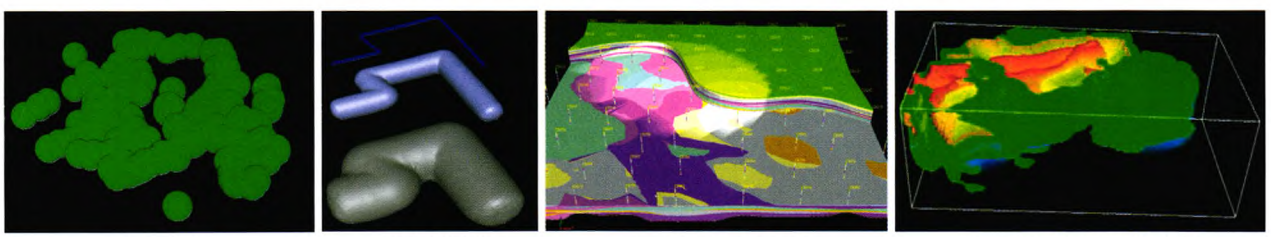
（4）在控矿信息提取的基础上进行三维综合评价。三维综合评价是通过适当的综合评价方法，如找矿信息量法、证据权法、模糊综合评判法等，对控矿因素的组合进行综合计算和评价，进而圈定找矿远景区和预测资源量。

（5）结果分析。借助三维空间分析功能，研究评价结果是否符合地质规律，是否对下一步的找矿勘探部署有一定指导作用，对综合评价结果进行地质解释。

在上述 5 个步骤中，第 3—5 步骤需要充分利用三维空间分析功能，才能更好地达到各步骤的目的。

1.2　三维空间分析应用研究

从空间分析的对象和使用功能看，现有的三维空间分析主要包括面向三维几何对象的三维几何分析，如体积、表面积计算、叠置分析、缓冲区分析等；面向三维空间的统计分析，如空间回归分析、空间相关分析、空间聚类分析等；面向典型领域应用模型分析，如管线分析、日照分析、流域分析等。针对不同的三维空间分析方法，前人已作了大量的对应算法和实现技术的研究(李清泉，1998；肖乐斌，1999；李芳玉，2004，2007；朱雷，2005；王结臣等，2007)。图 2 列举了 4 项常见的空间分析手段：点、线的缓冲分析、三维矢量叠加分析、三维栅格空间插值分析。在三维矿产资源潜力评价中，不同的空间分析手段可应用于三维矿产资源潜力评价的不同步骤。



(a) 点缓冲分析　(b) 线缓冲分析　(c) 三维矢量叠加分析　(d) 三维栅格空间插值分析

图 2　常见的三维空间分析手段

1.2.1　*控矿信息提取*　控矿信息提取是在对矿床地质进行分析的基础上，以三维空间查询为基本手段，提取与成矿相关的地质因素。三维空间查询包括了包含分析，图形和属性的相互查询等，针对三维矿床模型，Kevin Sprague 等(2006)基于 GOCAD 提出了 7 种查询方案，包括基于属性的查询，如查询所有

万方数据

$m(K_2O)>2\%$的采样点；基于距离的查询，如查询矿体周围 300 m 范围内所有的工程数据；基于体表面（封闭面）的查询，即查询封闭面内所有的点；元数据查询，如查询模型创建日期等；基于三维图形几何形态特征的查询，如对穹窿、盆地等的查询；基于某曲线或者曲面趋势的查询，如查询所有倾向为 135°±10°、倾角为 45°±10°的地质体；相交查询，如查询与钻井轨迹相交的所有断层面，或者查询与矿体相关的所有地质界面。在上述 7 种查询方案中，融合了较多的空间分析方法，如缓冲分析、空间量算、叠置分析等。

1.2.2 综合评价 国内的三维矿产资源潜力综合评价大部分沿用了成熟的二维 GIS 方法，王萍（2008）应用证据权法对广西大厂锡多金属矿床进行三维成矿预测，获得了较好的效果；陈建平等（2009）将三维可视化技术与找矿信息量法结合，提出“立方体预测模型”找矿方法，通过找矿信息量法确定远景预测区及估算其金属资源储量；吕鹏（2007）应用“立方体预测模型”找矿方法并利用 MicroMine 公司的 KANTAN 3D 软件，对云南个旧某矿区进行地下隐伏矿体三维建模及预测。可见，不论应用什么样的统计预测方法，综合评价主要应用了三维栅格的叠加分析，将整个研究区以及各个控矿信息栅格化，而各栅格单元则可看作为综合评价的最小单元，通过评价每个栅格单元的成矿概率，得到整个研究区的成矿概率分布。

1.2.3 结果分析 结果分析可将评价结果与三维矿床模型对比，研究成矿概率分布与地层、岩体、构造之间的关系。同时，可通过对评价结果进行剖切，与对应的矿床地质模型同一剖切面进行对比，了解更直接的成矿规律。

2 实 例

以安庆铜铁矿为例，研究了三维空间分析在该矿床三维矿产资源潜力评价中的应用，安庆铜铁矿属于矽卡岩型，前人对该矿区的地质研究大部分是利用矿区的地质图、勘探线剖面图以及钻孔等进行定性分析（范良伍，2004；雷文秀，2004；阴元军等，2006；杨光树等，2006；范良伍等，2008）。丛威青等（2009）对该矿区进行了三维结构模型的构建，在此基础上，对该矿区的成矿远景进行了定性描述。

基于北京大学信息地质研究实验室（GSIS）三维平台，笔者构建了矿区的三维矿山评价模型，利用多元数据一体化显示技术，对矿床地质特征进行直观分析，并利用三维空间分析手段提高矿产资源勘查过程中的找矿预测和分析判断能力。

2.1 矿区地质概况

该矿区地层自下而上有三叠系下统南陵湖组、中统月山组及铜头尖组。表 1 说明了各组地层名称、厚度、岩性描述等。

表 1 矿区地层单元

系	统	地层名称	代号	厚度/m	岩性描述
三叠系		铜头尖组	T_1t	1 735	含钙质紫色粉砂岩，粉砂质泥岩，泥质粉砂岩夹砂质页岩、细砂岩与透镜状砾岩。含数层灰绿、青灰色含铜砂岩。上部与底部具有清晰的韵律结构
	中统	月山组 第三段	T_2y^3	42.90	灰白、灰黄、青灰色含钙粉砂岩、细砂岩夹透镜状泥质白云岩、泥灰岩。含大量瓣鳃类与植物化石
		月山组 第二段	T_2y^2	51.69	紫红、棕黄色砾状灰质白云岩（矿区习惯称角砾状大理岩）。底部有厚约 2 m 的薄层含铁粒屑灰质白云岩
		月山组 第一段	T_2y^1	59.76	灰黄色薄竹叶状白云质灰岩与具石膏假晶白云岩，含灰质白云岩、白云岩灰岩
	下统	南陵湖组	T_1n	>420	青灰、灰白色薄中厚层灰岩，白云石化粉晶白云质灰岩

区内断层、破碎带较发育。断层东部以近南北向为主，西部以北西向和北北西向为主。在月形山北坡见有 3 条走向北西的破碎带，分布在南陵湖组地层中，破碎带长 250～300 m，宽 5～10 m，最宽有 30 m，倾向南西，倾角较陡，带内构造角砾岩发育，风化面具褐铁矿氧化壳，为一组张性破碎带。另外，矿区还发育了矽卡岩接触带破碎带，该破碎带沿矽卡岩接触带普遍分布，其形成机制与岩体多期活动有

万方数据

关,是成矿的有利构造,钻孔中多有揭露。

通过矿区内的 228 个钻孔数据,131 个剖面数据(丛威青等,2009),利用 GSIS 的三维结构建模功能,建立了矿区三维地质模型(图 3),揭示了矿区地层、岩体、构造的三维空间展布形态。

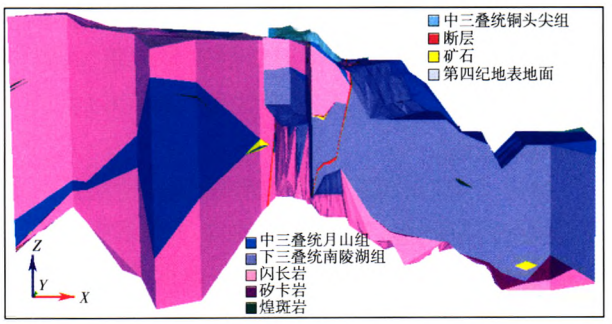


图 3　矿区三维地质模型

2.2　控矿信息提取

根据对矿区地质体三维结构模型(图 3)以及矿区地质的分析,认为已发现的矿体与矽卡岩接触带关系密切(图 4)。因此,对矽卡岩接触带和断层作 20 m(经验值)的缓冲,图 5 为本区两条断层的缓冲体。由于矽卡岩接触带形态复杂,为多个复杂、封闭的 TIN 构成,如果直接进行三维矢量的缓冲,则需要对缓冲后的体进行复杂的相交运算。因而,笔者对矽卡岩接触带三维模型进行了三维栅格化(图 6),并基于栅格化后的三维模型进行了缓冲分析。

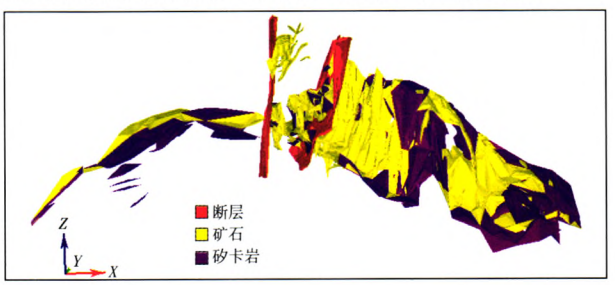


图 4　矿体与矽卡岩接触关系

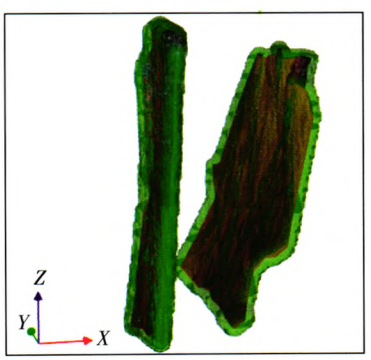


图 5　断层 20 m 缓冲

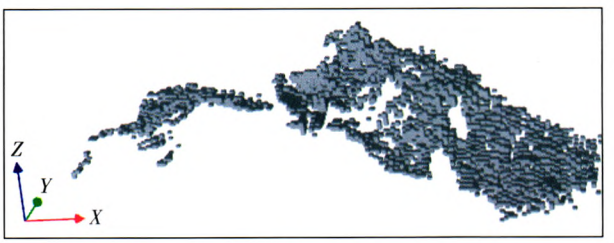


图 6　矽卡岩接触带三维栅格化

2.3　综合评价

利用证据权法,笔者对该矿区进行了三维矿产资源潜力评价。

2.3.1　评价指标体系的建立　选择了矿体、地层、岩体和构造四大类评价指标,各指标分类如表 2 所示。

表 2　评价指标体系

评价指标	各因子名称
矿体	铜铁矿
地层	三叠系中统月山组(T_2y) 三叠系中统铜头尖组(T_2t) 三叠系下统南陵湖组(T_1n)
岩体	闪长岩岩体 矽卡岩接触带 20 m 缓冲体 煌斑岩脉
构造	断层 20 m 缓冲体

2.3.2　计算矿区外包并划分空块模型　首先,计算了整个矿区 X、Y、Z 的最大值和最小值,构建矿区的最大外包,由于岩性、岩体以及矿体形态、产出在 Z 轴方向上变化较大,X、Y 轴方向上变化不大,因而在划分整个研究区的空块模型时,沿着 Z 轴方向的边长较短,X、Y 方向上边长较长,并以20 m × 20 m × 10 m 大小的块单元划分整个矿区空间(图 7)。X、Y、Z 方

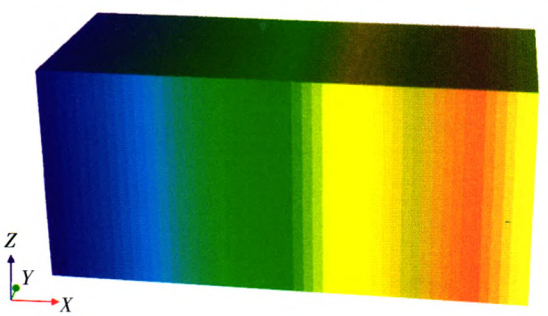


图 7　矿区空块模型

万方数据

向上的块单元个数分别是 125、48、112，总单元个数为 672 000 个。

2.3.3 块模型赋值 基于矿区的空块模型，可以进行控矿信息的提取。在提取过程中，每个因子存在的块单元属性赋值为 1，不存在的块单元属性赋值为 0。矿体所在的块单元如图 8 所示。

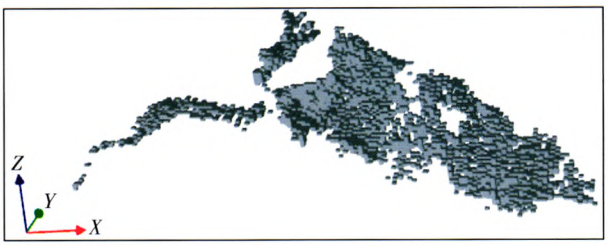


图 8 矿体块单元空间展布

2.3.4 证据权法计算 前人作了大量证据权法的研究（Bonham-Carter et al，1988，1990；Bonham-Carter，1994；Carranza，2004；陈建平等，2005）。在证据权法中，认为矿区建立的预测指标体系中的每个指标为一证据图层，可利用证据权法对各证据图层进行权重 W 和对比值 C 的计算，计算结果如表 3 所示，其中，W^+ 和 W^- 为证据对应的正负权重，$s(W^+)$ 和 $s(W^-)$ 为权重方差，C 为对比值，stud(C) 为对 C 的显著性检验。

由表 3 可知，与矿体关系较密切的地层为三叠系下统的南陵湖组，最不密切的为三叠系中统铜头尖组；与矿体关系较密切的岩体为矽卡岩接触带 20 m缓冲体，最不密切的为煌斑岩脉；本区构造与矿体关系相关程度一般。

表 3 各证据图层证据权重及对比值计算

各因子名称		W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	stud(C)
地层	月山组	1.929 3	0.003 2	−0.055 8	0.000 2	1.985 1	0.003 2
	铜头尖组	−0.662 9	0.334 7	0.000 5	0.000 2	−0.663 4	0.334 7
	南陵湖组	4.201 8	0.001 1	−0.310 8	0.000 3	4.512 6	0.001 1
岩体	闪长岩岩体	3.887 6	0.000 6	−0.577 3	0.000 3	4.464 9	0.000 7
	矽卡岩 20 m 缓冲	5.022 9	0.000 8	−0.677 9	0.000 4	5.700 8	0.000 9
	煌斑岩脉	1.607 1	0.008 0	−0.020 2	0.000 2	1.627 2	0.008 0
构造	断层 20 m 缓冲	2.601 3	0.005 6	−0.035 8	0.000 2	2.637 1	0.005 6

根据证据权计算每个块单元的成矿后验概率，图 9 为后验概率值 >0.000 755 的块单元的分布。

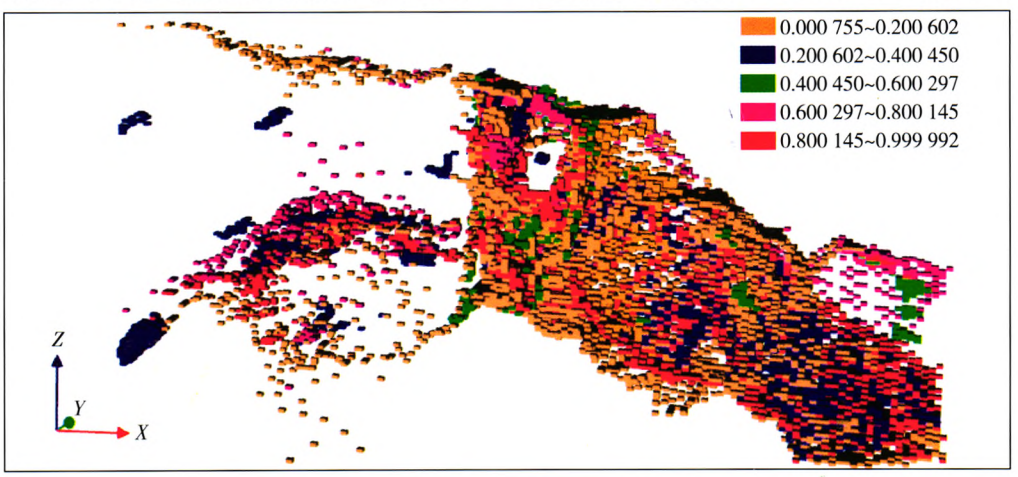


图 9 证据权法成矿后验概率三维分布

2.4 评价结果分析

为更清楚地分析预测结果与各评价指标图层的关系，对所有评价指标图层作某一高度的切片（图 10a），对证据权法计算结果进行同一高度的分层显示（图 10b），并将评价指标图层切片渲染为半透明色，与计算结果一体化显示（图 10c）。

万方数据

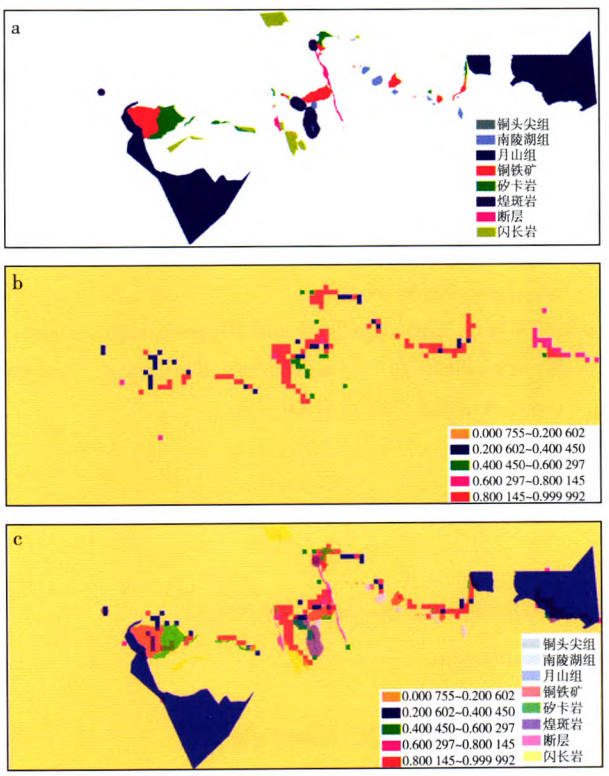


图 10　评价结果操作分析

a-评价指标图层切片;b-评价结果切片;c-评价指标与评价结果一体化

根据对矿区三维地质模型及预测结果的操作分析,更有力地说明了矽卡岩接触带和矿床之间的关系。

3　结　论

对整个矿区的地质体结构模型及评价结果模型进行不同的三维空间分析,有助于分析地层、岩体、构造与已发现矿体的空间关系,进而建立矿区的成矿和找矿模式,并且,可定位预测未发现的矿体,为勘探部署提供建议。

以安庆铜铁矿的三维矿产资源潜力评价为例,三维空间分析应用成果主要体现在以下 3 个方面:(1) 通过分析安庆铜铁矿的三维地质体结构模型,并对其进行矢量剖切分析,验证了矿体的层控性特征。安庆铜铁矿床赋矿层位为三叠系下统南陵湖组细晶灰岩、粉晶白云质灰岩和三叠系中统月山组下段白云岩;并且对判断该矿床的矿床成因类型有很大的帮助,安庆铜铁矿体与矽卡岩接触带在空间上密切相关。因此,为该矿床类型的定名——层控式矽卡岩铜铁矿床提供了有力的证据。(2) 通过对各评价指标进行栅格化处理,并利用证据权法对各评价指标进行综合叠置分析,得到三维矿产预测评价结果——成矿概率三维分布图。(3) 通过对评价结果进行分层显示,并与矿床三维结构模型的同一水平切片进行对比分析,进一步说明了成矿概率大小与矽卡岩接触带、地层、构造等之间的关系。

参考文献:

陈建平,王功文,侯昌波,等. 2005. 基于 GIS 技术的西南三江北段矿产资源定量预测与评价[J]. 矿床地质,24(1):15 -24.

陈建平,尚北川,吕鹏,等. 2009. 云南个旧矿区某隐伏矿床大比例尺三维预测[J]. 地质科学,(1):324 -337.

丛威青,潘懋,吕才玉,等. 2009. 三维地质建模及可视化系统在安庆铜矿勘查中的应用[J]. 北京大学学报:自然科学版,(4):633 -638.

范良伍. 2004. 安庆铜矿矽卡岩带产状特征研究的重要性[J]. 采矿技术,4(3):73 -75.

范良伍,张乾,温汉捷. 2008. 安庆铜铁矿床磁铁矿成矿机理探讨[J]. 矿物学报,28(4):476 -482.

李清泉. 1998. 基于混合数据结构的三维 GIS 数据模型与空间分析研究[D]. 武汉:武汉测绘科技大学.

雷文秀. 2004. 层控式矽卡岩铜铁矿床的典型特征及其地质工作实践[J]. 有色金属:矿山部分,56(5):17 -18.

李芳玉. 2004. 基于栅格的三维 GIS 空间分析若干关键技术研究[D]. 北京:北京大学地球与空间科学学院.

李芳玉. 2007. 基于栅格的三维 GIS 缓冲体分析研究[J]. 计算机工程,33(21):6 -8.

吕鹏. 2007. 基于立方体预测模型的隐伏矿体三维预测和系统开发[D]. 北京:中国地质大学(北京).

王结臣,芮一康,李永全. 2007. 一种基于矢量边界追踪的缓冲区生成方法[J]. 计算机工程与应用,43(33):66 -68.

王萍. 2008. 证据权法三维建模及其成矿预测应用研究[D]. 长沙:中南大学.

肖乐斌. 1999. 基于栅格框架的三维 GIS 集成数据模型与空间分析研究[D]. 北京:中国科学院地理研究所.

杨光树,温汉捷,胡瑞忠,等. 2006. 安庆矽卡岩型铁铜矿成矿流体特征[J]. 矿物岩石地球化学通报,25(增刊 1):178 -180.

阴元军,朱永兵. 2006. 安庆铜矿区找矿案例分析及前景预测[J]. 有色金属:矿山部分,58(1):17 -20.

朱雷. 2005. 3D GIS 中基于栅格模型的海量数据叠置及缓冲区分析研究[D]. 北京:北京大学地球与空间科学学院.

万方数据

BONHAM-CARTER G F, AGTERBERG F P, WRIGHT D F. 1988. Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 54(2):1585 - 1592.

BONHAM-CARTER G F, AGTERBERG F P, WRIGHT D F. 1990. Weights of evidence modeling: a new approach to mapping mineral potential[C]//AGTERBERG F P, BONHAM-CARTER G F. Statistical applications in the earth sciences. Canada: Geological Survey of Canada, 171 - 183.

BONHAM-CARTER G F. 1994. Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS[M]. New York: Pergamon.

CARRANZA E J M. 2004. Weights of evidence modeling of mineral potential: A case study using small number of prospects, Abra, Philippines[J]. Natural Resources Research, 13(3):173 - 187.

JONES R R, MCCAFFREY K J W, CLEGG P, et al. 2009. Integration of regional to outcrop digital data: 3D visualization of multi-scale geological models[J]. Computers & Geosciences, 35(1):4 - 18.

JACKSON R G. 2010. Application of 3D geochemistry to mineral exploration[J]. Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 10(2):143 - 156.

Application study of GIS spatial analysis in three dimensional potential assessments of mineral resources

ZHAO Zeng-yu[1], PAN Mao[2], GUO Yan-jun[2], JIN Yi[3], QU Hong-gang[4]

(1. Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210049, China; 2. Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, Ministry of Education, Peking University, Beijing 100871, China; 3. Institute of Resources and Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, Henan; 4. Development Research Center of China Geological Survey Bureau, Beijing 100037, China)

Abstract: Three dimensional potential assessment for mineral resources was put forward as a consequence of the development of three dimensional geological modeling technology, which provided a new way and a new kind of technique for large scaled mineral resources prediction and the exploration of crisis mines. Moreover, the three dimensional spatial analysis was a further analysis and application based on three dimensional geological models. The concept and the workflow of the three dimensional mineral resources potential assessment were first introduced in the text. Then, the popular methods of the three dimensional GIS spatial analysis composed of three dimensional query analysis, three dimensional buffer analysis, three dimensional overlay analysis. Furthermore, the applications of these methods were shown in four aspects, including the analysis of ore, ore-forming information extraction and integration of ore-control information and results evaluation. Finally, an application of three dimensional GIS spatial analysis for mineral resources potential assessment was conducted by a case study of Anqing copper and iron mine.

Keywords: Potential evaluation for mineral resources; Spatial analysis; Three dimensional geological modeling; GIS; Anqing, Anhui

万方数据

三维矿产资源潜力评价中GIS空间分析的应用研究

万方数据 WANFANG DATA 文献链接

作者： 赵增玉， 潘懋， 郭艳军， 金毅， 屈红刚， ZHAO Zeng-yu， PAN Mao， GUO Yan-jun， JIN Yi， QU Hong-gang

作者单位： 赵增玉,ZHAO Zeng-yu(江苏省地质调查研究院,江苏南京,210049)， 潘懋,郭艳军,PAN Mao,GUO Yan-jun(北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室,北京,100871)， 金毅,JIN Yi(河南理工大学资源环境学院,河南焦作,454000)， 屈红刚,QU Hong-gang(中国地质调查局发展研究中心,北京,100037)

刊名： 地质学刊

英文刊名： Journal of Geology

年，卷(期)： 2012,36(4)

参考文献(22条)

1. 陈建平. 王功文. 侯昌波 基于GIS技术的西南三江北段矿产资源定量预测与评价[期刊论文]-矿床地质 2005(01)

2. 陈建平. 尚北川. 吕鹏 云南个旧矿区某隐伏矿床大比例尺三维预测[期刊论文]-地质科学 2009(01)

3. 丛威青. 潘懋. 吕才玉 三维地质建模及可视化系统在安庆铜矿勘查中的应用[期刊论文]-北京大学学报（自然科学版） 2009(04)

4. 范良伍 安庆铜矿矽卡岩带产状特征研究的重要性[期刊论文]-采矿技术 2004(03)

5. 范良伍. 张乾. 温汉捷 安庆铜铁矿床磁铁矿成矿机理探讨[期刊论文]-矿物学报 2008(04)

6. 李清泉 基于混合数据结构的三维GIS数据模型与空间分析研究 1998

7. 雷文秀 层控式矽卡岩铜铁矿床的典型特征及其地质工作实践[期刊论文]-有色金属(矿山部分) 2004(05)

8. 李芳玉 基于栅格的三维GIS空间分析若干关键技术研究 2004

9. 李芳玉 基于栅格的三维GIS缓冲体分析研究[期刊论文]-计算机工程 2007(21)

10. 吕鹏 基于立方体预测模型的隐伏矿体三维预测和系统开发 2007

11. 王结臣. 芮一康. 李永全 一种基于矢量边界追踪的缓冲区生成方法[期刊论文]-计算机工程与应用 2007(33)

12. 王萍 证据权法三维建模及其成矿预测应用研究 2008

13. 肖乐斌 基于栅格框架的三维GIS集成数据模型与空间分析研究 1999

14. 杨光树. 温汉捷. 胡瑞忠 安庆矽卡岩型铁铜矿成矿流体特征 2006(增刊1)

15. 阴元军. 朱永兵 安庆铜矿区找矿案例分析及前景预测[期刊论文]-有色金属(矿山部分) 2006(01)

16. 朱雷 3D GIS中基于栅格模型的海量数据叠置及缓冲区分析研究 2005

17. BONHAM-CARTER G F. AGTERBERG F P. WRIGHT D F Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia 1988(02)

18. BONHAM-CARTER G F. AGTERBERG F P. WRIGHT D F Weights of evidence modeling:a new approach to mapping mineral potential 1990

19. BONHAM-CARTER G F Geographic information systems for geoscientists:modeling with GIS 1994

20. CARRANZA E J M Weights of evidence modeling of mineral potential:A case study using small number of prospects,Abra,Philippines 2004(03)

21. JONES R R. MCCAFFREY K J W. CLEGG P Integration of regional to outcrop digital data:3D visualization of multi-scale geological models 2009(01)

22. JACKSON R G Application of 3D geochemistry to mineral exploration 2010(02)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_jsdz201204005.aspx