

# 基于数字矿床模型的西藏玉龙斑岩型铜矿 三维定位定量预测

王丽梅<sup>1,2</sup>, 陈建平<sup>1,2</sup>, 唐菊兴<sup>3</sup>

WANG Li-mei<sup>1,2</sup>, CHEN Jian-ping<sup>1,2</sup>, TANG Ju-xing<sup>3</sup>

1. 中国地质大学(北京)国土资源与高新技术研究中心, 北京 100083;

2. 北京市国土资源信息开发研究重点实验室, 北京 100083;

3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037

1. *Institute of High and New Techniques Applied to Land Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

2. *Beijing Key Laboratory of Research and Exploration Information of Land Resources, Beijing 100083, China;*

3. *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*

**摘要:**西藏玉龙铜矿是世界级的超大型斑岩型铜矿,位于迄今中国发现的最大的斑岩型铜矿带上。目前对于这一令人瞩目的铜矿区的研究大多建立在二维的基础上。鉴于此,以“数字矿床”技术为手段,结合西藏玉龙矿区的地质特征,以Micromine软件作为平台,选择合适的建模方法,构建起玉龙斑岩型铜矿区的数字矿床模型,开展资源的三维定位定量预测。研究表明,西藏玉龙铜矿I号矿体体积大、品位低、资源量最多,外围的II号和V号矿体由于次生氧化,体积小而品位高,具有可观的富矿资源和优先开采的价值。对实例的研究也表明,基于数字矿床模型的研究方法在现代的矿产资源开发中具有明显的优势,有着较高的推广和应用价值。

**关键词:**数字矿床模型;西藏玉龙斑岩铜矿;三维预测

中图分类号:P618.41 文献标志码:A 文章编号:1671-2552(2010)04-0565-06

Wang L M, Chen J P, Tang J X. 3D positioning and quantitative prediction of Yulong porphyry copper deposit, Tibet, China based on digital mineral deposit model. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(4):565-570

**Abstract:** Tibet Yulong copper deposit is a super porphyry copper in the world, also is part of the largest copper metallogenic belt proved so far in China. Currently, the research of this remarkable copper deposit is based on Two-dimensional. In view of this, this paper built the digital mineral deposit model of Tibet Yulong copper deposit, based on the geological features of this copper deposit, by the popular "Digital Mineral Deposit" method based on the software of Micromine, and made research on the 3D positioning and quantitative prediction of the resource. Studies have shown that the No.1 orebody of Tibet Yulong copper deposit is large and have most low-grade resource; the No.2 and No.5 orebody in the peripheral have small size and high-quality as a result of secondary oxidation, and they are rich with significant resource and they should have the priority to be mined. This study also demonstrates the obvious advantage of the study based on the digital mineral deposit model in the modern development of mineral resources, and this method has a higher value of the promotion and application.

**Key words:** digital mineral deposit model; Tibet Yulong porphyry copper deposit; 3D prediction

近年来,随着计算机硬件技术、可视化技术、三维建模技术、虚拟现实技术的发展和日益成熟,基于

数字矿床模型的矿产资源的三维定位定量研究也取得了突破性的进展。以可视化的方式计算和显示

收稿日期:2009-09-27;修订日期:2009-11-16

科技项目:西藏玉龙铜业股份有限公司委托项目《西藏江达县玉龙铜矿I、II、V号矿体地质特征及其外围成矿规律和成矿预测研究》资助

作者简介:王丽梅(1984-),女,在读硕士,研究方向为矿产资源预测与评价。E-mail:limei2056@126.com

各类地质体的物理模型、抽象概念和数字化表达,不仅能够有效地帮助地质工作者形象地、有联系地“看到”大量测试、数学计算、实验等数据构成的地质实体,而且能够有效地进行分析、处理、推测和预测评价。

“数字矿床”模型最早由美国地质调查局开始研究,属于当前世界性的热点研究问题。在中国基于数字矿床模型的应用实例也不断涌现。中国地质大学陈建平<sup>[1]</sup>将数字矿床模型应用于新疆可可托海危机矿山项目中进行隐伏矿体的找矿;昆明大学陈爱兵<sup>[2]</sup>将数字矿床模型应用于北衙金矿的深边部成矿预测,刘晓伟等<sup>[3]</sup>也将该技术用于广西大厂91号矿体的动态圈定;中国地质调查局和中国地质科学院矿产资源研究所何凯涛等<sup>[4]</sup>也对数字矿床模型进行了系统的研究和开发。西藏玉龙铜矿自1966年发现以来,勘探程度已经达到了详查,在经济、可行性方面也进行了理论上的研究,同时积累了大量的地质资料。怎样利用已有的地质资料实现地质体的三维重建和可视化,建立复杂而又不规则的地质体模型,以充分反映地学规律并获得准确的固体矿产储量?本文借助于数字矿床的技术手段对玉龙铜矿进行了初步的定位定量预测。

## 1 研究区地质概况

玉龙铜矿位于西藏自治区昌都地区江达县境内,地理坐标为东经 $97^{\circ}43'00''\sim 97^{\circ}44'30''$ 、北纬 $31^{\circ}23'45''\sim 31^{\circ}25'15''$ 。玉龙斑岩铜(钼)矿带不仅是中国重要的铜矿成矿远景区带,而且也是世界上三大主要斑岩铜矿带之一的特提斯-喜马拉雅成矿带的一个组成部分。特提斯-喜马拉雅构造域中的羌塘-昌都微陆块(中间地块),特别是该陆块东部澜沧江与金沙江大断裂之间各地质构造单元的形成及演化,为玉龙矿带的形成与发展提供了区域地质背景<sup>[5]</sup>。

矿区出露的地层为三叠系上统和第四系,三叠系上统是含矿斑岩体的直接围岩,赋矿地层主要为甲丕拉组( $T_3j$ )和波里拉组( $T_3b$ )。其中甲丕拉组矿源层提供了部分成矿物质<sup>[6]</sup>,又可进一步细分为甲丕拉组上段、中段和下段;波里拉组环绕玉龙斑岩体大面积展布;第四系则覆盖于上述地层之上,出露面积占整个矿区面积的60%以上。

玉龙铜矿床由I、II、V号3个矿体组成<sup>[7]</sup>,可划分出5种主要的矿体类型:斑岩型(I号矿体)、砂

卡岩型(II、V号似层状矿体和V号矿体上层矿体)、砂卡岩-次生富集型(II、V号似层状氧化矿体)、角闪岩型(接触带角岩中的硫化矿体)和隐爆角砾岩型<sup>[8]</sup>。

玉龙铜矿是目前中国少见的储量大、品位较高的斑岩、砂卡岩复合型铜矿,初步探明铜金属储量 $650\times 10^4\text{t}$ 以上,远景储量达 $1000\times 10^4\text{t}$ <sup>[9]</sup>。玉龙铜矿的开发建设极大地缓解了中国铜资源的紧张状况,将成为中国又一个重要的铜矿基地,同时对于实现西藏的国民经济发展目标也是一项重要的战略举措。

## 2 数字矿床模型

数字矿床简单地讲就是数字化的矿床,或者说信息化的矿床,可以理解为矿床的信息模型,即一个以地理坐标为依据的、数字化的、三维显示的虚拟的矿床,其核心思想是用数字化的手段整体地解决矿床及其与空间位置相关的信息的表达与知识管理<sup>[10]</sup>。基于数字矿床模型进行资源的三维定位和定量研究,正是数字矿床这一重大工程中的一个重要部分。

本次模型的建立选用Micromine 11.0软件作为工作平台。该软件是由澳大利亚Micromine公司开发的三维勘探软件,主要用于处理矿山勘探数据,帮助用户进行勘探数据的解释、建立三维模型、计算矿体储量和矿山的开采设计。玉龙矿区的三维定位定量研究流程如图1所示。

### 2.1 地表表面模型

在三维矿山模型中,如果缺少地形模型则是不完整的<sup>[11]</sup>。地表表面模型在露天矿山和地采矿山中可以用来切割平面图和剖面图,因此在采矿设计中具有重要的意义。收集研究区各种比例尺的地质、地形、测量等各项基础资料,将大比例尺图件矢量化,用于矿区三维数字模型的建立。

对收集到的1:2000的玉龙地形数据先在MapGIS软件中进行编辑,提取出已经赋予高程值的各等高线,对2m间距的各等高线进行检查校正,去掉与地形无关的线(如陡坎线等),转换成DXF文件格式,然后导入到Micromine软件中,建立相应的DTM模型(如图2所示)。

### 2.2 钻孔数据库

钻孔样品数据是钻探工程所取得的地下地质体样品的数据,是进行勘探线剖面解译、各种地质现象推理和资源储量估算的重要依据。本次研究的钻孔数据由四川省地矿局403地质队提供,共272个钻

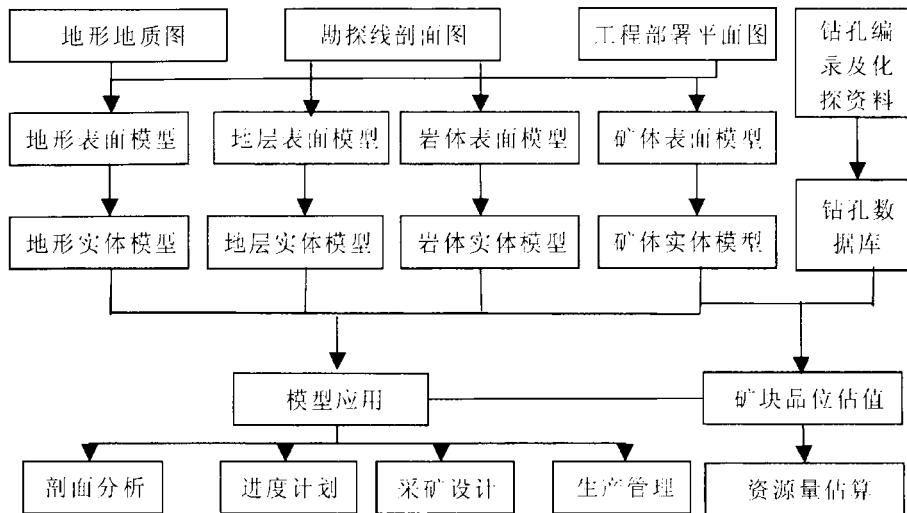


图 1 基于数字矿床模型的玉龙铜矿三维定位定量研究流程

Fig. 1 Three-dimensional positioning quantitative research process of Yulong copper mine based on the digital deposit mode

孔的数据,分别以工程坐标表、测斜数据表和单工程样品分析表的 excel 表格格式保存。对以上 3 个文件按照 Micromine 软件要求的格式建立钻孔实体模型(如图 2),其中涉及到钻孔数据的校检、生成地理坐标等相关操作。

钻孔数据库的建立为研究区的资源储量估算提供了数据支持。在矿量和品位计算之前,对钻孔数据进行了预处理,包括样品组合处理与特异值处理 2 项内容。

### 2.3 矿床三维模型

矿床三维模型主要由地质体的实体模型和矿体的品位模型构成。确切地讲,本文的三维实体模型为线框模型。线框建模(wireframe modeling)技术又称为轮廓线重构面技术,是用剖面上的矿体截面形态来构建三维矿体表面的主要算法。二维轮廓线重构三维表面有着广泛的应用前景<sup>[12-16]</sup>。生成轮廓线有 2 种方法:一是根据原始探矿工程数据如钻孔数据,在三维建模软件的支持下,按工业指标和矿石类型在钻孔剖面上交互式地连矿体轮廓线,或根据岩石类型交互式地连岩体轮廓线;二是在已有地质剖面图的情况下,通过建模软件进行转换,并提取岩石或矿体等的轮廓线<sup>[17]</sup>。本次研究生成轮廓线采用的是第二种方法,即根据已收集到的玉龙矿区 21 条勘探线剖面,首先进行了几何坐标的校正和三维空间的恢

复,然后生成 AutoCAD 的 DXF 格式的文件,导入到 Micromine 软件中,提取出各地质体的轮廓线,最后对各勘探线剖面进行连接、平滑,最终形成三维模型(图 3—图 5)。

实体模型给出了矿体的三维空间形态,但是却无法显示矿体内部的品位分布情况。因此,本次研究首先将矿体划分成无数个大小相同的块,每个块都有代表其空间位置的三维坐标,此模型即为空块模型,然后根据模型中已知的采样点的品位,利用距离反比加权的方法对其进行空间品位插值,从而使每个块都具有一个品位值,最终生成矿体的品位模型。根据现有地质资料对矿体的揭示,特别是勘探线的分布,结合矿体的形态、走向、倾向和空间分布特征,确定了各矿体建立块体模型的范围和基本参数,建模过程中统一单元块的规格行×列×层为 10m×10m×10m,次分块的规格为 5m×5m×5m。

### 2.4 资源储量估算

矿体的资源量估算可由 Micromine 软件快捷方便地计算得出,并可以根据不同的边界品位进行资源分级,同时提交储量报告。矿石量的计算公式为:矿石量=体积×矿石的体重,金属量的计算公式为:金属量=矿石量×金属的估算品位。然后依据品位条件分别计算不同矿体的平均品位、体积、矿石量和金属量。矿石的体重根据不同矿石类型的矿体按照低

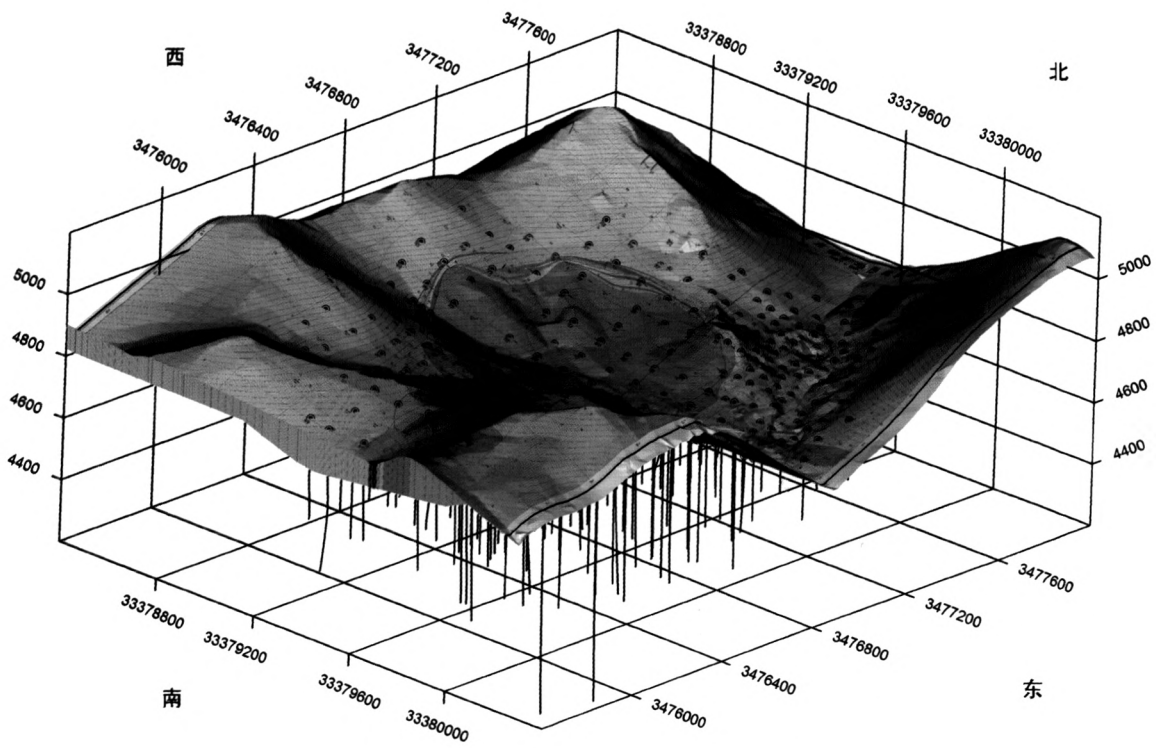


图 2 玉龙矿区地表表面模型与钻孔实体模型叠加

Fig. 2 Superposition of surface model and drilling solid model of Yulong copper mine

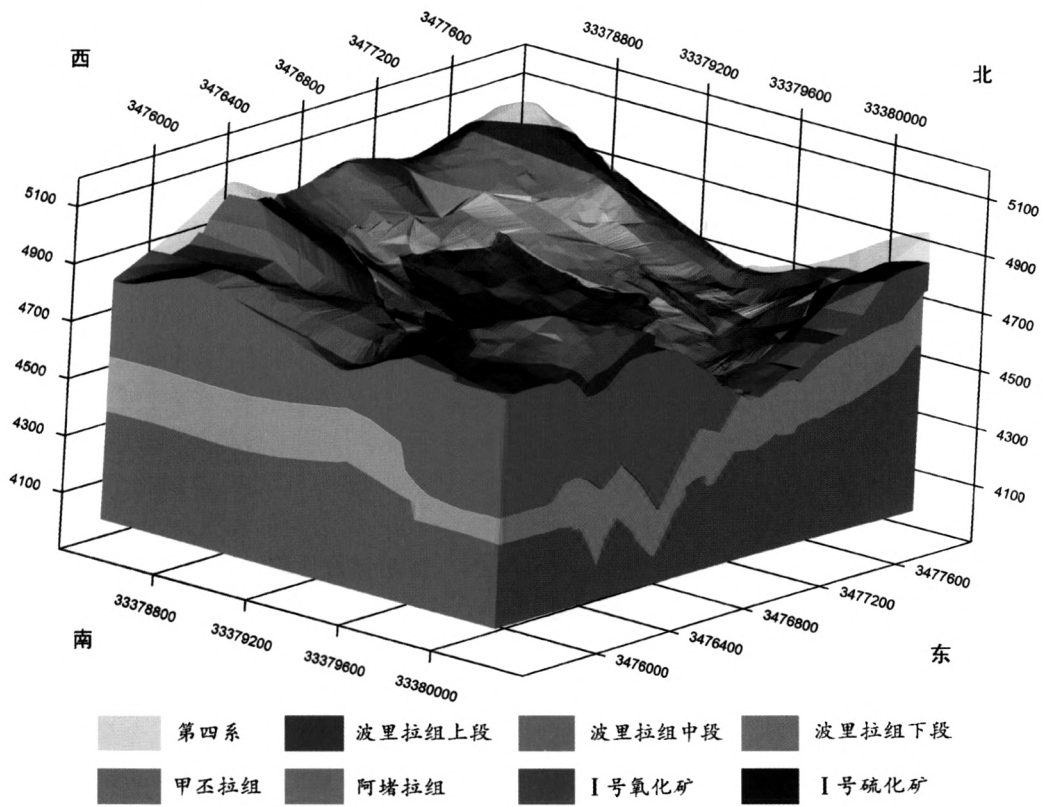


图 3 玉龙矿区数字矿山模型

Fig. 3 Digital mine model of Yulong copper mine

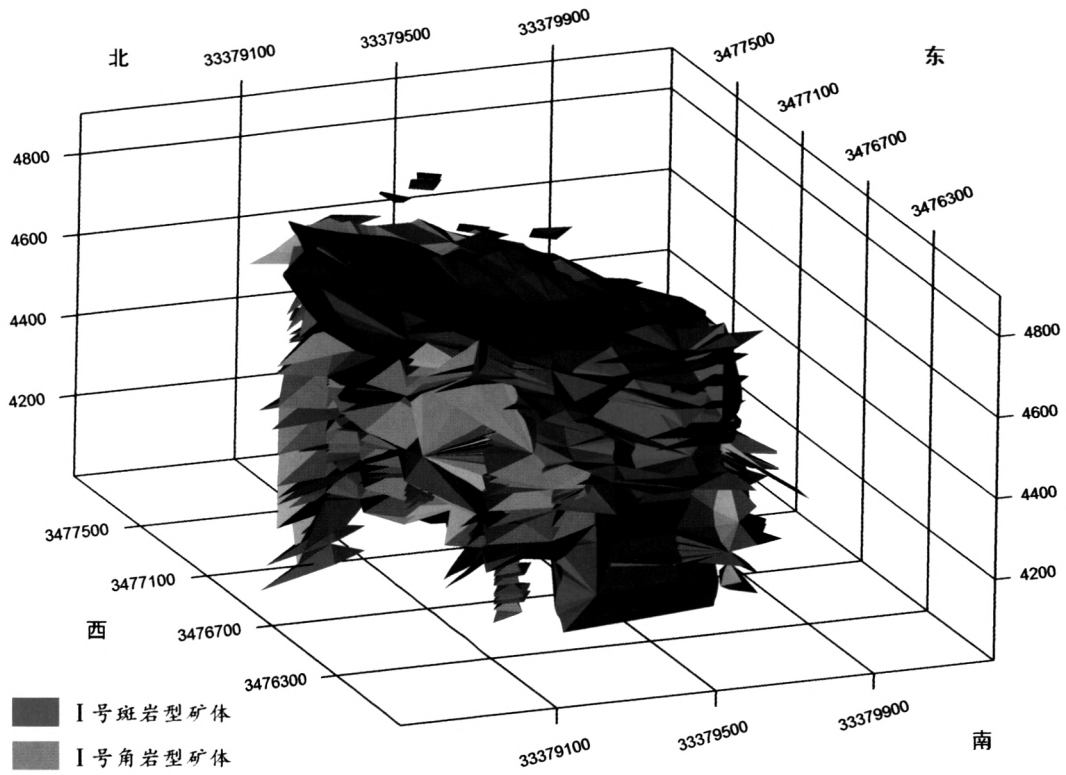


图 4 玉龙铜矿 I 号矿体模型

Fig. 4 Mine model of No. 1 Yulong copper orebody

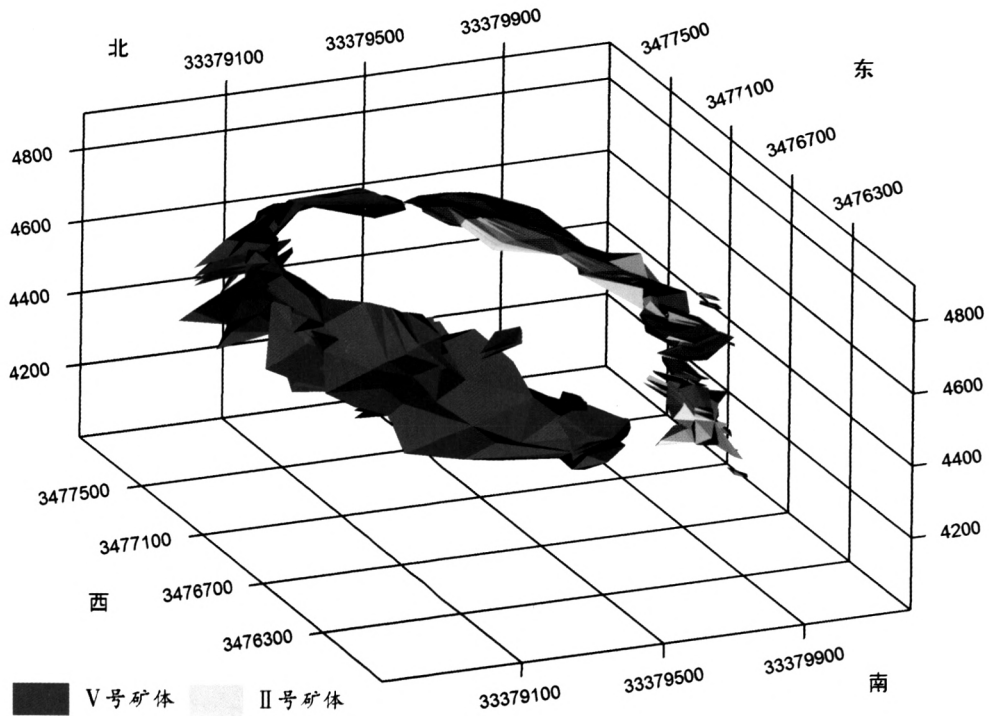


图 5 玉龙铜矿 II 号和 V 号矿体模型

Fig. 5 Mine model of No. 2 and No.5 Yulong copper orebody

品位和工业品位分别使用不同的矿石体重指标,经过了专业部门的测试,可靠性强。矿体的体积可由Micromine软件根据块体的规格和数量自动计算得出,品位则采用不同品位区间内的平均含量。

经估算可以得出, I号矿体共得到铜金属量为 $530 \times 10^4$ t,铜的平均品位为0.55%; II号矿体铜金属量 $40 \times 10^4$ t,铜的平均品位1.63%; V号矿体铜金属量 $87 \times 10^4$ t,铜的平均品位2.16%。总计金属量约为 $657 \times 10^4$ t。该结果与四川省地质矿产勘查开发局403地质队通过SD矿产资源信息系统所得到的结果比较一致,进一步验证了该方法的可行性。

### 3 结 论

通过建立玉龙铜矿的三维数字矿区模型,使原始资料数据库和矿床三维模型有机地结合在一起,不但便于一目了然地看到矿区内不同空间位置上的地层分布、矿体形态、岩体特征,以及相互之间的空间位置关系等诸多信息,而且可以基于三维模型进行品位和资源量的估算,从而进一步分析矿区的经济价值,提出可靠的生产建议。根据以上模型分析可以得出以下结论。

(1)通过数字矿床模型对资源量进行估算,结果表明,玉龙铜矿资源的大部分为体积巨大的I号矿体,约占总资源的80%,II号矿体和V号矿体的铜资源量仅占20%左右。而另一方面,虽然II号和V号矿体资源总量少,但其平均品位都要比I号矿体高出许多,属于高品位的铜矿资源,而I号矿体相对来说属于低品位的铜矿资源。

(2)从建立的数字矿床模型中可以清楚地看出各矿体与地层、岩体的空间位置关系。I号矿体主要分布于二长花岗斑岩中,呈桶柱状,主要由氧化矿石、混合矿石和原生硫化矿石组成,氧化矿石和混合矿石所占比例较小,仅占到5%左右。II号和V号矿体主要分布于上三叠统波里拉组与上三叠统甲丕拉组接触的层间构造中,由北向南矿体基本连续,以氧化矿和次生硫化物富集型矿石为主,埋藏深度较浅,埋深大多不超过100m。

(3)建议对品位特高的II号和V号富矿体优先开采,不仅可以在短时间内取得可观的经济效益,而且露天开采的成本也相对较低。同时,玉龙I号矿体的丰富资源将是中国铜矿资源一个大的储备库,随

着西藏地区经济的发展和外部基础设施的不断加强,这部分资源将会得到最大程度的开采利用。

因此,基于数字矿床模型的矿产资源三维定位定量预测在矿产资源评价中具有明显的优势,一方面可以大大地促进地质资料的二次利用,对勘探、采矿工程的布置给出定位与定量的科学依据,另一方面可以确保矿山工程设计的科学性,大大提高固体矿产开发的效率,具有进一步推广与应用的价值。

致谢:在工作过程中得到四川省地勘局403地质队的大力支持,在此表示衷心的感谢!

### 参考文献

- [1]陈建平,陈勇,曾敏,等.基于数字矿床模型的新疆可可托海3号脉三维定位定量预测研究[J].地质通报,2008,4(4):552-559.
- [2]陈爱兵,秦德先,姜华,等.基于数字矿床的北衙金矿深边部成矿预测[J].有色金属,2007,59(4):137-140.
- [3]刘晓玮,秦德先,黎应书,等.数字矿床模型在广西大厂91号矿体中的应用[J].矿业研究与开发,2008,28(1):46-48.
- [4]何凯涛,王勇毅,丁建华,等.数字矿床模型研究与系统实现[J].矿床地质,2008,27(1):114-119.
- [5]唐仁鲤,罗怀松.西藏玉龙斑岩铜(铅)矿带地质[M].北京:地质出版社,1995.
- [6]陈建平,邓江红,李葆华,等.西藏玉龙上三叠统甲丕拉组沉积特征及铜矿质的同步富集[J].沉积学报,1997,15(2):111-117.
- [7]胡明铭,唐菊兴,陈建平.论藏东玉龙铜矿似层状矿体的表生氧化成矿作用[J].矿物岩石,1998,18(2):78-84.
- [8]唐菊兴,张丽,李志军,等.西藏玉龙铜矿床——鼻状构造圈闭控制的特大型矿床[J].矿床地质,2006,25(6):652-661.
- [9]吕秉财.玉龙铜矿的可持续发展战略[J].中国矿山工程,2007,36(3):43-47.
- [10]高志武,秦德先.数字矿床概述[J].金属矿山,2005,344(2):54-56.
- [11]杨建宇,秦德先,康泽宁,等.北衙金矿三维模型的建立及研究[J].有色金属,2006,58(2):17-20.
- [12]徐云和,赵吉先,程朋根,等.地矿三维GIS模型的构建及可视化[J].中国矿业,2003,12(4):60-62.
- [13]程朋根,陈红华,刘少华,等.地矿三维数据模型及其可视化方法的研究[J].中国矿业,2002,11(2):60-62.
- [14]Christiansen H N, Sederberg T W. Conversion of complex contour line definitions into polygonal element mosaics[J]. Computer Graphics, 1978, (12): 187-192.
- [15]Ekoule A B, Peyrin F C, Odet C L. A triangulation algorithm from arbitrary shaped multiple planar contours[J]. ACM Trans. Graph., 1991, 10(2): 182-199.
- [16]唐泽圣. 三维数据场可视化[M]. 北京:清华大学出版社, 1999.
- [17]杨东来,张永波,王新春,等.地质体三维建模方法与技术指南[M]. 北京:地质出版社,2007.