2012 年 7 月 地 球 学 报 Jul. 2012
第 33 卷 第 4 期: 654-662 Acta Geoscientica Sinica Vol.33 No.4: 654-662
www.cagsbulletin.com www.地球学报.com

西藏雄村铜金矿床的数字矿床模型构建及意义

张婷婷[1)], 黄 勇[2)], 唐晓倩[3)], 刘 飞[4)]

1)中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;
2)中国地质调查局成都地质调查中心, 四川成都 610081;
3)成都理工大学, 四川成都 610059;
4)中国地质科学院地质研究所, 大陆构造与动力学国家重点实验室, 北京 100037

摘 要: 西藏谢通门县雄村铜金矿是在冈底斯成矿带中发现较早, 勘探工作也开展较早的大型铜金矿床, 是冈底斯成矿带上具有代表性的岛弧型斑岩铜金矿床, 对该矿床的深入研究, 为在相似地质条件下寻找“雄村式”矿床具有重要的指导意义。本文在总结雄村铜金矿床成矿地质条件和控矿因素的基础上, 以该矿床的地质描述模型为依据, 以矿区勘探资料为数据基础, 将三维地质建模和可视化这一高新技术应用于该矿床, 建立了雄村铜金矿的数字矿床模型, 充分展示了立体模型对地质体空间特征的有效表达, 实现了该矿床的数字化、可视化和动态化管理。同时, 将数字矿床模型与矿区的大比例尺高精度磁测数据结合, 开展多源信息三维综合分析, 为矿区深部和外围三维定位定量预测提供有力的技术支持。

关键词: 地质描述模型; 数字矿床模型; 大比例尺成矿预测
中图分类号: P628.3; P618.41 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2012.04.25

The Digital Mineral Deposit Model and Its Significance for Xiongcun Cu-Au Deposit, Tibet

ZHANG Ting-ting[1)], HUANG Yong[2)], TANG Xiao-qian[3)], LIU Fei[4)]

1) *MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Resource Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100037;
2) *Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu, Sichuan* 610081;
3) *Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan* 610059;
4) *State Key Laboratory of Continental Tectonics and Dynamics, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100037

Abstract: The Xiongcun porphyry copper-gold deposit was found and explored earlier in the Gandise metallogenic belt, accumulating a wealth of data. It is a kind of typical island arc type porphyry copper-gold deposit in this belt. A thorough study of this deposit is of great significance for tracing the “Xiongcun type” deposits in similar geological settings. This paper summarized the ore-forming geological conditions and the ore-controlling factors of Xiongcun porphyry copper-gold deposit and used 3D geological modeling and visualization technology to build its digital deposit model based on the geological exploration data to show the deposit in three-dimensional space and to manage the deposit visually and dynamically. At the same time, the combination of the digital deposit model withthe large-scale aeromagnetic data could provide strong

CAGS

本文由国家自然科学基金项目(编号: 41172077)、国家 973 项目(编号: 2011CB403103)和青藏专项(编号: 1212011085529)联合资助。
收稿日期: 2012-06-18; 改回日期: 2012-07-10。责任编辑: 张改侠。
第一作者简介: 张婷婷, 女, 1984 年生。博士研究生。主要从事矿产勘查及矿产资源评价工作。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。E-mail: yueztt@qq.com。

technical support for the deep and peripheral quantitative prediction of the mining area in three-dimensional space.

Key words: geological descriptive model; digital mineral deposit model; large-scale metallogenic prognosis

20 世纪七八十年代，随着计算机软硬件技术的进步，以美国、加拿大和前苏联为代表的国家基于地理信息系统平台，将三维可视化、三维地质建模等技术应用于地质现象和过程的研究，实现了地学三维模拟。经过三十多年的发展，随着 Vulcan、MineSight、Micromine、Surpac、datamine 等地质建模软件的广泛应用，信息技术在矿产资源开发利用中发挥着越来越重要的作用。国内也自主开发了如 3Dmine、Minexplorer 等更加适应我国地质环境的建模软件。三维地质建模作为矿床和矿山数字化的基础技术，从单一的地质体立体模型的建立，逐步向三维结构和属性建模、三维空间分析、多源信息的综合分析预测方向发展，更加体现了该技术的实用性，为在大比例尺矿区尺度上进行矿床的预测和评价提供了有力的技术支持(Houlding，1994；Mallet，2002; Apel, 2006; Wang et al., 2011)。

西藏谢通门县雄村铜金矿是在冈底斯成矿带中发现较早、勘探工作也开展较早的斑岩型矿床，由Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号铜金矿体组成，其中Ⅰ号矿体是本次工作的研究重点。前人对雄村铜金矿的成矿时代、矿床成因、矿床地质特征、元素地球化学特征以及矿化蚀变特征等进行了深入研究(徐文艺等，2006；张丽等，2007；唐菊兴等，2009a，b，2010；张万平等，2009；郎兴海等，2010a, b, c, 2011, 2012a, b；黄勇等，2011，2012；丁枫等，2012)，积累了丰富的科研资料。本文基于前人的研究成果，对矿区勘探资料进行二次开发，以雄村铜金矿的矿床地质模型为依据，建立了该矿床可视化的数字模型，实现了矿床的数字化、可视化和动态化管理，有效提高了地质模型的实用价值。此外，地球物理勘探对矿区深部和外围的找矿勘探具有重要的作用，将矿区的物探数据与数字矿床模型结合，开展多源信息三维综合分析，进行三维立体预测，是矿区深部和外围找矿预测的重要方向之一。

1　矿区地质概况

雄村铜金矿区位于西藏特提斯-喜马拉雅构造域南部，属冈底斯-念青唐古拉陆壳地体基础上发育的冈底斯南缘晚燕山期-早喜马拉雅期陆缘岩浆弧东段南缘岩浆弧与昂仁-日喀则中-新生代弧前盆地转换部位(张丽等, 2007)。矿区及外围出露的地层主要为中-下侏罗统雄村组($J_{1\text{-}2}x$)火山沉积岩，岩石组合为中酸性凝灰岩、火山角砾岩、流纹岩等火山岩夹砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩、泥质板岩和灰岩等；其次为下白垩统比马组(K_1b)火山-沉积岩，岩性组合为安山岩、砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩、泥质板岩和较多的灰岩(图 1)。由于受早期板块俯冲和后期板块碰撞作用的影响，区内岩浆活动强烈，在早中晚侏罗世、白垩世、第三纪均有发生，其中与成矿有关的岩浆活动主要发生在中晚侏罗世和白垩世。区内断裂构造发育,主要出现在雄村组($J_{1\text{-}2}x$)及侵入其中的岩浆岩中，走向呈近东西向、近南北向、北西-南东向和北东-南西向，其中近东西向和北西-南东向断裂与成矿有一定的关系。围岩蚀变强烈，主要有钾长石化、黑云母化、红柱石化、硅化、钠长石化、绢云母化、白云母化、粘土化、电气石化、矽卡岩化、角岩化和青磐岩化等(唐菊兴等, 2006)。

2　雄村铜金矿床的地质描述模型

矿床模型是对一组相似矿床基本属性特征的系统概括，反映了矿床的形成环境和成矿规律性，其中矿床地质描述模型是用自然语言概括总结某一类矿床的成矿地质环境、矿床地质特征以及控矿因素、物化遥找矿标志等(Cox et al., 1986；张贻侠, 1993)。矿床模型提出了对矿床综合资料的模型化表达，为数字矿床模型的建立提供了重要的参考依据，本文基于前人的研究成果，总结了雄村铜金矿床的地质描述模型(表 1)，对地质模型的深入理解，是数字模型建立的基础，直接关系到数字模型的可靠性。

雄村铜金矿是中-晚侏罗世新特提斯洋壳向拉萨地块俯冲所形成的岛弧或类似岛弧环境中产出的斑岩型铜金矿床，其中Ⅰ号矿体的成矿作用主要发生在具眼球状石英斑晶的角闪石英闪长玢岩($J_2\delta o\mu^1j$)及其外接触带强蚀变中细粒凝灰岩中，晚侏罗世角闪石英闪长玢岩体导致大面积矿化蚀变，早期蚀变经历了弱的钾硅酸盐化阶段和强烈红柱石次生石英岩化阶段，晚期蚀变经历了黄铁绢英岩化阶段和青磐岩化阶段，对应矿床的形成经历了早期 Cu-Au-Ag 成矿和晚期 Zn-Pb-Cu-Au-Ag 成矿，早期成矿阶段形成了 Cu-Au-Ag 主矿体，晚期叠加 Zn-Pb-Cu-Au-Ag

CAGS

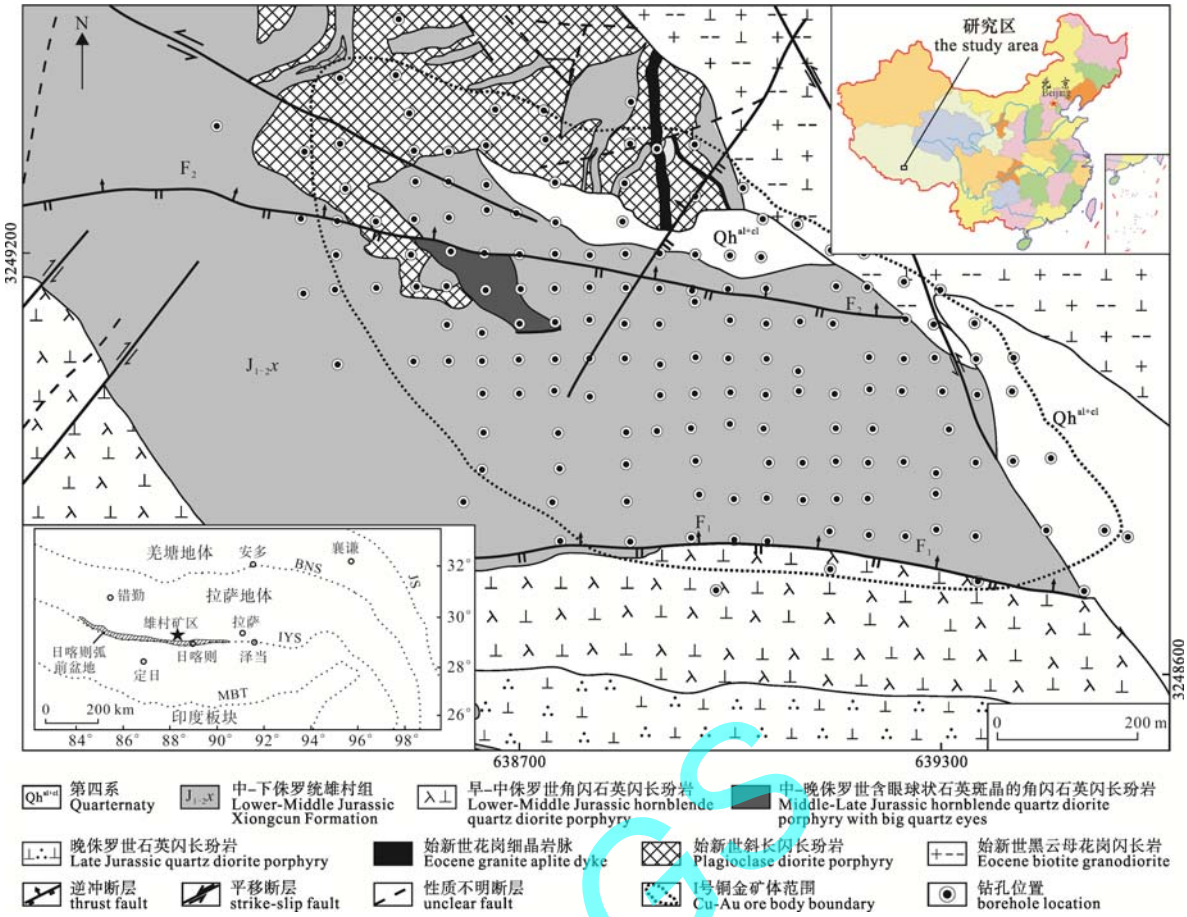

图 1 雄村铜金矿矿区地质图(据唐菊兴等, 2006)

Fig. 1 Simplified geological map of the Xiongcun porphyry copper-gold deposit

表 1 雄村铜金矿床的地质描述模型

Table 1 Geological descriptive model of the Xiongcun porphyry copper-gold deposit

地质环境	矿床类型	斑岩型铜金矿床
	成矿时代	中侏罗统
	大地构造	冈底斯南缘陆缘岩浆弧东段南缘与昂仁-日喀则弧前盆地转换部位
	区域地层	雄村组(J_2x)、麻木下组(J_2K_1m)、比马组(K_1b)、昂仁组($K_{1\text{-}2}a$)、始新统秋乌组(E_2q)、渐-中新统大竹卡组(E_3N_1d)等
	岩浆岩	黑云母花岗闪长岩、斜长闪长玢岩、石英闪长玢岩、角闪石英闪长玢岩、花岗斑岩及大量岩脉
	区域断裂	昂仁-也异-切吉断裂、如多-桑竹岗-江庆则断裂、谢通门-努玛韧性-脆性断裂带、申扎-谢通门-掐格宗断裂带
	含矿建造	中侏罗统雄村组安山质凝灰岩
	含矿岩体	含眼球状石英斑晶的石英闪长玢岩
矿床特征(I号矿体)	矿体形态	平面上呈巨型透镜体, 南北和东西向剖面上呈似层状、厚板状
	矿石矿物	蓝铜矿、赤铜矿、黄铜矿、辉铜矿、闪锌矿、方铅矿、辉钼矿等
	矿石结构	细脉状、浸染状
	脉石矿物	石英、红柱石、黑云母、钾长石、绢云母、绿泥石、绿帘石等
	矿体围岩	顶板在矿体的中东部为黑云母花岗闪长岩, 西北部为斜长闪长玢岩; 底板为角闪石石英闪长玢岩, 部分为蚀变中细粒凝灰岩
	蚀变分带	由斑岩体中心向外: 钾硅酸盐化(赋矿蚀变带)→红柱石次生石英岩化带(赋矿蚀变带)→黄铁绢英岩化→青磐岩化
	矿化分带	由斑岩体中心向外:黄铁矿、黄铜矿、(磁黄铁矿)→黄铁矿、磁黄铁矿、(黄铜矿)→黄铁矿→闪锌矿
	有益组分	主要成矿元素是 Cu, 伴生有用元素 Au、Ag
	平均品位	Cu: 0.4686×10^{-2}, Au: 0.6226×10^{-6}, Ag: 4.0286×10^{-6}(工业品位 0.24×10^{-2})
	资源量	Cu 大型, 伴生金、银大型
	矿床规模	大型

CAGS

矿化(唐菊兴等, 2010; 郎兴海等, 2010a, 2011)。

3　雄村铜金矿床的数字模型

数字矿床模型的概念最早始于美国地调局，主要用于中小比例尺矿产资源评价当中，国内学者赵鹏大也提出过类似的概念。 从广义上讲，数字矿床模型是指将地质矿床的自然描述语言转换成计算机能够识别的数字和符号，从而实现矿床类型的计算机自动推理和辅助决策(Cox et al., 1986; 肖克炎等, 2006)。随着三维建模和可视化技术的发展，国内一些学者将其应用于矿床数字化方面，如高志斌等提出数字矿床模型可以简单地理解为数字化、信息化的矿床，一个以地理坐标为依据的、数字化的、三维显示的虚拟矿床，陈建平等也在此基础上，发表了相关文章(高志斌等, 2005; 陈建平等, 2011)。本文所指数字矿床模型针对大比例尺矿区尺度，有别于其最初的含义，同样借助于三维地质建模和可视化技术，将对地质模型的认识拓展到三维空间，包括地质空间结构、蚀变空间分带、元素空间分布等。

本次工作基于 Micromine 平台，共收集了雄村 I 号矿体的 24 条地质剖面, 167 个钻孔, 21870 条钻孔分析值以及矿区地形地质图等资料，用以构建矿区地质数据库，实现矿区探矿工程的数字化、动态化管理，为数字矿床模型的建立提供数据来源。

3.1　地表 DEM

高程是表达地球表面起伏形态的基本几何量，地形数据经过计算机处理，基于点、线或者面实现不同层面上的、多种比例尺的可视化表达，通过纹理映射，与遥感影像叠加，可以逼真再现三维地形景观，也可以通过飞行模拟浏览地形的局部细节和整体概貌。

雄村矿区位于西藏自治区中南部，雅鲁藏布江中游北岸，地形切割中等至强烈，谷深岩峭，属深谷中等切割区，海拔在 3900～5570 m 之间，起伏较大，矿区向北山地连绵不绝，向南地势低缓、开阔平坦(图 2)。地表模型的建立不仅能反应地表的起伏、地质体从地表到地下的延伸情况，还能作为矿体、地层等模型边界的限定条件。

3.2　钻孔空间分布

勘探工程是获取矿区三维空间信息最直接有效的手段，钻探数据以其对地下三维地质信息直观、准确、详细的反映，成为构建三维数字矿床模型的重要基础数据。雄村 I 号矿体在露天首采地段由 50 m×50 m 勘探网度控制，在矿体厚度不大处放稀至 50 m×100 m，钻孔的位置信息、形态信息控制了钻孔在深部的形态，钻孔的分析值则是进行矿床定量研究的基础(图 3)。

3.3　矿体及顶底板模型

地质体具有复杂多变的形态，很难用规则的几何形体来描述，将地质调查和测量获得的离散的、不均匀的数据进行空间插值处理，基于特定的三维数据结构，构建不规则几何模型，实现地质体的立体化表达。矿体模型的建立，可以直观地反映矿体的形态特征，延伸趋势，同时，对矿体进行品位赋值，可以实现自动化的储量估算，大大提高地质工作的效率。

雄村 I 号矿体在平面上为一巨型透镜体(图 4)，走向北西，沿走向方向延伸约 1000 m，南北向剖面上呈似层状、厚板状，东西向剖面上呈顺层分布的向南东侧伏的似层状。矿体倾向北东，倾角 40°～53°，倾向方向最大延伸达 590 m，单孔见矿厚度最大至 474.5 m，矿区中部的 88 个钻孔中，矿体边部厚度为 5 m，中部为 474.5 m，平均厚度 216.296 m。矿体顶板在中东部为始新世黑云母花岗闪长岩，西北部为始新世石英闪长岩，矿体底板则主要由中-早侏罗世角闪石英闪长玢岩组成，部分为蚀变中细粒凝灰岩(图 5)。

3.4　断层模型

构造条件是岩浆热液运移的通道，是重要的控矿要素,断裂与成矿物质的活化运移和沉淀富集过程有着密切的关系，断裂所致的成矿有利部位更决定了矿化空间的形态变化特征。雄村矿区内发育多组断层(图 1)，其中 F_1 和 F_2 断层对 I 号矿体最为重要，矿体基本夹持于 F_1、F_2 断层之间。F_1 主断层贯穿整个区域，呈 265°～280°方向展布于测区中部，延伸约 3.5 km，倾向北，倾角一般在 40°～50°，是矿区重要的控矿构造；F_2 主断层在矿区中部呈 265°～280°方向展布，贯穿于矿区的北东侧，倾向北，倾角一般在 50°以上，最大可达 73°，含矿斑岩体侵位于 F_1 和 F_2 断层之间，致使其间的斑岩体及围岩几乎全岩矿化(图 6)。

3.5　多源信息综合分析模型

随着找矿工作的不断深入，地质找矿工作逐渐由寻找地表出露矿转变为寻找深部隐伏矿，找矿难度也随之加大，这就要求结合地球物理、地球化学、遥感等方法开展多源信息综合分析预测，充分发挥各种方法的优势，取长补短，以尽可能少的找矿投入取得最大的找矿收益(王世称等, 2000)。地球物理勘探因其对深部地质和找矿信息的有效反应，成为预测深部隐伏矿体的重要辅助手段，其中磁法勘探

GAGS

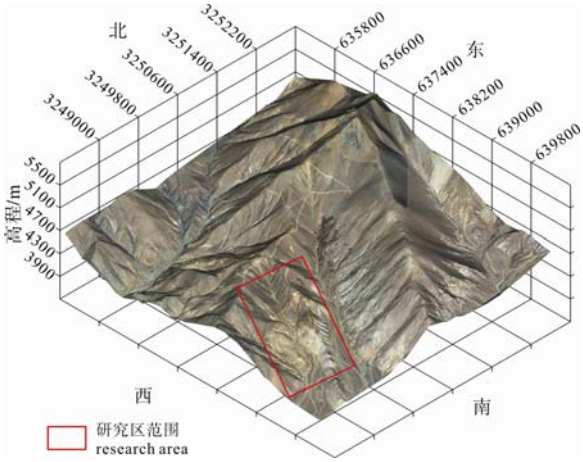

图 2 雄村矿区地表 DEM

Fig. 2 DEM of the Xiongcun porphyry copper-gold deposit

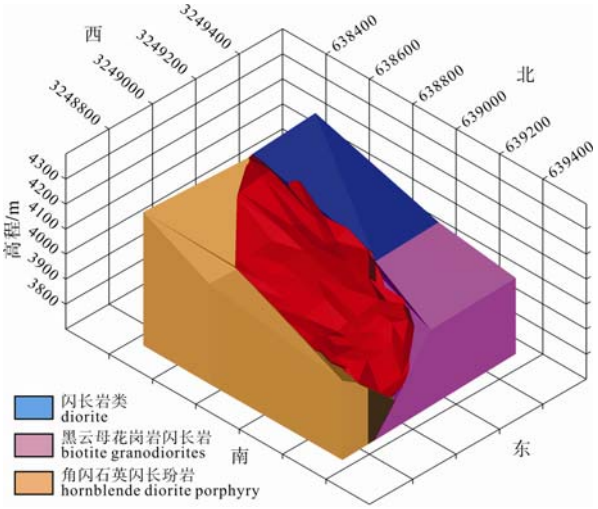

图 5 雄村 I 号矿体及顶底板理想模型

Fig. 5 Ore body and its roof and floor ideal model of Xiongcun No. I ore body

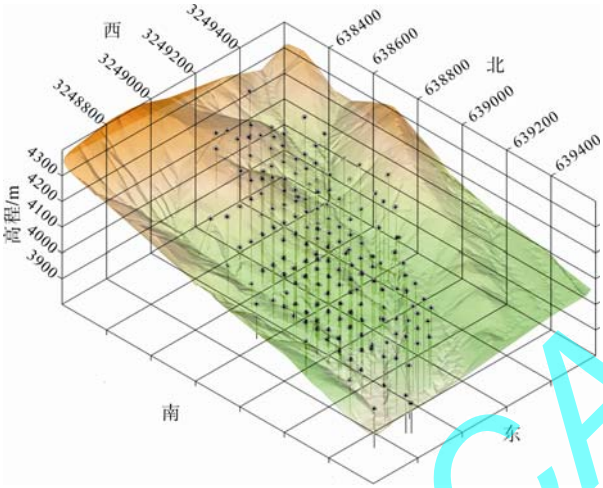

图 3 雄村 I 号矿体钻孔空间分布

Fig. 3 Drill hole distribution of Xiongcun No. I ore body

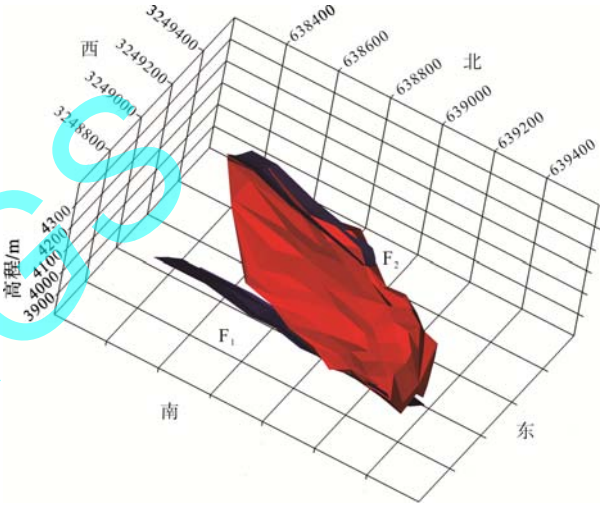

图 6 雄村 I 号矿体断层模型

Fig. 6 Fault model of Xiongcun No. I ore body

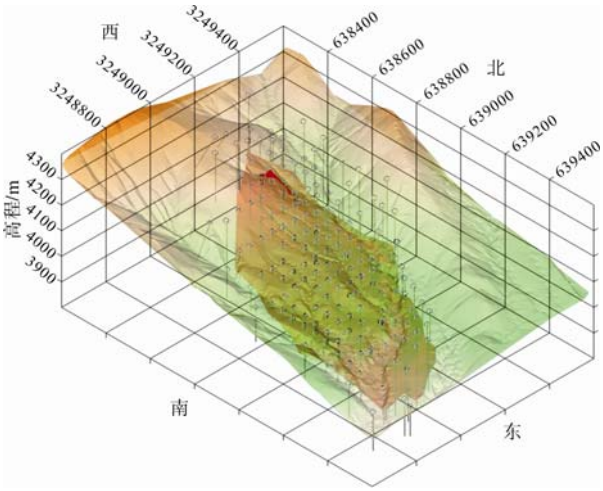

图 4 雄村 I 号矿体模型

Fig. 4 Model of Xiongcun No. I ore body

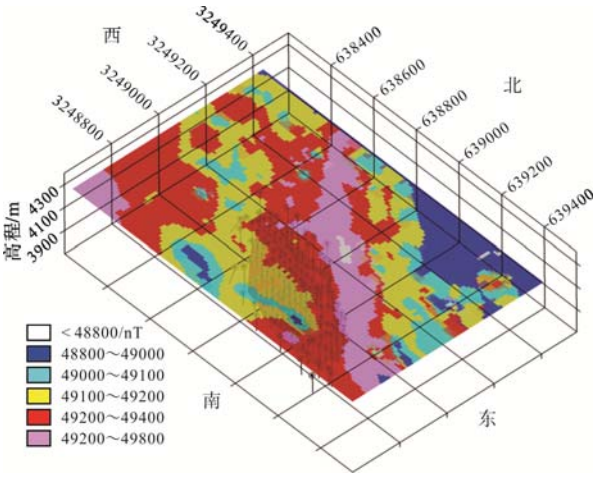

图 7 航磁异常与矿体叠加图

Fig. 7 Superposition chart of aeromagnetic anomalies and Xiongcun No. I ore body

CAGS

以其轻便易行、效率高、成本低、地域限制小、工作范围广的特点，成为发展最早、应用广泛的一种地球物理勘探方法，通过对航磁数据的滤波和转换处理，突出磁场的特征，进行异常解译，分析和圈定靶区，指导找矿(张云等，2010；娄德波等，2008；卢焱等, 2008；樊俊昌等, 2012)。

雄村铜矿在区域上处于雅鲁藏布江磁异常西段北强磁异常带(谢通门-仁布强磁异常带)南侧边部，紧邻日喀则中间负磁异常带。矿区的大比例尺高精度地磁测量，共采集 74，470 个数据，行程 330 km，从图 7 可以看出，雄村铜矿位于北西走向的地磁区中，与其东测的花岗闪长岩分布区的高地磁异常区相接，其它几个高地磁异常区反映了其它几个浅成岩体的分布特征，铜(金)矿体分布在北西向两个高地磁异常的狭长带中，地磁异常值在 49200 nT 以下，在 49100～49000 nT 之间(唐菊兴等, 2006)。

4　结论

数字矿床模型以点、线、面、体等要素对地质模型进行抽象化表达，使对矿床的定量评价和预测成为可能。数字矿床模型的构建必须以地质认识为基础，才能更好地为地质工作服务。本文在深入分析了雄村铜金矿床的成矿地质条件和控矿因素的基础上，总结出该矿床的地质描述模型，作为构建数字矿床模型的依据。基于几何形态的模型，能直观地表达地质体的空间形态及各地质体的相互关系，以反映地质环境，本文从地质结构方面入手，构建了雄村铜金矿 I 号矿体的矿体及顶底板模型、构造模型，充分展示了矿体、围岩、断层间的相互关系，对雄村 I 号矿体的认识更加具体形象。从广义上讲，数字矿床模型还包括蚀变分带模型、元素空间分布模型等非几何形态的，但必须以几何模型为基础的组成部分，用空间结构与空间属性共同表达完整的地质内容。在数字矿床模型上增加物探、化探、遥感等信息的综合，则可得到数字找矿模型，对数字找矿模型进行空间分析、地质变量提取等最终实现定位定量预测，得出数字预测模型，如果将成熟的数字找矿模型和预测模型推广至中小比例尺，进行“相似类比”，由点到面，势必又还原到数字矿床模型最初的意义当中去。

致谢：本文在撰写过程中得到了中国地质科学院矿产资源研究所唐菊兴研究员的悉心指点，审稿老师给出了指导性意见，在此表示衷心感谢。

参考文献:

陈建平，陈勇，朱鹏飞，王丽梅，尚北川，赵洁. 2011. 数字矿床模型及其应用——以新疆阿勒泰地区可可托海 3 号伟晶岩脉稀有金属隐伏矿预测为例[J]. 地质通报，30(5): 630-641.

丁枫，郎兴海，胡正华，杨欢欢，王子正，张丽. 2012. 西藏雄村铜金矿 I 号矿体赋矿凝灰岩的岩石地球化学特征及成因探讨[J]. 地球学报, 33(4): 546-558.

樊俊昌，毛先成，赵莹，唐艳华，单文法，陈进. 2012. 隐伏矿体立体预测的体元模型及其磁法正演模型[J]. 中国有色金属学报, 22(1): 239-250.

高志斌，秦德先. 2005. 数字矿床概述[J]. 金属矿山，344(2): 54-56.

黄勇，丁俊，唐菊兴，郎兴海，陈渊，张丽. 2011. 西藏雄村铜金矿床I号矿体成矿构造背景与成矿物质来源探讨[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 38(3): 306-312.

黄勇，丁俊，唐菊兴，张丽，郎兴海. 2012. 西藏雄村斑岩型铜金矿红柱石成因矿物学特征[J]. 地球学报, 33(4): 510-518.

郎兴海，陈毓川，唐菊兴，李志军，邓起，黄勇，陈渊，张丽. 2010a. 西藏谢通门县雄村斑岩型铜金矿床成因讨论——来自元素的空间分布特征的证据[J]. 地质论评，56(3): 384-402.

郎兴海，陈毓川，唐菊兴，李志军，黄勇，王成辉，陈渊，张丽. 2010b. 西藏谢通门县雄村斑岩型铜金矿集区 I 号矿体的岩石地球化学特征：对成矿构造背景的约束[J]. 地质与勘探, 46(5): 887-898.

郎兴海，唐菊兴，陈毓川，李志军，黄勇，王成辉，陈渊，张丽. 2010c. 西藏谢通门县雄村斑岩型铜金矿集区 II 号矿体中辉钼矿 Re-Os 年代学及地质意义[J]. 矿物岩石, 30(4): 55-61.

郎兴海，唐菊兴，李志军，董树义，丁枫，王子正，张丽，黄勇. 2012a. 西藏谢通门县雄村铜金矿区及其外围的找矿前景地球化学评价[J]. 地质与勘探, 48(1): 12-23.

郎兴海，唐菊兴，李志军，黄勇，陈渊，张丽. 2011. 西藏谢通门县雄村斑岩型铜金矿集区I号矿体的蚀变与矿化特征[J]. 矿床地质, 30(2): 327-338.

郎兴海，唐菊兴，李志军，黄勇，丁枫，王成辉，张丽，周云. 2012b. 西藏雄村斑岩型铜金矿集区 I 号矿体的硫、铅同位素特征及其对成矿物质来源的指示[J]. 地球学报，33(4): 459-470.

娄德波，宋国玺，李楠，丁建华，阴江宁，邹伟. 2008. 磁法在我国矿产预测中的应用[J]. 地球物理学进展, 23(1): 249-256.

CAGS

卢焱, 李健, 白雪山, 李永占. 2008. 地面磁法在隐伏铁矿勘查中的应用——以河北滦平Ⅱ号铁矿为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 38(4): 698-702.

唐菊兴, 黄勇, 李志军, 邓起, 郎兴海, 陈渊, 张丽. 2009a. 西藏谢通门县雄村铜金矿床元素地球化学特征[J]. 矿床地质, 28(1): 15-28.

唐菊兴, 黎风佶, 李志军, 张丽, 唐晓倩, 邓起, 郎兴海, 黄勇, 姚晓峰, 王友. 2010. 西藏谢通门县雄村铜金矿主要地质体形成的时限: 锆石 U-Pb、辉钼矿 Re-Os 年龄的证据[J]. 矿床地质, 29(3): 461-475.

唐菊兴, 李志军, 钟康惠, 孙传敏, 刘文周, 叶摇江, 徐仕海, 郭科, 丁枫, 郭文铂, 张廷斌, 张丽, 王志辉, 茅燕石, 郭娜, 郎兴海, 凌娟, 张峰, 崔晓亮, 黄厚辉, 黄勇, 王友. 2006. 西藏自治区谢通门县雄村铜矿勘探地质报告[R]. 北京: 中国地质科学院.

唐菊兴, 张丽, 黄勇, 王成辉, 李志军, 邓起, 郎兴海, 王友. 2009b. 西藏谢通门县雄村铜金矿主要地质体的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄及地质意义[J]. 矿床地质, 28(6): 759-769.

王世称, 陈永良, 夏立显. 2000. 综合信息矿产预测理论与方法[M]. 北京: 科学出版社: 12-25.

肖克炎, 王勇毅, 陈郑辉, 薛群威, 黄文斌, 朱裕生, 杨永华, 张寿庭, 杨毅恒, 张晓华, 刘锐. 2006. 中国矿产资源评价新技术与评价新模型[M]. 北京: 地质出版社.

徐文艺, 曲晓明, 侯增谦, 杨丹, 杨竹森, 崔艳合, 陈伟十. 2006. 西藏冈底斯中段雄村铜金矿床成矿流体特征与成因探讨[J]. 矿床地质, 25(3): 244-251.

张丽, 唐菊兴, 邓起, 黄勇, 郎兴海, LANG J, TAFITI R. 2007. 西藏谢通门县雄村铜(金)矿矿石物质成分研究及其意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 34(3): 318-326.

张万平, 莫宣学, 朱弟成, 袁四化, 王立全. 2009. 西藏冈底斯带南部雄村铜金矿成因探讨——来自锆石 U-Pb 年龄的证据[J]. 岩石矿物学杂志, 28(3): 235-242.

张贻侠. 1993. 矿床模型导论[M]. 北京: 地震出版社: 25-37.

张云, 朱自强, 严文婕. 2010. 航磁在秘鲁 12 区找矿靶区中的作用[J]. 物探与化探, 34(3): 367-371.

References:

APEL M. 2006. From 3D geomodelling systems towards 3D geoscience information systems: data model, query functionality, and data management[J]. Computers & Geosciences, 32(2): 222-229.

CHEN Jian-ping, CHEN Yong, ZHU Peng-fei, WANG Li-mei, SHANG Bei-chuan, ZHAO Jie. 2011. Digital ore deposit model and its application: a case study of the prognosis of the Koktokay No.3 pegmatite dike concealed rare metal deposit in Altay area of Xinjiang[J]. Geological Bulletin of China, 30(5): 630-641(in Chinese with English abstract).

COX D P, SINGER D A. 1986. Mineral Deposit Models[M]. US Geological Survey Bulletin, 1693: 143-161.

DING Feng, LANG Xing-hai, HU Zheng-hua, YANG Huan-huan, WANG Zi-zheng, ZHANG Li. 2012. The Genesis of Mineralized Tuff of No. I Ore body in the Xiongcun Porphyry Copper-Gold Metallogenic Ore District, Tibet: Evidence from Geochemistry and Sr-Nd-Pb Isotopes[J]. Acta Geoscientica Sinica, 33(4): 546-558(in Chinese with English abstract).

FAN Jun-chang, MAO Xian-cheng, ZHAO Ying, TANG Yan-hua, SHAN Wen-fa, CHEN Jin. 2012. Voxel model and its magnetic forward model of stereoscopic prediction of concealed ore body[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 22(1): 239-250(in Chinese with English abstract).

GAO Zhi-bin, QIN De-xian. 2005. Outline of digital mineral deposit[J]. Metal Mine, 344(2): 54-56(in Chinese with English abstract).

HOULDING S W. 1994. 3D Geosciences modeling-computer techniques for geological characterization[M]. Berlin: Springer-Verlag.

HUANG Yong, DING Jun, TANG Ju-xing, LANG Xing-hai, CHEN Yuan, ZHANG Li. 2011. Tectonic setting and source of ore-forming materials of No. I orebody in the Xiongcun copper-gold deposit, Tibet[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 38(3): 306-312(in Chinese with English abstract).

HUANG Yong, DING Jun, TANG Ju-xing, ZHANG Li, LANG Xing-hai. 2012. Genetic Mineralogy of Andalusite in Xiongcun Porphyry Copper-Gold Oredeposit, Tibet[J]. Acta Geoscientica Sinica, 33(4): 510-518(in Chinese with English abstract).

LANG Xing-hai, CHEN Yu-chuan, TANG Ju-xing, LI Zhi-jun, DENG Qi, HUANG Yong, CHEN Yuan, ZHANG Li. 2010a. A discussion on Genesis of Xiongcun porphyry copper-gold deposit, Xietongmen, Xizang(Tibet)-Evidences from elements spatial distribution characteristics[J]. Geological Review,

CAGS

56(3): 384-402(in Chinese with English abstract).

LANG Xing-hai, CHEN Yu-chuan, TANG Ju-xing, LI Zhi-jun, HUANG Yong, WANG Cheng-hui, CHEN Yuan, ZHANG Li. 2010b. Characteristics of rock geochemistry of orebody No. I in the Xiongcun porphyry copper-gold metallogenic district, Xietongmen county, Tibet: Constraints on metallogenic tectonic settings[J]. Geology and Exploration, 46(5): 887-898(in Chinese with English abstract).

LANG Xing-hai, TANG Ju-xing , LI Zhi-jun, DONG Shu-yi, DING Feng, WANG Zi-zheng, ZHANG Li, HUANG Yong. 2012a. Geochemical evaluation of exploration prospect in the Xiongcun copper-gold district and peripheral areas, Xietongmen county, Tibet[J]. Geology and Exploration, 48(1): 12-23(in Chinese with English abstract).

LANG Xing-hai, TANG Ju-xing, LI Zhi-jun, HUANG Yong, DING Feng, WANG Cheng-hui, ZHANG Li, ZHOU Yun. 2012b. Sulfur and Lead Isotope Characteristics of No. I Ore body in the Xiongcun Porphyry Copper-Gold Ore Concentration Area of Tibet: Implications for the Source of Metals in the Ore Deposit[J]. Acta Geoscientica Sinica, 33(4): 459-470(in Chinese with English abstract).

LANG Xing-hai, TANG Ju-xing, CHEN Yu-chuan, LI Zhi-jun, HUANG Yong, WANG Cheng-hui, CHEN Yuan, ZHANG Li. 2010c. Re-Os dating of molybdenite from orebody No. II of the Xiongcun porphyry copper-gold metallogenic district, Xietongmen, Tibet and its geological significance[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 30(4): 55-61(in Chinese with English abstract).

LANG Xing-hai, TANG JU-xing, LI Zhi-jun, HUANG Yong, CHEN Yuan, ZHANG Li. 2011. Alteration and mineralization of No.I in the Xiongcun porphyry copper-gold metallogenic district, Xietongmen county, Tibet[J]. Mineral Deposits, 30(2): 327-338(in Chinese with English abstract).

LOU De-bo, SONG Guo-xi, LI Nan, DING Jian-hua, YIN Jiang-ning, ZOU Wei. 2008. The application of magnetic method in national mineral prediction[J]. Progress in Geophysics, 23(1): 249-256(in Chinese with English abstract).

LU Yan, LI Jian, BAI Xue-shan, LI Yong-zhan. 2008. Application of magnetic survey on hidden iron deposit prospecting-Case study on luanping II iron deposit in Hebei province, China[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 38(4): 698-702(in Chinese with English abstract).

MALLET J L. 2002. Geomodeling[M]. New York: Oxford University Press.

TANG Ju-xing, HUANG Yong, LI Zhi-jun, DENG Qi, LANG Xing-hai, CHEN Yuan, ZHANG Li. 2009a. Element geochemical characteristics of Xiongcun Cu-Au deposit in X-ietongmen county, Tibet[J]. Mineral Deposits, 28(1):15-28(in Chinese with English abstract).

TANG Ju-xing, LI Feng-ji, LI Zhi-jun, ZHANG Li, TANG Xiao-qian, DENG Qi, LANG Xing-hai, HUANG Yong, YAO Xiao-feng, WANG You. 2010. Time limit for formation of main geological bodies in Xiongcun copper-gold deposit, Xietongmen county, Tibet: Evidence from zircon U-Pb ages and Re-Os age of molybdenite[J]. Mineral Deposits, 29(3): 461-475(in Chinese with English abstract).

TANG Ju-xing, ZHANG Li, HUANG Yong, WANG Cheng-hui, LI Zhi-jun, LANG Xing-hai, WANG You. 2009b. 40Ar/39Ar isotope ages of main geological bodies in Xiongcun copper-gold deposit, Xietongmen County, Tibet, and their geological significance[J]. Mineral Deposits, 28(6): 759-769(in Chinese with English abstract).

WANG Gong-wen, ZHANG Shou-ting, YAN Chang-hai, SONG Yao-wu, SUN Yue, DONG Li, XU Feng-ming. 2011. Mineral potential targeting and resource assessment based on 3D geological modeling in Luanchuan region, China[J]. Computers & Geosciences, 37(12): 1976-1988.

WANG Shi-chen, CHEN Yong-liang, XIA Li-xian. 2000. Theory and methods of comprehensive information mineral prediction[M]. Beijing: Science Press: 12-25(in Chinese).

XIAO Ke-yan, WANG Yong-yi, CHEN Zheng-hui, XUE Qun-wei, HUANG Wen-bin, YANG Yong-hua, ZHANG Shou-ting, YANG Yi-heng, ZHANG Xiao-hua, LIU Rui. 2006. New technologies and new evaluation model of mineral resource assessment in China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).

XU Wen-yi, QU Xiao-ming, HOU Zeng-qian, YANG Dan, YANG Zhu-sen, CUI Yan-he, CHEN Wei-shi. 2006. Ore-forming fluid characteristics and genesis of Xiongcun copper-gold deposit in central Gangdese, Tibet[J]. Mineral Deposits, 25(3): 243-251(in Chinese with English abstract).

ZHANG Li, TANG Ju-xing, DENG Qi, HUANG Yong, LANG

CAGS

Xing-hai, LANG J, TAFTI R. 2007. Study on mineral compositions of the ore from the Xiongcun Cu (Au) deposit in Xietongmen County, Tibet, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 34(3): 318-326(in Chinese with English abstract).

ZHANG Wan-ping, MO Xuan-xue, ZHU Di-cheng, YUAN Si-hua, WANG Li-quan. 2009. The genesis of the Xiongcun copper-gold deposit in southern Gangdise, Tibet: evidence from zircon U-Pb SHRIMP ages[J]. Acta Petrologica Et Mineralogica, 28(3): 235-242(in Chinese with English abstract).

ZHANG Yi-xia. 1993. Introduction on mineral deposit modeling[M]. Beijing: The Earthquake Press: 25-37(in Chinese).

ZHANG Yun, ZHU Zi-qiang, YAN Wen-jie. 2010. The Role of the aeromagnetic survey to Twelve Ore-Prospecting Target areas in Peru[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 34(3): 367-371(in Chinese with English abstract).

中国地质科学院六个实验室获准建设国土资源部重点实验室

国土资源部下发通知，批准建设 46 个部重点实验室，中国地质科学院六个实验室榜上有名：依托国家地质实验测试中心的“生态地球化学重点实验室”，依托中国地质科学院地质力学研究所的“古地磁与古构造重建重点实验室”，依托中国地质科学院地质研究所的“地层与古生物重点实验室”和“深部探测与地球动力学重点实验室”，依托中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所的“地球化学探测技术重点实验室”，依托中国地质科学院岩溶地质研究所的“岩溶生态系统与石漠化治理重点实验室”。

国土资源部生态地球化学重点实验室将开展生态地球化学理论研究、生态地球化学应用研究、生态地球化学测试技术方法研发、为生态地球化学调查研究提供技术支撑。

国土资源部古地磁与古构造重建重点实验室将发展和应用古地磁学，研究古大陆再造、古环境重塑和典型地层磁性“定年”。重点解决地质学中重大的基础科学问题，在磁性构造学、磁性地层学、岩石磁学和环境磁学等领域开展创新性研究。

国土资源部地层与古生物重点实验室以瞄准国际前沿、开展地层学与古生物学理论创新研究，服务于地质调查、解决关键地层问题为研究特色，立足地球科学前沿和国家需求，致力于发展地层与古生物学重大基础理论，解决国土资源调查中的关键地层古生物问题，建立和完善新的技术方法体系，开展生命早期演化过程、生物更替与地质环境变迁、重要地层断代对比等基础研究。

国土资源部深部探测与地球动力学重点实验室以深地震探测为手段开展深部地球物理探测，结合深部地球化学与岩石学探测、深部构造与浅表变形填图，精细揭示中国大陆三维结构、物质组成、内部各层圈相互作用与变形样式。近年以来，实验室在青藏高原、西秦岭、大兴安岭、大别山、长江中下游以及华南等重要构造单元开展岩石圈断面、地壳精细结构探测与综合研究，建立了中国岩石圈三维结构数据库及共享平台，在国内外产生重要的学术影响。

国土资源部地球化学探测技术重点实验室面向国际地球化学前沿和我国社会发展和经济建设中的重大科学问题，开展全球地球化学基准研究、深穿透地球化学探测技术研究、地球化学调查与填图技术研究。普及地球化学科学知识，为科学团体、政府决策者和公众之间搭建桥梁，为相关科学机构与政府组织提供专家咨询，为了解全球资源和环境变化提供有力保障。

国土资源部岩溶生态系统与石漠化治理重点实验室将开展岩溶生态系统结构、功能与形成演化理论研究；脆弱岩溶生态系统(石漠化、退化岩溶湿地、水土流失、洼地内涝或矿区或重大工程建设引发的生态退化等)修复试验研究与示范；岩溶石山地区土地整理及特色农业种植技术试验示范；岩溶地区生态水文及水土保持应用研究及工程示范；岩溶地区重大生态环境问题的调查、监测、评价、规划与区域经济对策研究。

本刊编辑部 采编