

# 西藏冈底斯多金属成矿带铅锌矿定位预测 与资源潜力评价

谭 钢<sup>1</sup>, 余宏全<sup>1</sup>, 常帼雄<sup>2</sup>, 李光明<sup>3</sup>, 董英君<sup>1</sup>, 潘桂棠<sup>3</sup>, 李进文<sup>1</sup>,  
张德全<sup>1</sup>, 丰成友<sup>1</sup>

(1. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 内蒙古地质勘查有限责任公司,  
内蒙古 呼和浩特 010020; 3. 中国地质调查局 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

**摘 要:** 矽卡岩型和热液脉型铅锌多金属矿是冈底斯地区铅锌资源量的主要来源。本文在全面收集冈底斯成矿带及其周边(主要包括冈底斯及其以南的喜马拉雅带)地质、矿产、物探、化探、遥感等基础地质资料的基础上,建立了GIS平台基础上的资源预测评价系统。运用特征分析模型和数理统计方法,分别确定了预测区内矽卡岩型和热液脉型铅锌多金属矿定位预测的找矿模型和定量化标志,其中对铅锌矿预测比较重要的地质变量(变量权重 $>0.2$ )有中性酸性花岗岩侵入岩体,其他类型矿床(点),Cu、Pb、Zn、Ag、Cd、Au、Bi 单元元素化探异常,Cu-Pb-Zn-Ag、Pb-Zn、Pb-Zn-Ag-Cd 组合化探异常,磁异常正负场变化,中低负重力异常场等。在此基础上,利用MRAS资源评价系统,圈定了铅锌矿成矿远景区共57处,总体上预测成果与实际地质情况及已知矿床(点)分布吻合较好。采用面金属量法估算了各远景区的铅锌矿资源量。统计结果表明,预测区内1000 m以浅潜在铅锌资源总量可达2.9亿吨,指示了冈底斯成矿带及其周边仍具有良好的铅锌矿找矿远景和资源潜力。

**关键词:** 冈底斯成矿带, 铅锌矿, GIS, 矿床统计预测, 资源量评价

中图分类号: P618.42; P618.43

文献标识码: A

文献编号: 1000-6524(2011)01-0083-14

## Regional metallogenic predication and mineral reserves evaluation of lead and zinc deposits in the Gangdise polymetallic ore-forming belt, Tibet

TAN Gang<sup>1</sup>, SHE Hong-quan<sup>1</sup>, CHANG Guo-xiong<sup>2</sup>, LI Guang-ming<sup>3</sup>, DONG Ying-jun<sup>1</sup>,  
PAN Gui-tang<sup>3</sup>, LI Jin-wen<sup>1</sup>, ZHANG De-quan<sup>1</sup> and FENG Cheng-you<sup>1</sup>,

(1. Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2. Inner Mongolia Geological Exploration Co., Ltd., Hohhot 010020, China; 3. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Chengdu 610082, China)

**Abstract:** Skarn and hydrothermal vein deposits constitute the main resources of lead and zinc in the Gangdise metallogenic belt. In recent years, especially since the beginning of the Geological Survey Project in 1999, great progress in geological survey and resource exploration has been made, several large-size lead and zinc ore deposits have been discovered, and many important regional geological data have been accumulated in Gangdise region. Based on detailed collection of geological, ore deposits, minerals, geophysical and geochemical data and remote-sensing information in this region, the authors established a mineral resources evaluation system based on GIS

收稿日期: 2010-07-07; 修订日期: 2010-09-21

基金项目: 国家科技支撑计划(2006BAB01A10)973 基础研究计划(2002CB412609)

作者简介: 谭 钢(1985-), 男, 硕士研究生, 矿物、岩石、矿床学专业, E-mail: tangang1745@163.com; 通讯作者: 余宏全(1965-), 男, 研究员, 从事地质找矿和矿床学研究, E-mail: hongquanshe@sohu.com.

网络优先出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1966.P.20101110.1358.000.html>

technology. The basic data of the mineral resources evaluation system cover a wide range of information, which includes geology (stratigraphy, tectonics, magmatic rocks and metamorphic rocks), minerals (ore deposits and mineralized spots), geophysical data (magnetic and gravitational method), geochemical data (individual and composite Cu, Pb, Zn, Ag, Cd and Au geochemical anomalies) and geography. Using characteristic analysis model and mathematical statistics, the authors determined the metallogenic model and quantitative geological variables for prognosis of skarn and hydrothermal veinlike lead and zinc deposits respectively, which constitute the dominant lead and zinc ore types in the Gangdise metallogenic belt. The result has shown that the most important geological factors for the prognosis of lead and zinc deposits include intermediate-acid granitic intrusive bodies, known ore deposits and mineralized spots, individual Cu, Pb, Zn, Ag, Cd, Au, Bi geochemical anomalies, composite Cu-Pb-Zn-Ag, Pb-Zn, Pb-Zn-Ag-Cd geochemical anomalies, positive-negative change of magnetic anomalies, and middle-low negative gravity anomalies. According to the calculation of the MRAS system (developed by Institute of Mineral Resources, CAGS), 57 target areas for skarn and hydrothermal vein lead and zinc deposits were delineated in the Gangdise metallogenic belt. The results obtained by statistics are in well accord with the geological deduction. The lead and zinc reserves were estimated by the areal productivity method, which shows that there still exists great potential for lead and zinc deposits in Gangdise region, and that the predicated lead and zinc reserves within the depth of 1 000 m are over 290 million tons. The most potential lead and zinc target areas mainly include Yaguirang-Sharang-Dongzhongsongduo, Bangpu-Songduoxiong-Xiamari-Nongruri, Zexue lead and zinc deposits, Bengbunong gold deposit, Mengyaa-Longmala etc., in which the potential lead and zinc reserves are over 20 million tons.

**Key words:** Gangdise metallogenic belt; lead and zinc deposit; Geographic Information System; statistical prediction of ore deposit; mineral resources evaluation

西藏冈底斯地区是我国西部地质工作程度较低的地区之一,但该地区具有十分有利的成矿地质条件,其资源前景受到国内外地质工作者的普遍关注。近些年来,在冈底斯地区开展了大规模的地质调查和资源勘查工作,取得了令人瞩目的新成果,被列为2001年中国地质工作“十大重要进展之一”(国土资源部2002)。

经过多年来的地质勘查工作,西藏冈底斯地区积累了丰富的地质、矿产、物化探等基础地质资料,已发现大中型矿床多处。因此,充分利用已有的地质资料,总结控矿规律和找矿标志,进行成矿远景区的定位预测和定量评价显得尤为重要。笔者注意到,矽卡岩型和热液脉型矿床是冈底斯地区重要的矿床类型,矿化类型涉及到铁、铜、铅、锌等多种紧缺金属,进一步查明其资源量具有重要的经济价值。本文即是在充分收集冈底斯及周边地区地质、矿产、物探、化探及遥感等资料的基础上,利用GIS平台基础上的数理统计和面金属量法对该地区铅锌矿进行了定位及定量预测,并对该地区铅锌矿找矿远景和资源潜力进行了评估。

## 1 区域地质概况

西藏冈底斯多金属成矿带位于雅鲁藏布江缝合带北侧拉萨地体南缘的冈底斯造山带中。研究表明,冈底斯构造带是一个经历了复杂地质构造演化史的多岛弧碰撞造山带(潘桂棠等,1997)。古生代该地区处于冈瓦纳大陆北部的活动大陆边缘构造背景;中生代发育岛弧与弧后盆地相间的构造格局;白垩纪末期至古近纪早期,受雅鲁藏布江洋壳向冈底斯俯冲、消亡及碰撞作用的影响,在冈底斯构造带南缘形成了东西延伸大于2 000 km的火山-岩浆岩带(李光明等2002,黄圭成等2004,左仁广等2007)。

新生代以来,冈底斯地区进入碰撞后剧烈的陆内聚敛造山阶段,发育了一系列近东西向展布的大型韧性剪切带。中新世,冈底斯造山带山根发生拆沉和大规模的高原伸展作用,与此同时或稍晚,在冈底斯造山带发育一套钾质的钙碱性熔岩(Coulon *et al.*, 1986)和广泛分布的规模较小的高位花岗岩体和花岗质斑岩体,由此造就了长达350km、宽约40

km 的冈底斯多金属成矿带(曲晓明等 2001)。

自 1999 年开展地质大调查以来,冈底斯多金属成矿带找矿工作取得了重大进展,新发现了驱龙、白容、厅宫、朱诺、雄村、南木林、吹败子、蒙哑啊、亚贵拉、洞嘎普、尤卡朗等十多处具有大型-超大型规模或远景的矿床<sup>①</sup>。已发现的矿床类型主要有斑岩型、矽卡岩型和热液脉型,其次有热泉型和岩浆型,涉及铜、铁、铅、锌、金、银、锑、铬、锂、钛铁矿、铯和盐类等多种金属和非金属矿产,一条规模宏大的多金属成矿带已初露端倪。

本文预测评价区范围在构造位置上大致包括冈

底斯构造岩浆岩带、念青唐古拉带和雅鲁藏布江碰撞结合带以南的喜马拉雅带部分地区,经纬度范围为 E 87°30'~E 96°00', N 28°00'00"~N 32°00', 面积约 19.4 万 km<sup>2</sup>(图 1)。为叙述简便,本文仍将所有研究范围简称为冈底斯地区。

## 2 GIS 多元信息数据库及预测方法

### 2.1 收集资料并建立 GIS 多元信息数据库

本文全面、充分收集了冈底斯及周边地区地质、物化探、矿产、遥感等地质资料。区域地质、构造、岩

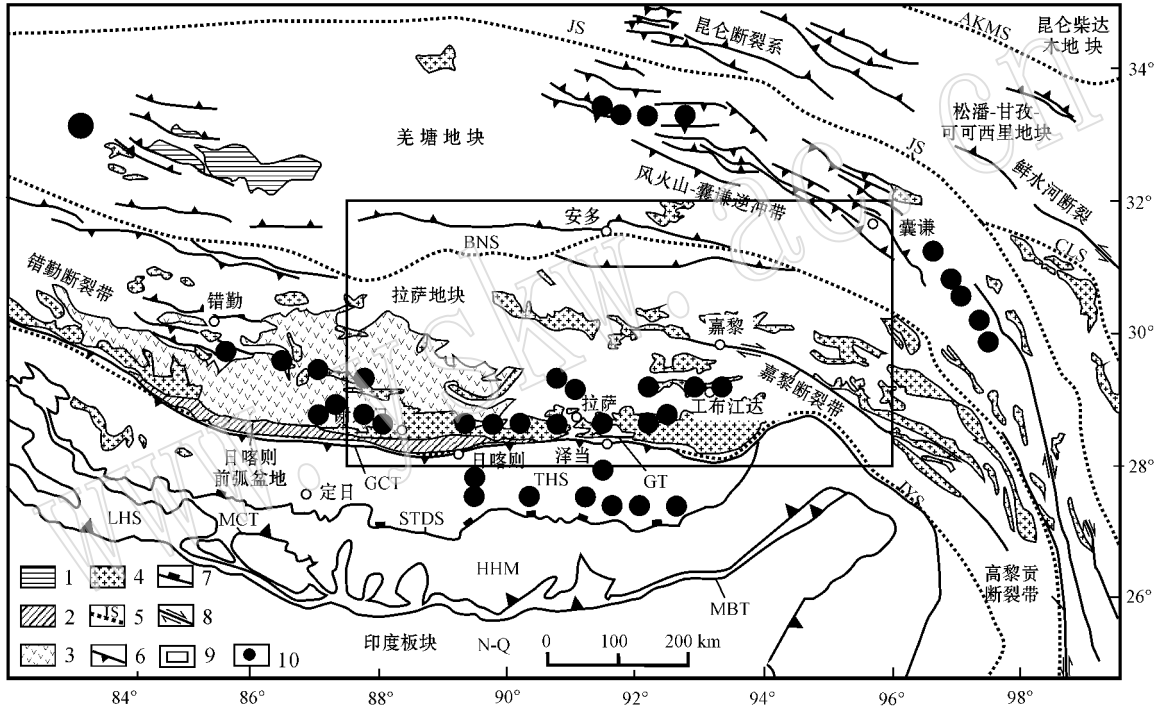


图 1 青藏高原大地构造简图及预测评价区范围[据潘桂棠等(1997)修改]

Fig. 1 Geological map of Qinghai-Tibet Plateau(modified after Pan Guitang *et al.*, 1997)

1—蓝闪片岩杂岩;2—弧前盆地沉积;3—第三纪火山岩;4—花岗岩基;5—主要构造缝合带及构造单元分区界限;6—逆冲断裂带;7—拆离断层;8—走滑断裂带;9—预测评价区范围;10—主要金属矿床;主要构造缝合带:AKMS—阿尼玛卿-昆仑-木孜塔格缝合带;JS—金沙江缝合带;CLS—理塘缝合带;BNS—班公-怒江缝合带;IYS—印度河-雅鲁藏布江缝合带;主要断裂带:GCT—大反向逆冲断裂系;GT—冈底斯逆冲断裂系;STDS—藏南拆离系;MCT—主中央逆冲断裂;MBT—主边界逆冲断裂;构造单元:THS—北喜马拉雅;HHM—高喜马拉雅;LHS—低喜马拉雅

1—glaucophane schist complex;2—fore-arc basin sediments;3—Tertiary volcanic rocks;4—granite;5—suture zone;6—thrust fault belt;7—detachment fault;8—strike-slip fault;9—study area;10—ore deposit;Suture zones:AKMS—Animaqing-Kunlun-Muzhitage suture zone;JS—Jinshajiang suture zone;CLS—Litang suture zone;BNS—Bangong-Nujiang suture zone;IYS—Indian River-Yarlung Zangbo Jiang suture zone;GCT—great conversion thrust fault;GT—Gangdise thrust fault;STDS—South Tibet detachment system;MCT—major central thrust fault;MBT—major boundary thrust fault;THS—Tethys Himalaya;HHM—High Himalaya;LHS—Low Himalaya

① 潘桂棠,李光明,余宏全,等. 2008. 印度亚洲主碰撞带资源潜力与成矿预测(研究报告). 中国地质调查局成都地质矿产研究所和中国地质科学院矿产资源研究所.

浆岩、地层、矿产等基础地质资料主要根据最新的 1:20 万或 1:50 万区域地质调查资料,区内不同类型矿床(点)主要根据近些年来(截止到 2008 年底)大规模地质勘查所取得的成果。以上基础地质资料涵盖了整个冈底斯地区,区域 1:20 万(或 1:50 万)化探异常除个别区采不到水系沉积物样品外,也基本上覆盖了全区,区域重力异常、航磁异常等资料的覆盖范围如图 2 所示。然后对这些数据资料进行了转换、处理,建立了预测区 1:50 万多元信息数据库系统,数据处理及数据库建立按照《国家标准数字化地质图图层及属性文件格式》(DZ/T0197-1997)进行, GIS 多元信息数据库建立的方法步骤参照肖克炎等(2000)和刘治国等(2002)。该数据库系统主要由图形空间信息数据库和地质体要素非空间信息数据库两部分组成,内容涵盖了地质(地层、构造、岩浆岩、

变质岩)、矿产(主要矿床、矿点及矿化点)、物探(磁法、重力)、化探(Cu、Pb、Zn、Ag、Au、As、Sb、Bi、W、Mo、Cd、Sn、Bi 单元异常)、地理等多种信息,构成了本次成矿预测和资源潜力评价的基础数据平台系统。

### 2.2 划分网格单元

预测区内已发现的规模较大的矿床比较少,而且多集中在冈底斯成矿带的南部,从而能用于成矿预测的已知矿床模型也就比较少。笔者根据预测精度要求和比例尺大小,采用等面积网格单元划分法(赵鹏大等,1994)将预测区划分成正方形网格,每个网格单元面积为  $14\text{ mm} \times 14\text{ mm} = 196\text{ mm}^2$ ,共计  $116 \times 66 = 7\,656$  个网格单元。每个网格单元相当于实际面积  $49\text{ km}^2$ ,共计  $37.5\text{ 万 km}^2$ ,单个网格单元面积大致与中等规模化探异常区面积相当。

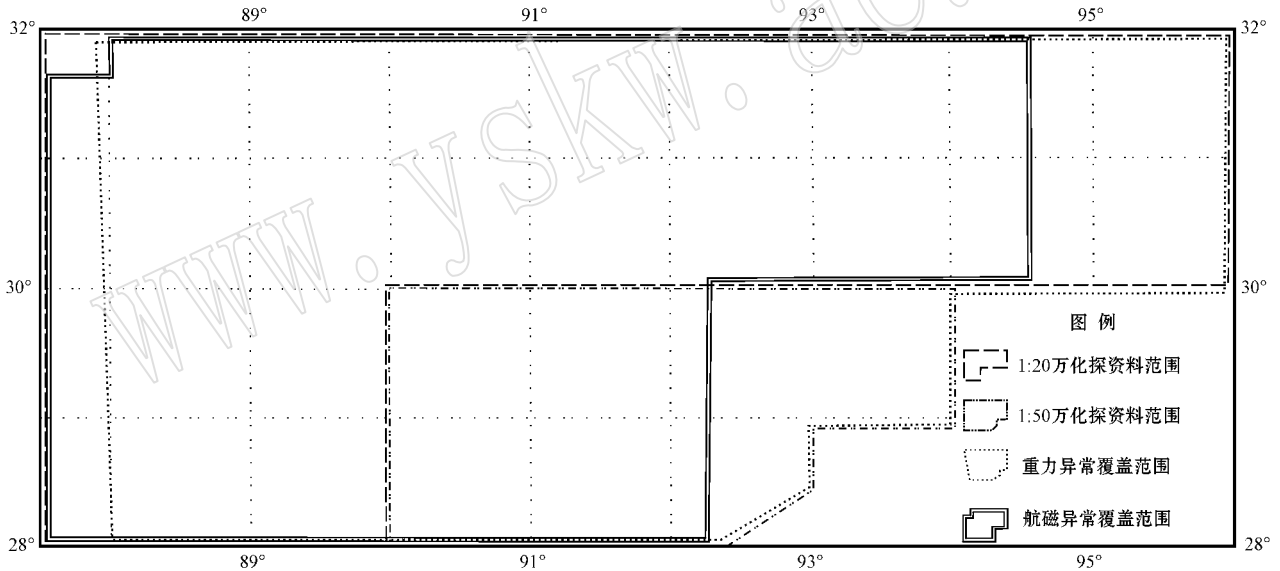


图 2 西藏冈底斯地区区域基础地质资料覆盖范围示意图

Fig. 2 Sketch map showing regional geological data coverage areas in Gangdise region, Tibet

### 2.3 确定预测统计数学模型

成矿远景区定位预测的实质是对预测区内每个统计单元成矿可能性或成矿有利度的一种统计评估。特征分析统计模型即是通过研究模型单元的主要成矿特征标志(包括地质、地球化学、地球物理、遥感等信息),查明它们之间的内在联系,将这些成矿特征标志量化(转化为二态或三态变量),并根据它们对成矿的贡献,确定它们的权重,由此建立起控制区与预测区的定量类比模型,据此来评价预测区

成矿的有利性大小,并圈定出成矿远景区(赵鹏大等,1994)。这是一种简单实用的多元统计方法,适用于资料水平不高地区的小比例尺成矿靶区预测。其公式为:

$$y_i = \sum_{j=1}^m a_j x_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \dots\dots\dots (公式 1)$$

式中:  $y_i$  为统计单元成矿可能性或有利度,  $x_{ij}$  为第  $i$  个统计单元第  $j$  个地质变量的取值,  $a_j$  表示第  $j$  个地质变量的权系数,  $n$ 、 $m$  分别是统计单元和地质变

量的数目。该统计方法的实质是诸地质变量的加权线性组合。由此可见,进行资源靶区预测的关键是确定诸地质变量的权系数。

### 3 铅锌矿找矿模型及综合预测变量

矽卡岩型和热液脉型铜铅锌多金属矿床是预测区内最主要的铅锌矿床类型。本节将对矽卡岩型和热液脉型两种类型铅锌矿的找矿模型及综合预测变量分别加以阐述。

#### 3.1 矽卡岩型铅锌矿床区域预测找矿模型及综合预测变量

矽卡岩型矿床是西藏地区重要的矿床类型之一,涉及铁、铜、铅、锌、银等多种金属。据不完全统计结果,西藏地区共有矽卡岩型矿床点140多处,其中特大型1处、大型5处、中型4处、小型14处。该类矿床主要分布在班戈-腾冲燕山期岩浆弧带、革吉-措勤晚中生代复合弧后盆地、隆格尔-工布江达断隆带、冈底斯南缘火山-侵入岩带等4个Ⅲ级构造单元。

##### 3.1.1 矽卡岩型铅锌矿床区域预测找矿模型

根据本区矽卡岩型矿床的成矿特点、预测目标要求以及近些年来的研究成果(李光明等,2002,2004;汪全海等,2002;余宏全等,2005;侯增谦等,2006a,2006b,2006c),确定矽卡岩型铅锌矿的区域预测找矿模型如下:

(1)矿床主要位于冈底斯火山-岩浆岩带、革吉-措勤晚中生代复合弧后盆地、班戈-腾冲燕山期岩浆弧带、隆格尔-工布江达断隆带等成矿有利构造带内,成矿构造背景与羌塘地块与拉萨地块沿班公湖-怒江缝合带俯冲碰撞、印度板块向欧亚板块俯冲碰撞等构造事件有关,成矿时代从印支期至中新世。

(2)成矿岩体主要为中酸性岩体,岩体规模不限,从岩株至岩基均可,岩体时代从三叠纪至中新世,岩性有花岗岩、二长花岗岩、正长花岗岩、闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩及其对应的斑岩等。岩石化学和微量元素地球化学研究表明,控矿岩体可以有多种成因,部分为俯冲期钙碱性花岗岩,部分为碰撞期壳幔混源花岗岩,部分具有埃达克质岩浆岩特征。

(3)区域上矽卡岩矿床具有呈带分布特点,成矿带的展布总体上受东西向构造(断裂带、逆冲推覆带和褶皱带)控制,处于东西向Ⅲ级构造单元分区断

裂之间或其附近,遥感影像上表现为东西向线性构造发育。

(4)单矿区范围内矽卡岩矿床的主要控矿构造为岩体接触带、层间构造带,其次为断裂裂隙构造,有利的层间构造带为层间滑脱带、灰岩、大理岩等碳酸盐岩岩层与碎屑岩等的层间构造带。

(5)矽卡岩矿床的赋矿地层主要为以碳酸盐岩、灰岩、大理岩、钙质页岩为主或含有碳酸盐岩、灰岩、大理岩等富钙岩石的地层,其次为火山碎屑岩。研究区内有利含矿地层有查曲浦组、叶巴组、多底沟组、林宗组、楚林龙组、塔克拉组、比马组、麦龙岗组、麻木下组、朗山组、桑卡拉组、桑卡拉组、下拉组、洛巴堆组、蒙拉组、敌布错组等。

(6)矽卡岩矿床成矿远景区内具有较好的已知矿化线索,有矽卡岩型磁铁矿、铜多金属矿、铅锌银矿(点)分布,或有其他类型多金属矿分布。同一矿集区或矿床内矽卡岩型矿床常常与斑岩型矿床和热液脉型矿床密切共生,形成与岩浆作用有关的斑岩型-矽卡岩型-热液脉型铜铅锌多金属成矿系列。

(7)矽卡岩矿床成矿远景区内一般具有良好的以Cu-Pb-Zn-Ag组合为主的化探异常,异常强度较高,常常套合有As-Sb异常,或在外围伴有As-Sb组合异常。异常分布范围较大,元素异常套合好,且具有较好的浓度分带,浓集中心明显。

(8)矽卡岩矿床一般处于磁异常正负场变化位置,磁异常值在+100~-100 nT之间;一般在0值线附近,正负磁场成对出现位置是潜在的找矿远景区;矿床发育位置磁异常变化较快,磁场变化率中等。

(9)矽卡岩矿床一般处于重力场中低负异常场、重力异常变化梯度带位置,异常值在-460~-555 mG之间,重力场变化率中等偏高。

##### 3.1.2 矽卡岩型矿床综合预测变量

根据预测区内矽卡岩型矿床的分布和矿床规模,选取克鲁、邦蒲、拉屋、蒙哑啊、新嘎果、勒青拉(洛巴堆)、舍索、郎中、劣布、洞中松多、朗普勒、朗达沟、下格拉、查郎拉、廷多山、恩孜南、明则等矿床作为模型矿床点,进行矿产资源综合评价预测计算。根据本区矽卡岩型矿床区域预测找矿模型、GIS数据库信息资料及各成矿特征标志(变量)权重的计算结果,确定矽卡岩型铅锌矿的综合预测变量见表1。

从表1中可以看出,对矽卡岩型铅锌多金属矿床预测起重要作用的地质变量(权重>0.2)为中新

表 1 西藏冈底斯成矿带矽卡岩型铅锌多金属矿床综合预测变量表

Table 1 Geological variables for predication of ore deposits in the Gangdise skarn lead and zinc polymetallic ore-forming belt, Tibet

序号	预测变量	取值范围	变量权重	地质解释	
1	地质复杂程度	熵值 > 70	0.171 552	代表地质构造-岩浆作用的活动强度, 强度高有利于成矿	
2	发育 T J, K, E 中酸性岩体(脉)	存在	0.228 099	有成矿有关的岩浆活动	
3	以碳酸盐岩、灰岩、大理岩、钙质页岩为主的地层分布	存在	0.142 753	有利成矿围岩或赋矿地层	
4	含碳酸盐岩、灰岩等富钙岩石夹层	存在	0.063 122	有利成矿围岩	
5	已知矽卡岩型铜矿、铜铅锌多金属矿、铅(银)矿床点	存在	0.163 644	代表直接的成矿(矿化)信息	
7	有其它类型(斑岩型、热液脉型)铁、金、铜、铅、锌、银矿床点	存在	0.287 201	矽卡岩型矿床与斑岩型、热液脉型矿床具有成因联系, 构成一个成矿系列	
8	位于岩体接触带	0~2 km 以内	0.186 783	有利控矿构造	
9	断裂构造	存在	0.123 399	控制岩体、矿体的构造部位	
10	Cu 化探异常	$Cu > 30 \times 10^{-6}$	0.145 715	矽卡岩型矿床常见的铜铅锌矿化组合	
11	Pb 化探异常	$Pb > 35 \times 10^{-6}$	0.207 929		
12	Zn 化探异常	$Zn > 93 \times 10^{-6}$	0.174 676		
13	Cd 化探异常	$Cd > 300 \times 10^{-6}$	0.287 201		
14	W 化探异常	$W > 4.0 \times 10^{-6}$	0.194 637	代表高温热液活动	
15	Mo 化探异常	$Mo > 1.6 \times 10^{-6}$	0.084 895	矽卡岩矿床形成的主要铜铅锌银矿化, 中低温阶段热液活动常见元素, 重要的成矿指示元素及其组合	
16	Cu 化探高值异常	$Cu > 60 \times 10^{-6}$	0.044 636		
17	Pb 化探高值异常	$Pb > 70 \times 10^{-6}$	0.114 796		
18	Zn 化探高值异常	$Zn > 180 \times 10^{-6}$	0.134 549		
19	Ag 化探异常	$Ag > 100 \times 10^{-9}$	0.205 104		
20	Au 化探异常	$Au > 2.0 \times 10^{-9}$	0.235 225		
21	Bi 化探异常	$Bi > 0.8 \times 10^{-6}$	0.160 406		
22	As 化探异常	$As > 30 \times 10^{-6}$	0.150 708		矽卡岩矿床外围和顶部伴生元素异常, 晚阶段热液活动
23	Sb 化探异常	$Sb > 2.0 \times 10^{-6}$	0.075 26		矽卡岩矿床外围和顶部伴生元素异常, 晚阶段热液活动, 含量高说明距成矿中心远
24	Ag 化探高值异常	$Ag > 400 \times 10^{-9}$	0.089 112		
25	Zn-Cd 组合化探异常	$Zn > 93 \times 10^{-6} + Cd > 300 \times 10^{-6}$	0.191 318	矽卡岩矿床主要的铜铅锌银矿化及其组合	
26	Cu-Au 组合化探异常	$Cu > 30 \times 10^{-6} + Au > 2 \times 10^{-9}$	0.179 339		
27	Pb-Zn 组合化探异常	$Pb > 35 \times 10^{-6} + Zn > 93 \times 10^{-6}$	0.191 318		
28	Pb-Zn-Ag 组合化探异常	$Pb > 35 \times 10^{-6} + Zn > 90 \times 10^{-6} + Ag > 100 \times 10^{-6}$	0.174 626		
29	Cu-Pb-Zn 组合化探异常	$Cu > 30 \times 10^{-6} + Pb > 35 \times 10^{-6} + Zn > 90 \times 10^{-6}$	0.115 414		
30	Cu-Pb-Zn-Ag 组合化探异常	$Cu > 30 \times 10^{-6} + Pb > 35 \times 10^{-6} + Zn > 90 \times 10^{-6} + Ag > 100 \times 10^{-9}$	0.207 929		
31	处于磁异常正负场变化位置	+100 D ~ -100 nT	0.222 541		矽卡岩期氧化物阶段有少量磁铁矿生成, 形成磁异常
32	处于磁异常磁场变化率中等	0.15~0.25	0.123 399		矽卡岩期氧化物阶段有少量磁铁矿生成
33	处于重力场中低负异常场位置	-460 ~ -555 mGal	0.269 353		与中酸性岩浆活动中心有关
34	处于重力异常变化率中等偏高	0.27~0.57	0.092 787		

生代花岗岩体, 其他类型矿床点, Pb、Cd、Ag、Au 化探异常, Cu-Pb-Zn-Ag 组合化探异常, 磁异常正负场变化, 中低负重力异常场带等; 其次(权重在 0.1~0.2)为地质复杂程度, 以碳酸盐岩为主地层, 已知矽卡岩型矿床点, 断裂构造, 接触带构造, Cu、Zn、As、Bi、W 化探异常, Pb、Zn 化探高值异常, Pb-Zn、Zn-

Cd、Cu-Au、Pb-Zn-Ag、Cu-Pb-Zn-Ag 组合化探异常, 磁异常变化率等。总体上, 各预测变量的重要性(权重)与已建立的找矿地质模型一致。比较特殊的是已知矽卡岩型矿床的权重(0.16)小于其他类型(斑岩型、热液脉型)矿床点的权重(0.29), 究其原因可能与本区矽卡岩型矿床多与其他类型矿床密切伴生

有关。

### 3.2 热液脉型铅锌多金属矿床区域预测找矿模型及综合预测变量

热液脉型银铅锌多金属矿床也是西藏地区重要的矿床类型之一,主要发育在冈底斯斑岩铜矿带北侧的念青唐古拉带和喜马拉雅带中,在班戈成矿带中也有少量分布。

#### 3.2.1 热液脉型铅锌矿床区域预测找矿模型

根据本区热液脉型铅锌银多金属矿床的成矿特点、预测目标的要求以及近些年来的研究成果(李光明等 2002 2004;汪全海等,2002;侯增谦等,2006a,2006b 2006c),确定热液脉型铅锌银多金属矿床的区域预测找矿模型如下:

(1) 矿床位于冈底斯火山-岩浆带北部、念青唐古拉复合岩浆带和班戈岩浆带中。

(2) 近东西走向倾向向北的大型逆冲断层发育,有近 NS 向中小型正断层分布。东西向大型逆冲断层与近 NS 向正断层的交汇部位是矿体的主要赋存空间。

(3) 含矿围岩主要有林子宗群火山岩、火山碎屑岩,石炭系来姑组、永珠组、昂杰组和二叠系洛巴堆组的细砂岩、粉砂岩和碳酸盐岩等,围岩蚀变主要有绢英岩化、硅化、绿泥石化和碳酸盐化。

(4) 在念青唐古拉带中有白垩纪和古近纪花岗岩分布,在冈底斯岩浆带中有中新世花岗质小岩体产出,岩性有白云母花岗岩、二长花岗岩、花岗闪长岩以及二长花岗斑岩等。

(5) 南冈底斯和念青唐古拉带东部的热液脉型铅锌银多金属矿床的形成与同碰撞和后碰撞伸展时期的构造-岩浆作用相联系,念青唐古拉带西部的热液脉型铅锌银多金属矿床形成时代主要约为 14~57 Ma。

(6) 矿床分布总体上受东西向构造控制,但与中新世南北向裂谷构造也有密切关系,矿床常常分布于东西向构造带与南北向裂谷系交汇部位,具有东西成带、南北成行的分布特点。

(7) 遥感影像上表现出东西向和南北向线性构造发育。

(8) 成矿远景区具有较好的已知矿化线索,有热液脉型、矽卡岩型铜多金属矿和其他矿点分布。

(9) 成矿远景区具有良好的 Pb-Zn-Ag-Cu-Au 组合化探异常,异常强度高,分布范围大,在外围常伴有 Ag-As-Sb 组合异常,元素异常套合好,且具有较

好的浓度分带,浓集中心明显。

(10) 在区域磁异常图上,热液脉型铅锌银多金属矿床一般处于磁异常正负场陡变位置,变化率较高,磁异常值在 +100~-200 nT 之间。

(11) 在重力异常图上,热液脉型铅锌银多金属矿床一般位于重力场中低负异常场中,处于重力异常梯度带变化较大位置,重力场异常值在 -460~-555 mG 之间。

#### 3.2.2 热液脉型铅锌矿床综合预测变量

根据预测区内热液脉型铅锌多金属矿床的分布和矿床规模,选取松多雄、则学、尤卡朗、洞中松多、郎达、蒙亚啊、洞中拉、龙马拉、日乌多、帮浦、亚贵拉、那曲镇银多金属矿、卡则铅矿、鼓岗铅锌矿、麦热铅锌矿、拉宗含铅锌银矿、仁钦则、查孜多金属矿、那霖多铅锌矿、新嘎果铅锌矿、昂张铅锌矿、夺松卡铅锌矿、拉拢多金属矿、卓青铅锌矿、拉屋(科波熊)金银多金属矿、昂张铅锌矿、娘姑处金银矿、纳如松多等矿床作为模型矿床点,进行矿产资源综合评价预测计算。根据本区热液脉型铅锌多金属矿床区域预测模型、GIS 数据库信息资料及各成矿特征标志(变量)权重的计算结果,确定热液脉型铅锌多金属矿床的综合预测变量见表 2。

从表 2 中可以看出,对热液脉型铅锌多金属矿床预测最重要的变量(权重 > 0.2)为新生代中酸性岩体(脉),不同类型的已知金铜铅锌银矿床点, Cu、Pb、Zn、Ag、Cd、Au、Bi 单元素地球化学异常, Pb-Zn、Pb-Zn-Ag-Cd、Cu-Pb-Zn-Ag 组合地球化学异常;其次(权重在 0.1~0.2)为地质复杂程度,含矿地层,已知热液脉型矿床点规模, As、Mo 单元素地球化学异常, Pb、Cd、Zn、Ag 单元素高值异常和磁异常变化率。总体上,各预测变量的重要性(权重)与已建立的找矿地质模型吻合。值得一提的是,已知热液脉型矿床规模的权重(0.14)明显比已知热液脉型矿床点的权重(0.08)高,表明热液脉型矿床的找矿应注意就矿找矿;另外,其他类型金、铜、铅、锌、银矿床点权重(0.22)明显大于已知热液脉型矿床点的权重(0.08),可能与热液脉型多金属矿床常和其他类型(斑岩型、矽卡岩型)矿床共生有关。

## 4 确定铅锌矿床成矿远景区

根据预测区内矽卡岩型和热液脉型铅锌矿床区域预测找矿模型及其综合预测变量的计算结果,在

表 2 西藏冈底斯成矿带热液脉型铅锌多金属矿床综合预测变量表

Table 2 Geological variables for predication of ore deposits in the Gangdise hydrothermal lead and zinc polymetallic ore belt, Tibet

序号	预测变量	取值范围	变量权重	地质解释
1	地质复杂程度	熵值 > 70	0.129 451	代表地质构造岩浆作用的活动强度, 强度高有利于成矿
2	发育 E( E1、E2、E3 )中酸性岩体(脉)	存在	0.209 931	提供成矿物质、流体来源并作为成矿岩体
3	含矿地层有中生代、晚古生代地层	存在	0.163 646	有利成矿围岩或赋矿地层
4	已知热液脉型金矿、铅矿、铅锌(铜)多金属矿、银矿床(点)	存在	0.081 087	代表直接的矿化信息
5	已知其他矿种热液脉型矿床(点)分布	存在	0.059 467	代表其他与热液脉型矿床有关的矿化信息
6	已知热液脉型多金属矿床规模	大、中、小型	0.142 457	代表直接的矿化信息和矿化规模
7	有矽卡岩型铜铅锌银矿床分布	存在	0.071 166	与热液脉型矿床密切共生, 提供有用的矿化信息
8	有其他类型金、铜、铅、锌、银矿床点	存在	0.218 069	代表其他与热液脉型矿床有关的矿化信息
9	Cd 化探异常	$Cd > 300 \times 10^{-6}$	0.247 102	与中温热液阶段伴生的元素异常
10	Cu 化探异常	$Cu > 30 \times 10^{-6}$	0.206 474	热液脉型铅锌多金属矿床常见矿化组合
11	Pb 化探异常	$Pb > 35 \times 10^{-6}$	0.292 454	
12	Zn 化探异常	$Zn > 93 \times 10^{-6}$	0.269 133	
13	Sb 化探异常	$Sb > 2.0 \times 10^{-6}$	0.077 156	
14	Ag 化探异常	$Ag > 100 \times 10^{-9}$	0.265 878	热液脉型矿床外围和顶部伴生元素异常, 晚阶段热液活动
15	Au 化探异常	$Au > 2.0 \times 10^{-9}$	0.269 76	
16	As 化探异常	$As > 30 \times 10^{-6}$	0.185 626	
17	Mo 化探异常	$Mo > 2.0 \times 10^{-6}$	0.156 656	
18	Cd 化探高值异常	$Cd > 1 200 \times 10^{-6}$	0.114 053	与中温热液阶段伴生的元素异常
19	Cu 化探高值异常	$Cu > 60 \times 10^{-6}$	0.070 665	热液脉型铅锌银多金属矿床常见的矿化及其组合, 中低温阶段热液活动常见元素, 重要的成矿指示元素及其组合
20	Pb 化探高值异常	$Pb > 70 \times 10^{-6}$	0.174 626	
21	Bi 化探异常	$Bi > 0.8 \times 10^{-6}$	0.225 165	
22	Zn 化探高值异常	$Zn > 180 \times 10^{-6}$	0.149 398	
23	Ag 化探高值异常	$Ag > 400 \times 10^{-9}$	0.143 327	
24	Au 化探高值异常	$Au > 8 \times 10^{-9}$	0.030 398	
25	Pb ? Zn 组化探异常	$Pb > 35 \times 10^{-6} + Zn > 93 \times 10^{-6}$	0.284 320	
26	Pb-Zn-Ag-Cd 组化探异常	$Pb > 35 \times 10^{-6} + Zn > 93 \times 10^{-6} + Ag > 100 \times 10^{-6} + Cd > 300 \times 10^{-6}$	0.259 690	
27	Cu-Pb-Zn-Ag 组化探异常	$Cu > 30 \times 10^{-6} + Pb > 35 \times 10^{-6} + Zn > 93 \times 10^{-6} + Ag > 100 \times 10^{-9}$	0.221 986	
28	处于磁异常变化中等, 磁场变化率中等	0.27~0.57	0.118 71	
29	处于重力异常梯度带位置, 变化率中等	0.15~0.25	0.068 364	与中酸性岩浆活动中心有关

中国地质科学院矿产资源研究所开发的 MRAS 资源评价系统的基础上, 运用特征分析统计模型, 对冈底斯成矿带及周边的矽卡岩型和热液脉型铅锌矿床进行了定位预测, 并根据预测结果与实际地质条件进行了对比分析, 调整了部分预测变量或找矿模型, 对预测结果进行了优化, 最终确定了铅锌矿的成矿远景区, 结果如图 3 所示。

由于矽卡岩型和热液脉型铅锌矿床是预测区内最主要的铅锌矿床类型, 其成矿地质条件有一定的

相似性, 两种类型的矿床往往相伴生(或同时伴生铅锌组分), 据此所确定的找矿模型和综合预测变量也较为类似, 从而所圈定的成矿远景区往往会有重叠。因此, 我们对两种类型铅锌矿床的成矿远景区进行了合并处理, 依据矽卡岩型和热液脉型铅锌矿床成矿有利度 > 0.6 等值线的合并结果, 共确定了铅锌矿成矿远景区 57 处, 其中, 10 处位于班戈-腾冲构造岩浆岩带, 12 处位于念青唐古拉地区, 27 处位于冈底斯带, 8 处位于喜马拉雅带(图 3)。从定位结果来看,



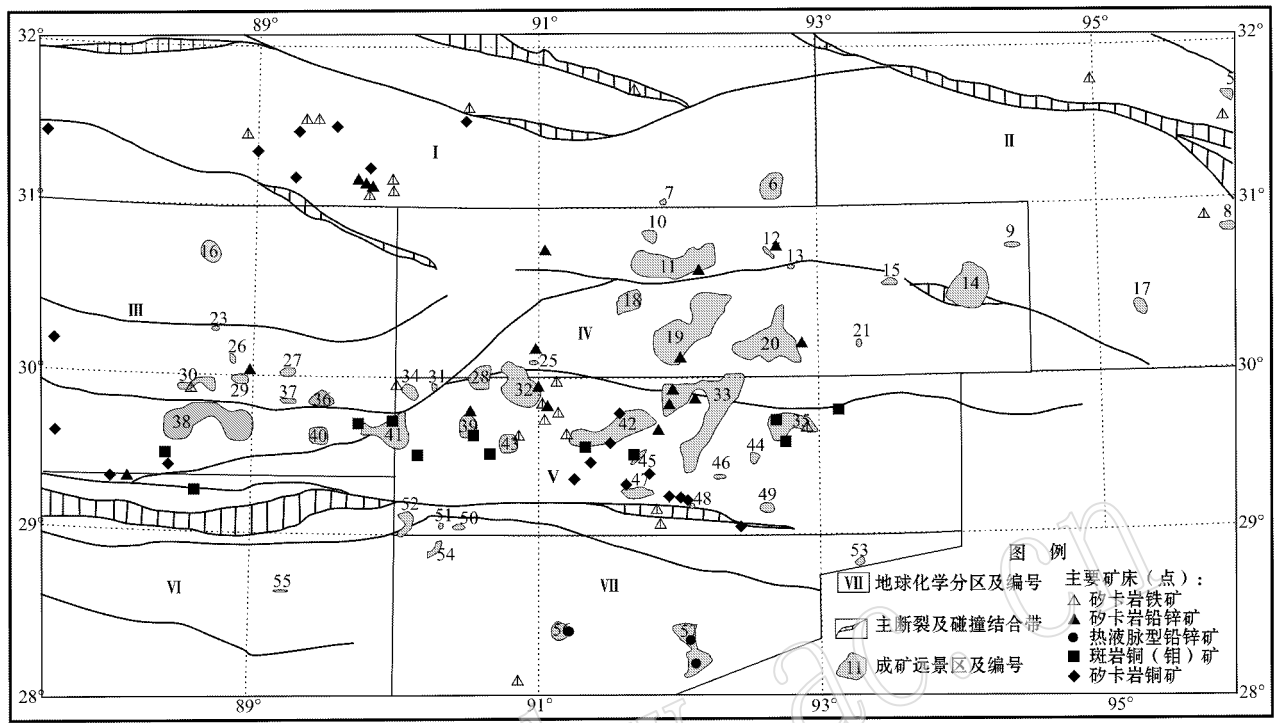


图 3 西藏冈底斯成矿带及周边铅锌矿床成矿远景区分布图

Fig. 3 Predicated target areas for ore deposits in the Gangdise hydrothermal lead and zinc polymetallic ore belt and surrounding areas , Tibet

(地球化学分区名称参见表 3,成矿远景区名称和预测资源量参见表 4)

成矿远景区与本区已知矽卡岩型和热液脉型铅锌矿床(点)位置吻合较好,如编号为 11、19、29、33、39、56、57 远景区,部分远景区代表了与斑岩型(铜)矿床共生的矽卡岩型铅锌矿床,或代表了已知矽卡岩型铁、铜矿床所伴生的铅锌组分,如编号为 35、41、42、43 远景区。总体上,定位预测结果与实际地质情况及已知矿床(点)分布吻合较好。

## 5 铅锌矿床资源潜力评价方法

### 5.1 冈底斯成矿带地球化学分区及地球化学异常下限的确定

由于预测区范围近 20 万 km<sup>2</sup>,面积很大,除冈底斯成矿带外,还包括念青唐古拉带及喜马拉雅带等几个重要的地质构造单元,而且地球化学测量比例尺也不尽一致,加之元素地球化学分布的不均匀性,因此,需要划分地球化学分区,分别确定地球化学异常下限。根据预测区内各个地质构造单元的特点、地球化学特征及水系沉积物测量比例尺的不同,可将其分为班戈-申扎( I )、比如-工青( II )、日喀则

-谢通门( III )、当雄-嘉黎( IV )、拉萨-墨竹工卡( V )、拉轨岗日-康马( VI )、措美-隆子( VII )共 7 个地球化学分区(图 4)。

为了比较准确地反映预测区内各构造单元的地球化学背景值,本文对冈底斯成矿带及邻区的主要成矿元素(Cu、Pb、Zn、Ag)的地球化学异常下限值均进行了计算。计算方法是:将各地球化学分区全部化探数据进行统计计算,在迭代剔除 3 倍方差以外的离群数据后,再进行统计分析,得到各分区的均值和方差,以均值加 2 倍方差作为各地球化学分区主要成矿元素的地球化学异常下限,其结果见表 3。

需要说明的是,由于部分采样点出现异常高值,对预测结果会有较大的影响,我们对异常高值进行了处理。处理的方法是利用全区成矿元素的平均含量加上 8 倍标准差作为异常高值的下限。经计算得出 Pb、Zn 的异常高值下限分别为  $400 \times 10^{-6}$  和  $480 \times 10^{-6}$ 。

### 5.2 资源量估计方法

目前,进行资源潜力预测的地球化学方法主要为地球化学块体法(谢学锦等,2002;刘大文,2002)。

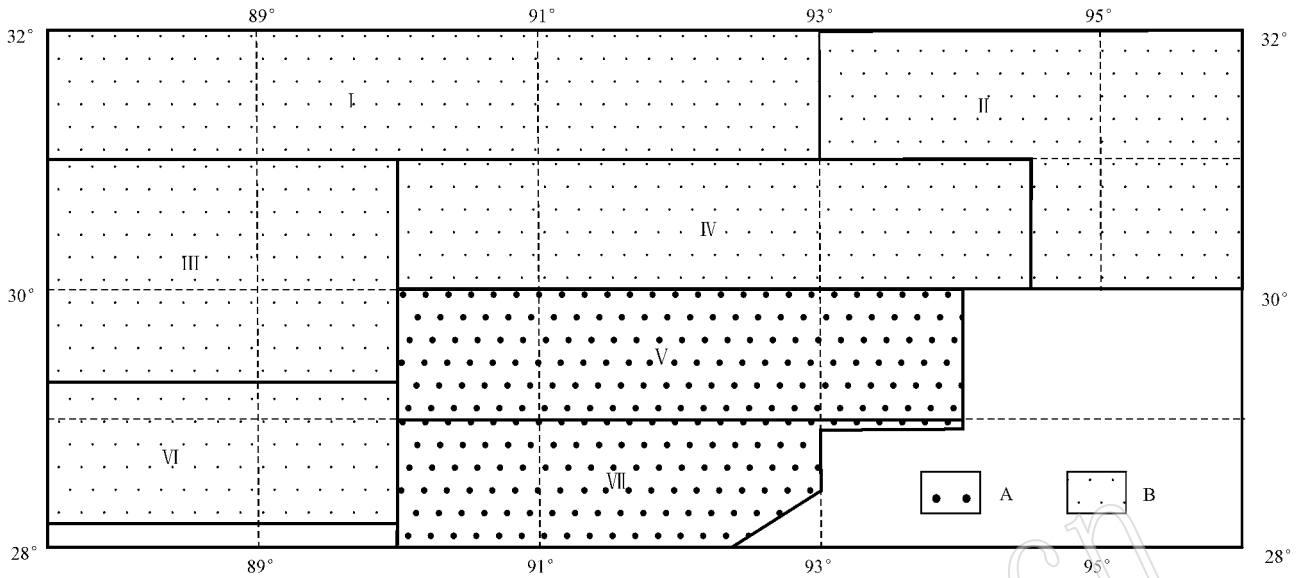


图 4 西藏冈底斯成矿带及邻区地球化学分区示意图

Fig. 4 Geochemical subareas in the Gangdise hydrothermal lead and zinc polymetallic ore belt and surrounding areas, Tibet  
A—1:20 万水系沉积测量范围 B—1:50 万水系沉积测量范围

表 3 西藏冈底斯成矿带及邻区各地球化学分区名称及主要成矿元素背景值和异常下限值

Table 3 Geochemical subareas and background values and thresholds for lead and other elements in each subarea of the Gangdise hydrothermal lead and zinc polymetallic ore belt and surrounding areas, Tibet

地球化学分区	I	II	III	IV	V	VI	VII
各分区名称	班戈-申扎	比如-工青	日喀则-谢通门	当雄-嘉黎	拉萨-墨竹工卡	拉轨岗日-康马	措美-隆子
构造位置	班戈-腾冲西段	班戈-腾冲中北段	冈底斯带西段	念青唐古拉带	冈底斯中段	喜马拉雅带	喜马拉雅带
数据比例尺	1:50 万	1:50 万	1:50 万	1:50 万	1:20 万	1:50 万	1:20 万
Cu	平均值	4.8	20.5	12.9	13.6	22.6	28.4
	方差	11.8	7.0	6.3	6.5	9.7	9.4
	异常下限	25	35	32	28	40	48
Pb	平均值	17.0	28.0	26.9	29.7	23.9	27.6
	方差	6.2	7.5	10.7	10.0	6.5	7.9
	异常下限	30	45	50	50	40	45
Zn	平均值	43.0	80.5	63.5	68.1	69.5	87.3
	方差	14.7	24.6	18.7	26.6	18.2	20.6
	异常下限	75	130	100	125	110	130
Ag	平均值	60	64	81	75	71	79
	方差	16	22	34	31	28	29
	异常下限	92	110	150	140	130	140

该方法是依据低密度地球化学数据来评价大规模地质块体(小比例尺)总体资源潜力。王学求(2003)提出“成矿可利用金属”的概念,通过提取那部分易被流体溶解和携带的活动态金属量,从而提高了预测结果的可靠性。

鉴于本区具有较完整的区域地球化学资料,采用面金属量法(索洛夫夫,1957)对预测区内各成矿远景区的铅锌资源量进行了预测评价。该方法的原

理是利用次生晕和分散流资料对矿体进行定量评价,依据晕的扩散模式,在使用分析结果并结合地质资料圈定次生分散晕的条件下,研究某一水平截面(或平行于斜坡的截面)上所含成矿元素的金属量与同一水平上矿体中的金属量之间的对应关系,并籍此进行资源量估算。其计算公式为:

$$Q_H = \alpha \times \frac{p}{40 \times k} \times H \quad (\text{公式 2})$$

其中： $P = \Delta S \times (\sum_{x=1}^n Cx - nC\varphi)$  (公式 3)

式中， $Q_H$  为分散流取样介质计算得到的预测金属资源量(单位 t)； $\alpha$ (小于 1 的常数)为呈非工业品位金属量可能份额的校正系数或表外矿在总量中所占的比例系数，本次计算按照  $\alpha = 0.5$  计算； $k$  为次生富集系数； $\Delta S$  为单个成矿远景区的面积， $Cx$  为采样点的实际成矿元素含量； $C\varphi$  为区域性地球化学背景值(异常下限值)； $H$  为预测深度(单位：m)； $P$  为面金属量(单位  $m^2 \cdot \%$ )； $1/40$  为在岩石密度以  $2.5 t/m^3$  计的条件下得到的换算常数。公式及其应用参见文

献(丁建华等 2007)。

### 5.3 相关参数的确定

利用面金属量法进行资源量估算时，需要确定公式 2 和公式 3 中表外矿在总量中的比例系数  $\alpha$  和次生富集系数  $k$  的值。按照一般规律， $\alpha$  取值为 0.5。

次生富集系数  $k$  为水系沉积物或土壤中成矿元素含量与岩石中含量的比值，它是资源量预测的重要参数。 $k$  值的大小表明成矿元素从岩石中迁移出来并演变成为土壤或水系沉积物的过程中富集( $k > 1$ )或贫化( $k < 1$ )的程度，其大小受气候、地形地貌、

表 4 西藏冈底斯成矿带成矿远景区铅锌资源量预测结果  
Table 4 Estimated lead and zinc reserves for Gangdise metallogenic belt, Tibet

远景区 编号	地球化 学分区	远景区名称	成矿有 利度峰值	地球化学 平均值 /10 <sup>-6</sup>		地球化学 异常下限 /10 <sup>-6</sup>		远景区 面积/km <sup>2</sup>	面金属量/(m <sup>2</sup> ·%)		预测资源量 /10 <sup>4</sup> t		已控制 资源量 /10 <sup>4</sup> t
				Pb	Zn	Pb	Zn		Pb	Zn	Pb	Zn	Pb+Zn
				6	I	洛麦多金属矿南	0.749		58.11	137.57	40	100	202.64
17	II	当才马北	0.684	74.02	100.34	45	130	59.40	172 367.26		143.64		
16	III	甲岗-格布铜钨矿	0.752	74	139.66	50	130	144.16	345 993.25	139 262.28	288.33	116.05	
23	III	下你弄巴多金属矿	0.622	67.97	251.97	50	130	7.40	13 301.25	90 251.09	11.08	75.21	
26	III	则学铅锌矿北	0.641	78.53	123.72	50	110	11.50	32 807.57	15 783.29	27.34	13.15	
29	III	则学铅锌矿	0.674	117.0	181.43	50	100	303.46	2 032 955.4	2 471 027.2	1 694.13	2 059.19	240.0
30	III	恰功铅锌矿东	0.655	65.919	130.69	50	100	232.63	370 329.55	713 929.50	308.61	594.94	
37	III	唐巴铜矿	0.630	74.527	112.56	50	100	48.69	119 433.84	61 146.12	99.53	50.96	
38	III	麦热铅锌矿-吉如铜矿	0.850	50.786	104.78	50	100	954.94	75 058.01	456 650.62	62.55	380.54	
40	III	觉悟铜矿南	0.803	69.338	134.905	50	100	150.85	291 707.87	526 531.36	243.09	438.78	
10	IV	马里勇金矿北	0.686	71.377	126.03	50	130	61.46	131 372.99		109.48		
11	IV	马里勇-尤卡朗	0.816	53.312	134.268	50	130	806.43	267 088.48	344 182.86	222.57	286.82	107.32
14	IV	崩布弄金矿	0.747	75.022	158	50	130	602.36	1 507 223.2	1 673 233.4	1 256.02	1 394.36	
15	IV	崩布弄金矿西	0.710	123.23	101.98	50	130	31.37	229 739.96		191.45		
18	IV	拉屋多金属矿	0.719	63.744	156.133	50	130	190.59	261 951.81	498 078.20	218.29	415.07	235.53
19	IV	蒙哑啊-龙马拉	0.858	61.42	139.114	50	130	1 245.85	1 422 758.9	1 135 466.2	1 185.63	946.22	349.65
20	IV	亚贵拉-沙让-洞中松多	0.849	73.12	220.25	50	130	820.81	1 897 705.1	7 407 780.5	1 581.42	6 173.15	539.32
31	V	苦攻来东北	0.651	143.3	280.3	40	110	19.11	197 374.10	325 390.22	164.48	271.16	
32	V	巴勇-奇龙岗多金属矿	0.870	46.286	111.07	40	110	559.98	352 005.68	59 918.24	293.34	49.93	
33	V	松多雄-下马日-弄入日	0.856	59.173	124.684	40	110	1 360.70	2 608 862.3	1 998 045.9	2 174.05	1 665.04	115.0
39	V	柏岗多金属矿	0.817	28.412	128.324	40	110	158.94		291 234.33		242.70	
41	V	白容-彭岗-总训	0.844	47.313	72.58	40	110	431.92	315 863.01		263.22		
42	V	拉抗俄-驱龙-甲马	0.843	52.866	99.995	40	110	754.62	970 895.32		809.08		69.85
46	V	罗布莎铬矿北	0.648	71.546	145.454	40	110	8.65	27 289.08	30 669.72	22.74	25.56	
49	V	加查	0.750	51.078	112.368	40	110	33.95	37 606.01	8 038.55	31.34	6.70	
48	VI	罗布莎铬矿西南	0.655	182.08	339.8	45	130	8.50	116 560.15	178 394.51	97.13	148.66	
50	VI	舍里金矿	0.749	83.332	156.31	45	130	20.31	77 861.48	53 441.92	64.88	44.53	
53	VI	翁布绒铅锌矿	0.629	307.11	168.37	45	130	14.86	389 464.53	57 013.29	324.55	47.51	
57	VI	则当-吉松	0.732	71.255	120.168	45	130	419.45	1 101 278.1		917.73		
		冈底斯带									6 492.90	5 989.90	
		念青唐古拉带									5 214.30	9 850.04	
		藏南喜马拉雅地区									1 404.30	240.71	
		全部									1 311.151	16 080.65	1 656.67

剥蚀程度、元素地球化学行为等多种因素影响。一般情况下  $k$  值介于 0.5~2.0 之间,容易在氧化带富集或易被有机物吸附的元素  $k$  值一般大于 1,如 U;易于分散的元素  $k$  值小于 1,如  $K_2O$ 、 $Na_2O$ (王世称, 2002)。由于未能收集到全区岩石中成矿元素的平均含量,不能直接确定成矿元素次生富集系数。根据近年来我们采用面金属量法进行资源量估算的经验,矿床类型和矿体形态对预测结果有较大影响,对于斑岩型铜矿等面型矿化,矿体本身形态即为面状、分散流等次生晕形态与之相似, $k$  值取 1~1.5 比较合适。矽卡岩型和热液脉状铅锌矿的矿体形态呈脉状和带状分布,矿体规模相对较小,但风化形成的分散流和土壤等次生晕由于元素受水系等自然因素影响可以扩散到很大范围,异常规模常常被放大很多倍。由于  $k$  取值大小对资源量预测结果影响很大,出于谨慎,避免预测结果过于偏大,本次估算  $k$  取值为 1.5。

## 6 铅锌资源量预测结果及结论

在公式 2、公式 3 中的相关参数确定后,以面金属量法为基础,采用中国地质科学院矿产资源研究所开发的 MRAS 资源评价系统对各成矿远景区内的铅锌资源量进行了综合计算,结果如表 4 所示。在计算过程中,比例系数  $\alpha$  取值为 0.5,次生富集系数  $k$  为 1.5,预测深度  $H$  为 1 000 m,各成矿远景区面积  $\Delta S$  在图 2 中由 MAPGIS 软件直接读出,再根据比例尺换算为实际面积。若某远景区的地球化学平均值低于所在地球化学分区的异常下限,或者远景区范围内没有地球化学数据时,则预测资源量为 0,这样的成矿远景区在表 5 中没有列出。57 处铅锌矿远景区中共有 29 处得出预测资源量。

需要说明的是,利用面金属量法预测资源并不考虑矿床类型,其预测资源量应该包括该地区异常所代表的所有铅锌矿床类型的资源量。本文采用的预测区范围是根据矽卡岩型和热液脉型铅锌矿床的预测结果确定的,这是因为该地区已发现的铅锌矿主要为矽卡岩型(如甲马、明则铅锌矿),其次为热液脉型或者为矽卡岩型+斑岩型复合型(如蒙哑啊-亚贵拉一带的铅锌矿),少量为斑岩铜矿的伴生组分(如驱龙斑岩型铜矿的伴生铅锌矿)。因此,采用矽卡岩型和热液型铅锌矿床来预测全区的铅锌资源潜力是合理的,基本上包含了预测区内的主要铅锌矿

床类型,其预测结果可以代表预测区内铅锌矿的总体资源潜力。

从表 4 中可以看出,29 处成矿远景区潜在铅锌资源量共计  $29\,192.16 \times 10^4$  t,其中,铅  $13\,111.51 \times 10^4$  t,锌  $16\,080.65 \times 10^4$  t。除洛麦南、当才马北外,预测资源量主要分布在冈底斯带、念青唐古拉带和喜马拉雅带,与已知矿产分布情况吻合。其中,冈底斯带(地球化学 III、V 区)预测铅锌资源量合计为  $12\,482.80 \times 10^4$  t,矿床类型以矽卡岩和热液脉型为主,部分为斑岩型矿床伴生矿产。念青唐古拉带(地球化学 IV 区和 I 区)预测铅锌资源量合计为  $15\,064.35 \times 10^4$  t,矿床类型主要为矽卡岩型,其次为热液脉型。喜马拉雅带(VI、VII)预测铅锌资源量合计为  $1\,645.01 \times 10^4$  t,矿床类型以热液脉型为主。

从单个成矿远景区来看,预测资源量比较大的区( $Pb+Zn > 100 \times 10^4$  t)有洛麦、甲岗-格布、则学、恰工铅锌矿等共计 26 处,其中亚贵拉-沙让-洞中松多、帮浦-松多雄-下马日-弄入日、则学铅锌矿、崩布弄金矿、蒙哑啊-龙马拉等 5 处的铅锌资源量在 2 000 万吨以上,是今后寻找大型-特大型铅锌矿床的重点远景区。

对比各成矿远景区预测铅锌资源量与已控制资源量可以发现,区内已控制资源量总计约  $1\,700 \times 10^4$  t,主要集中在预测资源量较大的几个远景区内,如龙马拉-蒙哑啊、亚贵拉-沙让、则学等,即已控制资源量较大的远景区往往预测资源量也较大,两者的变化趋势是一致的,这说明资源量预测成果具有一定可信度。然而统计发现,已控制资源量仅有预测资源量的 6% 左右,二者相差很大,这同时也暗示了冈底斯成矿带及其周边仍具有极大的铅锌矿找矿潜力。推测预测资源量与已控制资源量相差如此之大的原因可能还有以下几点:

(1) 运用面金属量法进行资源量估计是计算远景区内存在的超过背景值以上的过量金属或异常金属的总量,从而揭示金属元素潜在的成矿能力。确定成矿远景区时,尽管已经通过预测变量的权重对成矿有利的地质要素进行了全面统计,但仍不是实际成矿地质条件和成矿潜力的全面表达,矿床的形成与否还与地表剥蚀、后期保存等多种因素有关。

(2) 本次进行资源量估计时,各成矿远景区均按照 1 000 m 深度进行计算,未考虑各个远景区矿床类型、矿体形态、矿化深度、剥蚀程度等各方面的差异。

(3) 部分成矿远景区矿床类型以斑岩型矿床和其他类型(如浅成低温热液矿床)为主,成矿以铜或金锑为主,铅锌只作为伴生元素存在,不是主要成矿元素,运用面金属量法进行资源量估计时对此未能加以区分。

(4) 目前,预测区内铅锌矿的实际勘查程度非常低,铅锌矿的勘查工作是1999年开展地质大调查后才展开的,在此之前,仅有甲马铅锌矿床做过详查工作,大多数远景区勘查程度仅为预查或普查,达到勘查阶段的几乎没有,而且探矿深度也远没有达到1000 m深度范围,客观上造成预测区内已控制资源量远远小于预测资源量,对于预测成果的可靠性有待于今后长期的勘查实践检验。

需要指出的是,本次资源量预测时采用的地球化学数据为分散流测量数据,属次生晕,而非原生晕。一般情况下,水系沉积物异常的范围远大于原生晕的范围,可能会引起远景区范围非正常扩大,影响资源量预测结果。本次预测过程中注意到了这一问题,在确定远景区范围时主要依据多元信息定位预测成果确定,该成果综合考虑了地质、矿产、物探、化探、遥感等多个地质要素,对成矿远景区做出了较好的限定,成矿远景区仅限于成矿有利度 $>0.6$ 的等值线所圈定的范围,其面积小于分散流异常面积,不会造成预测区范围非正常放大。另一方面,本文选择部分分散流异常数据与成矿有利度 $>0.6$ 范围所含数据分别按照面金属量法进行资源量计算,其结果差异不大,误差在15%以内,有时按照单个分散流异常数据计算的资源量甚至小于按照成矿有利度 $>0.6$ 范围计算结果。这是因为,随着远景区范围的扩大,地球化学异常外带的低含量数据会被带入计算,从而降低远景区的地球化学平均值,造成资源量计算结果相差不大,甚至降低。

## References

Coulon C, Maluski H, Bollinger C, *et al.* 1986. Mesozoic and Cenozoic volcanic rocks from central and southern Tibet:  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  dating, petrological characteristics and geodynamic significance [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 79: 281~302.

Ding Jianhua, Xiao Keyan, Liu Rui, *et al.* 2007. Application of areal productivity to quantitative assessment of regional resources—A case study of East Tianshan Mountains [J]. *Mineral Deposits*, 26(2): 230~236 (in Chinese with English abstract).

Hou Zengqian, Pan Guitang, Wang Anjian, *et al.* 2006b. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: II—Mineralization in late-col-

lisional transformation setting [J]. *Mineral Deposits*, 25(5): 521~543 (in Chinese with English abstract).

Hou Zengqian, Qu Xiaoming, Yang Zhusen, *et al.* 2006c. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: III—Mineralization in post-collisional extension setting [J]. *Mineral Deposits*, 25(6): 629~651 (in Chinese with English abstract).

Hou Zengqian, Yang Zhusen, Xu Wenyi, *et al.* 2006a. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: I—Mineralization in main collisional orogenic setting [J]. *Mineral Deposits*, 25(4): 337~358 (in Chinese with English abstract).

Huang Guicheng, Liu Gouqun, Qiu Ruizhao, *et al.* 2004. Metallogenetic perspective of copper-iron polymetallic mineralization in the western section of Gangdese orogenic belt, Tibet [J]. *Geological Science and Technology Information*, 23(2): 87~93 (in Chinese with English abstract).

Li Guangming, Pan Guitang, Wang Gaoming, *et al.* 2004. Evaluation and prospecting value of mineral resources in Gangdese metallogenetic belt, Tibet [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Nature and Science Edition)*, 31(1): 22~27 (in Chinese with English abstract).

Li Guangming, Wang Gaoming, Gao Dafa, *et al.* 2002. The tectonic frame work and metallogenetic systems in southern Gangdese metallogenetic belt, Tibet [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 22(2): 1~7 (in Chinese with English abstract).

Liu Dawen. 2002. Development and significance of geochemical blocks [J]. *Geochimica*, 31(6): 539~547 (in Chinese with English abstract).

Liu Zhiguo, Chi Shundu and Zhou Shun. 2002. The main steps of applying GIS to ore predicting [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 17(2): 140~144 (in Chinese with English abstract).

Ministry of Land and Resources. 2002. The significant headway of Geology in 2001 [N]. *Journal of China Land and resources*, 2001-01-09 (5) (in Chinese).

Pan Guitang, Chen Zhiliang, Li Xingzhen, *et al.* 1997. Geological-tectonic Evolution in the Eastern Tethys [M]. Beijing: Geological Publishing House, 98~101 (in Chinese).

Qu Xiaoming, Hou Zengqian and Huang Wei. 2001. Is Gangdese porphyry copper belt the second "Yulong" copper belt? [J]. *Mineral Deposits*, 20(4): 335~366 (in Chinese with English abstract).

She Hongquan, Feng Chengyou, Zhang Dequan, *et al.* 2005. Characteristics and Metallogenetic Perspective of the Skarn Copper-Lead-Zinc Polymetallic Deposits in Central Eastern Gangdes [J]. *Mineral Deposits*, 24(5): 508~520 (in Chinese with English abstract).

Wang Quanhai, Wang Baosheng, Li Jingao, *et al.* 2002. Basic features and ore prospect evaluation of the Gangdese island arc, Tibet and its copper polymetallic ore belt [J]. *Geological Bulletin of China*, 21(1): 35~40 (in Chinese with English abstract).

Wang Shicheng. 2002. The Theory and Method for Integrated Information Mineral Resources Prediction [M]. Beijing: Science Press (in Chinese).

Wang Xueqiu. 2003. A geochemical quantitative assessment model and approach for large ore deposits [J]. *Earth Science Frontiers*, 10(1): 257~261 (in Chinese with English abstract).

Xiao Keyan. 2000. Mineral Resources GIS Evaluation System [M]. Beijing: Geology Publishing House (in Chinese).

Xie Xuejin, Liu Dawen and Xiang Yunchuan. 2002. Geochemical

- blocks—development of concept and methodology[J]. *Geology in China*, 29(3): 225~233 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Pengda, Hu Wangliang and Li Zijin. 1994. Statistics Prediction on Ore Deposits[M]. Beijing: Geology Publishing House, 198~205 (in Chinese).
- Zuo Renguang, Xia Qinglin, Tan Ning, et al. 2007. Synthetic information prediction of Gangdese porphyry copper deposits, Tibet[J]. *Journal of Central South University (Nature and Science Edition)*, 38(2): 368~373 (in Chinese with English abstract).
- Соловов А.И. 1957. Theory and Practice Foundation of Metallometric Survey[M]. Beijing: China Industry Press, 46~121 (in Chinese).

## 附中文参考文献

- 丁建华, 肖克炎, 刘锐, 薛顺荣, 程勳. 2007. 区域资源定量评价中金属量法的应用——以东天山为例[J]. *矿床地质*, 26(2): 230~236.
- 国土资源部. 2002. 2001年地质工作重要进展[N]. *中国国土资源报*, 2002-01-09(5).
- 侯增谦, 潘桂棠, 王安建, 等. 2006b. 青藏高原碰撞造山带: II—晚碰撞转换成矿作用[J]. *矿床地质*, 25(5): 521~543.
- 侯增谦, 曲晓明, 杨竹森, 等. 2006c. 青藏高原碰撞造山带: III—后碰撞伸展成矿作用[J]. *矿床地质*, 25(6): 629~651.
- 侯增谦, 杨竹森, 徐文艺, 等. 2006a. 青藏高原碰撞造山带: I—主碰撞造山成矿作用[J]. *矿床地质*, 25(4): 337~358.
- 黄圭成, 刘姝群, 邱瑞照, 等. 2004. 西藏冈底斯造山带西段铁铜多金属(金、银)成矿远景[J]. *地质科技情报*, 23(2): 87~93.
- 李光明, 潘桂棠, 王高明, 等. 2004. 西藏冈底斯成矿带矿产资源远景评

- 价与展望[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 31(1): 22~27.
- 李光明, 王高明, 高大发, 等. 2002. 西藏冈底斯南缘构造格架与成矿系统[J]. *沉积与特提斯地质*, 22(2): 1~7.
- 刘大文. 2002. 地球化学块体的概念及其研究意义[J]. *地球化学*, 31(6): 539~547.
- 刘治国, 池顺都, 周顺. 2002. 成矿预测中应用GIS的主要步骤[J]. *地质找矿论丛*, 17(2): 140~144.
- 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等. 1997. 东特提斯地质构造形成演化[M]. 北京: 地质出版社, 98~101.
- 曲晓明, 侯增谦, 黄卫. 2001. 冈底斯斑岩铜矿(化)带: 西藏第二条“玉龙”铜矿带[J]. *矿床地质*, 20(4): 355~366.
- 余宏全, 丰成友, 张德全, 等. 2005. 冈底斯中东段矽卡岩铜铅锌多金属矿床特征及成矿远景分析[J]. *矿床地质*, 24(5): 508~520.
- 索洛夫夫 А.И. 1957. 金属量测量的理论和实践基础[M]. 北京: 中国工业出版社, 46~121.
- 王全海, 王保生, 李金高, 等. 2002. 西藏冈底斯岛弧及其铜多金属矿带的基本特征与远景评估[J]. *地质通报*, 21(1): 35~40.
- 王世称. 2002. 综合信息矿产预测理论与方法[M]. 北京: 科学出版社.
- 王学求. 2003. 大型矿床地球化学定量评价模型和方法[J]. *地学前缘*, 10(1): 257~261.
- 肖克炎, 等. 2000. 矿产资源GIS评价系统[M]. 北京: 地质出版社.
- 谢学锦, 刘大文, 向运川. 2002. 地球化学块体——概念和方法学的发展[J]. *中国地质*, 29(3): 225~233.
- 赵鹏大, 胡旺亮, 李紫金. 1994. 矿床统计预测[M]. 北京: 地质出版社, 198~205.
- 左仁广, 夏庆霖, 谭宁, 等. 2007. 西藏冈底斯斑岩铜矿综合信息预测[J]. *中南大学学报(自然科学版)*, 38(2): 368~373.

## 2010年第一届“《岩石矿物学杂志》优秀论文奖”评选结果揭晓

为发挥学术期刊在科技创新、培育学术新人过程中的重要作用, 激发青年地质学者为我刊投稿的积极性, 促进更多的优秀地质新人脱颖而出, 同时提升我刊的学术影响力, 在第五届编辑委员会的倡议下, 我刊决定自2010年起开始评选“《岩石矿物学杂志》优秀论文奖”。在广泛征集编委们建议的基础上, 编辑部经与主编商量, 最后确定“《岩石矿物学杂志》优秀论文奖”每两年评选一次, 每次评选2篇文章, 入选者须符合下列条件: 必须是前两年度正式发表在《岩石矿物学杂志》正刊中的论文, 并以原创性、研究性论文为主, 获奖者原则上为40周岁以下(含40周岁)的青年作者。

我刊首次优秀论文评奖活动于2010年5月正式启动, 由常务副主编负责筛选出符合上述评选条件的10篇论文, 再由编辑部将备选文章及相关要求发给所有编委进行投票, 并允许专家可以另外提名文章。至7月底编辑部陆续收到42位编委的反馈结果, 据此最终确定两篇获奖论文为:

宋玉财, 胡文瑄. 2009. 昌乐玄武岩内刚玉巨晶(蓝宝石)中发现富碳酸盐和硫酸盐熔融包裹体及其意义. *岩石矿物学杂志*, 28(4): 349~363.

丁炳华, 史仁灯, 支霞臣, 郝磊, 陈雷. 2008. 江南造山带存在新元古代(~850 Ma)俯冲作用——来自皖南SSZ型蛇绿岩锆石SHRIMP U-Pb年龄证据. *岩石矿物学杂志*, 27(5): 375~388.

颁奖仪式已于2010年10月30日上午九点在北京大学举行, 由我刊荣誉主编沈其韩院士和常务副主编耿元生研究员在全国岩石学与地球动力学研讨会的会前讲座上, 为获奖作者宋玉财和丁炳华颁发了荣誉证书和奖金。

由于我刊是首次开展评奖活动, 有考虑不周之处希望大家谅解。在此, 编辑部代表侯增谦主编及常务副主编, 感谢各位编委对此次活动的支持和配合, 也希望广大读者和作者能持续关注我刊, 积极踊跃投稿, 让我刊更好地发挥学术交流平台的作用!