

广西大厂 96 号矿体的成矿元素地球化学特征与成因

范森葵^{1,2}, 王登红³, 梁 婷⁴, 吴德成²,
韦可利⁵, 周鸿军⁶, 黄惠明², 屈文俊⁷

1. 中南大学 地学与环境工程学院, 长沙 410083

2. 广西 215 地质队, 广西 柳州 545000

3. 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

4. 长安大学 地球科学与国土资源学院, 西安 710054

5. 广西有色金属集团公司, 南宁 530000

6. 广西华锡集团股份有限公司, 广西 柳州 545000

7. 国家地质实验测试中心 无机分析研究室, 北京 100037

摘要: 大厂 96 号矿体是近年来在我国危机矿山接替资源勘查项目中发现的最大单体锌多金属矿体, 产于巴力—龙头山矿床与拉么矿床之间, 埋深 600~800 m, 在巴力区下部以锡多金属为主, 往北东至黑水沟—大树脚区过渡为锌铜矿体, 含锡甚低, 具有明显的特殊性。锌和锡含量自西向东呈降低趋势, 相反铜有富集趋势, 锑与铅仅在浅部富集, 往深部愈近岩体, 银富集程度愈趋于降低。主要成矿元素随着深度的加大, 其含量呈现波状起伏变化而不是截然变化。96 号矿体北段锌铜矿体有较为明显的充填交代特征, 不管是锡多金属矿段还是锌铜矿段都产于同一层位的层间破碎带中, 其成因与长坡—铜坑、拉么矿床一样, 属燕山晚期岩浆热液交代成矿作用的产物。

关键词: 广西大厂矿田; 96 号矿体; 成矿元素; 地球化学

中图分类号: P618.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5888(2010)04-0781-10

Geochemical Characteristics of Ore-Forming Elements and Ore Genesis of No. 96 Ore-body in the Dachang Deposit, Guangxi

FAN Sen-kui^{1,2}, WANG Deng-hong³, LIANG Ting⁴, WU De-cheng²,
WEI Ke-li⁵, ZHOU Hong-jun⁶, HUANG Hui-ming², QU Wen-jun⁷

1. School of Geoscience and Environmental Engineering, Central South University, Changsha 410083, China

2. No. 215 Geological Team, Liuzhou, Guangxi 545000, China

3. Institute of Mineral Resources/ Key Laboratory of Mineralization and Resource Evaluation, Ministry of Land and Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

4. School of Earth Science and Land Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China

5. Guangxi Nonferrous Metals Group Co., Ltd., Nanning 530000, China

6. Guangxi Huaxi Group Co., Ltd., Liuzhou, Guangxi 545000, China

7. Inorganic Analysis Laboratory, National Research Center for Geoanalysis, Beijing 100037, China

Abstract: No. 96 ore-body in Dachang ore field is the biggest zinc-polymetallic ore-body discovered during the exploration projects in exhausted reserves mines in China. It's located between the Bali-

收稿日期: 2009-09-09

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2006BAB01B03); 国家危机矿山专项项目 (200545022)

作者简介: 范森葵 (1966—), 男, 广西灌阳人, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事矿产勘查方面研究

通讯联系人: 王登红 (1967—), 男, 浙江嘉兴人, 研究员, 博士生导师, 主要从事矿产资源研究, E-mail: wangdenghong@sina.com。

Longtoushan deposit and Lamo deposit , with the depth of 600-800 m. The ore-body is rich in tin and polymetallic elements in the Bali area , toward the northeast , becomes the copper-zinc deposit , almost without tin , in the Heishuigou area. From west to east , contents of both zinc and tin decrease , while , that of copper increases. Antimony and lead are enriched only in the near surface , downward near to the granite , the grade of silver decreases. The spatial distribution of main elements are continuously fluctuated. The northern part of No. 96 ore-bdoy is characterized by metasomatism-filling zinc-copper mineralization. Both the tin-polymetallic and the zinc-copper mineralization are distributed in the fault intra layers within the same formation. It can be concluded that the No. 96 ore-body , similar to the Changpo- Tongkeng and Lamo deposit , is formed by magmatic hydrothermal metasomatism during the Late Yanshanian stage.

Key words : Dachang ore field in Guangxi ;No. 96 orebody ;ore-forming elements ;geochemistry

0 前言

广西大厂锡多金属矿田是我国最主要的锡多金属产区之一,锡、铅、锌、锑等有色金属均达超大型规模,稀贵金属也非常重要。自 2005 年以来,依托国家危机矿山专项项目——“广西南丹县铜坑锡矿接替资源勘查”,广西 215 地质队采用坑钻相结合的手段,在黑水沟—大树脚、铜坑深部、长坡深部、羊角尖—茶山等地开展普查找矿工作,取得了重大突破,2006 年在黑水沟—大树脚区施工 8 个钻孔均揭露到锌铜工业矿体,发现了 96 号矿体厚大矿块,取得近 20 多年的重大发现。经估算,2005—2006 年度,大厂矿区探获 94 号、95 号、96 号矿体矿石资源量(333)共计 3 483 万 t,金属量锌 173.08 万 t,铜 7.55 万 t,银 849 t。其中 96 号矿体锌金属量超过 100 万 t,相当于 2 个大型矿床,而且还有很大找矿潜力。

前人对于大厂矿田及其中的长坡—铜坑、巴力—龙头山等矿床均开展过深入研究^[1-10]。但到现在为止,对于 96 号矿体的研究成果还很少。本文通过对危机矿山专项研究项目 2005—2007 年期间所取得的钻孔岩心样品进行系统分析,探讨该巨型矿体的成因,为下一步的深部地质找矿工作提供参考。

1 地质特征

桂西北丹池成矿带位于特提斯喜马拉雅构造域与滨太平洋构造域的结合部附近^[6],大厂矿田是该带 3 个构造隆起中最重要且位于中心的一个矿化集中区,带内矿体产于泥盆系,丹池褶皱带是其主要控矿构造。大厂矿田锌铜矿床主要分布于矿田中心龙箱盖岩浆隆起核部周围,锡多金属矿床多在丹池背斜及次级大厂背斜(长坡—巴力区)的东翼。依据矿

床与褶断带、岩体空间分布关系,矿田内矿化分为 3 个矿带:西带有长坡—铜坑、巴力—龙头山等锡多金属和锌铜矿床,中带有拉么锌铜和茶山锑钨矿床,东带有大福楼和亢马锡多金属矿床(图 1)。94 号、95

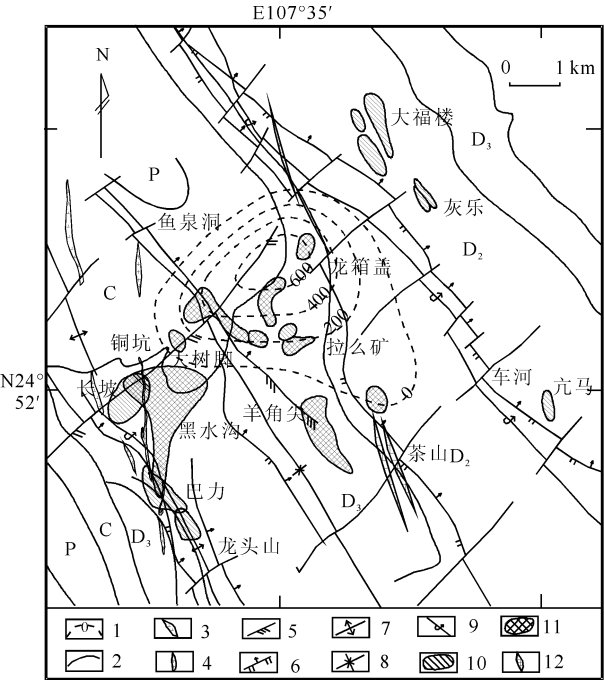


图 1 大厂矿田地质与构造位置图

Fig. 1 Dachang ore field geological and tectonic location map

P. 二叠系;C. 石炭系;D₃. 上泥盆统;D₂. 中泥盆统;1. 隐伏花岗岩顶板等高线及高程值(m);2. 地层界线;3. 闪长玢岩脉;4. 花岗斑岩脉;5. 压扭性断裂;6. 张性、张扭性断裂;7. 背斜轴;8. 向斜轴;9. 倒转背斜;10. 锡多金属矿体;11. 锌铜矿体;12. 锑钨矿体

号、96 号矿体在巴力区下部以锡多金属为主,往北东至长坡—铜坑区下部和北东部黑水沟—大树脚区

过渡为锌铜矿体,含锡甚低,在东北部与拉么矽卡岩型锌铜矿床相邻。3个矿体自上而下平行分布,垂直相距70~130 m,埋深600~800 m。

虽然以往的成矿预测工作也判断在距离地表700 m以下的深部有层状隐伏矿体存在,但局限于地质认识和探测技术,设计的钻孔均未穿过96号似层状矿体(图2中1501和1502钻孔)。截止2007年底,接替资源勘查项目累计完成坑探1300 m,地表钻探11000 m,完成坑内钻探3000 m。地表钻揭露的96号矿体平均厚度为8.74 m,平均质量分数:锌5.92%,铜0.22%,银 25.64×10^{-6} 。在铜坑深部施工的3个钻孔,有2个钻孔见矿。其中ZK26-1孔揭露了125号矿体和96号矿体:125号矿体厚度为1 m,质量分数锡为0.05%、锌为0.72%、铜为0.105%、银为 7.66×10^{-6} ;96号矿体北段厚4.25 m,质量分数锡为0.09%、锌为5.59%、银为 3.49×10^{-6} 。ZK34-2孔揭露了125号矿体和96号矿体:125号矿体厚5.40 m,质量分数锡为0.05%、锌为2.35%、银为 2.64×10^{-6} ;96号矿体

厚8.20 m,质量分数锡为0.04%、锌为6.54%、铜为0.02%、银为 3.16×10^{-6} 。

96号矿体属于全隐伏矿体,分布在大厂倒转背斜轴部及东翼,赋存于中泥盆统罗富组中。受北西向褶断带和北东向挠曲、断裂构造联合控制,在层间破碎带、层间剥离带中呈似层状产出。矿体走向58°,倾向北西,倾角28°,从南西北向东北方向侧伏。金属矿物有毒砂、磁黄铁矿、闪锌矿、黄铁矿、锡石、黄铜矿、铜蓝、黝锡矿、脆硫锑铅矿、白铁矿、方铅矿、硫锑铅矿、菱铁矿等。脉石矿物有透辉石、透闪石、石榴子石、方解石、石英、阳起石、斧石、绿泥石等。

96号矿体具有明显的特殊性:矿体南段与长坡—铜坑锡多金属矿床中的层状、似层状91号和92号矿体矿物组分基本相同,平均质量分数锡0.49%、锌2.24%、铅0.74%、铜0.06%;矿体北段组分与拉么锌铜矿床相似,集锡多金属和锌铜两种矿床类型于一身,自南至北物质组分是渐变的。矿体北段比拉么矿床远离岩体,赋矿层位低于后者,且岩性主要为薄层至中厚层泥岩、页岩与泥质灰岩

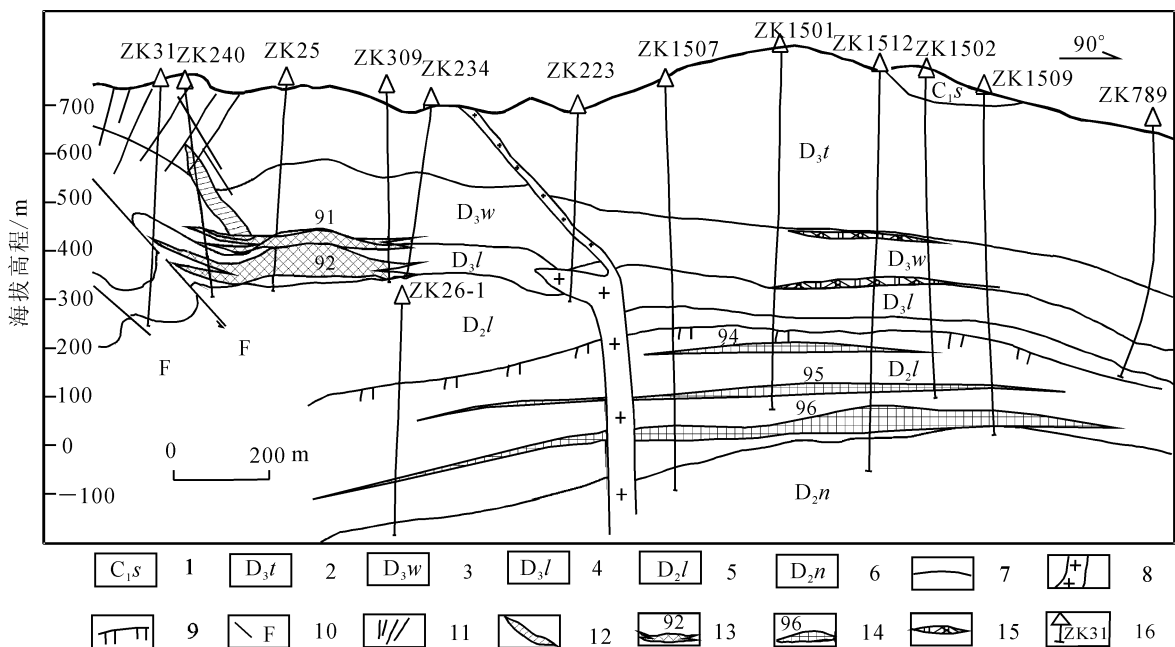


图2 大厂矿区 A-A' 剖面地质概图

Fig. 2 Geological general drawing of A-A' section in Dachang mining area

1. 下石炭统寺门组砂岩、页岩;
2. 上泥盆统同车江组泥灰岩、页岩;
3. 上泥盆统五指山组扁豆状灰岩;
4. 上泥盆统五指山组条带状灰岩;
5. 上泥盆统柳江组硅质岩;
6. 中泥盆统罗富组泥页岩、灰岩、泥灰岩;
7. 地层界线;
8. 花岗岩岩脉;
9. 矽卡岩化带范围;
10. 断层;
11. 裂隙脉型锡矿体;
12. 细脉带型锡矿体;
13. 层状、似层状锡多金属矿体及编号;
14. 层状、似层状锌铜矿体及编号;
15. 层状、似层状含银铅锌矿体及编号;
16. 钻孔及编号

或泥灰岩互层,相对而言成矿条件不如后者的灰岩和硅质岩有利,但单个矿体资源量近乎整个矿床总量的一半,远超过后者整个矿床的规模。拉么矿床如很多近岩体的同类矿床一样,产于岩体隆起中心周围顶板的凹处^[11];而96号矿体位于近大厂背斜附近,离岩体较远,构造相当简单且控矿构造明显不同。

2 样品特征与测试结果

本文研究的样品主要是广西215地质队提供的96号矿体ZK26-1、ZK1507、ZK1509和ZK1512共4个钻孔的66个化学分析样品及其副样,其中ZK1507钻孔14个,ZK1509钻孔13个,ZK1512钻孔36个,ZK26-1钻孔3个,基本上代表了96号矿体(部分样品属于上下部矿体)的矿化特征。

本文对这批样品利用开放体系四酸溶样技术ICP-MS测试方法进行了多元素的定量分析,获得一批测试结果(表1)。由于96号矿体锡含量普遍低于边界品位,本次未测试锡的含量。通过对广西215地质队委托桂林矿产地质研究院分析的测试结果与国家地质实验测试中心的测试结果对比,表明主元素锌、铅、铜、银在不同实验室测试结果之间的差别不大,不同分析方法的重现性较好,但锑的差别较明显。本文就锡、锌、铅、锑、铜、银6个主成矿元素的测试结果进行研究,在测试结果可靠的前提下进一步讨论成矿元素的富集程度和富集机制问题。

仅就6个主要成矿元素看,锌是最主要的成矿元素。个别样品锌的最高质量分数可达26.76%,所有样品(含重复测试者,下同)平均锌质量分数为4.91%。另外,锡平均质量分数为0.07%,最高0.7%,大于0.4%者只有2个样,一般在0.03%~0.06%。铅质量分数一般也在1%以下,大于1%有4个样,最高达2.61%。锑的质量分数总体上也不高,最高不超过2.4%,一般为0.001%~0.2%。铜质量分数变化比较大,一般为0.01%~0.73%,但总体上超过0.3%者很少。银质量分数变化也较大,为(0~438.72)×10⁻⁶,平均值25.11×10⁻⁶,2/3以上的样品低于20×10⁻⁶。

3 主要成矿元素的分布特征

锡、锌是大厂矿区最主要的成矿元素。上部是含锡的铅锌银矿,往下为锡多金属矿,下部是锌锡矿。现发现94号、95号、96号矿体延伸至锌锡矿之

下,属围绕岩体环带状成矿的内环外带。

据上述分析结果,锡最高质量分数出现在ZK1507钻孔553.65~554.65 m(0.7%,属于94号矿体),其次出现在孔深758.30~759.30 m(0.67%,在95号和96号矿体之间),再次出现在669.20~670.20 m(0.43%,属于95号矿体)。由此可见,钻孔ZK1507揭露的94号、95号和96号矿体均有个别样品锡质量分数超过边界品位,但绝大多数样品低于0.07%。钻孔ZK1512揭露的96号矿体则只有3个样品锡质量分数高于0.2%,而钻孔ZK1509中的样品没有一个含锡大于0.1%的(图3)。因此,锡自西南向东北、从上至下含量有逐渐降低的趋势,即随着远离长坡—铜坑矿区,越近岩体锡的成矿作用越趋于减弱。

锌在空间上的分布,与锡有所不同但也有类似之处:锌的最高质量分数也出现在ZK1507钻孔揭露到的96号矿体中(锌达26.76%,孔深788.30~789.30 m),94号和95号矿体含锌也低于96号矿体。总体看,锌的质量分数下富上贫。96号矿体中自ZK1507 ZK1512 ZK1509,即由西南向东北,锌质量分数由26.76% 18.03%(806.20~807.20 m) 9.97%(720.50~721.65 m)成倍降低,降低的幅度大致为3 2 1。可见,锌和锡一样自西向东含量呈降低趋势。

铅主要出现在96号和95号矿体中,但在ZK1512中的249.20~250.40 m、250.40~251.60 m、268.34~270.00 m分别出现1.12%、0.82%和2.61%相对较高的含铅量。这一深度大致相当于同车江组(D₃t)泥灰岩、页岩与五指山组(D₃w)扁豆灰岩之间的岩性界面,表明沿此界面有铅的富集。

与铅相似,锑也在ZK1512钻孔的250.00~270.00 m出现相对较高的质量分数,最高值出现在268.34~270.00 m,达0.76%。这表明锑与铅可能是在相同的成矿过程中富集的。

铜在ZK1512钻孔的250.00~270.00 m也出现相对高的质量分数,最高在268.34~270.00 m,达0.22%。这表明铜、铅、锑在该地段可能是在同一成矿作用下富集的。与铅、锑不同的是,铜明显在ZK1509的深部趋于富集,最高质量分数为0.73%(720.50~721.65 m);铜在ZK1507中的最高质量分数为0.42%(属于95号矿体,669.20~670.20 m),

表 1 大厂 96 号等矿体钻孔岩心样品主成矿元素分析
Table 1 Analysis test results table of primary ore-forming element from drilling core samples of No. 96 ore body and other in Dachang

工程编号	样数/个	矿体编号	采样深度/m	锡			锌			铅			镉			铜			银		
				范围	均值	范围	范围	均值	范围	范围	均值	范围	范围	均值	范围	范围	均值	范围	范围	均值	范围
ZK1507	2	94 号	553.65~565.20	0.03~0.70	0.26	0.27~2.87	1.77	0.00~0.03	0.01	0.07~0.11	0.10	0.02~0.18	0.10	7.35~11.75	8.86						
	1	95 号	669.20~670.20	0.43	0.43	1.66	1.66	0.74	0.74	0.19	0.19	0.42	0.19	138.40	138.40						
	14	96 号	784.00~798.60	0.03~0.23	0.06	0.24~26.76	8.25	0.00~0.96	0.17	0.04~0.23	0.13	0.01~0.24	0.13	0~111.07	28.40						
	14★	96 号	784.00~798.60			0.1475~20.2671	7.1364	0.0016~0.9524	0.1723	0.0023~0.0512	0.0194	0.0114~0.2619	0.0194	1.37~111.07	29.10						
ZK1509	4	97 号	839.00~843.00	0.03~0.06	0.05	0.68~3.67	2.23	0.00~0.01	0.00	0.06~0.28	0.14	0.03~0.10	0.05	3.58~8.06	5.28						
	2	28-2 号	401.39~403.19	0.03	0.03	0.58~2.23	1.04	0.30~1.35	0.83	0.08~0.5	0.29	0.03~0.07	0.05	15.3~35.94	25.62						
	4	95 号	575.45~582.35	0.02~0.03	0.03	1.52~4.14	2.26	0.00~0.01	0.01	0.06~0.13	0.10	0.02~0.11	0.08	6.46~15.94	11.39						
	13	96 号	713.50~726.65	0.03~0.06	0.05	0.13~9.97	4.69	0.00~0.16	0.04	0.02~2.40	0.32	0.00~0.73	0.22	1.86~69.66	30.55						
ZK1512	13★	96 号	713.50~726.65			0.0743~9.4834	4.7421	0.0018~0.1991	0.0559	0.0010~0.0041	0.0020	0.0083~0.6491	0.0020	1.21~72.50	32.74						
	3	78 号	249.20~270.00	0.03~0.04	0.03	1.14~3.62	2.08	0.82~2.61	1.52	0.17~0.76	0.41	0.06~0.22	0.13	20.1~438.72	228.10						
	2	82 号	476.12~478.20	0.03	0.03	3.40~5.01	4.21	0.18~0.19	0.19	0.02~0.17	0.10	0.20~0.69	0.45	13.68~31.54	122.62						
	5	95 号	672.75~677.85	0.03~0.04	0.03	1.01~5.73	3.12	0.01~0.05	0.02	0.09~0.47	0.21	0.02~0.05	0.03	5.07~13.64	10.11						
ZK26-1	36	96 号	773.28~810.30	0.01~0.33	0.08	0.12~18.03	5.00	0.00~1.36	0.07	0.01~0.35	0.12	0.00~0.44	0.11	1.06~100.10	13.55						
	36★	96 号	773.28~810.30			0.0643~14.2294	4.3303	0.0011~1.3645	0.0598	0.0003~0.2651	0.0167	0.0020~0.4315	0.0167	1.04~105.00	14.57						
	1	125 号	55.00~56.00	0.05	0.05	0.72	0.72	0.00	0.00	0.13	0.13	0.10	0.10	7.66	7.66						
	1	95 号	170.80~171.80	0.02	0.02	2.05	2.05	0.01	0.01	0.06	0.06	0.08	0.08	24.91	24.91						
3	96 号	415.35~418.60	0.06~0.10	0.08		3.73~9.86	6.66	0.00~0.02	0.01	0.02~0.06	0.04	0.02~0.08	0.04	1.21~4.91	2.60						
	3★	96 号	415.35~418.60			3.5893~8.7356	6.1042	0.0010~0.0016	0.0014	0.0022~0.0049	0.0040	0.0158~0.0752	0.0040	1.14~4.40	2.34						

注:1. 银的质量分数单位为 10^{-6} , 其余元素为 10^{-2} ; 2. 样品数带★者为本次测试结果, 由国家地质实验测试中心原文俊研究员等完成, 其余为 215 地质队委托桂林矿产地质研究院完成;
3. ZK26-1 为在铜坑区 305 m 水平施工的坑内钻。

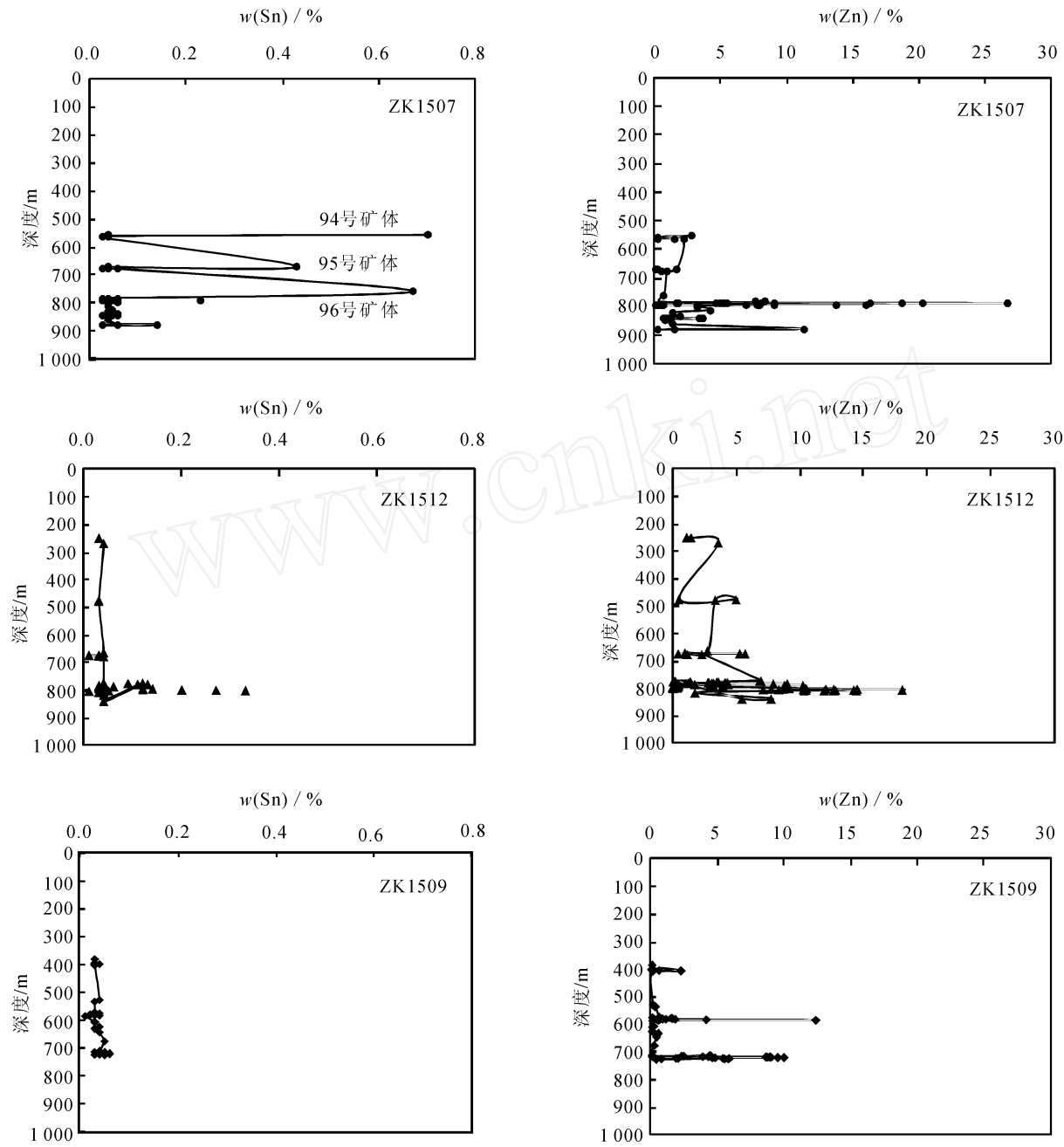


图 3 不同钻孔中锡、锌质量分数的变化

Fig. 3 Sn, Zn content change in different drill hole

此时锡的质量分数也达到 0.43 %。在 ZK1512 中, 铜的最高质量分数 (0.69 %) 也不属于 96 号矿体, 而是出现在 476.14 ~ 477.20 m 的 82 号矿体, 此处银的质量分数也高达 231.54×10^{-6} 。总的来看, 自西往东, 由浅入深, 铜有富集趋势。

银是主要的伴生元素, 但在 ZK1507、ZK1512 和 ZK1509 中均出现 100×10^{-6} 以上的高质量分数, 尤其是 ZK1512 表现更明显。ZK1512 中银的含量

还具有自上而下降低的变化特点 (图 4)。在坑内钻 ZK26-1 中 96 号矿体银的质量分数不超过 5×10^{-6} , 反映了银可能作为低温元素的矿化分带性, 即随着深度加大, 距离花岗岩岩体越来越近, 成矿温度越来越高, 银的富集程度趋于降低。而且, ZK1507、ZK1512 和 ZK1509 这 3 个钻孔控制的地段, 是 96 号矿体的厚大部分所在地, 说明银的含量与矿体厚度有一定的正相关性。

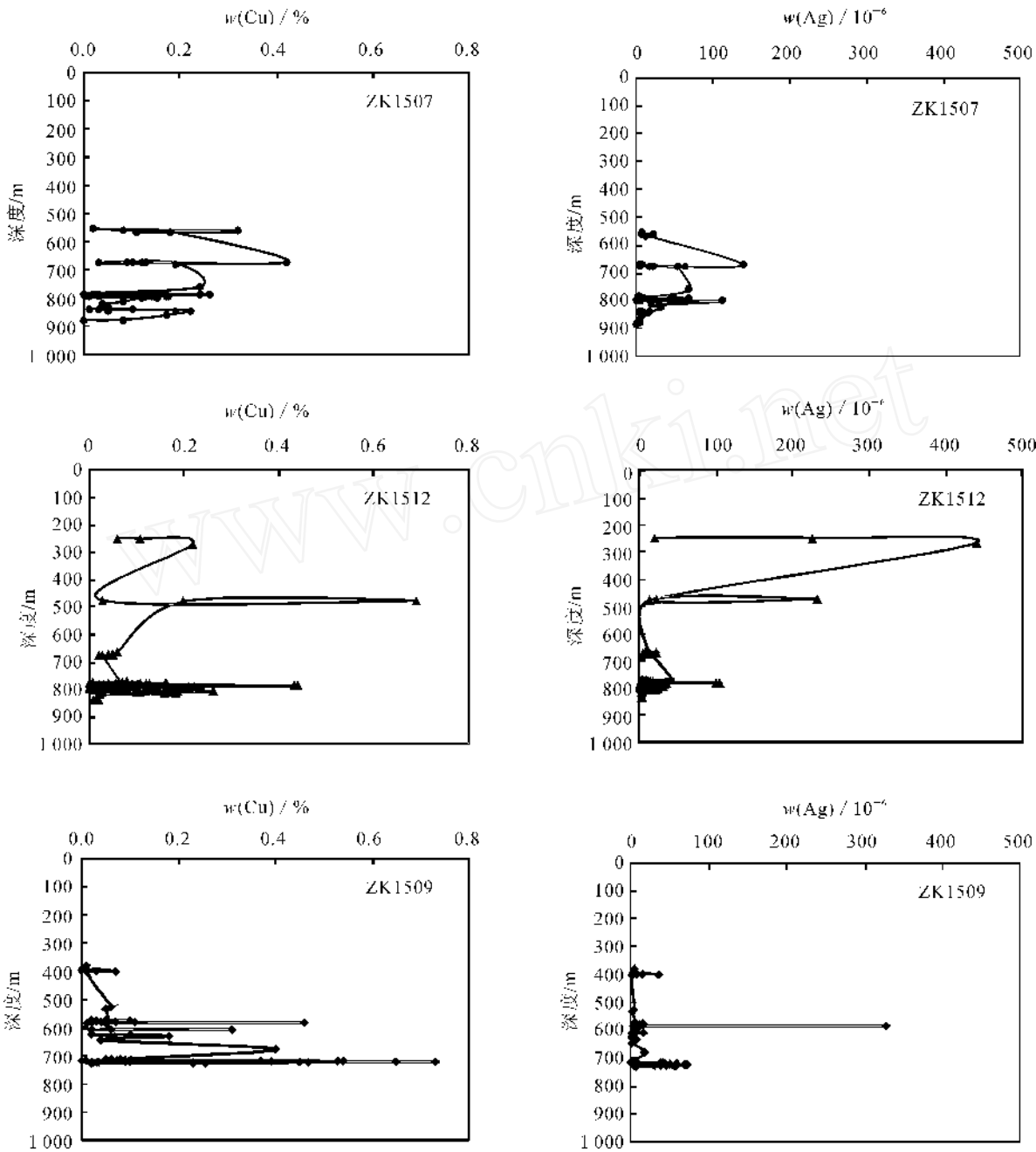


图 4 不同钻孔中铜、银质量分数的变化
Fig.4 Cu,Ag content change in different drill hole

4 讨论

4.1 成矿元素的富集特征

96 号矿体是近年来在长坡—铜坑矿床与拉么矿床之间探明的众多层状、似层状矿体中最大的一个。该矿体因其特征比较特殊而引人注目,也因为原先设想有锡但实际上锡未达到预期目的,即成矿作用以锌和银的富集为特征。

成矿作用以锌为主,也就是说硫化物是最主要的矿石矿物,那么亲硫元素铜、铅、锑、银之间有没有相互联系呢?它们是共生(同时富集)的还是伴生(不同时但同一位置)的?从图 5 可以看出:锌与银之间在低品位矿石 ($w(\text{Zn}) < 5\%$) 中有一定的正相关性,在高品位矿石(尤其是 96 号矿体)中却显示无相关性甚至是反相关性。这表明银不一定是随着锌的富集而同时、同步富集的。铜也有类似情况,96

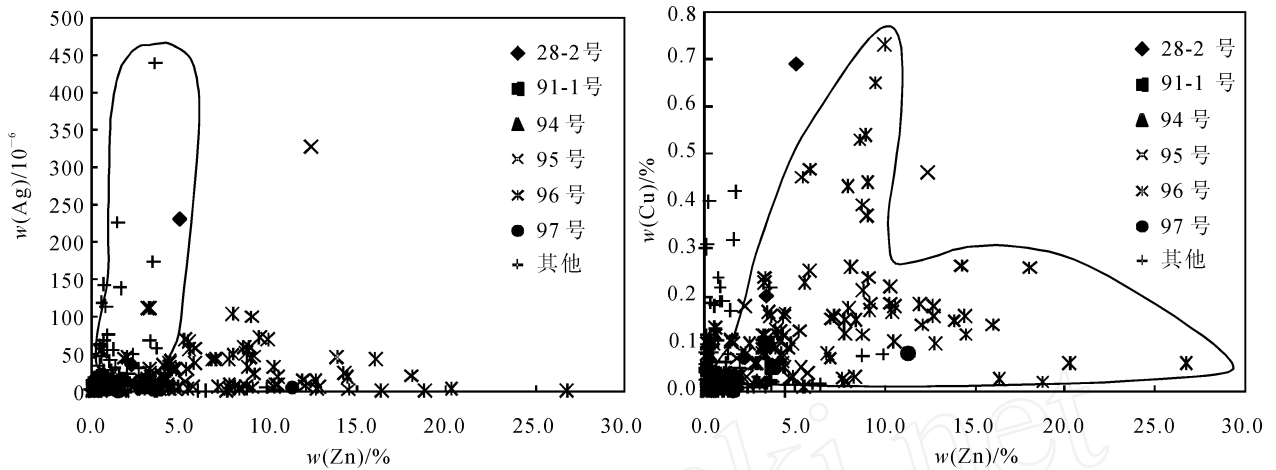


图5 不同矿体之间主要成矿元素的对比

Fig. 5 The contrast of main ore forming element between different ore body

号矿体高品位 ($w(\text{Zn}) > 10\%$) 矿石中锌与铜反相关,而相对低品位 ($w(\text{Zn}) < 10\%$) 矿石中锌与铜正相关。锑和铅也类似,即锑、铅的含量并不随着锌含量的升高而持续升高。究其原因,可能与成矿温度、成矿流体演化和物理化学条件等多种因素有关。虽然成矿流体中富含锌、铜、银、铅、锑等成矿元素,但这些元素的主要硫化物具有各不相同的结晶条件,在闪锌矿(基本上是铁闪锌矿)结晶时,银、铅、锑等没有同时同等程度地结晶出来,而是交代已经结晶的矿物(如黄铜矿)或富集到残余流体中,最终造成矿物分带。

值得注意的是锌与锡的反相关性。前文已经讨论过,在96号矿体中锌和锡不是同步富集的。在96号矿体之外的其他矿体中,锌与锡也不具有正相关性。这可能是由于锡是在早期氧化物阶段富集成矿,而锌是在中期硫化物阶段富集成矿,分别属于不同成矿阶段的产物。

4.2 矿床成因

长坡—铜坑锡多金属矿床的层状、似层状矿体主要产于上泥盆统灰岩、硅质岩中,分布于大厂背斜东翼叠加的次级横向挠曲部位,矿体侧伏方向与浅部的裂隙脉走向均为北东向,同时指向岩体中心,与巴力—龙头山特大型锡多金属矿床一样,边部都有花岗斑岩和闪长玢岩脉相伴,距离离岩体边部不足1 km。长坡—铜坑矿床中的矿体总体呈层状、似层状,实际上是由许多层间小脉与大量穿层小脉复合组成,并据工业要求圈定而成。从图2可以看出矿

体并非完全顺层产出。

拉么似层状锌铜矿体分布于上泥盆统条带状、扁豆状灰岩中,往往位于岩体隆起环状构造的凹陷部位,近接触带产状较缓处,矿体主要受围绕岩体的环状构造控制。

96号矿体西北部有多条花岗斑岩脉和闪长玢岩脉切穿而过,与岩体有一定距离,矿体主要矿物组分总的变化趋势是愈近岩体锌铜增加,这与锌铜在矿体北段中部(钻孔ZK1512附近)大量富集并不矛盾,叠加构造对成矿更为有利,矿化富集处恰好是次级挠曲构造的中心部位。矿体主要分布在中泥盆统罗富组砂卡岩化的范围内,矿化富集与绿色砂卡岩矿物组合(透辉石、符山石、阳起石、绿泥石等)密切相关,以石榴子石为主的砂卡岩矿物组合不利于成矿。矿体产出部位要比前述长坡—铜坑和拉么2个矿床层位低,由于泥质灰岩和泥灰岩呈薄层产出,导致矿体主要由数厘米至40 cm厚的薄层矿脉组成,穿插少量裂隙矿脉。

94号、96号矿体北段锌铜矿体有较为明显的充填交代特征。矿山坑道已揭露到94号矿体的顶部,94号矿体中大量高温矿物如毒砂和磁黄铁矿呈小脉状顺层充填交代罗富组中的灰岩或泥灰岩,闪锌矿则往往呈团块状、细脉状、不规则状充填交代(图6左),围岩出现透辉石、透闪石、绿泥石等砂卡岩矿物组合。96号矿体显著的特征是闪锌矿多呈浸染状、致密块、脉状出现(图6右),伴随大量磁黄铁矿,金属矿物种类现对较少。96号矿体主要产出于层



图6 黑水沟—大树脚区96号、94号矿体中的锌铜矿化特征

Fig. 6 The zinc-copper mineralization of No. 96 and NO. 94 ore-body in Heishuigou-Dashujiao area

左. 大厂94号矿体中闪锌矿的产出特征;右. ZK1507中96号矿体的顺层充填交代锌矿石,岩心直径36 mm

间破碎带中,出现大量顺层和穿层的细脉状磁黄铁矿、闪锌矿,大理岩化灰岩和透辉石、透闪石、绿泥石等矽卡岩矿物组合的围岩呈角砾状产出,角砾较小且棱角分明。矿石结构有自形、半自形粒状结构,它形结构,固溶体分离结构,交代溶蚀结构、交代残余结构;矿石构造有致密块状构造,角砾状构造,浸染状构造,脉状构造。实际上,94号、95号、96号3个矿体不论是锡多金属矿段还是锌铜矿段都产于同一层位的层间破碎带中。这些特征表明这些层状矿体主要是沿层交代形成的。

从主要成矿元素的空间分布明显可见,在同一钻孔中,随着深度的加大,元素的含量呈现波状起伏的变化而不是截然变化。以锌为例,如果96号层状矿体是喷流沉积的,则矿层与其顶板之间在锌含量上应该是截然变化的,即从大于1%的富矿体突然降低为背景值 $n \cdot 10^{-6}$,而矿层与底板之间可呈现渐变(因为底板热液通道的存在)。实际上,无论是ZK1507还是ZK1509,锌的含量均有对称分布的特征,而ZK1512钻孔中锌自下而上有逐渐降低的趋势(图5)。这可能表明锌可能是自下而上运移的,到了目前矿层的部位则转为侧向沿层交代。中间部位交代最强,锌含量最高,上下两侧则逐渐降低。铜也有类似特征,尤其是在铜含量最高的ZK1509表现得最明显,以718~722 m处为中心,向上、向下铜含量均降低。

96号矿体微量元素显示大离子亲石元素和轻稀土元素富集的特征:即Rb、Th、U、La等明显富集而Ba、K、Nb、Sr、Lu亏损;矿石的稀土元素含量和配分模式与矿田中心的岩体非常相似;同位素组成

上闪锌矿的 ^{34}S 为 $-6.1\text{‰} \sim 0.1\text{‰}$,平均为 -1.03‰ , $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $18.4500 \sim 18.5537$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $15.6816 \sim 15.7140$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 $38.7849 \sim 38.9893$,都与拉么锌铜矿接近^[7]。这些都证明96号矿体属岩浆成因。

96号矿体延伸至长坡—铜坑矿床之下,构成了完整的矿床成矿系列分带,属于围绕岩体并受之控制的矽卡岩型锌铜矿内环带部分;在长坡—铜坑矿床之下至今没有发现类似于喷流沉积成矿的通道构造,也没有发现成矿之后的大规模构造改造作用。

5 结论

大厂96号矿体厚大矿块的发现是危机矿山深部找矿的成功典范。该矿体以锌为主,贫锡,具有介于92号锡锌矿体与拉么铜锌矿体之间的过渡特征。矿体中锡、锌、铜、铅、锑、银等主元素的空间分布特征表明,该矿体与大厂91号、92号及拉么层状铜锌矿体一样属于交代成因。96号矿体中闪锌矿Rb-Sr等时线年龄为95 Ma,属于燕山晚期岩浆热液交代的产物。成矿物质可能有地层来源,与南岭其它矿区一样也可能有幔源物质参与。

参考文献(References):

- [1] 涂光炽. 广西大厂矿床成因并兼论锡石硫化物矿床形成条件[C]// 锡矿地质讨论会论文集. 北京:地质出版社, 1987:105-109.
TU Guang-zhi. On the genesis and formation condition of the Dachang cassiterite-sulfide deposit, Guangxi [C]// Contribution to the Symposium of Tin Deposits. Beijing: Geological Publishing House, 1987:105-109.

- [2] 陈毓川,黄民智,徐珏,等.大厂锡矿地质[M].北京:地质出版社,1993:69-340.
CHEN Yu-chuan, HUANG Min-zhi, XU Jue, et al. Geology of the Dachang deposit [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 69-340.
- [3] 王登红,李华芹,陈毓川,等.桂西北南丹地区大厂超大型锡多金属矿床中发现高稀土元素方解石[J].地质通报,2005,24(2):176-180.
WANG Deng-hong, LI Hua-qin, CHEN Yu-chuan, et al. Preliminary discovery and study of high REE content calcites from the Dachang superlarge tin-polymetal deposit, Guangxi[J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(2): 176-180.
- [4] 梁婷,王登红,蔡明海,等.广西大厂锡多金属矿床S、Pb同位素组成对成矿物质来源的示踪[J].地质学报,2008,82(7):967-977.
LIANG Ting, WANG Deng-hong, CAI Ming-hai, et al. Sulfur and lead isotope composition tracing for the sources of ore-forming material in Dachang tin-polymetallic orefield, Guangxi [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(7): 967-977.
- [5] 蔡明海,毛景文,梁婷,等.大厂锡多金属矿田铜坑—长坡矿床流体包裹体研究[J].矿床地质,2005,24(3):228-241.
CAI Ming-hai, MAO Jing-wen, LIANG Ting, et al. Fluid inclusion studies of Tongkeng-Changpo deposit in Dachang polymetallic tin orefield [J]. Mineral Deposit, 2005, 24(3): 228-241.
- [6] 徐珏.广西丹池地区矿田构造[M].北京:北京科学技术出版社,1988:3-89.
XU Jue. Danchi area of Guangxi orefield structure [M]. Beijing: Beijing Science and Technology Publishing House, 1988: 3-89.
- [7] 梁婷,陈毓川,王登红,等.广西大厂锡多金属矿床地质与地球化学[M].北京:地质出版社,2008:68-177.
LIANG Ting, CHEN Yu-chuan, WANG Deng-hong, et al. Geology and geochemistry of the Dachang tin-polymetallic deposit in Guangxi [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008: 68-177.
- [8] 王登红,陈毓川,陈文,等.广西南丹大厂超大型锡多金属矿床的成矿时代[J].地质学报,2004,78(1):132-138.
WANG Deng-hong, CHEN Yu-chuan, CHEN Wen, et al. Dating the Dachang giant tin-polymetallic deposit in Nandan, Guangxi[J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(1): 132-138.
- [9] 蔡明海,梁婷,韦可利,等.大厂锡多金属矿田铜坑—长坡92号矿体Rb-Sr测年及其地质意义[J].华南地质与矿产,2006(2):31-35.
CAI Ming-hai, LIANG Ting, WEI Ke-li, et al. Rb-Sr dating of the No. 92 orebody of the Tongkeng-Changpo deposit in the Dachang tin-polymetallic ore field, Guangxi, and its significance[J]. Geology and Mineral Resources of South in China, 2006(2): 31-35.
- [10] 刘云华,付建民,龙宝林,等.南岭中段主要锡矿床He、Ar同位素组成及其意义[J].吉林大学学报:地球科学版,2006,36(5):774-782.
LIU Yun-hua, FU Jian-min, LONG Bao-lin, et al. He and Ar isotopic components of main tin deposits from central Nanling region and its signification[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2006, 36(5): 774-782.
- [11] 黎应书,秦德先,党玉涛,等.云南个旧锡矿的玄武岩成矿[J].吉林大学学报:地球科学版,2006,36(3):326-335.
LI Ying-shu, QIN De-xian, DANG Yu-tao, et al. Mineralizations in basalts of the Gejiu tin deposit in Yunnan[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2006, 36(3): 326-335.