应用多元统计分析对大厂矿田长坡锡矿床成矿元素地球化学特征的探讨

戎秋涛　　吴国良

（浙江大学地质系）（中国有色金属工业总公司矿产地质研究院）

长坡矿床是大厂矿田中的一个重要的锡石—硫化物型矿床，以往勘探程度和地质研究工作程度均比较高。在多元统计分析方面，原广西冶金地质215队作过大量工作，并提出了长坡矿床以金属元素为自变量、矿体标高（H）为因变量（定矿带顶部的标高为1，尾部标高为0）的回归方程：

$\hat{H} = -0.6472 + 0.2064\overline{Sn} + 0.1751\overline{Pb} + 0.1002\overline{Sb} + 0.4496\overline{Zn} - 0.8168\overline{Cu}$[1]。据此得出各变量对标高影响依大小排列的如下顺序：Cu，Zn，Sn，Pb，Sb，并在实践中取得了一定的效果。

我们针对该矿床矿物共生组合比较复杂，金属矿物在不同中段既有分带又有重叠，而且成矿元素有可能具多来源、多成因的地质特征，认为仅靠传统的地质—矿床学和矿物学研究和统计，已不能充分揭示成矿元素的某些地球化学特征，特别是元素间的共生组合、垂直分带等基本问题。因而在前人工作和地质调查的基础上，选用逐步回归和R型因子分析的方法，对该矿床不同中段和矿体的109个样品中的Sn，Sb，Pb，Zn，Cu，As及S作了多元统计分析。并针对这两种方法结果之异同，探讨成矿元素之间的相互关系、元素垂直分带等特征，取得了比较符合客观实际的效果。

矿田和矿床地质概况*

矿田地处南岭东西向构造带的西端与广西山字型构造前弧西翼的复合部位，形成长达100多公里的北西向线状褶皱带。带内诸矿田主要受山字型构造控制，赋存在东西向与南北向构造复合形成的隆起部位。

矿田内出露有泥盆纪至三叠纪地层。矿体产在中上泥盆统扁豆状灰岩、条带状灰岩、硅质岩和富含碳质的板状灰页岩中。

岩浆活动主要为燕山期黑云母花岗岩和花岗斑岩、长英岩等。矿田中部有黑云母花岗岩侵入，致使岩体四周围岩成环状构造。

矿田内的矿床明显受构造控制，矿床多处于北西向压扭性断裂与北东向断裂构造的交叉部位，大致成等距排布。

本矿床位于矿田西部。北西向的逆断层沿着北西340°向东倒转的背斜轴发育，矿床即位于该背斜北西端的倾伏部位。背斜东翼平缓，西翼陡。

长坡矿床地质特征综合表　　表1

中段	矿体类型	矿床类型	围岩	矿物组合	矿化
二	大脉型	裂隙脉型锡石硫化物矿体	黑色灰页岩	锡石、硫盐类矿物、铁闪锌矿、黄铁矿、少量方铅矿、辉锑矿	黄铁矿化、硫盐类矿化，向深部有减弱趋势
四	细脉带网脉	裂隙充填交代细脉带型锡石硫化物矿体		锡石、铁闪锌矿、黄铁矿、白铁矿、脆硫锑铅矿	黄铁矿化、硅化、电气石化，磁黄铁矿化向下有增强趋势
六				锡石、黄铁矿、磁黄铁矿、铁闪锌矿、黝锡矿、硫盐类矿物	同上
91号	层状、似层状	似层状细脉浸染型交代型矿体	细条带灰岩	磁黄铁矿为主，铁闪锌矿、锡石、毒砂	磁黄铁矿化为主，毒砂矿化次之
92号		网脉浸染型矿体	硅质岩	黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂、锡石、铁闪锌矿	毒砂矿化、黄铁矿化、磁黄铁矿化

* 据215队资料整理。

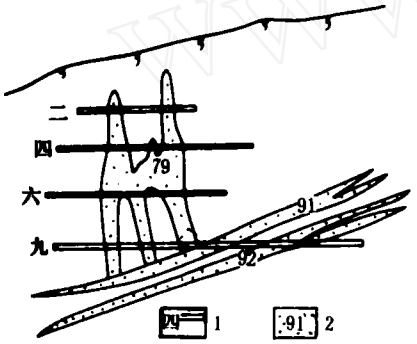
© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

矿床赋存在中、上泥盆统硅质岩、条带状灰岩和扁豆状灰岩中。矿体形态在地表及浅部主要呈脉状，中深部则以似层状为主。组成矿石矿物比较复杂，主要有锡石、脆硫锑铅矿、铁闪锌矿、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿和毒砂等。矿床自地表至深部锡石及硫化物的产出具有垂直分带特征。前人认为矿床中下部较富集锡石，上部相对集中辉锑锌铅矿、黝锡矿等硫化物，但对元素垂直分带则认为是“上锡下铜中间锌”①。

矿床地质特征见表1。

多元统计分析主要结果

1. 样品和工作方法 本矿床已由不同水平中段坑道所控制（见图）。



探矿工程和矿体位置示意剖面图

1—坑道及中段编号；2—矿体及编号

样品有关参数如表2所列。

表2

中段	标高(米)	矿带（体）编号及类型	样品个数
二	725	Ⅰ、Ⅱ号细脉带型矿体	17
四	635	同　　上	20
六	570	Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号细脉带及79号层面脉	26
九	505	91,92号似层状矿体（92号位于91号下部）	91号20个 92号26个

二、四、六中段及91、92号矿体的分析结果分别以Sn为因变量，以其他元素（Zn，Pb，Sb，Cu，As，S）为自变量，在DJS—6型计算机上进行逐步回归分析，同时对每一批数据作R型因子分析。

2. 矿床不同中段的逐步回归方程②

二中段：$Sn = 1.2646 + 8.9373Cu$

四中段：$Sn = 0.9064 + 0.1514Zn - 0.06626S$

六中段：$Sn = 0.08485 + 0.6892Pb + 0.06055S$

91号矿体：以Sn作因变量进行逐步回归分析，没有引入任何变量。Sn与其他成矿元素之间相关性均很差。

92号矿体：$Sn = 0.5018 + 0.5201As$

对于上述结果，以四中段为例作了方差分析（表3）。复相关系数 = 0.7233，$F = 7.7521$，表明显著性是高的。

四中段方差分析　　表3

	平方和	自由度	均方	F值及显著性
回归	0.5231	2	0.2616	$F = 7.7521 > F_{0.01} = 5.93$
剩余	0.4769	17	0.02805	
总和	1	$N - 1 = 19$		高度显著

3. 矿床不同中段的因子介（表4）③

四中段方差　　表4

中段	第一因子	第二因子	第三因子	第四因子
二	Pb, Sb	Zn, Cu	Sn	
四	Zn, Cu, S	Pb, Sb	Sn	As
六	Pb, Sb	Cu	Zn, S	Sn
91号矿体	Zn, Cu, S, As	Pb, Sb	Sn	
92号矿体	Pb, Sb	Zn, Cu, S	As, Sn	

几点认识

1. 把逐步回归分析和因子分析的结果进行对比可以看出，两种不同的统计方法在探讨该矿床不同中段元素组合特点和垂直分带上，既有各自的特点又有共同之处。例如，回归分析结果反映出自地表至深部，与Sn相关的元素依次为Cu，Zn（S），Pb（S）和As。只是在91号矿体，Sn与其他成矿元素之间无明显相关性。对比因子分析结果，包括91号矿体在内的往上各中段，Sn均呈单独的因子，而到深部的92号矿体，As，Sn则构成同一因子，并且在回归方程中两者组成Sn

① 严云秀：广西大厂矿田原生带状分布及矿床成因探讨，1980年。

② 因篇幅限制，某些参数和各中段相关矩阵从略。

③ 因篇幅限制，未列出各中段正交旋转因子介。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$=0.5018+0.5201As$的回归方程。即两种结果均表明在深部Sn与As之间关系密切。从表5的数据也反映出这种趋势。

对深部矿体地质观察的结果证实，锡石的含量与毒砂的关系密切。即锡石在深部随着毒砂的增加而变富。这个特点在长坡附近正在施工的另一更深的矿床中亦得到证实。

要指出的是，在元素周期表中，Sn（IVB）—As（VB）构成对角线元素，表明两者地球化学性质的共同性。

2.成矿元素的地球化学特点和物质来源：自矿床地表至深部，Pb均与Sb组成同一因子，两者之间的相关性亦极好（在各中段γ值自0.678至0.916）。相反，各中段的Pb与Zn之间均不相关，亦不组成同一因子。从表4可看出，Zn与Cu常组成同一因子，且相关性较好。地质观察结果，矿床中Pb主要呈脆硫锑铅矿产出，在近地表钻矿物的含量显然多于锌矿物（含铁闪锌矿），后者主要在中深部有所富集。造成上述地质特征的原因，一方面是因Pb，Zn在迁移过程中地球化学性质有所区别[2]，同时更反映出Pb，Sb与Zn，Cu两组元素可能有不同的物质来源。据本区铅同位素资料[1]和矿田围岩中成矿元素的平均含量（表6）得出，Pb，Sb主要来源于围岩地层，而Zn，Cu则主要来自酸性岩浆，并可形成夕卡岩型锌铜矿床。这些资料与本文的多元统计结果一致。

从逐步回归分析数据来看，Sn与Zn，Cu之间的相关性普遍要高于对Pb，Sb的相关性。参考215队对Sn与花岗岩体关系的研究[1]及表6的数据，认为Sn主要来自于岩浆源本身。综合以上资料，我们认为长坡矿床成矿元素是多来源、多成因的（表7）。

不同中段Sn，As相关系数（γ）值　表5

中段	$\gamma_{Sn,As}$	变化趋势
四	0.085	↓ 相关性递增
六	0.316	
91号矿体	0.200	
92号矿体	0.533	

矿田岩浆岩、泥盆系中成矿元素的平均含量（%）　表6

名称		Cu	Zn	Pb	Sb	Sn
黑云母花岗岩		0.0009	0.0063	0.0005	0.0072	0.01
花岗斑岩		0.0007	0.0046	0.0009	0.0077	0.01
泥盆系	近矿	0.0037	0.0270	0.0022	0.0215	0.0041
	远矿	0.0024	0.0039	0.0020	0.0155	0.0036
元素克拉克值		0.0024	0.00004	0.000016	0.000001	0.00004
泥盆系远矿与克拉克值之比		24	98	125	9688	90

资料来源：中国科学院贵阳地化所（1976）：广西大厂矿田成矿作用和物质成分报告。

主要成矿元素的来源　表7

来源	Sn	Zn	Cu	Pb	Sb
围岩地层	+	+		++	++
酸性岩浆	++	++	++		

注：++—主要来源；+—部分来源

主要成矿元素的垂直分带　表8

位置		元素组合分带
远岩体	浅部	Pb，Sb，(Sn)
	中部	Sn，Zn，(Pb，Sb)
	深部	Sn，As，Cu（Zn，Pb，Sb）
近岩体		Zn，Cu

注：括号内为次要元素

3.根据我们的地质观察研究，结合多元统计结果，初步提出长坡矿床成矿元素垂直分带表（表8）。需要说明的是，这种分带主要表示元素在空间上的赋存关系。其特点是，元素（亦反映在矿物上）在垂向上既有主次之分，也有彼此的重复出现，而不是简单的单一元素的分带。从表6可以看出，在本区寻找Sn的指示元素，随标高的不同而有所区别：在地表是Pb，Sb，在中部主要是Zn，而在较深部则是As。

参考文献

[1] 广西冶金地质勘探公司215队地质科：《数学地质专辑》（二），地质出版社，1981年

[2] 武汉地质学院地球化学教研室编：《地球化学》，地质出版社，265～266页，1979年

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net