

锡矿自然重砂矿物组合规律及其找矿意义

张翔^{1,2}, 董国臣², 申俊峰², 代友旭², 景国庆², 罗微², 王松阳²
ZHANG Xiang^{1,2}, DONG Guo-chen², SHEN Jun-feng², DAI You-xu²,
JING Guo-qing², LUO Wei², WANG Song-yang²

1. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏南京 210016;

2. 中国地质大学(北京), 北京 100083

1. Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China;

2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China

摘要:为探究不同类型锡矿床所反映出的自然重砂矿物组合特征,统计了云南、福建、江西、浙江、湖南、青海和广西7省共35个典型锡矿床的自然重砂情况,通过计算和分析各自然重砂矿物在所对应类型矿床中的报出频率,得出砂卡岩型、热液脉型和斑岩型3种锡矿所对应的自然重砂矿物组合。所反映出的重砂矿物组合既有相似之处,如均出现锡石+白钨矿(或黑钨矿)的矿物组合,亦反映出不相同的地方,如砂卡岩型锡矿石榴子石报出率高,斑岩型锡矿锆石报出率高等。因此,按照矿床类型建立的自然重砂矿物组合对于建立自然重砂找矿模型具有重要意义。

关键词:砂卡岩型;热液脉型;斑岩型;自然重砂;划分类型

中图分类号:P618.44 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2014)12-1869-09

Zhang X, Dong G C, Shen J F, Dai Y X, Jing G Q, Luo W, Wang S Y. Combination features and exploration significance of natural heavy minerals from tin deposits. *Geological Bulletin of China*, 2014, 33(12):1869-1877

Abstract: To investigate the combination characteristics of natural heavy minerals reflected by different types of tin deposits, the authors gathered statistic data of the occurrence situation of 35 typical tungsten deposits (mining areas) from seven provinces or autonomous region of Yunnan, Fujian, Jiangxi, Zhejiang, Hunan, Qinghai and Guangxi, calculated the frequencies of occurrence of many kinds of natural heavy minerals, and worked out the mineral assemblages of skarn, hydrothermal and porphyry tin deposits as well as the typomorphic minerals. The results show that they have a certain sameness in mineral association, such as the existence of cassiterite + scheelite (or wolframite) assemblage without exception, and also show some differences; for example, the frequency of occurrence of garnet is relatively high for the skarn type tin deposit, whereas the frequency of occurrence of zircon is relatively high for the porphyry type tin deposit. The natural heavy mineral assemblage based on deposit type is of great significance for the formulation of the ore-prospecting model of natural heavy minerals.

Key words: skarn type; hydrothermal vein type; porphyry type; natural heavy mineral; type classification

中国1:20万自然重砂工作早在20世纪60—80年代就已开展,80年代后期部分省份的部分地区也随着1:5万区调展开了相应的重砂测量工作。全国范围内的重砂测量工作积累了大量的重砂找矿资料,将这些海量的重砂数据进行梳理、研究其自然

重砂分散晕、探索矿物组合规律,对于建立自然重砂找矿模型变得尤为重要。自然重砂对于物理、化学性质较稳定的原生矿床和部分砂矿有良好的指示作用。前人^[1-6]针对自然重砂方面的工作和研究主要包括自然重砂分散晕的组成、形态与矿源母体

收稿日期:2014-03-14;修订日期:2014-10-15

资助项目:中国地质调查局项目(编号:1212011121038、1212011121031、12120113070400)

作者简介:张翔(1988-),男,硕士,研究实习员,矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: zhangxiang_njcs@foxmail.com

通讯作者:董国臣(1962-),男,博士,教授,矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: donggc@cugb.edu.cn

之间的关系,部分矿物对某些矿床的指示意义(如在重砂中,有辉石、橄榄石和铬铁矿存在可能指示着附近可以找到天然铂),重砂矿物的磨圆度与颗粒、搬运距离之间的关系等。对重砂的认识研究大多比较零散,未形成较完整的体系,对于不同类型锡矿所能形成的重砂矿物组合是否一致、有哪些共同点和差别尚存在研究空白。本次研究以中国典型的矽卡岩型、热液脉型及斑岩型锡矿床为研究对象,旨在确定其重砂矿物的组合特征,建立不同类型锡矿的自然重砂组合,以期为建立自然重砂找矿模型提供基础信息。

1 矿床的选择及工作方法

中国锡矿储量大,种类繁多,有矽卡岩型、热液脉型、伟晶岩型、蚀变花岗岩型、斑岩型、喷气型等类型的锡矿床。其中,矽卡岩型和热液脉型锡矿合计金属储量占全国总量的80%以上。近年来,随着斑岩型矿床研究的愈加深,斑岩型锡矿也逐渐受到人们的关注^[7-10]。本文以全国1:20万自然重砂数据资料及预测工作区自然重砂成果资料为基础,选取云南、广西、青海、江西、浙江、湖南等省的35个典型锡矿床(矿区)(表1),针对不同类型锡矿床所反映的自然重砂情况,对自然重砂矿物的报出频率(以下简称为报出率)展开研究。在自然重砂报出率的计算方面,若某一矿物在某类型矿床中出现 n 次,即记频数为 n ,再记统计范围内该类型的矿床的总数为 N ,则该矿物在该类型矿床中的报出率即为 n/N 。

2 主要类型锡矿自然重砂矿物组合特征

2.1 矽卡岩型锡矿

矽卡岩型锡矿是中国锡矿的一个重要类型,矽卡岩型锡矿金属储量约占全国总量的43.5%^[11-12]。含锡矽卡岩型矿床大都产于花岗岩与富钙镁质岩石接触带及其附近的围岩中。成矿岩体通常为酸性—偏中性的花岗岩类,矿体产于岩体边侧的矽卡岩中,总体上受接触构造带控制,在岩体形态复杂的地段矿化较发育;矽卡岩化选择有利层位进行,矿化则在矽卡岩中浸染交代形成,矿体与矽卡岩之间没有明显的界线,且都可能出现层控特征。

针对该类矿床,本次选取云南个旧、都龙、小龙河、来利山,湖南柿竹园,青海日龙沟、五一河、小卧

龙等12个矿床(矿区)(表1)进行统计。考察所选矿床(矿区)周围出现的自然重砂矿物,将报出的重矿物进行统计,计算各单矿物的报出率(表2)。

根据统计结果,矽卡岩型锡矿床在其周边形成的自然重砂分散晕中,锡石几乎全部出现,白钨矿、黑钨矿、黄铜矿、石榴子石的报出率较高(75%),黄铁矿的报出率超过50%,报出率介于50%~30%之间的矿物有毒砂、辉铋矿、磁铁矿、电气石、方铅矿、符山石和闪锌矿(图1,表2)。

根据已有资料,该类矿床的金属矿物有锡石、闪锌矿、方铅矿、磁铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿、镜铁矿、褐铁矿、黄铜矿、毒砂、白钨矿、黑钨矿、自然铋、辉铋矿和辉铜矿,非金属矿物有云母、绿泥石、阳起石、透闪石、萤石、石英、电气石、孔雀石、方解石、石榴子石、黄玉等^[13-23]。由此可以看出,原生矿床的矿物组合与自然重砂矿物组合具有较好的响应关系。

根据统计学原理,若以某一百分比的报出率为界,出现概率在该百分比以上的矿物则可以作为该类矿床的代表性矿物组合。在界线选取上,如果百分比太高,则代表性矿物太少,代表性不强;反之,如果百分比太低,则代表矿物太多,亦不利于区分。经过笔者的多次尝试,以50%或30%为界较为合适。如以30%为界,报出率在30%以上的矿物可以作为矽卡岩型锡矿的代表性矿物组合,得出矽卡岩型锡矿所对应的重砂矿物组合为:锡石+白钨矿+黑钨矿+黄铜矿+石榴子石+黄铁矿+毒砂+辉铋矿+磁铁矿+方铅矿+闪锌矿+电气石+符山石。

2.2 热液脉型锡矿

中国分布有大量的热液脉型锡矿床,其锡金属储量约占全国总储量的41%。针对该类型矿床,选取云南省石缸河、铁厂、薏坝、西蒙,福建省中甲、石壁,浙江省岩前—对坞、莫干山、河桥、银坑—安地、仓库塘,湖南省香花岭、尚家坪、红旗岭,广西大西江等18个典型矿床(矿区)进行研究,统计结果见表3。

由表3可知,热液脉型锡矿床所形成的自然重砂单矿物报出率中锡石报出率最大,几乎全部出现,其次为白钨矿(83%)、黑钨矿(78%)、黄铁矿(72%),萤石的报出率也超过了50%;磁铁矿、黄铜矿、辉铋矿、重晶石、方铅矿的报出率介于50%~30%之间(表3,图2)。

热液脉型锡矿中金属矿物有锡石、白钨矿、绿

表 1 自然重砂矿物报出结果

Table 1 Frequencies of occurrence of natural heavy minerals

类型	矿床(矿区)	自然重砂矿物
砂卡岩 型锡矿	云南个旧 ^{①②}	锡石、白钨矿、黄铜矿、孔雀石、方铅矿、白铅矿、黄铁矿、钛铁矿、铬铁矿、自然铋、辉铋矿、重晶石、
	云南都龙 ^{①②}	锡石、黑钨矿、孔雀石、黄铁矿、
	湖南柿竹园 ^{③④}	锡石、黑钨矿、白钨矿、黄铜矿、孔雀石、方铅矿、白铅矿、铁闪锌矿、菱锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂、辰砂、 自然铋、辉铋矿、辉钼矿、钼铅矿、绿柱石、电气石、萤石、黄玉、方柱石
	青海日龙沟 ^⑤	锡石、黑钨矿、白钨矿、孔雀石、白铅矿、自然金
	青海五一河 ^⑤	锡石、黑钨矿、白钨矿、白铅矿、辉铋矿、辉钼矿
	青海小卧龙 ^⑤	锡石、黑钨矿、白钨矿、孔雀石、白铅矿、毒砂、辰砂、辉铋矿、辉钼矿、自然金、萤石
	江西彭山 ^⑥	锡石、黑钨矿、黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿、毒砂、电气石、独居石、金红石、锆石、石榴子石、符山石、阳起石
	江西云山 ^⑥	锡石、黑钨矿、黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿、毒砂、电气石、独居石、金红石、锆石、石榴子石、符山石、阳起石
	湖南河路口 ^{③④}	锡石、白钨矿、黄铜矿、辉铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁铁矿、磁黄铁矿、毒砂、石榴子石、符山石、透辉石、透闪石
	湖南七里坪 ^{③④}	锡石、白钨矿、黄铜矿、辉铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁铁矿、磁黄铁矿、毒砂、石榴子石、符山石、透辉石、透闪石
	云南小龙河 ^{①②}	锡石、黑钨矿、白钨矿、黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿、钛铁矿、铌钽铁矿、自然铋、辉铋矿、辉钼矿、楣石、褐帘石、 电气石、独居石、萤石、锆石、黄玉、磷灰石
	云南来利山 ^{①②}	锡石、黑钨矿、白钨矿、白铅矿、黄铁矿、磁铁矿、钛铁矿、铌钽铁矿、辉铋矿、重晶石
热液脉 型锡矿	云南石缸河 ^{①②}	锡石、黑钨矿、白钨矿、黄铁矿、磁铁矿、重晶石、绿柱石
	云南铁厂 ^{①②}	锡石、白钨矿、氯铅矿、黄铁矿、磁铁矿、钛铁矿、重晶石
	云南薏坝 ^{①②}	锡石、白钨矿、白铅矿、氯铅矿、黄铁矿、磁铁矿、钛铁矿、重晶石
	云南西蒙 ^{①②}	锡石、白钨矿、黄铁矿、磁铁矿、钛铁矿、硬锰矿、重晶石、
	福建中甲 ^{⑦⑧}	锡石、黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿、辉铋矿、辉钼矿
	福建石壁 ^{⑦⑧}	锡石、黑钨矿、铌钽铁矿、磷钇矿
热液脉 型锡矿	浙江岩前 ^{⑨⑩}	锡石、黑钨矿、白钨矿、黄铁矿、铌钽铁矿、辉铋矿、辉钼矿、重晶石、萤石
	浙江莫干山 ^{⑨⑩}	锡石、黑钨矿、白钨矿、黄铁矿、辉铋矿、萤石
	浙江河桥 ^{⑨⑩}	锡石、黑钨矿、白钨矿、黄铁矿、辉铋矿、辉钼矿、萤石
	浙江银坑 ^{⑨⑩}	锡石、黑钨矿、白钨矿、黄铁矿、辉铋矿、辉钼矿
	浙江仓库塘 ^{⑨⑩}	锡石、黑钨矿、白钨矿、辉铋矿、辉钼矿、萤石
	湖南香花岭 ^{③④}	锡石、黑钨矿、白钨矿、黄铜矿、辉铜矿、方铅矿、白铅矿、闪锌矿、黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂、辉铋矿、硬锰矿、 萤石、石榴子石、符山石、阳起石、透辉石、透闪石
	湖南白蜡水 ^{③④}	锡石、黑钨矿、白钨矿、黄铜矿、方铅矿、毒砂、辉铋矿、泡铋矿、硬锰矿
	湖南野鸡尾 ^{③④}	锡石、黑钨矿、白钨矿、黄铜矿、辉铜矿、方铅矿、白铅矿、闪锌矿、黄铁矿、磁铁矿、磁黄铁矿、毒砂、辉铋矿、 辉钼矿、硬锰矿、绿柱石、电气石、萤石、黄玉、石榴子石、符山石、阳起石、透辉石、透闪石
	湖南尚家坪 ^{③④}	锡石、黑钨矿、白钨矿、黄铜矿、辉铜矿、方铅矿、白铅矿、闪锌矿、黄铁矿、磁铁矿、磁黄铁矿、毒砂、辉铋矿、 辉钼矿、硬锰矿、绿柱石、电气石、萤石、黄玉、石榴子石、符山石、阳起石、透辉石、透闪石
	湖南红旗岭 ^{③④}	锡石、黑钨矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、磁铁矿、毒砂、萤石、黄玉
	广西斗北岭 ^{⑪⑫}	锡石、黑钨矿、白钨矿、磷钇矿、辉铋矿、辉钼矿、辉银矿、重晶石、独居石、金红石、萤石
	广西大西江 ^{⑪⑫}	锡石、黑钨矿、白钨矿、黄铜矿、方铅矿、辉铋矿、辉钼矿、自然金、重晶石、金红石、萤石
斑岩型 锡矿	江西茅棚店 ^⑥	锡石、黑钨矿、黄铜矿、独居石、金红石、锆石
	江西岩背 ^⑥	锡石、黑钨矿、黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿、毒砂、泡铋矿、电气石、独居石、金红石、锆石、石榴子石、符山石
	江西东华山 ^⑥	锡石、黑钨矿、黄铜矿、闪锌矿、黄铁矿、毒砂、辉铋矿、泡铋矿、电气石、独居石、金红石、锆石、石榴子石、阳起石
	浙江洋滨 ^{⑨⑩}	锡石、黑钨矿、白钨矿、钛铁矿、毒砂、辰砂、雄黄、雌黄、辉银矿、锆石
	青海乌兰乌珠尔 ^⑤	锡石、黑钨矿、白钨矿、黄铜矿、白铅矿、泡铋矿、辉钼矿、硬锰矿、自然金、萤石

表 2 矽卡岩型锡矿自然重砂单矿物报出率
Table 2 Frequencies of occurrence of natural heavy minerals
from the skarn type tin deposit

报出率 > 50%		报出率 50%~30%		报 出 率 < 30%			
锡石	100.00%	毒砂	50.00%	白铅矿	25.00%	铌钽铁矿	16.67%
白钨矿	75.00%	辉铋矿	50.00%	磁黄铁矿	25.00%	透辉石	16.67%
黑钨矿	75.00%	磁铁矿	33.33%	独居石	25.00%	透闪石	16.67%
黄铜矿	75.00%	电气石	33.33%	锆石	25.00%	阳起石	16.67%
石榴子石	75.00%	方铅矿	33.33%	孔雀石	25.00%	重晶石	16.67%
黄铁矿	58.33%	符山石	33.33%	钛铁矿	25.00%	自然金	16.67%
		闪锌矿	33.33%	萤石	25.00%	方柱石	8.33%
				自然铋	25.00%	褐帘石	8.33%
				辰砂	16.67%	磷灰石	8.33%
				黄玉	16.67%	绿柱石	8.33%
				辉钼矿	16.67%	钼铅矿	8.33%
				辉铜矿	16.67%	铁闪锌矿	8.33%
				金红石	16.67%	榍石	8.33%

柱石、黄铁矿、毒砂、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、辉铋矿、辉钼矿、黑钨矿、黝锡矿等, 非金属矿物有石英、电气石、萤石、黄玉、方解石、云母等^[24-31]。矿床中原生的矿物组合与矿床周边出现的自然重砂对应较好。同样以报出率 30% 为界, 可得出热液脉型锡矿所对应的一套自然重砂矿物组合为: 锡石+白

钨矿+黑钨矿+黄铁矿+萤石+磁铁矿+黄铜矿+辉铋矿+重晶石+方铅矿。

2.3 斑岩型锡矿

近年来, 国内外对于斑岩型矿床方面的研究成为焦点^[32-37], 从经济学角度上看, 斑岩型锡矿床也是中国重要的锡矿类型之一。选取江西省浮梁茅棚

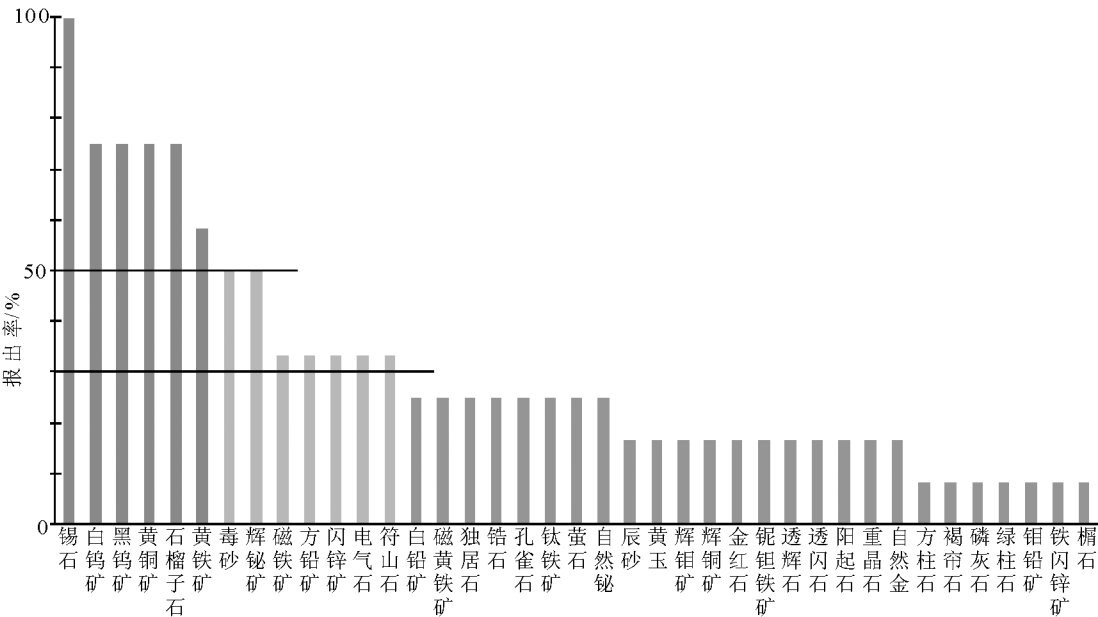


图 1 矽卡岩型锡矿自然重砂矿物报出率直方图
Fig. 1 Frequency of occurrence of natural heavy minerals from the skarn type tin deposit

表 3 热液脉型锡矿自然重砂单矿物报出率
Table 3 Frequencies of occurrence of natural heavy minerals
from the hydrothermal vein type tin deposit

报出率 > 50%		报出率 50%~30%		报 出 率 < 30%			
锡石	100.00%	磁铁矿	50.00%	毒砂	27.78%	透辉石	16.67%
白钨矿	83.33%	黄铜矿	38.89%	辉钼矿	27.78%	透闪石	16.67%
黑钨矿	77.78%	辉铋矿	38.89%	硬锰矿	27.78%	氯铅矿	11.11%
黄铁矿	72.22%	重晶石	38.89%	白铅矿	22.22%	铋钼铁矿	11.11%
萤石	55.56%	方铅矿	33.33%	闪锌矿	22.22%	磷铋矿	11.11%
				辉铜矿	16.67%	电气石	11.11%
				磁黄铁矿	16.67%	金红石	11.11%
				钛铁矿	16.67%	磷氯铅矿	5.56%
				绿柱石	16.67%	泡铋矿	5.56%
				黄玉	16.67%	辉银矿	5.56%
				石榴子石	16.67%	自然金	5.56%
				符山石	16.67%	独居石	5.56%
				阳起石	16.67%		

店、会昌岩背、石城东华山矿区,浙江省洋滨矿区和青海省乌兰乌珠尔矿区,对 5 个斑岩型锡矿区开展了研究工作,统计结果见表 4。

斑岩型锡矿床所形成的自然重砂矿物报出率中,锡石和黑钨矿最高,锆石次之,达到 80%,黄铜

矿、毒砂、辉铋矿、独居石、金红石较好(60%),白钨矿、闪锌矿、黄铁矿、泡铋矿、电气石有时也出现(40%),而铅族、钛铁矿、辰砂、雄黄、雌黄、钼族、硬锰矿、银矿物、金矿物、萤石、符山石、阳起石表现出较低的异常频率(20%)(表 4,图 3)。

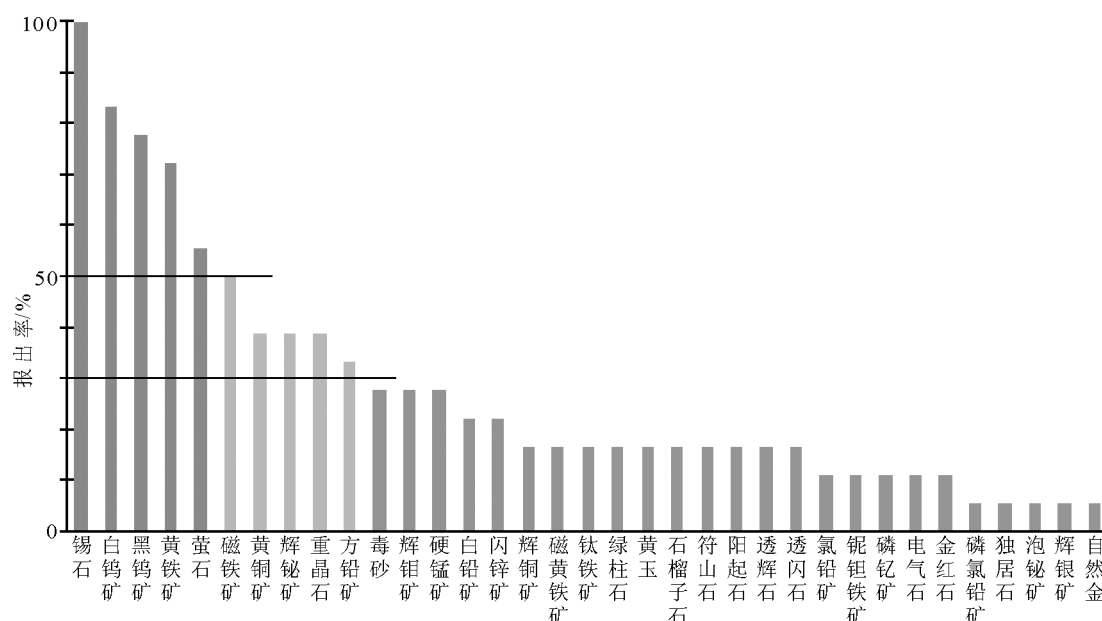


图 2 热液脉型锡矿自然重砂矿物报出率直方图

Fig. 2 Frequencies of occurrence of natural heavy mineral anomalies
from the hydrothermal vein type tin deposit

表4 斑岩型锡矿自然重砂矿物报出率
Table 4 Frequencies of occurrence of natural heavy minerals from the porphyry type tin deposit

报出率 > 50%		报出率 50%~30%		报出率 < 30%	
锡石	100.00%	白钨矿	40.00%	钛铁矿	20.00%
黑钨矿	100.00%	闪锌矿	40.00%	辰砂	20.00%
锆石	80.00%	黄铁矿	40.00%	雄黄	20.00%
黄铜矿	60.00%	泡铋矿	40.00%	雌黄	20.00%
毒砂	60.00%	电气石	40.00%	硬锰矿	20.00%
辉铋矿	60.00%			辉银矿	20.00%
独居石	60.00%			自然金	20.00%
金红石	60.00%			萤石	20.00%
				石榴子石	20.00%
				符山石	20.00%
				阳起石	20.00%

中国斑岩型锡矿床呈浸染状锡矿化,主要围绕燕山期花岗岩、花岗斑岩岩株或岩枝,具有明显的蚀变分带^[12]。金属矿物主要包括锡石、辉钼矿、黑钨矿、辉铋矿、黄铜矿、辉铜矿、方铅矿、黄铁矿、闪锌矿、磁铁矿和赤铁矿,非金属矿物有石英、黄玉、黑云母、绢云母、绿泥石、萤石、钾长石、电气石、锆石、独居石和金红石^[7-10]。对照其出现的自然重砂单矿物报出情况,可知其自然重砂响应情况较好。以报出率30%为界,得出斑岩型锡矿的自然重砂矿物组合为:锡石+黑钨矿+锆石+黄铜矿+毒砂+辉铋矿+独居石+金红石+白钨矿+闪锌矿+黄铁矿+泡铋矿+电气石。

3 讨 论

在前述中已经给出了矽卡岩型、热液脉型和斑岩型3类锡矿床所对应的自然重砂矿物组合,但是这3套矿物组合中的矿物大多数有重复出现现象,要将这3类矿床区别开来,仅利用矿物组合还有一定的难度。本次选择报出率较高的一部分矿物作出这3类矿床各矿物报出率对比图(图4)和玫瑰花图(图5),同时选择报出率大于30%的3套矿物作交集图(图6)。

图4和图5显示,石榴子石在矽卡岩型锡矿中的报出率(75%)远高于热液脉型(17%)和斑岩型(20%);锆石在斑岩型锡矿中的报出率(80%)远高于矽卡岩型(25%)和热液脉型(0%);萤石在热液脉型锡矿中的报出率(56%)远高于矽卡岩型(25%)和斑岩型(20%);诸如此类情况的矿物还有符山石、重晶石、独居石、金红石和泡铋矿。

从图6可以更清晰地发现这一现象。由此认为,在自然重砂报出率大于30%的3套矿物组合中,某一套矿物中的部分矿物是另外2套矿物所没有的。具体为:矽卡岩型锡矿中的符山石、石榴子石,热液脉型锡矿中的萤石、重晶石,斑岩型锡矿中的锆石、独居石、金红石和泡铋矿。这些矿物被认为是所对应矿床类型的标型指示矿物。

矽卡岩型、热液脉型和斑岩型锡矿均属于锡矿种,所反映出的重砂异常矿物组合具有相似之处,如均出现锡石+白钨矿(或黑钨矿)的矿物组合,亦反映出不相同的地方,如矽卡岩型锡矿的石榴子石、热液脉型锡矿的萤石、斑岩型锡矿的锆石等。由此系统地、分门别类地建立自然重砂矿物组合与不同矿种不同类型矿床的响应,是建立自然重砂找矿模型的重要基础。在特定区域中,重矿物在河砂中出现的概率受多种因素制约,主要是地质背景、矿

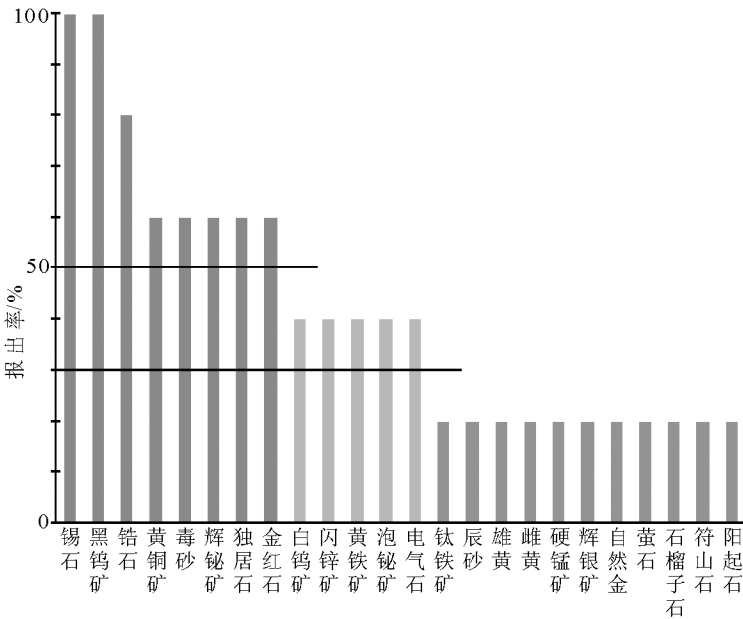


图3 斑岩型锡矿床自然重砂矿物报出率直方图
Fig. 3 Frequencies of occurrence of natural heavy minerals from the porphyry type tin deposit

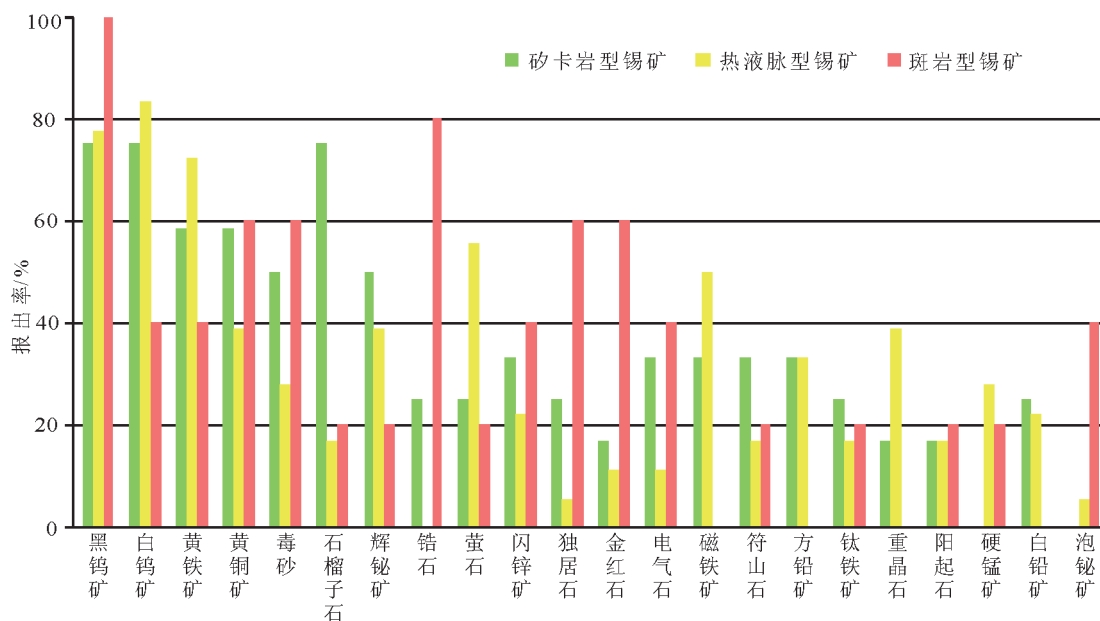


图4 三类矿床部分重砂矿物报出率对比

Fig. 4 Comparison of frequencies of occurrence of natural heavy minerals from three types of deposits

化类型及其矿化强度,以及原生矿物在表生条件下的可保存程度及其次生矿物的稳定性。原生矿物在表生条件下的可保存程度及次生矿物种类,受区域自然景观条件制约。有些矿物非常稳定,如锡石、白钨矿、黑钨矿等,这些矿物在原生矿床

中出现,其在重砂中几乎都能找到响应;有些矿物较不稳定,甚至很不稳定,如辉铋矿,常在自然条件下形成以铋酞(BiO^{1+})碳酸盐形式的泡铋矿、铋铅矿;铜矿物形式更加多样,黄铜矿常可转化为孔雀石、蓝铜矿、辉铜矿等。在还原搬运过程和估算原生矿床距离的过程中,稳定矿物在大部分环境下都不会发生化学变化;不稳定矿物若发生化学变化,则能反应其所经历的搬运环境。稳定重砂矿物的物理性质,如颗粒大小、磨圆度的变化等,

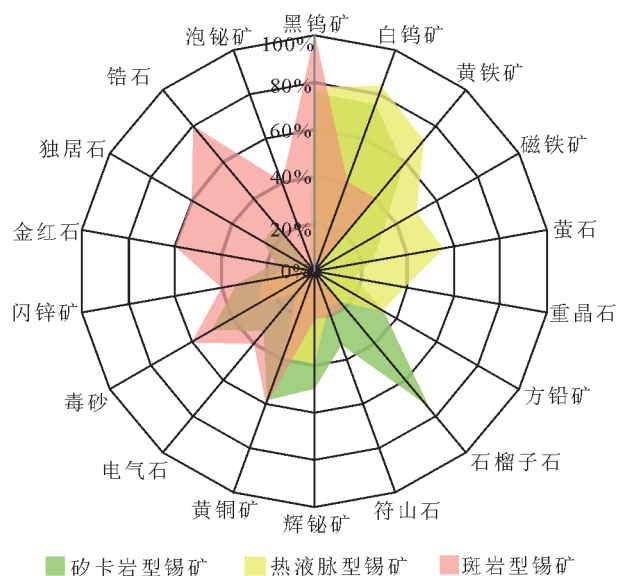


图5 三类矿床部分重砂矿物报出率玫瑰花图

Fig. 5 Rose diagram of frequencies of occurrence of natural heavy minerals from three types of deposits

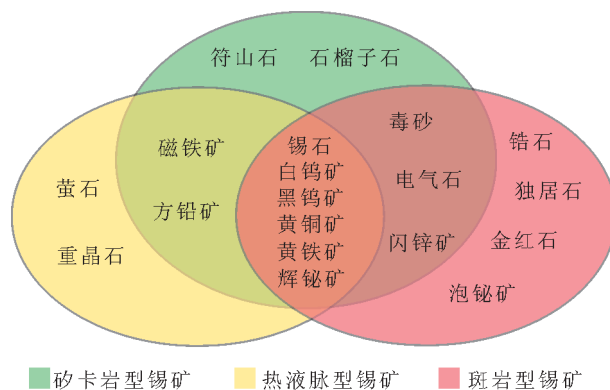


图6 三种类型矿床自然重砂矿物交集

Fig. 6 Intersection diagram of natural heavy minerals from three types of deposits

也能反应其所经历的搬运条件,以此推断其原生矿床距离的远近,故稳定矿物和不稳定矿物均是寻找锡矿的重要指示矿物。此外,在还原成矿环境的过程中,重砂矿物组合相比化探异常对成矿温压条件具有更好的限定性。目前全国1:20万重砂测量已经完成,部分地区还进行了1:5万重砂测量,在拥有海量重砂数据的同时,通过建立重砂找矿模型能够更好地指导地质找矿工作。

4 结 论

不同类型锡矿床所反映出的自然重砂矿物组合具有一定程度的相似性和各自的差异性,相似性能够反映其矿种信息,而差异性能够反映其成因信息。各类型锡矿床所对应的自然重砂矿物组合由报出率大于50%的矿物和所对应的标型指示矿物共同厘定,即矽卡岩型:锡石+白钨矿+黑钨矿+黄铜矿+黄铁矿(+石榴子石)(括号内为标型指示矿物,下同);热液脉型:锡石+白钨矿+黑钨矿+黄铁矿(+萤石+重晶石);斑岩型:锡石+黑钨矿+黄铜矿+毒砂+辉铋矿(+锆石+独居石+金红石+泡铋矿)。

致谢:武警黄金部队薄海军工程师和中国地质大学(北京)研究生王鹏、张虹、韦少港在成文过程中给予建议,南京地质调查中心叶海敏副研究员对文章修改给予指导,樊献科硕士曾帮助搜集资料,在此一并表示由衷的感谢。

参考文献

- [1]广东省冶金工业厅试验研究所重砂室. 重砂矿物分析经验汇编[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1959.
- [2]宋天锐. 重砂矿物分析方法[M]. 北京: 地质出版社, 1957.
- [3]Fredric L P, William A P, Pirkle E C. Chapter 45 Heavy-Mineral Sands of the Atlantic and Gulf Coastal Plains, USA[J]. *Developments in Sedimentology*, 2007, 58: 1144-1232.
- [4]Eduardo G, Sergio A. Chapter 20 Heavy Mineral Concentration in modern sands: Implications for Provenance Interpretation[J]. *Developments in Sedimentology*, 2007, 58: 517-545.
- [5]Sergio A, Danilo B, Pietro V, et al. Raman spectroscopy as an effective tool for high-resolution heavy-mineral analysis: Examples from major Himalayan and Alpine Fluvio-deltaic[J]. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2009, 73(3): 450-455.
- [6]Barrie J V. Hydrodynamic factors controlling the distribution of heavy minerals(Bristol Channel)[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1981, 12(5): 609-619.
- [7]余长发, 赵海杰, 徐林刚, 等. 江西岩背锡矿床流体包裹体特征与成矿作用研究[J]. *矿床地质*, 2013, 32(2): 280-288.
- [8]梅玉萍, 李华芹, 王登红, 等. 江西岩背斑岩锡矿的成矿时代及其地质意义[J]. *地球学报*, 2007, 28(5): 456-461.
- [9]李鸿莉, 毕献武, 涂光炽, 等. 岩背花岗岩黑云母矿物化学研究及其对成矿意义的指示[J]. *矿物岩石*, 2007, 27(3): 49-54.
- [10]刘昌实, 沈渭洲, 熊小林, 等. 江西岩背含锡斑岩主要造岩矿物矿物标型特征[J]. *矿物学报*, 1994, 14(1): 7-14.
- [11]赵一鸣, 林文蔚, 毕承思, 等. 中国矽卡岩矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
- [12]李希勋, 施琳. 中国锡矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1986.
- [13]冶金工业部西南冶金地质勘探公司. 个旧锡矿地质[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1984.
- [14]庄永秋. 云南个旧锡铜多金属矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [15]张世奎. 云南马关都龙锡锌矿床地质特征及成矿预测[J]. *民营科技*, 2011, 9: 41-42.
- [16]程细音, 祝新友, 王艳丽, 等. 柿竹园钨锡多金属矿床矽卡岩中碱交代脉研究[J]. *中国地质*, 2012, 39(4): 1023-1033.
- [17]龚庆杰, 於崇文, 张荣华. 柿竹园钨多金属矿床形成机制的物理化学分析[J]. *地学前缘*, 2004, 11(4): 617-625.
- [18]於崇文, 岑况, 龚庆杰, 等. 湖南郴州柿竹园超大型钨—多金属矿床的成矿复杂性研究[J]. *地学前缘*, 2003, 10(3): 15-39.
- [19]唐良栋. 腾冲—梁河地区来利山锡矿床成因类型探讨[J]. *云南地质*, 1992, 11(3): 283-288.
- [20]李景略. 梁河来利山锡矿地质特征及其成因[J]. *云南地质*, 1984, 8(1): 47-58.
- [21]林文信. 梁河来利山紫苏辉石花岗岩的地质特征及成因浅析[J]. *云南地质*, 1987, 6(1): 83-87.
- [22]罗兰, 蒋少涌, 杨水源, 等. 江西彭山锡多金属矿集区隐伏花岗岩体的岩石地球化学、锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素组成[J]. *岩石学报*, 2010, 26(9): 2818-2834.
- [23]卢树东, 高文亮, 汪石林, 等. 江西彭山锡多金属矿田地质地球化学特征研究[J]. *中国地质*, 2005, 32(3): 463-469.
- [24]张文源. 滇西石缸河锡矿床的成因探讨[J]. *矿产与地质*, 1996, 10(3): 159-164.
- [25]李泉, 刘杰, 杨洪, 等. 铁厂—石缸河锡钨矿带成矿模式及找矿潜力[J]. *云南地质*, 2012, 31(1): 36-38.
- [26]聂治, 尹观. 云南昌宁锡矿床锡石的标型特征研究[J]. *广东微量元素科学*, 2007, 14(10): 50-55.
- [27]张达, 吴淦国, 吴建设, 等. 闽西南中甲锡多金属矿床的 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. *地质力学学报*, 2003, 9(3): 261-267.
- [28]杨祖龙, 张德全, 丰成友, 等. 福建龙岩中甲锡多金属矿床石英斑岩中锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *矿床地质*, 2008, 27(3): 329-335.
- [29]章邦桐, 王凯兴, 凌洪非, 等. 浙江莫干山花岗岩体锆石 U-Pb、全岩 Rb-Sr 年代学、Sr-Nd-O 同位素地球化学及成因研究[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2012, 31(4): 348-353.
- [30]徐启东, 章锦统. 湖南花香岭锡多金属矿田成矿地质背景与找矿潜力评估[J]. *地球科学*, 1993, 18(5): 602-611.

- [31]罗卫, 李文光, 周涛, 等. 湘南香花岭锡多金属矿田地质地球化学特征及成因探讨[J]. 地质调查与研究, 2010, 33(1): 1–11.
- [32]Kempe U, Lehmann B, Wolf D. U–Pb SHRIMP geochronology of Th–poor, hydrothermal monazite: An example from the Llalagua tin–porphyry deposit, Bolivia[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2008, 72: 4352–4366.
- [33]Groves D I, McCarthy T S. Fractional crystallization and the origin of tin deposits in granitoids[J]. *Mineralium Deposita*, 1978, 13: 11–26.
- [34]Williams–Jones A E, Samson I M, Olivo G R. The genesis of hydrothermal fluorite–REE deposits in the Gallinas Mountains, New Mexico[J]. *Economic Geology*, 2000, 95: 327–341.
- [35]Kontak D J, Clark A H. Genesis of the Giant, Bonanza San Rafael Lode tin deposit, Peru: Origin and significance of Pervasive Alteration[J]. *Economic Geology*, 2002, 97: 1741–1777.
- [36]Cauzid J, Philippot P, Martinez–Criado G. Constrasting Cu–complexing behaviour in vapour and liquid fluid inclusions from the Yankee Lode tin deposit, Mole Granite, Australia[J]. *Chemical Geology*, 2007, 72: 4352–4366.
- [37]Li Z L, Hu R Z, Yang J S. He, Pb and S isotopic constraints on the relationship between the A–type Qitianling granite and the Furong tin deposit, Hunan Province, China[J]. *Lithos*, 2007, 97: 161–173.
- ①云南省地质调查院. 云南省自然重砂资料应用研究报告. 2012.
- ②云南省地质调查院. 云南省自然重砂资料应用研究报告预测工作区自然重砂异常解释. 2011.
- ③湖南省地质调查院. 湖南省矿产资源潜力评价自然重砂资料应用成果报告. 2010.
- ④湖南省地质调查院. 湖南省矿产资源潜力评价预测工作区自然重砂异常解释与评价报告. 2012.
- ⑤青海省地质调查院. 青海省自然重砂资料应用研究报告. 2012.
- ⑥江西省地质调查院. 江西省自然重砂资料应用成果报告. 2012.
- ⑦福建省地质调查院. 福建省自然重砂资料应用报告. 2010.
- ⑧福建省地质调查院. 福建省预测工作区自然重砂异常解释与评价. 2012.
- ⑨浙江省地质调查院. 浙江省自然重砂资料应用成果报告. 2012.
- ⑩浙江省地质调查院. 浙江省自然重砂资料应用研究报告. 2010.
- ⑪广西壮族自治区地质调查院. 广西预测工作区自然重砂异常解释与评价报告. 2012.
- ⑫广西壮族自治区地质调查院. 广西自然重砂资料应用研究报告. 2012.