

辽宁金、铅锌及铜矿自然重砂组合特征研究

隋真龙¹, 张琦^{2*}, 魏亚美², 王大鹏¹

¹辽宁省地质矿产调查院有限责任公司, 辽宁 沈阳

²辽宁省地质勘探矿业集团, 辽宁 沈阳

收稿日期: 2022年3月16日; 录用日期: 2022年4月18日; 发布日期: 2022年4月25日

摘要

本文对辽宁省32个典型的金、铅锌及铜矿床的自然重砂矿物进行统计分析。总结发现, 不同矿种对应不同的重砂矿物组合: 如自然金、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、辰砂、白钨矿等对金矿床具有较好指示意义; 铅族矿物、铜族矿物、黄铁矿、磁铁矿、辉钼矿等对铅锌矿床具有较好指示意义; 而铜族矿物、黄铁矿、磁铁矿、方铅矿、辉钼矿等对铜矿床具有较好指示意义。相同矿种中不同成因的矿床其对应的重砂矿物组合也存在一定差异: 例如VMS型铜矿床的重砂指示矿物组合为: 铜族矿物 + 黄铁矿 + 磁黄铁矿 + 磁铁矿 + 镜铁矿; 矽卡岩型铜矿床的为: 铜族矿物 + 黄铁矿 + 磁铁矿 + 方铅矿 + 辉钼矿。这些规律对于今后在辽宁地区建立不同成因类型的金、铅锌及铜矿的自然重砂找矿模型具有重要指示意义。

关键词

辽宁省, 自然重砂组合规律, 金矿, 铅锌矿, 铜矿, 找矿意义

Characteristics of Natural Heavy Mineral Assemblages from Gold, Lead-Zinc and Copper Deposits in Liaoning Province

Zhenlong Sui¹, Qi Zhang^{2*}, Yamei Wei², Dapeng Wang¹

¹Liaoning Geological and Mineral Survey Institute Co., Ltd, Shenyang Liaoning

²Liaoning Geological Exploration and Mining Group, Shenyang Liaoning

Received: Mar. 16th, 2022; accepted: Apr. 18th, 2022; published: Apr. 25th, 2022

Abstract

Assemblages of natural heavy mineral from 32 typical gold, lead-zinc and copper deposits in Liaoning Province
*通讯作者。

文章引用: 隋真龙, 张琦, 魏亚美, 王大鹏. 辽宁金、铅锌及铜矿自然重砂组合特征研究[J]. 地球科学前沿, 2022, 12(4): 525-535. DOI: 10.12677/ag.2022.124053

ing province were analyzed. We found that different kinds of ore deposits have different kinds of natural heavy minerals. Variable mineral assemblages of native gold, pyrite, chalcopyrite, galena, cinnabar and scheelite can be used as indicators for gold ore prospecting. The leady minerals, the branze minerals, pyrite, magnetite and molybdenite can be used as indicators for lead-zinc ore prospecting. And the branze minerals, pyrite, magnetite, galena and molybdenite can be used as indicators for copper ore prospecting. Typomorphic mineral assemblages are variable in different genetic style of deposits. For example, the typical heavy mineral assemblages in VMS copper deposit is of the branze minerals + pyrite + pyrrhotite + magnetite + specularite, whereas the branze minerals + pyrite + magnetite + galena + molybdenite are of typical heavy mineral assemblages in Skarn copper deposits. These laws are useful for further different kinds of gold, lead-zinc and copper deposits prospecting in Liaoning province.

Keywords

Liaoning Province, Natural Heavy Mineral Assemblage, Gold Deposit, Lead-Zinc Deposit, Copper Deposit, Prospecting Significance

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

自然重砂就是自然界的岩(矿)石经风化、剥蚀、搬运而残留下来的密度较大的(2.9 g/mm^3)矿物,赋存于不同沉积物中,其类型及含量与源区岩石有关[1],其空间分布受区内地层、岩性和构造条件的控制[1][2][3]。自然重砂是重砂找矿法的主要研究对象[4],具有直接找矿和指导找矿的作用[5]。

自20世纪50年代,我国开展了1:20万区域重砂测量工作,至今已积累大量有价值的重砂原始资料,为地质找矿、基础研究积累了大量有用信息[6]。目前,自然重砂找矿法运用最成熟、最有效的是在金刚石找矿工作中,总结发现,以镁铝榴石+铬铁矿的自然重砂矿物组合可以很好地指示源区含金刚石金伯利岩的存在[7]。然而对于其他矿种的自然重砂矿物组合规律的归纳研究及实际应用尚不完善成熟。前人的研究主要是针对通过高报出率矿物圈定的重砂异常范围与矿床的对应关系上,而对不同成因类型矿床的自然重砂矿物组合特征的研究甚少,尤其是专属于特定成因矿床的低报出率指示矿物研究程度不高。本文选取了辽宁省32个不同成因类型的典型矿床作为研究对象,目的在于归纳总结这三个矿种分别对应的自然重砂矿物组合的同时,对比分析相同矿种中不同成因类型矿床的自然重砂矿物组合特征,筛选不同成因的特有指示矿物,为今后在辽宁省地区开展的金、铅锌及铜矿床的勘查找矿工作提供一定的参考依据。

2. 金矿床

2.1. 矿床成因类型

辽宁省是我国重要的金矿产地之一,金矿类型较多,不同的学者提出不同的金矿分类方案。根据辽宁省金矿的成矿物质来源,成矿环境和成矿作用,可将全省金矿床划分为岩浆热液型、陆相火山岩性、同韧性剪切变质热液型、变质-岩浆热液叠生型、砂砾岩型及砂矿型,其中砂砾岩型金矿在辽宁省找矿意义不大[8]。从全省金矿分布格局来看,可将辽宁省划分为4个主要的金成矿带。既凌源-北票-清原

金成矿带(北票二道沟金矿、清原线金厂金矿等); 青龙 - 锦西金成矿带(水泉金矿等); 营口 - 宽甸金成矿带(白云金矿、分水金矿等); 新金 - 丹东金成矿带(五龙金矿、猫岭金矿等) [9]。

2.2. 金矿床相关自然重砂矿物组合

为了归纳总结辽宁省有关金矿床的自然重砂矿物组合规律特征, 本文选取了包括清原县柞奶甸子金矿、朝阳东五家子金矿、凤城市白云金矿、丹东五龙金矿、北票二道沟金矿、三家子砂金矿等 21 个典型金矿床进行总结分析, 其对应的相关自然重砂矿物组合见表 1。

Table 1. The result of quote of natural heavy minerals of gold deposits

表 1. 金矿床相关自然重砂矿物组合一览表

序号	矿床名称	类型	相关自然重砂矿物组合
1	清原县景家沟金矿	岩浆热液型	自然金、方铅矿、黄铁矿、辰砂
2	朝阳东五家子金矿	岩浆热液型	自然金、白钨矿、黄铁矿、黄铜矿
3	清原县下达堡金矿	岩浆热液型	自然金、黄铁矿
4	丹东五龙金矿	岩浆热液型	自然金、白钨矿、方铅矿、黄铁矿、辰砂、黄铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿
5	凌源市柏杖子金矿	岩浆热液型	自然金、黄铁矿、黄铜矿、毒砂
6	清原县线金厂金矿	岩浆热液型	自然金、白钨矿、方铅矿、黄铁矿、辰砂、黄铜矿
7	绥中县小盘岭金矿	陆相火山岩型	自然金、白钨矿、方铅矿、黄铁矿、辰砂、黄铜矿
8	葫芦岛水泉金矿	陆相火山岩型	自然金、白钨矿、方铅矿、黄铁矿、辰砂、黄铜矿
9	义县红石砬子金矿	陆相火山岩型	自然金、方铅矿、黄铁矿、辰砂、黄铜矿、闪锌矿、重晶石
10	北票二道沟金矿	陆相火山岩型	自然金、方铅矿、黄铁矿、辰砂、闪锌矿、辉铋矿、萤石
11	建昌县大石沟金矿	陆相火山岩型	自然金、白钨矿、方铅矿、黄铁矿、辰砂、黄铜矿、泡铋矿
12	大石桥市分水金矿	陆相火山岩型	自然金、白钨矿、方铅矿、黄铁矿、辰砂、黄铜矿、泡铋矿
13	阜新县排山楼金矿	同韧性剪切变质热液型	自然金、白钨矿、方铅矿、黄铁矿、辰砂、黄铜矿
14	清原县柞奶甸子金矿	同韧性剪切变质热液型	自然金、白钨矿、方铅矿、黄铁矿、辰砂
15	北票市沙金沟金矿	变质 - 岩浆热液叠生型	自然金、白钨矿、方铅矿、黄铁矿、辰砂
16	盖州市王家崴子金矿	变质 - 岩浆热液叠生型	自然金、黄铁矿、孔雀石、磁铁矿、钛铁矿、锆石、金红石、磷灰石、石榴子石、白钛矿
17	凤城市白云金矿	变质 - 岩浆热液叠生型	自然金、白钨矿、方铅矿、黄铁矿、辰砂、黄铜矿、泡铋矿
18	建平县梨树沟金矿	变质 - 岩浆热液叠生型	自然金、白钨矿、方铅矿、黄铁矿、辰砂、黄铜矿、泡铋矿
19	盖州市猫岭金矿	变质 - 岩浆热液叠生型	自然金、白钨矿、黄铁矿
20	柴河沙金矿	砂矿型	自然金
21	三家子砂金矿	砂矿型	自然金

由表 1 总结发现, 与金矿床相关的重砂矿物包括(按报出次数由高到低排序): 自然金、黄铁矿、方铅矿、辰砂、白钨矿、黄铜矿、泡铋矿、闪锌矿、孔雀石、磁铁矿、钛铁矿、锆石、金红石、磷灰石、石榴子石、白钛矿、磁黄铁矿、毒砂、重晶石、辉铋矿、萤石。记重砂矿物报出次数为 n , 矿床个数为 N ($N = 21$), 则重砂矿物报出率为 n/N , 由此计算出各个重砂矿物的报出率, 见表 2。

Table 2. Natural heavy mineral quote rate of gold deposits
表 2. 金矿床相关自然重砂矿物报出率一览表

重砂矿物	报出次数	报出率	重砂矿物	报出次数	报出率
自然金	21	100%	锆石	1	5%
黄铁矿	19	90%	金红石	1	5%
方铅矿	14	67%	磷灰石	1	5%
辰砂	14	67%	石榴子石	1	5%
白钨矿	13	62%	白钛矿	1	5%
黄铜矿	12	57%	磁黄铁矿	1	5%
泡铋矿	4	19%	毒砂	1	5%
闪锌矿	3	14%	重晶石	1	5%
孔雀石	1	5%	辉锑矿	1	5%
磁铁矿	1	5%	萤石	1	5%
钛铁矿	1	5%			

根据表 2 制作金矿床相关自然重砂矿物报出率直方图，如图 1。

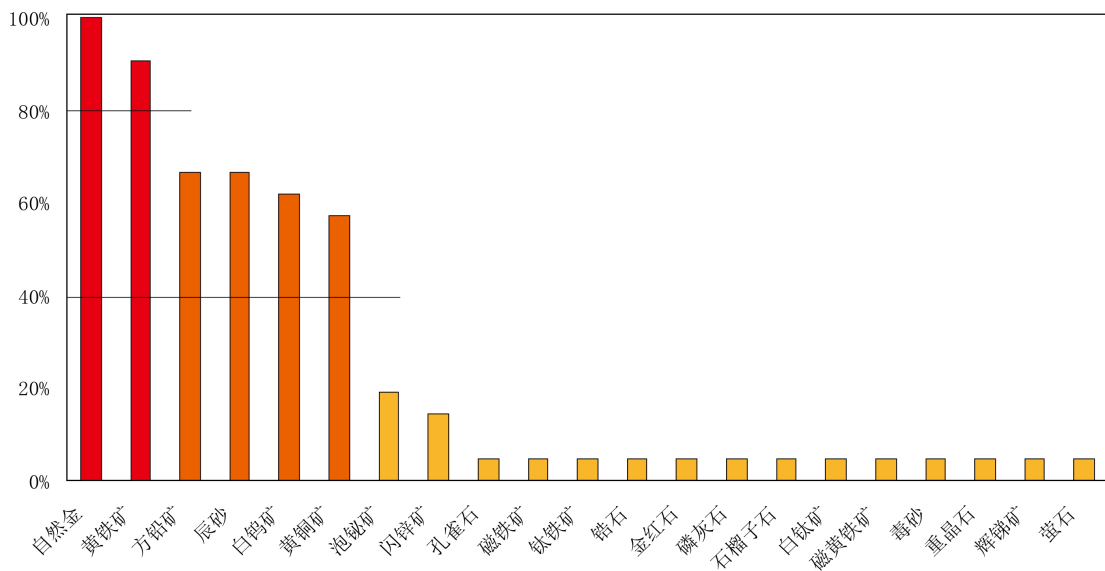


Figure 1. Natural heavy mineral quote rate histogram of gold deposits

图 1. 金矿床相关自然重砂矿物报出率直方图

通过表 2 及图 1 可以看出，与金矿床相关的自然重砂矿物报出率为：自然金(100%)、黄铁矿(90%)、方铅矿(67%)、辰砂(67%)、白钨矿(62%)、黄铜矿(57%)、泡铋矿(19%)、闪锌矿(14%)、孔雀石(5%)、磁铁矿(5%)、钛铁矿(5%)、锆石(5%)、金红石(5%)、磷灰石(5%)、石榴子石(5%)、白钛矿(5%)、磁黄铁矿(5%)、毒砂(5%)、重晶石(5%)、辉锑矿(5%)、萤石(5%)。厘定以报出率 $\geq 50\%$ 的矿物作为金矿床相关自然重砂矿物组合，则表明自然金 + 黄铁矿 + 方铅矿 + 辰砂 + 白钨矿 + 黄铜矿的矿物组合对于重砂异常区内的金矿床具有较好的指示意义。

进一步比较发现, 岩浆热液型金矿报出的重砂指示矿物包括: 自然金、白钨矿、方铅矿、黄铁矿、辰砂、黄铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿、毒砂; 陆相火山岩型金矿报出的重砂指示矿物包括: 自然金、白钨矿、方铅矿、黄铁矿、辰砂、黄铜矿、闪锌矿、重晶石、辉锑矿、萤石、泡铋矿; 同韧性剪切变质热液型金矿报出的重砂指示矿物包括: 自然金、白钨矿、方铅矿、黄铁矿、辰砂、黄铜矿; 变质-岩浆热液叠生型金矿报出的重砂指示矿物包括: 自然金、白钨矿、方铅矿、黄铁矿、辰砂、黄铜矿、泡铋矿、孔雀石、磁铁矿、钛铁矿、锆石、金红石、磷灰石、石榴子石、白钛矿; 而砂矿型金矿的重砂指示矿物只有自然金。其中自然金对所有类型金矿床均具有较好指示意义, 黄铁矿 + 方铅矿 + 辰砂 + 白钨矿 + 黄铜矿对除砂矿型金矿外的其他 5 中金矿床均具有较好指示意义, 闪锌矿对岩浆热液型和陆相火山岩型金矿床具有指示意义, 而泡铋矿对陆相火山岩型和变质 - 岩浆热液叠生型金矿床具有指示意义。除此之外, 岩浆热液型金矿床还报出磁黄铁矿和毒砂, 陆相火山岩型金矿床还报出重晶石、辉锑矿和萤石, 变质 - 岩浆热液叠生型金矿床还报出孔雀石、磁铁矿、钛铁矿、锆石等指示矿物, 如表 3。

Table 3. The result of quote of natural heavy minerals of 5 kinds of gold deposits

表 3. 五种成因类型金矿床自然重砂矿物交集表

矿床类型	岩浆热液型	陆相火山岩型	同韧性剪切变质热液型	变质 - 岩浆热液叠生型	砂矿型
重砂指示矿物	自然金	自然金	自然金	自然金	自然金
	白钨矿	白钨矿	白钨矿	白钨矿	
	方铅矿	方铅矿	方铅矿	方铅矿	
	黄铁矿	黄铁矿	黄铁矿	黄铁矿	
	辰砂	辰砂	辰砂	辰砂	
	黄铜矿	黄铜矿	黄铜矿	黄铜矿	
	闪锌矿	闪锌矿			
			泡铋矿		泡铋矿
	磁黄铁矿		重晶石		孔雀石
	毒砂		辉锑矿		磁铁矿
			萤石		钛铁矿
					锆石
					金红石
				磷灰石	
				石榴子石	
				白钛矿	

2.3. 有关金矿床重砂指示矿物的讨论

前人总结发现, 辽宁省岩浆热液型金矿床的矿石矿物主要包括黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、自然金、磁黄铁矿及毒砂, 这与本文总结的岩浆热液型金矿床自然重砂矿物组合基本吻合; 辽宁省陆相火山岩型金矿类型较多, 包括次火山(斑岩)热液型(二道沟式)、火山 - 次火山热液型(红石砬子式)及爆发角砾岩型(水泉式), 矿床矿石矿物也是种类繁多, 因此其对应的自然重砂矿物种类也较多; 相反, 同韧性剪切变质热液型金矿的矿石成分较为简单, 因此其报出的自然重砂矿物组合也较为简单; 此外, 由于变

质-岩浆热液叠生型矿床是经历变质及热液的叠加作用而成，因此其自然重砂矿物组合中既有热液矿床特征矿物组合也包含变质矿物组合[8]。由此可见，辽宁省金矿床自然重砂矿物组合特征能较好地反映源区金矿床的矿石矿物组合，因此，通过自然重砂矿物组合中报出的矿物类型可以大致预测异常区内金矿床的成因类型。

3. 铅锌矿床

3.1. 矿床成因类型

辽宁省铅锌矿资源较丰富，主要集中分布在建昌县八家子、葫芦岛市杨家杖子、凤城市青城子 - 岫岩县、桓仁县二棚甸子 - 宽甸县万宝等地区[10]。根据其形成背景及物质来源可划分出岩浆热液型、矽卡岩型、陆相次火山热液型、变质海相火山热液型、变质同生沉积型、同生沉积-变质热液再造型、沉积 - 变质 - 岩浆热液叠加改造型、盆地热卤水型等 8 种类型。而在辽宁省找矿意义较大的当属矽卡岩型、岩浆热液型、沉积变质-岩浆热液叠加改造型和陆相次火山热液型。其它类型的矿床无论是工业意义还是找矿远景均较小[11]。

3.2. 铅锌矿床相关自然重砂矿物组合

本文选取了辽宁省青城子铅锌矿、开原关门山铅锌矿、岫岩铅锌矿、金山岭铅矿、望宝山铅锌矿、二棚甸子多金属矿六个典型铅锌矿床进行分析研究，其对应的相关自然重砂矿物组合见表 4。

Table 4. The result of quote of nature heavy minerals of lead-zinc deposits

表 4. 铅锌矿床相关自然重砂矿物组合一览表

序号	矿床名称	成因类型	相关自然重砂矿物组合
1	青城子铅锌矿	沉积 - 变质 - 岩浆热液 叠加改造型	铅族矿物、铜族矿物、黄铁矿、毒砂
2	开原关门山铅锌矿	盆地热卤水型	铅族矿物、黄铁矿
3	岫岩铅锌矿	热液型	铅族矿物、铜族矿物、黄铁矿、磁铁矿、重晶石、萤石
4	金山岭铅矿	热液型	铅族矿物、铜族矿物、黄铁矿、磁铁矿、辉钼矿、白钨矿
5	望宝山铅锌矿	热液型	铅族矿物、铜族矿物、黄铁矿、辉钼矿
6	二棚甸子铜铅锌矿	矽卡岩型	铅族矿物、铜族矿物、磁铁矿

由表 4 总结发现，与铅锌矿床相关的重砂矿物包括(按报出次数由高到低排序)：铅族矿物、铜族矿物、黄铁矿、磁铁矿、辉钼矿、毒砂、重晶石、萤石、白钨矿。记重砂矿物报出次数为 n，矿床个数为 N (N = 6)，则重砂矿物报出率为 n/N，由此计算出各个重砂矿物的报出率，见表 5。

Table 5. Natural heavy mineral quote rate of lead-zinc deposits

表 5. 铅锌矿床相关自然重砂矿物报出率一览表

重砂矿物	报出次数	报出率	重砂矿物	报出次数	报出率
铅族矿物	6	100%	毒砂	1	17%
铜族矿物	5	83%	重晶石	1	17%
黄铁矿	5	83%	萤石	1	17%
磁铁矿	3	50%	白钨矿	1	17%
辉钼矿	2	33%			

根据表 5 制作铅锌矿床相关自然重砂矿物报出率直方图，如图 2。

通过表 5 和图 2 可以看出，与铅锌矿床相关的自然重砂矿物报出率为：铅族矿物(100%)、铜族矿物(83%)、黄铁矿(83%)、磁铁矿(50%)、辉钼矿(33%)、毒砂(60%)、重晶石(40%)、萤石(20%)、白钨矿(20%)。厘定以报出率 ≥ 30%的矿物作为铅锌矿床相关自然重砂矿物组合，则表明铅族矿物 + 铜族矿物 + 黄铁矿 + 磁铁矿 + 辉钼矿的矿物组合对于重砂异常区内的铅锌矿床具有较好的指示意义。

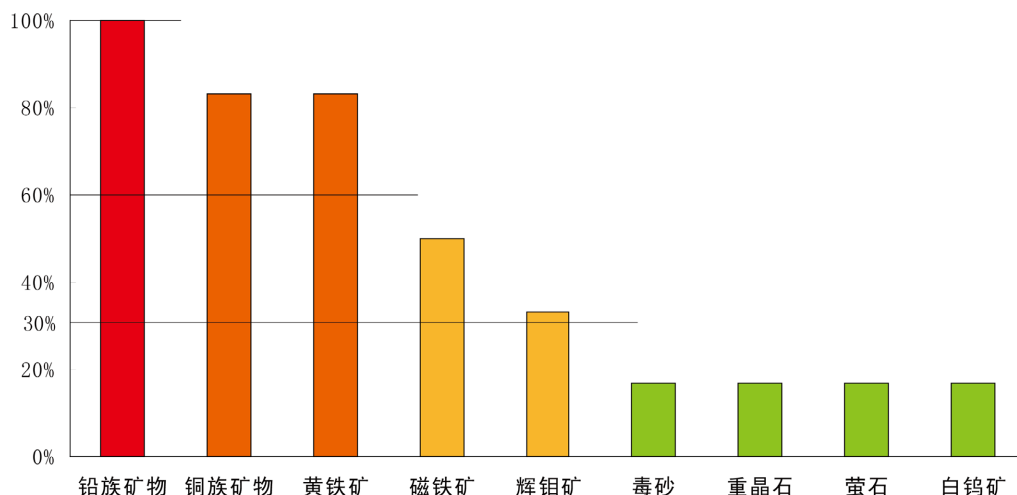


Figure 2. Natural heavy mineral quote rate histogram of lead-zinc deposits

图 2. 铅锌矿床相关自然重砂矿物报出率直方图

进一步对比分析发现，不同成因类型的铅锌矿床其对应的与之相关的自然重砂矿物组合存在一定差异。如沉积 - 变质 - 岩浆热液叠加改造型铅锌矿的重砂指示矿物包括铅族矿物、铜族矿物、黄铁矿、毒砂；盆地热卤水型铅锌矿的重砂指示矿物为铅族矿物、黄铁矿；热液型铅锌矿的重砂指示矿物为铅族矿物、铜族矿物、黄铁矿、磁铁矿、辉钼矿、重晶石、萤石、白钨矿；而矽卡岩型铅锌矿的为铅族矿物、铜族矿物、磁铁矿。对比发现，铅族矿物对于四种类型铅锌矿床均具有较好指示意义，铜族矿物对于除盆地热卤水型外的其他三种类型铅锌矿具有指示意义，黄铁矿对除矽卡岩型外的其他三种类型铅锌矿具有指示意义，而磁铁矿对热液型和矽卡岩型铅锌矿床具有指示意义。除此之外，沉积 - 变质 - 岩浆热液叠加改造型铅锌矿还报出指示矿物毒砂，热液型铅锌矿还报出指示矿物辉钼矿、重晶石、萤石和白钨矿，如表 6。

Table 6. The result of quote of natural heavy minerals of 4 kinds of lead-zinc deposits

表 6. 四种成因类型铅锌矿床自然重砂矿物交集表

矿床类型	沉积-变质-岩浆热液叠加改造型	盆地热卤水型	热液型	矽卡岩型
重砂指示矿物	铅族矿物	铅族矿物	铅族矿物	铅族矿物
	铜族矿物		铜族矿物	铜族矿物
	黄铁矿	黄铁矿	黄铁矿	
	毒砂		磁铁矿	磁铁矿
			辉钼矿	
		重晶石		
		萤石		
		白钨矿		

3.3. 有关铅锌矿床重砂指示矿物的讨论

众所周知，自然重砂矿物就是源区岩(矿)石经风化、剥蚀、搬运而残留下来的密度较大的(2.9 g/mm³)矿物，因此其组合特征能很大程度上反应源区矿床的矿物组合特征[1]，如表 7。

Table 7. The natural heavy minerals and ore minerals of lead-zinc deposits
表 7. 铅锌矿床自然重砂矿物与矿石矿物对比表

沉积 - 变质 - 岩浆 热液叠加改造型	主要矿石矿物	方铅矿、黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿
	次要矿石矿物	毒砂、白铁矿、辉银矿
	自然重砂矿物	铅族矿物、铜族矿物、黄铁矿、毒砂
盆地热卤水型	主要矿石矿物	方铅矿、黄铁矿、闪锌矿
	次要矿石矿物	黄铜矿、硫酸盐矿物
	自然重砂矿物	铅族矿物、黄铁矿
热液型	主要矿石矿物	方铅矿、黄铁矿、闪锌矿
	次要矿石矿物	磁铁矿、辉钼矿、磁黄铁矿、黄铜矿、银矿物
	自然重砂矿物	铅族矿物、铜族矿物、黄铁矿、磁铁矿、辉钼矿、重晶石、萤石、白钨矿
矽卡岩型	主要矿石矿物	方铅矿、黄铜矿、磁铁矿、闪锌矿、
	次要矿石矿物	黄铁矿、磁黄铁矿、辉铜矿、斑铜矿、辉银矿
	自然重砂矿物	铅族矿物、铜族矿物、磁铁矿

通过表 7 对比发现，各类型铅锌矿床中的主要矿石矿物在对应的自然重砂矿物组合中基本都有报出，而只有小部分次要矿石矿物在自然重砂矿物组合中报出，如沉积 - 变质 - 岩浆热液叠加改造型矿床中的毒砂、热液型矿床中的磁铁矿和辉钼矿，这些矿物虽在矿石中含量较低，但对于推断重砂异常区内的矿床成因类型却具有较大意义。矿石矿物在重砂矿物中能否报出除了与其在矿石中含量的多少有关外，还与其自身特性有关。例如：闪锌矿在四种类型铅锌矿床中均为主要矿石矿物，但在对应的自然重砂矿物组合中却无一报出，这是因为闪锌矿特性不稳定，因此在经历一系列的风化、剥蚀和搬运过程后无法以重砂形式保留下来。

4. 铜矿床

4.1. 矿床类型

辽宁省铜矿床根据其形成背景及物质来源可划分为矽卡岩型、VMS 型、岩浆热液型及铜镍型矿床等，其中找矿意义较大的当属矽卡岩型和 VMS 型矿床。其中矽卡岩型铜矿主要分布于辽宁铍铜 - 芙蓉一带，而 VMS 型矿床则主要位于辽宁清源一带[12]。

4.2. 铜矿床相关自然重砂矿物组合

为了归纳总结辽宁省与铜矿床相关的自然重砂矿物组合特征，本文选取了清源县红透山铜矿、辽阳华岩寺铜矿、铍铜 - 芙蓉铜矿及万宝铜铅锌多金属矿 4 个典型矿床，其对应的相关自然重砂矿物组合见表 8。

Table 8. The result of quote of nature heavy minerals of copper deposits
表 8. 铜矿床相关自然重砂矿物组合一览表

序号	矿床名称	成因类型	相关自然重砂矿物组合
1	清源县红透山铜矿	VMS 型	黄铜矿、辉铜矿、黄铁矿、赤铜矿、磁黄铁矿
2	辽阳华岩寺铜矿	VMS 型	黄铜矿、辉铜矿、黄铁矿、赤铜矿、磁铁矿、镜铁矿
3	铍铜-芙蓉铜矿	矽卡岩型	黄铜矿、辉铜矿、黄铁矿、赤铜矿、方铅矿、磁铁矿、辉钼矿
4	万宝铜铅锌多金属矿	矽卡岩型	黄铜矿、辉铜矿、黄铁矿、赤铜矿、方铅矿、磁铁矿、辉钼矿

由表 8 总结发现,与铜矿床相关的重砂矿物包括(按报出次数由高到低排序):黄铜矿、辉铜矿、黄铁矿、赤铜矿、磁铁矿、方铅矿、辉钼矿、磁黄铁矿、镜铁矿。记重砂矿物报出次数为 n , 矿床个数为 N ($N=4$), 则重砂矿物报出率为 n/N , 由此计算出各个重砂矿物的报出率, 见表 9。

Table 9. Natural heavy mineral quote rate of copper deposits
表 9. 铜矿床相关自然重砂矿物报出率一览表

重砂矿物	报出次数	报出率	重砂矿物	报出次数	报出率
黄铜矿	4	100%	方铅矿	2	50%
辉铜矿	4	100%	辉钼矿	2	50%
黄铁矿	4	100%	磁黄铁矿	1	25%
赤铜矿	4	100%	镜铁矿	1	25%
磁铁矿	3	75%			

根据表 9 制作铜矿床相关自然重砂矿物报出率直方图, 如图 3。

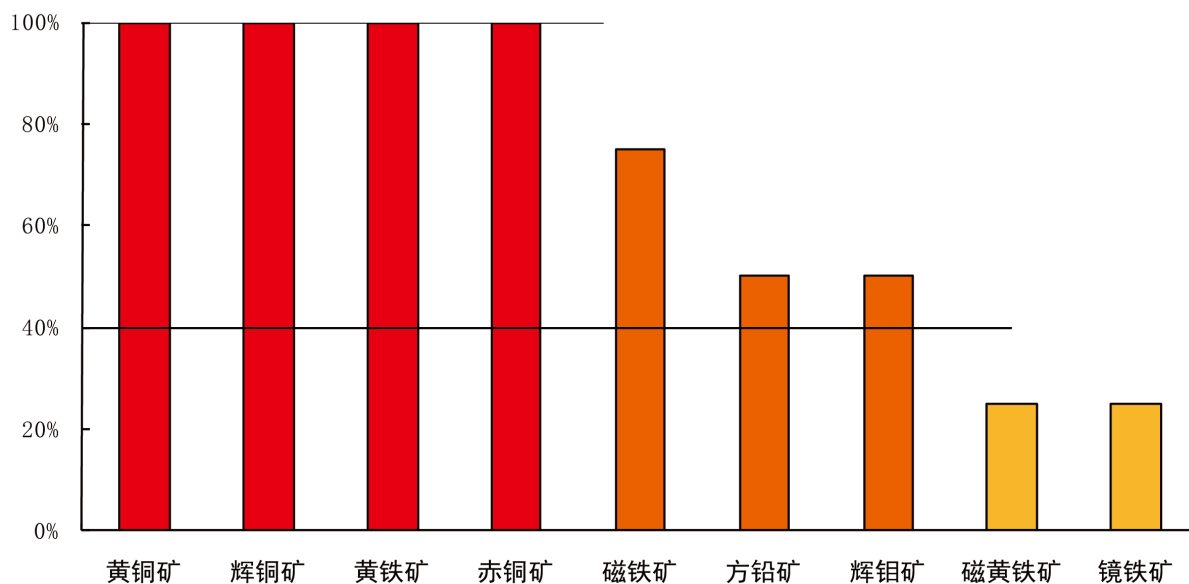


Figure 3. Natural heavy mineral quote rate histogram of copper deposits
图 3. 铜矿床相关自然重砂矿物报出率直方图

通过表 9 和图 3 可以看出,与铜矿床相关的自然重砂矿物报出率为:黄铜矿(100%)、辉铜矿(100%)、黄铁矿(100%)、赤铜矿(100%)、磁铁矿(75%)、方铅矿(50%)、辉钼矿(50%)、磁黄铁矿(25%)、镜铁矿(25%)。厘定以报出率 ≥ 40%的矿物作为铜矿床相关自然重砂矿物组合,则表明黄铜矿 + 辉铜矿 + 黄铁矿 + 赤铜矿 + 磁铁矿 + 方铅矿 + 辉钼矿的矿物组合对于重砂异常区内的铜矿床具有较好的指示意义。

进一步对比分析发现,不同成因类型的铜矿床其对应的与之相关的自然重砂矿物组合也存在一定差异。如 VMS 型铜矿床的相关重砂矿物组合为:黄铜矿 + 辉铜矿 + 黄铁矿 + 赤铜矿 + 磁铁矿 + 镜铁矿 + 磁黄铁矿;而矽卡岩型铜矿床的为:黄铜矿 + 辉铜矿 + 黄铁矿 + 赤铜矿 + 方铅矿 + 磁铁矿 + 辉钼矿。其中黄铜矿 + 辉铜矿 + 黄铁矿 + 赤铜矿 + 磁铁矿对于两种类型铜矿床均具有指示意义,此外,矽卡岩型铜矿床还报出指示矿物辉钼矿和方铅矿,VMS 型铜矿床还报出指示矿物磁黄铁矿 + 镜铁矿,如图 4。

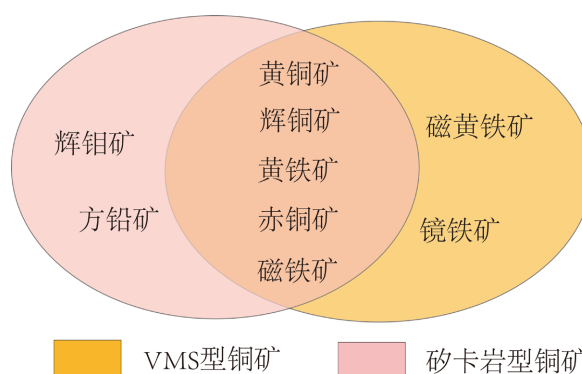


Figure 4. The result of quote of natural heavy minerals of 2 kinds of copper deposits
图 4. 两种成因类型铜矿床自然重砂矿物交集图

4.3. 有关铜矿床重砂指示矿物的讨论

辽宁省铜矿床成因类型较为简单,具有找矿意义及工业价值的主要为 VMS 型铜矿床和矽卡岩型铜矿床[12]。总结发现,VMS 型铜矿床的主要矿石矿物有黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿[13];而矽卡岩型铜矿床主要矿石矿物为黄铜矿,有时会与钼矿或铅锌矿伴生而包括辉钼矿、方铅矿和闪锌矿[14],如铍铜-芙蓉铜矿和万宝铜铅锌多金属矿。前人总结的有关铜矿床的矿石矿物组合特征与本文总结的自然重砂矿物组合特征较为吻合,这说明辽宁省地区铜矿床对应的自然重砂矿物组合特征能够较好的反应源区铜矿床的矿物组合特征及成因类型,这对于今后在该地区开展的铜矿床找矿工作具有一定的指示意义。

5. 结论

1) 辽宁省金矿床相关自然重砂矿物组合以自然金 + 黄铁矿 + 方铅矿 + 辰砂 + 白钨矿 + 黄铜矿为主。其中岩浆热液型金矿的特有指示矿物还包括磁黄铁矿和毒砂;陆相火山岩型金矿的特有指示矿物还包括重晶石、辉锑矿、萤石和泡铋矿;变质-岩浆热液叠生型金矿特有指示矿物为泡铋矿、孔雀石、磁铁矿、钛铁矿、锆石、金红石、磷灰石、石榴子石、白钛矿。

2) 辽宁省铅锌矿床相关自然重砂矿物组合以铅族矿物 + 铜族矿物 + 黄铁矿 + 磁铁矿 + 辉钼矿为主。其中沉积-变质-岩浆热液叠加改造型铅锌矿的特有指示矿物还包括毒砂;热液型铅锌矿的特有指示矿物还包括重晶石、萤石、白钨矿。

3) 辽宁省铜矿床相关自然重砂矿物组合以黄铜矿 + 辉铜矿 + 黄铁矿 + 赤铜矿 + 磁铁矿 + 方铅矿 + 辉钼矿为主,其中 VMS 型铜矿床的特有指示矿物还包括镜铁矿和磁黄铁矿。

4) 总结发现, 虽然同类矿种矿床主要自然重砂指示矿物大致相同, 但特定成因矿床却另有专属指示矿物, 虽然这些矿物报出率不高, 但却对指导找矿有着重要意义。

参考文献

- [1] Surour A.A., El-Kammar A.A., Arafa E.H. and Korany H.M. (2003) Dahab Stream Sediments, Southeastern Sinai, Egypt: A Potential Source of Gold, Magnetite and Zircon, *Journal of Geochemical Exploration*, **77**, 25-43.
[https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(02\)00268-6](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(02)00268-6)
- [2] 李景朝, 董国臣, 王季顺, 等. 自然重砂图解[M]. 北京: 地质出版社, 2012: 15-100.
- [3] 马婉仙. 重砂测量与分析[M]. 北京: 地质出版社, 1990: 35-74.
- [4] 朱家珍. 找矿勘探地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1986.
- [5] 曲亚军. 辽宁省金矿成矿作用与成矿预测研究[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2006.
- [6] 王十. 基于 Geodatabase 模型的重砂空间数据库研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 东北师范大学, 2006.
- [7] 宋瑞祥. 中国金刚石矿床专论-中国金刚石矿找矿与开发[M]. 北京: 地质出版社, 2013: 62-133.
- [8] 杨占兴. 辽宁省金矿成矿作用研究[J]. 辽宁地质, 1997(1): 40-54.
- [9] 陈江. 辽宁省大中型金矿床分布格局及找矿思路[J]. 黄金学报, 2000, 2(2): 83-87.
- [10] 李巍. 辽宁省铅锌矿资源量定量分析[J]. 地质与资源, 2012, 21(3): 319-325.
- [11] 杨占兴, 田立臣. 辽宁省铅锌矿床成矿作用研究[J]. 辽宁地质, 1998(1): 1-19.
- [12] 应立娟, 陈毓川, 王登红, 等. 中国铜矿成矿规律概要[J]. 地质学报, 2014, 88(12): 2216-2226.
- [13] 张润峰, 于凤金, 杨铁军, 等. 辽宁红透山铜矿树基沟矿区资源潜力分析[J]. 有色矿冶, 2011, 27(1):5-8.
- [14] 翟裕生, 姚书振, 蔡克勤. 矿床学[M]. 北京: 地质出版社, 2011: 96-122.