

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

科技述评

砷酸盐矿物研究及其地质找矿意义

李艺 赖来仁

(桂林矿产地质研究院, 541004)

内容提要 砷酸盐矿物是主要产出于硫化物矿床氧化带中的一类较为重要的次生矿物,在自然界中已发现 250 多种,但在我国对该类矿物开展的研究工作较少,目前仅发现该类矿物 39 种。本文根据对在广西、广东、云南和湖南等地若干硫化物矿床氧化带中发现的砷酸盐矿物的研究,并综合有关研究资料,对我国产出的砷酸盐矿物的矿物学特征和形成条件进行系统的论述;根据该类矿物的形成环境和共生组合特征,初步探讨它们对揭示原生矿床类型和寻找隐伏原生矿床(体)的标志意义。

关键词 砷酸盐矿物 形成条件 找矿意义

金属矿床氧化带产出的次生矿物是揭示其原生矿床的矿物成分及其矿体氧化剥蚀程度的标志。在各类氧化带矿物中,砷酸盐矿物是主要发育于(含砷)硫化物矿床氧化带中的一类比较特殊的次生矿物。因此,开展对该类矿物的研究不但具有重要的矿物学意义,而且根据其特定的成因也具有十分重要的地质找矿意义。在我国,过去对砷酸盐类矿物的研究甚少。80年代以来,特别是在近几年,笔者对广西、广东、云南和湖南等地若干硫化物矿床氧化带产出的砷酸盐矿物作了较系统的研究,共发现 20 多种砷酸盐矿物,其中 11 种属国内首次发现。另外,根据有关资料报道,国内其他一些地质工作者也发现了多种砷酸盐矿物^[1~6]。这些新发现极大地丰富了我国砷酸盐矿物的研究内容。

1 研究概况

砷酸盐类矿物种类繁多,目前在世界上已发现 250 多种,在自然界中主要产出于硫化物矿床氧化带中,也有部分产出于热液矿床中。该类矿物种数虽多,但其矿物量极少。在世界上比较著名的产地有英国的康瓦尔(Cornwall)及西南非等地,在美国、法国、德国、墨西哥、捷克及前苏联等国也有较多的砷酸盐矿物产出。在早期的丹纳氏系统矿物学(1951)一书中,即对该类矿物作了较系统的总结和描述。但是,由于该类矿物粒小量微,且多属结晶程度差或呈胶体状,特别是还常含水、羟基或卤素和由多分子基团组成,因此,其中有一部分矿物的晶体结构、化学成分等矿物学数据尚不很完善或有所欠缺。在矿物成因和人工合成试验等方面也缺乏系统性的研究资料。

80年代以前我国对砷酸盐类矿物的研究极少,在进入 80年代以来,对该类矿物的研究得到了一些开展。笔者在 1986~1995年陆续对我国若干硫化物矿床氧化带的砷酸盐矿物进行了

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号 49272094)的成果。

本文 1998年8月收到,1999年1月改回,刘淑春编辑。

较为系统的研究,发现了一大批砷酸盐矿物,其中包括两种存疑(新)矿物和一种新亚种矿物,补充和修正了前人研究程度较差的钼毒铁石、砷铜矾、羟砷铜石^[7~9]等,提供了这些矿物的较系统的矿物学数据及其红外光谱分析和差热分析资料。在国内首次进行了砷酸盐矿物的合成试验,成功地合成出了橄榄铜矿和翠砷铜石,并且,根据砷酸盐矿物的形成环境、演化过程及其共生组合特征等成因分析和综合研究,初步探讨了该类矿物的地质找矿意义。

2 砷酸盐矿物的种类

据初步统计,在我国发现的砷酸盐矿物已达 39 种(表 1)。可见产出有正砷酸盐 $[A_m(XO_4)_p]$ 或 $[(AB)_m(XO_4)_p]$ 、水合正砷酸盐 $[A_m(XO_4)_p \cdot xH_2O]$ 或 $[(AB)_m(XO_4)_p \cdot xH_2O]$ 、水羟正砷酸盐 $[(AB)_m(XO_4)_pZ_q \cdot xH_2O]$ 、含羟基或卤素的砷酸盐 $[A_m(XO_4)_pZ_q]$ 或 $[(AB)_m(XO_4)_pZ_q]$ 和复合砷酸盐等 5 类,其中以含羟基或卤素的砷酸盐类矿物较为多见。在上述矿物(表 1)中,属笔者在国内首次发现的矿物有:墨绿砷铜石和羟砷铜石、光线石、乳砷铅铜石、绿砷钼铁石、钼毒铁石、砷铜矾、磷质墨绿砷铜石(原初步定名为砷假孔雀石)^[10~16]、桂西石(?) $[Cu_2(AsO_4, SiO_4)(OH) \cdot H_2O]$ 、水羟砷铜石(?) $[Cu_5(AsO_4)_2(OH)_4 \cdot 3H_2O]$ 等,其中磷质墨绿砷铜石为一新亚种矿物,桂西石(?) (暂名)和水羟砷铜石(?)为两种存疑(新)矿物。该两种存疑矿物由于缺乏单晶分析结果,晶系不明,尚待作进一步研究加以确定。

3 矿物学特征

(1) 物理性质特征 砷酸盐矿物的最显著特征之一是其鲜艳的颜色。在砷酸盐矿物中常见和大量产出的是 Cu-Pb-Fe-(Zn) 系列的砷酸盐矿物。该类矿物的颜色丰富多样,这决定于其阳离子成分。一般地,含 Cu 的砷酸盐矿物常呈绿色、蓝绿色及黄绿色,如墨绿砷铜石、羟砷铜石、光线石和橄榄铜矿等;而含 Pb、Fe 者则呈黄色、褐黄色及褐红色,如砷铅矿、臭葱石和砷铅铁矿等。该类矿物硬度不高, $H_m = 3 \sim 4$,矿物多呈玻璃光泽,少数具油脂光泽,透明至半透明,其折光率较高,一般均 > 1.7 。该类矿物的结晶形态常呈纤维状、针柱状、柱状、短柱状及板状、立方体状等。此外,由于该类矿物在地表条件下主要是以凝结或凝胶吸附等方式形成,故而大多数矿物以放射状、玫瑰花状、葡萄状、肾状和球粒状集合体等形态产出。

(2) 红外光谱与差热分析特征 红外光谱分析与差热分析是鉴别含水矿物,特别是砷酸盐矿物的重要手段。砷酸盐矿物有其特定的红外光谱波数范围和差热吸收反应。砷酸盐矿物的红外光谱波数在 $780 \sim 880 \text{ cm}^{-1}$ 处有 AsO_4 的伸缩振动吸收带(ν_3),在波数 $450 \sim 550 \text{ cm}^{-1}$ 处有 AsO_4 的弯曲振动吸收带(ν_4),这是该类矿物的特征波谱。此外,由于该类矿物绝大多数都含有水或羟基,因此,在其红外光谱中显示有 H_2O 和 OH 的伸缩振动吸收带及其弯曲振动吸收带。该类矿物的差热曲线特征是在 $900 \sim 1000^\circ\text{C}$ 范围显示有紧邻的双谷吸热反应,这通常是由 AsO_4 发生分解所造成。

(3) 其他特征 砷酸盐类矿物一般易溶于稀 HCl 和 HNO_3 ,用钼酸铵作微化分析试验往往显示出有 $[AsO_4]^{3-}$ 的反应。

4 地质产状

在我国,砷酸盐矿物通常产出于富含毒砂或含砷矿物的硫化物矿床氧化带中,特别是产出于夕卡岩型铜锡矿床氧化带中。在疏松多孔的氧化铁帽褐铁矿石的表面或裂隙及孔隙中常见

有砷酸盐矿物产出,而在较致密的褐铁矿石中则较为少见。该类矿物常与针铁矿、胆矾、水胆矾、孔雀石、蓝铜矿、水锌矿、白铅矿等次生矿物共(伴)生。

表1 中国砷酸盐矿物表

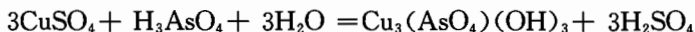
Table 1 The table of arsenate minerals of China

类别	矿物名称	化学式	产地
正砷酸盐	砷钒矿	$YAsO_4$	吉林双金、江西
水合正砷酸盐	镍华	$Ni_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$	吉林通化
	钴华	$Co(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$	吉林通化
	臭葱石	$Fe(AsO_4) \cdot 2H_2O$	广西,云南,吉林,内蒙古
水羟正砷酸盐	砷铁钙石	$Ca_3Fe_4(AsO_4)_4(OH)_6 \cdot 3H_2O$	内蒙古老洞沟
	砷锶铝石	$SrAl_3(AsO_4)_2(OH)_5 \cdot H_2O$	新疆哈图山
	墨绿砷铜矿	$Cu_5(AsO_4)_2(OH)_4 \cdot H_2O$	广西德保, 云南个旧
	绿砷钡镁石	$BaFe_3(AsO_4)_2(OH)_5 \cdot H_2O$	广西德保
	水羟砷铜石(?)	$Cu_5(AsO_4)_2(OH)_4 \cdot 3H_2O$	广西德保
	桂西石(?)	$Cu_2(As, Si)O_4(OH) \cdot H_2O$	广西德保
	斜方、单斜铜泡石	$Cu_9Ca_2(AsO_4)_4(OH)_{10} \cdot 10H_2O$	云南个旧、东川
	钼毒铁石	$Ba_{0.5}Fe_4(AsO_4)_3(OH)_4 \cdot 7H_2O$	广西德保
含羟基或卤素的砷酸盐	羟砷锌石	$Zn_2(AsO_4)(OH)$	广东,湖南,甘肃,吉林双金
	砷钙镁石	$CaMg(AsO_4)(OH)$	云南个旧
	羟砷铅锌石	$PbZn(AsO_4)(OH)$	云南个旧
	板羟砷铋石	$Bi_2(AsO_4)O(OH)$	湖南浏阳
	乳砷铅铜石	$PbCu_3(AsO_4)_2(OH)_2$	广西德保
	砷铅铁石	$PbFe_2(AsO_4)_2(OH)_2$	广西,广东锯板坑,湖南衡山钨矿
	光线石	$Cu_3(AsO_4)(OH)_3$	广西德保
	砷钙铜石	$CaCu(AsO_4)(OH)$	广西平桂, 云南个旧
	砷钙锌石	$CaZn(AsO_4)(OH)$	内蒙古
	羟砷铜石	$Cu_5(AsO_4)_2(OH)_4$	广西德保
	砷铜铅石	$PbCu(AsO_4)(OH)$	广西德保, 云南个旧
	斜方氟砷铅矿	$Pb_6As_2O_7Cl_4$	青海锡铁山
	砷铅矿	$Pb_5(AsO_4)_3Cl$	广西,湖南,云南,吉林,内蒙古,新疆
	橄榄铜石	$Cu_2(AsO_4)(OH)$	广西,湖南,云南,吉林,内蒙古,新疆
	磷质墨绿砷铜石	$Cu_5(AsO_4, PO_4)_2(OH)_4$	广西德保
	复合砷酸盐	砷铅铁矾	$PbFe_3(AsO_4)(SO_4)(OH)_6$
铜砷铅铁矾(?)		$CuPbFe_3(AsO_4)(SO_4)(OH)_8$	广西德保
砷铜矿		$Cu_9(AsO_4)_2(CO_3, SO_4)(OH)_{10} \cdot 7H_2O$	广西德保
翠砷铜铀矿		$Cu(UO_2)_2(AsO_4)_2 \cdot 10H_2O$	湖南衡阳
砷钼铀云母		$Ba(UO_2)_2(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$	西北地区
砷钙铀云母		$Cu(UO_2)_2(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$	西北地区
砷镁铀云母		$Mg(UO_2)_2(AsO_4)_2 \cdot 8-10H_2O$	西北地区
准砷镁铀云母		$Mg(UO_2)_2(AsO_4)_2 \cdot 4H_2O$	西北地区
砷钍石		$(Th, \Sigma Ce, Ca, Fe^{3+})_4[(SiO_4)(PO_4)(AsO_4)(CO_3 \cdot OH)]_4$	辽宁凤城
砷铀矿		$H_3O(UO_2)(AsO_4) \cdot 3H_2O$	辽宁凤城

此外,也见有相当一部分的砷酸盐矿物如砷铋矿、块砷镍矿、羟砷锰矿、氟砷钙镁石、红砷铝锰矿、砷钒矿、橙砷钠石、钙铁砷矿和黄砷榴石、砷锰钙矿等矿物产于石英脉、结晶灰岩、花岗岩、伟晶岩和夕卡岩等矿(岩)体中,这些矿物主要与热液成因有关,常与石英、方解石、重晶石、萤石和方铅矿、锡石等矿物共生产出。

5 砷酸盐矿物的形成条件

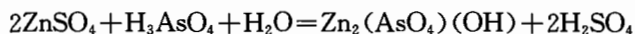
(1) 物质条件 砷酸盐矿物的生成既与原生矿物的矿物成分密切相关, 又与诸多影响矿石氧化的因素有着决定性的成生联系。毒砂及含砷矿物的大量存在是生成砷酸盐矿物的主要物质基础。而砷酸盐矿物的发育也与原生矿石中的黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿及闪锌矿等硫化物的含量密切相关。这些硫化物在氧化条件下较易氧化而形成硫酸盐, 而在硫酸盐中活性较大的金属阳离子如 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Al^{3+} 、 Mn^{2+} 、 Mg^{2+} 等与介质中由毒砂等含砷矿物氧化后水解而生成的砷酸(H_3AsO_4)化合, 即可生成砷酸盐类矿物, 其形成过程如下:



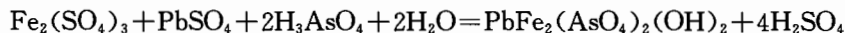
(光线石)



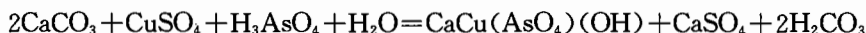
(乳砷铅铜石)



(羟砷锌石)



(砷铅铁矿)



(砷钙铜石)

(2) pH 值等介质条件 介质的酸碱度是决定砷酸盐矿物生成的重要因素。从上述砷酸盐矿物形成过程中均伴随生成大量的游离硫酸等酸性介质的化学反应式可见, 该类矿物在酸性介质中是很不稳定的, 要促使反应向右进行而生成砷酸盐矿物, 则需存在冲淡稀释或中和游离硫酸的介质条件。否则, 该类矿物只能是随生随灭而很难保存下来。从自然界中的砷酸盐矿物主要产出于温湿多雨的热带亚热带地区, 其多量的雨水或充沛的地下水不断冲淡稀释了氧化带介质中的游离硫酸, pH 值由酸性向弱酸性—中性转变, 从而有利于砷酸盐矿物的沉淀析出和保持稳定。例如在我国位于温湿多雨亚热带区的广西德保矿区即产出了大量的砷酸盐矿物^[17]。而在我国西北地区若干硫化物矿床氧化带中, 由于其气候干旱干燥, 导致氧化带介质中酸度过高(pH=1~3), 故只能形成大量的硫酸盐矿物^[18], 而少见或缺乏砷酸盐矿物的产出。此外, 在砷酸盐矿物产出的硫化物矿床氧化带中, 其矿体围岩常为碳酸盐岩。而碳酸盐岩作为围岩介质的存在, 也有利于中和氧化带介质中的酸度, 促进弱酸性—中性—弱碱性环境的形成, 因此也有利于砷酸盐矿物的生成。

(3) 人工合成实验 据一些人工合成实验结果表明, 砷酸盐矿物常形成于 pH 值为 3~6 的弱酸性介质环境中, 在中性—弱碱性介质中也可见有部分该类矿物形成。例如, 砷铜铅石形成时的 pH 值为 3~5, 而乳砷铅铜石形成时的 pH 值^[19]为 5~8。但据丹纳氏系统矿物学(1951)一书所介绍的多数实验都是在 100~200℃ 温度条件下进行的, 而在氧化带中的砷酸盐矿物则绝大部分是在常温常压下所形成。据此, 我们用砷酸、硫酸铜、孔雀石和蓝铜矿、褐铁矿、氢氧化钠及食用纯碱等作为实验材料, 在常温常压下进行了初步的合成试验研究。在 H_3AsO_4 - NaOH - CuSO_4 溶液体系中合成出了橄榄铜矿, 反应终点时 pH 值为 3。在 H_3AsO_4 - CuSO_4 -孔雀石、蓝铜矿试验体系中, 当 pH=3± 时, 形成翠砷铜石(Euchroite), 而在 H_3AsO_4 -孔雀石或蓝铜矿-食用纯碱(Na_2CO_3)体系中, 在 pH 值为 3~7 时也可见析出翠砷铜石。试验结果还表明, 在

碱性状态下却很难生成磷酸盐矿物,而当在强酸,即 $\text{pH} < 2$ 的介质条件下也不能形成磷酸盐矿物,但却常见到胆矾和胆矾等硫酸盐矿物结晶析出。由此,我们可得出磷酸盐矿物在形成时的介质 pH 值为 $3 \sim 7$,但其主要析出区间的 pH 值为 $3 \sim 5$ 的初步结论。我们还在试验体系中加进褐铁矿,可见溶液中所结晶析出的磷酸盐矿物吸附于褐铁矿的表面及其裂隙中,这与在氧化带中磷酸盐矿物与褐铁矿密切伴生的地质产状一致。综上所述,可见磷酸盐矿物一般只形成于弱酸性—中性的介质环境中,而在中性—弱碱性介质中则有利于保持该类矿物的稳定。

6 地质找矿意义

(1) 硫化物矿床氧化带的发育特征 硫化物矿床氧化带的发育主要受硫化物种类、数量、矿体产状、构造条件、气候条件和介质条件等因素控制。在氧化演变过程中,其在时间上表现出一定的阶段性,而在空间上其不同阶段产物则具一定的分带性。从早到晚,其相应的氧化产物一般表现为4个阶段:①早期氧化硫酸盐—一次生硫化物阶段;②中期水解氧化物、氢氧化物阶段;③晚期碳酸盐—硅酸盐阶段;④末期磷酸盐等络盐阶段。而相应的氧化介质则沿着由酸性→弱酸性→中性→弱碱性→碱性方向发展。在氧化垂直剖面上,则表现为“上老下新、上晚下早”特征,即越往剖面上部产物越老,越往下部氧化阶段越早。由于受不同氧化因素制约,上述氧化演变阶段可呈跳跃式发展(缺失某一氧化阶段)或某一氧化阶段不发育或发展时间很短,使其形成氧化产物很少或为其后氧化阶段的产物所交代。如在广西平桂、德保,云南龙树脚等矿床的围岩为碳酸盐岩及地处温湿多雨的气候区域,其早、中期的硫酸盐阶段及氧化物和氢氧化物阶段均较不发育;又如在内蒙古敖林达铅锌矿床(藏瑾安,1981)的围岩为安山质凝灰岩,由于其地形平缓、潜水面与流出点落差小,地下水为 $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$ 型水, pH 值为 $6.8 \sim 7.2$,属中性—偏碱性介质,使其早、中期的氧化阶段也不很发育。但上述这些矿床氧化带的晚期氧化阶段如碳酸盐阶段和磷酸盐阶段却很发育,形成了较多表生的碳酸盐矿物和磷酸盐矿物。在我国西北地区由于气候干旱干燥,其地下水介质呈酸性,在矿床氧化带中的硫酸盐阶段得到良好的发育,而其晚期、末期的氧化阶段则发育极不明显^[18]。我国南方及长江中下游地区,由于具备了各种适宜的氧化介质条件,因而其硫化物矿床氧化带的各个氧化阶段及其表生矿物分带性得到了较完善的发育^[20]。

从上述氧化带发育特征看,氧化阶段越晚期,则氧化程度越高。而氧化深度往往与矿体产状、矿区构造和围岩介质等因素有关。一般来讲,矿体产状陡倾、矿区断裂发育及围岩为碳酸盐岩的硫化物矿床的氧化深度往往较大,例如云南个旧矿区的氧化深度即达 $100 \sim 700 \text{ m}$ 。

矿床氧化剥蚀程度既与氧化程度和氧化深度有关,也与矿床高出侵蚀基准面高度有关,氧化程度高、氧化深度大,其剥蚀程度也相应深些,特别是高出侵蚀基准面高度越高,其剥蚀深度则越深。例如,云南个旧矿区高出侵蚀基准面 $100 \sim 1200 \text{ m}$,广西平桂矿区、德保矿区和广东金窝子矿区等均高出侵蚀基准面许多,并且其矿床(体)露头氧化程度高、氧化深度大,剥蚀程度也很大,因此,在这些矿区周围形成了丰富的砂锡矿、自然金、自然银及其他重砂矿物等。

氧化程度、氧化深度和剥蚀程度之间关系互为关联。从上述氧化带发育特征可见,磷酸盐矿物是硫化物矿床氧化带发育至最晚期阶段的重要产物之一。因此,磷酸盐矿物在氧化带中的出现,一般表明这是该原生矿床(体)上部已经过强烈氧化标志,并且其下部距原生矿体尚有一定深度距离。由此可见,这对于判断或评价矿床的剥蚀程度或推测氧化铁帽之下是否存有原生矿体具有一定的意义,但须结合氧化带的其他各种特征进行综合分析才能得出正确的推断。

(2) 砷酸盐矿物的组合类型在找矿中的意义 根据我国硫化物矿床氧化带中产出的砷酸盐矿物, 常见组合类型有: ① 臭葱石-光线石-橄榄铜矿-墨绿砷铜石-磷质墨绿砷铜石-羟砷铜石-水羟砷铜石-砷铜矾(德保、个旧)。② 臭葱石-砷钙铜石-砷铜铅石-乳砷铅铜石-砷铅铁矿-砷铅铁矾-砷铅矿(德保、平桂、金子窝、个旧、敖林达)。③ 臭葱石-钼毒铁石-绿砷钼铁石-砷铅铁矾(德保)。④ 臭葱石-羟砷锌石-羟砷铅锌矿-橄榄铜矿-砷铅矿(个旧、迅塘、黄沙坪、敖林达)。此外, 在我国的某些铀矿床氧化带中, 还有一些砷酸盐矿物组合类型: ⑤ 翠砷铜铀矿-准翠砷铜铀矿(湖南)。⑥ 砷钼铀云母-砷钙铀云母-砷镁铀云母-准砷镁铀云母(西北)。⑦ 砷钼石-砷铀矿(辽宁凤城)。

根据砷酸盐矿物的地质产状, 上述(1)、(2)组合类型矿物特别是其中的光线石-橄榄铜矿-墨绿砷铜石和砷铜铅石、乳砷铅铜石等砷酸盐矿物是富含毒砂或硫砷铜矿、砷黝铜矿的铜锡矿床氧化带的特征矿物, 如广西德保铜锡矿床所见。并且, 该组合系列矿物呈较鲜艳的“绿色”特征, 在氧化带中引人注目, 因此, 据此表生矿物的绿色颜色系列矿物可帮助快速确定原生矿床(体)的工业类型和找矿方向。砷铜铅石-乳砷铅铜石-砷铅铁矿-砷铅铁矾-砷铅矿和羟砷锌石-羟砷铅锌石-橄榄铜矿等组合类型则可认为是铅锌铜多金属硫化物矿床氧化带特征, 例如在广东迅塘铜锌锡矿、内蒙古敖林达铅锌(铜)矿、个旧老厂、卡房的硫化物锡铅矿床和龙树脚银铅锡矿床等所见。这类矿床的表生砷酸盐矿物多呈绿色、黄绿色、黄色、红色和白色等多种颜色, 并结合其针状、纤维状、柱状、片状等结晶形态与氧化带中的其他矿物相区别, 从而也可较快速地帮助指明找矿方向。此外, 一些较少见的镍华和钴华等砷酸盐矿物是指示含 Ni、Co 矿床氧化带中的代表性矿物; 而一些较稀有的含铀的砷酸盐矿物如砷铀矿、翠砷铜铀矿、砷钙铀云母等则是铀矿床氧化带中的典型矿物, 它们都可作为该类矿床的找矿矿物学标志。

在此还值得提出的是, 在我国产出的砷酸盐矿物常见与夕卡岩型铜锡多金属硫化物矿床(氧化带)有关, 而在世界上最著名的砷酸盐矿物产地——康瓦尔铜锡多金属矿床也是夕卡岩型矿床。这与砷酸盐矿物的形成条件有关, 即锡的成矿与富含砷密切相关, 而铜又属亲硫元素, 并且夕卡岩型矿床的围岩是碳酸盐岩, 这对砷酸盐矿物的形成十分有利。因此, 砷酸盐矿物往往在夕卡岩型铜锡多金属矿床氧化带中得到较好的发育, 并且其种类也较多。据此, 在砷酸盐矿物较发育的铁帽氧化带, 一般可作为寻找(夕卡岩型)铜锡多金属硫化物矿床的标志之一。

参 考 文 献

- 1 何知礼. 我国一个锡矿区硫化矿床氧化带的研究. 地质学报, 1964, 44(3): 289~303.
- 2 马喆生, 钱荣耀, 彭志忠. 单斜铜泡石——云南东川发现的一种含水的铜的砷酸盐新矿物. 地质学报, 1980, 60(2): 134~143.
- 3 李万茂, 陈国英. 斜方氯砷铅矿在我国的首次发现. 矿物学报, 1985, 5(3): 216~219.
- 4 赵宝琴. 我国首次发现的羟砷铅锌石. 矿物学报, 1985, 5(3): 282~284.
- 5 张如柏, 杨年珍, 易爽庭, 杜崇良. 我国新疆发现的砷锶铝石. 矿物学报, 1987, 7(4): 313~316.
- 6 张岐大, 宋大康. 我国内蒙古发现的砷铁钙石. 矿物学报, 1990, 10(1): 80~84.
- 7 Walenta K. über den Barium-pharmacosiderite. Aufschluss, 1994, 45: 73~81.
- 8 Wise W S. Parnauite and goudeyite, two new copper arsenate minerals from the Majuba Hill Mine, Pershing County, Nevada. American Mineralogist, 1978, 63: 704~708.
- 9 Claringbull G F. Cornubite, a new mineral dimorphous with cornwallite. Mineralogical Magazine, March 1959, 32(244): 1~5.
- 10 赖来仁, 李艺. 在广西德保发现的墨绿砷铜石和羟砷铜石. 岩石矿物学杂志, 1989, 8(1): 72~78.
- 11 赖来仁, 李艺. 广西德保矿区发现的光线石和橄榄铜矿. 矿物学报, 1988, 8(3): 282~288.

- 12 赖来仁,李艺. 乳砷铅铜石的发现与研究. 矿产与地质, 1991, 5(6): 459~463.
- 13 赖来仁,李艺. 绿砷钡铁石在广西的发现. 矿物学报, 1991, 11(1): 83~85.
- 14 赖来仁,李艺,郑巧荣,施倪承. 在我国广西发现的钼毒铁石. 矿物学报, 1997, 17(2): 120~125.
- 15 赖来仁,李艺,施倪承. 砷铜矾的发现与研究. 岩石矿物学杂志, 1997, 16(1): 50~55.
- 16 赖来仁,郑巧荣,施倪承. 墨绿砷铜石与假孔雀石的中间端员组分矿物——砷假孔雀石的发现. 广西科学, 1995, 2(1): 30~33.
- 17 李艺,赖来仁. 广西德保铜-锡矿床氧化带砷酸盐矿物组合特征及其成因的初步研究. 地质学报, 1990, 64(4): 337~343.
- 18 涂光炽,李锡林. 干旱和极端干旱气候条件下硫化物矿床氧化带发育特征(以西北五个矿床为例说明). 地质学报, 1963, 43(4): 361~375.
- 19 Valentina Sumin de Portilla. The structure of bayldonite; chemical analysis, differential thermal analysis, and IR spectroscopy. *American Mineralogist*, 1981, 66: 148~153.
- 20 李文达等. 长江中下游硫化物矿床氧化带及铁帽评价研究. 北京:地质出版社, 1978.

A Study of Arsenate Minerals and Its Geological Significance to Ore Prospecting

Li Yi and Lai Lairen

(Guilin Institute of Geology and Mineral Resources, 541004)

Abstract

The arsenate minerals are the secondary minerals which occur mainly in oxidized zones of sulfide deposits. More than 250 arsenate minerals have been found in nature, but only 39 are found in China. One of the remarkable characteristics of arsenate minerals is that most of them are bright-coloured in green (yellow or red). These minerals commonly show fibrous, acicular, columnar, tabular and cubic crystalline forms, but, being formed in surface conditions, they often occur in botryoidal, kidney and spherulitic aggregates with low degrees of crystallization. These minerals are of complicated chemical compositions, consisting of poly-metallic elements and molecular groups, especially H_2O , OH or halogens. They are closely related to arsenopyrite, As-bearing minerals, chalcopyrite, pyrite, galenite etc. during their formation and development, generally formed in an environment of weakly acid-neutral oxidizational media ($pH=3\sim 7$) in warm, humid and rain tropic-subtropical zone, and with the carbonatites as wall rocks of the deposit. Arsenate minerals are one of the important products at the latest stage of development of oxidized zones of sulfide deposits. Their paragenetic types are often closely related to the mineral compositions of the primary ores. So, arsenate minerals may be used as one of the indicators for seeking Cu (Sn)-Pb-Zn poly-metallic sulfide deposits in the gossans and oxidized zones of well-developed arsenate minerals.

Key words: arsenate mineral; formation condition; significance to ore prospecting

作者简介

李艺,男,1955年生。1982年毕业于中山大学地质系。现为中国有色金属工业总公司桂林矿产地质研究院高级工程师,从事矿物学、矿床地质学的研究。通讯地址:541004,广西桂林市辅星路2号,桂林矿产地质研究院。