

不同类型矿床的硫同位素组成 表 10

矿床类型	矿 区	样 号	矿 物	测定结果	
				δS^{14}	S^{32}/S^{34}
石英硫化物型	猫崽湾	1—1	黄铜矿	3.8	22.136
		1—2	方铅矿	2.6	22.163
接触带夕卡岩型	"	S—1	黄铜矿	3.3	22.148
		S—2	闪锌矿	2.9	22.156
层间夕卡岩型	背后山	14—5	黄铁矿	2.6	22.163
		14—5	方铅矿	1.8	22.179
		14—5	闪锌矿	2.8	22.158
		14—5	黄铜矿	3.1	22.152
破碎带铅锌矿型	北 区	3	方铅矿	1.0	22.197
		4	磁黄铁矿	2.4	22.167
	南 区	b ₅ —S ₁	磁黄铁矿	3.1	22.152
		b ₆ —S ₂	方铅矿	1.9	22.177
		b ₇ —S ₃	闪锌矿	2.6	22.163

在成矿、成晕过程中,金属阳离子对硫、氧的争夺明显。不同成矿阶段有不同化合物生成(见表4)。金属硫化物主要在硫化物石英阶段大量析出,成矿作用是在高硫低氧的条件下进行的。

随着成矿作用温度、压力、组分浓度, pH及 Eh 值的变化,产生了如下矿化组合分带:

内带组合元素: W、Mo、Co;

内中带组合元素: As、Mo、Cu、Pb、Zn;

中带组合元素: Cu、Pb、Zn、As、Bi、

Mo、Sb;

中外带组合元素: Pb、Zn、As、Sb ;

外带组合元素: Sb、As。

综上所述,可得出以下几点认识

1.本区矿床主要围绕铜山岭花岗闪长岩体的内外接触带分布,并受一定的构造、地层条件控制。从高温至低温,成矿元素组合分带明显,以中带矿化最强,成矿组分复杂。

2.岩浆及其期后热液对围岩选择交代明显,金属硫化物在硫化物石英阶段大量析出,各阶段成矿指示元素清楚。不同矿床(化)类型的特征元素组合指示各异。

3.不同类型矿床中各元素原生晕的发育程度或迁移距离显示,本区前晕和尾晕较发育,As、Ag、Sb可作为前晕找矿指示元素。

实践表明,本区应用地球化学方法找矿效果良好。已知15处规模较大、强度较高的化探原生晕异常,经地质深部评价,6处见一定规模的工业矿体,6处见小矿体,2处见矿化,1处正在进行深部评价。

卡林型金矿成因类型探讨

冶金部地质研究所 刘东升

卡林型金矿是60年代在美国内华达州发现的一种新的金矿类型,亦称浸染型金矿或含金碳酸盐矿床。属于该类型的金矿床除卡林外,尚有内华达州的格彻尔(Getchell)、科特兹(Cortez)、金亩(Gold Acres)、曼哈顿(Manhattan)、布特什拉甫(Bootsrap)等和犹他州的默库里(Mercur)。卡林型金矿的发现被称为美国矿业史上的“一个轰动性事件”,其产量已跃居美国金矿的第二位。此后,在澳大利亚、多米尼加、西班牙和苏联等国也相继发现了卡林型金矿。特别是在新西兰魏斯堡沉积岩中发现的该类型矿床,规模很大,品位极高(金达85克/吨,

银500克/吨)。卡林型金矿已成为有远景的重要的金矿类型。卡林型金矿找矿的难度较大,主要原因是:金的粒度特别细,大部分为显微($200\sim 0.5\mu$)及次显微粒状($< 0.5\mu$),不仅肉眼看不见,有的在显微镜下也难以观察到,又不能通过重砂取样发现;矿体中硫化物很少超过5%,矿石不易辨认,矿体与围岩界线不清楚,需通过取样圈定;矿床常为浅埋藏的盲矿体,不易发现。因此,研究卡林型金矿的成因类型,查明其生成的区域地质背景和成矿条件,对于指导找矿有着重要的意义。

最初, P. Joralemon (1951) 认为格彻尔金矿属于林格伦的远成低温热液矿床^[1]。1971年, R. J. Roberts 等将内华达州卡林型金矿定为浸染型金矿, 认为是一种特殊的交代矿床, 由与早第三纪岩浆活动有关的热液形成^[2]。1974年, Rye 等通过研究与卡林金矿相似的科特兹金矿的稳定同位素和铅同位素, 断定成矿流体的主要组分是大气降水, 大部分元素可能来源于容矿岩石, 矿床时代属第三纪。1978年, P. Joralemon 又提出卡林型金矿是与深部“热液源”(不论它与岩浆是否有关) 有关的热液矿床, “热液源”富含金、砷、锑、铁、硫、钼和氟的热液, 透过板块在近地表成矿^[3]。

1980年, A. S. Rodtke 等^[4]根据大量稳定同位素和包裹体研究资料提出: 卡林金矿是在晚第三纪时期, 由火成侵入体散发出的热量所引起的热液作用的综合结果。大气降水成因的流体接收了火成岩体产生的热量, 在深部与原岩起反应, 然后沉积出矿石和脉石组分, 并沿着高角度断层向上迁移到罗伯茨山建造靠近地表的可渗透地层单元。其主要论据为: ①根据氢同位素测定结果, 矿脉中石英、重晶石和方解石的包裹体以及强蚀变的侏罗纪和(或白垩纪)岩脉的全岩样品, 粘土的 δD 值都很低, 从 $-139\sim -160\%$, 属于雨水范围, 而且与 Creat Basin 地区第三纪雨水的 δD 负值一致, 说明沉积出脉石矿物和使岩脉中的矿物蚀变为粘土的流体主要来自大气降水, 而不是岩浆水; ②碳同位素测定结果表明, 蚀变岩石中重结晶方解石的 δC^{13}

(在 $175\sim 200^{\circ}\text{C}$ 的范围)与未蚀变容矿岩石中方解石的 δC^{13} 值相似, 这意味着溶液中大部分碳都是来自容矿岩石; ③硫同位素测定结果表明, 矿石中硫化物 δS^{34} 分布较散, 从 $4.2\sim 16.1\%$, 很可能也是沉积来源。笔者基本上同意上述见解, 并认为同位素数据对于说明卡林型金矿的含矿溶液和成矿物质不是源于岩浆, 而是来自地层和地下水, 是很重要的证据; 如能结合矿床区域地质背景、矿床共生组合、矿石中矿物和元素等特征全面考虑, 则会更有说服力。

通过综合分析卡林型金矿的有关资料, 笔者认为卡林型金矿应属渗流热卤水热液成因矿床。下面从几个方面来讨论这一问题。为此, 将几个典型的

卡林型金矿床的地质特征列于表 1。

矿床共生组合与区域地质构造环境

P. Joralemon^[3] (1978) 提出, 北起内华达州“独立山”, 南至加利福尼亚的巴勒拉特, 有一个长达 960 公里的含砷金矿化带, 其中有 20 多个金矿床, 包括有卡林、科特兹、格彻尔、曼哈顿、金苗(图 1)。这些金矿大多产在古生代碳酸盐地层, 部分产于安山岩(博斯)、流纹岩(朗德山)、白岗岩(矿物山)、安山玄武岩(巴克霍恩)。P. Joralemon 认为这些金矿与卡林金矿属同一类型。它们的共同特点是: 矿石为浸染状, 含 As 高, Au/Ag 高, 矿物共生组合类同, 含硫化物少, 矿床一般呈平伏状, 大体与地表形态一致, 且以盲矿体为主。据此, 可以认为这些金矿是同一成因类型, 构成一个卡林型金矿带。

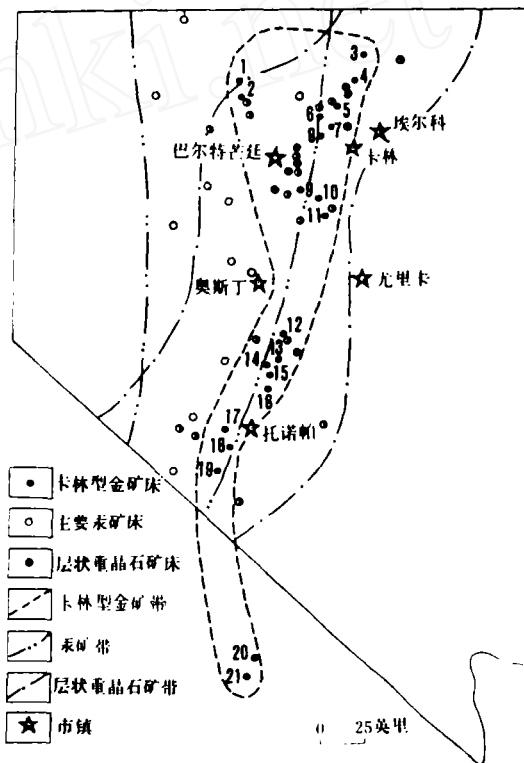


图 1 内华达州金矿、脉矿、重晶石矿带

(据 P. Joralemon 和 R. O. Rye 修改)

矿床: 1—格彻尔; 2—O&P; 3—苏必利尔;

4—FMC—弗里波特; 5—兰星; 6—布特斯特拉普; 7—卡林; 8—潘加纳; 9—金苗; 10—科特兹; 11—巴克霍恩;

12—诺森帕兰; 13—杰弗森; 14—朗德山; 15—斯塔克迈耶; 16—曼哈顿; 17—博斯; 18—韦伯; 19—矿物山; 20—帕拉

明特; 21—巴勒拉特

典型卡林型金矿矿床地质特征

表1

矿区名称	储量(吨)	品位克/吨	地层时代	含矿围岩岩性	金属矿物	脉石矿物	载金矿物结构	金粒度	Au/Ag	围岩蚀变	特征元素	炭质含量(%)
卡林	110	7	S	含炭粉砂质白云质灰岩、钙质页岩、泥质砂质白云岩、泥质白云质粉砂岩	黄铁矿、雄黄、辰砂、辉锑矿、方铅矿、闪锌矿、自然金	石英、粘土、白云石、方解石、炭质、重晶石	粘土、炭质、黄铁矿、石英	浸染状 90% < 0.2 μ	10:1	硅化、泥化脱钙、重晶石化	Au、As、Hg、Sb、Ba	围岩0.13~0.95 矿石0.21~0.95
格德尔	15	9	古生代(S)	灰岩和含炭泥质岩	黄铁矿、雄黄、辰砂、辉锑矿、白铁矿、磁铁矿、自然金、自然银	石英、粘土、炭质、重晶石、石膏、萤石、沸石、绿方解石	粘土、炭质、黄铁矿、雄黄	浸染状 大部分 < 1 μ	10:1	硅化、方解石化(?)、粘土化、重晶石化	Au、As、Hg、Sb、Ba	
科特兹	>30		S、D	碳酸盐岩石、炭质粉砂岩和炭质灰岩	黄铁矿、赤铁矿—针铁矿、自然金	石英、方解石、炭质	石英、赤铁矿—针铁矿(黄铁矿假象)	浸染状 10~0.1 μ		硅化脱钙褪色	Au、As、Hg、Sb、W	围岩0.05~3 矿石0.08
曼哈顿				片岩和炭质灰岩	辉锑矿、辰砂、雄黄、自然金	石英、炭质、重晶石、萤石、绿方解石、冰长石	炭质、雄黄	浸染状	17:1			
金南	10				黄铁矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿、自然金			浸染状	7:3		Au、As、Hg、Sb	

值得注意的是：在内华达州有一南北向的汞矿带^[1]，北起美国最大的McDermitt汞矿，沿经度117~118°纵贯全州，并且与P. Joralemon提出的金矿带平行，局部重叠。同时，内华达州有一条北东—南北向的重晶石矿带^[5]（图1），也与该金矿带大致平行，且局部重叠。

笔者认为，上述矿带空间分布上的一致性绝非偶然，三者应有成因上的联系。根据我们的研究，汞矿和重晶石矿多数是渗透热卤水成因^[6]。因此，卡林型金矿很可能也是属于渗流热卤水成因。

渗流热卤水矿床的分布受断裂构造控制。内华达州卡林型金矿、汞矿和重晶石矿带的分布也与内华达州区域地质构造有紧密关系。根据R.J.Roberts的看法，内华达州东西两部分的地层和构造特点截然不同，大致以东经116~117°为界。在东部，中寒武统至下石炭统上部的古生代地层为一套冒地槽碳酸盐沉积，厚4570米，主要是灰岩和白云岩，夹少量页岩和石英岩；而在西部，相应时代的地层为一套优地槽型碎屑岩类沉积，厚15240米，主要为碎

屑沉积岩和燧石岩，层间夹有火山岩和火山碎屑岩。东西两部分矿化特征也不相同，西部以金、银、钨、汞和锑矿化为特征，东部以含少量银和金的铅锌矿化为特征。有一区域性的罗伯茨山逆断层在内华达州北部中区广大范围内延展，使早中古生代的西部岩群向东或向东南覆盖在东部岩群之上。东西两部分的构造格局和罗伯茨山逆断层可能从前寒武纪一直延续到第三纪。内华达州的卡林型金矿、汞矿和重晶石矿带就分布在东西两个不同构造单元的接合部，并受罗伯茨山逆断层控制。

矿石矿物共生组合与围岩蚀变

卡林型金矿的金属矿物共生组合基本相同（表1），除金以外，主要有黄铁矿、雄黄、辰砂、毒砂、辉锑矿，其次为白铁矿、方铅矿、闪锌矿和少量自然银、磁铁矿，为中低温矿物共生组合。包裹体测温和方铅矿—重晶石和闪锌矿—重晶石两对矿物的 δS^{34} 数据计算的沉积温度为270~305℃或251~288℃^[4]。卡林型金矿的另一特点是围岩蚀变简单，主要为硅化、泥化（高岭土化和绢云母

化)、重晶石化、脱钙和褪色。中低温矿物共生组合与围岩蚀变简单,这也是渗流热卤水成矿的特征之一。

特别值得注意的是,几个卡林型金矿床均有重晶石大量富集,主要呈脉状。尽管这些重晶石被认为是成矿后期的产物,但它们的大量富集应当是渗流热卤水活动的重要标志^[6]。F.W. Dickson等(1975)对八个卡林型矿床的重晶石测得其 δS^{34} 为27~31‰。这与内华达州早中生代地层中广泛分布的层状重晶石矿床和浸染状重晶石的 δS^{34} 值(30‰)完全一致,而下古生代海水中硫酸盐的同位素组成非常接近这个数字。因而说明矿床中重晶石的硫酸盐是来自地层中的沉积重晶石,而不是来自岩浆岩。

Au—Hg—Ba组合与成矿溶液性质的关系

渗流热卤水水质特征为Na—Cl型,阳离子中以 Na^+ 为主,阴离子中 Cl^- 占绝对优势, HCO_3^-/Cl^- 和 $H_2SO_4^{2-}/Cl^-$ 均小于0.01,称为高纯氯化物卤水^[6]。在这种水质条件下,溶液矿化度很高,富含各种金属组分,如红海“大西洋II”洼地、索尔顿海和切列肯等处的渗流热卤水中Cu、Pb、Zn、Ba等元素含量高于海水几个数量级。这样的高纯氯化物卤水必然有利于Au、Hg、Ba的富集迁移。

根据樊文苓(1980)的实验研究^[7],金在热液中主要以金氯络合物和金硫络合物两种形式进行搬运,而后者仅在低温才能进行。高温时以 Au^+ 的氯络合物 $AuCl_2^-$ 的形式运移,温度降低时 Au^+ 发生歧化反应, $3Au^+ \rightleftharpoons Au^{3+} + 2Au^0$,沉淀出金。低温时以 Au^{3+} 的氯络合物 $AuCl_4^-$ 的形式运移,当遇到碳酸钙时, $AuCl_4^-$ 络合物发生水解作用形成金的沉积。因此碳酸盐这类碱性围岩对金氯络合物的水解沉淀最为有利。此外,黄铁矿存在下金氯络合物的水解反应也十分完全。

在理论上,高纯氯化物卤水对于重晶石的形成起重要作用是没有疑问的。钡在食盐水中可呈溶解度大、稳定性高的 $BaCl_2$ 形式存在、迁移和聚集,且温度、盐度愈高愈有利^[8]。

根据И. Л. Ходаковский等的实验研究^[9],Hg在高浓度 Cl^- 的溶液中溶解度很大,以 $HgCl_2^0$ 以及 $HgCl^-$ 、 $HgCl_3^-$ 、 $HgCl_4^{2-}$ 的汞氯络合物形式存在。

上述几个实验表明高纯氯化物卤水对于Au、Hg和Ba的富集运移都是极有利的。因此,在内华达州金矿带、汞矿带、重晶石矿带在空间上的一致和卡林型各金矿床出现金—辰砂—重晶石的矿物共生组合不是偶然的而是有着其内在的联系,它们都是渗流热卤水成矿作用的产物。

Au/Ag比值与成矿溶液性质的关系

卡林型金矿Au/Ag比值高,从7:3~30:1,这是一个很明显的特征,从而使卡林型金矿床与内华达州其他类型金矿床相区别。对其原因前人提出过几种假设:由于砷矿物的影响或是炭质的选择性吸附,或是热液在上升过程中由碱性转变为酸性而造成有利于Au但不利于Ag富集的环境。但是笔者认为主要的原因可能是由热液的成分所决定的。

根据V. G. Moiseenko和I. I. Fatyanov(1972)的研究^[10],热液金矿床中金的成色与溶液的总碱量($K^+ + Na^+$)中 Na^+ 的含量以及溶液中 Cl^- 的含量具正相关关系(图2),计算了其成色与 $Na^+/(Na^+ + K^+)$ 和 $Cl^-/(Cl^- + HCO_3^-)$ 的相关系数分别为0.95和0.75。我们又根据V. G. Moiseenko等的的数据计算了 $Cl^-/(Cl^- + HCO_3^- + SO_4^{2-})$ 与金的成色之间的相关系数为0.84。显然,热液中 Na^+ 在碱金属离子中的比重愈大, Cl^- 在阴离子中的比重愈大,则愈有利于Au的富集,而不利Ag的富集。渗流热卤水成分正好符合上述条件,其 Na^+ 高于 K^+ 几倍甚至上百倍,而在阴离子中 Cl^- 占绝对优势。因此,卡林型金矿Au/Ag比值高,正反映它们的渗流热卤水的成因。

结 论

通过上述分析可以看出渗流热卤水成矿理论能较完满地解释卡林型金矿的各种地质特征,因此,笔者认为卡林型金矿成因类型应为渗流热卤水矿床。其成矿机理可概括为:地层中富含碱金属(主要是 Na^+)的高纯氯化物卤水受岩浆活动加热驱动,在渗流过程中从地层中汲取Au等元素,然后沿断裂上升在有利的构造部位成矿。金属矿物和脉石矿物成分主要来自地层而不是岩浆岩,岩浆活动只起“热发动机”的作用。可以将卡林型渗流热卤水热液金矿床的标志归纳如下:矿床的分布受地层(包括基底地层和含矿围岩)成分和断裂构造控制;矿

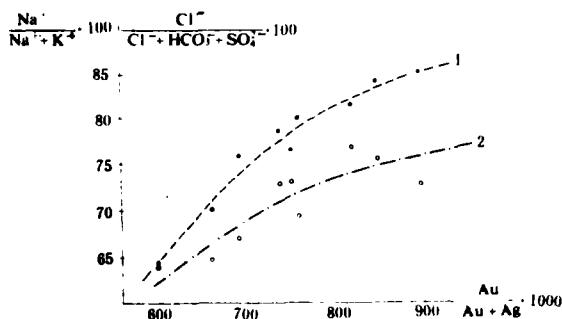


图2 金的成色与溶液含Na⁺和Cl⁻量的关系

(据 V. G. Moiseenko 等资料修改)

1—金的成色与 $\frac{Na^+}{Na^+ + K^+} \cdot 100$ 关系曲线图;

2—金的成色与 $\frac{Cl^-}{HCO_3^- + SO_4^{2-}} \cdot 100$ 关系曲线 ;
· 和 ° 示热液金矿床

石 Au/Ag 比值高, 含 As 高, 为中低温矿物组合; 围岩蚀变简单, 主要为硅化、粘土化、重晶石化、脱钙、褪色; 金呈浸染状, 粒度极细; 矿床多产于含炭的碳酸盐地层中 (但这一点只是有利条件, 而不是必要条件)。当然上述标志就单独每一项而言并非渗流热卤水热液金矿所独有, 不能以某一条件的存在就判断它是渗流热卤水热液金矿, 而要将这几方面的条件综合起来进行分析。

在我国, 卡林型金矿的找矿尚未突破, 线索也不多, 仅在陕西、湖南、贵州等地发现一些矿床 (点) 有可能是卡林型金矿。但是根据对卡林型金

矿成因的认识和我国的地质情况, 笔者认为我国存在着卡林型金矿的成矿条件, 应当重视和加强这一类型金矿的找矿工作, 这样有可能使我国金矿找矿取得较大的突破。初步分析我国寻找卡林型金矿最有利的地区应为川中古陆周边的古生代拗陷带。

本文在成文过程中得到姜齐节、曾毓良同志的帮助, 在此表示谢意。

参考文献

- [1] P. Joralemon, Econ. Geol., 1957, Vol. 46, No 3
- [2] R. J. Roberts et. al., Econ. Geol., 1971, Vol. 66, No 1
- [3] P. Joralemon, Mining Engineering, 1978, No 7
- [4] A. S. Radtke et. al., Econ. Geol., 1980, Vol. 75, No 5
- [5] R. O. Rye et. al., Research U. S. Geol. Survey, Mar. — Apr. 1978, Vol. 6, No 2
- [6] 姜齐节、刘东升等, 地质与勘探, 1980, No 1 ~ 2
- [7] 樊文冬, 中国层控矿床地球化学金矿的成矿实验研究, 中国科学院地球化学研究所, 1980
- [8] H. D. Holland, Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, New York, 1967
- [9] И. Д. Ходяковский и др., Геохимия Процессов Миграции Рудных Элементов Итл., Наука, 1977
- [10] V. G. Moiseenko et. al., 21 - th IGC, 1972—Section 10



《激发极化法曲线册》征订

本书搜集了激发极化法模拟实验成果 9 项, 包括各种装置和方法的大量曲线图册。每项图册均有详细介绍或说明。具有工作手册性质。可供从事电法勘探技术人员进行定性解释和半定量解释之用, 也可供有关大专院校和中等专业学校师生参考。本书 16 开本, 分上下两册。上册 278 页, 包括梯度、偶极、联剖、充电装置的曲线册; 下册 202 页, 包括测深、井中激电和各种装置对比的曲线册。

本书由地质部物探研究所编。每套上下两册同时出售, 限国内发行。每套收部分成本费 3.50 元 (邮资在内)。汇款通过银行或邮局均可, 收款后即寄出书与收据。地址: 河北省廊坊市地质部物探研究所服务队。开户银行: 人民银行河北廊坊办事处。帐号 1047027。

征 订 启 事