

文章编号: 1001-1412(2000)02-0133-09

山东省平邑归来庄碲型金矿床 碲元素地球化学特征及成矿机制探讨

谢家东¹, 钱汉东¹, 李永徽²

(1. 南京大学地球科学系, 江苏 南京 210093; 2. 马鞍山矿山研究院, 安徽 马鞍山 243004)

摘要: 归来庄贫硫氧化型低温热液碲金矿床中金及碲化物矿物主要有自然金、碲金矿、碲金铜矿、碲银矿、碲金银矿、碲铅矿、碲镍矿、碲汞矿及自然碲等。金元素主要来源于泰山群山草峪组的片麻岩及寒武—奥陶系海相碳酸盐岩; 碲元素主要是由铜石杂岩体的二长质、正长质等中偏碱性岩浆从地球深部的上地幔、下地壳带入矿区并进入由岩浆水及大气降水等组成的成矿热液中, 与金元素形成碲金络合物进行搬运、富集, 因成矿体系的 pH、Eh 等物理化学条件及 f_{Te} , f_{S_2} , f_{O_2} 等之间的关系的变化而形成了以自然金、碲及碲化物等一系列矿物为主的碲型金矿床。矿床中碲元素可加以综合开发利用。

关键词: 归来庄; 碲; 金矿床; 地球化学特征; 成矿机制

中图分类号: P618.83; P618.51

文献标识码: A

归来庄金矿是近年来发现的大型独立金、银碲化物矿床之一。其成矿温度在 300 ~ 200 甚至更低, 属于浅成低温热液型金矿矿床, 成因上与二长闪长玢岩、二长斑岩及正长斑岩等中偏碱性次火山岩密切相关。Bonham Jr 等将此类矿床归结为碱质浅成低温热液矿床。由于这类矿床含有 Au, Ag, Cu, Te 等多种有益组分, 经济价值较高。因此, 越来越受到广大地质工作者的关注和重视。近年来虽然一些研究者对该类型矿床的低温地球化学和勘查找矿做了大量探索和研究, 并取得了一些喜人的成果。但是, 对碲型金矿床中半金属元素碲 (Te) 的来源及其活化、迁移、富集以及矿床的形成机理缺乏深入研究, 开展这方面的研究将有助于揭示和阐释碲金矿的成矿机制。

1 地质背景

归来庄金矿距山东省平邑县城东南约 25 km, 位于铜石次火山杂岩体东侧的寒武—奥陶系中。矿床面积约 1.5 km²。基底褶皱构造较为发育。纵贯全区的 NNW 向燕甘断裂, 为区内

收稿日期: 2000-01-20;

基金项目: 国家自然科学基金项目(49772101)资助。

第一作者简介: 谢家东(1969-), 男, 矿物学研究生。

较大的断裂构造,控制着近EW,NW,NE向次级断裂构造及岩体的分布。据有关资料^①表明,尤其是近EW向构造为本区的导矿和储矿构造。

区内出露地层由老至新分别为泰山群山草峪组、寒武系、奥陶系、石炭系、侏罗系、白垩系、第三系及第四系。泰山群山草峪组为黑云变粒岩夹斜长角闪变粒岩及片麻岩,主要分布在矿区西南部。寒武系由一套海相碳酸盐岩和海陆交互相碎屑岩组成,分布在矿区西南部和南部。奥陶系为陆表海相碳酸盐建造,分布于矿区中部及东部。石炭系仅见上统本溪组,主要由灰白—灰红色铁质泥岩、灰质白云岩组成,分布在矿区东部小平安庄一带。侏罗系仅见中下统汶南组,为一套海陆相碎屑岩建造,分布在矿区中部,燕甘断裂以东。白垩系仅见分水岭组,由砂质页岩、岩屑砂岩及长石石英砂岩组成,分布在矿区东北部。

矿区内岩浆岩发育,有晚太古代花岗闪长岩和云母石英闪长岩,早元古代二长花岗岩和中生代二长闪长玢岩、二长斑岩及正长斑岩等。其中以构成铜石杂岩体的中生代中偏碱性次火山杂岩体最为发育,它为归来庄碲型金矿的形成提供了良好的成矿热源。由于岩浆的侵入,在铜石次火山杂岩体的内部和边缘发生隐爆作用,造成围岩崩塌,形成成分较为复杂的隐爆角砾岩^①。角砾岩破碎强烈,蚀变发育。主要有硅化、萤石化、绢云母化、泥化、碳酸盐化及黄铁矿(褐铁矿)化等,并伴有金矿化。矿体呈不规则状,主要分布在蚀变角砾岩带内部及其顶、底板的碎裂状白云岩、白云质灰岩中。

2 主要矿石矿物成分及共生关系

由于归来庄碲型金矿床成矿作用与隐爆角砾岩密切相关,矿石的成分极为复杂。通过总结前人工作,进行镜下观察及电子探针确认,矿石中非金属矿物以白云石、方解石、正长石、斜长石、石英、玉髓、伊利石、绢云母、高岭石、萤石为主,其次还可见金红石、重晶石、白云母、磷灰石、透辉石、石榴石、钠长石、绿帘石、锆石等少量矿物^[1]。金属矿石矿物有褐铁矿、黄铁矿、磁铁矿、赤铁矿、锌黝铜矿、砷黝铜矿、黄铜矿及少量辰砂、闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿、孔雀石、氟碳铈矿等。金、银及碲化物矿物主要有自然金、银金矿、自然银、辉银矿、碲金矿、碲铜金矿、碲银矿、碲铅矿、碲镍矿、碲汞矿、自然碲等。

褐铁矿主要由原生的黄铁矿、磁铁矿及含铁硫化物等暗色矿物次生变化而成,常呈假像集合体状、细粒浸染状、细脉状、胶状、土状等形态广泛分布于矿石中,有时可见针状、页片状赤铁矿及不规则状残留黄铁矿混于其中。在褐铁矿内部或边缘常有微细粒金矿物存在。

黄铁矿常呈星点状、浸染状、交代残余状或不规则状及包裹体状等分布于矿石中,晶形从他形、半自形到自形五角十二面体、立方体皆有。由于形成的时期不同,矿物化学成分有所不同,在偏光镜下的反射色也有所差异。最早形成的黄铁矿一般出现较黄的反射色,晶形不完整常被后期形成的黄铁矿或其他矿物所交代呈交代残留状,常与磁黄铁矿、赤铁矿等共生;第二期黄铁矿一般成分较为纯净,反射色呈亮白色,晶形为他形,偶尔出现五角十二面体,常与锌黝

^① 山东省地质矿产局第二地质队,山东平邑县归来庄金矿床勘探地质报告,1994,12。

铜矿、方铅矿、黄铜矿等共生; 第三期黄铁矿含钴较高, 反射色呈灰黄色, 立方体晶形发育较好, 共生矿物主要为锌黝铜矿或砷黝铜矿及少量闪锌矿。晚期黄铁矿结晶较差, 有时也可见呈胶状分布, 其反射色为偏暗亮白色。根据黄铁矿的电子探针分析数据, 表明该矿区矿石中黄铁矿的含铁量高于标准值, 而含硫量明显低于标准值, S/Fe 平均为 1.94 左右, 属贫硫氧化型矿。通过电子探针扫描, 确认黄铁矿晶体内部的金、银、碲等元素只呈分散状分布, 未形成独立的矿物晶体。

锌黝铜矿及砷黝铜矿, 灰白色反射色, 砷黝铜矿略带淡蓝色, 常呈不规则形状富集于黄铁矿周边并与黄铜矿共生, 有时可见自形晶。

黄铜矿, 反射色为淡黄色, 不规则粒状, 常与黄铁矿及锌黝铜矿等共生, 有时呈出熔状出现于黄铁矿内。根据黄铜矿的电子探针分析结果, 其 $(Cu+Fe) S > 1$, 表现出较为明显的 S 不足。主要硫化物矿物的电子探针分析数据见表 1。

表 1 主要硫化物矿物电子探针分析结果

Table. 1 Electronic probe analysis of the main sulfides

$w_B/\%$

组分	Te	Ni	Pb	Hg	Au	Ag	Cu	Fe	Zn	As	Se	S	Co	Sb	Bi
黄铁矿	-	0.003	0.059	0.161	-	-	0.086	46.134	0.014	5.420	-	47.448	0.107	0.041	0.004
	-	-	0.062	-	-	-	0.011	47.356	0.064	-	-	51.774	1.299	0.020	-
	-	-	0.085	0.597	0.015	0.021	0.166	47.520	-	-	0.031	51.982	0.062	-	0.013
黄铜矿	-	-	-	-	0.345	0.009	42.535	24.076	0.859	0.030	0.043	31.388	0.002	0.339	-
	0.004	-	0.053	-	0.016	0.044	27.367	36.581	0.206	-	-	35.261	0.072	0.002	-
锌黝铜矿	-	-	0.186	-	-	0.012	41.195	0.443	8.120	15.134	-	27.202	-	9.190	0.076
	-	0.030	0.063	-	-	0.086	41.265	1.298	8.074	14.166	-	26.656	0.062	9.884	-
	-	-	0.147	-	-	2.116	38.505	0.110	7.884	5.158	-	25.185	-	21.947	-
砷黝铜矿	-	-	0.057	-	0.442	-	42.410	1.085	7.657	20.650	-	27.700	-	0.973	0.110
	-	-	0.095	-	-	0.016	42.244	2.645	7.584	20.062	-	27.901	0.052	1.588	-

分析者: 南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室, 张文兰。

自然金, 反射色为淡黄色, 呈细小他形粒状、浸染状分布于岩屑、角砾、脉石矿物颗粒边缘或裂隙中, 以及包含于方解石、石英等脉石矿物及褐铁矿、黄铁矿、黄铜矿等金属矿物中, 有时也呈集合体状断续分布于各种颗粒之间。碲金矿, 奶油白色, 略带微黄色, 半自形粒状, 常交代碲铅矿或碲金银矿而将其包裹其中。碲铜金矿, 奶油白色自形, 半自形粒状矿物, 与黄铁矿、自然碲等共生, 有时呈微细粒状充填在碳酸盐类矿物的解理缝中。碲银矿, 灰白色他形粒状, 常呈浑圆状包体出现于碲金银矿中。碲金银矿, 浅灰白色, 他形粒状, 常存在于碲铅矿和碲镍矿的间隙中与之共生。碲铅矿, 亮白色, 略带绿色调, 他形粒状, 分布于碲镍矿内或为其交代。碲镍矿, 浅粉红色, 呈不规则状分布于碲铅矿边缘, 有时被碲汞矿包裹。碲汞矿, 灰色, 他形粒状, 分布于碲镍矿和碲铅矿边缘或两者之间, 有时也分布于碲镍矿内部。自然碲: 亮灰色, 他形粒状, 常呈微细粒状分布在褐铁矿和脉石矿物的边缘。含碲矿物电子探针分析数据见表 2。另外, 据电子探针扫描分析证实, 归来庄金矿床矿石中也存在较高含量的呈分散状态分布的碲元素。

表 2 含碲矿物电子探针分析结果

Table. 2 Electronic probe analysis of tellurium minerals

 $w_B/\%$

组分	Te	Ni	Pb	Hg	Au	Ag	Cu	Fe	Zn	As	Se	S	Co	Sb	Bi
碲金矿	56.53	-	-	-	41.31	0.83	-	-	-	0.41	-	-	-	1.30	-
碲铜金矿	65.76	-	-	-	27.46	0.67	6.11	-	-	-	-	-	-	-	-
	66.92	-	-	-	26.35	0.22	6.25	-	-	-	-	-	-	-	-
碲银矿	37.77	0.18	-	-	0.65	59.89	-	0.07	-	-	0.19	0.16	0.14	0.33	-
碲金银矿	32.88	-	-	0.12	26.33	40.78	0.07	-	-	-	-	-	-	-	-
碲铅矿	36.35	0.20	62.26	-	-	0.36	-	0.12	0.13	0.11	0.39	0.12	0.11	0.71	1.13
	37.10	0.10	60.96	-	0.22	0.86	0.01	0.06	0.06	0.13	0.34	0.06	0.05	0.30	0.60
碲镍矿	85.54	13.83	-	-	0.06	0.19	-	0.20	-	-	-	-	0.08	-	0.09
	81.53	17.20	0.02	-	0.02	0.07	0.01	0.13	0.08	-	0.08	0.03	0.57	0.22	0.09
碲汞矿	36.70	-	-	62.59	0.20	-	0.51	-	-	-	-	-	-	-	-
	37.07	0.08	-	63.11	0.22	0.07	0.27	-	0.13	0.10	0.10	-	0.04	0.16	0.07
* 自然碲	98.69	-	-	-	0.02	0.11	0.01	0.60	0.02	0.02	0.04	0.03	-	0.27	-

注: 据山东平邑县归来庄金矿床勘探地质报告(1994)。

* 自然碲除了表中所列元素外, 还含有 $w(\text{Pt}) 0.08\%$

3 成矿物质来源

归来庄碲型金矿床成矿物质来源问题, 前人的工作主要集中在金元素的来源方面。一些学者认为, 金元素主要来源于寒武—奥陶系海相碳酸盐岩岩石, 而且为受其控制的层控金矿床^[2]。而另一些研究者则通过对矿区内主要岩石金银元素含量与陆壳元素丰度的比较(见表3), 认为本区矿床金元素主要来源于泰山群山草峪组的片麻岩^①。野外地质调查和矿相显微镜下矿物组合关系分析表明, 本矿区实际的成矿过程是相当复杂的, 成矿物质的来源可有多种途径。形成归来庄金矿床的金元素可能是由泰山群山草峪组的片麻岩和寒武—奥陶系的海相碳酸盐岩共同提供。对鲁西铜石地区的化探研究表明, 岩浆岩分布区水系沉积物中金元素的含量明显高于其他岩性区^[3], 由于受成矿期后风化淋滤作用的影响, 而造成水系金元素含量的异常, 但并不说明金元素直接来源于正长斑岩或闪长玢岩。

表 3 主要岩石类型金银含量对比表

Table. 3 Contrast table of Au-Ag contents in main rock types

岩 性	元素 $w_B/10^{-9}$	
	Au	Ag
石英二长闪长玢岩	0.7	50
二长-正长质岩石	1.06	64
片麻岩等	11.3	-
白云岩	3.2	-
石灰岩	3.3	-
陆壳元素丰度	3.0	80

注: 陆壳元素丰度据 Taylor, 1985.

对于碲元素的来源问题, 国内外有关文献讨论较少。而碲型金矿床的形成必须满足这样的条件: 一是硫的活度很低, 其次是碲的活度很高^[4]。本区矿石矿物中有自然碲的存在, 说明鲁西地区和胶东地区^①一样, 具有较高的碲的地球化学背景场。

据有关地质资料表明, 世界上大多数与碲有关的金矿床基本上都与碱性或偏碱性侵入岩及相应的火山岩有着密切的联系。如: 斐济的 Emperor 金碲矿床^[5]、古巴的 Fiorencia 金银碲矿床^[6]、沙特阿拉伯的 Mehd Adh Dhahab 金银碲矿床^[7]、美国科罗拉多的 Cripple Creek^[8]和 Bessie G 金碲矿床^[9], 以及我国周边国家和地区如日本^[10]、北哈萨克斯坦金银碲矿床^[11]等。如前文所述, 地质勘探资料表明归来庄碲型金矿床与中偏碱性的铜石次火山杂岩体密切相关, 这说明碲元素与这些相关的岩石存在某种内在的联系。由于碲元素的地球化学性质与硫元素有一定的相似性, 碲元素常存在于硫化物矿物晶格中。通过对区内硫同位素的分析表明, $\delta^{34}\text{S}$ 为 $2.000 \times 10^{-3} \sim 2.990 \times 10^{-3}$, 平均为 2.440×10^{-3} , 变化范围小, 均一化程度高, 接近陨石值, 属于深源硫^[12]。证明它们的来源与来自地球深部的岩浆岩有密切关系。此外, 碲元素作为一种半金属分散元素, 在地壳中分散存在; 但在地壳的不同深度, 其相对的丰度值是不一样的。根据 Taylor (1985) 的资料, 下地壳的 $w(\text{Te})$ 丰度为 0.1×10^{-6} , 而地壳中 $w(\text{Te})$ 的平均丰度为 0.001×10^{-6} (维尔纳茨基, 1962), 表明地壳深部相对富含碲元素, 并通过岩浆上侵活动将其带到浅层岩石圈参与成矿作用。由此, 笔者认为, 归来庄碲型金矿床碲元素主要来源于组成铜石次火山杂岩体的中偏碱性的闪长玢岩、二长斑岩及正长斑岩等岩浆成因的岩石。

4 碲元素地球化学特征及成矿机制

4.1 碲元素地球化学特征

作为半金属分散元素的碲, 通常与金、银及硫化物矿床相伴生, 而形成独立的金、银碲化物矿床, 必须具有丰富的碲元素背景场及相应的地球化学条件。中偏碱性的铜石次火山杂岩体为归来庄碲型金矿床的形成提供了丰富的碲元素来源。金隆裕、沈昆^[1]通过对矿区流体包裹体的物理化学研究, 测得成矿溶液的 pH 值为 5.04 ~ 6.03, 黄铁矿内流体包裹体的 Eh 为 0.24 ~ 0.28, R 为 0.28 ~ 0.37, 属还原环境。而方解石中的流体包裹体的 Eh 为 0.46, R 为 1.26, 近于氧化环境。这说明成矿体系是一个从封闭到半开放或开放变化的体系。另外, 他们采用均一法选择石英和萤石内流体包裹体进行显微测温, 测得成矿的均一温度值范围为 $< 100 \sim > 350$ 。用爆裂对方解石和黄铁矿测得的压力结果是方解石 28.4 MPa, 黄铁矿为 22.7 ~ 23.4 MPa; 用 CO_2 包裹体测压测得 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 包裹体形成时的压力为 33 ~ 36.0 MPa。邱检生、王德滋等^[13]认为主成矿期的温度变化于 300 ~ 200 之间; 根据包裹体的形成温度和含盐度, 利用 Roedder 编制的 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 体系的 P(压力) - T(温度) - D(密度) 图解, 可以估算出的成矿压力为 4.6 MPa; 主成矿期的 pH 值在 5.0 ~ 5.5 左右, 氧逸度 (f_{O_2}) 变化于 10^{-52} ($T = 200$) ~ 10^{-43} ($T = 300$)。表明成矿体系处于较强的酸性还原环境。

① 陈光远等 (1985) 对胶东地区的研究发现岩石中 $w(\text{Te})$ 局部地段达 0.4×10^{-6} 。

碲元素与其他元素形成化合物时,由于体系的氧化还原环境及酸碱度变化,可以形成不同形式的化合物。图1是碲元素的各种化合物对于 Eh 和 pH 的稳定范围图。从图中可以看出,在本区成矿体系的物化条件下,成矿热液中碲元素主要以 HTe^- 形式存在。到成矿后期,成矿体系酸性降低,碱性增加,且向弱氧化条件过渡,则会出现单质碲。通过对归来庄碲型金矿的镜下观察及电子探针分析结果(见表2),证实了归来庄金矿床碲化物及自然碲矿物的存在。通过对矿区各种碲化物中微量元素进行频度统计,并作出频度直方图(见图2)。从图中可以看出,金、银元素的出现频率很高,说明金、银元素具有较高的亲碲性,易于形成金、银等元素的碲化物形式。

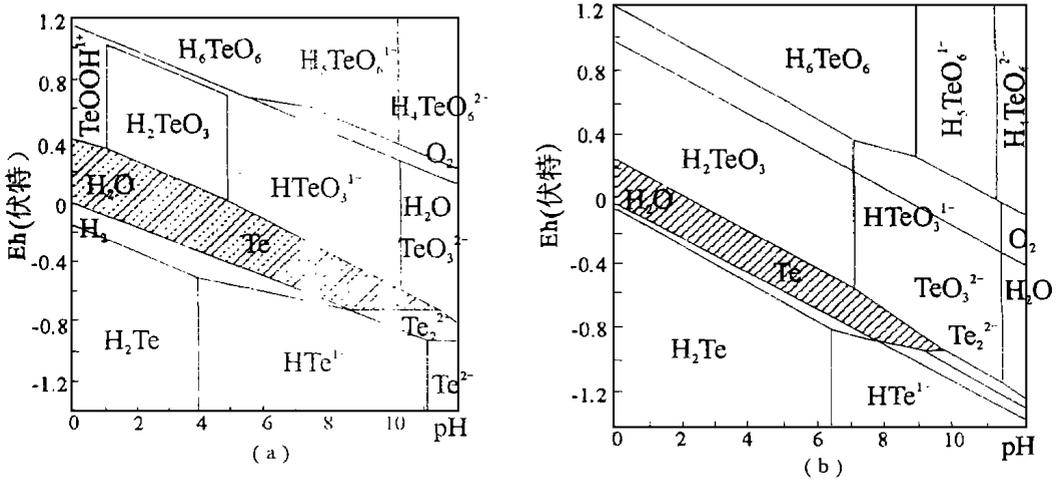


图1 碲的各种化合物在 $\Sigma\text{Te} = 10^{-7}$ 时的稳定范围(据迪阿丘科娃, 1968)^[14]

Fig. 1 Stability field of various tellurides at $\Sigma\text{Te} = 10^{-7}$

(a) - 150 °C, P = 0.10 MPa (b) - 300 °C, P = 8.61 MPa

能否形成独立的碲化物矿床, 矿区成矿期碲、硫元素活度的高低也是至关重要的影响因素, 根据 V. A. Kovalenker 等^[15] 对含碲化物矿床中硫、碲逸度的研究结果可以估算出, 在 250 °C 条件下, 自然银结晶时 $f_{\text{Te}} = 10^{-16}$, $f_{\text{S}_2} = 10^{-12.1}$, 此时, 当 $f_{\text{S}_2} > 10^{-12.1}$ 时, 出现辉银矿结晶; 当 $f_{\text{Te}} > 10^{-6}$ 时, 出现碲银矿结晶; 自然金结晶时 $f_{\text{Te}} = 10^{-9.7}$, 大于该值时则出现碲金矿; 自然碲结晶时 $f_{\text{Te}} = 10^{-7.9}$; 在 200 °C 时, 当 $f_{\text{Te}}/f_{\text{S}_2}$ 比率达到 $10^4 \sim 10^5$ 时, 金属矿床将成为主要以碲化物为主的碲化物型金属矿床; 而且, 随着成矿体系温度不断降低, 形成碲化物及金、银矿物所要求的碲元素活度也不断降低, 在 150 °C 条件下, $f_{\text{Te}} = 10^{13.2}$ 即出现碲金矿结晶, 而出现自然碲时, 只要求 $f_{\text{Te}} = 10^{-11.5}$ 。可见, 碲型金矿床的形成对成矿时体系的温度也是十分敏感的; 而且, 从矿石矿物组合来看, 由于自然金、自然银、辉银矿、金银碲化物矿物等的存在及自然碲的最后形成, 反映了成矿热液在成矿过程中, 碲逸度不断上升, 而硫逸度不断下降, 这是贫硫碲型金矿床的典型特点。此外, Abdulkader M. Afifi 等^[16] 对 $f_{\text{Te}}/f_{\text{O}_2}$ 相互关系也进行了研究, 反映了碲化物的形成与 $f_{\text{Te}}/f_{\text{O}_2}$ 相对关系密切相关。

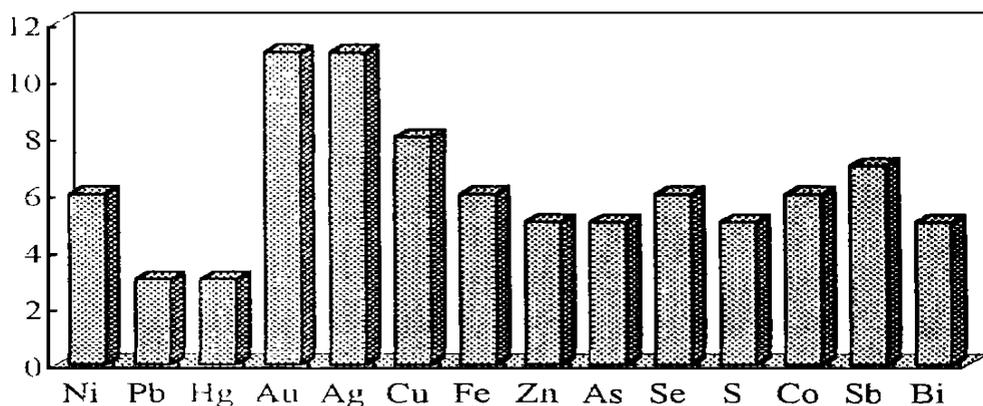
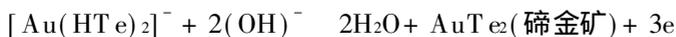
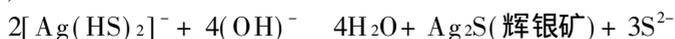
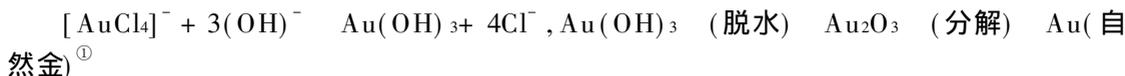


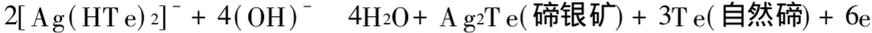
图 2 归来庄碲型金矿床碲矿物微量元素频度直方图

Fig. 2 Histogram frequency distribution diagram of microelement of tellurium minerals in Guilaizhuang tellurium-type gold deposit

4. 2 归来庄碲型金矿床的成矿机制讨论

随着形成铜石次火山杂岩体的中偏碱性岩浆的侵入,在矿区近地表处发生强烈的隐爆作用,形成隐爆角砾岩。在岩浆侵入发生隐爆的过程中,大气降水渗入地下形成的裂隙水等由于受热作用而发生运动,与岩浆作用所带来的岩浆水混合,形成成矿热液。这时的成矿体系仍处于偏酸性的还原环境中,中偏碱性岩浆从上地幔或下地壳将丰富的碲元素带到地球浅部,以 HTe^- 形式进入成矿热液,形成富含 H_2O , CO_2 , Na^+ , K^+ , Cl^- , F^- , Ca^{2+} , HTe^- 及 H_2S 的热液。同时,成矿热液对所经历的泰山群山草峪组片麻岩、寒武—奥陶系海相碳酸盐岩金源层的 Au, Ag 等成矿元素不断进行萃取。由于配位体原子半径越大其变形性越强,越有利于共价键的形成,在 A 族元素和 A 族元素参与配位时, Au 的络合物的稳定顺序是 $\text{Bi} > \text{Sb} > \text{As} > \text{P}$ 和 $\text{Te} > \text{Se} > \text{S}^{[17]}$ 。由于碲元素高背景场的存在,成矿热液中的 HTe^- 浓度呈现不断增加的趋势及原始成矿热液中挥发份 H_2S , Cl^- 等的存在, Au, Ag 等成矿元素将主要以 $[\text{Au}(\text{HTe})_2]^-$, $[\text{Ag}(\text{HTe})_2]^-$, $[\text{AuCl}_4]^-$, $[\text{Ag}(\text{HS})_2]^-$ 等络离子的形式运移富集。由于含矿热液的不运移、升位,成矿体系由封闭、半封闭转向半开放、开放状态,携金络合物等随成矿热液对隐爆角砾岩及围岩发生交代作用。对隐爆角砾岩的热液交代作用往往沿角砾边沿或裂隙进行。随着温度压力不断下降, pH 和 Eh 等物理化学条件发生相应变化,还原环境转化为氧化环境 (f_{O_2} 升高),弱酸性条件变为弱碱性条件, $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 降低, Au, Ag 等的络阴离子等发生分解,并随 f_{Te} 的不断升高, f_{S_2} 的不断降低及温度从 $300 \pm$ 向 $150 \pm$ 持续变化,进行一系列反应,如:





形成了自然金、自然银、辉银矿及 Au, Ag, Cu, Pb, Ni, Hg 等碲化物的一系列矿石矿物, 残余热液进一步对隐爆角砾岩及其围岩发生萤石化、碳酸盐化等次生变化, 由此而构成了独特的归来庄贫硫氧化型低温热液碲型金矿床。

5 结束语

由地球深部的中偏碱性正长质、二长质等岩浆, 携带着丰富的碲元素入侵地壳浅部, 发生侵入隐爆作用, 形成了矿区隐爆角砾岩。岩浆入侵带来的岩浆水与大气降水等作用形成的裂隙水相混合, 形成富含 HTe^- 等离子及其他挥发份的成矿热液, 在受热运移过程中, 不断对泰山群山草峪组片麻岩及寒武—奥陶系海相碳酸盐岩等含金围岩所含金元素进行萃取、运移、富集。由于成矿热液的不升位、运移, 体系环境也随之发生一系列变化, 进行一系列的物理化学成矿作用, 最终形成以自然金、碲及碲化物矿物为主的归来庄贫硫氧化型浅成低温热液碲金矿床。其所含丰富的有益组分碲, 在工业上有诸多用途, 可作为本区矿床的副产品进行综合利用, 相信必将具有广阔的发展前景。

参考文献:

- [1] 金隆裕, 沈昆. 山东平邑县归来庄金矿物质组分及矿床成因分析[J]. 山东地质, 1995, 11(1): 31-40.
- [2] 滕培道. 归来庄金矿为受控于寒武—奥陶系的层控矿床[J]. 山东地质, 1994, 10(2): 34-40.
- [3] 韩庆凤, 程洪钊. 鲁西铜石地区 1:5 万化探对找金的指示作用[J]. 山东地质, 1994, 10(2): 51-56.
- [4] 张招崇, 李兆鼎. 一个值得重视的金矿类型—碲化物型[J]. 贵金属地质, 1994, 3(1): 59-64.
- [5] Ahmad M., *et al.* Mineralogical and geochemical studies of Emperor gold telluride deposit, Fiji[J]. *Ecom. Geol.*, 1987, 82: 345-370.
- [6] Bortinkinov NS, *et al.* Paragenesis of gold and silver tellurides in the Fiorencia deposit, Cuba. *Inter. Ecom. Geol.*, 1988, 30: 294-306.
- [7] Afifi A M., *et al.* Environments of late Precambrian gold-silver telluride mineralization at Mahd Adh Dhahab, Saudi Arabia [abs.][J]. *Geol. Soc. America Abstracts with Programs*, 1984, 16: 426.
- [8] Tompson T. B., *et al.* Mineralized veins and breccias of the Cripple creek district, Colorado[J]. *Ecom. Geol.* 1985, 80: 1669-1688.
- [9] Saunders J. A., May E. R., Bessie G.: A highgrade epithermal gold telluride deposit La Plata County, Colorado, U. S. A. [A]. in Macdonald, A. J., ed., *Gold'86: Eilowdale Ontario, Konsult Internat. Inc.* [C]. 1986, 436-443.
- [10] Soeda A., *et al.* Electrum-silver tellurides ores of the Takeno mine, Hyogo prefecture, SW Japan, and their genetic significance[J]. *Soc. Mining Geologists Japan Spec.* 1981, 10: 43-52.
- [11] Spiridonov E. M., *et al.* Mineral associations of gold-telluride deposits of Zhangis-Tobe in northern Kazakhstan[J]. *Geologia Rudnykh Mestorozhdenii.* 1974, 16: 54-65.
- [12] 刘广哲. 归来庄金矿床中金矿物与载金矿物的标型意义[J]. 山东地质, 1994, 10(2): 57-65.
- [13] 邱检生, 王德滋, 任启江. 我国首例碲金型浅成低温热液金矿床—山东平邑归来庄金矿床[J]. 地质与勘探, 1994,

(30): 7-12.

- [14] 刘英俊, 曹励明, 李光麟, 等. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1984. 408-415.
- [15] Kovalenker V. A, *et al.* Physicochemical conditions of sulfide-telluride mineralization at the Megrador ore field, Armenia[J]. *Inter. Geol. Rev.*, 1991, 33: 74-91.
- [16] Afifi A. M, *et al.* Phase relations among tellurides, sulfides and oxides: I, Thermochemical data and calculated equilibria[J]. *Ecom. Geol.*, 1988, 83: 377-415.
- [17] 崔艳合, 元绍玫, 等. 北京市得田沟金矿床矿物特征和金的赋存状态[J]. *矿床地质*, 1994, 13(3): 260-270

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF TELLURIUM AND MINEROGENIC MECHANISM OF THE GUILAIZHUANG TELLURIUM-TYPE GOLD DEPOSIT, SHANDONG PROVINCE

XIE Jia-dong¹, QIAN Han-dong¹, LI Yong-hui²

(1. *Department of Earth Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China;*

2. *Maanshan Mining Academy MMI, Anhui Maanshan 243004, China*)

Abstract: In the Guilaizhuang epithermal sulphur-poor oxidation tellurium-gold type deposit, the main gold and tellurium minerals are native gold, calaverite, kostovite, hessite, petzite, altaite, melonite, coloradoite, and tellurium. The Taishan group gneiss and Cambrian-Ordovician marine carbonate rocks are the main source of gold while tellurium is carried by monzonite or syenitic neutral alkalic magma of Tongshi complex from deep crust (upper mantle or lower crust) to the ore deposit depth where it is involved in hydrothermal fluid as Te-Au complex to be transported and enriched. Variation of pH, Eh and relations of f_{Te} - f_{S_2} - f_{O_2} resulted in native gold, tellurium and telluride mineral assemblage in the deposit. Tellurium can be synthetic exploited.

Key words: Guilaizhuang; tellurium; geochemical characteristics; ore-forming mechanism

撒哈拉沙漠成因初析

德国专家说,在撒哈拉地区的荒漠化过程中,古代人类的开垦活动并非决定因素,而应该用气候系统动力学来解释。他们认为,黄赤交角发生的微小变化导致了这一地区植被的消失和沙漠的出现。专家们通过计算机的数学模型计算后发现,在从 6 000 多年前到 3 600 多年前的数千年中,地球近日点的黄赤交角由 24. 14 变成了 23. 34°;这引起了北非的撒哈拉地区夏季温度急剧升高,降雨量大大减少。正是地球轨道倾角的微小改变导致了地球大气层、海洋冰和植被的变化,撒哈拉地区从森林覆盖的绿地变成了片草不生的沙漠。