

东坪金矿矿石碲、金分布及其相关性

张佩华¹, 赵振华¹, 包志伟¹, 王一先¹, 李少众², 张玉虎³

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640;

2. 东坪金矿, 崇礼 076350; 3. 张家口金矿, 张家口 075148)

[摘 要] 用原子吸收、原子荧光法分别系统测定矿石 Au、Te 含量表明, 东坪金矿具有典型的 Au - Te 元素组合。Te/Au 比值平均为 0.71, 且随矿石 Au 丰度的加富而增加, 它们的相关系数增大。Au、Te 含量对数值的统计分布差异和矿物组合、元素赋存状态的微束分析结果表明, Au、Te 均以独立矿物为主要赋存状态, 但 Au 的矿化表现出多期次特征, 而 Te 主要在硅化 - 硫化物阶段, 二者可能具有不同的母源。上述结论对提高金的回收率、碲的综合利用和富矿体的追索提供一定的依据。

[关键词] Au - Te 组合 相关关系 赋存状态 金矿 东坪

[中图分类号] P618.51 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2001)03-0024-05

岩石·矿物

0 前言

东坪金矿位于河北崇礼县境内, 是我国首例产于碱性杂岩内的富碲特大型金矿床, 被确定为新的金矿类型——“东坪式金矿”。前人对东坪金矿的地质地球化学特征和成因已进行了较系统的研究^[1~5, 16], 他们都注意到东坪金矿的 Au - Te 组合特征。宋国瑞和赵振华 (1996)^[3]测定了部分碲矿物的结构、成分和物理性质、部分硫化物的碲含量以及蚀变岩剖面上碲的含量, 据此推测矿床成因与国外较为普遍的“碱性金成矿系统 (Alkaline type)”模式^[4]相似, 但认为 Te 的载金作用不重要, 加上成岩与成矿的明显时差, 使之难于归入该模式。Zhang and Mao (1995)^[2]将东坪金矿定义为“碲化物”型金矿, 推测矿体 Te/(Au + Ag) 比值随深度而降低, 并根据黄铁矿中碲含量推测碲主要以类质同象 (Fe [S, Te]₂) 赋存在低硫逸度、高温梯度成因的黄铁矿等硫化物中, 这些硫化物遇酸分解可释放 H₂Te, 后者在降温条件下呈 HTe⁻ 形式并部分替代 HS⁻ 迁移 Au⁺。银剑钊和史红云 (1995)^[3]用电子探针测定了除东坪以外的区域金矿床中黄铁矿的 Te 等微量元素含量, 并用 Se/Te、S/Se 试图判断黄铁矿的成因, 但与其中黄铁矿 Co/Ni 比值获得的成因结论矛盾。另一方面, 由于研究手段所限, 目前大多数只将“Au - Te”组合用于估算含碲金矿中矿物形成的逸度, 这种状况并没有由于大水沟独立碲矿床在我国的发现而得到根本的改变^[6, 7]。诚然, 仅仅依靠某

个元素研究来揭示矿床的成因是不现实的, 但正如著名地球化学家涂光炽指出的“分散元素形成独立矿床”为研究矿床、特别是超大型矿床的形成条件和元素“超常富集”提供了独特的途径^[8]。东坪金矿不仅富含碲化物, 而且产出丰富的碲的含氧盐, 它们与自然金共同构成了重要的载金矿物^[9, 10]。综合运用微量、微束分析技术, 研究东坪金矿的矿石、蚀变岩中碲与金矿化的时空关系, 评估碲对金富集成矿的作用, 为矿石综合利用、化探找矿提供实际资料, 并可能为东坪特大型金矿的成矿机制和物质来源提供独特的途径。

1 矿床地质

东坪金矿位于华北克拉通北缘的水泉沟碱性杂岩南部内接触带, 沿该接触带内侧分布有中山沟、后沟、金家庄、黄土梁等中、小型金矿床。该岩体受一系列 EW 向、NWW 向构造带的限制, 呈东西向狭长带状侵入太古宙变质岩系, 局部受中生代火山岩的覆盖或花岗岩的侵入; 岩性复杂多变, 大体以正长岩、二长岩和石英正长岩为主, 无明显的岩性、岩相分带; 其岩石学分类、形成时代和机制及其大地构造背景一直存在争议^[5]。

东坪金矿的矿化范围达 7 km、宽 3 km, 呈 NW 方向展布, 由 9 个相互平行、NNE - NE 向的矿化带组成, 其中以 1、70 号矿体为最重要。矿体为一系列 NNE 走向的石英脉、石英 - 钾长石脉、石英细脉或网脉及旁侧的钾化、硅化蚀变岩构成, 它们之间在走向与延深方向呈逐渐过渡, 它们的相互关系见图 1。

[收稿日期] 2000 - 05 - 18; [责任编辑] 曲丽莉。

[基金项目] 国家自然科学基金重点项目 (49633110) 资助。

与金矿化密切相关的围岩蚀变包括钾化、硅化和黄铁矿化,部分绢云母化。此外,矿石的次生氧化作用十分强烈。

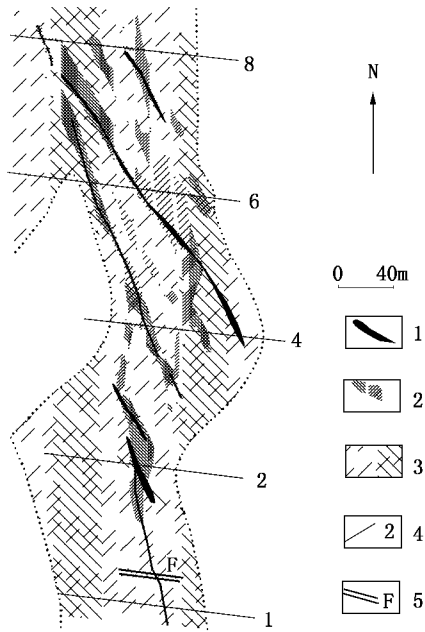


图 1 东坪金矿石英脉、蚀变岩型矿体与硅钾化蚀变带关系示意图

1—石英脉矿体;2—蚀变岩矿体;3—硅钾化蚀变带;4—勘探线;
5—断层

根据矿体中矿石组构将矿化作用大致分为热液和次生期,热液期又可进一步划分为三到五个阶段^[1~3]。金成矿作用发生在石英—黄铁矿—镜铁矿阶段和石英—多金属硫化物阶段。矿石中脉石矿物占 90 %以上,金属矿物一般不超过 5 %,呈典型的少硫化物特征。脉石矿物以石英、钾长石和钠长石为主,根据它们的产状、比例基本划分为石英脉型与蚀变岩型,其矿物组成对比如表 1。

表 1 东坪金矿两类矿石矿物组成对比

	石 英 脉 型	蚀 变 岩 型
主要矿物	石英为主,少量钾长石	钾、钠长石、微斜长石和石英
次要矿物	黄铁矿、褐铁矿、假象赤铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿	含水硅酸盐、碳酸盐、黄铁矿、磁铁矿
微量矿物	铜蓝、自然金、Au(Ag)碲化物、次生金、Pb、Zn 碲酸盐、铅碲	自然金、方铅矿、碲铅矿等

据文献^[1~3]综合。

2 金矿石的碲、金含量与分布特征

2.1 样品处理与测试技术

样品由两部分组成。第一部分为 70 号矿体 27 号勘探线 ZK271 蚀变岩型矿石的钻孔岩心,第二部分采自 1 号石英脉型矿体不同高程的沿脉剖面 and 穿脉剖面。根据东坪金矿中金的矿物形式与粒度分布特点^[3],大多数样品为钻孔岩心或刻槽取样,少数以

拣块取综合大样,单样重量 2kg 左右。除制作光、薄片和破碎、缩分留出副样外,其余棒磨至 - 200 目的粉末 1 kg 作分析。

采用高温(640)焙烧、王水溶解 10g 样品,泡塑吸附和硫脲解吸金制样,在有机地球化学国家重点实验室 PE3100 原子吸收分光光度仪上进行,矿石金用火焰法、痕量金用石墨炉法测定,方法精度见表(表 2)。前人报道的东坪金矿石碲含量范围差别较大^[4,10],因此选择合理的方法对所有样品统一测定,对确保数据质量十分关键。根据前人报道的本区碲含量,采用含碲相当的国标样和重复样,分别对泡塑预分离 M17 树脂富集 - 原子荧光法^[11]和流动注射—原子荧光法^[12]的准确度与重现性比较、检验,选定南京地质矿产研究所的流动注射—原子荧光法,其质量符合国家标准和本区研究的要求(表 3)。

表 2 原子吸收分析矿石 Au(×10⁻⁹)分析质量评估

样 品	X ₁	X ₂	ΔX(%) *
DP92 - 166	11.3	13.7	19.2
9104042	540	500	7.69
9104064	10630	11520	8.04
备注	中科院广州地球化学研究所 武警黄金部队八支队 戴逢福、胡光黔		

* ΔX(%) = 2 * (X₁ - X₂) / (X₁ + X₂)

表 3 流动注射—原子荧光法测定碲(×10⁻⁹)质量评估

样 品	X ₁	X ₂	ΔX(%) *
CSR - 3	28	22	24
GSS - 5	3000	4000	28.6
9005882	28200	26700	5.46
备注	南京地质矿产研究所 国家标准样推荐值		

* ΔX(%) = 2 * (X₁ - X₂) / (X₁ + X₂)

2.2 矿石碲、金含量及其分布特征

以 Au 的品位不小于 1 ×10⁻⁶为金矿石,得到 64 个矿石样品的 Au、Te 含量的频率分布直方图(图 2)。可见 Au、Te 在含量直方图(a、b)上均显示双峰分布特征,其中 Au、Te 的含量区域的上、下限和中值非常接近,矿石 Au、Te 含量的最大值分别是 67 ×10⁻⁶、71 ×10⁻⁶,在总体上表现出 Au 为主、伴生 Te 的特征,Au、Te 平均值分别是 9.36 ×10⁻⁶、6.71 ×10⁻⁶,变异系数分别为 1.55 和 2.10,Te/Au 比值为 0.72,明显比前人相应(INAA)的结果要低^[1,3]。

相比而言,在含量对数直方图(c、d)上,Au、Te 具有明显的差别:前者具明显的双峰态分布特征,这与金的多阶段成矿行为吻合,后者显示单峰且负偏态特征。有趣的是,将图 2c 分解可以得到 Au 的高含量区域也具有负偏态特征,说明金的碲化物对形成富金矿石的作用是明显的。

2.3 两类矿石碲、金含量的统计差异

为探讨 Au、Te 分布与矿石类型之间的关系,将

样品按矿石类型投影到 Au - Te 含量图(图 3)。由图 3 可知,除 4 个石英脉型样品外,其余样品的 Te/Au 不超过 1;石英脉型的 Te/Au 比值总体高于蚀变

岩型的相应值,两者差异在 Au 的低含量区域较明显,在 Au 的高含量区域逐渐缩小,即 Te/Au 比值逐渐接近 1。

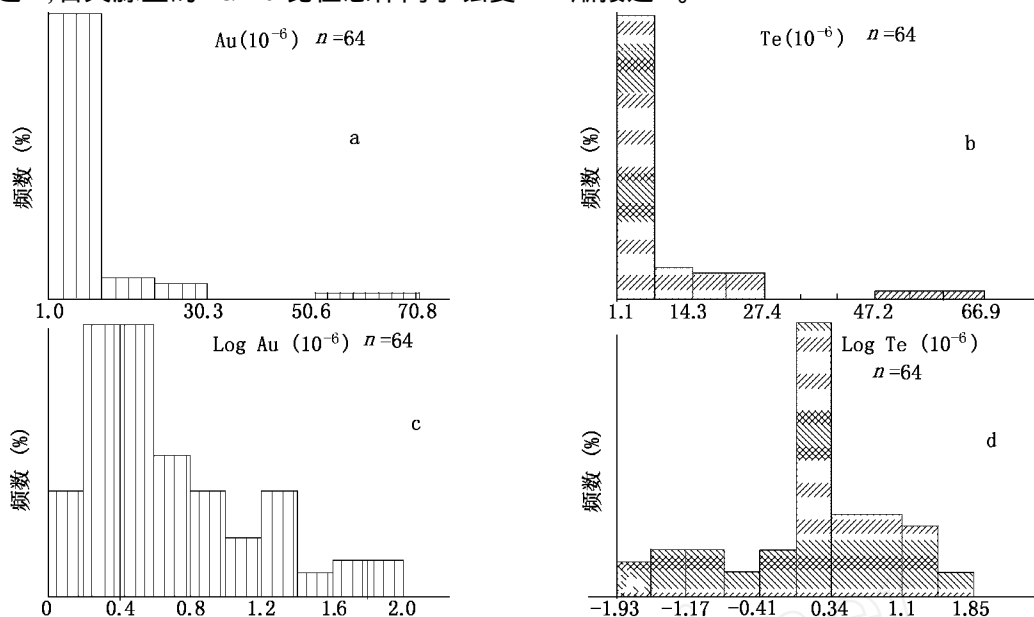


图 2 东坪金矿成矿元素含量统计分布图

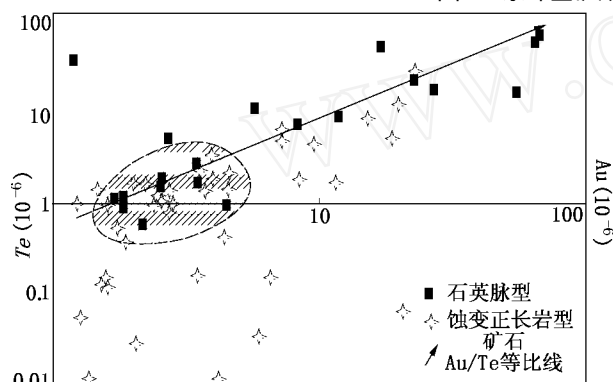


图 3 东坪金矿成矿两类矿石 Au、Te 含量关系

2.4 两类不同矿体碲、金含量及其空间相关性

Au、Te 在 1 号石英脉型矿体不同中段穿脉剖面

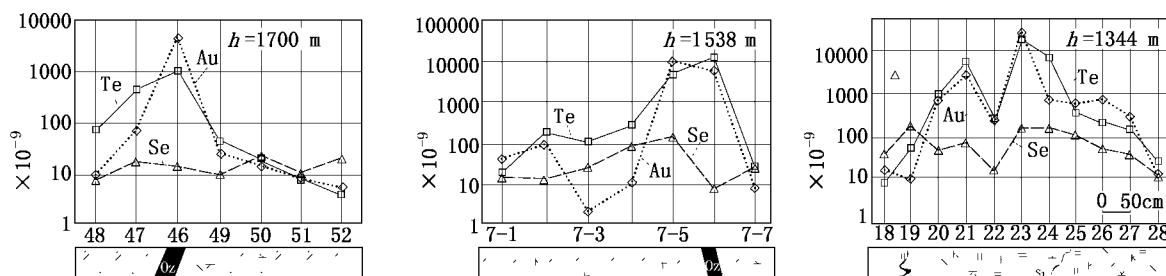


图 4 东坪 1 号石英脉型矿体穿脉剖面成矿元素含量变化

2.5 不同高程的石英脉型矿石 Au、Te 含量及其相关性

将 1 号矿体不同中段的石英脉沿脉样品的 Au、Te 含量与高程关系作图(图 5)。可知除个别样品以

上的含量关系见图 4。它们的平均值及其相关系数见表 4,并与矿化正长岩—二长岩岩心样品的相应值对比。由表可见,石英脉内及其旁侧矿石和矿化蚀变岩的 Au、Te 比值较接近,且相关系数较高,而典型蚀变岩型的 Te/Au 比值近于 2,且相关性低。

表 4 东坪金矿两类矿石 Au、Te 含量($\times 10^{-6}$)均值、比值和相关系数对比

采样位置	样品	样品数	Au 均值	Te 均值	Au/ Te	Au - Te 相关系数
1 号矿体 1700m 剖面	石英脉型	7	0.593	0.329	1.802	0.911
1 号矿体 1584m 剖面	石英脉型	7	3.048	2.398	1.271	0.781
1 号矿体 1344m 剖面	石英脉型	11	3.454	3.424	1.009	0.938
钻孔 ZK271	蚀变岩型	30	2.407	1.158	2.078	0.613

外 Au、Te 含量接近,总体相关系数仍然明显高于蚀变岩型矿石的相应值,但低于穿脉剖面的相应值;这是由于个别样品 Au、Te 含量及其比值出现异常所致。

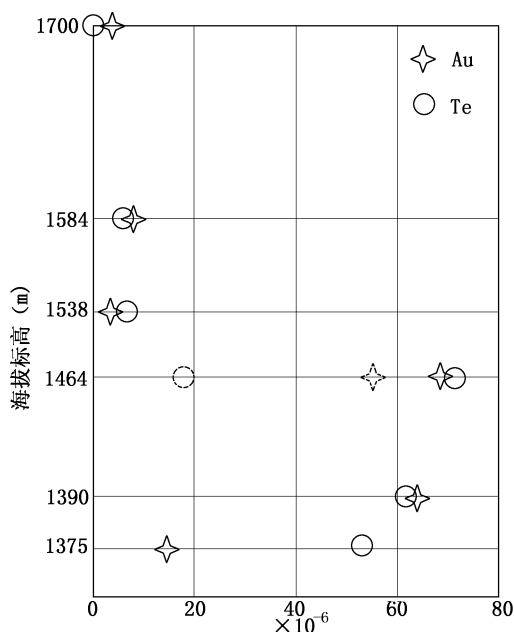


图5 东坪1号石英脉成矿元素含量垂向变化

3 矿石碲对 Au 分布模式的贡献

据宋国瑞和赵振华(1996)^[3]对金矿物种类和粒度分布的统计表明,东坪金矿石中金主要以自然金为主,碲金矿占金矿物的总量不到1%,另一方面,本区自然金的Te含量一般小于1%^[2]。上述载金模式与本次获得的矿石高Te/Au比值相矛盾,结合富矿石中Au、Te的高度相关性,前人的载金模式显然忽视了具较高Te/Au比值的载金矿物。为此,选择具典型Te、Au含量及其比值的矿石,研究矿石组成矿物的Au、Te含量、结合态,用矿相显微镜、扫描电镜(带LINK300能谱仪的Hitachi S-3500N)确定Au、Te独立矿物的分布特征,电子探针(JOEL JXA8800M)测定大多数金属矿物及其氧化物的Au、Te含量,以流动注射-原子荧光法测定含碲较低的石英、钾长石和部分含氧盐单矿物的Au、Te含量。主要相关结论如下。

1) 矿石Au除以早阶段的粗粒自然金形式外,尚有大量以碲金矿(AuTe_2)、碲金银矿(AuAg_3Te_2)为主的碲化物独立矿物形式包裹于方铅矿、黄铁矿或分布于石英、黄铁矿裂隙内,其数量比同粒度范围(几 μm ~几十 μm)的自然金多,是硅化-硫化物阶段金的主要独立矿物,次生氧化形成含金碲酸盐、硫碲酸盐,它们与自然金共同决定了矿石的Au/Te比例,决定了本矿区的Au-Te元素组合和砂金矿不发育的特征。

2) 自然金的Te含量 $14 \times 10^{-6} \sim 18170 \times 10^{-6}$ 、

平均 3210×10^{-6} 、Au/Te比约300,次生金的Te含量 $0 \sim 30110 \times 10^{-6}$ 、平均 7350×10^{-6} 、Au/Te比约80,显然自然金的次生氧化提高矿石的Te/Au比值,特别是对次生金比重高的蚀变岩型^[3]矿石。

3) 硫化物的Au、Te含量变化较大:如文献[3]报道本区方铅矿的Au、Te含量分别为 $6200 \times 10^{-6} \sim 30300 \times 10^{-6}$ 、 $1500 \times 10^{-6} \sim 3300 \times 10^{-6}$,Au/Te比值约20~2,本次测定值分别为 $0 \sim 1750 \times 10^{-6}$,Au/Te比值极小,又如文献[2]报道黄铁矿Te含量 $0 \sim 1100 \times 10^{-6}$ 、平均 350×10^{-6} 、但是Au/Te比值可大于10000,且与晶型、矿石类型无特定的关系,而本次测定的黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿的Au、Te含量都不超过 500×10^{-6} ,Au/Te比值接近1,铁的氧化物矿物的Au、Te含量分别为 $0 \sim 470 \times 10^{-6}$ 、 $0 \sim 1200 \times 10^{-6}$,平均分别为 210×10^{-6} 、 320×10^{-6} ,与硫化物相差不大,说明硫化物的氧化对Au、Te活化、迁移作用有限。

4) 石英、钾长石等脉石矿物的Au、Te含量太低而无法用电子探针测定,现有单矿物分离法获得的石英Au含量显然偏高,应取其下限,即 0.004×10^{-6} ^[3]。同理,本次获得的石英、钾长石Te含量取下限值,分别为 0.5×10^{-6} 、 0.1×10^{-6} 。

基于上述结论,结合东坪金矿大多数矿石含硫化物小于3%、硫化物与矿石的Au、Te含量之间不存在正相关关系的事实,说明分配在矿石硫化物中的Au、Te对矿石Au/Te的影响可以忽略,即决定矿石Au/Te比的主要因素是自然金与碲金矿的相对含量,建议在氰化法选富矿时,重视石英脉型矿石中以微米级碲化物形式存在的“难溶金”^[14]的回收和碲的综合利用。

4 结 论

1) 东坪金矿矿石Au、Te含量最高分别达 67×10^{-6} 、 71×10^{-6} ,平均值分别是 9.36×10^{-6} 、 6.71×10^{-6} ,变异系数分别为1.55、2.10,Te/Au比值为0.71,矿石总体上表现出Au-Te组合的特征。

2) 矿石Au、Te在含量频率分布图(图2a、b)上均显示双峰分布特征,其中Au、Te的含量区域的上、下限和中值非常接近。相比而言,在含量对数直方图(图2c、d)上,Au、Te具有明显的差别:前者具明显的双峰态分布特征,这与金的多阶段成矿行为吻合,后者显示单峰且负偏态特征。将图2c分解可以得到Au的高含量区域也具有负偏态特征,说明金的碲化物对形成富金矿石的作用是明显的。

3) 两类矿石相比,石英脉型矿石的Te/Au比值

高且稳定,金碲化物的载金作用与自然金相当,结合金碲化物粒度细、寄主矿物主要为方铅矿、黄铁矿以及碲金矿的“难溶”特征,建议对富金石英脉型矿石氰化法萃取过程前必须充分磨细并氧化焙烧,以提高金的回收率和最后利用共生碲。

4) 蚀变岩型矿石的总体 Au 含量较低,Te、Au 比值低、相关性差,但随 Au 含量的增加而 Te/Au 比值明显增大,并接近石英脉型矿石的相应值,结合样品与石英脉的距离和与硅化蚀变带的关系,说明 Te - Au 矿化主要发生在主体石英脉形成后的硅化 - 硫化物阶段,与金的多期矿化相比,Te 的矿化范围小、矿化期次单一。

5) 石英脉内矿石金含量与金的矿化中心分布有关^[3],其中 Te/Au 比值除受硫化物的含量和后期次生氧化作用的扰动外,主要与硅化—硫化物阶段后期形成碲金矿有关,矿体“上碲下金”^[1]现象与高程无直接关系。因此,该比值对化探寻找富金盲矿体具一定的指示意义。

6) 根据本矿床金的多阶段矿化^[3]和两类矿石矿物组合,决定矿石 Au、Te 含量及其比值的基本因素是早期自然金—石英脉阶段和硅化—硫化物阶段。前者特点是 Au/Te 比值高、矿化强度弱但矿化范围宽;后者主要沿破碎石英脉等开放构造叠加早期矿化,其特点是矿化强度高、范围窄,形成 Au 的富矿石,并减低矿石的 Au/Te 比值。围岩黄铁矿的氧化对 Au、Te 的共同活化、迁移模式^[1]既不符合它们的地球化学性质,也未获得本次测定结果的支持。碲可能与深部地幔柱有关的流体有关^[15]。

[参考文献]

- [1] Zhang Zhaochong, Mao Jingwen. Geology and geochemistry of the Dongping telluride deposit, Hebei Province, North China [J]. International Geology Review, 1995, 37: 1094 ~ 1108.
- [2] 银剑钊, 史红云. 张家口—宣化地区金矿地质 [M]. 北京: 地质出版社, 1995. 30 ~ 31.
- [3] 宋国瑞, 赵振华. 河北省东坪碱性杂岩金矿地质 [M]. 北京: 地震出版社, 1996. 79 ~ 90.
- [4] 王秀樟, 程景平, 张宝贵, 等. 中国改造型金矿床地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [5] 聂凤军, 等. 碱性火成岩为主岩金矿床研究新进展 [J]. 国外矿床地质, 1997, 3: 1 ~ 30.
- [6] 陈毓川, 等. 四川大水沟碲(金)矿床地质地球化学 [M]. 北京: 原子能出版社, 1996.
- [7] 骆耀南, 等. 大水沟独立碲矿床—世界首例碲化物脉型矿床地质地球化学 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1996.
- [8] 涂光炽. 分散元素可以形成独立矿床 [M]. 欧阳自远主编: 中国矿物岩石学地球化学研究新进展 (二). 兰州: 兰州大学出版社, 234.
- [9] 田澍章, 李秀梅. 河北省东坪金矿几种新金矿物的初步研究 [J]. 黄金地质, 1995, 1(1): 61 ~ 67.
- [10] 蔡长金. 东坪金矿中几种含氧金矿物的发现 [J]. 黄金地质, 1996, 2(3): 57 ~ 65.
- [11] 杨理群. 碲的泡塑预分离 M17 树脂富集—原子荧光测定法 [J]. 黄金地质, 1997, 3(1): 67 ~ 71.
- [12] 杨翼华, 杜新军, 朱永昌. 流动注射—原子荧光法测定岩矿中痕量碲和碲 [J]. 岩矿测试, 1996, 15(1): 61 ~ 64.
- [13] 蔡长金, 陆荣军, 宋湘荣. 中国金矿物志 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994. 175 ~ 180.
- [14] Spry P G, Thieben S E. The distribution and recovery of gold in the Golden Sunlight gold - silver telluride deposit, Montana, USA [J]. Mineralogical Magazine, 2000, 64(1): 31 ~ 44.
- [15] 李红阳, 等. 初论地幔热柱与成矿—以冀西北金银多金属成矿区为例 [J]. 矿床地质, 1996, 15(3): 249 ~ 256.
- [16] 莫测辉. 张家口地区金矿床地球化学及成因研究 [A]. 中国科学院广州地球化学研究所博士论文, 1995.

THE DISTRIBUTION PATTERN OF GOLD AND TELLURIUM AND THEIR CORRELATION OF ORES FROM THE DONGPING GOLD MINE

ZHANG Pei - hua, ZHAO Zhen - hua, BAO Zhi - wei, WANG Yi - xian, LI Shao - zhong, ZHANG Yu - hu

Abstract: The analysis of ores with AAS and XFS prove that the Dongping gold deposit is characterized by association of Au and Te. With the increase of Au, the correlation value of Au and Te as well as their ratio increases gradually, with an average of Te/Au of 0.71. Statistical logarithm models and occurrence show that both Au and Te occur mainly in minerals, which indicate that Au and Te are enriched at different stage. Au mineralization features multi - stage enrichment, whilst Te is enriched at the silicification - sulfidation stage. Au and Te derived from different source. The studies are conducive to improving recovery of gold and tellurium and to tracing orebodies.

Key words: Au - Te association, correlation, occurrence, Gold deposit, Dongping, China

[第一作者简介]



张佩华(1963 年 -), 男, 1983 年毕业于桂林冶金地质学院化探专业, 1986 年在中南工业大学地质系获硕士学位, 现在中国科学院广州地球化学研究所攻读博士学位, 主要从事元素地球化学研究。

通讯地址: 广东省广州市五山 1131 信箱 中国科学院广州地球化学研究所 邮政编码: 510640