

55-58

碲成矿机制研究新进展

p618.570.4

张佩华 赵振华 包志伟 王一先

(中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州, 510640)

摘要: 简要总结了碲的丰度、矿物学及其分布, 重点论述了“碱质类”金矿床中碲的赋存状态、载金作用、迁移形式及其来源等研究的现状、存在问题和大水沟独立碲矿床对研究元素超常富集 的启示, 并对超大型矿床成矿机制的研究方向进行了展望。

关键词: 成矿作用; 浅成热液; 金矿; 碲; 大水沟

中图分类号: P618.8301

文献标识码: A

文章编号: 1000-7849(2000)02-0055-04

元素碲(Te)属“亲硫性”的“分散元素或稀散金属”^[1]。碲的丰度极低, 分布分散, 一般只作为伴(共)生组分回收, 因此涉及碲的元素地球化学循环的资料极少。80年代后期, 碲作为广泛分布于“碱质类(alkalic)”金矿而受到重视, 我国矿床学界在发现、研究碲等分散元素独立矿床的过程中, 提出了“分散元素可以独立成矿, 甚至形成超大型矿床”的命题^[2], 并结合“与超大型矿床有关的基础研究”、“低温地球化学”和“特殊态物质与成矿作用”研究, 对分散元素的“超常富集”条件进行了广泛的探讨。

笔者在简要回顾 90 年代碲的地质地球化学研究的基础上, 总结、对比碲的各类成矿作用特征、研究现状和存在问题, 并探讨这些成果和方法对新世纪的矿床学和地球化学发展方向的独特意义。

1 矿床中伴(共)生碲的研究现状

微束分析技术促进了 90 年代碲的新矿物、新产地的发现及其化学成分、晶体结构的研究。碲的独立矿物数量不仅居分散元素第一名^[1], 而且比形成独立矿床的 Au, Ag, Mo, W, Sn 等微量元素的还要多; 此外, 许多痕量、显微态的碲硫酸盐和次生碲酸盐因缺乏结晶学数据而未获得命名^[3]。

碲矿物的产状分类与矿石矿物学。前人将碲矿物按产出地质环境分成四大类^[4], 我国学者也作过“成因”分类, 但这种建立在“岩浆热液成矿模式”基础上的“成因”分类与许多碲矿物产于变质构造地体的金矿甚至条带状含铁建造(BIF)^[5]的事实是不相

符的; 另一方面, 把“碲化物型”^[6]单独列为金矿成因类型之一似乎没有多大意义。碲矿物的类质同象研究在近 10 年少有涉猎, 但微区成分、结构变化与其物理性质的关系的研究值得注意^①。碲矿物的产状与碲的综合利用价值、主元素的回收率的关系较为复杂: 碲矿物可呈载金矿物^[7]、矿石矿物的包裹体^[8], 但因其含量少、分散而不加利用, 甚至因碲矿物的存在降低了主元素的利用率^[9]。碲的来源、含量及其赋存状态对金成矿的作用尚未得到系统研究。

以利用碲矿物共生组合和热力学数据为基础, 理论计算碲的相平衡关系及其物理化学边界成为 90 年代研究含碲矿床的主要内容。研究最多的是碲矿物最丰富的各类“浅成低温热液(epithermal)”型金矿, 相当于 80 年代的“金-碲型”或“Au-Ag-Te 脉型”以及“碲型浅成低温热液型”金矿。Afifi 等在 1987 年根据碲化物等热力学数据确定碲热液体系的相平衡关系及其物理化学条件的方法, 在 90 年代得到了进一步运用和发展; Zhang 和 Spry^[10]根据针碲金银矿的银含量计算出与石英包裹体测温数据相吻合的形成温度, 并运用等电荷原理计算了 300°C 以下 Te-O-H, Au-Te-Cl-S-O-H 和 Ag-Te-Cl-S-O 等体系含水碲化物、碲金矿、碲银矿与硫化物、氧化物之间的相平衡关系, Mcphail^[11]计算了 25~300°C 热液中碲的溶解形式与溶解度, Simon 和 Essene 在 1996 年用类似方法预测了新矿物。

2 分散元素的超常富集

大水沟独立碲矿床是迄今为止世界上唯一的独

收稿日期: 1999-11-08 编辑: 禹华珍

基金项目: 国家自然科学基金项目(49633110)

第一作者简介: 张佩华, 男, 1963 年 7 月生, 现正攻读博士学位, 主要从事元素地球化学研究工作

① 谷湘平. 黄沙坪铅锌多金属矿床中岩浆作用与成矿的关系[R]. 中国有色金属工业总公司矿产地质研究院, 1992

立碲矿床,其产状之独特、碲富集程度之高为世界罕见,为探讨元素的超常富集和分散元素独立成矿机制提供了罕见的实例,我国矿床学与地球化学界对矿石矿物组构、元素组合、围岩蚀变及其产出地质背景进行了系统的研究^[12,13]。虽然其矿物形成机制^[12,13],物质来源及其迁移方式^[12,13],流体来源及其温、压等条件^[14,16]至今尚无定论,但它至少打破了“分散元素不能独立成矿”的论断,并再一次对碲与岩浆岩的空间关系提出了疑问。

3 碲的元素地球化学启示

Richards^[2]将“浅成低温热液”Au-Ag-Te金矿、与“早期岩浆—热液”钼矿床(化)一起作为“碱质类”岩浆热液演化不同阶段的产物,简称“碱质类”矿床,并总结了它们的地质地球化学特征,Spry等^[17]从包裹体和稳定同位素方面证实了Golden Sunlight矿床金银碲化物与斑岩矿化以及晚白垩世侵入岩之间的成因联系。但这种成因模式并不完全符合我国的实际,“碱质类”金矿有3个共同特点,即矿化与碱性岩浆岩存在密切的空间关系、发育金-碲化物、钼矿物和萤石以及与深部斑岩型金或铜矿化之间的转化关系已被不少例外打破,如我国华北克拉通“碱质类”金矿的典型代表——东坪金矿的成矿流体盐度偏低,碲化物的载金作用(不足1%)明显弱于国外同类矿床,矿石缺乏萤石、钼云母等特征矿物和碳酸盐化,空间上缺乏伴生火山岩,围岩的变质程度也比较高,对东坪金矿究竟是“造山带型”或“碱质类型”、“浅成热液型”还是“中温热液型”颇有争议^[18];此外,云开变质构造地体内的河台含碲金矿^[19]、华北克拉通北缘的得田沟碲化物型金矿^[20]以及位于小秦岭的变质岩区金矿都没有岩浆岩产出。许多“碱质类”岩浆岩可能只提供了成矿热源和部分成矿物质,如Golden Sunlight碲化物型金矿^[7,9,17]。虽然该矿床赋存于火山角砾岩筒中,但氢、氧、硫、碳同位素显示成矿热液的碲、碳、硫有一部分来自于元古宙围岩,后者本身具块状硫化物矿化, $w(\text{Te})$ 高达 8×10^{-6} ,推测与板块活动导致的洋底喷气热柱有关^[7,9];事实上,碲在块状硫化物中的高含量与洋底喷气的关系早在70年代就受到重视^[21],Rubin^[22]对现代洋底喷气柱的观测及其元素分布模式的研究表明,来自深部的洋底喷气对许多元素的迁移与富集作用不亚于热液的作用。因此,高度挥发、水溶性差的Se,Te随地幔射气^[23]从地幔中释放出来,并在浅部就位过程中捕获金,形成金的初始富集模式具有更广泛的适用范围。显然,碲能否作为判断金矿床是

“碱质类”岩浆岩的“浅成低温热液”产物尚需典型矿床的案例以及碲在岩浆或(和)热液中分配实验的验证。

由于对碲的地球化学性质缺乏了解,热力学计算结果有时与地质事实并不相符。如Emperor碲化物型金矿的流体Te,Au最大溶解度的计算值分别为 3×10^{-9} , 8×10^{-9} ,这显然无法解释该矿床为何会有如此大量的Au-Ag碲化物,Ahmad等^[24]推测要么存在含初始碲浓度高达 130×10^{-9} 的热液,要么Te,As参与了对Au的搬运。300°C时HCl溶液中碲银矿+自然碲+角银矿组合碲的溶解实验表明,碲的实测溶解度($1 \times 10^{-6} \sim 1000 \times 10^{-6}$)大大高于理论计算值($1 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$),证明Te,Au,Ag之间确实存在以络合物甚至气相迁移的可能^[11]。实际上,理论热力学计算只能提供矿物平衡共生的物理化学边界,据此反推元素迁移方式和沉淀机制会受到碲热力学参数的自恰性、迁移和沉淀方式以及体系的开放性和非平衡因素的影响。“碱质类”金矿的包裹体研究表明,热液中Au,Te相对低的浓度使之极易受其它元素的干扰,这种干扰可以极大地改变元素的热力学行为^[25]。实际上,矿物表面吸附、溶解—沉淀的动力学因素等对Au,Te等微量元素在复杂体系中富集成矿的影响要比想像的大得多,如溶液中悬浮黄铁矿吸附海水中微量金(510×10^{-12} g/L)就可形成金的矿化($1 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$)^[23,26],石英也有类似作用^[27];这种吸附作用对它们的富集效率要比热力学模型的高得多;此外,黄铁矿、毒砂表面金的电化学沉淀^[28]、歧化反应^[29]等机制也已被证明可以在中低温热液条件下形成自然金。因此,必须重视碲的迁移方式与介质性状,尤其是与伴生元素之间的可能迁移方式的动力学实验研究。

大水沟碲矿是目前世界上唯一研究较为全面的独立碲矿床,但其成因至今莫衷一是。陈毓川^[12]认为大水沟碲矿属浅成中低温(160~260°C)热液矿床,成矿热液和矿质来源于深部,即直接来自地幔,或在碱性岩浆和(或)碱性花岗岩浆上升定位时分馏演化形成的富含CO₂、碱、硅质和矿质的中等盐度[$w(\text{NaCl})$ 为8.0%~14.6%]热水溶液沿裂隙交代沉淀成矿,惰性气体同位素研究进一步证明了矿质来源于地幔,成岩成矿与地幔柱活动有关^[14];骆耀南等^[13]认为该矿床属于“与火成作用有关的中高温、中深成热液充填型”,矿质具多来源、非就地改造特点,碲来自超基性—基性火成岩,铋等来自中酸性

② Richards J P. Alkaline-type epithermal gold deposits, a review [A]. In: Thompson J F H. A short course series of Mineralogical Association of Canada [C]. 1995

火成岩、硫来自地层中的变玄武岩,成矿流体具多期次特点;早期变质流体形成磁黄铁矿脉;主矿化期为岩浆流体;晚期地下水改造形成含金石英脉。沈渭洲等^[15]根据氢、氧、碳同位素研究,认为碲矿化是在晚元古代火山喷发—热水沉积基础上经晚侏罗世区域动力热变质叠加改造形成的,成矿流体来自变质水,是含矿围岩在区域动热变质过程中发生的脱挥发作用形成的。陈培荣等^[16]根据流体包裹体特征,认为矿化发生在高温(400~500°C)、高压(240~500 MPa)下的低盐度的CO₂或CO₂-H₂O流体。涂光焱^[2]指出,(超)大型矿床是成矿物质在特定条件下“超常富集”的结果,必须重视“改造”因素对成矿物质的“再富集”和矿床的后期“保存”作用,大水沟碲矿床便是典型。笔者对东坪“与碱性岩有关的^[3]”特大型金矿的初步研究表明,碲对金的初始富集起决定作用,但硅化、褐铁矿化进一步使金得到富集并形成富矿体,流体(温、压和盐度)亦表现出多样性和成岩成矿的明显时差^③。Zhou^[19]亦证实河台金矿金的初始富集和定位与构造带密切相关,但金的富集成矿必须经热液蚀变的“再富集”,金、碲来源于深部并在初始富集阶段同步,热液蚀变阶段中金再富集而碲几乎不变,碲、金在蚀变岩和原生晕内相关而在矿石中不相关^[31]。因此,多来源、改造成矿可能是(超)大型矿床的普遍特点,其物理化学条件的变化也就不足为奇。单一模式既不符合大水沟碲矿床这类远离岩浆岩的超大型矿床,在研究内容和方法上亦可能陷入“瞎子摸象”式的片面性。航磁、重力和遥感资料表明,我国大多数含碲金矿以及大水沟独立碲矿分布于地幔柱活动区域(四川石棉、小秦岭和冀西北)^[31,32],必须重视碲的超常富集与地幔热柱构造的时空关系^[12]、探讨大地构造、区域地质和壳幔作用动力学对(超)大型矿床的控制机理。当前,应以大水沟碲的独立矿床为案例,确定碲富集成矿的时空分布规律与地幔柱活动的关系,实验探讨碲超常富集的纳米迁移方式的可能性、同时重视碲同位素和赋存状态对碲来源和成矿地球化学循环的示踪作用,为寻找超大型矿床服务。

参考文献:

- [1] 周令治,邹家炎,稀散金属手册[M].长沙:中南工业大学出版社,1993
- [2] 涂光焱.分散元素可以形成独立矿床[A].见:欧阳自远.中国矿物学岩石学地球化学研究新进展(二)[C].兰州:兰州大学出版社,1994.234
- [3] 宋国瑞,赵振华.河北省东坪碱性杂岩金矿地质[M].北京:地质出版社,1996.79-88
- [4] Afifi A M., Kelly W C., Essene E J. Phase relations among tellurides, sulfides and oxides[J]. *Econ. Geol.*, 1988, 83(2), 377-404
- [5] Devaraju T C., Halkoaho T A., Laajoki K et al. Ag-Bi-Tellurides from Kudremukh BIF, Karnataka [J]. *Journal of the Geological Society of India*, 1996, 47:263
- [6] 张招崇,李兆鼎.一个值得重视的金矿床——碲化物型[J].贵金属地质,1994,3(1):59-64
- [7] Spry P G., Foster F., Truckle J S et al. The mineralogy of the Golden Sunlight gold-silver telluride deposit, Whitehall, Montana, USA [J]. *Mineralogy & Petrology*, 1997, 59(3-4): 143-164
- [8] 黄富荣.碲在官田黄铁矿矿床中的聚集及地球化学[J].地球学报,1998,19(1):50-58
- [9] Spry P G., Thieben S E. The geological, mineralogical, and geochemical characteristics of the Golden Sunlight gold-silver telluride deposit, Montana, USA [A]. In: Stanley C J. *Mineral Deposits* [C]. *Process to Processing*, 1999, 1:197-200
- [10] Zhang X M., Spry P G. Petrological, mineralogical, fluid inclusion, and stable isotope studies of the Gies gold-silver telluride deposit, Judith Mountains, Montana [J]. *Econ. Geol.*, 1994, 89(3): 602-627
- [11] McPhail D C. Thermodynamic properties of aqueous tellurium species between 25 and 350°C [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, 59(5): 851-866
- [12] 陈毓川,毛景文,骆耀南等.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
- [13] 骆耀南,曹志敏.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
- [14] 魏家秀,毛景文.大水沟碲矿床成矿流体特征及其幔源性质[M].矿床地质,1998,17(增刊):1091-1095
- [15] 沈渭洲,徐士进,王汝成等.大水沟碲矿成矿流体来源研究——氢氧同位素证据[J].南京大学学报(自然科学版),1997,33:77-83
- [16] 陈培荣,陆建军,王汝成等.首例独立碲矿床流体包裹体研究[J].矿床地质,1998,17(增刊):1011-1012
- [17] Spry P G., Paredes M M., Foster F et al. Evidence for a genetic link between gold-silver telluride and porphyry molybdenum mineralization at the Golden Sunlight deposit, Whitehall, Montana; fluid inclusion and stable isotope studies [J]. *Econ. Geol.*, 1996, 91: 507-526
- [18] 聂凤军,张辉旭编译.碱性岩浆活动与金成矿作用[J].国外矿床地质,1997,3:1-31
- [19] Zhou Y Z. *Geology and Geochemistry of Hetai Gold Field, South China* [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 1993
- [20] 崔艳合,元绍玫.北京市得田沟金矿床碲矿物系列的研究[J].岩石矿物学杂志,1996,15(1):80-91
- [21] Beatty R D., Manuel O K. Tellurium in rocks [J]. *Chemical Geology*, 1973, 12:155-159
- [22] Rubin K. Degassing of metals and metalloids from erupting seamount and mid-ocean ridge volcanoes; observations and predictions [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1997, 61(17): 3525-3545
- [3] 莫渊辉,张家口地区金矿床地球化学及成因研究[D].广州:中国科学院广州地球化学研究所,1995

- [23] 杜乐天, 刘若新, 邓晋福. 地幔流体与软流层(体)地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1996
- [24] Ahmad M, Solomon M, Walshe J L. Mineralogical and geochemical studies of the Emperor gold telluride deposit, Fiji[J]. *Econ. Geol.*, 1987, 82(2): 345-370
- [25] Schoonen M A, Fisher N S, Wente M. Gold sorption onto pyrite and goethite; a radiotracer study[J]. *Geochemica et Cosmochemica Acta*, 1992, 56(5): 1 801-1 814
- [26] Mycroft J R, Bancroft G M. Spontaneous deposition of gold on pyrite from solutions containing Au(III) and Au(I) chlorides (Part I): a surface study[J]. *Geochemica et Cosmochemica Acta*, 1995, 59(16): 3 351-3 365
- [27] Mitsyuk B M, Mironov A G, Plyusun V A. Gold uptake by silica from dilute chloride, thiosulfate and ammoniacal solutions[J]. *Geochemistry International*, 1991, 28(1): 86-94
- [28] Möller P, Kersten G. Electrochemical accumulation of visible gold on pyrite and arsenopyrite surfaces[J]. *Mineral Deposita*, 1994, 29(5): 404-413
- [29] 郁云妹, Gammons C H, Williams-Jones A E. 金沉淀的一个可能机理——歧化反应[J]. 中国科学(D), 1997, 27(5): 419-424
- [30] 汪明启. 河台金矿床中 Se、Te 地球化学特征及找矿意义[J]. 地质与勘探, 1990, 7: 46-50
- [31] 李红阳, 阎生好, 王金锁. 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
- [32] 李红阳, 侯增谦, 王国富. 试论华北地台中生代超变质作用与地幔热柱作用[J]. 地球学报, 1996, 17(4): 376-392
- [33] 赵振华. 从超大型矿床研究对中国矿产资源的思考[J]. 科学通报, 1999, 44(8): 890-894

NEW ADVANCES IN STUDIES OF TELLURIUM METALLOGENESIS

Zhang Peihua Zhao Zhenhua Bao Zhiwei Wang Yixian

(Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou, 510640, China)

Abstract: By briefing new advances in the last decade of the abundance, mineralogy, occurrences and Au concentration of tellurium in Te bearing deposits, the authors review status quo of the studies on the origins and transport modes of Te and its significance in metallogenesis, and discuss possible orientations of superlarge deposit studies.

Key words: metallogenesis; epithermal; gold deposit; tellurium; Dashiugou

(上接第 54 页)

- [3] 张文淮, 陈紫英. 流体包裹体地质学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993
- [4] 张保民. 红外光谱方法在找金中的应用综述[J]. 地质科技情报, 1994, 13(4): 98-102
- [5] 杜佩轩. 新疆北部勘查地球化学系列丰度值——岩石测量[J]. 新疆地质科学, 1994, (5): 148-171
- [6] 朱有光, 蒋敬业. 金矿地球化学找矿[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993. 41-121

PROSPECTING CRITERIA OF GOLD-CAPACITY TO QUARTZ VEINS IN SANGEQUAN AREA, XINJIANG

Lu Wanjun Gao Huaizhong Zhang Wenhui Zhang Baomin Zhang Wangsheng

(China University of Geosciences, Wuhan, 430074, China)

Abstract: This paper deals with the characteristics of the gold deposits recently found in Sangequan area, east Jungar, Xinjiang. Based on the study of the characteristics of fluid inclusions, infrared spectrum of auriferous and non-auriferous quartz veins and trace elements in ore-belts, the paper sums up the criteria to distinguish auriferous and non-auriferous quartz veins, points out the favorite prospecting area.

Key words: fluid inclusion; infrared spectrum; trace element; quartz vein; gold—deposit; Xinjiang