

文章编号: 1000-4734(2016)02-0183-06

贵州天桥铅锌矿床闪锌矿微量元素组成初探

李珍立^{1,2}, 叶霖^{1*}, 黄智龙¹, 念红良³, 周家喜^{1,2}

(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 云南省有色地质局 317 队, 云南 曲靖 655000)

摘要: 天桥铅锌矿床位于川—滇—黔铅锌成矿带中东部, 为黔西北地区铅锌矿床的典型代表之一。长期以来, 对该矿床的成因认识存在较多争议, 前人的研究主要集中在分散元素的富集规律、稀土元素及同位素对成矿流体来源的指示意义等方面, 对天桥矿床中闪锌矿的微量元素特征缺乏系统的研究。本文应用 ICP-MS 对天桥矿床中闪锌矿的微量元素进行测试分析, 研究表明, 该矿床中闪锌矿的微量元素具有富 Ge、Ga 贫 Mn、In、Sn、Cd 的特征, 其微量元素富集规律明显与夕卡岩型、喷流沉积型及岩浆热液型铅锌矿床不同, 而与典型 MVT 型矿床(如勐兴、牛角塘等矿床)非常类似, 仅其中 Cd 含量较低(均值为 1282×10^{-6}), 该特征与川滇黔地区 MVT 型铅锌矿床(会泽和杉树林)中闪锌矿微量元素组成一致。总体上, 本矿床闪锌矿富集 Ge 和 Ga 等低温成矿元素, 其 In/Ga 比值中等, Zn/Cd 比值较高, 暗示其形成于中温环境。综合前人研究成果及矿床产出地质特征, 我们认为天桥铅锌矿床属于 MVT 型铅锌矿床。

关键词: 天桥铅锌矿床; 微量元素; 闪锌矿; MVT 型铅锌矿床; ICP-MS

中图分类号: P579; P597; P618 **文献标识码:** A **doi:** 10.16461/j.cnki.1000-4734.2016.02.003

作者简介: 李珍立, 男, 硕士研究生, 矿床地球化学研究. E-mail: 406011352@qq.com

Primary Research on Trace Elements in Sphalerite from Tianqiao Pb-Zn Deposit, Northwestern Guizhou Province, China

Li Zhen-li^{1,2}, Ye Lin¹, Huang Zhi-long¹, Nian Hong-liang³, Zhou Jia-xi^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. 317 Geological Team, Bureau of Nonferrous Metal Geology of Yunnan Province, Qujing 655000, China)

Abstract: The Tianqiao Pb-Zn deposit, located in the eastern part of the Sichuan-Yunnan-Guizhou Pb-Zn mineralization province, is a representative middle-sized Pb-Zn deposit in north-western Guizhou Province, P.R. China. There are different viewpoints about its genesis; most scientists mainly focus on the accumulation regulation of dispersed elements, characteristics of rare earth elements and isotope geochemistry, to study the genesis of the deposit. Few researchers have examined trace elements in sphalerite. Using ICP-MS, trace elements in sphalerite were analysed in this study. Results show that sphalerite is rich in Ge and Ga and poor in Mn, In, Sn and Cd, with a higher Zn/Cd ratio, which is clearly different from that of skarn-type, SEDEX-type and magmatic hydrothermal-type. However, it is similar to sphalerite from classical MVT deposits (i.e. Mengxing and Niujiatong deposit, etc.), except that the concentration of Cd (about 1282×10^{-6}) is relatively lower, as compared to the Huize and Shanshulin Pb-Zn deposits in the same region. It is suggested that the Tianqiao Pb-Zn deposit belongs to a MVT Pb-Zn deposit, and formed at medium temperature.

Keywords: Tianqiao Pb-Zn deposit; trace element; sphalerite; MVT Pb-Zn deposit; ICP-MS

收稿日期: 2015-10-28

基金项目: 973 项目 (2014CB440906); 国家重点基金 (批准号: 41430315); 国家基金 (批准号: 41173063)

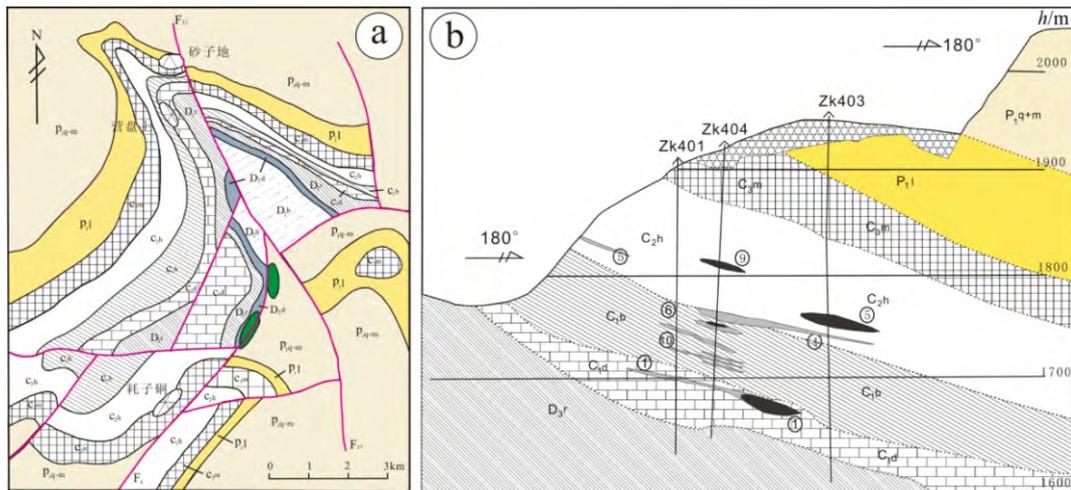
* 通讯作者, E-mail: yelin@vip.gyig.ac.cn

天桥铅锌矿床位于扬子地块西南缘的川—滇—黔铅锌成矿域中东部，因具有一定规模、品位相对较高、伴生较多有用元素，而成为该区中型铅锌矿床的典型代表之一^[1]。前人已积累了较多的研究成果，但研究的方向主要局限于分散元素的富集规律^[2-3]、稀土元素^[4-5]以及同位素^[1,5-6]地球化学特征等方面，对矿床中主要矿石矿物闪锌矿的微量元素特征尚未开展过系统的研究。目前，对于该矿床的成因认识仍存在分歧，包括 MVT 型^[24-25]、沉积改造型^[9,13,26]、热液-沉积改造型^[1,3,5,26] 等不同认识，此外，对其成矿物质和成矿流体来源也分为单一来源^[7-8]和多来源（赋矿地层碳酸盐岩以及下伏地层碳酸盐岩和基底昆阳群岩石都提供相应的流体）^[1,3,6,9]等不同观点，由于该矿床地质地球化学研究程度较低，各种观点的地质地球化学依据尚不充分，其成矿作用不清晰，不利于地质勘探工作的深入。闪锌矿是铅锌矿床中重要的矿石矿物之一，因其富含多种具成因指示意义的微量元素，可提供成矿过程中诸多有用信息，从而作为划分矿床成因类型的判据之一^[10-12]。黔西北地区该类型铅锌矿床（点）众多，铅锌找矿潜力巨大，本文拟通过 ICP-MS 对黔西北地区代表性铅锌矿床——赫章天桥铅锌矿床中闪锌矿的微量元素组成进行对比性研究，为认识该类型铅锌成矿作用提供相关的地球化学依据。

1 矿床地质特征

贵州省天桥铅锌矿床距赫章县城西南约 16

km，其大地构造位于扬子地块西南缘的川—滇—黔成矿带内。矿床产于哑都-蟒洞断裂构造带之上之黔西北 NW 向水城断陷内猫猫厂-砂石浪对冲构造体系中^[13]。矿区中部出露 2 个辉绿岩体（图 1a），其侵位年龄属于燕山期^[2]，与铅锌矿化关系不大。矿区出露地层（图 1a）由老至新包括泥盆系中统独山组（D_{2d}）和上统融县组（D_{3r}）、石炭系下统摆佐组（C_{1b}）和大塘组（C_{1d}）、石炭系上统马平组（C_{2m}）和黄龙组（C_{2h}）以及二叠系下统栖霞-茅口组（P_{1q-m}）和梁山组（P_{1l}），除下二叠统梁山组（P_{1l}）为典型的海陆交互碎屑岩含煤沉积岩系外，其余各时代地层均为碳酸盐岩，其中 C_{2h}、C_{1b}、C_{1d} 和 D_{3r} 的白云岩及白云质灰岩是本矿床主要赋矿围岩^[1]，矿区主要工业矿体赋存于天桥背斜 NW 向鼻状倾伏端的下石炭统大塘组上部白云质灰岩、摆佐组中下部白云岩和黄龙组灰岩中^[13]，并受区域性 NE 向压扭性断层 F₃₇ 的控制。矿体呈似层状、板状、透镜状产于层间剥离带中，与围岩界线清楚，产状与地层基本一致（图 1b）。目前已圈定大小不等矿体共计 32 个，矿区分为营盘上和砂子地南北 2 个矿段（图 1a）。其中，南部营盘上矿段，矿化带长 900 m、宽 300 m，以 II₁ 矿体（长 200 m、宽 120 m、厚 1.3~1.8 m）规模最大，矿体呈似层状产于石炭系下统大塘组白云质灰岩中，与地层产状一致，倾向 250°~270°，倾角 15°~30°，Pb 和 Zn 的平均品位分别为 1.23% 和 5.60%。北部砂子地矿段长 800 m、宽 500 m，共 17 个矿体呈雁行状、囊状，以 III₆（长 250 m、宽



1-栖霞-茅口组；2-梁山组；3-马平组；4-黄龙组；5-摆佐组；6-大塘组；7-融县组；8-独山组；9-邦寨组；10-第四系；11-辉绿岩；12-矿体；13-原生硫化矿；14-氧化矿；15-推测地层界线；16-断层；17-钻孔及编号；18-标高；19-矿体及标号

图 1 天桥铅锌矿地质简图（据周家喜等^[3,5]修改）
Fig. 1. Sketch geological map of Tianqiao Pb-Zn deposit.

120 m、厚 1.4~19.0 m, Pb 和 Zn 平均品位分别为 5.51%、15.00%)、III₇ (长 320 m、宽 220 m、厚 1.7~5.15 m, Pb 和 Zn 平均品位分别为 3.60%、6.52%) 矿体规模最大, 大塘组白云岩和黄龙组灰岩为主要的赋矿围岩, 矿体与地层产状基本一致。矿床中主要矿石矿物以方铅矿、闪锌矿和黄铁矿为主, 含少量黄铜矿, 脉石矿物主要为白云石和方解石^[3], 此外, 还含少量的石英。矿石的结构包括自行、半自形-它形、溶蚀、交代港湾状、共边、交代弧岛以及交代细脉状结构等, 矿石构造主要有块状、浸染状以及角砾状构造。围岩蚀变包括白云石化、黄铁矿化(褐铁矿化)、铁锰碳酸盐化、方解石化及硅化等。其中, 白云岩化和黄铁矿化(褐铁矿化)是主要近矿围岩蚀变类型, 是一种重要的找矿标志。矿物共生顺序为: 白云石→黄铁矿(第一世代)→闪锌矿→黄铁矿(第二世代)→方铅矿→方解石。该矿床有用元素以 Pb 和 Zn 为主, 矿石中 Pb 和 Zn 的平均品位分别为 5.51% 和 16.70%, 现已探获的 Pb+Zn 金属资源储量大于 20 万吨, 达到中型矿床规模^[5]。

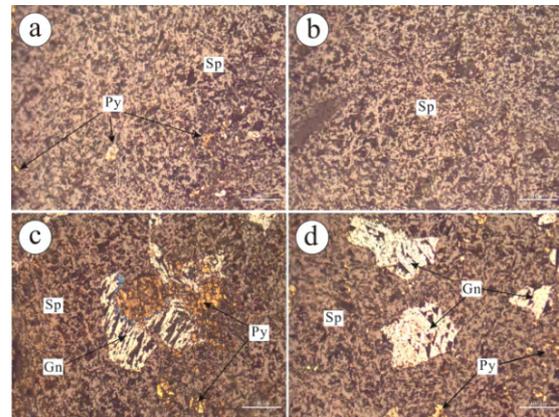
2 样品及分析测试

本研究闪锌矿样品采自天桥铅锌矿区下石炭统大塘组上部白云质灰岩中 1 号矿体。将所挑选的闪锌矿矿石样品研碎至 40~60 目, 并在双目镜下挑选闪锌矿单矿物样品至纯度大于 95% 用于分析测试。ICP-MS 测试前要对样品进行溶样, 溶样过程参见 Qi 等的方法^[14], 在溶好的样品中加入 10 mg Fe³⁺ (20 g/L FeHNO₃ 溶液) 后, 加入 30% NaOH 溶液中和至 Fe³⁺ 黄色沉淀刚好出现, 然后再加入 5 mL 30% NaOH 溶液并加水到 30 mL, 摇匀、离心, 将上层清液倒掉并加水到 30 mL (重复 3 次), 最后加入 1 mL HNO₃ 溶解, 加水至 15 mL 待测。微量元素在中国地质科学院国家地质实验测试中心采用 DZ/T1223 方法完成, 分析仪器为 Finnigan-MAT Element ICP-MS, 该仪器对微量元素的检测下限为 $n \times 10^{-10} \sim n \times 10^{-9}$, 分析过程中以 GSR-5 为标样, 分析精度优于 10%。

3 微量元素分析结果

本矿床中矿石矿物简单, 其中闪锌矿以棕色为主, 镜下(图 2)这类闪锌矿中其它矿物显微包裹体非常少, 偶见表面氧化的黄铁矿和方铅矿碎片, 但所占的比例非常低, 可见, 本矿床闪锌矿容易挑纯, 我们所挑选的闪锌矿均超过 99% 纯度, 其 ICP-MS 分析结果可以完全代表闪锌矿微量元素组

成。11 个样品的 ICP-MS 分析结果见表 1 和图 3, 可以看出, 该矿床闪锌矿微量元素组成具有以下特征:



a-闪锌矿中少量黄铁矿显微碎片; b-闪锌矿中无其他硫化物显微矿物; c-闪锌矿裂隙中充填的黄铁矿(氧化)和方铅矿; d-闪锌矿中方铅矿和黄铁矿(少见); Sp-闪锌矿; Py-黄铁矿; Gn-方铅矿

图 2 天桥铅锌矿床矿物组合

Fig. 2. Images showing mineral assemblages of Tianqiao Pb-Zn deposit.

表 1 闪锌矿微量元素分析结果 ($w_B/10^{-6}$)

元素	均值	最小值	最大值	S.D.
Mn	96.08	24.71	199	48.13
Cu	480	241	807	223
Pb	15167	142	33080	14261
Zn	587755	539200	655700	48906
Ga	28.25	16.03	48.71	10.87
Ge	111	60.30	201	39.38
Cd	1282	1045	1484	166
In	4.91	0.79	28.81	8.20
Ag	51.50	16.27	108.20	30.95
As	1286	144	4238	1319
Sn	6.30	2.44	8.99	2.03
Sb	46.59	14.38	103	27.33
Te	1.49	0.11	11.92	3.47
Tl	0.74	0.07	4.87	1.40
Mo	0.24	0.03	0.59	0.20
Co	0.10	0.01	0.30	0.09
Ni	3.16	0.82	14.96	4.02
In/Ga	0.22	0.02	1.32	0.39
Zn/Cd	464	405	585	63.25

(1) 贫 Mn, $w(\text{Mn})$ 变化相对较窄 ($24.71 \times 10^{-6} \sim 198.6 \times 10^{-6}$), 多集中在 100×10^{-6} 附近, 平均值为 96.08×10^{-6} ($n=11$), 与会泽 MVT 型铅锌矿床 (均值 96.3×10^{-6} , $n=24$)^[10] 较相似, 而略低于勐兴铅锌矿床 (均值 147.2×10^{-6} , $n=18$)^[10] 和金顶铅锌矿床 (均值 184×10^{-6} , $n=32$)^[10]。

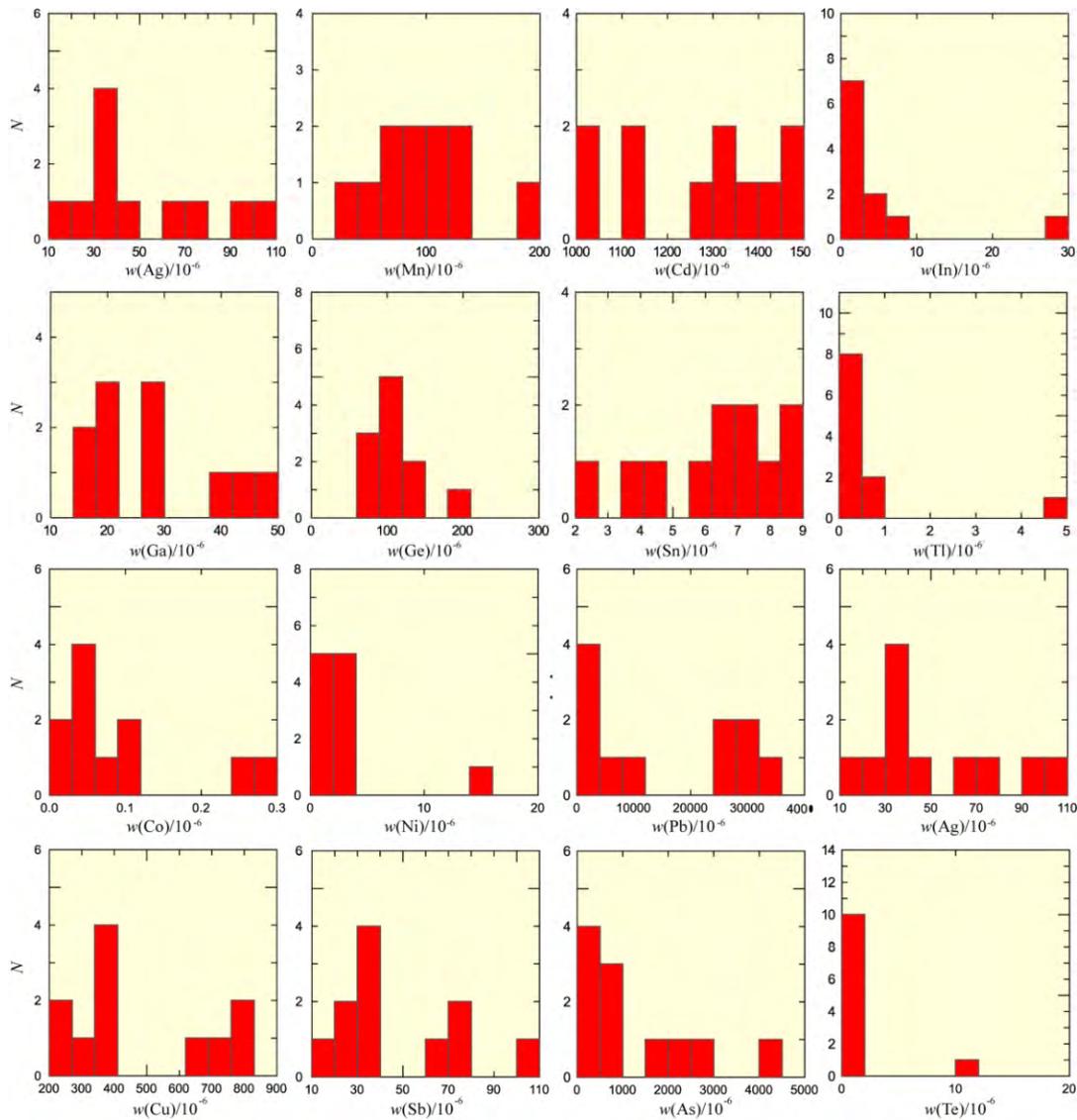


图 3 天桥铅锌矿床闪锌矿微量元素含量直方图

Fig. 3. Histogram for trace elements in sphalerite from Tianqiao Pb-Zn deposit.

(2) 贫 In, $w(\text{In})$ 仅在 $0.79 \times 10^{-6} \sim 28.81 \times 10^{-6}$ 之间 (均值 4.91×10^{-6} , $n=11$), 与 MVT 型铅锌矿床, 如会泽铅锌矿 (均值 1.9×10^{-6} , $n=8$)^[10] 和牛角塘矿床 ($0 \sim 0.75 \times 10^{-6}$, 均值 0.1×10^{-6} , $n=26$)^[10] 接近, 暗示矿床的形成基本与岩浆作用无关^[15]。

(3) Sn 含量低, $w(\text{Sn})$ 分布相对集中, 变化范围较窄 ($2.44 \times 10^{-6} \sim 8.99 \times 10^{-6}$, 均值为 6.30×10^{-6} , $n=11$), 与会泽矿床 (Sn: $0.07 \times 10^{-6} \sim 27.4 \times 10^{-6}$, 均值 1.67×10^{-6} , $n=24$)^[10] 和牛角塘矿床 (Sn: $0.09 \times 10^{-6} \sim 12.3 \times 10^{-6}$, 均值 1.58×10^{-6} , $n=26$)^[10] 相类似, 而略高于金顶铅锌矿 (Sn: $0.13 \times 10^{-6} \sim 0.55 \times 10^{-6}$, 均值 0.23×10^{-6} , $n=8$)^[10]。

(4) Cd 含量相对较低, 变化范围较窄, 暗示其主要以类质同象分布于闪锌矿中, 总体上, 本矿床闪锌矿中 $w(\text{Cd})$ 主要分布在 $1045 \times 10^{-6} \sim 1484 \times 10^{-6}$

之间, 均值为 1282×10^{-6} ($n=11$)。Schwartz 通过统计 106 个 MVT 型铅锌矿床, 发现该类矿床中 Cd 含量相对较高 (平均值为 4850×10^{-6})^[19], 可见, 天桥铅锌矿中 Cd 的含量明显低于 MVT 型, 如云南会泽、勐兴和贵州牛角塘 (7899.38×10^{-6} , $n=68$)^[10], 而远远低于金顶铅锌矿床 (均值为 17939.5 , $n=32$)^[10]。

(5) 富集 Ge 和 Ga, 其中, $w(\text{Ge})$ 的含量范围在 $60.3 \times 10^{-6} \sim 201 \times 10^{-6}$ 之间 (均值 111.48×10^{-6} , $n=11$), 这与一般 MVT 型矿床闪锌矿非常相似, 如会泽铅锌矿床, 其中 Ge 平均含量为 64.77×10^{-6} ^[10]。此外, 本矿床闪锌矿 $w(\text{Ga})$ 含量变化在 $16.03 \times 10^{-6} \sim 48.71 \times 10^{-6}$ 之间 (均值 28.25×10^{-6} , $n=11$), 其含量明显高于一般的 MVT 型矿床, 如云南会泽、勐兴和贵州牛角塘矿床 (Ga 平均含量 5.54×10^{-6} , $n=68$)^[10]。本矿床闪锌矿中 Ga 和 Ge 含量变化范围相对较

窄, 且尚未发现相关独立矿物的存在, 暗示这两种元素以类质同象形式赋存于闪锌矿中。

(6) 富集 Pb、Ag 和 As, 其含量变化范围非常宽, 变化范围分别在 $142.1 \times 10^{-6} \sim 33080 \times 10^{-6}$ (平均 15167.13×10^{-6} , $n=11$)、 $16.27 \times 10^{-6} \sim 108.2 \times 10^{-6}$ (平均 51.5×10^{-6} , $n=11$) 和 $143.9 \times 10^{-6} \sim 4238 \times 10^{-6}$ (平均 1285.78×10^{-6} , $n=11$) 之间, 暗示这些元素以显微包裹体 (如方铅矿、黄铁矿、毒砂等) 赋存于闪锌矿中, 这与矿相观察中发现闪锌矿中包裹一定数量的微细粒方铅矿和黄铁矿等矿物一致。

4 讨论

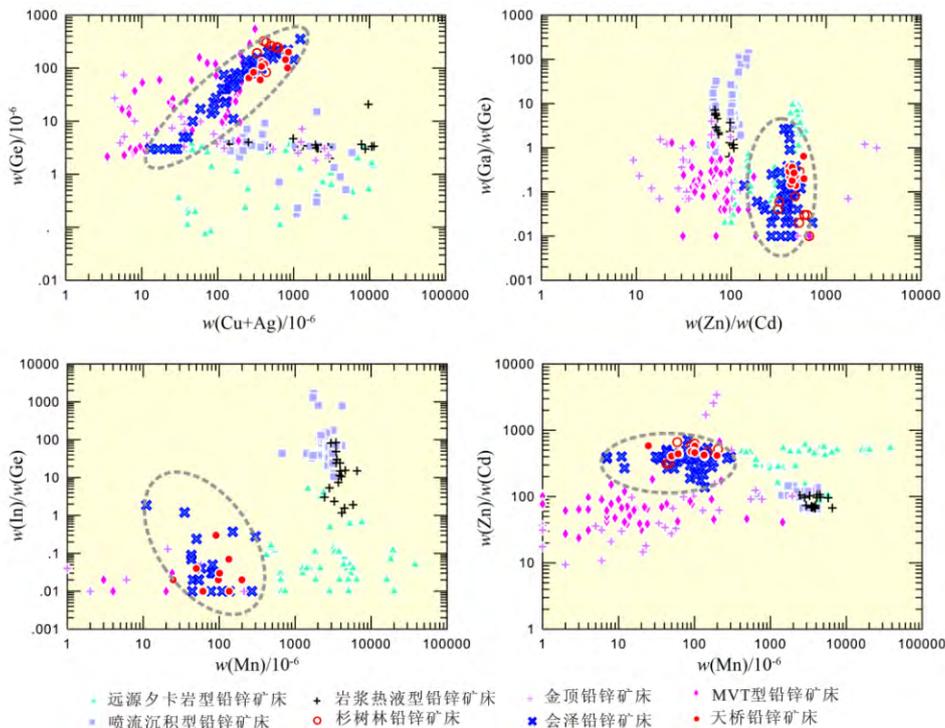
4.1 成矿温度

已有研究表明, 高温形成的闪锌矿富含 Fe、Mn、In、Se、Te 等元素, 并以较高 In/Ga 比值为特征, 而低温则富含 Cd、Ga 和 Ge, 以较低 In/Ge 比值为特征^[11, 15-16], 我们的分析结果 (表 1 和图 3) 表明, 天桥铅锌矿床中闪锌矿贫 Fe、Mn、In、和 Te, 而富 Ge 和 Ga, 其 In/Ga 比值在 0.002~1.32 之间, 明显低于高温热液矿床^[17], 如芙蓉锡矿田狗头岭矿区产出的闪锌矿 (In/Ga 比值为 149.8~792.7, In/Ge 比值为 2091~16923)^[20]。此外, 本矿床闪锌

矿中 Zn/Cd 比值较高, 其变化范围在 405~585 之间 (均值为 464, $n=11$), 与中温条件下形成闪锌矿 Zn/Cd 比值 ($100 < \text{Zn}/\text{Cd} < 500$)^[21]较接近。据此, 我们认为该矿床具有中温成矿的特征。

4.2 矿床成因

关于该矿床的成因目前还没有统一的定论。本研究结果表明, 天桥铅锌矿床中闪锌矿以富集 Ge、Ga 和贫 Mn、In、Sn、Cd 等元素为特征, 除 Cd 含量出现异常低值外, 其余的微量元素含量与 MVT 型矿床非常类似 (如勐兴和贵州牛角塘^[10])。我们的初步研究结果 (未发表) 表明, 与本矿床处于同一成矿区域的贵州杉树林铅锌矿床和云南会泽铅锌矿床中闪锌矿也同样具有上述微量元素组成特征, 表明它们可能形成于相似的成矿作用, 而这 2 个矿床均普遍认为属于 MVT 型铅锌矿床^[22,23]。此外, 在 Cu+Ag-Ge、Zn/Cd-Ga/Ge、Mn-In/Ga 和 Mn-Zn/Cd 关系图中 (图 4), 天桥矿床的投影点与会泽铅锌矿床和杉树林铅锌矿床的投影点基本都分布在同样的区域, 明显有别于岩浆热液型和喷流沉积型铅锌矿床闪锌矿。在 Cd-Mn-1000Ge 三角图解中 (图 5), 天桥矿床的投影点也与会泽和杉树林矿床及 MVT 型具有一致的分布区域, 而与远源夕卡岩型、喷流



ICP-MS 分析, 天桥和部分会泽数据尚未发表, 其它铅锌矿床闪锌矿数据源自 Ye 等 (2011)^[10]

图 4 天桥及国内其他铅锌矿 Cu+Ag-Ge、Zn/Cd-Ga/Ge、Mn-In/Ga 和 Mn-Zn/Cd 关系图

Fig. 4. Binary plots of (Cu+Ag) vs. Ge, Zn/Cd vs. Ga/Ge, Mn vs. In/Ga, and Mn vs. Zn/Cd for sphalerite from Tianqiao and other Pb-Zn deposits in China.

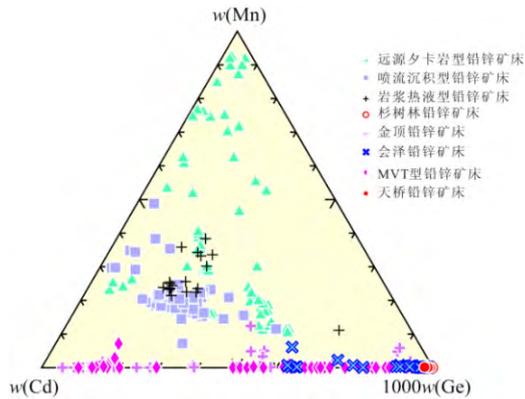


图 5 闪锌矿 Cd-Mn-Ge 三角图解(底图来自朱赖民等^[18])

Fig. 5. Triangular diagram of Cd-Mn-1000Ge for sphalerite.

沉积型及岩浆热液型差异明显。可见, 天桥铅锌矿床的成因类型应属于 MVT 型铅锌矿床。

5 结 论

(1) 天桥矿床中闪锌矿以富集 Ge、Ga 和贫 Mn、In、Sn、Cd 等元素为特征, 其 In/Ga 比值中等, Zn/Cd 比值较高, 表明其形成于中温环境;

(2) 矿床闪锌矿微量元素组成特征与川滇黔 MVT 型铅锌矿床(如云南会泽和贵州杉树林)非常相似, 而与夕卡岩型、喷流沉积型及岩浆热液型铅锌矿床差异明显, 因此, 我们认为其属于 MVT 型铅锌矿床。

参 考 文 献:

- [1] 周家喜, 黄智龙, 周国富, 等. 黔西北赫章天桥铅锌矿床成矿物质来源: S、Pb 同位素和 REE 制约[J]. 地质论评, 2010, 56(4): 513-524.
- [2] 赵海燕, 黄智龙, 李晓彪. 黔西北天桥铅锌矿床锆地球化学研究[J]. 矿物学报, 2011, 31(3): 509-514.
- [3] 周家喜, 黄智龙, 周国富, 等. 贵州天桥铅锌矿床分散元素赋存状态及规律[J]. 矿物学报, 2009, 29(4): 471-480.
- [4] 陈冕, 刘俊安, 赵生贵, 等. 贵州天桥铅锌矿床 REE 地球化学特征[J]. 矿物学报, 2011, 31(3): 360-365.
- [5] 周家喜, 黄智龙, 周国富, 等. 黔西北天桥铅锌矿床热液方解石 C、O 同位素和 REE 地球化学[J]. 大地构造与成矿学, 2012, 36(1): 93-101.
- [6] 毛德明. 贵州赫章天桥铅锌矿床围岩的氧、碳同位素研究[J]. 贵州工业大学学报, 2000, 29(2): 8-11.
- [7] 陈士杰. 黔西滇东北铅锌矿成因探讨[J]. 贵州地质, 1986, (3): 211-222.
- [8] 郑传仑. 黔西北铅锌矿区的控矿构造研究[J]. 矿产与地质, 1992, 6(3): 193-200.
- [9] 毛德明, 何家骏, 廖朝贵. 天桥铅锌矿床的沉积改造成矿特征[J]. 地质地球化学, 2001, 29(1): 21-27.
- [10] Ye L, Cook N J, Ciobanu C L, et al. Trace and minor elements in sphalerite from base metal deposits in South China: A LA-ICPMS study [J]. *Ore Geology Reviews*, 2011, 39: 188-217.
- [11] 叶霖, 高伟, 杨玉龙, 等. 云南澜沧老厂铅锌多金属矿床闪锌矿微量元素组成[J]. 岩石学报, 2012, 28(5): 1362-1372.
- [12] 张乾. 利用方铅矿、闪锌矿的微量元素图解法区分铅锌矿床的成因类型[J]. 地质地球化学, 1987, (9): 64-66.
- [13] 毛德明. 贵州赫章天桥铅锌矿床围岩的氧、碳同位素研究[J]. 贵州工业大学学报(自然科学版), 2000, 29(2): 8-11.
- [14] Liang Q, Jing H, Gregoire DC. Determination of trace elements in granites by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Talanta*, 2000, 51: 507-513.
- [15] 李艳军, 魏俊浩. 铅锌矿床中微量元素富集及关键测试技术研究新进展[J]. 地质科技情报, 2014, 33(1): 191-198.
- [16] 曹华文, 张寿庭, 唐利. 栾川矿集区中鱼库铅锌矿床闪锌矿微量元素地球化学特征[J]. 矿物学报, 2013, (S2): 1-2.
- [17] 邹志超, 胡瑞忠, 毕献武, 等. 滇西北兰坪盆地李子坪铅锌矿床微量元素地球化学特征[J]. 地球化学, 2012, 41(5): 482-496.
- [18] 朱赖民, 袁海华, 栾世伟. 金阳底苏会东大梁子铅锌矿床内闪锌矿微量元素标型特征及其研究意义[J]. 四川地质学报, 1995, 15(1): 49-55.
- [19] Schwartz M Q. Cadmium in zinc deposits: Economic geology of apolluting element [J]. *International Geology Review*, 2000, 42: 445-469.
- [20] 蔡劲宏, 周卫宁, 张锦章. 江西银山铜铅锌多金属矿床闪锌矿的标型特征[J]. 桂林工学院学报, 1996, 16(4): 370-375.
- [21] 刘英俊, 曹励明, 李兆麟. 元素地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1984: 1-548.
- [22] Han R S, Liu C Q, Huang Z L, et al. Geological features and origin of the Huize carbonate-hosted Zn-Pb-(Ag) District, Yunnan, South China [J]. *Ore Geology Reviews*, 2007, 31: 360-383.
- [23] 张长青, 毛景文, 吴锁平, 等. 川滇黔地区 MVT 铅锌矿床分布、特征及成因[J]. 矿床地质, 2005, 4(3): 336-347.
- [24] 顾尚义. 黔西北铅锌矿稀土元素组成特征-兼论黔西北地区铅锌矿成矿与峨眉山玄武岩的关系[J]. 贵州地质, 2006, 23(4): 274-277.
- [25] 欧锦秀. 贵州水城青山铅锌矿床的成矿地质特征[J]. 桂林工学院学报, 1996, 16(3): 277-282.
- [27] 唐森宁. 黔西北滇东北层控铅锌矿床特征及其成矿模式[J]. 地质与勘探, 1984, 20(12): 1-8.
- [28] 金中国. 黔西北地区铅锌矿控矿因素、成矿规律与找矿预测[D]. 湖南: 中南大学博士学位论文, 2008.