

青海门源地区红沟铜矿床含矿基性火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄

王国强^{1,2}, 李向民², 徐学义², 余吉远², 孙吉明², 武 鹏²

WANG Guo-qiang^{1,2}, LI Xiang-min², XU Xue-yi²,

YU Ji-yuan², SUN Ji-ming², WU Peng²

1. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710064;

2. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054

1. College of Earth Science and Land Recourses, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. Xi'an Institute of Geology and Minerals Resources, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China

摘要: 对红沟铜矿床含矿火山岩进行高精度锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测年, 获得单颗粒锆石的加权平均年龄为 $443.2 \text{ Ma} \pm 1.2 \text{ Ma}$ 。红沟铜矿床形成时代为晚奥陶世, 形成环境为晚奥陶世陆缘裂谷环境。高精度年龄的获得对于整个祁连山地区产于陆缘裂谷环境的铜多金属矿床的成矿时代和成因研究具有重要意义。

关键词: 基性火山岩; 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年; 红沟铜矿; 青海门源地区

中图分类号: P618.41; P588.14⁺5; P597⁺3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2011)07-1060-06

Wang G Q, Li X M, Xu X Y, Yu J Y, Sun J M, Wu P. LA-ICP-MS U-Pb dating of zircons from basic volcanic rocks in the Honggou copper polymetallic deposit, Menyuan area, Qinghai. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(7): 1060-1065

Abstract: The Honggou copper polymetallic deposit is located in the southwest of Menyuan County, Qinghai Province. The authors conducted the chronological study of zircons from the basic volcanic rocks by means of LA-ICP-MS U-Pb. The weighted mean age of the zircons is $443.2 \pm 1.2 \text{ Ma}$, suggesting Late Ordovician. It is considered that the age represents the metallogenic epoch of the Honggou copper polymetallic deposit which was formed in a continental margin rift environment. The high-precision age obtained by the authors is of great significance in the study of ore-forming epoch and genesis of copper-polymetallic ore deposits produced in the epicontinental rift environment of the whole Qilian Mountain region.

Key words: basic volcanic rocks; zircon LA-ICP-MS U-Pb dating; Honggou copper polymetallic deposit; Menyuan area, Qinghai

红沟铜矿位于青海省门源县西南的大红沟地区, 距门源县城约 40 km, 由青石咀到矿区有简易公路通行, 交通条件较好。该铜矿床自 20 世纪 50 年代发现以来, 由青海省地质局、青海省冶金地质勘探公司、青海省冶金地质第七勘探队等进行勘探和评价工作, 确定为一个中型的以铜为主的多金属矿床, 与海相火山岩有关。

红沟矿床是北祁连地区海相火山岩中富铜矿床的典型代表。对于红沟铜矿床的认识存在着较多分歧: ①日本别子型铜矿^[1]; ②产于大洋盆中的火山岩型(塞浦路斯型)矿床^[2]; ③火山沉积-火山热液型矿床^[3]; ④形成于弧后或弧间裂谷盆地环境的铜(铁)型矿床^[4]; ⑤介于塞浦路斯型与黑矿型之间的过渡型, 更倾向于别子型矿床^[5]; ⑥北祁连洋盆闭合期中

收稿日期: 2010-12-15; 修订日期: 2011-03-31

资助项目: 中国地质调查局青藏专项《北祁连成矿带成矿条件研究与找矿靶区优选》(编号: 1212010818090)

作者简介: 王国强(1984-), 男, 在读博士, 从事矿床学和地球化学研究。E-mail: gqwangmint@gmail.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

祁连被动大陆北缘裂谷环境形成的与细碧岩-角斑岩-石英角斑岩组合有关的块状硫化物型铜矿^[6]。前人主要是从区域地质背景和火山岩组合特征的角度,利用区域火山岩的 Sm-Nd 定年结果讨论红沟矿床的成矿时代和成矿环境,缺乏矿区内精确的同位素定年数据。精确地厘定红沟铜矿的成矿时代是将其置于祁连构造演化环境中探讨其成矿环境的关键。因此,本文首次对含矿基性火山岩中的锆石进行高精度 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测年,以期精确地厘定红沟铜矿床的成矿时代,进一步确认其成矿环境。

1 矿床地质概况

矿区所处的大地构造单元是北祁连山加里东褶皱带,红沟铜矿床位于带内次级单元达坂山复向斜南缘,与中祁连山前寒武纪隆起带毗邻^[3]。矿床分布于北祁连山南缘晚奥陶世祁连-红沟-庄浪陆缘裂谷带中,成矿建造是上奥陶统扣门子组的组成部分,为与细碧岩-角斑岩-石英角斑岩密切相关的喷气-火山成因块状硫化物矿床,产出于双峰式火山岩组

合的基性火山岩中^[7]。

矿区出露地层主要有分布于矿区南部的古元古界湟源群,岩石组合为云母石英片麻岩与斜长片麻岩,逆冲于上奥陶统绿色火山岩系之上;分布于矿区西部的下奥陶统阴沟群,岩石组合为斜长角闪岩夹角闪片岩,与上奥陶统呈断层接触;整个矿区广泛出露的上奥陶统扣门子组,主要为海相喷发形成的中基性熔岩和酸性火山岩类,包括细碧岩、角斑岩、石英角斑质凝灰岩、火山角砾岩等,其次为浅变质海相沉积岩如大理岩和绿泥石片岩等;以及出露于矿区北部的三叠系紫红色砂砾岩及第四系(图 1)。

矿区内侵入岩十分发育,从超基性岩至酸性岩,从深成到浅成、超浅成相的次火山岩均有出露,尤以加里东晚期的岩浆活动较为剧烈,主要为花岗闪长岩、闪长岩等中酸性侵入岩,局部超基性辉橄岩类小侵入体以岩基、岩株、岩枝、岩脉等形态产出。其侵入顺序大致为闪长岩—石英闪长岩—花岗闪长岩—超基性岩。

矿区褶皱构造形态简单,为一单斜层,倾向

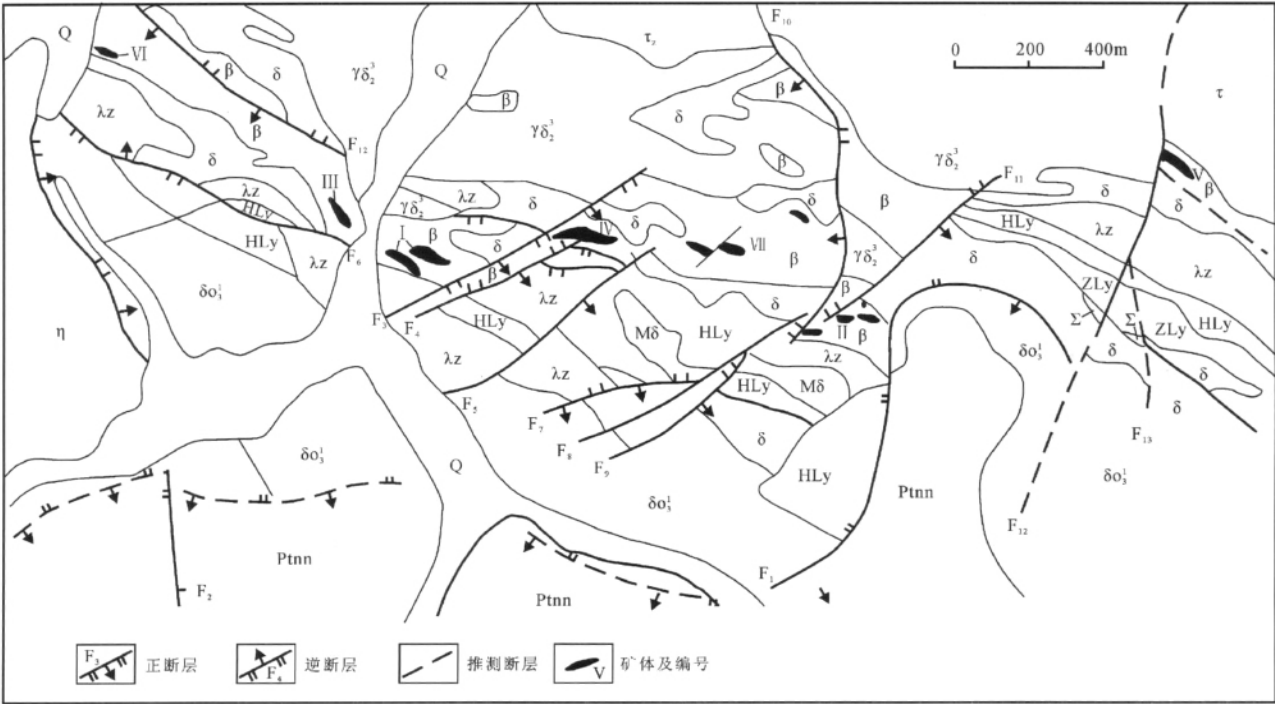


图 1 青海门源地区红沟铜矿区地质图^[8]

Fig. 1 Geological map of the Honggou copper polymetallic deposit in Menyuan area, Qinghai Province

Q—第四系;τ—角斑岩;τz—角斑质凝灰岩;HLy—沉火山质砾岩;λz—石英角斑质凝灰岩;ZLy—凝灰质砾岩;β—细碧岩;δ—闪长岩;δo1—石英闪长岩;γδ2—花岗闪长岩;Mδ—蚀变闪长岩;η—斜长角闪岩;Pttn—片麻岩;Σ—超基性岩

180~230°, 倾角 50~85°。断裂构造较为发育, 以走向北西西或近东西向的压性断裂为主, 活动期长, 是主要的控矿构造, 矿体大多赋存于该组断裂中及其附近, 次为南北向和北东向张扭性断裂, 对矿体有明显的破坏和位移。

红沟铜矿产出于火山-沉积岩系上部双峰式火山岩岩性段部位, 矿区地质图(图 1)和野外路线地质调查剖面(图 2)均表明, 矿体的直接容矿岩石为双峰式火山岩中的基性火山岩。矿化带走向 NW, 长 3km, 宽 50~500m, 全矿区已查明的矿体群有 7 个(~), 共 80 多个矿体^[9]。矿体群呈 NW—SE 向带状分布, 每个矿体群由多个矿体组成, 并呈雁行排列的形式产出, 绝大部分矿体以盲矿体产出为主。矿体呈透镜状、扁豆状、脉状产出于基性火山岩向酸性火山岩转变的基性火山岩一侧的绿泥石化带中, 受断裂带、片理化带的控制。含矿基性火山岩呈层状夹于酸性火山岩层中, 这在路线剖面图中有很好的体现。矿体多呈顺层产出, 产状与围岩基本一致, 矿体厚度与围岩厚度呈正相关关系, 一般而言, 在基性岩层膨大部位, 矿体的累计厚度增大, 矿体数增多, 规模变大。

矿石类型为块状黄铜矿、块状含铜黄铁矿、块状含铜磁铁矿、块状磁铁矿、块状黄铁矿、浸染状黄铜黄铁矿和氧化矿石, 少量含铜石英脉。矿石以块状矿石为主, 浸染状矿石次之, 但严格意义上的块状矿石只有块状黄铜矿一种。矿石以原生硫化物矿石为主, 少量氧化矿石。矿石矿物主要为黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿, 次为磁黄铁矿、赤铁矿、毒砂、方铅矿、闪锌矿; 脉石矿物主要为石英、方解石, 少量绿泥石、绿帘石、钠长石等。氧化矿石主要为孔雀石、蓝铜矿、褐铁矿

及少量铜蓝、辉铜矿、黄钾铁矾、自然铜、自然硫等。矿体不仅与绿泥石化带紧密伴生, 且具有垂向分带性, 自上而下分布顺序为: 磁铁矿(含少量的赤铁矿)矿石→黄铜矿、黄铁矿+磁铁矿矿石→含铜黄铁矿矿石→块状黄铜矿黄铁矿矿石→浸染状黄铜矿矿石。矿石结构构造多样, 以它形一半自形粒状结构为主, 交代熔蚀结构次之, 少量固熔体分离结构; 构造以块状构造为主、浸染状构造次之, 少量条带状、角砾状构造。

围岩蚀变以绿泥石化、硅化为主, 碳酸盐化、绿帘石化、黄铁矿化次之, 绿帘石化和钠长石化在含矿围岩中分布普遍, 显示出越接近矿体绿帘石和钠长石的含量逐渐增多的特征。

2 样品概况、分析方法和测试结果

本次以红沟铜矿床的直接容矿岩石细碧岩为研究对象, 样品 08my06 的采样点地理坐标为北纬 37°23'52"、东经 101°10'11"(图 2)。所采细碧岩为黑绿色, 具间粒、间隐结构, 块状构造, 主要由钠长石、碱性长石和绿泥石组成, 含少量的绿帘石和方解石, 副矿物有锆石、黄铁矿、磷灰石等。

2.1 分析方法

对所采样品进行清洗后, 粉碎至 80~100 目, 用常规的重液浮选和电磁分离方法进行分选。在双目镜下对分选出的锆石进行人工挑选, 尽量挑选无包裹体、无裂纹、透明度高、晶形完好的锆石颗粒作为测定对象, 将所选锆石镶嵌于环氧树脂中抛光使其内部暴露, 对待测锆石进行透射光、反射光和阴极发光照相, 以检查锆石的内部结构, 帮助选定最佳的锆石待测部位, 从而进行 LA-ICP-MS 分析。

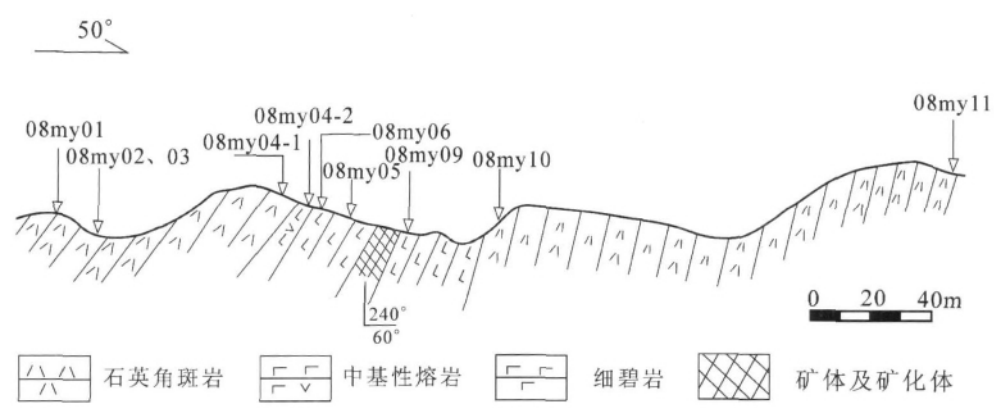


图 2 门源县红沟铜矿区路线地质剖面

锆石 CL(阴极发光)研究和 LA-ICP-MS(激光剥蚀等离子体质谱)法单颗粒锆石微区 U-Pb 年龄测定在西北大学大陆动力学教育部重点实验室完成,实验采用 Agilent 7500 型 ICP-MS、德国 Lambda Physik 公司的 ComPex 102 ArF 准分子激光器(工作物质 ArF,波长 193 nm)和 Micro Las 公司的 GeoLas 200M 光学系统联机进行。激光束斑直径为 30 μ m,激光剥蚀样品的深度为 20~40 μ m。实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气,用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST SRM 610 进行仪器最佳化,采样方式为单点剥蚀,数据采集选用一个质量峰一个点的跳峰方式,每完成 4~5 个测点的样品测定,加测标样一次。在对所测锆石分析 15~20 个点前后,各测 2 次 NIST SRM 610。锆石年龄采用国际标准锆石 91500 作为外标标准物质,并按照 Andersen Tom 的 3D 坐标法对普通铅进行校正,元素含量采用 NIST SRM 610 作为外标,²⁹Si 作为内标。测试结果应用 GLITTER(ver 4.0)软件计算得出,年龄计算和谐和图采用 Isoplot(ver 3.0)完成。详细的分析步骤和数据处理方法可参考文献[10]。

2.2 测试结果

根据阴极发光图像(图 3)和锆石的镜下特征,选取晶形相对完整(少部分锆石破碎是碎样时所致)、自形程度高、颗粒较大且具有明显震荡环带的锆石进行剥蚀测试。在进行普通铅校正后,剔除铅丢失严

重的点,最终选择 10 颗锆石的 10 个剥蚀点参与年龄计算,计算结果见表 1。从表 1 中可以看出这些锆石 Th/U 值都集中在 0.37~0.90 之间。

测试结果表明,本次分析点多数分布在一个相对集中的区域(图 4),且数据分析获得的锆石 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 表面年龄为(442 \pm 2)~(445 \pm 2)Ma。笔者认为,偏离谐和线的原因很可能是 ²⁰⁷Pb 在测试中的不确定性所致,加权平均年龄(443.2 \pm 1.2)Ma(MSWD=0.27)(图 4)应代表锆石的结晶年龄,即基性火山岩的成岩年龄。

3 讨论与结论

本次对红沟铜矿区含矿基性火山岩(细碧岩)进行年龄样品采集与测试,获得锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测年数据(表 1),获得加权平均年龄为(443.2 \pm 1.2)Ma(图 4),属晚奥陶世。一般认为锆石的 Th/U 比值在一定程度上能指示变质或岩浆成因,变质成因锆石的 Th/U 比值通常小于 0.1,岩浆锆石的 Th/U 比值一般大于 0.4,但也有些组成具有异常的 Th/U 比值^[11]。在本次测试所获结果中,除 08MY-06-26 样品 Th/U 为 0.37 外,其余样品 Th/U 均大于 0.50,从锆石的阴极发光照片(图 3)可以看出所选部分锆石振荡环带的特征不明显,但结合锆石 Th/U 比值来看,笔者认为本次测试所选锆石具典型的岩浆锆石特征,该年龄可以代表岩浆结晶的年龄。最新研究显示,红沟铜矿与其北侧分布空间

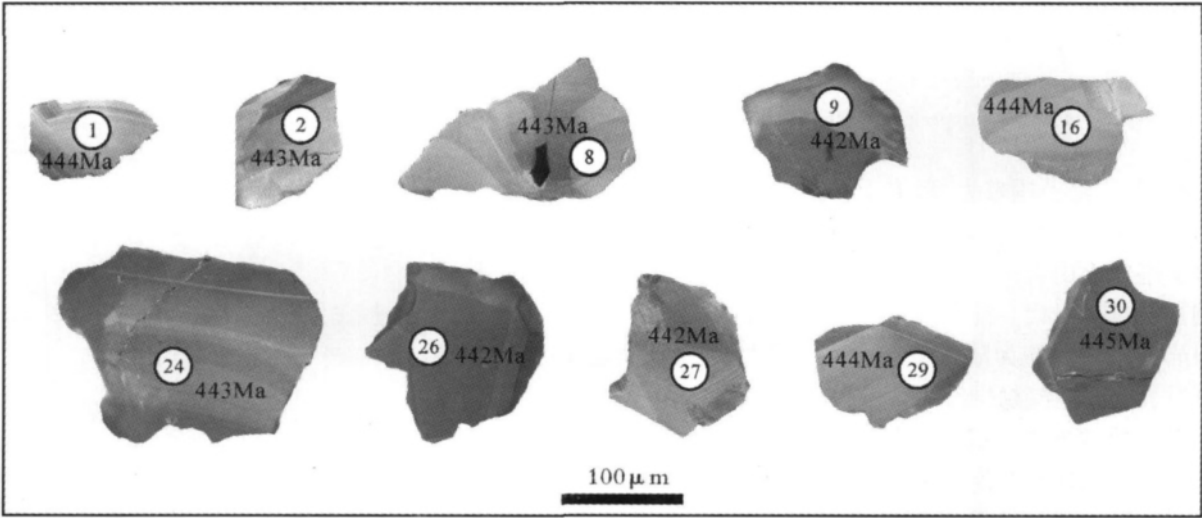


图 3 样品锆石阴极发光图像

Fig. 3 Cathodoluminescence images of analyzed zircon grains

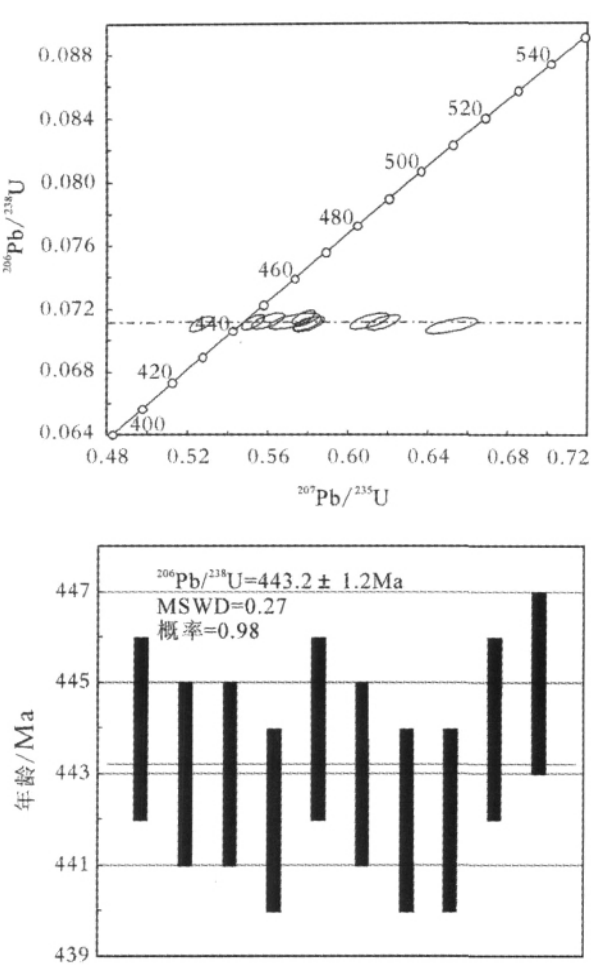


图 4 红沟矿区基性火山岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4 Zircon LA-ICP-MS U-Pb age concordia diagram and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ weighted average ages of basic volcanic rocks in the Honggou copper polymetallic deposit

较为接近、出露范围较大、形成于早奥陶世的哈曼达坂花岗闪长岩没有成因联系^[12]。因此笔者认为,矿区内含矿基性火山岩的形成时代(晚奥陶世)应代表红沟铜矿的成矿时代。前人多数认为红沟铜矿床含矿火山岩的形成环境为陆缘裂谷环境^[4,6-7,13-16],在晚奥陶世时,北祁连洋盆已经闭合,仅在红沟和静宁—庄浪葫芦河等地发育陆缘裂谷火山岩系,红沟火山岩系产于早古生代北祁连洋闭合后弧陆碰撞过程中反弹作用诱发的被动裂谷中^[6]。因此笔者认为,红沟铜矿床形成于晚奥陶世的被动陆缘裂谷环境,在祁连山地区找寻此类型铜矿的重点区段应放在产出于晚

表 1 门源县红沟矿床含矿火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测试结果
Table 1 LA-ICP-MS U-Pb analytical results of zircons from basic volcanic rocks in the Honggou copper polymetallic deposit, Menyuan County

分析点	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		Th/U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		谐和度
	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄/Ma	1σ	年龄/Ma	1σ	年龄/Ma	1σ	年龄/Ma	1σ	
08MY-06-01	0.0621	0.0009	0.6100	0.0064	0.0713	0.0004	0.0246	0.0002	0.6813	0.0002	677	14	484	4	444	2	492	3	1.09
08MY-06-02	0.0590	0.0007	0.5783	0.0047	0.0711	0.0003	0.0236	0.0001	0.5510	0.0001	567	10	463	3	443	2	471	3	1.05
08MY-06-08	0.0629	0.0008	0.6168	0.0055	0.0712	0.0003	0.0244	0.0001	0.7018	0.0001	704	11	488	3	443	2	487	3	1.10
08MY-06-09	0.0591	0.0007	0.5793	0.0050	0.0711	0.0003	0.0236	0.0001	0.5983	0.0001	572	11	464	3	442	2	472	3	1.05
08MY-06-16	0.0569	0.0008	0.5591	0.0054	0.0712	0.0003	0.0224	0.0001	0.5956	0.0001	489	13	451	3	444	2	448	3	1.02
08MY-06-24	0.0562	0.0006	0.5515	0.0038	0.0712	0.0003	0.0223	0.0001	0.7174	0.0001	460	8	446	2	443	2	445	2	1.01
08MY-06-26	0.0536	0.0006	0.5255	0.0038	0.0710	0.0003	0.0232	0.0001	0.3651	0.0001	356	9	429	3	442	2	463	2	0.97
08MY-06-27	0.0695	0.0009	0.6825	0.0060	0.0712	0.0003	0.0227	0.0001	0.5263	0.0001	823	30	509	5	442	2	433	2	1.15
08MY-06-29	0.0692	0.0008	0.6892	0.0047	0.0723	0.0003	0.0253	0.0001	0.6597	0.0001	539	35	459	5	444	2	441	2	1.03
08MY-06-30	0.0585	0.0007	0.5766	0.0037	0.0715	0.0003	0.0223	0.0001	0.8977	0.0001	549	7	462	2	445	2	446	2	1.04

奥陶世被动陆缘裂谷的火山岩系中。

致谢:野外工作得到西安地质矿产研究所马中平副研究员和唐卓工程师的帮助,在此表示感谢。

参考文献

- [1]宋志高. 祁连山地区块状硫化物矿床形成地质环境的对比研究与探讨[J]. 矿床地质, 1984, 3(2): 1-23.
- [2]向鼎璞, 戴天富. 北祁连山火山成因硫化物矿床区域成矿特征[J]. 矿床地质, 1985, 4(1): 64-74.
- [3]李嘉曾. 青海红沟铜矿床成因探讨及其在北祁连山地区的找矿意义[C]//中国地质科学院西安地质矿产研究所文集(12). 西安: 陕西科学技术出版社, 1986: 48-55.
- [4]孙海田, 邬介人. 对北祁连山火山喷溢型贱金属硫化物矿床区域成矿的探讨[J]. 矿床地质, 1993, 12(3): 193-201.
- [5]邬介人, 任秉琛, 黄玉春. 西北海相火山岩地区块状硫化物矿床[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994: 1-271.
- [6]夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 北祁连山海相火山岩岩石成因[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 1-109.
- [7]徐学义, 李向民, 王洪亮, 等. 祁连山及邻区成矿地质背景图 1:1000000 说明书[M]. 北京: 地质出版社, 2009: 1-29.

- [8]贾群子, 杨忠堂, 肖朝阳, 等. 祁连山铜金钨铅矿床成矿规律和成矿预测[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 1-313.
- [9]温应江. 北祁连铜矿成矿规律及找矿方向[J]. 青海地质, 1992, 1(1): 33-39.
- [10]柳小明, 高山, 袁洪林, 等. 193nm LA-ICP-MS 对国际地质标准参考物质中 42 种主元素和微量元素的分析[J]. 岩石学报, 2002, 18(3): 408-418.
- [11]吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 49(16): 1589-1604.
- [12]余吉远, 李向民, 王国强, 等. 青海红沟地区哈曼大阪花岗岩体锆石 LA-ICP-MS 测年——对红沟铜矿床形成时代和成因的认识[J]. 地质与勘探, 2010, 45(4): 592-598.
- [13]夏林圻, 夏祖春, 任有祥, 等. 祁连山及邻区火山作用与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 1998: 1-215.
- [14]夏林圻, 夏祖春, 任有祥, 等. 北祁连山构造-火山岩浆-成矿动力学[M]. 北京: 中国大地出版社, 2001: 1-296.
- [15]贾群子, 赵俊伟. 祁连成矿带成矿区划和找矿潜力[J]. 西北地质, 2002, 35(4): 86-100.
- [16]贾群子, 杨忠堂, 肖朝阳, 等. 祁连成矿带成矿规律和找矿方向[J]. 西北地质, 2006, 39(2): 96-113.