

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2021.03.012

喀喇昆仑罗布盖子大型铅锌矿成矿时代:对甜水海—喀喇昆仑巨型铅锌矿带找矿勘查的启示

王威^{1,2},王家鑫³,马华东^{1,2},朱炳玉^{1,2},柳献军^{1,2}

(1. 新疆自然资源与生态环境研究中心,新疆 乌鲁木齐 830000;2. 新疆维吾尔自治区人民政府国家305项目办公室,新疆 乌鲁木齐 830000;3. 四川鑫立地质勘查有限公司,四川 成都 610072)

摘要:西昆仑-喀喇昆仑位于青藏高原北缘,是特提斯构造域的重要组成部分。近年来在该区有色金属找矿勘查工作取得重大突破,相继发现一批超大型、大中型铅锌矿床。罗布盖子大型铅锌矿位于甜水海-喀喇昆仑有色金属成矿带最西段,获得详查资源量大于100万t。笔者报道了该矿床的基本地质特征,确定该矿床的形成与白垩纪岩浆岩演化晚期的热液有关,并获得与成矿关系密切的淡色脉体独居石U-Pb年龄为(99.25±0.78)Ma,进一步证实该矿床属于岩浆热液矿床。依据区域地球化学勘查及区域地质背景的综合分析,认为在甜水海—喀喇昆仑分布的巨型铅锌矿带,受控于侏罗纪—白垩纪火山-沉积盆地及白垩纪岩浆岩,该成矿带具有重大找矿潜力。

关键词:西昆仑-喀喇昆仑造山带;有色金属成矿带;罗布盖子铅锌矿;成矿时代;找矿潜力
中图分类号:P618.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-6248(2021)03-0155-08

Mineralization Age of the Karakorum Luobugaizi Large Lead-zinc Deposit: The Implication on Exploration of Tianshuihai-Karakorum Super-large Lead-zinc Deposits

WANG Wei^{1,2}, WANG Jiabin³, MA Huadong^{1,2}, ZHU Bingyu^{1,2}, LIU Xianjun^{1,2}

(1. The Research Center of Resource and Environment of Xinjiang, Urumuqi 830000, Xinjiang, China;
2. The National 305 Project Office of Xinjiang, Urumuqi 830000, Xinjiang, China;
3. Sichuan Xinli Geological Exploration Co., Ltd., Chengdu 610072, Sichuan, China)

Abstract: The Western Kunlun-Karakorum is in the northern margin of the Qinghai-Tibet Plateau, belonging to the Tethyan tectonic domain. In recent years, the nonferrous metals exploration in this region has achieved significant breakthrough. Several large and super-large lead-zinc deposits have been discovered. Among them, the Luobugaizi large lead-zinc deposit, which is in

收稿日期:2020-12-14;修回日期:2021-03-18

基金项目:第二次青藏高原综合科学考察研究项目“西昆仑-喀喇昆仑稀有金属资源现状与远景评估”(2019QZKK080201),新疆自治区重大科技专项“和田南部喀喇昆仑稀有金属成矿带成矿规律研究”(2018A03004),新疆自治区重点研发计划“新疆和田县超大型锂铍铷矿床成因及资源综合利用研究”(2019B00011)。

作者简介:王威(1982-),男,河南驻马店人,高级工程师,硕士研究生,从事地质矿产勘查及科技项目管理。E-mail:253840834@qq.com。

the western section of the Tianshuihai-Karakorum nonferrous metals belt, has more than 1000, 000 ton reserve. On the basis of the geological features the authors concluded that the deposit is a typical hydrothermal deposit related to the Cretaceous intrusive event, with the U-Pb age of (99.25 ± 0.78) Ma, hence the Luobugaizi lead-zinc deposit was hydrothermal type. Through the comprehensive analysis, this paper concluded that the lead-zinc deposits were controlled by the Jurassic-Cretaceous sedimentary magmatic rocks. This metallogenic belt has great potential for the future mineral exploration.

Keywords: Western Kunlun-Karakorum orogenic belt; nonferrous metals mineralization belt; Luobugaizi lead-zinc deposit; mineralization age; exploration potential

由于自然及交通条件的限制,在90年代前,和田玉是西昆仑—帕米尔地区为世人所知的主要矿床类型。90年代以来,随着区域地球化学、地球物理测量及地质填图的开展,在这一地区的找矿勘查取得了重大突破。最主要进展包括寒武纪超大型铁矿(陈登辉等,2013;冯昌荣等,2011;燕长海等,2012;张连昌等,2015)、晚三叠世超大型稀有金属矿及侏罗纪—白垩纪超大型(铜)铅锌矿等(周兵等,2011;王核等,2017;董连慧等,2015;高永宝等,2017;晋红展等,2018;侯增谦等,2008)(图1)。构成了青藏北缘独具特色的多金属成矿带(张传林等,2019)。这些超大型矿床(矿田)的发现和勘查,不仅改写了新疆地区自然资源版图,甚至改变了全国自然资源版图,对新疆地区经济发展、中巴经济走廊建设提供了重要的资源支撑。

1 区域地质背景

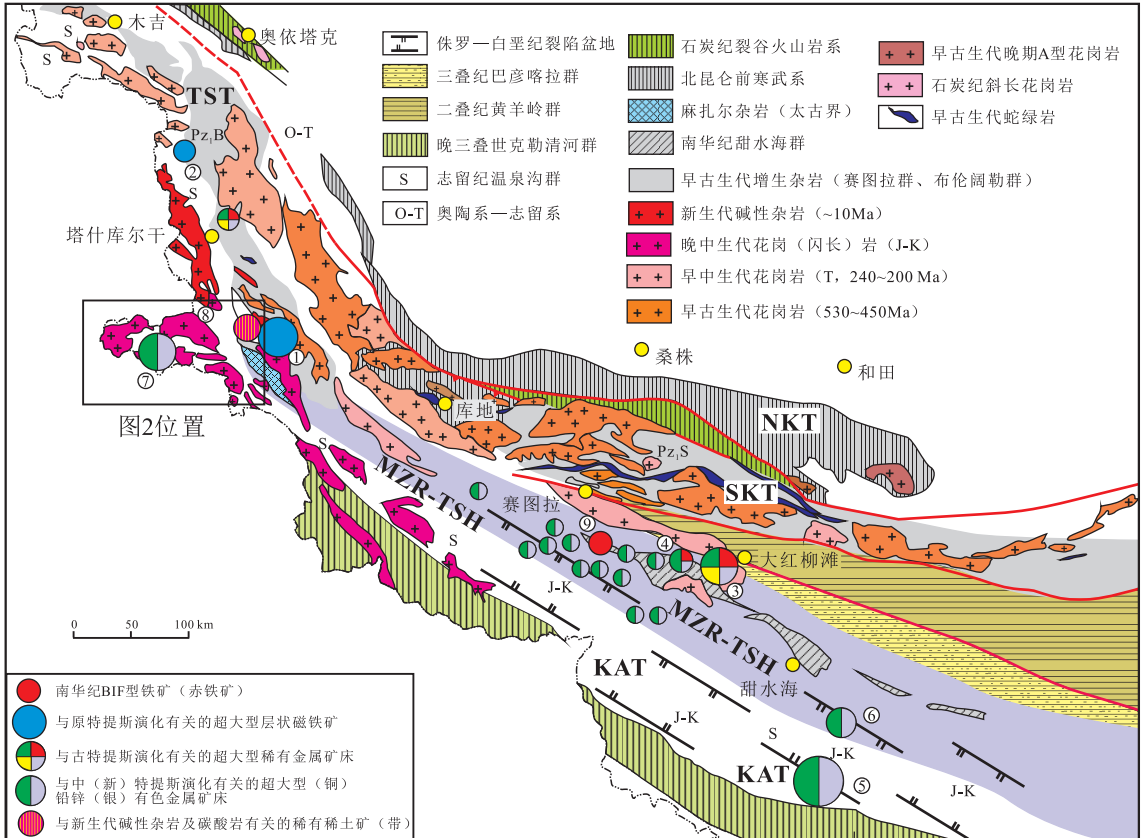
西昆仑—喀喇昆仑(包括帕米尔)经历了原特提斯到新特提斯漫长的构造演化过程,形成了多阶段复杂的岩浆岩系列及沉积岩组合(Jiang, Y. H., Jiang, 2002, Rutte, D., 2017; Robinson, A. C., 2004; Robinson, A. C., 2016)。综合矿产勘查及基础地质研究成果表明,西昆仑—帕米尔地区主要矿产资源与区域构造岩浆作用具有非常密切的联系(张传林,2019),主要成矿期为寒武纪(原特提斯阶段,铁矿)、三叠纪晚期—侏罗纪早期(古特提斯阶段,稀有金属矿)、侏罗纪—白垩纪(中新特提斯阶段,以铅锌为主的有色金属矿床)和第四纪(喜山期,稀有稀土矿床)(Zhang, C. L., 2018a)。尽管对赞坎超大型磁铁矿成因有不同认识(部分学者认为是形成于寒武纪的BIF(张连昌等,2015),但磁铁矿层与

布伦阔勒群底部的双峰式火山岩在时空上密切相关(Zhang, C. L., 2018b)。大红柳滩超大型锂铷多金属矿床(田)最早由新疆地质矿产局发现并勘查(1987年获得详查资源量氧化锂为8.7万t)。在后来的1:5万区域地质填图工作扩大了这一稀有金属矿带的范围,新疆地质矿产局及陕西地质调查院在2015~2018年对成矿带进行了勘查,资源量有显著增加。依据王核等(2017)的预测,远景资源量在350万t以上。

有色金属方面,在最近的矿产勘中,除了在火烧云获得了2000万t以上详查(部分为勘探级别)铅锌资源量外,在罗布盖子获得了大于100万t铅锌详查资源量(其中富矿达到70万t),在乔尔天山和冰山地区,铅锌矿的找矿勘查也取得重要进展,发现了一批与岩浆热液有关的以铅锌为主并伴生铜银的矿床(点)(图1)。以火烧云为代表的超大型矿床呈层状产于侏罗纪地层中,属于同沉积矿床。瓦汗走廊地区罗布盖子大型铅锌矿及冰山地区(铜)铅锌矿田,均以脉状矿产出,矿脉充填在不同时代的地层甚至侵入岩体中。区域岩浆岩背景、铅锌矿的区域分布特征表明,沿南帕米尔及喀喇昆仑分布的巨型铅锌成矿带与侏罗纪—白垩纪沉积盆地—岩浆作用具有密切关系。然而,对于晚中生代有色金属成矿的具体成矿时代以及有色金属成矿是否和区域上广泛分布的晚中生代岩浆岩有关等一些关键科学问题,还没有深入研究。

2 罗布盖子铅锌矿床地质特征

罗布盖子大型铅锌矿床位于塔什库尔干县瓦罕走廊(图2),在构造位置上属于喀喇昆仑西延部分。依据王家新等对该矿床的勘查报告,共圈定9个铅



①. 赞坎超大型磁铁矿矿田;②. 兹罗依磁铁矿;③. 大红柳滩超大型稀有金属矿田;④. 冰山(铜)铅锌矿带;⑤. 火烧云超大型铅锌矿;⑥. 多宝山铅锌矿;⑦. 罗布盖子大型铅锌矿;⑧. 达布达尔稀有金属矿带;⑨. 乔尔天山(铜)铅锌矿带本图依据西昆仑1:50万地质图及张传林等(2019)资料综合编制,铅锌矿(点)依据2019年新疆地质矿产局最新资料编制

图1 西昆仑—帕米尔地区主要矿产资源分布简图

Fig. 1 The distribution diagram of major mineral resources in west Kunlun-Pamir Mountains area

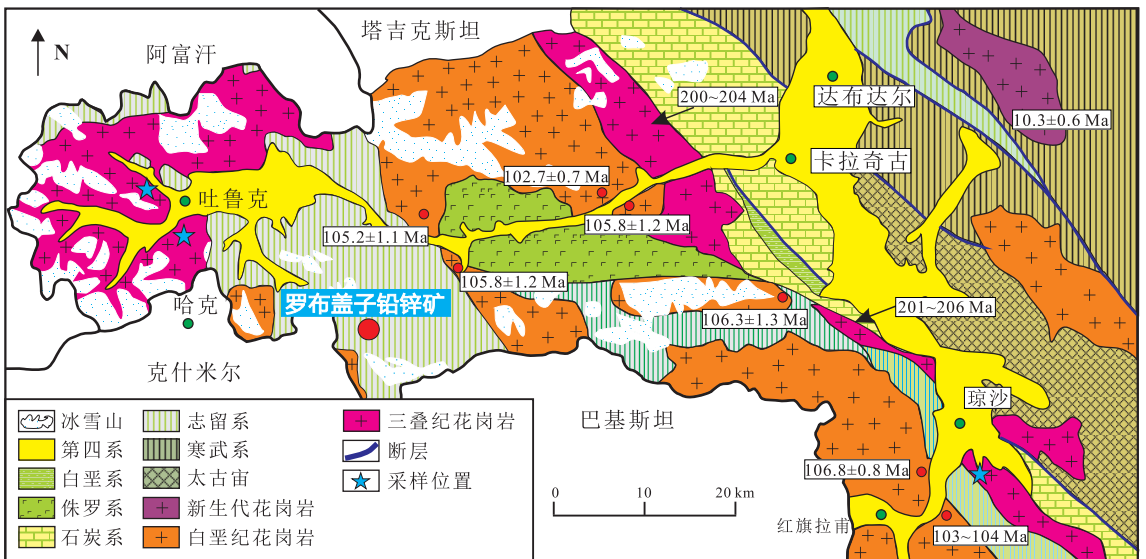


图2 罗布盖子铅锌矿区域地质图

Fig. 2 Regional geological map of Luobugaizi lead-zinc deposit

锌矿体。罗布盖子铅锌矿主要矿体呈层状、似层状、透镜状赋存于下志留统温泉沟组第三岩性段(中板岩段)(S_1w^3)粉砂质板岩夹硅泥质板岩内,部分矿体的产状与围岩产状接近,但在钻孔和探槽中,可以见到部分铅锌矿脉穿切了地层的层理(或面理)。矿体总体平均倾向为 229° ,平均倾角为 43° (图3)。矿体出露长 $2\ 424\sim 2\ 496\text{ m}$,平

均真厚度为 2.93 m ,厚度变化系数为 77.13% ,厚度相对稳定;Pb加权平均品位为 2.30% ,Zn加权平均品位为 3.21% 。Pb+Zn单工程加权平均品位为 5.51% 。矿石以闪锌矿和方铅矿为主,矿体形态和组分均较为简单,局部有膨大-收缩现象。控制矿体最大斜深 870 m ,最大垂深 448 m (图3)。

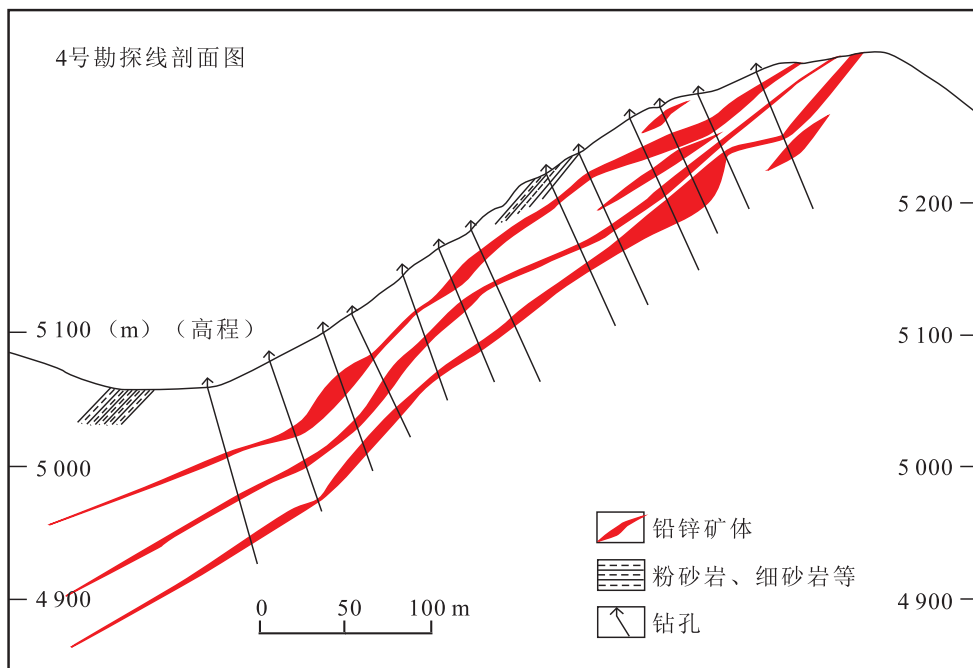


图3 罗布盖子铅锌矿4号勘探线剖面图

Fig. 3 Profile of exploration line 4 of Luobugaizi lead-zinc deposit

矿石矿物主要包括闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黝铜矿等,脉石矿物包括黄铁矿、磁黄铁矿、石英、钠长石、方解石等(图4)。闪锌矿多呈半自形-自形粒状,粒度范围为 $0.005\sim 3.80\text{ mm}$,粒度大小不均匀。粒度大于 0.074 mm 占 84.42% ,小于 0.074 mm 占 15.58% ;大于 0.043 mm 占 92.84% ,小于 0.043 mm 占 7.18% 。闪锌矿粒度总体较粗。方铅矿呈半自形-自形粒状结构、紧密镶嵌。方铅矿粒度在 $0.074\sim 0.104\text{ mm}$ 最多,占有率为 30.99% ;其次是 $0.104\sim 0.147\text{ mm}$ 和 $0.147\sim 0.208\text{ mm}$,占有率分别为 18.73% 和 14.13% ,其他粒级占有率均小于 10% 。方铅矿主要赋存状态主要表现为以脉状充填于再生角砾裂隙之间,嵌布特征表现为与非金

属矿物连生,与方铅矿连生及与黄铜矿、黄铁矿连生。

黄铜矿(包括含银黝铜矿)在矿石中含量很低,在矿石中见的较少,仅见少量黄铜矿与方铅矿呈半规则连生,个别颗粒呈椭圆状包裹于方铅矿中。黄铜矿在矿石中含量很少,仅少量标本样中见到。黄铜矿粒度大小约 $0.002\sim 0.38\text{ mm}$,呈他形-半自形粒间,椭圆状、浑圆状等,主要分布于方铅矿粒间及团块状闪锌矿中,与方铅矿呈半规则连生,粒度较粗。少量黄铜矿与(含银)黝铜矿一起分布于方铅矿粒间;分布于团块状闪锌矿中的黄铜矿主要分布于闪锌矿粒间,部分微细粒黄铜矿包裹于闪锌矿中,部分黄铜矿具褐铁矿化。

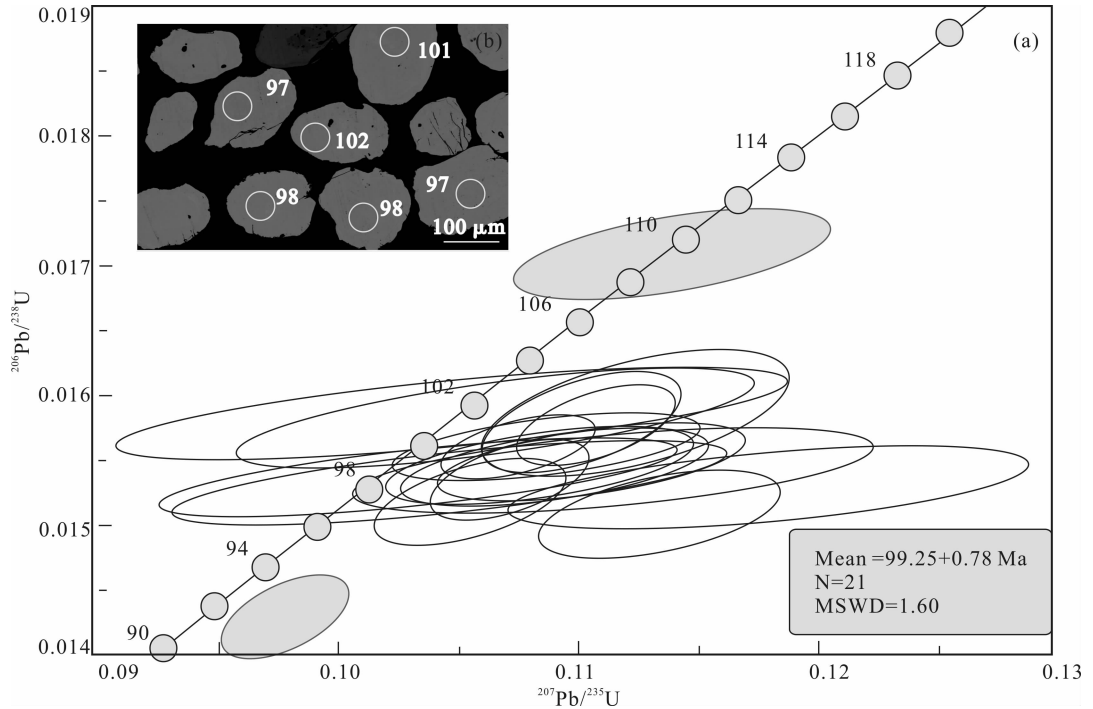


图4 罗布盖子铅锌矿独居石U-Pb年龄图

Fig. 4 U-Pb age map of Monazite in Luobugaizi lead-zinc deposit

与在铅锌矿脉中,局部发育了与铅锌矿密切共生的淡色脉体。一般呈透镜状、细脉状,脉宽5~30 cm不等,延伸30~100 cm以上。在淡色脉中偶见方铅矿,表明淡色脉体形成于铅锌矿成矿阶段。淡色脉的主要矿物组成为石英、钠长石,含有少量方解石,没有见到任何暗色矿物。

3 罗布盖子铅锌矿成矿时代

本次工作采集了与铅锌矿密切共生的淡色脉体样品约10 kg(样品号2019LB02)。样品破碎后手工淘洗分离出重砂矿物,经磁选和电磁选后,在双目镜下挑出独居石(约500粒)。选取代表性独居石制靶后通过显微镜透射光和反射光照相,并采用BSE对独居石内部结构进行研究。U-Pb年代学在天津地质矿产研究所实验室的193 nm激光剥蚀系统(New Wave)和多接收器电感耦合等离子体质谱仪(MC-ICP-MS, Neptune)上完成。测试方法及使用的标样见文献(崔玉荣等,2012)。利用ICPMS-DataCal程序和Isoplot程序进行数据处理。测试

结果见表1。

淡色脉体中的独居石一般呈粒状,粒径在50~150 μm 。BSE照相显示,独居石内部结构均匀,有少量的独居石中有包体发育(图4b)。对23粒独居石23次分析结果表明,除4、5号测点有偏高和偏低的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄外(分别为109 Ma和91 Ma),其余21个测点获得谐和在误差范围内一致的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄,它们的平均值为 (99.25 ± 0.78) Ma(MSWD=1.60),这一年龄代表了与铅锌矿成矿密切相关的淡色脉体的结晶年龄(图4)。

4 罗布盖子铅锌矿的成矿模式

罗布盖子铅锌矿矿体主要以层状-似层状产于志留系碳质板岩中,尽管矿体产状主体与地层的面理产状基本一致,但部分矿脉穿切了岩层的面理,且矿体大多产于角砾岩带中,硫化物矿石为浸染状、脉状、角砾状。因此,依据野外判断,它不属于沉积类型,而是后期与热液有关的后生矿床。

表1 罗布盖子铅锌矿淡色脉体中独居石 U-Pb 年龄数据表
Tab.1 U-Pb ages of Monazite in the light-colored veins of the Luobugaizi lead-zinc deposit

测点号	同位素比值						同位素年龄				谐和度(%)
	n(²⁰⁷ Pb)/n(²⁰⁶ Pb)		n(²⁰⁷ Pb)/n(²³⁵ Pb)		n(²⁰⁶ Pb)/n(²³⁸ Pb)		n(²⁰⁷ Pb)/n(²³⁵ Pb)		n(²⁰⁶ Pb)/n(²³⁸ Pb)		
	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	测值	1σ	
2019LB02-1	0.051	3.04	0.111 5	3.37	0.015 8	1.62	107	4	101	2	94
2019LB02-2	0.051 5	2.97	0.113 2	3.3	0.016	1.35	109	4	102	1	94
2019LB02-3	0.050 9	1.75	0.110 8	2.09	0.015 8	1.28	107	2	101	1	94
2019LB02-4	0.048 4	3.96	0.113 9	3.89	0.017 1	1.35	110	4	109	1	99
2019LB02-5	0.049 6	1.48	0.097 7	1.85	0.014 3	1.5	95	2	91	1	96
2019LB02-6	0.048 3	5.64	0.104 8	5.8	0.015 8	1.49	101	6	101	1	100
2019LB02-7	0.049 2	1.61	0.105 7	1.91	0.015 6	1.4	102	2	100	1	98
2019LB02-8	0.054 1	6.87	0.113 9	6.91	0.015 3	1.44	110	8	98	1	89
2019LB02-9	0.048 7	3.82	0.103 9	4.13	0.015 5	1.42	100	4	99	1	99
2019LB02-10	0.050 2	2.57	0.105 2	2.77	0.015 2	1.38	102	3	97	1	95
2019LB02-11	0.052 8	5.3	0.110 1	5.47	0.015 1	1.43	106	6	97	1	92
2019LB02-12	0.048 1	4.24	0.103	4.34	0.015 5	1.36	100	4	99	1	99
2019LB02-13	0.049 9	3.19	0.107 6	3.35	0.015 7	1.36	104	3	100	1	96
2019LB02-14	0.049 9	4.3	0.105 9	4.41	0.015 4	1.34	102	5	98	1	96
2019LB02-15	0.049 8	6.33	0.106	6.5	0.015 4	1.52	102	7	99	2	97
2019LB02-16	0.049 4	3.58	0.108	3.65	0.015 9	1.42	104	4	101	1	97
2019LB02-17	0.048 1	9.14	0.105	8.96	0.015 8	1.42	101	9	101	1	100
2019LB02-18	0.054 5	8.05	0.114 7	8.07	0.015 3	1.48	110	9	98	1	89
2019LB02-19	0.050 5	5.51	0.108 8	5.61	0.015 6	1.41	105	6	100	1	95
2019LB02-20	0.051 3	2.92	0.108 9	3.12	0.015 4	1.41	105	3	98	1	93
2019LB02-21	0.054 5	2.8	0.113 3	2.99	0.015 1	1.39	109	3	97	1	89
2019LB02-22	0.050 6	9.08	0.107 3	9.16	0.015 4	1.38	103	9	98	1	95
2019LB02-23	0.048 2	5.47	0.101 5	5.54	0.015 3	1.36	98	5	98	1	100

断裂和裂隙为成矿热液的运移提供条件,方铅矿的成矿热液穿过围岩灰岩在成矿处沉淀成矿,后期闪锌矿的成矿热液沿着方铅矿中的裂隙充填并交代方铅矿形成脉状的铅锌硫化矿石。矿本次工作获得与成矿作用密切相关的淡色脉体独居石 U-Pb 谐和年龄为(99.25±0.78) Ma,而这一带的花岗岩

(包括其中的闪长岩、辉长岩包体)形成时代为 99~102 Ma(Liu, X. Q., 2020)。这表明区域岩浆岩与成矿作用在时空上密切相关,说明罗布盖子成矿与区域岩浆作用有关,为岩浆热液型铅锌矿。

在甜水海—喀喇昆仑构造带,目前已经发现多个超大型、大中型铅锌(铜银)矿床,其中最著名的是

火烧云超大型铅锌矿。在甜水海地块内,对多个中小型铅锌矿野外调查表明,这些铅锌矿以脉状产出,分布在不同时代的地层及三叠纪岩体内部,属于典型的热液脉状矿床。而火烧云及天文点一带的铅锌矿,呈层状、似层状产于侏罗纪—早白垩世地层中,这些地层大多含有火山岩夹层。Li等(2019)及张传林等(2019)认为,这些产于晚中生代沉积盆地中的层状铅锌矿,可能是深部成矿流体沿盆缘断裂上升,最终在盆地内沉积成矿,与冰山地区及罗布盖地区脉状铅锌矿,可能都是同一构造背景下形成,它们均受控于晚中生代的岩浆活动。这一认识表明,分布在甜水海—喀喇昆仑的晚中生代岩浆岩带,具有重大成矿潜力,为今后的找矿勘查指明方向。

5 结论

(1)位于南帕米尔的罗布盖铅锌矿是甜水海—喀喇昆仑有色金属成矿带的西延部分,是典型的由岩浆晚期热液矿床。

(2)罗布盖铅锌矿的成矿时代为99Ma,与该构造带白垩纪辉绿岩—花岗闪长岩—花岗岩形成时代完全一致,进一步证实该矿床与岩浆热液有关。

(3)甜水海—喀喇昆仑有色金属成矿与侏罗纪沉积盆地和白垩纪岩浆岩密切相关,侏罗纪以层控型铅锌矿为主,而白垩纪以岩浆晚期热液型铅锌(铜银)矿为主。

参考文献(References):

陈登辉,伍跃中,李文明,等. 西昆仑塔什库尔干地区磁铁矿床特征及其成因[J]. 大地构造与成矿,2013,37(4): 671-684.

CHEN Denghui, WU Yuezhong, LI Wenming, et al. Geological Characteristics and Genesis of the Iron Deposits in the Taxkorgan Area, West Kunlun [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2013, 37(4): 671-684.

冯昌荣,吴海才,陈勇. 新疆塔什库尔干县赞坎铁矿地质特征及成因浅析[J]. 大地构造与成矿学,2011,35(3): 404-409.

FENG Changrong, WU Haicai, CHEN Yong. Geological

Characteristics and Genesis of the Zankan Iron Deposit in Taxkorgan, Xinjiang [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2011, 35(3): 404-409.

燕长海,陈曹军,曹新志,等. 新疆塔什库尔干地区“帕米尔式”铁矿床的发现及其地质意义[J]. 地质通报,2012, 31(4): 549-557.

YAN Changhai, CHEN Caojun, CAO Xinzhi, et al. The discovery of the “Pamir-type” iron deposits in Taxkorgan area of Xijiang and its geologic significance [J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(4): 549-557.

张连昌,朱明田,郑梦天,等. 西昆仑塔什库尔干铁矿带成矿规律[J]. 矿物学报,2015,35(增刊):559.

ZHANG Liangchang, ZHU Mingtian, ZHENG Mengtian, et al. Metallogenic regularities of Tashkurgan Iron ore belt in Western Kunlun [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2015, 35(Suppl.): 559.

周兵,孙义选,孔德懿. 新疆大红柳滩地区稀有金属矿成矿地质特征及找矿前景[J]. 四川地质学报,2011,31(3): 288-292.

ZHOU Bin, SUN Yixuan, KONG Deyi. Geological Features and Prospecting Potential of Rare Metallic Deposits in the Dahongliutan Region, Xinjiang [J]. Acta Geologica Sichuan, 2011, 31(3): 288-292.

王核,李沛,马华东,等. 新疆和田县白龙山超大型伟晶岩型锂铷多金属矿床的发现及其意义[J]. 大地构造与成矿,2017,41(6): 1053-1062.

WANG He, LI Pei, MA Huadong, et al. Discovery of the Bailongshan Superlarge Lithium-Rubidium Deposit in Karakorum, Hetian, Xinjiang, and its Prospecting Implication [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2017, 41(6): 1053-1062.

董连慧,徐兴旺,范廷宾,等. 喀喇昆仑火烧云超大型喷流—沉积成因碳酸盐型Pb-Zn矿的发现及区域成矿学意义[J]. 新疆地质,2015,33(1): 41-50.

DONG Lianhui, XU Xingwang, FAN Tingbin, et al. Discovery of the Huoshaoyun Super-Large Exhalative-Sedimentary Carbonate Pb-Zn Deposit in the Western Kunlun Area and its Great Significance for Regional Metallogeny [J]. Xinjiang Geology, 2015, 33(1): 41-50.

高永宝,滕家欣,李侃. 喀喇昆仑火烧云超大型铅锌矿床成矿特征与成因 [J]. 矿物学报, 2017, 37(增刊): 561-562.

- GAO Yongbao, TENG Jiixin, LI Kan. Metallogenic characteristics and Genesis of Huoshaoyun super-large Pb-Zn deposit in Karakoram[J]. *Journal of Mineralogy*, 2017, 37(Suppl.): 561-562.
- 晋红展. 喀喇昆仑甜水海-火烧云一带铅锌矿成矿条件及找矿潜力[J]. *地质学刊*, 2018, 42(1): 17-22.
- JIN Hongzhan. Analysis of metallogenic condition and prospecting potential of lead-zinc deposit in Tianshuihai-Huoshaoyun area, Karakoram [J]. *Journal of Geology*, 2018, 42(1): 17-22.
- 侯增谦, 宋玉财, 李政, 等. 青藏高原碰撞造山带 Pb-Zn-Ag-Cu 矿床新类型: 成矿基本特征与构造控矿模型[J]. *矿床地质*, 2008, 27(2): 123-144.
- HOU Zengqian, SONG Yucai, LI Zheng, et al. Thrust-controlled, sediments-hosted Pb-Zn-Ag-Cu deposits in eastern and northern margins of Tibetan orogenic belt: Geological features and tectonic model[J]. *Mineral Deposits*, 2008, 27(2): 123-144.
- 张传林, 马华东, 朱炳玉, 等. 西昆仑-喀喇昆仑造山带构造演化及其成矿效应[J]. *地质论评*, 2019, 65(5): 1077-1102.
- ZHANG Chuanlin, MA Huadong, ZHU Bingyu, et al. Tectonic evolution of the Western Kunlun-Karakorum Orogenic Belt and its coupling with the mineralization effect [J]. *Geological Review*, 2019, 65(5): 1077-1102.
- 崔玉荣, 周红英, 耿建珍, 等. LA-MC-ICP-MS 独居石微区原位 U-Pb 同位素年龄测定[J]. *地球学报*, 2012, 33(6): 865-876.
- CUI Yurong, ZHOU Hongying, GENG Jianzhen, et al. In Situ LA-MC-ICP-MS U-Pb Isotopic Dating of Monazite [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2012, 33(6): 865-876.
- Jiang, Y. H., Jiang, S. Y., Ling, H. F., et al. Petrology and geochemistry of shoshonitic plutons from the West Kunlun orogenic belt, northwestern Xinjiang, China: implications for granitoid geneses [J]. *Lithos*, 2002, 63: 165-187.
- Rutte, D., Ratschbacher, L., Schneider, S., et al. Building the Pamir-Tibetan Plateau—Crustal stacking, extensional collapse, and lateral extrusion in the Central Pamir: 1. Geometry and kinematics [J]. *Tectonics*, 2017, 36: 1-43.
- Robinson, A. C., Yin, C. E., Manning, et al. Tectonic evolution of the northeastern Pamir: constraints from the northern portion of the Cenozoic Kongur Shan extensional system [J]. *Geological Society of American Bulletin*, 2004, 116: 953-974.
- Robinson, A. C., Ducea, M., Lapen, T. J. Detrital zircon and isotopic constraints on the crustal architecture and tectonic evolution of the northeastern Pamir [J]. *Tectonics*, 2016, 31: 1-16.
- Zhang, C. L., Zou, H. B., Ye, X. T., et al. Tectonic evolution of the eastern section of the Western Orogenic Belt: new evidences from field observation and zircon U-Pb geochronology. *Geosciences Frontier* [J]. Doi: 10.1016/j.gsf.2018.05.006
- Zhang, C. L., Zou, H. B., Ye, X. T., et al. Tectonic evolution of the NE section of the Pamir Plateau: new evidence from field observations and zircon U-Pb geochronology [J]. *Tectonophysics*, 2018, 723: 27-40.
- Liu, X. Q., Zhang, C. L., Hao, X. S., et al. Early Cretaceous granitoids in the Southern Pamir: Implications for the Meso-Tethys evolution of the Pamir Plateau [J]. *Lithos*, doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105492.
- Li, Hao, Xu, X. W., Borg, G., et al. Geology and Geochemistry of the giant Huoshaoyun zinc-lead deposit, Karakorum Range, northwestern Tibet [J]. *Ore Geology Reviews*, 2019, 106: 251-272.