

韩琼, 弓小平, 马华东, 等. 西天山阿吾拉勒成矿带大哈拉军山组火山岩时空分布规律及其地质意义[J]. 中国地质, 2015, 42(3): 570-586.
Han Qiong, Gong Xiaoping, Ma Huadong, et al. Temporal and spatial distribution of Dahalajunshan Group volcanic rocks in the Awulale Metallogenic belt of West Tianshan Mountains and its geological significance[J]. Geology in China, 2015, 42(3): 570-586(in Chinese with English abstract).

西天山阿吾拉勒成矿带大哈拉军山组火山岩时空分布规律及其地质意义

韩 琼^{1,2} 弓小平¹ 马华东³ 程松林⁴ 凤 骏¹ 宋相龙¹ 谢 磊¹ 苏 虎¹ 李潇林斌¹

(1.新疆大学地质与矿业工程学院,新疆乌鲁木齐 830049;2.新疆维吾尔自治区地质调查院,新疆乌鲁木齐 830000;
3.新疆国家三〇五项目办公室,新疆乌鲁木齐 830000;4.中国地质大学(北京),北京 100871)

摘要:西天山阿吾拉勒成矿带广泛发育的大哈拉军山组火山岩为以一套流纹岩、粗面岩、粗面安山岩、中酸性凝灰岩和少量玄武岩为主体的火山岩-沉积岩建造。本研究运用LA-ICP-MS锆石U-Pb法,厘定了松湖铁矿、式可布台铁矿、备战铁矿火山岩的成岩时代,并系统整理阿吾拉勒铁矿成矿带上已经获得的高精度年代学数据,确定阿吾拉勒成矿带大哈拉军山组火山岩的时间分布规律为自西向东渐变的特征,在年代上表现为自西向东呈由老变新的趋势,早石炭世火山岩从西向东表现为尖灭的特征,在岩性上具有安山岩-玄武安山岩-粗面质火山熔岩-火山碎屑岩变化的特点。在此基础上,结合遥感影像特征,确定大哈拉军山组火山岩的空间分布特征,进一步提取破火山口的特征,判断其与典型矿床之间的位置关系,探讨典型矿床与火山机构在成因上的联系,结合大地构造演化特征,探讨其地质意义。

关键词:LA-ICP-MS; 锆石U-Pb法; 时空分布规律; 阿吾拉勒成矿带; 西天山

中图分类号:P588;P597 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2015)03-0570-17

Temporal and spatial distribution of Dahalajunshan Group volcanic rocks in the Awulale Metallogenic belt of West Tianshan Mountains and its geological significance

HAN Qiong^{1,2}, GONG Xiao-ping¹, MA Hua-dong³, CHENG Song-lin⁴, FENG Jun¹,
SONG Xiang-long¹, XIE Lei¹, SU Hu¹, LI Xiao-linbin¹

(1. Geological and Mining Engineering College, Xinjiang University, Urumqi 830049, Xinjiang, China; 2. Geological Research Academy of Xinjiang, Urumqi 830049, Xinjiang, China; 3. National 305 Project Office, Urumqi 830011, Xinjiang, China;
4. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

收稿日期:2014-03-28; 改回日期:2015-01-25

基金项目:中国地质调查局国土资源大调查项目“西天山阿吾拉勒晚古生代火山作用与铁铜矿选区评价研究”(12120113044000)、“西天山阿吾拉勒成矿带铁矿成矿条件、成矿规律与勘查示范研究”(1212010880202)及国家自然科学基金项目“新疆东准噶尔卡拉麦里金矿带成矿流体特征及其侵入体的关系研究”(41462004)联合资助。

作者简介:韩琼,男,1986年生,硕士生,地球探测与信息技术专业,主要从事成矿规律研究;E-mail:hanqiong0413@126.com。

通讯作者:弓小平,男,1963年生,教授级高级工程师,主要从事综合信息成矿预测;E-mail:gxiaoping01@163.com。

Abstract: There exist widely-developed volcanic rocks of Dahalajunshan Formation along the Awulale metallogenic belt in West Tianshan Mountains. They are volcano-sedimentary rocks composed mainly of a set of rhyolite, trachyte, trachyandesite and intermediate-acidic tuff as well as a small amount of basalts. In this paper, the authors used LA-ICPMS zircon U-Pb dating method to determine the rock-forming age of volcanic rocks from Songhu, Shikebutai and Beizhan iron ore deposits. In addition, the authors sorted out the high-precision geochronological data previously obtained from the Awulale metallogenic belt. There exists the gradual change regularity from west to east: Chronologically, the age tends to change from old to young eastward, the Early Carboniferous volcanic rocks tend to pinch eastward, and the lithologic character varies in order of andesite lithology-basaltic andesite-rough endoplasmic lava-pyroclastic rocks. On the basis of data obtained and remote sensing image features, the authors determined the temporal and spatial distribution of the volcanic rocks in Dahalajunshan Formation, extracted the characteristics of the caldera and judged the spatial relationship between typical ore deposits and the caldera, thus investigating the genetic relationship between typical deposits and volcanic apparatuses. In combination with tectonic evolution characteristics, the geological significance is also discussed.

Key words: LA-ICP-MS zircon; U-Pb dating; temporal and spatial distribution; Awulale metallogenic belt; West Tianshan Mountains

About the first author: HAN Qiong, male, born in 1986, master candidate, majors in earth exploration and information technology; E-mail: hanqiong0413@126.com.

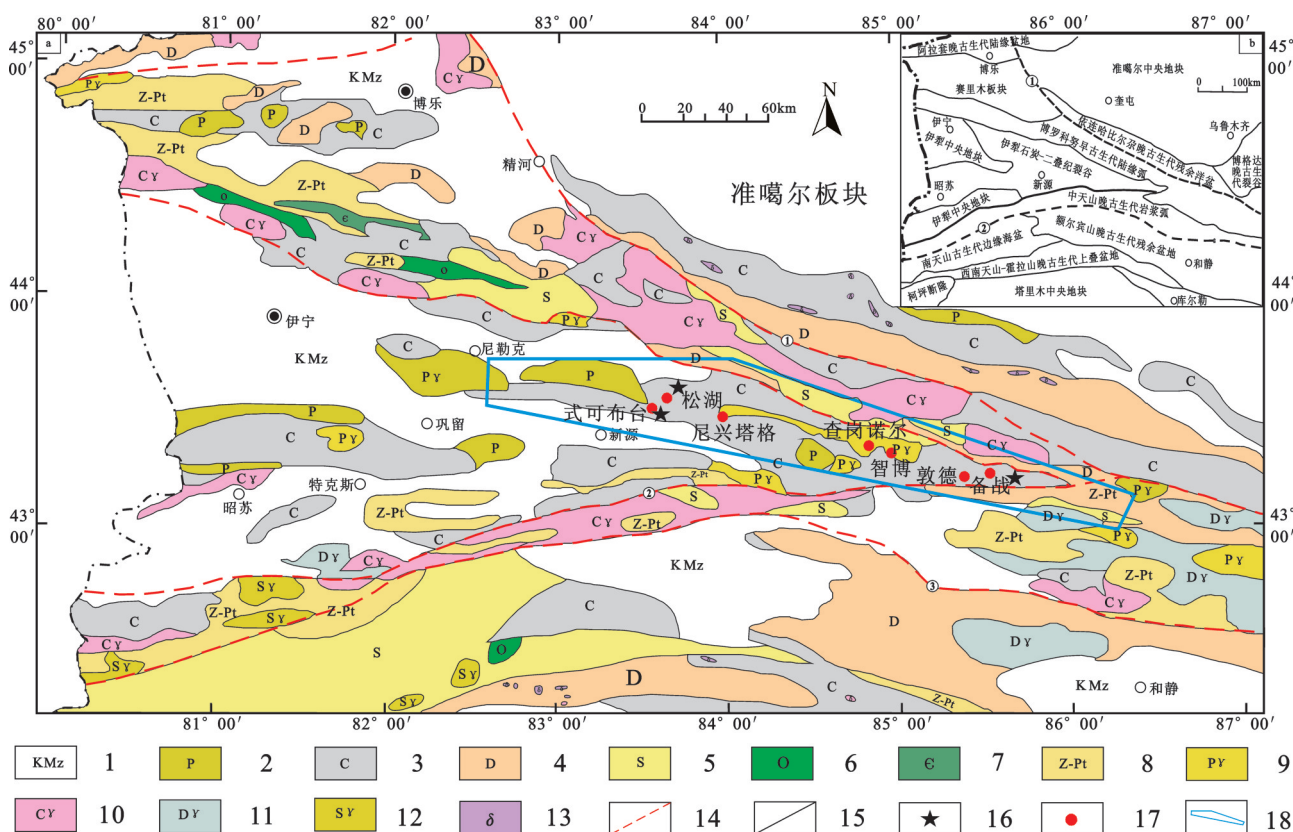
About the corresponding author: GONG Xiao-ping, male, born in 1963, doctor, professor, engages in metallogenic prediction based on comprehensive information; E-mail: gxiaoping@163.com.

西天山造山带是中亚巨型复合造山带的重要组成部分^[1],也是中国重要的铁、铜、金成矿带之一^[2-3]。阿吾拉勒成矿带是西天山唯独发生过强烈火山活动的区域^[4],该成矿带地处塔里木板块与伊犁微板块对接带部位(图1-a),地层发育较齐全,经历多期次构造作用,具有良好的成矿地质条件,矿产空间分布具有成群分段条带状展布的特征^[5]。在阿吾拉勒成矿带已经发现的铁矿自西向东依次为松湖、尼新塔格、查岗诺尔、智博、敦德、备战铁矿,其赋矿围岩均为下石炭统大哈拉军山组^[4-6]。大哈拉军山组火山岩为一套以流纹岩、粗面岩、粗面安山岩、中酸性凝灰岩和少量玄武岩为主体的石炭纪火山岩-沉积岩建造^[7],在整个西天山区域内具有岩石组合、地层序列、生物化石、火山喷发旋回等方面的可比性^[6]。尽管众多地质学者针对不同地区的大哈拉军山组火山岩进行过地质、地球化学、年代学方面的研究^[1,9-12],并且已有一批高精度定年成果的发表,前人主要运用的测年方法有:SHRIMP 锆石U-Pb法、Rb-Sr法、⁴⁰Ar/³⁹Ar法等。但迄今为止,学术界对该套地层区域对比、形成时代方面存在较大的争议。争议的焦点为大哈拉军山组的形成时代及构造环境^[13],目前主要有三种不同的认识,分别是“大陆裂谷-地幔柱说”^[1,14-17]、“活动大陆边缘和岛弧说”^[4,18-21]、“大

陆减薄拉张说”^[22]。且有些学者提出“大哈拉军山组”解体的方案^[18,23-25]。该方案将西天山东段拉尔敦达坂一带出露的晚石炭世火山岩创名归为“拉尔敦达坂组”;新源县城南及特克斯南大哈拉军山一带分布的早石炭世火山沉积岩依然使用“大哈拉军山组”;而大面积分布于昭苏北-特克斯-巩留-阿希金矿地区的火山岩实际形成于晚泥盆世,而非早石炭世,建议命名为“特克斯达坂组”^[24]。

在阿吾拉勒成矿带上放射状断裂和环形断裂比较发育,暗示可能存在一系列的火山机构,目前初步认定智博铁矿位于破火山口的中心,查岗诺尔铁矿位于破火山口的西北缘^[26-27]。以往研究表明,阿吾拉勒成矿带成矿主导因素与火山作用关系密切,矿床直接受火山盆地、火山断陷盆地内的火山穹隆、火山洼地、火山机构的制约^[28]。备战、松湖铁矿的成矿与火山活动关系密切^[20-30],二者形成与智博破火山口在空间上是否存在联系,或者是否存在其他火山口,也是需要进一步研究的问题。

作为西天山众多大型铁矿床主要的含矿层位,大哈拉军山组与成矿关系密切,查明其成矿时代,对研究西天山的形成演化以及探讨其成矿规律具有重要的意义。但是仍然存在较多的问题,尤其在年代学研究方面的数据较少^[10],且缺乏系统的梳理

图1 西天山综合地质矿产图^[16]

a—西天山区域地质及矿产分布图;b—西天山大地构造略图

- 1—中-新生界;2—二叠纪:砾岩、安山岩、长石岩屑砂岩;3—石炭纪:凝灰岩;4—泥盆纪:石英质糜棱岩、千枚岩;5—志留纪:角砾凝灰岩、玄武岩;6—奥陶纪:钙质粉砂岩;7—寒武纪:片麻岩;8—前寒武纪:黑云斜长片麻岩、麻粒岩;9—二叠纪花岗岩;10—石炭纪花岗岩;11—泥盆纪花岗岩;12—志留纪花岗岩;13—镁铁质-超镁铁质岩;14—断裂构造;15—构造界限;16—取样点位置;17—典型矿床;18—阿吾拉勒成矿带;①—依连哈比尔尕—阿齐克库都克断裂;②—尼古拉耶夫线—那拉提北坡断裂;③—长阿吾子—乌瓦门断裂

Fig.1 Comprehensive geological and mineral resource map of West Tianshan Mountains

a—Regional geology and mineral resource distribution in West Tianshan Mountains; b—Tectonic sketch map of West Tianshan Mountains

- 1—Cenozoic-Mesozoic; 2—Permian: breccia, andesite, feldspathic lithic sandstone; 3—Carboniferous: tuff; 4—Devonian: quartz mylonite; 5—Silurian: breccia tuff, basalt; 6—Ordovician: calc siltite; 7—Cambrian: gneiss; 8—Precambrian: biotite-plagioclase gneiss; 9—Permian granitoids; 10—Carboniferous granitoids; 11—Devonian granitoids; 12—Silurian granitoids; 13—Mafic-ultramafic rocks; 14—Fault structure; 15—Tectonic fault; 16—Sampling site; 17—Typical deposit; 18—Awulale metallogenic belt; ①—Yilianhabierga-Aqikekuduke fault; ②—Nikolaev-Norh Nalati fault; ③—Changawuzi-Wuwamen fault

和总结。本次研究厘定了备战铁矿、松湖铁矿、式可布台铁矿矿区火山岩的成岩时代,整理已有的测年数据,以确定大哈拉军山组的时间分布规律。此外运用现代信息技术方法,在遥感数据上进行构造解译,以确定火山机构及典型矿床的空间分布规律。综合上述研究,总结阿吾拉勒成矿带大哈拉军山组时空分布规律,为区域上大哈拉军山组研究提供年代学资料,为阿吾拉勒成矿带成矿规律总结、成矿预测研究的开展提供参考。

1 大地构造背景

西天山阿吾拉勒成矿带位于准噶尔板块和塔里木板块之间的伊犁石炭—二叠纪裂谷,向北依次为博罗科努早古生代陆缘弧和依连哈比尔尕晚古生代沟弧带,南为中天山晚古生代岩浆弧与南天山额尔宾晚古生代陆缘,呈楔形向东尖灭(图1-b),其南、北两侧以断续出露的蛇绿岩及高压变质岩石的晚古生代缝合线为界。元古宙古老基底由前寒武

纪地层组成,其上覆盖有大量的与晚古生代造山活动有关的火山岩地层,其中尤以大哈拉军山组分布最为广泛,也是区内重要的赋矿地层。西天山在晚古生代大陆地壳增生和改造过程中,区域火山活动强烈,强烈的构造运动和岩浆活动伴随着多期次、多类型的壳幔相互作用,造成铜铁金的富集,形成了许多重要的成矿带,如阿希—京希—伊尔曼德金—铜矿集区、达巴特—莱历斯高尔斑岩铜钼矿集区以及阿吾拉勒成矿带。石炭至二叠纪,该成矿带发生了从俯冲—碰撞造山后碰撞伸张—拉张环境的构造运动,经历了洋壳俯冲、弧火山活动、陆块碰撞以及地壳伸展减薄等演化过程^[7,24,31-35],形成极为复杂的构造格局。

2 区域地质特征

2.1 地层

阿吾拉勒成矿带石炭纪火山岩分布最为广泛,自上而下依次为上石炭统伊什基里克组火山岩,下石炭统阿克沙克组碎屑岩—碳酸盐岩和大哈拉军山组火山岩。大哈拉军山组火山岩为一套由上部的凝灰岩夹砂岩—灰岩和下部的安山岩、流纹岩夹凝灰岩和火山角砾岩组成的“火山—沉积岩”^[36],其总体分布于博罗科努山南坡至那拉提北缘断裂之间,大致与地理上的伊犁盆地相同,呈NW—SEE西部宽东部狭窄的喇叭状展出^[37-38],厚度达7500~9000 m^[18]。大哈拉军山组分为两个岩性段(C₁d¹、C₁d²),上段主要出露于赛肯都鲁—阔尔库一带,其下部岩性以紫红色流纹质安山岩、安山岩为主,上部岩性以凝灰岩和火山角砾岩为主;下段主要出露于塔尔塔夏—拉斯台一带,岩性以紫红色凝灰岩、凝灰质砂岩、含砾凝灰岩和灰白色、紫红色英安斑岩为主。大哈拉军山组与其上覆下石炭统阿克沙克组碳酸盐岩—碎屑岩呈不整合接触。已有的年代学数据表明,大哈拉军山组火山岩的时空跨度较大^[18]。其岩性在时间和空间上变化很大,大哈拉军山组地层是阿吾拉勒成矿带出露面积最大的地层。其次出露的地层为二叠纪梧桐沟组(P₂w)、泉水街组(P₂q)和阿巴萨依组(P₁a)等,志留纪博罗霍洛山组(S₃b)(图1-a)。

2.2 构造

阿吾拉勒成矿带内断裂构造十分发育,东西向

断裂带分布于研究区中部,断裂线总体走向255°~270°,倾向北,倾角63°~82°,断面呈直线及波状,断层破碎带宽数米至数十米。北东东向断裂规模不大,一般长4~5 km,断裂倾向多为南东,倾角70°~85°,构造角砾岩发育,气液活动明显、蚀变强烈。近年来研究表明,阿吾拉勒成矿带内古火山机构发育,可能存在多个火山机构的可能性,遥感影像资料和航磁异常特征也显示查岗诺尔—备战一带环状断裂和放射状断裂较发育具有破火山机构的特征^[26]。研究区构造整体上受到破火山口的制约,以火山口为中心呈弧形展布。褶皱构造也较为发育,其规模有大有小:规模较大的褶皱主要发育于石炭纪和二叠纪,构造方向为近东西向,以开阔褶皱为主;规模较小的褶皱以同斜褶皱为特征,往往轴面劈理发育。阿吾阿勒成矿带典型铁矿床的研究表明,各矿区周围都发育有不同程度的断裂或者裂隙,是成矿流体运移的通道和成矿物质沉淀的场所,为阿吾拉勒成矿带铁矿以及多金属矿床的形成提供了有利的条件。

2.3 火山岩

区域上火山活动比较频繁,喷发时代主要为华力西期,少量为加里东晚期。火山活动呈近东西向带状展布(图1-a),其中下石炭统大哈拉军山组和上石炭统伊什基里克组为成矿带内铁矿床的赋矿地层。大哈拉军山组火山岩由火山熔岩和火山碎屑岩组成,为钙碱性系列的火山岩建造;伊什基里克组火山岩为一套钙碱性系列为主、碱性系列次之的双峰式火山岩建造,其中玄武岩类以碱性为主。目前对大哈拉军山组火山岩产出的构造环境,存在较大争议(详见引言部分)。阿吾拉勒火山活动是一个长期的、多旋回的过程,因此致使该成矿带火山岩具有自西向东在时间上就有渐变的特征。从火山岩的成岩年代上看来,西天山东段拉尔敦达坂一带的313 Ma到新源县城南的354 Ma^[13],西天山西段的特克斯—巩留—昭苏北一带大哈拉军山组火山岩锆石年龄表明,该区火山岩形成于晚泥盆世^[13];从岩石组合上来说,早石炭世火山岩自西向东逐渐尖灭,由流纹岩、粗面岩、粗面安山岩组合向粗面质火山熔岩—火山碎屑岩组合变化。通过近几年的研究,综合前人在岩石地球化学方面的研究,结合大地构造演化,笔者认为阿吾拉勒成矿带石炭纪火山

岩具有岛弧火山岩的典型特征^[11,39]。侵入岩多为一些浅成-超浅成相的小侵入岩及岩脉,以华力西晚期为主。

3 样品测试分析

3.1 取样及测试分析

本次研究的9组LA-ICP-MS锆石U-Pb同为素年龄样品分别取自备战铁矿、式可布台铁矿、松湖铁矿的顶底板和矿体,具体位置见图1-a。其中备战铁矿2组样品,分别取自矿体磁铁矿(B01X),坐标:85°33'30.14"E,43°14'53.93"N;顶板砂卡岩(B03)坐标:85°33'30.14"E,43°14'53.93"N。松湖铁矿取样4组,分别取自矿体底板凝灰岩(12-SH-3)坐标:83°49'34"E,43°36'18"N;矿体磁铁矿(12-SH-6),坐标:83°49'39"E,43°36'16"N;顶板凝灰岩(12-SH-10),坐标:83°49'44"E,43°36'14"N;矿体顶板安山岩(SH-1)。式可布台铁矿取样3组,分别取自凝灰岩(SK-004),坐标:83°31'34.02"E,43°31'40.07"N;片理化凝灰岩(SK-005),坐标:83°38'33.34"E,43°31'34.59"N;片理化凝灰岩(SK-006)坐标:83°38'34.93"E,43°31'35.03"N。

为保证样品测试的需要,锆石分选在河北省区

域地质矿产调查研究所实验室完成。将重约3~5 kg原岩样品用刷子在清水中刷洗干净,再用自来水冲洗,干燥后,人工破碎成小块,再由机器粉碎成粉末,经人工淘洗后去除轻矿物部分,将得到的重砂部分经电磁选后得到含有少量杂质的锆石样品,最后在双目镜下挑选出锆石晶体。样品靶制备和U-Pb同位素测定由北京大学岩石矿床矿物研究所完成。将样品送至河北省区域地质矿产调查研究所,用盐酸擦拭样品后破碎,用常规重力和磁选方法分选出锆石,在双目镜下挑纯;将挑选出的锆石送至北京大学岩石矿床矿物研究所进行测年。将锆石样品和标样锆石一起镶嵌于树脂中,再打磨抛光并镀金,具体的制备方法及锆石测年的具体流程见文献^[40-41],对制成的样品靶上的锆石进行光学显微镜下的透射光、反射光和电子显微镜下的阴极发光照相,以便在进行测定时作为选取分析部位的依据,以及在测定完成后进行合乎逻辑的数据解释。单点分析的同位素比值及年龄误差为 1σ ,年龄计算及谐和图的绘制采用Isoplot软件处理^[42]。

3.2 测试结果

3.2.1 备战铁矿

本次研究在备战铁矿取2组测年样品,编号分



图2 备战铁矿典型锆石CL照片

Fig.2 Typical iron zircon CL photographs of the Beizhan iron ore deposit

表1 备战铁矿 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic dating results of the Beizhan iron ore deposit

样号	测点	含量/10 ⁻⁶			Th/U	同位素比值						表面年龄/Ma					
		Pb	Th	U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ
B01X 磁铁矿 ^a	6	68.3	5.90	608	0.01	0.0535	0.0002	0.3971	0.0026	0.0538	0.0003	350	9	339	1	337	1
	7	62.0	18.0	633	0.03	0.0539	0.0001	0.3968	0.0037	0.0534	0.0004	364	2	339	2	335	2
	8	30.9	3.80	699	0.01	0.0545	0.0002	0.3992	0.0050	0.0531	0.0006	390	7	341	3	333	3
	9	9.00	0.00	162	0.00	0.0522	0.0003	0.3818	0.0026	0.0530	0.0003	294	13	328	1	333	1
	1	52.9	42.4	371	0.11	0.0529	0.0002	0.3908	0.0026	0.0536	0.0003	324	11	335	1	336	1
	12	170	117	1002	0.12	0.0553	0.0001	0.4060	0.0028	0.0533	0.0004	433	3	346	2	334	2
	13	35.5	25.6	391	0.07	0.0527	0.0002	0.3898	0.0025	0.0536	0.0003	316	7	334	1	336	1
	14	22.4	19.8	440	0.05	0.0530	0.0002	0.3936	0.0035	0.0538	0.0004	331	7	337	2	337	2
	15	36.2	25.4	174	0.15	0.0548	0.0003	0.4005	0.0056	0.0529	0.0007	466	13	342	4	332	4
	16	36.3	13.9	318	0.04	0.0560	0.0006	0.4105	0.0070	0.0530	0.0006	450	22	349	5	333	3
	17	35.1	41.6	350	0.12	0.0526	0.0002	0.3877	0.0048	0.0534	0.0006	322	7	332	3	335	3
	18	64.4	74.3	368	0.20	0.0531	0.0002	0.3875	0.0075	0.0528	0.0010	344	7	332	5	331	5
	20	7.20	0.90	277	0.00	0.0531	0.0006	0.3917	0.0085	0.0533	0.0008	344	27	335	6	334	5
	21	15.4	8.40	194	0.04	0.0530	0.0003	0.3863	0.0055	0.0528	0.0007	327	11	331	4	332	4
	22	19.6	6.30	146	0.04	0.0555	0.0004	0.4130	0.0071	0.0538	0.0008	435	14	351	5	338	4
	23	17.4	11.2	131	0.09	0.0532	0.0003	0.3919	0.0057	0.0534	0.0007	344	13	335	4	335	4
	24	18.7	25.4	210	0.12	0.0530	0.0002	0.3857	0.0042	0.0527	0.0005	331	9	331	3	331	3
	4	83.1	102	86.4	1.19	0.0553	0.0004	0.4128	0.0036	0.0541	0.0002	433	16	350	2	339	1
	6	113.0	137	105	1.30	0.0557	0.0013	0.4233	0.0095	0.0552	0.0004	438	54	358	6	346	2
	8	44.9	48.1	40.6	1.19	0.0556	0.0006	0.4151	0.0057	0.0542	0.0005	435	24	352	4	340	2
	9	75.7	104	54.6	1.91	0.0547	0.0005	0.4107	0.0051	0.0545	0.0005	466	15	349	3	341	2
	14	69.7	59.4	54.9	1.08	0.0534	0.0005	0.4020	0.0041	0.0547	0.0003	342	22	343	3	343	1
	15	177	182	74.4	2.45	0.0534	0.0005	0.4005	0.0040	0.0544	0.0003	346	22	342	2	341	1
	16	102	106	56.9	1.86	0.0534	0.0006	0.4025	0.0055	0.0546	0.0003	346	25	343	4	343	2
17	112	107	52.9	2.02	0.0549	0.0005	0.4105	0.0043	0.0542	0.0003	409	18	349	3	340	1	
32	31.2	55.2	47.1	1.17	0.0547	0.0005	0.4179	0.0047	0.0554	0.0004	466	15	354	3	347	2	

注:以实测²⁰⁴Pb校正普通铅。

别为B01X、B03,其测试结果见表1。样品中锆石的主要类型为岩浆结晶锆石和斜锆石,岩浆结晶锆石晶型完好,呈自形晶,以柱状为主,具有岩浆结晶环带(图2);斜锆石具有磨圆外形。样品B01X为斜锆石,其²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄加权平均值为(335.5±1.2) Ma (MSWD=0.67)(图3-A),为早石炭世晚期。样品B03取自围岩,锆石的Th、U含量分别为48.1×10⁻⁶~182.2×10⁻⁶、40.64×10⁻⁶~105.4×10⁻⁶,Th/U比值介于1.08~2.45,均大于0.1,为岩浆成因锆石,其²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄加权平均值为(342.4±1.3) Ma(MSWD=1.7)(图3-B),属早石炭世中期。

3.2.2 式可布台铁矿

式可布台铁矿3个测年样品(编号分别为SK004、SK005、SK006)的锆石U-Th-Pb同位素测试结果(表2)显示:样品SK004中U的含量为55×10⁻⁶~269×10⁻⁶,Pb的含量为5×10⁻⁶~16×10⁻⁶,二者为正相关关系,Th/U比值均大于0.1(0.60~1.23),具有典型岩浆型锆石的特征(图4),²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄在310~315 Ma,误差较小,并且在U-Pb谐和线上构成较为一致的年龄组(图5-A),其加权平均值为(313.0±1.5) Ma,MSWD=0.24,为晚石炭世中期;样品SK005中,Th/U介于0.49~1.31,具有典型岩浆型

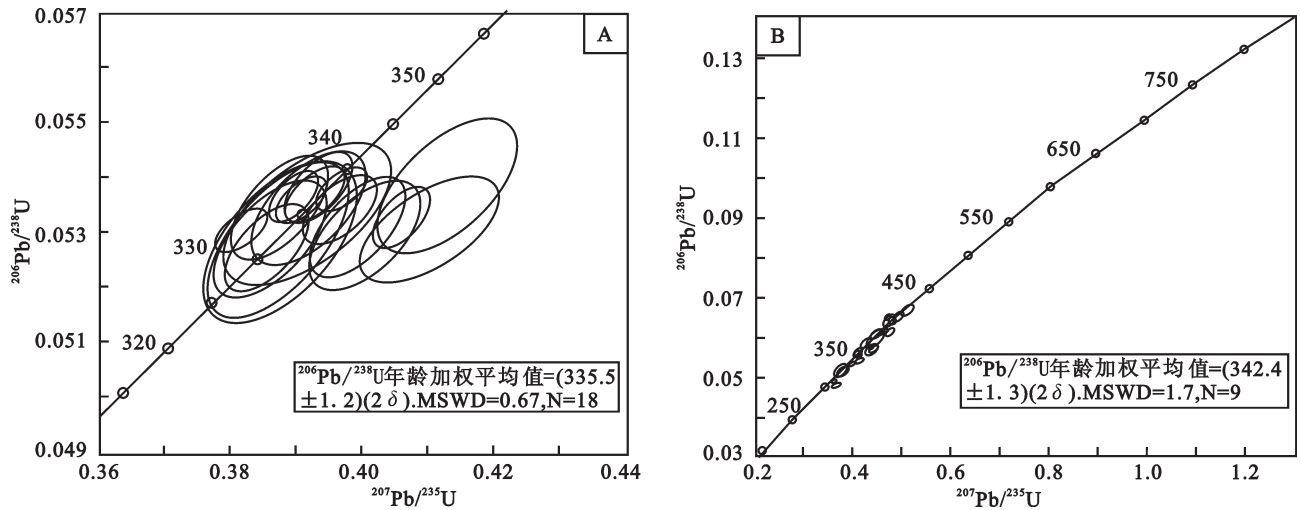


图3 备战铁矿锆石U-Pb年龄谱和图

A—磁铁矿(B01X);B—顶板夕卡岩(B03)

Fig. Zircon U-Pb age histogram and concordia diagram of the Beizhan iron ore deposit

A—Magnetite(B01X); B—Roof skarn (B03)

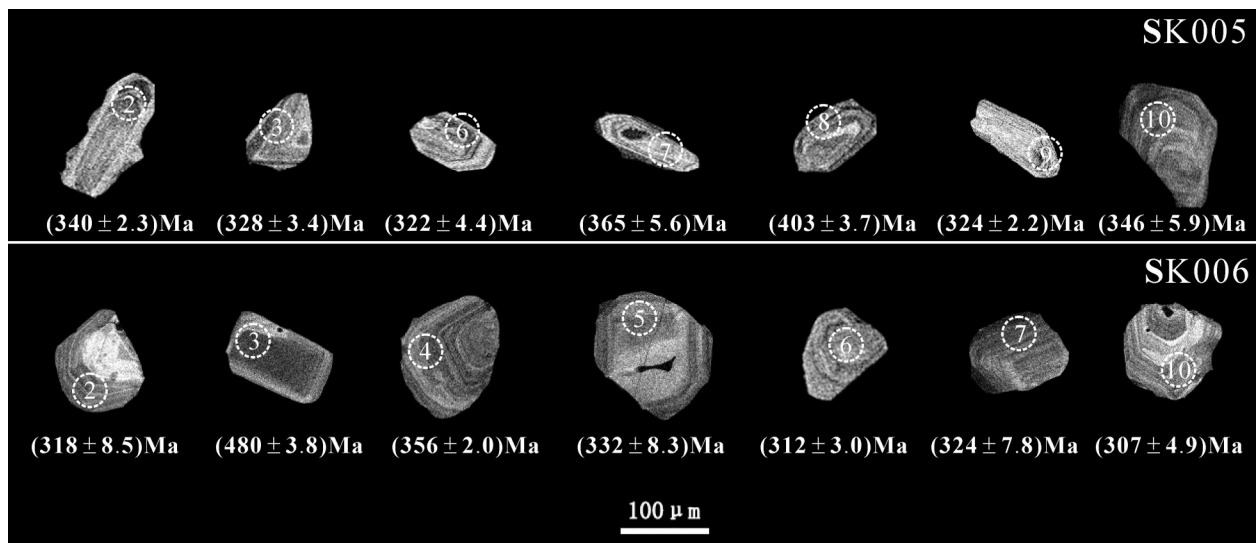


图4 式可布台铁矿典型锆石CL照片

Fig.4 Typical iron zircon CL photographs of the Shikebutai iron ore deposit

锆石的特征,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 (301.2 ± 1.4) Ma($\text{MSWD}=1.5$),为晚石炭世早期(图5-B);样品SK006中,Th/U比值为0.51~1.26,为典型的岩浆锆石,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 (300.9 ± 0.89) Ma($\text{MSWD}=0.56$),为晚石炭世初(图5-C)。上述数据表明式可布台铁矿围岩(火山岩)的形成时代为晚石炭世。

3.2.3 松湖铁矿

本次研究松湖铁矿取4个样品,编号分别为

12-SH3、12-SH6、12-SH10、SH-1,其测试结果见表3。样品12-SH3中U的含量为 $67\times 10^{-6}\sim 1096\times 10^{-6}$,Pb的含量为 $4\times 10^{-6}\sim 62\times 10^{-6}$,二者呈现出正相关关系,Th/U比值均大于0.1(0.55~1.27),具有典型岩浆型锆石的特征(图6), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为330~354 Ma,误差较小,并且在U-Pb谐和线上构成较为一致的年龄组,其加权平均值为 (332 ± 1) Ma, $\text{MSWD}=0.27$,为早石炭世中期(图7-A);12-SH6样品中,

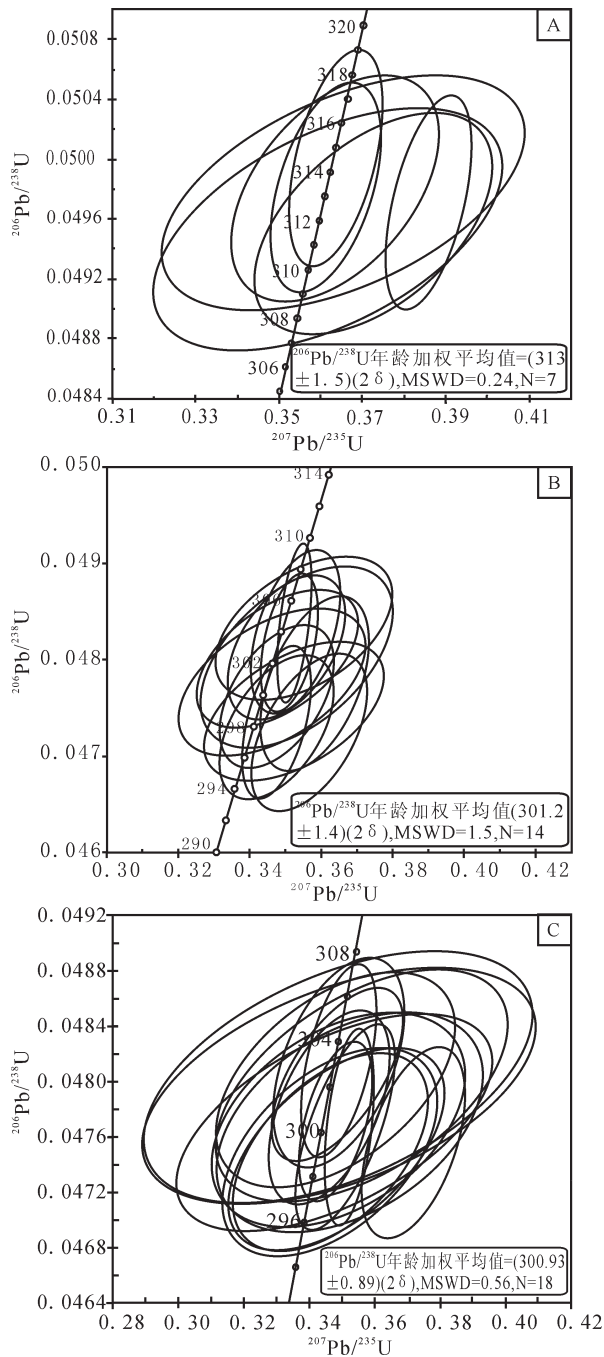


图5 式可布台铁矿锆石U-Pb年谐和图
 A—凝灰岩(SK-004);B—片理化凝灰岩(SK-005);
 C—片理化凝灰岩(SK-006)
 Fig.5 Zircon U-Pb age concordia diagram of the Shikebutai iron ore deposit
 A—Tuff(SK-004); B—Foliated tuff(SK-005);
 C—Foliated tuff(SK-006)

Th/U 比值大于1(0.42~1.05),具有典型岩浆锆石的特征,其²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值为(305.5±1.1) Ma,MSWD=0.17,为晚石炭世晚期(图7-B);样品12-SH10中,Th/U 比值大于1(0.61~1.19),其²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值为(316.0±1) Ma,MSWD=0.45,为晚石炭世早期(图7-C);样品SH-1中,Th 含量变化范围是54.55×10⁻⁶~340.44×10⁻⁶,U 含量变化范围是58.55×10⁻⁶~410.79×10⁻⁶,Th/U 比值为0.48~1.09。矿体顶部安山岩的锆石的²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值为(343.2±2)Ma,MSWD=1.8(图7-D),其形成时代为早石炭世。

在以上测试样品中,Th、U 含量呈现较好的正相关关系,该年龄可以代表火山岩的形成年龄。该组火山岩形成时间为316~343 Ma,为早石炭世,矿体的形成时代是(305.5±1.1) Ma,为晚石炭世晚期。

4 时空分布规律

4.1 时间分布规律

在阿吾拉勒成矿带由于研究程度不同,年代学研究方面的数据总体表现为东段多于西段。本次研究获得的数据,在一定程度上补充了成矿带西段年代学方面的数据。到目前为止,在阿吾拉勒成矿带上取得的年龄数据整理如下(表4),并将数据表示在图8中。

从已经获得的数据看来,火山岩成岩时代大部分都为石炭纪。部分测试年代的差异可能是由于大哈拉军山组本身具有穿时性、多旋回喷发或者是不同学者取样层位的差异性引起的。但从整体看来,并不影响整个阿吾拉勒铁矿成矿带上火山岩的时空分布规律;以往研究资料表明,西天山晚古生代火山喷发历史漫长,其中早石炭世的火山岩主要分布在西天山中段(那拉提一带),用LA-ICP-MS 锆石U-Pb 方法获得的年龄自西向东变化较大,在西段的松湖铁矿火山岩的年龄为316~343 Ma,平均约为330 Ma,为早石炭世中期;中段查岗诺尔铁矿火山岩的年龄为301.8~321.2 Ma,平均约为308.9 Ma,为晚石炭世中期,智博铁矿火山岩的年龄为在300.3~318.9 Ma,平均约为308.9 Ma;为晚石炭世中期,东段备战铁矿矿体顶板夕卡岩的形成时代为(342.4±1.3) Ma,为早石炭世中期。

表2 式克布台铁矿 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果
Table 2 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic dating results of the Shikebutai iron ore deposit

测点	含量/ 10^{-6}		同位素比值						表面年龄/ Ma						
	Pb	U	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1σ	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	1σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	1σ	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	1σ	
SK004 凝灰岩	04	3.00	55.0	0.0495	0.0003	0.3618	0.0083	0.0530	0.0025	312	2	314	7	328	1
	09	14.0	240	0.0500	0.0003	0.3639	0.0031	0.0528	0.0007	315	2	315	3	319	3
	10	14.0	255	0.0498	0.0003	0.3615	0.0071	0.0526	0.0008	313	2	313	6	313	3
	11	5.00	91.0	0.0498	0.0003	0.3656	0.0137	0.0533	0.0026	313	2	316	12	340	1
	18	16.0	269	0.0497	0.0003	0.3860	0.0095	0.0563	0.0007	313	2	331	8	465	2
	23	4.00	76.0	0.0493	0.0004	0.3648	0.0074	0.0537	0.0024	310	2	316	6	357	1
	28	6.00	105	0.0496	0.0004	0.3727	0.0109	0.0545	0.0017	312	2	322	9	393	6
SK005 片理化凝灰岩	02	13.0	247	0.0474	0.0003	0.3477	0.0039	0.0533	0.0005	298	2	303	3	340	2
	03	5.00	91.0	0.0483	0.0003	0.3527	0.0055	0.0530	0.0008	304	2	307	5	328	3
	06	9.00	169	0.0481	0.0003	0.3506	0.0068	0.0528	0.0010	303	2	305	6	322	4
	07	21.0	412	0.0475	0.0003	0.3524	0.0104	0.0539	0.0013	299	2	307	9	365	5
	08	4.00	78.0	0.0473	0.0003	0.3568	0.0066	0.0548	0.0009	298	2	310	6	403	3
	09	4.00	71.0	0.0482	0.0003	0.3512	0.0033	0.0529	0.0005	303	2	306	3	324	2
	10	8.00	150	0.0483	0.0003	0.3556	0.0102	0.0534	0.0014	304	2	309	9	346	5
	14	3.00	57.0	0.0476	0.0003	0.3476	0.0067	0.0529	0.0010	300	2	303	6	327	4
	15	7.00	102	0.0477	0.0003	0.3467	0.0106	0.0527	0.0015	301	2	302	9	315	6
	16	4.00	63.0	0.0480	0.0003	0.3476	0.0093	0.0525	0.0014	302	2	303	8	309	5
	17	4.00	80.0	0.0473	0.0003	0.3473	0.0067	0.0533	0.0010	298	2	303	6	340	4
	26	6.00	105	0.0484	0.0003	0.3526	0.0020	0.0529	0.0003	305	2	307	2	323	1
28	5.00	90.0	0.0480	0.0004	0.3532	0.0113	0.0534	0.0016	302	2	307	10	344	6	
29	4.00	72.0	0.0478	0.0004	0.3578	0.0064	0.0543	0.0009	301	2	311	6	385	3	
SK006 片理化凝灰岩	02	4.00	78.0	0.0475	0.0003	0.3456	0.0130	0.0527	0.0020	299	2	301	11	318	8
	03	11.0	196	0.0475	0.0003	0.3717	0.0063	0.0567	0.0010	299	2	321	5	480	3
	04	23.0	408	0.0477	0.0003	0.3525	0.0029	0.0536	0.0005	300	2	307	3	356	2
	05	6.00	115	0.0475	0.0003	0.3475	0.0129	0.0531	0.0020	299	2	303	11	332	8
	06	18.0	300	0.0481	0.0003	0.3492	0.0046	0.0526	0.0007	303	2	304	4	312	3
	07	6.00	107	0.0475	0.0003	0.3461	0.0124	0.0529	0.0018	299	2	302	11	324	7
	10	10.0	184	0.0478	0.0003	0.3461	0.0075	0.0525	0.0011	301	2	302	7	307	4
	12	15.0	271	0.0479	0.0003	0.3467	0.0042	0.0525	0.0007	301	2	302	4	309	3
	13	16.0	296	0.0476	0.0003	0.3475	0.0050	0.0529	0.0008	300	2	303	4	326	3
	14	3.00	57.0	0.0477	0.0003	0.3473	0.0199	0.0528	0.0030	300	2	303	17	320	1
	15	5.00	86.0	0.0477	0.0003	0.3491	0.0155	0.0531	0.0023	300	2	304	14	332	9
	17	5.00	85.0	0.0480	0.0003	0.3492	0.0246	0.0528	0.0036	302	2	304	21	320	1
	19	6.00	110	0.0476	0.0003	0.3502	0.0174	0.0533	0.0026	300	2	305	15	342	1
	20	5.00	84.0	0.0480	0.0004	0.3489	0.0243	0.0527	0.0036	302	2	304	21	315	1
22	4.00	74.0	0.0480	0.0003	0.3482	0.0148	0.0526	0.0023	302	2	303	13	311	9	
24	10.0	169	0.0480	0.0003	0.3527	0.0064	0.0533	0.0010	302	2	307	6	341	4	
26	11.0	159	0.0481	0.0003	0.3490	0.0083	0.0526	0.0013	303	2	304	7	310	5	
30	4.00	81.0	0.0480	0.0003	0.3565	0.0179	0.0539	0.0027	302	2	310	16	366	1	

注:以实测 ^{204}Pb 校正普通铅。

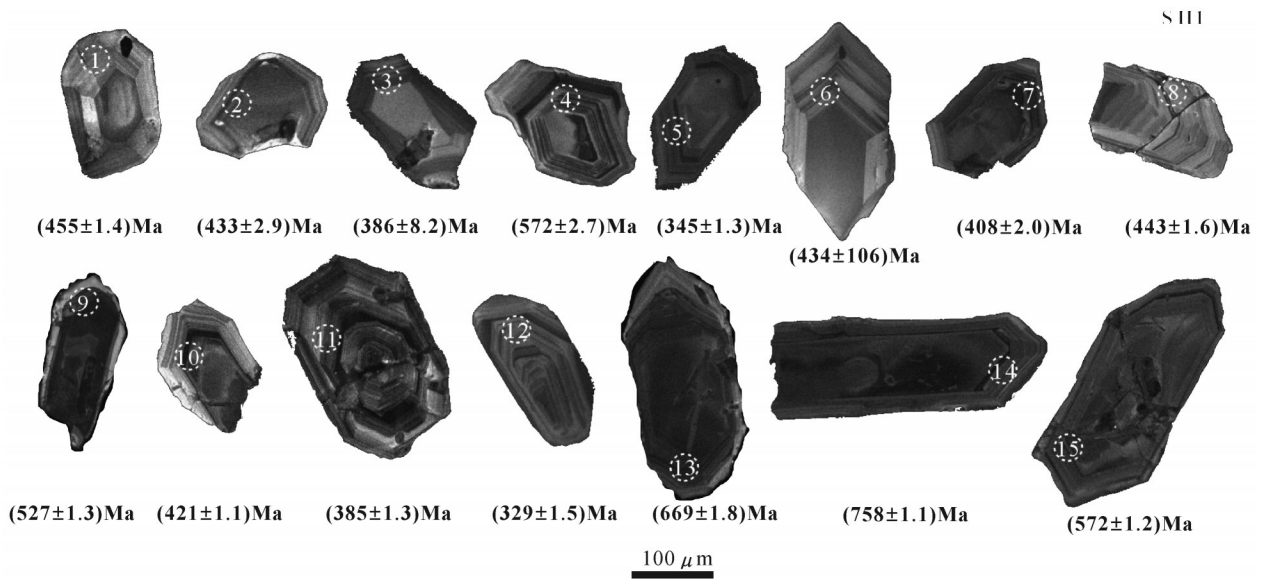


图6 松湖铁矿典型锆石 CL 照片
Fig. 6 Typical iron zircon CL photographs of the Songhu iron ore deposit

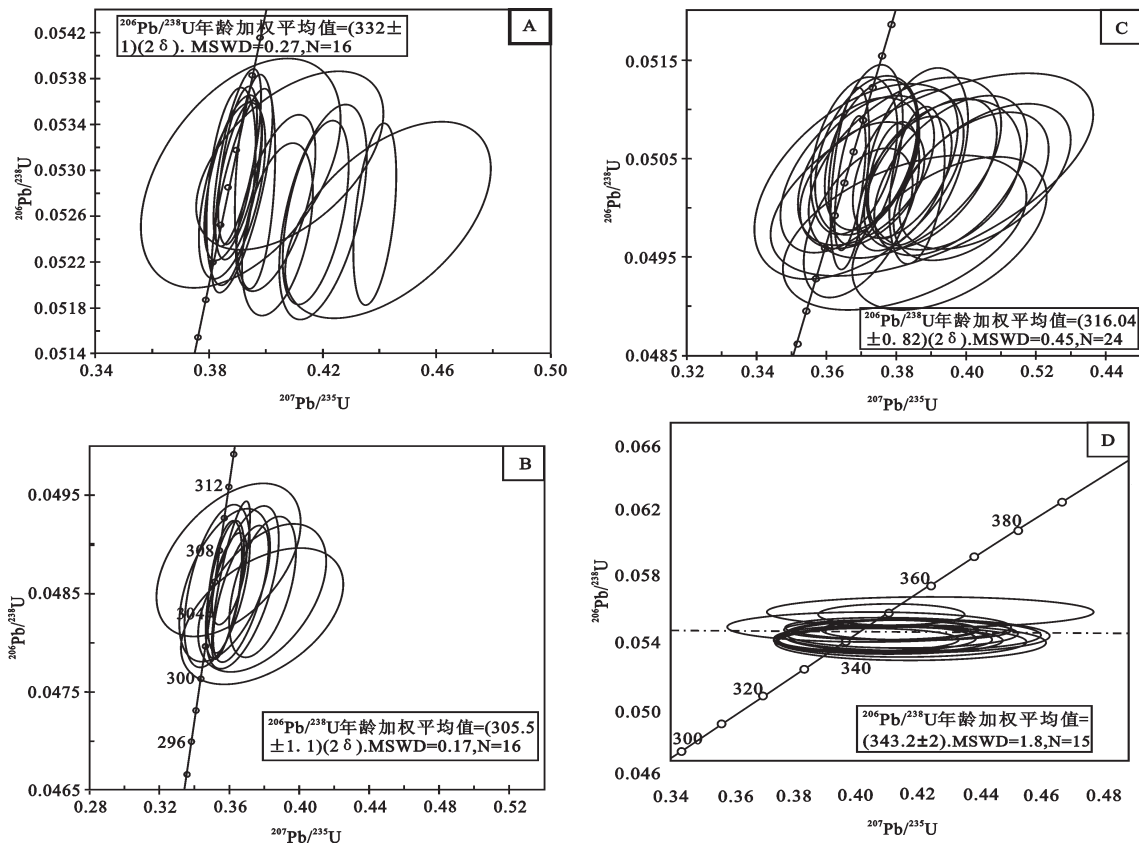


图7 松湖铁矿锆石 U-Pb 年谐和图
A—底板凝灰岩(12-SH-3); B—矿体磁铁矿(12-SH-6); C—顶板凝灰岩(12-SH-10); D—矿体顶部安山岩(SH-1)
Fig. 7 Zircon U-Pb age concordia diagram of the Songhu iron ore deposit
A—Footwall tuff(12-SH-3); B—Orebody magnetite(12-SH-6); C—Roof tuff(12-SH-10); D—Top orebody andesite(SH-1)

表4 阿吾拉勒成矿带火山岩年龄数据汇总表
Table 4 Dating data of volcanic rocks of the Awulale metallogenic belt

顺序	位置	岩性	测试方法	年龄/Ma	数据来源
1	阿吾拉勒山北部	安山岩	Rb-Sr 法	337	[9]
2	阿吾拉勒南部那拉提北坡	安山岩	SHRIMP 锆石 U-Pb 法	312.8±4	[13]
3	玉希莫勒盖地区	流纹岩	SHRIMP 锆石 U-Pb 法	316	[44]
4	阿吾拉勒地区	火山岩	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 和 K-Ar 法	290~306	[32]
5	松湖	安山岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法	343.2±2	[45]
6	松湖	凝灰岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb 法	332±1	本研究
7	松湖	磁铁矿	LA-ICPMS 锆石 U-Pb 法	305.5±1	本研究
8	松湖	凝灰岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb 法	316.5±1	本研究
9	式可布台	凝灰岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb 法	313±1	本研究
10	式可布台	片理化凝灰岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb 法	301.2±1	本研究
11	式可布台	片理化凝灰岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb 法	300.93±1	本研究
12	查岗诺尔	流纹岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb 法	321.2±2	[26-27]
13	查岗诺尔	流纹岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb 法	301.8±1	[46]
14	查岗诺尔	闪长岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb 法	303.8±1	[46]
15	查岗诺尔	石榴子石	Sm-Nd 法	316.8±6	[46]
16	智博	花岗岩侵入体	LA-ICPMS 锆石 U-Pb 法	304.1±2	[47]
17	智博	闪长岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb 法	318.9±1	[46]
18	智博	花岗岩脉	LA-ICPMS 锆石 U-Pb 法	294.5±1~320.3±2	[46]
19	智博	流纹岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb 法	300.3±1	[7]
20	智博	流纹岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb 法	305±1	[7]
21	备战	流纹岩	锆石 U-Pb 法	301.3±1	[48]
23	备战	英安岩	锆石 U-Pb 法	303.7±1	[12]
24	备战	矽卡岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb 法	342.4±1	本研究
25	备战	磁铁矿	LA-ICPMS 锆石 U-Pb 法	335.5±1	本研究

4.2 空间分布规律

在遥感影像图中,智博铁矿位于破火山口的中心部位,查岗诺尔位于破火山口的西北缘,备战铁矿位于破火山口的东南缘(图9),总体上岩层向周边倾斜,近中心部位产状较陡,倾角20°~40°,边部产状较缓,倾角10°~20°。智博铁矿岩石由火山集块岩(50%~55%)、火山角砾(15%~20%)和胶结物组成,其中火山集块岩为浅灰绿色玄武岩、玄武粗面安山岩、浅灰色晶屑凝灰岩、深灰色凝灰岩和熔结凝灰岩,呈棱角状-次棱角状^[43]。在遥感影像图中,其他铁矿区的火山机构不明显,但是呈现以环状断裂为中心,具有放射状断裂的特征,并且在这些矿区范围内和周边地带多见有火山集块岩,可视为存在火山机构的证据。此外,6个矿浆-火山热液复合

型矿床的成矿作用类型证明它们形成于火山口、破火山口或复式破火山口内。所以,这6个铁矿床视为存在火山机构的证据。赋矿火山岩受火山机构的影响,在空间上具有破碎、不连续带状分布的特点。

5 讨论

本次研究测试数据与以往数据比较后可以看出来,阿吾拉勒成矿带火山岩的年龄自西向东呈现出由老到新的趋势,但东西段阿吾拉勒火山岩时间上的差异不大(约30 Ma),早石炭火山岩向东逐渐尖灭,取而代之的是晚石炭世粗面质火山熔岩-火山碎屑岩,结合岩石地球化学的研究成果^[4,8-9,39],可以进一步说明阿吾拉勒铁矿成矿带大哈拉军山组火山岩的构造环境为火山岛弧,并且在空间上具有连

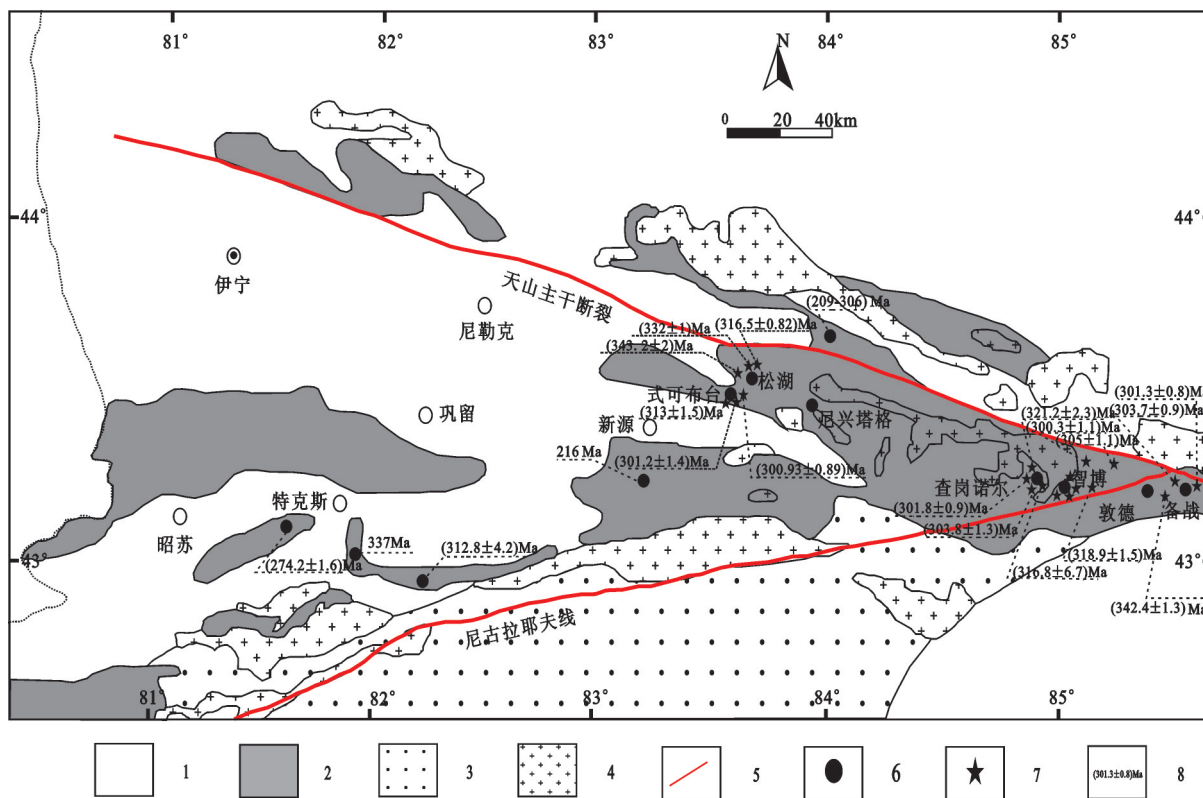


图8 西天山大哈拉军山组火山岩及其年代分布图

1—第四系;2—大哈拉军山组;3—志留系;4—花岗岩岩体;5—断裂构造;6—矿点;7—测年点;8—成岩时代

Fig. 8 Age and volcanic rock distribution map of Dahalajunshan Formation in West Tianshan Mountains

1—Quaternary; 2—Dahalajunshan Formation; 3—Silurian; 4—Granitoids rock; 5—Fault structure; 6—Ore spot; 7—Dating points; 8—Rock-forming age

续性,该火山活动记录了西天山火山岩自西向东逐渐消失的火山岛弧链的一个组成部分。该地区火山活动是一个长期的过程,从已经取得的年龄看来,矿体的形成时代均晚于石炭纪。结合朱永峰的“大哈拉军山组”解体方案^[18,24-25],认为除“拉尔敦达坂组”和“特克斯达坂组”以外的火山岩为解体后的大哈拉军山组,解体后的大哈拉军山组为阿吾拉勒铁矿成矿带的赋矿地层。

从空间上来说,阿吾拉勒铁矿成矿带火山岩的分布受古火山机构的控制(图9-A),其成因上与火山活动密切相关,并受环状断裂和线性断裂的控制,火山机构控制着铁矿的形成,除已经确定的智博铁矿位于破火山口之外(图9-B),阿吾拉勒可能还存在其他的火山口,从遥感影像上看,备战铁矿周边很可能也存在着破火山口(图9-C),当然目前还不能确定,需要进一步开展地质研究工作。其他各典型矿床在成因上与火山活动均有着必然的联系。

6 结论

(1)西天山阿吾拉勒铁矿成矿带大哈拉军山组火山岩具有自西向东渐变的特征,在年代上表现为自西向东呈由老变新的趋势,早石炭世火山岩从西向东表现为尖灭的特征,在岩性上具有安山岩-玄武安山岩-粗面质火山熔岩-火山碎屑岩变化的特点^[24],该段为解体后的大哈拉军山组,其构造上为岛弧环境。

(2)西天山阿吾拉勒成矿带石炭纪火山岩的分布受环状断裂控制,铁矿床明显受火山活动的控制,该成矿带上可能存在其他的火山机构,具有寻找大型铁矿床的可能性,资源潜力巨大。

(3)大哈拉军山组火山岩形成时代跨度巨大,并不是同一期火山活动的产物,不再适合作为一个地层单元“组”存在。现界定的大哈拉军山组可以解体为不同组,初步解体为“拉尔敦达坂组”、“大哈

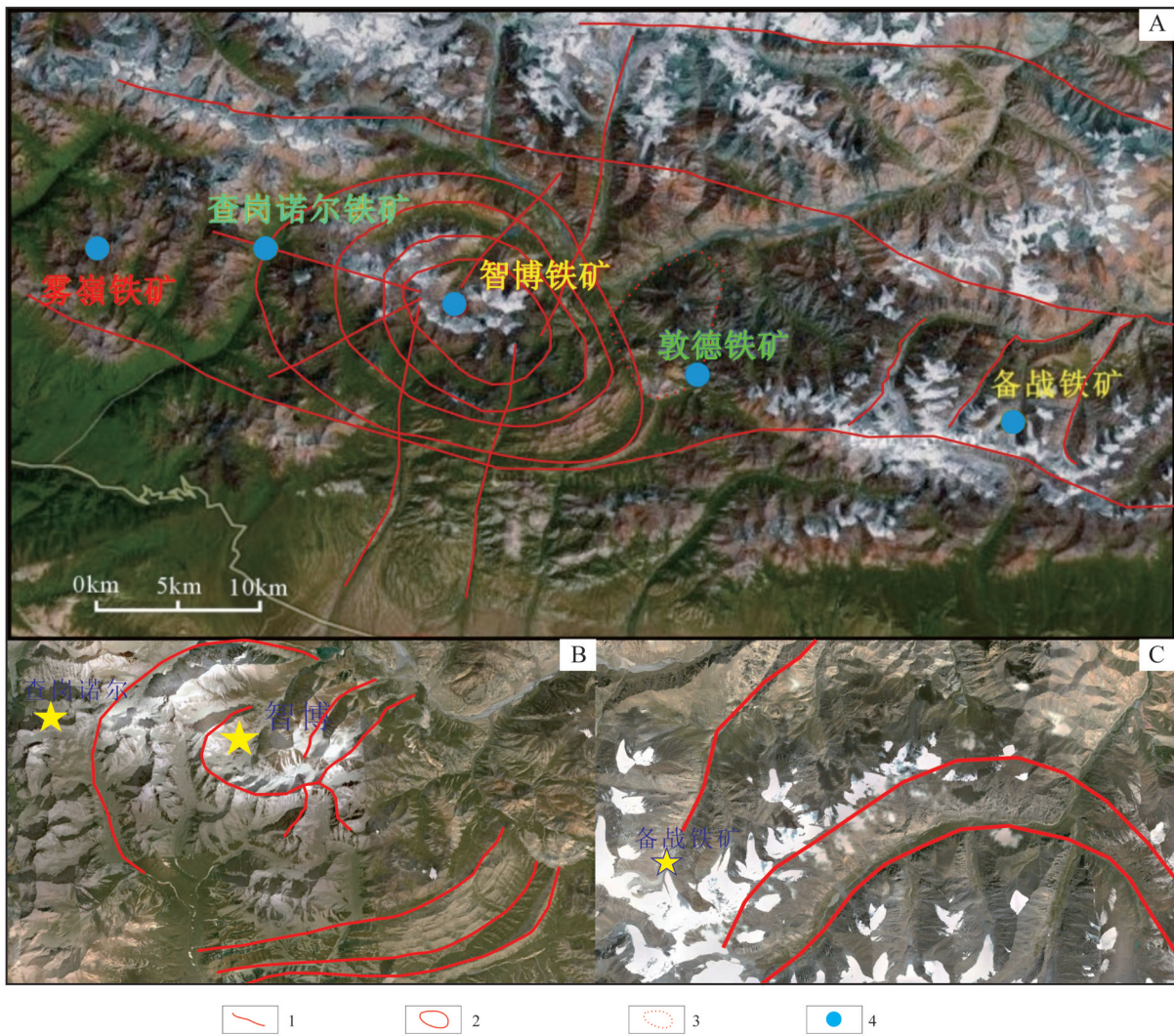


图9 阿吾拉勒成矿带中段遥感构造解译示意图

A—阿吾拉勒中段遥感解译图;B—查岗诺尔—智博一带遥感解译图;C—备战一带遥感解译图

1—区域线状构造;2—破火山口环状断裂;3—推测破火山口;4—典型矿床

Fig. 9 Schematic structural interpretation of remote sensing in the western Awulale metallogenic belt

A—Remote Sensing interpretation map of middle Awulale; B—Remote Sensing interpretation map from Chaganuoer to Zhibo; C—Remote Sensing interpretation map of Beizhan area

1—Regional linear structure; 2—Calera ring fracture; 3—Inferred caldera; 4—Typical deposit

拉军山组”和“特克斯达坂组”,具体的解体方案则需进一步的研究。正确认识这套火山-沉积地层的形成过程并准确厘定火山岩的形成时代,对研究西天山的地质演化和相关的矿产勘查工作具有重要的理论和实践意义。

致谢:感谢北京大学教育部造山带与地壳演化重点实验室陈斌教授在样品测试方面的支持与帮助;感谢长安大学西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室李永军教授在文章修改过程的大力帮助;感谢审稿人和编辑部李亚萍老师提出的宝贵意见。

参考文献(References):

[1] 夏林圻, 张国伟, 夏祖春, 等. 天山古生代洋盆开启、闭合时限的岩石学约束——来自震旦纪、石炭纪火山岩的证据[J]. 地质通报, 2002, 21(2): 55-62.
Xia Linqi, Zhang Guowei, Xia Zuchun, et al. Constraints on the timing of opening and closing of the Tianshan Paleozoic oceanic basin: Evidence from Sinian and Carboniferous volcanic rocks[J]. Regional Geology of China, 2002, 21(2): 55-62(in Chinese with English abstract).

[2] 莫江平, 黄明扬, 覃龙芳, 等. 新疆预须开普台铁矿矿床特征及

- 成因探讨[J]. 矿产与勘查, 1990, 5: 17-26
Mo Jiangping, Huang Mingyang, Tan Longfang, et al. The origin of Kaiputai iron-Copper deposit in YuXu, XinJiang, China[J]. Geology and Prospecting, 1990, 5: 17-26(in Chinese with English abstract).
- [3] 张作衡, 王志良, 左国朝, 等. 新疆西天山地质构造演化及铜金多金属矿床成矿环境[M]. 北京: 地质出版社, 2008: 1-251.
Zhang Zuoheng, Wang Zhiliang, Zuo Guochao, et al. Xinjiang Tianshan Tectonic Evolution of the Western Gold and Copper Polymetallic Metallogenic Environment[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008: 1-251(in Chinese with English abstract).
- [4] 姜常义, 吴文奎, 张学仁, 等. 从岛弧向裂谷的变迁——来自阿吾拉勒地区火山岩的证据[J]. 岩石矿物学杂志, 1995, 14(4): 289-300.
Jiang Changyi, Wu Wenkui, Zhang Xueren, et al. The change from island arc to rift valley—evidence from volcanic rocks in Awulale area[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1995, 14(4): 289-300(in Chinese with English abstract).
- [5] 刘艳宾. 新疆和静县备战铁矿成矿规律及靶区优选[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2012: 1-20.
Liu Yanbin. Mineralization Regularity and Target Selection of Beizhan Iron Ore of HeJing County, Xinjiang[D]. Urumqi: Xinjiang University, 2012: 1-20(in Chinese with English abstract).
- [6] 白建科, 李智佩, 徐学义, 等. 西天山阿吾拉勒地区下石炭统大哈拉军山组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2011, 30(增刊): 543.
Bai Jianke, Li Zhipai, Xu Xueyi, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and its geological significance of Carboniferous volcanic rocks of Dahalajunshan formation in Awulale area, western Tianshan Mountains[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology Geochemistry, 2011, 30(S): 543(in Chinese with English abstract).
- [7] 李大鹏, 杜杨松, 庞振山, 等. 西天山阿吾拉勒成矿带石炭纪火山岩年代学和地球化学研究[J]. 地球学报, 2013, 34(2): 176-192.
Li Dapeng, Du Yangsong, Pang Zhenshan, et al. Zircon U-Pb chronology and geochemistry of Carboniferous volcanic rocks in Awulale area, Western Tianshan Mountains[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2013, 34(2): 176-192(in Chinese with English abstract).
- [8] 姜常义, 吴文奎, 谢广成, 等. 西天山北部石炭纪火山岩特征与沟弧盆体系[J]. 岩石矿物学杂志, 1993, 12(3): 224-231.
Jiang Changyi, Wu Wenkui, Xie Guangcheng, et al. Characteristics of Carboniferous volcanic rocks and the trench arc basin system in the northern part of West Tianshan Mountains[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1993, 12(3): 224-231(in Chinese with English abstract).
- [9] 李注苍, 李永军, 李景宏, 等. 西天山阿吾拉勒一带大哈拉军山组火山岩地球化学特征及构造环境分析[J]. 新疆地质, 2006, 24(2): 120-124.
Li Zhucang, Li Yongjun, Li Jinghong, et al. Geochemical characteristics of the Dahalajunshan Formation volcanic rocks and their implications on the tectonic setting in Awulale Area[J]. Xinjiang Geology, 2006, 24(2): 120-124(in Chinese with English abstract).
- [10] 孙吉明, 马中平, 徐学义, 等. 新疆西天山备战铁矿流纹岩的形成时代及其地质意义[J]. 地质通报, 2012, 31(12): 1973-1982.
Sun Jiming, Ma Zhongping, Xu Xueyi, et al. The formation epoch of the host wall rock of the Beizhan iron deposit in west Tianshan mountains of Xinjiang and its geological significance[J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(12): 1973-1982(in Chinese with English abstract).
- [11] 弓小平, 陈斌, 刘学良, 等. 新疆西天山阿吾拉勒西段铁矿成矿预测研究[M]. 北京: 地质出版社, 2013: 24-101.
Gong Xiaoping, Chen Bin, Liu Xueliang, et al. Metallogenic Prediction Research of Awulale Mineralization Belt in West Tianshan, Xinjiang[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013: 24-101(in Chinese with English abstract).
- [12] 韩琼, 弓小平, 毛磊, 等. 西天山备战铁矿成岩年代厘定及矿床成因研究[J]. 新疆地质, 2013, 31(2): 136-140.
Han Qiong, Gong Xiaoping, Mao Lei, et al. Study on the metallogenic epoch and mineral genesis of Beizhan iron ore in western Tianshan[J]. Xinjiang Geology, 2013, 31(2): 136-140(in Chinese with English abstract).
- [13] 张作衡, 洪为, 蒋宗胜, 等. 新疆西天山晚古生代铁矿床的地质特征、矿化类型及形成环境[J]. 矿床地质, 2012, 31(5): 941-964.
Zhang Zuoheng, Hong Wei, Jiang Zongsheng, et al. Geological features, mineralization types and metallogenic setting of Late Paleozoic iron deposits in western Tianshan Mountains of Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 2012, 31(5): 941-964(in Chinese with English abstract).
- [14] 车自成, 刘良, 刘洪福, 等. 论伊犁古裂谷[J]. 岩石学报, 1996, 12(3): 478-490.
Che Zicheng, Liu Liang, Liu Hongfu, et al. Review on the ancient Yili Rift[J]. Acta Petrologica Sinica, 1996, 12(3): 478-490(in Chinese with English abstract).
- [15] 顾连兴, 胡受奚, 于春水, 等. 论博格达俯冲断裂型裂谷的形成与演化[J]. 岩石学报, 2001, 17(4): 585-597.
Gu Lianxing, Hu Shouxi, Yu Chunshui, et al. Initiating and evolution of the Bogda subduction-torn-type rift[J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17(4): 585-597(in Chinese with English abstract).
- [16] 顾连兴, 胡受奚, 于春水, 等. 博格达陆内碰撞造山带挤压-拉张构造转折期的侵入活动[J]. 岩石学报, 2001, 17(2): 187-198.
Gu Lianxing, Hu Shouxi, Yu Chunshui, et al. Intrusive activities during compression-extension tectonic conversion in the Bogda intracontinental orogen[J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17(2): 187-198(in Chinese with English abstract).
- [17] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 等. 西天山石炭纪大火成岩省与地幔柱[J]. 地质通报, 2004, 21(2): 55-62.
Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi, et al. Carboniferous Tianshan Igneous megaprovince and mantle plume[J]. Regional Geology of China, 2004, 21(2): 55-62(in Chinese with English abstract).

- [18] 朱永峰, 张立飞, 古丽冰, 等. 西天山石炭纪火山岩 SHRIMP 年代学及其微量元素地球化学研究[J]. 科学通报, 2005, 50(18): 2004-2014.
Zhu Yongfeng, Zhang Lifei, Gu Libing, et al. SHRIMP U-Pb geochronology and geochemistry of trace elements of the Carboniferous volcanic rock in west Tianshan[J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(18): 2004-2014(in Chinese).
- [19] Windley B F, Allen M B, Zhang C, et al. Paleozoic accretion and Cenozoic reformation of the Chinese Tian Shan Range, central Asia[J]. Geology, 1990, 18(2): 128-131.
- [20] 钱青, 高俊, 熊贤明, 等. 西天山昭苏北部石炭纪火山岩的岩石地球化学特征、成因及形成环境[J]. 岩石学报, 2006, 22(5): 1307-1323.
Qian Qing, Gao Jun, Xiong Xianming, et al. Petrogenesis and tectonic settings of Carboniferous Volcanic rocks from north Zhaosu, western Tianshan mountains[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(5): 1307-1323(in Chinese with English abstract).
- [21] 孙林华, 彭头平, 王岳军. 新疆特克斯东南大哈拉军山组玄武安山岩地球化学特征: 岩石成因和构造背景探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(3): 372-379.
Sun Linhua, Peng Touping, Wang Yuejun. From dahalajunshan formation south eastern Tekesi(Xinjinag): petrogenesis and its tectonic significance[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2007, 31(3): 372-379(in Chinese with English abstract).
- [22] 陈丹玲, 刘良, 车自成, 等. 中天山骆驼沟火山岩的地球化学特征及其构造环境[J]. 岩石学报, 2001, 17(3): 378-384.
Chen Danling, Liu Liang, Che Zicheng, et al. Geochemical characteristics and tectonic implication of Carboniferous volcanics in the Luotugou area of Middle Tianshan[J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17(3): 378-384(in Chinese with English abstract).
- [23] 朱永峰, 周晶, 郭璇. 西天山石炭纪火山岩岩石学及 Sr-Nd 同位素地球化学研究[J]. 岩石学报, 2006, 22(05): 1341-1350.
Zhu Yongfeng, Zhou Jing, Guo Xuan. Petrology and Sr-Nd isotopic geochemistry of the Carboniferous volcanics in the western Tianshan Mountainins, NW China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(5): 1341-1350.
- [24] 朱永峰, 周晶, 宋彪, 等. 新疆“大哈拉军山组”火山岩的形成时代问题及其解体方案[J]. 中国地质, 2006, 33(3): 487-497.
Zhu Yongfeng, Zhou Jing, Song Biao, et al. Age of the “Dahalajunshan” Formation in Xinjiang and its disintegration[J]. Geology in China, 2006, 33(3): 487-497(in Chinese with English abstract).
- [25] 高永利, 李永军, 孔德义, 等. 西天山阿吾拉勒一带阿克沙克组的厘定[J]. 新疆地质, 2006, 24(3): 215-217.
Gao Yongli, Li YongJun, Kong Deyi, et al. Confirmation of the Akeshake formation in the Awulale belt in the western Tianshan[J]. Xinjiang Geology, 2006, 24(3): 215-217(in Chinese with English abstract).
- [26] 冯金星, 石福品, 汪帮耀, 等. 西天山阿吾拉勒成矿带火山岩型铁矿[M]. 北京: 地质出版社, 2010: 1-132.
Feng Jingxing, Shi Fupin, Wang Bangyao, et al. West Awulale Metallogenic Belt of Volcanic Iron Ore Beijing: Geological Publishing House, 2010: 1-132(in Chinese with English abstract).
- [27] 汪邦耀, 胡秀军, 王江涛, 等. 西天山查岗诺尔铁矿矿床地质特征及矿床成因研究[J]. 矿床地质, 2011, 30(3): 385-402.
Wang Bangyao, Hu Xiujun, Wang Jiangtao, et al. Geological characteristics and genesis of Chagannur iron deposit in Western Tianshan, Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 2011, 30(3): 385-402(in Chinese with English abstract).
- [28] 刘凤鸣. 阿吾拉勒山主要矿产分布规律[J]. 新疆有色金属, 2007, (增刊): 7-9.
Liu Fengming. Main mineral distribution regularity of Awulale Mountain Xinjiang Nonferrous Metals, 2007, (S): 7-9(in Chinese with English abstract).
- [29] 郭新成, 张建收, 余元军, 等. 新疆和静县备战铁矿地质特征及找矿标志[J]. 新疆地质, 2009, 27(4): 341-345.
Guo Xincheng, Zhang Jianshou, Yu Yuanjun, et al. Geological characteristics and mining symbols of Beizhan iron deposit in Hejing, Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 2009, 27(4): 341-345(in Chinese with English abstract).
- [30] 王春龙, 王义天, 董连慧, 等. 新疆西天山松湖床稀土和微量元素地球化学特征及其意义[J]. 矿床地质, 2012, 31(5): 1038-1050.
Wang Chunlong, Wang Yitian, Dong Lianhui, et al. Geochemical characteristics of rare earth and trace elements compositions of Songhu iron deposit in western Tianshan of Xinjiang and their significance[J]. Mineral Deposits, 2012, 31(5): 1038-1050(in Chinese with English abstract).
- [31] 熊小林, 赵振华, 白正华, 等. 西天山阿吾拉勒埃达克指岩石成因: Nd 和 Sr 同位素的限制[J]. 岩石学报, 2001, 17(4): 514-522.
Xiong Xiaolin, Zhao Zhenhua, Bai Zhenghua, et al. Origin of Awulale adakitic sodlum-rich rocks in western Tianshan: Constraints for Nd and Sr isotopic compositions[J]. Acta Petrologica Sinica, 2001, 17(4): 514-522(in Chinese with English abstract).
- [32] 赵振华, 熊小林, 王强, 等. 新疆西天山莫斯早特石英钠长斑岩铜矿床——一个与埃达克质岩石有关的铜矿实例[J]. 岩石学报, 2004, 20(2): 249-258.
Zhao Zuoheng, Xiong Xiaolin, Wang Qing, et al. A case study on porphyry Cu deposit related with adakitic quartz albite porphyry in Mosizaote, Western Tianshan, Xinjiang, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(2): 149-258(in Chinese with English abstract).
- [33] 龙灵利, 高俊, 钱青, 等. 西天山伊犁地区石炭纪火山岩地球化学特征及构造意义[J]. 岩石学报, 2008, 24(4): 699-710.
Long Lingli, Gao Jun, Qian Qing, et al. Geochemical characteristics and tectonic setting of Carboniferous volcanic rocks from Yili region, western Tianshan[J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(4): 699-710(in Chinese with English abstract).
- [34] 高俊, 钱青, 龙灵利, 等. 西天山的增生造山过程[J]. 地质通报,

- 2009, 28(12): 1804–1816.
Gao Jun, Qian Qing, Long Lingli, et al. Accretionary orogenic process of Western Tianshan, China[J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(12): 1804–1816(in Chinese with English abstract).
- [35] 杨武斌, 牛贺才, 罗勇, 等. 新疆尼勒克县布谷拉超钾质岩浆岩的⁴⁰Ar–³⁹Ar年龄和地球化学特征[J]. 岩石学报, 2010, 26(10): 3065–3073.
Yang Wubin, Niu Hecai, Luo Yong, et al. ⁴⁰Ar/³⁹Ar age and geochemistry of the ultrapotassic magmatic rocks from Bugula in Nileke, Xinjiang and its tectonic implication[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(10): 3065–3073(in Chinese with English abstract).
- [36] 新疆地质矿产局. 新疆维吾尔自治区区域地质志. 北京: 地质出版社, 1993: 1–841.
Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources. Xinjiang Uygur Autonomous Regional Geology. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 1–841(in Chinese with English abstract).
- [37] 马延红, 李注苍, 李永军, 等. 西天山阿吾拉勒一带大哈拉军山组的厘定[J]. 甘肃科技, 2007, 23(5): 94–96.
Ma Yanhong, Li Zhucang, Li Yongjun, et al. [J]Gansu Science and Technology, 2007, 23(5): 94–96(in Chinese with English abstract).
- [38] 李文渊. 西天山大哈拉军山组与成矿问题研究[J]. 矿床地质, 2010, 29(增刊): 85–86.
Li Wenyuan. Research mineralization problems between Dahalajunshan formation in west Tianshan[J]. Mineral Deposits, 2010, 29(S): 85–86(in Chinese with English abstract).
- [39] 阿米娜, 弓小平, 阿丽娜, 等. 西天山备战铁矿一带大哈拉军山组火山岩岩石地球化学特征及地质意义[J]. 新疆地质, 2013, 31(2): 129–135.
A Mina, Gong Xiaoping, A Lina, et al. Petrogeochemical characteristics and its geological significance of volcanic rock in the Dahalajunshan Formation in the Beizhan iron deposit, western Tianshan[J]. Xinjiang Geology, 2013, 31(2): 129–135(in Chinese with English abstract).
- [40] 郭虎, 王家松. 用于同位素分析的锆石样品的系统制备方法[J]. 洛阳师范学院学报, 2009, 11: 15–22.
Guo Hu, Wang Jiasong. A Systematic Preparation of the Zircon Sample in the Determination of Isotope[J]. Journal of Luoyang Normal University, 2009, 11: 15–22(in Chinese with English abstract).
- [41] 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 2002, 48(增刊): 26–30.
Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, et al. Mount making and Procedure of the SHRIMP Dating[J]. Geological Review, 2002, 48(s): 26–30(in Chinese with English abstract).
- [42] Ludwig K R. User's manual for Isoplot 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel[J]. Berkeley Geochronology Center, Special Publication, 2003. 4: 70.
- [43] 汪帮耀. 新疆西天山查岗诺尔和智博铁矿火山岩型铁矿床地质特征与成因研究[D], 2013, 50–53
Wang Bangyao. Xinjiang Tianshan West Chagangnuoer and Tomohiro type iron ore deposits in volcanic geological features and genesis [D]. 2013, 50–53(in Chinese with English abstract).
- [44] Zhu Yongfeng, Guo Xuan, Song Biao. Petrology, Sr–Nd–Hf isotopic geochemistry and zircon chronology of the Late Paleozoic volcanic rocks in the southwestern Tianshan Mountains, Xinjiang, NW China[J]. Journal of the Geological Society, 2009, 166: 1085–1099.
- [45] 新疆地矿局第七地质大队. 新疆尼勒克县松湖铁矿预查报告[R]. 乌苏: 新疆地矿局第七地质大队. 2006.
The Seventh Geological Brigade of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources. Pre–investigation Report of Songhu Iron Ore in Nilka County[R]. 2006.
- [46] 洪伟, 张作衡, 蒋宗胜, 等. 新疆西天山查岗诺尔铁矿床磁体矿和石榴子微量元素特征对矿床成因的制约[J]. 岩石学报, 2012, 28(7): 2089–2102.
Hong Wei, Zhang Zuoheng, Jiang Zongsheng, et al. Magnetite and garnet trace element characteristics from the Chagangnuoer iron deposit in the western Tianshan Mountains, Xinjiang, NW China: Constrain for ore genesis[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012b, 28(7): 2089–2102(in Chinese with English abstract).
- [47] Zhang Xi, Tian Jingquan, Gao Jun. Geochronology and geochemistry of granitoid rocks from the Zhibo syngenetic volcanogenic iron ore deposit in West Tianshan Mountains (NW–China): Constraints on the age of mineralization and tectonic setting[J]. Gondwana Research, 2011, 6(07): 1–12(in Chinese with English abstract).
- [48] 张作衡, 毛景文, 王志良, 等. 新疆西天山阿希金矿床流体包裹体地球化学特征[J]. 岩石学报, 2007, 23(10): 2403–2414.
Zhang Zuoheng, Mao Jingwen, Wang Zhiliang, et al. Geochemistry of fluid inclusions in the Axi gold deposit, West Tianshan Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(10): 2403–2414(in Chinese with English abstract).
- [49] 牛贺才, 单强, 杨武斌, 等. 西天山阿吾拉勒地区晚古生代构造演化与岩浆作用[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2011, 30(增刊): 86.
Niu Hecai, Shan Qiang, Yang Wubin, et al. Late Paleozoic tectonic and magmatic evolution of the Western region Awulale[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology Geochemistry, 2011, 30(S): 86(in Chinese with English abstract).
- [50] 李潇林斌, 弓小平, 马华东, 等. 西天山式可布台铁矿火山岩地球化学特征、成岩时代厘定及其构造意义[J]. 中国地质, 2014, 26(6): 1791–1804.
Li Xiaolinbin, Gong Xiaoping, Ma Huadong, et al. Geochemical characteristics and petrological age of volcanic rocks in the Shikebutai iron deposit of West Tianshan Mountains[J]. Geology in China, 2014, 26(6): 1791–1804.