

乔耿彪, 王萍, 伍跃中, 等. 西昆仑塔什库尔干陆块赞坎铁矿赋矿地层形成时代及其地质意义[J]. 中国地质, 2015, 42(3): 616–630.  
Qiao Gengbiao, Wang Ping, Wu Yuezhong, et al. Formation age of ore-bearing strata of the Zankan iron deposit in Taxkorgan landmass of Western Kunlun Mountains and its geological significance[J]. Geology in China, 2015, 42(3): 616–630(in Chinese with English abstract).

## 西昆仑塔什库尔干陆块赞坎铁矿赋矿地层形成时代及其地质意义

乔耿彪<sup>1</sup> 王萍<sup>2</sup> 伍跃中<sup>1</sup> 郝延海<sup>3</sup> 赵晓健<sup>1</sup> 陈登辉<sup>1</sup> 吕鹏瑞<sup>1</sup> 杜玮<sup>4</sup>

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 陕西 西安 710054; 2. 中国石油长庆油田分公司勘探开发研究院, 陕西 西安 710086; 3. 新疆地质矿产勘查开发局第二地质大队, 新疆 喀什 844002; 4. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 布伦阔勒岩群既是西昆仑塔什库尔干陆块的主体组成部分, 也是该区域铁矿床的赋矿地层, 在其中已经发现了赞坎、老井、莫喀尔和叶里克等大型磁铁矿床。文章通过对塔什库尔干陆块内赞坎铁矿区布伦阔勒岩群及侵入地层的岩浆岩进行精细的岩相学和 SHRIMP 年代学研究, 确定赋矿地层的形成时代, 进而探讨该矿床的形成时代。研究表明布伦阔勒岩群斜长角闪片岩中岩浆结晶锆石的的形成年龄为(1845.0±11.0) Ma, 限定了地层的形成时代可能晚于(1845.0±11.0) Ma。再根据次斜长花岗岩侵入体的形成年龄(544.5±4.7) Ma, 限定地层的形成时代要早于(544.5±4.7) Ma。因此推测赞坎铁矿区布伦阔勒岩群的形成年龄介于 1845.0~544.5 Ma, 为元古宙。而且在英安岩中的部分锆石核部还发现有 3048.0~3054.0 Ma 和 2032.0 Ma 的年龄信息, 说明地层中还保留有更古老的基底物质(古元古代甚至中太古代基底岩石), 也进一步说明塔县—瓦恰隆起带所出露的布伦阔勒群岩是最古老的地层之一, 为塔什库尔干古陆块的存在提供了依据。由于赞坎磁铁矿床的形成主要与沉积成矿作用密切相关, 其主要矿体是与布伦阔勒岩群底部含铁岩系同生的, 因此铁矿床的形成时代应与布伦阔勒岩群含铁岩系的形成时代一致, 为元古宙全球性前寒武纪铁矿成矿事件的产物。

**关键词:** 赞坎; 磁铁矿; 布伦阔勒岩群; SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄

中图分类号: P588.2; P618.31; 1 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2015)03-0616-15

### Formation age of ore-bearing strata of the Zankan iron deposit in Taxkorgan landmass of Western Kunlun Mountains and its geological significance

QIAO Geng-biao<sup>1</sup>, WANG Ping<sup>2</sup>, WU Yue-zhong<sup>1</sup>, HAO Yan-hai<sup>3</sup>,  
ZHAO Xiao-jian<sup>1</sup>, CHEN Deng-hui<sup>1</sup>, LV Peng-rui<sup>1</sup>, DU Wei<sup>4</sup>

(1. Xi'an Center, China Geological Survey, Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MLR, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Petroleum Exploration and Development Research Institute of PetroChina Changqing Oilfield

收稿日期: 2015-01-13; 改回日期: 2015-01-17

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAB06B05-02)、国家自然科学基金项目(41302051)和中国地质调查局地质矿产调查评价项目(1212011220894)联合资助。

作者简介: 乔耿彪, 男, 1979年生, 硕士, 高级工程师, 研究方向为成矿规律和矿产预测; E-mail: qgb408@163.com。

*Company, Xi'an 710086, Shaanxi, China; 3. No. 2 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resource Exploration, Kashi 844002, Xinjiang, China; 4. College of Earth Science and Land Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)*

**Abstract:** The Bulunkuole Group is one of the main components of Taxkorgan landmass in the Western Kunlun area, and is also important ore-bearing strata of the regional iron deposits. Recently, many large-sized iron deposits were found within the Bulunkuole Group, such as Zankan, Laobing, Mokaer and Yelike iron deposits. On the basis of detailed petrography features and SHRIMP U-Pb zircon dating of metamorphic rock and magmatic rock in the intrusion strata of the Bulunkuole Group from the Zankan iron deposit, the authors discussed the formation age of ore-bearing strata, and investigated the ore-forming age. The results show that the formation age of the representative magmatic zircon from plagioclase-hornblende schist in Bulunkuole Group is  $(1845.0 \pm 11.0)$  Ma, suggesting that ore-bearing strata are younger than  $(1845.0 \pm 11.0)$  Ma. Zircon SHRIMP dating of plagiogranite porphyry that intruded into the strata yielded a U-Pb age of  $(544.5 \pm 4.7)$  Ma, suggesting that the ore-bearing strata are older than  $(544.5 \pm 4.7)$  Ma. Thus the ore-bearing strata were formed during 1845.0–544.5 Ma. Moreover, SHRIMP dating of the zircon core from dacite yielded U-Pb ages of 3048.0–3054.0 Ma and 2032.0 Ma, indicating that there possibly exists an early Proterozoic or Archean basement in the surveyed area and adjacent areas, which is of important significance for recognizing Bulunkuole Group and the basement of Taxkorgan landmass. Bulunkuole Group outcropped in Taxian-Waqia uplift zone is one of the earliest strata in Western Kunlun Mountains, and this provides a basis for the existence of Taxkorgan paleo-landmass. Comparative researches on different types of deposits indicate that the Zankan iron deposit was mainly produced by the sedimentary mineralization process, and iron bodies with iron-bearing rocks of Bulunkuole Group were syngenetic, and hence the mineralization age of the Zankan iron deposit is Proterozoic, which is in accordance with the formation age of Bulunkuole Group and is also a very important period for the generation of global iron deposits.

**Key words:** Zankan; magnetite; Bulunkuole Group; SHRIMP U-Pb zircon dating

**About the first author:** QIAO Geng-biao, male, born in 1979, master, senior engineer, engages in the study of regional metallogenic regularity and ore deposit geochemistry and genesis; E-mail: qgb408@163.com.

西昆仑塔什库尔干陆块的主要基底组成为布伦阔勒岩群,该岩群总体为一套受中—深区域变质作用的富含石榴石、矽线石的变质岩岩系(以片麻岩系为主),变质程度达高角闪岩相;其主要岩石类型以黑云斜长片麻岩、混合岩化片麻岩、黑云石英片岩、云母片岩、石英片岩发育为特征,夹石英岩、变质板岩、千枚岩及少量大理岩、斜长角闪片岩等。由于该套片麻岩系经历了多期次、深层次的变质变形作用改造,因此原岩结构构造已消失殆尽,其形成顺序及原始空间展布都难以恢复,目前对其构造归属的认识差异较大<sup>[1-9]</sup>。对其形成时代的研究,前人采用全岩Rb-Sr等时线法或LA-ICP-MS锆石U-Pb法对该岩群中的火山岩段、矽线石榴黑云片麻岩和石榴角闪片麻岩等进行过年代学测试<sup>[8, 10-15]</sup>,显示时代介于2700~253 Ma,时间较为宽泛,没有形成统一的认识。主要原因是布伦阔勒岩群在该区域出露分布较广,但是研究程度较低,目前缺乏可靠的化石和年代学资料对其进行准确的限定,现阶段许多学者研究认为该岩群应进一步分解。

近几年,在西昆仑塔什库尔干的布伦阔勒岩群中新发现了一系列的铁矿床(点),主要包括赞坎、老并、叶里克和莫喀尔等大型磁铁矿床。目前基本上查明了该类磁铁矿床的空间分布、储量和成因类型<sup>[15-18]</sup>,但对铁矿床的形成时代还存在很大分歧,究其原因,主要是目前对沉积变质型铁矿床的成矿时代不能直接通过对矿石中的锆石进行U-Pb定年测试确定,多数是通过与之成因密切联系的赋矿地层进行年代学研究来确定铁矿床的成矿时代。目前对赞坎邻区的老并铁矿床,陈曹军等<sup>[14]</sup>和燕长海等<sup>[15]</sup>通过对布伦阔勒岩群含铁岩系中锆石的LA-ICP-MS U-Pb测年,数据主要集中于510~540 Ma,且时代为530 Ma左右的锆石大量出现,从而初步认为老并铁矿区含铁岩系的形成时代不会早于510 Ma,应属早古生代地层,这与全球性的沉积变质型铁矿成矿时代集中于新太古代晚期和古元古代早期<sup>[19-23]</sup>有一定的差异,因此老并铁矿区含铁岩系的形成时代在区域上是否具有代表性,其他铁矿区与其是否一致都存在疑问。而且在含矿地层及侵入的岩

浆岩年代学研究方面,区内相应地质体的同位素测年数据很少,一直缺乏可靠的高精度同位素年代学数据。针对上述问题,本文通过对塔什库尔干陆块的赞坎铁矿区布伦阔勒岩群及侵入地层的岩浆岩进行精细的岩相学和SHRIMP年代学研究,确定赋矿地层的形成时代,进而探讨该矿床的形成时代。

## 1 区域地质背景

新疆西昆仑地区位于青藏高原西北缘和中央造山带的最西段,地处塔里木陆块西南缘(图1-a),是古亚洲构造域、秦祁昆构造域和特提斯构造域的结合部位<sup>[2,24,25]</sup>,陆内消减、走滑作用强烈,大地构造位置特殊<sup>[25,26]</sup>,是研究喀喇昆仑—西昆仑地质演化的重要地区。目前,该区域划分的主要地质构造单元从北向南包括:塔里木陆块(TRMB)、公格尔—柯岗断裂带(F1)、西昆仑造山带(WKLS)、康西瓦—鲸鱼湖断裂带(F2)和喀喇昆仑造山带(KKLS)<sup>[1,27-36]</sup>。赞坎铁矿(图1-b)位于新疆喀喇昆仑造山带(KKLS)的次一级构造带塔什库尔干陆块(也称甜水海陆块TSTH)中,处于北西向喀喇昆仑断裂带(F4)附近。

塔什库尔干陆块出露地层主要为古元古界布伦阔勒岩群(Pt<sub>1</sub>B)和志留系温泉沟群。布伦阔勒岩群主要分布在喀喇昆仑造山带东侧,呈NW向带状展布于塔什库尔干陆块中部,两侧与古生代地层呈断层接触(图1-b)。该岩群总体为一套受中—深区域变质作用的富含石榴石、矽线石的变质岩岩系,变质程度达高角闪岩相,主要岩石类型可以分为含铁岩段、斜长角闪片麻岩段、矽线石榴片麻岩—石英岩段、大理岩段等4套变质建造组合,原岩恢复为一套碎屑岩—碳酸盐岩建造。温泉沟群主要分布于布伦阔勒岩群的西部,二者呈断层接触关系(图1-b)。区内岩浆活动强烈,岩浆岩发育,基性—超基性侵入岩主要位于康西瓦—瓦恰结合带及其东侧的瓦恰—哈瓦迭尔和塔什库尔干—乔普卡里莫一带;中酸性岩浆活动较强烈,其中酸性侵入岩占绝对优势,而碱性和中性岩较少。岩浆侵入活动以燕山期最为强烈,喜山期次之,元古宙较弱。

## 2 矿区地质特征

赞坎铁矿区出露地层主要为古元古界布伦阔

勒岩群(Pt<sub>1</sub>B)及南部少量的下志留统温泉沟群(S<sub>1</sub>W)(图2~3)。布伦阔勒岩群为矿区内主要赋矿地层,在区内大面积分布,地层总体呈北西—南东向展布,倾向北东,倾角48°~70°。西北和东南部被岩浆岩侵入,呈条带状分布。地层根据不同的建造可进一步划分为5个岩性段(编号a~e),其中a、b岩性段为矿区主要含矿层位(图2~3)。a岩性段主要分布于矿区的南及南西侧,宽0.79~2.1 km,下部与志留系温泉沟群断裂接触,北部与上覆岩石整合接触。根据出露的岩性不同可以分为两部分:下部a-1岩段,岩性主要为绿泥石化的角闪斜长片岩夹黑云石英片岩、含石榴石斜长片岩等;上部a-2岩性段,主要为宽0.17~0.36 km的褐铁矿化、黄钾铁矾化角闪斜长片岩;a岩性段中已发现I、II、III、IV、V号矿(化)体<sup>①</sup>。b岩性段分布于矿区中部,宽0.51~1.41 km,西侧被喜山期花岗岩侵入;岩性主要为黑云石英片岩为主,夹角闪斜长片岩、二云石英片岩和斜长黑云石英片岩等;目前已发现有II、IX号矿体位于其中。

矿区断裂构造不发育,仅见于志留系与古元界地层界线处的逆冲推覆断裂带F1(图2),断裂带宽50~100 m,呈北西向延伸,走向300°~350°,总体约325°,向北东缓倾,倾角40°~58°。断裂对矿区磁铁矿未造成破坏。

矿区内出露的岩浆岩主要为喜山期中酸性花岗岩、斜长花岗岩和闪长岩等,多呈西北—南东向带状分布,岩体侵入于布伦阔勒岩群中,但对矿体未造成大的破坏,仅使地层或矿物产状发生明显的变形作用。矿区内火山岩出露面积很小,主要为英安岩,部分英安斑岩;英安岩呈似层状,局部构成III号矿体顶板(图2),与矿体呈整合接触关系,说明矿体的形成与火山作用有关。

赞坎矿区目前共发现6条大致平行的矿带,地表呈似层状不规则形态展布,共10个铁矿体。矿体产状与顶、底板围岩产状基本一致,走向为北西—南东向,倾角17°~88°。矿体长度均在750 m以上,平均宽5 m,最大近27 m;平均厚度32.63 m,平均品位 $27.58 \times 10^{-2}$ 。矿石呈浸染状、块状和条带状构造,结构主要为自形—半自形和他形—半自形结构等;矿石中金属矿物主要为磁铁矿、磁赤铁矿、赤铁矿等。矿床成因类型为沉积型磁铁矿矿床,后期受到一定

①新疆维吾尔自治区地质调查院.新疆塔什库尔干县赞坎铁矿调查评价报告[R]. 2013

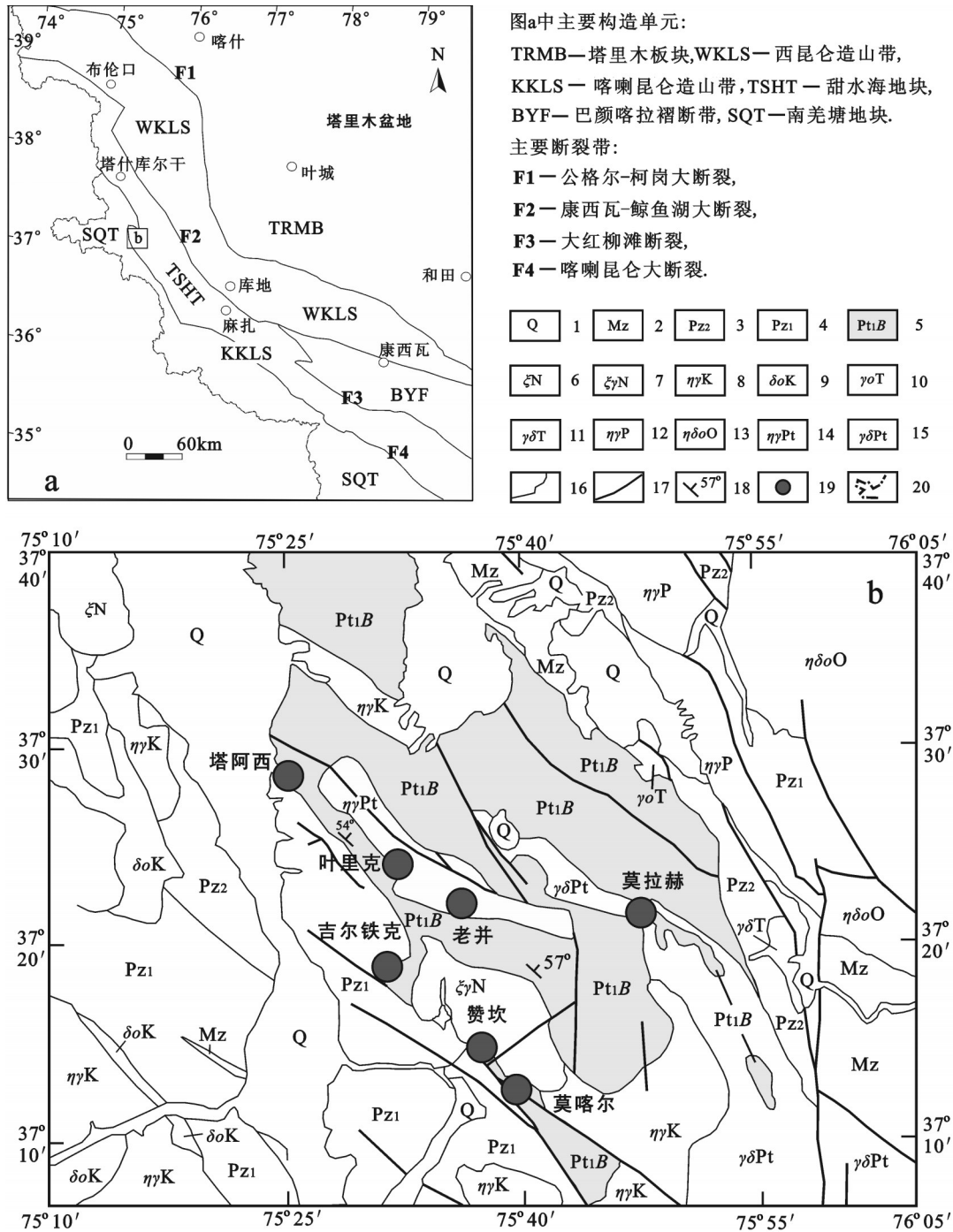


图1 西昆仑塔什库尔干地区构造单元划分图(a)和区域地质与矿产分布图(b, 据文献[37])  
 1—第四纪沉积物; 2—中生代地层; 3—晚古生代地层; 4—早古生代地层; 5—古元古代布伦阔勒岩群; 6—新近纪霓辉正长岩; 7—新近纪正长花岗岩; 8—白垩纪二长花岗岩; 9—白垩纪石英闪长岩; 10—三叠纪英云闪长岩; 11—三叠纪花岗闪长岩; 12—二叠纪二长花岗岩; 13—奥陶纪石英二长闪长岩; 14—元古宙二长花岗岩; 15—元古宙花岗闪长岩; 16—地质界线; 17—断裂; 18—地层产状; 19—铁矿床; 20—图a中国界线

Fig.1 Tectonic units division map (a) and regional geology and mineral resources distribution map (b, after reference [37]) of the Taxkorgan area in West Kunlun Mountains

1—Quaternary; 2—Mesozoic strata; 3—Late Paleozoic strata; 4—Early Paleozoic strata; 5—Paleoproterozoic Bulunkuoole Group; 6—Neogene simaite; 7—Neogene syenite granite; 8—Cretaceous monzogranite; 9—Cretaceous quartz diorite; 10—Triassic tonalite; 11—Triassic granodiorite; 12—Permian monzogranite; 13—Ordovician quartz diorite; 14—Proterozoic monzogranite; 15—Proterozoic granodiorite; 16—Geological boundary; 17—Fault; 18—Attitude of strata; 19—Iron deposit; 20—National boundaries in Fig. a

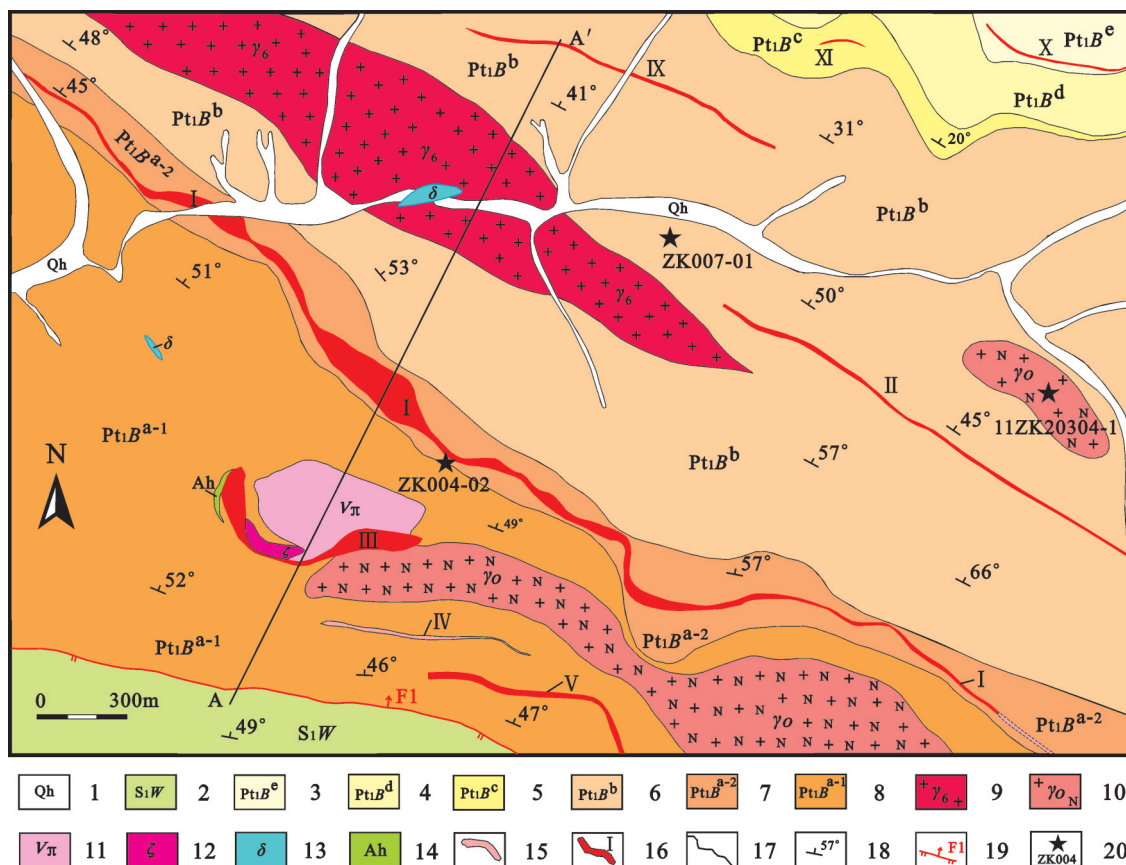


图2 赞坎铁矿床地质图(据①)

1—第四系冲洪积物; 2—下志留统温泉沟群; 3—古元古代布伦阔勒岩群e岩性段: 黑云母石英片岩; 4—古元古代布伦阔勒岩群d岩性段: 黑云母角闪斜长片麻岩; 5—古元古代布伦阔勒岩群c岩性段: 褐铁矿化长石石英变粒岩; 6—古元古代布伦阔勒岩群b岩性段: 黑云母石英片岩夹角闪斜长片岩; 7—古元古代布伦阔勒岩群a-2岩性段: 黄钾铁钒化角闪斜长片岩; 8—古元古代布伦阔勒岩群a-1岩性段: 角闪斜长片岩夹黑云母石英片岩; 9—喜山期花岗岩; 10—斜长花岗岩; 11—英安斑岩; 12—英安岩; 13—闪长岩; 14—石膏岩; 15—磁铁矿化体; 16—磁铁矿体及编号; 17—地质界线; 18—断层及编号; 20—样品采样位置及编号; 图2中A—A'即图3的剖面线位置

Fig. 2 Geological map of the Zankan iron deposit (after ①)

1—Quaternary; 2—Lower Silurian Wenquangou Group; 3—Paleoproterozoic Bulunkuole Group e Formation: biotite quartzose schist; 4—Paleoproterozoic Bulunkuole Group d Formation: biotite hornblende plagioclase gneiss; 5—Paleoproterozoic Bulunkuole Group c Formation: ferritization leptynite; 6—Paleoproterozoic Bulunkuole Group b Formation: biotite quartzose schist and hornblende plagioclase schist; 7—Paleoproterozoic Bulunkuole Group a-2 Formation: jarosite hornblende plagioclase schist; 8—Paleoproterozoic Bulunkuole Group a-1 Formation: hornblende plagioclase schist and biotite quartzose schist; 9—Himalayan epoch granite; 10—Plagioclase granite; 11—Dacite porphyry; 12—Dacite; 13—diorite; 14—Gypsum; 15—Iron mineralized body; 16—Iron body and its serial number; 17—Geological boundary; 18—Attitude of strata; 19—fault and its serial number; 20—Sampling location; A—A' indicating profile location of Fig. 3

的区域变质作用的叠加改造。

### 3 样品特征

本次研究共采取了3个样品开展赋矿地层的年代学研究, 它们均与磁铁矿体在岩性上和空间上密切相关, 分别是1件斜长角闪片岩、1件英安岩和1件斜长花岗岩斑岩样品。

ZK004-02 样品采样位置: 37°14'40"N, 75°37'

56"E, 高程4596 m, 岩性为含磁铁矽卡岩化斜长角闪片岩(图4-a), 是I矿体的底板围岩, 属于布伦阔勒岩群a-2岩性段(图2)。斜长角闪片岩经花岗岩斑岩的强烈混染, 原岩残留很少, 但可见褪色化的普通角闪石, 除混染外, 岩石还遭受一定程度的矽卡岩化, 并有岩浆期后热液蚀变产物。主要矿物组成为: 普通角闪石(约12%)不完整柱状晶(图4-b), 大部分褪色化并析出钛铁质(微晶板条粒状)重结晶形

①新疆维吾尔自治区地质调查院. 新疆塔什库尔干县赞坎铁矿调查评价报告[R]. 2013.

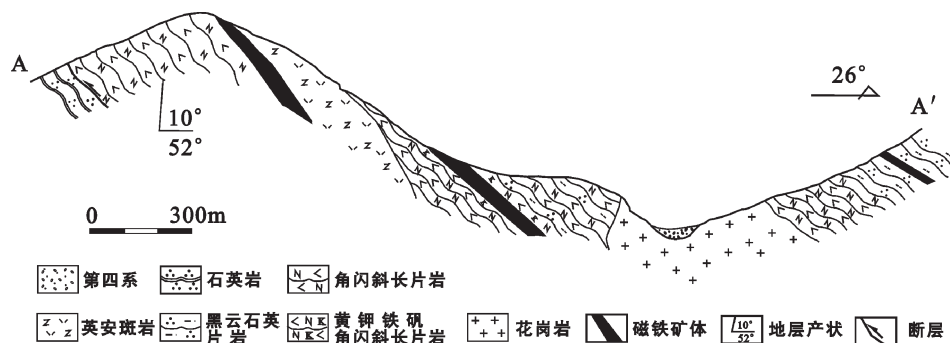


图3 赞坎铁矿赋矿地层剖面图(据①)

Fig. 3 Geological section of ore-bearing strata in the Zankan iron deposit (after ①)

成榴石(0.5%), 粒度  $0.1\text{ mm} \times 0.2\text{ mm} \sim 0.8\text{ mm} \times 1.0\text{ mm}$ , 部分角闪石因受接触交代作用而被透辉石、绿泥石或绿帘石交代; 斜长石(22%), 斜长角闪片岩残留的部分呈半自形板粒状(图4-b), 轻度绢云母化, 粒度  $0.05\text{ mm} \times 0.1\text{ mm} \sim 0.1\text{ mm} \times 0.3\text{ mm}$ ; 另为混染花岗斑岩中斜长石, 矿物新鲜、聚片双晶发育, 自形-半自形板状, 粒度  $0.1\text{ mm} \times 0.6\text{ mm} \sim 0.3\text{ mm} \times 0.6\text{ mm}$ ; 石英(24%)和钾长石(25%)均为他形粒状微晶, 组成了花岗斑岩的基质物, 石英粒度  $0.05 \sim 0.3\text{ mm}$ ; 另有少量受期后热液蚀变产生的不等粒状细晶方解石(3%)。该样品还发现少量磁铁矿(0.5%), 呈他形、半自形粒状, 填隙状或单颗粒状与角闪石伴生, 粒度  $0.05 \sim 0.3\text{ mm}$ (图4-b)。

ZK007-01 样品的采样位置:  $37^{\circ}15'0.6''\text{N}$ ,  $75^{\circ}38'30''\text{E}$ , 高程 4377 m, 岩性为硅化英安岩(图4-c), 应为侵入布伦阔勒岩群b岩性段的火山岩, 位于北西-南东向喜山期花岗岩体的北侧(图2)。硅化英安岩为微定向构造, 斑状结构, 基质为显微粒状结构。岩石中斑晶矿物主要由斜长石(22%)组成, 其次为石英(12%), 斜长石斑晶形状呈板状或粒状(图4-d), 粒径大小一般在  $0.4 \sim 1.5\text{ mm}$ , 常呈聚斑出现; 石英斑晶多呈溶蚀状, 粒径一般在  $0.6 \sim 5.0\text{ mm}$ 。基质由细小斜长石与石英组成(二者总和超过基质的60%)。由于岩石受到硅化作用, 岩石中常出现次生的石英晶体, 并且基质中的长石晶体也常被石英交代, 还出现少量次生的黑云母(图4-d)。

11ZK20304-1 样品采自 20304 号钻孔, 为岩心样, 孔口坐标为:  $37^{\circ}14'43.62''\text{N}$ ,  $75^{\circ}39'18.73''\text{E}$ , 高程 4478.9 m, 采样深度 193~194 m, 岩性为次斜长花岗

斑岩(图4-e), 为II号矿体顶板的围岩, 处于侵入布伦阔勒岩群b岩性段的斜长花岗岩体中。次斜长花岗斑岩为块状构造, 斑状结构, 基质为变余显微粒状结构。岩石中斑晶矿物主要由斜长石(50%)组成, 其次为石英(10%)和黑云母少量( $<2\%$ )。斜长石斑晶多呈板状或粒状(图4-f), 粒径大小  $0.5 \sim 4.0\text{ mm}$ , 大小不等但连续变化呈连续不等粒结构, 常呈聚斑出现, 晶体有自碎现象; 石英斑晶多呈溶蚀状, 粒径大小  $0.5 \sim 2.4\text{ mm}$ , 也呈聚斑出现; 黑云母斑晶较为细小, 一般  $<1\text{ mm}$ 。基质由斜长石、石英, 少量黑云母组成, 呈显微粒状结构, 但结构不很均一。该样品的上述特征表明岩石具次火山岩特征。

## 4 锆石U-Pb同位素定年

### 4.1 分析方法

在目前所有的锆石微区原位测试技术中, SHRIMP的灵敏度、空间分辨率最高(对U、Th含量较高的锆石测年, 束斑直径可达到  $8\text{ }\mu\text{m}$ ), 而且对样品破坏小(束斑直径  $10 \sim 50\text{ }\mu\text{m}$ , 剥蚀深度  $<5\text{ }\mu\text{m}$ )<sup>[38, 39]</sup>, 需要的待测锆石数量相对较少, 是当前最先进、精确度最高的微区原位测年方法。因此, 本次锆石的U-Pb同位素定年采用SHRIMP方法进行。

采集的样品一般重量为3 kg, 除切片和少量用于岩石地球化学分析外, 其余全部用于挑选锆石, 碎样和锆石挑选由廊坊区域地质调查队完成。所选锆石不进一步筛选, 全部置于环氧树脂中, 待固结后抛磨至锆石粒径的大约1/2, 使锆石内部充分暴露, 然后进行锆石的光学、CL显微图像及SHRIMP分析。

锆石定年在北京离子探针中心SHRIMP II上完

①新疆维吾尔自治区地质调查院. 新疆塔什库尔干县赞坎铁矿调查评价报告[R]. 2013.

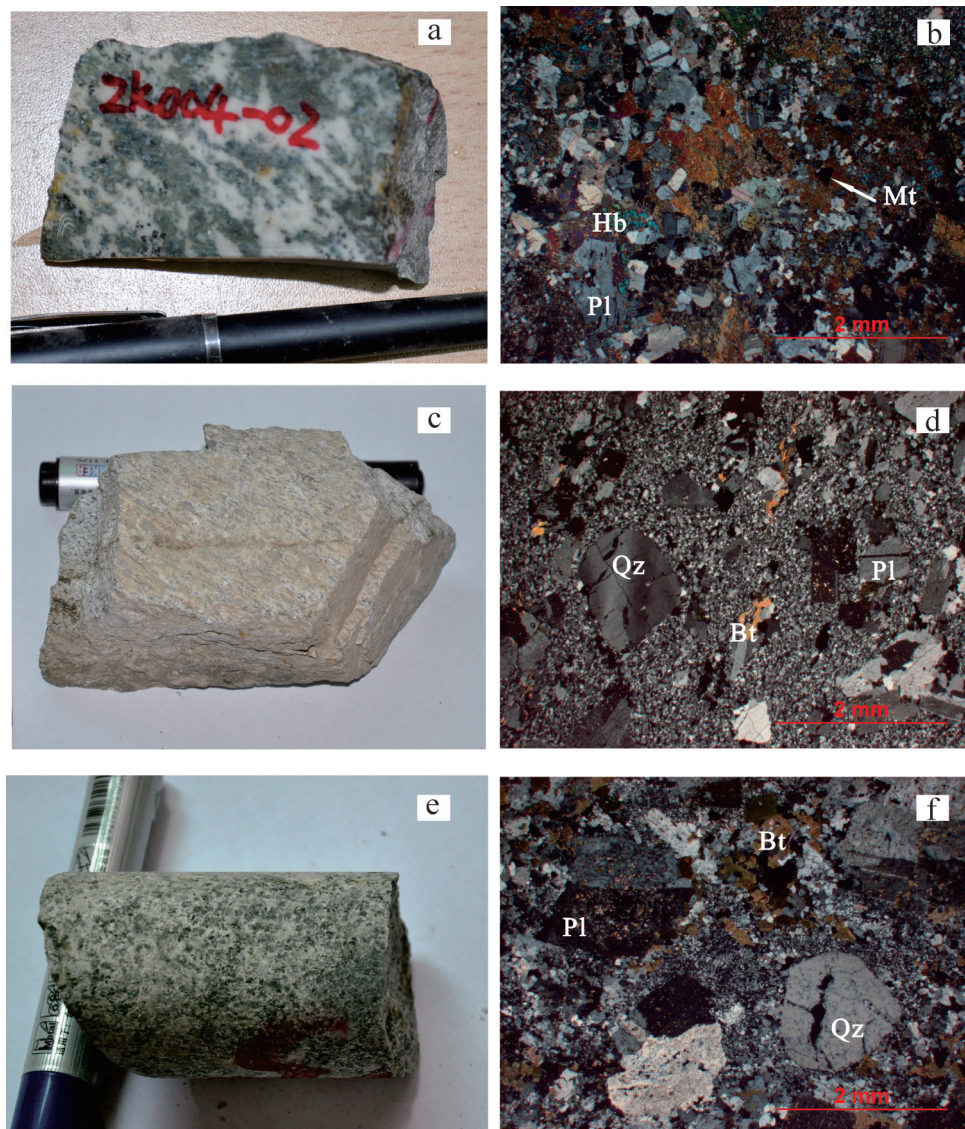


图4 赞坎铁矿所采样品手标本及薄片显微镜下照片

Qz—石英; Bt—黑云母; Pl—斜长石; Hb—普通角闪石; Mt—磁铁矿

Fig.4 Rock specimen and micrograph illustrating minerals of the Zankan iron deposit

Qz—Quartz; Bt—Biotite; Pl—Plagioclase; Hb—Hornblende; Mt—Magnetite

成。详细的分析流程与文献的描述类似 Williams 和宋彪等<sup>[40, 41]</sup>。测试中一次离子流强度为约 5 nA, 一次离子流束斑直径约为 30  $\mu\text{m}$ 。测年前的清洗时间为 120 s。分别采用标准锆石 TEM 和 M 257 进行元素间的分馏校正及 U 含量标定; 其中 TEM 具有 U-Pb 谐和年龄, 其  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为 417 Ma, 用于标定待测样品的年龄; M 257 的年龄为 561.3 Ma,  $U=840\times 10^{-6}$ , 用于标定 U/Pb 比。原始数据的处理和锆石 U-Pb 谐和图的绘制采用 Ludwig 博士编写的 Squid 和 Isoplot 程序<sup>[42]</sup>。普通铅校正根据实测的  $^{204}\text{Pb}$  进行, 普通铅的组成根据 Stacey 等<sup>[43]</sup> 给出的模

式计算得到。表 1 中, 年龄误差为  $1\sigma$  绝对误差, 同位素比值误差为  $1\sigma$  相对误差; 文中所使用的  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄或  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄加权平均值和谐和年龄计算值具 95% 的置信度 ( $2\sigma$ ), 对于超过 1000 Ma 的采用  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄值, 小于 1000 Ma 采用  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄值。测试过程中, TEM 和未知锆石测定比例为 1:3~1:4 并采用 5 组扫描。

## 4.2 分析结果

### 4.2.1 斜长角闪片岩(ZK004-02)

斜长角闪片岩中挑选出来的锆石数量较少, 用于测试的锆石大多呈自行程度较高的浅黄色一无

色透明的短柱状,个别长柱状或浑圆状,晶棱钝化具圆化外形,柱状晶体长宽比约为2:1,锆石粒度多在100~200  $\mu\text{m}$ (图4)。锆石阴极发光CL图像(由北京离子探针中心扫描电镜实验室完成)显示,锆石形态多数不完整,但晶形完好,锆石整体发光性较好,均具有明显的核-边结构特征,后期变质增生边的阴极发光明显强于核部的<sup>[44,45]</sup>,锆石核部残留有继承锆石,部分继承锆石显示比较清晰的振荡环带结构。通过上述特征认为该样品的锆石均为典型的变质锆石,其核部因环带清晰具岩浆成因结构特点(图5)。

斜长角闪片岩中锆石的测试选点多为核部具明显岩浆环带的部位,其变质边由于过于狭窄而无法测试。核部继承锆石的Th含量变化范围为:  $95 \times 10^{-6} \sim 298 \times 10^{-6}$ , U含量变化范围为:  $181 \times 10^{-6} \sim 697 \times 10^{-6}$ , Th/U变化范围为0.36~0.62。总体上锆石的Th、U含量较高, Th/U比值除一个点(表1)外均大于0.40,也说明核部继承锆石的岩浆成因特点<sup>[46-48]</sup>。

对样品中挑出的5粒锆石共进行了7次测试,对锆石的U-Pb分析数据进行处理后,剔除了谐和度较差的测点,共得到有效数据5组(表1),大部分数据点均位于谐和图上的谐和曲线附近(图6)。这5组分析点具有较集中的<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb年龄值,介于(1832.0 $\pm$ 15.0) Ma~(1852.0 $\pm$ 15.0) Ma(图5、表1),其<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb加权平均年龄值为(1845.0 $\pm$ 11.0) Ma,对应的MSWD=0.28(图6)。

#### 4.2.2 硅化英安岩(ZK007-01)

硅化英安岩中挑选出来的锆石数量较多,用于测试的锆石大多呈自行程度较高的浅黄色长柱状,个别短柱状,锆石粒度多在100~200  $\mu\text{m}$ (图7)。锆石CL图像显示,锆石形态完整,晶形完好,晶棱锋

锐、清晰,整体发光性较好。锆石多数为单一成因,具有振荡环带特征,少数为具有明显核-边结构的多成因锆石(图7)。

对硅化英安岩样品中挑出的14粒锆石共进行了15次测试,测试选点一部分为核部,一部分为环带发育的边部,其中一个锆石对其核部和边部均进行了测试(图7)。锆石的Th含量范围主要为:  $37 \times 10^{-6} \sim 527 \times 10^{-6}$ ,个别甚至达  $777 \times 10^{-6}$ ,变化波动范围较大; U含量变化范围为:  $107 \times 10^{-6} \sim 534 \times 10^{-6}$ ,个别高达  $2182 \times 10^{-6}$ ; Th/U变化范围为0.16~1.11。

对硅化英安岩样品中的锆石进行了15次U-Pb分析测试,年龄数据进行处理后,发现年龄信息较为丰富,分布范围较广。测年数据包含有3048.0~3054.0 Ma、2032.0 Ma、1015.0 Ma、605.0~868.0 Ma和536.0~574.4 Ma的5类测试结果,其中除了第1类数据由于普通铅含量较少,偏离了谐和线,其他3类数据均落在谐和线上(图8)。谐和度较好的6组分析点具有较集中的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄值,介于(536.0 $\pm$ 8.1) Ma~(549.0 $\pm$ 9.2) Ma(图7、表1),其<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U加权平均年龄值为(544.0 $\pm$ 7.2) Ma,对应的MSWD=0.37(图8)。

#### 4.2.3 次斜长花岗斑岩(11ZK20304-1)

次斜长花岗斑岩中挑选出来的锆石数量较多,用于测试的锆石多呈自行程度较高的长柱状,少数短柱状,锆石粒度多在100~250  $\mu\text{m}$ (图9),柱状晶体长宽比为2:1~3:1。锆石CL图像显示,锆石形态完整,晶形完好,整体发光性较好,具有清晰的振荡环带结构。锆石大多数为单一成因的岩浆锆石,少数为具有明显核-边结构的继承性锆石(图9)。

对次斜长花岗斑岩样品中挑出的18粒锆石共进行了18次测试,测试选点多数为环带特征明显的边部,少数为环带发育的核部(图9)。锆石Th含量范围主要为:  $40 \times 10^{-6} \sim 440 \times 10^{-6}$ ,个别甚至达  $707 \times 10^{-6}$ ,变化波动范围较大; U含量变化范围为:  $82 \times 10^{-6} \sim 396 \times 10^{-6}$ ,个别超过  $1158 \times 10^{-6}$ ; Th/U比值较高多在0.33~1.15,仅一组较小为0.14(表1)。

对锆石进行U-Pb分析测试,年龄数据进行处理后,测年数据包含有831.0~857.0 Ma、596.0~648.0 Ma和534.2~564.6 Ma的3类测试结果,其中第一类数据普通铅含量较少,偏离了谐和线,其他2类数据均落在谐和线上(图10)。谐和度较好的14组分析点具有较集中的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄值,介于(534.2 $\pm$ 8.3) Ma~(564.6 $\pm$

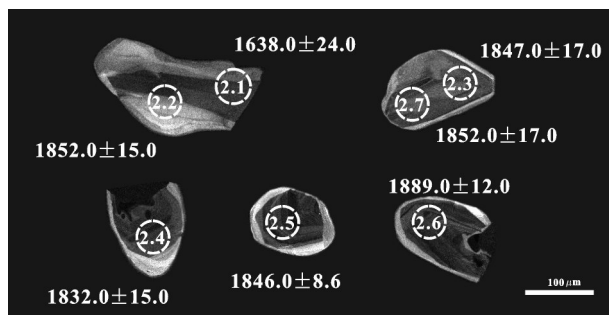


图5 斜长角闪片岩(ZK004-02)样品的典型锆石阴极发光图像和年龄值(Ma)

Fig.5 CL images and age data of representative zircon from plagioclase-hornblende schist (ZK004-02)





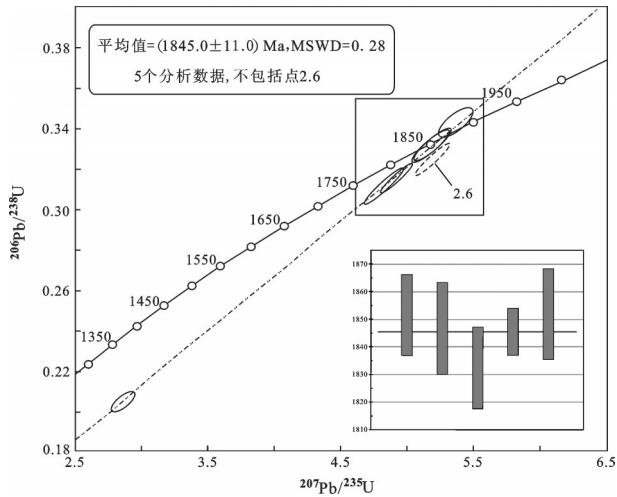


图6 斜长角闪片岩(ZK004-02)样品的锆石 SHRIMP U-Pb 谐和图

Fig.6 SHRIMP U-Pb concordant diagram for zircons from plagioclase-hornblende schist (ZK004-02)

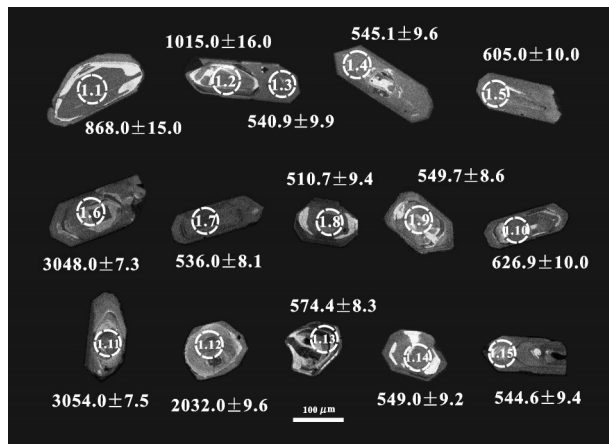


图7 硅化英安岩(ZK007-01)样品的典型锆石阴极发光图像和年龄值(Ma)

Fig.7 CL images and age data of representative zircon from dacite (ZK007-01)

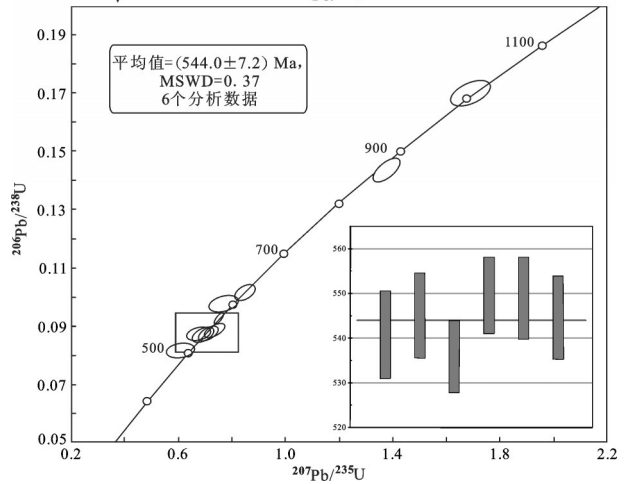
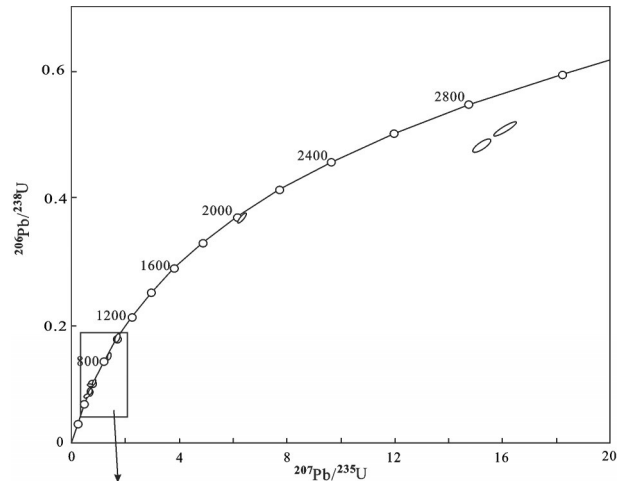


图8 硅化英安岩(ZK007-01)样品的锆石 SHRIMP U-Pb 谐和图

Fig.8 SHRIMP U-Pb concordant diagram for zircons from dacite (ZK007-01)

9.3) Ma(图9, 表1), 其  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权年龄平均值为 (544.5±4.7) Ma, 对应的 MSWD= 1.13(图9)。

## 5 讨论

### 5.1 赋矿地层的形成时代

对塔什库尔干陆块分布的布伦阔勒岩群的形成时代目前的研究主要包括以下几类观点: ①孙海田等在布伦口湖岸边出露的布伦阔勒群斜长角闪片麻岩中获得锆石 U-Pb 年龄 2700 Ma 左右, 认为该地层成岩时代较早, 为新太古代<sup>[1]</sup>, 并且代表了基

底形成年龄; ②新疆地矿局编写出版的《新疆维吾尔自治区区域地质志》中依据地层岩石的变质程度, 并结合前苏联学者在西南帕米尔与该群相当的变质岩系中采用 U-Pb 法和 Rb-Sr 等时线法测得 2130~2700 Ma 的同位素年龄, 将地层时代划归为古元古代<sup>[10]</sup>; ③计文化等对甜水海地块西段布伦阔勒岩群中片理化变流纹岩的单颗粒锆石 LA-ICP-MS 测年为 (2481±14) Ma<sup>[12]</sup>, 说明这套互层状产出的流纹岩与玄武岩、玄武安山岩可能共同组成布伦阔勒岩群中的古元古界部分; ④张传林等测定了南昆仑地体西段布伦阔勒岩群内石榴黑云斜长片麻岩和矽线石榴黑云片岩中锆石的 U-Pb 年龄, 表明沉积于新元古代晚期—早古生代早期, 并在加里东期和华力西—印支期发生变质, 认为古元古代的布伦阔

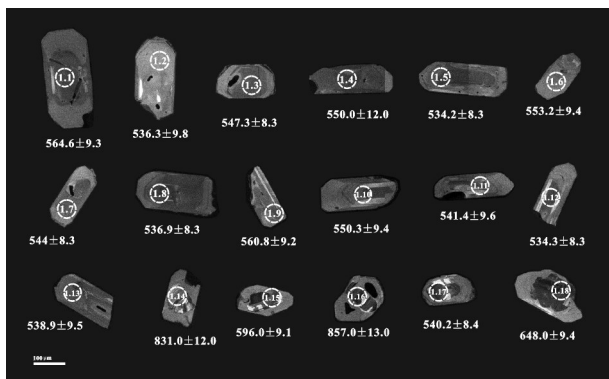


图9 斜长花岗斑岩(11ZK20304-1)样品的典型锆石阴极发光图像和年龄值(Ma)

Fig.9 CL images and age data of representative zircon from plagiogranite porphyry (11ZK20304-1)

勒岩群实质上是由北部的角闪岩相变质的火山-沉积岩系及南部的由南向北逆冲推覆到这套火山-沉积岩系之上的角闪岩相副变质岩(孔兹岩)组成<sup>[8]</sup>; ⑤杨文强等测定了西昆仑塔什库尔干县城以东布伦阔勒岩群内出露的矽线石榴黑云片麻岩和石榴角闪片麻岩中的锆石U-Pb年龄,表明其原岩的形成年龄分别不早于(253±2) Ma和(480±8) Ma<sup>[13]</sup>,对应的变质时代为(220±2) Ma和(220±3) Ma,并且认为塔什库尔干县城以东的矽线石榴片岩-石英岩组合单元应从原来的古元古代“布伦阔勒岩群”中划分出来。总的来说,由于布伦阔勒岩群分布较广,不同的研究者针对该岩群不同岩段区域变质岩系的年代学测试结果不同,主要集中于火山岩、矽线石榴黑云片麻岩和石榴角闪片麻岩的年代测试,时间范围从新太古代至晚古生代,差异较大,甚至需要对部分地段的岩群进行解体。

在本次研究中,笔者针对赞坎铁矿区与磁铁矿形成关系密切的布伦阔勒岩群a岩段的斜长角闪片岩中获得的锆石<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb加权年龄平均值为(1845.0±11.0) Ma,其为核部具典型振荡环带结构的岩浆成因锆石的结晶年龄,限定了该区地层形成时代可能晚于(1845.0±11.0) Ma。从侵入布伦阔勒岩群b岩段的次斜长花岗斑岩体中获得的锆石<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄加权平均值为(544.5±4.7) Ma,也为典型的岩浆成因锆石的结晶年龄,且斜长花岗斑岩体是后期侵入地层形成的,因此可以限定地层的形成时代要早于(544.5±4.7) Ma。从布伦阔勒岩群b岩段的

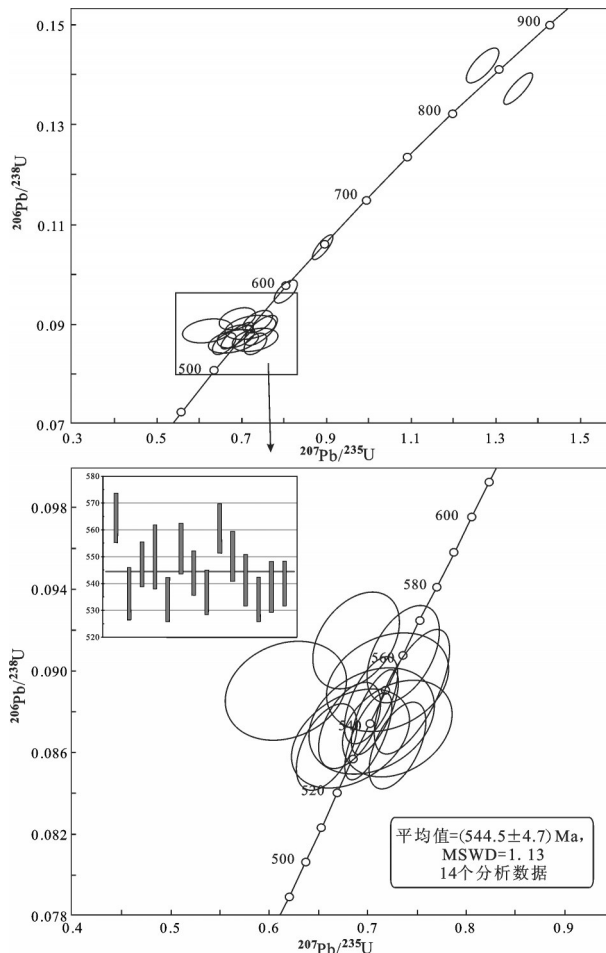


图10 斜长花岗斑岩11ZK20304-1样品的锆石SHRIMP U-Pb谐和图

Fig.10 SHRIMP U-Pb concordant diagram for zircons from plagiogranite porphyry (11ZK20304-1)

硅化英安岩获得的锆石<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U年龄加权平均值为(544.0±7.2) Ma,该火山岩的喷发时代与次斜长花岗斑岩的形成时间较为相近,可以共同作为对地层下限的界定。因此,可推测布伦阔勒岩群的形成年龄介于(1845.0~544.5) Ma,为元古宙。而且在英安岩中的部分锆石核部还发现有3048.0~3054.0 Ma和2032.0 Ma的年龄信息,说明地层中还保留有更古老的基底物质(古元古代甚至中太古代基底岩石)。因此通过本次3个样品的SHRIMP锆石U-Pb测年,也进一步说明塔县-瓦恰隆起带所出露的布伦阔勒岩群是最古老的地层之一,也为塔什库尔干古陆块的存在提供了依据。

## 5.2 铁矿床的形成时代

布伦阔勒岩群既是塔什库尔干陆块的主体组

成部分,也是该区域铁矿床的赋矿地层,在其中已经发现了赞坎、老井、莫喀尔和叶里克等大型磁铁矿床。对该区域磁铁矿床的成因认识主要包括沉积变质型铁矿<sup>[16,17]</sup>、海相火山沉积变质型铁矿<sup>[14,15]</sup>和条带状硅铁建造矿床(BIFs)<sup>[18,49]</sup>3类。以上研究均认为区内铁矿的形成主要与沉积成矿作用密切相关,赋矿地层和矿体都经历了不同程度的变质作用,这些特征与前寒武纪沉积变质型铁矿较为相似。从本区铁矿床的地质特征来看,赞坎磁铁矿体主要为层状、似层状或透镜状,与围岩呈整合接触、互层产出,与顶、底板围岩呈渐变过渡关系,磁铁矿石也具有较为明显的原始沉积构造等特征,也说明铁矿床主要是在沉积作用下形成,其主要矿体是与布伦阔勒岩群底部含铁岩系同生的,铁矿床的形成年代应与布伦阔勒岩群含铁岩系的形成时代一致,为元古宙,是全球性前寒武纪铁矿成矿事件的产物。

## 6 结 论

(1)西昆仑塔什库尔干陆块布伦阔勒岩群斜长角闪片岩中岩浆结晶锆石的的形成为(1845.0±11.0) Ma,限定了地层的形成时代可能晚于(1845.0±11.0) Ma。再根据次斜长花岗斑岩侵入体的形成年龄(544.5±4.7) Ma,限定地层的形成时代要早于(544.5±4.7) Ma。因此,可推测赞坎铁矿布布伦阔勒岩群的形成年龄介于1845.0~544.5 Ma,为元古宙。

(2)在英安岩中的部分锆石核部发现有3048.0~3054.0 Ma和2032.0 Ma的年龄信息,说明地层中保留有更古老的基底物质(古元古代甚至中太古代基底岩石),进一步说明塔县—瓦恰隆起带所出露的布伦阔勒群岩是最古老的地层之一,为塔什库尔干古陆块的存在提供了依据。

(3)赞坎铁矿与区域上分布的其他大型铁矿成因相同,均为沉积变质型铁矿,磁铁矿体的形成与布伦阔勒岩群近于同期,因此铁矿床的形成时代也为元古宙,是全球性前寒武纪铁矿成矿事件的产物。

**致谢:** 研究过程中得到西北大学张复新教授、岳运刚博士、西安地质调查中心计文化研究员、叶芳研究员、王立社副研究员和赵慧博助理工程师的有益指导;样品测试和数据处理过程中北京离子探针中心谢士稳博士和范润龙博士保障了SHRIMP II仪器的正常工作,样品靶由杜清敏、甘伟林制作完

成,锆石阴极发光图像由周蕙完成;审稿过程中得到了审稿专家及编辑部杨艳老师提出的宝贵意见和建议,在此一并表示衷心的感谢。

## 参考文献(References):

- [1] 潘裕生,周伟明,许荣华,等. 昆仑山早古生代地质特征与演化[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26(4): 302-307.  
Pan Yusheng, Zhou Weiming, Xu Ronghua, et al. The geological characteristics and evolution of the Kunlun Mountains in early Paleozoic[J]. Science in China (Series D), 1996, 26(4): 302-307 (in Chinese).
- [2] 姜春发,王宗起,李锦轶. 中央造山带开合构造[M]. 北京:地质出版社, 2000: 7-13.  
Jiang Chunfa, Wang Zongqi, Li Jinyi. The Opening-Closing Tectonics of Central Orogenic Belt[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000: 7-13(in Chinese with English abstract).
- [3] 赵文津,吴珍汉,史大年,等. 昆仑山深部结构与造山机制[J]. 中国地质, 2014, 41(1): 1-18.  
Zhao Wenjin, Wu Zhenhan, Shi Danian, et al. Deep structure and orogenic mechanism of the Kunlun Mountains[J]. Geology in China, 2014, 41(1): 1-18(in Chinese with English abstract).
- [4] Ducea M N, Lutkov V, Minaev V T. Building the Pamirs: The view from the underside[J]. Geology, 2003, 31: 849-852.
- [5] 舒良树,朱文斌,王博,等. 新疆古块体的形成与演化[J]. 中国地质, 2013, 40(1): 43-60.  
Shu Liangshu, Zhu Wenbin, Wang Bo, et al. The formation and evolution of ancient blocks in Xinjiang[J]. Geology in China, 2013, 40(1): 43-60(in Chinese with English abstract).
- [6] 潘桂棠,王立全,尹福光,等. 从多岛弧盆系研究实践看板块构造登陆的魅力[J]. 地质通报, 2004, 23(Z2): 933-939.  
Pan Guitang, Wang Liquan, Yin Fuguang, et al. Charm of landing of plate tectonics on the continent as viewed from the study of the archipelagic arc-basin system[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(Z2): 933-939 (in Chinese with English abstract).
- [7] 葛肖虹,刘俊来,任收麦,等. 青藏高原隆升对中国构造-地貌形成、气候环境变迁与古人类迁徙的影响[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 698-714.  
Ge Xiaohong, Liu Junlai, Ren Shoumai, et al. Tectonic uplift of the Tibetan Plateau: Impacts on the formation of landforms, climate changes and ancient human migration in China[J]. Geology in China, 2014, 41(3): 698-714(in Chinese with English abstract).
- [8] 张传林,陆松年,于海锋,等. 青藏高原北缘西昆仑造山带构造演化: 来自锆石 SHRIMP 及 LA-ICP-MS 测年的证据[J]. 中国科学(D辑), 2007, 37(2): 145-154.  
Zhang Chuanlin, Lu Songnian, Yu Haifeng et al. Tectonic evolution of Western Kunlun orogenic belt in the Qinghai-Tibet plateau north rim: SHRIMP and LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating[J]. Science in China (Series D), 2007, 37(2): 145-154 (in Chinese).

- [9] 李荣社, 计文化, 杨永成, 等. 昆仑山及邻区地质[M]. 北京: 地质出版社, 2008: 1-206.  
Li Rongshe, Ji Wenhua, Yang Yongcheng, et al. Kunlun Mountain and Its Adjacent Area Geology[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008: 1-206 (in Chinese with English abstract).
- [10] 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 新疆维吾尔自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1982: 14-15.  
Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resource. Regional Geology of Xinjiang Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1982: 14-15(in Chinese with English abstract).
- [11] 孙海田, 李纯杰, 吴海, 等. 西昆仑金属成矿省概论[M]. 北京: 地质出版社, 2003: 24-26.  
Sun Haitian, Li Chunjie, Wu Hai, et al. Generality on the Western Kunlun Metallogenic Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003: 24-26(in Chinese with English abstract).
- [12] 计文化, 李荣社, 陈守建, 等. 甜水海地块古元古代火山岩的发现及其地质意义[J]. 中国科学(D辑), 2011, 41(9): 1268-1280.  
Ji Wenhua, Li Rongshe, Chen Shoujian, et al. The discovery of Palaeoproterozoic volcanic rocks in the Bulunkuoler Group from the Tianshuihai Massif in Xinjiang of Northwest China and its geological significance[J]. Science in China(Series D), 2011, 41(9): 1268-1280 (in Chinese).
- [13] 杨文强, 刘良, 曹玉亭, 等. 西昆仑塔什库尔干印支期(高压)变质事件的确定及其构造地质意义[J]. 中国科学(D辑), 2011, 41(8): 1047-1060.  
Yang Wenqiang, Liu Liang, Cao Yuting, et al. Geochronological evidence of Indosinian (high-pressure) metamorphic event and its tectonic significance in Taxkorgan area of the Western Kunlun Mountains, NW China[J]. Science in China(Series D), 2011, 41(8): 1047-1060 (in Chinese).
- [14] 陈曹军, 曹新志, 张旺生, 等. 新疆塔什库尔干地区塔阿西-塔吐鲁沟铁矿带控矿因素及找矿方向[J]. 地质科技情报, 2011, 30(6): 81-89.  
Chen Caojun, Cao Xinzhi, Zhang Wangsheng, et al. Ore-controlling factors and prospecting direction for the Ta' axi to Tatulugou iron metallogenic belt in Taxkorgan, Xinjiang[J]. Geological Science and Technology Information, 2011, 30(6): 81-89(in Chinese with English abstract).
- [15] 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 Xinjiang and its geological significance[J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(4): 549-557(in Chinese with English abstract).
- [16] 胡建卫, 庄道泽, 杨万志. 新疆西南部塔什库尔干地区赞坎铁矿综合信息预测模型及其在区域预测中的应用[J]. 地质通报, 2010, 29(10): 549-557.  
Hu Jianwei, Zhuang Daoze, Yang Wanzhi. The integrated information predicting model of the Zankan iron deposit, Tashiguergan area, southwestern Xinjiang, China and its application in regional metallogenic prognosis[J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(10): 549-557(in Chinese with English abstract).
- [17] 陈俊魁, 燕长海, 张旺生, 等. 新疆塔什库尔干地区磁铁矿床地质特征与找矿方向[J]. 地质调查与研究, 2011, 34(3): 179-189.  
Chen Junkui, Yan Changhai, Zhang Wangsheng, et al. Geological characteristics and prospecting direction of the magnetite iron deposits in the Taxkorgan, Xinjiang[J]. Geological Survey and Research, 2011, 34(3): 179-189(in Chinese with English abstract).
- [18] 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(in Chinese with English abstract).
- [19] Zhai M G, Windley B F. The Archaean and Proterozoic banded iron formations of North China: Their characteristics, geotectonic relations, chemistry and implications for crustal growth[J]. Precambrian Research, 1990, 48: 267-286.
- [20] 张连昌, 张晓静, 崔敏利, 等. 华北克拉通 BIF 铁矿形成时代与构造环境[J]. 矿物学报, 2011, 31(s1): 666-667.  
Zhang Lianchang, Zhang Xiaojing, Cui Minli, et al. The formation age and tectonic setting of BIF iron deposits in North China Craton[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2011, 31(s1): 666-667 (in Chinese).
- [21] Zhang L C, Zhai M G, Zhang X J, et al. Formation age and tectonic setting of the Shirengou Neoproterozoic banded iron deposit in eastern Hebei Province: Constraints from geochemistry and SIMS zircon U-Pb dating[J]. Precambrian Research, 2012, doi: 10.1016/j.precamres.2011.09.007.
- [22] 张连昌, 翟明国, 万渝生, 等. 华北克拉通前寒武纪 BIF 铁矿研究: 进展与问题[J]. 岩石学报, 2012, 28(11): 3431-3445.  
Zhang Lianchang, Zhai Mingguo, Wan Yusheng, et al. Study of the Precambrian BIF-iron deposits in the North China Craton: Progresses and questions[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(11): 3431-3445(in Chinese with English abstract).
- [23] 相鹏, 崔敏利, 吴华英, 等. 河北滦平周台子条带状铁矿地质特征、围岩时代及其地质意义[J]. 岩石学报, 2012, 28(11): 3655-3669.  
Xiang Peng, Cui Minli, Wu Huaying, et al. Geological characteristics, ages of host rock and its geological significance of the Zhoutaizi iron deposit in Luanping, Hebei Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(11): 3655-3669(in Chinese with English abstract).
- [24] Xu Z Q, He B Z, Zhang C L, et al. Tectonic framework and crustal evolution of the Precambrian basement of the Tarim Block in NW China: New geochronological evidence from deep drilling samples [J]. Precambrian Research, 2013, 235: 150-162.
- [25] Jiang Y H, Liao S Y, Yang W Z, et al. An island arc origin of plagiogranites at Oytage, western Kunlun orogen, northwest China: SHRIMP zircon U-Pb chronology, elemental and Sr-Nd-Hf isotopic geochemistry and Paleozoic tectonic implications [J]. Lithos, 2008, 106: 323-335.

- [26] Jiang Y H, Jia R Y, Liu Z, et al. Origin of Middle Triassic high-K calc-alkaline granitoids and their potassic microgranular enclaves from the western Kunlun orogen, northwest China: A record of the closure of Paleo-Tethys[J]. *Lithos*, 2013, 156–159: 13–30.
- [27] 李文渊, 张照伟, 高永宝, 等. 秦祁昆造山带重要成矿事件与构造响应[J]. *中国地质*, 2011, 38(5): 1135–1149.  
Li Wenyuan, Zhang Zhaowei, Gao Yongbao, et al. Important metallogenic events and tectonic response of Qinling, Qilian and Kunlun orogenic belts[J]. *Geology in China*, 2011, 38(5): 1135–1149(in Chinese with English abstract).
- [28] 董连慧, 王克卓, 朱志新, 等. 新疆大型变形构造特征与成矿关系研究[J]. *中国地质*, 2013, 40(5): 1552–1568.  
Dong Lianhui, Wang Kezhuo, Zhu Zhixin, et al. The relationship between the characteristics of the large-scale deformation structure and the metallogenic processes in Xinjiang[J]. *Geology in China*, 2013, 40(5): 1552–1568(in Chinese with English abstract).
- [29] Xiao W J, Windley B F, Fang A M, et al. Palaeozoic Early Mesozoic accretionary tectonics of the Western Kunlun Range, NW China[J]. *Gondwana Research*, 2001, 4: 826–827.
- [30] Xiao W J, Windley B F, Hao J, et al. Arc-ophiolite obduction in the western Kunlun range (China): Implications for the Palaeozoic evolution of central Asia[J]. *J. Geol. Soc. London*, 2002, 159: 517–528.
- [31] 方爱民, 李继亮, 刘小汉, 等. 新疆西昆仑库地混杂带中基性火山岩构造环境分析[J]. *岩石学报*, 2003, 19(3): 409–417.  
Fang Aimin, Li Jiliang, Liu Xiaohan, et al. Tectonic settings of the basic igneous rocks in the Kudi ophiolite zone of West Kunlun Mountains, Xinjiang Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19(3): 409–417 (in Chinese with English abstract).
- [32] Wang Z Q, Jiang C F, Yan Q R, et al. Accretion and collision orogenesis in the West Kunlun Mountains, China[J]. *Gondwana Research*, 2004, 4: 843–844.
- [33] Zhang C L, Zou H B, M. Santosh, et al. Is the Precambrian basement of the Tarim Craton in NW China composed of discrete terranes? [J]. *Precambrian Research*, 2014, 254: 226–244.
- [34] Zhang C L, Zou H B, Li H K, et al. Tectonic framework and evolution of the Tarim Block in NW China [J]. *Gondwana Research*, 2013, 23: 1306–1315.
- [35] Ye H M, Li X H, Li Z X, et al. Age and origin of high Ba-Sr appinite-granites at the northwestern margin of the Tibet Plateau: Implications for Early Paleozoic tectonic evolution of the Western Kunlun orogenic belt[J]. *Gondwana Research*, 2008, 13: 126–138.
- [36] Jiang Y H, Jiang S Y, Ling H F, et al. Petrology and geochemistry of shoshonitic plutons from the western Kunlun orogenic belt, Xinjiang, northwestern China: Implications for granitoid genesis[J]. *Lithos*, 2002, 63: 165–187.
- [37] 陈登辉, 伍跃中, 李文明, 等. 西昆仑塔什库尔干地区磁铁矿矿床特征及其成因[J]. *大地构造与成矿学*, 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(in Chinese with English abstract).
- [38] Davis D W, Williams I S, Krogh T E. Historical development of zircon geochronology [J]. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 2003, 53: 145–173.
- [39] Ireland T R, Williams I S. Considerations in zircon geochronology by SIMS [J]. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 2003, 53: 215–227.
- [40] Williams I S. U-Th-Pb geochronology by Ion Microprobe[C]// McKibben MA, Shanks III WC, Ridley WI (eds). *Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes*. *Reviews in Economic Geology*, 1998, 7: 1–35.
- [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(Suppl.): 26–30.  
Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, et al. Mount making and procedure of the SHRIMP dating[J]. *Geological Review*, 2002, 48 (Suppl.): 26–30(in Chinese with English abstract).
- [42] Ludwig K R. *Squid 1.02: A User's Manual*[M]. Berkeley Center Special Publication, California, 2001, 2: 1–21.
- [43] Stacey J S, Kranmers J D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by two-stage model, earth planet[J]. *Sci Lett*, 1975, 26: 207–221.
- [44] 简平, 程裕淇, 刘敦一. 变质锆石成因的岩相学研究——高级变质岩 U-Pb 年龄解释的基本依据[J]. *地质前缘*, 2001, 8(3): 183–191.  
Jian Ping, Cheng Yuqi, Liu Dunyi. Petrographical Study of metamorphic zircon: basic roles in interpretation of U-Pb age of high grade metamorphic rocks[J]. *Earth Science Frontiers*, 2001, 8 (3): 183–191(in Chinese with English abstract).
- [45] 刘建辉, 刘敦一, 张玉海, 等. 使用 SHRIMP 测定锆石铀-铅年龄的选点技巧[J]. *岩矿测试*, 2011, 30(3): 265–268.  
Liu Jianhui, Liu Dunyi, Zhang Yuhai, et al. Techniques for choosing target points during SHRIMP dating of zircon U-Pb ages[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2011, 30(3): 265–268(in Chinese with English abstract).
- [46] Belousova E A, Griffin W L, O'Reilly S Y, et al. Igneous zircon: trace element composition as an indicator of source rock type[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 2002, 143: 602–622.
- [47] Hoskin P W O, Schaltegger U. The Composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis[J]. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 2003, 53: 27–62.
- [48] Griffin W L, Belousova E A, Shee S R, et al. Archean crustal evolution in the Northern Yilgarn craton: U-Pb and Hf-isotope evidence from detrital zircons[J]. *Precambrian Research*, 2004, 131: 231–282.
- [49] 冯昌荣, 何立东, 郝延海, 等. 新疆塔什库尔干县一带铁多金属矿床成矿地质特征及找矿潜力分析[J]. *大地构造与成矿学*, 2012, 36(1): 102–110.  
Feng Changrong, He Lidong, Hao Yanhai, et al. Features and potential analysis of the iron polymetallic deposits in the Taxkorgan Area, Xinjiang[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2012, 36(1): 102–110(in Chinese with English abstract).