

黄诗康,王义天,刘俊辰,等. 西昆仑铁克里克构造带康开铁矿床地质特征及成因[J]. 地球科学与环境学报, 2018, 40(3): 262-274.
HUANG Shi-kang, WANG Yi-tian, LIU Jun-chen, et al. Ore Geological Characteristics and Genesis of Kangkai Iron Deposit in Tiekelik Tectonic Belt of West Kunlun, China[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2018, 40(3): 262-274.

西昆仑铁克里克构造带康开铁矿床 地质特征及成因

黄诗康¹, 王义天^{1*}, 刘俊辰^{1,2}, 孙政浩^{1,2}, 刘景峰³, 孔德懿³, 胡乔青¹,
尼加提·阿布都逊⁴, 吐尔逊·亚森³

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院, 北京 100083; 3. 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第十地质大队, 新疆 和田 848000; 4. 新疆大学 地质与矿业工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘要:康开铁矿床位于西昆仑铁克里克构造带中段北缘, 赋矿地层为元古代喀拉喀什岩群和埃连卡特岩群变质岩, 发育镜铁矿和磁铁矿两种铁矿化类型。镜铁矿体受断层构造控制, 呈脉状、似层状、团块状和细脉状产出。磁铁矿化体包括磁铁矿石岩型和基性岩型, 其中磁铁矿石岩型矿石具有沉积变质型特征, 基性岩型矿石表现为基性岩内发育浸染状磁铁矿和少量黄铜矿。依据两种铁矿化类型的矿物组合、结构构造、围岩蚀变和不同类型矿化体的时空关系等特征, 将其成矿作用过程划分为沉积期、变质期、岩浆期和构造热液期 4 个成矿期, 即该矿床是多期复合成矿作用的产物。沉积期和变质期形成的磁铁矿石岩中的磁铁矿和岩浆期形成的基性岩中的磁铁矿为后期构造热液期发育的镜铁矿体提供了成矿元素来源, 因此, 出露于地表(浅部)的镜铁矿体可作为寻找周围和深部与磁铁矿石岩和基性岩有关的磁铁矿的找矿标志, 这一标志在铁克里克构造带中可能具有普遍性意义。

关键词:铁矿床; 构造热液; 磁铁矿; 镜铁矿; 矿化体; 基性岩; 铁克里克构造带; 西昆仑

中图分类号: P611

文献标志码: A

文章编号: 1672-6561(2018)03-0262-13

Ore Geological Characteristics and Genesis of Kangkai Iron Deposit in Tiekelik Tectonic Belt of West Kunlun, China

HUANG Shi-kang¹, WANG Yi-tian^{1*}, LIU Jun-chen^{1,2}, SUN Zheng-hao^{1,2}, LIU Jing-feng³,
KONG De-yi³, HU Qiao-qing¹, Nijati ABUDUXU⁴, Tu'eroxun YASEN³

(1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. No. 10 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Hotan 848000, Xinjiang, China; 4. School of Geological and Mining Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046, Xinjiang, China)

Abstract: Kangkai iron deposit is located in the northern margin of the middle section of Tiekelik tectonic belt, West Kunlun, China. There are two types of iron mineralization including specularite and magnetite, which develop within the metamorphic rocks of Proterozoic Kalakashi Group and Ailankate Group. The specularite mineralized body is controlled by fault structures,

收稿日期: 2017-12-28; 修回日期: 2018-04-09

投稿网址: <http://jese.chd.edu.cn/>

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2015BAB05B02-03)

作者简介: 黄诗康(1993-), 男, 江西上饶人, 理学硕士研究生, E-mail: shikanghuang@126.com。

* 通讯作者: 王义天(1969-), 男, 辽宁东港人, 研究员, 理学博士, E-mail: wyt69@263.net。

occurring as vein, stratoid, massive and veinlet. The magnetite mineralized body occurs both in the itabirite and the basic rock, the former is resulted from sedimentary-metamorphic process, and the latter is shown as disseminated magnetite and minor chalcopyrite developed within the basic rock. In terms of the characteristics of mineral assemblage and paragenetic association, ore texture and structure, wall rock alteration, and crosscutting relationship of different types of mineralized body, the mineralization of Kangkai iron deposit is divided into sedimentary, metamorphic, magmatic, and tectonic hydrothermal periods, namely this deposit is the product of multi-period superposed mineralization. The specularite formed during tectonic hydrothermal period is derived from the magnetite formed during sedimentary-metamorphic and magmatic periods, consequently the specularite occurred in shallow ground can be used as a kind of prospecting criteria for the exploration of magnetite related to the itabirite and basic rock at depth and surrounding area, and this prospecting criteria could be applicable to the whole Tiekeli-like tectonic belt.

Key words: iron deposit; tectonic hydrothermal; magnetite; specularite; mineralized body; basic rock; Tiekelik tectonic belt; West Kunlun

0 引言

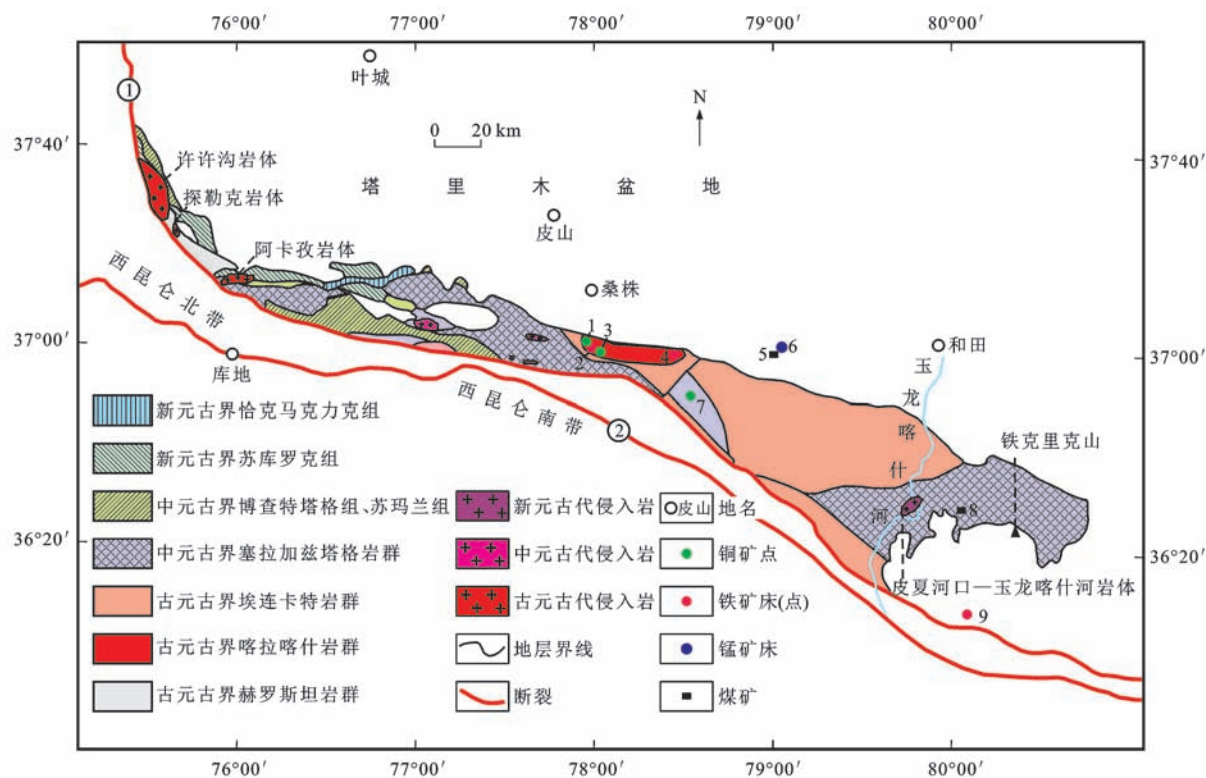
西昆仑造山带横亘于青藏高原西北缘和塔里木盆地西南缘之间,总体呈NW—SE向巨型反“S”状展布,具有演化历史漫长、构造复杂的特点^[1-10]。铁克里克构造带位于西昆仑造山带北缘,区内主要发育铁、铜、金、锰等多金属矿产,此外还有煤矿^[11-12]。目前已发现的矿床(点)包括:布琼、乌克兰、亚门、康开、塔木其等铁矿床(点),托特块儿、乌拉其、布琼沟、芒砂、艾德瓦搞、阿巴勒克等铜矿点,以及杜瓦锰矿,杜瓦和布雅煤矿^[12-13](图1)。由于自然条件恶劣,野外地质工作环境差,铁克里克地区的地质工作程度至今很低,有关金属矿床的研究报道只有布琼和乌克兰铁矿床。布琼铁矿床的磁铁矿体呈层状、似层状产于元古界喀拉喀什岩群(Pt_1k)含石榴石阳起石石英片岩、黑云母石英片岩、含白云母石英大理岩、黑云斜长角闪片麻岩、斜长角闪岩中,矿石类型包括磁铁石英岩型和斜长角闪岩型,具粒状变晶结构和条纹条带状、浸染状构造。孙海田等依据其成矿地质特征,认为其是火山-沉积变质型铁矿床^[14-19];孙政浩通过比较全面的矿床地质地球化学研究,将其划分出沉积期、变质期、构造-热液期及表生期等4个成矿期,提出其为沉积-变质-热液叠加复合型矿床,其沉积期形成于弧后盆地环境,成矿物质来自于海底热液^[20];吕云峰等对乌克兰铁矿床地质特征进行了研究报道,磁铁石英岩型铁矿体呈层状产于喀拉喀什岩群斜长片麻岩、变粒岩中,具粒状变晶结构以及块状、条带状和浸染状构造,依据成矿

特征认为其为沉积变质型铁矿床^[13]。康开铁矿床西距布琼铁矿床约40 km,目前未见有关报道,仅有新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第十地质大队开展的普查工作发现区内的镜铁矿体和磁铁石英岩型铁矿化体^[21],但并未对其成矿地质特征进行详细研究。本文通过详细的野外地质调查与镜下观察,对西昆仑铁克里克构造带康开铁矿床的成矿地质特征进行总结,探讨矿床成因,以期为深入认识铁克里克构造带铁矿的成矿特征和成矿规律提供新证据。

1 区域地质概况

铁克里克构造带北缘以铁克里克北缘断裂为界与塔里木盆地相接,南缘以柯岗断裂为界与昆仑造山带相邻,呈东宽西窄的带状展布(图1)。姜春发等将其划分为中央造山带的西昆仑北带^[5];丁道桂等称之为铁克里克断隆^[4];张或丹等认为铁克里克断隆是发育在昆仑山前的逆冲推覆构造^[22-23];多数学者认为铁克里克断隆是塔里木盆地的南缘基底^[4-5,24-27]。

铁克里克构造带主要由前寒武纪和古生代地层组成。前寒武纪地层主体为一套由片岩、片麻岩组成的变质岩系,包括古元古界赫罗斯坦岩群、喀拉喀什岩群、埃连卡特岩群(Pt_1a),中元古界赛拉加兹塔格群、博查特塔格岩组和苏玛兰组,青白口系苏库罗克组,震旦系恰克马克力克组和库尔卡克组。王向利等认为铁克里克构造带具双重构造基底特征,由喀拉喀什岩群组成结晶基底,康开和布琼铁矿床即



图件引自文献[28]~[30],有所修改;①为柯岗断裂;②为康西瓦断裂;1为布琼沟铜矿点;2为布琼铁矿床;3为艾德瓦搞铜矿点;4为康开铁矿床;5为杜瓦煤矿;6为杜瓦锰矿床;7为阿巴勒克铜矿点;8为布雅煤矿;9为亚门铁矿床

图1 西昆仑铁克里克构造带地质矿产简图

Fig. 1 Geological Sketch Map of Tiekelik Tectonic Belt in West Kunlun

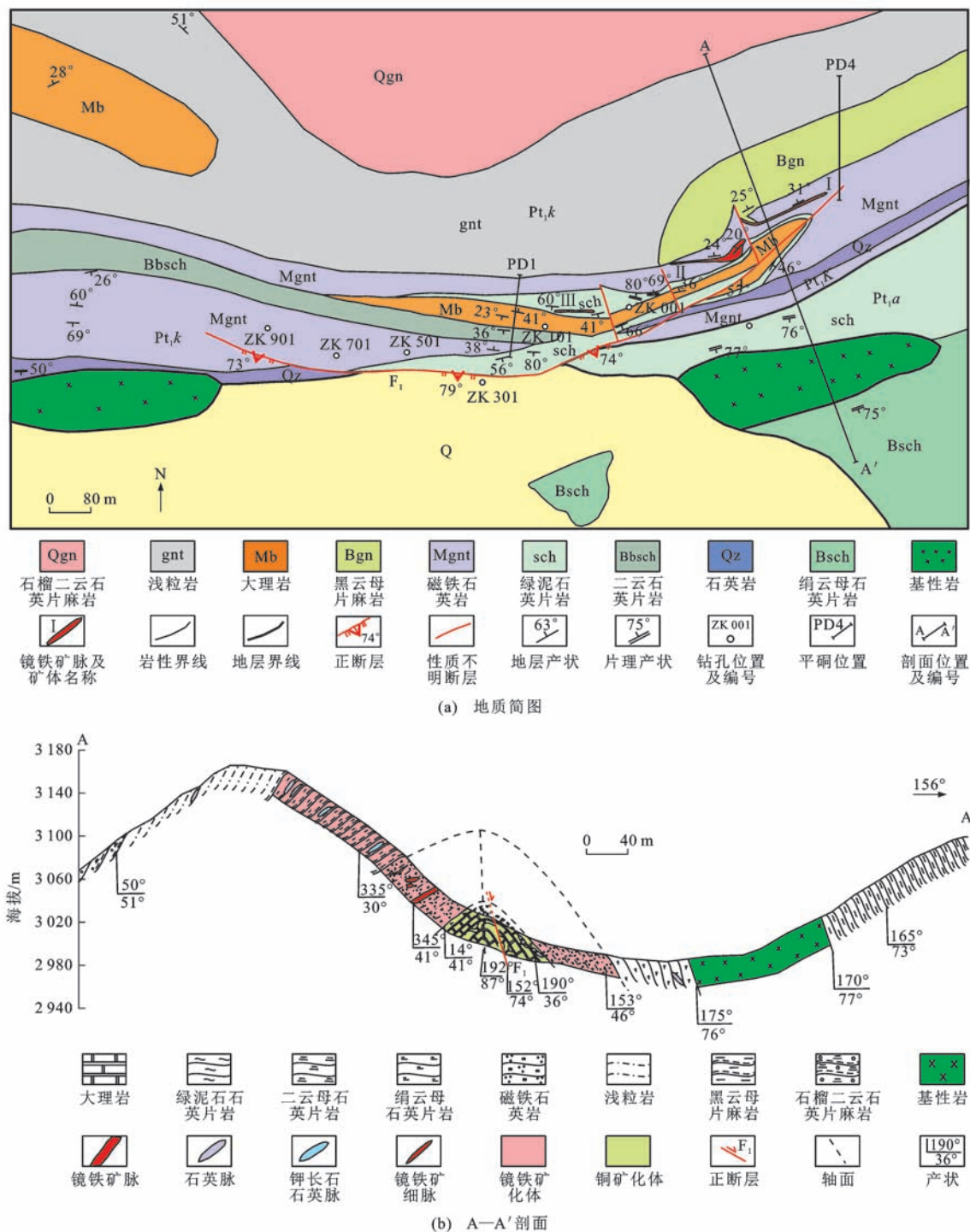
产于喀拉喀什岩群中^[31];周小康等认为埃连卡特岩群和赛拉加兹塔格岩群构成过渡基底,蓟县系—古生界浅变质沉积岩系构成沉积盖层^[17]。其中,喀拉喀什岩群和埃连卡特岩群的地层年龄存在争议。张传林等利用碎屑锆石 LA-ICP-MS 定年获得喀拉喀什岩群年龄为 2.30~2.45 Ga^[32];陕西省地质调查院对其中斜长角闪岩中的锆石进行 LA-ICP-MS 定年获得年龄为 2 480 Ma,认为其属于古元古代^[33];Wang 等测得碎屑锆石主体年龄为 736~810 Ma,认为喀拉喀什岩群和埃连卡特岩群形成于新元古代^[27,34-35]。古生代地层主体为一套浅变质碎屑沉积岩,包括泥盆系奇自拉夫组、石炭系他龙群和库尔良群、二叠系棋盘组 and 达里约尔组。铁克里克构造带内岩浆岩不发育。其西段出露一些古元古代侵入岩,有探勒克片麻状细粒英云闪长岩、阿卡孜二长花岗岩(年龄为 2 420 Ma)^[36-38]、布维吐卫片麻状中细粒黑云二长花岗岩(2 340 Ma)和许许沟片麻状花岗岩(2 343 Ma)^[27,39](图 1),上述岩体在 1.9 Ga 发生变质作用^[27,38]。其东段铁克里克山一带出露少量中元古代花岗斑岩、新元古代皮夏河口—玉龙喀什河片麻状花岗岩(图 1)、早古生代布雅花岗岩(年龄

为 459 Ma)^[40]、闪长岩及花岗斑岩。

2 矿区地质特征

2.1 地层

康开铁矿区出露地层包括喀拉喀什岩群和埃连卡特岩群,两岩群呈断层接触,局部被第四系(Q)坡积物覆盖[图 2(a)]。喀拉喀什岩群依据岩石组合及变形特征从下至上划分为 a、b 两个岩组:a 岩组(Pt_1k^a)分布于矿区中部;b 岩组(Pt_1k^b)分布于矿区北部,近 EW 向展布。两岩组间接触部位发育构造片理化带,局部为断层接触关系。喀拉喀什岩群 a 岩组岩性主要为灰白色磁铁石英岩、石英岩、浅粒岩、灰色黑云母钾长片麻岩、灰绿色绿泥石英片岩、黑云母片岩、灰白色大理岩及灰色石榴二云石英片麻岩,其中磁铁石英岩、绿泥石英片岩为主要含矿岩石;喀拉喀什岩群 b 岩组岩性主要为灰色含石榴二云石英片岩、灰绿色绿泥绢云石英片岩及灰色黑云斜长片麻岩。喀拉喀什岩群原岩为一套泥质-长英质碎屑岩、碳酸盐岩夹中酸性火山岩^[28]。埃连卡特岩群依据岩石组合及变形特征从下至上亦划分为 a、b 两个岩组,两岩组间接触部位发育构造片理化



图(a)引自文献[21],有所修改

图2 康开铁矿地质简图及A—A'剖面

Fig. 2 Geological Sketch Map and Section A—A' of Kangkai Iron Mine

带,局部为断层接触关系。埃连卡特岩群a岩组(Pt_1a^a)岩性主要为灰绿色绢云绿泥石英片岩、绿泥石英片岩、灰绿色变玄武岩、灰色凝灰质片岩、灰绿色变凝灰质砂岩、变质砂岩、灰色云母石英片岩、灰绿色变火山角砾岩、浅紫红色变英安岩-流纹岩,夹灰白色大理岩、变粒岩;埃连卡特岩群b岩组

(Pt_1a^b)岩性主要为灰绿色绢云绿泥石英片岩、灰色二云石英片岩。埃连卡特岩群原岩为一套泥质-长英质碎屑岩、碳酸盐岩夹中基性火山岩^[17,41-42]。康开铁矿区内仅出露埃连卡特岩群a岩组,分布于矿区南部,岩性主要为灰色绢云石英片岩和灰绿色绿泥石英片岩。

2.2 构造

康开铁矿区内构造较为复杂,总体为背斜构造,同时发育断裂构造,主构造线方向为近EW向[图2(a)]。背斜两翼总体对称分布,轴面产状 $192^{\circ}\angle 87^{\circ}$,枢纽产状 $255^{\circ}\angle 25^{\circ}$;北翼倾向 $14^{\circ}\sim 345^{\circ}$,倾角 $30^{\circ}\sim 41^{\circ}$;南翼倾向 $153^{\circ}\sim 190^{\circ}$,倾角 $36^{\circ}\sim 46^{\circ}$;两翼夹角 $35^{\circ}\sim 70^{\circ}$,属直立倾伏褶皱[图2(b)]。次级褶皱发育,样式多样,有斜歪褶皱、叠加褶皱及复式褶皱等(图3)。背斜核部岩层主要为喀拉喀什岩群a岩组的大理岩夹黑云母片岩,两翼岩层主要为喀拉喀什岩群a岩组的绿泥石英片岩和磁铁石英岩。矿区中部发育一条正断层 F_1 [图2(a)],走向由西向东从近EW向转为NE—SW向,倾向 $160^{\circ}\sim 175^{\circ}$,倾角 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$,断层 F_1 穿切背斜;此外,还发育3条NNW—SSE向小型逆走滑断层,倾角 $67^{\circ}\sim 86^{\circ}$ 。

2.3 岩浆岩

康开铁矿区内岩浆岩不发育,仅出露一些近EW向展布的基性岩体和岩脉[图4(a)],分布于矿区中南部[图2(a)]。岩体厚度200~400 m,与围岩呈侵入接触关系[图4(b)],与绿泥石英片岩接触处可见明显的冷凝边和烘烤边[图4(c)]。局部见多条20~50 cm基性岩脉侵入变质砂岩和绿泥石英片岩内。基性岩发育绿片岩-角闪岩相变质作用,形成斜长角闪岩,局部强烈片理化。斜长角闪岩呈灰绿色,具粒状变晶结构和块状构造。主要矿物为角闪石(体积分数为45%~55%)、斜长石(30%~40%)、磁铁矿(10%~20%)、黑云母(5%)及少量绿泥石、石英、黄铜矿[图4(d)、(e)]。其中,角闪石呈长柱状,粒度 $0.1\text{ mm}\times 0.2\text{ mm}\sim 0.2\text{ mm}\times 0.4\text{ mm}$;斜长石呈长板状,粒度 $0.1\text{ mm}\times 0.4\text{ mm}\sim 0.3\text{ mm}\times 0.8\text{ mm}$ 。磁铁矿有两种形态:一种呈长

条状,粒度 $0.05\text{ mm}\times 0.20\text{ mm}\sim 0.05\text{ mm}\times 0.40\text{ mm}$,占磁铁矿体积分数的70%;另一种呈半自形—自形粒状,粒径0.2~0.6 mm。

3 成矿地质特征

3.1 矿体特征

康开铁矿区内发育镜铁矿和磁铁矿两种铁矿化类型。镜铁矿体主要产于背斜北翼[图1、图5(a)~(c)],呈脉状产出,规模较小,矿石储量为 $8.33\times 10^4\text{ t}$,但是品位高,为全铁平均品位55.18%的富铁矿体^[21];镜铁矿脉向深部逐渐减薄消失,在深部则发育镜铁矿细脉和含镜铁石英英细脉[图5(g)~(i)、图6]。磁铁矿化体分布较广,包括发育在矿区中部的磁铁石英岩和发育在南部的基性岩两种磁铁矿化体[图5(d)~(f)],磁铁矿呈浸染状产出;磁铁矿化体品位较低,全铁品位为15.53%~20.20%,因工作程度较低,还未进行储量调查工作。

镜铁矿体主要为出露于地表的、呈脉状产出的3条镜铁矿体,赋存于喀拉喀什岩群a岩组内,直接容矿岩石为磁铁石英岩和绿泥石英片岩。镜铁矿体严格受断层构造控制,走向近EW向,与区域主构造线方向一致,3条矿体由北向南分别称为I、II和III号矿体[图2(a)、图5(a)~(c)]。I号矿体呈脉状产于磁铁石英岩内,倾向 $340^{\circ}\sim 355^{\circ}$,倾角 $10^{\circ}\sim 33^{\circ}$,矿体出露长度160 m,厚度1.5~5.0 m,平均2.5 m,矿石品位55.02%~57.84%,平均56.43%;II号矿体呈脉状产于磁铁石英岩内,倾向 $336^{\circ}\sim 348^{\circ}$,倾角 $2^{\circ}\sim 20^{\circ}$,矿体出露长度130 m,厚度3.2~6.3 m,平均4.7 m,矿石品位42.33%~78.28%,平均55.02%;III号矿体呈似层状顺片理产于绿泥石英片岩内,倾向 $184^{\circ}\sim 190^{\circ}$,倾角 $65^{\circ}\sim 71^{\circ}$,矿体出露长



(a) 斜歪褶皱



(b) 叠加褶皱

图3 背斜核部发育的次级褶皱

Fig. 3 Second-order Folds Developed in Main Anticline

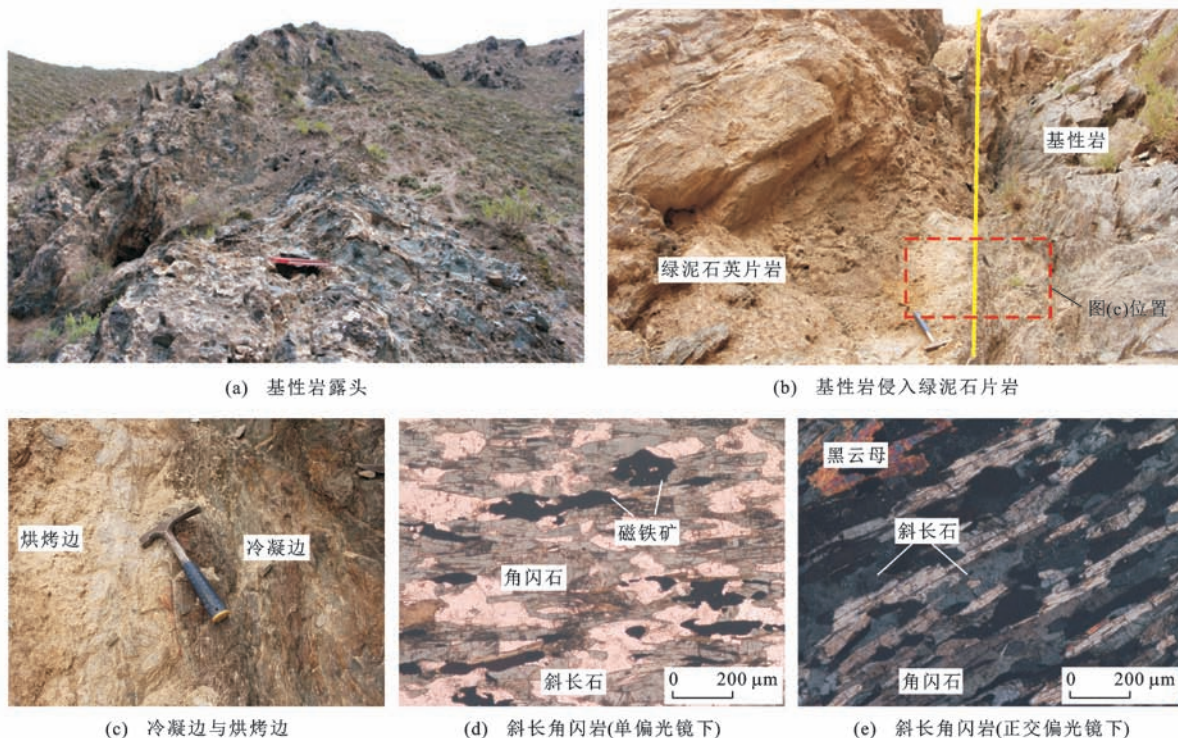


图4 基性岩露头 and 镜下照片

Fig. 4 Outcrops and Photomicrographs of Basic Rocks

度 60 m, 厚度 2 m, 平均品位 54.10%。其中, I、II 号矿体实为同一条矿体, 因被后期逆走滑断层破坏而断开[图 2(a)]。上述出露于地表的 3 条镜铁矿体向深部延伸 100~150 m 变窄至尖灭, 继而在深部的背斜核部构造变形强烈部位发育许多镜铁矿细脉、含镜铁矿石英细脉[图 5(g)~(i)、图 6]。镜铁矿细脉长 30~50 cm, 宽 5~10 cm; 含镜铁矿石英细脉长 30~60 cm, 宽 10~20 cm。此外, 背斜核部黑云母片岩中还发育稀疏浸染状镜铁矿化, 伴有少量稀疏浸染状黄铜矿、黄铁矿(图 6)。在空间上, 越靠近断层 F_1 的部位, 镜铁矿细脉和含镜铁矿石英细脉越发育, 而远离断层 F_1 的部位仅发育少量含镜铁矿钾长石石英团块。

磁铁矿石英岩型磁铁矿化体产于喀拉喀什岩群 a 岩组浅粒岩内, 近 EW 向展布, 矿体呈层状, 与围岩产状一致, 随地层发生褶皱作用(图 2)。背斜北翼磁铁矿石英岩型磁铁矿化体倾向 $335^\circ \sim 345^\circ$, 倾角 $30^\circ \sim 41^\circ$, 厚度 40~50 m, 品位 15.53%~17.00%, 磁铁矿呈浸染状产出; 背斜南翼磁铁矿石英岩型磁铁矿化体倾向 $140^\circ \sim 165^\circ$, 倾角 $25^\circ \sim 28^\circ$, 厚度 50~60 m, 品位 10.85%~16.44%。

基性岩型磁铁矿化体产于南部埃连卡特岩群 a 岩组绿泥石片岩内(图 2), 近 EW 向展布, 倾向 $175^\circ \sim 182^\circ$, 倾角 $68^\circ \sim 76^\circ$, 厚度 200~400 m, 品位 14.82%~

20.20%。基性岩为全岩铁矿化, 磁铁矿呈浸染状分布其中, 后期构造变形导致局部强烈片理化, 磁铁矿体积分数相应增加。

3.2 矿石特征

根据矿石矿物组成, 康开铁矿床中矿石可分为镜铁矿和磁铁矿两种类型(图 7)。

镜铁矿石按构造可分为块状、条带状、浸染状和团块状[图 7(a)~(d)], 其中以块状、条带状矿石为主, 其次为浸染状、团块状矿石。块状、条带状矿石产于 3 条镜铁矿体中, 浸染状、团块状矿石产于背斜核部变形强烈部位, 3 条镜铁矿体的顶、底板也发育浸染状镜铁矿石。矿石有自形晶、他形一半自形结构, 交代残余、交代假象和包含结构。块状、条带状镜铁矿石的矿石矿物为镜铁矿, 脉石矿物以石英为主, 含少量方解石、绿泥石、云母; 镜铁矿呈鳞片状, 粒径 0.1~0.5 mm, 矿物颗粒间呈夹角 120° 的“三联晶”结构[图 7(g)]; 石英呈他形一半自形粒状, 粒径 0.1~0.5 mm。浸染状镜铁矿石的矿石矿物为镜铁矿、磁铁矿、假象赤铁矿, 及少量黄铜矿、黄铁矿, 脉石矿物为石英、钾长石、斜长石、黑云母, 及少量方解石、绿泥石; 镜铁矿呈长条状, 粒径 0.1~0.2 mm[图 7(h)], 局部镜铁矿呈毛发簇状[图 7(i)]; 镜铁矿沿磁铁矿晶体边部及解理裂隙交代磁铁矿[图 7(j)], 部分磁铁矿被镜铁矿完全交代, 形成假象

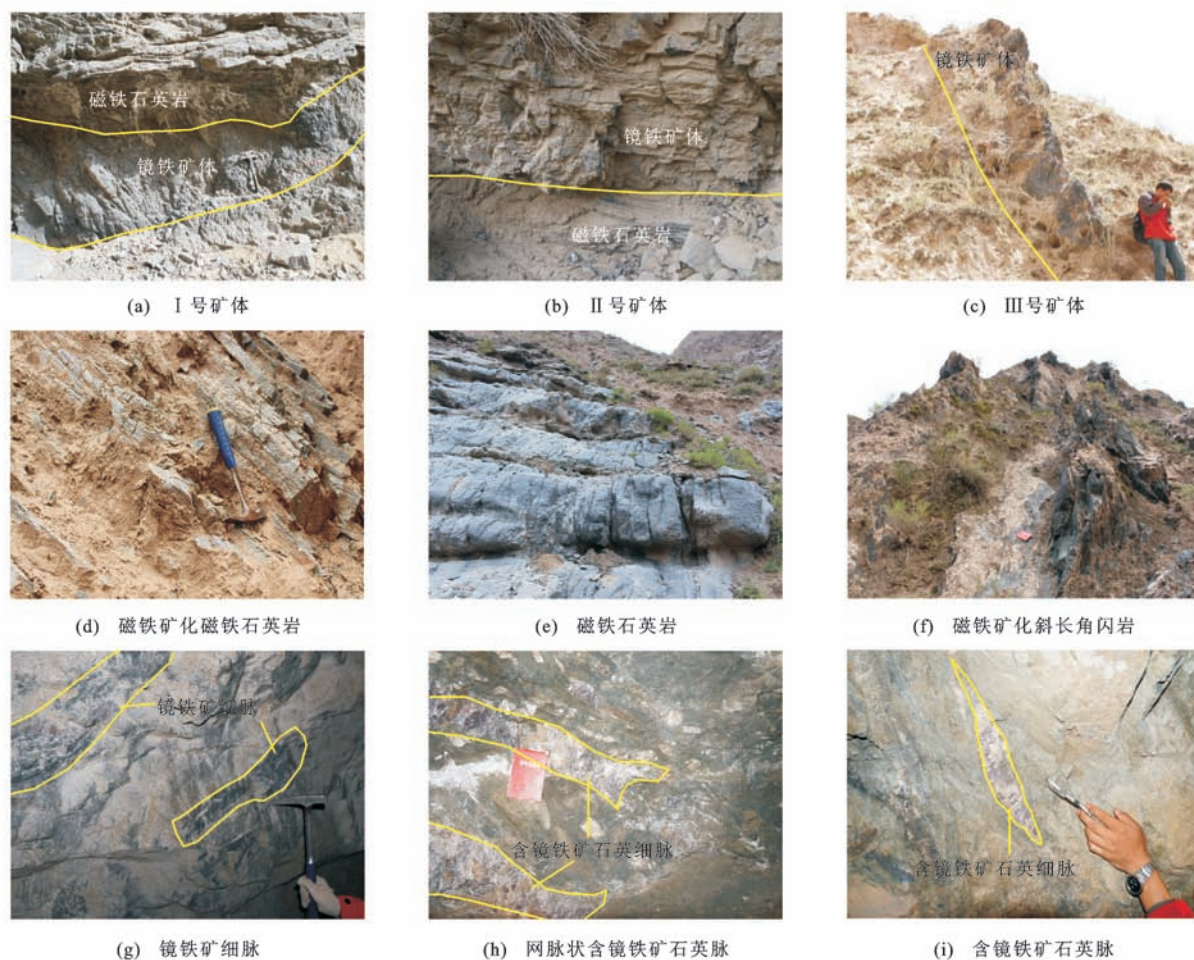


图 5 镜铁矿体产出特征

Fig. 5 Occurrence Features of the Specularite Orebodies

赤铁矿;磁铁矿呈他形一半自形粒状,粒径 $0.1 \sim 0.3 \text{ mm}$;黄铜矿呈他形充填于石英裂隙中[图 7(k)],粒径 $0.1 \sim 0.3 \text{ mm}$;黄铁矿呈半自形—自形粒状,粒径 $0.2 \sim 0.5 \text{ mm}$ 。团块状镜铁矿石的矿石矿物为镜铁矿,脉石矿物以石英、钾长石为主,含少量云母、方解石;镜铁矿呈半自形晶,粒径 $0.5 \sim 1.0 \text{ mm}$;石英、钾长石呈他形一半自形粒状,粒径 $0.5 \sim 1.0 \text{ mm}$;镜铁矿充填于钾长石、石英颗粒裂隙中[图 7(l)],局部见钾长石颗粒内部包裹他形细粒的镜铁矿[图 7(m)]。

磁铁矿石按赋矿岩性可进一步分为磁铁石英岩型和基性岩型[图 7(e)、(f)],两者均为浸染状构造。磁铁石英岩型磁铁矿石的矿石矿物为磁铁矿,脉石矿物以石英为主,含少量斜长石、钾长石、方解石、云母;磁铁矿呈浸染状分布,具筛状变晶结构[图 7(n)],粒径 $0.4 \sim 1.0 \text{ mm}$;石英呈他形粒状,粒径 $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$;钾长石呈半自形板状,粒径 $0.5 \sim 1.0 \text{ mm}$;斜长石呈半自形板状,粒径 $0.2 \sim 0.5 \text{ mm}$ 。基性岩型磁铁矿石的矿石矿物为磁铁矿,含少量黄

铜矿,脉石矿物为斜长石、角闪石、黑云母,及少量绿泥石、石英;磁铁矿有两种形态,一种为长条状,粒度 $0.1 \text{ mm} \times 0.2 \text{ mm} \sim 0.1 \text{ mm} \times 0.4 \text{ mm}$,呈定向分布,另一种为半自形—自形粒状,粒径 $0.2 \sim 0.6 \text{ mm}$,呈稀疏浸染状分布[图 7(o)];黄铜矿呈他形星散状分布,粒径 $0.05 \sim 0.10 \text{ mm}$ 。

3.3 围岩蚀变

康开铁矿区围岩蚀变较为发育,蚀变类型主要包括硅化、绿泥石化和碳酸盐化。硅化蚀变发育于镜铁矿体的顶、底板近矿围岩,伴有稀疏浸染状镜铁矿化。蚀变强度总体表现为越接近镜铁矿体,蚀变越强,远离镜铁矿体则逐渐减弱。背斜核部和断层 F_1 附近构造破碎强烈,硅化、绿泥石化及碳酸盐化蚀变较强,向两翼延伸则蚀变逐渐减弱。

4 成矿期次与矿床成因

通过对康开铁矿区地表和坑道进行系统的调查测量和采样以及详细的镜下观察,全面分析总结了铁矿化特征;依据矿石的矿物组合、结构构造、围岩

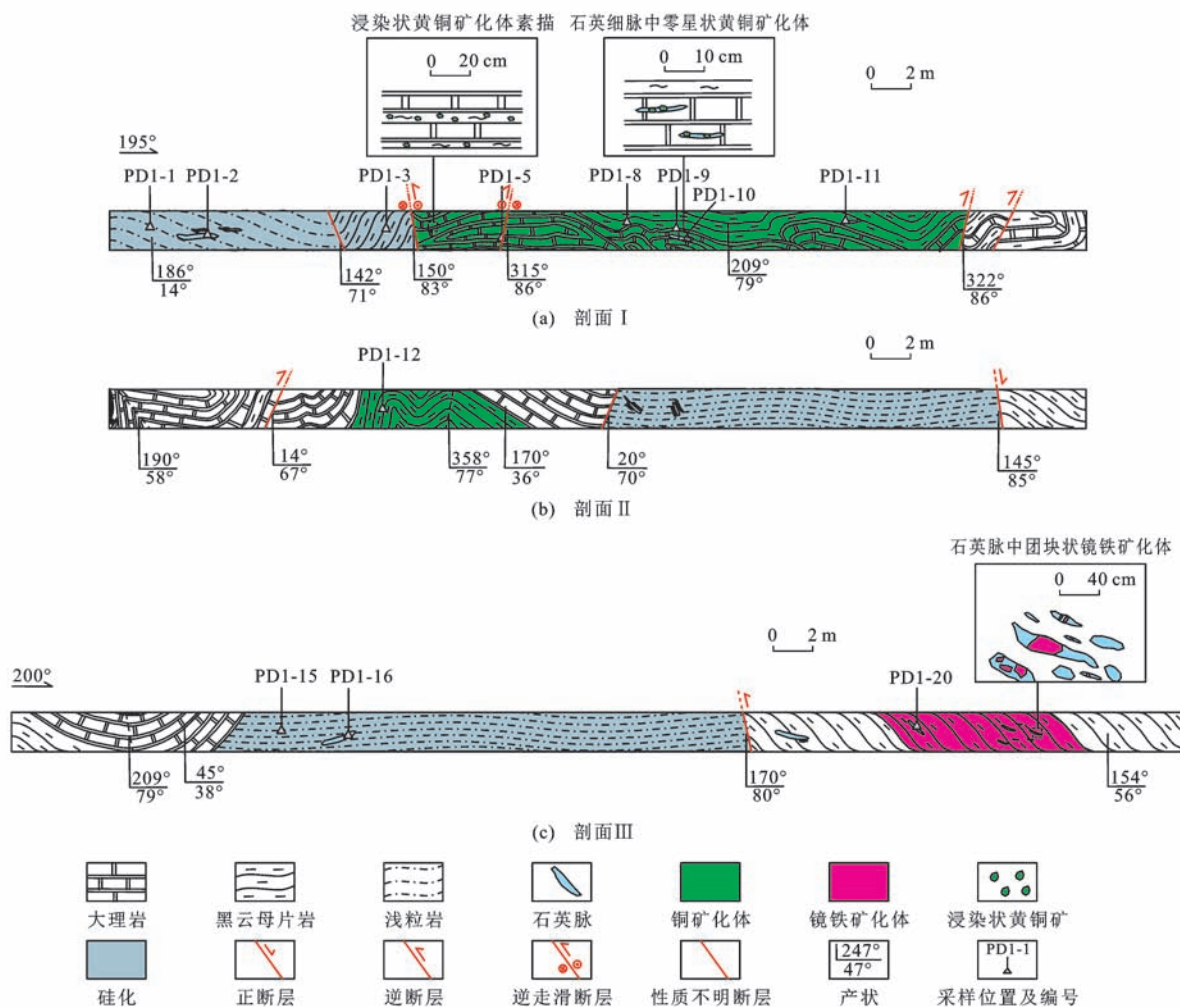


图6 坑道1(PD1)实测剖面

Fig. 6 Measured Sections of the Adit PD1

蚀变和不同类型矿化体的时空关系等特征,将成矿作用过程划分为4个期次:沉积期、变质期、岩浆期和构造热液期(表1)。

4.1 沉积期

铁克里克构造带元古界喀拉喀什岩群的原岩为一套泥质-长英质碎屑岩、碳酸盐岩夹基性、中酸性火山岩的火山-沉积岩系^[17,34,41-43],形成于大陆裂谷环境,历经了从河湖相到滨海相,再到浅海相的转变^[28,42-43]。在沉积过程中,黏土矿物+燧石+含水铁氧化物+碳酸盐矿物+长石的矿物组合形成(表1),处于铁质来源的重要时期,在全球范围内具有普遍意义^[29]。由于后期的变质作用,矿物发生重结晶作用或被后期矿物所替代,原始的沉积构造已被彻底改造或置换。

4.2 变质期

区域沉积地层经受了绿片岩-角闪岩相的区域热动力变质作用^[17,31],形成浸染状磁铁石英岩型

磁铁矿化体。矿物组合为磁铁矿-1+石英+斜长石+钾长石+黑云母+绿泥石+阳起石(表1),变质矿物主要为绿泥石、阳起石。燧石、含水铁氧化物等矿物发生重结晶作用,矿物颗粒增大^[29-30,44]。含水铁氧化物经变质作用转变为具筛状变晶结构的磁铁矿-1[图7(n)],反应式为 $\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{Fe}^{2+} = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$ ^[45];黏土矿物转变为绿泥石、阳起石^[44]。磁铁石英岩型磁铁矿化体呈层状,与围岩产状一致,含矿围岩为浅粒岩,矿石具浸染状构造和粒状变晶结构,其矿化特征与沉积变质型铁矿^[46]基本一致。

4.3 岩浆期

西昆仑地区晚寒武世至奥陶纪时期,原特提斯洋发生强烈的双向俯冲作用^[2-4],此间基性岩侵入矿区南部埃连卡特岩群绿泥石英片岩内[图2(a),图4(a)、(b)]。基性岩内发育浸染状磁铁矿化和黄铜矿化,其特征与辉长岩有关的铁氧化物铜金矿化类似。黄铜

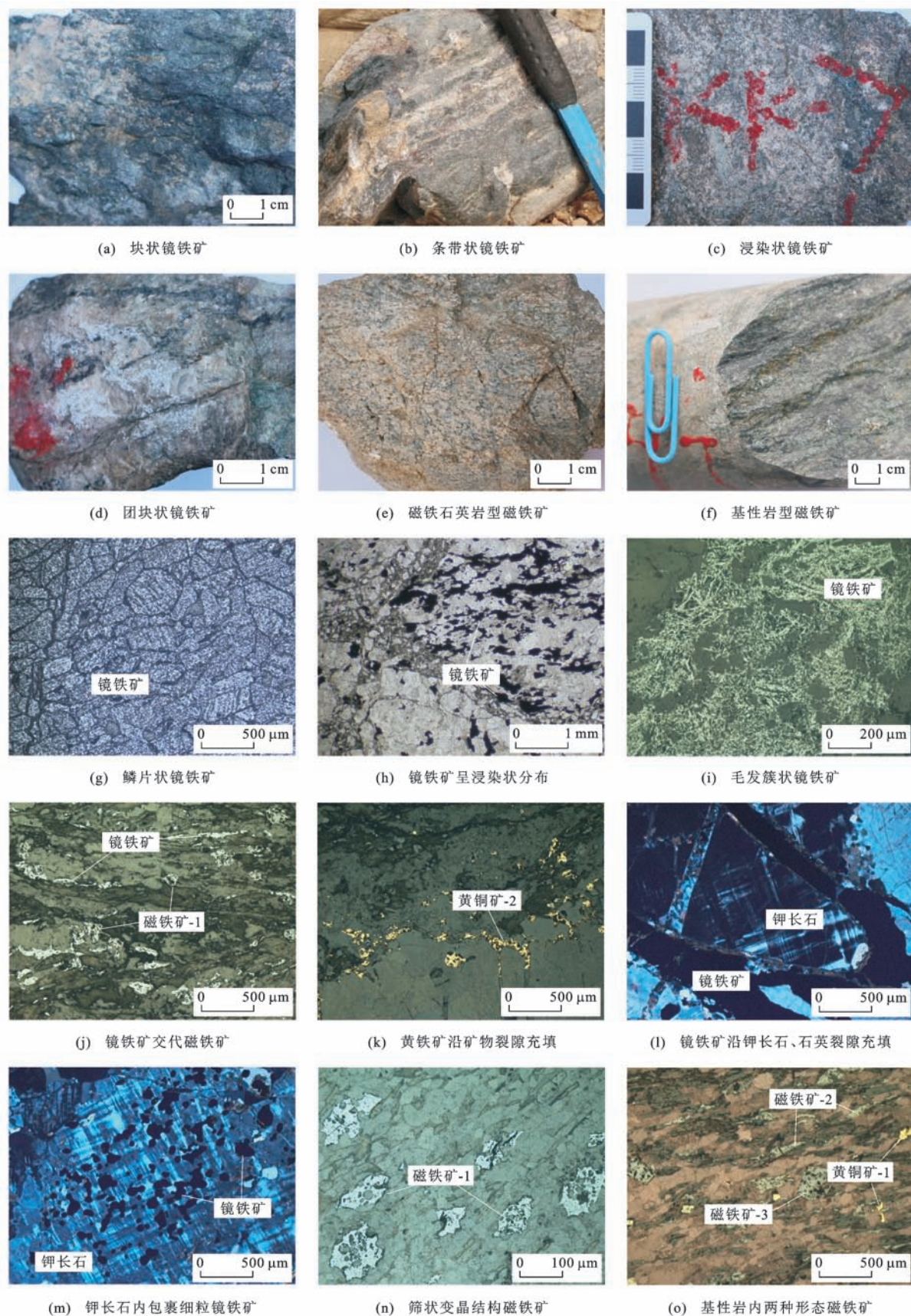


图7 矿石标本和显微镜下特征

Fig. 7 Hand Specimens and Microscopic Characteristics of Ores

矿-1 呈星散状分布于基性岩内[图 7(o)];成岩时的磁铁矿-2 在构造变形作用下发生拉长。矿物组合为普通角闪石+斜长石+磁铁矿-2+黄铜矿-1(表 1)。

表 1 成矿期次划分

Tab.1 Division of Metallogenic Periods				
矿物名称	成矿期次			
	沉积期	变质期	岩浆期	构造热液期
镜铁矿				
磁铁矿-1				
磁铁矿-2				
磁铁矿-3				
黄铜矿-1				
黄铜矿-2				
黄铁矿				
燧石				
含水铁氧化物				
黏土矿物				
石英				
斜长石				
钾长石				
黑云母				
白云母				
阳起石				
角闪石				
绿泥石				
方解石				

注:最细线表示体积分数为5%~10%;中等粗细线表示体积分数为10%~20%;最粗线表示体积分数大于20%。

4.4 构造热液期

西昆仑地区在志留纪时期发生逆冲叠覆造山作用^[2-4],康开铁矿区内地层发生褶皱并形成相关断裂系统,局部发育强烈片理化,并伴随着强烈的热液活动。在此期间,镜铁矿+黄铜矿-2+石英+钾长石+绿泥石+方解石+白云母+磁铁矿-3 的矿物组合形成(表 1),处于镜铁矿体的发育时期,并伴有少量的黄铜矿化。其主要矿化特征为镜铁矿体呈脉状产于背斜北翼断层中,在断层 F₁ 附近发育镜铁矿细脉、含镜铁矿石英细脉和钾长石石英脉[图 7(h)、(i)],以及在磁铁矿石英岩和基性岩中常见镜铁矿交代磁铁矿现象[图 7(j)]。上述特征表明,在构造活动

中深部热液流体活化了磁铁矿石英岩中的磁铁矿,并沿断层 F₁ 向上运移至背斜北翼断层构造中,因氧逸度的升高而沉淀形成镜铁矿脉,并在裂隙系统发生充填形成镜铁矿细脉和含镜铁矿石英细脉[图 5(g)~(i)],同时伴有浸染状镜铁矿化、黄铜矿化、硅化、绿泥石化、碳酸盐化蚀变。基性岩同时发生动力变质作用,形成黑云母、绿泥石和粗粒的磁铁矿-3 变斑晶[图 7(o)],早期的磁铁矿-2 变成长条状沿片理面分布,部分被镜铁矿所交代,暗示了基性岩中的磁铁矿亦为镜铁矿体提供了部分物质来源。

4.5 小 结

康开铁矿床是一个沉积-变质-岩浆-构造热液多期复合型铁铜矿床。元古宙沉积期,铁质初步富集,经历区域变质作用后进一步富集成低品位的磁铁矿石英岩,发育磁铁矿化;奥陶纪时期,形成与俯冲作用相关的基性岩,发育磁铁矿化和黄铜矿化;志留纪时期,在区域挤压构造体制下,早期磁铁矿石英岩中的磁铁矿和基性岩中的磁铁矿发生活化形成含矿热液,向上运移至浅层次的断层和裂隙等构造扩容空间中富集沉淀,形成脉状、似层状镜铁矿,并伴生少量的铜矿化。镜铁矿化向深部逐渐减弱,整体规模有限,但是其可作为指示周围和深部存在与磁铁矿石英岩和基性岩有关的磁铁矿化的直接找矿标志,这一标志在铁克里克构造带中可能具有普遍性意义。

5 结 语

(1)西昆仑铁克里克构造带康开铁矿床发育镜铁矿和磁铁矿两种铁矿化类型,其中磁铁矿化体包括磁铁矿石英岩型和基性岩型两类。

(2)康开铁矿床成矿作用过程可划分为沉积期、变质期、岩浆期和构造热液期 4 个期次,磁铁矿石英岩型矿化体形成于沉积变质期,基性岩型矿化体形成于岩浆期,镜铁矿体形成于构造热液期,即康开铁矿床是多期复合成矿作用的产物。

新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第十地质大队李维建、房培松、庞奎、郝卫、吴文革等在野外工作期间给予了很大支持和帮助,中国地质科学院矿产资源研究所李厚民研究员在铁矿石镜下观察方面给予了细心指导,在此一并表示感谢!

参 考 文 献 :

References :

[1] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 喀喇昆仑山—昆仑山地区地质演化[M]. 北京:科学出版社,2000.

- Comprehensive Scientific Investigation Team of Qinghai-Tibet Plateau of Chinese Academy of Sciences. Geological Evolution of Karakorum-Kunlun Mountains [M]. Beijing: Science Press, 2000.
- [2] 肖文交, 侯泉林, 李继亮, 等. 西昆仑大地构造相解剖及其多岛增生过程[J]. 中国科学: D 辑, 地球科学, 2000, 30(增): 22-28.
- XIAO Wen-jiao, HOU Quan-lin, LI Ji-liang, et al. Tectonic Facies and the Archipelago-accretion Process of the West Kunlun, China[J]. Science in China: Series D, Earth Sciences, 2000, 30(S): 22-28.
- [3] ZHANG Z J, KLEMPERER S, BAI Z M, et al. Crustal Structure of the Paleozoic Kunlun Orogeny from an Active-source Seismic Profile Between Moba and Guide in East Tibet, China[J]. Gondwana Research, 2011, 19(4): 994-1007.
- [4] 丁道桂, 王道轩, 刘伟新, 等. 西昆仑造山带与盆地[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- DING Dao-gui, WANG Dao-xuan, LIU Wei-xin, et al. West Kunlun Orogeny and Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.
- [5] 姜春发, 王宗起, 李锦轶, 等. 中央造山带开合构造[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
- JIANG Chun-fa, WANG Zong-qi, LI Jin-yi, et al. Central Orogeny Opening-closing Tectonics[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000.
- [6] 乔耿彪, 王 萍, 王志华, 等. 西昆仑切列克其菱铁矿床地质地球化学特征及其对矿床成因的制约[J]. 地质学报, 2016, 90(10): 2830-2846.
- QIAO Geng-biao, WANG Ping, WANG Zhi-hua, et al. Genesis of the Qieliekeqi Iron Deposit in Western Kunlun: Evidence from Geological and Geochemical Characteristics[J]. Acta Geologica Sinica, 2016, 90(10): 2830-2846.
- [7] 王 岩, 邢树文, 肖克炎. 西昆仑-阿尔金 Fe-Pb-Zn-Au-稀有金属成矿带成矿特征及资源潜力[J]. 地质学报, 2016, 90(7): 1353-1363.
- WANG Yan, XING Shu-wen, XIAO Ke-yan. Metallogenic Features and Resource Potential of the West Kunlun to Altun Fe-Pb-Zn-Au-rare Metals Metallogenic Belt[J]. Acta Geologica Sinica, 2016, 90(7): 1353-1363.
- [8] 李红中, 翟明国, 张连昌, 等. 西昆仑赞坎地区古元古代化学沉积岩系的地球化学及微区特征研究[J]. 岩石学报, 2016, 32(1): 233-250.
- LI Hong-zhong, ZHAI Ming-guo, ZHANG Lian-chang, et al. Study on Geochemistry and Micro-area Characteristics of Paleoproterozoic Chemical Sedimentary Rocks from Zankan Area, West Kunlun, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2016, 32(1): 233-250.
- [9] 张连昌, 冯 京, 董连慧, 等. 西昆仑塔什库勒干铁矿带矿床类型、成因及成矿规律[J]. 地球科学与环境学报, 2016, 38(4): 427-443.
- ZHANG Lian-chang, FENG Jing, DONG Lian-hui, et al. Deposit Types, Origin and Metallogenetic Regularity of Taxkorgan Iron Ore Belt in West Kunlun[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2016, 38(4): 427-443.
- [10] 郑梦天, 张连昌, 朱明田, 等. 西昆仑喀来子钽-铁矿床地质特征、时代及成因探讨[J]. 地学前缘, 2016, 23(5): 252-265.
- ZHENG Meng-tian, ZHANG Lian-chang, ZHU Ming-tian, et al. Geological Characteristics, Formation Age and Genesis of the Kalaizi Ba-Fe Deposit in West Kunlun[J]. Earth Science Frontiers, 2016, 23(5): 252-265.
- [11] 冯宝山, 李博秦, 郭鸿军, 等. 西昆仑地区矿集区划分及成矿演化[J]. 西北地质, 2016, 49(4): 129-135.
- FENG Bao-shan, LI Bo-qin, GUO Hong-jun, et al. Division and Introduction of West Kunlun Metallogenic Belt[J]. Northwestern Geology, 2016, 49(4): 129-135.
- [12] 董永观, 肖惠良, 郭坤一, 等. 西昆仑地区成矿带特征[J]. 矿床地质, 2002, 21(增): 113-116.
- DONG Yong-guan, XIAO Hui-liang, GUO Kun-yi, et al. Characteristics of Metallogenic Zoning in West Kunlun Mountains[J]. Mineral Deposits, 2002, 21(S): 113-116.
- [13] 吕云峰, 王军年, 尚海军, 等. 新疆皮山县乌克尔铁矿地质特征与成因初探[J]. 新疆有色金属, 2015(5): 1-3.
- LU Yun-feng, WANG Jun-nian, SHANG Hai-jun, et al. Geological Characteristics and Genesis of the Wuker Iron Deposit in Pishan County, Xinjiang[J]. Xinjiang Youse Jinshu, 2015(5): 1-3.
- [14] 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.
- SUN Hai-tian, LI Chun-jie, WU Hai, et al. Introduction to Metallogenic Province in Western Kunlun [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003.
- [15] 贺菊瑞, 芮行健, 郭坤一, 等. 塔里木地块周边的含矿建造和资源远景[J]. 火山地质与矿产, 2000, 21(1): 1-6.
- HE Ju-rui, RUI Xing-jian, GUO Kun-yi, et al. Ore-bearing Formations and Mineral Resources Prospect of the Peripheral Region of Tarim Block, China[J]. Volcanology and Mineral Resources, 2000, 21(1): 1-6.
- [16] 李宝强, 杨万志, 赵树铭, 等. 西昆仑成矿带成矿特征

- 及勘查远景[J]. 西北地质, 2006, 39(2): 128-142.
- LI Bao-qiang, YANG Wan-zhi, ZHAO Shu-ming, et al. Metallogenic Characteristics and Prospecting Areas in the Western Kunlun Metallogenic Belt [J]. North-western Geology, 2006, 39(2): 128-142.
- [17] 周小康, 杜少喜, 彭海练, 等. 塔里木南缘铁克里克铁矿成矿地质条件与找矿前景分析[J]. 陕西地质, 2009, 27(1): 27-36.
- ZHOU Xiao-kang, DU Shao-xi, PENG Hai-lian, et al. The Metallogenic Condition and Prospecting Potential of Tiekeli-like Iron Ore Deposit in the Southern Tarim[J]. Geology of Shaanxi, 2009, 27(1): 27-36.
- [18] 冯友全. 新疆布琼铁矿地质特征及矿床成因初步探讨[J]. 科技资讯, 2015, 13(13): 84-86.
- FENG You-quan. Geological Characteristics and Genesis of the Buqiong Iron Deposit in Xinjiang[J]. Science and Technology Information, 2015, 13(13): 84-86.
- [19] 潘东. 八钢公司主要铁矿山成矿模式探讨[J]. 新疆钢铁, 2015(2): 27-33.
- PAN Dong. Research on the Mineralization Model of Main Iron Mines for Bayi Steel[J]. Xinjiang Iron and Steel, 2015(2): 27-33.
- [20] 孙政浩. 西昆仑铁克里克成矿带布琼铁(铜)矿床地质地球化学特征与矿床成因[D]. 北京: 中国地质大学, 2017.
- SUN Zheng-hao. A Study on Geology, Geochemistry Feature and Genesis of the Buqiong Iron Deposit in Tiekeli-like Metallogenic Belt, West Kunlun[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2017.
- [21] 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第十地质大队. 新疆皮山县康开铁矿普查地质报告[R]. 和田: 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第十地质大队, 2009.
- No. 10 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development. Geological Census Report of Kangkai Iron Deposit in Pishan County, Xinjiang[R]. Hotan: No. 10 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, 2009.
- [22] 张或丹. 铁克里克山前逆冲带及其找油前景[J]. 江汉石油学院学报: 自然科学版, 1988, 10(1): 1-10.
- ZHANG Huo-dan. Thrust-fault Zones in Front of the Tiekeli-like Mountain and the Prospect for Oil and Gas [J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, Natural Science Edition, 1988, 10(1): 1-10.
- [23] 龚文平. 塔西南铁克里克逆冲推覆构造的变形特征[J]. 石油天然气学报, 2010, 32(5): 46-48.
- GONG Wen-ping. The Deformational Characteristics of the Tiekeli-like Thrust-nappe Structures in Southwest Tarim Basin[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2010, 32(5): 46-48.
- [24] 潘裕生. 西昆仑山构造特征与演化[J]. 地质科学, 1990(3): 224-232.
- PAN Yu-sheng. Tectonic Features and Evolution of the Western Kunlun Mountain Region[J]. Scientia Geologica Sinica, 1990(3): 224-232.
- [25] 韩芳林, 崔建堂, 计文化, 等. 于田县幅、伯力克幅地质调查新成果及主要进展[J]. 地质通报, 2004, 23(5/6): 555-559.
- HAN Fang-lin, CUI Jiang-tang, JI Wen-hua, et al. New Results and Major Progress in Regional Geological Survey of the Yutian County and Bolike Sheets [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(5/6): 555-559.
- [26] 陈刚, 汤良杰, 余腾孝, 等. 塔里木盆地巴楚—麦盖提地区前寒武系不整合对基底古隆起及其演化的启示[J]. 现代地质, 2015, 29(3): 576-583.
- CHEN Gang, TANG Liang-jie, YU Teng-xiao, et al. Implications of Precambrian Unconformity to Basement Paleouplift and Its Tectonic Evolution of Bachu-Markit Area, Tarim Basin[J]. Geoscience, 2015, 29(3): 576-583.
- [27] WANG C, WANG Y H, LIU L, et al. The Palaeoproterozoic Magmatic-metamorphic Events and Cover Sediments of the Tiekeli-like Belt Along the Southwestern Margin of the Tarim Craton, Northwestern China [J]. Precambrian Research, 2014, 254: 210-225.
- [28] VAVRA G, SCHMID R, GEBAUER D. Internal Morphology, Habit and U-Th-Pb Microanalysis of Amphibolite-to-granulite Facies Zircons: Geochronology of the Ivrea Zone[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1999, 134(4): 380-404.
- [29] KLEIN C. Some Precambrian Banded Iron-formations (BIFs) from Around the World: Their Age, Geologic Setting, Mineralogy, Metamorphism, Geochemistry, and Origins[J]. American Mineralogist, 2005, 90(10): 1473-1499.
- [30] KLEIN C. Changes in Mineral Assemblages with Metamorphism of Some Precambrian Banded Iron-formations[J]. Economic Geology, 1973, 68(7): 1075-1088.
- [31] 王向利, 高小平, 刘幼骥, 等. 塔里木盆地南缘铁克里克断隆结晶基底特征[J]. 西北地质, 2010, 43(4): 95-112.
- WANG Xiang-li, GAO Xiao-ping, LIU You-qi, et al. Crystal Basement Feature of Tiekeli-like Fault-uplift at Southern Margin of Tarim Basin [J]. Northwestern

- Geology, 2010, 43(4): 95-112.
- [32] 张传林, 陆松年, 于海峰, 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, 地球科学, 2007, 37(2): 145-154.
- ZHANG Chuan-lin, LU Song-nian, YU Hai-feng, et al. Tectonic Evolution of West Kunlun, North Margin of Tibet: Evidence of SHRIMP and LA-ICP-MS Zircon Dating[J]. Science in China: Series D, Earth Sciences, 2007, 37(2): 145-154.
- [33] 陕西省地质调查院. 1: 250 000 恰哈地区区域调查报告[R]. 西安: 陕西省地质调查院, 2005.
- Shaanxi Geological Survey Institute. Regional Survey Report on the 1: 250 000 Qiaha Region[R]. Xi'an: Shaanxi Geological Survey Institute, 2005.
- [34] 王超, 刘良, 车自成, 等. 塔里木南缘铁克里克构造带东段前寒武纪地层时代的新限定和新元古代地壳再造: 锆石定年和 Hf 同位素的约束[J]. 地质学报, 2009, 83(11): 1647-1656.
- WANG Chao, LIU Liang, CHE Zi-cheng, et al. Zircon U-Pb and Hf Isotopic from the East Segment of Tiekeli Tectonic Belt: Constraints on the Timing of Precambrian Basement at the Southwestern Margin of Tarim, China[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(11): 1647-1656.
- [35] WANG C, LIU L, HE S P, et al. Timing of Precambrian Basement from East Segment of Tiekeli Tectonic Belt, Southwestern Tarim, China: Constraints from Zircon U-Pb and Hf Isotopic[J]. Journal of Earth Science, 2012, 23(2): 142-154.
- [36] 许荣华, 张玉泉, 谢应雯, 等. 西昆仑山北部早古生代构造-岩浆带的发现[J]. 地质科学, 1994, 29(4): 313-328.
- XU Rong-hua, ZHANG Yu-quan, XIE Ying-wen, et al. A Discovery of an Early Paleozoic Tectono-magmatic Belt in the Northern Part of West Kunlun Mountains[J]. Scientia Geologica Sinica, 1994, 29(4): 313-328.
- [37] 张传林, 王中刚, 沈加林, 等. 西昆仑山阿卡孜岩体锆石 SHRIMP 定年及其地球化学特征[J]. 岩石学报, 2003, 19(3): 523-529.
- ZHANG Chuan-lin, WANG Zhong-gang, SHEN Jia-lin, et al. Zircon SHRIMP Dating and Geochemistry Characteristics of Akazi Rock Mass of Western Kunlun[J]. Acta Petrologica Sinica, 2003, 19(3): 523-529.
- [38] ZHANG C L, LI Z X, LI X H, et al. An Early Paleoproterozoic High-K Intrusive Complex in Southwestern Tarim Block, NW China: Age, Geochemistry, and Tectonic Implications[J]. Gondwana Research, 2007, 12(1/2): 101-112.
- [39] 康磊, 校培喜, 高晓峰, 等. 西昆仑地区元古宙岩浆侵入作用及构造-岩浆演化过程[J]. 西北地质, 2014, 47(4): 1-12.
- KANG Lei, XIAO Pei-xi, GAO Xiao-feng, et al. Proterozoic Intrusive Magmatism in West Kunlun Area and Its Inspiration to Tectonic-magmatic Evolution[J]. Northwestern Geology, 2014, 47(4): 1-12.
- [40] 李玮, 高卫, 刘淑琴, 等. 塔里木西南缘和田布雅花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及地质意义[J]. 新疆地质, 2007, 25(3): 237-242.
- LI Wei, GAO Wei, LIU Shu-qin, et al. Zircon SHRIMP U-Pb Dating of Buya Granite and Its Geological Significance Discuss from the Southwest Tarim Basin, Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 2007, 25(3): 237-242.
- [41] 于晓飞. 西昆仑造山带区域成矿规律研究[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
- YU Xiao-fei. Study on Regional Metallogenic Laws in Western Kunlun Orogenic Belt[J]. Changchun: Jilin University, 2010.
- [42] 张传林, 赵宇, 郭坤一, 等. 塔里木南缘元古代变质基性火山岩地球化学特征: 古塔里木板块中元古代裂解的证据[J]. 地球科学, 2003, 28(1): 47-53.
- ZHANG Chuan-lin, ZHAO Yu, DUO Kun-yi, et al. Geochemistry Characteristics of the Proterozoic Metabasalt in Southern Tarim Plate: Evidence for the Meso-Proterozoic Breakup of Paleo-Tarim Plate[J]. Earth Science, 2003, 28(1): 47-53.
- [43] WANG C, LIU L, WANG Y H, et al. Recognition and Tectonic Implications of an Extensive Neoproterozoic Volcano-sedimentary Rift Basin Along the Southwestern Margin of the Tarim Craton, Northwestern China[J]. Precambrian Research, 2015, 257: 65-82.
- [44] HAGEMANN S G, ANGERER T, DUURING P, et al. BIF-hosted Iron Mineral System: A Review[J]. Ore Geology Reviews, 2016, 76: 317-359.
- [45] OHMOTO H. Nonredox Transformations Magnetite-hematite in Hydrothermal Systems[J]. Economic Geology, 2003, 98(1): 157-161.
- [46] LI H M, ZHANG Z J, LI L X, et al. Types and General Characteristics of the BIF-related Iron Deposits in China[J]. Ore Geology Reviews, 2014, 57: 47-66.