

·矿产资源·

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

燕长海^{1,3}, 陈曹军^{2a}, 曹新志^{2b}, 张旺生^{2c}, 陈俊魁^{1,3}, 李山坡¹, 刘品德¹

YAN Chang-hai¹, CHEN Cao-jun^{2a}, CAO Xin-zhi^{2b}, ZHANG Wang-sheng^{2c},
CHEN Jun-kui^{1,3}, LI Shan-po¹, LIU Pin-de¹

1. 河南省地质调查院/河南省金属矿产成矿地质过程与资源利用重点实验室, 河南 郑州 450007;

2. 中国地质大学研究生院(a)资源学院(b)地球科学学院(c), 湖北 武汉 430074;

3. 中国地质大学(北京), 北京 100083

1. Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou 450007, Henan, China;

2. Graduate school(a), Faculty of Resources(b), Faculty of Earth Sciences(c), China University of Geosciences,

Wuhan 430074, Hubei, China; 3. China University of Geosciences, Beijing 100083, China

摘要:新疆塔什库尔干地区近年来发现了一系列规模较大的铁矿床,如老井铁矿床、乔普卡里莫铁矿床、叶里克铁矿床、吉尔铁克沟铁矿床等。由于这些矿床具有较为独特的矿床地质特征和成矿时代特点而有别于世界上已知的铁矿床,因而将其命名为“帕米尔式”铁矿床。以老井铁矿床为例对“帕米尔式”铁矿床的地质特征、成矿年代、矿床成因等进行了初步研究。研究表明,“帕米尔式”铁矿床主要赋存于布伦托勒岩群黑云石英片岩岩性段内,该岩性段磁铁矿化现象较为普遍,普遍发育磁铁矿、黄铁矿、石膏、硬石膏的矿物共生组合,为一种特殊的膏铁建造;LA-ICP-MS 碎屑锆石 U-Pb 同位素测年表明,含铁建造布伦托勒岩群的形成时代为早古生代;矿床成因类型为海相火山沉积型磁铁矿矿床,后期受到一定的区域变质作用的叠加改造。该类型矿床的发现,对于丰富世界铁矿床的类型和同类型铁矿床的找矿工作都具有重要的借鉴意义。

关键词:“帕米尔式”铁矿床;地质特征;成矿时代;新疆塔什库尔干地区

中图分类号: P618.31

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2012)04-0549-09

Yan C H, Chen C J, Cao X Z, Zhang W S, Chen J K, Li S P, Liu P D. The discovery of the “Pamir-type” iron deposits in Taxkorgan area of Xinjiang and its geological significance. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(4):549-557

Abstract: A series of relatively large-size magnetite deposits have been discovered in Taxkorgan area of western Kunlun, Xinjiang, e. g., Laobing iron deposit, Qiaopukalimo iron deposit, Yelike iron deposit and Jiertekegou iron deposit. Because these deposits have unique geological features and metallogenic epoch, the authors name them “Pamir-type” iron deposits as a new type of iron deposit in the world. With the Laobing iron deposit as an example, the authors studied geological features, metallogenic epoch and genesis of this kind of ore deposit, and the results show that the ore deposit occurs in biotite quartz schist of Bulunkuo Group, where magnetite mineralization is extensively developed with the syngenetic combination of magnetite-pyrite-gypsum-anhydrite, which constitutes a special anhydrite-gypsum-iron formation. LA-ICP-MS U-Pb isotopic dating of detrital zircon shows that iron formation of Bulunkuo Group was formed in early Paleozoic period, and the ore deposit was genetically of marine volcanic sedimentary magnetite type subjected to later superimposed reformation of some regional metamorphism. The discovery of the new iron deposit type has important reference significance in enriching types of iron deposits and prospecting for the same type of iron deposits all over the world.

Key words: “Pamir-type” iron deposit; geological characteristics; metallogenic epoch; Taxkorgan area of Xinjiang

收稿日期: 2011-09-25; 修订日期: 2011-12-02

资助项目: 中国地质调查局项目《新疆西昆仑塔什库尔干地区铁铅锌矿远景调查评价》(编号: 1212010880302)

作者简介: 燕长海(1955-), 男, 博士, 教授级高级工程师, 从事矿床地质研究工作。E-mail: ddyych@126.com

新疆塔什库尔干地区地处新疆西南部的西昆仑山高寒地区,隶属于帕米尔构造结。帕米尔构造结是印度板块和欧亚大陆碰撞挤压最强烈的地区^[1-2]。研究区横跨塔里木板块、西昆仑造山带、喀喇昆仑造山带三大地质构造单元,自西向东被塔阿西、康西瓦、柯岗 3 个大型结合带分为 4 个次级地质单元。该区经历了漫长的地质构造演化史和复杂的变质变形过程,形成了区内独特的成矿地质特征。区内磁铁矿床是 2003 年河南省地质调查院在该区进行国土资源大调查项目《1:25 万塔什库尔干县等 3 幅区域地质调查》过程中首次发现的^[2],后经大调查项目《新疆塔什库尔干—莎车铁铅锌矿评价》确认^[3]。刘国印等^[3]、陈俊魁等^[4]认为该区域的磁铁矿为沉积变质型铁矿。通过近年来的进一步勘查评价,老井、乔普卡里莫和吉尔铁克沟铁矿床(产地)均已达大型—超大型矿床(产地)规模,同时还新发现了叶里克沟和塔喀尔等铁矿床(点)。笔者在开展《新疆西昆仑塔什库尔干地区铁铅锌矿远景调查评价》项目的过程中,通过综合研究区内磁铁矿床的地质特征、成矿年代和矿床成因,发现其与世界上已知的前寒武纪 BIFs 型铁矿床和中国太古宙“鞍山式”铁矿床、古元古代“大栗子式”铁矿床、中元古代“宣龙式”铁矿床、泥盆纪“宁乡式”铁矿床等在矿床地质特征、成矿时代方面具有明显的差异。由于其具有特殊的矿床地质特征和成矿时代,故将其独立于以上铁矿床而命名为“帕米尔式”铁矿床。

1 “帕米尔式”铁矿床的地质特征

区内目前已发现铁矿床(点)10 余处,如老井、乔普卡里莫、叶里克、吉尔铁克沟、塔阿西等(图 1)。这些铁矿床均位于塔阿西—塔吐鲁沟火山沉积盆地,以老井铁矿床、乔普卡里莫铁矿床、叶里克铁矿床规模最大。各矿床地质特征基本相似,矿床主要赋存于布伦阔勒岩群黑云石英片岩岩性段内,矿石类型较为复杂,普遍发育(硬)石膏磁铁矿石,形成了一种特殊的膏铁建造。各矿区内岩浆活动不强烈,未见大规模的岩浆侵入活动,仅老井矿区出露少量的闪长岩、乔普卡里莫矿区见少量的霏细岩,其它地方的侵入岩多以脉岩出露,从目前来看区内铁矿的形成与岩浆侵入活动关系不密切。总体看来,区内铁矿床与国内外已知的沉积型、沉积变质型铁矿床地质特征具有明显的差别。下面

以老井铁矿床为例对“帕米尔式”铁矿床的地质特征进行剖析和介绍。

1.1 赋矿岩系的特征

老井矿区内出露的地层以布伦阔勒岩群为主,沿沟谷和缓坡发育有第四系松散沉积物(图 2)。前人认为布伦阔勒岩群形成于古元古代,但据笔者最新的研究成果,应属于早古生代地层,具体讨论见后面第 2 节。赋矿岩系为中、浅变质岩系,主要为绿片岩相,局部为角闪岩相。赋矿围岩主要为黑云石英片岩、变质细(粉)砂岩、斜长角闪片岩,其原岩恢复为中基性火山岩与粉砂岩、杂砂岩、泥质岩等互层或夹层。区内铁矿主要赋存于黑云石英片岩岩性段内,该岩性段中磁铁矿化较为普遍,以浸染状矿石为主,局部见薄层的致密块状磁铁矿石。其中,致密块状富矿石主要产于砂质成分较高的地层中,即泥质岩向砂岩的渐变带中。

如前所述,矿体的赋矿围岩以布伦阔勒岩群黑云石英片岩为主,局部为变质砂岩,两者的共同特征

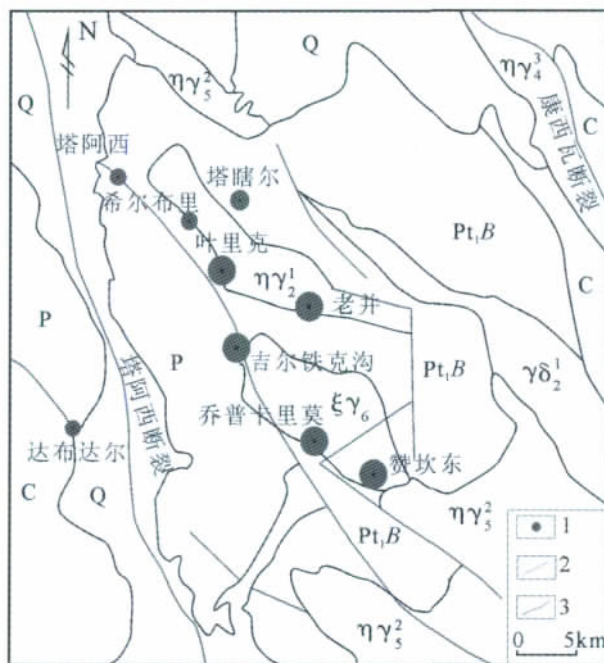


图 1 塔什库尔干地区铁矿床分布地质简图
(据参考文献①修编)

Fig. 1 Geological sketch map of iron deposits
in Taxkorgan area

Q—第四系;C—石炭系;P—二叠系;Pt,B—古元古界布伦阔勒岩群; $\xi\gamma_6$ —喜马拉雅期正长花岗岩; $\eta\gamma_2^2$ —燕山早期二长花岗岩; $\eta\gamma_3^3$ —华力西晚期二长花岗岩; $\gamma\delta_2^1$ —古元古代花岗闪长岩; $\eta\gamma_2^1$ —古元古代二长花岗岩;1—铁矿床;2—断层;3—地质界线

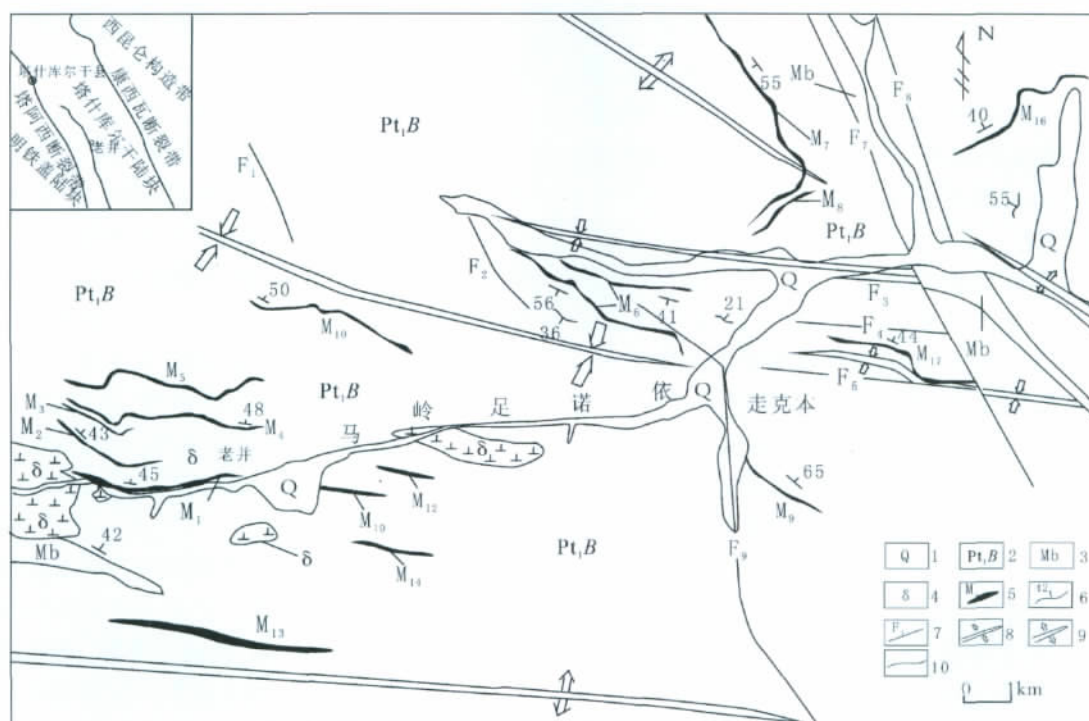


图2 老井矿区地质简图

Fig. 2 Geological sketch map of the Laobing mining area

1—第四系;2—古元古界布伦阔勒岩群;3—大理岩;4—闪长岩体;5—矿体及编号;
6—地层产状;7—断层及编号;8—背斜轴迹;9—向斜轴迹;10—地质界线

是都具有不同程度的磁铁矿化,现描述如下。

黑云石英片岩(图版 I-A):岩石呈深灰色、灰黑色,具斑状变晶结构、鳞片粒状变晶结构、纤维粒状变晶结构,片状构造。主要矿物为石英(50%)、黑云母(30%),次要矿物为斜长石(5%)、角闪石(3%)、白云母(5%)、石榴子石(2%),副矿物为磁铁矿(5%),各类矿物均定向分布。其中,副矿物磁铁矿呈它形粒状,粒径在 0.02~0.5mm 之间,零星分布。矿体附近的岩石中磁铁矿含量较高,磁铁矿呈它形粒状,与石英、斜长石、黑云母等浸染状分布(图版 I-B),石英具波状消光,黑云母局部可见挠曲结构。

变质砂岩(图版 I-C):岩石呈灰白色,具变余细粒砂状结构,层状构造。石英含量较高,石英已发生重结晶,多数呈不规则粒状,大小 0.1~0.3mm,微定向分布。次要矿物为黑云母,副矿物为磁铁矿,二者零星分布(图版 I-D)。

1.2 矿体特征

老井矿区内目前已经发现了数十条磁铁矿(化)体,其中以 M_1 、 M_6 、 M_7 、 M_{13} 为主要矿体,各矿体均赋

存于黑云石英片岩岩性段中。矿体走向以 NW—SE 向为主,严格受地层层位和岩性的控制,主要呈层状、似层状,与围岩呈渐变过渡关系,局部与围岩发生同步褶曲,矿体具有明显的沉积成矿特征。下面仅简要介绍 M_6 、 M_7 、 M_{13} 矿体。

M_6 矿体:分布于矿区中部走克本沟两旁,呈 U 字形层状展布,主要赋存于黑云石英片岩中,与顶底板围岩呈整合接触、顺层产出。矿体出露于走克本背斜两翼,其中北翼矿体北倾,倾角 15~60°,南翼矿体南倾,倾角 37~54°。现控制矿体总长度 3200m,平均厚度 21.97m,平均品位 TFe 32.41%、mFe 30.12%。矿体上下盘均为黑云石英片岩,矿石中可见含黄铁矿、(硬)石膏磁铁矿石和含黄铁矿磁铁矿石。

M_7 矿体:分布于矿区东北部,呈层状与围岩整合产出。矿体上盘围岩为片麻状变砂岩,下盘为黑云石英片岩。矿体走向 NW—SE,倾向 NE,倾角平均约 40°,矿体与围岩产状基本一致。地表控制矿体长度约 2500m,平均厚度 9.53m,平均品位 TFe 为 45.86%。其矿石类型与 M_6 号矿体相似。

M₁₃ 矿体:分布于矿区东南部,呈层状与围岩呈整合产出。矿体下盘为含磁铁矿黑云石英片岩,上盘为二云石英片岩。矿体走向 NW—SE,倾向 NE,倾角平均约 50°。矿体沿走向延伸较长,厚度变化较大,局部厚度达 20m,平均品位 TFe 42.6%。其矿石类型以绿泥石磁铁矿石为主。

1.3 矿石特征

老井矿区矿石类型较为复杂,初步可分为以下几种:斜长角闪岩型磁铁矿石(图版 I—E)、黑云石英磁铁矿石(图版 I—F)、石英磁铁矿石(图版 I—G)、绿泥石磁铁矿石(图版 I—H)、含黄铁矿磁铁矿石(图版 I—I)、角闪石英磁铁矿石(图版 I—J)、(硬)石膏磁铁矿石(图版 I—K)、方解石磁铁矿石(图版 I—L)。其中,以石膏磁铁矿型磁铁矿石为主,矿石中石膏与磁铁矿主要呈浸染状分布。

区内含黄铁矿磁铁矿石和(硬)石膏磁铁矿石在 M₆、M₇ 矿体中普遍发育,(硬)石膏磁铁矿石是 M₆、M₇ 两个主矿体的主要矿石类型,形成了区内特殊的膏铁建造组合,为沉积型铁矿中的特殊类型,深部钻孔中常见二者互层产出。2 种矿石中黄铁矿、(硬)石膏、磁铁矿主要呈浸染状、纹层状分布,表明三者为同一成矿期的产物,初步判定为沉积成因。下面针对这 2 种矿石类型进行分述。

含黄铁矿磁铁矿石:产于 M₆、M₇ 号矿体中,呈层状或似层状分布于黑云石英片岩岩性段中,局部被细脉状的石膏穿插。矿石呈灰白色—灰黑色,粒状结构,浸染状、纹层状构造,矿石矿物主要以磁铁矿和黄铁矿为主,二者呈浸染状分布(图版 I—M),此外含少量的黄铜矿和磁黄铁矿。磁铁矿呈半自形—它形粒状,粒径变化较大,一般在 0.1~0.5mm 之间。黄铁矿呈它形粒状,粒径在 0.01~0.5mm 之间,二者之间有相互穿插交代现象,形成交代残余结构(图版 I—N、O、P),表明它们应为同一成矿期的产物,初步判定为原始沉积成因。脉石矿物有石英、黑云母、角闪石及少量的石膏等。

含(硬)石膏磁铁矿石:产于 M₆、M₇ 号矿体中。呈层状分布于黑云石英片岩岩性段中,沿走向延伸较为稳定。矿石呈灰白色,粒状结构,浸染状、纹层状构造(图版 I—Q),矿石矿物以磁铁矿、黄铁矿为主,含有少量的黄铜矿。磁铁矿呈它形粒状,粒径在 0.01~0.5mm 之间。黄铁矿呈它形粒状沿磁铁矿晶体间隙充填交代(图版 I—R),表明黄铁矿形成时代略

晚于磁铁矿。脉石矿物以石膏、硬石膏、黑云母为主,含有少量的绿泥石、角闪石等。其中,脉石矿物石膏、硬石膏与磁铁矿呈浸染状分布(图版 I—S),局部可见黑云母沿石膏、硬石膏间隙分布(图版 I—T)。

老井矿区铁矿物主要为磁铁矿,另有极少量赤铁矿、褐铁矿。金属硫化物以黄铁矿为主,此外含有少量的黄铜矿、磁黄铁矿。脉石矿物以石英、黑云母、绿泥石、角闪石、石膏、硬石膏为主,此外含有少量的角闪石、石榴子石等。矿石结构主要有自形、半自形—它形粒状结构、碎裂结构、填隙结构、穿插结构、交代残余结构、固溶体分离结构、假像结构、变质重结晶(加大边)结构、环带结构等。矿石构造主要有条带状构造、浸染状构造、块状构造。

1.4 成矿期次划分

根据矿体野外地质产状特征、矿石结构构造和主要矿物穿插交代关系,把老井铁矿床划分为 4 个成矿期,即原始沉积期、区域变质期、热液改造期和表生氧化期。其中,原始沉积期为区内磁铁矿形成的主要时期,区域变质期对磁铁矿的富集起到了一定的作用。

(1)原始沉积期:为成矿作用的初始阶段,主要形成了一套富铁质的初始含铁建造,即布伦阔勒岩群黑云石英片岩岩性段。这一阶段的铁矿物主要以原始沉积形成的磁铁矿为主,有少量的黄铁矿和极少量的赤铁矿,三者近于同时形成。

(2)区域变质期:为磁铁矿的富集阶段。主要为早期沉积形成的极少量的赤铁矿经变质作用形成磁铁矿,同时部分磁铁矿经变质重结晶作用颗粒增大。

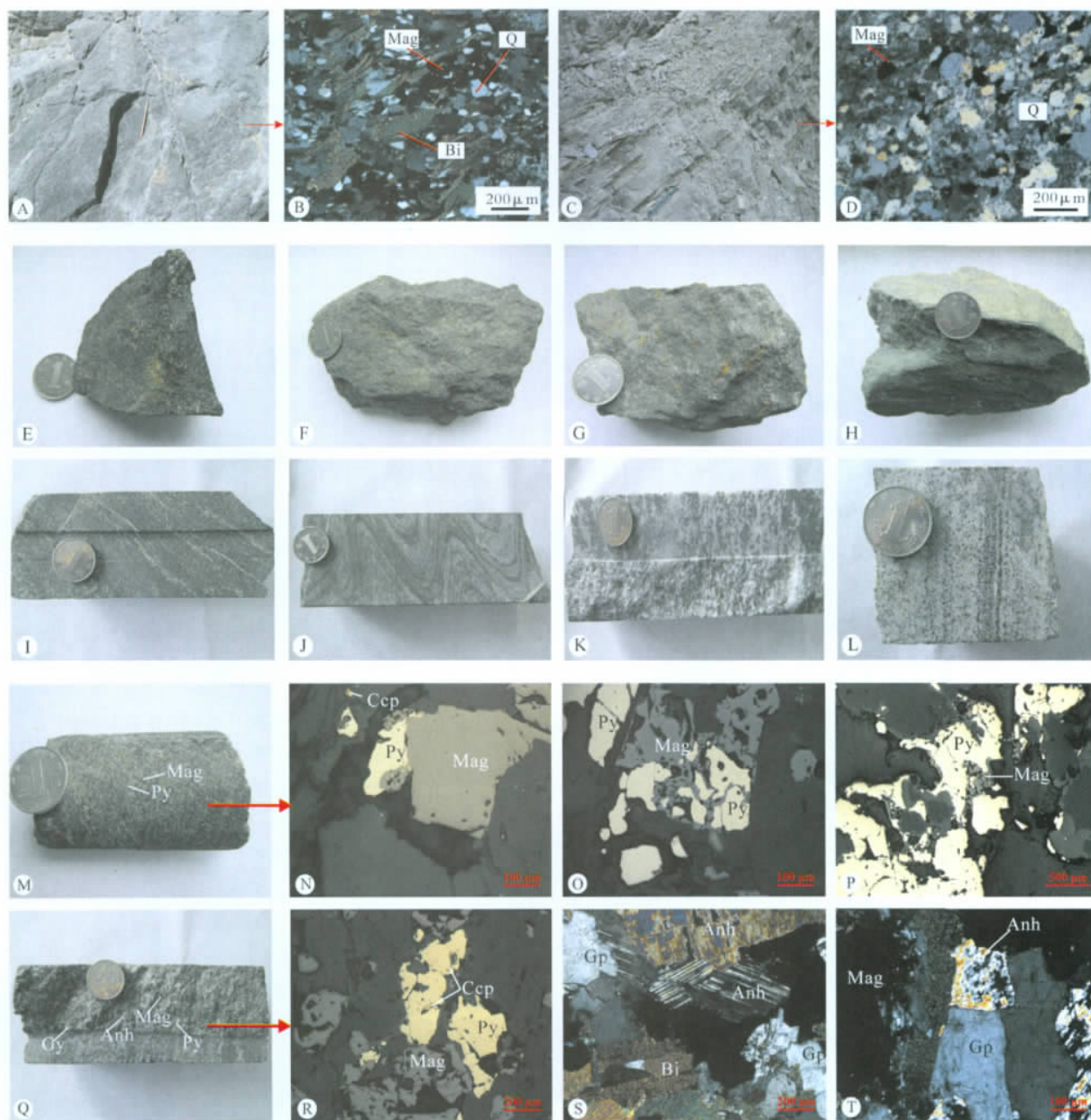
(3)热液改造期:这一阶段对磁铁矿形成影响较小,主要形成铁和铜的硫化物,以黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿为主。手标本上常见铁、铜的硫化物与磁铁矿呈浸染状分布,未见明显的穿插关系,初步认为其为变质热液作用的产物。

(4)表生氧化期:主要为早期形成的金属矿物发生表生氧化作用,如磁铁矿经表生氧化形成褐铁矿和赤铁矿,黄铁矿风化氧化形成褐铁矿和黄钾铁矾,少量黄铜矿氧化形成铜蓝。

2 “帕米尔式”铁矿床的成矿时代

区内布伦阔勒岩群磁铁矿化现象较为普遍,铁矿体主要呈层状、似层状,矿体沿走向延伸较稳定,与围岩整合接触,呈渐变过渡关系。从铁矿床的地质

图版 I Plate I



老井矿区含矿岩石野外产状、典型矿石标本照片及其镜下显微特征

A—黑云石英片岩野外产状;B—黑云石英片岩显微结构:黑云母(Bi)、石英(Q)、磁铁矿(Mag)呈浸染状分布,正交偏光;
C—变质砂岩野外产状;D—石英与磁铁矿呈浸染状分布,正交偏光;E—斜长角闪岩型磁铁矿石;F—黑云石英磁铁矿石;
G—石英磁铁矿石;H—绿泥石磁铁矿石;I—含纹层状黄铁矿磁铁矿石;J—角闪石英磁铁矿石;K—(硬)石膏磁铁矿石;
L—方解石磁铁矿石;M—含黄铁矿磁铁矿石野外产状特征及显微结构:M—黄铁矿与磁铁矿呈浸染状;N—磁铁矿(Mag)
交代黄铁矿(Py)形成交代残余结构(反射光);O—黄铁矿(Py)交代磁铁矿(Mag)形成交代残余结构(反射光);P—磁铁矿(Mag)
沿黄铁矿(Py)间隙充填;Q—T—含黄铁矿、(硬)石膏磁铁矿石野外产状特征及显微结构:Q—磁铁矿(Mag)、石膏(Gy)、
硬石膏(Anh)、黄铁矿(Py)呈浸染状;R—黄铁矿(Py)沿磁铁矿(Mag)间隙分布,并被黄铜矿(Ccp)沿内部交代(反射光);
S—石膏(Gp)、硬石膏(Anh)、磁铁矿(Mag)呈浸染状分布(正交偏光);T—黑云母(Bi)沿石膏(Gp)、硬石膏(Anh)间隙分布(正交偏光)

特征来看,铁矿床的形成与沉积作用密切相关,铁矿床的形成年代应与布伦阔勒岩群的形成时代一致。

前人对于区内含铁岩系布伦阔勒岩群的形成时代一直存在较大争议。前苏联学者将布伦阔勒岩群的形成时代归于古元古代^[5];孙海田等^[6]获得布伦阔勒岩群斜长角闪片麻岩形成年龄为 1828Ma,认为布伦阔勒岩群这套斜长角闪片麻岩形成于古元古代;张传林等^[7]测定了西昆仑西段布伦阔勒岩群内石榴黑云片麻岩和矽线石榴黑云片岩中锆石的年龄,表明沉积于新元古代晚期—早古生代早期,并在加里东期和海西—印支期发生变质。认为古元古代的布伦阔勒岩群实质上由北部的角闪岩相变质的火山—沉积岩系和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;杨文强等^[8]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不早于 (253 ± 2) Ma 和 (480 ± 8) Ma,对应的变质时代为 (220 ± 2) Ma 和 (220 ± 3) Ma,认为矽线石榴片岩—石英岩岩石组合单元应从原来的古元古代“布伦阔勒岩群”中划分出来。

本次研究分别采取了老井矿区内布伦阔勒岩群中磁铁体上盘的长英质片岩和夹层中的黑云石英片岩样品各 1 件。锆石阴极发光图像显示,大部分锆石具有环带结构,个别具有不清晰的生长环带或无

环带结构,锆石类型应为物源条件较为单一的继承性碎屑锆石。LA-ICP-MS 测年在中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室完成。测试结果显示,长英质片岩中继承性碎屑锆石年龄加权平均值为 (532 ± 3.9) Ma(图 3),黑云石英片岩中继承性碎屑锆石年龄加权平均值为 (526 ± 5) Ma(图 4)。

由于 2 个样品取自同一矿区互层的变质岩中,测试结果年龄也较为相近,因此将 2 个样品的测试结果放在一起进行年龄统计(图 5)。结果显示,继承

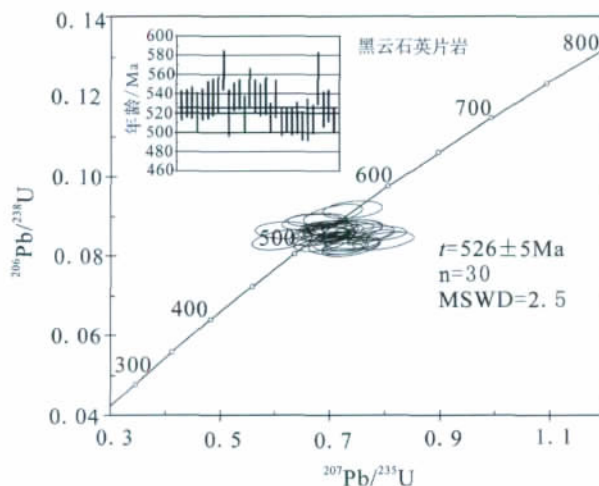


图 4 老井矿区黑云石英片岩碎屑锆石 U-Pb 谐和曲线及 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值

Fig. 4 U-Pb concordia diagram and weighted mean age plots of detrital zircons from biotite quartz schist in the Laobing mining area

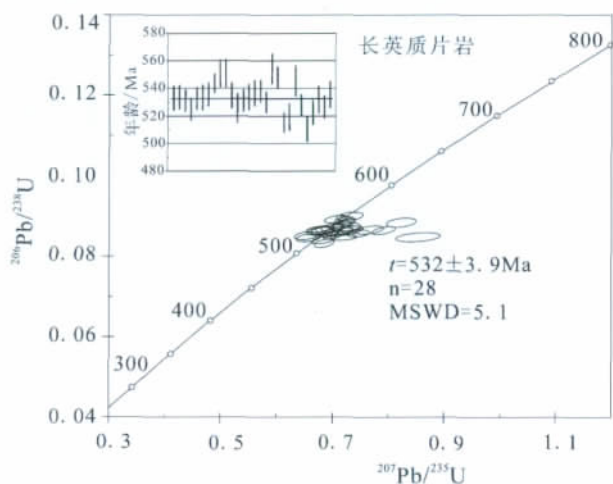


图 3 老井矿区长英质片岩碎屑锆石 U-Pb 谐和曲线及 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值

Fig. 3 U-Pb concordia diagram and weighted mean age plots of detrital zircons from felsic schist in the Laobing mining area

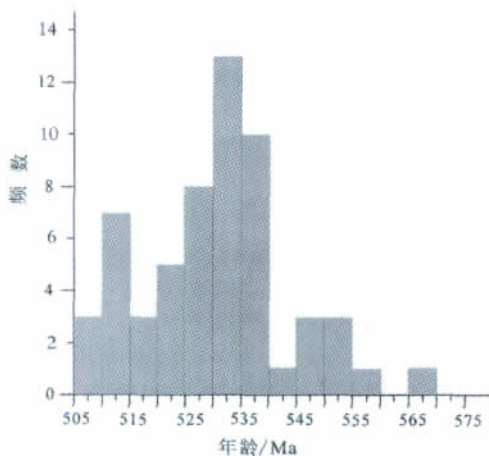


图 5 老井矿区长英质片岩和黑云石英片岩碎屑锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄统计图

Fig. 5 Age-cartogram of detrital zircons from felsic schist and biotite quartz schist in the Laobing mining area

性碎屑锆石的年龄均小于 565Ma,有 46 个测点的年龄介于 510~540Ma 之间,占有 LA-ICP-MS 测点的 79.3%,年龄峰值为 530Ma 左右。这一年龄对应了布伦阔勒岩群源区岩石的年龄,说明老并矿区布伦阔勒岩群的物源岩石主要形成于新元古代晚期到早古生代。此外有 3 个测点的年龄小于 510Ma,有 9 个测点的年龄大于 540Ma,但这些测点年龄分布比较分散,重复性较差。锆石 LA-ICP-MS 测试的原始数据可以和笔者联系。

据以上分析结果可以初步得出以下结论:①所测区内含铁岩系布伦阔勒岩群的物源时代主要集中于 510~540Ma,且时代为 530Ma 左右的锆石大量出现,从而初步认为区内含铁岩系的形成时代不会早于 510Ma;②结合张传林等^[7]对布伦阔勒岩群变质年代的厘定,初步认为区内含铁岩系形成于早古生代,其形成时代与世界上已知典型的沉积和沉积变质型铁矿床存在较大的差异。

3 “帕米尔式”铁矿矿床成因

区内铁矿体与赋矿地层呈整合接触、渐变过渡关系,同时结合火山沉积盆地形成与演化的研究,认为区内铁矿物质来源与海底火山活动关系密切,陆源碎屑沉积物在铁质的富集沉淀过程中起到了十分关键的作用,富矿主要形成于滨浅海相沉积环境。通过对区内铁矿床中块状磁铁矿石 $\delta^{18}\text{O}$ 同位素的测试,其含量变化范围在 +3.3‰~+4.6‰ 之间,变化幅度较小。据李万亨等^[9]和李福东^[10]的研究,磁铁矿石的 $\delta^{18}\text{O}$ 同位素在区域变质过程中变化不大。原生沉积的磁铁矿石 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 +1.3‰~+6.8‰,由铁碳酸盐分解形成的磁铁矿石 $\delta^{18}\text{O}$ 值高达 +11.2‰,由赤铁矿还原形成的磁铁矿石与原生沉积的磁铁矿石相比,其 $\delta^{18}\text{O}$ 值较低。不同类型磁铁矿石 $\delta^{18}\text{O}$ 值组成详见表 1。

区内铁矿床磁铁矿石 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 +3.3‰~+4.6‰,与表 1 其它类型的磁铁矿石 $\delta^{18}\text{O}$ 值相比较,和海相沉积铁矿床近似。另外,本区磁铁矿石 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化范围与原生沉积的磁铁矿石 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化范围一致,而与由赤铁矿或由菱铁矿变质形成的磁铁矿石 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化范围相差较大。由此推测,本区的磁铁矿石应该不是由沉积菱铁矿或沉积赤铁矿变质形成的,而主要是以原始沉积形成的磁铁矿石为主,这也与镜下观察认识一致。目前镜下仅见极少量原始沉积形成的赤铁矿和经变质作用形成的假像赤铁矿,未见菱铁矿。

赤铁矿主要呈针状沿磁铁矿石边缘分布,穿插交代磁铁矿石,为原生磁铁矿石经表生氧化形成,这也表明区内磁铁矿石不是由赤铁矿和菱铁矿经变质作用形成的,与 O 同位素对磁铁矿石的矿物成因解释相吻合。

上述研究表明,区内磁铁矿石为原始沉积成因,变质作用在铁矿的形成过程中起到了进一步的富集作用。结合成矿年代的研究,认为“帕米尔式”铁矿的成因类型属于早古生代海相火山沉积型磁铁矿石矿床,后期有一定的变质作用叠加改造。

4 “帕米尔式”铁矿与世界典型沉积、沉积变质型铁矿床对比

世界上大规模的含铁建造主要分布于前寒武纪地层中,赋矿岩系都经历了不同程度的变质作用,矿石类型以条带状硅铁矿石为主,具有明显的硅铁分离现象。中国沉积和沉积变质型铁矿以前寒武纪沉积变质型条带状铁矿床和中、晚泥盆世沉积铁矿床为主,如太古宙“鞍山式”铁矿、元古宙“大栗子式”铁矿和“宣龙式”铁矿、泥盆世“宁乡式”铁矿等。此外,在西南地区的寒武系、奥陶系,山西的中奥陶统,新疆和贵州的下石炭统,湖北的石炭系—二叠系和四川的三叠系等地层中,都含有不同规模的菱铁矿床或赤铁矿床^[11-17]。至今尚未发现形成于早古生代、赋矿岩系以黑云石英片岩为主、铁矿物以沉积磁铁矿石为主并与(硬)石膏、黄铁矿同生的大规模的铁矿床。以上通过对“帕米尔式”铁矿的地质特征、成矿年代和矿床成因的研究,其特征与世界典型沉积和沉积

表 1 几种不同类型磁铁矿石 O 同位素组成对比

Table 1 Comparison of oxygen isotope compositions between some different types of magnetite

类 型	产 地	样品数/个	O 同位素/‰
赤铁矿 $\rightarrow$ 磁铁矿石			+1~+2.4
菱铁矿 $\rightarrow$ 磁铁矿石			+10.9~+11.6
原生沉积磁铁矿石			+1.3~+6.8
接触交代型铁矿床	内蒙古黄岗	13	-1.7~+3.9
	河北小立沟	4	-3.4~+7.8
岩浆和火山- 岩浆铁矿床	河北黑山	16	+2.2~+4.9
	河北矾山	35	+2.4~+5.3
	安徽罗河	25	+2.6~+5.2
	新疆磁海	22	+4.3~+6.8
海相沉积铁矿床	河北龙烟	5	+1.5~+4.4
沉积变质铁矿床	冀东	39	+2.7~+7.7

表 2 世界典型沉积、沉积变质型铁矿床与“帕米尔式”铁矿床特征对比
Table 2 Comparison of characteristics between sedimentary or parametamorphic
type iron deposits and “Pamir” type iron deposits

主要类型	(火山)沉积变质型铁矿床			沉积型 铁矿床	“帕米尔式” 铁矿床
亚类	火山沉积岩变质型 (基鲁纳型)	陆源沉积变质型 (Superior)	火山-陆源沉积 变质型(Algoma)		
成矿时代	元古宙	元古宙 (1.9~2.2Ga)	新太古代	元古宙、泥盆 纪、中石炭世、 早二叠世	早古生代
含铁建 造特征	主要为具斑状结构的 富钠质的(Na>K)中酸 性火山岩(辉绿岩、细 碧岩、斑岩、钠长斑 岩或角斑岩、正长斑 岩、含石英斑岩、凝 灰质岩等), 并多变为 各种浅粒岩	主要为大陆棚环 境形成的石英岩、 砂泥岩、泥灰岩、 白云岩、黑色和红 色铁质页岩和泥 质板岩	以灰色或墨绿色的铁质 燧石与赤铁矿、磁铁矿 呈窄条状或薄层状互层 产出, 主要发育在新太 古代绿岩带(枕状安山 岩、凝灰岩、火成碎屑 岩、流纹岩、杂砂岩和 黑色碳酸质页岩组成)中	主要为浅海沉 积碳酸盐岩、砂 泥岩和泥灰岩 组合	主要为滨浅海 相粗砂岩、细 砂岩、泥质岩 夹少量的中基 性火山岩
矿床产 出特征	磁铁矿、赤铁矿呈层 状产于成分稍有不 同的浅粒岩接触带内, 即火山活动的间歇 期, 有大型富铁矿, 矿体的上覆和下伏均 有火山岩	各沉积相(氧化 相、硅酸盐相和碳 酸盐相)的富铁矿 呈薄条带状产出, 并在后期多形成 特大型古风化壳 富铁矿	铁矿产于酸性火山岩之 上, 本身又被安山质火 山岩覆盖, 铁矿与杂砂 岩型沉积物共生。矿体 呈透镜状或似层状产出	铁矿常产于砂、 页岩中, 大部分 出现在粉砂岩 向页岩或钙质 页岩递变部位, 很少有产在碎 屑岩和灰岩中。 矿体呈层状、似 层状、透镜体状 产出	铁矿产于黑云 石英片岩内, 以浸染状矿化 为主。富铁矿 主要产于中基 性火山岩相泥 质岩、粉砂岩 过渡带。矿体 呈层状、似层 状, 矿石中常 见含黄铁矿磁 铁矿石和(硬) 石膏磁铁矿石 同生
主要矿石 矿物组合	磁铁矿-赤铁矿	磁铁矿-赤铁矿- 镜铁矿-菱铁矿	磁铁矿-赤铁矿-假像赤 铁矿-镜铁矿	赤铁矿-菱铁矿- 褐铁矿	磁铁矿-黄 铁矿
矿床成因	火山沉积变质型磁铁 矿矿床、赤铁矿矿床	海相沉积变质型 磁铁矿矿床、赤铁 矿矿床、菱铁矿床	海相火山沉积变质型磁 铁矿矿床、赤铁矿矿床	浅海沉积型赤 铁矿矿床和菱 铁矿矿床	海相火山沉积 型磁铁矿矿床
矿床实例	瑞典北部、科拉半岛	北美苏必利尔湖、 山西袁家村铁矿 床、尖山铁矿床、 济宁铁矿床、安徽 霍邱铁矿床等	弓长岭铁矿床、辽宁齐 大山铁矿床、西鞍山铁 矿床、巴西卡拉加斯铁 矿床	大栗子式铁矿 床、宣龙式铁矿 床、宁乡式铁矿 床、山西式铁矿 床和涪陵式铁 矿床	老并铁矿床、 乔普卡里莫铁 矿床、叶里克 铁矿床、吉尔 铁克沟铁矿床

变质型铁矿床具有明显的差异(表2),为一种特殊类型的铁矿床。

5 地质意义

上述研究表明,“帕米尔式”铁矿从矿床地质特征、成矿年代和矿床成因特点方面足以与其它类型铁矿床相区别,为形成于早古生代的一种特殊类型的磁铁矿床。“帕米尔式”铁矿的发现填补了中国乃至世界范围内早古生代未发现大规模含铁建造的空白。目前项目组对“帕米尔式”铁矿床的岩矿石地球化学特征、矿床地质特征、矿床成因、成矿规律等正在进一步研究中,随着研究工作的进一步开展和资料的积累,确立“帕米尔式”铁矿的理论意义及其远景开发的重要性将会越来越明显。

新疆西昆仑塔什库尔干地区由于受地理条件的制约,矿产研究工作相对比较薄弱,目前对于“帕米尔式”铁矿床的有关基本地质成矿问题研究尤显不足,“帕米尔式”铁矿床的研究水平亟待提高,但“帕米尔式”铁矿床的发现对于丰富世界沉积铁矿床的类型和指导同类型铁矿床的找矿工作都具有重要的参考意义。

致谢:在研究过程中得到河南省地质调查院王世炎教授级高级工程师、张哨波高级工程师、廖诗进工程师的指导及西昆仑项目组曹文有、程国安等同志的帮助,审稿专家在本文的修改过程中提出了宝贵的意见,在此一并表示感谢。

参考文献

- [1] 罗照华,莫宣学,柯栅.塔什库尔干碱性杂岩体形成时代及地质意义[J].新疆地质,2003,21(1):46-50.
- [2] 柯栅,罗照华,莫宣学.塔什库尔干碱性杂岩造岩矿物化学成分及成因意义[J].矿物岩石学杂志,2006,25(2):148-156.
- [3] 刘国印,王亚平,燕长海,等.新疆西昆仑布伦口-达布达尔磁铁矿带地质特征[C]//中国科协2005年学术年会论文集.北京:中国科学技术出版社,2005:671-678.
- [4] 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及找矿方向[J].地质调查与研究,2011,34(3):179-189.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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),2007,37(2):145-154.
- [8] 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:地球科学,2011,41(8):1047-1060.
- [9] 李万亨,杨昌明.冀东滦县地区前震旦纪海底火山沉积变质铁矿的古构造及地球化学环境[J].地球科学,1983,3:117-126.
- [10] 李福东,修泽雷,高栋丞,等.从磁铁矿特征论铜厂铁矿床的成因[J].中国地质科学院西安地质矿产研究所刊,1982,5(1):1-16.
- [11] Samuel S Goldich. Ages of Precambrian Banded Iron-Formations[J]. Economic Geology, 1973, 68: 1126-1134.
- [12] Cornelis Klein. Some Precambrian banded iron-formations (BIFs) from around the world: Their age, geologic setting, mineralogy, metamorphism, geochemistry, and origin[J]. American Mineralogist, 2005, 90: 1473-1499.
- [13] 宋叔和,康永孚,涂光炽,等.中国矿床[M].北京:地质出版社,1994.
- [14] 程裕淇,赵一鸣,陆松年.中国主要几组铁矿床类型[J].地质论评,1978,4:253-268.
- [15] 赵一杨.对华北山西式铁矿与G层铝土矿的成因及其时代的意见[J].地质论评,1958,18(4):306-309.
- [16] 沈保峰,翟安民,杨春亮.元古代——中国重要的成矿期[J].地质调查与研究,2010,33(4):241-256.
- [17] 沈保峰,翟安民,杨春亮,等.中国前寒武纪铁矿时空分布与演化特征[J].地质调查与研究,2005,28(4):196-206.
- ① 新疆地质矿产科技开发公司,新疆地质矿产勘查开发局.“十一五”国家科技支撑计划项目《大型矿床地球化学异常识别和找矿靶区评价技术与应用研究》专题报告.2011.
- ② 王世炎,等.新疆1:2.5万克克吐鲁克幅、塔什库尔干塔吉克自治县幅区域地质调查报告.河南省地质调查院,2004.
- ③ 高廷臣,等.新疆塔什库尔干-莎车铁铅锌多金属矿评价报告.河南省地质调查院,2009.