

西天山成矿带铁矿床地质特征及研究进展

张喜

中国五矿集团公司, 北京 100010

摘要 西天山成矿带位于伊犁地块东缘, 该成矿带发育大量海相火山岩型铁矿床。近年来, 随着新疆新一轮铁矿找矿勘查与评价的开展, 西天山成矿带勘查工作取得重大进展, 相继发现了查岗诺尔、智博、备战、敦德、松湖等大型富铁矿床, 该成矿带已成为新疆乃至全国重要的大型富铁矿成矿带之一。但该成矿带铁矿床研究目前仍处于初步阶段, 铁矿床成因机制的研究程度较低, 成矿动力学背景的讨论仍存争议, 大规模铁矿床富集机制亟待解决, 该类型铁矿床的勘查找矿标志急需总结。在综述国内外铁矿床分类及研究进展的基础上, 分析了西天山成矿带重要铁矿床的地质特征和研究现状, 并据此提出了存在的主要问题和研究展望, 旨在推动西天山铁矿床的成因研究和找矿勘查。

关键词 西天山成矿带; 铁矿床; 地质特征

中图分类号 P617

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.07.012

Geological Characteristics of Iron Ore Deposits in the Western Tianshan Mountains Metallogenic Belt and Its Research Situation

ZHANG Xi

China Minmetals Corporation, Beijing 100010, China

Abstract Many marine volcanic type iron oxide ore deposits are exposed along the Awulale Iron Metallogenic Belt in the eastern part of the Yili block, which is an elongated wedge-shape tract tapering to a point. Recently, numerous large-scale high-grad iron ore deposits have been found consecutively in the Western Tianshan Orogen with the new round of ore prospecting exploration and evaluation in Xinjiang province, especially in the Awulale Iron Metallogenic Belt. Therefore, this metallogenic belt has become a significant high-grade iron metallogenic belt in Xinjiang province and even in China. However, these iron ore deposits have so far insufficient studies on metallogenesis. Additionally, the metallogenic tectonic setting is still a subject of the intense discussion. Furthermore, the enrichment mechanism of Fe element and the indicator for further prospecting should be summarized urgently. Based on the research progress of iron ore deposits in the world, in this contribution we summarize the geological characteristics and present the research situation of the significant iron ore deposits in the Western Tianshan Mountains Metallogenic Belt. We also discuss the existing problems in the research and propose some research prospects in order to promote the study on the metallogenesis of these ore deposits and further ore prospecting exploration in the Western Tianshan Mountains.

Keywords Western Tianshan Mountains metallogenic belt; iron ore deposits; geological characteristics

近年来, 中国铁矿勘查工作取得重要进展, 扩大了中国铁矿资源储量。其中, 中东部辽宁鞍山—本溪、山西五台—恒山、安徽庐枞、冀东和鲁西等地新发现一批隐伏铁矿^[1], 如本溪桥头铁矿远景资源量达 70×10^8 t, 四川攀西地区预测潜在

资源量 194×10^8 t, 安徽庐枞泥河铁矿探明资源量达 2×10^8 t; 西部新疆地区新发现智博、敦德、赞坎—乔普卡、莫喀尔和迪木拉克等富铁矿, 逐渐形成远景储量达 40×10^8 t 的阿吾拉勒、塔什库尔干和迪木拉克 3 个大型富铁矿成矿带^[2]。中国

收稿日期: 2013-03-28; 修回日期: 2014-01-29

基金项目: 国家自然科学基金杰出青年基金项目(41025008)

作者简介: 张喜, 博士, 研究方向为火山岩型铁矿床成矿作用, 电子信箱: zhang221223@163.com

引用格式: 张喜. 西天山成矿带铁矿床地质特征及研究进展[J]. 科技导报, 2014, 32(7): 77-83.

新疆境内,铁矿资源相对丰富,富铁矿储量大,截至2005年,已发现铁矿产地千余处,探明储量 15.8×10^8 t^[3]。新疆铁矿主要分布在天山、阿尔泰及环塔里木盆地的西昆仑和阿尔金等地区,相对集中于麦兹—冲乎尔、阿吾拉勒、阿齐山—雅满苏—沙泉子、星星峡、磁海—大水、红柳沟—喀腊大湾、慕士塔格—阿克赛钦等7个铁矿带^[4]。其中,天山地区是新疆铁矿成矿地质条件和找矿前景最好的地区,具有分布广、远景大、富矿多的特点,如东天山地区是较早确定的铁矿产地集中区,是新疆最重要的铁矿资源基地。近年来,随着一批大型富铁矿床的发现和评价(如松湖、查岗诺尔智博、备战等铁矿),西天山地区逐渐成为新疆乃至全国重要的富铁矿资源基地。然而,迄今为止,西天山地区铁矿床研究仍处于起步阶段,铁矿床成矿背景、成矿机制和成矿规律的研究程度较低,有关铁矿床的地质特征、研究现状及存在问题亟待总结。

1 铁矿床分类及研究进展

1.1 岩浆型铁矿床

岩浆型铁矿床是由各类岩浆在地壳深部,经分异作用和结晶作用,使分散在岩浆中的Fe成矿物质聚集而成的铁矿床,包括由岩浆结晶分异作用形成的岩浆分结矿床、由岩浆熔离作用形成的岩浆熔离矿床和由岩浆爆发作用形成的岩浆爆发矿床^[5]。岩浆熔离作用是形成富铁矿床的重要成矿作用,研究表明,氧化物与硅酸盐熔浆在一定的条件下具有不混溶性,尤其是在挥发份存在的情况下,更易促进这类矿床的熔离作用,从而形成硅酸盐熔浆和富铁熔浆^[5]。熔离出的富铁熔浆可伴随岩浆爆发作用喷溢出地表而形成喷溢型铁矿,若充填或贯入至有利构造部位则形成充填或贯入型铁矿,如河北矾山磷灰石—磁铁矿矿床、宁夏梅山铁矿^[6]、智利El Laco铁矿^[7]、伊朗Bafq铁矿^[8]和瑞典Kiruna铁矿等^[9]。近年来,以Kiruna铁矿和El Laco及Candelaria铁矿为代表的富铁氧化物矿床成因研究成为国际矿床学研究的热点,主要有富铁熔体(矿浆)喷溢—充填成因^[6-11]和热液交代成因^[12]两种观点。该类型铁矿具有矿浆成因的典型地质特征,如磁铁矿呈流动状构造,磁铁矿为交织结构,矿石中具有气孔和杏仁构造、角砾构造、熔渣构造等。同时,岩浆熔离作用也得到了室内实验的进一步证明,表明在高温熔融状态,铁矿浆在磷或其他挥发份参与的情况下易于由富铁硅酸盐岩浆中熔离出来^[13],如安徽姑山铁矿,铁矿浆是富铁的闪长质岩浆在上升过程中交代富磷地层而发生液体不混溶的产物^[14]。秘鲁南部的Marcona铁矿由富铁氧化物熔体与硅酸盐熔体发生混染作用形成,为岩浆—岩浆热液—外部流体综合作用的结果^[15]。

1.2 火山岩型铁矿床

此类铁矿床为在空间上、时间上与陆相或海相火山作用密切相关的一类矿床,具有规模大、富矿多、分布广、常成群或成带产出的特征。国外该类型铁矿的资源储量仅次于沉积变质型和风化壳型铁矿,富铁储量占总储量的60%。国内该类型矿床仅占总储量的8%,却是富铁矿石的重要来源^[16]。

根据火山活动的阶段、喷发方式和火山岩相组合,可分为火山喷溢—沉积型、火山热液交代型、次火山热液充填交代型、次火山岩浆贯入型及火山—沉积型等多种矿化类型^[3,5]。它们之间存在一定的差异,但有密切的内在联系,不少矿区内常是多种矿化类型叠加或并存。其中,火山喷溢—沉积作用是形成富铁矿的重要成矿作用,由熔离作用形成的富铁熔浆经火山喷发和沉积作用沿断裂或火山口喷溢到达地表而形成,如著名的智利El Laco铁矿等。火山岩型铁矿根据铁矿围岩产出的环境可进一步分为陆相火山岩型铁矿和海相火山岩型铁矿,前者发育于陆相火山作用中侵入活动中心部位,在空间上形成从侵入岩体到围岩,从高温到低温的一系列矿床^[17],如长江中下游宁芜地区著名的“玢岩铁矿”;后者多发育于海底火山喷发中心附近或周边的沉积岩中,铁矿床的形成受喷气沉积作用、岩浆热液作用、热液交代作用等影响,形成在成因上紧密相关的矿床^[17]。

1.3 矽卡岩型铁矿床

该类型矿床在成矿时间上与岩浆侵入活动相关,在空间上多与接触带构造及围岩性质相关,通常早期形成接触交代型矿床,而晚期岩浆热液受断裂构造控制而形成热液型矿床,两类矿床具有相伴产出的特征^[3]。该类型铁矿具有典型的矽卡岩矿物组合(钙铝—钙铁—榴石系列、透辉石、钙铁辉石系列),在成因和空间分布上铁矿化都与矽卡岩相关。矽卡岩的形成较复杂,接触交代作用、火山气液活动、混合岩化作用和区域变质作用等均可产生矽卡岩。该类型矿床在中国各地均有分布,尤其在中东部地区,如河北邯郸—邢台、鄂东、晋南、豫西、闽南、川西南、滇西等地区广泛发育,是中国富铁矿石的重要来源^[18]。

1.4 BIF型铁矿床

沉积变质型铁矿是国内外最重要的铁矿床类型之一,具有较大的资源潜力。世界60%以上、中国50%的铁矿床属该类型^[9]。该类型矿床主要产于前寒武纪(太古代和元古代)古老的区域变质岩系中,早期形成贫矿,经后期改造形成赤铁矿富矿,在中国主要分布于辽宁鞍山本溪一带,故又称“鞍山式”铁矿床。贫矿的形成过程与上升的洋流^[20]或海底对流^[21]有关,而赤铁矿富矿可能由风化淋滤或深部流体交代去硅富铁作用形成^[22]。

1.5 IOCG型铁矿床

20世纪90年代,Hitzman等^[23]首次提出铁氧化物Cu—Au—U—REE矿床的概念,并以奥林匹克坝矿床为其典型代表。Sillitoe^[24]认为该类矿床为含有大量磁铁矿和(或)赤铁矿,并伴有黄铜矿和斑铜矿,矿产组合变化范围大,是与一定的构造—岩浆环境有关的矿床。该类型矿床与深成侵入岩及同时期活动的断裂关系密切。根据矿床形态、岩性和构造特点,可分为脉状、热液角砾岩型、矽卡岩型、沿层交代层状(mantle)和复合型^[25]。IOCG型矿床岩层专属性虽不明显,但具有如下特征^[26]:如渗透性好且易发生化学反应、靠近深大断裂及其次级构造、与侵入岩体的空间分布关系密切、角砾岩化和

热液蚀变发育、地处明显的氧化环境等。此外,该类矿床成矿作用常与大规模的岩浆作用和拉张性的断裂构造关系密切,同时与角砾岩带具有密切的时空分布关系^[26];热液蚀变强烈且分布广泛,主要类型有钙-钠化蚀变、铁化蚀变和钾化蚀变等^[27]。IOCG 型矿床形成的构造背景仍有争议,主要观点如下:

1) 形成于元古代与非造山岩浆有关的大陆地块内部,受大陆裂谷盆地热水沉积和后期盆地流体叠加改造,以澳大利亚奥林匹克坝铜-铁-金-铀-稀土矿床为代表^[28]。

2) 形成于洋壳俯冲背景下与中性岩浆有关的较年轻的大陆边缘弧^[25],与深部地幔柱上升形成的岛弧造山带中局部拉伸环境密切相关^[24,28],以南美智利 IOCG 型矿床为代表。

3) 褶皱和推覆带^[25]。

4) 形成于中元古代大陆裂谷盆地,后期与古地幔柱作用有关的深源碱性闪长岩-辉长岩侵位发生高氧化叠加成矿,以中国云南、四川的铁-钛-铜-金氧化物型矿床为主^[28]。

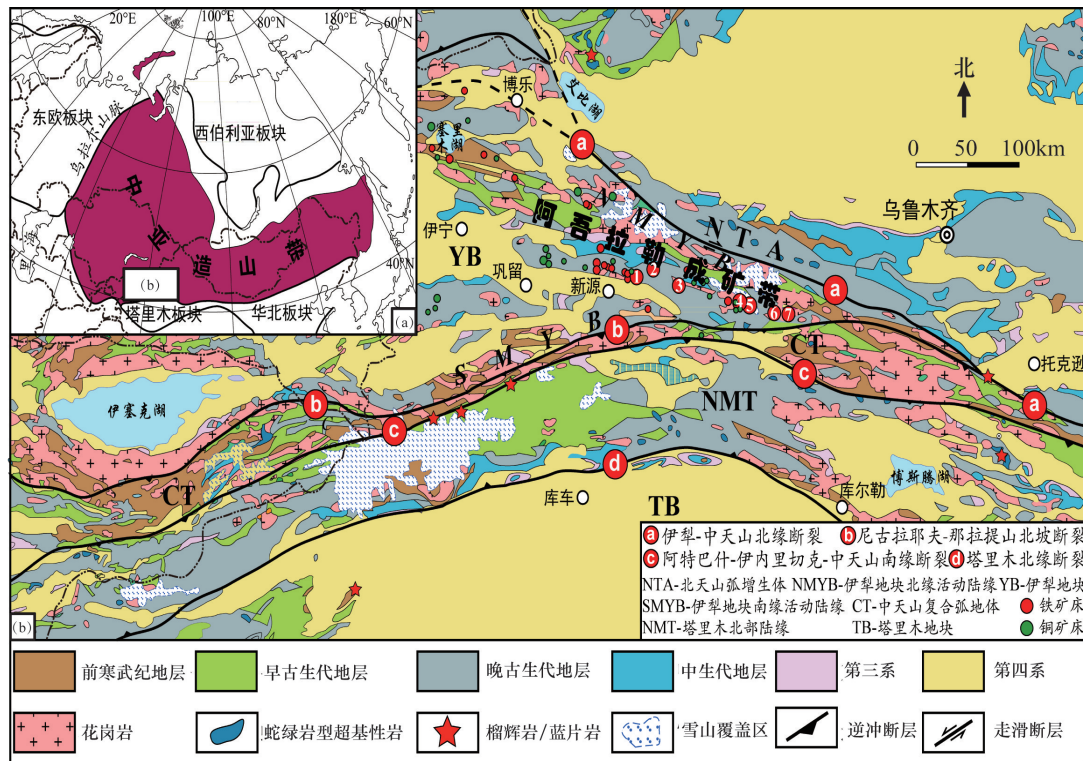
关于 IOCG 型矿床的流体来源和成矿机理的研究也有不同认识,即岩浆流体说、地表/盆地流体说和变质流体说^[26]。尽管国际上关于 IOCG 型矿床的研究如火如荼,中国则刚刚起步。目前,只有白云鄂博被誉为中国最具代表性的 IOCG 型矿床^[25],而海南石碌^[29],新疆东准噶尔地区的老山口和乔夏哈拉^[30],东天山的沙泉子和牙满苏含铜铁矿床^[25],以及四川拉拉铜铁钼矿床和云南大红山铁铜矿床^[28]等,虽具有类似于

IOCG 型矿床的特征,但这些矿床的类型和成矿作用仍需深入研究。

2 西天山铁矿床研究现状

2.1 区域成矿地质背景

中亚造山带位于西伯利亚板块、卡拉库姆-塔里木板块、华北板块和东欧板块之间,是全球显生宙陆壳增生与改造最显著的大陆造山带^[31]。位于中亚造山带西南缘的天山造山带,西起乌兹别克斯坦,经塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦、哈萨克斯坦,东延至中国新疆和甘肃交界,全长约 2500 km,是中亚造山带的重要组成部分。在中国境内,常以托克逊-库米什公路为界将天山分为西天山和东天山。其中,西天山造山带的展布范围与地理上的西天山基本一致。西天山大地构造及矿产分布如图 1 所示^[32-35]。大地构造上,以伊犁-中天山北缘断裂带、那拉提山北坡断裂带、中天山南缘断裂带和塔里木北缘断裂带为界,西天山造山带可进一步分为北天山弧增生体、伊犁地块、中天山复合弧地体和塔里木北部被动大陆边缘。西天山阿吾拉勒铁成矿带地处伊犁地块东缘,夹持于伊犁-中天山北缘断裂带、那拉提山北坡断裂带和中天山南缘断裂带之间,处于北天山弧增生体、伊犁地块和中天山复合弧地体的三角地带。其构造演化过程复杂,与北天山洋、帖尔斯克依洋和南天山洋的开启与闭合及西天山增生造山过程密切相关^[33]。



①式可布台铁矿;②松湖铁矿;③尼新塔格铁矿;④查岗诺尔矿区;⑤智博矿区;⑥敦德铁矿;⑦备战铁矿

图 1 西天山大地构造及矿产分布

Fig. 1 Distribution sketch of mineral resource and tectonic map of Western Tianshan Orogen Belt

西天山成矿带是新疆重要的大型铁矿床开发基地,为中国重要的铁、铜、金等多金属成矿带之一,亦是中国十大重要金属矿产资源接替基地之一^[2],包括阿西金矿、达巴特铜矿、喇嘛萨依铜矿、莱历斯高尔铜矿和菁布拉克等铜镍矿,同时发育式可布台(预须开普台)、松湖、尼新塔格、查岗诺尔、智博、敦德、备战和莫托萨拉等铁矿。其中,式可布台、查岗诺尔、备战和莫托萨拉均为20世纪中期发现,后经近年来进一步勘查与评价而成为大型矿床。近年来,以阿吾拉勒铁成矿带为主的西天山铁矿勘查工作取得重大进展,相继在东部发现了智博、雾岭、敦德等大型铁矿床,与西侧已探获的矿床构成了一条近东西向展布、长约200 km、宽约30 km的铁铜多金属成矿带,受到国内外矿床学家的广泛关注。

2.2 主要铁矿床地质特征

1) 松湖铁矿床。松湖铁矿床位于式可布台铁矿东部30 km处(图1),赋矿围岩为石炭系大哈拉军山组火山岩,地表圈有4个主要矿体^[36],钻探工程显示,西侧3个矿体在深部为1个矿体。赋矿围岩以凝灰质砂岩为主,其次为碎屑灰岩和钙质粉砂岩。主矿体L₁呈不规则似层状、透镜状,近EW—NWW向展布,总体向东倾伏,长约735 m,厚约0.82~67.22 m,平均厚22.24 m,矿石TFe平均品位为45%^[36]。金属矿物以磁铁矿为主,赤铁矿、镜铁矿、黄铁矿和黄铜矿等次之,脉石矿物包括钾长石、绿泥石、绿帘石、阳起石、方解石和石英等。矿石构造以块状、条带状、角砾状和浸染状为主,多呈半自形-他形粒状结构,自形粒状和交代结构次之。成矿阶段可分为钾长石-绿泥石-磁铁矿阶段、阳起石-绿帘石-磁铁矿阶段、磁铁矿-硫化物阶段及石英-方解石-硫化物阶段,其中磁铁矿-硫化物阶段为主要成矿阶段^[37]。矿区围岩蚀变广泛,常见钾长石化、绿泥石化、绿帘石化、方解石化、阳起石化等蚀变。目前,松湖铁矿床探获资源量为 5.2837×10^8 t,其中富铁矿 5.07346×10^8 t^[2]。

2) 查岗诺尔铁矿床。查岗诺尔铁矿床位于阿吾拉勒铁成矿带东段,智博铁矿西侧(图1)。矿化主要产于石炭系大哈拉军山组中上部火山熔岩和火山碎屑岩中,以安山质凝灰岩为主。矿区以查岗诺尔河为界,分为东、西2个矿区,圈有工业矿体5个,以东矿区No.1和西矿区No.2矿体为主^[38]。No.1矿体分布于东矿区,与石榴子石-绿帘石-阳起石等蚀变带呈向北西凸出的环状分布,平面上,矿体夹持于F₈和F₁₀断层之间,总体呈NE—SW向展布,中段微向南东凸出,北端和南端分别向近东西和南东向逐渐尖灭。No.1矿体单工程TFe平均品位为36.75%^[38],为矿区主要矿体,占矿石总资源量95%以上。No.2矿体位于查岗诺尔矿区西矿区、F₂和F₉断裂南部,主体由No.2-1和No.2-2两个矿体组成,平面上矿体呈带状或椭圆状展布,厚度介于9~80 m之间^[38]。矿体倾向北西,倾角30°~43°,与东矿区No.1矿体构成大型背斜构造。矿体顶板以阳起石化(石榴子石化)凝灰质安山岩为主,底板多为绿帘石化凝灰质安山岩和阳起石岩。No.2矿体单工程TFe平均品位为40.88%^[38]。矿区围岩蚀变广泛发育,东矿区自西

向东发育石榴子石岩带、阳起石-绿帘石岩带、阳起石-磁铁矿带、阳起石岩带和蚀变的大理岩带等带状蚀变带,西矿区发育不规则状透辉石-石榴子石岩带、阳起石-绿帘石岩带、磁铁矿化阳起石岩带和磁铁矿化绿帘石岩带等面状蚀变带,蚀变作用进一步分为3个阶段,即早期蚀变阶段、中期矿化蚀变阶段和晚期热液蚀变阶段。矿石矿物主要为磁铁矿,伴生黄铁矿和黄铜矿等硫化物,脉石矿物多样,以石榴子石、透辉石、阳起石和绿帘石等为主。矿石构造包括致密块状、浸染状、隐爆角砾状、流动状、斑点状等;矿石结构以他形-半自形粒状结构为主,局部可见自形板条状结构、海绵陨铁结构和自形粗粒状结构等。

3) 智博铁矿床。智博铁矿床位于阿吾拉勒铁成矿带东段、查岗诺尔铁矿床东侧10 km处(图1)。智博矿区第四纪堆积物覆盖严重,矿体很少裸露地表,磁铁矿矿化主要赋存于石炭系大哈拉军山组下部以玄武岩为主的中基性火山岩中。矿化带东西长约3.5 km,自西向东依次分为西、中、东3个矿区,其中东矿区为智博矿区重要成矿区,该矿区第四系冰川堆积物覆盖极其严重,矿体地表露头出露不完整。经地表及大量钻探工程揭露圈有13个矿体^[38],TFe品位为25%~55%。矿体均赋存于绿帘石化-绿泥石化玄武质安山岩中,矿体多为似层状,产状较为平缓,向北东微倾。其中No.15矿体地表露头出露较少,大部分矿体被第四系冰川堆积物覆盖,钻探工程揭露矿体长600 m,宽400 m,厚108 m,矿体多为似层状,产状较为平缓,矿体西侧较厚,向东分为上下两部分、逐渐尖灭,TFe平均品位约为33%^[38]。No.18矿体为隐伏矿体,位于No.15矿体东南侧,长约700 m,宽约800 m,厚约107 m。矿体为似层状,产状平缓,TFe平均品位约为39%^[44]。矿区围岩蚀变强烈,以广泛出露的绿帘石化、钠长石化、钾长石化和绿泥石化等蚀变为主,蚀变作用可分为钠长石-阳起石化阶段、绿帘石-钾长石化阶段和碳酸盐化-硅化阶段。矿石矿物主要为磁铁矿,伴生黄铁矿和黄铜矿等硫化物,脉石矿物以透辉石、钠长石和绿帘石等为主。矿石构造以致密块状构造为主,流动状、浸染状、斑杂状、隐爆角砾状等大量发育,矿石结构以自形板条状结构为主。目前,智博矿区已探获资源量 2.35×10^8 t,其中富铁矿 1.54×10^8 t^[2]。

4) 备战铁矿床。备战铁矿床位于阿吾拉勒铁成矿带最东段,智博铁矿东侧(图1),产于下石炭系大哈拉军山组的一套火山碎屑岩中,矿体赋存于矽卡岩中,顶底板围岩均为各类矽卡岩,主要有绿帘石矽卡岩、透辉石矽卡岩、黝帘石矽卡岩、硅灰石矽卡岩等。矿体形态多为似层状或透镜状,与接触带内构造有关。矿区共圈出6个矿体,其中L₃为主矿体,呈透镜状、脉状和似层状,总体呈EW向展布,长约630 m,厚约5~139 m;TFe平均品位为41%,矿体具有向深部逐渐变厚变富的特征^[39]。矿石矿物以磁铁矿为主,脉石矿物为矽卡岩矿物。矿石构造为致密块状、浸染状及角砾状构造;矿石结构多为自形-半自形粒状变晶结构、充填结构及交代结构等。围岩蚀变发育,以矽卡岩化为主。目前,备战铁矿床探获资

源量为 2.88×10^8 t, 其中富铁矿 1.87×10^8 t^[2]。

2.3 铁矿床研究现状

阿吾拉勒铁成矿带为西天山地区重要的富铁矿成矿带, 铁矿床多赋存于石炭系火山岩中, 且以富矿石为主, 其矿床形成过程与火山作用密切相关, 该成矿带中铁矿床地质特征、矿床成因和成矿模式研究受到了广泛关注。近年来, 西天山阿吾拉勒铁成矿带研究取得了一系列进展, 陈毓川等^[3]认为西天山阿吾拉勒铁成矿带铁矿床的分布主要受海相火山活动中心控制, 其中, 式可布台铁矿和莫托萨拉铁锰矿为海相火山-沉积型铁矿, 而查岗诺尔和备战铁矿为海相火山岩型。董连慧等^[4]在系统研究该成矿带铁矿床地质特征的基础上, 提出了铁矿矿产预测类型, 包括查岗诺尔式海相火山岩型铁矿(如查岗诺尔、智博、备战、式可布台、松湖和尼新塔格等)和莫托萨拉式海相火山岩型铁锰矿(如莫托萨拉铁锰矿)。李凤鸣等^[40]分析研究了西天山石炭纪海相火山-沉积作用与铁矿床成矿作用关系, 建立了西天山石炭系火山沉积盆地成矿模式, 认为铁矿床的成矿类型具有从火山活动中心向边缘由火山喷溢堆积型, 至火山沉积型, 再到化学沉积型变化的规律。董连慧等^[2]在总结新疆富铁矿成矿地质条件和矿床特征的基础上, 构建了“上叠裂谷火山岩型富铁矿的成矿模式”, 包括阿吾拉勒、田式可布台、松湖、查岗诺尔、智博、敦德和备战等铁矿。张作衡等^[41]通过西天山铁矿床特征的对比以及国内外火山岩型铁矿床特征的对比研究, 提出了早期阶段以富铁流体(熔体)充填-交代作用成矿为主, 晚期为热液交代的成矿模式。

阿吾拉勒铁成矿带铁矿床成矿作用和成矿规律的研究程度不高, 铁矿床成矿时代研究程度较低, 缺乏直接的成矿时代年龄证据, 铁矿化主体形成于石炭纪^[38,41], 由火山机构中心向两侧, 铁矿床的形成具多阶段性, 且具有由东向西成矿时代逐渐年轻的趋势^[40]。关于矿床地质特征和矿床成因的研究多集中于松湖、查岗诺尔、智博、备战等铁矿床, 其他矿床的研究程度较低。其中, 位于阿吾拉勒铁成矿带东段的查岗诺尔铁矿床受关注的程度较高。查岗诺尔铁矿床自20世纪70年代发现以来, 关于其矿床成因的认识争论较多, 有火山(喷气)沉积改造型矿床^[42]、以岩浆矿床为主的复合型矿床^[38,43,44]和以热液交代(矽卡岩化)成矿为主的多成因矿床^[45]等多种认识。成矿带东段的智博铁矿床形成于早石炭世^[46], 为岩浆(主要)-热液(次要)复合型矿床, 主要由晚石炭世大陆岛弧岩浆活动分异的富铁岩浆流体形成, 与火山活动和岩浆热液交代作用有关^[38,47]。成矿带西段的松湖铁矿床可能为与火山作用有关的沉积型矿床^[48]或海相火山热液型矿床^[37]。此外, 位于成矿带最东段的备战铁矿床的形成也与火山活动和矽卡岩化作用有关^[49], 矿床成因类型有火山沉积作用(早期)-矽卡岩化(晚期)的复合成因铁矿床^[49]和类矽卡岩型铁矿床^[41]两种观点。

3 问题及展望

尽管西天山成矿带铁矿床研究取得了一定进展, 但有关

铁矿床成矿背景和成因机制的研究目前仍处于起步阶段, 存在以下亟待解决的问题。

1) 该成矿带铁矿床的成矿背景仍存争议, 有大陆裂谷(或与地幔柱有关的裂谷环境)和活动大陆边缘(或岛弧环境)两种观点, 关于铁矿床成矿背景与成矿作用耦合关系的研究工作不足, 今后可进一步探讨大陆演化过程中铁元素的富集与成矿机理, 加强成矿动力学过程研究。

2) 缺乏系统的矿床地质特征方面的对比研究, 有关该成矿带中铁矿床地质特征的对比研究较少, 与国外主要类型铁矿床的对比研究亦不多。

3) 成矿时代的研究较少, 缺乏铁矿床形成时代的直接证据, 是制约进一步开展成矿背景与成矿过程研究的关键。因此, 今后可通过磁铁矿 Re-Os 同位素定年等先进技术手段获取磁铁矿形成的直接年龄。

4) 多数学者认为该成矿带部分铁矿床具有矿浆型铁矿床的特征, 如矿体与围岩的截然接触关系、隐爆角砾状矿石、磁铁矿具有板条状或交织状结构等特征, 但缺乏成矿温度和矿浆形成过程的实验模拟等直接证据。

5) 铁矿床中发育大量矽卡岩矿物, 部分学者据此强调成矿流体的交代作用对铁成矿的重要贡献。因此, 岩浆作用和热液作用对成矿作用的贡献程度值得深入关注。

6) 关于铁矿床成矿物质的来源与演化和富集机制的研究仍处于描述性阶段, 缺乏有力的实验数据支持, 需加强成矿流体作用研究。

参考文献 (References)

- [1] 王淑丽. 我国铁矿资源评估与可供性研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2010.
Wang Shuli. Assessment and availability of China's iron ore resources [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2010.
- [2] 董连慧, 冯京, 庄道泽, 等. 新疆富铁矿成矿特征及主攻类型成矿模式探讨[J]. 新疆地质, 2011, 29(4): 416-422.
Dong Lianhui, Feng Jing, Zhuang Daoze, et al. Discussion of metallogenic models, mineralization characteristic and main type of rich iron ore of Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, 2011, 29(4): 416-422.
- [3] 陈毓川, 刘德权, 唐延龄, 等. 中国天山矿产及成矿体系[M]. 北京: 地质出版社, 2008: 256-263.
Chen Yuchuan, Liu Dequan, Tang Yanling, et al. Mineral resources and mineralization system in Tianshan, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008: 256-263.
- [4] 董连慧, 冯京, 庄道泽, 等. 新疆铁矿资源潜力评价成果报告[R]. 乌鲁木齐: 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局, 2010.
Dong Lianhui, Feng Jing, Zhuang Daoze, et al. Report about evaluation of iron ore resource in Xinjiang[R]. Urumqi: The Bureau of Geology and Mineral Resources Development of Xinjiang, 2010.
- [5] 袁见齐. 矿床学[M]. 北京: 地质出版社, 1985.
Yuan Jianqi. Ore deposits[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985.
- [6] 袁家铮, 张峰, 殷纯皴. 梅山铁矿矿浆成因的系统探讨[J]. 现代地质, 1997, 11(2): 170-176.
Yuan Jiazheng, Zhang Feng, Yin Chungu, et al. Systematical study on

- ore-magma genesis of Meishan iron ore deposits[J]. *Geoscience*, 1997, 11(2): 170-176.
- [7] Henríquez F, Martín R F. Crystal-growth textures in magnetite flows and feeder dykes, El Laco, Chile[J]. *The Canadian Mineralogist*, 1978, 16(4): 581-589.
- [8] Förster H, Jafarzadeh A. The Bafq mining district in central Iran; a highly mineralized Infracambrian volcanic field[J]. *Economic Geology*, 1994, 89(8): 1697-1721.
- [9] Frietsch R. On the magmatic origin of iron ores of the Kiruna type[J]. *Economic Geology*, 1978, 73(4): 478-485.
- [10] Frutos J. Tectonic and geochemical evidence concerning the genesis of El Laco magnetite lava flow deposits, Chile [J]. *Economic Geology*, 1975, 70(5): 988-990.
- [11] Nyström J O, Henríquez F. Magmatic features of iron ores of the Kiruna type in Chile and Sweden: ore textures and magnetite geochemistry [J]. *Economic Geology*, 1994, 89(4): 820-839.
- [12] Sillitoe R H, Burrows D R. New field evidence bearing on the origin of the El Laco magnetite deposit, northern Chile[J]. *Economic Geology*, 2002, 97(5): 1101-1109.
- [13] Philpotts A R. Compositions of immiscible liquids in volcanic rocks[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1982, 80(3): 201-218.
- [14] Hou T, Zhang Z C, Kusky T, et al. A reappraisal of the high-Ti and low-Ti classification of basalts and petrogenetic linkage between basalts and mafic-ultramafic intrusions in the Emeishan Large Igneous Province, SW China[J]. *Ore Geology Reviews*, 2011, 41(1): 133-143.
- [15] Chen H Y, Clark A H, Kyser T K. The Marcona Magnetite Deposit, Ica, South-Central Peru: A Product of Hydrous, Iron Oxide-Rich Melts?[J]. *Economic Geology*, 2010, 105(8): 1441-1456.
- [16] 谢承祥, 李厚民, 王瑞江, 等. 中国查明铁矿资源储量的数量、分布及保障程度分析[J]. *地球学报*, 2009, 30(3): 387-394.
Xie Chengxiang, Li Houmin, Wang Ruijiang, et al. Analysis of the quantity and distribution of the total identified iron resources in China and their supply capability[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2009, 30(3): 387-394.
- [17] 段超, 李延河, 袁顺达, 等. 宁芜矿集区凹山铁矿磁铁矿元素地球化学特征及其对成矿作用的制约[J]. *岩石学报*, 2012, 28(1): 243-257.
Duan Chao, Li Yanhe, Yuan Shunda, et al. Geochemical characteristics of magnetite from Washan iron deposit in Ningwu ore district and its constraints on ore-forming[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(1): 243-257.
- [18] 赵震宇. 中国铁矿床成矿远景区综合信息潜力预测[D]. 长春: 吉林大学, 2005.
Zhao Zhenyu. The potential prediction of Fe mineral resources with comprehensive information in China[D]. Changchun: Jilin University, 2005.
- [19] 孙启祯. 论我国铁矿边缘成矿[J]. *地质与勘探*, 1993, 29(8): 13-18.
Sun Qizhen. Marginal minerogenesis of China's iron ores[J]. *Geology and Prospecting*, 1993, 29(8): 13-18.
- [20] Clout J M F. Iron formation-hosted iron ores in the Hamersley Province of Western Australia[J]. *Applied Earth Science: IMM Transactions Section B*, 2006, 115(4): 115-125.
- [21] Lascelles D F. The genesis of the Hope Downs iron ore deposit, Hamersley Province, Western Australia[J]. *Economic Geology*, 2006, 101(7): 1359-1376.
- [22] Thorne W S, Hagemann S G, Barley M. Petrographic and geochemical evidence for hydrothermal evolution of the North Deposit, Mt Tom Price, Western Australia[J]. *Mineralium Deposita*, 2004, 39(7): 766-783.
- [23] Hitzman M W, Oreskes N, Einaudi M T. Geological characteristics and tectonic setting of proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposits [J]. *Precambrian Research*, 1992, 58(1-4): 241-287.
- [24] Sillitoe R. Iron oxide-copper-gold deposits: An andean view[J]. *Mineralium Deposita*, 2003, 38(7): 787-812.
- [25] 毛景文, 余金杰, 袁顺达, 等. 铁氧化物-铜-金(IOCG)型矿床: 基本特征、研究现状与找矿勘查[J]. *矿床地质*, 2008, 27(3): 267-278.
Mao Jingwen, Yu Jinjie, Yuan Shunda, et al. Iron oxide-copper-gold deposits: Characteristics, present research situation and ore prospecting[J]. *Mineral Deposits*, 2008, 27(3): 267-278.
- [26] 聂凤军, 江思宏, 路彦明. 氧化铁型铜-金 (IOCG) 矿床的地质特征、成因机理与找矿模型[J]. *中国地质*, 2008, 35(6): 1074-1087.
Nie Fengjun, Jiang Sihong, Lu Yanming. Geological features, ore-forming processes and prospecting model of iron oxide-copper-gold deposits[J]. *Geology in China*, 2008, 35(6): 1074-1087.
- [27] Oliver N, Cleverley J, Mark G, et al. Modeling the role of sodic alteration in the genesis of iron oxide-copper-gold deposits, Eastern Mount Isa Block, Australia[J]. *Economic Geology*, 2004, 99(6): 1145-1176.
- [28] 方维萱, 柳玉龙, 张守林, 等. 全球铁氧化物铜金型(IOCG)矿床的3类大陆动力学背景与成矿模式[J]. *西北大学学报: 自然科学版*, 2009(3): 404-413.
Fang Weixuan, Liu Yulong, Zhang Shoulin, et al. Three types of continental geodynamics and metallogenic models for IOCG (Iron-oxide Copper Gold Deposits) from the global view[J]. *Journal of Northwest University: Natural Science Edition*, 2009(3): 404-413.
- [29] 许德如, 王力, 肖勇, 等. “石碌式”铁氧化物-铜(金)-钴矿床成矿模式初探[J]. *矿床地质*, 2008, 27(6): 681-694.
Xu Deru, Wang Li, Xiao Yong, et al. A preliminary discussion on metallogenic model for Shilu type iron oxide-copper-gold-cobalt ore deposit[J]. *Mineral Deposits*, 2008, 27(6): 681-694.
- [30] 应立娟, 王登红, 李建康, 等. 新疆乔夏哈拉铁铜金矿床与国内外 IOCG 矿床的对比研究[J]. *大地构造与成矿学*, 2008, 32(3): 338-345.
Ying Lijuan, Wang Denghong, Li Jiankang, et al. Comparisons between the Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit in Xinjiang and other IOCG-type deposits [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2008, 32(3): 338-345.
- [31] Sengör A. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia[J]. *Nature*, 1993, 364: 299-307.
- [32] Gao J, Li M S, Xiao X C, et al. Paleozoic tectonic evolution of the Tianshan Orogen, northwestern China[J]. *Tectonophysics*, 1998, 287: 213-31.
- [33] Gao J, Long L L, Klemd R, et al. Tectonic evolution of the South Tianshan Orogen and adjacent regions, NW China: geochemical and age constraints of granitoid rocks[J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2009, 98:1221-1238.
- [34] Qian Q, Gao J, Klemd R, et al. Early Paleozoic tectonic evolution of the Chinese South Tianshan Orogen: Constraints from SHRIMP zircon U-Pb geochronology and geochemistry of basaltic and dioritic rocks from Xiata, NW China[J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2009, 98: 551-569.
- [35] Lomize M G, Demina L I, Zarshchikov A A. The Kyrgyz-Terskei Paleozoic Basin, Tien Shan[J]. *Geotectonics*, 1997, 31: 463-482.
- [36] 周昌平, 任毅, 张本科. 新疆尼勒克县松湖铁矿详查报告[R]. 乌鲁木齐: 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局, 2007.

- Zhou Changping, Ren Yi, Zhang Benke. The detailed prospecting report of Songhu iron ore deposit in Nilka county, Xinjiang[R]. Urumqi: The Bureau of Geology and Mineral Resources Development of Xinjiang, 2007.
- [37] 王春龙, 王义天, 董连慧, 等. 新疆西天山松湖铁矿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.
- [38] 冯金星, 石福品, 王邦耀, 等. 西天山阿吾勒成矿带火山岩型铁矿[M]. 北京: 地质出版社, 2010.
Feng Jinxing, Shi Fupin, Wang Bangyao, et al. The syngenetic volcanogenic iron ore deposits in Awulale Metallogenic Belt, western Tianshan Mountains [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010.
- [39] 张建收, 郭新成, 张建奎. 新疆和静县备战铁矿详查报告[R]. 乌鲁木齐: 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局, 2006.
Zhang Jianshou, Guo Xincheng, Zhang Jiankui. The detailed prospecting report of Beizhan iron ore deposit in Hejing county, Xinjiang [J]. Urumqi: The Bureau of Geology and Mineral Resources Development of Xinjiang, 2006.
- [40] 李凤鸣, 彭湘萍, 石福品, 等. 西天山石炭纪火山-沉积盆地铁锰矿成矿规律浅析[J]. 新疆地质, 2011, 29(1): 55-60.
Li Fengming, Peng Xiangping, Shi Fupin, et al. Analysis on Fe-Mn mineralization regularity in Carboniferous volcanic-sedimentary basin of West Tianshan[J]. Xinjiang Geology, 2011, 29(1): 55-60.
- [41] 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.
- [42] 王庆明, 林卓斌. 西天山查岗诺尔地区矿床成矿系列和找矿方向[J]. 新疆地质, 2001, 19(4): 263-267.
Wang Qingming, Lin Zhuobin. Metallogenic series and prospecting target of ore deposits at Chagannur region of the Western Tianshan[J]. Xinjiang Geology, 2001, 19(4): 263-267.
- [43] 汪邦耀, 胡秀军, 王江涛, 等. 西天山查岗诺尔铁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.
- [44] Jiang Z S, Zhang Z H, Wang Z H, et al. Geology, geochemistry, and geochronology of the Zhibo iron deposit in the Western Tianshan, NW China: Constraints on metallogenesis and tectonic setting[J]. Ore Geology Reviews, 2014, 57: 406-424.
- [45] 洪为, 张作衡, 蒋宗胜, 等. 新疆西天山查岗诺尔铁矿床磁铁矿和石榴石微量元素特征及其对矿床成因的制约[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 Chagannuoer iron deposit in the Western Tianshan Mountains, Xinjiang, NW China: Constraint for ore genesis[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(7): 2089-2102.
- [46] Zhang X, Tian J Q, Gao J, et al. Geochronology and geochemistry of granitoid rocks from the Zhibo syngenetic volcanogenic iron ore deposit in the Western Tianshan Mountains(NW-China): Constraints on the age of mineralization and tectonic setting[J]. Gondwana Research, 2012, 22(2): 585-596.
- [47] 王志华, 张作衡, 蒋宗胜, 等. 西天山智博铁矿床磁铁矿成分特征及其矿床成因意义[J]. 矿床地质, 2012, 31(5): 983-998.
Wang Zhihua, Zhang Zuoheng, Jiang Zongsheng, et al. Magnetite composition of Zhibo iron deposits in Western Tianshan Mountains and its genetic significance[J]. Mineral Deposits, 2012, 31(5): 983-998.
- [48] 单强, 张兵, 罗勇, 等. 新疆尼勒克县松湖铁矿床黄铁矿的特征和微量元素地球化学[J]. 岩石学报, 2009, 25(6): 1456-1464.
Shan Qiang, Zhang Bing, Luo Yong, et al. Characteristics and trace element geochemistry of pyrite from the Songhu iron deposit, Nielek county, Xinjiang, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(6): 1456-1464.
- [49] 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.

(责任编辑 韩星明)

· 学术动态 ·



中国科学技术协会

公众爱看的10部科普影片投票产生

公众投票产生的“公众爱看的10部科普影片”是《大师——谢希德》、《趣味科技大赛》、《“绿色”牛粪是个宝》、《生物武器灭白蛾》、《天象奇观日全食》、《自然之谜——地震》、《非常科学——对折的纸》、《深海危机》、《山野小植物》、《鲟鱼繁殖新技术》。

2013年5月,中国科协科普部启动了“公众喜爱的科普作品”推介活动。其中“公众喜爱的科普作品——优秀科普影视作品”活动共征集到190部科普影视作品,由专家评选出46部优秀科普影视推荐作品。

2014年1月17日至2月14日,这46部优秀科普影视作品在新浪网“公众喜爱的科普作品”专题页面上线,接受公众投票,截至2月14日投票人数达10.7万人次。

详见中国科协网<http://www.cast.org.cn/n35081/n35473/n35518/15438586.html>。