文章编号: 0258-7106 (2011) 04-0575-24

新疆阿尔泰铁矿:地质特征、时空分布及成矿作用*

杨富全[1], 刘 锋[1], 柴凤梅[2], 张志欣[1], 耿新霞[1], 吕书君[3], 姜丽萍[2], 欧阳刘进[2]

(1 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点开放实验室, 北京 100037;
2 新疆大学地质勘查与工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830004; 3 中国地质大学, 北京 100083)

摘 要 在前人工作基础上, 文章综述了新疆阿尔泰铁矿地质特征和成矿背景。新疆阿尔泰铁矿赋矿地层主要为上志留统—下泥盆统康布铁堡组、中上泥盆统阿勒泰镇组和中泥盆统北塔山组, 少数为下石炭统和下古生界。成因类型可划分为火山岩型、矽卡岩型、伟晶岩型、与花岗岩有关的热液型、与基性岩体有关的钒钛磁铁矿型和砂矿型 6 种, 其中火山岩型和矽卡岩型为主要类型。火山岩型铁矿主要分布于克兰盆地的康布铁堡组上亚组中; 矽卡岩型铁矿分布在麦兹盆地康布铁堡组下亚组、加尔巴斯岛-科克布拉克一带阿勒泰镇组和乔夏哈拉-老山口一带的北塔山组中; 与花岗岩有关的热液型铁矿分布于额尔齐斯剪切带中。根据同位素测年结果, 铁矿成矿时代分为 4 期: 早泥盆世(410~389 Ma 左右)、中泥盆世(380~377 Ma)、早二叠世(287~274 Ma)和早三叠世(244 Ma)。同位素组成表明, 阿尔泰铁矿的硫主要来自火山岩、闪长岩、花岗岩和细菌还原海水; 岩(矿)石稀土元素特征表明成矿物质主要来自基性火山岩。

关键词 地质学; 铁矿; 时空分布; 地质特征; 成矿作用; 阿尔泰; 新疆

中图分类号: P681.31 文献标志码: A

Iron deposits in Altay, Xinjiang: Geological characteristics, time-space distribution and metallogenesis

YANG FuQuan[1], LIU Feng[1], CHAI FengMei[2], ZHANG ZhiXin[1], GENG XinXia[1], LÜShuJun[3], JIANG LiPing[2] and OU YANG LiuJin[2]

(1 MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037, China; 2 School of Geoexploration and Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046, Xinjiang, China; 3 China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract

This paper has dealt with the geological characteristics of iron deposits in Altay of Xinjiang in their metallogenic-tectonic contexts. The main host rocks for iron deposits in that region are the Upper Silurian-Lower Devonian Kangbutiebao Formation, Middle-Upper Devonian Altaizhen Formation and Upper Devonian Beitashan Formation, with minor Lower Carboniferous strata. These iron deposits can be divided into such types as volcanic rocks, skarn, pegmatite, granite-related hydrothermal solution, basic pluton-related V-Ti-magnetite and placer, with the volcanic rocks and skarn types being predominant. The volcanic rocks type iron deposits are mainly located in the Upper Kangbutiebao Formation in the Kelan volcano-sedimentary basin. The skarn type iron deposits occur primarily in the Lower Kangbutiebao Formation in the Maizi volcano-sedimentary basin, Al-

* 本文为"十一五"国家科技支撑计划重点项目(编号 2006BAB07B02-01)、国土资源大调查项目(编号 1212010786006)和国家自然科学基金项目(编号 40672065)联合资助成果

第一作者简介 杨富全, 男, 1968 年生, 博士, 研究员, 矿床学专业, 从事矿床地质、地球化学研究。Email: fuquanyang@163.com

收稿日期 2010-05-29; 改回日期 2010-10-16。张绮玲编辑。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

taizhen Formation in Jiaerbasidao-Kekebulake and Beitashan Formation in Qiaoxiahala-Laoshankou. The granite-related hydrothermal iron deposits occur primarily along the Ertix shear belt. Based on isotopic age data, the authors hold that iron deposits in Altay were essentially formed in four periods: Early Devonian (410~386 Ma), Middle Devonian (380~377 Ma), Early Permian (287~274 Ma), and Early Triassic (244 Ma). Sulfur isotopic compositions from the iron deposits in Altay imply that the sulfur was derived from volcanic rocks, diorite, granite and bacteria reduction of sulfate from seawater. REE geochemistry of rocks and ores from the iron deposits in Altay suggests that the ore-forming material was derived from the basic volcanic rocks.

Key words: geology, iron deposits, time-space distribution, geological characteristics, metallogenesis, Altay, Xinjiang

新疆阿尔泰南缘不仅是中国重要的有色金属、稀有金属成矿带之一, 也是铁矿的重要产地。在泥盆纪火山-沉积建造中除发育铁矿外, 还发现了 VMS 型矿床, 如阿舍勒大型铜锌矿、可可塔勒大型铅锌矿、铁木尔特中型铅锌矿、大东沟中型铅锌矿等(王京彬等, 1998; 王登红等, 2002; 刘敏等, 2008; 耿新霞等, 2010)。在阿尔泰已发现 100 余处铁矿床(点), 它们具有分布广、规模小、多期次、多成因和多种矿物组合的特征。规模较大的铁矿床有蒙库大型铁矿、托莫尔特中型铁矿、乌吐布拉克中型铁矿、巴拉巴克布拉克中型铁矿、乔夏哈拉小型铁铜金矿、阿巴宫小型铁-磷灰石-稀土元素矿、恰夏小型铁铜矿、萨尔布拉克小型铁矿等。阿尔泰铁矿研究程度总体较低, 除对蒙库铁矿、阿巴宫铁-磷灰石-稀土元素矿床、乔夏哈拉铁铜金矿、萨尔布拉克铁矿进行过研究外(张建中等, 1987; 王登红等, 2002; 闫升好等, 2005; 徐林刚等, 2007a; 2007b; 应立娟等, 2008; 杨富全等, 2008a; 刘锋等, 2009; 2010), 对其他矿床(点)还缺乏系统的研究。蒙库铁矿的研究程度较高, 但对于其成因有矽卡岩型、火山喷流沉积型、火山喷流沉积+叠加改造型、海相火山岩型之争(张建中等, 1987; 王京彬等, 1998; 王登红等, 2002; 仇仲学, 2003; Wang et al., 2003; 李嘉兴等, 2003; 胡兴平, 2004; 徐林刚等, 2007a, b; 杨富全等, 2008a)。张建中等(1987)探讨了阿巴宫—蒙库一带海相火山作用与铁矿的成生关系; 王登红等(2002)划分了与海相火山作用有关的铜铅锌铁成矿系列; 张振福(2003)总结了阿尔泰典型铁矿床特征, 对找矿前景进行了分析; 牛贺才等(2006)探讨了晚古生代火山作用与成矿的问题。本文在前人工作的基础上, 结合作者对一些铁矿床的研究和大量矿床(点)的野外调研, 综合论述了新疆阿尔泰铁矿的基本特征、时空分布规律、成因类型, 并对其成矿作用进行了探讨, 为阿尔泰铁矿成矿规律的总结和进一步找矿提供了依据。

1 成矿背景

阿尔泰造山带为中亚造山带的重要组成部分, 呈北西向横贯于中、俄、哈、蒙 4 国, 全长约 2 000 km, 在中国境内长约 500 km。在大地构造上, 中国阿尔泰包括西伯利亚板块的北阿尔泰早古生代陆缘活动带和南阿尔泰晚古生代活动陆缘, 前者可分为诺尔特泥盆纪—石炭纪火山-沉积盆地、喀纳斯-可可托海古生代岩浆弧, 后者进一步分为克兰泥盆纪—石炭纪弧后盆地、卡尔巴-纳雷姆石炭纪—二叠纪岩浆弧和西卡尔巴石炭纪弧前盆地。以额尔齐斯-布尔根板块缝合带为界, 以南属哈萨克斯坦-准噶尔板块(何国琦等, 2004)。

新疆阿尔泰可划分为北阿尔泰、中阿尔泰和南阿尔泰(图 1)。北阿尔泰位于红山嘴-诺尔特断裂以北, 主要由中晚泥盆世—早石炭世火山-沉积岩组成。中阿尔泰即喀纳斯—可可托海一带, 位于红山嘴断裂与阿巴宫断裂、巴寨断裂之间, 主要为早古生代变质岩系, 出露地层主要有震旦纪至中奥陶世的浅变质巨厚陆源复理石建造(哈巴河群)、晚奥陶世的火山-磨拉石及陆源碎屑岩建造, 中-晚志留世变砂岩。哈巴河群为混合岩、石英片岩, 其时代存在很大争议, 有震旦纪、寒武纪—早奥陶世、震旦纪—中奥陶世、中奥陶世—早泥盆世之争(王登红等, 2002; Windley et al., 2002; Chen et al., 2002; 李会军等, 2006; 袁超等, 2007a)。南阿尔泰北以阿巴宫断裂为界, 南以克兹加尔断裂为界与额尔齐斯构造带相邻。主要由康布铁堡组和阿勒泰镇组变质火山-沉积岩系, 其次是石炭纪火山-沉积岩系和中-上志留统片岩、片麻岩、变粒岩组成。南阿尔泰变质火山-沉积岩系主要分布在NW向4个斜列的火山沉积盆地

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

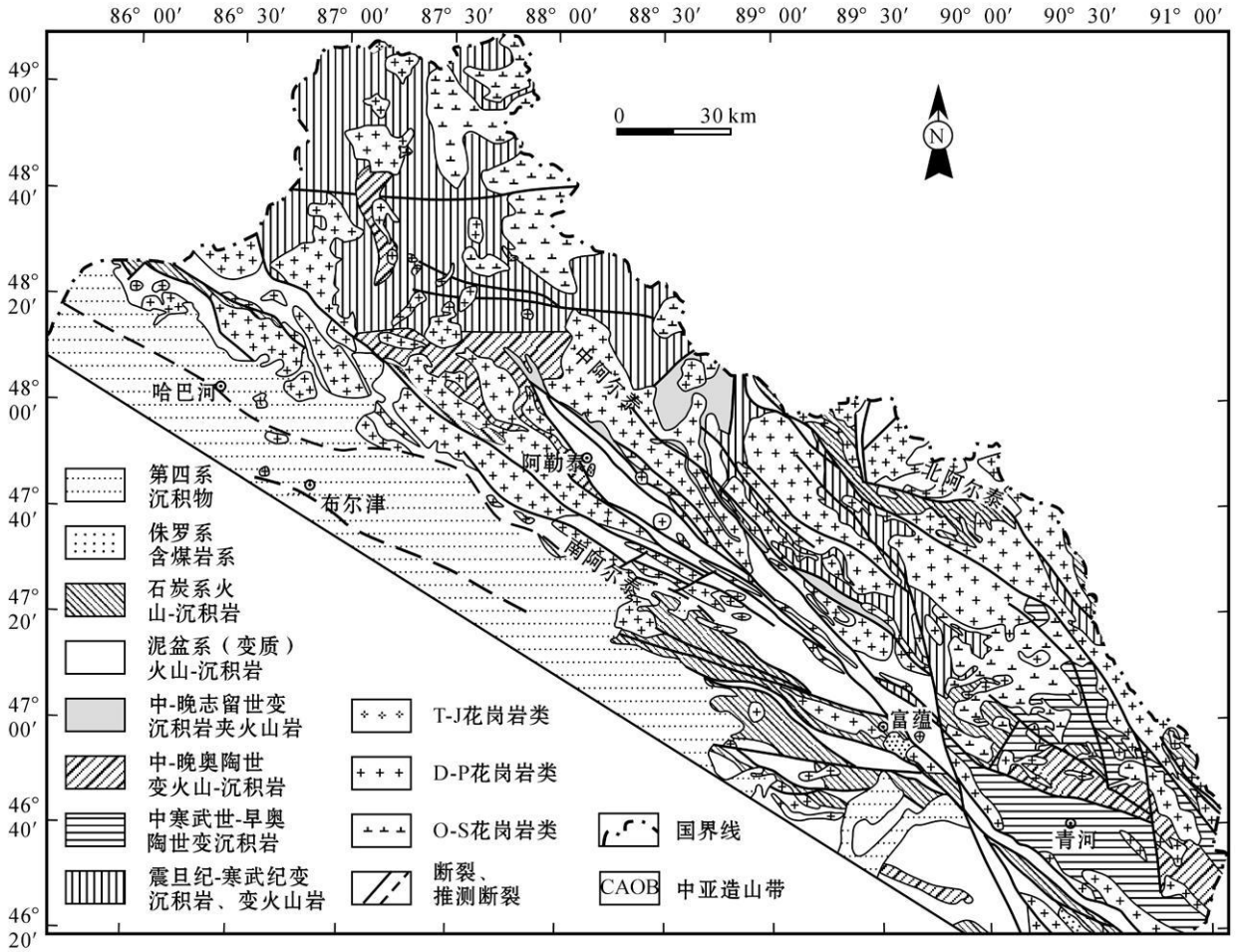


图 1　阿尔泰造山带区域地质略图

Fig. 1　Simplified regional geological map of Altay orogen

中，从 NW 至 SE 依次为阿舍勒盆地、冲乎尔盆地、克兰盆地和麦兹盆地，与火山岩系有关的铜、铅、锌、铁、金矿主要分布在上述盆地中。康布铁堡组是重要的含矿岩系，前人认为是早泥盆世。笔者近年来在克兰和麦兹盆地测定了 15 件变流纹岩和斜长角闪岩的锆石 SHRIMP 和 LA-ICP-MS U-Pb 年龄，变化于 413.5～381 Ma 之间（Chai et al.，2009；杨富全等未刊资料），考虑到未测到该组底部年龄，推断康布铁堡组从晚志留世开始。曾乔松等（2009）获得冲乎尔盆地康布铁堡组中晶屑凝灰岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为（436±4）Ma，因此，可限定南阿尔泰康布铁堡组时代为晚志留世—早泥盆世，但在不同地区，康布铁堡组开始和结束的时间存在差异。前人认为阿勒泰镇组时代为中泥盆世，我们课题组获得变流纹岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 365 Ma 和 354 Ma（杨富全等未刊资料），从而限定阿勒泰镇组时代为中晚泥盆世（380 Ma？～354 Ma）。

阿尔泰造山带中花岗岩类分布广泛，它们具有多时代、多类型、多成因、多来源及形成于多种构造环境等特征（芮行健等，1984；邹天人等，1988；刘伟，1990；王中刚等，1998）。岩浆侵入活动存在 4 个峰值：460 Ma、400 Ma、375 Ma 和 280 Ma（Wang et al.，2006；童英等，2007；杨富全等，2008b）。南阿尔泰花岗岩类的形成时代以早泥盆世为主，岩性为片麻状斜长花岗岩、片麻状花岗岩、片麻状花岗闪长岩、片麻状英云闪长岩等；其次是晚石炭世〔如阿舍勒岩体，（318±6）Ma，Yuan et al.，2007b〕、二叠纪（如加尔巴斯岛铁矿区花岗岩，287 Ma，杨富全未刊资料）；少数岩体为奥陶纪（如阿巴宫-铁米尔特，462 Ma，458 Ma，459 Ma，刘锋等，2008；柴凤梅等，2010）、三叠纪（如将军山，245 Ma，王中刚等，1998）和侏罗纪形成（如尚可兰，181～177 Ma，王登红等，2002）。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

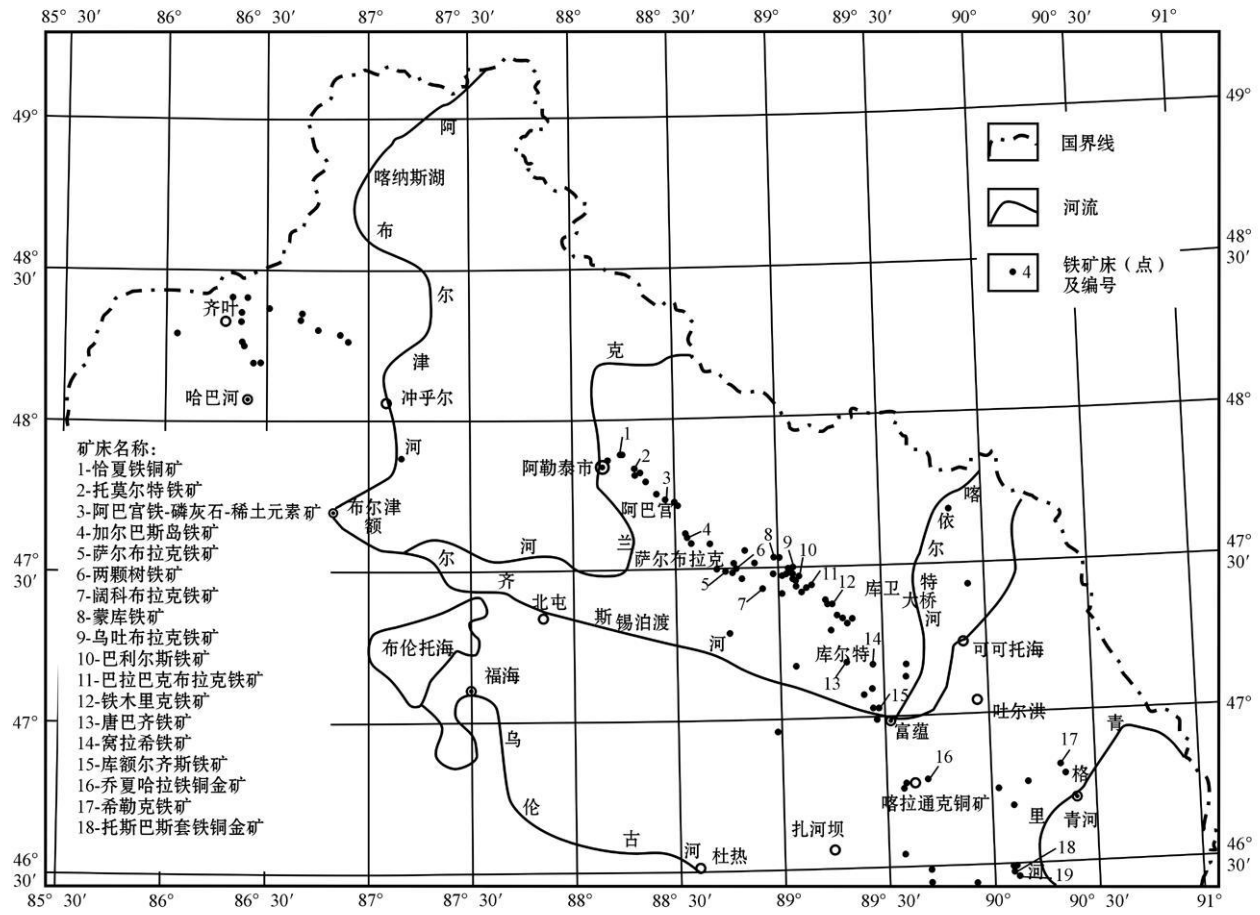


图 2 阿尔泰造山带铁矿分布略图

Fig. 2 Distribution of iron deposits in Altay orogen

2 成因类型划分

在新疆阿尔泰已发现 100 余个铁矿产地(图 2),但多数为矿点和矿化点。有近 20 个矿床经过普查,对其中一些矿床进行过研究。阿尔泰铁矿多形成于晚古生代(见下文讨论),经历过了多次构造-热液活动,具有多期叠加成矿特征。同时矿床(点)主要分布在火山-沉积岩系中,与火山作用有着或多或少的关系,火山作用可形成矿体、矿源层或提供成矿物质。本文在划分成因类型上以主要铁成矿作用为主进行划分。依据含矿岩系、矿床特征和矿床地球化学资料,将阿尔泰铁矿的成因类型划分为火山岩型、矽卡岩型、伟晶岩型、与花岗岩有关的热液型、与基性岩体有关的钒钛磁铁矿型和砂矿 6 种类型(表 1),其中火山岩型和矽卡岩型是主要类型。火山岩型进一步划分出火山热液型、火山沉积型和矿浆(?)型 3 个亚类型;矽卡岩型可划分为接触交代矽卡岩型、接触交代矽卡岩+类矽卡岩(交代火山岩)型和类矽卡岩型 3 个亚类型。典型矿床特征列于表 2。

3 阿尔泰铁矿空间分布

阿尔泰铁矿主要含矿岩系为上志留统—下泥盆统康布铁堡组变质火山沉积岩系,其次是中-上泥盆统阿勒泰镇组浅变质火山-沉积岩系和中泥盆统北塔山组火山-沉积岩系,少数为下石炭统和下古生界变质火山-沉积岩系。不同类型矿床(点)在空间上具有明显分布规律,火山岩型主要分布于克兰盆地的康布铁堡组上亚组中,矿体总体顺层,局部切层。矿床规模为中型和小型。火山热液型主要分布在康布铁堡村-铁米尔特村一带,火山沉积型分布在恰夏-托莫尔特,以铁、锰、铜矿为主,空间上伴有铅锌矿分布,已发现了托莫尔特铁矿、恰夏铁铜矿、铁米

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　新疆阿尔泰铁矿成因类型划分

Table 1　Genetic types of iron deposits in Altay, Xinjiang

矿床类型及亚类		主要特征	矿床实例
火山岩型			
	火山热液型	产于火山-沉积岩系，受火山断裂控制	康布铁堡铁矿
	火山沉积型	产于火山-沉积岩系，受岩相和古地理控制	托莫尔特铁矿、恰夏铁铜矿、阿什勒萨依铁锰矿床
	矿浆(?)型	产于火山-沉积岩系，受火山断裂和角砾岩筒控制	阿巴宫铁-磷灰石-稀土元素矿、小铁山铁-磷灰石-稀土元素矿
矽卡岩型			
	接触交代矽卡岩型	矿化分布于花岗岩与灰岩外接触带的矽卡岩和大理岩中	加尔巴斯岛铁矿、萨尔布拉克铁矿、明进 1 号铁矿、科克布拉克铁矿、霍什喀拉卡铁矿、铁木里克铁矿
	接触交代矽卡岩＋类矽卡岩(交代火山岩)型	花岗岩和闪长岩与灰岩、凝灰岩、安山岩外接触带的矽卡岩中	蒙库铁矿、巴利尔斯铁矿、乌吐布拉克铁矿、巴拉巴克布拉克铁矿；乔夏哈拉和老山口铁铜金矿
	类矽卡岩(交代火山岩)型	矿化分布于花岗岩与火山岩接触带的矽卡岩中	喀因布拉克铁矿
伟晶岩型		产于伟晶岩中	两颗树铁矿、唐本齐铁矿
与花岗岩有关的热液型		产于花岗岩外接触带	库额尔齐斯铁矿
与基性岩有关的钒钛磁铁矿		产于基性岩中	库为钒钛磁铁矿、哈旦孙钒钛磁铁矿
砂矿型		产于砂砾石中	青河铁矿

尔特铅锌矿。矿浆型(?)主要分布在阿巴宫-西铁山，以铁、磷灰石、稀土元素为主，空间上与 VMS 型铅锌矿一起分布，已发现了阿巴宫铁-磷灰石-稀土元素矿、西铁山铁-磷灰石-稀土元素矿、塔拉特中型含铁铅锌矿等。

矽卡岩型铁矿主要分布在麦兹盆地、加尔巴斯岛-科克布拉克和乔夏哈拉-老山口一带，接触交代矽卡岩型主要分布在加尔巴斯岛-科克布拉克一带，少数分布在麦兹盆地东南部。矿化分布于花岗岩与前泥盆系、康布铁堡组和阿勒泰镇组灰岩接触带的矽卡岩和大理岩中，灰岩多呈残留体状分布于花岗岩中，接触带附近往往出现基性岩脉。花岗岩时代为晚志留世—早泥盆世、早二叠世。已发现了加尔巴斯岛铁矿、萨尔布拉克铁矿、明进 1 号铁矿、科克布拉克铁矿、铁木里克铁矿等。矿床规模为小型或矿点，为单一铁矿。

接触交代矽卡岩＋类矽卡岩(交代火山岩)型铁矿主要分布在麦兹盆地的康布铁堡组下亚组中，矿体总体顺层分布。矿体内及附近发育矽卡岩，矿物组合为石榴子石、辉石、角闪石、阳起石、透闪石、绿帘石、绿泥石，不同矿区矽卡岩矿物组合不同，以某几种矿物为主。矽卡岩是岩浆热液交代灰岩和火山岩(熔岩和火山碎屑岩)的产物。矿化分布在外接触带的矽卡岩中。矿床具有叠加成矿特征，早期火山活动可能形成矿源层或贫铁矿(?)，但主要成矿作用与矽卡岩的退化变质作用有关(如蒙库铁矿)。矽卡岩的形成可能与早泥盆世花岗岩侵入活动有关，矿体和矽卡岩形成于区域变质作用之前。成矿以铁为主，局部伴生铜，矿床规模以大型、中型为主，如蒙库大型铁矿、乌吐布拉克中型铁矿、巴拉巴克布拉克中型铁矿等。这种类型的矿床在乔夏哈拉—老山口一带主要形成铁铜金矿。

类矽卡岩(交代火山岩)型铁矿仅分布于麦兹盆地，容矿地层为康布铁堡组变质火山-沉积岩系。矿化产于斜长角闪岩与花岗岩接触带的石榴子石矽卡岩中，为单一铁矿化，规模较小，如喀因布拉克铁矿点。

与花岗岩有关的热液型铁矿分布于富蕴县城附近的额尔齐斯剪切带中。矿化分布于花岗岩与上石炭统斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩的外接触带和围岩中。矿化受接触带和断裂控制，矿体呈斜列状分布。矿化类型主要为脉状，为单一铁矿，规模较小，为小型，如库额尔齐斯铁矿。

伟晶岩型铁矿分布于麦兹盆地东南和两颗树一带。矿化产于花岗岩与阿勒泰镇组片岩、变粒岩，康布铁堡组变质火山-沉积岩系接触带的伟晶岩中。铁矿化呈条带状、浸染状、脉状和团块状分布于伟晶岩中，在空间上和成因上与伟晶岩有密切联系。矿化主要以铁为主，矿区有伟晶岩型白云母矿，规模较小，为小型和矿点，如两颗树铁矿、唐巴齐铁矿、唐本齐铁矿等。

与基性岩体有关钒钛磁铁矿型铁矿主要分布

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2 新疆阿尔泰主要铁矿地质特征

Table 2 Geological characteristics of some major iron deposits in Altay, Xinjiang

矿床名称	位置	赋矿岩系	容矿岩石	岩体	围岩蚀变	矿石中金属矿物	矿石中非金属矿物	矿体规模/m	矿石品位	成矿元素	规模	成因类型	参考文献
蒙库铁矿	富蕴县	康布铁堡组下亚组	变粒岩、浅粒岩、斜长角闪岩、矽卡岩	早、中泥盆世片麻状花岗岩	矽卡岩化、硅化、碳酸盐化、绢云母化、钠长石化	主要为磁铁矿，少量磁赤铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿	石榴子石、透辉石、角闪石、长石，其次为石英、方解石、绿泥石、绿帘石、透闪石	1号矿体最大，长2322 m，厚1.9～103.2 m，其它矿体长50～763 m，厚1.3～110.8 m	TFe平均24%～58%，多数35%～48%；Cu 0.001%～1.53%	Fe，局部伴生Cu	大型	矽卡岩型	杨富全等，2008a；李建国等，2009❶
乌吐布拉克铁矿	富蕴县	康布铁堡组下亚组	变粒岩、斜长角闪岩、矽卡岩	中泥盆世片状麻花岗岩	矽卡岩化（石榴子石、透辉石绿泥石、角闪石、绿帘石、透闪石）	主要为磁铁矿、少量磁赤铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿	透辉石、石榴子石、角闪石、透闪石、黑云母、斜长石、石英、绿帘石、绿泥石	长60～960 m，平均厚2.5～20.33 m	MFe平均23.3%～27.96%	Fe	中型	矽卡岩型	易朝楷等，2009❷；本文
巴拉巴克拉克铁矿	富蕴县	康布铁堡组下亚组	角闪斜长片麻岩、变粒岩、矽卡岩	片麻状花岗岩	矽卡岩化（绿帘石、透辉石、角闪石、石榴子石、方柱石）	主要为磁铁矿	绿帘石、透辉石、角闪石、石榴子石、斜长石	长20～920 m，厚1～40 m	TFe 20%～65.77%，一般40%左右	Fe	中型	矽卡岩型	厉小钧等，2006❸
加尔巴斯铁矿	福海县	阿勒泰镇组下亚组	大理岩、含钙质砂岩和矽卡岩	早二叠世片状黑云母花岗岩	矽卡岩化（绿帘石化、石榴子石化、阳起石化、绿泥石化）、硅化，碳酸盐化	磁铁矿为主，局部可见黄铁矿、黄铜矿	石英为主，次有方解石、绿帘石、石榴子石、绿泥石	长几十m～870 m；厚6.47～29.65 m	TFe为27.37%～68.20%	Fe	小型	矽卡岩型	厉小钧等，2006❸；本文
乔夏哈拉铜金矿	富蕴县	中泥盆北山统塔组	凝灰岩、玄武安山岩、大理岩、绿帘石矽卡岩	中泥盆世闪长岩、闪长玢岩	绿帘石化、碳酸盐化、绿泥石化、硅化	磁铁矿、赤铁矿、黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、斑铜矿、自然金、辉钼矿	石英、长石、绿帘石、石榴子石、绿泥石、方解石、阳起石、透闪石、透辉石、云母	长80～540 m，宽1～20 m	TFe平均35.05%；Cu平均0.55%～2.2%；Au平均0.13～2.4g/t	Fe、Cu、Au	小型	矽卡岩型	李泰德，2002；应立娟等，2009
老山口铁铜金矿	青河县	中泥盆北塔山统组	安山质火山角砾岩、含角砾凝灰岩、绿帘石矽卡岩	中泥盆世闪长岩、闪长玢岩	绿帘石化、碳酸盐化	磁铁矿、黄铁矿、毒砂、黄铜矿、自然金、银金矿	石英、方解石、绿帘石、绿泥石、钠长石、绢云母、斜长石、角闪石	长110～200 m，平均厚5.5～13.92 m	TFe平均35.5%～36.42%；Cu平均0.19%～0.41%；Au平均0.49～1.31g/t	Fe、Cu、Au	小型	矽卡岩型	程剑，2004；本文

❶ 李建国，等. 2009. 新疆富蕴县蒙库铁矿勘查报告.

❷ 易朝楷，等. 2009. 新疆富蕴县蒙库铁矿区乌吐布拉克矿段补充详查及外围普查地质报告.

❸ 厉小钧，等. 2006. 新疆阿勒泰-富蕴富铁矿锰矿资源调查评价成果报告.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

续表 2
Continued Table 2

矿床名称	位置	赋矿岩系	容矿岩石	岩体	围岩蚀变	矿石中金属矿物	矿石中非金属矿物	矿体规模/m	矿石品位	成矿元素	规模	成因类型	参考文献
阿巴宫铁-磷灰石-稀土元素矿	阿勒泰市	康布堡组亚组	变火山角砾岩、变凝灰岩、斜长角闪岩、片岩、浅粒岩	中晚奥陶世片麻状花岗岩	透闪石化、阳起石化、绿泥石化、钠长石化、高岭土化、碳酸盐化	主要为磁铁矿，少量磁赤铁矿	石英、磷灰石、黑云母、白云母、阳起石、钠长石、方解石	长200～1 800 m，平均厚 1.4～16.56 m	TFe 44.18%～67.21%；P_2O_5平均 3.8%～10.8%	Fe、P、REE	小型	火山岩型	刘锋等，2009
托莫尔特铁矿	阿勒泰市	康布堡组亚组	变凝灰质砂岩、变（含火山角砾）凝灰岩、变粉砂岩、大理岩	花岗斑岩脉	阳起石化、透闪石化、绢云母化、绿泥石化	磁铁矿、磁赤铁矿、黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、软锰矿	方解石、石英、黑云母、绢云母、石榴子石、阳起石、绿帘石	长200～650 m，平均厚8.8～15.0 m	TFe 平均 31.31%～33.69%；Mn 平均 4.45%～7.64%	Fe、Mn	中型	火山岩型	黄承科等，2008❶；本文
恰夏铁铜矿	阿勒泰市	康布堡组亚组	大理岩、变钙质粉砂岩、绿泥石英片岩、变凝灰质粉砂岩	闪长玢岩脉	矽卡岩化、重晶石化、硅化	磁铁矿，少量黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿	石英、绿泥石、方解石、黑云母、绢云母、阳起石、绿帘石	铁矿体长 50～650 m，平均厚度 2.8～5.8 m；铜矿体长约 50 m，平均厚 2.3～7.5 m	TFe 平均品位 20%～47.42%；Cu 平均品位 0.25～0.44%	Fe、Cu	小型	火山岩型	黄承科等，2009❷
两棵树铁矿	福海县	阿勒泰组亚组	片岩、矽卡岩、伟晶岩	中泥盆世花岗岩	绿帘石化、石榴子石化	磁铁矿	长石、黑云母、石英、绿帘石、石榴子石	长70 m，平均厚2.5 m	TFe 29.40%～32.10%；平均品位 30.56%	Fe	小型	伟晶岩型	郭彦良等，2006❸；本文
库额尔齐斯铁矿	富蕴县	上石炭统喇尔斯喀额齐斯组	角闪斜长片麻岩、斜长角闪岩	早二叠世片麻状花岗岩	辉石化、绿泥石化、绿帘石化	以磁铁矿为主，偶见黄铁矿	钙铁辉石、石英、绿帘石、透闪石、阳起石、碳酸盐、斜长石	长290 m，平均厚为5～8 m	TFe 平均品位 41.47%	Fe	小型	与花岗岩有关的热液型	高向前等，2006❹；本文
哈旦孙	青河县	镁铁-超镁铁杂岩	石英闪长岩和辉长岩	辉长岩、石英闪长岩、二长闪长岩、花岗闪长岩		钛磁铁矿、磁铁矿	辉石、角闪石、石英、斜长石	长25～98 m，厚3.9～43 m	TFe 品位 27.35%～32.57%，V_2O_5 0.21%～0.24%，TiO_2 3.58%	Fe、V、Ti	小型	镁铁-超镁铁岩型	贺永康，2006❺

❶ 黄承科，等. 2008. 新疆阿勒泰市托莫尔特铁矿详查报告.
❷ 黄承科，等. 2009. 新疆阿勒泰市恰夏铜铁矿普查报告.
❸ 郭彦良，等. 2006. 新疆福海县两棵树铁矿普查地质报告.
❹ 高向前，等. 2006. 新疆富蕴县库额尔齐斯铁矿普查报告.
❺ 贺永康. 2006. 新疆青河县哈旦孙铁矿普查报告.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

在中阿尔泰的库为和准噶尔北缘青河东南哈旦孙一带。矿化产于辉长岩中,矿化组合为 V-Ti-Fe。已发现库为和哈旦孙矿床,库为钒钛磁铁矿规模大,但品位较低。

准噶尔北缘乔夏哈拉-老山口一带发现了多个铁铜金矿,如乔夏哈拉铁铜金矿、老山口铁铜金矿(包括托斯巴斯套铁铜金矿、托斯巴斯套南铜-金矿、托库特拜金矿),矿床规模为中、小型。赋存于中泥盆统北塔山组基性火山-沉积岩中。矿体产于灰岩、凝灰岩、玄武岩、大理岩与闪长(玢)岩脉接触带的绿帘石矽卡岩中。前人(闫升好等,2005;应立娟等,2009)认为早期铁矿的形成与火山活动有关,晚期的铜金矿化与闪长(玢)岩脉侵入有关,具有 2 期成矿作用。乔夏哈拉和老山口铁铜金矿也具有 IOCG 矿床的特征(应立娟等,2008),因此其成矿作用、成因类型和成矿模型还有待进一步研究。尽管本文将阿巴宫铁-磷灰石-稀土元素矿床归为火山岩型中的矿浆亚类型,但该矿也具有 IOCG 矿床的特征,特别是在矿体周围发现了大量角砾状矿化。磷灰石稀土元素特征与也与瑞典北部 Kiruna 型、宁芜玢岩铁矿的相似(刘锋等,2009)。Hitzman 等(1992)认为瑞典 Kiruna 地区的铁-磷灰石矿床为 IOCG 矿床,毛景文等(2008)认为宁芜玢岩铁矿为 IOCG 矿床,由此可见,阿巴宫铁-磷灰石-稀土元素矿床是否属于 IOCG 型矿床,值得深入研究。

4 主要矿床特征

4.1 蒙库铁矿

富蕴县蒙库大型铁矿位于麦兹盆地中,距富蕴县城直线距离 67 km,是新疆规模最大的铁矿。矿床 1953 年被发现,目前探明资源量超过 2 亿吨,其中西段(106 ~ 163 勘探线间 1 ~ 9 号矿体)111b+122b+333 类资源量为 1.5 亿吨[1]。现由新疆金宝矿业有限公司和新疆八钢公司分别开采。矿床赋存于上志留统—下泥盆统康布铁堡组下亚组第三岩性段,岩石组合为(含斑)角闪变粒岩、条带状角闪斜长变粒岩、黑云母变粒岩、角闪斜长片麻岩、斜长角闪岩、黑云母片岩、大理岩、变砂岩、浅粒岩(图 3)。矿区侵入岩发育,片麻状花岗岩时代为 400 Ma、404 Ma 和 378 Ma。

蒙库铁矿区已控制矿化带长约 5.5 km、宽约 400 m,发现了 40 余个矿体(图 3)。矿区西段 1-6 号矿体的赋矿围岩以角闪斜长变粒岩、浅粒岩为主,多数矿体内及边部见石榴子石和绿帘石等矽卡岩残留体和大理岩团块。矿区东段7-22号矿体的围岩主要

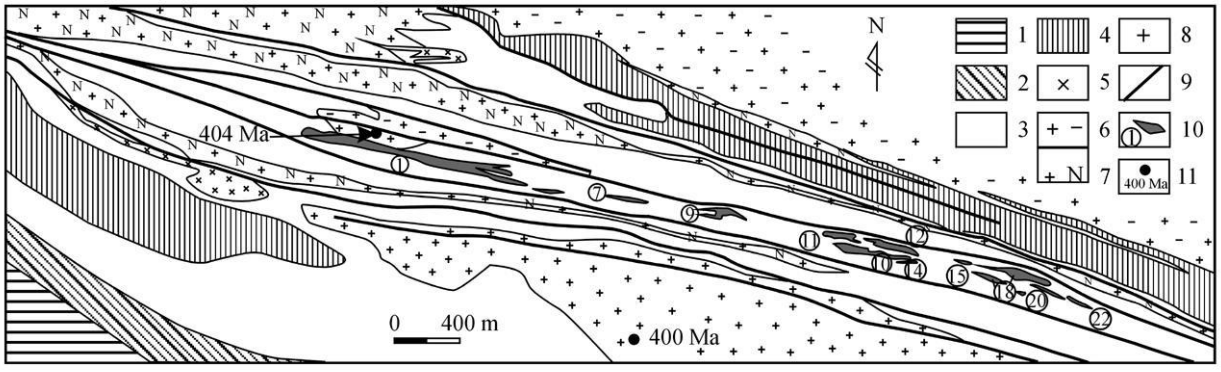


图 3 蒙库铁矿矿区地质图(据李建国等,2005[2]修改)

1—中上泥盆统阿勒泰镇组变质砂岩、大理岩;2—上志留统—下泥盆统康布铁堡组上亚组变质凝灰质砂岩、变质砂岩、浅粒岩;3—康布铁堡组下亚组大理岩、变质砂岩、角闪变粒岩、浅粒岩、片麻岩;4—中上志留统松克木群片岩夹斜长角闪岩;5—斜长角闪岩脉;6—片麻状黑云母花岗岩;7—角闪斜长花岗岩;8—片麻状斜长花岗岩;9—断层;10—铁矿体及编号;11—岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄

Fig. 3 Geological map of the Mengku iron ore district (modified after Li et al., 2005[2])

1—Meta-sandstone and marble of Middle-Upper Devonian Altay Formation; 2—Meta- tuffaceous sandstone, meta-sandstone and leucogranulitite of Upper Silurian-Lower Devonian Upper Kangbutiebao Formation; 3—Marble, meta-sandstone, hornblende granulitite, leucogranulitite and gneiss of Lower Kangbutiebao Formation; 4—Schist and amphibolite of Middle-Upper Silurian Songkemu Formation; 5—Amphibolite dyke; 6—Gneissic biotite granite; 7—Hornblende plagiogranite; 8—Gneissic plagiogranite; 9—Fault; 10—Ore body and its serial number; 11—SHRIMP U-Pb zircon dating of the pluton

[1] 李建国,等. 2009. 新疆富蕴县蒙库铁矿勘查报告.

[2] 李建国,等. 2005. 新疆富蕴县蒙库铁矿床西段浅部勘探地质报告.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

为石榴子石矽卡岩，其次是角闪斜长变粒岩、浅粒岩、大理岩。1 号矿体北侧近矿围岩为片麻状花岗岩，9 号矿体北部近矿围岩为片麻状斜长花岗岩脉。1 号矿体（包括原 6、7、Fe-11 号）规模最大，长 2 322 m，但厚度变化较大，为 1.92～103.18 m，平均厚度 12.99～44.26 m，控制垂深达 580 m。其他矿体长 50～763 m，厚 1.3～110.8 m[1]。矿体形态复杂，呈似层状、透镜状、囊状、不规则状（图 4）。矿体总体产状与围岩产状一致，局部常见穿层现象，走向 290～300°，向 SW 或 NE 陡倾，倾角 78～89°。

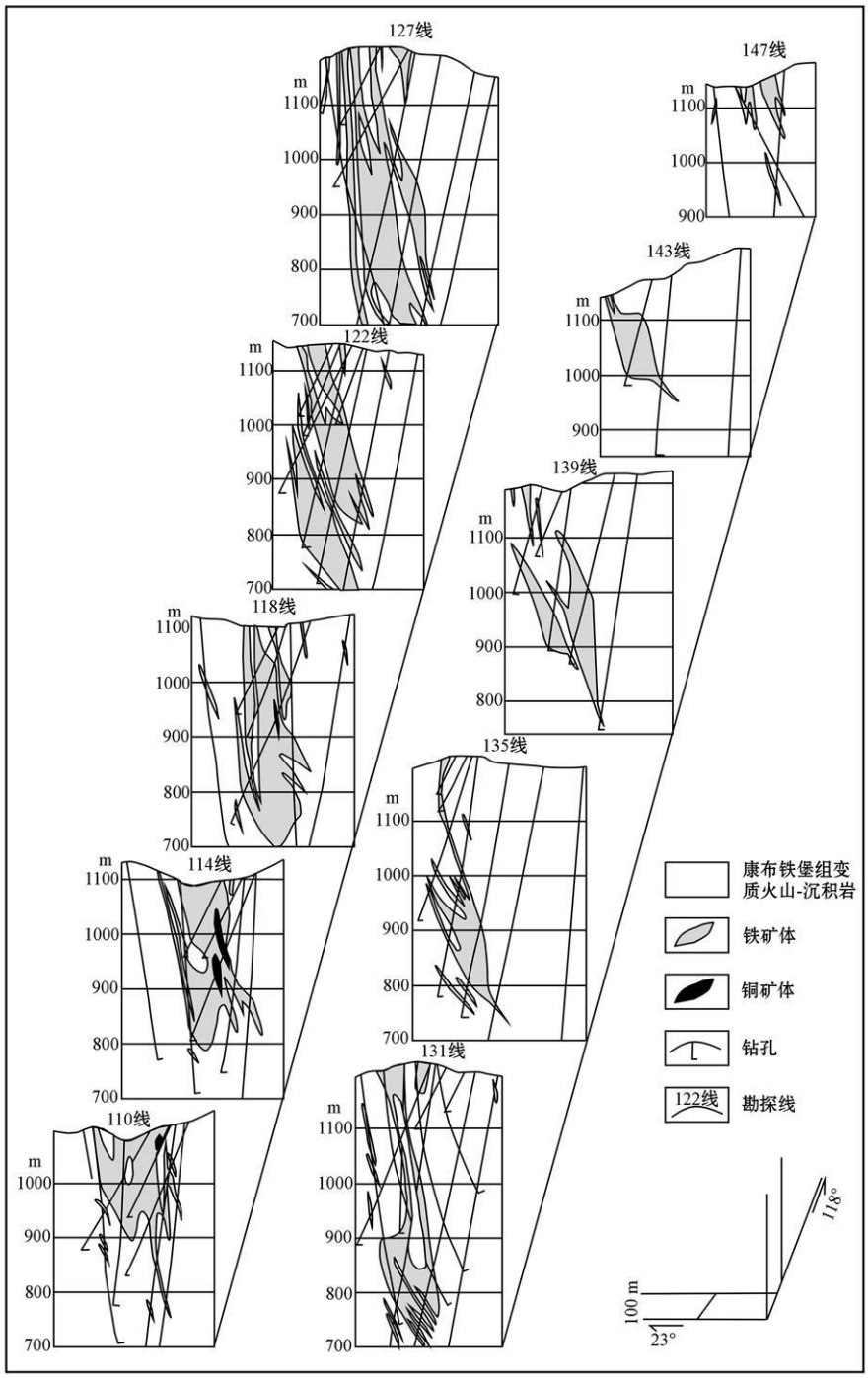


图 4　蒙库铁矿床 1 号矿体联合剖面图（据李建国等，2009[1]）

Fig. 4 Combinational geological section of No. 1 ore bodies in the Mengku iron deposit (after Li et al., 2009)

[1] 李建国，等. 2009. 新疆维吾尔自治区富蕴县蒙库铁矿接替资源勘查报告.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

矿石主要为块状、浸染状，其次为条带状、角砾状、斑杂状、脉状构造。矿石结构主要有粒状变晶结构、交代残余结构、变余结构和碎裂结构。矿石全铁平均品位(质量分数，下同)为 24%～58%，多数在 35%～48%之间。1 号矿体全铁品位变化于 25.75%～53.34%，平均品位为 43.43%。1 号矿体西段 110～118 线之间矿石中还伴生有铜，w(Cu)为 0.001%～1.53%❶。

围岩蚀变主要为矽卡岩化、硅化、碳酸盐化、绢云母化、钠长石化。矽卡岩在空间上有一定的分布规律，矿区由西向东出露的矽卡岩越来越多。矿物组合以石榴子石(钙铁榴石为主，少量钙铝榴石)为主，其次是辉石(透辉石为主，含少量普通辉石)、角闪石(以阳起石为主)、绿帘石、绿泥石(徐林刚等，2007a)。成矿过程复杂，经历了多期叠加成矿，成矿期可划分为火山喷发-沉积期，形成铁矿源层或铁矿层(?)；矽卡岩期，可分为早期矽卡岩阶段、退化矽卡岩阶段和氧化物阶段；石英硫化物期，主要形成硫化物；区域变质期、构造-岩浆(?)热液期和氧化期。其中退化矽卡岩阶段是铁的主要形成阶段，区域变质期使矿体变形，磁铁矿经历了重结晶作用；构造-岩浆(?)热液期主要形成辉钼矿和黄铜矿石英大脉。

4.2 阿巴宫铁-磷灰石-稀土元素矿

阿勒泰市阿巴宫铁-磷灰石-稀土元素矿位于克兰火山-沉积盆地，距阿勒泰市南东 25 km。为小型铁矿，铁资源量为 842 万吨、磷灰石资源量为 7 016 吨、稀土元素 2.2 万吨(王京彬等，1998)，目前由宏泰矿业有限责任公司开采。矿床赋存于上志留统—下泥盆统康布铁堡组上亚组第二岩性段，由变质基性晶屑凝灰岩、变质流纹岩、变质火山角砾岩、含角砾片岩、变粒岩和斜长角闪岩组成(图 5)。直接围岩为角砾岩、变凝灰岩、斜长角闪岩、云母片岩、浅粒

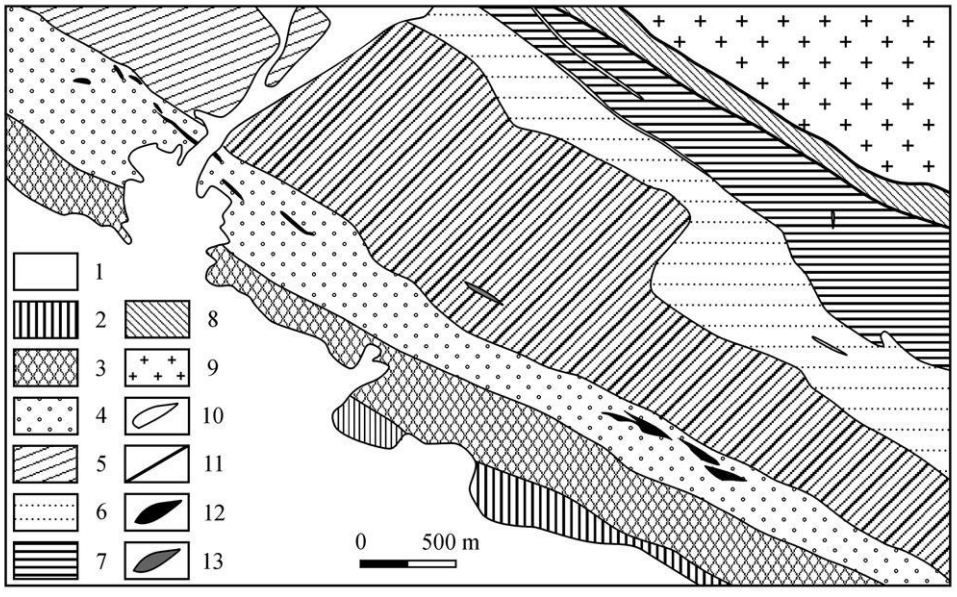


图 5 阿巴宫铁-磷灰石-稀土元素矿矿区地质略图(新疆有色地质勘查局 706 队，2007❷修改)

1—第四系沉积物；2—中上泥盆统阿勒泰镇组变粉砂岩；3—上志留统—下泥盆统康布铁堡组上亚组第三岩性段变凝灰岩、变粉砂岩；4—康布铁堡组上亚组第二岩性段变沉凝灰岩夹大理岩、黑云母片岩；5—康布铁堡组上亚组第一岩性段变流纹岩、斜长角闪岩；6—康布铁堡组下亚组第二岩性段变凝灰岩、变角砾凝灰岩；7—康布铁堡组下亚组第一岩性段片麻岩、变粒岩；8—中上志留统库鲁姆提群片岩、片麻岩；9—中晚奥陶世片麻状花岗岩；10—花岗伟晶岩脉；11—断裂；12—铁矿体；13—磷灰石矿体

Fig. 5 Simplified geological map of the Abagong Fe-apatite-REE deposit (after No. 706 Geological Party of Xinjiang Nonferrous Geoexploration Bureau, 2007)

1—Quaternary sediments; 2—Middle-Upper Devonian meta-siltstone of Altay Formation; 3—Upper Silurian-Lower Devonian meta-tuff, meta-siltstone of 3rd Member of Upper Kangbutiebao Formation; 4—Meta-sedimentary tuff intercalated with marble, biotite schist of 2nd Member of Upper Kangbutiebao Formation; 5—Meta-rhyolite and amphibolite of 1st Member of Upper Kangbutiebao Formation; 6—Meta-tuff and meta-volcanoclastic tuff of 2nd Member of Lower Kangbutiebao Formation; 7—Gneiss and granulitite of 1st Member of Lower Kangbutiebao Formation; 8—Middle-Upper Silurian schist and gneiss of Songkemu Formation; 9—Middle-Late Ordovician gneissic granite; 10—Granite pegmatite dyke; 11—Fault; 12—Iron ore body; 13—Apatite ore body

❶ 李建国，等. 2009. 新疆维吾尔自治区富蕴县蒙库铁矿接替资源勘查报告.

❷ 新疆有色地质勘查局 706 队. 2007. 新疆阿勒泰市塔拉特铅锌矿西中段地质草图.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

岩。矿体附近发现了大量角砾岩，包括隐爆角砾岩、碎裂岩和磁铁矿化角砾岩，矿区可能存在角砾岩筒，其形成与成矿有关。变流纹岩锆石 SHRIMP 年龄为 413 Ma 和 407 Ma(Chai et al.，2009)。矿区外围出露中晚奥陶世片麻状花岗岩(462 Ma 和 458 Ma，刘锋等，2008)。

矿化呈 NW 向，长约 5 km，分为 2 个矿段，NW 矿段又称为小铁山或西铁山矿。圈定出 3 个主要矿体，呈透镜状、脉状，受火山断裂控制，斜切地层分布，与围岩界线清楚。矿体总体走向 290～300°，矿体倾向南西，倾角一般在 80°以上。矿体沿走向多有膨胀、收敛、尖灭再现、分枝复合现象，在垂向上多呈漏斗状或楔状(图 6)。Fe1 矿体长 850 m，厚 1.26～43.23 m，平均 16.56 m。Fe2 矿体长 1 800 m，厚 5～16.70 m，平均 7.49 m，控制斜深 635 m。Fe3 铁矿体长 200 m，厚 1～2 m，平均 1.4 m。按矿物组合，矿石可分为石英-磁(赤)铁矿矿石、磷灰石-磁(赤)铁矿矿石、石英-磷灰石-磁(赤)铁矿矿石和云母-石英-磁(赤)铁矿矿石。按矿石构造划分，矿石类型以细粒致密块状磁铁矿矿石和稠密浸染状磁铁矿矿石为主，条带状磁铁矿矿石、角砾状磁铁矿矿石次之，另外，还见斜长角闪岩中浸染状含黄铁矿贫铁矿石。角砾状磁铁矿矿石中角砾成分与矿体围岩一致，大小不一，形态各异，由磁铁矿胶结成角砾状矿石。矿石中全铁品位为 44.18%～67.21%；$w(P_2O_5)$平均 3.8%～10.8%。磷灰石中∑REE 变化于 1 352.96×10^{-6}～6 986.33×10^{-6}，平均 3 717.70×10^{-6}(刘锋等，2009)。

围岩蚀变形成的矿物主要有透闪石、阳起石、绿泥石、绿帘石、钠长石、磷灰石、黄铁矿、萤石、石英、方解石，少量石榴子石。围岩蚀变略具分带性，上盘为硅化、黑云母化、绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化，下盘具绿帘石化、绿泥石化、角(透)闪石化和少量石榴子石化等组合的矽卡岩化。

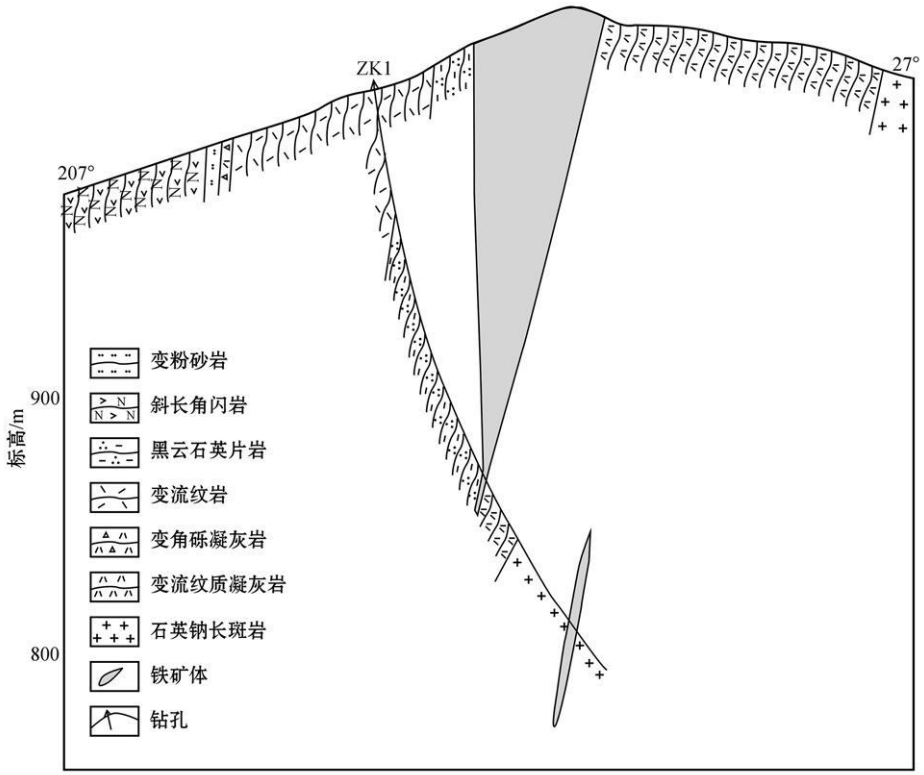


图 6　阿巴宫铁-磷灰石-稀土元素矿 47 勘探线剖面图(据厉小钧等，2006❶)

Fig. 6　Geological section of No. 47 exploration line in the Abagong Fe- apatite-REE deposit (after Li et al., 2006)

❶ 厉小钧，等. 2006. 新疆阿勒泰一富蕴富铁矿锰矿资源调查评价成果报告.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4.3 托莫尔特铁矿

阿勒泰市托莫尔特铁矿(又称铁米尔特铁矿)位于克兰火山-沉积盆地,距阿勒泰市 NEE 向直线距离 12 km,是克兰盆地最大的铁矿。矿床于 2005 年被新疆有色地质勘查局 706 队发现,目前探明 332+333 级铁资源量 2 327.32 万吨❶。矿床赋存于上志留统—下泥盆统康布铁堡组上亚组第二岩性段中上部(图 7),岩石组合为大理岩、铁锰大理岩、变钙质砂岩、变钙质粉砂岩、绿泥石英片岩、变流纹质晶屑凝灰岩、变凝灰质砂岩、变流纹岩、变含集块火山角砾岩。容矿岩系为绿泥片岩、变凝灰质砂岩、变含火山角砾凝灰岩、变英安质凝灰岩、变钙质粉砂岩、大理岩等。康布铁堡组上亚组第三岩性段变流纹岩锆石 SHRIMP 年龄为 407 Ma(Chai et al., 2009)。矿区北部发育中-晚奥陶世片麻状黑云母花岗岩(459 Ma,柴凤梅等,2010)。托莫尔特铁矿体中可见黄铁矿化含黑云母花岗斑岩脉,有浸染状、网脉状磁铁矿化。

托莫尔特铁矿化带总长约 1 500 m 以上,现已圈定了 3 个铁矿体,其中 2 个矿体为隐伏矿体,矿体大致平行分布。矿体呈似层状,沿走向和倾向均有分枝复合现象(图 8)。控制矿体长 200~650 m,平均

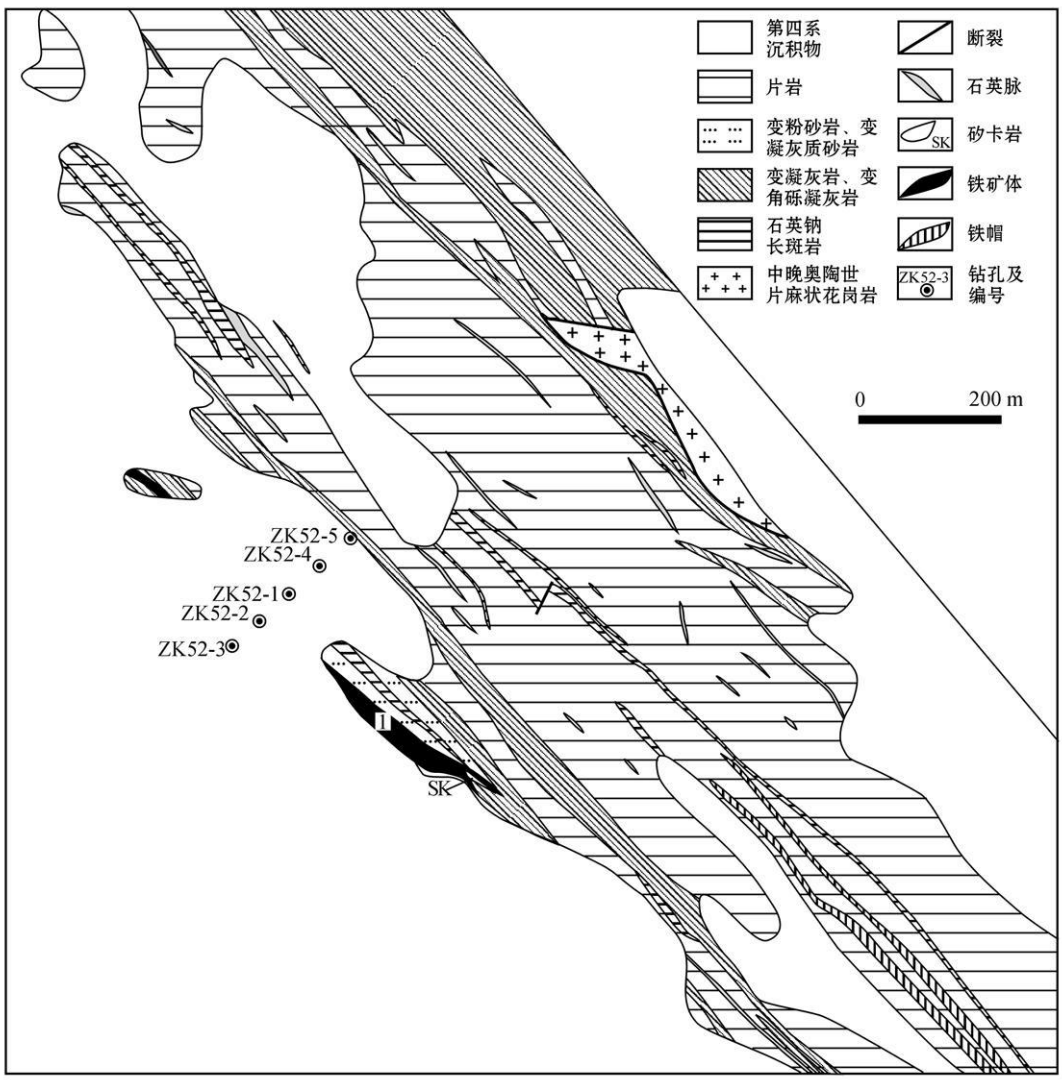


图 7 托莫尔特铁矿矿区地质略图(据黄承科等,2008❶)

Fig. 7 Simplified geological map of the Tuomoerte Fe deposit (after Huang et al., 2008)

❶ 黄承科,等. 2008. 新疆阿勒泰市托莫尔特铁详查报告.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

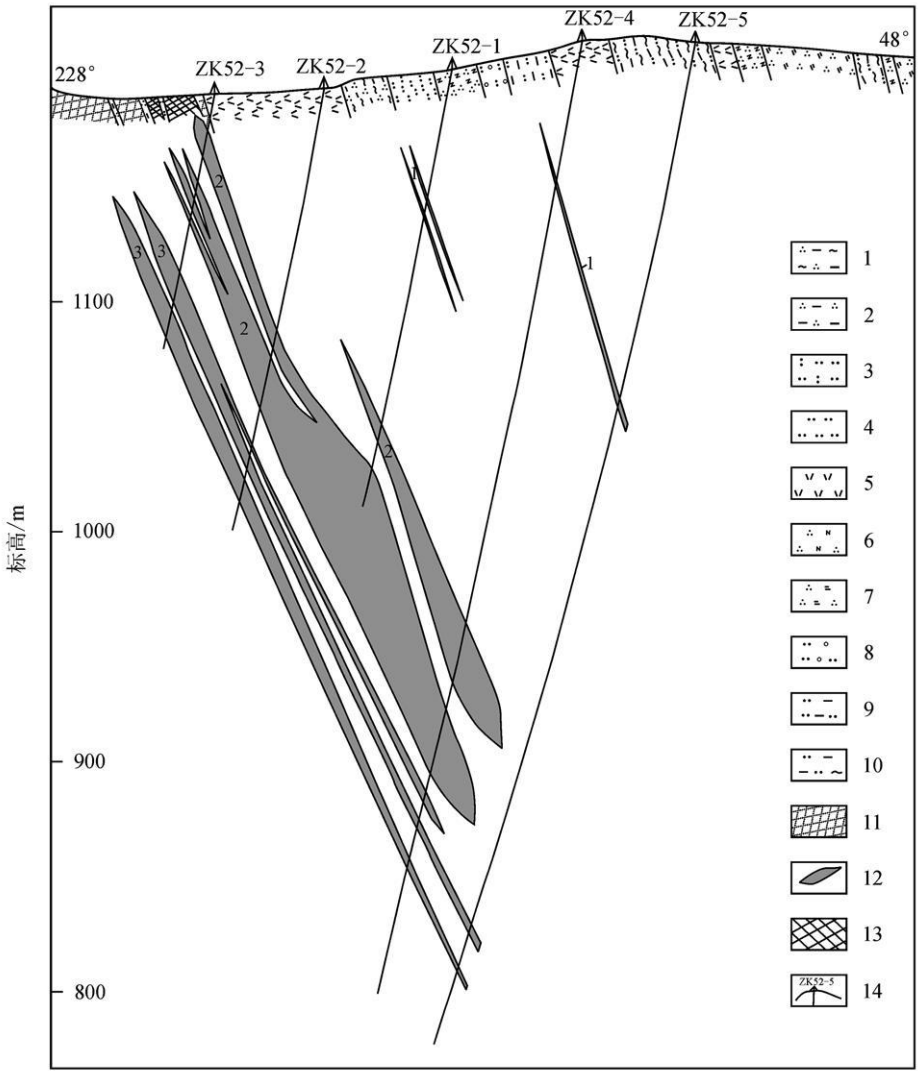


图 8　托莫尔特铁矿 52 勘探线剖面图(据黄承科等, 2008❶)

1～10 康布铁堡组上亚组第二岩性段　1—黑云母绿泥石英片岩；2—绿泥石英片岩；3—变凝灰质粉砂岩；4—变钙质粉砂岩；5—变英安质凝灰岩；6—石英钠长斑岩；7—绢云母石英片岩；8—含砾变砂岩；9—黑云母粉砂岩；10—绿泥黑云母粉砂岩；11—矽卡岩；12—铁矿体及编号；13—铁帽；14—钻孔及编号

Fig. 8　Geological section of No. 52 exploration line in the Tuomoerte Fe deposit (after Huang et al., 2008)

1～10 2nd Member of Upper Kangbutiebao Formation: 1—Biotite chlorite quartz schist; 2—Chlorite quartz schist; 3—Meta-tuffaceous siltstone; 4—Meta-calcareous siltstone; 5—Meta-dacitic tuff; 6— Quartz albite porphyry; 7—Sericite quartz schist; 8— Meta-pebbled sandstone; 9—Biotite siltstone; 10—Chlorite biotite siltstone; 11—Skarn; 12—Iron ore body and its serial number; 13—Gossan; 14—Drill hole and its serial number

厚 8.8～15 m，控制斜深 615 m。矿体倾向 46～51°，倾角 65～78°。矿石类型为稠密浸染状铁矿石、块状铁矿石，少量条带状铁矿石。矿石中全铁品位变化于 22.31%～46.36%，平均 31.31%～33.69%，w(Mn)平均 4.45%～7.64%。铁矿体局部(如 48 线)伴生薄层铜矿体，w(Cu)平均为 0.21%～1.03%。

围岩蚀变主要为硅化、绢云母化、绿泥石化、石榴子石化、阳起石化、透闪石化。成矿过程划分为 4 期，即火山沉积期、岩浆热液叠加改造期、区域变质期和氧化期。火山沉积期为主要成矿期，形成铁矿体，并伴生锰。岩浆热液叠加改造期主要是黑云母

❶ 黄承科，等. 2008. 新疆阿勒泰市托莫尔特铁详查报告.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

花岗斑岩脉穿插于铁矿体中,在岩脉中形成黄铁矿、磁铁矿,呈细脉-网脉状、浸染状分布,同时伴有石英细脉和绿帘石化。岩脉附近矿体围岩为灰岩时,常形成矽卡岩,伴有磁铁矿化。同时在围岩中形成含铜石英脉,或黄铜矿浸染状分布于变粉砂岩和灰岩中。区域变质期主要表现为矿体与围岩一起变形,火山沉积期形成的铁矿物变质成磁铁矿,同时细粒矿物重结晶成粗粒矿物。

4.4 乔夏哈拉铁铜金矿

富蕴县乔夏哈拉铁铜金矿位于富蕴县城东南约34 km。大地构造上位于阿尔泰造山带与准噶尔造山带接合部位的额尔齐斯断裂带南侧,属萨吾尔晚古生代岛弧带(何国琦等,2004)。该矿发现于20世纪50年代,经过详查确定为小型含铜金磁铁矿矿床。矿床赋存于中泥盆统北塔山组第三岩性段凝灰质砂岩、粉砂岩、大理岩、凝灰岩、玄武岩、安山岩(图9)。该组中多处发现了苦橄岩,表明形成于岛弧环境(陈毓川等,2004;Zhang et al.,2005)。矿区发育闪长岩和闪长玢岩小岩株和岩脉,闪长玢岩锆石LA-ICP-MS U-Pb年龄为377.6 Ma(杨富全未刊资料),闪长岩脉中角闪石Ar-Ar法坪年龄为378 Ma(应立娟等,2008)。

铁铜金矿带西起耶森喀拉东至科克库都克长约9 km、宽100~200 m,自西向东划分为西矿段、中矿段和东矿段。矿化赋存于玄武岩、凝灰岩、大理岩、闪长玢岩和绿帘石矽卡岩中。各矿段均有多层矿体,

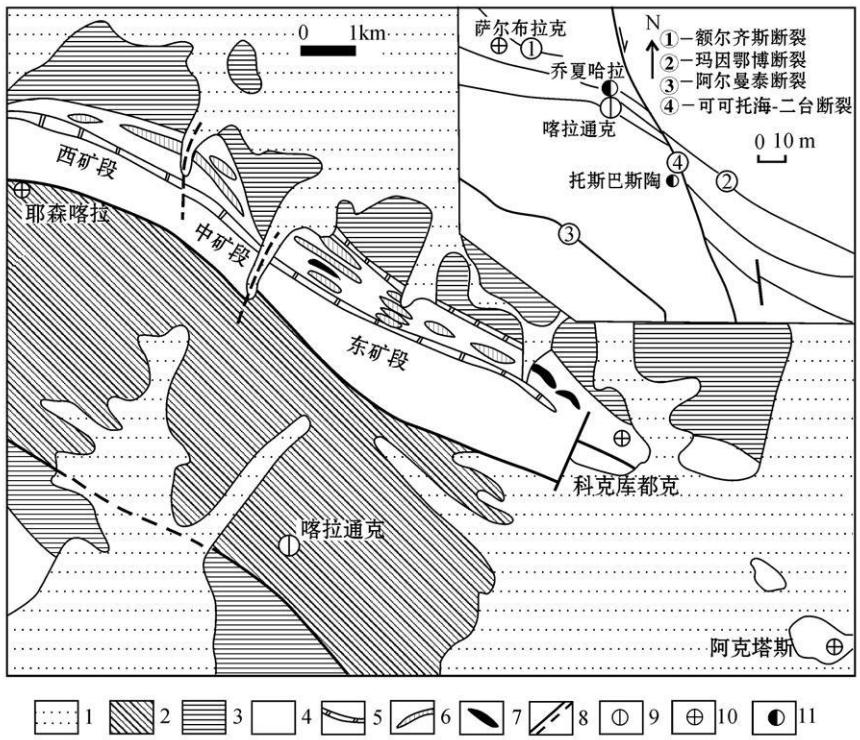


图9 乔夏哈拉铁铜矿床矿区地质略图(据邓吉牛等,2000❶修改)

1—第四系;2—下石炭统南明水组千枚岩、砂岩;3—中泥盆统蕴都喀拉组凝灰岩、凝灰质砂岩;4—中泥盆统北塔山组玄武安山岩、凝灰岩、凝灰质砂岩;5—大理岩化灰岩;6—含铜磁铁矿体;7—铜矿体;8—实测及推测断裂;9—铜镍矿床;10—金矿床;11—铁铜金矿床

Fig. 9 Regional geological map of the Qiaoxiahala Fe-Cu deposit, showing attitudes of the ore bodies (modified after Deng et al., 2000)

1—Quaternary sediments; 2—Sandstone and phyllite of Lower Carboniferous Nanmingshui Formation; 3—Tuff and tuffaceous sandstone of Middle Devonian Yundukala Formation; 4—Basaltic-andesite, tuff and tuffaceous sandstone of Middle Devonian Beitashan Formation; 5—Marbleized limestone; 6—Magnetite ore body; 7—Copper ore body; 8—Measured or inferred fault; 9—Nickel-copper deposit; 10—Gold deposit; 11—Iron-copper-gold deposit

❶ 邓吉牛,王军升,廖启林. 2000. 布尔根矿带重铜找矿评价研究报告.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

最多达 5 层，一般只有 1～2 个主矿层。铁矿体呈似层状、扁豆状或透镜状(图 10)。已发现矿体十几个，但规模较大的有 7 个，可划分为磁铁矿矿体、含金铜磁铁矿矿体和金铜矿体。铜金矿体或产于局部铜金含量较高的铁矿体内，或位于铁矿体下盘的绿帘石化矽卡岩中。矿体长 80～540 m，宽 1～20 m，倾向上延深 20～500 m。铁矿体与围岩界线清楚，产状与地层基本一致。矿石类型可分为磁铁矿矿石、含铜金磁铁矿矿石和铜金矿石。金的主要赋存矿物为黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿和磁铁矿。矿石中全铁变化于 20%～62%，平均 43%～53%；w(Cu)平均 0.55%～2.2%；w(Au)平均 0.13～2.4 g/t(李泰德，2002)。

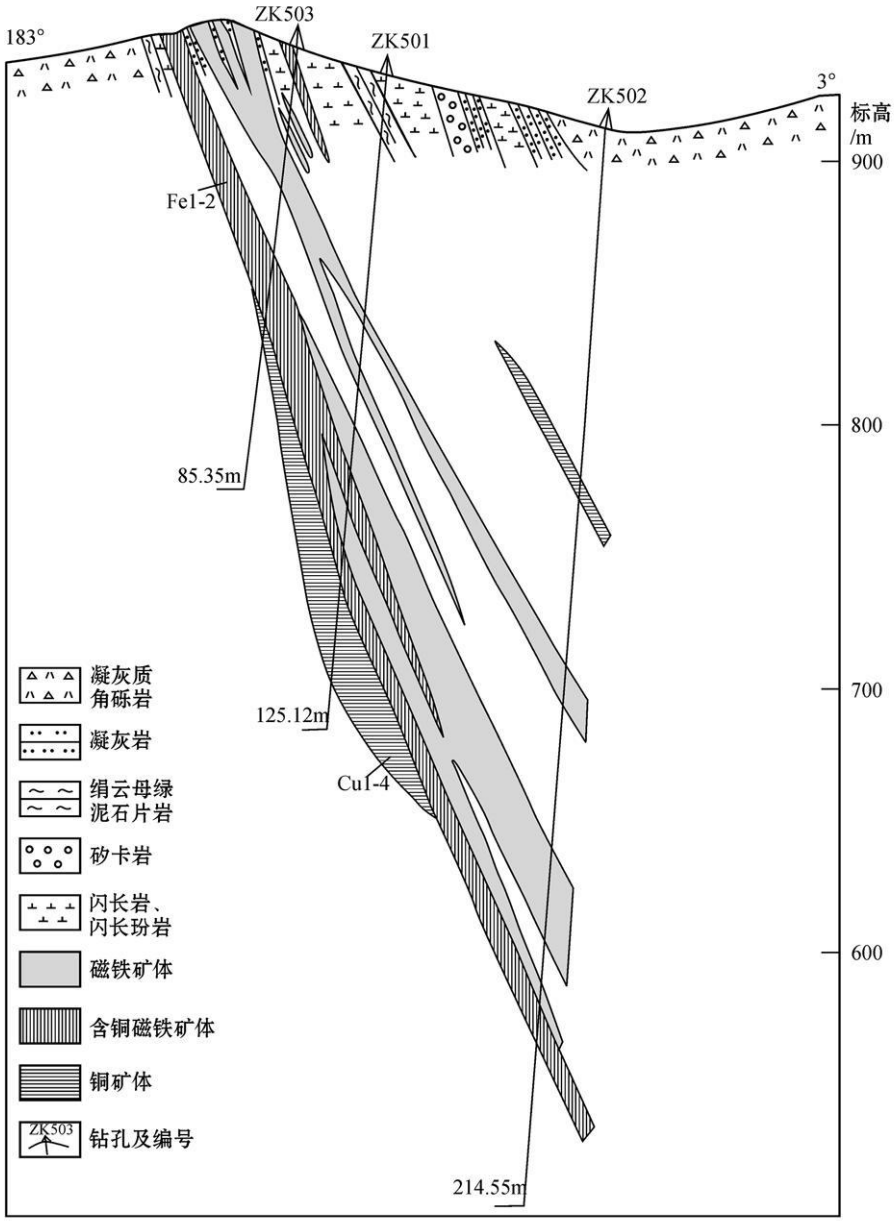


图 10　乔夏哈拉铁铜金矿 5 勘探线剖面图(据应立娟，2007❶转引新疆有色地质勘查局 701 队资料)

Fig. 10　Geological section of No. 5 exploration line in the Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit(after No. 701 Geological Party of Xinjiang Nonferrous Geoexploration Bureau, 2004)

❶应立娟. 2007. 新疆乔夏哈拉铁铜金矿床地质、地球化学特征与成因研究. 中国地质科学院硕士学位论文.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

围岩蚀变主要为绿帘石化，其次是硅化、碳酸盐化、绿泥石化、石榴子石化、钾长石化、透闪石化等。矿区以发育绿帘石化为特色，绿帘石是闪长(玢)岩脉与灰岩交代的产物，少数交代凝灰质砂岩、玄武岩等。局部见被绿帘石交代成残余状分布的钙铁榴石和钙铝榴石，绿泥石发育，并交代绿帘石。钾长石呈细脉状分布于磁铁矿中。绿帘石化与铜金矿化关系密切，并且铜与金含量为正相关。

5 阿尔泰铁矿成岩成矿时代

除蒙库铁矿、乌吐布拉克铁矿和乔夏哈拉铁铜金矿中发现辉钼矿，并进行了 Re-Os 年龄测定外，还在蒙库、阿巴宫、加巴斯岛和乔夏哈拉矿床进行了含钾矿物 Ar-Ar 法年龄测定(图 11)，受 Ar-Ar 方法适用条件的限制，这些年龄未能精确限定成矿时代。

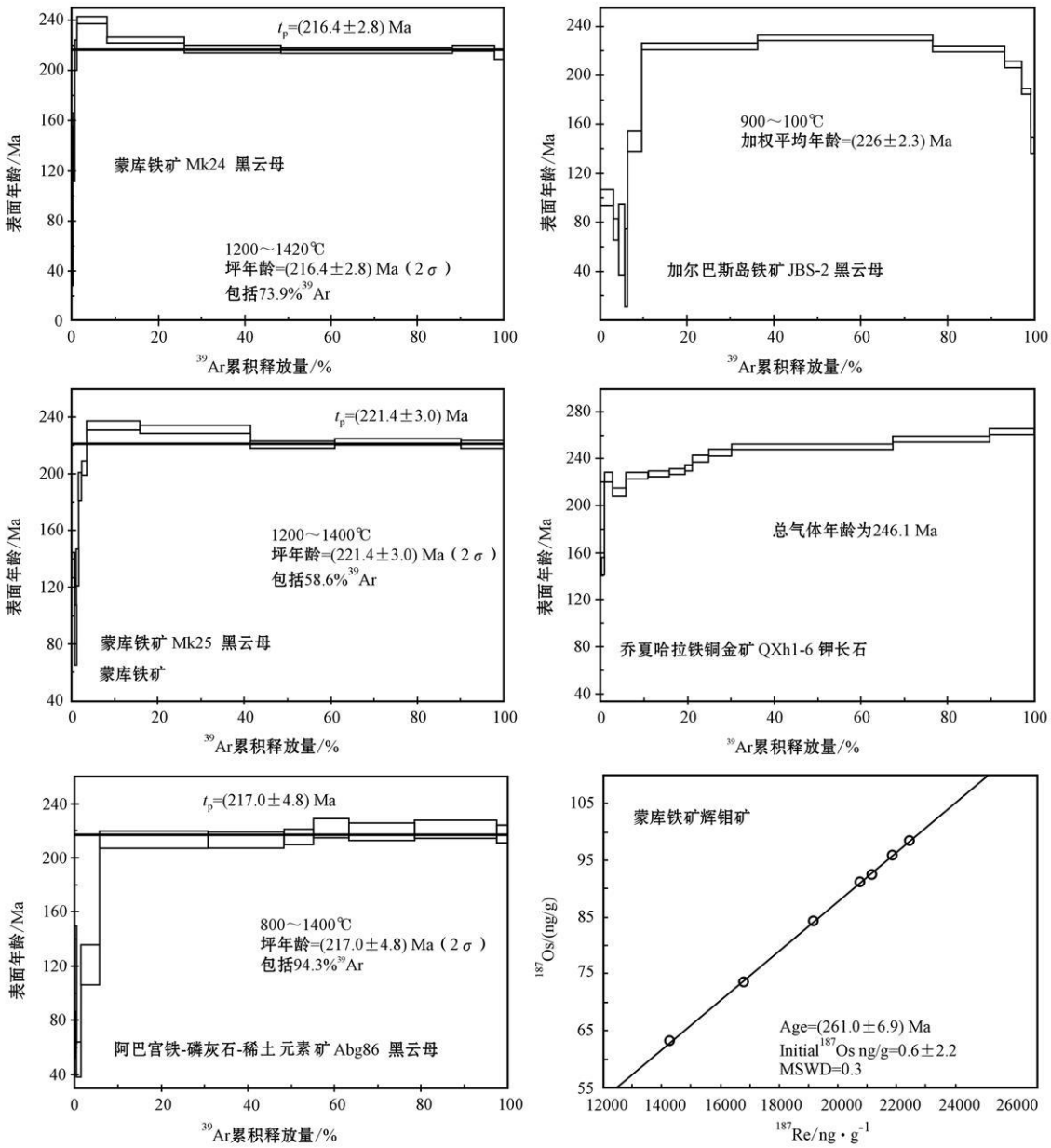


图 11 阿尔泰铁矿 Ar-Ar 年龄和 Re-Os 等时线年龄

Fig. 11 Ar-Ar ages and Re-Os isochrone age of iron deposits in Altay

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

阿巴宫铁-磷灰石-稀土元素矿矽卡岩中黑云母 Ar-Ar 坪年龄为(217.0±4.8)Ma；蒙库铁矿大理岩中黑云母 Ar-Ar 坪年龄为(216.4±2.8)Ma 和(221.4±3.0)Ma。由于 Ar 同位素体系形成后，在动力和流体作用下，其温度超过 Ar 封闭体系的温度时(全岩 Ar 同位素体系封闭温度 300℃)，会导致黑云母 Ar 同位素体系完全重置(陈文等，2003)，坪年龄记录的是后一次热事件的年龄。这两个矿床的矿体和含矿地层一起变形，可见变质条带围绕矽卡岩和铁矿体分布(见杨富全等，2008a 图 3)，表明铁矿形成于区域变质作用之前。Wang 等(2006)认为阿尔泰造山带是早-中古生代造山带，在 375 Ma 前各构造单元拼贴到阿尔泰微陆块上，在 460～410 Ma 和 410～370 Ma 是两期主要的区域变质期。张招崇等(2007)认为西伯利亚板块和准噶尔板块在晚石炭世完成碰撞对接，早二叠世进入到碰撞后的拉张阶段，即阿尔泰南缘的区域变质作用在早二叠世之前。因此，221～216 Ma 的坪年龄并不是矽卡岩的形成年龄，也不是区域变质年龄，而是记录了三叠纪在阿尔泰地区广泛发生的区域构造热液活动的年龄。同时也限定了阿巴宫和蒙库铁矿床形成于晚三叠世前。加巴斯岛铁矿矽卡岩中黑云母 Ar-Ar 坪年龄为(226.5±2.3)Ma，晚于形成矽卡岩的花岗岩年龄〔(286.6±2.6)Ma〕60 Ma，不能代表成矿时代，但与蒙库和阿巴宫 Ar-Ar 年龄一致，也是记录了晚三叠世在区域上存在构造热液活动的时间。

乔夏哈拉矿区闪长玢岩年龄为 377.6～378 Ma，4 件分布于磁铁矿矿石和黄铜矿磁铁矿矿石裂隙中的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为(377.4±4.3)Ma，与闪长玢岩年龄一致，表明铁铜金成矿时代为中泥盆世晚期，成矿作用与闪长玢岩侵入有关。获得铁矿石中钾长石 Ar-Ar 法总气体年龄为 246 Ma，小于成矿年龄 31 Ma，矿区距离额尔齐斯剪切带较近，矿区发育小型剪切带，这个年龄可能记录了剪切带活动的时间。如玛因鄂博断裂为额尔齐斯构造带的一部分，其断裂带中花岗质糜棱岩黑云母 ^{40}Ar-^{39}Ar 等时线年龄为(236.1±1.2)Ma，代表剪切带变形年龄(周刚等，2007)。

对蒙库 1 号矿体含黄铜矿黄铁矿辉钼矿石英大脉的辉钼矿进行了测定，获得 Re-Os 等时线年龄为(261.0±6.9)Ma，代表蒙库矿区在中二叠世存在一次热液活动和铜钼矿化事件。正如前文分析，铁矿化早于区域变质事件，尽管 261 Ma 的辉钼矿 Re-Os 年龄不能代表铁矿化时间，但限定了铁成矿的上限，即铁成矿早于中二叠世。乌吐布拉克铁矿 2 件磁铁矿矿石中辉钼矿 Re-Os 模式年龄为(243.6±4.1)Ma 和(244.2±4.2)Ma，暗示成矿时代为早三叠世。

基于多数铁矿中没有发现合适的矿物和方法进行成矿年龄的直接测定，因此，阿尔泰铁矿成矿时代主要根据与成矿有关的花岗岩年龄进行推断(表 3)。铁成矿时代主要有 4 期：

(1) 早泥盆世(410～389 Ma 左右)，与蒙库铁矿矽卡岩形成有关的花岗岩时代为 404～400 Ma，推断成矿时代略晚于 400 Ma。与萨尔布拉克铁矿形成有关的花岗岩形成时代为 410 Ma，推测成矿时代略晚于 410 Ma。铁木里克铁矿片麻状花岗岩时代为 389 Ma，推测成矿略晚于 389 Ma。根据地层和矿床特征推断，托莫尔特铁矿、恰夏铁铜矿、阿巴宫铁-磷灰石-稀土元素矿床、康布铁堡铁矿也形成于早泥盆世。

(2) 中泥盆世(380～377 Ma)，乔夏哈拉铁铜金矿床成矿时代为 377 Ma。老山口铁铜金矿的形成与闪长(玢)岩有关，后者锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 379.7～379.3 Ma，推断成矿时代略晚于 380～379 Ma。两颗树铁矿的形成与伟晶岩脉有关，其伟晶岩的形成与片麻状花岗岩有关，片麻状花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 376.7 Ma，限定成矿时代略晚于 377 Ma。

(3) 早二叠世(287～274 Ma)，如加尔巴斯岛铁矿赋存于花岗岩体与灰岩接触带的矽卡岩中，花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 287 Ma。库额尔齐斯铁矿分布于花岗岩与上石炭统斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩的外接触带和围岩中，花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 274.1 和 278.7 Ma，限定成矿时代略晚于 278～274 Ma。

(4) 早三叠世(244 Ma)，如乌吐布拉克铁矿含辉钼矿石榴子石磁铁矿石中辉钼矿 Re-Os 模式年龄为(243.6±4.1)Ma 和(244.2±4.2)Ma，限定成矿时代为早三叠世。

6　成矿物质来源

6.1　硫同位素示踪

阿尔泰主要铁矿硫化物硫同位素直方图见图 12。蒙库铁矿 69 件黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 均为正值，变化于 1.9‰～13.98‰，主要集中在 3‰～10‰，峰值为

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 3 新疆阿尔泰铁矿成矿时代

Table 3 Metallogenic epochs of iron deposits in Altay, Xinjiang

矿床名称	岩石或矿物	测试方法	年龄/Ma	资料来源
蒙库铁矿	片麻状花岗岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	404± 8	杨富全等, 2008b
蒙库铁矿	片麻状斜长花岗岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	400±6	杨富全等, 2008b
蒙库铁矿	黄铁矿辉钼矿石英脉中辉钼矿	Re-Os 法(等时线年龄)	261±6.9	杨富全等, 2011
蒙库铁矿	大理岩中黑云母	Ar-Ar 法(坪年龄)	216.4±2.8	杨富全等, 2008a
蒙库铁矿	大理岩中黑云母	Ar-Ar 法(坪年龄)	221.4±3.0	杨富全等, 2008a
阿巴宫铁-磷灰石-稀土元素矿	矽卡岩中黑云母	Ar-Ar 法(坪年龄)	217.0±4.8	杨富全未刊资料
加巴斯岛铁矿	矽卡岩中黑云母	Ar-Ar 法(加权平均年龄)	226.5±2.3	杨富全未刊资料
加巴斯岛铁矿	花岗岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	286.6±2.6	杨富全未刊资料
萨尔布拉克铁矿	片麻状花岗岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	410±4	刘锋等, 2010
两棵树铁矿	片麻状花岗岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法	376.7±1.3	杨富全未刊资料
库额尔齐斯铁矿	片麻状花岗岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法	274.1±0.5	杨富全未刊资料
库额尔齐斯铁矿	片麻状花岗岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法	278.7±0.9	杨富全未刊资料
乌吐布拉克铁矿	磁铁矿矿石中辉钼矿	Re-Os 法(模式年龄)	243.6±4.1	杨富全未刊资料
乌吐布拉克铁矿	磁铁矿矿石中辉钼矿	Re-Os 法(模式年龄)	244.2±4.2	杨富全未刊资料
乔夏哈拉铁铜金矿	磁铁矿矿石中钾长石	Ar-Ar 法(总气体年龄)	246.1	杨富全未刊资料
乔夏哈拉铁铜金矿	闪长玢岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法	377.6±1.4	杨富全未刊资料
乔夏哈拉铁铜金矿	闪长岩脉中角闪石	Ar-Ar 法(坪年龄)	378.1±3.6	应立娟等, 2008
乔夏哈拉铁铜金矿	黄铜矿磁铁矿矿石中辉钼矿	Re-Os 法(等时线年龄)	377.4 ± 4.3	杨富全未刊资料
老山口铁铜金矿	闪长玢岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法	379.7±3	杨富全未刊资料
老山口铁铜金矿	闪长岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法	379.3±2.3	杨富全未刊资料

4.5‰和 7‰, 表明硫来自于深部岩浆。与同处麦兹盆地的 VMS 型可可塔勒铅锌矿有明显差别, 后者硫化物的 $\delta^{34}S$ 值变化于－15.8‰～5.1‰, 多数在－16‰～－11‰, 明显富集轻硫, 表明层状矿体中硫主要来自细菌还原海水, 浸染状矿体的硫来自岩浆流体(王京彬等, 1998)。乌吐布拉克铁矿 20 件硫化物 $\delta^{34}S$ 值变化于 3.7‰～10.2‰, 峰值为 6.5‰, 与蒙库铁矿相似, 表明硫来自深部岩浆, 可能主要来自矿体围岩火山岩。萨尔布拉克铁矿 20 件硫化物 $\delta^{34}S$ 值变化范围大, 介于－3.2‰～16.9‰, 落在花岗岩变化范围, 表明硫来自矿体附近的花岗岩。乔夏哈拉铁铜金矿 14 件硫化物 $\delta^{34}S$ 值变化于－1.1‰～2.92‰, 峰值为 1.5‰, 接近幔源硫(0±3‰, Hoefs, 1997), 表明成矿流体中的硫来自地幔或深源岩浆, 可能来自与成矿有关的闪长(玢)岩脉。库额尔齐斯铁矿 15 件黄铁矿 $\delta^{34}S$ 值介于－7.2‰～0.7‰, 主要集中在－3.9‰～0.7‰, 峰值为 0.5‰, 接近幔源硫(0±3‰, Hoefs, 1997), 表明成矿流体中的硫可能来自与成矿有关的花岗岩。

阿巴宫铁-磷灰石-稀土元素矿床 19 件黄铁矿(其中 4 件王京彬等, 1998 转自桂林矿产地质研究院)和 1 件磁黄铁矿 $\delta^{34}S$ 值变化于－4.3‰～5.2‰, 峰值为 3.5‰, 表明硫来源于火山岩。托莫尔特铁矿 18 件硫化物 $\delta^{34}S$ 值变化较大, 既有正值也有负值, 变化于－20‰～13.1‰, 主要集中在－2‰～1‰和 6‰～13‰, 峰值为－0.5‰和 10.5‰。硫同位素变化范围与同处克兰盆地的大东沟铅锌矿相似。硫同位素特征表明硫具有多种来源, $\delta^{34}S$ 值为－2‰～1‰与幔源硫相当, 与侵入矿体的黑云母花岗斑岩脉有关。$\delta^{34}S$为 6‰～13‰, 可能来自于火山喷气的硫或从火山岩中淋滤出来的硫。1 件样品的 $\delta^{34}S$ 值为－20‰, 具有生物成因硫的特征。恰夏铁铜矿 13 件黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 均为负值, 介于－14.2‰～－1.1‰, 峰值不明显。与同处克兰盆地的铁米尔特铅锌矿相似, 为单一负值, 富集轻硫, 具有生物成因硫的特征, 表明硫主要来自细菌还原海水, 也暗示矿床的形成经历过沉积作用。

总之, 阿尔泰铁矿硫同位素具有一定规律, 蒙库、乌吐布拉克和阿巴宫矿床硫主要来自火山岩围岩; 萨尔布拉克、库额尔齐斯和乔夏哈拉硫主要来自与成矿有关的闪长岩或花岗岩; 恰夏矿床硫主要来自细菌还原海水; 托莫尔特铁矿硫来源复杂, 既有火山岩又有花岗岩和细菌还原海水。

6.2 稀土元素示踪

阿巴宫铁矿床磷灰石的稀土元素及微量元素组成表明, 磷灰石$\sum$REE 变化于 1 352.96×10^{-6}～6 986.33×10^{-6}, 平均 3 717.70×10^{-6}。$(La/Yb)_N$ 比值变化于1.37～9.77, δEu值变化于0.22～0.30; 以

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

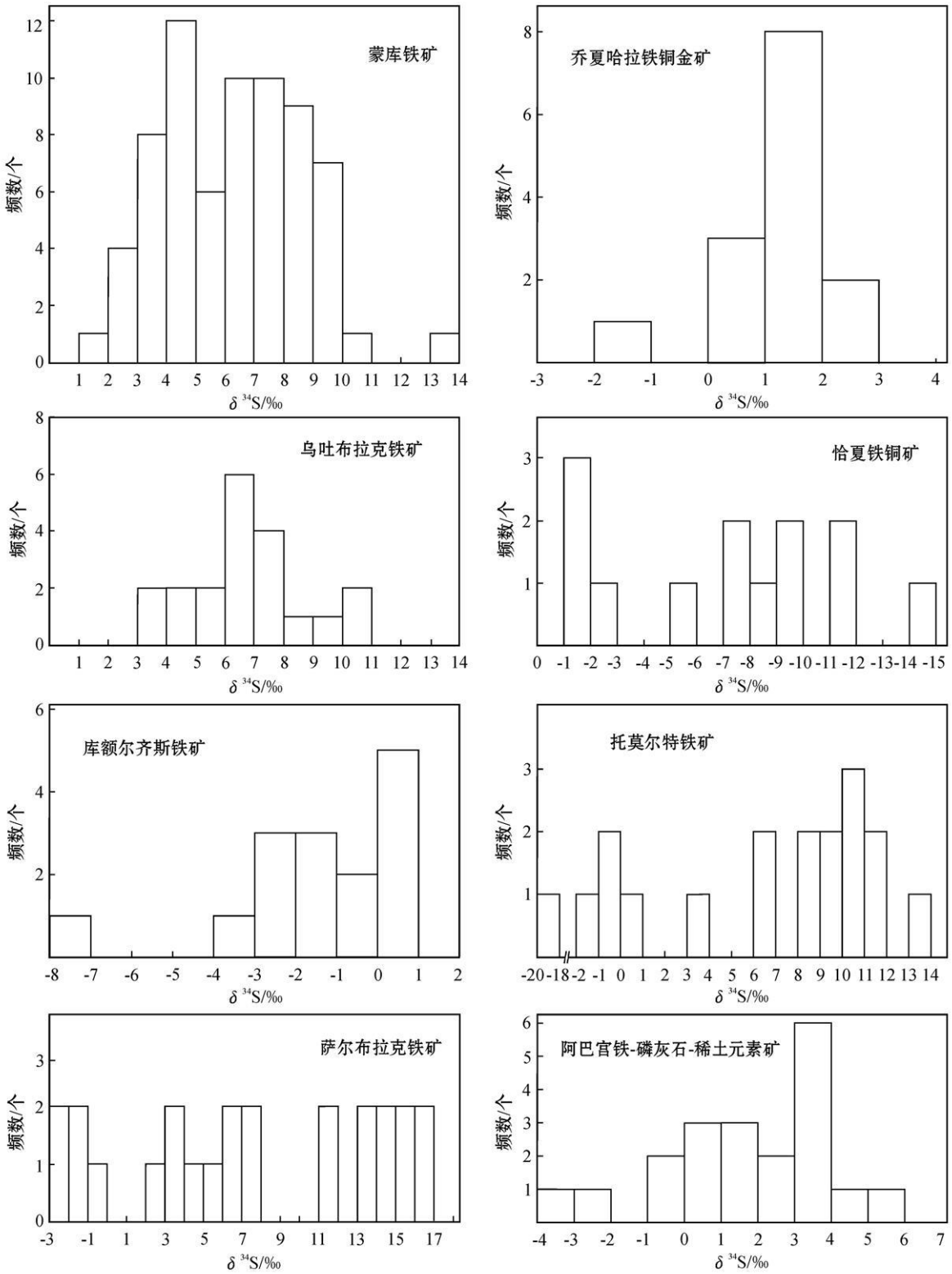


图 12　阿尔泰铁矿硫同位素直方图(蒙库矿据徐林刚等, 2007b 转引前人资料; 乔夏哈拉矿据李泰德, 2002 和应立娟等, 2009; 其他矿床为杨富全未刊资料)

Fig. 12　Histogram of sulfur isotopes from iron deposits in Altay (data for Mengku deposit are from references of Xu et al., 2007b; Qiaoxiahala deposit from Li, 2002 and Ying et al., 2009; other deposits from Yang Fuquan, unpublished)

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

轻稀土元素富集、轻重稀土元素分馏较弱和 Eu 的显著负异常为特征，与宁芜玢岩铁矿和瑞典 Kiruna 型铁矿相一致，表明阿巴宫矿床与上述矿床成因相似。磷灰石稀土元素与矿体围岩流纹岩非常相似，暗示铁的成矿作用与岩浆的分异和矿浆贯入有关（刘锋等，2009）。

乔夏哈拉铁铜金矿床中铁矿体和富铜矿体的稀土元素组成及配分模式迥然不同。铁矿体具有低 ΣREE（9.89×10^{-6}～28.36×10^{-6}）、富轻稀土元素（LREE/HREE＝3.13）及正铕异常（δEu＝1.49）等特点。富铜矿体异常富集轻稀土元素（LREE＝197.75×10^{-6}～$2\,015.60\times10^{-6}$；LREE/HREE＝25.92～311.56）、基本无铕和铈异常、配分曲线向右倾陡，与闪长岩有相似性，其成因可能与闪长（玢）岩有关（闫升好等，2005）。

蒙库铁矿采自不同矿体、不同类型的矿石样品显示出十分相似的稀土元素配分模式，为轻稀土元素相对富集，重稀土元素相对亏损的右倾型，具有强的正铕异常。斜长透辉角闪岩、绿帘石、石榴子石和矿石的稀土元素配分模式具有相似性，均为右倾，正铕异常，基本上无铈异常（部分矿石具有很弱的负铕异常，δCe＝0.81～0.86），差别在于轻、重稀土元素组内部分馏程度不同，暗示铁矿与石榴子石和绿帘石矽卡岩存在成因联系，也表明铁可能来自基性火山岩。

乌吐布拉克铁矿围岩角闪变粒岩、浅粒岩、斜长角闪片麻岩和斜长花岗岩具有轻稀土元素相对富集（LREE/HREE＝3.09～10.56），较强的负铕异常（δEu＝0.11～0.8）和弱的铈异常（δEu＝0.76～1.09）特征。角闪黑云石英片岩与斜长角闪岩则以具有强正铕异常为特点（δEu＝1.12～3.04）。磁铁矿矿石稀土元素总含量较低，为4.39×10^{-6}～26.77×10^{-6}，具有轻稀土元素相对富集的右倾特征〔LREE/HREE＝1.32～3.30；$(La/Yb)_N$＝0.81～2.16〕，δEu＝2.23～4.38，δCe＝0.72～0.90，表明具有强正铕异常和弱负铈异常。绿帘石矽卡岩和石榴子石矽卡岩具有强的 Eu 正异常（δEu＝3.52～9.54）及中等程度的 Ce 负异常（δCe＝0.6～0.89）。斜长角闪岩（原岩为基性火山岩）、矽卡岩及矿石的稀土元素配分曲线表现出相似性，表明它们之间存在成因联系，铁矿化与矽卡岩有关，铁来自基性火山岩。

7 阿尔泰铁矿成矿过程

在早中奥陶世（500～460 Ma）古亚洲洋板块开始向北俯冲到西伯利亚板块的阿尔泰微大陆之下，形成 500 Ma 左右的火山岩。460～415 Ma 期间由于板片脱水形成的流体交代上覆地幔楔，促使其熔融形成岛弧火山岩（Windley et al.，2002）、奥陶纪花岗岩（切木切克花岗岩，462 Ma，Wang et al.，2006；阿巴宫北-铁米尔特花岗岩，462～458 Ma，刘锋等，2008；柴凤梅等，2010）、晚志留世花岗岩（库尔提花岗岩，416 Ma，Zhang et al.，2003）、冲乎尔斜长花岗岩，413 Ma，曾乔松等，2007），以及冲乎尔盆地火山岩〔变质晶屑凝灰岩，（436±4）Ma，曾乔松等，2009〕。

415～380 Ma 期间古亚洲洋继续俯冲，麦兹、克兰和冲乎尔形成一系列陆缘拉张断陷盆地。俯冲作用到达榴辉岩相转变点，俯冲板片发生裂离下沉，导致软流圈上涌。加热俯冲板片及沉积物并使之熔融，软流圈地幔与俯冲板片熔体及地幔楔熔体混合底侵于下地壳，导致地壳物质熔融形成康布铁堡组酸性火山岩；底侵的基性岩浆形成康布铁堡组基性火山岩。415～400 Ma 在麦兹盆地伴随康布铁堡组下亚组火山沉积作用形成铁矿源层或铁矿体（?）。400～389 Ma 在蒙库-乌吐布拉克一带，伴随岩浆侵入活动，热液交代灰岩和火山岩形成一套矽卡岩矿物组合，随着早期矽卡岩的退化变质，形成了大量磁铁矿叠加在矿源层中（如蒙库），这是蒙库、铁木里克等铁矿的主要成矿期。在萨尔布拉克一带伴随 410 Ma 花岗岩侵入，形成接触交代矽卡岩及铁矿化。在克兰盆地，伴随康布铁堡组上亚组火山活动形成阿巴宫矿浆贯入型铁-磷灰石-稀土元素矿床和康布铁堡火山热液型铁矿；在火山活动间歇期形成火山沉积型的托莫尔特铁矿（伴生锰）、恰夏铁铜矿等。

380 Ma？～365 Ma 期间阿尔泰南缘的断陷盆地仍处于拉张环境，裂离形成的下插板片进一步扰动软流圈地幔，使之底辟上隆，形成了阿勒泰镇组枕状玄武岩、双峰式火山岩和沉积岩。在两颗树一带花岗岩（377 Ma）侵入到地层中，同时形成伟晶岩脉和矽卡岩，在伟晶岩中及附近形成铁矿化。

与南阿尔泰紧邻的乔夏哈拉-老山口一带在中泥盆世处于岛弧环境，在北塔山组基性火山喷发之后，伴随闪长（玢）岩侵入（380～378 Ma），在灰岩、火

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

山岩与闪长(玢)岩接触带形成矽卡岩，伴随矽卡岩的演化形成磁铁矿化和铜金矿化。

早二叠世(287～274 Ma)阿尔泰进入后碰撞演化阶段，加尔巴斯岛花岗岩体(287 Ma)侵入地层中，在灰岩接触带形成矽卡岩，伴随矽卡岩的退化变质作用形成矽卡岩型铁矿；额尔齐斯大型剪切带的库额尔齐斯一带，花岗岩(274～278 Ma)侵入到上石炭统斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩中，在外接触带形成与岩浆热液有关的铁矿。在蒙库矿区中二叠世〔(261 ±6.9)Ma〕发生了构造-岩浆(?)热液活动，形成了含黄铜矿石英大脉和含黄铁矿辉钼矿石英大脉，是铜钼矿化期，但矿化规模不大。

三叠纪阿尔泰南缘属陆内演化阶段，区域上主要形成与花岗岩有关的伟晶岩型稀有金属-白云母-宝石矿床(王登红等，2002)。在乌吐布拉克一带热液流体(推测矿区存在隐伏岩体)与康布铁堡组基性火山岩(熔岩和火山碎屑岩)及灰岩产生高温热液蚀变反应，形成了一套矽卡岩矿物组合。在矽卡岩退化变质过程中形成了磁铁矿矿体。石英-硫化物期在矿体中形成少量黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿等，其辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 243.6 Ma 和 244.2 Ma。三叠纪(246～216 Ma)阿尔泰经历了多次区域构造热液活动，使早期形成矽卡岩中的黑云母和钾长石 Ar 同位素体系完全重置。

8　结　论

(1) 新疆阿尔泰铁矿赋矿地层主要为上志留统—下泥盆统康布铁堡组、中上泥盆统阿勒泰镇组和中泥盆统北塔山组，少数为下石炭统和下古生界变质火山-沉积岩系。成因类型划分为火山岩型、矽卡岩型、伟晶岩型、与花岗岩有关的热液型、与基性岩体有关的钒钛磁铁矿型和砂矿 6 种类型，其中火山岩型和矽卡岩型为主要类型。

(2) 不同类型铁矿具有不同分布规律，火山岩型主要分布于克兰盆地的康布铁堡组上亚组中；矽卡岩型分布在麦兹盆地康布铁堡组下亚组、加尔巴斯岛-科克布拉克一带阿勒泰镇组和乔夏哈拉-老山口一带的北塔山组中；与花岗岩有关的热液型分布于额尔齐斯挤压带中，其他类型零星分布。

(3) 铁矿成矿时代分为 4 期，即早泥盆世(410～389 Ma 左右)，中泥盆世(380～377 Ma)、早二叠世(287～274 Ma)和早三叠世(244 Ma)，火山岩型铁矿出现在前两个成矿期，矽卡岩型铁矿形成在 4 个成矿期中。

(4) 硫同位素组成特征表明，阿尔泰铁矿硫主要来自火山岩围岩、闪长岩或花岗岩和细菌还原海水，不同类型矿床硫同位素来源有一定差异。稀土元素特征表明，阿尔泰铁矿成矿物质来自基性火山岩围岩和闪长岩。

志　谢　野外工作期间得到新疆地质矿产勘探开发局第四地质大队周刚总工、刘国仁副总、李建国高工的支持；得到新疆有色地勘局申茂德总工，新疆有色地勘局 706 队郭正林总工、郭旭吉总工、黄承科工程师的帮助；得到国家 305 项目办公室的大力支持。测试工作在离子探针中心、中国地质科学院地质所 Ar-Ar 实验室、矿产资源研究所同位素实验室、国家地质实验测试中心完成，在此一并致以衷心的感谢。

References

Chai F M, Dong L H, Yang F Q, Liu F, Geng X X and Huang C K. 2010. Age, geochemistry and petrogenesis of Tiemierte granites in the Kelang basin at the southern margin of Altay, Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica, 25(2): 377-386 (in Chinese with English abstract).

Chai F M, Mao J W, Dong L H, Yang F Q, Liu F, Geng X X and Zhang Z X. 2009. SHRIMP zircon geochronology of the metarhyolites from the Kangbutiebao Formation in the Kelang basin at the southern margin of the Altay, Xinjiang and its implications[J]. Gondwana Research, 16: 198-200.

Chen B and Jahn B M. 2002. Geochemical and isotopic studies of the sedimentary and granitic rocks of the Altai orogen of northwest China and their tectonic implications[J]. Geological Magazine, 139(1): 1-13.

Chen W, Han C M, Zhang Y and Xiu X Y. 2003. Studyon the genesis of Kanggur gold deposit based on the discordance of the metallogenic epoch and deformation time[J]. Acta Geoscientica Sinica, 24(6): 579-583 (in Chinese with English abstract).

Chen Y C, Liu D Q, Wang D H, Tang Y L, Zhou R H and Chen Z Y. 2004. Discovery and geological significance of picritic rocks in north Junggar, Xinjiang[J]. Geological Bulletin of China, 23(11): 1059-1065 (in Chinese with English abstract).

Cheng J. 2004. Geological characteristics and genesis of Laoshankou gold-copper-iron deposit in Qinghe County, Xinjiang [J]. Xinjiang Non-Ferrous Metals, (Supp.): 22-25 (in Chinese).

Geng X X, Yang F Q, Yang J M, Huang C K, Liu F, Chai F M and Zhang Z X. 2010. Characteristics of fluid inclusions in the Tiemurte

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Pb-Zn deposit, Altay, Xinjiang, and its geological significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(3): 695-706 (in Chinese with English abstract).

He G Q, Cheng S D, Xu X, Li J Y and Hao J. 2004. An introduction to the explanatory text of the map of tectonics of Xinjiang and its neighbouring areas[M]. Beijiang: Geol. Pub. House. 1-65 (in Chinese with English abstract).

Hitzman M W, Oreskes N and Einaudi M T. 1992. Geological characteristics and tectonic setting of proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposits[J]. Precambrian Research, 58: 242-287.

Hoefs J. 1997. Stable Isotope Geochemistry, 3rd edition[M]. Berlin: Springer-Verlag. 1-250.

Hu X P. 2004. Geological features and genesis of the Mengku iron deposit in the Fuyun, Xinjiang[J]. Xinjiang Non-Ferrous Metals, 1: 2-5, 8 (in Chinese).

Li H J, He G Q, Wu T R and Wu B. 2006. Confirmation of Altai-Mongolia microcontinent and its implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1369-1379 (in Chinese with English abstract).

Li J X, Jiang J, Hu X P, Kang J C and Yin Y Q. 2003. Geological features and genesis of the Mengku iron deposit in the Fuyun, Xinjiang [J]. Xinjiang Geology, 21(3): 307-311 (in Chinese with English abstract).

Li T D. 2002. Geology and metallogenic analysis of the Qiaoxiahala gold-copper iron deposit in Fuyun County, Xinjiang[J]. Geology and Prospecting, 38(1): 18-21(in Chinese with English abstract).

Liu F, Li Y H, Mao J W, Yang F Q, Chai F M, Geng X X and Yang Z X. 2008. SHRIMP U-Pb ages of the Abagong granites in the Altay orogen and their geological implications[J]. Acta Geoscientica Sinica, 29(6): 795-804 (in Chinese with English abstract).

Liu F, Yang F Q, Li Y H, Ma B Q, Chai F M and Geng X X. 2009. Trace element and rare earth element characteristics of apatite from Abagong iron deposit in Altay City, Xinjiang[J]. Mineral Deposits, 28(3): 251-264 (in Chinese with English abstract).

Liu F, Yang F Q, Li Y H, Guo Z L, Chai F M, Geng X X and Zhang Z X. 2010. The chronology and geochemistry of the granite from the Serbulak iron deposit in the southern margin of Altay, Xinjiang [J]. Acta Geologica Sinica, 84(2): 195-205(in Chinese with English abstract).

Liu M, Zhang Z H, Wang Y Q and Guo X J. 2008. Geology and Stable Isotope Geochemistry of the Dadonggou Pb-Zn Ore Deposit, Altay, Xinjiang, NW China[J]. Acta Geologica Sinica, 82(11): 1504-1513 (in Chinese with English abstract).

Liu W. 1990. Petrogenetic epochs and peculiarities of genetic types of granitoids in the Altai Mountains, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China[J]. Geotectonica et Metallogenia, 14(1): 44-56 (in Chinese).

Mao J W, Yu J J, Yuan S D, Chen Y P, Xie G Q, Hou K J, Xiang J F and Yang Z X. 2008. Iron oxide-coppergol deposits: Characteristics, present research situation and ore prospecting[J]. Mineral Deposits, 27(3): 267-278(in Chinese with English abstract).

Niu H C, Yu X Y, Xu J F, Shan Q, Chen F R, Zhang H X and Zheng Z P. 2006. Late Paleozoic volcanism and associated metallogenesis in the Altay area, Xinjiang, China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-184 (in Chinese with English abstract).

Qiu Z X. 2003. Analysis on genesis and geological characteristics of Mengku iron deposit in Fuyun County, Xinjiang Autonomous Region[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 18(Supp.): 110-114 (in Chinese with English abstract).

Rui X J and Wu Y J. 1984. Genesis of granites in Altai, Xinjiang[A]. In: Xu K Q, ed. International Science Conference paper collection of geological and metallgenic relationship of granites[C]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House. 281-291 (in Chinese).

Sandrin A and Elming S. 2006. Geophysical and petrophysical study of an iron oxide copper gold deposit in northern Sweden[J]. Ore Geology Reviews, 29: 1-18.

Tong Y, Wang T, Hong D W, Dai Y J, Han B F and Liu X M. 2007. Ages and origin of the early Devonian granites from the north part of Chinese Altai Mountains and its tectonic implications[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(8): 1933-1944 (in Chinese with English abstract).

Wang D H, Chen Y C, Xu Z G, Li T D and Fu X J. 2002. Minerogenetic series and regularity of mineralization in the Altai metallogenetic Province, China[M]. Beijing: Atomic Press. 1-493 (in Chinese).

Wang J B, Qin K Z, Wu Z L, Hu J H and Ding J N. 1998. Volcanic exhalative sedimentary lead-zinc deposits in the South Margin of Altay Mountains, Xinjiang[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-210 (in Chinese).

Wang T, Hong D W, Jahn B M, Tong Y, Wang Y B, Han B F and Wang X X. 2006. Timing, petrogenesis, and setting of Paleozoic synorogenic intrusions from the Altai Mountains, Northwest China: Implications for the tectonic evolution of an accretionary orogen[J]. Journal of Geology, 114: 735-751.

Wang Y W, Wang J B, Wang S L, Ding R F and Wang L J. 2003. Geology of the Mengku iron deposit, Xinjiang, China-a metamorphosed VMS[A] ? In: Mao J W, Goldfarb R J, Seltmann R, Wang D H, Xiao W J and Hart C, ed. Tectonic evolution and metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan[C]. Proceedings volume of the International Symposium of the IGCP-473 project in Urumqi and guidebook of the field excursion in Xinjiang, China: August 9-21, 2003. London: Centre for Russian and Central Asian Mineral Studies, Natural History Museum. 181-200.

Wang Z G, Zhao Z H and Zou T R. 1998. Geochemistry of the granitoids in Altay[M]. Beijing: Science Press. 1-152 (in Chinese).

Windley B F, Kroener A, Guo J, Qu G, Li Y and Zhang C. 2002. Neoproterozoic to Paleozoic geology of the Altai Orogen, NW China: New zircon age data and tectonic evolution[J]. Journal of Geology, 110(6): 719-737.

Xu L G, Mao J W, Yang F Q, Ye H S, Zheng J M, Li J G, Cai Y B, Zha X L and Gao J J. 2007a. Skarn characteristics of Mengku iron deposits in Xinjiang, and its geological significance[J]. Mineral De-

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

posits, 26(4): 455-463 (in Chinese with English abstract).

Xu L G, Mao J W, Yang F Q, Li J G, Cai Y B, Zheng J M and Huang C L. 2007b. Geology and geochemistry of the Mengku iron deposit in Fuyun County, Xinjiang Uigur Autonomous[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(10): 2653-2664(in Chinese with English abstract).

Yan S H, Zhang Z C, Wang Y T, Chen B L, Zhou G and He L X. 2005. REE geochemistry of Qiaoxiahala type Fe-Cu deposits in southern margin of Altay Mountains, Xinjiang, and its geological implications[J]. Mineral Deposits, 24(1): 25-33 (in Chinese with English abstract).

Yang F Q, Mao J W, Chai F M, Liu Feng, zhou G, Geng X X, Liu G R and Xu L G. 2008a. Ore forming fluids and metallogenesis of Mengku iron deposit in Altay, Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 27(6): 659-680 (in Chinese with English abstract).

Yang F Q, Mao J W, Yan S H, Liu F, Chai F M, Zhou G, Liu G R, He L X, Geng X X and Dai J Z. 2008b. Geochronology, geochemistry and geological implications of the Mengku synorogenic plagiogranite pluton in Altay, Xinjiang[J]. Acta Geologica Sinica, 82(4): 485-499(in Chinese with English abstract).

Yang F Q, Zhang Z X, Qu W J, Geng X X, Lv S J, Chai F M, Jiang L P and Liu F. 2011. Re-Os age of molybdenite from the Mengku iron deposit in Altay, Xinjiang and its implication for metallogeny [J]. Acta Geologica Sinica, 85(3): 396-404(in Chinese with English abstract).

Ying L J, Wang D H, Li J K, Chen Z H, Xi Z, Yang W H and Liu N Z. 2008. Comparisons between the Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit in Xinjiang and other IOCG-type deposits[J]. Geotectonica et Metallogenia, 32(3): 3383-45 (in Chinese with English abstract).

Ying L J, Wang D H, Liang T and Zhou R H. 2009. Ore genesis and metallogenic model of Qiaoxiahala Fe-Cu-Au deposit in Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 28(2): 211-217(in Chinese with English abstract).

Yuan C, Sun M, Long X P, Xia X P, Xiao W J, Li X H, Lin S F and Cai K D. 2007a. Constraining the deposition time and tectonic background of the Habahe Group of the Altai[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(7): 1635-1644 (in Chinese with English abstract).

Yuan C, Sun M, Xiao W J, Li X H, Chen H L, Lin S F, Xi X P and Long X P. 2007b. Accretionary orogenesis of the Chinese Altai: Insights from Paleozoic granitoids[J]. Chemical Geology, 242: 22-39.

Zeng Q S, Chen G H, Wang H and Shan Q. 2007. Geochemical characteristic, SHRIMP zircon U-Pb dating and tectonic implication for granitoids in Chonghuer basin, Altai, Xinjiang[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(8): 1933-1944 (in Chinese with English abstract).

Zeng Q S, Chen G H, Cai Y X, Wang H and Wang M F. 2009. Geochemical characteristics of acid volcanic rocks from Chonghuer basin, Altai, Xinjiang and their geochronological implication[J]. Geoteetonica et Metallogeni, 32(4): 603-612 (in Chinese with English abstract).

Zhang H X, Niu H C, Terada K, Yu X Y, Sato H and Ito J. 2003. Zircon SHRIMP U-Pb dating on plagiogranite from Kuerti ophiolite in Altay, north Xinjiang[J]. China Sci. Bull., 48: 2231-2235.

Zhang J Z, Feng B H, Jin H J, Liu B, Luo Y P, Jin Z M, Zhu M Z and Chen S Z. 1987. The genetic relationship between marine volcanic rocks and iron deposit at Abagong-mengku area, Altay district, Xinjiang and ore-forming geological features[J]. Bulletin of Xi'an Institute Geology Mineral Resources, CAGS, 20: 89-180 (in Chinese with English abstract).

Zhang Z C, Yan S H, Chen B L, Zhou G, He Y K, Chai F M and He L X. 2005. Middle Dovenian picrites of the south margin of Altay orogenic belt and implications for the tectonic setting and petrogenesis[J]. Journal of China University of Geosciences, 15(3): 231-142.

Zhang Z C, Zhou G, Yan S H, Chen B L, He Y K, Chai F M and He L X. 2007. Geology and geochemistry of the Late Paleozoic volcanic rocks of the South margin of the Altai mountains and implications for tectonic evolution[J]. Acta Geologica Sinica, 81(3): 344-358 (in Chinese with English abstract).

Zhang Z F. 2003. Analysis of characteristics of typical Fe deposit in Altai region, Xinjiang and their genesis and potential[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 18(Supp.): 80-83 (in Chinese with English abstract).

Zhou G, Zhang Z C, Wang X, Lou S B, He B and Zhang X L. 2007. Zircon U-Pb SHRIMP and ^{40}Ar-^{39}Ar dating of the granitic mylonite in the Mayinebo fault belt of North Xinjiang and its geological significance[J]. Acta Geologica Sinica, 81(3): 359-369 (in Chinese with English abstract).

Zhou T R, Cao H Z and Wu B Q. 1988. Orogenic and anorogenic granitoids of the Altay Mountains, Xinjiang and their discrimination criteria[J]. Acta Geologica Sinica, 62(3): 228-234 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

柴凤梅, 董连慧, 杨富全, 刘　锋, 耿新霞, 黄承科. 2010. 阿尔泰南缘克朗盆地铁木尔特花岗岩体年龄、地球化学特征及成因[J]. 岩石学报, 25(2): 377-386.

陈　文, 韩春明, 张　彦, 刘新宇. 2003. 从成矿和变形时代的不偶合现象探讨康古尔金矿的成因[J]. 地球学报, 24(6): 579-583.

陈毓川, 刘德权, 王登红, 唐延龄, 周汝洪, 陈振宇. 2004. 新疆北准噶尔苦橄岩的发现及其地质意义[J]. 地质通报, 23(11): 1059-1065.

程　剑. 2004. 新疆青河县老山口金铜铁矿区Ⅳ矿段地质特征及成因探讨[J]. 新疆有色金属, (增刊): 22-25.

仇仲学. 2003. 新疆富蕴县蒙库铁矿床地质特征与成因分析[J]. 地质找矿论丛, 18(增刊): 110-114.

耿新霞, 杨富全, 杨建民, 黄承科, 刘　锋, 柴凤梅, 张志欣. 2010. 新疆阿尔泰铁木尔特铅锌矿床流体包裹体研究及地质意义[J]. 岩石学报, 26(3): 695-706.

何国琦, 成守德, 徐　新, 李锦轶, 郝　杰. 2004. 中国新疆及邻区大地构造图(1∶2 500 000)说明书[M]. 北京: 地质出版社. 1-65.

胡兴平. 2004. 新疆富蕴县蒙库铁矿区地质特征及成因浅析[J]. 新

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

疆有色金属, 1: 2-5, 8.

李会军, 何国琦, 吴泰然, 吴 波. 2006. 阿尔泰-蒙古微大陆的确定及其意义[J]. 岩石学报, 22(5): 1369-1379.

李嘉兴, 姜 俊, 胡兴平, 康吉昌, 尹意求. 2003. 新疆富蕴县蒙库铁矿床地质特征及成因分析[J]. 新疆地质, 21(3): 307-311.

李泰德. 2002. 新疆富蕴县乔夏哈拉金铜铁矿地质特征及成因分析[J]. 地质与勘探, 38(1): 18-21.

刘 锋, 李延河, 毛景文, 杨富全, 柴凤梅, 耿新霞, 杨宗喜. 2008. 阿尔泰造山带阿巴宫花岗岩体锆石 SHRIMP 年龄及其地质意义[J]. 地球学报, 29(6): 795-804.

刘 锋, 杨富全, 李延河, 马宝钦, 柴凤梅, 耿新霞. 2009. 新疆阿勒泰市阿巴宫铁矿磷灰石微量和稀土元素特征及矿床成因探讨[J]. 矿床地质, 28(3): 251-264.

刘 锋, 杨富全, 李延河, 郭正林, 柴凤梅, 耿新霞, 张志欣. 2010. 新疆阿尔泰南缘萨尔布拉克铁矿区花岗岩年代学及地球化学研究[J]. 地质学报, 84(2): 195-205.

刘 敏, 张作衡, 王永强, 郭旭吉. 2008. 新疆阿尔泰大东沟铅锌矿床地质特征及稳定同位素地球化学研究[J]. 地质学报, 82(11): 1504-1513.

刘 伟. 1990. 中国阿尔泰地区花岗岩的时代及成因特征[J]. 大地构造与成矿学, 14(1): 44-56.

毛景文, 余金杰, 袁顺达, 程彦博, 谢桂青, 侯可军, 向君峰, 杨宗喜. 2008. 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, 27(3): 267-278.

牛贺才, 于学元, 许继峰, 单 强, 陈繁荣, 张海祥, 郑作平. 2006. 中国新疆阿尔泰晚古生代火山作用及成矿[M]. 北京: 地质出版社. 1-184.

芮行健, 吴玉金. 1984. 中国阿尔泰花岗岩的成因[A]. 见: 徐克勤主编. 花岗岩地质和及其与成矿的关系国际学术会议论文集[C]. 南京: 江苏科学技术出版社. 281-291.

童 英, 王 涛, 洪大卫, 代雅建, 韩宝福, 柳晓明. 2007. 中国阿尔泰北部山区早泥盆世花岗岩的年龄、成因及构造意义[J]. 岩石学报, 23(8): 1933-1944.

王登红, 陈毓川, 徐志刚, 李天德, 傅旭杰. 2002. 阿尔泰成矿省的成矿系列及成矿规律[M]. 北京: 原子能出版社. 1-493.

王京彬, 秦克章, 吴志亮, 胡剑辉, 邓吉牛. 1998. 阿尔泰山南缘火山喷流沉积型铅锌矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1-210.

王中刚, 赵振华, 邹天人. 1998. 阿尔泰花岗岩类地球化学[M]. 北京: 科学出版社. 1-152.

徐林刚, 毛景文, 杨富全, 叶会寿, 郑建民, 李建国, 蔡永彪, 查小玲, 高建京. 2007a. 新疆蒙库铁矿床矽卡岩矿物学特征及其意义[J]. 矿床地质, 26(4): 455-463.

徐林刚, 毛景文, 杨富全, 李建国, 蔡永彪, 郑建民, 黄成林. 2007b. 新疆富蕴县蒙库铁矿地质、地球化学特征[J]. 岩石学报, 23(10): 2653-2664.

闫升好, 张招崇, 王义天, 陈柏林, 周 刚, 何立新. 2005. 新疆阿尔泰山南缘乔夏哈拉式铁铜矿床稀土元素地球化学特征及其地质意义[J]. 矿床地质, 24(1): 25-33.

杨富全, 毛景文, 柴凤梅, 刘 锋, 周 刚, 耿新霞, 刘国仁, 徐林刚. 2008a. 新疆阿尔泰蒙库铁矿床成矿流体及成矿作用[J]. 矿床地质, 27(6): 659-680

杨富全, 毛景文, 闫升好, 刘 锋, 柴凤梅, 周刚, 刘国仁, 何立新, 耿新霞, 代军治. 2008b. 新疆阿尔泰蒙库同造山斜长花岗岩年代学、地球化学及其地质意义[J]. 地质学报, 82(4): 485-499.

杨富全, 张志欣, 屈文俊, 耿新霞, 吕书君, 柴凤梅, 姜丽萍, 刘 锋. 2011. 新疆阿尔泰蒙库铁矿床的辉钼矿 Re-Os 年龄及意义[J]. 地质学报, 85(3): 396-404.

应立娟, 王登红, 李建康, 陈郑辉, 席 忠, 杨文华, 刘乃忠. 2008. 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, 32(3): 338-345.

应立娟, 王登红, 梁 婷, 周汝洪. 2009. 新疆乔夏哈拉铁铜金矿的矿床成因及其成矿模式[J]. 矿床地质, 28(2): 211-217.

袁 超, 孙 敏, 龙晓平, 夏小平, 肖文交, 李献华, 林寿发, 蔡克大. 2007a. 阿尔泰哈巴河群的沉积时代及其构造背景[J]. 岩石学报, 23(7): 1635-1644.

曾乔松, 陈广浩, 王 核, 单 强. 2007. 阿尔泰冲乎尔盆地花岗质岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其构造意义[J]. 岩石学报, 23(8): 1921-1932.

曾乔松, 陈广浩, 蔡佑星, 王 核, 王梦飞. 2009. 阿尔泰南缘冲乎尔盆地酸性火山岩地球化学及年代学研究[J]. 大地构造与成矿学, 32(4): 603-612.

张建中, 冯秉寰. 1987. 新疆阿尔泰阿巴宫-蒙库海相火山岩与铁矿的成生关系及成矿地质特征[J]. 中国地质科学院西安地质研究所所刊, 20: 89-180.

张招崇, 周 刚, 闫升好, 陈柏林, 贺永康, 柴凤梅, 何立新. 2007. 阿尔泰山南缘晚古生代火山岩的地质地球化学特征及其对构造演化的启示[J]. 地质学报, 81(3): 344-358.

张振福. 2003. 新疆阿尔泰一带典型铁矿床特征、成因及找矿前景分析[J]. 地质找矿论丛, 18(增刊): 80-83.

周 刚, 张招崇, 王新昆, 王 祥, 罗世宾, 何 斌, 张小林. 2007. 新疆玛因鄂博断裂带中花岗质糜棱岩锆石 U-Pb SHRIMP 和黑云母 ^{40}Ar-^{39}Ar 年龄及意义[J]. 地质学报, 81(3): 359-369.

邹天人, 曹惠志, 吴柏青. 1988. 新疆阿尔泰造山花岗和非造山花岗岩及其判别标志[J]. 地质学报, 62(3): 228-234.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net