

# 祁漫塔格地区肯德可克铁钴多金属矿围岩时代及其意义

潘晓萍, 李荣社, 于浦生, 辜平阳, 时超, 王超, 查显锋

(国土资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

**摘要:** 东昆仑祁漫塔格地区肯德可克铁钴多金属矿成因类型存在较大争议, 对该矿形成构造环境和围岩条件认识的不一致性是重要因素之一, 尤其是赋矿围岩时代。本文依据采获的蠕类和腕足类化石, 将肯德可克铁钴多金属矿南部围岩重新厘定为下二叠统。利用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年技术, 获得肯德可克铁钴多金属矿北侧英安质熔结凝灰岩形成年龄为  $227.1 \pm 1.2$  Ma, 相当于晚三叠世早期, 为其划归上三叠统鄂拉山组提供了直接证据。通过野外调研和岩相学研究, 认为肯德可克铁钴多金属矿北侧“砂卡岩”属于火山作用形成的中-高温矿化蚀变带, 并非典型的砂卡岩。综合分析认为, 肯德可克铁钴多金属矿的形成时代不早于早二叠世, 主成矿期为晚三叠世的可能性较大, 成因类型可能属于火山-热液型多金属矿床, 上三叠统鄂拉山组下部中-高温矿化蚀变带可作为寻找这类矿床的重要标志之一。

**关键词:** 祁漫塔格地区; 肯德可克铁钴多金属矿; 围岩时代; 蠕类化石; 锆石 U-Pb 年代学

中图分类号: P588.21<sup>+</sup>1; P597<sup>+</sup>.3; P534.46

文献标识码: A 文章编号: 1000-6524(2013)01-0053-10

## The age of country rocks of the Kendekeke Fe-Co polymetallic deposit in Qimantag area and its significance

PAN Xiao-ping, LI Rong-she, YU Pu-sheng, GU Ping-yang, SHI Chao, WANG Chao and ZHA Xian-feng  
(Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MLR; Xi'an Geological Survey Center, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** The inconsistent opinions concerning the tectonic setting, the surrounding rock environment and, especially, the age of the wall rocks, have caused much controversy about the metallogenic type of the Kendekeke Fe-Co polymetallic deposit in Qimantag area, East Kunlun Mountains. According to Fusulinida and brachiopod fossils, the authors re-assigned the southern part of the country rock to Lower Permian. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the dacitic ignimbrite from the north of the deposit yielded the age of  $227.1 \pm 1.2$  Ma, which provides direct evidence for the assigning of this strata to Upper Triassic Elashan Formation. Field investigation and petrographic study have led the authors to believe that the “skarn” on the northern side of the Kendekeke Fe-Co polymetallic deposit should belong to the volcanic middle-high temperature mineralization-alteration zone rather than being a typical skarn. Based on a comprehensive analysis, the authors hold that the mineralization age of the Kendekeke Fe-Co polymetallic deposit should not be earlier than Early Permian, and the main mineralization likely took place in Late Triassic. The metallogenic type may belong to volcanic-hydrothermal polymetallic type. The middle-high temperature mineralization-alteration zone in the lower part of the Upper Triassic Elashan Formation should be one of the important prospecting criteria in search for this kind of

收稿日期: 2012-05-17; 修订日期: 2012-12-13

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(1212010040107, 1212011121258); 国家自然科学基金青年基金资助项目(41002063)

作者简介: 潘晓萍(1963-), 女, 副研究员, 主要从事岩石学、地球化学研究, E-mail: lantianxia9@sina.com。

Fe-Co polymetallic deposits in this region.

**Key words:** Qimantag area; Kendekeke Fe-Co polymetallic deposit; wall rock age; fusulinids; zircon U-Pb dating

肯德可克铁钴多金属矿位于东昆仑西段的祁漫塔格山脉与柴达木盆地的接壤地带,青海省格尔木市乌图美仁乡以西约 80 km 处。该矿自 20 世纪 70 年代初被发现以来,经 1977 年至 1981 年原青海省地质局第一地质队以铁为主和 1995 年至今青海省有色地勘局地勘院以金、钴、铋为主的两个阶段勘探评价,其中 Fe、Co、Au、Bi、Cu、Mo 和 Ni 等储量都达到工业要求,均可单独圈出工业矿体,已成为中型铁钴多金属矿床。尽管前人曾对该矿床开展了较为详细的勘查评价工作,并对矿床地质特征、矿物学特征、地球化学特征、硅质岩的成因和找矿方向进行了初步研究(罗世清等,1985;徐勇等,1999;潘彤等,2001,2003;王力等,2003;李月隆等,2007;潘彤,2008a,2008b;伊有昌等,2008;李宏录等,2008;蔡岩萍等,2011),但目前对其矿床成因和成矿机制尚存在较大分歧。一种观点基于该矿发育“矽卡岩”将其成因类型归为矽卡岩型(丰成友等,2012;张晓飞等,2012)。罗世清等(1985)通过肯德可克矿床磁铁矿、黄铁矿、闪锌矿标型特征研究,认为该矿床是由沉积变质岩石经镁质矽卡岩化作用形成的镁矽卡岩型高中温热液铁、锌、铅矿床。奚仁刚等(2010)报道了肯德可克地区与矽卡岩型铁矿有关的二长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为  $230.5 \pm 4.2$  Ma。另一种观点则认为该矿区的“矽卡岩”属于热水沉积成因的层状“矽卡岩”,不是接触交代型矽卡岩(高章鉴等,2001)。在矿区及其附近地表和钻探所及的数百米深处,没有发现大规模侵入岩体,仅在钻孔中见有燕山期石英斑岩、闪长玢岩等浅成脉岩分布(潘彤等,2003;潘彤,2008a),并通过矿床地质特征、矿物组成、成矿期次和矿床地球化学研究,将肯德可克矿床成因类型归结为火山喷流沉积(改造)型矿床(潘彤等,2001;伊有昌等,2006)或热水喷流沉积-叠加改造型矿床(高章鉴等,2001;王力等,2003;李宏录等,2008;蔡岩萍等,2011),认为成矿具有多期多阶段、多成因类型的特征(谭文娟等,2011),主成矿作用包括加里东期火山喷流沉积阶段和印支

-燕山期(214~161 Ma)构造-岩浆热液改造阶段(潘彤,2008)。

造成肯德可克铁钴多金属矿床成因类型存在分歧的原因很多,其中对该矿形成构造环境和围岩条件认识的不一致性是重要因素之一,尤其是赋矿围岩时代,直接影响了进一步找矿工作。以往多认为该矿直接围岩为上奥陶统铁石达斯群(潘彤等,2001,2003;高章鉴等,2001;王力等,2003)或寒武-奥陶系滩间山群火山岩-火山碎屑岩(李宏录等,2008;伍跃中等,2011)。经近年来区调填图和综合研究,认为肯德可克铁钴多金属矿产于奥陶系祁漫塔格群和中石炭统蒗苏组之间(西安地质矿产研究所,2006;青海省地质调查院,2009<sup>①②</sup>;奚仁刚等,2010;谭文娟等,2011;蔡岩萍等,2011)。为了准确厘定该矿床的围岩时代,作者开展了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测年和古生物年代学研究,试图为进一步研究成矿地质背景和矿床成因提供重要约束。

## 1 区域地质背景

研究区位于东昆仑造山带祁漫塔格地区东段,青海省格尔木市乌图美仁乡以西肯德可克铁钴多金属矿区(图 1)。研究区北部为柴达木盆地,南邻库木库里盆地。

区内地层主要包括蓟县系狼牙山组、上泥盆统牦牛山组、下石炭统大干沟组、上石炭统蒗苏组、下二叠统及上三叠统鄂拉山组,本文研究的重点为肯德可克铁钴多金属矿北侧的上三叠统鄂拉山组和南侧的下二叠统。

矿区北侧的上三叠统鄂拉山组为一套中酸性火山岩-火山碎屑岩,包括安山岩、英安岩、英安质凝灰熔岩、含角砾流纹质熔结凝灰岩及凝灰岩。该地层曾先后被厘定为上奥陶统铁石达斯群、寒武-奥陶系滩间山群及奥陶系祁漫塔格群,近年来被 1:5 万狼牙山幅和景忍幅区调依据区域对比划归上三叠统

① 青海省地质调查院,2009. 1:5 万狼牙山幅(J46E018008)地质图。

② 青海省地质调查院,2009. 1:5 万景忍幅(J46E018007)地质图。

鄂拉山组,但缺少直接证据。矿区南侧的下二叠统以往也被称为上奥陶统铁石达斯群、寒武-奥陶系淮间山群及奥陶系祁漫塔格群,1:5 万狼牙山幅和景忍幅区调改称上石炭统缔敖苏组,主要岩性为灰岩、砂屑灰岩夹玄武岩。笔者在其中的灰岩中发现大量石炭-二叠纪腕足类和早二叠世 类化石,故将其改称下二叠统(详见下文)。

肯德可克铁钴多金属矿呈似层状、透镜状产于上三叠统鄂拉山组和下二叠统之间,其南与下二叠统灰岩为断层接触,其北与上三叠统鄂拉山组中酸性熔结凝灰岩呈过渡关系。

区内主要有两组断层,一为近东西-北西西走

向、由北向南推覆的逆冲断层,二为北东走向的走滑断层。研究区侵入岩出露较少,仅在远离矿区的西南部分布有侵入上泥盆统牦牛山组的晚三叠世二长花岗岩。钻孔资料显示,矿区深部见有少量燕山期石英斑岩、闪长玢岩等脉岩。

## 2 古生物化石时代

肯德可克铁钴多金属矿南侧为上泥盆统牦牛山组和下二叠统。从剖面(图 2)上看,上泥盆统牦牛山组为一套中酸性火山岩-火山碎屑岩,岩性主要为安山岩、酸性凝灰岩。紧邻铁钴多金属矿带的下二叠统

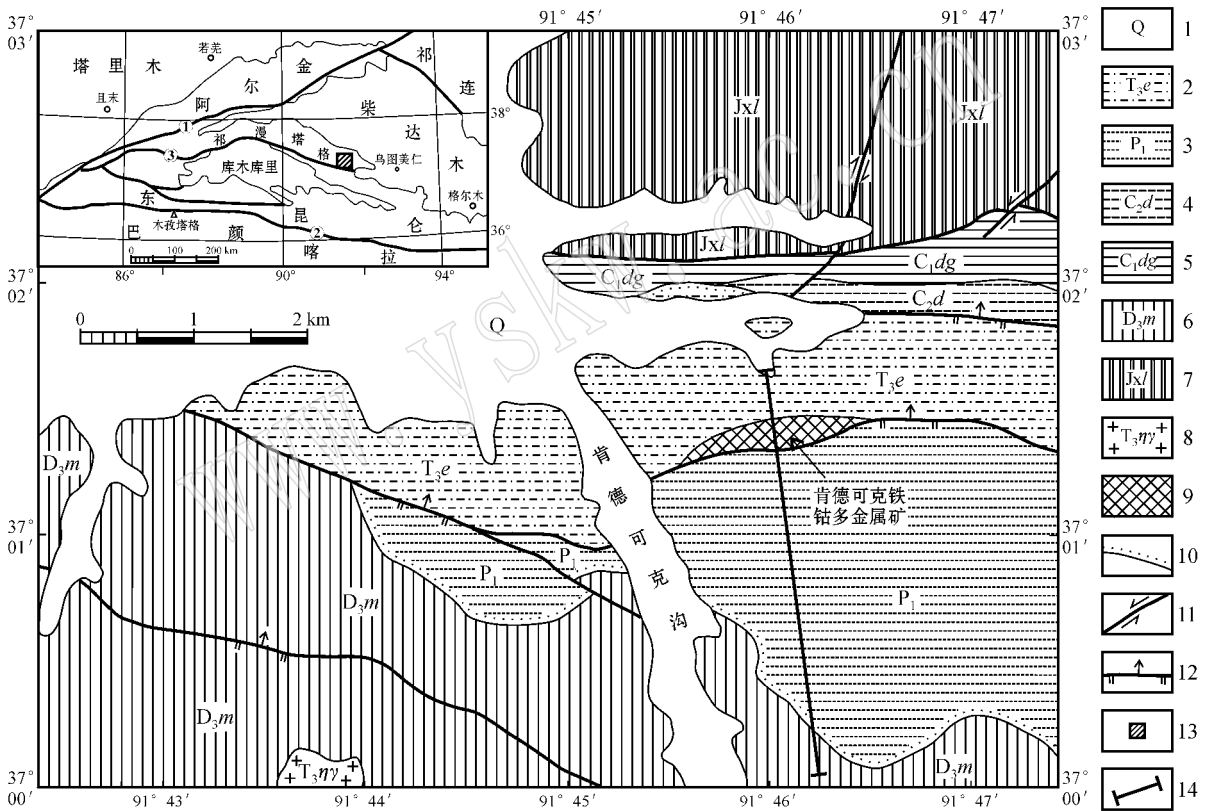


图 1 祁漫塔格地区肯德可克铁钴多金属矿地质简图(据 1:5 万狼牙山幅<sup>①</sup>和景忍幅<sup>②</sup>资料修编)

Fig. 1 Geological sketch map of the Kendekeke Fe-Co polymetallic deposit in Qimantag area, Qinghai Province (modified after 1:50 000 Regional Geological Maps of Langyashan Sheet<sup>①</sup> and Jingren Sheet<sup>②</sup>)

1—第四系;2—上三叠统鄂拉山组;3—下二叠统;4—上石炭统缔敖苏组;5—下石炭统大干沟组;6—上泥盆统牦牛山组;7—蓟县系狼牙山组;8—晚三叠世二长花岗岩;9—铁矿带;10—不整合界线;11—走滑断层;12—逆冲断层;13—研究区范围;14—剖面位置;①—阿尔金南缘断裂;②—昆南断裂;③—白干湖断裂

1—Quaternary; 2—Upper Triassic Elashan Formation; 3—Lower Permian; 4—Upper Carboniferous Diaosu Formation; 5—Lower Carboniferous Dagangou Formation; 6—Upper Devonian Maoniushan Formation; 7—Langyashan Formation of Jixian System; 8—Late Triassic monzogranite; 9—iron ore belt; 10—unconformity; 11—strike-slip fault; 12—thrust fault; 13—study area; 14—section location; ①—southern margin fault of Altun; ②—southern Kunlun fault; ③—Baiganhu fault

① 青海省地质调查院. 2009. 1:5 万狼牙山幅(J46E018008)地质图.

② 青海省地质调查院. 2009. 1:5 万景忍幅(J46E018007)地质图.

以往被厘定为上奥陶统铁石达斯群、寒武-奥陶系滩间山群或奥陶系祁漫塔格群, 1:5 万狼牙山幅和景忍幅区调改称上石炭统缩敖苏组。该地层自下而上岩

性依次为玄武岩(图 3a)、安山质凝灰岩夹灰岩透镜体、灰岩夹少量玄武岩, 尽管有后期小型断裂错动, 但岩性基本连续, 属于中基性火山岩向灰岩过渡

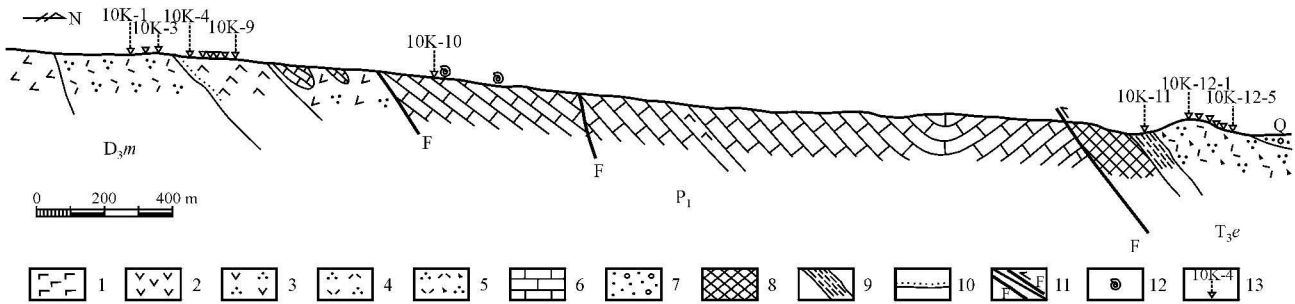


图 2 祁漫塔格地区肯德可克铁钴多金属矿地质剖面

Fig. 2 Geological section of the Kendekeke Fe-Co polymetallic deposit in Qimantag area, Qinghai Province

1—玄武岩; 2—安山岩; 3—安山质凝灰岩; 4—酸性凝灰岩; 5—英安质熔结凝灰岩; 6—灰岩; 7—第四系砂砾覆盖层; 8—铁钴矿带; 9—矿化蚀变带; 10—不整合界线; 11—断层/逆冲断层; 12—化石产地; 13—采样点及编号

1—basalt; 2—andesite; 3—andesitic tuff; 4—acidic tuff; 5—dacitic ignimbrite; 6—limestone; 7—Quaternary; 8—Fe-Co ore belt; 9—Mineralization and alteration belt; 10—unconformity; 11—fault/thrust fault; 12—fossil site; 13—sampling site and its serial number

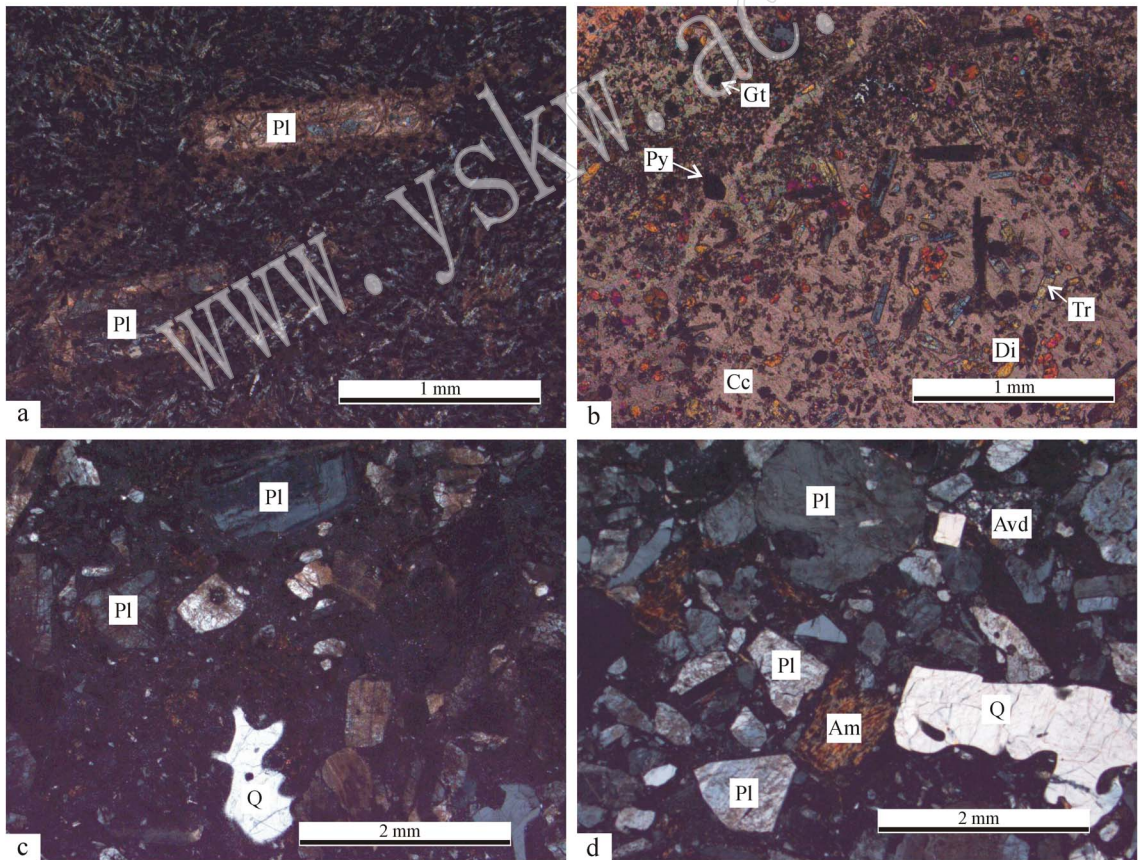


图 3 肯德可克铁钴多金属矿南部二叠统玄武岩(a, 10K-4)和北部矿化蚀变岩(b, 10K-11)、上三叠统鄂拉山组英安质熔结凝灰岩(c, 10K-12-3; d, 10K-12-2)(正交偏光)

Fig. 3 Lower Permian basalt(a, 10K-4)in the southern part of the Kendekeke Fe-Co polymetallic deposit, mineralization altered rock(b, 10K-11), and upper Triassic Elashan Formation dacitic ignimbrite(c, 10K-12-3; d, 10K-12-2)in the northern part of the Kendekeke Fe-Co polymetallic deposit (crossed nicols)

Q—石英; Pl—斜长石; Am—角闪石; Di—透辉石; Tr—透闪石; Cc—方解石; Gt—石榴石; Py—黄铁矿; Avd—酸性火山岩岩屑  
Q—quartz; Pl—plagioclase; Am—hornblende; Di—diopside; Tr—tremolite; Cc—calcite; Gt—garnet; Py—pyrite; Avd—acidic volcanic debris

的地层组合，不整合在上泥盆统牦牛山组之上。靠近矿带的灰岩有一小型向斜，矿带逆冲推覆其上。

笔者在前人划为上石炭统缔敖苏组的灰岩中荣获大量化石，主要为腕足类、蠕类及海百合茎。经中国地质大学(北京)高金汉教授详细鉴定，腕足类化石主要为 *Neospirifer* sp. (新石燕未定种)，*Notothyris* sp. (背孔贝未定种)，*Notothyris mongoliensis* (蒙古背孔贝)，*N. berkeyi* (伯克背孔贝)，*Neospirifer* sp. 和 *Notothyris* sp. 在石炭-二叠纪常见，而 *Notothyris mongoliensis* 和 *N. berkeyi* 则是二叠纪常见分子。蠕类化石共有 2 属 1 种 2 未定种(图 4)，主要为 *Pseudosh-*

*wagerina moelleri* Rauser(缪勒氏假希瓦格蠕)，*Pseudoshwagerina* sp.(假希瓦格蠕未定种)，*Zellia* sp.(车尔蠕未定种)。蠕类化石的共同特征为个体普遍较大，发育蜂巢层，但均无副隔壁和拟旋脊，在二叠纪常见，其中 *Pseudoshwagerina* 属是二叠系最底部蠕类化石带的化石，一般作为二叠系开始的证据。

综上所述，这些化石的时代应为早二叠世早期。因此，前人最初划为上奥陶统铁石达斯群、寒武-奥陶系滩间山群或奥陶系祁漫塔格群，后又厘定为上石炭统缔敖苏组的肯德可克铁钴多金属矿南侧围岩地层应为下二叠统。

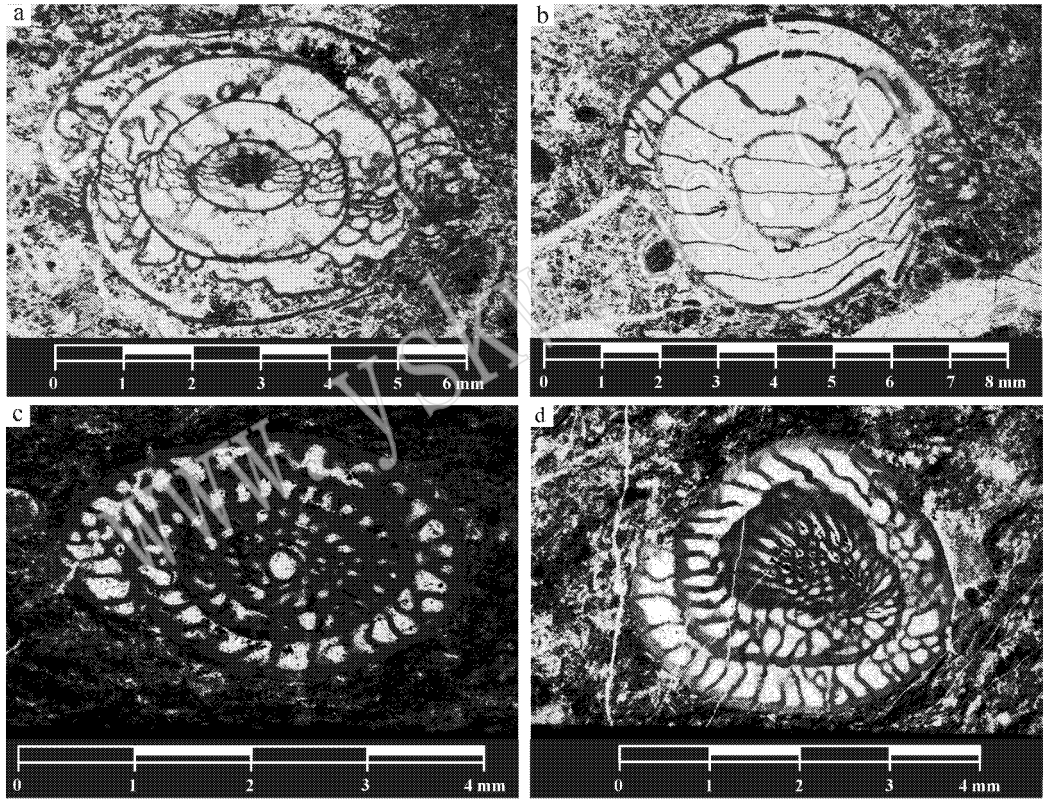


图 4 祁漫塔格地区肯德可克铁钴多金属矿南部灰岩(10K-10)中蠕类化石

Fig. 4 Micrographs of fusulinids from limestone of the southern part of the Kendekeke Fe-Co polymetallic ore district in Qimantag area

a—缪勒氏假希瓦格蠕；b—假希瓦格蠕未定种；c—车尔蠕未定种；d—车尔蠕未定种

a—*Pseudoshwagerina moelleri* Rauser；b—*Pseudoshwagerina* sp.；c—*Zellia* sp.；d—*Zellia* sp.

### 3 同位素测年

经 1:5 万狼牙山幅和景忍幅区调工作，认为肯德可克铁钴多金属矿北侧围岩的岩石组合和层位与邻区上三叠统鄂拉山组相当，主要为一套中酸性火

山岩-火山碎屑岩，将其对比为上三叠统鄂拉山组，但缺乏古生物化石和同位素年代学等直接证据。从剖面(图 2)上看，紧靠矿带的为矿化蚀变带，即前人认为的“矽卡岩带”，沿该带断续发育铅、锌、银、金矿化，矿化蚀变带以北为鄂拉山组中酸性火山碎屑岩。

紧靠矿带北侧的矿化蚀变岩矿物组成主要为方

解石(约 60%)、透闪石(约 20%)、透辉石(约 15%)、含少量石榴石(约 2%)和金属矿物(约 3%)。除方解石外,矿化蚀变岩中的透闪石和透辉石粒径均较小(图 3b),透闪石呈半自形长柱状、针状,稀疏分布;透辉石呈他形细粒状,发生了不同程度的绿帘石化。

矿化蚀变岩以北为鄂拉山组中酸性火山碎屑岩。其中,英安质熔结凝灰岩的碎屑主要为晶屑(图 3c),含少量岩屑(图 3d);火山碎屑主要由斜长石(约 30%)、石英(约 15%)、晶屑组成,含少量角闪石晶屑(3%)和酸性火山岩岩屑(约 2%),中酸性熔岩胶结(约 50%)。斜长石晶屑发生了弱绢云钠长石化,角闪石晶屑发生了绿泥石化,石英晶屑边部遭受了较强烈的熔蚀后呈港湾状。

选择英安质熔结凝灰岩(10K-12)为锆石 U-Pb 同位素测试对象,采自青海省格尔木市乌图美仁乡之西肯德可克铁钴多金属矿带北部上三叠统鄂拉山组(地理坐标: N37°1'24", E91°45'53.9", H4107m),重量约 10 kg。锆石单矿物挑选在国土资源部河北省地质矿产局廊坊实验室完成,锆石阴极发光(CL)照相(采用 FEI 公司 XL30 型 SFEG 电子束)和 LA-ICP-MS 锆石微区 U-Pb 年龄(采用 Agilent7500 型 ICPMS、德国 Lambda Physik 公司 ComPex102 ArF 准分子激光器以及 MicroLas 公司 GeoLas200M 光学系统联机)测定在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成。详细分析步骤和数据处理方法参见相关

文献(Gao *et al.*, 2002; 袁洪林等, 2003; Andersen *et al.*, 2002; Ludwig *et al.*, 2003)。

英安质熔结凝灰岩(10K-12)中获得的锆石多呈半自形-自形柱状,粒径多在  $60 \mu\text{m} \times 80 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m} \times 150 \mu\text{m}$  之间。锆石 CL 图像(图 5a)显示,内部发育振荡环带结构,表现出岩浆成因锆石特征。锆石 U-Pb 同位素测试数据经普通铅校正后,有效测试点 14 个(表 1)。在锆石 U-Pb 谐和图中,测点成群集中分布于谐和线或其附近(图 5b), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  表面年龄介于 224~230 Ma 之间,谐和年龄为  $228.5 \pm 1.8 \text{ Ma}$  (MSWD=0.24), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $227.1 \pm 1.2 \text{ Ma}$  (MSWD=3.8),Th/U 比值较高(0.36~0.79),表明这些锆石应为同期岩浆结晶成因。因此, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄  $227.1 \pm 1.2 \text{ Ma}$  代表英安质熔结凝灰岩的形成年龄,相当于晚三叠世早期。

## 4 讨论

古生物化石鉴定和锆石同位素年代学测试结果表明,肯德可克铁钴多金属矿南、北围岩分属两个不同时代,南部围岩为下二叠统浅海相碳酸盐岩建造,北部围岩为上三叠统鄂拉山组海陆交互相-陆相中酸性火山岩-火山碎屑岩建造。鉴于该矿围岩时代最老的为早二叠世,推测成矿时代不早于早二叠世。

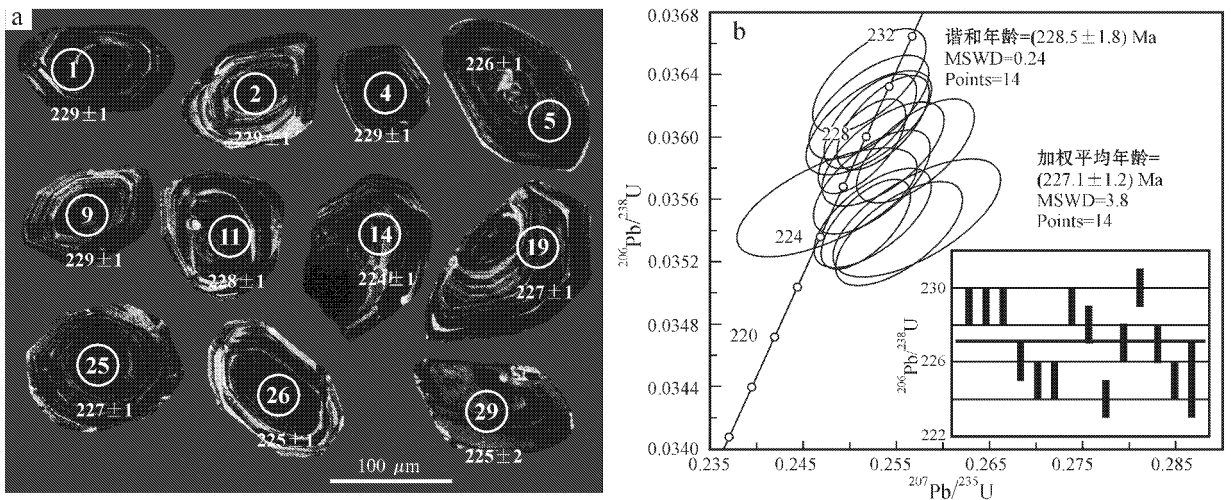


图 5 肯德可克铁钴多金属矿北部英安质熔结凝灰岩(10K-12)锆石 CL 图像(a)和 U-Pb 谐和图(b)

Fig. 5 CL images(a) and concordia diagram(b) of zircons from dacitic ignimbrite(10K-12) in the northern part of the Kendekeke Fe-Co polymetallic deposit

表 1 祁漫塔格地区肯德可克铁钴多金属矿北部英安质熔结凝灰岩(10K-12)锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测年结果  
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb isotopic analyses of dacitic ignimbrite(10K-12) in the northern part of the Kendeke Fe-Co polymetallic deposit, Qimantag area

测点	同位素比值						同位素年龄/Ma						Th/U	Pb*	谐和度						
	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U		<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th		<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb		<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U					<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U		<sup>208</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th			
	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	比值	1σ	年龄	1σ	年龄	1σ				年龄	1σ	年龄	1σ		
10K-6-12-1	0.0509	0.0008	0.2540	0.0030	0.0361	0.0002	0.0118	0.0001	238	20	229	3	229	1	237	2	350.44	710.24	30.49	0.49	100.00
10K-6-12-2	0.0506	0.0010	0.2520	0.0040	0.0361	0.0002	0.0119	0.0001	224	29	228	4	229	1	239	3	138.09	378.63	15.68	0.36	99.56
10K-6-12-4	0.0507	0.0008	0.2520	0.0030	0.0361	0.0002	0.0126	0.0001	225	20	228	3	229	1	254	2	291.34	800.70	33.43	0.36	99.56
10K-6-12-5	0.0512	0.0010	0.2520	0.0040	0.0357	0.0002	0.0123	0.0001	252	26	228	3	226	1	247	3	242.28	598.06	25.01	0.41	100.88
10K-6-12-6	0.0516	0.0010	0.2520	0.0040	0.0355	0.0002	0.0112	0.0001	268	27	229	3	225	1	226	2	143.10	300.30	12.61	0.48	101.78
10K-6-12-7	0.0515	0.0008	0.2520	0.0030	0.0354	0.0002	0.0111	0.0001	264	19	228	3	225	1	224	1	730.75	930.55	42.40	0.79	101.33
10K-6-12-9	0.0505	0.0010	0.2520	0.0040	0.0362	0.0002	0.0124	0.0001	219	28	228	3	229	1	248	3	195.38	489.52	20.73	0.40	99.56
10K-6-12-11	0.0507	0.0008	0.2510	0.0030	0.0359	0.0002	0.0115	0.0001	229	18	228	3	228	1	231	2	336.71	583.86	25.66	0.58	100.00
10K-6-12-14	0.0524	0.0010	0.2550	0.0050	0.0354	0.0002	0.0106	0.0001	301	29	231	4	224	1	214	2	180.91	388.11	16.24	0.47	103.13
10K-6-12-19	0.0519	0.0010	0.2570	0.0040	0.0359	0.0002	0.0115	0.0001	283	26	232	3	227	1	231	2	191.88	455.73	19.34	0.42	102.20
10K-6-12-22	0.0503	0.0009	0.2520	0.0040	0.0364	0.0002	0.0121	0.0001	209	26	228	3	230	1	244	3	240.32	602.53	25.86	0.40	99.13
10K-6-12-25	0.0513	0.0010	0.2540	0.0040	0.0359	0.0002	0.0119	0.0001	253	28	229	4	227	1	239	2	261.50	584.18	25.19	0.45	100.88
10K-6-12-26	0.0505	0.0013	0.2480	0.0060	0.0356	0.0002	0.0112	0.0001	216	63	225	5	225	1	226	1	313.21	573.22	26.36	0.55	100.00
10K-6-12-29	0.0526	0.0013	0.2570	0.0060	0.0355	0.0003	0.0116	0.0002	311	40	232	5	225	2	233	3	197.87	485.27	20.49	0.41	103.11

注: 谐和度 = (<sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U) / (<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U) × 100; \* Pb = 0.241 × <sup>206</sup>Pb + 0.221 × <sup>207</sup>Pb + 0.524 × <sup>208</sup>Pb。

从矿化空间展布特征来看,成矿具分带性。铁钴矿体集中分布于矿带南侧,向南为下二叠统北缘断裂所限;铅锌金银矿体分布于铁钴矿体以北的矿化蚀变带内;由南向北,依次为:下二叠统碳酸盐岩、铁钴矿体、铅锌金银矿体及上三叠统鄂拉山组中酸性火山岩-火山碎屑岩。矿带北侧与上三叠统鄂拉山组呈过渡关系,并且两者之间发育矿化蚀变带,表现出成矿可能与上三叠统鄂拉山组火山作用关系较为密切,即主成矿期为晚三叠世的可能性较大。

作为将该矿成因类型划归矽卡岩型矿床主要证据的“矽卡岩”,通过野外调研和岩相学分析,“矽卡岩”带呈似层状或透镜状产出,空间产状与上三叠统鄂拉山组火山岩-火山碎屑岩基本协调一致;“矽卡岩”的主要矿物成分为方解石,次为透闪石、透辉石,含少量石榴子石(局部地段稍多),透闪石、透辉石和石榴子石粒径均较小,总体属于中-高温蚀变矿物组合,也不具备典型矽卡岩热-接触交代作用形成的分带性。此外,矿区地表和深部未见到与成矿有关的中酸性侵入体,深部仅有少量浅成中酸性岩脉,不可能引起大规模成矿作用,中酸性岩脉可能对成矿具有一定的改造富集作用。因此,笔者认为该“矽卡岩”并非真正意义上中酸性侵入体与碳酸盐岩发生接触交代作用形成的矽卡岩,而应属于火山作用过程形成的中-高温矿化蚀变带。这种蚀变带可作为重要的找矿标志之一。

就成矿作用本身而言,成矿元素众多,包括 Fe、Co、Au、Ag、Bi、Cu、Mo 和 Ni 等均达到工业指标,这并非矽卡岩型矿床的特征。矿体常呈层状、似层状产出,硅质岩层的出现反映了火山-喷流作用。矿石结构较为复杂,具有成因意义的代表性结构为交代熔蚀结构,矿石构造则以浸染状、团块状、斑杂状构造为主,其次为块状、角砾状、条带状、不规则脉状构造等(谭文娟等,2011)。矿石矿物出现胶黄铁矿,是火山热水喷流-沉积作用比较常见的矿物(潘彤等,2003)。

综上所述,本文认为肯德可克铁钴多金属矿的成矿时代不早于早二叠世,主成矿期为晚三叠世的可能性较大,其成因类型可能属于火山-热液型多金属矿床,晚三叠世期间鄂拉山组海陆交互相-陆相中酸性火山喷发作用形成的中高温矿化蚀变带可作为重要的找矿标志之一。

## 5 结论

(1) 依据在肯德可克铁钴多金属矿南侧围岩中采获的瓣类化石 *Pseudoshwagerina moelleri* Rauser (繆勒氏假希瓦格瓣), *Pseudoshwagerina* sp. (假希瓦格瓣未定种), *Zellia* sp. (车尔瓣未定种), 以及腕足类化石 *Neospirifer* sp. (新石燕未定种), *Notothyris* sp. (背孔贝未定种), *Notothyris mongolien-sis* (蒙古背孔贝), *N. berkeyi* (伯克背孔贝), 将这套前人划为上石炭统绵纳组的地层重新厘定为下二叠统。

(2) 利用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年, 获得肯德可克铁钴多金属矿北侧英安质熔结凝灰岩  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄为  $227.1 \pm 1.2$  Ma, 代表该铁矿北部围岩的形成年龄, 相当于晚三叠世早期, 为前人通过区域对比将该套地层厘定为上三叠统鄂拉山组提供了直接证据。

(3) 综合分析认为, 肯德可克铁钴多金属矿的主成矿期为晚三叠世的可能性较大, 成因类型可能属于火山-热液型多金属矿床, 应与上三叠统鄂拉山组海陆交互相-陆相中酸性火山喷发作用关系较为密切。

(4) 依据岩相学和成矿特征分析, 认为肯德可克铁钴多金属矿北侧的“矽卡岩”属于火山作用过程形成的中高温矿化蚀变带, 可作为寻找这类矿床的重要标志之一。

致谢 衷心感谢柳小明教授、何世平研究员和李向民研究员对论文提出的建设性意见! 在数据测试过程中得到弓虎军、第五春荣、贺国芬、陈奋宁和张海迪的有益帮助, 谨此表示谢意!

## References

- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report  $^{204}\text{Pb}$  [J]. *Chemical Geology*, 192: 59~79.
- Cai Yanping, Li Jiong, Liang Haichuan, et al. 2011. Discussion on the geological characteristics and genesis of Co polymetallic ore in Kendekeke area, Qinghai Province [J]. *Gold Science and Technology*, 19(2): 41~46 (in Chinese with English abstract).



- Feng Chengyou, Zhang Dequan, Jia Qunzi, *et al.* 2012. Genetic types, metallogenic rules and series of metallic deposits round Qaidam basin [J]. *Noethwestern Geology*, 45(1): 1~8 (in Chinese with English abstract).
- Gao Shan, Liu Xiaoming, Yuan Honglin, *et al.* 2002. Analysis of forty-two major and trace elements of USGS and NIST SRM Glasses by LA-ICPMS [J]. *Geostand News*, 22: 181~195.
- Gao Zhangjian, Luo Cairang, Jing Jifeng, *et al.* 2001. Features and mineralization significance of stratiform skarns of hydrothermal fluid sedimentary origin in Kendekoke gold deposit, Qinhai [J]. *Noethwestern Geology*, 34(2): 50~53 (in Chinese with English abstract).
- Li Honglu, Liu Yangjie, Wei Gang, *et al.* 2008. Geochemistry and genesis of the Kendekeke iron-gold polymetallic deposit in Qinghai Province [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 27(4): 378~383 (in Chinese with English abstract).
- Li Yuelong, Zhang Fenying and Zhou Xiaozhong. 2007. On prospecting foreground of multimetals mine in Qimantage of the eastern Kunlun Mountains orogenic zone [J]. *Gansu Metallurgy*, 29(2): 34~36 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 2003. 3.0-A geochronological toolkit for Micro-soft Excel [J]. *Berkeley Geochronology Center, Special Publication*, (4): 1~70.
- Luo Shiqing, Zhao Yinfang and Gao Yinghua. 1985. The typomorphic peculiarities of ore minerals in Kendekoke deposit of Qinghai, China and a discussion on the genetic type of the deposit [J]. *Acta Petrologica Mineralogica et Analytica*, 4(1): 39~44 (in Chinese with English abstract).
- Pan Tong. 2008a. Geochemical features and origin of siliceous rocks of Kendekeke Co-Au Deposit in the eastern Kunlun metallogenic belt, Qinghai [J]. *Geology and Prospecting*, 44(2): 51~54 (in Chinese with English abstract).
- Pan Tong. 2008b. Metallogenic characteristics and prospecting potential of the Fe polymetallic deposits in Qimantage area, Qinghai Province [J]. *Mineral Resources and Geology*, 22(3): 232~235 (in Chinese with English abstract).
- Pan Tong, Ma Meisheng and Kang Xiangrui. 2001. Discovering of the Kendekeke (including its periphery) cobalt-poly-metallic ore deposit and significance, East Kunlun mountain [J]. *Chinese Geology*, 28(2): 17~20 (in Chinese with English abstract).
- Pan Tong and Sun Fengyue. 2003. The mineralization characteristic and prospecting of Kendekeke Co-Bi-Au deposit in Dunkunlun, Qinhai Province [J]. *Geology and Prospecting*, 39(1): 18~22 (in Chinese with English abstract).
- Tan Wenjuan, Jiang Hanbing, Yang Hequn, *et al.* 2011. Metallogenic features and genesis of Fe polymetallic deposits in the Qimantage region [J]. *Geology and Exploration*, 47(2): 244~250 (in Chinese with English abstract).
- Wang Li, Sun Fengyue, Chen Guohua, *et al.* 2003. Mineralogical features of Kendekeke gold-nonferrous metal deposit in East Kunlun mountain, Qinghai Province [J]. *Global Geology*, 22(1): 50~56 (in Chinese with English abstract).
- Wu Yuezhong, Qiao Gengbiao and Chen Denghui. 2011. A preliminary study on relationship between tectonic magmatism and mineralization in Qimantage area, Eastern Kunlun Mountains [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 35(2): 232~241 (in Chinese with English abstract).
- Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources. 2006. Prediction of Mineral Resources Potential in the Northwest Area, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 314~327 (in Chinese).
- Xi Rengang, Xiao Peixi, Wu Yuezhong, *et al.* 2010. The geological significances, composition and age of the monzonitic granite in Kendekeke iron mine [J]. *Noethwestern Geology*, 43(4): 195~202 (in Chinese with English abstract).
- Xu Yong and Zhu Xinyou. 1999. Potential for prospecting of cobalt deposits in the Kunlun-Qinling orogenic belt [J]. *Geological Exploration for Non-ferrous Metals*, 8(6): 396~399 (in Chinese with English abstract).
- Yi Yuchang, Jiao Gejun and Zhang Fenying. 2006. Characteristics of Kendekeke Fe-Co multi-metal deposit in east Kunlun, Qinghai Province [J]. *Geology and Prospecting*, 42(3): 30~35 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan, *et al.* 2003. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and REE of Cenozoic pluton in NE China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 48(14): 1511~1520 (in Chinese).
- Zhang Xiaofei, Li Zhiming, Chen Bo, *et al.* 2012. The contribution of the Tanjianshan Group stratum to skarnization in Qimantage region, Qinhai Province [J]. *Noethwestern Geology*, 45(1): 40~47 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 蔡岩萍, 李炯, 梁海川, 等. 2011. 青海肯德可克矿区钴多金属矿地质特征及成因初探 [J]. *黄金科学技术*, 19(2): 41~46.
- 丰成友, 张德全, 贾群子, 等. 2012. 柴达木周缘金属矿床成因类型、成矿规律与成矿系列 [J]. *西北地质*, 45(1): 1~8.
- 高章鉴, 罗才让, 并继锋. 2001. 青海省肯德可克金矿热水沉积层砂卡岩特征及成矿意义 [J]. *西北地质*, 34(2): 50~53.
- 李宏录, 刘养杰, 卫岗, 等. 2008. 青海肯德可克铁、金多金属矿床地球化学特征及成因 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 27(4): 378~383.

- 李月隆,张芬英,周晓中. 2007. 青海东昆仑造山带祁漫塔格地区铁钴金多金属矿找矿前景分析[J]. 甘肃冶金, 29(2): 34~36.
- 罗世清,赵寅芳,高应华. 1985. 青海肯德可克矿床金属矿物的标型特征及矿床成因类型的探讨[J]. 岩石矿物及测试, 4(1): 39~44.
- 潘 彤. 2008a. 青海东昆仑肯德可克钴金矿床硅质岩特征及成因[J]. 地质与勘探, 44(2): 51~54.
- 潘 彤. 2008b. 青海祁漫塔格地区铁多金属成矿特征及找矿潜力[J]. 矿产与地质, 22(3): 232~235.
- 潘 彤,马梅生,康祥瑞. 2001. 东昆仑肯德可克及外围钴多金属矿找矿突破的启示[J]. 中国地质, 28(2): 17~20.
- 潘 彤,孙丰月. 2003. 青海东昆仑肯德可克钴铋金矿床成矿特征及找矿方向[J]. 地质与勘探, 39(1): 18~22.
- 谭文娟,姜寒冰,杨合群,等. 2011. 祁漫塔格地区铁多金属矿床成矿特征及成因探讨[J]. 地质与勘探, 47(2): 244~250.
- 王 力,孙丰月,陈国华,等. 2003. 青海东昆仑肯德可克金-有色金属矿床矿物学特征研究[J]. 世界地质, 22(1): 50~56.
- 伍跃中,乔耿彪,陈登辉. 2011. 东昆仑祁漫塔格地区构造岩浆作用与成矿关系初步探讨[J]. 大地构造与成矿学, 35(2): 232~241.
- 西安地质矿产研究所. 2006. 西北地区矿产资源找矿潜力[M]. 北京:地质出版社, 314~327.
- 奚仁刚,校培喜,伍跃中,等. 2010. 东昆仑肯德可克铁矿区二长花岗岩组成、年龄及地质意义[J]. 西北地质, 43(4): 195~202.
- 徐 勇,祝新友. 1999. 昆仑造山带钴找矿前景初步评价[J]. 有色金属矿产与勘查, 8(6): 396~399.
- 伊有昌,焦革军,张芬英. 2006. 青海东昆仑肯德可克铁钴多金属矿床特征[J]. 地质与勘探, 42(3): 30~35.
- 袁洪林,吴福元,高山,等. 2003. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析[J]. 科学通报, 48(14): 1511~1520.
- 张晓飞,李智明,陈 博,等. 2012. 东昆仑祁漫塔格地区滩间山群砂卡岩化成矿作用[J]. 西北地质, 45(1): 40~47.