

文章编号: 0254-5357(2013)01-0157-09

# 新疆富蕴县库额尔齐斯铁矿成因机制探讨研究

张 超<sup>1</sup>, 刘 锋<sup>2\*</sup>, 杨富全<sup>2</sup>

(1. 广东省地质局七一九地质大队, 广东 肇庆 526020;

2. 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

**摘要:** 目前针对阿尔泰山南缘一带的小型富铁矿床研究明显不足。本文研究了库额尔齐斯富铁矿的成矿时代及成矿机制, 为区域铁成矿规律和成矿预测提供基础资料。野外地质调查表明, 该矿床地质特征具有火山沉积成因, 但主要与花岗斑岩侵入的热液活动有关, 二长花岗岩对铁矿有破坏作用。利用激光剥蚀-多接收器电感耦合等离子体质谱法测定了矿区两个花岗岩体的年龄, 利用同位素质谱计测定了矿床中黄铁矿的硫同位素组成, 分析表明花岗斑岩锆石 18 个测点在谐和线上成群分布,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄值集中在 273 ~ 282.6 Ma, 加权平均年龄为  $(278.7 \pm 0.94)$  Ma (MSDW = 1.6); 二长花岗岩 12 个测点集中成群分布,  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄值集中在 271.8 ~ 276.8 Ma, 加权平均年龄为  $(274.1 \pm 1.1)$  Ma (MSDW = 0.47)。黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}$  值变化于  $-7.2\text{‰}$  ~  $0.7\text{‰}$ , 多为负值, 但大多数集中在 0 值附近, 表明深源岩浆在向上运移过程中可能与围岩或早期沉积铁矿发生了明显的硫同位素交换, 暗示铁的富集成矿主要发生在花岗斑岩侵入的热液期。综合区域研究认为, 矿区花岗岩均属于阿尔泰山南缘广泛发育的早二叠世时期岩浆事件, 形成于板内伸展拉张环境。该期岩浆活动也伴随了铁等广泛的金属成矿作用。

**关键词:** LA-MC-ICP-MS U-Pb 定年; 硫同位素组成; 岩浆热液成因; 库额尔齐斯铁矿

**中图分类号:** O657.63; P578.12

**文献标识码:** A

我国铁矿石资源丰富, 储量居世界第五位<sup>[1]</sup>; 但是资源禀赋条件很差, 贫矿多, 富矿少, 铁矿石平均品位只有 33%, 比世界铁矿石供应大国的平均品位低 20%<sup>[2]</sup>。我国西北地区已探明铁资源量对国内铁资源总量的贡献较少, 比重仅为 4%, 原因主要是在西北地区铁的勘查、研究程度较低、资源预测不足<sup>[3]</sup>。目前, 经济的持续高速发展已经突显出我国铁矿石等战略矿产资源的短缺性, 因此在勘查程度低的地区加强铁矿石资源找矿和研究, 寻找大矿和富矿资源后备基地的任务紧迫。

近些年来, 依托国家科技支撑计划等科研项目, 一些矿床学工作者针对新疆阿尔泰山南缘一带尤其是阿舍勒、冲乎尔、克兰、麦兹四个泥盆纪火山沉积盆地中分布的主要铁矿床成矿作用及其成矿规律、成矿潜力进行较为系统的研究, 获得了较丰富的科研成果。除此之外, 其他小型铁矿床(如库额尔齐斯)

还没有得到较好关注。库额尔齐斯铁矿床位于新疆富蕴县境内, 属一小型富铁矿床, 代表区内一种铁成矿作用类型, 研究和查清这类矿床的成矿作用、成矿机制, 不仅可以为研究、总结区域铁成矿规律提供基础资料, 也能为寻找同类型富铁矿床提供找矿方向。本文对库额尔齐斯铁矿床开展详细的野外地质调查, 在此基础上, 利用激光剥蚀-多接收器电感耦合等离子体质谱法(LA-MC-ICP-MS)锆石精确定年技术和稳定同位素测试技术, 进行年代学和硫同位素组成等特征的研究, 探讨该铁矿成矿时代、成矿物质来源等, 总结其成矿作用、成矿机制。

## 1 区域地质背景

库额尔齐斯铁矿床产于准噶尔褶皱系北缘与阿尔泰山褶皱系的接合带内, 隶属阿尔泰山带南缘南界附近。大地构造上位于哈萨克斯坦-准噶尔板块

收稿日期: 2012-02-24; 接受日期: 2012-10-24

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAB06B03-02); 国土资源部公益性行业专项资金课题(200911007-10, 200911043-20)

作者简介: 张超, 工程师, 矿床学专业。E-mail: czcl719@sina.com。

通讯作者: 刘锋, 研究员, 主要从事矿床地球化学的研究。E-mail: liufeng@cags.ac.cn。

与西伯利亚板块之间的额尔齐斯构造混杂带(图1),南距额尔齐斯断裂不远,北侧与克兹加尔-特斯巴汗大断裂相邻。区域出露地层以古生界泥盆系、石炭系为主,其次为新生界第三系和第四系。区域岩浆活动频繁,海西中晚期侵入岩为主,花岗岩分布广泛,次为中基性岩体(如辉绿岩、辉绿玢岩、闪长岩、闪长玢岩等),多呈岩脉、岩株、岩枝等形态产出。区内构造活动强烈,经多次构造变动,形成了一系列NW-SE向褶皱和断裂。在此基础上又叠加NNW、NNW向构造,形态复杂,成矿活动明显。

2 矿床地质特征

矿区出露上石炭统喀喇额尔齐斯组(图1)。地层陡倾,总体走向113°。该组可分为四个岩性段,第四岩性段为矿床赋矿层位,岩性主要为斜长片麻岩、角闪斜长片岩、变砂岩等。矿区较大型的断裂为北东向压扭性断裂,斜切并错断矿体。矿区西南部发育酸性侵入岩,以二长花岗岩、花岗斑岩为主。

铁矿体呈层状、透镜状不连续带状分布,产出受角闪斜长片麻岩层位控制,分带性明显。由内向外依次为:块状矿体→条带状及浸染状矿体→斜长片麻岩。矿石以块状为主,部分矿石中表现出变余微

细层理。金属矿化以磁铁矿为主,少量磁赤铁矿、钛铁矿、黄铁矿。围岩蚀变发育于矿体或花岗斑岩脉与角闪斜长片麻岩的接触带,矿体膨大部分尤为发育,以绿帘石化、绿泥石化、阳起石化、透-钙铁辉石化为主。其中绿帘石-绿泥石-阳起石化蚀变与铁矿化密切相关,铁富集程度与蚀变强弱正相关。

3 岩体地质及岩石学

矿区出露的二长花岗岩呈岩枝及岩株状产出,在部分地段穿切矿体,为成矿期后侵入。花岗斑岩多分布于矿体内及其附近,呈岩脉,岩墙产出,平行于矿体分布,经野外地质观察认为与铁矿有成因联系。

二长花岗岩为肉红色,半自形-它形粒状结构,局部为文象结构,块状构造,由条纹长石、钾长石、斜长石、石英及少量黑云母组成,其中条纹长石、钾长石占25%~30%,粒径0.4~3mm;斜长石占20%~25%,粒径0.6~2mm;石英占30%~35%,粒径0.4~2mm,充填在长石间;黑云母占1%~5%,呈片状,部分已蚀变为绿泥石。副矿物有十字石、电气石、矽线石、钛铁矿等。

花岗斑岩呈肉红色,具斑状结构,块状构造,斑

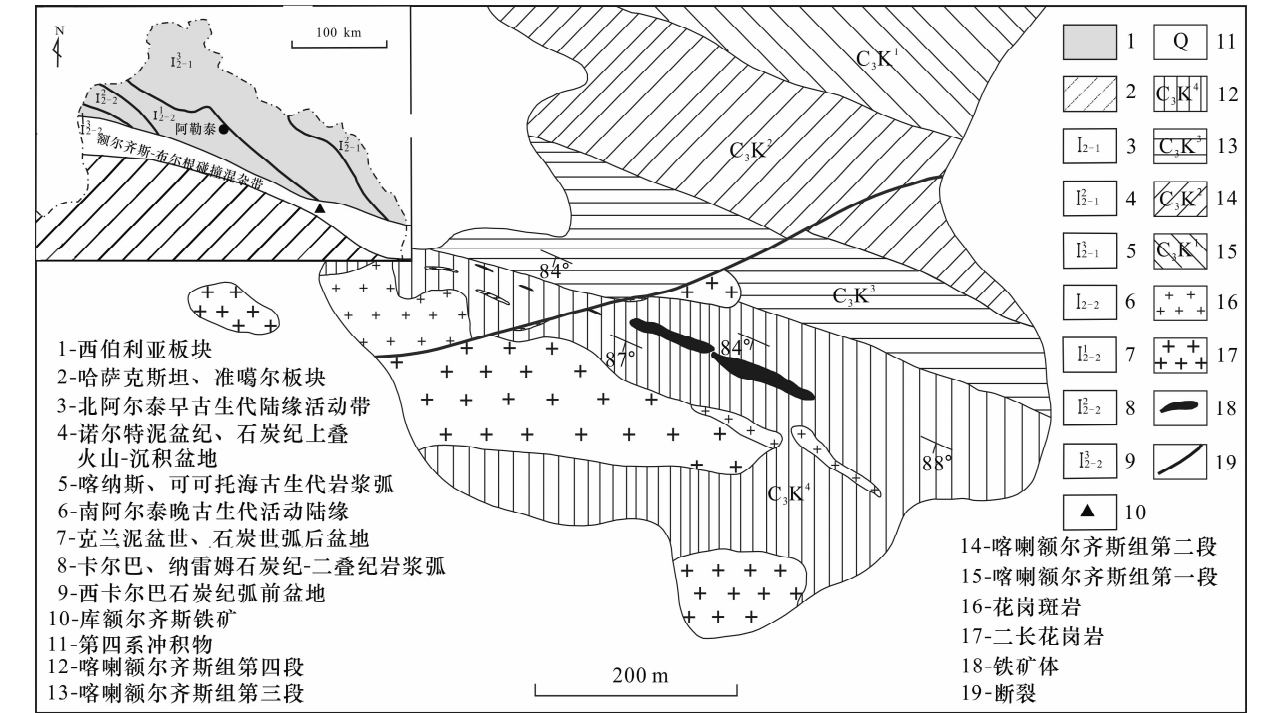


图1 库额尔齐斯铁矿床地质图(矿区地质图据甘肃煤田一四五队修编,构造图据文献[4]编绘)  
Fig.1 The geological map of Kuerqis iron deposit (The geological map of the iron deposit was modified from the coal exploration party of No. 145 in Gansu Province; The tectonic map was modified from reference [4])

晶含量占 30% 左右,成分为斜长石、钾长石及石英,粒径为 0.25 ~ 0.4 mm;基质为全晶质,成分为钾长石、斜长石、石英及少量的黑云母等,粒度 0.05 ~ 0.2 mm。

## 4 岩体锆石 U - Pb 年代学研究

### 4.1 样品采集及分析方法

分别采集矿区内二长花岗岩和矿体附近花岗斑岩的新鲜岩石样品,用于挑选锆石并进行成岩年龄测定。锆石单矿物的挑选由河北省廊坊市科大技术服务公司完成。锆石样品靶的制作和锆石阴极发光照相在北京离子探针中心进行。

锆石 U - Pb 定年在中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室 LA - MC - ICP - MS 完成,所用仪器为 Finnigan Neptune 型 MC - ICP - MS 及与之配套的 Newwave UP 213 激光剥蚀系统<sup>[5]</sup>。锆石定年激光剥蚀的斑束直径为 25  $\mu\text{m}$ ,频率为 10 Hz,能量密度约为 2.5 J/cm<sup>2</sup>,以 He 为载气。信号较小的<sup>207</sup>Pb、<sup>206</sup>Pb、<sup>204</sup>Pb ( + <sup>204</sup>Hg) 和<sup>202</sup>Hg 用离子计数器接收,<sup>208</sup>Pb、<sup>232</sup>Th、<sup>238</sup>U 信号用法拉第杯接收,实现所有目标同位素信号的同时接收,且不同质量数的峰基本上都是平坦的,进而可以获得高精度的数据,均匀锆石颗粒<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb、<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>Pb、<sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U 的测试精度 (2 $\sigma$ ) 均为 2% 左右,对锆石标准的定年精度和准确度在 1% 左右 (2 $\sigma$ )。LA - MC - ICP - MS 激光剥蚀采样采用单点剥蚀的方式,数据分析前用锆石 GJ - 1 进行调试仪器,使之达到最优状态。锆石 U - Pb 定年以锆石 GJ - 1 为外标,U、Th 含量以锆石 M127 (U 含量 923  $\mu\text{g/g}$ ,Th 含量 439  $\mu\text{g/g}$ ,Th/U 比值 0.475)<sup>[6]</sup> 为外标进行校正。在测试过程中每测定 10 个样品点后,前后重复测定 3 个锆石标准样品 (2 个 GJ - 1 和 1 个 Plešovice) 进行校正,观察仪器的状态以保证测试精度。样品的同位素比值和元素含量计算采用 ICP - MS DataCal 程序处理<sup>[6]</sup>,<sup>204</sup>Pb 由离子计数器检测。<sup>204</sup>Pb 含量异常高的分析点可能受包裹体等普通铅的影响,对<sup>204</sup>Pb 含量异常高的分析点在计算式中剔除。锆石年龄谐和图用 Isoplot 3.0 程序<sup>[7]</sup> 获得,表达式中所列单个数据点的误差均为 1 $\sigma$ ,加权平均年龄具 95% 的置信度,年龄值选用<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄。

### 4.2 锆石特征及定年结果

花岗斑岩锆石阴极发光照片 (图 2) 显示,锆石主要呈浅灰褐色、半透明状,表面一般较光滑,常见表面分布着较多裂纹,有些较粗糙具蚀变斑点;锆石形态多不完整,呈 100 ~ 170  $\mu\text{m}$  的碎块。从残留的

晶型判断,锆石颗粒一般较大 (200 ~ 300  $\mu\text{m}$ ),呈板柱状,长宽比在 1 : 2 ~ 1 : 3。阴极发光图像显示 (图 2a),绝大多数锆石具有显著的环带构造,有些可见锆石边缘的增生边构造。

二长花岗岩中锆石呈浅灰 - 浅褐色,表面一般较光滑,裂纹较花岗斑岩不发育。锆石形态相对完整,大小一般为 120 ~ 160  $\mu\text{m}$ ,呈短柱状或板状,长宽比 1 : 2。较多锆石呈棱角不分明的圆弧状,或颗粒边缘呈港湾状 (图 2b)。锆石晶体内较发育振荡环带结构,是典型的岩浆成因锆石。

通过透射光、反射光和阴极发光图像研究,分别在上述两种花岗岩中各选择 20 颗锆石进行 LA - MC - ICPMS 的 U - Pb 分析,年龄分析结果列于表 1。本次锆石定年过程中测得 Plešovice 标准样品的结果为 (337.48  $\pm$  0.66) Ma ( $n = 5, 2\sigma$ ),其年龄推荐值为 (337.13  $\pm$  0.37) Ma (2 $\sigma$ )<sup>[8]</sup> (Slama 等,2008),两者在误差范围内一致,说明本次测年分析是准确、可靠的。表 1 显示,绝大多数测点数据的谐和度在 98% 以上,仅花岗斑岩样品的 2 号测点数据谐和度略低,为 93%。花岗斑岩中锆石 U 含量变化不大,在 186.3 ~ 423.5  $\mu\text{g/g}$ ,多数集中在 200 ~ 300  $\mu\text{g/g}$ ; Th 含量变化也不大,在 101.3 ~ 298.1  $\mu\text{g/g}$ ; Th/U 比值为 0.34 ~ 0.81,均大于 0.1,表明锆石为岩浆成因<sup>[9-10]</sup>。20 个测点中 19 个测点都位于谐和线上或附近 (图 3),一个测点 (2 号点) 偏离谐和线较远。谐和线上或附近的测点有 18 个点成群分布,而另一点 (14 号点) 偏离群较远。考虑到 2 号测点靠近核部位置 (图 2a),其年龄值 (283.1 Ma) 可能是继承锆石与新生锆石的混合年龄,且发生明显放射成因 Pb 丢失,使得测点偏离谐和线较远;而 14 号测点年龄值 (266 Ma) 可能混合有变质年龄。因此上述两个测点年龄不参加年龄计算。其余 18 个测点年龄值集中在 273 ~ 282.6 Ma,基本给出一致的<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄,<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 加权平均年龄为 (278.7  $\pm$  0.94) Ma (MSDW = 1.6),即可代表花岗斑岩体的形成时代。二长花岗岩中锆石 U 含量变化很大,在 7.3 ~ 960.7  $\mu\text{g/g}$ ; Th 含量变化较大,在 3.9 ~ 239.4  $\mu\text{g/g}$ 。各测点 U、Th 含量表现出较好的相关性,Th/U 值为 0.03 ~ 1.19,其中的 4 个测点 Th/U 值小于 0.1,反映这些锆石可能具有部分变质特征,其余均显著大于 0.1,综合判断锆石主要表现为岩浆成因<sup>[9-10]</sup>。20 个测点均分布于谐和线上及附近,可分为三组。3 号年龄 (420.4  $\pm$  6.6) Ma 和 8 号年龄 (421.2  $\pm$  10.1) Ma,这两个测点组成 420 Ma 左右的年龄值,

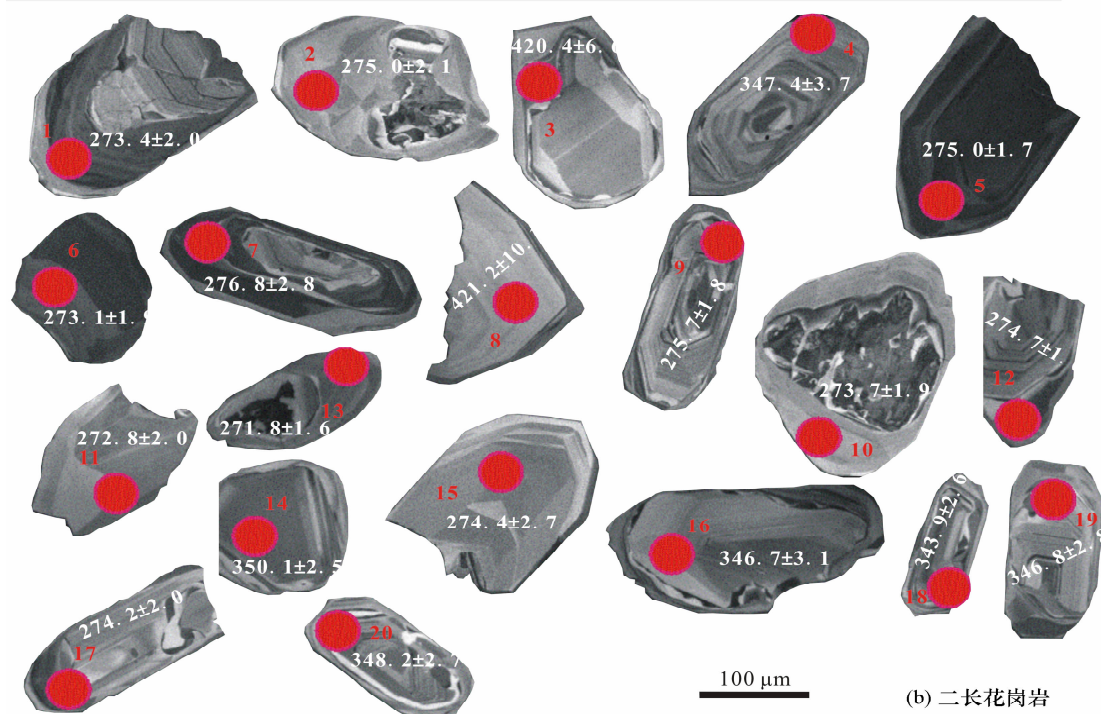
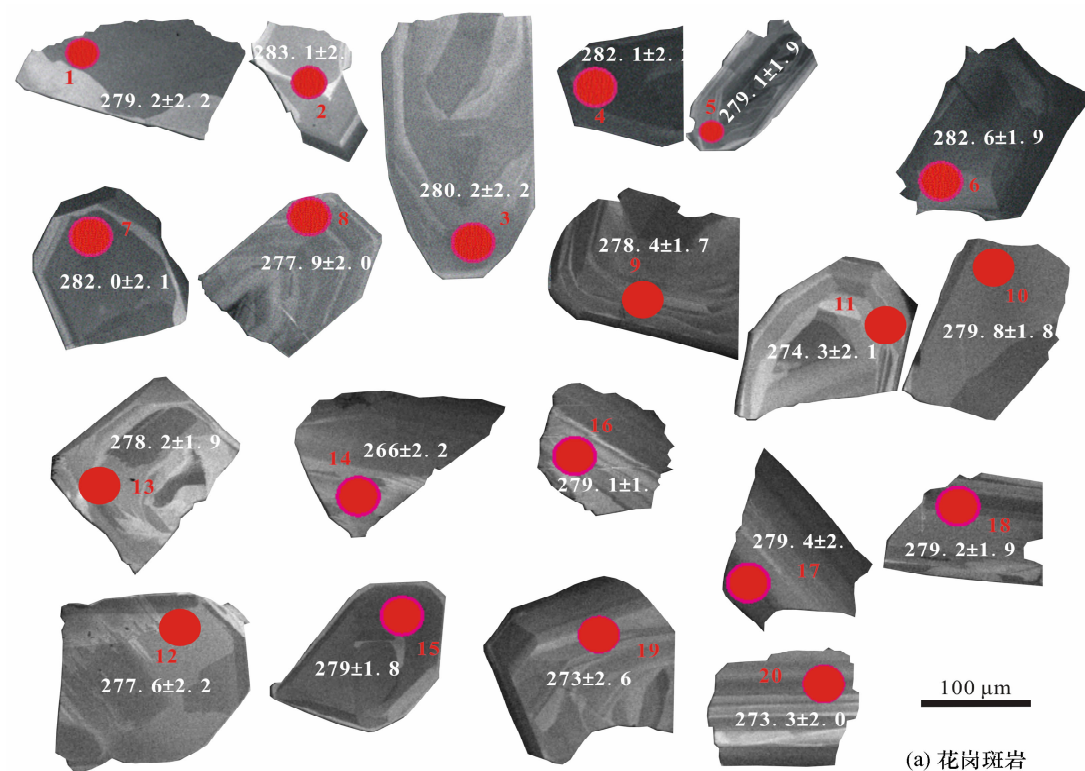


图2 花岗斑岩(a)和二长花岗岩(b)中锆石的阴极发光图像

Fig.2 Cathodoluminescence images of the zircons from (a) granitic porphyry and (b) monzonitic granite

可能代表了继承锆石和捕获锆石的年龄值;4、14、16、18、19、20号等6个测点年龄值在344~350 Ma,集中于347 Ma左右,可能是捕获的早石炭世岩浆成因锆石(图2b)。其余12个测点都位于谐和线上且

集中成群分布(图4),年龄值集中在271.8~276.8 Ma,基本给出一致的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $(274.1 \pm 1.1) \text{ Ma}$  ( $\text{MSDW} = 0.47$ ),与等时线年龄完全一致,代表了岩体的形成时代。

表 1  矿区花岗斑岩和二长花岗岩锆石 U – Pb 定年数据  
Table 1  The U-Pb dating data of granitic porphyry and monzonitic granite

| 花岗岩锆石 U - Pb 同位素分析数据 |                                         |       |      |                                  |          |                                  |         |                                   |         |                                   |         |                                  |     |                                  |     |                                   |       |     |
|----------------------|-----------------------------------------|-------|------|----------------------------------|----------|----------------------------------|---------|-----------------------------------|---------|-----------------------------------|---------|----------------------------------|-----|----------------------------------|-----|-----------------------------------|-------|-----|
| 测点                   | $w_B/(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$ |       | Th/U | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ |          | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ |         | $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ |         | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ |         | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ |     | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ |     | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ |       | 谐和度 |
|                      | U                                       | Th    |      | 比值                               | 1σ       | 比值                               | 1σ      | 比值                                | 1σ      | 比值                                | 1σ      | 年龄/Ma                            | 1σ  | 年龄/Ma                            | 1σ  | 年龄/Ma                             | 1σ    |     |
| ker01-1              | 353.5                                   | 286.2 | 0.81 | 0.044                            | 0.000364 | 0.32                             | 0.00264 | 0.0035                            | 0.00024 | 0.052                             | 0.00040 | 279.2                            | 2.2 | 281.6                            | 2.0 | 305.6                             | 12.0  | 99% |
| ker01-2              | 242.4                                   | 128.7 | 0.53 | 0.045                            | 0.000394 | 0.35                             | 0.0031  | 0.0038                            | 0.00031 | 0.056                             | 0.00041 | 283.1                            | 2.4 | 301.6                            | 2.3 | 450.0                             | 21.3  | 93% |
| ker01-3              | 236.0                                   | 141.4 | 0.60 | 0.044                            | 0.000360 | 0.32                             | 0.00305 | 0.0034                            | 0.00029 | 0.053                             | 0.00041 | 280.2                            | 2.2 | 283.5                            | 2.3 | 322.3                             | 18.5  | 98% |
| ker01-4              | 265.0                                   | 138.2 | 0.52 | 0.045                            | 0.000357 | 0.32                             | 0.00243 | 0.0026                            | 0.00023 | 0.052                             | 0.00034 | 282.1                            | 2.2 | 283.6                            | 1.9 | 301.9                             | 17.6  | 99% |
| ker01-5              | 304.8                                   | 145.3 | 0.48 | 0.044                            | 0.000311 | 0.32                             | 0.00244 | 0.0033                            | 0.00023 | 0.053                             | 0.00031 | 279.1                            | 1.9 | 282.2                            | 1.9 | 309.3                             | 13.0  | 98% |
| ker01-6              | 384.9                                   | 298.1 | 0.77 | 0.045                            | 0.000306 | 0.33                             | 0.00249 | 0.0027                            | 0.00016 | 0.053                             | 0.00031 | 282.6                            | 1.9 | 285.9                            | 1.9 | 322.3                             | 14.8  | 98% |
| ker01-7              | 341.1                                   | 166.0 | 0.49 | 0.045                            | 0.000338 | 0.32                             | 0.00263 | 0.0040                            | 0.00026 | 0.052                             | 0.00030 | 282.0                            | 2.1 | 283.9                            | 2.0 | 298.2                             | 17.6  | 99% |
| ker01-8              | 281.3                                   | 133.9 | 0.48 | 0.044                            | 0.000321 | 0.31                             | 0.0026  | 0.0031                            | 0.00025 | 0.052                             | 0.00033 | 277.9                            | 2.0 | 276.9                            | 2.0 | 333.4                             | 14.8  | 99% |
| ker01-9              | 207.5                                   | 132.1 | 0.64 | 0.044                            | 0.000281 | 0.32                             | 0.00319 | 0.0023                            | 0.00021 | 0.052                             | 0.00041 | 278.4                            | 1.7 | 279.7                            | 2.5 | 287.1                             | -13.9 | 99% |
| ker01-10             | 228.2                                   | 148.9 | 0.65 | 0.044                            | 0.000295 | 0.33                             | 0.00262 | 0.0023                            | 0.00019 | 0.054                             | 0.00040 | 279.8                            | 1.8 | 289.4                            | 2.0 | 368.6                             | 16.7  | 96% |
| ker01-11             | 186.3                                   | 131.1 | 0.70 | 0.043                            | 0.000345 | 0.31                             | 0.00325 | 0.0026                            | 0.00022 | 0.052                             | 0.00039 | 274.3                            | 2.1 | 275.0                            | 2.5 | 279.7                             | 18.5  | 99% |
| ker01-12             | 186.5                                   | 127.4 | 0.68 | 0.044                            | 0.000357 | 0.32                             | 0.00354 | 0.0027                            | 0.00023 | 0.052                             | 0.00047 | 277.6                            | 2.2 | 279.7                            | 2.7 | 298.2                             | 20.4  | 99% |
| ker01-13             | 198.0                                   | 128.0 | 0.65 | 0.044                            | 0.000311 | 0.31                             | 0.00297 | 0.0029                            | 0.00023 | 0.051                             | 0.0004  | 278.2                            | 1.9 | 273.5                            | 2.3 | 235.3                             | 16.7  | 98% |
| ker01-14             | 197.4                                   | 113.2 | 0.57 | 0.042                            | 0.000352 | 0.30                             | 0.00311 | 0.0026                            | 0.00021 | 0.052                             | 0.00038 | 266.0                            | 2.2 | 269.7                            | 2.4 | 301.9                             | 16.7  | 98% |
| ker01-15             | 310.0                                   | 147.0 | 0.47 | 0.044                            | 0.000295 | 0.32                             | 0.00228 | 0.0024                            | 0.00019 | 0.052                             | 0.00031 | 279.0                            | 1.8 | 279.9                            | 1.8 | 287.1                             | 13.0  | 99% |
| ker01-16             | 187.1                                   | 109.2 | 0.58 | 0.044                            | 0.000296 | 0.31                             | 0.00291 | 0.0026                            | 0.00022 | 0.052                             | 0.00037 | 279.1                            | 1.8 | 277.7                            | 2.3 | 264.9                             | 13.9  | 99% |
| ker01-17             | 423.5                                   | 265.6 | 0.63 | 0.044                            | 0.000318 | 0.31                             | 0.00236 | 0.0023                            | 0.00015 | 0.051                             | 0.00027 | 279.4                            | 2.0 | 277.3                            | 1.8 | 261.2                             | 8.3   | 99% |
| ker01-18             | 300.4                                   | 101.3 | 0.34 | 0.044                            | 0.000312 | 0.31                             | 0.00259 | 0.0037                            | 0.00028 | 0.051                             | 0.00030 | 279.2                            | 1.9 | 275.0                            | 2.0 | 239.0                             | 8.3   | 98% |
| ker01-19             | 190.1                                   | 113.8 | 0.60 | 0.043                            | 0.000421 | 0.30                             | 0.00375 | 0.0021                            | 0.00021 | 0.051                             | 0.00048 | 273.0                            | 2.6 | 270.1                            | 2.9 | 255.6                             | 50.0  | 98% |
| ker01-20             | 257.3                                   | 154.9 | 0.60 | 0.043                            | 0.000321 | 0.30                             | 0.00264 | 0.0022                            | 0.0002  | 0.051                             | 0.00036 | 273.3                            | 2.0 | 268.1                            | 2.1 | 233.4                             | 16.7  | 98% |

| 二长花岗岩锆石 U - Pb 同位素分析数据 |                                         |       |      |                                  |         |                                  |         |                                   |         |                                   |         |                                  |      |                                  |      |                                   |       |     |
|------------------------|-----------------------------------------|-------|------|----------------------------------|---------|----------------------------------|---------|-----------------------------------|---------|-----------------------------------|---------|----------------------------------|------|----------------------------------|------|-----------------------------------|-------|-----|
| 测点                     | $w_B/(\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$ |       | Th/U | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ |         | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ |         | $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ |         | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ |         | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ |      | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ |      | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ |       | 谐和度 |
|                        | U                                       | Th    |      | 比值                               | 1σ      | 比值                               | 1σ      | 比值                                | 1σ      | 比值                                | 1σ      | 年龄/Ma                            | 1σ   | 年龄/Ma                            | 1σ   | 年龄/Ma                             | 1σ    |     |
| ker02-1                | 681.1                                   | 82.6  | 0.12 | 0.043                            | 0.00032 | 0.31                             | 0.00239 | 0.0030                            | 0.00031 | 0.052                             | 0.00025 | 273.4                            | 2.0  | 275.1                            | 1.8  | 300.1                             | 9.3   | 99% |
| ker02-2                | 241.9                                   | 113.1 | 0.47 | 0.044                            | 0.00035 | 0.31                             | 0.00334 | 0.0031                            | 0.00029 | 0.052                             | 0.00040 | 275.0                            | 2.1  | 277.3                            | 2.6  | 294.5                             | 21.3  | 99% |
| ker02-3                | 196.3                                   | 24.8  | 0.13 | 0.067                            | 0.00109 | 0.51                             | 0.00962 | 0.0166                            | 0.00168 | 0.055                             | 0.00036 | 420.4                            | 6.6  | 420.8                            | 6.5  | 416.7                             | -17.6 | 99% |
| ker02-4                | 122.8                                   | 32.0  | 0.26 | 0.055                            | 0.00060 | 0.40                             | 0.00459 | 0.0097                            | 0.00097 | 0.053                             | 0.00039 | 347.4                            | 3.7  | 342.5                            | 3.3  | 322.3                             | 16.7  | 98% |
| ker02-5                | 960.7                                   | 239.4 | 0.25 | 0.044                            | 0.00028 | 0.31                             | 0.00238 | 0.0026                            | 0.00020 | 0.052                             | 0.00027 | 275.0                            | 1.7  | 274.1                            | 1.8  | 264.9                             | 13.0  | 99% |
| ker02-6                | 613.7                                   | 114.6 | 0.19 | 0.043                            | 0.00030 | 0.31                             | 0.00244 | 0.0035                            | 0.00032 | 0.051                             | 0.00022 | 273.1                            | 1.9  | 271.8                            | 1.9  | 261.2                             | 41.7  | 99% |
| ker02-7                | 581.1                                   | 53.3  | 0.09 | 0.044                            | 0.00045 | 0.32                             | 0.00354 | 0.0050                            | 0.00054 | 0.052                             | 0.00029 | 276.8                            | 2.8  | 278.3                            | 2.7  | 300.1                             | 11.1  | 99% |
| ker02-8                | 7.3                                     | 3.9   | 0.53 | 0.068                            | 0.00167 | 0.54                             | 0.03039 | 0.1032                            | 0.02170 | 0.059                             | 0.00331 | 421.2                            | 10.1 | 438.2                            | 20.0 | 553.7                             | 119.4 | 96% |
| ker02-9                | 460.0                                   | 23.0  | 0.05 | 0.044                            | 0.00029 | 0.31                             | 0.00230 | 0.0119                            | 0.00148 | 0.052                             | 0.00027 | 275.7                            | 1.8  | 275.2                            | 1.8  | 272.3                             | 11.1  | 99% |
| ker02-10               | 143.5                                   | 68.1  | 0.47 | 0.043                            | 0.00031 | 0.30                             | 0.00360 | 0.0042                            | 0.00052 | 0.051                             | 0.00053 | 273.7                            | 1.9  | 270.1                            | 2.8  | 239.0                             | 24.1  | 98% |
| ker02-11               | 160.2                                   | 79.0  | 0.49 | 0.043                            | 0.00032 | 0.31                             | 0.00372 | 0.0042                            | 0.00045 | 0.052                             | 0.00050 | 272.8                            | 2.0  | 272.2                            | 2.9  | 333.4                             | 22.2  | 99% |
| ker02-12               | 654.5                                   | 20.0  | 0.03 | 0.044                            | 0.00026 | 0.31                             | 0.00241 | 0.0099                            | 0.00124 | 0.052                             | 0.00026 | 274.7                            | 1.6  | 275.3                            | 1.9  | 279.7                             | -16.7 | 99% |
| ker02-13               | 415.7                                   | 90.2  | 0.22 | 0.043                            | 0.00026 | 0.31                             | 0.00247 | 0.0041                            | 0.00039 | 0.052                             | 0.00031 | 271.8                            | 1.6  | 273.6                            | 1.9  | 300.1                             | 13.0  | 99% |
| ker02-14               | 159.8                                   | 190.8 | 1.19 | 0.056                            | 0.00042 | 0.42                             | 0.00401 | 0.0033                            | 0.00024 | 0.055                             | 0.00047 | 350.1                            | 2.5  | 359.6                            | 2.9  | 433.4                             | 18.5  | 97% |
| ker02-15               | 291.4                                   | 175.2 | 0.60 | 0.043                            | 0.00044 | 0.31                             | 0.00400 | 0.0029                            | 0.00026 | 0.051                             | 0.00037 | 274.4                            | 2.7  | 272.8                            | 3.1  | 257.5                             | 14.8  | 99% |
| ker02-16               | 117.6                                   | 55.1  | 0.47 | 0.055                            | 0.00051 | 0.41                             | 0.00564 | 0.0040                            | 0.00043 | 0.054                             | 0.00053 | 346.7                            | 3.1  | 351.5                            | 4.0  | 383.4                             | 22.2  | 98% |
| ker02-17               | 398.6                                   | 32.4  | 0.08 | 0.043                            | 0.00033 | 0.31                             | 0.00299 | 0.0074                            | 0.00105 | 0.051                             | 0.00027 | 274.2                            | 2.0  | 272.7                            | 2.3  | 257.5                             | 38.9  | 99% |
| ker02-18               | 211.8                                   | 80.6  | 0.38 | 0.055                            | 0.00043 | 0.40                             | 0.00403 | 0.0044                            | 0.00045 | 0.054                             | 0.00037 | 343.9                            | 2.6  | 344.9                            | 2.9  | 350.1                             | 10.2  | 99% |
| ker02-19               | 179.1                                   | 85.7  | 0.48 | 0.055                            | 0.00045 | 0.41                             | 0.00357 | 0.0047                            | 0.00045 | 0.054                             | 0.00037 | 346.8                            | 2.8  | 351.1                            | 2.6  | 383.4                             | 14.8  | 98% |
| ker02-20               | 345.3                                   | 137.4 | 0.40 | 0.056                            | 0.00044 | 0.42                             | 0.00319 | 0.0034                            | 0.00033 | 0.055                             | 0.00032 | 348.2                            | 2.7  | 357.0                            | 2.3  | 416.7                             | -17.6 | 97% |

4.3  岩体侵入时代及其地质意义

前人对矿区出露的两个花岗岩体没有进行较详细的研究,尤其是年代学方面还缺乏精确测定。本文 LA – MC – ICP – MS 定年结果表明,花岗斑岩年

龄为(278.7 ±0.94) Ma,二长花岗岩年龄为(274.1 ±1.1) Ma,均形成于早二叠世时期。结合二者的定年结果和岩石学特征以及铁矿化特征判断:这两个岩体可能是同一岩浆房内岩浆在不同阶段侵入的

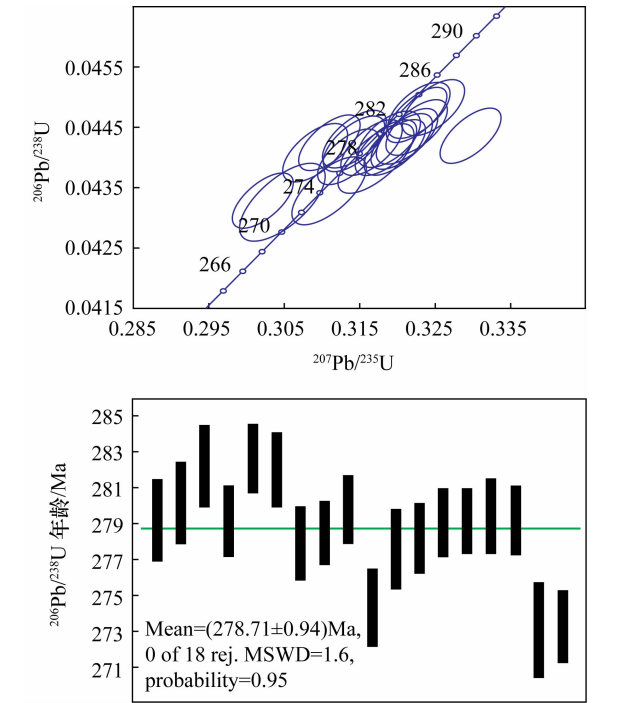


图 3 花岗斑岩锆石 LA - MC - ICP - MS U - Pb 年龄谐和图  
Fig. 3 Zircon LA-MC-ICP-MS U-Pb concordia diagrams of granitic porphyry

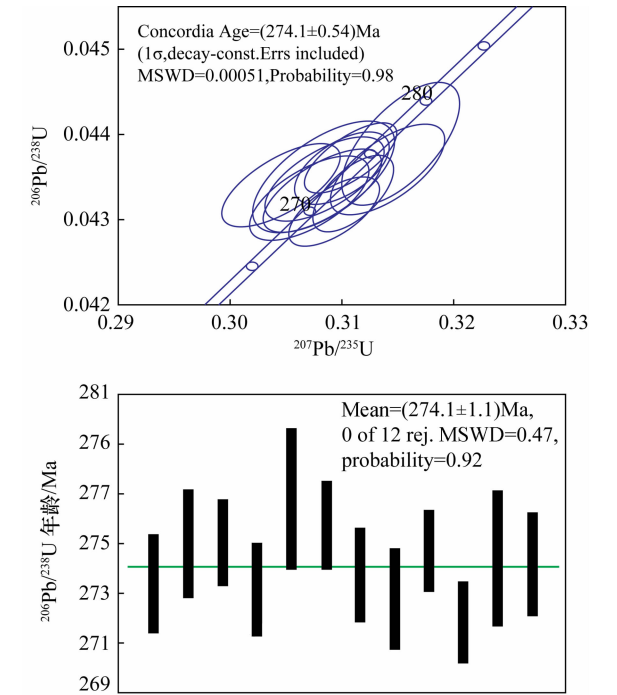


图 4 二长花岗岩锆石 LA - MC - ICP - MS U - Pb 年龄谐和图  
Fig. 4 Zircon LA-MC-ICP-MS U-Pb concordia diagrams of monzonitic granite

产物;花岗斑岩形成于早期阶段的浅部,并伴随铁的矿化作用;而二长花岗岩则形成于晚阶段的相对深部,同时对早期铁矿化具有破坏作用。

研究表明,进入中石炭世时期,阿尔泰已经完成俯冲碰撞过程,造山带已基本成形,进入板内演化过程<sup>[11]</sup>。额尔齐斯构造带即为阿尔泰造山带或西伯利亚板块南侧的分界<sup>[12]</sup>。从目前已有的同位素年代学研究成果来看,奥陶纪中期 - 泥盆纪时期是该区岩浆侵入活动最为强烈的时期。尽管如此,阿尔泰造山带中尤其是阿尔泰南缘或额尔齐斯构造混杂带内及附近也广泛发育一些海西晚期形成的侵入岩,多呈岩株状或线状展布的岩体分布,如 280 Ma 左右形成的塔克什肯口岸富碱侵入岩体 (286 Ma)<sup>[13]</sup>、乌夏沟苏长 - 正长岩岩体 (275.9 Ma)<sup>[14]</sup>、喀拉通克铜镍矿苏长岩体 (287 Ma)<sup>[15]</sup>、玛因鄂博断裂带中的花岗质糜棱岩体 (281 Ma)<sup>[16]</sup>、断裂带北东侧的玛因鄂博花岗岩体 (283 Ma)<sup>[17]</sup>、富蕴南线形花岗岩体 (281 Ma 和 275 Ma)<sup>[18]</sup>、可斯尔鬼花岗岩体 (286.6 Ma,刘锋等,2012,待发表)<sup>[19]</sup>、喇嘛昭花岗岩 (276 Ma)<sup>[20]</sup>、克因布拉克矿区二云母正长花岗岩体 (278.6 Ma)<sup>[21]</sup>,以及本文的花岗斑岩、二长花岗岩等。阿尔泰南缘在海西晚期 280 Ma 左右时期正处于后碰撞环境<sup>[22-24]</sup>,指示上述岩体均形成于相同的构造环境。

新疆北部乃至整个中亚造山带发育大量晚石炭世 - 早二叠世 (300 ~ 270 Ma) 岩浆事件和二叠纪裂谷盆地指示了板内大规模的地壳伸展<sup>[20,25-28]</sup>。阿尔泰南缘额尔齐斯 - 玛因鄂博断裂带南侧的阿热勒托别岩体 (300 Ma) 被认为是拉张作用较早期的产物,而玛因鄂博断裂带中的花岗质糜棱岩体 (281 Ma)、断裂带北侧玛因鄂博花岗岩体 (283 Ma) 等形成于拉张作用较晚期<sup>[16]</sup>。本文研究的这两个酸性岩体产于额尔齐斯构造带,它们的侵入时期也正好位于本区晚石炭世 - 早二叠世地壳伸展拉张作用环境下的岩浆活动期内。

5 稳定同位素特征研究

5.1 样品及分析方法

硫同位素样品采自铁矿体中及矿体边部含磁铁矿热液蚀变岩中的黄铁矿,共计 15 件。黄铁矿单矿物的挑选由河北省廊坊市科大技术服务公司完成,单矿物纯度达 99% 以上。黄铁矿硫同位素测试在中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室完成。

硫同位素分析流程为:在高温、真空条件下,硫

化物样品以  $\text{Cu}_2\text{O}$  作为氧化剂制样,提纯为纯净的  $\text{BaSO}_4$ ,再用  $\text{V}_2\text{O}_5$  氧化法制备  $\text{SO}_2$ ,释放的  $\text{SO}_2$  进行硫同位素测试。硫同位素比值采用 MAT 251 EM 质谱计进行测试,以国际标准样品 V - CDT 为标准,分析精密密度达  $\pm 0.2\text{‰}$ 。

5.2 同位素分析结果及其地质意义

黄铁矿硫同位素分析结果列于表 2。库额尔齐斯铁矿中黄铁矿  $\delta^{34}\text{S}$  值变化于  $-7.2\text{‰} \sim 0.7\text{‰}$ ,多数为负值,总体分布于 0 值附近,集中于  $-3.0\text{‰} \sim -1.0\text{‰}$  之间,平均值  $-1.6\text{‰}$ 。硫同位素组成直方图(图 5)显示  $\delta^{34}\text{S}$  值分布并非塔式的正态分布,而是左倾的单边分布。 $\delta^{34}\text{S}$  值在  $-1.0\text{‰} \sim 1.0\text{‰}$ ,为相对峰值。

表 2 矿床硫同位素组成结果

Table 2 The isotopic component for sulfur in deposit

| 样品<br>编号 | 矿物<br>名称 | $\delta^{34}\text{S}_{\text{V}-\text{CDT}}/\text{‰}$ | 样品<br>编号 | 矿物<br>名称 | $\delta^{34}\text{S}_{\text{V}-\text{CDT}}/\text{‰}$ |
|----------|----------|------------------------------------------------------|----------|----------|------------------------------------------------------|
| Ker 14   | 黄铁矿      | -7.2                                                 | Ker 26   | 黄铁矿      | -2.4                                                 |
| Ker 15   | 黄铁矿      | -3.9                                                 | Ker 27   | 黄铁矿      | -2.5                                                 |
| Ker 20   | 黄铁矿      | -2.9                                                 | Ker 34   | 黄铁矿      | -1.4                                                 |
| Ker 21   | 黄铁矿      | -0.6                                                 | Ker 35   | 黄铁矿      | 0.3                                                  |
| Ker 22   | 黄铁矿      | 0.1                                                  | Ker 36   | 黄铁矿      | 0.7                                                  |
| Ker 23   | 黄铁矿      | -0.5                                                 | Ker 40   | 黄铁矿      | 0.1                                                  |
| Ker 24   | 黄铁矿      | -1.8                                                 | Ker 41   | 黄铁矿      | -1.7                                                 |
| Ker 25   | 黄铁矿      | 0.3                                                  |          |          |                                                      |

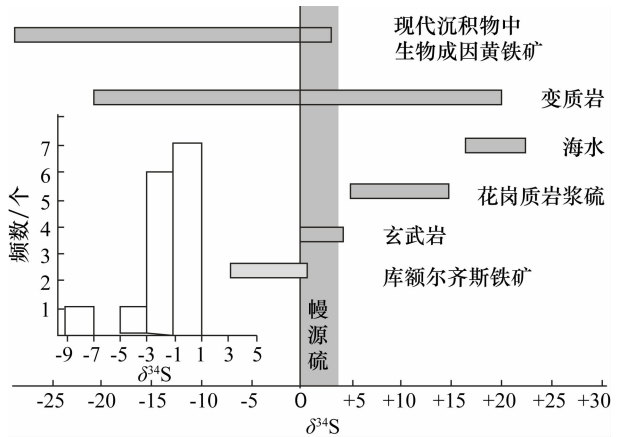


图 5 库额尔齐斯铁矿硫同位素图解

Fig. 5 The isotopic diagram of sulfur in pyrite from the Kuerqis iron deposit

图 5 显示,铁矿中 15 件黄铁矿的硫同位素组成位于沉积物和变质岩变化范围之内,但变化明显较上述二者硫同位素组成小得多,虽然有一个较小的负值( $-7.2\text{‰}$ ),但大多数集中在 0 值附近,显示成

矿物质具有幔源岩浆特征。硫同位素组成特点说明深源岩浆在向上运移过程中可能与围岩或早期沉积铁矿发生了明显的硫同位素交换。

6 结语

库额尔齐斯铁矿中矿体与地层产状具有一致性,部分矿石中表现出变余微细层理等地质特征,表明矿床具有火山沉积成因。但不可否认的是,矿石的结构构造特征、围岩蚀变特征及与铁矿体的关系、花岗斑岩与铁矿化的关系均表明矿床具有显著的岩浆热液特征。由此可见,铁矿床的形成具有沉积成因,始于晚石炭世的火山沉积,但主要与花岗斑岩的侵入活动有关,主要形成于 279 Ma 左右的花岗岩浆活动的热液期。

矿区内两个酸性侵入岩侵入时代表明,它们都属于阿尔泰南缘广泛发育的海西晚期(280 Ma 左右)的岩浆事件,产于二叠纪裂谷盆地,指示早二叠世板内地壳伸展拉张作用。库额尔齐斯铁矿的形成暗示该区域在这一时期可能存在与花岗岩热液活动有关的铁等金属成矿作用,因此有必要注意区内早二叠世花岗岩体与围岩接触带附近的找矿。

致谢: 锆石样品测年和硫同位素分析得到中国地质科学院矿产资源研究所侯可军、王成玉老师的帮助;野外工作得到新疆宏泰矿业公司的支持,在此一并表示感谢。

7 参考文献

[1] 赵一鸣. 中国铁矿资源现状、保证程度和对策[J]. 地质论评,2004,50(4): 396-417.

[2] 张涇生. 我国铁矿资源开发利用现状及发展趋势[J]. 钢铁,2007,42(2): 1-6.

[3] 焦玉书,周伟. 世界铁矿资源开发利用和我国进口铁矿石的发展态势(续)[J]. 中国冶金,2004,85(12): 15-18.

[4] 何国琦,成守德,徐新,李锦轶,郝杰. 中国新疆及邻区大地构造图(1: 2500000)说明书[M]. 北京:地质出版社,2004: 1-65.

[5] 侯可军,李延河,田有荣. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J]. 矿床地质,2009,28(4): 481-492.

[6] Nasdala L, Hofmeister W, Norberg N, Mattinson J M, Corfu F, Dor W, Kamo S L, Kennedy A K, Kronz A, Reiners P W, Frei D, Kosler J, Wan Y, Götze J, Hager T, Kröner A, Valley J. Zircon M257—A homogeneous

- natural reference material for the ion microprobe U-Pb analysis of zircon [J]. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 2008, 32: 247–265.
- [7] Ludwig K R. User's Manual for Isoplot 3.0: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2003: 1–71.
- [8] Slama J, Kosler J, Condon D J, Crowley J L, Gerdes A, Hanchar J M, Horstwood M S A, Morris G A, Nasdala L, Norberg N, Schaltegger U, Schoene B, Tubrett M N, Whitehouse M J. Plesovice zircon—A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis [J]. *Chemical Geology*, 2008, 249: 1–35.
- [9] Claesson S, Vetrin V, Bayanova T, Downes H. U-Pb zircon age from a Devonian carbonatite dyke, Kola peninsula, Russia: A record of geological evolution from the Archaean to the Palaeozoic [J]. *Lithos*, 2000, 51 (1–2): 95–108.
- [10] Belousova E A, Griffin W L, O'Reilly S Y, Fisher N I. Apatite as an indicator mineral for mineral exploration: Trace-element compositions and their relationship to host rock type [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2002, 76: 45–69.
- [11] 李锦轶. 试论中国新疆准噶尔山系古生代板块构造演化[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1991: 92–108.
- [12] 何国琦, 李茂松, 刘德权. 中国新疆古生代地壳演化及成矿[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 香港: 香港文化教育出版社, 1994: 1–437.
- [13] 童英, 王涛, Kovach V P, 洪大卫, 韩宝福. 阿尔泰中蒙边界塔克什肯口岸后造山富碱侵入岩体的形成时代、成因及其地壳生长意义[J]. 岩石学报, 2006, 22 (5): 1267–1278.
- [14] 刘崑国, 韩静波, 薛晓峰, 郭伟伟. 阿尔泰山南缘二叠纪地壳伸展减薄——来自侵入岩的证据[J]. 新疆地质, 2011, 29(3): 270–274.
- [15] 韩宝福, 季建清, 宋彪, 陈立辉, 李宗怀. 新疆喀拉通克和黄山东含铜镍矿镁铁—超镁铁杂岩体的 SHRIMP 锆石 U–Pb 年龄及其地质意义[J]. 科学通报, 2004, 49(22): 2324–2328.
- [16] 周刚, 张招崇, 王新昆, 王祥, 罗世宾, 何斌, 张小林. 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<sup>40</sup>Ar–<sup>39</sup>Ar 年龄及意义[J]. 地质学报, 2007, 81(3): 359–369.
- [17] 周刚, 张招崇, 罗世宾, 何斌, 王祥, 应立娟, 赵华, 李爱红, 贺永康. 新疆阿尔泰山南缘玛因鄂博高温型强过铝花岗岩年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2007, 23(8): 1909–1920.
- [18] 童英, 洪大卫, 王涛, 王式洗, 韩宝福. 阿尔泰造山带南缘富碱后造山线形花岗岩体锆石 U–Pb 年龄及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2006, 25(2): 85–89.
- [19] 刘锋, 张超, 杨富全. 新疆阿尔泰山南缘加尔巴斯套铁矿床成矿时代及成矿作用研究[J]. 矿床地质, 2012, 31(6): 1277–1288.
- [20] 王涛, 洪大卫, 童英, 韩宝福, 石玉若. 中国阿尔泰造山带后造山喇嘛昭花岗岩体锆石 SHRIMP 年龄、成因及陆壳垂向生长意义[J]. 岩石学报, 2005, 21 (3): 640–650.
- [21] 李香仁, 刘锋, 杨富全. 新疆阿尔泰克因布拉克铜锌矿区二云母正长花岗岩成岩时代及其地质意义探讨[J]. 新疆地质, 2012, 30(1): 5–11.
- [22] 肖序常, 汤耀庆, 李锦轶, 赵民, 冯益民, 朱宝清. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化[M] // 肖序常, 汤耀庆, 主编. 古中亚复合巨型缝合带南缘构造演化. 北京: 北京科学技术出版社, 1991: 1–24.
- [23] 于学元, 梅厚均, 杨学昌, 王俊达. 额尔齐斯火山岩及其构造演化[M] // 涂光炽, 主编. 新疆北部固体地球科学新进展. 北京: 科学出版社, 1993: 185–198.
- [24] 成守德, 王元龙. 新疆大地构造演化基本特征[J]. 新疆地质, 1998, 16(2): 98–107.
- [25] 李华芹, 谢才富, 常海亮, 蔡红, 朱家平, 周肃. 新疆北部主要有色金属矿床成矿期同位素年代学研究[M]. 北京: 地质出版社, 1998: 202–206.
- [26] Han B F, Ji J Q, Song B, Chen L H, Li Z H. SHRIMP zircon U-Pb ages of Kalatongke No. 1 and Huangshandong Cu-Ni-bearing mafic-ultramafic complexes, North Xinjiang, and geological implications [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(22): 2424–2429.
- [27] Chen B, Jahn B. Genesis of post-collisional granitoids and basement nature of the Junggar Terrane, NW China: Nd-Sr isotope and trace element evidence [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2004, 23: 691–703.
- [28] Chen B, Arakawa Y. Elemental and Nd-Sr isotopic geochemistry of granitoids from the West Junggar foldbelt (NW China), with implications for Phanerozoic continental growth [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2005, 69(5): 1307–1320.

# A Discussion on Genetic Mechanism of the Kuerqis Iron Deposit in Fuyun County, Xinjiang

ZHANG Chao<sup>1</sup>, LIU Feng<sup>2\*</sup>, YANG Fu-quan<sup>2</sup>

(1. No. 719 Geological Party, Bureau of Geological Exploration of Guangdong Province, Zhaoqing 526020, China;  
2. Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Ministry of Land and Resources, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** The large iron deposits in the southern margin of Altay had been studied systematically, but researches on some small Fe-rich type such as Kuerqis iron deposit are still obviously insufficient. In this paper, a study of the chronology and genetic mechanism to supply basic information for regional metallogeny and mineral assessment is documented. The Kuerqis iron deposit is located in the Erqis tectonic belt in the southern margin of Altay. The field investigation suggests that the deposit is dominantly related to hydrothermal activity of granitic porphyry besides the volcanic sedimentary genesis, meanwhile the iron deposit was destroyed by monzonitic granite. The ages of two granite intrusions in the deposit area and S isotope composition of pyrites in ore were determined by Laser Ablation-Multicollector Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (LA-MC-ICP-MS) and MAT 251 EM Mass Spectrograph. The <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U ages of 18 data points of zircons in granitic porphyry concentrated on the concordia line range from 273 Ma to 282.6 Ma and the weighted average age is (278.7 ± 0.94) Ma with MSDW = 1.6. The <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U ages of 12 data points of zircons in monzonitic granite concentrated on the concordia line range from 271.8 Ma to 276.8 Ma and the weighted average age is (274.1 ± 1.1) Ma with MSDW = 0.47. δ<sup>34</sup>S in pyrites varies from -7.2‰ to 0.7‰ and most are negative and near 0. The characteristic of δ<sup>34</sup>S perhaps reflects the significant exchange of S isotope between magma from deep source and wall-rocks or the earlier sedimentary iron deposit during ascending magma. The mineralization prominently occurred in the hydrothermal period of granitic porphyry. Combined with former studies, it suggested that two granite intrusions in the deposit area intruded in a plate extension environment during the early-Permian when granite intrusions developed widely in the southern margin of Altay. Moreover, the extensive mineralization of iron and other elements perhaps occurred in this granitic event.

**Key words:** LA-MC-ICP-MS U-Pb dating; sulfur isotopic composition; granitic hydrothermalism; Kuerqis iron deposit