

新疆干梁子锡矿田成岩成矿作用同位素 年代学研究及矿床成因探讨*

陈富文 李华芹 蔡红 刘娟群 常海亮

(北京大学地质系, 北京) (中国地质科学院宜昌地质矿产研究所, 宜昌)

提 要:干梁子锡矿田位于准噶尔盆地东北缘, 构造上处于西伯利亚和哈萨克斯坦-准噶尔板块的交汇部位, 是贝勒库都克锡矿带的重要组成部分。地质地球化学和同位素年代学研究表明, 干梁子锡矿田的形成与碰撞造山期花岗岩体的侵位有关, 属岩浆热液型锡矿, 成矿时代为中石炭世。

关键词:锡矿田 成岩成矿作用 同位素年代学 矿床成因 新疆干梁子

1 成矿地质背景

1.1 区域大地构造背景

干梁子锡矿田位于准噶尔盆地东北缘, 构造上产于西伯利亚和哈萨克斯坦-准噶尔古板块之交汇部位, 即卡拉麦里缝合带东北侧之古生代弧盆带前缘。该弧盆带是中蒙巨型褶皱山系的重要组成部分, 是古准噶尔洋(古亚洲洋的分支)经过长期构造演化于泥盆纪末(或更早)闭合的最终产物。在卡拉麦里缝合带东北侧, 区域性断裂构造发育, 其中代表性的是南部的苏吉-清水断裂和北部的库普-库布苏断裂, 干梁子锡矿田即分布于其间。这两条断裂均为区域性深大断裂, 呈 NWW 向展布, 大致平行于卡拉麦里缝合带, 控制了碰撞造山期花岗岩体侵位, 并伴随一系列(钨)锡矿化, 形成贝勒库都克(钨)锡成矿带。

1.2 矿田控岩控矿构造

干梁子锡矿田控岩控矿构造可分为三级: ①阿尔巴卡勒干断裂为一级控岩控矿构造。该断裂为一区域规模的压扭性断裂, 走向 NW, 倾向 NE; 是区域性岩浆活动的重要通道; 构成二级构造发育的边界条件; 同时控制了矿化蚀变带的空间分布。②干梁子断裂为二级控岩控矿构造。走向 NEE, 倾向 N, 具张扭性质; 控制了矿田内由十余个岩株(枝)组成的干梁子岩群的空间分布; 同时构成三级构造发育的边界条件。③NE向断裂为矿田内的三级控岩控矿构造, 控制了矿(化)体和石英脉的空间展布, 为含锡石英脉、云英岩脉和伟晶岩脉所充填(图 1)。此外, 矿田内还发育成岩成矿后 NNE 向张扭性断裂, 错断岩脉和矿脉, 使后者支离破碎, 并经风化形成砂锡矿。

1.3 赋矿岩石特征

干梁子锡矿田产于 NW 向展布的红土井子似斑状黑云母花岗岩基之北缘, 即干梁子岩群

* 国家自然科学基金(编号: 49633250)和国家 305 项目(96-915-07-05B)资助

第一作者简介: 陈富文, 男, 1963 年生, 副研究员, 长期从事岩浆岩岩石学及相关矿产的研究工作, 现正在北京大学攻读博士学位。邮政编码: 100871

1998-06-22 收稿; 1998-11-17 修改回



图 1 新疆东准噶尔干梁子锡矿床地质图

(据明奎海^[1]草图修编)

1—第四系；2—黑云母花岗岩；3—钠（铁闪石）花岗岩；4—似斑状花岗岩；5—锡矿床；6—含锡石英脉；7—无矿石英脉；8—地质界线；9—岩相界线；10—构造破碎带

Fig. 1. Geological sketch map of the Ganliangzi tin deposit, East Junggar, Xinjiang.

1—Quaternary; 2—Biotite granite; 3—Arfvedsonite granite; 4—Porphyritic granite; 5—Tin orebody; 6—Tin-bearing quartz vein; 7—Nonmineralized quartz vein; 8—Geological boundary; 9—Petrographical boundary; 10—Structural fractured zone.

各花岗岩体的内接触带或其晚期同源花岗细晶岩脉中。这些花岗质岩体与红土井子岩基同源，多呈岩株或岩枝状产出，在矿田北部与中泥盆统蕴都卡拉组呈侵入接触，南部侵位于红土井子花岗岩基，接触带附近见热接触变质和硅化等蚀变。干梁子岩群中单一花岗质岩株（枝）的主体岩性为黑云母二长花岗岩，主要矿物成分为钾长石（35%）、斜长石（25%）、石英（30%）和黑云母（8%~10%）；副矿物有磁铁矿、锆石、磷灰石、绿帘石及萤石等。岩石具中—细粒花岗结构、似斑状结构、文象结构、蠕虫状结构等。不少岩体具相变或蚀变分带特征，显示出正常黑云母花岗岩→钠（铁）闪石花岗岩→弱蚀变花岗岩型→云英岩花岗岩的变化趋势，锡石-石英脉赋存于钠（铁）闪石花岗岩或黑云母花岗岩中（图 1）。

2 矿床地质特征

2.1 矿体产出类型

矿体产出类型有 5 种，即锡石-石英脉型、云英岩型、含锡蚀变花岗岩型、砂矿型和伟晶岩型（偶见）。一般来说，脉厚在 1 m 以上的含锡石英脉矿化较差；而云英岩型和含锡蚀变花岗岩型锡矿化最好。从区域上看，含锡石英脉型可渐变为云英岩型或含锡蚀变花岗岩型，或显示出含锡蚀变花岗岩型→云英岩型→锡石石英脉型的变化。

2.2 矿体规模、形态及产状

干梁子锡矿田地表见矿总长约 5000 m，见矿宽度 60~250 m。由于后期 NNE 向断裂影响，

矿田被分割为5个自然矿段，各矿段的基本特征雷同：原生矿脉主要赋存于干梁子岩群各花岗质岩体之内接触带，少数赋存在侵位于中泥盆统蕴都卡拉组中的晚期同源花岗细晶岩脉内外接触带。砂矿体则赋存于残坡积层中。矿体自然形态因容矿构造性质、矿化部位、成矿物理化学条件的不同而有所差异。概括起来，大致有简单脉状、不规则状、串珠状、透镜状及扁豆状等，以前三者为主。工业矿体组成有锡石-石英脉型、含锡云英岩型、含锡破碎带型及含锡蚀变花岗岩型等。单个矿脉体一般长100 m左右，最大达200 m，宽10余米，倾向NW或SE，倾角 $80^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 。Sn平均品位0.2%，最高达2.92%以上。

2.3 矿物共生组合

矿石矿物以锡石为主，钛铁氧化物（赤铁矿、钛铁矿）次之，偶见绿柱石，未见硫化物。锡石呈棕褐色，多为膝状双晶或集合体，最大块度达15~20 cm；单晶次之，粒径一般为0.5~10 mm，最大达25 mm。脉石矿物以石英为主，钾长石和钠长石次之，其它脉石矿物有白云母、绢云母、绿帘石、绿泥石、高岭石、萤石及微量锆石、磷灰石、金红石等。

2.4 围岩蚀变

在干梁子锡矿田，含锡花岗质岩体内外接触带及构造破碎带中热液蚀变十分强烈。与成矿作用有关的蚀变类型主要有云英岩化、钠长石化、钾长石化、白云母化、萤石化、黄玉化、硅化、钠（铁）闪石化、霓石化、高岭石化等，其中前三种与成矿关系最为密切，说明碱质交代在锡矿形成过程中起决定性作用。碱质交代常以钾长石化为先导，继之发生钠长石化和云英岩化，并出现蚀变分带。此外，酸性淋滤对成矿亦起了重要作用。

2.5 成矿期次划分

干梁子锡矿田成矿作用经历过一个较为复杂的过程。按矿石产出类型、矿物共生组合、矿石矿物生成顺序及成矿方式等可分为三个成矿期：① 岩浆晚期分异交代成矿期；② 岩浆期后高中温气液成矿期；③ 表生作用成矿期。其中以岩浆期后高中温气液成矿期最为重要，可细分为云英岩阶段和锡石-石英脉阶段；岩浆晚期分异交代成矿次之；而表生作用成矿期形成砂锡矿（明奎海等，1992）^[1]。

3 同位素年龄测定

为了准确厘定矿田成岩成矿时限，本次研究对干梁子矿田成矿母岩及锡石-石英脉分别进行了全岩Rb-Sr和石英流体包裹体Rb-Sr年龄测定。

3.1 样品采集

全岩样品采自新鲜岩心，岩性为钠铁闪石花岗岩；石英采自探槽内钠铁闪石花岗岩中的锡石-石英脉。

3.2 测定方法

全岩和石英流体包裹体分析样品的制备分别采用李华芹等（1998，1993）^[3,4]所报道的流程；Rb、Sr同位素分析在中国地质科学院同位素地质研究与测试中心MAT-261可调多接收型质谱仪上完成；分析过程中采用国际标准样品NBS-987监控仪器工作状态，用NBS-607和Rb-Sr测年国家一级标准物质GBW04411监控分析流程。上述标准物质的测定值分别为：NBS-987： $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.71026\pm 0.00006$ ；NBS607： $\text{Rb}=523.22\times 10^{-6}$ ， $\text{Sr}=65.56\times 10^{-6}$ ，

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=1.20035\pm0.00009$; GBW04411: $\text{Rb}=249.08\times10^{-6}$, $\text{Sr}=158.39\times10^{-6}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.76006\pm0.00025$; $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 和 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的测定精度分别高于 $1\%\sim2\%$ 和 $0.008\%\sim0.02\%$ 。全部化学操作均在净化实验室净化工作柜内进行; 使用的器皿由氟塑料、石英或铂金制成。所用试剂为市售高纯试剂经亚沸蒸馏器蒸馏, 其 Rb 、 Sr 含量为 $10^{-11}\sim10^{-12}\text{g/g}$ 。高纯水由 Milli-Q 水纯化系统纯化, 其 Rb 、 Sr 空白为 10^{-12}g/g ; 与样品同时测定的全流程空白都在 0.3 ng 左右。当样品 Rb 、 Sr 含量低于 1×10^{-6} 时, 均做了空白校正。

3.3 测定结果及数据处理

分析结果列于表 1 和表 2。本文采用目前国际通用的 ISOPLOT 程序 (Kenneth R. Ludwig, 1995) 进行年龄计算。所选衰变常数为 $\lambda^{87}\text{Rb}=1.42\times10^{-11}/\text{a}$ 。全岩年龄计算时设定的误差为: $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}=1.5\%$; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.02\%$; 获得 Rb-Sr 等时线年龄 (图 2) 为 $(307\pm20)\times10^6\text{ a}$ (2σ)。石英流体包裹体年龄计算时设定的误差为: $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}=2.0\%$; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.02\%$; 获得 Rb-Sr 等时线年龄 (图 3) 为 $(305\pm25)\times10^6\text{ a}$ (2σ)。

表 1 干梁子矿田矿化钠铁闪石花岗岩 Rb-Sr 同位素数据

Table 1. Rb-Sr isotopic data of mineralized arfwedsonite from the Ganliangzi orefield

序号	样品号	样品名称	$\text{Rb}/10^{-6}$	$\text{Sr}/10^{-6}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}\pm1\sigma$
1	GZ4-1	钠铁闪石花岗岩	317.3	6.991	138.8	1.30533 ± 0.00040
2	GZ4-3	钠铁闪石花岗岩	290.8	10.41	83.47	1.08420 ± 0.00001
3	GZ4-1-1	钠铁闪石花岗岩	334.6	43.52	22.38	0.80595 ± 0.00001
4	GZ4-5	钠铁闪石花岗岩	304.5	10.34	88.12	1.08439 ± 0.00020
5	GZ4-6	钠铁闪石花岗岩	332.6	22.38	43.57	0.87953 ± 0.00003
6	GZ4-11	钠铁闪石花岗岩	284.6	20.76	40.21	0.87822 ± 0.00006
7	GZ4-13	钠铁闪石花岗岩	320.9	12.88	74.13	1.02273 ± 0.00011

表 2 干梁子矿田锡石-石英脉中石英流体包裹体 Rb-Sr 同位素数据

Table 2. Rb-Sr isotopic data of fluid inclusions in quartz from cassiterite-quartz veins of the Ganliangzi orefield

序号	样品号	样品名称	$\text{Rb}/10^{-6}$	$\text{Sr}/10^{-6}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}\pm1\sigma$
1	GZ3-5	石英流体包裹体	2.299	2.966	2.237	0.71721 ± 0.00003
2	GZ3-7	石英流体包裹体	0.3764	0.1756	6.200	0.73706 ± 0.00001
3	GZ3-11	石英流体包裹体	2.289	0.6460	10.26	0.74903 ± 0.00001
4	GZ3-7-1	石英流体包裹体	0.3483	0.1691	5.953	0.73474 ± 0.00003
5	GZ3-1	石英流体包裹体	1.059	0.1564	19.690	0.79327 ± 0.00001
6	GZ3-2	石英流体包裹体	0.6289	0.3875	4.688	0.72643 ± 0.00003
7	GZ3-3	石英流体包裹体	0.7227	0.1418	14.780	0.77267 ± 0.00002

3.4 结果讨论

矿田内矿化花岗岩岩石侵位于中泥盆统蕴都卡拉组 (D_2y) 和红土井子复式花岗岩基。前人获得红土井子粗粒黑云母花岗岩中锆石 U-Pb 年龄为 $(312.1\pm5.6)\times10^6\text{ a}$ (田慧新等, 1992)^[2], 说明上述同位素年龄与野外地质观察结果是吻合的。

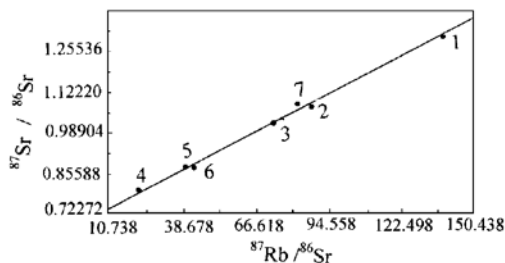


图 2 干梁子钠铁闪石花岗岩 Rb-Sr 等时线图

$$t = (307 \pm 20) \times 10^6 \text{ a (95\% 置信度)}$$

$$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.70232 \pm 0.00854; \text{MSWD} = 34.8;$$

1~7—样品序号

Fig. 2. Rb-Sr isochron diagram of arfwedsonite granite from the Ganliangzi orefield.

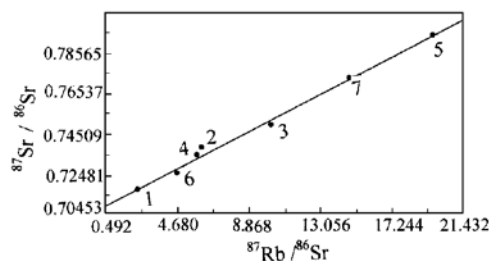


图 3 锡石-石英脉石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线图

$$t = (305 \pm 25) \times 10^6 \text{ a (95\% 置信度)}$$

$$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.70766 \pm 0.00145; \text{MSWD} = 40.3;$$

1~7—样品序号

Fig. 3. Rb-Sr isochron diagram of fluid inclusions in quartz from cassiterite-quartz veins.

4 矿床成因机理

4.1 成岩成矿时代

由于钠铁闪石花岗岩与干梁子岩群主体——黑云母二长花岗岩呈相变过渡关系，其 Rb-Sr 等时线年龄应代表干梁子岩群形成时代的上限；结合被其侵入的红土井子粗粒黑云母花岗岩的锆石 U-Pb 年龄，说明干梁子岩群的成岩作用发生在中—晚石炭世。锡石-石英脉中石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄与钠铁闪石花岗岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄接近，说明岩浆期后高中温气液成矿期亦发生在中石炭世，同时说明干梁子锡矿田成矿作用与红土井子复式花岗岩基东北缘较晚阶段花岗质岩株或岩枝状的侵位关系密切，这与前人的区域地质地球化学研究成果完全吻合。

4.2 成矿物质来源

与世界上已知锡矿床绝大多数都与花岗质侵入体有关的情况相似，干梁子锡矿田成矿物质的主要来源是花岗质侵入体，而与地层无明显关系；主要证据有：① 原生矿体赋存于花岗岩体与中泥盆统接触带之内带或晚期花岗细晶岩脉中；② 研究区内花岗岩体具有很高的 W、Sn 背景丰度；其中 Sn 高出克拉克值 3~6 倍，较酸性岩平均值高 2~7 倍（田慧新等）^[2]；③ 干梁子锡矿田中含锡钠闪石花岗岩和含锡石英脉的锶同位素初始值非常一致（图 2、3），并且与下地壳值接近，说明成矿物质是深源的。

4.3 成矿流体性质

干梁子锡矿田主要岩石和矿物的氢、氧同位素组成列于表 3。从表 3 中可以看出：① 含锡云英岩与花岗岩的氧同位素组成非常接近，表明两者之间有密切的成因联系；② 锡石的氧同位素组成明显低于含锡云英岩和花岗岩，落在 400℃ 热液的氧同位素组成区间（ $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = +5\text{‰} \sim +10\text{‰}$ ），结合包裹体测温资料分析，锡石是在高—中温岩浆水阶段形成的；③ 表 3 中石英氧、氢同位素组成在 $\delta^{18}\text{O}$ - δD 相关图（Taylor, 1974）上分布于正常岩浆水区下部边界

附近,说明成矿溶液应主要为岩浆热液。

表 3 干梁子锡矿田主要岩石和矿物的氢、氧同位素组成

Table 3. Hydrogen and oxygen isotopic composition of main rocks and minerals
from the Ganliangzi tin orefield

岩(矿)石名称	测定对象	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{‰}$	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{‰}$	$t_{\text{均}}/\text{C}$	资料来源
黑云母花岗岩	全岩	+10.4				
含矿花岗岩	全岩	+11.1				
含锡石云英岩	石英	+12.7	+5.7	-106	300	明奎海等 ^[1]
含锡石云英岩	锡石	+5.4				

4.4 矿床成因类型

干梁子锡矿田石英包裹体气相成分以 H_2O 为主,少量 CO_2 ,其它组分微量。液相成分中,阳离子以 K^+ 、 Na^+ 为主; Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 含量甚微;阴离子主要为 SO_4^{2-} 、 Cl^- ,少量 F^- , $\text{Na}^+ / (\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}) > 4$; 而 $\text{F}^- / \text{Cl}^- < 1$; 属 $(\text{K}^+、\text{Na}^+) - (\text{SO}_4^{2-}、\text{Cl}^-)$ 型。均一温度为 300 C 左右,成矿压力为 19~49 MPa (明奎海等)^[1]。因此,成矿热液为典型的高温岩浆热液。

5 主要结论

综上所述,干梁子锡矿田成矿作用与碰撞造山期花岗岩体侵位有关。红土井子复式岩基与干梁子岩群系同源岩浆作用的产物;成矿作用与后者关系密切;成矿物质来源于深部(下地壳);成矿热液为典型的岩浆热液,属高温浅成热液型矿床。同位素年代学研究表明成岩成矿作用发生在中石炭世。

参 考 文 献

- 1 明奎海等. 锡矿地质. 见: 张以熔等著. 东准噶尔地质及金锡矿产研究. 北京: 地震出版社, 1992, 178~248.
- 2 田慧新等. 花岗岩系列. 见: 张以熔等著. 东准噶尔地质及金锡矿产研究. 北京: 地震出版社, 1992, 90~123.
- 3 李华芹等. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用. 北京: 地质出版社, 1993.
- 4 李华芹等. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学. 北京: 地质出版社, 1998.

CHRONOLOGY AND ORIGIN OF THE GANLIANGZI TIN OREFIELD, XINJIANG

Chen Fuwen

(Department of Geology, Peking University, Beijing 100871)

Li Huaqin, Cai Hong, Liu Houqun and Chang Hailiang

(Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Yichang 443003)

Key words: Tin orefield, diagenetic mineralization, chronology, origin of deposit,

Ganliangzi, Uygur Autonomous Region of Xinjiang, P. R. China

Abstract

Located geographically in the northeastern border of Junggar Basin, Uygur Autonomous Region of Xinjiang, and geologically in the juncture of Siberia and Kazakhstan-Junggar palaeoplate, the Ganliangzi tin orefield constitutes an important part of the Beileikudouke tin metallogenic zone in East Junggar area. Five kinds of orebodies in the orefield have been found, namely cassiterite-quartz vein type, greisen type, tin-bearing granite type, alluvial tin type and pegmatitic vein type. The natural forms of the orebodies vary with the host structures, mineralization positions and metallogenic physicochemical conditions, and comprise simple veins, irregularly shaped veins, beaded veins, lens-shaped veins and lenticular veins. According to occurrence types of ores, mineralization process, paragenetic association and formation order of ore minerals, mineralization of the Ganliangzi tin deposit underwent a very complex process and can be divided into three metallogenic stages, viz., mineralization during late stage of magmatic differentiation and metasomatic alteration, postmagmatic mineralization and supergene leaching mineralization. Geological, geochemical and geochronological studies show that the formation of the Ganliangzi tin orefield was related to the granitic bodies of the Carboniferous collision-orogenic cycle. Metallogenic materials came from the lower crust and the metallogenic hydrothermal solution was a typical magmatic one.

(上接第 90 页 continued from p. 90)

well as in fractural expanding belts on the hanging wall to form various types of deposits such as porphyritic vein type, explosion-breccia type, big vein type and net-shaped vein type. The estimated sulfur, lead, hydrogen and oxygen isotope values show that gold-bearing fluids mainly came from the depth and was partly mixed with crust-derived fluids and meteoric water during the upwelling process of these fluids. Hence, structural deformation is the leading ore-forming and ore-controlling factor. Fuping mantle branch structure is the first-order ore-forming and ore-controlling structure in the northern part of Taihang Mountains. It not only links up with deep-derived ore-forming materials, but also constitutes favorable regional tectonic framework. The main detachment belts of surrounding mantle branch are long-existent second-order ore-forming and ore-controlling structures. Chaichang-Konggezhuang fault is the third-order ore-forming and ore-controlling structure. The intersection of this fault and the detachment belt controlled magmatic and hydrothermal activity and formed the orefield. The fourth-order ore-forming and ore-controlling structures are composed of second detachment belts, listric faults and fissure zones. They control orebody distribution. This paper has also discussed the structural ore-controlling role and advanced metallogenic models.