

内蒙古查干德尔斯钼矿成矿流体地球 化学特征及矿床成因

张艳飞¹, 梁帅²

(1. 辽宁省化工地质勘查院, 辽宁 锦州 121000; 2. 辽宁省地质矿产调查院, 辽宁 沈阳 110000)

摘要: 查干德尔斯钼矿的发现是近年来内蒙古中西部钼矿勘探的最重要成果。对查干德尔斯钼矿床开展流体包裹体研究, 结果显示主成矿期辉钼矿-石英-绢云母细脉发育 $H_2O-NaCl-CO_2$ 体系的气液两相包裹体和少量含子矿物三相包裹体; 次成矿期辉钼矿-石英细脉发育 H_2O-CO_2 体系的气液两相包裹体和少量气相包裹体。测温和盐度结果表明主成矿期属于中-高温、低盐度成矿, 次成矿期属于中-低温、低盐度成矿, 后期有大气水加入, 成矿可能因高温富硅热液与大气水混合, 因温度、压力、pH、Eh 等条件变化, 促使流体内含矿物质发生沉淀, 充填结晶形成矿床。流体包裹体的 H、O 同位素表明, 矿床 H、O 同位素值低是由岩浆热液与大气水混合形成, 受构造应力影响, 热液进入围岩裂隙, 物理化学条件变化, 使辉钼矿在裂隙中充填矿化。流体包裹体的 S 同位素研究表明其来源为壳源 S, 且 S 同位素值接近酸性岩石中 S 值, 其来源可能属于岩浆岩重熔热液和大气水混合形成。研究认为矿床成因类型属于岩浆后期热液石英脉充填型矿床。

关键词: 成矿流体; 地球化学特征; 矿床成因; 查干德尔斯; 钼矿

中图分类号: P618.65

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2017)02-0106-09

Geochemistry of Ore-Forming Fluids and Genesis of Chagandells Molybdenum Deposit in Inner Mongolia

ZHANG Yanfei¹, LIANG Shuai²

(1. Liaoning Chemical Geological Exploration Institute, Jinzhou 121000, Liaoning, China;

2. Geological Survey Institute of Liaoning Province, Shenyang 110000, Liaoning, China)

Abstract: In recent years, the Chagandells molybdenum deposit is the the most important outcome of prospecting molybdenum deposit in the central and western part of Inner Mongolia. The study on fluid inclusions of this deposit has been carried out in this paper. The results show that, the gas-liquid two-phase inclusions of $H_2O-NaCl-CO_2$ system were developed within the molybdenite-quartz-sericite veinlets in the main mineralization stage, with a small number of daughter mineral-phase inclusions; and the gas-liquid two-phase inclusions of H_2O-CO_2 system were occurred within the molybdenite-quartz veinlets during the late mineralization stage, with little gas-phase inclusions. The test results show that the main mineralization stage belongs to high temperature and low salinity mineralization, while the late mineralization stage was formed in low tem-

收稿日期: 2017-01-24; 修回日期: 2017-03-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(40073013)和内蒙古自治区地质矿产勘查开发局勘查项(NMKD2008-01)联合资助

作者简介: 张艳飞(1982-), 男, 博士, 地质高级工程师, 现从事矿产勘查与矿床地质研究。E-mail: zhangyanfei1234@163.com

perature and low salinity conditions, with the addition of meteoric water in late stage. The mineralization of this deposit might be related to the mixing between high-temperature silicon-rich hydrothermal and atmospheric water. The changes of temperature, pressure, pH and Eh promote the precipitation of ore-bearing minerals in the fluid to fill and crystallize as the molybdenum deposit. The H-O isotope of fluid inclusions indicates that the low hydrogen isotope values were caused by the mixing between magmatic hydrothermal and meteoric water, as well as affected by tectonic stress. When the hydrothermal migrated into the fissures of surrounding rock, the physical and chemical conditions were changed, and the molybdenite was filled into these fissures to form the molybdenum deposit. S isotope studies show that they were sourced from crustal sulfur, and the sulfur isotope values are close to the sulfur values of acid rock, thus they might be derived from the mixture of remelting hydrothermal magmatic rocks and atmospheric water. Finally, the genesis type of this deposit may be belonged to the late magmatic hydrothermal quartz vein filled-type deposit.

Keywords: ore-forming fluids; geochemical characteristics; genesis; Chagandells; molybdenite

查干德尔斯钼矿是近年来在内蒙古中西部中蒙边境地区新发现、探明的大型钼、伴生钨铜多金属矿床,其发现打破了内蒙古中西部地区无大型钼矿的记录,也引起一些地质学者的广泛关注和研究兴趣,取得一些重要的科研成果。辉钼矿 $^{187}\text{Re}-^{187}\text{Os}$ 等时线年龄为 $(239.2\pm 5.8)\sim(243.0\pm 2.2)\text{Ma}$,成矿时代为三叠纪(梁帅等,2015;蔡明海等,2011;蔡明海等,2011);成矿岩体呈高硅、过铝、富碱、高钾钙碱性特点,轻重稀土分异显著,Eu负异常突出,具有陆壳重熔型(S型)花岗岩的特征,似斑状黑云母二长花岗岩形成于 $253\sim 254\text{Ma}$ (刘敬党等,2015;扬帆等,2013;李光耀,2012;刘翼飞等,2012);矿床成因类型为斑岩型(梁帅等,2015;刘翼飞,2013;颜开,2012);查干花钼矿床成矿流体主要来源于去气岩浆水,矿床的形成与经历了明显去气作用的低盐度流体的长期演化有关,成矿流体气相组分的分离是辉钼矿沉淀的重要因素(刘翼飞等,2011)。笔者从查干德尔斯钼矿床成矿流体的地球化学特征角度探讨与矿床成因的内在联系。

1 矿区地质概况

宝音图钼矿整个矿区从北向南由查干楚鲁、查干花、查干敖包和查干德尔斯4个矿段组成(图1),构造上处于华北板块与西伯利亚板块之间的显生宙造山带内,华北板块北缘西段东西向构造与北东向构造的转折端,区域上南侧为华北古陆新元古代白

云鄂博及渣尔泰山裂谷带,北侧为华力西期古陆边缘增生带,是中蒙边境巨型成矿带的组成部分。

矿区出露地层主要为下元古界宝音图群,分布在矿区的东侧,总体呈北东向展布,局部受构造和断裂的影响,呈近南北向;岩性组合为灰黑色-灰绿色千枚状碳质板岩、浅变质粉砂岩等;为一套浅海-滨海相碎屑岩建造,大部分经过后期变质作用成为中级变质岩系,同时受到后期岩浆热液作用影响,产生了明显的热液蚀变。矿区褶皱与断裂发育,矿区主要受苏吉音花复式背斜影响,背斜地层由下元古界宝音图群组成,南东翼多被后期花岗岩侵入;断裂构造主要呈北东向、北西向、近东西向及近南北向,为后期成矿岩体及成矿热液的上侵提供了重要的通道和储矿空间,是钼-钨-铋矿化的重要导矿构造。矿区岩浆岩十分发育,为华力西中期和燕山早期岩浆活动的产物,且以花岗岩为主,钼-钨-铋矿化与之有重要的成因联系,根据各侵入体空间展布、岩性特征及岩石蚀变程度、接触关系等,侵入序次从早到晚为花岗闪长岩、灰色中细粒二长花岗岩、浅肉红色正长花岗岩和石英脉。

2 矿床地质特征

2.1 矿体特征

矿区石英脉十分发育,规模大小不等,脉宽从几厘米至几米、脉长从几厘米至百米。发育较大的石英脉数10条,脉体产状不规则,方位为北东-南西

向和北西—南东向,石英细脉平行,密集分布;石英脉多呈白色、灰白色,粒状结构,块状构造。石英脉体中有黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿等金属矿物,辉钼矿矿化体主要受石英脉控制,尤其在白云母-

石英破碎带内辉钼矿含量极其丰富,局部石英脉和围岩接触带岩石裂隙内充填辉钼矿化,还有部分构造破碎角砾岩裂隙内含有辉钼矿化,主要矿体特征见表 1。

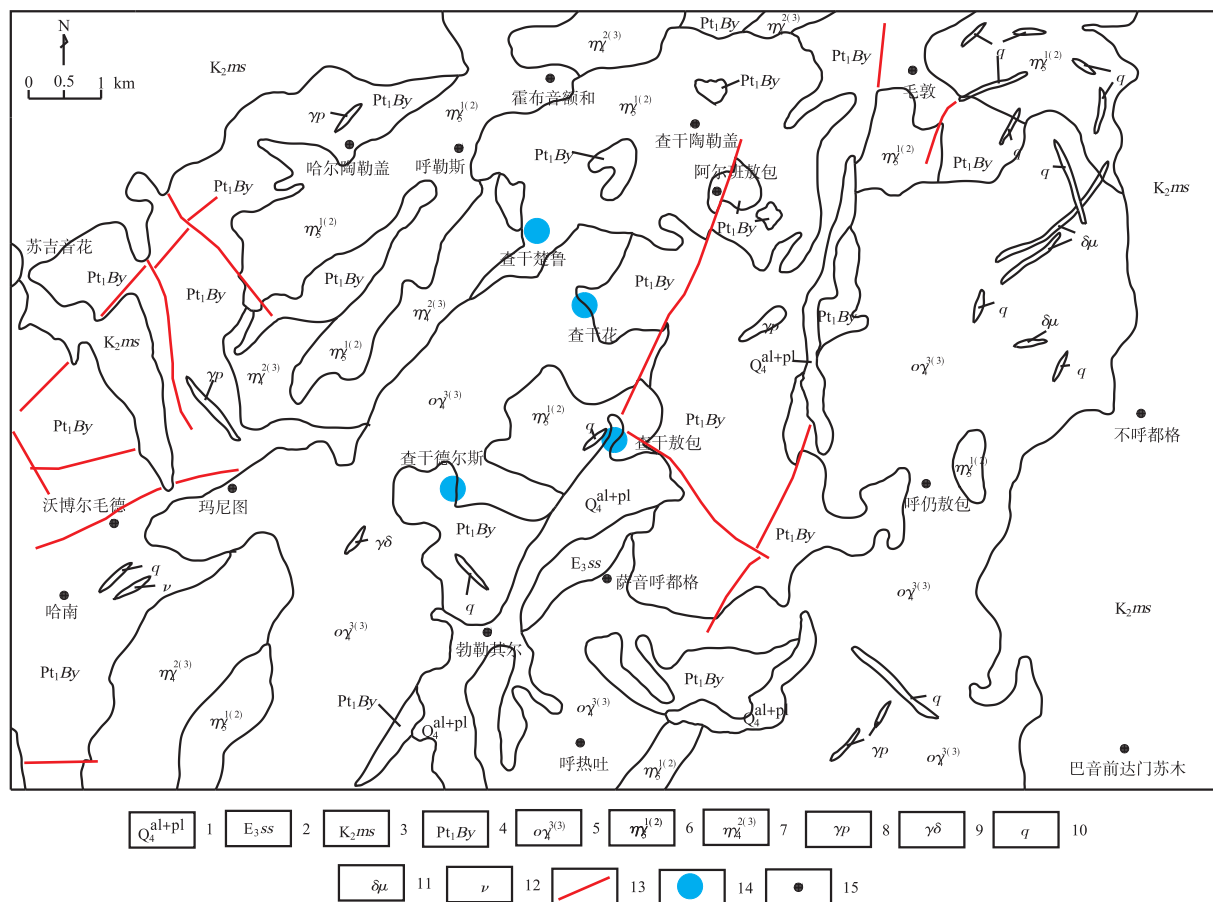


图1 宝音图钼矿床区域地质图(底图据刘敬党等有改动,2015)

Fig. 1 Baoyintu molybdenum deposit area geological map(Bottom according to Liujingdan, changed,2015)

表 1 查干德尔斯钼多金属矿床地质特征表

Tab.1 Chagandells molybdenum polymetallic deposit geological characteristics

矿床名称	查干德尔斯(I)钼-秘矿床	查干德尔斯(II)钨矿床
矿体形态	透镜状、似层状和脉状	薄层状、脉状、网脉状
产出规模	长 800m,宽 80~200 m,厚 2~60 m	长 1 680 m,宽 3~75 m,厚 1.93~2.5 m
矿石类型	蚀变岩、石英脉	蚀变岩、石英脉
矿物组合	辉钼矿、辉秘矿、黄铜矿、黑钨矿、闪锌矿和黄铁矿	黑钨矿、辉钼矿、黄铁矿 和黄铜矿
围岩蚀变	硅化、绢云母化、钾长石化 和绢英岩化	硅化、绢云母化、钾长石化和高岭土化
规模/品位	12万 t,0.12%~0.312%,均值 0.179%	中型,0.04%~1.27%,均值 0.28%

2.2 矿石特征

矿石标本选取钻孔岩心中新鲜的石英标本,据薄片鉴定结果,矿石矿物主要为石英,呈他形结构,裂隙较发育,部分呈角砾状,为成矿物质运移和沉淀的场所;次为黑云母、白云母,呈鳞片状、长条状,分布在石英脉裂隙间;少量绢云母、黏土。

矿石矿物组合分为辉钼矿-辉钼矿-黄铜矿、辉钼矿-黄铜矿-黄铁矿、黄铜矿-黄铁矿、黄铜矿-闪锌矿等。辉钼矿呈鳞片状集合体、玫瑰花状集合体、树枝状集合体、草叶状,弯曲,和云母晶体共生,且两者晶体延伸方向一致,辉钼矿晶体分布在石英脉裂隙内;辉钼矿-黄铜矿组合,辉钼矿晶体较自形,分布在黄铜矿裂隙内,局部交代黄铜矿;辉钼矿-黄铜矿-黄铁矿组合中黄铁矿呈自形、半自形、碎块状分布,黄铜矿充填在黄铁矿碎块间隙内,辉钼矿分布在黄铜矿周围,属晚期形成,局部黄铜分布在脉壁侧,辉钼矿分布在脉内侧,黄铜矿可能先生成;黄铜矿-黄铁矿组合中黄铁矿为自形、半自形、碎块状,黄铁矿内含有长条状黄铜矿,可能属于晚期充填裂隙形成;黄铜矿-闪锌矿组合闪锌矿被包裹在黄铜矿内部。

2.3 围岩蚀变

热液蚀变范围广,且较为发育,地表蚀变分带性很明显,从西北至东南,地表蚀变分带依次为灰白色斑状-似斑状粗粒二长花岗岩带,肉红色斑状-似斑状中细粒正长花岗岩带,灰白-黄褐色中细粒二长花

岗岩,硅化带,硅化泥化带。围岩中见有钾长石化、云英岩化、硅化、绿泥石化、黄铁化、黄铜矿化等。岩石节理裂隙发育,矿化带主要分布于云英岩化带、碎化带和钾化接触带附近。

3 流体包裹体研究

流体包裹体显微测温研究在中国地质大学(北京)矿床教研室进行,所用仪器为 Axioskop40 和Axiolab显微镜,放大倍数为 100~400 倍。THMSG600 手动型冷热台和 MDS600 自动型冷热台,温控范围为-196~+600℃,冰点温度误差小于 0.2℃,均一温度误差小于 2℃(席斌斌等,2010)。

3.1 样品特征

本次分析石英脉流体包裹体样共 15 个,据其矿相特征、矿物组合特征,石英脉产出环境和围岩岩性特征,可将石英脉分为 2 期:主成矿期高温石英脉和次成矿期低温石英脉。

主成矿期流体包裹体共 8 个,石英脉类型为乳白色无矿化石英脉、暗色石英脉,金属矿物组合为辉钼矿-黄铁矿、辉钼矿-黄铜矿、辉钼矿-黄铁矿-黄铜矿,矿石呈颗粒状、浸染状分布。围岩类型为黄褐色黑云母二长花岗岩、浅肉红色中粗粒黑云母二长花岗岩、花岗岩破碎带、高岭土化二长花岗岩(表 2)。

表 2 主成矿期样品特征描述表
Tab.2 The main mineralization sample characterization

样号	钻孔	采样位置(m)	样品特征描述	围岩特征
kDr193	ZK40-9	87	乳白色石英,无矿化	浅灰色、灰白色高岭土化二长花岗岩
kDr194		114	乳白色石英,无矿化	灰色-灰白色石英脉
kDr55	ZK40-11	15.4	暗色石英	黄褐色黑云母二长花岗岩
kDr151	ZK80-5	161	暗色石英脉,含颗粒状辉钼矿,黄铁矿	黄褐色黑云母二长花岗岩
H230		340	灰白色石英脉,局部含弱绢云母化,含辉钼矿、黄铁矿。白云母石英脉矿石 1~1.5m	正长花岗岩-黑云母二长花岗岩
H493		722	云英岩矿石,脉宽 60cm,可见辉钼矿和黄铜矿	浅肉红色,中粗粒黑云母二长花岗岩
H502		735	石英脉型辉钼矿,长度 6m。乳白色石英,含粉末状辉钼矿。含星点状黄铁矿、黄铜矿	浅肉红色,中粗粒黑云母二长花岗岩
kDr141	ZK80-7	631	暗色石英,沿裂隙有星点状和浸染状辉钼矿化现象	黑云母二长花岗岩、碎裂花岗岩

次成矿期流体包裹体共 7 个,主要类型为气液两相包裹体,极少量部分为不含盐包裹体。石英脉为暗色、乳白色,主要矿石矿物组合为辉钼矿-黄铁矿-黄铜矿,辉钼矿-黄铜矿,辉钼矿,无矿化;主要围岩为黄褐色二长花岗岩、肉红色中粗粒二长花岗岩、黄褐色黑云母二长花岗岩、碎裂二长花岗岩带。石英脉常产于正长花岗岩体边缘,采样钻孔较深,介于 506~741m,一个钻孔深 218m(表 3)。

表 3 次成矿期样品特征描述表
Tab. 3 Metallogenic characterization of samples

样号	钻孔	采样位置(m)	样品特征描述	围岩特征
kDr66	ZK40-11	218	暗色石英脉	灰白色-黄褐色二长花岗岩
H294	ZK40-11	525	石英脉交切,穿插	黄褐色二长花岗岩
H349	ZK80-5	514	正长花岗岩中含 10cm 矿化石英脉,含黄铜矿化,弱绢云母化	肉红色中粗粒二长花岗岩。
kDr175	ZK80-5	741	乳白色石英,含粉末状辉钼矿,含星点状黄铁矿、黄铜矿	黄褐色黑云母二长花岗岩、钾长
kDr129	ZK80-7	506	暗色石英,沿裂隙有团块状和浸染状辉钼矿化现象	正长花岗岩-黑云母二长花岗岩
kDr138	ZK80-7	585	乳白色石英,无矿化	钾长、黄褐色灰绿色碎裂花岗岩
kDr142	ZK80-7	642	暗色石英,沿裂隙有星点状和浸染状辉钼矿化现象	浅灰绿色碎裂二长花岗岩、钾长花岗岩

3.2 流体包裹体显微测温

本次研究以主成矿期辉钼矿-石英-绢云母细脉及次成矿期辉钼矿-石英细脉中的原生流体包裹体为对象,通过显微测温测定其均一温度、盐度和包裹体成分。

从镜下观察主成矿期包裹体类型主要为 H₂O-NaCl-CO₂ 气液两相包裹体,少量 H₂O-CO₂ 气液两相包裹体、H₂O-NaCl-CO₂ 三相包裹体,个别未知成分纯气相包裹体。

H₂O-NaCl-CO₂ 三相包裹体外形椭圆状、近长方形、近梭形,长轴气相比 14%~50%,部分均一为气相。当-93℃ 时气体结冰,三相点-58~-55.8℃,气体呈淡粉红色,笼形物消失温度 7~8.2℃,根据以上特征可推测为 CO₂ 气体包裹体。部分均一温度为 29.5℃,完全均一温度介于 277~

322℃。在纯 H₂O-CO₂ 二元体系中,CO₂ 水合物(CO₂·5.75H₂O)的溶解温度(Thc)是 10℃,当有 NaCl 加入溶液中时大部分低于 10℃,在一般含矿溶液中,一般测定值为 6~10℃(肖荣阁等,2008)。包裹体笼形物消失温度为 7~8.2℃,可知溶液为 NaCl 溶液,盐度为 8.96%~11.92%。

H₂O-NaCl-CO₂ 双相包裹体形状为椭圆形、眼球状、长条状、长方体、肾状、豆状、近四边形,少量负晶形包裹体、扁椭圆形、梭形等。包裹体长轴介于 3.7~12.4μm,平均值为 7.1μm。相比介于 10.0%~75.0%,平均值为 24%。初溶温度介于-8~-0.3℃,平均值为-4.58℃。其中,主成矿期石英脉包裹体片共 8 个,均一温度介于 139~376℃,平均值为 231.8℃(图 2)。双相包裹体 NaCl 盐度值介于 0.5%~17.35%,平均值为 9.29%(图 3)。

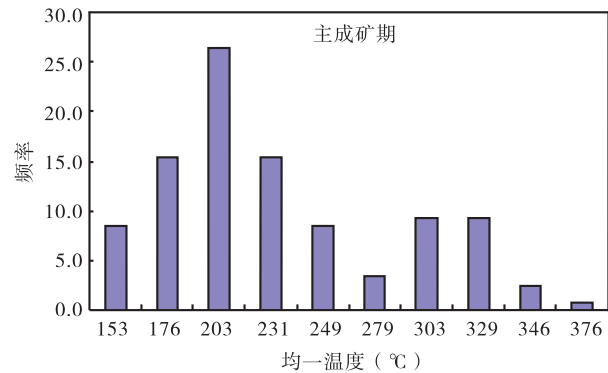


图 2 主成矿期均一温度直方图

Fig. 2 Main mineralization homogenization emperature histogram

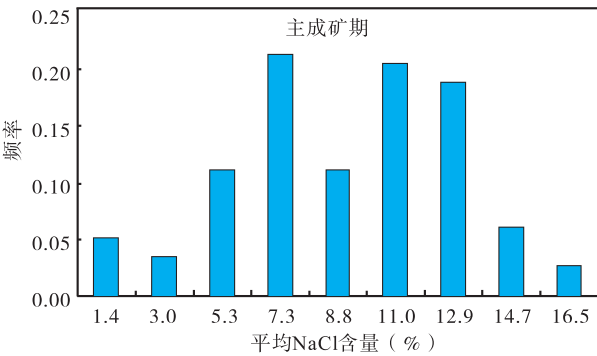


图 3 主成矿期盐度直方图

Fig. 3 Main mineralization salinity histogram

次成矿期 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 体系气液两相包裹体呈椭圆形、扁椭圆形、眼球状、长条状、长方体、近四边形、肾状、豆状、梭形等;长轴介于 $2.5\sim 23.5\mu\text{m}$, 平均为 $7.37\mu\text{m}$ 。相比介于 $7.1\%\sim 40\%$, 平均值为 18.68% , 较主期变小。均一温度介于 $103\sim 260^\circ\text{C}$, 个别达 301°C , 平均值为 173.7°C (图4)。盐度值介于 $0.7\%\sim 16.1\%$, 平均值为 7.21% (图5)。

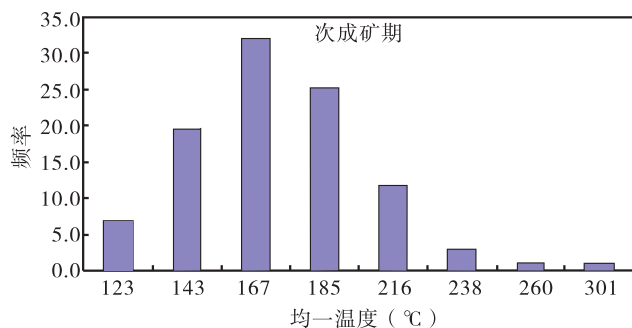


图4 次成矿期均一温度直方图

Fig. 4 Secondary mineralization homogenization temperature histogram

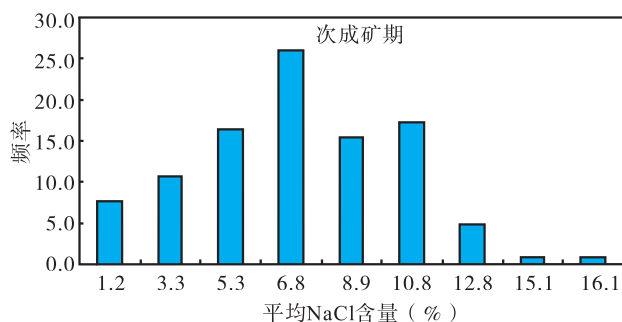


图5 次成矿期盐度直方图

Fig. 5 Histogram of salinity mineralization

$\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 双相包裹体主要产于次期石英脉, 形状为椭圆形、扁椭圆形、梭形、长条状、近长方体、肾状。包裹体长轴介于 $4.3\sim 8.4\mu\text{m}$, 平均值为 $6.4\mu\text{m}$ 。相比介于 $15.0\%\sim 33.3\%$, 平均值为 20.47% , 相比小。均一温度介于 $125\sim 230^\circ\text{C}$, 平均值为 162°C 。

气相包裹体, 包裹体形态不规则, 充满棕褐色气体, 随着温度升高, 包裹体内气体体积减少, 逐渐消失, 消失温度为 353°C , 气体成分有待进一步实验测得。

在 $(T-W-\rho)$ 图中 (图6), 主成矿期流体密度比较分散, 介于 $0.75\sim 0.96\text{g}/\text{cm}^3$, 次期流体密度主要介于

$0.85\sim 0.97\text{g}/\text{cm}^3$, 主要集中在 $0.9\sim 0.96\text{g}/\text{cm}^3$ 。次期流体密度较主期密度高。

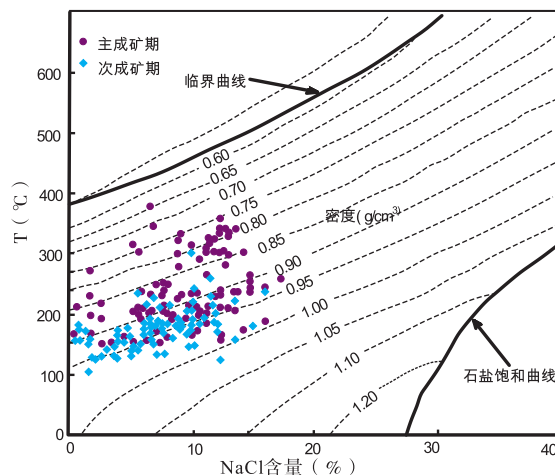


图6 查干德尔斯钼矿包裹体 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 体系 $T-W-\rho$ 相图

Fig. 6 Chagandells molybdenum inclusions $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ system $T-W-\rho$ phase diagram

根据主成矿期和次期成矿均一温度平均值及盐度平均值区间, 并结合流体密度值区间, 利用 $T-P-\rho$ 图做线 (图7), 成岩成矿压力介于 $10\times 10^5\sim 30\times 10^5\text{Pa}$ 。并选取 Kdr155 包裹体测温数据中三相包裹体, 包裹体均一温度 322°C , 盐度 11.9% 和 Kdr144 原生气液两相包裹体均一温度 341°C , 盐度 13.6% 投线作图, 成岩成矿静岩压力小于 $140\times 10^5\text{Pa}$, 成矿主阶段可能已处于静水压力环境, 按静水压力计算辉钼矿成矿深度为 $1.1\sim 1.4\text{km}$ (流体密度 $1\text{g}/\text{cm}^3$)。

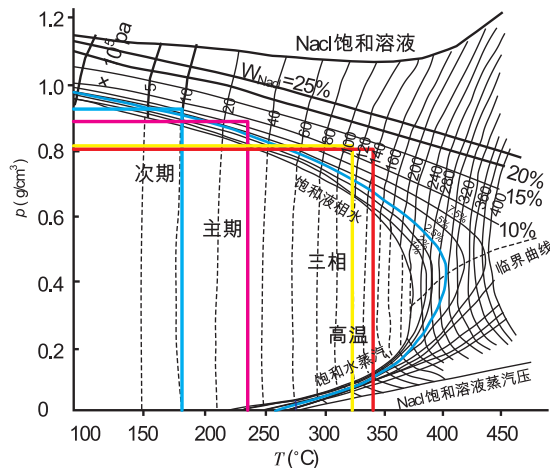


图7 包裹体投图法压力值图 (底图据 BODNAR RJ, 1983)

Fig. 7 Inclusions investment law pressure value graph

3.3 显微测温结果讨论

由包裹体数据分析,包裹体主成矿期温度介于 139~376℃,平均值为 231.8℃。包裹体 NaCl 盐度值介于 0.5%~17.35%,平均值为 9.3%,属于中-高温、低盐度成矿。次期温度介于 103~260℃,平均值为 173.7℃。包裹体 NaCl 盐度值介于 0.7%~16.07%,平均值为 7.2%,属于中-低温、低盐度成矿。主期成矿温度与气相比成正比,气相比大,温度高。在图 6(T-W-ρ)中,主成矿期流体密度比较分散,介于 0.7~1.0g/cm³,次期流体密度主要介于 0.85~1.0,主要集中在 0.9~0.95。次期流体密度较主期密度大,因气相比不同引起。

与查干花流体包裹体主成矿期均一温度范围一致,其均一温度为 147~387℃,主要集中于 225~387℃,盐度为 2.6%~8.6%,多数为 3%~5%。盐度较查干花钼矿略高,由查干花钼矿主期温度-组分-密度(T-W-ρ)相图查得密度为 0.6~0.9g/cm³。蚀变岩体中含有少量的石英-辉钼矿细脉,为成矿晚期所形成,其中的原生包裹体在升温过程中均一至液相,其冰点温度为-4.0~-0.2℃,均一温度为 161~322℃,多数为 161~225℃,盐度为 0.4%~6.5%,在(T-W-ρ)中查得密度为 0.8~

0.9g/cm³。

三相包裹体温度介于 277~322℃。盐度介于 8.96%~11.92%,盐度介于 8.96%~11.92%,平均值为 0.83%,属于中-高温、低盐度成矿。部分水溶液两相气液包裹体均一温度介于 125~230℃,平均值为 162℃,属于中-低温包裹体。主成矿期包裹体密度介于 0.65~1.0g/cm³,平均值为 0.9g/cm³。次期流体包裹体密度介于 0.82~1.03g/cm³,平均值为 0.94g/cm³。

以上分析,成矿热液分为主期中-高温、低盐度流体,次期中-低温、低盐度流体,后期有大气水加入。成矿可能因高温富硅热液与大气水混合,由于温度、压力、pH、Eh 等条件变化,促使流体内含矿物质发生沉淀,充填结晶形成矿床。

4 矿床成因讨论

4.1 成矿流体来源分析

为探讨查干德斯钼矿床成矿流体来源,刘翼飞等人选取成矿期主阶段与辉钼矿共生的石英和白云母进行氢氧同位素测定,探讨查干花钼矿床成矿流体的来源,测试结果见表 4(刘翼飞等,2011)。

表 4 查干花钼矿床氢氧同位素组成特征表
Tab. 4 Chaganhua hydrogen isotopic composition and molybdenum deposit

样号	脉体类型	样品名称	实测值/‰		平衡水/‰	
			δD	δ ¹⁸ O	δD	δ ¹⁸ O
CZK505-24	石英-辉钼矿-白云母脉	白云母	-111	7.4	-104.3	8.5
		石英	-105	9.1	-105	8.6
CZK505-30	石英-辉钼矿-白云母脉	白云母	-143	6.3	-115	5.2
		石英	-110	8.9	-110	5.2
CZK505-34	石英-辉钼矿-白云母脉	白云母	-147	6.6	-117.3	5.2
		石英	-98	9.3	-98	5.2
CZK505-35	石英-辉钼矿-白云母脉	白云母	-166	7.8	-133.9	6.2
		石英	—	10.6	—	6.2
CZK505-37	石英-辉钼矿-白云母脉	白云母	—	7.2	—	6.7
		石英	-95	7.7	-95	4.9

从表 4 可知,石英的 δ¹⁸O 实测值为 7.7‰~10.6‰,平均为 8.75‰;包裹体中水的 δD 实测值为 -95.0‰~110‰,平均为 -102‰;白云母样品的

δ¹⁸O 实测值为 6.3‰~7.8‰,平均为 7.06‰;平衡水的 δ¹⁸O 值为 4.9‰~8.6‰,平均为 6.19‰,平衡水中的 δD 值为 -95.0‰~-133.9‰,平均为

-109.89‰。从超基性到酸性岩, $\delta^{18}\text{O}$ 明显增高(肖荣阁等, 2008)。样品中石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 实测值接近中酸性岩范围 $\delta^{18}\text{O}=6\text{‰}\sim 13\text{‰}$ 。

该组样品水/岩值小($\delta^{18}\text{O}/\delta\text{D}$ 同位素值), 水相中同位素值接近岩石的同位素值(刘翼飞等, 2011)。笔者认为矿床 O 同位素值低是由岩浆热液与大气水混合形成, 受构造应力影响, 热液进入围岩裂, 物理化学条件变化, 使辉银矿在裂隙中充填矿化。

4.2 成矿物质来源示踪

S 同位素在成矿中具有重要的示踪意义, 是推断成矿物质来源和成矿过程的主要依据(陈永清等, 2009)。本次研究共测试 S 同位素样品 6 个, 测试结果见表 5。

从表 5 可知, 查干德尔斯钼矿床 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}\text{‰}$ 介于 +1.1‰~+3.7‰, 平均值为 2.2‰, 其来源为壳源 S(肖荣阁等, 2008; 代军治等, 2006; 李剑锋等, 2015), 其中, S 同位素值接近酸性岩石中 S 值, 其来源可能属于岩浆岩重熔热液和大气水混合形成。

表 5 硫同位素分析表(‰)
Tab. 5 Sulfur isotope analysis (‰)

原样号	样品名称	$\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$	备注
Kdr159	辉钼矿	1.1	
No45	辉钼矿	3.7	
No1	辉钼矿	2.0	
No7	辉钼矿	1.3	
No9	辉钼矿	2.9	
No11	辉钼矿	—	量太少, 未测出

4.3 矿床成因讨论

依据查干德尔斯钼矿床成矿流体包裹体显微测温、盐度、组分和 H、O、S 同位素研究结果, 考虑花岗岩是斑状结构, 自形-半自形晶, 结晶程度相对较好, 且石英脉中可见海绵陨铁矿结构, 交代残余结构, 辉银矿多呈充填状分布在石英脉裂隙中, 多云英岩化、绢云母化、泥化, 指示成矿热液为后期岩浆热液和大气降水混合形成。因此, 该矿床属于岩浆后期热液石英脉充填型矿床, 而非斑岩型矿床, 结果与梁帅等人研究成果一致(梁帅等, 2015)。

5 结论

查干德尔斯钼矿床成矿期主阶段辉钼矿-石英-

绢云母细脉发育 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2$ 气液两相包裹体, 及少量的 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 气液两相包裹体、 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2$ 三相包裹体; 成矿期晚阶段辉钼矿-石英细脉发育 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 双相包裹体、气相包裹体。测温结果表明, 成矿期主阶段属于中-高温、低盐度成矿, 成矿期晚阶段属于中-低温、低盐度成矿, 后期有大气水加入, 成矿可能因高温富硅热液与大气水混合, 由于温度、压力、PH、Eh 等条件变化, 促使流体内含矿物质发生沉淀, 充填结晶形成矿床。

流体包裹体 H、O 同位素研究表明, 矿床 H 同位素值低是由岩浆热液与大气水混合形成, 受构造应力影响, 热液进入围岩裂隙, 物理化学条件变化, 使辉钼矿在裂隙中充填矿化。

查干德尔斯钼矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 +1.1‰~+3.7‰, 平均为 2.2‰, 其来源为壳源 S。其中, S 同位素值接近酸性岩石中 S 值, 其来源可能属于岩浆岩重熔热液和大气水混合形成。

查干德尔斯钼矿床属于岩浆后期热液石英脉充填型矿床, 而非斑岩型矿床。

参考文献(References):

梁帅, 刘敬党, 肖荣阁, 等. 内蒙古查干敖包钼矿 Re-Os 同位素年龄及成矿作用研究[J]. 中国地质, 2015, 42(1): 224-234.

LIANG Shuai, LIU Jingdang, XIAO Rongge, et al. Re-Os isotopic ages and mineralization of the Qagan Obo molybdenite deposit, Inner Mongolia [J]. China Geology, 2015, 42 (1): 224-234.

蔡明海, 张志刚, 屈文俊, 等. 内蒙古乌拉特后旗查干花钼矿床地质特征及 Re-Os 测年[J]. 地球学报, 2011, 32(1): 64-68.

CAI Minghai, ZHANG Zhigang, QU Wenjun, et al. Geological Characteristics and Re-Os Dating of the Chaganhua Molybdenum Deposit in Urad Rear Banner, Western Inner Mongolia [J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 32 (1): 64-68.

蔡明海, 彭振安, 屈文俊, 等. 内蒙古乌拉特后旗查干德尔斯钼矿床地质特征及 Re-Os 测年[J]. 矿床地质, 2011, 30(3): 377-384.

CAI Minghai, PENG Zhenan, QU We-jun, et al. Geological characteristics and Re-Os dating of molybdenites in Chagandeersi molybdenum deposit, western Inner Mongolia [J]. Mineral Geology, 2011, 30 (3): 377-384.

刘敬党, 梁帅, 肖荣阁, 等. 内蒙古宝音图钼矿成矿岩体地球

- 化学、年代学及成因研究[J]. 中国地质, 2015, 42(1): 149-168.
- LIU Jingdang, LIANG Shuai, XIAO Rongge, et al. Geochemistry, geochronology and petrogenesis of the ore-forming intrusive body in the Baoyintu molybdenum deposit, Inner Mongolia [J]. China Geology, 2015, 42 (1): 149-168.
- 杨帆, 肖荣阁, 李娜, 等. 内蒙古宝音图钼矿床花岗岩稀土元素地球化学特征及花岗岩成因[J]. 现代地质, 2013, 27(4): 831-840.
- YANG Fan, XIAO Rongge, Li Na, et al. REE Geochemical Characteristics and Genesis of Granites in Baoyintu Molybdenum Deposit, Inner Mongolia [J]. Modern Geology, 2013, 27 (4): 831-840.
- 李光耀. 内蒙古乌拉特后旗查干德尔斯钼矿成矿岩体地球化学特征及成岩作用[D]. 中国地质大学(北京)硕士论文, 2012.
- LI Guangyao. Geotological characteristics and diagenesis of ore-forming rock mass in Chaganshil molybdenum deposit in Inner Mongolia, China [D]. China University of Geosciences (Beijing) Master's thesis, 2012.
- 刘翼飞, 聂凤军, 江思宏, 等. 内蒙古查干花钼矿区成矿花岗岩地球化学、年代学及成岩作用[J]. 岩石学报, 2012, 28(02): 409-420.
- LIU Yifei, NIE Fengjun, JIANG Sihong, et al. Ore-forming granites from Chaganhua molybdenum deposit, Central Inner Mongolia, China: Geochemistry, geochronology and petrogenesis[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(02): 409-420.
- 刘翼飞. 内蒙古查干花斑岩钼矿床—俯冲改造的富集型源区及碰撞后伸展环境对成矿的贡献[D]. 吉林大学博士论文, 2013.
- LIU Yifei. Inner Mongolia Chagan porphyry molybdenum deposit-subduction transformation of the rich source area and the collision after the extension of the wall to the contribution of mineralization [D]. Jilin University Doctoral Thesis, 2013.
- 颜开. 内蒙古乌拉特后旗查干德尔斯钼矿床成因及控矿规律研究[D]. 中国地质大学(北京)硕士论文, 2012.
- YAN Kai. Study on the genesis and ore-controlling law of the Chagandeer molybdenum deposit in Wulatehouqi, Inner Mongolia [D]. China University of Geosciences (Beijing) Master's thesis, 2012.
- 刘翼飞, 聂凤军, 江思宏, 等. 内蒙古查干花钼矿床成矿流体特征及矿床成因[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(6): 1794-1805.
- LIU Lifei, NIE Fengjun, JIANG Sihong, et al. Ore-Forming Fluid Characteristics and Ore Genesis of Chaganhua Porphyry Molybdenum Deposit in Central Inner Mongolia, China [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2011, 41 (6): 1794-1805.
- 席斌斌, 施伟军, 张德会, 等. 迭代法计算 $H_2O - CO_2 - NaCl$ 包裹体均一压力的改进及其应用[J]. 矿床地质, 2010, 29(6): 1138-1144.
- XI Binbin, SHI Weijun, ZHANG Dehui, et al. Improvements and application of iterative method for calculating homogenization pressure of $H_2O - CO_2 - NaCl$ inclusion system [J]. Mineral Deposit, 2010, 29 (6): 1138-1144.
- 肖荣阁, 刘敬党, 费红彩, 等. 岩石矿床地球化学[M]. 北京: 地震出版社, 2008.
- XIAO Rongge, LIU Jingdang, FEI Hongcai, et al. Geology of rock deposits [M]. Beijing: Earthquake Press, 2008.
- 陈永清, 黄静宁, 卢映祥, 等. 中缅毗邻区金腊 Pb - Zn - Ag 多金属矿田元素、稳定同位素和流体包裹体地球化学[J]. 地球科学, 2009, 16(1): 344-362.
- CHEN Yongqing, HUANG Jingning, LU Yingxiang, et al. Geochemistry of Elements, Sulphur - Lead Isotopes and Fluid Inclusions from Jinla Pb - Zn - Ag Poly - Metallic Ore Field at the Joint Area across China and Myanmar Border[J]. Earth Science, 2009, 16 (1): 344-362.
- 代军治, 毛景文, 杨富全, 等. 华北地台北缘燕辽钼(铜)成矿带矿床地质特征及动力学背景[J]. 地质学报, 2006, 25(5): 598-612.
- DAI Junzhi, MAO Jingwen, YANG Fuquan, et al. Geological characteristics and geodynamic background of molybdenum (copper) deposits along anshan_Liaoning metallogenic belt on northern margin of North China bloc [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 25 (5): 598-612.
- 李剑锋, 王可勇, 陆继胜. 内蒙古红岭铅锌矿床成矿流体地球化学特征及矿床成因[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2015, 40(6): 995-1005.
- LI Jianfeng, WANG Keyong, LU Jisheng, et al. Ore - Forming Fluid Geochemical Characteristics and Genesis of Pb - Zn Deposit in Hongling, Inner Mongolia [J]. Earth Science, 2015, 40 (6): 995-1005.
- BODNAR R. J. Revised equation and table for determining the freezing point depress of $H_2O - NaCl$ solutions [J]. Geochimica Acta, 1993, 57(3): 683-684.