

鸡公山岩体南缘娘娘顶铍矿床地质特征与找矿潜力分析

宋威方^{1,2}, 邹院兵^{1,2}, 徐加林^{1,2}, 陈松林³, 熊扬福^{1,2}, 刘兴平^{1,2}, 付胜波^{1,2}

(1. 湖北省地质局第六地质大队; 2. 资源与生态环境地质湖北省重点实验室; 3. 湖北省地质勘查基金管理中心)

摘要:娘娘顶铍矿床位于桐柏—大别成矿带之鸡公山岩体南缘, 矿区内新元古代至中生代中酸性岩体(脉)发育, 岩性以二长片麻岩、黑云母花岗岩和花岗岩等为主。矿体形态复杂, 总体以分叉状向北西向和北东东向两侧展布; 矿体在地表呈透镜状, 围岩为娘娘顶岩体黑云母二长花岗岩和黄麦岭岩组变质岩地层。在细致的野外调查基础上, 对娘娘顶铍矿床开展了系统的矿床地质特征、控矿因素、找矿标志、矿物学和矿相学研究, 结合前人研究成果, 探讨矿床成因, 构建矿床成矿模式, 总结成矿规律, 梳理找矿方向, 为开展下一步找矿勘查提供理论支撑。

关键词:鸡公山岩体; 娘娘顶; 铍矿床; 地质特征; 成矿规律; 找矿方向

中图分类号: P618.51

文章编号: 1001-1277(2024)07-0080-08

文献标志码: A

doi: 10.11792/hj20240714

引言

娘娘顶铍矿床大地构造位置处于华北板块与扬子板块碰撞交会部位的桐柏—大别成矿带中段南缘, 行政区划隶属湖北广水市武胜关镇和大悟县大新店镇管辖, 多期次、多阶段构造演化和岩浆侵入^[1-3], 形成了桐柏—大别成矿带产出的、成因上与燕山期岩浆活动有关的贵金属和稀有金属矿化^[4-9]。前人研究结果显示, 娘娘顶铍矿床发育单一铍矿种, 属于钠长岩型稀有金属矿床^[10], 矿体主要呈脉状产出于娘娘顶岩体的破碎带中及其与红安岩群黄麦岭组地层接触带上, 主要矿石矿物为日光榴石, 脉石矿物为钠长石、石英、白云母、锰铝榴石和菱锰矿等^[11-12], 矿化元素铍为岩浆来源, 而锰和锌则来源于围岩黄麦岭岩组地层^[12], 成因上与燕山期花岗岩有关, 岩浆活动为铍成矿提供了成矿物质和成矿流体来源^[12-15], 而矿床成矿地质特征、矿体产出、蚀变类型和矿相学特征尚未查明, 成矿规律和找矿标志未系统梳理, 这对于区域找矿极为不利。本次研究通过湖北省地勘基金项目“湖北省大悟县娘娘顶矿区铍钨多金属矿预-普查”的实施和最新研究成果, 发现娘娘顶铍矿床并非只有单一铍矿化, 同时伴随钨、锌矿化, 分别圈定了铍、钨、锌矿(化)体, 估算铍资源量规模为小型, 实现了该区稀有金属矿床找矿突破, 显示具有找寻稀有金属矿床的成矿条件和潜力。为了梳理娘娘顶铍矿床成矿特征, 指导矿区下一步找矿勘查部署, 本次研究拟通过系统矿物学、矿相学、成矿地质特征、控矿因素、成矿规律和找矿标志, 结合前人开展的矿床地球

化学和年代学研究成果, 探讨矿床成因, 建立成矿模式, 指明找矿方向, 指导找矿勘查。

1 区域地质背景

娘娘顶铍矿床位于秦岭—大别造山带桐柏—大别超高压变质地体西段^[14-15], 夹持于栎川—合肥断裂与桐柏—浠水断裂之间(见图1)。区域经历了多期次、多阶段构造运动, 是多次聚合后拼贴为一体的复杂构造带^[16-21]。区域地层属华南地层大区南秦岭—大别山地区桐柏—大别山地区分区, 主要出露新元古界红安岩群和第四系等。红安岩群为一套低角闪岩相—高绿片岩相区域变质岩系, 主要包含黄麦岭岩组(Pt₃h)和天台山组(Pt₃t)^[22-23]; 第四系(Q)主要分布于沟谷地带及其两侧的山前坡地等处。



图1 娘娘顶铍矿床大地构造位置图(据文献[24]修改)

Fig.1 Geotectonic location map of Niangniangding Beryllium Deposit

区域构造总体较为简单, 以主要发育北东向断裂

收稿日期: 2024-01-27; 修回日期: 2024-04-15

基金项目: 湖北省自然科学基金联合基金项目(2023AFD230); 湖北省地质局科技项目(KJ2023-29); 湖北省地勘基金项目(2017-42)

作者简介: 宋威方(1992—), 男, 工程师, 博士, 从事矿产勘查与找矿预测研究工作; E-mail: 865770658@qq.com

和北东向褶皱为特征。褶皱主要有北西向的紧密和彼此平行的背斜和向斜,由于多期次构造演化,叠加了近东西向、北北东向褶皱,总体出现在濠水断裂的西侧,以北西向相互平行的褶皱为主;而在该断裂东侧,以北北西向或北北东向褶皱为主。断裂较发育,按走向可分为北西向、北东向、北北东向3组,以北东向、北北东向断裂最为发育。北西向断裂一般具有多期活动特征,常表现出逆断裂性质,为早期断裂,由于后期构造作用,普遍被北北东向和北东向断裂切割。北北东向断裂规模大,尤以濠水断裂规模最大,纵贯全区,区域上延伸达100 km以上,具有多期次活动特征,主要表现为右型平推和逆断裂性质,同时次级断裂破碎带内常有张性角砾岩分布,普遍切割北西向和北北东向断裂。

区域岩浆岩发育,其中侵入岩主要分布于广水河西侧、霞家河水库一大新店、娘娘顶、杨新岩、鸡公山一铁铺地区,主体为酸性侵入岩和少量基性侵入岩^[14,19,23-24]。依据形成时代,侵入岩可分为新元古代(扬子期)侵入岩和燕山期侵入岩^[25-27]。其中,新元古代侵入岩主要分布于西部三关咀—卢家湾及江家山一带,该期岩体均经历了变质变形改造,片麻状构造发育,主要岩性为含斑黑云二长片麻岩、二云二长片麻岩、角闪黑云二长片麻岩等,原岩为碱长花岗岩、石英正长岩及二长花岗岩等,主要为一套钙碱性系列岩石(碱长花岗岩—石英正长岩—二长花岗岩)。燕山期侵入岩主要有角闪黑云石英二长岩、中粒斑状黑云母花岗岩、片麻状细粒黑云母花岗岩,以及花岗岩脉、伟晶岩脉、石英脉、钾长石脉等,与区域内贵金属和稀有金属成矿关系密切。

2 矿区及矿床地质特征

娘娘顶铍矿床位于濠水断裂北西侧、鸡公山岩体南缘,矿区内变形变质作用强烈,岩浆活动频繁,构造相对较简单。

2.1 地层

矿区主要出露新元古界红安岩群黄麦岭岩组(Pt_3h)和第四系(Q)(见图2)。黄麦岭岩组(Pt_3h)主要分布于矿区南部娘娘顶岩体的东西两侧棺材沟—西林庵一带和娘娘顶—黄家石园一带。根据产出关系,该地层为娘娘顶岩体的盖层,覆盖于岩体之上,北部受燕山晚期岩浆岩侵位而未见出露。根据区域地层特征及对比,出露的均为黄麦岭岩组含磷岩段,结合岩性组合特征的差异,在矿区内细分出2个岩性段,分别为含磷岩段片岩岩性段($Pt_3hp-sch$)和含磷岩段粒岩岩性段(Pt_3hp-li)。黄麦岭岩组含磷岩段片岩岩性段出露于矿区南部棺材沟—西林庵一

带及黄家石园的西南部,岩性以白云石英片岩、白云钠长片麻岩为主。主要岩性下部为白云钠长片麻岩夹白云石英片岩,中部为白云钠长片麻岩、黑云斜长片麻岩夹变粒岩、浅粒岩,上部为白云石英片岩、大理岩、变粒岩、浅粒岩等,顶部为白云石英片岩,而与粒岩岩性段分界,原岩为一套碎屑岩—碳酸盐岩沉积建造。黄麦岭岩组含磷岩段粒岩岩性段出露于矿区西南角娘娘顶一带,主要岩性为白云钠长变粒岩、白云(或二云)二长浅粒岩、微斜钠长浅粒岩等,局部夹钠长角闪片岩、白云石英片岩等,顶部见薄层状含黄铁矿白云微斜钠长变粒岩,原岩为陆源碎屑岩、酸性火山岩等,与黄麦岭岩组含磷岩段片岩岩性段呈构造平行整合接触。第四系不发育,仅沿中南部罗家河两侧局部分布,主要为冲积层。

2.2 构造

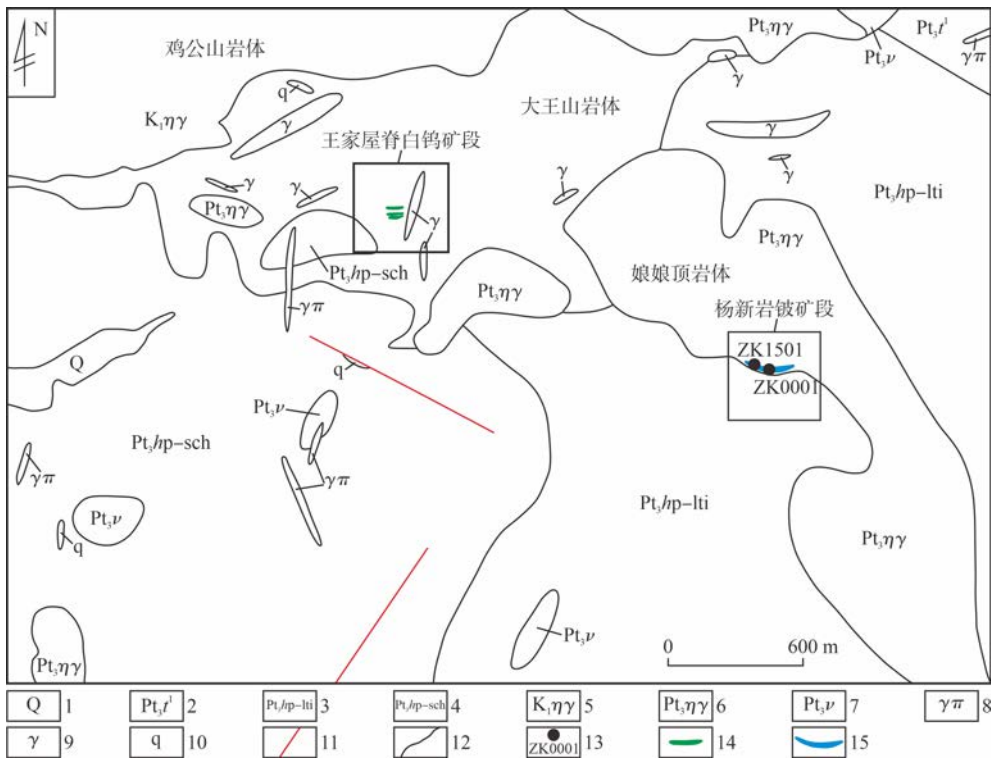
矿区构造简单,总体表现为褶皱和断裂。红安岩群变质地层总体表现为向南西倾的单斜构造,在矿区南西角,黄麦岭岩组受西侧桂花树湾倒转背斜影响,产状有明显变化。桂花树湾倒转背斜轴线方向为北东 70° 左右,核部为红安岩群黄麦岭岩组含磷岩段粒岩岩性段(矿区西侧出露),是矿区外围石墨矿的含矿层,也是杨新岩体中大理岩捕虏体的母岩层,与矽卡岩型钨矿化有关;南东翼为黄麦岭岩组含磷岩段粒岩岩性段,倾向 $100^\circ\sim 110^\circ$,倾角 $35^\circ\sim 50^\circ$ 。矿区内最主要构造为北东向、北西向、北北东向断裂破碎带,以及发生在断裂破碎带内的次级裂隙。北东向与北西向断裂破碎带的复合部位是岩体侵位的有利空间,同时这些断裂破碎带的次级裂隙中矿化现象明显,与成矿关系密切。

2.3 岩浆岩

矿区内岩浆活动较为强烈,具有多次侵入特点,可划分为新元古代酸性岩浆活动和中生代早白垩世基性—酸性岩浆活动。新元古代酸性岩浆活动形成了娘娘顶岩体,中生代早白垩世岩浆活动形成了鸡公山岩体及大王山基性岩体,中生代岩浆活动与钨、铍成矿关系密切。此外,矿区发育有大量岩脉,如花岗斑岩脉、花岗岩脉及石英脉等。

2.4 矿体特征

矿体出露于矿区西南部娘娘顶附近,地表矿体由具黑褐色锌锰质皮壳构造的强钠化二长花岗岩组成,深部矿体主要由铁锰质碎裂岩化钠化花岗岩组成,围岩为娘娘顶岩体黑云母二长花岗岩和黄麦岭岩组变质岩地层。矿体形态较为复杂,总体以分叉状向北西向和北东东向两侧展布,走向延伸长度约310 m,倾向延伸40 m。地表矿体呈透镜状,出露长度约110 m,宽度1.0~14.0 m,矿体厚度在0.99~10.31 m,BeO品位



- 1—第四系 2—天台山组下段 3—黄麦岭岩组含磷岩段粒岩岩性段 4—黄麦岭岩组含磷岩段片岩岩性段
5—中细粒斑状二长花岗岩(鸡公山岩体) 6—中细粒二长花岗岩(娘娘顶岩体) 7—变辉长岩(大王山岩体) 8—花岗斑岩脉
9—花岗岩脉 10—石英脉 11—性质不明断裂 12—地质界线 13—钻孔 14—钨矿体 15—铍矿体

图2 娘娘顶铍矿区地质简图

Fig. 2 Geological sketch of the Niangniangding Beryllium District

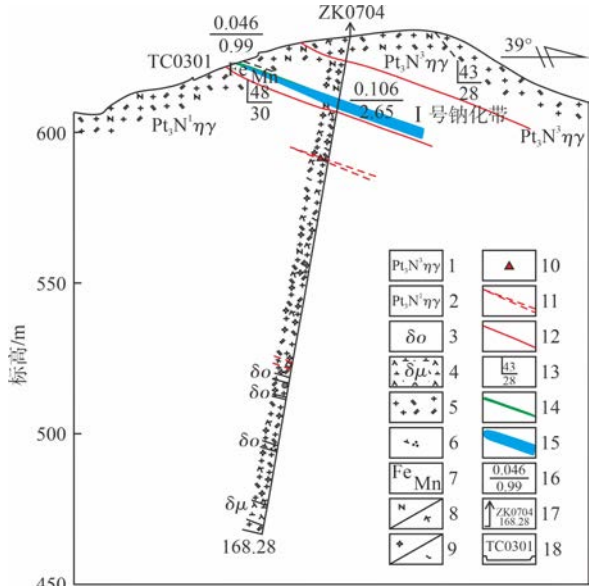
0.045 % ~0.130 % ,总体走向 290°,倾向北东,倾角 30°~50°。钻孔揭露深部具有强钠化和硫化物化,且伴有大量团状石榴子石和磁铁矿出现,属高温富氧热液蚀变类型,基本验证了钠化带及铍矿(化)体(见图3)产出严格受控于娘娘顶岩体与黄麦岭岩组变质岩地层接触面这一认识。此外,钻孔深部发现的多处燕山期中酸性小花岗岩体可能与成矿物质来源关系密切。此外,在距白钨矿点北约450 m处的王家屋脊矿段内,发现1处钨矿化,赋矿岩石为发育于晚白垩世辉长岩中的硅化破碎带,矿体倾向350°,倾角29°,厚度0.62 m,钨平均品位0.037 %。

2.5 矿石特征

根据各矿物有用组分,结合铍矿石镜下光薄片及探针鉴定,将铍矿石成分分为矿石矿物和脉石矿物;矿石矿物主要为铍日光榴石;脉石矿物主要为钠长石、方解石、石英、锰铝榴石、绿泥石、白云母、褐铁矿和褐铁矿等(见图3、图4)。

2.5.1 铍日光榴石(Hlv)

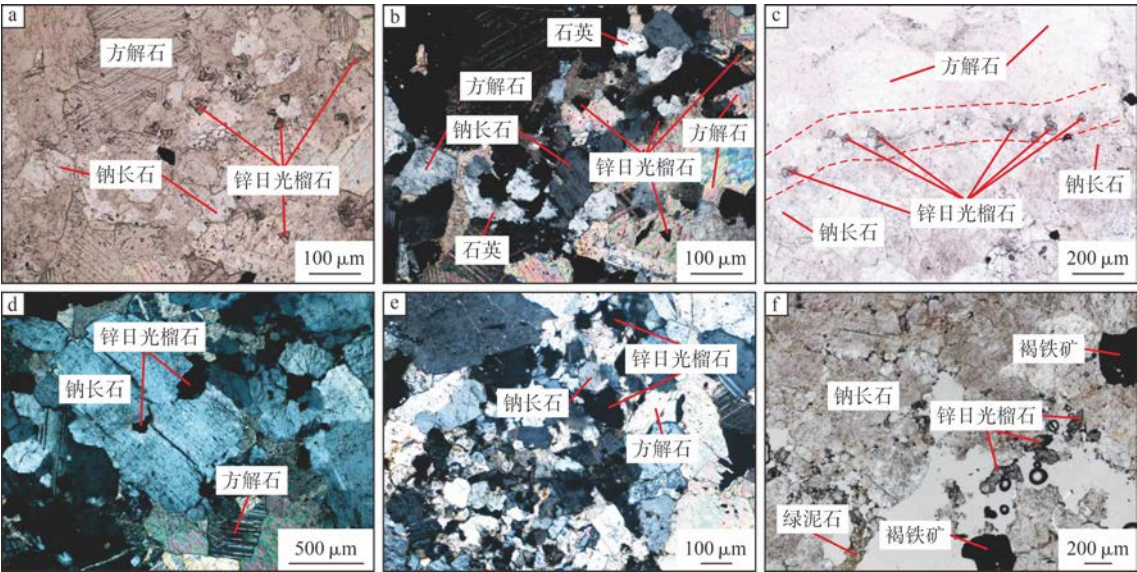
含铍矿物为铍日光榴石,矿石手标本中很难识别,主要为浅褐色颗粒,表面偶见黑褐色风化产物,镜下特征主要为他形一半自形粒状结构,多被其他矿物交代



- 1—娘娘顶岩体第三期 2—娘娘顶岩体第一期 3—石英闪长岩
4—闪长玢岩 5—二长花岗岩 6—黑云石英闪长岩 7—铁锰质
8—钠化/钾化 9—硅化/绿泥石化 10—闪锌矿化 11—相变界线
12—断裂 13—倾向(°)/倾角(°) 14—铍矿体 15—低品位铍矿体
16—铍品位(%) /厚度(m) 17—钻孔编号及孔深(m) 18—探槽及编号

图3 娘娘顶铍矿床7勘探线剖面图

Fig. 3 Profile of Exploration Line 7 of Niangniangding Beryllium Deposit



a、b—具三角形断面的锌日光榴石分布在方解石内或方解石与钠长石的晶粒间隙(单偏和正交)
c—锌日光榴石分布在钠长石与方解石的晶粒间隙接触部位,呈锯齿状链条分布(单偏)
d—锌日光榴石分布在钠长石之间的晶粒间隙中(正交) e—他形锌日光榴石分布在方解石与钠长石的晶粒间隙(正交)
f—皮壳中的锌日光榴石(单偏)

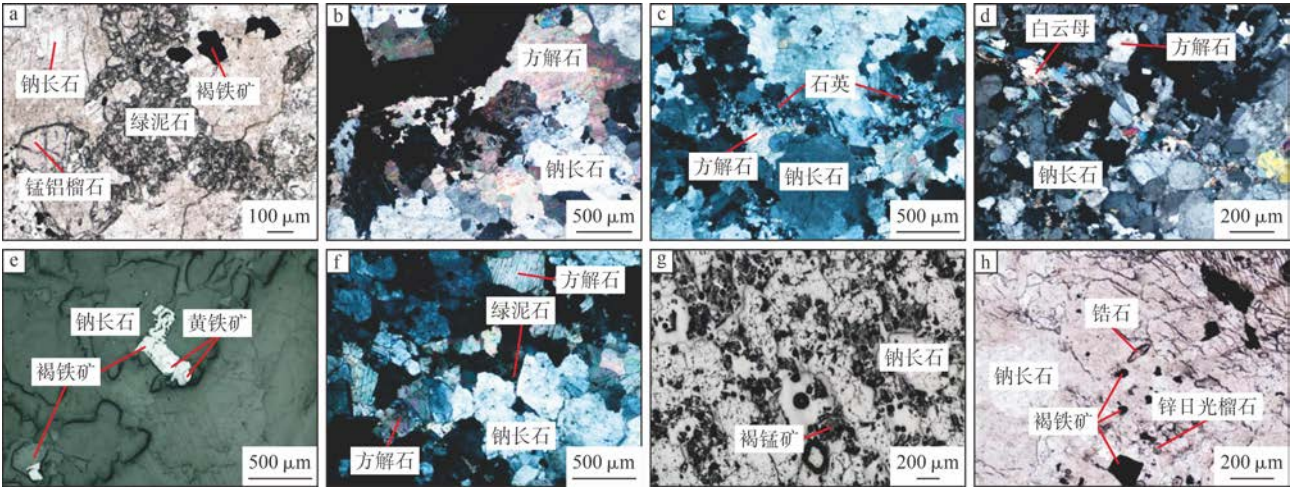
图 4 铍矿石中锌日光榴石镜下特征

Fig. 4 Microscopic characteristics of the zinc - heliogarnet in beryllium ores

而呈不规则尖角状,并可见三角形断面(见图 4);单偏镜下呈浅灰色—浅黄色,具正高突起,偶见一组不完全解理,正交镜下全消光,显均质性。加入稀盐酸后缓慢溶解,可放出刺激性气体,推测为硫化氢气体。锌日光榴石常与方解石、钠长石、褐铁矿等共生。

2.5.2 锰铝榴石(Sps)

矿石手标本中,锰铝榴石(见图 5 - a)多呈棕黄色或黄褐色,镜下主要为浅灰色—浅黄色,多呈自形—半自形粒状结构,常具六边形晶面;单偏镜下具正高突起,无解理;正交镜下全消光,显均质性。在镜下不易于与锌日光榴石区分,需从晶形、粒度大小等方面进行区分。



a—锰铝榴石,其间可见绿泥石化(单偏) b—方解石的巨大单颗粒(正交) c—细小的石英亚颗粒(正交)
d—分布在晶粒间隙的白云母(正交) e—褐铁矿及其边缘残余的黄铁矿(反光) f—绿泥石的靛蓝色异常干涉色(正交)
g—只在皮壳中大量存在的褐锰矿(反光) h—自形长柱状锆石(单偏)

图 5 娘娘顶铍矿床矿物镜下特征

Fig. 5 Microscopic characteristics of minerals in Niangniangding Beryllium Deposit

2.5.3 钠长石(Ab)

手标本中钠长石为灰白色,板状,粒径普遍大于

0.5 cm;镜下其为无色透明(见图 5 - b、c),板状,自形—他形均可见,表面常浑浊,具负低突起;可见两组

近似垂直的解理,正交镜下干涉色为Ⅰ级灰白,常见聚片双晶。钠长石为构成铍矿石的主要脉石矿物,常呈大颗粒分布在薄片,可见被锆日光榴石、锰铝榴石、白云母、石英、方解石等矿物穿切交代。

2.5.4 方解石(Cal)

方解石在手标本中为白色,形状不规则,硬度小于小刀;镜下特征为无色透明,他形,常呈不规则粒状或脉状,具闪突起,常见2组完全解理,解理夹角约为70°,正交镜下可见“高级白”干涉色及双晶纹,大部分情况下也可见Ⅱ级干涉色。

2.5.5 石英(Qtz)

石英在手标本中为无色透明,形状不规则,可见油脂光泽;镜下主要为无色,表面较为干净,自形一半自形,正交镜下为Ⅰ级灰白。石英可见明显的粗粒和细粒差别,既可见大颗粒石英与钠长石共生甚至被钠长石包含,这种石英应为早期产物,于高温热液阶段形成;也可见小颗粒的石英亚颗粒交代钠长石,这种石英应为中低温热液作用的产物,为较晚期产物;此外,还可见石英脉穿切花岗岩,应为岩浆岩形成后较低温热液阶段的产物;所以石英应有不同世代。

2.5.6 白云母(Ms)

白云母手标本中几乎不可见,镜下的主要特征是片状,无色—浅绿色,正交镜下颜色较为鲜艳,达到Ⅱ级干涉色,一般呈极微小片状分布在钠长石内部或边缘,因其粒度过小,其余光学性质不易观察。但是,在钠化程度较弱的花岗岩中,可见大颗粒白云母,具闪突起,具1组完全解理,近平行消光,呈长条状分布在长石间的晶粒间隙接触部位(见图5-d)。

2.5.7 褐铁矿(Lm)

手标本中褐铁矿为黑褐色,晶形不规则,粒度较小;偏光镜下可见其为黑色,不透明;皮壳中的褐铁矿颗粒大多较小,但也有大颗粒分布;部分呈黄铁矿假象,可见正方形及五角形断面;部分晶形不规则;反光镜下可见其为暗褐色,不具金属光泽(见图5-e)。常见褐铁矿与锆日光榴石、锰铝榴石共生。

2.5.8 黄铁矿(Py)

黄铁矿在矿石中含量很少,基本全部氧化成褐铁矿,反光镜下偶在褐铁矿边缘或内部看到浅黄色颗粒。

2.5.9 绿泥石(Chl)

绿泥石含量很少,手标本中基本不可见,镜下其呈灰绿色,板状,正低突起,可见1组完全解理,正交镜下干涉色为Ⅰ级灰,但可见靛蓝色、锈褐色的异常干涉色(见图5-f),近平行消光。主要形成在锰铝榴石边部,交代锰铝榴石,应为后期蚀变形成;也可见单颗粒存在,可能交代比较完全。

2.5.10 锆石(Zrn)

锆石含量很少,手标本中基本不可见。镜下为无色—浅褐色,呈自形细长小柱状(见图5-h),干涉色鲜艳,达Ⅲ级蓝绿。

2.5.11 褐锰矿(Brn)

褐锰矿只存在于黑褐色皮壳中。手标本中集合体呈松散的骨架状,具土状光泽,晶形不规则。反光镜下为淡棕灰色,弱非均质性,暗灰—暗棕黄色变化;偏光镜下不透明。

2.6 矿石组构特征

2.6.1 矿石结构

根据矿石中各矿物的特点,如形态、大小、结晶程度、空间穿插关系等,划分出以下几种主要矿石结构,能反映出矿物形成的相关特点。

2.6.1.1 半自形—他形粒状结构(锆日光榴石)

矿石中,锆日光榴石外形不规则,部分锆日光榴石晶面只有一部分平直,其余晶面无定形或具不规则外形,呈他形—半自形出于钠长石及方解石或石英的晶粒间隙接触部位(见图4、图6-a)。

2.6.1.2 交代残余结构

1)尖角状交代残余结构(锆日光榴石与钠长石)。这类结构主要见于锆日光榴石与钠长石中。锆日光榴石某一边呈尖角状或其他棱角状交代钠长石,说明钠长石形成早于锆日光榴石,在钠长石形成后其沿钠长石晶粒间隙灌入交代(见图6-b)。

2)孤岛—港湾状交代残余结构(钠长石与锰铝榴石)。锰铝榴石交代钠长石,最终锰铝榴石呈较为孤立的孤岛状、港湾状,表明钠长石形成早于锰铝榴石(见图6-c)。

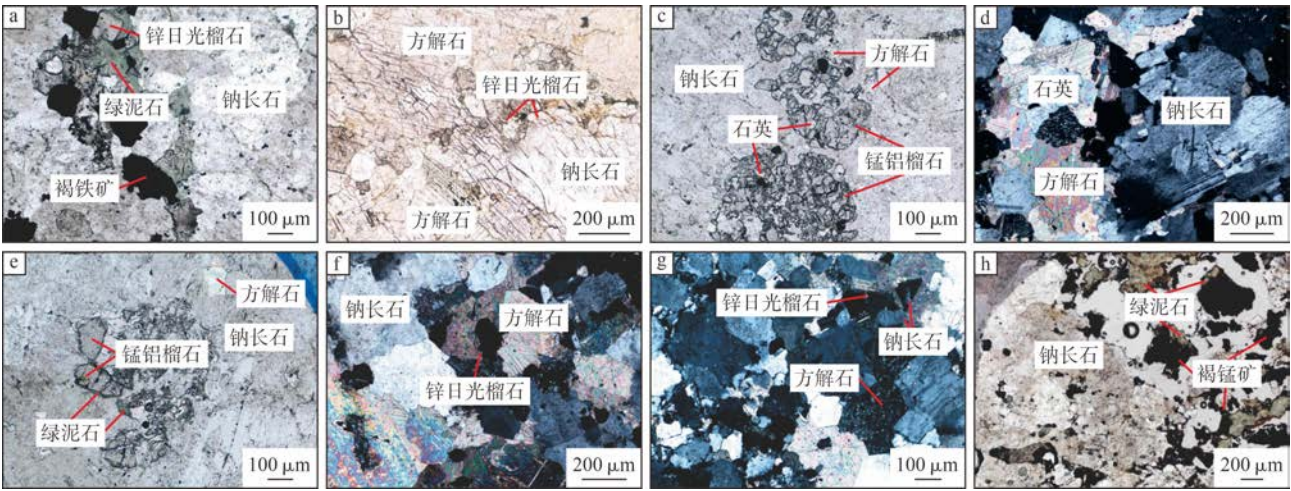
3)不规则交代残余结构(多种矿物)。方解石多处可见不规则交代钠长石、锰铝榴石、锆日光榴石、绿泥石等,使其他矿物被交代后,残余外形不规则,但边界呈浑圆或平滑的不规则蚕食状(见图6-d),说明方解石形成晚于其他矿物。局部也可见锆日光榴石、石英、白云母等交代钠长石,交代残余的钠长石边界呈圆滑的不规则蚕食形态;此外,皮壳中也存在被褐锰矿交代残余的绿泥石、锰铝榴石、锆日光榴石(见图6-h)。

2.6.1.3 反应边结构(锰铝榴石与绿泥石)

绿泥石沿锰铝榴石边缘呈镶边状,包围锰铝榴石(见图6-e)。说明绿泥石形成晚于锰铝榴石。绿泥石应为锰铝榴石蚀变形成。

2.6.1.4 包含结构

1)锆日光榴石被方解石包含:边界圆滑的锆日光榴石被包裹于方解石中,说明方解石形成晚于锆日光榴石(见图6-f、g)。



a—具他形一半自形粒状结构的锆日光榴石,分布在钠长石、方解石、褐铁矿、绿泥石等矿物的晶粒间隙中
b—具尖角状交代残余结构的锆日光榴石,锆日光榴石呈尖角状或其他棱角状交代钠长石
c—具孤岛—港湾状交代残余结构的锰铝榴石,锰铝榴石交代钠长石后呈较为孤立的孤岛状、港湾状
d—具不规则交代残余结构的钠长石,方解石交代钠长石等矿物,边界呈不规则蚕食状
e—绿泥石呈反应边结构分布在锰铝榴石周边及裂隙中 f—具包含结构的锆日光榴石和方解石,锆日光榴石被方解石包含
g—具包含结构的钠长石、锆日光榴石和方解石,钠长石被锆日光榴石包含,锆日光榴石被方解石包含
h—具交代残余结构的绿泥石,其被褐锰矿交代残余

图6 娘娘顶铍矿床矿石结构特征

Fig.6 Textural characteristics of ores in Niangniangding Beryllium Deposit

2) 钠长石被锆日光榴石包含:椭圆状、边界平滑的钠长石被锆日光榴石包含,说明锆日光榴石形成晚于钠长石(见图6-g)。

3) 石英被钠长石包含:圆形、椭圆形的石英被钠长石包含,说明钠长石形成晚于石英;但矿石其他部位可见石英交代钠长石,说明石英在不同世代、不同期次均有形成,有的早于钠长石,有的晚于钠长石。

2.6.2 矿石构造

根据矿石中各矿物集合体的形态、相对大小和空间接触关系,将铍矿石划分为以下2种典型的矿石构造:

1) 皮壳状构造。黄铁矿氧化为褐铁矿,锰铝榴石等富锰矿物氧化为黑褐色褐锰矿,部分结合被氧化后的锆日光榴石中的锌离子形成锌锰矿,结合形成黑褐色皮壳,覆盖在灰白色钠长石表面(见图7)。该黑褐色皮壳松散,呈骨架状,具土状光泽,易于识别。

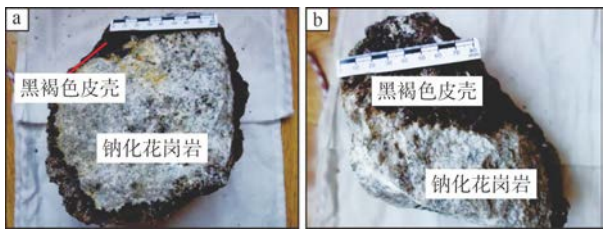


图7 娘娘顶铍矿床矿石构造特征

Fig.7 Structural characteristics of ores in Niangniangding Beryllium Deposit

2) 稀疏浸染状构造。矿石中可见浅褐色锆日光榴石呈星点状、星散稀疏状较均匀地分布在钠化花岗岩中,说明矿石矿物含量整体不多。矿石呈皮壳状构造,黑褐色皮壳包裹着钠化花岗岩,且钠化花岗岩状,锆日光榴石呈星点状分布在其中,构成稀疏浸染状构造。

2.7 矿石类型

矿石主要产自钠化带内,矿石类型主要为钠长石化花岗岩型铍矿石,且富铍矿石往往花岗岩蚀变程度较深,而钠化程度较弱的花岗岩铍含量相对较小。大部分铍矿石可见皮壳状构造,明显分为内外两个部分。铍矿石内部为灰白色钠化花岗岩,花岗变晶结构,块状构造,钠化十分明显,手标本上可见较大颗粒的斜长石及石英,粒径普遍大于0.5 cm;还含有少量方解石,其为白色,不规则粒状,硬度小于小刀。

矿石外部为黑褐色皮壳,皮壳松散,呈骨架状或蜂窝状,具土状光泽。由于经历了表生风化作用,富锰矿物被氧化,锆日光榴石也被氧化,导致锌、铁、锰等金属阳离子大量析出,氧化形成了黑褐色的褐锰矿,且褐锰矿中锌含量较高,锌离子应以类质同象的形式进入褐锰矿晶格。褐锰矿与褐铁矿、钠长石、绿泥石等矿物混合在一起,共同形成了这种黑褐色皮壳。

3 矿床成因与成因模式

娘娘顶岩体侵位时间约是740 Ma,黄麦岭岩组

地层的沉积时间是 650 Ma 左右,因此二者属于不整合接触关系,黄麦岭岩组的地层作为盖层沉积在岩体之上,沉积界面作为构造薄弱面广泛分布于岩体周边,且地表已发现的强钠化蚀变带均沿着黄麦岭岩组变质岩地层与娘娘顶岩体的接触面分布。钻孔深部揭露了强钠化蚀变带的展布与地表特征一致,说明强钠化蚀变带具有一定规模,但矿石矿物锆日光榴石分布不均匀,矿化特征不明显。前人研究认为,锆日光榴石往往形成于高温岩浆热液条件下,为高温岩浆活动的产物^[28-29]。钻孔 ZK1501 在深部发现了燕山期中酸性岩体的岩枝或岩株(锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄约 129 Ma^[15]),说明铍成矿期娘娘顶岩体深部存在隐伏岩体的侵位。综上认为,娘娘顶铍矿床属于岩浆热液矿床,具体为岩浆高温热液钠长岩型稀有元素矿床,属于高温阶段成矿、与钠长石化密切相关、形成稀有元素(如铍)的岩浆热液矿床。

基于上述因素,娘娘顶铍矿床成因模式为:在中生代太平洋板块向西俯冲到欧亚板块之下的背景下,含铍、钨等稀有金属的岩浆热液沿岩体与变质岩地层接触带构造向上运移,深部温度、压力高,变质岩地层含有丰富的锰、硫、氟等元素,有利于铍富集,同时形成钾长石化带;随着岩浆气液交代作用进行,温度、压力逐渐下降,钾长石交代斜长石,形成钠长石化带。最后在接触带内发生双交代作用,形成锆日光榴石;随着温压继续下降,钠长石反应生成白云母和石英,形成钠化-云英岩化带,铍沉淀成矿。地表铍矿富铍的黑褐色皮壳构造及铍地球化学异常沿南西接触带方向展布,均说明铍矿体形成后,由于地表遭受风化剥蚀,导致原钠化-云英岩化带中形成的铍矿床原始形态被改造,最终形成现今地表分布特征。

4 成矿规律、找矿标志及找矿方向

4.1 成矿规律

1) 矿区铍、钨矿化存在明显的共生分析现象,钨矿化发育部位往往伴生铍矿化,而发生铍矿化的部位基本不发生钨矿化,说明在矿区尺度上具有明显的矿化分带和蚀变分带。

2) 地表铍矿石具有黑褐色皮壳状构造,铍赋存矿物为锆日光榴石。

3) 矿体主要赋存在娘娘顶岩体内接触带的强钠化带中;距离接触带越近,钠化蚀变程度越高,则铍含量越高;而辉长岩中大理岩捕虏体往往与铍钨矿化密切相关,铍和钨表现为同时成矿。

4) 新元古界红安岩群黄麦岭岩组层间滑脱面 and 大理岩地层、娘娘顶岩体与地层的接触带、娘娘顶岩体内部破碎带、燕山期花岗岩体内部大理岩捕虏体与

铍矿化密切相关。

5) 围岩蚀变主要有钾长石化、钠长石化、云英岩化、方解石化等,与铍矿化最密切相关的蚀变类型为钠长石化,铍矿化发生于热液期,为高温热液阶段产物。

6) 钻孔揭露深部隐伏岩浆岩的性质为弱过铝质高钾钙碱性花岗岩,铍元素丰度较高,全碱含量不高,成岩时代为中生代早白垩世(129 Ma),属于燕山晚期岩浆活动产物;矿床形成时间稍晚于岩浆结晶时间,推测矿床形成于中生代早白垩世。

4.2 找矿标志

1) 地层标志。成矿有利地层为新元古界红安岩群黄麦岭岩组大理岩和低角闪岩相-高绿片岩相区域变质岩系,地层为成矿提供了必要的碱性环境和微量元素条件,它们可能是形成钨、铍矿床的先决条件。

2) 岩浆岩标志。特别注意与俯冲造山和碰撞造山有关的、以偏碱性和钙碱性成分为主的且具多阶段侵入的燕山期复式中酸性侵入体,如二长花岗岩、钾长花岗岩、黑云母花岗岩、石英闪长岩及花岗斑岩的岩体,燕山晚期中细粒黑云母花岗岩岩体与新元古代红安岩群的内接触带处,是寻找铍矿的有利部位。

3) 构造标志。北东向和北西向断裂复合部位是区内钨矿重点找矿地带,尤其要注意伴随断裂活动侵入的花岗斑岩脉、花岗岩脉及石英脉。

4) 蚀变标志。钠长石化、矽卡岩化、云英岩化、硅化、黄铁矿化、褐铁矿化等蚀变发育强烈区可作为寻找稀有金属矿的直接找矿标志。

5) 矿物学标志。地表含铍铍矿石独特的黑褐色皮壳状构造,以及铍矿化赋存矿物锆日光榴石可作为铍矿找矿的最直接矿物学找矿标志。

6) 地球化学标志。钨、铍等化探组合异常出现的地段是值得重视的地区。水系沉积物异常中元素套合好的 W、Cr、Ni 等综合异常和 W、Bi、Pb、Zn 等综合异常,分别为寻找钨矿、铍矿的有利地段。

4.3 找矿方向

矿区前期土壤测量 Be、Zn、Mn 综合异常的圈定、地质填图过程中地表铍矿(化)体的发现、后续槽探揭露加深部钻孔验证均表明娘娘顶铍矿床的形成,必须满足以下 2 个条件:①新元古代娘娘顶岩体与红安岩群黄麦岭岩组变质地层接触带附近主要发育的钠长石化-云英岩化蚀变带;②矿区隐伏的燕山期中酸性岩体,为成矿提供了成矿热液和成矿物质。因此,矿区中东部娘娘顶岩体与黄麦岭岩组变质地层接触部位具有一定的找矿潜力。

此外,娘娘顶岩体中含大量磁铁矿化、闪锌矿化、富锰石榴子石,以及富铍和锰铁的锆日光榴石,这表明深部隐伏岩体演化出的岩浆热液不仅仅是富铍,还

富锌、锰、铁等元素。因此,在追溯深部流体通道的基础上,娘娘顶岩体周围及远端可能具有良好的中低温元素锌、锰、铁成矿潜力,而深部具有寻找斑岩型矿床的找矿前景。

5 结 论

1) 娘娘顶铍矿床矿石矿物为锆日光榴石;脉石矿物主要为钠长石、方解石、石英、锰铝榴石、绿泥石、白云母、褐锰矿和褐铁矿等;矿石发育半自形—他形粒状结构、交代残余结构、包含结构和反应边结构,浸染状和皮壳状构造,矿石类型主要为钠长石化花岗岩型铍矿。

2) 矿床形成与燕山期岩浆热液相关,属于与钠长石化密切相关的高温阶段成矿的稀有金属矿床。

3) 新老岩体与红安岩群黄麦岭岩组接触带、燕山期花岗岩体内大理岩捕虏体、岩体及围岩地层中断裂破碎带和层间滑脱面是主要的成矿空间。

致谢:笔者特别对湖北省地质局第六地质大队苏昌正高级工程师和陈松高级工程师在论文思路构想和成文过程中给予的指导和帮助,表示诚挚的感谢!

[参考文献]

[1] 彭三国,蒯志永,胡俊良,等. 武当—桐柏—大别成矿带区域成矿特征与找矿前景展望[J]. 华南地质与矿产,2012,28(3):237—242.

[2] 彭三国,蒯志永,胡俊良,等. 关于武当—桐柏—大别成矿带的几个问题[J]. 矿床地质,2012,31(增刊1):27—28.

[3] 彭三国,王爱国. 武当—桐柏—大别成矿带主要成矿体制与成矿建造[J]. 矿床地质,2014,33(增刊1):117—118.

[4] 王颖辉,韩东,潘柏东,等. 河南省九仗沟金矿床金矿物特征及成矿物质来源[J]. 黄金,2022,43(7):3—8.

[5] 吴昌雄,邹院兵,刘永生,等. 湖北省团风县彭家楼金矿床地质特征及成矿时代[J]. 黄金,2019,40(4):9—13.

[6] 徐学金,邹院兵,蒋之飞,等. 鄂东北大别顶金矿床地质特征及成因分析[J]. 黄金,2020,41(2):26—31.

[7] 梁涛,卢仁. 豫南伏牛山余脉铜山岩体锆石 U—Pb 定年、地球化学特征及其地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2021,51(2):400—415.

[8] 刘忠,陈海锋,张怀东,等. 安徽金寨沙坪沟整装勘查区铅锌矿“三位一体”成矿特征及找矿预测[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2020,50(5):1 539—1 551.

[9] 崔建军,王艳红,郑光高,等. 大悟杂岩的形成和抬升时代及其

地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2017,47(1):139—153.

[10] 翟裕生,姚书振,蔡克勤. 矿床学[M]. 北京:地质出版社,2011:138—141.

[11] 郭进学. 湖北某地钠长石化花岗岩中发现锆日光榴石[J]. 地质论评,1966,12(2):141—142.

[12] 刘锐,吴昌雄,刘兴平,等. 鄂东北娘娘顶铍矿床铍矿物相特征及地质意义[J]. 矿物学报,2021,41(2):224.

[13] 钟石玉,熊意林,杨成,等. 大悟县杨新岩铍矿点含铍矿物赋存状态与成因研究[J]. 资源环境与工程,2020,34(4):518—524.

[14] 屠江海,尤静静. 湖北大悟娘娘顶铍矿地质特征及找矿方向[J]. 岩石矿物学杂志,2017,36(5):703—712.

[15] 钟石玉,杨成,李书涛,等. 大悟县娘娘顶铍矿区隐伏中性岩体锆石 U—Pb 年龄、地球化学特征及地质意义[J]. 资源环境与工程,2021,35(1):20—29,52.

[16] 唐相伟,杨泽强,周雷强,等. 大别山地区鸡公山岩体锆石 U—Pb 年龄、Sr—Nd—Hf 同位素特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志,2022,41(6):1 047—1 060.

[17] 刘晓春,李三忠,江博明. 桐柏—红安造山带的构造演化:从大洋俯冲/增生到陆陆碰撞[J]. 中国科学:地球科学,2015,45(8):1 088—1 108.

[18] 钟增球,索书田,张宏飞,等. 桐柏—大别碰撞造山带的基本组成与结构[J]. 地球科学,2001,26(6):560—567.

[19] 陈玲,马昌前,张金阳,等. 首编大别造山带侵入岩地质图(1:50 万)及其说明[J]. 地质通报,2012,31(1):13—19.

[20] 闫峻. 长江中下游—大别造山带中生代火山岩特征及成因[J]. 华东地质,2022,43(4):375—390.

[21] 李海龙. 桐柏—大别造山带的构造格局、演化过程及其成因分析[D]. 合肥:合肥工业大学,2018.

[22] 毛新武,陈超,陈冕,等. 鄂北红安群黄麦岭组变沉积岩碎屑锆石年代学及地质意义[J]. 地质科技情报,2016,35(3):49—55,86.

[23] 王强,赵振华,熊小林. 桐柏—大别造山带燕山晚期 A 型花岗岩的厘定[J]. 岩石矿物学杂志,2000,19(4):297—306,315.

[24] 尤静静,吴昌雄,蒋之飞,等. 湖北大悟娘娘顶花岗岩地球化学特征及其地质意义[J]. 资源环境与工程,2019,33(1):14—21.

[25] 赵子福,郑永飞,魏春生,等. 大别山中生代中酸性岩浆岩锆石 U—Pb 定年、元素和氧同位素地球化学研究[J]. 岩石学报,2004,20(5):162—185.

[26] 曾小华,孙四权,刘圣鑫,等. 八里棚早白垩世花岗岩锆石 U—Pb 年代学、地球化学特征:对桐柏—大别造山带碰撞后岩浆作用的指示[J]. 矿产勘查,2023,14(3):348—359.

[27] 刘兴平. 武当—桐柏—大别—苏鲁成矿带(湖北段)成矿地质特征及其演化[J]. 资源环境与工程,2015,29(3):241—247.

[28] RAGU A. Helvite from the French Pyrenees as evidence for granite-related hydrothermal activity[J]. Canadian Mineralogist, 1994, 32(1):111—120.

[29] GREW E S. Mineralogy, petrology and geochemistry of beryllium: An introduction and list of beryllium minerals[J]. Reviews in Mineralogy and Geochemistry,2002,50:1—76.

Geological characteristics and prospecting potential analysis of Niangniangding Beryllium Deposit on the southern margin of the Jigongshan rock mass

Song Weifang^{1,2}, Zou Yuanbing^{1,2}, Xu Jialin^{1,2}, Chen Songlin³, Xiong Yangfu^{1,2}, Liu Xingping^{1,2}, Fu Shengbo^{1,2}

(1. No. 6 Geological Party of Hubei Geological Survey;

2. Key Laboratory of Resources and Environmental Geology of Hubei Province;

3. Hubei Geological Exploration Fund Management Center)

Abstract: Niangniangding Beryllium Deposit is located on the southern margin of Jigongshan rock mass in Tongbai—Dabie metallogenic belt. The mining area is characterized by the development of Neoproterozoic to Mesozoic intermediate—acid rock mass (dykes), predominantly composed of monzonitic gneiss, biotite granite, and granite. The ore bodies have complex morphologies, generally branching out towards the NW and NEE. On the surface, the ore bodies appear as lenticular shapes, with surrounding rocks comprising biotite monzonitic granite of the Niangniangding rock mass and metamorphic rock strata of Huangmailing rock formation. Based on detailed field investigations, systematic studies on the geological characteristics, ore-controlling conditions, prospecting indicators, mineralogy, and mineralization of Niangniangding Beryllium Deposit were conducted. Integrating previous research results, the genesis of the deposit was explored, a metallogenic model was constructed, metallogenic regularities were summarized, and prospecting directions were clarified, providing theoretical support for future exploration.

Keywords: Jigongshan rock mass; Niangniangding; beryllium deposit; geological characteristics; metallogenic regularities; prospecting directions