

DOI: 10.12401/j.nwg.2022030

河南省南召县老庄透辉石-透闪石矿床地质特征及其成因分析

姬果^{1,2}, 张箐³, 李宁⁴, 钟江文³, 姬清海³, 桂新星^{1,2}, 武慧智³

(1. 河南省地质科学研究所, 河南 郑州 450001; 2. 河南省金属矿产成矿地质过程与资源利用重点实验室, 河南 郑州 450001; 3. 河南省地质调查院, 河南 郑州 450001; 4. 河南省航空物探遥感中心, 河南 郑州 450001)

摘要: 南召县老庄透辉石-透闪石矿是河南省唯一的透辉石-透闪石矿床。矿区位于区域性栾川-明港大断裂的北侧, 大地构造位置处于华北陆块南缘。矿区有 2 个透辉石-透闪石矿体, 呈层状赋存于青白口系栾川群南泥湖组上段中, 矿体形态简单。围岩蚀变为透闪石化和透辉石化, 次为钾长石化和金云母化等。矿石自然类型主要为金云母透辉石透闪石矽卡岩型、金云母透闪石透辉石矽卡岩型和金云母透闪石矽卡岩型。矿物成分主要为透闪石和透辉石, 次为钾长石和金云母, 方解石少量。矿石化学成分主要为 SiO_2 、 CaO 、 MgO 和 Al_2O_3 , 其次是 FeO 、 K_2O 、 Na_2O 和 CO_2 等。透闪石+透辉石(Tl+Di)品位较高、较稳定, 矿床平均品位(Tl+Di)为 68.25%。透辉石-透闪石原矿代替硅灰石用于生产釉面砖。初步试验表明, 制品性能稳定, 节能效果明显。矿床属矽卡岩型矿床, 成矿时代为早白垩世。矿床形成受早白垩世竹园石英正长斑岩体与南泥湖组上段中的白云石大理岩及层间破碎带的多重控制。矽卡岩期为主成矿期, 干矽卡岩阶段形成透辉石, 湿矽卡岩阶段形成透闪石, 氧化阶段形成钾长石、金云母和方解石等。

关键词: 透辉石-透闪石; 矿床地质; 成因; 南召

中图分类号: P619.23+9; P611.1 文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2023)02-0203-10

Geological Characteristics and Genetic Analysis of Diopside-Tremolite Deposit in Laozhuang, Nanzhao County, Henan Province

Ji Guo^{1,2}, ZHANG Zheng³, LI Ning⁴, ZHONG Jiangwen³, JI Qinghai³, GUI Xinxing^{1,2}, WU Hui zhi³

(1. Henan Institute of Geological Sciences, Zhengzhou 450001, Henan, China; 2. Henan Provincial Key Laboratory of Metallogenic Geological Processes and Resource Utilization of Metal Minerals, Zhengzhou 450001, Henan, China; 3. Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou 450001, Henan, China; 4. Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center of Henan Province, Zhengzhou 450001, Henan, China)

Abstract: Laozhuang diopside-tremolite deposit in Nanzhao county is the only diopside-tremolite deposit in Henan Province. The mining area is located in the north of Luanchuan-Minggang regional fault, and the tectonic position is in the south margin of North China block. There are two diopside-tremolite orebodies in the mining area, which occur in the upper part of Nannihu formation of Luanchuan group of Qingbaikou system in stratoid form. The orebody morphology is simple. The wall rock alteration are mainly tremolite and diopside, fol-

收稿日期: 2021-06-26; 修回日期: 2021-12-07; 责任编辑: 姜寒冰

基金项目: 中国地质调查局项目“河南省矿产资源调查成果综合集成与服务产品开发(中国矿产地志·河南卷)”
(DD20190379), 河南省 2018 年度省财政地质勘查项目“河南省非金属矿勘查成果集成(调查)”联合资助。

作者简介: 姬果(1988-), 女, 工程师, 从事矿产勘查、水工环勘查、规划及综合研究。E-mail: dikesuojiguo@163.com。

lowed by potassic feldspar and phlogopitization. The natural types of ores are mainly phlogopite diopside skarn, phlogopite diopside skarn and phlogopite diopsides karn. The mineral composition is mainly tremolite and diopside, followed by potash feldspar and phlogopite, a small amount of calcite. The chemical composition of the ore are SiO_2 , CaO , MgO and Al_2O_3 , followed by FeO , K_2O , Na_2O and CO_2 . Ore grade: tremolite + diopside (Tl + Di) is relatively high and stable, and the average ore grade (Tl + Di) is 68.25%. The preliminary test of diopside raw ore replacing wollastonite in the production of glazed tile shows that the product has stable performance and obvious energy saving effect. The deposit belongs to skarn type and the metallogenic epoch is early Cretaceous. The formation of the deposit is controlled by early Cretaceous Zhuyuan quartz syenite porphyry, dolomite marble in the upper Nannihu formation and interlayer fracture zone. Skarn stage is the main metallogenic stage. Diopside is formed in dry skarn stage, tremolite is formed in wet skarn stage, and potash feldspar, phlogopite and calcite are formed in oxidation stage.

Keywords: diopside-tremolite; geological characteristics of the deposit; cause of formation; Nanzhao

透闪石和透辉石同属具链状结构的硅酸盐矿物(赵珊茸等, 2004)。透闪石属单斜晶系, 化学式 $\text{Ca}_2\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$, SiO_2 含量为 58.8%, MgO 含量为 24.6%, CaO 含量为 13.8%, H_2O 含量为 2.8%, 有 Te、Mn 及 Al 等类质同象混入物。透闪石呈白色、浅灰色、浅绿色, 单晶为长柱状或针状, 集合体呈放射状、纤维状或隐晶质致密块状, 具玻璃-丝绢光泽, 密度为 $2.9\sim 3.0\text{ g/cm}^3$, 硬度为 $5.5\sim 6$ 。透辉石属单斜晶系, 化学式 $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$, SiO_2 含量为 55.6%, MgO 含量为 18.5%, CaO 含量为 25.9%, 有 Te、Mn 类质同象混入物, 常含 Al_2O_3 、 Cr_2O_3 及 V_2O_5 等。透辉石呈浅绿-浅灰色, 晶体为柱状, 横切面近四边形, 集合体呈粒状、棒状或放射状, 玻璃光泽, 密度为 $3.3\sim 3.4\text{ g/cm}^3$, 硬度为 $5\sim 6$ (王珍等, 2006; 邵厥年等, 2012)。透闪石、透辉石与硅灰石性质相似, 作陶瓷原料都具有易干燥、熔点低、烧成温度低、吸水率低、收缩系数小、热膨胀率低并呈线性膨胀、一次抹釉速烧成型等优点, 是低成本的陶瓷原料(汪仁勇等, 1989; 黄慧宁等, 1993; 陈国安, 1998; 张国强等, 2005; 杨素文等, 2015)。在陶瓷原料中, 透闪石、透辉石和硅灰石被称为“新三石”。

随着陶瓷工业的快速发展, 燃料消耗越来越大, 环境污染日益严重。因此, 在陶瓷工业, 采用“新三石”低温快烧生产工艺, 无疑对实现低碳节能减排增效具有重要意义。加强“新三石”矿的地质勘查找矿和开发利用势在必行。南召县老庄透辉石-透闪石矿是河南省唯一的透辉石-透闪石矿床, 透闪石+透辉石(Tl+Di)资源储量为 $434\times 10^4\text{ t}$, 属于大型矿床。因此, 笔者对南召县老庄透辉石-透闪石矿床地质特征和成

因等进行研究, 以期发现更多的类似矿床。

1 地质背景

1.1 区域地质

矿区位于栾川-明港区域性大断裂的北侧, 大地构造位置属华北陆块南缘(朱嘉伟等, 2008; 闫全人等, 2009; 姜寒冰等, 2014; 王伟等, 2014; 黄杰等, 2020)。栾川-明港区域性大断裂为华北陆块与秦岭造山带的分界断裂, 是秦岭造山带与华北板块汇聚过程中发育在弧后盆地与华北板块南缘的汇聚-拼合带, 对区域构造、岩浆作用及钼、钨、铁、金、银、铅、锌、萤石、滑石、透辉石等矿产的形成具有重要的控制作用。

区域基岩地层为长城系熊耳群、汝阳群和青白口系栾川群。熊耳群(ChX)为一套陆相中(偏)基性夹酸性火山岩组合, 角度不整合于新太古界太华岩群(Ar_3Th)之上(梁涛等, 2014; 刘传权等, 2015)。岩性为安山岩、杏仁状安山岩、英安岩等, 夹凝灰岩、火山角砾岩等, 在栾川-明港区域性大断裂的北侧构造片理明显; 汝阳群(ChR)为一套海相碎屑岩-碳酸岩组合, 不整合于熊耳群之上。岩性为石英砂岩、长石石英砂岩和页岩, 夹白云岩, 底部有砾岩; 栾川群(QbL)为一套浅变质碎屑岩-碳酸岩组合, 岩性为变石英砂岩、千枚岩、片岩、大理岩和白云石大理岩等, 以含炭质和石煤为特征, 与熊耳群、汝阳群呈断层接触。

区域上北西西向和北北东向断裂发育, 次为北西向和北东向断裂。北西西向断裂具有先压后张特征, 北北东向断裂具先张后压特征, 北西向和北东向断裂为共轭剪切断裂, 是金、铅、银、萤石和透辉石等热

液充填交代型矿床的主要容矿断层。

区域上早白垩世花岗岩浆活动强烈, 广泛侵入于熊耳群、汝阳群和栾川群之中, 岩性为二长花岗岩、花岗岩、石英正长斑岩等, 是钼、钨、金、铅、锌、银、萤石等岩浆热液型矿床的主要成矿母岩。

区域矿产主要有铁、钼、铅、锌、银、金、滑石、透辉石, 次有锰、钾长石、大理石等, 属华北陆块南缘 Au-Mo-W-Pb-Zn-Ag-Fe-萤石-滑石-硫铁矿成矿带(III 级成矿区带) 中段(陈毓川等, 2015)。其中, 矿区南部外围的南召杨树沟铁矿和东部外围的方城县青山透辉石矿(姬果等, 2018)、银子沟透辉石矿(台官涛, 2019) 均属矽卡岩型矿床, 其成矿时代为早白垩世。

1.2 矿区地质

矿区除第四系外, 基岩地层为长城系熊耳群和青白口系栾川群(图 1)。

熊耳群(ChX): 分布于矿区东北部及外围, 为一套中基性火山岩系(河南省地质矿产局, 1989), 与栾川群南泥湖组呈断层接触, 与矿区北部外围早白垩世钾

长花岗岩呈侵入接触。主要由黑云角闪斜长片岩、黑云斜长片岩、变斑状黑云绿泥斜长片岩、变安山岩组成, 局部见残留的杏仁体。受区域动力变质作用影响, 以片理化和大量黑云母、绿泥石出现为特征。

栾川群(QbL): 分布于矿区中南部。区域上分三川组、南泥湖组、煤窑沟组、大红口组和鱼库组(席文祥, 1997)。矿区内出露南泥湖组和煤窑沟组, 二者之间为整合接触。

南泥湖组(Qbn): 分布于矿区中部, 为透辉石-透闪石矿的主要控矿地层。区域上分 3 段: 下段(Qbn¹) 为石英岩; 中段(Qbn²) 为二云片岩、炭质绢云片岩及钙质片岩, 夹石英岩和大理岩; 上段(Qbn³) 为白云石大理岩及云母白云石大理岩等。矿区内仅有上段, 受岩浆热液作用具矽卡岩化特征, 依据岩石类型、矿物成分等特点, 自下而上分 9 个岩性层:

第 1 层(Qbn³⁻¹): 为条带状透闪石化大理岩, 一般厚度为 60~100 m, 最厚达 300 m。局部层间构造裂隙中有磁铁矿细脉充填。

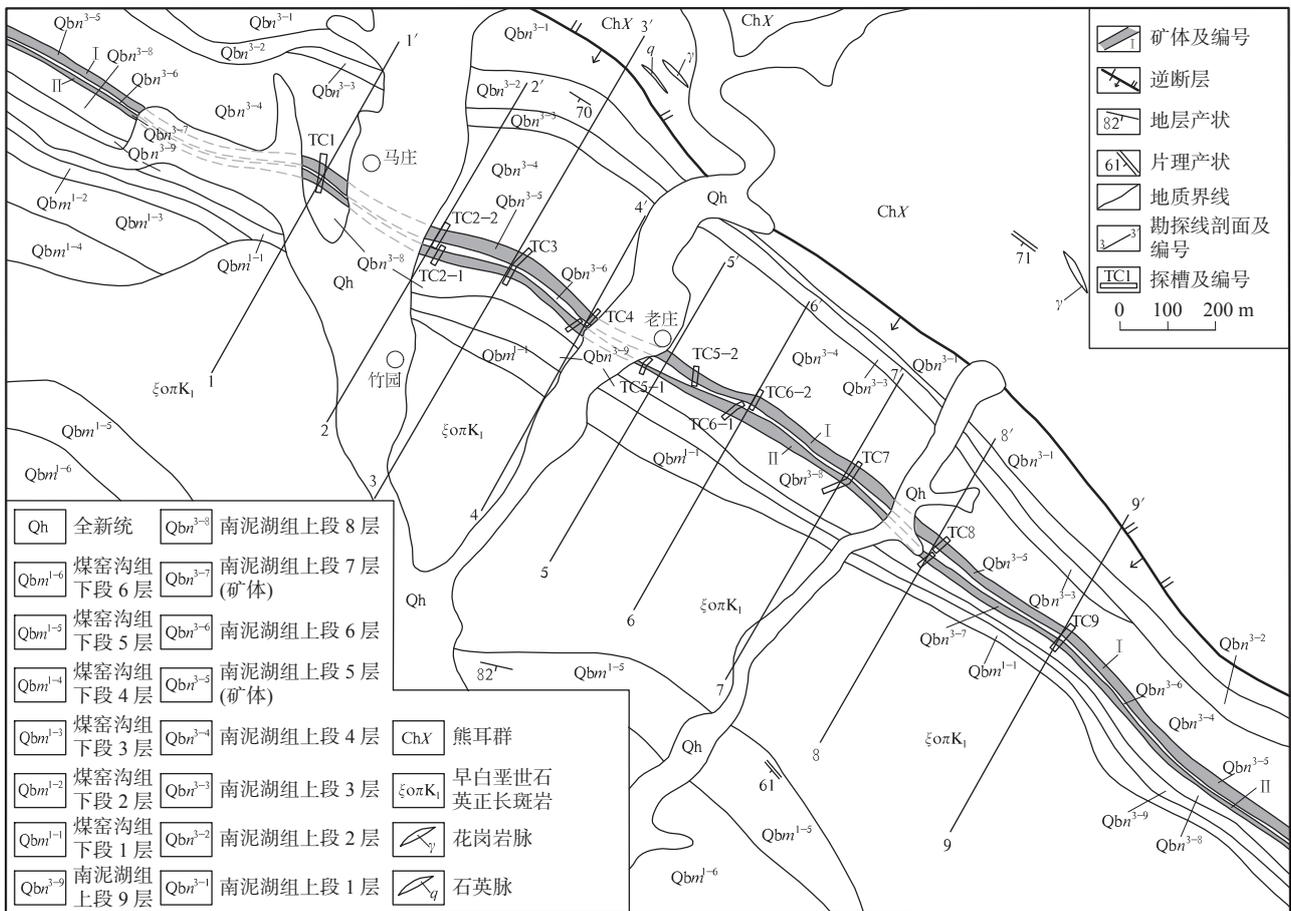


图 1 南召县老庄矿区地质图

Fig. 1 Geological map of Laozhuang mining area in Nanzhao County, Henan Province

第2层(Qbn³⁻²):为中薄层状白云石大理岩,厚度为30~50 m。

第3层(Qbn³⁻³):为中厚层状黑云母白云石大理岩,呈透镜状产出,厚度为30 m。

第4层(Qbn³⁻⁴):为中厚层状白云石大理岩,为I号矿体底板,厚度为100~200 m。

第5层(Qbn³⁻⁵):为I号矿体。由金云母透辉石透闪石矽卡岩、金云母透闪石透辉石矽卡岩及少量钾长石透辉石矽卡岩等组成,厚度为16~33 m。

第6层(Qbn³⁻⁶):为透辉石大理岩,为I、II号矿体之间的夹层(石),厚度为10 m。

第7层(Qbn³⁻⁷):为II号矿体。由金云母透闪石矽卡岩、金云母透闪石透辉石矽卡岩及少量钾长石透辉石矽卡岩组成,厚度为7~23 m。

第8层(Qbn³⁻⁸):由透闪石化金云母片岩、透闪石化黑云母片岩、二云石英片岩等组成。

第9层(Qbn³⁻⁹):为矽卡岩化黑云石英片岩,局部夹透闪石化大理岩,沿走向延伸稳定,厚度为15~60 m。

煤窑沟组(Qbm):分布于矿区南部。区域上分3段:下段(Qbm¹)为变石英砂岩、片岩、大理岩互层;中段(Qbm²)为白云石大理岩;上段(Qbm³)为石英岩、云母片岩、白云石大理岩夹石煤层。矿区内仅有下段分布,并被早白垩世石英正长石斑岩侵入,仅西南部出露较为齐全。根据岩性、结构构造、矿物成分和变质变形特点,自下而上分为6个岩性层:

第1层(Qbm¹⁻¹):为灰白色厚层状石英岩,厚度为25~60 m,可作为与南泥胡组的分界标志。

第2层(Qbm¹⁻²):为二云石英片岩,厚度为25 m;

第3层(Qbm¹⁻³):为薄-中厚层状石英岩,厚度为60~80 m;

第4层(Qbm¹⁻⁴):为矽卡岩化二云石英片岩,厚度大于80 m;

第5层(Qbm¹⁻⁵):为薄-厚层状石英岩,厚度为100~130 m;

第6层(Qbm¹⁻⁶):为矽卡岩化二云石英片岩,夹石英岩透镜体。厚度大于250 m。

矿区为一单斜构造层,地层走向北西西,倾向为210°±,倾角为60°~85°,局部近直立或倾向北北东。

F₁逆断层属区域性花地坪-大块地逆断层的一部分,从矿区北部通过,为熊耳群与栾川群的分界线。该断层矿区内长度为2950 m,走向为105°~130°,倾

向南西,倾角为75°~81°,局部近于直立。破碎带宽度为30~100 m,由一系列小断面组成。下盘为熊耳群,上盘为栾川群南泥湖组。距I、II号矿体约为200~500 m,对矿体无破坏作用。

矿区中南部有早白垩世竹园石英正长斑岩体(ξ_{0π}J₃),侵入于煤窑沟组和南泥湖组。岩体呈不规则的长椭圆状,北西西向长度为3000 m,南南西-北北东向宽度为200~650 m,面积为1.35 km²。岩性单一,为石英正长斑岩。呈褐红色-浅肉红色,具似斑状结构,基质具半自形晶花岗结构,块状构造。似斑晶为钾长石,粒径为1~5 mm。基质包括钾长石(70%~80%)、石英(10%~15%)、黑云母(4%~5%)和白云母(1%)。副矿物为磁铁矿、磷灰石、榍石、锆石等。化学成分:SiO₂含量为68.94%,Al₂O₃含量为14.80%,TiO₂含量为0.82%,CaO含量为0.41%,MgO含量为0.87%,Fe₂O₃含量为4.61%,FeO含量为0.30%,K₂O含量为3.50%,Na₂O含量为4.15%,Mn含量为0.09%,P₂O₅含量为0.12%。里特慢指数(δ)为2.20(<3.3),铝饱和指数A/CNK为1.84(>1.1),表明该岩石属钙碱性强过铝质岩石,可能在加厚陆壳或伸展环境下形成(桑龙康等,2014)。

2 矿床特征

2.1 矿体特征

透辉石、透闪石矿产于早白垩世竹园石英正长斑岩体与栾川群的外接触带(矽卡岩带)中,在南泥湖组白云石大理岩的层间破碎带中最为发育,顺层矿化特征明显。

透辉石-透闪石矿带:出露于矿区中部,呈北西-南东东向展布,两端延出矿区。由南泥湖组上段Qbn³⁻⁵、Qbn³⁻⁶、Qbn³⁻⁷3个岩性层组成。下部为金云母透辉石透闪石矽卡岩、金云母透闪石透辉石矽卡岩,中部为透辉石大理岩、上部为金云母透闪石矽卡岩和金云母透辉石透闪石矽卡岩等。矿带全长大于5750 m,厚度为60~90 m,产状与地层一致,圈出了I、II号2个矿体(图2)。

I号矿体:呈似层状产于南泥湖组上段第5岩性层中(Qbn³⁻⁵)。走向为290°~305°,倾向为200°~215°,倾角为63°~85°,局部近于直立或倾向北北东。出露长度大于3000 m,其中工程控制长度为2000 m,厚度为18.27~29.76 m,平均厚度为23.41 m,厚度变化系

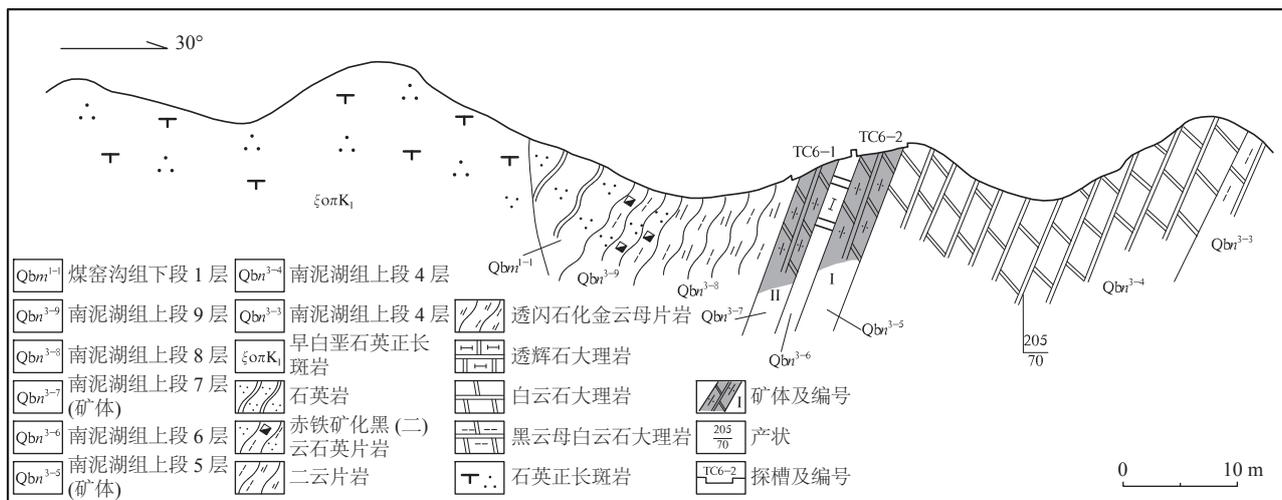


图 2 南召县老庄矿区第 6 勘探线剖面图

Fig. 2 Profile of the 6th exploration line in Laozhuang mining area, Nanzhao County, Henan Province

数为 18.48%。矿体具中间厚, 两边薄的特点。矿体结构简单, 局部(TC2-2)见夹石一层, 厚度为 2.25 m。矿石自然类型为金云母透辉石透闪石矽卡岩型、金云母透闪石透辉石矽卡岩型, 底部有少量钾长石透辉石矽卡岩型。底板为白云石大理岩, 顶板为透辉石大理岩。矿体平均品位: 透闪石+透辉石(Tl+Di)为 68.66%。

II 号矿体: 呈似层状赋存于南泥胡组上段第 7 岩性层中(Qbr³⁻⁷), 与 I 号矿体产状一致。出露长度大于 3 000 m, 控制长度为 2 000 m, 厚度为 6.28~22.05 m, 平均厚度为 16.21 m, 厚度变化系数为 33.14%。矿体具中间薄、两端厚的变化特点。矿体结构简单, 无夹

层。矿石自然类型主要为金云母透闪石矽卡岩型、金云母透辉石透闪石矽卡岩型。矿体底板为透辉石大理岩, 顶板为透闪石化金云母片岩、金云母片岩、二云母片岩等。矿体平均品位: 透闪石+透辉石(Tl+Di)为 67.66%。

2.2 矿石特征

2.2.1 矿石自然类型

根据矿石结构、构造、矿物成分等特征, 矿石自然类型分为 5 种(表 1): 金云母透辉石透闪石矽卡岩型、金云母透闪石透辉石矽卡岩型和金云母透闪石矽卡岩型为主要类型, 钾长石透辉石矽卡岩型和透闪石

表 1 南召县老庄矿区矿石特征表

Tab. 1 Ore characteristics of Laozhuang mining area in Nanzhao County, Henan Province

矿石类型	分布	颜色	结构构造	矿物成分	备注
金云母透辉石透闪石矽卡岩型	矿体底部	灰白-灰绿色	鳞片粒柱状变晶结构、斑状变晶结构, 片状、条带状构造	变斑晶: 透辉石(2%~5%)、钾长石(≤20%)、透闪石极少。基质: 透闪石(30%~80%)、透辉石(0%~30%)、金云母(10%~20%)、钾长石(10%~30%)、方解石(<3%)、磁铁矿等微量	主要类型
金云母透闪石透辉石矽卡岩型	矿体中部	灰白色	鳞片粒柱状变晶结构, 片状、条带状构造	透辉石(30%~70%)、透闪石(10%~25%)、金云母(10%~25%)、钾长石(10%~30%)、方解石(<3%)、磁铁矿等微量	主要类型
金云母透闪石矽卡岩型	矿体顶部	暗绿色	鳞片柱粒状变晶结构, 片状构造、块状构造	透闪石(40%~80%)、金云母(15%~55%)、方解石(3%~20%)、磁铁矿等微量	主要类型
钾长石透辉石矽卡岩型	矿体顶部、底部	灰白-浅绿色	粒状变晶结构, 块状构造	透辉石(30%~70%)、钾长石(6%~40%)、方解石(10%~30%)、磁铁矿等微量	次要类型
透闪石矽卡岩型	矿体顶部	浅绿色	粒柱状变晶结构, 束状、纤维状、放射状、片状构造	透闪石(50%~85%)、钾长石(5%~40%)、透辉石(≤5%)、方解石(5%~25%)、金云母、磁铁矿等微量	次要类型

砂卡岩型为次要类型。

透闪石(Tl): 无色-浅绿色, 个别为暗绿色。单晶呈长柱状、针状, 集合体为放射状、纤维状和束状。横切面呈菱形, 两组解理夹角分别为 124°与 56°, 斜消光, 消光角为 16°~19°, 二轴晶负光性近 90°, 粒径为 0.2~1 mm, 个别达 2~10 mm, 形成变斑晶。可见透辉石包裹体。

透辉石(Di): 无色-灰白色。呈他形粒状, 个别为半自形晶短柱状, 横切面近四边形, 两组解理夹角近 90°, 斜消光, 消光角为 40°。粒径为 0.1~0.7 mm, 个别达 5~10 mm, 形成变斑晶。

钾长石(Kp): 灰白色-浅肉红色。他形粒状。为微斜长石、条纹长石和正长石。微斜长石具格子双晶。粒径为 0.2~0.5 mm, 个别达 2~5 mm。含有透辉石、透闪石包裹体。

金云母(Phl): 金黄色。呈鳞片状, 片径为 0.2~0.8 mm, 个别达 3~4 mm。部分褪色现象明显, 具蛭石化。具多色性: Ng 金黄色, Np 无色。

方解石(Cal): 局部见 1~5 mm 宽的方解石细脉, 穿插于矿石和透闪石、透辉石等矿物的裂隙中。方解石自形晶程度较高, 半自形-自形晶。

石英(Qz): 偶尔可见。无色-灰白色。他形粒状, 粒径为 0.1~0.2 mm。

磁铁矿(Mt): 偶尔可见。铁黑色。半自形晶粒状,

粒径为 0.05~0.1 mm, 呈星点状分布, 地表氧化为褐铁矿。

2.2.2 化学成分

矿石化学成分主要为 SiO₂、CaO、MgO 和 Al₂O₃, 其次为 TFeO(FeO+Fe₂O₃)和 K₂O, Na₂O 和 CO₂ 等少量至微量(表 2)。SiO₂ 含量为 46%~53%, 平均为 50.26%; CaO 含量为 12%~17%, 平均为 14.23%; MgO 含量为 10%~16%, 平均为 12.22%; Al₂O₃ 含量为 9.5%~11.5%, 平均为 10.53%。SiO₂、CaO、MgO 和 Al₂O₃ 总和一般在 87%±。TFeO 含量为 4%~6%, 平均为 4.71%; K₂O 含量为 2.5%~4%, 平均为 3.01%; Na₂O 含量为 0.3%~0.7%, 平均为 0.47%; CO₂ 含量为 0.5%~3%, 平均为 1.23%。SiO₂ 赋存矿物为透闪石和透辉石, 其次为钾长石和金云母; CaO 赋存矿物为透闪石和透辉石, 少量赋存于方解石中; MgO 赋存矿物为透闪石和透辉石, 少量赋存于金云母中。根据单矿物电子探针测试结果可知: FeO、MnO、TiO₂ 和少量 Al₂O₃ 以类质同象形式代替 CaO、MgO 赋存于透闪石、透辉石中, 部分 FeO 在金云母中替代 MgO、Na₂O 主要以类质同象形式代替 K₂O 赋存于钾长石和金云母中(表 3)。

矿石化学成分具有 4 个特点: ①I、II 号矿体化学成分相同, 各组分含量没有明显差别。②除 CO₂ 含量变化较大外, SiO₂、CaO、MgO、Al₂O₃、TFeO、K₂O 和 Na₂O 含量较为稳定(图 3)。CO₂ 含量具有显著的跳

表 2 南召县老庄区矿石化学成分、矿物成分表(%)

Tab. 2 Chemical composition and mineral composition of ores in Laozhuang District, Nanzhao County

化学成分	矿体编号						矿区		
	I			II			最小值	最大值	平均值
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值			
SiO ₂	35.46	62.30	52.76	6.28	49.07	46.70	6.28	62.30	50.26
CaO	5.90	33.81	13.36	7.14	22.38	15.52	7.14	33.81	14.23
MgO	2.12	14.98	10.84	6.69	19.98	14.26	6.69	19.98	12.22
TFeO(FeO+Fe ₂ O ₃)	3.05	8.44	4.81	3.15	6.46	4.57	3.15	8.44	4.71
Al ₂ O ₃	6.29	13.58	10.75	6.46	12.64	10.21	6.46	13.58	10.53
K ₂ O	0.30	8.10	3.31	0.00	4.85	2.56	0.00	8.10	3.01
Na ₂ O	0.10	2.45	0.63	0.10	0.45	0.23	0.10	2.45	0.47
CO ₂	0.00	13.17	0.65	0.00	15.32	2.10	0.00	15.32	1.23
透闪石(Tl)	0.00	85.09	41.05	0.00	84.72	46.74	0.00	85.09	43.34
透辉石(Di)	0.00	70.96	27.61	0.00	74.13	20.92	0.00	74.13	24.91
透闪石+透辉石 (Tl+Di)	39.42	85.30	68.66	43.48	84.72	67.66	39.42	85.30	68.25
钾长石(Kp)	2.67	31.40	12.54	0.00	17.75	5.58	0.00	31.40	9.73
金云母(Phl)	0.00	27.38	10.88	0.00	43.93	15.92	0.00	43.93	12.91
方解石(Cal)	0.00	29.90	1.48	0.00	34.78	4.75	0.00	34.78	2.80

表 3 南召县老庄矿区单矿物电子探针分析结果表

Tab. 3 Single mineral EPMA analysis results of Laozhuang mining area in Nanzhao County

矿物名称	化学成分(%)										
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Σ
透闪石	55.215	0.055	3.51	5.65	0.195	19.50	13.26	0.345	0.11	0.015	97.855
透辉石	53.19	0.01	0.59	2.99	0.26	15.90	25.63	0.24	0.00	0.005	98.815
钾长石	63.60	0.00	18.88	0.12	0.01	0.02	0.13	0.55	16.39	0.01	99.71
金云母	41.05	0.69	17.09	8.17	0.26	19.24	0.17	0.12	9.39	0.00	96.18

跃性变化, 高点分布在矿体的顶部和底部(厚度方向)。③II号矿体较I号矿体各项化学成分变化幅度较大, SiO₂ 和 CO₂ 尤为明显。④化学成分变化与矿石自然类型密切相关, 如透闪石矽卡岩型较金云母透辉石透闪石矽卡岩型和金云母透闪石透辉石矽卡岩型矿石 MgO 含量偏高, 钾长石透辉石矽卡岩型较其他矿石 K₂O 含量偏高等。

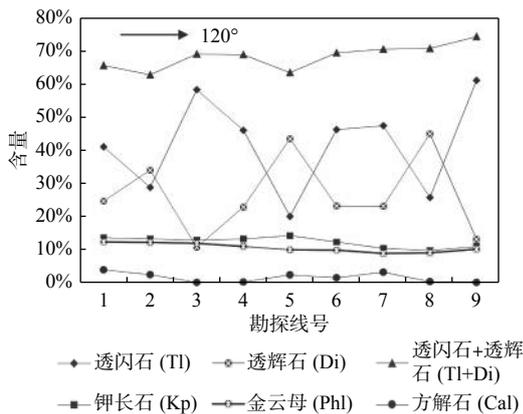


图 3 南召县老庄矿区 I 号矿体沿走向化学成分含量变化图

Fig. 3 Chemical composition variation along strike of No.1 orebody in Laozhuang mining area, Nanzhao County

2.2.3 矿物成分

矿石的矿物成分主要为透闪石和透辉石, 其次为钾长石和金云母, 方解石少量, 石英微量。透闪石(Tl)含量一般为 25%~55%, 平均为 43.34%; 透辉石(Di)含量一般为 15%~35%, 平均为 24.91%; 钾长石(Kp)含量一般为 5%~15%, 平均为 9.73%; 金云母(Phl)含量一般为 10%~20%, 平均为 12.91%; 方解石(Cal)含量一般为 1%~5%, 平均为 2.80%。矿床平均品位: 透闪石+透辉石(Tl+Di)为 68.25%。

矿石的矿物成分具有 4 个特点: ①不同矿石自然类型的矿物种类和含量存在明显差异。金云母透辉石透闪石矽卡岩型, 主要矿物为透闪石, 其次为透辉

石, 金云母、钾长石和方解石少量。金云母透闪石透辉石矽卡岩型, 主要矿物为透辉石, 其次为透闪石, 金云母、钾长石和方解石少量。金云母透闪石矽卡岩型, 主要矿物为透闪石, 金云母和方解石少量。钾长石透辉石矽卡岩型矿石, 主要矿物为透辉石, 钾长石和方解石少量。透闪石矽卡岩型矿石, 主要矿物为透闪石, 其次为钾长石, 透辉石和方解石少量。②不同矿体、不同矿石自然类型透闪石、透辉石含量变化区间均大, 沿矿体走向具明显的跳跃性。但透闪石+透辉石总含量较高, 且较为稳定。③透闪石与透辉石含量表现为较明显的负相关(图 4), 同时沿矿体厚度方向, 从矿体底部到顶部, 透闪石含量具有上升趋势, 透辉石则具下降趋势。④钾长石、金云母和方解石含量均低, 钾长石和金云母含量变化不大, 方解石含量不稳定变化相对较大。

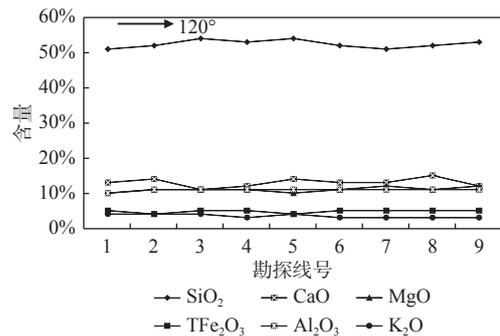


图 4 南召县老庄矿区 I 号矿体沿走向矿物含量变化图

Fig. 4 Mineral composition variation along strike of No.1 orebody in Laozhuang mining area, Nanzhao County

2.3 应用试验

采取透辉石-透闪石原矿样品, 在洛玻集团晶鑫陶瓷厂进行了生产釉面砖应用实验。

试验配方为透辉石-透闪石(原矿)替代硅灰石配方。经多次试验, 最佳坯体原料配方为: 透辉石-透闪石(原矿)为 26%, 焦宝石(硬质高岭土)为 26%, 高岭

土(软质)为13%,石英砂为15%,伊利石黏土为5%,地开石为15%,STPP为0.25%。细度:万孔筛余物为0.3%。

实验结论:①透辉石-透闪石(原矿)加入到釉面砖坯体中,可显著提高坯体强度,降低烧成温度,缩短烧成周期。②矿石疏松,易于加工,可降低原料加工成本。③从抗龟裂和耐急冷情况看,坯、釉结合好,热稳定性好,内在质量有保障。④矿石化学成分接近陶瓷的天然配方, K_2O 、 Na_2O 含量适中,对降低烧成温度起到了积极作用, CaO 、 MgO 对降低坯体烧成温度和膨胀系数、提高坯釉对温度的适应性、提高产品的热稳定性起到了积极作用。⑤ $TFeO$ 含量较高,虽然起到了一定的助熔作用,但加深了坯体的颜色,对坯体白度有不利影响。⑥透辉石-透闪石(原矿)配方和硅灰石质配方一样可以实现低温快烧,且烧成温度更低(低 $30\text{ }^\circ\text{C}$)、烧成时间更短(缩短 5 min),可较大幅度的节省烧成成本和提高产量(姬清海等,1998)。

3 矿床成因

3.1 控矿因素及成因分析

该矿床大地构造位置处于华北陆块南缘。矿床的形成受早白垩世石英正长斑岩体、南泥湖组中的白云石大理岩及层间破碎带等因素的多重控制(郭立宏等,2013),具明显的层控特征。

华北陆块南缘位于华北陆块和秦岭造山带之间,经历了多次构造-岩浆事件。其中早白垩世为造山后的伸展阶段,控制早白垩世的构造、岩浆和热液活动,构造线方向以北西西向为主,北西西向断裂总体以张性为主,岩浆活动以酸性为主。矿区受造山后伸展阶段的影响,早白垩世在栾川群南泥湖组和煤窑沟组中形成具张性特征的北西西向层间破碎带,并有石英正长斑岩侵入,为岩浆热液与南泥湖组中的白云石大理岩进行接触交代作用形成透辉石-透闪石矿创造了有利条件。层间破碎带是岩浆热液运移的主要通道和与白云石大理岩进行交代作用的主要场所,也是形成透辉石-透闪石矿的容矿场所。层间破碎带与地层产状一致,倾角较陡近于直立,有利于岩浆热液的运移。层间破碎带中的碎裂白云石大理岩有利于与岩浆热液交代作用(矽卡岩化作用)的进行。矿体与围岩无明显界线属渐变过渡,表明成矿作用以接触渗滤交代作用为主。层间破碎带中碎裂白云石大理岩(含

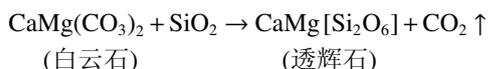
30.4% 的 CaO 、 21.7% 的 MgO 、 47.9% 的 CO_2 , CaO/MgO 值为 1.4)与透辉石-透闪石矿体(含 50.26% 的 SiO_2 、 10.53% 的 Al_2O_3 、 14.23% 的 CaO 、 12.22% 的 MgO 、 4.71% 的 $TFeO$ 、 3.01% 的 K_2O 、 0.47% 的 Na_2O 、 1.23% 的 CO_2 , CaO/MgO 值为 1.2)相比,化学成分发生的变化是 SiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 、 K_2O 和 Na_2O 的明显加入,并有大量的 CO_2 逸出。

以上分析得出3点结论:①成矿热液的主要化学成分为 SiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 、 K_2O 和 Na_2O ,与石英正长斑岩化学成分相似,表明成矿热液来自早白垩世石英正长斑岩体。②成矿过程中有大量的 CO_2 逸出,成矿作用是在开放系统中进行的,成矿压力不大。③成矿作用主要是岩浆热液与白云石大理岩的交代作用,交代作用以外矽卡岩带渗滤交代作用为主,内矽卡岩带交代作用不明显。换言之,成矿作用主要为来自岩浆热液 SiO_2 与白云石大理岩发生化学反应形成透辉石和透闪石,岩浆热液中的 SiO_2 、 Al_2O_3 和 K_2O 相互反应形成钾长石和金云母。由于来自岩浆热液中的 SiO_2 的量尚不能满足与白云石大理岩反应的完全需要,有剩余的 $Ca(CO_3)$ 形成方解石,矿石中少见石英及矿区中少见石英脉说明热液中 SiO_2 量的不足。根据矿石中各矿物之间的包裹关系:透闪石包裹有透辉石,钾长石包裹透辉石和透闪石,在矿石和透闪石、透辉石、钾长石、金云母等矿物的裂隙中穿插有方解石细脉等,确定矿物形成先后顺序依次为:透辉石、透闪石、钾长石、金云母、方解石,与矽卡岩型矿床矿物的形成先后顺序一致。

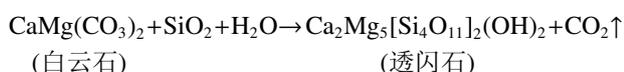
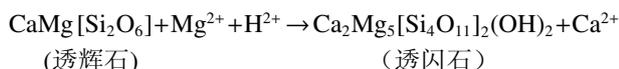
3.2 成矿过程探讨

一般矽卡岩矿床成矿过程分为矽卡岩成矿期和多金属硫化物成矿期。本矿床仅发育矽卡岩成矿期,没有多金属硫化物成矿期。矽卡岩成矿期可分为早期矽卡岩阶段、晚期矽卡岩阶段和氧化阶段,各成矿阶段的成矿作用与岩浆热液的化学成分密切相关。岩浆热液化学成分具由简单到复杂的演化特征,早期矽卡岩阶段热液成分为 SiO_2 ,晚期矽卡岩阶段热液成分为 SiO_2 和 H_2O ,氧化阶段热液成分为 SiO_2 、 H_2O 、 Al_2O_3 、 K_2O 和 Na_2O 等。

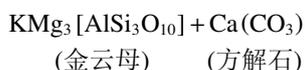
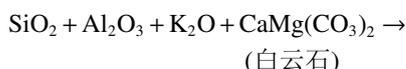
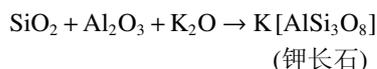
早期矽卡岩阶段是在超高温条件下进行的。该阶段形成的岩浆热液成分主要为 SiO_2 气溶胶。石英正长斑岩岩浆热液与南泥湖组中的白云石大理岩进行交代作用,形成透辉石,但交代作用极不彻底,尚剩余一定量的白云石大理岩。形成透辉石反应如下:



晚矽卡岩阶段是在气化高温条件下进行的。热液温度低于早期矽卡岩阶段,岩浆热液成分仍然主要为 SiO_2 气溶胶,并含有一定量的气化 H_2O 。岩浆气化-高温热液与早期矽卡岩阶段形成的透辉石和剩余的白云石大理岩,进一步发生交代作用形成透闪石,但交代作用仍不彻底,仍剩余有白云石大理岩。形成透闪石反应如下:



氧化阶段是在高温热液条件下进行的。岩浆热液成分较早期和晚期矽卡岩阶段复杂,热液成分主要为 SiO_2 、 Al_2O_3 、 K_2O 和 Na_2O 等。 SiO_2 、 Al_2O_3 和 K_2O 相互作用,并交代剩余的白云石,形成钾长石、金云母和方解石,其反应如下:



综上所述,该矿床属矽卡岩型透辉石-透闪石矿床,成矿时代为早白垩世。成矿热液为早白垩世岩浆热液,控矿地层为南泥湖组中的白云石大理岩。成矿方式为岩浆热液与白云石大理岩接触渗滤交代作用,成矿环境为开放的高温低压氧化环境。矿床形成于矽卡岩期,早期矽卡岩阶段形成透辉石,晚期矽卡岩阶段形成透闪石,氧化阶段形成钾长石、金云母和方解石(袁见齐等,1985;姚凤良等,2006)。

4 结论与建议

(1)该矿床具规模大、埋藏浅、矿体形态和结构简单、矿石品位高和化学成分稳定等特点,透辉石-透闪石原矿代替硅灰石用于生产釉面砖,制品性能稳定,节能效果明显,具重要工业意义。

(2)该矿床属矽卡岩型矿床,成矿时代为早白垩世。矿床形成受早白垩世石英正长斑岩体、南泥湖组中的白云石大理岩及层间破碎带等因素的多重控制。成矿环境为开放高温低压氧化环境,成矿方式为接触

渗滤交代作用。主成矿期为矽卡岩期,早期阶段形成透辉石,晚期阶段形成透闪石,氧化阶段形成钾长石、金云母和方解石。

(3)矿体的深部和北西西、南东东两段边界尚未控制,仍具有较大的找矿潜力。建议继续开展勘查工作,以期扩大矿床规模和早日开发。

(4)该矿床的矿石中 TFeO 含量较高,影响陶瓷制品的白度,建议用于生产一般日用陶瓷、卫生陶瓷、建筑陶瓷、饰面砖等,不建议用于生产精细陶瓷和电瓷。矿石在用作铸石、冶金保护渣和有色金属的铸型用砂等方面进行应用实验,以期扩大应用范围。

参考文献(References):

- 陈国安. 透闪石作陶瓷原料的试验研究[J]. 矿产保护与利用, 1998, (1): 23-25.
- CHEN Guo'an. Tremolite: Be Used As Raw Materials for Ceramics[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 1998, (1): 23-25.
- 陈毓川, 王登红, 徐志刚, 等. 中国重要矿产和区域成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 2015, 138-155.
- CHEN Yuchuan, WANG Denghong, XU Zhigang, et al. Major Mineral Resources and Regional Metallogenic Regularity in China [M]. Beijing: Geological Publishing Housing, 2015, 702-723.
- 郭立宏, 李静, 陈艳. 陕西木龙沟矽卡岩型铁多金属矿床地质特征[J]. 西北地质, 2013, 46(4): 152-155.
- GUO Lihong, LI Jing, CHEN Yan. Geological Characteristics of Mulonggou Skarn Iron Polymetallic Deposits, Shanxi Province[J]. Northwestern Geology, 2013, 46(4): 152-155.
- 河南省地质矿产局. 河南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 68-74.
- Henan Provincial Bureau of Geology and Mineral. Regional Geology Mark of Henan Province[M]. Beijing: Geological Publishing Housing, 1989, 68-74.
- 黄慧宁, 蒋伯昌. 透闪石在低温快烧釉面砖中的应用研究[J]. 陶瓷研究, 1993, 8(2): 67-75.
- HUANG Huining, JIANG Bochang. The Application Study of Tremolite in the Quick Firing at Low Temperatures[J]. Ceramic Studies Journal, 1993, 8(2): 67-75.
- 黄杰, 张辰子, 王真, 等. 河南方城双山玉的发现及初步研究[J]. 西北地质, 2020, 53(3): 244-251.
- HUANG Jie, ZHANG Chenzi, WANG Zhen, et al. Discovery and Preliminary Study of Shuang Shan Jade in Fangcheng, Henan[J]. Northwestern Geology, 2020, 53(3): 244-251.
- 姬果, 王永辉, 姬清海, 等. 河南省方城县青山透辉石矿床地质特征及开发利用前景[J]. 现代矿业, 2018, (8): 35-38.
- JI Guo, WANG Yonghui, JI Qinghai, et al. Geological Characterist-

- ics and Development and Utilization Prospects of Qingshandi-
optide deposit in Fangcheng County, Henan Province[J]. *Modern Mining*, 2018, (8): 35-38.
- 姬清海, 张良, 石文春, 等. 南召透闪石-透辉石在陶瓷中的应用研究[J]. *矿产保护与利用*, 1998, (5): 14-16.
- JI Qinghai, ZHANG Liang, SHI Wenchun, et al. Study on Application of Laozhuang Tremolite-Diopside ore to Ceramics[J]. *Conservation and Utilization of Mineral Resources*, 1998, (5): 14-16.
- 姜寒冰, 李宗会, 杨合群, 等. 秦岭地区成矿单元划分[J]. *西北地质*, 2014, 47(2): 146-154.
- JIANG Hanbing, LI Zonghui, YANG Hequn, et al. Division of Metallogenic Unit in the Qinling Area[J]. *Northwestern Geology*, 2014, 47(2): 146-154.
- 梁涛, 白凤军, 罗照华, 等. 豫西熊耳山斑竹寺花岗岩斑岩体锆石 U-Pb 定年及地质意义[J]. *西北地质*, 2014, 47(2): 41-50.
- LIANG Tao, BAI Fengjun, LUO Zhaohua, et al. LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating and Its Geological Implications of Banzhusi Granitic Porphyry in Xiongershan of Western Henan Province[J]. *Northwestern Geology*, 2014, 47(2): 41-50.
- 刘传权, 蔡志超, 姬清海, 等. 卢氏张家山铁矿床地球化学特征及成矿物质来源[J]. *西北地质*, 2015, 48(4): 88-99.
- LIU Chuanquan, CAI Zhichao, JI Qinghai, et al. Geochemical Characteristics and Materials Sources of the Zhangjiashan Iron Deposit in Lushi County[J]. *Northwestern Geology*, 2015, 48(4): 88-99.
- 桑龙康, 马昌前. *岩石学*[M]. 北京: 地质出版社, 2014, 72-207.
- SANG Longkang, MA Changqian. *Petrology*[M]. Beijing: Geological Publishing Housing, 2014, 72-207.
- 邵厥年, 陶维屏. *矿产资源工业要求手册*[S]. 北京: 地质出版社, 2012: 464-466.
- SHAO Juenian, TAO Weiping. *Manual of Industrial Requirements for Mineral Resources*[S]. Geological Publishing Housing, Beijing, 2012: 464-466.
- 台官涛. 河南省方城县里银子沟透辉石矿成矿远景分析[J]. *产业科技创新*, 2019, 1(2): 15-17.
- TAI Guantao. Analysis on the Mineralization Prospect of the Liyinzigou Diopside Deposit in Fangcheng County, Henan Province[J]. *Industrial Technology Innovation*, 2019, 1(2): 15-17.
- 汪仁勇, 吴桂捷. 宜昌透辉石矿床地质特征及其釉面砖工艺研究[J]. *矿床地质*, 1989, 8(2): 72-79.
- WANG Renyong, WU Guijie. Geological Characteristics of the Yichang Deposide Deposit and Technological Studies of its Glazed Brick[J]. *Mineral Deposits*, 1989, 8(2): 72-79.
- 王伟, 刘继顺, 何美香, 等. 豫西金矿地质特征与构造控矿探讨[J]. *西北地质*, 2014, 47(3): 62-69.
- WANG Wei, LIU Jishun, HE Meixiang, et al. Discussion on Geological Characteristics and Structural Ore-Control of the Gold Deposits in Western Henan[J]. *Northwestern Geology*, 2014, 47(3): 62-69.
- 王珍, 刘纯. 透辉石在宝鸡建筑陶瓷业中的应用[J]. *非金属矿*, 2006, 29(5): 28-30.
- WANG Zhen, LIU Chun. Application of Baoji Diopside in Building Ceramics Industry[J]. *Non-Metallic Mines*, 2006, 29(5): 28-30.
- 席文祥. *河南省岩石地层*[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997, 59-68.
- XI Wenxiang. *Lithostratigraphy of Henan Province* [M]. Wuhan: Chinese University of Geosciences Press, 1997, 59-68.
- 闫全人, 王宗起, 闫臻, 等. 从华北陆块南缘大洋扩张到北秦岭造山带板块俯冲的转换时限[J]. *地质学报*, 2009, 83(11): 1565-1583.
- YAN Quanren, WANG Zongqi, YAN Zhen, et al. Timing of the Transformation from Seafloor Spreading on the South Margin of the North China Block to Subduction within the North Qinling Orogenic Belt[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2009, 83(11): 1565-1583.
- 杨素文, 许小峰, 王胜利, 等. 宝鸡西山透辉石在陶瓷领域的应用效果[J]. *甘肃冶金*, 2015, 37(5): 62-65.
- YANG Suwen, XU Xiaofeng, WANG Shengli, et al. Application of Xishan Diopside in the Field of Ceramics[J]. *Gansun Metallurgy*, 2015, 37(5): 62-65.
- 姚凤良, 孙丰月. *矿床学教程*[M]. 北京: 地质出版社, 2006, 78-90.
- YAO Fengliang, SUN Fengyue. *Course in Mineral Deposits*[M]. Beijing: Geological Publishing Housing, 2006, 78-90.
- 袁见齐, 朱上庆, 翟裕生. *矿床学*[M]. 北京: 地质出版社, 1985: 104-129.
- YUAN Jianqi, ZHU Shangqing, ZHAI Yusheng. *Mineral Deposit Geology*[M]. Beijing: Geological Publishing Housing, 1985, 104-129.
- 张国强, 于政涛, 刘东伟, 等. 磐石圈岭透闪石矿床特征及开发前景[J]. *吉林地质*, 2005, 24(2): 35-40.
- ZHANG Guoqiang, YU Zhengtao, LIU Dongwei, et al. The deposit characteristics of the Quanlingtremolite, Panshi area, and its developing prospect[J]. *Jilin Geology*, 2005, 24(2): 35-40.
- 赵珊茸, 边秋娟, 凌其聪. *结晶学及矿物学*[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004, 346-364.
- ZHAO Shanrong, BIAN Qiujian, LING Qicong. *Crystallography and Mineralogy*[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004, 346-364.
- 朱嘉伟, 赵盼舒, 李锋. 华北陆块南缘金矿成矿动力学探讨[J]. *地球学报*, 2008, 29(4): 525-532.
- ZHU Jiawei, ZHAO Panshu, LI Feng. A Discussion on Mineralization Dynamics Mechanism of Gold Deposits on the Southern Edge of the North China Plate[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2008, 29(4): 525-532.