

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2020.03.003

# 鄂东北鹰咀山锰矿床地质特征及找矿标志

尤静静<sup>1</sup>, 吴昌雄<sup>2</sup>, 陈松林<sup>3</sup>, 蒋之飞<sup>1</sup>, 陈松<sup>1</sup>,  
刘锐<sup>4</sup>, 屠江海<sup>1</sup>, 彭辉<sup>1</sup>, 杨年浩<sup>1</sup>

(1. 湖北省地质局第六地质大队, 湖北 孝感 432000;

2. 湖北省地质局第一地质大队, 湖北 大冶 435100;

3. 湖北省地质勘查基金管理中心, 武汉 430074;

4. 中国地质大学(武汉)资源学院, 武汉 430074)

**摘要:** 鹰咀山锰矿床产出在桐柏—大别造山带中, 目前已发现有4条锰矿(化)体, 其产出受控于红安群黄麦岭组和七角山组。本文基于矿区锰矿勘查工作和室内观察、测试研究相结合等手段, 对研究区含矿岩系(建造)特征、矿体及矿石矿物特征、成矿过程和找矿标志等方面进行了分析探讨。结果表明: 鹰咀山锰矿为沉积变质型矿床, 锰矿(化)体主要赋存在黄麦岭组云母石英片岩夹硅质(有时含少量泥质)大理岩建造的岩性段中; 矿石类型主要为片岩型锰矿石和大理岩型锰矿石, 矿石中锰矿物主要为硬锰矿、软锰矿、菱锰矿、锰白云石和黑锰矿等; 初步认为锰矿的形成经历了沉积、变质改造和次生氧化富集的成矿阶段; 含锰硅质大理岩和含锰云母石英片岩可作为该地区锰矿的典型找矿标志, 该标志对鄂东北地区锰矿找矿具有重要意义。

**关键词:** 鹰咀山锰矿; 沉积变质; 地质特征; 找矿标志; 鄂东北

**中图分类号:** P618.32 **文献标识码:** A

## 0 引言

国内外沉积受变质型锰矿床工业价值仅次于沉积型, 该类矿床占国内锰总储量的5.3%, 是原先的沉积型或火山—沉积型锰矿床受区域变质或接触变质后, 矿石矿物组合发生改变而形成的氧化锰矿床或硫锰矿—碳酸锰矿床<sup>[1-4]</sup>。对于沉积变质型锰矿, 在变质作用过程中, 若变质轻微, 氧化锰矿石可脱水变富; 若变质作用强烈, 则原来的锰矿石变成复杂的锰硅酸盐, 使锰失去利用价值<sup>[5-6]</sup>。

鄂东北鹰咀山锰矿床地处湖北省广水—黄陂—蕲春沉积变质锰矿远景区中, 找矿潜力较大<sup>[7]</sup>。由于该区地处秦岭—大别造山带(秦祁昆造山系), 大

别—苏鲁地块, 桐柏—大别高压—超高压变质岩系折返带, 其特殊的成矿地质构造背景及多期成矿作用, 使得该区元素和矿物组合复杂而独特<sup>[8-9]</sup>。鄂东北鹰咀山锰矿与鄂西“大塘坡”式沉积型长阳古城大型锰矿所处的地质构造单元、含锰层位和围岩性质等方面均有很大不同<sup>[10]</sup>。目前该锰矿床研究程度比较低, 控制程度仅限于矿产普查, 以往的地质资料较少且缺乏点上的详细研究, 对其锰矿床地质特征、锰矿物学特征等诸多问题还不清楚。因此, 本文基于野外详细的地质调查、系统采样以及室内分析研究工作, 对鹰咀山锰矿床含矿岩系(建造)、矿体分布特征及锰矿物学特征等进行研究, 探讨其成矿作用和找矿标志, 以期对下一步找矿勘查工作及今后在该区域与邻区锰矿对比研究、寻找同类矿床提供参考。

**收稿日期:** 2019-10-14; **责任编辑:** 王传泰

**基金项目:** 湖北省地质局科研项目(编号: KJ2018-6)和湖北省国土资源厅省地质勘查基金项目“湖北省广水市鹰咀山矿区锰矿普查”(编号: HBT-16170054-170534)联合资助。

**作者简介:** 尤静静(1988—), 女, 地矿勘查工程师, 硕士, 2016年毕业于中国地质大学(武汉)地质工程专业, 现主要从事基础地质研究工作。通信地址: 湖北省孝感市孝南区163号, 湖北省地质局第六地质大队; 邮政编码: 432000; E-mail: 1304821808@qq.com

## 1 地质概况

在区域上,鄂东北鹰咀山锰矿位于中央造山带的桐柏一大别造山带上,夹持于华北地块与扬子地块之间,靠近区域 NW 向新—黄断裂带中段北侧(图 1a),是大别变质基底、随南裂谷、白桑关—殷店高压变质岩系折返带的组成部分。由于该区经历了漫长而复杂的地质发展历史<sup>[11-12]</sup>,鄂东北地区含锰岩层遭受了造山带不同演化阶段不同动力学机制下多期次的构造活动、变质-变形作用和多期次的岩浆活动的改造<sup>[13-14]</sup>,形成了鄂东北地区较有代表性的

沉积变质型锰矿。

受 NW 向新城—黄陂断裂带的影响,区域一分为二<sup>[15]</sup>,即南西向为南秦岭中的随枣地层小区,主要出露有武当岩群、耀岭河组、陡山沱组、灯影组等;北东向为桐柏一大别地层的桐柏小区,主要出露有大别岩群和红安岩群等(图 1b)。其中,红安岩群是桐柏一大别地区分布最广泛的地层,是一套低级区域变质岩相(绿帘角闪岩相和绿片岩相变质)的区域变质岩系,主要由石英云母片岩、片麻岩、浅(变)粒岩、千枚岩、大理岩、石榴子石-绿泥石片岩、磷、锰矿层等所组成的一套经过沉积-火山沉积-区域变质作用的岩石类型<sup>[16]</sup>,与该地区的锰成矿关系密切<sup>[17]</sup>。构造发育且较为复杂,主要可见褶皱、穹窿、断裂构

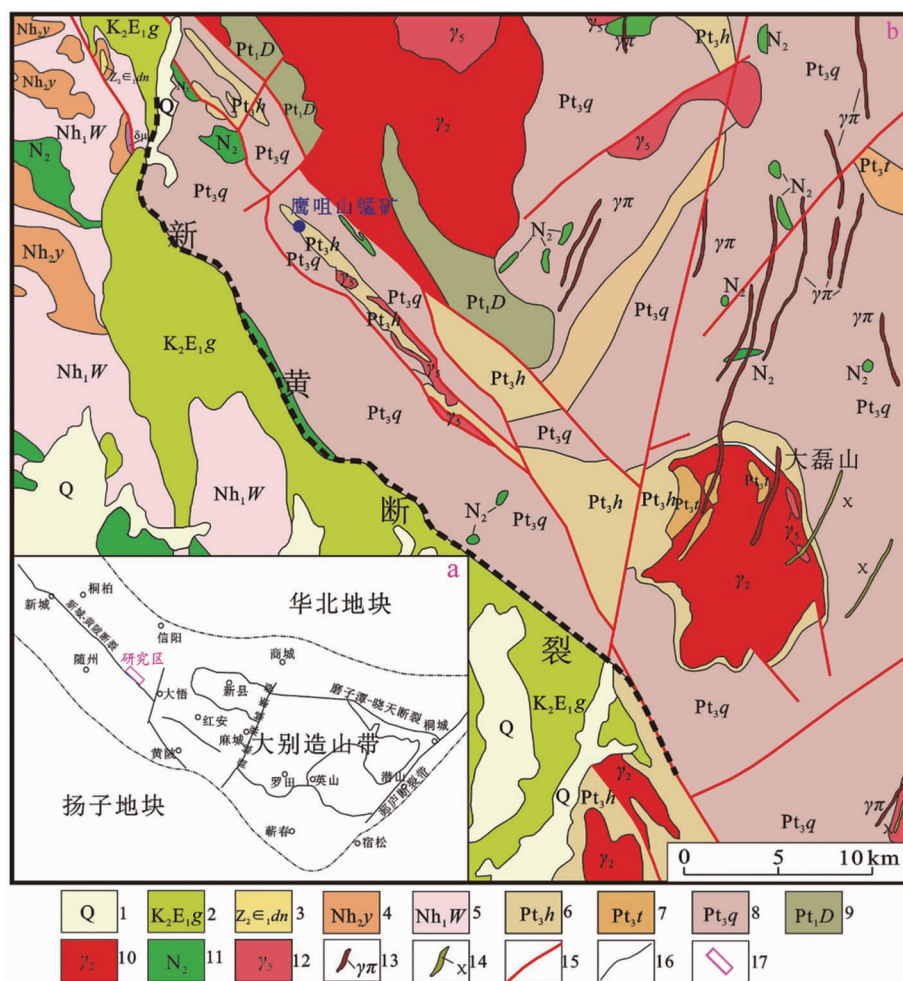


图 1 鹰咀山锰矿区域地质简图(据湖北省地质局第六地质大队,2016,修改)

Fig. 1 The regional geological map of Yingzuishan manganese deposit

1. 第四系; 2. 白垩系—古近系; 3. 震旦系灯影组; 4. 南华系耀岭河组; 5. 南华系武当岩群;
6. 新元古界红安群黄麦岭组; 7. 新元古界红安群天台山组; 8. 新元古界红安群七角山组;
9. 古元古界大别岩群; 10. 晋宁期花岗岩; 11. 晋宁期基性岩; 12. 燕山晚期花岗岩;
13. 花岗斑岩脉; 14. 煌斑岩脉; 15. 断层; 16. 地质界线; 17. 研究区位置

造等,其中大磊山穹隆是本区的标志性的基底构造,北西向新-黄断裂带和近南北向澧水断裂带等韧性-脆韧性剪切带控制了整个区域内的构造形迹和构造格架。区域内的岩浆岩主要以晋宁期和燕山晚期等两期的侵入岩为主。由于遭受了多期变质和复杂的构造作用影响,变质岩是该区域暴露最广泛的岩石,以区域变质岩为主,其次是动力变质岩,偶尔可见气液变质岩和接触变质岩。区域变质岩主要分布于大别岩群、红安岩群、武当岩群、耀岭河组中,主要岩石类型有千枚岩类、片岩类、片麻岩类、粒岩类、石英岩类、角闪质岩类、榴辉岩类、大理岩类。区域变质作用形成磷、锰、重稀土、石墨等重要矿产。

## 2 含矿岩系特征

鹰咀山锰矿区主要沿鹰咀山—龙兴沟水库一线展布,构造形迹与新-黄断裂带基本一致,出露地层

主要为新元古界七角山岩组、黄麦岭岩组,伴随少量的新元古代基性岩脉及早白垩世碱长花岗岩(图 2a)。区内前寒武纪地层受变质作用强烈,发育绿片岩相—绿帘角闪岩相的变质相系列;构造作用强烈且复杂,其中 NW 向的断裂构造规模大、活动时间长、期次多。

通常将含有锰矿或含锰岩石的地层称为含锰岩系<sup>[5]</sup>。研究区含锰矿层主体发育于新元古代红安岩群黄麦岭岩组中,其次为七角山组。黄麦岭组( $Pt_3h$ )岩组根据岩性特征可分为上、下段。

黄麦岭组下段( $Pt_3h^1$ ):岩石类型主要为绿泥石英片岩、白云母石英片岩、黑云母石英片岩、二云母石英片岩、绿帘石英片岩、钠长云母石英片岩,另还含有少量绢云母夹大理岩透镜体、钙质千枚岩、绿帘石英片岩等。底部见含锰片岩、含锰大理岩及透镜状含磷层。黄麦岭组下段底部是鹰咀山锰矿区的主要含锰层位,且层位延伸较为稳定(图 2b)。

黄麦岭组上段( $Pt_3h^2$ ):岩石类型主要为硅质大

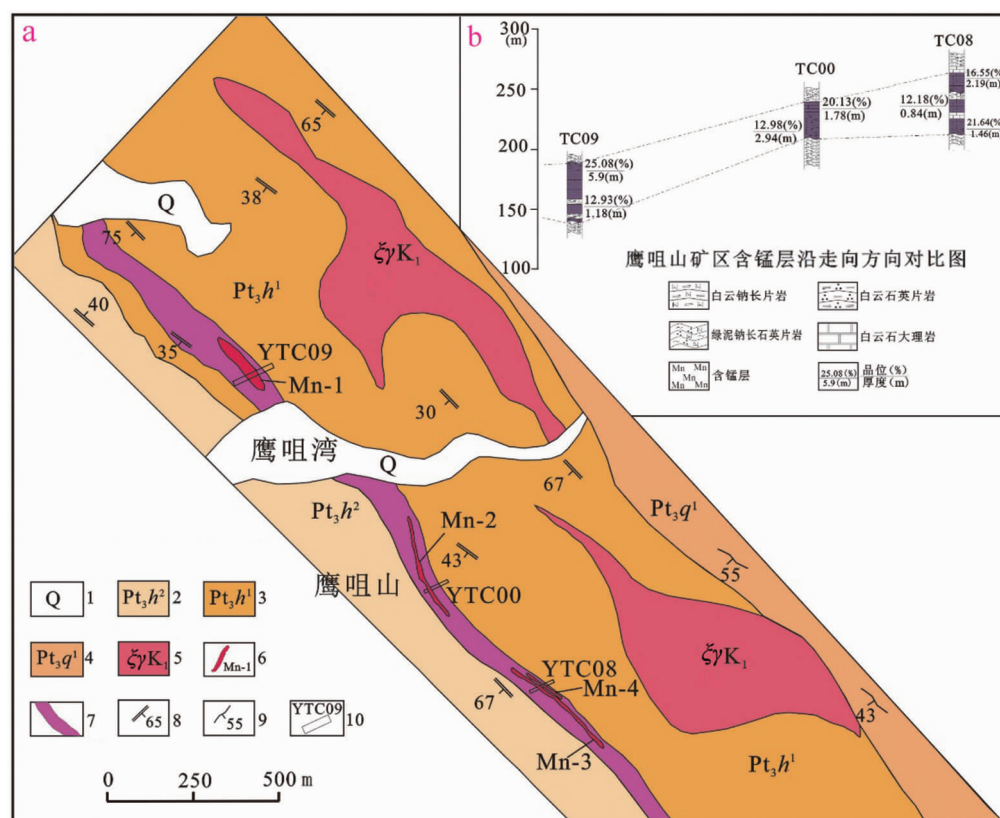


图 2 研究区矿体分布及含锰矿层对比示意

Fig. 2 Sketch showing distribution of ore bodies and correlation of manganese-bearing strata in the study area

1. 第四系; 2. 黄麦岭岩组上段; 3. 黄麦岭岩组下段; 4. 七角山岩组下段; 5. 早白垩世碱长花岗岩;
6. 矿体及其编号; 7. 含锰建造分布; 8. 片麻理产状; 9. 片麻理产状; 10. 探槽及编号

理岩、白云质大理岩、钙质片岩、石英岩等。推测原岩主要为碳酸盐岩,同时含有泥质砂岩、石英砂岩。含有重稀土、铍、锰和磷矿产。

七角山组( $Pt_3q$ ):分布在黄麦岭组南北两侧,两侧岩石类型不同。其中,北侧  $Pt_3q^1$  岩石类型主要为变(浅)粒岩、白云钠长片麻岩夹云母石英片岩、大理岩等;南侧岩石类型主要为含绿泥石绢云钠长片岩、绢云石英钠长片岩等。北侧以外的张家湾地区也存在着云母石英片岩-锰矿层-硅质大理岩互层的现象,因而推测七角山组也存在锰矿层。

综上,鹰咀山锰矿区内含矿岩系为一套云母石英片岩夹硅质(有时含少量泥质)大理岩(见图 3a),局部显示片岩与大理岩互层特征;矿化最好的层位为碳酸岩岩层,以及片岩与大理岩互层部位,矿化强度与碳酸岩成分比例密切相关。

### 3 矿体分布特征

在鹰咀山锰矿区内初步圈定了 4 条锰矿(化)体,矿体编号为 Mn-1、Mn-2、Mn-3、Mn-4,均呈带状顺层产出(见图 2a)。含锰矿层总体走向  $130^\circ-150^\circ$ ,且延伸稳定;地表断续可见长度约 1300 m 左右,含锰矿层厚度约 2~10 m,倾角  $50^\circ-72^\circ$ ;锰矿体由含锰石英片岩和含锰大理岩两类矿石组成。

Mn-1 矿体:下部推测为一褶皱,锰矿层主要赋存于核部及离核部两侧的地层中,其中片岩型锰矿体向南西方向缓倾斜,大理岩型锰矿体向北东方向缓倾斜,整体可见长约 100 m,平均厚度 5.90 m,平均品位  $w(Mn)=25.08\%$ 。

Mn-2 矿体:矿体可见长约 250 m,产状倾向北

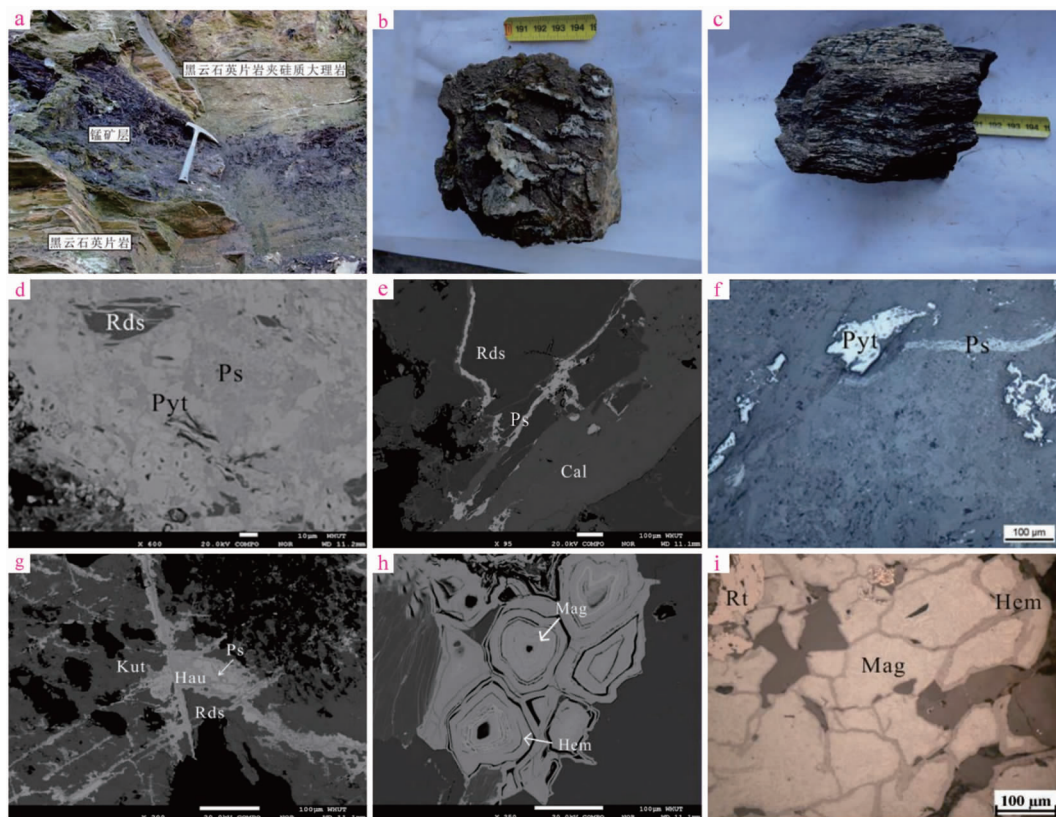


图 3 研究区岩石及矿物特征照片

Fig. 3 Photographs showing characteristics of rocks and minerals in the study area

- a. 云母石英片岩-锰矿层-硅质大理岩互层; b. 大理岩型锰矿石; c. 片岩型锰矿石;  
d. 原生菱锰矿与软锰矿、硬锰矿组合(背散射图像); e. 菱锰矿次生氧化成硬锰矿(背散射图像);  
f. 软锰矿与硬锰矿组合; g. 黑锰矿沿菱锰矿边缘分布(背散射图像);  
h. 磁铁矿和赤铁矿呈现出渐变的环带结构(背散射图像); i. 金红石和磁铁矿(被赤铁矿胶结)  
Ps. 硬锰矿; Pyt. 软锰矿; Rds. 菱锰矿; Kut. 锰白云石; Hau. 黑锰矿;  
Mag. 磁铁矿; Hem. 赤铁矿; Rt. 金红石

东,倾角 $63^{\circ}$ 左右,平均厚度约1.46 m,平均品位 $w(\text{Mn})=21.46\%$ 。

Mn-3矿体:矿体可见长约350 m,倾向南西,倾角 $53^{\circ}$ 左右,平均厚度1.78 m,平均品位 $w(\text{Mn})=20.13\%$ 。

Mn-4矿体:矿体可见120 m,倾向南西,倾角 $50^{\circ}$ 左右,厚度约2~3 m,平均厚度2.93 m,平均品位 $w(\text{Mn})=12.98\%$ 。

整体而言,通过地表工程揭露的含锰矿层位对比(见图2b)发现,在走向上矿层具有较稳定的延伸,含矿层在空间上呈北西向平行新-黄断裂带展布,沿北西方向和南东方向上都有延伸,含锰建造延伸长约大于11 km。部分呈分枝复合现象,厚度和品位也较为稳定。

## 4 矿石矿物特征

### (1) 矿石类型及组构特征

根据围岩成分、赋矿类型的不同,区内主要的矿石类型可分为两种:大理岩型锰矿石(图3b)、片岩型锰矿石(图3c)。矿石结构、构造较为复杂,结构主要有自形-半自形结构、残余状结构、定向结构、网状结构;构造主要有斑杂状构造、片状构造、条带状构造。

### (2) 矿石矿物组成及特征

本次研究借助显微镜下鉴定、电子显微探针(EMPA)等分析手段对鹰咀山锰矿床矿石矿物进行了测试分析,结果发现:鹰咀山锰矿床中的大理岩型锰矿石主要矿石矿物有锰白云石、菱锰矿、软锰矿和少量硬锰矿,脉石矿物主要是石英、碳酸盐矿物及少量云母等;片岩型锰矿石主要的矿石矿物有软锰矿、硬锰矿以及少量的黑锰矿和褐锰矿,脉石矿物主要是绿泥石、白云母、黑云母、石英、石榴子石、角闪石、钠长石、钾长石和少量绿帘石等,另外利用电子探针分析还发现有赤铁矿和磁铁矿等铁氧化物及金红石等。

根据镜下呈现的矿物生成顺序,并结合电子显微探针分析,可将研究区锰矿物分为三类:原生沉积锰矿物,变质锰矿物,氧化锰矿物。原生沉积锰矿物主要为菱锰矿、锰白云石和锰方解石,变质锰矿物为黑锰矿,氧化锰矿物主要为表生氧化作用形成的软锰矿、硬锰矿等。

硬锰矿:利用电子探针显微分析仪(JEOL-JXA-

8230型)进行背散射电子成像,镜下显灰白色带蓝色色调,矿物颗粒呈现半自形-它形结构,集合体表现出交织状、放射状、毛发状、蛛网状。见原生菱锰矿与软锰矿、硬锰矿组合共生产出(图3d),矿物之间的边界清晰,说明是在同一时间原生胶体化学共同沉积形成。硬锰矿多为菱锰矿等碳酸盐矿物在地表的风化作用下次生氧化成硬锰矿,见后期的硬锰矿沿片状、块状的菱锰矿裂隙充填,通常显现出交代充填关系(图3e)。

软锰矿:在背散射图像下镜下为白色微带浅黄色色调,可见到呈块状、片状的集合体(图3f),通常在后期时发生交代形成硬锰矿。主要表现为次生的软锰矿呈脉状沿菱锰矿的解理充填,此时的软锰矿呈现它形,甚至可以见到部分软锰矿交代早期的菱锰矿现象。

菱锰矿和锰白云石:两者显微镜下均略显白灰或棕灰,呈自形柱状、粒状结构,常具块状、脉状构造,可见解理,其它锰矿物因区域变质作用和次生富集作用常常在矿物的边缘、裂隙和表面生成,两者区分主要靠电子探针中Ca、Mg含量识别(图3g)。相对于菱锰矿来说,锰白云石Ca、Mg含量较高,通常与方解石形成方解石-锰白云石-菱锰矿类质同象系列,而且经常有Fe的类质同象替代。

黑锰矿:显微镜下呈灰色微带淡蓝,呈细脉状、块状产出在菱锰矿裂隙之中,显多色性(灰微带淡蓝色—褐灰色),具有强非均质性。黑锰矿沿菱锰矿、锰白云石解理裂隙充填,由早期沉积的菱锰矿区域变质作用形成(图3g)。

铁氧化物:主要为赤铁矿( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )和磁铁矿( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )。两者常呈同心环带结构产出(图3h)。赤铁矿与磁铁矿之间的界线并不是截然的而是呈过渡现象,说明研究区的沉积环境是渐变的,处于过渡的环境。通过沉积韵律,可以判断出该地区的锰矿沉积环境是先还原后氧化。

金红石:镜下呈褐黄色,呈现碎屑片状。在片岩型锰矿石中金红石和磁铁矿的碎屑颗粒被后期的赤铁矿所胶结,表现出碎屑结构的特征(图3i)。电子探针能谱中还含有少量的Fe,说明逐渐向钛铁矿转化。

## 5 成矿作用与找矿标志

### (1) 成矿作用探讨

区域大地构造演化上,鹰咀山锰矿区地处扬子地台北缘,经历了长期复杂的地质演化历史<sup>[18-19]</sup>。扬子北缘在中元古代晚期 Rodinia 超大陆开始裂解以及新元古代时(1000 Ma—542 Ma)进一步裂解的影响下,形成了一系列错综复杂的地堑地垒组合;随着裂谷系的不断拉张,诱发深大断裂及火山活动,形成了弧后裂谷并发育了从青白口系到震旦系的连续岩浆活动<sup>[20-24]</sup>;伴随着海侵作用的发生,形成了裂谷海盆沉积环境<sup>[25]</sup>。震旦纪时(542 Ma 后),裂谷海盆上形成了陆表盖层,此时扬子地台北缘演化成了滨浅海的近岸环境<sup>[26]</sup>,形成了一套以陡山沱组、灯影组为代表的碎屑岩-碳酸盐岩组合,经历区域变质作用后,变质的碎屑岩-碳酸盐岩组合,且与黄麦岭组的岩性组合片岩-大理岩组合相对应<sup>[23]</sup>。毛新武等(2016)对红安岩群黄麦岭岩组下部浅灰色钠长浅粒岩的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年测试结果表明,其最年轻的碎屑锆石年龄为 709 Ma。一般认为,地层中最年轻的碎屑锆石与地层时代的下限年龄一般相差 50 Ma 以内,据此推测黄麦岭组变沉积岩的形成可能开始于 659 Ma。由于华北板块与扬子地块的碰撞等各种中生代以来的构造演化,以及印支运动后桐柏一大别造山带转变为大陆环境<sup>[27-29]</sup>,原生及变质锰矿层长期经受风化作用等的影响,最终形成了鄂东北地区较有代表性的沉积变质型锰矿床。

基于鹰咀山锰矿床地质特征及锰矿物组合特征分析,将该区锰质的聚集成矿大致划分为 3 个阶段:原生沉积阶段,变质作用阶段,次生氧化富集阶段。原生沉积阶段:新元古代时,大别地区处于扬子地台的陆源海盆地中。在近海岸氧化还原环境下,含锰质胶体、碎屑物沉积进而形成原生矿石矿物组合:以菱锰矿-锰白云石为主,软锰矿和硬锰矿次之的组合。这表明锰质通过水解和搬运作用进入水体,由于氧化还原环境的改变发生原生的胶体化学沉积,形成以一套含锰的碳酸盐(主要矿物为菱锰矿)和泥(砂)质岩沉积(主要锰矿物为软锰矿和硬锰矿)组合。变质作用阶段:二叠纪—三叠纪期间,由于受到大别造山带的区域变质作用<sup>[30-33]</sup>,红安群地层和锰矿物发生变质重结晶;但是变质级别主要是绿片岩相—绿帘角闪岩相中低 P/T 的变质相系列<sup>[34]</sup>,此时原生的锰矿物经脱水和重结晶还原作用变成黑锰矿等。次生氧化富集阶段:由于研究区处在亚热带湿润地区,岩石后期往往发生强烈的化学风化作用;且因  $Mn^{3+}$  和  $Mn^{2+}$  不稳定,均被氧化成  $Mn^{4+}$  而发生

次生富集,形成了以软锰矿、硬锰矿为主的矿石类型。

## (2)找矿标志

找矿标志系指直接、间接反映矿床可能赋存的地质现象。在鹰咀山锰矿床勘查中发现,锰矿体产出受控于黄麦岭组和七角山组;黄麦岭组下段底部是矿区含锰的重要赋存部位,矿体的厚度与层内硅质大理岩和云母石英片岩的厚度有关,大理岩和片岩厚度越大时锰矿体越好、延伸越稳定。

鹰咀山锰矿的找矿标志可以初步总结为:黄麦岭组和七角山组为寻找本区的锰矿的重要标志层;含锰硅质大理岩和含锰云母石英片岩为直接找矿标志。

## 6 结论

(1)鹰咀山锰矿区内含矿岩系(建造)为一套云母石英片岩夹硅质(有时含少量泥质)大理岩,局部片岩与大理岩互层。

(2)鹰咀山锰矿产出受控于黄麦岭组和七角山组,其中主要与矿体关联密切的是红安岩群黄麦岭组,其主要岩性为云母石英片岩-大理岩。矿体呈带状顺层产出,矿石类型主要为片岩型锰矿石和大理岩型锰矿石。矿石中锰矿物主要为硬锰矿、软锰矿、菱锰矿、锰白云石和黑锰矿等。

(3)鹰咀山锰矿床的形成与扬子地台北缘的演化具有密切的关系,大致经历了锰质的原生沉积阶段、锰矿的变质作用阶段和后期的次生氧化富集 3 个阶段,即新元古代时期的锰质原生的胶体化学沉积,经区域变质作用重结晶和脱水作用,后又经风化作用再次受到氧化次生富集,最终形成鄂东北地区较有代表性的沉积变质型锰矿床。

(4)含锰硅质大理岩和含锰云母石英片岩可作为鄂东北地区锰矿找矿标志。

**致谢:** 本论文得到湖北省国土资源厅省地质勘查基金和湖北省地质局的资金支持,野外工作期间项目组同仁给予了很多帮助,中国地质大学(武汉)刘锐老师及其团队在实验研究时给予了耐心的指导,在此一并表示衷心感谢!

## 参考文献:

[1] 张九龄. 国内外锰矿主要类型地质特征及找矿方向[J]. 地质

- 与勘探, 1982(2):26-40.
- [2] 黄世坤, 宋雄. 我国锰矿类型、控矿因素及成因探讨[J]. 地质与勘探, 1985(10):1-7.
- [3] 阴江宁, 肖克炎. 中国锰矿资源潜力分析及成矿预测[J]. 中国地质, 2014, 41(5):1424-1437.
- [4] 付勇, 徐志刚, 裴浩翔, 等. 中国锰矿成矿规律初探[J]. 地质学报, 2014, 88(12):2192-2207.
- [5] 姚培慧. 锰矿床的形成机制及其找矿预测[J]. 地质与勘探, 1991, 27(11):1-6.
- [6] 邱俊, 吕宪俊, 王桂芳. 中国锰矿资源的分布及矿物学特征[J]. 现代矿业, 2009, 25(9):6-7+20.
- [7] 蔡雄威. 湖北省锰矿地质特征及找矿方向[J]. 地质找矿论丛, 2018, 33(2):161-167.
- [8] 姚敬勉. 鄂东北早元古代沉积变质锰矿元素矿物组合特征[J]. 岩石矿物学杂志, 1992, 11(3):257-266.
- [9] 潘木荣. 湖北省锰矿资源的主要地质特征[J]. 中国锰业, 1985(4):5-10.
- [10] 姚敬勉. 湖北省锰矿成矿规律[R]. 湖北宜昌:中南冶金地质研究所, 2017:1-10.
- [11] Faure M, Lin W, Schare U, et al. Continental subduction and exhumation of UHP rocks. Structural and geochronological insights from the Dabieshan (East China) [J]. Lithos, 2003, 70(3-4):213-241.
- [12] 董树文, 胡健民, 李三忠, 等. 大别山侏罗纪变形及其构造意义[J]. 岩石学报, 2005, 21(4):1189-1194.
- [13] Ratschbacher L, Hacker B R, Webb L E, et al. Exhumation of the ultrahigh-pressure continental crust in east central China: Cretaceous and Cenozoic unroofing and the Tan-Lu fault [J]. Journal of Geophysical Research-Solid Earth, 2000, 105(B6):13303-13338.
- [14] Wu C, Zhang Z, Xiao J, et al. Nanhuan manganese deposits within restricted basins of the southeastern Yangtze Platform, China: Constraints from geological and geochemical evidence [J]. Ore Geology Reviews, 2016, 75:76-99.
- [15] 毛新武. 新-黄断裂带中段地球化学特征及成矿条件分析[J]. 湖北地质, 1993, 7(1):64-73.
- [16] Chisonga B C, Gutzmer J, Beukes N J, et al. Nature and origin of the protolith succession to the Paleoproterozoic Serra do Navio manganese deposit, Amapa Province, Brazil [J]. Ore Geology Reviews, 2012, 47:59-76.
- [17] 屠江海. 湖北广水一大悟地区矿产地质调查报告[R]. 湖北孝感:湖北省地质局第六地质大队, 2016.
- [18] 李会民, 李智明. 扬子地台北缘锰矿成矿地质特征及找矿方向研究[J]. 地质与勘探, 2005, 41(1):18-21.
- [19] 杨钟堂, 李智明, 乔耿彪, 等. 陕西省勉县后沟锰矿成矿特征、成矿模式及找矿标志[J]. 地质与勘探, 2008(2):38-44.
- [20] 刘鸿允, 郝杰, 李曰俊. 中国中东部晚前寒武纪地层与地质演化[M]. 北京:科学出版社, 1999:60-191.
- [21] 张国伟, 于在平, 董云鹏, 等. 秦岭区前寒武纪构造格局与演化问题探讨[J]. 岩石学报, 2000, 16(1):11-21.
- [22] 洪吉安, 段苏浩. 扬子北缘新元古代岩浆活动架构[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2009, 28(S1):66.
- [23] 邓奇, 王剑, 汪正江, 等. 扬子北缘元古宇马槽园群时代归属新证据——对地层对比和古地理格局的启示[J]. 地质通报, 2013, 32(4):631-638.
- [24] 陈超, 熊保成, 胡正祥, 等. 扬子北缘新元古代洋陆转换事件刍议[J]. 资源环境与工程, 2017, 31(6):659-668.
- [25] Wang Jian, Li Zhengxiang. History of Neoproterozoic rift basins in South China: implications for Rodinia break-up [J]. Precambrian Research, 2003, 122(1-4):141-158.
- [26] 叶琴, 熊安香, 邱艳生, 等. 扬子北缘南华纪盆地古流向初步分析[J]. 资源环境与工程, 2014, 28(S1):26-30.
- [27] 徐贵忠, 王艺芬, 张稳胜. 桐柏一大别山碰撞造山带的大地构造演化[J]. 地球科学与环境学报, 1993(1):35-44.
- [28] 徐树桐, 刘贻灿, 江来利. 大别山构造格局和演化[M]. 北京:科学出版社, 1994.
- [29] 张思敏, 姜高磊, 柳坤峰, 等. 秦岭-大别新元古代一中生代沉积盆地演化[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2014, 39(8):1185-1199.
- [30] 钟增球, 索书田, 张宏飞, 等. 桐柏一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.
- [31] 许长海. 大别造山带碰撞后构造热/岩浆演化过程[D]. 上海:同济大学, 2002.
- [32] 彭三国, 蔺志永, 胡俊良, 等. 武当-桐柏一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.
- [33] 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(8):1088-1108.
- [34] 魏春景, 陈斌, 张翠光, 等. 大别地区的变质作用及与碰撞造山过程的关系[J]. 地质力学学报, 2000, 6(3):25-38.

## Geological characteristics and prospecting criteria for the Yingzuishan manganese deposit in northeastern Hubei province

YOU Jingjing<sup>1</sup>, WU Changxiong<sup>2</sup>, CHEN Songlin<sup>3</sup>, JIANG Zhifei<sup>1</sup>,

CHEN Song<sup>1</sup>, LIU Rui<sup>4</sup>, TU Jianghai<sup>1</sup>, PENG Hui<sup>1</sup>, YANG Nianhao<sup>1</sup>

(1. No. 6 Geological Party, Hubei Geological Bureau, Xiaogan 432000, Hubei, China;

2. No. 1 Geological Party, Hubei Geological Bureau, Daye 435100, Hubei, China;

3. Geological Exploration Fund Management Center of Hubei Province, Wuhan 430074, China;

4. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Yingzuishan manganese deposit is located in the Tongbai-Dabie orogenic belt. Four Mn mineralization zones controlled by Huangmailing Formation and Qijiaoshan Formation of the Hong'an Group have been found at present. Based on characteristics of Mn ore prospecting, the rock formation, ore body and ore mineralogy and lab observation and analysis are studied the ore-forming process and ore prospecting marks. Yingzuishan manganese deposit is a sedimentary metamorphic deposit. Mn ore (mineralization) bodies occur in the lithological section of mica quartz schist intercalated with siliceous (sometimes a little argillaceous) marble of the Huangmailing Formation. The ore types can be classified as schist type and marble type and the main manganese minerals include psilomelane, pyrolusite, rhodochrosite, kutnahorite and hausmannite. Formation of the manganese ore underwent sedimentary, rework of metamorphism and secondary oxidized-enrichment stages. Manganese mica quartz schist and manganese siliceous marble are the typical manganese ore prospecting marks in the area and they are of significance for manganese ore prospecting in northeast Hubei province.

**Key Words:** Yingzuishan manganese deposit; sedimentary metamorphic manganese deposit; geological characteristics; prospecting criteria; the northeast Hubei province