

滇东南坤洪磁铁矿床成因：来自磁铁矿的证据

毕婧怡^{1,2}, 李睿昱³, 李东任^{1,2}, 赵钰磊^{1,2}

¹桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林

²桂林理工大学广西隐伏金属矿产勘查重点实验室, 广西 桂林

³湖北省地质局水文地质工程地质大队, 湖北 荆州

收稿日期: 2023年3月6日; 录用日期: 2023年4月17日; 发布日期: 2023年4月29日

摘要

南盘江-右江成矿带是我国重要成矿带, 本文通过研究坤洪磁铁矿床中含矿矽卡岩的岩相学和矿石中磁铁矿的矿物化学特征, 探讨磁铁矿床的成因。坤洪磁铁矿床中磁铁矿的形成过程可分为两个阶段: 1) 早期进变质矽卡岩阶段形成的较自形磁铁矿(第一世代磁铁矿)含量较少, 该阶段的成矿作用相对较弱, 是磁铁矿的次要成矿阶段; 2) 晚期退变质矽卡岩阶段形成的不规则状磁铁矿(第二世代磁铁矿)含量较多, 表明该阶段是磁铁矿的主成矿阶段。两个阶段(两个世代)磁铁矿均具有较典型的矽卡岩型磁铁矿的成分特征, 其成矿作用与热液活动密切相关, 说明其应属于(岩浆)热液-矽卡岩成因类型, 但两个世代的磁铁矿在矿物化学特征上表现出不同的变化趋势, 表明二者的成矿流体和成矿物质来源可能存在差异。

关键词

磁铁矿, 矽卡岩, 成矿期次, 地球化学

Genesis of Kunhong Magnetite Deposits in Southeastern Yunnan: Evidence from Magnetite

Jingyi Bi^{1,2}, Ruiyu Li³, Dongren Li^{1,2}, Yulei Zhao^{1,2}

¹School of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

²Guangxi Key Laboratory of Hidden Metal Mineral Exploration, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

³Hydrogeology and Engineering Geology Brigade, Hubei Geological Bureau, Jingzhou Hubei

Received: Mar. 6th, 2023; accepted: Apr. 17th, 2023; published: Apr. 29th, 2023

Abstract

The Nanpanjiang-Youjiang metallogenic belt is an important metallogenic belt in China. In this

文章引用: 毕婧怡, 李睿昱, 李东任, 赵钰磊. 滇东南坤洪磁铁矿床成因: 来自磁铁矿的证据[J]. 地球科学前沿, 2023, 13(4): 405-411. DOI: 10.12677/ag.2023.134039

paper, the genesis of magnetite deposits is discussed by studying the petrology of skarnite bearing in the Kunhong magnetite deposit and the mineralochemical characteristics of magnetite in the ore. The formation process of magnetite in the Kunhong magnetite deposit can be divided into two stages: 1) the content of self-shaped magnetite (first-generation magnetite) formed in the early metamorphic skarn stage is less, and the mineralization of this stage is relatively weak, which is the secondary metallogenic stage of magnetite; 2) The content of irregular magnetite (second-generation magnetite) formed in the late degenerative skarn stage was large, indicated that this stage was the main metallogenic stage of magnetite. The two stages (two generations) magnetite have the composition characteristics of typical skarn-type magnetite, and their mineralization is closely related to hydrothermal activity, indicated that it should belong to the (magma) hydrothermal-skarn genesis type, but the two generations of magnetite show different trends in mineral chemical characteristics, indicated that the mineralize fluid and mineral-forming source of the two generations may be different.

Keywords

Magnetite, Skarn, Mineralization Period, Geochemistry

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

研究区(图 1)位于华夏、扬子和印支板块交接部位、南盘江 - 右江盆地南缘的滇 - 桂交界地区, 由于受到古特提斯洋盆俯冲 - 消减、印支板块与华南板块汇聚 - 碰撞作用的影响, 区内构造 - 岩浆演化与成矿过程漫长而强烈, 复合成矿作用突出, 是我国重要成矿区带之一——南盘江 - 右江成矿带的重要组成部分[1]; 同时, 该区还位于个旧 - 文山 - 德保矽卡岩型锡钨多金属成矿带的中部[2] [3]。特殊的大地构造位置造就了该区优越的成矿地质条件, 区内矽卡岩型磁铁矿床和铜镍硫化物型矿床均十分发育[4] [5] [6] [7] [8], 表明该区具有良好的磁铁矿和铜镍矿找矿潜力。然而, 长期以来, 前人对该地区的研究主要集中在中基性侵入岩的成因及其与铜镍矿成矿作用关系方面, 而对磁铁矿床的研究则仅开展了少量的矿床地质特征和矿床成因等方面的研究工作。然而, 对于磁铁矿床内最重要的赋矿围岩同时也是直接找矿标志的矽卡岩, 目前尚缺乏系统的研究工作[4] [5] [8] [9]。下面仅通过对坤洪磁铁矿床中含矿矽卡岩的岩相学及其所含磁铁矿的矿物化学特征的研究来约束磁铁矿床的成因。

2. 坤洪矽卡岩型磁铁矿床地质概况

坤洪矽卡岩型磁铁矿床位于云南富宁县板仑乡板仑村东南 5 千米坤洪村附近的山头上, 经纬度坐标位置为东经 105°39'30"~105°41'30", 北纬 23°30'00"~23°31'30", 已经申报登记采矿权的矿区面积约为 0.83 km²。根据云南省有色地质三〇六队在 2010 年制作的《云南省富宁县坤洪铁矿核查矿区资源储量核查报告》资料中显示, 该矿区铁矿石储量为 46.15 万吨, 平均品位 TFe 46.27%, 属于小型矽卡岩型磁铁矿床。

矿区内出露的地层以中二叠统岩头组(P₂yt)和上二叠统领蓐组(P₃lh)为主, 西侧还见有少量第四系地层出露。中二叠统岩头组是富矿层, 但是由于矿区内发生强烈的接触变质作用, 导致岩石发生强烈的大理岩化和矽卡岩化; 上二叠统领蓐组是一套碳酸盐岩和陆源碎屑岩夹凝灰岩、硅质岩沉积, 与下伏地层呈平行不整合接触。矿区内岩浆岩十分发育: 分布在矿区北部的晚二叠世“半瓦型”侵入岩、分布在矿区

南部的中三叠世“安定型”侵入岩、分布在矿区东南部的闪长岩脉，并且“安定型”侵入岩在矽卡岩型磁铁矿床矿体附近。

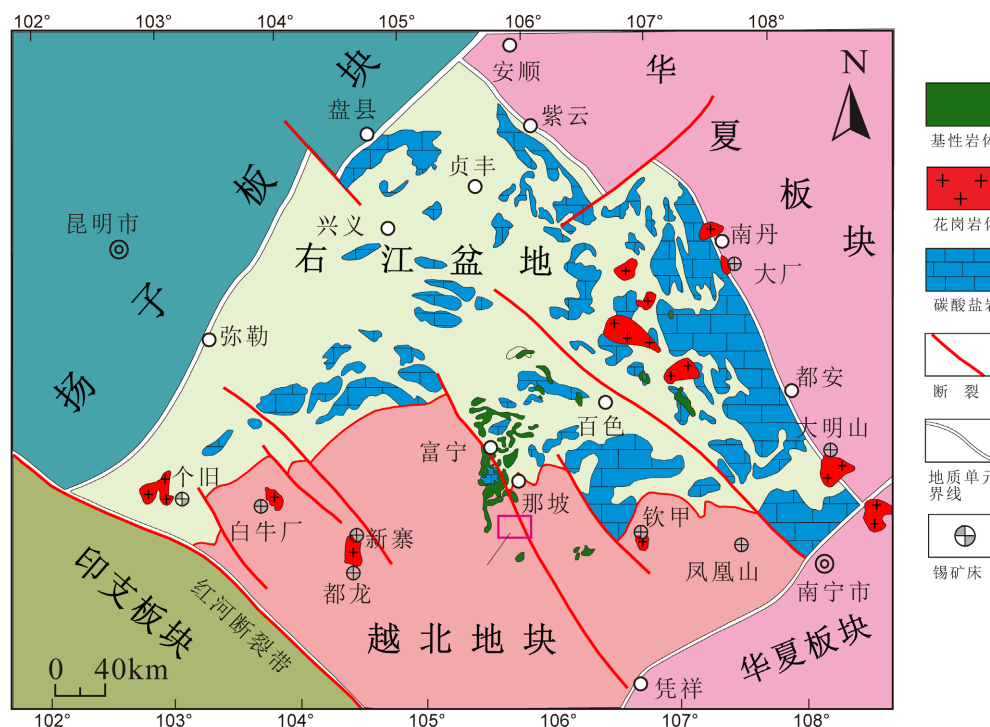


Figure 1. Tectonic map of southeast Yunnan [10] [11] [12] [13]

图 1. 滇东南地区大地构造略图[10] [11] [12] [13]

矿区位于董堡 - 那桑圩区域性断裂带的北东侧，属于安定弧形构造的重要一部分。由于受到区域性断裂带的影响，矿区内发育有 NW-NNW 向、NE 向和 NEE-近 EW 向三组断裂共 9 条断裂。虽然整个矿区属于安定弧形构造北西翼外，但较大的褶皱构造不发育，仅见一些露头尺度的小褶皱和一些较大断裂旁边的局部牵引褶曲出露。

矿区的金属矿物类型较为简单，但是构造比较复杂，根据矿石结构构造将其划分为块状矿石、细脉状矿石、浸染状矿石和条带状矿石等四种类型(图 2)。

1) 块状矿石：该类矿石是矿区内较为常见的矿石类型。矿石具块状构造，磁铁矿含量较高，在矿石中呈均匀分布，结构较均一，无定向性；非金属矿物主要有蚀变矿物(绿帘石、绿泥石等)及少量石榴石和透辉石(图 2(a))。

2) 细脉状矿石：该类矿石在矿区内较为少见。矿石具细脉状构造，磁铁矿呈细脉状沿裂隙或沿矽卡岩层间贯入，两侧岩石具强烈蚀变现象，有时见有硅质条带相伴分布(图 2(b))。

3) 浸染状矿石：该类矿石是矿区内最主要的矿石类型。矿石具浸染状构造，磁铁矿呈稠密或稀疏浸染状分布于矽卡岩矿物之中(图 2(c))。

4) 条带状矿石：该类矿石也是矿区内较为常见的矿石类型。矿石具条带状构造，磁铁矿聚集成条带状沿矽卡岩的一定“层”分布，与矽卡岩一起构成条带状构造(图 2(d))；有时还见“矽卡岩条带”被硅质岩条带交代、替代，矽卡岩呈残余状被包裹在硅质岩条带中(图 2(e))，或者仅残存一些石榴石、透辉石等矽卡岩矿物零星分布于硅质岩条带中(图 2(f))。



Figure 2. Characteristics of different types of ore in Kunhong iron ore deposit. Di: Diopside; Grt: Garnet
图 2. 坤洪铁矿床不同类型矿石特征。Di: 透辉石; Grt: 石榴石

3. 含矿矽卡岩的岩相学特征

研究区内磁铁矿床接触变质带中的热液蚀变作用极其发育，围岩蚀变主要类型有矽卡岩化、大理岩化、硅化以及绿泥石、绿帘石、闪石(透闪石、阳起石)、绢云母和碳酸盐化等。根据详细的岩相学研究分析，并结合国内外学者对矽卡岩型矿床成矿阶段划分的研究，坤洪磁铁矿床中含矿矽卡岩的矿物组成较为复杂，根据矿物组合及蚀变矿物之间的穿插关系等可将其划分为 3 个阶段的矿物组合：1) 早期进变质

矽卡岩阶段主要形成透辉石、石榴石及少量的方解石和棕褐色黑云母等矽卡岩矿物；此外，尚见有少量呈较自形粒状的磁铁矿零星分布于石榴石、透辉石和方解石等矿物颗粒之间，二者呈平衡共生关系，表明其应为与石榴石、透辉石、方解石等矿物同期形成的产物，但该阶段的成矿作用相对较弱，是磁铁矿的次要成矿阶段。2) 晚期退变质矽卡岩阶段主要形成透闪石、阳起石、绿帘石、绿泥石、浅黄绿色黑云母等含水热液蚀变矿物组合，其主要由透辉石和石榴石等矿物发生强烈交代蚀变形成，常见后者呈不规则残晶颗粒分布于这些蚀变矿物集合体中；此外，还见有较多的不规则状的磁铁矿集合体与这些蚀变矿物集合体聚集分布于岩石中，表明该阶段是磁铁矿的主成矿阶段。3) 硫化物-碳酸盐阶段主要发生碳酸盐化形成细脉状或网脉状分布的方解石，并伴随有黄铁矿和黄铜矿等的矿化。详细的成岩成矿阶段见表1。

Table 1. Formation sequence of minerals at each stage of diagenetic mineralization in Kunhong skarn-type magnetite deposit
表 1. 坤洪矽卡岩型磁铁矿床成岩成矿各阶段矿物的生成顺序表

成岩成矿阶段	早期进变质矽卡岩阶段	晚期退变质矽卡岩阶段	硫化物-碳酸盐阶段
透辉石	—————		
石榴石	—————		
黑云母		-----	
阳起石		-----	
透闪石		-----	
绿帘石		-----	
绿泥石			-----
方解石	-----		
绢云母			-----
石英			-----
磁铁矿		-----	
黄铁矿			-----
黄铜铁			-----

4. 磁铁矿的矿物化学特征

采用电子探针对坤洪磁铁矿床早期进变质矽卡岩阶段形成的较自形磁铁矿(第一世代磁铁矿)和晚期退变质矽卡岩阶段形成的不规则状磁铁矿(第二世代磁铁矿)进行分析测试的结果表明,两个世代磁铁矿的 FeO^T 含量均很高,二者含量分别为92.21%~96.92%和92.13%~97.87%;但第一世代磁铁矿相对比第二世代磁铁矿具有更高的 SiO_2 含量,二者含量分别为1.53%~2.02%和0.09%~1.63%。在 FeO^T 与 Al_2O_3 、 MgO 、 SiO_2 和 TiO_2 等主量元素关系图解(图3)中可以看出,两个世代的磁铁矿具有不同的演化特征,其中第一世代磁铁矿的总铁(FeO^T)含量与其它元素含量关系不明显或略显负相关关系;而第二世代磁铁矿的总铁(FeO^T)含量与其它元素含量总体上呈较明显的负相关关系,表明在第二世代磁铁矿形成过程中,Fe离子与 Al^{3+} 、 Mg^{2+} 、 Si^{4+} 和 Ti^{4+} 等阳离子可能形成类质同象现象,存在比较普遍的置换关系。两个世代磁铁矿表现出不同的变化趋势,表明二者的成矿流体和成矿物质来源可能存在差异。

在磁铁矿有关的成因分类图解(图 4)中投影的结果表明, 坤洪磁铁矿床两个世代磁铁矿均具有较典型的矽卡岩型磁铁矿床的成分特征, 其成矿作用与热液活动密切相关, 说明其应属于(岩浆)热液-矽卡岩成因类型。

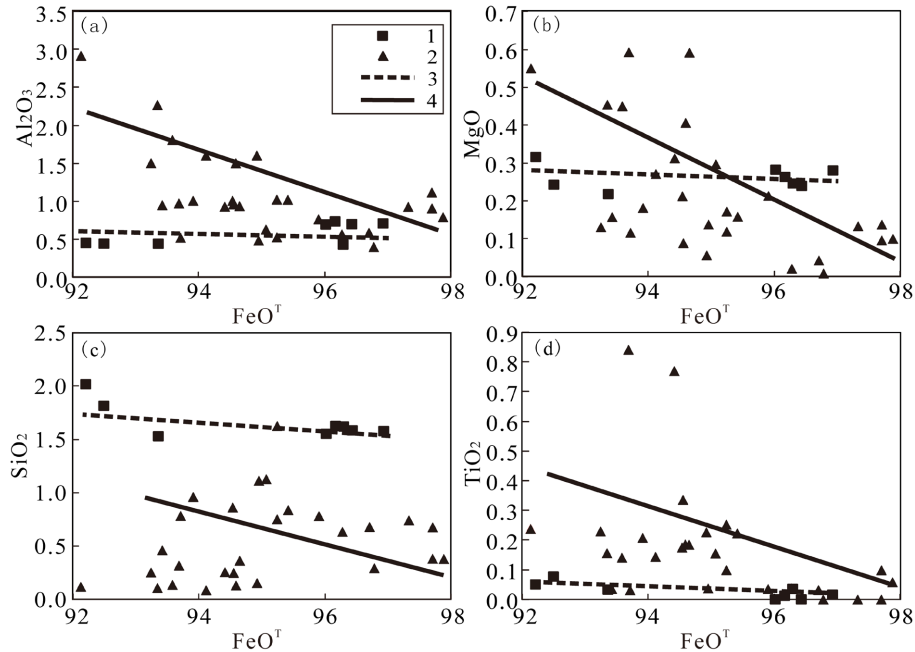


Figure 3. Correlation between FeO^T , the main element of magnetite in Kunhong skarn-type magnetite deposit, with Al_2O_3 , MgO , SiO_2 and TiO_2 . 1: First generation magnetite; 2: Second-generation magnetite; 3: First-generation magnetite covariant trend; 4: Second-generation magnetite covariant trend

图 3. 坤洪矽卡岩型磁铁矿床磁铁矿主要元素 FeO^T 与 Al_2O_3 、 MgO 、 SiO_2 和 TiO_2 相关性图解。1: 第一世代磁铁矿; 2: 第二世代磁铁矿; 3: 第一世代磁铁矿协变趋势; 4: 第二世代磁铁矿协变趋势

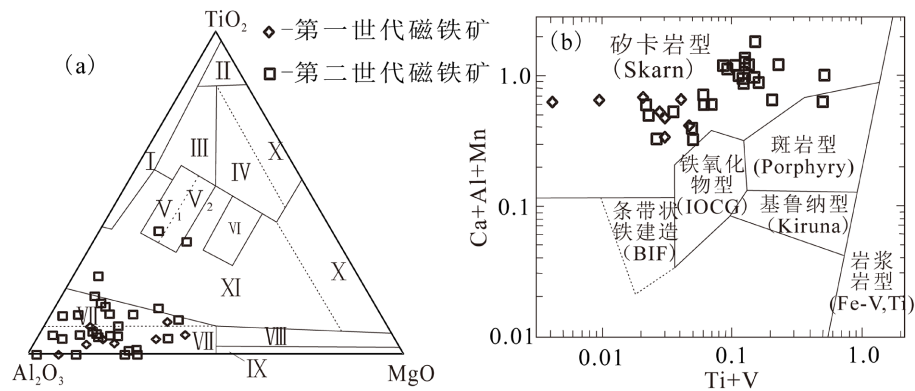


Figure 4. Classification of magnetite genesis in Kunhong skarn-type magnetite deposit [14] [15]. I: Granite Zone; II: Basalt area; III: Gabbro zone; IV: Peridotite area; V₁: Hornblende rock area; V₂: Diorite zone; VI: Kimberlite Rock District; VII: Hydrothermal type and calcium skarn type (mainly deep hydrothermal type above the dotted line, hydrothermal type and calcium skarn type below); VIII: Hydrothermal and magnesium skarn type (deep hydrothermal type; Some are hydrothermal type, magnesium skarn type); IX: Sedimentary metamorphosis, hydrothermal superposition type; X: Carbonate area (the upper part is related to the ultramafic rock, and the lower part is related to the surrounding rock); XI: Transition Zone

图 4. 坤洪矽卡岩型磁铁矿床磁铁矿成因分类图解[14] [15]。I: 花岗岩区; II: 玄武岩区; III: 辉长岩区; IV: 橄榄岩区; V₁: 角闪石岩区; V₂: 闪长岩区; VI: 金伯利岩区; VII: 热液型及钙矽卡岩型(虚线以上主要为深成热液型, 以下为热液型及钙矽卡岩型); VIII: 热液型及镁矽卡岩型(深成热液型; 部分为热液交代型, 镁矽卡岩型); IX: 沉积变质, 热液叠加型; X: 碳酸盐岩区(靠上部者与超基性岩有关, 靠下部者与围岩交代有关); XI: 过渡区

5. 结论

综上所述, 我们得出以下初步结论:

1) 坤洪磁铁矿床中磁铁矿的形成过程可分为两个阶段: ① 早期进变质矽卡岩阶段形成的较自形磁铁矿(第一世代磁铁矿)含量较少, 该阶段的成矿作用相对较弱, 是磁铁矿的次要成矿阶段; ② 晚期退变质矽卡岩阶段形成的不规则状磁铁矿(第二世代磁铁矿)含量较多, 表明该阶段是磁铁矿的主成矿阶段。

2) 两个阶段(两个世代)磁铁矿均具有较典型的矽卡岩型磁铁矿床的成分特征, 其成矿作用与热液活动密切相关, 说明其应属于(岩浆)热液-矽卡岩成因类型, 但两个世代的磁铁矿在矿物化学特征上表现出不同的变化趋势, 表明二者的成矿流体和成矿物质来源可能存在差异。

基金项目

国家自然科学基金项目(编号: 42162007); 中国地质调查局地质矿产调查评价项目(编号: 12120114039501)。

参考文献

- [1] 丁丽雪, 黄圭成, 李堃. 右江成矿带[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2018: 1-81.
- [2] 赵一鸣, 丰成友, 李大新. 中国矽卡岩矿床找矿新进展和时空分布规律[J]. 矿床地质, 2017, 36(3): 519-543.
- [3] 黄华盛. 矽卡岩矿床的研究现状[J]. 地学前缘, 1994, 1(3): 105-111.
- [4] 尹红光, 李飞, 张雪松, 等. 富宁洞哈钛铁矿[J]. 云南地质, 2008, 27(2): 223-228.
- [5] 朱明波. 云南省富宁县牙牌-安定夕卡岩型铁矿矿床特征及成因研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2010.
- [6] 赵红果, 闫晓波. 云南富宁牙牌矽卡岩型磁铁矿矿床特征[J]. 云南地质, 2013, 32(1): 42-44.
- [7] 熊风, 陶琰, 廖名扬, 等. 云南富宁地区与矽卡岩型铁矿有关基性岩锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征[J]. 矿床地质, 2014, 33(S1): 21-23.
- [8] 熊风. 云南富宁地区与矽卡岩型铁矿、岩浆铜镍硫化物矿床有关的基性侵入岩年代学和地球化学研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国科学院大学, 2020.
- [9] 刘兵, 李小军, 关奇, 等. 滇东南富宁地区基性侵入岩及喷出岩时代[J]. 地质通报, 2018, 37(11): 2021-2031.
- [10] 李睿昱. 滇东南坤洪和洞哈铁矿床矽卡岩的成因研究及其地质意义[D]: [硕士学位论文]. 桂林: 桂林理工大学, 2022.
- [11] 李建康, 王登红, 李华芹, 等. 云南老君山矿集区的晚侏罗世-早白垩世成矿事件[J]. 地球科学-中国地质大学学报, 2013, 38(5): 1023-1036.
- [12] 杨光树, 王凯, 燕永锋, 等. 滇东南老君山锡-钨-锌-铟多金属矿集区含矿矽卡岩成因研究[J]. 岩石学报, 2019, 35(11): 3333-3354.
- [13] Xu, B., Jiang, S.Y., Wang, R., *et al.* (2015) Late Cretaceous Granites from the Giant Dulong Sn-Polymetallic Ore District in Yunnan Province, South China: Geochronology, Geochemistry, Mineral Chemistry and Nd-Hf Isotopic Compositions. *Lithos*, **218-219**, 54-72. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2015.01.004>
- [14] 王顺金. 成因矿物学应用[M]. 武汉: 武汉地质学院出版社, 1984: 1-150.
- [15] Céline, D. and Georges, B. (2011) Discriminant Diagrams for Iron Oxide Trace Element Fingerprinting of Mineral Deposit Types. *Mineralium Deposita*, **46**, 319-335. <https://doi.org/10.1007/s00126-011-0334-y>