

柬埔寨柏威夏省罗文铁矿床地质特征及成因浅析

黄敦杰, 彭振安, 刘元春, 谭泽模, 唐龙飞, 夏红卫

(广西大学资源与冶金学院, 广西 南宁 530004)

摘 要: 罗文铁矿位于柬埔寨北部柏威夏省罗文县境内, 区域上位于罗文真基底穹窿中部, 是柬埔寨铁矿资源的重要产地。该矿区燕山期中酸性岩浆喷发-侵入活动强烈, 原生矿体主要呈似层状、透镜状、脉状、囊状产于安山岩、闪长玢岩、凝灰岩等火山岩中, 大部分赋矿围岩蚀变发育, 主要有矽卡岩化、绿泥石化、绿帘石化、硅化、黑云母化、碳酸盐化等。通过对矿石组构、矿物共生组合、围岩蚀变特征分析, 该矿床形成划分为岩浆期和热液期 2 个成矿期, 进一步分为 3 个成矿阶段: 透辉石-石榴子石-磁铁矿阶段、透辉石-石榴子石-透闪石-绿泥石-磁铁矿阶段、黄铁矿(黄铜矿)-镜铁矿-碳酸盐矿物阶段。笔者在野外地质调查和室内分析研究的基础上, 认为罗文铁矿床成因与火山-次火山岩及其热液活动有关, 成矿主要受火山机构尤其是火山口、火山颈相控制, 属火山-次火山岩型铁矿床。

关键词: 铁矿床; 火山岩; 火山-次火山型矿床; 罗文

中图分类号: P618.31

文献标识码: A

文章编号: 1009-6248(2014)01-0197-11

Geological Characteristics and Genesis of Luowen Iron Deposit in Preah Vihear of Cambodia

HUANG Dun-jie, PENG Zhen-an, LIU Yuan-chun, TAN Ze-mo, TANG Long-fei, XIA Hong-wei

(College of Resource and Metallurgy, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China)

Abstract: Luowen iron deposit is located in Luowen county of Preah Vihear, northern Cambodia. Located in the center of Luowen basement vault, the deposit is an important origin of Cambodia iron mineral resources. The eruption and intrusion activity of intermediate-acidic magma is strong in Yanshanian. The primary ore bodies mainly present as banding, lensing, vein, cystic, and are hosted by volcanic rock which contains andesite, diorite porphyrite and tuff. Alterations such as skarnization, chloritization, epidotization, silicification, biotitization and carbonatization strongly occur in the surrounding rock. Based on ore textures and mineral assemblages as well as characteristics of surrounding rock alteration, two periods of ore deposition were distinguished: magmatic period and hydrothermal ore-forming period, which could be further subdivided into three metallogenic stages: diopside-garnet-magnetite stage, diopside-garnet-tremolite-chlorite-magnetite stage and pyrite (chalcopyrite)-specularite-carbonate stage. According to the field geological investigation, ore deposit geological characteristics and geochemistry, the genesis of Luowen iron deposit belongs to volcanic-subvolcanic iron deposit, relating to volcanic-subvolcanic rock and their hydrothermal activities. The mineralization is mainly controlled by the volcanic institutions especially crater and volcanic neck.

收稿日期: 2014-01-03; 修回日期: 2014-02-27

基金项目: 广西有色金属集团资源勘查有限公司“柬埔寨柏威夏省、上丁省铁矿区矿床成因及找矿远景评价研究”(YJ201202)

作者简介: 黄敦杰 (1989-), 男, 广西宾阳人, 硕士研究生, 金属矿床成因及找矿研究方向。E-mail: hdunjie@163.com

Key words: iron deposit; volcanic rock; volcano-subvolcanic type iron deposit; Luowen

罗文铁矿区位于柬埔寨北中部柏威夏省罗文县境内，是柬埔寨铁矿产资源的重要产地。从 20 世纪 60 年代开始，中、法、韩等国家的地质研究者对该区域开展了少量的地质调查研究和探矿工程工作，2007~2008 年宁夏地矿局核勘院在该区开展大比例尺航磁测量和地质钻探等工作，预估计有千万吨级的铁矿储量（赵旭辉，2008）；2010~2011 年桂林矿产地质研究院对该区开展了普查工作，将该矿区分为 R1、R22 个分矿区，其中 R1 区又独立划出 R3（登布）和 R1A（格高）、R1B、R1C、R1D、R1E 等 5 个矿段（秦来勇等，2012）。现已基本查明该矿区格高（R1A）矿段、（R3）矿段及石山（R2）矿区的成矿地质背景和矿体分布、规模、产状、深部延深及品位变化等情况。笔者在此基础上，结合野外地质调查和室内研究，总结罗文

铁矿区矿床的地质特征，并分析与成矿有关的岩浆岩、围岩蚀变及岩石矿物地球化学特征，初步探讨矿床成因，以指导下一步的找矿工作。

1 区域地质背景

柬埔寨位于中南半岛的中南部，大地构造位置属于欧亚大陆范畴（吴良士，2009），属于大陆边缘内侧的断裂活动带，是非板块间俯冲的产物。曼德勒锡当山-乌泰他尼-洞里萨湖北西向大断裂纵贯其间，将柬埔寨分为东部印支断块区和西部褶皱带 2 个不同性质的大地构造单元，按其地层、构造特点可分别分为 5 个次级构造单元和 4 个次级构造单元（徐国端等，2008）（图 1）。

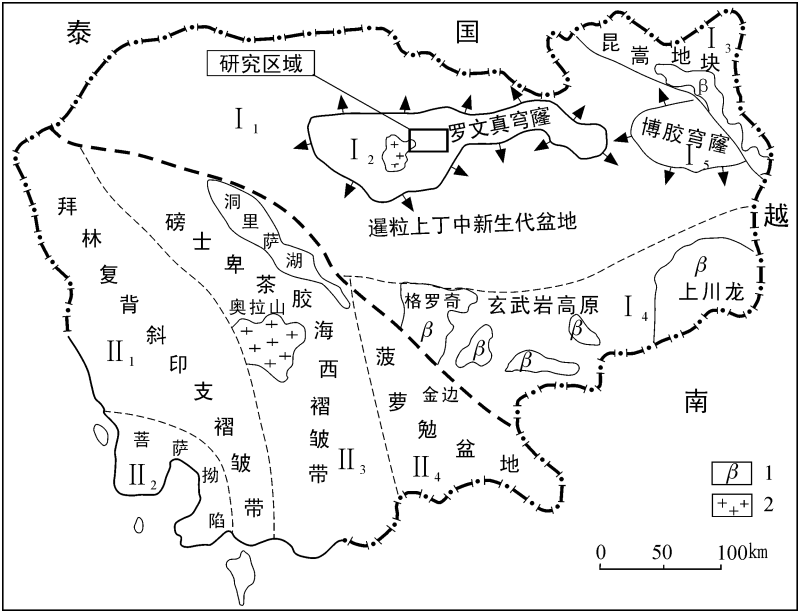


图 1 柬埔寨大地构造分区示意图
(据吴良士，2009 修改)

Fig. 1 Sketch showing the tectonic plots of Cambodia
1. 新生代高原玄武岩；2. 中生代花岗岩

罗文铁矿区域上位于罗文真基底穹窿中部，罗文真基底穹窿大致呈东西向延伸，核部露地层为泥盆—石炭系，由里往外依次为石炭—二叠系、三叠系、侏罗系及第四系。区域地壳演化运动历史漫

长而复杂，尤其是印支期和燕山期的构造运动强烈（吴良士等，2009），分布范围广，褶皱构造主体为轴向近东西向的复式背斜，同时受近南北或北西向的褶皱构造叠加影响，形成变形复杂的穹窿构造；

该区断裂构造主要有北西向及北东向 2 组，其中北西向断裂构造规模较大，延伸范围较广。此外，区内火山环状构造分布范围广，数量较多，且与铁、金等矿床的成矿作用关系密切。罗文真穹隆岩浆岩主要为印支—燕山期花岗岩及同源、同期中酸性火山岩，该期岩浆活动是柬埔寨分布最广、规模最大的岩浆岩活动，含矿岩浆沿各主要断裂带形成各种矿床。罗文铁矿床、隆山金矿床及铁山铁矿床均与该期岩浆活动有关。

2 矿区地质概况

2.1 地层

矿区出露的地层（图 2、图 3）由老至新依次有上石炭统一二叠系（C₃—P）杂砂岩、含砾粉砂质泥岩、泥页岩及灰岩，第四系（Q）的含有机质浮土、残坡积黏土、亚黏土、砂土层等。

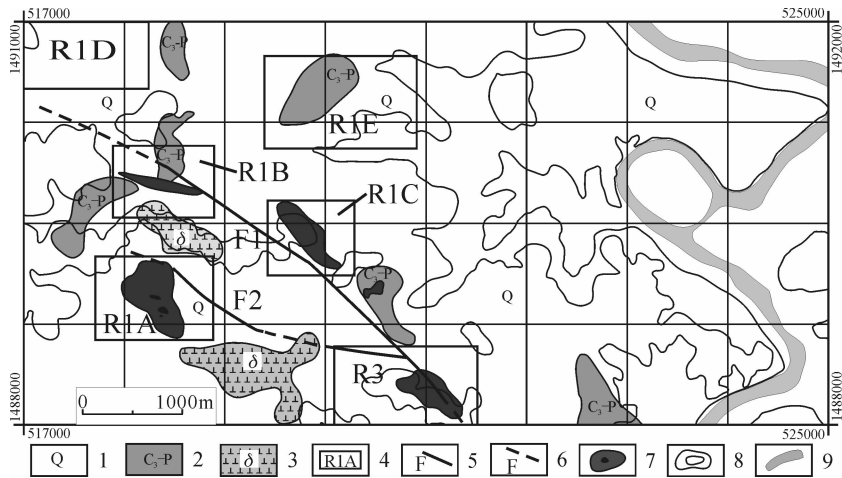


图 2 R1 区地形简图

（据秦来勇等，2012 修改）

Fig. 2 Simplified geological map of the R1 deposit

- 1. 第四系有机浮土、残坡积粘土、亚黏土、砂土层；
- 2. 上石炭统一二叠系杂砂岩、含砾粉砂质泥岩、泥页岩及灰岩；
- 3. 闪长岩体；
- 4. 矿段区域及编号；
- 5. 实测断层；
- 6. 推测断层；
- 7. 磁铁矿、镜铁矿砖石分布区及原生体露头；
- 8. 等高线及高程点；
- 9. 河流

2.2 构造

矿区主要被第四系大面积覆盖，构造行迹多被掩埋。根据 1：1 万地质填图、钻孔岩心揭露及物探磁法异常等成果推断，各个矿区的断裂构造主要有（图 2、图 3）：R 区由 R1 矿段的北西向、R2 矿段的北东和南东向的断裂构成，分别为 R1-F1、R1-F2、R2-F1、R2-F2、R2-F3 5 条。其中，规模最大的为 R1 矿区的 F1、F2 断裂，R1-F1 断层位于 R1 矿区西南部，呈北西向展布，其中南东段延伸至登布（R3）矿段，与登布矿段成矿关系密切。R2 矿区断裂构造规模较小，主要断裂构造有 3 条，其中 R2-F1、R2-F2 规模较小，R2-F3 规模较大，主体呈北东向展布。

2.3 岩浆岩

矿区岩浆岩喷发-侵入活动非常强烈，以燕山期的喷发-侵入活动为主，主要为喷出岩相的安山岩、火山凝灰岩；浅成-超浅成岩相呈岩株、岩枝状产出的闪长玢岩、中粗粒二长花岗岩、花岗斑岩、花岗闪长岩、安山玢岩，以及呈岩基分布的闪长岩。其中，安山岩为灰-深灰色，斑状结构，块状、杏仁状构造，斑晶以斜长石为主，主要出露于 R1、R3 矿区；闪长玢岩为灰色-深灰色，斑状结构，块状构造，斑晶为斜长石，基质主要为斜长石、钾长石、绿泥石、绿帘石、石英、方解石、磁铁矿及隐晶质等，主要出露于 R1、R3 区。铁矿体主要赋矿围岩为闪长玢岩和安山岩。

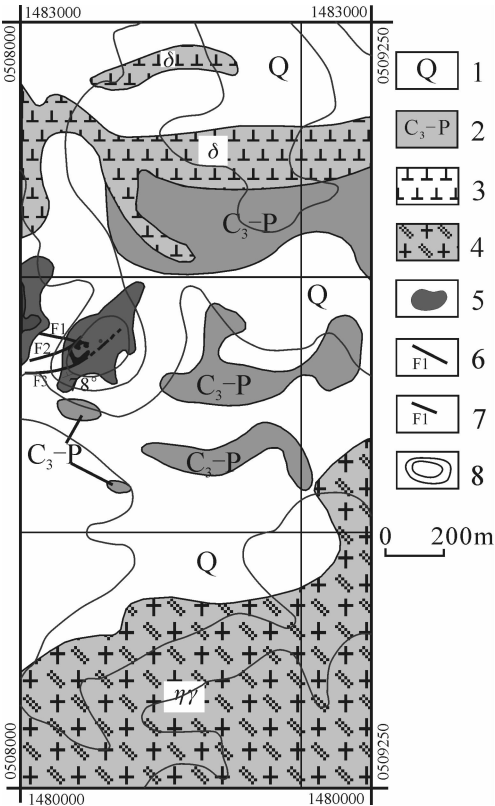


图3 R2区地形简图(据秦来勇等, 2012 修改)

Fig. 3 Simplified geological map of the R2 deposit

1. 第四系有机浮土、残坡积黏土、亚黏土、砂土层; 2. 上石炭统一二叠系杂砂岩、含砾粉砂质泥岩、泥页岩及灰岩; 3. 闪长岩体; 4. 中粗粒二长花岗岩; 5. 磁铁矿、镜铁矿砖石分布区及原生体露头; 6. 实测断层; 7. 推测断层; 8. 等高线

3 矿床地质特征

3.1 矿体特征

矿区根据矿体形态及产出位置不同分为次生残积型铁矿和原生铁矿 2 种类型。因矿区地势平坦, 且植被非常发育, 出露地表的磁铁矿石难以发生大规模的水平迁移。因此, 次生残积矿主要为原生矿体露头经过长时间的物理、化学风化作用使原生矿体发生破碎并原地堆积或经过迁移堆积而成。结合目前矿区的工作程度, 于 R 区已圈定次生残积矿体 3 个, 原生矿体 15 个。

高品位矿体主要分布在小山包的山顶部位, 远离山顶, 铁矿体变薄或尖灭。按铁矿石形态及成分变化, 次生残积型铁矿以矿体露头为中心向外围分

为 3 个分带: 露头附近致密块状磁铁矿带、块状夹颗粒状半风化赤铁矿磁铁矿带、中细粒状角砾状-强褐铁矿化磁铁矿带(图 4a—图 4d)。

据钻孔控制工程揭露, 原生矿体明显受中性岩体控制, 主要呈似层状、透镜状、脉状、囊状产于安山岩、闪长玢岩、凝灰岩等火山岩和经强蚀变后形成的矽卡岩等岩体中, 呈渐变过渡关系(图 5)。矿体倾向延伸约 100 m, 品位高且厚度大, 形态不规整, 倾向为南西或北西, 倾角为 30°~50°, 平均厚度 6~15 m, 最厚可达 50 m。此外, 矿体不受岩体与围岩接触带控制, 在地层中无矿体或矿化体存在, 这反映了罗文铁矿床不具矽卡岩型矿床的特点。

3.2 矿石特征

矿床主要矿石矿物有磁铁矿、镜铁矿, 其次为赤铁矿和少量褐铁矿; 矿石原生构造类型以致密块状、浸染状为主, 其次为角砾状、条带状。磁铁矿石结构主要为他形粒状、他形-半自形细-中粒集合体, 集合体呈团斑状、脉状等, 此外, 登高矿段(R3) 常见被叶片状、针状的赤铁矿交代成交代残余结构的磁铁矿, 以及他形束状、纤维状结构的镜铁矿(图 6f—图 6h)。矿物组合主要为透辉石-石榴子石-磁铁矿, 透辉石-石榴子石-透闪石-绿泥石-磁铁矿和绿泥石-石榴子石-镜铁矿-磁铁矿。

3.3 矿化蚀变

铁矿体主要赋存于一套强蚀变的中性火山岩、次火山岩和火山碎屑岩中, 矿床广泛发育矽卡岩化、透闪石化、绿帘石化、绿泥石化、钾长石化、黑云母化、硅化、碳酸盐化等围岩蚀变, 离矿体越近, 蚀变越强烈。其中, 以石榴子石化、透辉石化为代表的矽卡岩化在矿体周围发育, 与磁铁矿体的关系最为密切, 呈自形-半自形粒状集合体与细粒状、不规则状磁铁矿共存, 部分石榴子石被透辉石、磁铁矿交代(图 6a、图 6b), 为早期热液蚀变矿物。此类石榴子石-透辉石化组合仅出现在安山岩、闪长玢岩岩体中, 有别于矽卡岩矿床中的中-酸性岩体与碳酸盐类岩石接触交代作用形成的蚀变组合; 透闪石化、绿帘石化、绿泥石化普遍发育于矿体外围的安山岩、安山玢岩、闪长玢岩中; 方解石、石英脉常穿插于上述各种岩石中, 显示晚期热液活动的迹象。



图 4 罗文铁矿矿体特征图

Fig. 4 Orebody characteristics of Luowenzhen deposit

- a. 原生磁铁矿体露头，呈致密块状；b. 块状夹颗粒状半风化赤铁矿磁铁矿带；c. 中细粒状角砾状-强褐铁矿化磁铁矿带；
d. 气孔状、杏仁状原生磁铁矿体，表面见褐铁矿化；e. 含角砾岩磁铁矿岩芯；f. 矿体与围岩接触带的强围岩蚀变

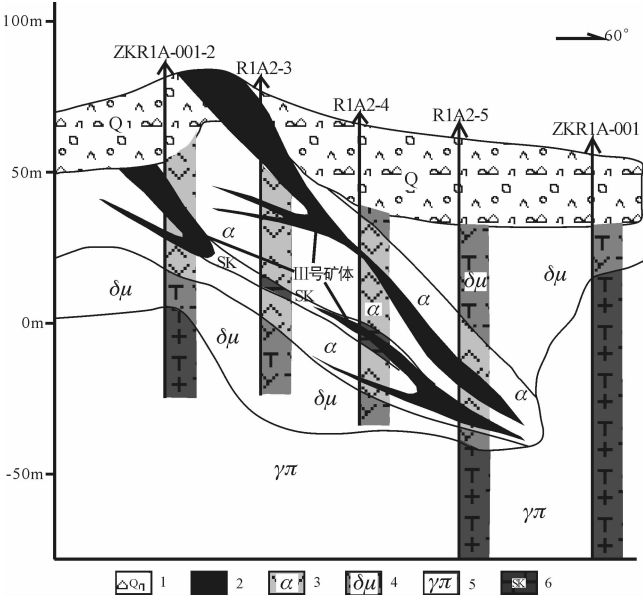


图 5 格高 (R1A) 矿段 0 号勘探线地质剖面图

(据秦来勇等，2012 修改)

Fig. 5 Geology and section map of 0 prospecting line in Gegao (R1A)

1. 第四系沉积物；2. 磁铁矿体；3. 安山岩；4. 闪长玢岩；5. 花岗斑岩；6. 砂卡岩

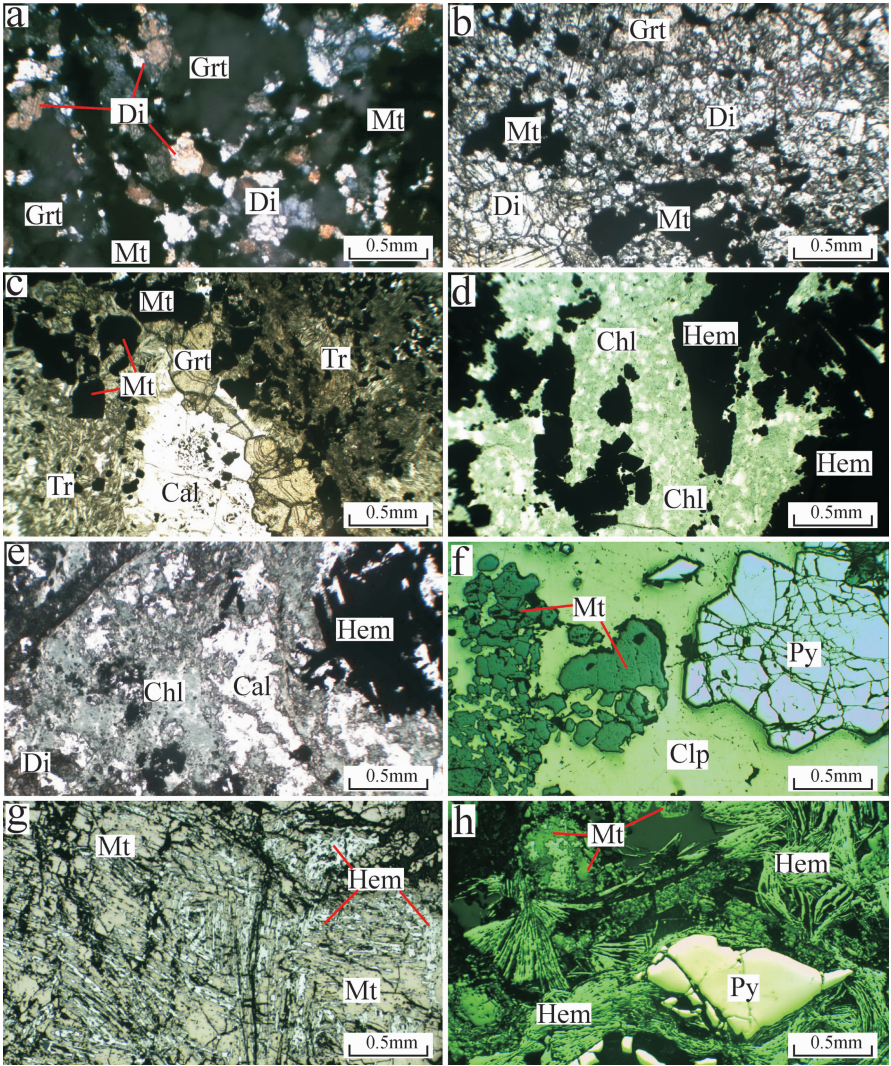


图 6 矿床不同矿化蚀变和矿石特征图

Fig. 6 Different types of mineralization and alteration features and ore features in Luo Wenzhen deposit

Mt. 磁铁矿; Py. 黄铁矿; Hem. 赤铁矿; Clp. 黄铜矿; Grt. 石榴子石; Di. 透辉石; Chl. 绿泥石; Tr. 透闪石; Cal. 方解石; a. 透辉石、石榴子石与磁铁矿共生, 呈半自形中粒结构 (正交偏光); b. 矿体围岩蚀变带, 强矽卡岩化, 自形-半自形粒状结构, 磁铁矿呈浸染状分布 (单偏光); c. 矿体围岩蚀变带, 发育有矽卡岩化、绿泥石化和碳酸盐化, 磁铁矿呈浸染状分布 (单偏光); d. 赤铁矿呈叶片状、放射状嵌布于鲕状绿泥石中 (单偏光); e. 团块状黄铜矿充填于磁铁矿和黄铁矿颗粒间隙中 (反射光); f. 赤铁矿沿磁铁矿边缘及颗粒间隙交代, 呈交代结构 (反射光); h. 磁铁矿被赤铁矿 (镜铁矿) 交代, 赤铁矿呈纤维状、揉皱结构 (反射光)

3.4 成矿期次

根据矿石组构、矿物组合和穿切关系、围岩蚀变特征, 可将罗文铁矿划分为 2 个成矿期 3 个成矿阶段。

(1) 岩浆成矿期。此阶段以出现透辉石-石榴子石-磁铁矿为特征, 矿石多呈致密块状、角砾状, 且铁矿石中局部包裹有围岩角砾。上部多见气孔状、杏仁状构造, 半自形-他形粒状结构, 矿体与

围岩界线清楚, 围岩蚀变较弱。在火山喷发-侵入岩浆活动过程中, 随着岩浆温度和压力的下降, 岩浆分异作用不断加强, 含铁质的高温粘稠的富矿流体或者矿浆逐渐从岩浆中分离出来, 沿裂隙或火山通道贯入到构造薄弱带或喷流至地表形成矿浆喷流矿体。

(2) 热液成矿期。此成矿期可进一步划分为 2 个成矿阶段。① 透辉石-石榴子石-透闪石-绿泥石-

磁铁矿阶段：以发育有浸染状、条带状矿石为特征，磁铁矿多呈半自形-他形充填-交代结构（图 6c）。在岩浆晚期，因岩浆在侵入和喷发过程中，随着温度和压力的下降，岩浆分异作用不断加强，含矿高温热液从岩浆中分离出来，沿上覆火山岩裂隙等构造破碎带上移至有利的构造部位成矿，或者同围岩经交代作用，使 Ca、Mg 大离子进入硅酸盐晶格中形成石榴石、透辉石和透闪石，引起流体系统中 Fe^{2+} 浓度相对升高进而沉淀成矿。此类型成矿方式受岩体内外密集构造破碎带、火山沉积岩中的层理构造和角砾岩控制明显（翟裕生等，1980），常发育有强烈的围岩蚀变，矿体与围岩呈渐变过渡关系；②黄铁矿（黄铜矿）-镜铁矿-碳酸盐矿物阶段：此阶段以出现中低温矿物为特征，黄铁矿、方解石脉穿切或者填充于早期矿物晶体裂隙中；黄铜矿分布于磁铁矿、黄铁矿或其他脉石矿物的裂隙或粒间，或呈脉状分布；镜铁矿呈叶片状，纤维状、揉皱状，沿裂隙交代或直接穿插于磁铁矿、黄铁矿中，呈交代残余结构。

4 矿床地球化学特征

本次研究工作分别对 R1B、R2、R3 三个矿段的 ZKR1-002、ZKR2-002、ZKR3A-1501 钻孔岩心进行系统采样，采用 X 荧光矿石分析仪对磁铁矿

进行多元素分析，结果见表 1。磁铁矿石组合样微量元素分析结果列于表 2。

由表 1 和表 2 可见，铁矿石 TFe 品位为 15%~65%，平均为 46.50%；矿石中有害组分 S、P 及 Zn、Pb、Sn、As 含量中等，S 含量相对较高，以黄铁矿、黄铜矿形式存在。当 TFe 品位 >40% 以上，P 含量多小于 0.25%；P 等有害物质含量普遍较低；Cu 含量局部较高，可做为伴生组分综合利用。

磁铁矿单矿物微量元素 S、Cl、As 等火山射气元素含量较高，平均分别为 S： 0.50×10^{-2} 、Cl： 0.76×10^{-2} 、As： 59.6×10^{-6} ，显示火山气液成矿作用的特征（薛春纪等，2000），且 V、Co、Ni、Cr 等含量较高，反映成矿流体来源较深、成矿与中基性岩关系密切和热液型矿床的特点（王玉往等，2006；徐国风等，1979）。此外 Co/Ni 值均大于 1，表明矿床为热液成因（赵玉社，2000）。

表 3 列出罗文铁矿和国内典型火山-次火山岩型铁矿床矿石部分微量元素含量。由表 3 可见，罗文铁矿床矿石中基与性-中基性岩有关的 Co、Ni、V、Ti 微量元素含量相对较高，以及与酸性岩浆岩有关的元素 W、Sn、Mo、Sb、Bi 等含量相对较低。这些特点均与国内典型的新疆磁海、西天山智博、宁芜凹山、梅山火山-次火山型、玢岩型铁矿床相似。

表 1 罗文铁矿磁铁矿石 X 荧光分析结果表

Tab. 1 X fluorescence analysis results of magnetite from Luowen iron deposit

样号	采样位置	检 验 结 果 ($\times 10^{-2}$)							
		TFe	P	S	Mg	Si	Al	Ca	Cl
ZKR1B-002-2-1	钻孔	42		0.08	2.78	6.03	0.6	9.4	0.71
ZKR1B-002-2-2	ZKR1B-	40.12		0.08	2.56	6.95	0.65	0.04	
ZKR1B-002-2-3	002, 39.5m	54.27	0.16	0.08	3.6	4.52	0.77	5.74	0.68
ZKR1B-002-3-1	钻孔	68.01		0.08	3.4	3.84	0.77	2.3	1.35
ZKR1B-002-3-2	ZKR1B	63.92		0.09	2.96	4.02	0.68	5.03	1.06
ZKR1B-002-3-3	-002, 56m	55.56		0.08	2.86	2.7	0.58	2.83	1.17
ZKR1B-002-14-2	钻孔	24.05		2.92		5.02	2.12	6.12	
ZKR1B-002-14-3	ZKR1B	39.14		1.52		5.46	2.28	5.42	
ZKR1B-002-14-4	-002, 271m	32.51	0.03	1.32		4.32	1.66	4.51	
ZKR1B-002-14-5		32.87	0.05	0.69		2.81	1.08	2.55	0.84
ZKR1B-002-16-2	钻孔	67.22	0.03	0.49	2.95	2.82	1.21	1.45	0.98
ZKR1B-002-16-3	ZKR1B -002, 289m	69.74	0.04	0.24	3.15	2.59	1.19	1.64	1.59
ZKR2-002-6-1	钻孔	64.68		0.14	3.94	3.81	0.68	3.27	1.14

续表 1

样号	采样位置	检 验 结 果 (×10 ⁻²)							
		TFe	P	S	Mg	Si	Al	Ca	Cl
ZKR2-002-6-2	ZKR2	63.24	0.02	0.14	4.14	3.52	0.65	2.95	1.03
ZKR2-002-6-3	—002, 217m	71.63	0.03	0.1	3.21	3.58	0.68	2.02	1.28
ZKR2-002-9-1	钻孔	60.38		0.07	2.37	3.87	0.72	2.89	1.13
ZKR2-002-9-2	ZKR2 —002, 230m	60.62		0.07	2.9	3.73	0.77	3.04	0.88
ZKR3A-1501-2-1	钻孔	50.05	0.06	0.07	2.71	3.02	1.6	0.28	0.85
ZKR3A-1501-2-2	ZKR3A	63.72	0.05	0.08	3.75	2.36	1.36	0.3	1.2
ZKR3A-1501-2-3	—1501, 34m	53.03	0.02	0.09	3.44	2.44	1.13	0.35	1.95
ZKR3A-1501-2-4		64.88	0.16	0.07	3.76	2.6	1.29	0.58	1.07
ZKR3A-1501-5-1	钻孔	32.28	0.04	2.01	2.61	7.48	0.82	0.25	
ZKR3A-1501-5-2	ZKR3A	15.35	0.02	2.86	2.18	12.48	1.07	0.13	
ZKR3A-1501-5-3	—1501, 93m	33.07	0.05	0.11	2.25	1.3	0.55	2.52	0.92
ZKR3A-1501-7-2	钻孔	16.86		0.09	2.18	11.45	0.65	5.11	
ZKR3A-1501-7-3	ZKR3A	20.03		0.09	1.84	11.52	0.81	3.13	
ZKR3A-1501-7-5	—1501, 113m	15.43		0.15	2.14	9.96	0.95	3.04	0.85
样号	采样位置	检 验 结 果 ω _B (×10 ⁻²)							
		Cu	Zn	Co	Sn	Cr	Ti	As	
ZKR1B-002-2-1	钻孔		190		150				
ZKR1B-002-2-2	ZKR1B—		180		220		360		
ZKR1B-002-2-3	002, 39.5m		230					150	
ZKR1B-002-3-1	钻孔		300			110			
ZKR1B-002-3-2	ZKR1B		260						
ZKR1B-002-3-3	—002, 56m		290					140	
ZKR1B-002-14-2	钻孔	19300	640	580	190				
ZKR1B-002-14-3	ZKR1B	8500	450					120	
ZKR1B-002-14-4	—002, 271m	14600	600						
ZKR1B-002-14-5		15000	590						
ZKR1B-002-16-2	钻孔	11300	660					170	
ZKR1B-002-16-3	ZKR1B —002, 289m	1500	660				410	180	
ZKR2-002-6-1	钻孔 ZKR2	400	210					180	
ZKR2-002-6-2	—002, 217m	200	210					140	
ZKR2-002-6-3			220					240	
ZKR2-002-9-1	钻孔 ZKR2		240					140	
ZKR2-002-9-2	—002, 230m		210					150	
ZKR3A-1501-2-1	钻孔		250				600		
ZKR3A-1501-2-2	ZKR3A		190					170	
ZKR3A-1501-2-3	—1501, 34m		280			230	340	130	
ZKR3A-1501-2-4			200						
ZKR3A-1501-5-1	钻孔		150	780		222			
ZKR3A-1501-5-2	ZKR3A		190	400	190				
ZKR3A-1501-5-3	—1501, 93m		220			140			
ZKR3A-1501-7-2	钻孔		0		160		1030		
ZKR3A-1501-7-3	ZKR3A		120	450	150		840		
ZKR3A-1501-7-5	—1501, 113m		190	370	150		990		

表 2 罗文铁磁铁矿石组合样微量元素分析结果表
(据秦来勇等, 2012)

Tab. 2 Trace element analysis results combination of magnetite from Luowen iron deposit

矿段 (矿石类型)	检验结果 (×10 ⁻²)			检 验 结 果 (×10 ⁻⁶)						
	TFe	P	S	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Co	Ni
石山 (致密块状)	57.32	0.04	0.13	0.01	0.18	28.50	6.40	102.00	40.60	11.80
石山 (浸染状)	26.69	0.05	0.05	0.02	0.13	82.40	6.90	125.00	67.50	26.00
格高 (致密块状)	61.95	0.03	5.62	0.03	1.69	1700.00	10.90	842.00	180.00	18.10
格高 (浸染状)	29.48	0.08	0.13	0.03	0.09	40.00	8.40	458.00	25.20	13.20
登布 (致密块状)	65.71	0.02	0.28	0.03	0.13	9.90	19.90	131.00	17.10	14.30
登布 (角砾状)	38.68	0.06	1.12	0.04	0.50	1571.00	12.10	115.00	55.60	16.60
登布 (浸染状)	24.70	0.07	1.66	0.14	2.15	1900.00	8.30	124.00	64.00	13.50

矿段 (矿石类型)	检 验 结 果: (×10 ⁻⁶)									
	W	Sn	Mo	Cr	V	Ti	As	Sb	Bi	Hg
石山 (致密块状)	1.00	2.60	5.03	9.10	92.90	1000.00	27.70	0.79	0.07	<0.01
石山 (浸染状)	1.20	1.00	2.84	11.40	221.00	500.00	6.19	0.55	0.04	<0.01
格高 (致密块状)	1.50	1.10	5.96	11.80	10.20	300.00	51.70	0.49	0.28	0.06
格高 (浸染状)	1.00	1.00	2.76	12.60	85.30	2252.00	5.07	0.41	0.41	<0.01
登布 (致密块状)	17.20	1.10	38.58	10.40	28.10	50.00	7.25	0.77	0.19	<0.01
登布 (角砾状)	12.30	1.00	15.97	13.50	40.30	2174.00	13.70	0.63	0.47	<0.01
登布 (浸染状)	32.00	4.90	9.43	12.50	83.10	3300.00	4.04	0.37	0.54	<0.01

表 3 类似成因铁矿床铁矿石重要微量元素含量对比表

Tab. 3 The comparison for the key of trace elements of iron ore between the similar genesis of iron deposit

矿段 (矿石类型)	检验结果 (×10 ⁻⁶)									
	W	Sn	Mo	Sb	Bi	Co	Ni	V	Ti	
罗文铁矿 (7)	9.5	1.8	11.5	0.6	0.3	64.3	16.2	80.1	1368.0	
新疆磁海次火山岩-矿浆贯入-热液交代型铁矿床 (54) (赵玉社, 2000)	2	25	—	—	—	168	100	—	—	
西天山智博火山-岩浆热液型铁矿床 (60) (王志华, 2012)	—	—	—	—	—	—	96	120	488	
凹山矽岩型铁矿床 (38) (段超, 2012)	—	9.9	—	—	—	44.5	—	3196	14100	
梅山陆相火山高温气液交代型菱铁矿床 (14) (陈小华, 2003)	—	—	—	—	—	—	—	528.5	278.6	

注: () 内为样品数, 一代表未测。

5 矿床成因浅析

关于柬埔寨罗文铁矿矿床成因类型, 前人认为是属于矽卡岩型矿床 (徐国端, 2008; 孟瑞, 2011)。笔者通过野外调研工作及室内岩石学、矿相学研究, 并通过钻探工程, 发现这些小山包是火山口和喷发通道, 由于岩浆作用及硅化等使岩石变得坚硬难以风化, 而形成小山包。磁铁矿富矿体及安山岩等主要分布在小山包及其附近, 并于山顶常

见隐爆角砾岩分布, 而远离山包, 铁矿体变薄或尖灭。矿体富矿围岩主要是安山岩、闪长玢岩、凝灰岩等火山、次火山岩, 成矿深度较浅 (一般 100~150 m)。与成矿作用密切有关的围岩蚀变为石榴子石-透辉石化, 在矿体附近未发现碳酸盐岩类岩石及其接触交代作用形成的矽卡岩。因此, 本矿床有别于中-酸性岩体与碳酸盐类岩石接触交代作用形成的矽卡岩矿床。块状铁矿石中可见到气孔状、杏仁状构造。矿石中 Co、Ni、V、Ti 微量元素含量相对较高, W、Sn、Mo、Sb、Bi 等含量相对较

低,与国内典型的新疆磁海、西天山智博、宁芜凹山、梅山火山-次火山型、玢岩型铁矿床相似。因此,罗文铁矿矿床成因与火山、次火山岩及其热液活动有关,成矿主要受火山机构,尤其是火山口、火山颈控制,属火山-次火山岩型铁矿床,成矿作用以热液交代及充填作用为主,其为岩浆作用。

6 结论

(1) 罗文铁矿区域上位于罗文真基底穹窿中部,是柬埔寨重要的矿产资源产地,矿区燕山期中酸性岩浆侵入活动强烈,矿体主要赋存于安山岩、闪长玢岩、凝灰岩等火山-次火山岩中,矿石原生构造类型以致密块状、浸染状为主,角砾状、条带状次之。

(2) 根据矿石组构、矿物组合和穿切关系、围岩蚀变特征,可将罗文铁矿划分为岩浆期和热液期2个成矿期,进一步划分为透辉石-石榴子石-磁铁矿阶段、黄铁矿(黄铜矿)-镜铁矿-碳酸盐矿物阶段、透辉石-石榴子石-透闪石-绿泥石-磁铁矿阶段3个成矿阶段。

(3) 通过对磁铁矿微量元素分析,并与国内典型的铁矿床对比研究,结合矿床地质特征,初步认为罗文铁矿矿床成因与火山、次火山岩及其热液活动有关,成矿主要受火山机构尤其是火山口、火山颈控制,属火山-次火山岩型铁矿床,成矿作用以热液交代及充填作用为主,其次岩浆作用。

参考文献 (References):

赵旭辉. 宁夏核勘院赴柬探获千万吨铁矿储量 [N]. 中国国土资源报, 2008-4-11 (4).

Zhao Xuhui. Ten million tons of iron ore reserves is explored Ningxia Nuclear Industry Geological Exploration Institute in Cambodia [N]. China Land and Resources News, 2008-4-11 (4).

秦来勇, 张雪亮, 赵俊宏, 等. 柬埔寨柏威夏省罗文铁矿普查地质报告 [R]. 桂林: 中国有色桂林矿产地质研究院, 2012.

Qin Laiyong, Zhang Xueliang, Zhao Junhong, et al. The Report on geological survey of Luowen iron deposit in Preah Vihear, Cambodia [R]. Guilin: China Nonferrous Metal Guilin Research Institute of Geology for

Mineral Resources, 2012.

吴良士. 民主柬埔寨地质构造与区域成矿 [J]. 矿床地质, 2009, 28 (3): 381-383.

Wu Liangshi. Geological structure and regional metallogeny in Cambodia [J]. Mineral Deposits, 2009, 28 (3): 381-383.

徐国端, 石菲菲, 杨自安, 等. 柬埔寨矿产资源分布规律及遥感找矿预测初步研究 [J]. 矿产与地质, 2008, 22 (6): 543-546.

Xu Guoduan, Shi Feifei, Yang Zian, et al. Preliminary studying on distributing rules and remote sensing prospecting prediction of mineral resources in Cambodia [J]. Mineral Resources and Geology, 2008, 22 (6): 543-546.

翟裕生, 林新多, 池三川, 等. 长江中下游内生铁矿床成因类型及成矿系列探讨 [J]. 地质与勘探, 1980, (3): 9-14.

Zhai Yusheng, Lin Xinduo, Chi Sanchuan, et al. Study of endogenetic iron deposits genesis and metallogenic series type in the Middle-Lower Yangtze River Valley [J]. Geology and Prospecting, 1980, (3): 9-14.

薛春纪, 姬金生, 杨前进. 新疆磁海铁(钴)矿床次火山热液成矿学 [J]. 矿床地质, 2000, 19 (2): 156-164.

Xue Chunji, Ji Jinsheng, Yang Qianjin. Subvolcanic hydrothermal metallogeny of the CIHAI iron (cobalt) deposit, Xinjiang [J]. Mineral Deposits, 2000, 19 (2): 156-164.

王玉往, 沙建明, 程春. 新疆磁海铁(钴)矿床磁铁矿成分及其成因意义 [J]. 矿床地质, 2006, 25 (增刊): 321-324.

Wang Yuwang, Sha Jianming, Cheng Chun. Composition of magnetite from the Cihai Fe (Co) deposit, Xinjiang, and its genetic significance [J]. Mineral Deposits, 2006, 25 (supplement): 321-324.

李秉伦, 谢奕汉. 宁芜地区宁芜型铁矿的成因、分类和成矿模式 [J]. 中国科学, 1984, B (1): 80-86.

Li Binglun, Xie Yihan. Genesis, classification and metallogenic model of Ningwu (Nanjing -Wuhu) porphyritic iron deposits in Ningwu [J]. Science China, 1984, B (1): 80-86.

徐国凤, 邵洁涟. 磁铁矿的标型特征及其实际意义 [J]. 地质与勘探, 1979, 3: 30-37.

Xu Guofeng, Shao Jieliang. The typomorphic characteristics of magnetite and its significance [J]. Geology and Prospecting, 1979, 3: 30-37.

赵玉社. 新疆磁海铁矿床地质特征及矿床成因 [J]. 西北地质, 2000, 33 (1): 31-38.

Zhao Yushe. Geological characteristics and genesis of Cihai Fe deposit, Xinjiang [J]. Northwestern Geology, 2000, 33 (1): 31-38.

孟瑞, 冯希. 柬埔寨地质矿产资源概况及矿业政策 [J]. 国土资源情报, 2011, 7: 49-51.

Meng Rui, Feng Xi. Geological survey and mineral resources mining policy in Cambodia [J]. Land and Resources News, 2011, 7: 49-51.

王志华, 张作衡, 蒋宗胜, 等. 西天山智博铁矿床磁铁矿成分特征及其矿床成因意义 [J]. 矿床地质, 2012, 31 (5): 983-998.

Wang Zhihua, Zhang Zuoheng, Jiang Zongsheng, et al. Magnetite composition of Zhibo iron deposit in Western Tianshan Mountains and its genetic significance [J]. Mineral Deposits, 2012, 31 (5): 983-998.

段超, 李延河, 袁顺达, 等. 宁芜矿集区凹山铁矿床磁铁矿元素地球化学特征及其对成矿作用的制约 [J]. 岩石学报, 2012, 028 (01): 243-257.

Duan Chao, Li Yanhe, Yuan Shunda, et al. Geochemical characteristics of magnetite from Washan iron deposit in Ningwu ore district and its constraints on ore-forming [J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 028 (01): 243-257.

陈小华. 梅山铁矿床菱铁矿的地质特征及成因探讨 [J]. 江苏地质, 2003, 27 (2): 78-82.

Chen Xiaohua. Discussion on the Geological Characters and Genesis of Siderite in Meishan Iron Mine, Jiangsu Province, 2012, 028 (01): 243-257.



《岩浆硫化物矿床》译文集即将正式出版

《岩浆硫化物矿床的地质、地球化学和勘查》一书的作者 A. J. Naldret 是加拿大多伦多大学的终身教授，加拿大皇家科学院院士，一生致力于岩浆铜镍硫化物矿床的研究。这本书对全世界重要的岩浆铜镍硫化物矿床和铂族金属矿床进行了阐释，并对该类矿床的研究进展进行了全面讨论，是一本非常重要的参考书，欢迎广大科技工作者参考。

该书主要从岩浆铜镍铂族金属矿床成矿的视角，对该类矿床的成矿特征和成矿机制进行了卓有成效的探讨。全书共分为十章，插图 300 余幅。第一章概述了岩浆硫化物矿床的分类和对矿床成因的认识；第二章是理论研究，特别评述了近 10 年来在岩浆铜镍硫化物矿床成因研究中，硅酸岩熔融体中硫的溶解度的概念和影响因素；第三章至第八章分别介绍了与科马提岩有关的矿床、与溢流玄武岩火山作用有关的矿床、俄罗斯贝辰加地区矿床、加拿大沃尔斯贝矿床、中国的金川矿床、加拿大的萨德伯里矿区矿床等六类各种典型矿床的特征及其成因认识；第九章专门介绍了铂族元素矿床；第十章总结了岩浆铜镍及铂族金属矿床的成因认识，并对利用其成因认识指导矿床勘查进行了思考。

《岩浆硫化物矿床》由地质出版社正式出版，需要《岩浆硫化物矿床》译文集的读者可联系：

710054

西安市友谊东路 438 号

西安地质矿产研究所《西北地质》编辑部

029—87821951 E-mail: xbdzbjb@163. com

《西北地质》编辑部