

老挝人民民主共和国万象省赛 宋文县爬立山铁矿地质特征及找矿方向

邹光富 吴振波 高建华 范文玉
吴文贤 刘增铁 焦彦杰 杨 剑 邓 柯

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

摘要: 本文以笔者在老挝人民民主共和国万象省赛宋文县爬立山铁矿开展铁矿产资源勘查评价项目成果为基础, 对爬立山铁矿的成矿地质背景、矿床地质特征、地球物理特征、矿床成因、找矿前景等进行了比较详细的研究。结果表明, 华力西期为老挝川圹—长山构造带重要的富铁矿成矿期。爬立山铁矿产于华力西期花岗闪长岩与中—上泥盆统灰岩接触带矽卡岩中。矿区矽卡岩发育, 已发现的 10 个原生铁矿体均赋存于花岗闪长岩体与灰岩接触交代形成的矽卡岩带中。矿体形态、产状的变化受矽卡岩体控制。爬立山铁矿为产于华力西期花岗闪长岩围岩接触带中的中高温热液矽卡岩型矿床。该矿为产于花岗闪长岩围岩接触带的矽卡岩、矽卡岩化砂岩和大理岩中的大型铁矿床。在矿区外围找矿潜力巨大。矿体呈脉状、透镜状、似层状。矿体产出部位严格受矿区泥盆系中上泥盆统碳酸盐岩、钙质砂岩层位及北东、北北西向及北西向断层破碎带的控制。容矿岩石主要为中—上泥盆统矽卡岩、矽卡岩化灰岩、大理岩和钙质砂岩。矿石矿物主要以磁铁矿、赤铁矿为主, 次为褐铁矿及少量黄铜矿、黄铁矿; 脉石矿物主要为方解石、石英、透辉石、透闪石、石榴子石、绿泥石、绿帘石等。研究表明碳酸盐岩地层、花岗闪长岩的侵入、北西向老挝川圹—长山构造带断层的多期次活动及其后期构造作用形成的北东向断层和东西向断层是区内矽卡岩型铁矿形成的重要控制因素。在综合研究成矿地质条件和磁异常特征的基础上, 总结了主要找矿标志和找矿方向, 提出矿区磁异常深部及外围尚有矽卡岩型铁矿找矿潜力。本文的研究成果为区内找矿突破提供了新思路和新资料。为老挝川圹—长山成矿带富铁矿找矿突破奠定了基础。

关键词: 铁矿; 矽卡岩型; 花岗闪长岩; 爬立山; 老挝人民民主共和国万象省赛宋文县

中图分类号: P618.31 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2012)05-1375-12

老挝川圹—长山成矿带是老挝人民民主共和国(以下简称老挝)境内最主要的一条多金属成矿带。爬立山大型铁矿就位于该成矿带中段。成矿作用受海西期—印支期花岗岩带构造岩浆活动控制。该区地质矿产工作程度低。至今仅有越南地质队(1986)、中国河北省地勘局秦皇岛矿产水文工程地质大队(2008)曾在爬立山铁矿区作过短期的矿产普查工作^①。对矿床地质特征、磁性异常特征及矿石质量等方面进行过一定程度的工作。并认为爬立山铁矿床为火山熔岩型铁

矿。这些工作为之后的铁矿勘查评价工作打下了基础, 积累了重要的参考资料。

2010—2011 年中国地质调查局成都地质矿产研究所在矿区开展了“老挝万象省赛宋文县爬立山铁矿普查”项目工作, 通过开展矿区地质填图、地面高精度磁测检查评价、槽探、钻探等勘查评价工作, 以及对矿床的地质特征、矿田构造和控矿条件等的综合研究, 在矿区圈定了若干强度和面积较大的磁异常, 并在位于 D 区东部 16 勘探线一个磁异常中

收稿日期: 2012-03-30; 改回日期: 2012-07-09

基金项目: 中国地质调查局国际合作项目“老挝万象省赛宋文县爬立山铁矿普查项目”资助。

作者简介: 邹光富, 男, 1963 年生, 博士, 研究员, 长期从事青藏高原地质与矿产资源调查研究工作; E-mail: zguangfu@163.com。

①河北省地勘局秦皇岛矿产水文工程地质大队. 老挝人民民主共和国万象省赛宋文县爬立山铁矿勘查报告, 2008: 1-56.

心区中上泥盆统第二段大理岩与结晶灰岩中发现了一个较大型磁铁矿体,在找矿方面取得了进展,显示出本区良好的找矿前景;提出了爬立山铁矿床为矽卡岩型铁矿成因的观点,认为矿床的形成主要与矿区华力西期花岗闪长岩的形成演化和侵位密切相关。通过对矿山 D 矿段的 M2、M3、M4 矿体进行的铁矿勘探评价工作,获得了 331+332 富铁矿石资源量 3 000 万 t 以上,找矿勘探取得了突破,认为爬立山铁矿为一大型铁矿。本文根据笔者等对爬立山铁矿普查评价工作取得的成果,结合前人有关资料,对爬立山铁矿床形成的地质背景、矿床地质特征、矿床成因和区域找矿方向等进行了比较详细的总结,并结合成矿地质条件及磁异常分布特征,分析了矿区深部及外围找矿潜力,提出了矿区进一步的找矿方向。

1 区域地质背景

爬立山矿区位于老挝万象省赛宋文县南山村境内(图 1)。在大地构造上位于印支地块东部的长山造山带之长山成矿带北段。西与北北东向哀牢山—斯雷博河板块结合带相连,北东侧与北西向马江板块结合带相接,南以北西向色潘—岷港板块结合带为界^[1-3]。在区域上,该成矿带的主体构造线方向为沿北西—南东向展布的构造格局。主要出露古生代地层(图 1)。铁矿化产于华力西期花岗闪长岩接触带矽卡岩、矽卡岩化砂岩和大理岩中,是长山造山带多金属构造岩浆成矿带的重要组成部分。区内断裂构造发育,岩浆活动频繁,多期次的构造岩浆活动为金属元素的活化迁移和富集成矿提供了优越条件。因此,本区具备寻找铁铅锌铜金多金属等大型、超大型矿床的地质条件。

根据“老挝 1:100 万地质矿产图”中的地层分布^[4],结合作者的实地野外调查情况,区域上出露的地层单元主要为古生界(P₂₋₃),其次为中生界(M₂)和新生界(K₂)。其中,奥陶系—泥盆系,主要分布于爬立山矿区北东部的丰沙弯(Phonsavan)和川圹(Xieng Khouang)及爬立山矿区的东南部等地区,由一套海相灰岩、砂岩和泥质岩石组成^[3,4,5]。泥盆系是爬立山矿区铁矿分布的主要赋矿围岩(图 1)。石炭系—二叠系是区域上分布较为广泛的地层,主要出露于爬立山矿区的西北部和东北部,是一套以灰岩为主,夹砂岩、页岩的海相沉积岩组合。古近—新近系主要

出露在矿区北部的山间谷地,为砂岩、泥质岩石和少量泥灰岩,并有褐煤层出现。第四系在区内沟谷中广泛分布,主要以风化沉积的粘土、粉砂质粘土及残坡积物为主。

区域上构造线总体呈北西—南东向,断裂构造发育。其中北西向马江板块结合带和色潘—岷港板块结合带南、北边界,控制了长山多金属成矿带呈北西—南东向展布。此外,受北北东—南西向哀牢山—斯雷博河板块结合带影响,在区域上也发育北北东—南西向和南西向断层。受三大板块构造作用的影响,次级断裂和褶皱构造比较发育,为矿床成矿与定位提供了有利空间。

区域内加里东期至喜马拉雅期中酸性岩浆侵入活动比较强烈,多期次侵入的花岗岩—闪长岩类及火山岩浆喷发作用,形成了沿北西—南东向展布的长山构造岩浆岩带。区内早期岩浆侵入活动主要为加里东期花岗岩类侵入体,以岩株状产出;华力西期侵入体主要大面积侵入于晚古生代(P₂)地层中(泥盆系—石炭系—二叠系),以大型花岗岩岩基状产出;而印支期—喜马拉雅期以中酸性的小侵入体分布为主,后期热液叠加成矿作用明显。岩石类型主要以中酸性、酸性钙碱性系列岩性组合为主。多期次的岩浆侵入活动为矽卡岩化成矿作用提供了热源和成矿物质,是长山多金属矿带成矿的重要因素之一。

目前,在区域上已发现铁、金、铜、铅锌、锡等矿产产地约 70 余处^[6,7]。比较有名的如甘蒙南巴坦大型锡矿、川圹富诺安大型铁矿、沙湾拿吉省的赛奔大型铜金矿和爬立山铁矿西南富开大型铜金矿等。已发现的铁、铜铅锌金多金属矿床(点)大多产于花岗岩内外接触带及构造破碎带中,形成沿构造岩浆岩带展布的铁、铅锌多金属成矿带。因此,可以认为长山成矿带为老挝最重要的有色、贵金属矿产的集中分布区之一。是寻找大型、超大型矿床的找矿远景区域,具有较大的找矿潜力和开发价值。

2 矿区地质特征

2.1 矿区地层

矿区出露地层主要为志留系—泥盆系。

志留系—下泥盆统(S-D₁):分布在矿区南部,主要为一套滨浅海相沉积的浅灰—灰色簿至中层状钙质泥质粉砂岩夹长石石英砂岩、页岩组合。与中上泥盆统呈断层接触关系。地层总体产状:倾向 160°~

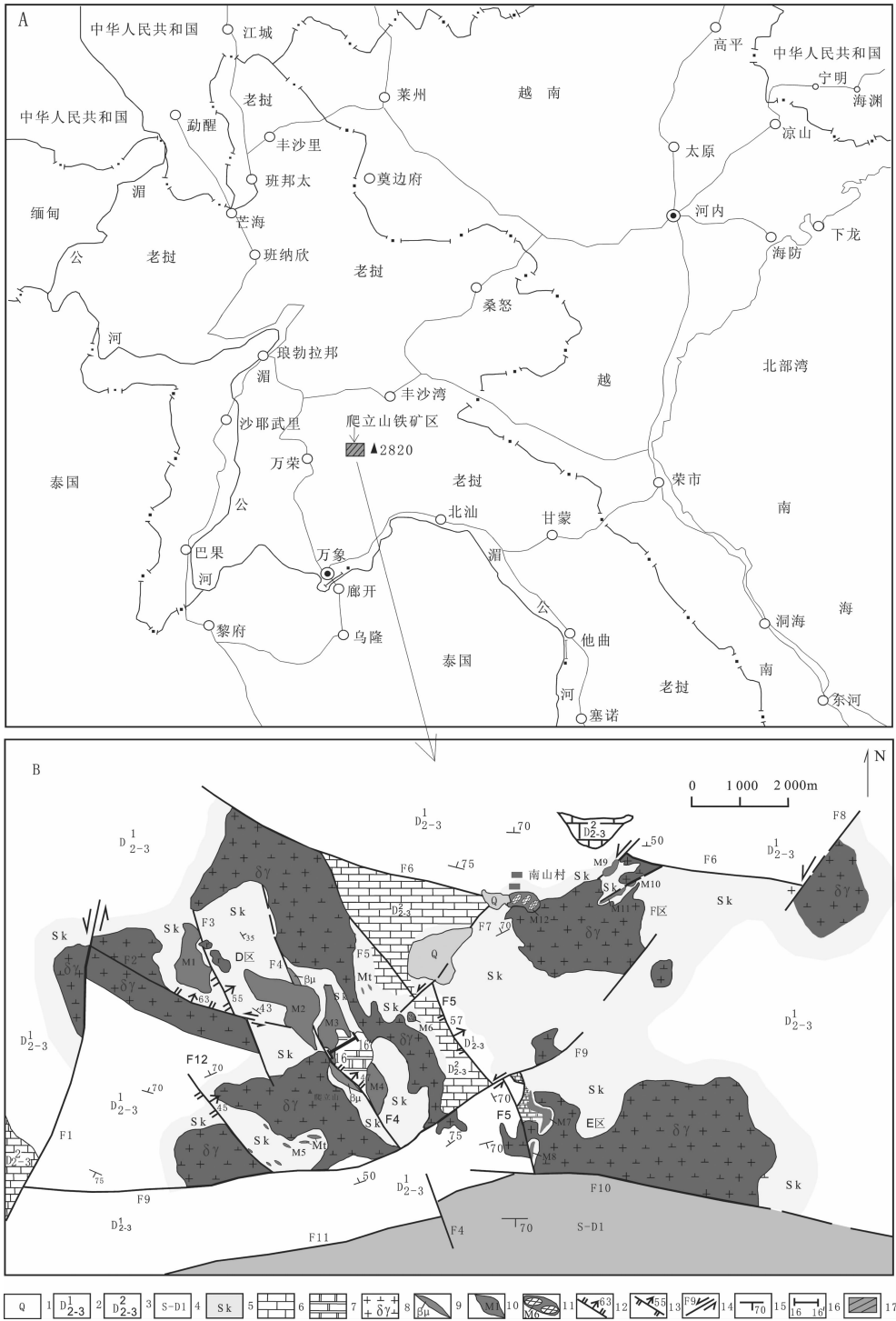


图 1 爬立山铁矿地理位置(A)与矿区地质图(B)

1—第四系;2—中-上泥盆统第一段;3—中-上泥盆统第二段;4—志留系-下泥盆统;5—砂卡岩;6—灰岩;7—大理岩;
 8—华力西期花岗岩闪长岩;9—辉绿岩脉;10—铁矿体及编号;11—冲洪积铁矿砾石堆积体及编号;12—正断层及其产状;
 13—逆断层及其产状;14—平移断层及编号;15—产状;16—勘探线剖面位置;17—工作区

Fig.1 Geological map and position of the Pali Mountain ore district in Saisongwen County of Laos

1—Quaternary; 2—1st Member of Middle–Upper Devonian strata; 3—2nd Member of Middle–Upper Devonian strata; 4—Silurian–Lower Devonian strata; 5—Skarn; 6—Limestone; 7—Marble; 8—Variscan granodiorite; 9—Diabase vein; 10—Iron ore body and its serial number; 11—Pluvial–diluvium iron mass and its serial number; 12—Normal fault and attitude; 13—Reversed fault and attitude; 14—Strike–slip fault and its serial number; 15—Attitude; 16—Exploration line; 17—Work area

180°, 倾角 60°~70°。岩层厚度大于 450 m。

中上泥盆统第一段(D₂₋₃): 在矿区内大面积分布, 主要为一套浅海相沉积的浅灰-灰色薄至中层状泥质灰岩、钙质长石石英砂岩、钙质页岩组合。受后期岩浆热液活动影响, 该套地层普遍发育矽卡岩化, 是矿区磁铁矿的主要赋矿层位。在花岗闪长岩接触带及磁铁矿体附近, 该套岩石发生强烈交代蚀变作用, 形成一套独特与铁矿化有关的浅灰色似层状或透镜状透辉石矽卡岩、透闪石、石榴子石、阳起石矽卡岩和矽卡岩化岩石。矿区岩石矽卡岩化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化、碳酸盐化及钠长石化强烈。过去在该区工作过的越南地质队(1986)、中国河北省地勘局秦皇岛矿产水文工程地质大队(2008)^①等就是将这些矽卡岩和矽卡岩化岩石误认为是火山岩(称为二叠系 PKK 岩组)。并由此认为爬立山铁矿床为火山熔岩型铁矿成因。厚度为 300~450 m。

中上泥盆系第二段(D₂₋₃): 主要分布在矿区中部。主要岩性为灰白色、浅灰色厚层白云质灰岩和灰岩, 局部夹薄层灰色-深灰色钙质页岩。在花岗闪长岩接触带及磁铁矿体附近, 该套岩石发生强烈交代蚀变作用, 岩石大理岩化强烈, 形成灰白色厚层状中细粒白云石大理岩和灰白色厚层状中细粒大理岩, 如 IV 矿体分布区。厚度为 270~320 m。

2.2 构造

矿区断裂发育, 主要有北西向、北东向、近南北向及近东西向 4 组断层。北西向断裂为矿区主体断裂之一, 主要有 F3、F4、F5、F6 和 F12, 为矿区主要构造, 倾向 45~50°, 倾角 65~79°, 断层破碎带宽 100~250 m, 控制了 D 区和 E 区矿体的分布, 为导矿和容矿构造。北东向的断裂为矿区另一方向的主体断裂, 主要有 F8、F9 和 F10, 为矿区主要构造, 倾向 320~350°, 倾角 60~70°, 断层破碎带宽 50~200 m; 北东向断裂早期具有逆冲推覆性质, 晚期具有左行平移性质; 北东向断裂控制了 F 区矿体的分布, 为导矿和容矿构造。矿区近东西向断裂主要有 F2、F7 和 F11, 为矿区次要构造, 断裂倾向 10~20°, 倾角 65~75°, 断层破碎带宽 50~150 m, 具有左行平移剪切性质。矿区近南北向断裂主要为 F1, 为矿区次要构造, 断裂倾向 280°, 倾角 70~75°, 断层破碎带宽约 150 m, 断裂早期具有逆冲推覆性质, 晚期具有左行平移性质。

矿区褶皱构造不显著, 局部见小型褶曲。

2.3 岩浆岩

根据近期测定的与爬立山矽卡岩型铁矿有关的花岗闪长岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄为 308~317 Ma^[6], 表明矿区侵入岩为以华力西期中酸性花岗闪长岩为主, 另有少量二长花岗岩及辉绿岩、辉长岩等中基性脉岩出露。总体上侵入岩呈北西-南东向展布, 以岩株形态产出, 单个岩体出露面积为 0.1~12 km²。其中, 浅灰色块状中细粒花岗闪长岩主要矿物成分为: 斜长石 45%~50%、钾长石 20%~25%、石英 25%~30%、角闪石 5%~10%, 黑云母 2%~3%, 白云母 1%~2%, 以及少量的粘土、绢云母、绿泥石、磷灰石、锆石等。具中细粒花岗结构, 块状构造。岩石化学成分中 SiO₂ 含量为 65.28%, (K₂O+Na₂O) 为 7.10%, K₂O/Na₂O 比值为 0.32, 铝饱和指数为 Al₂O₃/(CaO+K₂O+Na₂O) 为 1.10, 属过铝花岗岩系列。因此, 成矿岩体为过铝质花岗闪长岩。从岩石微量元素含量分析结果中可看出, Fe、Cu、Pb、Zn 成矿元素丰度值高于酸性岩中元素丰度值。可为成矿提供部分成矿物质, 为矿区的矿源层之一。在矿区花岗闪长岩岩体与中上泥盆统第一段和中上泥盆统第二段泥质灰岩、钙质长石石英砂岩、钙质页岩及白云质灰岩和灰岩接触部位, 接触交代变质作用强烈, 在矿区形成了多条含矿矽卡岩带、大理岩带和矽卡岩化带。矽卡岩呈似层状或透镜状, 整体与地层产状基本一致, 与花岗闪长岩体接触面呈不规则状、港湾状。矽卡岩及矽卡岩化岩石长 500~5 000 m, 宽 100~1 500 m。矽卡岩的矿物成分主要为透辉石、透闪石、石榴子石、绿帘石、阳起石等, 岩石类型主要为钙质矽卡岩。浅灰色块状中细粒二长花岗岩以小岩株形态出露于矿区 D 区 I 号矿体与 II 号矿体之间, 单个岩体出露面积为 0.1~0.2 km²。辉绿岩、辉长岩中基性脉岩主要出露于 D 区 IV 号矿体与 III 号矿体之间及其附近。中基性脉岩普遍具强烈的磁铁矿化、黄铁矿化、绿泥石化等矿化蚀变现象。

3 矿床地质特征

3.1 矿体产出特征

爬立山铁矿区分为 D、E、F 3 个矿区, 目前已发现 12 个矿体(M1-M12)(图 1)。除 M6、M12 矿体为

^①河北省地勘局秦皇岛矿产水文工程地质大队、老挝人民民主共和国万象省赛宋文县爬立山铁矿勘查报告, 2008: 1-56。

第四系残坡积铁矿矿石堆积物外,其余铁矿矿体均赋存于华力西期花岗闪长岩与矿区中上泥盆统第一段和第二段碳酸盐岩、钙质砂页岩接触交代形成的矽卡岩、大理岩、矽卡岩化灰岩、蚀变砂岩页岩带中。

M1 号矿体:位于 D 矿区西部,矿体产于围岩与花岗闪长岩接触带附近的透辉石矽卡岩中。矿体由原生铁矿体和次生铁矿体组成。呈不规则透镜状产出,产状变化较大。在地表,矿体南西侧为 $35^{\circ}\angle 40^{\circ}$,北东侧为 $28^{\circ}\angle 53^{\circ}$,矿体长 1 124 m,宽 110~553 m,厚 1.10~24.43 m,品位 TFe(全铁)为 52.83%~64.46%,mFe(磁性铁)为 18.65%~32.71%。原生铁矿体矿石矿物以赤铁矿、磁铁矿为主,褐铁矿少量。品位 TFe 64.46%,mFe 32.71%。次生矿体矿石矿物以赤铁矿、褐铁矿为主,磁铁矿少量。品位 TFe 为 52.83%,mFe 18.65%。

M2 号矿体:位于 D 矿区中部,矿体产于围岩与花岗闪长岩接触带附近的石榴石、透辉石矽卡岩中。矿体由原生铁矿体和次生铁矿体组成。呈不规则透

镜状产出,产状变化较大。在地表,矿体南西侧为 $65^{\circ}\angle 25^{\circ}$,北东侧为 $210^{\circ}\angle 42^{\circ}$,原生铁矿体长 1 635 m,宽 180~502 m,厚 1.50~110.00 m。原生铁矿体矿石矿物以赤铁矿、褐铁矿为主,磁铁矿少量。品位 TFe 4 1.62%~57.24%,mFe 4.39%~41.62%。次生矿体主要位于原生矿体露头附近的山坡下。次生矿体矿石矿物以赤铁矿、褐铁矿为主,磁铁矿少量。品位 TFe 53.27%,mFe 2.90%。

M3 号矿体:位于 D 矿区东部,矿体产于围岩与花岗闪长岩接触带的透辉石矽卡岩及大理岩中(图 2)。矿体出露长 820 m,宽 110~330 m。矿体为矽卡岩型铁矿,东侧与大理岩接触,西侧与透辉石矽卡岩接触,并被辉绿岩脉侵蚀。矿体形态不规则,经 ZK8101 和 ZK1601 钻探验证,控制矿体厚 60~80 m(图 2)。矿体由原生铁矿体和次生铁矿体组成。呈不规则透镜状产出,产状变化较大。在地表,矿体南西侧为 $330^{\circ}\angle 30^{\circ}$,北东侧为 $30^{\circ}\angle 40^{\circ}$ 。原生铁矿体矿石矿物以磁铁矿为主,赤铁矿、褐铁矿少量。平均品

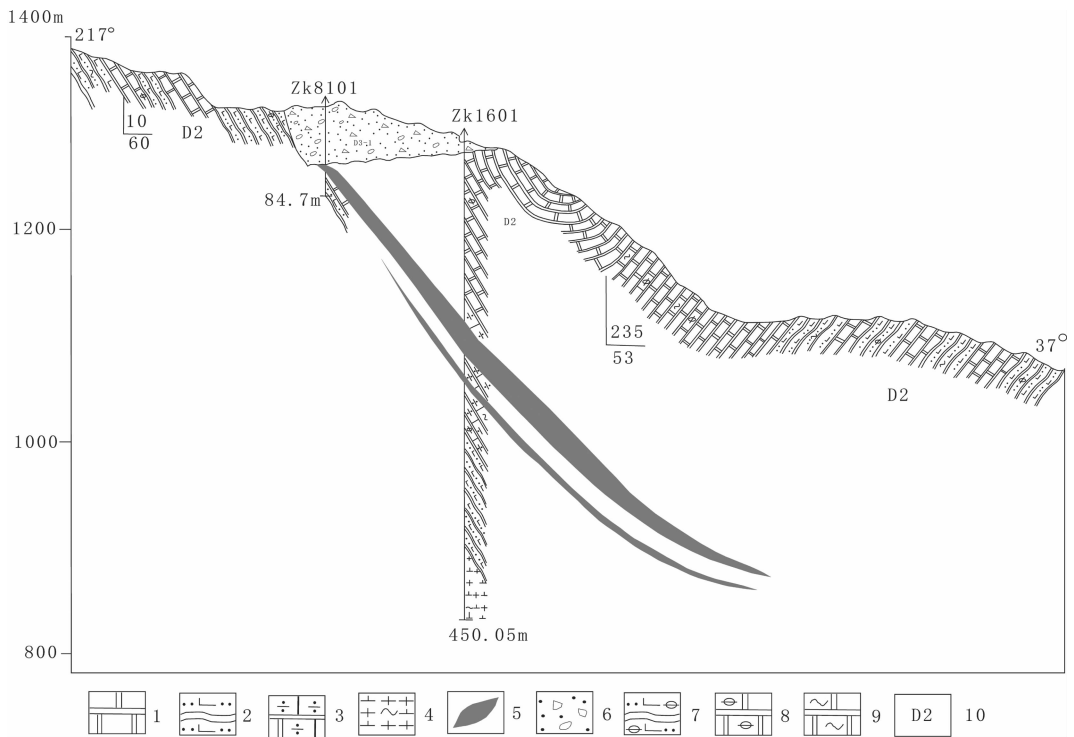


图 2 爬立山铁矿 D 矿区 16-16' 勘探线剖面图

1—大理岩;2—钙质粉砂岩;3—透闪石矽卡岩;4—花岗闪长岩;5—隐伏铁矿体;6—土状铁矿体;7—绿帘石化钙质粉砂岩;8—绿帘石化结晶灰岩;9—绿泥石化结晶灰岩;10—中-上泥盆统

Fig.2 Geological section along No.16-16' exploration line of the Pali Mountain ore district

1-Marble; 2-Calcareous siltstone; 3-Tremolite skarn; 4-Granodiorite; 5-Concealed ore body; 6-Earthy ore body;

7-Epidotized calcareous siltstone; 8-Epidotized crystalline limestone; 9-Chloritized crystalline limestone;

10-Middle-Upper Devonian strata

位TFe 57.77%,mFe 26.88%。次生矿体主要位于原生矿体露头东侧的山坡下,次生矿体矿石矿物以赤铁矿为主、磁铁矿次之,品位 TFe 36.86%,mFe 4.87%。

M4 号矿体:位于 D 矿区南东部,矿体产于花岗闪长岩与围岩接触带的透辉石矽卡岩中。矿体平面呈似椭圆形透镜状,长轴(长)约 820 m,短轴(宽)330 m,矿体厚度 5.5~42 m。矿体由原生铁矿物和次生铁矿物(铁质砾石粉砂土型铁矿)组成。原生矿体顶部已遭受剥蚀,出露地表,总体倾向北东,倾角 25~35°,为缓倾斜似层状矿体。在其东侧和北东侧坡下形成了部分次生矿体的堆积。原生铁矿物以磁铁矿为主,赤铁矿、褐铁矿少量,平均品位 TFe 66.08%,mFe 42.33%。次生矿体主要位于原生矿体露头东侧的山坡下,次生矿体矿石矿物以赤铁矿为主、磁铁矿次之,品位 TFe 36.86%,mFe 4.87%。

M5 号矿体:位于 D 矿区南部,矿体产于花岗闪长岩与围岩接触带的透辉石矽卡岩和结晶灰岩中。由 7 个小型矿体组成(图 1)。矿体呈透镜状,长轴(长)为 79~202 m,短轴(宽) 31~51 m,矿体厚度 4~20 m。矿体为原生铁矿物,矿体产状与透辉石矽卡岩和结晶灰岩矿体一致。总体倾向北东,倾角 35°~45°。矿石矿物以磁铁矿为主,赤铁矿、褐铁矿少量。平均品位 TFe 60.00%,mFe 38.00%。

M6 号矿体:矿体位于 D 矿区东部山坡下山沟沟口一带。矿体平面呈不规则似椭圆形,长 35~117 m,宽 9~153 m,厚度 4~5 m。矿体为次生铁矿物,由磁铁矿角砾、赤铁矿角砾与长石、石英粗细砂及粘土等混杂堆积组成。为第四系冲洪积堆积物。磁铁矿角砾、赤铁矿角砾占 60%~65%矿体。品位为 TFe 50%~60%。

M7 号矿体:位于 E 矿区中-北部,矿体产于花岗闪长岩与围岩接触带的透辉石矽卡岩中,由矽卡岩型铁矿组成,呈不规则透镜状,长约 880 m,宽 55~160 m,厚度 25~80 m。由原生铁矿物组成。矿石矿物以磁铁矿、赤铁矿为主,褐铁矿次之;赤铁矿交代磁铁矿,多呈磁铁矿假象。矿石品位 TFe 58.80%~66.60%,mFe 28.13%~39.77%。

M8 号矿体:位于 E 矿区南部,产于花岗闪长岩与围岩接触带的透辉石矽卡岩中,由矽卡岩型铁矿组成,呈不规则透镜状,长约 225 m,宽 137~160 m,厚度为 25~60 m。矿体由原生铁矿物组成。矿石矿物以磁铁矿、赤铁矿为主,褐铁矿次之。矿石品位 TFe

65%左右。

M9 号矿体:位于 F 矿区北东部,产于花岗闪长岩与围岩接触带的透辉石矽卡岩中,由矽卡岩型铁矿组成,呈不规则透镜状,长约 484 m,出露宽 74~254 m,厚度为 30~80 m。矿体由原生铁矿物组成。矿石矿物以磁铁矿为主,赤铁矿少量,脉石矿物以石英为主,长石、云母少量;矿石品位 TFe 60.60%,mFe 58.26%。

M10 号矿体:位于 F 矿区东部,产于花岗闪长岩与围岩接触带的透辉石矽卡岩中,由矽卡岩型铁矿组成,呈不规则透镜状,长约 200 m,出露宽 20~100 m,厚度为 30~50 m。矿体为原生铁矿物组成。矿石矿物以磁铁矿为主,赤铁矿少量,脉石矿物以石英为主,长石、云母少量。矿石品位 TFe 60%左右。

M11 号矿体:位于 F 矿区南东部,产于花岗闪长岩与围岩接触带的透辉石矽卡岩中,由矽卡岩型铁矿组成,呈不规则透镜状,长约 450 m,出露宽 20~150 m,厚度为 30~80 m。矿体由原生铁矿物组成。矿石矿物以磁铁矿为主,赤铁矿次之,褐铁矿少量,脉石矿物以石英为主,长石、云母少量。矿石品位 TFe 69.32%,mFe 58.84%。

M12 号矿体:矿体位于 F 矿区西部南山村南侧,平面呈不规则似椭圆形,长约 650 m,宽 230~320 m,厚度 5~10 m。矿体为次生铁矿物,由磁铁矿角砾、赤铁矿角砾与长石、石英粗细砂及粘土等混杂堆积组成。为第四系冲洪积堆积物。磁铁矿角砾、赤铁矿角砾占 60%~65%矿体。品位 TFe 50%~60%。

3.2 矿石矿物成分与结构构造

爬立山铁矿床铁矿石自然类型为致密块状磁铁矿矿石、致密块状赤铁矿、角砾状磁铁矿矿石、角砾状赤铁矿;次生土状磁铁矿矿石、次生土状赤铁矿矿石(图 3)。其中,致密块状磁铁矿矿石矿物主要为磁铁矿和少量的黄铜矿、蓝铜矿;磁铁矿含量为 90%~95%,呈铁黑色,具有强磁性。脉石矿物主要为方解石、石英、透辉石、石榴子石、透闪石、绿帘石、阳起石、长石、云母,粘土矿物等。块状赤铁矿矿石矿物主要为赤铁矿和少量的黄铜矿、蓝铜矿;赤铁矿含量为 90%~95%,呈铁黑色,不具磁性。脉石矿物主要为方解石、石英、透辉石、石榴子石、透闪石、绿帘石、阳起石、长石、云母,粘土矿物等。

矿石结构构造:矿石构造以致密块状为主,其次为稠密浸染状构造、稀疏浸染状构造、蜂窝状构造,

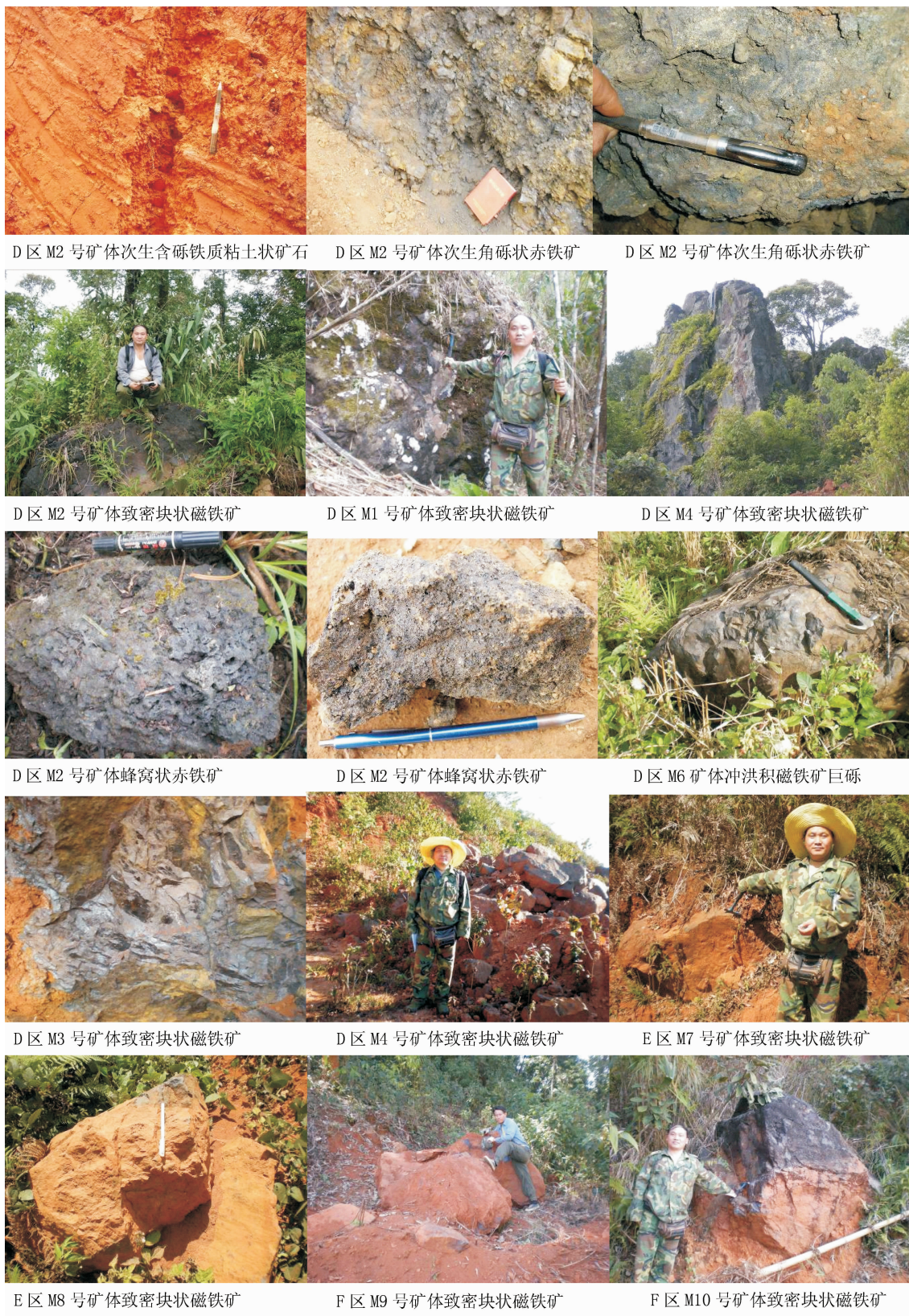


图 3 爬立山铁矿区矿石类型

Fig.3 Ore types of the Pali Mountain ore district in SaiSongwen County of Laos

少量脉状构造、条带状构造、角砾状构造。矿石结构主要为成矿热液充填交代作用形成的粒状结构,包括半自形-自形粒状结构、他形粒状结构、隐微晶结构和溶蚀交代结构等。

3.3 矿体围岩

除 M6、M12 矿体为第四系冲洪积磁铁矿角砾、赤铁矿角砾堆积物外, M1-M5 号、M7-M11 号矿体底板、顶板及围岩为花岗闪长岩和石榴子石、透辉石、阳起石、绿帘石矽卡岩及大理岩、结晶灰岩。近矿围岩蚀变类型主要为强烈的矽卡岩化,形成厚度较大分布较广的矽卡岩带。另外还有绿泥石、绿帘石、碳酸盐化、硅化等蚀变。

4 控矿因素

爬立山铁矿是典型的矽卡岩型铁矿床。矽卡岩型铁矿是构造作用、岩浆活动与碳酸盐岩地层 3 个基本因素在特定地质和物理化学条件下相互作用的结果。岩浆和含矿热液与围岩产生接触交代作用,致使围岩蚀变^[7-13]。因此,构造作用、岩浆活动与围岩条件对矽卡岩型铁矿的形成具有重要的控制作用。总体上分析,对爬立山铁矿的形成之控矿因素有如下几种。

4.1 地层

矿区矽卡岩的形成,与泥盆纪地层关系密切。其中,中上泥盆统第一段在矿区内大面积分布,主要为一套浅海相沉积的浅灰-灰色薄至中层状泥质灰岩、钙质长石石英砂岩、钙质页岩组合。中上泥盆系第二段主要为一套浅海台地相沉积的灰白色、浅灰色厚层白云质灰岩和灰岩,局部夹薄层灰色-深灰色钙质页岩。本区的白云质灰岩和灰岩等碳酸盐类岩石,为薄-中厚层状,质纯,主要矿物成分为方解石,化学性质活泼,容易分解,物理性质脆性大,受后期构造影响,较破碎,渗透性强,富含 CaO 和 MgO 而易

被交代,有利于岩浆热液及含矿溶液流通,灰岩在热液作用下,由于发生物质交换之交代作用,致使岩石的孔隙度增多、变大,有利于热液的流通^[11-13]。为铁等金属成矿作用提供了条件,是矿区主要控矿围岩。矿区花岗闪长岩体与灰岩接触部位常形成宽窄不等的矽卡岩带,已发现的原生铁矿体均赋存于矽卡岩带中。而岩体与板岩、长石石英砂岩的接触部位没有形成矿化,矽卡岩化也不发育。可见,矿区矿体的形成与中上泥盆统灰岩较为活泼的化学性质有着直接的关系。

4.2 岩浆岩

矿区位于老挝川圹-长山构造带,该构造带自华力西期-喜山期发生多期次强烈构造岩浆活动,爬立山岩体是沿川圹-长山构造带断裂向上侵位的产物。其岩浆活动具有多次脉动特点,有利于岩体对围岩的渗透和交代,为 Fe 成矿多期次提供了丰富的矿质来源和多期次迁移富集的动力与有利的介质。因此,岩体成分及岩体的侵位是本区矽卡岩体和铁成矿作用的关键因素。

矽卡岩型矿床是岩浆气水热液交代围岩的结果^[10-11]。因此,岩浆活动及岩浆岩是爬立山铁矿床成矿的主要控制因素。矿区岩浆岩为爬立山岩体,岩石类型为华力西花岗闪长岩。矿物成分主要为斜长石、钾长石、石英、角闪石、黑云母、磁铁矿。岩石为中细粒半自形粒状花岗结构,块状构造。矿区铁矿体均产于岩体与灰岩和钙质长石石英砂岩、钙质页岩接触交代形成的矽卡岩带中。矿区成矿物质主要来自花岗闪长岩,为成矿母岩。爬立山岩体花岗闪长岩岩石化学成分列于表 1。为了对比,将大冶铁矿石英闪长岩^[14]、中国花岗闪长岩化学成分^[15]一同列于表中。可以看出该岩体的 SiO₂ 含量 65.28%,略高于中国花岗闪长岩(64.98%); Al₂O₃ 含量 14.42%,略低于中国花岗闪长岩(16.33%); Fe₂O₃+FeO 含量 6.35%,高于大冶

表 1 爬立山岩体花岗闪长岩岩石化学成分(单位: 10⁻²)
Table 1 Chemical composition of Pali Mountain granite

样品编号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量	Σ
YQ4 (爬立山花岗闪长岩)	65.28	0.083	14.42	3.94	2.41	0.039	5.30	1.93	5.36	1.74	0.18	0.94	100.32
大冶铁矿石英闪长岩(杨峰华,2001)	60.87	0.71	16.29	2.71	2.40	0.11	2.20	4.42	5.43	3.15	0.33	1.01	99.63
黎彤(1963)中国花岗闪长岩	64.98	0.52	16.33	1.89	2.49	0.09	1.94	3.70	3.67	2.95	0.32	1.11	100.00

注:由中国河北省地勘局秦皇岛矿产水文工程地质大队测试中心(2008)完成。

铁石英闪长岩(5.11%)及中国花岗闪长岩(4.38%); K_2O+Na_2O 含量 7.10%, 岩石富碱; 在 CIPW 标准矿物组合中, 其石英含量 14.83%, 说明岩石属铝过饱和和类型。 K_2O+Na_2O 含量 7.10%, 岩石富碱; 里特曼指数 $\delta < 3.1$, 属于钙碱性岩; 赖特碱度率(AR)为 2.53, $(K_2O+Na_2O)/Al_2O_3$ 比值为 $0.49 < 0.9$, 固结指数(SI)为 28.30, 分异指数(DI)为 62.91, 表明岩石酸性程度及岩浆分异程度较高^[5]。与中国著名的矽卡岩型矿床大冶铁矿的成矿母岩石英闪长岩的岩石地球化学特征相似, 具有岩浆成矿专属性。

4.3 构造

4.3.1 断层的控矿作用

前已述及北西向的断裂控制了 D 区和 E 区铁矿体的分布, 为矿区导矿和容矿构造。在 F 矿区, 北东向断裂与北西向断裂联合作用, 华力西期花岗闪长岩体侵入, 进而控制了矽卡岩带及铁矿体形成和分布。因此北东向断裂控制了 F 区矿体的分布, 为 F 区矿体导矿和容矿构造。矿区近东西向断裂在纵向上具有伸展滑脱正断层性质, 在横向上具有左行平移剪切性质。值得注意的是, D 矿区 F2 这种近东西向断裂, 纵向上具有伸展滑脱正断层性质对 M1、M2 号矿体的形成起到了关键的作用。近东西向伸展滑脱高角度正断层, 可以提供更大的成矿空间, 利于岩浆及含矿热液侵入及其对围岩的交代置换, 形成更大规模矽卡岩体及铁矿体。如 D 区的 M1、M2 矿体就是这种构造成矿作用的典型范例。矿区近南北向断裂, 早期具有逆冲推覆性质, 晚期具有左行平移性质。如 F1, 为矿区次要构造, 在矿区尚未发现有价值的矿体受其控制。

4.3.2 接触带构造的控矿作用

不平整接触带: 岩体与围岩接触带不平整, 呈凹陷状态时有利于成矿, 如矿区 M1-M4、M7-M10 号矿体产于不平整接触带的凹陷区。一方面是凹陷区相对封闭, 对岩浆及含矿热液快速流动有阻碍, 有利于岩浆及含矿热液与围岩进行充分交代和铁的富集成矿; 另一方面凹陷接触带岩石比较破碎, 有利于岩浆及含矿热液环流, 对矿质的交代置换、沉淀有利。

4.4 蚀变

矿区围岩蚀变类型主要有矽卡岩化、绿泥石化、透辉石、透闪石、绿帘石、大理岩化、绢云母化(图 4), 其中矽卡岩化及大理岩化与成矿关系最为密切。已发现的 10 个矿体均产于岩体与灰岩接触带形成的矽

卡岩带及大理岩带中。

矿区出露了多条矽卡岩带, 矽卡岩带长 800~2 500 m, 宽一般 400~1 200 m, 局部规模更大。矽卡岩具有明显分带特征, 由岩体向未蚀变围岩(如灰岩、砂岩、泥页岩等)分为 5 个带: (1) 石榴子石矽卡岩带, 含磁铁矿; (2) 透辉石矽卡岩带, 含磁铁矿; (3) 铁矿带, 主要为磁铁矿和赤铁矿, 少量透辉石、透闪石、石榴石等矽卡岩矿物; (4) 透闪石、绿帘石矽卡岩带, 含少量磁铁矿; (5) 大理岩带, 含磁铁矿。矿区铁矿化均靠近花岗闪长岩体, 与透辉石矽卡岩关系密切, 矿体规模与矽卡岩化强弱多呈正相关。

5 矿床成因

矿化主要产于华力西期花岗闪长岩体外接触带中, 接触带具有较强的蚀变, 矿体主要呈透镜状产出。在部分矿体中见脉状矿脉沿构造裂隙分布。说明铁矿化与华力西期岩浆岩侵位的年龄相近但略晚于华力西期花岗闪长岩侵位的时期。铁矿体主要产于岩体外接触带之透辉石矽卡岩中, 部分产于大理岩中。在岩体内接触带形成宽度达 5~100 m 的蚀变带, 在与围岩的接触部位发育脉状磁铁矿体。在岩体外接触带中, 发育石榴子石、透辉石、透闪石、绿帘石、大理岩矽卡岩带。因此, 可以认为该矿床属于岩浆期中高温热液交代充填矽卡岩型矿床。矿区中上泥盆统第一段和第二段碳酸盐岩、钙质砂页岩组合, 为一套滨浅海环境沉积的碳酸盐岩夹碎屑岩建造。其中的碳酸盐岩地层为岩浆热液交代作用和成矿作用提供了良好的条件。从矿体产出特征看, 矿体产状主要受接触带及与岩浆活动有关的断层破碎带控制。矿区断裂和岩浆通道是矿区的导矿构造和容矿构造。矿区岩浆岩为爬立山花岗闪长岩, 属华力西期构造岩浆活动的产物。该岩体岩石富含铁质成分。

6 找矿标志

(1) 构造标志: 矿区华力西期花岗闪长岩体内外接触带北西向、北东向及近东西向断裂为矿区主体控矿断裂, 控制了矿区岩浆的侵位和展布及其矽卡岩带与铁矿体形成和分布, 为容矿、导矿和控矿构造, 是直接的找矿标志。

(2) 岩石学标志: 矿区中上泥盆统第一段和第二段为碳酸盐岩、钙质砂页岩组合。其中的碳酸盐岩与钙质砂岩为岩浆热液交代作用和成矿作用提供了良



图 4 爬立山铁矿区围岩蚀变类型

Fig.4 Rock alteration type of the Pali Mountain ore district in SaiSongwen County of Laos

好的条件。在碳酸盐岩与花岗闪长岩体内外接触带的矽卡岩、大理岩和大理岩化灰岩中往往具铁多金属矿化及铁矿体存在,是找矿的重要标志之一。

(3)磁异常标志:地面高精度磁法测量圈定的剩余磁异常分布区,往往具有铁多金属矿化和磁铁矿体存在,是找矿的直接标志之一。

(4)在矿区矽卡岩带地表分布的次生土状磁铁矿矿石、次生土状赤铁矿矿石与角砾状磁铁矿矿石、角砾状赤铁矿残坡积物,其下及其附近很可能具有致密块状磁铁矿矿石、致密块状赤铁矿及铁多金属矿化与铁矿体存在,也是重要的找矿标志之一。

7 找矿方向及找矿潜力

矿区 1:1 万高精度磁测成果显示, 矿区存在数

个强磁异常。异常形态较为规则,大多与区内控矿构造方向一致。异常中心区多在与花岗闪长岩体接触带矽卡岩分布区,异常强度 3 300~4 500 nT,且在部分异常区已发现磁铁矿体或磁铁矿化体。因此,对已有的磁异常区开展成矿地质条件综合研究,并配合一定的深部工程验证,有望发现隐伏铁矿体,在找矿上取得突破。可见,爬立山矿区及外围成矿地质条件好,具有再次发现多个中-大型矽卡型铁矿的找矿潜力。

(1)在爬立山矿区(D区、E区、F区),一方面是沿已知矿体延伸方向及深部寻找新矿体。另一方面是在矿区华力西期花岗闪长岩体外接触带的断层破碎带及矽卡岩、大理岩和大理岩化灰岩强磁异常区内开展找矿勘查工作,有望找到新的铁矿体;对已圈定的磁异常分布区开展异常查证和找矿勘查工作,有

望找到新的铁矿体,扩大矿床规模。E区、F区已发现的铁矿体地表分布均具有一定规模,有较大的找矿潜力,对其开展找矿勘查工作,有望找到新的铁矿体,扩大矿床规模。因此对爬立山矿区铁矿开展系统勘查评价工作,有望找到新的磁铁矿矿床,扩大矿床规模。

(2)在爬立山矿区外围对分布于花岗闪长岩体内外接触带中的数个铁矿多金属矿床(点)进行重新检查评价,有望找到新的铁矿矿床。

(3)在爬立山矿区外围及川圹—长山成矿带综合应用地质、物探、化探和遥感资料,对花岗岩花岗闪长岩体接触带中已有的多个铁多金属矿化异常及矿床(点)进行异常查证和找矿勘查工作;结合已建立的找矿标志,加强对隐伏矿体的寻找,可望找到大型和超大型规模的铁矿多金属矿床,实现在川圹—长山成矿带富铁矿的找矿突破。

致谢:两位审稿专家及本刊编辑对本文初稿细致的评审,并提出了宝贵的修改意见;在工作过程中得到成都地质矿产研究所丁俊所长、王剑副所长、廖朝贵教授级高级工程师的指导和帮助以及老挝鑫河钢铁矿业发展有限公司夏志文先生、白涛先生、翁殿壁先生等的大力支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

参考文献(References):

- [1] 李兴振, 刘朝基, 丁俊. 大湄公河次地区构造单元划分[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24(4): 13-20
Li Xingzhen, Liu Chaoji, Ding Jun. Division of the tectonic units in the Greater Mekong subregion [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2004, 24(4):13-20(in Chinese with English abstract).
- [2] 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1990:1-728.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province. Regional Geology of Yunnan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990:1-728 (in Chinese with English abstract).
- [3] Economic and Social Commission for Asia and The Pacific. Atlas of Mineral Resources of the Escape Region (7): Laos People's Democratic Republic [M]. United Nations, Publication, Bangkok, Thailand, 1990.
- [4] 施美凤, 林方成, 李兴振, 等. 东南亚中南半岛与中国西南邻区地层分区及沉积演化历史[J]. 中国地质, 2011, 38(5):1244-1256.
Shi Meifeng, Lin Fangcheng, Li Xingzhen, et al. Stratigraphic zoning and tectonic events in Indochina and adjacent areas of southwest China [J]. Geology in China, 2011, 38 (5):1244-1256 (in Chinese with English abstract).
- [5] 王小娟, 王向东, 李文忠, 等. 滇西保山、泰国西部和南部及澳大利亚悉尼盆地的冈瓦纳相二叠系对比 [J]. 地层学杂志, 2004, 28(4):336-342.

- Wang Xiaojuan, Wang Xiangdong, Li Wenzhong, et al. Correlation of Gondwana Permian strata in Baoshan of western Yunnan, western and southern Thailand, and southern Sydney basin of Australia [J]. Journal of Stratigraphy, 2004, 28 (4):336-342 (in Chinese with English abstract).
- [6] 赵红娟, 陈永清, 卢映祥. 老挝长山成矿带与花岗岩有关的铜金铁矿床的成矿模式[J]. 地质通报, 2011, 31(10):1619-1627.
Zhao Hongjuan, Chen Yongqing, Lu Yingxiang. Ore-forming model for Cu-Au-Fe ore deposits associated with granites in the Truongson ore-forming belt of Laos [J]. Geological Bulletin of China, 2011, 31(10):1619-1627(in Chinese with English abstract).
- [7] 卢映祥, 刘洪光, 黄静宁, 等. 东南亚中南半岛成矿带初步划分与区域成矿特征[J]. 地质通报, 2009, 28(2):314-325.
Lu Yingxiang, Liu Hongguang, Huang Jingning, et al. Preliminary division of the metallogenetic belts in the Central South Peninsula of Southeast Asia and their regional ore-forming characteristics [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(2):314-325(in Chinese with English abstract).
- [8] 许国建, 林新多. 安徽长龙山矽卡岩浆型铁矿床成因探讨 [J]. 地球科学, 1990, 15(6):650-657
Xu Guojian, Lin Xinduo. An investigation into the genesis of the Chang-Longshan skarn-magma type of iron deposit, Anhui Province [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1990, 15(6):650-657(in Chinese with English abstract).
- [9] 杨峰华. 湖北大冶铁山矿床钠化蚀变与成矿关系的探讨 [J]. 地质与勘探, 2001, 37(6):20-24.
Yang Fenghua. The relation of natriumlization and metallogenesis in daye iron deposit, Hubei [J]. Geology and Prospecting, 2001, 37(6): 20-24(in Chinese with English abstract).
- [10] 赵一鸣, 林文蔚, 毕承恩, 等. 中国矽卡岩矿床[M]. 北京:地质出版社, 1990:1-354.
Zhao Yiming, Lin Wenwei, Bi Chengen, et al. China Skarn Deposit [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990:1-354(in Chinese with English abstract).
- [11] 袁见齐, 朱上庆, 翟裕生. 矿床学[M]. 北京:地质出版社, 1979: 1-348.
Yuan Jianqi, Zhu Shangqing, Zhai Yusheng. Mineral Deposit Geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1979:1-348(in Chinese).
- [12] Minert L D. Mineralogy and petrology of iron skarns in western British Columbia, Canada [J]. Econ. Geol., 1984. 79:869-882.
- [13] Minert L D. Skarns and skarn deposits [J]. Geoscience Canada, 1992. 19:145-162 .
- [14] 黎彤, 饶纪龙. 中国岩浆岩的平均化学成分 [J]. 地质学报, 1963, 43(3):271-280.
Li Tong, Rao Jilong. The average Chemical composition of igneous rocks in china [J]. Acta Geological Sinica, 1963, 43(3): 271-280(in Chinese with English abstract).
- [15] 邱家骧. 岩浆岩岩石学[M]. 北京:地质出版社, 1985:316-317.
Qiu Jiaxiang. Magmatic Petrology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985:316-317(in Chinese).

Geological characteristics and prospecting target of the Pali Mountain iron deposit in SaiSongwen County , Vientiane Province, Laos

ZOU Guang-fu, FAN Wen-yu, WU Zhen-bo, GAO Jian-hua,
WU Wen-xian, LIU Zeng-tie, JIAO Yan-jie, YANG Jian, DENG Ke
(*Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China*)

Abstract: Based on mineral resources survey of the Pali Mountain in SaiSongwen County, Vientiane Province of Laos, this paper deals with geological settings, geological characteristics, geophysical characteristics, ore genesis and prospecting perspective of the Pali Mountain iron deposit. Studies show that Variscan period was an important metallogenic epoch for rich iron deposits in Chuankuang-Changshan structure belt of Laos. The Pali Mountain iron deposit lies at the contact zone between granodiorite and Middle-Upper Devonian limestone in the Chuankuang-Changshan structure belt of Laos. The well-developed skarn bands corresponding to ten iron mineralized bodies are exposed in the mining district. The ore bodies all lie in garnet skarns formed by contact between granodiorite and limestone. The variations of the modes of occurrence of ore bodies are controlled by the skarns. The deposit was formed in magmatic epoch and ore bodies are mainly in lenticular, layered and stratoid forms in marble. Controlled strictly by fractured zones, the ore bodies lie in carbonate rock and calcareous sandstone and limestone of Middle-Upper Devonian period and the NW-, NE- and EW-trending fracture zones in strata. The ore deposit is a mesothermal skarn type iron deposit. The potential resource quantity of the Pali Mountain iron deposit is huge and the favorable places in search for the same type of iron deposits is in the depth and the periphery of the ore deposit. The host rocks are mainly skarn and skarnized limestone and calcareous sandstone of the Middle-Upper Devonian period. Ore minerals are mainly magnetite, hematite and subordinately limonite, chalcopyrite and pyrite. Vein minerals are mainly quartz, calcite, diopside, tremolite, garnet, chlorite, and epidote. This paper sums up the carbonate strata, the intrusion of granodiorite and the multiple activities of the Chuankuang-Changshan structure belt in Laos. The NW-, NE- EW-trending faults are the factors that jointly control the formation of the skarn-type iron deposit. Based on geological features, ore-controlling factors, this paper deals with prospecting criteria and targets in search for iron deposits in this region. The discovery of the Pali Mountain iron deposit has provided new train of thought and new data in search for this type of iron deposits in the Chuankuang-Changshan structure belt of Laos.

Key words: iron ore; skarn-type; granodiorite; Pali Mountain; SaiSongwen County, Vientiane Province of LAOS

About the first author: ZOU Guang-fu, male, born in 1963, doctor and senior researcher, engages in regional geological survey, mineral exploration and stratigraphic paleontological study of the Tibetan plateau; E-mail: zguangfu@163.com.