

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2022.04.001

肃北狼娃山铁矿床的地质特征和找矿方向

李小罗

(长沙有色冶金设计研究院有限公司,长沙 410019)

摘要: 狼娃山铁矿为矽卡岩型铁矿,位于甘肃省肃北县狼娃山地区,中亚造山带以南,该区地质特征的认识仍不够全面,找矿方向尚未明确。本文基于野外调查及室内测试研究,归纳总结狼娃山铁矿床地质特征,探讨该地区铁矿找矿方向。研究表明:下石炭统白山组下亚组上、下段的流纹质凝灰熔岩为狼娃山铁矿主要含矿层;铁矿石全岩主要化学成分为 $w(\text{TFe})=38.18\%$ 、 $w(\text{SiO}_2)=21.96\%$ 、 $w(\text{CaO})=7.05\%$ 、 $w(\text{MgO})=6.80\%$ 、 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)=6.14\%$,约占总量的 80%,表明铁、石英、绢云母及碳酸盐岩为其主要构成,属酸性铁矿石;铁矿石物相 $w(\text{TFe})$ 平均为 34.95%, $w(\text{mFe})$ 平均为 27.18%, mFe 占 TFe 的 77.78%,铁矿石主要矿物为磁铁矿(磁铁矿矿石);单矿物磁铁矿、赤铁矿电子探针测试分别属于普通磁铁矿、赤铁矿。铁矿成矿多发育在红石山南华力西期岛弧带,下石炭统白山组安山质熔凝灰岩及英安质凝灰岩控制铁矿产出,矽卡岩化可指示找矿;分析认为,狼娃山矿床深度在 400~800 m 空间范围内仍存在很大的找矿潜力,可发展为以铁为主的多金属矿床。

关键词: 狼娃山铁矿;矽卡岩;成矿物质来源;找矿标志;甘肃北山

中图分类号: P618.31;P613 **文献标识码:** A

0 引言

中元古代到古生代末期,中亚造山带受古亚洲洋长期俯冲作用,在俯冲-增生阶段形成显生宙增生造山带,发育岩浆作用,为大量年轻地壳的形成提供了物质来源^[1-4]。

甘肃省北山地区地处中亚造山带南侧,是联系塔里木板块、哈萨克斯坦板块与华北板块的桥梁^[5]。该区域产出有大量的金属矿产资源,发育有与矽卡岩伴生的铁矿,且矿石品位较高,狼娃山铁矿是其典型代表。虽然前人对狼娃山铁矿进行了一定程度的地质特征研究及矿床成因分析^[6-10],但因其单矿体规模较小、构造复杂、矿床成因存在较大争议,目前对该矿床地质特征的认识仍不够全面,找矿方向有待进一步厘定。

为了扩大狼娃山铁矿生产规模,进一步摸清狼

娃山铁矿资源、储量,以满足矿山建设需要,本文在系统收集整理、综合分析前人资料的基础上,结合野外调查与室内研究工作,对狼娃山铁矿的矿床地质特征开展详细研究,并探讨狼娃山铁矿区的找矿方向,以期对狼娃山铁矿进一步找矿具有积极意义。

1 成矿地质背景概述

狼娃山铁矿位于甘肃省肃北蒙古族自治县北山地区狼娃山一带,地处红石山南华力西期岛弧带上(图 1)。该地区发育有大量的中、酸性火山岩^[12],石炭系下统白山组下亚组下段安山质一流纹质凝灰熔岩、上段流纹质凝灰岩为铁矿主要的赋存位置。

(1) 地层

研究区出露地层由南至北分别为第四系更新统(Qp_3)、太古宙一早元古代敦煌岩群(ArPtD)、石炭系下统白山组($\text{C}_1b_s^A$)及新近系苦泉组(N_2k)。

收稿日期: 2022-03-09; 责任编辑: 王传泰

作者简介: 李小罗(1976—),男,高级工程师,主要从事有色金属矿山设计、地质勘探等工作。通信地址:湖南省长沙市雨花区木莲东路 299 号,长沙有色冶金设计研究院有限公司;邮政编码:410019;E-mail:lixluo@163.com

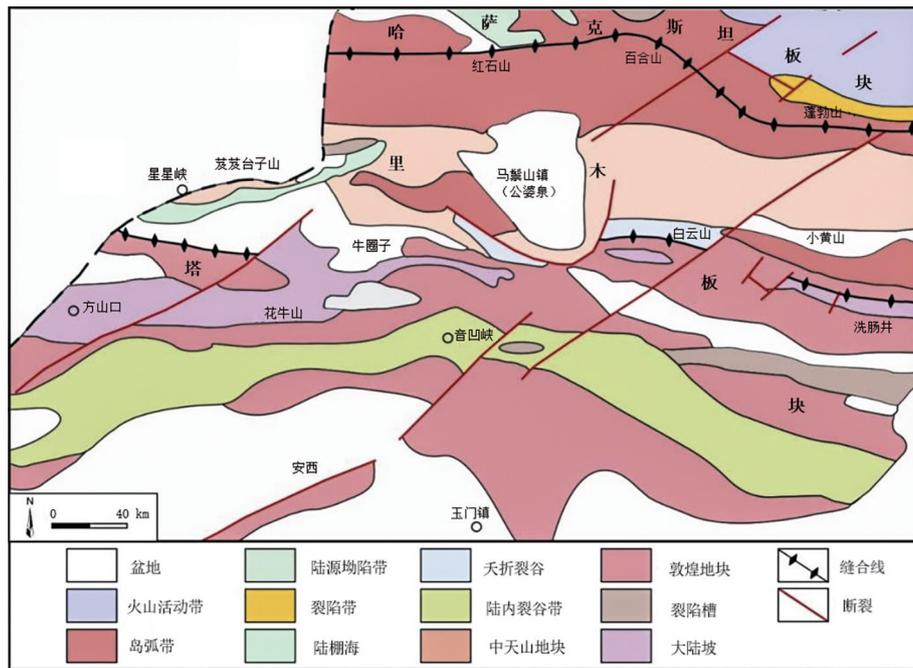


图1 北山地区大地构造略图(据文献[11],修改)

Fig. 1 Geotectonic sketch of Baishan area

第四系更新统(Q_{p3})分布在低洼及干沟处,由松散至半胶结砂砾层组成。太古宙—早元古代敦煌岩群(ArPtD)在狼娃山南部零星出露经区域变质作用形成的一套中深变质岩。石炭系下统白山组(C_1bs^1)分布较广,为铁矿沉积的主要岩层。白山组下亚组(C_1bs^2)下段为酸性火山岩段,以灰绿色、深绿色安山质熔结凝灰岩以及肉红色、紫色流纹质凝灰岩为主;上段为中、酸性火山岩段,以肉红色、暗紫色流纹质熔结凝灰岩、流纹质凝灰岩为主。上亚组(C_1bs^2)由深至浅灰色硅质板岩组成。新近系苦泉组(N_2k)主要出露于区域北侧,另外在东南部、南部零星出露,岩性以砖红色、黄灰色砂岩、杂色砾岩为主,夹黑色粉砂质泥岩。

(2) 构造及岩浆岩

研究区褶皱及断裂较为发育。褶皱构造由于受纵横交错断裂和侵入岩广泛侵入的影响,破坏了褶皱形态的完整性^[13]。区域内主要为下石炭统产出的黑鹰山—白山泉大型复式背斜^[14]和狼娃山—白梁复背斜。黑鹰山—白山泉大型复式背斜轴呈近EW向延伸,长度大于200 km,核部由于中酸性侵入岩侵入,形成南、北两个地层区,即形成了南、北两个含矿带。北带有黑鹰山、甜水井、红石山等铁矿,南带有狼娃山、白山泉等铁矿。狼娃山—白梁复背斜两翼宽10~15 km,褶皱轴呈近EW向延

伸,在该背斜核部及两翼,均有华力西中、晚期酸性侵入岩侵位,致使背斜两翼遭受强烈破坏;两翼地层不对称,各自呈现为单斜;北翼较缓 $20^\circ\sim 40^\circ$,南翼较陡 $60^\circ\sim 70^\circ$ 。区内断裂构造以逆断层为主,主要有NE、NW及EW向3组;NE向构造切割破坏EW向及NW向构造,属于成矿后的破坏性构造。

(3) 矿产分布

甘肃北山地区已发现的铁矿床有黑鹰山铁矿^[15],西甜水井铁矿、红石山铁矿^[16]、白山泉铁矿^[17]、狼娃山铁矿等多处,均产于下石炭统白山组火山岩中。由于“北山华力西褶皱带”经过该火山岩,在白山泉—黑鹰山一带呈现大型复式背斜构造,近EW向延伸,其核部有中酸性侵入岩侵入,从而形成南北两个地层区,铁矿产出于该褶皱的南北两翼;北翼产出有黑鹰山铁矿、西甜水井铁矿、红石山铁矿,南翼有白山泉铁矿、狼娃山铁矿产出。

在狼娃山一带(图2),除狼娃山铁矿外,该区也是一个多金属的成矿远景区^[18-22]。狼娃山一带断裂十分发育,后期被中酸性岩浆热液侵入,经交代作用形成许多密集而有价值的中温热液含金石英脉型金矿、铜矿床(点),构成了金矿脉带^[23-24],现有狼娃山中大型金矿床1处,跃进山西南、狼娃山南金矿点2处,公婆泉铜矿1处。

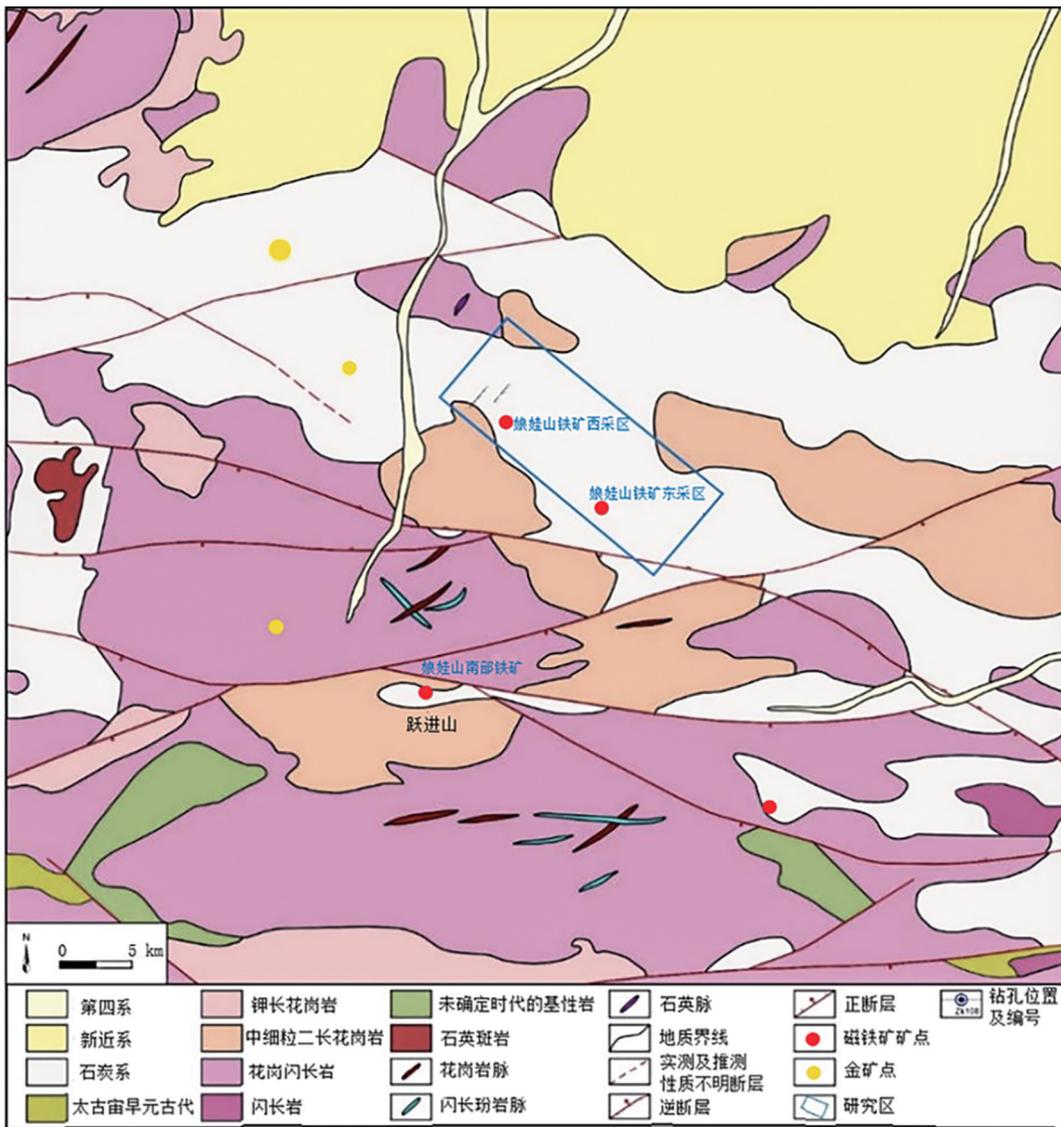


图 2 狼娃山矿区地质图

Fig. 2 Geological map of Langwashan Fe deposit

2 矿床地质特征

2.1 地层特征

狼娃山矿区主要出露地层为白山组下亚组下段 ($C_1b s^{1-a}$) 及上段 ($C_1b s^{1-b}$)^[9], 白山组上亚组 ($C_1b s^2$), 另有第四系零星出露于沟谷中(图 2)。

下亚组下段 ($C_1b s^{1-a}$) 主要为两种凝灰岩(图 3a): ①灰红色、浅灰绿色含角砾流纹英安质熔凝灰岩, 由大量的碎屑物(55%±)经胶结物(45%±)而成; ②灰色、灰红色含角砾流纹英安质凝灰岩, 由碎屑物(75%±)和基质(25%±)组成, 岩屑为中性

熔岩、少数流纹岩、英安岩、安山岩。除此之外, 局部地区见火山角砾岩。此岩段未见底。下亚组上段 ($C_1b s^{1-b}$) 主要为暗红色流纹质凝灰熔岩(图 3b), 岩石在镜下具凝灰熔岩特征, 主要由斑晶(10%±)、基质(51%±)和碎屑物(39%±)组成。该段见少量砂卡岩, 偶见大理岩; 铁矿体与砂卡岩常相伴产出, $C_1b s^{1-b}$ 是狼娃山铁矿的赋矿层位。

上亚组 ($C_1b s^2$) 主要为灰绿色硅质板岩, 岩石主要由隐晶状的硅质(35%)、绢云母(50%)、绿帘石(7%)、石英(5%)、长石(3%)组成。具显微花岗鳞片变晶结构, 条带状构造。岩石中夹有粉砂岩条带。

根据火山喷发旋回、火山岩相分析发现, 狼娃山矿区早石炭世火山岩由下而上形成一个由爆发一喷



图3 狼娃山矿区野外露头照片

Fig. 3 Outcrop of Langwashan Fe deposit in the field

a. 流纹质凝灰熔岩/英安质凝灰熔岩界线; b. 白山组下亚组上段底部; c. 地表出露花岗岩;
d. 硅质板新鲜面; e. 磁铁矿地表露头; f. 地表出露砂卡岩(化)

发相、喷发—喷溢相、喷溢—沉积相构成的完整火山活动序列,铁矿的产出,受控于喷发—喷溢相岩层;火山岩以流纹岩类及流纹英安岩类为主,见少量的英安岩、安山岩类岩石。

2.2 构造特征

狼娃山矿区位于天山—阴山构造体系的西段中部,北山弧形构造带弧顶东部^[25]。区内断裂构造主要有EW向、NWW向及NE向3组。EW向构造主要由挤压带、压性断裂带构成,这些构造形迹,走向多呈 $80^{\circ}\sim 100^{\circ}$ 方向,倾向S,倾角在 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$,断裂长达数公里,表现顺扭性质。NWW向为一组压性兼扭性断裂,走向 $100^{\circ}\sim 130^{\circ}$,力学性质表现为顺扭性。NE向断裂规模较大,呈 $55^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 方向展布。此外,在矿床尚见一组NNW向断裂,走向 $330^{\circ}\sim 350^{\circ}$,为扭性断裂^[26]。

2.3 侵入岩特征

狼娃山矿区发育大量花岗岩^[27],且多分布于其南部,局部可见二长花岗岩。花岗岩具细粒结构,块状构造。花岗岩(图3c)矿物成分为:石英25%、钾长石51%、斜长石22%,云母、角闪石小于3%。花岗岩体中部相变为花岗闪长岩。与其接触的硅质板岩无显著的蚀变现象。

狼娃山矿区可见大量中性岩脉,主要为安山及闪长岩脉。脉岩发育带亦即压性劈理带。脉体呈近

EW向延伸,并成束成带出现,脉宽 $2\sim 25$ m,脉长数百米至数公里。岩脉穿切下石炭统及矿体,穿切矿区南部的花岗岩。在下石炭统中尚可见流纹岩及流纹斑岩脉,其局部具有流动及揉皱构造,与围岩呈侵入接触,但又被中性脉岩穿切。

2.4 变质作用特征

狼娃山矿区变质作用主要为次火山热液交代变质作用及动力变质作用,区域变质作用微弱。次火山热液交代变质作用表现为,下石炭统白山组安山质凝灰岩(安山质熔凝灰岩)、英安质凝灰岩(英安质熔凝灰岩)遭到火山活动晚期气液充填交代作用下,形成石榴石砂卡岩、绿帘石砂卡岩、绿泥石砂卡岩、绿泥石岩、绿帘石岩。动力变质作用表现为,发育在断裂附近及断层中的碎裂岩、断层角砾岩、糜棱岩化岩石。区域变质作用表现为,白山组原灰岩、硅质岩变质为大理岩、硅质板岩(图3d)。

3 矿体特征

3.1 矿体形态特征

狼娃山铁矿床矿体在矿带内呈雁行状斜列展布,向东斜落^[28];单体矿体呈透镜状、似层状、脉状等。

对矿体沿倾向、走向上的延伸情况进行了钻探控制。ZK108-6 孔施工孔深 557.82 m, 见矿 7 层, 最厚(假厚度)32 m; 深部矿体较陡, 产状 $0^\circ \angle 83^\circ \pm$, 矿体向深部仍有延伸(图 4)。ZK111+80-5 孔在 320~510 m 之间共见矿 10 层, 单层最厚(假厚度)70 m(图 5), 表明矿体向北仍有延伸。

3.2 矿石特征

(1) 矿石类型及矿物组成

基于狼娃山铁矿床矿石的矿物组合不同, 铁矿分为 3 种矿石类型: 方解石-石英-磁铁矿型, 绿泥石-阳起石-磁铁矿型, 石英-赤铁矿型。

铁矿石中金属矿物主要为磁铁矿(图 3e)和赤铁矿, 含有少量黄铁矿, 偶见黄铜矿。磁铁矿以两种形式产出, 主要为假象磁铁矿, 呈板状或纤维状, 晶体长多为 0.3~0.85 mm, 宽 0.07~0.5 mm; 另一种呈自形及半自形或它形粒状, 粒径 0.15~1.34 mm, 多为 0.5 mm \pm 。在磁铁矿表壳常具赤铁矿化现象, 出露地表的磁铁矿因氧化作用变成了赤铁矿化磁铁矿及褐铁矿。原生赤铁矿与磁铁矿相伴产出, 呈板条状、针状、纤维状自形晶, 晶粒长 0.4~1 mm, 宽 0.04~0.5 mm; 次生赤铁矿沿磁铁矿表层解理和裂隙充填交代方式产

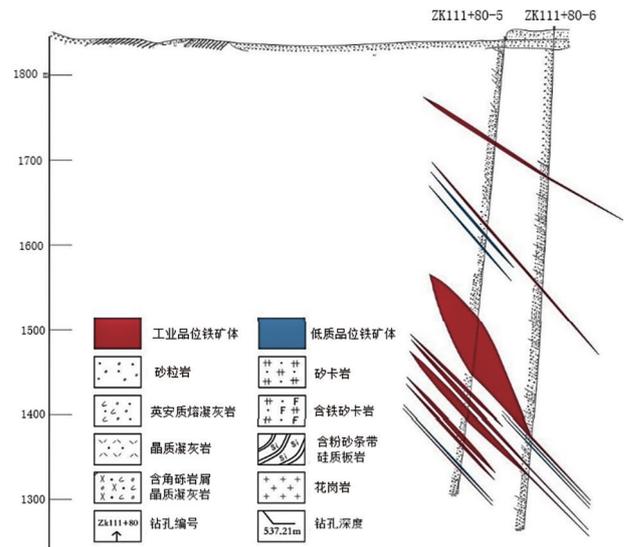


图 5 狼娃山铁矿 ZK111+80 勘探线剖面图

Fig. 5 Section of line 111+80 of the deposit

出。黄铁矿多呈自形一半自形粒状, 粒径大小不等, 一般在 0.25~1 mm, 个别可达 3~4 mm。有的黄铁矿呈不规则团块状(图 6a)、香肠状(图 6b)产出。

铁矿石中脉石矿物主要为方解石、石英、绿泥石、阳起石、透辉石、绿帘石等。图 6c 为砂卡岩中方解石与石英组合; 方解石呈细脉状, 透辉石发生绿泥石化(图 6d); 绿帘石中有磁铁矿化(图 6e)。碎粒状砂卡岩中含有暗色矿物和方解石(图 6f)。

(2) 矿石组构

狼娃山铁矿床矿石结构按矿物的粒径不同, 可分为细粒结构、中粗粒结构及粗粒结构 3 种, 以中细粒结构为主。按矿石矿物晶体形态属于半自形-它形晶粒状结构。磁铁矿多呈半自形-它形粒状。假象磁铁矿呈自形一半自形板状及针状。赤铁矿呈自形一半自形针状、纤维状及片状, 有时可见纤维束状或纤维放射状。黄铁矿多为自形等轴粒状, 少数为半自形、它形粒状。按矿物间交代作用可分为交代残余结构、交代假象结构。

狼娃山铁矿床矿石构造以块状构造和浸染状构造为主, 偶见条带状构造(表 1)。其中, 浸染状构造可分为均匀浸染状(图 7a)及非均匀浸染状(图 7b), 而非均匀浸染状构造为研究区铁矿石的主要构造, 如团块状(图 7c)、反团块状(偶见于条带状构造中)、条带状(图 7d)、脉状(图 7e)及云雾状。偶见“压入式”条带构造。

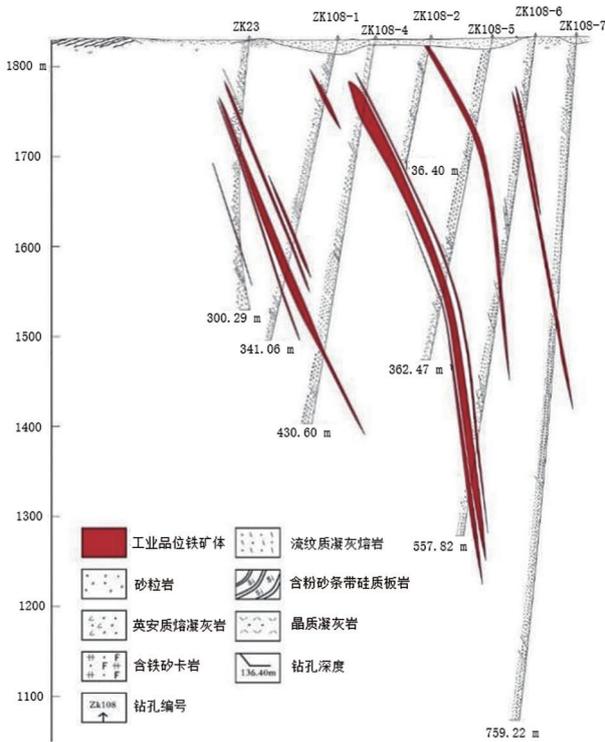


图 4 狼娃山铁矿 108 勘探线剖面图

Fig. 4 Section of line 108 of Langwashan Fe deposit

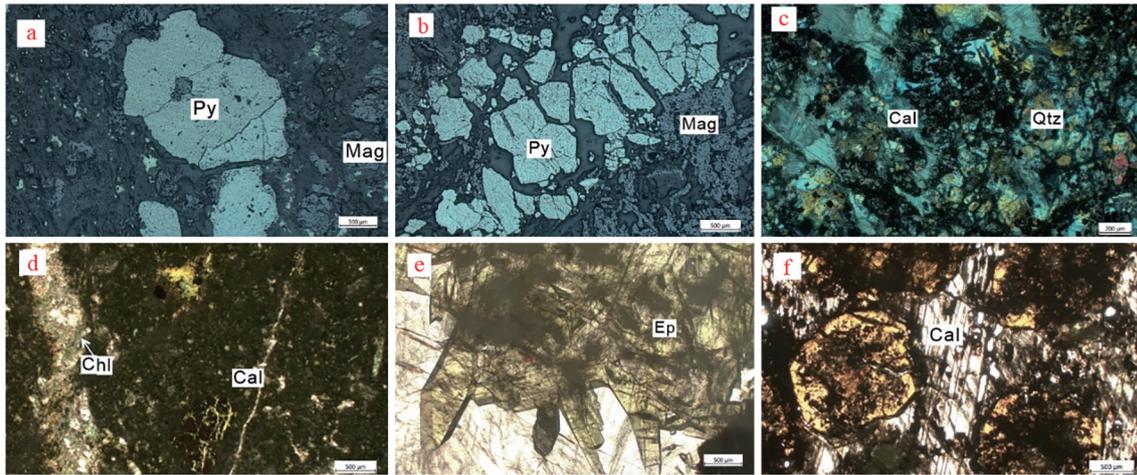


图6 狼娃山铁矿床矿石地质特征

Fig. 6 Geological characteristics of ore of the deposit

- a. 磁铁矿与团块状黄铁矿; b. 磁铁矿与香肠状黄铁矿; c. 砂卡岩中方解石与石英组合;
 d. 方解石呈细脉状,透辉石发生绿泥石化; e. 绿帘石中有磁铁矿化现象; f. 碎粒状砂卡岩,含有暗色矿物和方解石
 Mag. 磁铁矿; Py. 黄铁矿; Cal. 方解石; Qtz. 石英; Chl. 绿泥石; Ep. 绿帘石

表1 狼娃山铁矿床矿石构造特征

Table 1 Characteristics of ore structure of the deposit

构造类型	主要特征	分布	
块状构造	由微粒-细粒磁铁矿或赤铁矿组成,脉石矿物少见	高品位铁矿石基本形式	
均匀浸染状构造	由微粒-细粒磁铁矿或赤铁矿与脉石矿物石英、碳酸盐岩、阳起石均匀混杂组成	各矿体均有	
非均匀浸染状构造	团块状构造	磁铁矿或赤铁矿的相对富集呈规则或不规则团块,直径数毫米至数厘米	低品位矿
	反团块状构造	在磁铁矿富集体内,包含围岩,直径2~10 mm	低品位矿
	条带状构造	由于磁铁矿富集程度不同,形成宽数毫米至数厘米的条带,条带间呈急剧变化关系	低品位矿
	云雾状构造	在砂卡岩、砂卡岩化岩石中,微粒、细粒磁铁矿呈边界不清楚的云雾状富集条带或条纹	低品位矿
压入式条带状构造	致密块状磁铁矿与无矿岩石构成条带,条带宽0.2~4 cm,条带间界线清晰	偶见	

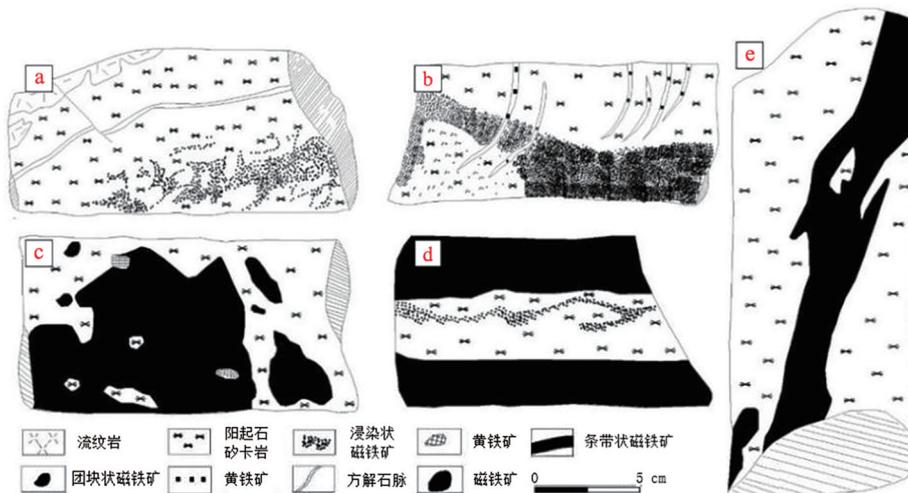


图7 狼娃山磁铁矿矿石素描图

Fig. 7 Sketch of magnetite ore of the deposit

- a. 浸染状磁铁矿形态素描; b. 岩芯中稠密浸染状磁铁矿素描; c. 岩芯中团块状磁铁矿素描;
 d. 条带状磁铁矿素描; e. 脉状磁铁矿素描

表 2 狼娃山铁矿床矿石全分析结果
Table 2 Bulk analysis of ore of the deposit

样品编号	KSQFX-1	KSQFX-2	KSQFX-3	KSQFX-4	KSQFX-5	KSQFX-6	KSQFX-7	KSQFX-8	平均值
TFe	41.03	44.68	39.72	30.68	35.81	53.74	28.75	30.51	38.12
Fe ₂ O ₃	38.49	41.26	40.64	22.46	27.82	70.46	30.05	26.87	37.26
FeO	15.6	16.8	13.3	15.25	16.9	5.3	9.9	14.05	13.39
SiO ₂	15.36	19.06	28.13	32.73	22.21	14.71	23.94	19.55	21.96
CaO	6.43	4.45	5.44	3.96	4.94	0.49	18.04	12.61	7.05
MgO	8.88	6.4	9.59	7.11	9.59	1.78	3.02	7.99	6.8
Al ₂ O ₃	5.22	6.86	4.33	7.67	6.28	7.86	7.14	3.78	6.14
MnO	0.23	0.2	0.24	0.21	0.25	0.08	0.69	0.37	0.28
P ₂ O ₅	0.44	0.37	0.3	0.2	0.31	0.35	0.46	0.13	0.32
TiO ₂	0.3	0.27	0.33	0.32	0.17	0.17	0.2	0.08	0.23
CO ₂	11.05	3.85	2.15	1.71	5.09	0.74	5.94	7.07	4.7
SO ₃	9.76	8.19	6.56	4.22	7.93	0.72	8.72	15.07	7.65
H ₂ O ⁺	0	0.83	0.02	2.74	4.09	1.74	0.08	1.82	1.42
H ₂ O ⁻	0	0.13	0.06	0.08	0.17	0.38	0.06	0.08	0.12
S	4.22	3.13	2.65	1.65	2.82	0.72	3.26	5.61	3.01
烧失量	5.71	0.5	0.8	2.28	4.94	2.19	2.83	3.53	2.85

量单位: $w_B/\%$ 。

(3) 矿石化学特征

狼娃山铁矿石化学全分析结果(表 2)表明, 铁矿石的主要化学成分为 TFe、SiO₂、CaO、MgO、Al₂O₃, 其为总量的 80.06%, 其中 $w(\text{TFe}) = 38.18\%$ 、 $w(\text{SiO}_2) = 21.96\%$ 、 $w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 6.14\%$ 、 $w(\text{CaO}) = 7.05\%$ 、 $w(\text{MgO}) = 6.80\%$, 表明矿石的主要矿物组分为铁、石英、绢云母、碳酸盐岩; 计算得到铁矿石的 $w(\text{CaO}) + w(\text{MgO}) / [w(\text{SiO}_2) +$

$w(\text{Al}_2\text{O}_3)]$ 值, 为 0.49 (< 0.9), 狼娃山铁矿石应属酸性矿石。

铁矿石物相分析资料统计结果(表 3)显示, TFe 平均含量 34.95%, mFe 平均含量 27.18%, mFe 占 TFe 的 77.78%, 说明铁矿石主要矿物为磁铁矿(磁铁矿矿石)。

单矿物磁铁矿、赤铁矿电子探针测试结果(表 4)均分别显示为普通磁铁矿、赤铁矿。

表 3 狼娃山铁矿床矿石矿物相分析

Table 3 Physical phase analysis of minerals of ore of the deposit

样品编号	TFe	mFe	SFe	CFe	SiFe	OFe
F33	35.56	29.54	0.79	0.80	3.80	0.63
F34	35.85	32.91	0.20	0.15	1.50	1.09
LWSWX-1	36.41	26.22	2.83	0.44	1.15	6.02
LWSWX-2	38.62	27.28	2.97	0.80	3.28	4.43
LWSWX-3	41.50	33.04	1.46	0.58	2.12	4.30
LWSWX-4	36.23	28.88	0.99	0.71	1.42	4.07
LWSWX-5	31.18	22.68	0.88	0.97	3.19	3.45
LWSWX-6	26.04	15.32	1.34	1.59	3.45	3.54
LWSWX-7	26.04	17.72	0.35	0.35	0.62	7.09
LWSWX-8	34.37	27.99	1.47	0.35	0.97	3.00
LWSWX-9	47.61	41.86	1.78	0.14	0.40	3.28
LWSWX-10	34.35	28.89	0.48	0.55	0.33	4.40
LWSWX-11	38.58	29.65	2.97	0.83	2.24	2.70
LWSWX-12	36.67	26.43	1.34	1.49	1.81	5.63
LWSWX-13	29.87	23.91	0.45	1.13	0.53	4.18
LWSWX-14	30.28	22.60	1.96	0.56	1.39	4.30
平均	34.95	27.18	1.39	0.72	1.76	3.88
分配率	100.00	77.78	3.98	2.63	5.04	11.11

量单位: $w_B/\%$ 。

表4 狼娃山铁矿床磁铁矿、赤铁矿单矿物分析结果

Table 4 Analysis of single magnetite and hematite of the deposit

样品编号	单矿物	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	TiO ₂	总计	TFe
Ad-51	磁铁矿	66.23	29.85	0.03	0.02	96.13	69.53
Ad-52	磁铁矿	66.31	28.43	0.35	0.07	95.16	68.47
Ad-53	磁铁矿	65.00	29.28	0.41	0.05	94.74	68.22
Ad-54	磁铁矿	67.10	29.15	0.31	0.03	96.59	69.59
Ad-55	赤铁矿	86.35	1.05	0.16	0.05	87.61	61.24

量单位: w_B/ %。

3.3 围岩蚀变

(1) 蚀变类别

狼娃山矿区主要矿体的直接围岩为矽卡岩或矽卡岩化安山质凝灰岩, 细小矿体的围岩主要为流纹岩及流纹英安质凝灰熔岩^[29]。围岩蚀变主要有: 矽卡岩化(图 3f)、绿泥石化、绿帘石化、硅化、绢云母化、碳酸盐化。各种蚀变在空间上相对具有分带性, 可划分为内带、中带和外带, 即内带为青磐岩化, 中带矽卡岩化, 外带绢云母化、高岭土化。

矽卡岩与围岩多呈过渡关系(图 8a), 少数呈突变关系或呈穿插关系且局部矽卡岩中有原岩残留体(图 8b)。微观上矽卡岩与围岩界线清晰可辨, 石榴子石、纤状阳起石不均匀地对长石进行了交代, 或充填于火山岩矿物颗粒之间。

绿泥石化作用以两种方式进行, 一种是沿围岩细小裂隙进行渗滤, 以致在岩石中形成不规则的绿

泥石团块或条带(图 8c); 另一种是在部分矿体外侧形成紧贴矿体的绿泥石化片理化带, 构成矿体的绿泥石化带(图 8d), 绿泥石化带宽数厘米至 1 m, 一般与矿体界线清楚。

(2) 矽卡岩与铁矿化

研究区矽卡岩多伴生的铁矿化, 部分矿体围岩为矽卡岩。铁矿体与矽卡岩存在以下关系: ①磁铁矿在矽卡岩、灰绿色安山质凝灰岩中呈团块状或条带状、雨丝状局部富集, 形成低品位矿; ②块状磁铁矿组成的高品位矿, 与矽卡岩化安山质凝灰岩、矽卡岩界限明显; ③有矽卡岩的地段不一定有矿, 但有矿体赋存的地段必定有矽卡岩或矽卡岩化。因此, 狼娃山铁矿的产生与矽卡岩化有一定成因上的联系^[30]。火山活动较弱的时期, 随着浅成酸性次火山岩在狼娃山一带的侵入^[31], 经交代作用, 在高温条件下形成早期矽卡岩, 随后温度降低, 形成含水矽卡岩, 后期形成的湿矽卡岩为磁铁矿形成的重要阶段, 也称磁铁矿阶段。矽卡岩主要矿物生成顺序: 石榴石→阳起石→磁铁矿→绿帘石(图 9)。

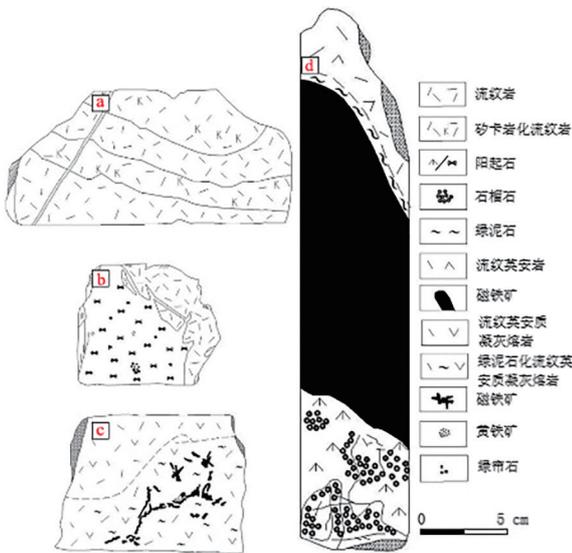


图 8 狼娃山铁矿床围岩蚀变素描图

Fig. 8 Sketch of wall rock alteration of the deposit

- a. 矽卡岩化流纹岩与流纹岩接触关系素描;
- b. 流纹岩与矽卡岩接触关系素描; c. 磁铁矿旁侧绿泥石化晕圈素描;
- d. 矿脉外绿泥石化带素描

矿物名称	热液期			表生期
	矽卡岩化阶段	氧化物成矿阶段	硫化物成矿阶段	
斜长石	—			
钾长石	—			
磷灰石	—			
符山石	—			
石榴石	—			
阳起石	—			
绿帘石		—	—	
磁铁矿		—	—	
赤铁矿		—	—	
碳酸盐		—	—	
石英		—	—	
绿泥石		—	—	
黑云母		—	—	
黄铁矿			—	
黄铜矿			—	
褐铁矿			—	
铜 兰			—	—
孔雀石			—	—

图 9 狼娃山铁矿床矿物生成顺序

Fig. 9 Mineral para-genesis of the deposit

矽卡岩中往往可见到某种单矿物局部富集而构成的单矿物矽卡岩,呈条带状或团块状产出,但在整个矽卡岩带中,并不具矽卡岩分带现象。据统计,本铁矿区矽卡岩以阳起石矽卡岩、绿帘石矽卡岩为主(占 53%),次为石榴石矽卡岩,其它矽卡岩较少见。(含)石榴石矽卡岩主要分布于矿床东部。在一些矽卡岩中,局部见到肉红色长英质交代残留体,呈小团块在岩石中形成筛眼状或呈不规则的条带(图 10a),明显地被阳起石充填交代;矽卡岩、长英质被绿帘石石英细脉穿切(图 10b)。

需要注意的是,在狼娃山铁矿区有相当一部分矿体并不完全受控于矽卡岩,灰绿色安山质凝灰岩中亦有独立矿体存在。

4 找矿方向

4.1 控矿因素与找矿标志

(1) 控矿因素

狼娃山矿床按照铁矿体自然产出的位置,基本上可视为两个铁矿带^[32]。南北两铁矿带近于平行,呈走向 120°~130°方向弧形延伸,两者相距 400 m 左右。与下石炭统火山岩地层走向呈锐角相交,矿带总体呈北倾之势。在矿带内,矿群具右型斜列的形式。矿体走向多呈近 EW 向,个别矿体呈 NEE 向、近 SN 向。在矿体与地层倾向一致的情况下,矿体倾角(60°~75°)大于地层倾角(30°~60°)。矿体与围岩间的相互关系较为清晰,多为交代关系。

磁法物探反演计算表明,南矿带的隐伏主矿体,由西而东,依次斜落加深。因此,本文认为,矿带系受 NW 向压扭性构造控制,而这一组压扭性构造具顺时针方向扭动性质。在 NW 向压扭带中,近东西方向的一组压扭性构造面是控制矿带、矿体产

出的基本条件。矿带与矿带间的中心间距一般在 300~400 m。矿体主要为似层状和透镜状,反映容矿构造应属于压扭性断裂、裂隙。

狼娃山南部铁矿体的露天开采面发现,南边硅质板岩与含矿地层呈断层接触,其产状变化无规律且倾角较大,但总体趋势为向正北方向倾斜。根据矿床中矿体倾向,部分矿体南倾、部分矿体北倾的事实,按照矿体沿走向倾向反方向变化现象,应为走向近 EW,倾向相反的一对 X 型共轭断裂,是控制矿体的具体构造。

(2) 找矿标志

狼娃山地区有一条较长的火山岩带发育其中,东至白山泉地区,西至黑鹰山地区,铁矿床多形成于此带,故该火山岩带为找矿的首选地段。

狼娃山铁矿成矿地层为下石炭统白山组下亚组下段流纹英安质熔凝灰岩和上段流纹质凝灰熔岩。并且有矽卡岩的地段不一定有矿,有矿体赋存的地段必定有矽卡岩或矽卡岩化。故以上两种岩石可作为研究区的找矿标志。

在矿床深部相继发现规模较大、品位较高的铁矿体,这些深部矿体在地表并没有磁异常显示,因此,向深部勘探有可能进一步扩大矿床规模。

需要特别关注的是,矿床内中性脉岩(安山岩脉、闪长岩脉等)成带密集发育,它们被一组压扭性断裂控制,这一组压扭性断裂与矿带的走向近于一致,且矿带发育处往往是中性脉岩发育带,虽然中性脉岩形成于铁矿之后,但其紧密的空间关系,可作为找矿的间接标志。

4.2 找矿方向

狼娃山铁矿床发育北、南两个矿带,含矿带在走向上延伸 6 km±,宽度 15~180 m,目前的矿床规模属中型磁铁矿矿床,有望发展成铁铜多金属矿。

(1) 狼娃山地区有一条较长的火山岩带发育其



图 10 狼娃山铁矿床矽卡岩素描图

Fig. 10 Sketch of skarn of the deposit

a. 矽卡岩交代长英质矿物形态素描; b. 矽卡岩中长英质矿物素描

中,东至白山泉地区,西至黑鹰山地区,铁矿床多形成于此带,故该火山岩带为区内找矿的首选地段。

(2)该矿床构造复杂,单矿体规模不大,但矿体众多、品位较高、易选。目前钻孔控制最大见矿深度为670 m,矿体单层最大厚度(真厚度)40 m,深部矿体向下仍有延伸^[33]。分析认为,矿床深度在400~800 m空间范围内仍存在很大的找矿潜力。

(3)狼娃山铁矿床地表已发现铜矿化体1个,深部发现铜矿体10个,该矿床有可能为以铁为主的多金属矿床。在该矿床中寻找铜、金等其它矿产潜力较大。

5 结语

(1)狼娃山矿区构造以断裂为主,发育EW、NWW及NE向3组,断层性质多为压扭性、扭性及平移断层。EW向和NWW向断裂控制了矿带、矿体的分布,而NE向、NW向断裂对矿体均有不同程度的破坏作用。

(2)铁矿石矿物主要为磁铁矿、假象磁铁矿和赤铁矿,可见黄铁矿,偶见黄铜矿。矿石的主要矿物组分为铁、石英、绢云母、碳酸盐,属酸性铁矿石。高品位矿石为块状构造,低品位矿石为浸染状构造。

(3)围岩蚀变主要有绿泥石化、绿帘石化、矽卡岩化、硅化、绢云母化、碳酸盐化。各种蚀变在空间上相对具有分带性,内带为青盘岩化,中带矽卡岩化,外带绢云母化、高岭土化。

(4)狼娃山地区的下石炭统白山组下亚组是铁矿主要成矿层位,安山质熔凝灰岩、英安质熔凝灰岩及矽卡岩为找矿的重要标志。白山泉—黑鹰山火山岩带为找矿的首选地段。狼娃山铁矿床有可能成为以铁为主的多金属矿床。分析认为矿床深度在400~800 m空间范围内仍存在很大的找矿潜力。

参考文献:

[1] Şengör A M C, Natal'in B A, Burtman V S. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia [J]. *Nature*, 1993(364): 299-307.

[2] Jahn B, Wu F Y, Chen B. Granitoids of the Central Asian Orogenic Belt and continental growth in the Phanerozoic [J]. *Earth Environ Sci Trans R Soc Edinburgh*, 2000(91): 181-193.

[3] Windley B F, Alexeiev D, Xiao W J, et al. Tectonic models for accretion of the central Asian orogenic belt [J]. *Geol Soc*, 2007

(164): 31-47.

- [4] Xiao W J, Windley B F, Sun S, et al. A tale of amalgamation of three Permo-Triassic collage systems in Central Asia: Orogens, sutures, and terminal accretion [J]. *Annu Rev Earth Planet Sci*, 2015(43): 477-507.
- [5] 左国朝, 李绍雄. 塔里木盆地东北缘早古生代构造格局及演化 [J]. *中国地质*, 2011, 38(4): 945-960.
- [6] 金松桥. 甘肃北山区下石炭统划分及其对比 [J]. *地质学报*, 1974(2): 159-174.
- [7] 郭少丰, 韩军, 随新新, 等. 再论甘肃镜铁山铁矿成因 [J]. *地质与勘探*, 2014, 50(5): 864-873.
- [8] 李玉鹏, 王党琦, 高志杰, 等. 甘肃省北山狼娃山铁矿床地质特征及矿床成因 [J]. *甘肃科技*, 2019, 35(12): 22-24+17.
- [9] 张琳. 甘肃肃北县狼娃山矿床地质特征及找矿标志 [J]. *世界有色金属*, 2019(5): 89+91.
- [10] 卜建财, 肖云云. 肃北狼娃山铁矿床成因与成矿机理探讨 [J]. *冶金管理*, 2021(17): 106-107.
- [11] 何世平, 任秉琛, 姚文光, 等. 甘肃内蒙古北山地区构造单元划分 [J]. *西北地质*, 2002(4): 30-40.
- [12] 张振亮, 高永伟, 冯选洁, 等. 火山岩型铁矿研究现状及发展方向 [J]. *西北地质*, 2018, 51(2): 116-125.
- [13] 杨合群, 李英, 杨建国, 等. 北山造山带的基本成矿特征 [J]. *西北地质*, 2006(2): 78-95.
- [14] 许常善, 孔琳琳. 甘肃省肃北县土城山北一梭棱井一带找矿潜力分析 [J]. *世界有色金属*, 2020(7): 106-107.
- [15] 孟贵祥, 吕庆田, 严加永, 等. 北山内蒙古地区铁矿成矿特征及其找矿前景 [J]. *矿床地质*, 2009, 28(6): 815-829.
- [16] 张发荣, 张丹青, 王玉玺, 等. 甘肃北山地区区域成矿规律探讨 [J]. *甘肃地质*, 2014, 23(3): 31-41.
- [17] 赵振荃, 孙新春. 甘肃省北山北带矿产地地质特征 [J]. *世界有色金属*, 2016(14): 170-171.
- [18] 陈柏林, 吴途国, 叶德金, 等. 北山地区金矿类型、成矿规律和找矿方向 [J]. *地质力学学报*, 2001(3): 217-223.
- [19] 苗来成, 朱明帅, 张福勤. 北山地区中生代岩浆活动与成矿构造背景分析 [J]. *中国地质*, 2014, 41(4): 1190-1204.
- [20] Wu Y S, Chen Y J, Zhou K F. Mo deposits in Northwest China: Geology, geochemistry, geochronology and tectonic setting [J]. *Ore Geology Reviews*, 2017, 81(2): 641-671.
- [21] 高正海. 甘肃省肃北县二段井铅多金属矿地球化学异常特征及找矿潜力分析 [J]. *四川地质学报*, 2021, 41(2): 221-225.
- [22] 徐沛斌, 范宗福, 董国祥, 等. 甘肃北山大红山—西涧泉地区水系沉积物地球化学特征及找矿远景 [J]. *黄金*, 2021, 42(9): 18-24.
- [23] 任军强, 金鹏, 张玉明, 等. 甘肃省狼娃山金多金属矿控矿条件及找矿标志分析 [J]. *世界有色金属*, 2018(21): 54-56.
- [24] 杨明. 狼娃山金矿区资源潜力分析 [J]. *甘肃冶金*, 2019, 41(1): 78-79+83.
- [25] 潘旸, 刘光, 杨钟堂. 狼娃山铁矿控矿构造分析 [J]. *西北地质科学*, 1981(3): 40-51.
- [26] 王卫伟, 姜修道, 杨镇熙, 等. 甘肃北山狼娃山铁矿地质地球化学特征及成因浅析 [J]. *西北地质*, 2015, 48(1): 179-190.
- [27] 杨敏之. 甘肃北山富铁矿床类型、成矿系列及成矿预测 [J].

- 地质找矿论丛, 2003(1): 6-12.
- [28] 张琳, 张健, 沈志明. 甘肃肃北县狼娃山铁矿床磁异常特征及其与成矿的关系[J]. 西北地质, 2021, 54(3): 270-276.
- [29] 胥溢, 杜发, 谢志峰. 地球物理方法在甘肃省狼娃山磁铁矿的成矿综合应用解释[J]. 工程地球物理学报, 2016, 13(4): 476-482.
- [30] 刘彦良, 高雅, 谢洪春, 等. 甘肃北山铅炉子沟地区金属矿成矿规律及矿产预测[J]. 地质与勘探, 2021, 57(2): 269-280.
- [31] 王玉往, 王京彬. 北山地区与火山活动有关铜多金属成矿条件及找矿前景浅析[J]. 地质与勘探, 2005(6): 37-40.
- [32] 李文明, 任秉琛, 杨兴科, 等. 东天山中酸性侵入岩浆作用及其地球动力学意义[J]. 西北地质, 2002(4): 41-64.
- [33] 陈永全, 鲁胜章, 张琳, 等. 甘肃省肃北蒙古族自治县狼娃山铁矿补充详查报告[R]. 酒泉市: 甘肃省地质矿产勘查开发局第四地质矿产勘查院, 2013.

Geological characteristics of Langwashan Fe deposit in Subei county, Gansu province and the ore prospecting direction

LI Xiaoluo

(Changsha Engineering and Research Institute Ltd. of Nonferrous Metallurgy, Changsha 410019, China)

Abstract: Langwashan Fe deposit is a skarn type deposit located in Langwashan area, Subei county, Gansu province in the South of Central Asian orogenic belt. Based on the field investigation and lab research this paper deals with geological characteristics and discusses ore prospecting direction of the deposit. Rhyolitic tuffaceous lava of the upper and lower members of the lower sub-formation of Baishan formation of Lower Carboniferous Series is the main ore-bearing rock. Bulk analysis of the Fe ore is $w(\text{TFe}) = 38.18\%$, $w(\text{SiO}_2) = 21.96\%$, $w(\text{CaO}) = 7.05\%$, $w(\text{MgO}) = 6.80\%$, $w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 6.14\%$. The four items account for about 80% of the total and suggest that quartz, sericite and carbonate are the main components of the ore and the ore, acidic type. Physical phase analysis is average $w(\text{TFe})$, 34.95%, average $w(\text{mFe})$, 27.18%, about 77.78% of the TFe, magnetite the main ore mineral (magnetite ore). Electronic probe analysis shows that the magnetite and hematite in the ore are the ordinary ones. The Fe metallogenic process occurs mainly at Hercynian island arc belt in south of Hongshishan mountain. The fused andesitic tuff and dacitic tuff of the Lower Carboniferous Baishan formation controls development of the Fe deposit. Skarnization is the prospecting mark. It is analyzed that Fe ore prospecting is still potential to depth 400-800 m at Langwashan Fe deposit and it will be developed a Fe-dominated polymetallic deposit.

Key Words: Langwashan Fe deposit; skarn; source of ore material; prospecting mark; Baishan area of Gansu province