

河北承德大庙黑山钒钛磁体矿床 地质特征与成因探讨

孙静¹⁾, 杜维河¹⁾, 王德忠¹⁾, 李健¹⁾, 徐国新¹⁾, 韩玉丑²⁾

1) 河北省地质矿产勘查开发局第四地质大队, 河北承德, 067000;

2) 河北省地质矿产勘查开发局, 石家庄, 050081

内容提要: 河北承德大庙黑山铁矿床位于大庙斜长岩体南部边缘, 红石砬一大庙深断裂附近北侧。矿区内主要岩类为斜长岩, 根据蚀变作用可分为钠黝帘石化斜长岩、绿泥石化斜长岩及混染斜长岩等, 前者广泛分布于矿区内, 后者常构成铁矿的直接围岩。黑山铁矿苏长岩体与铁矿体有成因联系, 主要受近东西向压扭性断层和龙潭沟—岔沟压扭性断裂带构造控制, 分布于黑山斜长岩体内。部分苏长岩体中有分异式浸染矿体, 在苏长岩接触带及其围岩中的矿体则为贯入式矿体。苏长岩体根据其特征和共生组合, 可划分为两个岩石系列: ①苏长岩岩石系列(苏长岩类型岩体、含橄苏长岩-苏长岩类型岩体); ②二长岩-苏长岩岩石系列(二长岩-苏长岩类型岩体、二长岩-橄榄苏长岩类型岩体)。矿石结构主要为自形一半自形晶粒状结构、格状熔离结构、海绵陨铁结构。矿石构造有致密块状构造、浸染状构造。矿石金属矿物主要为含钒钛磁铁矿(含量 3%~60%)、钛铁矿(含量 2%~19%)、含钒磁铁矿(含量 7%~27%), 次有少量含钴黄铁矿、黄铜矿。脉石矿物主要为绿泥石(含量 7%~33%), 次为斜长石(0%~45%), 及其它少量矿物。黑山的矿源苏长岩和中国及世界同类岩石有显著不同, Si、Al、Fe、Ti、P、Na、K 含量高, Ca、Mg 含量低, 这类岩体为形成铁磷矿床提供了物质来源。本区斜长岩、矿源苏长岩铁矿床和铁磷矿床的氧同位素组成 $\delta^{18}\text{O}$ 限于一个很窄的变化范围, 反映了它们的物质来源和成因类型的同一性。黑山苏长岩、伟晶苏长岩 $\delta^{34}\text{S}$ 为 +1.3‰~+2.1‰, 反映苏长岩浆来源于上地幔。黑山铁磷矿体经铁-钛氧化物矿物对形成温度计计算得出生成温度为 615~975℃, 显示该岩浆矿床高温成矿特点。研究认为黑山铁矿主要①、②号铁体为岩浆贯入成矿。

关键词: 钒钛磁铁矿床; 斜长岩; 苏长岩; 黑山; 承德; 河北

承德地区是我国北方著名的钒钛生产基地, 钒钛磁铁矿资源蕴藏量仅次于攀枝花, 居全国第二位。截止 2006 年底, 全区共探明钒钛磁铁矿资源储量 3.99 亿吨, 保有储量 3.58 亿吨; 查明超贫钒钛磁铁矿资源总量 75.54 亿吨。河北承德大庙黑山铁矿床位于河北省承德市以北的大庙, 地处我国唯一的元古宙岩体型斜长岩(解广轰, 1988)。比之于北美和欧洲的斜长杂岩体, 体积很小(约 120 km²), 但岩石类型齐全(85%的斜长岩、11%的苏长岩、辉长岩和 4%的纹长二长岩、花岗岩, 以及少量的橄长岩), 赋存有丰富的钒钛磁铁矿-磷灰石矿床(Ye et al., 1996), 该铁矿床是研究元古宙铁矿床成因的绝佳地区。

黑山铁矿属危机矿山, 2002 年承德钢铁集团有限公司委托地质四队承担并开展黑山铁矿补勘工作, 补勘范围在 0~28 号勘探线之间, 标高为 650~

450m。①、②号矿体群在 28 线以西继续延开, 根据矿体侧伏和低缓地磁异常预测矿体群向南西延长 200~400m, 铁矿储量至少可增加 500 万吨以上。①、②号矿体群近外围预测有铁矿体存在, 在南侧有 M31 号中间和南侧两个地磁异常。2006-2009 年黑山铁矿接替资源勘查项目, 主要采用地表钻探的手段对矿区①、②、③、⑥、⑧号矿体开展勘查工作。投入主要实物工作量钻探 16000m。2008 年度完成实物工作量地表钻探 9000m; 1:2000 地面高精度磁测剖面 10km; 井中三分量磁测和磁化率测井 9000m。预期提交 333 铁矿资源量(矿石量)1000 万吨。

我国迄今在攀西地区发现的一系列“攀枝花式铁矿”为钒钛磁铁矿, 成因类型为典型的岩浆矿床, 区内众多的攀枝花式铁矿, 无一例外地产于基性(辉长岩)-超基性(辉岩、橄辉岩、辉橄岩、纯橄岩)岩体

注: 本文为河北省承德市黑山铁矿接替资源勘查项目(编号 200613068)资助的成果。

收稿日期: 2009-05-20; 改回日期: 2009-07-05; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 孙静, 男, 1970 年生。高级工程师, 核技术专业, 固体矿产勘查方向。Email: dzgssj@126.com。

中,这些岩体既为其成矿母岩、亦为其赋矿围岩,亦即矿岩之间有成因的“血缘联系”。承德大庙地区钒钛磁铁矿产于基性(斜长岩)岩体中,成矿母岩多为苏长岩。承德大庙和攀枝花钒钛磁铁矿对比,在成因类型上同属岩浆矿床,均产于基性岩体中,但二者成矿特征、矿化组分等存在明显的不同,例如承德大庙铁矿地区伴生大量的磷灰石,对成矿来源究竟有何影响?本文在前人工作的基础上,结合近期在承德大庙地区所获得的稳定同位素和元素地球化学数据,对黑山钒钛磁铁矿床的地质特征和成矿机理进行了探讨,旨在为隐伏磁铁矿床的找矿勘查提供科学依据。

1 地质背景

黑山铁矿区位于河北省承德市北 31 km 处,属承德县高寺台镇王营村管辖,面积 1.58 km²。地理坐标:东经 117°51'39"~117°52'15",北纬 41°09'28"~41°10'28"(图 1)。本区地处燕山台褶带与内蒙地轴的交接地带,属于台褶带边缘的断裂隆起区的大庙穹断束构造单元中。北界为丰宁—隆化东西向深断裂带,南与古北口—承德—平泉深断裂相距 25km。红石砬—大庙东西向深断裂横贯本区的中间部位(图 1)。

区内出露地层主要为新太古界变质表壳岩系,

古元古界变质深成岩类、中元古界、中生界火山及陆相碎屑沉积岩亦有广泛分布。新太古界地层为单塔子群。由老至新划分为燕窝铺组、白庙组、凤凰嘴组、南店子组。燕窝铺组主要岩性为角闪斜长片麻岩夹斜长角闪岩,位于燕窝铺背斜核部,变质相为高角闪岩相,原岩恢复为基性岩及火山碎屑岩。白庙组地层分布在背斜两翼,以二长片麻岩和黑云斜长片麻岩为主,夹磁铁矿石岩,变质相为角闪岩相,原岩为砂岩、粉砂岩及硅铁质泥岩。凤凰嘴组地层以黑云斜长片麻岩夹多层大理岩,变质相为角闪岩相至绿片岩相,原岩为砂页岩和碳酸岩。南店子组分布于丰宁—隆化深断裂带上,以黑云变粒岩、浅粒岩为主,变质相为角闪岩相至绿片岩相,原岩为砂页岩。矿区地层为第四系冲洪积物,其中冲洪积物主要出露王营北沟主沟中,厚度 1~5m。斜长岩原生流动构造因蚀变形迹不明显。受丰宁—隆化和红石砬—大庙两条深断裂的控制和影响,次生构造较发育,控制苏长岩及铁矿的生成(图 1)。

大庙杂岩体侵位于太古宙单塔子群角闪斜长片麻岩中。斜长岩体受北降南升压扭力的作用,产生北东和北西向两组压扭性断裂及裂隙;同时伴生一组近北向的张扭性断裂及裂隙,它们的规模大小不等,相差悬殊。其中大庙至乌龙素沟和龙潭沟至小沟盆沟两条压扭性断裂带规模较大,前者长 12

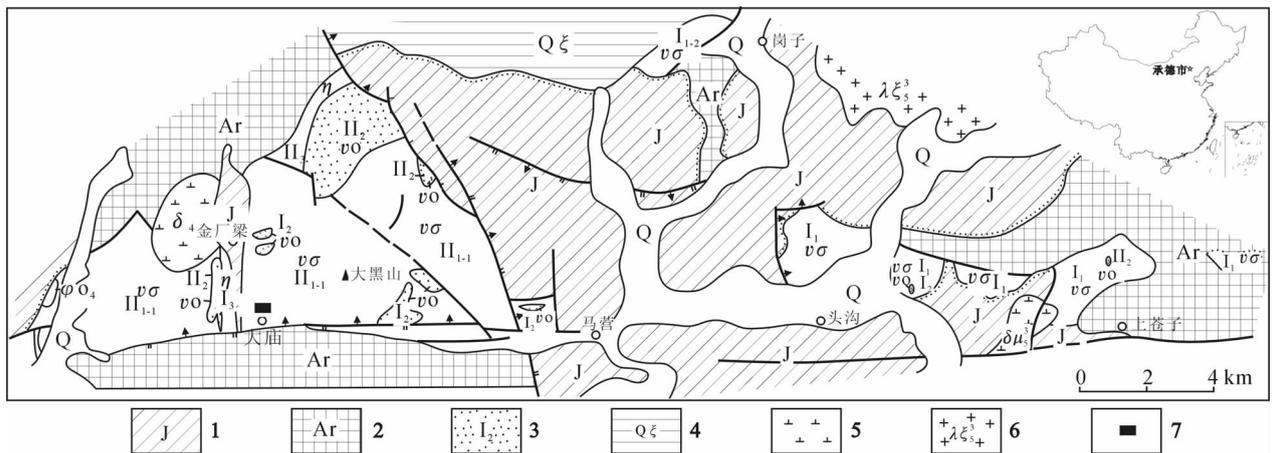


图 1 大庙斜长岩区斜长岩体、矿源苏长岩体、二长岩体分布图(据叶东虎,1989)

Fig. 1 Distribution of anorthosite, ore-forming norite and monzonite rock bodies in Damiao anorthosite area (after Ye Donghu,1989)
 1—侏罗系;2—太古宙(Ar);3—变质矿源苏长岩体;4—石英正长斑岩(Qξ);5—闪长岩(δ₄);6—石英正长岩(λξ₃);7—①②矿体群内的位置;Q—第四系;J—侏罗系;II₁₋₁大庙斜长岩体;II₁₋₂岗子苏长-斜长岩体;II₂—矿源苏长岩体;II₃—二长岩体(η);δμ₃—闪长玢岩;φ₀₄—角闪岩、辉石角闪岩
 1—Jurassic; 2—Archean (Ar); 3—Ore-forming metamorphic norite; 4—quartz syenite porphyry (Qξ); 5—diorite (δ₄); 6—quartz syenite porphyry(λξ₃); 7—Location of No. 1 and 2 orebodies; Q—Quaternary; J—Jurassic; II₁₋₁—Damiao anorthosite body; II₁₋₂—Gangzi norite- anorthosite body; II₂—ore-forming norite body; II₃—monzonite body (η); δμ₃—diorite porphyry; φ₀₄—hornblende rocks, pyroxene amphibolite

km,宽0.2~1 km(南窄北宽),走向北东45°,倾向南东,倾角40°~60°;后者长约10km,宽0.1~0.3 km,走向北西40°,倾向北东,倾角50°±,两条断裂带在岔沟附近相交。在断裂带内有苏长岩体、铁矿体、铁磷矿体充填,使斜长岩多呈碎裂状,产生绿泥石化蚀变。沿断裂带还有成矿后燕山期构造叠加,使断裂带构造更加复杂(图1)。大庙斜长岩锆石U-Pb年龄为1693~1715Ma(赵太平等,2004)。苏长岩经 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测定为 $984.1 \pm 20.2\text{Ma}$,结合其它同位素测定值,确定苏长岩成岩时代为12~10亿年。其铁磷矿床、铁矿床成矿时代在苏长岩生成稍后,约10亿年左右(叶东虎,1989)。

在斜长岩体底盘,由于红石砬一大庙深断裂继承性活动,生成挤压断裂带,宽数十米至200m。由于叠加应力的释放,沿该带北边缘生成等距性构造活动中心,使苏长岩和铁矿体呈群集中产出,从西向东有大庙、马圈子沟、黑山、马营,相距约3km。构造活动中心以剪切作用为主,产生两组北东和北西向压扭性断裂裂隙,同时还有两组南北向和东西向的张扭性断裂裂隙,黑山矿区构造活动最强。黑山铁矿体群位于王营北沟一压青地,呈北东向展布,南侧为深断裂形成的挤压断裂带;北东端为龙潭沟一岔沟压扭性断裂带。黑山铁矿①、②号矿体位于王营北沟村北1km处,大庙斜长岩体南部边缘,红石砬一大庙深断裂附近北侧,面积1.58 km²。

2 控矿岩体特征

矿区主要由基性岩体组成,岩石类型大致归纳两种:一种为斜长岩类;另一种为苏长岩类。大庙斜长岩体中,斜长岩和苏长岩两类岩石,没有形成十分清楚的岩相带,仅在岩体的西缘可分出苏长岩相带,斜长岩类岩石分布于岩体的中心地段,占岩体总面积85.74%,在地貌上形成本区最高的山峰——大黑山,苏长岩类岩石主要分布于岩体西部边缘,占岩体总面积14.26%。

2.1 斜长岩

矿区内斜长岩类岩石,主要为斜长岩。根据蚀变作用可划分出钠黝帘石化斜长岩、绿泥石化斜长岩及混染斜长岩等,前者分布在矿区较大的范围内,后者常构成铁矿的直接围岩。

岩石类型及矿物成分:

(1) 白色斜长岩(即钠黝帘石化斜长岩)(图2a)。呈白色,块状构造,半自形中粗粒等粒镶嵌结构,局部呈似斑状结构。主要矿物有斜长石(>

98%);次要矿物有钛铁矿、磷灰石;次生矿物有黝帘石、绿帘石、绢云母等。

斜长岩普遍遭受强烈的钠黝帘石化,形成了钠黝帘石化斜长岩,岩石呈变余中粗粒一半自形粒状结构。钠长石、黝帘石微粒生长在斜长石中,呈云雾状、花朵状及沙糖状,伴生有少量绢云母、绿帘石。

(2) 绿泥石化斜长岩(图2d)。常分布在苏长岩体和铁矿体周围,是铁矿体的近矿围岩。与前者岩石的主要区别是以绿泥石为主的暗色矿物增多。经鉴定绿泥石有两种:一种是富镁的透绿泥石,特征是颜色浅,折光率低 $N_m' \approx 1.575 \sim 1.580$,呈集合体产出,粒度0.3~0.5mm。另一种是铁绿泥石,色深折光率高, $N_m' \approx 1.621 \sim 1.633$,此种绿泥石是热液蚀变作用的产物。

(3) 混染斜长岩。主要发育在苏长岩体的下盘。岩石为斑杂状、似角砾状构造,交代残余结构,局部纤状变晶结构。主要矿物成分斜长石(40%~75%),其次有紫苏辉石、单斜辉石、钛磁铁矿、磷灰石等,紫苏辉石常纤闪石化,单斜辉石阳起石化,斜长石和次闪石又常绿泥石化。

2.2 苏长岩

黑山铁矿田苏长岩体,主要受近东西向压扭性断层和龙潭沟一岔沟压扭性断裂带构造控制,原地表面貌大致可分两个岩带:一个分布①号矿体南部,岩带长大于1200m,宽20~400m,由4个大小不等的苏长岩体组成,出露形态复杂,多呈不规则脉状、瘤状等。最大岩体规模长1200m,宽40~250m。总体呈北30°~50°东方向展布,倾向南东,倾角50°~70°;另一岩带出露龙潭沟一岔沟压扭性断裂带中,该带长680m,宽30~140m不等,内有5个大小不等的岩体组成,其中②号矿体东西两端皆有苏长岩体出露,一般呈不规则脉状、囊状。单体最大规模长500m,宽100m。总体产状呈北50°~60°西展布,倾向北东,倾角70°左右,延深较大。

苏长岩体多以岩体群出现,受构造控制,并呈脉状、透镜状及其他不规则状,多为互不相连的独立岩体,均分布于黑山斜长岩体内。苏长岩在斜长岩中均呈明显的侵入接触关系,具有明显的侵入接触蚀变带和斜长岩的捕虏体。苏长岩与铁矿体有成因联系。在有的苏长岩体中有分异式浸染矿体,在苏长岩接触带及其围岩中的矿体为贯入式矿体。

根据其特征和共生组合,可划分为两个岩石系列和四种岩体组合类型:

一是苏长岩岩石系列(见图2e,f),它由苏长岩

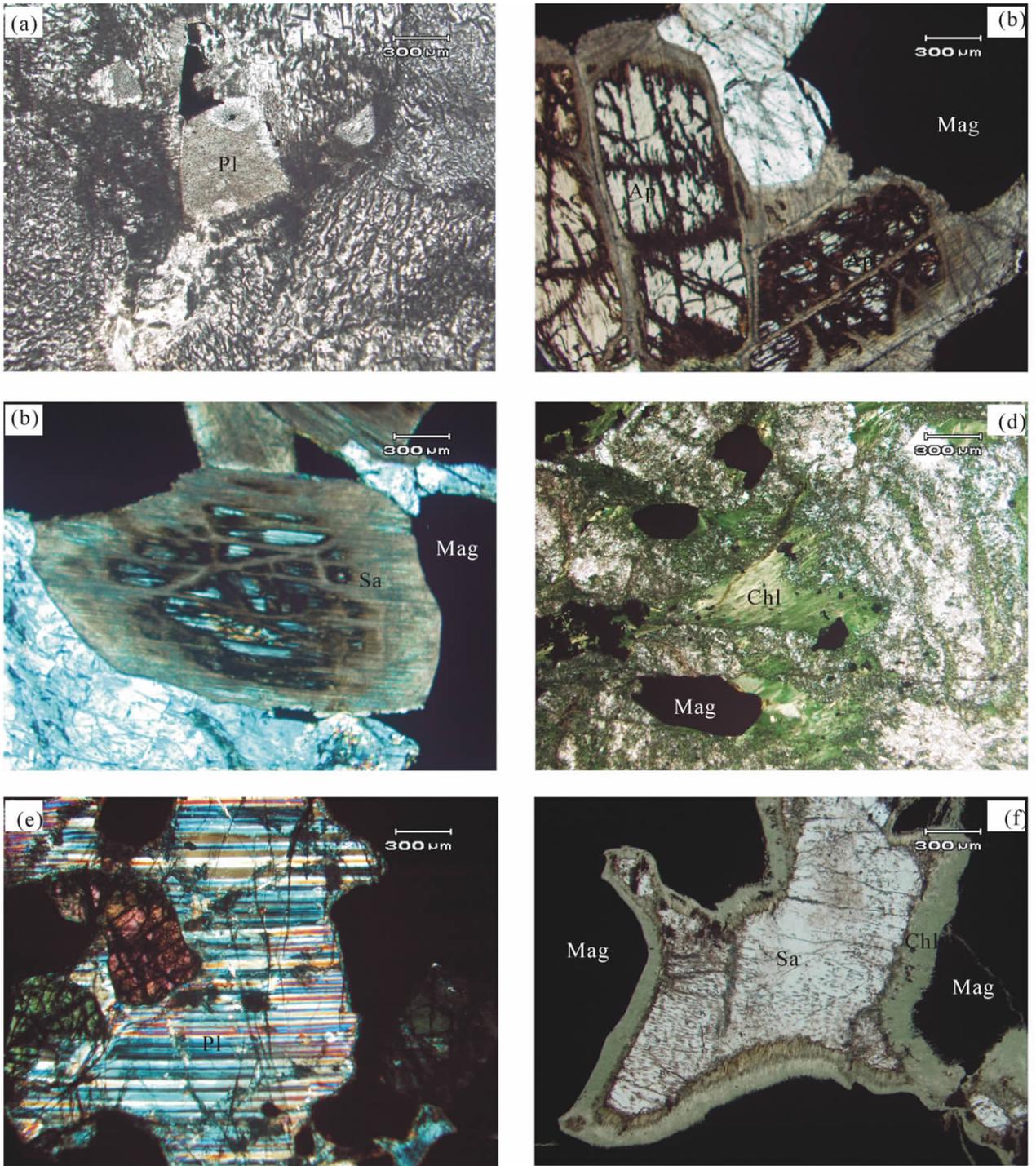


图 2 大庙斜长岩镜下特征

Fig. 2 The character of Damiao anorthosite under microscope

(a)—斜长岩中斜长石斑晶;(b)—磁铁矿化斜长岩中的磷灰石;(c)—磁铁矿化斜长岩中熔离状透长石;(d)—磁铁矿石中的绿泥石化;
 (e)—苏长岩矿石中的斜长石;(f)—钒钛磁铁矿石中绿泥石包裹的透长石。Pl—斜长石;Mag—磁铁矿;Sa—透长石;Chl—绿泥石
 (a)—plagioclase phenocryst in anorthosite; (b)—apatite in magnetite anorthosite; (c)—liquation-like sanidine in magnetite plagioclase;
 (d)—chloritization in magnetite ore; (e)—plagioclase in norite ore; (f)—sanidine enclosed in chlorite. Pl—plagioclase; Mag—magnetite;
 Sa—sanidine; Chl—chlorite

类型岩体(罗锅子沟岩体、马营岩体)和含橄苏长岩—苏长岩类型岩体(黑山岩体)组成。

二是二长岩—苏长岩岩石系列,它由二长岩-苏长岩类型岩体(大庙岩体)和二长岩-橄榄苏长岩类

型岩体(乌龙素沟岩体)组成。

3 矿床地质特征

3.1 矿体特征

承德磁铁矿矿点有30个之多,命名也很复杂。本文选取重要地段和公认的典型剖面,进行详细介绍。

①、②号矿体是黑山铁矿原勘探时命名和编号的,由地表向下至650m标高,①号矿体分成为4个矿体,②号矿体(②A②B)分成4个矿体,由于受压扭性构造控制,矿体向西偏南雁行斜列侧伏,新产出11个盲矿体。在650m标高之下,①—1矿体已尖灭,①—2和①—3和①—4矿体继续延深,②号矿体②—1、②—2、②—3矿体继续延深,②—4矿体尖灭。在650~450m标高之间,新产出70个盲矿体,由650m标高延深出现盲矿体11个,共计81个盲矿体。全区总计89个矿体(图3)。①、②号矿体实属矿体群。

①、②号矿体(图4)在733m标高之上已露采,在733~650m标高之间铁矿体已在《承德钢铁集团有限公司黑山铁矿I、II号采场①、②、③、⑥、⑧号矿体2004年度矿产资源储量核实报告》详述。本次补勘重点是①、②号矿体在650~450m之间的铁矿体特征及储量。为了同原勘探报告保持一致,沿续使用①、②号矿体名称,按两个矿体群进行统一编号。对矿体特征按地表至650m标高和650m标高以下分别叙述,前者简述;后者详述。

(1)地表至650m标高矿体特征。地表只有三个铁矿体,编号①和②A及②B,矿体呈不规则的囊状体,规模较大,具狭缩膨胀,两侧分枝,向下延深亦呈分枝状。由于原勘探报告对矿体叙述简单及在733m标高以上矿体已采,无法确知矿体向下延深是在何处分枝的,只能以733m标高作为矿体向下延深分枝的开始。在733m标高水平上,①号矿体已分成①—1、①—2、①—3、①—4三个矿体,②号矿体已分成②—1、②—2、②—3、②—4四个矿体,其②—1号矿体规模最大,为主矿体。在733~650m之间,新产出11个盲矿体,其形态多为脉状,少数为透镜状,其中以M₆矿体规模最大。矿体分布排列初显左行雁行式排列。

(2)650m标高以下的矿体特征。650~450m标高间的①、②号矿体是本次补勘的重点,对450m标高以下的矿体用较稀疏的工程予以控制,现将650m标高以下的矿体特征叙述如下:

①号矿体:主要分布于7~4号勘探线间,其中

①—1矿体已于650m标高以上尖灭,目前保留较大的矿体有①—2和①—3矿体。①—4号矿体在650m标高以下只保留根部。

①—2矿体:分布0~4号勘探线间,由1个囊状形矿体组成,650m标高上矿体长度79.50m,厚度9.00~29.00m,平均厚度19.05m。目前深部主要由0线3个钻孔控制,最深钻孔已控制最低标高578m,并敞口继续下延。3个钻孔从上往下分别见矿厚度为33.32m、11.38m、4.98m,平均见矿厚度16.56m。矿体由囊状体向下变化为不规则脉状,650m标高以下控制最大斜深110m。矿体含TFe29.32%~36.70%,平均品位33.44%;TiO₂6.47%~9.72%,平均品位8.65%;V₂O₅0.372%~0.634%,平均品位0.419%。矿体总体走向为北50°~75°东,倾向南东,倾角60°~70°。保有剩余矿石量12.09万吨。

①—3矿体:分布0~7号勘探线间,650m标高上由两条矿体组成。其中北部的矿体长150m,厚度1.36~4.08m,平均厚度2.72m;南部矿体长100m,厚度4.08~5.44m,平均厚度4.76m。两矿体皆为脉状。矿体深部由0线上的2个钻孔控制,斜深达52m,至605m标高尖灭。矿体由2条往下变为3条,呈分枝脉状。矿体产状:走向北57°~65°东,倾向南东,倾角60°。2孔从上往下分别见单矿层厚度为1.02m、2.79m、1.80m、8.20m。单层平均见矿厚度3.45m。矿体含TFe22.72%~44.98%,平均品位30.33%;TiO₂5.83%~13.63%,平均品位7.98%;V₂O₅0.202%~0.488%,平均品位0.267%,保有剩余矿石量2.41万吨。

①—4矿体:出露在20号勘探线上,650m标高仅保留矿体根部。矿体长50m,单层厚度0.93~4.21m,平均厚度2.22m,矿体最大斜深仅30m,至620m标高全部尖灭。三个小矿体形态分别为脉状(2个)、透镜状。矿体含TFe20.90%~38.26%,平均品位25.16%;TiO₂4.66%~9.47%,平均品位5.94%;V₂O₅0.316%~0.419%,平均品位0.249%,矿体:走向北65°东,倾向南东,倾角45°。保有剩余矿石量0.84万吨。

②号矿体:主要分布于0~28号勘探线间,可见②—1、②—2、②—3矿体。②—4矿体于650m标高以上尖灭。

②—1矿体:为矿区最主要的矿体,占矿区总储量(在标高650~450m之间)的70%。650m标高上分为三段间断出现。第一段出现在0~4线,长度

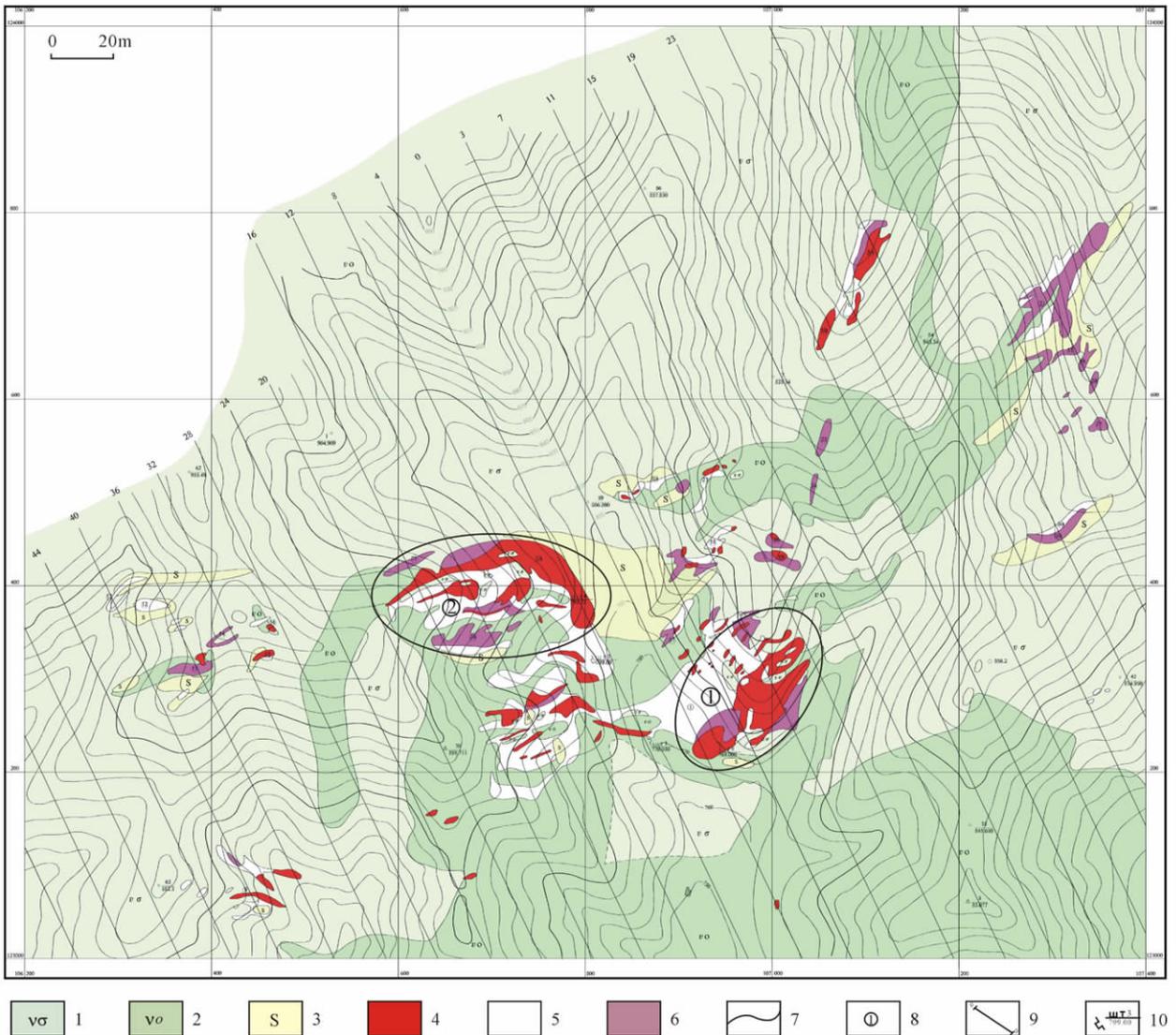


图 3 河北省承德县高寺台镇黑山铁矿①、②号矿体地形地质图(河北省地勘局第四地质大队编制,2008)

Fig.3 Geological map of No.1 and 2 orebodies in Heishan Fe deposit,Gaositai Town, Chengde County, Hebei Province (The 4th Geological Prospecting Team of Hebei Bureau,2008)

1—斜长岩;2—苏长岩;3—橄长岩;4—致密型钒钛磁铁矿;5—稠密浸染型钒钛磁铁矿;6—浸染型钒钛磁铁矿;7—实测地质界线;8—矿体编号;9—实测勘探线位置及编号;10—(老洞位置×平洞编号)/高程

1—anorthosite; 2—norite; 3—troctolite; 4—massive vanadium-titanium magnetite; 5—massive-disseminated type vanadium-titanium magnetite; 6—disseminated type vanadium-titanium magnetite; 7—measured geological exploration boundary; 8—Orebody number; 9—location and number of the measured exploration lines; 10—(old underground adit×adit number)/Height

100m,厚度 1.81~4.53m,平均厚度 3.17m,形态为脉状。第二段出现 8~16 线的 5 条矿体,从北向南依次为:第 1 条矿体出现 8~12 线,长度 100m,厚度 7.52~15.50m,平均厚度 11.51m,形态为透镜体;第 2 条矿体出现在 12 线,长度 50m,厚度 1.69m,形态为脉状;第 3 条矿体出现 8~16 线,长度 150m,厚度 1.75~3.50m,平均厚度 2.63m,形态为脉状;第 4 条矿体出现 12 线,长度 50m,厚度 2.07m,形态为脉状;第 5 条矿体出现在 16 线,长 50m,厚度 0.66

m,形态为脉状。第三段出现于 20~28 线的 1 个大矿体及 1 个小矿体,从北向南依次在 20~28 线出现一个特大囊状矿体,现控制长度 150m,28 线以西敞口顺延。矿体厚度窄处 54.03m,中者厚 60.14m,最厚为 101.49m,平均厚度 71.89m,形态为一大囊状体,并且在 28 线出现 8 条夹石,形态复杂。另一小矿体出现于 20 线,现控制长度 50m,厚度 1.77m,形态为脉状,该矿体与上述矿体实为一体,属其分叉下延部分。

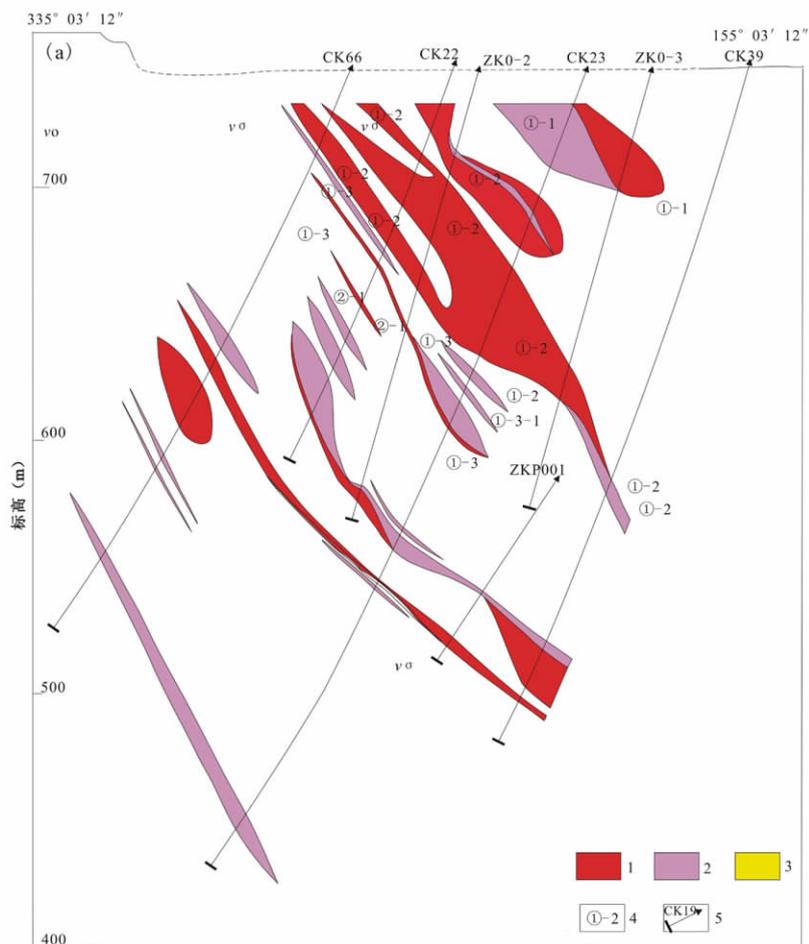
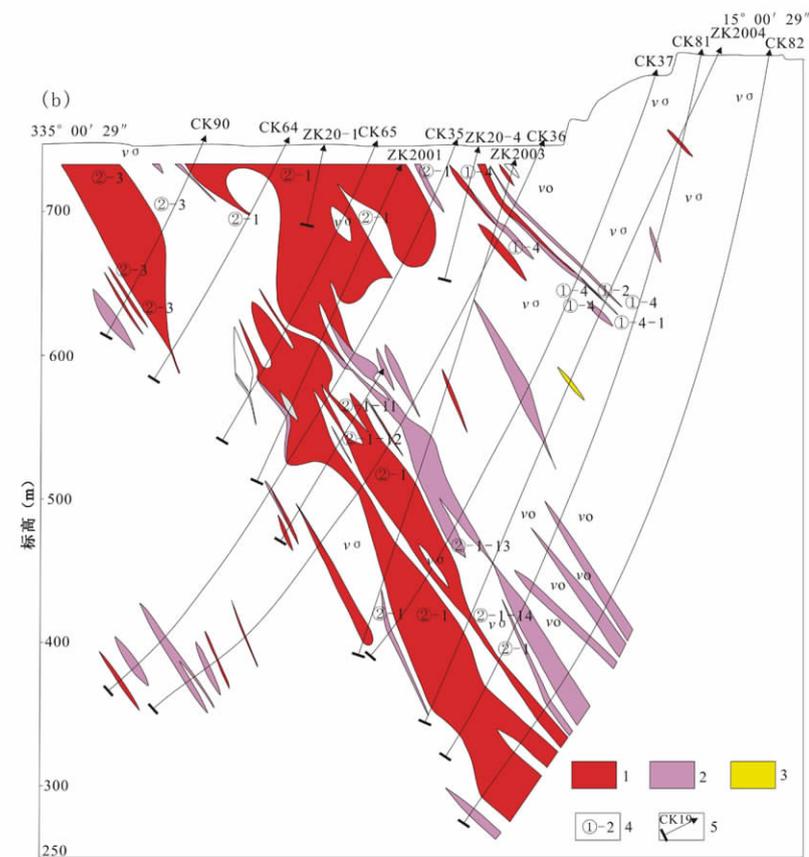


图4 黑山矿化集中区①、②铁磷矿体勘探线剖面图

Fig.4 Exploration line profile of No. 1 and 2 Fe-P orebodies in Heishan iron mine

1—钒钛磁铁矿 (TFe \geq 30%)；2—钒钛磁铁矿 (30% > TFe \geq 20%)；3—钒钛磁铁矿 (TFe < 20%、V₂O₅ \geq 0.18% 或 TiO₂ \geq 5%)；4—矿体编号；5—钻孔位置及编号

1—Vanadium-titanium magnetite (TFe \geq 30%)； 2—vanadium-titanium magnetite (30% > TFe \geq 20%)； 3—vanadium-titanium magnetite (TFe < 20%、V₂O₅ \geq 0.18% 或 TiO₂ \geq 5%)； 4—orebody number； 5—Location and number of drill hole



深部②—1矿体分两段出现,一段出现在0~20号勘探线间,可控制矿体长度250m,650m标高见矿平均厚度19.66m。0线矿体尖灭于641m,4线矿体尖灭于617m标高,8线矿体敞口控制到607m,12线尖灭于619m。16线矿体尖灭于647.50m,20线矿体尖灭于650m。矿体从650m标高起算,最大斜深为8号线达65m(敞口下延,向下无工程控制),一般延深20~50m不等。二段出现于12~28号勘探线间,其中12号线矿体出露标高567.50m,延深到200m标高以下;16号线矿体出露标高601m,延深到标高225m;20线矿体从650m标高延深到标高275m;24线从650m标高延深到标高283.50m;28号线从650m标高起始延深到292m标高。矿体最大延深在12线,从650m标高以下已控制斜深达520m(敞口),一般斜深超400m。

②—1矿体650m标高以下现由42个钻孔和4条穿脉控制,最小见矿厚度3.54m(ZKP1203孔),最大累计见矿厚度100.23m(ZK2001孔),一般累计见矿厚度50~70m,平均累计见矿厚度46.11m。矿体为超深不规则的脉状体,分枝复合现象显著。根据24线1个穿脉坑道和7个钻孔厚度变化统计,厚度变化系数30.336%,属厚度变化稳定类型。矿体走向北65°东,倾向南东,倾角60°左右。矿体含TFe20.03%~43.94%,平均品位36.81%;其中绝大部分见矿工程TFe>30%,不少工程矿体TFe>40%。TiO₂4.57%~11.41%,平均品位9.22%;V₂O₅0.203%~0.531%,平均品位0.404%。根据24线1个穿脉坑道和7个钻孔,②—1矿体:386件样品统计,品位变化系数TFe6.95%,V₂O₅10.57%,TiO₂9.01%,属品位变化均匀型。现保有剩余储量1385.13万吨。

②—2矿体:主要分布4~16号勘探线偏北地段,650m标高分别由4个矿体组成,现由北向南依次叙述:第1个分布于8~16号勘探线间,矿体最大长度150m,厚度分别为23.50m、24.00m、1.50m,平均厚度16.33m。形态为不规则的分枝囊状体,其中西部为内含夹石的一体,东部分枝1~3条;第2个分布于4~12号勘探线间,长度150m,厚度分别为2.35m、5.64m、1.41m,平均厚度3.13m,形态为脉状;第3个分布于16号勘探线,长度50m,厚度1.60m,形态为脉状;第4个分布于16号勘探线间,长度50m,厚度2.82m,形态为脉状。

450m标高以下矿体展布从4~16线,向下已扩展到20线。②—2矿体在4号线从650m标高至

625m标高尖灭;8号线从650m标高至475m标高尖灭;12号线从650m标高至364m标高尖灭;16号线从650m标高至417m标高尖灭;20号线矿头出现于512m标高,至468m标高尖灭。矿体最大延深在12号线,现从650m标高以下已控制斜深328m,一般斜深150~200m。矿体走向北65°东,倾向南东,倾角50°~60°。

该矿体650m标高以下的矿体由21个钻孔及3条穿脉控制,最小见矿厚度0.46m(ZKP1604孔),最大累计见矿厚度65.34m(CM12),一般见矿厚度11.71~20.09m,平均见矿厚度18.60m,矿体为不规则的脉状体,膨胀狭缩明显。矿体含TFe21.65%~44.00%,平均品位33.46%,其中有2/3以上的工程TFe>30%。TiO₂4.79%~11.30%,平均品位8.02%;V₂O₅0.245%~0.620%,平均品位0.363%。现保有剩余储量224.57万吨。

②—3矿体:分布于16~20号勘探线偏北地段,650m标高上矿体长度100m,厚度9.87~34.30m,平均厚度22.01m,形态为囊状体。650m标高以下的16线矿体尖灭到591.50m标高,20线矿体尖灭到589m标高。矿体最大斜深在20线,从650m标高往下已控制斜深60m。矿体走向北65°东,倾向南东,倾角71°。

该矿体从650m标高以下由5个钻孔及1条穿脉控制,最小见矿厚度0.37m,最大见矿厚度34.30m,一般见矿厚度1.10~5.38m,平均见矿厚度8.53m。矿体含TFe21.85%~45.18%,平均品位38.87%,TiO₂5.96~11.38%,平均品位9.74%;V₂O₅0.120%~0.564%,平均品位0.449%。现保有剩余储量13.24万吨。

另外,在650m标高以下有70个盲矿体。从露天底延深到650m以下还有11个盲矿体,总计81个盲矿体,盲矿体保有剩余矿石量321.59万吨。上述70个盲矿体,绝大部分由1~5个钻孔控制,其中唯M₃、M₅号盲矿体由8个钻孔和2条穿脉控制。

综上所述,①、②号矿体具有以下特征:

(1)①、②号矿体各由数条矿体及多条盲矿体组成,实属矿体群。产出集中,倾向南东,倾角中等60°~70°。单矿体之间距离数米至数十米不等。

(2)①、②号矿体地表矿体形态与下部矿体形态不同,地表矿体形态呈不规则的囊状体,具狭缩膨胀及两侧分枝,规模较大,下部矿体多呈分枝脉状和脉状,少数呈透镜体。

(3)矿体受压扭性构造控制,在地表及近地表压

扭性断裂及裂隙与南北向张扭性断裂及裂隙交汇处,生成不规则的囊状体。下部主受压扭性构造控制,生成分枝脉状和脉状体,下部矿体的分布排列明显左行雁行斜列式,矿体向西偏南侧状,侧伏角 60° ,由东向西矿体尖灭标高越来越低。

(4)①、②号矿体地表总长度不超过400m,最大延深达标高200m,仍继续延深。因此①、②号矿体延深大于延长,斜深是延长的2倍。单个矿体延深与矿体形态有一定关系,囊状及透镜状矿体延深较小,延深小于或等于延长,脉状矿体一般延深大于延长,分枝脉状矿体延深较大,斜深是延长的2~4倍。

(5)①、②号矿体大部分为致密块状铁矿石,矿石品位较富,矿石中 $TFe > 30\%$ 。浸染状矿石多分布在矿体边部,所占比例较低(20%±),只有地表浸染矿石约占50%。

3.2 矿体围岩及夹石情况

矿体围岩可分两类:一类是斜长岩类,包含了白色钠黝帘石化斜长岩和绿泥石化斜长岩,它们多作为高品位铁矿石的直接围岩,接触的边缘往往显示贯入式矿床特征,矿体与围岩界限明显,围岩边部常出现一种厚度不等的绿泥石岩反应边;另一类矿体围岩是苏长岩类,包含了苏长岩经强烈蚀变后的纤长岩和次闪石化苏长岩,该类岩石与矿体界线往往

呈过渡关系,其具体分界需要借助样品分析结果,这类矿体在整个矿带上往往处于顶、底板位置,矿体品位显示了分异型矿床特点,矿石多为浸染型,TFE品位偏低。

黑山①、②号矿体及部分盲矿体内,含有夹石大多属斜长岩包体,包体可分俘虏体及残留体两部分。俘虏体多为不规则的残块,小者几个平方米,大者 $20 \times 20m \sim 20 \times 40m$,其形态不一;残留体多为贯入式铁矿体内部围岩,其形态及规模远大于俘虏体,它多平行矿体分布,属未动位置的斜长岩。

矿体内部夹石另一类为苏长岩,此类夹石数量远少于斜长岩类,它多处于浸染状矿石内部(Ⅱ级品矿石),属含磁铁苏长岩,其品位达不到矿石标准,属矿体内部围岩。

4 岩石类型及化学特征

从上述可知大庙斜长岩体内,有五处矿源苏长岩类型岩体,分为两个岩石系列和五个岩石类型岩体。各岩体的岩石类型根据其岩石化学成分,运用CIPW标准矿物计算法得到的矿物含量,投到Pl-Opx-Cpx和Pl-(Opx+Cpx)-Ol两个三角图内(见图5)。由图可以看出不同岩石系列及不同矿源苏长岩类型岩体,其岩石类型十分接近。但随着形成

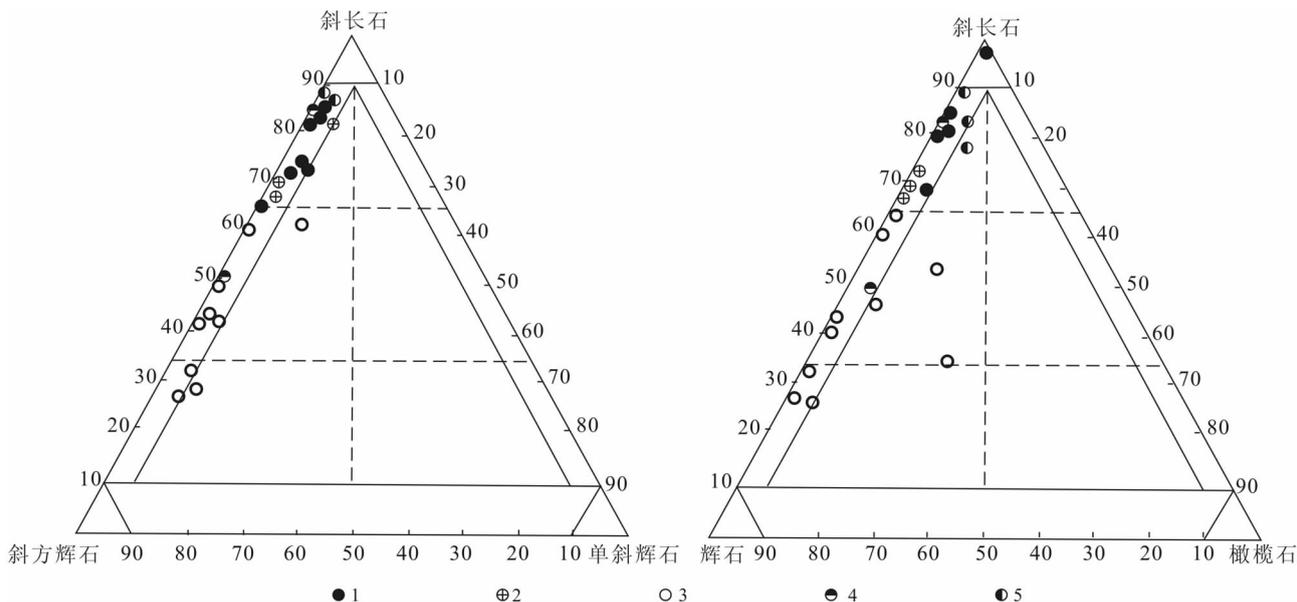


图5 矿源苏长岩体岩石类型分类(国际地质联合会火成岩小组推荐的分类方案,1972)

Fig. 5 Rock type classification of ore-forming norite(Igneous Group of International Union of Geological Science, 1972)

- 1—黑山矿源含橄苏长-苏长岩体; 2—马营矿源苏长岩体; 3—罗锅子沟-大乌苏沟矿源苏长岩体;
- 4—大庙矿源苏长岩体; 5—乌龙素沟矿源橄橄榄苏长-苏长岩体

1—ore-source olivine norite-norite rock body in Heishan; 2—ore-source norite rock body in Maying; 3—ore-source norite rock body in Luoguoziyou-Dawusugou; 4—ore-source norite rock body in Damiao; 5—ore-source olivine norite-norite rock body in Wulongsgou

的时代、地质条件、物理化学环境及成岩成矿作用的不同,各岩体的岩石类型亦有所不同。

为了更好的揭示矿源苏长岩的类型和与铁、铁磷矿床、围岩岩体之间的关系,分析了岩石的主要氧化物、微量元素及稀土元素等的含量,这里采用对比的方法作一些探讨。

4.1 主要氧化物含量变化和对比

从表1可以看出:SiO₂,黑山岩体的平均含量49.01%~51.28%,同大庙岩体比较,SiO₂低2%~3%,与世界和中国苏长岩的含量基本一致。TiO₂,黑山较中国苏长岩高一些,与大庙斜长岩体淡色苏长岩、苏长岩的含量比较接近。Al₂O₃:黑山含量均在16.21%~21.45%之间,高出世界和中国同类岩石平均值的3%左右,低于大庙斜长岩体4%~7%。Fe₂O₃,黑山岩体基本接近为3%~4%,高于中国和世界苏长岩的平均值。FeO,黑山岩体含量5.63%,比中国和世界苏长岩平均值含量低2%~4%。MgO,矿源苏长岩体的含量均低于中国和世界同类岩体的平均值。CaO,稍低于中国和世界同类岩石的平均值。Na₂O+K₂O,所有的矿源苏长岩体的平均值高于中国和世界同类岩石平均值3~5倍。黑山的矿源苏长岩和中国及世界同类岩石有显著不同,Si、Al、Fe、Ti、P、Na、K高,Ca、Mg低,这类岩体为形成铁磷矿床提供了物质来源,是造成矿源苏长岩中斜长石偏酸,An较国内外同类型岩石偏低的重要原因之一。

4.2 黑山各类矿石中含钒磁铁矿的化学分析结果

区内各类矿石中的钒钛磁铁矿石母晶,含钒磁铁矿的化学分析与电子分析结果见表2。不同成矿的物质来源,成矿作用、成矿方式及不同成矿条件,形成的含钒磁铁矿,其主要组分和微量元素,有明显的差异。块状铁磷矿石中的含钒磁铁矿,一般含SiO₂较多。TiO₂,铁矿石比铁磷矿石高出1~2倍;铁磷矿石,早期的含量高于晚期的。Al₂O₃,铁矿石高于铁磷矿石。分异作用形成的浸染状铁磷矿石,其含量高于熔离作用形成的块状铁磷矿石。Fe₂O₃,铁磷矿石明显高于铁矿石。V₂O₅,铁磷矿石和铁矿石基本一致,但铁磷矿石中浸染状的矿石显著高于块状矿石。MgO,铁矿石高于铁磷矿。这些特点在各元素对比值中反映非常明显。

通过对区内各类矿石中的含钒钛磁铁矿的化学分析结果表明有以下几个特点(见表2)。

(1)铁磷矿石、铁矿石、浸染状矿石中含钒钛磁铁矿,SiO₂均高于块状矿石约1~2倍。TiO₂在铁

磷矿石的含钒钛磁铁矿中变化较大,一般是浸染状矿石中含量高于块状矿石1~3倍。而铁矿石中则基本相等。Fe₂O₃在铁矿石不同类型矿石的含钒钛磁铁矿中非常接近,铁磷矿石变化较大,FeO则相反。V₂O₅,明显表现出和成矿母岩的岩石系列有密切的关系。与二长岩-苏长岩系列岩石有关的铁磷矿石,铁矿石含量高苏长岩系列岩石有关的铁磷矿石、铁矿石1~3倍。Cr₂O₃在各类型矿石的含钒钛磁铁矿中含量基本一致。MgO在块状矿石的含钒钛磁铁矿中一般高于浸染状矿石。

(2)与四川攀枝花钒钛磁铁矿床中的钒钛磁铁矿相比,本区有显著的差别:SiO₂、TiO₂、Cr₂O₃、MgO、FeO,明显偏低,而V₂O₅、Fe₂O₃则明显偏高。

为了解钒钛磁铁矿的化学成分特点、变化规律与产出环境的关系,本次对区内铁磷矿体、铁矿体矿石中的钒钛磁铁矿进行了电子探针分析,结果如表3。

表3情况表明:

(1)浸染状铁磷矿石中,钒钛磁铁矿基本不含SiO₂或者甚微。

(2)钒钛磁铁矿中的主要元素TiO₂的含量,铁磷矿石高于铁矿石。铁磷矿石中浸染状矿石的高于块状矿石。结晶分异作用形成的钒钛磁铁矿,TiO₂高于熔离作用形成的钒钛磁铁矿中TiO₂的含量。

(3)钒钛磁铁矿中的FeO及微量元素MnO、V₂O₅、Cr₂O₃,各类型矿石内的含量非常接近。

(4)铁磷矿石中钒钛磁铁矿MgO的含量高于铁矿石,结晶分异作用形成的钒钛磁铁矿中MgO的含量高于熔离作用形成的钒钛磁铁矿。

(5)钒钛磁铁矿中MgO的含量同攀枝花钒钛磁铁矿区的钒钛磁铁矿相比偏低,这是本区的一个显著特点。钒钛磁铁矿中MgO含量的高低看来与岩浆、矿浆的基性度高低有十分密切的关系。

(6)本区的钒钛磁铁矿中的主要成分FeO、TiO₂和理论值相比,偏低较多,特别是TiO₂。这在计算的化学式中(见表3),表现尤为明显,这说明钒钛磁铁矿在结晶过程中,有较多的杂质元素进入晶格。

(7)钒钛磁铁矿中TFe、TiO₂在各类型矿石中含量有较大的变化,但是TFe/TiO₂比值却相当一致和稳定,反应了矿物在形成过程中铁、钒分配率的一致性。

4.3 矿石的结构构造

矿石结构主要为自形一半自形晶粒状结构、格状熔离结构、海绵陨铁结构三种。构造有致密块状构造、浸染状构造,分叙如下:

表 1 各矿源苏长岩体岩石化学成分表

Table 1 Chemical composition of several ore-source norite rock body

成岩时代	岩体名称	样品号	岩石名称	取样地点	分析结果																	挥发分			
					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	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	F	S	Cl	CO ₂		V ₂ O ₅		
晚元古代	黑山矿源 含橄榄苏 长-苏长 岩体	HK8359	苏长岩	黑山	49.85	1.25	17.74	4.01	7.08	0.13	4.98	7.76	3.30	0.83	0.50	0.86	0.64		0.106					1.38	
		60	苏长岩	黑山	53.98	0.60	20.51	1.83	4.69	0.08	3.38	7.87	3.95	0.94	0.40	0.62	0.18		0.030					0.66	
		61	苏长岩	黑山	51.91	0.88	20.56	3.29	4.39	0.06	2.71	8.11	3.75	0.87	0.40	1.55	0.90		0.76						
			苏长岩(7)	黑山	48.53	1.43	17.13	4.62	8.02	0.16	6.65	7.00	3.05	1.16	0.23										
		Ff7901	苏长岩(7)	黑山 2# 矿体	50.84	1.00	17.14	2.73	7.05	0.13	6.07	7.00	2.92	0.86	0.30	1.70							0.27		
		HQ12	苏长岩(7)	黑山 2# 矿体	48.59	2.50	17.66	4.21	7.52	0.19	2.28	8.41	3.53	1.49	1.74	1.02							0.16		
		HK402	苏长岩(7)	龙潭沟 43# 矿体	55.28	0.30	26.97	1.22	0.67	0.01	0.62	8.07	4.87	1.12	0.18	0.64	0.11	0.005	0.006	0.007	0.12	0.001	0.25		
		HK401	含矿伟晶 苏长岩	黑山	35.90	3.80	12.48	11.55	10.16	0.19	4.68	9.95	1.81	0.35	3.50	3.66	0.13	0.030	0.026	0.006		0.06	0.51		
		HQ6	伟晶苏长岩	黑山	53.91	0.48	23.70	1.29	3.01	0.06	2.67	8.42	4.36	1.13	0.18	0.87									
		Ff7915	伟晶苏长岩	龙潭沟	47.78	2.05	18.42	2.93	7.60	0.11	3.59	8.03	3.14	1.08	1.05	2.06						1.03			
国外*	国外*	LK08	苏长岩	戴里	50.39	1.13	16.06	2.43	7.86	0.17	8.37	9.20	2.61	0.79	0.20										
			橄榄苏长岩	戴里	48.78	1.48	18.04	1.16	8.94	0.20	8.07	8.92	2.56	0.91	0.25										
中国*			苏长岩	罗锅子沟队部	42.40	3.30	12.12	7.89	14.06	0.24	9.99	5.55	1.53	0.52	0.20	0.56	0.35	0.004	0.307	0.025	0.47				

注：* 数据来源于黎彤等,1963.

表 2 含钒磁铁矿的化学分析结果

Table 2 Chemical analysis of vanadium-bearing magnetite

矿物名称	矿石类型	矿产类型	岩石系列	矿区	样品编号	分析结果											
						SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	V ₂ O ₅	Co	NiO	Cr ₂ O ₃	MgO
含钒磁铁矿	块状钒钛磁铁矿磷灰石矿	铁磷矿	苏长岩	黑山 743	KH-13-7	0.17	0.56	0.45	90.03	63.27	33.10	0.00	0.98	0.10	0.05	0.46	0.09
					KH-68-8	0.04	0.30	0.37	88.27	64.52	30.21	0.03	0.91	0.08	0.03	0.48	0.08
	块状钒钛磁铁矿	铁矿	黑山王营	H-5-3	0.03	2.94	1.65	88.38	60.46	33.90	0.02	1.27	0.07	0.07	0.51	0.23	
含钒钛磁铁矿	块状钒钛磁铁矿	铁磷矿	苏长岩	黑山	KH-13-8	0.02	19.69	7.87	69.19	47.32	26.54	0.26	1.34	0.17	0.04	0.47	0.98
					C-1	1.16	12.74	4.22	57.22	47.88	38.45	0.19	0.55	0.0165	0.03	0.146	3.62
					C-4		10.40	3.60	60.01	51.37	30.98	0.18	0.70	0.0172	0.04	0.395	3.12
					C-5		10.40	4.62	60.52	50.71	30.82	0.10	0.79	0.0164	0.03	0.280	2.57
					C-11		8.56	4.17	60.75	53.22	30.27	0.14	0.80	0.0039	0.06	0.547	2.10
					C-18		9.20	4.00	61.48	53.12	31.31	0.16	0.83	0.0160	0.05	0.605	2.13
					C-21		8.54	4.56	61.49	52.30	31.01	0.16	0.81	0.037	0.03	0.380	1.93

表 3 粒状钛铁矿的化学分析结果
Table 3 Chemical analysis of grain-like ilmenite

矿物名称	矿石类型	矿产类型	岩石系列	矿区	样品编号	分析结果												
						SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	V ₂ O ₅	Co	NiO	Cr ₂ O ₃	MgO	
含钒钛磁铁矿	块状钒钛磁铁矿	铁磷矿	苏长岩	黑山 743	KH-13-5 -6	0.02	49.30	0.00	42.97	5.31	39.09	0.58	3.40	0.02	0.01	0.00	1.56	
						0.00	47.51	0.04	43.56	5.77	42.46	0.73	3.09	0.00	0.05	0.00	1.57	
	块状钒钛磁铁矿	铁矿		黑山王营	H-5-2	0.04	52.37	0.04	45.02	0.68	45.30	0.59	3.12	0.07	0.02	0.00	0.00	0.63
					H-5-4	0.00	50.24	0.00	45.23	3.19	42.36	0.56	2.71	0.12	0.00	0.06	1.18	
				-6	0.04	50.05	0.05	45.25	3.98	41.67	0.54	2.83	0.08	0.12	0.05	1.21		
				-7	0.03	49.50	0.02	43.75	2.20	41.09	0.59	2.72	0.09	0.00	0.00	1.21		
				KH-5-10	0.05	52.33	0.04	46.71	2.63	44.33	0.79	4.19	0.00	0.00	0.11	1.01		

表 4 铁矿石矿物成份含量表
Table 4 Mineral contents of iron ore

矿石类型	金属矿物(%)							脉石矿物(%)										备注
	含钒磁铁矿	含钒钛磁铁矿	钛铁矿	含钴黄铁矿	黄铜矿	磁黄铁矿	绿泥石	碳酸盐矿物	硅化石英	阳起石	斜长石	绢云母	绿帘石	镁铁尖晶石	氟磷灰石	金红石	榍石	
致密块状铁矿石	11-16	50-60	7-19	0-1	少		7-17	0-3	0-1		0-6			少	少	0-1	少	斜长石为 残留矿物
稠密浸染状铁矿石	23-27	120	7-16	0-2	0-1		10-26	0-9	少		0-45			少	0-2	少	少	
稀疏浸染状铁矿石	7-18	3-6	4	0-3	0-1	少	18-33	0-42	0-5	0-27	0-15	0-5	0-3	少	0-6	0-1	少	

表 5 铁矿石化学分析结果表
Table 5 Chemical analysis of iron ore

矿石类型	样号 编号	分析结果(%)																	TiO ₂ TFe	V ₂ O ₅ TFe	备注
		Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	TiO ₂	V ₂ O ₅	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	S	Cr	Co	Ni	含量			
致密块状 铁矿石	01	45.58	24.83	0.20	12.33	0.633	6.60	0.59	1.34	4.22	0.68	0.06	0.10	0.26	0.65	0.048	0.080	98.20	0.24	0.012	
	02	45.68	26.65	0.16	14.13	0.620	4.40	1.28	1.13	2.43	0.72	0.05	0.10	0.26	0.60	0.034	0.060	98.304	0.27	0.012	
	03	50.10	23.18	0.27	14.63	0.664	4.20	0.98	1.91	1.30	0.71	0.06	0.10	0.44	0.32	0.036	0.056	99.28	0.26	0.013	
	平均	47.12	24.89	0.21	13.70	0.639	5.07	0.95	1.46	2.65			0.10	0.32	0.52	0.039	0.065		0.26	0.012	
稠密浸染 状铁矿石	09	38.30	27.99	0.20	13.64	0.457	9.04	2.36	1.06	2.26	0.70	0.06	0.94	0.94	0.26	0.026	0.048	98.28	0.28	0.009	
	10	39.00	28.32	0.24	13.03	0.455	9.08	2.56	0.92	1.85	0.69	0.07	0.81	0.98	0.28	0.031	0.052	98.368	0.27	0.009	
	平均	38.65	28.16	0.22	13.34	0.456	9.06	2.46	0.99	2.06			0.88	0.96	0.27	0.029	0.050		0.275	0.009	
稀疏浸染 状铁矿石	04	30.45	20.94	0.02	11.16	0.387	12.52	14.67	4.18	0.94	0.66	0.07	1.68	0.60	0.23	0.024	0.040	98.571	0.30	0.010	含磷
	05	33.10	25.84	0.14	12.85	0.557	14.02	2.76	2.12	4.21	0.64	0.08	0.14	0.30	0.76	0.036	0.060	97.613	0.30	0.013	
	平均	31.78	23.39	0.08	12.01	0.472	13.27	8.72	3.15	2.58			0.91	0.45	0.50	0.03	0.050		0.30	0.012	
平均		39.18	25.48	0.17	13.02	0.522	9.13	5.09	1.86	2.43			0.63	0.58	0.43	0.032	0.055		0.28	0.011	

自形一半自形晶粒状结构:矿石中少数含钒磁铁矿、含钒钛磁铁矿呈自形八面体,少数钛铁矿呈自形板柱状,大多数铁矿物呈半自形较规则的粒状,它们常彼此镶嵌或单独产出,被绿泥石等矿物联结起来并受其交代,粒径大小不均匀,由0.2~8.0mm,个别达1cm。

格状熔离结构:是矿石中典型特有结构,即在含钒钛磁铁矿中,钛铁矿沿含钒磁铁矿(110)和(111)解理呈片晶或板条,板条宽0.01~0.02mm,长度不超过含钒磁铁矿粒径,组合呈格状,称为格状熔离结构。

海绵陨铁结构:主要分布在稠密浸染状矿石中,含钒磁铁矿和含钒钛磁铁矿及钛铁矿,呈半自形—它形彼此镶嵌,把脉石矿物包起来,并使之发生蚀变,局部在铁矿物边缘形成绿泥石镶边。

致密块状构造:矿石主由含钒磁铁矿和含钒钛磁铁矿、钛铁矿彼此镶嵌组成,它们总含量达60%~95%,且粒径一般为粗粒(>5mm),呈自形一半自形晶粒结构。该矿石构造类型是矿石中最重要类型,一般属I级品。

稠密浸染状构造:矿石中含钒磁铁矿、含钒钛磁铁矿、钛铁矿呈半自形晶粒状,浸染状分布,有的呈镶嵌状,总含量20%~30%,粒径变化大,脉石矿物含量中等。是矿石中次要构造类型,一般属II级品。

稀疏浸染状构造:含钒磁铁矿、含钒钛磁铁矿、钛铁矿呈半自形晶粒状,稀疏浸染状分布,矿物粒径一般为中细粒,铁矿物总含量12%~30%,多数属III级品。

具稠密浸染状和稀疏浸染状构造的矿石一般分布在矿体边部,具致密块状构造的矿石一般在矿体的中心或内部。

4.4 矿石矿物成分及含量

矿石金属矿物主要为含钒钛磁铁矿、钛铁矿、含钒磁铁矿,次有少量含钴黄铁矿、黄铜矿。脉石矿物主要为绿泥石,次为斜长石,还有其它少量矿物,其矿物含量见表4。

(1)主要金属矿物特征。含钒钛磁铁矿:指含钒磁铁矿母晶中,由固溶体分离出来的钛铁矿或钛铁晶石等钛铁氧化物矿物集合体,钛铁矿片晶沿含钒磁铁矿(100)和(111)解理产出,常构成格状结构,它们被称为含钒钛磁铁矿,具强磁性,含量3%~60%。在致密块状铁矿石中含钒磁铁矿中钛铁矿板条最发育,含量亦高,其钛铁矿板条亦最长、最宽。

含钒磁铁矿:少数呈自形八面体,多数呈不规则粒状,粒径0.5~5mm,常与钛铁矿、含钒钛磁铁矿

镶嵌,具强磁性。含量7%~27%。

钛铁矿:指粒状钛铁矿,不包括含钒钛磁铁矿中固溶体分离的钛铁矿片晶。呈半自形板柱状和不规则粒状,具强电磁性。粒径0.5~5mm,含量2%~19%。

成矿期 矿化阶段 生成顺序 矿物名称	岩浆期	热液期			表生期
	晚期岩浆矿浆 矿化阶段	气成热液 阶段	高温热液 阶段	碳酸盐 阶段	表生 阶段
含钒磁铁矿	——				
含钒钛磁铁矿	——				
钛铁矿	——				
镁铁尖晶石	——				
氟磷灰石	——				
含钴黄铁矿	——				
黄铁矿	——				
黄铜矿	——				
镍黄铁矿	——				
绢云母	——				
次闪石 (纤闪石、阳起石等)	——				
绿泥石	——		——		
硅化石英	——				
榍石					
金红石					
碳酸盐				——	
褐铁矿					——
标准元素	Fe、V、Ti	Co	Ni、Cu、Co		

图6 黑山矿区矿物生成顺序表

Fig. 6 Mineral-bearing succession in Heishan deposit

含钴黄铁矿:分布广泛,多呈自形立方体和半自形粒状,粒径小于2mm,交代上述铁矿物,含量一般小于1%。浸染于铁矿石中。具强电磁性。为气成热液阶段产物。还有与磁黄铁矿、黄铜矿共生的晚期黄铁矿。一般为细粒,含量很少。

黄铜矿:呈半自形—它形不规则粒状,粒径较细,常与磁黄铁矿镶嵌,溶蚀含钴黄铁矿,含量很少。

磁黄铁矿:产出较少,呈半自形—它形不规则粒状,与黄铜矿镶嵌。具较强磁性。

绿泥石:以铁绿泥石和叶绿泥石为主,为铁矿石中主要脉石矿物,呈显微鳞片状集合体,交代斜长石及上述铁矿物,有时充填于铁矿物的解理、裂隙中。含量7%~33%。

斜长石:分布不均匀,呈残余不规则粒状,常有绢云母化、硅化、绿泥石化、碳酸盐化。分布不均匀,含量变化不大,0%~45%。

氟磷灰石:呈残余不规则粒状,被绿泥石等矿物溶蚀交代,含量小于 1%。

金红石和榍石:为钛铁矿片晶蚀变产物;有的是新生矿物。前者交代钛铁矿片晶;后者与绿泥石嵌生。

矿物生成顺序见图 6。

(2) 矿石化学成分。铁矿石化学成分见表 5。从表中可知铁矿石化学成分主要为 Fe_2O_3 和 FeO , 占铁矿石总量的 64%, 依次为 TiO_2 , 占 13%, 其余成分含量偏低, 主要为 SiO_2 、 CaO 、 MgO 、 Al_2O_3 , 各占总量的 10% 以下, MnO 、 K_2O 、 Na_2O 含量更低。

依据矿石化学成分: TiO_2/TFe 比值为 0.28, $\text{V}_2\text{O}_5/\text{TFe}$ 为 0.011%, 它们呈正比关系。 SiO_2 、 CaO 、 MgO 、 Al_2O_3 等成分含量与 TFe 呈消长关系。

根据 ZK2403、ZK2802、ZK1602 三个钻孔, 176 件样品分析统计计算, $\text{mFe}/\text{TFe} = 71\%$, 含钒钛磁铁矿石仍属磁铁矿矿石。

5 讨论

5.1 物质来源

为了进一步了解区内各铁矿床、铁磷矿床成矿物质来源, 对其进行了不同程度的硫、氧同位素研究。

5.1.1 硫同位素

本次对区内的铁、铁磷矿床共作了 16 个硫化物单矿物的硫同位素测定。其中黄铁矿 12 个, 磁黄铁矿 2 个, 黄铜矿 2 个。同时对头沟、马营、大庙、罗锅子沟、乌龙素沟 6 个矿区的铁、铁磷矿床也作了硫同位素测定。样品分布考虑了不同类型, 不同产状的铁矿床、铁磷矿床、矿源苏长岩及其围岩斜长岩。多数样品采于钻孔岩心, 少数样品采自矿山采场。 $\delta^{34}\text{S}$ 值测定和计算结果见表 6。

从表 6 可见, 本区铁矿床、铁磷矿床的硫平均同位素组成 $\delta^{34}\text{S}$ 为 +3.337‰, 变化范围 +1.8‰ ~ 4.49‰, $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ 平均值为 22.148, 变化范围在 22.120 ~ 22.180。铁矿床 $\delta^{34}\text{S}$ 的平均值为 3.216‰, 变化范围 1.8‰ ~ 4.49‰, $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ 平均值为 22.149, 变化范围在 22.12 ~ 22.180, 其中块状铁磷矿石 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值为 3.02‰, 浸染状铁磷矿石, 平均为 3.64‰。铁磷矿床的硫平均同位素组成, $\delta^{34}\text{S}$ 值为 3.55‰, 变化范围 2.4‰ ~ 4.4‰, $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ 平均值为 22.135, 变化范围在 22.12 ~ 22.150, 其中浸染状铁磷矿石 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值为 3.633‰。硫化物矿体的硫平均同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 4.494‰, 变化范围 4.23‰ ~

4.58‰。从上述看, $\delta^{34}\text{S}$ 、 $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ 值变化范围很窄, 绝对值小, 其平均值与陨硫同位素组成接近。同国内外与基性、超基性岩有关的典型铁、铁磷矿床硫同位素组成及变异特征十分相似见图 7。这表明, 全区在硫同位素组成中富集了 $\delta^{34}\text{S}$ 。

表 6 黑山矿区矿石及岩石矿物硫同位素分析结果表

Table 6 Sulfur isotope analysis of ore and rocks in Heishan deposit

矿物名称	岩石类型	取样地点	同位素组成	
			$^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$
黄铁矿	浸染状铁磷矿石	ZK58 孔	22.180	+1.8
黄铁矿	矿化苏长岩	ZK17 孔	22.177	+1.9
黄铁矿	浸染状铁磷矿石	王营 2 号矿体	22.120	+4.49
黄铁矿	浸染状铁磷矿石	王营 2 号矿体	22.128	+4.14
黄铁矿	浸染状铁磷矿石	王营 2 号矿体	22.128	+4.14
黄铁矿	块状铁磷矿石	王营 2 号矿体	22.18	+1.9
黄铁矿	块状铁磷矿石	王营 1 号矿体	22.128	+4.14
黄铁矿	浸染状铁磷矿石	72-73 号矿体 ZK3 孔 214m	22.12	+4.4
黄铁矿	绿泥石化斜长岩	ZK3 孔 257m		+3.3
黄铁矿	浸染状铁磷矿石	ZK3 孔 276m	22.15	+4.1
黄铁矿	浸染状铁磷矿石	ZK3 孔 296m	22.17	+2.4
黄铁矿	块状硫化物矿石	王营硫化物矿体 920 采场	22.119	+4.58
磁黄铁矿	块状硫化物矿石	王营硫化物矿体 920 采场	22.115	+4.76
黄铁矿	块状硫化物矿石	王营硫化物矿体 920 采场	22.126	+4.23
磁黄铁矿	块状硫化物矿石	王营硫化物矿体 920 采场	22.120	+4.49
黄铜矿	块状硫化物矿石	王营硫化物矿体 920 采场	22.122	+4.41

从铁、铁磷矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 组成所作的直方图见图 8 看, 具有明显的塔式效应分布特点, 塔峰突出, 基座比较窄, 这和国内外一些典型的与基性岩、超基性岩有关的岩浆型铁矿床、铁磷矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 的分布特点颇为相近。上述特征反映了成矿过程中没有引起硫同位素的强烈分馏和混染, 仍保持着高温均一特征及幔源硫的面貌, 这是硫同位素平衡交换反应的结果, 只是不同硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值大小稍有不同, 其普遍规律是磁黄铁矿大于黄铁矿, 黄铁矿大于黄铜矿。

5.1.2 氧同位素

为了从氧稳定同位素这一角度对铁、铁磷矿床之间的彼此关系, 成矿流体的性质和来源以及成矿成因等问题作一些探讨。本次在 6 个矿区对铁、铁磷矿床的不同类型、不同部位, 共采集了单矿物 27 个样品, 其中在黑山区采了 8 个样品, 分别测定了氧同位素, 见表 7(叶东虎, 1989)。

从表 8 和图 9 可见, 本区铁、铁磷矿床中平均钒钛磁铁矿氧同位素组成 $\delta^{18}\text{O}$ 分布在 2.30‰ ~

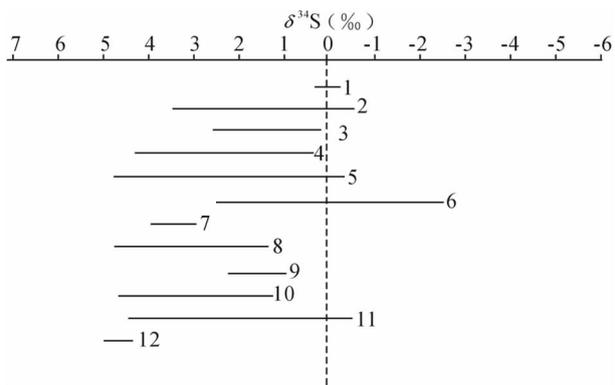


图 7 黑山铁矿、铁磷矿石 $\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$ 与斜长岩、矿源苏长岩及国内外有关资料对比图

Fig. 7 $\delta^{34}\text{S}(\text{‰})$ of the iron ore, iron-phosphorite ore, anorthosite, ore-source norite compared with that of other regions

1—陨石;2—俄罗斯佩琴加;3—加拿大萨德伯里;4—南非什维尔德;5—四川攀枝花;6—甘肃白家嘴子;7—四川力马河;8—本区斜长岩;9—本区矿源苏长岩;10—本区铁矿石;11—本区铁磷矿石;12—本区硫化物矿石

1—Aerolith; 2—Petsamon, Russia; 3—Sudbury, Canada; 4—Shiweierde, South Africa; 5—Sichuan Panzhihua; 6—Baijiajuzi, Gansu; 7—Lima River in Sichuan; 8—plagioclase in this area; 9—ore-source norite in this area; 10—iron ore in this area; 11—iron-phosphate ores in this area; 12—sulphide ores in this area

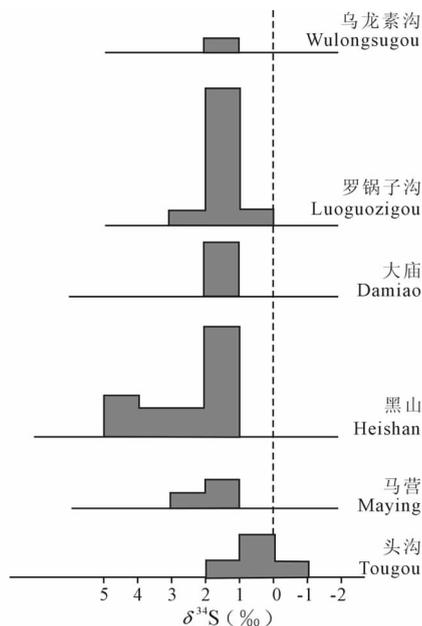


图 8 铁、铁磷矿床矿石硫同位素组成分布图

Fig. 8 Distribution of sulfur isotope compositions derived from ores in iron and iron-phosphate deposit

4.07‰, 平均为 3.187‰, 钛铁矿分布在 3.69‰~5.08‰, 平均为 4.134‰, 斜长石分布在 7.57‰~

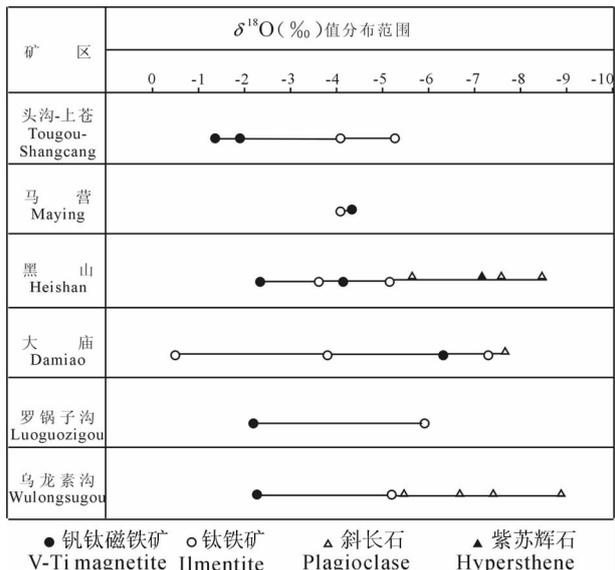


图 9 各铁、铁磷矿床矿石矿物氧同位素 $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ 值分布图

Fig. 9 $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ value from ore mineral in each iron and iron-phosphate deposits

8.39‰, 平均为 7.98‰, 紫苏辉石分布在 5.50‰~7.11‰。铁矿石中钒钛磁铁矿的氧同位素组成 $\delta^{18}\text{O}$ 为 4.07‰, 钛铁矿为 5.08‰。铁磷矿床中钒钛磁铁矿的氧同位素组成 $\delta^{18}\text{O}$ 为 2.30‰, 钛铁矿为 3.69‰。

结果表明:区内各铁矿床、铁磷矿床成矿物质来源具有和矿源苏长岩、斜长岩完全一致的同位素组成和变化特征,并且与世界上典型岩浆型钒钛磁铁矿床、钒钛磁铁矿-磷灰石矿床相近似。

5.2 成矿温度和压力

5.2.1 铁-钛氧化物矿物对形成温度计算

温度计算建立在 $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 体系相平衡研究的基础上,有可靠试验数据,精度较高,在此区间得到的温度误差为 $\pm 50^\circ\text{C}$, 估算的 $-\lg f_{\text{O}_2}$ 的误差为 ± 1 。本次应用这一方法计算了各不同类型矿石中含钒钛磁铁矿的 Mt-Usp 成分和与其共生的钛铁矿的 Hemllum 成分,共 34 对。Buddington 等 (1964) 提出用含钛磁铁矿及共生的钛铁矿成分来确定其形成温度的相关图式。将该成分表 7 投影于共存钛铁-赤铁矿和磁铁矿-钛铁尖晶石固溶体成分图 (据 Budding et al., 1964) 上,求得了铁钛氧化物矿物的形成温度和氧逸度 (表 8)。

从表 8 可见:黑山铁磷矿体块状铁磷矿石中铁钛氧化物矿物的形成温度在 $615\sim 975^\circ\text{C}$, 多数在 625°C , 平均 665°C 。罗锅子沟铁磷矿体浸染状铁磷

矿石在 558~1075℃,平均为 817℃。不同类型铁磷矿石中铁钛氧化物矿物形成的温度亦有所不同,浸染状类型平均为 730℃,而块状类型平均为 700℃。全区铁磷矿体中平均形成温度为 700℃。

在铁矿体中,黑山王营一带块状铁矿石中铁钛氧化物矿物的形成温度在 612~700℃之间,多数在 650℃,平均为 665℃,大庙块状铁矿石铁钛氧化物矿物的形成温度在 613~1080℃,多数在 740℃,平均为 765℃。乌龙素沟块状铁矿石中铁钛氧化物矿物的形成温度在 855~933℃,平均为 894℃。全区铁矿体中铁钛氧化物矿物的形成平均温度为 770℃。

上述情况表明;铁矿体中铁钛氧化物矿物的形成温度高出铁磷矿体中的铁钛氧化物矿物的形成温度约 70~80℃。铁磷矿体中的铁钛氧化物矿物形成温度,浸染状矿石高出块状矿石约 30~50℃。

5.2.2 氧逸度(-lgf_{O₂})的计算和讨论

按布丁顿和林斯利提出的共存 Mt-Usp 和

Hem-11m 固溶体成分(克分子%)计算的平衡温度和氧逸度(表 9)。

由表可知,铁磷矿体 lgf_{O₂} 平均为 -20.11atm,铁矿体平均则为 -16.7atm,这表明铁磷矿体中铁-钛氧化物形成时的氧逸度低于铁矿体中的铁钛氧化物矿物。

铁磷矿床中,黑山 72~73 号矿体和 76 号矿体的块状矿石中,lgf_{O₂} 一般在 -11.8~-23.8atm,平均为 -18.5atm,马营北矿带,6 号、10 号矿体的块状矿石中 lgf_{O₂} 一般在 -16.8~-25.1atm,平均为 -20.0atm,罗锅子沟矿体的浸染状矿石中 lgf_{O₂} 一般在 -10.0~-26.0 atm,平均为 -21.1atm。

这反映了各铁磷矿床形成时,它们环境中氧化还原条件基本是一致的。但相对看,浸染状铁磷矿石中铁、钛氧化物矿物形成时氧逸度低于块状铁磷矿石的铁-钛氧化物矿物。罗锅子沟矿体形成时氧逸度最低,黑山铁磷矿体形成时的氧逸度较其他的高。

表 7 矿石矿物氧同位素分析结果表

Table 7 Oxygen isotope analysis results of ore mineral

矿区	样品号	矿物名称	矿石类型	取样地点	δ ¹⁸ O‰(SMOW)
上苍	KY8218-1	钒钛磁铁矿	块状铁磷矿	上苍北矿带	+1.99
	KY8218-2	钛铁矿	块状铁磷矿	上苍北矿带	+5.20
头沟	KY8222-1	钒钛磁铁矿	浸染状铁磷矿	头沟瓦房 20-1 号矿体	+1.28
	KY8222-2	钛铁矿	浸染状铁磷矿	头沟瓦房 20-1 号矿体	+4.06
马营	KY8216-1	钒钛磁铁矿	浸染状铁磷矿	马营 9 号矿体	+4.30
	KY8216-2	钛铁矿	浸染状铁磷矿	马营 9 号矿体	+4.06
黑山	HKZ81007-1	钒钛磁铁矿	块状铁磷矿	黑山 72-73 号矿体	+2.30
	HKZ81007-2	钛铁矿	块状铁磷矿	黑山 72-73 号矿体	+3.69
	KY830011	钒钛磁铁矿	块状铁矿石	黑山王营 2 号矿体 120 采场	+4.07
	KY830012	钛铁矿	块状铁矿石	2 号矿体 120 采场	+5.08
	HZK7-1	斜长石	矿源苏长石	黑山压青地	+7.52
	HZK7-2	紫苏辉石	矿源苏长石	黑山压青地	+7.11
	H82131	斜长石	伟晶苏长石	黑山王营	+8.39
	H82132	紫苏辉石	伟晶苏长石	黑山王营	+5.5
大庙	KY83002-1	钒钛磁铁矿	块状铁矿石	大庙 24 号矿体	+6.19
	KY83002-2	钛铁矿	块状铁矿石	大庙 24 号矿体	+7.17
	KY83001-1	钒钛磁铁矿	浸染状铁矿石	大庙 38-40 号矿体	+0.40
	KY83001-2	钛铁矿	浸染状铁矿石	大庙 38-40 号矿体	+3.81
	K83010	灰黑色斜长石	矿源苏长石	北梁队部后坑道	+7.39
罗锅子沟	KY82211	钒钛磁铁矿	浸染状铁磷矿石	罗锅子沟 ZK22 孔	+2.12
	KY82212	钛铁矿	浸染状铁磷矿石	ZK22 孔	+5.83
乌龙素沟	KY8225-1	钒钛磁铁矿	浸染状铁矿石	小沟村北槽内	+2.15
	KY8225-2	钛铁矿	浸染状铁矿石	小沟村北槽内	+5.15
	K83009	斜长石	灰黑色斜长石	乌龙素沟伙房沟	+7.25
	HKFa8101	斜长石	铁磷矿化苏长岩	小沟	+5.24
	HKFa8106	斜长石	苏长二长岩	兔子沟	+6.65
	HKFa8107	斜长石	二长岩	兔子沟	+8.79

表 8 钛铁氧化物矿物对温度和氧逸度计算表

Table 8 Temperature and oxygen fugacity of Ti-Fe oxygen mineral pair

矿体名称	矿石类型	取样地点	样品号	矿物名称	Mt-Usp		Hem-Ilm		计算温度 (T/°C)	氧逸度 -lgf _{O₂}	
					Mt%	Usp%	Hem%	Ilm%			
黑山铁、 铁磷矿体	块状钒钛磁铁-磷灰石矿石	黑山 72~73 号铁磷矿 体 ZK12 孔	KH-12-7	磁铁矿	96.03	3.97	4.93	95.07	475	-23.8	
			KH-12-8	钛磁铁矿	29.15	70.85			975	-11.8	
			KH-12-5	钛铁矿片晶							
	块状钒钛磁铁-磷灰石矿石	黑山 73 号铁 磷矿体	H73-0	钒钛磁铁矿	84.9	15.1	6.3	93.7	625	-18.9	
			76 号铁磷矿体	H76-1	钒钛磁铁矿	86.4	13.6	6.8	93.2	615	-19.4
	块状钒钛 磁铁矿	黑山王营 2 号矿体	KH-5-10	钛铁矿片晶	85.52	14.48	5.61	94.39	617	-19.4	
			H-5-3	含钛磁铁矿			3.03	96.97	612	-20.5	
	块状钒钛 磁铁矿矿石	黑山王营 2 号矿体	C-4	钒钛磁铁矿	69.4	30.6	3.8	96.2	700	-18.1	
			C-18	钒钛磁铁矿	72.4	27.6	3.8	96.2	688	-18.3	
			DM-1	钒钛磁铁矿	70.9	29.1	4.0	96.0	695	-18.1	
黑山王营 3 号 铁磷矿体	H3-2	H3-2	钒钛磁铁矿	73.0	27.0	3.7	96.3	680	-18.2		
马营北矿带 铁磷矿体	块状钒钛 磁铁矿矿石	马营北矿带	My274/47	钒钛磁铁矿	80.4	19.6	4.5	95.5	655	-18.8	
			M-2-8	磁铁矿	95.84	4.16	18.35	81.65	529	-20.0	
			M-2-7	钛铁矿							
	浸染状钒钛磁 铁-磷灰石矿石	马营北矿带 6 号矿体	KM-1-6	含钛磁铁矿	77.52	22.48	8.40	91.60	716	-16.8	
			KM-1-4	钛铁矿							
块状钒钛磁铁- 磷灰石矿石	马营北矿带 10 号矿体	KM-2-10	磁铁矿	94.57	5.42	4.90	95.10	470	-25.1		
		KM-2-11	磁铁矿	86.82	13.18			625	-19.5		
		KM-2-9	钛铁矿片晶								
罗锅子沟 铁磷矿体	浸染状钒钛 磁铁-磷灰石 矿石	罗锅子沟 3 号 铁磷矿体	LK-1-15	磁铁矿	96.77	3.23			483	-26	
			LK-1-17	钛铁矿片晶					510	-21.7	
			L-104-5	磁铁矿	95.13	4.87					
			L-104-4	钛铁矿							
			K6-85-5	磁铁矿	93.87	6.13			485	-24.2	
			K6-85-2	磁铁矿	95.33	4.67			475	-25.0	
			KL-85-6	钛铁矿							
			KL-1010	钛磁铁矿	28.17	71.83			1075	-10.0	
			KL-10-14	磁铁矿	93.20	6.80			558	-19.4	
			KL-10-13	钛铁矿							
大庙铁矿体	块状钒钛磁 铁矿矿石	大庙 24 号 钒钛磁铁矿 矿石	D-2-1-4	含钛磁铁矿	77.15	22.85	11.06	88.94	741	-14.9	
			D-2-1-5	含钛磁铁矿	30.41	69.59			1080	-9.5	
			D-2-2	磁铁矿	88.22	11.78			625	-18	
			D-2-1-7	钛铁矿							
			KD-2-1-1	磁铁矿	86.82	13.18			613	-20.1	
			KD-2-1-1	钛铁矿							
块状钛磁 铁矿矿石	乌龙素西沟	K850410-8	钛磁铁矿	46.49	52.51	7.89	92.11				
		K850410-2	钛铁矿								
浸染状钛磁 铁矿矿石		K850413-2	钛磁铁矿	54.24	45.76	7.11	92.89	855	-13.3		
		K850413-4	钛铁矿								

5.3 成岩成矿演化过程

含钒磁铁矿中主要成分在不同类型矿石中变化特征为,铁磷矿石的含钒磁铁矿中,Fe₂O₃含量高于铁矿石中的含钒磁铁矿,块状矿石高于浸染状矿石的含量。FeO一般是铁矿石的含钒磁铁矿稍高于铁磷矿石中的含钒磁铁矿;浸染状高于块状矿石中的含钒磁铁矿。TiO₂铁矿石中的含钒磁铁矿明显

高于铁磷矿石。V₂O₅在各类型矿石和不同结构、构造的矿石中基本一致。SiO₂在黑山 2 号矿体铁磷矿石最高,72~73 号矿体铁磷矿石中最低,其他各区含量基本接近。MgO 以铁矿石和浸染状铁磷矿石的含钒磁铁矿含量较高。Cr₂O₃在浸染状铁磷矿石的含钒磁铁矿较高。上述表明:Fe₂O₃、FeO、TiO₂、V₂O₅等铁族元素,在含钒磁铁矿的含量和变化特点与

成矿作用、形成环境密切相关, MgO 、 Cr_2O_3 和成矿母岩的基性度有一定的关系。 V_2O_5 在整个区内分布平稳, 变化不大, TiO_2 则相反, 跳动很大。 Fe_2O_3 、 FeO 在铁矿石中变化较大, 而铁磷矿石的含钒磁铁矿分布比较稳定, 这些情况表明, 分异程度起重要作用。

从整个大庙斜长岩区, 各矿区矿体中钛铁矿主要组分三角投影图, 直方图和曲线图(图 10、11、12) 可以看出, 黑山钒钛磁铁矿床、钒钛磁铁矿-磷灰石矿床中钛铁矿主要组分有如下的特征和规律:

不同类型矿石中钛铁矿的主要化学成分不同。 铁矿床中钛铁矿相对富铁、少钛、铁磷矿床中钛铁矿少铁、富钛。 而钒的含量却基本一致。 FeO , 铁矿石, 铁磷矿石基本一致, 铁矿石稍高于铁磷矿石。 TiO_2 , 铁磷矿石中的钛铁矿高于铁矿石, 浸染状矿石中的钛铁矿高于块状矿石中的钛铁矿。 V_2O_5 , 在各类型矿石的钛铁矿中基本一致。 MgO , 铁磷矿石高于铁矿石, 浸染状矿石的钛铁矿明显高于块状矿石的钛铁矿。 SiO_2 , 浸染状矿石的钛铁矿明显高于块状矿石中的钛铁矿。 Co 、 Ni 均以浸染状矿石中的钛铁矿含量为高。 Cr_2O_3 在浸染状铁磷矿石中的钛铁矿含量较高。

上述情况表明, 结晶分异作用形成的浸染状铁

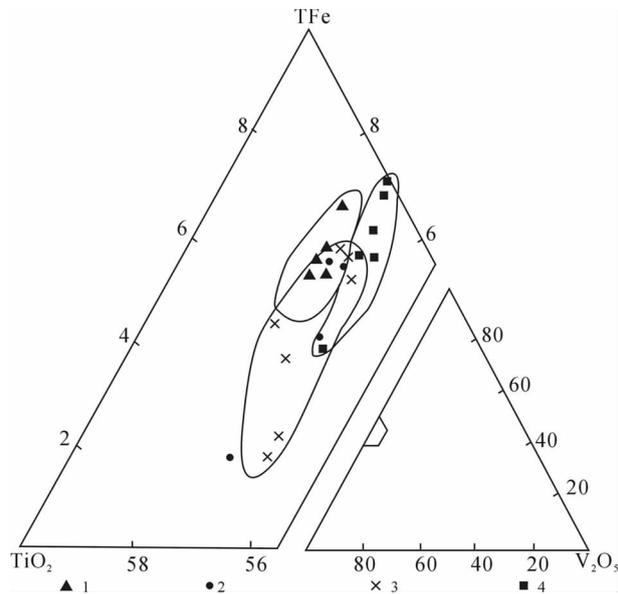


图 10 粒状钛铁矿 TFe-TiO₂-V₂O₅ 投影图

Fig. 10 Projection figure of TFe-TiO₂-V₂O₅ from grain-like ilmenite

- 1—黑山 2 号矿体; 2—马营北矿带矿体;
- 3—罗锅子沟矿体; 4—大庙 24 号矿体

- 1—Heishan No. 2 orebody; 2—Maying north-ore-belt orebody;
- 3—Luoguozigou orebody; 4—Damiao No. 24 orebody

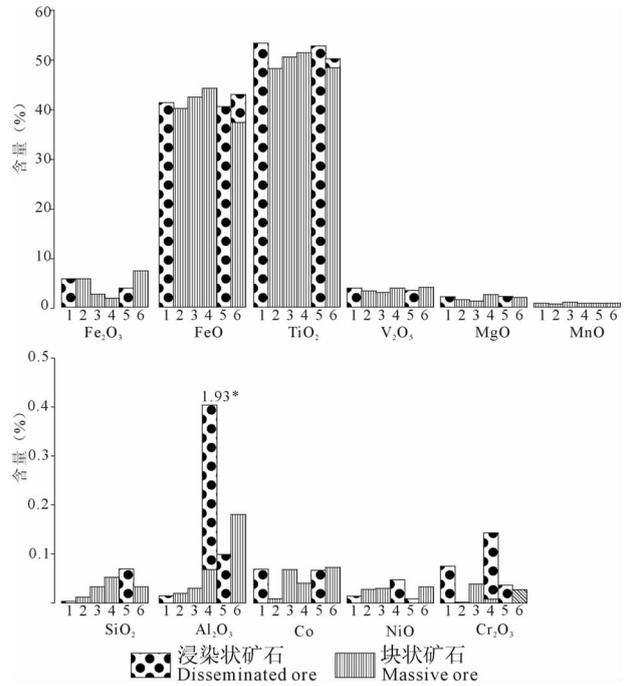


图 11 粒状钛铁矿主要成分含量对比图

Fig. 11 Content comparison of major composition in grain-like ilmenite

- 1—头沟 20-1 号矿体; 2—黑山 72-73 号矿体; 3—王营 2 号矿体; 4—马营北矿带矿体; 5—罗锅子沟矿体; 6—大庙矿体
- 1—Tougou No. 20-1 orebody; 2—Heishan No. 72-73 orebody; 3—Wangying No. 2 orebody; 4—Maying north-ore-belt orebody; 5—Luoguozigou orebody; 6—Damiao orebody

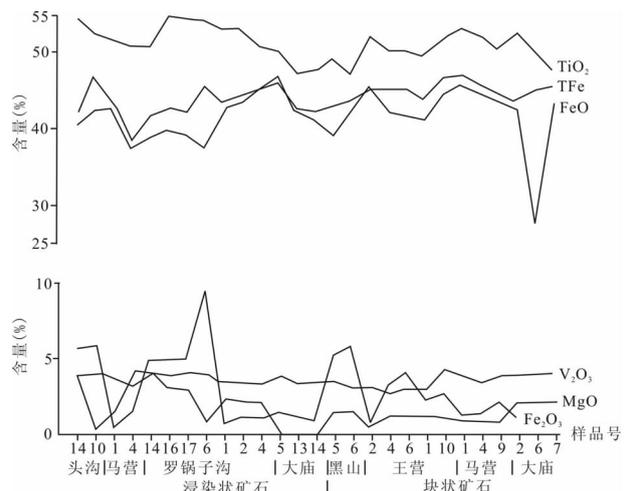


图 12 粒状钛铁矿主要成分含量变化曲线图

Fig. 12 Major composition variation of grain-like ilmenite

磷矿石的钛铁矿中, TiO_2 、 V_2O_5 、 MgO 、 SiO_2 、 Co 、 NiO_2 含量较高, 熔离作用形成的铁磷矿石的钛铁矿中, FeO 、 Al_2O_3 较高。 另外也可以看出: 不同成矿母岩形成的矿石中的钛铁矿成分变化特征亦不相同,

与二长岩-苏长岩岩石系列有关的铁磷矿石、铁矿石中钛铁矿 TFe 、 FeO 较低, V_2O_5 、 MgO 稍高。与苏长岩-橄榄苏长岩演化系列有关的铁磷矿石、铁矿石则相反。

太古宙末期丰宁-隆化和红石砬一大庙两条深断裂开始活动,到元古代早期丰宁-隆化深断裂带成为海陆分界线(北侧为陆地;南侧为古海盆),当时古地壳较薄,在两条深断裂之间,莫霍面深度约 15~20km,在该面附近形成高铝碱性玄武岩岩浆房。在岩浆房中由于重力及结晶分异作用,原始岩浆大致分成三层熔浆:上层为硅铝熔浆、中层为铁镁硅铝熔浆、下层为铁质矿浆。在高温高压作用下,原始岩浆中硅铝熔浆生成少量斜长石,使熔浆成晶体粥状;在铁镁硅铝熔浆中生成少量紫苏辉石,结晶分异作用缓慢进行。

由于两条深断裂持续的活动,在两断裂之间的断块,即斜长岩岩块南侧上升;北侧下降,在压扭力作用下,使硅铝质熔浆以强迫侵位穹窿式缓慢侵入上升,在大庙-黑山侵位较高,两端及边部侵位较低,顶蚀作用不强,边部有少量片麻岩及碳酸盐捕虏体。这一成岩过程历经 5 亿年左右。生成斜长岩岩基,伴随斜长岩生成,产生气液作用,使斜长岩普遍受到钠黝帘石化作用。

在斜长岩冷凝固晶后,仍受到区域压扭力作用生成北东向和北西向压扭性断裂带,在高温高压下,铁镁硅铝熔浆沿深断裂及断裂带多期次的侵入上升,先后生成淡色苏长岩-二长苏长岩-苏长岩-暗色苏长岩-伟晶苏长岩等,此时大庙矿源苏长岩体形成于 1065.3Ma(叶东虎,1989),在晚期苏长岩结晶时生成分凝式铁磷矿及贫铁矿。

伴随苏长岩体生成,富含挥发分的铁质矿浆,其渗透能力较强,运移到苏长岩体周围斜长岩之断裂及裂隙中,生成众多不等的铁磷矿体。铁质矿浆随后侵入上升,由于渗透能力相对较弱,多在苏长岩体下盘斜长岩之断裂及裂隙中和斜长岩与苏长岩接触带沉淀,在矿浆冲击、同化、溶蚀下生成贯入式铁矿;在苏长岩体内有时也生成贯入式铁矿。因此①、②号矿体铁矿成因类型为矿浆贯入成矿。随着矿浆侵入沉淀,铁矿浆中残留富钴镍硫铬合物的高温热液,它们跟随铁矿浆上升,在铁矿体周围有利的构造部位沉淀生成钴镍矿体。

6 结论

(1)河北承德大庙黑山铁矿床矿区范围内斜长

岩主要组分与大庙斜长岩体平均化学成分对比: SiO_2 、 Na_2O 、 K_2O 显著增高, Al_2O_3 、 CaO 变化不大, TiO_2 、 Fe_2O_3 、 FeO 及 MgO 则有明显降低,说明矿区的斜长岩,有蚀变增强的特点。矿区斜长岩具有强碱、高铝、富铁特征,与斜长岩岩体岩石化学特征相同。

(2)矿区内苏长岩体受构造控制,以近东西和北东为主,分布于黑山斜长岩体内。除 SiO_2 、 K_2O + Na_2O 成分高于区域平均值外, Fe_2O_3 + FeO 、 MgO 、 TiO_2 等暗色组分低于区域与东大洼平均值,说明矿区苏长岩基性程度较低,分异较为彻底。苏长岩具有强碱、高铝、富铁特征。与斜长岩特征一致,反映斜长岩和苏长岩来源于相同的高碱玄武岩浆,它们是同源产物。

(3)黑山苏长岩、伟晶苏长岩硫同位素 $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ 分别为 22.120~22.149, $\delta^{34}\text{S}$ 分别为 +1.5‰、+1.9‰,与区内其他苏长岩一致, $\delta^{34}\text{S}$ 分布范围在 +1.3‰~+2.1‰之间,变化不超过 3‰,与陨石硫同位素组分非常接近,反映出苏长岩浆来源于上地幔,在岩浆分异和岩浆熔离过程中没有发生混染作用。本区斜长岩、矿源苏长岩铁矿床和铁磷矿床的氧同位素组成 $\delta^{18}\text{O}$ 在分布上均限于一个很窄的变化范围,反映了它们的物质来源和成因类型的同一性,说明本区矿床的岩浆或矿浆中的水,来自于地幔深处。

(4)黑山斜长岩经利用斜长石化学成分温压计算,生成温度 1170~1260℃,压力为 10~22.5 kbar。苏长岩经二辉石温度计计算,生成温度 948.6~1247.4℃,压力为 10~22.1 kbar,其温度与压力变化较大。显示该岩浆矿床高温成矿特点。

(5)太古宙末期至元古宙早期丰宁-隆化和红石砬一大庙两条深断裂持续的活动,导致两断裂之间的断块,斜长岩岩块南侧上升,北侧下降。在压扭力作用下,使硅铝质熔浆以强迫侵位穹窿式缓慢侵入上升,生成斜长岩岩基。在斜长岩冷凝固晶后,仍受到区域压扭力作用生成北东向和北西向压扭性断裂带,在高温高压下,铁镁硅铝熔浆沿深断裂及断裂带多期次的侵入上升,伴随着苏长岩体生成,同时,富含挥发分的铁质矿浆运移到苏长岩体周围斜长岩之断裂及裂隙中,生成众多不等的铁磷矿体。铁质矿浆随后侵入上升,多在苏长岩体下盘斜长岩之断裂及裂隙中和斜长岩与苏长岩接触带沉淀生成贯入式①、②号铁矿体。

参 考 文 献

- 河北省地质矿产勘查开发局第四地质大队. 2003. 承德市超贫磁铁矿资源供需形势分析报告. 12.
- 解广轰, 王文俊. 1988. 大庙斜长岩杂岩体侵入年龄的初步研究. 地球化学, 17(1): 13~17.
- 黎彤, 饶纪龙. 1963. 中国岩浆岩的平均化学成分. 地质学报, 43(3): 271~280.
- 李江海, 钱祥麟, 谷永昌. 1998. 华北克拉通古元古代区域构造格架及其板块构造演化探讨. 地球科学—中国地质大学学报, 23(3): 230~235.
- 李江海, 翟明国, 李永刚等. 1998. 冀北滦平—承德一带晚太古代高压麻粒岩的发现及其构造地质意义. 岩石学报, 14(1): 34~41.
- 李江海, 翟明国, 钱祥麟等. 1998. 华北中北部晚太古代高压麻粒岩的地质产状及其出露的区域构造背景. 岩石学报, 14(2): 176~189.
- 李闯, 刘靖. 2008. 承德市钒钛资源综合利用及产品结构调整研究. 475, 52~54.
- 毛德宝, 钟长汀, 陈志宏, 林源贤, 李惠民, 胡小蝶. 1999. 承德北部高压基性麻粒岩的同位素年龄及其地质意义. 岩石学报, 15(4): 524~531.
- 沈其韩, 耿元生. 1996. 冀西北太古宙条带状麻粒岩的岩石学和地球化学特征. 岩石学报, 12(2): 247~260.
- 沈其韩, 张宗清, 耿元生等. 1994. 冀西北大东沟富石榴石基性变质岩的岩石学、地球化学和同位素年龄. 见: 钱祥麟, 王仁民主编, 华北北部麻粒岩带地质演化. 北京: 地震出版社, 120~129.
- 王仁民, 陈珍珍, 陈飞. 1991. 恒山灰色片麻岩和高压麻粒岩包体及其地质意义. 岩石学报, 7(4): 36~46.
- 王显锋, 张兴润. 2008. 四川铁矿床主要成因类型及找矿方向. 28(4): 287~304.
- 叶东虎. 1989. 河北省承德市黑山钒钛磁铁矿床、钒钛磁铁矿-磷灰石矿床地质特征及成矿机理. 内部报告. 1~335.
- 翟明国, 郭敬辉, 阎月华等. 1993. 中国华北太古宙高压基性麻粒岩的发现和初步研究. 中国科学, 12(B): 1325~1330.
- 翟明国, 郭敬辉, 阎月华等. 1996. 太古宙克拉通型下地壳剖面: 华北怀安—丰镇—尚义的麻粒岩—角闪岩系. 岩石学报, 12(2): 299~314.
- 赵太平, 陈福坤, 翟明国, 夏斌. 2004. 河北大庙斜长岩杂岩体锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 岩石学报, 20(3): 685~690.
- 郑亚东, Davis G A, 王琮, 等. 2000. 燕山带中生代主要构造事件与板块构造背景问题. 地质学报, 74(4): 289~302.
- 朱大岗, 吴珍汉, 崔盛芹. 1999. 燕山地区中生代岩浆活动特征及其与陆内造山作用关系. 地质论评, 45(2): 163~172.
- Buddington A F, Lindsley D H. 1964. Iron-titanium oxide minerals and synthetic equivalents. J. Petrology, 5(2): 310~357.
- Charlier B, Duchesne J C, Auwera Vander J. 2006. Magma chamber processes in the Tellnes ilmenite deposit (Rogaland Anorthosite Province, SW Norway) and the formation of Fe-Ti ores in massif-type anorthosites. Chemical Geology, 234: 264~290.
- Davis G A, Qian X, Zheng Y, et al. 1996. Mesozoic deformation and plutonism in the Yunmeng Shan: A Chinese metamorphic core complex north of Beijing. In: Yin A, Harrison T M, ed. The tectonic evolution of Asia. Cambridge: Cambridge University Press, 253~280.
- Kusky Timothy, Li J H, Santosh M, 2007. The Paleoproterozoic North Hebei Orogen: North China craton's collisional suture with the Columbia supercontinent. Gondwana Research, 12: 4~28.
- Miao L C, Qiu Y M, McNaughton Neal, Luo Z K, Groves David, Zhai Y S, Fan W M, Zhai M G, Guan K. 2002. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of granitoids from Dongping area, Hebei Province, China; constraints on tectonic evolution and geodynamic setting for gold metallogeny. Ore Geology Reviews, 19: 187~204.
- Yang F Q, Wu H, Franco Pirajno, Ma B Y, Xia H D, Deng H J, Liu X W, Xu G, Zhao Y. 2007. The Jiashan Syenite in northern Hebei: A record of lithospheric thinning in the Yanshan Intracontinental Orogenic Belt. Journal of Asian Earth Sciences, 29: 619~636.
- Yin A, Nie S A. 1996. Phanerozoic palinspastic reconstruction of China and its neighboring regions. In: Yin A, Harrison T M, eds. The tectonic evolution of Asia. Cambridge: Cambridge University Press, 442~485.

Geological Characteristics and Genesis of the Heishan V-Ti Magnetite Deposit in Damiao, Chengde Hebei Province

SUN Jing¹⁾, DU Weihe¹⁾, WANG Dezhong¹⁾, LI Jian¹⁾, XU Guoxin¹⁾, HAN Yuchou²⁾

1) *The 4th Geological Team of Hebei Geology and Mining Bureau, Chengde, Hebei, 067000*

2) *Hebei Geology and Mining Bureau, Shijiazhuang, Hebei, 050081*

Abstract

The Damiao iron deposit is located at the southern margin of the Damiao plagioclase rock body and northern side of the southern edge of Hongshila-Damiao deep fault. Based on the alteration, anorthosite, the major type of rock in the mining area, can be subdivided into saussuritized anorthosite, chloritized anorthosite and mixed anorthosite. The saussuritized one is widely distributed in the mining area, while the others often constitute the surrounding rock of iron mine. Norite body related to the formation of the iron orebody in the Heishan iron mine is controlled by an EW-trending Longtangou-Chagou compressional fault and is distributed mainly within the Heishan anorthosite body. Differential disseminated orebodies occur in partial norite bodies, whereas injection orebodies occur the contact zone of norite and its surrounding rocks. Based on the characteristics and association of norite, the norite in this region can be divided into two series: ① norite series (norite-type rock body, olivine-bearing-norite-norite type rock body); ② monzonite-norite series (monzonite-norite-type rock body, monzonite-olivine norite rock body). The ore textures are mainly euhedral-subhedral grain-shaped, grid-shaped dissolution and sponge-shaped siderite textures, with structures being dense massive and disseminated. The ore minerals consist of mainly vanadium-titanium magnetite (3%~60%), ilmenite (2%~19%), vanadium-bearing magnetite (7%~27%), and minor cobalt-bearing pyrite and chalcopyrite. Gangue minerals are mainly chlorite (7%~33%), plagioclase (0%~45%), and less amount of other minerals. Distinctly different from other norites from both China and world, the Heishan norite is high in Si, Al, Fe, Ti, P, Na, K, and low in Ca, Mg, which provide the source for the iron-phosphate deposit. The oxygen isotope ($\delta^{18}\text{O}$) of anorthosite, norite iron deposits and iron-phosphate deposits in this area are confined within a narrow range, reflecting that they came from the same material source. The $\delta^{34}\text{S}$ of Heishan norite and pegmatite norite is distributed between +1.3‰ and +2.1‰, reflecting the norite magma originated from the upper mantle. The temperature calculation of the apatite in the Heishan iron-phosphate yielded the result of 600~700 °C, and the forming temperature of V-Ti magnetite orebody temperature ranges from 700 to ~1000 °C, showed the characteristics of magma-forming high temperature deposit. This study suggests that the two major iron ore bodies are the products of magma penetration.

Key words: V-Ti Magnetite deposit; plagioclase; norite; Heishan; Chengde; Hebei