

山东齐河—禹城地区李屯富铁矿床地球化学特征及地质意义

沈立军¹⁾, 朱裕振¹⁾, 王怀洪¹⁾, 李双²⁾, 高志军¹⁾, 张心彬¹⁾, 周明磊¹⁾

1) 山东省煤田地质规划勘察研究院, 中国地球物理学会煤田地球物理重点实验室, 山东省煤炭资源数字化工程技术研究中心, 济南, 250104;

2) 山东省地质调查院, 济南, 250014

内容提要: 李屯铁矿为近年在山东省齐河—禹城地区发现的隐伏富磁铁矿床, 为空白区地质找矿新发现。本文通过详细野外调查、室内镜下观察及地球化学分析测试, 对矿床地质、地球化学特征进行了系统研究, 初步揭示矿床成因。磁铁矿体赋存于李屯岩体与石炭纪—二叠纪地层接触带附近的砂泥岩地层内。李屯铁矿中岩体微量元素分配模式具有较好的一致性, 均不同程度地富集 Rb、Ba、Sr 等大离子亲石元素, 亏损 Zr、Nb、Ta 等高场强元素, 磁铁矿石中富集大离子亲石元素 Sr, 亏损 K; 高场强元素富集 U、P、Hf、Ta, 亏损 Nb、Ti。岩体与磁铁矿石稀土元素均表现出轻稀土富集、重稀土亏损的右倾型配分模式。李屯铁矿形成于岩石圈大规模快速减薄期, 成矿构造背景应为板块伸展扩张环境。李屯岩体的岩浆来源为壳幔混源, 尖晶石相二辉橄榄岩发生部分熔融产生的岩浆熔体; 成矿物质来源于深源岩浆及其形成的岩浆岩。磁铁矿成矿与李屯岩体关系密切, 矿床成因类型应是接触交代型矽卡岩铁矿床。

关键词: 富铁矿; 地球化学; 矿床成因; 李屯铁矿; 齐河—禹城地区

李屯铁矿床位于山东省西北部齐河—禹城地区, 该矿床发现于 2015 年, 在厚覆盖层下揭露单层厚度近 99 m 的富磁铁矿, 取得了铁矿找矿空白区重大新发现(张增奇等, 2016; 朱裕振等, 2018); 近年随勘查工作推进, 李屯及南部大张、潘店等地区深部找矿不断取得新进展, 指示了该区良好的找矿前景(吴成平等, 2019, 2020), 有望成为鲁西地区继莱芜张家洼、淄博金岭后又一富铁矿基地。

鲁西地区作为我国重要的接触交代型铁矿成矿区带(李厚民等, 2012), 也是国内少有的具大型富磁铁矿的地区之一(赵一鸣, 2013), 前人针对鲁西莱芜张家洼、淄博金岭等矿床开展了较多的研究工作(费详惠等, 2014; 韩鏊, 2014; 李洪奎等, 2016; 于学峰等, 2016; 金子梁, 2017), 但由于李屯富铁矿床为近年新发现, 针对该矿床的研究工作相对较少, 自发现以来, 仅郭延明等(2017)探讨了地面高精度磁在区内富铁矿勘查中的应用效果; 朱裕振等(2018, 2019)分析了李屯地区地质、地球物理特征, 探讨了

成矿潜力, 应用磁法三维反演进一步圈定了找矿靶区; 沈立军等(2020)对矿区深部控矿岩体地质特征进行了初步探讨。

以往研究工作主要集中于地球物理找矿方法方面, 矿床及岩体特征也仅进行了初步探讨, 对成矿构造背景、成矿物质来源等方面的研究尚属空白, 本文在系统野外地质调查和室内镜下观察的基础上, 对区内中性岩浆岩、矿石进行了系统的地球化学特征进行了系统研究, 以探讨矿床成矿地质背景、成矿物质来源及矿床成因等, 为该矿床进一步富铁矿成矿机制研和成矿理论奠定坚实基础, 为该区富铁矿深部找矿工作提供参考。

1 地质背景

李屯岩体位于鲁西隆起区的西北缘(图 1a), 大地构造位置为华北板块(Ⅰ)鲁西隆起区(Ⅱ)鲁中隆起(Ⅲ)泰山—济南断隆(Ⅳ)齐河潜凸起(Ⅴ)的西北部。

注: 本文为国家重点研发计划项目(编号: 2017YFC0602201)和山东省煤田地质局科研专项奖励基金项目 编号: 鲁煤地科学(2019)3 号

的成果。

收稿日期: 2020-04-15; 改回日期: 2020-12-08; 责任编辑: 章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2021.01.007

作者简介: 沈立军, 男, 1988 年生, 硕士, 工程师, 主要从事地质矿产勘查及矿床学研究; Email: sdmtslj@163.com。通讯作者: 朱裕振, 男,

1986 年生, 硕士, 高级工程师, 主要从事地质—地球物理综合研究; Email: zhuyuzhen2008@163.com。http://www.cnki.net

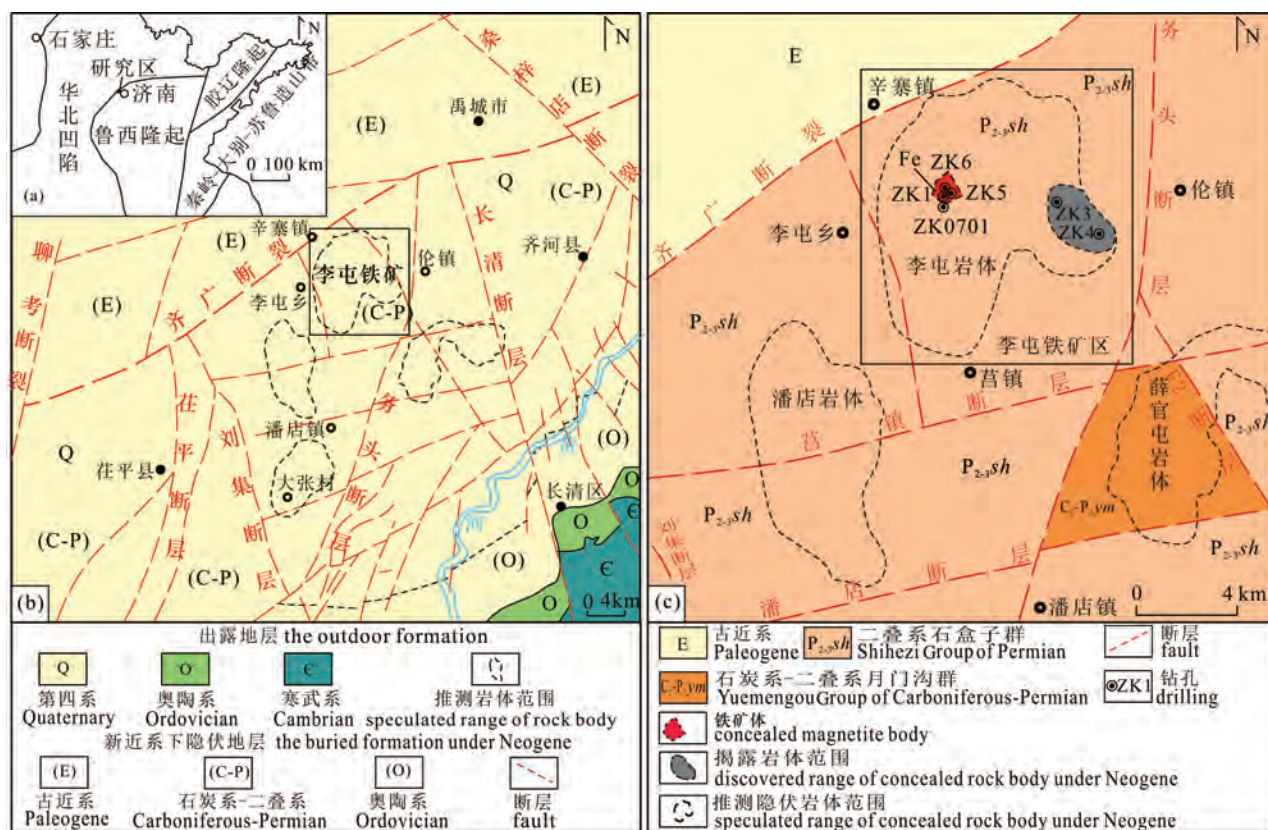


图 1 山东齐河—禹城地区李屯铁矿床大地构造位置 (a)、区域地质 (b) 及矿区前新近系基岩地质图 (c)

Fig. 1 Tectonic location map (a), regional geological sketch map (b) and geological map of base rocks under Neogene in Litun iron ore deposit, Qihe—Yucheng area, Shandong Province

区域地层区划属华北地层区之鲁西地层分区, 区域古老基底为泰山岩群, 上覆地层由老至新为寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系、古近系、新近系及第四系。区域构造以断裂构造为主, 总体上分布有 NE—NNE 向、NW—NNW 向、近 EW 向三组断裂构造, 且以前两者较发育, SN 向断层在该区不甚发育, 各组大断裂互相切割, 控制了区域内凸起、凹陷的产生和发育。区域内岩浆岩分布较广泛, 主要分布有新太古代、中元古代和中生代侵入岩, 以新太古代侵入岩最为发育; 岩石类型上, 超基性—基性—酸性均有出现, 且以中酸性侵入岩为主; 中生代侵入岩分布局限, 以中基性岩为主 (图 1b)。

矿区地表为第四系覆盖, 现阶段钻孔揭露深部地层为石炭系—二叠系月门沟群、二叠系石盒子群及新近系。构造以断裂构造为主, 主要有齐广断裂、务头断层、莒镇断层等 (图 1c), 其中齐广断裂为区域性断裂, 控制了南北两侧地层发育及岩浆岩分布。矿区内岩浆岩主要为李屯岩体, 隐伏产出, 上部以中基性岩为主, 主要为闪长岩类和辉长岩类; 闪长岩下

揭露一期酸性侵入岩, 岩性主要为二长花岗岩、正长花岗岩; 岩体内穿插有闪斜煌岩、闪长玢岩、花岗斑岩脉。

2 矿床地质特征

2.1 矿体特征

矿区内现阶段共圈定磁铁矿体 5 个, 矿体形态以似层状为主, 矿体倾向西南, 倾角较缓, 约 20° 左右, 赋存深度 1157~1303 m。矿体顶底板为砂卡岩或角岩, 赋存位置与莱芜、淄博等地砂卡岩型铁矿不同, 并非赋存于岩体与地层接触带内, 而是赋存于闪长岩体与石炭系—二叠系地层接触带附近的地层中, 矿体与岩体间仍有 16~64 m 的石炭系—二叠系砂岩、泥岩, 岩石角岩化严重, 并发育少量砂卡岩化。

主矿体 IV 号矿体: 矿体形态为似层状 (图 2), 现控制矿体部位倾向 240° , 倾角约 21° 。目前矿体倾向控制长度 189 m, 走向控制长度 273 m, 矿体赋存标高 -1157.12~-1259.33 m。钻遇厚度 57.33~99.56 m, 真厚度 53.57~97.45 m, 平均真厚度

77.39 m,属厚度变化简单矿体。矿体单样品最高品位 TFe(全铁)为 68.85%,mFe(磁铁)为 67.07%;最低 TFe 为 25.16%,mFe 为 21.27%,局部含少量夹石(品位 TFe 为 9.46%,mFe 为 4.23%),厚度较小未达夹石剔除厚度;矿体平均品位 TFe 为 58.18%,mFe 为 54.49%,属品位变化均匀矿体。

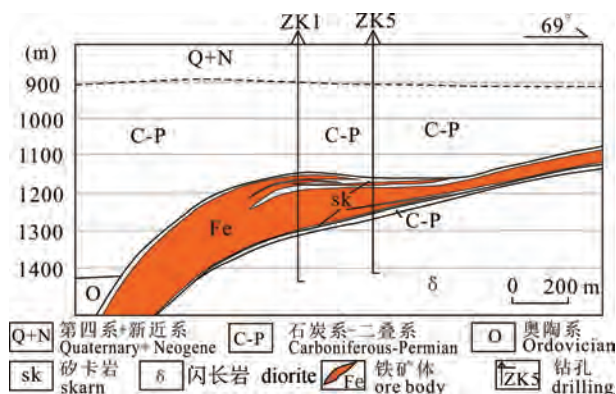


图 2 齐河—禹城地区李屯铁矿地质剖面简图

Fig. 2 Geological profile of the ore body in

Litu iron deposit, Qihe—Yucheng area, Shandong

2.2 矿石特征

磁铁矿石结构以半自形—他形粒状结构为主,少量交代结构、填隙结构及包含结构等。半自形—他形粒状结构:磁铁矿呈半自形—他形粒状分布(图 3a),并与透辉石、透闪石等脉石矿物等共生。交代结构:矿石中可见黄铁矿交代早期磁铁矿(图 3b),磁黄铁矿交代磁铁矿、黄铁矿,黄铜矿交代黄铁矿(图 3c)等。填隙结构:黄铁矿充填于磁铁矿的晶隙之间(图 3d)。包含结构:黄铁矿包含磁铁矿(图 3e),磁铁矿内包含磁黄铁矿(图 3f)等。

矿石构造以致密块状、浸染状构造为主,少量脉状、角砾状矿石。致密块状构造:磁铁矿呈致密集合体分布,脉石矿物较少,仅见少许黄铁矿、黄铜矿等共伴生(图 3g)。浸染状构造:黄铁矿呈星点状分布于磁铁矿及脉石矿物中(图 3h)。条带状构造:磁铁矿呈条带状与脉石矿物间隔分布(图 3i)。角砾状构造:矿石中可见三种类型角砾状矿石,一种角砾为磁铁矿,后期碳酸岩脉胶结(图 3j);一种角砾包含磁铁矿、围岩两种类型,胶结物为碳酸岩脉(图 3k);另有较低品位矿石,角砾为围岩地层,胶结物为磁铁矿(图 3l)。

矿石中金属矿物主要为磁铁矿,少量黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、赤铁矿等(图 3),矿体边部矽卡岩

化较强部位偶见少量方铅矿、闪锌矿;非金属矿物主要为透辉石、石榴子石、金云母、透闪石、绿帘石、绿泥石和方解石等。磁铁矿为矿石主要金属矿物,铁黑色,半金属光泽,不透明,具强磁性,反光镜下呈钢灰色,结构以半自形—他形粒状为主,部分呈半自形粒状,粒度一般 0.05~0.3 mm,部分 0.3~0.5 mm,少 0.5~1 mm,不等粒,晶粒间常常致密接触,杂乱排列,主要以集合体形态产出。

2.3 围岩蚀变

矿体两侧围岩及岩体内均发育不同程度的蚀变作用,主要有矽卡岩化、钾长石化、绢云母化、绿帘石化及绿泥石化等,近矿围岩大多数可见矽卡岩化,但矽卡岩化强度相对较低,宽度相对较窄,与周边张家洼、金岭等矽卡岩矿床具一定差别,同时围岩中碳酸岩不发育,因而大理岩化不发育,角岩化较强。

蚀变类型:区内矽卡岩化类型有石榴子化和透辉石化,手标本上矽卡岩主要由石榴子石和透辉石组成,石榴石颗粒中充填细粒磁铁矿,常蚀变为绿帘石和绿泥石。矽卡岩化多分布于矿体与围岩的接触带附近,部分铁矿与矽卡岩呈过度接触、局部铁矿与角岩围岩之间矽卡岩带较窄,甚至矽卡岩不发育,矿体直接与角岩接触。绿帘石化在矿体周边地层、矽卡岩及岩体内普遍发育,在岩体内绿帘石化常与绢云母化相互叠加,常与绿泥石伴生,星点状分布于闪长岩中可见。绢云母化在岩体之中较为发育,蚀变较强,斜长石常被蚀变为绢云母,使得原岩整体泛青绿色,绢云母化常常叠加在早期的钾长石化上。钾化蚀变是闪长岩体内最常见的蚀变,岩体绢云母化、绿帘石化、绿泥石化等常叠加在钾长石化之上,岩石中斜长石多被钾长石交代,使岩石颜色偏肉红色。

矿床围岩蚀变具一定分带特征,从地层至岩体依次为砂泥岩地层—角岩—矽卡岩—磁铁矿体—矽卡岩化—角岩—绿帘石、绿泥石化—绢云母化—钾长石化—新鲜岩体,局部地段矽卡岩带较薄或直接缺失。岩体从深到浅发生钾化、绢云母化、绿帘石化,但三者界线模糊,且绢云母化、绿帘石化都叠加在早期的钾化上;角岩是热液对围岩的地层进行热烘烤变质而成,分布较广;矽卡岩化带是在角岩的基础上,叠加了矽卡岩化,形成石榴子石、透辉石矽卡岩。各蚀变带之间界面通常不明显,大多数是相互叠加的结果,总体上从近岩体到矿体外围蚀变强度依次减弱,强烈的矽卡岩化是近矿蚀变的标志。

2.4 成矿期次

通过野外钻孔内现象和手标本的观察、室内镜

下观察矽卡岩及矿石内矿物的共生组合及穿插关系,将李屯铁矿床的成岩成矿过程由早到晚分为 4 个阶段(表 1):

(1) 早矽卡岩化阶段: 矽卡岩的主要形成阶段,

在该阶段高温成矿热液流体与碳酸盐岩围岩发生反应,把溶解的碳酸盐中 Ca、Mg 向侵入体方向运移,二者相互反应形成石榴子石、透辉石等矿物,多呈半自形—他形粒状,在野外手标本中局部可见晶形较

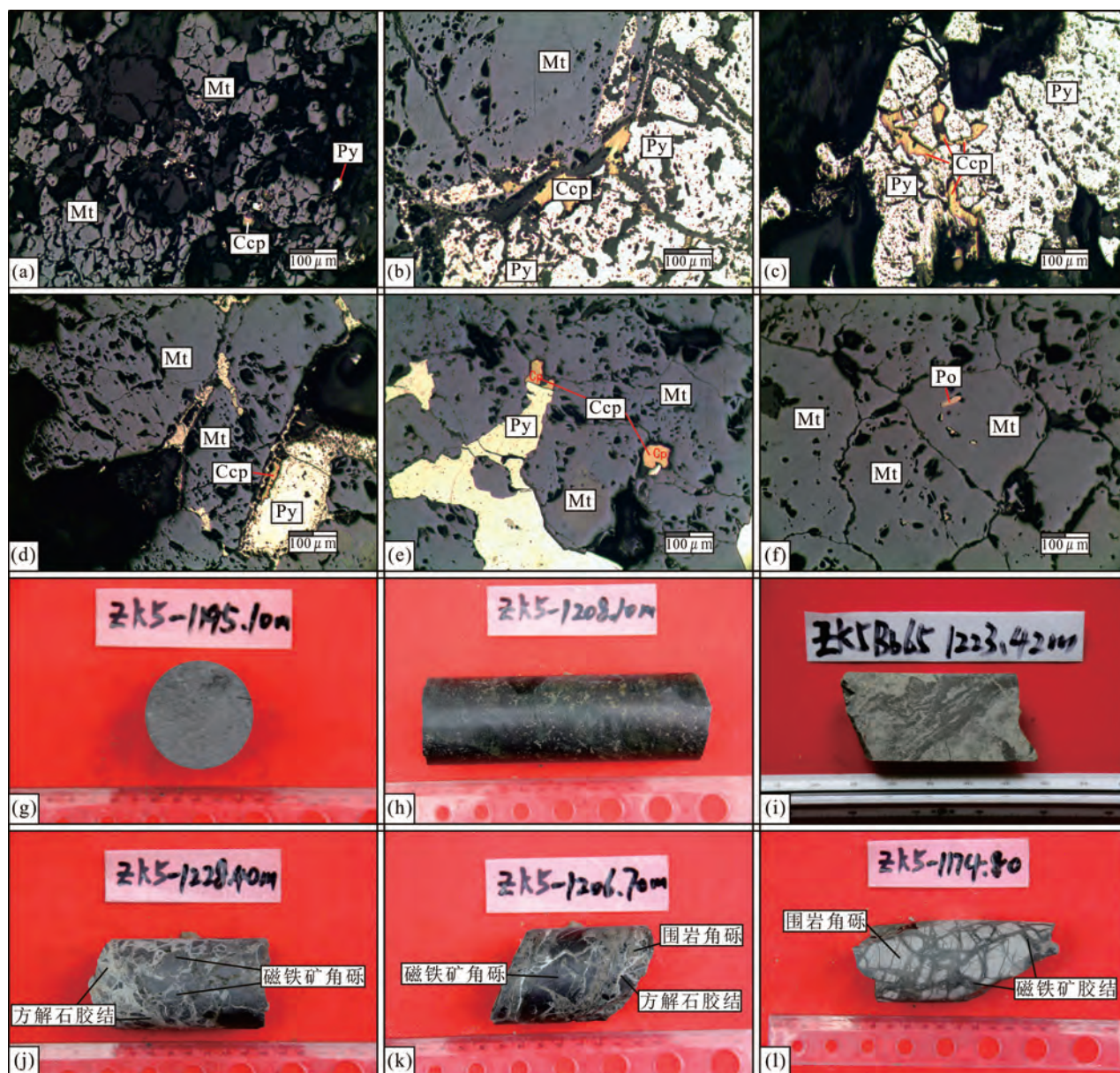


图 3 齐河—禹城地区李屯铁矿床矿石典型结构、构造照片

Fig. 3 Texture and structure photos of ores in the Litun iron ore deposit, Qihe—Yucheng area, Shandong

(a) 磁铁矿呈半自形—他形粒状分布; (b) 黄铁矿交代磁铁矿; (c) 黄铜矿交代黄铁矿; (d) 黄铁矿生于磁铁矿晶隙之间; (e) 黄铁矿内包含磁铁矿,磁铁矿内包含黄铜矿; (f) 磁铁矿内包含磁黄铁矿; (g) 磁铁矿致密分布,脉石矿物较少; (h) 黄铁矿浸染状分布于磁铁矿内; (i) 磁铁矿呈条带状分布; (j) 磁铁矿角砾被方解石胶结; (k) 磁铁矿与围岩两种角砾被方解石胶结; (l) 围岩角砾被磁铁矿胶结。Mt—磁铁矿; Py—黄铁矿; Ccp—黄铜矿; Po—磁黄铁矿

(a) hypautomorphic and xenomorphic texture of magnetite; (b) metasomatic pyrite from magnetite; (c) metasomatic chalcopyrite from pyrite; (d) pyrite between magnetite crystals; (e) magnetite in pyrite, chalcopyrite in magnetite; (f) pyrrhotite in magnetite; (g) dense magnetite with a few gangue mineral; (h) pyrite disseminated in magnetite; (i) banded magnetite; (j) magnetite breccia cemented with calcite; (k) magnetite and surrounding rock breccia cemented with calcite; (l) surrounding rock breccia cemented with magnetite. Mt— magnetite; Py— pyrite; Ccp— chalcopyrite; Po— pyrrhotite

表1 山东齐河-禹城地区李屯铁矿床矿物生成顺序
Table 1 Sequence of minerals in the Litun iron deposit,
Qihe-Yucheng area, Shandong Province

成矿期次 矿物	早矽卡岩 阶段	晚矽卡岩 阶段	硫化物 阶段	碳酸盐 阶段
透辉石	—			
石榴子石	—			
磁铁矿		—		
透闪石		—		
金云母		—		
绿帘石		—		
绿泥石		—		
黄铁矿			—	
黄铜矿			—	
磁黄铁矿			—	
石英			—	
方解石				—
方铅矿			—	
闪锌矿			—	

好的石榴子石。

(2) 晚矽卡岩阶段: 为磁铁矿主成矿阶段, 随温度、 P - f 、氧逸度等条件变化, 磁铁矿大规模沉淀, 可见磁铁矿包裹早期矽卡岩角砾, 磁铁矿多呈半自形—他形粒状或致密粒状集合体状, 分布于石榴子石、透辉石间隙。同时富水硅酸盐开始析出, 金云母、透闪石、阳起石、绿帘石等矿物形成, 与磁铁矿共生或包裹早期的磁铁矿、石榴子石、透辉石等, 并可见该期矿物沿早期透辉石、石榴子石等矿物裂隙分布。

(3) 硫化物阶段: 随着温度的继续下降及氧逸度的降低, 形成黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿等硫化物, 硫化物常呈浸染状分布于矽卡岩或磁铁矿石内, 亦可见呈脉状或网脉状充填于磁铁矿集合体裂隙中或矽卡岩裂隙中, 石英产出较少, 偶见少量硫化物与石英呈细脉切穿早期磁铁矿。

(4) 碳酸盐阶段: 为成矿作用的晚期, 形成大量方解石矿物, 并伴随少量黄铁矿, 常见包含黄铁矿的碳酸岩脉切穿早期形成的磁铁矿、黄铁矿及矽卡岩等矿物, 亦可见碳酸岩脉切穿早期黄铁矿脉, 对早期矿物交代不明显。

3 分析方法

本次研究采集了李屯矿床岩体内近矿、远矿岩浆岩及典型矿石样品, 进行了主量、微量、稀土元素

的分析测试。岩浆岩样品测试工作由河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成, 主量元素采用 Axios max 型 X 射线荧光光谱仪, 分析相对误差小于 3%, 微量、稀土元素采用 X Serise 2 等离子体质谱仪, 实验温度在 22~28℃, 相对湿度为 38%~60%, 样品用 1 L 浓 HF+0.5 L 浓 HNO₃ 在 190℃ 溶解 48 h, 以保证样品完全溶解, 元素分析相对误差小于 5%; 矿石样品测试由河北地质大学地质实验测试中心完成, 主量元素采用 Axios PW 4400 型 X 射线荧光光谱仪 (XRF) 分析完成, 分析相对误差小于 1%, 微量元素及稀土元素采用电感耦合等离子体质谱 (ELANDRC-e 型 ICP-MS) 完成, 分析相对误差小于 3%, 测试环境温度 20℃, 湿度 30%。

4 结果

主量、微量、稀土元素分析结果见表 2。

4.1 主量元素

矿区内远矿岩浆岩在 TAS 图解 (图 4a) 中显示, 主要为闪长岩、二长闪长岩及二长岩, SiO₂ 含量平均 59.38%, 略高于中国闪长岩 SiO₂ 含量 (57.39%; 黎彤等, 1990), 为中性岩; CaO 含量平均 5.50%, 与中国闪长岩 CaO 含量 5.58% 基本相近; K₂O 含量平均 2.11%, 略低于中国闪长岩 K₂O 含量 (2.57%); ALK 值介于 6.15%~7.27% 之间, 平均 6.46%, 略低于中国闪长岩 ALK 含量 6.83%, 里特曼指数在 2.14~2.75 之间, 小于 3.3, 属于钙碱性系列; K₂O/Na₂O 平均为 0.50<1, 为钠质岩石; MgO/CaO 平均为 0.88<1, 指示岩体具富钙特征, 这与岩石平均富钙率 0.33 显示结果相吻合; MgO 含量 4.46%~5.40%, 平均为 4.79%, 高于中国闪长岩 MgO 含量 3.77%, 说明岩石的富镁性质; Mg[#] 值 41.24~46.68; TFe₂O₃ 含量平均 6.04% 低于中国闪长岩 TFe₂O₃ 含量 (7.71%), 说明岩体贫铁; A/CNK 为 1.28>1, 属过铝质岩石。在 K₂O—SiO₂ 图 (图 4b) 中, 部分落入高钾钙碱性系列, 部分落入钙碱性系列, 总体显示为钙碱性系列。总体上, 李屯岩体远矿闪长岩为富钙、富镁、贫铁的过铝质岩石。

区内近矿岩浆岩在 TAS 图解 (图 4a) 中显示, 主要为石英二长岩、花岗闪长岩, SiO₂ 含量平均 64.14%, 远高于中国闪长岩 SiO₂ 含量 (57.39%), 为中酸性岩; CaO 含量平均 4.87%, 低于中国闪长岩 CaO 含量 5.58%; K₂O 含量平均 1.37%, 远低于中国闪长岩 K₂O 含量 (2.57%); ALK 值介于 7.51%~

表 2 齐河—禹城地区李屯铁矿岩矿石主量元素(%)、微量和稀土元素($\times 10^{-6}$) 分析结果
Table 2 Major elements(%), trace and rare earth elements($\times 10^{-6}$) data of magmatic rock
and iron ore in the Litun iron deposit, Qihe—Yucheng area, Shandong

样品编号	ZK4YQ1	ZK4YQ2	ZK4YQ3	ZK4YQ4	ZK4YQ5	ZK4YQ6	ZK1YQ4	ZK1YQ5	ZK1YQ6	ZK1YQ7	ZK1YQ8	y527	y533
样品名	远矿闪长岩						近矿闪长岩					磁铁矿	
SiO ₂	61.42	60.57	62.07	56.60	60.31	55.28	61.80	63.20	66.22	65.34	64.13	9.05	3.3
Al ₂ O ₃	15.20	15.17	14.83	15.29	15.16	15.85	17.63	16.19	14.91	15.33	15.99	4.42	0.44
TiO ₂	0.50	0.52	0.51	0.85	0.56	0.89	0.54	0.49	0.42	0.41	0.51	0.19	—
Fe ₂ O ₃	2.16	2.28	2.08	3.05	2.48	3.27	0.40	0.61	1.10	1.95	0.96		
FeO	3.15	3.32	3.06	4.70	3.47	4.74	0.94	1.03	1.36	1.74	1.99		
CaO	5.05	5.42	4.50	6.30	5.41	6.32	6.39	5.97	4.47	3.46	4.04	2.1	0.91
MgO	4.46	4.55	4.46	5.28	4.59	5.40	2.80	2.72	2.54	2.43	2.90	3.45	0.88
K ₂ O	2.16	2.16	1.88	2.04	2.13	2.32	0.35	0.36	2.24	3.33	0.57	0.06	0.04
Na ₂ O	4.29	3.98	5.30	4.08	4.29	3.94	8.00	7.22	5.26	4.85	7.56	0.18	0.09
MnO	0.09	0.10	0.08	0.14	0.09	0.14	0.03	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	—
P ₂ O ₅	0.18	0.19	0.17	0.28	0.21	0.34	0.02	0.20	0.17	0.17	0.20	0.19	0.10
烧失	1.02	1.41	0.77	1.12	0.98	1.20	0.91	1.80	1.03	0.62	0.92		
总和	98.49	98.06	98.76	98.33	98.49	98.16	98.88	97.81	98.56	98.88	98.70	86.31	92.00
ALK	6.49	6.18	7.21	6.15	6.45	6.30	8.39	7.64	7.51	8.22	8.18		
K ₂ O/Na ₂ O	0.50	0.54	0.36	0.50	0.50	0.59	0.04	0.05	0.43	0.69	0.08		
MgO/CaO	0.88	0.84	0.99	0.84	0.85	0.85	0.44	0.45	0.57	0.70	0.72		
TFe ₂ O ₃	5.10	5.37	4.93	7.45	5.70	7.69	1.30	1.57	2.35	3.49	2.86	66.64	86.24
σ	2.26	2.14	2.70	2.75	2.38	3.19	3.71	2.84	2.42	3.00	3.13		
A/CNK	1.32	1.31	1.27	1.23	1.28	1.26	1.20	1.19	1.25	1.32	1.31		
富钙率	0.34	0.35	0.32	0.32	0.34	0.32	0.60	0.58	0.47	0.36	0.41		
Rb	42.78	37.63	38.99	40.35	45.16	49.49	6.31	7.95	38.03	51.35	15.20	4.28	0.80
Ba	1496	1724	1481	1025	1575	1268	501.4	503.3	1103	1863	507.9	10.8	22.9
Th	2.38	2.24	1.61	4.82	2.18	3.16	4.27	5.44	5.6	5.16	4.48	1.62	0.25
U	0.71	0.69	0.71	1.24	0.68	0.88	1.18	1.15	1.50	1.36	1.31	1.72	1.05
K	17949	17919	15623	16897	17672	19251	2884	2967	18565	27672	4748	481.5	307.2
Ta	0.52	0.44	0.44	0.64	0.64	0.53	0.59	0.57	0.56	0.46	0.46	0.87	0.65
Nb	6.73	6.48	6.46	10.25	7.09	8.12	10.13	9.85	8.09	7.54	7.37	9.37	0.86
Sr	875.7	955.9	705.0	793.6	857.3	832.9	915.5	831.2	677.1	650.4	615.0	167.0	26.1
P	767.7	812.6	753.9	1241	909.5	1498	81.9	886.7	739.2	740.3	880.8	829.2	436.4
Zr	85.67	65.88	95.49	82.47	97.58	86.02	155.5	146.6	142.8	160.3	182.5	208	74.1
Hf	2.46	1.91	2.72	2.81	2.75	2.61	3.88	3.91	3.86	4.04	4.14	4.19	1.27
Ti	2979	3106	3032	5114	3341	5332	3219	2929	2533	2475	3042	1139	2038
La	20.26	19.8	22.55	34.03	23.58	28.13	19.87	20.25	23.46	23.07	20.47	12.34	13.22
Ce	41.04	40.17	36.19	70.45	47.95	59.02	46.23	45.3	47.65	45.56	35.73	12.99	10.1
Pr	5.03	4.91	4.39	8.51	5.69	7.61	5.5	5.48	5.63	5.38	4.54	1.57	1.21
Nd	20.56	20.44	18.04	36.23	24.21	33.44	21.24	21.82	22.92	21.85	18.74	3.29	3.79
Sm	3.75	3.70	3.31	6.79	4.37	6.25	3.45	3.75	3.71	3.61	3.38	1.61	1.36
Eu	1.48	1.50	1.31	1.84	1.62	2.00	0.85	1.00	1.23	1.48	0.99	0.85	0.81
Gd	3.18	3.14	2.84	5.71	3.62	5.26	2.85	3.12	3.11	3.04	2.8	1.09	1.42
Tb	0.48	0.47	0.42	0.85	0.54	0.80	0.41	0.47	0.44	0.43	0.43	0.42	0.34
Dy	2.51	2.54	2.22	4.68	2.89	4.35	2.12	2.46	2.22	2.25	2.35	1.76	1.09
Ho	0.47	0.47	0.42	0.84	0.53	0.76	0.39	0.45	0.42	0.42	0.44	0.38	0.27
Er	1.31	1.27	1.17	2.35	1.47	2.10	1.09	1.26	1.18	1.19	1.24	1.29	0.86
Tm	0.24	0.23	0.22	0.43	0.27	0.36	0.19	0.24	0.22	0.22	0.23	0.17	0.11
Yb	1.54	1.50	1.39	2.70	1.73	2.29	1.28	1.58	1.45	1.52	1.54	1.02	1.05
Lu	0.22	0.20	0.20	0.37	0.24	0.31	0.18	0.23	0.22	0.22	0.22	0.14	0.11
Y	15.85	16.7	14.41	23.52	17.71	20.86	13.94	15.47	14.51	14.39	15.83	9.2	7.1
Σ REE	102.1	100.3	94.66	175.8	118.7	152.7	105.7	107.4	113.9	110.2	93.1	38.92	35.73
LREE	92.12	90.51	85.79	157.9	107.43	136.43	97.15	97.61	104.6	101.0	83.84	32.65	30.49
HREE	9.96	9.82	8.87	17.93	11.28	16.23	8.51	9.8	9.25	9.28	9.26	6.27	5.24

样品编号	ZK4YQ1	ZK4YQ2	ZK4YQ3	ZK4YQ4	ZK4YQ5	ZK4YQ6	ZK1YQ4	ZK1YQ5	ZK1YQ6	ZK1YQ7	ZK1YQ8	y527	y533
LREE/HREE	9.25	9.21	9.67	8.8	9.52	8.41	11.41	9.96	11.31	10.88	9.06	5.21	5.82
La _N /Yb _N	9.43	9.47	11.64	9.04	9.78	8.83	11.12	9.19	11.62	10.91	9.53	8.68	9.04
δEu	1.31	1.34	1.31	0.90	1.25	1.06	0.83	0.89	1.11	1.36	0.98	1.96	1.79
δCe	1.00	1.00	0.89	1.01	1.01	0.99	1.08	1.05	1.02	1.00	0.91	0.72	0.62

注: $ALK = \omega(\text{Na}_2\text{O}) + \omega(\text{K}_2\text{O})$, 其中 Na_2O 和 K_2O 为去除烧失量后重新换算为 100% 的结果; 里特曼指数 $\sigma = \frac{[\omega(\text{Na}_2\text{O}) + \omega(\text{K}_2\text{O})]^2}{\omega(\text{SiO}_2) - 43\%}$;

富钙率 = $\frac{\omega(\text{CaO})}{\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) + \omega(\text{FeO}) + \omega(\text{MnO}) + \omega(\text{MgO}) + \omega(\text{CaO})}$; $A/CNK = \frac{n(\text{Al}_2\text{O}_3)}{n(\text{CaO}) + n(\text{K}_2\text{O}) + n(\text{Na}_2\text{O})}$; $Mg^\# = 100 \times \frac{n(\text{Mg}^{2+})}{n(\text{Mg}^{2+}) + n(\text{Fe}^{2+})}$ (见邓晋福等, 2015)。

8.37% 之间, 平均 7.99%, 高于中国闪长岩 ALK 含量 6.83%, 里特曼指数在 2.41 ~ 3.71 之间, 平均 3.02, 总体属钙碱性系列; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 平均为 0.26 < 1, 为钠质岩石; MgO/CaO 平均为 0.58 < 1, 指示岩体具富钙特征, 这与岩石平均富钙率 0.48 显示结果相吻合; MgO 含量 2.43% ~ 2.90%, 平均为 2.68%, 远低于中国闪长岩 MgO 含量 3.77%, 说明岩石的贫镁性质; $Mg^\#$ 值 40.99 ~ 68.32; TFe_2O_3 含量平均 2.31%, 远低于中国闪长岩 TFe_2O_3 含量 (7.71%), 说明岩体贫铁; A/CNK 为 1.25 > 1, 属过铝质岩石。

在 K_2O — SiO_2 图 (图 4b) 中投点较为分散, 低钾钙碱性、钙碱性、高钾钙碱性均有分布, 说明近矿岩浆岩可能经历后期热液影响较大。总体上, 李屯岩体近矿岩浆岩为贫钾、富钙、贫铁、贫镁的过铝质岩石。

磁铁矿石主量分析结果显示, TFe_2O_3 含量 66.64% ~ 86.24%, SiO_2 含量 3.30% ~ 9.05%, Al_2O_3 含量 0.44% ~ 4.42%, MgO 含量 0.88% ~ 3.45%, CaO 含量 0.91% ~ 2.10%。 TFe_2O_3 含量越高, SiO_2 、 MgO 、 CaO 等含量越低。

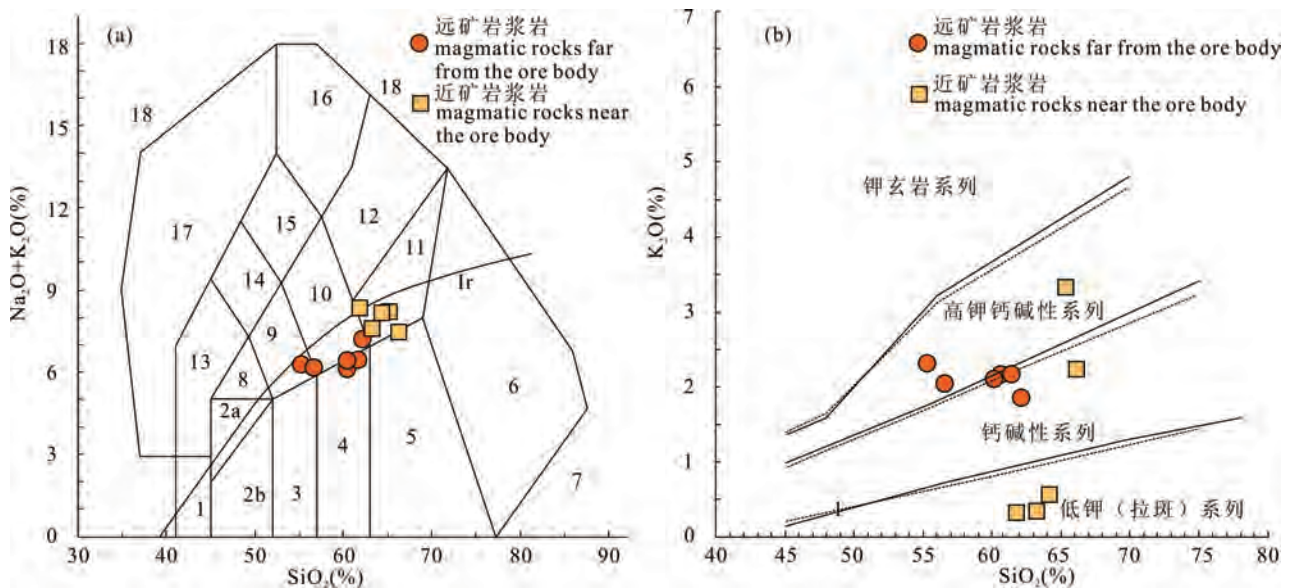


图 4 齐河—禹城地区李屯矿床岩浆岩 TAS 分类图 (a, 底图据 Middlemost, 1994) 和 K_2O — SiO_2

图 (b, 实线据 Peccerillo and Taylor, 1976; 虚线据 Middlemost, 1985)

Fig. 4 TAS diagram (a, after Middlemost, 1994) and K_2O — SiO_2 diagram (b, solid lines from Peccerillo and Taylor, 1976;

dashed lines from Middlemost, 1985) of magmatic rocks in the Litun iron deposit, Qihe—Yucheng area, Shandong

Ir—Irvine 分界线, 上方为碱性, 下方为亚碱性。深成岩: 1—橄榄辉长岩; 2a—碱性辉长岩; 2b—亚碱性辉长岩; 3—辉长闪长岩; 4—闪长岩; 5—花岗闪长岩; 6—花岗岩; 7—石英岩; 8—二长辉长岩; 9—二长闪长岩; 10—二长岩; 11—石英二长岩; 12—正长岩; 13—副长石辉长岩; 14—副长石二长闪长岩; 15—副长石二长正长岩; 16—副长正长岩; 17—副长深成岩; 18—霓方钠岩/磷霞岩/粗白榴岩
Plutonite: 1—Olivine gabbro; 2a—Alkaline gabbro; 2b—Subbasic gabbro; 3—Gabbro diorite; 4—Diorite; 5—Granodiorite; 6—Granite; 7—Quartzolite; 8—Monzogabbro; 9—Monzodiorite; 10—Monzonite; 11—Adamellite; 12—Syenite; 13—Foid gabbro; 14—Foid monzodiorite; 15—Foid monzosyenite; 16—Foid syenite; 17—Foid plutonite; 18—Tawite / urtite / itatite

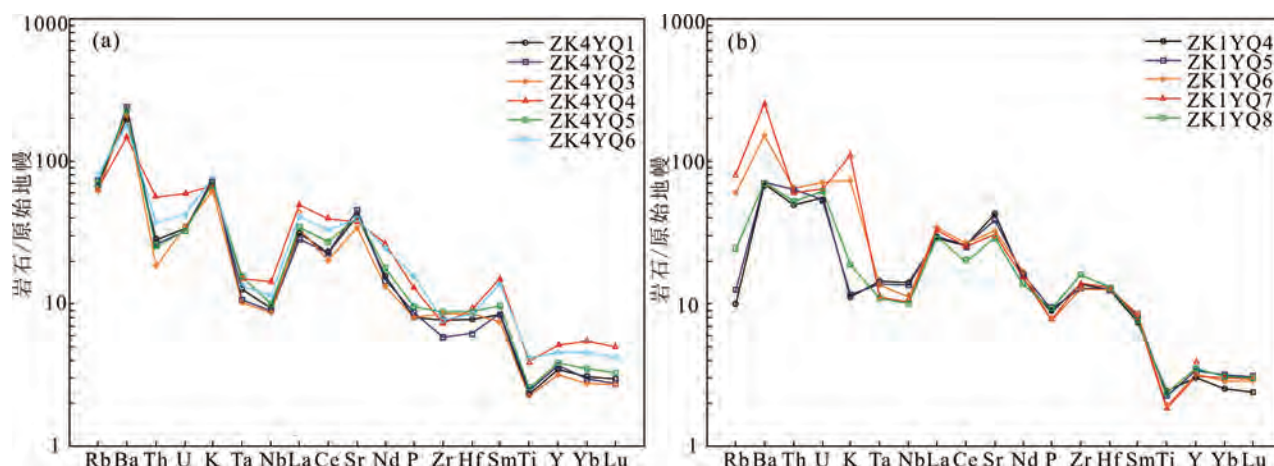


图 5 齐河—禹城地区李屯铁矿岩浆岩原始地幔标准化微量元素蛛网图(标准化数值据 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 5 Ratio spidergrams of trace elements for magmatic rocks in the Litun iron deposit, Qihe—Yucheng area, Shandong
(Normalized values of the primary mantle after Sun and McDonough, 1989)

4.2 微量元素

远矿岩浆岩微量元素分析结果见表 2, 样品 Ba 含量主要介于 $1025 \times 10^{-6} \sim 1724 \times 10^{-6}$ 之间, 平均含量为 1428×10^{-6} ; Sr 含量在 $705.0 \times 10^{-6} \sim 955.9 \times 10^{-6}$ 之间, 平均含量为 836.7×10^{-6} ; Ba 平均含量远高于其大陆地壳平均值 ($Ba = 390 \times 10^{-6}$) (Rudnick and Fountain, 1995), Sr 远高于上地壳值 350×10^{-6} 和下地壳值 230×10^{-6} , 显示了原始岩浆的深源性。在火山岩样品原始地幔标准化微量元素蛛网图上(图 5a) 可以看出, 闪长岩微量元素分配模式具有较好的一致性, 均不同程度地富集 Rb、Ba、Sr 等大离子亲石元素(LILEs), 亏损 Zr、Nb、Ta 等高场强元素(HFSEs)。

近矿岩浆岩微量元素除 Rb、K 元素外一致性也较好, 在原始地幔标准化微量元素蛛网图上(图 5b) 可以看出, 均不同程度地富集 Rb、Ba、Sr 等大离子亲石元素(LILEs), 亏损 Zr、Nb、Ta 等高场强元素(HFSEs)。样品 Ba 含量主要介于 $501.4 \times 10^{-6} \sim 1863 \times 10^{-6}$ 之间, 平均含量为 895.6×10^{-6} ; Sr 含量在 $615.0 \times 10^{-6} \sim 915.5 \times 10^{-6}$ 之间, 平均含量为 737.8×10^{-6} ; Ba 平均含量远高于其大陆地壳平均值 ($Ba = 390 \times 10^{-6}$) (Rudnick and Fountain, 1995), Sr 远高于上地壳值 350×10^{-6} 和下地壳值 230×10^{-6} , 显示了原始岩浆的深源性。

磁铁矿石微量元素分析结果显示, 矿石大离子亲石元素中富集 Sr, 亏损 K; 高场强元素中富集 U、P、Hf、Ta, 亏损 Nb、Ti。

由李屯铁矿床闪长岩、磁铁矿石微量元素含量

分析结果可以看出, 近矿闪长岩与远矿闪长岩微量元素分布特质基本一致, 反映了两种岩石是同源的, 均来自于深源岩浆; 各类岩矿石微量元素总量大小关系为: 远矿岩浆岩 > 近矿岩浆岩 > 磁铁矿石, 说明在李屯岩体在成矿作用过程中微量元素逐渐流失。

4.3 稀土元素

远矿岩浆岩的 ΣREE 为 $94.66 \times 10^{-6} \sim 175.8 \times 10^{-6}$, 平均为 124.0×10^{-6} , 其中 LREE 为 $85.78 \times 10^{-6} \sim 157.8 \times 10^{-6}$, 平均为 111.7×10^{-6} , HREE 为 $8.87 \times 10^{-6} \sim 17.93 \times 10^{-6}$, 平均为 12.35×10^{-6} , LREE/HREE 为 $8.41 \sim 9.67$, 平均为 9.14 , La_N/Yb_N 为 $8.83 \sim 11.64$, 平均为 9.14 , 在球粒陨石标准化配分曲线上(图 6a), 所有闪长岩一致性较好, 表现出轻稀土富集、重稀土亏损的右倾型配分模式, 轻稀土分馏较明显 (La_N/Sm_N 为 $2.91 \sim 4.40$), 重稀土配分曲线相对较平坦分馏较差 (Gd_N/Yb_N 为 $1.69 \sim 1.90$), 多具弱的正铈异常 (δEu 为 $0.90 \sim 1.34$), 铈异常不明显 (δCe 为 $0.89 \sim 1.01$), Eu 异常值说明岩石形成过程并未发生斜长石的分离结晶作用。

近矿岩浆岩的 ΣREE 为 $93.10 \times 10^{-6} \sim 110.2 \times 10^{-6}$, 平均为 106.0×10^{-6} , 其中 LREE 为 $84.84 \times 10^{-6} \sim 104.6 \times 10^{-6}$, 平均为 96.83×10^{-6} , HREE 为 $8.51 \times 10^{-6} \sim 9.80 \times 10^{-6}$, 平均为 9.22×10^{-6} , LREE/HREE 为 $9.06 \sim 11.41$, 平均为 10.52 , La_N/Yb_N 为 $9.18 \sim 11.12$, 平均为 10.52 , 在球粒陨石标准化配分曲线上(图 6b), 所有近矿岩浆岩一致性较好, 表现出轻稀土富集、重稀土亏损的右倾型配分模式, 轻稀土分馏较明显 (La_N/Sm_N 为 $3.48 \sim 4.12$), 重稀土配分曲

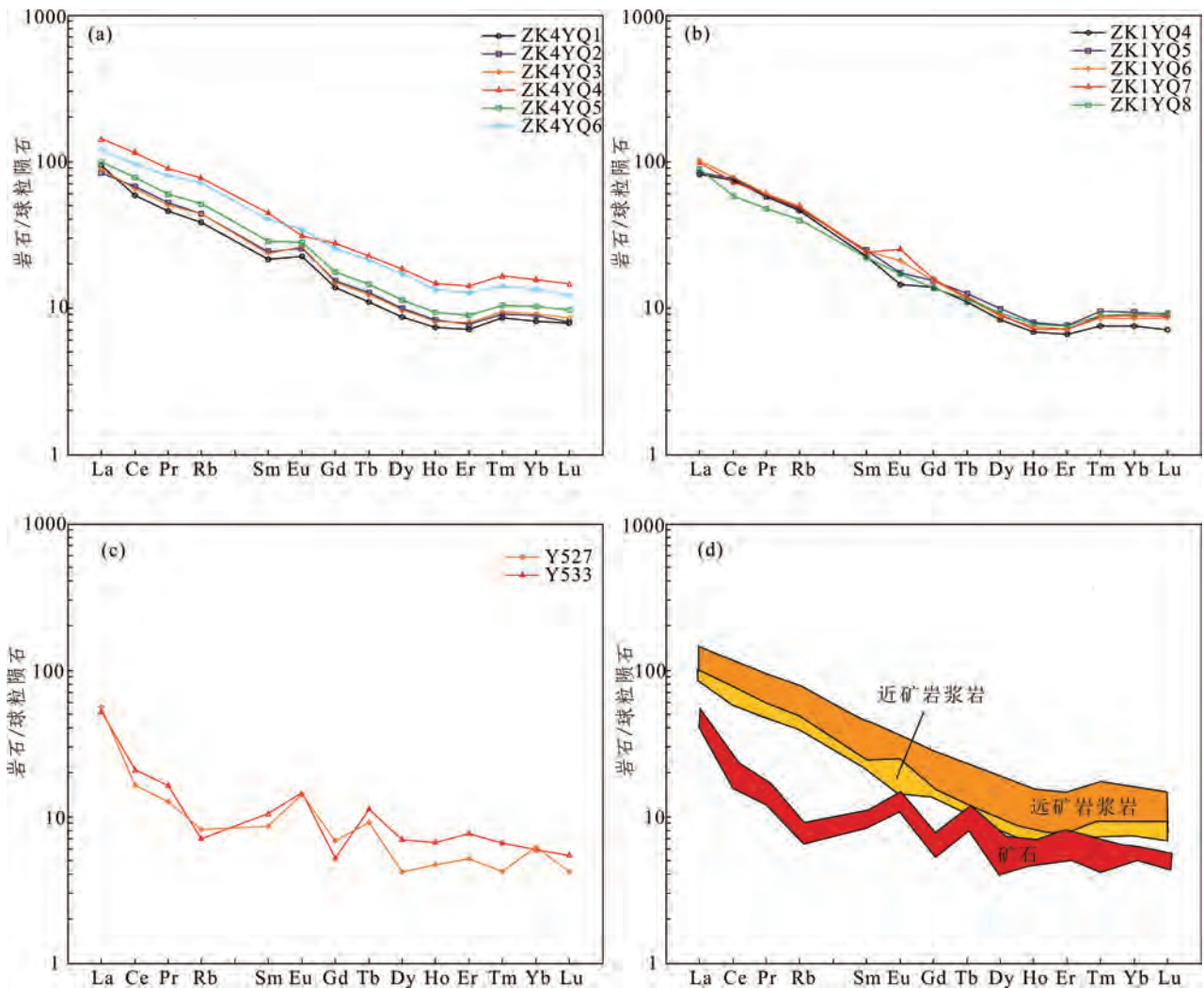


图 6 山东齐河—禹城地区李屯铁矿床岩矿石稀土元素的球粒陨石标准化配分模式图及对比图

Fig. 6 REE distribution pattern and comparison diagram of magmatic rocks and iron ore in the Litun iron deposit, Qihe—Yucheng area, Shandong

球粒陨石标准化值引自 Sun and McDonough, 1989

The value data of chondrite from Sun and McDonough, 1989

线相对较平坦分馏较差 (Gd_N/Yb_N 为 1.50~1.84), 铈异常 (δEu 为 0.83~1.36)、铈异常 (δCe 为 0.91~1.05) 不明显。

磁铁矿石的 ΣREE 为 $35.73 \times 10^{-6} \sim 38.92 \times 10^{-6}$, 平均为 37.33×10^{-6} , 其中 LREE 为 $30.49 \times 10^{-6} \sim 32.65 \times 10^{-6}$, 平均为 31.57×10^{-6} , HREE 为 $5.24 \times 10^{-6} \sim 6.27 \times 10^{-6}$, 平均为 5.75×10^{-6} , LREE/HREE 为 5.21~5.82, 平均为 5.51, La_N/Yb_N 为 8.68~9.04, 平均为 8.86, 在球粒陨石标准化配分曲线上 (图 6c), 一致性较好, 表现出轻稀土富集、重稀土亏损的右倾型配分模式, 轻稀土分馏较明显 (La_N/Sm_N 为 4.95~6.29), 重稀土配分曲线相对较平坦分馏

较差 (Gd_N/Yb_N 为 0.88~1.11), 具正铈异常 (δEu 为 1.78~1.96), 负铈异常 (δCe 为 0.62~0.67)。

李屯铁矿床闪长岩、矿石稀土元素分析结果显示, 远矿闪长岩→近矿闪长岩→矿石, 稀土元素总量表现为逐渐降低的趋势 (图 6d); 典型矿石中虽然稀土含量很低, 但是其配分模式、(La/Yb)_N 及 (La/Sm)_N 数值与近矿闪长岩大体相同, 表明矿石与闪长岩体的关系较为密切。

5 讨论

5.1 成岩成矿构造背景

燕山期华北克拉通岩石圈发生大减薄, 产生了

大规模的岩浆活动(吴福元等,1999,2008,2014;邓晋福等,1999)。受中生代燕山期地球动力学背景的制约,华北地区中生代出现大规模成岩成矿作用事件(Faure et al., 1996; 华仁民和毛景文, 1999; Zhou Xinmin et al., 2006; 翟明国, 2010)。

毛景文等(2003)系统研究了华北地区地球动力学演化及中生代金属矿床的时空分布特征,提出中国东部爆发式成矿作用主要集中于三个阶段:为190~160 Ma、140 Ma 和 130~110 Ma,这三期成矿时间分别对应了后碰撞造山过程、构造体制大转折晚期和岩石圈大规模快速减薄期三大地球动力学事件。这与许文良(2004)、翟明国(2010)等认为的华北克拉通岩石圈减薄高峰期为120~130 Ma 观点基本一致。

李屯铁矿床与铁矿有关的中性侵入岩锆石 LA-ICP-MS 测定年龄为(130.0±2.3) Ma(MSWD=1.5)(王玉往等^①, 2017),该时期本区正处于岩石圈大规模快速减薄时期,为板块伸展扩张环境。区内闪长岩样品在 Th/Hf-Ta/Hf 大地构造环境判别图(图7)上大部分落入大陆板内拉张带区域。李屯岩体与成矿关系密切,成岩成矿构造背景应为板块伸展扩张环境。

5.2 成岩成矿物质来源

5.2.1 成矿岩体岩浆来源

区内采集李屯岩体样品在地球化学性质上十分相似,都属于钙碱性系列,在主量元素 Harker 图解中可以看出两者的元素变化趋势大部分比较一致;具有相似的微量和稀土的配分曲线。这都指示了李屯岩体内采集的闪长岩样品是由同一母岩浆演化形成。岩石较大的 MgO 和 $Mg^\#$ 变化范围(Wilson, 1989),及哈克图解中岩石主要元素与 SiO_2 良好的相关性,这都指示其经历了一定的结晶分异作用;相容元素的变化范围较大,如 $Cr(65.4 \times 10^{-6} \sim 236 \times 10^{-6})$ 、 $Ni(21.6 \times 10^{-6} \sim 62.1 \times 10^{-6})$,这也表明岩浆演化过程中发生了分离结晶作用(Frey et al., 1978; Hess, 1992)。综上所述,区内采集闪长岩样品为同一母岩浆通过岩浆分异演化作用形成。

Atherton 和 Petford(1993)研究指出下地壳铁镁质岩石部分熔岩形成的岩浆,由于未与地幔发生相互作用, $Mg^\#$ 值小于45; Kelemen(1995)则提出 $Mg^\# > 60$ 和 $Ni > 100 \times 10^{-6}$ 的岩浆代表了地幔熔体。本矿区闪长岩的 $Mg^\#$ 多为45~60,显示其可能为壳幔混源。

岩石普遍具富 Na(Na_2O/K_2O 最高达23.04)特点、 $Mg^\#$ 值较高、富集 Cr、Co、Ni 等过渡元素,岩石

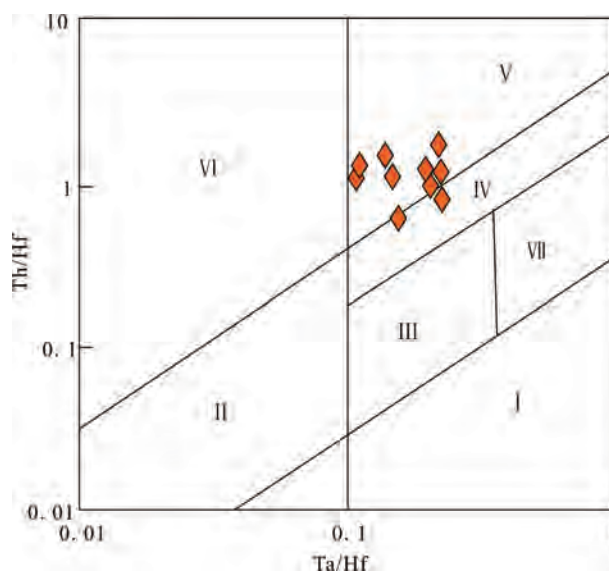


图7 山东齐河—禹城地区李屯铁矿区闪长岩 Th/Hf-Ta/Hf 构造环境判别图(底图据滕彦国等,2001)

Fig. 7 Th/Hf-Ta/Hf tectonic setting distinguish diagram of the diorite in Litun iron deposit, Qihe-Yuchen area (base map from Teng Yanguo et al., 2001&)

I—亏损大洋地幔; II—正常大洋中脊玄武岩; III—大洋板内拉斑玄武岩、洋岛玄武岩及过渡型和富集大洋中脊玄武岩; IV—分离的大陆裂谷区; V—大陆板内(拉张带); VI—俯冲带及岛弧区; VII—地幔柱

I—deficit oceanic mantle; II—normal mid-ocean ridge basalt; III—oceanic intraplate tholeiite, ocean island basalt, transients and enriched oceanic ridge basalt; IV—separate continental rift zone; V—continental interior (tensioning zone); VI—subduction zone and island arc area; VII—mantle plume

Zr/Nb 值(8.04~24.76)高于OIB的Zr/Nb值(5.83),这都指示了初始岩浆来源或主要来源于岩石圈地幔。

岩石 Ta/La 值(0.019~0.030)低于原始地幔 Ta/La 值(0.06, Wood et al., 1979); Ce/Pb 值(0.61~9.78, 均值为5.55),明显低于洋中脊玄武岩(MORB)和洋岛玄武岩(OIB)的Ce/Pb值(25),与上地壳的Ce/Pb的值(3.2)较为相近;岩石具富集大离子亲石元素(Rb、Ba、Sr等)和轻稀土元素,亏损高场强元素(Zr、Hf、Nb、Ta等)的特点;以上表明可能有壳源物质的加入。同时,岩石中大量古老基底锆石(2443±49 Ma)的捕获也都进一步证明发生了地壳的混染。

通常情况下,尖晶石相源区形成的原始岩浆 La/Yb 和 Dy/Yb 值较稳定,而石榴子石相源区形成的原始岩浆 La/Yb 和 Dy/Yb 值变化较大。本次采

集岩石样品 La/Yb 为 8.83~11.64, Dy/Yb 为 1.48~1.73, 比值变化相对较稳定, 表明源区可能为尖晶石相。岩体的 La/Yb — Dy/Yb 图(图 8) 中显示, 投点多分布在尖晶石二辉橄榄岩和含角闪石尖晶石二辉橄榄岩部分熔融演化线之间, 整体显示初始岩浆由尖晶石相二辉橄榄岩部分熔融形成的。

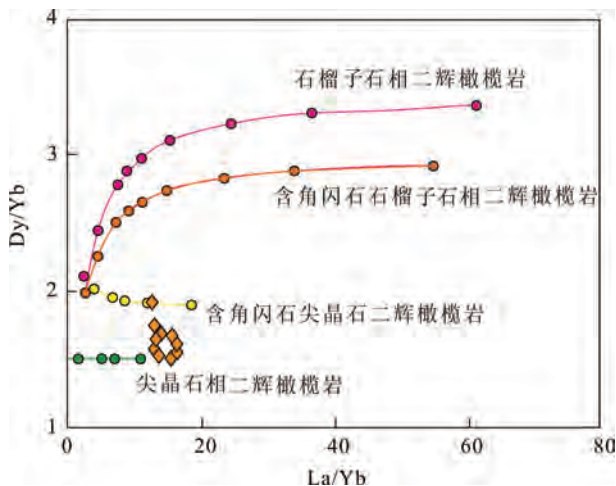


图 8 山东齐河—禹城地区李屯铁矿闪长岩

La/Yb — Dy/Yb 图解(据 Hou Tong et al., 2010)

Fig. 8 La/Yb — Dy/Yb diagram of diorite in the Litun iron deposit, Qihe—Yuchen area (after Hou Tong et al., 2010)

综上所述, 李屯铁矿床中基性岩的岩浆来源为壳幔混源, 尖晶石相二辉橄榄岩发生部分熔融产生的岩浆熔体, 在上侵过程中经历了地壳混染, 最终通过岩浆分异演化作用形成李屯岩体中性侵入岩。

5.2.2 成矿物质来源

闪长岩主微量测试结果显示, 李屯铁矿近矿岩浆岩与远矿岩浆岩来源于同一母岩浆, 但近矿岩浆岩 TFe_2O_3 含量平均 2.31%, 远低于远矿岩浆岩 TFe_2O_3 平均含量 6.04%, 推测岩体在成矿过程中提供了一部分铁质; 岩体与矿石相似的微量、稀土元素分布特征, 也显示了其与铁矿密切的成因联系。同时, 根据区域内同类型金岭铁矿研究显示, 从岩浆中出流的流体是富铁的(金子梁, 2017), 李屯铁矿与金岭铁矿为同时期同一构造背景下形成的矽卡岩矿床, 具有相似的地质特征, 推测本区成矿物质来源也部分来自岩浆出流的富铁流体, 这也与本区闪长岩 TFe_2O_3 含量普遍低于中国闪长岩平均 TFe_2O_3 含量(7.71%)相吻合。综上所述, 李屯铁矿成矿物质来源于深源岩浆及其形成的岩浆岩。

5.3 矿床成因

李屯矿床矿体及围岩内发育石榴子石、透辉石、

绿帘石等矽卡岩矿物组合, 并具一定分带特征, 为典型矽卡岩型铁矿床。矽卡岩型矿床特指具备一套特定蚀变硅酸盐矿物组合的矿床, 前人对其形成机制、成因类型等进行了大量研究(常印佛等, 1983; Meinert et al., 2003; Oyman, 2010; 杜杨松等, 2011), 黎广荣和吴昌志(2013)在前人研究基础上将矽卡岩总结为交代成因模式和岩浆成因模式两类。交代成因矽卡岩是由两种化学性质不平衡的介质(碳酸盐岩石和铝硅酸盐岩石)在高温下通过接触反应交代而生成(Meinert, 1992)。岩浆成因矽卡岩是岩浆结晶(林新多, 1987, 1998; 吴言昌和常印佛, 1998; 赵劲松等, 2008)或岩浆不混熔(Fulignati et al., 2000, 2001)的结果。

一般情况下, 接触交代型矽卡岩的稀土元素配分模式主要受侵入岩、围岩地层及流体内稀土元素含量及配分模式控制, 但是中酸性侵入岩的稀土元素含量一般比围岩地层中的高几倍(甚至几个数量级), 因此接触交代成因矽卡岩稀土元素配分模式基本继承了岩体的稀土元素分布模式。研究区内矽卡岩稀土元素配分模式和岩体的稀土元素配分模式基本一致, 指示区内铁矿床为接触交代矽卡岩型铁矿床; 同时矿体周边角岩、岩体内均可见矽卡岩化, 并未见大规模贯入式矽卡岩脉; 矿石内见矽卡岩角砾被磁铁矿胶结; 磁铁矿、透辉石等矿物镜下显微照片均可见交代残余结构, 故综合岩体及岩石特征, 李屯铁矿床成因类型应为接触交代型矽卡岩铁矿床。

6 结论

(1) 山东齐河—禹城地区李屯铁矿中岩浆岩微量元素分配模式具有较好的一致性, 均不同程度地富集 Rb、Ba、Sr 等大离子亲石元素(LILEs), 亏损 Zr、Nb、Ta 等高场强元素(HFSEs), 磁铁矿石中富集大离子亲石元素 Sr, 亏损 K; 高场强元素富集 U、P、Hf、Ta, 亏损 Nb、Ti。岩浆岩与磁铁矿石稀土元素均表现出轻稀土富集、重稀土亏损的右倾型配分模式。

(2) 李屯铁矿形成于岩石圈大规模快速减薄期, 成矿构造背景应为板块伸展扩张环境。

(3) 李屯铁矿床闪长岩的岩浆来源为壳幔混源, 尖晶石相二辉橄榄岩发生部分熔融产生的岩浆熔体; 成矿物质来源于深源岩浆及其形成的岩浆岩。

(4) 李屯铁矿磁铁矿成矿与李屯岩体关系密切, 矿床成因类型应是接触交代型矽卡岩铁矿床。

致谢: 本研究工作及论文成文过程中得到了李洪奎、李秀章研究员的大力指导, 审稿专家提出了宝贵意见, 作者在此一并表示衷心的感谢!

注 释 / Note

① 王玉往, 解洪晶, 石煜. 2017. 山东省齐河—禹城地区接触交代型富铁矿综合信息找矿预测地质模型. 北京: 北京矿产地质研究院.

参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

常印佛, 刘学圭. 1983. 关于层控式矽卡岩型矿床——以安徽省内下扬子拗陷中一些矿床为例. 矿床地质, 2(1): 11~20.

邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 罗照华, 赵国春, 戴圣潜. 1999. 中国东部燕山期岩石圈—软流圈系统大灾变与成矿环境. 矿床地质, 18(4): 309~315.

邓晋福, 刘翠, 冯艳芳, 肖庆辉, 狄永军, 苏尚国, 赵国春, 段培新, 戴蒙. 2015. 关于火成岩常用图解的正确使用: 讨论与建议. 地质论评, 61(4): 717~734.

杜杨松, 曹毅, 张智宇, 庞振山, 李大鹏. 2011. 安徽沿江地区中生代原地和异地矽卡岩岩浆—热液成矿作用. 地质学报, 85(5): 699~711.

费详惠, 张招崇, 韩莹. 2014. 山东张家洼矽卡岩型铁矿矿物学特征及其对成矿环境的指示意义. 中国地质, 41(6): 1873~1896.

郭延明, 郝兴中, 钟伟杰, 汝亮, 赵诚亮. 2017. 地面高精度磁测在隐伏铁矿勘查中的应用——以山东省禹城市李屯地区铁矿为例. 山东国土资源, 33(10): 52~56.

韩莹. 2014. 山东莱芜含矿岩体成因及其与铁矿的关系. 导师: 张招崇. 北京: 中国地质大学(北京) 硕士学位论文: 1~53.

华仁民, 毛景文. 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发. 矿床地质, 18(4): 300~307.

金子梁. 2017. 矽卡岩型富铁矿成因研究: 以鲁西淄博和莱芜铁矿为例. 导师: 张招崇. 北京: 中国地质大学(北京) 博士学位论文: 1~102.

黎广荣, 吴昌志. 2013. 矽卡岩成因模式研究进展: 兼论新疆雅满苏铁矿的成因. 高校地质学报, 19(3): 425~436.

李洪奎, 郝兴中. 2016. 鲁西地区铁矿成矿规律研究. 北京: 地质出版社: 12~127.

李厚民, 王登红, 李立兴, 陈靖, 杨秀清, 刘明军. 2012. 中国铁矿成矿规律及重点矿集区资源潜力分析. 中国地质, 39(3): 559~580.

黎彤, 倪守斌. 1990. 地球和地壳的化学元素丰度. 北京: 地质出版社: 1~136.

林新多. 1987. 矽卡岩的一种成因——岩浆成因. 地质科技情报, 6(2): 92~94.

林新多. 1998. 岩浆—热液过渡型矿床的若干特征. 现代地质, 12(4): 30~37.

毛景文, 张作衡, 余金杰, 王义天, 牛宝贵. 2003. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄精测得到启示. 中国科学(D辑: 地球科学), 33(4): 289~299.

沈立军, 朱裕振, 高志军. 2020. 山东齐河禹城富铁矿区李屯岩体地质特征初探. 山东国土资源, 36(2): 23~29.

滕彦国, 刘家铎, 张成江, 倪师军, 彭秀红. 2001. 兰坪盆地及邻区岩浆岩的微量元素地球化学研究. 成都理工大学学报, 28(1): 40~44.

吴成平, 于长春, 王卫平, 马勋表, 范正国, 朱宏伟. 2019. 鲁西齐河地区岩(矿)石物性特征及应用. 地球科学进展, 34(10): 1099~

1107.

吴成平, 于长春, 周明磊, 王卫平, 马勋表, 李树强. 2020. 空地磁残差计算在平原厚覆盖区找矿应用. 地球物理学进展, 35(2): 663~668.

吴福元, 孙德有. 1999. 中国东部中生代岩浆作用与岩石圈减薄. 长春科技大学学报, 29(4): 313~318.

吴福元, 徐义刚, 高山, 郑建平. 2008. 华北岩石圈减薄与克拉通破坏研究的主要学术争论. 岩石学报, 24(6): 1145~1174.

吴福元, 徐义刚, 朱日祥, 张国伟. 2014. 克拉通岩石圈减薄与破坏. 中国科学: 地球科学, 44(11): 2358~2372.

吴言昌, 常印佛. 1998. 关于岩浆矽卡岩问题. 地质前缘, 5(4): 291~301.

许文良, 王清海, 王冬艳, 裴福萍, 高山. 2004. 华北克拉通东部中生代岩石圈减薄的过程与机制: 中生代火成岩和深源捕虏体证据. 地质前缘, 11(3): 309~317.

于学峰, 张天祯, 王虹, 程光锁, 李大鹏, 倪振平, 宋明春, 张增奇, 李洪奎, 杨恩秀. 2016. 山东省矿床成矿系列研究. 矿床地质, 35(1): 169~184.

翟明国. 2010. 华北克拉通的形成演化与成矿作用. 矿床地质, 29(1): 24~36.

张增奇, 李英平, 王怀洪, 刘兴旺. 2016. 山东省齐河禹城地区发现大型富铁矿. 山东国土资源, 32(5): 94.

赵劲松, 夏斌, 丘学林, 赵斌, 许德如, 冯佐海, 李兆麟, 沈敢富, 胡瑞忠, 苏文超, 秦朝建, 秦伟民, 符贤, 胡志高. 2008. 海南岛石碌矽卡岩铁矿石中石榴子石的熔融包裹体及其意义. 岩石学报, 24(1): 149~160.

赵一鸣. 2013. 中国主要富铁矿床类型及地质特征. 矿床地质, 32(4): 686~705.

朱裕振, 强建科, 王林飞, 张文艳, 戴世坤. 2019. 深埋铁矿磁测数据三维反演分析与找矿靶区预测. 物探与化探, 43(6): 1182~1190.

朱裕振, 周明磊, 高志军, 张心彬. 2018. 山东齐河—禹城地区矽卡岩型富铁矿的发现及其意义. 地质通报, 37(5): 938~944.

Atherton M P and Petford N. 1993. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust. Nature, 362(6416): 144~146.

Chang Yinbo, Liu Xuegui. 1983. On atreta-bound skarn deposits. Mineral Deposits, 2(1): 11~20.

Deng Jinfu, Mo Xuanxue, Zhao Hailing, Luo Zhaohua, Zhao Guochun, Dai Shenqian. 1999. The Yanshanian lithosphere—asthenosphere catastrophe and metallogenic environment in East China. Mineral Deposits, 18(4): 309~315.

Deng Jinfu, Liu Cui, Feng Yanfang, Xiao Qinghui, Di Yongjun, Su Shangguo, Zhao Guochun, Duan Peixin, Dai Meng. 2015. On the correct application in the common igneous petrological diagrams: discussion and suggestion. Geological Review, 61(4): 717~734.

Du Yangsong, Cao Yi, Zhang Zhiyu, Pang Zhenshan, Li Dapeng. 2011. Mesozoic in-situ and external skarn magmatic—hydrothermal mineralization in the Anhui segment of the Lower Yangtze metallogenic belt. Acta Geologica Sinica, 85(5): 699~711.

Faure M, Sun Y, Shu L, Monié P, Charveta J. 1996. Extensional tectonics within a subduction-type orogen: The case study of the Wugongshan Dome (Jiangxi province, southeastern of China). Tectonophysics, 263(1~4): 77~106.

Fei Xianghui, Zhang Zhaochong, Han Liu. 2014. Mineralogy of the Zhangjiawa skarn iron deposit in Shandong Province and its implications for metallogenic environment. Geology in China, 41(6): 1873~1896.

Fei F W, Green D H, Roy S D. 1978. Integrated models of basalt petrogenesis: A study of Quartz tholeiites to olivine melilitites from

- south eastern Australia utilizing geochemical and experimental petrological data. *Journal of Petrology*, 19(3) : 463~513.
- Fulignati P, Kamenetsky V, Marianelli P, Sbrana A, Memagh T P. 2001. Melt inclusion record of immiscibility between silicate, hydrosaline, and carbonate melts: Applications to skarn genesis at Mount Vesuvius. *Geology*, 29(11) : 1043~1046.
- Fulignati P, Marianelli P, Santacrose R, Sbrana A. 2000. The skarn shell of the 1944 Vesuvius magma chamber. Genesis and $P-T-X$ conditions from melt and fluid inclusion data. *European Journal of Mineralogy*, 12(5) : 1025~1039.
- Guo Yanming, Hao Xinzong, Zhong Weijie, Ru Liang, Zhao Chengliang. 2017&. Application of high-precision magnetic measurement in exploration of hidden iron deposit—Setting iron deposits in Litun Area of Yucheng city in Shandong province as an example. *Shandong Land and Resources*, 33(10) : 52~56.
- Han Liu. 2014&. Genesis and relationship with the iron mine of ore-bearing rock mass in Laiwu of Shandong province. Supervisor: Zhang Zhaochong. Beijing: China University of Geoscience (Beijing) for Master degree: 1~53.
- Hess P C. 1992. Phase equilibria constraints on the origin of ocean floor basalts. *Mantle Flow and Melt Generation at Mid-Ocean Ridges*, American Geophysical Union: 67~102.
- Hou Tong, Zhang Zhaochong, John Encarnacion, Du Yangsong, Zhao Zhidan, Liu Junlai. 2010. Geochemistry of late Mesozoic dioritic porphyries associated with Kiruna-style and stratabound carbonate-hosted Zhonggu iron ores, Middle—Lower Yangtze Valley, Eastern China: Constraints on petrogenesis and iron sources. *Lithos*, 119(3) : 330~344.
- Hua Renmin, Mao Jingwen. 1999&. A Preliminary discussion on the mesozoic metallogenic explosion in East China. *Mineral Deposits*, 18(4) : 300~307.
- Jin Ziliang. 2017&. Genesis of high-grade Fe skarns: a case study of Zibo and Laiwu iron deposits in western Shandong. Supervisor: Zhang Zhaochong. Beijing: China University of Geoscience (Beijing) for doctor degree: 1~102.
- Kelemen P B. 1995. Genesis of high $Mg^\#$ andesites and the continental crust. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 120(1) : 1~19.
- Li Guangrong, Wu Changzhi. 2013&. Recent advances in skarn forming models and the Yamansu skarn related deposits. *Geological Journal of China Universities*, 19(3) : 425~436.
- Li Hongkui, Hao Xingzhong. 2016#. Study on Metallogenic Regularity of Iron Ore in the West of Shandong. Beijing: Geological Publishing House: 12~127.
- Li Houmin, Wang Denghong, Li Lixing, Chen Jing, Yang Xiuqing, Liu Mingjun. 2019&. Metallogeny of iron deposits and resource potential of major iron minerogenetic units in China. *Geology in China*, 39(3) : 559~580.
- Li Tong, Ni Shoubin. 1990#. The Chemical Abundance of the Earth and Its Crust. Beijing: Geological Publishing House: 1~136.
- Lin Xinduo. 1987#. A kind of origin of skarn—magmatic origin. *Geological Science and Technology Information*, 6(2) : 92~94.
- Lin Xinduo. 1998&. Geological characteristics of magmahydrothermal transitionalore deposits. *Geoscience*, 12(4) : 30~37.
- Mao Jignwen, Zhang Zuoheng, Yu Jinjie, Wang Yitian, Niu Baogui. 2003&. Geodynamic background of large-scale Mesozoic mineralization in north China and adjacent regions: The enlightenment obtained from the precise measurement of the age of the metal deposit. *Science in China (series D: earth sciences)*, 33(4) : 289~299.
- Meinert L D, Hedenquist J W, Satoh H, Matsuhisa Y. 2003. Formation of anhydrous and hydrous skarn in Cu—Au ore deposits by magmatic fluids. *Economic Geology*, 98(1) : 147~156.
- Meinert L D. 1992. Skarns and skarn deposits . *Geoscience Canada*, 19(4) : 145~162.
- Middlemost E A K. 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth Science Reviews*, 37(3~4) : 215~224.
- Middlemost E A K. 1985. *Magma and Magmatic Rocks: An Introduction to Igneous Petrology*. London: Longman: 1~266.
- Oyman T. 2010. Geochemistry, mineralogy and genesis of the Ayazmant Fe—Cu skarn deposit in Ayvalik, (Balikesir), Turkey. *Ore Geology Reviews*, 37(3~4) : 175~201.
- Peccerillo R, Taylor S R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58(1) : 63~81.
- Rudnick R L, Fountain D M. 1995. Nature and composition of the continental crust: a lower crustal perspective. *Reviews of Geophysics*, 33(3) : 267~309.
- Shen Lijun, Zhu Yuzhne, Gao Zhijun. 2020&. Paimary study on geological characteristics of Litun rock mass in Qihe Yucheng rich iron ore area in Shandong province. *Shandong Landand Resources*, 36(2) : 23~29.
- Sun Shensu, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42(1) : 313~345.
- Teng Yanguo, Liu Jiaduo, Zhang Chengjiang, Ni Shijun, Peng Xiuhong. 2001&. Trace element characteristics of magmatic rock series in lanping basin and itsneighboring areas. *Journal of Chengdu University of Technology*, 28(1) : 40~44.
- Wilson M. 1989. *Igneous Petrogenesis*. Uniwin Hyman, London: 1~466.
- Wood D A, Tarneu J, Varet J, Saunders A N, Bouhault H, Joron J L, Treuil M, Cann J R. 1979. Geochemistry of basalts drills in the North Atlantic by IPOD Leg 49: implications for mantle heterogeneity. *Earth and Planetary Science Letters*, 42: 77~97.
- Wu Chengping, Yu Changchun, Zhou Minglei, Wang Weiping, Ma Xunbiao, Li Shuqiang. 2019&. Residual calculation of airborne and ground magnetic field and its prospecting application in heavily covered plain area. *Progress in Geophysics*, 35(2) : 663~668.
- Wu Chengping, Yu Changchun, Wang Weiping, Ma Xunbiao, Fan Zhengguo, Zhu Hongwei. 2019&. Physical characteristics of rocks and ores and their application in Qihe area, Western Shandong. *Advances in Earth Science*, 34(10) : 1099~1107.
- Wu Fuyuan, Sun Deyou. 1999&. The Mesozoic magmatism and lithospheric thinning in Eastern China. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 29(4) : 313~318.
- Wu Fuyuan, Xu Yigang, Gao Shan, Zheng Jianping. 2008&. Lithospheric thinning and destruction of the North China Craton. *Acta Petrologica Sinica*, 24(6) : 1145~1174.
- Wu Fuyuan, Xu Yigang, Zhu Rixiang, Zhang Guowei. 2014&. Thinning and destruction of the cratonic lithosphere: A global perspective. *Science China: Earth Sciences*, 44(11) : 2358~2372.
- Wu Yanchang, Chang Yinfo. 1998&. On the magmatic skarn. *Earth Science Frontiers*, 5(4) : 291~301.
- Xu Wenliang, Wang Qinghai, Wang Dongyan, Pei Fuping, Gao Shan. 2004&. Processes and mechanism of Mesozoic lithospheric thinning in Eastern North China Craton: Evidence from Mesozoic igneous rocks and deep-seated xenoliths. *Earth Science Frontiers*, 11(3) : 309~317.
- Yu Xuefeng, Zhang Tianzhen, Wang Hong, Cheng Guangsu, Li Dapeng, Ni Zhenping, Song Mingchun, Zhang Zengqi, Li

- Hongkui, Yang Enxiu. 2016#. A study of minerogenetic series of mineral deposits in Shandong Province. *Mineral Deposits*, 35(1): 169~184.
- Zhai Mingguo. 2010#. Tectonic evolution and metallogenesis of North China Craton. *Mineral Deposits*, 29(1): 24~36.
- Zhang Zengqi, Li Yingping, Wang Huaihong, Liu Xingwang. 2016#. Large-scale rich iron ore deposits have been found in Yucheng area of Qihe, Shandong province. *Shandong Land and Resources*, 32(5): 94.
- Zhao Jinsong, Xia Bin, Qiu Xuelin, Zhao Bin, Xu Deru, Feng Zuohai, Li Zhaolin, Shen Ganfu, Hu Ruizhong, Su Wenchao, Qin Chaojian, Qin Weimin, Fu Xian, Hu Zhigao. 2008#. Finding of melt inclusion in garnet from skarn of Shilu iron deposit, Hainan province. *Acta Petrologica*, 24(1): 149~160.
- Zhao Yiming. 2013#. Main genetic types and geological characteristics of iron-rich ore deposits in China. *Mineral Deposits*, 32(4): 686~705.
- Zhou Xinmin, Sun Tao, Shen Weizhou, Shu Liangshu, Niu Yaoling. 2006. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China: A response to tectonic evolution. *Episodes*, 29(1): 26~33.
- Zhu Yuzhen, Qiang Jianke, Wang Linfei, Zhang Wenyan, Dai Shikun. 2019#. Three-dimensional inversion analysis of magnetic data from deep buried iron ore and prediction of prospecting target area. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 43(6): 1182~1190.
- Zhu Yuzhen, Zhou Minglei, Gao Zhijun, Zhang Xinbin. 2018#. The discovery of the Qihe—Yucheng skarn type rich iron deposit in Shandong and its exploration significance. *Geological Bulletin of China*, 37(5): 938~944.

Geochemical characteristics and geological significance of Litun iron ore deposit in Qihe—Yucheng area, Shandong Province

SHEN Lijun¹⁾, ZHU Yuzhen¹⁾, WANG Huaihong¹⁾, LI Shuang²⁾, GAO Zhijun¹⁾,
ZHANG Xinbin¹⁾, ZHOU Minglei¹⁾

1) *Shandong Provincial Research Institute of Coal Geology Planning and Exploration, Chinese geophysical society Key laboratory of coalfield geophysics, Coal Resources Digital Engineering Technology Research Center of Shandong Province, Jinan, 250104;*

2) *Shandong Institute of Geological Survey, Jinan, 250014*

Objectives: The Litun iron ore deposit is a hidden magnetite deposit discovered in Qihe—Yucheng area, Shandong Province in recent years, this is a new geological prospecting discovery in the blank area of iron ore. The depth of the ore body is more than 1000 meters, but the ore grade is very high, it has a good prospect and research value.

Methods: In this paper, the geological and geochemical characteristics of ore deposits are systematically studied through detailed field investigation, indoor microscopic observation and geochemical analysis. The near-ore and far-ore magmatic rocks and typical ore samples were collected in the Litun deposit, and the main, trace and rare earth elements were analyzed. The equipments used to test the main elements are Axios max and Axios PW 4400 X-ray fluorescence spectrometer, X Serise 2 and ELANDRC-e ICP-MS were used for the trace and rare earth elements.

Results: Magnetite bodies are hosted in sand and mudstone strata near the contact zone between Litun rock mass and carboniferous — Permian strata. The distribution model of trace elements in rock mass of Litun iron ore deposit has a good consistency, with enrichment of large ion lithophile elements (LILEs) Rb, Ba, Sr, etc., and loss of high field strength elements (HFSEs) Zr, Nb, Ta, etc. The magnetite ore is rich in the element Sr and lost K(LILEs), rich in U, P, Hf, Ta, and lost Nb, Ti(HFSEs). The rare earth elements in rock mass and magnetite ore show a right-leaning distribution model of light rare earth enrichment and heavy rare-earth loss.

Conclusions: The litun iron ore deposit was formed during the large-scale and rapid lithospheric thinning period, and the metallotectonic background should be plate extensional setting. The magmatic source of Litun rock mass is crust—mantle mixed source and magmatic melt produced by partial melting of spinel phase lherzolite. The metallogenic material is derived from the deep source magma and magmatic rocks it formed. Magnetite mineralization is closely related to Litun rock mass, the genetic type of the deposit is contact metasomatic skarn iron deposit.

Keywords: rich iron deposit; geochemistry; ore genesis; Litun iron ore deposit; Qihe—Yucheng area in Shandong province

Acknowledgements: This study is supported by the National Key R & D Program of China (No. 2017YFC0602201) , Special research award fund project of Shandong Bureau of Coal Geology (No. 2019-3)

First author: SHEN Lijun, male, born in 1988, master degree, engineer, majoring in mineral prospecting and ore deposit study; Email: sdmtslj@ 163. com

Corresponding author: ZHU Yuzhen, male, born in 1986, master degree, senior engineer, majoring in comprehensive study of geology and geophysics, Email: zhuyuzhen2008@ 163.com

Manuscript received on: 2020-04-15; Accepted on: 2020-12-08; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview.2021.01.007

2020 年度“中国最具国际影响力学术期刊”和 “中国国际影响力优秀学术期刊”揭晓

2020 年 12 月 17 日中国学术期刊未来论坛以线上会议的形式举行,政协委员、期刊协会吴商之会长,中国科学院院士、中国科技期刊编辑学会朱邦芬理事长,中国科协怀进鹏书记,中国学术期刊电子杂志社、同方知网王明亮董事长等有关专家和领导发表了讲话。会议发布了《中国学术期刊影响因子年报》,揭晓了 2020 年度“中国最具国际影响力学术期刊”和“中国国际影响力优秀学术期刊”。

中国地质学会主办期刊《Acta Geologica Sinica(English Edition) 》、《地质学报》连续第九次蝉联“中国最具国际影响力学术期刊”(即按国际影响力指数 CI 排位,列 3500 种中国主要学术期刊的前 5%) 称号。《Acta Geologica Sinica (English Edition) 》的国际影响力指数 CI 为 206.501,国际他引总被引频次 4195,国际他引影响因子(1.459)、《地质学报》的国际影响力指数 CI 为 143.774,国际他引总被引频次 3232,国际他引影响因子(0.690)。

《地质论评》在 2012~2019 的前 8 届均位居前 5%, 本届稍有退步,获得“中国国际影响力优秀学术期刊”(即按国际影响力指数 CI 排位,列 3500 种中国主要学术期刊的前 5%~10%) 称号,《地质论评》国际影响力指数 CI 为 82.562,国际他引总被引频次 1675,国际他引影响因子(0.552,位列第 200

位),另外,中国地质学会合办期刊《矿床地质》和《岩石矿物学杂志》也分别获得了“2020 中国国际影响力优秀学术期刊”称号。

另外据《2020 中国学术期刊影响因子年报(自然科学与工程技术版) 》,中国地质学会主办期刊《地质学报》、《地质论评》、《矿床地质》、《岩石矿物学杂志》和《岩矿测试》均位于 Q1 区。

《中国学术期刊影响因子年报》是由《中国学术期刊(光盘版) 》电子杂志社有限公司、清华大学图书馆和中国学术文献国际评价研究中心研制,已连续发布 9 年,其提供的统计数据分析了我国自主创办的本土学术期刊的国际影响力水平。《中国学术期刊影响因子年报》指出: 今年共有 350 种自然科学与工程技术期刊入选“2020 中国最具国际影响力学术期刊”和“2020 中国国际影响力优秀学术期刊”,这些 TOP 期刊是我国学术期刊“走出去”的杰出代表,是我国科技强国战略和世界一流科技期刊建设的排头兵,对我国学术期刊的国际影响力提升起到了良好的带动作用。“最具国际影响力学术期刊”和“国际影响力优秀学术期刊”品牌也已经得到期刊界和科研管理部门的广泛认同,在助力中国期刊走向国际舞台、树立国际学术品牌和文化自信方面发挥了积极的、重要的作用。



LIU Zhiqiang. 2020 's "The Most Influential International Academic Journals of China" and "The Outstanding Influential International Academic Journals of China" issued