

山东省中北部夕卡岩型铁矿成矿规律与找矿模型

郝兴中^{1,2},孙斌^{1*},张文¹,程鸿雁¹,陈磊¹,杨仕鹏¹,胡雪平¹,刘柏含¹,朱学强¹,马明³,李肖鹏¹,王立功¹,马丽新¹,王晶晶¹,赵晓博⁴,吴秉禄³,门岳峰⁵,朱裕振⁶

(1. 山东省地质调查院,山东 济南 250014;2. 中国海洋大学海洋地球科学学院,山东 青岛 266100;3. 山东省第一地质矿产勘查院,山东 济南 250100;4. 中国冶金地质总局山东正元地质勘查院,山东 济南 250101;5. 中化地质矿山总局山东地质勘查院,山东 济南 250013;6. 山东省煤田地质规划勘察研究院,山东 济南 250104)

摘要:山东省中北部夕卡岩型铁矿成矿地质条件优越,是我国重要的富铁矿基地,主要发育与中基性侵入岩有关的夕卡岩型铁矿床,具有“矿体规模大、矿石品位高、矿床集中分布”的特点。本文通过对研究区主要铁矿床进行资料梳理和现场勘查,对比研究了典型铁矿床,总结了夕卡岩型铁矿成矿规律。研究表明,该区铁矿成矿时代近于一致,为早白垩世。铁矿赋矿空间多样,主要产于闪长岩体与奥陶系的接触带附近,部分产于奥陶系和其上覆的石炭系一二叠系的层间不整合面和层间滑脱带,在岩体内部亦偶见部分小规模铁矿体。各铁矿体均以断裂构造互相连通,矿床分带特征明显。本文构建了夕卡岩型铁矿找矿模型,在研究成矿规律的基础上,通过提取磁异常、重力异常、电法异常和地震异常等信息,准确研判赋矿部位,是深部找矿工作取得突破的有效途径。

关键词:夕卡岩型;铁矿;成矿规律;找矿模型;山东中北部

中图分类号:P618.31

文献标识码:A

doi:10.12128/j.issn.1672-6979.2025.07.001

0 引言

山东省铁矿分布较为广泛,矿床成因类型多样,现已在济南、淄博、泰安、济宁、临沂、枣庄、潍坊、青岛、烟台、威海、日照、菏泽、德州和聊城 14 个地市中发现或探明有铁矿床(点),大部分地市蕴藏有丰富的铁矿资源。鲁西中北部是山东省乃至全国重要的富铁矿基地,其中夕卡岩型(即接触交代型)铁矿是该区主要的富铁矿类型^[1-4],其中与中基性侵入岩有关的夕卡岩型铁矿是研究区最为重要的矿床类型,也是全省富铁矿石的重要来源,主要产于济南、淄博、德州、聊城等地市;其中济南城区铁矿已经闭坑

停产,济南市莱芜区和淄博市金岭地区铁矿已开发了数十年,处于深度勘查和开发中,铁矿勘查工作重点已经转为“探边摸底”和“攻深找盲”,找矿难度和勘查成本逐步攀升;德州、聊城地区在近年来富铁矿勘查工作中取得了重大进展,在齐河—禹城地区发现了多处“埋藏深、厚度大、品位高、潜力大”的富铁矿床^[5-8],但该区铁矿勘查研究尚属起步阶段。

1 区域成矿地质背景

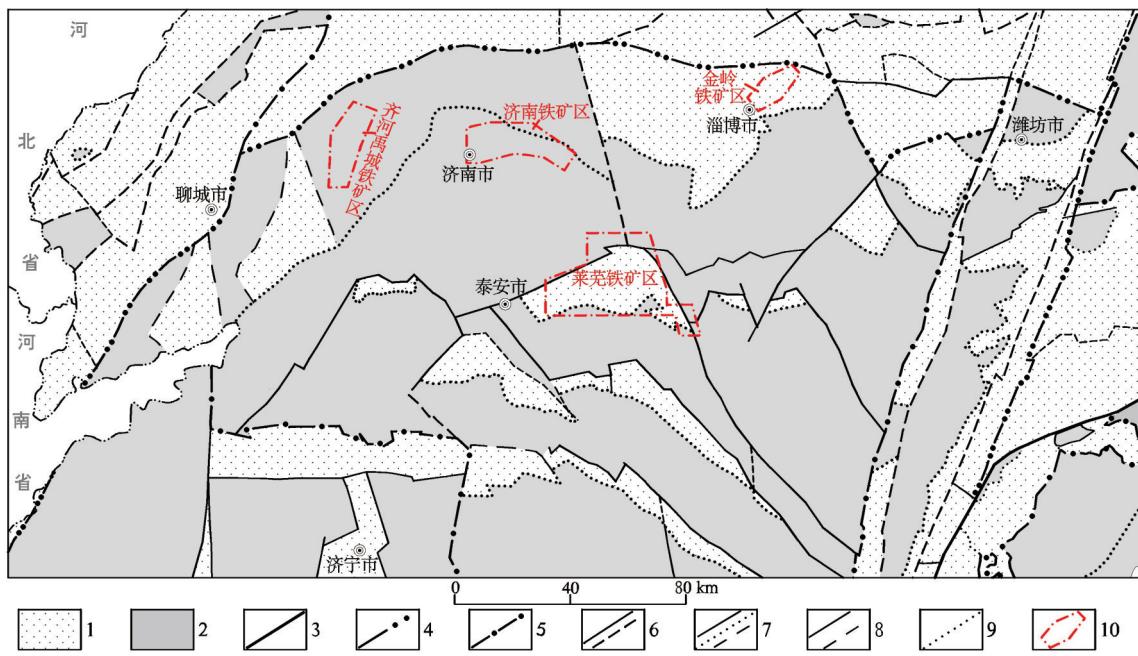
研究区大地构造位置处于华北板块(I)、鲁西隆起区(II)、鲁中隆起(III)中北部(图 1)。研究区区域地层发育较全,早寒武系、古生界、中生界、新生

收稿日期:2025-02-25;修订日期:2025-03-26;编辑:武昕普

基金项目:山东省地质勘查项目(2023-2);中国地质调查局项目(编号:DD2016005223,DD20190166)

作者简介:郝兴中(1980—),男,乌兰察布市人,正高级工程师,主要从事矿产资源评价、地球物理应用、成矿规律研究等工作;E-mail:57820696@qq.com

* 通信作者:孙斌(1981—),男,山东济南人,正高级工程师,主要从事固体矿产勘查、矿产资源储量利用现状调查及管理工作;E-mail:sunbindky@shandong.cn



1—(潜)凹陷区;2—(潜)凸起区;3—一级构造单元;4—二级构造单元;5—三级构造单元;6—四级构造单元;7—五级构造单元;8—(推测)断层;9—不整合界线;10—富铁矿区。

图 1 山东夕卡岩型铁矿及空间分布图

界均有分布,其中寒武系、奥陶系广泛发育。区域地质构造复杂,断层大量交错发育,形成了(潜)凸起和(潜)凹陷相间产出的“断块”构造格架;褶皱构造亦较发育。区域岩浆岩发育,尤以中生代侵入岩在研究区大面积分布^[9-10];区域上已探明及发现了济南城区铁矿区、莱芜铁矿区、淄博金岭铁矿区、德州齐河—禹城铁矿区 4 个富铁矿集区。

2 典型铁矿床特征

研究区与中基性侵入岩相关的典型铁矿床有济南市莱芜区张家洼铁矿床^[11]、淄博市临淄区王旺庄铁矿床^[12]和聊城市高唐县郭店铁矿床^[13],上述铁矿床在所属铁矿区内具有较好的代表性,勘查研究程度高,矿床开发利用效果显著,或是在近年来铁矿找矿工作中取得良好的勘查研究进展,找矿潜力大。

2.1 铁矿体特征

研究区内张家洼铁矿、王旺庄铁矿和郭店铁矿区成矿地质特征及其控矿要素空间分布特征见图 2。张家洼铁矿床位于莱芜区北约 8 km 处,该矿床产于中生代构造盆地周边的中奥陶统马家沟群碳酸盐岩与燕山晚期闪长岩接触带及其附近岩石中;围绕矿山弧形背斜北部倾伏端呈半环形分布^[14-16],包

含张家洼、小官庄和港里 3 个铁矿段(图 2a),矿体呈似层状,局部透镜状、马鞍状等,是莱芜铁矿区内规模最大的富铁矿床。

王旺庄铁矿床位于金岭铁矿区北部,该矿床为一隐伏夕卡岩型富铁矿床(图 2b),产于闪长岩体与奥陶系(碳酸盐岩)接触带处^[17-18],矿体受岩体接触带、地层假整合面及捕虏体边缘构造控制,沿接触带成群成带分布。铁矿体呈近 EW 向展布,矿体形态呈似层状、透镜状、扁豆状、不规则状等,为金岭铁矿区唯一的大型铁矿床。

郭店铁矿床位于齐河—禹城铁矿区中部高唐县郭店村东侧(图 2c),新生代地层覆盖厚度超过 800 m,属典型的超深覆盖区。该矿床产于石炭系一二叠系之下,矿体赋存于闪长岩体与奥陶系(碳酸盐岩地层)接触带、奥陶系(碳酸盐岩地层)层间滑脱面、石炭系一二叠系(碎屑岩地层)层间滑脱面中^[19-21],矿体呈似层状、透镜状、枝杈状、囊状和不规则状等,该铁矿床已达大型规模。需要说明的是,在齐河—禹城铁矿区富矿热液异地迁移尤为显著,该区李屯铁矿床中石炭系一二叠系发现了厚达百米的铁矿体,郭店铁矿床在石炭系一二叠系也有部分厚大铁矿体产出。

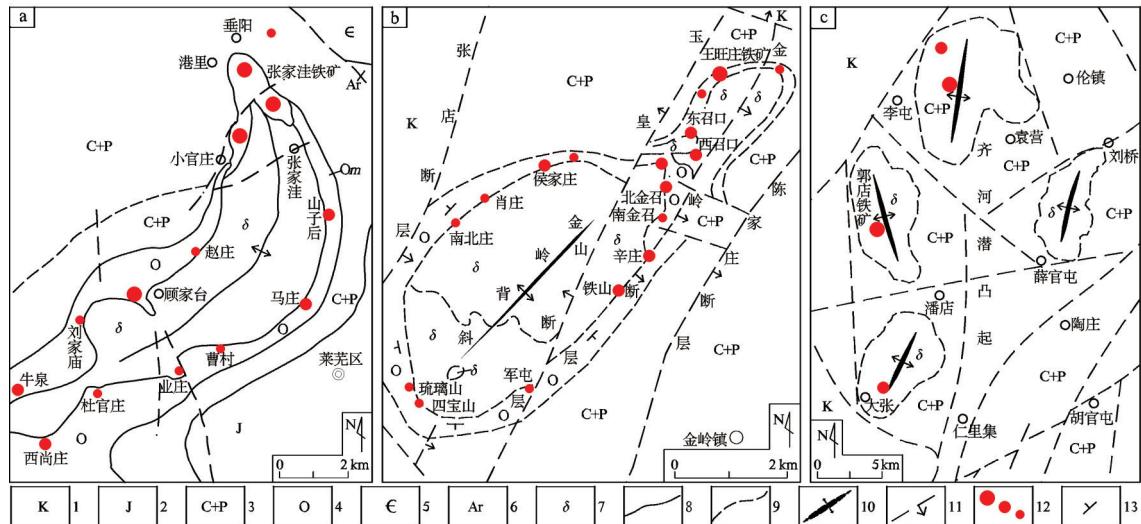


图 2 张家洼、王旺庄和郭店铁矿区矿体平面分布图

综上所述,研究区铁矿体赋存位置多样,产出形态较为复杂,各矿床间控矿地质单元、成矿时代、矿

体形态等具有一定相似性,矿床埋深、岩体特征、赋矿部位和矿石品位等差异性较明显(表 1,图 3)。

表 1 研究区典型铁矿床特征对比表

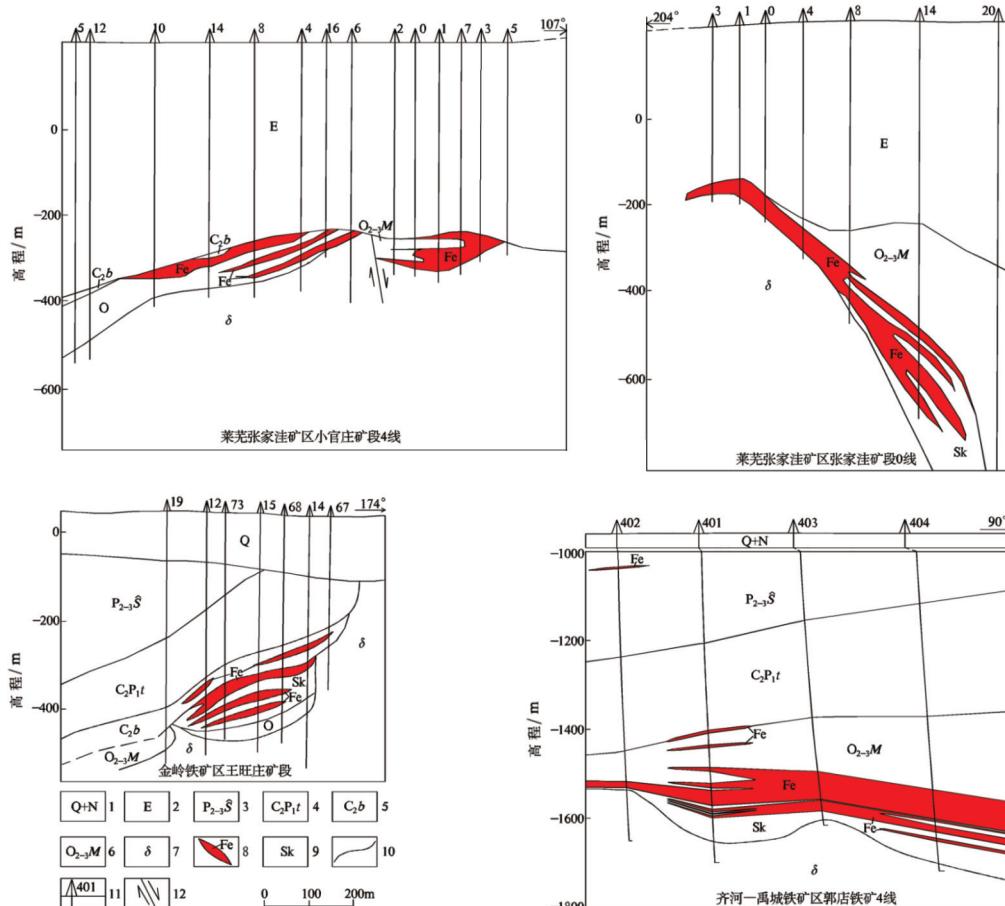
典型矿床	张家洼铁矿床	王旺庄铁矿床	郭店铁矿床
所属矿区	济南市莱芜铁矿区	淄博市金岭铁矿区	德州市(聊城市)齐河—禹城铁矿区
大地构造位置	新甫山—莱芜断隆(IV) 泰莱凹陷(V)	鲁山—邹平断隆(IV) 邹平—周村凹陷(V)北部边缘	济南—泰山断隆(IV) 北部齐河潜凸起(V)
控矿地层	奥陶系(以碳酸盐岩地层为主)、石炭系—二叠系(以碎屑岩地层为主)		
控矿岩体	矿山岩体	金岭杂岩体	郭店岩体
岩体岩性	含黑云母辉石闪长岩、正长闪长岩、闪长岩等	黑云母闪长岩、角闪闪长岩、正长闪长岩、二长岩以及石英闪长岩等	辉石闪长岩、角闪闪长岩、角闪石英闪长岩、石英闪长岩等
成矿时代	129~134 Ma	126~133 Ma	124~131 Ma
控矿构造	矿山弧形背斜倾伏段	金岭短轴背斜倾伏段	郭店短轴背斜翼部
空间分布	侵入岩与灰岩接触带,石炭系和奥陶系层间不整合面、围岩裂隙、部分位于岩体内部		
赋存标高	-150 m~700 m	-225 m~578 m	-1407.46 m~1546.10 m
矿体特征	似层状、透镜状、囊状、扁豆状、马鞍状、枝杈状、网脉状、不规则状等		
矿石品位	TFe 42.09%±	TFe 51.81%±	TFe 53.20%±
蚀变特征	钠长石化、夕卡岩化、金云母化、蛇纹石化、绿泥石化、磁铁矿化	钾化、钠长石化、大理岩化、夕卡岩化、磁铁矿化、蛇纹石化	钠长石化、大理岩化、夕卡岩化、磁铁矿化、蛇纹石化、绿泥石化

2.2 矿石特征

研究区各铁矿床间矿石类型较为相似且多样^[22~26],大致可分为灰黑色致密块状磁铁矿石、灰黑色黄铁矿化磁铁矿石、深棕色夕卡岩化磁铁矿石、深灰色碳酸盐化磁铁矿石,灰绿色蛇纹石化磁铁矿石等,矿石构造以致密块状构造为主,浸染状构造、角砾状构造、条带状构造次之,矿石结构多为他形一半自形粒状结构,少量交代结构、填隙结构及包含结构等,铁矿石颗粒多呈细粒状,局部可见少量中粗粒状。铁矿石中具体矿物成分详见表 2。

2.3 矿床蚀变分带特征

矿床蚀变分带是铁矿成矿过程中各类矿物成分在空间上的展布形式,研究区各夕卡岩型铁矿床矿体蚀变分带特征明显^[9~10,27]。以郭店地区铁矿床为例,通过勘查研究工作,发现该区铁矿床围岩蚀变分带特征明显,从岩体到地层,矿床分带为闪长岩带、蚀变闪长岩带、内夕卡岩带、铁矿带、外夕卡岩带、大理岩带、灰岩带、角岩带、碎屑岩带(图 4)。在夕卡岩型铁矿形成过程中,由于受到热变质作用、接触交代作用、热液蚀变作用等,导致铁矿体蚀变类型多



1—第四系+新近系;2—古近系;3—石盒子群;4—太原组;5—本溪组;6—马家沟群;7—闪长岩;8—铁矿体;9—夕卡岩;10—地质界线;11—钻孔及编号;12—断层。

图 3 研究区典型铁矿床矿体形态特征

表 2 研究区铁矿床矿石主要矿物一览表

矿区名称	金属矿物	非金属矿物
张家洼铁矿床	磁铁矿, 次之为赤铁矿, 少量黄铁矿、自然铜、褐铁矿、针铁矿、黄铜矿、辉铜矿、斑铜矿、钛铁矿等	透辉石、石榴石、金云母、蛇纹石、绿泥石、方解石, 少量白云石、磷灰石、榍石、绿帘石等
王旺庄铁矿床	磁铁矿、赤铁矿, 少量黄铁矿、黄铜矿、褐铁矿等	透辉石、石榴石、绿帘石、绿泥石、方解石, 次为金云母、橄榄石、蛇纹石、透闪石、阳起石、电气石等
郭店铁矿床	磁铁矿, 少量黄铁矿、赤铁矿、褐铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿, 微量镜铁矿、闪锌矿等	透辉石、透闪石、方解石、绿泥石、石榴石, 次为黑云母、角闪石、蛇纹石、金云母、阳起石等

样^[26-28], 是在接触交代反应过程中各类矿物间经交代充填作用和后期热液活动后的综合产物。

2.4 矿床成矿阶段

夕卡岩型铁矿床的成矿过程具有多阶段特征, 其成矿阶段划分近乎一致。对郭店地区铁矿规律研究表明^[29], 该铁矿床可分为多个成矿阶段, 即早夕卡岩阶段, 晚夕卡岩阶段、硫化物阶段和碳酸盐阶段, 在不同的成矿阶段矿物生成顺序规律性明显(图 5), 显示随着铁矿成矿过程的推进, 温度逐步降低。

在早夕卡岩阶段, 主要生成了透辉石、石榴石、硅灰石、橄榄石、尖晶石等; 在晚夕卡岩阶段, 主要生成了磁铁矿、透闪石、绿帘石、金云母、磷灰石、阳起石、蛇纹石和绿泥石等; 在硫化物阶段, 主要生成了黄铁矿、磁黄铁矿、石英、方铅矿、闪锌矿, 以及部分绿帘石、蛇纹石、黄铁矿和磁铁矿等; 在碳酸盐阶段, 主要生成了方解石及其少量其他矿物。由此可知, 晚夕卡岩阶段是夕卡岩型铁矿床中磁铁矿形成的最重要成矿阶段。



a—灰岩;b—大理岩化灰岩;c—大理岩;d—外夕卡岩带;e—铁矿石;f—内夕卡岩带;g—蚀变闪长岩;h—闪长岩。

图 4 郭店铁矿床矿体蚀变分带典型岩矿石

成矿阶段	早夕卡岩阶段	晚夕卡岩阶段	硫化物阶段	碳酸盐阶段
主要矿物				
透辉石	■			
石榴石	■■■			
硅灰石	■■■			
尖晶石	■■■			
橄榄石	■■■			
金云母		■■■■■		
透闪石		■■■■■		
绿帘石		■■■■■		
磷灰石		■■■■■		
阳起石		■■■■■		
磁铁矿	■■■■■			
蛇纹石	■■■■■			
绿泥石	■■■■■			
黄铁矿		■■■■■		
方解石		■■■■■		
磁黄铁矿		■■■■■		
石英		■■■■■		
方铅矿			■■■	
闪锌矿			■■■	

图 5 郭店夕卡岩型铁矿床成矿阶段及矿物生成顺序图

3 铁矿成矿规律

以往地质学者对研究区内该类型铁矿的成矿规律研究^[9-11,26,30-36]表明,夕卡岩型铁矿成矿物质主要来自中基性岩浆(即深部岩浆房),在此不再赘述。本文将按照该类型铁矿空间分布、时间分布、蚀变特征及分带规律等,对研究区铁矿成矿规律进行总结。

3.1 空间分布规律

(1) 矿床空间分布特征

莱芜、金岭、济南、齐河—禹城地区铁矿床均受区域 EW 向断裂构造和 NW 向断裂构造的控

制^[31]。岩浆活动及构造运动形成的短轴背斜等控制较为明显,断裂构造之间、断裂与褶皱构造的交会部位,岩石多易形成破碎带,易于矿液运移富集,为形成铁矿床提供了岩浆及构造条件。张家洼、王旺庄和郭店铁矿床主要受控于角闪长岩、黑云母闪长岩和辉石闪长岩等侵入体及奥陶系碳酸盐岩、石炭系一二叠系碎屑岩及其各种类型构造空间中。

(2) 矿体空间分布特征

对张家洼、王旺庄、郭店等铁矿床的矿体赋存形式研究^[9,14-21]表明,该类型铁矿体在空间上分布严格受岩体与碳酸盐地层接触带控制,主要赋矿空间为侵入体与围岩的接触带、围岩层理、层间破碎带及构造裂隙、褶皱构造的轴部附近或其翼部、碳酸盐岩地层的捕虏体构造处等。接触带由于处于不同物理性质岩石界面处,易形成破碎裂隙,是铁矿体成矿和储矿的主要空间,在内蚀变带和侵入岩体内部(捕虏体)也偶见部分矿体存在,同时部分矿体还具有分支复合、尖灭再现、膨胀狭窄的现象。在夕卡岩型铁矿成矿期间形成的各种类型构造是决定矿体赋存地段的决定性因素,如成矿期的构造不仅是含铁赋矿热液的通道,也是沉淀富集的重要场所,夕卡岩型铁矿多存在有“原位成矿”(即铁矿体产于侵入岩体和成矿地层的接触带附近)和“异位成矿”(即富矿热液沿构造通道迁移后成矿,致使部分矿体产于距离接触带较远的地层滑脱带及构造空间中)现象^[8,19];其中在齐河—禹城富铁矿区中“异位成矿”最为显著,石炭系一二叠系下部除具有储矿功能外,该地层单元(部分含煤系地层)岩性的致密特性及煤层相对较低

的热导率对于热液流体逸散及能量保存具有一定的屏蔽作用^[19,32-33],富矿热液在其下部不易逸散,持续生成并富集沉淀,最终形成大规模厚大铁矿体。

3.2 时间分布规律

该类型铁矿成矿时代与岩体就位时间较为吻合,形成于岩浆侵入过程中及其岩浆侵入期后一段时间内;省内外地质学者对济南城区、莱芜区、淄博金岭地区、德州齐河—禹城地区(含聊城高唐局部地区)4个富铁矿区成矿时代^[9,33-39]进行调查,发现区内铁矿成矿时代集中产于124~134 Ma(属早白垩世),与鲁西中生代大规模岩浆活动时间相吻合。太平洋板块在向欧亚板块俯冲及后撤过程中,致使研究区发育多源区岩浆事件^[40-44],由此可知,鲁西中北部夕卡岩型铁矿床在空间上产出于断陷盆地和隆起区的共轭隆降系统中,是早白垩世构造—岩浆事

件耦合的产物。

3.3 蚀变特征及分带规律

对鲁西地区主要夕卡岩型铁矿床的研究表明,该类型铁矿床蚀变分带特征明显,岩石类型多样。夕卡岩型铁矿床在成矿前、成矿期和成矿后3个阶段的蚀变特征差异明显(表3),围岩蚀变现象多互相叠加,蚀变强弱有别,致使在宏观矿带(矿体)和微观的矿石中蚀变特征较复杂。铁矿体与围岩接触关系大致可分为突变式接触和渐变式接触。铁矿床成矿作用持续时间越长,侵入岩体和成矿围岩发生接触交代作用越充分,则该铁矿蚀变越强烈,矿化越明显,蚀变带范围越宽^[25-28,45-46]。含铁富矿热液在接触带处附近形成的铁矿体多与围岩呈渐变式接触,而在构造裂隙中长距离运移后沉淀富集并形成的铁矿体,多与围岩呈突变式接触。

表 3 研究区铁矿床成矿阶段蚀变特征简表

成矿阶段	蚀变特征	蚀变类型	蚀变范围
成矿前 蚀变特征	处于接触变质作用期和早夕卡岩期,蚀变强度中等,矿物组合较简单	以钠长石化、透辉石化、夕卡岩化、大理岩化、角岩化为主	主要集中于岩体与围岩接触带及地层、岩体中,蚀变范围较大
成矿期 蚀变特征	处于晚夕卡岩期,属主成矿阶段,蚀变强度较强,矿物组合复杂,夕卡岩矿物与矿石矿物共生	以磁铁矿化、夕卡岩化、透闪石化、蛇纹石化、绿帘石化、黄铁矿化等为主	主要集中于矿体及其附近,蚀变范围较局限
成矿后 蚀变特征	处于硫化物和碳酸盐阶段,蚀变强度较弱,矿物组合相对简单	以黄铁矿化、赤铁矿、绿帘石化、碳酸盐化、绿泥石和褐铁矿化为主	主要集中在矿体边缘或局部区域,蚀变范围较小

4 找矿模型探讨

研究区夕卡岩型铁矿找矿多集中于矿床深部及外围地段,或是勘查程度较低的深覆盖区,铁矿勘查难度大。地球物理勘查方法对夕卡岩型铁矿找矿效果明显,随着深覆盖区铁矿勘查工作的逐步推进,其作用更加凸显。研究区铁矿石应具有高磁性、高重力、低电阻、高极化等物性特征,与其围岩之间存在着十分明显的岩石物性差异,具备了利用物探技术手段进行勘查的前提。近年的勘查研究成果^[47-51]显示,磁法测量是寻找铁矿最为重要的方法,铁矿床在磁异常明显和化极磁异常强烈部位多为铁矿体所引起。井中三分量磁测高值异常与孔壁周邻铁矿体具有高度对应性。重力测量也是铁矿勘查中主要找矿方法,铁矿床主要位于重力梯度带上,或呈现低背景中的重力高,剖面上呈现局部剩余重力高的特性。电法测量在铁矿勘查中较为常用,其中深部地质单元间高低阻转换带是显示夕卡岩带和铁矿体分布的重要部位。在深覆盖区铁矿勘查中,地震测量方法

也用于铁矿找矿中,通过识别奥陶系、石炭系和二叠系与中基性侵入岩体接触部位来定位夕卡岩带和铁矿体。

本文通过对张家洼、王旺庄和郭店3处典型铁矿床特征的分析研究,结合区域铁矿床找矿技术方法,总结了研究区夕卡岩型铁矿的找矿模型(表4)。在夕卡岩型铁矿勘查工作中,需综合各类信息并进行认真甄别,通过合理利用铁矿床分带和重磁电震等物探异常信息,精确定位深部铁矿体,提升铁矿勘查效率。

5 结论

(1)鲁中隆起区具有地层较齐全、构造较发育和岩浆岩活动强烈的特点,其中中生代岩浆岩和奥陶系、石炭系、二叠系发育,具备了形成夕卡岩型铁矿的地质条件。在区域大地构造动力学机制影响下,在鲁中隆起区于早白垩世形成了夕卡岩型铁矿,该类型铁矿体赋存于闪长岩体与奥陶系(碳酸盐岩地层)接触带、奥陶系(碳酸盐岩地层)层间滑脱面、石

表 4 研究区夕卡岩型铁矿找矿模型一览表

地质要素	要素详细特征描述
大地构造位置	华北板块(I)、鲁西隆起区(II)、鲁中隆起(III)中北部
成矿构造环境	隆起区边缘和坳陷接壤部位
空间分布特征	矿体围岩为奥陶纪马家沟群灰岩;矿体主要赋存于闪长岩与灰岩的接触带
成矿地质体	以闪长岩为主的中基性岩体,呈岩床、岩席、岩枝和岩脉产出
成矿时代	早白垩世(124~134 Ma)
控矿地质单元	中基性侵入岩体(以闪长岩为主)、奥陶系、石炭系一二叠系
岩浆岩建造组合	辉石闪长岩、角闪闪长岩、黑云母闪长岩、石英闪长岩、二长闪长岩、石英二长岩等
沉积建造组合	奥陶系(马家沟群北庵庄段、五阳山段、八陡段以厚层纯灰岩为主)、石炭系一二叠系(碎屑岩地层)
成矿构造特征	闪长岩体与围岩地层接触带、与接触带连通的断裂/裂隙等,围岩地层间碎裂带、岩体中地层捕虏体
蚀变分带特征	闪长岩带、蚀变闪长岩带、内夕卡岩带、铁矿带、外夕卡岩带、大理岩带、灰岩带、角岩带、碎屑岩带
围岩蚀变特征	夕卡岩化、钠长石化、透辉石化、蛇纹石化、磁铁矿化、黄铁矿化、绿帘石化、金云母化、角岩化等
矿石构造	致密块状、块状、浸染状、气孔状、角砾状、条带状构造
矿石结构	细粒(局部中粗粒)结构、他形/半自形粒状结构、交代残余结构、包含结构、镶边结构、网脉状结构
矿物组合	金属矿物为磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、斑铜矿等;非金属矿物为透辉石、透闪石、蛇纹石、方解石、绿帘石、绿泥石、金云母等
矿石物性特征	铁矿石具有强磁性、高密度性、低电阻和高极化性,与其围岩具有明显的差异
磁性特征	在磁异常明显和化极磁异常强烈部位,磁异常强度较高并有负异常伴生部位多为铁矿体所引起;井中三分量磁测高值异常与孔壁周邻附近铁矿体具有高度对应性
重力特征	重力场特征主要为重力梯度带上,或呈现低背景中的重力高,剖面上呈现局部重力高
电性特征	高阻和低阻的转换带是显示夕卡岩带和铁矿体分布的重要部位
地震特征	沉积地层和成矿岩体接触带是铁矿勘查的重点部位

炭系一二叠系(碎屑岩地层)层间滑脱面中;其铁矿床具有“品位高、储量大、分布集中”的特点。

(2)本文从空间分布、时间分布、蚀变特征及分带规律等角度,总结了研究区夕卡岩型铁矿成矿规律。该类型铁矿床分带特征明显,较为完整的分带为闪长岩带、蚀变闪长岩带、内夕卡岩带、铁矿带、外夕卡岩带、大理岩带、灰岩带、角岩带、碎屑岩带等。由于铁矿赋矿形式的不同,矿床蚀变分带亦表现出较大的差异性。在夕卡岩型铁矿成矿过程中,受构造空间控制,铁矿体形态极为复杂,铁矿成矿空间位置及形态规模受成矿期形成的构造发育程度控制,且具有“原位成矿”和“异位成矿”的特点,铁矿体与围岩接触关系总体可分为渐变式和突变式接触。

(3)研究区夕卡岩型铁矿勘查工作多集中于矿床的深部及外围地段,或是勘查程度较低的深覆盖区,找矿难度极大。本次研究总结了该区铁矿找矿模式,在铁矿勘查过程中,通过合理利用铁矿床分带特征,综合提取磁异常、重力异常、电法异常和地震异常的深层信息,准确研判赋矿部位是深部找矿工作取得突破的有效途径。

致谢:谨向在齐河—禹城重点勘查区、莱芜铁矿区、金岭铁矿区富铁矿调查研究过程中给予大力支持与协助的各相关单位领导和技术人员,以及为本文提供宝贵建议与指导的审稿专家们,致以最诚挚

的谢意!

参考文献:

- [1] 孔庆友,张天祯,于学峰,等.山东矿床[M].济南:山东科学技术出版社,2006:291~350.
- [2] 郝兴中,肖克炎,王巧云,等.山东铁矿成矿规律及潜力分析[J].地球学报,2023,44(5):834~848.
- [3] 李厚民,王登红,李立兴,等.中国铁矿成矿规律及重点矿集区资源潜力分析[J].中国地质,2012,39(3):559~580.
- [4] 郝兴中,王巧云.鲁中隆起区中北部夕卡岩型铁矿成矿预测[J].地质学刊,2016,40(3):443~449.
- [5] 张增奇,李英平,王怀洪,等.山东省齐河禹城地区发现大型富铁矿[J].山东国土资源,2016,32(5):94.
- [6] 陈晓曼,王娟,王继国,等.山东省齐河大张铁矿地质特征及找矿前景[J].山东国土资源,2017,33(12):24~29.
- [7] 郝兴中,杨毅恒,刘伟.山东潘店地区夕卡岩型铁矿地质特征及找矿意义[J].科学技术与工程,2018,18(20):51~58.
- [8] 沈立军,朱裕振,高志军.山东齐河—禹城富铁矿区李屯岩体地质特征初探[J].山东国土资源,2020,36(2):23~29.
- [9] 郝兴中.鲁西地区铁矿成矿规律与预测研究[D].北京:中国地质大学(北京),2014:1~182.
- [10] 李洪奎,郝兴中.鲁西地区铁矿成矿规律研究[M].北京:地质出版社,2016:12~38.
- [11] 杨昌彬,宗信德,卢铁元,等.浅析莱芜接触交代—热液铁矿的双交代渗滤作用[J].地质找矿论丛,2006,21(S1):85~89.
- [12] 张保涛,胡兆国,曹其琛,等.山东淄博金岭杂岩体分布区深部富铁矿资源潜力及找矿方向[J].地质学报,2021,95(5):1545~1560.

- [13] 郝兴中,刘伟,臧凯,等.鲁西潘店地区夕卡岩型铁矿成矿规律初探[J].山东国土资源,2018,34(7):27-33.
- [14] 宗信德,李卫,赵宏生,等.山东莱芜接触交代—热液铁矿多因素成矿及特征[J].地质与资源,2011,20(5):370-375.
- [15] 胡创业,赵晓博,张保涛,等.综合地球物理方法在莱芜地区富铁矿深部找矿中的应用[J].华北地震科学,2024,42(4):51-57.
- [16] 董金鑫,宋琳,姜韫麒,等.山东莱芜鹿毛埠富铁矿地质特征及深部找矿方向研究[J].山东国土资源,2024,40(3):66-72.
- [17] 郑岩岩,赵晓博,陈琦,等.综合物探方法在淄博金岭王旺庄矿区富铁矿勘查中的应用[J].中国矿业,2024,33(S1):480-483.
- [18] 张保涛,胡兆国,梅贞华,等.山东淄博金岭地区辛庄铁矿地质地球物理特征及深部找矿预测[J].地质论评,2022,68(6):2259-2268.
- [19] 郝兴中,彭观峰,王润生,等.山东省齐河—禹城富铁矿勘查区工作进展及对策[J].山东国土资源,2021,37(12):17-23.
- [20] 李强,田思清.山东省齐河—禹城地区夕卡岩型铁矿磁铁矿元素地球化学特征及其对成矿作用的指示意义[J].山东国土资源,2021,37(1):1-9.
- [21] 郝兴中,孙斌,王巧云,等.山东省德州市夕卡岩型铁矿赋矿规律研究[J].地质论评,2024,70(S1):59-60.
- [22] 赵体群,常洪华,冯启伟,等.鲁西地区夕卡岩型铁矿成矿地质特征及找矿标志[J].山东国土资源,2020,36(10):1-8.
- [23] 郝兴中,朱学强,王巧云,等.鲁西北超深覆盖区富铁矿成矿地质体三维模型[J].地质论评,2023,69(S1):524-526.
- [24] 方邵平,赵映普.山东淄博金岭铁矿区王旺庄矿床地质特征及控矿因素简析[J].能源研究与管理,2017(1):57-61.
- [25] 张保涛,梅贞华,李秀章,等.华北克拉通夕卡岩型富铁矿成矿关键控制因素:来自地层学的制约[J].现代地质,2024,38(1):98-116.
- [26] 马明,常洪华,李亚东,等.淄博—莱芜地区夕卡岩型铁矿成矿规律和成矿模式探讨[J].山东国土资源,2020,36(7):9-15.
- [27] 郝兴中,张华平,王巧云,等.山东德州超深覆盖区夕卡岩型铁矿找矿标志[J].地质论评,2021,67(S1):139-140.
- [28] 郝兴中,杨毅恒,李英平,等.鲁西齐河地区铁矿控矿特征及找矿标志[J].吉林大学学报(地球科学版),2019,49(4):982-991.
- [29] FENG Qiwei, GAO Mingbo, FU Chao, et al. Phlogopite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronology for Guodian Skarn Fe Deposit in Qihe—Yucheng District, Luxi Block, North China Craton: A Link between Craton Destruction and Fe Mineralization [J]. Minerals, 2024, 14(7):690.
- [30] 王怀洪,李洪奎,周明磊,等.山东富铁矿构造环境和成矿规律[M].北京:地质出版社,2021:1-295.
- [31] 郝兴中.山东省齐河地区接触交代型铁矿成矿要素耦合分析[J].科学技术与工程,2020,20(33):13552-13558.
- [32] 张招崇,王怀洪,谢秋红,等.“禹城式”夕卡岩型富铁矿的形成机制[J].现代地质,2024,38(1):1-12.
- [33] 段壮.山东莱芜地区夕卡岩型铁矿床成矿作用与成矿机制研究[D].北京:中国地质大学,2019:1-190.
- [34] 金子梁.夕卡岩型富铁矿成因研究:以鲁西淄博和莱芜铁矿为例[D].北京:中国地质大学(北京),2017:1-102.
- [35] 郝兴中,郭延明,李英平,等.山东齐河—禹城矿集区夕卡岩型铁矿成矿规律[J].地质学刊,2019,43(4):566-572.
- [36] 秦杰,朱学强,王丽娟,等.鲁西潘店铁矿成矿岩体成因:锆石 U-Pb 年代学和地球化学证据[J].山东国土资源,2023,39(3):14-22.
- [37] 王来明,郝兴中,朱学强,等.山东省齐河—禹城超深覆盖区夕卡岩型铁矿三维成矿预测研究[M].北京:地质出版社,2023:1-232.
- [38] ZHU Yuzhen, ZHANG Zhaonian, SHEN Lijun, et al. First report on zircon U-Pb age (125.9 Ma) of the quartz monzonite from the Pandian skarn iron deposit in the Luxi area, Eastern China[J]. China Geology, 2022, 5(1): 185-187.
- [39] 杨承海,许文良,杨德彬,等.鲁西中生代高 Mg 闪长岩的成因:年代学与岩石地球化学证据[J].地球科学:中国地质大学学报,2006,31(1):81-92.
- [40] 张剑,李三忠,李玺瑶,等.鲁西地区燕山期构造变形:古太平洋板块俯冲的构造响应[J].地学前缘,2017,24(4):226-238.
- [41] 张招崇,李厚民,李建威,等.我国铁矿成矿背景与富铁矿成矿机制[J].中国科学:地球科学,2021,51(6):827-852.
- [42] 杨进辉,许蕾,孙金凤,等.华北克拉通破坏与岩浆—成矿的深部动力学过程[J].中国科学:地球科学,2021,51(9):1401-1419.
- [43] 张锡明,张岳桥,季玮.山东鲁西地块断裂构造分布型式与中生代沉积—岩浆—构造演化序列[J].地质力学学报,2007,13(2):163-172.
- [44] 朱日祥,徐义刚.西太平洋板块俯冲与华北克拉通破坏[J].中国科学:地球科学,2019,49(9):1346-1356.
- [45] 郝兴中,孙斌,张文,等.鲁西地区铁矿类型特征及成矿谱系[J].科学技术与工程,2023,23(35):14988-15001.
- [46] 高继雷,高明波,常洪华,等.山东富铁矿地质[M].北京:中国地质大学出版社,2021:1-204.
- [47] 王润生,郝兴中,刘洪波,等.鲁西齐河地区夕卡岩型铁矿重磁方法找矿规律研究[J].地球物理学进展,2022,37(2):664-677.
- [48] 王润生,郝兴中,胡蕾,等.基于重磁资料在山东齐河—禹城探获夕卡岩型富铁矿:对超深覆盖区找矿的启示[J].中国地质,2023,50(2):331-346.
- [49] WANG Runsheng, CHEN Fangbo, WANG Jiabao, et al. Prospecting criteria for skarn-type iron deposits in the thick overburden area of Qihe—Yucheng mineral-rich area using geological and geophysical modelling[J]. Journal of Applied Geophysics, 2024(228):105442.
- [50] 郝兴中,张华平,李英平,等.井中三分量磁测在鲁西大张深覆盖区铁矿勘查中的应用[J].山东国土资源,2020,36(11):63-68.
- [51] 王卫平,吴成平,马勋表.山东齐河地区航磁磁场特征与深覆盖区铁矿靶区预测[J].中国地质调查,2020,7(1):23-29.

Metallogenetic Regularity and Prospecting Model of Skarn Type Iron Deposits in the Central and Northern Parts of Shandong Province

HAO Xingzhong^{1,2}, SUN Bin¹, ZHANG Wen¹, CHENG Hongyan¹, CHEN Lei¹, YANG Shipeng¹, HU Xueping¹, LIU Bohan¹, ZHU Xueqiang¹, MA Ming³, LI Xiaopeng¹, WANG Ligong¹, MA Lixin¹, WANG Jingjing¹, ZHAO Xiaobo⁴, WU Binglu³, MEN Yuefeng⁵, ZHU Yuzhen⁶

(1. Shandong Institute of Geological Surveying, Shandong Jinan 250014, China; 2. Marine Geosciences College of Ocean University of China, Shandong Qingdao 266100, China; 3. No.1 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Jinan 250100, China; 4. Shandong Zhengyuan Geological Exploration Institute, Shandong Jinan 250101, China; 5. Shandong Geological Prospecting Institute of China Chemical Geology, Shandong Jinan 250013, China; 6. Shandong Provincial Research Institute of Coal Geology Planning and Exploration, Shandong Jinan 250104, China)

Abstract: Geological conditions for the mineralization of skarn type iron deposits in the central and northern parts of Shandong province are superior. It is an important iron rich deposit base in China. Skarn type iron deposits related to intermediate intrusive rocks developed well. The iron deposits in this area have the characteristics of "large ore body scale, high ore grade, and concentrated distribution of deposits". In this paper, through sorting out data and conducting on-site investigations, typical iron deposits in this area have been compared and studied, and mineralization laws have been summarized. It is showed that the mineralization age of iron deposit in this area is almost consistent. It belongs to early Cretaceous. Iron deposit has diverse ore bearing space. It mainly occurs near the contact zone between diorite bodies and the Ordovician system. Some iron ore bodies are produced in the interlayer unconformities and interlayer slip zones of the Ordovician system and the overlying Carboniferous Permian system. Some small scale iron ore bodies are occasionally seen inside the rock mass, and each iron ore body is connected to each other by fault structures, with obvious zoning characteristics. A prospecting model for exploring skarn type iron deposits in the study area has been constructed. Based on the study of mineralization laws, through extracting deep level information, such as magnetic anomalies, gravity anomalies, electrical anomalies and seismic anomalies, it is regarded that ore bearing areas is an effective way to achieve breakthroughs in deep prospecting work.

Key words: Skarn type; iron deposit; metallogenetic regularity; prospecting model; northern Shandong province