白云鄂博铁矿控矿构造模式分析*

刘 云, 郭 锐, 邢乃豫

(内蒙古包钢勘察测绘研究院, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 对白云鄂博矿床控矿构造提出了新的认识, 认为原来的向斜构造是不存在的, 白云鄂博矿床是由乌兰布拉格大断裂和与其相交的宽沟断裂所控制, 其交汇点即是白云鄂博矿床所在位置, 白云鄂博矿床受深大断裂控制, 并建立了控矿构造模型。

关键词: 白云鄂博; 向斜; 断裂; 控矿构造; 控矿构造模型

中图分类号: P618.31 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-5438(2021)05-0001-08

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.05.001

Analysis on Ore-controlling Structural Model of Bayan Obo Iron Ore

Liu Yun, Guo Rui, Xing Nai-yu

(*Inner Mongolia Baotou Steel Survey and Mapping Institute, Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The new understanding of ore-controlling structure for ore deposit of Bayan Obo is put forward. It is considered that the original syncline structure does not exist. The ore deposit of Bayan Obo is controlled by the Ulan Bragg major fracture and wide groove fracture, which are intersecting at the location of Bayan Obo ore deposit. Bayan Obo ore deposit is deeply controlled by major fracture and the ore-controlling structural model is established.

Key words: Bayan Obo; syncline; fracture; ore-controlling structure; ore-controlling structural model

20世纪七、八十年代, 白云鄂博西矿在勘查时, 根据钻孔资料和地表地质调查, 提出了白云鄂博西矿矿体是由紧闭的向斜褶皱构造所控制的观点。认为该向斜构造是一个走向东西、西端收窄扬起、东部倾伏散开、轴面近直立、南北两翼对称的向斜构造。铁矿体主要赋存于向斜两翼的白云岩中, 并受褶皱构造控制。向斜核部是H8厚层白云岩, 矿化较弱。

但是近几年白云鄂博主、东、西矿大量的勘查工作表明, 矿体在深部延伸情况复杂, 尤其白云鄂博东矿(简称东矿)深部勘探并没有找到向斜核部, 向斜构造控矿观点并不能解释这种现象。实际上白云鄂博大地构造与控矿构造的关系、控矿构造属哪种类型及其对矿体的控制问题目前仍然没有解决, 这种情况阻碍了矿山生产的正常进行。现在亟需要厘清构造对白云鄂博矿床的控制特征, 为正确指导矿山生产和深边部找矿及包钢铁资源接续提供理论依据。

本文是在包钢铁矿石需求持续高位运行, 白云鄂博主、东矿铁矿石资源保障程度日益降低的背景下进行的。以白云鄂博东矿、东介勒格勒矿为主要研究对象, 兼顾与白云鄂博主矿(简称主矿)的对比, 采用“地表地质调查、勘探线剖面对比、化学分

* **收稿日期**: 2021-06-08

作者简介: 刘 云(1963-), 男, 江苏省镇江市人, 正高级工程师, 现从事地质矿产工作。

析、数据处理、建立模式、综合研究”的技术路线开展了本次研究工作。

1 构造控矿理论与实际工作中的差异

在白云鄂博主、东矿以往的勘查中，以白云鄂博西矿（简称西矿）为参照对象，认为主、东矿分别与南侧的高磁异常区、东介勒格勒矿一起受控于白云鄂博向斜构造。主要理由是：东介勒格勒矿与东矿赋矿岩层均为白云岩，东介勒格勒矿体与东矿矿体产状对倾，具有向斜构造样式；以向斜核部板岩为中心，两侧的其它岩层也部分可以对比。根据上述认识，建立了白云鄂博主、东矿向斜构造控矿模式。2005—2007年，根据这个控矿模式，东矿部署了以向斜核部为找矿方向的10个深部钻孔，2013—2015年又部署了36个深部钻孔。根据深部钻探结果，对白云向斜构造的存在与否产生了一些新的认识。

东矿白云向斜核部深部钻探结果和西矿后期勘探结果揭露出大量与白云向斜构造控矿样式相左的现象：

（1）在西矿，经过大量的补充勘探工作，早期勘探时以向斜控矿模式连接的矿体，经过补充勘探和后期开采，发现许多应该有矿体的部位没有矿体，不该出现矿体的地方却出现了矿体，给矿山生产带来很大困扰，表明矿体深部延续情况复杂，不是简单的向斜控矿所能解释。后期补充勘探结果与原来勘探结果出入很大。

（2）在东矿向斜核部，部署了15个超过1 000 m的深部钻孔，最深达1 775.4 m，然而均没有探到预期的向斜核部厚大矿体，根据向斜产状推算，铁矿向斜底部应该在1 200～1 300 m标高左右，深部未见原来推测的厚大铁矿体。实际勘查情况是铁矿体呈板状沿倾向一直向深部延伸，在300 m标高以下铁矿体仍然存在，但向深部铁矿体逐渐尖灭消失，且产状变陡，而稀土白云岩并未见底。

（3）根据早期勘探认识，白云鄂博主、东矿白云向斜是西矿向斜的东延，二者为同一构造。仔细分析两处岩层变化，西矿向斜核部为白云岩，主、东矿向斜核部为厚层板岩，两者相距不到5 km，同一向斜构造核部岩性发生如此大的变化，是难以理解的。

（4）东矿单个主矿体最宽处达390 m，矿体延深1 000 m以上，矿体向深部出现分叉、逐渐变薄、尖灭现象，产状变陡。南部的东介勒格勒矿体多达19个，最宽处96 m，矿体最大延深671 m，矿体向深部逐渐变薄、尖灭，产状变陡，并逐渐向南倾斜。从矿体特征和矿体规模上，南北两侧两个矿体不具有向斜构造的特征。

（5）白云向斜控矿的认识，是建立在白云岩是沉积成因认识上的，目前的许多证据表明，含矿白云岩为碳酸岩岩浆成因。

总之，种种现象表明，一直以来认为白云向斜控矿模式需要作出调整，重新认识其真实面目。

围绕这些核心关键问题，利用勘探线地质剖面、深部钻孔岩相学等手段，研究白云鄂博构造深部空间延展情况，勾勒出东介勒格勒—东矿的构造样式，以此达到研究向斜构造是否存在及其对矿体是如何控制的目的。

2 东矿与东介勒格勒矿勘探线地质剖面

在白云鄂博东矿区内，整理了一套完整的勘探线地质剖面，并对典型的23勘探线剖面展开了详细研究，该剖面穿越东介勒格勒矿和东矿两个地区，见图1。

东矿铁矿体及含矿白云岩与东介勒格勒铁矿体及含矿白云岩是本次进行对比的两个层位。从剖面图看出，东介勒格勒铁矿体整体产状向北倾斜，厚度在157 m左右；东矿铁矿体整体产状向南倾斜，厚度在1 099 m左右，两侧矿体规模并不能完全对比，而且在深部并不相连，因此，向斜构造的存在值得怀疑。可以据此做出两种合理的推断，一是之前完整的向斜构造由于遭受后期强烈的多期构造运动，原来连续的矿体被错断、改造，导致东介勒格勒铁矿体地表出露出现缺失，使矿体变薄；二是本来就不存在向斜构造，矿体是受深大断裂所控制，是同一套含矿岩系在剖面上出现不同程度、不同规模的重复现象而形成的“向形”构造。根据目前资料研究表明，向斜构造是不存在的，即使矿体是“向形”构造形态，也是被破坏的向形。

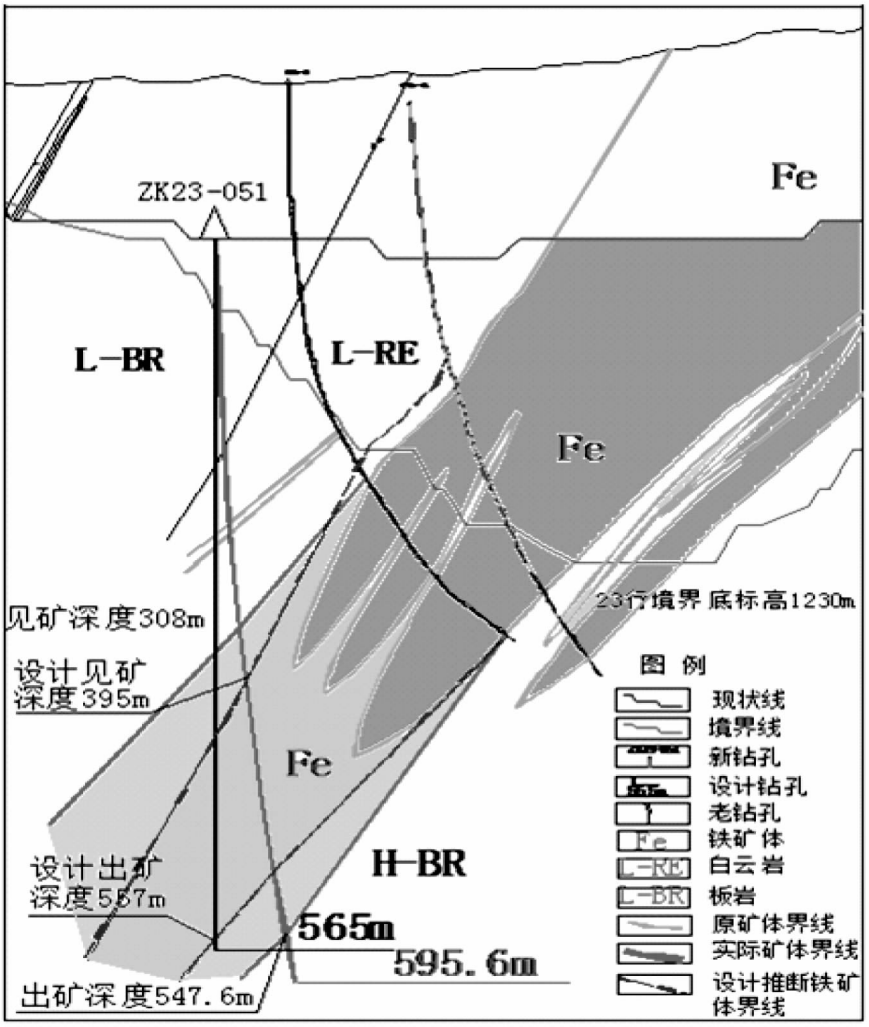


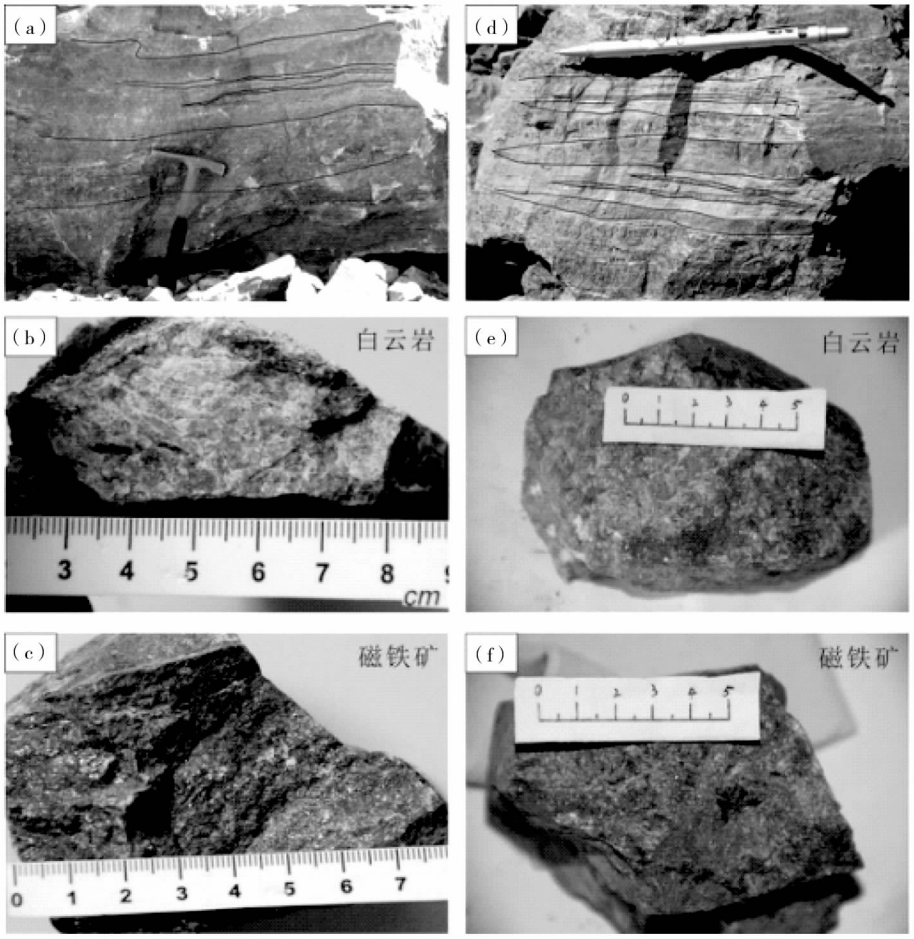
图 1　白云鄂博铁矿东矿 23 勘探线剖面示意图

3　东矿与东介勒格勒矿岩性对比

主要研究与矿体相关的岩性，仅截取相关岩(矿)层进行讨论分析。从野外地质调查对岩(矿)层岩性对比可以看出，矿区内仅有两段岩性可以对比：东介勒格勒含矿白云岩可以与东矿含矿白云岩对比；紧邻东介勒格勒白云岩北侧的碳质板岩可以与东矿南侧碳质板岩对比，而其他岩层均未找到相对应的可对比岩性。对比的目的就是为了验证两个矿区的岩(矿)层是否为同一层岩(矿)层，如果是同一层，则说明其为向斜的两翼，如果不是同一层岩(矿)层，则说明向斜构造不存在。

3.1　含矿白云岩宏观尺度对比

东介勒格勒矿体整体规模较小且零散，铁矿体呈层状、透镜状，北西倾向，倾角 65°～85°，矿体向深部倾角变陡。而东矿矿体规模较大，整体走向北东东(70°)，南倾，东矿体上部的倾角一般上盘较陡，下盘较缓，倾角为 50°～60°，局部有较缓或较陡的变化，深部矿体倾角在 60°～70°之间。东介勒格勒矿体相比于东矿矿体钠闪石、霓石较发育，稀土条带明显，磁铁矿和萤石较少，矿化程度较弱。而东矿矿体具有明显的磁铁矿、萤石和稀土矿物富集并呈条带相间分布，矿化程度较高，见图 2。



(a) 东介勒格勒条带状构造矿石;(b) 东介勒格勒白云岩;(c) 东介勒格勒磁铁矿矿石;
(d) 东矿条带状萤石、铌、稀土、铁矿石;(e) 东矿白云岩;(f) 东矿磁铁矿矿石

图2 东介勒格勒矿与东矿矿石特征

3.2 白云岩显微尺度对比

对东介勒格勒矿含矿白云岩和东矿含矿白云岩进行显微镜下岩石组构分析,显微照片见图3、图4。

在显微镜下,东介勒格勒矿体磁铁矿总体呈浸染状,矿化较弱,白云石矿物颗粒较大,萤石发育程度较弱,在有黑云母部位出现较富集的磁铁矿。

东矿含矿白云岩显微镜下最大的特点是萤石条带发育,呈紫色,其与磁铁矿和稀土矿物相间分布,呈透镜状、条带状、豆荚状。稀土矿物和磁铁矿的出现与萤石具有密切关系,在萤石条带的周围分布有磁铁矿和稀土矿物,推断是在碳酸岩浆上侵过程中,活动性较强的氟携带着稀土元素和铁元素上移,萤石结晶过程中,稀土矿物和磁铁矿富集成矿,氟应该是稀土和铁的载体,在东矿含矿白云岩内见显微碎块(图4e、f),表明热液上侵过程中,受构造活动影响,岩石发生破碎,流体贯入冷却结晶,形成碎块(角砾)状构造。

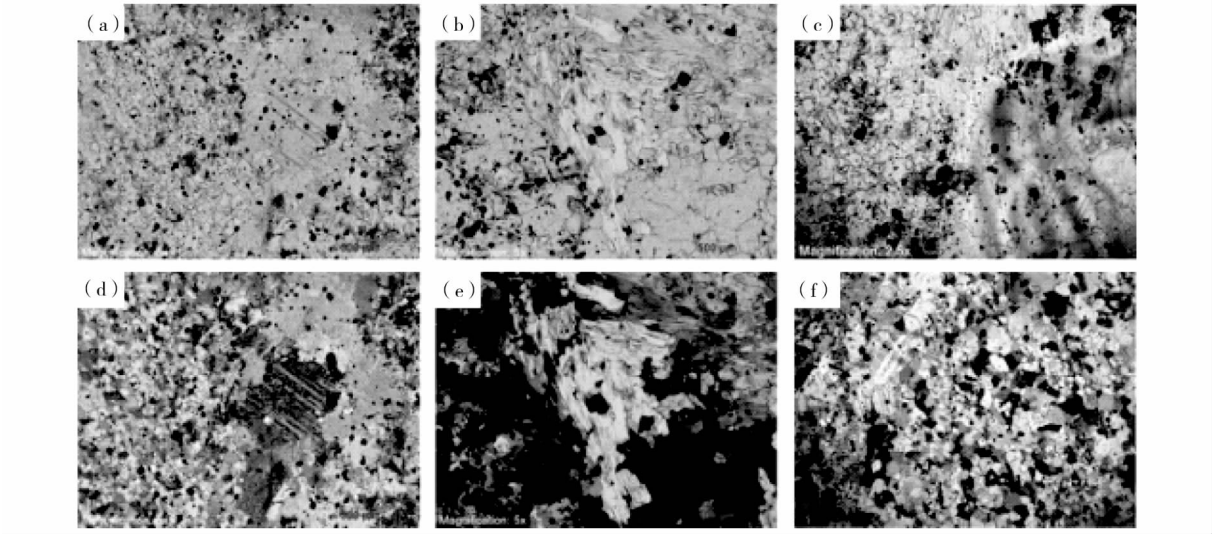


图 3　东介勒格勒矿含矿白云岩显微照片

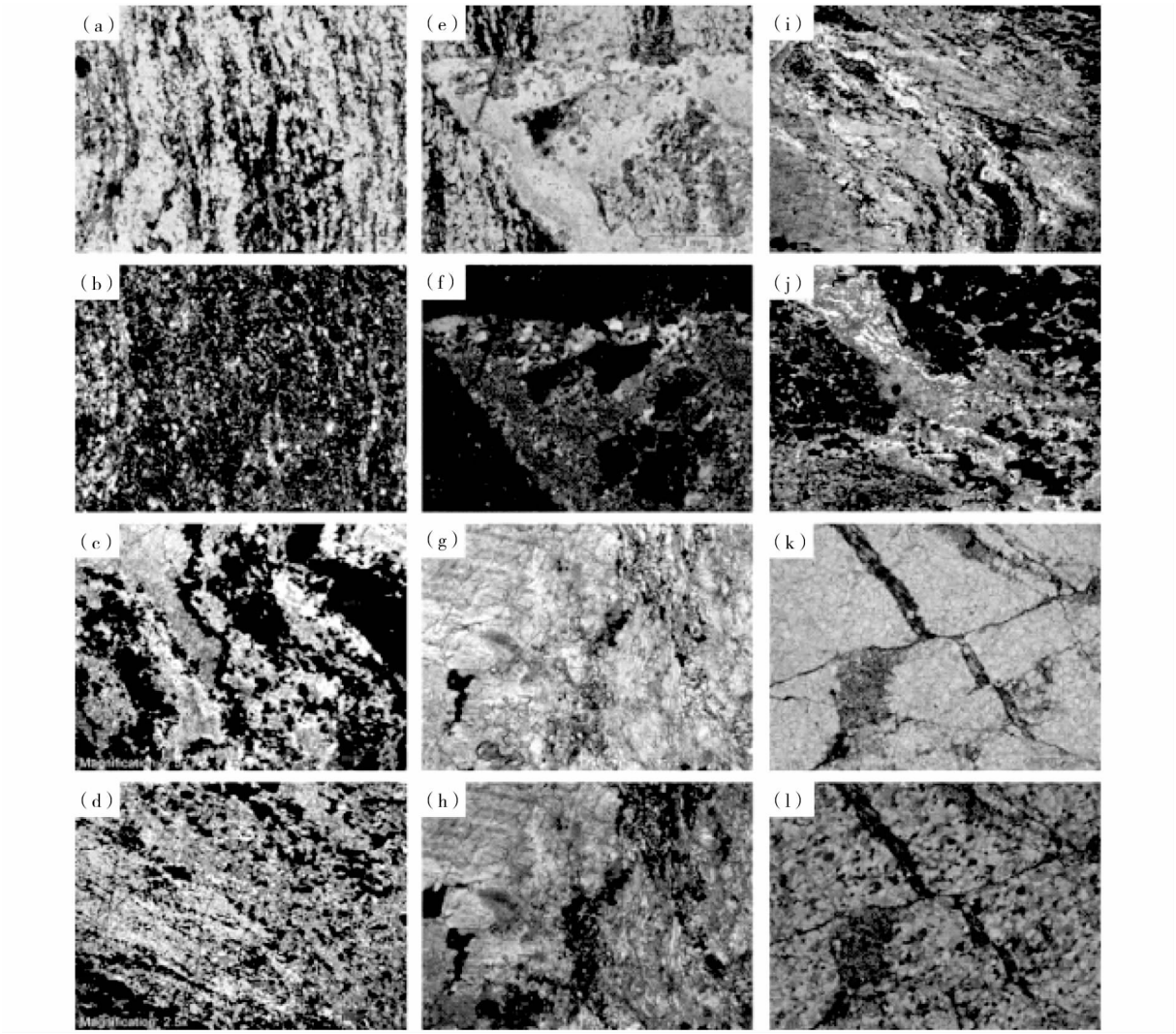


图 4　东矿含矿白云岩显微照片

通过显微镜下对比，可以看出东介勒格勒矿体磁铁矿呈浸染状分布在白云岩中，矿化强度远不如东矿，而东矿体磁铁矿除呈浸染状，还呈条带状分布在白云岩中，两种矿体白云岩内磁铁矿的赋存状态存在明显差异。

4 白云岩稀土元素地球化学

与中国地质科学院合作，测试了东介勒格勒矿和东矿白云岩内白云石矿物的稀土元素含量，目的是对两种矿体中白云岩从稀土元素配分模式上讨论分析其是否具有可对比性。

标号为BY开头的样品是东介勒格勒矿含矿白云岩内的白云石样品，标号DK为东矿白云石样品。样品在中国地质科学院国家地质试验测试中心LA－ICP－MS实验室进行原位微区稀土元素测试，见图5，对数据进行标准化配分图解，标准化值引自北美页岩组合样(NASC，Haskin，1966)。

从图5可以看出，东介勒格勒矿和东矿白云岩中白云石稀土元素含量及配分模式具有明显差异。东介勒格勒矿白云石稀土总量在0.490 0%～0.600 0%，稀土配分图呈明显右倾现象，表明轻重稀土分异严重，轻稀土异常富集；东矿白云石稀土总量在0.010 0%～0.040 0%，平均为0.021 3%，东矿白云石稀土配分曲线较均衡，轻重稀土分异不明显。同时东矿出现了Ce的弱负异常，轻微Gd负异常。引起差异的原因也有可能是两种矿采样深度不同造成的，东介勒格勒矿采样位置较浅，东矿采样位置较深，也说明深部轻重稀土分异作用减弱。

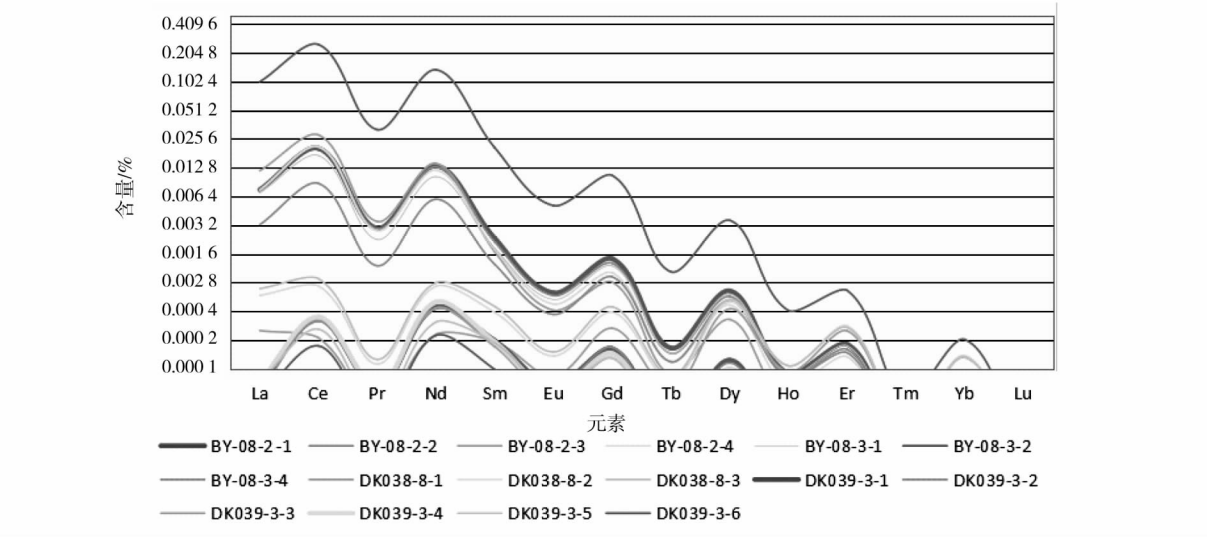


图5 白云石单矿物稀土元素标准化配分图解

5 东矿与东介勒格勒矿矿化样式

仔细分析上述两个矿床的矿化样式，二者存在较多不可对比性。矿体规模上，东矿要比东介勒格勒矿大很多，前者呈层状、厚层状、大的透镜状，后者多呈小的零散透镜状；矿石类型前者以萤石型、霓石型、闪石型矿石为主，后者主要以稀土白云岩型矿石为主；矿物组合上，东矿矿石矿物组合复杂多样，东介勒格勒矿矿化元素少，整体比较单一；矿化元素品位上，东矿铁矿石品位要远高于东介勒格勒矿床矿石品位，而稀土、铌矿品位前者低于后者；矿石结构构造也存在较大差别。总体而言，两者矿化样式差异较大，详细对比见表1，不能直接当做同一矿体对待。

表 1　白云鄂博东矿及东介勒格勒矿矿体总体情况对比一览表[1]

项目	白云鄂博东矿	东介勒格勒矿
赋存状态	产于白云鄂博群哈拉霍疙特组上部，岩性为含矿白云岩(H8) 。	产于白云鄂博群哈拉霍疙特组上部，岩性为含矿白云岩(Jxh^3) (H8) 。
围岩岩性	下盘为条带状含稀土白云岩，上盘为黑云母岩、碳质板岩夹浅色硅质板岩及钠闪石岩，普遍具稀土和铌矿化。	下盘为灰色中晶白云岩及含稀土白云岩，上盘为碳质板岩。
矿床规模	东矿共圈出两个大矿体，东西长 1 200 m，矿体西部南北宽 50 ~ 115 m，东部宽 500 m 以上，平均宽 350 m，延深超 1 000 m。	东介勒格勒矿共圈出 19 个铁矿体，3 个稀土矿体和 7 个铌矿体; 矿体长 100 ~ 1 600 m，宽 1. 88 ~ 32. 72 m，延深 50 ~ 510 m。
矿体形态	透镜状、层状、厚层状、楔状，平面呈帚状。	层状、透镜状。
矿体产状	矿体整体走向北东东(70°) ，南倾，矿体上部的倾斜，一般上盘较陡，下盘较缓，倾角为 50° ~ 60°，局部有较缓或较陡的变化，深部矿体倾角在 60° ~ 70°之间。	走向东西向，北倾，倾角 65° ~ 85°。
矿石类型	萤石型矿石，钠辉石、钠闪石混合型矿石，白云石型矿石，霓石型矿石。	主要为白云石型矿石。
矿石矿物	铁矿物主要为磁铁矿、赤铁矿、假象赤铁矿、褐铁矿; 稀土矿物为独居石、氟碳铈矿。	铁矿物主要为磁铁矿、赤铁矿，次要矿物为黄铁矿，稀土矿物为氟碳铈矿、独居石。
主要成矿元素	铁、稀土、铌、萤石。	铁、稀土、铌。
矿石平均品位	铁品位平均 33. 49%，稀土品位平均 4. 22%，Nb_2O_5 含量平均 0. 235%。	铁品位平均 24. 90%，稀土品位平均 3. 20%，Nb_2O_5 含量平均 0. 127%。
矿石结构构造	矿石具粒状及半自形晶交代结构，板状、层纹状、条带状及斑纹状构造，局部具块状构造。	矿石呈半自形 - 它形晶结构，主要以半自形粒状变晶浸染于闪石和碳酸盐等脉石矿物颗粒间，形成浸染状构造。
矿床地球化学	矿区主要含矿建造即赋矿白云岩(H8) ，开展了大量的地球化学研究，几乎涵盖所有地球化学方面。目前形成火成碳酸岩模式与沉积交代模式，各自均有相应地球化学与地质学证据，研究深度和广度均较大。	仅开展过少量矿石、矿物及矿床地球化学研究(主量、微量、稀土元素地球化学) ，与东矿做对比研究。
成矿物质来源	火成论者(包括岩浆碳酸岩成因和海底火山喷溢沉积成因) 认为成矿物质来源于地幔是毫无疑义的; 中国科学院地球化学研究所(1988 年) 认为成矿期次有两个，而不同的期次其成矿物质来源不同: 在晚元古沉积成矿的时候，成矿物质主要是陆源的，而海西期热液交代成矿中，Sr 和 Pb 的同位素表明可能有地幔物质的参与。	开展了含矿白云岩、主要矿石矿物稳定同位素(C、H、O、S) 研究、Sr 同位素地球化学研究，判别成矿物质来源，用于与东矿进行对比。开展了成矿流体化学研究，判定白云向斜两侧成矿地球化学特征是否可以对比。
成矿时代	目前同位素年龄主要集中在三个阶段: ①中、新元古代，年龄 1 360 ~ 789 Ma，平均年龄 1 167. 5 Ma; ②加里东期，年龄 485 ~ 386 Ma，平均 426. 8 Ma; ③海西期，年龄 277 ~ 255 Ma。	东介勒格勒矿含矿白云岩成岩时代研究及稀土矿物(独居石、氟碳铈矿) 时代确定研究较少。
成矿作用	根据成因类型和多期次交代变质作用，成矿作用主要为内生成矿作用和变质成矿作用以及两者的复合成矿作用。	多期复合成矿作用。
矿床成因	对白云鄂博矿床成因的认识主要有岩浆成因和沉积成因两种，另外还有海底火山喷溢沉积成因、陨石撞击成因、微生物成因、深源热卤水作用成因等，本文支持碳酸岩浆成因。	与东矿相同。
找矿潜力分析	在东矿施工的 22 个深孔探矿结果表明，矿体在深部(钻孔绝对深度 1 000 m 以上) 厚度达 100 ~ 200 m(假厚度) 。从深部探矿情况来看，东矿矿体沿走向连续，沿倾向延深甚大，并未尖灭，矿石品位稳定，铁和稀土深部找矿潜力巨大。	工作程度低，深部找矿潜力不清。

6 白云鄂博矿床控矿构造模型

根据前面的分析可以看出，白云向斜及其向斜构造控矿作用是不存在的。

大地构造上白云鄂博地区位于华北板块与古蒙古洋板块的交界处，二者以乌兰布拉格大断裂为界。乌兰布拉格大断裂又是本地区地球物理的分界线，断裂两侧重力梯度陡然变化，相差极大。与乌兰布拉格大断裂相交的大断裂有近东西向延伸达40 km的白音角拉克—宽沟断裂，见图6。两条断裂的交汇点即是白云鄂博赋矿白云岩矿床，说明白云鄂博矿床受深大断裂控制。结合本地区白云鄂博群中发育巨厚的火山碎屑岩和大量的基性岩－碱性岩－碳酸岩墙，以及后期大量的多期花岗岩体侵位，可以推断，在断裂的交汇处，应是连通地幔的岩浆岩通道所在位置，也是白云鄂博矿床形成的位置。

白云鄂博矿床的控矿模式应为：在中新元古代，古亚洲滨海—浅海形成一系列东西向断陷盆地，在盆地内沉积了厚层的白云鄂博群地层，H1—H9地层相继连续沉积。之后，由于大规模的深大断裂活动，经历了碳酸岩浆的上侵过程，流体中化学活动性较强的氟携带着大量稀土元素及铁、铌等侵入沉积的白云鄂博地层，形成稀土矿、铁矿、铌矿等，岩浆到地表后由于挤压应力释放，含矿碳酸岩浆形成南北分叉，由于断裂构造总体南倾，在断裂带北部形成了主矿、东矿等较大的矿体，南部形成了东介勒格勒矿、高磁异常区矿等分枝小矿体。最后，因为强烈的挤压，导致东介勒格勒地区的矿体近乎直立分布，甚至在深部发生南倾，见图7。

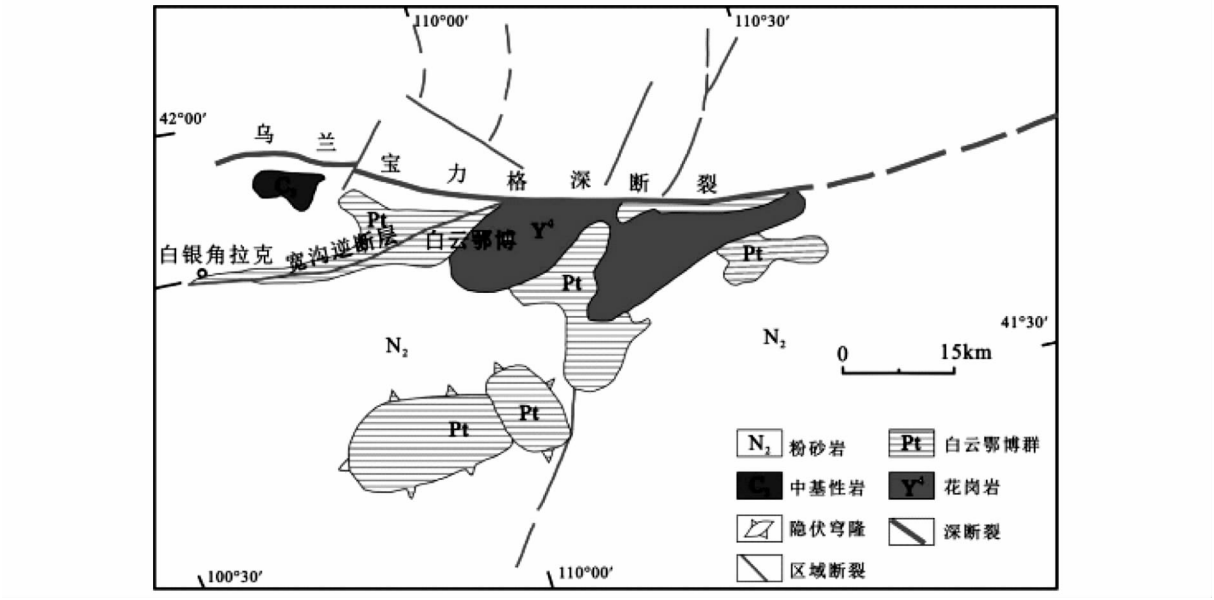


图6 白云鄂博地区构造断裂示意图

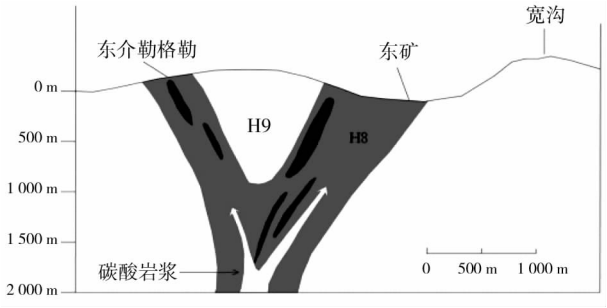


图7 白云鄂博铁矿成矿模式示意图

通过以上分析认为，白云向斜构造是不存在的，向斜构造控矿作用也随之瓦解。认为白云鄂博矿床是由乌兰布拉格大断裂和与其相交的近东西向的宽沟断裂所控制，其交汇点即是白云鄂博矿床，白云鄂博矿床受深大断裂控制。

7 结束语

对区域大地构造、区域控矿构造进行充分和详

（下转第18页）

高炉的脱硫能力和提高高炉的稳定性。

当高炉不顺行、煤气流分布失常、炉缸工作不均匀时，高炉脱硫效果降低，铁水硫含量升高。因此，正确运用高炉各种上下部调节手段，保证高炉顺行，是充分发挥炉渣脱硫能力、降低铁水硫含量的重要手段。

2.5 降低高炉休风率、慢风率

加强高炉日常操作和管理，稳定基本操作制度。充分运用炉喉十字测温、铜冷却壁温度检测、煤气在线分析、炉顶红外摄像等先进技术装备手段，及时调整操作制度以适应炉外环境的变化，减少崩料、悬料等失常炉况发生，保持合理的操作炉型及炉况的长期稳定顺行，使工艺休风率及慢风率降到最低水平[2]。

2.6 加强基础管理

2.6.1 加强生产技术管理

熟悉自身工艺流程及各种事故预案。高炉操作人员积极学习各种操作技能，同时熟练掌握炼铁工艺中各个环节的操作要点，增强沟通协调能力，加强与其他作业区的沟通交流，上下班时加强班与班之间的信息传递，做到及时准确，有做好本班服务好下班的思想，统一各班操作思路。

2.6.2 加强信息沟通

高炉操作人员对外加强与原燃料、化验和喷煤主控等各部门的信息沟通，及时了解原燃料成分的变化，争取“早调、少调”，为高炉稳定顺行赢得主动权。对内及时了解各岗位的设备运行情况，减少设备故障率。

2.6.3 提高责任心及操作水平

提高工长责任心，做到“早动、少动、”，避免反向操作；原燃料质量大幅波动时，做到及时调整，尽量做到一步到位；加强本班炉况分析，并对下班操作提出意见，做好交接班衔接。在管理上，加强各班次统一操作，转换固有思想，将高炉风量维持在一个稳定且较高的水平；在工艺操作上，作业区鼓励技术创新，给炉内工长更大的操作和发展空间，也有利于提高工长的操作水平。

3 提高铁水质量的效果

2020年9月—2021年8月，铁水一级品率为51.71%，见表2。通过采取以上措施，2021年9月铁水质量得到明显的提高。铁水一级品率达到93.02%，较前12个月提高41.31个百分点。

表2 铁水一级品率 %

时间	一级品率
2020年9月—2021年8月	51.71
2021年9月	93.02
2021年9月较2020年9月—2021年8月	41.31

4 结论

(1) 维持高炉的稳定顺行是提高铁水质量的先决条件。

(2) 强化原燃料管理，改善入炉炉料的质量，减少入炉粉末，延长高炉顺行周期，为铁水质量的提高创造极为有利的条件。

(3) 提高铁水质量不仅仅是高炉操作的原因，加强全系统工艺制度的监督管理，是有利于提高铁水质量的。

参 考 文 献

[1] 赵满祥. 首钢股份公司4 000 m³高炉铁水质量改善实践[J]. 中国钢铁业，2017，(1)：30－31.

[2] 张文政. 提高铁水质量的实践[J]. 天津冶金，2020，(3)：24－26.

(上接第8页)

细研究，从时间线上对大地构造与成矿作用进行了分析，认为中新元古代白云鄂博裂谷的形成和加里东期板块构造活动与成矿作用密切相关。通过东矿和东介勒格勒矿的勘探线剖面对比，结合地球化学、显微岩相学研究，多方面佐证了白云鄂博并非“向斜构造”控矿，而是板块边缘深大断裂构造控矿，并建立起了白云鄂博构造控矿模型。

参 考 文 献

[1] 刘云，孙承志，程素萍. 白云鄂博铁铌稀土矿勘查及研究史[M]. 北京：地质出版社，2019.