

辽东裂谷菱镁矿的成矿环境、分布规律及矿床成因

白永俊

(辽宁省冶金地质勘查研究院有限责任公司, 辽宁 鞍山 114038)

摘要: 辽东裂谷为古元古代拉伸环境下产生的EW向陆内裂谷,裂谷的北缘斜坡带赋存有大石桥—塔子岭超大型菱镁矿带,中央裂陷带赋存了瓦峪—青城子大型菱镁矿带。菱镁矿床的产出与成矿物质来源的位置有较大的关系,同时与沉积的环境因素、后期的各种扰动因素有关。在古元古代富含 CO_2 的环境中,源于太古宙地块剥蚀物中和远源火山喷发物中的镁质进入海水,在持续稳定的陆缘潮间—潟湖蒸发环境中,在藻类生物吸附作用的有力辅助下,沉积了巨厚的富镁碳酸盐岩,经过成岩作用形成原生菱镁矿层。在区域变质-变形过程中,原生菱镁矿层经过褶皱变形和矿物重结晶,完成形态方面的最终定型;因此,辽东裂谷菱镁矿属于沉积-变质型矿床。

关键词: 菱镁矿床;辽东裂谷;成矿环境;矿床分布规律;矿床成因;辽宁省

中图分类号: P611;P618.46 **文献标识码:** A

0 引言

菱镁矿为方解石族碳酸盐矿物,经加工处理的菱镁矿(如轻烧镁、重烧镁和电熔镁等制品)可广泛应用于冶金、耐火材料、建材、化工、造纸、橡胶、塑料、涂料、医药、农肥等领域。目前,世界已探明的菱镁矿储量约 $126.25 \times 10^8 \text{ t}$,主要分布在中国、朝鲜和俄罗斯(占全球总储量的74.39%)^[1],另外,在澳大利亚、巴西、希腊、土耳其、斯洛伐克、印度、奥地利、美国 and 西班牙等国也有部分赋存。截止2012年,中国共发现菱镁矿产地62处,累计探明储量约为 $385402 \times 10^4 \text{ t}$ ^[2],占世界总储量的30.50%,居世界首位;辽宁省的菱镁矿资源是国内最为集中分布的省份,菱镁矿资源量约 $324757 \times 10^4 \text{ t}$,占全国资源量的84.26%^[2];另外,山东、新疆、西藏和甘肃等省(自治区)也有部分产出。辽东地区的菱镁矿主要产于古元古代辽东裂谷的范围内,赋存层位为古元古界辽河群大石桥组,菱镁矿矿石质量好、品位

高、易采易选,形成了世界著名的优质菱镁矿矿集区。以往对区内菱镁矿床的研究多局限于个别矿区的范围,而对辽东菱镁矿的整体研究尚显薄弱^[2-22]。本文旨在以较大视野来探讨辽东裂谷菱镁矿的成矿环境和分布规律,并讨论菱镁矿的成因,为深入研究该区菱镁矿成矿规律提供参考。

1 菱镁矿的成矿环境

1.1 菱镁矿形成于大陆裂谷环境

大地构造环境是沉积活动最重要的外部控制因素,辽东菱镁矿的成矿也明显受大地构造环境的制约。按传统大地构造理论划分将辽东地区归属于胶辽台隆的范畴^[23],也有部分研究者认为是古元古代的边缘活动带,形成于稳定克拉通的边缘海环境和岩浆弧环境^[24-25]。20世纪80年代以来的研究表明,辽东地区的古陆核边缘在古元古代曾发生裂谷性质的活动,称为辽东裂谷^[6,15,26-28]。

华北克拉通在古元古代(2300~1950 Ma)经历

收稿日期: 2019-09-09; 改回日期: 2020-01-11; 责任编辑: 余和勇

作者简介: 白永俊(1968—),男,高级工程师,长期从事地质找矿勘查与研究工作。通信地址:辽宁省鞍山市铁东区鞍千路298号,辽宁省冶金地质勘查研究院;邮政编码:114038;E-mail:1342416205@qq.com

过一次基底陆块的拉伸-破裂事件^[29], 郯庐断裂带发生韧性剪切活动^[30]。引张作用造成辽东太古宙陆壳下部的地幔上隆, 太古宙末形成的古陆出现张性开裂和陆表海断陷盆地, 成为近 EW 向展布的辽东裂谷^[26]。

辽东裂谷在辽宁境内长约 280 km, 宽约 160 km。裂谷带由北向南分为 3 个构造单元, 即北缘斜坡带、中央裂陷带和南缘浅台带(图 1)^[15,27]。①北缘斜坡带为一近 EW 向的狭长地带, 西起大石桥市, 经隆昌、草河口、爰阳, 至桓仁北一带进入吉林省; 斜坡带中的辽河群与裂谷肩部的太古宙基底呈不整合接触, 辽河群沉积建造发育齐全, 其中的同构造期岩浆侵入和火山活动相对较弱。②中央裂陷带与北缘斜坡带以永安-英落-草河口-爰阳断裂为界, 为古元古代海盆的沉积中心, 较为宽阔, 其中未见太古宙基底出露, 辽河群以发育一套含硼岩系为特点, 且同构造火山活动和岩浆侵入作用非常活跃。③南缘浅台区位于中央裂陷区之南, 二者界线西起瓦房店李官镇, 经庄河步云山、岫岩洋河、东至丹东与鸭绿江断裂; 浅台区内为浅水区并间有太古界基底出露, 辽河群的沉积不连续, 未见同构造岩浆侵入和火山活动。

辽东裂谷的活动时限为 2.2~1.7 Ga 期间, 先后经历了裂陷、沉积、同构造岩浆活动、褶皱隆升、消亡的演化过程^[15,27]。①裂谷早期的伸展-破裂阶段: 拉伸作用使地壳减薄并产生浅水盆地, 堆积了浪子山组碎屑-黏土岩建造; ②裂谷中期的强裂陷阶

段: 地壳持续拉伸, 在里尔峪组和高家峪组沉积的同时, 伴有大规模的火山喷发, 形成了一套黏土岩-碳酸盐岩-火山碎屑岩建造, 中期末裂谷发生隆升; ③裂谷晚期的弱裂陷阶段: 地壳裂陷幅度减弱, 并逐渐趋于稳定, 海侵范围逐渐扩大, 沉积了浅海相大石桥组和盖县组富镁碳酸盐岩和黏土-碎屑岩建造, 火山活动较为局限, 并伴随有底辟花岗岩类和基性岩脉的侵位; ④裂谷消亡期的变质-变形阶段: 区域应力转为挤压为主, 辽东裂谷消亡并转为碰撞-造山活动, 全区被卷入区域性褶皱隆起、韧-脆性断裂和动力热流变质作用, 变质相为绿片岩相-绿帘角闪岩相, 并呈现北强南弱的分带趋势。

辽东裂谷构造为菱镁矿提供了特定的成矿部位, 北缘斜坡带西段在大石桥组沉积时处在裂陷活动减弱并向平稳过渡的时期, 火山活动逐渐停止, 为富镁碳酸盐岩的沉积提供了优良的构造环境。中央裂陷带的大石桥组沉积时水深比北缘斜坡带略大, 还原性稍强, 而且有少量火山物质的参与, 使海水杂质增多, 洁净度下降, 对镁质碳酸盐岩的沉积有一定影响, 只在部分区段有富镁白云岩形成。

1.2 菱镁矿赋矿地层的沉积环境

大石桥组为辽河群中上部一套碳酸盐岩建造, 大石桥组三段是辽东地区菱镁矿的主要赋矿层位, 主要的岩性有方解石大理岩、白云石大理岩、二云片岩和透闪石变粒岩等; 原岩为白云质黏土质灰岩、黏土质白云岩、白云岩、黏土岩和粉砂岩等。在裂谷构造的不同部位, 大石桥组的沉积相和沉积环境有所区别, 对菱镁矿成矿具有明显的制约作用。

(1) 辽东裂谷北缘斜坡带。大石桥组三段以白云质大理岩夹巨厚层菱镁矿为主, 顶、底部夹有方解石大理岩。海城-大石桥一带的沉积相(由北而南)可以划分出滨岸碎屑岩相→闭塞台地相→潟湖相→沿岸滩坝相→半闭塞台地相→开阔台地相^[31], 总体上属于海湾的潮坪-潟湖相沉积。北缘斜坡带西段(大石桥-隆昌)的大石桥组中可见变余的层理、层纹、斜层理、豆状、结核状、波痕、雹痕、滑坡等构造^[9], 说明处于海水较浅、且在沉积中时而裸露水面的陆缘环境中。在菱镁矿区中见可较薄的石膏夹层, 其中结晶的石膏及硬石膏矿物含量>60%, 石膏的硫同位素 $\delta(^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}) = 23.9\% \sim 26.5\%$, 表明石膏的夹层是经海相沉积蒸发而成, 而非火山热液成因^[32]。菱镁矿大理岩中有大量叠层石出现, 显示沉积时水深不大, 因为叠层石的生存多是在深度较小的水体上部透光层中^[33]; 同时, 叠层石的生长需要

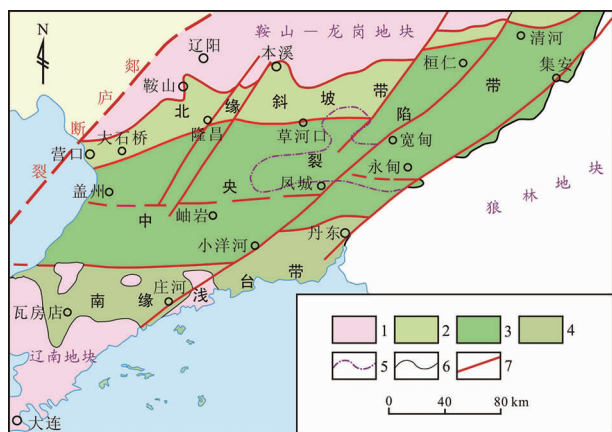


图 1 辽东裂谷构造分布略图

(据文献[15,27], 修编)

Fig. 1 Map showing distribution of Liaodong Rift

1. 太古宙古陆; 2. 北缘斜坡带; 3. 中央裂陷带;
4. 南缘浅台带; 5. 推断的隆起;
6. 地质界线; 7. 断裂

温暖、洁净的水体环境,大理岩中能有大量叠层石出现,表明浅海地带的水体温暖、清澈透底。古地磁的研究成果显示,大石桥组是在低纬度地区(相当于北纬 $17^{\circ}\sim 28^{\circ}$)沉积的,处于干旱的热带或亚热带的气候环境中^[34];富镁质的大石桥组三段为闭塞台地相或潟湖相沉积相,显示了古陆边缘潟湖蒸发的沉积环境^[32]。北缘斜坡带东段(河栏—草河口)的大石桥组三段中方解石大理岩增多,与白云质大理岩呈互层状;部分地段的白云质大理岩中有千枚岩和砂质板岩的夹层,并且岩石中石墨含量增加^[35],显示沉积活动处于还原的环境中。

(2)辽东裂谷中央裂陷带。裂陷带西段瓦沟—王家堡—周家堡—五磊山—青城子的大石桥组与北缘斜坡带相似,亦可分为 3 个岩性段,但大石桥组三段的厚度不如北缘大石桥—隆昌一带那样厚,且部分地段方解石大理岩的比例增多,推断该带的沉积相和沉积环境与北缘斜坡带相似。虎皮峪一带大石桥组三段的岩性变化明显,白云质大理岩明显缺乏,而以方解石大理岩为主,同时变石英砂岩、透闪大理岩、二云片岩和黑云变粒岩等岩性增多,这一带海水中镁质有所减少,而碎屑物质有所增多,反映出陆缘物质的成分发生变化。中央裂陷带东段的大石桥组三段碳质组分明增加,后经变质结晶成石墨成为岩石的特征矿物^[36],在青城子一带大石桥组三段中下部的白云质大理岩中可见由石墨和钙镁硅酸盐构成的条带,并在片岩中见有石墨透闪变粒岩的夹层^[37]。研究表明,大石桥组中的碳质属于有机碳^[33],与海相沉积作用有关,推测东段大石桥晚期

的沉积是在陆表海水深较大、偏于还原的环境中进行的,中央裂陷带(虎皮峪—红石砬子一线)为辽东裂谷带的裂陷中心^[32]。

2 菱镁矿的分布规律

辽东裂谷中的菱镁矿床(点)可分为北矿带和南矿带(图 2),北矿带产于裂构造的北缘斜坡带的西段,南矿带产于中央裂陷带西段的东部,二者以永安—英落—草河口—爱阳断裂为界。菱镁矿床的赋矿层位为大石桥组三段的镁质碳酸盐岩建造,碳酸盐岩建造呈多个楔状体产出,楔状体具有西部厚($>1\text{ km}$)、东部薄(几百米)的特点,宏观上裂谷西部的大石桥组三段富镁碳酸盐岩厚度较大,向东则岩相发生变化,镁质碳酸盐岩明显减少,且厚度变化很大,反映出裂谷发育期间沉积特点、变质程度和菱镁矿成矿特征方面的差异。裂谷构造的南缘浅台带中,基本上没有菱镁矿的产出,推测是因成矿物质来源的匮乏,抑或沉积环境的不宜诸因素造成。

(1)菱镁矿北带。产于裂谷北缘斜坡带中的西段,集中分布于辽宁省大石桥—塔子岭一带,长 76 km 、宽 $1\sim 8\text{ km}$,自西向东分布有小圣水寺、青山怀、桦子峪、金家堡子、王家堡子、杨家甸、祝家、腰铃、王官厂、老官山等大型—特大型优质菱镁矿床 10 处,中小型矿床(点)36 处(图 3),菱镁矿具有一定层位,呈层状、似层状、透镜状,矿体产状与地层一致,矿带中单个矿体长达几百米至几千米,厚度由几十

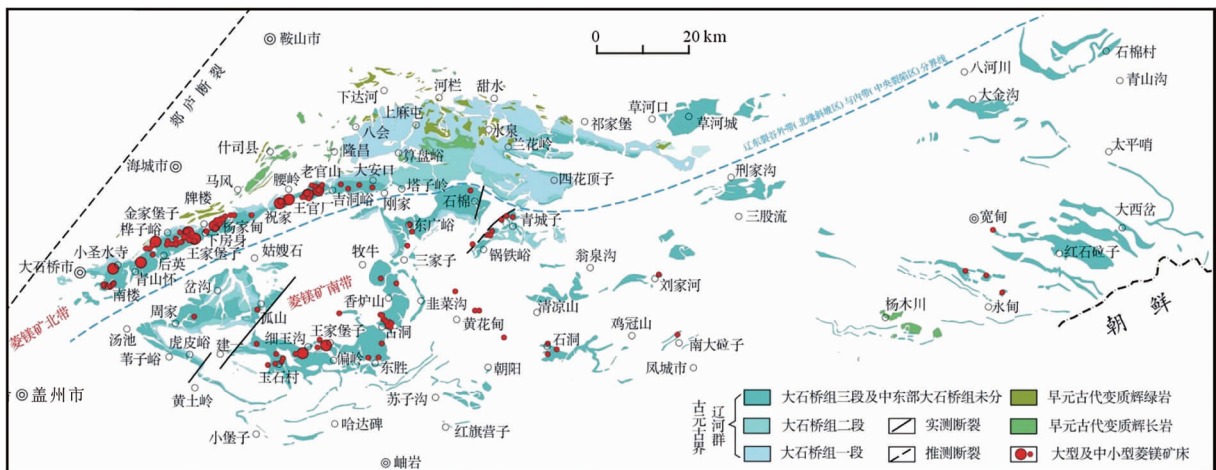


图 2 辽东裂谷大石桥组及菱镁矿分布图(据 1:20 万区调图件及矿床资料修改)

Fig. 2 Map showing distribution of Dashiqiao formation and magnesite ore occurrences in Liaodong Rift

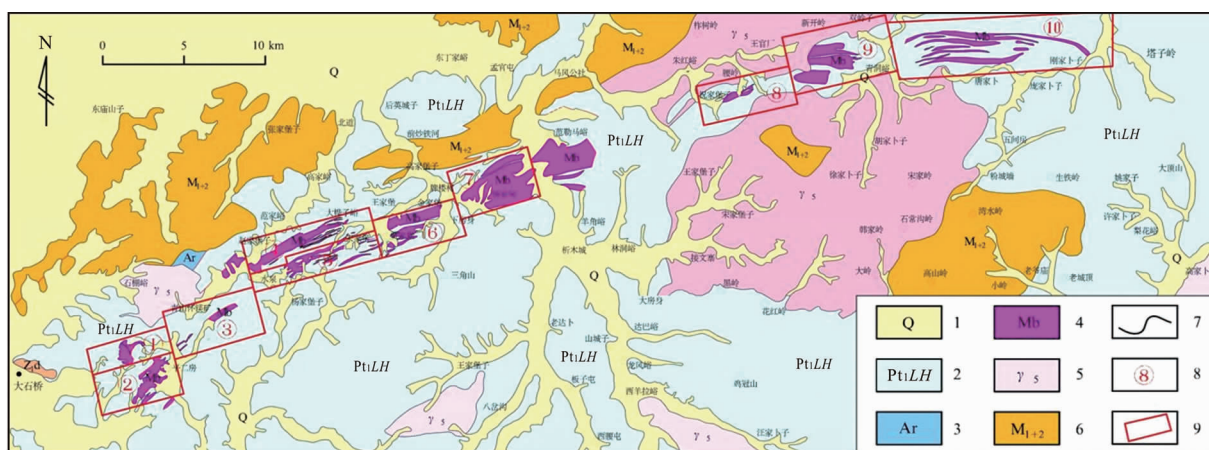


图3 辽宁省大石桥—塔子岭一带菱镁矿分布图(据蓝海洋[20],修改)

Fig. 3 Map showing distribution of magnesite ore in Dashiqiao-Taziling area

1. 第四系; 2. 辽河群; 3. 鞍山群; 4. 菱镁矿; 5. 中生代花岗岩; 6. 元古宙片麻状花岗岩; 7. 地质界线; 8. 矿区编号; 9. 菱镁矿矿区;
①圣水寺矿区; ②高庄—平二房矿区; ③青山怀矿区; ④桦子峪矿区; ⑤宋家堡子矿区; ⑥王家堡子—金家堡子—下房身矿区;
⑦杨家甸矿区; ⑧祝家—腰岭矿区; ⑨王官厂矿区; ⑩老官山—大安口—刚家矿区

米到上百米不等; 矿石矿物主要功能为菱镁矿, 含量少量水镁石, 脉石矿物有白云石、镁橄榄石、金云母、滑石等; 蚀变有白云石化、千枚石化、滑石化等; 菱镁矿层中常见变余沉积组构和大量叠层石; 矿体品位 $w(\text{MgO}) = 35\% \sim 47\%$, 平均 46.76% ; $w(\text{CaO}) = 0.2\% \sim 4\%$, 平均 0.76% ; 矿带的中段矿体规模和品质均属上乘, 而向东、西两端, 由于后期岩浆岩的影响, 矿体中硅质和铁质略有增高, 矿石品级有所降低; 菱镁矿与后期的构造—热液型滑石矿伴生。菱镁矿北带的矿床规模普遍较大, 菱镁矿层连续性较好, 是我国最重要的优质菱镁矿带。但在该矿带以东(塔子岭向东), 未见有菱镁矿床和矿点, 主要原因是沉积环境的变化, 造成镁质碳酸盐岩减少, 钙质碳酸盐增加, 且沉积物中碳质增加。

(2) 菱镁矿南带。产于辽东裂谷中央裂陷带中, 矿带总体延长约 180 km, 沿虎皮峪—红石砬子复背斜断续分布(图 2)。大型菱镁矿床有岫岩细玉沟、王家堡子 2 处, 中小型矿床(点) 40 余处, 成矿较好地段为细玉沟—东广峪—石棉—青城子—花甸—石洞一带, 呈“几”字形分布, 另在周家东部、孤山、刘家河、南大砬子、宽甸—永甸一带也有少量矿点散布。在孤山—黄土岭一带, 由于中生代断裂的错动, 虎皮峪复背斜出现明显的位移, 加之岩浆岩的侵位, 使菱镁矿含矿层位不甚连续。南矿带中的瓦峪—青城子区段菱镁矿的规模偏大、矿点比较集中, 矿层连续性和矿石质量较好。王家堡子菱镁矿石的平均品位 $w(\text{MgO}) = 46.75\%$, $w(\text{CaO}) = 0.84\%$ 。该带菱镁

矿床(点)的共同特点是: 矿体均呈形态较为复杂的似层状或扁豆状产于大石桥组三段富镁碳酸盐岩中, 矿体和赋矿岩层经常呈捕虏体产于花岗岩体中, 蚀变主要为蛇纹石化、滑石化和透闪石化, 矿石多为品质较好的品质菱镁矿, 但特级矿石较少。与北矿带的菱镁矿床相比, 南矿带的赋矿岩层形态复杂, 矿体连续性较差, 经常遭受晚期断裂和花岗岩类的破坏和改造; 矿石中矿物成分比较复杂, 蚀变较为强烈。南矿带的东段(凤城—宽甸), 大石桥组三段镁质碳酸盐明显减少, 地层中碳质成分增加, 经变质后多变为石墨, 这即反映了当时海水较深、成分复杂、有机质增加等沉积环境的变化, 还可能与距离镁质供给源(鞍山古陆)较远有一定联系; 同时, 后期构造活动和岩浆活动强烈, 对南矿带的赋矿地层造成了较大的破坏和改造。

3 菱镁矿成因分析

3.1 成矿物质来源

菱镁矿的化学成分为碳酸镁(MgCO_3), 形成菱镁矿需要足量的元素镁和二氧化碳。元古宙时期地球大气中处于贫氧而富二氧化碳的状态^[38], 且碳酸盐中的 $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 非常高, 具备形成大量菱镁矿所需 CO_2 的能力。据目前的研究, 镁质主要有 3 种来源, 一是来源于太古宙古陆块物质的风化、剥蚀, 二是来源于古元古代深源的火山喷发和岩浆侵

人^[2,39],三是海相叠层石等生物来源^[3,9]。

辽东裂谷的南、北两侧是由不同的古陆块于太古宙末期拼合而成的,古元古界辽河群中的物质组分多来自于这些古老地块,在部分太古宙地块中发育含镁的岩石,如裂谷北侧鞍山地块中的太古宇茨沟组、大峪沟组和樱桃园组,裂谷南侧辽南地块太古宇董家沟组和城子坦组许多岩石中都有含镁的矿物。这些岩石在外生地质作用下被迁移,在此过程中产生大量被解离出来的成矿元素进入介质中,进入裂谷海盆中在适宜的环境下形成含镁碳酸盐矿物。从菱镁矿的分布情况分析,鞍山太古宙陆块应是辽东裂谷菱镁矿的主要镁质来源。

在裂谷中期的拉张环境下,伴随着镁质碳酸盐岩的沉积,在裂谷中央裂陷带中出现大量壳源酸性火山岩和幔源的基性-超基性火山岩喷发,构成里尔峪组、高家峪组的组成部分^[40];在裂谷北缘斜坡带大石桥-塔子岭菱镁矿带的北侧,沿八里镇-什司县-河栏-连山关一带断续有变辉绿岩、变辉长岩等基性岩体呈岩墙或岩床状产出。研究表明,其中部分基性岩石实际上是具有枕状构造的玄武质火山岩,同时也有部分酸性火山岩,它们呈层状产于大石桥组的下部地层中^[41-43]。铁镁质火山岩在海水中喷发过程中会有部分镁质进入海水,为其后的海相镁质碳酸盐岩的沉积提供部分镁质。推测这种火山源(深源)的镁质提供是一种远源的,通常在沉积海盆的附近,而不致影响、破坏沉积海盆的整体环境。

在大石桥一带的菱镁矿区中,叠层石白云石大理岩、叠层石菱镁矿是与菱镁矿共生的。这一现象说明叠层石等生物海水中的镁质分解富集具有重要作用。研究表明,蓝绿藻的活动会形成周期性的沉淀,构成叠层石;蓝绿藻能够吸收 Ca^{2+} 并形成 CaCO_3 ,提高海水的 Mg/Ca 比值,其硬体沉淀物主要为白云石、低镁方解石和高镁方解石。藻类不仅可以在海水中吸取镁质,而且死亡后腐烂释放氨气,提高 pH 值,有利于菱镁矿的形成。藻类含碳酸镁达到 25%~30%^[3],它们的生物堆积体无疑会增加盆地中镁的含量。

另外,裂谷消亡后的变质期热液也会带来部分镁质,对白云大理岩造成热液蚀变,形成菱镁矿是另一种镁质富集渠道,但不能解释巨厚质纯的菱镁矿存在原因。镁质岩石和海水是最主要镁质来源,藻类及后期区域变质热液使镁质进一步富集,但终归是就地取材和原地改造。

3.2 菱镁矿成因讨论

经过多年的菱镁矿地质勘查和研究工作,人们对辽东地区菱镁矿的成因提出了多种观点,在承认沉积-变质这一基本成因观点的前提下,还提出了更为精细化的沉积期蒸发成矿^[6]、成岩期富镁卤水交代成矿^[14]、变质期镁质热液交代成矿^[17]等观点,以强调某一地质作用对成矿的主导性,丰富了人们对菱镁矿成因的认知。

在各种成因观点中,人们都承认在大石桥组沉积过程中镁质已达高度浓集的地质事实。研究显示,菱镁矿和白云石大理岩 $\delta(^{13}\text{C})$ 的平均值均趋近于零^[3,32],表明二者均为海相沉积而成;菱镁矿的微量元素与海相碳酸盐岩较为接近,远低于岩浆热液产物^[44],说明菱镁矿主要来自沉积成因。同样,在菱镁矿层中有石膏的夹层,其硫同位素 $\delta(^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}) = 23.9\% \sim 26.5\%$ ^[32],证明石膏并非热液成因,而为海相蒸发沉积而成。菱镁矿晶体在显微镜下常常出现波状消光,白云石的双晶纹有时发生弯曲^[3],均为矿物结晶以后的应力变形现象,给人以菱镁矿、白云石等碳酸盐矿物的结晶早于构造变形的印象。这些地质证据表明,蒸发沉积阶段和成岩阶段的成矿作用是菱镁矿床形成的主要时期。

在强烈蒸发的沉积环境中,需要具备长期、稳定的成矿物质供给,才能保证持续富镁碳酸盐(菱镁矿层)的持续沉积。潟湖为相对闭塞的沉积环境,海水把成矿物质周期性地源源不断地补给进来,蒸发作用可以持续不断地形成含矿卤水。在这种情况下,时间对于沉积成矿的制约就显得格外重要:只有保持蒸发沉积作用的长期稳定,才有可能形成大规模的菱镁矿矿床。正因为有了时间的保证,大石桥-塔子岭一带才会形成厚度巨大的菱镁矿体,因此,长期、稳定的沉积环境是影响矿床规模的重要因素。

在碰撞造山阶段,地层发生强烈的褶皱和断裂,同时伴随着变质作用。在变形过程中,原始沉积菱镁矿层在褶曲的转折端有时发生厚度和品位的变化,白云石和菱镁矿也发生重结晶,形成粗-巨晶的菊花状、梳状等菱镁矿石。宏观地看,这一阶段的成矿作用多以物理形态方面的变化(空间形态和晶体形态)为主,尽管在变质-变形过程中有部分新组分加入,原有岩(矿)石组分有一些变化,但没有对矿体组分和矿石质量形成明显的改变。在北矿带中有后期的热液活动,形成脉状菱镁矿,但对矿体的影响不大。

因此,辽东地区菱镁矿床的成因类型为古元古代与裂谷构造有关的沉积-变质型菱镁矿床。

3.3 成矿模式

辽东地区菱镁矿主要产于古元古代裂谷的北缘斜坡带和中央裂陷带中,邻近古陆边缘的构造位置、远源的火山活动可以保证成矿物质的足量、长期供给。

大石桥组沉积晚期(2.0~1.9 Ga),同时具备干旱、炎热的气候条件,稳定、长期持续补充成矿物质的潟湖沉积条件,洁净、透光、适宜藻类生物大量生长的水体条件,共同构筑了得天独厚的富镁碳酸盐岩形成环境,并且在沉积-成岩阶段形成了菱镁矿层。

裂谷的碰撞造山期(1.9~1.7 Ga),包括沉积菱镁矿层的辽河群经历了绿片岩相-低角闪岩相区域变质-变形作用的改造,碳酸盐岩发生了重结晶,形成晶质菱镁矿和白云石大理岩;区域性构造变形使菱镁矿地层产生强烈的褶皱,并产生矿层的局部加厚、矿石质量变富的现象。

参考文献:

- [1] 中国非金属矿网. 我国已探明菱镁矿储量居世界首位[EB/OL]. [2019-07-22]. <http://www.nmm365.cn/info/detail/42-10850.html>.
- [2] 赵正,白鸽,王登红,等. 中国成菱镁矿区带与关键科学问题[J]. 地质学报,2014,88(12):2326-2338.
- [3] 朱国林. 辽东半岛滑石-菱镁矿矿床地质特征及其成因[J]. 长春地质学院学报,1984,14(2):75-92.
- [4] 迟文仲. 辽宁省大石桥至塔子岭一带早元古宙菱镁矿床地质特征及成因[J]. 东北冶金地质,1985(10):24-55.
- [5] 朱国林,李绪俊. 辽东半岛早期地壳与矿床[M]. 北京:地质出版社,1988:424-444.
- [6] 张秋生. 辽东半岛早期地壳与矿床[M]. 北京:地质出版社,1988:445-450.
- [7] 罗耀星,朱钧瑞,王耀坤. 从几个地质特征初步探讨大石桥晶质菱镁矿矿床成因[J]. 矿床地质,1989,8(1):71-84.
- [8] 郑宝鼎. 中国菱镁矿:上[J]. 东北冶金地质,1989(13):1-27.
- [9] 冯本智,朱国林,董清水,等. 辽东海城一大石桥超大型菱镁矿矿床的地质特点及成因[J]. 长春地质学院学报,1995,25(2):121-124.
- [10] 孙厚江,吴春林. 辽河群镁质碳酸盐建造及其非金属矿产[J]. 矿产与地质,1996,10(1):60-65.
- [11] 郑宝鼎. 华北地台北缘构造岩浆演化及其矿产[M]. 北京:地质出版社,1997:179-182.
- [12] 姜春潮. 辽吉东部前寒武纪地质[M]. 第一版. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1987:281-298.
- [13] 陈从喜,倪培,蔡克勤,等. 辽东古元古代富镁质碳酸盐岩建造菱镁矿滑石矿床成矿流体研究[J]. 地质论评,2003,49(6):646-651.
- [14] 蒋少涌,陈从喜,陈永权,等. 中国辽东地区超大型菱镁矿矿床的地球化学特征和成因模式[J]. 岩石学报,2004,20(4):765-772.
- [15] 翟安民,沈保丰,杨春亮,等. 辽吉古裂谷地质演化与成矿[J]. 地质调查与研究,2005,28(4):213-220.
- [16] 卫广远,黎爱国,梅显露,等. 辽宁南部菱镁矿、滑石矿地质特征的研究及成矿远景探讨[J]. 现代矿业,2009(4):60-62.
- [17] 汤好书,武广,赖勇. 辽宁大石桥菱镁矿床的碳氧同位素组成和成因[J]. 岩石学报,2009,25(2):455-467.
- [18] 姚志宏,孙鹏慧,刘长纯. 辽宁省桦子峪菱镁矿地质特征及成矿模式[J]. 地质与资源,2014,23(2):126-130.
- [19] 苏建江. 辽东南部菱镁矿地质特征//中国金属学会. 2003中国钢铁年会论文集[A]. 北京:中国金属学会,2003:227-231.
- [20] 蓝海洋. 辽南地区菱镁矿资源潜力评价及开发利用现状[J]. 矿产保护与利用,2016(1):24-29.
- [21] 金鑫裕,董云超. 辽宁省海城市马家沟菱镁矿、滑石矿地质特征[J]. 西部资源,2018(6):41-42.
- [22] 沈保丰,张阔,毕君辉. 辽吉古元古代活动带的双成矿带地质特征[J]. 矿床地质,2020,39(1):1-18.
- [23] 任纪舜,姜春发,张正坤,等. 中国大地构造及其演化:1:400万中国大地构造图简要说明[M]. 北京:科学出版社,1980.
- [24] 白瑾,黄光学,王惠初,等. 中国前寒武纪地壳演化[M]. 第2版,北京:地质出版社,1996.
- [25] 贺高品,叶惠文. 辽东-吉南地区早元古代两种类型变质作用及其构造意义[J]. 岩石学报,1998,14(2):152-162.
- [26] 陈荣度. 一个早元古代裂谷盆地:辽东裂谷[J]. 辽宁地质,1984(2):125-133.
- [27] 陈荣度. 辽东裂谷的地质构造演化[J]. 中国区域地质,1990(4):306-315,333.
- [28] 李三忠,韩宗珠,刘永江,等. 辽河群区域变质特征及其大陆动力学意义[J]. 地质论评,2001,47(1):9-18.
- [29] 翟明国,彭澎. 华北克拉通古元古代构造事件[J]. 岩石学报,2007,23(11):2665-2682.
- [30] 国家地震局地质研究所. 郯庐断裂[M]. 北京:地震出版社,1987:15-35.
- [31] 董清水,冯本智,李绪俊,等. 辽海城一大石桥超大型菱镁矿矿床形成的岩相古地理背景[J]. 长春地质学院学报,1996,26(S1):69-73.
- [32] 陈从喜,蒋少涌,蔡克勤,等. 辽东早元古代富镁质碳酸盐岩建造菱镁矿和滑石矿床成矿条件[J]. 矿床地质,2003,22(2):166-176.
- [33] 吴春林. 辽河群沉积期古环境分析[J]. 矿产与地质,1994,8(6):433-439.
- [34] 姜春潮. 辽吉东部前寒武纪地质[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1987:1-321.
- [35] 辽宁省地质矿产局. 辽宁省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1989.
- [36] 王成文,刘永江,李东涛. 辽河岩群南北区域对比的新证据[J]. 长春地质学院学报,1997,27(1):17-24.
- [37] 陈江. 略论青城子矿田矿化分带性[J]. 辽宁地质,2000,17

- (3):173-179.
- [38] 涂光炽. 关于 CO₂ 若干问题的讨论[J]. 地学前缘, 1996, 3(3):53-62.
- [39] 蔡克勤, 陈从喜. 辽东古元古代镁质非金属矿床成矿系统研究[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2000, 25(4):346-351.
- [40] 孟恩, 王朝阳, 刘超辉, 等. 辽东半岛东南部南辽河群变质火山岩的时代、成因及其对区域构造演化的制约[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2017, 47(6):1589-1619.
- [41] 王惠初, 陆松年, 初航, 等. 辽阳河栏地区辽河群中变质基性熔岩的锆石 U-Pb 年龄与形成构造背景[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2011, 41(5):1321-1344, 1361.
- [42] 王艺芬, 徐贵忠, 余宏全, 等. 辽东地区早元古代火山岩特征及其形成的动力学背景[J]. 现代地质, 2005, 19(3):315-324.
- [43] 陈井胜, 邢德和, 刘森, 等. 辽宁辽阳地区辽河群酸性火山岩锆石 U-Pb 年代学及其地质意义[J]. 岩石学报, 2017, 33(9):2792-2801.
- [44] 丁建华, 陈正海, 杨国俊, 等. 中国菱镁矿成矿规律及资源潜力分析[J]. 中国地质, 2013, 40(6):1699-1711.

Metallogenic enviroment, distribution pattern and genesis of magnesite ore in Liaodong Rift

BAI Yongjun

(Liaoning Metallurgical Geology and Exploration Co. Ltd., Anshan 114038, Liaoning, China)

Abstract: Liaodong Rift is a intra-continent rift formed under stretching enviroment in Proterotic Era. In the northern slope of the rift occurs the Dashiqiao-Taziling magnesite ore belt and in the central rift the large Wayu-Qingchengzi magnesite ore belt. Occurrence of the magnesite ore is generally related to location of the ore material source, also the sedimentary environment and various late disturb factors. Under CO₂-rich environment in Proterotic Era magnesian materials from the eroded materials of Achean terrain and distal erupted materials get into sea water. With help of algae absorption huge thick Mg-rich carbonate rock precipitated under continuous stable intertidal-lagoon evaporation condition at continental margin. During diagenesis is formed the primary magnesite ore layer which was recrystallized and took the final shape in the process of regional metamorphism and deformation. The magnesite deposit in Liaodong Rift belongs to sedimentary-metamorphic deposit.

Key Words: magnesite deposit; Liaodong Rift; metalogenic environment; distribution pattern of magnesite deposit; genesis; Liaoning province