

# 略论沉积变质铁矿\*

杨志达

(冶金工业部天津地质调查所)

沉积变质铁矿是目前国内外分布最广,经济意义最大的铁矿类型。矿床成因的争论自本世纪初迄今已达数十年之久。就铁质来源而言,主要有陆源说和火山说;从铁质富集作用上又分内生成因说(花岗岩化、混合岩化和热液交代等)和外生成因说(主要有原生沉积作用和氧化淋滤作用等)。沉积变质铁矿与其它矿产一样,是地壳长期演化的必然产物,是地壳不可分割的组成部分。只有在阐明地壳演化的基础上,才能真正理解沉积变质铁矿形成和富集规律,进而达到科学的预测。

随生产和科学技术的不断发展,人类已逐步由地表和浅部找矿时期转向深部找矿时期,沉积变质铁矿也不例外。所以,深入研究沉积变质铁矿成矿理论,应用新技术、新方法进行深部找矿实践,就显得更加重要;也就是所谓新技术、新方法在先进成矿理论指导下的应用。沉积变质铁矿成矿规律的研究,是进行科学预测的首要基础。

## 沉积变质铁矿的基本地质特征

来源于地壳深部的铁质(主要来自火山作用)和地壳表部铁质(主要是通过岩石风化淋滤作用),在一定地质条件下,通过物理化学分选和沉积作用,形成各类原生含铁沉积,后经不同程度的区域变质作用(有时还伴有热水溶液)而形成硅铁质条带状、条纹状磁铁矿和赤铁矿床,称为沉积变质铁矿。在这整个过程中,沉积作用是成矿的主要基础,内生变质作用是次要的叠加作用。这类铁矿一般大而贫(只局部有少量原生沉积富矿)。但在形成后的地质发育历史中,在一定地质条件下,原来的沉积变质铁矿仍可由后期的风化淋滤作用和热液变质作用去硅变富,并形成大型富铁矿床。沉积变质铁

矿的基本地质特征是:

1.主要产于前震旦纪变质岩系组成的所谓地台和地盾(古老的活动带)的边缘,或其内部长期隆起区深断裂附近。沉积变质铁矿赋存部位通常与结晶基底褶皱构造密切相关,特别在向斜两翼富集,在不同构造交切部位,特别在长期隆起区出露。

2.太古代晚期(约35至25亿年前)的沉积变质铁矿主要赋存于变质较深的变粒岩相;太古代晚期到元古代早期(27~25至19~18亿年前)的沉积变质铁矿主要赋存于变质中等的角闪岩相;而元古代早期(25~18亿年前)的沉积变质铁矿主要产于变质较浅的绿片岩相中。此时为全球性重要成铁期,并多具大而富(主要是后期地质作用变富)的特征。

3.铁矿主要产于原岩为沉积岩和火山岩(也有火山沉积岩)中。原岩主要为沉积岩的,有时也伴有火山岩围岩。大型沉积变质铁矿通常产于中基性火山岩上部原岩为沉积岩的岩石中。

4.主要由铁质(一般含铁20~40%)和二氧化硅组成,铁与硅含量成反比,并含硫、磷等杂质,有时伴生铜和锰等。一般钠、钾和铝含量很低。从微观上看到矿石具条带状构造,条带宽由不到一毫米至数厘米,主要为铁硅质条带。矿石随变质程度的增加,二氧化硅多结晶为粗粒石英,而磁铁矿颗粒也相应变粗。从宏观上看,矿床呈层状或断续延伸的透镜状。原岩以沉积岩为主的矿体多呈层状产出,连续性较好,规模较大,而产于原岩以火山岩为主的矿体则多呈断续延伸的透镜状,规模较小。

\* 本文主要指前震旦纪沉积变质铁矿。

## 地壳演化和沉积变质铁矿的形成与富集

推动地壳发展的主要矛盾是地球内的核转变能与地球外太阳能的斗争。地球内核转变能主要引起内生地质作用(如岩浆侵入、火山喷发、变质作用、地震作用和地壳运动等),并形成岩浆岩、变质岩和各种内生矿产。地球外太阳能主要引起外生地质作用(如风化、剥蚀、搬运、沉积和硬结成岩等),并形成沉积岩和各种外生矿产。地壳发展史中主要矛盾的主要方面是逐步转化的。地壳发展前期(早太古代以前)以地球内核转变能为主;以后,逐渐转为地壳发展后期(元古代以后)以地球外太阳能为主。在早太古代以后至元古代期间为地球内核转变能与地球外太阳能相互斗争的过渡时期,也是沉积变质铁矿形成时期。

在地球上,沉积变质铁矿的数量和分布远远超过其它任何金属矿床,其形成与富集也更清楚地表明整个地壳发育的过程。由保存在地壳上最古老的岩石记录重塑地壳发展史,大约可推到40亿年前。这段时期称地球发展的地质时期,其中前寒武纪占整个地质史的7/8还强,并以壳幔分异为主。铁原子具容积小、亲氧和电价易变等特性,这些特性决定了铁在一定地质条件下的分散与富集。

**1. 早太古代(35亿年前)** 地壳较薄,地热高。因地球内核转变能的广泛积累,火山发育,地壳活动性强,褶皱形态复杂。本期以地球内核转变能为主要矛盾的主要方面,主要表现为火山活动广泛而强烈。这时沉积变质铁矿主要为与基性变质火山岩共生的条带状磁铁矿,是最古老的铁矿。铁质主要来源于地壳深处,通过火山作用而达到地壳表部。但因当时为酸性水圈,不利铁质沉积,同时地壳活动性强,也不利于物理化学分选作用的进行,故铁质不能大规模富集。

**2. 晚太古代(35到27~25亿年前)** 绿岩带及与其毗连的花岗岩体广泛发育。典型的绿岩带主要由玄武岩—安山岩—英安岩、流纹岩的岩流和火山碎屑组成。在火山岩及其杂岩中间有与杂砂岩共生的条带状磁铁矿产出。地壳开始分化为所谓稳定的地台和活动的地槽。具明显的线性构造,深大断裂发

育;随水圈、气圈(CO<sub>2</sub>型为主)的形成,太阳能引起的外生地质作用(主要是沉积作用)逐渐加强,而内生地质作用却逐渐减弱(主要表现为火山活动逐渐变弱)。开始生成原核生物(即能释放氧的光自养生物)。本期属地球内核转变能与地球外太阳能相互斗争的前期阶段,地球内核转变能仍占重要地位,这时沉积变质铁矿主要与海底火山活动的绿岩带共生,产于铁镁质与长英质火山岩层的间断处,通常呈透镜状,长几米到几公里。铁质来源除主要来自火山作用外还部分来自地表风化作用。本类沉积变质铁矿又称阿尔果马型。

**3. 早元古代(27~25至19~18亿年前)** 地壳分化为所谓稳定的地台和活动的地槽。水圈和气圈(主要由原始植物的光合作用产生游离氧使大气氧含量增多)逐渐接近现代情况,原核生物发育。这时地球外太阳能引起的外生地质作用显著加强,形成巨厚沉积地层。相反地球内核转变能引起的内生地质作用却明显减弱(主要表现为火山活动变弱,地壳活动性变小),属地球内核转变能与地球外太阳能相互斗争的后期阶段。地球外太阳能逐渐占有重要地位。本期形成当前规模最大的沉积变质铁矿,并多产于下部为火山岩、上部为厚而广的最老的碳酸盐相顶部,其上通常发育最老的红层。

本期铁质主要来自地壳浅部(包括陆壳、洋底和深层海水等)。地壳浅部的铁质由于氧、水和有机质的共同作用,而使铁原子发生转移。铁也可呈碳酸盐腐植质化合物,胶体溶液,特别是含铁矿物呈机械悬浮物状态转移,在有利的地质条件下(特别具有长期相对稳定的地质环境),使铁质经过充分的物理化学分选后,在长期不断缓慢下沉的古海盆中得以大规模沉积。引起铁质沉积的作用是多种多样的。如由于当时氧的浓度低,二氧化碳浓度高,不利于纯化学氧化的进行,而这种条件正适于铁细菌的生存。在漫长地质年代铁细菌摄取铁质和硅酸等无机物,把大量的氢氧化亚铁变为不溶性的三氧化二铁,而形成铁硅建造。近代新生铁矿的研究表明,铁矿多半是生活在沼泽湖泊中铁细菌生物化学沉积作用的产物。此外如富含溶解铁的潜水进入水盆地而发生的铁质沉积;与水底火山活动有关的富铁火山喷气和

热液的形成, 以及它们对海底深达几公里含铁质岩石的相互作用(主要是淋滤作用)产生铁质而沉积。深部富含钙、铁、镁的海水循环到表层, 由于氧含量的增加而发生的铁质沉积; 由于当时水圈逐渐由酸性变为弱碱性, 而开始有胶体以外的可溶性重碳酸铁的迁移, 形成具碳酸盐条带的铁质沉积等等。正是由于这个时期铁质来源丰富, 并可在多种沉积作用(特别是铁细菌的参予)下富集, 这些原生含铁沉积经区域变质作用后形成大规模沉积变质铁矿。如哈默斯利、克里沃罗格、库尔斯克、苏必利尔等特大型沉积变质铁矿。

**4. 中晚元古代(19~18至6亿年前)** 地壳更趋于稳定。局部与深断裂有关的火山作用及地堑中的碎屑沉积发生。褶皱作用后沉积了巨厚砂砾岩和火山杂岩。生物大量繁殖, 大气中游离氧增多。地球外太阳能在地壳发展中愈益占有重要位置。本期形成了陆源沉积为主的大规模沉积型铁矿。而以前形成的沉积变质铁矿, 特别在早元古代形成的许多特大型沉积变质铁矿在适当地质条件下, 经氧化淋滤作用而形成古风化壳型富铁矿。还有的沉积变质铁矿经后期热液(岩浆热液、变质水和混合岩化热液等)作用也可形成富铁矿。

### 沉积变质铁矿的成因与分类

从铁质来源上看, 一般早太古代主要来自火山(或地壳深处); 晚元古代则主要来自陆源(或地壳浅部); 而晚太古代和早元古代既有火山为主的, 也有陆源为主的。铁质富集作用以沉积作用为主, 它使铁质在大范围的一定岩石中初步富集, 这是基础的富集作用。故首先需一个相对稳定的地质环境, 使铁质经物理化学作用得以彻底分选。对来源于火山的铁质也同样需要一个相对稳定的地质环境(如火山喷发间歇期)才得以富集。同时, 要使铁质不断聚积, 还需一个不断缓慢下降的海盆接受这些铁质的堆积。由此可知, 由于地壳的活动(即所谓造山运动)出现的化学上非均质的地幔造成了金属在地表的不均匀分布。当地壳相对稳定(即所谓造陆运动)时, 由于长期的物理化学分选作用而使铁质进一步富集, 在适当地质条

件下形成原始含铁沉积建造。以后经过区域变质作用形成沉积变质铁矿。随地壳的不断发展, 已形成的沉积变质铁矿仍可再次经受风化、沉积和变质作用, 使之富化形成富铁矿床。相反, 也可使之破坏, 搬运到别处再沉积成矿或分散贫化消失。在沉积变质铁矿形成过程中, 所谓线性基底断裂系统有特殊意义。它通常控制火山的分布, 是岩浆和热液的通道, 也是地壳深处铁质到达地壳的重要途径。它还控制着沉积盆地的发育, 在空间上直接决定成铁带的分布。同时, 它本身也往往是板块的边界, 是地壳上物质与能量交换的最强烈地带, 也是成矿最有利地带。这是许多大型沉积变质铁矿多分布在基底断裂边缘的根本原因。

依沉积变质铁矿铁质来源和主要成矿地质作用特点可分为三种主要类型(见表): 即火山沉积型、陆源沉积型和火山—陆源沉积型。各类之间的本质差别在于铁质来源不同。火山沉积型在海底火山喷发中心附近, 与火山关系最密切; 陆源沉积型则远离海底火山喷发中心, 与火山关系不大; 火山—陆源沉积型介于这两种之间, 是过渡类型。由表可见, 各类特征反映着铁质来源和沉积方式的不同。这个分类是极粗略的, 实际上在火山沉积与陆源沉积之间存在着一系列的过渡类型, 仍可进一步详细划分。在成矿时代上只有陆源沉积型较集中(19~22亿年前)。正如前述, 这个时期铁质来源丰富, 沉积作用(特别是铁细菌的参予)发育, 故能形成大规模沉积变质铁矿。火山沉积型铁矿因火山作用受地质条件限制较严格, 分布范围有限, 规模不大。而火山—陆源沉积型虽属以上两种的过渡类型, 但更具火山沉积型特点, 故其分布与规模远不如陆源沉积型。

最后还应指出, 各类沉积变质铁矿矿石都具条带状构造特点, 对其成因仍有争论。条带状构造是否是由自然条件周期性变化引起, 如生物活动周期性、冰川作用的季节性、年更长周期性变化等。也有人主张是热液交代成因的。

### 沉积变质铁矿成矿规律和预测

矿产预测的关键是对已知成矿规律的深入研究。只有客观、全面而深刻地总结出已

沉积变质铁矿分类简表

主要类型	火山沉积型(基鲁纳型)	陆源沉积型(苏必利尔型)	火山—陆源沉积型(阿尔果马型)
主要铁质来源与主要成矿作用	火山源(地壳深部源); 火山沉积作用	陆源(地壳浅部源)为主; 陆源沉积作用	以火山源为主,也有陆源; 火山沉积作用,也有陆源沉积作用
成矿时代	元古代为主	元古代(特别在19~22亿年前)	晚太古代为主
构造条件	产于所谓古老优地槽中,海底火山喷发建造发育,位于陆壳与洋壳交界带或岛弧地带,海底火山喷发中心附近	产于所谓古老地槽,缺乏或少有海底火山喷发建造,位于陆壳边缘或内部,远离海底火山喷发中心。	产于所谓古老优地槽中,但位于陆源沉积区与海底火山喷发中心的过渡地区
含铁建造特征	主要为具斑状结构的富碱质的(Na>K)中酸性火山岩(辉绿岩、细碧岩、斑岩、钠长斑岩或角闪岩、正长斑岩、含石英斑岩、凝灰质岩等),并多变为各种浅粒岩	主要为大陆棚环境形成的石英岩、白云岩、黑色和红色铁质页岩和泥质板岩组,还有火山岩	以灰色或墨绿色的铁质燧石与赤铁矿、磁铁矿呈窄条状或薄层状互层产出,主要发育在晚太古代绿岩带(枕状安山岩、凝灰岩、火成碎屑岩、流纹岩、杂砂岩、交绿色石板片岩和黑色碳酸盐页岩组成)中,并经受绿片相和角闪岩相的变质作用
铁矿产出特征	磁铁矿、赤铁矿呈层状产于成分稍有不同的浅粒岩接触带,即火山活动的间歇期,有大型富铁矿	各沉积相(氧化相、硅酸盐相和碳酸盐相)的富铁矿呈薄条带状燧石岩产出,并在后期多形成特大古风化壳富铁矿	铁矿产于酸性火山岩之上,本身又被安山质火山岩覆盖,铁矿与杂砂岩型沉积物共生。矿体呈透镜状或似层状产出
我国相当的矿区和矿床		东西鞍山、晋北吕梁、冀东司家营	鞍本弓长岭、晋北五台、冀东迁安

知成矿规律,才能进行科学地预测。沉积变质铁矿和其它矿产一样,产于地表或浅部的矿产已大多被发现和开采利用,关键是对较深部沉积变质铁矿的预测问题。实际资料表明,沉积变质铁矿主要受成矿时代、含铁建造和构造条件等控制。这也是预测的主要依据。

**1. 古地理,特别是含矿层位的研究** 沉积变质铁矿主要成矿作用是沉积作用,即所谓层控成矿,所以首先应确定含矿层位。划分依据主要是大地构造特征、变质岩组分(区域变质建造)、混合岩化作用、铁矿层特征、有机残余和同位素年龄等。我国沉积变质铁矿主要含矿层位一般比国外老几亿年,这表明除一般全球性的成铁时期外,还有特殊的局部地区的成铁时期。如最近由朱为庆的研究(见《科学通报》,1978年第6期)表明,在鞍山铁矿层中发现21~24亿年前的铁细菌,这比国外铁细菌发现的年代(不超过20亿年)要晚几亿年。这都反映我国特有的地壳演化历史,值得进一步研究。

古地理研究主要是恢复古沉积环境,主

要原岩和古构造的恢复。首先需恢复变质岩的原岩,特别是对含矿岩系的原岩恢复,它也是划分不同类型沉积变质铁矿的主要依据。古构造的恢复应研究基底构造体系及其演化。张文佑同志指出,我国太古代构造方向以南北向为主,而无古代则以东西向为主,这与国外规律也相近。特别是基底深大断裂控制着古构造成铁盆地的展布及演化。研究海陆变化界线,确定沉积区和剥蚀区,而沉积区又可分为正常沉积区和火山沉积区。在正常沉积区又可划分为中心相(有黄铁矿)、过渡相(有磁铁矿)和边缘相(有赤铁矿)。对不同时代沉积盖层与古老基底不整合面的研究,对氧化程度及其深度的研究,对寻找古风化壳型富铁矿有特殊意义。形成沉积变质铁矿既需地壳活动时期,使地壳深部铁质转到地壳浅部或地表;又需地壳相对平静时期,使铁质得以分选和富集。我国地壳活动性虽较强,但由于活动的不均一性,仍可找出某一时期活动性较弱的局部地区。

**2. 古构造,特别是深部构造的研究** 按

地壳厚度可把我国划分为三大区：东部凹陷区（地壳厚30公里）、中部过渡区（地壳厚50公里）和西部隆起区（地壳厚70公里）。我国沉积变质铁矿主要分布在东部凹陷区。地壳薄的东部凹陷区正是地壳深部莫霍面的升高部位。这表明深部构造特征直接控制着沉积变质铁矿的主要分布。随着深部矿体的不断发现（我国已在800米以上的深度见黑富矿，外国也有的勘探到1000米深度以上见黑富矿）。深部构造的研究将更有现实意义。沉积变质铁矿形成后盖层的有无及其厚度（即保存条件），决定于后期构造变动和剥蚀强度。一般利用综合方法可确定含矿岩系的埋深。若有钻孔资料可直接得到埋深的数据；在没有钻孔资料的情况下，可利用地震、电测深、重力和磁法等资料进行推导，必要时还可利用区域地质资料对盖层可能厚度加以推算。从我国沉积变质铁矿通常产于震旦纪盖层与前震旦纪含矿层位的接触地带也表明，震旦纪盖层最理想。它表明剥蚀时间较短，并有较薄的盖层保护。所谓“凹陷中的隆起”表明被保存于凹陷中的沉积变质铁矿，只在凹陷中的局部隆起部分才使盖层变薄或矿体直接出露。而“隆起中的凹陷”表明产于隆起中的沉积变质铁矿只有在凹陷区才得以保存。我国大多数沉积变质铁矿产于东西向斜向构造带与北东向、北北东向构造的交切部位，这表明由于多次构造运动的叠加，使沉积变质铁矿得以出露或在浅部产出。一般在褶皱构造转折端为成矿有利部位。在老变质岩区研究小构造（如对其片麻理产状变化的研究），通常可推断大构造的存在。有时还可利用线理走向指示矿体走向。总之，只有全面恢复其构造演化历史才能阐明沉积变质铁矿的形成规律。这绝不是孤立地分析所谓有利构造条件与不利构造条件所能奏效的。

（上接第23页）

2. 铁质来源与富矿成因 温都尔庙群中含矿层位多，矿体小。在南带，富矿围岩为紫褐色片理化凝灰岩（白音诺尔），阳起片岩（大敖包及白音诺尔），绿泥片岩（哈尔哈达）及石英片岩（小敖包），此带富矿围岩主要是变安山玄武岩。这些围岩，均富含铁质。在地槽回返末期，区域变质作用过程中，产生的变质热液，从围岩中析出铁，在有利

3. 新技术、新方法的应用 在沉积变质铁矿成矿规律的不断深入研究中，越来越多地采用了新技术、新方法。如航空地质、宇航地质（特别可通过盖层对深部构造的透视）、电极测深、电算、遥感遥测、古地磁、包裹体测温、同位素年龄、微化分析和电子显微镜（特别用于研究铁细菌）等。近年来用红外—地热， $\gamma$ -光谱学、汞气分析及惰性气体分析等新技术、新方法来确定深大断裂。

4. 综合分析法 这是一切矿产预测的根本方法。在辩证唯物主义思想指导下，应用基础地质原理，全面分析各种有关实际资料（地质、物探、化探和普查勘探等），由已知成矿规律推测未知区成矿远景。预测是否正确仍需钻探证实，而通过实践检验，又可修正原来对成矿规律的认识，使之更接近客观实际，从而更有力地推进预测工作的开展。在沉积变质铁矿成矿规律认识指导下，可编制各主要基础图件（地质图、基岩地质图、构造地质图、重磁叠合图、含矿岩性埋深图和古地理图等），依据各有关基础图件，最后相应编制沉积变质铁矿预测图，以指导找矿实践。

在沉积变质铁矿的研究工作中，我们在重视全球性地质发展的一般规律的同时，还必须重视我国地质发展规律的特殊性的研究。如我国为何主要成铁期比世界早几亿年，铁细菌的出现为何比国外早几亿年，所谓地台的活动性为何比国外较强，为何没有发现大规模风化壳型富铁矿等等。这些都是我们需要着力研究的问题。总之，我们一定要冲破那些不正确的传统地质理论的束缚，尽量采用各种新技术、新方法，总结出我国特有的沉积变质铁矿成矿规律，以有力地指导我国沉积变质铁矿的找矿工作。为尽早实现我国四个现代化做出较大的贡献。

构造部位富集成矿，而围岩发生褪色现象。故富矿体主要为后生热液交代围岩形成的。

3. 富矿控制因素 控制富矿的岩性主要是暗色富铁质火山岩、凝灰岩及其变质产物。它们既是储矿围岩又是成矿的母岩。控矿层位南带为土库莫岩组3岩段及哈尔哈达岩组1岩段。北带为变安山玄武岩层位。控矿构造主要是构造薄弱部位，如倾伏背斜转折端、倒转向斜及其翼部以及断裂发育处。