

# 初论幔柱构造成矿体系\*

李红阳

侯增谦

(中国地质大学, 北京) (中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

提 要: 从板块构造与板块边界矿床、超大陆旋回与大陆边界矿床、地幔热点与大陆内部矿床的角度, 阐述了幔柱构造成矿体系的基本思想、分类、成矿特征及旋回性, 提出了热幔柱和冷幔柱两个成矿体系和地幔热柱-热点、地幔热柱-大陆裂谷、地幔热柱-大洋扩张、冷幔柱-前寒武纪硅铝壳造山、冷幔柱-显生宙硅铝壳/洋壳造山等五个成矿系统, 并初步划分了矿床成矿系列, 列举了某些典型矿床。

关键词: 幔柱构造 板块构造 超大陆旋回 成矿体系

幔柱构造成矿体系是指幔柱构造成矿地质作用过程及其地质产物所构成的整体, 包括热幔柱、冷幔柱两个成矿亚体系和更次一级的地幔热柱-热点、地幔热柱-大陆裂谷、地幔热柱-大洋扩张、冷幔柱-前寒武纪硅铝壳造山、冷幔柱-显生宙硅铝壳/洋壳造山等 5 个成矿系统, 主要体现在幔柱构造体系不同成矿地质构造背景中形成的一系列具有不同成矿环境、不同成矿体制、不同序次组合和不同成因类型的矿床成矿系列组合的矿床成矿谱系。幔柱构造成矿体系基本思想的产生有其客观必然性, 它既是板块构造理论体系发展演化到幔柱构造理论体系的必然结果, 也是从板块构造理论分析矿床成矿背景发展到以矿床为基础运用矿床的基础地质阐述和建立成矿学、全球动力学的客观需要和必然产物。

## 1 幔柱构造成矿体系的基本思想及产生的历史背景

### 1.1 板块构造与板块边界矿床

自板块构造理论问世以来, 人们就试图将它应用到成矿研究中, 分析不同大地构造背景下不同类型矿床的产出与形成。比如, Mitchell 等 (1981)、Hutchison (1983)、Sawkins (1984) 等均从不同角度系统论述了矿床与各种类型板块边界的关系<sup>[8-10]</sup>, 将矿床分为离散型板块边界矿床、会聚板块边界矿床和板块内部矿床。然而, 由于板块构造“难以登陆”, 在解决成矿问题上则明显局限于板块边界。而且, 板块构造虽然能够解释显生宙某些矿床的时空分布规律, 但是难以应用到前寒武纪及其广阔的大陆内部。板块构造与成矿表现出明显的局限性, 甚至在一定程度上阻碍了全球动力学、成矿学的发展。

### 1.2 超大陆旋回与大陆边界矿床

为了弥补板块构造与成矿的不足, 近几年人们提出了与板块构造——威尔逊旋回有关, 但又不同于威尔逊旋回的以硅铝壳陆内裂谷作用为主要特征的超大陆旋回<sup>[11,12]</sup>, 并发现超大陆

\* 国家 305 项目资助 (编号: 96-915-01-02)

李红阳, 男, 1959 年生, 矿床学博士, 副教授, 主要从事矿床成矿规律研究。邮政编码: 100083  
1997-09-02 收稿, 1998-04-14 修改回

旋回与金属成矿巨旋回之间的内在统一性<sup>[13,14]</sup>,即特定金属矿床的成矿期与超大陆的解体和聚合期相一致。这一假说认为前寒武纪地壳演化主要是硅铝壳上的裂谷与造山作用或大陆裂谷旋回,即主要地质历史时期的造山带主要为非威尔逊造山旋回;而以硅镁洋壳为基础发展起来的全球板块构造理论——大洋开合威尔逊造山旋回,主要是在显生宙才发生和发展。显然,超大陆旋回是对板块构造理论——威尔逊旋回的重要补充与发展,使对全球矿床成矿背景分析从显生宙的板块构造边界发展到太古代-元古代的大陆边界。然而,超大陆旋回又只能对大陆边界金属矿床的时空分布规律作出区域宏观的解释,仍然难以应用到广阔的大陆内部,可谓“难以真正登陆”。

### 1.3 大陆热点与大陆内部矿床

对于不受造山作用或造山旋回影响的稳定大陆内部矿床,特别是与高原玄武岩、碱性岩、碳酸岩、基性岩墙、斜长岩、环状花岗岩等特色的非造山火成岩类有关的重要矿床,威尔逊大洋开合造山旋回显然难以解释。从而,促使地质学家开辟新的途径来揭示大陆内部成矿作用。比如,Sillitoe(1974)在《Nature》杂志上发表了“地幔热点之上的锡矿化作用”,首次提出大陆内部尼日利亚乔斯高原非造山特征的含锡碱性花岗岩是地幔热点活动产物,锡来源于地幔<sup>[15]</sup>。Sawkins(1976)论述了与大陆内部热点和裂谷环境有关的金属矿床,首次明确地提出前寒武纪至显生宙大陆内部环境中形成的重要矿床均与热点活动有时空联系,认为大陆(板块)内部岩浆活动大都与热点活动有关,而且与大陆热点相伴的构造、岩浆和沉积作用提供了产生成矿体系及其各种类型矿床的有利环境,并且发现某些大规模的热点活动与不同地质时期超大陆的解体有关,而大陆内部环境中生成的许多有色金属矿床则与超大陆的解体有关<sup>[16]</sup>。因此,早在70年代中期,大陆内部矿床与大陆地幔热点活动有关的认识即已形成。

### 1.4 地幔热柱-热点与大陆内部、板块边界等张性环境和矿床

在80年代初期,人们进一步注意到地幔热柱-热点与大陆内部、板块边界等张性环境矿床的内在成因联系。比如,Mitchell等(1983)在系统论述大陆热点、裂谷和坳拉谷中形成矿床的同时,还从地幔热柱-热点-夭折裂谷-裂谷-大洋扩张-俯冲-碰撞造山发展演化或旋回的角度论述了矿床与全球构造。Sawkins(1984)从离散-会聚(碰撞)板块边界环境角度论述了金属矿床与板块构造,同样强调了离散型板块边界环境(热点、非造山岩浆活动、大陆裂谷、洋脊)与地幔热柱-热点之张性环境的内在成因联系。因此,地幔热柱在成矿控制上不仅与地球演化各阶段大陆内部热点、三联点夭折裂谷、裂谷环境矿床有关,而且也与洋脊、亲弧裂谷等显生宙离散型板块边界环境矿床有关,即地幔热柱对各种张性环境及其成矿作用均具有重要控制作用。而且,在全球构造演化上,地幔热柱又控制或决定了热点-夭折裂谷-裂谷-大洋扩张-俯冲-碰撞造山威尔逊旋回的发生、发展和演化<sup>[17]</sup>。然而,由于地幔热柱-热点假说是由板块构造理论的创始人和拥护者提出和发展而来的,在板块构造学说一统天下的年代里,地幔热柱-热点只是作为一个必要的补充和参照系而服务于板块学说。比如,Sawkins(1984)认为热点活动仅仅是板块活动大家庭中的一个成员。因此,热点之下地幔热柱作为板块运动本身驱动力的重要意义,未能引起应有的重视。

## 2 幔柱构造成矿体系的基本思想

### 2.1 幔柱构造体系

随着大陆地质和深部地质的深入研究, 板块构造现行理论体系亦难以对板块运动动力源、板内垂直运动、大陆和大洋巨大火成岩省等一系列重大地质问题给予解释。板块构造理论体系的局限性迫使许多地质学家不得不对全球构造进行重新思索和认识, 对主要关于显生宙表层的板块构造理论体系进行必要的时空上延伸, 以包括在空间上甚至地球核心的整个地球, 在时间上从地球的诞生至目前, 甚至到将来。地幔热柱和幔柱构造就是地质学家在这种不断探索和进取中提出的, 而且, 正在推动着继大陆漂移、板块构造之后的第三次地球科学革命浪潮的到来<sup>[1-4, 17-20]</sup>。

幔柱构造概括了地幔上升流和下行流的对流形式和所引起的构造发育程度, 包括地幔物质上涌形成的热幔柱和地幔柱状回流的冷幔柱。幔柱构造和作为显生宙幔柱构造的一部分浅部岩石圈板块构造, 为地幔对流的一组两个极端类型。幔柱构造中并存的热幔柱与冷幔柱的运动为地球演化各阶段地幔物质的主要运动形式, 导致前寒武纪超大陆解体-聚合旋回, 驱动显生宙板块运动, 导致地球各圈层相互作用, 特别是壳-幔相互作用。热幔柱发育导致岩石圈减薄和超大陆解体以及大陆岩石圈构造体制向大洋岩石圈构造体制转化<sup>[21]</sup>, 对应着热点、裂解的超大陆、大陆裂谷、大洋扩张、伸展盆地、变质核杂岩、剥离断层等各种张性-引张-伸展-离散环境。冷幔柱回流引起超大陆聚合、大陆裂谷夭折造山和洋壳俯冲消减碰撞造山, 以及大洋岩石圈向大陆岩石圈构造体制转变<sup>[21]</sup>, 对应着大陆聚合、俯冲、逆冲推覆、碰撞造山等各种会聚-碰撞-挤压环境。因此, 分别起源于和返回地球深部的多级次的热幔柱与冷幔柱直接制约和决定了地球演化各阶段引张和挤压两大构造动力体制, 从而制约和影响着地球浅部各个圈层, 甚至近地表各个部位。不同级别与序次的热幔柱与冷幔柱之间的相互制约和相互转化, 又决定了引张、挤压两大构造体制的相互制约与转化, 呈现出热点、大陆裂谷、大洋扩张等引张构造与俯冲、碰撞、造山带等挤压构造的演化和复合叠加。从而, 构成由不同地质时期、不同构造层次或序次组合的复杂的幔柱构造体系。

## 2.2 幔柱构造成矿体系

幔柱构造成矿体系概括为各地质历史时期幔柱构造成矿地质作用过程及其地质产物所构成的整体。人们所熟知的显生宙板块构造成矿作用、前寒武纪超大陆旋回成矿作用和各地质时期的热点成矿作用, 既是幔柱构造成矿地质作用的不同侧面和不同表现形式, 亦是幔柱构造成矿体系的重要组成部分。

(1) 显生宙板块构造成矿作用与幔柱构造。显生宙以离散型(引张)、会聚型(挤压)板块边缘成矿为特征的板块构造成矿作用体系, 已被人们所认识。然而, 板块构造成矿的局限性又导致越来越多的地质学家不仅从地幔热柱-热点和由地幔热柱-热点活动进一步演化产生的裂谷、大洋扩张的角度研究显生宙各种张性环境, 特别是稳定大陆内部非造山环境的引张构造动力成矿体制; 而且正在探索冷幔柱和由冷幔柱及热幔柱活动停止或间歇所产生的会聚-碰撞造山等各种挤压环境构造动力成矿体制。比如, Sawkins (1976、1984)、Mitchell 等(1981) 均从地幔热柱-热点和由地幔热柱-热点进一步活动和演化产生的大陆裂谷、洋底扩张角度论述过各种引张环境矿床。

(2) 前寒武纪超大陆旋回成矿体系与幔柱构造。通过大量资料综合分析, Barley 等(1992) 和 Kerrich (1992) 先后提出和讨论了金属成矿巨旋回与超大陆旋回的密切关系, 明确指出成矿作用集中发生在超大陆的解体和聚合期。比如, 以奥林匹克坝型矿床为代表的内陆盆地

非造山型岩浆矿床,集中发生在超大陆解体的初期和超大陆聚合的末期;以斑岩铜矿、脉状金矿为代表的造山型矿床则主要在超大陆聚合期最发育。因此,对应超大陆的多旋回式解体和聚合,产生多旋回式引张、挤压两大动力成矿系统,构成超大陆旋回成矿体系。虽然,早在70年代中期,Sawkins(1976)就开始运用热点和由热点进一步演化产生的裂谷来解释与超大陆解体有关的大陆内部金属矿床,并提出与热点活动有关的引张动力成矿体系。但是,对于超大陆聚合期挤压动力成矿系统的认识,人们仍局限于显生宙板块会聚边缘,未能将地幔热柱-热点理论进一步延伸<sup>[10]</sup>。直到近几年,Maruyama(1994)提出幔柱构造导致超大陆的解体与聚合,其中热幔柱导致超大陆的解体,冷幔柱导致超大陆的聚合,而地幔柱发生、发展与演化的旋回性,又导致超大陆离合的旋回性。因此,可以认为,前寒武纪金属成矿巨旋回与超大陆旋回的内在成因联系,更好地反映了超大陆旋回成矿体系与幔柱构造体系的内在统一性。

(3) 热幔柱-热点成矿作用。地幔热柱及相关热点穹隆作用、碱性岩浆作用、成矿作用等发育于地球演化的各个阶段。地幔热柱-热点成矿作用可能涉及到各种不同环境和地球演化各个阶段,既可形成与单个热点活动相对应的独立的矿集区,又可产生与多个相关热点体系对应的成矿带或成矿省。而且,热点演化的不同阶段和不同空间部位,又有不同的矿化类型。比如,与大陆热点岩浆活动——碱性杂岩、高原玄武岩、碳酸岩、基性-超基性岩、煌斑岩、金伯利岩等有关的矿床;与热头部顶冠富集的稀有、稀土、锡、铀等矿床,热点尾部富集的铬、钛、钴、镍铜等矿床。从而构成与热幔柱活动相关的成矿体系。

(4) 冷幔柱成矿作用。冷幔柱成矿作用发生于地球演化各个阶段的冷幔柱挤压造山环境。但在地球不同演化阶段,冷幔柱挤压造山作用类型不同。在前寒武纪,可能主要为硅铝壳型超大陆聚合的非威尔逊旋回,主要表现为超大型碰撞造山和大陆裂谷碰撞造山。在显生宙,可能主要为硅镁壳型大洋开合威尔逊造山旋回。例如,在三江特提斯构造域,冷幔柱活动形成自俯冲造山→碰撞造山→陆内造山完整的造山过程。与之相伴,产生与弧火山作用相关的火山成因块状硫化物矿床(黑矿型),与碰撞岩浆作用有关的锡、稀有、稀土矿床,与陆内俯冲岩浆作用有关的稀有、稀土矿床以及与造山带崩塌阶段碱性岩浆活动有关的斑岩铜、钼、金、银矿床等,构成受冷幔柱动力学背景制约的成矿体系。

(5) 幔柱构造成矿体系。研究表明,热幔柱上涌和冷幔柱回流可产生巨大的幔柱构造成矿场,即成矿物质大规模集聚形成的成矿物质场,驱动层圈物质热化学交换和矿质(含矿流体)传输运移的成矿能量场(热和动力)及成矿物质工业堆积的成矿空间场。三大场的耦合配置是形成矿集区和成矿的根本原因,是构成幔柱构造成矿体系的根本基础。发育于地球演化的各个阶段并存的引张动力成矿作用与挤压动力成矿作用,是全球成矿动力学体制的两种基本类型。它们与幔柱构造并存的热幔柱、冷幔柱相对应,成为幔柱构造体制下的两种最基本的动力成矿作用。其中,热幔柱引张动力成矿作用在矿床形成中占有主导地位,是幔柱构造成矿的主要形式。正如各种不同的张性环境代表热幔柱构造不同发展演化阶段的不同表现形式,而在热点、大陆裂谷、变质核杂岩、热穹隆构造、伸展盆地、剥离断层及大洋扩张洋脊或洋盆等各种张性环境中形成的不同特点的矿床,则代表热幔柱成矿作用不同发展演化阶段的不同产物。它们受统一深部热幔柱动力学制约,构成热幔柱成矿体系。在地球演化的不同阶段,热幔柱成矿作用又表现出明显不同的形式和发展演化规律。在前寒武纪,热幔柱成矿作用以超大陆裂解和大陆裂谷成矿作用为特征标志,组成全球最重要的成矿期;在显生宙,

主要表现为板块边缘大洋扩张脊、亲弧裂谷等张性环境矿床的产出。冷幔柱挤压动力成矿作用发生在地球演化各个阶段的冷幔柱挤压造山环境。但是, 由于地球演化不同阶段冷幔柱挤压造山作用类型不同, 冷幔柱成矿作用具体表现形式也有明显的差异。在前寒武纪, 冷幔柱成矿作用主要表现为超大陆聚合碰撞造山与成矿、大陆裂谷闭合碰撞造山与成矿, 即非威尔逊造山旋回与成矿; 在显生宙, 冷幔柱成矿作用则可能主要表现为会聚板块边界俯冲碰撞造山与成矿。

### 3 幔柱构造成矿体系分类及其特征

幔柱构造成矿体系可概括为全球各地质历史时期幔柱构造成矿地质作用及其时空发展演化与产物的系统综合整体, 可划分出两个截然不同而又并存的热幔柱构造成矿体系(引张拉伸型构造成矿体系)和冷幔柱构造成矿体系(挤压造山型构造成矿体系)。热幔柱构造成矿体系又包括地球演化不同阶段地幔热柱-热点、地幔热柱-大陆裂谷、地幔热柱-大洋扩张等一系列次级成矿系统和更次一级的成矿系列以及各种金属、非金属矿床, 构成全球各地质历史时期成矿主体。冷幔柱构造成矿体系包括地球演化不同阶段冷幔柱陆内硅铝壳造山、冷幔柱-陆间硅镁洋壳造山等次级成矿系统和更次级的成矿系列及不同类型金属、非金属矿床。

#### 3.1 热幔柱构造成矿体系分类及其成矿特征

热幔柱构造成矿体系包括地幔热柱-热点、地幔热柱-大陆裂谷、地幔热柱-大洋扩张3个成矿子体系或3个成矿系统。其中, 地幔热柱-热点成矿系统、地幔热柱-大洋扩张成矿系统往往分别表现为热幔柱构造成矿体系的起始点和终点两个端员, 地幔热柱-大陆裂谷成矿系统则多构成热幔柱构造成矿体系主体, 三者既可呈现出早、中、晚3阶段演化关系, 又可相互独立自成体系。比如, 地幔热柱-热点成矿系统、地幔热柱-大陆裂谷成矿系统各自独立发育于地球演化各个阶段, 地幔热柱-大洋扩张成矿系统可能主要发育于显生宙。

(1) 地幔热柱-热点成矿系统。地幔热柱-热点成矿系统是指地幔热柱-热点构造成矿地质作用过程及其地质产物所构成的有机整体。它发育于地球演化各地质历史时期, 是热幔柱构造成矿体系和幔柱构造成矿体系在岩石圈上部成矿及其时空发展演化的起始点或初始端员组成, 往往进一步发展演化为地幔热柱-热点-裂谷成矿系统。因此, 地幔热柱-热点成矿系统及其成矿地质作用产物是热幔柱构造成矿体系最易识别的最直接标志之一, 成为人类认识和研究幔柱构造与成矿的根本出发点和重要基础。近20年来, 有关地幔热柱-热点活动与成矿的研究越来越多, 并已取得一些重要进展, 为全球幔柱构造成矿体系的建立与发展奠定了坚实的基础。根据国内外对比研究分析, 地幔热柱-热点成矿系统主要包括以下几个亚系统及其一系列成矿系列和矿床<sup>[6,8,10]</sup>。

①大陆内部热点成矿亚系统。可包括以下矿床成矿系列:

A. 与非造山热点碱性花岗岩有关的锡、铀(铀-钼-钨)成矿系列。比如, 尼日利亚乔斯高原的锡矿, 美国密苏里州圣弗兰科斯地区的锡矿, 巴西朗多尼亚的锡矿, 南非布什维尔德花岗岩锡矿, 外贝加尔-蒙古一带的零星分布的许多小型锡矿, 元古代奥长环斑花岗岩锡矿, 博坎山型铀矿等。

B. 与非造山热点层状镁铁质杂岩有关的Cr、Pt族元素, 钒、钛、铜、镍等矿床成矿系列。

比如, 南非布什维尔德火成杂岩 Cr、Pt 族元素, 钒矿床, 美国蒙大拿州斯蒂尔瓦特杂岩铂矿床, 澳大利亚西部伊尔岗地块绿岩带超镁铁质岩镍矿床, 加拿大安大略省萨德伯里侵入体铜-镍矿床等。

C. 与非造山热点碳酸岩有关的稀有、稀土、磷灰石等矿床成矿系列。

D. 与非造山热点碱性岩有关的稀有、稀土、金刚石、金等矿床成矿系列。

E. 与非造山热点碳酸岩、碱性岩、超基性岩有关的稀有、稀土、金刚石、磷灰石等矿床成矿系列。

F. 与非造山热点碱性岩、碱性花岗岩有关的金、银、铅、锌多金属矿床成矿系列<sup>[5, 22]</sup>。

G. 与非造山热点斜长岩有关的钛、铁、钒等矿床成矿系列。

H. 与大陆内部热点轨迹有关的美国西南部斑岩铜矿床成矿系列。

I. 与大陆内部热点轨迹有关的中国华南中生代有色、稀有元素矿床成矿系列。

J. 与大陆内部热点头尾成矿物质时空演化有关的澳大利亚西部伊尔岗地块绿岩带超镁铁质岩镍矿床。

②大洋洋岛-岛链热点轨迹成矿亚系统。

(2) 地幔热柱-大陆裂谷成矿系统。地幔热柱-大陆裂谷成矿系统是指地幔热柱-大陆裂谷构造成矿地质作用过程及其地质产物所构成的有机整体。它是热幔柱构造成矿体系, 甚至整个幔柱构造成矿体系的主体, 是由地幔热柱-热点成矿系统低级阶段发展演化到高级阶段的具体体现。因此, 它是热幔柱构造成矿体系和整个幔柱构造成矿体系中最有利和最易于识别的成矿系统和成矿阶段。它广泛发育于地球演化各地质历史时期, 特别是元古代, 与超大陆旋回的大陆解体成矿作用及产物相对应, 形成全球矿产资源主体。它包括以下几个亚系统及其矿床成矿系列和各种矿床类型<sup>[8, 10]</sup>。

①地幔热柱-大陆裂谷成矿亚系统, 包括三联点、夭折、拗拉堑等各种大陆裂谷成矿亚系统:

A. 与侵入岩有关的矿床成矿系列。比如, 斑岩钼矿和铜钼矿床, 基性超基性岩铬、铂、铜、镍硫化物矿床, 与碳酸岩、碱性岩、金伯利岩有关的稀有、稀土、金刚石、磷灰石和铜矿床等。

B. 与火山岩有关的矿床成矿系列。比如, 火山岩容矿的块状硫化物矿床。

C. 沉积岩系中的矿床成矿系列。比如, 层状铜矿床、银铅锌矿床、铅锌矿床、铀矿床, 沉积物容矿的块状硫化物矿床、蒸发岩矿床、油气矿床等。

E. 深变质的裂谷型块状硫化物矿床成矿系列。

F. 绿岩带块状硫化物矿床成矿系列。

G. 与大陆裂谷内热点洋岛型蛇绿岩有关的矿床成矿系列。

H. 热液-脉型矿床成矿系列。

②地幔热柱-亲弧裂谷成矿亚系统:

A. 斑岩钼矿床成矿系列。

B. 萤石、锡、铀、铍矿床成矿系列。

C. 黑矿型块状硫化物矿床成矿系列。

(3) 地幔热柱-大洋扩张成矿系统。地幔热柱-大洋扩张成矿系统是指地幔热柱-大洋扩张成矿地质作用过程及其地质产物所构成的有机整体, 也是热幔柱构造成矿体系在岩石圈上部

成矿时空发展演化的晚期特殊表现形式和末端端员组成。它是热幔柱构造成矿体系由地幔热柱-大陆裂谷成矿系统或阶段发展演化到更高级成矿系统或阶段的具体表现。这一成矿系统发育于显生宙, 主要表现为大洋扩张的离散板块边界成矿作用及其时空演化产物。比如, 地幔热柱-洋脊-洋盆成矿亚系统, 主要包括以下几方面的成矿作用和矿床<sup>[8,10]</sup>。

①洋脊和大洋盆地中的成矿作用。比如, 洋底水成锰结核、洋脊热液锰结核矿床, 洋脊热液富含金属沉积物、洋脊富铁沉积物和富锰沉积物, 东太平洋洋隆块状硫化物, 洋脊玄武岩中的贵金属, 洋底富含金属的深海页岩等。

②洋壳蛇绿岩中的矿床。比如, 层状黄铁矿型铜矿, 塞浦路斯型矿床、锰矿床, 超基性岩中的豆荚状铁矿, 基性和超基性岩中的镍、铁、钛、金、铂和石棉、滑石及菱镁矿床等。

#### (4) 热幔柱构造成矿体系的旋回性和复合、叠加。

①热幔柱构造成矿体系的旋回性。多期次脉冲旋回性, 是热幔柱构造成矿体系的一个突出特点, 主要表现为热幔柱构造成矿体系中地幔热柱-热点、地幔热柱-大陆裂谷、地幔热柱-大洋扩张三大成矿系统自身产生-发展-消亡演化的多期次旋回性。有两种情况: 其一, 在地质演化不同历史时期, 或同一地质历史时期不同演化阶段, 某一成矿系统在同一地区多期次产生-发展-消亡; 其二, 某一成矿系统在不同地质历史时期或不同演化阶段发育于不同的地区。比如, 与多期次脉冲式地幔热柱-热点活动有关的多期次成矿作用及其产物, 与地幔热柱-大陆裂谷多期次开合运动有关的多期次成矿作用及其产物, 均反映了热幔柱构造成矿体系三大系统的旋回性。应当指出, 成矿系统的旋回性既可表现为成矿作用的多期次脉冲旋回性或复合叠加, 又表现为主成矿期与成矿系统主旋回相对应。

热幔柱构造成矿体系的旋回性又表现为三大成矿系统综合整体(地幔热柱→热点→大陆裂谷→大洋扩张)的多期次产生-发展-消亡, 明显见于显生宙, 与大洋开合的威尔逊旋回有关。

②热幔柱构造成矿体系的复合与叠加。这主要表现为地幔热柱-热点、地幔热柱-裂谷、地幔热柱-大洋扩张三大成矿系统之间在相同或不同地质历史时期的复合与叠加, 以及三大成矿系统自身旋回性所表现的成矿作用及时空演化产物的复合与叠加。比如, 大陆裂谷成矿系统与热点成矿系统、大洋扩张成矿系统与热点(洋岛)蛇绿岩成矿系统的复合叠加, 可分别表现为大陆裂谷成矿作用与大陆裂谷中心与洋岛型蛇绿岩有关的矿床为标志的热点成矿作用的复合与叠加, 大洋扩张成矿作用与洋岛(海山)、洋岛链热点成矿作用的复合与叠加。

(5) 热幔柱构造成矿体系旋回与某些造山带构造成矿演化旋回。一般认为, 一切古老的造山带, 无论是硅铝层陆壳造山带还是硅镁层洋壳造山带, 在其演化过程中总是先引张后挤压, 所有造山事件或造山作用都发生在裂谷活动之后, 争论的焦点仅在于挤压造山之前裂谷拉伸幅度大小或洋壳是否出现及其规模大小。在另一方面, 某些陆内或陆间造山带普遍具有“手风琴式”开合演化多旋回性<sup>[7]</sup>, 而且在每个旋回和总旋回中总是具有漫长的引张开裂过程和随后相对短暂的聚合挤压造山过程, 表现出系统整体为一引张伸展体制和这一统一体制下引张解体(开裂)过程的多个次一级引伸开裂、聚合构造旋回过程。显然, 某些造山带的旋回性与热幔柱构造体系的旋回性有关。比如, 地幔热柱热地幔物质大规模上涌, 导致大陆引张开裂——裂谷活动, 地幔热柱热地幔物质上涌停止或间歇, 导致裂谷封闭挤压造山; 地幔热柱热地幔物质上涌活动的多期次脉冲性, 导致造山带“手风琴式”开合演化旋回性。因此, 某

些陆内造山带成矿演化旋回性,与幔柱构造成矿体系的旋回性,特别是地幔热柱-大陆裂谷成矿系统的旋回性相对应。

### 3.2 冷幔柱构造成矿体系分类及其成矿特征

地幔热柱-热点假说的提出及其成矿作用的研究虽然已有 20 多年的历史,但冷幔柱概念的提出及其成矿作用的研究仅是近几年的事情,可查阅的文献甚少。总的看来,与以不同规模广泛发育于地球演化各阶段、各种构造环境中易于识别的热幔柱构造成矿作用不同的是,冷幔柱构造成矿作用主要表现为超大陆聚合与成矿,主要与大规模地幔下降流——冷幔柱引起的全球大规模造山挤压构造体系相对应,具有明显的成矿局限性。而且,在冷幔柱成矿演化过程中往往具有由冷幔柱构造作用引起的次级局部热幔柱构造成矿作用的复合与叠加。因此,我们仅能运用冷幔柱构造的某些理论观点探索或解释某些矿床的成因,并试图从时空分布上把矿床与冷幔柱构造体系联系起来,从而建立概略的冷幔柱构造成矿体系,并区分不同级别构造成矿系统或环境。

#### (1) 显生宙硅铝壳/洋壳造山成矿系统。

① 硅铝壳/洋壳碰撞造山成矿亚系统,比如,蛇绿岩容矿的矿床,碰撞带花岗岩伴生的铀钨矿床,海西造山带海西花岗岩锡钨矿床,东南亚中央锡矿带,碰撞带花岗岩伴生的铀矿床,西欧海西花岗岩伴生的铀矿床<sup>[8,10]</sup>。

② 洋壳俯冲岛弧成矿亚系统,比如,斑岩铜矿床、智利型(平卧成层)矿床、金矿床、黑矿型块状硫化物矿床、脉状矿等<sup>[8,10]</sup>。

(2) 前寒武纪硅铝壳造山成矿系统。主要表现为超大陆聚合与成矿,以脉状金矿、金铀砾岩、阿比蒂比型铜锌块状硫化物矿床及某些斑岩铜、钼矿床为特征<sup>[13,14]</sup>。

### 参 考 文 献

- 1 赵国春, 吴福元. 热幔柱构造——一种新的大地构造理论. 世界地质, 1994, 13 (1): 25~ 34.
- 2 侯增谦, 卢记仁, 李红阳等. 中国西南特提斯构造演化——幔柱构造控制. 地球学报, 1996, 17 (4): 439~ 453.
- 3 侯增谦, 莫宣学, 朱勤文等. “三江”古特提斯地幔热柱——洋岛玄武岩证据. 地球学报, 1996, 17 (4): 343~ 361.
- 4 侯增谦, 莫宣学, 朱勤文等. “三江”古特提斯地幔热柱——洋脊玄武岩证据. 地球学报, 1996, 17 (4): 362~ 375.
- 5 李红阳, 闫升好, 王金锁等. 初论地幔热柱与成矿. 矿床地质, 1996, 15 (3): 249~ 256.
- 6 陈毓川, 裴荣富, 张宏良等. 南岭地区与中生代花岗岩有关的有色及稀有金属矿床地质. 北京: 地质出版社, 1989, 20~ 60.
- 7 黄汲清, 姜春发, 王作勋. 新疆及邻区板块开合及手风琴式运动. 新疆地质科学, 第1辑. 北京: 地质出版社, 1990, 3~ 16.
- 8 Mitchell A H G, Garson M S. Mineral deposits and global tectonic settings. Academic press, 1981, 1~ 108.
- 9 Hutchison C S. Economic deposits and their tectonic settings. John Wiley and Sons Ltd, 1983, 10~ 23.
- 10 Sawkins F J. Metal deposits in relation to plate tectonics. Springer-Verlag, 1984, 1~ 25.
- 11 Gurnis M. Large-scale mantle convection and the aggregation and dispersal of supercontinents. Nature, 1988, 332: 695~ 699.
- 12 Murphy J B, et al. Supercontinent model for contrasting character of late Proterozoic orogenic belts. Geology, 1991, 19 (5): 469~ 472.
- 13 Barley M E, Groves D I. Supercontinent cycles and the distribution of metal deposits through time. Geology, 1992, 20, 291~ 294.
- 14 Kerrich R. Continents ring the changes. Nature, 1992, 358: 16~ 17.



- 15 Sillitoe R H. Tin mineralization above mantle hot spots. *Nature*, 1974, 248: 497~ 499.
- 16 Sawkins, F J. Metal deposits related to intracontinental hotspot and rifting environments. *Journal of Geology*. 1976, 84 (6): 653~ 671.
- 17 Maruyama S. Plume tectonics. *Jour. Soc. Japan*, 1994, 100: 24~ 49.
- 18 Hill R I. Mantle plume and continental tectonics. *Science*, 1992, 256: 186~ 193.
- 19 Hill R I. Starting plumes and continental break-up. *EPSL*, 1991, 104: 398~ 416.
- 20 Stein M, Hofmann A W. Mantle plumes and episodic crustal growth. *Nature*, 1994, 372: 63~ 68.
- 21 Burke K., Dewey J F. Plume-generated triple junctions: Key indicators in applying plate tectonics to old rocks. *J. Geol.*, 1973, 81, 406~ 433.
- 22 Rock M S. et al. Can lamprophyres resolve the genetic controversy over mesothermal gold deposits? *Geology* 1988, 16: 538~ 541.

## A PRELIMINARY DISCUSSION ON THE ORE-FORMING SYSTEM OF PLUME TECTONICS

Li Hongyang

(*China University of Geosciences, Beijing 100083*)

Hou Zengqian

(*Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037*)

**Key words:** plume tectonics, plate tectonics, supercontinental cycle, ore-forming system

### Abstract

The mode of occurrence, development, classification, metallogenic features, and cyclicity of the ore-forming system of plume tectonics are preliminarily discussed from the angles of plate tectonics and mineral deposits associated with plate boundaries, supercontinental cycles and mineral deposits associated with continental boundaries, mantle hot spots and intracontinental mineral deposits, and crust-mantle metallogenic systems. It is considered that the ore-forming system of plume tectonics includes two ore-forming subsystems of hot and cold plumes, which, in turn, consist of five further subdivided ore-forming systems called mantle hot plume-hot spot subsystem, mantle hot plume-continental rift subsystem, mantle hot plume-ocean floor spreading subsystem, mantle cold plume-Precambrian ensialic orogenic subsystem and ensialic/ensimatic orogenic subsystem respectively. Metallogenic series produced by the ore-forming subsystems are preliminarily divided, and some mineral deposits are illustrated.

The ore-forming system of plume tectonics refers to the whole ore-forming process of plume tectonics together with its products. The ore-forming subsystem of mantle hot plume-hot spot, as the starting point of the time-space evolution of the ore-forming system of mantle hot plume, frequently develops into the ore-forming subsystem of mantle hot plume-continental rift, mainly giving birth to the ore-forming system of plume tectonics. The ore-forming subsystem of mantle hot plume-ocean floor spreading is a product of the ore-forming subsystem during the late evolution stage of the ore-forming system of plume tectonics.