地史中成矿演化的趋势和阶段性

翟裕生

(中国地质大学,北京,100083)

摘　要　大量的地质矿产资料表明,随着地球的形成和发展,尤其是水圈、大气圈和生物圈的演化,成矿作用也呈前进的、不可逆的发展趋势,表现在成矿物质(矿种)由少到多;矿床类型由简到繁;成矿频率由低到高;聚矿能力由弱到强。受地球上重大地质事件的制约,这一成矿演化过程又表现出阶段性,可划分出 7 个成矿大阶段,即太古宙、古元古代、中元古代、新元古代、早古生代、晚古生代—早中生代、晚中生代—新生代等成矿期。每一期中都有特定的成矿构造环境和矿床成因类型。制约地史上成矿演化的主要因素有:①成矿物质的地球化学性质;②水圈、大气圈和生物圈的演化;③地球构造运动的演变。矿床形成后的保存条件对矿床的时空分布特征也有重要影响。

关键词　地史　成矿演化　成矿阶段　地球外部层圈演化

CLC　P61,P53

在成矿学研究中,成矿作用在时间上的分布规律是一个重要研究内容。地球在不断变化,作为地球物质系统运动的一种特殊形式——成矿作用也在不断地演化,并表现出某些规律性。现就地史上成矿作用演化的基本趋势、成矿阶段的划分和制约成矿演化的主要因素等三个问题提出一些初步认识,供研究讨论。

1　成矿作用演化的基本趋势

大量的地质和矿产资料表明,随着地球各层圈包括岩石圈、水圈、气圈、生物圈的形成和发展,地史上的成矿作用呈前进的、不可逆的发展过程,主要表现在四个方面。

1.1　成矿物质由少到多

从地球古老时期到显生宙时期,成矿物质(元素及其化合物、矿种)数量在逐步增加。由太古宙时的 Fe、Ni、Cr、Cu、Zn 等少数几种元素成矿,发展到中生代—新生代时有几十种元素成矿,包括一大批有色金属、稀有金属和放射性金属等。一些高度分散的元素如碲、锗等过去只认识到它们在一些金属矿床中作为伴生有益组分产出,但近年来也发现它们在中—新生代时也能高度富集形成独立矿床。实例有四川石棉县的燕山期大水沟碲矿、云南临沧第三系煤系中的锗矿等。

收稿日期:1997-05-08

作者简介:翟裕生,男,1930 年生,教授,博士生导师,现任国际矿床成因协会(IAGOD)矿田构造组主席,矿床学专业。

本项目受地质矿产部重要基础研究项目(编号:9501107)资助。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1.2 矿床类型由简到繁

矿床成因类型从古到今由简到繁,数量在增加。太古宙时只有绿岩型金矿、火山岩型铜-锌矿、阿尔果马型铁矿和科马提岩型镍矿等少数几种矿床类型,反映了当时成矿环境的单调和含矿介质种类的单一。这种情况随时间前进而发生重大变化,成矿环境类型增多,含矿介质如各类热液和地表水也是种类繁多,因而到中—新生代时,矿床成因类型已增到几十种。例如,生物成因矿床(包括金属、非金属和能源的)在前寒武纪数量稀少,只在显生宙以来生物大量繁衍时期,才显著增多。多因复成矿床是经过两个地质时代的成矿叠加形成的,也只有在古生代以来才大量出现。

1.3 成矿频率由低到高

成矿频率自古至今由低到高。据对中国 631 个大中型金属矿床(包括 Fe、Mn、Cr、Ti、Cu、Al、Pb、Zn、Sn、W、Sb、Hg、Mo、Ni、Ag、Au 和 REE 共 17 个矿种)的成矿时代统计,它们在各地质时代的分配是:太古宙有 45 个,占 7.1 %;元古宙 64 个,占 10.1 %;古生代 151 个,占 24 %;中生代—新生代,占 58.8 %(图 1)。这明显表明成矿频率有随地史进化而迅速增长的趋势。成矿频率增大这一趋势与上述的矿种、成矿环境、成矿介质的增加有关联;同时,地球化学元素在地壳中经历多次循环,其浓集度提高也是一个重要的背景因素。

1.4 聚矿能力由弱到强

聚矿能力或矿化强度,也是随地史演化而增强的。成矿强度的一个辨认标志是形成的矿床的规模和品位。矿床规模越大,品位越富,表示成矿强度越大。如果成矿物质能高度浓集,则能形成超大型矿床。因此,一个地质时代的成矿强度在一定程度上可以用所形成的超

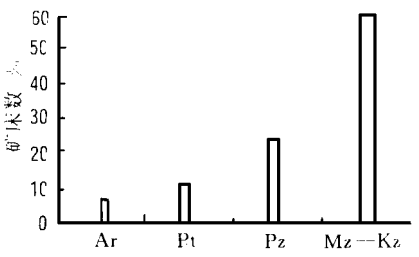


图 1 中国金属矿床成矿时代百分率
Fig. 1 Ore-forming epoch of metal deposits in China
(Showing by percentage of deposit number)

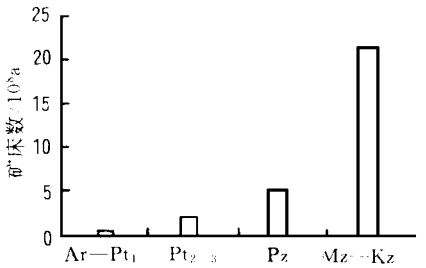


图 2 全球超大型矿床按时代增长率
Fig. 2 Growth rate of global superlarge ore deposits in geologic time

大型矿床的数量来衡量。以全球 108 个超大型金属矿床的基础资料[1]为依据,笔者统计了这 108 个矿床在各地质时代的形成数[2],并且按照每 10^8 a 形成超大型矿床的数量作了对比,即从太古宙—古元古代、中—新元古代、古生代,到新生代,分别为 0.65,2.27,5.0 和 21.7 个/10^8 a(图 2)。这形象地说明,随着地球演化和各层圈的发育,成矿系统日趋成熟,成矿强度显著增强,因而超大型矿床的数量有从老到新,呈近似等比级数增长的趋势。李人澍(1991)[3]将各地质时期金的储量作了统计对比,则太古宙(不包括远太古)、古生代、中生代、新生代单位时间产金率或成矿强度之比为 1∶1.3∶6.8∶6.9,说明金矿成矿强度随地质年代变新而增强的趋势是很明显的。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

由上述可见,随着地球自太古宙早期(约自 38 ×10^8 a 前起,发现有 Cr、Cu 等的成矿作用)至今的演化,成矿物种、矿床类型、矿化频率和成矿强度都显示出由少到多、由小到大、由弱到强的发展趋势。李人澍(1996)[3]在研究地史上基本成矿系统演化时,曾提出由地史早期到晚近,成矿系统有由初级(堆积成矿系统)—过渡型(近等化学改造成矿系统)—高级(熔炼成矿系统)的发展趋势。

需要说明的是,上述各项统计都是针对全球或一个国家(区域)中在地壳浅表层次已经发现的矿床。地史上矿床形成后还可能被后来的地质作用(如隆升、剥蚀等)所破坏。因此,在探讨这个问题时,还要考虑矿床形成后的保存情况、矿床现今埋藏深度以及含矿区内地质矿产勘查程度等自然因素和社会因素的制约。故此上述统计得到的结果在目前只能作为一种相对的趋势来认识。

2　地史上成矿阶段的划分

成矿作用总的是由低级向高级发展。在演化过程中,由于受到地球上若干重大地质事件如古陆聚散、大气成分突变、生命活动爆发等的制约和影响(这些重大事件可能受到天文事件的影响),成矿作用的地质环境和矿化特征等会出现突然变化,即由渐变到突变。这些突变使地球历史上总的成矿过程表现为阶段性或节律性。以这种地质成矿过程中的突变为依据,可以划出地史中几个大的成矿阶段。C. Meyer(1981)[4]指出在地史上存在三个成矿转变期,并依据它们将地史上的成矿阶段划分为太古宙(3 800～2 500 Ma)、古元古代(2 500～1 800 Ma)、新元古代(1 800～600 Ma)和显生宙(600 Ma 至今)。他还详细介绍了每个阶段中的矿床类型等基础资料。J. Veizer(1976)[5]依据地史上地壳、生物圈、沉积岩及矿石的成分变化趋向,提出了类似的划分方案。他与 Meyer 不同处在于以 4 ×10^8 a 左右为界,以大陆扩大、生物活动从海洋大量迁上陆地为标志,将显生宙分为两个成矿阶段,即早古生代和晚古生代—中新生代两个阶段。

M. E. Barley 等[6]依据近年来矿产储量资料,联系到古大陆聚散等大地构造背景,研究了金属矿床的时间分布特征,提出在地史上存在三个大陆成矿高峰期,分别是距今 20 × 10^8 a～18 ×10^8 a,10 ×10^8 a～8 ×10^8 a 和 4 ×10^8 a～3 ×10^8 a 时期,它们分别相当于古大陆会合末期到裂解初期这个转变期。

笔者参照上述划分方案,考虑到中国以及东南亚等地印支期构造(早中生代)的重要性,依据成矿演化与地壳演化、大地构造演化的紧密联系,将地史上的成矿过程划分为 7 个阶段,即:①太古宙成矿期(> 2 500 Ma);②古元古代成矿期(2 500～1 800 Ma);③中元古代成矿期(1 800～1 000 Ma);④新元古代成矿期(1 000～600 Ma);⑤早古生代成矿期(600～400 Ma);⑥晚古生代及早中生代成矿期(400～200 Ma)和⑦晚中生代—新生代成矿期(200 Ma～)(表 1)。在每两个成矿期间都有一段时间的转变期,时限或长或短。在①,②,③,④间的转变期为 ±100 Ma;在④,⑤,⑥,⑦间的转变期限则为 ±30～50 Ma。从表 1 可见,太古宙与元古宙间的转变主要与地壳组成和结构的显著变化有关,而以后的几个转变主要与水圈、大气圈中化学组成(如 O_2 和 CO_2 量的变化)以及生物圈的变化有关。其中,⑥与⑦两个成矿期的突变则与联合古陆解体后现代板块构造体制的全面展开有关。至今,晚中生代(侏罗纪)以来的地质成矿作用仍在大陆和海洋的各种构造环境中持续地进行。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1　全球主要成矿期及其地质构造背景

Table 1　Main global metallogenic epoches and their tectonic settings

序号	主要成矿期(Ma)	大地构造背景和重要地质事件	主要矿种	主要矿床类型
1	太古宙成矿期(>2 500)	地球降温,陆核形成;原始地壳薄,成分偏基性,表层热流值高;镁铁质火山活动强烈,绿岩带发育。	Fe, Cr, Ni, Cu, Zn, Au	绿岩型金矿,阿尔果马型铁矿,火山岩型 Cu、Zn 矿,科马提岩型 Ni(Cu)矿
2	古元古代成矿期(2 500～1 800)	富钾花岗岩发育,硅铝质陆壳增生加厚,花岗质及玄武质层圈形成;原地台形成;大陆架宽广,杂砂岩、砾岩层发育。	Au, U, Fe, Cu, Zn, Cr, Ni	含 Au-U 砾岩型,苏必利尔型 Fe 矿,层状火成杂岩型 Cr-Pt-V-Ti 矿,火山岩型 Cu-Zn ±Pb 矿
3	中元古代成矿期(1 800～1 000)	稳定地台形成,宽阔盆地及狭长地槽;长期古陆风化剥蚀;大气和水圈中 O_2 剧增,氧化还原状态急剧变化,红层出现;1 600～1 400 Ma 地球膨胀明显。	REE, Pb, Fe, Mn, Cu, U, V, Ti	海相热水沉积 Pb-Zn(Cu)矿,红层铜矿,赤铁矿矿床,岩浆熔离型 Cu-Ni 矿,奥林匹克坝 Cu-U-Au 矿,白云鄂博 REE-Fe 矿,斜长岩型 V-Ti-Fe 矿
4	新元古代成矿期(1 000～600)	超大陆形成(Pangea 850 Ma);生命活动显著增长,沉积物中有机碳增加;全球性造山及褶皱带,其后发育震旦纪盖层。	Mn, P, Cu, Pb-Zn, W, Sn, Fe	海相沉积 Mn、P、Fe 矿,砂页岩型 Cu 矿,碳酸盐型 Pb-Zn 矿,火山岩型 Cu 矿,花岗岩有关 W、Sn 矿
5	早古生代成矿期(600～400)	显生宙纪元开始,板块构造活动明显;高等生物大量发育(生物大爆发);黑色岩系、硅质岩、含磷岩系发育;台地型礁灰岩广布。	Mn, P, Zn, Cu, Mo, V, Pb-In, 石油,盐类	黑色页岩型 Cu-V-U 矿,火山岩型 Cu-Pb-Zn 矿,生物成因磷矿,海相沉积 Fe、Mn、P 矿,碳酸盐岩中 Pb-Zn 矿
6	晚古生代及三叠纪成矿期(400～200)	大陆扩张,生命活动大量由海登陆,陆上高等生物剧增;陆相及海陆交互相沉积岩发育;地球膨胀明显(290～230 Ma),裂谷发育。	Pb-Zn, Cu, U, V, Al, Fe, Sn, Ag, 石油,煤,盐类	海相热水沉积型 Pb-Zn-Ag 矿;陆缘浅海 Fe、Al 矿,煤田、油气田、盐类矿床
7	晚中生代—新生代成矿期(200)	陆内造山带,盆山系统,线性构造带;地中海—环太平洋挤压—俯冲带;大洋底中脊及转换断层;花岗岩类有陆内碰撞型和陆缘俯冲型;大陆风化壳,稳定海岸带。	W, Sn, Mo, Cu, Pb, Zn, REE, Nb, Ta, Hg, Sb, As, Ge, Te, Al, Ni, Cr, Mn, Ti, Zr, 盐类,石油,煤等	斑岩 Cu(Mo、Au)矿,浅成低温热液 Au 矿,黑矿型,花岗岩型 W-Sn、Mo 矿,砂岩型 Pb-Zn 矿,塞浦路斯型 Cr 矿,蒸发盐湖,现代洋底热水型硫化物矿床,红土 Ni 矿,滨海砂矿等

3　成矿演化的主要制约因素

前面列举的成矿演化的总趋势和阶段性,是受以下几种主要地质因素制约的。

3.1　成矿元素的地球化学性质

化学元素在地幔和地壳中的丰度和化学活性,对它们的成矿时空演化有重要影响。一些大丰度元素如 Fe、Al、Ti 等,只要将其丰度富集十倍或几十倍,即可达到矿石品位,且有一定规模时,即成为矿床;而一些小丰度元素,如 Hg、Sb、As、Ag 等,则要富集到上万倍甚至十万倍,才能形成矿床。因此,前一类元素有可能经历一二次地质浓集作用即可成矿;而后一类元素则需要多次地质作用的反复浓集才有可能成矿。以铁为例,它是大丰度元素,在太古宙基性火山喷发广泛发育,铁的地壳丰度值很可能高于现代(据李志鹄估算太古宙时为 8.6 %,1987)[7],其富集比相应小于现代值,因此,就构成了前寒武纪得以成为铁矿集中期

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的物质基础。与铁类似,Cr、Ti、Co、Ni 等元素也多在地史早期(元古宙—早古生代)成矿。而 W、Sn、Be、Hg、Sb、As、Ag、Bi 等则多在地史上的较晚时期,如中生代—新生代,才形成数量多、规模大的矿床。

元素的化学活性的差异性,也明显影响不同元素的演化轨迹。稳定性元素成矿后较易保存,不易再参加到大规模的新的地球化学循环中去。而化学活动性大的元素,一般易受热动力扰动,较易于参加到多种地球化学循环中去,经历多重富集作用而成矿。成矿后也较易再活化,而不易长期稳定地被保存。

3.2 水圈、大气圈和生物圈的演化

地球表层的海平面变化、海水化学成分、大气成分和生命活动等因素,直接制约着地表的物理化学状态,因而就影响到不同类型矿床的形成和时空分布。可以古元古代与中元古代间的突变为例(约在 1 300 Ma 左),这一间断大致相当于我国的吕梁(中条)运动时期,其特点是,在河流-三角洲相中,通常的碎屑状黄铁矿和沥青铀矿不再出现,苏必利尔型条带状铁矿的比重也明显下降,而代之以红层铜矿(如著名的扎伊尔—赞比亚铜带),而基鲁纳型海相火山-沉积铁矿和克林顿(Clinton)型铁矿也相继产出[5]。这一新旧矿床类型的更替,与变价元素 Fe、Mn、Cu、U 有关,也即与沉积环境的氧化-还原状态的急剧变化有关。根据矿物共生组合特征,有理由推断这一时期的气圈和水圈中自由氧的含量剧增,CO_2 相对减少,生物活动在沉积过程中开始起到较明显的作用。

生物和有机质的成矿作用研究对探讨成矿演化有重要意义。叶连俊先生精辟地指出(1993)[8]:生物作用是"成矿时代成因的一个重要因素"。他还指出,中国和澳洲、印度、越南的一些磷矿主要产在新元古代到早—中寒武世,可能与当时海洋中菌、藻类微生物的一次空前繁茂及小壳化石第一次出现有关。震旦纪和寒武纪的蓝藻和叠层石通过其代谢作用富集形成了优质磷块岩。世界上工业铝土矿开始形成于晚古生代,可能是当时正是大陆上最早出现陆生生物的时代,有了植物及衍生的有机质,大大加强了表生风化作用,岩石组分包括硅也被大量淋失,最难溶的 Al_2O_3 得以残留富集在风化壳中。晚石炭世及以后煤矿的丰富则与陆生植物的大量繁衍有关。

3.3 地球构造运动的演化

全球构造运动涉及核幔作用和壳幔作用、大陆合分聚散以及大陆动力学等重大问题,其与地史上成矿演化的关系尚不很清晰。但总的可以认为,陆壳演化和成矿演化基本是同步的,可以概括出以下几点:

(1) 太古宙的高度活动性。陆核形成,原始地壳薄,很高的地热流值逐步降低,镁铁质火山活动广泛而强烈,形成大量与火山岩和火山-沉积岩有直接和间接关系的矿床。

(2) 元古宙稳定克拉通。在很漫长的大陆地台形成并日趋扩大的过程中,非造山成因的富钾花岗岩提供了丰富的金属矿源,经过剥蚀风化搬运,在大陆盆地或陆缘裂谷中形成众多的 Pb、Zn、Cu 等矿床,而在显著增厚陆壳中由幔源岩浆上升侵位而成的层状火成杂岩体中,则分异成巨型 Cu-Ni、Cr-Pt 和 Fe-V-Ti 矿床。

(3) 显生宙板块构造运动开始了大地构造演化成矿的新纪元。在聚敛板块接合部,壳幔的物质显著交换,组成构造-岩浆-成矿带,广泛形成火山岩型、斑岩型、花岗岩型等矿床类型。在离散板块的伸展构造体制下,幔源物质上涌,地壳增生,形成蛇绿岩套以及海相沉积有关的成矿系统;在大陆边缘的裂谷中,喷流沉积成矿作用普遍而强烈,形成大型的 Sedex

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

型矿床;活动大陆板块内部的造山成盆作用及相应的成岩成矿作用,特别是花岗岩类成矿作用尤为显著;而稳定克拉通上内生成矿微弱,但准平原风化壳上近代成矿作用为红土型 Al、Ni、Au 等成矿作用正在平稳进行。

矿床形成后在以后的地质演化中能否保存以及保存在何处,基本上也是受构造运动控制的。陆内造山带浅表环境生成的矿床,因山体迅速隆升,易受剥蚀而不易保存;而产在陆缘裂谷中的热水沉积矿床,则成矿后被上覆沉积物掩埋而易于保存,但后来常遭受不同程度的变形和变质作用。

4 结语

成矿的演化是一个复杂、繁难但又有重要科学价值和实用意义的研究领域。一定类型矿床是特定大地构造环境的标志物,深入研究成矿演化的历史轨迹所得出的丰富信息将能加深对全球历史演化过程的认识;而成矿演化研究所总结提出的矿床在时间上的分布规律能为矿产勘查指明方向。为此,笔者建议加强对成矿历史演化的研究。除系统研究成矿演化的总趋势外,还应研究矿化在时间上的突变性、继承性、节律性等;同时还要注意不同矿种、不同矿床类型在地质时间上分布的不均一性。在我国各成矿期的研究中,当前应注重研讨前寒武纪主要是元古宙成矿期以及新生代成矿期。因为,元古宇在我国广泛出露,成矿潜力大;而对新生代成矿在过去重视不够,思路不甚开阔。在研究方法上应运用多学科交叉渗透,将岩石圈演化、地球表层层圈演化、大陆动力学和成矿动力学相结合,以求深入系统地认识地史上成矿作用演化的规律性。

参 考 文 献

1 戴自希. 全球超巨型金属矿床(区). 见:走向 21 世纪的地学与矿产资源. 北京:地质出版社,1996

2 翟裕生,张湖,宋鸿林,等. 大型构造与超大型矿床. 北京:地质出版社,1997

3 李人澍. 成矿系统分析的理论与实践. 北京:地质出版社,1996

4 Meyer C. Ore-Forming processes in geologic history. *Economic Geology*, 1981, 75: 6～41

5 Veizer J. 地质历史中沉积亲缘矿石的演化以及对地壳、水圈、大气圈及生物圈演化总趋势的关系. 见:乌尔夫 K H 主编. 层控矿床和层状矿床(中译本第 3 卷). 北京:地质出版社,1979. 1～33

6 Barley M E, Groves D I. Supercontinent cycles and the distribution of metal deposits through time. *Geology*, 1992, 20: 291～294

7 李志鹊. 金属矿床地球化学. 长沙:中南工业大学出版社,1987

8 叶连俊. 生物成矿作用的思考、论据与展望. 见:生物成矿作用研究. 北京:海洋出版社,1993. 1～5

METALLOGENIC EVOLUTION AND MEGASTAGES IN EARTH'S HISTORY

Zhai Yusheng

(China University of Geoscienes, Beijing, 100083)

Abstract Numerous geological data indicate that the metallogenic evolution in Earth's history

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

shows as a progressive , irreversible process. With the lapse of time in Earth 's history , the ore-forming substances increased from a few kinds to many kinds , the ore types changed from simple to complex , the ore-forming frequency varied from low to high and the ore-forming capacity transformed from little to great. The whole metallogenic history in Earth can be divided into seven megastages with significant differences in ore-forming characteristics. They are the Archean, the Early Proterozoic , the Middle Proterozoic , the Late Proterozoic , the Early Palaeozoic , the Late Palaeozoic-Early Mesozoic and the Late Mesozoic-Cenozoic ore-forming megastages. In each megastage , there exist different ore-forming tectonic settings and ore types respectively.

The main controlling factors for the metallogenic evolution are : 1) geochemical features of ore-forming substances ; 2) the evolution of hydrosphere , atmosphere and biosphere and 3) the geotectonic movement. The preservative conditions of ore deposits also have great influence over the space-temporal distribution of ore deposits.

Key words Earth 's history , metallogenic evolution , ore-forming megastage , Earth 's outer sphere evolution

《地球历史的节律》研究短文目次

扬子地区海西—印支期层状硅质岩分布节律 …… 冯庆来(173)
古海洋缺氧事件与地球历史中水圈的节律 …… 颜佳新(174)
新疆东准卡拉麦里造山带的开合节律 …… 张旺生(184)
太阳系银河年脉动与行星热状态变化 …… 杨学祥 刘淑琴 郑文瑞等(190)
地文期、构造—气候耦合与地质灾害 …… 李长安(204)
石英纳米微粒结构及其在地球节律方面的意义 …… 张汉凯 陈敬中(221)
皖浙赣区段的加里东构造旋回的确定及其意义 …… 樊光明(222)
"开""合"节律与金、银矿化关系 …… 刘忠明(256)
中国第四纪构造活动强度增长的样式 …… 张人权 梁 杏 杨巍然(290)
陆相沉积盆地的构造与沉积演化节律耦合关系 …… 蔡雄飞(298)

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net