

大型—超大型金矿密集区的形成条件

杨金中^{1,2}, 沈远超¹, 刘铁兵¹

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

[摘要] 矿床成矿偏在性(趋群性和不均一性)是金矿床空间分布的重要特点。大型—超大型金矿密集区的形成是矿质来源、热液来源、搬运介质和赋矿空间等的有机统一;是富含成矿物质的初始地壳在长期的活化改造作用过程中,矿质发生活化、迁移,在合适的赋矿空间沉淀并被长期保存而形成的。初始地壳,尤其是前寒武纪的变质基底是金矿密集区形成的物质基础。长期的热液活动是成矿物质活化、迁移的动力,而长期的地壳活化作用,包括岩浆活动和火山活动,是热液活动的基础。韧性剪切带、拆离滑脱带、岩体的内外接触带等是大型—超大型金矿床赋存的有利空间。

[关键词] 大型—超大型金矿密集区 初始地壳 活化改造 流体活动 赋矿空间

[中图分类号] P618.51 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2001)01-0030-03

矿床成矿偏在性(趋群性和不均一性)是金矿床空间分布的重要特点。胶东、小秦岭和冀北等地区金矿床密集分布,金矿储量巨大;但在我国其它地区,甚至在其相邻地区,如鲁西地区,却很少发现成群的大—中型规模的金矿床。地质学家从各个方面对这一问题进行了研究,提出了各种观点。本文在前人工作的基础上,以胶东金矿床密集区为例,从地壳演化及成矿的角度,试图阐述我国大型—超大型金矿密集区的形成条件。

1 充足的矿质来源

大型—超大型金矿密集区的形成,必须有充足的矿质来源。尽管大量的研究认为矿质可能有 4 种来源,即地幔源、地壳源、地表源和宇宙源。但从根本上看,矿质主要来源于地幔,来源于地球早期的壳-幔分离作用。75%~85%的大陆地壳物质在太古宙就从地幔析出了(Dewey 和 Windley, 1981; Weaver 和 Tarney, 1984; 李曙光等, 1990),在后期的地质演化过程中,地壳活动的主要方式是对先存地壳的各种改造作用(陆松年等, 1997)。因此,只有那些具有大规模高金丰度初始地壳的地区才有可能形成金矿密集区。

在不同的构造地质单元内,初始地壳的矿化元素丰度存在明显的差异(表 1)。胶东、小秦岭、张宣等金矿密集区内初始地壳含金丰度均在地壳克拉克值的 10 倍以上,而夹皮沟、冀东、鲁西等地初始地壳含金丰度仅是地壳克拉克值的 3~4 倍左右。可能正是这种差异控制了矿床分布的不均一性。初始地壳规模越大,含金量越高,能够被后期改造作用或成矿作用萃取和

聚集的金含量就越多,就越有可能形成金矿密集区。

表 1 金矿床密集区初始地壳金丰度与矿化规模对比表

	胶东	小秦岭	张宣	夹皮沟	冀东	太行山	鲁西
初始地壳金丰度值(10^{-9})	28.47	45.14	20.40	5.36	8.80	5.50	7.78
浓集系数	13.00	20.61	9.32	2.45	4.02	2.51	3.55
金矿密集区面积(km^2)	2 万	1000	1400	315	5000	?	?
探明储量占全国比例(%)	18.91	6.50	2.33	3.04	3.13	0.00	0.00
矿化规模	特大型	7	2		1		
	大型	8	5	2	2		
	中型	16	10	5	5		1
	小型	60	20	10	9	7	
	矿点	200	80	82	80	163	23

据杨春亮等(1999)。

进一步的研究表明,金矿成矿作用与下层变质基底有关,金主要来源于下层变质基底。在胶东地区,金主要来源于胶东群。主要依据有:胶东群原岩主要为一套夹有玄武质科马提岩的中基性火山岩建造,它们是源于地幔具绿岩带性质的火山岩。由于地壳中金的原始来源是地幔,故胶东群提供了金的原始来源。胶东地区金矿床硫同位素分析表明,胶东群 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 5.6‰~8.5‰之间,均值为 7.2‰;矿石 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 4.3‰~13.0‰之间,均值为 8.8‰。说明两者有相似的硫源。胶东地区金矿床铅同位素研究表明,胶东群 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 17.12~17.35,均值为 17.19; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 15.25~15.45,均值为 15.40; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 37.01~37.83,均值为 37.34。矿石铅 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 16.62~

[收稿日期] 2000-11-20; [修定日期] 2000-12-01; [责任编辑] 曲丽莉。

[基金项目] 中国科学院创新工程项目(KZCX1-Y-03)和中国科学院“九五”重大黄金项目(KZ951-A1-404-02-02)专题资助。

17.62,均值为 17.08; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 14.85~15.63,均值为 15.31; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 36.82~38.45,均值为 37.68。两者铅同位素组成相似,都为正常铅。

胶东群与金矿体稀土元素分配曲线基本一致。因此,查明下层变质基底的分布状况无疑对大型—超大型金矿床的找寻具有十分重要的意义。

2 矿质的预富集作用

从金矿成矿作用角度看,后期构造-岩浆活动对初始地壳(或称初始矿源层)中金的预富集对金矿密集区的形成起了重要作用。胶东特大型金矿和大型金矿(玲珑金矿、焦家金矿、台上金矿和三山岛金矿等)均分布在胶东西部招远—掖县成矿带,而胶东东部除邓格庄金矿、金青顶金矿、蓬家乔金矿有一定的规模外,其余大部分为金矿点。可以说,胶东西部金成矿作用的强度远大于胶东东部地区,然而组成胶东基底变质岩金的丰度数据却正好相反,表现出金矿化越强烈的地区,基底金的丰度越亏损。这一结论与小秦岭和华南的研究结果一致(陈衍景,1992;刘英俊,1989;马振东,1989)。因此,从这一角度看,金矿密集区基底金的丰度高低不是决定区域成矿作用的关键因素,金矿密集区中,原富集在初始矿源层中的金,早在多期构造-岩浆活动中被活化、迁移,现在所表现的正是金的亏损。金矿密集区形成的决定性的因素是,是否存在后期构造-岩浆活动对初始地壳(或称初始矿源层)中的金进行活化和萃取,并在适合的构造环境中富集。

在后期构造-岩浆活动过程中,处于中、深层次的变质基底不仅会形成金的活化再分配,而且部分熔融和韧—脆性剪切带的发育均可能造成金的预富集或形成金矿床。胶东马家窑金矿床就是早期金矿预富集作用的产物。以华北地台为例,发生在 1.8 Ga 左右的吕梁—中条运动就使华北变质基底发生了显著的构造抬升,并在与之相随的韧—脆性剪切带、滑脱带及退变质带中形成了金的预富集。这些金的预富集部位多是后期成矿作用的最有利部位。地质勘探资料表明,在胶东金矿密集区,众多金矿床分布在变质基底与花岗岩的内接触带上,即混合岩化前锋带上(杨忠芳等,1998)。混合岩化前锋带就是金的预富集带,它是在区域混合岩化过程中,从源岩中释放出的金及其伴生金属元素随着富碱富挥发分的流体由混合岩化作用中心(或重熔作用中心)向着减温减压带进行迁移而形成的。它为中生代成矿作用提供了矿源。

3 长期的流体活动

有了充足的矿源并不等于就能提供大量成矿物质,还必须把成矿元素活化、迁移并聚集成矿。其中,长期或多次活动的热流体起着非常重要的作用。以胶东金矿密集区为例,重熔岩浆作用-大气降水混合作用的持续发展,是胶东金矿密集区形成的地质基础。在中生代成矿作用的早期(高温阶段),以岩浆水为主,与区域重熔岩浆作用有关(玲珑型和焦家型金矿床);随着成矿作用的进行,大气降水占有越来越重要的位置,最后占据主要地位(低温阶段,与青山区火山-岩浆活动有关的金-多金属矿床)。从总体上看,要形成大型—超大型金矿密集区,首先要求流体的强度大,即矿化蚀变带的规模大、水/岩比值高。计算表明,若形成中等品位(8×10^{-6})的超大矿体,至少要有 1000 m(长) $\times$ 1000 m(斜深) $\times$ 5 m(厚)的体积;若为贫矿体(3×10^{-6}),则规模必须在 2000 m(长) $\times$ 2000 m(斜深) $\times$ 3 m(厚)以上。其次,要求流体具有较强的氧化性。由于金在矿源岩中主要以 Au^0 的形式存在,因此溶液的较强氧化性可以促进 Au^0 向 Au^+ 的转化,有利于 Au^+ 与 S^{2-} 或 SH^- 结合构成富金流体迁移。只有强度大、氧化性较强的热流体长期或多次活动,才能使成矿流体富金,造成矿体变富,矿化类型增多。例如,玲珑矿石成矿时代虽为燕山期,但同位素年龄范围很宽(100 Ma~127 Ma);蓬家乔金矿床在古元古宙已经形成了金的预富集,在主成矿期(100 Ma 左右)则使矿体最终定位,并使矿化更加富集。

此外,热流体的循环流动必须有良好的环境,如不透水层的屏蔽作用。在蓬家乔金矿区,顶部是石墨片岩层和碎粉岩层,为弱透水层;中部是构造破碎带,即角砾岩层,为良好的透水层;底部为早期煌斑岩脉、糜棱岩,为弱透水层。中间构造破碎带无疑是流体运移的通道和矿质聚集的场所,因而成为有利的赋矿层位。蓬家乔金矿区 90% 以上的储量均赋存在此带内。

4 强烈的改造作用

要保证成矿热液长期活动,必须有一个稳定的热源,即金矿密集区均形成在地壳改造作用强烈的地区。由地壳构造变动、区域变质作用、重熔作用和火山-岩浆活动所标志的热事件,不仅可以生成不同性质的内生热液,也可以驱动地下水、地表水和建造水等形成外生热液;而且还能够形成温度、压力差的环境,驱动热液运移,构成热液运移的动力条件。

我国各个金矿密集区都有与金矿成生联系密切的显生宙构造 - 热事件的叠加, 在小秦岭是燕山期花岗岩的侵入和后期变质核杂岩的形成, 在冀北为加里东晚期 - 海西早期碱性岩的侵入, 而在胶东地区则为燕山期大规模壳源深熔花岗岩浆活动和燕山晚期青山组火山 - 岩浆活动的发育。在这些金矿密集区中, 不但有成矿同期的岩浆活动, 而且还有比矿化更早的多期侵入岩浆发生。它们既是成矿热液长期活动的热源, 又是富金初始地壳活化再造的产物。其本身就标志着一次强烈的地壳改造事件, 随着区域内构造 - 热事件的发生, 壳内金元素必然有一次再分配的过程, 在合适的构造部位沉淀成矿也是顺理成章的。一般而言, 岩体与围岩的接触带、岩体与岩体的接触带以及岩体内部脉岩发育区均是成矿有利部位, 易于引起岩石的活化, 利于成矿流体的上升、运移甚至沉淀成矿。裴荣富等 (1998) 认为, 胶东地区的金矿体就是在早期 (古元古代末) 韧性剪切带的基础上, 经受强烈的构造挤压 (中生代), 在由强烈改造作用形成的壳源深熔花岗岩浆活动的参与下形成的。可见, 强烈的地壳改造作用是金矿密集区形成、不可或缺的重要因素。

5 有利的矿体定位空间

初始地壳形成以后, 在长期的地史演化过程中, 特别是强烈的地壳改造作用过程中, 形成的脆 - 韧性剪切带、拆离滑脱带、侵入体的内外接触带、退变质带、断裂裂隙构造带、角砾岩化带以及物理化学性质具有明显差异的岩石接触带等都是金矿体最终定位的有利场所。其中, 在胶东地区, 应加强对韧性剪切带、拆离滑脱带等有利赋矿空间的研究。

韧性剪切带是地壳内部的一种狭长的高应变带。在韧性剪切带中伴随着变质变形作用的进行, 必然会发生矿物成分和化学成分的变化, 出现金的富集。发育在韧性剪切带中的金矿床经常成群分布、集中出现, 在空间上形成金矿化集中区, 加拿大的阿比提比金矿带、西澳的卡尔古里 - 康巴尔达金矿带、我国的小秦岭

金矿带和夹皮沟金矿带等都是这一规律的代表。韧性剪切带中的超糜棱岩带 (如海南二甲金矿)、脆 - 韧性剪切过渡区 (如河台金矿区高村金矿) 和弱应变的透镜化带均是金矿体赋存的有利空间。在胶东地区横亘着两条大型东西向的韧性剪切带, 加强该区域韧性剪切带型金矿床的研究, 对于探索该类型金矿在胶东地区的找矿远景, 无疑具有重要的意义。

大陆伸展过程中形成的拆离断层也是重要的控矿构造。胶东“焦家式”金矿床和小秦岭地区的金矿床多是受变质基底中的拆离断层控制而形成的 (胡家杰等, 1991; 王志光, 1996)。研究表明, 不仅在变质基底中的拆离断层是金矿体赋存的有利部位, 而且在沉积盖层中发育的拆离断层也是有利的赋矿部位。我国东部地区中、新生代遭受了强烈的左旋剪切作用, 在沉积盖层, 如胶莱盆地的盖层沉积中发育了大量由地壳伸展作用形成的拆离滑脱带, 局部地区已经发现金矿床, 如胶东蓬家乔金矿床、宋家沟金矿床等。因此, 我们在注重变质基底中的拆离断层控矿机制研究的同时, 应加强沉积盖层中拆离断层与金矿化关系的研究。

[参考文献]

- [1] 李曙光, 张宗清. 华北太古代上地幔钨同位素组成、演化及对该区岩石圈地幔不均一性的制约[J]. 地球化学, 1990, (4): 277 ~ 285.
- [2] 杨春亮, 沈保丰, 陆松年, 等. 金矿床密集区形成的基本条件——以华北地台为例. [J] 前寒武纪研究进展, 1999, 22(2): 18 ~ 25.
- [3] 杨忠芳, 徐景奎, 赵伦山, 等. 胶东区域地壳演化与金成矿作用地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [4] 王秀璋, 陆德复, 程景平, 等. 改造强度——中国绿岩带及变质细碎屑岩系中大型及超大型金矿床成矿的关键条件[J]. 地球化学, 28(6): 551 ~ 561.
- [5] 杨金中, 沈远超, 赵玉灵. 层间滑动角砾岩型金矿床的地质特征及形成机制[J]. 黄金科学技术, 1999, 7(3): 15 ~ 20.
- [6] 杨金中, 沈远超, 李光明, 等. 山东乳山蓬家乔金矿体变化特征及深部成矿预测. [J] 大地构造与成矿学, 1999, 23(2): 160 ~ 166.
- [7] 裴荣富, 吴良士, 熊群尧, 等. 中国特大型矿床成矿偏在性与异常成矿构造聚敛场. [M] 北京: 地质出版社, 1999, 84 ~ 87.
- [8] 胡家杰, 程小久. 山东胶东地区伸展构造与金矿床[A]. 见: 山东地质研究所. 胶东金矿地质科研讨论会论文选编, 1991, 90 ~ 95.

ON FORMATION OF THE LARGE - SUPERLARGE GOLD MINE CONCENTRATED AREA

YANG Jin - zhong, SHEN Yuan - chao, LIU Tie - bing

Abstract : Metallogenetic preferentiality is one of the basic characteristics of the gold deposits . The formation of the large - superlarge gold mine concentrated area is the unify system of mineral origin , hydrothermal source , carrying medium and the condition of ore - bearing structure . It is thought that the original crust , especially the metamorphose basement of Precambrian is the base of gold - ore formation . Long - living hydrothermal process is the force of ore - forming substance activation , and continuous reforming activations , including magma activations and volcano activations , are the base of hydrothermal process . Strike - slip faults , detachment structure are the ideal location space of large - superlarge gold deposits .

Key words : the large - superlarge gold mine concentrated area , the original crust , reforming activations , hydrothermal process , location space

本期作者简介



沈远超(1943 年 -),男,研究员(博士生导师),岩石学及矿床学专业,主要从事成矿岩石学、矿床学及金矿成矿预测工作,现为中国科学院知识创新工程黄金项目首席科学家。



李光明(1964 年 -),男,博士,助研,1986 年毕业于成都地质学院地勘系,1996 年毕业于莫斯科地质勘探学院矿床学专业,获博士学位,现就职于中国科学院地质与地球物理研究所,主要从事矿床学及成矿预测方面的工作。



张连昌(1959 年 -),男,博士,副教授,1983 年毕业于西安地质学院地质系,并于 1988 年获矿床专业硕士学位,1999 年获中国地质大学地球化学专业博士学位,现在中国科学院地质与地球物理研究所博士后流动站工作,主要从事地球化学和矿床地质学的研究。



李厚民(1962 年 -),男,1983 年毕业于西北大学地质系,1989 年毕业于西安地质学院(现西安工程学院),获硕士学位,现为西安工程学院地球科学系副教授,中国科学院地质与地球物理研究所在读博士,主要从事矿床学的教学及科研工作。



刘铁兵(1950 年 -),男,1981 年获中国科技大学硕士学位,1988 年获美国辛辛那提大学博士学位,现为中国科学院地质与地球物理研究所副研究员,矿床学专业,主要从事金矿成矿预测工作。



张启锐(1939 年 -),男,研究员,1964 年毕业于北京大学,1968 年研究生毕业于中国科学院,专业为地层学、数学地质,目前从事金矿地质及震旦系冰川地层研究工作。



邹为雷(1971 年 -),男,1995 年毕业于长春科技大学地球科学系,1998 年获长春科技大学矿床地质学硕士学位,现为中国科学院地质与地球物理研究所博士生,主要从事岩浆岩石学及金矿成矿预测研究。



石昆法(1939 年 -),男,现任中国科学院地球物理研究所研究员,研究方向为浅层地球物理,研究专业为电法勘探。



杨金中(1970 年 -),男,1994 年毕业于长春地质学院地质系,1997 年在长春科技大学获矿床学硕士学位,现为中国科学院地质与地球物理研究所博士研究生,主要从事大地构造与成矿、矿体定位预测等方面的研究工作。



荆林海(1971 年 -),男,1994 年 7 月毕业于山东矿业学院地质系,1997 年 7 月在中国科学院遥感应用研究所获地图学与遥感专业硕士学位,现攻读博士学位,主要从事遥感图像处理及遥感地质应用研究。



曾庆栋(1964 年 -),男,1986 年毕业于长春地质学院地质系,1989 年、1997 年在长春地质学院先后获得构造地质学硕士学位、矿床学博士学位,1997 - 1999 年中国科学院地质研究所博士后,现为中国科学院地质与地球物理研究所助理研究员,主要从事金矿成矿预测工作。

通讯地址:北京德外祁家豁子
中国科学院地质与地球物理研究所
邮政编码:100029