

72-77
变质地体中内生金矿床成矿模式
(型) 研究回顾^①

范永香 曾链年 高秋斌

(中国地质大学黄金研究所 武汉 430074)

摘 要 变质地体是国内外金矿床集中分布区。综述了已建立的成矿模式, 包括花岗-绿岩带成矿模式、多阶段多成因模式、地壳连续成矿模式、中酸性岩浆和基性、超基性、岩浆深源混合成矿模式等。同时联系我国实际, 指出了我国变质地体中与花岗-绿岩带有关的金矿床的若干特点和进一步找矿方向。

关键词 变质地体 内生金矿床 成矿模式(型)

变质地体中集中了国内外一系列重要内生金矿床, 尤以受构造控制的脉状金矿床分布最广。深入研究变质地体中内生金矿床的成矿规律, 对指导金矿勘查有重要意义。

1 已有的主要成矿模式

1.1 花岗-绿岩带成矿模式

花岗-绿岩带的概念首先由 C. R. Auhaeusser 对南非巴伯顿地区太古宙变质火山-沉积岩层序进行详细研究后提出, 由一套中低级变质相层状岩系及英云闪长岩-奥长花岗岩构成。绿岩带是一套变质铁镁质火山岩和沉积岩系, 分布于同构造期花岗岩类或片麻岩中。见之于南非卡普瓦尔和津巴布韦克拉通, 加拿大苏必利尔和斯雷夫构造省, 西澳的伊尔岗和皮巴拉地块, 俄罗斯的科拉半岛、乌克兰东部, 巴西中东部, 南印度

半岛及我国华北地台等地。绿岩带的序列自下而上大致分为3套岩石组合: 下段为镁铁质和超镁铁质火山岩, 包括科马提岩; 中段为钙碱性火山岩和火山碎屑岩; 上段为一套沉积岩系, 其下部为浊积岩系, 向上变为浅水沉积, 有时可以出现多个火山旋回。花岗-绿岩带的地质特征具有全球的一致性, 其形成时代主要为太古宙, 部分为古元古代, 代表了原始地壳残块的特殊岩石组合。其中有 Au、Cu、Ni、Fe 等一系列重要矿床。受绿岩带控制的金矿床总称为花岗-绿岩带型金矿床, 包括产于低变质相绿片岩中变质热液含金石英脉型金矿床、绿岩带偏上部层控金矿床(Hemlo 型)、产于硅铁建造中硫化物碳酸盐相中变质层状金矿床(Homestake 型)等。

通过近二十年来对绿岩带金矿床成矿的深入研究, 认为一般在洋壳基础上形成的裂谷型绿岩带更有利于金矿床的形成, 而在陆

^① 原地矿部矿产资源定量预测及勘查评价开放实验室资助项目。

第一作者简介: 范永香, 男, 63岁, 教授(博士生导师), 成矿规律与成矿预测及金矿地质。

1999-01-18 收稿, 李绍儒编辑。

壳基础上形成的地台型绿岩带有利于沉积变质铁矿的形成(D. I. Groves, 1987)。形成时代上,新太古代更有利于金矿床形成(R. W. Hutchinson, 1987)。多数研究者认为绿岩带是金矿床的矿源层,赋矿岩系具有较高的原始金丰度,并有相应的同位素资料;矿体受韧-脆性剪切带、多种断裂构造的控制;变质作用和复杂的岩浆活动提供了热动力条件。关于绿岩带内金矿床的富集机制,R. W. Boyle (1979) 提出变质侧分泌模式,D. I. Groves (1987) 提出变质交代模式。

花岗-绿岩带型金矿模式的提出,对指导变质地体中的金矿勘查发挥了重要作用。以加拿大地体为例,整个变质地体为200万 km^2 ,其中绿岩带只占3.9万 km^2 。后者占总面积的比例不及2%,而集中了90%以上的重要金矿床。基于矿床不均匀分布的规律,以绿岩带作为在变质地体中找金的地质前提,极大地提高了勘查效果。

1.2 多阶段多成因成矿模式

我们在研究我国胶东招(远)一掖(县)金矿带成矿规律时^[2],总结了其成矿演化过程和机制,认为成矿经历了太古宙海底基性火山岩浆喷溢,形成金丰度高的初始矿源层;新太古代到古元古代区域变质作用及混合岩化作用,导致金的初步富集;后期构造、岩浆作用的叠加改造,使金重新活化迁移而形成工业矿体。

R. W. Hutchinson^[3~4]亦强调了成矿经历了初始富集、再活化迁移到最终形成工业矿体的观点。其基本依据是金矿床明显受一套特定地层的宏观控制,即所谓金丰度高的“矿源层”,主要指太古宙海底火山活动及与海水的反应,不断从绿岩建造中淋滤出Au、Si、碳酸盐等组分,组成一套含矿岩系。在绿岩长期叠加改造过程中,可以使金得到进一步富集,如成岩过程,长英质岩体的侵入,都可以导致金和硫化物等再次活化沉积。太古宙晚期由于区域变质和构造岩浆作用,形成

大量新的含金脉体,最终部分形成金的工业矿体。

这一理论的提出,初步解释了变质地体中长期复杂的地质演化过程,确定了金矿勘查中先找矿源层,再在其中找工业矿体的宏观决策。这一论点易为人们所接受,它强调了成矿的多期次复杂过程。在我国一些金矿带(胶东、小秦岭等),工业矿体定位时间较晚,从古生代到中生代,甚至更晚。

这一模式还存在一些有待深入研究的问题,如有的矿区并不存在初始丰度高的“矿源层”(东秦岭灵宝地区),更不存在因成矿而形成的亏损“负异常”。成矿物质的来源要重新考虑。同时众多资料表明,金从“矿源层”析出,迁移能力是很有限的。

王秀璋等专门提出叠加改造成矿模式,强调我国变质地体中金矿床的形成与地台后期活化有关,特别是中生代燕山期构造岩浆叠加改造。如胶东地区主要金矿床赋存于花岗质岩石中,与国外有很大的不同。

1.3 地壳连续成矿模式

前述变质地体中金矿床主要产于绿片岩相和低角闪岩相变质岩中,属中温热液矿床(成矿温度180~400℃),后来陆续在变质更深的角闪岩相、麻粒岩相、甚至高级变质区发现了一系列重要金矿床,成矿温度可高达500~740℃以上,同时在变质很低的次绿片岩相也发现了更低温的金矿床。D. I. Groves^[5~6]通过在西澳的研究,提出从近地表的次绿片岩相到变质很深的麻粒岩相变质岩中均可有脉状金矿的产出,至少在15 km以上的地壳剖面不同深度范围内可连续形成金矿床。成矿温度在180~700℃之间,压力在100~500 MPa,其不同深度成矿的物理化学条件、围岩蚀变、矿物共生组合等都很不相同,成矿作用与变质作用同步。

这一模式的提出,对指导在变质地体中找金有重要意义。

1) 扩大了找金领域和思路,在一个区域

内产于不同变质相系的金矿床是一组有成生联系的矿床系列组合。找金范围不能只限于绿岩带内,在变质程度高的区域仍可以找到高温热液金矿床,在更低变质相可以找近地表形成的低温矿床。我国变质地体普遍变质程度较深,这一论点对指导金矿勘查更有现实意义。

2) 变质岩区形成的不同深度的金矿床,受同一规模很大的贯通地壳的巨大热液系统控制,这可以解释重要金矿床沿深断裂带、地体拼接带分布的现象。

3) 含矿流体主要来自地壳深部或地幔,所谓矿源层不是成矿的必要条件,从而使成矿物质的多来源和活化迁移的研究,走出硬套层控观点的误区。愈来愈多的资料表明,变质地体中内生金矿床成因的非岩浆观点显得软弱无力。

4) 联系到变质地体中成矿区域构造背景、成矿动力学环境,主要金矿带产于地体拼接带、深断裂带等构造环境,构造规模、波及深度和热液循环系统都很大,矿化远非只受绿岩带的控制。

1.4 中酸性岩浆和基性超基性岩浆深源混合成矿模式

A. A. 克列梅涅茨基等^[7]从成矿必需具备的两个条件——足够的物质组分和使其富集的机制出发,提出“酸性和基性熔体在岩浆源或输导岩浆通道中混合(同熔或重熔作用),是形成含金系统的主要机制。”

基性、超基性岩的金丰度较高,一般高出花岗岩类1~2倍,即基性、超基性岩富含矿质,而其衍生的花岗岩类提供了含金属的热液系统,从而提供了矿质的富集机制。这一理论得到了实验的证明。对含金的基性和酸性熔体混合过程的实验表明,即使金在原始岩浆中的含量只接近克拉克值,但在混合产物中金的含量可超过背景值的数倍;另一方面从一些重要金矿床形成的区域地质背景分析,与上述基性岩与花岗岩类岩浆系统互

相作用机制极为吻合。同时还反映在区域地球物理特征上,即由基性、超基性岩引起的磁、重力异常值最大,而边缘出现最小值,后者是浅部花岗岩体的反映。作者以乌兹别克境内穆龙套金矿床为例,认为地球物理最大异常值与地壳碰撞中心位置相一致,而最小值代表含碳陆源沉积中花岗岩体的侵入。内生金矿床主要形成在地壳碰撞期(同造山期),与壳幔同熔混合的花岗岩类有关。而非岩浆成因金矿床与碰撞后期(造山后)大陆内部裂谷环境有关。前者可形成于地壳发展的任一时期,后者主要出现在中生代。

这一模式的提出,较好解释了金矿床与基性、超基性岩和中酸性岩侵入体间的关系,更深刻地说明了金矿床形成的区域构造背景,应该引起我们足够的重视。

亦有些作者从金矿床的成因机制出发,分别提出岩浆成因模式、变质成因模式、地幔去氧-麻粒岩化模式等。我们认为前述4种模式,对指导金矿勘查更有意义。

2 中国前寒武纪变质地体中花岗-绿岩带和有关金矿床的若干特点

中国是否存在花岗-绿岩带,经过近二十年的多方面研究,沈保丰等做了大量的工作,基本取得共识,太古宙花岗-绿岩带的基本地质特征具有全球的一致性。我国的花岗-绿岩带主要分布在以太古宙变质岩系为基底的华北地台、扬子地台,塔里木地台亦有零星出露。具有与世界各地相似的早期地壳演化历史及相应的地质和成矿作用,不同程度发育Fe、Cu、Au、Cr、Ni等一系列矿床。但我国的花岗-绿岩带区域性特征明显,其规模、形态、时代、层序、岩性、变质程度及其含矿性等,与国外有很大的差别,主要特点总结如下。

1) 通过与北美、南非、西澳对比,我国的绿岩带层序发育不全,下部的超镁铁质熔

岩,即科马提岩极不发育,上部的沉积岩系亦发育不全,总体上绿岩带厚度甚薄(国外一般厚18~20 km,而我国只数公里,甚至更薄),分布范围较小,零星而分散(一般为数十到数百平方公里,国外可达数万平方公里)。

2) 我国的花岗-绿岩带同构造期变质程度较深,国外一般为绿片岩相至低角闪岩相,而我国多数达到角闪岩相,有的达到高角闪岩相甚至麻粒岩相。不少是多期叠加改造的结果,特别是显生宙以来多期构造岩浆活动的改造。

3) 众多资料表明,我国早期地壳处于不稳定的克拉通环境。如研究较深入的华北地台前寒武纪基底,在前寒武纪就不是一个统一的稳定克拉通,而是由性质不同的多个陆块拼贴而成。这是近年来研究取得的重要新认识,对研究成矿规律和确定找矿方向具有深远的影响。但还存在不少问题,尚有不同看法,有待深入研究解决。

4) 由于上述中国变质地体中花岗-绿岩带的区域性特征,决定了与其相关的金矿床亦有一系列区域性特点。

① 产于变质地体的内生金矿床,经历了长期复杂的地质作用过程,具有明显的多期、多阶段成矿特征。矿质来自金丰度较高的绿岩带某些层位中的易活化金,但也不排除沿深断裂等构造上升的深源矿质的参与。成矿流体包括变质流体、晚期花岗岩类岩浆流体以及地下水和地表水的加入等。尽管对具体的矿床成因、成矿时代等认识常有异议,但对成矿作用过程,经历了多个地质历史时期、多阶段成矿等没有大的分歧。以胶东金矿带为例,首先是赋矿围岩的形成,包括海底火山活动的普遍存在,导致金在某些层位得到初始富集,形成金丰度较高的含金建造。第二阶段是区域变质作用,包括混合岩化作用、再生岩浆作用、变质流体形成和碱交代作用,导致金的进一步活化迁移,一般规律是随变

质程度增高而金丰度降低,在局部有利构造部位可以形成工业矿体。第三阶段为后期叠加改造。古生代、中生代的构造岩浆活动,可形成不同时代的金矿床。具有继承性成矿的特点。矿床所处的地质构造位置不同,叠加改造过程也不同,如吉林夹皮沟金矿床,据王义文的研究^[8],至少经历了5次以上的变质、变形和岩浆作用的叠加改造过程。时间为大于或等于2 800、2 600~2 000~1 600(主要在1 800~1 900)、1 000和500~700 Ma,其中以1 800~1 900 Ma 区域变质、混合岩化作用最强。每次变质和岩浆作用都给金矿床的形成带来影响。又如金厂峪金矿床,同一矿床内两种不同的矿化类型,其形成时代相差甚远,受韧性剪切带控制的石英-钠长石复脉型矿体,形成于2 391 Ma (Pb-Pb法测定),而石英脉型矿体则为中生代构造岩浆的叠加产物,形成年龄为200 Ma 左右(蚀变绢云母年龄)。

② 金矿床形成历史长,工业矿体就位晚。众多资料表明,矿质来源老,而成矿时代新。围绕华北地台四缘变质地体中的金矿床产出背景为变质基底,宏观上受一定层位的控制,局部富集主要受构造控制(包括韧性、韧-脆性剪切带,不同性质的断裂、褶皱等),其成矿历史可以追溯到新太古代,但叠加成矿时代或矿体最终定位年龄多数在显生宙。在华北地台的北缘主要为海西-印支期,胶东则是燕山期,小秦岭是燕山晚期甚至更晚。可能分别与古生代的蒙古板块、中生代的太平洋板块、中生代特提斯板块的活动有关。

③ 晚期构造岩浆热事件,对金的成矿具有决定性的影响。金的成矿与剧烈地壳变动有关。我国东部中生代以来的频繁构造岩浆活动,给金矿床形成带来极为重要的影响。甚至有人提出“中生代是我国金矿床最主要的成矿期,古生代和新生代次之”^[9],而且有些金矿床赋存在花岗质岩体之中或接触带附近

(如胶东), 这在国外极为少见。我们强调不同期成矿作用的叠加改造、继承性成矿、金矿床产出于变质地体的大背景, 更有利于与全球对比和找矿的正确战略决策。不应简单地说中生代成矿(以胶东为例), 金矿床主要与片麻状玲珑混合花岗岩(元古宙)和郭家岭钾长斑状花岗岩(中生代)有关, 而该区还有一系列中生代岩体, 尚未发现有重要的金矿床。

④与国外对比分析, 产于变质地体花岗-绿岩带的金矿床, 至少包括 3 种主要类型, 即产于低变质相绿片岩中变质热液含金石英脉型金矿床(含我国焦家式蚀变岩型); 产于绿岩带偏上部序列由变质火山岩向沉积岩过渡的层控金矿床(加拿大 Hemol 型); 产于硅铁建造中(BIF)硫化物碳酸盐岩相带中变质层状金矿床(美国 Homestake 型), 而我国以第一类为主, 其他两类规模很小。

3 我国在变质地体中进一步找金的方向

从“六五”开始, 我国对金矿床的勘查和研究, 取得了举世瞩目的成绩。当前乃至未来, 金仍是勘查开发效益较好的矿种之一。就我国在变质地体中进一步找金方向, 提出以下原则性建议, 供有关方面参考。

1) 前寒武纪变质基底出露区, 仍是最重要的找金战略靶区, 已知矿带找矿潜力巨大, 特别是大型、超大型金矿床勘查, 更应引起足够的重视。在变质地体内, 超镁铁质、硅铁质火山沉积建造、含碳含硫的沉积建造都是重要的含金地质体, 围绕上述含金建造具有继承性成矿、多次构造岩浆和变质作用叠加改造, 有利于金矿床的形成。多种再生岩浆活动, 特别是偏碱性的花岗质杂岩体往往与金矿床有共生联系。

2) 深断裂构造展布决定了变质地体中金矿床空间分布的格局^[10]。已发现的重要金

矿带多沿深断裂带展布, 大型、超大型金矿床亦与规模大的构造相联系。金矿勘查的战略靶区应沿深断裂等大型构造带部署。深断裂构造的长期继承性活动, 决定了金矿床多期次的继承性历史演化。各类控制金矿床的构造, 如大型韧性、韧-脆性剪切带、推覆体、多种性质的断裂, 均可纳入深断裂构造体系进行统一解释。充分利用遥感和地理信息系统等现代技术手段, 从区域地球动力学入手, 统一解释不同构造形式之间的内在联系及其对金矿床的控制, 如在压应力为主的条件下形成的深断裂, 可伴生推覆构造; 以剪应力为主形成的深断裂, 向深部将出现韧性剪切带; 而引张环境下形成的深断裂, 可以伴生滑脱或拆离构造。不仅要重视其配套断裂含矿性评价, 同时要注意深断裂本身的含金性评价, 以探索寻找超大型金矿床。

3) 重视元古宙变质地体中金矿床勘查。元古宙是初地壳形成期, 沉积变质作用对金矿床形成有利。我国已发现四道沟、东风山、上宫、金山、沃溪等金矿床, 世界上有一系列超大型金矿床如 Witwatersrand (南非)、Olympic Dam (澳)、Muruntan (乌兹别克, 有人认为是古生代) 等。在我国找同类金矿床仍需深入探索。

4) 充分利用成矿模式指导找矿, 做到有目的、有理论指导的实践, 广泛类比, 提高识别能力。上述提到的各种模式, 有共性又有差异, 它们是基于典型矿床或地区的深入研究总结提高而成的。目前仍是多模式, 很难用一个万能模式解决各个地区的问题。绿岩带和多阶段多成因模式, 强调含金建造对金矿床的控制, 具有层控特征; 而地壳连续成矿和中酸性岩浆与基性、超基性岩浆的深源混合模式, 强调了深切下地壳以至上地幔的构造作用、矿质和流体的深部来源, 而我国则更强调后期构造岩浆变质作用的叠加成矿。

5) 继承性演化、多期叠加改造成矿, 是

我国金矿床的特色,要更注重新的金矿床类型和含金地质体的评价,用成矿系列的理论去评价多种有成生联系的金矿床类型,总结符合我国情况的成矿理论并指导勘查实践。

参考文献

- 1 孙培基等.当代中国金矿地质.北京:地质出版社,1996
- 2 范永香等.山东焦家金矿床成矿地球化学特征及成矿机理.地球科学,1987,(4):51~61
- 3 Hutchinson W. A multi-stage, multi-process genetic hypothesis for greenstone-hosted gold lodes. *Ore Geology Reviews*, 1993, 8 (3~4)
- 4 程小久.变质地体中脉金矿床的研究现状和进展.地质科技情报,1996,(2):71~77.
- 5 Groves D I. The crustal continuum model for late-Archaeon lode-gold deposits of the Yilgarn Block, western Australia. *Mineral deposits*, 1993, 2 815
- 6 孙丰月.太古代脉状金矿研究的某些新进展.地质科技情报,1994,(2):61~66
- 7 克列梅涅茨基 A A 等.金矿系统演化的普遍性是其工业矿床区域预测的关键准则.国外地质科技,1996,(6):1~8
- 8 王义文.金矿床定年方法进展及中国金矿床成矿时代.地质科技情报,1994,(2):53~57
- 9 张贻侠等.中国金矿床:进展与思考.北京:地质出版社,1996
- 10 Fan Yongxing et al. The temporal and spatial evolutionary characteristics of gold metallogeny in China. Moscow University press, 1996. 126~134

THE RECALLING OF STUDY ON THE METALLOGENIC MODELS OF ENDOGENIC GOLD DEPOSITS IN METAMORPHIC TERRANES

Fan Yongxiang Zeng Liannian Gao Qiubin

(Gold Institute of China University of Geosciences, Wuhan, 430074)

Abstract Metamorphic terranes are concentrated districts of gold deposits in the world. This paper summarizes the found metallogenic models including granite-greenstone belt model, crustal continuous model, multi-stage and multi genetic model and the model of mixture of meso-acid magma and ultra-basic magma. According to the conditions in our country, some characteristics of gold deposits in metamorphic terranes in China are put forward and the suggestion for further exploration of gold deposits are raised.

Key words metamorphic terrane, endogenic gold deposit, metallogenic model