

# 中国金矿地质研究与评述 \*

——为贺庆《黄金》创刊 20 周年而作

刘连登<sup>1</sup> 陈国华<sup>1</sup> 吴国学<sup>1</sup> 颜秉蓬<sup>2</sup> 郑树新<sup>2</sup> 李 斌<sup>3</sup> 陈志民<sup>3</sup> 郑新烟<sup>3</sup>  
(1 长春科技大学 2 武警黄金 10 支队 3 福建双旗山金矿)

**【摘要】** 概述了我国主要、最重要金矿类型和主要成矿时代,论述了我国贫太古代绿岩带金矿,分析了排山楼金矿和沃溪金矿的地质、成因和成矿时代等有关问题,阐释了我国脉型金矿的成矿地球动力学环境、金矿脉、金矿包络脉、脉型金矿类型、金矿成矿深度和金矿体分段富集等有关问题。

**关键词** 脉型金矿 矿体分段富集 成矿深度 中国  
**中图分类号** P618.51

最近 20 年,我国黄金地质研究和黄金产业发展迅猛,取得了举世瞩目的丰硕成就。我国的金矿储量居世界第 6 位,1998 年我国黄金产量 172.8t,列世界第 5,目前,我国年消耗黄金资源约 200t。因此,制约我国黄金产业持续发展的主要障碍仍是金矿资源不足,而加强黄金地质的理论与应用研究,对确保我国黄金产业稳产、高产有决定的意义。此外,我国的金矿地质及成因与国外主要产金国有许多殊为不同之处,也需要我们自己不懈努力研究。本文就我国黄金地质研究中的有关重要问题,尤其是对金矿勘查有直接影响的问题,作如下探索。

## 1 中国金矿概述:主要和最重要的金矿类型及成矿期与相关问题

当品味我国黄金地质研究丰硕结晶的同时,评述未趋共识的某些重大问题——依据什么划分金矿类型、中国主要和最重要的金矿类型、中国金矿主要成矿期、金矿地质研究中的思维等,也许对今后的理论与应用研究是有益的。

### 1.1 金矿本质特征与金矿类型

最近 10 余年,以主岩划分金矿类型,在我国广为传播。尽管这一划分貌视客观,也使一些金矿变得易于安排,但其除了说明主岩之外,其他什么也未说明(N. W. White 等,1990)。而且客观上误导的副作用甚大,甚至妨碍人们去认识金矿地质本质特征及研究金矿成因的实质问题,也不利于金矿勘查。按我国目前金矿地质研究程度,以矿床本质特征

来划分矿床类型是完全可能的。如果再考虑成矿地球动力学环境和矿床产出地质背景则更易划分。

矿床本质特征,是一组(一类)矿床与另一组(一类)矿床相区别的属性。一组(一类)矿床本质特征相同的矿床,即矿床类型。矿床本质特征相同,意味着它们有相同的成矿地球动力学环境和相同的成因,而不论其成因细节是否清楚。在金矿床类型具体命名时,要充分考虑目前普遍遵循的原则,努力将工业类型与成因类型相结合,对热液矿床应注重成矿时的深度,并在命名时予以体现。

### 1.2 中国的主要金矿类型与最重要金矿类型

正确识别金矿类型,是金矿理论和应用研究的重要内容。金矿类型对矿体定量预测和金矿勘查工作有导向作用,一些矿山金矿储量负变,从地质上说与地勘时未正确识别金矿类型有关。主要金矿类型是指目前主要的开采对象,而且储量和产量所占比重较大的独立金矿床。主要金矿类型中储量和产量所占比重最大的,称最重要金矿类型。

我国主要金矿类型为:中深脉型金矿、浅成脉型金矿、斑岩型金矿、矽卡岩型金矿和河流冲积砂金矿等。尽管卡林型金矿目前,已探明的储量较可观,但原生矿石的利用难度较大,故产量上不及上列的金矿类型。如果不考虑斑岩型和矽卡岩型矿床中的伴生金,已知的这两类主要金矿床属浅成热液金矿范畴。浅成热液金矿包括,浅成脉型金矿、浅成斑岩型金矿和浅成矽卡岩型金矿<sup>[1]</sup>。我国浅成斑岩型金矿的角砾状矿石和网脉状矿石往往难以逐一单独圈定矿体,称角砾/网脉—斑岩型金矿为宜,而且它们往往伴有冰长石化、个别矿床有明矾石化,在国外同类金矿床中较罕见<sup>[2]</sup>。

收稿日期 1999-11-25

刘连登 长春市建设街 79 号 130061

\* 本文系国家教委博士点基金资助项目(97018706)的部分研究成果

中深脉型金矿是我国最重要的金矿类型,胶东、小秦岭和夹皮沟的主导金矿类型,五龙金矿和金厂峪金矿等均属此类(刘连登,1987,1996)。

### 1.3 中国太古代绿岩带金矿质疑

形成于太古代、并产于绿岩带的太古代绿岩金矿,尽管是国外主要产金国——加拿大、澳大利亚、巴西和印度等的重要金矿类型,但其在我国金矿中的地位(所占储量比例)迄今仍争议颇大,甚至可以说是最有争议的一类金矿类型。我国太古代绿岩带金矿目前已趋同认识的是,辽北的太古代铀—铜块状硫化物矿床中的伴生金(红透山矿床的伴生金为5t)和太古代南龙王庙变质热液金矿(储量不足4t)。其他所谓的太古代绿岩带金矿,均有不同认识。“有关国际上的重要金矿类型……还没有获得一致的看法;即使绿岩带内的金矿,各地区的不同作者也有不同的看法”。“大型金属矿床类型的分布是全球性的,而金矿床类型分布则带有很强的区域性。……各大陆都各有特点,各处互不雷同”。如绿岩带型金矿在加拿大、澳大利亚、巴西等国很发育,但在原苏联则是微乎其微的地位,虽然太古宙及绿岩带在前苏联分布很广<sup>[3]</sup>。我国华北陆台已成为世界典型的早前寒武纪地质研究区之一,但太古宙时期形成的金矿“寥若晨星”,可从五个方面对其进行了探究<sup>[4]</sup>。

涂光炽(1995)为参考文献[4]所写的序中指出:“……其中,对一些问题的讨论颇为系统细致。如中国虽太古宙岩石地层分布较广,但太古宙形成且得以保留至今的金矿床却寥寥无几,这与加拿大、澳大利亚、南非等国家的情况不同。作者从各个角度,如中国太古宙及其绿岩带的组成、规模、发育演化、变质变形和岩浆活动等探讨了这个问题”。在以往研究的基础上,作者(刘连登等,1999)将我国产于太古宙绿岩带中,形成于中生代的中深成脉型金矿与国外太古宙绿岩带深成脉型金矿进行了系统的对比,进一步论述了我国太古宙时期形成的金矿微不足道及其原因。作者之所以不厌其烦的说明金矿类型分布的区域性,主要强调找金矿必须立足于我国具体的地质环境与条件,不能照搬别国经验<sup>[3]</sup>。国外太古代绿岩带金矿无例外的都形成于太古代,但成因始终是“百花齐放”的。试图用统一的成因观来解释此类金矿成因并不可取,如霍姆洛金矿和卡尔古利金矿似不能相提并论。1997年第四届国际矿床学会议(芬兰)传来信息,西澳的绿岩金矿床的成因也在试图用隐伏岩体或地幔脱气来解释(毛景文,1997)。值得指出的是,胡受奚等(1998)等的金矿新著中,也未提及我国的太古代绿岩带金矿<sup>[5]</sup>。

### 1.4 中国金矿主要成矿期及相关问题

长期以来,早前寒武纪一直被认为是我国金矿的主要成矿期,其主要原因之一是国外的早前寒武纪是主要成矿期。引述的下列金矿储量比数据(吴美德,1988)有助于说明这一点:太古代—元古代(前寒武纪)国外占70%(56.3%——我国的,下同),古生代(加里东—海西期)国外占5%(7.4%)、中生代国外占15%(10.6%)、新生代国外占10%(25.3%)。一定类型的金矿是在一定的地球动力学环境中形成的,其是地壳变革的产物,也是地壳变革的重要地质事件。认识我国金矿成矿期,必须同中国地壳变革联系起来。从这个意义上说,成矿时代是矿床本质特征之一。而且任何技术方法测定的同位素年龄值,必须以合理解释金成矿地球动力学环境和矿床地质特征为前提。此外,我国金矿床的铅同位素模式年龄绝大部分不具计时意义,在分析成矿时代时应予考虑。“我国太古代变质岩中的金矿床,绝大部分是容矿围岩时代老、而成矿时代新”。刘连登(1987,1999)论证了我国胶东、小秦岭、夹皮沟、五龙和金厂峪等五大金矿集中区的脉型金矿,形成于中生代,其中夹皮沟金矿带和金厂峪金矿形成于印支期,余者为燕山期——相对而言小秦岭文峪金矿的成矿年龄略早于胶东地区。总体说,我国浅成热液金矿的成矿时代晚于中深成的。胶东及沂沭火山裂谷带轴部、内蒙、辽宁、河北(周仗子)、黑龙江(团结沟)和东南沿海(福建双旗山、紫金山、浙江冶岭头)等的浅成热液金矿形成于白垩世,而且福建境内趋于晚白垩世早期成矿<sup>[6]</sup>。考虑这些金矿类型是我国最重要和主要金矿类型,我国金矿主要成矿期已不言而喻。

我国早元古宙变质岩为主岩的金矿床占有一定地位,但其成因和成矿时代的争议并不亚于主岩为太古代变质岩的。例如,辽宁的猫岭、排山楼和湘西的沃溪金矿等,其成因及成矿时代各家认识分歧甚大。辽宁猫岭金矿早期有形成于早元古代变质热液成因之说,目前主导的看法是与岩浆热液有关,形成于印支期。辽西排山楼金矿,目前仍有太古宙韧性剪切带金矿、晚太古代动力退变质热液金矿、太古代绿岩带金矿和中生代成矿等不同认识。据李树勋等(1994)的研究成果,尽管该矿床的矿床的成因细

张炳熹. 东北地质科技情报——金矿译文特刊的译者说明. 1990(3).

李树勋,刘喜山,刘俊来等. 辽宁阜新一锦州地区韧性剪切带与金矿床. 研究报告,1994.

节仍不清楚,但控矿的东西向韧性剪切带和穿切它的北东向韧性剪切带、形成于印支—燕山期似可肯定,金成矿于中生代似也无疑。该矿床的控矿构造是长寿断裂构造——早期为韧性剪切带、后期叠加上脆性断裂,金成矿在其后。这是我国金矿与韧性剪切关系最普遍、也是最重要的样式。考虑以下地质事实,似乎不能排除其与中生代火山—侵入岩系活动有关。第一,阜新—锦州地区,集中数个拉张地球动力学环境下成生的侏罗纪—白垩纪的火山断陷盆地。第二,锦州西郊的红石砬子典型浅成脉型金矿,直接产于次火山脉岩——花岗斑岩与流纹斑岩的接触带。排山楼金矿区已见有花岗斑岩、流纹斑岩(长约 800m,宽 2~10m),它们的金丰度属异常值(据辽宁区调队),应为成矿前的产物。第三,矿体规模相对较小,800m 的范围共圈出 35 个金矿体,斜深较小、变化在 80~370m 间。第四,存在面型蚀变带——绿色蚀带(绿色黑云母、绿泥石、阳起石和绿帘石等)、碳酸盐化(铁白云石、菱铁矿、白云石等)和黄铁绢云母化,此外还有硅化和高岭石化。总体说,面型蚀变岩组合的特征类同于青盘岩化。第五,矿石的  $Au/Ag = (3/1) \sim (2/1)$ ,金矿物绝大部分(23 件探针分析中 22 件)是高成色的自然金,成色变化在 952~877 间,均值为 925,1 件高成色的银金矿的成色为 781,此外尚有碲的金化物。金矿石中,磁铁矿含量甚多、占金属矿物的 0.5%~5%,个别达 65%,曾见磁铁矿中含 12 粒包裹金。金矿物的形态复杂。从成矿地球动力学环境,控矿条件和矿床本质特征分析,排山楼矿床更趋同于金—碲型浅成脉型金矿。以上主要是学习李树勋等(1994)研究成果的思考,其远离火山洼地、产于潜火山脉岩发育地段、确实是我国浅成脉型金矿的重要地质产状之一。

湘西金矿,尤其是沃溪金矿,长期被认为是前寒武纪—雪峰期变质热液成因。但近年人们对此说提出质疑,对此彭建堂等(1998)有系统的论述和总结。目前看,这类金矿形成于显生宙的见解应予以重视。其成因上的争议,下列问题的探索可能有意义。一是成矿地球动力学环境的研究。尽管许靖华(1987)的华南造山带的论述,目前在国内仍有不同认识,但如果金成矿的年龄是古生代和中生代,这需要进一步阐释这两个断代的金成矿地球动力学环境。二是控矿构造的性质研究。沃溪金矿的控矿构造目前仍有不同认识,受层间破碎带<sup>[5]</sup>控制,受褶皱构造控制——矿化的形态与围岩一起同步褶皱是层脉,而且矿柱与褶皱轴有关<sup>[7]</sup>。三是成矿的深度问题。张振儒(1996)据金矿物形态和扫描电镜测定的自然金生

长纹的阶梯高度,认为沃溪金矿是浅成的,并以脉石英包裹体的静水压力( $101 \times 10^5 \sim 126 \times 10^5 \text{ Pa}$ )、换算成矿的深度为 0.6~0.8km,也认为是浅成的。两种方法所获结论一致,均为浅成脉型金矿,这是很有意义的结论,但其矿床地质及成因的涵义远未被揭示,值得深究。益阳金矿外围的冲积砂金中,是我国少有的块金(狗头金)产区之一,1983 年发现的纯金重 1987.94g 的块金(毛重 2 160.8g),该矿床的原生金矿体规模较小,延深在 115~50m 间,矿石中含锰矿物(锰钴矿、硬锰矿)、金品位变化大,金矿物为特高成色自然金(910~960),花岗斑岩脉和石英斑岩脉发育地段矿化好、而且在脉岩两侧金品位一般较高(李高生,1994)<sup>[8]</sup>。而区域上燕山期为主的花岗斑岩、石英闪长岩……出露广泛(罗献林,1994)<sup>[8]</sup>。考虑沃溪金矿与益阳金矿均位于近东西向的常德幔隆带的沃溪—益阳金矿带(吴延之,1996)<sup>[8]</sup>,与益阳金矿床相同沃溪金矿的金矿物为特高成色的自然金——成色变化在 985~997,大坊金矿床主矿体含银 174.5g/t,含碲变化在 34~2800g/t,区域内有些矿床除含自然金外尚含银金矿、金银矿、碲金矿和碲银矿(罗献林,1994)<sup>[8]</sup>,因此,沃溪式层控金矿不能排除为形成于中生代的浅成热液金矿(脉型、砂卡岩型……)。当然这是对上述研究成果的“读后感”,确否待证。

我国中生代形成的金矿占全国总数的 65%,其中燕山期 62%(郭文魁等,1987)。中生代是显生宙以来我国最强烈的地壳变革期,许多金属矿床形成于这一时期(任纪舜等,1990)。金矿床的形成常和某一地区最晚而剧烈的地壳运动有关……我国东部多数属晚古生代和中生代形成的金矿,不管后者赋存岩石的年龄<sup>[9]</sup>。笔者(刘连登,1996)认为,中生代(印支期、燕山期)为我国最主要的成矿期,约占我国金矿储量的 80%,古生代(加里东期、海西期)和新生代(喜山期)各占 10%<sup>[4]</sup>,前者主要见于雪峰地区和内蒙西部,后者主要见于云南哀劳山成矿带和川西北。

### 1.5 矿床模型思维与公式化套用

“我国矿产勘查成果显著,矿床类型众多,资料积累十分丰富,也有不少研究成果,但是缺乏在国际上有明显影响的理论成果,这与我国这个资源大国的地位是不相称的”(翟裕生,1994)<sup>[10]</sup>,此说也切中我国金矿地质研究中的“时弊”。其原因甚为复杂,但“缺乏创造性思维,习惯引用外国的成矿学说来解释中国的成矿现象……”<sup>[10]</sup>;重室内测试轻现场观察,两者倒位(陶景连,1998),对矿床的诸多重要地

质特殊性的研究被认为是不上水平(谢荣举,1998);当代地球化学研究中……深入的地质学工作被实验室“冥思苦想”的构筑模式化工作所取代……使研究工作低水平的重复,等于放弃发现新的、重大的科学问题<sup>[11]</sup>;科学愈专业化和强调科研人员“生产率”(花费1美元的科研费所产生的出版物数——原注)的结果,导致不考虑其专业以外的现象,或许能够对专业内作出合适的解释,但却可能与矿床其他数据很大矛盾的结论的面世(Hodgson,1987);公式化的套用使原本有条件的假说,成为置四海皆准的学说,致使结论几乎雷同,阻碍了新的发现;以上是产生上述“时弊”的可能原因。

金矿地质和成因的研究水平,主要取决于野外对各种地质关系的查明程度和对矿床本质特征描述的深度。任何测试样品的采集应以上述的“程度”和“深度”为基础,任何测试样品的成果解释应以合理解释地质关系和矿床本质特征为前提,并为努力提高“程度”和“深度”而“锦上添花”。在我国金矿成矿物质来源研究中——岩石金丰度和介质水(热液)来源的作用被夸大,甚至误导了一些金矿地质和成因的结论。变质岩的金丰度有截然不同的三种涵义:原始值、异常值和剩余值(刘连登等,1990),不分“青红皂白”地将测定值一律视作初始值——以它作为矿源论述金矿地质和成因,只能使金矿成因问题变得更复杂、更模糊。早在1974年,D. E. White就指出,几种来源水容易混合,同位素的连续统一体是可以产生的,现在仍然不可能证明单独一种水就产生一种特定的矿床。水的来源和性质不具判别热液矿床成因的意义<sup>[12]</sup>。这既与热液中氢—氧同位素的分馏有关,也与矿床的成矿介质往往是异源的有关。在我国金矿地质研究成果中,以水的来源与性质定矿床成因不乏其例,有的甚至达到无视矿床地质特征的程度(不能解释矿床地质问题)。在金矿物描述时,绝大部分论著将裂隙金、晶隙金和包体金描述成金的赋存状态,实际它是金矿物的产状,而金的赋存状态是指金呈独立矿物、晶格金……以上种种不能不说与“套用”有关。

运用国外某时某地的某种假说或概括,来说明我国的情况或作实践的指导,是需要小心从事(张炳熹,1990)。衡量一种新提出的认识(理论或假设)是否先进,是否值得借鉴或推广,关键是审视它提出的依据和在什么条件下具解决理论和实际问题的能力。例如以主岩划分金矿类型、金矿与韧性剪切带关系等的“套用”,对推进我国金矿地质研究可以说收效甚微。

矿床模型是一种研究矿床的工作方法和矿床研究的思维方法,其意义深远。矿床成因模型提供了一种研究矿床的陈述“规范”——认识矿床从阐述其成矿地球动力学环境和成矿地质背景开始,进而描述矿床本质特征、分析成矿条件、探讨成矿物源,并以“环境与背景”、“条件”和“来源”为限制、诠释矿床本质特征的成因原因和过程——提出成矿理论和假说。这一矿床成因研究思维“链”,体现了矿床地质和成因研究由宏观到微观、由表及里和由浅入深的思辨过程,其任何一步都应是坚实的,且不容跨越。对热液脉型金矿床来说,其矿床本质特征的描述至少应包括:矿脉与矿体地质,矿石特征、矿石地球化学、蚀变岩,金矿与脉岩,成矿深度和成矿时代等。当矿体地质未描述清楚,控制矿体的形状和产状的因素未查明,实际上不具备讨论矿床成因的条件。不能诠释矿床本质特征的理论或假说,如果允许笔者坦言的话——它是很“玄”的。

## 2 金矿地质研究的首要问题:成矿地球动力学环境

一定类型的金矿产于一定的成矿地球动力学环境中,成矿地球动力学环境不同,则金矿类型也产生相应的变化。此外,控制区域金矿带或金矿行的构造,也与金成矿地球动力学环境有关联。我国相当一部分金矿地质和成因的争议,很大程度上与金成矿地球动力学环境的认识未趋同有关。排山楼和沃溪等金矿的争议,其是首要的原因。

### 2.1 我国金成矿地球动力学环境

地球动力学研究地球各层圈相互作用、能量再分布及物质运动等,其动力源自板块活动或槽台地壳变革。与其相关的,对金矿床产出和宏观展布有制约作用的区域地质构造环境,即成矿地球动力学环境。成矿地球动力学环境不同,显然与地质构造运动的力源与性质不同有关。将矿床作为成矿地球动力学环境的指示物,或者通过成矿地球动力学环境的研究,从宏观上指导对矿床的认识,是现代矿床学研究的前沿之一。

按区域规模的构造背景,将成矿地球动力学环境划分为,大洋岩石圈俯冲带、大洋扩张中心或地幔热循环中心的大陆推覆体构造带、大陆与大陆板块碰撞带、大陆内部与区域伸展构造有关的拉张火山裂谷带……考虑我国金矿床的主要成矿时代是显生宙,尤其是中生代。因此我国最有意义的金成矿地球动力学环境是:大陆内部的板块挤压碰撞带(实质是陆内俯冲带)——挤压地球动力学环境,大陆内部

或大陆边缘的火山裂谷带——拉张地球动力学环境。在华北陆台的中生代,早期金矿形成于前一种环境,而晚期金矿形成于后一种环境。在东南沿海,尤其是福建境内,金成矿主要形成于火山裂谷带的拉张地球动力学环境。我国大洋岩石圈俯冲带的地球动力学环境中的金成矿甚少,主要为台湾省金瓜石。

## 2.2 金成矿地球动力学环境与金矿床类型

约占我国黄金储量和产量 25% 的胶东半岛,其金矿类型及金成矿时代长期存在不同认识,原因之一是对该区金成矿地球动力学环境缺乏趋同的认识。胶东半岛的金成矿地球动力学环境可分两类,早期为陆内(地体)碰撞(俯冲)的挤压地球动力学环境,晚期为陆内拉张火山裂谷带的地球动力学环境,相应形成早、晚两期不同类型的金矿床。早期(郭家岭期)形成的为中深(成矿时的深度为 3~5km)脉型金矿,与郭家岭花岗岩时空相随和成因相关,岩体的形成年龄在 135~140Ma,金成矿的年龄 135~126Ma,成岩与成矿之间有时差。晚期(青山期)胶东地区形成浅成脉型金矿或浅成脉型含金银矿,而在沂沭裂谷带轴部则形成浅成矽卡岩型金矿和浅成角砾/网脉—斑岩型金矿,成矿时的深度为 0.5(或近地表)~1.5km,金矿以产于青山期火山盆地以外的潜火山脉岩集中产出地段为主,部分产于火山盆地中毗邻的次火山岩(或浅成岩)的接触带或火山机构内。相关的青山期火山-侵入岩系形成于 125~110Ma 间,金成矿年龄在 120~100Ma 间,成岩与成矿也有一定时差。

一定的金矿类型产于一定的地球动力学环境,而后者的演化、金矿类型也发生相应的转变,是普遍的金矿地质问题。不仅在胶东,在我国其他地区也屡见不鲜。但这种对应的演变关系,尤其是拉张地球动力学环境下的浅成热液金矿,在胶东金矿地质研究中并未引起应有的重视。据武警 10 支队对蓬莱后大雪金矿、栖霞百里店金矿和山城金矿的勘探成果,结合刘连登等近年对烟台金矿和以往对马家窑金矿的研究成果,认为蓬莱—烟台—百里店—马家窑(含潘子涧)—山城为一近南北向的浅成脉型金矿带(简称蓬莱—山城金矿带),其与烟台以东的牟平—乳山近南北向浅成脉型金矿带遥相对应。此外,招远十里堡含金银矿床、尹格庄金矿的晚期叠加含金银矿体,甚至莱西境内山里吴家一带的相当一部分金矿床(点),都是青山期浅成脉型金矿。有限的同位素年龄支持了对矿床地质及成因的浅成热液认识:烟台金矿穿切了潜火山石英斑岩,后者的全岩

Rb - Sr 年龄为  $112.7 \pm 5\text{Ma}$ (刘连登等,1998),马家窑金矿蚀变岩——黄铁绢英岩的全岩 Rb - Sr 等时线年龄为 125.8Ma(徐光平等,1998),蓬莱金矿穿切青山期潜火山脉岩(据苏小四口头介绍,1997);牟平—乳山矿带的邓格庄金矿蚀变岩的 Rb - Sr 等时线年龄为  $118 \pm 9\text{Ma}$ (张德全等,1995)、三甲金矿成矿晚于  $98.69 \pm 2.4\text{Ma}$  的三佛山花岗岩(罗天明,1990),它们属青山期的产物,成矿年龄主体在 120~100Ma 之间青山期。

此外,沂沭火山裂谷带的沂南浅成矽卡岩型 Fe - Cu - Au 矿床,其相关岩的闪长玢岩—石英闪长玢岩的 K - Ar 年龄为 121.6Ma(邱检生等,1998),类似的有临朐的铁寨金矿。五莲七宝山浅成角砾/网脉斑岩型金矿,形成于早白垩世破火山口,其中的浅成辉石二长岩岩株的黑云母 K - Ar 年龄为 124.9Ma、次火山石英闪长玢岩的黑云母 K - Ar 年龄为 124.1Ma<sup>[5]</sup>,金矿形成在它们之后。总之,胶东半岛及沂沭火山裂谷带与青山期有关的浅成热液金矿,无论在理论与应用研究上均应予以重视。

## 2.3 成矿地球动力学环境与区域性控矿构造

挤压地球动力学环境诱生的区域性控矿构造,控制了金矿带及金矿行。著名的东西向招—掖金矿带(其东界不越过五十里铺断裂),三山岛—苍上、焦家—新城和招远—平度北东向矿行,都是挤压地球动力学环境构造活动诱生的。但招平构造带上,有青山期近南北断裂构造的叠加,这是尹格庄矿床存在晚期含金银矿体叠加的构造原因。严格说,招平构造带是右行斜列的断裂构造组。

拉张地球动力学环境诱生的区域控矿构造相对较复杂,既有如前者的控制矿带的线形断裂构造和控制矿脉的近南北和北东向(40~50°)断裂构造,又有火山作用独有的火山机构构造。胶东半岛近南北向的蓬莱—山城金矿带和牟平—乳山金矿带属此,北东向的沂沭火山裂带,也是其成员。福建境内三条北西向金矿带——浦城—宁德(含王母山、锦屏等金矿床)、建宁—莆田(含仙公寨、双旗山、肖坂和何宝山等金矿床)和武平—云霄(含紫金山铜—金矿等)等金矿带,与白垩纪火山活动有关,但它们继承基底构造的方向。火山机构构造(环形构造或放射性构造,或环形和放射状构造并存),是我国浅成脉型金矿的重要区域性控矿构造之一。例如,河北省青龙县以卧龙岗为中心的、巨型火山机构构造,其西缘环形构造控制了半壁山金矿(前人认为属早元古代变质热液金矿)等组成的北东向金矿带,其内部的放射状构造控制了周仗子冰长石—绢云母型金矿。

研究表明,该巨型火山环形构造控制了半壁山、周仗子、牛心坨和干树沟等一系列浅成脉型金矿。又如,内蒙与辽西接壤的金厂沟梁—二道沟金矿田,是我国最大的浅成脉型金矿田。大型金厂沟梁金矿产于太古宙单塔子群变质岩内,长期被认为属变质热液金矿;大型二道沟金矿产于侏罗纪火山岩内,始终认为是火山热液金矿(即本文的浅成脉型金矿)。实际上该矿田也为一巨型火山机构,其环形构造不发育,但放射状断裂十分发育。无论金厂沟梁金矿,还是二道沟金矿,它们的一系列金矿脉均受火山机构的放射状断裂构造控制,它们均属浅成脉型金矿。以后的研究确认,它们均属冰长石—绢云母型浅成脉型金矿(林宝钦,1993)。

从宏观上把握住控制区域性矿带、矿行的构造和局部性控制矿脉构造,与成矿地球动力学环境的联系,对金矿地质及成因的研究有重要的导向作用。如对半壁山金矿、金厂沟梁金矿是受控于火山机构构造的认识趋同的话,其成因似乎不会出现争议。在矿床(矿脉)的勘查过程,正确识别控制它的构造与地球动力学环境的关系也有重要意义。相对而言,拉张地球动力学环境诱生的控矿构造的规模较小,由其控制的矿脉和矿体的规模较小,而且矿体变化甚大,这在胶东地区和福建境内均如此。

### 3 新理念:金矿脉、金矿包络脉和脉型金矿

矿脉是指延长与延深较大,而厚度较小的板状矿体。文献中通常以此涵义描述脉状金矿的,其实这是误导。矿脉确实是延长与延深较大、厚度较少的板状体,但金矿脉中的金矿体往往不呈脉状,而且完全充满金矿体的金矿脉在自然界可能并不存在,通常意义上的金矿脉需要重新认识。本文将金矿脉中分段富集的金矿体,称脉型金矿,赋予了其新的涵义。在应用研究中,为缩小矿脉的范围,以利于从矿脉中追索金矿体,可采用金矿包络脉的新概念。

#### 3.1 脉型金矿——吐故纳新的脉状金矿

脉状金矿的用语在地质文献中出现的频率甚高,而且一律将“金矿脉”与“脉状金矿”等同。实际情况是:相当一部分金矿脉中不含金矿体;金矿脉中所含的金矿体绝大部分其形态不呈“脉状”。我国规模最大的玲珑—阜山金矿田,粗略统计有200余条金矿脉,但其中含工业金矿体的不足20%;小秦岭金矿带已发现1232条金矿脉,粗略统计其中含工

业金矿体的也不足20%,可见绝大部分金矿脉是不含工业金矿体的。胶东西南部的平度1号脉,已累计求得黄金储量超过15t,一条矿脉储量超过15t在胶东地区也实属罕见。该矿脉的平度市金矿段,以3g/t为边界,共圈定22个金矿体,诸金矿体的长度变化在32~243m之间,平均厚度变化在0.88~1.93m间,矿体与矿体之间的矿化地段(习称无矿间隔),其长度变化在18~125m间。可见,金矿脉中的金矿体是相间产出的。1号金矿脉平度市矿段全长1800m,圈定工业金矿体的累计长度约为1000m,含矿率为55.6%。圈定的22个金矿体千姿百态,但唯独没有呈脉状的金矿体。

金矿脉不等于脉状金矿体,金矿体与金矿化地段在金矿脉中相间产出,而且金矿体的形态多变,但呈脉状者几乎不存在。因此本文提出金矿脉为“由热液充填方式或交代—充填方式形成的金的线形异常带,其由韵律状产出的金矿体与金矿化地段相间组成”。金线形异常的边界,是据金的背景值圈定的,利用一系列原生晕样品金的测定值,以逐步回归剔除法求得。平度1号金矿脉的边界值为0.029g/t,玲珑九曲金矿脉的边界值为0.301g/t,南墅金矿脉的边界值为0.114g/t,福建双旗山金矿脉的边界值为0.054g/t,烟台金矿脉的边界值为0.03g/t,据上述背景值(金矿脉边界值)分别圈定金矿脉。从一系列矿床的研究结果看,金矿脉的边界值大小反映了金矿化的强度和矿脉中金矿体的富集程度。以上是本文将在金矿脉中分段富集的具有工业意义的金矿体,称脉型金矿的原因。这是矿床工业和成因类型相合的金矿类型命名,与矽卡岩型金矿、斑岩型金矿的命名性质一样。尽管脉状金矿和脉型金矿仅一字之差,但已吐故纳新,两者的涵义截然不同(见表1)。

#### 3.2 金矿包络脉——浓缩的金矿脉

生产矿山的未知矿体定量预测,是重要的应用研究。其实质是在已知矿脉中,预测未知矿体。对于一些在金矿脉中高度分散的金矿体,而且垂向上(不同中段)矿体对应性差的脉型金矿,必须浓缩金矿脉以突出不同垂高对应性(图1),从而提高在金矿包络脉中预测矿体有效性。在变质岩区,以变质深成侵入体内的上壳岩包体的包络面来研究变形构造是人们熟悉的,但用“包络面”来研究矿脉尚鲜为人知。1980年,鲁蒂埃利用金属最富集的堆积点,连成矿体包络面,并在矿体包络面内研究“矿床高峰区”的重现规律。

刘连登. 1996年与朝阳地质队科技人员座谈.

表 1 脉型金矿与脉状金矿涵义对比

脉型金矿(本文)	脉状金矿(传统)
(1) 工业类型与成因类型相结合的金矿类型命名	按矿体形态的金矿类型命名
(2) 金矿脉不等于金矿体,金矿体只占金矿脉的一小部分。金矿脉,由韵律状产出的金矿体与金矿化地段相间组成	金矿脉等于金矿体
(3) 金矿脉是金的线形异常带,据其金异常背景值圈定边界,其形态既受构造裂隙或岩性界面控制,也与金矿化强度有关	金矿脉严格受构造裂隙或岩性界面控制,它们决定矿脉的形态
(4) 矿脉中的金矿体呈分段产出和分段再现,矿体的形态往往不呈脉状,延深大于延长和延长与延深近于相等者常见,延长大于延深者甚少,深/长比值变化大	金矿体呈脉状,延长大于延深,深/长值比小于 1

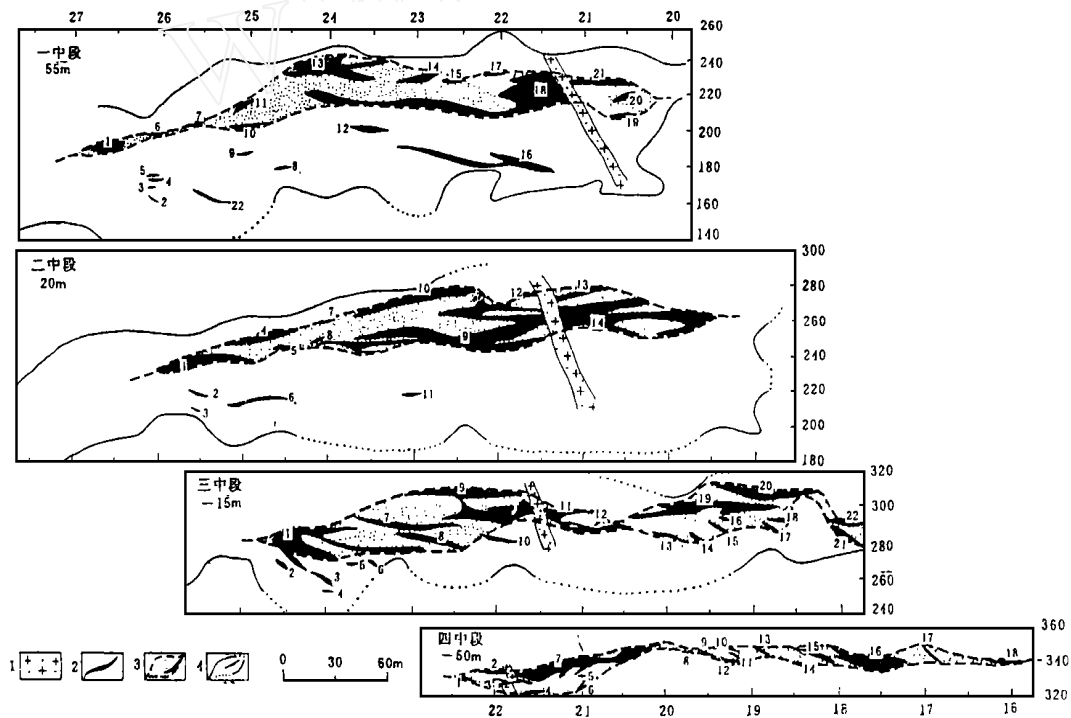


图 1 烟台浅成脉型金矿床的金矿脉、金矿包络脉和金矿体中段图

1—潜火山石英斑岩脉 2—金矿体(1.5g/t 为边界)及编号 3—金矿包络脉 4—金矿脉(0.03g/t 为边界)

金矿脉内,金矿体相对集中地段(含矿体高的地段)的上、下矿体包络面圈定的矿脉,称金矿包络脉。金矿包络脉不仅缩小了矿脉的范围,而且增强了不同垂高的对应性(图 1)。烟台金矿各中段,金矿脉内矿体占有面积百分率平均为 7.62%;而金矿包络脉内矿体占有面积百分率平均为 35.6%。金矿包络脉内矿体面积百分率是金矿脉的 5 倍,因此以金矿包络脉为预测单位,较以金矿脉为预测单位明显提高矿体定量预测的经济效益。在金矿体定量预测中,采用金矿包络脉的以下六个参数:金矿包络脉的

厚度(m),金矿包络脉内矿体的金平均品位(g/t),金矿包络脉的累积线金属量(m g/t),金矿包络脉内金矿体的累积厚度(m),金矿包络脉内金矿体面积百分率和金矿体面金属量百分率。

#### 4 古老命题的新认识:脉型金矿的成矿深度

成矿深度——矿床形成时的深度,是矿床学的重要研究内容。自现代矿床学问世以来,成矿深度就成为矿床成因分类的一个重要参数,尤其是热液矿床。尔后,因温度与深度绝对化的分类与实际情况有矛盾,深度在矿床分类中似有不屑一顾之势。1979年,H.L. Barnes 等提出,成矿深度是热液矿床的第二重要问题<sup>[12]</sup>。斯米尔诺夫(1982)《矿床

刘连登,陈国华,刘允良等. 山东烟台金矿床深部矿体定量预测及外围找矿靶区评价,研究报告. 1997.

地质学》中,将“矿床形成的深度”作为矿床形成的重要地质条件专门列节加以论述。但在金矿地质研究中很少有深入的成矿深度的描述和论述,金成矿深度似乎成了被遗忘的死角,这不能不说是件憾事。限于篇幅,本文不可能阐释所有金矿类型的成矿深度,以下仅论述我国的脉型金矿的成矿深度问题。

#### 4.1 脉型金矿的成矿深度分类

脉型金矿是一大类金矿,按矿床本质特征可对其作进一步的分类。我国的脉型金矿,按成矿时的深度可分为三类:深成脉型金矿,成矿时的深度为5~15km,典型矿例是辽北南龙王庙金矿。国外太古代绿岩带中的脉型金矿绝大部分均属深成脉型金矿,但我国此类脉型金矿甚少。中深成脉型金矿,成矿时的深度为3~5km,胶东、小秦岭、夹皮沟的绝大部分金矿、辽东五龙和冀东金厂峪金矿为典型矿例,中深脉型金矿是我国最重要的金矿类型,在国外其重要性远不如我国的。浅成脉型金矿,成矿时的深度为0.5(近地表)~1.5km,是我国主要金矿类型,习称的火山热液矿床或潜火山热液矿床均属此

例。在国外,浅成脉型金矿也是主要金矿类型,而且不乏超大型规模。国外的热泉型金矿也属本文的浅成热液金矿范畴,我国此类金矿虽有论述,但缺乏趋同认识的矿例。

#### 4.2 成矿深度是深刻影响脉型金矿矿石成分及矿床规模的重要因素

中深与浅成脉型金矿的矿石物质成分和组构明显不同,这是金矿地质研究中众所周知的。广为传播的冰长石-绢云母型、明矾石-高岭石型,是浅成热液矿床的特征蚀变矿物组合,而中深脉型金矿中是不存在的。相对而言,我国的浅成脉型金矿的硫酸盐矿物不仅数量多,而且种类也多,砷、锑和铋的硫酸盐矿物均有。我国的中深脉型金矿的硫酸盐矿物相对较少,主要为铋的硫酸盐矿物,次为砷的硫酸盐矿物,迄今未见有锑的硫酸盐矿物报道(表2)。这与中深脉型金矿矿石中铋含量高于浅成脉型金矿,而浅成脉型金矿矿石中砷和锑的含量高于中深的是一致的。从表2尚可看出,国外太古代绿岩带金矿的硫酸盐矿物与我国中深脉型金矿是截然不同的。

表2 脉型金矿的硫酸盐矿物对比

中国浅成脉型金矿	中国中深脉型金矿	国外太古代深成脉型金矿
辉砷镍矿、硫锑铜银矿、六方锑银矿、黝铜矿(烟台),银黝铜矿、辉锑铜银矿、硫银铋矿(十里堡),硫铜铋矿、银硫铜铋矿(山城),硫碲铋矿、硫碲铋铅矿(双旗山),针硫铋铅矿、哈硫铋铜铅矿、柱硫铋铅矿(何宝山)	含砷黝铜矿、斜方金铅铋矿、斜方辉铋铅矿(胶东),针硫铋铅矿、辉碲铋矿、含砷黝铜矿(小秦岭),辉碲铋矿、碲硫铋矿、针硫铋铅矿、碲铅硫铋矿(金厂峪),费硫铋铅铜矿、柱硫铋铜铅矿、硫砷铜银矿、哈硫铋铅矿、块辉铋铅矿、铜银铅铋矿、斜方辉铅铋矿、硫铜铅铋矿(夹皮沟)	黝铜矿、含银黝铜矿、辉锑铁矿、斜方砷铁矿、脆硫锑铅矿、车轮矿(绝大部分脉型金矿),砷黝铜矿、硫铜铋矿、硫砷铅铜矿、硫砷汞铜矿、车轮矿、硫砷锑汞矿、砷硫锑铅矿、辉锑铅矿、辉铁锑矿、块硫锑铅矿、脆硫锑铅矿、砷硫锑铅矿、硫砷铋汞矿、斜硫锑铋矿(赫姆洛)

中深脉型金矿的金矿物成分,与浅成脉型金矿的也明显不同,差别主要表现在以下三方面。第一,相对而言浅成脉型金矿的金矿物成色变化大,而中深脉型的则变化小。浅成脉型金矿按矿石金-银地球化学分为金-碲型、金型和金-银型三种亚类,它们的金矿物成分明显差别(M. M. 康斯坦丁诺夫, 1984)。金-碲型的双旗山金矿,其19件探针分析表明,高成色自然金为主,成色变化在987~815间,16件的平均成色为907,占总数84.2%;高成色银金矿为次,成色变化在784~763间,3件的平均成色为772,占总数15.8%,整个矿床金矿物的平均成色为837,该矿床中尚含碲金矿。胶东马家窑金矿为金型,13件探针分析表明(据陈光远等,1989),高成色

的银金矿为主,8件样品的平均成色为732(变化在782~558间),占总数的62%;低成色的自然金为次,5件样品的平均成色为825(变化在855~805间),占总数的38%,13件样品的平均成色为768。胶东烟台金矿为金-银型,26件探针分析表明,以低成色的银金矿为主,占总数的69%,18件样品的均值为570(变化在742~509间);次为金银矿,占总数的31%,8件样品的均值为460(变化在500~430间),26件样品的平均成色为536。百里店金矿的金矿物成色与烟台金矿类同,15件探针分析表明,低成色的银金矿(706~501)占87%,2件样品为低成色的金银矿(499~291)。

相对而言,蓬莱地区的金矿研究程度低,缺乏系

统的总结。长期以来,人们没有怀疑过其同玲珑等中深脉型金矿属同类的认识,现在看来必须重新认识。该区的后大雪(大柳行)属大型金矿,黑岚沟、齐沟和强沟等属中小型矿床。矿体严格受近南北向断裂构造控制,呈单脉型和网脉型产出,以前者为主,矿体穿切与烟台金矿相似的花岗斑岩、石英斑岩、闪长玢岩和煌斑岩等(苏小四口头告知,1997)。金矿物以中等成色的银金矿(成色变化在 734~755)为主,也含自然金(成色变化在 886~829 间),金矿物形态复杂,宽大石英脉(>10cm)中粒状、树枝状块金十分发育,重量变化在几千克-几十千克之间,有的块金脉厚达 2cm;在窄石英脉(<10cm)中含粒状明金集中的金包(类同于前述的司各庄石英脉中所见的粒状明金集中产出的团块状金包)——有时在 15m 范围内断续产出 3 处粒状明金包<sup>[13]</sup>。矿石中含多金属硫化物,但有雄黄和雌黄的报道(引自曹熹等,1994),主要载金矿物为石英、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿和闪锌矿,脉石矿物中含萤石。矿体上富下贫,地表以下数米至数十米范围品位富、明金多,向下延深品位降低,明金减少<sup>[13]</sup>,总体说矿体延深不超过 350m(曹熹等,1994)。孙文深(1999)推断的金成矿时代为 110~90Ma,相当于早白垩世。浅成脉型金矿中含块金或粒状明金集中的富矿包或称富矿柱,是较普遍的现象。胶东蓬莱地区黑岚沟等金矿、马家窑金矿和司各庄富金石英脉是典型矿例。福建双旗山金矿床,富含粒状明金的富矿柱甚为发育,金品位变化在数十 g/t~3 800g/t,目前查明的富矿柱分布在 622~662m 间,但其垂深为 25m。福建德化县十字格,1992 年,民采一条长 20m、深约 18m、厚约 1m 的石英脉,块金广泛发育,不乏 1cm 宽的纯金脉,民采的 15kg 矿石卖 7 万元,40kg 矿石卖 14 万元,该脉民采的总产值约 2 亿元(参加民采者陈忠七口头介绍,1998 年 11 月 19 日)。此外,福建尤溪县的官田金矿,见有长 18mm、宽 5mm、重达 610mg 的块金已报道。蓬莱—山城近南北向浅成脉型金矿带,存在金型和金-银型两类浅成脉型金矿床。

胶东中深脉型金矿,据 11 个矿床的 168 件探针分析的统计,金成色变化较大,其中 1000~900 的占 6.5%、900~800 占 23.5%、800~700 占 30.5%、700~600 占 21.5%、600~500 占 14%、500~400 占 4%,未见成色 400 以下的金矿物。文献上经常出现的随成矿深度加大金矿物成色增高,浅成金矿的金矿物成色低的论述,显然是误导。金碲型浅成脉型金矿的金矿物成色高于中深脉型的,对浅成脉型金

矿的金矿物成色应具体情况具体分析。中深与浅成脉型金矿的金矿物成色的最主要差别是,在累积频率分布上前者为单峰式,而后者为双峰式曲线。

中深与浅成脉型金矿的金矿物的第二个重要区别是,前者没有或很少有块金(俗称狗头金),而后者相对较常见。马家窑金矿中不仅见到明金的细脉,1984 年原生矿石中曾发现 87.36 两重的块金(为 2730g),在矿床附近的坡积物中先后曾发现 812.5g(1983)和 180g(1985)重的块金,显然是源自原生矿石,如此重的块金在我国同类矿床中并不多见。蓬莱地区和福建德化境内的双旗山(粒状明金富矿柱)和十字格石英脉中的块金,前文已述。国外同样矿床也有块金的报道。块金和粒状明金组成的富矿柱的产出除说明流体中金浓度大外,尚说明物化条件变化大而迅速,显然与成矿时深度较浅有关。中深与浅成脉型金矿间,金矿物差别的第三点是,显微和超显微结构(详见后文)。

成矿时的深度,对矿床规模的影响也是十分明显的。据我国 92 个浅成热液金矿、胶东 16 个浅成脉型金矿和胶东 76 个中深脉型金矿的品位和吨位(数据取自寸圭等主编的《中国黄金图册集(1992)》模型图(图 2),可以看出,绝大部分的浅成热液金矿品位和吨位均小于中深的,但浅成的具有高品位的矿床;绝大部分胶东的浅成脉型金矿的吨位小于全国同类的,但品位大于全国的同类金矿。

脉型金矿的规模与矿体的延深有明显的相关性,而成矿时深度对矿体的延深有重要的制约作用。据国外的 29 个浅成脉型金矿的矿体延深(引自 M. M. 康斯坦丁诺夫,1984 和 P. 希尔德等,1987)统计,<500m 者共 20 个、占总数的 69%,500~1000m 间者共 5 个、占总数 17%,>1000m 者共 4 个、占总数的 14%,说明浅成脉型金矿的延深主体小于 500m。不同产地浅成脉型金矿的延深不同,显然与金矿化强度和控矿构造的性质和类型有关。陈国华等(1999)以胶东中深与浅成脉型金矿的成矿深度和矿体延深,分别绘制它的成矿深度和矿体延深模型。在此基础上,编绘它们的成矿深度和矿体延深的理论标图(见图 3)。结果显示:中深脉型金矿的成矿深度和矿体延深均位于大值区,即均大于浅成脉型金矿的;中深脉型金矿时的成矿深度主体在 3km 以下,矿体的延深以 >500m 为主,而浅成脉型金矿成矿深度以小于 1.5km 为主,矿体延深主体小于 500m。

总之,中深与浅成金矿的成矿深度,反映了它们

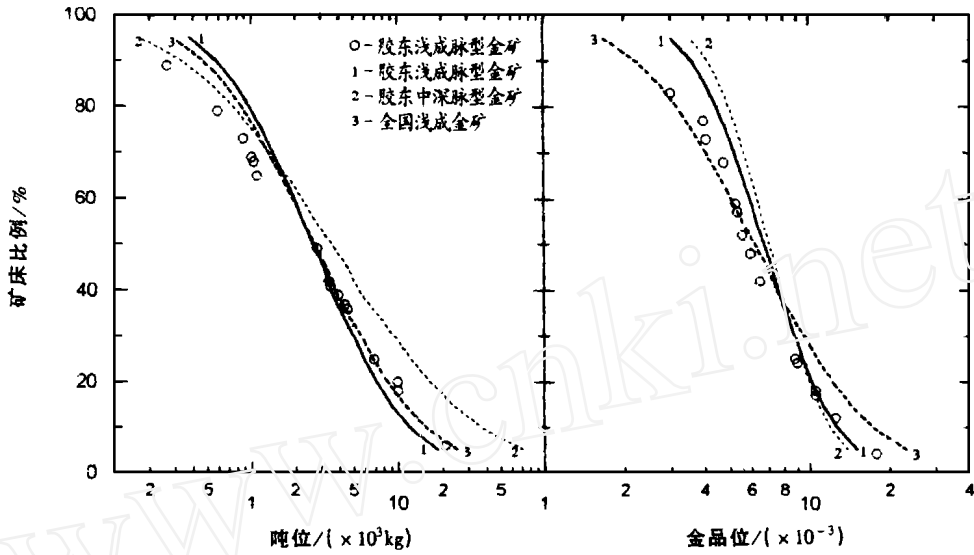


图2 中深与浅成脉型金矿的吨位、品位模型

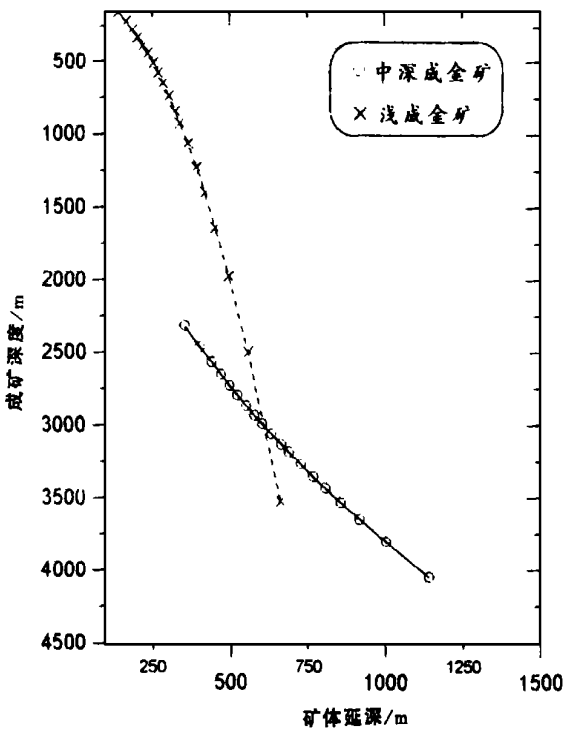


图3 胶东脉型金矿成矿深度与矿体延深的理论标图(据陈国华等,1999)

的成矿地球动力学环境、控矿的构造和成矿时的物理化学条件、成矿物质来源和矿床本质特征等的不同,其堪称最重要的矿床标型特征。此外,成矿深度对矿体延深的影响,是决定矿床规模的重要参数。脉型金矿的成矿深度研究有重要的理论意义和应用价值。

#### 4.3 矿床地质方法是确定成矿深度的重要方法

由于热液矿床的第二重要问题是成矿深度,矿

床地质研究中确定成矿时的深度必不可少。这也是本文将成矿深度列为矿床本质特征和据其划分金矿类型的原因。然而,总体说这个问题并未引起重视。目前,我国金矿地质研究中,借助流体包裹体研究估算成矿时的压力屡见不鲜,但利用压力换算成矿时的深度并与矿床本质特征相联系或说明矿床成因问题却罕见。借助流体包裹体研究,确定成矿时的深度依据是蒸气分离的压力-温度-盐度关系,由于存在水蒸汽泡、CO<sub>2</sub>和其它气体,也由于负荷条件(静水压力与岩石静压力的关系)存在不确定性(Roedder等,1980),故此法估计成矿时深度有一定误差。但作为描述性参数仍应认为是意义的。估算成矿时深度的另一种方法是,地质再造法——再造成矿时的上覆岩石(岩层)以估算成矿时的深度。由于成矿之后的侵蚀事件、沉积事件和构造事件的时间和强度难以确切的肯定,尤其是火山岩区,因此该法通常有相当大的误差,这可能是近年被较少利用的原因之一。本文认为,第三种估算成矿深度的方法——矿床地质法值得提倡。若其与第一种方法相辅相成,可望逼近真实。

矿床地质估算法,首先应着眼于成矿地球动力学环境及其诱生的控制矿带、矿行,甚至控制矿脉及矿体的构造,其理前已述。其次是,矿石矿物学记录成矿深度的研究。就浅成热液金矿而言,D. H. 科涅耶夫等(1988)已有一定的总结。笔者据对我国众多地区的中深和浅成脉型金矿的对比研究,逐渐认识到金矿物本身有标定成矿时深度的意义。

一是块金的存在与否。相对而言,矿体的块金发育或存在块金、粒状明金的富矿柱发育,往往是浅成金矿,而中深脉型金矿则基本未见存在块金的报

道。二是金矿物成色。前已述,单纯的金矿物成色高低,并无判定成矿深度的意义,但金矿物成色的累积曲线的双峰(浅成的)与单峰(中深成的)形态有判别成矿深度的意义。三是金矿物的形态和晶形。金矿物的形态具判定成矿深度的意义,相对而言浅成的形态复杂,而中深的简单。福建双旗山金矿的金矿物以形态复杂的角粒状和树枝状占多数,占统计数的 84.46%。四是金矿物显微结构和超显微结构。自然金的平行{111}的对称双晶,在浅成热液成因的晶体中尤为常见(P. Ramdohr, 1969),双旗山的自然金在矿相镜 500 倍、用 0.8% 的氰化钠溶液浸蚀后,显示完好的对称双晶。总体说,中深脉型金矿的双晶不如浅成的发育,而且双晶结构(类型)具判别金-碲型、金型和金-银型浅成脉型金矿的意义,国外已有论述。自然金超显微结构—{111}、{110}及{100}等晶面在扫描电镜下的生长晶纹(生长页片—P. Ramdohr, 1969)具有判定成矿深度的意义。自然金成生时的深度,与其生长纹的密度——每  $\mu\text{m}^2$  的条数(条数/ $\mu\text{m}^2$ )和宽度( $\mu\text{m}$ )具相关性。通常是,中深的密度小,而宽度大;浅成的则反之。在扫描电镜下,在相同面积内( $576\mu\text{m}^2$ )分别测量胶东九曲中深脉型金矿和双旗山浅成脉型金矿的自然金生长纹条数和条纹的宽度。结果为:双旗山的有 32 条,密度为 0.05 条/ $\mu\text{m}^2$ ,宽度变化在 0.4~1.2 $\mu\text{m}$  间;九曲的有 20 条,密度为 0.035 条/ $\mu\text{m}^2$ ,宽度变化在 0.9~3.6 $\mu\text{m}$  间;双旗山的密度大,但宽度小,九曲的则相反,这与它们成矿时深度不同是一致的。

脉岩形成深度相与成矿时深度对应的原则,也是判别成矿深度的矿床地质方法之一。成矿前、成矿期和成矿后脉岩,尤其是成矿前脉岩,在中深与浅成脉型金矿床内广泛发育。当查明它们的时空关系之后,若地球化学(含同位素地球化学)能证明其与金矿有某种相关性,则以两者深度相对应的原则可望判别脉型金矿的成矿深度。双旗山金矿穿切潜火山脉岩,两者有时差,但有地球化学的某种相关性,因此说明该矿床为浅成脉型金矿。该矿床的潜火山花岗斑岩在垂向和走向上与潜火山斜长斑岩相变,前者发育流纹构造——由不同颜色和结构的岩石条带以及石英和长石分层结晶的成分条带所显现、立方双锥石英有熔蚀及再生长边,后者由球粒结构。顺便指出,金矿与脉岩的关系是脉型金矿很重要的本质特征,缺乏这方面的描述和说明无疑是一种欠缺。笔者相信,排山楼金矿和沃溪金矿如若加强金矿与脉岩的时空和成因关系的研究,它们的成因及成矿时代可能将明朗化,至少可以减少某些不必要

的争议。

## 5 脉型金矿理论与应用研究的前沿:金矿体分段富集

笔者(刘连登,1980)早期的研究成果中,描述了石英脉中的含矿体率(石英脉中金矿体累积长度除以石英脉长度,乘以 100%),实际是矿脉中金矿体分段富集认识的雏型。1990 年起逐渐认识到矿脉中金矿体是分段富集的,至 1996 年这一认识趋于完善。在现有的矿床方面的论著中,很少描述矿脉中金矿体分段富集,对其概念、特征、规律和成生机制,迄今未见阐释。就脉型金矿而言,金矿体分段富集无疑是理论与应用研究的前沿。

### 5.1 金矿体分段富集的理念及研究意义

矿脉和脉型金矿的新理念,包含着矿脉中金矿体分段富集的涵义。金矿体在矿脉中分段产出和分段重现,即金矿体分段富集。金矿体分段产出特征的描述参数为:矿体长度、矿化地段长度、矿体产状、矿体的延深、矿体的延长、矿体延深与延长的比值和矿体金品位统计分析等。金矿体分段重现特征的描述参数为:矿体长度与矿化地段长度的相关性分析、矿体走向方向的重现样式、矿体侧伏方向的重现样式。

阐释矿脉中金矿体分段富集的成生原因及过程的理论,称矿体分段富集理论。其有相对的独立性,目前的金矿成矿理论并不能替代它。目前的金矿成矿理论是以金成矿地球动力学环境、成矿条件和成矿物质来源为制约,对矿床本质特征(属性)的成生原因及过程所作的理论解释或提出的成矿假说。其对矿体研究,通常它只需要说明与容矿围岩的关系(同生或后生)、形态和产状、组成的矿石自然类型等,而并未深究矿体分段产出和分段重现及其成生原因与过程。从更深层上说,只有兼顾矿体分段富集理论的成矿理论才是完美的(完整的),从这个意义上说矿体分段富集的探究是矿床学理论研究的前沿。笔者自 1990~1998 完成的 6 项脉型金矿未知矿体定量预测的研究项目,均以矿体分段富集理论为指导,并都取得了明显的探矿效益(由矿山按我们提供的矿体定量预测靶区实施生产探矿查证)。矿脉中金矿体分段富集,不仅是个重要的理论研究课题,而且也是重要的应用研究课题。

### 5.2 矿脉中金矿体分段产出特征

矿脉中分段产出的矿体,在走向和侧伏方向上,既可是串珠韵律状,也可是侧列韵律状。对于后一种分段产出的矿体,研究其侧列形式(左行侧列或右

行侧列)有重要意义。矿体及矿化地段的长度,反映矿体分段产出的韵律特征。统计走向和侧伏方向上矿体长度和矿化地段长度,并分析两者的相关性是查明韵律特征的重要研究内容。大多数矿床的矿体长度与矿化地段长度不相关,在少数矿床中矿体长度与矿化地段长度呈正相关。后一种说明,经长距离矿化地段后重现的矿体其长度也是大的。比较特殊的是,平度市矿段的1号金矿脉,在走向上矿体与矿化地段的长度不相关,但侧向上两者呈微弱的正相关。中深脉型金矿的金矿体在垂向上呈侧伏状产出是普遍现象,因此查明侧伏方向和侧伏角大小,也是研究矿体分段产出特征的重要内容。但一些规模相对较小的,呈矿体群状产出的浅成脉型金矿,其侧伏方向不明显,或用通常的方法难以确定时,可用矿体中石英脉的中轴线替而代之,实践证明其效果是相同的。双旗山金矿的矿体,由单脉型矿体组成“内核”,其外围为网脉型金矿,由于“内核”的单脉型(石英脉)矿体呈多层状产出,因此通常的方法难以确定其侧伏方向,故研究中采用石英脉的中轴线代表矿体的侧伏方向,实践证明是有效的。

矿体的延深及矿体延深与矿体长度的比值,是分段产出矿体的重要描述参数。矿体的延深及其相关问题前文已述。矿体的深/长比值不仅刻划矿体形态的参数,也是未知矿体定量预测的重要参数——用于圈定未知矿体的规模,而且也是理论研究中值得阐释的金矿体地质问题。深/长比值的研究,主要是通过统计分析,尤其是统计模型方法。如平度市矿段的1号脉的22个矿体的深/长比值介于0.21~1.36间,50%的累积频率矿体深/长比值显示深仅为长的一半(0.493),表明矿体以透镜状为主。九曲矿段的系脉型金矿,18号金矿脉共有17个矿体,深/长比变化在0.5~2.69间,50%的累积频率时深是长的1倍余(1.337),14号金矿脉共有18个矿体,深/长比值介于0.43~2.30间,50%累积频率时深与长接近一致(1.03)。浅成脉型双旗山金矿,共有54个矿体,深/长比值变化在0.43~3.33间,50%的累积频率时深与长接近相等(0.986)。此外,双旗山外围的同类金矿床——大沟、雷潭、仙公寨等,主体也是矿体深与长接近相等。值得指出的是,上述统计值证实矿脉中分段产出的矿体,其形态绝大部分不呈脉状。以上有力的说明将矿脉中分段产出的、绝大部分不呈脉状的矿体,称为脉状金矿是一种误导,其既不利于理论研究,也无益于应用研究,尽管笔者早期成果中也使用脉状金矿的用语。

### 5.3 矿脉中金矿体分段重现特征

具有内在联系的矿床或矿体,在时间和空间上的重复出现,即成矿规律。成矿规律一开始就是针对区域性的——区域成矿规律,实际上成矿规律可分为三个级别或称三个层次。第一层次为区域成矿规律。胶东西部中深脉型金矿的区域成矿规律为东西呈带和北东成行的“带行律”分布。福建境内的白垩纪的浅成热液金矿(浅成脉型金矿和浅成斑岩型金矿——紫金山铜金矿床)的区域成矿规律为,北西呈带和北东成行的“带行律”。第二层次为,矿带(或矿行)或矿田范围内的成矿规律。其包括两种形式:一是,沿控矿构造矿床呈等距性产出的“等距律”;另一是,随相关岩体的平距加大金矿床规模变小的“平距律”。胶东西部的中深脉型金矿的“等距律”和“平距律”均十分明显,福建境内浅成热液金矿的“等距律”已被初步揭示。第三层次为,矿脉内金矿体的分段富集规律,即“分段律”。分段律是矿脉中矿体分段富集的重要研究内容,也是矿脉中勘查金矿的重要依据。由于在走向上矿脉中矿体分段重现律前文已述,以下注重垂向(侧向)上的矿体分段重现规律。

金矿体分段富集规律是指,富集段内的金矿体,在走向上和侧伏方向上呈韵律状相间重现。其可概括为二类,一类是不同富集段内的重现规律,另一类是同一富集段的重现规律。据笔者掌握的资料,在我国脉型金矿的开采深度范围内,最多出现两个富集段(与)。相当一部分小型矿床,往往只存在一个富集段。从钻探控制较深的矿床分析,似乎应存在第三富集、甚至第四富集段,但目前所知甚少。划分富集段与时,两者间的矿化地段,其垂深往往超过富集段内已知矿体的平均垂深,在胶东中深脉型金矿这一间隔主体在100m左右。尽管两个金富集段之间的矿化地段,也有零星的小规模矿体产出,但其不称为富集段。因为此类矿体规模小,分布局限,而且对应性差、重现的可能性小;相反,富集段内的矿体相对规模段大,矿体数量较多,而且上下两个富集段间有对称性。就应用研究而言,必须针对富集段内预测未知矿体。业已初步查明的第一类分段富集规律是段列式,第二类重现规律是柱列和斜列式。

胶东中深脉型金矿的分段富集规律主要可归结为如下范式:段列式、柱列式。垂高上矿脉中矿体呈分段重现,而沿侧伏方向上矿体呈斜列状重现,即段列式。图4第一富集段与第二富集段的落差约为100m,其间的矿化地段有零星小矿体,10号勘探线(北东)和29号勘探线(南西)间,在侧伏方向上两个

富集段的矿体构成三个侧列行,第一侧列行主要由 5、18、16、19 和 22 号等 5 个矿体组成;第二侧列行主要由 1、7 和 13 号等 3 个矿体组成;第三侧列行主要由 2、9 和 15 号等 3 个矿体组成。侧列行间并不等距,但总体是呈侧列状分布。段列式,是胶东中深

脉型金矿的矿体在两个富集段内矿体重现的最重要范式,除平度 1 号脉外,玲珑 108 号脉和 55 号脉、九曲 4 号系脉等矿脉中的金矿体均呈段列式分段富集。

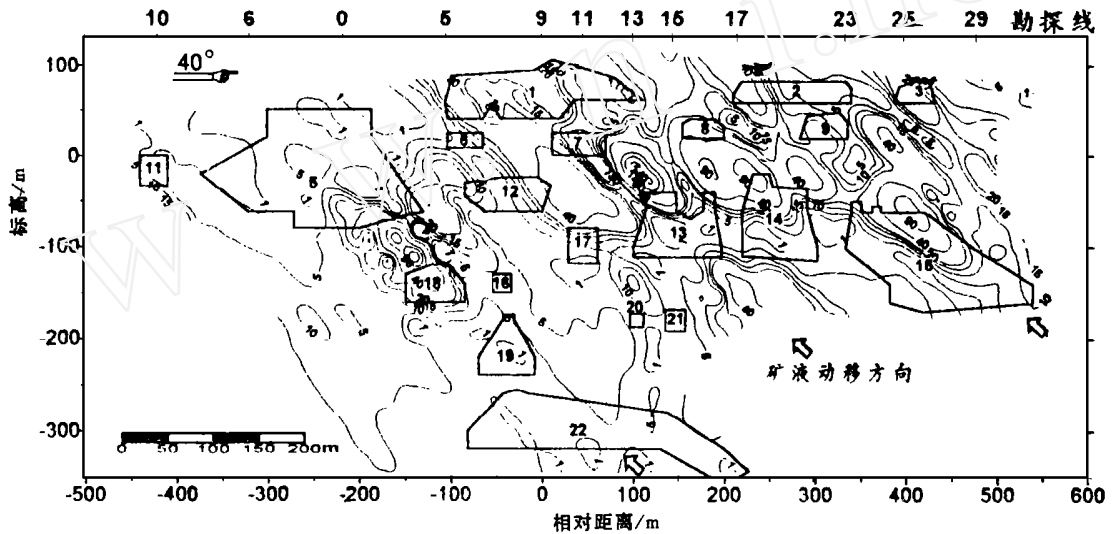


图 4 平度 1 号脉市矿段金矿体段列式分段富集

柱列式矿体分段重现是指,在一个富集段内柱状矿体(陡倾或缓倾),呈平行状分段产出。此类分段重现范式,目前主要见于胶东中深成网脉型金矿。典型的矿例是三山岛金矿,新城(?)和焦家(?)金矿可能也属此列,但专门研究不够。据山则名等(1994)的研究,三山岛金矿在 - 50 ~ - 250m 垂向范围,存在近于等距状产出的 3 个陡倾、近平行状产出的富矿柱(由富矿体群组成), - 50 ~ - 250m 垂深范围内的矿体实际位于第一富集段,该矿床实际控制深度已超过 700m。其第二富集段的矿体分段重现样式待进一步探索。矿体柱列式分段富集在理论和应用研究上,提出了硕大的想像空间。

对于只有一个富集段的小型金矿床来说,在同一富集段内矿体分段重现也是十分明显,双旗山金矿属此。该矿床的金矿体往往呈群产出,其在走向上和侧伏方向上均呈右行斜列式分段富集。在一中段(662m 垂高),金矿体(黑色)群位于高矿化异常强度(麻点所示,成矿元素异常等级之和大于 40,数字为等值线值)范围内,它们组成三个首尾相接的右行斜列式矿体群,分别在 103 ~ 100 线间和 102 ~ 104 线间、106 ~ 108 线间,对应的长宽为 150m × 14m、118m

× 16m 和 124m × 16m,自左向右矿化地段(间隔)为 21m 和 13m(图 5 的上图)。图 5 的下图是立体图,为阅读方便其与一中段对应。图中直观的反映矿体群和高矿化异常强度共同组成的峰区,呈三条右行斜列的“山脊”。双旗山矿床的矿体群不仅在走向上呈右行斜列式产出,而且在垂向上(662、622 和 587m 中段)矿体群也是右行斜列式分段重现的。限于篇幅相关图件及进一步说明从略。

### 5.5 金矿体分段富集的理论解释

无论是矿脉中矿体分段产出,还是分段重现,其与矿床成因类型息息相关。即金矿成因类型从宏观上控制了金矿体分段富集。按照本文理解的矿床成因内涵(详见前述),中深成脉型金矿属岩浆热液成因,其与相关岩体为深部岩浆同源,两者为同源岩浆分离熔融的先(岩体)后(矿体)的产物(刘连登, 1989, 1996),浅成脉型金矿与火山-侵入岩系有关,但双旗山金矿的被矿体穿切的花岗斑岩(全岩 Rb - Sr 等时线年龄为  $95.2 \pm 2.5\text{Ma}$ )与矿体(矿石和脉石英)的 Rb - Sr 等时线年龄为  $89.7 \pm 0.5\text{Ma}$ )时差为 5.5Ma,它们的地球化学(含 Pb 同位素地球化学)既有关联性,又有一定差别,因此认为两者也是深部岩

陈国华. 胶东中深脉型金矿矿体定量预测. 博士论文. 1998.

浆分离熔融的先后产物。浅成脉型金矿是来自深源岩浆但成矿深度浅,而中深脉型金矿是源自相对浅源岩浆但成矿深度相对较深。地球化学和同位素地球化学(含自然金 Pb 同位素)的研究成果表明,两类脉型金矿的岩浆源均以下部地壳物质的卷入和地幔

物质的加入,因此壳幔作用与金成矿关系应予重视。限于篇幅,关于两类脉型金矿的成矿理论问题拟另文分述。以下只讨论矿体分段富集的有关成因问题,而且不包括通常论述的有关矿质沉淀的因素,尽管其对矿体分段富集也是有意义的。

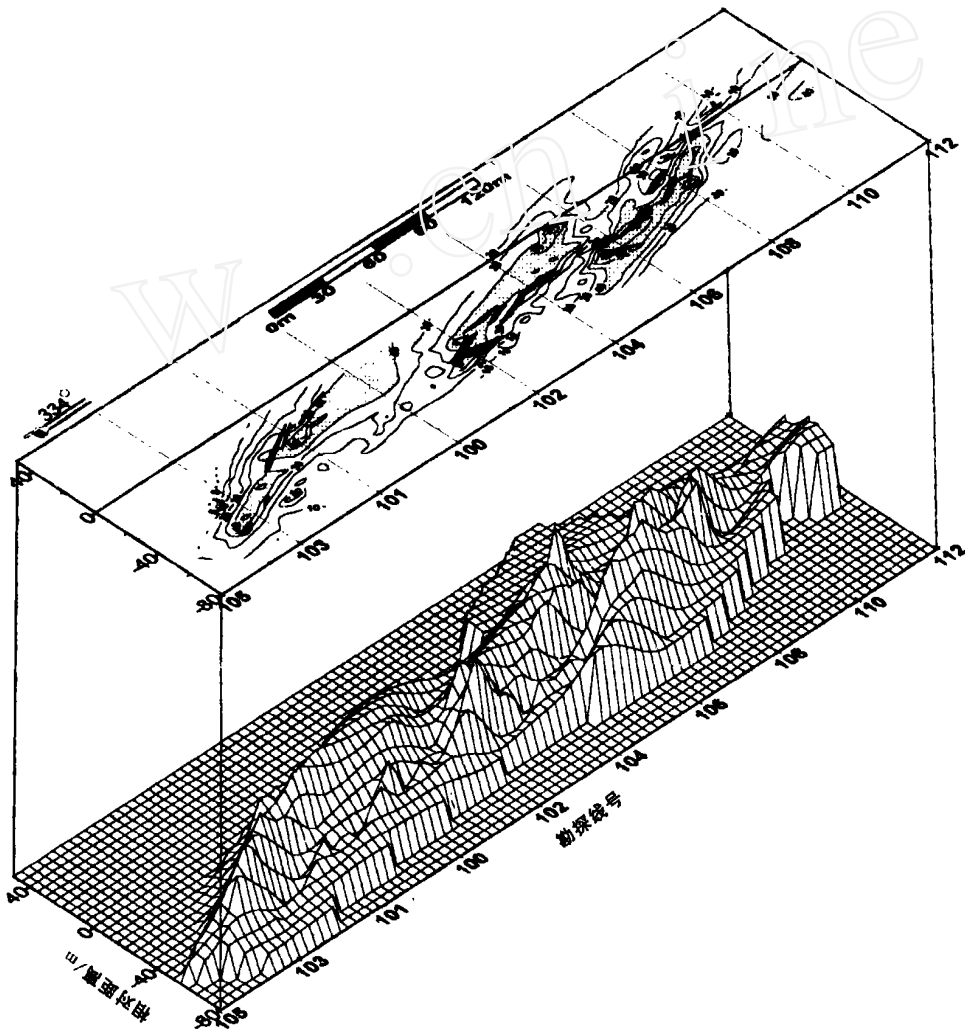


图5 双旗山浅成脉型金矿矿体群斜列式分段重现

成矿流体的动移方式与矿体分段富集。成矿流体从源区分出后,经导矿构造进入容矿空间而成矿。从段列式矿体分段富集(图4)可以看出,Au/Ag 比值等值线的长轴方向代表矿体的侧伏方向,因矿体的侧伏方向与其一致。因此认为,成矿流体是从矿体侧伏方向的构造进入容矿空间而成矿的。进一步的分析表明,主体来自深部岩浆的成矿流体,沿矿体侧伏方向的构造上升至有利部位方成矿的,而且在侧伏方向的构造中有利的成矿部位是呈韵律状相间存在的。任何一次成矿阶段的成矿流体均以这种方式、沿侧伏方向进入构造并成矿的。由于目前的测年技术,尚难精确的测定不同成矿阶段的年龄,因此每一成矿阶段的年龄以及整个流体成矿系统的寿命

(年龄)所知甚少,从而难以更细致的刻划。古潜水面与矿体分段富集。胶东中深脉型金矿平度1号脉的平度市矿段和旧店镇矿段,玲珑—阜山金矿田九曲矿段的18号系脉和4号系脉,它们的第 富集段与第 富集段的间隔均在100m左右,双旗山金矿的特高品位富矿柱高出3g/t金品位的10~20倍、甚至上百倍和3千余倍,广泛分布在662-622中段间的、富矿柱垂深范围在25m内,尽管富矿柱的矿石矿物成分明显不同,但自然金均属高成色,且成色相差无几。对此的阐释为,这一部位代表古潜水面。当成矿流体与古地下水作用时,因物理化学条件骤变而导致矿质沉淀,或者成矿流体与古地下水作用,因“沸腾”而导致矿质沉淀;或者成矿流

体与古地下水作用,因  $\text{CO}_2$  的大量释放而导致矿质沉淀。岩浆热液成矿流体,其富含  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CO}_2$  已成共识。双旗山矿床中,相当一部分富矿柱的脉石英包裹体中,经红外光谱查定缺少  $\text{CO}_2$ ,在古潜水面处当产生沸腾时,局部的压力 - 温度 - 组分的变化,  $\text{CO}_2$  自动分馏 (C. C. Cunningham, 1985),在导致富矿柱产生的同时  $\text{CO}_2$  逸出。

成矿流体中  $\text{CO}_2$  沸腾的影响。成矿流体的沸腾,既可因潜水面的影响(如上所述),也可因其他原因使温压变化所致。三山岛大型金矿床的金矿物表面常见水丘——实为富含  $\text{CO}_2$  (占 64.4 ~ 90%) 的气液包裹体(李兆麟等, 1986)。这无疑反映流体系统中温 - 压的改变而导致矿质金的沉淀,  $\text{CO}_2$  沸腾可能是胶东段列式分段富集的原因,进一步的研究正在进行中。

浅成环境的成矿流体,通常处于静水压力之下的裂隙中,地下水面的高度是控制压力和沸腾深度的主要因素。因此双旗山富金矿柱具有固定的垂高,可能反映古潜水面的位置。胶东中深脉型金矿的段列式分段富集,也有固定的垂高——第 1 和第 2 富集段之间的垂距 100m 左右,其是否也代表潜水面,正在进一步的研究中。

控矿构造对矿体分段富集的影响。热液矿床受构造控制,是众所周知的。矿体分段富集的构造影响主要为,容矿构造面的形态和产状变化处,构造应力性质、构造带的破碎或碎裂程度,主断裂与支断裂或羽状断裂交汇处,成矿前脉岩的阻挡作用,特殊构造成分——石英脉的影响。单脉型金矿或单脉/网脉型金矿(双旗山),石英脉都是控矿的特殊构造成分,由于石英脉的含矿性取决于石英脉形成后金 - 硫化物的叠加程度,因此它实际是一种控矿构造。所谓石英脉是特殊控矿构造成分是指,石英自身具控矿能力和石英经构造变动后成为控矿构造。前者为石英脉的形态(形态变化大者对控矿有利,即透镜状石英脉较板状石英脉对成矿有利)、产状变化(石英脉走向变化处或产状由陡变缓处利于矿体产出)和规模(通常是规模大的较规模小的有利)等石英脉本身固有的控矿因素。

矿脉中矿体分段富集理论,尚待进一步的研究、探索和总结,很多工作尚在深入进行中。但其已揭示的分段产出和分段重现,对指导未知矿体定量预测已起积极作用,并取得了明显的经济效益,因此这一研究无疑应予重视。矿体分段富集理论的完善,

必将使现有的中深和浅成脉型金矿的成矿理论发生深刻的变革。

## 6 结论与讨论

以矿床本质特征划分金矿类型,对理论与应用研究均有重要的意义。金矿类型分布的地域性,各国或各地的地壳变革的差异性,使世界各产金国的最重要和主要的金矿类型及成金期各不相同。以简单的套用国外的、来指导中国金矿地质研究,已经证明是索然无味的。

以矿床模型思维方法,加强躬身现场矿床地质研究,努力提高测试成果解释矿床地质的能力,坚持以成矿地球动力环境、矿床产地地质背景、成矿条件和成矿物质来源为制约,诠释金矿床的成生原因及过程,必将使中国金矿的理论与应用研究取得突破性进展。唯有中国的,才能是世界的。

中国的中深脉型金矿、浅成热液金矿(浅成脉型金矿、浅成矽卡岩型金矿和浅成斑岩型金矿),富有与国外不同的个性,加强对它们的理论和应用研究(含脉型金矿分段富集的理论与应用研究),必将为发展和完善全球金矿成矿理论作出贡献。中国是世界产金大国,任何全球性的金矿成矿理论或假说的总结,不包括中国的都是不全面和不完整的。

我国已进入“百家争鸣”的新时期,本文的争鸣是“抛砖引玉”。如果对金矿地质的探索有所裨益的话,就可堪告慰了。科学之所以称科学,是因为它不是在科学家提出的时候,而是被证实之后。

文中引用的许多作者的研究成果,已一一注明,限于篇幅相当一部分未在参考文献中一一列出,笔者向他们表示真诚的致谢和深深的歉意。笔者感谢李树勋教授,将其未发表的成果允许本文引用。笔者特别感谢涂光炽院士对刘连登(1996)关于中国太古代绿岩带金矿有关问题论述的鼓励,使我们有勇气撰写此文。

### 参考文献

- 1 刘连登,陈国华,吴国学等. 我国浅成热液金矿的分类探讨. 长春科技大学学报, 1999, (29) 3: 222 ~ 226.
- 2 刘连登,李颖,兰翔. 论角砾/网脉 - 斑岩型金矿. 矿床地质. 1999, (18) 1: 29 ~ 36.
- 3 涂光炽. 中国金矿(岩金)的主要类型(引言). 中国金矿研究新进展. 第一卷(上篇),北京:地震出版社, 1994, 1 ~ 4.
- 4 张贻侠,寸圭,刘连登等. 中国金矿床:进展与思考. 北京:地质出版社, 1996, 10 ~ 32.

# 岩金地下开采技术进步与展望

姚 香

(冶金工业部长春黄金研究院)

**【摘要】** 改革开放 20 多年来,岩金地下采矿技术不断进步,尤其是充填采矿法不断完善,各种技术经济指标不断提高。展望 21 世纪岩金采矿技术,将面临更大的挑战。

**关键词** 岩金矿山 地下开采 采矿技术 进步与展望

**中图分类号** TD853

## 1 引 言

20 世纪 70 年代以来,由于国家采取一系列扶持政策,我国黄金工业迅猛发展,1973 年产金量超过历史最高水平达 13.5t,1993 年超过 100t,1998 年达 173t,成为世界上第 5 产金大国。

砂金产金量比例逐年下降,在全国千余家黄金企业中,露天开采(包括部分露采)的岩金矿山仅 30

余座,产金量不足 10%,这说明岩金地下开采已成为我国黄金生产的主要工程。

岩金地下开采,经过改革开放 20 多年的研究,结束了浅孔留矿法一统天下的历史,现已具有 3 大方法 30 多种开采工艺;地质资源利用率也由 20 世纪 80 年代不足 50% 提高到近年的 61.5%,并有继续提高的趋势;采矿损失率及矿石贫化率有所降低,见表 1。

表 1 全国岩金采矿两率指标

项 目	年 份						
	1985 年	1987 年	1989 年	1991 年	1993 年	1995 年	1997 年
采矿损失率/ %	10.73	9.11	9.66	10.34	9.61	9.51	9.31
矿石贫化率/ %	22.76	21.73	26.49	17.69	18.62	17.75	15.69

收稿日期 1999 - 08 - 15

姚 香 长春市南湖大路 54 号 130012

- |   |   |
|---|---|
| <p>5 胡受奚,王鹤年,王德滋等. 中国东部金矿地质学及地球化学. 北京:科学出版社,1998,343.</p> <p>6 张贻侠,刘连登主编. 中国前寒武纪矿床和构造. 北京:地震出版社,1994,39~77.</p> <p>7 雷鸣波,余景明. 湘西沃溪金锑钨矿床控矿构造及其找矿意义. 黄金,1998,19(2):3~7.</p> <p>8 中国武警黄金指挥部. 湖南沃溪式层控金矿地质. 北京:地震出版社,1996,313.</p> <p>9 涂光炽. 金矿地质若干问题的探讨. 金的经济地质学,</p> | <p>北京:地质出版社,1993,361.</p> <p>10 翟裕生. 矿床地质学的发展前景和思维方法. 地质学前缘,1994,1(3):1~7.</p> <p>11 欧阳自远,张福勤. 地球演化的非均一、非均变理论模式. 地质地球化学,1995,5:1~10</p> <p>12 H.L. Barnes(1979)主编. 热液矿床地球化学. 中译本(上册),陈浩疏译,北京:地质出版社,1985,441.</p> <p>13 宫秀文,邹广松. 山东蓬莱的明金矿化及明金包. 长春科技大学学报,1998,28(2):153~155. <b>编辑:宿晓静</b></p> |
|---|---|

## A study and review of the geology of Chinese gold deposits —Writing for starting publication of Gold Journal for 20 years

Liu Liandeng et al.

(Changchun University of Science and Technology et al.)

**Abstract:** This paper generally stated the main and most important gold types and the major metallogenetic epoch. It also discussed the reason why China was poor in Archean greenstone belt gold deposits. Again, the authors analysed the related relevant questions of geology, genesis and metallogenetic epoch of Pai Shanlou and Wo Xi gold mine, and explained the questions of Chinese vein type gold deposits, such as geodynamic evolution of ore-forming, gold lode, gold enveloping lode, vein types of gold deposits, mineralization depth, stepwise enrichment and so on.

**Keyword** vein type gold deposits; stepwise enrichment of orebodies; mineralization depth; China