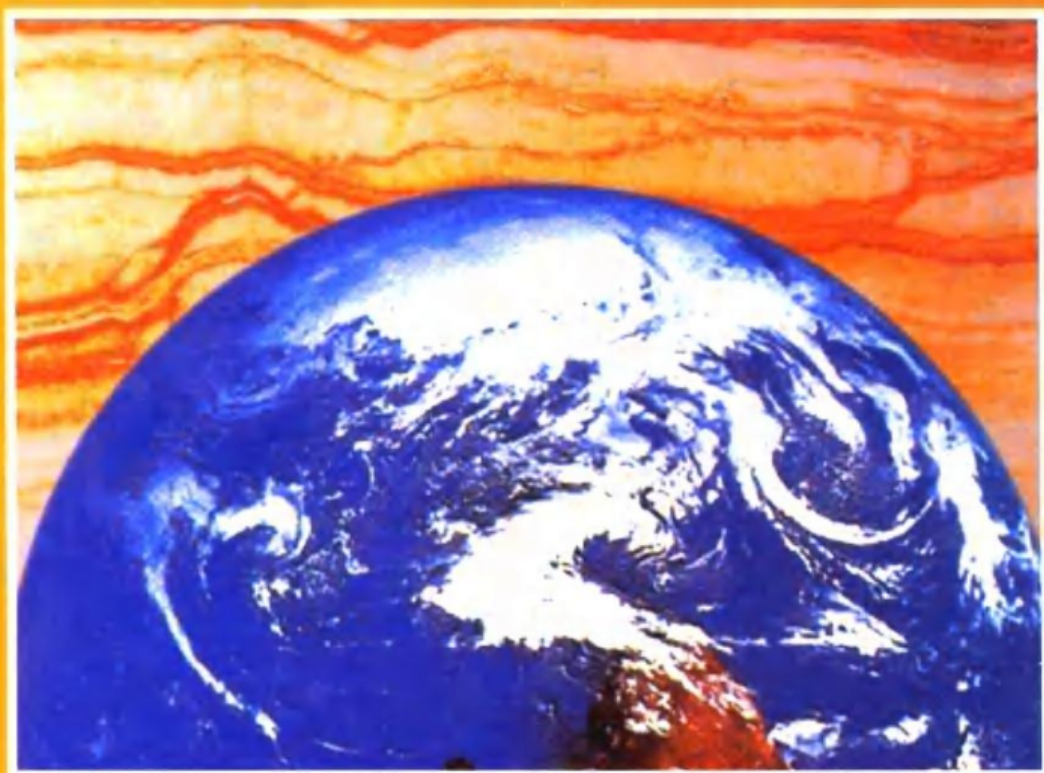
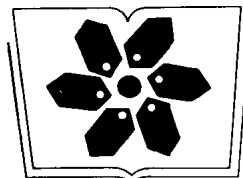
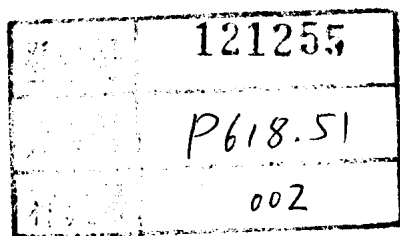


主 编：胡受奚 王鹤年 王德滋 张景荣
副主编：赵懿英

中国东部金矿地质学 及地球化学



科学出版社



中国科学院科学出版基金资助出版

sy10/26

中国东部金矿 地质学及地球化学

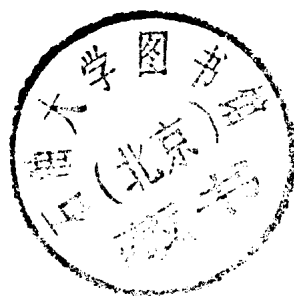
主 编：胡受奚 王鹤年 王德滋 张景荣
副主编：赵懿英



石油0108410

科学出版社

1998



内 容 简 介

本书是在国家自然科学基金大项目“中国东部金矿重要类型、成矿条件、富集规律及找矿方向”研究和近年来国内外对金矿床研究的成果基础上,结合我国东部地质实际,运用新的理论和观点,利用国家重点实验室先进的仪器和设备等,对中国东部重要金成矿带(区)和典型金矿床的地质学和地球化学进行深入研究的总结。

全书分为四篇,其内容涉及华北地台区焦家式和玲珑式等金矿床;江南金矿带层控型等金矿床;华南韧性剪切带中金矿床;滇、黔、桂、湘及有关地区的卡林型金矿床和中国东部与中生代火山-次火山岩有关金矿床的成矿构造背景、矿床特征、控矿因素、分布规律及成矿机制和模式等矿床地质学和地球化学问题。

本书内容丰富,观点新颖,有创新性,对寻找和研究金矿具有重要的理论和实际意义;对有关的生产、科研和教学单位从事理论研究的人员具有重要的参考价值,对找矿、采矿人员及大专院校师生也具有重要的参考意义。

图书在版编目(CIP)数据

中国东部金矿地质学及地球化学/胡受奚等主编. —北京:科学出版社,1998.3

ISBN 7-03-006510-7

I. 中… II. 胡… III. ①金矿床-采矿-地质学-中国②金矿床-地球化学-中国 N. P618.51

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 01140 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1998 年 3 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1998 年 3 月第一次印刷 印张: 22 1/2

印数: 1—800 字数: 510 000

定价: 48.00 元

GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF GOLD DEPOSITS IN EAST CHINA

Editors-in-Chief

HU Shouxi WANG Henian

WANG Dezi ZHANG Jingrong

Deputy Editor-in-Chief

ZHAO Yiying

Science Press, Beijing, China

1998

顾问：

徐克勤 郭令智

项目负责人：

刘英俊

Adviser：

XU Keqin GUO Lingzhi

Person in charge：

LIU Yinjun

前言

中国东部(东经 103°以东)地质构造复杂,地质演化历史曲折,在中—新生代它属于古太平洋-太平洋板块与欧亚板块强烈作用形成的活动大陆边缘,也是环太平洋成矿带的一个富有特色的重要组成部分。

中国东部发育有许多著名的金成矿带和成矿区,如华北地台东缘的胶北、辽南金成矿区;吉林板庙子-夹皮沟金成矿带;南缘的小秦岭和熊耳山金成矿带;华南板块中元古代造山带的江南金成矿带、武夷-云开-海南金成矿带;滇-黔-桂-湘卡林型金成矿区以及中生代活动大陆边缘火山弧中的金成矿带。这些成矿区、带中分布有许多不同类型的金矿床,其中分布有诸多大型和超大型矿床,长期以来中国东部金矿在储量和产量上一直在国内占据主导地位。

近 20 年来,我国国民经济的高速发展和国家的高度重视,金矿的找矿、勘探、开采和研究工作得到迅速的发展,金的产量和储量成倍地增加。但迄今依旧不能满足国家和人民对金的需求。此外,由于不少老矿山发生储量危机,面临深部和周边找矿问题,同时还由于新类型、新的矿床、矿区和矿带的不断发现,迫切需要对金矿进行深入研究。为此,国家自然科学基金委员会批准了由南京大学地球科学系牵头申请的“中国东部金矿重要类型、成矿条件、富集规律及找矿方向”项目(编号 9488010),于 1989 年元月正式批准启动,至 1992 年 12 月结束,历时 4 年,项目总资助经费 123 万元。

项目由刘英俊教授主持,并成立以刘英俊为组长,由胡受奚教授、王德滋院士、杨敏之研究员、陈克荣教授、盛中烈高级工程师和张景荣教授组成的学术领导小组,项目设以下 4 个二级子课题:

- 1) 华北早前寒武纪结晶基底区重要金矿床的成矿和分布规律的研究,由胡受奚主持。
- 2) 中新元古代(部分古生代)浅变质岩系中重要金矿床的研究,由刘英俊主持。
- 3) 古生代及中生代海相碳酸盐岩及碎屑岩中卡林型及类卡林型金矿的研究,由盛中烈主持。
- 4) 中国东部与中生代陆相火山作用有关的金成矿条件及远景预测的研究,由王德滋主持。

本项目以南京大学地球科学系为依托,参加单位包括北京大学、华东有色金属地质勘探公司、浙江大学、青岛海洋大学、天津冶金工业部地质研究院、中山大学、江苏省地质矿产局及安徽省地质矿产局等 9 个单位。参加研究人员达 135 人(高、中、初级研究人员比例为 1:1:1.5)。项目聘请徐克勤和郭令智两位院士为学术顾问,指导研究工作。项目以“活动论”为学术指导思想,抓住金成矿的“源、运、储”关键问题,结合中国东部具体的地质实际条件,从国内外对金矿研究现状出发,瞄准科学的前沿,着重理论创新,把地质构造背景、金成矿作用和地球化学研究紧密结合,保证项目在高起点上开展深入研究。

第一子课题从基础地质研究入手,运用板块构造和地体构造、地质演化的多期多阶段性、成矿物质在不同来源流体作用下活化转移、沉淀富集、成岩与成矿关系、成矿的构造环境和控制条件等理论和观点,总结成矿机制和拟定成矿模式等。

参加该课题研究的单位和人员有:南京大学:胡受奚、徐克勤、赵懿英、陈泽铭、富士谷、周顺之、胡志宏、严正富、陈衍景、郭继春、吴燕玉、刘道忠、王年生、孙晓明、倪培、卢冰、季海章、孙冶东、徐兵、于昕。天津冶金工业部地质研究院:杨敏之、罗天明、黄国君、李治平、敬成贵、张民、王正坤。浙江大学:兰玉琦、叶瑛、柳志青、丁炳亮、刘恩怀。青岛海洋大学:张保民、曹钦臣、赵广涛、韩宗珠、徐增亮。山东省地质矿产局科研所:徐金方。冶金工业部山东烟台第三勘探队:杨士望。

第二子课题主要从成矿的地质构造背景、地体构造、韧性剪切带对金成矿的控制、含金建造的地球化学特征及金亏损与富集共轭的规律、生物-有机地球化学对层状及层控金矿床形成的意义等方面进行研究。

参加研究的单位和成员有:南京大学:刘英俊、王鹤年、马东升、陈骏、邱德同、季峻峰、李扬、牛贺才、陆建军、张干、张金春、乔恩光、沙鹏、余养成、朱恺军、范宏瑞、崔卫东、戴爱华、徐亮、杨建文、李红艳、曲晓明。中山大学:俞受均、陈志中、单惠珍、陈炳辉、邓铁殷、李强。华东有色金属地质勘探局:张守韵、张立功、刘毅、高鑫、余绍桂、张若琳等。

第三子课题主要从金矿形成构造环境、地层的含金性、岩相岩性和构造的控矿意义、生物和有机物及不同类型成矿溶液对金搬运和富集的重要性开展研究。同时,讨论金在矿石和矿物中的赋存形式。

参加研究的单位和成员有:南京大学:张景荣、陆建军、朱恺军、朱法华、杨帆、杨书桐、张晓豪、王尉、阮惠础、储同庆等。安徽省地质科学研究所:盛中烈、嵇福元、李音平、周栗等。

第四子课题主要从火山岩的时空分布、火山岩系的特征和成因、火山作用与金成矿关系,与火山作用有关的金矿床类型以及火山机构对金矿床的控制等方面进行研究。

参加研究的单位和成员有:南京大学:王德滋、任启江、邱检生、陈克荣、华仁民、曾家湖、邱德同。北京大学:刘本立。江苏省地质矿产局:陈上达和刘聪等。

1993年3月国家自然科学基金委员会组织了由涂光炽院士、程裕淇院士、宋叔和院士、常印佛院士、陈毓川研究员、翟裕生教授、蒋志研究员、黎彤教授、李兆麟教授、陈先沛研究员组成的专家组,对本课题进行了评审。

评审组肯定的主要理论成果如下:

1) 早前寒武纪结晶基底重要金矿床课题对鲁东、豫西、辽东半岛的前寒武纪地体构造与金矿化的关系作了深入分析,提出“O”型花岗岩绿岩地体,经多期多旋回构造岩浆作用,特别是中生代强烈陆内造山运动是金矿床成矿的主要控制因素。

2) 中新元古代(部分古生代)浅变质岩系中重要金矿课题的建立,并发展了含金建造理论,在江南金矿化集中区和其他地区发现大面积地层金贫化与金矿床共生的现象,指出大规模流体运移在金矿成因理论中的重要意义。

3) 古生代和中生代海相碳酸盐岩及碎屑岩中的卡林型金矿课题着重研究了生物-有机质在含金建造和金矿形成中的重要作用,深入讨论了不同性质和来源的成矿热液对金矿的控制和矿化特点上的差异。

4) 中生代陆相火山-次火山作用有关金矿课题,建立了我国东部橄榄粗安岩省,对岩省发育的大地构造背景和壳幔特征作了讨论。系统研究了浅成低温热液金矿床,提出合理的分类方案,并指出在我国东部该类矿床有一定的远景。

评审组还肯定本项目的研究成果有多方面的创新和先进性,如提出前寒武纪结晶基底中“O”型绿岩地体拼贴与金矿化的关系;某些地区大面积金亏损与金成矿共生关系的发现;卡林型金矿中石油卤水富集金的地球化学过程研究和火山岩型金矿中橄榄粗安岩省的建立等;在技术方法数据方面,如激光拉曼光谱碳质地温计方法的建立,菌藻聚金的实验研究等。

评审组认为:项目的研究成果为优秀成果,其理论成果在系统性、综合性以及在区域构造演化、岩石学、矿床地质和地球化学结合方面已达到国际先进水平。评审组指出的尚待完善、深入和具体化的某些问题,通过近几年的进一步研究都有不同程度的完善、提高和深入,个别问题也正在深入研究之中。

为了把这项研究成果深化,在专家组评审结束后,即着手组织力量撰写《中国东部金矿地质学及地球化学》专著,目的是将工作中的一些新发现、新认识、新进展,从理论上进行总结和提高。由于项目负责人刘英俊教授长期生病,经研究本书由胡受奚、王鹤年、王德滋、张景荣担任主编。赵懿英为副主编。各章执笔分工如下:第一章为胡受奚、王鹤年、王德滋。第二章为胡受奚。第一篇第三、四、五、六章为胡受奚、赵懿英。第二篇第七、八、九章为王鹤年、马东升、陈骏、孙承辕、胡凯、季俊峰。第三篇第十、十一、十二章为张景荣、陆建军。第四篇第十三、十四、十五章为邱检生、任启江、王德滋。第十六章为胡受奚、王德滋、王鹤年、张景荣。此外,胡受奚还承担第七、十、十五章的部分编写工作,王德滋院士和陈骏教授对书稿重点章节和朱金初教授对外文参考文献进行了审阅。

我们在完成本项目的研究过程中,得到了许多生产、科研和教学单位的帮助和支持,在此深表谢意。同时,由于研究工作面广量大、时间仓促,书中不足之处及错误,敬请读者指正。

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第二章 中国东部地质构造及其演化发展	7
第一节 问题的提出	7
第二节 构造-热事件和构造旋回的划分	7
第三节 欧亚板块的形成和演化	14
第四节 华北板块的构造及其演化发展	15
第五节 华南板块的形成和演化发展	16
第六节 华北板块和华南板块的拼贴及其构造环境的演化	20
主要参考文献	23

第一篇 华北早前寒武纪结晶基底区重要金矿床的 地质学和地球化学

第三章 华北地台周边的地体构造及金的区域成矿	27
第一节 概论	27
第二节 划分地体构造的准则和标志	28
第三节 花岗岩-绿岩区体的地质特征及其类型	29
第四节 华熊地体的地质构造特征及其成矿的构造环境	30
第五节 胶北地体的地质构造特征	34
第六节 夹皮沟-牡丹山地体的地质构造	45
第七节 辽南地体的地质构造特征	46
第八节 小结	48
第四章 华北地台产金地体内地层和花岗岩类含金性及金的活化转移与金成矿的 关系	49
第一节 产金地体中地层的含金性	49
第二节 花岗岩类与金矿的成因关系	53
第三节 金的活化转移与成矿	60
第五章 华北地台周边主要金矿类型及其特征	65
第一节 金矿床类型的划分	65
第二节 华熊地体金成矿亚区中主要金矿类型及其特征	65
第三节 胶北地体金成矿亚区主要金矿类型及其特征	77
第四节 夹皮沟-牡丹山地体中的金矿床	87
第五节 交代蚀变作用及其有关的成矿模式	89
第六节 金矿与脉岩的成因关系	92

第六章 金的区域成矿规律、控矿因素、成矿构造机制和模式	94
第一节 金矿区域成矿规律	94
第二节 中生代中国东部大地构造环境的演化与花岗岩类成岩、成矿作用的关系	97
第三节 断裂构造对金矿床和矿带的控制	98
第四节 A 型俯冲和构造成矿模式	104
主要参考文献	104

第二篇 华南中—新元古代浅变质岩系中重要金矿床的 地质学和地球化学

第七章 华南江南和陈蔡金矿带金成矿地质-构造背景	115
第一节 江南金矿带金成矿地质背景	115
第二节 江南金矿带及陈蔡金矿带的构造特征及不同类型矿床的分布	116
第三节 江南金矿带中—新元古代浅变质岩中金矿主要类型	122
第八章 江南造山带元古宙含金建造、层控金矿床的成因及成矿模式	132
第一节 元古宙浅变质岩系含金建造	132
第二节 江南金矿带层控金矿成矿机制	138
第三节 湘西层控金矿成矿机制的模拟实验	144
第四节 江南造山带元古宙浅变质岩中层控金矿床的“源-运-储”综合成矿模式	146
第五节 有机质与金矿化作用关系的研究	150
第六节 激光拉曼碳质地温计及在金矿研究中的应用	155
第九章 华南韧性剪切带型金矿床及其成矿作用	159
第一节 韧性剪切带及韧性剪切成矿作用	159
第二节 华南深断裂系统和韧性剪切带	161
第三节 华南韧性剪切带型金矿主要类型	162
第四节 华南糜棱岩带蚀变岩型金矿	164
第五节 韧性剪切带型金矿的成矿作用与成矿模式	172
主要参考文献	180

第三篇 古生代及中生代海相沉积岩中卡林型金矿的 地质学和地球化学

第十章 华南卡林型金矿成矿的区域地质构造环境及金在矿石中赋存形式	189
第一节 概述	189
第二节 成矿的构造环境和地质特征	190
第三节 金在矿石和赋存矿物中的存在形式	195
第四节 卡林型金矿氧化矿石的重要意义	205
第十一章 卡林型金矿床含矿建造的地层-地球化学及成矿控制条件	207
第一节 卡林型及类卡林型金矿的主要矿化层位	207

第二节	岩相古地理对卡林型及类卡林型金矿的控制·····	209
第三节	地层中成矿元素的丰度及其分布特征·····	209
第四节	矿源层中微量元素组合特征·····	216
第五节	岩石物性特征及其与金矿化的关系·····	220
第六节	生物-有机质在金成矿作用中的实验研究·····	226
第十二章	卡林型金矿床地质地球化学特征·····	237
第一节	重点矿床·····	237
第二节	卡林型金矿成矿热液体系的划分和地球化学特征·····	254
	主要参考文献·····	259
第四篇 中国东部与中生代陆相火山作用及其有关金成矿的 地质学和地球化学		
第十三章	中国东部中生代与火山、次火山作用有关金矿床的时空分布·····	267
第一节	火山岩的时空分布·····	267
第二节	与火山、次火山作用有关金矿床的分布规律·····	271
第十四章	中国东部中生代火山岩系的特征及其与金矿成矿关系·····	273
第一节	火山岩岩石系列的划分·····	273
第二节	橄榄安粗岩系·····	275
第三节	高钾钙碱性岩系·····	287
第四节	火山岩、次火山岩的演化及其与金成矿关系·····	293
第十五章	与中生代陆相火山、次火山作用有关金矿床·····	298
第一节	团结沟金矿·····	298
第二节	七宝山金-铜矿床·····	303
第三节	紫金山金铜矿床·····	311
第四节	江苏铜井金-铜矿床·····	314
第五节	沙溪含金斑岩铜矿床·····	322
第六节	产于中生代陆相火山岩系的金矿床分类·····	331
	主要参考文献·····	334
第十六章	主要结论·····	339

第一章 绪 论

金是人类最早发现和利用的元素之一。人类的采金历史已有 5 000 多年。由于金分布稀少和具有优异的金属特性,一直被人们当作贵重金属。

人类最早发现和开采的是砂金矿,而山金的开采则较晚,这与生产知识和工具的改进有联系。我国管仲(东周齐国人)在“地数”篇中所记载的:“上有丹砂者,下有黄金;上有磁石者,下有铜金,……”。这类有关金与其他元素共生和分带现象的总结,在当时确是人类对自然规律认识的重大突破。

近 20 多年来,随着我国经济建设的快速发展,人民生活水平的不断提高,对黄金的需求量也急速增加。黄金的地质找矿、勘探和科研工作取得了长足的进步和一系列成果。在全国许多地区相继发现和找到了一大批有重要经济意义的矿床、矿田、矿带和矿区;发现了一些新的类型,并使许多老矿山扩大了储量。由于选矿和冶炼技术的提高,因此使许多低品位金矿成为具有开采价值的矿山;许许多多大、中、小型金矿的建立,使我国黄金的储量和产量大幅度提高,目前已达到世界的前列。但与南非、俄罗斯、美国、加拿大、澳大利亚等国家相比还有差距,还依旧不能满足国家和人民日益增长的需要。这不仅要求我国地质工作者找到更多矿床和矿带,勘探出更大的金矿储量,而且还要求结合中国地质实际深入地研究和总结出重要类型金矿床成矿规律和分布规律,并在理论上要有更大的突破和创新,以便更好地为生产实践服务。

我们在完成国家自然科学基金委员会重大项目(9488010):“中国东部金矿重要类型、成矿条件、富集规律及找矿方向”研究过程中,以“活动论”为学术指导思想,抓住“源、运、储”三个主要环节,具体所运用的重要观点、理论以及在实际中的主要体会会有以下几个方面:

1. 板块构造理论

板块构造理论是“活动论”的核心,它引起地质科学革命性的变化,并成为成矿理论的基础。

自中生代($<250\text{Ma}$)以来,中国东部大陆是巨大的初始欧亚板块和欧亚板块东部边缘的重要组成部分,也是全球性超级环太平洋构造-岩浆带或成矿带的一个重要环节。尽管中国东部不同地区的地质构造、演化历史和物质组成极为复杂以及成矿的多时期性,但极大多数金矿的成矿及其有关的各种地质条件都共同受到中生代初始欧亚板块-欧亚板块与古太平洋板块-太平洋板块之间作用的明显影响和控制,同时,其南部还受特提斯造山带的影响和控制。我们认识到:没有全球性板块构造观点就不能完满地解决认识局部问题,也就不能深入搞清中国东部各类型金矿的成矿规律。

板块在时间和空间上具有明显的成长、演化、发展和活动以及“合而分、分而合”的特征。许多大陆板块具有早前寒武纪结晶基底的陆核(Continental Core),以及在不同地质

时期由陆源物质、幔源物质和大洋板块俯冲物质所构成的大陆增生边缘(Continental Accreting Margin)。板块之间的相互靠近,古地中海的逐渐缩小以及板块间实现碰撞拼贴或对接,或古地中海消失,这在板块发展过程中是常见的现象。华北板块和华南板块的形成和发展,以及它们之间的拼贴都经历此过程;整个欧亚板块的形成发展也有此过程。在中-新生代 250 Ma 的演化发展过程中,中国东部的板块构造环境不断演变,因而不同类型金矿及其有关的各种成矿的地质条件也明显随着变化,这些演化和变化是我们分析具体问题时所经常考虑的。

2. 地体构造理论

地体构造是板块构造的重要补充。长期以来,“固定论”的观点将广大地台、地盾或克拉通区当作“铁板一块”,将造山带单纯看成是“地槽”回返的褶皱带;而事实上前者常是由多个规模较小的、地质特征不相同的地体拼贴而成;而造山带经常夹有早前寒武纪的“中间地块”和时代较老的“地层地体”。只有搞清地体构造,才能正确搞清金的区域成矿规律,科学地论证和预测金矿在空间上分布的规律。

3. 中生代中国东部大陆构造环境对金矿形成的重要性

世界上绿岩带金矿大多形成于早前寒武纪,而我国华北地台金矿主要形成于燕山期;同样,中国的卡林型金矿以及与火山-次火山有关的金矿其形成时间为中生代早期,而位于太平洋东岸的美国卡林型金矿以及与火山-次火山有关的金矿其形成时间主要为晚白垩世-新生代,特别是新生代,这与太平洋两岸构造演化的不对称性和差异有关。

自初始欧亚板块形成于海西末期后,从中生代开始便与巨大的古太平洋板块发生强烈的挤压、碰撞和俯冲作用,并成为控制中国东部的构造作用、岩浆侵入作用、火山作用、区域变质作用和金等成矿作用的主导因素。由于两大板块挤压、碰撞和俯冲作用所产生的“远距离效应”,使整个中国东部(约东经 102°~106°)成为活动大陆边缘和环太平洋构造-岩浆和成矿带的重要组成部分,并在中国东部由科迪勒拉型活动大陆边缘(即沟-弧体系)转变为西太平洋型活动大陆边缘(即沟-弧-盆体系)演化发展过程中,构造作用、岩浆侵入作用、火山喷发作用和成矿作用等不断发生有规律的变化。认识这种板块作用在时间上的演化,对于研究中国东部金成矿规律具有重要意义。

4. 含金建造与金矿成矿关系

含金建造是金成矿物质的重要来源之一。在某些情况下,决定金矿化区潜在的分布范围,一些层状及层控矿床与其密切相关。含金建造是“矿源层”概念的重要发展。金的“矿源层”极易单纯理解为富集金的层位,而与地质构造环境、区域地球化学背景相脱离。含金建造是由含金层位与非含金层位共同组成的一套地层组合,两者间有着密切的成因组合关系;它本身并不直接形成矿床,而在各种后期改造或叠加作用中提供成矿物质的主要来源;含金建造反映了建造形成的地质构造环境及区域地球化学背景。含金建造根据金的主要来源及其与壳、幔关系可分为原始含金建造与衍生含金建造。

地层中金的丰度仍然是区别含金建造的直接标志之一,但不是唯一的标志。由于金的地球化学活动性较强,一些古老含金建造经历了后期的变质等地质作用可使其含量大大

地降低。目前含金建造中金的赋成状态得到了应有的重视,它对金的活化转移、富集成矿起着重要的影响,因而含金建造中易活化金应占主导地位。据华南众多含金建造的区域地球化学资料统计表明,在样品的金含量对数频率直方图上往往呈双峰分布。

在江南金矿带金矿密集区区域地球化学研究中,发现地层中金大面积贫化的现象。这种贫化与富集共轭的现象,从另一侧面反映了成矿物质来源与含金建造的关系;同时,也反映了区域范围内流体大规模运移对金迁移与矿化富集的重要意义。

5. 对金矿成矿物质来源的正确认识

与热液金矿有关的成矿物质,包括金等金属元素及参与成矿作用的流体及矿化剂。在漫长的地质发展过程中,在多种复杂的地质作用下,成矿物质来源常是多途径的,它可以来自含金建造或矿源层、上壳岩石、下壳岩石、上地幔,特别是在构造强烈变动中,来自下行或俯冲的板片、地体或板块。下行或俯冲的板片、板块和地体不仅能提供成岩物质(指花岗岩类和安山-流纹岩系),而且也能提供形成大型金矿区、带所需的成矿物质。这种成矿的构造和侧向来源是我们所考虑到的。

同样与金成矿有关的流体及其他矿化剂可以来自地壳和上地幔,其中包括沉积和建造水以及与变质作用、花岗岩化作用、岩浆作用有关的流体,还有上地幔来源的初生流体等。此外,还有来自下渗的海水和天水等。在成矿过程中,在不同时间和空间上它们常以不同比例混合,形成以某种成因为主的多来源和多成因的成矿流体。

Knight 在 1957 年提出的矿源层概念(Source Bed Conception)曾对气化-热液矿床的成矿理论产生一定影响。但是我们不应片面地理解和过分强调,不然就会陷入 18 世纪 Gerhard(1781)和 Pryce(1778)的侧分泌观点中,不适当地将复杂的成矿过程过于简单化。不可否认金丰度高的地层对金矿形成有利,但许多事实表明,在贫金的地层中,同样可形成大型乃至超大型金矿床、矿区和矿带。例如南非超大型金矿区,据 Anhaeusser(1976)的研究指出:南非太古宙绿岩带,并不存在金的矿源层。其绿岩带中科马提岩系,金的平均含量只有 0.27×10^{-9} ($0.10 \times 10^{-9} \sim 0.53 \times 10^{-9}$) 和 0.54×10^{-9} ($0.073 \times 10^{-9} \sim 1.81 \times 10^{-9}$);西澳大利亚(简称西澳)的克利福德山绿岩中的科马提岩平均含量为 0.84×10^{-9} ;我国小秦岭地区,太华群上段平均为 0.60×10^{-9} ,中段为 0.67×10^{-9} ,下段为 0.81×10^{-9} ,平均为 0.71×10^{-9} (138 个样品)。熊耳山地区也具有同样情况。

因此,金成矿并不单纯决定于地层中金的丰度,而主要决定于促使金活化转移机制的规模、时间和集中的条件。例如国外澳大利亚雅尔岗、南非、津巴布韦和加拿大等克拉通,以及我国胶北和华熊地体等,金丰度很低的花岗岩的大规模形成,是促使金从贫金和富金地层中大规模活化转移和形成大型、超大型金矿床、矿区和矿带的重要条件。此外,外围宽广的高变岩带或动力变质带的发育,和大规模环流热液的活动,都有利于金的活化转移和成矿。

6. 花岗岩类与金矿的成因联系

金矿与花岗岩的成因联系虽早已被 Emmons(1936)和费尔斯曼(1933,1934)等所强调,但它们之间究竟是“母子关系”?还是“亲缘关系”?这却需要深入研究和考虑的问题。

金矿分布的绿岩地体,其中花岗岩类分布常占有很大比例,并具有多时期的特征,这

在华北地台区表现尤为突出。

从地球化学特性看,金不是亲石或亲花岗岩元素。与金矿在时、空和成因上有关的花岗岩类金含量常明显低于其地壳的丰度。同时世界上大多数绿岩带中的金矿产于岩体的外接触带。至今还没有足够的证据表明金直接来源于花岗岩,但它们之间的时、空关系或“亲缘关系”却十分明显。

在地壳中多时期大规模含金丰度低的改造型花岗岩的形成,是促使地层和上部地壳中金不断活化转移和成矿的重要原因。与B型和A型俯冲有关的板块的分熔和消亡所产生的钙-碱性或碱-钙性安山-流纹岩系和橄榄安粗岩系及同熔型花岗岩类(包括次火山岩)及其有关金矿的形成,从构造机制角度来看,成岩和成矿也是“亲缘关系”。

在板片、地体或板块下行和俯冲过程中,在较理想的情况下,即在地壳内形成的改造型花岗岩带和俯冲到上地幔后经分熔作用形成的同熔型斑岩带,以及与这两类孪生花岗岩带有关的孪生金矿带,如熊耳山地区康山-瑶沟金矿带和祁雨沟斑岩金矿带。

也应指出:在拉张环境中形成的偏碱性岩类,如偏碱性正长岩类(如华北地台北缘的东平金矿)和碱性火山岩,如宁芜地区产于黟方石响岩中的铜井铜金矿等,有时也可形成一定规模的金矿。

7. 软硬酸碱理论对研究金矿的重要性

从地球化学观点看,金虽稳定,但却易发生活化转移。金成矿物质并不只是指金元素本身,而包括能促使金活化转移、沉淀富集有关的元素、组分或矿化剂。因此,只认识到金的亲硫性和亲铁性是不够的,而必须引用皮尔逊在60年代提出的软硬酸碱(SHAB)的近代化学理论。由于金的电离势、电负性和氧化还原电位皆较高,这就决定金是属于典型的软酸。皮尔逊原理:硬酸倾向与硬碱结合,软酸倾向与软碱结合。由此出发:金及其离子倾向与软碱形成络合物能力的顺序为: $\text{Te} \sim \text{Se} > \text{S} \geq \text{O}, \text{I} > \text{Br} > \text{Cl} > \text{F}$ 。由此可见,金表现出明显的亲硫性和亲氯性,与高价阳离子 W^{6+} 、 Nb^{5+} 、 Ta^{5+} 等的亲氧性和亲氟性正好相反。金与软碱 S^{2-} 、 $[\text{S}]_2^{2-}$ 、 Se^{2-} 、 Te^{2-} 、 As^{3-} 、 $[\text{AsS}]^{3-}$ 、 HS^- 和 HCO_3^- 等易形成各种稳定的络阴离子,它们与 K^+ 、 Na^+ 、 H^+ 等离子结合,便形成易溶的络合物进行活化转移和富集成矿。在岩石或矿石中黄铁矿、毒砂和黄铜矿等硫、砷化物常为金的载体,这是其地球化学性质所决定的。由于绿岩本身常富含硫、砷等,这对于金矿形成是有利的。并由于金在黄铁矿等硫、砷化物中有高的分配系数,而这些矿物在区域变质或气-液作用过程中又易被转移;同时,外来含金的成矿溶液与富铁、镁的绿岩等发生水-岩反应,易发生钾化、钠化、硫化(如黄铁化等)、毒砂化、碳酸盐化等,从而使成矿溶液中矿化剂消耗,使金的络合物分解促使金沉淀和集中。有机物质对金在地层中的富集、活化转移和沉淀集中常起到重要作用。

8. 生物及有机物质对金的富集作用

生物和有机物质对金的成矿作用是多方面的,包括生物作用过程及其转化成为有机物质后所起的各种作用,包括对金原子及其离子吸收、吸附、还原、活化转移、沉淀和富集成矿作用。对一些层控矿床,特别是卡林型金矿的形成尤其重要。

9. 金矿的层控问题

由于不少金矿具有层控矿床特征,因此正确理解层控矿床是有必要的。层状矿床

(Stratiform Ores)是指那些受地层所限制的矿床;层控矿床(Stratabound Ores)是指矿体与围岩产状相一致或整合的矿床(Concordant Ores)。必须指出:上述两类矿床都不受成因限制,它们既可以是同生矿床,也可以是后生矿床,也可以是两者之间的过渡或两类矿化的叠加。

除同生的砂金矿和含金块状硫化物矿床等外,其他金矿主要属于后生的热液矿床,但后生金矿床也常具有层控特征,例如小秦岭金矿脉的分布明显表现出具有层控特征。据河南省地质矿产局第一地质调查队统计,在已发现的 436 条金-石英脉中,有 77.6%,即 360 条分布在间家峪组中,但间家峪金的平均含量为 0.67×10^{-9} ;含金稍高的观音堂组(1.05×10^{-9}),只有 52 条矿脉,占总数 11.6%。这是因为间家峪组是以基性火山岩系为主要组成部分,是第二期绿岩,它对金矿的定位有明显的控制作用。胶北和世界其他地台或地盾区(如西澳、加拿大、印度等)的金矿亦常为绿岩带所控制。分布于江南地背斜的金矿,如沃溪的钨-锑-金建造,黄金洞的含金毒砂建造等也都具有层控特征。我国滇-黔-桂-湘和川-陕-甘两个三角地带的卡林型金矿主要产在加里东和海西-印支构造层的不同层位中,都不同程度表现出层控的特征。虽然其中一些地层已具矿胚层的基础,但真正的成矿却常是与后生热液作用和构造作用有着密切的联系。

含有钙、铁、镁等成分高的地层,有利于金在其中定位和成矿。因此,后生层控矿床主要是岩性控制(Lithological Control)或地层-岩性控制(Strata-Lithological Control)。

10. 成矿模式

近年来成矿模式的研究成果是多方面的,包括描述性模式、定量性模式(品位、吨位模式)、实用性模式(找矿模式、勘探模式)以及成因模式等。我们认为在这些模式中成因模式最有意义,也是最基本的,因为它揭示和概括相同成因类型许多矿床的共性和本质。在成因模式中,常包括成矿物质来源、成矿元素的活化转移、沉淀富集、时空分布及成矿的机制等方面的内容。

在成因模式中又可分为交代蚀变成矿模式、热液环流成矿模式、层控矿床成矿模式、板块构造成矿模式、岩浆-热液成矿模式、喷流沉积成矿模式以及与各类型金矿有关的成矿模式等。

我们重视建立金成矿的交代蚀变成矿模式。因为内生金矿的形成过程,也是热液作用或水-岩反应过程,在许多矿床中,常完好或较完好地保留水-岩反应的各种遗迹和信息。金是在其溶解度升高过程中实现活化转移,在溶解度降低过程中实现沉淀富集的,也就是说,金成矿与成矿溶液及围岩的物理化学条件的变化息息相关。金矿床中交代蚀变的分带现象,如矿体下部普遍出现的碱交代现象(K、Na 交代),矿体两旁围岩的黄铁绢英岩化以及碳酸盐化,顶部发育硅化和泥化现象等是代表上升溶液的物理化学条件有规律的变化过程。这些交代蚀变岩和矿石中的物质组成和时-空分布规律、气液包体的成分、温度压力测试资料以及氢、氧、硫、铅、碳等同位素资料是建立成矿模式的基础。

由于许多金矿床是在特定的地质发展时期的构造环境中形成的,因此,在这里我们特别重视以板块构造、地体构造理论为基础阐明热液金矿床成矿构造机制,并在此基础上建立金矿的成因模式;由于中生代是华北地台金成矿的主要时期,因此中生代构造环境及其演化发展成为建立金矿的板块或地体构造成矿模式的关键。在这类成矿模式中常包括成

岩(指改造型和同熔型花岗岩类)和成矿物质来源、成矿的构造控制和时空分布规律等方面的内容。

11. 基底断裂、边界断裂和韧性剪切带对金矿的控制

板块、地体和造山带内部的基底断裂,例如胶北地体、华熊地体、江南地背斜以及海南和云开中元古代地体等,其东西向的基底断裂在多旋回构造-岩浆作用过程中,常能长期控制岩体和岩带,矿体和矿带的形成和分布。

由于边界断裂是地体、板片或板块间的主导断裂和拼贴带,因此它不仅在拼贴前、拼贴时,而且在拼贴后都会起主导作用。其巨大的动力常深入影响到地体和板块的内部。有的边界断裂是地体和不同时期造山带的分界,如华北地台南缘东西走向的铁炉子-黑沟-栾川断裂,北缘的潮格旗-固阳-保康-赤峰-辉发河断裂岩带等,长期控制着花岗岩带和矿带(吕梁期、海西期和印支期等)的形成、演化和分布。

板块、板片及地体间的边界断层带经常发生长期和强烈的构造变动,包括B型、A型俯冲、碰撞造山、下行和上行推覆及韧性剪切带等,对金矿的形成有重要的影响。例如世界著名的南非克拉通和津巴布韦克拉通的四周,都发育有强烈的、宽广的、中高变质的动力变质带(如林波波动力变质带、莫桑比克动力变质带等)。对超大型金矿区的形成是有决定性意义的。我国胶北地体、小秦岭地块、夹皮沟-牡丹山地体、海南地体、云开地体、武夷地体、九岭地体和陈蔡地体等金矿带的形成也与边界断层带强烈的构造作用有关。

我们认识到,中国东部大陆金成矿的地质条件和构造环境是复杂多样的,有许多独自的特征。因此,应从国内外对金矿研究的成果和现状出发,深入研究中国东部大陆基础地质,瞄准金矿地质科学前沿,创造性地总结成矿规律,使金矿床的研究提升到更高的水平。