

● 裴荣富 梅燕雄 等著

金属成矿省演化 与成矿年代学

——以华北地台北缘及其北侧金属成矿省为例

地质出版社

内 容 简 介

本书以华北地台北缘及其北侧金属成矿省为研究案例,对金属成矿省等级体制成矿与地质历史演化进行了系统论述。作者从前寒武纪华北地块北缘成矿构造区、古生代兴蒙-吉黑造山带及华北克拉通盖层成矿构造区和中新生代滨西太平洋构造岩浆活化区三大地质背景中划分出12个成矿堆积环境和23个控矿构造聚敛区(场),为圈定华北地台北缘及其北侧成矿远景区提供了“中观”的科学依据。在对冀东金矿成矿特征及成矿演化进行深入研究的基础上,首次提出冀东地区金矿床成矿年代及其演化系列和华北地台北缘及其北侧三大成矿地质-热事件的年代鉴证,初步建立了华北地台北缘及其北侧金属成矿省的成矿年代演化模式,深化认识了成矿学的时空规律,发展了“演化成矿学”概念和“成矿演化是一切成矿因素的函数”的论断。

本书可供从事成矿学研究的科研、教学人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属成矿省演化与成矿年代学——以华北地台北缘及其北侧金属成矿省为例/裴荣富等著.

-北京:地质出版社,2003.5

ISBN 7-116-03738-1

I. 金… II. 裴… III. ①金属矿床-矿床成因论-华北地区②金属矿床-成矿期-研究-华北地区
IV. P618.201

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第100791号

JINSHU CHENGKUANGSHENG YANHUA YU CHENGKUANG NIANDAIXUE

责任编辑:张新元 王 璞 孙亚芸 王学明

责任校对:李 玫

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电 话:(010) 82324508(邮购部);(010) 82324573(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>.

电子邮箱:zbs@gph.com.cn.

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京长宁印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm $\frac{1}{16}$

印 张:13

字 数:300千字

印 数:1—700册

版 次:2003年5月北京第一版·第一次印刷

定 价:42.00元

ISBN 7-116-03738-1/P·2333

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

前 言

金属成矿省演化与成矿年代学是当代成矿学 (metallogeny) 最重要的研究内容之一, 第 28~31 届国际地质大会均将其列为讨论专题, 并提出“演化成矿学” (evolutionary metallogeny) 的新概念。华北地台北缘及其北侧金属成矿省是前寒武纪地块、古亚洲造山带和滨 (环) 太平洋构造带的交汇叠置地区, 具有最完整的成矿演化史, 且具备较高程度的研究基础, 是金属成矿省演化与成矿年代学研究的理想选区。

原地质矿产部在“九五”期间设置了基础研究项目《华北地台北缘及其北侧金属成矿省演化和成矿年代学》, 编号为 9501118。中国地质科学院矿产资源研究所裴荣富院士任首席科学家, 主要研究人员有梅燕雄、熊群尧、尹冰川等。该项目的主要研究目标和任务是通过华北地台北缘及其北侧金属成矿省区域成矿地质背景、成矿堆积环境、成矿机理和成矿年代学研究, 发展新的成矿年代学方法, 提出金属成矿省地质历史演化的研究案例, 为金属成矿省演化与成矿年代学研究达到国际先进水平和发展成矿学做出贡献。本书是在该项目研究报告的基础上, 由裴荣富、梅燕雄进行大幅度补充和修改而成。

本书以华北地台北缘及其北侧金属成矿省为研究案例, 对金属成矿省等级体制成矿与地质历史演化进行了系统论述。首次完成华北地台北缘及其北侧“景”、“场”、“相”、“床”四个等级体制成矿的成矿序次和成矿构造聚敛场 (区) 的划分及其成矿远景评价, 初步建立了华北地台北缘及其北侧金属成矿省的成矿年代演化模式, 深化认识了成矿学的时空规律, 发展了“演化成矿学”概念和“成矿演化是一切成矿因素的函数”的论断。

作者等根据“时间维”造就“空间维”的动态成矿概念, 提出华北地台北缘经历了太古宙—古元古代—中新元古代、新元古代—古生代和中新生代三个时间维, 分别造就了前寒武纪华北地块 (地台) 北缘成矿构造区、古生代兴蒙—吉黑造山带及华北克拉通盖层成矿构造区和中新生代滨西太平洋构造岩浆活化区三个空间维地质背景, 并在这三大地质背景中随时间演化分别形成阴山—燕山太古宙克拉通隆起区、辽北—吉南太古宙克拉通隆起区、辽东—吉南古元古代裂谷带、狼山—渣尔泰中元古代裂陷槽、燕辽中新元古代拗拉槽、白乃庙中新元古代岛弧带、华北古生代克拉通盆地、蒙—吉古生代边缘裂陷槽、永吉—延边中生代构造岩浆活化带、吉南—辽东中生代构造岩浆活化带、阴山—燕山中生代构造岩浆活化带、大兴安岭南段中生代构造岩浆活化带等 12 个成矿堆积环境。在成矿堆积环境中, 又按成矿史演化, 在太古宙—古元古代同剪切形变成矿构造聚敛场中划分出 6 个控矿聚敛区, 在中新元古代—古生代同成矿构造聚敛场中划分出 5 个控矿聚敛区, 在中生代“行”、“列”、“汇”成矿构造聚敛场中划分出 12 个控矿聚敛区, 并指出它们在本区广袤分布的成矿构造背景中的产出几率, 从而为圈定华北地台北缘及其北侧成矿远景区提供了“中观”^① 的科学依据。

通过对冀东金矿成矿特征及成矿演化的系统研究, 作者等首次提出冀东地区金矿床成

① 相对于“宏观”和“微观”而言, 介于此两者之间的尺度概念。此概念由裴荣富先生提出。

矿年代及其演化系列和华北地台北缘三大成矿热事件的年代鉴证,初步提出华北地台北缘金矿先兆成矿(T_p)、初始成矿(T_i)、成矿高潮(T_t)、滞后成矿(T_h)和终结成矿(T_e)的成矿历程和成矿跨度(T_s)的概念,为制定成矿年代省(区)的评价指数(API)奠定了年代学基础。作者等还提出等级体制成矿在统一成矿框架中的正常成矿作用下,受太古宙“氧大气变态”、中元古代—古生代“还原大气变态”和中生代“构造圈热侵蚀”三大成矿热事件的引潮共振和引发成矿作用异常及其促进四个等级体制发生异常耦合而有形成大型、特大型矿床的可能性。

在项目研究和本书编写过程中,原地质矿产部科技司、中国地质科学院矿产资源研究所及科技处给予了热情指导和支持;河北省地勘局综合研究地质大队张尔匡总工程师和魏远泰、李庆勃、张治平、王金生、张继东高级工程师,河北省地质矿产勘查院唐秦工作部陈春雷、郭东工程师,武警黄金地质研究所周遗军博士给予了大力支持和帮助;原地质矿产部五六二综合大队李景华、高维钺、任香爱、李亭云、包勤国,原冶金部第一地质勘探公司杜松林、范廉启,宜昌地质矿产研究所李华芹等协助开展岩矿测试和同位素测年工作;中国地质科学院矿产资源研究所张冰、吴艳玲等协助文稿打印和绘图,在此表示衷心的感谢。在本书出版之际,谨向对我们的研究工作提供支持和帮助的各位领导和同志表示诚挚的谢意。

作 者

2002 年 12 月

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 金属成矿省及其地质历史演化研究的现状和发展趋势	(1)
第二节 成矿年代学研究的现状及发展趋势	(3)
第二章 金属成矿省等级体制成矿	(6)
第一节 金属成矿省等级体制成矿的概念	(6)
第二节 金属成矿省等级体制成矿的研究内容	(7)
一、成矿地质背景研究	(8)
二、成矿构造聚敛场研究	(18)
三、金属成矿相研究	(25)
四、矿床结构构造研究	(25)
第三节 华北地台北缘及其北侧金属成矿省等级体制成矿	(26)
一、华北地台北缘及其北侧金属成矿省成矿地质背景	(26)
二、华北地台北缘及其北侧金属成矿省成矿构造聚敛场	(45)
三、华北地台北缘及其北侧金属成矿省的金属成矿相	(51)
四、华北地台北缘及其北侧金属成矿省的结构-构造矿床	(53)
第三章 冀东金矿成矿特征及成矿演化	(62)
第一节 成矿地质构造背景	(62)
一、地层	(62)
二、花岗岩	(69)
三、构造	(84)
第二节 冀东金矿类型及其地质特征	(92)
一、概述	(92)
二、石英脉型金矿	(93)
三、蚀变岩型金矿	(102)
四、碳酸盐岩型金矿	(104)
五、砂金矿	(105)
第三节 冀东金矿的成因特征	(107)
一、含金建造和金矿矿源层	(107)
二、构造岩浆作用与成矿	(112)
三、金的迁移和沉淀机制	(116)
四、冀东金矿的成因机理	(124)
五、冀东金矿“四位一体”成矿的基本规律	(125)
第四节 冀东金矿的地质历史演化	(126)
一、变质岩同位素地质年代学特征	(126)
二、花岗岩同位素地质年代学特征	(130)
三、金矿床成矿年代学特征	(133)

四、冀东金矿的成矿演化	(140)
第四章 金属成矿省地质历史演化	(146)
第一节 金属成矿省演化的基本概念	(146)
一、金属成矿省演化的概念与涵义	(146)
二、金属矿床成矿年代及其演化	(146)
第二节 成矿地质-热事件与成矿作用爆发异常	(148)
一、成矿地质-热事件	(148)
二、成矿作用爆发异常	(150)
第三节 华北地台北缘及其北侧金属成矿省演化	(153)
一、华北地台北缘及其北侧成矿年代省的建立	(153)
二、成矿年代演化模式	(156)
参考文献	(157)
附 录 华北地台北缘及其北侧金属成矿省同位素地质年龄数据	(164)
英文摘要	(177)

第一章 绪 论

金属成矿省演化与成矿年代学是 20 世纪 50 年代从经济地质学 (economic geology) 发展而来的成矿学 (metallogeny) 学科的重要研究内容 (Bateman, 1950; Bilibin, 1955; Radkevich, 1956; Tvalchreidze, 1957, 1964, 1967; Petraschcek, 1963; Park, 1964, 1970, 1975; Stoll, 1965; 谢家荣, 1945, 1955, 1965; Simirnov, 1959, 1965; Guild, 1974; Kesler, 1978; 程裕淇, 1976; 郭文魁, 1959, 1960, 1963; 裴荣富, 1989, 1994), 它是 20 世纪末、21 世纪初国际重大地质学前沿研究课题之一。

第一节 金属成矿省及其地质历史演化研究的 现状和发展趋势

金属成矿省 (metallogenic province) 一词早在 20 世纪初即已问世 (De Launay, 1913; Spurr, 1932; Lindgren, 1909, 1933), 它是指在一定地质构造部位有规律地集中某些金属矿床及其系列组合的区域成矿概念。近一个世纪以来, 关于金属成矿省的内涵和研究方法已有很大的发展和变化, 主要是把传统的、仅在一定地质构造背景基础上以一定成矿特征圈定的不同类型矿床时空分布, 标定不同成矿区带的固定论研究, 发展为随地质历史演化 (时间维) 促使各自异向的控矿因素得以异常地形成成矿构造聚敛场 (空间维) 的活动论新概念, 即“时间维”造就 (generated) “空间维”。

从 20 世纪 50 年代开始直至 80 年代, 对金属成矿省时空分布规律的研究获得了空前的发展。除提出大量与槽台学说或全球板块构造理论有关的区域成矿论著外, 还出版了大量的不同比例尺的成矿图。但是, 所有成矿论著尤其是成矿图类都是以表达在一定地质构造背景上圈定现存不同类型矿床空间分布的成矿区带为主。虽然也论述了古地块的形成和发展, 造山带的早、中、晚期演化, 板块构造的离散和聚敛等与成矿的关系, 但对矿床形成的初始、发展到现存状态的演化历程, 即对矿床的“生辰八字”、来龙去脉的成矿行为研究得很不够。由于这一研究工作难度很大, 第 26 届国际地质大会曾一度出现以“金属矿化集中区”代替金属成矿省的意见 (Laffiti, 1980), 即以金属元素的分布代替矿床的分布。但到第 28 届国际地质大会又开始把矿床的形成和演化作为地壳形成和演化过程的特殊标记 (石原舜三, 1989) 并把从地质历史研究成矿演化列为专题 (Fyfe, 1989)。其中, 俄罗斯 Д·В·卢德克维奇、加拿大 W·费菲、德国 B·莱曼和澳大利亚 I·B 兰伯特分别对“成矿作用的发生、发展、继承和转化轮回”、“锡矿床的地质历史演化”、“前寒武纪矿床在地质历史中矿化型式趋向”等做出重要论述, 为从地质历史发展查证矿床时、空分布规律提供了理论基础。

1991 年在中国召开的硫化物矿床国际会议上, 作者提交了“中国内蒙古中部三庙地区金属成矿省演化”论文, 提出洋壳与陆壳在地质历史成矿演化的一致性, 修正了过去按

槽台不同构造单元划分不同成矿区带的固定论方法。第 29 届国际地质大会 (1992) 把“金属成矿省地质历史演化”正式列为专题讨论, 会议由裴荣富和渡边询主持, 10 个国家的科学家提出了 50 篇论文。其中大量论文除仍对在成矿作用地质历史演化过程中在不同空间的成矿呈现统一性作深入论述外, 更进一步从隐生宙到显生宙的不同地质历史阶段和不同地质构造区域论述了金属成矿省类型, 为金属成矿省在更大区域范围内进行成矿历史对比奠定了理论基础。裴荣富在会上提出的“中国东南部燕山期成矿省成矿作用演化”为世界的中生代成矿省成矿史提出了对比范例; Dawson 和 Sangster 提出“加拿大地质的成矿演化”, 是世界前寒武纪地块成矿省的对比范例。俄罗斯 A·索克洛夫与南非 R·维久恩合作研究了西伯利亚地台周缘活动带并与南非凯普瓦尔 (Kaapvaal) 克拉通南缘活动带类比, 结果发现这两个活动带虽然远隔万里, 但从克拉通向其边缘自老到新都出现了极为相似的由基性—超基性到花岗岩类及碱性岩的岩浆建造及其成矿演化规律, 从而相互补充了找矿方向, 扩大了成矿远景。著名矿床学家哈钦森 (R. W. Hutchinson) 还直接提出“演化成矿学” (evolutionary metallogeny) 的新认识。

1994 年在中国召开的第九届国际矿床成因协会科学讨论会进一步发展了金属成矿省及其演化的研究内容。阿塔塞维 (G. Atasever, 1994) 在对土耳其东磅提克金属成矿省的研究中, 把主弧—弧内裂谷—弧后盆地构造演化与其成矿发展统一起来, 认为成矿不是受某一性质的构造单元控制, 而是受构造演化控制, 从而发展了关于“构造控矿”的理论认识。沙曼 (B. Saman, 1994) 对地处非—阿和欧亚连接带之间的伊朗阿尔卑斯—喜马拉雅造山带进行了构造动力学研究, 提出该金属成矿省演化是在新、老特提斯板块消减—碰撞过程中, 由隐生宙的裂谷至显生宙的扩张盆地, 再至构造岩浆活化带所组成的, 并将其金属、非金属与能源矿产的形成与金属成矿省演化全部联系起来。莫托夫 (A. Motov, 1994) 研究了哈萨克斯坦北部最重要金属成矿省的演化, 并根据矿化的后生分带分析、再造了金属成矿省演化规律, 包括原地向斜沉积层成矿元素地球化学专属再造、热动力变形变质的交代岩再造, 以及构造岩浆活化成矿的蚀变与矿化再造, 从而提高了成矿预测的效果。莱埃 (K. L. Rai, 1994) 专门研究了印度前寒武纪金属成矿省的演化, 将印度前寒武纪划分为若干时段并建立了前寒武纪成矿省的观察演化样式 (observed evolutionary pattern), 从而为其成矿创立了一个进行对比的区域模式。

1996 年 8 月在北京召开的第 30 届国际地质大会上, 由 K. W. Dawson (世界成矿图委员会主席) 和裴荣富共同主持的“金属成矿演化和成矿年代学讨论会”共收到 20 多个国家的 50 篇论文, 内容比第 29 届国际地质大会更为广泛, 重点讨论了金属成矿省的“成矿地质背景 (metallogenic geological settings)”、“成矿构造聚敛场 (metallotect convergence)”、“金属成矿相 (metallogenic phases)”和“金属矿床 (metal deposits)” (即“景”、“场”、“相”、“床”) 四个成矿等级体制的耦合规律和演化, 对金属成矿省的内部“组成” (component) 进行了深入讨论。与此同时, 以裴荣富为首席科学家的国际对比项目 IGCP-354 (金属矿床的超巨量堆积, Superaccumulation of metal deposits) 也在第 30 届国际地质大会期间召开成矿作用 3-D-t 国际研讨会, 即“成矿轨迹会议”, 从而将金属成矿省演化的研究推向更高潮。

金属成矿省演化的活动论新概念是随全球地质构造研究的开展而出现的, 其指导思想是以往仅在一定地质构造单元内以一定矿种 (或矿床类型) 标定一个成矿省及其规律的

做法发展为随地质历史推移探讨在开放体系中壳—幔演化和成矿作用非平衡态的动态成矿进程,并研究它在一定“成矿构造场”内出现相对平衡态时形成的金属成矿省及其规律。因为矿床这一具有经济意义的矿物岩石集合体实际上是地壳地质历史演化的必然产物和特殊标志(裴荣富等,1993),所以,金属成矿省的研究必须从地质历史演化的动态概念出发才能系统地认识这些特殊标志和全面地分析其形成与发展的全过程。由于这一新概念和新认识是对近一个世纪以来金属成矿省研究的重大变革,不仅使成矿学和区域成矿理论得到了重要发展,而且也将使成矿远景区划和矿产预测工作发生“质”的突破,从而极大地提高金属成矿省研究的科学性和实用性。

值得提出的是:最近20多年来,我国地质学家在金属成矿省研究领域也积累了大量的资料和成果,并已具有雄厚的研究基础和我国独有的区域成矿特色,为使我国成矿学研究跃居世界先进行列奠定了良好基础。在“六五”、“七五”、“八五”三个五年计划期间,在南岭成矿区(陈毓川、裴荣富),在长江中下游成矿带(常印佛、翟裕生),在三江成矿带(刘宝珺、刘增乾、叶庆同),在新疆阿尔泰山和天山成矿带(涂光炽、芮行健),在秦巴成矿带(张本仁),在中国东部成矿域(裴荣富、吴良士),在滨西太平洋成矿带(郭文魁、裴荣富),在华北地台北缘成矿带(裴荣富、芮宗瑶、方如恒),都已取得大量的科学研究成果,为进一步深化研究金属成矿省演化和成矿年代学奠定了坚实基础。此外,自“六五”开始,原地质矿产部已完成两轮成矿远景区划工作,对全国金属、非金属和能源矿产的成矿规律和资源量预测均取得大量资料和系统成果,为配合新一轮国土资源大调查及全国成矿远景区划,深入开展金属成矿省等级体制成矿及其演化规律研究将是现代矿产资源勘查评价理论和方法的重要内容。

第二节 成矿年代学研究的现状及发展趋势

成矿年代是指成矿物质从开始工业堆积到形成工业矿床这段地质时间,是成矿作用(过程)的时间维。成矿年代既是矿床基本特征的一个重要内容,也是从地质历史角度分析矿床形成、发展和演化规律的极其重要的科学论据。

尽管人们早就认识到成矿年代在矿床学和成矿学研究中的重要性,但长期以来,由于测试分析技术的落后,对成矿年代的科学认识并未取得与矿床地质及其成因理论的同步发展。在过去相当长的时期内,主要是在野外地质观察的基础上定性地和间接地推断成矿年代,这种方法有很大的局限性和不确定性,特别是对于为数众多、成因复杂的热液矿床、沉积改造矿床和变质矿床来说往往争议很大。因此,人们对成矿时间演化规律的认识程度远远不及对矿床空间分布规律的认识程度。

20世纪初天然放射性元素及其同位素的发现和放射衰变定律的确定,为“地质计时”开辟了一条全新的途径,极大地弥补了早期依靠古生物演化、地层层序等确定的相对年代顺序的不足和古地磁法定年的局限性,对成矿学及地质科学的发展和进步具有深远的影响。同位素计时方法中,迄今已被广泛应用并成为经典的经典方法的有钾—氩法、铀—铅法、铷—锶法及 ^{14}C 法。70年代以来又相继建立和完善了钐钐法、钍钍法、铪钍法、裂变径迹法等新的测年方法。等时线概念的提出和应用,保证了同位素地质年龄的真实意义。随着电子计算机技术和分析测试技术的发展和运用,同位素地质年龄测定的精确度和可靠

性正在不断地提高,同位素地质年代学将进一步向高灵敏度、高精度、微量化和自动化的方向发展。

成矿年代学 (metallogenic chronology) 的首要任务是运用矿床地质学方法和同位素地质年代学方法来分析和测定矿床的成矿年代,进而研究区域成矿的序列性和成矿谱系,其最终目的是从不同尺度和不同层次揭示和阐明成矿作用的地质历史演化规律。

成矿年代学是认识和研究金属成矿省地质历史演化的钥匙,只有它才能打开金属成矿省演化规律。成矿年代学实际上也是通过成矿年代来研究金属成矿省地质历史演化的成矿学,但它并不等于成矿测年技术方法,后者主要应属同位素地质年代学范畴。成矿年代学研究的重点应在成矿地质构造背景、成矿堆积环境和矿床产出特征的详细研究基础上,开发矿床学和同位素地质学相结合的成矿年代学方法。第 28 届国际地质大会设置的“矿床测年和热年代学新进展”讨论会上就提出地质学与同位素地质学相结合的测年方法 (I. McDongall, 1989),也称成矿年代学综合方法。其中,有对 SEDEX 矿床在成岩过程中形成自生(低温)钾长石测年法 (C. M. Hall, 1989),该方法可同时解决成岩成矿成因问题;在 MVT 型铅锌矿床的容矿碳酸盐岩利用压溶缝合线测年法 (H. G. Churnet, 1989) 发现密西西比型铅锌矿床的多期成矿问题,中国湘西渔塘寨铅锌矿床也有类似情况 (裴荣富, 1990);在日本对花岗岩类有关的 100 个矿床和主岩年代互为对比的测年法 (S. Ishihara, 1992) 可以判定成矿持续和滞后时间的成矿跨度 (time span)。在我国冕宁牦牛坪碱性花岗岩型稀土矿床的年代为 27.8Ma,对比其中水热锆石为 (12 ± 2) Ma (袁中信, 1996),明显地反映出成矿热事件始于 27Ma,停摆到 12Ma,成矿计时钟 (timing alarm) 跨度为 15Ma (裴荣富, 1996)。另外,作者等开始开展对马兰峪花岗-绿岩型含金石英脉的同生长矿脉 (growth ore vein) 测年法的研究 (裴荣富, 1996),这种方法可以弥补当前在花岗-绿岩型含金石英脉中单颗粒锆石和流体包裹体测年的多解和难于判定年代的不足。第 29 届国际地质大会在对最新成矿物质测年方法讨论会上,也探讨了地质和同位素地质相组合测年技术问题 (Darke, R. E. 1992),如应用裂变径迹法研究岩浆作用和古地温活动的热年代学 (Watanabe, 1992),以及成矿作用的退火 (annealing) 温度等问题 (Kasuya, 1992),还研究了台湾金瓜石金铜矿床成矿跨度,并为成矿历史作了计时 (Chen Yue-Gau)。

矿物学和同位素地质学相结合的测年方法也有很大发展。如对用做测年的矿物锆石、榍石、金红石、磷灰石、独居石、褐帘石、锐钛矿等矿物的类型、微观结构和成因的研究 (J. C. Claore, 1990; A. P. Galbraham, 1994);又如,对不同世代矿物与成矿关系的研究,特别是应用矿物共生 (mineral paragenesis) 和矿物共生组合 (mineral association) 新概念对长江中下游铜铁成矿带九(江)-瑞(昌)铜金矿床的三维成矿 (3-D-t)。研究是目前国内成矿年代学研究新进展 (裴荣富, 1995)。矿床是矿物的集合体,集合体是由最基本单元 (矿物共生 MP) 和按一定的成矿机制组合在一起 (矿物共生组合 MA) 而形成的,实际上矿床就是 MP 和 MA 在成矿过程中的有序组合。研究 MP 和 MA 的有序性是成矿年代学方法最基础研究问题,也是解决同位素测年取样同源、初始值近似和同位素年代合理判定的最关键问题。

直接测定成矿流体的同位素测年方法也有很大发展。这是因为流体包裹体是矿物结晶时捕获的成矿溶液样品,不仅反映矿床组成的本质,也具更好封闭性。这是在 20 世纪 80

年代初由放射性年代学发展而来 (T. J. Shepherd 和 Dorbysbire, 1981), 相继对英国 Carrock 石英脉型钨锡矿床、加拿大 Bluetell 铅锌矿床、美国田纳西块状硫化物等矿床的石英和闪锌矿中流体测定均成功获得 Rb/Sr, Sm/Nd, U/Pb 等时线年龄。在国内也开展了“热液矿床矿物流体包裹体年代学研究”(李华芹等, 1988~1991), 并成功地完成了全国钨、锡、金和多金属矿床的精确测年工作, 特别是“八五”期间在新疆北部完成的同位素年代学研究报告, 包括了 13 个矿床的流体包裹体为主的多元同位素测年研究, 是目前我国最系统的成矿年代学研究成果之一。

比测试矿物中流体包裹体更为直接地测试金属矿物的 Re-Os 测年法也在国内外有新发展。它的最大特点是可以直接测定金属矿物的年龄, 为金属矿床测年提供了一种新手段, 这是因为铼与钼、钨、铜、镍等金属元素共生于金属硫化物矿床中。鉴于我国许多重要的热液成因矿床(斑岩型、矽卡岩型、云英岩型、脉型)都含有辉钼矿, 以及与超基性、基性岩有关的铂族矿床、铜镍硫化物矿床均含 Re, 都可以用 Re-Os 法测定成矿年龄。此外, 还可根据铼钼等时线初始值来确定矿床是壳源还是幔源, 该法有较广泛应用前景。在国内首次将同位素稀释等离子体质谱用于辉钼矿和铜镍硫化物的 Re-Os 系统地质年龄测定, 其记忆效应和研究的广度方面均优于国外同类技术水平。1996 年, 中国地质科学院岩矿测试技术研究所引进了美国 TJA ICP/MS SPECTROMTET, 对铼钼的检出限将比原用 PLASMA QUAD ICP/MS 好一个数量级, 更有利于低含量铼钼样品的研究。

综上所述, 金属成矿省演化与成矿年代学是当代成矿学 (metallogeny) 重要的国际前沿课题之一, 具有十分丰富的研究内容。系统研究成矿地质背景、成矿构造聚敛场、金属成矿相、金属矿床(即“景”、“场”、“相”、“床”)四个成矿等级体制的耦合性规律和成矿作用 3-D-t (成矿轨迹) 是深入认识金属成矿省内部“组成”(component)及其地质历史演化的新的发展内容。成矿年代学是同位素地质年代学在矿床地质科学领域中的具体实践, 新的成矿测年方法将是矿床地质学 and 同位素地质学相结合的综合方法, 而选择多元同位素体系、单矿物和矿物微区测年法也应是密切结合矿物共生 (MA) 和矿物共生组合 (MA) 研究的综合方法。金属成矿省演化与成矿年代学研究不仅具有重要的科学和理论意义, 也有重大的实用价值, 它将成为 21 世纪矿产资源科学研究的重要发展方向。

第二章 金属成矿省等级体制成矿

第一节 金属成矿省等级体制成矿的概念

在全球或一个国家范围内的一些特殊地质构造部位,明显地集中着某些金属组合,称为“金属省 (metalloprovince)”或“地球化学省 (geochemical province)”;由其形成某些类型矿床及其系列组合 (metallogenetic series associations),则称为“金属成矿省 (metallogenetic province)”或“成矿区带”。在金属成矿省的内部,存在着成矿地质背景 (metallogenetic geological setting)、成矿构造聚敛场 (metallotect convergence)、金属成矿相 (metallogenetic phases) 和金属矿床 (metal deposits),即“景”、“场”、“相”、“床”四个不同等级的成矿组成 (metallogenetic components),它们随地质历史演化、按不同层次 (metallogenetic level) 的耦合规律成矿,我们称之为“金属成矿省等级体制成矿 (hierarchy systematic metallogeny of a metallogenetic province)”。

金属成矿省等级体制成矿概念的形成和提出有一个渐进的历史过程。在 20 世纪 70 年代以前,金属成矿省被定义为由成矿作用形成的、具有一定矿物组成和一定形态类型与一定年代的地质体,或定义为相对丰富的、以同一类型矿化为主的成矿区域,有利于成矿物质沉积的时间域 (即“金属成矿期”)也与金属成矿省密切相关。在上述定义的影响下,主要通过编制各种成矿图使金属成矿省的研究得到很大的发展,前苏联地质学家在此领域的工作最为出色。但是,所有的成矿图以及有关的区域成矿论著均以表达在一定构造背景上圈定已产出的不同类型矿床空间分布为主,而对成矿的初始、发展到现存状态的演化历程,即对成矿来龙去脉及其行为研究不够,尤其是因众多成矿学派的观点分歧,对成矿作用的理论认识众说纷纭、争论激烈。

由于在世界上的一些特殊地区里明显地集中着某些金属及其组合或某些类型矿床及其系列组合 (Evans, 1980),自然地反映了地壳组分演化的不均一性,形成不同地球化学省 (geochemical province) 或地球化学块体 (geochemical block),它不仅是某种金属成矿的供应源,也是矿床空间分布规律的客观存在。据此,第 26 届国际地质大会提出了“矿化集中区” (矿集区) 的概念,即一个地区聚集一种或一组特定金属而不一定共有成因,并以大量矿床 (点) 密集的自然分布趋向论述区域成矿规律。世界地质图类委员会成矿图分委员会前主席盖尔德 (Guild, 1986) 在第 28 届国际地质大会上展示了美国数以万计的矿床 (点) 矿化集中区分布趋势图,为不同成矿学派的不同观点增补了客观性的新内容,但金属成矿省的地质演化史还得不到很好的反映。通过对陆壳和洋壳大量金属元素和不同类型矿床时空分布的深入研究,人们认识到,矿床的形成和分布大多与三大岩类有亲缘关系,甚至毫无例外地表现为一定类型矿床专属于一定构造环境、一定岩石组合和一定地质时代,并偏爱产于特定地质构造和地质时代双重限定的地壳演化过程的构造动力作用“足

迹”(swaths)中。实际上,矿床是在地质历史造壳进程中出现的有经济意义的特殊岩类,它和地层中出现的化石一样完全可以作为地壳地质历史演化的重要标记。任何不同区域和不同地质构造背景的金属成矿省,在其成矿演化过程中都具有同一内部组成及不同层次的成矿演化,即均需经过宏观—中观—微观的成矿作用进程。首先开始的是孕育在宏观成矿地质背景中的成矿场地准备(ground preparation),其次是在地质背景中出现的多种有利控矿因素汇聚形成的成矿构造聚敛场(中观),再次是在成矿构造聚敛场中发生的有利制约成矿的物理化学成矿相,以及在一定物理化学相中堆积的具有一定结构—构造的矿床(微观),即“景”、“场”、“相”、“床”四个等级体制及其耦合规律的成矿历程。在第29届国际地质大会“金属成矿省演化和成矿年代学”讨论会上,重点讨论了金属成矿省等级体制成矿问题,从而使之进入国际地质领域,并形成了以等级体制概念研究成矿学的国际氛围。

实际上,早在20世纪70~80年代,等级体制概念就已开始应用于岩石学和地层学研究。例如,英、美地质学家建立了不同构造环境中分布的不同花岗岩岩基内部都同样由特定的几个岩石类型组成的概念,即按具有一定亲缘关系的花岗岩石组合的一定次序出现的同源岩浆演化序列划分出单元、超单元和岩基段三个等级体制,并成功地做出科迪勒拉、内华达山脉等岩基的成岩演化。我国对华南花岗岩类深成侵入岩的构造填图,也从等级体制概念出发开展研究并获得显著成绩。又如,地层学与沉积学相结合的新学科——层序地层学,也同样是按有等级体制概念的沉积层序及全球海平面变化旋回的控制划分为巨、大、中、正、亚和小层6个等级体制。地层学的等级体制研究不仅是全球水圈相应于天体运动周期的沉积记录,也是对全球的和区域的地层划分与对比研究的新发展。现代分形理论也揭示自然界客观存在的复杂的、不规则形体都有着自己的内在规律和共同特征,即具有自相似性、层次性及伸缩不变性。其中,层次性是指分形整体中存在着等级不同的次系统,在结构中存在次结构,分形整体中的任何一部分又是一个整体,从而从非线性科学的角度论证了等级体制概念的科学性和普适性。

金属成矿省等级体制成矿是裴荣富根据在历届国际地质大会上多次重点讨论的金属成矿省及其地质历史演化的基础上首次提出的新概念,它与岩石学、地层学等学科中按等级体制有序次地研究成岩演化和沉积旋回的概念是类似的。金属成矿省的内部组成都具有“景”、“场”、“相”、“床”四个从宏观到微观的不同层次的等级体制,它不同于按不同规模划分的成矿省、成矿区带、矿田和矿床(体)。因而,运用金属成矿省等级体制成矿概念有层次地研究矿床的空间分布特征和成矿演化规律,不仅可以提高区域的以及全球的成矿学研究水平,发展成矿学理论,而且对有序次地进行矿产合理勘查评价也具有重要实用意义。

第二节 金属成矿省等级体制成矿的研究内容

金属成矿省等级体制成矿的研究目标是把一个世纪以来的仅以在一定成矿地质构造背景基础上圈定不同类型矿床而标定成矿区带的固定论发展为随地质历史推移按成矿地质背景、成矿构造聚敛场、金属成矿相和金属矿床四个等级体制逐次演进成矿的活动论新概念,其基本研究内容是。

一、成矿地质背景研究

“成矿地质背景 (metallogenic geological setting)”包括“成矿构造域 (metallogenic tectonic domain)”和“成矿堆积环境 (metallogenic accumulation environment)”两个层次。“成矿构造域”是宏观的成矿环境,范围广袤,一般可达数万乃至数十万平方公里,具有洲际及全球性规模。“成矿堆积环境”则是成矿构造域中出现的有利于矿带及矿田形成和分布的“次宏观”的成矿环境。通常,人们把有利的成矿堆积环境仅仅归纳为两个地质构造单元交接的边缘带或地球物理、地球化学显示的各项参数急变带。显然,这是很不够的,必须进一步深入研究不同构造单元的交汇样式、相互作用强度和彼此影响范围,特别应结合矿化传导不连续性 (transitional discontinuity),从广袤的成矿构造域中聚焦和提取有利的成矿堆积环境。矿化传导不连续性是反映区域矿化频率的新概念,而矿化频率及其形式是认识一般成矿地质背景可能出现有利的成矿堆积环境的深化。

根据区域地质构造发展演化特点及成矿作用特征,可以将中国的成矿地质背景划分为前寒武纪地块成矿构造域、古亚洲成矿构造域、秦-祁-昆成矿构造域、特提斯-喜马拉雅成矿构造域和滨西太平洋成矿构造域,并在五大成矿构造域中进一步划分出 28 个成矿堆积环境,在每一个成矿堆积环境中配置了若干矿床模式 (表 2-1),这是反映宏观及微观不同等级体制成矿的较好实例。

(一) 前寒武纪地块成矿构造域

中国前寒武纪古陆壳经历了长达 3000Ma 以上的复杂的多旋回地质构造演化,形成了独具特色的前寒武纪地块成矿构造域。前寒武纪发生的重大地质事件主要表现为壳幔分异引发的大陆造壳运动,包括古太古代一中太古代迁西期 ($\geq 2900\text{Ma}$) 内生造壳事件及变质造壳事件、新太古代阜平-五台期 (2900~2500Ma) 火山沉积变质造壳事件及深熔岩浆造壳事件和元古宙中条-晋宁期 (2500~800Ma) (火山) 沉积造壳事件及深成岩浆造壳事件。在空间上,形成华北古陆、塔里木-柴达木古陆、扬子古陆、华夏古陆等前寒武纪地块。

前寒武纪地块成矿构造域的成矿堆积环境主要有下列 7 种类型。

1. 高级变质地体成矿堆积环境

高级变质地体是太古宙 (特别是古太古代一中太古代) 特有的一种成矿堆积环境,主要分布于前寒武纪地块成矿构造域的华北古陆以及塔里木古陆、扬子古陆及佳木斯地块。

在华北古陆上,高级变质地体主要出现于古陆北缘及南缘,矿床类型以 BIF 型铁矿床、变质型石墨及矽线石矿床、石英脉型金矿床等为特色。现存的古太古代一中太古代陆核主要由基性-中酸性火山-沉积表壳岩组成,变质后形成基性麻粒岩-片麻岩、斜长角闪岩、变粒岩、磁石英岩,局部有少量孔兹岩和碳酸盐岩变质而成的矽线石片麻岩、石墨片麻岩和大理岩,这些火山-沉积表壳岩通常产于一些孤立的火山-沉积盆地中。在火山喷发、沉积过程中,金大量富集于下部基性岩中,而铁则富集于上部硅质岩中,后来发生的区域变质作用和韧性剪切构造变形作用使金、铁进一步分异富集,并在下部的斜长角闪岩、角闪斜长片麻岩等岩石中形成变质热液石英脉型金矿床,在上部磁石英岩中形成沉积变质型铁矿床,在孔兹岩系中则形成变质型石墨和矽线石矿床。

表 2-1 中国成矿地质构造背景与矿床模式

成矿构造域	成矿堆积环境	矿床模式
前寒武纪 地 块 成矿构造域	克拉通断隆区	正长（钾化）岩中金矿床模式（乌拉山）
		剪切构造糜棱岩中金矿床模式（内蒙古）
		金伯利岩中金刚石矿床模式（山东、辽宁）
	古陆缘活动（花岗-绿 岩）带	条带状铁建造中铁矿床模式（鞍山式）
		变中酸性火山岩中铜锌矿床模式（红透山式）
		绿岩带中金矿床模式（夹皮沟式）
	古陆及其边缘裂谷带 （裂陷槽）	沉积变质岩中石墨矿床模式（内蒙古、山东、黑龙江）
		铁铈稀土（碳酸岩）矿床模式（白云鄂博式）
		火山-沉积（-侵入）岩中铜矿床模式（中条山式）
		变钠质熔岩中铁铜矿床模式（大红山式）
		镁铁质-超镁铁质岩中铜镍硫化物矿床模式（金川式）
		火山喷发沉积岩系中铜钴金矿床模式（川滇地区）
		镁质碳酸盐岩中铜矿床模式（东川式）
		（火山-）沉积岩系中贱金属硫化物矿床模式（狼山式）
		碳酸盐岩容矿的铅锌矿床模式（关门山式）
		变碎屑岩-碳酸盐岩中铅锌矿床模式（青城子式）
		沉积岩系中硼矿床模式（辽宁南部）
		镁质碳酸盐岩中滑石菱镁矿矿床模式（大石桥式）
		基性岩中钒钛磁铁矿矿床模式（攀枝花式）
	古陆盆地及其 边缘坳陷带	碎屑-粘土岩中铁矿床模式（宣龙式）
		陆源碎屑岩中盐类矿床模式（柴达木式）
		粘土岩-碳酸盐岩中磷矿床模式（什邡式）
		碳酸盐岩-硅质岩中磷矿床模式（昆阳式）
古亚洲 成矿构造域	火山岛弧（优地槽）带	拉斑玄武岩系中铜金铂矿床模式（白乃庙式）
		英安-角斑岩系中铜锌矿床模式（阿舍勒式）
	古海槽（沟） （优地槽）带	镁铁质-超镁铁质岩中石棉矿床模式（石棉县式）
	板块缝合（蛇绿岩）带	蛇绿岩中铬铁矿矿床模式（新疆、西藏、内蒙古）
	陆缘构造-岩浆带	伟晶岩中稀有金属矿床模式（阿尔泰式）
		中酸性斑岩铜矿床模式（多宝山式）
	陆内盆地（陆表海）区	沉积岩中铝土矿矿床模式（华北地区） 砂钙质粘土中芒硝矿床模式（达拉特式）
秦-祁-昆 成矿构造域	火山岛弧（优地槽）带	细碧-角斑岩系中铜铅锌矿床模式（白银厂式）
	古海槽（沟） （优地槽）带	火山-沉积岩中铁矿床模式（镜铁山式）
	弧后及陆缘冒地槽带	碳酸盐岩-碎屑岩中铅锌矿床模式（秦岭式）

续表

成矿构造域	成矿堆积环境	矿床模式
特提斯－喜马拉雅成矿构造域	火山岛弧（优地槽）带	流纹－英安岩中重晶石铅锌银矿床模式（岬村式）
	板块缝合（蛇绿岩）带	蛇绿混杂岩中金矿床模式（哀牢山式）
	弧后及陆缘冒地槽带	变质岩中钨铋金矿床模式（沃溪式）
		碳酸盐岩中汞矿床模式（万山式）
		碳酸盐岩中重晶石矿床模式（贡溪式）
		碳酸盐岩－碎屑岩中锰矿床模式（湘潭式）
	陆缘构造－岩浆带	橄榄岩中铜镍矿床模式（川西）
		与岩浆活动有关的铜铅矿床模式（玉龙式）
	陆内盆地（陆表海）区	碳酸盐岩容矿的铅锌矿床模式（凡口式）
		碎屑岩中铁矿床模式（宁乡式）
		碎屑岩中铅锌矿床模式（金顶式）
		古风化壳中铝土矿床模式（修文式）
		砂岩铜矿床模式（滇中式）
		碳酸盐岩中盐类矿床模式（自贡式）
		近代盐湖锂硼钾/钾镁（钙）盐矿床模式（青藏高原）
		碎屑岩中钾盐矿床模式（云南）
滨西太平洋成矿构造域	后海西隆起区构造岩浆带	中酸性浅成－高侵位斑岩铜（钼）矿床模式（乌奴格吐山式）
	后海西拗陷区构造岩浆带	与酸性侵入岩有关的铁锡矿床模式（黄岗式）
		与中酸性火山－侵入岩有关的铅锌矿床模式（白音诺尔式）
		（火山－）沉积岩系中块状硫化物铜铅锌矿床模式（永平式）
	后加里东隆起区构造岩浆带	酸性浅成－高侵位斑岩锡矿床模式（银岩式）
		与中浅成花岗岩类有关的钨铋铌钽矿床模式（西华山－大吉山式）
		与花岗岩有关的铀矿床模式（华南）
		花岗岩伟晶岩中锡－稀有金属矿床模式（武夷山、云开大山）
	后加里东拗陷区构造岩浆带	与中浅成花岗岩类有关的锡铋铌钽矿床模式（香花岭式）
		与中深成花岗岩类有关的钨锡铋钽矿床模式（柿竹园式）
		与中深成花岗岩类有关的锡多金属矿床模式（个旧式）
		与中浅成花岗岩类有关的锡多金属矿床模式（大厂式）
	后加里东深断裂构造岩浆带	与中深成花岗岩类有关的铅锌矿床模式（水口山式）
	陆（台）内隆起区构造岩浆带	酸性中浅成斑岩钼矿床模式（金堆城式）
		中酸性浅成斑岩铜矿床模式（德兴式）
		中酸性中浅成斑岩钨矿床模式（阳储岭式）
		中酸性火山岩中铅锌铜银矿床模式（银山式）

成矿构造域	成矿堆积环境	矿床模式
滨西太平洋 构造成矿域	陆(台)内坳陷区 构造岩浆带	与中性中浅成侵入岩有关的铁矿床模式(邯-邢式)
		玢岩铁矿床模式(宁芜式)
		与中酸性中浅成侵入岩有关的铁铜矿床模式(大冶式)
		与中酸性中浅成侵入岩有关的铜金矿床模式(铜陵式)
		碳酸盐岩容矿的锑矿床模式(锡矿山式)
		碳酸盐岩容矿的铅锌矿床模式(栖霞山式)
	古基底活化 构造岩浆带	与花岗质岩浆活动有关的蚀变岩-石英脉型金矿床模式(焦家-玲珑式)
		与花岗岩有关的石英脉型金矿床模式(小秦岭式)
		韧性剪切蚀变带中糜棱岩金矿床模式(河台式)
		与中酸性火山-侵入岩有关的铅锌银矿床模式(蔡家营式)
	陆缘火山-侵入岩带	玄武岩中超镁铁质包裹体中橄榄石矿床模式(冀北)
		酸性火山岩中沸石矿床模式(河北、山东、东南沿海)
		中酸性火山-侵入岩中铅锌银矿床模式(冷水坑式)
		酸性火山-侵入岩中铜金矿床模式(紫金山式)
		酸性火山岩中铀矿床模式(中国东部)
		酸性火山岩中明矾石-叶蜡石矿床模式(东南沿海)
		酸性火山岩中萤石矿床模式(东南沿海)
		酸性火山岩中铜金矿床模式(金瓜石式)
	陆(台)内沉积盆地	湖相沉积泥灰岩中石膏矿床模式(中国东部及西南部)
		沉积岩系中天然碱矿床模式(中国北部)
		陆相沉积砂岩铀矿床模式(江西、广西、湖南)
		碳硅泥岩中铀矿床模式(江西、湖南、四川)
	表生风化带	洪积-冲积金矿床模式(黑龙江)
		铁帽型金矿床模式(长江中下游)

(据裴荣富等, 1995)

2. 花岗-绿岩地体成矿堆积环境

花岗-绿岩地体是太古宙(特别是新太古代)的一种最重要的成矿堆积环境, 主要分布于华北古陆各新太古代微陆块之间的岩浆接合带中, 在其他古陆块上罕见。

在华北古陆东部岩浆接合带中由北向南产有桦甸、清原、鞍山、遵化、鲁西、登封等绿岩带, 西部岩浆接合带中则产有色尔腾山、五台山等绿岩带。这些绿岩带火山-沉积建造主要形成于活动陆缘岛弧构造环境或弧后环境, 其中产有重要的铁、金、铜等矿床。绿岩型铁矿床一般产于火山-沉积建造上部硅铁质岩中, 经过角闪岩相-绿片岩相变质作用, 形成条带状磁铁矿矿床。绿岩型金矿床有两种类型, 一种发育于火山-沉积建造下部基性火山岩中, 容矿岩石为斜长角闪岩、(角闪)绿泥片岩、绢云绿泥片岩等, 含金石英