

# 华北陆块北缘区域矿床成矿谱系探讨

陈毓川<sup>1</sup>, 薛春纪<sup>2</sup>, 王登红<sup>3</sup>, 李华芹<sup>4</sup>, 路远发<sup>4</sup>

(1. 中国地质科学院, 北京 100037; 2. 长安大学 地球科学与国土资源学院, 西安 710054;  
3. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037; 4. 宜昌地质矿产研究所, 宜昌 433003)

**寄言** 徐克勤先生生前十分重视区域成矿规律的研究, 在徐老谢世一周年之际, 特以此拙作表达纪念之情。

**摘要:** 区域矿床成矿谱系是区域成矿规律研究的重要内容, 指一个区域内地质构造环境演化过程中成矿作用的演化及时空结构。在华北陆块北缘划分出 18 个矿床成矿系列, 讨论了它们的分布特点。华北陆块北缘区域矿床成矿谱系证实该区域经历四个主要的地壳演化及成矿时期, 依次出现太古宙克拉通矿床、元古宙陆内-陆缘裂陷带矿床、古生代陆间增生褶皱系和陆内盖层矿床、中生代构造-岩浆活动带矿床, 存在三个(3 000~2 500 Ma, 1 900~1 400 Ma 和 180~140 Ma)成矿作用高峰。成矿谱系指示了从太古宙进入元古宙时, 海水和大气的氧化还原电位明显升高的过程。成矿谱系研究意义重大。

**关键词:** 成矿年龄; 成矿谱系; 地壳演化; 海水和大气演变; 华北陆块北缘

**中图分类号:** P612

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-7493(2003)04-520-16

## 1 矿床成矿系列研究及区域矿床成矿谱系概念

### 1.1 概念的提出

矿床成矿系列指一定地质构造单元和一定地质构造旋回内与一定地质作用有关形成的在成因上有联系的不同矿种、各成因类型及在不同地质位置产出的矿床组合(程裕淇等, 1978, 1979, 1983; 陈毓川等, 1994, 1998, 1999)。矿床成矿系列研究的视野从矿床本身扩展到地壳一定地质构造单元和一定演化阶段地质构造环境中的成矿作用。

在各个区域, 从形成地壳至今都先后经历了不同时期的地质构造发展历史, 与各地质历史发展阶段相伴随均有程度不等、性质不同的成矿作用发生, 并形成不同的矿床成矿系列。不同区域因各自具有不同的壳幔结构及地质构造发生、发展和演化过程, 故矿床成矿系列的性质和演化历史也各具特色。本文把各个特定区域内地质构造演化全过程中成矿系列的演化和分布规律称为“区域矿床成矿谱系”, 也就是指一个区域内地质构造演化过程中成矿作用的演化及时空结构。成矿谱系具有区域性, 不同区域成矿谱系特点各异, 使用“成矿谱系”这个概念, 是因为在一个区域内的成矿作用均决定于本区域地球层圈间的相互作用, 后期的成矿作用都是在前期成矿地质环境及物质组成基础上进行的, 因此, 早晚不同时期的成矿作用, 在成矿背景

**基金项目:** 国家重点基础研究发展规划项目(G1999043201; G1999043203)及地质调查项目(K1.4)资助  
**第一作者简介:** 陈毓川, 1934年生, 院士, 矿床学专业。联系方式: 北京百万庄大街26号, 邮编: 100037

上必然具有区域构造演化方面的继承性,并表现出成矿物质间的内在联系,存在一定程度的“亲缘”关系和演化趋势。

### 1.2 意义和方法

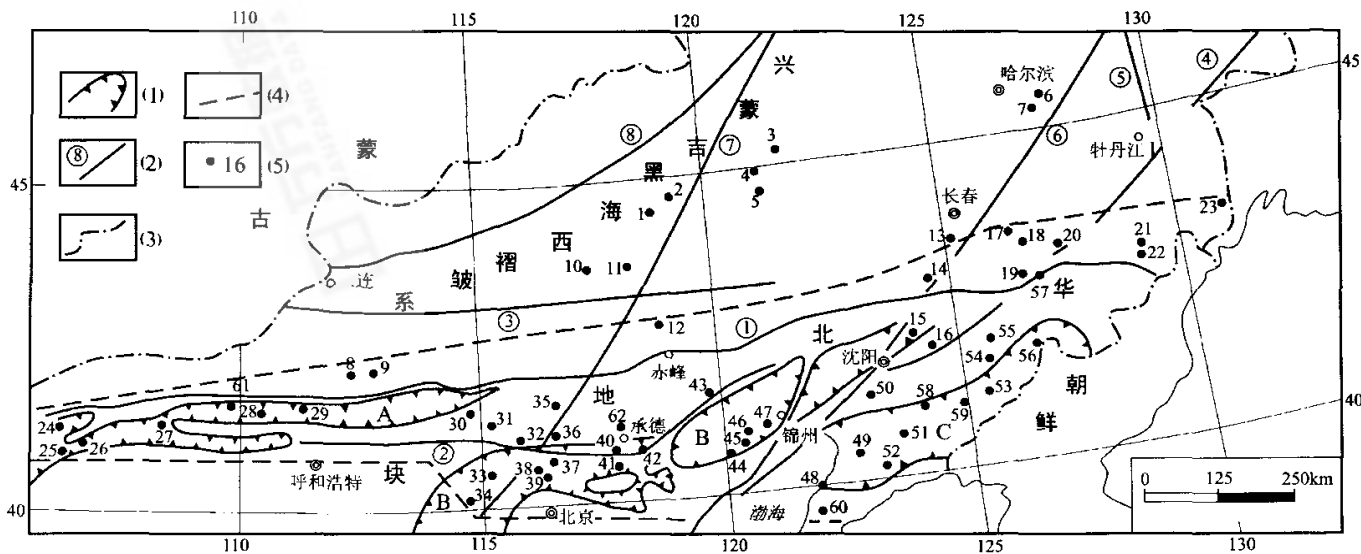
成矿谱系从演化的观点出发强调时间的重要性。地质学研究大约 45 亿年历史中地球的发展和演化,生命在演化、大气圈在演化、水圈在演化,那么成矿作用肯定也是在演化。研究成矿作用在地质历史中的演化不只是矿床学本身的需要,同时可提供关于地球一般演化的有用信息和研究这些信息的一种重要手段。区域地质历史中的成矿作用亦反映了地质构造环境的演化,涉及地幔、地壳、水圈、大气圈乃至生物圈环境的演化,而矿床正是在这些环境中形成的。区域矿床成矿谱系可揭示成矿物质在区域地质构造演化过程中分散与集中、组合与变化、区域成矿作用的继承性与突发性等规律,是区域成矿学的重大问题,也是研究区域壳幔作用及演化的重要内容。

矿床成矿系列和区域矿床成矿谱系的研究,不但具有地质理论意义,而且可用于指导矿产勘查工作。“九五”期间,第二轮全国成矿远景区划工作采用了矿床成矿系列的概念作为成矿远景分析的地质理论基础,对促进成矿预测工作起到了积极作用(陈毓川,1999)。矿床成矿系列和区域矿床成矿谱系研究的重要意义就在于启迪找矿思维,开拓找矿思路,提高找矿效果。

在方法学上,区域矿床成矿谱系研究是以区域地壳演化历史为背景,以区内众多重要矿床成矿基本事实为基础,配合成岩成矿和相关地质事件年龄精测,通过对区域内成矿作用的深入分析、广泛对比、系统总结、全面归纳,以矿床成矿系列为基本单位建立时间坐标上的成矿作用历史演化序列,揭示其空间分布规律,最终达到发展矿床地质理论和指导勘查找矿两个目标。成矿谱系研究已在桂北地区和阿尔泰地区开展了示范性工作(陈毓川等,1995;王登红等,2002)。

### 1.3 研究的区域

本文选择华北陆块北缘进行区域矿床成矿谱系探讨,它是华北陆块北缘地台区和内蒙—兴安—吉黑褶皱系两个不同构造单元的邻接部位及叠加于其上的中—新生代濒太平洋构造—岩浆活动区。地理上西起内蒙狼山,东至黄海南部边缘和朝鲜剑德,北界大致在乌拉特后旗—白云鄂博—苏尼特右旗—翁牛特旗—通辽—公主岭—新开岭—汪清—一线,南侧大致以临河—包头—呼和浩特—张家口—北京—秦皇岛—越渤海到瓦房店—一线为界,面积约 40 万 km<sup>2</sup>(图 1)。在这个地区进行区域矿床成矿谱系探索是出于三个考虑:一方面,该地区发育中国最古老的陆壳(万渝生等,2001),构造、沉积、变质、岩浆等地质作用发展演化长期、完整而系统(程裕淇等,1994;任纪舜,2000),而且地质学家关于该区地壳演化的区域地质学研究取得了丰硕成果(马杏垣,1987;姜春潮,1987;张秋生,1988;伍家善,1991;贺高品,1991;王东方,1992;贺同兴,1992;程裕淇等,1994;白瑾等,1996;陈毓川,1999;任纪舜,2000);另一方面,华北陆块北缘是我国黑色、有色和贵金属及非金属等矿产资源的集中产区之一(图 1),矿产勘查和矿床学已取得丰富成果(钱祥麟,1985;蒋少涌等,1989;罗耀星等,1990;冯钟燕等,1992;宋叔和,1992;丁梯平等,1992;余金杰等,1993;芮宗瑶等,1994;王魁元等,1994;沈保丰等,1994;周世泰,1994;骆辉,1994;傅德彬等,1994;刘志礼等,1995;白鸽等,1996;裴荣富等,1998;陈毓川,1999;陈昌勇等,1999;翟裕生等,1999;陈毓川等,2001;毛景文等,2001;顾连兴等,2001;郝梓国等,2002;薛春纪等,2003),具备开展成矿谱系研究的条件;第三,华北陆块北缘地壳运动强烈,地质演化长期而复杂,矿产勘查不断取得新突破,成矿和找矿潜力巨大。



(1) 元古宙裂陷区(The rifting area of the Proterozoic Era): A. 狼山-渣尔泰山中-新元古宙裂陷槽(middle-upper Proterozoic rift of Langshan-Zhaertaishan), B. 燕辽-泛河中元古宙裂陷槽(middle Proterozoic rift of Yanshan-Western Liaoning-Fanhe), C. 辽东-吉南古元古宙裂陷谷(lower Proterozoic rift of Eastern Liaoning-Southern Jilin); (2) 主要断裂及编号(The main faults and their numbers): ① 华北地台北缘(northern margin of the Northern China Plate), ② 集宁-承德-凌源断裂(Jimeng-Chengde-Lingyuan fault), ③ 西拉木伦(Xilamulun fault), ④ 抚顺-密山断裂(Fushun-Mishan fault), ⑤ 牡丹江-佳木斯(Mudanjiang-Jiamusi fault), ⑥ 依兰-伊通(Yilan-Yitong fault), ⑦ 大兴安岭-太行山(Daxing'anling-Taihangshan fault), ⑧ 二连-黑河(Erlian-Heihe fault); (3) 国界(The national boundary); (4) 研究区范围界线(The research area boundary); (5) 重要矿床及编号(The important ore deposits and their numbers): (1. 白音诺(Baiyinuo); 2. 浩布高(Haobugao); 3. 莲花山(Lianhuashan); 4. 孟恩陶勒盖(Meng'entaolegai); 5. 布敦花(Budunhua); 6. 弓棚子(Gongpengzi); 7. 石发(Shifa); 8. 白乃庙(Bainaimiao); 9. 别鲁乌图(Bieluwutu); 10. 黄岗梁(Huanggangliang); 11. 大井(Dajing); 12. 小营子(Xiaoyingzi); 13. 放牛沟(Fangniugou); 14. 山门(Shanmen); 15. 关门山(Guanmenshan); 16. 红透山(Hongtoushan); 17. 大黑山(Daheishan); 18. 地局子(Dijuzi); 19. 红旗岭(Hongqiling); 20. 漂河川(Piaohечuan); 21. 天宝山(Tianbaoshan); 22. 长仁(Changren); 23. 小西南岔(Xiaoxinancha); 24. 霍各乞(Huogeqi); 25. 炭窑口(Tanyaokou); 26. 东升庙(Dongshengmiao); 27. 甲生盘(Jiashengpan); 28. 黄花滩(Huanghuatan); 29. 小南山(Xiaonanshan); 30. 兰阔(Lanyan); 31. 蔡家营(Caijiaying); 32. 青羊沟(Qingyanggou); 33. 贾家营(Jiajiaying); 34. 三义庄(Sanyizhuang); 35. 营房(Yingfang); 36. 撒岱沟门(Sadaigoumen); 37. 石窑(Shiyao); 38. 大庄科(Dazhuangke); 39. 东三岔(Dongsancha); 40. 寿王坟(Shouwangfen); 41. 高板河(Gaobanhe); 42. 小寺沟(Xizosigou); 43. 首家营子(Xiaojiaoyingzi); 44. 八家子(Bajiazi); 45. 杨家杖子(Yangjiazhangzi); 46. 兰家沟(Lanjiagou); 47. 老虎洞(Laohudong); 48. 华铜(Huatong); 49. 周家(Zhoujia); 50. 鞍山(Anshan); 51. 青城子(Qingchengzi); 52. 岫岩(Xiuyan); 53. 二棚甸子(Erpengdianzi); 54. 赤柏松(Chibaisong); 55. 二密(Ermi); 56. 荒沟山(Huanggoushan); 57. 夹皮沟(Jiapigou); 58. 翁泉沟(Wengquanguo); 59. 花园沟(Huayuangou); 60. 望宝山(Wangbaoshan); 61. 白云鄂博(Baiyu'ebo); 62. 大庙(Damiao))

图1 华北陆块北缘地质与矿产简图及研究区范围

Fig. 1 Simple geological and mineral resources map in the northern margin of the North China Plate and the research area

## 2 区域地壳演化及成矿背景

### 2.1 地壳演化

研究区以太古宙迁西—阜平时期陆核发育开始,原始陆壳分成花岗片麻岩穹隆和绿岩性质的盆地,稳定区与活动带并存。在盆地内以基性火山熔岩喷发为主,夹硬砂岩。阜平运动使各陆核相继固结、聚合和首次克拉通化。

元古宙是华北陆块地壳演化的重大转折期。古元古宙华北陆块开始形成,五台—吕梁阶段的主要地质事件是在华北陆核基础上的裂谷作用(图 1),如辽东—吉南裂谷,五台期裂谷第一次开合,溇沱期裂谷第二次开合,出现第二次克拉通化,华北陆块进入相对稳定的地质时期。

中—新元古代四堡—晋宁阶段华北陆块地壳厚度和刚性继续增加,在陆块北缘出现燕辽—泛河裂陷槽、狼山—渣尔泰裂陷槽(图 1),四堡中期裂陷槽封闭,华北陆块北缘进入相对稳定的构造环境。晋宁晚期,华北陆块北缘出现强烈褶皱造山作用和区域低温动力变质。至青白口纪所有裂陷槽闭合,华北陆块进入更为稳定的构造时期。晋宁末期,塔里木板块与华北板块对接,第三次克拉通化终止。

晋宁运动后,华北陆块进入地台演化阶段。在整个加里东运动中经历了震旦纪末抬升—早寒武世沉降—中奥陶世末再抬升的过程,造成区内寒武系和下—中奥陶统最为发育,而上奥陶统、志留系、泥盆系及下石炭统缺失。到中石炭世,华北陆块北缘成为广表浅海,接受海陆交互沉积,至二叠纪在加里东期已存的狭窄隆起带(内蒙地轴)南侧形成巨大的内陆含煤盆地。晚二叠世西伯利亚板块与华北板块对接,碰撞作用使海西期发育大量花岗岩浆侵入,劳亚联合大陆形成。

印支运动在华北陆块北缘表现为沿基底薄弱带的断裂活动,印支运动以后,进入与太平洋板块和特提斯海演化相联系的盆地发展史,在东部以裂陷盆地为主,西部以压陷盆地为主。燕山期受太平洋板块和西伯利亚板块影响,发生板内造山运动,表现为基底的差异升降,沉降带和隆起带相间出现,伴有大规模的火山喷发和中酸性岩浆侵入活动。喜马拉雅期,区内发生强烈的断块升降,形成多个断陷或坳陷盆地,伴有玄武岩浆喷溢。

### 2.2 沉积和变质作用

太古宙沉积岩以基性火山岩和硬砂岩为主,伴随陆核发育,形成花岗—绿岩地体,变质相一般为角闪岩相到麻粒岩相(少数绿岩带中是绿片岩相)。元古宙沉积趋于成熟,在裂陷槽内堆积了巨厚的火山岩—碎屑岩—页岩—碳酸盐岩建造,古元古界多为优地槽裂谷沉积,中—新元古界多为冒地槽裂谷沉积;相对于太古宙地壳厚度增大,刚性增强,热流值较低,变质相一般是绿片岩相到低角闪岩相。

早古生代寒武系为浅海陆棚相碳酸盐岩及泥砂质沉积,下—中奥陶统为稳定型海相沉积。上奥陶统至下石炭统缺失。从中石炭统到二叠系沉积环境由海陆交互演变为内陆洪泛平原。中—新生代为内陆盆地沉积,以大陆沉积环境为主。

### 2.3 岩浆活动

太古宙岩浆活动主要分布在华北陆块北缘靠地台一侧的古老基底地区,除大面积的洋底钙碱性系列镁铁质岩浆喷溢外,尚有 TTG 岩套。元古宙岩浆活动较弱,仅在西部内蒙狼山—渣尔泰裂陷槽和东部辽东—吉南裂谷带岩浆活动较强,火山活动和侵入作用都较发育,而中部燕辽—泛河裂陷槽岩浆活动弱,分布零星;但克拉通内部非造山岩浆活动和基性—超基性岩浆侵入在冀北有重要表现。

加里东期岩浆活动弱,分布在华北陆块北缘的外(北)带,火成活动主要见于裂谷区,温都尔庙发育一套俯冲带活动型火山沉积建造,吉林延边地区有条带状大岩基出露。海西期岩浆活动强烈,以大规模酸性岩浆侵入为主,所形成的侵入体主要沿华北陆块与西伯利亚板块缝合带两侧分布,构成一个巨大的东西向岩浆带。

印支期岩浆活动弱,出现在辽东—吉南和内蒙古中西部地区,侵入作用为主,火山喷发次要。燕山期是华北陆块北缘岩浆活动最为强烈的时期,其影响几乎遍及整个地区,总体上呈现自东向西岩浆活动强度逐渐减弱和时代变老的趋势。在空间上,燕山旋回岩浆活动 NE、NNE 向展布,火山岩及其同期同源的侵入岩常相伴产出,侵入岩多分布在基底隆起区,而火山岩分布在隆起之间的断陷盆地;在时间上,岩浆活动具有多期多阶段性,但最为强烈的时期在晚侏罗世—早白垩世。

新生代岩浆活动继承了燕山旋回特点,但总体较弱,主要表现为基性岩浆喷发和局部线型小侵入活动。

#### 2.4 区域构造演化

构造、沉积、变质及岩浆等作用演化的结果使华北陆块北缘地壳形成了多个构造层,即最底部的太古宙克拉通基底构造层、元古宙克拉通边缘或内部裂陷带、上部古生界陆间增生褶皱系和陆内盖层等所构成的古亚洲构造层以及叠加于它们之上的中—新生界构造—岩浆带。

太古宙克拉通表现为强烈而广泛的火山喷发活动,变质使早期多个陆核固结和聚合,形成花岗—绿岩地体。

元古宙裂陷带是在太古宙陆核内或边缘发生的裂陷,从西到东分别是狼山—渣尔泰山中—新元古宙裂陷槽、燕辽—泛河中元古宙裂陷槽、辽东—吉南古元古宙裂谷(图1)。

古亚洲构造层:华北陆块北缘从新元古代开始逐渐由被动大陆边缘转为活动大陆边缘。早古生代蛇绿岩带的发现确认了华北陆块北侧加里东期优地槽和加里东期板块聚敛带的存在(芮宗瑶等,1994),早古生代深海优地槽沉积地层,以及相伴的基性—超基性杂岩和同造山期花岗岩反映了早古生代洋盆开合史。海西期洋盆比加里东期小,呈现残余洋盆特点,少部分是新生的。海西晚期广泛分布的花岗质岩石标志着古亚洲洋的最后封闭。

中—新生代受濒太平洋构造影响,发育陆内构造运动,隆起的山脉与沉陷的盆地相互交替,陆相火山活动和花岗质岩浆侵位广。岩浆活动带有大兴安岭—太行山、阴山—燕山、吉南—辽东和吉北等构造—岩浆带,它们受复活的基底断裂控制,活动时间长,侵入和喷发的次数多,尤以燕山旋回岩浆活动最为强烈。

### 3 各个地质时期重要矿床及分布

各个地质时期重要矿床及其矿石建造、矿床成因类型、成矿地质环境、容矿地层/岩石、成矿作用同位素年龄等基本特点的分析及归纳是探索区域矿床成矿谱系的基础。华北陆块北缘随地壳演化,太古宙的重要矿床有鞍山式铁矿床、红透山式铜—锌矿床和绿岩型金矿床;元古宙时期有色金属、硼、菱镁矿、REE、沉积铁矿等矿床十分重要,如狼山地区的铅锌铜硫矿床、辽东地区的硼矿床和菱镁矿矿床、白云鄂博的 Fe-REE 矿床、宣龙式铁矿床;古生代的重要矿床较少,岩浆型矿床(如红旗岭 Fe-V-Ti 矿床、瓦房店金刚石矿床)较重要;晚古生代的煤矿丰富;中生代受构造—岩浆—热液活动控制,形成多种热液型矿床,代表性的如杨家杖子钼矿床、寿王坟铜矿床、蔡家营铅锌矿床和小西南岔、东坪、五龙金矿床等,能源矿产在这个时期十分重要;新生代的重要矿床很少。各个地质时期的重要矿床及基本特征列于表1。

表 1 华北陆块北缘各个地质时期重要矿床及其基本特点

Table 1 The important mineral deposits of different periods in the northern margin of the North China Plate, and their basic characteristics

矿床(式)	矿石建造	成因类型	成矿环境	容矿地层/岩石	成矿年龄(Ma)	资料来源*
<b>太古宙</b>						
鞍山式	BIF - Au	火山沉积受变质	太古宙克拉通	鞍山群	3 140 3 330	于津生, 1977 洪文兴, 1979
红透山	Cu - Zn - (Au)	受变质 VMS 型	太古宙克拉通	鞍山群	3 258 ± 37 3 072.4 ± 52.64 2 850 ~ 2 600	黄承义, 1982 陈洪江, 1983 陈毓川等, 2001 翟裕生等, 1999
夹皮沟	Au	绿岩带石英脉型 (有中生代改造)	花岗-绿岩带	三道沟群	2 566 2 453 2 496 ± 33 2 475 ± 19	陈毓川等, 2001 陈毓川等, 2001 陈毓川等, 2001
南龙王庙	Au	绿岩带细脉浸染型	花岗-绿岩带	鞍山群	>2 409 2 511 ~ 2 587	辽宁有色 101 队, 1981 李俊建等, 1995
柏枝岩	BIF - Au	BIF 中的金矿床	太古宙克拉通	五台群	2 295 ~ 1 359	陈毓川等, 2001
金厂峪	Au	绿岩带石英脉型	花岗-绿岩带	迁西群	2 661 2 391 2 190 ± 58	张秋生等, 1991 张秋生等, 1991 何永年等, 1992
<b>古元古代</b>						
小营盘	Au	脉型金矿	太古宙克拉通	五台群	1 826 ± 31 ~ 1 800 ± 14	胡小蝶等, 1994
排山楼	Au	绿岩带细脉浸染型	花岗-绿岩带	迁西群	2 149 ± 86 2 413 ± 2	骆辉等, 1994 崔文元等, 1991
庞家堡	Fe	海相生物-沉积	大陆边缘盆地	长城系	1 909 ~ 1 922	地化所, 1974
瓦房子	Mn	海相沉积	大陆边缘盆地	长城系	Pt <sub>1</sub>	
赤柏松	Cu-Ni	岩浆型	克拉通裂谷	超基性岩	2 242.5	汤中立, 1989
荒沟山	Pb-Zn	火山沉积受变质	克拉通裂谷	辽河群	1 816 ~ 1 907	王文文, 1987
张家堡子	Pb-Zn	火山沉积受变质	克拉通裂谷	辽河群	2 275	邓功全, 1983
青城子	Pb-Zn	火山沉积改造	克拉通裂谷	辽河群	1 900	丁佛平等, 1992
翁泉沟	B-Fe-(U-REE)	火山沉积-变质	克拉通裂谷	辽河群	1 977 ~ 1 812 1 917 ± 27 1 855 ± 6 1 411.8 ± 1.60 1 922 ± 11	冯本智, 1985 本文 本文 本文 本文
连山关	U	火山沉积	克拉通裂谷	辽河群	Pt <sub>1</sub>	
花沟园	B	火山沉积-变质	克拉通裂谷	辽河群	1 977 ~ 1 812 1 420.6 ± 2.41 1 423.2 ± 43.96	冯本智, 1985 本文 本文
砖庙	B	火山沉积-变质	克拉通裂谷	辽河群	1 917 ± 11 1 896 ± 24	本文 本文
后仙峪	B	火山沉积-变质	克拉通裂谷	辽河群	Pt <sub>1</sub>	
大石桥	MgCO <sub>3</sub>	沉积-变质	克拉通裂谷	辽河群	1 900	朱国林, 1984
大横路	Cu-Co	火山沉积-变质	克拉通裂谷	老岭群	Pt <sub>1</sub>	
<b>中-新元古代</b>						
大庙	Fe-V-Ti	岩浆型	克拉通裂陷槽	基性-超基性岩	1 686 ± 193 1 735 ± 239 1 656	解广轰, 1988 解广轰, 1988 胡世玲, 1989
霍各乞	Cu-多金属	Sedex 型 (受变质-改造)	克拉通裂陷槽	狼山群	1 491 ~ 950 1 100 ~ 900 1 900 ~ 1 260	池三川, 1991 内蒙古局, 1990 李兆龙, 1986
炭窑口	Cu-多金属	Sedex 型 (受变质-改造)	克拉通裂陷槽	狼山群	1 900 ~ 1 800 1 850 ~ 1 320	丁佛平, 1992 李兆龙, 1986
东升庙	Zn-多金属	Sedex 型 (受变质-改造)	克拉通裂陷槽	狼山群	1 800 1 899 ~ 1 477 1 600	丁佛平, 1992 内蒙古局, 1990 李兆龙, 1986
甲生盘	Pb-Zn-S	Sedex 型 (受变质-改造)	克拉通裂陷槽	渣尔泰群	1 800 ~ 1 400 1 688 ~ 1 431 1 612 ~ 1 516	丁佛平, 1986 内蒙古局, 1990 董申葆, 1986
白云鄂博	Fe-REE-Nb	火山沉积(改造)型	克拉通裂陷槽	白云鄂博群	1 580 1 588	袁忠信, 1991 中科院地化所, 1988
高板河	Pb-Zn-S	Sedex 型	克拉通裂陷槽	长城系	1 450 ~ 1 370 1 485 ~ 1 438	冯钟燕, 1985 王日伦, 1980
关门山	Pb-Zn	火山沉积受变质	克拉通裂陷槽	长城系	1 700 ~ 1 400 1 890 ~ 467	芮宗瑶, 1990 芮宗瑶, 1990

续表

矿床(式)	矿石建造	成因类型	成矿环境	容矿地层/岩石	成矿年龄(Ma)	资料来源*
白乃庙	Cu-(Au) (南带)	VMS型	火山盆地/岛弧	白乃庙群	1 780~1 298 1 130±16	赵仑山,1983 陈琦等,1994
<b>早古生代</b>						
温都尔庙	BIF	火山沉积改造	火山盆地/岛弧	温都尔庙群	P <sub>2</sub>	
放牛沟	Pb-Zn-S	VMS型	火山岛弧	奥陶系石缝组	455	张效民,1988
白乃庙	Cu-Mo (北带)	斑岩型 (后期叠加)	火山盆地/岛弧	闪长斑岩	494~466 669~445 419 386 362	芮宗瑶,1990 聂凤军,1991 曲光福,1989 王东方,1983 天津所,1981
瓦房店	金刚石	岩浆型	克拉通裂谷	金伯利岩	477~423 463~341 489~423	周丽,1976 辽宁六队,1982 黄蕴慧等,1992
<b>晚古生代</b>						
红旗岭	Cu-Ni	岩浆型	华北北缘裂陷槽	镁铁-超镁铁岩	331~350 350~329	傅德彬,1988 陈民扬,1965
漂河川	Cu-Ni	岩浆型	华北北缘裂陷槽	镁铁-超镁铁岩	365~265	梁有彬,1973
长仁	Cu-Ni	岩浆型	华北北缘裂陷槽	镁铁-超镁铁岩	391	梁有彬,1973
别鲁马图	Cu-Pb-Zn	VMS型 (有后期改造)	残余海盆	石炭系火山-沉积	481~297 437~263	聂凤军,1991 聂凤军,1991
本溪等中生代	煤-Al-粘土	沉积型	克拉通盆地	石炭-二叠系	C~P	
青城子	Au,Ag	热液型	辽东-吉南岩浆带	辽河群	257±17 255±11 238.8±0.60 236.2±0.42 238.8±0.74	薛春纪等,2003 薛春纪等,2003 薛春纪等,2003 薛春纪等,2003 薛春纪等,2003
夹皮沟	Au	热液脉型	绿岩+构造岩浆带	三道沟群	272~130	程玉明,1982
杨家杖子	Pb-Zn-Mo	夕卡岩型	阴山-燕山岩浆带	花岗闪长岩	170~155	方如恒,1994
八家子	Pb-Zn	夕卡岩型	阴山-燕山岩浆带	长城系/花岗闪长岩	183.8~177.4	辽宁局,1992
寿王坟	Cu	夕卡岩型	阴山-燕山岩浆带	鲕县系/花岗闪长岩	155~140 127	方如恒,1994 王季尧,1982
蔡家营	Pb-Zn	岩浆热液型	阴山-燕山岩浆带	红旗营子群	158~134 119±	施林道,1994 黄典豪,1991
小营子	Pb-Zn	夕卡岩型	阴山-燕山岩浆带	志留系/斜长花岗岩 石英闪长岩	170.7~160.8 153	施林道,1994
嗣子	Pb-Zn	岩浆热液型	阴山-燕山岩浆带	下二叠统/花岗闪长岩 黑云母花岗岩	153 154	张德全,1994 张德全,1994
兰家沟	Mo	斑岩型	阴山-燕山岩浆带	粗粒花岗岩 似斑状花岗岩	183 154±14.65	权恒,1994 余和勇,1985
小寺沟	Cu-Mo	夕卡岩/斑岩型	阴山-燕山岩浆带	花岗岩 花岗斑岩	117	权恒,1994
大庄科	Mo	爆破角砾岩型	阴山-燕山岩浆带	长城系/斑状花岗岩 石英二长岩	183.2~129.0 146.6	陈银汉,1986 董得茂,1985
营房	Ag-(Au-Pb-Zn)	蚀变破碎带型	阴山-燕山岩浆带	似斑状二长花岗岩	139	董得茂,1985
黄柏峪	Cu-(Mo)	斑岩型	吉南-辽东岩浆带	古元古界红旗营子群/花岗岩 斜长花岗斑岩	241 233	许晓峰,1990 辽宁局,1991
二棚甸子	Fe-Cu-Pb-Zn	夕卡岩型	吉南-辽东岩浆带	寒武系-白垩系/ 等粒辉长闪长岩	122~55 152~134	孙海贵,1984 卢冀才,1982
小西南岔	Cu-Au	斑岩型	吉北岩浆带	花岗斑岩	185~130	张耀奎,1982
天宝山	Pb-Zn-Cu-Mo	夕卡岩-斑岩型	吉北岩浆带	石炭-二叠系/闪长岩 花岗闪长岩	140	姜齐节,1973
大黑山	Mo	斑岩型	吉北岩浆带	花岗闪长斑岩	170~155	施林道,1994
五凤-五星	Au-(Ag)	热泉型	吉北岩浆带	侏罗系/碱长花岗岩	173.6±2.7 175	金逢霖,1990 刘文达,1982
五龙	Au	热液型	吉南-辽东岩浆带	辽河群	117~52	卞伟国,1988
东坪	Au	热液型	阴山-燕山岩浆带	石英二长岩,二长岩	157~177 191±2.9 148±2.8 156.7	陈锦荣,1995 卢德林,1993 卢德林,1993 卢德林,1993
大青山	煤	沉积型	中生代盆地	三叠系-侏罗系	Mz	
辽河	油气田	沉积型	中生代盆地		Mz-N	
<b>新生代</b>						
二密	Cu-(Mo)	爆破角砾岩型	吉南-辽东岩浆带	碎裂石英闪长岩	79~56	马广斌,1977
敦化	硅藻土	沉积型	新生代盆地	新生界	N	

\* 限于篇幅,表中部分同位素年龄数据的参考文献未在文后列出

## 4 矿床成矿系列演化和区域矿床成矿谱系的某些特点

矿床成矿系列是成矿谱系研究的基本单位。依据矿床成矿系列的概念, 在各个地质时期重要矿床分析归纳基础上, 本文把华北陆块北缘随地壳演化出现的矿床初步划分为 18 个成矿系列(表 2)。区域矿床成矿谱系具有以下特点:

表 2 华北陆块北缘矿床成矿系列及演化

Table 2 The metallogenic series and evolution of the ore deposits in the northern margin of the North China Plate

成矿系列组合	成矿系列及演化	成矿亚系列	矿床(式)	
沉积/受变质作用组合	I: 与太古宙变质火山岩-硅铁建造有关的 Fe, (Au) 矿床成矿系列		鞍山式	
	II: 与太古宙基性火山岩-火山沉积岩有关的 Cu, Zn, Au 矿床成矿系列		红透山式	
	III: 与新太古代-古元古代花岗岩有关的 Au 矿床成矿系列		夹皮沟、金厂峪	
岩浆作用组合	IV: 与古元古代基性-超基性岩有关的 Cu, Ni, Co, Pt, Pd 矿床成矿系列		赤柏松	
	V: 与古元古代火山-沉积变质作用有关的矿床成矿系列	V-a: B, Fe, U, REE 矿床成矿亚系列 V-b: Pb, Zn, Cu, Co 矿床成矿亚系列	翁泉沟、花园沟 张家堡子 大横路	
沉积/变质作用组合	VI: 与古元古代沉积变质作用有关的滑石-菱镁矿矿床成矿系列		大石桥式	
	VI: 与古元古代沉积变质作用有关的 Fe, Mn 矿床成矿系列		宜龙式 瓦房子	
	VII: 与中元古代(火山)沉积受变质作用有关的 Pb, Zn, Cu, S 矿床成矿系列	VII-a: Pb, Zn, Cu, S 矿床成矿亚系列 VII-b: Pb, Zn, S 矿床成矿亚系列	东升庙、炭窑口、甲生盘 关门山、高板河	
岩浆作用组合	IX: 与中-新元古代基性侵入岩有关的 Fe, Ti, V 矿床成矿系列		大庙式	
	X: 与中-新元古代碳酸岩及海西期碱质花岗岩有关的铁、稀土、铌矿床成矿系列		白云鄂博式	
	XI: 与早古生代超基性岩有关的金刚石、铬铁矿、铬镁铝石矿床成矿系列		瓦房店式	
	XII: 与早古生代浅成岩-喷出岩有关的 Cu, Mo, Au, Fe, Pb, Zn 矿床成矿系列		白乃庙式	
	XIII: 与晚古生代超基性-基性-中酸性侵入岩-喷出岩有关的 Cu, Ni, Co, Au, Sb, U 矿床成矿系列		红旗岭式	
	XIV: 与印支期壳源/壳幔源中酸性浅成-超浅成侵入岩有关的 Au 和 Ag 矿床成矿系列		青城子	
		XIV-a: 绿岩区 Au 矿床成矿亚系列	夹皮沟	
	XV: 与印支-燕山期壳幔源中酸性浅成-超浅成侵入岩-喷出岩有关的矿床成矿系列	XIV-b: 与构造-岩浆活动有关 Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn, Fe, Sn 矿床成矿亚系列	杨家杖子 小西南岔 蔡家营式 黄岗梁	
	XVI: 与新生代构造-岩浆活动有关的 Cu, Mo 矿床成矿系列(?)		二密	
	沉积作用组合	XVII: 晚古生代煤矿床成矿系列		本溪、辽河
		XVIII: 中-新生代煤、石油成矿系列		辽河

### (1) 地壳演化中的多期叠加成矿特点和成矿峰期

华北陆块北缘区域地壳演化长期而复杂,多期成矿作用特点鲜明,太古宙、古元古代、中一新元古代、早古生代、晚古生代和中一新生代均有较重要矿床形成。基于各个时期重要矿床表列,依据各时期已知矿床数量、规模、重要性及成矿年龄,华北陆块北缘区域成矿作用存在三个高峰期,依次是新太古代(3 000~2 500 Ma)、古元古代末—中元古代(1 900~1 400 Ma)和中侏罗—早白垩世(180~140 Ma)。

不同地质时期矿化叠加造成的复合型矿床在华北陆块北缘发育。产在太古宙—古元古代绿岩带中的金矿伴随太古代—古元古代强烈的火山作用、退变质作用和剪切构造活动形成绿岩型金矿床或矿源层,到印支—燕山期受到构造—岩浆活动的强烈改造和叠加,成矿作用的多期性和叠加特点明显。

### (2) 成矿谱系反映矿床类型趋于多样

华北陆块北缘太古宙成矿系列(表2)中仅出现BIF、VMS和绿岩型金矿三种相对原始的矿床成因类型;元古宙以火山—沉积变质型、Sedex型和海相生物—沉积型为主,岩浆型矿床也具特色;古生代稳定地台发展,以沉积型矿床为主,同时,相对于前寒武纪矿床类型又新出现了斑岩型和岩浆爆发型矿床;中—新生生成矿系列中出现较多斑岩型、夕卡岩型、热液脉型、热泉型、蚀变破碎带型、爆破角砾岩型以及在沉积盆地内形成的重要能源矿产,表现出随地壳演化矿床类型趋于多样。

单一矿种的矿床类型演化同样趋于多样。如铁矿床类型从太古宙到元古宙,由BIF一种增加到海相生物—沉积型、岩浆型和喷流沉积型三种;铜矿床在太古宙以VMS型为代表,到元古宙新出现岩浆型和Sedex型,到显生宙又较前增加了斑岩型、夕卡岩型及爆破角砾岩型。

### (3) 成矿谱系中矿石建造趋于复杂

华北陆块北缘最古老的矿石建造十分简单,即Fe、Cu-Zn和Au。元古宙矿石建造以Fe、Pb、Zn、Cu、Au为主,以REE、B、菱镁矿和滑石等为特色,伴生组分尚有Ni、V、Ti、Nb、U、Co等。古生代矿石建造包括金刚石、Cu、Ni、Mo、Pb、Zn、Fe以及沉积盆地中的煤、Al和粘土。中新生代则更多出现了Cu、Mo、Au、Ag、Pb、Zn、Fe和煤、石油等矿石建造,反映随地质时代变新趋于多样。

同一矿床类型中矿石建造演化趋于复杂。如VMS型矿床,太古宙古老矿石建造是Cu-Zn-(Au),元古宙为Cu-(Au),而古生代成为Cu、Pb、Zn、S等构成的复杂矿石建造。斑岩型矿床,早期矿石建造是Cu和Mo,而中—新生代除Cu和Mo外,还出现Cu-Au建造。

### (4) 成矿控制从“层控”到“岩控”的变化

华北陆块北缘区域矿床成矿谱系表明成矿控制因素在隐生宙以地层为主,不同形式和性质的火山/沉积作用在成矿过程中是主导控制,表现在矿床类型上是以BIF和VMS及海相生物—沉积、Sedex型为主所体现的“层控”矿床。显生宙除能源矿产外,成矿控制主要是强度和性质不同的构造—岩浆活动(特别是燕山期),岩浆岩取代地层而成为成矿主导控制(表2),表现在矿床类型上是以岩浆型、斑岩型、夕卡岩型、岩浆热液型、爆破角砾岩型等所体现的“岩控”矿床。

### (5) 矿床成矿系列空间分布不平衡

华北陆块北缘区域成矿作用空间上具有明显不平衡性,以大兴安岭—太行山和依兰—伊通2个NE向区域性断裂把华北陆块北缘分为西、中、东三个区,即狼山—渣尔泰山—张北、燕

山—辽西、辽东—吉南(图 1), 矿床成矿系列的空间分布及演化历史如表 3 所示。

东区除中—新元古代外, 在各地质时代均有典型成矿系列发育, 中区缺少古生代和新生代成矿系列, 而西区在太古宙、古元古代、中—新生代都没有形成重要矿床成矿系列。整体表现出太古宙和元古宙成矿作用从东到西时代分别趋新, 古生代成矿作用在东、西两区各显特色, 中生代成矿作用从东向西推进, 强度趋弱(表 3)。

表 3 华北陆块北缘区域矿床成矿系列空间分布及演化

Table 3 The space distribution and evolution of the metallogenic series in the northern margin of the North China Plate

空间位置	西区: 狼山—洮尔泰山—张北	中区: 燕山—辽西	东区: 辽东—吉南
重要 矿石建造	Fe, REE, Pb, Zn, Cu, Au	Fe, Au, Pb, Zn, Mo	Fe, Cu, Au, Pb, Zn, Mo, B, U, 菱镁矿
Kz			成矿系列 X VI、X VII 和 X VIII: 爆破角砾岩型 Cu-Mo(二密)、沉积型石油—天然气
Mz <sub>2</sub>	成矿系列 V: 绿岩区 Au (乌拉山)	成矿系列 X V: 夕卡岩—斑岩型 Pb-Zn-Mo(杨家杖子)、热液型 Pb-Zn(蔡家营)、热液型 Au(东坪)	成矿系列 V、X VII 和 X VIII: 绿岩区 Au(夹皮沟)、斑岩型 Cu-Mo-Au(小西南岔)、沉积型煤—石油
Mz <sub>1</sub>			成矿系列 X IV: 热液型 Au-Ag(青城子)
Pz <sub>2</sub>	成矿系列 X VII: 沉积盆地内煤		成矿系列 X III 和 X VII: 岩浆型 Cu-Ni(红旗岭)、沉积盆地内煤
地 质 时 代	成矿系列 X III: 斑岩型 Cu-Mo-Au(白乃庙)、BIF(温都尔庙)、VMS 型 Cu-Pb-Zn(别鲁乌图)		成矿系列 XI: 金伯利岩中金刚石(瓦房店)
Pt <sub>2,3</sub>	成矿系列 X: 火山沉积(改造)型 Fe-REE(白云鄂博)	成矿系列 IX: 岩浆型 Fe-V-Ti(大庙)	
Pt <sub>2</sub>	成矿系列 X III: Sedex 型 Pb-Zn-Cu-S(东升庙)	成矿系列 X III: Sedex 型 Pb-Zn-S(高板河)	成矿系列 X III: 火山沉积受变质型 Pb-Zn(关门山)
Pt <sub>1</sub>		成矿系列 X VII: 海相沉积型 Fe(宣龙式)	成矿系列 IV ~ VII: 岩浆型 Cu-Ni(赤柏松)、火山沉积变质型 B-Fe-U-REE(翁泉沟)和 Pb-Zn(张家堡子)、沉积变质型滑石—菱镁矿(大石桥)、海相沉积 Mn(瓦房子)
Ar <sub>1</sub> —Pt <sub>1</sub>		成矿系列 I 和 III: BIF(石人沟)绿岩型 Au(金厂峪)	成矿系列 III: 绿岩型 Au(夹皮沟)
Ar <sub>2,3</sub>		成矿系列 I: BIF-Au(迁西)	成矿系列 I 和 II: VMS 型 Cu-Zn-Au(红透山)、BIF(鞍山式)

注: 表内矿床成矿系列编号与表 2 中相对应

## 5 区域矿床成矿谱系与地壳演化、海水及大气演变

华北陆块北缘区域矿床成矿谱系见图 2。太古宙华北陆核发育期形成 I ~ III 成矿系列(表 2、表 3), 矿床类型较少, 矿石建造简单。这是在原始地壳较薄、结构简单和稳定性差的成矿地质环境下, 偏基性海相火山活动强烈, 缺乏偏酸性岩浆侵入, 成矿元素很难通过岩浆分异集中, 沉积以碎屑岩为主, 缺乏碳酸盐岩。单一地质作用背景下, 仅通过火山—沉积作用形成 BIF 矿床、VMS 型铜—锌矿床和绿岩型金矿床。BIF 成矿作用强度大, 构成华北陆块北缘第一

Kz	XVIII: 中-新生代煤、石油成矿系列		
	XV: 与印支-燕山期壳幔源中酸性浅成-超浅成侵入岩-喷出岩有关的Cu, Mo, Au, Ag, Pb, Zn, Fe矿床成矿系列		
Mz	XIV: 与印支期中酸性浅成-超浅成侵入岩有关的Au, Ag矿床成矿系列		
Pz	XVII: 晚古生代煤矿床成矿系列		
	XIII: 与晚古生代超基性-基性-中酸性侵入岩喷出岩有关Cu, Ni, Co, Au矿床成矿系列		
	XII: 与早古生代浅成-喷出岩有关的Ca, Mo, Au, Fe, Pb, Zn矿床成矿系列	XI: 与早古生代超基性岩有关的金刚石、铬铁矿、铬钛铝矿床成矿系列	
Pt <sub>1</sub>	X: 与中-新元古宙碳酸岩及海西期碱质花岗岩有关的Fe, REE, Nb矿床成矿系列	IX: 与中-新元古宙基性岩有关的Fe, Ti, V矿床成矿系列	
Pt <sub>2</sub>	VIII: 与中元古宙(火山)沉积受变质作用有关的Pb, Zn, Cu, S矿床成矿系列		
Pt <sub>1</sub>	VII: 与元古宙沉积变质作用有关Fe, Mn矿床成矿系列		
	VI: 与元古宙沉积变质作用有关的滑石-菱铁矿矿床成矿系列		
	V: 与元古宙火山-沉积变质作用有关B, Fe, Pb, Zn, Co矿床成矿系列		
	IV: 与元古宙基性-超基性岩有关的Cu, Ni, Co, Pt, Pd矿床成矿系列		
Pt <sub>1</sub>	I: 与太古宙变质火山岩-钼铁建造有关的Fe(Au)矿床成矿系列		
Ar <sub>1</sub>	III: 与新太古宙-古元古宙花岗岩绿岩带有关的Au矿床成矿系列		
Ar <sub>2</sub>	I: 与太古宙变质火山岩-钼铁建造有关的Fe(Au)矿床成矿系列	II: 与太古宙基性火山岩-火山沉积岩有关的Cu, Zn, Au矿床成矿系列	
Ar <sub>1</sub>	狼山-渣尔泰山-张北地区	燕山-辽西地区	辽东-吉南地区

图2 华北陆块北缘区域矿床成矿谱系图

Fig. 2 The regional mineralizing pedigree in the northern margin of the North China Plate

个成矿高峰期。Si-Fe建造形成以后的变动不大,Cu-Zn硫化物矿床形成以后有再就位特点,Au矿化在太古宙强烈火山作用中形成,中生代叠加矿化与印支—燕山期构造—岩浆活动密切相关。

元古宙华北陆块北缘海底火山活动较太古宙趋缓,在太古宙克拉通内或周边发生裂隙/裂谷是元古宙的主体成矿地质构造背景。裂隙从东向西先后发生,克拉通裂隙初期首先出现与深断裂幔源岩浆侵入活动有关的成矿系列Ⅳ;在辽东—吉南地区古元古代裂谷作用的早期和晚期分别形成与火山—沉积变质作用有关的成矿系列Ⅴ和与沉积变质作用有关的成矿系列Ⅵ和Ⅶ;中—新元古代裂隙作用依次向中区和西区发展,先后出现成矿系列Ⅷ和成矿系列Ⅷ,与此同时,在华北克拉通内部伴随大规模非造山岩浆活动和镁铁质—超镁铁质岩浆侵入,成矿系列Ⅸ形成(表3)。元古宙成矿强度大,成矿系列多,构成华北陆块北缘区域第二个成矿高峰期。

元古宙末期华北陆块北缘由被动逐渐变为活动性质,古亚洲洋两次开合,华北陆块北缘属加里东与海西洋盆的活动陆缘。早古生代郯庐断裂活动加剧,切割上地幔,引发地幔成因金伯利岩浆上涌,在东区形成第Ⅹ成矿系列;加里东洋盆开合过程中在西区产生第Ⅹ成矿系列;海西洋盆张开时在东区形成第ⅩⅢ成矿系列,而在盆地内形成重要煤矿,构成成矿系列ⅩⅦ(表3)。古生代成矿作用有其特色,但强度相对较小。

中—新生代中国东部地壳明显减薄,构造—岩浆活动强烈,相应形成以岩浆作用成矿系列组合为特色的ⅩⅣ—ⅩⅥ成矿系列,同时,在断陷、拗陷盆地内形成重要能源矿产而构成成矿系列ⅩⅦ的主要部分,在华北陆块北缘(东区和中区为主)出现第三个成矿高峰期。

华北陆块北缘区域矿床成矿谱系同时也指示出海水和大气演变过程。铁矿和菱镁矿在研究区普遍、重要且颇具特色,从太古宙到元古宙铁矿床从鞍山式演变成宣龙式,前者矿石低价铁氧化物为主,后者高价为主;同时,元古宙发生了菱镁矿大规模成矿作用,而不是太古宙。这种基本事实可能指示着海水和大气环境的演变,因为太古宙发育普遍而强烈的海底偏基性幔源火山活动,堆积了广泛的火山岩,BIF伴随火山作用及喷气活动而形成。很易理解当时海水与大面积海底偏基性火山岩物质交换和化学平衡的结果,会使太古宙海水富含铁、镁等离子,但当时并未沉积形成赤铁矿矿床和菱镁矿矿床,暗示当时海水和大气相对还原,铁以低价态形式存在(溶解度大),镁也可能因海水中没有相应高价酸根离子存在而使其难以沉淀。相反,时代进入元古宙则发生了赤铁矿和菱镁矿的大规模沉积成矿作用,反映从太古宙到元古宙,海水和大气的氧化还原电位明显升高的过程。

## 6 认识

华北陆块北缘发育18个矿床成矿系列,随地壳演化形成了四大类矿床,即太古宙克拉通矿床、元古宙陆内—陆缘裂隙带矿床、古生界陆间增生褶皱系和陆内盖层矿床、中生界构造—岩浆活动带矿床。除古生代外,在太古宙、元古宙和中生代均出现成矿作用高峰。区域矿床成矿谱系反映出华北北缘区域成矿矿石建造、矿床类型、控制因素、过程和叠加关系的清晰演化与分布规律,与区域地壳演化具有良好响应,同时也指示出海水和大气某些演变过程,对其深入研究意义重大。

**致谢:**衷心感谢在野外考察中吉林地矿部门、辽宁有色部门、化工矿产部门和沈阳地矿所给予的支持。

## 参考文献:

- 白鸽, 袁忠信. 1996. 白云鄂博矿床地质特征和成因论证. 北京: 地质出版社, 1-89.
- 白瑾, 黄学光, 王惠初. 1996. 中国前寒武纪地壳演化(第二版). 北京: 地质出版社, 11-238.
- 程裕淇, 赵一鸣, 陆松年. 1978. 中国几组主要铁矿类型. 地质学报, 52(4): 1-13.
- 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣. 1979. 初论矿床的成矿系列问题. 中国地质科学院院报, 第1号: 1-55.
- 程裕淇, 陈毓川, 赵一鸣, 等. 1983. 再论矿床的成矿系列问题. 中国地质科学院院报, 第6号: 1-64.
- 程裕淇, 陈克强. 1994. 中国区域地质概论. 北京: 地质出版社, 5-56.
- 陈毓川, 裴荣富, 宋天锐, 等. 1998. 中国矿床成矿系列初论. 北京: 地质出版社, 4-21.
- 陈毓川. 1994. 矿床的成矿系列. 地学前缘, 1(3-4): 26-33.
- 陈毓川. 1999. 中国主要成矿区带矿产资源远景评价. 北京: 地质出版社, 8-69, 248-281.
- 陈毓川, 毛景文. 1995. 桂北地区矿床成矿系列和成矿历史演化轨迹. 南宁: 广西科学技术出版社, 341-433.
- 陈毓川, 朱裕生. 1999. 中国矿床成矿系列图(1/500万)及说明书. 北京: 地质出版社, 4-32.
- 陈毓川, 李兆耀, 毋瑞身, 等. 2001. 中国金矿床及其成矿规律. 北京: 地质出版社, 58-101.
- 陈昌勇, 李守义, 范继璋, 等. 1999. 华北地台北缘 AuAgCuPbZn 成矿规律. 长春科技大学学报, 29(3): 227-231.
- 丁梯平, 蒋少涌. 1992. 华北元古宙铅锌成矿带稳定同位素研究. 北京: 科学技术出版社, 1-37.
- 冯钟燕, 张兴余. 1992. 冀东兴隆一带层控黄铁矿铅锌矿床的地质特征及其成因. 矿床地质, 4(3): 203-211.
- 傅德彬. 1994. 吉林赤柏松硫化铜-镍矿床的矿浆成因模式. 地质学报, 68(2): 142-157.
- 顾连兴, 肖新建, 倪培, 等. 2001. 辽宁红透山块状硫化物矿床中沉积磁黄铁矿的变质和流体作用. 地质论评, 47(2): 188-192.
- 郝祥国, 王希斌, 李震, 等. 2002. 白云鄂博碳酸岩型 REE-Nb-Fe 矿床——一个罕见的中元古代破火山机构成岩成矿的实例. 地质学报, 76(4): 525-540.
- 贺高品. 1991. 冀东和内蒙古东南部早前寒武纪变质作用演化. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 65-115.
- 贺同兴. 1992. 冀东太古宙花岗岩成因. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 3-19.
- 姜春潮. 1987. 辽吉东部前寒武纪地质. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 272-280.
- 蒋少涌, 魏菊英. 1989. 青城子铅锌矿床的地球化学. 矿床地质, 8(4): 20-28.
- 刘志礼, 刘雪桐, 李鹏富, 等. 1995. 宣龙式铁矿物标志物(羟羟)的研究. 地质学报, 69(2): 138-145.
- 骆辉. 1994. 五台山绿岩带铁建造金矿床. 北京: 地质出版社, 1-55.
- 罗耀星, 朱钧瑞, 王耀坤. 1990. 从几个地质特征初步探讨大石桥晶质菱铁矿矿床成因. 矿床地质, 9(1): 77-85.
- 马杏垣. 1987. 中国前寒武纪构造格架及研究方法. 北京: 地质出版社, 1-55.
- 毛景文, 李荫清. 2001. 河北省东坪磷化物金矿床流体包裹体研究: 地幔流体与成矿关系. 矿床地质, 20(1): 22-36.
- 裴荣富, 吕凤翔, 范继璋, 等. 1998. 华北陆块北缘及其北侧金属矿床成矿系列与勘查. 北京: 地质出版社, 101-237.
- 钱祥麟. 1985. 冀东前寒武纪铁矿地质. 石家庄: 河北科学技术出版社, 23-57.
- 任纪舜. 2000. 中国及邻区大地构造图(1:500万)及说明书. 北京: 地质出版社, 11-89.
- 丙宗瑶, 施林道, 方如恒. 1994. 华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质. 北京: 地质出版社, 25-553.
- 沈保十. 1994. 华北陆台太古宙绿岩带地质与成矿. 北京: 地质出版社, 5-35.
- 宋叔和. 1992. 中国矿产资源图(1:500万)及说明书. 北京: 地质出版社, 3-35.
- 万渝生, 宋彪, 刘敦一, 等. 2001. 鞍山山东山风景区 3.8-2.5 Ga 古老岩带的同位素地质年代学和地球化学. 地质学报, 75(3): 363-370.
- 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 等. 2002. 阿尔泰成矿省的成矿系列及成矿规律. 北京: 原子能出版社, 412-453.
- 王东方. 1992. 中朝陆块北缘大陆构造地质. 北京: 地震出版社, 1-201.
- 王魁元, 赵彦明, 曹秀兰. 1994. 华北陆台北缘元古宙典型铅锌矿地质. 北京: 地质出版社, 4-136.
- 伍家善. 1991. 华北陆块早前寒武纪重大地质事件. 北京: 地质出版社, 4-28.
- 薛春纪, 陈毓川, 路远发, 等. 2003. 辽宁青城子矿集区金、银成矿时代及地质意义. 矿床地质, 22(2): 177-184.
- 余金杰, 杨海明, 叶会涛. 1993. 霍各乞铜多金属矿床的地质-地球化学特征及物质来源. 矿床地质, 12(1): 67-76.
- 翟裕生, 邓军, 李晓波, 等. 1999. 区域成矿学. 北京: 地质出版社, 197-207.
- 张秋生. 1988. 辽宁半岛早期地壳与成矿. 北京: 地质出版社, 6-120.

周世泰. 1994. 鞍山—本溪地区条带状铁矿地质. 北京: 地质出版社, 25-89.

## References:

- Bai Ge and Yuan Zhongxin. 1996. The Geological Characteristics and Metallogenic Proof of Baiyun'obo Ore Deposit. Beijing: Geological Publishing House. 1-89 (in Chinese).
- Bai Jin, Huang Xueguang and Wang Huichu. 1996. The Geological Evolution Before the Cambrian Period in China (2 ed). Beijing: Geological Publishing House. 11-238 (in Chinese).
- Cheng Yuqi, Zhao Yiming and Lu Songnian. 1978. Several groups of main iron-deposit types in China. *Acta Geologica Sinica*, 52(4): 1-13 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Yuqi, Chen Yuchuan and Zhao Yiming. 1979. A tentative discussion on the metallogenic series problem of the ore deposit. *Journal of China Academy of Geological Sciences*, 1: 1-55 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Yuqi, Chen Yuchuan, Zhao Yiming, et al. 1983. More discussion on the metallogenic series problem of the ore deposit. *Journal of China Academy of Geological Sciences*, 6: 1-64 (in Chinese with English abstract).
- Cheng Yuqi and Chen Keqiang. 1994. An Introduction of Regional Geology of China. Beijing: Geological Publishing House, 5-56 (in Chinese).
- Chen Yuchuan, Pei Rongfu, Song Tianrui, et al. 1998. A Tentative Discussion on the Metallogenic Series of Ore Deposits in China. Beijing: Geological Publishing House. 4-21 (in Chinese).
- Chen Yuchuan. 1994. The metallogenic series of ore deposits. *Earth Science Frontiers*, 1(3-4): 26-33 (in Chinese with English abstract).
- Chen Yuchuan. 1999. Mineral Resources Assessment of Major Metallogenic Provinces in China. Beijing: Geological Publishing House. 8-69, 248-281 (in Chinese).
- Chen Yuchuan and Mao Jingwen. 1995. The Metallogenic Series and Evolution Path of the Ore Deposits in Northern Guangxi Area. Nanning: Guangxi Science and Technology Publishing House. 341-433 (in Chinese).
- Chen Yuchuan and Zhu Yusheng. 1999. The Metallogenic Series Maps (1/5000000) and Manual of China Ore Deposits. Beijing: Geological Publishing House. 4-32 (in Chinese).
- Chen Yuchuan, Li Zhaonai and Mu Ruishen. 2001. Gold Deposits and Their Metallogenic Regularities in China. Beijing: Geological Publishing House. 58-101 (in Chinese).
- Chen Changyong, Li Shouyi, Fan Jizhang, et al. 1999. Au-Ag-Cu-Pb-Zn metallogenic regularities in the northern margin of northern China Plate. *J. Changchun Univ. Sci. Tech.*, 29(3): 227-231 (in Chinese with English abstract).
- Ding Tiping and Jiang Shaoyong. 1992. The Stable Isotope Researches on the Proterozoic Pb-Zn Ore Belt in Northern China Plate. Beijing: Beijing Science and Technology Publishing House. 1-37 (in Chinese).
- Feng Zhongyan and Zhang Xingyu. 1992. The geological characteristics and generations of the stratobound pyrite-lead-zinc deposits at Xinglong, eastern Hebei. *Mineral Deposits*, 4(3): 203-211 (in Chinese with English abstract).
- Fu Debin. 1994. The ore-magma metallogenic model of Chibaisong Cu-Ni deposit, Jilin Province. *Acta Geologica Sinica*, 68(2): 142-157 (in Chinese with English abstract).
- Gu Lianxing, Xiao Xinjian, Ni Pei, et al. 2001. Metamorphism of sedimentary pyrrhotite and fluid effect in the Hongtoushan massive sulphide deposit, Liaoning Province. *Geological Review*, 47(2): 188-192 (in Chinese with English abstract).
- Hao Ziguo, Wang Xibin, Li Zhen, et al. 2002. Bayan Obo carbonatite REE-Nb-Fe deposit: a rare example of Neoproterozoic lithogeny and metallogeny of a damaged volcanic edifice. *Acta Geologica Sinica*, 76(4): 525-540 (in Chinese with English abstract).
- He Gaopin. 1991. The Early Precambrian Metamorphic Evolution of E Hebei and SE Inner Mongolia. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 65-115 (in Chinese).
- He Tongxing. 1992. The Genesis of the Archean Granites in Eastern Hebei. Shenyang: Liaoning Science and Technology Publishing House. 3-19 (in Chinese).
- Jiang Chunchao. 1987. The Precambrian Geology at Eastern Part of Liaoning-Jilin. Shenyang: Liaoning Science and Technology

- Publishing House, 272-280 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Shaoyong and Wei Juying. 1989. Geochemistry of Qingchengzi lead-zinc deposit. *Mineral Deposits*, 8(4): 20-28 (in Chinese with English abstract).
- Liu Zhili, Liu Xuexian, Li Pengfu, et al. 1995. Study on the organic (aliphatic) matter of Xuanlong-type iron deposits. *Acta Geologica Sinica*, 69(2): 138-145 (in Chinese with English abstract).
- Luo Hui. 1994. Greenstone BIF-Au Deposits in Wutaishan. Beijing: Geological Publishing House, 1-55 (in Chinese).
- Luo Yaoping, Zhu Junrui and Wang Yaokun. 1990. The ore geology and geochemical characteristics of Dashiqiao magnesite deposit. *Mineral Deposits*, 9(1): 77-85 (in Chinese with English abstract).
- Ma Xingyuan. 1987. Chinese Precambrian Tectonic Sketch and Research method. Beijing: Geological Publishing House, 1-59 (in Chinese).
- Mao Jingwen and Li Yinqing. 2001. Fluid inclusions of the Dongping gold Telluride deposit in Hebei Province, China: involvement of mantle fluid in metallogenesis. *Mineral Deposits*, 20(1): 22-36 (in Chinese with English abstract).
- Pei Rongfu, Lv Fengxiang, Fan Jizhang, et al. 1998. The Metallogenic Series and Explorations of Metal Deposits in the Northern Margin of Northern China Plate. Beijing: Geological Publishing House, 101-237 (in Chinese).
- Qian Xianglin. 1985. Precambrian Iron Deposit Geology in Eastern Hebei. Shijiazhuang: Hebei Science and Technology Publishing House, 23-57 (in Chinese).
- Ren Jishun. 2000. China and Its Adjacent Area Tectonic Map (1:5000000) and the Manual. Beijing: Geological Publishing House, 11-89 (in Chinese).
- Rui Zongyao, Shi Lindao and Fang Ruheng. 1994. Geology of Nonferrous Metallic Deposits in the Northern Margin of the North China Landmass and Its Adjacent Area. Beijing: Geological Publishing House, 25-553 (in Chinese).
- Shen Baofeng. 1994. Archean Greenstone Belt Geology and Mineralizations in Northern China Landmass. Beijing: Geological Publishing House, 5-35 (in Chinese).
- Song Shuhe. 1992. Chinese Mineral Resources Map (1:5000000) and Manual. Beijing: Geological Publishing House, 3-35 (in Chinese).
- Wan Yusheng, Song Biao, Liu Duni, et al. 2001. Geochronology and geochemistry of 3.8-2.5 Ga ancient rock belt in the Dongshan Scenic Park, Anshan area. *Acta Geologica Sinica*, 75(3): 363-370 (in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Chen Yuchuan, Xu Zhigang, et al. 2002. The Metallogenic Series and Regularities of Altay Metallogenic Province. Beijing: Atomic Energy Publishing House, 412-453 (in Chinese).
- Wang Dongfang. 1992. The Continental Geology of the Northern Margin in China-Korea Landmass. Beijing: Seismological Press, 1-201 (in Chinese).
- Wang Kuiyuan, Zhao Yanming, Cao Xiulan. 1994. The Proterozoic Typical Pb-Zn Deposits Geology in the Northern Margin of the Northern China landmass. Beijing: Geological Publishing House, 4-136 (in Chinese).
- Wu Jiashan. 1991. The Important Geological Events During Early Precambrian in the Northern China Landmass. Beijing: Geological Publishing House, 4-28 (in Chinese).
- Xue Chunji, Chen Yuchuan, Lu Yuanfa, et al. 2003. Metallogenic epochs of Au and Ag deposits in Qingchengzi ore-clustered area, eastern Liaoning Province. *Mineral Deposits*, 22(2): 177-184 (in Chinese with English abstract).
- Yu Jinjie, Yang Haiming, Ye Huitao. 1993. Geologic and geochemical characteristics and the material sources of the Huoqeqi Cu-polymetallic deposit. *Mineral Deposits*, 12(1): 67-76 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Yusheng, Deng Jun, Li Xiaobo. 1999. Essentials of Metallogeny. Beijing: Geological Publishing House, 197-207 (in Chinese).
- Zhang Qiusheng. 1988. The Early Crust and Mineralizations of Liaoning Peninsula. Beijing: Geological Publishing House, 6-120 (in Chinese).
- Zhou Shitai. 1994. BIF Geology in Anshan-Benxi Area. Beijing: Geological Publishing House, 25-89 (in Chinese).

## A Discussion on the Regional Mineralizing Pedigree of the Ore Deposits in the Northern Margin of the North China Landmass

CHEN Yu-chuan<sup>1</sup>, XUE Chun-ji<sup>2</sup>, WANG Deng-hong<sup>3</sup>, LI Hua-qin<sup>4</sup>, LU Yuan-fa<sup>4</sup>

(1. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 10037; 2. College of Earth Sciences and Land Resources, Chang'an University, Xi'an 710054; 3. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 10037; 4. Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 433003)

**Abstract:** The metallogenic series is composed of a group of ore deposits that formed at the same tectonic unit and during certain tectonic period, and show the genetic relations. The metallogenic series type is made up of several metallogenic series that appear in the similar tectonic environment and possess generality and individuality. The evolution and distribution of the regional mineral deposits may be characterized by mineralizing pedigree which is the frontiers in the metallogenic series research. The importance and method of studying the mineralizing pedigree are discussed in this paper.

The North China landmass experienced a long crustal evolution history and is an important mineralizing region with evident ore-forming and prospecting potentiality. In this paper the mineralizing ages of many mineral deposits were determined and collected, the important mineral deposits are tabled on the basis of ore-forming ages, 18 metallogenic series are classified and their distribution regularities are studied. The mineralizing pedigree research shows that this region mainly underwent 4 stages of crust evolution and the ore deposits were formed in the Archean shield, in the Proterozoic continental or margin rifts, in the Paleozoic proliferation fold belts and their covers, and in the Mesozoic tectono-magmatic belt successively. With the proceeding crust evolution, the mineral deposit types tended to be diversified, the mineralizing controls changed from "stratabound" to "magmatic rocks", and the ore-formation processes tended to be more complex. There are 3 mineralizing peaks: the late Archean period, the end of the early Proterozoic to middle Proterozoic period, and the middle-late Jurassic-early Cretaceous period. The mineralizing ages are concentrated at 3 000~2 500 Ma, 1 900~1 400 Ma and 180~140 Ma, respectively.

The mineralizing pedigree well responds to the crust evolution and indicates that the oxidation-reduction potential of the seawater and atmosphere was evidently increased from the Archean to the Proterozoic era in the northern margin of the North China landmass.

**Key words:** mineralizing ages; mineralizing pedigree; crust evolution; evolution of sea water and atmosphere; northern margin of the North China landmass

(收修改稿日期:2003-08-07)