

中国东部燕山期岩石圈-软流圈系统 大灾变与成矿环境*

邓晋福 莫宣学 赵海玲 罗照华 赵国春 戴圣潜

(中国地质大学, 北京)

提 要: 中国东部在燕山期发生了岩石圈-软流圈系统 (LAS) 大灾变事件, 并识别出被扰动的 LAS 的两种类型, 即在挤压造山环境下的岩石圈巨大减薄与巨大增厚作用; 它们分别对应相关的安第斯型和海西型成矿作用。大量的新生、热地幔物质和再活化的热的下地壳物质取代、加热和注入冷的岩石圈和地壳是燕山期成矿大爆发的基因和基本的深部环境。再活化和活动的岩石圈尺度的不连续带是成矿带的良好储矿空间。巨大的岩浆-流体-成矿系统是形成巨大矿集区的必需。从深部成矿环境来看, 中国东部具有巨大的找矿潜力。

关键词: 岩石圈-软流圈系统 成矿环境 大灾变与大爆发 岩石圈尺度的不连续 岩浆-流体-成矿系统和亚系统

1 中国东部岩石圈-软流圈系统大灾变与燕山期成矿大爆发

1.1 理论上的考虑

一个正常的岩石圈-软流圈系统 (简称 LAS, 以下同) 是稳态或准稳态, 平衡或准平衡态的, 有一个正常的热结构和稳态的密度结构和岩石学结构, 太古-早元古克拉通的 LAS 是典型的稳态的 LAS, 元古和早古生代形成的 LAS 是准稳态的, 而大多数晚古生代和中新生代造山带的 LAS 还未达到准稳态。

可以推测, 当一个正常的 LAS 受到扰动时, 岩石圈内原有的正常的传导地温将被对流地温替代^[2,18], 稳态的岩石学 (或物质) 和密度结构将发生倒转^[3], 其结果是导致岩浆-构造-成矿活动的发生, 我们把此称为 LAS 的大灾变或大扰动。在岩浆-结构过程的晚期, 当扰动的 LAS 趋向准稳态和准平衡时, 富集有用元素的岩浆-流体子系统将从扰动的 LAS 中分出, 并在某些地段堆积形成矿床。

从涂光炽院士^[4,19]的论文中, 我们的统计可知, 中国有 33 个超大型内生矿床, 其中 17 个形成于中国东部燕山期, 被称为“燕山期成矿大爆发”关于成矿大爆发或大规模成矿的定义已有专门论述^[1,5,10], 可以认为, LAS 的大灾变是燕山期成矿大爆发的基本的深部环境。

1.2 实例——华北克拉通

华北克拉通形成于新太古, 在侏罗纪以前有一个正常的 LAS。在燕山期突然发生强烈

* 本文系国家自然科学基金项目 (49772155)、国家攀登专项 (SSER-111-2) 和国土资源部项目 (9501112, 9501102-04-02, 9501105-03-02) 资助

第一作者简介: 邓晋福, 男, 1935 年生, 教授, 博士生导师, 从事火成岩与深部过程研究。邮政编码: 100083
1999-05-20 收稿, 1999-09-03 修改回

而广泛的岩浆-构造-成矿事件。华北克拉通的 LAS 的大灾变或大扰动的特征如下:

(1) 岩石圈的巨大减薄: 大陆根丢失约 120 km 厚度^[6], 必定诱发大量的新生、热地幔物质替代和注入原有的冷岩石圈, 它是燕山期成矿大爆发的基本源泉。

(2) 岩石圈内正常热结构被强烈扰动: 地壳和岩石圈地幔被大幅度地加热, 壳内多级岩浆房的形成, 表明对流热传输的发育并占主导地位。这个被扰动的热状态对驱发成矿作用有重要意义。

(3) 密度结构和物质结构被强烈扰动: 密度倒转驱使新生的热的软流圈物质注入陆壳底部, 随之, 地幔物质和再活化的下地壳物质大量注入地壳浅部, 它将十分有利于成矿流体和成矿物质从深部输送到浅部。

(4) 强烈的岩浆-构造-成盆-成矿事件: 占优势的壳幔混合源火成岩的发育指示, 壳幔物质的比较充分的交换和混合作用, 它将导致亲地幔和亲地壳的金属元素共生在一起。由反转构造控制的岩石圈物质的封闭性(挤压应力下)和可渗透性(伸展应力下)的交替将有利于金属元素被岩浆或流体萃取和随后的上升输运, 盆地形成成为深部含矿与地壳水系统的交汇提供了一个好场所, 由此, 巨量金属堆积下来。

(5) 大地构造环境的巨大转变: 由此, 古构造薄弱带可以被“活化”, 并为矿床分布提供空间格架。

2 被扰动的燕山期中国东部 LAS 和成矿作用的两个类型

中国东部燕山期被扰动的 LAS 及其相关的成矿作用可以识别出两个类型, 即在总体挤压造山环境下岩石圈的巨大减薄、巨大增厚作用及其相关的安第斯型和海西型成矿作用, 见表 1 和图 1。

表 1 燕山期火成岩组合及其相关矿床

Table 1. Associations of Yanshanian igneous rocks and related ore deposits

LAS	岩石圈减薄, 但有山根				岩石圈增厚	
火成岩岩石组合	辉长岩-闪长岩	闪长岩-花岗岩	花岗闪长岩(或石英二长岩)-花岗岩	流纹岩-英安岩及其相关岩石	黑云母-二云母-白云母花岗岩	脱水作用的构造流体
矿床	铁矿	铜矿	钼、金矿	银、铅、锌矿	钨、锡矿	汞、锑矿
主要源区及其组成	地幔丰满橄榄岩	下地壳镁铁质	下地壳长英质	上地壳长英质	再循环表壳泥质岩	前陆盆地沉积岩
图 1 中实例	19, 22	20, 21, 23, 24, 2, 27	1, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18	3, 4, 5, 12, 25, 26	29, 30, 31	32, 33, 34
成矿作用类型	安第斯型				海西型	

表 1 和图 1 展示, 成矿作用类型和矿床分别与扰动的 LAS 类型、火成岩组合及主要源区及其组成有关。

图 2 和表 2 展示, 基于铅同位素组成与火成岩、矿床有相同的源区, 并可识别出与构造

图1 中国东部燕山期大型-超大型

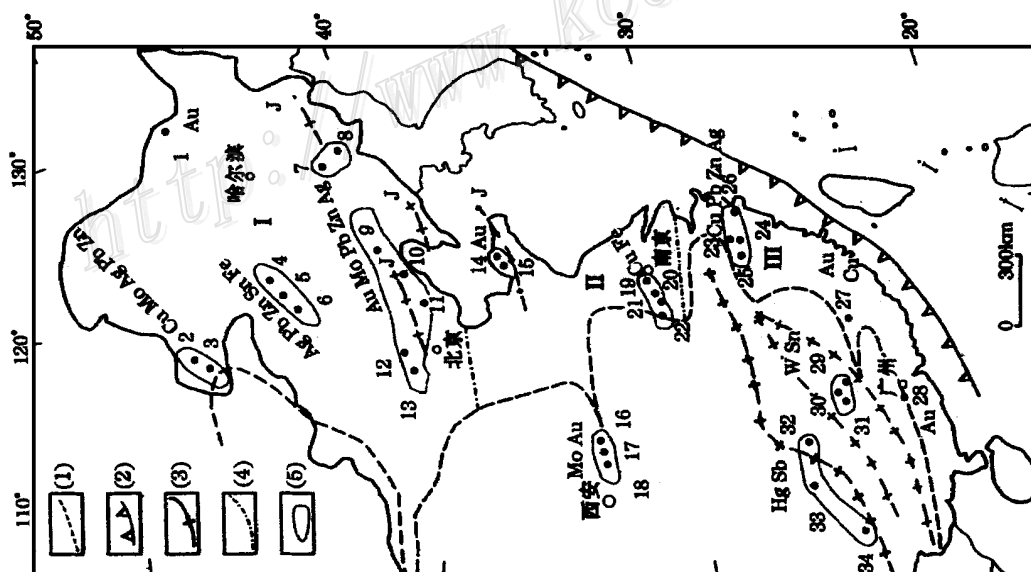
矿床的分布

(据 Deng et al., 1999)

(1)—火山岩西边界;(2)—大洋俯冲带;(3)—白云母/二云母花岗岩带;(4)—火成岩分段边界:I—北段;II—中段;III—南段;(5)—成矿带。矿床:1—团结沟斑岩金矿;2—马格洛吐斑岩铜-钼矿;3—甲乌拉火山热液银-铅-锌矿;4—孟恩陶勒盖火山热液银-铅-锌矿;5—白音诺夕卡岩铅-锌矿;6—黄岗夕卡岩铜-铁矿;7—大黑山斑岩铜矿;8—夹皮沟脉金矿;9—排山楼剪切带金矿;10—杨家杖子夕卡岩铜矿;11—金厂峪脉金矿;12—蔡家营子火山热液银-铜矿;13—东坪脉金矿;14—招远脉金矿;15—焦家剪切带金矿;16—南泥湖斑岩铜矿;17—文峪脉金矿;18—金堆城斑岩铜矿;19—宁芜与火山岩有关的铁矿;20—铜陵夕卡岩铜矿;21—城门山斑岩铜矿;22—大冶夕卡岩铁矿;23—铜厂斑岩铜矿;24—永平夕卡岩铜矿;25—冷水坑斑岩银-铅-锌矿;26—五都脉状铅-锌矿;27—紫金山火山热液金-铜矿;28—河台剪切带金矿;29—西华山英脉铜矿;30—柿竹园钨-锡-多金属矿;31—香花岭夕卡岩铜-银矿;32—铜矿山碳酸盐寄主的铜矿;33—万山碳酸盐寄主的汞矿;34—大厂 Sedex 铜-锡矿(资料来源:3,4 据[7];9,27 据[8];15,25 据[19];19,21 据[9];其它均据[20])

Fig 1. Distribution of Yanshanian large-superlarge ore deposits in east China.

(1)—Western boundary of volcanic rocks; (2)—Oceanic subduction zone; (3)—Muscovite/two-mica granite zone; (4)—Boundaries of various parts of igneous rocks; I—Northern part; II—Central part; III—Southern part; (5)—Metallogenic belt. Ore deposits: 1—Tuanjiogou porphyry gold deposit; 2—Wunugetu porphyry copper-molybdenum deposit; 3—Jiawula volcanic hydrothermal silver-lead-zinc deposit; 4—Mengentaolegai volcanic hydrothermal silver-lead-zinc deposit; 5—Baiyinnuoer skarn lead-zinc deposit; 6—Huanggang skarn tin-iron deposit; 7—Daheishan porphyry molybdenum deposit; 8—Jiapigou veined gold deposit; 9—Paishanlou shear zone gold deposit; 10—Yangjiazhangzi skarn molybdenum deposit; 11—Jinchangyu veined gold deposit; 12—Caijiayinzi volcanic hydrothermal zinc-lead-silver deposit; 13—Dongping veined gold deposit; 14—Zhaoyuan veined gold deposit; 16—Nannihu porphyry molybdenum deposit; 17—Wenyu veined gold deposit; 18—Jinduicheng porphyry molybdenum deposit; 19—Ningwu iron deposits related to volcanic rocks; 20—Tongling skarn copper deposit; 21—Chengmenshan porphyry copper deposit; 22—Daye skarn iron deposit; 23—Tongchang porphyry copper deposit; 24—Yongping skarn copper deposit; 25—Lengshuikeng porphyry silver-lead-zinc deposit; 26—Hetai shear zone gold deposit; 29—Xihuashan quartz veined tungsten deposit; 30—Shizhuoyuan tungsten-tin polymetallic deposit; 31—Xianghualing skarn tin-silver deposit; 32—Xikuangshan carbonate-hosted tin deposit; 33—Wanshan carbonate-hosted mercury deposit; 34—Dachang Sedex tin-antimony deposit.



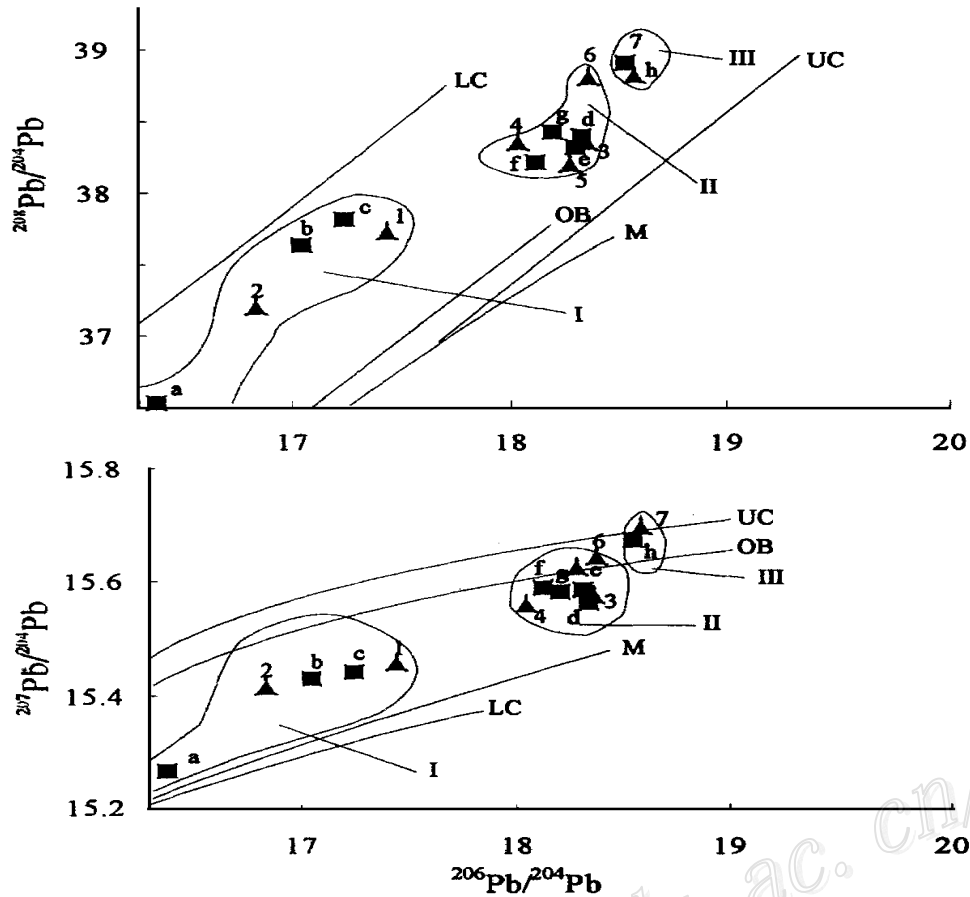


图 2 燕山期火成岩和矿石铅同位素组成

UC—上地壳；LC—下地壳；M—地幔；OB—造山带（据 Zartman & Haines, 1988, 转引自 [11]）。岩石铅：1—华北；2—中下扬子；3—东北地区；4—沿长江地带；5—江南隆起；6—东南沿海；7—南岭。矿石铅：a—燕辽；b—胶东；c—河南；d—内蒙古；e—铜陵；f—铜厂；g—紫金山；h—南岭。构造环境：I—再活化克拉通；II—再活化的古老造山带；III—大陆碰撞带；其它及资料来源，参见表 2

Fig 2. Lead isotopic composition of Yanshanian igneous rocks and ores.

UC—Upper crust; LC—Lower crust; M—Mantle; OB—Orogenic belt; Rock lead: 1—North China; 2—Middle-Lower Yangtze; 3—Northeast area; 4—Yangtze area; 5—Jiangnan uplift; 6—Southeast coastal area; 7—Nanling. ore lead: a—Yanliao; b—Jiaodong; c—Henan; d—Inner Mongolia; e—Tongling; f—Tongchang; g—Zijinshan; h—Nanling. Tectonic environment; I—Re mobilized craton; II—Re mobilized old orogenic belt; III—Continental collision zone.

环境有关的 3 个源区组成。

3 岩石圈尺度的不连续和成矿带的储矿空间

一般认为，深和大的构造带或扎根于地幔的不连续性构造带是控制成矿带的储矿空

表2 燕山期火成岩和矿石 Pb 同位素组成

Table 2. Lead isotope compositions of Yanshanian igneous rock and ores

	地点(样品数)	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	地区(图1 中实例号)	图2中序号	构造环境
火成岩 ^[12]	华北(48)	17.453	15.454	37.731	7~18	1	再活化 克拉通
	中下扬子(4)	16.845	15.415	37.201		2	
	东北(100)	18.375	15.576	38.347	1~6	3	再活化古老 造山带
	沿长江(59)	18.058	15.558	38.350	19~22	4	
	江南隆起(1)	18.298	15.623	38.196		5	
	东南沿海(71)	18.385	15.643	38.796	23~28	6	大陆碰撞带
	南岭(140)	18.601	15.696	38.825	29~31	7	
矿石	燕辽(43) ^[13]	16.384	15.264	36.529	7~11	a	再活化 克拉通
	胶东(23) ^[14]	17.058	15.429	37.642	14~15	b	
	河南(38) ^①	17.252	15.440	37.813	17	c	再活化古老 造山带
	内蒙古(54) ^[7]	18.345	15.564	38.395	2~6	d	
	铜陵(25) ^②	18.321	15.586	38.321	20	e	
	铜厂(3) ^②	18.136	15.588	38.206	23	f	
	紫金山(1) ^②	18.222	15.581	38.424	27	g	
	南岭(9) ^②	18.560	15.673	38.903	29~31	h	大陆碰撞带

① 翟裕生等, 1996, 中国主要成矿区带的成矿系列与成矿模式研究; ② 毛建仁等, 1996, 东南沿海地质构造、岩浆作用与成矿

间^[9,15~17,19]。我们强调, 对于一个拼合组装的中国东部大陆来说, 岩石圈尺度的再活化的不连续对于热岩浆和流体上升的通道和成矿带(以大型和超大型矿床群集为特征)的储矿空间有着关键的控制作用。中国东部燕山期造山带的岩石圈尺度的不连续有如下类型。

(1) 再活化的克拉通边缘, 如分布于华北克拉通北缘的成矿带, 图1中的14、15、16、17、18、7和8。

(2) 再活化的克拉通内拗拉槽, 如华北克拉通内中元古燕辽拗拉槽, 图1中的9、10、11、12和13。

(3) 再活化的克拉通内元古造山带, 如沿长江中下游的铜-铁成矿带, 图1的19、20、21和22。

(4) 再活化的造山缝合带(具蛇绿岩), 如图1的23、24、25、26、2、3。

(5) 再活化的大陆碰撞带(无蛇绿岩), 如图1的4、5、6、1、27、28。

(6) 活动的大陆碰撞带, 如上叠陆块上的图1中29、30和31, 前陆盆地内的图1中32、33和34。

4 岩浆-流体成矿系统和巨型矿集区的形成

巨量金属堆积需要一个巨大的岩浆-流体成矿系统来供给和支持。从地质资料来看, 我们认为, 最大的流体成矿系统形成于岩浆旋回的晚期, 这时大量从岩石圈内各级岩浆房或从被加热的陆壳的脱水作用, 以及从软流圈的冷却中放出, 还可能加入地壳水系统的流体。

化学蚀变和矿化是流体-岩石相互作用的最好记录, 我们把流体经过的地区叫做流体流

域, 好比河流流域一样。我们推测, 巨型矿集区应位于巨大的流体流域之内。作为实例, 我们的初步工作表明: ① 铜陵矿集区 (图 1 中 20) 是一个巨大的岩浆-流体-成矿系统; ② 可识别出 9 个亚系统, 其中 5 个之内分布有已知的 5 个大型-超大型矿床, 其中 4 个是我们预测的有远景的可能会发现大型矿床; ③ 沿长江中下游铜-铁成矿带 (图 1 中 19~22) 有 9 个这样的巨大岩浆-流体-成矿系统; ④ 大的系统和亚系统可能分别由壳底和壳内岩浆房控制; ⑤ 因之, 长江中下游铜-铁成矿带和铜陵矿集区都具有巨大的找矿潜力。

感谢常印佛院士、肖庆辉教授及杜杨松、李晓波、邓军、孙洪、沈建中、叶玉江、毛景文、侯增谦、华仁民等专家的指导、讨论和支持。

参 考 文 献

- 1 毛景文, 张招崇, 任丰寿等. 北祁连山西段金属矿床时空分布和生成演化. 地质学报, 1999, 73 (1): 73~82.
- 2 邓晋福, 赵海玲. 中国东部上地幔热结构——由岩石学模型推导. 地质学报, 1990, 64 (4): 344~349.
- 3 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲等. 中国东部岩石圈根/去根作用与大陆“活化”. 现代地质, 1994, 8 (3): 349~356.
- 4 涂光炽主编. 庞然大物——与寻找超大型矿床有关的基础研究. 长沙: 湖南科技出版社, 1995, 116.
- 5 毛景文, 华仁民, 李晓波. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区. 矿床地质, 1999, 18 (4): 291~299.
- 6 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学等. 中国大陆根-柱构造——大陆动力学的钥匙. 北京: 地质出版社, 1996, 110.
- 7 赵一鸣, 张德全. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价. 北京: 地震出版社, 1997, 318.
- 8 韦永福, 吕英杰. 中国金矿床. 北京: 地震出版社, 1994, 379.
- 9 常印佛, 刘湘培, 吴言昌. 长江中下游铜铁成矿带. 北京: 地质出版社, 1991, 379.
- 10 华仁民, 毛景文. 试论中国东部中生代成矿大爆发. 矿床地质, 1999, 18 (4): 300~308.
- 11 陈义贤, 陈文寄, 周新华等. 辽西及邻区中生代火山岩. 北京: 地质出版社, 1997, 279.
- 12 张理刚. 东亚岩石圈块体地质. 北京: 科学出版社, 1995, 252.
- 13 权恒, 韩庆云, 艾永富等. 燕辽地区多金属、金、银成矿与远景. 北京: 地质出版社, 1992, 134.
- 14 孙丰月, 石准立, 冯本智. 胶东金矿地质及幔源 C-H-O 流体分异成岩成矿. 长春: 吉林人民出版社, 1995, 170.
- 15 翟裕生, 张湖, 宋鸿林等. 大型构造与超大型矿床. 北京: 地质出版社, 1997, 180.
- 16 Kutina J. Metallogeny of Mantle-rooted structure extending across the western edge of the Proterozoic North American craton. Glob. Tect. Metall., 1991, 4 (1~2): 21~51.
- 17 Kutina J. Regional mantle-rooted discontinuities extending transversely to the margins of cratons and adjacent mobile belts. Glob. Tect. Metall., 1995, 5 (1~2): 7~18.
- 18 Morgan P. The thermal structure and thermal evolution of the continental lithosphere. Phys. Chem. Earth, 1984, 15: 107~193.
- 19 Tu G Z. Some problems pertaining to super-large ore deposits of China. Episodes, 1995, 18 (1~2): 83~86.
- 20 Zhai Y S, Deng J. Outline of the mineral resources of China and their tectonic setting. Austral. J. Earth Sci., 43: 673~685.

THE YANSHANIAN LITHOSPHERE-ASTHENOSPHERE CATASTROPHE AND METALLOGENIC ENVIRONMENT IN EAST CHINA

Deng Jinfu, Mo Xuanxue, Zhao Hailing, Luo Zhaohua, Zhao Guochun and Dai Shengqian

(China University of Geosciences, Beijing 100083)

Key words: lithosphere-asthenosphere system, metallogenic environment, catastrophe and explosion, discontinuities on the lithosphere scale, magma-fluid-metallogenic system and subsystem

Abstract

This paper points out that catastrophe of the lithosphere-asthenosphere system (LAS) took place in East China during the Yanshanian movement. Two types of the Yanshanian disturbed LAS and metallogenesis in East China are recognized, viz., great lithosphere thinning and thickening in the compressional orogenic environment and related Andes-type and Hercynian type metallogenesis. Great amounts of juvenile and hot mantle materials and reactivated hot lower crustal materials replacing, heating and injecting into the cold lithosphere and crust are believed to have been a fundamental sources and a basic deep environment for the Yanshanian metallogenic explosion. Reactivated and active discontinuities on the lithosphere scale is considered to be the main ore-hosting space of the metallogenic zone. A large magma-fluid-metallogenic system is necessary for the formation of the large cluster area of ore deposits. East China is believed to have large potential for prospecting of ore deposits in terms of the metallogenic environment.