

地矿部百名跨世纪科技人才培养计划
河北省计委盖层金矿成矿规律研究

联合资助

地幔热柱多级演化 及其成矿作用

——以华北矿聚区为例

牛树银 孙爱群 邵振国 王宝德 著
赵明合 王立峰 蒋 威 许传诗



地震出版社

地矿部百名跨世纪科技人才培养计划
河北省计委盖层金矿成矿规律研究 联合资助

地幔热柱多级演化及其成矿作用 ——以华北矿聚区为例

牛树银 孙爱群 邵振国 王宝德 著
赵明合 王立峰 蒋 威 许传诗

地 震 出 版 社

2001

图书在版编目 (CIP) 数据

地幔热柱多级演化及其成矿作用/牛树银等著.

—北京:地震出版社, 2001. 7

ISBN 7-5028-1871-5

I. 地… II. 牛… III. ①地幔涌流—作用—地质构造—研究—华北地区②地幔涌流—成矿作用—研究—华北地区 IV. P611

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 038503 号

地幔热柱多级演化及其成矿作用
——以华北矿聚区为例

牛树银 孙爱群 邵振国 王宝德 著
赵明合 王立峰 蒋 威 许传诗
责任编辑: 张晓梅

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 68423031

门市部: 68467991

传真: 68467972

总编室: 68642709 68423029

传真: 68467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

印刷: 北京地大彩印厂

版 (印) 次: 2001 年 7 月第一版 2001 年 7 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 384 千字 插页 2

印张: 15

印数: 001~800

书号: ISBN 7-5028-1871-5/P·1077 (2419)

定价: 25.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

序

自 1963 年研究夏威夷火山链的成因并提出存在相对稳定的“热点”(Wilson, 1963)以来,引起了地质界的广泛重视,对地球内部存在地幔柱的认识,以及对此问题的探讨成为至今 30 多年来的热门课题,其影响涉及地质科学的各个领域。问题的实质是地球物质垂向运动的性质、形式、动力学机制及对地球各层圈的影响,特别对地球表层(地壳)运动及成矿的影响。显然,这是当代地质科学发展中的一个前沿论题,很自然亦引起我国地质学界的重视。近些年来,已有不少地质科技工作者对此问题进行探讨,并且已取得一批研究成果,这是值得提倡和庆贺的。以我国复杂多样的地质环境,地球内部物质向上垂向活动的各种地质表现,从太古宙直到新生代可谓丰富多彩,前人已为我们积累了大量的实际资料和研究成果,无疑,有志于此领域悉心探索的耕耘者,一定会获得新的发现,有新的创新,在这个国际地质科学领域里,通过努力一定会取得应有的国际地位,作出重大贡献。

本书所反映的研究成果,是我国青年科技工作者对此国际性重大地质问题的一次很有意义的探索。牛树银教授和其研究集体多年来对华北地区,特别是冀东地区,就地幔柱的问题进行了不懈的探索,书中不但对当今地学界对地幔柱的概念及研究状况作了简要的概括,更重要的是结合多年来对华北、特别是冀东地区地质构造及成矿作用的研究,提出了华北盆岭区存在地幔亚热柱构造的认识,并提出慢枝构造的概念,划分出冀东、张宣、太行、胶东等慢枝构造。对慢枝构造的形态、核部物质组成、外围盖层拆离带及慢枝构造的控矿机制进行了总结,探索了慢枝构造与变质核杂岩构造的内在联系,研究了盖层拆离带中金、银、多金属矿床的形成机制和矿床特征,并应用于指导找矿,取得了找矿的初步效果。通过综合研究,作者提出了地幔柱多级演化的新认识,强调了深部矿质来源。虽然华北地区地幔柱构造问题的研究工作有较大的难度,但牛树银等同志的研究是一次很有意义的探索,一次具有开拓性的尝试,我想一定会对从事这方面研究或对此问题感兴趣的同行们带来收益。我也衷心祝愿作者们在此研究领域继续深入探索,不断攀登,作出新的贡献。

中国工程院院士 陈毓川

2001 年 3 月 24 日

前 言

河北省矿产资源丰富，尤其是解放以来的半个多世纪，几代地质工作者风餐露宿、跋山涉水、披荆斩棘、努力拼搏，唤醒了众多沉睡的矿山，崛起了座座工矿城镇，为四化建设、经济振兴、祖国繁荣作出了重大贡献。但是，随着国民经济的快速发展，矿山开采能力的提高，矿产资源利用率的加快，很多优势矿种已出现短缺，某些急缺矿种储量减少，后备基地严重不足，地质找矿的进展与国民经济高速发展的需要不相适应。特别是随着地表矿、浅显矿的寻找已告一段落，隐伏矿、盲深矿的寻找越来越困难，资源问题已成为制约国民经济发展的不利因素。

在上述背景下，河北省计划委员会、河北省地矿厅设立了“主拆离带上盘盖层金矿成矿规律研究”项目（编号：98-39），组成产、学、研综合课题组，旨在应用地学新理论、新技术、新方法，开展创新研究，开拓新的找矿方向，指导新一轮地质找矿。项目研究以地幔热柱理论为指导，在收集、消化已有资料的基础上，重点开展创新研究，注重理论与实践、野外调研与室内分析相结合，加强对新一轮地质找矿的指导性。在此之前，项目负责人牛树银教授首批入选“地矿部百名跨世纪科技人才培养计划”，受地矿部资助开展了“幔枝构造成矿控矿作用研究”项目，跨世纪项目注重理论，成矿规律项目侧重实践，两个项目相互配合，联合攻关，经过几年的艰苦工作，超额完成了工作任务，取得了多方面的重要进展：

（1）综述了地幔热柱理论的提出、发展及研究现状。并在此基础上提出了地幔热柱多级演化的认识，认为地幔热柱的形成和发展主要受地球各圈层温度差、压力差、粘度差、速度差等的控制，而地幔亚热柱→幔枝构造的形成除受上述因素控制外，还要受岩石圈特性、区域构造应力场的控制。不同地质时期、不同构造部位，幔枝构造发育特征有所不同。

（2）首次提出华北东部盆岭区是典型的地幔亚热柱构造，并从地质特征、构造活动、岩浆作用、地热效应、地震活动、地球物理特征、盆山演化等方面系统论述了其形成、发展及其演化，认为华北地幔亚热柱的强烈上隆，使岩石圈产生热减薄，并裂解形成断陷盆地。

（3）第一次探讨了幔枝构造的形成及其演化。认为地幔亚热柱在岩石圈底部受阻呈蘑菇状向外围拆离滑脱，当其遇到外围陡倾深切韧性剪切带切割时，造成减压释荷，形成深熔岩浆源地，并熔融部分围岩构成岩浆源。大规模的岩浆上侵，同时带动变质围岩上隆，形成幔枝构造。幔枝构造往往表现为以构造

岩浆带为中心的陆内造山带，而其中隆升速度较快、幅度较大的区段，变质-岩浆杂岩呈揭顶式裸露，外围盖层大幅度拆离滑脱，则构成典型的变质核杂岩。变质核杂岩是慢枝构造发展演化的阶段性产物。以慢枝构造（变质核杂岩）理论为指导，探讨了慢枝构造的成矿控矿作用，对某些老矿山提出了新认识，预测、解剖了部分新的成矿靶区。

(4) 首次从地球的圈层结构与物质的垂向运动角度，探讨了地幔热柱多级演化的热力学机制、深源流体特征、成矿物质的反重力运动、成矿物质的来源、迁移途径及聚集成矿；归纳了地幔热柱多级演化成矿模式；为慢枝构造是主成矿控矿构造提供了理论依据，解决了变质核杂岩形成的动力学机制。

(5) 从盖层储矿的角度总结、归纳了中上元古界的地层划分、赋矿地层的旋回层序及其岩石学特征。进而探讨了中上元古界作为构造薄弱带对成矿控矿的作用。讨论了盖层金、银多金属矿床的矿床特征和成因机制，为进一步寻找盖层矿产提供了理论依据。

(6) 系统探索了地幔热柱多级演化控制下的主要成矿控矿因素，从矿质来源、浓度场、温压梯度场、构造网络场的角度探讨了华北盆岭区成矿系列；总结了慢枝构造控制下的区域成矿规律；归纳了成矿模式；评价了区域找矿潜力；提出了进一步找矿的有利远景区及找矿靶区；开拓了新的找矿方向，并且已经过多处地质找矿的实践检验。

地质研究的两个重要方面，一是理论研究；二是指导找矿。很显然，理论探索必须开展创新研究。创新研究往往需要立足发展，追踪前沿，同时在大量学习前人成果的基础上，加以融会贯通，提出新的问题，开展新的研究。地幔热柱多级演化及其成矿作用研究是全新领域，尤其提出慢枝构造，并探讨其成矿控矿作用，是一套全新的探索。尽管通过对十余年研究的总结及近几年的大量野外调研，已将地幔热柱多级演化及其成矿作用进一步总结归纳，但这毕竟是初步的，难免存在着不尽完善之处，仍需深入探讨。

至于指导地质找矿，实际上自“八五”作者提出阜平、赞皇、冀东、张宣等变质核杂岩，并强调变质核杂岩外围主拆离滑脱带是成矿控矿的有利部位，就受到了地质勘探部门同行的重视，并且在太行山、冀东等地地质找矿中得到了广泛应用，找到了一批主拆离带型及上盘盖层断裂蚀变岩型、脉岩型金银多金属矿床。近年来通过研究又进一步提出了地幔热柱多级演化及慢枝构造成矿控矿理论，探讨了矿质来源及成矿储矿空间问题，指出了新的找矿远景区。

“地幔热柱多级演化及其成矿作用——以华北矿聚区为例”就是原地矿部百名跨世纪科技人才培养计划（96-08）和河北省计委等“主拆离带上盘盖层金成矿规律研究”（98-39）两个项目的综合成果，是课题组集体劳动的结晶。前言由邵振国、牛树银执笔；第一章由孙爱群执笔；第二章由牛树银执笔；第三章

由牛树银、王宝德、孙爱群执笔；第四章由牛树银、孙爱群执笔；第五章由王立峰执笔；第六章由牛树银、许传诗执笔。最后由牛树银、孙爱群统编定稿。参加野外地质调查和部分资料整理的还有赵明合、蒋威、王礼胜等先生及石家庄经济学院部分高年级学生。2000年5月，由河北科技厅组织、河北省发展计划委员会主持，召开了项目成果鉴定、验收会。由李廷栋、陈毓川院士、翟安民、侯增谦研究员及陈华山、肖文暹、马国玺教授级高工组成的鉴定委员会及由郝东恒院长、祁兰夫副厅长、张瑞恒副院长、孙卫东、杨同喜、王丽萍、张学雄处长组成的验收委员会，听取了项目组汇报，认真审阅了科研报告及有关资料，给予了很高的评价。认为：“该成果运用地质科学新理论和新成果，提出了华北盆岭区地幔热柱多级演化、成矿物质来源、迁移途径、幔枝构造成矿控矿等一系列新认识，并在指导新一轮地质找矿中卓有成效。总体达到了国内同类研究成果的领先水平，在地幔热柱多级演化及成矿作用结合研究方面达到了国际先进水平。”作者根据评审意见，进行了认真修改，并补充了部分内容。张建珍副教授翻译了英文摘要，在此表示感谢。

研究工作在国土资源部有关部门领导下，得到了中国地质调查局、省地矿厅局、石家庄经济学院有关领导和专家的热情鼓励和指导。野外调研中得到了地矿、有色、冶金、化工、武警等地勘单位和矿山的友好协助和大力支持。笔者曾两次参加中国地质科学院矿床研究所举办的有关地幔热柱与成矿作用沙龙，与侯增谦博士、毛景文博士、王登红博士、李红阳博士、周瑶琦博士、杜乐天教授等进行过广泛交流，受益颇深。工作中学习、应用了许多前人科研成果，使新的认识不断深化，在此一并衷心感谢。

作者还衷心感谢著名地质学家、中国工程院院士陈毓川教授在百忙中为本书作序，并给予了很高的评价和热情鼓励。感谢“石家庄经济学院学科带头人成果出版部分资金资助计划”给予的有力经济资助。

最后应该指出，地幔热柱多级演化及其成矿作用研究，取得了显著进展，并在实践中得到了较好的验证，但它仍是初步总结，恳请有关领导、专家、同行给予批评指导。

著 者
2000. 10

Introduction

Hebei Province is a major province for the mineral resources in China. Since the founding of Peoples Republic of China, many kinds of mineral resources have been exploited and utilized by hard working of several generations of geologists all over the country. Many cities and towns have been built up on the base of mineral resource exploiting. Much of the contribution has been made to the modernization and economic developing of the China. However, with the development of national economy, the mine exploitation capability increases, the utilization of mineral resources is expedited. Many superior mineral resources show shortage tendency, available reserves for some urgently needed resources are decreased. The resources bases in support are seriously shorted. The mineral resource prospecting has fallen behind the development of national economy. Particularly, the prospecting of exposed and shallow-buried deposits is not enough for the need of national economy, but the prospecting of concealed and blind deposits are more difficult. The shortage of mineral resources has restricted the development of national economy.

For the purpose to resolve above mentioned problems, the Planning Committee of Hebei Province and the Hebei Department of Geology and Mineral Resources sponsored the project of "The Gold Metallogenic Study on the Hanging Wall Cover of Main Detachment Fault" (project No: 98-39). The research group integrates the production, training and studying into the project for the purpose of applying new theories, new technology and methods to the project. These made the studying more creative in the process of mineral resource prospecting in the new century. In the guidance of mantle plume theory, the project focuses on the creative studies on the base of available information which collected in past decades. To enhance the guidance of mineral resource prospecting, the project is paid more attention to the combination of field works and synthetic analysis. Erenow, professor Niu Shuyin has finished the project of "The study on mantle branch structure and its ore-forming and ore-controlling" which is sponsored by "One hundred Trans-century Science and Technology Talents Cultivation Plan in the Ministry of Geology and Mineral Resources". The former is emphasized on theory; the later is emphasized on practice. Two projects are coordinated to tackle key problems of geology. After three years hard works, the project was successfully finished and much more progresses have been made as following:

(1) The multiple mantle plume evolution is proposed based on the synthetic studying of mantle plume. It is considered that the formation and development of mantle plume are dominated by the difference in temperature, pressure, viscosity and velocity between the layers within the Earth. The formation and evolution of sub-mantle plume and mantle breach structure are dominated by the characteristics of lithosphere and regional structural stress field in

combination with above mentioned factors. The evolution of mantle breach differ in different geological times and spaces.

(2) It is proposed that the basin-mountain structure in North China is a typical sub-mantle plume structure style. The formation and evolution of this sub-mantle plume are summarized on the bases of geology, magmatism, geotherm, earthquake and geophysics. It is considered that the uplifting of sub-mantle plume in North China made the lithosphere thinned, and the fault basin formed.

(3) The formation and evolution of mantle breach are first discussed by the authors of this book. It is considered that the sub-mantle plume take the shape of mushroom to detach towards the surroundings beneath the lithosphere. When it crosses the steep ductile shearing fault, depressurizing and load-releasing results in anatectic magma, some of country rock melting also are involved. The mantle breach structure is formed as the upwelling of magma and the uplifting of metamorphic rocks. The mantle breach structure usually take the in-land orogenic belt as the center which is composed of structural magmatic belt. Metamorphic and magmatic complexes usually are exposed in the places of rapidly uplifting massif and the surrounding covers are extensively detached, this causes the formation of typical metamorphic core complexes. The metamorphic core complexes are formed in some processes during the evolution of mantle breach structure. Metallogenic mechanism is discussed based on the mantle breach structure theory. Some new ideas are proposed by re-analysizing some available mines, some new target prospecting areas are proposed after the synthetic studying. The mantle breach structure theory gives a guidance to the project in the process of studying.

(4) Taking the view of layered structure and vertical movement of earth's materials, we discuss the thermal mechanism, characteristics of anatectic fluid, anti-gravity movement of metallogenic materials, as well as the origin, migration and concentration of ore-forming materials during the multiple evolution of mantle plume. The metallogenic model is summarized based on the multiple evolution of mantle plume. This study provides the theoretical basis for the metallogenic process of mantle breach structure and elucidate the dynamic mechanism for the formation of metamorphic core complex.

(5) For the covers, this study summarizes the stratigraphy, sedimentary geology, petrology and ore-bearing stratum of middle to upper Proterozoic. It discusses the metallogenic process of middle to upper Proterozoic for its weakness favorable to fracturing. This study also discusses the characteristics and genetic mechanism of gold and silver deposits within the covers. It provides the theoretical basis for mineral resource prospecting in covers.

(6) The study systematically discusses the metallogenic factors in the process of multiple evolution of mantle plume. The metallogenic series in North China basin-mountain area is discussed in the view of origin of mineralization materials, concentration field, temperature and pressure gradient and network structures. On the guidance of mantle breach structure, we summarize the regional metallogenesis, metallotectic model, and estimate the potential mineral resources. Some potential perspective mineralization areas and target prospecting lo-

calities are proposed. The proposed new prospecting theory has made some progresses in the process of mineral resource prospecting.

The geological study focuses on two important aspects which include theoretical study and prospecting practices. Obviously, theoretical study must be creative. The theoretical study need to fallow up the latest development of its industry. In order to propose new subject for exploring, available information made by other geologists must be synthetically analyzed and digested. The multiple evolution and metallogenesis of mantle plume are totally new subjects in recent years, mantle breach and its metallogenesis are a more creative subject. Although we summarize the multiple evolution and metallogenesis of mantle plume based on the information that we collect in past decade, this only is primary study. Many imperfect places should be probed in the future.

As to the geological prospecting of this study, the metallogenesis of metamorphic core complex and peripheral main detachment belts have been paid much more attention by officials and geologists in different departments since proposal of Fuping, Zhanhuang and East Hebei metamorphic core complexes at the beginning of 1990s. More progresses have been made in the process of geological prospecting in these areas. Some of gold, silver and poly-metallic deposits have been found in above mentioned covers and detachment belts. More recent studies involve the metallogenesis of multiple mantle plume evolution and mantle breach, these discuss the origin of ore-forming materials and positioning conditions. New prospective areas for prospecting are proposed in this study.

This book is a summary of above two projects which are worked by project group. The introduction is authored by Shao Zhengguo and Niu Shuyin; Chapter 1 is authored by Sun Aiqun; Chaper 2 is authored by Niu Shuyin; Chapter 3 is authored by Niu Shuyin, Wang Baode and Sun Aiqun; Chapter 4 is authored bu Niu Shuyin and Sun Aiqun; Chapter 5 is authored by Wang Lifeng; Chapter 6 is Authored by Niu Shuyin and Xu Chuanshi. The whole book is composed by Niu Shuyin and Sun Aiqun. Zhao Minghe, Wang Lisheng and some senior students of Shijiazhuang University of Economics participated some works. The project was appraised and accepted in May, 2000 by a committee which was organized by Hebei Department of Science and Technology and Hebei Committee of Developing and Planning. Academician Li Tingdong and Chen Yuchuan, Professors Zhai Anmin, Hou Zengqian, Chen Huashan, Xiao Wenxie, Ma guoxi are invited to appraise the study. The committee for the acceptance includes different department officials who are Hao Dongheng, Qi Lanfu, Zhang Ruiheng, Sun Weidong, Yang Tongxi, Wang Liping and Zhang Xuexiong. They checked and approved the report and relative materials. The committee appreciated with the study. It is considered that the project group use new geoscience theories and latest information for its creative studies in the multiple evolution of mantle plume in North China, the origin and migration of ore-forming materials, as well as the metallogenesis of mantle breach. Some progresses have been made in the process of mineral resource prospecting based on this study. This study has stood in the ahead of the same studies in China. The studies of multiple evo-

lution and metallogenesis of mantle plume belong to advanced studying field in the world. Thanks to the above experts for them to give us much advices about the modification of the report.

Special thanks are paid to the officials and experts from Territory Resources Ministry, Hebei Department of Geology and Mineral Resoueces and Shijiazhuang University of Economics for their encourage and guidance. We also thank to different geological departments for their help in the process of field works. During the studying, we have discussed twice with Dr. Hou Zengqian, Mao Jingwen, Wang Denghong, Zhou Yaoqi and professor Du Letician in seminars on mantle plume and metallogenesis conducted by CAGS. We benefit much from the discussion. We also pay our thanks to many people for them to allow us to use their literatures and available data. Thanks to the Seismological Press for the publication of this report.

Special thanks are paid to professor Chen Yuchuan for his preface which is made for this book, and his praise for this book. We also pay thanks to the "Publication sponsoring plan for the achievements of subject leaders in Shijiazhuang University of Economics" for providing some publication finds.

Although much progresses have been made for the studies of multiple mantle plume evolution and metallogenesis, this report only is a primary summary. Any comments or criticism from officials, experts or colleagues to this book are welcomed.

Authors

Oct. 2000

目 录

第一章 地幔热柱多级演化	(1)
第一节 地幔热柱理论的提出	(1)
一、地幔热柱理论的提出	(1)
二、地幔热柱的主要特征	(3)
第二节 地幔热柱的演化特征	(4)
一、地幔热柱的多级演化	(5)
二、地球物理探测资料	(8)
第三节 慢枝构造的形成	(9)
一、问题的提出	(10)
二、慢枝构造的形成	(10)
三、慢枝构造的形成机制	(11)
第四节 地幔热柱的成矿作用	(12)
一、地幔热柱对成矿的控制	(12)
二、地幔热柱的成矿特征	(12)
第二章 华北盆岭区地幔热柱演化特征	(15)
第一节 华北盆岭区大地构造特征	(15)
一、区域大地构造背景	(15)
二、华北盆岭区中新世代活动特征	(15)
第二节 华北断陷区的地质特征	(16)
一、强烈的断裂活动	(16)
二、广泛的岩浆作用	(18)
三、大幅度的断陷沉积	(23)
四、频繁的地震活动	(25)
第三节 华北地幔亚热柱的地球物理特征	(27)
一、华北壳幔层圈的地球物理表现	(27)
二、华北断陷区的热效应	(28)
第四节 华北地幔亚热柱的建立	(31)
一、华北地幔亚热柱的特征	(31)
二、华北地幔亚热柱的构造演化	(33)
第五节 地幔热柱多级演化及其成矿作用	(35)
一、上升慢流——成矿物质的深部来源	(35)
二、地幔亚热柱——成矿物质的运移通道	(35)
三、慢枝构造——成矿、控矿的有利空间	(36)

第六节 慢枝构造与岩浆侵位·····	(37)
一、岩浆侵位的特征·····	(37)
二、岩浆、热隆的作用·····	(38)
三、慢枝构造的形态·····	(40)
第三章 华北盆岭区慢枝构造及其成矿作用·····	(41)
第一节 华北盆岭区慢枝构造的基本特征·····	(41)
一、华北盆岭区慢枝构造的展布特征·····	(41)
二、华北盆岭区慢枝构造的组成特征·····	(42)
三、华北盆岭区慢枝构造成矿作用的偏聚性·····	(42)
四、华北盆岭区慢枝构造的成矿、控矿作用·····	(47)
第二节 冀东慢枝构造特征及成矿作用剖析·····	(49)
一、冀东慢枝构造的基本特征·····	(49)
二、冀东慢枝构造的变形变质特征·····	(51)
三、冀东慢枝构造的形成机制·····	(61)
四、冀东慢枝构造的成矿、控矿作用·····	(64)
五、慢枝构造轴部韧性剪切带型金矿——金厂峪金矿·····	(66)
六、慢枝构造外围主拆离带型金矿——尖宝山金矿床·····	(72)
七、慢枝构造外围盖层金矿——峪耳崖金矿·····	(77)
八、慢枝构造外围盖层裂隙式金银多金属矿床——唐杖子银金矿·····	(83)
九、冀东慢枝构造西缘成矿作用的特征·····	(84)
十、“长城式”金矿成因的探讨·····	(96)
十一、冀东金矿集中区深源流体的基本特征及矿质来源·····	(104)
第三节 张宣慢枝构造的成矿作用·····	(108)
第四节 太行山慢枝构造的成矿作用·····	(112)
一、太行山慢枝构造的基本特征·····	(112)
二、太行山慢枝构造的成矿作用·····	(119)
三、慢枝构造成矿规律的探讨·····	(134)
第五节 小秦岭慢枝构造特征及成矿·····	(135)
一、小秦岭慢枝构造的提出·····	(135)
二、小秦岭慢枝构造的基本特征·····	(136)
三、小秦岭地区成矿的模式·····	(137)
第六节 胶东慢枝构造及其成矿·····	(139)
一、胶东地块地质演化概要·····	(140)
二、胶东慢枝构造金矿的控矿构造特征·····	(142)
三、胶东慢枝构造的成矿作用的探讨·····	(143)
四、胶东慢枝构造成矿的模式·····	(147)
第七节 华北盆岭区各慢枝构造的对比·····	(148)
一、华北地幔亚热柱外围慢枝构造的形成·····	(148)
二、慢枝构造的成矿、控矿作用·····	(148)

第四章 地幔热柱演化的动力学模型	(150)
第一节 地球成因的探讨	(150)
一、太阳系的形成.....	(150)
二、地球的形成.....	(151)
第二节 地球的演化特征	(151)
一、前太古代陆核的形成.....	(152)
二、太古代陆块的演化.....	(153)
三、古华北陆块的形成.....	(154)
四、中新生代的构造活化.....	(154)
第三节 深源流体的地质特征	(155)
一、深源流体存在的证据.....	(155)
二、深源流体的存在形式.....	(156)
三、深源流体的含量.....	(158)
第四节 地核能量的积累与释放	(158)
一、地球的内部压力特征.....	(158)
二、地球的热能特征.....	(160)
三、地球转动能量的积累.....	(162)
第五节 地幔热柱活动的激发因素	(163)
一、长周期变化——天文因素影响.....	(163)
二、中周期变化——日地系统影响.....	(163)
三、短周期.....	(164)
第六节 地幔热柱的热传输	(164)
第七节 成矿物质的反重力运动	(168)
一、成矿元素的深部来源.....	(168)
二、成矿物质反重力迁移.....	(168)
三、赋矿围岩与成矿的作用.....	(170)
第八节 地幔热柱多级演化及成矿模式	(171)
第九节 全球大型—超大型矿床展布的反证	(175)
 第五章 盖层赋矿的基本特征	(181)
第一节 中新元古代地层的划分	(181)
一、中新元古代地层的划分.....	(181)
二、中新元古界岩石的地层特征.....	(183)
三、新上元古代地层的对比.....	(188)
第二节 赋矿地层的旋回层序特征	(188)
一、旋回层序及级别.....	(188)
二、旋回层序的划分及其标志.....	(190)
第三节 赋矿地层的岩石学	(190)
一、碎屑岩类.....	(190)

二、泥岩类·····	(192)
三、碳酸岩类·····	(193)
第四节 中上元古界的成矿条件·····	(195)
一、矿质来源·····	(195)
二、层位和岩相·····	(196)
三、构造因素·····	(197)
四、地球化学障壁·····	(198)
第五节 成矿的配位机制及成矿模式·····	(198)
一、成矿物质的来源·····	(199)
二、矿质的迁移通道·····	(199)
三、岩相·····	(201)
 第六章 华北盆岭区地质找矿的远景·····	(203)
第一节 华北盆岭区地质找矿的重大进展·····	(203)
一、绿岩带找矿的重要进展·····	(203)
二、变质核杂岩的成矿作用·····	(205)
三、慢枝构造成矿、控矿的新认识·····	(206)
第二节 华北盆岭区的主要控矿因素·····	(206)
一、地幔热柱的三级演化·····	(206)
二、深断裂构造的三位一体·····	(207)
三、慢枝构造的三位一体·····	(207)
四、岩浆杂岩体的三位一体·····	(207)
五、控矿构造的三位一体·····	(208)
六、成矿条件的三位一体·····	(208)
第三节 华北盆岭区成矿系列及成矿规律·····	(210)
一、矿质来源·····	(210)
二、矿质浓度场·····	(210)
三、温、压梯度场·····	(210)
四、构造网络场·····	(211)
五、区域成矿系列·····	(211)
第四节 华北盆岭区的找矿远景·····	(212)
一、地幔亚热柱控制成矿域·····	(212)
二、慢枝构造控制着矿聚区·····	(212)
三、区域性韧性剪切(断裂)带控制矿田·····	(213)
四、主韧性剪切(断裂)带控制矿床·····	(213)
五、构造裂隙带控制矿体·····	(214)
六、华北盆岭区找矿的远景评价·····	(214)
七、慢枝构造成矿的预测·····	(215)
 参考文献·····	(220)

第一章 地幔热柱多级演化

“科学技术是第一生产力”，每次科学理论的突破都会给生产带来强大的推动作用，并有力地促进社会经济大发展。地球科学亦是如此，第二次世界大战以后，由于海洋地球物理勘探的深入开展，在“大陆漂移”、“海底扩张”的基础上，于 60 年代明确提出了“板块构造”理论，开阔了地质学家的视野，同时带来了地学的一场革命，并被应用于几乎所有地学领域。尤其是板块边界的研究，取得了巨大的成功。

80 年代以来，在把经典板块构造理论运用于大陆地质研究过程中，在新的地球物理探测技术迅速发展和深部地质研究新发现不断涌现的情况下，人们逐渐认识到，大洋岩石圈与大陆岩石圈有着本质的差别。大陆上许多造山带的一系列不同层次的板片、岩席不但在板块消减带边缘，而且在大陆内部、板块内部也发生大规模的侧向位移而导致叠覆堆置、构造变形和地壳增厚，并形成板内造山带。大陆岩石圈远不像刚性大洋岩石圈那么简单，而是极其不均匀的，并随深切度的增加而塑性流变特征明显加强，甚至发生广泛弥散渗透性变形（肖庆辉等，1993；张国伟等，1993）。因此，大陆板内造山带的形成与演化要复杂得多。随着板内造山带研究的深入，逆冲推覆构造、伸展构造、变质核杂岩、地幔热柱等一系列新的认识、新的理论被提出来。其中，地幔热柱多级演化可能是板内构造变形的主要动力学机制（见第四章），而伸展构造、变质核杂岩，甚至逆冲推覆构造则是其重要组成部分或是幔枝构造发展的阶段产物。

华北地区自海西运动以来，进入了一个新的活动阶段，表现为明显的地幔热柱多级演化特征（图 1-1），控制了中新生代的主要成矿作用，是一个非常诱人并值得探索的前沿课题。

第一节 地幔热柱理论的提出

地幔热柱理论是近年来发展起来，并正在被探索的前沿性研究课题，倍受地质学家的广泛关注，有关文献层出不穷。在探讨华北盆岭区地幔热柱多级演化及其成矿控矿作用之前，首先简要回顾地幔热柱理论的提出和主要研究进展。

一、地幔热柱理论的提出

地幔热柱的认识，最初源于热点理论。1963 年，Wilson 提出热点假说用于解释夏威夷群岛火山岩的成因；Morgan (1971) 则认为 Wilson (1963) 所指的固定热地幔源区实际上是一个产于地幔底部热边界附近的热幔柱 (Plume, 也有人译作地柱、热点、地缕、地幔羽、地幔柱等)；Deffeye (1972) 认为热幔柱是下地幔上涌形成的；Anderson (1975) 著文说热幔柱与其说是热柱，不如说它是一种化学柱，它的化学成分与周围地幔物质有明显的差别，它来源于地幔底部的 D'' 层。 D'' 层从外地核那里聚集了大量放射性元素，放射热导致 D'' 层具有高温低粘度特征，从而形成地幔热柱。这些概念奠定了地幔热柱理论的基础：①地幔热柱往往发育于地球的核-幔边界，并且在向上升的过程中逐渐扩大；②当垂直运动的地幔

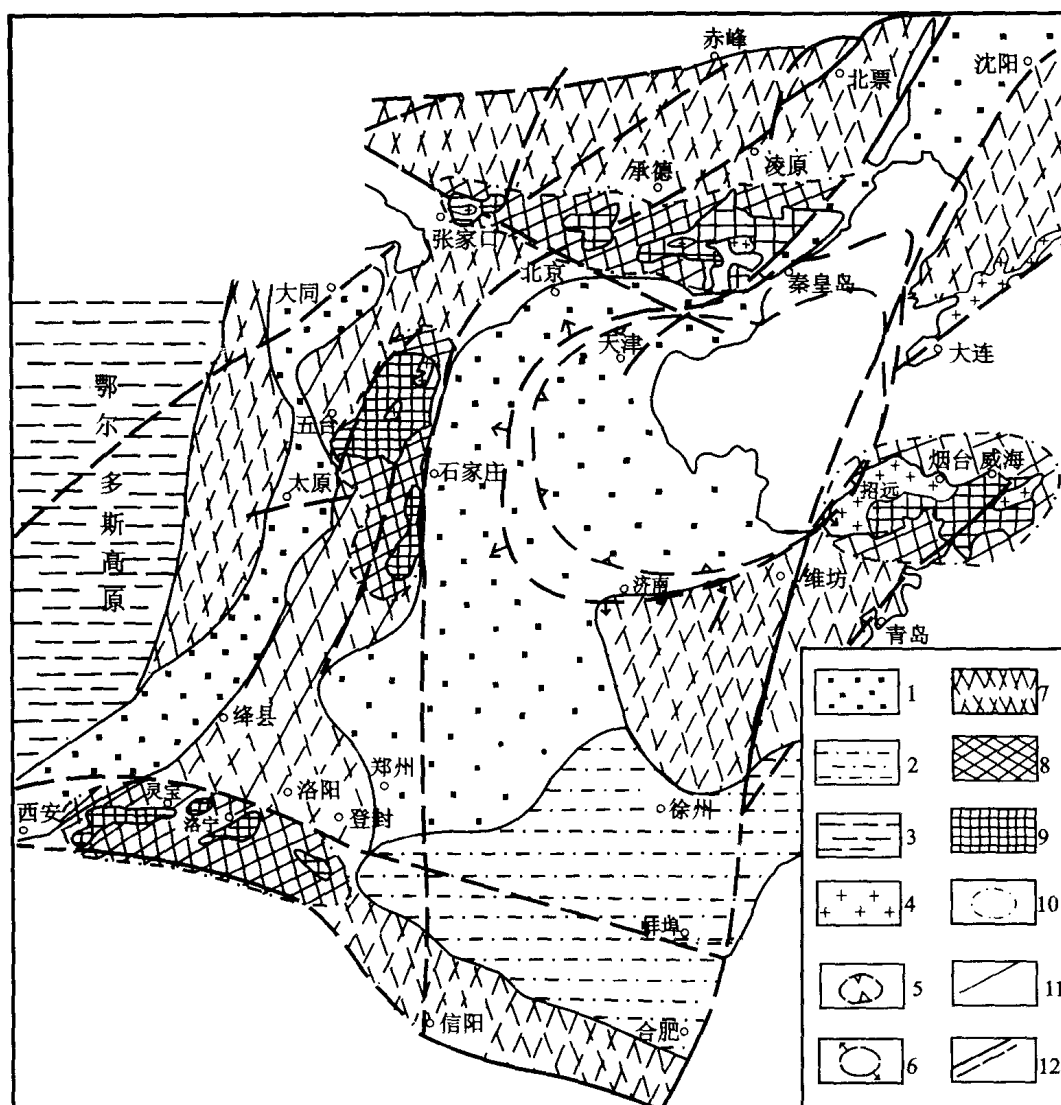


图 1-1 华北盆岭区区域构造简图

Fig. 1-1 Regional tectonic sketch of basin-mountain in North China

1. 强烈断陷盆地; 2. 沉降平原; 3. 高原; 4. 岩体; 5. 地幔亚热柱中心断陷; 6. 地幔拆离方向; 7. 隆起区;
8. 幔枝构造; 9. 变质-岩浆杂岩核; 10. 幔枝构造范围; 11. 一般断裂; 12. 区域性断裂

热柱上升到岩石圈底部时，幔流变为向外的拆离扩散，形成具火山活动的热区，并可能使岩石圈上隆；③与地幔热柱内集中的上升流相平衡的回流，由地幔其余部分非常缓慢地往下运动完成；④地幔热柱上升点呈放射状流体所施加给岩石圈板块的合力以及板块沿边界相互制约所产生的力，确定了板块的运动方向。

宋晓东等（1998）通过分析世界不同区域的南北向地震波的波形，证实了内核有很强的各向异性，沿内核南北向的 P 波波速比沿东西向的速度要快 3% 左右，并据此提出了内核差速旋转的惊人地震学证据，推测地球内核以约 $1^\circ/\text{年}$ 的速率相对于地幔向东旋转。另一个惊人的发现是下地幔底部某些区域存在着“超低速层”（ultra-low velocity zone），其厚度不到 40km、层中 P 波速度减小达 10%（Garnero 等，1996）。如此大的速度异常只能用区域性部