

幔 柱 构 造

李红阳 牛树银 王立峰 高永丰 编著



地震出版社

幔柱构造

李红阳 牛树银 王立峰 高永丰 编著

地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

幔柱构造/李红阳、牛树银等编著. —北京: 地震出版社, 2002.6

ISBN 7-5028-2077-9/

I. 幔… II. ①李… ②牛… III. 地幔 - 地质构造 IV. P54

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 031082 号

幔柱构造

李红阳 牛树银 王立峰 高永丰 编著

责任编辑: 张友联

责任校对: 庞娅萍

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: 68462709

传真: 68467972

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

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京地大彩印厂

版 (印) 次: 2002 年 6 月第一版 2002 年 6 月第一次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

字数: 378 千字

印张: 14.75

印数: 0001 ~ 1000

书号: ISBN 7-5028-2077-9/P·1129 (2632)

定价: 28.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

序

慢柱构造理论是当代地球科学研究重大进展的里程碑，是一种新的全球大地构造理论，涉及几乎所有地球科学各分支，正在推动着继大陆漂移、板块构造之后的第三次地球科学领域中的革命。慢柱构造思想起源于1963年Wilson提出的热点假说，慢柱构造理论的提出和建立则是近十年的事情，在地学界引起高度重视，发展很快。它涉及太古宙到新生代各地质历史时期的浅部表层地壳、深部地幔甚至地核的整个地球水平和垂向物质运动动力学体系。无疑，在这场国际地球科学领域的革命浪潮中，通过不懈的努力与探索，我国地质工作者一定会有更多的新发现与创新，进而取得应有的国际地位，为地球科学的发展做出重大贡献。

李红阳博士等较早地涉足慢柱构造的理论研究和在我国的实际应用。为了使这一当代地球科学理论尽快的我国广大地质科技人员中进行传播与发展，他们将国际上慢柱构造的主要进展与近十年来的研究成果及工作体会一并归纳总结编写成《慢柱构造》专著，无疑是我国青年科技工作者对国际性重大地质问题的一次很有意义的探索，是一本非常有用的参考书。书中系统归纳总结了当前国内外慢柱构造的研究现状、趋势和最新研究成果，比如慢柱构造与板块构造、花岗岩、科马提岩、大型火成岩省、绿岩带和全球环境变化的关系以及研究实例，对于加深慢柱构造的认识是非常有意义的；本书不仅汇集了大量的国内外典型地区研究资料，而且通过系统归纳总结提出了慢柱构造的主要地质、地球化学、地球物理等标志与特征，对于识别鉴定慢柱构造作用 and 对比研究，具有很好的参考价值；作者通过近十年的国内外研究、对比与思考，提出了“慢柱构造体系”、“慢柱构造成矿体系”、“地幔柱成因的地壳柱”和“地幔柱的超变质作用”等概念、思想和主要研究内容，比如地幔热柱-热点、地幔热柱-大陆裂谷、地幔热柱-大洋扩张、冷慢柱-前寒武纪硅铝壳造山、冷慢柱-显生宙硅铝壳/洋壳造山等五个构造系统或成矿系统，并系统研究了慢柱构造的岩浆作用、变质作用、成矿作用及其与板块构造和全球环境变化的关系，大大丰富和发展了慢柱构造理论。特别是慢柱构造成矿体系的提出与研究，不仅具有很高的学术价值，而且大大拓宽了成矿学的研究思路，比如峨眉地幔热柱、张宣地幔热柱、富蕴地幔热柱与大型—超大型矿床或矿集区关系的研究，为超大型矿床和矿集区成矿元素的超常富集提出了崭新的研究思路，有力地促进了慢柱构造在我国的应用与发展。

虽然慢柱构造理论是一个不断探索的地学新领域，但是李红阳等同志的研

究是一次具有开拓性和创新性的尝试，是值得称赞和庆贺的，也一定会给从事地球科学领域的研究者带来收益。衷心祝愿李红阳博士等在此领域继续深入探索，不断攀登地球科学研究新高峰，做出更大的贡献。

侯增谦

2002年5月28日于北京

前 言

众所周知,大陆漂移学说带来了第一次地球科学的全新认识,板块构造学说引发了第二次地球科学革命。然而,随着大陆地质和深部地质的深入研究,板块构造学说遇到了越来越多的困难和挑战。于是,许多地质学家对全球构造进行了重新思索和认识,对于显生宙表层边界的板块构造理论体系,进行必要的时空延伸,以包括在空间上,下至地球核心的整个地球,在时间上,从地球的诞生至目前,甚至到将来,把浅部岩石圈板块水平运动与深部地幔垂直运动结合成为一个全球动力学体系。慢柱构造就是在地质学家这种不断探索和进取中产生的,并且正在推动着继大陆漂移、板块构造之后的第三次地球科学革命浪潮的到来。

“慢柱构造”思想,起源于 Wilson 在 1963 年提出的热点假说。慢柱构造理论认为在地幔中存在着上升的热慢柱和回返的冷慢柱,其中热慢柱来自核幔边界或深部地幔,表现为深部地幔热物质呈柱状体上涌,形成巨大球状头冠和细窄的尾柱,并在岩石圈发育成热点-裂谷-大洋扩张构造系统,产生相应的热点、大陆裂谷、大洋扩张式岩浆活动,导致岩石圈减薄和超大陆解体以及大陆岩石圈向大洋岩石圈构造转化;冷慢柱回流引起超大陆聚合、大陆裂谷夭折和洋壳俯冲碰撞造山以及大洋岩石圈向大陆岩石圈构造体制转化;地幔范围内的冷慢柱与热慢柱并列共存、对流运动、驱动板块运动,导致区域超变质作用、构造岩浆活化、火成岩巨量堆积、矿集区的形成,影响着全球环境变化及生物灭绝,控制了地幔热点-大陆裂谷-大洋裂谷-大洋扩张-俯冲碰撞造山威尔逊旋回的发生与发展。慢柱构造对地壳产生的重大影响和对地壳各种地质作用的控制,促使地球科学家正在密切合作,为以慢柱构造为核心的全球构造新理论的形成而潜心研究。

作者 1991 年在研究我国冀西北金银多金属矿集区控制因素时,发现该区成矿作用明显跨越在内蒙古地轴与燕山台褶带两个Ⅱ级历史大地构造单元之上,受另外一种新的大地构造单元——中生代巨大热穹隆构造控制。依据各种标志特征及国内外研究对比,这一直径约 200 km 的巨大热穹隆构造,实质上就是地球上一规模较小的张家口-宣化地幔热柱-热点活动区。因此,作者较早地涉足慢柱构造的理论研究和我国的实际应用。

慢柱构造理论涉及地球科学各分支学科,为使这一现代地球科学理论在我国广大地质科技人员进行传播与发展,作者将慢柱构造的主要进展与近十年来的研究成果一并归纳总结成册。内容包括:当前国内外慢柱构造的研究现状

和趋势；慢柱构造的基本理论体系和主要识别标志；慢柱构造与板块构造、岩浆作用（花岗岩、科马提岩、巨大溢流玄武岩、“绿岩带”）、变质作用、成矿作用及全球环境变化等有关地质科学和地质作用的关系；慢柱构造在我国的应用与发展。

作者就有关问题与中国地质科学院侯增谦博士、王登红博士、吕庆田博士、杨竹森博士和卢记仁教授等进行过多次讨论，并引用了他们的文献资料。石家庄经济学院给予了出版资金的资助，地震出版社的编审作了大量工作，一并致谢。

最后感谢杰出青年地质学家、博士生导师侯增谦教授为本书作序。

Introduction

It is common knowledge that continental drift hypothesis brings about the first revolution in the earth sciences and that plate tectonics promotes the second revolution. However, with deep studies of continental and deep geologies, more and more troubles and challenges are encountered with the plate tectonics. A number of geologists have to reconsider the global tectonics and recognize it again. It is necessary that the plate tectonics mainly about Phanerozoic outmost layer boundaries of the earth has been extended in space to the whole earth including the core and in time from the birth of the earth to now and the future of the earth. The dynamic system of the earth is believed to be composed of the horizontal movement of the plate and vertical movement of deeper mantle. Geologists bring about the plume tectonics with making the continuous researches and keeping forging ahead. This is promoting the third revolution of earth science following plate tectonics.

The idea of the plume tectonics originates from the hot spot hypothesis suggested by Wilson in 1963. The plume tectonic theory suggested that there are rising hot and sinking cold plumes within the mantle, in which the hot mantle plume may originate from the core – mantle boundary or deeper mantle, display the a columnar upwell of the deep mantle hot material, and have an enormous head and a narrow tail. The hot mantle plume may develop the hot spot, continental rift and ocean floor spreading tectonic system within the lithosphere, produce such accompaniments as hot spot, continental rift and ocean floor spreading types of magma activities, and result in thinning of lithosphere, breaking up of super continents and transforming of ocean lithosphere into continental lithosphere. The sinking currents of the cold plume may be responsible for supercontinental convergence, aborted rifting, subduction of ocean crust and collision orogeny, and transformation of ocean lithosphere into the continental lithosphere. Within the mantle, co-existence and convection currents of both cold and hot plumes might drive the plate movement and result in regional ultra – metamorphism, tectono – magmatic activation, large – scale igneous rocks and formation of the mineralization – enriched region. The plume activities have an important effect on the global environmental changes and evolution of Wilson cycles of mantle hot spot—continental rift—oceanic rift—ocean floor spreading—subducting collision orogeny. The mantle plume may have created an important effect on the crust and controlled the various geological functions in the crust. This promotes geologists closely cooperating in studying hard for the new global tectonic theory centered on the plume tectonics.

When studying the controlling factors of the Au – Ag – polymetallic enriched region in the northwestern Hebei, we found that the metallization overstepped two different tectonic units respectively called Inner Mongolian axis and Yanshan platform fold belt and was controlled by another tectonic unit which is Mesozoic enormous thermal dome structure. According to various indicators and comparison studies with the plume tectonics, this dome structure about 200 km in diameter is essentially a small – scale Zangjiakou – Xuanhua mantle hot spot. Therefore, we have been developing the theory of the plume tectonics and applied it in China early.

The plume theory is involved in all branches of the earth science. In order to spread and develop this modern scientific theory of the earth to the geologists in China, the book has summed up the main progresses and our studies of the plume tectonics for ten years. Contents of this book are as follows: (1) the present situation and developing tendency of the plume tectonics; (2) the basic theory system and the main indicators of it; (3) the relationships between it and such geological sciences and functions as the plate tectonics, magmatism (granite, komatite, large flood basalt, and "greenstone belt"), metamorphism, mineralization and global environmental changes of it; (4) the application and development of plume tectonics in China.

Authors have benefited greatly from discussions with Drs. Hou Zengqian, Wang Denghong, Lu Qingtie, Yang Zhusen from Institute of Mineral Deposits, CAGS, in particular we wish to thank Profs. Hou Zengqian, Wang Denghong and Lu Jiren for their literatures and available data. We gratefully acknowledge Shijiazhuang University of Economics for providing publication funds and the editors and staff of the Seismological Press for their help in producing this book.

Finally a special thanks is due to professor Hou Zengqian for his preface.

目 录

第一章 幔柱构造的基本思想与理论	(1)
第一节 幔柱构造理论产生的历史背景	(1)
一、热点假说的提出与地幔柱思想的产生	(1)
二、热点与地幔柱的研究与进展	(2)
三、板块构造的局限性与幔柱构造的必然孕育诞生	(7)
四、我国幔柱构造研究概况	(8)
第二节 幔柱构造体系	(9)
一、幔柱构造	(9)
二、幔柱构造体系划分	(10)
第三节 幔柱构造的多级演化	(13)
一、概 述	(13)
二、地幔亚热柱	(14)
三、幔枝构造	(14)
第四节 幔柱构造与板块构造的关系	(17)
一、幔柱构造与地球层圈相互作用	(17)
二、幔柱构造与板块构造	(18)
第五节 幔柱构造的动力机制	(20)
一、地幔热柱的启动与形成	(20)
二、地幔热柱的结构特征与实验模拟	(22)
第二章 幔柱构造的主要标志与特征	(24)
第一节 幔柱构造的地质标志与特征	(24)
一、地壳升降与裂陷标志与特征	(24)
二、岩浆活动与岩浆岩组合标志与特征	(29)
三、超变质作用标志与特征	(35)
四、成矿作用的统一性与矿床组合标志与特征	(36)
五、裂谷沉积作用标志与特征	(39)
六、生物大灭绝及全球变化标志与特征	(40)
第二节 幔柱构造的地球化学标志与特征	(41)
一、岩石化学标志与特征	(42)
二、微量元素地球化学标志与特征	(49)
三、稀土元素地球化学标志与特征	(53)
四、同位素地球化学标志与特征	(55)
第三节 幔柱构造的地球物理、遥感等标志与特征	(60)

一、地球物理标志与特征	(61)
二、上地幔凸起与环状重力、航磁异常标志与特征	(64)
三、遥感巨大环形构造标志与特征	(65)
四、地热流场标志与特征	(66)
第三章 幔柱构造的岩浆作用与变质作用	(68)
第一节 幔柱构造与岩浆作用	(68)
一、概 述	(68)
二、幔柱构造与岩浆岩组合	(68)
三、幔柱构造的岩浆作用类型	(69)
第二节 地幔热柱-热点岩浆作用	(70)
一、大陆内部非造山地幔热柱-热点岩浆作用	(71)
二、大洋内部地幔热柱-热点岩浆作用	(79)
第三节 地幔热柱-裂谷岩浆作用	(79)
一、地幔热柱-大陆裂谷岩浆作用	(80)
二、地幔热柱-大洋扩张岩浆作用	(82)
第四节 幔柱构造的变质作用	(88)
一、幔柱构造的变质作用概念与类型	(88)
二、华北地台中生代超变质作用	(90)
第四章 幔柱构造的成矿作用	(105)
第一节 幔柱构造对成矿的控制	(105)
一、幔柱构造对地球演化各阶段成矿作用的控制	(106)
二、幔柱构造对不同构造环境成矿作用的控制	(106)
三、幔柱构造不同演化阶段对成矿的控制	(107)
四、幔柱构造的岩浆、变质和沉积作用对成矿的控制	(108)
第二节 幔柱构造成矿体系	(109)
一、幔柱构造成矿体系基本思想产生的历史背景	(109)
二、幔柱构造成矿体系的基本思想	(110)
三、幔柱构造成矿体系分类及其特征	(112)
第三节 峨眉地幔热柱与我国西南地区大型-超大型矿床	(115)
一、概 述	(115)
二、峨眉地幔热柱的三维速度结构及其地质意义	(116)
三、峨眉地幔热柱的岩浆活动、裂谷作用及其演化特征	(118)
四、峨眉地幔热柱与大型-超大型矿床的关系	(119)
第四节 富蕴地幔热柱与新疆阿尔泰地区大型-超大型矿床	(121)
一、阿尔泰地区某些特殊的地质现象	(121)
二、阿尔泰地区岩浆作用及其时空演化	(123)
三、阿尔泰地区变质作用及其时空演化	(125)

四、阿尔泰地区构造作用及其时空演化	(126)
五、阿尔泰地区成矿作用及其时空演化	(127)
六、阿尔泰大型-超大型矿床富集区地壳演化	(129)
第五章 张宜地幔柱区域成矿背景与控矿因素	(132)
第一节 张宜地幔柱区域成矿地质背景	(132)
一、区域构造	(132)
二、区域岩浆活动	(142)
三、区域地层及其含矿性	(144)
第二节 张宜地幔柱作用区成矿控制因素	(149)
一、构造对成矿的控制	(149)
二、岩浆活动对成矿的控制	(158)
三、碱交代作用对成岩成矿的控制	(174)
第六章 张宜地幔柱作用区成矿规律与环境效应	(180)
第一节 张宜地幔柱作用区矿床类型及特征	(180)
一、金矿床类型及特征	(180)
二、银矿床类型及特征	(183)
第二节 张宜地幔柱作用区成矿规律	(187)
一、成矿时间分布规律	(187)
二、成矿空间分布规律	(190)
三、成矿物质来源规律	(192)
四、矿床共生组合规律与成矿系列	(197)
第三节 张宜地幔柱作用区找矿方向	(204)
一、找矿标志	(204)
二、找矿方向	(206)
第四节 张宜地幔柱作用区环境背景值与生态效应	(207)
一、概 述	(207)
二、环境背景值	(207)
三、生态效应	(212)
参考文献	(216)

第一章 幔柱构造的基本思想与理论

第一节 幔柱构造理论产生的历史背景

一、热点假说的提出与地幔柱思想的产生

在板块构造理论提出之前，Wilson (1963, 1965) 首先提出热点假说，用于解释夏威夷群岛火山岩的成因。Morgan (1971, 1972) 认为地幔内存在着一种上升的、圆柱状的、局部熔融的物质流即“热柱” (Hot Plume)。热柱到达于地表之处或地幔热流上升之处，称之为“热点” (Hot Spot)。上升的炽热地幔柱可把上覆岩石圈抬升，使地壳呈现巨大穹窿构造，当地幔柱冲破岩石圈则形成热点。因此，热点是地幔热柱在地表的反映，以火山作用、高热流和隆起为标志 (Wilson, 1973)。热点在大洋环境中形成的火山岛链 (海山链)，被称之为热点行迹，它们比周围洋底高 1~2 km，形成一条长 1 000~2 000 km 的异常地形高地。海山链中的海山，称之为洋岛。它主要由拉斑玄武岩所组成，又有洋岛玄武岩 (OIB) 之称。火山岛链中的最大或最新大规模喷发的火山洋岛，往往直接称之为热点。大洋内线状排列的火山岛链，是大洋岩石圈活动板块在上地幔中的热点 (固定热地幔源区) 之上运动所留下的痕迹 (图 1-1)。地幔热点位于上地幔上部，相对于地球自转轴及其上覆的岩石圈来说，是固定不动的。但是，“热点” 仅仅代表了地幔热柱已到达了地面的现象特征，而没有表示出其内部特征。

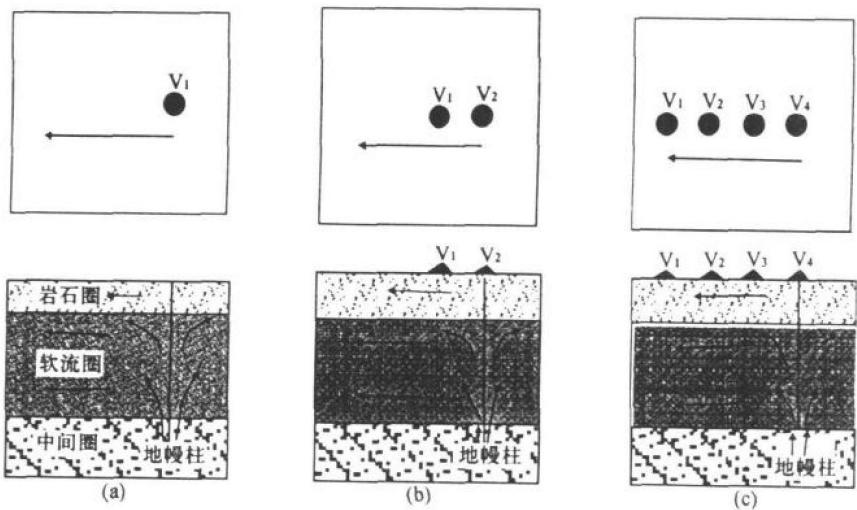


图 1-1 地幔热柱在活动板块上的热点轨迹 (火山岛链) 示意图
Fig. 1-1 Schematic map of mantle hot spot tracks on the mobile plate

Morgan (1971) 进一步提出太平洋中的热点是一系列狭窄的热隆起, 并将其称之为幔柱(plume)。热点被认为是由称之为“地幔柱”的地幔物质上涌形成的。Morgan 认为地幔柱可能起源于接近地核的地幔深部, 由于热不稳定而上升, 直径约 150 km, 移动速度相对较小, 为火山作用提供热和火山物质, 是板块移动的驱动力。Morgan (1972) 又指出, 热点是地幔表面隆升在地壳中的一种表现, 是地幔柱上升的地点, 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, 把炽热上升的圆筒状岩石类物质流, 称之为地幔柱(Mantle Plume, 或译为地柱、热点、地缕、地幔羽、地幔柱构造、地幔热柱、地幔热流柱等)。

Deffeye (1972) 认为热幔柱是下地幔上涌形成的。Anderson (1975) 认为热幔柱是一种化学柱, 其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。而 Olson 和 Yuen (1982) 则认为地幔柱, 既是“热”柱, 又是化学柱。

显然, 地幔柱思想的产生, 最初源于热点假说。

二、热点与地幔柱的研究与进展

(一) 热点对地球表面影响的研究与进展

热点对地球表面的影响, 实质上是热点在浅部地壳的地质作用的表现, 主要体现在地形、地貌和岩浆活动等方面。例如, Wilson (1973) 提出热点活动地区具有鲜明的高地形隆起, 而且可以保持很长时间, 这是热点的一个重要特征。Burke 和 Dewey (1973) 指出, 裂谷发育于热点之上的热穹隆上。Burke 和 Wilson (1976) 提出, 当热点和上覆陆壳相对运动极不明显或者规模很小时, 地幔热点对上覆陆壳的作用将更加明显与猛烈, 地幔柱中形成的岩浆可以穿透陆壳, 在一定条件下形成包括玄武岩、过碱性镁铁质岩和碳酸盐岩、过碱过铝的长英质岩石等在内的各种火成岩。Thiessen 等 (1979) 认为, 非洲下面存在大约 36 个地幔柱, 每个地幔柱之上或是具有活火山的热点, 或是没有火山活动的高点(地壳穹隆)(图 1-2)。

当地幔柱之上为古老的地壳软弱带时, 往往发育热点的岩浆作用; 当地幔柱之上为稳定的克拉通时, 通常仅仅产生穹隆, 形成高点; 而在热点或高点之间, 一般是较大的盆地, 对应着深部的地幔下沉带。Burke (1977) 提出, 当大陆岩石圈从一个强大的热点之上漂过时, 就会形成一串能反映岩石圈运动轨迹的玄武岩火山。例如, 东澳大利亚新生代玄武质火山熔岩(Wellman and McDougall, 1974), 美国蛇河平原和黄石公园地区的玄武质和流纹质岩浆活动(Smith and Christiansen, 1980), 均为大陆内部热点在上部地壳的表现。大洋中线状排列的火山岛链或海山, 是大洋岩石圈在上地幔中的热点之上运动所形成的轨迹; 而扩张脊和大洋盆地等, 则是地幔热点之上大陆裂谷-大洋裂谷的发展与演化的结果。

Cox (1989) 认为, 地幔柱对岩石圈发生作用, 可以通过穹状地形及其上的特征水系来显示。地幔柱岩浆的底侵作用导致地壳加厚, 有助于地表穹状地形在地幔柱上升之后两亿多年的时间尺度上都能保持下来。水系的分布范围, 与地幔柱的影响范围是一致的, 水系都是向着穹隆的边缘流。

当然, 浅部地壳原有构造的发育程度, 对深部地幔热点在地壳的作用有一定的影响和制约。但是, 热点在浅部地壳的构造、岩浆等地质作用的强度与表现, 主要取决于热点活动的

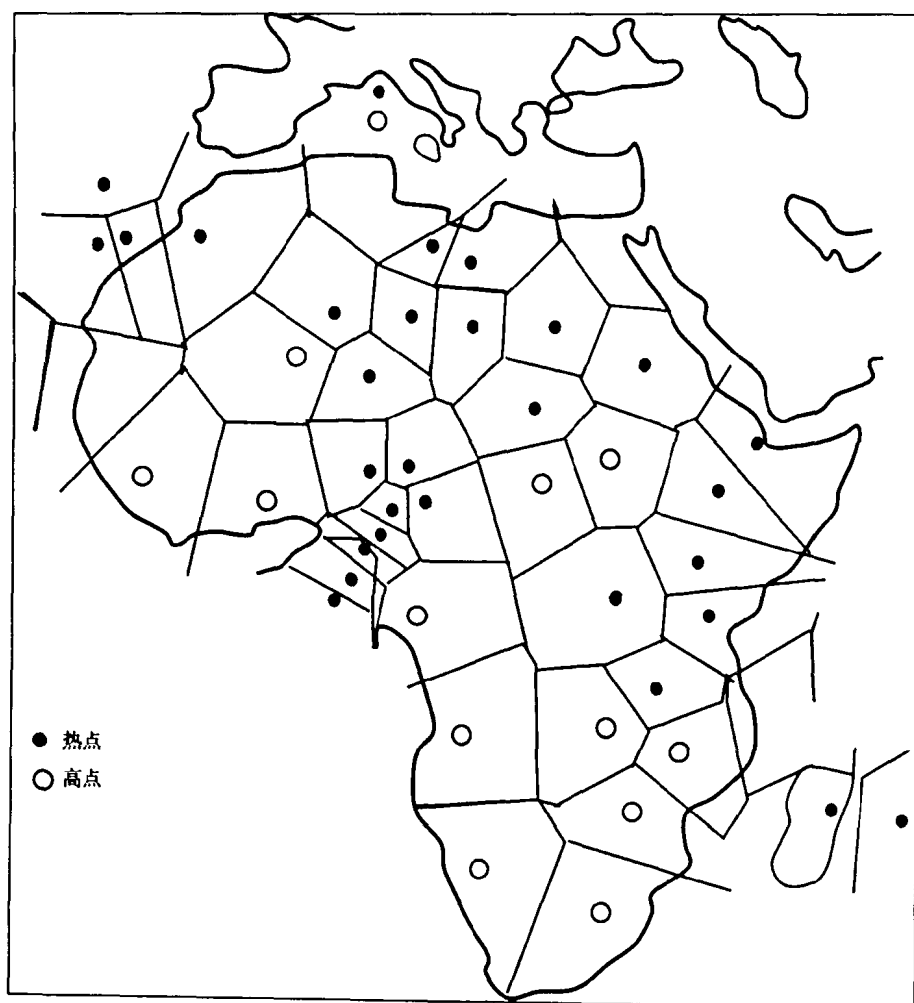


图 1-2 非洲的热点和高点分布简图

Fig. 1-2 Hot spots and high spots in Africa (from Thiessen et al., 1979)

强弱和发展演化阶段的不同。比如，在地幔热点活动的初期和活动强度较弱的热点之上，在浅部地壳主要表现为穹隆和穹隆深部的岩浆侵入活动或超变质作用，而在热点活动的中期或强烈活动的热点之上，则可能表现为具有活火山活动的高点或热穹隆之上的裂谷，甚至于演化为大洋裂谷，它并不取决于浅部地壳原有构造的发育是否。

地幔柱发展演化不同阶段，具有不同的形态结构和大小特征，对地球表面的影响也有所不同。上升阶段的地幔柱，可能主要呈大小不同的“柱”状体，在地幔柱上升到近地表时变成“蘑菇”状，其球状顶冠的直径比其颈干 (stem) 要大得多 (图 1-3)。Morgan (1971) 和 Deffeyes (1972) 认为地幔柱的直径分别为 20 km 和 400 km, Anderson (1975) 提出热幔柱 (化学柱) 直径为 200 km; 美国地质学会 (1976) 认为是数百公里; White 和 McKenzie 认为地幔柱的直径为 1 000 ~ 2 000 km; Loper 等人 (1983) 的模拟计算则认为地幔柱直径仅为 10 ~ 12

km, Nataf (1993) 等人用地震法证实加拿大西部 Bowie 地幔柱的直径为 150 km。Olson 等 (1986) 和 White 等 (1989) 认为几百公里的直径代表的是球状顶冠的影响范围, 或者热点对地球表面的影响范围或热晕。

(二) 热点与地幔柱的分类、分布研究与进展

1. 热点与地幔柱的分类研究与进展

在 20 世纪 70 年代的初期, Wilson (1973) 将热点大致分为 5 类: ①位于南大西洋中脊和东太平洋隆起或其附近的热点; ②洋中脊其他部位的热点; ③与裂谷带有关的年轻热点; ④可能固定于海底的年轻热点; ⑤已被掩盖的老热点。这 5 个类型概括了产于大陆和大洋两个不同地壳环境中的热点。

从起源的角度, Maruyama 等 (1994) 和 Fukao 等 (1994) 以核-幔界面 (2 900 km)、上地幔底界 (670 km)、岩石圈底界 (100 km) 深度为界, 将地幔热柱划分为一、二、三次柱。这种分类, 体现了地幔柱的多级演化特征 (图 1-4)。其中, 起源于 D'' 层的地幔热柱又可分为两种类型: 直径约 5 000 km 的超级地幔热柱和直径小于 500 km 的小地幔热柱 (图 1-3)。



图 1-3 地幔热柱的实验形态结构

Fig. 1-3 Structure of a laboratory starting plume

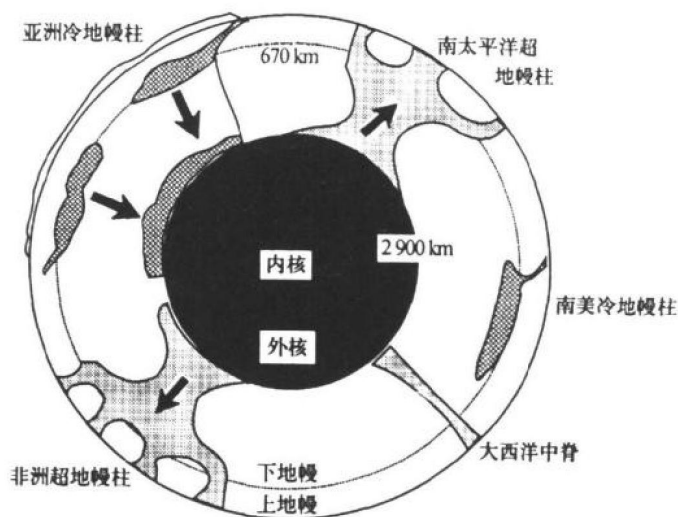


图 1-4 地球的超级地幔柱示意图 (据 Maruyama, 1994)

Fig. 1-4 Schematic map of superplume

邓晋福等 (1994) 将进入上地幔内分为数个较小的二级地幔热柱 (Maruyama 等人的二次柱), 称之为亚热柱 (Sub-Mantle Plume)。牛树银等 (1996) 将在约 100 km 的岩石圈底部向

上再细分为更小的三级幔柱 (Maruyama 等人的三次柱), 称为幔枝构造 (Mantle Branch Structure)。

从演化阶段的角度, 地幔柱又可为 4 类: ①初始阶段的地幔柱; ②上升阶段的地幔柱; ③作用于地壳的地幔柱; ④衰退阶段的地幔柱。

幔柱构造除了有热幔柱与冷幔柱之分 (Maruyama, 1994), Kumazawa 和 Maruyama (1994) 认为幔柱构造 (Plume Tectonics) 概括了地球表层的岩石圈板块构造、深部主体的地幔柱构造、地核的生长构造, 把板块构造和地幔柱构造作为地幔热对流的两个端元 (图 1-5)。Maruyama (1994) 提出了全球构造概念的地幔热柱上升与板块俯冲的超级地幔柱成生模式 (图 1-6)。

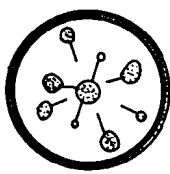
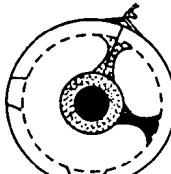
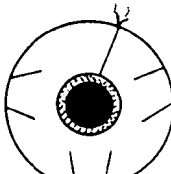
	生长构造	地幔柱构造	板块构造	收缩构造	末端构造
1					
2	形成具层状构造的星体	在深层由柱状和滴状传导对流而成	由转换断层形成线状下沉和线源补充的对流	水平挤压及沉降, 具少量岩浆喷口	断层破裂气体散发, 主要为外部营力
3	全部熔融和重力分馏	在地幔上部和底部部分熔融形成分馏和混合作用	在上地幔分馏, 在下地幔中部混合	分馏熔融形成巨形盾状火山	解冻而释放挥发物, 潮汐作用加热
4	岩浆海洋	无板块	多层板块	厚壳	破裂层圈
5	40 亿年中全部星体	金星和冥古地球	地球	火星, 水星	月亮, 小星体

图 1-5 全球构造体系示意图 (Kumazawa and Maruyama, 1994)

fig. 1-5 Schematic map of global tectonic system (Kumazawa and Maruyama, 1994)

李红阳和侯增谦 (1998) 从地幔柱构造发展演化与板块构造相结合的角度, 提出了幔柱构造理论体系, 将幔柱构造体系划分地幔热柱、冷幔柱两个亚体系和地幔热柱-热点、地幔热柱-裂谷、地幔热柱-大洋扩张、冷幔柱-前寒武纪硅铝壳造山、冷幔柱-显生宙硅铝壳/洋壳造山等 5 个构造系统, 以及相应的亚系统。

本书认为, 地幔热柱巨大的球状顶冠对岩石圈底部作用, 可能引发岩石圈内以壳源物质为主的壳幔热物质流柱状上涌而产生“地壳热柱”。某些浅成的热点、大陆裂谷、裂谷式断陷盆地、热穹窿构造、变质核杂岩、盆岭构造等, 可能就是深部地幔热柱成因的地壳热柱的产物。因为, 深部地幔热柱对岩石圈构造作用, 特别是地幔热柱顶冠与尾部大规模火山活动综合利用, 对地壳产生的热作用和构造再造, 可能引发岩石圈地壳大规模熔融, 产生地壳热柱。地壳热柱主要表现为岩石圈内以壳源物质为主的壳幔热物质流柱状上涌, 它不同于地幔热柱深部地幔热物质流直接上涌进入岩石圈的“三次柱”或“幔枝构造”。它是幔柱构造作