第 14 卷第 3 期　　地 质 与 资 源　　Vol. 14 No. 3
2005 年 9 月　　GEOLOGY AND RESOURCES　　Sep. 2005
文章编号:1671 – 1947(2005)03 – 0223 – 04　　中图分类号:P611.5;P612　　文献标识码:A

地幔柱及其成矿作用综述

毕金龙
(中国地质大学研究生院,湖北 武汉 430074)

摘　要:地幔柱理论在成矿学中的应用使对矿质来源的研究与地球的演化联系起来,而不再是简单地识别地壳来源或地幔来源. 文章系统介绍了地幔柱特征、地幔柱成矿机制、地幔柱的演化对成矿的控制及地幔柱成矿系统.

关键词:地幔柱;成矿机制;控制;成矿系统

地幔柱的研究是当今地质科学的前沿之一[1~5]. 最近十几年来,地幔柱理论逐渐发展完善而成为可与板块构造理论相媲美的地质理论. 地幔柱理论在成矿学中的应用使对矿质来源的研究与地球的演化联系起来,而不再是简单地识别地壳来源或地幔来源. 地幔柱的"活动"范围已深入到了地幔,甚至核幔边界. 成矿流体的来源并不与成矿物质来源完全对应,在很多情况下成矿元素是半路"搭载"到流体系统中,因而形成立体多层次复合成矿结构.

1　地幔柱特征

地幔柱在地表表现为高地形隆起,当其上升至近地表时,变成"蘑菇"状,头部粗大而颈干细小. 目前,人们对地幔柱直径大小的认识观点不一,估计量从十几千米至几千千米都有. 板块构造主要研究的是地球的表层构造,而地幔柱所涉及的深度和范围显然要大得多. 地质学家们认为地幔柱起源于地幔的 D″层,D″层从地核吸收热量,使其具有较高的温度和较低的黏度,因此地幔柱具有高热流、低速带的特征. 在上升的地幔柱头部范围内,近地表的减压熔融作用会导致产生大陆高原玄武岩和大洋玄武岩台地. 在地幔柱颈干范围内,上升的较热物质产生的熔融作用会导致热点行迹. 玄武岩和科马提岩都是由太古宙地幔中上升的地幔柱形成的. 进一步的研究表明,玄武岩是地幔柱头部的产物,而科马提岩是热轴熔融的产物.

地幔柱与板块构造的殊同在于[1]:(1)板块构造的驱动力是地幔的热损耗;而地幔柱构造似乎是由地核的热损失驱动的. (2)板块构造以存在转换断层、洋中脊、海沟及沿板块边缘发生岩浆作用为特点;而地幔柱构造以缺乏转换断层,存在地幔上隆、地幔下沉或海沟为特点,但海沟没有俯冲带火山作用. (3)板块是运动的;而地幔柱的显著特点之一是相对固定的,即其间的相对移动速度很小,仅为板块移动速度的 1/5. (4)板块构造学说局限于威尔逊旋回模式,是由上、下地幔各自形成对流层的双层地幔对流模式;而地幔柱构造是深部过程不平衡导致的,幕式地穿透上下地幔的巨旋回全地幔对流模式. (5)板块构造拥护者用过渡带的地球动力学特征解释地幔的非均一性;而地幔柱构造理论用深部分异作用和交代作用、地幔柱活动、壳幔相互作用,以及上地幔软流圈部分的"牯竭"解释. (6)板块构造成矿理论仍局限于矿床内生与外生的传统分类框架内;地幔柱构造成矿理论范围已不再局限于地壳,而已深入到了地幔,甚至于核幔边界,而且成矿物质的输送在水平和垂直方向都有,从而构成内生内成、内生外成、外生内成、外生外成等丰富多采的成矿现象. (7)板块构造学说认为挥发性和大离子亲石元素来源于俯冲的岩石圈板块;而地幔柱构造拥护者则认为它们来自下地幔. (8)板块构造理论认为地质作用的周期性可用地幔对流系统的更替加以解释;地幔柱构造理论则认为这种周期性可以归结为地幔脉动.

2　地幔柱成矿机制

现代海底喷气活动带来大量的成矿物质,这已是众所周知的. 热点火山喷气活动同样伴随着成矿元素的富集. OIB 型玄武岩一般不直接成矿,但某些成矿元素(常被认为是地壳上才能富集成矿)的高含量又给人以新启示,如铌、铜等在 OIB 型玄武岩中也有较高的富集,这表明地幔物质可能参与成矿[3].

地幔柱除自身物质分异成矿外,重要的成矿方式是地幔柱在上侵过程中从核幔边界、地幔、地壳中萃取了大量成矿物质,携带到地壳浅部成矿,这对成矿作用来说更为重要. 地幔流体对于成矿的重要意义,已为现代地质科学研究的新成果证实,一些重要矿床,尤其是超大型矿床在成因上可能与地幔流体关系密切. 地幔流体主要以两种方式形成,一种是由地核及下地幔脱气作用形成,另一种为洋壳俯冲带入大量富含挥发份的物质再循环形成. 地幔流体在成矿作用中所起的重要作用主要有以下 3 种方式:(1)地幔流体交代地幔岩石,促使某些稀土元素富集;(2)地幔流体溶解地幔物质形成含矿溶液,迁移到浅部成矿;(3)地幔流体交代地壳物质,活化地壳中的成矿元素,导致地壳物质成矿[4].

地幔柱与大规模成矿作用之间有没有联系?如果有,又是什

收稿日期:2004 – 11 – 05;修回日期:2004 – 12 – 30. 李兰英编辑.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

么样的联系？这是一个非常重要的研究课题，国内外都在探索之中．如虽然 Oppliger 等人（1997）提出了卡林型金矿矿集区与黄石热点存在成因联系，但并不清楚为什么有的地幔柱形成金矿矿集区，有的却只是形成铁矿等等一系列的理论问题．Wilson 曾对热点进行过分类，包括（1）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．

积累资料并加以探索，是目前地幔柱与成矿研究方面的主要状况，但无疑将有重大的进展或突破．我国西南部是研究地幔柱与成矿作用比较合适的地区，除了大面积分布的峨眉山玄武岩是一个二叠纪地幔柱的产物外，近年来还在雅鲁藏布江大拐弯处发现了现代的“热点”．考虑到峨眉地幔柱在二叠纪时位于赤道附近，与现代的“热点”相隔数千千米，因此，如果现代的地幔柱能够进一步确认的话，则我国西南部的大陆地壳至少遭到了 2 个不同地幔柱的两次“冲击”．对于二叠纪的地幔柱，由于玄武岩已经大规模喷发，因此，峨眉地幔柱实际上演化得比较彻底，其所对应的成矿作用除了带来一些与基性超基性岩有关的 Cu－Ni－PGE 矿床和 V－Ti－Mt 外（如杨柳坪、金宝山的 Cu－Ni－PGE 矿床和攀枝花的钒钛磁铁矿），还可能导致一些先前形成的矿床被破坏或成矿元素发生迁移、重新组合形成新的矿床或矿集区，峨眉山玄武岩分布区外围的热液型 Hg、Sb、Pb－Zn 矿床具有一定的分带性，可能与此有关．另外，峨眉山玄武岩本身携带有大量的铜，在后续热液作用或地下水的淋滤下也可以形成铜矿床，如在四川省丹巴县铜炉房等地可以见到玄武岩裂隙中的自然铜，并且已经在古鲁、花滩、吊红崖等地发现了多个中型以上的铜矿．

3 地幔柱的演化对成矿的控制

地幔柱自核幔边界上升到地表，最终以大规模岩浆作用的形式喷发或侵位，是非常复杂的演化过程．王登红[5]认为至少可以分为 4 个演化阶段．

（1）初始阶段：核幔边界由于某些原因而分异出具有明显活动性的物质，并逐渐聚集形成“预地幔柱”，那些原先在地核中富集但又难以在高温高压条件下“安定”下来的元素很可能起了非常重要的作用，离子半径大的元素和轻元素以及放射性元素也可能积极参加进来．从行星对比和地球演化的角度看，地幔柱的形成似乎是必然的，它是导致地球大尺度物质和能量交换的一种重要方式．比如，W、Sn、Mo、Bi、Au、Ag 等元素在地核中的丰度可远远高于地幔和地壳，但它们与地核中的主要元素 Fe、Ni 在地球化学性质上还存在明显的差别，难以为地核所“容纳”，从而可能随着地幔柱的上升而向地表聚集．

（2）上升阶段：趋向于形成地幔柱的物质集中到一起，形成具有一定规模、一定形态的“雏地幔柱”，如喷管状、蘑菇状或气球状，它们由于与周围地幔存在明显的密度、温度、黏度等差异而具有“浮力”，能够缓慢地脱离核幔边界并穿越厚大的地幔（当然，一些小规模的雏地幔柱可能被地幔吃掉而消失）上升到近地表．

（3）壳幔相互作用阶段：规模巨大的雏地幔柱不但本身具有足够的物质和能量，而且能够导致周围环境中的正常地幔物质发生部分熔融，熔融的部分被地幔柱吸纳，从而使地幔柱的体积更加庞大，同时物质成分也会发生明显变化，能量则可能慢慢衰竭，但由于压力的降低，地幔柱的活动性可能更显著，因而，此时的地幔柱趋于“成熟”，当它到达 670 km 处的不连续面时可能会分化出次级的“幔枝”，并且与上地幔和地壳发生充分的反应．此时的地幔柱一方面向地壳不断输送物质和辐射能量，引起地壳范围的一系列变化（如碱性岩浆的上侵、变质作用、裂谷化、盆地的形成）；另一方面地幔柱本身演化出巨大的头冠构造和细长的尾部构造，定位也较浅，能够被人类所探测到，因而是目前研究的重点．

（4）喷发－消退阶段：随着地幔柱的继续上升和地壳的局部张裂，地幔柱物质将在非常短暂的时间间隔内发生大规模的喷发与侵位，从而使地幔柱顶冠的体积萎缩，能量耗尽，只留下残余部分停留在地壳的底部，慢慢失去活动性而成为固化的地幔柱，成为“化石”．但这部分残留地幔柱一旦遇到合适的条件，如深大断裂或超岩石圈断裂，仍然可能发生上侵，并且可能带来与基性超基性岩有关的 Cu－Ni－PGE 矿床．

地幔柱/热点在不同演化阶段，相关的成矿作用各不相同．当其头部的物质和能量刚到达地壳表层时，巨大的能量可能首先引起地壳的重熔，生成 S 型花岗岩．变质作用也可以视为地幔柱引发的一系列地质作用之一，并可能是地壳重熔、生成岩浆的前奏．此时形成的矿床在形式上可能跟变质岩或花岗岩等侵入有关，具有较大的面状或点状分布（而不是线状），引起这一系列变化的深层原因是深部正在上升的地幔柱．金矿集中区都产于形成时代相近（基性可能稍晚）而起源截然不同的基性和酸性火成岩，同时碱性岩亦发育．与金矿有关的蚀变以碱交代为特征．地幔柱上升进一步发展，很可能使老地台活化，也可能使地壳减薄以致出现裂谷作用．伴随着裂谷的生成，往往是幔源物质的大规模喷发．许多大型、特大型铜矿都产生于与热点有关的裂谷环境中，如德国古生代的曼斯菲尔德铜矿．

地幔柱尾部熔体喷出的岩石更偏基性，如科马提岩和层状辉长岩．其成矿作用相对微弱，但可能对早先形成的矿床起破坏作用；也可以将一些在地壳深部或地幔深部就已经形成的矿床带到地表，如层状岩体中的钒钛磁铁矿和铜镍硫化物矿床．随着地幔柱的不断上升，热点的环境也不断变化，如温度的升高导致活动元素的再次甚至多次运移，并围绕某一地质中心呈现区域性矿化分带．如果成矿流体受到侵入中心或热点中心的高温驱动，则铅锌矿围绕该中心呈环带状分布，汞“环”将分布得更远．金银也有类似情况，银只能在较低温度环境下才能稳定下来；强烈金矿化带发育在碱性岩部位，很可能是热点活动的中心，其下尚有基性岩浆等待喷发．地幔的活动沟通了深部成矿物质来源，金、银等成矿元素随地幔柱多级演化以气态、气液混合相向上运移，在地幔热柱演化的三级单元——幔柱构造有利部位聚集成矿[6]．

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4　地幔柱成矿系统

幔柱构造概括了地幔上升流和下行流的对流形式和所引起的构造发育程度，包括地幔物质上涌形成的热幔柱和地幔柱状回流的冷幔柱（图 1）. 幔柱构造和作为显生宙幔柱构造的一部分浅部岩石圈板块构造，为地幔对流的一组两个极端类型. 幔柱构造中并存的热幔柱与冷幔柱的运动为地球演化各阶段地幔物质的主要运动形式，导致前寒武纪超大陆解体－聚合旋回，驱动显生宙板块运动，导致地球各圈层相互作用，特别是壳－幔相互作用. 热幔柱发育导致岩石圈减薄和超大陆解体以及大陆岩石圈构造体制向大洋岩石圈构造体制转化，对应着热点、裂解的超大陆、大陆裂谷、大洋扩张、伸展盆地、变质核杂岩、剥离断层等各种张性－引张－伸展－离散环境. 冷幔柱回流引起超大陆聚合、大陆裂谷夭折、造山和洋壳俯冲消减碰撞造山，以及大洋岩石圈向大陆岩石圈构造体制转变，对应着大陆聚合、俯冲、逆冲推覆、碰撞造山等各种会聚、碰撞、挤压环境. 因此，分别起源于并返回地球深部的多级次的热幔柱与冷幔柱直接制约和决定了地球演化各阶段引张和挤压两大构造动力体制，从而制约和影响着地球浅部各个圈层，甚至近地表各个部位. 不同级别与序次的热幔柱与冷幔柱之间的相互制约和相互转化，又决定了引张、挤压两大构造体制的相互制约与转化，呈现出热点、大陆裂谷、大洋扩张等引张构造与俯冲、碰撞、造山带等挤压构造的演化和复合叠加；从而，构成由不同地质时期、不同构造层次或序次组合的复杂的幔柱构造体系.

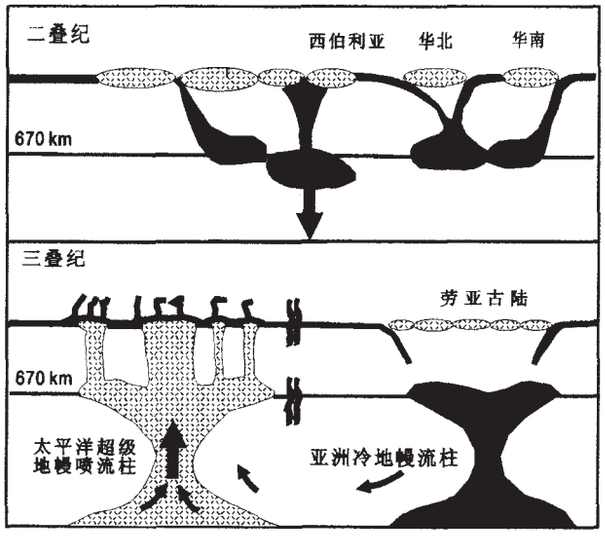


图 1　冷、热地幔柱及其与板块间的关系

（据 Maruyma 等，1994）

Fig. 1　Relationship between cold plumes, hot plumes and plates (after Maruyama, et al., 1994)

幔柱构造成矿体系概括为[2]：(1)显生宙板块构造成矿作用与幔柱构造；(2)前寒武纪超大陆旋回成矿体系与幔柱构造；(3)热幔柱－热点成矿作用；(4)冷幔柱成矿作用；(5)幔柱构造成矿体系. 其中，显生宙硅铝壳－洋壳造山成矿系统包括：①硅铝壳洋壳碰撞造山成矿亚系统，比如，蛇绿岩容矿的矿床、碰撞带花岗岩伴生的铀钨矿床、海西造山带海西花岗岩锡钨矿床、东南亚中央锡矿带、碰撞带花岗岩伴生的铀矿床、西欧海西花岗岩伴生的铀矿床；②洋壳俯冲岛弧成矿亚系统，比如，斑岩铜矿床、智利型（平卧成层）矿床、金矿床、黑矿型块状硫化物矿床、脉状矿等（Mitchell，1981；Hutchison，1983）. 而前寒武纪硅铝壳造山成矿系统，主要表现为超大陆聚合与成矿，以脉状金矿、金铀砾岩、阿比蒂比型铜锌块状硫化物矿床及某些斑岩铜、钼矿床为特征（Barley，1992；Kerrich，1992）.

参考文献：

[1]高明，陈亮，孙勇. 论地幔柱构造与板块构造的矛盾性和相容性[J]. 西北大学学报(自然科学版)，2000，30(6)：514－518.

[2]李红阳，侯增谦. 初论幔柱构造成矿体系[J]. 矿床地质，1998，17(3)：247－255.

[3]刘方杰，方维萱，郭健. 地幔柱/热点成矿作用与秦岭造山带金属成矿[J]. 矿物岩石地球化学通报，2000，19(4)：431－432.

[4]王登红. 地幔柱及其成矿作用[M]. 北京：地震出版社，1998. 160.

[5]王登红. 地幔柱的概念、分类、演化与大规模成矿——对中国西南部的探讨[J]. 地学前缘，2001，8(3)：67－72.

[6]孙爱群，牛树银. 地幔热柱成矿作用研究进展[J]. 地质科技情报，1997，16(1)：68－71.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

A REVIEW ON MANTLE PLUME AND ITS ORE-FORMING PROCESS

BI Jin-long
(*China University of geosciences, Wuhan* 430074, *China*)

Abstract: The application of mantle plume theory in mineralization connects the research on ore matter source to the evolution of the earth. The research has no longer simply distinguished crust source or mantle source. In this paper, the characteristics, ore-forming mechanism and ore-forming system of mantle plume, as well as its control to mineralization, are introduced.

Key words: mantle plume; ore-forming mechanism; controlling; ore-forming system

作者简介:毕金龙(1980—),男,湖北襄阳人,2003 年 6 月毕业于中国地质大学资源勘查工程专业,现为中国地质大学(武汉)矿床学专业硕士研究生,通讯地址 湖北武汉 中国地质大学硕 200301 班,邮政编码 430074.

(上接第 196 页)

COPPER AND GOLD MINERALIZATION AND PROSPECTING IN THE DUOBAOSHAN-KUANHE METALLOGENIC BELT, HEILONGJING PROVINCE

YANG Ji-quan[1], KONG Han-qian[2], HU Jian-wen[1]
(1. *Qiqihar Institute of Mineral Resources Exploration and Development, Qiqihar* 161006, *China*;
2. *Heilongjiang Institute of Regional Geological Survey, Harbin* 150080, *China*)

Abstract: The Duobaoshan-Kuanhe metallogenic belt is abundant in copper and gold resources. In early Ordovician, the structural framework was formed with four uplifts and four depressions, which were developed as NE-trending deep fault belts and NW-trending splitting belts and controlled the stratigraphy, magmatism and distribution of minerals in the area. By study on the metallogenic conditions and regularities of the copper and gold deposits, with analysis on the geological background, geophysical and geochemical anomalies and characteristics of the typical deposits within the belt, nine significant targets are located.

Key word: Duobaoshan-Kuanhe; four uplifts and four depressions; NE-trending deep fault belt; NW-trending splitting belt

作者简介:杨继权(1959—),男,高级工程师,1982 年毕业于阜新矿业学院地质系,多年来一直从事固体矿产勘查工作,通讯地址黑龙江省齐齐哈尔市中华西路 53 号 齐齐哈尔矿产开发勘查总院,邮政编码 161006.

(上接第 218 页)

作者简介:宁智(1962—),男,辽宁铁岭人,工程师,1983 年毕业于辽宁省地矿局职工大学地质找矿专业,主要从事地质矿产勘查及地质灾害调查工作,通讯地址 朝阳市长江路 4 段 29 号 辽宁省地质矿产调查院朝阳分院,邮政编码 122000.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net