维普资讯 http://www.cqvip.com

卷(Volume)29,期(Number)4,总(SUM)107
页(Pages) 551~553,2005,11(November, 2005)

大地构造与成矿学
Geotectonica et Metallogenia

地球运动的动力学模式:从板块构造到地幔柱

张丽芬[1],张树明[1,2],BREWER T S[3]
(1.东华理工学院核资源与环境工程技术中心,江西 抚州 344000; 2.中国地质大学,湖北 武汉 430074;3. Department of Geology, University of Leicester, Leicester LE1 7RH, UK)

摘 要:板块构造学说和地幔柱假说是解释地球运动的两种大地构造动力学模式。本文总结了两种构造理论的基本观点和所解决的地学问题,阐述了存在的不足和局限之处。客观引述了对德干、冰岛等原认为是典型地幔柱(或热点)的不同成因观点。认为板块构造学说和地幔柱假说各有其独到之处,两者并不矛盾,在许多方面可以互为补充、共存。但也都有其内在的缺陷,尤其缺乏了令人信服的直接证据,需要今后不断补充和完善。

关键词:板块构造;地幔柱;地球动力学;模式
中图分类号:P541 **文献标识码**:A

1 板块构造学说的兴起与困惑

板块构造学说的孕育,先后经历了六十年的坎坷曲折的历程,它发端于1912年魏格纳创建的大陆漂移说,经过海底扩张假说,最终形成板块构造学说。

板块构造理论的提出,成功的回答了先前其他构造学说难于解释的一些地学问题,如大陆裂解、大洋扩张、板块俯冲、板块碰撞、火山地震分布等许多地学现象。其最大的成功之处就在于解决了这些现象产生的动力来源问题,认为板块的相互作用是引起大地构造活动的基本原因。比如汇聚型板块边界,当大洋岩石圈与大陆岩石圈板块相遇时,比重较大的洋壳板会下插或俯冲到陆壳板块之下;但如果是陆壳板块之间会聚,由于两者性质相似,将不会发生类似洋壳与陆壳板块之间的俯冲事件,其最终结果是碰撞上隆形成山脉(Davies and Richards, 1992)。

然而随着科技的发展,板块构造理论的不完善之处也逐渐显见,比如板块运动的驱动力、大陆板块内部出现大陆溢流玄武岩、大洋板块内部出现火山链等问题,板块构造学说难于解释。正是为了试图弥补板块构造学说的不足,科学家们才提出了地幔柱构造理论。

2 地幔柱的提出与意义

地幔柱假说最初是用于解释夏威夷火山岛的成因,逐渐完善后成功地解释了对板块构造学说最具挑战性的海底火山链和大陆溢流玄武岩的成因(Richards *et al.*, 1989; Duncan and Richards, 1991),并提出了板块内部和地球深部的活动性问题,深化、完善了板块构造学说。

Morgan(1972a,1972b,1981)最早描述的地幔柱大致意思是,地幔柱是一种起源于深部地幔、能在地表形成"热点"的相对原始热物质流,其形成主要是由于地幔的热浮性(thermal buoyancy)。但可以说地幔柱至今在地学领域还没有精确的定义,也没有得到广泛的接受,而且在不同学科里所表示的意义也不尽相同。

地幔柱假说提出的主要依据是热点、大火成岩省和大范围的地壳重熔等。热点以板块的局部隆

收稿日期:2004-12-14;**改回日期**:2005-03-18
基金项目:国家自然科学基金项目(编号:40133020)资助.
作者简介:张丽芬(1981-),女,在读研究生. 矿产普查与勘探专业. Email: zhanglf1981@163.com

维普资讯 http://www.cqvip.com

升、剧烈火山活动和高热流为主要标志，通常认为是地幔柱在地表的反映。大火成岩省的成因显然不同于正常的洋底扩张过程，难以用传统的板块构造理论来解释，应该与特殊的地幔动力学过程有关。而地幔柱上升过程中所携带巨大的能量对地壳进行烘烤、加热，可以使得大陆地壳地温梯度增高并发生广泛的地壳熔融事件。

地幔柱模式提出的意义就在于其较好的回答了其他构造理论难于解释的地质事实和自然现象，如大陆裂解、板块俯冲、地磁效应、全球气候变化、生物大灭绝、海底大滑坡等（Loper，1988）。地幔柱本质上是地球物质垂直运动的结果，从而可与板块构造理论相互配合，更好地理解全球动力构造及演化规律。

3 地幔柱假说的困惑

如同板块构造学说，地幔柱假说同样存在诸多困惑，甚至被怀疑其存在与否。

地幔柱起源于地球内部的热界面层，与热界面层间的热扰动有密切关系（Griffith，1986）。但地震波研究表明，地球内部有两个热界面层，一个是位于670 km处的上、下地幔不连续面，另一个是2900 km处的核幔边界附近的D″层。地幔柱如果起源于前者（Campell and Griffith，1993），前提是上、下地幔是分层对流的；若是起源于后者D″层，前提则是全地幔对流。虽然大多数人倾向于认为幔柱起源于D″层，但是地幔对流本身的争论却未结束。这种争论不仅由对对流型式的地球动力学疑问而引起，而且还由紧密相连的地幔在化学上是否是成层的问题所引起，如果化学成分差别使下地幔密度比上地幔大2%以上，可形成分层对流，但矿物学和地震学没有表明存在这种差别的证据。不仅地球化学证据不支持简单的全地幔对流，有的科学家还认为地球表面丧失的热流总量也不能用全地幔对流模型解释（Albarede and Hilts，1999）。

再就是地幔柱的热源问题，最早认为热源来自放射性元素的衰变热（Deffeys，1972；Anderson，1975），以后又提出了可能来自地核一侧的不均匀加热作用（Loper，1991）。不管什么观点，热扰动是地幔柱形成的一个必要条件应该成为共识（Davies and Richards，1992）。

另外，虽然热点被认为是地幔柱在地表的反映，但一些热点之下并不存在地幔柱。有证据表明不是所有大火成岩省都与热点有明显的联系，特别是一些被动大陆边缘，如美国东海岸和澳大利亚西北的Cuvier边缘，它们的形成似乎都远离热点。

4 几处典型地幔柱（热点）的不同观点

4.1 德干（Deccan）

印度西部德干（Deccan）大面积玄武岩被认为是与地幔柱有关的大火成岩省（Dewey and Stephens，1992），其玄武岩总体积达8.2×10^6 km^3，喷发持续时间约为1 Ma，平均喷发速率为每年2.1～8.2 km^3/a。经过简单计算可以得到，只要动态地幔柱柱头内部上层30～60 km的部分熔化岩石层内的熔化分数达到10%，即可产生已喷发出的全部玄武岩，而柱头内平均过剩温度为100～250 ℃（李荫亭，1997）。由此提出德干大陆溢流玄武岩是地幔柱所形成。

然而并没有足够证据表明德干岩浆源区是异常热地幔源。在其西部Ghats地区发现有苦橄玄武岩，可能代表是形成于高压低度熔融，而不是幔柱模型所要求的高温高度熔融（Sheth，1999，2000）。如果用地幔柱来解释大陆溢流玄武岩省就应该是短期内快速喷发的，但是利用Ar－Ar定年表明整个喷发持续时间不会少于8～9 Ma，而且大部分的Deccan岩浆都是以低喷发速率形成的。因此有学者提出德干岩群（Deccan Traps）可能是由边缘效应引起的（Sheth，1999）。

另外在德干玄武岩之下还存在几个古老的裂谷沉积盆地，伴随裂谷的生成，往往会有幔源物质的大规模喷发，这种大规模喷发也可能在地表形成大陆溢流玄武岩省（Mutter *et al.*，1999）。也有提出德干玄武岩德形成是由于岩石圈的厚度减薄所致（Zehnder *et al.*，1990）。

4.2 冰岛

冰岛地区的下地幔低速地震异常可以穿过过渡带一直延伸到核幔边界，揭示了地幔深处存在一低速柱状物质（Bijwaard and Spakman，1999）。而且这个地区OIB的异常高^{3}He/^{4}He值反映了源区成分较其他海洋热点源区更富难融组分，而它的熔融就需要异常高温，这一点与来自下地幔的高温地幔柱有关（Breddam，2002）。

地幔柱引起的熔融应该由高温的岩浆来解释，但是在冰岛并未发现有代表高温的辉石，冰岛中央岩浆喷发温度也仅约为1240 ℃，接近于亏损的N－

维普资讯 http://www.cqvip.com

MORB熔融的温度，说明不存在高的热异常（Condomines *et al.*，1983）。地幔柱模型将$^{87}Sr/^{86}Sr$作为地幔柱的地球化学指示，因而它应该在幔柱中心有最高的比率，然而这个比率却是远离幔柱中心向边缘逐渐变大的（Breddam，2002）。冰岛下可测量的高热流在地幔柱中并不存在，冰岛地幔柱也没有时间增长的痕迹，也就是说在冰岛并未发现有热点痕迹，也没发现任何幔柱要求的高的岩浆温度的证据。同时实际资料也不支持地幔柱假设要求的超高温，冰岛是个水深和地球化学异常的热点，可是温度异常小于150 ℃，可归因于近洋脊断裂带和边缘效应以及近小规模对流和岩石圈的扩张（Anderson，2000）。

5 结 论

（1）板块构造学说和地幔柱假说作为解释地球运动的两种大地构造动力学模式，有各自的理论依据，解决了众多地学问题，但也存在不足和局限性。

（2）地幔柱还没有明确的概念，一些原被认为是典型地幔柱成因的地学现象（如德干、冰岛等热点），已有其他成因解释模式。

（3）板块构造学说和地幔柱并非相互矛盾，在许多方面可以互为补充、共存，不能因为其存在缺陷而全面否定，应该不断的完善和发展。

参考文献：

李荫亭. 1997. 地慢柱假说及其发展. 地球科学进展. 12(5)：484－486.

References：

Albarede F and Hilts R D. 1999. New mantle convection model may reconcile conflicting evidence. *Trans Am Geophys Union*, 80(45)：535－539.

Anderson D L. 1975. Chemical plume in the mantle. Geol Soc Am Bull, 86:1593－1600.

Anderson D L. 2000. The thermal state of the upper mantle：no role for mantle plumes. *Geophysicol Research Letters*, 27(22):3623－3626.

Bijwaard H and Spakman W. 1999. Tomographic evidence for a narrow whole mantle plume below Iceland. *Earth Planet Sci Lett*, 166:121－126.

Breddam K. 2002. Primitive melt from the Iceland mantle plume. *J Pet*, 43:345－373.

Campell I H and Griffith R W. 1993. The evolution of the mantle's chemical structure. *Lithos*, 30：389－399

Condomines M, Gronvold K, Hooker P J *et al.* 1983. Helium, oxygen, strontium and neodymium isotopic relationships in Icelandic volcanics. *Earth Planet Sci Lett*, 66:125－136.

Davies G F and Richards M A. 1992. Mantle convection. *J Geol*, 100:151－206.

Deffeys K S. 1972. Plume convection with upper mantle temperature inversion. *Nature*, 240:539－544.

Dewey C W and Stephens W E. 1992. Deccan－related magmatism west of the Seychelles－India rift in magmatism and the causes of continental break－up. *Geol Soc Spec Publ*, 68:271－291.

Duncan R A and Richards M A. 1991. Hotspots, mantle plumes, flood basalts, and true polar wander. *Rev Geophys*, 79:31－50.

Griffith R W. 1986. Thermals in extremely viscous fluid, including the effects of temperature dependent viscosity. *J Fluid Mech*, 166：115－138.

LI Yinting. 1997. The hypothesis of mantle plumes and its development. *Advance in Earth Science*, 12(5):484－486.

Loper D E. 1988. A model of correlated episodicity in magnetic field reversals, climate, and extinctions. *J Geol*, 96:1－15.

Loper D E. 1991. Mantle Plumes. *Tectonophysics*, 187:373－384.

Morgan W J. 1972a. Plate motions and deep mantle convection. *Geol Soc Am Mem*, 132:7－22.

Morgan W J. 1972b. Deep mantle convection plume sand plate motions. *Am Assoc Petrol Geol*, 56：203－213.

Morgan W J. 1981. Hotspots tracks and the opening of the Atlantic and Indian Oceans. In：The sea plate tectonics and the basic law of the earth's crust development. *NewYork*：*Wiley*, 443－487.

Mutter J C, Buck W R and Zehnder C M. 1988. Convective partial melting. 1. A model for the formation of thick basaltic sequences during the initiation of spreading. *J Geophysics Res*, 93:1031－1048.

Richards M A, Duncan R A and Courtillot V E. 1989. Flood basalts and hotspot tracks：plume heads and tails. *Science*, 246:103－107.

Sheth H C. 2000. The timing of crystal extension, diking, and the eruption of the Deccan flood basalts. *Int Geol Rev*, 42：1007－1016.

Sheth H C. 1999. Flood basalts and large igneous provinces from deep mantle plumes：fact, fiction, and fallacy. *Tectonophysics*, 311:1－29.

Zehnder C M, Mutter J C and Buhl P H. 1990. Deep seisms and geochemical constraints on the nature of rift－induced magamatism during break－up of the North Atlantic. *Tectononphysics*, 173：545－565.