峨眉地幔柱与超大型矿床*

Emei Mantle Plume and Superlarge Ore Deposits

李红阳[1,3] 卢记仁[2] 侯增谦[2] 杨竹森[2] 高振敏[3] 高永丰[1] 王立峰[1]

(1 石家庄经济学院资环系，河北 石家庄 050031；2 中国地质科学院矿产地质研究所，北京 100037；
3 中国科学院地球化学研究所矿床开放研究实验室，贵州 贵阳 550002)

Li Hongyang[1 3], Lu Jiren[2], Hou Zengqian[2], Yang Zhuse[2], Gao Zhenmin[3],Gao Yongfeng[1], Wang Lifeng[3]

(1 Shijiazhuang University of Economics,Shijiazhuang 050031, Hebei, China; 2 Institute of Mineral Deposits,Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3 Institute of Geochemistry,Chinese Academy of Sciences,Guiyang 550002, Guizhou, China)

摘 要 依据前人的地震层析资料，重新编制了扬子板块西部的壳幔三维速度结构图，提出它反映峨眉地幔柱残迹的新认识。指出峨眉地幔柱活动及其与古特提斯和喜马拉雅造山运动的耦合／复合关系是造成该区超大型矿床集中分布的主要原因。

关键词 地幔柱 超大型矿床 峨眉

地幔柱的深部结构及地幔柱与超大型矿床的关系是两个值得认真研究的重要问题。本文以我国西南峨眉地幔柱为例探讨了这两个问题。

1 三维速度结构及其地质意义

1.1 三维速度结构特征

作者依据前人的层析成像资料 (刘建华等，1980；赵永贵等，1992) 编制了三维速度结构图 (图 1)。图中显示，在 20 km 处地壳存在很完整的大范围低速层，其最低速度值达 5.6 km/s；在 50 km 的上地幔顶部和 200 km 以及 450 km 等深处也存在着大范围的低速带；而在地壳上层 (3 km) 和 130 km、300 km 等深处，则为透镜状低速异常与高速异常相间排列呈放射状或“梅花状”分布。因此，在纵向上表现为几个不同深度的大范围低速异常与透镜状的低速、高速组合异常交替出现，空间上组成多级次的复合低速柱。

地壳上部的速度异常与地幔柱对浅部地壳地质作用特征明显相关。如图 1 中所示的地表及上地壳高速度异常与峨眉山玄武岩等基性-超基性岩浆喷发与侵入活动有关。

图 1 所示，研究区中地壳存在很大范围的低速层。根据刘建华等人的研究，这一低速带是一个温度很高的软弱构造层。其等速面有明显的起伏，表现为以四川攀枝花为中心向东西两侧逐渐抬升，而且向西抬升剧烈，向东抬升缓慢。其等速面向外围的逐渐抬升，则可能与重熔花岗岩浆由中心向外围的侵入活动有关。等速面向西抬升剧烈，向东抬升缓慢，可能表明研究区中生代—新生代早期 (？) 花岗岩浆主要集中在西部和南部周边地区。

在上地幔顶部出现的低速度异常可能与峨眉地幔柱密切相关，可能是地幔柱的热地幔物质上涌和地壳逐渐减薄所致。中生代—新生代早期 (？) 基性-超基性岩浆活动与这种异常上地幔特征密切相关。

* 中国科学院重大项目 (KZ951-A1-404) 和国土资源部跨世纪人才基金项目 (9616) 及中科院王宽博士后教育基金联合资助
第一作者简介 李红阳，男，1959 年生，博士，教授。主要从事矿床学、成矿规律、地球化学研究。

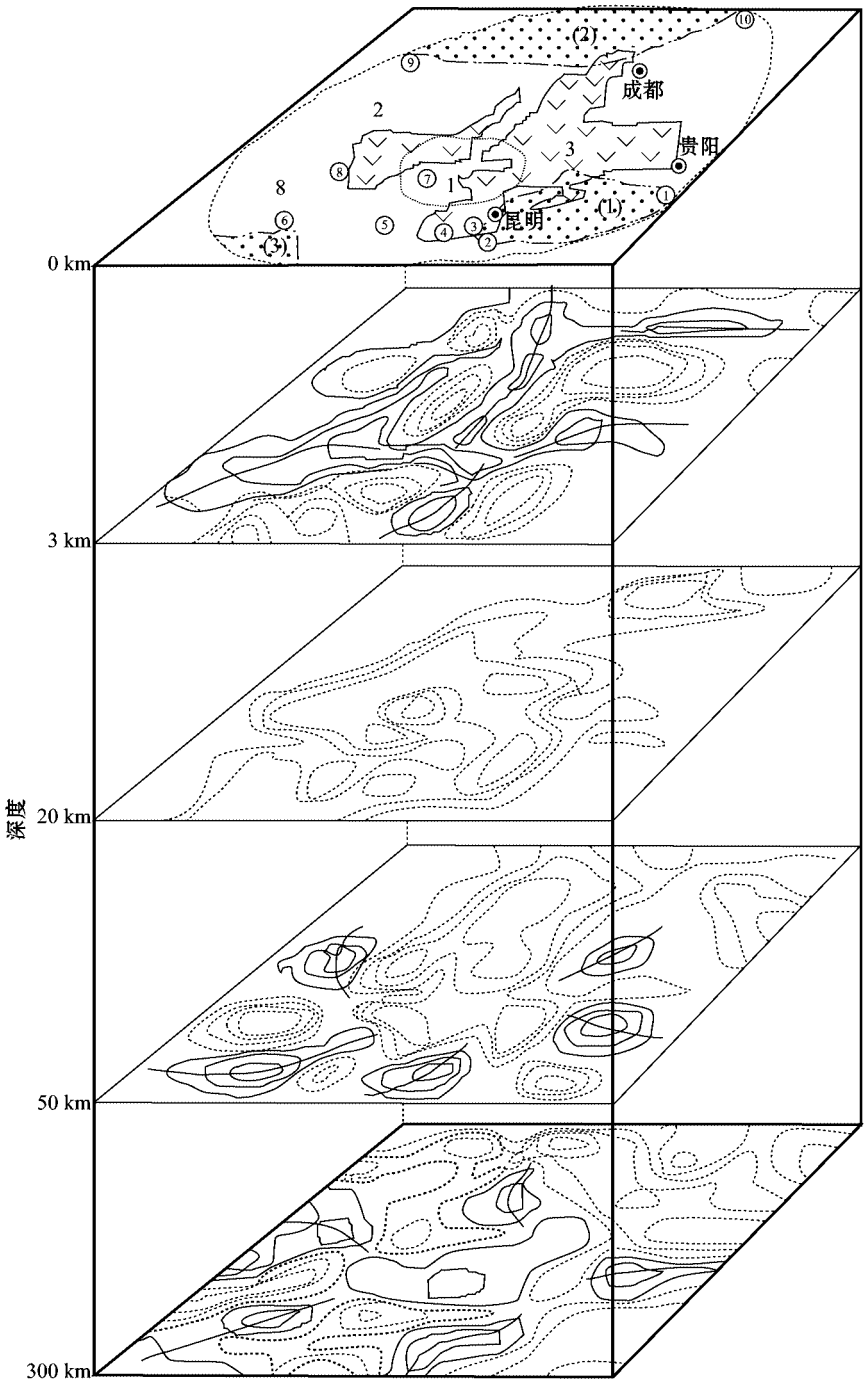


图 1　峨眉地幔柱的三维速度结构与我国西南地区超大型矿床和矿集区

1—峨眉地幔柱中心区；2—峨眉地幔柱头部作用区；3—峨眉山玄武岩；①—广西大厂超大型锡-多金属矿床；②—都龙超大型锡锌矿床；③—个旧超大型锡-多金属矿床；④—白牛厂超大型银矿床；⑤—老王寨超大型金矿床；⑥—临沧超大型锗矿床；⑦—攀枝花超大型钒钛磁铁矿床；⑧—金顶超大型锌矿床；⑨—玉龙超大型铜矿床；⑩—厂坝超大型铅锌矿床；(1)—黔桂卡林型金汞锑矿集中区；(2)—川甘陕卡林型金汞锑矿集中区； (3)—滇西上芒岗卡林型金汞锑矿成矿区；实线—高速异常等值线 (%) 及轴线；虚线—低速异常等值线 (%)

300 km 深处的速度结构横向不均匀性也可能是峨眉地幔柱的反映。

位于腾冲地区的低速区或亚低速柱，可能反映了与峨眉地幔柱残体有关的一个新生的次级地幔亚热柱。根据穆治国等人的研究，腾冲地区分布有我国最年轻的火山岩体，并有高温热泉和强烈的地震活动，火山岩的母岩浆也主要来源于地幔的玄武岩浆。

概括起来，峨眉地幔柱在 50～450 km 范围内，总体表现为由若干个呈放射状或“梅花状”相间排列的次级低速柱和高速体所构成的复合低速柱。这一复合低速柱反映了峨眉地幔柱的纵向与横向不均匀性和多级演化特征。

1.2 三维速度结构的地质解释

众所周知，三维速度结构是壳幔演化不同阶段的综合反映。对于本区的三维速度结构已经提出了几种解释：① 扬子下岩石圈向西俯冲引起软流圈变形和熔融 (赵永贵等，1992)；② 洋壳或陆块俯冲挤压诱发软流圈上涌 (钟大赉等，1998)；③ 中新生代从深部上升的地幔流体所造成的效应 (边千韬，1998)。我们提出这里的三维速度结构主要反映了峨眉地幔柱活动的残余特征，或者是峨眉地幔柱活动与古特提斯演化以及喜马拉雅运动耦合／复合的结果。

地幔低速柱的分布范围很大，但基本上在峨眉山玄武岩区范围之内。根据现有资料 (刘建华等，1989；赵永贵等，1992)，地幔低速柱在北纬 23～27 °，东经 98～104 °范围内都有明显表现，南北宽在 400 km 以上，东西长约 600 km。这一地区相当于峨眉山玄武岩分布区的中、南部。

这次构造岩浆作用的强度很大，造成该区的岩石圈地幔和软流圈形态和厚度变化强烈，在宾川西部云龙、泸水一带“软流圈上涌体”顶面埋深仅为 50～60 km ，几乎熔穿了岩石圈地幔 (赵永贵等，1992；钟大赉等，1998)。在宾川—丽江地区地幔高导层呈北北西向隆起，埋深仅 70～80 km (孙浩等，1989)。

最近研究证明，宾川—丽江地区正好是峨眉地幔柱的中轴区或主通道区。该区以苦橄榄层发育，玄武岩喷发时间最早，厚度最大为特征。这些苦橄榄和玄武岩中含洋岛玄武岩型地幔成分端元，证实它们属于深地幔成因。由于地幔柱中轴区温度最高，岩石圈地幔因热侵蚀而减薄最为明显。这与该区低速体和高导层埋深很浅是一致的。

峨眉地幔柱是地幔中的固态上升流，可能源于 2900 km 或 660 km 热边界层。这与前面几位作者所说的地幔柱是不一样的。况且，不论是由于板块俯冲或造山挤压诱发软流圈上涌，还是中新生代新生地幔柱的作用似乎都难于解释该区如此强烈和大规模的岩石圈减薄和变形现象。因为以这种方式产生的软流圈上涌体的热量有限，而新生代地幔柱似乎又缺乏地质依据。事实上，新生代岩浆活动强度不大，难以和强烈和大规模的岩石圈减薄和变形现象相匹配。

该区自晚古生代以来曾经历了特提斯演化和喜马拉雅运动，因此该区的三维速度结构可能是峨眉地幔柱运动与它们耦合/复合的结果。扬子岩石圈的俯冲和喜山运动的挤压都可能对峨眉地幔柱深部构造起破坏和改造作用。如果数十公里大小的软流圈上涌体的特征可以保存 300～400 Ma (赵永贵等，1992)。那么这种上涌体很可能就是峨眉地幔柱岩浆作用的遗迹或残存体。

峨眉山玄武岩喷出时扬子板块尚在赤道附近，玄武岩喷出之后至晚三叠世，它已向北漂移了大约 2600km (张云湘等，1988)。但是，这种长距离漂移似乎对低速柱形态影响不大。例如印度德干玄武岩自 65 Ma 喷发以来，相对留尼旺热点已经向北漂移了大约 4000 km，然而其下的低速柱至今仍相当完好 (Kennett 等，1999)。巴西巴拉那溢流玄武岩自 130 Ma 喷发以来，南美板块亦已漂移了数千公里。然而 Van Decar 等 (1995) 发现其下的低速柱直径大约 200 km，并从 200 km 向下延深到 500～600 km。他们把它解释为古地幔柱通道，认为南美板块漂移过程中，其下的上地幔和岩石圈一直保持着耦合状态。扬子板块漂移距离比上述两个板块都小，因此峨眉地幔柱活动残迹以低速柱形式保留下来是完全可能的。

2 峨眉地幔柱与超大型矿床的关系

峨眉地幔柱活动区是我国重要的超大型矿床密集区或大矿集中区。已知攀枝花超大型钒钛磁铁矿床、

个旧超大型锡多金属矿床、都龙超大型锡锌矿床、白牛厂超大型银多金属矿床、临沧超大型锗矿床，老王寨超大型金矿床、金顶超大型铅锌矿床、玉龙超大型铜矿床、大厂超大型锡多金属矿床，以及黔滇桂和川甘陕两个卡林型金矿床集中区“金三角”和滇西上芒岗卡林型金矿成矿区等集中分布于本区 (图 1)。

这些超大型矿床如此集中很可能和特提斯演化，峨眉地幔柱活动以及喜马拉雅运动的复合作用有关，其中峨眉地幔柱起着重要作用。

该区晚古生代为古特提斯演化与峨眉地幔柱活动的主要阶段，经历了澜沧江—昌宁—孟连洋和金沙江—哀牢山洋的演化，并在扬子板块西南缘发育了右江、南盘江盆地，盐源—丽江陆缘裂谷盆地。晚二叠世峨眉山玄武岩大规模喷发是峨眉地幔柱活动的主要标志。在此期间形成了海底喷流沉积成因的大厂超大型锡多金属矿床和攀枝花地区与峨眉山玄武岩同源的超大型钒钛磁铁矿床。

中生代由于峨眉地幔柱与特提斯构造演化的耦合作用，特别是在前者所提供的巨大热量和后者在碰撞造山阶段所产生的能量共同影响下，在地壳中产生了各种类型的重熔花岗岩浆，造成了该区大规模的酸性和碱性花岗岩浆活动。与此相应，在此阶段形成了个旧超大型锡多金属矿床和都龙超大型锡锌矿床，并对大厂、白牛厂等超大型矿床起到改造富集的作用。

峨眉地幔柱带来的巨大热量及其伴随的超临界流体很可能大量萃取地壳中的成矿物质并促使其向上迁移富集到上地壳的不同部位，并在合适的物理化学条件下形成中国南方广泛分布的中低温矿床。其中，黔滇桂等地的卡林型金矿床的形成可能与此有关。

在喜马拉雅造山阶段，由于印度板块俯冲挤压及其对于该区古特提斯构造和峨眉地幔柱构造残余的复合和激活可能是形成玉龙斑岩铜矿，老王寨煌斑岩型金矿等超大型矿床的主要原因。该区以牦牛坪为代表的稀土矿床也可能与此有关。

总之，峨眉地幔柱活动及其与本区的古特提斯演化和喜马拉雅造山运动的耦合或复合可能是造成超大型矿床如此集中分布的原因。顺便指出，应加强在峨眉地幔柱活动区寻找诺里尔斯克型超大型铜、镍、铂矿床以及基维诺型铜矿床，因为它们的成因都与地幔柱的基性岩浆活动有关。

3　结　论

(1) 三维速度结构图表明，该区在 50～450 km 的上地幔显示出复合低速柱的特征，似由若干个呈“梅花状”分布的次级柱构成，头部直径 1500 km，中心区直径约 250 km。它可能在很大程度上反映了峨眉地幔柱活动的残迹。

(2) 峨眉地幔柱活动及其与该区古特提斯演化及喜马拉雅造山运动的耦合和复合关系是造成该区超大型矿床集中出现的主要原因。

致谢：本文是在广大地质工作者几十年辛勤工作和潜心研究所获得的大量地质资料基础上完成的，是集体劳动的成果。对地幔柱与超大型矿床的关系进行综合分析研究，实属一种尝试，期望地学同仁批评与指导。

(参考文献略)