



湘东南地幔柱对大规模成矿的控矿作用

贾大成^{1,2}, 胡瑞忠², 李东阳³, 卢焱¹

(1. 吉林大学地球探测科学与技术学院, 长春 130062;

2. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室, 贵阳 550002; 3. 吉林省地质调查院, 长春 130061)

[摘要]湘东南是钨、锡、铋及铅锌、稀有、稀土矿床的成矿集中区。该区出露的玄武岩、与成矿有关的花岗岩和区域成矿作用是地幔柱构造环境的统一产物。湘东南地幔柱控制矿床与岩体的时空分布、区域成矿分带和成矿岩浆源区。湘东南地幔柱为成矿岩浆的熔融、分异演化和浅部就位提供了有利的热源和构造条件。地幔柱的发展演化阶段是大规模成矿得以保存的重要因素。

[关键词]地幔柱 控矿作用 大型矿化集中区 湘东南

[中图分类号]P542 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2004)02-0032-04

湘东南是我国钨、锡、铋及铅锌、稀有、稀土矿床的集中产地,成矿元素大规模超常富集,形成柿竹园钨多金属矿、瑶岗仙钨矿、骑田岭锡矿、牛头寨铋矿、黄沙坪铅锌矿、香花岭和铜山岭铅锌矿等大型矿床而闻名国内外,以往对成矿作用的分析多侧重与其有成因联系的花岗岩体,将其与地壳重熔和深断裂构造相联系。然而,随着近几年与成矿有关花岗岩体壳幔混合成因的确定^[1],以及湘东南地幔柱的提出^[2],促使人们从更大范围考虑其大规模成矿的控矿作用。大型、超大型成矿的必要条件之一就是要有超大型的控矿构造^[3],为此,将整个与成矿集中区有成因联系的成岩、成矿作用作为研究对象,分析其控矿构造环境和成矿动力学机制,提出以宁远一道县地幔柱为中心的控矿作用。湘东南地幔柱构造控制矿床与岩体的时空分布、区域成矿分带和成矿岩浆源区。湘东南大型成矿集中区可能是地幔柱演化早、中期的产物。

1 湘东南地幔柱对矿床和岩体时空分布的控制

湘东南地区中生代岩浆活动强烈,从印支期、燕山早期到燕山晚期岩浆侵入呈不断增强趋势,并且多形成同一岩体的多期次侵入。花岗岩体基本围绕宁远一道县玄武岩喷发中心呈环状分布(图1),包

括骑田岭岩体、千里山岩体、黄沙坪岩体、宝山岩体、香花岭岩体、瑶岗仙岩体、大义山岩体、塔山岩体、阳明山岩体、越城岭岩体、都庞岭岩体、姑婆岭岩体、金鸡岭岩体等复式岩体。岩体的产出多呈岩株状,形成穹隆状热点式岩体。玄武岩集中分布于宁远一道县一新田地区,主要有玻基辉橄岩、橄榄拉斑玄武岩、石英拉斑玄武岩和碱性拉斑玄武岩,出露有面积不等的岩体500多个,在碱性玄武岩中常见尖晶石二辉橄岩、二辉岩、单斜辉石岩等幔源包体。与燕山期花岗质小岩体有关的矿床几乎都伴生有同期或稍晚的煌斑岩和辉绿岩,这种岩浆活动分布形式,构成约250 km²的岩浆热活动中心。

陈毓川等(1989)在总结南岭地区成矿作用时也指出湘东南地区是最重要的“热带”^[4]。煤的变质程度与构造应力无关,而与热源有关,湘东南地区中生代煤的变质程度调查表明,越靠近宁远一道县,煤的变质程度和镜质组反射率越高^[5],反映热源中心与玄武质岩石活动中心的一致性。湘东南同时也是中、新生代热泉活动的中心。据此可以推测湘东南地区是从中生代以来的岩石圈热活动中心。

湘东南岩石圈热活动中心具有较明显的热梯度分带,即中心为宁远一道县玄武质岩石,周围为花岗岩岩株,在花岗岩岩株周围又形成花岗斑岩小岩株,区内这种岩浆岩环状展布,以及不同序次的地壳热流值

[收稿日期]2002-07-08; **[修订日期]**2002-10-30; **[责任编辑]**曲莉莉。

[基金项目]国家杰出青年基金项目(编号:49925309)、中国科学院创新工程项目(编号:KZCX2-102)和中国科学院矿床地球化学开放实验室基金项目(编号:2002)联合资助。

[第一作者简介]贾大成(1958年-),男,1997年毕业于长春地质学院,获硕士学位,2000年获博士学位,副教授,现为博士后,主要从事矿床地球化学和岩石地球化学研究工作。

分布,表明以宁远一道县为中心,构成由高温至相对较低温的热环状构造,从而反映区内存在中生代地幔柱构造所具有的热力学条件。

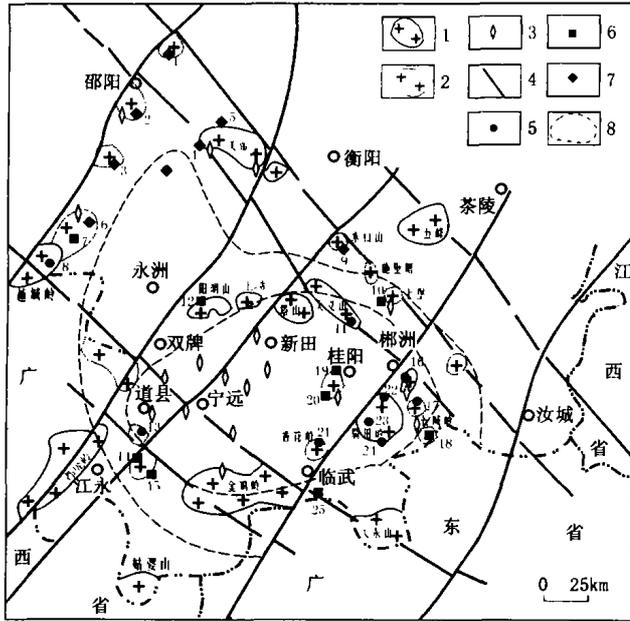


图1 湘东南中生代岩浆岩和矿床分布图

1—花岗岩体;2—隐伏花岗岩体;3—玄武岩和基性岩脉;4—深断裂;5—高温W、Sn为主的矿床;6—中温Pb、Zn为主的矿床;7—较低温Sb、Pb、Zn、Au、Ag为主的矿床;8—矿带界线。图中矿床:1. 龙山Sb、Au、Ag矿床;2. 罗山Sb、Pb、Zn矿床;3. 高家坳—禾青Pb、Zn、Au矿床;4. 清水塘Pb、Zn、Ag矿床;5. 石板铺Pb、Zn、Ag矿床;6. 牛头寨Sb矿床;7. 高挂山W、Sb矿床;8. 东安W矿床;9. 水口山Pb、Zn、Ag矿床;10. 上堡Pb、Zn、Ag矿床;11. 大顺隆Sn、Cu矿床;12. 茶林Sn、W矿床;13. 祥林铺W、Sn矿床;14. 铜山岭Cu、Pb、Zn矿床;15. 后江桥Pb、Zn矿床;16. 柿竹园W、Sn矿床;17. 瑶岗仙W矿床;18. 里田Pb、Zn矿床;19. 宝山W、Mo、Pb、Zn矿床;20. 黄沙坪W、Sn、Pb、Zn矿床;21. 香花岭W、Sn、Nb、Ta、Pb、Zn矿床;22. 新田W、Sn矿床;23. 芙蓉Sn矿床;24. 安源W、Sn矿床;25. 泡金山Sn、Pb、Zn矿床

2 湘东南地幔柱对矿床分带的控制

湘东南地区的多金属矿床成因类型主要为岩浆热液型、夕卡岩型和岩浆热液—热水叠加型^[6],其形成均与花岗岩体的多期次侵入有关,随着花岗岩体围绕宁远一道县玄武质岩浆活动中心分布,也呈现出成矿作用的分带性。靠近宁远一道县热环状构造中心形成高温的W、Sn矿床,如骑田岭芙蓉锡矿、新田岭锡矿、安源锡矿、柿竹园钨锡多金属矿、大顺隆锡铜矿、祥林铺钨锡矿等,远离宁远一道县热环状构造中心形成低温Sb、Au、Ag、Pb、Zn矿床,如牛头寨锑矿、白云铺铅锌金矿、高家坳金矿、清水塘锑铅锌矿、水口山铅锌金银矿,介于两者之间形成中温的Pb、Zn、Cu、Sn等过渡型矿床,如上堡铅锌矿、茶

林铅锌矿、铜山岭铜铅锌矿、后江桥铅锌矿、泡金山锡铅锌矿(图1)。就某一岩体而言,亦形成二级矿化分带,如骑田岭岩体、越城岭岩体周围的矿床(图1)。湘东南地区玄武质岩石和花岗质岩石以及矿床时空分布的一致性及其与成矿作用分带性的耦合关系,反映为统一成岩成矿构造环境控制的产物,并随深部地幔柱热源变化而呈现出规律性分布。

3 湘东南地幔柱对矿源的控制

自地幔柱假说提出以来^[7],不仅成功地阐明了大洋岛链的成因,而且也广泛用于探讨大陆玄武岩的成因,并将洋岛玄武岩(OIB)的地球化学组成视为深部地幔柱岩浆成分的代表^[8],大陆玄武岩是否来自地幔柱源区一般都是通过与OIB的化学成分和同位素组成对比来确定的。由于强不相容元素具有相似的全岩配分系数,部分熔融和结晶分离过程都不会造成这些元素之间的强烈分异,因此这些元素之间的比值亦可以直接用来示踪地幔源区特征^[9]。根据对湘东南地幔柱中心宁远一道县一带的玄武岩体进行的岩石化学和微量元素分析(表1),该区玄武岩以碱性玄武岩和拉斑玄武岩为主,原始地幔标准化的微量元素配分与OIB型配分模式相一致^[2],在强不相容元素比值相关图解中,湘东南玄武岩均一致地落在OIB型地幔源区(图2)。

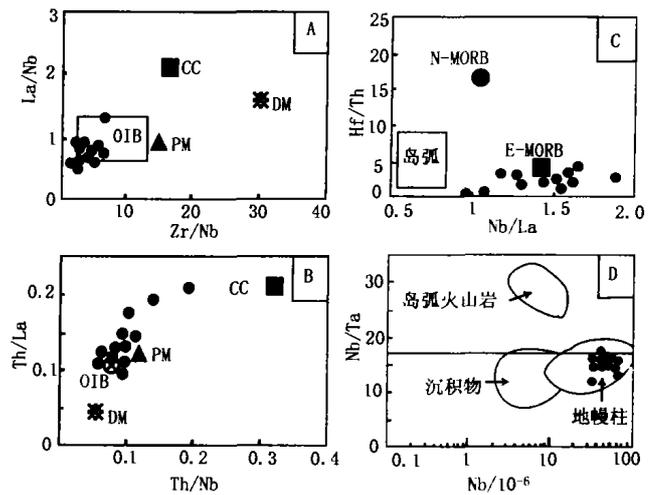


图2 湘东南玄武质岩石La/Nb - Zr/Nb, Hf/Th - Nb/La, Th/La - Th/Nb和Nb/Ta - Nb图解

OIB 洋岛玄武岩;PM 原始地幔;DM 亏损地幔;CC 大陆地壳;N - MORB, N型洋中脊玄武岩;E - MORB, E型洋中脊玄武岩

对现代大洋岛屿玄武岩的研究表明,地幔热柱构造条件和软流圈地幔上涌是形成OIB型地幔源区的主要制约因素,所以湘东南玄武岩的OIB型地幔源区可能主要是软流圈地幔上升并交代较均一的原始

表 1 湘东南玄武质岩石微量元素分析结果表

采样地	道县虎子岩		宁远太阳山		新田水形山		宁远中心铺		新田门前、崇高山		保安圩	
	碱性玄武岩	碱性玄武岩	橄榄拉斑玄武岩	橄榄拉斑玄武岩	碧玄武岩	碧玄武岩	碱性玄武岩	碱性玄武岩	碱性玄武岩	碱性玄武岩	碱性玄武岩	石英拉斑玄武岩
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
La	41.27	40.94	46.19	49.20	40.88	53.63	53.63	48.96	43.87	32.3	36.95	43.26
Rb	6.63	5.96	21.90	34.20	8.00	25.60	13.90	18.90	24.30	14.50	43.20	13.20
Ba	2506	3675	977	398	565	502.0	1026	832	1466	581	732	1468
Sr	1063	1067	253	335	938	711.0	1091	892	889	746	681	1700
Th	5.73	5.44	8.30	10.20	10.40	10.30	9.80	11.40	12.70	10.80	11.60	14.90
Nb	67.38	65.43	35.30	53.20	54.00	67.90	58.30	85.80	72.30	63.70	64.50	73.00
Ta	4.20	4.06	2.80	3.80	3.64	4.14	3.99	6.49	4.87	4.51	4.61	4.55
Zr	270.0	260.0	225.0	292.0	84.00	133.0	224.0	301.0	158.0	148.0	120.0	297.0
U	1.85	1.76	1.42	1.67	2.03	2.61	1.52	2.52	2.88	2.21	2.84	2.02
Hf	6.08	5.78	4.45	5.10	2.68	3.50	3.95	4.95	3.89	3.27	2.31	5.20

注:1~2 数据引自^[10], 1998 年中国科学院广州地球化学研究所分析, 分析方法: ICP-MS; 3~12 数据引自^[11], 1997 年由地质大学(武汉)测试中心分析。

地幔而形成的, 玄武质岩石是这种特殊地幔源区岩浆的地表“露头”。

湘东南地区花岗岩岩石的微量元素和同位素数据表明, 至少存在地壳重熔型花岗岩和壳—幔混合型花岗岩两种成因类型, 湘东南与成矿有关的花岗闪长质小岩体的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(t) = 0.7040 \sim 0.7090$, $\delta\text{O}^{18} = 8.62 \sim 10.68$, $\varepsilon_{\text{Nd}}(t) = -1.39 \sim -7.59$ ^[12]; 对与柿竹园钨多金属矿有关的千里山花岗岩体研究表明, 其岩石类型为高钾低钠的铝质碱性花岗岩, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(t) = 0.7032 \sim 0.7290$, $\delta^{18}\text{O} = 2.8 \sim 14.4$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值较高(大于 0.5120), 高于华南改造型花岗岩^[13]; 对黄沙坪花岗斑岩和骑田岭花岗岩的铷同位素计算表明, 黄沙坪 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(t)$ 为 0.7037~0.7253, 骑田岭 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(t)$ 为 0.7087~0.7146。虽然花岗岩体的同位素变化范围比较大, 但仍可以看出一些幔源组分存在($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(t) < 0.710$; $\delta^{18}\text{O} < 10$), 反映出壳幔混合的成岩特征, 与华南同期改造型花岗岩相比其源区物质中幔源物质占有较高比例。地幔柱控矿作用的一个重要方面就是促使上覆岩层重熔, 壳幔物质与能量的混合。软流圈地幔上涌, 形成地幔柱头部的高热异常, 导致上覆岩层部分熔融, 出现地壳重熔型花岗岩, 与此同时, 幔源物质或幔源流体上涌, 形成壳—幔混合型花岗岩, 这种地壳重熔型花岗岩和壳—幔混合型花岗岩以及幔源 OIB 型玄武岩同时在同一热构造系统内的组合是陆内地幔柱活动的显著特征。

3 湘东南地幔柱对成矿空间的控制

地幔柱的上升往往导致岩石圈拉张的构造环境, 形成深部断裂带和韧性剪切带与浅部构造的融会贯通。其控矿作用表现为(1)为成矿岩浆的熔

融、分异演化提供有利构造空间。当地幔热柱上升到岩石圈浅部时, 由于巨大的热能和上拱压力在地壳深部形成韧性拆离构造带, 同时使地壳尤其是下地壳发生重熔, 在中、下地壳的“拆离带”形成酸性岩浆房。对湘东南花岗岩体重力定量计算结果表明, 76.2%的花岗岩体底板埋深为 10~15 km, 这一深度恰与中地壳下部 15~20 km 深度的低速层(厚度约 4.0~5.2 km)相对应^[13]。湘东南岩浆热液型矿床的矿质主要来自被熔融的含成矿元素的沉积建造, 由于中地壳下部岩浆房的存在, 使富含 W、Sn、Cu、Pb、Au 等成矿元素的岩浆具有很好的分异程度, 导致成矿元素由分散而集中, 以至在岩浆演化的晚期阶段达到富集高峰, 这些富含成矿元素的晚期岩浆热液沿岩浆通道上升并在有利的浅部构造充填或交代构成矿体;(2)为深部地幔物质上升提供通道。地幔柱的存在构成软流圈地幔上涌, 形成岩石圈和地壳减薄, 使幔源气液流体、溶浆等成矿物质沿地幔柱通道上升到浅部岩浆房和地表, 导致壳幔成矿物质的混合程度增加。表现为壳—幔物质与能量的交换, 使地壳进一步交代和重熔, 促使壳源成矿物质活化迁移, 构成成矿物质大规模聚集系统和壳—幔成矿物质混合的成矿流体循环体系, 由此导致湘东南大型成矿集区中壳幔混合同位素体系的形成和伴随成矿的基性岩脉侵入;(3)为矿体和岩体浅部就位提供有利构造空间。受地幔柱上拱和热环状构造影响, 在浅部形成热穹隆构造、伸展断层、层间拆离构造、网格状脆性断裂构造等, 并与深部断裂相通。在湘东南地区主要是网格状拉张断裂的交汇处和热穹隆构造控制多期分异重熔岩浆的侵入和矿体就位。

相比之下, 华南改造型花岗岩是上地壳的重熔, 幔源物质混入程度低, 为侵入—交代型花岗岩, 因缺少低速层(熔融层)而岩浆熔融程度和分异程度均

较差,这也是湘东南之所以能够形成大型矿集区的主要原因之一。总之,伴随中生代地幔柱作用(软流圈地幔隆起、地壳部分熔融、壳幔物质相互作用和拉张构造系统的形成)形成成矿物质大规模聚集系统、矿质运移与传输系统、矿床(矿体)定位系统,构成了湘东南地幔柱构造的控矿体系。

4 湘东南地幔柱演化对矿床的控制

地幔柱的演化可以分为3个阶段,初期阶段当地幔柱头部物质和能量达到地壳浅部时,巨大的能量首先引起上覆岩层的重熔,形成较大面积的呈面状或点状分布的重熔型花岗岩和壳幔混合型花岗岩;中期阶段地幔柱的继续上升,岩石圈发生拉张减薄,以致裂谷化,玄武质岩浆喷发和基性脉岩侵入,出现陆相拉张盆地,壳—幔物质与能量的交换加强;晚期阶段地幔柱尾部物质上侵达到地壳浅部,形成深层相更偏基性岩石,如科马提岩和层状辉长岩的侵入以及玄武质岩石累积喷发所形成的高原玄武岩,该阶段虽然可以形成钒钛磁铁矿、铜镍硫化物矿床和铂钯矿床,但对先期形成的矿床起到破坏作用。由于湘东南地区并未出现基性、超基性深层侵入体和玄武质高原以及相应的矿床,反映湘东南地幔柱的演化只相当于早期或中期阶段,而没有演化到晚期阶段,因此使早期形成的矿床得以保存,这也是湘东南地区能够形成大型矿化集中区的重要条件之一。

5 结论

湘东南集中出露的大量幔源玄武质岩石、壳源和壳幔混合花岗岩、区域成矿分带三者具有很好的时、空一致性,是湘东南地幔柱构造环境的有机组合,因此在讨论湘东南大型成矿集中区的控矿作用时应将三者统一考虑。以宁远—道县为中心地幔柱

的发展演化是控制其周围与成矿有关花岗质小岩体和成矿作用的重要因素,是湘东南大型成矿集中区的主要控矿构造环境。湘东南地幔柱控制矿床与岩体的时空分布、区域成矿分带和成矿岩浆源区,并为成矿岩浆的熔融、分异演化和浅部就位提供了有利的热源和构造条件。

[参考文献]

- [1] 赵振华,包志伟,张伯友,等. 柿竹园超大型钨多金属矿床形成的壳幔相互作用背景[J]. 中国科学(D辑), 2000, 30(增刊): 161~168.
- [2] 贾大成,胡瑞忠,卢焱. 湘东南玄武质岩石地球化学特征及构造环境[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2002, 32(3): 209~214.
- [3] 涂光炽. 试论非常规超大型矿床物质组成、地质背景、形成机制的某些特征—初谈非常规超大型矿床[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(增刊): 1~6.
- [4] 陈毓川,裴荣富. 南岭地区与中生代花岗岩类有关的有色及稀有金属矿床地质[M]. 北京:地质出版社, 1989.
- [5] 潘伟尔. 湘中南地区煤变质与地质构造关系的研究[J]. 地质论评, 2000, 46(1): 64~70.
- [6] 童潜明. 湖南主要有色金属贵金属矿床成矿系列与成矿模式[J]. 湖南地质, 1997, (增刊9): 17~78.
- [7] Morgan W J. Convection plumes in the lower mantle[J]. Nature, 1971, 230: 42~43.
- [8] Hofmann A W, White W M. Mantle plumes from ancient oceanic crust[J]. Earth Planet Sci Lett, 1982, 57: 421~436.
- [9] Weaver B L. The origin of ocean island basalt end-member composition; trace element and isotopic constraints [J]. Earth Planet Sci Lett, 1991, 104: 381~397.
- [10] 赵振华,包志伟,张伯友. 湖南中生代玄武岩类地球化学特征[J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(增刊): 7~14.
- [11] 朱勤文,王方正,路凤香,等. 湘南中生代玄武岩岩石学特征[J]. 现代地质, 1996, 10(4): 461~469.
- [12] 王岳军,范蔚茗,郭锋,等. 湘东南中生代花岗闪长岩锆石U-Pb法定年及其成因指示[J]. 中国科学(D辑), 2001, 31(9): 745~751.
- [13] 饶家荣. 湘南深部构造[J]. 湖南地质, 1993, (增刊7): 17~48.

ORE - CONTROLLING ACTIVITY OF THE MANTLE PLUME FOR THE LARGE METALLOGENIC CENTRALIZED REGION IN SOUTHEASTERN HUNAN PROVINCE, CHINA

JIA Da - cheng^{1,2}, HU Rui - zhong², LI Dong - yang³, LU Yan¹

(1. College of Geo - exploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026;

2. Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guiyang 550002;

3. Jilin Institute of Geological Survey, Changchun 130061)

Abstract: There is a larger metallogenic centralized region in the southeastern Hunan province. In the region, basalts, granites related with ore deposits, and regional mineralization were the products of mantle plume tectonic setting. The mantle plume controlled the distribution of rocks and ore deposits, regional metallogenic zoning and metallogenic magma source in the southeastern Hunan province. The mantle plume provided benefiting heat source and structure conditions for the deep melting of metallogenic magma, differentiation and shallow emplacement. The development and revolution of the mantle plume is an important factor for ore deposit preserved.

Key words: mantle plume, ore - controlling activity, larger metallogenic centralized region, southeastern Hunan Province