

文章编号: 1000-4734(2004)02-0099-06

峨眉山地幔柱成矿作用分析

高振敏, 张 乾, 陶 琰, 罗泰义

(中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学开放实验室, 贵州 贵阳 550002)

摘要:概述了峨眉山地幔柱成矿作用的基本类型和主要特点,对主要成矿类型包括地幔柱活动直接形成的岩浆矿床和地壳响应形成的间接矿床作了全面的分析介绍,初步勾画了峨眉山大火成岩省地幔柱成矿作用的基本框架。

关键词:峨眉山地幔柱;成矿作用;岩浆矿床;热液矿床

中图分类号:P612 **文献标识码:**A

作者简介:高振敏,男,1940年生,研究员,矿床地球化学专业。

峨眉山大火成岩省地幔柱活动形成了众多成矿元素的工业富集,矿床类型和矿化类型多样,其中由地幔柱活动直接形成的矿床主要有与基性超基性岩岩浆硫化物熔离作用有关的 Cu-Ni-PGE 岩浆硫化物矿床,与基性超基性岩岩浆分异作用有关的 V-Ti-Fe 岩浆氧化物矿床,与溢流玄武岩火山喷气作用有关的火山岩型 Cu、Fe 矿床,以及 PGE 热液活动形成的 PGE 热液矿床。由地幔柱活动间接形成的矿床主要有与壳幔相互作用有关的岩浆热液矿床、浅部地壳响应有关的中低温热液矿床等。

1 镁铁-超镁铁侵入岩有关的矿床

大火成岩省是地幔柱构造岩浆活动最突出的表现形式,与之直接相关的矿床主要有 Cu-Ni-PGE 岩浆硫化物矿床及岩浆氧化物矿床(钒钛磁铁矿矿床、铬铁矿矿床),其中岩浆硫化物矿床具有特别重大的意义,是 Ni、PGE 世界矿业资源最主要的来源,也是铜的重要来源之一, Barnes^[1]指出,地幔柱与裂谷的耦合环境是形成 Cu-Ni-PGE 岩浆硫化物矿床最有利的构造条件。世界上一些最重要的 Cu-Ni-PGE 岩浆硫化物矿床,如 Bushveld, Noril'sk-Talnah, Great Dyke, Duluth 等都被认为是地幔柱岩浆活动的产物^[2]。

在峨眉山大火成岩省,与镁铁-超镁铁侵入岩

有关的成矿作用形成了两个非常重要的成矿系列即 V-Ti 磁铁矿成矿系列和 Cu-Ni-PGE 成矿系列。V-Ti 磁铁矿成矿系列主要发育在攀西地区,形成了红格、攀枝花、白马、太和超大型的 V-Ti 磁铁矿矿床。铜镍硫化物铂族元素矿化岩体在川滇构造带上大量产出,从北端的杨柳坪、中部的核桃树、到南端金宝山岩体,南北向延伸近千公里。

1.1 侵入相与喷出相的关系

Bruggmann^[3]认为 Noril'sk 铜镍硫化物矿床成矿岩体与 Noril'sk 低钛溢流玄武岩为同源异相。我们对金宝山岩体的初步研究表明,金宝山镁铁-超镁铁岩由原始岩浆深部分异的橄榄石及熔离硫化物与部分残余熔体构成的“晶-糊”体系形成,反演原始岩浆成分为高镁玄武质岩浆^[4],并且与 Xu 等^[5]划分的低钛玄武岩在元素地球化学特征上表现出良好的亲合性。据徐义刚^[6]的研究,峨眉山玄武岩也普遍经历了橄榄石的结晶分异,原始岩浆也具有高镁岩浆特征。金宝山岩体岩石地球化学性质与峨眉山玄武岩西岩区大量产出的“低钛玄武岩”岩石地球化学性质相似、岩浆成因属性一致、成岩机制互补,成矿元素盈亏相对应,对金宝山超镁铁岩和峨眉山低钛玄武岩进行同源演化拟合,得到很好的拟合效果,因此初步认为金宝山铜镍硫化物矿床成矿岩体与低钛峨眉山玄武岩为同源异相产物。

1.2 成矿系列与岩石地球化学系列的关系

长期以来,铜镍硫化物矿化系列和钒钛磁铁

矿化系列之间的关系一直是西南暗色岩系研究者关切的问题,许多研究人员认为矿化系列与岩石地球化学类型上存在对应关系^[7,8]。Xu等^[6]研究表明峨眉山玄武岩两个不同的岩石地球化学类型,梅厚均^[9]曾指出西南暗色岩两大成矿系列形成于两类不同的原始岩浆,那么,西南暗色岩两个主要的成矿系列与两个主要的玄武质岩浆系列可能存在对应关系?对金宝山岩体的初步研究表明,铜镍硫化物矿化岩体与徐义刚划分的低钛玄武岩在元素地球化学特征上表现出良好的亲合性,峨眉山玄武岩西区有比较广泛的低钛玄武岩发育和铜镍硫化物矿化岩体出露,而东区主要为高钛玄武岩,迄今为止尚未发现低钛玄武岩和铜镍硫化物矿床。这些地质现象的相互关联为峨眉山地幔柱成矿活动的系统研究提供了重要地质依据。

1.3 西南暗色岩岩浆矿床的成矿特色

1.3.1 主导成矿类型

我国西南暗色岩与西伯利亚暗色岩为基本同期的两个晚古生代全球最显著的地幔柱活动产物,西伯利亚暗色岩产出 Noril'sk-Talnakh 超大型 Ni-Cu-PGE 矿床,是世界最大的 Ni 矿,PGE 储量位居世界第二(Ni: 2500 万 t, Cu: 3000 万 t, PGE: 5000 t)^[10]。为什么基本同时代的两个暗色岩系, Noril'sk 产出超大型的 Cu-Ni-PGE 矿床,而我国西南暗色岩却赋存 4 个超大型 V-Ti 磁铁矿床,发现的 Ni-Cu-PGE 矿床则都是以小型矿化岩体形式产出^[11]? 比较峨眉山玄武岩和西伯利亚 Noril'sk 大陆溢流玄武岩系,峨眉山玄武岩系以高 Ti 玄武岩相对较发育,而西伯利亚 Noril'sk 的溢流玄武岩系则以低钛玄武岩相对较发育,是否暗示两个暗色岩套在成矿类型上可能存在差异?

1.3.2 小岩体成矿

国外一些有重大资源意义的 Cu-Ni-PGE 矿床主要在超大型岩体中,如 Sudbery (> 1000 km²), Bushveld (> 60000 km²), Great Dyke (> 5000 km²), 而西南暗色岩 Cu-Ni-PGE 矿化岩体都是小型岩体,如金宝山、力马河、杨柳坪、朱布、核桃树等岩体都小于几个平方公里,小岩体成矿,不仅是西南暗色岩 Cu-Ni-PGE 成矿的特色,也是我国此类矿床成矿作用的一个重要的成矿特色^[12],汤中

立^[13]对我国小岩体成矿进行了系统分析,认为深部硫化物熔离作用是小岩体成矿的关键因素。

对金宝山铂钯矿的研究表明,金宝山成矿岩体 Pd 的总平均含量大大高于一般地幔部分熔融岩浆可能的高限浓度,深部硫化物熔离是金宝山铂族元素矿床成矿的主导控制因素,导致了从一个比成矿岩体体积大得多的岩浆熔体中富集铂族元素,原始岩浆在造岩矿物结晶分异的同时,在熔体中硫化物逐渐达到过饱和而出现硫化物的熔离,熔离的硫化物熔滴向岩浆房下部沉降富集后与堆积橄榄石一起混合部分残余硅酸盐熔体侵位,受流动分异的影响及侵位后的再沉降作用,造成岩体中硫化物的不均匀分布,形成似层状的含铂族元素硫化物富集层^[14]。

1.3.3 Cu-Ni-PGE 矿化类型的变异

有关西南暗色岩 Cu-Ni-PGE 矿化类型的变异现象,肖宏森、杨星等^[15,16]早年即指出,西南暗色岩 Cu-Ni-PGE 铂族元素矿床在统一的成矿背景下,各个成矿小岩体之间在成矿元素地球化学类型上表现出广泛的变异特征,如在铜镍与铂族元素的相对富集特征上,可以区分出富铜镍贫 PGE 型,贫铜镍富 PGE 型及铜镍铂钯富集型。如金宝山以铂族元素矿化为主,铜镍硫化物的相对富集程度较低,被称为贫铜镍的铂族元素矿床,又有称之为独立铂矿床,元谋岩体群的铂族元素矿化也类似,核桃树则表现为铜镍硫化物和铂族元素的共同富集,力马河则铜镍硫化物的高度富集为特征,基本上没有铂族元素富集。在铂钯相对富集形式上,大部分岩体表现出 Pd > Pt 的特点,如金宝山、杨柳坪、力马河、迎风等岩体,但元谋岩群如朱布、猛林沟、黑泥坡等岩体以及核桃树岩体则表现为 Pd < Pt。另外,元谋黑泥坡号岩体的勘查还表明,岩体有较高程度 Ru、Os 的相对富集。

熔离参数 R 的变化能导致熔离硫化物 Cu/Pd 比值的变化^[1,17],PGE 比铜镍有更强烈的亲硫性,PGE 在熔离硫化物和硅酸盐熔体间的分配系数比 Cu、Ni 高一个数量级以上,根据模式计算,熔离参数 R 直接影响熔离硫化物中铂族元素和铜镍的相对比例。平衡硅酸盐熔体比例(R)越大,Pd 相对于 Ni 的富集程度越高。大多数研究认为,熔离参数 R 受岩浆混染作用的影响——受到地壳或围岩地层 S 强烈混染的熔离作用, R 值小;未受到混染或混染很弱的硫化物熔离作用, R 值

高^[1,17,18]。金宝山超镁铁岩体的硫同位素虽表现有一定的混染影响,但影响较小,据杨廷祥^[19],26件超镁铁岩中的硫化物样品, δS^{34} 变化范围集中在 $-0.69\% \sim 5.78\%$,平均值 4.25% ,基本上接近地幔硫,而以块状硫化物矿石为主并富铜镍的诺里尔斯克矿床硫同位素组成在 $4\% \sim 14\%$ ^[15],比较而言,金宝山成矿作用受到的混染影响较小,主要是受结晶分异造成的浓度增加或温度降低产生硫化物的熔离,从岩浆中熔离出来的硫化物很少量,表现在熔离模式参数上为很高的平衡硅酸盐熔体比例和矿石中低的硫化物含量,形成了金宝山特征的矿化现象——相对贫铜、镍的铂族元素矿化^[14]。

对于一些 Cu/Pd 比值高于地幔的矿床或矿体,如 Duluth 的一些矿床,仅用一次性的熔离模式则难以解释,Barnes^[1]指出,可能的原因是发生熔离的硅酸盐岩浆有高的 Cu/Pd 比值,在岩浆中 PGE 含量很低,而铂族元素含量低的原因是在侵位前岩浆在途中某个或某些位置已发生硫化物熔离并散失,模式计算表明,0.01%的硫化物熔离可导致 PGE 含量降低一个数量级,而微量硫化物熔离对岩浆中 Cu-Ni 含量几乎没有影响。Theriault 等^[18]对 Dunka Road 矿床(Duluth)的研究也认为以苏长岩为寄主岩石的硫化物低铂族元素矿化可能是已经历硫化物熔离分异后的残余熔体的在熔离。西南暗色岩以铜镍为主而强烈贫 PGE 的岩浆硫化物矿床如力马河矿床,以经历高 R 值熔离分异后的岩浆二次熔离成矿可以得到较好的解释。

1.4 PGE 热液活动与成矿

地质调查表明,西南暗色岩铂族元素矿化岩体普遍发育热液脉状矿石,西南暗色岩存在铂族元素的热液活动及热液成矿的可能性已引起有关研究人员的重视^[11,20]。特别是最近,在会理县大岩子发现具有典型热液脉型矿床特征的 Cu-Ni-PGE 矿床^[21,22],此类矿床发现的意义在于西南暗色岩确实具有形成 PGE 热液矿床的地质条件,为地幔柱岩浆热液活动提供了一个重要的研究对象。从金宝山、朱布一些岩体内的热液脉状硫化物矿石,到杨柳坪产于岩体外接触带和岩体外围的硫化物矿体,到大岩子远离岩体而存在的热液型 PGE 矿床,构成了完整的 PGE 热液活动系列。

2 大陆溢流玄武岩的成矿作用

在云南鲁甸等滇川黔边境一带的峨眉山玄武岩与宣威组地层之间发现自然铜-氧化铜矿化^[23,24],与美国基韦诺自然铜矿床相比,在成矿与控矿的地质背景、含矿岩系、以及矿石与围岩蚀变类型上均十分相似,是全球第二例大规模的自然铜矿化^[24]。

峨眉山玄武岩铜矿化的现象比较普遍,并不局限于滇川黔边境一带,如在四川省丹巴县铜炉房等地也见到玄武岩裂隙中的自然铜,并且在古鲁、花滩、吊红崖等地发现了多个中型以上的铜矿,王登红^[25]认为峨眉山玄武岩本身携带有大量的铜,在后续热液作用和或地下水的淋滤下形成铜矿床。

从地幔柱岩浆活动系统上分析,在幔源岩浆活动中,由于 Cu 与 Ni 及铂族元素在地球化学性质上有相似的,亲硫性,但又有重大的差异,相对于 Ni,在硅酸盐体系中,以不相容性相区分,而且在热液活动体系中,有很强热液活性;相对于 PGE,在硫化物熔离系统中,Cu 在硫化物熔体相中的分配系数要远远低于 PGE (比 PGE 低 1~2 个数量级^[26]),在幔源岩浆作用中,虽然通常形成 Cu-Ni-PGE 组合的岩浆硫化物矿床,但地球化学性质上的差异,也能够造成 Cu 的分异,Cu 特殊的地球化学性质确定其可以独立地在大陆溢流玄武岩中出现矿化或矿床。Cu 富集成矿不仅仅具有重要的资源意义,而且对认识地幔柱岩浆活动体系中岩浆的形成与演化有重要的研究价值。

3 地壳响应成矿作用

3.1 岩浆热液矿床

地幔柱-岩石圈的相互作用及壳-幔相互作用形成了有关的碱性和酸性岩浆活动,在攀西地区广泛发育海西期各种碱性岩脉(237~251 Ma)^[27],在安宁河等地产出有花岗岩体,如红格—矮郎河(K-Ar 年龄 253 Ma^[7])花岗岩等。因此,地幔柱活动的间接效应可以导致岩浆热液矿床的形成,如在康滇至会理一带产出碱性岩浆热液型稀有元素矿床,典型矿床有九龙洛木花岗伟晶岩型绿柱石矿床等^[7]。

3.2 低温热液矿床

在与地幔柱间接相关矿床的研究方面,早在

20世纪70年代中期, Sawkins^[28]即指出前寒武纪和显生宙大陆内环境中形成的许多热液矿床均与地幔热点活动有时空联系, 近年来, 一些矿床学家主要依据现代板内裂谷模式和岩石圈热侵蚀岩浆活动模式, 把世界一些在板块内部产出的典型矿床特别是一些大型超大型矿床建立起了同地幔柱活动的成因联系。例如, Oppliger等^[29]把卡林金矿的形成同黄石热点相联系并建立地幔柱上侵-岩石圈热侵蚀-岩浆活动-上地壳广泛的热液对流循环-成矿的模式; Campbell^[30]根据成矿时代的限定性分析, 认为 Olympic Dam 矿床与地幔柱有关; 根据对现代裂谷(如 Afar、Atlantis II)成矿现象的发现和研究, 人们找到了 SEDEX 矿床的现代成矿类似物, 并进一步建立起了与地幔柱的成因联系^[2]。

峨眉山地幔柱岩浆活动形成了分布在约 50 万 km²范围内的厚数百米至数千米的溢流玄武岩以及大量的基性超基性岩侵入体, 巨大的构造岩浆活动在地壳浅部将形成各种规模各种层次的热驱动流体活动体系, 海洋探索已揭示现代海底岩浆活动区普遍存在以热驱动海水循环为主要方式的海底喷流和海床蚀变成矿作用^[31], 是否存在 SEDEX 型的热液矿床? 目前并无确切无疑的此类典型矿床, 但许多研究人员认为康滇地轴东缘的铅锌矿与峨眉山玄武岩活动密切相关^[32,33], 如会泽铅锌矿。云南会泽铅锌矿是川滇黔铅锌多金属成矿域中很有代表性的矿床, 矿体赋存于下石炭统摆佐组白云岩中, 规模大, 铅锌品位高, 伴生有用元素多, 是国内外地学界关注的超大型矿床。区域岩浆活动主要为二叠纪大面积峨眉山玄武岩, 此类矿床可能与玄武岩岩浆作用有成因联系, 直接的矿床实例是宣威抚克玄武岩中的铅锌矿脉, 许多学者对该矿做过研究工作, 提出过多种不同矿床成因模式。困扰对该矿床成因认识的一大难题是成矿年代的界定, 韩润生^[34]根据古应力测量对岩石经历的主要构造期次对成矿时代的反映, 估计成矿时代晚于早石炭世摆佐期, 而早于晚二叠世末。黄智龙^[35]研究表明, 矿石铅同位素组成与峨眉山玄武岩铅同位素组成一致, 认为峨眉山玄武岩岩浆活动与成矿有密切关系, 矿石方解石流体包裹体 Sm-Nd 同位素年龄为(227 ± 18) Ma (黄智龙私人通讯)。

3.3 成矿物质的可能来源

巨量的幔源岩浆构成许多金属元素成矿物质的储集库, 可在有利的成矿条件下, 以其他方式成矿。

Se 在地幔岩中的丰度远远高于地壳中的丰度, 大规模的玄武岩喷溢可为硒的成矿提供丰富的成矿物质来源, 姚林波等^[36]在对扬子地台周缘硒矿的研究中发现, 硒的成矿可能与峨眉山玄武岩的喷发有密切的关系。

黔西南微细浸染型金矿的成矿物质来源一直是近年来有争议的问题, 虽然黔西南微细浸染型金矿矿床形成于燕山期^[37], 但有人认为峨眉山玄武岩喷发可能提供了成矿物质^[38]。

黔西南微细浸染型金矿的成矿物质来源一致是近年来最具争议的问题, 虽然黔西南微细浸染型金矿矿床形成于燕山期, 但矿床元素地球化学及同位素地球化学示踪表明有幔源物质信息, 成矿物质是否来源于峨眉山玄武岩, 苏文超^[39]采用高温爆裂-淋滤-ICP-MS 流程测定了黔西南烂泥沟和丫他金矿石英流体包裹体中的微量金属元素(Co、Ni、Cu、Pb、Zn、Pt)含量, 发现成矿流体中这些金属元素的含量较高, 特别是 Pt 的高含量($0.37 \times 10^{-6} \sim 1.21 \times 10^{-6}$), 稀土元素配分模式与基性岩相似, 微量元素与海水-玄武岩相互作用形成的洋中脊热液成分类似, 认为基性超基性火成岩可能是黔西南金矿成矿物质的重要来源。黔西南广大地区在龙潭组底部存在不整合界面, 黔西南金矿或者产在其中, 或者距界面不远, 如戈塘、大厂等矿床直接产在界面处, 紫木凼、水银洞金矿从不整合面到距界面 150 m 内的范围内产出, 板其、丫他、烂泥沟等也在界面不超过 250 m 的范围内, 张澄博^[40]根据地质地球化学同位素示踪和盆地尺度地下水流体运移模拟研究, 认为大气降水在原盆地相区下渗, 与峨眉山玄武岩相互作用演化成成矿流体, 深循环后上升并进入不整合界面, 沿不整合面侧向迁移, 在适当构造条件下集流成矿。

致谢: 涂光炽院士对峨眉山地幔柱资源环境效应的研究非常重视, 并且提出其成矿作用具有多样性的特点, 作者在研究工作中得到涂先生指导, 在此表示感谢。

参 考 文 献:

- [1] Barnes S J, Zientek M L, Severson M J. Ni, Cu, Au and platinum-group element contents of sulphides associated with intraplate magmatism[J]. *Canadian Journal Earth Sciences*, 1997, 34: 337 ~ 351.
- [2] Pirajno F. *Ore Deposits and Mantle Plumes*[M]. Dordrecht, Neth; Kluwer Acad, 2000. 556.
- [3] Brugmann G E, Naldrett A J. Siderophile and chalcophile metals as tracers of the evolution of the Siberian Trap in Noril'sk region, Russia[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1993, 57: 2001 ~ 2018.
- [4] 陶 琰,高振敏,罗泰义,等.云南金宝山超镁铁岩原始岩浆成分反演[J].岩石学报,2002(1):70~82.
- [5] 徐义刚,钟孙霖.峨眉山大火成岩省:地幔柱活动的证据及其熔融条件[J].地球化学,2001,30(1):1~9.
- [6] Xu Y C, Chung S L, Jahn B M, et al. Petrological and geochemical constraints on the petrogenesis of the Permo-Triassic Emeishan flood basalts in southwestern China[J]. *Lithos*, 2001, 58: 145 ~ 168.
- [7] 从柏林.攀西古裂谷的形成与演化[M].北京:科学出版社,1988. 424.
- [8] 张云湘,骆耀南,杨崇喜.攀西裂谷[M].北京:地质出版社,1988.
- [9] 梅厚钧.西南暗色岩深源分异两个系列的岩石化学特征与铁镍矿化的关系[J].地球化学,1973,(4):219~253.
- [10] Naldrett A J. World-class Ni-Cu-PGE deposits: key factors in their genesis[J]. *Mineralium Deposita*, 1999, 34: 227 ~ 240.
- [11] 涂光焱.从一个侧面看矿床事业的发展——若干重要矿床领域的新进展及找矿思维的开拓[J].矿床地质,2002,21(2):97~105.
- [12] Zhou M F, Yang Z X, Song X Y, Lesher C M, Keays R R. Magmatic Ni-Cu- (PGE) sulfide deposits in China[J]. *Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum*, 2002, 54: 619 ~ 636.
- [13] 汤中立.中国岩浆硫化物矿床的主要成矿机制[J].地质学报,1996,70(3):237~243.
- [14] 陶 琰,高振敏,朱 丹,等.金宝山铂族元素矿床深部熔离作用研究[J].矿床地质,2002,增刊:1021~1024
- [15] 中国科学院地球化学研究所.中国含铂地质体铂族元素地球化学及铂族矿物[M].北京:科学出版社,1981.236.
- [16] 杨 星,李 行.中国含铂基性超基性岩体与铂(族)矿床[M].西安:西安交通大学出版社,1992.183
- [17] Keays R R. The role of komatiitic and picritic magmatism and S-saturation in the formation of ore deposits[J]. *Lithos*, 1995, 34: 1 ~ 18.
- [18] Theriault R D, Barnes S J, Severson M J. The influence of country-rock assimilation and silicate to sulfide ratios(*R* factor) on the genesis of the Dunka Road Cu-Ni platinum-group element deposit, Duluth Complex, Minnesota[J]. *Canadian Journal Earth Sciences*, 34: 375 ~ 388.
- [19] 杨廷祥,等.云南省弥渡县金宝山铂钯矿典型矿床研究报告[R].大理:云南地矿局第三地质大队,1989.
- [20] 陶 琰,朱 丹,高振敏,等.金宝山铂族元素矿床铂族元素的热液活动研究[J].矿物岩石地球化学通报,2003,22(1):32~37.
- [21] 赵支刚,杨大宏,杨铸生.四川会理大岩子铂矿地质特征及找矿模式[J].西昌地质,2000,15(1):1~13.
- [22] 张光弟,李九铃,熊群尧,等.四川会理大岩子铂矿矿化特征与成因初探[J].矿床地质,2002,21(增刊):763~766.
- [23] 张正伟,朱炳泉,常向阳,胡耀国.黔西上二叠统玄武岩组上部凝灰岩层发现黄铜矿化[J].矿物学报,2003,23(2):102.
- [24] 朱炳泉,常向阳,胡耀国,等.滇黔地球化学边界似基韦诺(Keweenaw)型铜矿床的发现[J].中国科学(D辑),2002,32(增刊):49~59.
- [25] 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.
- [26] Peach C L, Mathez E A. Constraints on the formation of platinum-group element deposits in igneous rocks[J]. *Economic Geology*. 1996, 91:439~450.
- [27] 秦 震.攀西地区碱性岩类稀有、稀土矿成矿条件及找矿远景[J].四川地质学报,1995,15(2):102~112.
- [28] Sawkins F J. Metal deposits related to intracontinental hotspot and rifting environments[J]. *Journal of Geology*, 1976, 84(6):653~671.
- [29] Oppliger C A, Murphy J B, Brumhall G H. Is the ancestral Yellowstone hotspot responsible for the Tertiary "Carlin" mineralization in the Great Basin of Nevada? [J]. *Geology*, 1997, 25: 627 ~ 630.
- [30] Campbell I H, Compston D M, Richards D M, et al. Review of the application of isotopic studies to the genesis of Cu-Au mineralisation at Olympic Dam and Au mineralisation at Porgera, the Tennant creek district and Yilgarn Craton[J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 1998, 45: 201 ~ 218.
- [31] 吴世迎.世界海底热液硫化物资源[M].北京:海洋出版社,2000.326.
- [32] 柳贺昌.峨眉山玄武岩与铅锌成矿[J].地质与勘探,1995,31(4):1~6.
- [33] 管士平,李忠雄.康滇地轴东缘铅锌矿床铅硫同位素地球化学研究[J].地质地球化学,1999,27(4):45~54.
- [34] 韩润生.会泽超大型银铅锌矿床地质地球化学及隐伏矿定位预测[R].贵阳:中国科学院地球化学研究所博士后流动站,2002.99.
- [35] 黄智龙,陈 进,刘丛强,等.峨眉山玄武岩与铅锌矿床成矿关系初探——以云南会泽铅锌矿床为例[J].矿物学报,2001,21(4):681~688.
- [36] YAO Linbo, GAO Zhenmin, YANG Zhusen, et al. Origin of seleniferous cherts in Yutangba Se deposit, southwest Enshi, Hubei Province[J]. *Science in China (Series D)*, 2002, 45 (8):741 ~ 755.
- [37] 胡瑞忠,苏文超,毕献武,等.滇黔桂三角区微细浸染型金矿床成矿热液——一种可能的演化途径:年代学证据[J].矿物学报,

1995, 15(2): 144 ~ 149.

- [38] 高振敏,李红阳,杨竹森,等.滇黔地区主要类型金矿的成矿与找矿[M].北京:地质出版社,2002. 243.
- [39] 苏文超,胡瑞忠,漆亮,等.黔西南卡林型金矿床流体包裹体中微量元素研究[J].地球化学,2001,30(6):512~516.
- [40] 张澄博.成矿流体路径示踪、大规模运移与黔西南不整合界面控制的微细浸染型金矿床[R].贵阳:中国科学院地球化学研究所博士后流动站,2002. 73.

AN ANALYSIS OF THE MINERALIZATION CONNECTED WITH EMEISHAN MANTLE PLUME

GAO Zhen-min, ZHANG Qian, TAO Yan, LUO Tai-yi

(*Open Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002*)

Abstract: The paper gives a brief description of the metallogenic types and distinguishing features of mineralization connected with the Emeishan mantle plume. All possible kinds of ore deposits including magmatic deposits connected directly with the mantle plume and indirect deposits due to crust response have been discussed. So it has preliminarily outlined the frame work of mineralization in the large Emeishan igneous province.

Key words: Emeishan mantle plume; mineralization; magmatic deposit; hydrothermal deposit