峨眉山玄武岩的输送通道：云南元谋朱布岩体

朱 丹[1,2]，徐义刚[2]，宋谢炎[1]，罗泰义[1]，陶 琰[1]，
黄智龙[1]，朱成明[3]，蔡恩照[3]，凌荣祥[2]

1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室，贵阳 550002；
2. 中国科学院 广州地球化学研究所，广州 510640；3. 中国科学院 地球化学研究所，贵阳 550002

关键词：朱布；镁铁-超镁铁岩；橄榄岩；输送通道

地幔柱成矿系统中，岩浆型Cu-Ni-PGE矿床是最重要成矿作用之一，世界上许多重要的岩浆型Cu-Ni-PGE矿床的成矿岩体，如布什维尔德、诺里尔斯克、大岩墙和Duluth Complex等都被认为是地幔柱岩浆活动的产物。峨眉山大火成岩省岩浆型Cu-Ni PGE矿化岩体广泛分布，构成了峨眉山地幔柱成矿系统中一个非常重要的成矿系列[1]。云南元谋地区朱布岩体是一个中型硫化物铜镍型铂钯矿床[2]，独特的成矿模式的提出[3]，引起了广泛的重视。不过朱布岩体成岩学、地球化学的研究还很薄弱，需要深入。初步的研究表明朱布岩体是峨眉山玄武岩的输送通道。岩体的年龄、地质特征、地球化学特征都支持这个结论。岩体的原始岩浆属于峨眉山高钛玄武岩。

1 地质背景

朱布基性－超基性岩体呈不对称的漏斗状不整合侵入前震旦系苴林群变质岩（云英片麻岩）中。岩体辉长岩的锆石U-Pb年龄为（256.0 ± 1.0）Ma[5]，与峨眉山玄武岩年龄一致[6]。平面呈椭圆形，南北长750 m，东西宽400 m，已控制垂深580 m，尚未尖灭；岩体北端横剖面呈“U”形，南端呈“O”形，中段横剖面上宽下窄，最深部位偏于西侧，宽不到20 m。

岩体北、西、南三面接触带产状都很陡：将近直立至向外倒转。其中西面大部分地段是断层接触，断层在接触带附近通过，仍大体可代表原接触带产状。东接触带倾向西，浅部倾角50°～60°，向深部逐渐变陡至直立[4]（图1）。

岩体外接触带有一厚1米至数米的角岩带，岩石主要由斜长石、石英及少量黑云母组成，细粒结构。内接触带有一厚2 m左右的混染辉长岩带，岩石主要由辉石、斜长石及少量石英组成，次为黑云母及钛铁矿（混染辉长岩为地质队命名）。岩体中的主要矿体边部矿体则在内接触带沿岩体呈皮壳状分布，仅局部地区稍偏入岩体内部，或偏入外接触带。

岩体垂直分带明显。除边部混染带和矿体外，自上而下可分为：辉长岩带，辉石岩带，橄榄辉石岩带和单辉橄榄岩带（图1）。

2 岩石化学及地球化学特征

2.1 岩相学及矿物学

单辉橄榄岩带：构成岩体的主体，约占岩体体积的2/3，分布于岩体西侧及深部。主要为中—粗粒单辉橄榄岩，有时出现辉橄岩、二辉橄榄岩及斜长橄榄岩。岩石主要由贵橄榄石（Fo 83～84）、普通辉石组成，其次为古铜辉石、角闪石、黑云母及拉长石。副矿物以含铬尖晶石为特征，尚有钛铁矿、钛磁铁矿及磁铁矿。

橄榄辉石岩带：为单辉橄榄岩带与辉石岩带的过渡岩带，厚度5 m左右。

辉石岩带：厚110 m，以细粒结构为特点。岩石主要由普通辉石组成。含少量橄榄石和古铜辉石，原生闪石、斜长石和黑云母含量少。副矿物为钛铁矿、钛磁铁矿等。普通辉石强烈阳起石化。

辉长岩带：分为暗色和中色辉长岩带。暗色辉长岩带厚20 m，中－粗粒结构，主要矿物为普通辉石和斜长石，次有角闪石和黑云母，副矿物有钛铁矿、磷灰石、磁铁矿和黄铁矿，斜长石常具有带

基金项目：国家自然科学基金资助项目（40572054，40274027，40573020）

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

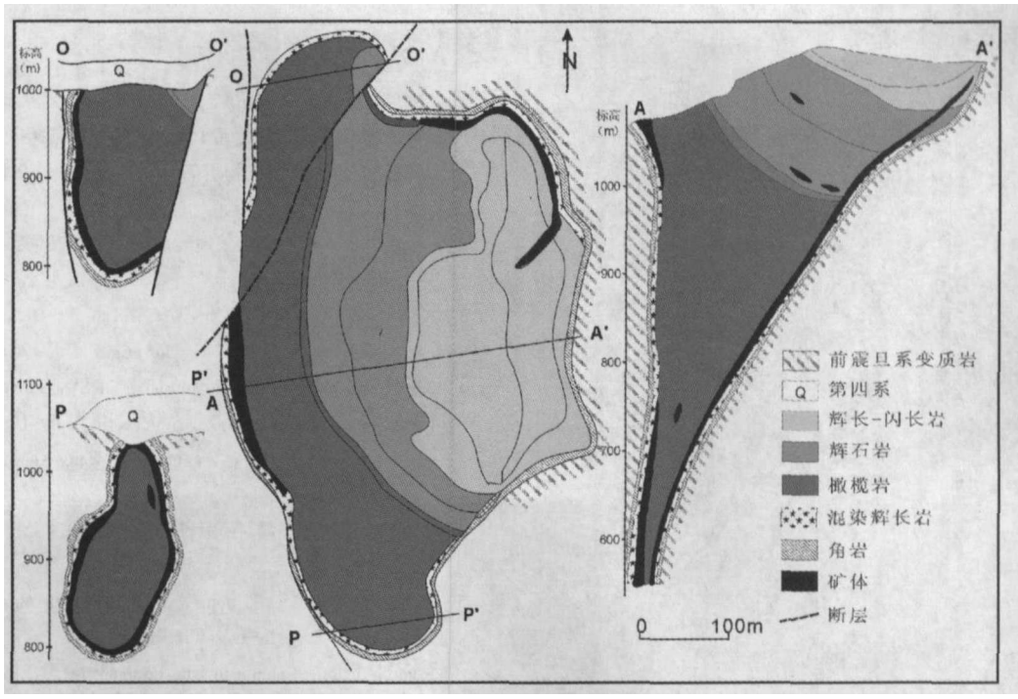

图 1　朱布基性-超基性岩体地质图（根据文献［4］，矿体厚度经过放大）

状构造，为钠长石和更长石。中色辉长岩带厚 40 m，分布于岩体中段顶部，岩性与暗色辉长岩相同，但斜长石增加，并含少量石英，斜长石为中长石，常具带状构造，岩石近于闪长结构[4]。

2.2　镁铁-超镁铁岩岩石化学特征

朱布橄榄岩的全岩烧失量很高，这表明橄榄岩成岩后经历了很强的水热改造，这与金川橄榄岩和含辉橄榄岩相似（烧失量 >10%）[7]。朱布超镁铁岩均富 MgO（28% ~33%），贫 K_2O 和 Na_2O，在富镁且单斜辉石含量少的样品中这些氧化物含量非常低。由于强烈蚀变的原因，主量元素与 MgO（或者 $Mg^{\#}$）相关关系不是很好。但大体上 TiO_2、Al_2O_3、Na_2O 与 MgO 表现为负相关关系，表明朱布超镁铁岩带为堆晶形成。Cr_2O_3 与 MgO 的正相关表明橄榄石与铬尖晶石是共结相，铬尖晶石表现为自形晶也说明了此点。SiO_2 和 FeO 与 MgO 只有弱的负相关关系，岩浆结晶铬尖晶石、磁铁矿等含铁矿物在橄榄石粒间的不均一性分布影响了 Fe-Mg 的相关性，橄榄石的蛇纹石化影响了 Si-Mg 相关性。K_2O 和 CaO 与 MgO 没有表现出相关性，表明这两种元素受后期热液改造强烈。

2.3　镁铁-超镁铁岩微量元素和铂族元素地球化学特征

朱布岩体的围岩云英片麻岩显示强亏损 Sr、Eu 和强富集 U、Th 特征。朱布岩体的岩石（橄榄岩、辉石岩和辉长岩）、矿体（上悬矿体和边缘矿体）与围岩有相同的微量元素特征，表明岩体在整体上都受到围岩的强烈混染。而混染辉长岩和岩体附近的细晶基性岩脉的这种特征却不明显，因此岩体边缘的边缘岩相带是围岩混染的这个结论，还值得推敲，需要其他机制解释[3]。岩体附近的细晶基性岩脉（或者岩墙）分异不明显，结构上表现为微晶－细晶结构。部分被岩体切割的基性岩墙代表早于岩体侵位并快速冷却固化的；而切割岩体的代表岩体晚期发育的，其中一些岩墙代表岩体结晶分异晚期从岩体内部分异出来的，也有直接从深部来的。这些穿插特征表明这些岩墙与岩体同一时代。一些岩墙本身高 MgO 或 $Mg^{\#}$（$Mg^{\#}=79$）特征，可以认为它们代表朱布岩体的母岩浆，其地球化学特征与峨眉山的高钛玄武岩相同[8]。

朱布岩体的贵贱金属比值及 Pt/Pd 值与原始地幔接近，Cu-Ni 与 PGE 相对原始地幔没有显著分异。这与力马河和金宝山有明显区别，与杨柳坪相似[1]，与峨眉山玄武岩的铂族元素配分模式也相同[9]。

3　成岩过程讨论

根据岩体大小和矿床储量（中型铂钯矿床）[2]的简单质量平衡计算，并且假设岩体母岩浆的 Pt＋Pd 的初始含量为 20×10^{-9}，矿床的形成需要至少 3000 倍现存岩体体积的岩浆参与成矿（如果矿

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

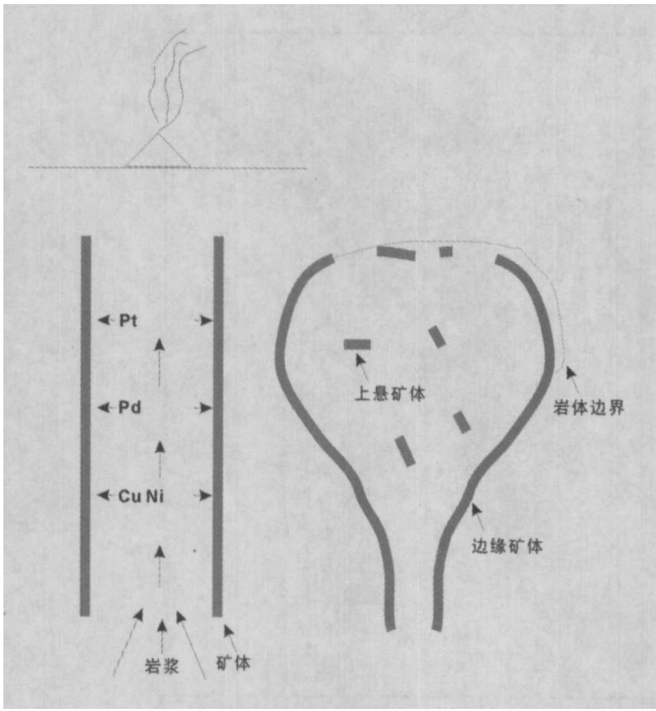

图2 朱布岩体成岩成矿模式示意图

床是由现存岩体体积的岩浆形成，则需要母岩浆的初始 Pt+Pd 的初始含量为 60×10^{-6}，这显然不符合实际)，因此朱布岩体很可能是峨眉山玄武岩的输送通道。下面我们提出模式，并加以讨论。

朱布岩体成岩成矿模式见图2。朱布岩体现在的位置应该是峨眉山玄武岩的输送通道，玄武岩通过通道时，由于 Soret 效应的作用，通道壁的岩浆到达硫饱和[3,10]，吸收通道内经过的岩浆中的铂族元素和 Cu、Ni，形成矿体。由于某种原因，通道封闭，随后进入的岩浆使得原来的通道壁膨胀扩大，大部分的通道壁变成边缘矿体。部分的边缘矿体在岩体的内部，比如岩体东部的边缘矿体（见图1)。部分顶部的通道壁矿体破碎，并且由于密度大的原因沉降到未完全固化的岩体内部，形成上悬矿体，因此上悬矿体与边缘矿体的地球化学特征相同。

参考文献：

[1] 陶琰，胡瑞忠，王兴阵，朱丹，宋谢炎，冯家毅. 峨眉山大火成岩省 Cu-Ni-PGE 成矿作用——几个典型矿床岩石地球化学特征的分析[J]. 矿物岩石地球化学通报，2006，25：236－244.

[2] 云南省地质矿产局第三地质队. 云南元谋朱布铂矿储量报告书[R]. 1970.

[3] Dan Z, Luo T Y, Xu Y G, Tao Y, Huang Z L. Soret fractionation—a novel process for origin of the PGE mineralization in Zhubu mafic-ultramafic intrusion in SW China[C]// Recent Advances in Magmatic Ore Systems in Mafic-Ultramafic Rocks, IGCP Project 479 Field Conferences, Hong-Kong, China, 2004: 64－66.

[4] 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志[M]. 北京：地质出版社，1990.

[5] Zhou M F, Malpas J, Song X Y. SHRIMP zircon geochronology of the Emeish Large Igneous Province(SW China): implications for double mass extinction in Late Permian[C]// Elenenth Annual V M Goldschmidt Conference, Hot Springs, Virginia, USA, 2001.

[6] He B, Xu Y G, Huang X L, Luo Z Y, Shi Y-R, Yang Q J, Yu S Y. Age and duration of the Emeishan flood volcanism, SW China: geochemistry and SHRIMP zircon U-Pb dating of silicic ignimbrites, post-volcanic Xuanwei Formation and clay tuff at the Chaotian section[J]. Earth and Planetary Science Letters, in Press.

[7] Chai G, Naldrett A J. The Jinchuan ultramafic intrusion-cumulate of a high-Mg basaltic magma[J]. Journal of Petrology, 1992, 33: 277－303.

[8] Xu Y G, Chung S L, Jahn B M, Wu G Y. Petrologic and geochemical constraints on the petrogenesis of Permian-Triassic Emeishan flood basalts in southwestern China[J]. Lithos, 2001, 58: 145－168.

[9] Zhong H, Zhu W G, Qi L, Zhou M F, Song X Y, Zhang Y. Platinum-group element (PGE) geochemistry of the Emeishan basalts in the Pan-Xi area, SW China[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51: 845－854.

[10] 朱丹，高振敏，罗泰义，徐义刚，陶琰，黄智龙. Soret 效应在基性-超基性岩浆成岩和成矿过程中作用的研究进展[J]. 矿物学报，2007(待刊).

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net