

浙江青田石平川钾长花岗岩特征 及其成因探讨*

叶泽富^{1,2}, 鄢云飞¹, 张彦杰³, 万方²

(1 中国地质大学资源学院, 武汉 430074)

(2 浙江省地质勘查局第十一地质大队, 温州 325006)

(3 南京地质矿产研究所, 南京 210016)

摘要:青田县石平川钼矿床是浙江省现已发现的规模最大的钼矿床, 多数认为石平川钼矿床的形成与钾长花岗岩有密切关系。本文主要从岩相学、岩石地球化学、LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年代学等方面研究石平川钾长花岗岩, 并探讨其成岩环境及成因。研究表明, 石平川岩体属于高钾钙碱性、弱过铝质 S 型花岗岩, 其形成于早白垩世晚期挤压环境, 源岩物质主要是壳源, 并有少部分幔源物质成分参与。

关键词:石平川钾长花岗岩; 钼矿床; 地球化学; U-Pb 锆石年龄; S 型花岗岩

中图分类号: P618.6

文献标识码: A

前言

青田县石平川地区是浙江省最大的钼矿开采基地, 钼业是青田县的支柱产业之一。上世纪 70~90 年代, 省内多家地勘单位对该地区钼矿进行过系统的地质勘查, 近 10 年来, 浙江省第十一地质大队在石平川钼矿区外围开展了大规模的普、详查地质找矿, 矿床规模有望达到中一大型。2006~2008 年, 浙江省第十一地质大队与中国地质大学(武汉)合作完成了“浙江省青田县石平川地区钼多金属成矿地质条件研究及成矿预测”科研项目, 进一步明确了该地区后续地质找矿的方向。目前, 多数认为石平川钼矿床的形成与钾长花岗岩岩体在时空上有密切关系, 但以往工作对钾长花岗岩未做专门研究, 而 2006~2008 年的科研项目对此做了较系统的研究, 本文主旨是反映此次科研工作的相关成果。

1 石平川钾长花岗斑岩地质特征

1.1 岩体与钼成矿的关系

石平川钼矿床为热液大脉型石英-辉钼矿矿床。区内矿体众多, 已发现大、小矿脉(或矿

* 收稿日期: 2009-10-14

第一作者简介: 叶泽富(1973~)男, 地质高级工程师, 主要从事矿产地质勘查及技术管理工作。

化带)60余条,规模大小相差悬殊。出露的主要矿脉有1、2、3、5、9、13、14、19、25、30、48号等,主要隐伏矿体有85、86、87、110、126号等。其中又以25、5、85、69、3号矿脉规模较大,它们走向延长多在500 m以上,沿倾向延伸也达100 m以上,矿体厚可达2 m以上。矿脉均产于钾长花岗岩体与西山头组第二岩性段凝灰岩的内、外接触带中,距岩体与围岩的接触界面约400 m以内的范围^[1-5]。

矿体形态主要可分为两类,一类是倾角为15~30°的缓倾角似层状矿脉,属于此类的矿脉主要有25、5、85、48号等矿体,多分布在岩体的西、南西侧,矿脉在走向或倾向上具明显的波状起伏,在矿体中央往往形成厚大的透镜体;另一类是倾角为40°以上的陡倾角矿脉,如3、30号等矿脉带,多分布在岩体的北东侧,呈雁列状平行排列,尖灭、再现和分枝、复合现象明显。

矿体组合形式上多呈似层状平行产出或斜列式叠瓦状展布,其产状及变化与岩体顶面产状及其变化基本一致。如25号矿体的东块段其产状倾向南东,西矿段倾向南西,与岩体的顶面产状相吻合。而岩体北东侧的矿体一般较陡,且总体倾向北东,也与岩体在北东向的产状较陡相吻合。

1.2 钾长花岗斑岩岩相学特征

石平川岩体位于矿区中部,略呈轴向北东的椭圆形。长轴长约1 600 m,短轴长约1 000 m,出露面积约1.5 km²。围岩为西山头组(J_3x)之晶屑凝灰岩。钻孔资料显示:其产状自中心向四周倾伏,岩体顶面产状在西部和南部较缓,倾角约20~30°;东部和北部较陡,倾角约40~60°。区内所有矿体即产于钾长花岗岩体与西山头组围岩的内、外接触带中,且矿体产状与岩体顶面形态基本一致。

岩石呈浅肉红色,似斑状结构,块状构造。似斑晶主要为条纹长石,粒径1~5 mm,含量达30%,基质为中细粒花岗结构,粒径0.05~0.2 mm,主要矿物组成为石英(30%±)、条纹长石(25%±)、斜长石(14%±)、黑云母(1%±),副矿物包括锆石、磷灰石、磁铁矿和钛铁矿等。矿体附近岩石多发生黄铁绢英岩化和高岭土化等。

2 钾长花岗岩岩石地球化学特征

钾长花岗岩 $SiO_2 = (74.79 \sim 77.79)\%$ (平均值 76.01%), $Al_2O_3 = (12.11 \sim 13.49)\%$, $MgO = (0.08 \sim 0.27)\%$, $CaO = (0.20 \sim 0.94)\%$, $K_2O = (4.42 \sim 7.97)\%$, $K_2O + Na_2O = (8.20 \sim 9.93)\%$, $K_2O/Na_2O = 1.12 \sim 1.29$ 。里特曼指数 $\sigma = 1.93 \sim 3.10$,属高钾钙碱性花岗岩(图1)。CIPW 标准矿物计算表明,钾长花岗岩仅个别出现刚玉分子, $A/CNK (Al_2O_3/CaO + Na_2O + K_2O) (mol) = 1.01 \sim 1.10$,为弱过铝质花岗岩。

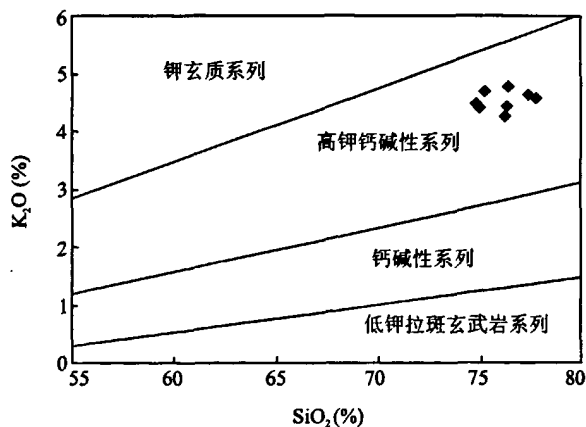


图1 石平川钾长花岗岩的 SiO_2 - K_2O 图解

Fig. 1 SiO_2 - K_2O diagram of Shipingchuan potash-feldspar granite

在主要元素中,随着 SiO_2 的升高, K_2O 、 Na_2O 增加, Al_2O_3 、 P_2O_5 、 MnO 、 TFe 、 MgO 、 TiO_2 降低,呈现典型的结晶分异演化趋势。

在微量元素特征方面,石平川钾长花岗岩具有富集部分大离子亲石元素(LILE,如Rb,Th,U,K等)的特点,在相对原始地幔标准化蛛网图上(图2),表现出显著的Rb、Th、U、Pb正异常和Ba、Nb、Ti负异常,反映岩浆源区可能主要由地壳物质组成^[6]。微量元素对Nb/U值为3.86~6.84,接近陆壳值,且远小于球粒陨石和原始地幔值^[6,7];Nb/Pb值为0.55~1.52,略小于大陆地壳值,显示成岩物质主要来源于地壳,幔源物质成分参与较少。

钾长花岗岩稀土元素总量 ΣREE 为89.44~164.02 $\mu\text{g/g}$,LREE/HREE平均为9.23(变化于6.48~12.69)。球粒陨石标准化稀土元素模式(图3)具陡的右倾斜配分特点,显示轻稀土富集重稀土亏损,且具有明显的负Eu异常($\text{Eu}/\text{Eu}^*=0.33\sim0.50$)。另外,L_a/Sm与La正相关性明显(图4),说明岩浆过程主要受部分熔融控制。

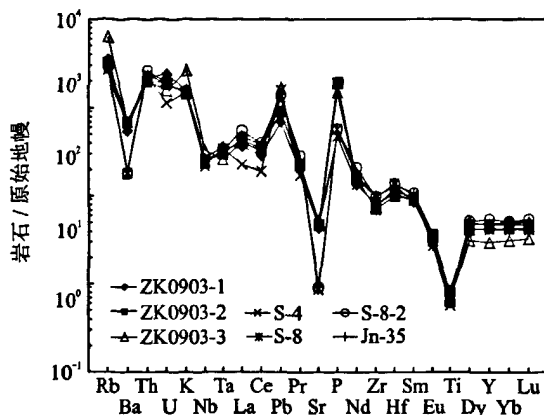


图2 钾长花岗岩的微量元素原始地幔标准化蛛网图解

Fig. 2 Primary mantle-normalized trace elements spidergram for the potash-feldspar granite

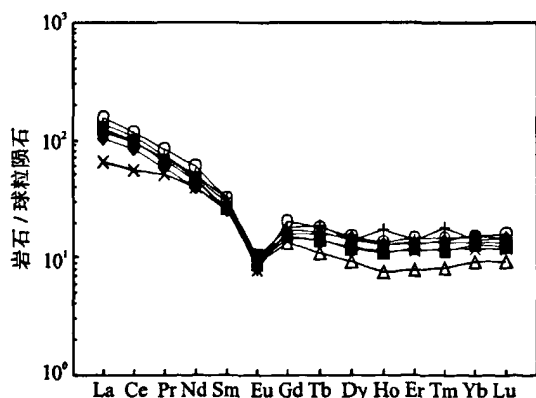


图3 钾长花岗岩稀土元素球粒陨石标准化配分图

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns of the potash-feldspar granite

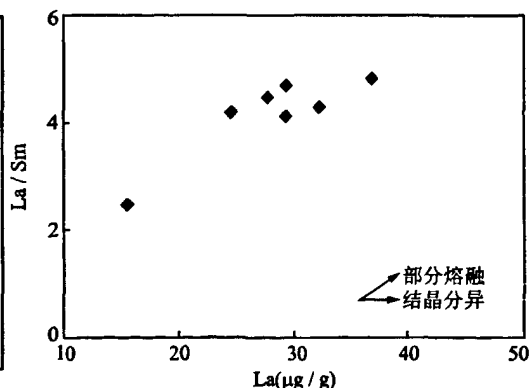


图4 钾长花岗岩La/Sm—La图解

Fig. 4 (c) La/Sm—La diagram of the potash-feldspar granite

3 钾长花岗岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年代学

石平川钾长花岗岩中的锆石为浅黄色,颗粒晶形发育良好,为长柱状或短柱状,阴极发光图像显示明显的振荡韵律环带(图5),且Th/U为1.10~2.73,为典型的岩浆成因锆石。选择韵律环带明显的岩浆锆石,进行了17个点的定年分析,大部分数据点都位于谐和线上或稍偏谐和线(图6),仅个别点(SPC-17)以直线形式位于谐和线的右边,表现为 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 比值较大,这可能主要与 ^{207}Pb 难以测准有关,并不影响 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 比值,表明这些颗粒形成后

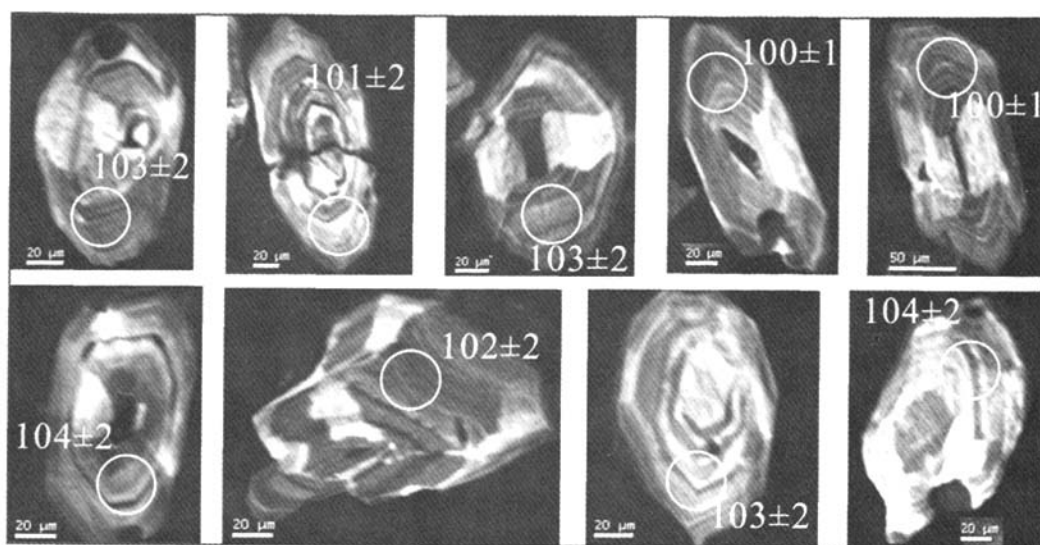


图5 钾长花岗岩锆石阴极发光图

Fig. 5 Cathode luminescence pictures of zircons from the potash-feldspar granite

U-Pb 同位素体系是封闭的,基本没有U 或Pb 同位素的丢失或加入。17 颗锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化于 $99\text{ Ma} \pm 2\text{ Ma} \sim 108\text{ Ma} \pm 2\text{ Ma}$ 之间, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $(102.7 \pm 1.2)\text{ Ma}$ ($\text{MSDW}=2.4$), 该年龄基本代表了钾长花岗岩岩浆的结晶年龄,表明岩体属于早白垩世晚期岩浆活动的产物。

本次研究采集的钾长花岗岩样品来自岩体中部和矿区南部 ZK0903 号钻孔 490~510 m 孔深处(测年所用样品为钻孔不同孔深钾长花岗岩的混合样)。用于锆石 U-Pb 年代学测定的样品,在廊坊区域

地质矿产调查研究所实验室对锆石进行了分选,锆石 U-Pb 年龄在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室利用 LA-ICPMS 方法测定。

4 钾长花岗岩成岩环境及成因探讨

石平川钾长花岗岩属于高钾钙碱性、弱过铝质花岗岩,其主量元素含量变化呈现典型的结晶分异演化趋势;在微量元素方面,表现出显著的 Rb、Th、U、Pb 正异常和 Ba、Nb、Ti 负异常,反映岩浆源区可能主要由地壳物质组成,微量元素对 Nb/U 值接近陆壳值,且远小于球

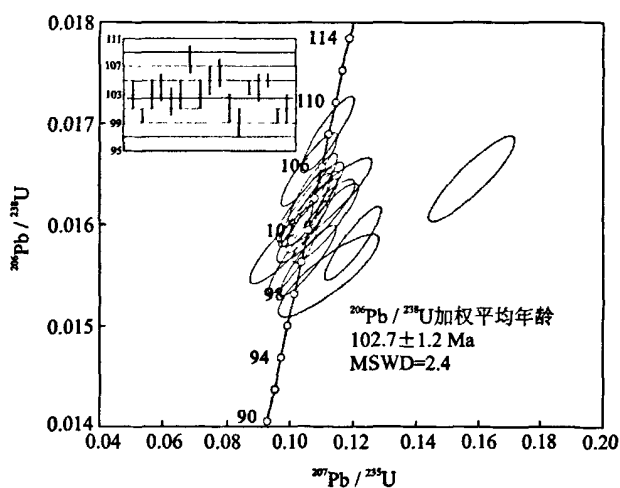


图6 钾长花岗岩锆石 U-Pb 谱和图

Fig. 6 Zircons U-Pb ages concordia diagram for the potash-feldspar granite

粒陨石和原始地幔值, Nb/Pb 值略小于大陆地壳值, 显示成岩物质主要来源于地壳, 幔源物质成分参与较少; 稀土元素 La/Sm_N 与 La 正相关性明显, 说明岩浆过程主要受部分熔融控制。除个别点外, 其余样品投影点在 ACF 图(图7)上都位于黑云母-斜长石-堇青石区, 可类比如 S 型花岗岩^[8]。

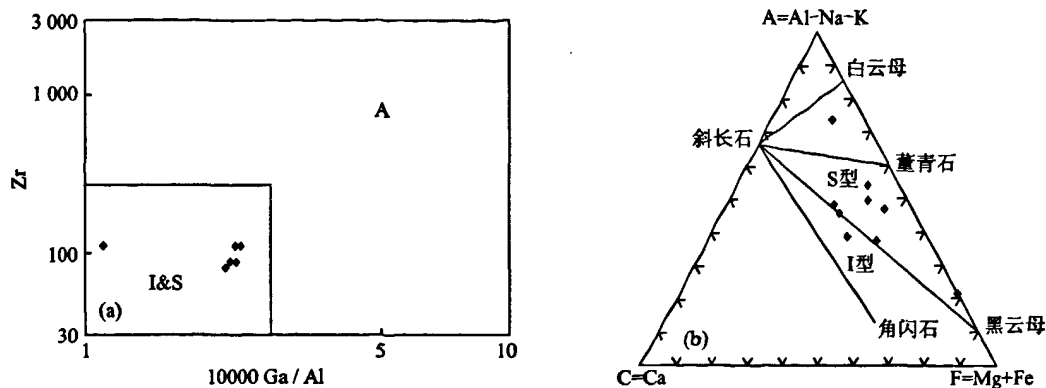


图7 钾长花岗岩的 $10000Ga/Al$ -Zr 成因图解(a)及 ACF 成因图解(b)

Fig. 7 Zr versus $10000Ga/Al$ diagram(a) and ACF diagram(b) of genesis tracking for the potash-feldspar granite

印支运动使浙江大地的两大构造单元拼合为一体, 从此进入活动陆缘发展阶段。在晚侏罗纪时期, 太平洋板块向亚洲大陆俯冲, 浙江大地总体处于挤压应力环境中, 但沿北东向为主的构造带形成断陷盆地, 堆积了陆相火山-沉积岩系(包括石平川矿区出露的西山头组), 形成高硅、富碱的钙碱性火山岩系列, 并伴随形成以中酸性-酸性花岗岩类组合为特色的侵入岩系列。早白垩纪时期, 浙江大地总体仍在挤压应力体制下, 但局部应力反弹释放, 沿北东、北北东向断裂带形成断陷盆地, 形成以河湖相为主的陆屑建造和少量的钙碱性系列的中酸性-酸性火山岩堆积, 并成为浙东南地区(青田、温州等地)重要的岩浆侵入活动期, 主要发育辉长岩-石英闪长岩-石英二长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩-碱长花岗岩组合^[9]。根据 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 测龄结果, 石平川钾长花岗岩形成于早白垩世晚期。因此, 石平川岩体可能是由于板块强烈挤压作用导致地壳增厚、深部物质部分熔融而形成, 其源岩物质主要来自于壳源, 并有少部分幔源物质成分参与。

致谢: 本文是在“浙江省青田县石平川地区钼多金属成矿地质条件研究及成矿预测”科研项目成果的基础上编写而成的, 对中国地质大学(武汉)魏俊浩教授的大力帮助和指导, 以及对鄢云飞等同志为科研项目所付出艰辛劳作, 在此表示衷心感谢。

参考文献

- [1] 浙江省丽水地质大队. 浙江省青田县石平川钼矿区普查-勘探地质报告[R]. 1982:34-71.
- [2] 浙江省第十一地质大队. 浙江省青田县石平川-永嘉县石染地区钼多金属矿资源调查评价报[R]. 2004:27-32.
- [3] 浙江省第十一地质大队. 浙江省青田县石平川钼矿区老虎坑块段普查地质报告[R]. 2005:13-18.
- [4] 浙江省第十一地质大队. 浙江省青田县石平川钼矿区坦铺块段普查地质报告[R]. 2005:20-31.

- [5] 浙江省第十一地质大队. 浙江省青田县石平川钼矿区十五石块段普查地质报告[R]. 2005:13-18.
- [6] Hofmann A W. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism [J]. *Nature*, 1997, 385 (16):219-229.
- [7] Hofmann A W. Sampling mantle heterogeneity through oceanic basalts: isotopes and trace elements [J]. In: Holland H D, Turekian K K (ed.). *Treatise on geochemistry*. Amsterdam, Elsevier. 2003, 2:69-97
- [8] 徐克勤, 涂光炽. 花岗岩地质与成矿关系[M]. 南京:江苏科学技术出版社, 1984:1-20.
- [9] 朱安庆, 张永山, 陆祖达, 等. 浙江省金属非金属矿床成矿系列和成矿区带研究[R]. 杭州:浙江省国土资源厅, 2002:43-46.

Characteristics and genesis of Shipingchuan potash-feldspar granite in Qintian county, Zhejiang Province

YE Ze-fu^{1,2}, YAN Yun-fei¹, ZHANG Yan-jie³, WAN Fang²

(1. *Resources Institute of China University of Geosciences, Wuhan, 430074, China*)

(2. *The 11th. Geological Team of Zhejiang Province, Wenzhou, 325006, China*)

(3. *Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing, 210016, China*)

Abstract

Shipingchuan Mo-deposit in Qintian county is a biggest molybdenum deposit in Zhejiang province at present, and most of researchers consider that the genesis of this deposit is closely related to the K-feldspar granite. This paper studies petrography, petrogeochemistry, LA-ICPM zircon U-Pb geochronology of the K-feldspar granite to approach its diagenetic environment and genesis. The study shows that the Shipingchuan K-feldspar granite belongs to high potassium calc-alkaline, weakly peraluminous S-type granite, which was formed in compressional environment in the late of Early Cretaceous. The original materials of the granite mainly came from the crust and some mantle-derived materials were involved.

Key words: Shipingchuan potash-feldspar granite; molybdenum deposit; petrogeochemistry; U-Pb zircon ages; S-type granite