

文章编号: 1004—5589 (2025) 04—0551—20

白进忠, 王洪智, 孙学娟. 句容西银坑地区岩浆岩年代学、地球化学特征及地质意义 [J]. 世界地质, 2025, 44 (4): 551–570. DOI: 10.3969/j.issn.1004-5589.2025.04.003.

BAI J Z, WANG H Z, SUN X J. Geochronology, geochemistry and geological significance of Xiyinkeng magmatic rocks in Jurong City [J]. World Geology, 2025, 44 (4): 551–570. DOI: 10.3969/j.issn.1004-5589.2025.04.003.

句容西银坑地区岩浆岩年代学、地球化学特征及地质意义

白进忠^{1,2}, 王洪智², 孙学娟²

1. 江苏省矿产地质调查大队, 南京 210012;

2. 江苏省地质局, 南京 210007

摘要: 江苏句容西银坑地区出露的岩浆岩属安基山杂岩体, 岩石类型以花岗闪长斑岩为主, 其遭受少量石英闪长玢岩脉、闪长玢岩脉及辉绿玢岩脉等中-基性岩脉穿插。为了确定其成岩时代和地球动力学背景, 本文对西银坑岩浆岩开展了岩相学、U-Pb 锆石年代学、地球化学特征研究。锆石 U-Pb 测年结果显示, 花岗闪长斑岩成岩年龄为 (104.45 ± 0.29) Ma, 石英闪长玢岩为 (104.66 ± 0.52) Ma, 辉绿玢岩 (101.37 ± 0.34) Ma, 形成时代均为早白垩世。地球化学数据显示, 西银坑地区岩浆岩具有高钾 [$w(K_2O)$ 为 1.96% ~ 4.05%]、高碱 [$w(Na_2O)$ 为 2.29% ~ 4.68%] 特征, A/NK 值介于 1.38 ~ 2.15 之间, A/CNK 值介于 0.62 ~ 0.96 之间, 里特曼指数为 1.76 ~ 2.59, 为准铝质钙碱性系列 I 型花岗岩; 辉绿玢岩的稀土元素富集 ($\Sigma REE = 144.61 \times 10^{-6} \sim 182.84 \times 10^{-6}$, 平均为 163.73×10^{-6}), 轻重稀土元素比值 (LREE/HREE) 介于 10.81 ~ 12.76, $(La/Yb)_N$ 和 $(Gd/Yb)_N$ 分别为 13.60 ~ 17.62 和 2.16 ~ 2.33; 花岗闪长斑岩、石英闪长玢岩及闪长玢岩的稀土元素质量分数相比辉绿玢岩较低 ($\Sigma REE = 94.43 \times 10^{-6} \sim 143.47 \times 10^{-6}$, 平均为 118.79×10^{-6}), 轻重稀土元素比值 (LREE/HREE) 介于 14.43 ~ 24.48, $(La/Yb)_N$ 和 $(Gd/Yb)_N$ 分别为 22.16 ~ 43.70 和 2.57 ~ 2.87。大离子亲石元素 (Rb、La) 相对富集, 高场强元素 (Nb、Ti、Ta) 相对亏损, 具有明显的岛弧岩浆岩特征; Nb/Ta 比值为 11.57 ~ 24.68, 与大陆地壳接近, 指示有壳源物质大量参与。结合前人的研究成果, 认为西银坑地区岩浆岩形成于太平洋板块俯冲后撤的弧后拉伸环境, 是下地壳物质与地幔物质相互作用的产物, 属壳幔型花岗岩。

关键词: 岩浆岩; 地球化学; 年代学; U-Pb 锆石; 西银坑; 江苏省

中图分类号: P595; P597 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1004-5589.2025.04.003

Geochronology, geochemistry and geological significance of Xiyinkeng magmatic rocks in Jurong City

BAI Jinzhong^{1,2}, WANG Hongzhi², SUN Xuejuan²

1. Jiangsu Mineral Geological Survey Team, Nanjing 210012, China;

2. Jiangsu Geological Bureau, Nanjing 210007, China

收稿日期/Received: 2024-11-04; 修订日期/Revised: 2025-08-07; 出版日期/Published: 2025-11-25

基金项目: 江苏省地质勘查基金项目 (苏财建 [2015] 436 号)

第一作者: 白进忠 (1984—), 男, 高级工程师, 主要从事地质矿产勘查与研究工作。2323279875@qq.com

© Editorial Office of World Geology. This is an open access article under the CC BY-NC-ND 4.0 license.

Abstract: The magmatic rocks exposed in Xiyinkeng area (Jurong City, Jiangsu Province) belong to the Anjishan complex. The rock type is mainly granodiorite porphyry, which is intruded by a small amount of intermediate-basic dykes such as quartz diorite porphyrite, diorite porphyrite, and diabase porphyrite. To determine the timing of magmatism (crystallization/emplacement age) and geodynamic background, this paper conducted petrographic, zircon U-Pb chronology, and geochemical characteristics research on Xiyinkeng magmatic rocks. Zircon U-Pb dating indicated that granodiorite porphyry crystallized at (104.45 ± 0.29) Ma, followed by the emplacement of quartz diorite porphyrite at (104.66 ± 0.52) Ma, and subsequently diabase porphyrite intrusion at (101.37 ± 0.34) Ma, all occurring during the Early Cretaceous. Geochemical data show that the magmatic rocks in Xiyinkeng area are characterized by high potassium [$w(K_2O)$ 1.96%–4.05%] and high alkalinity [$w(Na_2O)$ 2.29%–4.68%], with A/NK values ranging from 1.38–2.15, A/CNK values ranging from 0.62–0.96, and Littmann indexes ranging from 1.76–2.59, indicating that they are metaluminous calc-alkaline series I-type granites. The diabase porphyrite exhibits higher rare earth elements enrichment ($\Sigma REE = 144.61 \times 10^{-6} - 182.84 \times 10^{-6}$, avg. 163.73×10^{-6}), with LREE/HREE, $(La/Yb)_N$, and $(Gd/Yb)_N$ ratios of 10.81–12.76, 13.60–17.62, and 2.16–2.33, respectively. In contrast, the rare earth element contents of granodiorite porphyry, quartz diorite porphyrite and diorite porphyrite are lower than those of diabase porphyrite ($\Sigma REE = 94.43 \times 10^{-6} - 143.47 \times 10^{-6}$, avg. 118.79×10^{-6}). The light and heavy rare earth element ratios (LREE/HREE) range from 14.43–24.48, the $(La/Yb)_N$ and $(Gd/Yb)_N$ are 22.16–43.70 and 2.57–2.87 respectively. The rocks are relatively enriched in large ion lithophile elements (Rb and La) and relatively depleted in high field strength elements (Nb, Ti and Ta), showing obvious characteristics of island arc magmatic rock. The Nb/Ta ratio is 11.57–24.68, which is close to that of continental crust, indicating the presence of a large amount of crustal material. Combined with previous research results, it is believed that the magmatic rocks in the Xiyinkeng area was formed in a back-arc extensional environment during the subduction and retreat of the Pacific Plate. It is the product of interaction between the lower crust and mantle materials, classified as crust-mantle granite.

Keywords: magmatic rock; geochemistry; chronology; zircon U-Pb; Xiyinkeng; Jiangsu Province

0 引言

长江中下游地区是中国重要的 Cu、Fe、Au 成矿带^[1-3]。研究区所在的宁镇地区位于该成矿带的最东端,是江苏省重要的成矿区之一,也是中国开展同位素地质年代学研究较早的地区之一。作为中国东部中生代岩浆活动的典型代表,宁镇地区岩浆岩的时空分布、成因演化及其动力学背景研究,对于揭示东亚大陆边缘构造体制转换、岩石圈减薄过程及成矿作用响应具有重要的科学价值。

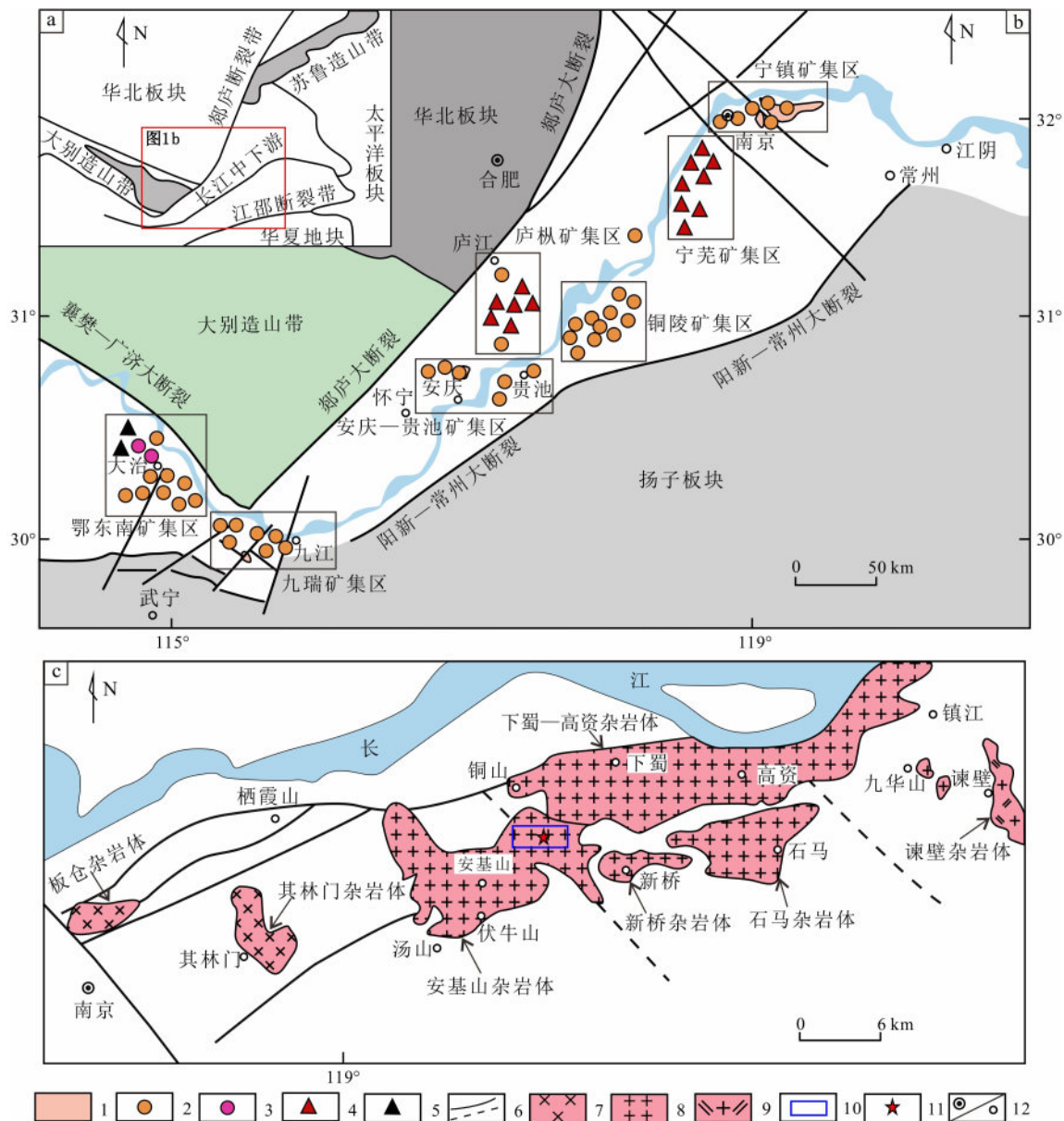
前人^[4-6]利用高精度同位素定年技术,对铜铁金成矿作用相关岩体^[7-9]和非含矿岩体^[10]进行了测年研究,获得一些高质量的测年数据,逐步构建了宁镇地区岩浆岩时空格架,但对区域内岩脉的研究

程度较为薄弱。学术界对长江中下游地区的成岩成矿^[11-13]、构造背景^[14-16]及区域动力学^[17-18]已有广泛探讨,然而,围绕不同期次岩浆活动的成岩规律、物质来源及其与区域构造演化的耦合机制,仍存在诸多争议。具体而言:早白垩世岩浆活动是否主要受控于古太平洋板块的俯冲角度变化?晚中生代岩浆侵位过程能否作为区域构造体制自挤压向伸展转换的可靠指示?为厘清上述问题,本研究选择句容西银坑地区出露的岩体与岩脉为研究对象,在系统野外地质调查基础上,综合开展岩相学、锆石 U-Pb 年代学及地球化学分析,并结合区域已有研究成果,系统地阐释宁镇地区岩浆岩的时空分布特征及其地球动力学背景,进而为深入理解区域成岩成矿机理和指导后续找矿勘探提供依据。

1 区域地质背景和岩体地质特征

宁镇地区位于长江中下游成矿带的东端 (图 1b), 出露地层较为齐全, 自寒武系到第四系广泛出露。地质构造复杂, 褶皱构造由一系列近东西向

“三背二向”复式褶皱组成。断裂构造主要由纵向断裂和共轭剪切断裂组成, 纵向断裂发育于复式背斜两翼, 是区内重要的控岩、控矿构造; 共轭剪切断裂有 NW、NNE 向两组, 其中 NNE 向断裂切穿基底, 为区内重要的导岩、储岩构造。



1. 晚侏罗世—早白垩世花岗岩; 2. 斑岩、矽卡岩和层控 Cu-Au-Mo 矿床; 3. 矽卡岩型 Cu-Fe 矿床; 4. 磁铁矿-磷灰石矿床; 5. 矽卡岩型铁矿床; 6. 断裂; 7. 中基性侵入岩体; 8. 中酸性侵入岩体; 9. 酸性侵入岩体; 10. 研究区位置; 11. 采样位置; 12. 地名。

据文献 [9] 修改。

图 1 中国中东部地区大地构造简图 (a), 长江中下游地区矿产分布图 (b) 和宁镇地区主要岩体分布图 (c)

Fig. 1 Tectonic sketch map of central eastern China (a), mineral distribution of middle-lower reaches of Yangtze River (b) and distribution of main bodies in Ningzhen district (c)

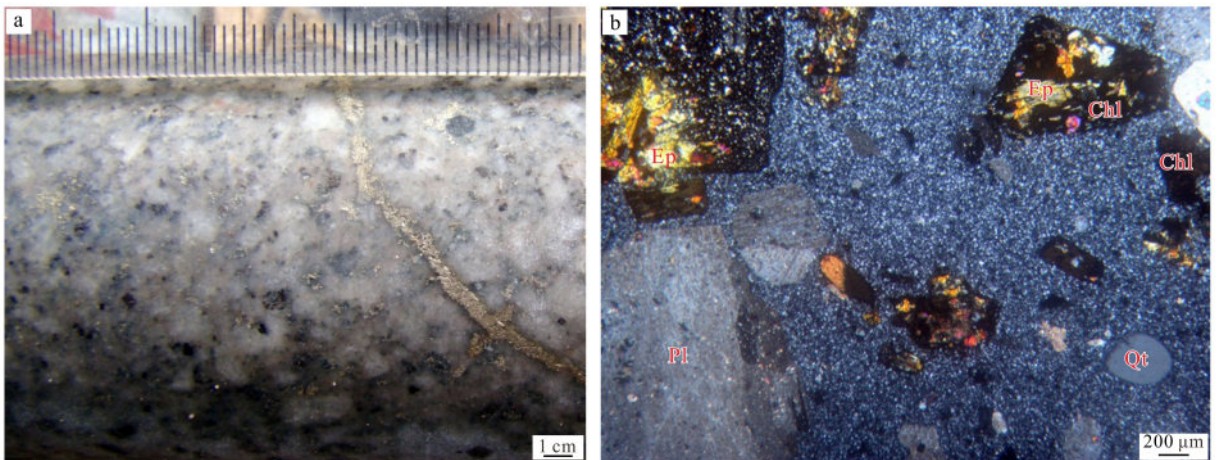
宁镇地区出露的岩浆岩基岩面积接近 650 km², 自西向东主要由 7 个杂岩体组成 (图 1c), 分别是板仓、麒麟门、安基山、下蜀—高资、新桥、石马和谏壁等杂岩体。侵入岩类型齐全, 涵盖有基性岩至酸性岩, 其中酸性岩约占 80%^[10]。岩浆活动活跃, 始于晚侏罗世, 结束于晚白垩世, 历时约 81 Ma (145 ~ 64 Ma)。岩浆活动持续而频繁, 呈阶段性特点, 具有多期次、多旋回的特征。

西银坑地区出露的岩浆岩属安基山杂岩体, 位于大华山—西银坑矿区, 总体呈北东东向展布, 东西长约 8 km, 南北宽 0.2 ~ 2.0 km, 南侧多为第四系覆盖, 北侧与泥盆系—三叠系呈不整合接触。该岩体的岩石类型以花岗闪长斑岩为主, 被少量石英闪长玢岩、闪长玢岩、辉绿玢岩等中基性岩脉侵入。岩脉整体规模较小, 一般出露长 100 ~ 500 m, 宽 20 ~ 50 m。

花岗闪长斑岩 (XT07) 采样位置位于研究区中部钻孔中 (32°07'35"N, 119°07'43"E), 新鲜岩石呈灰白—青灰色, 斑状—似斑状结构, 块状构造。斑晶主要为斜长石 (30% ~ 40%)、黑云母 (3% ~ 5%) 及少量石英 (1% ~ 3%)、角闪石 (2%), 一般不含钾长石 (图 2)。地表岩石风化呈土状。斜长石呈灰白色, 半自形—他形, 板柱状—粒状, 大小 0.5 ~ 2.0 mm。镜下观察斜长石常被溶蚀呈碎屑状, 环带构造明显, 成分属中长石, 被少量黏土矿物、绢云母、绿帘石交代, 大多呈聚

斑状, 分布较均匀。黑云母呈黑色, 自形, 呈假六边形柱状, 粒径 1.0 ~ 3.0 mm, 均不同程度被绿泥石、绿帘石交代, 分布较均匀。角闪石呈黑色, 粒状, 粒径 0.2 ~ 1.0 mm, 大多新鲜, 少数被绿泥石交代。石英呈无色透明, 他形粒状, 粒径 1.0 ~ 2.0 mm, 普遍被溶蚀呈浑圆状、不规则状、偶见长英质镶边。基质具显微晶质结构, 主要由小条状斜长石、他形粒状石英和钾长石构成。岩石副矿物中磷灰石含量较高, 平均为 271.5 g/t, 次为锆石; 次生矿物主要有绿泥石、绿帘石、黏土矿物、石英及碳酸盐矿物等。

石英闪长玢岩 (XT03) 采样位置位于研究区东部钻孔中 (32°07'25"N, 119°07'50"E), 新鲜岩石呈深灰—青灰色, 斑状结构, 块状构造。主要矿物成分为斜长石、角闪石、石英等。斑晶主要为斜长石 (15% ~ 30%)、角闪石 (5% ~ 10%)、黑云母 (5% ~ 10%) 和石英 (5% ~ 8%) (图 3)。斜长石呈板状, 粒径 1.0 ~ 3.0 mm, 少数被溶蚀, 呈碎屑状, 具环带构造, 被少量绿帘石、黏土矿物、绿泥石交代, 部分呈聚斑状。角闪石呈柱状—针状, 粒径 0.5 ~ 1.5 mm, 被少量绿泥石、绿帘石交代, 大多呈星散状, 少数呈聚斑状。石英呈他形粒状, 粒径 0.5 ~ 1.5 mm, 常遭熔蚀呈港湾状、浑圆状残留, 分布较均匀。基质体积分数约占 50%, 主要由小条状斜长石、角闪石、石英组成显微晶质结构, 斜长石呈杂乱分布, 石英分布其中。



Pl. 斜长石; Bt. 黑云母; Ep. 绿帘石; Chl. 绿泥石; Qtz. 石英。

图 2 花岗闪长斑岩手标本照片 (a) 和显微镜镜下照片 (b)

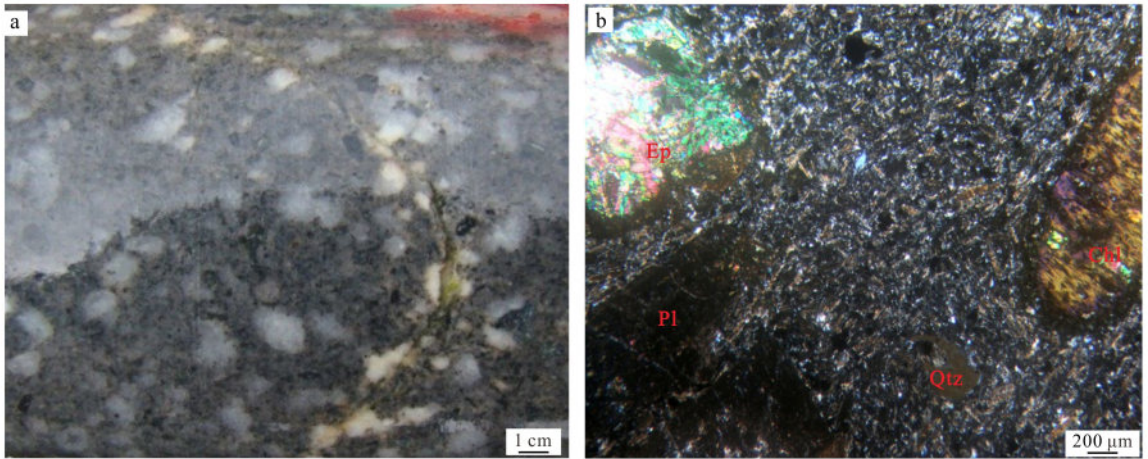
Fig. 2 Hand specimen photo (a) and microscope photograph (b) of granodiorite porphyry

闪长玢岩 (XT09) 采样位置位于研究区中部钻孔中 (32°07'35"N, 119°07'43"E), 产出形态与石英闪长玢岩相同, 均属脉岩。闪长玢岩斑晶由斜长石 (10% ~ 15%)、黑云母 (3% ~ 5%) 和石英 (1% ~ 3%) 组成, 与石英闪长玢岩相比, 闪长玢岩结晶程度较差, 斑晶总量较少, 一般小于 25%; 斑晶大小亦较小, 斜长石粒径一般小于 2 mm, 黑云母、石英粒径一般小于 1 mm; 石英体积分数小于 5% (图 4)。

辉绿玢岩 (XT01) 采样位置位于研究区东

北部钻孔中 (32°07'42"N, 119°08'13"E), 新鲜岩石呈灰黑色, 墨绿色, 斑状结构, 块状构造。斑晶主要为辉石 (15% ~ 20%)、橄榄石 (5% ~ 10%) 和斜长石 (5% ~ 8%) 组成。基质为辉绿结构, 由小条状斜长石、他形辉石、橄榄石以及少量不透明矿物组成 (图 5)。

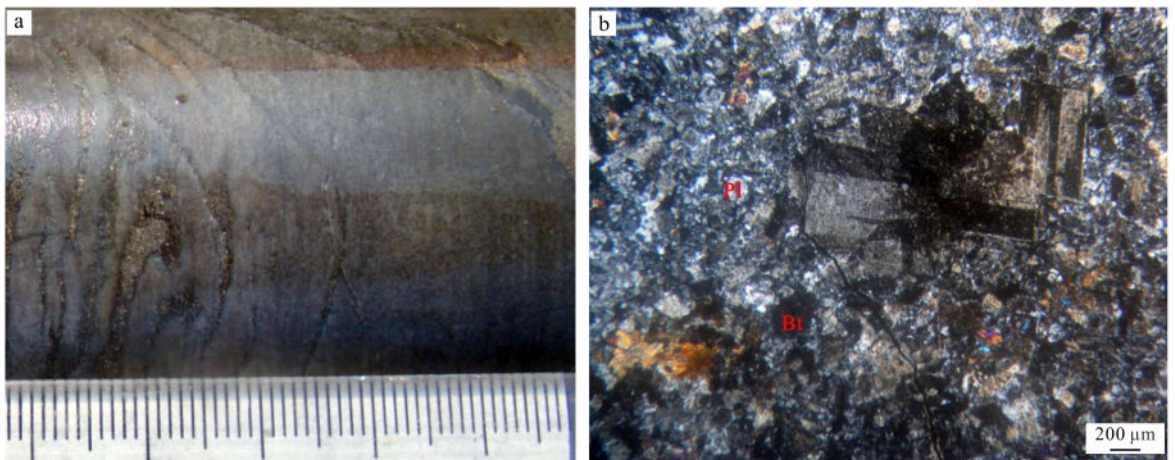
辉绿玢岩中多见气孔, 气孔呈不规则状, 大小不一, 可达 0.2 ~ 0.5 mm, 其体积分数约为 10%, 充填物主要为碳酸盐矿物或皂石及少量绿泥石, 次生矿物主要为碳酸盐矿物、绢云母、阳起石、皂



Pl. 斜长石; Ep. 绿帘石; Chl. 绿泥石; Qtz. 石英。

图 3 石英闪长玢岩手标本照片 (a) 和显微镜镜下照片 (b)

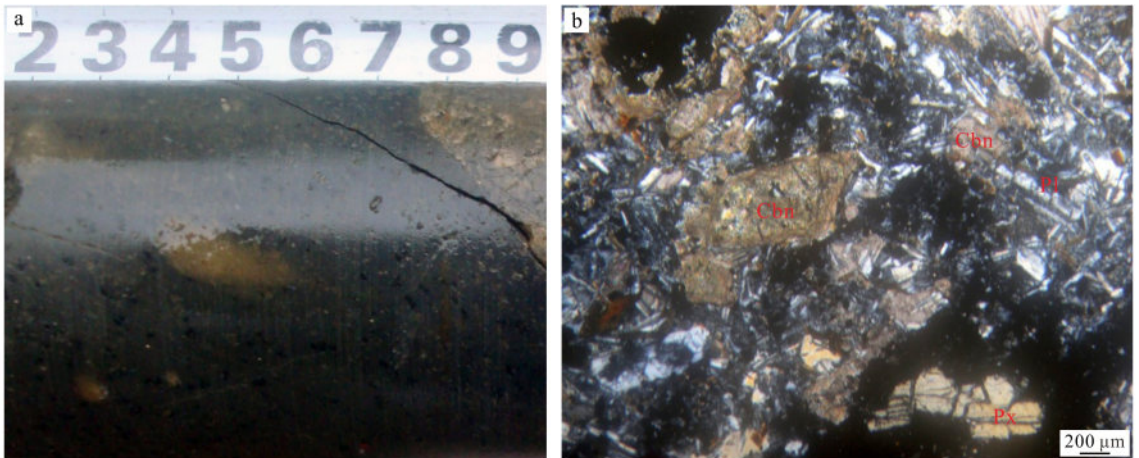
Fig. 3 Hand specimen photo (a) and microscope photograph (b) of quartz diorite porphyrite



Pl. 斜长石; Bt. 黑云母。

图 4 闪长玢岩手标本照片 (a) 和显微镜镜下照片 (b)

Fig. 4 Hand specimen photo (a) and microscope photograph (b) of diorite porphyrite



Pl. 斜长石; Bt. 黑云母; Cbn. 碳酸盐; Qz. 石英。

图 5 辉绿玢岩手标本照片 (a) 和显微镜下照片 (b)

Fig. 5 Hand specimen photo (a) and microscope photograph (b) of diabase porphyrite

石, 少量伊丁石、蛇纹石、绿泥石等。局部可见轻微黄铁矿化, 蚀变多以暗色矿物绿泥石化为主。

2 分析方法

本次野外采样共制备光片 49 件、岩石薄片 112 件; 用于稀土元素、全岩主量元素和微量元素分析的样品各 9 件, 每件样品重量约 2 kg; 用于锆石 U-Pb 定年的样品 8 件, 单件样品重量 1.5 ~ 2.2 kg。

锆石挑选工作由南京宏创地质勘查技术服务有限公司完成。采用常规方法将样品粉碎至 300 μm 左右, 经淘洗、重选富集, 再经磁选和密度分选后, 在双目镜下进一步挑选出晶型完好、透明度和色度较好的锆石颗粒。进行锆石 U-Pb 测年的样品用环氧树脂粘贴于样品靶上, 进行打磨和抛光, 使锆石露出新鲜截面。然后对锆石靶进行阴极发光 (CL)、透射光和反射光照相, 据此选择并标记锆石位置进行 U-Pb 测年。锆石测试选择晶型发育较好、环带较发育且粒度较大者, 打点位置选择锆石环带的外侧, 避开气泡等不利因素。

锆石 U-Pb 测年在中国地质科学院矿产资源研究所 MC-ICP-MS 实验室完成, 锆石定年分析使用 Finnigan Neptune 型 MC-ICP-MS 及与之配套的 New wave UP213 激光剥蚀系统。LA-ICP-MS 激光剥蚀采用单点剥蚀的方式, 数据分析前使用锆石 GJ-1 进行调试仪器, 使之达到最优状态。锆石 U-Pb 测年以

锆石 GJ-1 为外标, 数据处理采用 ICP-MS Data Cal 程序, 锆石年龄谱和图使用 Isoplot 程序绘制。

主微量、稀土元素的测试在浙江省地质矿产研究所完成。主量元素分析采用飞利浦 PW 2404 型 X-射线荧光光谱仪; 微量元素和稀土元素分析均采用高分辨电感耦合等离子质谱法。

3 分析结果

3.1 锆石 U-Pb 测年

3.1.1 花岗闪长斑岩

锆石多呈自形-半自形短柱状晶体, 无色透明, 径长 150 ~ 250 μm , 由 CL 图像 (图 6a) 可见, 其晶面晶棱较完好, 自形性好。从 CL 图像看其为环带清晰的岩浆锆石, 环带呈灰色-灰黑色 (高 Th, U)。通过对锆石的定年测试 (表 1), 获得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄范围为 108 ~ 102 Ma, 在 $(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U})-(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})$ 谐和图上 (图 7a), 所有测试点均投影在谐和线上或谐和线附近, 变化幅度较小, 表明被测锆石未遭受明显的后期热事件影响, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 (104.45 ± 0.29) Ma, 可代表岩体的结晶年龄。

3.1.2 黄铜矿化花岗闪长斑岩

锆石多呈自形-半自形长柱状晶体, 无色透明, 径长 150 ~ 300 μm , Th/U 比值范围为 0.61 ~ 1.22, 结合阴极发光 (CL) 图像显示清晰的震荡环带 (图 6b), 表明这些锆石具有显著的岩浆成因特征。通过

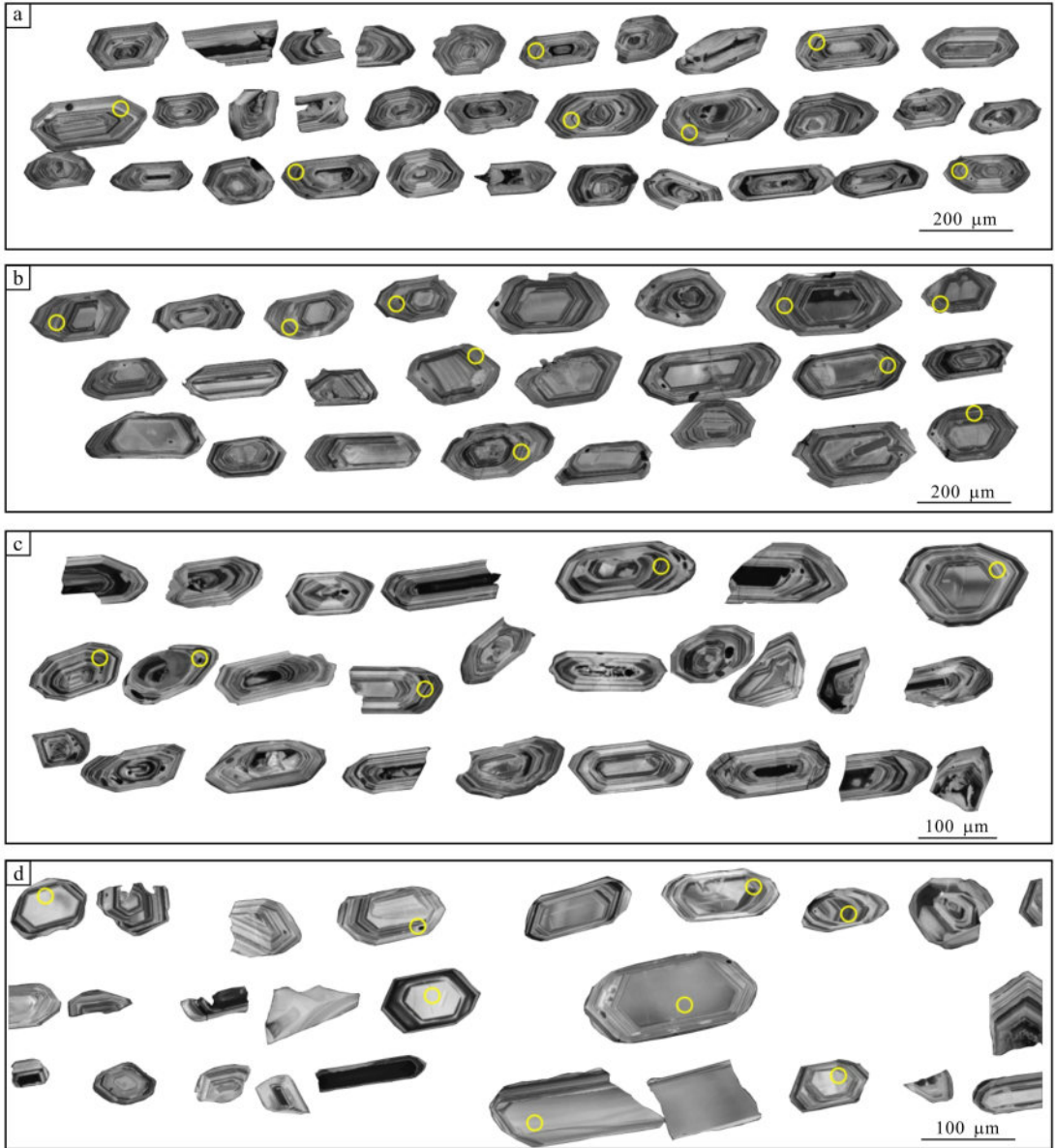


图6 西银坑地区代表性锆石的阴极发光 (CL) 图像

Fig. 6 Representative zircon cathodoluminescence (CL) images of Xiyinkeng area

对锆石测点定年, 获得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄变化于106~102 Ma (表1), 在 $(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U})-(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})$ 谐和图上 (图7c), 所有测点均投影在谐和线上或谐和线附近, 变化幅度较小, 表明被测锆石未遭受明显的后期热事件影响, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 (104.39 ± 0.21) Ma, 可代表岩体的结晶年龄。

3.1.3 石英闪长玢岩

锆石多呈自形-半自形柱状或长柱状晶体, 无色透明, 径长100~200 μm , Th/U 比值范围为0.51~

1.54, 阴极发光 (CL) 图像显示清晰的震荡环带 (图6c), 表明这些锆石具有显著的岩浆成因特征。通过对锆石测试点定年, 获得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄范围为108~103 Ma (表1), 在 $(^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U})-(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U})$ 谐和图上 (图7e), 所有测点投影在谐和线上或谐和线附近, 变化幅度较小, 表明被测锆石未遭受明显的后期热事件影响, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 (104.66 ± 0.52) Ma, 可代表岩体的结晶年龄。

表1 西银坑地区岩浆岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年分析结果

Table 1 Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating analysis results of magmatic rocks in Xiyinkeng area

点号	Th/U	同位素比值						年龄/Ma					
		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ
花岗岩长斑岩													
CN-1-1	0.58	0.048 8	0.002 8	0.108 3	0.005 8	0.016 4	0.000 2	200	65	104	5	105	1
CN-1-3	1.00	0.046 9	0.002 0	0.106 7	0.004 3	0.016 7	0.000 2	43	96	103	4	107	1
CN-1-4	0.98	0.048 3	0.002 3	0.106 5	0.005 2	0.016 1	0.000 2	122	111	103	5	103	1
CN-1-5	0.51	0.048 7	0.006 0	0.105 7	0.012 4	0.016 0	0.000 4	132	335	102	11	102	3
CN-1-6	1.05	0.049 1	0.001 8	0.109 0	0.004 0	0.016 2	0.000 2	150	87	105	4	103	1
CN-1-7	0.60	0.047 6	0.003 0	0.109 2	0.007 1	0.016 5	0.000 3	80	141	105	7	105	2
CN-1-8	0.79	0.049 4	0.002 9	0.112 6	0.006 3	0.016 7	0.000 3	169	141	108	6	107	2
CN-1-9	0.49	0.051 8	0.004 5	0.113 9	0.009 5	0.016 2	0.000 4	276	200	110	9	103	2
CN-1-11	0.98	0.048 0	0.001 8	0.107 5	0.003 8	0.016 4	0.000 2	98	89	104	3	105	1
CN-1-12	0.78	0.050 9	0.002 4	0.112 6	0.005 6	0.016 1	0.000 2	235	109	108	5	103	1
CN-1-13	0.88	0.051 8	0.002 6	0.115 9	0.005 7	0.016 3	0.000 2	276	108	111	5	104	1
CN-1-14	0.50	0.049 0	0.002 3	0.110 8	0.005 4	0.016 4	0.000 2	150	109	107	5	105	1
CN-1-15	0.95	0.051 5	0.002 4	0.115 4	0.005 4	0.016 3	0.000 2	265	101	111	5	104	1
CN-1-16	0.88	0.051 0	0.002 5	0.114 4	0.005 2	0.016 4	0.000 3	243	111	110	5	105	2
CN-1-17	0.94	0.048 2	0.001 8	0.108 1	0.004 0	0.016 3	0.000 2	109	89	104	4	104	1
CN-1-18	0.80	0.047 7	0.002 3	0.107 9	0.005 2	0.016 5	0.000 2	87	111	104	5	105	2
CN-1-19	0.71	0.051 5	0.004 0	0.112 5	0.008 2	0.016 2	0.000 3	261	180	108	7	104	2
CN-1-20	0.96	0.049 1	0.002 3	0.109 5	0.004 9	0.016 3	0.000 2	154	107	106	4	104	1
CN-1-21	0.62	0.048 4	0.001 8	0.109 0	0.004 1	0.016 4	0.000 2	120	90	105	4	105	1
CN-1-22	0.54	0.053 3	0.002 7	0.117 4	0.005 4	0.016 4	0.000 2	343	110	113	5	105	2
CN-1-23	0.91	0.049 4	0.001 7	0.111 6	0.004 1	0.016 3	0.000 2	165	86	107	4	104	1
CN-1-24	0.85	0.047 3	0.001 9	0.110 1	0.004 5	0.016 9	0.000 2	65	102	106	4	108	2
CN-1-25	0.93	0.052 6	0.003 1	0.116 5	0.007 2	0.016 1	0.000 3	309	135	112	7	103	2
CN-1-26	1.48	0.050 7	0.002 2	0.112 3	0.004 8	0.016 2	0.000 2	228	102	108	4	103	1
黄铜矿化花岗岩长斑岩													
CN-3-1	0.74	0.050 4	0.001 6	0.113 7	0.003 7	0.016 3	0.000 2	217	74	109	3	104	1
CN-3-3	0.94	0.047 9	0.001 4	0.107 6	0.002 7	0.016 4	0.000 2	100	67	104	2	105	1
CN-3-4	0.62	0.048 3	0.001 7	0.107 4	0.002 9	0.016 3	0.000 2	122	81	104	3	104	1
CN-3-5	0.74	0.049 7	0.001 5	0.112 5	0.003 4	0.016 4	0.000 2	189	73	108	3	105	1
CN-3-6	0.67	0.047 7	0.004 0	0.108 8	0.010 2	0.016 4	0.000 3	83	250	105	9	105	2
CN-3-7	0.74	0.049 7	0.001 7	0.108 4	0.003 7	0.015 9	0.000 2	189	81	105	3	102	1
CN-3-8	0.66	0.048 7	0.001 6	0.106 9	0.003 0	0.016 1	0.000 2	132	79	103	3	103	1
CN-3-9	0.61	0.049 6	0.001 7	0.109 5	0.003 5	0.016 1	0.000 2	176	77	106	3	103	1
CN-3-10	0.64	0.047 7	0.001 9	0.109 0	0.004 3	0.016 6	0.000 2	83	89	105	4	106	1
CN-3-11	0.80	0.046 2	0.001 2	0.105 0	0.003 0	0.016 5	0.000 2	9	69	101	3	105	1
CN-3-12	0.72	0.049 1	0.001 6	0.110 8	0.003 3	0.016 5	0.000 2	154	75	107	3	105	1
CN-3-13	0.85	0.050 2	0.001 4	0.111 3	0.003 0	0.016 1	0.000 1	206	97	107	3	103	1
CN-3-14	0.58	0.047 9	0.001 5	0.108 4	0.003 4	0.016 4	0.000 2	95	66	104	3	105	1
CN-3-15	0.69	0.047 6	0.001 1	0.107 0	0.002 8	0.016 3	0.000 2	76	90	103	3	104	1
CN-3-16	0.75	0.046 6	0.001 3	0.106 5	0.003 2	0.016 6	0.000 2	28	70	103	3	106	1
CN-3-17	0.81	0.049 2	0.001 2	0.109 7	0.002 9	0.016 2	0.000 2	167	59	106	3	103	1
CN-3-18	1.00	0.048 6	0.001 1	0.111 2	0.002 6	0.016 6	0.000 1	128	56	107	2	106	1
CN-3-19	1.22	0.047 2	0.000 8	0.108 2	0.002 1	0.016 6	0.000 1	61	43	104	2	106	1
CN-3-20	0.65	0.052 5	0.001 7	0.114 8	0.003 3	0.016 0	0.000 2	309	79	110	3	103	1
CN-3-21	1.16	0.048 6	0.001 0	0.108 6	0.002 6	0.016 1	0.000 1	128	56	105	2	103	1
CN-3-22	1.04	0.046 9	0.001 1	0.105 2	0.002 5	0.016 3	0.000 2	56	46	102	2	104	1
CN-3-23	0.65	0.051 9	0.002 0	0.117 4	0.004 7	0.016 5	0.000 2	280	89	113	4	105	1
CN-3-24	0.71	0.049 4	0.001 2	0.110 1	0.002 8	0.016 2	0.000 2	165	56	106	3	104	1

续表 1
Continued table 1

点号	Th/U	同位素比值						年龄/Ma					
		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ
花岗岩长斑岩													
CN-3-25	0.58	0.050 0	0.001 3	0.112 8	0.003 1	0.016 4	0.000 2	195	63	108	3	105	1
CN-3-26	0.68	0.051 2	0.001 4	0.113 8	0.003 3	0.016 1	0.000 2	254	68	109	3	103	1
CN-3-27	0.57	0.050 2	0.001 6	0.112 9	0.003 5	0.016 4	0.000 2	211	72	109	3	105	1
CN-3-28	0.59	0.049 5	0.001 6	0.110 3	0.003 3	0.016 3	0.000 2	172	81	106	3	104	1
CN-3-29	0.72	0.047 9	0.001 1	0.109 0	0.002 5	0.016 6	0.000 2	100	54	105	2	106	1
石英闪长玢岩													
CN-6-1	0.83	0.049 1	0.001 3	0.112 1	0.003 0	0.016 6	0.000 1	154	56	108	3	106	1
CN-6-3	1.33	0.049 5	0.001 3	0.112 3	0.003 1	0.016 5	0.000 2	169	63	108	3	105	1
CN-6-4	1.54	0.049 8	0.001 0	0.111 6	0.002 2	0.016 3	0.000 1	183	14	107	2	104	1
CN-6-5	0.80	0.048 5	0.001 4	0.109 2	0.003 1	0.016 4	0.000 1	124	69	105	3	105	1
CN-6-6	0.89	0.048 2	0.002 0	0.112 1	0.004 7	0.016 9	0.000 3	109	101	108	4	108	2
CN-6-7	0.98	0.050 2	0.001 4	0.112 2	0.003 0	0.016 3	0.000 2	206	95	108	3	104	1
CN-6-8	1.18	0.048 8	0.001 1	0.112 1	0.002 5	0.016 7	0.000 1	139	52	108	2	107	1
CN-6-9	0.78	0.049 4	0.001 6	0.110 3	0.003 6	0.016 2	0.000 2	169	69	106	3	104	1
CN-6-10	1.49	0.049 2	0.001 7	0.113 1	0.003 9	0.016 7	0.000 2	167	78	109	4	107	1
CN-6-12	1.22	0.051 0	0.001 3	0.113 7	0.003 0	0.016 2	0.000 2	239	53	109	3	103	1
CN-6-13	0.72	0.051 7	0.001 9	0.113 9	0.004 1	0.016 1	0.000 2	272	83	110	4	103	1
CN-6-14	1.38	0.051 5	0.002 6	0.113 7	0.005 1	0.016 1	0.000 2	265	115	109	5	103	1
CN-6-15	0.78	0.050 9	0.001 4	0.114 3	0.003 0	0.016 4	0.000 1	235	65	110	3	105	1
CN-6-16	0.87	0.049 1	0.001 6	0.113 0	0.003 8	0.016 7	0.000 2	150	81	109	3	107	1
CN-6-17	0.62	0.046 8	0.001 5	0.106 2	0.003 5	0.016 5	0.000 2	35	74	102	3	105	1
CN-6-18	0.98	0.053 3	0.001 8	0.119 1	0.003 9	0.016 3	0.000 2	343	78	114	4	104	1
CN-6-20	1.35	0.049 8	0.001 2	0.111 5	0.002 6	0.016 3	0.000 1	187	56	107	2	104	1
CN-6-21	0.64	0.050 9	0.001 6	0.112 3	0.003 4	0.016 1	0.000 1	235	74	108	3	103	1
CN-6-22	0.78	0.047 9	0.001 4	0.107 7	0.003 1	0.016 3	0.000 2	95	64	104	3	105	1
CN-6-23	0.51	0.049 3	0.001 3	0.110 2	0.002 9	0.016 3	0.000 2	165	66	106	3	104	1
CN-6-24	0.94	0.048 2	0.001 5	0.110 0	0.003 3	0.016 6	0.000 1	109	77	106	3	106	1
CN-6-25	0.79	0.051 4	0.001 6	0.115 8	0.003 8	0.016 3	0.000 2	257	70	111	3	104	1
CN-6-26	0.85	0.047 6	0.001 5	0.106 9	0.003 1	0.016 4	0.000 1	76	-125	103	3	105	1
CN-6-27	1.02	0.047 2	0.001 4	0.105 9	0.003 0	0.016 4	0.000 2	61	67	102	3	105	1
CN-6-28	0.67	0.049 7	0.001 8	0.110 7	0.003 8	0.016 2	0.000 1	189	83	107	4	104	1
CN-6-30	0.78	0.049 5	0.002 6	0.112 0	0.006 2	0.016 3	0.000 2	172	122	108	6	105	1
辉绿玢岩													
CN-7-1	0.63	0.049 6	0.002 2	0.107 0	0.004 7	0.015 8	0.000 2	176	99	103	4	101	1
CN-7-2	0.58	0.051 0	0.003 5	0.113 6	0.008 1	0.016 1	0.000 3	243	159	109	7	103	2
CN-7-3	0.92	0.050 3	0.001 9	0.109 7	0.004 2	0.015 9	0.000 2	209	89	106	4	101	1
CN-7-4	0.97	0.048 4	0.002 5	0.105 7	0.005 3	0.016 0	0.000 2	120	118	102	5	102	1
CN-7-5	0.76	0.045 4	0.003 0	0.099 6	0.006 7	0.015 9	0.000 2	129	132	96	6	102	1
CN-7-6	0.56	0.050 7	0.002 7	0.107 4	0.005 3	0.015 6	0.000 2	233	124	104	5	100	1
CN-7-7	1.09	0.048 8	0.001 8	0.105 4	0.003 5	0.015 8	0.000 2	139	89	102	3	101	1
CN-7-8	0.66	0.050 0	0.001 8	0.106 9	0.003 8	0.015 6	0.000 2	198	85	103	3	100	1
CN-7-9	0.69	0.052 9	0.004 3	0.113 3	0.009 0	0.015 7	0.000 2	324	185	109	8	100	1
CN-7-11	0.89	0.049 7	0.004 4	0.111 2	0.009 6	0.016 4	0.000 5	189	187	107	9	105	3
CN-7-12	0.47	0.049 3	0.002 2	0.107 8	0.004 7	0.015 9	0.000 2	161	104	104	4	102	1
CN-7-13	0.65	0.051 9	0.002 7	0.114 4	0.006 0	0.016 0	0.000 2	280	114	110	5	102	1
CN-7-14	0.82	0.048 7	0.001 6	0.105 1	0.003 4	0.015 7	0.000 2	132	80	102	3	101	1
CN-7-18	0.34	0.049 9	0.004 4	0.109 5	0.009 5	0.016 4	0.000 3	191	193	105	9	105	2
CN-7-19	0.46	0.052 1	0.003 3	0.113 9	0.007 0	0.016 0	0.000 3	300	144	110	6	102	2

注: 测试单位为中国地质科学院矿产资源研究所; 测试时间为2017年5月。

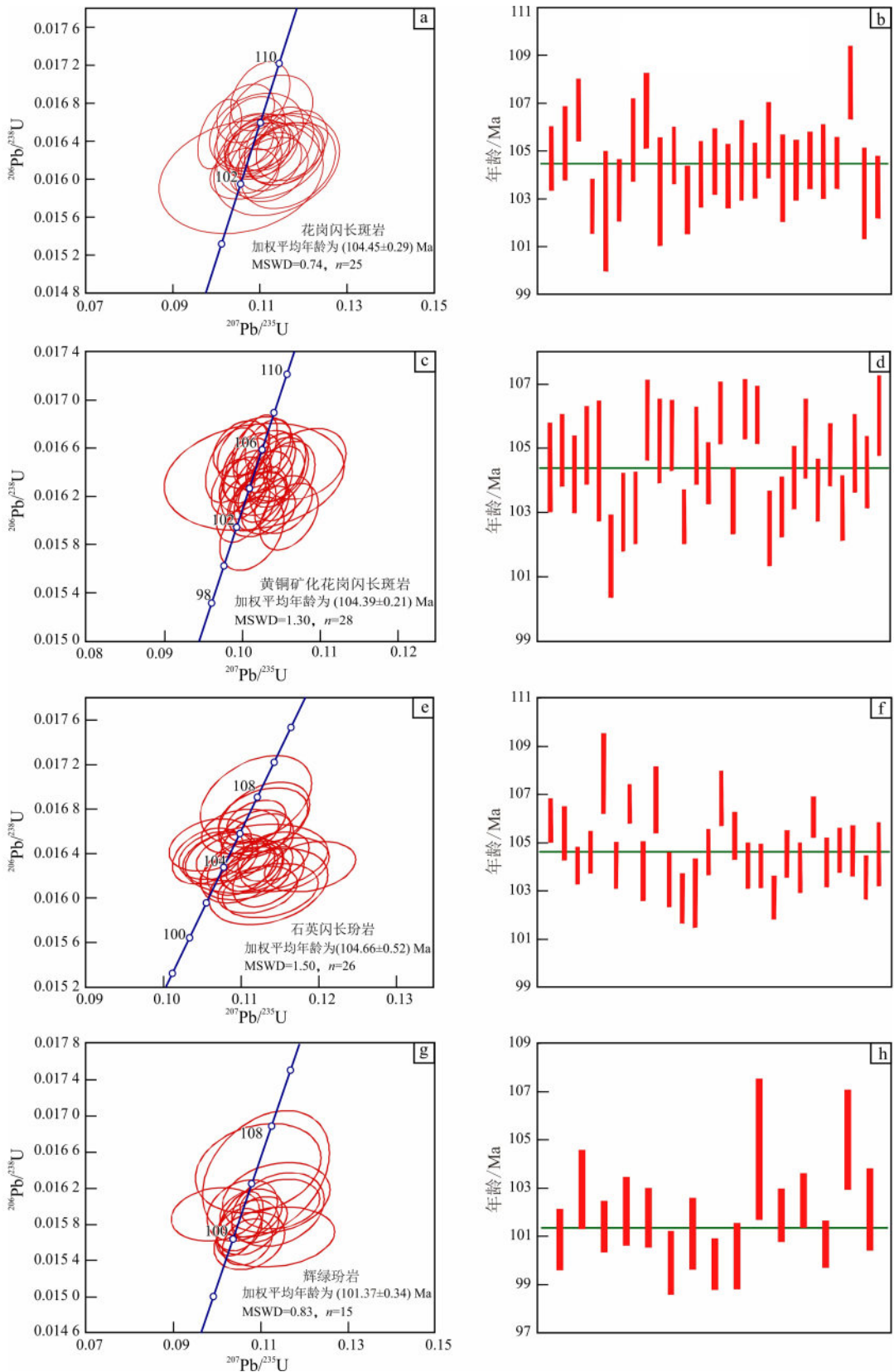


图 7 西银坑地区岩浆岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 7 Zircon U-Pb concordia diagram of magmatic rocks in Xiyinkeng area

3.1.4 辉绿玢岩

锆石多呈自形-半自形柱状、长柱状或碎片状晶体, 无色透明, 径长 50 ~ 150 μm , Th/U 比值范围为 0.34 ~ 1.09, 表明这些锆石为典型岩浆锆石。结合阴极发光 (CL) 图像显示清晰-稍弱震荡环带 (图 6d), 表明这些锆石具有显著的岩浆成因特征。通过对锆石测点定年, 获得 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄变化于 105 ~ 100 Ma (表 1), 在 ($^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$) - ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$) 和图上 (图 7g), 所有测点均投影在

谐和线上或谐和线附近, 变化幅度较小, 表明被测锆石未遭受明显的后期热事件影响, 其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 (101.37 \pm 0.34) Ma, 可代表岩体的结晶年龄。

3.2 岩石地球化学特征

西银坑地区花岗闪长斑岩、石英闪长玢岩、闪长玢岩、二长花岗斑岩的地球化学特征无明显差异, 辉绿玢岩的地球化学特征略有不同 (表 2)。

表 2 西银坑地区岩浆岩主量和微量元素分析结果

Table 2 Analysis results of major and trace elements of magmatic rocks in Xiyinkeng area

	辉绿玢岩		石英闪长玢岩		黄铜矿化花岗闪长斑岩		花岗闪长斑岩		闪长玢岩	二长花岗斑岩
	XT01	XT02	XT03	XT04	XT05	XT06	XT07	XT08	XT09	收集
SiO ₂	51.96	50.68	64.96	65.20	70.86	66.15	67.81	67.30	67.23	65.88
Al ₂ O ₃	11.99	12.57	14.69	15.57	12.10	14.65	14.88	15.10	14.16	16.26
TFe ₂ O ₃	7.52	7.93	3.74	3.74	3.36	3.35	3.15	3.26	3.43	4.73
K ₂ O	1.54	2.85	2.31	1.62	3.99	4.12	3.00	2.99	2.16	3.20
Na ₂ O	2.02	2.57	4.65	3.81	2.74	3.52	4.83	4.54	4.42	4.00
CaO	7.85	7.94	4.45	3.65	2.04	3.11	3.40	3.62	3.49	3.21
MgO	10.75	9.09	2.02	1.74	1.63	2.33	1.55	1.84	2.57	1.79
MnO	0.15	0.16	0.08	0.08	0.08	0.06	0.06	0.05	0.08	0.12
TiO ₂	0.95	1.12	0.57	0.51	0.50	0.56	0.42	0.48	0.56	0.51
P ₂ O ₅	0.61	0.53	0.28	0.21	0.25	0.26	0.20	0.21	0.24	0.28
LOI	4.65	4.30	1.99	3.53	2.23	1.66	0.54	0.45	1.43	—
Total	99.99	99.74	99.74	99.66	99.78	99.77	99.84	99.85	99.77	99.98
FeO	4.10	4.85	1.94	2.07	1.63	1.60	1.65	1.76	1.56	2.27
ALK	3.56	5.43	6.98	5.45	6.74	7.66	7.84	7.54	6.60	7.20
A/NK	2.52	1.79	1.48	2.01	1.40	1.45	1.34	1.42	1.49	1.49
A/CNK	0.65	0.60	0.82	1.10	0.99	0.94	0.86	0.88	0.90	0.94
AR	1.44	1.67	2.14	1.79	2.27	2.31	2.50	2.35	2.19	2.18
ASI	0.62	0.58	0.80	1.06	0.96	0.92	0.86	0.87	0.89	1.02
σ	1.41	3.78	2.20	1.32	1.62	2.52	2.47	2.33	1.78	2.28
DI	31.74	40.67	73.01	70.69	81.76	75.99	79.06	76.57	74.15	72.99
Rb	29.50	60.50	47.20	34.70	60.20	74.60	53.20	46.20	43.30	—
Ba	784.00	2 045.00	1 473.00	1 412.00	1 709.00	1 518.00	1 791.00	1 685.00	1 387.00	—
Th	6.92	3.90	5.85	5.97	5.82	8.14	8.87	5.65	5.22	—
Ta	1.08	1.07	1.12	0.94	0.62	0.86	1.24	1.01	0.97	—
Nb	12.50	14.60	13.60	12.40	15.30	15.80	15.40	12.00	15.90	—
La	39.80	29.20	31.70	30.00	20.70	33.10	39.60	27.40	27.50	—
Ce	76.90	59.80	54.80	51.20	40.10	57.80	65.10	48.00	48.30	—
Pb	12.80	13.70	14.50	15.00	12.80	13.70	17.00	19.80	26.10	—
Nd	35.80	29.40	21.50	19.40	18.60	23.10	22.40	19.10	19.80	—
Sr	767.00	1008.00	785.00	531.00	468.00	942.00	770.00	757.00	807.00	—
Sm	6.03	4.98	3.33	2.88	3.09	3.72	3.10	2.98	3.18	—
Hf	3.83	4.05	3.47	3.66	3.20	4.28	4.31	4.10	3.16	—
Zr	138.00	141.00	118.00	108.00	101.00	106.00	102.00	103.00	105.00	—
Eu	1.68	1.60	1.06	0.95	0.92	1.18	0.95	1.02	1.02	—
Ti	5 670.00	6 720.00	3 402.00	3 066.00	2 982.00	3 342.00	2 502.00	2 892.00	3 384.00	—
Gd	4.56	4.02	2.34	2.08	2.25	2.64	2.03	2.11	2.39	—
Dy	3.46	3.25	1.67	1.44	1.59	1.90	1.47	1.47	1.62	—
Y	16.90	16.50	8.03	6.81	7.71	9.65	7.35	7.01	7.88	—
Er	1.70	1.64	0.76	0.64	0.75	0.89	0.69	0.67	0.74	—
Yb	1.62	1.54	0.68	0.60	0.67	0.85	0.65	0.61	0.70	—
Lu	0.28	0.27	0.12	0.10	0.11	0.14	0.11	0.10	0.12	—

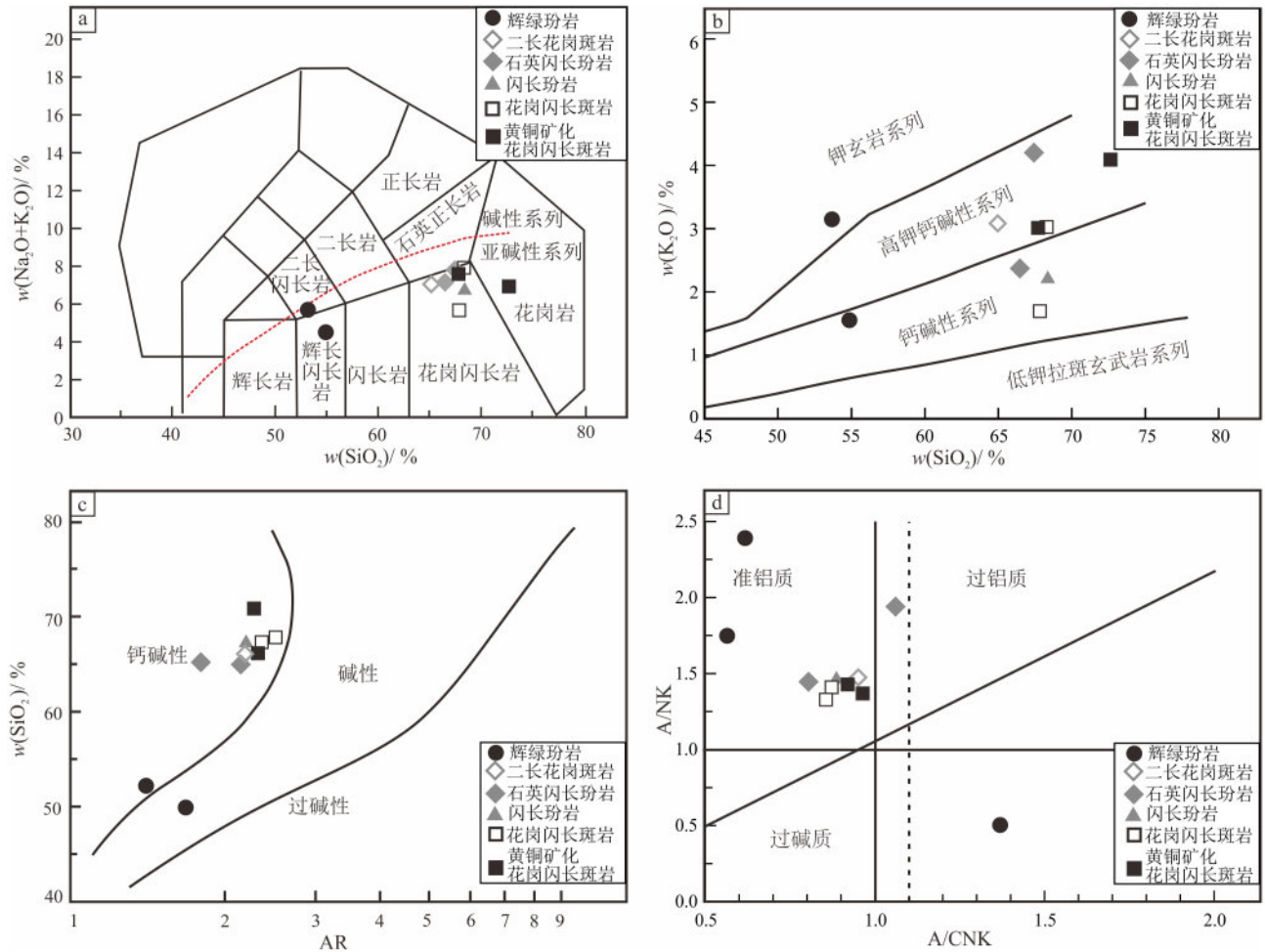
注: 主量元素质量分数单位为 10^{-2} ; 微量元素质量分数单位为 10^{-6} ; “—” 表示未检出或未收集; 测试单位为浙江省地质矿产研究所; 测试时间为 2017 年 6 月。

花岗闪长斑岩、石英闪长玢岩、闪长玢岩、二长花岗斑岩在 $w(\text{SiO}_2) - w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 图解中均投影于花岗岩-闪长岩区域 (图 8a); 在 $w(\text{SiO}_2) - w(\text{K}_2\text{O})$ 图解中投影在高钾钙碱性-钙碱性系列 (图 8b); $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为 12.10% ~ 16.26%, A/CNK 为 0.82 ~ 1.10, 为准铝质岩石 (图 8d); $w(\text{CaO})$ 为 2.04% ~ 4.45%, $w(\text{MgO})$ 为 1.55% ~ 2.02%, 里特曼指数为 1.62 ~ 2.52, 莱特碱度率 AR 为 1.79 ~ 2.50, 为钙碱性岩石 (图 8c)。

辉绿玢岩在 $w(\text{SiO}_2) - w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 图解中投影于辉长闪长岩区域 (图 8a), 在 $w(\text{SiO}_2) - w(\text{K}_2\text{O})$ 图解中投影在高钾钙碱性系列附近 (图 8b)。 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为 11.99% ~ 12.57%, A/CNK

为 0.60 ~ 0.65, 为准铝质岩石 (图 8d)。 $w(\text{CaO})$ 为 7.85% ~ 7.94%, $w(\text{MgO})$ 为 9.09% ~ 10.75%, 里特曼指数为 1.41 ~ 3.78, 莱特碱度率 AR 为 1.44 ~ 1.67, 为碱性-钙碱性岩石 (图 8c)。

花岗闪长斑岩、石英闪长玢岩、闪长玢岩共同特征是都具有磷灰石、锆石及磁铁矿、钛铁矿等副矿物。其中花岗闪长斑岩中含有较多的金红石而不含榍石, 为磷灰石-锆石-金红石型; 石英闪长玢岩、闪长玢岩含有较多的榍石, 而不含金红石, 为磷灰石-榍石-锆石型, 锆石形态基本相同, 说明它们是在同源、等深、等压的条件下形成的。此外, 花岗闪长斑岩中还见有碳硅石和铬尖晶石, 说明岩浆具有幔源特征。



a. $w(\text{SiO}_2) - w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 图解; b. $w(\text{SiO}_2) - w(\text{K}_2\text{O})$ 图解; c. $\text{AR} - w(\text{SiO}_2)$ 图解; d. $(A/\text{CNK}) - (A/\text{NK})$ 图解。

图 8 西银坑地区岩浆岩主量元素图解

Fig. 8 Major element diagrams of magmatic rocks in Xiyinkeng area

在稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图上(图 9), 西银坑岩体中各样品均表现出右倾的特征: 辉绿玢岩富集稀土元素 ($\Sigma\text{REE} = 144.61 \times 10^{-6} \sim 182.84 \times 10^{-6}$, 平均为 163.73×10^{-6}), 轻

重稀土元素比值 (LREE/HREE) 为 10.81 ~ 12.76, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 和 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 分别为 13.60 ~ 17.62 和 2.16 ~ 2.33 (表 3), 说明轻稀土元素相较于重稀土元素分馏较明显, 此外, 在配分曲线

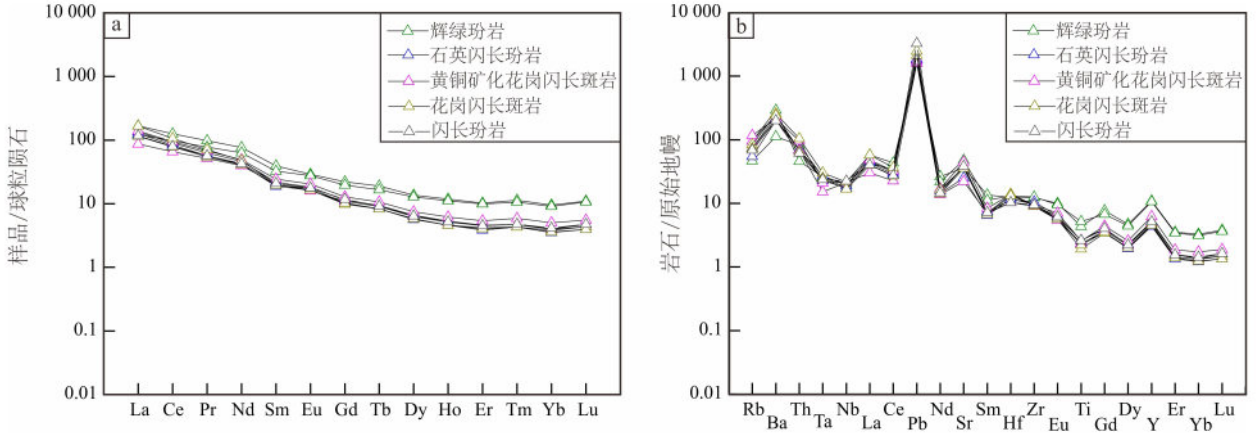


图 9 西银坑地区岩浆岩球粒陨石标准化稀土元素配分模式图 (a) 和原始地幔标准化微量元素蛛网图 (b)

Fig. 9 Chondrite normalized REE distribution patterns (a) and primitive mantle normalized trace elements spider diagrams (b) of magmatic rocks in Xiyinkeng area

表 3 西银坑地区岩浆岩稀土元素分析结果

Table 3 Analysis results of rare earth elements of magmatic rocks in Xiyinkeng area

	辉绿玢岩		石英闪长玢岩		黄铜矿化花岗闪长斑岩		花岗闪长斑岩		闪长玢岩
	XT01	XT02	XT03	XT04	XT05	XT06	XT07	XT08	XT09
La	39.80	29.20	31.70	30.00	20.70	33.10	39.60	27.40	27.50
Ce	76.90	59.80	54.80	51.20	40.10	57.80	65.10	48.00	48.30
Pr	9.34	7.39	6.01	5.42	4.90	6.45	6.69	5.19	5.37
Nd	35.80	29.40	21.50	19.40	18.60	23.10	22.40	19.10	19.80
Sm	6.03	4.98	3.33	2.88	3.09	3.72	3.10	2.98	3.18
Eu	1.68	1.60	1.06	0.95	0.92	1.18	0.95	1.02	1.02
Gd	4.56	4.02	2.34	2.08	2.25	2.64	2.03	2.11	2.39
Tb	0.71	0.62	0.35	0.31	0.34	0.40	0.31	0.31	0.34
Dy	3.46	3.25	1.67	1.44	1.59	1.90	1.47	1.47	1.62
Ho	0.67	0.63	0.30	0.26	0.29	0.35	0.26	0.26	0.29
Er	1.70	1.64	0.76	0.64	0.75	0.89	0.69	0.67	0.74
Tm	0.29	0.27	0.12	0.11	0.12	0.15	0.11	0.11	0.12
Yb	1.62	1.54	0.68	0.60	0.67	0.85	0.65	0.61	0.70
Lu	0.28	0.27	0.12	0.10	0.11	0.14	0.11	0.10	0.12
ΣREE	182.84	144.61	124.74	115.39	94.43	132.67	143.47	109.33	111.49
LREE	169.55	132.37	118.40	109.85	88.31	125.35	137.84	103.69	105.17
HREE	13.29	12.24	6.34	5.54	6.12	7.32	5.63	5.64	6.32
LR/HR	12.76	10.81	18.68	19.83	14.43	17.12	24.48	18.38	16.64
$(\text{La}/\text{Yb})_N$	17.62	13.60	33.44	35.86	22.16	27.93	43.70	32.22	28.18
$(\text{La}/\text{Sm})_N$	4.26	3.79	6.15	6.72	4.32	5.74	8.25	5.94	5.58
$(\text{Gd}/\text{Yb})_N$	2.33	2.16	2.85	2.87	2.78	2.57	2.58	2.86	2.82
δEu	1.36	1.18	1.20	1.19	1.20	1.42	1.35	1.34	1.23

注: 稀土元素质量分数单位为 10^{-6} ; 测试单位为浙江省地质矿产研究所; 测试时间为 2017 年 6 月。

(图9a)上辉绿玢岩显示出微弱的Eu正异常(δEu 平均值为1.27)。而偏中性样品,如花岗闪长斑岩、黄铜矿化花岗闪长斑岩、石英闪长玢岩及闪长玢岩的稀土元素含量相较辉绿玢岩呈现出弱的亏损($\Sigma\text{REE} = 94.43 \times 10^{-6} \sim 143.47 \times 10^{-6}$,平均为 118.79×10^{-6}),轻重稀土元素比值(LREE/HREE)为14.43~24.48, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 和 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 分别为22.16~43.70和2.57~2.87(表3), δEu 值与辉绿玢岩样品接近,平均值1.28,说明斜长石结晶分异不明显。整体而言,不同岩性的样品稀土元素配分曲线形态接近,反映其具有相同的源区或源区物质组成一致。此外,在原始地幔标准化微量元素蛛网图上(图9b),各样品同样表现出近似的演化趋势,同样证明了上述结论,其大离子亲石元素(Rb、La)相对富集,高场强元素(Nb、Ti、Ta)相对亏损,具有岛弧岩浆岩特征,暗示其

形成可能与俯冲作用有关的弧岩浆作用有关。

4 讨论

4.1 锆石 U-Pb 年代学意义

大量的年代学资料(锆石SHRIMP和LA-ICP-MS锆石U-Pb法)表明西银坑矿区周边各杂岩体(安基山、新桥、下蜀—高资和石马)均形成于早白垩世晚期(表4),而矿区内部的岩体缺少定年资料。本文利用LA-ICP-MS锆石U-Pb法对矿区西银坑岩体(花岗闪长斑岩、石英闪长玢岩、辉绿玢岩)进行了定年。岩石样品的锆石均表现出清晰的生长环带,Th/U比值介于0.34~1.54之间,具有岩浆锆石的特点,因此其定年结果应代表了岩浆侵位时代。定年结果显示西银坑岩体中花岗闪长斑岩、石英闪长玢岩、辉绿玢岩的形成时代分别为 $(104.45 \pm 0.29) \text{ Ma}$ 、 $(104.66 \pm 0.52) \text{ Ma}$ 、

表4 宁镇矿集区侵入岩年龄

Table 4 Ages of intrusive rocks in Ningzhen ore concentrated area

岩体名称	位置	岩石类型	测试对象	测试方法	年龄/Ma	参考文献
安基山杂岩体	安基山铜矿周围	花岗闪长斑岩	锆石	SHRIMP	106.9 ± 0.9	[4]
	栖霞山铅锌矿	花岗闪长斑岩	锆石	LA-ICP-MS	108.9 ± 1.0	本单位,未刊
	安基山水库东南角	花岗闪长斑岩	锆石	LA-ICP-MS	108.8 ± 1.2	[5]
	安基山铜矿	闪长玢岩	锆石	LA-ICP-MS	108.8 ± 1.5	[7]
	安基山铜矿矿区地表采坑内	花岗闪长斑岩	锆石	LA-ICP-MS	107.0 ± 1.1	[8]
	伏牛山铜矿钻孔孔深1167 m处	石英闪长(玢)岩	锆石	LA-ICP-MS	108.0 ± 1.6	[8]
	伏牛山侵入体附近	石英闪长玢岩	锆石	LA-ICP-MS	105.7 ± 0.8	[7]
	安基山铜矿岩心库钻孔	花岗闪长斑岩	锆石	LA-ICP-MS	$(108.9 \pm 1.00) \sim (110.9 \pm 1.40)$	[9]
	西银坑地区	花岗闪长斑岩	锆石	LA-ICP-MS	104.45 ± 0.29	本文
	西银坑地区	石英闪长玢岩	锆石	LA-ICP-MS	104.41 ± 0.26	本文
西银坑地区	辉绿玢岩	锆石	LA-ICP-MS	101.37 ± 0.34	本文	
新桥杂岩体	新桥村采石坑附近	蚀变闪长玢岩	锆石	LA-ICP-MS	108.0 ± 1.3	[8]
下蜀—高资杂岩体	铜山铜矿附近	石英闪长玢岩	锆石	LA-ICP-MS	109.1 ± 1.9	[6]
	铜山铜矿附近	石英闪长玢岩	锆石	LA-ICP-MS	109.1 ± 1.9	[7]
	铜山铜(钼)矿	石英闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	105~107	[7]
石马杂岩体	徐湾岩体张家庄采石场	斑状花岗闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	101.6 ± 1.1	[6]
	徐湾侵入岩张家庄采石场	斑状花岗闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	101.6 ± 1.1	[7]
	韦岗铁矿太阳山矿段-100 m中段	石英闪长玢岩	锆石	LA-ICP-MS	102.5 ± 1.1	[8]
	韦岗铁矿岩心库钻孔	花岗闪长岩	锆石	LA-ICP-MS	107.33 ± 1.4	[9]
	韦岗铁矿岩心库钻孔	闪长质包体	锆石	LA-ICP-MS	109.6 ± 2.0	[9]

(101.37 ± 0.34) Ma, 这与研究早白垩世晚期花岗岩的形成时代相对应 (109 ~ 101) Ma (表4)。

此外, 宁镇矿集区与成矿作用有关的岩体成岩年龄集中在 110 ~ 100 Ma, 与长江中下游地区第四期成岩成矿期一致。研究区的铜钼矿化与该期花岗闪长斑岩关系密切, 这与宁镇矿集区成矿年龄约 105 Ma 较吻合^[9], 与华南第3次大规模成岩成矿作用时间基本一致。因此, 笔者认为西银坑地区岩浆岩是同期不同次岩浆侵入作用的产物, 其中花岗闪长斑岩形成时间较早, 辉绿岩形成时间最晚。本研究采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年技术, 获得了高精度的年代学数据, 相对精确地约束了该地区中酸性岩体的成岩时代。

4.2 岩浆岩成因与岩浆源区特征

花岗岩按成因类型可分为: I 型、S 型、M 型和 A 型, 每种类型花岗岩源岩与构造环境关系密切, 可通过矿物组成、地球化学成分的差异性来判别花岗岩的成因^[19]。

西银坑地区出露岩体的主体岩性为花岗闪长斑岩, 伴生脉岩主要为石英闪长玢岩和闪长玢岩, 三者主量元素地球化学特征相近, 其微量元素和稀土元素组成及分布模式与晚阶段辉绿岩脉高度相似。这表明它们可能是来自源区性质相似但不同阶段岩浆侵入作用的产物。从 Harker 图解 (图 10) 中可以看出, 二长花岗斑岩、花岗闪长斑岩、黄铜矿化花岗闪长斑岩、石英闪长玢岩及闪长玢岩样品的 $w(\text{SiO}_2)$ 与部分主量元素存在一定的线性相关性, 即随 $w(\text{SiO}_2)$ 增高, $w(\text{TiO}_2)$ 、 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 、 $w(\text{CaO})$ 、 $w(\text{TFe}_2\text{O}_3)$ 、 $w(\text{MgO})$ 和 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 具有降低的趋势。Fe、Ti 元素随 $w(\text{SiO}_2)$ 增大而减少, 这表明发生了磁铁矿分离结晶, 而 Mg 元素主要赋存在黑云母中, Al 元素主要赋存在斜长石和钾长石中, Ca 元素主要赋存在辉石和角闪石中, P 元素赋存在磷灰石中, 表明可能发生了辉石、角闪石等铁镁质矿物的显著分离结晶。各样品中相对低的 CaO、MgO 则进一步说明了岩浆分离结晶的程度较高。这一趋势与华南和长江中下游地区许多花岗岩的成分演化趋势相同, 反映了这些组分在热液蚀变过程中的活动性并不强, 它们主要受岩浆演化程度和结晶分异过程所控制。 $w(\text{Na}_2\text{O})$ 和 $w(\text{K}_2\text{O})$ 与 $w(\text{SiO}_2)$ 之间无明显线性相关性, 而 $w(\text{TFe}_2\text{O}_3)$ 和 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 随 $w(\text{SiO}_2)$ 增加呈线性负相关趋势。具有典型钙碱性

岩系的演化特征。这与 S 型花岗岩特征显著不同^[20-21], 而与 I 型花岗岩特征类似^[22-23]。

综上所述, 句容市西银坑花岗岩为高钾、高碱的准铝质钙碱性系列 I 型花岗岩。高钾的 I 型岩浆通常源于地壳中从基性到高钾钙碱性变质火成岩的部分熔融, 这与典型的 I 型花岗岩不同, 后者还可能来源于: ①幔源玄武岩或玄武质安山岩的分离结晶; ②幔源物质以不同比例对沉积物的再改造。西银坑地区各样品表现为 Nb、Ta 元素亏损, Nb/Ta 比值为 11.57 ~ 24.68, 平均值为 14.92, 大部分样品低于上地幔平均值 (17.5), 接近大陆地壳平均值 (12 ~ 13), 表明有壳源物质的大量参与, 不排除有幔源物质混入, 这也得到样品接近幔源岩浆 (0.14 ~ 0.16) 的 Lu/Yb 比值的支持 (0.16 ~ 0.17)。因此, 西银坑岩体的原始岩浆可能源于下地壳中基性基底的部分熔融, 并混入了部分幔源物质。

4.3 地球动力学意义

花岗岩对其形成的大地构造环境具有指示作用, 可用其地球化学特征进行地球动力演化方面的研究。根据不同大地构造背景下各种花岗岩的地球化学特征, 分为洋脊花岗岩、弧花岗岩、板内花岗岩和碰撞花岗岩。从微量元素判别图解可以看出, 各单元投影点落入 (VAG 或 syn-COLG) 花岗岩区 (图 11), 由于中国东部侵入岩的形成年代与碰撞和后碰撞事件不同, 这些 I 型花岗岩被解释为火山弧花岗岩类, 属于华南早—晚白垩世^[24-26] (107 ~ 86 Ma) 安第斯型大陆岩浆弧的一部分, 可能与俯冲洋壳的后撤有关^[27]。

不少学者对长江中下游成矿带深部动力学环境进行了研究^[2,28], Mao 等^[28] 提出中国东部中生代的大规模岩浆-成矿活动在 140 Ma 左右和 130 ~ 110 Ma 对应的重大地质事件分别为构造体制转折和岩石圈减薄; 周涛发等^[2] 认为 135 Ma 后, 中国东部岩石圈拆沉, 地幔隆起, 区域板块伸展加剧。研究发现, 中生代后扬子板块进入陆内变形阶段, 其主要的特点是应力场发生了转变。晚侏罗世—早白垩世太平洋板块迅速向北移动, 中国东部大陆在其影响下产生了北北东向左行平移断裂和北西向西行平移断裂; 先成的北东向断裂、近东西向断裂也随之活动, 其性质也发生了改变, 构造格局由挤压转为拉张环境, 为岩浆侵入和火山作用提供了空

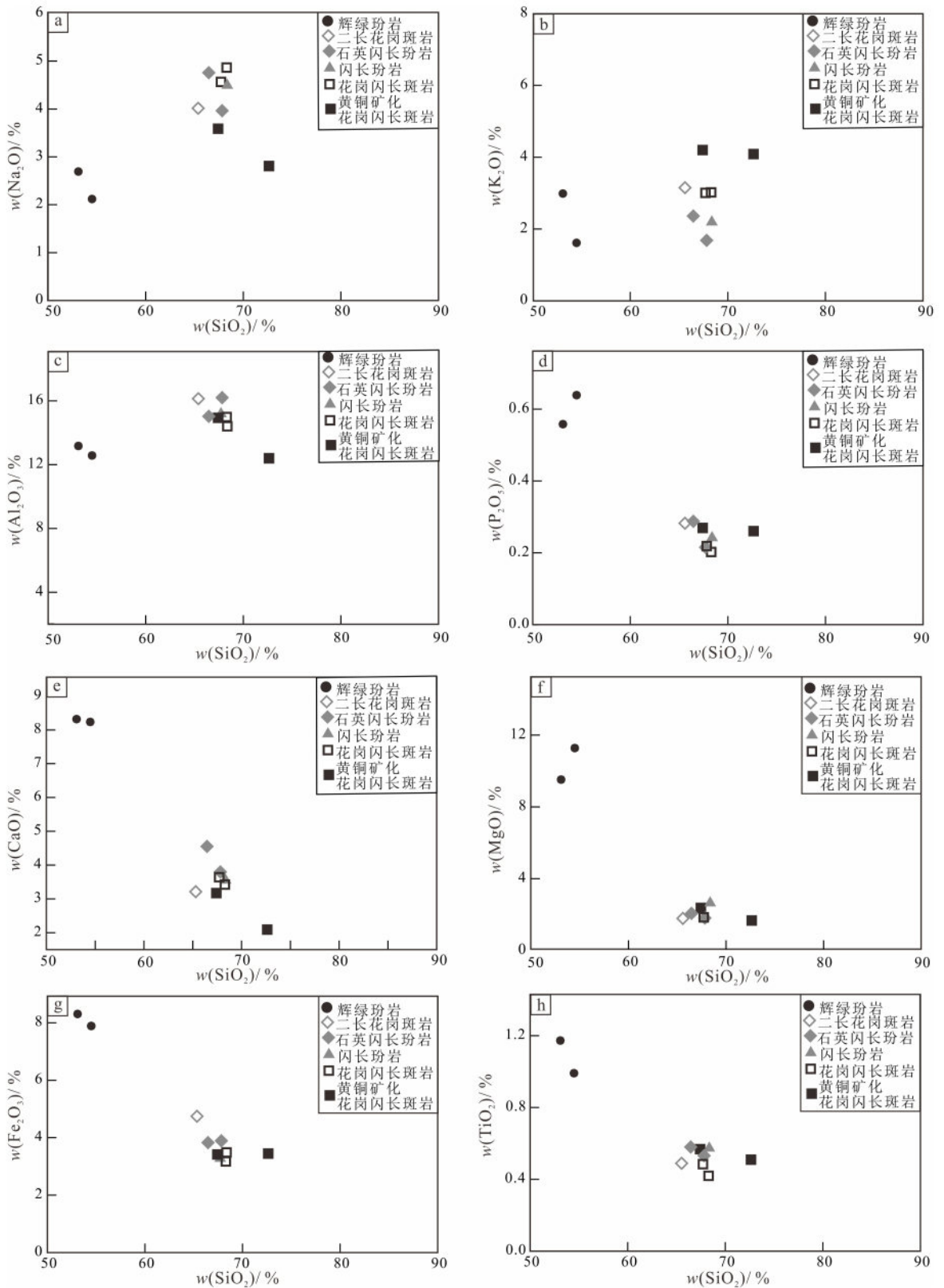
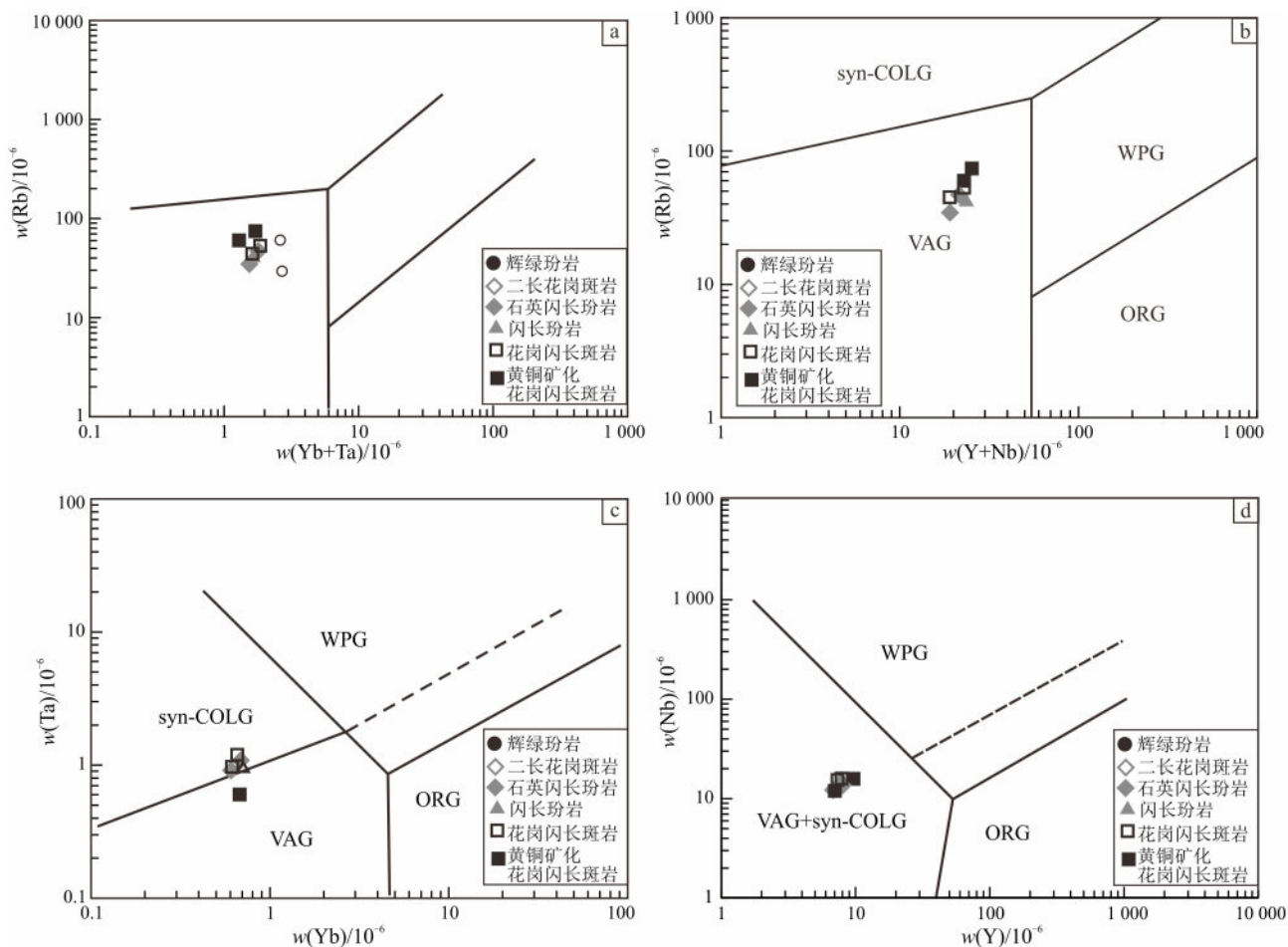


图 10 西银坑地区岩浆岩主量元素 Harker 图解

Fig. 10 Harker diagrams of major elements of magmatic rocks in Xiyinkeng area



ORG. 洋脊花岗岩; VAG. 火山岛弧花岗岩; WPG. 板内花岗岩; syn-COLG. 同碰撞花岗岩。

图 11 西银坑地区构造环境判别图

Fig. 11 Tectonic setting discrimination diagrams of Xiyinkeng area

间和通道。结合本次所测岩浆岩年龄, 认为该区燕山期岩浆岩处于板块伸展和地幔隆起共同作用的构造背景下, 是下地壳与地幔接触并发生熔融的产物, 而燕山期频繁的断裂和断块运动为岩体的形成提供了有利条件。

5 结论

(1) LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年结果显示句容市西银坑地区花岗闪长斑岩、石英闪长玢岩、辉绿玢岩成岩年龄分别为 (104.45 ± 0.29) Ma、 (104.66 ± 0.52) Ma、 (101.37 ± 0.34) Ma, 属早白垩世。

(2) 句容市西银坑地区花岗岩具有高钾、高

碱的特征, 大离子亲石元素 (Rb、La) 相对富集, 高场强元素 (Nb、Ti、Ta) 相对亏损。因此, 该花岗岩属于准铝质钙碱性系列 I 型花岗岩。

(3) 西银坑地区出露的岩浆岩具有岛弧岩浆岩特征, 为下地壳与地幔接触发生熔融的产物, 属壳幔型花岗岩, 指示其形成于燕山期太平洋板块俯冲后撤的弧后拉张环境。

参考文献:

[1] 常印佛, 刘湘培, 吴言昌. 长江中下游铜铁成矿带 [M]. 北京: 地质出版社, 1991: 1-379.
CHANG Y F, LIU X P, WU Y C. The copper-iron metallogenic belt of the middle-lower Yangtze River [M].

- Beijing: Geological Publishing House, 1991: 1-379.
- [2] 周涛发, 范裕, 王世伟, 等. 长江中下游成矿带成矿规律和成矿模式 [J]. 岩石学报, 2017, 33 (11): 3353-3372.
ZHOU T F, FAN Y, WANG S W, et al. Metallogenic regularity and metallogenic model of Middle - Lower Yangtze River Valley Metallogenic Belt [J]. Acta Petrologica Sinica, 2017, 33 (11): 3353-3372.
- [3] 毛景文, 周涛发, 谢桂青, 等. 长江中下游地区成矿作用研究新进展和存在问题的思考 [J]. 矿床地质, 2020, 39 (4): 547-558.
MAO J W, ZHOU T F, XIE G Q, et al. Metallogeny in Middle-Lower Yangtze River Ore Belt: advances and problems remained [J]. Mineral Deposits, 2020, 39 (4): 547-558.
- [4] 曾键年, 李锦伟, 陈津华, 等. 宁镇地区安基山侵入岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 地球科学, 2013, 38 (1): 57-67.
ZENG J N, LI J W, CHEN J H, et al. SHRIMP zircon U-Pb dating of Anjishan intrusive rocks in Ningzhen district, Jiangsu, and its geological significance [J]. Earth Science, 2013, 38 (1): 57-67.
- [5] 刘建敏, 闫峻, 李全忠, 等. 宁镇地区安基山岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及意义 [J]. 地质论评, 2014, 60 (1): 190-200.
LIU J M, YAN J, LI Q Z, et al. Zircon LA-ICP-MS dating of the Anjishan igneous rocks in Ningzhen area and its significance [J]. Geological Review, 2014, 60 (1): 190-200.
- [6] 孙洋, 马昌前, 刘园园. 长江中下游燕山期最新的成岩成矿事件: 来自宁镇地区的证据 [J]. 科学通报, 2014, 59 (8): 668-678.
SUN Y, MA C Q, LIU Y Y. The latest Yanshanian magmatic and metallogenic events in Middle-Lower Yangtze River Belt: evidences from the Ningzhen region [J]. Chinese Science Bulletin, 2014, 59 (8): 668-678.
- [7] 王小龙, 曾键年, 马昌前, 等. 宁镇地区燕山期侵入岩锆石 U-Pb 定年: 长江中下游新一期成岩成矿作用的年代学证据 [J]. 地学前缘, 2014, 21 (6): 289-301.
WANG X L, ZENG J N, MA C Q, et al. Zircon U-Pb dating of Yanshanian intrusive rocks in Ningzhen district, Jiangsu: the chronology evidence for a new stage of petrogenesis and metallogeny in the middle-lower reaches of Yangtze River [J]. Earth Science Frontiers, 2014, 21 (6): 289-301.
- [8] 关俊朋, 韦福彪, 孙国曦, 等. 宁镇中段中酸性侵入岩锆石 U-Pb 年龄及其成岩成矿指示意义 [J]. 大地构造与成矿学, 2015, 39 (2): 344-354.
GUAN J P, WEI F B, SUN G X, et al. Zircon U-Pb dating of intermediate-acid intrusive rocks in the middle section of Ningzhen district and their metallogenic implications [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2015, 39 (2): 344-354.
- [9] 张明超, 陈仁义, 叶天竺, 等. 宁镇矿集区安基山花岗岩长斑岩和韦岗花岗岩长岩的锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及其地质意义 [J]. 地质学报, 2018, 92 (11): 2248-2268.
ZHANG M C, CHEN R Y, YE T Z, et al. Zircon U-Pb dating and Hf isotopic compositions of the Anjishan granodiorite porphyry and Weigang granodiorite in the Ningzhen ore cluster area and their geological implications [J]. Acta Geologica Sinica, 2018, 92 (11): 2248-2268.
- [10] 陈志洪, 赵玲, 李亚楠. 长江中下游宁镇矿集区非含矿岩体的锆石 U-Pb 年龄及其意义 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2017, 36 (1): 171-178.
CHEN Z H, ZHAO L, LI Y N. Zircon U-Pb ages of ore-free intrusions in the Ningzhen metallogenic district of the Middle-Lower Yangtze River Metallogenic Belt and their geological significances [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2017, 36 (1): 171-178.
- [11] 张昆, 刘磊, 马兴知, 等. 长江中下游成矿带物性结构揭示的成矿深部背景和过程 [J]. 地质通报, 2024, 43 (11): 2044-2061.
ZHANG K, LIU L, MA X Z, et al. Deep background and process of mineralization of the Middle-Lower Reaches of Yangtze River Metallogenic Belt revealed by the geophysical structure [J]. Geological Bulletin of China, 2024, 43 (11): 2044-2061.
- [12] 谢桂青, 吴晓林, 李新昊, 等. 长江中下游斑岩-矽卡岩铜多金属矿床共伴生碲、硒资源现状和成矿规律浅析 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2024, 43 (1): 35-48.
XIE G Q, WU X L, LI X H, et al. A primary study on the current status and mineralization regularities of associated Te and Se resources in porphyry-skarn Cu

- polymetallic deposits in the Middle-Lower Yangtze River Valley Metallogenic Belt, China [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2024, 43 (1): 35-48.
- [13] 钟镇海, 王世伟, 周涛发, 等. 安徽安庆铜铁矿床钴的赋存状态、分布与富集规律研究 [J]. *岩石学报*, 2024, 40 (2): 629-641.
ZHONG Z H, WANG S W, ZHOU T F, et al. Study on the occurrence, distribution and enrichment of cobalt in Anqing copper-iron deposit, Anhui Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2024, 40 (2): 629-641.
- [14] 吕翼辉, 张世涛, 高剑峰, 等. 热红外光谱特征和磁化率在矽卡岩型矿床找矿勘查中的应用: 以鄂东南铜绿山铜金铁矿床为例 [J]. *地球化学*, 2025, 54 (1): 141-158.
LV Y H, ZHANG S T, GAO J F, et al. Application of thermal infrared (TIR) spectral characteristics and magnetic susceptibility in the exploration of skarn deposits: a case study of the Tonglushan Cu-Au-Fe deposit, Edongnan ore district, eastern China [J]. *Geochimica*, 2025, 54 (1): 141-158.
- [15] 赵新福, 曾丽平, 廖旺, 等. 长江中下游成矿带玢岩铁矿研究新进展及对矿床成因的启示 [J]. *地学前缘*, 2020, 27 (2): 197-217.
ZHAO X F, ZENG L P, LIAO W, et al. An overview of recent advances in porphyrite iron (iron oxide-apatite, IOA) deposits in the Middle-Lower Yangtze River Valley Metallogenic Belt and its implication for ore genesis [J]. *Earth Science Frontiers*, 2020, 27 (2): 197-217.
- [16] 谢玉玲, 崔凯, 夏加明, 等. 中国东部燕山期斑岩钼-热液型铅锌(银)成矿系统的成矿物质来源 [J]. *地学前缘*, 2020, 27 (2): 182-196.
XIE Y L, CUI K, XIA J M, et al. The origin of ore-forming materials of the Yanshanian porphyry Mo-hydrothermal Pb-Zn (Ag) metallogenic system in eastern China [J]. *Earth Science Frontiers*, 2020, 27 (2): 182-196.
- [17] 曾普胜, 刘斯文, 邱小平, 中国东部燕山期构造圈热侵蚀的原因及其成矿效应 [J]. *矿床地质*, 2025, 44 (1): 110-123.
ZENG P S, LIU S W, QIU X P. Causes and metallogenic effects of Yanshanian tectonospheric thermal erosion in eastern China [J]. *Mineral Deposits*, 2025, 44 (1): 110-123.
- [18] 倪培, 潘君屹, 迟哲. 华南燕山期大规模铜成矿作用的成矿模式及找矿方向 [J]. *矿床地质*, 2020, 39 (5): 754-784.
NI P, PAN J Y, CHI Z. Large-scale Yanshanian copper mineralization in South China: metallogenic models and exploration implications [J]. *Mineral Deposits*, 2020, 39 (5): 754-784.
- [19] 梁国灏, 陈晓东, 李佑国, 等. 四川省会理市茨坪花岗岩体和宝鼎组花岗岩砾石的年代学特征对比研究 [J]. *东华理工大学学报(自然科学版)*, 2023, 46 (1): 1-9.
LIANG G H, CHEN X D, LI Y G, et al. Comparative study on chronological characteristics of the Ciping granite and granitic conglomerate of the Baoding Formation in Huili City, Sichuan Province [J]. *Journal of East China University of Technology (Natural Science)*, 2023, 46 (1): 1-9.
- [20] 常建霖, 张晓妮, 王师捷, 等. 内蒙古毕力赫地区二叠纪花岗岩年代学、地球化学及其构造意义 [J]. *世界地质*, 2025, 44 (2): 179-197.
CHANG J L, ZHANG X N, WANG S J, et al. Geochronology, geochemistry and tectonic implications of Permian granites in Bilihe area, Inner Mongolia [J]. *World Geology*, 2025, 44 (2): 179-197.
- [21] 华杰雄, 刘汉仑. 浙江治岭头地区霏细岩锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及形成背景 [J]. *世界地质*, 2022, 41 (1): 26-37.
HUA J X, LIU H L. Zircon U-Pb age, geochemical characteristics and formation setting of felsite in Zhilingtou area, Zhejiang Province [J]. *World Geology*, 2022, 41 (1): 26-37.
- [22] 于跃江, 赵忠海, 李新鹏, 等. 张广才岭北部早侏罗世花岗岩年代学、地球化学特征及其地质意义 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2024, 54 (4): 1224-1247.
YU Y J, ZHAO Z H, LI X P, et al. Geochronology, geochemistry and geological significance of Early Jurassic granites in northern Zhangguangcai Mountains [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2024, 54 (4): 1224-1247.
- [23] 李怡欣, 耿瑞, 肖凤利, 等. 黑龙江省老柞山金矿区花岗岩闪长岩成因及其对成矿的启示: 锆石 U-Pb 同位素定年和岩石地球化学特征 [J]. *吉林大学学*

- 报(地球科学版), 2023, 53(3): 809-821.
- LI Y X, GENG R, XIAO F L, et al. Genesis of granodiorite and its implications for mineralization in Laozuoshan gold deposit, Heilongjiang Province: zircon U-Pb isotopic dating and geochemical characteristics [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2023, 53(3): 809-821.
- [24] YAO W, LIU P, JIANG C Y, et al. Petrogenesis of Late Cretaceous Jiepailing granitoids in South China: implications for Sn mineralization and tectonic evolution [J]. Acta Geologica Sinica, 2025, 99(2): 473-498.
- [25] WANG Q M, LI H L, LI T D, et al. Two-episode tectono-thermal events of the Heyuan Fault in Late Cretaceous and Oligocene and their tectonic implications, southernmost South China Block [J]. Acta Geologica Sinica, 2022, 96(2): 447-459.
- [26] YAO W, LIU P, JIANG C Y, et al. Early Cretaceous tectonic transition in South China: insights from felsic igneous rocks and mafic dikes, eastern Guangdong Province [J]. Geological Journal, 2023, 58(8): 3153-3171.
- [27] ZHANG G C, SHAO L, QIAO P J, et al. Cretaceous-Palaeogene sedimentary evolution of South China sea region: a preliminary synthesis [J]. Geological Journal, 2020, 55(4): 2662-2683.
- [28] MAO J W, WANG Y T, ZHANG Z H, et al. Geodynamic settings of Mesozoic large-scale mineralization in North China and adjacent areas: implication from the highly precise and accurate ages of metal deposits [J]. Science China: Earth Science, 2003, 46(8): 838-851.

欢迎订阅 《世界地质》

《世界地质》(ISSN1004—5589/CN22-1111/P)是由吉林大学东北亚国际地学研究教学中心主办的综合性地学学术刊物。本刊遵循“百花齐放,百家争鸣”的方针,以跟踪地学前沿,及时报道全球地学领域里的新发现、新理论和新成果为办刊宗旨,内容涉及基础地质(包括地层、古生物、矿物、岩石、构造和区域地质等)、矿床地质、能源地质、海洋地质、水文地质、工程地质、环境地质(含生态地质和灾害地质)、遥感地质、地球物理、地球化学、勘探工程、地质信息技术和岩矿测试等专业领域。本刊入选中国科技核心期刊,被美国《化学文摘》(CA)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、日本科学技术振兴数据库(JST)等多家数据库收录。

《世界地质》由孙丰月教授担任主编,编委会由60多位国内外专家、学者组成,包括14位国外专家编委。

《世界地质》季中月25日出刊,大16开本。单价每册28元,全年定价112元。国内邮发代号12-127,读者可通过全国各地邮局订阅。补订者与本刊编辑部联系。

竭诚欢迎订阅和投稿!

邮政编码: 130026

通信地址: 吉林省长春市西民主大街938号《世界地质》编辑部

电话: (0431) 88502100, 88502587

网址: <http://sjdz.jlu.edu.cn>

电子邮箱: sjdz@jlu.edu.cn