

江西景德镇地区中生代推覆构造 变形特征与年代学约束

霍海龙^{1,2}, 张 达¹, 陈正乐², 毕珉烽³, 陈国华⁴, 贺晓龙¹, 李 宁¹,
李兴俭¹, 薛 伟¹, 欧阳永棚⁴

(1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

4. 江西省地质矿产勘查开发局九一二大队, 江西 鹰潭 335001)

摘 要: 景德镇地区位于江西省东北部, 扬子板块东部, 区内经历了长期的构造演化。通过对区域构造剖面的研究, 认为研究区中生代推覆构造的主要形式为由北西向南东的推覆, 新元古代双桥山群地层上覆于石炭—三叠纪地层之上, 总体构成叠瓦扇或双重构造。最大主压应力(σ_1)主要为北西—南东向。在推覆构造系统中, 发育于推覆构造断层内的未变形花岗岩锆石 U-Pb 年龄显示此次构造活动的时间为 157~172 Ma, 为燕山早期。受中生代推覆构造作用控制, 研究区内与推覆构造同期或者稍晚的岩浆作用沿推覆构造界面侵位并在适当的位置成矿, 推覆构造制约着与成矿有关的岩浆运移通道与就位空间。

关键词: 景德镇地区; 中生代; 逆冲推覆构造; 年代学

中图分类号: P548; P597.3

文献标识码: A

DEFORMATION CHARACTERISTICS AND GEOCHRONOLOGICAL CONSTRAINTS OF MESOZOIC NAPPE STRUCTURE IN JINGDEZHEN AREA, NORTHEASTERN JIANGXI

HUO Hailong^{1,2}, ZHANG Da¹, CHEN Zhengle², BI Minfeng³, CHEN Guohua⁴,
HE Xiaolong¹, LI Ning¹, LI Xingjian¹, XUE Wei¹, OUYANG Yongpeng⁴

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

3. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

4. 912 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Resources of Jiangxi Province, Yingtan 335001, Jiangxi, China)

Abstract: Jingdezhen area is located in the northeastern Jiangxi province, which belongs to the Yangzi

基金项目: 公益性行业科研专项 (201411035-3); 国家科技支撑计划项目 (2015BAB05B04-01, 2015BAB05B04-02); 中国地质调查局项目 (DD20160053)

作者简介: 霍海龙 (1988-), 男, 博士研究生, 构造地质学专业、主要从事区域构造研究。E-mail: huohailong2012@163.com

通讯作者: 张达 (1967-), 男, 博士, 教授, 主要从事区域构造、矿田构造、构造演化与成矿规律研究。E-mail: zhangda@cugb.edu.cn

收稿日期: 2017-06-22; **修回日期:** 2017-12-13

范二平编辑

plate, and has undergone long-term tectonic activities. According to the study of regional tectonic section, the Mesozoic thrust-nappe structure direction of the study area is from NW to SE, the upper Shuangqiaoshan group has been pushed to the top of Carboniferous-Triassic strata, and the structural styles of the thrust belt are characterized by imbricate fans and duplexes and the maximum principal compressive stress is SE-NW trend. The study of undeformed granite zircon U-Pb isotope dating shows that the U-Pb isotope age is 157 ~ 172 Ma, and the time of tectonic movement is during early Yanshanian period. The Mesozoic thrust-nappe structure produced the magmatic mineralization process in the Jingdezhen area, and the granites of Jingdezhen area may have invaded from intracontinental subduction-related transformation tectonic setting during the early Yanshanian. The nappe structure constrains the magmatic evolution and in space associated with mineralization. Then it controls the mineralization process of the deposit.

Key words: Jingdezhen area; Mesozoic; thrust-nappe structure; chronology

华南大陆主要由位于北部的扬子板块和南部的华夏板块构成, 在新元古代发生碰撞拼贴并经历了后期复杂的演化^[1~12]。作为扬子、华夏两大构造单元结合部位的赣东北地区, 对该地区地质构造的研究为理解整个结合带演化提供重要支撑^[10,13~15]。国内外学者对其地质演化进行了长期的研究, 并对新元古代古板块拼合与裂解以及与Rodinia 超大陆关系方面取得了一些认识^[10,16~18]。其中一些学者对赣东北地区广泛出露的新元古代双桥山群地层进行了详细的地层学、沉积学和年代学研究, 但是对于中生代构造变形特征较少涉及^[8,14,19~21]。进入中生代以来, 由于受古特提斯构造域向滨太平洋构造域转变的影响, 形成了中国东部大规模的成矿大爆发, 研究区内发育一系列铜多金属和钨钼多金属矿产^[21~26]。大湖塘白钨矿床、香炉山钨矿床、德兴铜矿床、朱溪铜钨矿床等构成了区内重要的多金属成矿带。位于赣东北的景德镇地区发育推覆构造, 区域成矿作用与地层、岩浆展布均与推覆构造活动关系密切, 特别是作为区内新近发现的特大型朱溪铜钨矿床, 矿床形成主要受区域构造控制, 与成矿有关的岩体沿推覆构造界面上侵并在先存构造破裂带中成矿。因此针对研究区中生代推覆构造变形进行研究十分必要, 但关于推覆构造空间展布、推覆构造方向及推覆构造形成时代等很少有学者研究。为了更好地厘定推覆构造形态学、运动学及动力学特征, 分析推覆构造与矿床形成的控制作用, 文章选取景德镇地区开展中生代推覆构造地质特征及年代学研究工作, 探讨区域构造演化过程及控矿作用。

1 区域地质特征

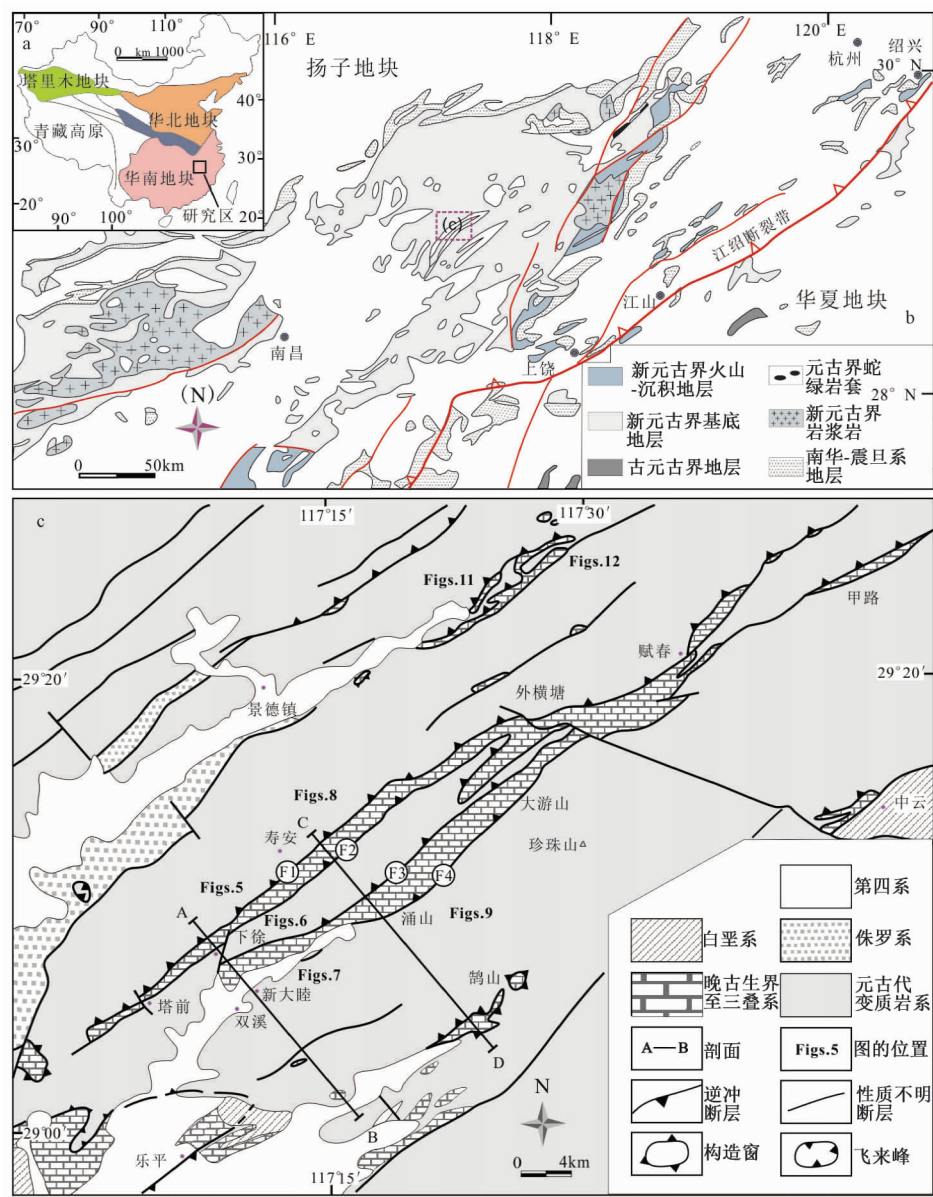
研究区主要位于钦杭成矿带东段, 大地构造位置属于江南—雪峰隆升带的宜春—景德镇断褶带。区域基底地层主要为新元古界双桥山群浅变质千枚岩、变砂质岩, 为一套巨厚的深海浊流—复理石建造。沉积盖层为石炭系—白垩系, 为浅海碳酸盐为主的夹碎屑岩的地台型沉积。研究区自元古代就处于扬子、华夏两个古板块结合部位, 长期经历构造—岩浆—变质事件^[27]。中生代经历了陆内俯冲、挤压造山以及后期伸展作用等多期构造岩浆活动, 进入到燕山期以来, 由于受到太平洋板块俯冲作用的影响而发生强烈的陆内俯冲作用^[11], 北东—南西走向的推覆构造奠定了区域基本构造格架 (见图1)。

2 推覆构造系统特征

景德镇地区推覆构造系统主要出露于景德镇市东南侧, 出露地层主要为元古界双桥山群及石炭—三叠系。推覆构造带总体沿北东—南西向展布, 主要由寿安、塔前、大游山、涌山、临港等断裂系统组成 (F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4), 外来岩系为新元古代双桥山群地层, 原地岩系为石炭—白垩纪的沉积地层, 推覆构造的结果将双桥山群地层逆冲于晚古生代—中生代沉积地层之上。

2.1 推覆体变形特征

区内的推覆体主要为新元古代双桥山群 (Ptsh) 地层, 主要为一套浅变质泥质岩、砂质岩



F₁—寿安断裂; F₂—塔前断裂; F₃—大游山断裂; F₄—涌山断裂

图 1 赣东北地区地质简图 (b)^[19]和景德镇地区地质图 (c)^[28]

Fig. 1 Simplified geologic map of the northeastern Jiangxi and Jingdezhen area

等。变形特征上主要表现为强变形、弱变质特点,在区域上主要以褶皱、断层等脆性变形方式为主。

在双桥山群浅变质岩地层中,普遍可见脆性的褶皱变形,其中发育的不协调褶皱可以指示地层的运动状态,在较厚层的砂岩中可见受挤压作用而形成的共轭节理和层内次级断层,局部挤压强烈的地方褶皱紧闭,表现了地层强烈缩短(见图2)。

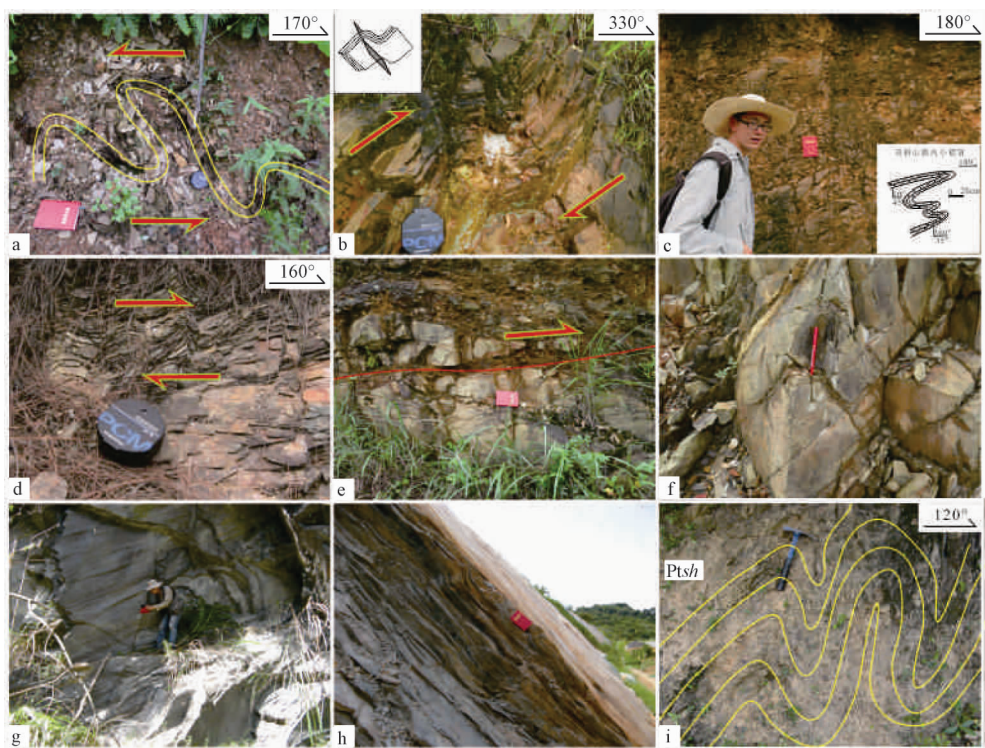
2.2 原地岩系变形特征

原地岩系主要为石炭—白垩系的一套以浅海碳酸盐岩为主夹碎屑岩的沉积地层。受区域构造控制,地层主要呈“单斜式”产出,地层沉积较

为连续。在石炭系灰岩中,由于受推覆构造影响,发育一系列不协调褶皱,局部背斜核部发生倒转,受挤压作用产生共轭节理并发育雁列脉,在逆冲断裂带中发育构造角砾岩(见图3)。

3 逆冲推覆构造系统几何学、运动学特征

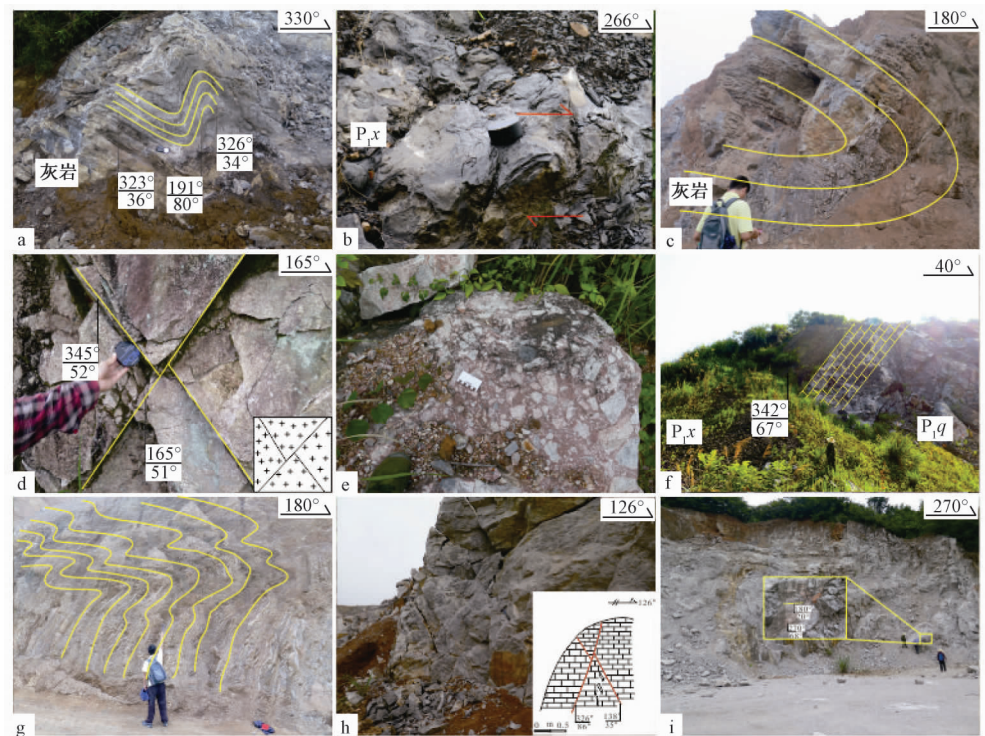
针对赣东北地区逆冲推覆构造的研究,相关学者做了大量工作,取得了大量的研究成果,确定了该地区中生代逆冲推覆构造的存在^[29~32]。但



a—不协调褶皱；b—膝折；c—不协调褶皱；d—尖棱褶皱；e—组内次级断裂；
f—粉砂质板岩中共轭节理；g—砂质千枚岩中线理发育；h—板理发育；i—紧闭褶皱

图 2 双桥山群内变形特征

Fig. 2 Deformation characteristics of the Shuangqiaoshan Group



a—石炭系灰岩尖棱褶皱；b—二叠系炭质页岩发生褶皱；c—石炭系灰岩中倒转背斜；
d—鹅湖岩体发育共轭节理；e—灰岩中发育角砾岩；f—栖霞组地层与小江边组地层呈整合接触，且呈单斜地层；
g—灰岩中不协调褶皱；h—灰岩中共轭节理；i—灰岩中发育擦痕

图 3 原地岩系变形特征

Fig. 3 Deformation characteristics of autochthonous system

是对于推覆构造空间展布、逆冲构造运动方向以及发生时限上存在较大争议^[29~30,32~34]。在景德镇地区,由于地表露头较差、双桥山群变质岩内部变形较为复杂以及缺乏深部资料等原因,使该地区的逆冲构造研究受到极大的制约,本次通过对景德镇地区发育的中生代逆冲推覆构造的几何学、运动学及年代学进行系统研究,以期对该地区中生代推覆构造演化进行约束。

3.1 景德镇地区推覆构造特征

景德镇推覆系统是由一系列大体平行的逆冲断裂带组成,走向北东。这些逆冲带的主冲断面除出现局部变化外,其余均系由北西向南东逆冲。由于主冲断面的起伏与后期剥蚀,致使峰带前部出现飞来峰,而在后部产生构造窗,在平面上大体可以分为3段。

西南段主要由自乐平向北东经塔前到下徐一带,长约16 km。断层上盘由元古界双桥山群浅变质岩系组成,下盘由石炭—三叠纪地层组成。断层总体倾向北西,倾角较陡,一般大于45°。在平面上表现为显著的地层截切关系,沿断裂带有大量花岗岩脉侵入。在月形附近,大游山断裂与涌山断裂趋于合并,向南西潜伏于花门楼逆冲岩席之下。

中段自科山乡向北东到寿安一带,长约15 km,朱溪超大型铜钨矿床就产出于该区段,在平面展布上断层带总体呈向南东凸出的弧形。断

层面在浅部较陡,多在40°~50°间,但向深部延伸时逐渐变缓以致近乎水平。其上盘由元古界双桥山群浅变质岩系组成,下盘由石炭—三叠纪地层组成。断层面主要沿着双桥山群与三叠系安源群、石炭系灰岩的不整合界面发育,断裂带由50~100 m断层破裂带组成,局部发育断层泥。

东北段位于景德镇往东到赋春一带,长约10 km。断层上盘由元古界双桥山群浅变质岩系组成,下盘由石炭—三叠纪地层组成。断层走向北东,在赋春附近逐渐趋于合并。在王港—北安地区,双桥山群地层常呈“飞来峰”上覆于三叠系安源群地层之上,在断层面附近可见煤线。

3.2 景德镇地区推覆构造剖面特征

3.2.1 西南段逆冲断层剖面特征

在西南段逆冲断层剖面中,断层面走向总体沿北东向延伸,在外来岩系内部发育一系列伴生褶皱,其中褶皱轴面总体向北西向倾伏,在靠近断层面发育牵引构造,且靠近断层面附近构造强烈,褶皱较紧闭,由断面向外变形有变弱的趋势,在剖面上表现为由北西向南东方向的逆冲推覆构造。原地岩系主要为一套以砂岩、灰岩为主的盖层沉积,岩石总体较破碎,节理等较发育,在部分灰岩中,由于层理不发育,褶皱等变形不太发育。推覆构造的断层面靠近地面产状常较陡立,向下逐渐变缓,呈“铲状”产出,总体构成叠瓦扇或双重构造(见图4)。

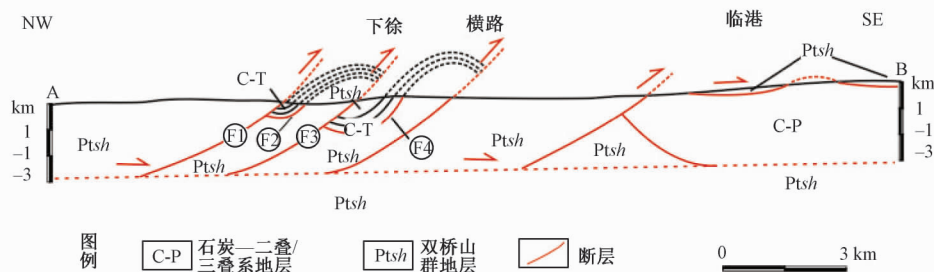


图4 塔前—临港构造剖面图

Fig. 4 Tectonic section of Taqian-Lingang

在科山乡可见双桥山群(Ptsh)泥质板岩逆冲于安源群(T_3A)炭质页岩之上(F_1 断裂),断层面产状 $58^\circ \angle 42^\circ$,双桥山群地层由于受到断层运动影响而产生牵引褶皱,指示其逆冲方向为由北西向南东(见图5)。在下徐,双桥山群(Ptsh)泥质板岩逆冲于石炭系黄龙组(C_2h)灰岩之上(F_1 断裂),断层面产状 $62^\circ \angle 38^\circ$ 。其中泥质板岩产状 $290^\circ \angle 74^\circ$,位于地势较高的地方,灰岩呈块

状,层理不明显,位于较低的位置,二者的接触带为负地形(见图6)。在科山乡岩前灰岩采场,可以观察到双桥山群地(Ptsh)层上覆于石炭系老虎洞组(C_2l)之上(F_4 断裂),其中老虎洞组为白云质灰岩,双桥山群地层为泥砂质板岩,整体层面较明显,岩石较破碎。由于地层抗风化能力的差异,老虎洞组在相对较高的位置形成“构造窗”(见图7)。

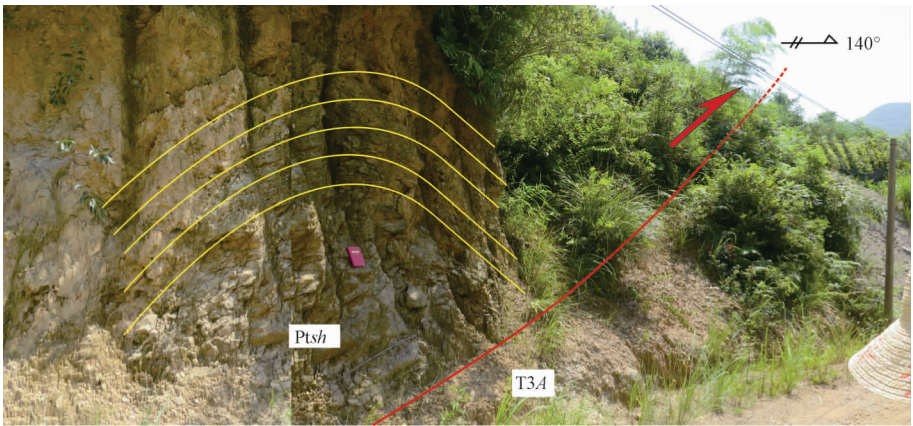


图 5 双桥山群逆冲于安源群地层之上
Fig. 5 The Shuangqiaoshan Group thrusting upon the Anyuan Group

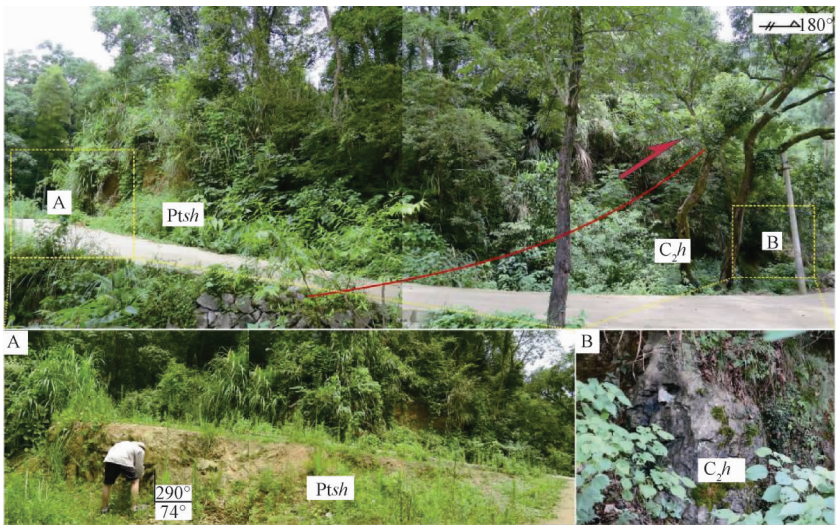


图 6 双桥山群地层逆冲于石炭系黄龙组灰岩之上
Fig. 6 The Shuangqiaoshan Group thrusting upon the Huanglong Formation

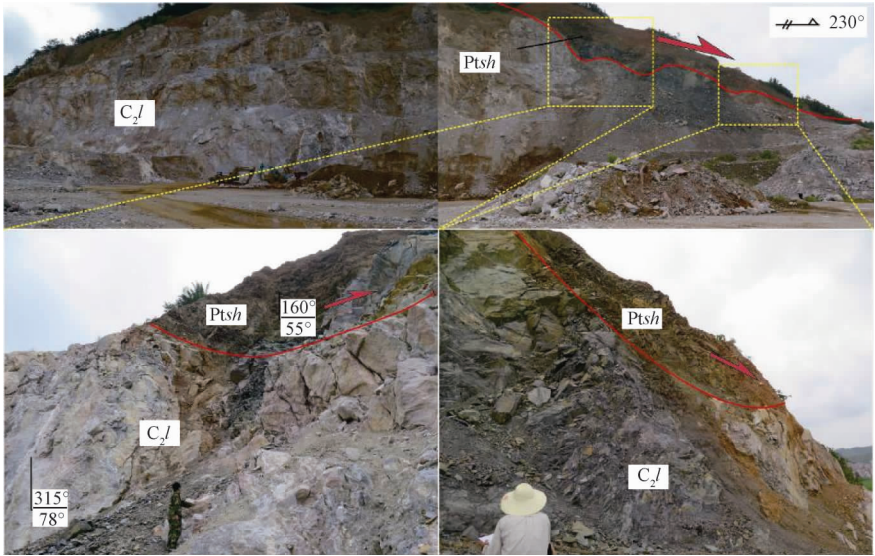


图 7 双桥山群上覆于老虎洞组灰岩之上
Fig. 7 The Shuangqiaoshan Group overlying upon the Laohudong Formation

3.2.2 中段逆冲推覆构造剖面特征

在中段剖面中，断层面走向沿北东向延伸，表现为由北西向南东方向的逆冲推覆构造。推覆构造外来岩系主要为新元古代双桥山群变质岩，在内部发育一系列伴生褶皱，总体显示由北西向南东运动的运动学特征，在靠近断层面常常发育牵引构造。在景德镇市西露头中，双桥山群泥质千枚岩上覆于三叠系安源群地层之上（ F_1 断裂），

下覆安源群地层发育的伴生褶皱显示推覆运动方向由北西向南东（见图 8）。在涌山砖瓦厂附近，断层倾向南东，在推覆构造上盘双桥山群中可见一系列伴生褶皱，显示其为由北西向南东的运动（见图 9）。综合剖面特征，中段推覆构造的断层面靠近地面产状常较陡立，向下逐渐变缓，呈“铲状”产出，总体构成叠瓦扇或双重构造（见图 10）。

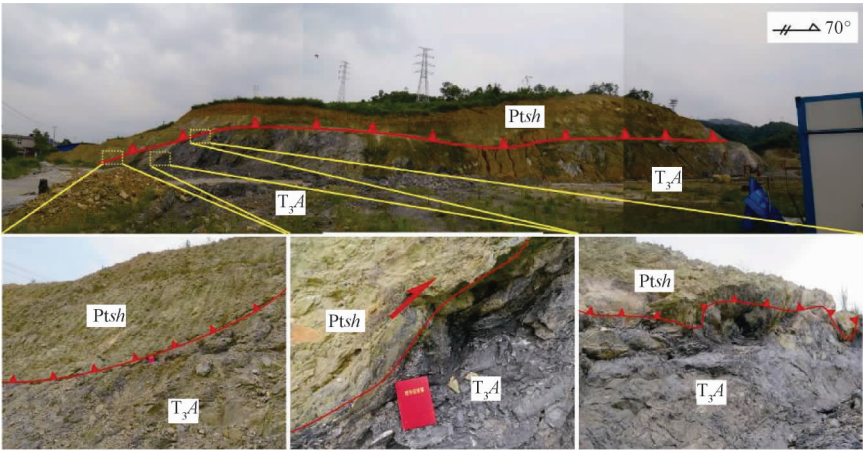


图 8 双桥山群推覆于三叠系安源群之上

Fig. 8 The Shuangqiaoshan Group pushed upon the Anyuan Group

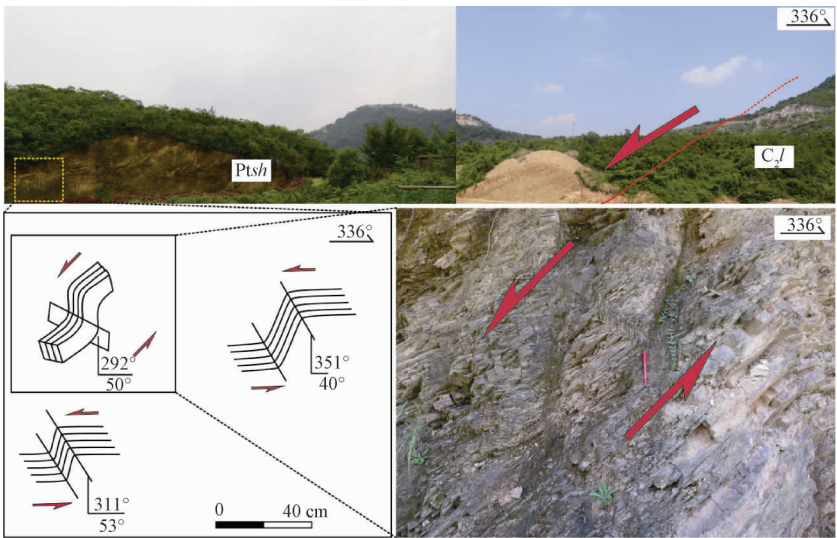


图 9 双桥山群（Ptsh）地层逆冲于老虎洞组（ C_2l ）地层之上

Fig. 9 The Shuangqiaoshan Group thrusting upon the Laohudong Formation

3.2.3 东北段逆冲推覆构造剖面特征

在大岭村采土场，双桥山群变质岩推覆于安源群炭质砂岩之上。其中双桥山群地层产状 $135^\circ \angle 52^\circ$ ，为土黄色泥质板岩。安源群炭质砂岩呈“构造窗”产出，地层产状 $115^\circ \angle 74^\circ$ 岩石整体较破碎，推覆构造界面较弯曲，在安源群群中发育

一系列牵引褶皱，显示上覆双桥山群的运动方向为由北西向南东（见图 11）。在北安地区公路排水沟旁，双桥山群地层上覆于安源群地层之上。双桥山群作为外来岩系，为土黄色泥质板岩，地层产状为 $291^\circ \angle 45^\circ$ 。安源群地层为含炭砂岩，在断层面附近可见煤线（见图 12）。

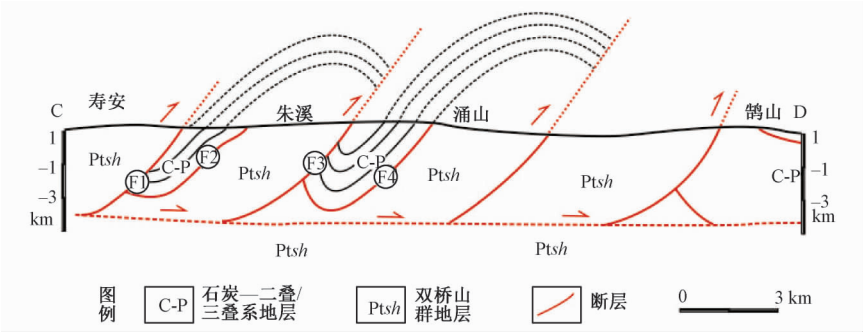


图 10 寿安—鹤山构造剖面图
Fig. 10 Tectonic section of Shouan-Hushan

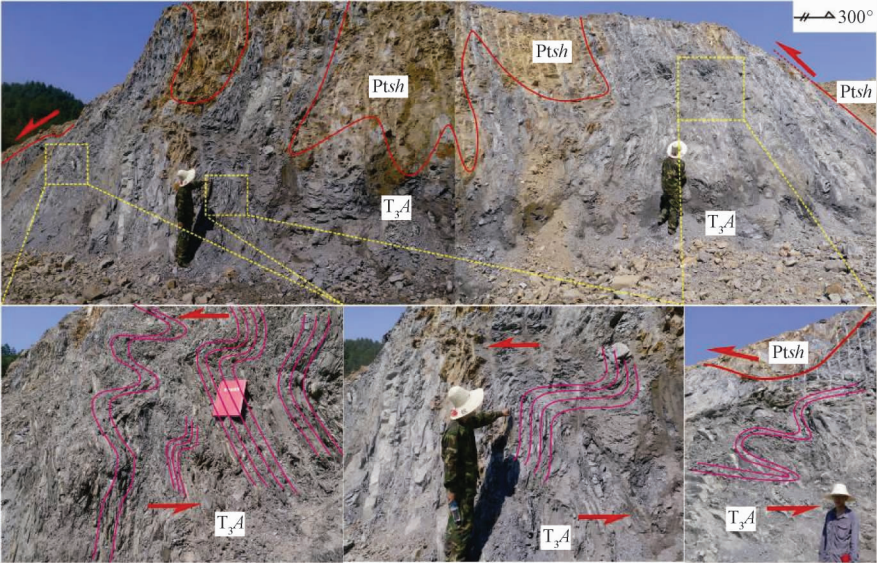


图 11 双桥山群变质岩上覆于安源群含炭砂岩之上
Fig. 11 The Shuangqiaoshan Group overlying upon the Anyuan Group

4 逆冲推覆构造方向与形成时代

4.1 逆冲推覆构造方向

为精细确定研究区内主压应力分布状态，通过对区域露头观察及剖面测量，将卷入变形地层中的伴生构造进行研究，以查明推覆构造最大主应力方向，主要测量伴生褶皱枢纽、节理等产状。在研究区共进行了 18 个点的测量工作，其中 A—M、O—Q 为褶皱枢纽，N、R 为灰岩节理。通过对褶皱枢纽进行赤平投影处理，计算出最大主压应力 (σ_1) 的方位，其特征见图 13。研究区主压应力 (σ_1) 主要为北西—南东向，具有明显的优势方位。结合运动学研究表明，推覆构造挤压方向为北西—南东向，且运动方向为由北西向东南。

在中国东部，中生代的构造应力主要受东西

向特提斯构造域向北东向滨太平洋构造域转换的控制，万天丰等通过研究认为燕山期的主压应力为北西—南东向，且随时间变化最大主应力方向是逐渐转变的，这与本次研究所得到的结论一致^[35~38]。

4.2 推覆构造成形成时代研究

在科山乡枣林村附近推覆构造断层带中发育花岗岩脉，其中岩脉沿断层面产出，脉体没有切割推覆构造界面，属于推覆构造晚期沿断层面侵位的岩体，且岩脉较完整，整体变形较弱，在镜下观察矿物未发生明显的变形特征，反映了侵位以后无较明显构造活动（见图 14a），故通过该岩脉年代学研究，对研究区推覆构造演化进行年代学约束。

4.2.1 样品采集

研究所采集的花岗岩脉样品取自科山乡枣林

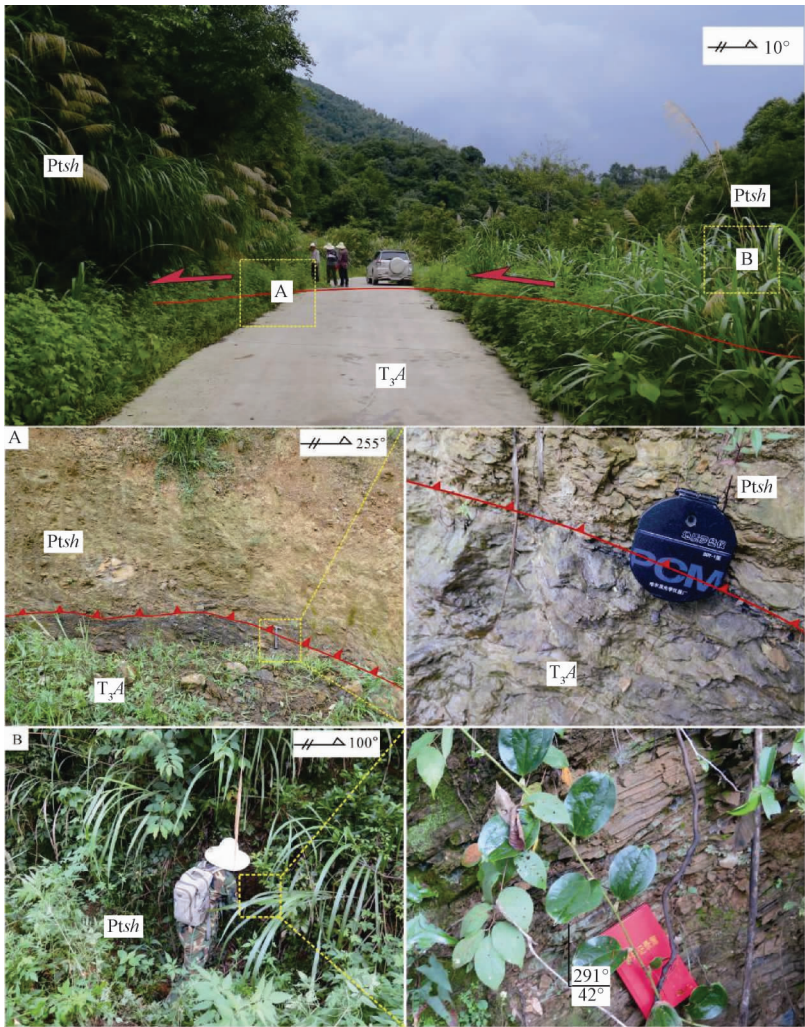


图 12 北安地区双桥山群上覆于安源群地层之上
Fig. 12 The Shuangqiaoshan Group overlying upon the Anyuan Group

村附近主推覆构造断裂带中，岩脉顺断层面产出。花岗岩呈灰白色，花岗结构，块状构造，主要矿物为斜长石、黑云母和石英，所有矿物并未发现强烈变形特点（见图 14b）。

4.2.2 测试方法

锆石分选工作在河北省廊坊市地科勘探技术服务有限公司完成，锆石 U-Pb 同位素年龄测试在北京大学造山带与地壳演化实验室进行，所用仪器为美国 ESI 公司生产的 UP193-FX ArF 型激光烧蚀多接收器等离子体质谱仪（LA-MC-ICPMS）。

根据锆石阴极发光（CL）图像、透射光以及反射光图像，选择适合的锆石进行年代学测定。采用标准锆石 GJ-1 作为年龄外部标样进行 U、Pb 同位素分馏校正，用 NIST SRM610 玻璃标样作为元素外部标样计算锆石样品中的 U、Th、Pb 含量，采用 ICPMSDataCa 18.3 程序^[38]和 Kenneth R.

Ludwig 的 Isoplot（Version3.76）程序进行数据处理、谐和图绘制、年龄加权平均值的计算。

4.2.3 岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄

样品 Bzx15-06 共完成 28 点测试，数据见表 1。锆石晶体长约 50 ~ 180 μm，宽约 30 ~ 80 μm，长宽比为 1.2:1 ~ 4.1:1，具明显的振荡环带和扇形环带（见图 15a），而分析点的 Th/U 比为 0.28 ~ 1.27（>0.1），属于典型岩浆锆石^[39]。

获得的年龄主要为：157 ~ 172 Ma、428 ~ 538 Ma、824 ~ 856 Ma、1113 ~ 2492 Ma，其中后面的三个年龄代表继承早期岩浆活动的时代，由于在 157 ~ 172 Ma 年龄段中点位最多，年龄较为集中，且协方差较好，代表最晚一期岩浆活动的时限，其加权平均年龄值为 161.6 ± 3.0 Ma（1σ），代表了该花岗岩锆石的结晶年龄，限定了推覆构造发育时代为燕山早期（见图 15b）。

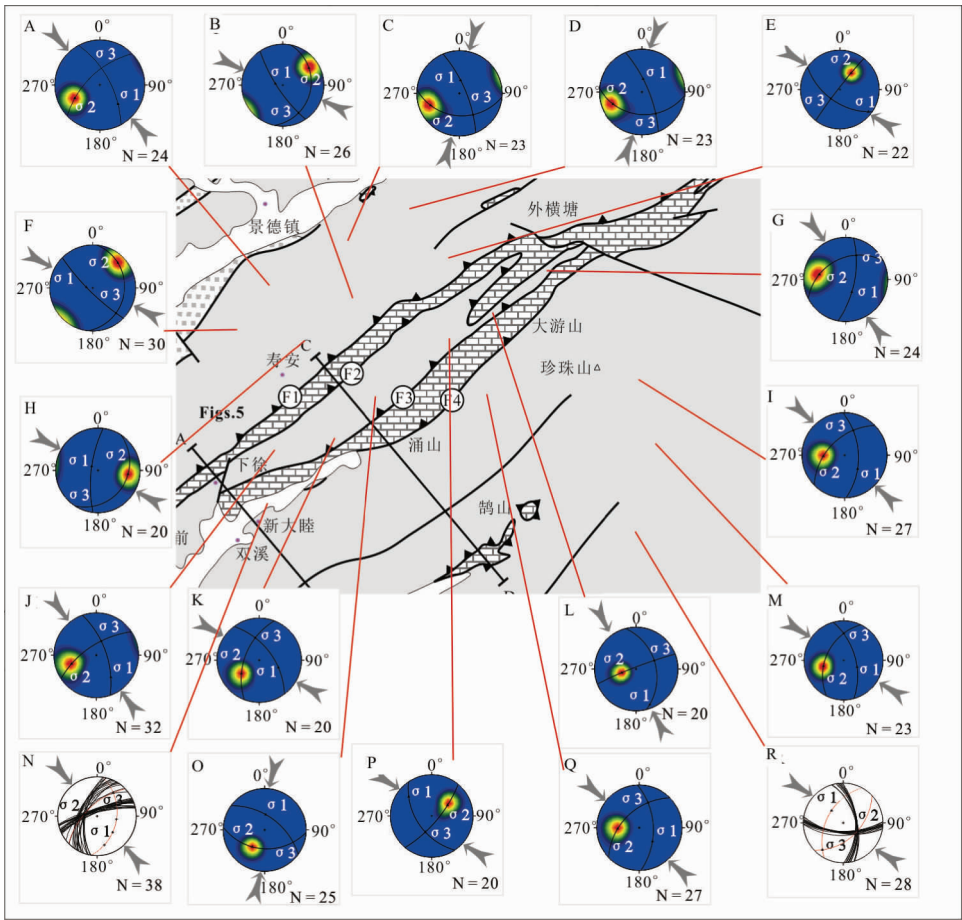


图 13 景德镇地区褶皱枢纽及节理赤平投影（下半球）及主压应力图
Fig. 13 Stereoprojection of fold hinges and joints and principal compressive stress in Jingdezhen area

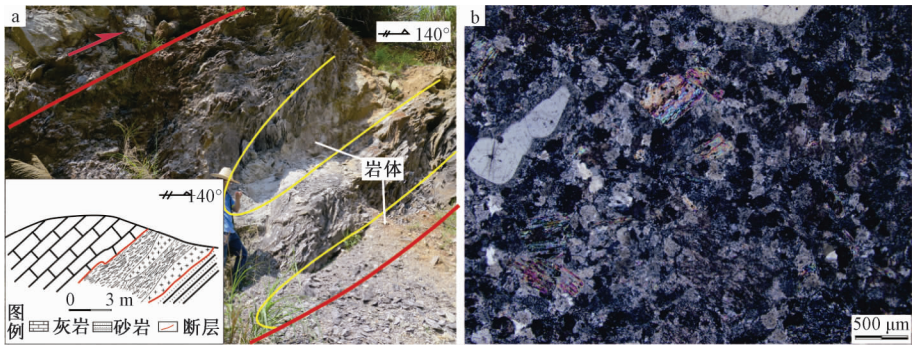


图 14 花岗岩脉野外露头 (a) 和镜下照片 (b)
Fig. 14 Outcrops and microscope photos of the granites (a, b)

5 讨论

华南板块自古元古代以来经历了多期次的构造演化，特别是中生代以来构造岩浆作用尤为显著。自中侏罗世开始（~170 Ma），受多向板块汇聚作用的影响，华南地区出现大规模的岩石圈挤

压增厚，并形成大规模的北东—南西走向的推覆构造，前期形成的印支期东西向构造被中侏罗世以来的北东向构造叠加。大规模挤压作用导致华南板块岩石圈加厚，并诱发下地壳持续重熔，为中生代大规模岩浆作用及成矿奠定了重要的构造背景^[40,41-43]。
赣东北地区广泛发育与酸性花岗岩有关的钨

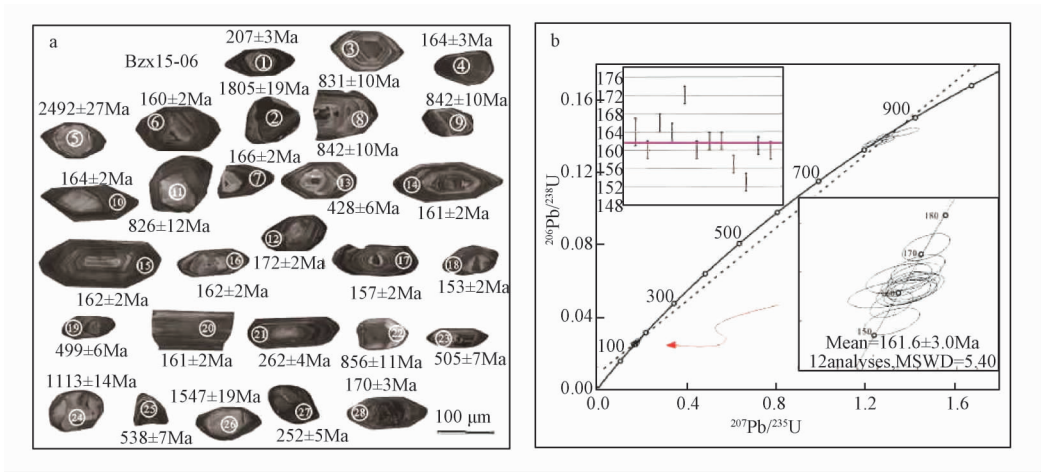


图 15 Bzx15-06 阴极发光 CL 图像 (a) 和锆石 U-Pb 一致曲线 (b)

Fig. 15 Cathodoluminescence (CL) images and Concordia diagram of zircon U-Pb ages of Bzx15-06

表 1 花岗岩体锆石 U-Pb 同位素数据

Table 1 Zircon U-Pb isotopic dating results of samples from the granites

Spot	含量/ $\times 10^{-6}$				同位素比值						年龄/Ma					
	Pb	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	δ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	δ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	δ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	δ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	δ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	δ
Bzx15-06																
B06-01	683.54	401.24	1135.24	0.35	0.0556	0.0021	0.2498	0.0093	0.0326	0.0004	436	83	226	8	207	3
B06-02	355.32	310.81	547.00	0.57	0.1235	0.0038	5.5043	0.1616	0.3232	0.0039	2007	53	1901	25	1805	19
B06-03	207.15	259.53	285.87	0.91	0.0685	0.0025	1.2997	0.0458	0.1376	0.0018	884	74	846	20	831	10
B06-04	217.57	118.41	365.27	0.32	0.0481	0.0032	0.1708	0.0110	0.0257	0.0004	105	148	160	10	164	3
B06-05	100.51	118.36	141.90	0.83	0.1741	0.0056	11.3295	0.3486	0.4719	0.0061	2597	52	2551	29	2492	27
B06-06	350.92	169.94	598.02	0.28	0.0498	0.0027	0.1729	0.0091	0.0252	0.0004	186	121	162	8	160	2
B06-07	385.99	217.39	644.94	0.34	0.0500	0.0026	0.1802	0.0090	0.0261	0.0004	195	114	168	8	166	2
B06-08	195.35	217.73	280.98	0.77	0.0666	0.0026	1.2515	0.0465	0.1363	0.0018	824	78	824	21	824	10
B06-09	312.00	274.84	479.50	0.57	0.0673	0.0024	1.2950	0.0445	0.1395	0.0018	848	72	844	20	842	10
B06-10	395.24	258.15	645.40	0.40	0.0502	0.0026	0.1785	0.0089	0.0258	0.0004	202	114	167	8	164	2
B06-11	86.75	124.06	113.23	1.10	0.0669	0.0033	1.2605	0.0598	0.1367	0.0021	834	99	828	27	826	12
B06-12	624.97	413.43	1018.32	0.41	0.0495	0.0022	0.1844	0.0080	0.0270	0.0004	172	101	172	7	172	2
B06-13	185.10	166.47	283.03	0.59	0.0831	0.0036	0.7866	0.0331	0.0686	0.0010	1272	83	589	19	428	6
B06-14	413.73	204.97	703.12	0.29	0.0507	0.0026	0.1765	0.0088	0.0252	0.0004	229	114	165	8	161	2
B06-15	542.96	367.76	881.07	0.42	0.0493	0.0024	0.1736	0.0081	0.0255	0.0004	164	108	163	7	162	2
B06-16	373.59	178.91	637.50	0.28	0.0507	0.0027	0.1776	0.0091	0.0254	0.0004	227	118	166	8	162	2
B06-17	767.34	574.41	1222.13	0.47	0.0491	0.0022	0.1669	0.0073	0.0247	0.0003	151	102	157	6	157	2
B06-18	339.71	182.96	571.14	0.32	0.0506	0.0029	0.1673	0.0093	0.0240	0.0004	224	127	157	8	153	2
B06-19	428.74	239.39	717.25	0.33	0.0805	0.0031	0.8933	0.0331	0.0805	0.0011	1209	74	648	18	499	6
B06-20	469.45	740.47	583.59	1.27	0.0513	0.0028	0.1792	0.0095	0.0254	0.0004	252	121	167	8	161	2
B06-21	242.58	181.55	386.37	0.47	0.0618	0.0031	0.3532	0.0174	0.0414	0.0006	668	105	307	13	262	4
B06-22	174.83	263.79	222.39	1.19	0.0704	0.0030	1.3785	0.0566	0.1420	0.0020	940	85	880	24	856	11
B06-23	185.09	138.31	294.90	0.47	0.0683	0.0031	0.7677	0.0338	0.0815	0.0012	877	92	578	19	505	7
B06-24	149.34	192.29	203.90	0.94	0.0762	0.0032	1.9809	0.0794	0.1884	0.0027	1101	81	1109	27	1113	14
B06-25	604.06	297.90	1027.15	0.29	0.0647	0.0025	0.7763	0.0291	0.0870	0.0012	764	80	583	17	538	7
B06-26	111.53	105.45	168.36	0.63	0.0946	0.0038	3.5367	0.1374	0.2712	0.0038	1520	74	1536	31	1547	19
B06-27	771.46	518.76	1253.46	0.41	0.0675	0.0027	0.5225	0.0203	0.0561	0.0008	854	81	427	14	352	5
B06-28	494.42	308.79	813.32	0.38	0.0953	0.0044	0.3507	0.0154	0.0267	0.0004	1534	83	305	12	170	3

锡多金属矿床以及 与中酸性岩浆有关的铜多金属矿床，其成矿时代多集中在中—晚侏罗世（175 ~ 145 Ma）^[23]。其中新元古代双桥山群变质基底与晚古生代沉积盖层之间的构造界面是主要的控矿界

面，且大多数矿床产出状态受逆冲推覆构造控制，中生代推覆构造不仅为与成矿关系密切的岩浆活动提供通道，而且对矿床的空间展布起到控制作用。

5.1 景德镇逆冲推覆构造格局与变形时代

景德镇逆冲推覆构造系统主要由一系列大致平行的区域性逆冲断裂带及上覆逆冲岩席所构成，组成较典型的双重逆冲构造。这些逆冲带的主冲断面除出现局部变化外，其余均为由北西向南东逆冲。由于主冲断面的起伏与后期剥蚀，致使峰带前部常出现飞来峰。平面展布上断层带总体呈向南东凸出的弧形。断层面在浅部较陡，多在 40°~50°间，但向深部延伸时逐渐变缓呈铲状。其中，上盘由元古界双桥山群浅变质岩系组成，下盘由石炭—三叠纪地层组成。景德镇逆冲推覆构造系统中大量卷入石炭—三叠纪地层，沿断层面产出的未变形的岩浆岩的同位素年代学数据表明其形成于 $161.6 \pm 3.0 \text{ Ma}$ ，限定了推覆构造发育时代为燕山早期。其与区域广泛发育的区域性不整合可能均代表了燕山期陆内褶皱造山事件的构造响应^[10]。

5.2 景德镇逆冲推覆构造对华南构造域转换的时代约束

自中侏罗世以来，华南板块由于受东亚岩石圈板块多向汇聚导致大规模挤压增厚作用，形成广泛的逆冲推覆构造，170~145 Ma 可能是华南中

生代主推覆构造活动时期^[36~37,40,44~46]。在此过程中，华南地区经历了由特提斯构造域向古太平洋构造域的转变，受其影响构造线方向由东西向转变为北东向，并且在南岭发育双峰式火山岩和裂谷盆地群^[36~37]。在此过程中，由于受大陆岩石圈拆沉作用影响，中国东部岩石圈发生减薄并诱发大规模的岩浆活动，形成了华南地区大规模的成矿作用，其中与花岗岩有关的钨、锡矿主要出现于岩石圈伸展环境^[43~46]。

5.3 景德镇逆冲推覆构造对区域矿床分布及矿体产出状态的制约

在燕山期板块多向汇聚构造体制下，华南板块发生强烈的陆内俯冲作用，进而发生大规模推覆构造运动，推覆构造界面为岩浆的上涌提供通道和空间，在推覆作用发生之后，与成矿关系密切的岩浆岩沿着推覆构造界面上涌，进而在适当的位置成矿。在此过程中，推覆构造界面制约着与成矿有关的岩浆的运移通道以及就位空间，进而控制矿床的空间展布。受区域性北东走向逆冲断裂控制，沿景德镇推覆构造系统发育一系列的多金属矿床，如朱溪钨-多金属矿床、塔前钨钼-多金属矿床、月形铜-多金属矿床、赋春金-多金属矿床等，均表现出较强的构造控矿的特征，对它们进行区域构造控矿作用的研究具有较强的指导意义（见图 16a）。

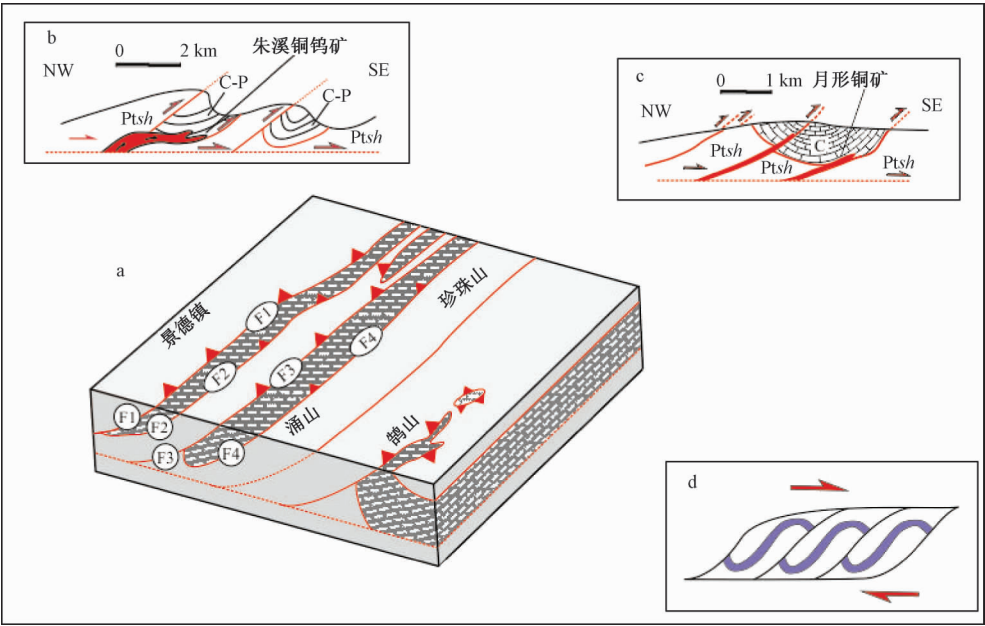


图 16 景德镇地区推覆构造模式图
Fig. 16 The thrust-nappe structure model in Jingdezhen area

受中生代构造事件约束,与推覆构造同期或者稍晚的成矿作用是华南中生代重要的构造—成矿过程。除主推覆构造界面之外,挤压过程中在地层中产生一系列垂直主压应力的次级破裂面,由推覆构造运动产生的推覆构造界面及伴生的次级断裂成为主要的储矿构造。矿区构造属性由挤压状态转变为伸展状态时,岩浆上侵过程中常沿早期破裂面侵位,含矿热液与灰岩发生交代成矿,成为较好的成矿部位,在深部可见矿脉顺破裂面发育,区域的北西—南东向逆冲推覆构造在总体构成叠瓦扇或双重构造(见图16b—16d)。

在新近发现的朱溪超大型钨-多金属矿床中,钨矿体主要赋存于石炭纪黄龙组与新元古代双桥山群变质岩推覆构造界面部位。根据钻孔及坑道观察,与成矿关系密切的主要有两期构造活动,初期以压性为主,后期以张性为主,主矿体展布与接触面延伸一致,且在层间顺层产出的裂隙中呈似层状产出,矿体主要在张性的空间中赋存^[47]。

6 结论

景德镇地区发育北西—南东向逆冲推覆构造,新元古代双桥山群地层上覆于石炭—三叠纪地层之上,断层面走向总体沿北东向延伸。推覆构造的断层面靠近地面产状常较陡立,向下逐渐变缓,呈“铲状”产出,总体构成叠瓦扇或双重构造。研究区主压应力(σ_1)主要为北西—南东向,具有明显的优势方位,说明推覆构造挤压方向亦为北西—南东向,且运动方向由北西向东南。

在推覆构造系统中,发育于推覆构造断层内的未变形花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 157 ~ 172 Ma,即燕山早期;表明此次推覆构造事件发生的时间为早燕山期。

在燕山期板块多向汇聚构造体制下,受中生代陆内俯冲作用控制,华南地区推覆构造广泛发育,与推覆构造同期或者稍晚的岩浆作用沿推覆构造界面侵位并在适当的位置成矿,形成了以朱溪钨-多金属矿床为代表的多金属矿床。

致谢 野外工作得到江西省 912 地质大队的大力帮助;锆石年代学测定得到北京大学造山带与地壳演化实验室研究人员帮助;成文过程中得到周志广副教授、王继斌硕士的指导帮助;在此一并表

示衷心感谢。

参考文献/References

- [1] Guo L Z, Shi Y S, Lu H F, et al. The pre-Devonian tectonic patterns and evolution of South China [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1989, 3 (1/4): 87 ~ 93.
- [2] Zhao G C, Guo J H. Precambrian geology of China: Preface [J]. *Precambrian Research*, 2012, 222 ~ 223: 1 ~ 12.
- [3] Charvet J, Lapierre H, Yu Y W. Geodynamic significance of the Mesozoic volcanism of southeastern China [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1994, 9 (4): 387 ~ 396.
- [4] Shu L S, Charvet J. Kinematics and geochronology of the Proterozoic Dongxiang-Shexian ductile shear zone: with HP metamorphism and ophiolitic mélangé (Jiangnan Region, South China) [J]. *Tectonophysics*, 1996, 267 (1/4): 291 ~ 302.
- [5] Li X H, Li Z X, Ge W C, et al. Neoproterozoic granitoids in South China: Crustal melting above a mantle plume at ca. 825 Ma? [J]. *Precambrian Research*, 2003, 122 (1/4): 45 ~ 83.
- [6] Li L M, Sun M, Wang Y J, et al. U-Pb and Hf isotopic study of detrital zircons from the meta-sedimentary rocks in central Jiangxi Province, South China: Implications for the Neoproterozoic tectonic evolution of South China Block [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 41 (1): 44 ~ 55.
- [7] Sun W H, Zhou M F, Gao J F, et al. Detrital zircon U-Pb geochronological and Lu-Hf isotopic constraints on the Precambrian magmatic and crustal evolution of the western Yangtze Block, SW China [J]. *Precambrian Research*, 2009, 172 (1/2): 99 ~ 126.
- [8] Wang X L, Zhou J C, Qiu J S, et al. Geochemistry of the Meso- to Neoproterozoic basic-acid rocks from Hunan Province, South China: Implications for the evolution of the western Jiangnan orogen [J]. *Precambrian Research*, 2004, 135 (1/2): 79 ~ 103.
- [9] 郭令智, 卢华复, 施央申, 等. 江南中、新元古代岛弧的运动学和动力学 [J]. *高校地质学报*, 1996, 2 (1): 1 ~ 13.
GUO Lingzhi, LU Huaifu, SHI Yangshen, et al. On the Mesoproterozoic Jiangnan island arc: Its kinematics and dynamics [J]. *Geological Journal of Universities*, 1996, 2 (1): 1 ~ 13. (in Chinese with English abstract)
- [10] 张国伟, 郭安林, 王岳军, 等. 中国华南大陆构造与问题 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2013, 43 (10): 1553 ~ 1582.
ZHANG Guowei, GUO Anlin, WANG Yuejun, et al. Tectonics of South China continent and its implications [J]. *Science China Earth Sciences*, 2013, 56 (11): 1804 ~ 1828.
- [11] Dong S W, Zhang Y Q, Zhang F Q, et al. Late Jurassic-Early Cretaceous continental convergence and intracontinental orogenesis in East Asia: A synthesis of the Yanshan Revolution [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2015, 114: 750 ~ 770.
- [12] 郑永飞, 张少兵. 华南前寒武纪大陆地壳的形成和演化 [J]. *科学通报*, 2007, 52 (1): 1 ~ 10.

- ZHENG Yongfei, ZHANG Shaobing. Formation and evolution of Precambrian continental crust in South China [J]. Chinese Science Bulletin, 2007, 52 (1): 1~12.
- [13] 王长明, 吴淦国, 张达, 等. 赣东北地区的区域成矿特征和成矿谱系 [J]. 世界地质, 2010, 29 (4): 588~600.
WANG Changming, WU Ganguo, ZHANG Da, et al. Regional metallogenic characteristics and mineralizing pedigree in northeastern Jiangxi [J]. Global Geology, 2010, 29 (4): 588~600. (in Chinese with English abstract)
- [14] 董树文, 薛怀民, 项新葵, 等. 赣北庐山地区新元古代细碧-角斑岩系枕状熔岩的发现及其地质意义 [J]. 中国地质, 2010, 37 (4): 1021~1033.
DONG Shuwen, XUE Huaimin, XIANG Xinkui, et al. The discovery of Neoproterozoic pillow lava in spilite-ceratophyre of Lushan area, northern Jiangxi Province, and its geological significance [J]. Geology in China, 2010, 37 (4): 1021~1033. (in Chinese with English abstract)
- [15] 赵崇贺, 何科昭, 周正国, 等. 关于华南大地构造问题的再认识 [J]. 现代地质, 1996, 10 (4): 512~517.
ZHAO Chonghe, HE Kezhao, ZHOU Zhengguo, et al. New understanding on Geotectonic problem in South China block [J]. Geoscience, 1996, 10 (4): 512~517. (in Chinese with English abstract)
- [16] 李献华, 李武显, 何斌. 华南陆块的形成与 Rodinia 超大陆聚合-裂解——观察、解释与检验 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2012, 31 (6): 543~559.
LI Xianhua, LI Wuxian, HE Bin. Building of the South China Block and its relevance to assembly and breakup of Rodinia supercontinent: Observations, interpretations and tests [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2012, 31 (6): 543~559. (in Chinese with English abstract)
- [17] Li S Z, Santosh M, Zhao G C, et al. Intracontinental deformation in a frontier of super-convergence: A perspective on the tectonic milieu of the South China Block [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2012, 49: 313~329.
- [18] 舒良树. 华南构造演化的基本特征 [J]. 地质通报, 2012, 31 (7): 1035~1053.
SHU Liangshu. An analysis of principal features of tectonic evolution in South China Block [J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31 (7): 1035~1053. (in Chinese with English abstract)
- [19] Wang W, Zhou M F, Yan D P, et al. Detrital zircon record of Neoproterozoic active-margin sedimentation in the eastern Jiangnan Orogen, South China [J]. Precambrian Research, 2013, 235: 1~19.
- [20] 高林志, 杨明桂, 丁孝忠, 等. 华南双桥山群和河上镇群凝灰岩中的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄——对江南新元古代造山带演化的制约 [J]. 地质通报, 2008, 27 (10): 1744~1751.
GAO Linzhi, YANG Minggui, DING Xiaozhong, et al. SHRIMP U-Pb zircon dating of tuff in the Shuangqiaoshan and Heshangzhen groups in South China—constraints on the evolution of the Jiangnan Neoproterozoic orogenic belt [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27 (10): 1744~1751. (in Chinese with English abstract)
- [21] 刘树文, 杨朋涛, 王宗起, 等. 赣东北婺源-德兴地区新元古代浅变质火山岩的地球化学和锆石 U-Pb 年龄 [J]. 岩石学报, 2013, 29 (2): 581~593.
LIU Shuwen, YANG Pengtao, WANG Zongqi, et al. LA-ICPMS zircon U-Pb ages and geochemistry of Neoproterozoic low-grade metavolcanic rocks in Wuyuan-Dexing area of northeastern Jiangxi Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29 (2): 581~593. (in Chinese with English abstract)
- [22] 毛景文, 谢桂青, 程彦博, 等. 华南地区中生代主要金属矿床模型 [J]. 地质论评, 2009, 55 (3): 347~354.
MAO Jingwen, XIE Guiqing, CHENG Yanbo, et al. Mineral deposit models of Mesozoic ore deposits in South China [J]. Geological Review, 2009, 55 (3): 347~354. (in Chinese with English abstract)
- [23] 毛景文, 陈懋弘, 袁顺达, 等. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律 [J]. 地质学报, 2011, 85 (5): 636~658.
MAO Jingwen, CHEN Maohong, YUAN Shunda, et al. Geological characteristics of the Qinhang (or Shihang) Metallogenic belt in South China and spatial-temporal distribution regularity of mineral deposits [J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85 (5): 636~658. (in Chinese with English abstract)
- [24] 陈国华, 万浩章, 舒良树, 等. 江西景德镇朱溪铜钨多金属矿床地质特征与控矿条件分析 [J]. 岩石学报, 2012, 28 (12): 3901~3914.
CHEN Guohua, WAN Haozhang, SHU Liangshu, et al. An analysis on ore-controlling conditions and geological features of the Cu-W polymetallic ore deposit in the Zhuxi area of Jingdezhen, Jiangxi Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28 (12): 3901~3914. (in Chinese with English abstract)
- [25] 陈国华, 舒良树, 舒立旻, 等. 江南东段朱溪钨(铜)多金属矿床的地质特征与成矿背景 [J]. 中国科学: 地球科学, 2015, 45 (12): 1799~1818.
CHEN Guohua, SHU Liangshu, SHU Limin, et al. Geological characteristics and mineralization setting of the Zhuxi tungsten (copper) polymetallic deposit in the Eastern Jiangnan Orogen [J]. Science China Earth Sciences, 2016, 59 (4): 803~823.
- [26] 华仁民, 李光来, 张文兰, 等. 华南钨和锡大规模成矿作用的差异及其原因初探 [J]. 矿床地质, 2010, 29 (1): 9~23.
HUA Renmin, LI Guanglai, ZHANG Wenlan, et al. A tentative discussion on differences between large-scale tungsten and tin mineralizations in South China [J]. Mineral Deposits, 2010, 29 (1): 9~23. (in Chinese with English abstract)
- [27] 杨明桂, 王发宁, 曾勇, 等. 江西北部金属成矿地质 [M]. 北京: 中国大地出版社, 2004, 1~60.

- YANG Minggu, WANG Faning, ZENG Yong, et al. Metal mineralization in northern Jiangxi geological [M]. Beijing: China Land Press, 2004, 1 ~ 60. (in Chinese)
- [28] 江西省地矿局. 乐平幅地质图 (1:200000) [M]. 1971. Bureau of Geology and Mineral Resources of Jiangxi Province. Regional geology of Leping region (1:200000) [M]. 1971. (in Chinese)
- [29] 朱志澄, 叶俊林, 杨坤光. 幕阜山-九岭隆起侧缘逆冲推覆和滑动拆离以及山体的不对称性 [J]. 地球科学—武汉地质学院学报, 1987, 12 (5): 503 ~ 510.
- ZHU Zhicheng, YE Junlin, YANG Kunguang. On thrust-nappe and gliding-detachment on both sides of Mufushan-Jiuling uplift and asymmetrical tectonic architecture of mountain [J]. Earth Science—Journal of Wuhan College Geology, 1987, 12 (5): 503 ~ 510. (in Chinese with English abstract)
- [30] 朱志澄. 逆冲推覆构造 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992, 82 ~ 83.
- ZHU Zhicheng. Thrust nappe structure [M]. Wuhan: China University of Geosciences Publishing House, 1992, 82 ~ 83. (in Chinese)
- [31] Hsu K J, Shu S, Li J L, et al. Mesozoic overthrust tectonics in South China [J]. Geology, 1988, 16 (5): 418 ~ 421.
- [32] 钟南昌, 黄金喜, 诸宝森, 等. 江西宜丰-乐平推覆构造特征及找矿研究 [J]. 江西地质, 1991, 5 (S1): 1 ~ 116.
- ZHONG Nanchang, HUANG Jinxi, ZHU Baosen, et al. Tectonic characteristics and ore prospecting of Yifeng-Leping nappe in Jiangxi Province [J]. Jiangxi Geology, 1991, 5 (S1): 1 ~ 116. (in Chinese)
- [33] 宋鸿林, 朱忠, 颜丹平. 赣北萍乐拗陷是对冲构造还是巨型构造窗? [J]. 地质通报, 2003, 22 (2): 124 ~ 129.
- SONG Honglin, ZHU Zhong, YAN Danping. Is the Pingle depression a ramp faults zone or a huge tectonic window? [J]. Geological Bulletin of China, 2003, 22 (2): 124 ~ 129. (in Chinese with English abstract)
- [34] 舒良树, 施央申, 郭令智, 等. 江南中段板块-地体构造与碰撞造山运动学 [M]. 南京: 南京大学出版社, 1995, 17 ~ 28.
- SHU Liangshu, SHI Yangshen, GUO Lingzhi, et al. Middle section of Jiangnan plateau-tectonic structure and collision orogeny kinematics [M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1995, 17 ~ 28. (in Chinese)
- [35] 万天丰. 中国大地构造学纲要 [M]. 北京: 地质出版社, 2004, 135 ~ 150.
- WAN Tianfeng. Outline of tectonics in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004, 135 ~ 150. (in Chinese)
- [36] 董树文, 张岳桥, 陈宣华, 等. 晚侏罗世东亚多向汇聚构造体系的形成与变形特征 [J]. 地球学报, 2008, 29 (3): 306 ~ 317.
- DONG Shuwen, ZHANG Yueqiao, CHEN Xuanhua, et al. The formation and deformational characteristics of East Asia multi-direction convergent tectonic system in Late Jurassic [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2008, 29 (3): 306 ~ 317. (in Chinese with English abstract)
- [37] 张岳桥, 董树文, 李建华, 等. 华南中生代大地构造研究新进展 [J]. 地球学报, 2012, 33 (3): 257 ~ 279.
- ZHANG Yueqiao, DONG Shuwen, LI Jianhua, et al. The new progress in the study of Mesozoic tectonics of South China [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2012, 33 (3): 257 ~ 279. (in Chinese with English abstract)
- [38] Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. *In situ* analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard [J]. Chemical Geology, 2008, 257 (1/2): 34 ~ 43.
- [39] 吴元保, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约 [J]. 科学通报, 2004, 49 (16): 1589 ~ 1604.
- WU Yuanbao, ZHENG Yongfei. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49 (15): 1554 ~ 1569.
- [40] 张岳桥, 徐先兵, 贾东, 等. 华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的形变记录 [J]. 地学前缘, 2009, 16 (1): 234 ~ 247.
- ZHANG Yueqiao, XU Xianbing, JIA Dong, et al. Deformation record of the change from Indosinian collision-related tectonic system to Yanshanian subduction-related tectonic system in South China during the Early Mesozoic [J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16 (1): 234 ~ 247. (in Chinese with English abstract)
- [41] 徐先兵, 张岳桥, 贾东, 等. 华南早中生代大地构造过程 [J]. 中国地质, 2009, 36 (3): 573 ~ 593.
- XU Xianbing, ZHANG Yueqiao, JIA Dong, et al. Early Mesozoic geotectonic processes in South China [J]. Geology in China, 2009, 36 (3): 573 ~ 593. (in Chinese with English abstract)
- [42] Li J H, Zhang Y Q, Dong S W, et al. Cretaceous tectonic evolution of South China: A preliminary synthesis [J]. Earth-Science Reviews, 2014, 134: 98 ~ 136.
- [43] 毛建仁, 厉子龙, 叶海敏. 华南中生代构造-岩浆活动研究: 现状与前景 [J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44 (12): 2593 ~ 2617.
- MAO Jianren, LI Zilong, YE Haimin. Mesozoic tectono-magmatic activities in South China: Retrospect and prospect [J]. Science China Earth Sciences, 2014, 57 (12): 2853 ~ 2877.
- [44] 狄永军, 徐贻赣, 吴淦国, 等. 江西冷水坑银铅锌矿田推覆构造的形成时代: 来自年代学的约束 [J]. 地学前缘, 2013, 20 (4): 340 ~ 349.
- DI Yongjun, XU Yigan, WU Ganguo, et al. The formation era of nappe structure in Lengshuikeng Ag-Pb-Zn Ore Field, Jiangxi: Constraints from geochronology [J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20 (4): 340 ~ 349. (in Chinese with English abstract)
- [45] 阙朝阳, 张达, 狄永军, 等. 滇东南麻栗坡南温河—洒西一带钨矿控矿要素及深部找矿突破 [J]. 地学前缘, 2014, 21 (2): 286 ~ 300.

QUE Chaoyang, ZHANG Da, DI Yongjun, et al. Ore-controlling characteristics of tungsten deposits in the Nanwenhe-Saxi area and deep prospecting breakthrough [J]. Earth Science Frontiers, 2014, 21 (2): 286 ~ 300. (in Chinese with English abstract)

[46] 毕珉烽, 张达, 吴淦国, 等. 滇东南麻栗坡一带中生代构造变形及其对钨多金属矿床的控制作用 [J]. 地学前缘, 2015, 22 (4): 223 ~ 238.

BI Minfeng, ZHANG Da, WU Fanguo, et al. Mesozoic tectonic deformation and ore-controlling of tungsten polymetallic deposits in Malipo area, southeastern Yunnan [J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22 (4): 223 ~ 238. (in Chinese with English abstract)

[47] 霍海龙, 张达, 狄永军, 等. 江西景德镇朱溪铜钨矿床控矿构造特征及矿床成因探讨 [J]. 矿物学报, 2015, 35 (S1): 24 ~ 25.

HUO Hailong, ZHANG Da, DI Yongjun, et al. Ore controlling structural characteristics of Zhuxi copper-tungsten deposit in Jingdezhen, Jiangxi Province [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2015, 35 (S1): 24 ~ 25. (in Chinese)