

浙赣皖相邻区燕山期 火成岩的特征及其 旅游地学意义

李鹏举◎著



西南交通大学出版社

本书由国家自然科学基金项目(41272232)、四川省智慧旅游研究基地规划项目(ZHZ14-07)、四川理工学院人才引进项目(2014RC39)、四川理工学院经济与管理学院学科建设项目资助

浙赣皖相邻区燕山期火成岩的特征及其旅游地学意义



李鹏举 著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

浙赣皖相邻区燕山期火成岩的特征及其旅游地学意义 /
李鹏举著. —成都: 西南交通大学出版社, 2015.5
ISBN 978-7-5643-3878-7

I. ①浙… II. ①李… III. ①东南丘陵—燕山期—火
成岩—研究②东南丘陵—旅游地理学—研究 IV.
①P588.1②F592.99

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 096492 号

浙赣皖相邻区燕山期火成岩的特征及其旅游地学意义
ZHEGANWAN XIANGLINQU YANSHANQI HUOCHENGYAN DE
TEZHENG JIQI LÜYOU DIXUE YIYI

李鹏举 著

责任编辑 胡晗欣
特邀编辑 柳堰龙
封面设计 严春艳

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市金牛区交大路 146 号)

发行部电话 028-87600564 028-87600533

邮政编码 610031

网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

印 刷 成都勤德印务有限公司

成品尺寸 148 mm × 210 mm

印 张 8.25

字 数 184 千

版 次 2015 年 5 月第 1 版

印 次 2015 年 5 月第 1 次

书 号 ISBN 978-7-5643-3878-7

定 价 28.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

中国东南部燕山期的岩浆活动是地质历史上极为重大的一次事件,伴随这次岩浆活动所形成的各类金属矿产是我国经济快速、稳定、健康发展的重要支撑和保证。从 20 世纪中叶开始,该地区火成岩的成因与构造背景就吸引了大批中外学者,在地表地质和深部地质方面的研究均取得了一系列重要成果。然而,在火成岩的形成原因和构造背景上,学者们的争议较大,洋陆俯冲、板内裂谷、陆陆碰撞等十数个构造模型先后被提出。因此,对我国东南部燕山期火成岩的岩石成因和构造背景进行详细和深入研究具有重要的价值,可以为中国东南部中生代的构造演化提供佐证。本书依托国家自然科学基金等多个项目,对浙江、安徽、江西三省相邻地区(浙赣皖相邻区)的燕山期火成岩进行了详细、系统的野外和室内研究,以期揭示研究区乃至整个中国东南部燕山期火成岩的形成机制、时空分布以及构造背景演化。

旅游地质学是从地质科学中分支出来的一个新的学科,它介于旅游科学和地质科学之间,属于一门交叉边缘学科。旅游地质学的主要任务是运用地质科学的方法和手段来观察、分析和解释旅游资源的成因、演变和发展;同时,它还能普及地球科学知识,激发和培养人们对地球科学的兴趣和爱好,最终推动旅游事业的发展。因此,旅游地质学是地质学界与社会大众联系的一个重要窗口。在野外考察的过程中,作者发现在一些火成岩分布的地区往往发育了非常壮观的岩石地貌景观,如黄山、三清山、天柱山等风景区,就是建立在中生代花岗岩石之上的世界级旅游胜地。然而,区域内半数以上的其他火成岩却未能形成有开发价值的旅游地质资源。因此,有必要对那些形

成旅游价值的和没有旅游价值的火成岩进行对比研究,解释分析火成岩在旅游景观形成过程中的造景作用,以期为旅游地质资源的科学和教育普及提供充实的素材。

本书共包括八章,主要以作者的中国地质大学(北京)校级优秀博士论文《浙赣皖相邻区燕山期火成岩及氧逸度特征与区域构造演化》为基础进行编写。其中,第一章主要介绍了本书的研究背景、研究现状、研究内容、技术路线以及取得的主要认识。第二章交代了研究区的地质背景,主要包括地层、构造、岩浆活动等方面。第三章描述了燕山期火成岩的岩石学特征,按火成岩的产出情况分为侵入岩和喷出岩两类。第四章重点介绍了锆石 U-Pb 同位素测年方法,并总结出区域内燕山期火成岩的年龄分布。第五章以火成岩的地球化学特征为基础,论述了两期火成岩的不同成因。第六章论述了火成岩与氧逸度的相互关系,重点讨论了氧逸度的计算方法和氧逸度的成矿与构造指示意义。第七章综合上述几章的研究结果,从宏观上论述了研究区几种火成岩形成的构造环境,揭示了构造体制转换的发生,探讨了构造体制转换发生的时间和动力机制。第八章是本书的升华部分,通过地质学的基础研究,解释了人们日常生活中常常发现却不能理解的科学问题,提出花岗岩地貌旅游景观的形成与花岗岩的矿物成分、节理发育和成岩构造背景密切相关。

本书在编写过程中,得到了中国地质大学(北京)余心起教授、周志广副教授、李红英博士、陈安东博士、邱骏挺博士,以及四川理工学院经济与管理学院陈一君教授等的关心和帮助,在此深表感谢!

李鹏举

2015 年 1 月

目 录

第一章 导 言	001
第一节 研究背景	001
第二节 国内外研究现状及存在问题	003
第三节 研究内容	005
第四节 技术路线	006
第五节 主要认识	008
第二章 区域地质背景	010
第一节 自然地理及大地构造概况	010
第二节 区域地层	011
第三节 区域构造	017
第四节 区域岩浆活动	020
第五节 区域矿产	021
第六节 区域地质演化	022
第三章 火成岩岩石学特征	027
第一节 燕山期火成岩概述	027
第二节 侵入岩	028
第三节 喷出岩	054
第四章 火成岩年代学研究	058
第一节 样品采集	058

第二节	锆石 U-Pb 同位素分析	060
第三节	试验结果	062
第四节	区域火成岩年龄分布	070
第五章	火成岩岩石化学、地球化学研究	074
第一节	样品采集及测试方法	074
第二节	主量元素特征	087
第三节	稀土元素特征	090
第四节	微量元素特征	092
第五节	Sr-Nd 同位素特征	095
第六节	两期火成岩的不同成因	098
第六章	火成岩与氧逸度	102
第一节	氧逸度的含义	102
第二节	氧逸度的表示方法	102
第三节	氧逸度的计算方法	104
第四节	氧逸度与矿产	113
第五节	氧逸度与构造环境	116
第六节	研究区火成岩氧逸度特点	117
第七节	研究区火成岩与矿床关系	134
第八节	研究区火成岩氧逸度与构造环境	138
第七章	火成岩形成的构造环境分析	140
第一节	构造环境分析方法	140
第二节	火成岩组合	141
第三节	沉积响应	153
第四节	区域构造	155
第五节	构造体制转换的时间	160

第六节 构造体制转换的动力机制	161
第八章 区内花岗岩类旅游景观成因	166
第一节 与火成岩相关旅游风景区概述	166
第二节 花岗岩类地貌景观	168
第三节 造景花岗岩的形成时代	181
第四节 造景花岗岩的岩石学、地球化学特征	183
第五节 造景花岗岩的成岩背景	193
第六节 花岗岩地貌景观成因	197
参考文献	202
附 录	244

第一章 导 言

第一节 研究背景

浙西、赣东北和皖南地区（简称浙赣皖相邻区），即江南造山带的东段，位于江绍断裂带的北侧、扬子地块东南缘，是我国重要的铜、金、银、铅、锌、钨、铀成矿区，著名的德兴铜金矿集区就位于本区。研究区燕山期的岩浆活动是地质历史上极为重大的一次地质事件，伴随这次岩浆活动所形成的各类金属矿产是我国经济快速稳定健康发展的重要支撑和保证。因此，对这一时期火成岩的形成时代、空间分布、岩石成因及其构造意义的研究是认识我国东南部中生代构造演化和发掘潜在金属矿产资源的关键所在。

近十几年来，涉及浙赣皖相邻区及其周边地区的火成岩研究已经广泛开展，也相应地取得了部分认识和成果。侯明金（2005）认为皖南地区燕山期侵入岩的形成时间集中在 $130 \sim 120 \text{ Ma}$ ^① 和 $140 \sim 130 \text{ Ma}$ ，燕山早期的岩浆活动微弱。Wu Fuyuan et al.（2012）对研究区及长江中下游地区的中生代花岗岩进行锆石测年研究后发现，区域的岩浆活动可以细分为两个

① Ma 为百万年。

阶段：150 ~ 136 Ma 和 136 ~ 120 Ma。第一阶段的岩体多为含角闪石的 I 型花岗闪长岩和二长花岗岩，而第二阶段形成的岩体多为 A 型或 I 型的花岗岩和正长岩。然而，Zhou Qing et al. (2011) 通过对附近其他火成岩的测年发现，火成岩的形成时间可达 170 Ma 左右；Qiu Juntong et al. (2013) 也在研究区内的浙西地区发现了一组年龄在 167.6 ~ 155.6 Ma 的火成岩。因此，前人对研究区火成岩的年龄划分还有待完善，进一步的火成岩时空分布研究还有待开展。

在火成岩的岩石成因和构造背景上，前人争论得更为激烈。Jiang Yaohui et al. (2011) 通过对赣东北鹅湖二云母花岗岩、大茅山花岗岩、浙西北铜山花岗岩的研究认为，早白垩世铜山、大茅山花岗岩为 A 型花岗岩，而稍远的鹅湖花岗岩为 S 型花岗岩，岩浆来源略有差别，但都与弧后拉张或弧间裂谷有关，即华南晚中生代构造-岩浆-成矿地球动力学背景与伊佐奈岐板块俯冲作用有关。Li He et al. (2012) 则认为长江中下游、皖南、浙中三条白垩纪 A 型花岗岩带是由于太平洋中脊俯冲造成的，呈北（北）东向平行排列，伊佐奈岐板块往北西俯冲，形成长江中下游和皖南两条 A₁、A₂ 型花岗岩带，而太平洋板块向南西俯冲，在浙中形成 A₁ 型花岗岩带。王强等 (2004) 更是认为早在中侏罗世，研究区就处于一个伸展的动力学背景下，岩石成因与拆沉下地壳物质的熔融有关。因此，对燕山期火成岩的岩石成因和构造背景进行详细和深入的研究具有重要的价值，可以为研究区乃至华南地区中生代的构造演化提供佐证。

我国是世界上拥有花岗岩景区最多的国家之一。花岗岩景区已成我国最重要的旅游目的地，并在我国旅游业发展上起着重要作用。花岗岩地貌景观已成为重要的旅游资源（陈安泽，

2007)。浙赣皖相邻区由于处在特殊的大地构造环境,岩浆活动频繁,花岗岩分布广泛,是我国国内最重要的花岗岩地貌景观发育地之一。区内花岗岩地貌景观十分发育,著名的如黄山、九华山、三清山和天柱山等风景名胜区。这些风景名胜区的形成与区内的燕山期火成岩密切相关,然而,前人对此方面的研究尚属空白。因此,有必要研究燕山期火成岩在这些景区形成过程中的造景作用及其旅游地学意义。

第二节 国内外研究现状及存在问题

20世纪以来,火成岩的形成和演化一直是地质学研究中的重点,火成岩就像一个深入地心的探针,为我们揭示地球内部的物质活动和岩浆作用提供途径和手段。火成岩与大陆生长及深部过程的关系、火成岩形成的物质来源和火成岩的成因类型与构造环境等问题也是学者们争相研究的热点(肖庆辉等, 2003; 周新民, 2003; 吴福元等, 2007),受到广泛关注和热切响应,并在近些年取得了大量的研究成果。

在浙赣皖相邻区及其周边(整体属于中国东南部地区),大部分研究者认为,浙赣皖相邻区燕山期的岩浆活动大致可分为 180~145 Ma 和小于 145 Ma 的两个阶段(Yuan Feng et al., 2003; 王强等, 2004; 周涛发等, 2004; Wang Qiang et al., 2006a; Wong Jean et al., 2009; 赵鹏等, 2010; Jiang Yaohui et al., 2005; 2009; 2011; 翁望飞等, 2011; Zhou Qing et al., 2011; He Zhen yu, Xu Xisheng, 2012; Li He et al., 2012; Yang Shuiyuan et al., 2012)。在火成岩形成的构造背景上,主要的观点有三种:(1)本区晚中

生代构造背景是安第斯型活动大陆边缘背景,花岗质岩石的形成与古太平洋板块向东亚大陆俯冲有关(翁世劫和黄海,1983; Jahn et al., 1990; Zhou Xinmin et al., 1994; Mao Jianren et al., 1997; Zhou Xinmin, Li Wuxian, 2000; Zhou Xinmin et al., 2006)。(2)研究区处于板内伸展-裂谷环境,岩浆活动与岩石圈伸展、幔源岩浆底侵有关(Gilder et al., 1991, 1996; Li, 2000; 王强等, 2004)。(3)沿赣东北深大断裂发生了A型俯冲作用,导致花岗质岩石的侵位(华仁民等, 2000)。

由于研究方法的不同,学者们对燕山期本区火成岩的形成时代具有较大的分歧,一些旧的实验方法,如K-Ar和Rb-Sr法,得出的结果往往偏差较大。研究工作中,学者们侧重于火成岩地球化学的研究,忽视了区域内的地层和构造等基础地质研究,得出的结论也往往带有片面性。加上本研究区的地形以高山峻岭为主,通行条件比较差,研究工作难免会疏漏部分岩体,至少近100个 $0.5 \sim 1 \text{ km}^2$ 或更小的侵入体在中小比例尺地质图中被忽略,不利于区域内火成岩的系统研究。一定环境下形成的火成岩往往具有相应的组合,这种火成岩组合也是识别构造环境的重要证据。然而在很多人的研究中,往往只对单一地区的单一岩性做分析,缺乏研究的广度和深度,致使无法对整个区域的地质现象进行解释。

人们已经认识到燕山期火成岩与矿床之间的密切联系(王强等, 2004; Wang Qiang et al., 2006a; Li Xiaofeng et al., 2007; Zhou Qing et al., 2011; Qiu Junting et al., 2013),并且通过Re-Os等同位素数据对矿床的形成年龄做了约束。但是矿床形成的物质来源、矿床的构造成因等都难以得到较好的解释。含矿火成岩和不含矿火成岩之间,有没有一些内在因素的差别,

例如两种火成岩的氧逸度有没有高低之分，高和低分别是受什么因素影响等，都需要深入的研究和探讨。

研究区燕山期的大地构造环境一直存在争议，是否存在俯冲？什么时间发生俯冲？大地构造环境与旅游地质景观的形成有无关系？这些问题都亟待解决。

第三节 研究内容

1. 燕山期不同时段火成岩的时空分布特征及其变化规律

详细解读已有的 1:5 万和 1:25 万区域地质调查报告、此前的地质科研或各省区地质大调查项目成果资料，系统搜集并梳理新近的火成岩年龄数据；选择近期研究未涉及的空白区布设构造-岩浆岩观察剖面，开展研究区踏勘，适当补充采样并进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年，对比已有 K-Ar、Rb-Sr 等年龄与新近获得的年龄有无差别，厘定不同时期、不同类型火成岩的时空分布特征及其变化规律。

2. 火成岩的成因类型、物质来源及构造背景研究

以野外地质事实为依据，结合年代学、岩石地球化学、Sr-Nd 同位素测试分析，按不同年代、不同岩性划分不同岩石的成因类型，分析岩浆活动的起源及其有序的演化趋势，研究岩浆作用的构造背景。这是本书的重点研究内容。

3. 火成岩的氧逸度及其与成矿和构造环境的关系

通过对锆石中稀土微量元素的测定和全岩主微量元素分析，计算出不同岩性不同时代火成岩的氧逸度，并讨论不同氧

逸度的成因和与成矿的关系。重点研究不同构造环境形成的火成岩的氧逸度差别。

4. 区域构造环境分析

计划搜集研究区以及部分相邻地区的基础地质资料, 包括地层概况, 区域构造现象(逆冲推覆构造、断陷盆地、变质核杂岩等), 燕山期的岩石特征和形成时代, 燕山期岩浆矿床的分布等。进而理清各种构造现象, 分析燕山期研究区的构造演化过程。

5. 火成岩的旅游地学意义

理清区域内与众多地质公园有关的火成岩, 并分析这些火成岩的岩石特征、形成时代、成岩背景等。最终, 揭示地质公园旅游景观的形成原因和形成过程, 以及火成岩在造景过程中所起的作用。

第四节 技术路线

(1) 仔细研读和分析以往的科研成果, 搜集和梳理浙西北开化桐村一带、安徽祁门—绩溪一带、赣东北婺源江湾一带等近期有重大找矿突破的有关含矿岩体年代学、岩石地球化学和地质构造图件资料, 大致了解燕山期火成岩的时空分布规律, 初步拟定详细工作计划。

(2) 有目的地进行全区踏勘, 重点选择在近期研究未涉及空白区和以往未做详细工作的岩体、小岩株和火山岩地层, 布设地质调查路线和构造-岩浆岩观察剖面, 按岩性、结构并参

考变形或蚀变程度分类；特别注意追索中小比例尺图件未予标示的小岩株之类，除按常规工作外，尽可能用 GPS 定点并勾绘在地质图上。

(3) 在野外充分对比、分类的基础上，采集岩石标本进行镜下观察，同时以空白处优先原则，选择若干个火成岩侵入体，比如祁门东源小岩体群、岑山花岗闪长岩、长陔花岗岩、浙西北若干小岩体等，以及部分超浅成岩和喷出岩，如上溪口石英斑岩、清凉峰流纹岩等，进行测试样品的采集。然后进行岩石地球化学和 Sr-Nd 同位素测试及大地构造判别分析，同时进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年工作，查明不同时段火成岩的分布特征及其岩石组合，研究岩浆作用的成因类型、物质来源、构造背景。

(4) 利用激光剥蚀电感耦合等离子质谱仪测定副矿物锆石中的 Hf、Tu、U 以及 La 到 Lu 等稀土微量元素，用这些元素的含量估算出 Ce^{4+}/Ce^{3+} 的比值，进而得到岩浆的相对氧逸度高低。或者使用最新的绝对氧逸度计算方法，通过锆钛温度、钼异常求得岩浆的绝对氧逸度。在可能的条件下对比两种计算方法的异同，选出最优的计算方法。在氧逸度已经求得的情况下，分析不同时间不同岩性岩石的氧逸度的差别，并分析不同构造环境形成的岩石的氧逸度差别。

(5) 结合研究区的火成岩组合、氧逸度特点、地球化学分析、沉积建造、挤压或伸展构造等多要素构造分析方法，揭示燕山期火成岩的起源及其有序的演化趋势，研究岩浆作用的构造背景，探讨其地球动力学机制。并将研究成果应用到解释现实生活中的一些科学问题中来，比如，地质公园等风景名胜区的形成原因和形成过程。

第五节 主要认识

(1) 在野外工作和室内研究的综合指导下,厘定出研究区燕山期至少存在两个期次的火成岩。早期火成岩偏中性,以侵入岩为主。晚期火成岩偏碱性,不但形成侵入岩,而且形成大规模的层状火山岩。前人的研究主要针对酸性侵入岩,本次对流纹岩、玄武岩等火山岩的研究填补了区域内研究的空缺。

(2) 前人多对火成岩的地球化学特征做足够研究,其他地质要素的分析往往被忽视。本次研究采用火成岩组合、沉积建造、区域中小型构造以及岩石地球化学分析等多种要素的综合构造分析方法,使论据更为充分,讨论更加完善。研究认为:中晚侏罗世研究区发生强烈的挤压事件,形成了大规模的逆冲推覆构造、沉积间断及火成岩组合;而进入到早白垩世之后,构造反转形成一系列的伸展断陷盆地、火山岩地层。并认为在侏罗纪到白垩纪之交,研究区发生了由挤压到伸展的构造体制转换,转换时间大约在 (140 ± 5) Ma 左右。

(3) 对整个浙赣皖相邻区的燕山期火成岩进行岩浆氧逸度研究,研究发现:早期的火成岩一般具有较高的岩浆氧逸度,晚期的火成岩较前者相对偏低。与之对应的现象是早期火成岩往往形成大中型铜、金、钼等矿床,而上述矿种在晚期火成岩中比较少见。综合研究认为,高氧逸度于铜、金、钼等成矿更为有利,而岩浆的高氧逸度与大洋板块的俯冲紧密相关。

(4) 构造体制转换的动力机制一直众说纷纭:当前比较流行的模式是俯冲角度增大模式、平板俯冲模式以及板片 rollback 模式 (Zhou Xinmin, Li Xianhua, 2000; 舒良树和周新民, 2002; Zhou Xinmin et al., 2006; Li ZhengXiang, Li Xianhua, 2007;

Elsasser, 1971; Schellart, 2008; Wong Jean et al., 2009; 等)。本次研究首次发现晚中生代浙赣皖相邻区存在多次交替出现的挤压与伸展构造, 这些现象与前人的模式有悖。根据板块的运动学进展, 认为晚中生代多次交替出现的挤压与伸展构造与多个板块(如伊佐奈岐板块、太平洋板块等)的运动方向和速率的改变有关。

(5) 区域内的黄山、三清山、天柱山、九华山、牯牛降等地质公园(遗迹)内的造景花岗岩形成于 135 ~ 125 Ma, 属于早白垩世强烈岩浆活动的产物; 花岗岩的主要岩性为碱长花岗岩, 形成于构造体制转换之后的伸展背景。在抗风化蚀变能力上, 该环境形成的岩石矿物成分组合要优于相对挤压环境下形成的岩石矿物成分组合。伸展环境下发育的花岗岩具有多组密集的原生节理, 控制着花岗岩地貌景观的形成。