www.cagsbulletin.com

# 琼北地区第四纪火山地质遗迹类型与地学意义

段 政<sup>1)</sup>, 张 翔<sup>1)</sup>, 周 翠<sup>2)</sup>, 余明刚<sup>1)</sup>, 褚平利<sup>1)</sup>, 洪文涛<sup>1)</sup> 1)中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏南京 210016; 2)东华理工大学地球科学学院, 江西南昌 330013

**摘 要:** 琼北火山群是雷琼火山群的重要组成部分,也是探索我国东南沿海新生代以来构造演化以及玄武质 岩浆活动过程的重要窗口。该区第四纪火山主要沿 NW 向的长流一仙沟断裂集中分布。研究区内火山地质遗 迹类型丰富且典型,火山机构完整、保存程度高,火山喷发方式多样。本文在地质遗迹调查与评价基础上,将 该区火山地质遗迹及相关资源分为 6 个大类、4 个类、14 个亚类及 39 个小类,并将之与我国典型的新生代火 山地质遗迹进行对比分析,突出其火山地质及相关资源方面的优势,重点指出琼北地区第四纪火山的地学研 究意义。

关键词:火山地质遗迹;分类;对比分析;第四纪;琼北火山群 中图分类号: P534.63; P317 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2020.071201

# Characteristics and Geological Significance of Quaternary Volcanic Geoheritages in Northern Hainan Island

DUAN Zheng<sup>1</sup>), ZHANG Xiang<sup>1</sup>), ZHOU Cui<sup>2</sup>), YU Ming-gang<sup>1</sup>), CHU Ping-li<sup>1</sup>), HONG Wen-tao<sup>1</sup>)

Nanjing Geological Center, China Geological Survey, Nanjing, Jiangsu 210016;
 School of Earth Sciences, East China University of Technology, Nanchang, Jiangxi 330013

**Abstract:** Northern Hainan volcanoes constitute an important segment of Leizhou–Hainan volcanoes, and serve as a significant window to explore the tectonic evolution and basaltic magmatism process since Cenozoic in Southeastern coastal area of China. The volcanoes in the study area are mainly concentrated along the regional NE–trending Changliu–Xiangou Fault. There are abundant and typical types of volcanic geoheritages, especially for their integrated volcanic edifices with high degree of preservation and multiple volcanic eruption. In this paper, based on the geological survey and evaluation of the geoheritages, the authors divided the volcanic geoheritages and related resources into 6 categories, 4 types, 14 subtypes and 39 kinds. Additionally, the authors compared the characteristics and values with features of the typical Cenozoic volcanic geoheritages in China, highlighting their advantages in geoheritages and related resources, and emphasizing the geological significance of Quaternary volcanoes in northern Hainan Island.

Key words: volcanic geoheritages; classification; comparative study; Quaternary; northern Hainan Island

雷琼地区(雷州半岛和海南岛)是我国新生代以 来火山活动最强烈、最频繁和持续最长的地区之一, 其大地构造位置属于中国东南大陆古新世开始发育 的陆缘裂谷——雷一琼裂谷(或称雷—琼坳陷),其 中火山活动伴随裂谷的发育而发展(Ho et al., 2000)。该地区的火山岩横跨琼州海峡,广泛分布于 琼北、雷南地区,并共同组成了中国第四纪十大火 山群之一——雷琼火山群。值得指出的是,琼北地 区全新世火山岩分布面积和火山数量,在中国第四 纪火山群中占首位(陶奎元,2007),同时,琼北地区 也是我国少数几个活动火山区之一(樊祺诚等, 2004),特别是其中的火山地质遗迹类型及规模尤 为丰富且典型,但长期以来,相对全国其他著名第 四纪火山群(如东北地区、内蒙东部、腾冲地区等)

本文由中国地质调查局地质调查项目(编号: DD20190603; DD20179384)、中国地质调查局南京地质调查中心科研发展基金项目(编号: 2019012)和国家重点研发专项项目(编号: 2016YFC0600203)联合资助。

收稿日期: 2020-05-06; 改回日期: 2020-07-08; 网络首发日期: 2020-07-14。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介:段政,男,1987年生。助理研究员。主要从事火山地质遗迹调查、评价与研究工作。E-mail: dz19882010@163.com。

的对比分析工作, 琼北地区研究程度还相对较低, 因此, 选择琼北地区第四纪火山地质遗迹开展详细 调查评价及较为系统的对比分析工作, 对于提升该 地区火山地质遗迹研究水平, 正确评估其价值具有 重要意义。

## 1 区域地质背景

研究区位于海南省北部,属雷琼火山群的琼北 火山群部分, 其基底地层主要由中元古界、古生界 变质岩组成, 其上被 NE 向的白垩系沉积盆地覆盖, 沉积厚度可达 2500 m(陶奎元, 2012)。自晚白垩世末 期开始, 由于近 EW 向的区域断陷作用导致研究区 发育初始断陷盆地;古近纪末期,研究区发生准平 原化作用,局部地区发育海相沉积;至新近纪初, 由于琼北地区地幔上隆, 使得原来 EW 向区域性断 裂发生强烈的继承性拉张,引起研究区地貌整体呈 阶梯状向北逐渐下降,导致海水广泛侵入,造成研 究区再次形成近 EW 向的断陷盆地; 新近纪末期, 研究区断陷盆地开始抬升,海水逐渐退却,并伴随 多次的火山喷发活动;到第四纪时,研究区地壳以断 块差异升降活动为主,继承性断裂再次活化,玄武 质火山大规模喷发,喷出的玄武岩面积约 4150 km<sup>2</sup>, 其上仍还保留火山 101 座(陶奎元, 2012)。

琼北地区新生代火山岩总体上呈 EW 向分布, 陆域出露的火山岩西起北部湾沿海的洋浦,东至铺 前一清澜断裂, 南部以王五一文教断裂为界, 北部 直至海滨(图 1a)。这些火山活动具有明显的多期性, 从古近纪到第四纪可分为 10 期, 其中第四纪火山 活动可分为6期(白志达等,2003),区域最晚的火山 活动为全新世马鞍岭期, 距今约 8.155 ka(刘若新, 2000), 是距今一万年内有喷发活动的活火山, 表明 琼北地区属我国活火山分布区之一。研究区古近纪 的两期火山岩(流沙岗期 E2、木棠期 E1)和新近纪的 两期火山岩(蓬莱期 N1、金牛岭期 N2)均以玄武岩夹 层形式出现(陶奎元, 2012), 而第四纪6期火山活动 产物,则是以多种火山地貌出现,且集中沿 NNW 向的长流—仙沟断裂分布(图 1b)。这些多期次的火 山活动产物呈各种火山地质遗迹形态出露, 几乎涵 盖了玄武质火山地质遗迹的所有类型,故而开展玄 武质火山地质遗迹详细调查与评价的理想地区。

## 2 火山活动期次与特征

琼北地区自古近纪始新世即开始出现火山活动,并呈现出多期、多次活动的特征。不同时代的 火山产物亦各具特征,总体而言,古近纪和新近纪 的火山活动产物多以玄武岩夹层形式出现于古近系 沉积地层之中,而第四纪火山岩大多出露地表,构 成大面积熔岩流和火山锥的主体。根据沉积地层层 序、地层接触关系、同位素年代学资料以及火山岩 风化程度等特征,可将琼北地区火山活动划分为10 期,其中古近纪两期,新近纪两期,第四纪六期, 具体特征如下:

#### 2.1 第 I 期火山活动产物: 始新世流沙岗期火山岩

该期火山岩主要分布于琼北坳陷区的澄迈福 山盆地之中,未出露地表,以 3 层玄武岩夹层形式 出露于与福山流沙港组湖相灰色泥岩和灰黄色砂砾 岩之中,另外,在澄迈老城一带的钻孔中亦可见该 期火山岩夹层,其成岩时代约 34.78 Ma(汪啸风等, 1992)。

#### 2.2 第Ⅱ期火山活动产物:渐新世木棠期火山岩

该期火山岩主要分布于儋州木棠和文昌蓬莱地区,其中前者出露一套石英拉斑玄武岩,时代约为28.43 Ma,而后者则主要为一套碱性橄榄玄武岩,时代约为27.48 Ma(陶奎元,2012)。二者均出露地表,属琼北地区最早的地表火山岩。

#### 2.3 第Ⅲ期火山活动产物:中新世蓬莱期火山岩

该期火山岩在多地均见出露,主要出露于地表, 但在琼北坳陷区的钻孔中亦可见该期火山岩夹层。 该期火山岩主要覆盖于海西一印支期花岗岩或中新 统砂砾岩之上,呈熔岩被或火山低丘出露,风化剥 蚀严重。火山岩性以碱性橄榄玄武岩、碧玄岩为主, 含有大量的橄榄岩包体及辉石巨晶,成岩时代在 5.43~3.04 Ma之间(汪啸风等, 1992)。

#### 2.4 第Ⅳ期火山活动产物:上新世金牛岭期火山岩

该期火山岩广泛发育于琼北坳陷之中,以夹层 形式隐伏于海口组浅海-滨海相生物碎屑灰岩之中, 地表仅出露于海口金牛岭一带,构成金牛岭火山混 合锥主体。火山岩性以石英拉斑玄武岩为主,时代 介于 3.82~3.13 Ma 之间(陈文寄等, 1992b)。

#### 2.5 第V期火山活动产物:早更新世屯昌期火山岩

该期火山岩主要分布于定安岭口一黄竹及海 口牛夏坡一带,主要隐伏于地表以下约 40 m 或 90 m处,零星出露于地表,呈火山低丘和火山混合 锥形态出露。火山岩性以碱性橄榄玄武岩、玻基辉 橄岩、石英拉斑玄武岩、火山角砾岩为主,伏于早 更新世湛江组之下,时代介于 2.3~0.99 Ma之间(陶 奎元, 2012)。

## 2.6 第 VI 期火山活动产物:早更新世琼山期火山岩

该期又被称为多闻岭期(孙谦, 2003),火山岩分 布面积之广为琼北之最,火山活动方式以喷溢式为 主,形成大面积的熔岩被,主要分布于临高多文、琼 山云龙、文昌东路和定安大路一黄竹一带。火山岩





性主要包括石英拉斑玄武岩和橄榄拉斑玄武岩,火山口附近则常出现少量的碱性橄榄玄武岩。该套玄武岩呈喷发不整合覆于湛江组之上,伏于北海组之下,成岩时代约 2.11~0.77 Ma(汪啸风等, 1992)。

2.7 第 VII 期火山活动产物:中更新世德义岭期火 山岩

该期又被称为东英期(孙谦, 2003), 分布较广, 西起北部湾, 东至琼山南渡江, 南到定安龙塘一带 均见出露, 但出露较为零散, 主要呈熔岩被和火山 锥地貌特征出露于东英、峨蔓、高山岭、长流和蓬 莱等地。火山喷发方式以溢流式为主, 岩性主要为 石英拉斑玄武岩和橄榄拉斑玄武岩, 晚期出现碱性 橄榄玄武岩。该期火山岩喷发不整合覆于早更新世 湛江组、中更新世北海组及琼山期火山岩之上, 成 岩时代在 0.73~0.21 Ma 之间(汪啸风等, 1992; 黄镇 国等, 1993)。

# 2.8 第 VIII 期火山活动产物:晚更新世道堂期火山岩

该期火山岩分布极广,北自长流,南至咸谅, 西起白莲,东达龙桥均见分布。该期火山包括以往 划分的长流期和峨蔓岭期火山岩(孙谦,2003),其活 动方式较为丰富,除溢流式喷发以外,还大量出现 蒸汽岩浆爆发(玛珥式火山爆发),并形成众多的玛 珥火山(低平火山口)及基底涌流堆积。该期火山岩 岩性主要包括橄榄拉斑玄武岩和碱性橄榄玄武岩, 喷发不整合覆于中更新德义岭期玄武岩和北海组之 上,被全新世雷虎岭期玄武岩覆盖,成岩时代介于 0.101~0.06 Ma 之间(汪啸风等,1992)。 2.9 第IX期火山活动产物:全新世雷虎岭期火山岩 该期火山岩主要分布于永兴一龙桥一带,保存 程度较高,典型的火山喷发物,如火山渣、火山弹 及熔岩流的流动构造等均保存极好,并形成至少38 座火山锥。该期火山喷发类型以中心式为主,兼有 溢流式,形成多座分布于熔岩台地之上的火山碎屑 锥和混合锥,此外还发育多条熔岩隧道。火山岩性 主要包括橄榄拉斑玄武岩和碱性橄榄玄武岩,喷发 不整合覆于道堂组基底涌流堆积和玄武岩之上,其 上被全新世马鞍岭期玄武岩覆盖,成岩时代约 9.91~10.27 ka(孙谦, 2003)。

## 2.10 第 X 期火山活动产物: 全新世马鞍岭期火山岩

该期火山岩为琼北地区最晚期火山活动产物, 火山机构及喷发产物保存程度最高。主要分布于海 口石山一带,尤其在马鞍岭出露最为典型和完好。 与雷虎岭期类似,该期火山喷发方式亦以中心式喷 发为主,兼含溢流式。火山岩性主要包括橄榄拉斑 玄武岩和碱性橄榄玄武岩,喷发不整合覆于全新世 雷虎岭玄武岩之上,其上无覆盖,成岩时代约 8.155 ka(刘若新, 2000)。

### 3 火山地质遗迹类型

据最新的地质遗迹调查规范, 地质遗迹是指在 地球演化的漫长地质历史时期,由于各种内外地质 作用形成、发展并遗留下来的珍贵的、不可再生的 地质现象(中华人民共和国国土资源部, 2017)。同时, 火山地质遗迹与其它类型的地质遗迹相比, 更有其 明显的特殊性, 主要体现在火山活动是一种瞬间的 地质现象,具有动态特征,且其在地质历史演化各 个阶段, 均扮演着极为重要的角色, 故而产生了极 其丰富的地质遗迹类型。因此,在进行火山遗迹详 细分类时,应该考虑火山地质遗迹的上述独特性。 由于火山地质遗迹的特殊性, 前人提出了多种分类 方案。如陶奎元等(1999)将火山(岩)旅游资源类型分 为火山喷发动态景观、火山机构地貌景观、火山岩 景观、与火山、火山岩相关的自然景观、火山岩受 不同地学条件影响形成的自然景观或生态环境以及 与火山、火山岩相关的历史文化资源 6 大类, 并进 一步将这些资源细分为 56 小类; 李金花(2003)则根 据火山地质遗迹景观资源客体性质,将其划分为 3 个主类、6 类及 41 个基本类型; 赵汀和赵越(2009) 提出的显性地质遗迹科学分类中,又将火山学与火 成岩石学地质遗迹归为一类, 依据火山岩岩性特征 进行了亚类划分,并提出了9种与火山相关的地质 遗迹类型; 王丽丽和田明中(2013)又根据火山地质 遗迹的性质与成因,将火山地质遗迹划分为 3 大 类、8类、35亚类。

上述分类方案中,各类型的划分依据与代表范 围并不统一,如陶奎元等(1999)主要依据火山地质 遗迹的特征与成因进行分类,并强调了与之相关的 景观或文化资源,划分较为详细,而赵汀和赵越 (2009)的分类方案则主要注重国际对比与交流,划 分较为简略;王丽丽和田明中(2013)分类方案中的 "类"则与李金花(2003)分类方案中的"亚类"同 级。基于以上因素,我们依据火山地质遗迹自身特 性、成因特点与价值属性的分类原则,在前人划分 方案的基础上将火山地质遗迹及相关资源详细划分 为4个大类、5个类、16个亚类及100余个小类(表 1),其中大类是地质遗迹基本分类,类是火山地质 遗迹资源的总体分类,亚类是对各类火山地质遗迹 资源的详细划分,而小类则是可与地质遗迹点具体 对应的类型。

基于本文列出的火山地质遗迹详细分类方案 (表 1),笔者等通过在琼北地区开展的火山地质遗 迹详细调查与评价工作,将其中火山地质遗迹及相 关资源分为3类、7亚类、19小类(表 2)。

## 4 火山地质遗迹分布及特征

琼北地区火山活动时代较新,主要集中在第四 纪,且活动期次较多,从古近纪至第四纪共有10期 火山活动,故而形成了丰富的火山地质遗迹类型。 不同时期的火山地质遗迹保存程度不一,古近纪火 山地貌剥蚀最强烈,第四纪火山地貌保存较好,部 分已成为著名地质景观,如火山岩相剖面、火山渣 锥、玛珥火山、熔岩湿地等。琼北地区火山地质遗 迹类型及代表性景观如表2。

#### 4.1 火山岩相剖面

#### 4.1.1 火山锥岩相剖面

研究区火山锥剖面分布较广泛,又可进一步分为混合锥、碎屑锥和熔岩锥3类岩相剖面。典型火山锥岩相剖面如风炉岭、阳南岭,其中风炉岭火山碎屑锥岩相剖面自下而上共可分为6层岩相单元(图 2a),阳南岭北侧火山混合锥可分为9层岩相单元(图 2b)。

#### 4.1.2 熔岩流单元岩相剖面

研究区熔岩流单元剖面均由玄武岩熔岩流组 成,主要分布于道堂岭—博山村、永茂岭、群修岭 一带。如道堂岭—博山村火山岩剖面全新统石山组 由下而上共可分为 6 层岩性单元,并组成两期完整 的流动单元,而马鞍岭西北侧熔岩流可划分为 5 期 流动单元(图 2c)。

#### 4.1.3 涌流堆积岩相剖面

研究区涌流堆积岩相剖面主要分布于杨花岭、 双池岭一带,主要由蒸汽岩浆爆发作用产生的涌流

	Table 1         Detailed classification of volcanic geoheritages and related resources							
大类	类	亚类	小类					
地质	火山活动	火山喷发活动	熔岩溢流、火山爆发堆积、空落火山灰堆积、蒸汽-岩浆爆发堆积、火山喷气、火山 喷硫、火山喷碳酸岩等					
卫性		火山地下释能活动	火山地热、火山间歇喷泉、火山地震等					
其神	火山岩剖面	火山岩性剖面	基性火山岩剖面、中性火山岩剖面、酸性火山岩剖面、碱性火山岩剖面等					
基础		火山岩相剖面	熔岩流剖面、火山碎屑流剖面、潜火山岩剖面、涌流堆积剖面、火山碎屑锥、混合锥、 熔岩锥岩相剖面等					
	火山地貌	火山机构地貌	盾状火山、锥状火山、层状火山、破火山、玛珥火山等					
地貌景观		熔岩流地貌	绳状熔岩、块状熔岩、渣状熔岩、枕状熔岩、熔岩台地、熔岩瀑布、熔岩池/湖、熔 岩隧道、熔岩塌陷、熔岩树模、熔岩峰/嶂/方山/峡谷、熔岩砾/沙滩、火山弹、柱状节 理群、喷气碟、熔岩天生桥等					
		火山碎屑流地貌	隐爆角砾岩筒、火山碎屑流、火山通道、凝灰岩环、凝灰岩锥等					
		潜火山岩地貌	岩穹、岩钟、岩碑等					
		水体地貌	火山口湖、熔岩流堰塞湖、火山温泉、火山冷泉、火山矿泉等					
	火山伴生	湿地	熔岩湿地					
	地貌	地质灾害	火山岩崩塌洞穴、火山泥石流等					
		重要岩矿石	雨花石、蓝宝石、鸡血石、寿山石、萤石、水晶、方解石、石膏等					
	火山衍生 资源	火山文化	火山喷发记录、地方志、文学艺术作品、与火山相关的人类活动、摩崖石刻、宗教文 化、民俗等					
其他		火山建筑	火山岩石屋、石桥、石亭、石墙、步道、用火山岩制造的生活器具等					
资源		火山岩采冶遗址	火山岩采石、采矿遗址、冶炼遗址等					
		火山农业	火山咖啡、火山荔枝、火山石斛、火山黄皮、火山菠萝、火山乌榄、火山黑豆、火山 黑山羊等					

表 1 火山地质遗迹及相关资源详细分类表

表 2 琼北地区火山地质遗迹及相关资源详细分类表

 Table 2
 Detailed classification of volcanic geoheritages and related resources in northern Hainan

类	亚类	小类	景观
	火山岩相剖面	熔岩流单元岩相剖面	道堂—博山村、永茂岭玄武岩流剖面
火山岩剖面		涌流堆积岩相剖面	杨花岭、双池岭、罗经盘、儒黄岭涌流堆积剖面
		火山渣锥岩相剖面	风炉岭、阳南岭火山渣锥剖面等
		火山熔岩锥	三雅岭、东排岭、永茂岭、卜亚岭、平神岭、玉何岭、美郎岭、昌盛岭、 道斐岭等
	山田坊地泊	火山碎屑锥	道堂岭、荣堂岭、北铺岭、玉库岭、神岭、博昌岭、儒才岭、国群岭、 美社岭、昌道岭、阳南岭、美玉岭、群香岭、谷墩岭等
火山地貌	火田机构地就	火山混合锥	吉安岭、马鞍岭、包子岭、儒群岭、美本岭、儒洪岭、那墩岭、何群岭、 浩昌岭、雷虎岭、群修岭、卧牛岭、群众岭、群仙岭、昌甘岭等
		玛珥火山	杨花岭、双池岭、好秀岭、玉墩岭、石岭、同类岭、儒黄岭、陈永岭、
		(低平火山口)	罗经盘等
	火山熔岩地貌	熔岩隧道	仙人洞-卧龙洞群、乳花洞-火龙洞群、卧龙洞群、鸦卜洞群、阴南洞群、 美玉洞群、墩太洞群、儒王火龙洞熔岩隧道等
		熔岩流地貌	风炉岭熔岩流、熔岩隧道内熔岩流等
火山伴生 地貌	湿地	熔岩湿地	金牛岭湿地、沙坡郊野湿地、白水塘湿地、羊山湿地、新旧沟湿地、观 澜湖湿地、潭丰洋湿地、五源河湿地、美舍河湿地、三十六曲湿地、响 水河湿地、东寨港湿地等
	滩、涂	熔岩砾滩	儋州峨蔓砾滩等
		文学艺术作品	火山山歌、村话、彩绘
		民俗	公期
	火山文化	地方志	琼山县志
		宗教文化	火山岩石供
火山衍生		与火山相关的人类活动	火山岩区开挖水井及找水故事、火山石晒盐等
资源		火山岩村落	荣堂古村、昌道古村、博学古村、三卿村、儒毫村、美社村、美梅村等
	火山岩建筑	火山岩石门	火山岩石牌坊
		火山岩生活器具	火山岩榨甘蔗汁机、水缸、石磨等
	水山农业	特色经济作物	黄皮、乌榄、黑豆、石斛、菠萝蜜、荔枝、龙眼等
	八山公里	特种经济动物	黑山羊、山鹧鸪等

相火山碎屑组成,并发育交错层理、微斜层理、水 平层理等构造。如杨花岭涌浪堆积岩相剖面自下而 上共可分为10层岩相层(图版I-4)。

## 4.2 火山机构地貌

研究区火山机构地貌可进一步分为火山熔岩 锥、火山碎屑锥、火山混合锥和玛珥火山4类次级 火山机构地貌类型。

火山熔岩锥: 主要由熔岩流组成的锥状火山。 研究区火山熔岩锥分布较少, 典型熔岩锥有 9 座, 以高度低、底径大为显著特征, 高径比(火山锥高度 /火山锥底盘直径)多集中在 0.1 左右。研究区著名熔 岩锥如卜亚岭和永茂岭等。

火山碎屑锥: 主要由火山渣、火山集块及火山 灰组成的锥状火山。研究区该类火山机构分布较广, 其中典型的有 14 座,以锥体高、底径小为特征,高 径比集中在 0.2~0.7 之间。研究区著名的碎屑锥如 道堂岭和阳南岭等。

火山混合锥: 主要由熔岩流和熔岩渣组成的锥状火山。研究区火山混合锥分布最广,数量最多,同时也是成景的主要地质体。研究区共分布 15 座典型火山混合锥,其均已高度高、底径小为特征,高径比多在 0.5~1.0 之间。研究区著名混合锥如马鞍岭(图版 I-2)、包子岭和雷虎岭(图 2d)等。

玛珥火山: 该类火山又称低平火山口, 是指由 蒸汽-岩浆爆发作用形成的火山, 以高度低, 底径巨 大为显著特征。火山爆发产物以大量火山灰和沉积 碎屑为主, 夹少量火山集块及岩浆碎屑。发育粒序 层理、低角度交错层理、平行层理等沉积构造, 见 软沉积变形如"坠石构造"现象。研究区典型玛珥 火山有 9 座, 均以高度低、底径大为特征, 高径比 多在 0.05 左右。研究区玛珥火山多以火山口不储水 的"干玛珥"为特色, 著名玛珥火山如杨花岭、罗 京盘(图 2d)和双池岭等。

#### 4.3 火山熔岩地貌

研究区火山熔岩地貌普遍,但因其处在热带地 区,空气湿度大、植被繁茂,故火山熔岩多遭严重 风化。研究区火山熔岩地貌主要包括熔岩流地貌、 熔岩隧道等类型。

熔岩流地貌:研究区熔岩流地貌主要包括结壳 熔岩流、渣状熔岩流和块状熔岩流三类,这三类熔 岩流的形成与熔岩流的黏度、温度变化及冷却速率 的大小有关。熔岩流地貌在琼北地区分布普遍,但 保存规模均较小,仅在雷琼(海口)世界地质公园及 部分熔岩隧道中出露较完整(图版 I-1)。

熔岩隧道:熔岩隧道是研究区一种特殊的地质 景观,其形成是由于熔岩流表里冷却速度不一致所 造成的,即熔岩流在流动过程中,表层冷却成壳, 内部的岩流热量不易散失,保持高温而继续流动, 当熔岩流来源断绝时,内部熔岩流"脱壳而出",留 下隧道状的洞穴,如地下隧道。琼北地区熔岩隧道 共可分为7群30余条,长度10~2000m不等,如仙 人洞-卧龙洞群、火龙洞群、鸦卜洞群、阴南洞群、 墩太洞群等,其分布数量之多、规模之大,在我国 实属罕见,尤其是龙华区儒王村火龙洞熔岩隧道连 续贯通长度可达1.2 km,洞壁风化壤与蜂窝状玄武 岩交织错杂,色彩斑斓,有若"飞天壁画"(图版 I-3)。此外,这些熔岩隧道内还广泛发育保存形态极 为完整的绳状、波状、面包状熔岩流等次生地质遗 迹。同时,部分熔岩隧道还发育地下水潭、地下岛、 火山矿物泥、蝙蝠粪、洞穴蝙蝠、洞穴鱼类、洞穴 昆虫构成独特的生态系统。

#### 4.4 熔岩湿地地貌

研究区湿地资源丰富,且我国唯一的独具特色的热带火山熔岩湿地。研究区著名湿地共 12 处(表 2)。由于研究区火山熔岩区分布有许多涌泉和洼地, 且降水量充沛,故形成了河溪、湖泊、田洋、水库、 池塘、森林沼泽、洪泛湿地等多类型湿地。这类湿 地是区域储水的重要载体,多处湿地中还发育自流 泉等地质体(图版 I-7)。

# 5 琼北地区与我国典型新生代火山地质 遗迹对比分析

琼北地区火山活动延续时间长,火山活动类型 丰富,形态多样,根据火山活动时代与形成的地质 遗迹类型,将琼北地区火山地质遗迹进行了分类, 如表 2。

琼北地区火山地质遗迹大地构造位置处于欧 亚板块陆缘裂谷, 与我国大部分第四纪火山地质遗 迹分布于陆内裂谷显著不同;分布面积 4159 km<sup>2</sup>, 为全国新生代火山地质遗迹分布面积最大地区; 共 有火山 101 座, 亦为全国新生代火山数量之冠; 火 山活动时代持续时间长,从古新世至全新世均有火 山活动,为全国新生代火山活动时间最长地区;火 山喷发方式包括夏威夷型、斯通博利型、塞特西延 型(蒸汽-岩浆喷发)3 种形式; 火山地质遗迹类型丰 富,主要包括火山岩相剖面、火山机构地貌、火山 岩地貌、湿地4类火山地质遗迹及熔岩流单元岩相 剖面、涌流堆积岩相剖面、火山熔岩锥、熔岩隧道、 熔岩湿地等10小类火山地质遗迹;琼北地区火山属 于全新世"城市火山",对其进行火山活动监测工 作具有重要意义;火山衍生资源丰富,主要包括火 山文化、火山古村落和热带火山农业3类特色资源。

通过将琼北地区新生代火山地质遗迹与我国 典型新生代火山地质遗迹进行对比(表 3),可知琼



图 2 风炉岭火山碎屑锥岩相柱状剖面(a)、阳南岭火山混合锥岩相柱状剖面(b)、马鞍岭西北侧熔岩流岩相剖面(c)和雷 虎岭火山混合锥-罗经盘玛珥火山岩相剖面(d)(据黄镇国等, 1993; 孙谦, 2003; 陶奎元, 2012 修改) Fig. 2 Lithofacies columnar section of Mt. Fenglu pyroclastic cone (a), lithofacies columnar section of Mt. Yangnan volcanic compound cone (b), lithofacies section of lava in northwestern Mt. Ma'an (c), lithofacies section of Mt. Leihu compound cone-Luojingpan Maar (d) (modified after HUANG et al., 1993; SUN, 2003; TAO, 2012)

北地区火山地质遗迹特征显著,其在大地构造位 置、分布面积、火山数量、活动时代、喷发方式、 火山地质遗迹类型、火山监测、火山衍生资源 8 个 方面具有明显不同于其它地区火山地质遗迹的特 征。

# 6 琼北地区第四纪火山地质遗迹的地学 意义

综上所述,通过对琼北地区新生代玄武质火山 地质遗迹进行全国对比研究,结果表明,琼北地区 第四纪火山群分布面积广、地质遗迹类型丰富,在 中国东部新生代火山岩区具有代表性和典型性。总 体而言,琼北地区火山地质遗迹在地学研究方面具 有以下 3 方面的显著特征与研究意义:

#### 6.1 大地构造学意义

琼北地区位于欧亚板块东南端,与印度板块和 太平洋—菲律宾板块毗邻。大地构造位置属于太平 洋构造域与特提斯—喜马拉雅构造域的交汇点前缘, 在大地构造上具复杂性,既保留了滨西太平洋构造 域的 NE-NEE 向构造特征,又呈现出特提斯—喜马 拉雅构造域的 NW-NWW 向构造特点,并共同控制 着琼北地区新生代火山活动产物的空间展布。此外, 琼北地区新生代火山岩严格分布于"雷琼坳陷"之 中,被认为是南海停止扩张后区域性玄武质岩浆事 件的一部分(Flower et al., 1992)。这些玄武岩均沿断 裂分布,具有大陆板内玄武岩特征,是认识南海周 表 3 琼北地区与全国其他地区典型新生代火山地质遗迹级相关资源对比表

from other regions of China									
地区	时代	岩性	喷发方式	火山地质遗迹级相关资源	资料来源				
琼北 地区	古新世—全新世	拉斑玄武岩、碱性 玄武岩、沉凝灰岩	夏威夷式、 斯通博利 式、玛珥式	熔岩流单元岩相剖面、涌流堆积岩相剖面、 火山熔岩锥、熔岩隧道、玛珥火山、玄武岩 砾滩、熔岩湿地、火山农业(荔枝、黄皮、石 斛等)、火山文化、火山岩古村落等	本文				
五大连 池地区	2.07 Ma~0.29 ka	超钾质碱性玄武岩	斯通博利式	火山锥、火山口、熔岩台地、火山堰塞湖、 喷气碟、熔岩隧道、火山矿泉等	Hsü and Chen, 1998; 缪瑞彬等, 2010; 李永生等, 2012				
镜泊湖 地区	早更新世、中更 新世和全新世	碱性橄榄玄武岩、 白榴石碱玄岩	斯通博利式	火山渣锥、火山堰塞湖、射气-岩浆剖面和溅 落锥堆积剖面、熔岩隧道	张招崇等, 2000; 樊祺 诚等, 2003; 陈洪洲等, 2005; 詹涛等, 2017				
长白山 地区	渐新世一全新世	碱性橄榄玄武岩 夹少量安粗岩、流 纹岩、粗面岩和碱 流岩	斯通博利 式、培雷式	复式火山锥体、火山渣锥、盾状火山、火山 穹丘、熔岩高原、熔岩台地、熔岩桌状山、 柱状节理、空中降落堆积物、火山碎屑流状 堆积物、火山泥流堆积物、火山口湖、火山 碎屑峡谷、温泉等	刘若新等, 1992; Wei et al., 2007;				
内蒙古 东部 地区	中更新世、晚更 新世、全新世	碱性橄榄玄武岩	斯通博利 式、玛珥式	射汽-岩浆剖面、降落锥堆积剖面、溅落锥堆 积剖面、火山锥、火山口、破火山口、熔岩 台地、熔岩峡谷、柱状节理、熔岩流、火山 碎屑席、熔岩喷气锥、熔岩穹丘、塌陷熔岩 湖、火口湖、堰塞湖、冷泉、温泉等	赵勇伟, 2007; 韩湘君等, 2001; 王丽丽和田明中, 2013				
内蒙古 赤峰	渐新世、晚中新 世、上新世、更 新世	石英拉斑玄武岩、 橄榄拉斑玄武岩, 碱性橄榄玄武岩	夏威夷式、 斯通博利 式	玄武岩台地、火山岩相剖面、玄武岩柱状节 理群、玄武岩风化壳、火山弹	Han et al., 1999; 贾文等, 2002				
河北汉 诺坝	中新世	碱性玄武岩、拉斑 玄武岩、碧玄岩交 春喷发	夏威夷式、 斯通博利 式	火山熔岩锥、火山碎屑锥、橄榄岩包体群	王慧芬等, 1985				
山西 大同	0.1 Ma \ 0.30~0.45 Ma \ 0.70~0.74 Ma	拉斑玄武岩、碱性 玄武岩	斯通博利 式	火山机构地貌主体为火山碎屑锥,伴有少量 熔岩锥和混合锥;火山岩地貌主要为岩垄、 岩舌、岩被及熔岩峡谷、火山弹、火山砾等	张世民等, 1997;陈 文寄等, 1992a;王 乃樑等, 1996;郑宏 瑞和徐建明, 2001; 翟姣等, 2011				
安徽 女	0.53~0.73 Ma	碧玄岩、霞石岩、 碱性橄榄玄武岩	斯通博利 式	火山碎屑锥、橄榄岩包体群、辉石巨晶包体、 修光堤险湖 修光海	陈道公和彭子成, 1988				
 江苏 南京	0.6 Ma 、 0.9~1.2 Ma	藏住做视公式石 碧玄质碱性橄榄 玄武岩	<u></u> 斯通博利 式	水石湖南间、水石加 火山碎屑锥、火山混合锥、火山口湖、溅落 锥火山堆积剖面、基底涌流岩相剖面、熔岩 流岩相剖面、柱状节理群、温泉群、雨花石、 辉石巨晶、蓝宝石、凹凸棒石等	王官勇和王心源, 2007; 韩志勇等, 2009; 张玉芬等, 2012				
浙江新 昌一嵊 州	10.5~2.0 Ma	碱性橄榄玄武岩、碧 玄岩、粗面玄武岩	斯通博利 式	火山碎屑锥、熔岩锥、柱状节理群、火山口湖、 火山颈、橄榄岩包体群、火山弹、硅藻土矿	Ho et al., 2003				
福建 漳州	10.1~14.8 Ma	石英拉斑玄武岩、 碱性橄榄玄武岩	夏威夷式	无根喷气口群、气孔柱群、柱状节理群、海蚀 平台、玄武岩砾滩、沙滩、古森林炭化木层等	林友坤, 1992; 黄金火等, 2005; 孙东霞等, 2019				
广东雷 州—徐 闻	0.18 Ma	主要为橄榄拉斑 玄武岩、少量碱性 橄榄玄武岩、凝灰 岩和粗玄岩	斯通博利 式、玛珥式	火山碎屑锥、玛珥湖、基底涌流堆积岩相剖 面、柱状节理群、熔岩湿地、球状风化层、 火山口农业、火山古村落、海蚀穴、龟背石、 海蚀平台、海蚀崖、熔岩流	李蔚然等, 2013;				
广西 涠洲岛	1.42~0.49 Ma 36~33 ka	碱性橄榄玄武岩、 碧玄岩	夏威夷式、 玛珥式	火山熔岩锥、玛珥火山、基地涌流堆积、火 山岩相剖面、海蚀平台、海蚀柱、海蚀蘑菇、 玄武岩砾滩、沙滩、古泻湖	樊祺诚等, 2006				
云南 腾冲	上新世、早更新 世、晚更新世和 全新世	玄武岩、安山玄武 岩、安山岩、英安 岩	斯通博利 式、玛珥式	熔岩堰塞湖、堰塞瀑布、截顶圆锥状火山、穹 状火山、盾状火山、玛珥火山、火山熔岩台地 和熔岩隧道,其中熔岩台地上发育熔岩波浪、 驮移锥、渣状熔岩、结壳熔岩等次级熔岩地貌 以及广泛发育的沸泉、气泉、喷泉、温泉群	姜朝松等, 2003				
台湾澎 湖群岛	17~8 Ma, 集中 于14~10 Ma	石英拉斑玄武岩、 碱性橄榄玄武岩、 玄武质火山碎屑 岩及少量安山岩、 英安岩	夏威夷式、 斯通博利 式、培雷式	玄武岩柱状节理群、海蚀洞雪穴、海蚀平台、 海蚀崖、海蚀砾滩地貌、温泉群、橄榄石、"双 心石沪"等	王伟铭, 2013				

 Table 3
 Comparative analyses of typical Cenozoic volcanic geoheritages and related resources in northern Hainan and those from other regions of China

边地区新生代以来构造演化及地幔深部过程的重要 窗口(韩江伟等, 2009)。同时, 琼北地区玄武岩与南 海海域玄武岩、台湾北部新生代玄武岩、菲律宾吕 宋岛西南部的碱性岛弧火山岩均有相似的微量元素 和同位素组成特征, 这进一步说明琼北地区新生代 玄武岩研究对于揭示环南海盆地深部岩浆性质及演 化规律具有重要意义。

## 6.2 火山学研究意义

琼北地区是我国少量的全新世火山集中分布 区之一,对于提升我国全新世以来活火山研究工作 具有重要意义。琼北地区第四纪火山岩分布面积达 4159 km<sup>2</sup>, 而琼州海峡北部雷州半岛火山岩分布区 为 3136 km<sup>2</sup>, 牡丹江-穆棱火山分布岩区面积约 3000 km<sup>2</sup>, 五大连池火山分布区面积约 1000 km<sup>2</sup>, 内蒙古扎兰屯柴河火山区分布面积约 1200 km<sup>2</sup>, 大 同火山岩区分布面积约 150 km<sup>2</sup>。因此, 琼北地区第 四纪火山岩分布面积在我国第四纪火山分布区中占 首位。研究区火山主体集中分布于海口市, 尤其是 距今 8.15 ka 前喷发的石山火山群距主城区仅 8 km, 而我国其他地区第四纪火山均远离城市,因此研究 区这些火山被称为"城市火山",对其进行火山灾 害监测和研究, 也是当前我国火山学研究工作的重 点之一。另一方面, 琼北地区火山喷发方式类型丰 富,主要喷发方式包括夏威夷式、斯通博利式和蒸 汽-岩浆式喷发3种,是研究火山喷发机制及动力学 过程的理想场所。特别是研究区分布大量中一晚更 新世玛珥火山(低平火山口)完整地保留了基底涌流 堆积岩相剖面,属于典型的蒸汽岩浆爆发产物,然 而我国对于该类火山的研究多集中于产出特征及喷 发产物的研究上,对其爆破机理、火山喷发-运移动 力学过程的定量研究还极为薄弱, 与国际前沿差距 较大, 而琼北地区第四纪大量分布的玛珥火山及完 整的基底涌流岩相学剖面则为研究这些科学问题提 供了国内少有的理想研究对象。

#### 6.3 地貌学研究意义

琼北地区火山活动持续时间长,自上新世至全 新世均见火山活动,并在更新世达到高峰,最晚的 火山活动时代为 8.15 ka。长期的火山活动形成 101 座新生代火山,是我国新生代火山分布数量最多的 地区之一。同时,这些火山地质遗迹类型丰富,尤 其是火山地貌类地质遗迹发育最为丰富。研究区火 山地貌类遗迹类型主要包括火山机构地貌、火山岩 地貌、熔岩湿地地貌 3 类火山地貌类地质遗迹及火 山熔岩锥、熔岩隧道、熔岩湿地等 8 小类火山地貌 地质遗迹。尤其是其中熔岩隧道和熔岩湿地地貌最 为独特。主要表现在,一方面,研究区熔岩隧道数 量多、连续贯通距离长、形态多变且内部地质景观 及派生景观丰富,均可与世界著名熔岩隧道相媲美, 且这些熔岩隧道多分布于海口市周围,随着城市的 扩张,其地下空间展布情况,已成为干扰城市规划 与建设的重大科学难题;另一方面,研究区熔岩湿 地是我国唯一发育在热带地区火山岩之上的湿地, 其中发育了独特的热带生态聚落,显著不同于五大 连池、扎兰屯等寒带地区的生态聚落,另外,火山 喷发后,熔岩浆会毁灭原有的植被,改变土壤环境, 原生植被将在裸岩上重新开始演替,火山熔岩地区 将拥有区别于周围环境更年轻的植物演替史(申益 春等,2019),因此研究区火山熔岩湿地地貌的研究 意义巨大。

值得一提的是, 琼北地区处火山地质遗迹资源 极为丰富之外, 其火山衍生资源亦十分优厚而独 特。这些火山衍生资源主要包括火山文化、火山古 村落和热带火山农业3类(表2),这些火山衍生资源 与当地居民生活密切相关,对其进行系统梳理与对 比研究是火山地质遗迹调查与评价的一项重要延伸 内容,具有重要意义,主要体现在3个方面:首先, 第四纪火山地区先天的特殊自然条件使得研究区居 民的生产、生活方式与火山紧密相联, 尤其聚落格 局、建筑材料、种植方式、物种选择、水资源利用 方式等, 均呈现出与火山熔岩地区自然环境的高度 适应,形成一个协同进化体系,是一个典型的热带 滨海区域火山熔岩地区的自然文化遗产综合体,并 衍生出了大量与火山相关的珍贵文化遗产, 如火山 山歌、村话、火山公期等艺术形式及地方志如《琼 山县志》中关于火山地质的记载。其次, 琼北地区 许多村落中仍保留了大量由玄武岩构建的石屋,且 仍在使用中,如三卿村、荣堂古村、昌道古村、博 学古村等。这些火山岩石屋组成的建筑聚落(图版 I -8), 是世界上除韩国济州岛之外第二个由火山岩建 筑组成的大型聚落,是珍贵的历史文化遗产。此外, 研究区处于热带火山岩分布区,其上发育了典型的 热带农业动植物。由火山活动带来的丰富矿物质赋 存于火山岩风化后的红壤之中,加之该地区优良的 水质、气候及生态环境等条件为研究区优质热带农 业产业的发展提供了得天独厚的条件, 使之品质远 高于其它地区的同类型农产品,如研究区广泛种植 的火山黄皮、乌榄、荔枝、黑豆、石斛、龙眼, 以 及在火山岩区养殖的黑山羊、山鹧鸪等。

琼北地区丰富的火山地质遗迹与衍生资源具有 巨大的挖掘潜力,随着海南省自由贸易港和国际旅 游岛建设的持续推进,这些资源的旅游价值及其背 后的地球科学内涵还需要进一步地深入发掘和研究。 **致谢**:感谢论文评审老师为本文提出的宝贵的修改 意见和建议!

#### Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (Nos. DD20190603 and DD20179384), Nanjing Geological Center of China Geological Survey (No. 2019012), and National Key Research and Development Program of China (No. 2016YFC0600203).

## 参考文献:

- 白志达, 徐德斌, 魏海泉, 胡久常. 2003. 琼北马鞍岭地区第四 纪火山活动期次划分[J]. 地震地质, 25(S1): 12-20.
- 陈道公,彭子成. 1988. 皖苏若干新生代火山岩的钾氩年龄和铅 锶同位素特征[J]. 岩石学报,1(2): 3-12.
- 陈洪洲,马宝君,高峰. 2005. 镜泊湖全新世火山喷发特征[J]. 中国地震, 21(3): 360-368.
- 陈文寄,李大明,戴潼漠,蒲志平,刘若新,李齐,孙建中,王 昕, JAGER E, HURFORD A J, PFEIFER H R. 1992a. 大同第 四纪玄武岩的 K-Ar 年龄及过剩氩[M]//刘若新. 中国新生 代火山岩年代学与地球化学. 北京: 地震出版社.
- 陈文寄, 葛同明, 李大明, 徐行, 李齐, 樊利民, 王昕, 文思郁. 1992b. 雷琼新生代玄武岩的 K-Ar—磁性地层年代学[M]// 刘若新. 中国新生代火山岩年代学与地球化学. 北京: 地 震出版社.
- 樊祺诚,孙谦,李霓,尹金辉,陈洪洲,高峰,张锡杰. 2003. 镜 泊湖全新世火山空降碎屑剖面和喷发历史[J]. 地震地质, 25(S1): 3-11.
- 樊祺诚,孙谦,李霓,隋建立. 2004. 琼北火山活动分期与全新 世岩浆演化[J]. 岩石学报, 20(3): 533-544.
- 樊祺诚,孙谦,龙安明,尹克坚,隋建立,李霓,王团华. 2006. 北部湾涠洲岛及斜阳岛火山地质与喷发历史研究[J]. 岩石 学报,22(6):1529-1537.
- 韩湘君, 金旭, 孙春晖. 2001. 内蒙古阿尔山温泉热结构[J]. 地 球学报, 22(3): 259-264.
- 韩江伟,熊小林,朱照宇. 2009. 雷琼地区晚新生代玄武岩地球 化学: EM2 成分来源及大陆岩石圈地幔的贡献[J]. 岩石学 报,25(12): 3208-3220.
- 韩志勇, 李徐生, 陈英勇, 杨达源. 2009. 南京地区新近纪砂砾 层的沉积环境演变[J]. 第四纪研究, 29(2): 361-369.
- 黄镇国, 蔡福祥, 韩中元, 陈俊鸿, 宗永强, 林晓东. 1993. 雷琼 第四纪火山[M]. 北京: 科学出版社.
- 黄金火,林明太,黄秀琳. 2005. 滨海火山地质公园旅游产品开 发问题研究——以漳州滨海火山国家地质公园为例[J]. 北 华大学学报(社会科学版),16(3): 80-83.
- 贾文,朱慧忠,邵济安. 2002. 内蒙古赤峰地区新生代玄武岩的 时空分布[J]. 地质论评,48(3): 267-272.
- 姜朝松,周瑞琦,赵慈平.2003. 腾冲地区构造地貌特征与火山 活动的关系[J]. 地震研究,26(4):361-366.
- 李金花. 2007. 火山地质遗迹景观区资源分类与评价方法初 探[D]. 北京:中国地质大学.
- 李蔚然, 季建清, 桑海清, 周晶, 涂继耀, 洒骁, 叶姮. 2013. 雷 州半岛第四纪火山岩激光 <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 等时线定年研究[J]. 岩 石学报, 29(8): 2775-2788.
- 李永生,刘永顺,张招崇,聂保锋,张东阳. 2012. 五大连池老 黑山火山弹和喷发柱动力学模拟[J]. 现代地质, 26(2): 220-228.

- 林友坤. 1992. 福建天马山-牛头山新生代玄武岩及其火山作 用[J]. 岩石学报, 7(4): 376-385.
- 刘若新,李继泰,魏海泉,许东满,郑祥身. 1992. 长白山天池 火山——一座具潜在喷发危险的近代火山[J]. 地球物理学 报, 35(5): 661-665.
- 刘若新. 2000. 中国的活火山[M]. 北京: 地震出版社.
- 缪瑞彬,肖寅妹,刘永顺,聂保锋,滕刚.2010.五大连池火山 地质旅游资源特色研究[J].首都师范大学学报(自然科学 版),31(2):47-53.
- 申益春, 卢刚, 刘寿柏, 尹菡怿, 宋希强. 2019. 海口羊山火山 熔岩湿地中的植物分布特征[J]. 湿地科学, 17(5): 493-503.
- 孙谦. 2003. 琼北第四纪火山活动与岩浆演化[D]. 北京: 中国 地震局地质研究所.
- 孙东霞,吕同艳,沈晓丽,薛蕾. 2019. 福建龙海—漳浦沿海地 区火山岩激光<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 年龄[J]. 地质通报, 38(9): 1511-1520.
- 陶奎元, 邢光福, 季绍新, 杨祝良, 赵宇, 沈加林. 1999. 火山 (火山岩)旅游资源论评[J]. 火山地质与矿产, 20(2): 78-86.
- 陶奎元. 2007. 中国雷琼世界地质公园[J]. 资源调查与环境, 28(3): 223-228.
- 陶奎元. 2012. 中国雷琼·海口火山群世界地质公园研究[M]. 南 京: 东南大学出版社.
- 汪啸风, 马大铨, 蒋大海. 1992. 海南岛地质(二)[M]. 北京: 地质出版社.
- 王慧芬, 戴橦谟, 范嗣昆, 杨学昌. 1985. 张家口汉诺坝玄武岩 K-Ar 年龄计时[J]. 地球化学, 14(3): 206-215.
- 王官勇, 王心源. 2007. 明光市女山火山地质遗迹资源特点及其 可持续保护[J]. 资源开发与市场, 23(8): 747-749.
- 王丽丽,田明中. 2013. 内蒙古扎兰屯柴河火山地质遗迹特征及 其对比分析[J]. 地球学报, 34(6): 749-756.
- 王乃樑,杨景春,夏正楷,莫多闻,李有利,潘懋.1996.山西地 堑系晚新生代沉积与构造地貌[M].北京:科学出版社: 237-241.
- 王伟铭. 2013. 台湾澎湖列岛新近纪火山岩系的分布及其沉积 夹层的生物地层学意义[J]. 地层学杂志, 37(4): 570.
- 魏海泉, 白志达, 胡久常, 史兰斌, 张秉良, 徐德斌, 孙谦, 樊 祺诚. 2003. 琼北全新世火山区火山系统的划分与锥体结 构参数研究[J]. 地震地质, 25(S1): 21-32.
- 翟姣, 胡小猛, 王丽丽, 卢海龙. 2011. 大同盆地火山活动研究 综述[J]. 防灾科技学院学报, 13(1): 82-86.
- 詹涛,杨业,李峨,马永法,张俊,娄本军,曾方明. 2017. 五大 连池玄武岩的磁化率及其风化指示意义[J].泰山学院学报, 39(6): 12-18.
- 张世民,窦素芹,杨景春. 1997. 大同第四纪火山群的活动特 点[J]. 地壳构造与地壳应力文集, 13(00): 103-111.
- 张玉芬,李长安,邵磊,康春国,周耀. 2012. 南京地区雨花台 砾石层研究进展与展望[J]. 地学前缘, 19(4): 284-290.
- 张招崇,李兆鼐,李树才,辛影,李兆木,王先政.2000.黑龙江 镜泊湖地区全新世玄武岩的地球化学特征及其深部过程探 讨[J]. 岩石学报,16(3):327-336.
- 赵勇伟. 2007. 内蒙古阿尔山—柴河第四纪火山构造研究[D]. 北京: 中国地质大学.
- 赵汀,赵逊. 2009. 地质遗迹分类学及其应用[J]. 地球学报, 30(3): 301-308.
- 郑宏瑞,徐建明. 2001. 大同盆地第四纪磁性地层学研究及其对 比[J]. 地球学报,7(5):418.
- 中华人民共和国国土资源部. 2017. DZ/T 0303-2017. 地质遗迹 调查规范[S]. 北京: 中华人民共和国国土资源部.

120

#### **References:**

- BAI Zhi-da, XU De-bin, WEI Hai-quan, HU Jiu-chang. 2003. Division of the active period of Quaternary volcanism in Maanling, northern Hainan Province[J]. Seismology and Geology, 25(S1): 12-20(in Chinese with English abstract).
- CHEN Dao-gong, PENG Zi-cheng. 1988. K-Ar ages and Pb, Sr isotopic characteristics of some Cenozoic volcanic rocks from Anhui and Jiangsu Provinces, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 1(2): 3-12(in Chinese with English abstract).
- CHEN Hong-zhou, MA Bao-jun, GAO Feng. 2005. Characteristics of the Holocene Volcano in the Jingpohu Region[J]. Earthquake Research in China, 21(3): 360-368(in Chinese with English abstract).
- CHEN Wen-ji, LI Da-ming, DAI Tong-mo, PU Zhi-ping, LIU Ruo-xin, LI Qi, SUN Jian-zhong, WAN Xin, JAGER E, HURFORD A J, PFEIFER H R. 1992a. The K-Ar age and excess Ar of Quaternary basalt in Datong[M]//LIU Ruo-xin. The age and geochemistry of Cenozoic volcanic rock in China. Beijing: Seismological Press(in Chinese).
- CHEN Wen-ji, GE Tong-ming, LI Da-ming, XU Xing, LI Qi, FAN Li-min, WANG Xin, WEN Si-yu. 1992b. The K-Ar- magnet-stratigraphic chronology of Cenozoic basalt in Hainan Island and Leizhou Peninsula[M]//LIU Ruo-xin. The age and geochemistry of Cenozoic volcanic rock in China. Beijing: Seismological Press (in Chinese with English abstract).
- FAN Qi-cheng, SUN Qian, LI Ni, SUI Jian-li. 2004. Periods of volcanic activity and magma evolution of Holocene in North Hainan Island[J]. Acta Petrologica Sinica, 20(3): 533-544(in Chinese with English abstract).
- FAN Qi-cheng, SUN Qian, LI Ni, YIN Jin-hui, CHEN Hong-zhou, GAO Feng, ZHANG Xi-jie. 2003. The section of airfall clastic rock of Holocene volcano in Jingpohu region and its eruptive history[J]. Seismology and Geology, 25(S1): 3-11(in Chinese with English abstract).
- FAN Qi-cheng, SUN Qian, LONG An-ming, YIN Ke-jian, SUI Jian-li, LI Ni, WANG Tuan-hua. 2006. Geology and eruption history of volcanoes in Weizhou Island and Xieyang Island, Northern Bay[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(6): 1529-1537 (in Chinese with English abstract).
- FLOWER M F J, ZHANG Ming, CHEN Chu-yung, TU Kan, XIE Guang-hong. 1992. Magmatism in the South China Basin, Post-spreading Quaternary basalts from Hainan Island, South China[J]. Chemical Geology, 97: 65-87.
- HAN Bao-fu, WANG Shi-guang, KAGAMI H. 1999. Trace element and Nd–Sr isotope constraints on origin of the Chifeng flood basalts, North China[J]. Chemical Geology, 155: 187-199.
- HAN Xiang-jun, JIN Xu, SUN Chun-hui. 2001. Geothermal Structure of Aershan Hot Springs, Inner Mongolia[J]. Acta Geoscientia Sinica, 22(3): 259-264(in Chinese with English abstract).
- HAN Jiang-wei, XIONG Xiao-lin, ZHU Zhao-yu. 2009. Geochemistry of Late-Cenozoic basalts from Leiqiong area: The origin of EM2 and the contribution from sub-continental lithosphere mantle[J]. Acta Petrologica Sinica, 25(12): 3208-3220(in Chinese with English abstract).
- HAN Zhi-yong, LI Xu-sheng, CHEN Ying-yong, YANG Da-yuan.2009. Evolution of sedimentary environment of Neogene

gravel beds near Nanjing[J]. Quaternary Sciences, 29(2): 361-369(in Chinese with English abstract).

- HSÜ Chu-nan, CHEN Ju-chin. 1998. Geochemistry of Late Cenozoic basalts from Wudalianchi and Jingpohu areas, Heilongjiang Province, northeast China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 16(4): 385-405.
- HO Kung-suan, CHEN Ju-chin, JUANG Wen-shing. 2000. Geochronology and geochemistry of late Cenozoic basalts from the Leiqiong area, Southern China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 18(3): 307-324.
- HO Kung-suan, CHEN Ju-chin, LO Chin-ju, ZHAO Hai-ling. 2003.
   <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar dating and geochemical characteristics of late Cenozoic basaltic rocks from the Zhejiang-Fujian region, SE China: Eruption ages, magma evolution and petrogenesis[J]. Chemical Geology, 197: 287-318.
- HUANG Zhen-guo, CAI Fu-xiang, HAN Zhong-yuan, CHEN Jun-hong, ZONG Yong-qiang, LIN Xiao-dong. 1993. Quaternary volcano of Leiqiong[M]. Beijing: Science Press((in Chinese).
- HUANG Jin-hua, LIN Ming-tai, HUANG Xiu-lin. 2005. On tourism products development of Binhai Geologic Park of strand and volcano-Take Binhai National Geologic Park of strand and volcano of Zhangzhou as an Example[J]. Journal of Beihua University (Social Sciences), 16(3): 80-83(in Chinese with English abstract).
- JIA Wen, ZHU Hui-zhong, SHAO Ji-an. 2002. Temporal-Spatial distribution of Cenozoic basalts in Chifeng area, Inner Mongolia[J]. Geological Review, 48(3): 267-272(in Chinese with English abstract).
- JIANG Chao-song, ZHOU Rui-qi, ZHAO Ci-ping. 2003. The Relationship between the Tectonic Geomorphic Features and Volcano Activity in Tengchong Region[J]. Journal of Seismological Research, 26(4): 361-366(in Chinese with English abstract).
- LI Jin-hua. 2007. A Probe to Resource Classification and Evaluation Method of the Volcanic Geologic Remains Landscape[D]. Beijing: China University of Geosciences(in Chinese with English abstract).
- LI Wei-ran, JI Jian-qing, SANG Hai-qing, ZHOU Jing, TU Ji-yao, SA Xiao, YE Heng. 2013. Laser <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar isochron dating on Leizhou Quaternary volcanic rocks[J]. Acta Petrologica Sinica, 29(8): 2775-2788(in Chinese with English abstract).
- LI Yong-sheng, LIU Yong-shun, ZHANG Zhao-chong, NIE Bao-feng, ZHANG Dong-yang. 2012. Simulation on the Dynamic Process of Volcanic Bombs and Plumes of Laoheishan Volcano in Wudalianchi Area[J]. Geoscience, 26(2): 220-228(in Chinese with English abstract).
- LIN You-kun. 1992. Cenozoic basalts and their volcanism in Tianma-Niutoushan area, Fujian province[J]. Acta Petrologica Sinica, 7(4): 376-385(in Chinese with English abstract).
- LIU Ruo-xin, LI Ji-tai, WEI Hai-quan, XU Dong-man, ZHENG Xiang-shen. 1992. Volcano at Tianchi Lake, Mt. Changbaishan—a modern volcano with potential danger of eruption[J]. Acta Geophysica Sinica, 35(5): 661-665(in Chinese with English abstract).
- LIU Ruo-xin. 2000. Active volcanoes in China[M]. Beijing: Seismological Press(in Chinese).
- MIAO Rui-bin, XIAO Yin-mei, LIU Yong-shun, NIE Bao-feng,

TENG Gang. 2010. Wudalianchi Volcanic Geotourism Resources Research[J]. Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition), 31(2): 47-53(in Chinese with English abstract).

- SHEN Yi-chun, LU Gang, LIU Shou-bai, YIN Han-yi, SONG Xi-qiang. 2019. Characteristics of Plant Distribution in Volcanic Lava Wetlands in Yangshan, Haikou[J]. Wetland Science, 17(5): 493-503(in Chinese with English abstract).
- SUN Qian. 2003. Quaternary Voleanic Activity and Magma Evolution in NorthHainan Island[D]. Beijing: Institute of Geology, China Seismologieal Bureau(in Chinese with English abstract).
- SUN Dong-xia, LÜ Tong-yan, SHEN Xiao-li, XUE Lei. 2019. High-precision laser <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar age of volcanic rocks in Longhai-Zhangpu area, Fujian Province[J]. Geological Bulletin of China, 38(9): 1511-1520(in Chinese with English abstract).
- TAO Kui-yuan, XING Guang-fu, JI Shao-xin, YANG Zhu-liang, ZHAO Yu, SHEN Jia-lin. 1999. A review of volcano (volcanic rock) tourism resources[J]. Volcanology & Mineral Resources, 20(2): 78-86(in Chinese with English abstract).
- TAO Kui-yuan. 2007. Leiqiong Global Geopark in China[J]. Resources Survey & Environment, 28(3): 223-228(in Chinese with English abstract).
- TAO Kui-yuan. 2012. Selected works on China Leiqiong Haikou Volcanic Cluster Global Geopark[M]. Nanjing: Southeast University Press(in Chinese with English abstract).
- WANG Hui-fen, DAI Tong-mo, FAN Si-kun, YANG Xue-chang. 1985. K-Ar Dating of Hannuoba Basalt at Zhangjiakou[J]. Geochemica, 14(3): 206-215(in Chinese with English abstract).
- WANG Xiao-feng, MA Da-quan, JIANG Da-hai. 1992. Geoloy of Hainan Island (Second)[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- WANG Guan-yong, WANG Xin-yuan. 2007. Characteristics and Sustainable Protection of Volcano Geological Relics Resource of Nüshan of Mingguang[J]. Resource Development & Market, 23(8): 747-749(in Chinese with English abstract).
- WANG Li-li, TIAN Ming-zhong. 2013. Characteristics and Comparative Analysis of the Chaihe Volcanic Relics in Zalantun, Inner Mongolia[J]. Acta Geoscientia Sinica, 34(6): 749-756 (in Chinese with English abstract).
- WANG Nai-liang, YANG Jing-chun, XIA Zheng-kai, MO Duo-wen, LI You-li, PAN Mao. 1996. Cenozoic sedimentary and tectonic characteristics of graben system in Shanxi[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- WANG Wei-ming. 2013. Distribution of Neogene volcanic rock series and biostratigraphic significance of sedimentary Intercalations in Penghu Archipelago, Taiwan[J]. Journal of Stratigraphy, 37(4): 570(in Chinese).
- WEI Hai-quan, BAI Zhi-da, HU Jiu-chang, SHI Lan-bin, ZHANG Bing-liang, XU De-bin, SUN Qian, FAN Qi-cheng. 2003. Nomenclature of the Holocene volcanic systems and research on the textural parameters of the scoria cones in northern Hainan island[J]. Seismology and Geology, 25(S1): 21-32(in Chinese with English abstract).
- WEI Hai-quan, WANG Yu, JIN Jin-yu, GAO Ling, YUN Sung-hyo,

JIN Bo-lu. 2007. Timescale and evolution of the intracontinental tianchi volcanic shield and ignimbrite-forming eruption, changbaishan, northeast china[J]. Lithos, 96(1-2): 315-324.

- ZHAI Jiao, HU Xiao-meng, WANG Li-li, LU Hai-long. 2011. Summary of the Research on Volcano Eruptions in Datong Basin[J]. Journal of Institute of Disaster Prevention, 13(1): 82-86(in Chinese with English abstract).
- ZHAN Tao, YANG Ye, LI E, MA Yong-fa, ZHANG Jun, LOU Ben-jun, ZENG Fang-ming. 2017. Magnetic Susceptibility of Basalt in Wudalianchi Volcanic Field and Their Implication for Chemical Weathering of Basalt[J]. Journal of Taishan University, 39(6): 12-18(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Shi-min, DOU Su-qin, YANG Jing-chun. 1997. Characteristics of the Datong Quaternary Volcanic Group[J]. Bulletin of the Institute of Crustal Dynamics, 13(0): 103-111(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Yu-fen, LI Chang-an, SHAO Lei, KANG Chun-guo, ZHOU Yao. 2012. Advances and prospects on the Yuhuatai gravel layer near Nanjing[J]. Earth Science Frontiers, 19(4): 284-290(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Zhao-chong, LI Zhao-nai, LI Shu-cai, XIN Ying, LI Zhao-mu, WANG Xian-zheng. 2000. Geochemistry of the Jingpohu Holocene basaltic rocks, Heilongjiang province, and discussion on their deep processes[J]. Acta Petrologica Sinica, 16(3): 327-336(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Yong-wei. 2007. Study on tectonic Quaternary volcanoes in Arshan-Chaihe area, Inner-Mongolia[D]. Beijing: China University of Geosciences(in Chinese).
- ZHAO Ting, ZHAO Xun. 2009. Geoheritage taxonomy and its application[J]. Acta Geoscientica Sinica, 30(3): 301-308(in Chinese with English abstract).
- ZHENG Hong-rui, XU Jian-ming. 2001. A Study and Comparison of Quaternary Mgneto stratigraphy in Dotong Basin[J]. Acta Geoscientica Sinica, 7(5): 418(in Chinese with English abstract).

#### 图版说明

#### 图版 I Plate I

- 1-儒王熔岩隧道内绳状熔岩流;
- 2-马鞍岭混合火山锥;
- 3-火龙洞熔岩隧道;
- 4-一字岭涌流堆积岩相剖面;
- 5-峨蔓玄武岩砾滩;
- 6-峨蔓玄武岩晒盐台;
- 7-新旧沟熔岩湿地;
- 8-荣堂古村玄武岩石门
- 1-pahoehoe lava flow in Ruwang lava tube;
- 2-Ma'anling compound cones;
- 3-Huolongdong lava tube;
- 4-petrographic profile of surge deposits in Yiziling;
- 5-basaltic gravel beach in Eman;
- 6-basaltic salt platform in Eman;
- 7-lava wetlands in Xinjiugou;
- 8-basaltic stone gate of Rongtang ancient village

