

# 论中国国家公园地质考察与评价

——以浙江丽水百山祖国家公园为例



www.  
geojournals.cn/georev

李玉辉<sup>1)</sup>、王志国<sup>2)</sup>、毛焯峰<sup>2)</sup>、朱浙辉<sup>2)</sup>、陈林<sup>2)</sup>、李春忠<sup>2)</sup>、李鑫<sup>3)</sup>、孟耀<sup>4)</sup>

1) 云南师范大学,昆明,650500; 2) 浙江省第七地质大队,杭州,310030

3) 脚爬客(武汉)地学科普中心,武汉,430074; 4) 中国地质大学环境学院,武汉,430074

**内容提要:** 鉴于保护地调查评价历史与目标,国家公园地质考察评价基准是地质学关于地球的“时间、空间、演化”知识的发现路径,既识别国家公园候选地的国家符合性地质事件,又识别国家公园自然性、独特性、优美性、多样性、整体性的地质机制,提供国家公园最重要的自然生态系统与自然景观保育管理的地质学支撑。浙江丽水百山祖国家公园符合性的地质事件是公园发现的4.0~4.2 Ga 冥古宙陆核物质的锆石晶体、中生代岛弧陆盆火山酸性火山岩系列和从流纹岩山岭到花岗岩—变质岩谷底的“峰—岭—丘—谷(盆)”的亚热带滨海山地地貌结构,地貌结构发育演化是百山祖公园最重要的自然生态系统、区域性流域水源地、独特山水景观的形成基础。保护百山祖公园地貌结构和过程的完整性与真实性是确保其重要自然生态系统自然演化和生态服务产品持续供给的基础。

**关键词:** 国家公园;冥古宙锆石;中生代流纹岩;太平洋火山岩构造带;亚热带滨海火山岩山地

保护地建设经历了以国家名义保护完整的自然风貌,到选择具有代表性的自然生态系统建立自然保护区,利用特殊意义的自然、文化要素或景观建立特殊类保护地(风景名胜区、森林公园、地质公园、矿山地质公园、湿地公园等),再到建立符合国家目标的国家公园为核心的保护地体系,中国经历了近60年历程(李玉辉,2006;陈安泽,2016;刘秀晨,2019;虞虎等,2019;欧阳志云等,2020)。国际自然保护联盟保护地体系(IUCN,1994;Shafer,2015)推动了世界保护地事业。联合国教科文组织协调的保护地行动形成了世界遗产地、人与世界生物圈、世界地质公园三个世界性的保护利用旗舰(UNESCO,2015;World Heritage Centre,2019),世界各国努力建立符合本国国情的保护地体系。中国保护地的地质考察与评价是保护地的基础性工作,既提供保护地自然背景的科学性,又发现和评价作为保护地保护对象的地质遗迹和地质景观<sup>①②</sup>(张更生等,1995)。作为中国保护地新体系的核心,国家公园是以国家最重要的自然生态系统和景观为对象,实行严格保护,持续增强自然生态系统服务价值和持续增加生态系统服务产品供给,同时是公认的一流

自然景观等。因此,国家公园的地质考察和评价的核心应是既确定具有国家意义的地质遗迹和地质景观,又为国家重要自然生态系统保育和生态系统服务价值的持续增强提供地质学支撑。如何实现这个核心?地质学是关于地球“时间、空间、演化”知识的发现与科学教育。从国家公园角度看,地质考察与评价要从“时间”的角度回答是否有地质年代表中的国际性或国内代表性的地质事件,“空间”的角度回答是否有国际性或国内的代表性地质结构,而“演化”角度是识别奠定国家公园现状生物多样性和自然景观的地质结构形成与演化趋势,保证国家公园结构的完整与过程的真实,发现国家公园候选地自然性、独特性、优美性、多样性、整体性的地质动力(李玉辉,2006;Matthews,2014;World Heritage Centre,2019;Brilha et al.,2018;Gordon et al.,2018),为国家最重要的自然生态系统和自然景观保育提供地质学支撑。这是保护地地质考察与评价的入口与出口的协调性问题(张建平,2020)。这样的研究鲜见,更多的是发现与评价地质自身的多样性、独特性、优美性等(陈安泽,2016)。本文借鉴保护地的地质考察与评价历史,系统阐述国家公园

注:本文为浙江省自然资源厅、浙江省财政厅、浙江省地质勘查局资助项目的成果。

收稿日期:2020-11-16;改回日期:2021-06-20;网络首发:2021-07-20;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2021.07.025

第一作者和通讯作者:李玉辉,男,1957年生,教授,博士,从事资源环境与保护地研究;Email: lyh123zhang@163.com。通讯作者:王志国,男,1981年生,高级工程师,从事水工环地质调查与研究;Email: 16211090@qq.com。

“时间、空间、演化”的地质考察与评价路径与内涵,以浙江丽水百山祖国家公园为例,发现和评价其国家公园立项的地质学支撑,即发现和评价具有国家或国际意义的地质遗迹与地质景观,分析其最重要自然生态系统与自然景观形成演化的地质结构与过程,为国家公园遴选与管理提供地质考察和评价的范例。

## 1 保护地的地质考察评价背景

地质学服务人类的地球“时间、空间、演化”的认知,形成了地质年代表、地球圈层结构与演化规律,特别是地球表层结构与形成机制。保护地不作为地壳有用物质的开采利用场所,以矿产物质利用为目标的发现评价不作为保护地地质考察与评价的重点,但它的圈层结构地质事件序列与地形、自然景观形成演化机制是保护地的生物多样性、资源环境基础(Matthews, 2014),以地质入口服务可持续发展和应对全球变化的出口(张建平, 2020)。

世界第一个国家公园——美国黄石公园的奠基性杰出价值和景观是黄石区非同寻常的一流自然美原野,火山间歇泉、地貌、森林植被、动物、水体与天际线融合的自然景观(Erin, 2015)。但她真正成为全体美国人共享、国家承担保护责任的国家公园,则经过了土地所有者、开发商与国家管理者利益的长期博弈(凯莉·高切丝等, 2018)。虽然保护地的地质考察与评价标准和实践,因国情和发展阶段而具有一定的差别,但科学性与可操作性是在不断完善的。在中国,地质考察与评价系统地加入保护地建设始于1960年代初。1961年国务院转发中国科学院《关于保护地古脊椎动物化石问题的请示报告》,列出中国主要古脊椎动物化石保护地。1979年10月,林业部、地质矿产部等8部委联合发布了《关于加强自然保护区管理、区划和科学考察工作的通知》,规定“有特殊保护意义的地质剖面、冰川遗迹、岩溶、温泉、化石产地等自然历史遗迹和重要水源地”应为自然保护区区划标准之一。这是地质学作为学科和行业参与保护地考察评价的正规性表述<sup>①②</sup>。自此,地质遗迹和地质景观以自然史迹或风景而成为保护地立项审批的标准。1995年地质矿产部发布《地质遗迹保护管理规定》,从行业角度规划地质遗址保护,计划建设地质自然保护区。2000年9月国土资源部开始审批国家地质公园,地质内容为主体的公园式保护地建设纳入政府职能部门。2004年11月国土资源部又开始审批国家矿山公

园,对资源开采量接近尾声的矿山地质遗迹与矿业景观加以新利用。1990年代以来,国际地科联致力于解决世界遗产地中的地质遗址保护不足问题,协助联合国教科文组织建立了以地质遗址为主的世界地质公园体系(Wimbledon, 1996; UNESCO, 1999, 2001)。无论是自然保护区、风景名胜区,还是地质公园、矿山公园等,地质内容既是立项标准,又是保护地的基础性科学内容。2017年中国试点国家公园为核心的中国保护地体系建设,确立了国家公园是“以保护具有国家代表性的自然生态系统为主要目的,实现自然资源科学保护和合理利用的特定陆域或海域,是我国自然生态系统最重要、自然景观最独特、自然遗产最精华、生物多样性最富集的部分,保护范围大,生态过程完整,具有全球价值、国家象征,国民认同度高。”<sup>③④</sup>。从地质学角度看,确保“具有全球价值、国家象征、国民认同度高”的地域进入国家公园体系,应是国家公园地质考察与评价的依据和目标,地质学认知地球的“时间、空间、演化”路线,既为地质学本身,更为国家公园保护地整体,既为现状,也为未来。

## 2 国家公园地质考察评价路径与标准

### 2.1 地质考察评价路径

地质学贡献给人类的地球基础知识来自于地层、岩石、化石、构造、地貌、水文,及与生物多样性和自然演变等关系的发现,它们构成了地质遗迹或地质景点。保护地的地质考察与评价,依其区域(省、市、县)、国家、世界意义的地质遗迹或地质景点的发现,成为地方、国家、世界级保护地的立项依据。这符合国家公园选址立项评价要求。国家公园地质考察与评价如何既提供国家公园立项的地质标准,又保证“是我国自然生态系统最重要、自然景观最独特、自然遗产最精华、生物多样性最富集的部分,保护范围大,生态过程完整”的目标要求?联合国教科文组织世界遗产地操作指南的自然遗产地标准可资借鉴(World Heritage Centre, 2019),即世界自然遗产地的地球科学价值标准、美学标准与整体性条款的满足:第七条(vii)包含无与伦比的自然现象或不同寻常的自然美和美学重要性;第八条(viii)代表地球历史关键阶段的杰出例证,包括生命的记录,显著的地貌发育中正在进行的地质过程或杰出的地貌或自然地理特征。符合两条地球科学标准的地点,还必须满足整体性(integrity)和真实性(authenticity)条件:①展示杰出价值的全部要素;

②展示杰出价值整体特征与过程的足够面积;③应说明发育遭受的负面效应或被忽视。

这种标准与整体性、真实性的全面考察与评价构成国家公园候选地地质考察与评价路径和标准,既提供国家公园立项的地质事件,也确保达到标准的地质实体在国家公园整体性持续存在,保障自然生态系统演化或地带性景观的自然性、完整性。国家公园候选地的地质标准可以是地质年代表中的重大演化阶段的杰出地质事件见证地,也可是地球区域独特自然地理空间结构、过程、功能的“时空”协同的杰出范例。“时空”协同就是地球空间现代自然体形成的“演化”,是地球“时间、空间、演化”认知在保护地的存在与展示。国家公园候选地整体性和真实性是一种动态的自然过程,而非绝对的无人活动或纯自然状态。基于人类活动历史,国家公园候选地的人类活动必须是传统社区、聚落的自然性生存活动,与候选地的杰出地质事件和自然地理结构的生态可持续相协调,这构成自然系统向人地关系地域系统的“演化”(吴传钧,1991)。对于美学标准而言,无与伦比的自然美的整体与真实性必须具有足够的面积与完整结构。如在世界自然遗产地考察与评估的表述与要求中,以取决于水的瀑布提名地必须有瀑布体的上游流域与下游流域的完整性,即瀑布上游的水源、径流与瀑布体、瀑布水潭才能维持瀑布景观的美学品质与持续性。而对于地球演化关键阶段的记录,必须包含自然状态的相互依赖、相互作用的全部或大多数要素;对于全球火山活动候选地,必须有完整的岩浆系列,尽可能多的喷发岩与喷发类型。

因此,世界自然遗产地的地球科学价值和整体性考察评价可作为国家公园候选地的地质考察与评价借鉴,具体地落实于国家公园内的地球“时间、空间、演化”的重大事件、典型空间结构与自然演化状态和趋势的发现与评价。“时间”认知体现于两个相互联系的关键点,一是候选地地质事件是否是地质年代表中的地球演化主要阶段的全球性或国家性的杰出范例;二是候选地区域地质历史的完整性,奠定符合现代生物多样性和自然景观演化尺度的地质历史认知。“空间”同样有两个关键点,一是候选地地质结构和过程的自然体是否是世界独特自然地理结构和过程的杰出代表;二是候选地地质结构与过程的完整性与真实性的空间辨识,既起于有边界的候选地的地质结构,终于候选地自然生态系统与自然景观演化的完整性空间的确认,既有水平过程

的完整,又有垂直过程的完整。“演化”则是候选地的现实自然生态系统或自然景观形成与演化趋势的识别和完整性、自然性属性确定,如同构造运动研究中的老构造运动、新构造运动、现代构造运动的联系在现代地形、气候与生物圈形成中的作用(曹伯勋,1995;Williams et al.,1997)。这种落实于具体区域的地质“演化”既对应于自然地理学的“地带性过程”,也对应于生物学的“顶极群落过程”,是生物地理群落发生与演化的起点和动力,对生态过程、生物过程等具有约束性。虽然国家公园并非以地质遗址或地质景点的杰出代表性为唯一的决定性目标,但国家代表性的自然生态系统与珍稀濒危生物生境的整体性与真实性依赖地质遗址或地质景点所具有的“时间、空间”统一的地质演化过程。地质过程营造生物群落分异与生境多样性的发育。可靠的实例是地形隆升与侵蚀谷地发育,前者导致初始生物群落向高海拔适应和分化,后者带来初始生物群落向低海拔新生生境的适应或新物种、类群的新生。云南从海拔不足百米的河口县的北热带到超过7000m的西北梅里雪山区寒温带的生物多样性就是地壳隆升地形与河谷流水侵蚀谷地同步的水热纬向水平分异与垂直分异融合的产物(吴征镒等,1987),虽然其中的机制有待深化。一些地质极端性事件,如火山作用或冰川作用,被认知为生物群落演化起点或生物避难事件的钥匙(曹伯勋,1995;Ricklefs et al.,2004)。

## 2.2 地质考察与评价的标准

国家公园的地质考察与评价既确定国家公园地质事件、地质空间与地质过程的国家性或世界性,又识别正在进行的地质过程和结构在国家公园自然生态系统、自然景观发育演替机制的作用,为国家公园的独特性、多样性、优美性、自然性(原真性)和完整性提供地质学支撑。

时间:一是确定国家公园候选地地质事件是否是全球性或区域性地球演化历史关键阶段的杰出范例;二是科学而真实地阐述国家公园保护地的地质事件系列,构建其符合公园生物群落、自然景观演化节点性地质事件与历程,构建符合自然生态系统和自然景观演化时间尺度的自然史的地质事件系列,支撑国家公园保护地立项和管理。

空间:一是评价国家公园候选地的地质空间结构是否是国家、国际的代表性的美学景观或自然地理结构的杰出代表等;二是识别是否有国家代表性的地貌过程、水文地质过程、土壤过程等及其完整性

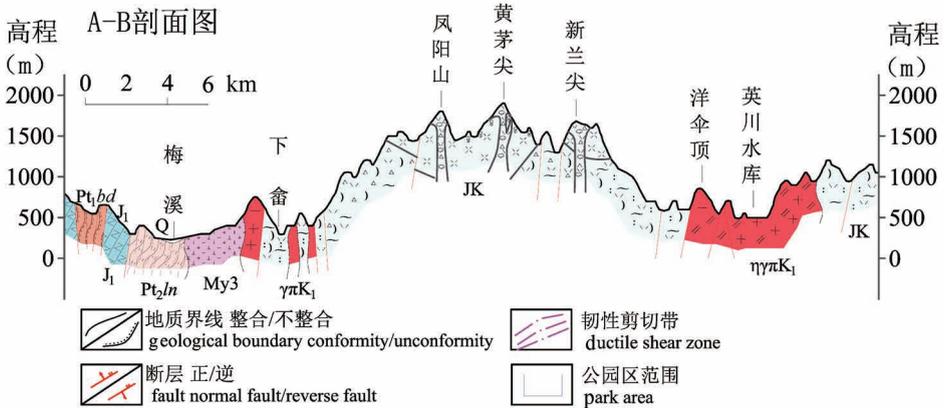
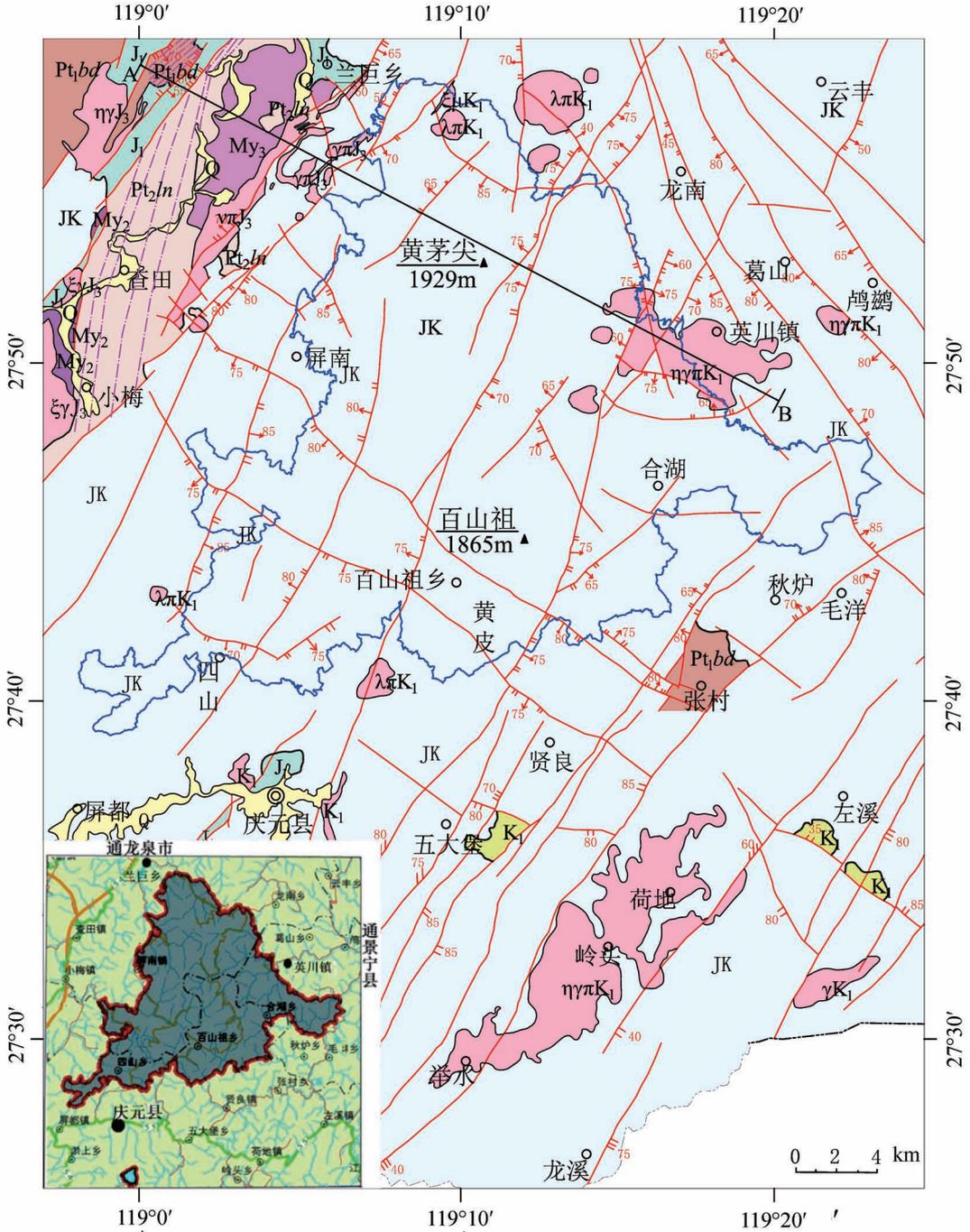


图1 浙江丽水百山祖国家公园园区位置和区域地质简图

Fig. 1 Location of Baishanzu national park and its geological sketch

Q—第四系堆积层; K<sub>2</sub>—上白垩统流纹岩; JK—侏罗系—白垩系流纹岩; J<sub>1</sub>—侏罗系下统沉积岩; Pt<sub>2</sub>ln—中元古界龙泉群变质岩; Pt<sub>1</sub>bd—古元古界八都群变质岩; λπK<sub>1</sub>—潜流纹岩; ηγπK<sub>1</sub>—二长花岗斑岩; ηγK<sub>1</sub>—早白垩世二长花岗岩; γδπK<sub>1</sub>—花岗闪长斑岩; γK<sub>1</sub>—花岗岩; γπJ<sub>3</sub>—花岗斑岩; ξγJ<sub>3</sub>—钾长花岗岩; νπJ<sub>3</sub>—霏细斑岩; ηγJ<sub>3</sub>—晚侏罗世二长花岗岩; My<sub>3</sub>—加里东期岩体; My<sub>2</sub>—吕梁—晋宁期岩体

Q—Quaternary sediments; K<sub>2</sub>—Upper Cretaceous rhyolite; JK—Jurassic—Cretaceous rhyolite; J<sub>1</sub>—Jurassic sedimentary rock; Pt<sub>2</sub>ln—metamorphic rocks of the Mesoproterozoic Longquan Group; Pt<sub>1</sub>bd—metamorphic rocks of the Paleoproterozoic Badou Group; λπK<sub>1</sub>—subvolcanic rhyolite; ηγπK<sub>1</sub>—monzogranitic porphyry; ηγK<sub>1</sub>—Early Cretaceous monzogranite; γδπK<sub>1</sub>—Early Cretaceous granodiorite porphyry; γK<sub>1</sub>—Early Cretaceous granite; γπJ<sub>3</sub>—Late Jurassic granite porphyry; ξγJ<sub>3</sub>—Late Jurassic moyite; νπJ<sub>3</sub>—Late Jurassic felsophyre; ηγJ<sub>3</sub>—Late Jurassic monzogranite; My<sub>3</sub>—Caledonian intrusion; My<sub>2</sub>—intrusion of the Lüliang—Jinning period

与真实性,识别它们与最重要的自然生态系统和自然景观发生和结构空间的符合性,包括水平过程和垂直过程的空间符合性。

演化:识别国家公园候选地的现状自然景观、重要自然生态系统、珍稀濒危生物生境等形成演化过程的地质进程,发现其尺度的符合性,包括地貌、水文地质、构造运动、地表过程等,奠定公园自然景观、生物多样性、水源地等发育演化的地质动力过程,也为逆转影响公园生态系统负面效应提供预防机制,包括地质灾害与全球变化的影响。

## 3 百山祖国家公园地质考察与评价

### 3.1 百山祖国家公园地质事件

百山祖国家公园地处浙江丽水市(图1)<sup>①②③</sup>,属滨太平洋西海岸山地,为武夷山系洞宫山脉腹地,是瓯江水系与闽江水系的水源涵养区。黄茅尖山峰(1929 m)是公园最高点,最低点海拔291 m。元古宙岩石是变粒岩、黑云母片岩和斜长角闪岩等,古生代有重熔型花岗岩侵入体,中生代有花岗岩侵入体与中酸性火山岩系,新生代为河湖碎屑沉积(图1,表1)。地质构造北东向、北西向两组断裂为主。在古元古代中深变质岩系中,发现年龄>4.0 Ga的冥古宙锆石晶体(Xing Guangfu et al., 2014),它接近西澳大利亚牧羊场4.4 Ga微型锆石晶体(邢光福等, 2015)。新元古代至中生代侏罗纪早期5亿多年时间,公园区缺乏沉积地层保存,基底有重熔花岗岩浆侵入。侏罗纪中晚期至白垩纪,公园断块—火山活动强烈,保留了太平洋西海岸带最典型的中酸性岩浆喷发形成的流纹岩系列(陶奎元等, 1988, 2000;包超民等, 1999;俞云文等, 1999;王加恩等, 2016)与火山口遗迹(图2)。新生代古近纪至3.0 Ma前的新近纪末,受喜马拉雅造山运动中晚期影

响,流纹岩被断裂切割与差异性隆升,经流水侵蚀形成山岭、谷地、盆地,河湖低洼处有第四系碎屑堆积层。

### 3.2 百山祖国家公园地貌

地貌形态、结构和过程融合古今地质过程,是生物多样性、资源环境完整性、真实性的动力与空间认知保障。

#### 3.2.1 公园地形起伏度和坡度

本次工作收集了国家公园1:1万地形图,在此基础上生成5 m分辨率的DEM,利用ArcGIS坡度和焦点统计工具,在7×7格网中对公园区坡度、起伏度等进行计算分析得到。公园海拔291~1929 m,均值1122.9 m。基于7×7(12.25 km<sup>2</sup>)格网单元分析,公园平均起伏度25.2±10.6 m,最大148.3 m,以微缓起伏(<20 m)、小起伏(20~50 m, 50~80 m)地形为主,20~50 m小起伏地形占公园面积66.71%,微起伏与小起伏地形共占公园面积98.52%(表2)。公园地形整体起伏和缓,高耸山峰和峡谷地形面积占比小。公园坡度均值为32.3°,最大79.7°,中陡坡(27°~39°)—陡坡(39°~45°)面积共占公园面积56.2%,陡崖峭壁多见。起伏度和坡度面积占比显示公园地形为构造侵蚀流纹岩小起伏中陡坡山地。构造侵蚀作用形成了保留有火山口遗迹的流纹岩山峰、山岭与深切花岗岩、变质岩陡峻谷地。

#### 3.2.2 公园阶梯地形面

公园五级阶梯面(图2a)体现了浙江瓯江流域与福建闽江流域地质与地形结构特征。一级阶梯面海拔1500~1900 m,有黄茅尖(1929 m)、凤阳山(1846 m)、百山祖(1856 m)、荒村尖(1806 m)、新兰尖(1825 m)、烧香岩(1842 m)、天堂山(1812 m)、锅帽尖(1771 m)、八面山(1618 m)等流纹岩火山口遗迹山峰。二级阶梯面海拔1100~1500 m,为公园南

表1 浙江丽水百山祖国家公园地层简表  
Table 1 Stratigraphic profile of the Baishanzu National Park, Lishui, Zhejian

地层年代		地质年龄 (Ma)	岩性								构造运动	岩浆活动
界	系											
新生界	第四系	2.588	砾石、砂砾石、砂土以及亚砂土								喜马拉雅隆升与欧亚板块-太平洋板块碰撞复合影响区, 断裂构造发育, 差异隆升, 形成断陷盆地	
	新近系	23.03										
	古近系	65.5										
中生界	白垩系	145	早白垩世陆相酸性火山岩系。下、中部以流纹质熔结凝灰岩夹沉积岩为主, 上部以流纹岩为主								燕山运动 (165~65 Ma; 也称太平洋运动)。太平洋板块与欧亚板块碰撞的岛弧陆盆火山岩、侵入岩活动区	过铝质 A 型中酸性岩浆 (144.4±1.2 Ma; 132.0±1 Ma)
	侏罗系	199.6	底部为深灰色泥质粉砂岩夹中—粗粒石英砂岩; 中下部为灰白色粗粒石英砂岩、含砾粗粒石英砂岩; 上部灰黄、灰白色中粒石英砂岩									
	三叠系	252.17										
古生界	二叠系	299									印支运动 (270~220 Ma), 陆内抬升, 形成次级褶皱、断裂	
	石炭系	359.58										
	泥盆系	416.0									海西运动 (410~270 Ma), 陆-陆碰撞, 形成北东向褶皱断裂	
	志留系	443.8										
	奥陶系	470.0										
	寒武系	541									加里东运动 (712~410 Ma): 古洋-古陆碰撞, 形成增生楔, 发育片内无根褶皱	
	震旦系	635										
新元古界	南华系	780									晋宁运动 (850~712 Ma): 中国南部地壳硬化期, 古洋壳与岛屿、海山	S 型中酸性岩浆侵入体 (441.5~418.0 Ma)
	青白口系	1000	高绿片岩相—低角闪岩相中压相系变质岩									
	中元古界	1800										
古元古界	2500	变粒岩、黑云母片岩和斜长角闪岩等组成的中深变质岩系								吕梁运动 (>1.8 Ga, 1.0 Ga) 古大陆裂解, 陆-洋俯冲	S 型中酸性岩浆侵入, 成岩年龄 1845±8 Ma。成岩碎屑物质含有年龄超过 1.0 Ga 的冥古代锆石 (邢光福等, 2015)	
太古宇	4000											
冥古宇	4600											

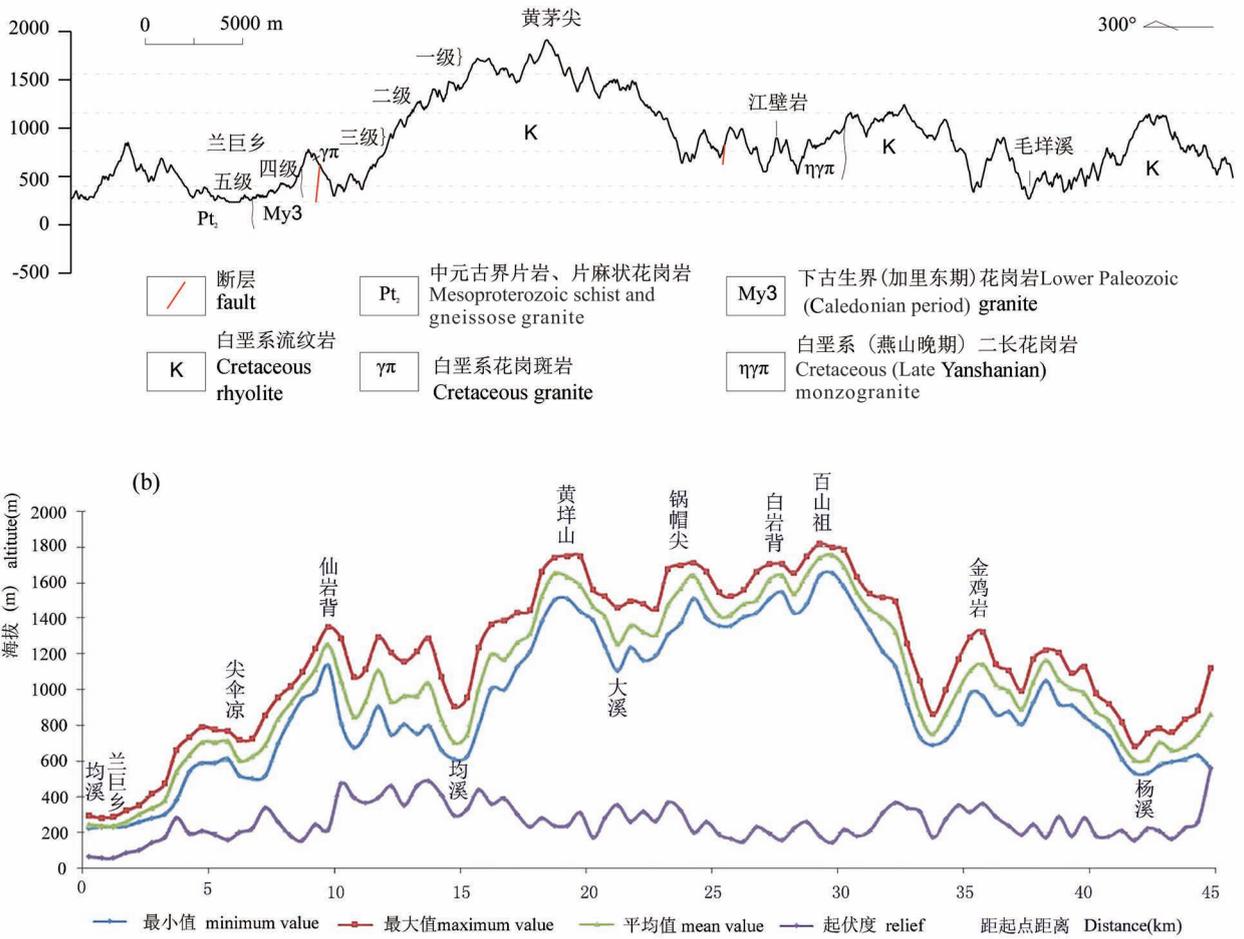


图 2 浙江丽水百山祖公园地形剖面

Fig. 2 Topographic profile of Baishanzu national park, Lishui, Zhejiang

部山岭,有天庆山(1180 m)、仙掌山(1213 m)、毛腰炎(1332 m)、猪章山(1304 m)等流纹岩火山口遗迹山岭等。三级阶梯面海拔 700~1100 m,为二级阶梯面外围的山坡(腰)平坦面,集中于公园中西部,与

二级阶梯面构成中间高、两侧低的山岭、平坡地形。海拔 400~700 m 的四级阶梯面分布于强风化变质岩区,为河谷阶地和丘陵。海拔小于 400 m 的五级阶梯面为河流、湖盆冲积物地形面。一级阶梯面和

表 2 浙江丽水百山祖公园区起伏度与坡度特征

Table 2 Relief and slope gradients in the Baishanzu National Park, Lishui, Zhejiang

起伏度 (m)	微缓起伏		小起伏				中起伏		
	<20	20~50	50~80	>80					
占比 (%)	31.82	66.71	1.44	0.03					
合计 (%)	31.82	98.53	99.97	100					
坡度 (°)	缓坡		低陡坡		中陡坡		陡坡		陡崖
	<9	9~15	15~21	21~27	27~33	33~39	39~45	45~51	>51
占比 (%)	4.99	3.72	8.28	13.39	17.93	20.39	17.32	9.66	4.32
合计 (%)	4.99	8.71	16.99	30.38	48.31	68.7	86.02	95.68	100

注:地貌类型个数统计采用 5 m 分辨率 DEM 在 ArcGIS 栅格工具中得到的 7×7 格网单元统计得到。坡度为栅格单元坡度数据中的焦点统计工具得到,起伏度则是 7×7 格网单元起伏度数据,再根据栅格重分类工具,得到每个区段的坡度或起伏度的格网数量(即格网面积),进而得到坡度、起伏度与地貌类型数量。

缓,二、三级阶梯面错落起伏,四、五级阶梯面是丘陵、阶地、河湖堆积物地形面(图 2b)。五级阶梯面整体反映了公园差异隆升、剥蚀、堆积过程的平衡,从低洼盆谷入口,经峡谷穿越丘陵、山岭再到山峰的地貌发育过程,由此形成“峰、岭、丘、谷、盆”的流纹质火山岩至花岗岩、变质岩峡谷基底的构造侵蚀地貌结构,奠定了该区山地气候与水文水资源、生物多样性发育过程和空间结构。

### 3.2.3 流纹岩熔岩山岭与火山锥山峰

公园山岭基本呈北东—南西断续展布,自北西域向东南域相间排列(图 3a)。自北向南依次出现三组山岭。第一组山岭为北东—南西向凤阳山(1846 m)—黄茅尖(1929 m)—天堂山,第二组山岭是北东—南西向荒山尖—新兰尖,第三组山岭是北东—南西向百山祖。山岭上高耸者为流纹岩山峰。公园海拔 1800 m 以上山峰达 10 座,海拔 1600 m 以上山峰 50 余座。这些山峰基本保留有完整的流纹岩破火山口遗迹,黄茅尖山峰和百山祖山峰最为典型(图 3b)。这些山岭山峰顶面代表了原始地形面的蚀余形态和差异性构造隆升,包括火山口遗迹山峰面。

### 3.2.4 构造侵蚀酸性岩浆岩峡谷

公园流纹岩峡谷的典型代表是黄茅尖、百山祖、黄皮峡谷。花岗岩、变质岩峡谷的代表是兰巨乡花岗岩变质岩峡谷、英川镇花岗岩峡谷。在公园内,长度超过 10 km、切割深度超过 600 m 的较大峡谷有 6 条。峡谷走向受棋盘格状裂隙构造控制,折转迂回延伸;切割深度超过 100 m 和延伸超过 2000 m 的峡谷有 11 条,峡谷形体呈“V”型,峡谷端口多为两条峡谷交汇处,峡谷形态转为底部平坦的蝶形谷或盆地(图 2、图 3)。

### 3.2.5 流纹岩湿地

公园第一阶梯面波状起伏,为流纹质火山活动的古火山口与火山地形遗迹面,其低洼处或古破火山口积水成湿地,是该区全新世气候湿润化的产物(顾延生等,2016)。代表者是黄皮流纹岩熔岩湿地群,海拔约 1400 m,由 20 余个多边形积水浅滩组成,水面面积大于 1 hm<sup>2</sup> 的湿地有 5 个。受构造侵蚀溯源侵蚀影响,侵蚀沟已开始进入黄皮湿地群,导致湿地泄水或干枯或水面面积减少,湿地向沼泽草甸演进(陈征海等,2002)。山岭中部湿地水面面积较大,深度较大;而山岭边缘湿地水面面积较小,深度较小。第一阶梯面的湿地群是百山祖公园作为闽江、瓯江流域水源区的重要特色,全新世气候变化

严重影响了湿地水面与湿地水源林类型(顾延生等,2016),处于沼泽草甸森林退化进程。

### 3.2.6 流纹岩水文地质与百山祖瀑布群溪谷

百山祖公园第一阶梯面的流纹岩有密集节理与层间虚脱构造,成为地表水下渗与聚集的水文地质构造。流纹岩层节理走向主要有北东 10°、北东 60°、北西 310~330°等三组,倾角一般都大于 70°。山岭流纹岩层的蓄水构造奠定了百山祖溪谷瀑布群的水源供给区。百山祖山岭面厚度 100~200 m 的流纹岩层节理群与风化壳渗出的散流,聚集成常年性溪流,在节理、层间陡坎处成为瀑布,顺谷多级分布成群,成为百山祖公园最有特色的水景。它们是山岭流纹岩蓄水、产流的水文地质景观代表,森林、腐殖层、土壤、风化壳增强了流纹岩山岭山峰的蓄水产流增雨功能。百山祖公园山岭区的降雨与径流显著多于周边(图 4、图 5),这也为山岭山峰的新物种进入、诞生、定居提供了湿润新生境发育条件。

### 3.2.7 百山祖公园的面积—高程积分值与地貌发育演化

百山祖公园地貌发育缺乏实际测年数据。Strahler 的面积—高程积分法提供了地貌发育阶段分析的数字分析方法(Strahler, 1952; Pike et al., 1971; Luo Wei, 1998)。百山祖公园整体、小流域(龙泉溪流域、小溪流域、松源溪流域)的面积—高程积分曲线与积分值比较表明(图 6),四者的面积—高程曲线均呈 S 型,积分值相近(0.47~0.51),属老年期向壮年期演进,属古剥夷地形的回春发育,这也是百山祖公园的起伏度、坡度结构形成的动力过程(表 2),即百山祖公园地貌处于流纹岩古火山地形面解体的“回春型”地貌发育过程,侵蚀下切强度大于夷平、堆积强度,从流纹岩波状起伏台地进入侵蚀分化的沟谷岭,向“峰、岭、丘、谷(盆)”地貌结构转化,侵蚀揭露出基底的变质岩层与侵入体。

## 4 百山祖公园地质评价

### 4.1 地球演化关键阶段的地质事件

百山祖公园地质事件中,有两件具有地球演化重大阶段的关键信息。其一是中元古代龙泉群云母石英片岩剖面中的 4127 Ma 和 4017 Ma 碎屑锆石(Xing Guangfu et al., 2014),代表了亚洲最古老地壳岩石年龄和地球最早变质事件年龄,是世界范围内地球初期陆壳演化记载,是华夏地块冥古宙地壳物质存在的证据。它与西澳大利亚发现的 4.4 Ga 锆石遗址等构成冥古宙可能的“陆核”或“陆岛”的



原始地壳格局的证据链。其二是  $144.4 \pm 1.2$  Ma 和  $132.0 \pm 1.0$  Ma 流纹质火山岩系列,是侏罗纪—白垩纪西太平洋板块向欧亚大陆板块俯冲碰撞的大规模弧后盆地陆相酸性火山岩系,“亚洲大陆边缘以流纹质为主的火山作用被视为与西太平洋安山质为主的岛弧火山作用具有同等重要的全球性地质事件”(陶奎元等,1988),与东太平洋板块与美洲板块俯冲碰撞带的安第斯山脉安山岩火山岩系相对应(Kuno,1968;Fitton,1971;Rea,1974;Stern,1979),代表了中生代中晚期环太平洋板块与大陆板块俯冲碰撞的地球演化的重大事件,具有全球意义。

4.2 地质地貌结构的时空代表性

中国具有岩浆岩地质地貌结构的保护地(World Heritage Centre,2020;UNESCO,2020),要么是岩浆侵入体地貌(安徽黄山、天柱山、九华山、江西三清山),要么是玄武岩地貌(黑龙江五大连池、吉林天池、海南雷琼、福建漳州、广东湛江湖光岩、云南腾冲、云南巧家药山、云南禄劝轿子雪山),要么是中酸性火山岩地貌(浙江温州雁荡山)。与它们对比,百山祖国家公园地貌有从基底的元古宙、古生代、中生代花岗岩,再到山岭、山峰的流纹质火山岩的“盆—谷—丘—岭—峰”地貌,是结构完整、组合独特的侵入岩到火山岩地貌结构,发育于亚热带湿润滨海火山岩区。因此,百祖山公园地貌是全球亚热带滨海区侵入岩到火山岩构造侵蚀地貌结构的典型代表。

4.3 百祖山公园地质地貌演化奠定了

百山祖生物多样性、气候、水文水资源格局

虽然公园范围缺乏谷(盆)沉积物测年资料,但侏罗纪—白垩纪流纹岩山岭面是区域性地形面,结合区域性构造隆升阶段性年龄(中国科学院自然地理编辑委员会,1984;包超民,1995;李吉均等,2001;刘欣雨等,2017;杨毅,2020),可以推断,百山祖公园山岭山峰火山口遗迹地形面至花岗岩谷底的地貌格局是上新世末至第四纪前的古地形面受区域性强烈隆升与流水强烈侵蚀的综合产物,公园地貌结构与高程—积分分析完整揭示了其过程与特征。

按上新世末时代起点计,公园范围瓯

江河谷端口最低海拔 291 m 至黄茅尖山峰流纹岩破火山口最高海拔 1929 m,以当时地形面 1000 m 的亚热带夏绿林地系基带(王开发等,1989;杨毅,2020)上升至 1929 m 计,隆升高度超过 900 m,3.0 Ma 的隆升速度  $0.3 \text{ m/ka}$ ;河谷侵蚀至 291 m 谷底,侵蚀深度超过 700 m(南溪峡谷),同期年均下切侵蚀速率  $0.23 \text{ m/ka}$ 。这种隆升强于下切侵蚀的地貌过程形成了现今高差 1600 m 的流纹岩山峰(岭)至花岗岩、变质岩谷底的“峰—岭—丘—谷(盆)”地貌结构。五级阶梯面地形结构反映了隆升与侵蚀的间歇性和递进性。这种垂直山地地貌结构是该区中亚热带、北亚热带、南温带和中温带垂直气候带的基础地形,影响了公园海拔低处的亮叶桉木荷林、亮叶

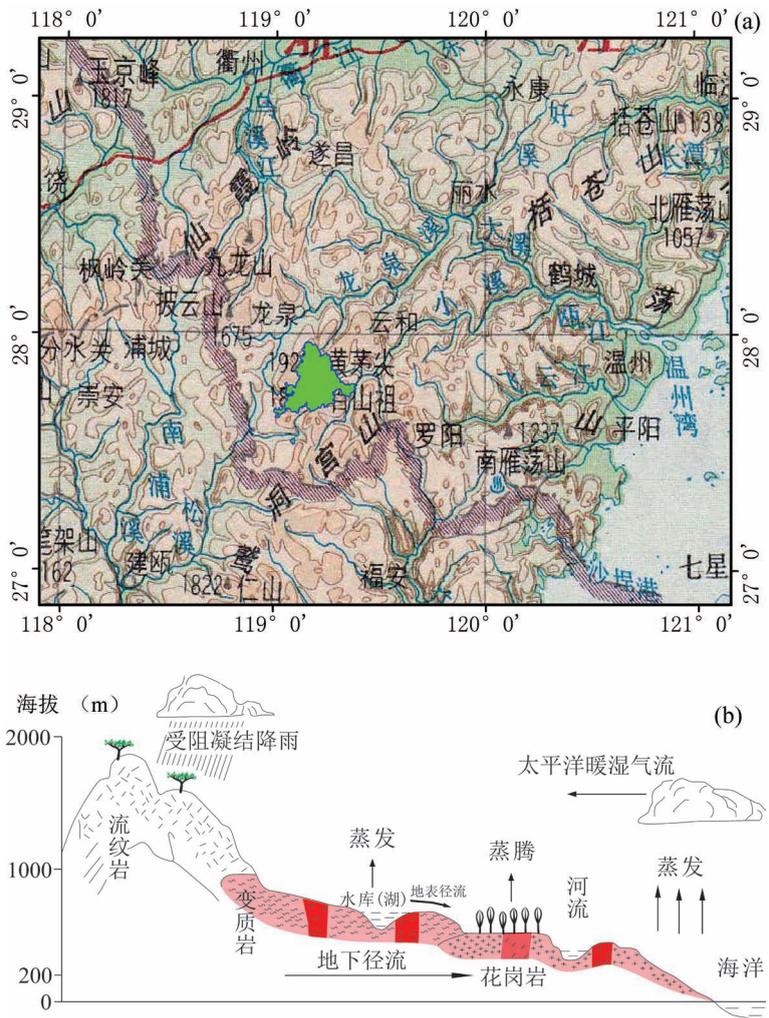


图 4 浙江丽水百山祖公园百山祖公园瓯江河出口温州湾—黄茅尖山峰气流路径 (a) 和百山祖公园水循环示意图 (b)

Fig. 4 Air current way from Wenzhou bay of Oujiang river outlet to Huangmaojiao peak in Baishanzu park (a); and sketch of water cycle in Baishanzu Park (b); Lishui, Zhejiang

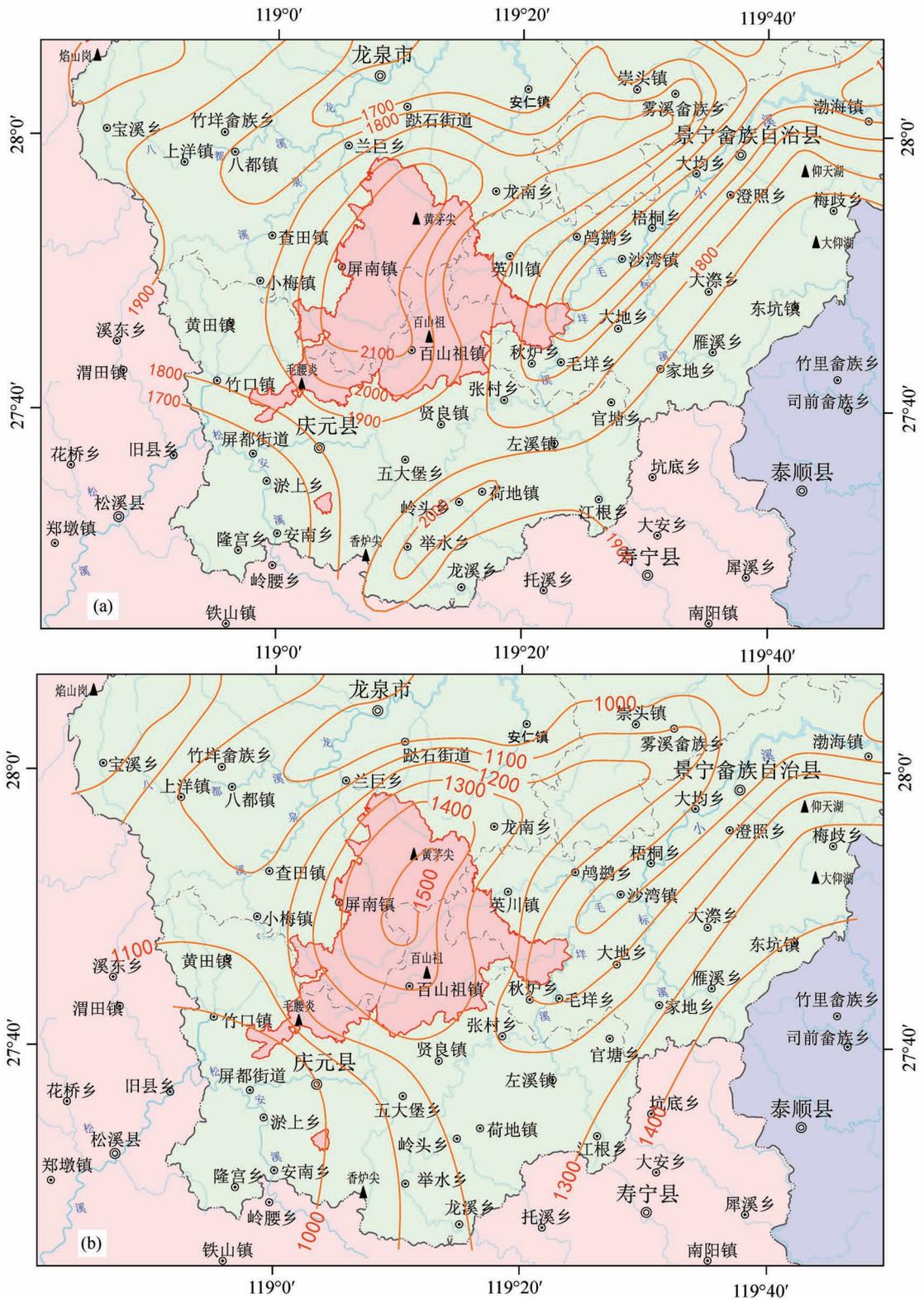


图 5 浙江百山祖公园年降雨量等值线图(a) (公园中心黄茅尖—百山祖年降雨量大于 2100 mm;瓯江下游小于 1500 mm) 和百山祖公园区年径流量等值线图(b) (黄茅尖—百山祖大于 1500 mm,东南段小于 1100 mm)  
 Fig. 5 Contour map of annual precipitation in area of Baishanzu Park(a) (annual precipitation being >2100 mm in Huangmaojian Peak and <1500 mm in Oujiang river outlet in Wenzhou bay) and annual runoff contour map of Baishanzu Park area(b) (annual runoff being >1500 mm in Huangmaojian Peak and <1100 mm in zhuo in the southeast site)

发现(胡建金,2000)的生境基础。

百祖山公园范围的流纹岩山岭区降雨和径流丰沛成为瓯江流域、闽江流域水系水源区。这既与百祖山地形结构有关,也与流纹岩水文地质结构密切相关。百祖山公园地质地貌演化是该区垂直气候带、生物多样性、自然景观发育机制的关键过程,典型地反映了亚热带西太平洋滨海岸山地垂直生态系统发育机制,直接受控于山岭山峰的火山岩至河谷谷底花岗岩的“峰—岭—丘—谷(盆)”地貌结构发育,即从上新世末期海拔不超过 1000 m(现代三级地形阶梯面海拔范畴)的古地形面隆升进入现代暖温带湿润季风气候,而下切侵蚀区进入凉亚热带湿润季风气候,如此形成了垂直气候带和垂直植被带,地形、植被、气候的协同增强了局地降雨(浙江一带梅雨现象)与地表径流入渗,成为区域重要流域水系的水源涵养区(图 7)。

### 4.4 公园自然景观的美学价值

百祖山公园五级阶梯状地貌结构所展现的山形、植被、气候、水体的自然景观,层次与类型丰富,规模、结构、形态优美,契合了中国山水景观的“平远、深远、高远”之美学追求(郑旭红,2016;崔育斌,2017)。峡谷入口仰望,河谷、丘陵、山岭、山峰层级绿荫与云雾,是“自山下而仰山巅,谓之高远”之山景。溪流、谷道、山瀑、山峰蜿蜒曲折,移步换景,引人入胜,是“自山前而窥山后,谓之深远”之山景。立山岭、山峰眺望,群峰纵横绵延,绿色波浪起伏,峡谷溪流远达,是“自近山而望远山,谓之平远”之山景。

## 5 讨论

地质学关于地球“时间、空间、演化”的认知途径应用于百祖山国家公园地质考察与评价,发现了表现其独特性、优美性、多样性、自然性、完整性的两个地质事件、亚热带滨海带侵入岩至火山岩地貌结构和该地区生物多样性、流域水文水源地和中国山水景观的发育格局与机制,即亚热带滨海湿润区的“峰、岭、丘、谷(盆)”地貌结构与回春型地貌演化过程。它们既是百祖山国家公园的立项依据,也是其空间完整性、原真性的基础;保护公园地质地貌结构、过程的完整性与真实性,是持续增强百祖山公园自然生态系统服务价值和增加生态系统服务产品供给的重要保障。这些发现既体现了地质学关于地球“时间、空间、演化”的传统认知,也是保护地的地质多样性与生物多样性协调机制的杰出范例。这在过

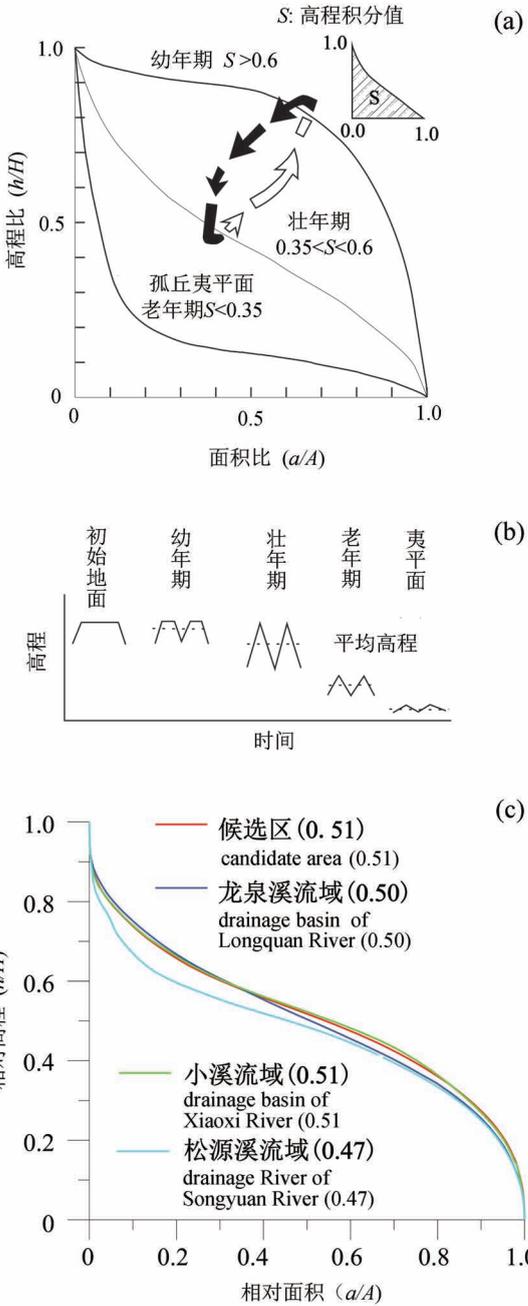


图 6 百祖山国家公园区高程—面积曲线、积分值与地貌发育分析原理图(Ohmori,1993)

Fig. 6 Hypsometric curves and integral values of Baishanzhu park's area with analyzing models of geomorphologic development(Ohmori,1993)

桦青冈林、木荷林到海拔高处的黄山松林、福建柏林、山顶矮曲林带的垂直植被结构,以及百祖山冷杉的古老孑遗生物(程秋波等,1996;余久华等,2003,谭珊珊等,2013)。以地貌结构为基础的垂直植被带具有丰富多样性的绿色生产力,成为大型兽类动物的栖息地,这也可能是1998年野生华南虎踪迹被

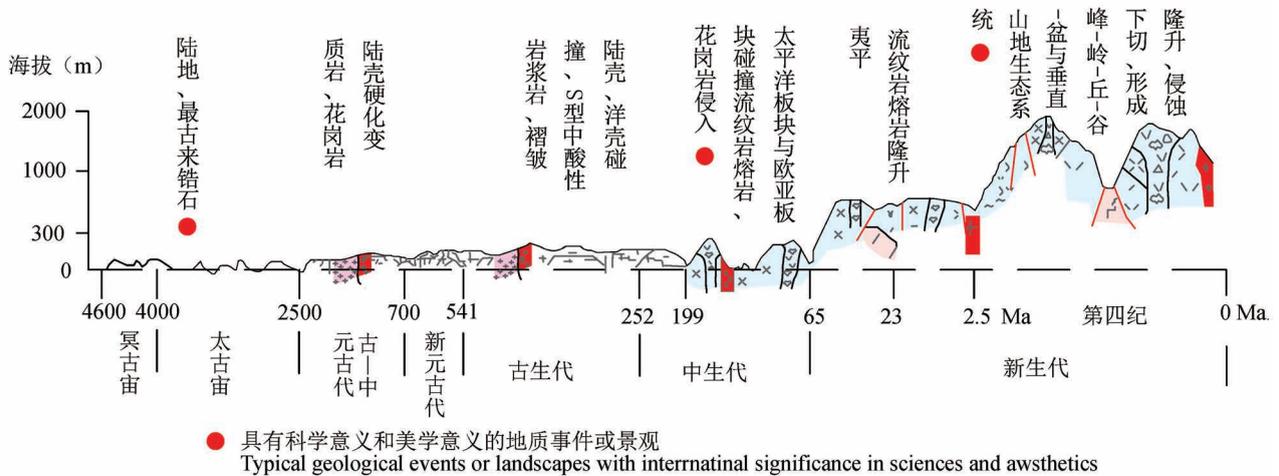


图7 百山祖公园代表性地质事件、地貌结构与山地系统演化

Fig. 7 Key geological events, geomorphological structure and montane systematic evolution in the Baishanzu park

去的保护地地质考察与评价中是缺乏的①②(张更生等,1995;陈安泽,2016)。因此,国家公园保护地等的地质考察与评价,不仅要确定是否有国家意义的地质遗迹、地质景点的存在,提供国家公园立项的地质依据,落实地质学范畴的空间、时间事件的确定性,也要从演化的角度分析确认保护地的地质结构、过程、功能与生物多样性、水源涵养功能的关系。这种演化角度的内容与目标是国家公园等保护地的规范性地质考察与评价的深入完善。

建设以国家公园为主体的中国保护地体系,地质考察与评价必须符合国家公园目标。长期的实践和成功范例提供了满足这种符合性的路径与深入的借鉴。关键性的创新内容是地质学“时间、空间、演化”要协同落实于保护地的地质遗迹或地质景点的结构、过程的完整性与真实性,以此研究“地质多样性与生物多样性”的协同性,确保现代生物多样性和自然景观发育与演化趋势的科学认知与自然性、完整性的空间保障。从地质学入口,确定国家公园独特性、优美性、多样性的地质学支持,深化国家公园的自然性、完整性与演化趋势的认识,服务国家公园最重要自然生态系统、自然景观的出口目标。既落实其发育机制,也识别其演化趋势,使国家公园保护地在可持续发展和绿色发展目标的长期管理下,不仅保育自然性好的生态系统和自然景观,也能在地质空间与过程的完整性、自然性条件下,让退化对象或潜在退化对象得到修复与新生的空间与动力保障,奠定兽类肉食动物顶极食物链的发育基础,实现全食物链的自然生态系统结构和功能的发育演化,

增强区域流域水系水源地的水源涵养功能,获得绿色发展保障。

这不仅是保护地地质学属性的拓展与深化,也将是现有各类保护地生物多样性、自然景观保育与空间管理的基础。在云南三江并流区、哀牢山保护地中,其保护地下界多是山岭中部,其下的自然侵蚀与人类活动干扰了沟坡至谷底的自然性,损失了垂直梯度的自然生物多样性与自然景观的完整性。这在特定时期和特定地域的保障性生活居住和开发建设是可以理解和执行的,但在实施“完整性、原真性”保护、保育的自然景观与生物多样性的新时期,落实“绿水青山就是金山银山”、“山水田林湖(草)生命共同体”的空间管理,解决“发展不充分、不平衡”的新时期矛盾的保护地建设中,完善这类保护地的下界划分与潜在功能认知,需要其“独特性、多样性、优美性、自然性、完整性”动力机制的科学认知。以地质遗迹、地质景点为主要对象的保护地,需要深化“地质多样性与生物多样性”的协同保障(Gordon et al., 2018; Garcia, 2019)。

“时间、空间、演化”的地质考察与评价路径和标准,既能提供符合国家性目标的地质事件认知,也为其生态系统服务价值持续增强与产品供给提供地质学的新认知。通过这种调查和评价发现公园现代自然生态系统与自然景观的动力机制与完整性、真实性过程,解决非生物因素(地质多样性)与生物因素(狭义生物多样性)的关系(Parks et al., 2010; Crofts, 2019),构建保护地参与全球变化、可持续发展、绿色发展的地质桥梁(Matthews, 2014; Yizhaqa

et al., 2017; Brilha et al., 2018; Gordon et al., 2018; Garcia, 2019), 这需要现代地形、森林生态水文、物种进出等非生物因素的地质多样性与生物多样性的协同监测研究。这需要国家公园新的开创与实践。

## 6 结论

地质学关于地球“时间、空间、演化”的经典认知是国家公园保护地地质考察与评价的路径与基准。浙江丽水百山祖国家公园的冥古宙陆核物质、中生代环太平洋岛弧陆盆火山带地质事件和亚热带滨海山地酸性侵入岩至火山岩的“峰—岭—丘—谷(盆)”地貌结构是其国家公园符合性的地质学支撑; 公园地质地貌结构形成演化是百山祖公园最重要自然生态系统、区域水系水源地、山水景观发育的基础性过程。上述地质地貌结构与过程的完整性与真实性保护是百山祖公园最重要的自然生态系统服务价值增强与产品持续供给的保障。

**致谢:** 本文野外工作期间得到浙江省第七地质大队、丽水市国家公园创建办、百山祖自然保护区管理局、脚爬客科技信息公司等的支持和帮助。陈伟海研究员和另一位审稿专家对本文提出了建设性修改意见; 特此表示感谢。

### 注释 / Notes

- ① 中华人民共和国国土资源部. 2017. 地质遗迹调查规范. ics. 07. 060. D10. DZ/T 0303-2017
- ② 中华人民共和国住房和城乡建设部. 2008. 《风景名胜区分类标准》CJJ/T 121-2008, J816-2008.
- ③ 中华人民共和国国务院. 2017《中华人民共和国自然保护区条例(2017修订版)》(国务院令第687号)
- ④ 中华人民共和国国务院. 2006. 《风景名胜区管理条例(2006)》(国务院令第474号)
- ⑤ 中共中央办公厅、国务院办公厅. 2017. 建立国家公园体制总体方案.
- ⑥ 中共中央办公厅、国务院办公厅. 2019. 关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见.
- ⑦ 浙江省地质调查院. 2008. 浙江庆元—荷地1:5万区域矿产地质调查成果报告.
- ⑧ 浙江省地质调查院. 2017. 浙江万铨湖(G50E001021)、万瑞洋(G50E002021)幅1:5万区域地质调查报告.
- ⑨ 浙江省地质调查院. 2018. 浙江万沙湾(G50E001022)幅、万毛垵(G50E002022)1:5万区域地质调查报告.

### 参考文献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)  
(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese

- with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)
- 包超民, 王孔忠. 1999. 浙江中生代火山—沉积地层和构造运动. 中国区域地质, 18(2): 90~93.
- 包超民. 1995. 试拟浙江地壳运动简表. 浙江地质, 11(1): 31~42.
- 曹伯勋. 1995. 地貌学及第四纪地质学. 武汉: 中国地质大学出版社: 254~272.
- 陈安泽. 2016. 论旅游地质与地质公园的创立及发展兼论中国地质遗迹资源(节选). 地球学报, 37(5): 535~561.
- 陈征海, 刘安兴, 李根有, 杜群, 应顺东. 2002. 浙江天然湿地类型研究. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 28(2): 156~160.
- 程秋波, 吴鸣翔, 陈豪庭. 1996. 浙江凤阳山—百山祖自然保护区综合考察报告. 浙江林业科技, 16(6): 1~7.
- 崔育斌. 2017. 山水有体:《林泉高致》美学思想探析. 深圳大学学报(人文社会科学版), 34(3): 72~76.
- 顾延生, 唐倩倩, 刘红叶, 秦养民, 唐小明. 2016. 浙江景宁亚高山湿地群形成环境探究. 湿地科学, 14(3): 302~310.
- 胡建金. 2000. 百山祖又闻虎啸声——华南虎踪迹发现始末. 中国林业, (4): 26, 28
- 凯莉·高切丝, 若兰·米切尔, 布兰登·布兰特. 2018. 价值演变与美国国家公园体系的发展. 毕雪婷, 李璟昱. 译. 中国园林, 34(11): 10~14.
- 李吉均, 方小敏, 潘保田, 赵志军, 宋友桂. 2001. 新生代晚期青藏高原强烈隆起及其对周边环境的影响. 第四纪研究, 21(5): 381~39.
- 李玉辉. 2006. 地质公园研究. 北京: 商务印书馆: 2~33.
- 刘欣雨, 张旗, 张成立, 袁方林, 焦守涛. 2017. 中新世全球重要事件及其意义: 数据挖掘的启示. 科学通报, 62(15): 1645~1654.
- 刘秀晨. 2019. 风景名胜区是中国自然保护地体系的独立类型. 中国园林, 35(3): 1.
- 欧阳志云, 杜傲, 徐卫华. 2020. 中国自然保护地体系分类研究. 生态学报, 40(20): 1~7.
- 谭珊珊, 叶珍林, 袁留斌, 周荣飞, 胡广, 金孝锋, 于明坚. 2013. 百山祖自然保护区植物群落 beta 多样性. 生态学报, 33(21): 6944~6956.
- 陶奎元, 谢家莹, 阮宏宏, 谢芳贵, 薛怀民. 1988. 中国东南沿海中生代火山作用基本特征. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊, 9(4): 12~28.
- 陶奎元, 邢光福, 杨祝良, 毛建仁, 赵宇, 许乃政. 2000. 浙江中生代火山岩时代厘定和问题讨论——兼评 Lapierre 等关于浙江中生代火山活动时代的论述. 地质论评, 46(1): 14~21.
- 王加恩, 刘远栋, 汪建国, 王振, 陶丽. 2016. 浙江丽水地区磨石山群火山岩时代归属. 华东地质, 37(3): 157~165.
- 王开发, 张玉兰, 蒋辉, 张永昌, 王志景, 李曾奎. 1989. 浙江白垩—第三纪孢粉组合及其古植被、古气候. 古生物学报, 28(5): 653~660.
- 吴传钧. 1991. 论地理学的研究核心——人地关系地域系统. 经济地理, (3): 1~5.
- 吴征镒, 朱彦丞. 1987. 云南植被. 北京: 科学出版社.
- 邢光福, 杨祝良, 陈志洪, 姜杨, 洪文涛, 靳国栋, 余明刚, 赵希林, 段政. 2015. 华夏地块龙泉地区发现亚洲最古老的锆石. 地球学报, 36(4): 395~402.
- 杨毅. 2020. 浙闽地区中新世孢粉植物群及其古植被和古环境研究. 指导教师: 王伟铭. 中国科学技术大学博士学位论文.
- 余久华, 姚丰平, 陈小荣, 周荣飞, 程秋波, 丁炳扬. 2003. 百山祖自然保护区主要植被类型概述. 热带亚热带植物学报, 11(2): 93~98.
- 俞云文, 徐步台. 1999. 浙江中生代晚期火山—沉积岩系层序和时

- 代. 地层学杂志, 23(2):136~145.
- 虞虎, 钟林生. 2019. 基于国际经验的我国国家公园遴选探讨. 生态学报, 39(4):1309~1317.
- 张更生, 郑允文, 吴小敏, 蒋明康. 1995. 自然保护区管理评价指南与建设技术规范. 北京: 中国环境科学出版社.
- 张建平. 2020. 解析联合国教科文组织世界地质公园标准. 地质论评, 66(4):874~880.
- 郑旭红. 2016. 北宋郭熙山水画自然观之刍议. 中国美术, 5:126~127.
- 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会. 1984. 中国自然地理(古地理)(上册). 北京: 科学出版社.
- Bao Chaomin, Wang Kongzhong. 1999. Mesozoic volcanic—sedimentary strata and tectonic movements in Zhejiang. Regional Geology of China, 18(2):90~93.
- Bao Chaomin. 1995. Try to draft a brief table of the crustal movements in Zhejiang. Geology of Zhejiang, 11(1):31~42.
- Brilha J, Gray M, Pereira D I, Pereir P. 2018. Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. Environmental Science and Policy, 86:19~28.
- Cao Boxun. 1995. Geomorphology and Quaternary Geology. Wuhan: China University of Geosciences Press; 254~272.
- Chen Anze. 2016. The establishment and development of tourism Earth-science and geopark, and geoheritage resources in China; Celebrating the 60th anniversary of Chinese Academy of Geological Sciences. Acta Geoscientica Sinica, 37(5):535~561.
- Chen Qiubo, Wu Minxiang, Chen Haoting. 1996. Comprehensive observation's report on Fengyangshan—Baishanzu Nature Reserves of Zhejiang. Journal of Zhejiang for Forestry Science & Technology, 16(6):1~6.
- Chen Zhenhai, Liu Anxing, Li Genyou, Du Qun, Ying Shundong. 2002. Investigation on classification of natural wetlands in Zhejiang Province. Journal of Zhejiang University (Agric. & Life Sci.), 28(2):156~160.
- Crofts R. 2019. Linking geoconservation with biodiversity conservation in protected areas. International Journal of Geoheritage and Parks, 7:211~217.
- Cui Yubin. 2017. Probe into the aesthetic ideology of *Lin Qian Gao Zhi*. Journal of Shenzhen University (Humanities & Social Sciences), 34(3):72~76.
- Editorial Board of China's Physical Geography of Chinese Academia of Sciences. 1984. China Physical Geography (Paleo Geography) (Volume One). Beijing: Science Press.
- Erin P. 2015. A Weird and Wild Beauty—the Story of Yellowstone, the World's First National Park. New York: Sky Pony Press.
- Fitton J G. 1971. The generation of magmas in island arcs. Earth Planet. Sci. Lett., 11:63~67.
- Garcia M G M. 2019. Ecosystem services provided by geodiversity: Preliminary assessment and perspectives for the sustainable use of natural resources in the coastal region of the State of Sao Paulo, Southeastern Brazil. Geoheritage, 11(4):1257~1266.
- Gordon E J, Crofts R, Diaz-Martinez E, Woo K S. 2018. Enhancing the role of geoconservation in protected area management and nature conservation. Geoheritage, 10(2):191~203.
- Gu Yansheng, Tang Qianqian, Liu Hongye, Qin Yangmin, Tang Xiaomin. 2016. Formation environment of the Subalpine wetlands in Jingning She Autonomous County, Zhejiang Province. Wetland Science, 14(3):302~310.
- Hu Jianjin. 2000. Roar of the tiger occurred again in Baishanzu mountain—Traces of the South China tiger were found. China Forestry, (4):26,28.
- IUCN. 1994. Guidelines for Protected Area Categories. Cambridge, UK: IUCN, World Conservation Monitoring Center, Gland.
- Kuno H. 1968. Origin of andesite and its bearing on the island-arc structure. Bull. Volcano, 32(1):141~176.
- Li Jijun, Fang Xiaomin, Pan Baotian, Zhao Zhijun, Song Yougui. 2001. Late Cenozoic intensive uplift of Qinghai—Xizang Plateau and its impacts on environments in surrounding area. Quaternary Sciences, 21(5):381~39.
- Li Yuhui. 2006. Study on Geopark. Beijing: Commercial Press; 2~33.
- Liu Xinyu, Zhang Qi, Zhang Chengli, Yuan Fanglin, Jiao Shoutao. 2017. Global major events in Miocene and its significance: Revelation from data mining. Chin Sci. Bull., 62(15):1645~1654.
- Liu Xiuchen. 2019. Scenic and historic areas are the independent type of China's nature reserve system. Chinese Landscape Architecture, 35(3):1.
- Luo Wei. 1998. Hypsometric analysis with a geographic information system. Computers & Geosciences, 24(8):815~821.
- Matthews J T. 2014. Integrating geoconservation and biodiversity conservation: Theoretical foundations and conservation recommendations in a European Union Context. Geoheritage, 6(1):57~70.
- Ohmori H. 1993. Changes in the hypsometric curve through mountain building resulting from concurrent tectonics and denudation. Geomorphology, 8(4):263~277.
- Ou Yangzhiyun, Du Ao, Xu Weihua. 2020. Research on China's protected area system classification. Acta Ecologica Sinica, 40(20):1~7.
- Parks K E, Mulligan M. 2010. On the relationship between a resource based measure of geodiversity and broad scale biodiversity patterns. Biodivers Conserv, 19:275~2766.
- Pike R J, Wilson S E. 1971. Elevation—relief ratio, hypsometric integrals and geomorphic area—altitude analysis. Geological Society of America Bulletin, 82:1079~1084.
- Rea W J. 1974. The volcanic geology and petrology of Montserrat, West Indies. J. Geol. Soc. London, 130:341~366.
- Ricklef R E. 2001. The Economy of Nature (5e, 2001). New York, USA: W. H. Freeman & Company.
- Ricklefs E. 2004. 生态学(第五版, 中文版). 孙儒泳, 尚玉昌, 李庆芬, 党承林. 译. 北京, 高等教育出版社: 420~453.
- Shafer C L. 2015. Cautionary thoughts on IUCN protected area management categories V~VI. Global Ecology and Conservation, 3:331~348.
- Stern R J. 1979. On the origin of andesite in the northern Mariana Island Arc; Implications from Agrigan. Contr. Mineral. and Petrol., 68:207~219.
- Strahler A N. 1952. Hypsometric (Area—Altitude) analysis of erosional topography. Bulletin of the Geological Society of America, 63:1117~1142.
- Tan Shanshan, Ye Zhenlin, Yuan Liubin, Zhou Rongfei, Hu Guang, Jin Xiaofeng, Yu Mingjian. 2013. Beta diversity of plant communities in Baishanzu Nature Reserve. Acta Ecologica Sinica, 33(21):6944~6956.
- Tao Kuiyuan, Xie Jiayin, Ruan Honghong, Xie Fanggui, Xue Huaimin. 1988. Characteristics of the Mesozoic volcanism in the Coastal

- margin of Southeastern China. Bull. Nanjing Inst. Geol. M. R. Chinese Acad. Geol. Sci., 9(4):12~28.
- Tao Kuiyuan, Xing Guangfu, Yang Zhuliang, Mao Jianren, Zhao Yu, Xu Naizheng. 2000. Determination of and discussion on the ages of Mesozoic volcanic rocks in Zhejiang—Comments on the argumentation of Lapierré et al.. Geological Review, 46(1):14~21.
- UNESCO. 1999. UNESCO Geoparks Programme – A New Initiative to Promote a Global Network of Geoparks Safeguarding and Developing Selected Areas Having Significant Geological Features. UNESCO Document.
- UNESCO. 2001. Decisions Adopted by the Executive Board at Its 161st Session. UNESCO Document.
- UNESCO. 2015. Statutes of International Geoscience and Geoparks Programme [OL]. [2020-05-27] <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000260675>.
- UNESCO. 2020. List of UNESCO Global Geoparks (UGGp) [OL]. [2020-09-29] <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/list-of-unesco-global-geoparks>.
- Wang Jiaen, Liu Yuandong, Wang Jianguo, Wang Zhen, Tao Li. 2016. Age assignment of the Moshishan Group volcanic rocks in the Lishui area, Zhejiang Province. East China Geology, 37(3):157~165.
- Wang Kaifa, Zhang Yulan, Jiang Hui, Zhang Yongchang, Wan Zhijing, Li Zengcui. 1989. Cretaceous—Tertiary spore-pollen assemblages of Zhejiang with their paleovegetation and paleoclimate. Acta Palaeontologica Sinica, 28(5):653~660.
- Williams M A J M, Dunkerley D L, Deckker P D, Kershaw A P, Stokes T J. 1997. 第四纪环境. 刘东生, 等. 编译. 北京: 科学出版社.
- Williams M A J M, Dunkerley D L, Deckker P D, Kershaw A P, Stokes T. 1993. Quaternary Environments. London: Edward Arnold (Publishers) Ltd.
- Wimbledon W A P. 1996. Geosites—A new conservation initiative. Episodes, 19(3):87~88.
- World Heritage Centre. 2019. Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention [OL]. [2020-09-27] <https://whc.unesco.org/en/guidelines>
- World Heritage centre. 2020. World Heritage List [OL]. [2020-09-29] <http://whc.unesco.org/en/list/>
- Wu Chuanjun. 1991. On study core of geography: the terrain system of human and land relationship. Economic Geography, 3:1~5.
- Wu Zhengyi, Zhu Yancheng. 1987. Yunnan Vegetation. Beijing: Sciences Press.
- Xing Guangfu, Wang Xiaolei, Wan Yusheng, Chen Zhihong, Jiang Yang, Kitajima K, Ushikubo T, Gopon P. 2014. Diversity in early crustal evolution: 4100 Ma zircons in the Cathaysia Block of southern China. Sci. Rep. 4: 5143.
- Xing Guangfu, Yang Zhuliang, Chen Zhihong, Jiang Yang, Hong Wentao, Jin Guodong, Yu Minggang, Zhao Xilin, Duan Zheng. 2015. The discovery of the Asian oldest zircons in Longquan, Cathaysia Block. Acta Geoscientia Sinica, 36(4):395~402.
- Yang Yi. 2020. Miocene palynoflora from Zhejiang—Fujian area, southeast China and its paleovegetational and paleoenvironmental implications. University of Science and Technology of China. Supervisor: Wang Weiming. A Dissertation for Doctor's degree of University of Science and Technology of China.
- Yizhaq H, Stavi I, Shachak M, Bel G. 2017. Geodiversity increases ecosystem durability to prolonged droughts. Ecological Complexity 31:96~103.
- Yu Hu, Zhong Linsheng. 2019. Discussion on the selection criteria of national parks in China based on international experience. Acta Ecologica Sinica, 39(4):1309~1317.
- Yu Jihua, Yao Fengping, Chen Xiaorong, Zhou Rongfei, Cheng Qiubo, Ding Bingyang. 2003. An introduction to main vegetation types in Baizushan National Reserve. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 11(2):93~98.
- Yu Yunwen, Xu Butai. 1999. Stratigraphical sequence and geochronology of the Upper Mesozoic volcano—sedimentary rock series in Zhejiang. Journal of Stratigraphy, 23(2):136~145.
- Zhang Gengsheng, Zheng Yunwen, Wu Xiaomin, Jiang Mingkang. 1995. Guidelines for Management Evaluation of Nature Reserves and Construction Technical Specification. Beijing: China Environmental Sciences Press.
- Zhang Jianping. 2020. Interpretation of the criteria of UNESCO global geopark. Geological Review, 66(4):874~880.
- Zheng Xuhong. 2016. An Overview of Specific Conception of Nature in Guo Xi's Landscape Painting in the Northern Song Dynasty. Art in China, 5:126~127.

## On geological investigation and evaluation of Chinese national park

### —An example of Baishanzu National Park in Zhejiang Province

LI Yuhui<sup>1)</sup>, WANG Zhiguo<sup>2)</sup>, MAO Yefeng<sup>2)</sup>, ZHU Zhehui<sup>2)</sup>, CHEN Lin<sup>2)</sup>,  
LI Chunzhong<sup>2)</sup>, LI Xin<sup>3)</sup>, MENG Yao<sup>4)</sup>

1) School of Geographical Sciences, Yunnan Normal University, Kunming, 650500;

2) The Seventh Geological Bridge of Zhejiang Province, Hangzhou, 310030;

3) Wuhan Center of Geosciences Public Education of Geopark (Wuhan), Wuhan, 430074;

4) Environmental College of China University of Geosciences, Wuhan, 430074

**Abstract:** By view of the history and objectives of the protected areas' investigation and evaluation, the criteria of geological survey and evaluation in the national park are defined to discover geological knowledge of the Earth's "time, space and evolution", that is to identify both geological events with national significance for the

national park candidate sites, and the geological mechanism of its naturalness, uniqueness, superlative beauty, diversity and integrity in order to provide geological support for the conservation and management of the most important natural ecosystems and natural landscapes there. The geological events meeting national criteria in the Baizushan national park of Zhejiang province are Zircon crystals of Hadean continental materials of 4.0~4.2 Ga found in the Mesoproterozoic metamorphic rocks, the volcanic events of the Mesozoic arc—basin acidic magma and subtropical coastal mountain landform structure of “Peak — Ridge — Hill — Valley (basin)” from rhyolite mountain ridge to the valley bottom of granite—metamorphic rocks. The evolution and structure of the landforms are basic for the park’s most important natural ecosystems, water source area of regional river systems and superlative natural landscapes. The protection of integrity and process’s naturalness of the geomorphic structure there is basic for natural evolution of the important ecosystems and sustainable supply of ecologic products.

**Keywords:** National park; Hadean zircon crystals; Mesozoic rhyolite; the Pacific volcanotectonic belt; subtropical coastal volcanic mountains

**Acknowledgements:** The projects is granted by The Natural Resources Department of Zhejiang Province and the Geology and Minerals Bureau of Zhejiang Province. The Seventh Geological Brigade of Zhejiang Province, the Foundation Bureau of Lishui City’s National Park, the Administrative Bureau of Baishanzu National Natural Reserve provided conveniences for field works. Our thanks must give Prof. CHEN Weihai, Prof. ZHANG Yuxu, and another reviewer for their suggestions improving our manuscript.

**The first author and corresponding author:** LI Yuhui, male, born in 1957, Ph. D. in resource environment and reserves, professor, is mainly engaged in various protected areas’ geological investigation and landscape ecology; Email: lyh123zhang@163.com

**Co-corresponding author:** WANG Zhiguo, male, born in 1981, M. D., is mainly working in hydrogeological, engineering and environmental geology; Email: 16211090@qq.com

**Manuscript** received on: 2020-11-16; Accepted on: 2021-06-20; Network published on: 2021-07-20

**Doi:** 10.16509/j.georeview.2021.07.025

**Edited by:** ZHANG Yuxu