



念青唐古拉山地质遗迹特征及世界地质公园创建可行性分析

陈斌, 郑小敏, 申培彦

四川省地质矿产勘查开发局区域地质调查队, 四川 成都 610213

摘要: 西藏念青唐古拉山东段地处西藏腹地的拉萨市西北部当雄县, 发育了丰富、典型、类型多样的地质遗迹资源。在野外系统调查的基础上, 将念青唐古拉山地质遗迹资源划分为纳木错、羊八井地热田和念青唐古拉山冰川地貌为代表的 3 大类 7 类 11 亚类。它们沿该区特有的盆-山构造体系聚集展布, 具有极高的科学价值、美学价值和开发利用价值, 在全球范围具有典型性、稀有性、完整性和国际对比意义。这些丰富的地质遗迹与佛教建筑融合的文化遗产、高原腹地的生态系统相生相成, 全面展示了青藏高原人与自然和谐共生的体系。基于此, 从自然文化、范围边界、管理机构、可持续发展经济政策和利益相关者需求等方面分析认为, 念青唐古拉山世界地质公园创建优势显著、切实可行、意义重大, 进一步提出采用“以地热田为主题的念青唐古拉山世界地质公园”建园方案, 采取政府支持、借鉴经验、普及理念、科研保护、旅游产业和社区发展等多维对策, 对利用区域绿色地质遗迹资源, 促进地方生态文明建设与经济可持续发展具有理论与实践双重意义。

关键词: 念青唐古拉山; 纳木错; 羊八井地热田; 地质遗迹; 世界地质公园; 西藏

GEOHERITAGE CHARACTERISTICS OF NYENCHENTHANGLHA MOUNTAINS AND FEASIBILITY ANALYSIS ON THE ESTABLISHMENT OF UNESCO GLOBAL GEOPARK

CHEN Bin, ZHENG Xiao-min, SHEN Pei-yan

Regional Geological Survey Team, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development, Chengdu 610213, China

Abstract: The eastern section of Nyenchenthanglha Mountains, located in Dangxiong County of northwestern Lhasa City, the hinterland of Tibet, is rich in typical and diverse geoheritage resources represented by Namtso Lake, Yambajan geothermal field and glacier landform of Nyenchenthanglha Mountains. The geoheritages can be divided into 3 categories, 7 class and 11 subclasses based on systematic field survey. Clustered and distributed along the basin-mountain tectonic system in the area, the geoheritages are of high scientific, aesthetic and development values, with typicality, rarity, integrity and international comparison significance globally. These rich geological relics complement each other with the cultural heritage of Buddhist architecture and ecosystem in the hinterland of Qinghai-Tibet Plateau, comprehensively demonstrating the most mysterious system of harmony between man and nature on the plateau. It is concluded that the establishment of Nyenchenthanglha Global Geopark is feasible and of great significance with obvious advantages in terms of natural culture, scope boundary, management organization, sustainable economic policy and

收稿日期: 2021-06-18; 修回日期: 2021-07-06. 编辑: 李兰英.

基金项目: 中国地质调查局项目“全国重要地质遗迹调查”(DD20160329)子项目“西藏自治区当雄、米林、班戈、申扎地质遗迹详细调查示范”(WKZB180BJM300189/14).

作者简介: 陈斌(1973—), 男, 硕士, 正高级工程师, 主要从事旅游地质与规划工程、地质遗迹保护和自然资源调查监测与信息化研究, 通信地址 四川成都天府新区华阳街道通济桥下街 198 号, E-mail//xbnn@foxmail.com

stakeholder needs. The construction plan of geothermal field-themed Nyenchenthanglha Global Geopark is further proposed with multidimensional countermeasures such as government support, others' experiences, concept popularization, scientific research protection, tourism and community development, which provides theoretical and practical basis for utilization of regional green geoheritages and promotion of local eco-civilization construction and economic sustainable development.

Key words: Nyenchenthanglha Mountains; Namtso Lake; Yambajan geothermal field; geoheritage; global geopark; Tibet

0 引言

地质遗迹是一种跟土地、矿产资源一样的资产性资源,是一种珍贵的绿色自然资源^[1-2]。《地质遗迹保护管理规定》明确:被保护的地质遗迹是国家的宝贵财富;对具有国际、国内和区域性典型意义的地质遗迹,可建立国家级、省级、县级地质遗迹保护段、地质遗迹保护点或地质公园。2001、2002年联合国教科文组织(UNESCO)地学部先后提出“世界地质公园计划”和“世界地质公园网络计划”,让地质遗迹资源保护与利用进一步得到各国政府重视和全社会参与、支持。经过长期的探索,建立地质公园是地质遗迹资源可持续利用的有效方式和最好途径^[3-4]。自2001年第一批中国国家地质公园公布,及2004年中国第一批世界地质公园公布,至今中国形成了“世界-国家-省级-县级”完善的地质公园体系。截至2021年4月,全球已建立世界地质公园169处,中国有世界地质公园41处。

研究基于中国地质调查局“全国重要地质遗迹调查(西藏)”和“西藏自治区当雄、米林、班戈、申扎地质遗迹详细调查示范”项目,按照《地质遗迹调查规范》,查明当雄县、米林县、班戈县、申扎县内重要地质遗迹类型、分布等,分析其成因、演化,对比分析其重要资源价值,提出申报世界地质公园候选地建议,为自然资源空间规划、藏区地质遗迹保护与科学利用管理,以及“三区三州”精准扶贫提供基础支撑。参照《联合国教科文组织国际地球科学与地质公园计划章程》《联合国教科文组织世界地质公园操作指南》,笔者在区内面积性调查基础上,重点对念青唐古拉山东段地质遗迹资源及其他自然人文资源调查,评价纳木错、羊八井地热田和念青唐古拉山冰川地貌等主要地质遗迹发育特征及价值,分析念青唐古拉山世界地质公园的创建可行性,进一步提出念青唐古拉山世界地质公园创建对策,对利用区域绿色地质遗迹资源促进地方生态文明建

设、脱贫攻坚与经济可持续发展具有理论与实践双重意义。

1 研究区地质遗迹特征

1.1 地质地理背景

研究区位于西藏腹地,拉萨河上游,处于地中海-喜马拉雅环球构造带上,是青藏高原上东西向巨型构造带与南北向活动构造带的交汇点,是研究高原隆升、地球演化的典型地区,是青藏高原地质走廊的重要组成部分^[5-6]。地层区划属藏滇地层大区,冈底斯-念青唐古拉地层区、喜马拉雅地层区。从中元古界—第四系均有出露,发育古老结晶基底和海相、陆相及河湖相沉积(图1)^[7],沉积类型多样。



图1 念青唐古拉山地质图

(据文献[7]修改)

Fig. 1 Geological sketch map of Nyenchenthanglha Mountains

(Modified from Reference [7])

1—第四系(Quaternary); 2—石炭—二叠系沉积岩(Carboniferous-Permian sedimentary rock); 3—上白垩统砂岩砾岩(Upper Cretaceous sandstone conglomerate); 4—新近纪花岗岩类(Neogene granitoid); 5—下白垩统火山岩(Lower Cretaceous volcanic rock); 6—长英质片麻岩(felsic gneiss); 7—闪长质片麻岩(dioritic gneiss); 8—韧性剪切带断层(ductile shear zone)

念青唐古拉山横贯西藏中东部,将西藏划分成藏北、藏南、藏东南。其东段位于拉萨市西北部当雄县,区内地貌类型复杂多样,有冰蚀高山、极高山、高原湖盆地。地表溪河与山川相呼应,最后流入雅鲁藏布江。气候属高原寒温带半干旱季风气候。年日照时数 2 880 h,年降水量 481 mm,昼夜温差大,多大风。

1.2 地质遗迹资源类型

依据《地质遗迹调查规范》(DZ/T0303—2017),对研究区实地详细调查,发现区内地质遗迹资源丰富、保存完好、可保护性强,主要地质遗迹分为 3 大类 7 类 11 亚类(表 1),以独特的冰川地貌、水体地貌为导向性地质遗迹景观,极具稀有性、独特性。

1.3 地质遗迹分布规律

(1)高原湖泊:内陆高原湖群集中发育在藏北高原、柴达木盆地及其周围干旱闭流的高原腹地,分布面积大、全球罕见。西藏湖泊中面积大于 1 km² 的有 612 个,湖泊总面积约占中国湖泊面积 1/3,拥有全球海拔最高、数量最多、面积最大的内陆高原湖群区,也是中国湖泊分布最密集的地区之一。其中纳木错是西藏面积最大的湖泊,也是中国第二大咸水湖^[8]。另有色林错、巴木错、蓬错、崩错、仁错贡玛、吴如错、错鄂湖、格

仁错等,其面积均超过 100 km²。

(2)高温热水型地热田:沿那曲至羊八井一带受构造控制发育,直至羊八井盆地东西两侧边缘地带。地热能资源丰富,利用领先,以当雄-羊八井盆地内的羊八井地热田、念青唐古拉温泉、拉多岗温泉及羊易地热田为代表。其中羊八井地热田是中国开发利用的第一个湿蒸汽型高温地热田,于 1977 年建成的羊八井地热电站,是中国目前最大的地热电站,也是当今世界唯一利用中温浅层热储资源进行工业性发电的地热电站。

(3)冰川地貌:发育区海拔高,各类冰川遗迹沿运动空间序列展布,保存完整,类型齐全。念青唐古拉山是区域上古冰川与现代冰川的发育中心,是世界上海拔最高的冰川遗迹集中分布区之一。在海拔 4 600~7 162 m 范围内,发育大量古冰川槽谷、冰斗、刃脊、角峰、冰蚀湖,以及冰碛台地、冰碛垄、冰水台地等。

1.4 主要地质遗迹特征

1.4.1 纳木错

纳木错藏语意为“天湖”,是西藏三大圣湖之一。湖面海拔 4 718 m,是一个北东向断陷构造湖,形近长方形,东西长超 70 km,南北宽超 30 km,面积 2 026.74 km²,

表 1 念青唐古拉山主要地质遗迹资源分类表

Table 1 Classification of major geoheritage resources in Nyenchentanglha Mountains

大类	类	亚类	主要地质遗迹名称
基础地质	地层剖面	层型(典型)剖面	曲果塘层型(典型)剖面
	构造剖面	断裂	羊八井-当雄盆地边界断裂
岩土体地貌		侵入岩地貌	青普卡半岛侵入岩地貌、那庆侵入岩地貌
		碎屑岩地貌	那根拉山口碎屑岩地貌
地貌景观	水体地貌	河流(景观带)	你亚曲河流(景观带)
		湖泊、潭	日月错、王日错、纳木错
		泉	羊八井地热田、念青唐古拉温泉、拉多岗温泉
冰川地貌		古冰川遗迹	热嘎果古冰川遗迹(终碛垄)、养车儿嘎波古冰川遗迹(冰漂砾)、那凤果村古冰川遗迹(冰水阶地)、戈浙列村古冰川遗迹(U型谷)、朗布曲古冰川遗迹(冰漂砾)、嘎尔波果村古冰川遗迹(冰漂砾)、压俄果古冰川遗迹(侧碛垄)、俄尔古冰川遗迹(刃脊)、多拉古冰川遗迹(刃脊)、普亚古冰川遗迹(U型谷)
		现代冰川遗迹	念青唐古拉山现代冰川遗迹、嘎尔波果现代冰川遗迹(冰斗)、宁日果现代冰川遗迹(U型谷)、霍如瓦促郎现代冰川遗迹(角峰)、郎果现代冰川遗迹(U型谷)、吉桥现代冰川遗迹(角峰)、甲玛村现代冰川遗迹、卡日根现代冰川遗迹、曲嘎果吧现代冰川遗迹(角峰)、爬努身尚现代冰川遗迹、那多嘎现代冰川遗迹、拉多村现代冰川遗迹(冰舌)
地质灾害	地震遗迹	地裂缝	郭娃拿布地裂缝
	地质灾害遗迹	泥石流	擦普容泥石流(洪积扇)、卢子曲泥石流、贡千曲泥石流

湖水最深达 98 m, 平均水深超 70 m, 透明度高达 16 m. 湖面辽阔, 在晴天呈剔透的碧蓝色, 湖边波涛拍岸, 以小头裸裂尻鱼为代表的鱼类资源较为丰富; 湖边至少发育四道沙堤, 沙堤走向约 150°; 湖周围是广阔无垠的湖滨平原, 生长着苔藓、蒿草、火绒草等草本植物, 是一处天然牧场; 在湖南边, 念青唐古拉山如同一条巨龙横亘. 水质全分析显示(表 2—4), 其 Na⁺、F⁻ 超过生活饮用水卫生标准, 不能直接饮用^①.

表 2 纳木错水质物理性质检测表

Table 2 Physical property test results of water quality in Namtso Lake

检测项目	检测结果	标准限值
pH 值	7.95	6.5~8.5
气味	无	无异臭
口味	无	无异味
色度	<5	15
浑浊度	<1	3
肉眼可见物	无	无

1.4.2 羊八井地热田

羊八井地热田位于念青唐古拉山前由构造断裂所形成的断陷盆地内, 面积约 10 km², 海拔 4300 m, 是国内外著名的湿蒸汽型高温地热田之一^[9]. 区内地表水热活动十分强烈, 地热显示类型繁多, 有水热爆炸、沸泉、温泉、热水湖、喷气孔、冒汽地面、水热蚀变带、硅质泉华、钙质泉华和含铝复硫酸盐盐华等(表 5). 中尼公路以南仅现代温泉、热泉、沸泉、热水湖等露头就有 20 余处; 沿断裂分布的古泉口更是星罗棋布, 数不胜数. 区内水热蚀变及泉华发育, 通过泉华年龄测定可识别出水热活动的不同阶段: 第一阶段(0.50~0.47 Ma)形成规模较大、成层完好、富含铁质的钙华台地; 第二阶段(0.40~0.35 Ma)与第一阶段相比, 特征类似, 规模相当, 但两者呈明显的不整合接触关系; 第三阶段(0.27~0.20 Ma)热水喷溢的时限较短, 泉华规模不大, 主要在早期泉华台地上形成多个相对孤立的喷溢沉积锥, 类似于现代海底的黑烟囱喷溢锥; 第四阶段(0.15 Ma)泉华沉积再次增多, 该期水热活动一直延续至今.

表 3 纳木错水质阴、阳离子及重金属检测表

Table 3 Anion, cation and heavy metal test results of water from Namtso Lake

检测项目	检测结果/(mg/L)	标准限值/(mg/L)
K ⁺	38.51	-
Na ⁺	315.6	200
Ca ²⁺	10.12	-
Mg ²⁺	88.79	-
Fe ²⁺ +Fe ³⁺	<0.1	0.3
NH ₄ ⁺	<0.03	-
Al ³⁺	-	0.2
Σ 阳离子	453.0	-
Cl ⁻	64.47	250
SO ₄ ²⁻	196.7	250
HCO ₃ ⁻	645.2	-
CO ₃ ²⁻	150.3	-
OH ⁻	0.00	-
NO ₃ ⁻	0.51	10
NO ₂ ⁻	<0.001	10
PO ₄ ³⁻	-	-
F ⁻	4.23	1.0
Σ 阴离子	1061	-
Cu	-	1.0
Pb	-	0.01
Zn	-	1.0
Cd	-	0.005
Mn	-	0.1
Co	-	-
Ni	-	0.02
As	-	0.01
Hg	-	0.001
Se	-	0.01

1.4.3 念青唐古拉山冰川地貌

青藏高原独特的地理气候条件形成了丰富的冰川地貌, 念青唐古拉山脉共发育有冰川 7 080 条, 总面积达 10 701 km², 冰川面积在中国的几大山脉中排名第二. 主峰海拔为 7 162 m, 是一个北东向的上升断块, 其东南侧以断裂与羊八井地堑为邻, 西北侧与纳木错湖盆低地相接, 是青藏高原东南部最大的冰川区, 也是

①四川省地质矿产勘查开发局区域地质调查队. 西藏自治区当雄、米林、班戈、申扎地质遗迹详细调查示范地质遗迹调查报告. 2018.

表4 纳木错水质硬度、酸碱度及其他物质检测表

Table 4 Water hardness, pH value and other substances test results of Namtso Lake

检测项目	检测结果/(mg/L)	标准限值/(mg/L)
总硬度	390.9	450
永久硬度	-	-
暂时硬度	-	-
负硬度	-	-
总碱度	1031	-
总酸度	-	-
Cr ⁶⁺	-	0.05
I ⁻	-	-
酚类	-	0.002
氰化物	-	0.05
阴合剂	-	0.3
游离 CO ₂	0.00	-
偏磷酸 HPO ₃	-	-
COD _{Mn}	0.33	5
可溶性 SiO ₂	-	-
偏硅酸 H ₂ SiO ₃	0.38	-
溶解总固体	986.5	1000
电导率/(μ S/cm)	-	-

地球上中纬度地区的冰川作用中心之一,冰川地貌类型多样,序列完整.念青唐古拉山及邻区第四纪经历过多次大规模冰川作用,早更新世以来的冰川作用过程及对应的区域气候变化可划分为5个冰期^[10-11].现代冰川遗迹主要分布在高海拔地段,古冰川遗迹分布在相对低矮的区域(图2).

念青唐古拉山东段发育有平顶冰川、悬冰川、冰斗冰川、冰斗悬冰川、冰斗山谷冰川、山谷冰川等非常丰富的冰川形态类型,冰川最为集中^[12].其中尤以卡钦冰川最具有代表性,海拔6356 m,长达35.3 km,冰面积为206.7 km²,冰蓄量为52.1 km³,它不仅是中国最大的海洋性冰川,而且是地球上同纬度最大的冰川,可謂是“冰川时代”的活标本.

表5 羊八井地热田地质特征

Table 5 Geological features of Yambajan geothermal field

项目	地质特征	
地热基本类型	岩浆活动型中的近期岩浆型	
水源	大气降水为主	
成因 热源	近期岩浆侵入	
物质成分来源	溶滤作用及热力变质作用	
控制性构造	新生代构造作用	
地热地质特征	盖层	各种火山岩、沉积岩或矿物沉淀及水热蚀变发生自封闭
	热储	各种火山岩、沉积岩或松散沉积
火山作用	上新世以来岩浆作用	
水文地质特征	含水层类型补、径、排条件	承压水系现代补给充足,垂直上升运动为主,以沸泉、喷泉等形式排泄强烈
地热特征	地表显示	沸泉、喷泉、喷气孔、水热爆炸、泉华及蚀变带
	水汽最高温度/℃	150~200
	地热梯度/(℃/100 m)	10~30 以上
水质类型	氯化型为主	
矿化度/(g/L)	<5	
矿化特征 特殊组分	HBO ₂ 、SiO ₂ 、F 等	
气体成分	H ₂ S、CO ₂ 及 N ₂ -CO ₂	
伴生矿床及现代成矿	汞矿、硫磺矿、黄铁矿及辉锑矿	

2 世界地质公园创建可行性分析

2.1 自然价值与文化价值相生相成

2.1.1 地质遗产的国际价值与地质上的国际意义

(1) 构造学价值

青藏高原是印度板块和欧亚板块多次拼贴而形成的统一陆壳,接受晚中生代以来的盖层沉积.研究区残留的古老变质岩(念青唐古拉岩群)是冈瓦纳古陆的结晶基底,自中新世中期开始,青藏地区整体进入东西向同造山伸展期,发生区域性剥蚀夷平事件,第四纪便进入高剥蚀面形成和冰川发育阶段.研究区处于拉萨地块中部,跨越念青唐古拉地垒、羊八井-当雄地堑以及旁多山地,发育有丰富多彩的地质构造现象^[13].东西向褶皱和逆断层是古特提斯洋闭合造山的产物;旁多东西向推覆构造反映新特提斯洋闭合造山构造事

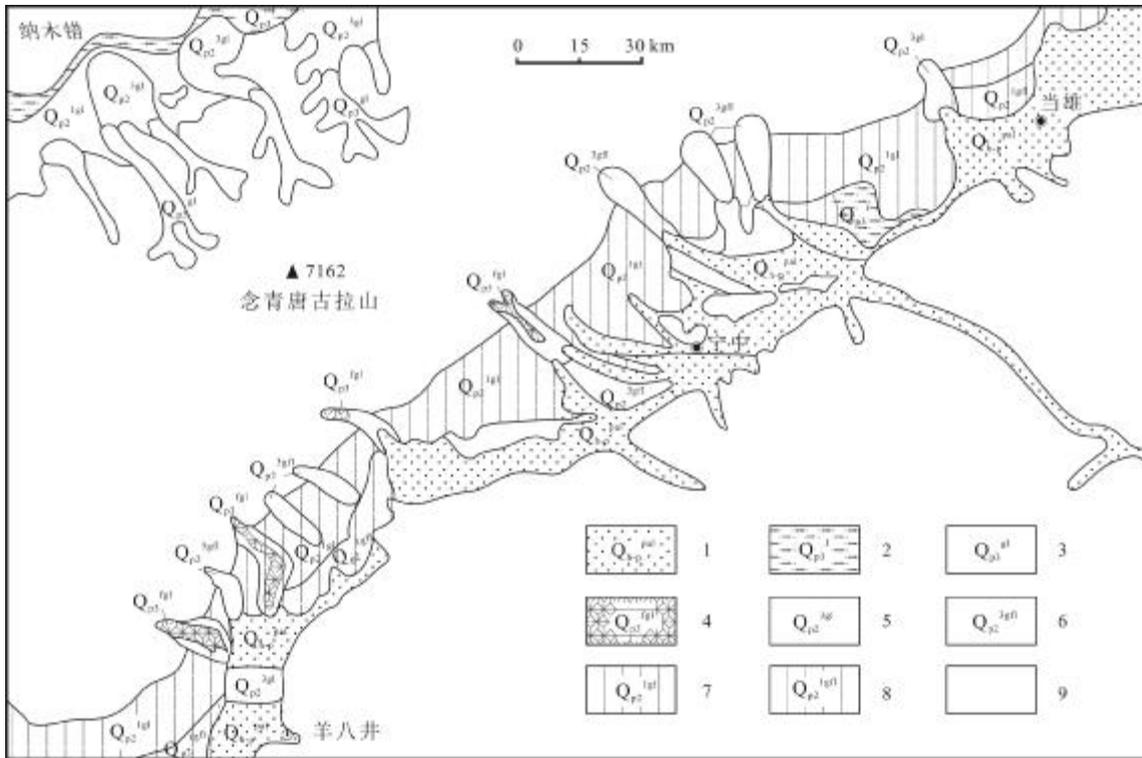


图2 念青唐古拉东南麓更新世冰川沉积物分布图

(据文献[11]修改)

Fig. 2 Distribution of Pleistocene glacial deposits at the southeastern piedmont of Nychentanglha Mountains

(Modified from Reference [11])

1—全新世—晚更新世冲洪积物(Holocene-Late Pleistocene alluvium-diluvium); 2—晚更新世湖相层(Late Pleistocene lacustrine strata); 3—晚更新世冰碛物(Late Pleistocene moraine); 4—晚更新世冰水沉积物(Late Pleistocene fluviological deposit); 5—中更新世晚期冰碛物(late Middle Pleistocene moraine); 6—中更新世晚期冰水沉积物(late Middle Pleistocene fluviological deposit); 7—中更新世早期冰碛物(early Middle Pleistocene moraine); 8—中更新世早期冰水沉积物(early Middle Pleistocene fluviological deposit); 9—冰川(glacier)

件,而北东向正韧性剪切带及晚期北东向活动断层则是印度板块陆内俯冲导致东西向同造山伸展的证据。它们是地壳在漫长地质年代中多次构造变动的地质遗迹,反映了区域板块构造运动的基本模式和高原地壳缩短、隆升、加厚和伸展的过程,对研究青藏高原形成演化具有重要科学价值和理论意义,是研究元古宙以来冈瓦纳古陆裂解、漂移、拼贴较为典型的地区之一,也是研究印度板块与欧亚板块拼贴聚合的理想地区,具有世界对比意义。

(2) 地层学价值

新近纪以来,青藏高原快速隆升,使古元古代形成的冈瓦纳古陆结晶基底及其上构造层暴露地表,研究区念青唐古拉山脉的侵入岩、变质岩,旁多山地的沉积岩、火山岩等数百种岩石,类型齐全,尤其是旁多山地的冰海沉积岩、陆地火山喷发岩、火山集块岩、火山构

造等,不仅具有特殊的研究意义,而且其丰富多彩的成岩面貌更具观赏价值,是一个类型齐全的“岩石博物馆”,是岩石科普教学的良好场所。研究区内测制的古元古界念青唐古拉岩群(Pt_{1n})、石炭系诺措组(C_{1-2n})、二叠系乌鲁龙组(P_{1w})等大量典型地层剖面,出露佳、连续性好、厚度大。它们详细地记载了漫长的地质历史,为人们提供了亿万年前古地理、古环境、古气候、古生物等古老信息。

区内拉萨地块石炭系、二叠系、三叠系及侏罗系多为冰海相沉积。石炭、二叠纪以来,冰海相冷水动物群的大量出现,为研究冷水型动物提供了代表性地层。羊八井地区自晚古生代—中生代,基本保持了以海相连续沉积为主的完整地层系统,其中保存下来的古生物化石遗迹十分丰富,种类繁多,海相古生物十分发育,陆相古生物次之,是建立和观赏生物地层剖面的良

好基地,为研究冈瓦纳古陆的形成、演化、裂解、漂移,以及与欧亚古陆的分界,提供了有力的证据。

(3) 地热学价值

羊八井地热田,北部地势较高,地下水埋藏较深,水热形迹在早期为泉华堆积,现代则主要是地面放热、冒气和强烈的汽水热蚀变;南部地势低平,地下水位较高,早期的水热形迹有泉华、水热爆炸,泉、湖、沼泽、地面放热和盐华等,由于地热资源种类多样、水热活动强烈、规模宏大,而被冠以“地热博物馆”的美名。这里有中国目前最大的地热发电站,有利用地热发电尾水建成的地热温室,有世界上海拔最高的羊八井地热温泉以及蓬勃兴盛的温泉旅游休闲度假产业,有利用地热兴起的现代化农畜产业,是地热资源多渠道利用的典范。

20世纪末,对羊八井地热田进行了普查、勘探、钻探和测试等工作。1998年完成的“西藏羊八井热田深部高温地热资源形成机制研究”,提出了全球性喜马拉雅地热带非火山型构造裂隙式高温热储的新类型,较为完整地建立了羊八井深部高温地热系统的地质模型,系统地阐述了变质核杂岩体中年轻融熔岩浆上侵形成羊八井地热田高温地热系统的新认识,填补了中国高温地热形成研究的空白,具有极高的地热科学价值和国际对比研究意义。

(4) 冰川学价值

念青唐古拉山东南麓,冰川与冰水沉积物在山麓地带构成多级阶梯状地貌,保留有更新世期间发育的4套冰川沉积物,全新世期间发育的1套冰川沉积物;念青唐古拉山北麓,冰碛物构成地貌形态保存较好的典型山麓冰碛台地和山谷型侧碛、终碛垅,冰水沉积物主要为含漂砾的砾石层。不同冰期的相关沉积具有不同地质特征,研究冰川沉积、冰蚀地形及冰川沉积地貌已成为探究高原隆升、全球气候变化的重要手段之一。对青藏高原水资源、生态环境监测,青藏高原气候变化以及全球气候变化预测而言,青藏高原冰川变化研究都具有重要的意义。

中国的冰湖主要分布在西藏念青唐古拉山和喜马拉雅山地区。近年来,由于整个地球气候变暖,冰川冰雪融水加大了湖泊的补给源,因此冰湖发生溃决的危险增大。对冰湖的空间分布以及动态变化进行研究,对冰湖溃决的危险性评估具有重要意义^[14]。

2.1.2 高原腹地的生态系统

研究区位于高原腹地,生态环境十分脆弱,动植物主要为适应高寒缺氧条件的野生动物和高原草甸。植物群落划分为6种类型:香柏+高山嵩草灌丛草甸群落、高山嵩草+圆穗蓼草甸群落、高山嵩草+圆穗蓼草甸群落、高山嵩草+矮生嵩草草甸群落、高山嵩草草甸群落和流石滩冰缘植被群落^[15]。哺乳动物25种,爬行类3种,两栖类1种,鸟类70种,鱼类15种。动植物资源多样,是世界呈现生物多样性最典型的区域之一,堪称“高原生物基因库”。

2.1.3 佛教建筑融合的文化遗产

研究区自然资源非常丰富,人文资源也别具异彩,人文历史源远流长,形成了具有多民族文化特色的藏传佛教。藏区建造了大量庙宇,有羊井学寺、嘎罗寺、多林休寺等,有的庙宇平地而起,有的借冈峦之势,在峰峦之麓构筑“山门”,给人们留下了自然与建筑融为一体的文化遗产。在拉萨河流域多处发现了旧、中、新石器时代的石器、骨器和陶器等古文物。区内还有丰富的岩画,距今有4 000~10 000 a。岩画上有牛、羊、马、野兽、图腾等图案,还有狩猎、放牧、耕耘等生产活动场景,这是藏族先民值得骄傲的文化,对研究藏民族的起源、文化发展、气候变化都具有重要的价值。

由此可见,在青藏高原隆升过程中地壳长期演化而遗留下来的遗产——地质遗迹多样性鲜明,是进行青藏高原第四纪地貌学、构造学、岩石学、冰川学、古生物学等多学科研究、科普教学的理想场所,对研究大地构造、活动断裂、第四纪地质地貌演化等有重要意义。这些地质遗迹与该区域内自然和文化遗产有着密切关系。通过清楚认识它们之间的相互关系,从而提高人们对地质过程、地质灾害、气候变化等当今社会面临的重大问题的认识,了解可持续发展的重要性和必要性。这些也为世界地质公园的申报与建设提供了具有国际价值的地质遗产^[16]。

2.2 范围边界明确单一

研究区西藏羊八井国家地质公园于2009年8月被授予第五批国家地质公园资格,于2019年被批准正式命名为国家地质公园;纳木错-念青唐古拉山风景区于2007年被准予列入中国国家自然遗产、国家自然与文化双遗产预备名录,于2009年被国务院批准为国家级风景名胜区。在此基础上,结合羊八井、纳木错和

念青唐古拉山等不同类别、不同级别的资源空间分布特征,充分兼顾区内保护、管理和旅游产业发展的实际需要,将西藏羊八井国家地质公园和纳木错-念青唐古拉山国家级风景名胜区有效整合^[17],能够科学有效地形成一个封闭的边界,具备足以发挥其职能的适当面积,这就属于中国法律法规认可的、明确单一的世界地质公园范围边界。

2.3 管理机构合法统一

研究区西藏羊八井国家地质公园由专门的地质公园管理部门管辖,纳木错-念青唐古拉山国家级风景名胜区由西藏当雄县纳念管理局管辖。在中共中央办公厅、国务院办公厅印发《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》的形势下,将整合为合法统一的自然保护地管理机构,这就符合世界地质公园应设立法律地位受国家立法承认的管理机构的要求。

2.4 可持续发展经济政策

研究区属拉萨市管辖。《西藏自治区“十三五”时期国民经济和社会发展规划纲要》《西藏自治区“十三五”时期产业发展总体规划》《西藏自治区“十三五”旅游业发展规划》等明确:区内将旅游业培育成国民经济的主导产业,将建设具有高原和民族特色的世界旅游目的地;大力发展与节能环保相关的重点产业,重点在天然饮用水、高原生物、旅游文化等领域分别培育全国知名品牌;构建完备的“吃、住、行、游、购、娱”要素体系,促进旅游业和其他产业融合发展。这些有关社区发展理念与《联合国教科文组织世界地质公园操作指南》要求相一致,就是将当地社区和居民作为利益相关者纳入的、适宜于地方可持续发展的经济政策。

2.5 符合利益相关者需求

研究区以西藏羊八井国家地质公园为载体、地质遗迹为主体的绿色经济发展理念,能够使当地居民认识到地质遗迹资源的宝贵和不可再生性,从而提高人们保护自然资源和生态环境的自觉性;同时增加当地居民就业率,改变传统的生产方式和资源利用方式,提高当地群众的生活水平,带动地方旅游经济的可持续发展,如围绕西藏羊八井国家地质公园,贯彻全域旅游发展理念,逐步让交通较为便利、旅游区位优势逐渐凸显,对该地区经济发展、产业结构优化调整、生态文明建设、脱贫攻坚具有重要意义。这也正是考虑当地民

众社会和经济方面的需求,保护他们生活在其中的景观和文化特性,符合不同利益相关者需求。

3 世界地质公园创建对策

3.1 建园方案构想

地质遗迹作为绿色自然资源,其可持续利用贯穿自然资源的保护、开发、使用、管理全过程,以满足经济发展对自然资源的需求为前提,以自然资源生态质量的保持和提高为重要体现,这不仅仅是经济问题,也是一个社会、文化、技术之间相互调和的平衡过程。因此,参照联合国教科文组织世界地质公园标准,结合研究区资源分布特征、地形地貌特征及区内建设发展现状,考虑资源、保护与管理等多方面、多角度的需要,构想“以地热田为主题的念青唐古拉山世界地质公园”建园方案如下。

在西藏羊八井国家地质公园基础上,部分补充纳木错-念青唐古拉山国家级风景名胜区来创建世界地质公园,既保留了原地质遗迹资源,又补充了纳木错、念青唐古拉山冰川地貌等丰富的地质遗迹,形成特有的盆-山构造体系的地热田主题世界地质公园,能够全面展示青藏高原人与自然和谐共生的体系,从不同角度解读青藏高原隆升演化、恢复古地理环境气候、探讨全球变化。建园范围不跨那曲市的班戈县与申扎县,仅位于拉萨市当雄县境内,不包括当雄县县城,包含当雄县内所有世界级地质遗迹和主要的国家级地质遗迹点。范围边界明确为北侧以县界为界,南侧以嘎日桥-恰江-109国道-江汤-冲噶村为界,东侧以拉宗-朗日-柴日给-冲噶一带为界,西侧以5922高程点-扎勒-杂尼果-嘎日桥一带为界,面积约4269 km²(图3)。此构想方案虽然存在纳木错地质遗迹完整性的欠缺,但是在实际操作上解决了世界地质公园跨区域联合申报、后期公园管理和协调等问题。

3.2 对策措施建议

(1)纳入政府工作日程,各部门合力推进创建工作。创建世界地质公园是政府行为,申报主体是当地政府。首先要得到政府的认可和支持,并作为当地政府重要工作来抓;政府相关部门的全力支持和配合,是申世迎检的坚强后盾,保证申报工作的有序进行。

(2)主动汇报沟通及寻求支持,准确把控创建切入点。创建世界地质公园遵照“官进官出”方式,由当

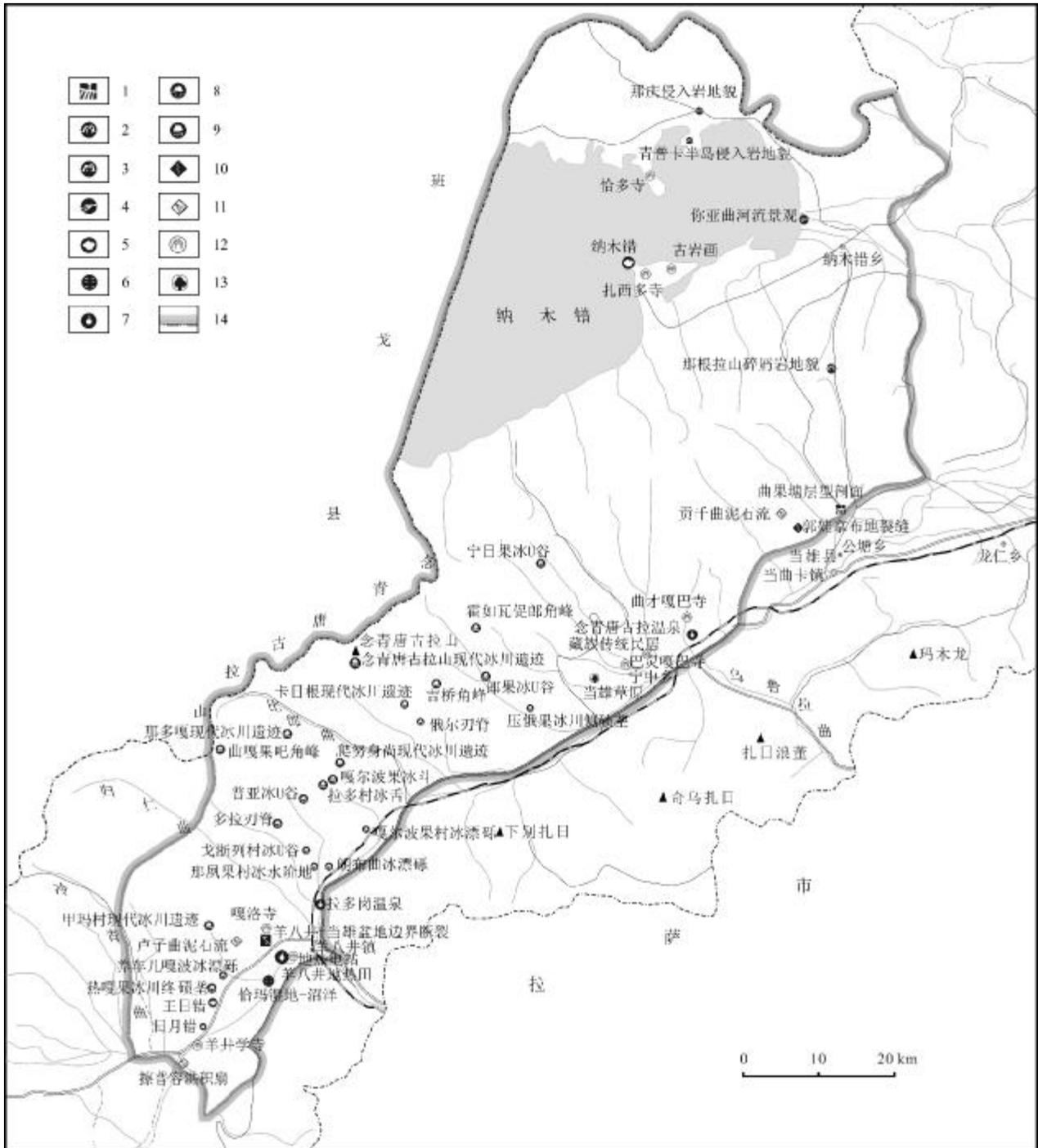


图3 念青唐古拉山世界地质公园建园方案构想图

Fig. 3 Construction plan of Nyanqentanglha Global Geopark

1—层型(典型)剖面(stratotype section); 2—侵入岩地貌(intrusive landform); 3—碎屑岩地貌(clastic landform); 4—河流(景观带)(river/landscape zone); 5—湖泊、潭(lake/pond); 6—湿地、沼泽(wetland/swamp); 7—泉(spring); 8—古冰川遗迹(ancient glacier remains); 9—现代冰川遗迹(modern glacier remains); 10—地裂缝(ground fissures); 11—泥石流(debris flow); 12—人文景观(cultural landscape); 13—自然景观(natural landscape); 14—世界地质公园建园方案边界(boundary of global geopark)

地政府向自治区林草局、国家林草局逐级汇报,恳请给予大力支持;邀请国内评审专家来地质公园考察给予

专业性的技术指导,不断完善和改进地质公园建设;然后委托国内世界地质公园申报权威机构制作申报

材料。

(3)走出去请进来,借鉴新晋成员的成功创建经验。自20世纪初联合国教科文组织推行“世界地质公园计划”以来,中国就是推行该计划最具成效的国家之一。到2021年4月中国已有41家成功入选世界地质公园,申报成功率100%;这些地质公园在建设上日臻完善,在保护生态环境、促进经济发展等方面也卓有成效。因此,有条件走出去请进来,借鉴成功的申报与开发建设经验;与国际国内世界地质公园结成姊妹公园,促进公园之间的交流与发展。

(4)完善地质公园管理制度与设施,普及地质公园理念与营造世界地质公园氛围。地学旅游发展的对象是广大群众,只有更多的旅游者认识到地质遗迹的不可再生性,认识到保护地质遗迹资源的责任和义务,才能真正做到“在保护中开发,在开发中保护”,建立解说牌以加大宣传力度,并且解说词要通俗易懂,容易让广大的旅游者接受^[18]。同时,健全完善的管理队伍、制度和措施,高标准建设与完善基础设施,加快区内纳木错、温泉等地质遗迹资源的开发与利用。

(5)扎实做好科研科普工作,加强地质遗迹保护。地质遗迹是发展区域旅游产业的主要动力源,与其他资源相比有着其自身的独特性,因此,应系统地进行区内地质遗迹资源的调查、评价和科学研究^[19-20],并加强与高等院校和科研机构的联系,在区内建立教学和实习基地,有针对性地开展冰川、地热等保护利用方案,才能制定一系列行之有效的保护管理措施。

(6)围绕地学旅游核心提升特色旅游产品内涵,推动地方产业发展。地质旅游资源是自然资源的重要组成部分,是旅游业的重要支柱。研究区位于以拉萨为核心的“一环一带”的精品旅游线路上,其地质旅游资源有着明显的区域特色。应围绕地学旅游核心充分整合各种旅游资源,加强地质、人文及生态的结合度,开发突显地方特色的旅游产品,满足游客多样化的需求^[21],从而为西藏第三产业的发展带来新的生机和活力,促进西藏的经济发展和进步。

(7)加强实用技术扶贫工作,合理定位公园开发与贫困社区发展之间的关系。明确地质公园在推进旅游业、解决就业以及促进教育、科研和区域可持续发展等方面发挥的关键作用,引导鼓励当地居民共同参与。加强对管理和导游人员的培训,提高其地学知识水平,

普及地质公园理念;通过提供地学旅游就业培训等方式,为居民直接提供就业岗位,促进地质公园与贫困社区的协同发展^[22]。

4 结论与讨论

世界地质公园是联合国教科文组织三大品牌之一,是区域绿色地质遗迹资源点石成金的“聚宝盆”与绿色发展的“金招牌”。研究发现,区内地质遗迹资源主要有以纳木错、羊八井地热田和念青唐古拉山冰川地貌等为代表的3大类7类11亚类,类型丰富、数量众多、品位高、组合好、观赏性强。以星罗棋布的湖泊景观、独树一帜的地热温泉景观和类型多样的冰川遗迹景观为主,辅以地层剖面、侵入岩地貌、岩溶地貌等配套资源,具有极高的科学价值、美学价值和开发利用价值,在全球范围具有典型性、稀有性、完整性和国际对比意义。从自然文化、范围边界、管理机构、可持续发展经济政策和利益相关者需求等方面来看,念青唐古拉山东段具备《联合国教科文组织世界地质公园操作指南》中有关世界地质公园申报的前提条件,创建优势显著、切实可行,宜采用“以地热田为主题的念青唐古拉山世界地质公园”建园方案,采取政府支持、借鉴经验、普及理念、科研保护、旅游产业和社区发展等多维对策。世界地质公园创建需要不断完善与提升,因此,在今后的创建工作中,以西藏羊八井国家地质公园为基础,如何处理好尚存在的地质遗迹资源完整性、地热资源开发与保护协调性、多种保护地管理统一性等问题与不足,这些都有待进一步深入分析、探讨,从而创建日臻完善的念青唐古拉山世界地质公园,更好地促进地方生态文明建设、脱贫攻坚与经济可持续发展。

致谢:参加本文项目工作的成员还有杨林、宋伟、覃爽等。在项目野外调查、资料收集过程中,得到了西藏自治区地质调查院贺丽、旺姆等工作人员的大力支持,在此表示诚挚的感谢!

参考文献(References):

- [1]姜建军,王文.地质遗产可持续利用探讨[J].国土资源科技管理,2001,18(4):6-9.

Jiang J J, Wang W. A discussion on sustainable utilization of geological

- legacy[J]. *Management Geological Science and Technology*, 2001, 18(4): 6-9.
- [2] 赵鸿燕, 张天义, 曹希强. 地质遗迹资源属性浅析[J]. *地质与资源*, 2007, 16(1): 78-80.
Zhao H Y, Zhang T Y, Cao X Q. A preliminary study on the attribute of geological relic resources [J]. *Geology and Resources*, 2007, 16(1): 78-80.
- [3] 赵逊, 赵汀. 从地质遗迹的保护到世界地质公园的建立[J]. *地质论评*, 2003, 49(4): 389-399.
Zhao X, Zhao T. The process from the geoheritage conservation to the construction of world geoparks[J]. *Geological Review*, 2003, 49(4): 389-399.
- [4] 姜建军. 国家地质公园——地质圣地共同财富[J]. *国土资源科技管理*, 2002, 19(1): 41-46.
Jiang J J. National geoparks: Sacred places of geology and common wealth of China[J]. *Management Geological Science and Technology*, 2002, 19(1): 41-46.
- [5] 章秉辰, 雷正化. 西藏羊八井国家地质公园地质遗迹资源特征及建设方案策划[J]. *科技和产业*, 2012, 12(7): 127-131.
Zhang B C, Lei Z H. Features of Tibet Yangbajain National Geopark and construction scheme design[J]. *Science Technology and Industry*, 2012, 12(7): 127-131.
- [6] 王根厚, 周详, 曾庆高, 等. 西藏中部念青唐古拉山链中生代以来构造演化[J]. *现代地质*, 1997, 11(3): 298-304.
Wang G H, Zhou X, Zeng Q G, et al. Tectonic evolution of Nyainqentanghla chain since Mesozoic in Tibet [J]. *Geoscience — Journal of Graduate School, China University of Geosciences*, 1997, 11(3): 298-304.
- [7] 胡道功, 吴珍汉, 叶培盛, 等. 西藏念青唐古拉山冈长质片麻岩锆石 U-Pb 年龄[J]. *地质通报*, 2003, 22(11/12): 936-940.
Hu D G, Wu Z H, Ye P S, et al. SHRIMP U-Pb ages of zircons from dioritic gneiss in the Nyainqentanghla Mountains, Tibet[J]. *Geological Bulletin of China*, 2003, 22(11/12): 936-940.
- [8] 赵希涛, 朱大岗, 严富华, 等. 西藏纳木错末次间冰期以来的气候变迁与湖面变化[J]. *第四纪研究*, 2003, 23(1): 41-52.
Zhao X T, Zhu D G, Yan F H, et al. Climatic change and lake-level variation of Nam Co, Xizang since the last interglacial stage [J]. *Quaternary Sciences*, 2003, 23(1): 41-52.
- [9] 杨期隆, 辛奎德. 西藏羊八井地热田简介[J]. *地质论评*, 1991, 37(3): 283-287.
Yang Q L, Xin K D. A brief introduction to the geothermal system of the Yangbajain geothermal field [J]. *Geological Review*, 1991, 37(3): 283-287.
- [10] 吴中海, 赵希涛, 朱大岗, 等. 念青唐古拉山西布冰川区的冰碛层[J]. *地球学报*, 2002, 23(4): 343-348.
Wu Z H, Zhao X T, Zhu D G, et al. The moraines of Xibu glacier area in the Nyainqentanghla Range [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2002, 23(4): 343-348.
- [11] 吴中海, 赵希涛, 江万, 等. 念青唐古拉山东南麓更新世冰川沉积物年龄测定[J]. *冰川冻土*, 2003, 25(3): 272-274.
Wu Z H, Zhao X T, Jiang W, et al. Dating Result of the Pleistocene glacial deposits on the southeast foot of Nyainqentanghla Mountains[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25(3): 272-274.
- [12] 王鑫, 张洁. 念青唐古拉——当神山遇见冰川[J]. *中国西部*, 2015(19): 58-65.
Wang X, Zhang J. Nyainqentanghla Mountains: When the sacred mountain meets the glacier [J]. *Western China*, 2015(19): 58-65. (in Chinese)
- [13] 吴中海, 赵希涛, 吴珍汉, 等. 西藏当雄-羊八井盆地的第四纪地质与断裂活动研究[J]. *地质力学学报*, 2006, 12(3): 305-316.
Wu Z H, Zhao X T, Wu Z H, et al. Quaternary geology and faulting in the Damxung-Yangbajain Basin, southern Tibet [J]. *Journal of Geomechanics*, 2006, 12(3): 305-316.
- [14] 唐升贵, 刘发祥, 赵振远. 西藏念青唐古拉山东段冰湖的时空分布特征及其影响因素探讨[J]. *科技资讯*, 2014, 12(16): 35-36, 38.
Tang S G, Liu F X, Zhao Z Y. Discuss on the temporal and spatial distribution characteristics and impact factors of the eastern Nyainqentanghla Mountain glacier lakes in Tibet [J]. *Science & Technology Information*, 2014, 12(16): 35-36, 38.
- [15] 曲广鹏, 参木友, 赵景学, 等. 念青唐古拉山东南坡植被群落数量生态分析及群落多样性[J]. *生态环境学报*, 2015, 24(10): 1618-1624.
Qu G P, Can M Y, Zhao J X, et al. Quantitative ecology and species diversity of the vegetation in southeast slope of the Nyenqentanghla Mountain [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2015, 24(10): 1618-1624.
- [16] 张建平. 解析联合国教科文组织世界地质公园标准[J]. *地质论评*, 2020, 66(4): 874-880.
Zhang J P. Interpretation of the criteria of UNESCO global geopark [J]. *Geological Review*, 2020, 66(4): 874-880.
- [17] 陈斌, 杨更, 向贵府, 等. 地质公园规划功能分区相关问题及其优化[J]. *地质论评*, 2019, 65(2): 438-444.
Chen B, Yang G, Xiang G F, et al. Relevant problems in function division planning of geoparks and optimization measures[J]. *Geological Review*, 2019, 65(2): 438-444.
- [18] 段丽萍. 西藏地质旅游资源概况及开发建议[J]. *地质通报*, 2006, 25(1/2): 302-307.
Duan L P. Geological tourism resources in Tibet, China, and suggestions of their exploitation [J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25(1/2): 302-307.

- [30]吴建平, 明跃红, 张恒荣, 等. 长白山天池火山区的震群活动研究[J]. 地球物理学报, 2007, 50(4): 1089-1096.
Wu J P, Ming Y H, Zhang H R, et al. Earthquake swarm activity in Changbaishan Tianchi volcano [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2007, 50(4): 1089-1096.
- [31]Castro J M, Dingwell D B. Rapid ascent of rhyolitic magma at Chaitén volcano, Chile [J]. Nature, 2009, 461(7265): 780-783.
- [32]Kyong-Song R, Hammond J O S, Chol-Nam K, et al. Evidence for partial melt in the crust beneath Mt. Paektu (Changbaishan), Democratic People's Republic of Korea and China [J]. Science Advances, 2016, 2(4): e1501513.
- [33]Jiang G Z, Hu S B, Cui T R, et al. Thermal structure beneath the Mt. Changbai volcanic area, northeastern Asia [J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2021.
- [34]上官志冠, 郑雅琴, 董继川. 长白山天池火山地热区逸出气体的物质来源[J]. 中国科学: D辑地球科学, 1997, 27(4): 318-324.
Shangguan Z G, Zheng Y Q, Dong J C. Material sources of escaped gases from Tianchi volcanic geothermal area, Changbai Mountains [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 1997, 40(4): 390-397.
- [35]李霓, 刘若新, 魏海泉, 等. 长白山天池火山近代喷发中气象站组熔岩-碎屑岩流研究[J]. 地质论评, 1999, 45(S1): 272-277.
Li N, Liu R X, Wei H Q, et al. Study of modern erupted lava-pyroclastic flow of Qixiangzhan Formation of Tianchi volcano, Changbai Mountains [J]. Geological Review, 1999, 45(S1): 272-277.
- [36]潘波, 樊祺诚, 仲广培, 等. 长白山天池火山气象站期喷发类型研究[J]. 地震地质, 2013, 35(3): 542-552.
Pan B, Fan Q C, Zhong G P, et al. A discussion on the type of the Qixiangzhan eruption of Changbaishan Tianchi volcano, Northeast China [J]. Seismology and Geology, 2013, 35(3): 542-552.
- [37]Yoshinobu A S, Okaya D A, Paterson S R. Modeling the thermal evolution of fault-controlled magma emplacement models: Implications for the solidification of granitoid plutons [J]. Journal of Structural Geology, 1998, 20(9/10): 1205-1218.
- [38]De Silva S L, Gregg P M. Thermomechanical feedbacks in magmatic systems: Implications for growth, longevity, and evolution of large caldera-forming magma reservoirs and their supereruptions [J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2014, 282: 77-91.
- [39]刘强, 盘晓东, 魏海泉, 等. 长白山天池火山喷发序列研究[J]. 中国地震, 2008, 24(3): 235-246.
Liu Q, Pan X D, Wei H Q, et al. A borehole study on the eruptive sequence from the Tianchi volcano, Changbai Mountain [J]. Earthquake Research in China, 2008, 24(3): 235-246.
- [40]李霓, Métrich N, 樊祺诚. 长白山天池火山全新世3期浮岩长石斑晶中熔体包裹体高温热台实验研究[J]. 地震地质, 2007, 29(3): 459-469.
Li N, Métrich N, Fan Q C. Heating stage experiments of melt inclusions in feldspars of pumice from three eruptions of Changbaishan Tianchi volcano in Holocene [J]. Seismology and Geology, 2007, 29(3): 459-469.
- [41]金伯禄, 张希友. 长白山火山地质研究[M]. 延吉: 东北朝鲜民族教育出版社, 1994: 1-223.
Jin B L, Zhang X Y. Research on the volcanic geology in Mount Changbai [M]. Yanji: Northeast China Korean Nation Education Publishing House, 1994: 1-223. (in Chinese)
- [42]许模, 王迪, 蒋良文, 等. 岩土体导热系数研究进展[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(4): 421-427, 433.
Xu M, Wang D, Jiang L W, et al. Review on thermal conductivity coefficient of rock and soil mass [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2011, 33(4): 421-427, 433.

(上接第 573 页/Continued from Page 573)

- [19]吴学成, 李江风, 方世明, 等. 地质遗迹保护视角下的地质公园旅游开发构想——以克什克腾世界地质公园阿斯哈图石林园区为例[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(4): 187-193.
Wu X C, Li J F, Fang S M, et al. On the development conception of geopark from the perspective of geological relics protection: A case of Asihatu Stone Forest scenic spot in Hexigten Global Geopark [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2014, 28(4): 187-193.
- [20]李倩, 田飞, 田明中. 内蒙古翁牛特地质公园地质遗迹分布及其保护意义[J]. 地质与资源, 2016, 25(1): 97-100.
Li Q, Tian F, Tian M Z. Distribution and conservation of the geoheritages in Ongniud Geopark, Inner Mongolia [J]. Geology and Resources, 2016, 25(1): 97-100.
- [21]闫远方, 武法东, 韩晋芳, 等. 创建沂蒙山世界地质公园的可行性分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(S2): 296-299.
Yan Y F, Wu F D, Han J F, et al. Feasibility analysis of construction of Mount Yimengshan UNESCO global geopark [J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(S2): 296-299.
- [22]汪冰, 余振国, 李闽. 地质公园矿山公园建设助推脱贫攻坚效益评估[J]. 中国国土资源经济, 2018, 31(11): 21-25, 31.
Wang B, Yu Z G, Li M. Benefit evaluation on the construction of geo-park and mine park promotes poverty alleviation [J]. Natural Resource Economics of China, 2018, 31(11): 21-25, 31.