

DOI: 10.19657/j.geoscience.1000-8527.202511240160

北京市门头沟区地质遗迹类型、 评价及保护利用策略

吴家悦¹, 徐尚智¹, 曹颖¹, 郑艺龙¹, 孙霖¹, 宋庆伟², 孙森³, 贺瑾瑞^{1,*}

(1. 北京市地质灾害防治研究所, 北京 100120; 2. 中国地质科学院, 北京 100037; 3. 中国地质环境监测院, 北京 100081)

摘要: 门头沟区位于北京西山, 地质遗迹类型丰富、特征典型, 但缺乏系统性资源摸底与综合价值评价, 制约了其科学保护与合理利用。本文基于野外详细调查, 首次查明了全区地质遗迹资源家底并划分类型, 运用层次分析法构建包含自然属性、价值属性、保护条件与利用条件4个评价项目、13个评价因子的定量评价体系, 评定旅游资源等级, 结合对比分析法深化特品级遗迹价值研究, 提出保护利用建议。结果表明, 查明全区地质遗迹110处, 划分为7大类、20类和30亚类; 旅游资源等级为特品级3处、优良级27处、普通级80处, 特品级遗迹庄户洼雾迷山期溢出丘、下苇甸寒武纪剖面 and 立石台下马岭组剖面价值优势极为突出, 具备国家级或世界级地质遗迹潜质; 提出地质遗迹分级保护、信息管理系统建设、地学旅游产品开发和地质公园建设等保护利用策略。本研究不仅为门头沟区地质遗迹的有效保护、合理利用与地学旅游发展提供科学依据, 也为类似地区地质遗迹综合研究提供参考。

关键词: 地质遗迹; 层次分析法; 地质公园; 地学旅游; 门头沟

中图分类号: P931 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8527(2026)04-1269-12

Types, Evaluation, and Conservation–Utilization Strategies of Geoheritages in Mentougou District, Beijing

WU Jiayue¹, XU Shangzhi¹, CAO Ying¹, ZHENG Yilong¹, SUN Lin¹, SONG Qingwei², SUN Miao³, HE Jinrui^{1,*}

(1. Beijing Institute of Geological Hazard Prevention, Beijing 100120, China; 2. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. China Institute of Geo-Environment Monitoring, Beijing 100081, China)

Abstract: Mentougou District, within Beijing's Western Hills, boasts diverse and characteristic geoheritages. However, the lack of a systematic inventory and comprehensive value assessment has long hindered their scientific conservation and rational utilization. Through detailed field investigations, this study established the first complete inventory and classification system for the district's geoheritage. A quantitative evaluation system was developed using the Analytic Hierarchy Process (AHP), incorporating four dimensions (natural attributes, value attributes, conservation conditions, and utilization conditions) and thirteen factors to assess tourism resource grades. A comparative analysis was further conducted to elucidate the value of special-grade sites,

收稿日期: 2025-11-24; 修回日期: 2026-03-29; 编辑: 袁茂文。

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目 (DD20190074); 北京市规划和自然资源委员会门头沟分局地质遗迹调查项目 (17CNIC035941-99)。

作者简介: 吴家悦, 男, 工程师, 1996年出生, 地质工程专业, 主要从事地质遗迹调查和地质文化村建设等工作。

Email: 1397197744@qq.com。

* 通信作者: 贺瑾瑞, 男, 正高级工程师, 1984年出生, 主要从事区域地质调查及地质遗迹调查工作。Email: laurry@qq.com。

引用格式: 吴家悦, 徐尚智, 曹颖, 等. 北京市门头沟区地质遗迹类型、评价及保护利用策略 [J]. 现代地质, 2026, 40 (4): 1269-1280. DOI: 10.19657/j.geoscience.1000-8527.202511240160.

WU Jiayue, XU Shangzhi, CAO Ying, et al. Types, Evaluation, and Conservation–Utilization Strategies of Geoheritages in Mentougou District, Beijing [J]. GEOSCIENCE, 2026, 40 (4): 1269-1280. DOI: 10.19657/j.geoscience.1000-8527.202511240160.

informing targeted conservation and utilization strategies. The results show that 110 geoheritages were identified and classified into 7 main categories, 20 categories, and 30 subcategories. They were categorized into 3 special-grade, 27 excellent-grade, and 80 ordinary-grade tourism resources. The three special-grade sites, namely the Zhuanghuwa Wumishan Period overflow mounds, the Xiaweidian Cambrian geological event section, and the Lishitai Xiamaling Formation section, exhibit outstanding value with the potential to meet national or world-class geoheritage standards. Accordingly, strategies are proposed, including hierarchical conservation, building an information management system, developing geotourism products, and promoting geopark establishment. This study provides a scientific basis for the effective conservation, rational utilization, and geotourism development of geoheritage in Mentougou District, while offering a reference for similar research in other regions.

Key words: geoheritage; analytic hierarchy process; geopark; geotourism; Mentougou

0 引言

地质遗迹是记录地质变迁的自然现象,是人类认知地球科学的天然载体,也是构成旅游景观的宝贵资源^[1-2],兼具科学研究、科普教育、旅游开发等多元价值,对维系区域生态平衡、提升公众科学素养、促进社会经济发展作用重大。门头沟区地处北京西山核心区域,经历了漫长复杂的地质演化史,尤以中生代以来的构造运动和岩浆活动最为频繁,塑造了地层剖面、构造形迹、古生物化石、地貌景观和岩石矿物等类型齐全、特征典型的地质遗迹,其资源丰富性与景观独特性在华北地区具有代表性,具备极高的科学研究与保护利用潜力。

北京市自1988年起陆续开展地质遗迹专项调查与保护利用研究^[3-4],已初步查明全市地质遗迹特征与分布,构建基础评价体系,并推动多个世界级、国家级地质公园建设,在房山、延庆等区成效显著^[5]。然而,地质遗迹资源富集、禀赋突出的门头沟区相关工作较为匮乏,以往研究多局限于全市普查层面,仅初步掌握二十余处重要地质遗迹信息,对全区地质遗迹的类型划分、空间分布、核心特征及综合价值缺乏系统性梳理与深度剖析。此外,本区的地质公园创建工作仍为空白,大量珍贵地质遗迹长期零散分布于山野,面临保护措施缺失、综合价值难以发挥等问题。因此,开展系统性的门头沟区地质遗迹调查评价与保护利用研究势在必行。

2019年,北京市地质研究所完成了门头沟区地质遗迹详细调查项目,首次对全区开展1:5万地质遗迹摸底调查与梳理,查明地质遗迹自然特

征、价值属性和保护利用现状。本文以该项目为基础,将查明的110处地质遗迹进行详细分类,采用层次分析法定量评价与重要地质遗迹对比分析,对地质遗迹的自然、价值、保护与利用属性进行深入挖掘和综合评价,评定地质遗迹旅游资源等级,结合区域发展实际提出针对性的保护利用策略^[6-7]。本研究弥补了门头沟区地质遗迹调查评价工作的不足,完善地质遗迹研究体系,为推动地质公园规划建设、促进地学旅游发展提供科学依据,对促进区域自然资源保护、科普教育与社会经济协同发展具有重要的理论与实践意义^[8-9]。

1 研究区概况

门头沟区位于北京西郊,地处军都山脉与太行山脉交汇部位,总面积1448.9 km²,山地面积占98.5%,地势自西北向东南渐缓,地形起伏、沟壑纵横,最高、最低海拔分别为灵山2303 m、兔儿庄73 m,主要山峰有妙峰山、髻髻山、百花山等^[10]。区属大陆性季风气候,春干秋湿、夏热冬寒,年平均气温11.6℃,年均降水量约600 mm,无霜期约200天。主要过境河流有海河水系的永定河和清水河,地下水情况复杂,西部山区主要为岩溶裂隙水、火山岩和碎屑岩裂隙水,东部平原区以第四系孔隙水为主^[11]。

门头沟区地层出露较全,除古生界志留系和泥盆系缺失外,自中元古界蓟县系起的各时代地层均有出露,以中生界侏罗系最为发育,沉积岩主要有蓟县—青白口系白云岩、页岩,寒武—奥陶系灰岩以及侏罗—白垩系砾岩、砂岩、火山碎屑岩。构造单元属燕山台褶带,中生代以来以燕山运动为主的构造运动频繁,又产生过剧烈的岩浆活动造山运

动,形成一系列大规模褶皱和断裂构造^[12]。褶皱以北东向规模最大,东西向和北西向次之,主要有门头沟复式背斜、青白口半穹隆、下苇甸穹隆。断裂构造主要有北东向的沿河城大断裂、张家庄断裂,北北东向的珠窝断裂束、妙峰山断裂以及北西向的横岭断裂。岩浆岩以安山岩、流纹岩、玄武岩等喷出岩分布较广,辉长岩、花岗岩、闪长岩等侵入岩以岩株、岩枝、岩床等形式零星分布,如上苇甸花岗闪长岩体、白羊石虎花岗岩体和棋磐岩辉长岩体^[13]。复杂的地质条件和构造运动造就了本区丰富多彩的地质遗迹资源(图1),既有科学价值颇高的地层剖面 and 构造形迹,也有美学价值突出的山体地貌和水体景观,为地学研究、科普教育和地学旅游发展奠定坚实基础。

2 地质遗迹类型与特征

2.1 地质遗迹类型划分

通过收集前人研究成果、野外调查、遥感解译等手段,查明门头沟区地质遗迹共110处。目前主

流的地质遗迹分类方案为原国土资源部于2016年编制的《国家地质公园规划编制技术要求》和2017年发布的《地质遗迹调查规范》(DZ/T 0303—2017),考虑本次划分主要以推动地学旅游发展为导向,因此主要参考前者^[14]。根据地质遗迹的形成原因、产出形态和价值属性等因素,将110处地质遗迹详细划分为7大类,20类和30亚类,其中地质剖面大类38处、地貌景观大类33处、地质构造大类12处、环境地质遗迹景观大类12处、古生物化石大类6处、水体景观大类6处、矿物岩石与矿床大类3处(表1)。

2.2 典型地质遗迹特征

频繁的构造运动、岩浆活动和各种外力地质作用造就了门头沟区种类丰富、成因复杂、各具特色的地质遗迹资源。本区地层出露齐全、特征典型,一系列标准地层创名于此,例如著名的青白口系、下马岭组、窑坡组、马兰组等^[15-16],留下了斋堂北上更新统世马兰组、九龙山南坡侏罗系九龙山组、碣石村西山纪下马岭组等层型剖面

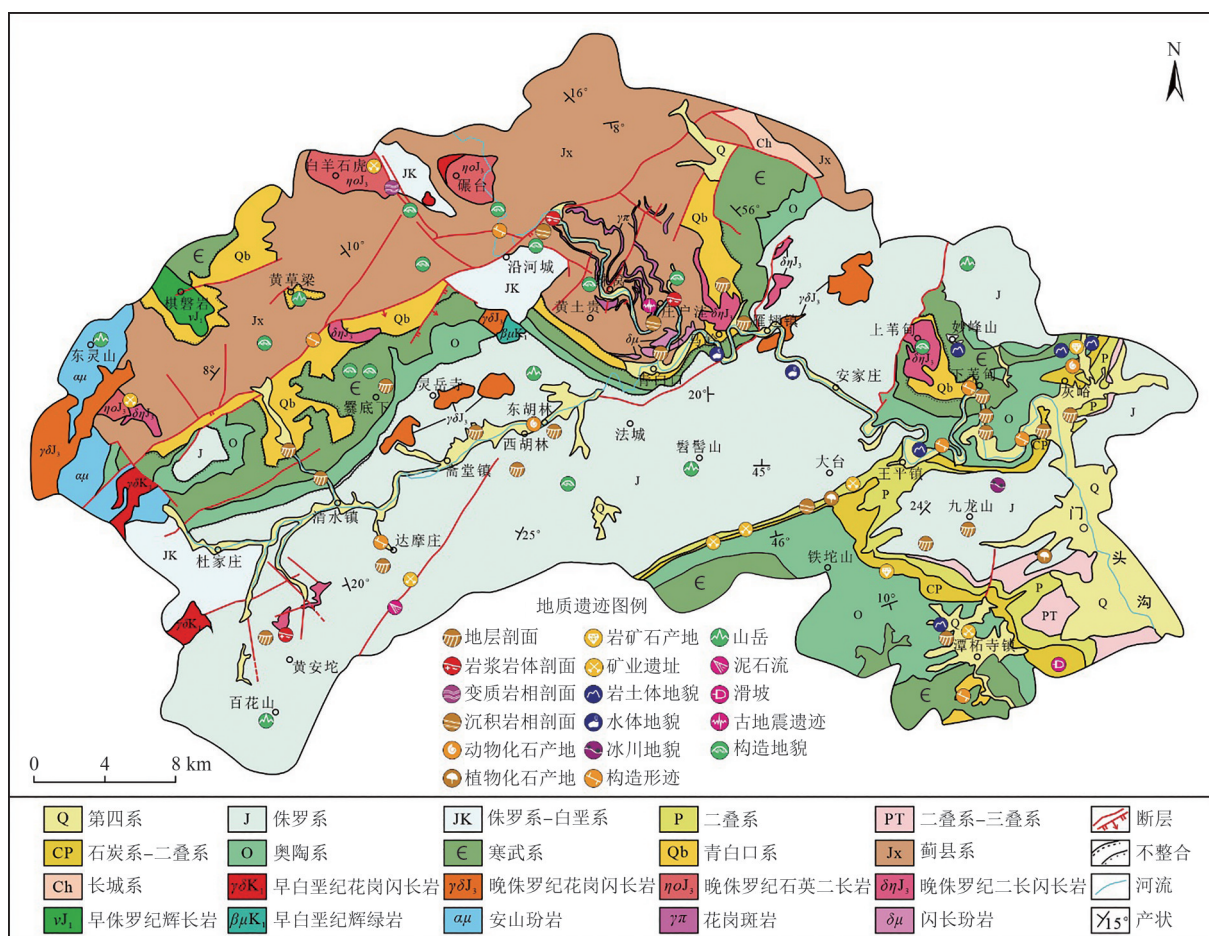


图1 门头沟区地质图及地质遗迹分布(据1:5万北京市门头沟区地质图修编)

Fig. 1 Geological map and distribution of geoheritages in Mentougou District

表 1 门头沟区地质遗迹类型划分表

Table 1 Classification of geheritages types in Mentougou District

大类	类	亚类	地质遗迹
地质剖面	地层剖面	层型剖面	斋堂北晚更新世马兰组、九龙山南坡侏罗纪九龙山组、九龙山南坡侏罗纪龙门组、潭柘寺东山梁二叠—三叠纪双泉组、碣石村西山纪下马岭组层型剖面
		次层型剖面	青白口村西青白口纪景儿峪组、丁家滩村北奥陶纪冶里组、丁家滩村北奥陶纪亮甲山组、色树坟村东奥陶纪马家沟组次层型剖面、下苇甸寒武纪地质事件剖面
		区域地层剖面	西胡林晚更新世黄土、爨柏景区晚更新世冲洪积层、东岭村北白垩纪张家口组、岳家坡侏罗纪窑坡组、立石台西山纪下马岭组地层剖面、木城涧侏罗纪龙门组砾岩层、沿河城东永定河四级河流阶地等
	岩浆岩剖面	典型侵入岩	庄户洼燕山期闪长玢岩脉、向阳口燕山期花岗岩斑岩脉
		其他火山岩剖面	黄安坨燕山期火山集块岩剖面
	变质岩相剖面	典型接触变质带	碾台、黄土咀燕山期花岗岩岩体接触变质带
	沉积岩相剖面	沉积构造	庄户洼蓟县纪雾迷山组波痕、清水涧侏罗纪窑坡组巨型波痕、庄户洼蓟县纪雾迷山期叠层石、丁家滩寒武纪张夏组生物丘
地质构造	构造形迹	断层	珠窝村东永定河南岸断层、柏峪隧道沿河城断裂、沿河城东北西向断层
		褶皱与变形	野溪褶皱、谷积山背斜、碾台南蓟县纪雾迷山组单斜构造
		不整合面	下苇甸古生界与新元古界不整合面、洪水峪侏罗纪髫髻山组与窑坡组不整合面、柏峪台古生界与新元古界不整合面、王平镇石炭纪太原组与奥陶纪马家沟组不整合面、芹峪运动不整合面
古生物化石	古人类	古人类化石	东胡林人遗址、桑峪古人类遗址
	古植物	古植物化石	岳家坡侏罗纪门头沟植物群、清水涧侏罗纪窑坡组木化石群、灰峪石炭—二叠纪古生物化石、火村侏罗纪窑坡组植物化石
矿物岩石与矿床	典型矿物岩石产地	典型岩石产地	赵家台叶蜡石产地、赵家台东紫砚石矿层、上岭村侏罗纪窑坡组煤层
地貌景观	岩土体地貌	可溶岩地貌	潭柘寺镇八奇洞、韭园溶洞、灰峪仙人洞、柏峪台溶洞、草甸水崖柏洞、军庄天坑、铁坨山白骨洞、下苇甸昆仑洞等
	火山地貌	火山机构	黄塔燕山期火山口
	冰川地貌	古冰川	斜河涧村白龙沟古冰川漂砾
	构造地貌	穹隆	下苇甸穹隆、青白口半穹隆
		峡谷	永定河峡谷、南石洋峡谷、响水沟峡谷、石羊沟峡谷
		嶂谷	龙门涧嶂谷、镊子港嶂谷、爨底下一线天、龙门口一线天
		夷平面	黄塔村东古夷平面
	其它陆地地貌	山岳	东灵山、百花山、黄草梁、妙峰山、独山、狗牙山
水体景观	河流	风景河段	永定河出山口段
	瀑布	冰瀑	安家庄冰瀑、通州峪冰瀑、双龙峡冰瀑
	湖、潭	潭	京西十八潭
	泉	泉	潭柘寺泉
环境地质遗迹景观	地震遗迹	古地震遗迹	庄户洼雾迷山期溢出丘
	地质灾害遗迹	泥石流	达摩沟泥石流
		滑坡	戒台寺滑坡
		地面塌陷	马栏南沟地面塌陷
	采矿遗迹	采矿遗迹	大榆木沟铁铜锌铅多金属矿、木城涧煤矿、王平煤矿、大台煤矿、杨家沟煤矿、木城涧千坑矿业遗址、白羊石虎花岗岩采石场遗址、灰峪石灰窑遗址

以及下苇甸寒武纪海侵地质事件剖面。侏罗纪的多次火山喷发形成了南大岭玄武岩山体、百花山和髫髻山火山熔岩地貌，新构造运动导致地壳反复抬升，在河流下切作用下形成了夷平面、峡谷、溶洞、河流阶地、山岳等地貌景观。芹峪运动、燕山运动等大型构造运动留下了下苇甸古生界与新元古界不整合面、野溪褶皱、沿河城断裂等典型构造形迹。本区还是丰富的古生物化石产地、矿产资源产地，同时发育罕见的古地震遗迹和第四纪冰川遗迹。其中一些地质遗迹在相同类型、同一地质单元或一定区域范围内具有代表性或独特性，能够清晰反映地质作用或地质演化过程的主要特征，具有显著的科学价值、美学价值和教育意义（表2；图2）。

表 2 门头沟区典型地质遗迹特征及价值
Table 2 Characteristics and value of typical geoheritages in Mentougou District

地质遗迹名称	发育特征	综合价值
永定河峡谷	峡谷两侧山势雄伟,风景壮丽,几乎涵盖了自中元古代以来的所有地层,聚集了三大岩类的所有岩石类型。可见奇峰耸立的大山、宽阔浑远的山原以及台地、盆地、穹隆等典型地貌	第四纪地貌演化和地质构造研究、地学旅游
龙门涧嶂谷	嶂谷长达 15 km,宽 5 ~ 50 m,总体狭窄,局部开阔,两壁近直立,平均高差约 200 m。地层为雾迷山组白云岩,产状平缓,垂直节理明显。峰林、峰丛和溶洞发育,溪水涓流不断,常见飞瀑和跌水	第四纪地貌演化研究、地学旅游
东灵山	东灵山是北京最高峰,海拔 2 303 m,既有石灰岩系的岩溶地貌,又有火山岩系的峻岭怪石。灵山主峰由中生代燕山期安山玢岩组成,受物理风化和流水侵蚀作用,节理裂隙发育,形成千姿百态的地貌景观	中生代岩浆活动及新生代地貌演化研究、地学旅游
爨柏景区晚更新世冲洪积层	砂砾石层剖面厚约 30 m,宽约 1 km,规模宏大,砾石含量约 70%,局部有砂质夹层和透镜体。砾石为洪积物,成分以灰岩、白云岩为主,直径多小于 10 cm,磨圆差。剖面发育沉积层理、平行层理、斜层理等	晚更新世古气候研究、第四纪地质教学实习
野溪褶皱	位于上苇甸穹隆东南侧,出露于奥陶系马家沟组中厚层灰岩,箱状褶皱,高约 30 m,宽约 50 m,发育向斜、背斜,轴面近直立,根据上苇甸穹隆核部侵入闪长岩锆石测年确定形成为 1.42 亿年,属早白垩世燕山运动产物	构造地质学研究及科普教学、地学旅游
向阳口燕山期花岗斑岩脉	花岗斑岩脉沿近水平地层顺层侵入,下部为蓟县系高于庄组白云岩,上部为杨庄组白云岩,脉体厚约 30 m,水平延伸可达 3 km,规模宏伟,岩体风化为红色,辨识度极高	燕山期岩浆活动研究、地质实习及地学旅游
清水涧侏罗纪窑坡组巨型波痕	发育于侏罗系窑坡组深灰色碳质粉砂岩,波痕近圆形,波幅 20 ~ 30 cm,波峰间距约 1 m,方向性不明显,指示了窑坡组河湖相沉积环境,沉积部分近于盆地中心,岩层向上发育	窑坡组沉积相研究、科普教学、地学旅游
斜河涧村白龙沟古冰川漂砾	沟谷有一方形砾岩漂砾规模最大,体积 7 m × 6 m × 5.5 m,为侏罗纪火山凝灰质砾岩,顶部磨光面平坦光滑,发育明显的条状擦痕,推测产于 250 万年前的第四纪冰川时期,附近亦分布其他冰川漂砾	第四纪冰川重要证据、古气候研究、科普研学
王平煤矿遗址	原“京西八大矿”之一,1958 年建设投产,曾是一座年产出百万吨级优质烟煤和无烟煤的大矿,煤田总面积达 13.5 km ² ,产煤层位为侏罗系窑坡组。已于 1994 年关闭,遗址可见红砖楼房、厂房、选煤车间、运煤铁路等建筑	窑坡组沉积与聚煤作用研究、地学旅游
安家庄、双龙峡、通州峪冰瀑	区内发育多处天然冰瀑,宽 10 ~ 20 m,高 10 ~ 50 m,场面壮观、景色秀美,冰体洁白如玉,冰笋、冰凌、冰花清晰可见,冻结的溪流形成蜿蜒曲折的冰河,似白玉带散落山间	山区泉水和地下水分布研究、地学旅游
下苇甸寒武纪地质事件剖面	剖面全长 4 km,完整揭露了寒武系昌平组、馒头组、张夏组和炒米店组地层,风暴沉积构造发育显著。岩性特征主要为昌平组灰色豹皮灰岩、馒头组紫红色粉砂质泥岩、张夏组鲕粒状灰岩以及炒米店组竹叶状灰岩	寒武纪沉积学及古气候研究、地质教学实习、地学旅游
庄户洼雾迷山期溢出丘	溢出丘发育于雾迷山组燧石条带白云岩,呈圆丘形态,高度约 20 cm,直径约 2 m,发育环状裂隙和放射状裂隙,裂隙宽 2 ~ 3 cm,充填黑色燧石条带	全球罕见且出露完整、古地震和古环境研究、地学旅游



图2 门头沟区典型地质遗迹

Fig. 2 Typical geoheritages in Mentougou District

(a)永定河峡谷;(b)龙门涧峡谷;(c)东灵山;(d)晚更新世冲洪积层;(e)野溪褶皱;(f)燕山期花岗斑岩脉;(g)侏罗纪窑坡组巨型波痕;(h)第四纪古冰川漂砾;(i)王平煤矿遗址;(j)安家庄、双龙峡、通州峪冰瀑

3 地质遗迹综合评价

3.1 定量评价

(1) 评价体系及指标

本次地质遗迹定量评价主要以服务资源分级保护、地学旅游开发及科普利用为核心目标,涉及多层次、多方面评价指标,因此采用系统性较强的层次分析法构建针对性评价体系^[17-19]。结合

评价目标和本区地质遗迹实际情况,对比其他地区研究成果对评价指标进行筛选、补充,建立由评价目标层A、评价项目层B和评价因子层C构成的评价体系。A层为门头沟区地质遗迹单体旅游资源等级评价,B层包括自然属性、价值属性、保护条件与利用条件4个评价项目,C层将B层拆分为13个评价因子(表3)。

表 3 门头沟区地质遗迹定量评价体系

Table 3 Quantitative evaluation system of geoheritages in Mentougou District

评价目标层 A	评价项目层 B	评价因子层 C	因子含义
地质遗迹单体旅游资源等级评价 A	自然属性 B1	稀有性 C1	资源的稀有程度与罕见程度
		完整性 C2	揭示地质演化或地质现象的完整程度
		典型性 C3	在同类资源中的特征典型程度
	价值属性 B2	科学价值 C4	地学科研、教育、科普的作用及意义
		美学价值 C5	资源的优美性、视觉舒适性和冲击力
		科普价值 C6	公众科普的适宜性和难易程度
		旅游开发价值 C7	作为地学旅游资源的开发潜力
	保护条件 B3	保存程度 C8	自然条件下资源保存的完好程度
		保护现状 C9	已采取的保护措施和保护效果
		可保护性 C10	保护工作的可能性和难易程度
	利用条件 B4	交通状况 C11	地理位置偏远程度和交通便利程度
		游客承载量 C12	能同时容纳的最大游客数量
		资源组合度 C13	与周围资源组合利用的可能性

(2) 评价指标权重

邀请 5 名国家地质公园专家库的旅游地学领域专家采用 Saaty 1 ~ 9 阶标度法（表 4）对某一层下的各评价指标进行两两比较，做出重要性判断并建立判断矩阵（表 5），咨询问卷全部收回且数据有效。

表 4 重要性标度值含义

Table 4 Standard to judge membership of importance

标度值	含义
1	两指标相比,重要程度相等
3	两指标相比,前者比后者稍微重要
5	两指标相比,前者比后者明显重要
7	两指标相比,前者比后者特别重要
9	两指标相比,前者比后者极度重要
2,4,6,8	上述两相邻标度值含义的过度情况
上述值的倒数	两指标相对重要程度相反

为确保重要性判断矩阵的逻辑合理性，运用 Yaahp 软件计算各个矩阵的最大特征值和特征向量并进行一致性检验，检验公式为：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

式中，CI 为一致性指标， $\lambda_{\max}$ 为最大特征值， n 为矩阵阶数，RI 为平均随机一致性指标，CR 为随机一致性比例。

若 $CR < 0.10$ ，表明判断矩阵逻辑合理，通过一致性检验；若 $CR > 0.10$ ，则表明判断矩阵一致性有误，需要重新调整直至通过检验。计算结果

表 5 重要性判断矩阵

Table 5 Judgement matrices of importance

(a)				
A	B1	B2	B3	B4
B1	1	1/4	2	3
B2	4	1	3	4
B3	1/2	1/3	1	2
B4	1/3	1/4	1/2	1
(b)				
B1	C1	C2	C3	
C1	1	3	2	
C2	1/3	1	1/2	
C3	1/2	2	1	
(c)				
B2	C4	C5	C6	C7
C4	1	5	3	4
C5	1/5	1	1/3	1/2
C6	1/3	3	1	3
C7	1/4	2	1/3	1
(d)				
B3	C8	C9	C10	
C8	1	2	1/2	
C9	1/2	1	1/3	
C10	2	3	1	
(e)				
B4	C11	C12	C13	
C11	1	4	2	
C12	1/4	1	1/3	
C13	1/2	3	1	

注：(a) A-B 判断矩阵；(b) B1-C 判断矩阵；(c) B2-C 判断矩阵；(d) B3-C 判断矩阵；(e) B4-C 判断矩阵

表明,所有判断矩阵均通过一致性检验(表6),随后将特征向量进行归一化处理,得到各评价项目权重 W_i 和评价因子权重 R_i (表7)。

表6 一致性检验计算结果

Table 6 Calculation results of consistency check

判断矩阵	$\lambda_{\max}$	n	CI	RI	CR	结果
A-B	4.148	4	0.049	0.9	0.054	通过
B1-C	3.006	3	0.003	0.58	0.005	通过
B2-C	4.101	4	0.034	0.9	0.038	通过
B3-C	3.006	3	0.003	0.58	0.005	通过
B4-C	3.015	3	0.008	0.58	0.014	通过

表7 门头沟区地质遗迹定量评价指标权重

Table 7 Index weight of Quantitative evaluation of geoheritages in Mentougou District

评价目标层A	评价项目层B	权重 W_i	评价因子层C	权重 R_i
地质遗迹单体 旅游资源等级 评价A	自然属性B1	0.22	稀有性C1	0.12
			完整性C2	0.04
			典型性C3	0.06
			科学价值C4	0.28
	价值属性B2	0.53	美学价值C5	0.05
			科普价值C6	0.13
			旅游开发价值C7	0.07
			保存程度C8	0.05
	保护条件B3	0.16	保护现状C9	0.03
			可保护性C10	0.08
			交通状况C11	0.05
	利用条件B4	0.09	游客承载力C12	0.01
			资源组合度C13	0.03

(3) 评价结果

评价因子权重确定后,将各地质遗迹单体详细资料发送给上述5名专家,采用百分制对各评价因子进行评分。评分标准划分为5档:极好[90, 100]、很好[75, 90)、较好[60, 75)、一般[45, 60]、不好[30, 45),各因子得分取5份数

据的算术平均值,采用菲什拜因-罗森伯格模型将因子得分与其权重相乘,求和得到地质遗迹单体最终得分^[20-21],数学公式如下:

$$Y = \sum_{i=1}^n R_i K_i \quad (3)$$

式中, Y 为地质遗迹单体评价得分, R_i 为第 i 个评价因子权重, K_i 为第 i 个评价因子评价分数, n 为评价因子的数目。

根据评分结果将各地质遗迹单体划分为5个等级,不同分值区间及对应的旅游资源等级为:[90, 100](五级)、[75, 90)(四级)、[60, 75)(三级)、[45, 60](二级)、[30, 45)(一级)。其中五级为特品级旅游资源,四级、三级为优良级旅游资源,二级、一级为普通级旅游资源。110处地质遗迹的最终评价结果为:特品级3处、优良级27处、普通级80处(表8)。

3.2 对比分析

经层次分析法评定,庄户洼雾迷山期溢出丘、下苇甸寒武纪地质事件剖面 and 立石台西山纪下马岭组地层剖面为特品级地质遗迹旅游资源(图3)。为进一步研究其稀有性、典型性、科学性等突出价值,通过开展剖面研究、参阅相关文献^[22-26],选取与之类型、级别相近的地质遗迹进行对比分析,总结价值优势并进行综合评价(表9)。

对比结果表明,3处特品级地质遗迹核心优势显著,具备极高的科研、科普和教学价值,初步认为达到国家级乃至世界级地质遗迹标准,建议依据规范推进专家鉴评工作,及时确定地质遗迹级别,为后续保护与利用工作奠定基础。同时,应结合研究现状,聚焦以下重点开展深化研究。一是对庄户洼溢出丘加强古地震参数定量研究,优化古地震周期估算模型,探究华北地块古地球动力学过程^[27-29]。二是对下苇甸剖面加强高分辨率沉积相与旋回地层学研究,进一步精确寒武纪地层年龄和古

表8 门头沟区地质遗迹定量评价结果

Table 8 Quantitative evaluation results of geoheritages in Mentougou District

旅游资源等级	地质遗迹名称
特品级	庄户洼雾迷山期溢出丘(91.8分)、下苇甸寒武纪地质事件剖面(91.4分)、立石台西山纪下马岭组地层剖面(90.2分)
优良级	下苇甸古生界与新元古界不整合面、洪水峪侏罗纪髯髯山组与窑坡组不整合面、灰峪石炭—二叠纪古生物化石、东胡林人遗址、潭柘寺镇潭柘寺泉、芹峪北芹峪运动不整合面、斋堂北晚更新世马兰组层型剖面、庄户洼蓟县纪雾迷山组波痕、龙门涧峡谷、清水镇东灵山、丁家滩寒武纪张夏组生物丘等27处
普通级	潭柘寺镇八奇洞、白羊石虎花岗岩采石场遗址、赵家台东紫砚石矿层、韭园溶洞、柏峪台溶洞、龙泉务村石炭纪太原组剖面、桑峪古人类遗址、下苇甸穹隆、野溪褶皱、向阳口巨型花岗岩脉、碣石村芹峪运动不整合面、庄户洼蓟县纪雾迷山期叠层石、木城涧煤矿矿业遗址、火村侏罗纪窑坡组植物化石群、戒台寺滑坡、西胡林晚更新世黄土剖面、马栏南沟晚更新世洪积层、清水镇百花山、通州峪冰瀑等80处

表 9 门头沟区特品级地质遗迹对比分析结果

Table 9 Comparative analysis results of special-grade geheritages in Mentougou District

地质遗迹名称	核心特征	对比对象	价值优势	综合评价
庄户洼雾迷山期溢出丘	产于雾迷山组白云岩, 年龄约 15 亿年; 含 8 个完整溢出丘和 1 个砂火山, 裂隙结构和硅质填充物特征清晰	西爱尔兰克莱尔郡石炭纪罗斯组砂火山; 东印度奥里萨邦二叠纪塔奇尔组砂火山	形成时代远早于同类型遗迹, 为迄今发现最古老; 类型丰富度、形态完整度和结构清晰度更好	遗迹稀有性、时代古老性与保存完整性属全球罕见, 古地动力学、古地震、古环境科研与科普价值极高
下苇甸寒武纪地质事件剖面	连续出露完整寒武系地层; 风暴沉积构造丰富典型; 发育多种混积岩和三叶虫化石	河北、山西、山东寒武系各组标准地层剖面	地层连续性和完整性优于华北其他寒武系标准剖面; 风暴沉积构造更典型多样; 岩石和古生物组合具有独特性	剖面完整性、连续性和典型性属全国罕见, 是寒武纪沉积演化、古地理环境科研、科普与教学的绝佳剖面
立石台西山纪下马岭组地层剖面	位于下马岭组地层命名地, 发育多层凝灰岩, 斑脱岩结构典型; 锆石 U-Pb 年龄 (1368 ± 12) Ma 修正下马岭组年龄	河北怀来赵家山、河北张家口下花园、天津蓟县下马岭组地层剖面	凝灰岩标志层发育典型, 年代学研究更早, 精度更高; 作为下马岭组年龄修正取样剖面, 改写华北地层表, 具有唯一性	剖面研究成果改写了区域地质学层表, 是全国年代地层学研究的典范, 古地理演化、沉积学科研与科普价值极高

海洋环境演化细节^[30-32]。三是对立石台剖面开展更系统的年代地层学与沉积学特征研究, 完善西山系岩石地层划分标准与年代界限^[33-35]。

4 地质遗迹保护利用策略

我国主要通过建立地质公园、矿山公园、地

质文化村等方式对地质遗迹进行系统保护与利用^[36-38]。门头沟区尚未建立任何地质遗迹自然保护地, 仅依托东胡林人遗址打造了东胡林地质文化村^[39], 大部分地质遗迹未得到系统保护与利用。结合本次地质遗迹旅游资源等级评定结果, 提出针对性保护利用策略, 实现资源保护与价值



图 3 门头沟区特品级地质遗迹

Fig. 3 Special-grade geheritages in Mentougou District

(a)庄户洼雾迷山期溢出丘;(b)立石台西山纪下马岭组地层剖面;(c)下苇甸寒武纪地质事件剖面

转化的协同发展^[40-42]。

(1) 明确保护级别和保护措施。

对不同旅游资源等级的地质遗迹单体采取分级保护管理和差异化保护措施。3处特品级遗迹实施最高级别保护,积极推进地质遗迹等级权威认定,设立保护围栏、摄像头等专业防护设施和智能监测系统,严禁非科研、科普性质的人为扰动。优良级遗迹列入区级保护名录,设立统一警示标识,对灰峪化石产地等易损资源实施必要防护措施和常态化监测,避免游客人为破坏。普通级遗迹登记建档,保护方式侧重科普教育,倡导林场、景区、乡村等主体参与常规管护,对景区内和道路周边的遗迹设置科普解说牌。

(2) 建设地质遗迹保护名录和信息管理系统。

对特品级和优良级遗迹建立权威的地质遗迹保护名录,纳入国土空间规划并划分保护范围和红线,自然资源、文旅、住建等多部门形成协同保护管理机制,避免城镇发展造成的无意破坏。开发地质遗迹信息管理系统,构建地质遗迹数据库,录入各遗迹点的基本信息和保护状况,将高等级地质遗迹监测网络并入系统,实行“一迹一档”数字化管理和动态监测。

(3) 加强地学旅游产品开发与科普宣传。

依托下苇甸、庄户洼和沿河城等遗迹集中区的特品级和优良级旅游资源,与学校、科研院所

和教育机构深度合作,建设科普研学基地并打造精品地学旅游路线,开展下苇甸剖面岩性识别、古生物化石发掘、溶洞探秘等主题活动。拓宽科普宣传途径,出版门头沟地质遗迹科普读物、科普图册和宣传片,通过政府网站、公众号和短视频平台宣传展示,提高门头沟地质遗迹品牌知名度和社会影响力。

(4) 推进地质公园与地质文化村建设。

门头沟区地质遗迹资源禀赋优越,京蔚高速的建成进一步优化了区域交通与基础设施条件,为申报地质公园奠定重要基础。以3处特品级地质遗迹为中心的下苇甸、庄户洼地区,资源分布集中且整体质量较高,地处镇中心附近,交通和旅游服务条件优异;沿河城地区坐落于本区最大断裂带,遗迹类型丰富、景色壮观,具备开发国家级地质公园的潜力;清水涧地区采煤历史悠久,建议整合大台、千军台、木城涧煤矿遗迹资源,打造矿业遗迹主题国家地质公园。爨底下、碣石村、燕家台等传统村落具备较高的历史文化知名度,旅游产业和服务设施已初具规模,可借鉴东胡林地质文化村建设经验,将地质遗迹资源与文化内涵深度融合,有序推进地质文化村建设,实现地学科普和文旅产业融合发展(图4)。

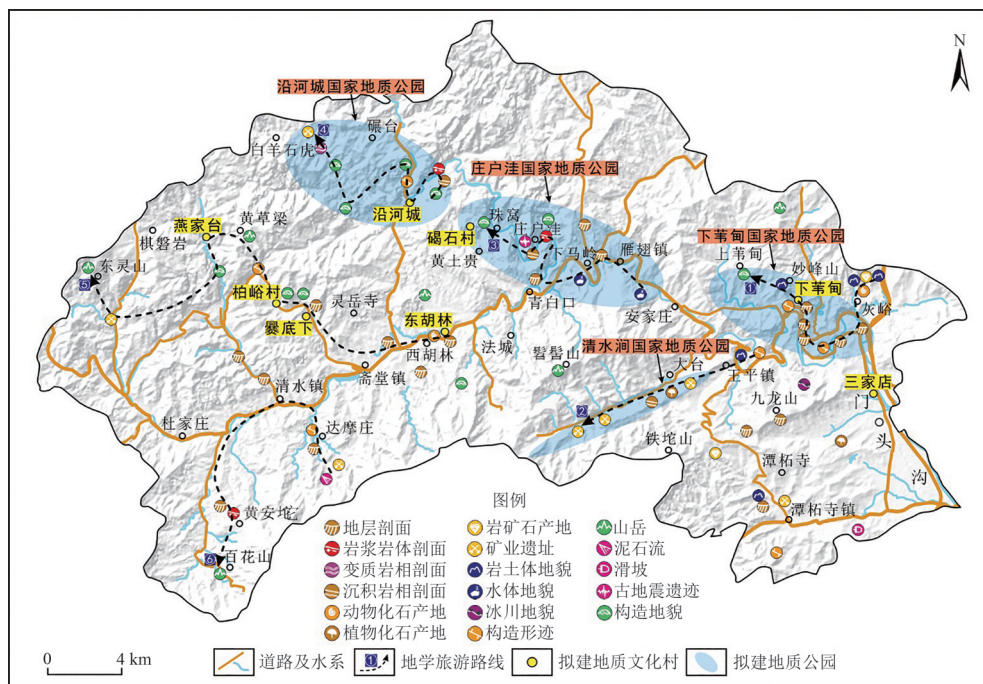


图4 门头沟区地质遗迹保护利用策划图

Fig. 4 Planning map of protection and utilization of geoheritages in Mentougou District

5 结 论

(1) 首次系统查明了门头沟区地质遗迹资源家底和类型特征, 补充了北京西山地区地质遗迹研究成果。确定区内地质遗迹共110处, 划分为7大类、20类、30亚类, 建立地质遗迹资源清单, 同时对典型地质遗迹特征和价值进行分析, 为区域地质遗迹的科学保护与合理利用奠定重要基础。

(2) 采用层次分析法构建门头沟区地质遗迹旅游资源等级评价体系, 定量评定出特品级3处、优良级27处、普通级80处。对庄户洼溢出丘、下苇甸剖面 and 立石台剖面3处特品级地质遗迹开展国内外遗迹对比研究, 进一步分析价值优势, 初步认为达到国家级或世界级地质遗迹标准, 为制定针对性的保护管理和开发利用策略提供科学依据。

(3) 基于地质遗迹旅游资源评价结果, 明确“特品级绝对保护、优良级重点保护与适度利用、普通级常规保护与灵活利用”的分级保护思路; 强调建设地质遗迹保护名录和信息管理体系的管理体系; 提出打造精品地学旅游路线等地学旅游产品和加强科普宣传的地质遗迹价值转化措施; 分析地质公园与地质文化村建设的可行性及建设思路。本文提出的保护利用策略符合区域发展实际且具有针对性和可操作性, 对推动门头沟区地质遗迹有效保护、价值利用与地学旅游发展具有重要指导意义。同时, 门头沟地质遗迹品牌的打造也是西山永定河文化带、生态涵养区以及首都花园城市建设的有力抓手, 与多彩的人文资源形成联动机制, 成为外界了解门头沟的重要窗口, 有效带动地方旅游、文化、经济的全面发展。

参考文献:

- [1] 王重歌, 李俊磊, 张绪教, 等. 拟建的青海化隆国家地质公园地质遗迹特征及评价[J]. 现代地质, 2023, 37(2): 512–528.
- [2] 赵洪菊, 王国良, 拜永山, 等. 地质遗迹资源和旅游地质文化内涵探析: 以青藏高原东北缘东岔地质文化村构建为例[J]. 现代地质, 2024, 38(5): 1400–1412.
- [3] 南赞, 孙小华, 郝春燕, 等. 北京市地质遗迹资源及其保护现状[J]. 城市地质, 2014, 9(4): 35–38.
- [4] 贺瑾瑞, 郝春燕, 焦润成, 等. 北京市重要地质遗迹资源保护规划探讨[J]. 城市地质, 2016, 11(3): 31–35.
- [5] 冯达, 孟京辉. 北京市自然保护地发展历史、存在问题及对策研究[J]. 森林防火, 2024, 42(2): 120–128.
- [6] 石晨霞, 高永利, 吕国娟, 等. 黄河流域高质量发展背景下河南省郑州市地质旅游资源利用新思路[J]. 现代地质, 2024, 38(2): 533–546.
- [7] 许龙, 黄宣东, 谭发, 等. 拟建南岭国家公园地质遗迹特征及综合评价[J]. 矿产勘查, 2023, 14(12): 2542–2553.
- [8] BROCX M, SEMENIUK V. Geology: from antiquity to modern-day geoheritage and geoconservation, with Britain as a case study [M]//ERRAMI E, BROCX M, SEMENIUK V. From Geoheritage to Geoparks. Cham: Springer, 2015: 35–53.
- [9] WANG L L, TIAN M Z. A discussion on the development model of earthquake relic geopark—a case study of the Qingchuan Earth-quake Relic Geopark in Sichuan Province, China [J]. Journal of Cultural Heritage, 2014, 15(5): 459–469.
- [10] 贺瑾瑞, 徐尚智, 宋庆伟, 等. 北京西山门头沟地区主要地质遗迹分布特征及形成演化[J]. 水文地质工程地质, 2024, 51(3): 210–221.
- [11] 秦大军, 孙杰, 郭艺, 等. 永定河对北京西山岩溶水和玉泉山泉的影响[J]. 工程地质学报, 2019, 27(1): 162–169.
- [12] WONG W H. Crustal movements and igneous activities in Eastern China since Mesozoic time [J]. Bulletin of the Geological Society of China, 1927, 6(1): 9–37.
- [13] 叶良辅, 等. 北京西山地质志 [M]. 地质专报, 甲种第1号. 1920, 1–92.
- [14] 自然资源部. 国家地质公园规划编制技术要求 [S]. 2016.
- [15] ANDERSSON J G. Essays on the Cenozoic of Northern China [M]. Geol. Surv. China, Memoirs. 1923, 4(3): 9–37.
- [16] GAO Z X, XIONG Y X, GAO P, et al. Preliminary notes on sinian stratigraphy of north China [J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 1934, 13(0): 261–312.
- [17] 魏崇辉, 郑元, 孙文燕, 等. 龙岩世界地质公园地学旅游资源评价及开发对策[J]. 现代地质, 2024, 38(4): 1192–1204.
- [18] 宋晓媚, 解永健, 张彩霞, 等. 基于层次分析法—变权函数的青岛市灵山岛地质遗迹定量评价研究[J]. 山东国土资源, 2023, 39(9): 28–36.
- [19] 自然资源部. 地质遗迹调查规范: DZ/T 0303—2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [20] 李文凯, 弓小平, 李阜承, 等. 新疆特克斯县南部山区地质遗迹资源类型、特征与评价[J]. 城市地质, 2023, 18(2): 208–217.
- [21] 王璐琳, 田明中, 张建平, 等. 中国香港联合国教科文组织世界地质公园地质遗迹资源及综合利用价值评价[J]. 现代地质, 2024, 38(2): 520–532.
- [22] PRINGLE J K, WESTERMAN A R, STANBROOK D A, et al. Sand volcanoes of the Carboniferous Ross formation, County Clare, Western Ireland: 3-D internal sedimentary structure and formation [J]. Implications for Hydrocarbon Exploration and Production: AAPG Memoir, 2007, 87: 227–231.
- [23] VAN LOON A J, MAULIK P. Abraded sand volcanoes as a tool for recognizing paleo-earthquakes, with examples from the Cisirulian Talchir Formation near Angul (Orissa, eastern India) [J]. Sedimentary Geology, 2011, 238: 145–155.
- [24] 武铁山. 华北晚前寒武纪(中、新元古代)岩石地层单位及多重划分对比[J]. 中国地质, 2002, 29(2): 147–154.
- [25] 范文博. 华北克拉通中元古代下马岭组地质特征及研究进展—下马岭组研究百年回眸[J]. 地质论评, 2015, 61(6):

- 1383 – 1406.
- [26] 高林志, 张传恒, 史晓颖, 等. 华北青白口系下马岭组凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年[J]. 地质通报, 2007, 26(3): 249 – 255.
- [27] 苏德辰, 孙爱萍, 朱月琴. 探寻古地震的奥秘—古地震遗迹与古地震记录解读[J]. 国土资源科普与文化, 2017, (4): 4 – 11.
- [28] 苏德辰, 孙爱萍. 北京永定河谷中元古界雾迷山组软沉积物变形与古地震发生频率[J]. 古地理学报, 2011, 13(6): 591 – 614.
- [29] 和政军, 宋天锐, 丁孝忠, 等. 燕山中元古代裂谷早期同沉积断裂活动及其对事件沉积的影响[J]. 古地理学报, 2000, 2(3): 83 – 91.
- [30] 梅冥相. 华北寒武系二级海侵背景下的沉积趋势及层序地层序列: 以北京西郊下苇甸剖面为例[J]. 中国地质, 2011, 38(2): 317 – 337.
- [31] 付茜. 北京西山下苇甸剖面特殊沉积现象对比[J]. 地质学刊, 2017, 41(2): 218 – 223.
- [32] 朱茂炎, 孙智新, 杨爱华, 等. 中国寒武纪岩石地层划分和对比[J]. 地层学杂志, 2021, 45(3): 223 – 249.
- [33] 李明荣, 王松山, 裘冀. 京津地区铁岭组、景儿峪组海绿石 ^{40}Ar – ^{39}Ar 年龄[J]. 岩石学报, 1996, 12(3): 416 – 423.
- [34] 朱士兴, 刘欢, 胡军. 论燕山地区青白口系的解体[J]. 地质调查与研究, 2012, 35(2): 81 – 95.
- [35] 王泽九, 黄枝高, 姚建新, 等. 中国地层表及说明书的特点与主要进展[J]. 地球学报, 2014, 35(3): 271 – 276.
- [36] 李昱春, 肖思祺. 西藏日喀则地质遗迹特征及地质公园建设可行性分析[J]. 现代地质, 2024, 38(1): 260 – 268.
- [37] LI Z, DUAN X D. Comparative evaluation of geological heritage landscapes in Dali–Cangshan global geopark[J]. Chinese Journal of Urban and Environmental Studies, 2022, 10(3): 1 – 22.
- [38] 王璐琳, 朱青峰. 内蒙古阿尔山世界地质公园地质遗迹特征及其地学意义[J]. 现代地质, 2023, 37(4): 1075 – 1088.
- [39] 吴家悦, 徐尚智, 郝春燕, 等. 乡村振兴背景下地质文化村建设初探—以北京市门头沟区东胡林村为例[J]. 上海国土资源, 2022, 43(3): 30 – 36.
- [40] 孙智杰, 黄波, 何杰, 等. 湖北省重要地质遗迹空间分布特征及其影响因素[J]. 现代地质, 2024, 38(6): 1613 – 1623.
- [41] WANG L L, TIAN M Z, WANG L. Geodiversity, geoconservation and geotourism in Hong Kong global geopark of China[J]. Proceedings of the Geologists' Association, 2015, 126(3): 426 – 437.
- [42] 李成祥, 张绪教, 殷志强, 等. 河北承德县北大山公园石海奇观的成因及地学旅游初探[J]. 现代地质, 2024, 38(3): 807 – 817.