

山 西 宁 武 冰 洞 国 家 地 质 公 园 典 型 地 质 遗 迹 资 源 及 科 学 意 义

方世明¹⁾, 郭 旭¹⁾, 郑 斌¹⁾, 阎世龙²⁾, 孙占亮²⁾

1) 中国地质大学(武汉)资源学院, 湖北武汉 430074;

2) 山西省地质调查院, 山西太原 030006

摘 要: 所谓冰洞是指全年 365 天都存在冰的洞, 是一种极神秘的洞穴旅游资源。目前国内发现的冰洞只有 10 多处, 其中山 西 宁 武 冰 洞 冰 量 最 大, 形 态 最 好, 冰 花 种 类 最 多, 是 一 处 十 分 珍 贵 的 地 质 遗 迹 资 源。本 文 在 对 宁 武 冰 洞 国 家 地 质 公 园 进 行 总 体 介 绍 基 础 上, 对 公 园 范 围 内 发 育 的 地 质 遗 迹 资 源 进 行 归 纳 总 结 并 分 类, 然 后 对 宁 武 冰 洞 这 一 典 型 而 独 具 特 色 的 地 质 遗 迹 资 源 从 地 质 地 貌 特 点、冰 洞 发 育 及 成 因 进 行 归 纳 探 讨, 并 对 国 内 外 目 前 所 发 现 的 10 多 个 冰 洞 进 行 比 较, 指 出 宁 武 冰 洞 是 现 在 世 界 上 已 知 在 中 纬 度 中 高 山 地 区 保 存 最 好, 规 模 最 大, 冰 体 最 多 并 可 直 接 见 到 地 质 时 期 存 有 古 冰 的 冰 洞, 是 一 种 非 常 特 殊 的、罕 见 的、脆 弱 的、不 可 再 生 的 地 质 遗 迹 资 源。

关键词: 宁武冰洞; 国家地质公园; 地质遗迹

中图分类号: K928.7; P928.3 文献标志码: A 文章编号: 1006-3021(2010)04-605-06

The Typical Geological Heritage of the Ningwu Ice Cave National Geopark in Shanxi Province and Its Scientific Significance

FANG Shi-ming¹⁾, GUO Xu¹⁾, ZHENG Bin¹⁾, YAN Shi-long²⁾, SUN Zhan-liang²⁾

1) Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074;

2) Geological Survey of Shanxi Province, Taiyuan, Shanxi 030006

Abstract: Ice cave is a kind of cave covered with ice all the year round and serves as a very mysterious cave tourism resource. Up till now, only over ten ice caves have been found in China, among which the Ningwu Ice Cave in Shanxi Province has the largest amount of ice as well as the best form and the most variable types of ice, thus being a very valuable geological heritage resource. Based on a general description of the Ningwu Ice Cave National Geopark, this paper summarizes and classifies the development of geological heritage resource in the park and generalizes the typical and unique geological heritage resource of Ningwu Ice Cave in the aspects of geomorphological features, the development of the ice cave and the genesis. On such a basis, this paper make a comparative study of more than ten ice caves found in China and abroad, and points out that, with its largest scale, the largest amount of ice and the possibility of direct observation of the ancient ice formed during the geological period among all known caves in the middle latitudes of mountains, the Ningwu Ice Cave can be regarded as the best preserved area of such geological phenomenon. The Ningwu Ice Cave is a kind of very special, rare, fragile and non-renewable geological heritage resource.

Key words: Ningwu Ice Cave; National Geopark; geological heritage

本文由“山 西 宁 武 冰 洞 国 家 地 质 公 园 总 体 规 划 修 编 ” 项 目 (编 号: KH096430) 资 助。

收稿日期: 2010-05-08; 改回日期: 2010-07-06。

第一作者简介: 方世明, 男, 1977 年生。博士, 副教授。从事国土资源调查评价与规划等方向教学研究工作。通讯地址: 430074, 湖北省武汉市洪山区鲁磨路 388 号。电话: 027-67883088。E-mail: fsmcug@qq.com。

1 宁武冰洞国家地质公园概况

地质遗迹是在地球演化的漫长地质历史时期, 由于各种内外动力地质作用, 形成、发展并遗留下来的珍贵的、不可再生的自然遗产, 地质公园建设是对地质遗迹进行可持续开发利用的最好方式。到目前为止, 我国已批准建立了 183 处国家地质公园, 22 处世界地质公园, 其中世界地质公园的数量占 64 个世界地质公园网络成员约 35%。可以说, 我国地质公园建设力度和水平处于世界的领先水平(方世明, 2008; 陈英玉, 2009; 龚明权, 2009; 赵汀, 2009; 赵逊, 2009)。

宁武冰洞国家地质公园是由国土资源部 2005 年批准的第四批国家地质公园, 位于山西省宁武县境内, 属山西省忻州市辖区范围(图 1)。主要包括宁武县东寨镇、西马坊乡、化北屯乡、东马坊乡、余庄乡和管涔山森林经营局管辖的部分地区。公园面积为 315.14 km²。现分为四大景区: 冰洞景区、芦芽山景区、高山湖群景区和宁化景区。

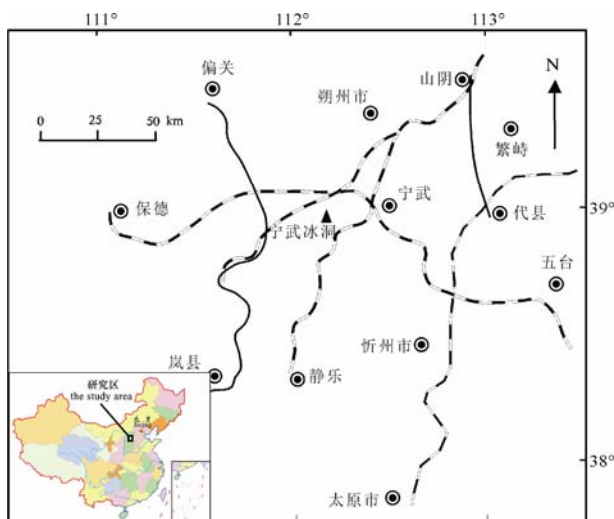


图 1 宁武冰洞国家地质公园研究区域的地理位置
Fig. 1 Location of the study area of the Ningwu Ice Cave National Geopark in Shanxi Province

冰洞景区面积为 83.7 km², 距宁武县城 32 km。以中华一绝、世界奇观的“冰洞”为龙头, 以三晋母亲河——汾河的发源地为龙尾, 包括冰洞、千年火山、地质博物馆、花岗岩球形风化——象顶一品石、岩溶地貌、断层张性裂开的峡谷地貌、地下泉水和冰臼地貌等地质遗迹资源。该景区还包括大量的人文景观和自然景观, 如古悬棺、悬崖栈道、小悬空寺、晓祖庙、悬空吊桥、悬崖古刹、悬空村、军工洞、管涔林海、汾源阁、汾源博物馆、雷鸣寺、仙人洞、情人谷、水母洞、大梁林海等。该景区为

公园的核心景区, 以冰洞地质遗迹为典型代表, 同时包括大量的人文旅游资源, 是一个人文旅游资源与地质旅游资源完美结合的景区。

芦芽山景区面积约 133.78 km², 位于“芦芽山国家级自然保护区”的核心区。该景区以冰川遗迹为主, 在芦芽山脉分布有多处冰川遗迹, 芦芽山海拔 2739 m, 由紫苏石英二长岩组成, 长石斑晶达 2~5 cm, 可见辉绿岩脉。该景区主要景观有芦芽山、小芦芽山、马仑草原、荷叶坪、达摩庵、情人谷、得炉石、大庙瀑布、北齐长城, 太子殿等。景区功能是自然观光、地质旅游、人文观光、林海沐浴、避暑度假等。

高山湖群景区面积 50.26 km², 位于余庄乡境内, 平均海拔 1954 m。为第四纪冰川湖泊——天池群, 景区主要景观有马营海、琵琶海、鸭子海、老师傅海、公海、暖海、海瀛寺、汾阳宫主殿遗址等。景区功能是自然观光、地质旅游、避暑度假、人文观光。

宁化景区面积 47.4 km², 位于距宁武县城 50 km 的化北屯乡与石家庄乡境内。该景区名胜有开凿于侏罗纪紫红色砂岩中的引黄入晋出水口、万佛洞、青龙山天花洞、回春谷、宁化古城、二叠系上统孙家沟组正层型剖面、三叠系下统刘家沟组正层型剖面、三叠系下统和尚沟组正层型剖面、三叠系中统二马营组正层型剖面、侏罗系中统天池河组正层型剖面等。景区功能主要有自然观光、地质旅游、历史览胜等。

2 宁武冰洞国家地质公园地质遗迹资源

公园区域地层属华北地层区吕梁—太行山分区。区内出露地层比较齐全, 老自古太古界, 新至第四系, 其中寒武系和奥陶系是园区出露较广泛的地层, 而且是形成主要地质景观的基础。园区涉及的范围内, 可分为上、下两个构造层。前寒武纪地槽型基底构造层, 构造线方向多为北东东向, 挤压强烈, 褶皱呈紧密线型。园区内基本未见出露; 寒武纪以来上部地台型构造层, 燕山运动以来受新华夏系、祁吕系前弧东翼的制约, 构造线方向多呈北北东向, 褶皱开阔, 并出现控制断块边界的逆冲断层, 喜马拉雅期发育地堑式正断层组合。

在漫长的地质历史中, 芦芽山地区经历了前寒武纪古大陆裂解和碰撞, 中生代新华夏构造体系第三隆起带形成, 新生代伸展抬升过程中产生汾渭大陆裂谷系等强烈的构造变动, 形成了一系列具有

特殊科学意义、能够代表整个华北地块的区域地质发展史、并反映特定阶段的地质事件和地质作用的地质遗迹。

根据《国家地质公园规划修编技术要求》(2008)中地质遗迹类型划分方案,冰洞地质公园发育的地质遗迹景观主要有以下类型:地质剖面类、地质构造类、古生物类、矿物与矿床类、地貌景观类、水体景观类和环境地质遗迹类共 7 类,涵盖所有的 7 大地质遗迹类型(表 1)。

表 1 宁武冰洞国家地质公园地质遗迹资源分类表
Table 1 The classification of geological heritage resources in the Ningwu Ice Cave National Geopark

地质遗迹类型	主要地质遗迹资源
地质剖面类	二叠系上统孙家沟组(P_2s), 三叠系下统刘家沟组(T_1l), 三叠系下统和尚沟组(T_1h), 三叠系中统二马营组(T_1e), 侏罗系中统天池河组(T_1t)
地质构造类	怀道断裂, 东寨-春景洼断层, 春景洼-马仑背斜, 凤凰村-化北屯向斜等
古生物类	寒武纪化石组合, 奥陶纪化石组合, 石炭纪化石组合, 二叠纪化石组合, 三叠纪化石组合, 侏罗纪化石组合
矿物与矿床类	煤矿, 铁矿
地貌景观类	芦芽山花岗岩峰林地貌, 鲨鱼含珠, 清凉石, 将军石, 护林老翁, 冰洞, 冰川漂砾、冰臼, U 形谷, 断块山, 单面山, 裂谷地堑, 荷叶坪夷平面, 马仑草原
水体景观类	汾河正源——灵沼泉, 店耳上泉, 天池, 元池, 琵琶海, 干海子
环境地质遗迹类	引黄工程出水口

3 典型地质遗迹资源——宁武冰洞

近年来新发现的宁武冰洞, 被国内地质、地理、岩溶、生态、环境、旅游等有关专家评价为当代世界奇迹。冰洞位于宁武县东寨镇麻地沟村东南约 2 km 的公路旁, 地理坐标: 东经 $112^{\circ}10'$ 、北纬 $38^{\circ}57'$, 洞口海拔 2220 m。该洞是发育于奥陶纪灰岩中的喀斯特洞穴, 第四纪冰川来临前即已存在。洞中的冰体形成与第四纪冰川时期以来的严寒气候有关, 在洞口周围是绵延茂密的动云杉、落叶松林带, 洞口上原有巨树杂草遮蔽。冰洞一年四季冰层变化不大, 愈往深处冰愈厚。

3.1 冰洞周边地质地貌概况

管湾山属吕梁山脉, 位于吕梁山脉的北段, 是贯穿山西境内的主要河流——汾河的发源地。其主峰芦芽山海拔 2736 m, 处于宁武、岢岚、五寨等县的交界处。其东南起伏的山岗为黄河与海河的分水岭。它的北侧, 是海河流域桑干河的源头, 南侧是黄

河第二大支流汾河的源头。

冰洞及周边出露的地层较齐全, 自太古界至新生界地层均有分布。主要岩性有: 元古代巨斑状紫苏石英二长闪长岩, 寒武纪灰岩、白云岩、页岩, 奥陶纪灰岩、泥灰岩、白云质灰岩等, 石炭—二叠纪砂页岩含煤层, 三叠纪—侏罗纪长石砂岩、长石石英岩、砂页岩、砂质泥岩及砂砾岩等(刘育燕, 2004); 第四纪早更新世冰碛、冰水堆积、冰川漂砾、冰缘堆积和中晚更新世黄土堆积、冲洪积及全新世湖积等。

组成冰洞的地层属于奥陶系中统马家沟组二段灰岩、白云质灰岩、薄层泥质白云岩及角砾状灰岩等。中上部为灰岩、泥质灰岩、白云质灰岩、泥灰岩、钙质页岩等; 下部为灰黄色、黄绿色角砾状泥灰岩、白云质泥灰岩夹黄绿色钙质页岩、泥质灰岩, 较稳定, 厚 9~20 m, 可做为分段的标志层。本段厚 74 m。

冰洞在构造位置上属于张家崖倾伏背斜倾伏端的东侧, 尖山-寺儿沟逆冲断层的西侧。冰洞及周边岩石节理裂隙发育(孟宪刚, 2004)。

3.2 冰洞发育特点

自 1996 年开始, 已部分开发, 岩溶洞穴纵深 100 余米, 分上下 5 层。开发的存冰洞体斜向纵深 38 m, 洞内四周皆为冰柱、冰幔、冰挂、冰针、冰窗、冰瀑、冰帘、冰花、冰钟、冰笋, 琳琅剔透, 千奇百怪, 美不胜收(见图版)。在一些永久冰中层理发育, 黑白相间, 单层厚几十厘米到几毫米, 并有波状起伏的变化, 在冰层中如含有大量碎屑、腐植土泥炭和植物残体则显黑褐色, 如不含这些杂质, 则为棕灰色透明的冰层。而同一冰层, 也随所处地貌部位和深度的变化, 发生倾斜和厚度变化。它的奇特在于以当地洞外气候条件而论, 夏季平均温度在 10°C 左右, 洞外碧草如茵, 鲜花开放, 根本构不成结冰的环境, 而洞内寒气逼人, 冰层厚实, 洞温一直保持在 -4°C 左右, 显示出特殊的“负地热异常”。更为奇特的是在距冰洞约 400 多米的东面, 却有地下自燃的煤层, 常年冒着浓烟由洞口飘出, 当地老乡称为火山口。

根据中国石油集团东方地球物理公司物化探事业部采用的高频电磁测量方法(EH4), 得出冰洞洞体形态似“保龄球”状特征, 上下窄, 宽约 10 m, 中部宽, 约 20~30 m, 最大延深达 85 m 左右, 据洞深 40 m 实际调查及物探测量初步解释结果表明, 冰体在洞深 40 m 以上仅有较多层状冰体保存, 40 m 以下冰体沿洞壁有较多分布。层状冰的层理由深灰色泥质构成, 层厚多在数厘米左右, 冰层多呈透明状, 含气泡少至极少, 且多呈垂直条带或呈密集成层分

布。有些层面具明显融蚀、侵蚀痕迹,说明层状冰形成过程中年气温变化迅速的特征。冰层因受自身重力作用,产生明显蠕变褶皱和小型断裂、垂直裂隙构造发育(孟宪刚, 2006)。

3.3 冰洞成因探讨

由于宁武冰洞从发现到旅游开发才十多年时间,目前关于冰洞的科学研究不是很多,公开发表的学术文章只有 3 篇,即中国地质科学院地质力学研究所孟宪刚和太原理工大学高莲凤等人对冰洞成因进行了初步探讨,但由于缺少对冰洞冰样进行孢粉、 C^{14} 等测年手段进行确切的年代分析,因此目前对冰洞的成因只能基于相关文献的综合分析和实地考察得出。

高莲凤等认为宁武冰洞的形成是由岩溶作用和冰川作用以及环境因素共同作用的结果(高莲凤, 2005)。从冰洞所处位置分析该地区在地质时期曾经是岩溶发育区,并且经历了温暖潮湿的气候作用,逐渐形成石灰岩溶洞;而且该地区曾经是山岳冰川发育区,在第四纪冰期及间冰期时大量的积雪、冰川融水甚至破碎冰块堆积于洞中,经过复杂的物理变化,融化和重新凝结,再加上大气降水的不断渗入,在溶洞内形成各种形态冰物质,于是便形成了冰洞。后来由于当地比较特殊的地形、气候等自然地理环境因素,冰洞得以继续有效保存。

孟宪刚等根据实际调查认为宁武冰洞洞体的形成与冰臼形成相似,不过由于基岩为灰岩,强度较小,且裂隙发育,有利于形成规模大的洞穴。并且把与冰臼形成相似的巨大垂直灰岩基岩洞穴称之为“洞冰臼”(孟宪刚, 2006)。依据万年冰洞洞体和冰体特征,结合冰洞周边冰川作用的特点和气候环境演化过程将冰体的形成和发展划分为三个阶段:早更新世末冰缘期冰体形成阶段、中晚更新世雨期、间雨期水平冰体形成阶段和全新世冰后期冰体解体阶段。

宁武冰洞在现有的地质地貌和自然地理条件下,冰体能常年不化的原因,目前尚存在着不同的认识。归纳起来主要有三种:(1)认为万年冰洞冰体之所以能常年不化,是由于负地温引起的。(2)认为冰洞中冰体之所以长期不化是由于该区存在负地热异常的结果。(3)认为冰洞中冰体之所以长期不化是由多种因素综合影响的结果(孟宪刚, 2006, 2004)。

4 国内相关冰洞资源及对比

在中纬度中山地区,冰洞的发育很少,在我国境内大约仅有 10 余个,其中大部分到夏季时洞内仅存少量冰体或没有。至今为止,国内正式开放旅游

的冰洞主要有张家口赐儿山冰洞、河北省涞源县冰洞、黑龙江五大连池冰洞、山西宁武冰洞等。

开发最早的一个为张家口赐儿山冰洞,位于张家口市区西部群山中的云泉寺的西崖下,该洞在相距几米内另有两个洞,这 3 个洞分别出风、出水和结冰,成为奇景。可惜在“文化大革命”时在三洞之山下开凿了一个战备人工洞,从此三洞中再不出风、出水和结冰。

第二个冰洞在河北省涞源县北草原景区的东南角,洞凹入地下十几米,又水平深入十几米,洞中常年有冰,但冰体很小,一般到夏季 8 月上旬时,洞内冰体仅见约 2 m^2 ,厚度为 40 cm,冰体中没有层理。据当地牧民讲,该冰洞外草原,常年十月下旬就会下雪,下雪后洞内冰体就加厚,待到第二年开春后冰就逐渐融化,每年多是如此变化。

第三个洞为黑龙江省五大连池冰洞,该洞发育在火山岩洞中,在未开发前洞内冰体约长 10 m,面积不大。但在开发时置入大量人造冰体,造了大量的冰灯、冰景、冰雕。现开发长度约 100 m,完全成了人造景观。

第四个即为山西省宁武冰洞,如果不能很好保护其生态环境,在旅游开发时不研究其游客容量的最大限度,有可能在不久的将来,冰洞里的冰也会融化消失。

在国内还有一些小型冰洞,如在湖南怀化芦坪乡的冰洞、湖北五峰县白溢寨冰洞、湖北神农架冰山冰洞、陕西翠华山冰洞、河南林县石板乡的“冰冰背”、重庆巫溪城西 80 km 的夏冰洞(巫溪冰洞)、吉林白山市白云冰洞、兰州马衔山多年冻土下的大理岩中的裂隙冰洞等,这些冰洞一般规模比较小、存冰少,地方偏僻,受到条件制约而没有对外开放。

在国外,冰洞就更少,主要有位于奥地利萨尔茨堡市附近的爱斯里森卫尔特冰洞,该洞被认为是世界上最大的冰洞,在过去的 15 到 20 年里,冰洞增长明显;斯洛文尼亚冰洞,该洞规模较小,仅几十米长,洞中结的是自然冰,冰量不大,现为私人管理开放;东南极 Yatud 峡谷发育的冰洞(Takanobu Sawagaki, 2008)、瑞士 Livres 冰洞(Markus Stoffel, 2009)等。

通过上述比较,可以得出宁武冰洞是现在世界上已知在中纬度中高山地区保存最好,规模最大,冰体最多并可直接见到地质时期存有古冰的冰洞,所以宁武冰洞是世界级的稀有冰洞,是一种非常特殊的、罕见的、脆弱的、不可再生的地质遗迹资源。

5 宁武冰洞科学意义

现今世界上许多科学家对南极冰盖中的冰、格陵兰冰及青藏高原中的古冰层做过大量的研究工作。通过冰层的研究, 做出全球气候变化曲线, 对冰中的气体、冰水及冰的年代、物理、化学等方面研究, 可以恢复当时古气候、古生态、古大气成分等方面资料, 推论其地区环境和生态变化。但对中纬度地区的古冰层, 到目前为止, 世界上还没有一个国家进行过研究, 其原因是根本找不到在第四纪地质时期保存下来的古冰层, 不能进行这方面对比研究。宁武冰洞中的冰体, 不但厚度大, 数量多, 而且层理清晰, 所以对宁武冰洞中的古冰层进行研究可以破解很多方面的科学之谜。

宁武冰洞是古气候、古环境变迁的产物。从冰洞洞体的形成, 冰体的产生和冰体长期不化的原因等, 都无不与该区气候环境演化息息相关。宁武冰洞是该区以至整个华北地区气候、环境变迁的缩影, 真实的记录和见证。因此对宁武冰洞的进一步调查研究, 对研究该区及华北地区的气候、环境演化趋势的分析和预测, 可以提供了重要实际资料。对当地开发旅游、发展经济和对青少年进行科普教育及提高当地百姓的科学意识和水平等有着重要的科学价值和实际意义。

参考文献:

- 陈英玉, 龚明权, 张自森. 2009. 青海省互助北山国家地质公园地质遗迹及其综合评价[J]. 地球学报, 30(3): 339-344.
- 方世明, 李江风, 赵来时. 2008. 地质遗迹资源评价指标体系[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 33(2): 285-288.
- 高莲凤, 王曦, 万晓樵. 2005. 山西宁武冰洞成因分析[J]. 太原理工大学学报, 36(4): 455-458.
- 龚明权, 马寅生, 田明中, 陈英玉. 2009. 黄河壶口瀑布国家地质公园旅游资源评价[J]. 地球学报, 30(3): 325-338.
- 刘育燕, 朱宗敏, 袁爱华, 邓胜徽, 刘本培, 桂仁菊, 郑宏瑞. 2004. 山西二、三叠系界线岩石地层的次生磁化及其地质意义[J]. 地球学报, 25(4): 437-442.
- 孟宪刚, 朱大岗, 邵兆刚, 余佳, 韩建恩, 孟庆伟. 2004. 山西吕梁山北段第四纪冰川遗迹的发现及意义[J]. 地质力学学报, 10(4): 327-336.
- 孟宪刚, 朱大岗, 邵兆刚, 余佳, 韩建恩, 孟庆伟. 2006. 山西宁武“万年冰洞”形成机制初探[J]. 地球学报, 27(2): 163-168.
- 邵兆刚, 孟宪刚, 朱大岗, 余佳, 韩建恩, 孟庆伟, 吕荣平. 2007. 山西宁武“万年冰洞”空间分布形态的探测研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 37(5): 961-966.
- 赵汀, 赵逊. 2009. 地质遗迹分类学及其应用[J]. 地球学报, 30(3): 309-324.
- 赵逊, 赵汀. 2009. 地质公园发展与管理[J]. 地球学报, 30(3): 301-308.

References:

- CHEN Ying-yu, GONG Ming-quan, ZHANG Zi-sen. 2009. Geo-

- heritage Evaluation of the Huzhu Beishan Mountain National Geopark in Qinghai Province[J]. Acta Geoscientia Sinica, 30(3): 339-344(in Chinese with English abstract).
- FANG Shi-ming, LI Jiang-feng, ZHAO Lai-shi. 2008. Assessment Index System of Geological Relic Resources[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 33(2): 285-288.
- GAO Lian-feng, WANG Xi, WAN Xiao-qiao. 2005. Analysis of Ice Cave Formation in Ningwu Shanxi[J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 36(4): 455-458(in Chinese with English abstract).
- GONG Ming-quan, MA Yin-sheng, TIAN Ming-zhong, CHENG Ying-yu. 2009. Tourism Resource Evaluation of the Hukou Waterfall National Geopark at the Yellow River[J]. Acta Geoscientia Sinica, 30(3): 325-338(in Chinese with English abstract).
- LIU Yu-yang, ZHU Zong-min, YUAN Ai-hua, DENG Sheng-hui, LIU Ben-pei, GUI Ren-ju, ZHENG Hong-rui. 2004. Remagnetization in Shanxi area and its implications in the boundary between Permian and Triassic[J]. Acta Geoscientia Sinica, 25(4): 437-442(in Chinese with English abstract).
- MARKUS S, MARC L, MICHELLE B. 2009. Evidence of NAO control on subsurface ice accumulation in a 1200 yr old cave-ice sequence, St. Livres ice cave, Switzerland[J]. Quaternary Research, (72): 16-26.
- MENG Xian-gang, ZHU Da-gang, SHAO Zhao-gang, YU Jia, HAN Jian-ren, MENG Qing-wei. 2004. The discovery and sense of the Quaternary period glacial traces on the northern part of Lüliang Mountain of Ningwu, Shanxi Province[J]. Journal of Geomechanics, 10(4): 327-336(in Chinese with English abstract).
- MENG Xian-gang, ZHU Da-gang, SHAO Zhao-gang, YU Jia, HAN Jian-ren, MENG Qing-wei. 2006. A Discussion of the Formation Mechanism of the “Ten-Thousand-Year-Old Ice Cave” in Shanxi Province[J]. Acta Geoscientia Sinica, 27(2): 163-168(in Chinese with English abstract).
- SHAO Zhao-gang, MENG Xian-gang, ZHU Da-gang, YU Jia, HAN Jian-ren, MENG Qing-wei, LU Rong-ping. 2007. Detection for the Spatial Distribution of “Ten Thousand Ice Cave” in Ningwu, Shanxi Province[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 37(5): 961-966(in Chinese with English abstract).
- TAKANOBU S, HIDEKI M, SHOGO I. 2008. Discovery of an ice cave in the Yatude Valley, Langhovde, Dronning Maud Land, East Antarctica[J]. Polar Science, (2): 287-294.
- ZHAO Ting, ZHAO Xun. 2009. Geoheritage Taxonomy and Its Application[J]. Acta Geoscientia Sinica, 30(3): 309-324(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Xun, ZHAO Ting. 2009. Development and Management of Geopark[J]. Acta Geoscientia Sinica, 30(3): 301-308(in Chinese with English abstract).

图版说明

图版 I Plate I

1. 宁武冰洞发育的冰柱景观; 2. 宁武冰洞发育的冰幔景观; 3. 宁武冰洞发育的冰针景观; 4. 宁武冰洞发育的冰挂景观; 5. 宁武冰洞发育的冰瀑景观; 6. 宁武冰洞发育的冰窗景观
1. ice columns landscape of Ningwu Ice Cave; 2. ice mantle landscape of Ningwu Ice Cave; 3. ice needles landscape of Ningwu Ice Cave; 4. hanging ice landscape of Ningwu Ice Cave; 5. icefall landscape of Ningwu Ice Cave; 6. ice window landscape of Ningwu Ice Cave

图版 I Plate I

