

# Study on the Protection of Karst Landscapes in Baiyun Cave of Kongshan Mountain, Hebei Province

Chongyang Li, Yuzhu Liao, Yuting Wan, Shaohua Wang, Luyao Gao

College of Resources and Environment Science, Hebei Normal University, Shijiazhuang Hebei  
Email: 1257654749@qq.com

Received: Feb. 5<sup>th</sup>, 2018; accepted: Feb. 19<sup>th</sup>, 2018; published: Feb. 26<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

Baiyun Cave in Lincheng, Hebei Province formed in the Cambrian-dominated carbonate strata of the Lower Paleozoic Erathem is a rare and unique large karst system in Northern China. The cave system is "P" shaped along the north-south direction with an area of about 32,550 m<sup>2</sup>. It can be divided into three layers in the vertical direction; the caves in the upper layer is a large hall-shaped; the middle and the lower parts are corridors; each part was connected by the eroded-dissolved channels along steep faults. Baiyun Cave has different forms and various types of karst landscape. Many sedimentary landscapes like "hosta to aquarius", "five-leg deer", "reticular helictite", "Hengtianyizhi" etc. and other erosion landscapes such as the potholes in the roofs and walls of the caves, and eroded remnant landscapes such as "Gold hook upside down", have excellent ornamental value and scientific research value. However, Baiyun Cave has suffered a number of tectonic movements since its establishment in the Pleistocene. With the environment changes of the cave and the large increase in the number of tourists in recent years, the damage of the cave landscapes has become more and more serious. The problems such as rock crush, poor structural stability and landscape deterioration in the cave and other issues have restricted the development of the local tourism. Therefore, the protection of the cave landscape resource and environmental management of the cave is currently facing an important and urgent challenge.

## Keywords

Kongshan Baiyun Cave, Pleistocene, Karst Landscape, Geologic and Geomorphic Environment, Protection of Tourism Resources

---

# 河北省崆山白云洞喀斯特景观保护研究

李重阳, 廖雨竹, 万玉亭, 王少华, 高璐瑶

河北师范大学资源与环境科学学院, 河北 石家庄

Email: 1257654749@qq.com

收稿日期: 2018年2月5日; 录用日期: 2018年2月19日; 发布日期: 2018年2月26日

## 摘要

河北省临城崆山白云洞发育在以下古生界寒武系为主的碳酸盐岩地层中,是中国北方罕见的大型喀斯特溶洞。洞穴系统平面上呈近南北向延伸的“P”形,洞域面积约32,550 m<sup>2</sup>,垂向上可分为三层,上层为大型厅堂状,中层和下层为廊道状,各层洞穴以沿陡倾断裂侵蚀、溶蚀而成的通道相连。白云洞拥有形态各异、成因类型多样的喀斯特景观,其中玉簪对宝瓶、五腿神鹿、网状卷曲石、横天一枝等沉积景观、洞顶和洞壁窝穴等侵蚀景观、金钩倒挂等蚀余景观都具有极高的观赏价值和科学研究价值。然而,白云洞自更新世形成至今,曾经历了多次构造运动破坏,而且随着洞穴环境变化以及近年来旅游人数的大幅增长,洞穴景观损毁日趋严重。洞体岩石破碎、结构稳定性差、洞内景观劣化等问题已较大程度地制约了当地旅游业发展。因此洞穴景观资源保护和洞穴环境治理是当前面临的重要而紧迫的任务。

## 关键词

崆山白云洞,更新世,喀斯特景观,地质地貌环境,旅游资源保护

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

我国的碳酸盐岩类型众多,总分布面积超过  $340 \times 10^4 \text{ km}^2$  [1],为喀斯特洞穴的发育提供了物质条件。但受气候和水文条件以及地质构造等因素制约,大型喀斯特洞穴多发育在我国南方地区,而北方较少。因此,有关南方喀斯特洞穴的研究多而深入,而对北方的研究尚显薄弱[2] [3] [4]。

被称为“燕赵第一洞”的崆山白云洞(114°25'53.80"E, 37°27'21.19"N)位于河北省邢台市临城县,是国家AAAA级旅游景区。它北到河北省会石家庄市约80 km,南距邢台市约50 km。作为我国北方具代表性的喀斯特地貌景观,白云洞具有极高的研究价值。然而在洞穴形成及其后的发育过程中,受多次构造运动影响,岩石几经破碎导致结构稳定性差、抵御地质灾害能力降低,加之近年来洞穴旅游资源的开发改变了洞穴自然环境,使洞穴景观劣化问题日趋严重,成为制约当地旅游业发展的隐患。尽管前人对白云洞的形成演化、洞穴景观类型及成因、旅游资源评价等进行了研究,且较多集中于洞穴旅游资源开发利用方式和途径方面[5]-[10],而针对洞穴景观资源劣化及资源保护等问题的讨论较少。基于此,本文作者于2017年7月对崆山白云洞进行了地质地貌考察和旅游资源开发及保护情况调查,并着重研究了洞穴景观劣化和洞穴地质结构稳定性等问题,以期能够为崆山白云洞旅游资源开发与保护提供科学依据,为地方旅游业的健康发展提供有效支撑。

## 2. 白云洞发育的自然地理条件

### 2.1. 区域地质基础

崆山白云洞周围出露的岩石地层主要有新太古界阜平群深变质岩系、中元古界长城系未变质或浅变

质砂岩、下古生界寒武系-奥陶系以碳酸盐为主的沉积岩、上古生界石炭系-二叠系碎屑岩和新生界第四系冲积-洪积层[6][7][8]。其中厚达 1100 m 的下古生界碳酸盐岩构成了崆山的主体,为白云洞各类景观的形成发育奠定了物质基础。

实地地质考察结果表明,在崆山寒武纪-奥陶纪碳酸盐岩地层中发育了北北西、北东和近东西向 3 组张性陡倾断层。其中规模较大者为北北西向断层,系燕山运动产物[11],而规模较小的北东和近东西向断层虽然形成较晚,但后期活动性强。此外,还发育了与各期断层活动有关的北西、北东、北西西和北东东向多组节理。各类断裂系统为洞穴的形成和发育提供了构造条件,它们不仅控制着白云洞形成的规模、形态和结构,而且作为地表水下渗的通道和洞内外环境联系的纽带,还影响着洞穴各类景观的发育。

## 2.2. 气候条件

崆山白云洞的形成和发育始于第四纪更新世[5]-[10],当时的气候环境冷暖干湿变化频繁,全新世以来仍有明显的气候波动[12][13][14][15][16]。温暖潮湿的气候能够提供适宜的水文条件,时逢地壳稳定阶段它有利于水平洞穴及洞内各类景观的发育,当遭遇地壳抬升时则伴随洞穴下蚀而扩大洞穴的垂向空间;而冷干气候期的水文条件较差,即便在地壳稳定阶段也只能形成狭小的洞穴和较小规模的洞内景观,如遇地壳抬升则会对洞穴景观产生不同程度的破坏和改造。

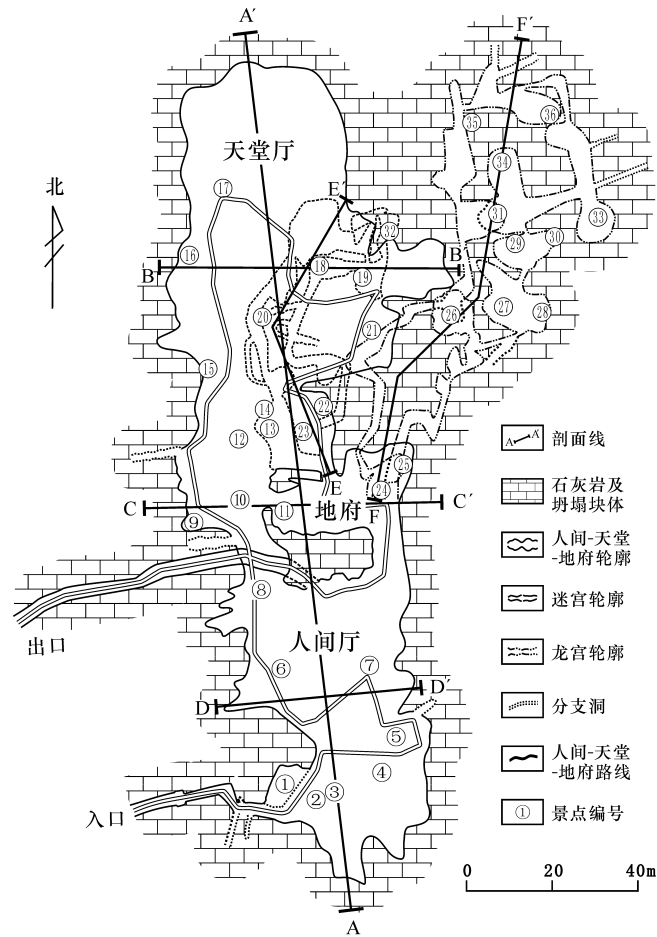
崆山地区现今的气候条件属于暖温带半湿润大陆性季风气候,四季分明,年均气温 12℃~13℃;年降水量变化在 520~685 mm 之间,降水集中在夏季,且具有干冷同期、雨热同期的特点。温暖多雨且雨热同期的气候条件有利于洞穴景观的持续发育。

## 3. 白云洞洞穴形态和结构

崆山白云洞在平面上总体呈近南北向延伸的“P”形,洞域面积约 32,550 m<sup>2</sup>,是由五个洞穴构成的洞穴系统(图 1)。该洞穴系统在垂向上可分为 3 层:第 1 层(上层)洞穴海拔高度为 140~170 m,包括人间厅、天堂厅和地府厅;第 2 层(中层)洞穴海拔高度为 125~135 m,包括迷宫与龙宫的上部;第 3 层(下层)洞穴为龙宫的下部,海拔高度为 115~120 m(图 2)。

从洞穴内部平面结构来看,人间厅、天堂厅和地府厅呈北北西向排列延伸,其间以沿断裂侵蚀-溶蚀形成的廊道或人工沿断裂开凿的巷道相连,总长度约 190 m,平均宽 36 m;三个厅堂的排列延伸方向说明洞体的形成受控于先成的北北西向断裂,而洞体的锯齿状轮廓表明沿北西、北东和近东西向断裂的侵蚀-溶蚀对洞体发育有重要影响;在侵蚀-溶蚀更加剧烈的断裂交汇部位则发育规模不等的小厅室(图 1)。位于天堂厅之下的迷宫由狭窄廊道构成,长 140 m,平均宽 2.5 m;廊道主要追踪北北西和北东向断裂发育,局部有沿其它方向断裂溶蚀-侵蚀形成的支洞,整体呈格网状(图 1)。龙宫位于天堂厅东侧下方,由廊道和小型厅堂交织构成,长 235 m,平均宽度约 3 m,主体追踪北东向和北北西向断裂延伸,形态曲折,支洞较多;沿小型断裂发育地段,洞体狭窄,宽不足 1 m,而沿较大型断裂发育地段,廊道可宽达 5~6 m;在多处断裂交汇部位,因侵蚀、溶蚀强烈而发育多个不规则厅堂(图 1)。

第 1 层洞穴纵剖面形态(图 3A-A')揭示,受一系列东西向相向而倾的张剪性断裂影响,人间厅和天堂厅的底板均向地府厅倾斜;在横剖面形态上,各洞厅都呈不对称三角形(图 5, B-B', C-C', D-D'),说明虽然北北西向断层控制着洞穴的延伸方向,但剖面“X”型交叉节理却影响着洞穴的形态发育。处于第 2 层和第 3 层的迷宫和龙宫的洞体横断面形态复杂多样,受“X”型交叉断裂控制的地段多呈不规则三角形,沿单向倾斜断层发育的地段多呈扁平状,水平廊道段多呈拱门型、不规则多边形和蘑菇型,反映其形成发育过程不仅受断裂控制,还受区域构造抬升的影响。



- ①-石栅栏; ②-垂柳; ③-塔松; ④-网状卷曲石; ⑤-石花; ⑥-三塔映月; ⑦-擎天柱;
- ⑧-阴差阳错; ⑨-五腿神鹿; ⑩-三叉神戟; ⑪-森罗塔; ⑫-极乐世界; ⑬-金钩倒挂;
- ⑭-西域女郎; ⑮-百叶石幔; ⑯-玉龙钻天; ⑰-双耳玉兔; ⑱-灵山仙境; ⑲-玉簪对净瓶;
- ⑳-飞天瀑布; ㉑-横天一枝; ㉒-朝天一炷香; ㉓-委曲求全; ㉔-海螺; ㉕-定海神针;
- ㉖-仙山琼阁; ㉗-龙女纱帐; ㉘-龙子纱帐; ㉙-龙女刺绣; ㉚-龙宫盛宴; ㉛-海市蜃楼;
- ㉜-月宫玉柱; ㉝-海地森林; ㉞-龙池; ㉟-双塔争雄; ㊱-海底世界

Figure 1. The distribution of Baiyun Cave system  
图 1. 白云洞平面形态

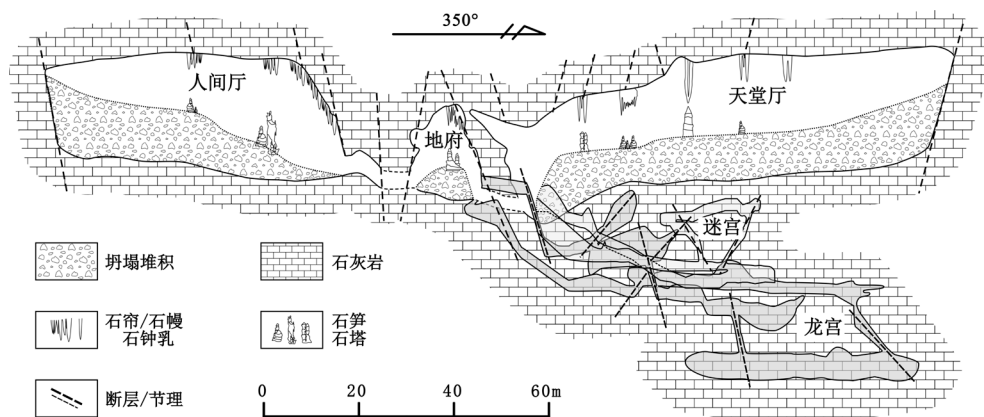
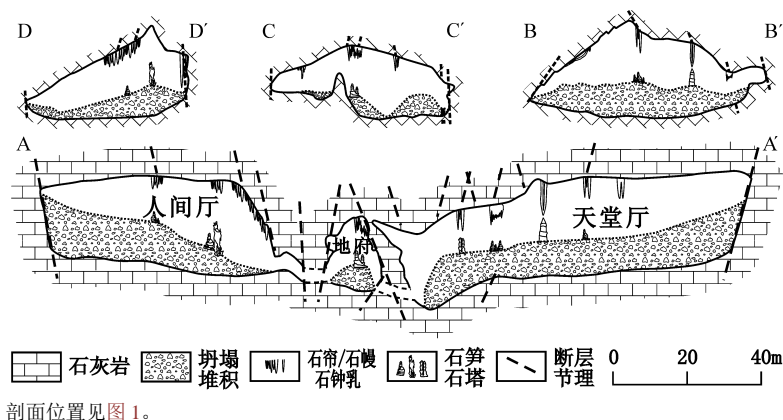


Figure 2. The section map of Baiyun Cave system  
图 2. 白云洞洞穴系统



剖面位置见图1。

Figure 3. The section map of the first layer caves

图3. 第1层洞剖面图

## 4. 白云洞喀斯特景观类型及资源特色

白云洞拥有类型众多、形态各异、资源特色鲜明的喀斯特景观，按成因可分为沉积景观、溶蚀-侵蚀景观(包括蚀余景观)等类型。其景观集成在我国北方实属罕见，具有极好的观赏价值和科学研究价值。

### 4.1. 沉积类景观

#### 4.1.1. 重力水沉积景观

重力水沉积景观是白云洞各层洞穴中发育数量最多、分布最广的景观。根据形成方式又可分为滴水沉积景观、面流沉积景观和飞溅水沉积景观等三类。

1) 滴水沉积景观 包括石钟乳、石笋、鹅管、石柱等。洞穴中最具特色的石钟乳是人间厅的“三叉神戟”，为洞顶滴水沉积景观的典型代表，造型奇特(图4-1)；人间厅宝塔状的石笋“灵猫望塔”、天堂厅人头像石笋“西域女郎”(图4-2)等是洞底滴水沉积景观的典型代表；迷宫洞口的鹅管残余“朝天一炷香”，堪称一绝，由均匀慢速滴水形成(图4-3)。石柱当中，既有石钟乳与石笋双向生长而成的“双塔争雄”(图4-4)，也有石钟乳自洞顶向下生长至洞底而成的“五腿神鹿”(图4-5)，而最引人入胜的石柱当属迷宫的“阴阳玉柱”景观，由含一定量  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的红色石柱和纯  $\text{CaCO}_3$  白色石柱组合而成(图4-6)。

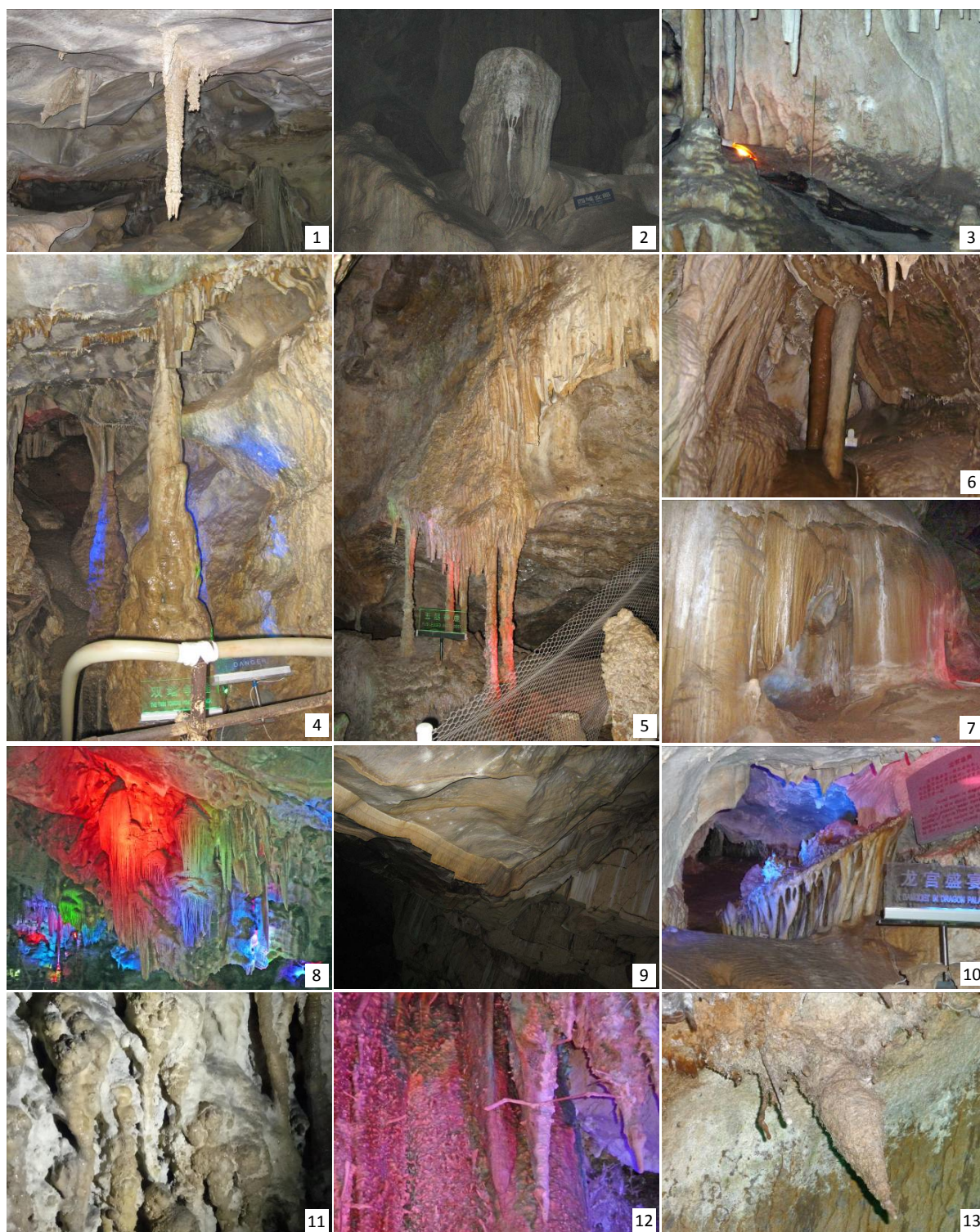
2) 面流沉积景观 洞内此类景观极为丰富壮观。人间厅的“石帷幕”高5 m、宽10 m，形似垂帘，系洞壁面流所成(图4-7)；天堂厅的“飞天瀑布”高8.5 m、宽6 m，状如天河飞泻，为洞顶裂隙面流所成的石幔(图4-8)；天堂厅的“玉龙钻天”长16 m、宽1.5~2.0 m，为洞顶裂隙渗水而成的石旗(图4-9)；龙宫内石盾与其上发育的非重力水沉积物构成了独特的“龙宫盛宴”(图4-10)等景观。

3) 飞溅水沉积景观 主要有石花、石葡萄等。它们是饱含  $\text{CaCO}_3$  的水珠飞溅到洞壁或石笋、石幔等的表面，再由  $\text{CaCO}_3$  沉淀而成的沉积景观。人间厅石花争奇斗艳，龙宫内石葡萄更是果实累累(图4-11)。

#### 4.1.2. 非重力水沉积景观

该类景观是白云洞最独特的景观，在我国北方各较大型溶洞中也极为少见。主要有毛细水沉积景观和雾气凝结水沉积景观两类。

1) 毛细水沉积景观 主要有石枝和卷曲石等造型。天堂厅水平生长的石枝被形象地称为“横天一枝”，它是富含  $\text{CaCO}_3$  的水溶液从先成  $\text{CaCO}_3$  沉积物的细小管孔渗出时水分蒸发而钙质沉淀所成，生长方向不受重力影响(图4-12)；人间厅的“网状卷曲石”是由毛细水形成的毛状、针状沉积物，它们无定向卷曲生长而交织成网，形如丝瓜瓤，在其它溶洞中难觅(图4-13)。



**Figure 4.** Special karst landscapes of Kongshan Baiyun Cave (I) (the pictures taken by authors)

**图 4.** 崆山白云洞特色景观(I) (作者摄于 2017-7)

2) 雾气凝结水沉积景观 由雾气凝结水形成的石针、石毛等景观多见于迷宫和龙宫, 是洞内湿润环境下, 由于温度变化而使雾气凝结水析出  $\text{CaCO}_3$  沉积而成, 常在洞顶或洞壁形成簇状集合体。

### 4.1.3. 协同沉积景观

协同沉积景观是多种动态的水流共同作用的产物。包括 1) 滴水 - 面流沉积景观, 多见于第 1 层洞各厅堂, 其形态主要有片状石钟乳、被流石包裹的大型石笋、石柱等(图 5-1); 2) 滴水 - 飞溅水沉积景观, 如人间厅的“三塔映月”, 三个塔状石笋表面有大量石花发育(图 5-2); 3) 滴水 - 非重力水沉积, 如天堂厅“玉簪对宝瓶”景观中的“玉簪”即是表层发育簇状石针、石枝、石毛的石钟乳, 其下为形如宝瓶的大型石笋, 这一完美杰作具有极高的观赏价值和科研价值(图 5-3)。

### 4.1.4. 叠置沉积景观

叠置沉积景观是指在同一位置由于不同时期水动态发生了变化, 使  $\text{CaCO}_3$  沉积物叠加或包裹在一起所成的形态。例如, 人间厅的“擎天柱”为早期形成的大型石柱, 其上后期叠置沉积了新生石笋和石钟乳(图 5-4); 迷宫“玉竹成林”景观是在滴水形成石柱后, 面流在其外表叠置沉积时, 在石柱的多个横断裂隙部位形成环状凸起, 使石柱呈竹状形态(图 5-5)。

## 4.2. 溶蚀 - 侵蚀景观

溶蚀-侵蚀景观是指在地下水或洞穴流水作用下, 在洞顶或侧壁形成并遗留下来的各种溶蚀-侵蚀痕迹。白云洞的主要溶蚀-侵蚀景观可分为窝穴类、井管类、沟槽类和蚀余类等。它们的发育多与断裂有关: 串珠状窝穴沿单向断裂发育, 网状窝穴发育在多组断裂交汇处; 成群小窝穴继续溶蚀扩大则会使窝间岩块崩落, 演化成多冠室大窝穴(图 5-6)。井管类多为“天筒”, 横断面为不规则圆形, 深度 1 m 左右, 多有溶隙或裂隙通向深处。沟槽类主要有侧壁水平溶蚀凹槽, 常成层分布, 能够反映洞穴发育时期的潜水面动态。蚀余类是形态多样的突出于洞壁的原岩正形态, 如天堂厅中堪为奇观的“金钩倒挂”(图 5-7)。

## 5. 白云洞资源环境面临的危机

如前所述, 崆山白云洞的规模、结构及其所拥有的喀斯特景观类型组合为我国北方其他地区无可比拟。然而, 作为地方特色旅游资源的白云洞景观却面临着的一系列亟待研究解决的危机。

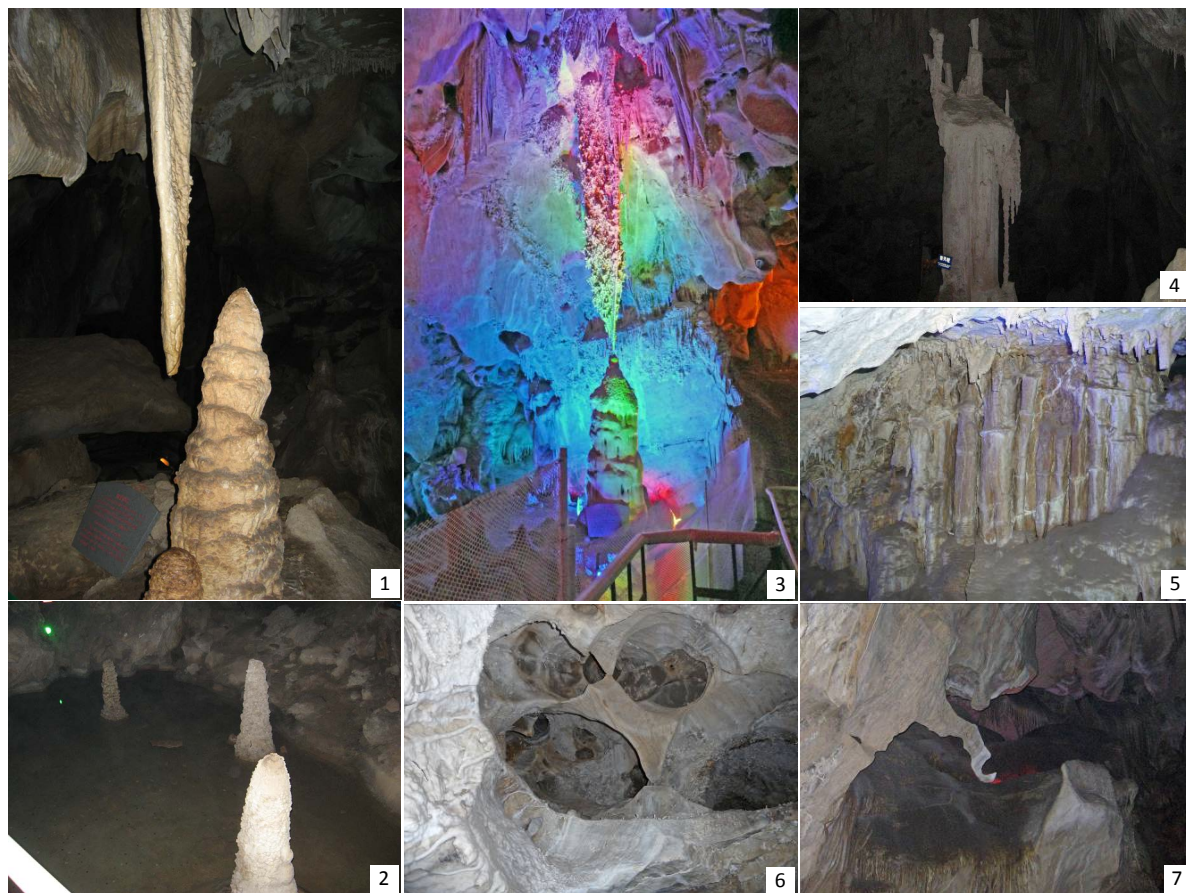
### 5.1. 白云洞洞穴稳定性差

1) 洞穴岩石结构稳定性差 白云洞发育在寒武纪 - 奥陶纪石灰岩地层中, 而这套地层自形成后, 经历了古生代和中生代多次构造运动, 使岩石破裂严重, 尤其是燕山运动形成的多组断裂构造到新生代仍有强烈活动。这些断裂构造虽然为白云洞的形成创造了有利条件, 但也为洞穴结构稳定性埋下了隐患, 成为洞穴后期坍塌的主要地质原因。

白云洞自更新世形成以来, 受新构造运动间歇性抬升作用影响, 曾有过三次大规模崩塌, 分别发生在中更新世早期、晚更新世早期和早全新世中晚期[6] [8]。三次强烈的坍塌不仅使白云洞受到严重破坏, 而且使洞顶岩石厚度急剧减薄, 难以抵御后期的地质灾害。据访查, 1966 年邢台大地震曾给白云洞带来了灾难性损毁, 洞穴岩石强烈崩落, 洞底众多块石凌乱堆积(图 6)。

2) 洞穴形态结构稳定性差 洞穴最稳定的形态结构是拱形结构[17], 而白云洞三层洞穴目前所展现的横剖面形态多呈不稳定的三角形。更应关注的是, 第一层的天堂厅、人间厅和地府厅不仅受一系列近南北向断裂破坏, 还受到近东西向断裂切割, 洞厅四周岩石被分裂成大小不等的岩块。因此, 白云洞无论是洞穴形态还是力学结构均处于不稳定状态, 倘若再遇强烈震动, 便会面临严重坍塌的危险。

3) 洞穴内部环境复杂多变 在 2015 年国家地质公园建立的十多年前, 崆山周围石灰岩矿遍布, 在露天开采矿石过程中多有强力爆破, 不仅使洞体顶板快速减薄, 而且岩石破裂加剧。经观测, 现今白云洞洞顶岩石最大厚度只有 50~60 m, 部分地段仅 10 m 左右; 洞壁构造裂隙都有不同程度开裂, 其中节理



**Figure 5.** Special karst landscapes of Kongshan Baiyun Cave (II) (the pictures taken by authors)

**图 5.** 崆山白云洞特色景观(II) (作者摄于 2017-7)



**Figure 6.** Collapse landscape in Kongshan Baiyun Cave (the pictures taken by authors)

**图 6.** 崆山白云洞崩塌堆积景观(作者摄于 2017-7)

开裂可达 10~15 cm，断层开裂可达数米。薄弱的洞顶、开启的断裂使洞内外环境频繁交换，原本较稳定的洞穴环境开始出现雨季滴水潮湿、旱季透风凉干的快速变化，使洞穴面临着先期景观风化、后继景观难成的困境。

## 5.2. 白云洞景观资源劣化显著

1) 洞穴景观风化严重 白云洞的景观风化包括化学风化(或白垩化)和物理破损两个方面。

洞穴景观的化学风化与洞内的温湿环境变化有关[9] [10]。温度降低，洞内空气湿度加大，达到露点



时便产生凝结水，凝结水一旦有  $\text{CO}_2$  溶入，将对  $\text{CaCO}_3$  沉积景观进行溶蚀，破坏其形态和结构；温度升高，景观外层将会由于水分散失而干裂、崩落。

调访证实，白云洞的发现缘于崆山石灰岩的开采揭露，在此之前，白云洞处于“隐、闭”状态。然而，当初白云洞的“封闭环境”如今看来仅是指没有人或动物进出而已。事实上，白云洞先期的多次崩塌早已造成了洞顶岩石厚度小、破裂严重的结果，且多数断层贯通了洞穴内外，使洞穴内部温湿环境随外部季节变化而多变。洞内外频繁的干湿、冷热空气交换可引起早期景观的风化(或白垩化)。洞穴开发后，洞内外环境的互交得到强化，尤其是近些年来，随着游客数量的逐年增多，洞内各类景观的风化作用有加速趋势。

物理破损主要包括构造活动(或地震)等造成的景观折断、位错和崩落等。洞内景观的破损多发生在断裂附近，由于那里构造活动性和空气流动性强，因而早期景观的风化和物理破损常常并处。例如：天堂厅断裂附近的“委曲求全”景点，石钟乳、石幔和石柱等景观不仅风化显著，而且破损严重(图 7-1)；迷宫的“多彩石幔”、石钟乳化学风化与构造破损共存(图 7-2)；龙宫中，“龙女纱帐(石帘、石钟乳)”风化严重且有大量折断(图 7-3)；龙宫“群龙聚会”中“恐龙”的身躯—石旗风化、破损后边缘呈锯齿状(图 7-4)；天堂厅的“百叶石幔”不仅风化明显，边部还有构造折断(图 7-5)。

2) 洞穴景观劣化的人为影响 近些年来，随着旅游业的快速发展，白云洞的游客数量逐年增加，每到旅游旺季都有大批游客涌入。据研究[10]，人均呼出  $\text{CO}_2$  量一般是 40 L/h，如果按惯例每天不间断进入 2000 人(实际旺季多达 6000 人以上)，平均每人游完洞穴用 1 小时，则每天有 80,000 L 以上的人为  $\text{CO}_2$  进入洞中，这将提高洞穴大气的温度和  $\text{CO}_2$  含量，进而促进洞穴景观的风化。

白云洞作为景观资源丰富的旅游洞穴，灯光的合理使用是体现其美学价值的重要手段，但人工光源提高了洞内温度并产生了灯光植物，光源附近常有菌类、藻类和苔藓等植物生长，它们产生的有机酸对景观有显著的溶蚀作用(图 8-1，图 8-2)。

此外，少数游客的不文明行为也给洞内景观造成了一定程度的损坏。如随意在景物或洞壁上刻画、乱丢垃圾、长时间触摸各种景物、打击或折断景物以留作纪念等。最令人痛惜的是人间厅珍贵的“网状卷曲石”周围众多的石钟乳被人为打断，集成景观的和谐性遭到破坏(图 8-3，图 8-4，图 8-5)。

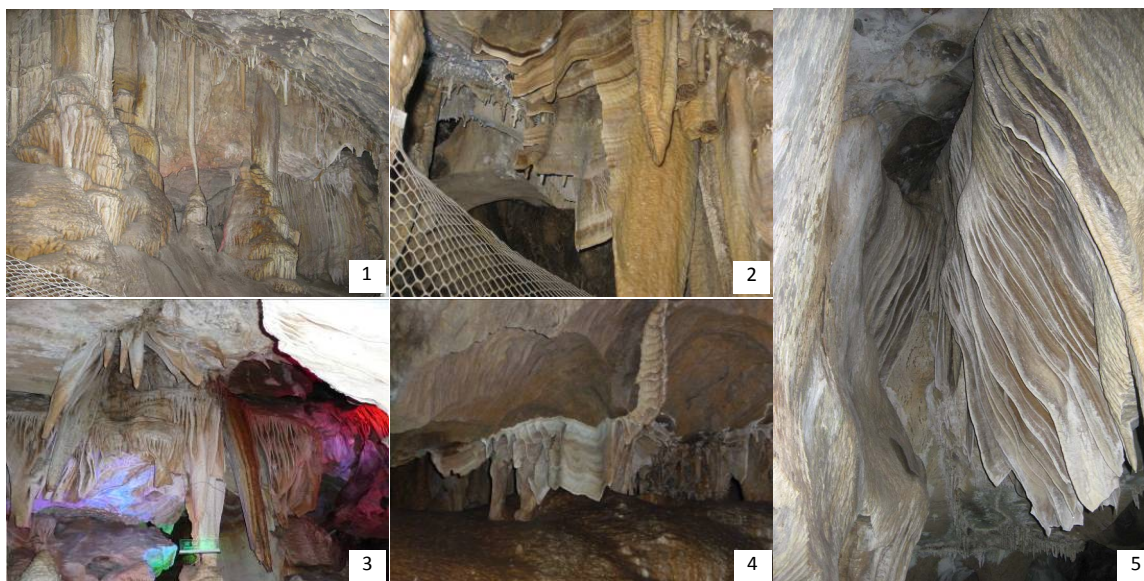
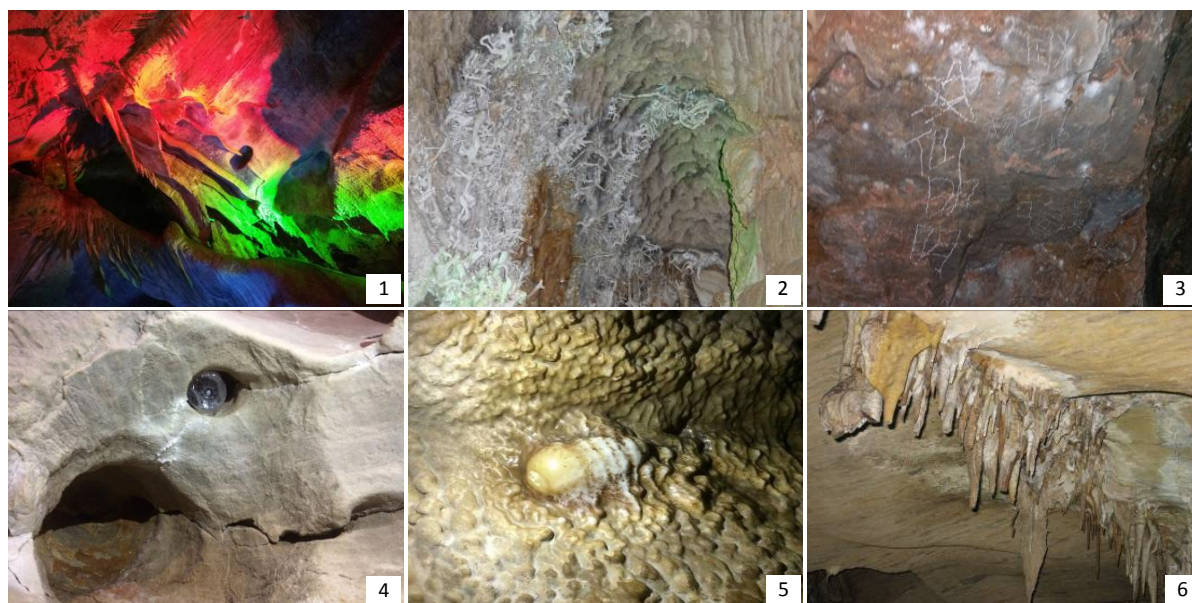


Figure 7. Weathered and damaged landscapes of Baiyun Cave (the pictures taken by authors)

图 7. 白云洞风化、破损景观(作者摄于 2017-7)



1,2-人工光源和灯光植物；3-随意刻画；4-插入溶孔的塑料瓶；5-触摸后的景物；6-网状卷曲石周围折断的石钟乳。

**Figure 8.** Artificial damage to cave landscapes (the pictures taken by authors)

**图 8.** 洞穴景观人为损坏状况(作者摄于 2017-7)

## 6. 白云洞环境治理和景观资源保护建议

### 1) 注重基础调查工作，制定科学的治理与保护规划

崆山白云洞的形成发育受地质地貌条件和各种地理因素的双重制约。全新世以来，包括崆山在内的整个太行山区依然构造活动不断，而且近些年来又出现了降水逐年增多的趋势，使地表水和地下水活动增强，土壤和植被发育条件得到改善。因此应开展系统基础调查工作，科学评价地质地貌条件和气候、水文、土壤、生物等因素变化对白云洞景观资源可能产生的影响。在此基础上，制定出切实有效的洞穴环境治理和景观资源保护规划。

### 2) 重视洞穴稳定性观测，探索有效的治理与保护途径

白云洞周围岩石破碎强烈、溶蚀孔隙众多，在构造运动中曾多次因结构失稳而严重崩塌。从目前状态来看，沿各种裂隙下渗的水分仍在穿透薄弱的洞顶对岩石进行着溶蚀，洞穴整体结构极不稳定，如果再遇较强地震或爆破事件，极有可能给白云洞景观资源带来灾难性损毁。因此，对洞穴稳定性进行适时观测、探索有效的洞穴保护途径是一项重要和紧迫的工作。

### 3) 合理调整生态布局，系统实施洞穴加固工程

现今的崆山多基岩裸露且断裂发育，大气降水和地表水极易沿裂隙下渗，因此在调整植被布局时不宜种植根系发达的树木，应构建以灌木和草本等为主的植被系统，并通过营造土壤、扩大植被覆盖面积提高整个植被系统的水分涵养能力，以达到减少水分下渗或降低下渗速度、保护洞穴景观资源的目的。

与此同时，还要对白云洞周壁岩石中的断裂进行详细分类研究。对宽大又无景观特色的张性断裂，特别是通达洞内外的贯穿性断裂，应采用适当的水泥封堵或加固措施，以强化洞穴结构稳定性，减少洞内外空气交换量和水分入渗量，降低洞穴岩石侵蚀、溶蚀和景观风化的速度。

### 4) 科学评估环境承载力，以保护为前提开发利用资源

白云洞是以线路旅游为主的景区，这就决定了其环境承载力是有限的。近些年来，随着客流量持续快速增长，白云洞旅游环境质量和景观质量劣化问题也日益突出。已有的观测研究证实，在旅游高峰

期连续不断的游客引起的洞穴 CO<sub>2</sub> 浓度变化需要一个晚上才可恢复到背景值[18]; 在游客数量大致相同的情况下, 如果引导游客分批进入洞穴, 则洞穴的 CO<sub>2</sub> 浓度在较封闭地段 20 分钟就可以恢复到背景值, 其它地段仅 10 分钟即可[19]。因此, 要做好白云洞景观资源保护工作, 就要依据洞穴的空间容量、环境恢复能力、景观稳定性等, 科学评估其旅游环境承载力, 合理疏导游客, 避免超负荷经营。

#### 5) 加强洞穴监督管理, 避免人为损毁景观

如前所述, 白云洞景观的人为损毁现象普遍, 其中不乏将景物打断后拿到市场高价兜售获利者。故此, 要有效保护白云洞景观资源, 对游客做好扎实细致地宣传教育工作极为重要, 尤其在导游解说词中应强化资源保护的意味, 使游客充分认识白云洞资源环境系统的脆弱性, 提升保护意识; 同时还要建立严格的监督管理制度, 加强对洞穴景观的监护, 减少或避免人为损毁。

#### 6) 合理使用人工光源, 降低光热对洞穴景观的影响

人工灯光可渲染景观特征、方便游客浏览通行, 但光热可提高洞内温度, 且易产生灯光植物, 不利景观资源保护。因此, 白云洞应使用质量好、热量低的冷光源, 还要根据旅游线路和景物特征设置不同的灯源, 并定期更换灯源位置。对于功率大、释放热量多的光源可加隔热层, 以降低热量对景观的不利影响。对于灯光植物, 可采用加入次氯酸盐溶液的蒸汽喷洗去除, 但喷洗时应注意对旅游线路周边的重要景点加以保护。

## 7. 结语

崆山白云洞是大自然赐予人类的宝贵地质遗产, 它所拥有的喀斯特景观资源无论是类型多样性还是群集程度都是我国北方其他溶洞无可比拟的, 具有极高的科学研究价值和旅游观赏价值, 因此洞穴环境和洞穴景观资源的良好维护不仅是科学研究的需要, 更是地方旅游经济可持续发展的要求。然而, 洞穴结构复杂、岩石破裂严重、灾害承载力低等现实状况又决定了这项工作是一个长期、复杂的系统工程, 而探求科学有效的治理和保护措施则是当前亟待解决的首要问题。

## 致 谢

感谢黄华芳教授在项目设计、野外实地考察、论文撰写修改和图件绘制过程中给予的精心指导; 感谢审稿专家和编辑对本文提出的宝贵意见和建议。

## 基金项目

国家科技重大专项(2011ZX05043-005), 河北师范大学暑期社会实践项目(Supported by Natural Science and Technology Major Project. 2011ZX05043-005.Summer Social Practice Project of Hebei Normal University)。

## 参考文献 (References)

- [1] 李大通, 罗雁. 中国碳酸盐岩分布面积测量[J]. 中国岩溶, 1983(2): 147-150.
- [2] 袁道先. 中国西南部的岩溶及其与华北岩溶的对比[J]. 第四纪研究, 1992(4): 352-361.
- [3] 陈伟海. 洞穴研究进展综述[J]. 地质论评, 2006, 52(6): 65-74.
- [4] 宋林华. 喀斯特地貌研究进展与趋势[J]. 地理科学进展, 2000, 19(3): 193-202.
- [5] 彭一民, 赵华新. 河北省临城县白云山岩溶洞穴旅游地学资源的评价与开发[J]. 地球科学, 1994(2): 262-272.
- [6] 郑倩华, 王健, 张晓曼, 等. 河北省崆山白云洞成因与演化[J]. 地球科学进展, 2013, 28(1): 86-93.
- [7] 任庆国. 临城县崆山白云洞的形成与演化[J]. 邢台地区教育学院院报, 1990(2): 45-48.
- [8] 张晓曼, 王健, 郑倩华, 等. 河北临城崆山白云洞溶洞地貌和沉积特征及其影响因素[J]. 古地理学报, 2013,

15(1): 49-58.

- [9] 韦小宁. 旅游洞穴环境变异及景观稳定性研究——以河北白云洞为例[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2005.
- [10] 宋林华, 韦小宁, 梁福源. 河北临城白云洞洞穴旅游对洞穴 CO<sub>2</sub> 浓度及温度的影响[J]. 中国岩溶, 2003, 22(3): 230-235.
- [11] 河北省地质矿产局. 河北省北京市天津市区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [12] 周廷儒. 中国第四纪古地理环境的分异[J]. 地理科学, 1983, 3(3): 191-206.
- [13] 吴忱. 华北地貌环境及其形成演化[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [14] 周昆叔. 花粉分析与环境考古[M]. 北京: 学苑出版社, 2002.
- [15] 王荷生. 华北植物区系地理[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [16] 张俊辉, 夏敦胜, 张英, 等. 中国泥炭记录末次冰消期以来古气候研究进展[J]. 地球科学进展, 2012, 27(1): 42-51.
- [17] 朱学稳. 桂林地区灰岩洞穴的溶蚀形态[J]. 中国岩溶, 1982(2): 94-102.
- [18] Dragovich, D. and Grose, J. (1990) Impact of Tourists on Carbon Dioxide Levels at Jenolan Caves, Australia: An Examination of Microclimatic Constraints on Tourist Cave Management. *Geoforum*, **21**, 111-120.  
[https://doi.org/10.1016/0016-7185\(90\)90009-U](https://doi.org/10.1016/0016-7185(90)90009-U)
- [19] 何才华, 王宗艳. 洞穴环境与洞穴旅游[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2005, 23(1): 46-50.

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ag@hanspub.org](mailto:ag@hanspub.org)