

# 我国石窟寺病害及其类型研究

王金华<sup>1</sup> 陈嘉琦<sup>1</sup> 王乐乐<sup>2</sup> 王奕<sup>1</sup> 高佩华<sup>11</sup>

(1. 复旦大学文物与博物馆学系 上海 200433;

2. 中国文化遗产研究院 北京 100029)

**【摘要】:** 目前, 国内外关于石质文物病害的研究还不能涵盖我国石窟寺病害的内涵及属性。国内在石窟寺病害相关载体、本体、表层岩石、浅表层岩体、病害的概念等方面还存在概念不清晰和不规范、研究对象界定模糊、与我国石质文物保护实践相脱节等问题。根据我国石质文物特征以及保护实践的特点, 石窟寺病害类型可划分为“石窟寺环境与载体岩体工程地质病患”和“石窟寺文物本体病害”两大类, 病患类别包括危岩体(崩塌)、滑坡、地下水剥蚀、洪水及泥石流、地震等类型, 病害类别包括开裂失稳、水侵蚀、风化、生物病害、人为活动诱发的病害等类型。

**【关键词】:** 石质文物保护 石窟寺病害 环境及载体 文物本体 文物表层岩石 文物浅表层岩体

**【中图分类号】:** K854.3; K879.2 **【文献标识码】:** A

## 一、前言

石窟寺病害及类型是我国石质文物保护学的基础概念, 用于描述威胁石质文物保存的破坏现象, 已成为文物保护学的通用术语。石窟寺保护是一个多学科相互交叉的综合学科, 其理论和方法主要来源于两个方面: 一是国际石质文物保护学, 尤其是欧洲石质文物保护学的理论和方法; 二是以地质学为主, 融合文物保护学、建筑学、化学、材料学、物理学等学科的理论和方法。但是, 我国石质文物尤其是石窟寺文物, 与国际石质文物以及地质学、建筑学、材料学等学科, 既存在共性, 也存在显著的差异。因而, 我国石窟寺保护学在基本概念以及理论、方法等方面还处于探索发展阶段, 目前还未形成完善的学科体系。

我国关于石窟寺病害术语定义及类型划分有多种研究和解释, 包括已发布的各种“指南”“标准”“规范”等, 既有共识和共性的方面, 也存在基于不同目的的不同解释, 存在的主要问题有以下几点: (1) 一词多义、一义多词, 相互交叉、相互重叠; (2) 系统性、规范性存在欠缺; (3) 研究对象界定不明确; (4) 与我国石窟寺保护实践脱节。更为重要的是, 石窟寺病害研究与分类不系统、不规范的现状难以满足文物保护术语标准化的需要, 不利于文物保护技术信息的准确与科学交流。石窟寺病害及分类研究是石质文物保护学最基础的工作, 对我国石窟寺病害及病害类型进行系统、深入的探讨分析, 有利于完善我国石质文物保护学基础工作, 体现我国文物保护工作的特色, 提升对我国石质文物病害认知的系统性, 最终推动我国文物保护学理论和方法

**作者简介:** 王金华(1964—), 男, 复旦大学文物与博物馆学系教授、博士研究生导师, 主要研究方向: 石质文物与古遗址保护。陈嘉琦(1991—), 女, 复旦大学文物与博物馆学系博士后, 主要研究方向: 石质文物保护。王乐乐(1979—), 女, 中国文化遗产研究院研究员, 主要研究方向: 考古与文物保护科技研究。王奕(1998—), 女, 复旦大学文物与博物馆学系硕士研究生, 主要研究方向: 石质文物保护。高佩华(2000—), 女, 复旦大学文物与博物馆学系硕士研究生, 主要研究方向: 石质文物保护。

**基金项目:** 国家重点研发计划项目“砂岩质石窟岩体裂隙渗流精细探测与防治关键技术研究”(项目编号: 2021YFC1523400); 山西省文物局文物保护科技项目“云冈石窟第4窟病害分布规律及形成机理研究”(项目编号: 208141400237)

进展，完善学科体系建设。

## 二、石质文物病害国内外研究现状评析

国内外在石质文物病害及其类型领域的研究工作比较充分，这是我国石窟寺病害研究的基础。已有石质文物病害的研究对象偏重于石质文物本体，对于具有自然地质体特征石窟寺文物的地质环境、载体岩体关注不够。目前国内外关于石质文物病害的研究还不能完全涵盖我国石窟寺病害的内涵及属性。

《石质文物病害分类与图示》(WW/T0002-2007)对石质文物病害的定义：在长期使用、流传、保存过程中由于环境变化、营力侵蚀、人为破坏等因素导致的石质文物在物质成分、结构构造，甚至外貌形态上所发生的一系列不利于文物安全或有益于文物外貌的变化<sup>1</sup>。

《石质文物保护工程勘察规范》(WW/T0063-2015)对石质文物病害的定义：在自然营力作用和人为因素影响下形成的，影响文物结构安全和价值体现的异常和破坏现象<sup>2</sup>。

《馆藏砖石文物病害与图示》(GB/T30688-2014)对砖石质文物病害的定义：由于自然损伤及人为破坏导致的砖石文物物质成分、结构、外貌所发生的变化现象<sup>3</sup>。

以上有关石质文物的标准、规范对石质文物病害定义的共识：一是将病害定位于一种“破坏现象”；二是影响因素包括两个方面，即自然环境因素和人为活动因素；三是在影响后果上包括文物在物质成分、结构变化的现象和影响文物价值外观及形态变化的现象。

对于石质文物病害的定义及病害类型的划分，现有以下几种形式：《石质文物病害分类与图示》(WW/T0002-2007)采用二级分类体系，提出了7个类别、19种病害类型。《石质文物保护工程勘察规范》及黄克忠先生等《岩土文物建筑的保护》<sup>4</sup>，提出了石质文物环境地质病害的分类。李宏松《石质文物岩石材料劣化特征及评价方法》系统研究了石质文物病害的特征及评估方法，按照石质文物病害的现象及破坏形式，提出组群、典型类型、独立类型的三级分类分级体系，共界定了5个组群、17个典型劣化类型、8个独立类型，计24种病害类型<sup>5</sup>。国际古迹遗址理事会石质学术委员会(ICOMOS-ISCS)发布《岩石病害特征术语表》，按三级分类结构，提出了5个类别、33种病害类型<sup>6</sup>。

从以上石质文物病害的术语及病害类型划分可以看到：一是“病害”被定性为破坏现象已是共识；二是石质文物病害类型以破坏现象、破坏方式、破坏形态为主要划分依据，但同时又考虑到病害的原因，在病害类型描述上出现交叉、重叠的情况；三是注意到石质文物中石窟寺既具有地质体特征，又具有构筑物、艺术作品的特征，但分类时区别界定不明确；四是以石质构筑物、石质艺术作品的结构形态为重点分类，忽略了我国石质文物以石窟寺及摩崖造像为主体的地质体特征，虽然提出了地质环境和载体岩体病害，但两者似乎各自孤立，关联性、整体性、系统性体现不充分。

## 三、石窟寺病害概念及其类型划分的原则

我国石窟寺及摩崖造像内容丰富、规模庞大、数量众多、分布广泛，在我国石质文物中处于主体地位。从保存环境上，与人工营造的石质文物建筑和具有独立结构的古代石刻、石雕像等艺术作品相比，其具有地质体和人工营造建筑及艺术品的双重特征<sup>7</sup>。石窟寺文物病害定义的范畴，既应考虑石窟寺文物本体的结构及雕塑艺术品的特点，又要考虑依托自然山体地质环境的特点，同时还要充分考虑我国石窟寺及石刻保护工作特点和保护实践的需求。

由此，我国石窟寺病害定义及其类型划分的基本原则有如下几点：(1)石窟寺(含摩崖造像)是我国石质文物的主体；(2)

石窟寺地质环境、载体岩体与文物本体是具有关联性的一个整体；(3) 雕塑艺术品等文物本体的文物属性是主体；(4) 自然山体的地质体为石窟寺文物的依托载体，其自然属性显著，也是石窟寺文化景观价值的重要组成部分，具有文物属性；(5) 与国家及文物行业领域相关规范、标准基本协调；(6) 与石窟寺文物的安全及文物价值密切相关；(7) 在尊重传统习惯表述方法基础上，体现系统化、规范化等<sup>8</sup>。

在有关石窟寺病害评估的描述中，常用到的概念有：“石窟寺文物本体”“石窟寺文物载体”“表层岩体（或称表面岩石、表层岩石）”“浅表层岩体”等，但各个概念的具体涵义、解释仍存在表述不准确、不恰当的情况。为此，本文对这些常用概念作出初步定义，以期引发业内关注，促进相关概念的进一步规范完善。

**石窟寺文物本体：**是指石窟寺洞窟、龕、摩崖等与石窟寺营建关联的构筑物 and 石雕像、壁画、彩塑、题刻（记）等雕刻艺术品；与石窟寺营建、发展演化相关的椽孔、寺院遗迹等，也属于石窟寺文物本体范畴。

**石窟寺文物载体：**主要是指对石窟寺文物本体起支撑作用，并与文物本体结构安全密切相关的构造体及地质环境。包括石窟寺洞窟构筑物与雕刻艺术品所依托的山体，以及相关联的地质体。

独立结构体制的石质文物或建筑形制的石质文物，比如碑、牌坊、汉阙、塔、经幢、墓志铭、石器、石雕像等，集石窟寺文物本体、文物载体为一体，定义为“石窟寺文物本体”更为恰当。

**表层岩石：**指受气候营力因素（温度、湿度、风、降雨、降雪、冻融等）、生物活动以及人为活动因素（大气污染等）作用，影响文物本体结构安全保存的区域岩石。

在对石窟寺风化破坏病害进行描述时，常用到“表层岩体”“表面岩石”“表层岩石”等概念。一方面，石窟寺风化破坏病害一般发生在石窟寺构筑物与雕刻艺术品表层 0~50cm 区域的岩石内，并非平面的局限性的影响，“表面岩石”的概念不能反映风化破坏状态在三维空间区域演化的特点，其涵义不够准确；另一方面，石窟寺风化病害相关研究内容以风化破坏区域岩石的矿物成分、微观结构、微观形态为主，更多关注岩石材料的特征及变化而非区域岩体。因此，相对于“表层岩体”或“表面岩石”，采用“表层岩石”的概念更为恰当。

**浅表层岩体：**是指受地质营力及开挖石窟洞室应力调整而产生卸荷作用所引发的形变影响，与石窟寺构造岩体安全相关的区域岩体。根据石窟寺保护研究成果及保护实践，一般为石窟寺崖壁 0~30m 范围内的岩体。

在石窟寺保护领域，浅表层岩体的概念主要用于石窟寺岩体稳定性评估分析，与工程地质学常用的浅表层岩体内涵相近，但其性质有一定差异。工程地质学常用的浅表层岩体概念，主要是指影响建设工程安全范围内的地表以下区域岩体，影响因素包括地质构造、地应力、卸荷作用等等，研究区域几米至几千米。而石窟寺营建依托的岩体大多为构造剥蚀断崖和河流阶地断崖，地质构造简单，地质应力稳定，基本不存在大规模的地质灾害，其影响因素主要为局部区域山体的卸荷作用。

石窟寺本体文物的破坏现象被称作“病害”已经形成共识，但将石窟寺环境与载体岩体的安全隐患称作“病害”不够准确。这些病害与工程地质学的“不良地质现象”关联密切，但又有所不同，因此笔者提出“石窟寺环境与载体岩体工程地质病患”的概念。依据石窟寺赋存环境、文物结构体、构造体的特点，石窟寺病害可划分两个类别：“石窟寺环境与载体岩体工程地质病患”与“石窟寺文物本体病害”。依据影响因素、作用方式、破坏特征，每个病害类别又各分五种病害类型，共计 10 种病害类型。

#### 四、石窟寺病害概念及其类型

---

石窟寺病害的概念是：在地质营力作用、生物活动、人为活动等因素影响下形成的，威胁石窟寺环境及载体岩体安全的工程地质病患；以及对石窟寺文物本体等造成材料（岩石材料、人为彩塑材料等）劣化、微观结构损伤、形态及形制破坏、颜色变化等，影响石质文物安全保存和文物价值的破坏现象。

### （一）石窟寺环境与载体岩体工程地质病患

石窟寺环境与载体工程地质病患是在地质营力作用、人为活动等影响下形成的，对石窟寺文物环境、载体岩体及人类生命财产构成安全威胁的工程地质病患或地质现象。

根据我国石窟寺及石刻保护研究成果，古人在选择石窟寺营造、雕刻地点时，考虑到了地质环境的安全性，依托的地质体工程地质条件一般较好。我国石窟寺地质环境及载体岩体是基本稳定的，一般不存在大规模的地质灾害。我国石窟寺环境及载体岩体存在的主要工程地质病患是局部岩体失稳，以及石窟寺环境有限规模的洪水、泥石流危害等，主要分为五种类型：（1）危岩体（崩塌）病患；（2）滑坡病患；（3）地下水剥蚀病患；（4）洪水及泥石流病患；（5）地震病患。

#### 1. 危岩体（崩塌）病患

地质学的危岩体（崩塌）是陡倾斜坡上被裂隙切割的局部岩体，在重力作用下突然脱离母体，并以垂直位移运动方式发生翻滚、跳跃、坠落而堆积在坡脚（或沟谷）的地质现象<sup>9</sup>。危岩体虽然还没有发生崩塌破坏，但具备发生崩塌的主要条件，是潜在的崩塌体。

石窟寺的危岩体病患主要是指发育在载体岩体的失稳岩体，一般规模较小。虽然危岩体规模有限，危害性是局部的，但其破坏的后果十分严重，往往会对石质文物造成损毁性的破坏，普遍存在于我国石窟寺及摩崖造像，是主要的工程地质病患。甘肃麦积山石窟、炳灵寺石窟，新疆克孜尔千佛洞，宁夏须弥山石窟，河南龙门石窟，四川乐山大佛等大部分石窟崖壁载体岩体都曾存在危岩体的安全威胁，发生过危岩体垮塌破坏。

#### 2. 滑坡病患

滑坡是指斜坡上的土体或岩体受地下水活动、雨水浸泡、地震及人工切坡等因素影响，在重力作用下，沿着一定的软弱面或软弱带，整体或分散地顺坡水平滑动运动的地质现象<sup>10</sup>。滑坡是地质边坡最为普遍的地质灾害，危害十分严重，是地质工程的主要研究及治理对象。

我国石窟寺地质环境条件总体较好，不存在大规模山体滑坡地质灾害，但部分石窟寺周边地质环境仍存在小规模滑坡灾害的威胁，对石窟寺、石刻环境及载体岩体造成威胁。比如四川广元皇泽寺石窟前坡体为坡积物滑坡体，坡体的滑动变形对石窟寺环境以及文物、人员造成安全隐患。

#### 3. 地下水剥蚀病患

石窟寺地下水是指埋藏在地表以下岩石空隙中的，在重力作用下自由向下渗透的重力水。地下水对石窟寺岩体的破坏主要是剥蚀破坏，即冲刷破坏作用和对可溶性岩石的溶解破坏作用<sup>11</sup>。

我国石窟寺依托自然地质体而建，在开凿营造选址时一般避开了地下水长期渗水或严重渗水的区域。自然地质体一般裂隙十分发育，大气降雨引发石窟寺岩体裂隙产生的季节性、临时性地下水渗水，即裂隙渗流水，是我国石窟寺主要的地下水剥蚀破坏形式。龙门石窟、重庆大足石刻、乐山大佛、陕西彬县大佛寺、山西云冈石窟等石窟寺存在严重的裂隙渗水现象以及地下水诱

发剥蚀破坏问题，对石雕像、彩塑、壁画等石窟寺文物造成严重损害<sup>12</sup>。

#### 4. 洪水及泥石流病患

泥石流是指在山区或者其他沟谷深壑等地形险峻的地区，因为暴雨、暴雪或其他自然灾害引发的山体滑坡并携带有大量泥沙以及石块的特殊洪流。洪水是液态洪流，泥石流是固体和液体混合体且固体含量很大的洪流<sup>13</sup>。洪水及泥石流具有很大的破坏力，往往短时间内造成很大的灾害。我国西北地区石窟寺，比如新疆克孜尔千佛洞、库木吐拉千佛洞、森姆塞姆千佛洞，甘肃敦煌石窟等石窟寺，存在山间沟谷洪水及泥石流的工程地质病患。

根据《中国气候变化蓝皮书（2019）》<sup>14</sup>，近几十年来，我国西北地区气候由暖干向暖湿转变，气候系统变暖趋势进一步持续，极端天气气候事件趋多趋强，尤其极端气候事件增多增强，降雨量明显加大，极端日降水量事件的频次呈增加趋势。西北地区河流、沟谷的洪水、泥石流灾害频次增加的危害，应引起我们的高度重视。如2019年7月6日在21小时内，莫高窟连续降雨量达40.4毫米（年平均降雨量39.9毫米），部分洞窟岩石垮塌，洪水导致莫高窟景区三处道路塌陷断裂，景区关闭。

#### 5. 地震病患

地震又称地动，是地壳快速释放能量过程中造成的振动，期间会产生地震波的一种自然现象<sup>15</sup>。石窟寺地震破坏问题是指地震破坏作用导致的石窟寺山体崩塌，引发石窟寺环境、载体岩体、文物等损毁破坏，并严重危及人员安全。

麦积山石窟历史上几次大规模崩塌都是地震引起的。从有记载的一千九百多年以来，地震在麦积山石窟附近的天水相当频繁，有严重破坏的达15次。隋仁寿二年（602年）的大地震，使开凿于北周天和元年至天和三年（566—568年）的七佛阁前廊柱和石雕龕檐及以下约1000立方米的崖壁震塌，此处的洞窟几乎全部崩塌殆尽。1952年的一次地震又将211窟窟顶的一块初唐壁画震落<sup>16</sup>。

### （二）石窟寺文物本体病害概念及类型

石窟寺文物本体病害是指在自然营力、生物活动、人类活动等影响因素作用下，石窟寺文物雕刻品及支撑结构岩体发生材料劣化、结构损伤、外貌形态变化等，对文物安全及文物价值造成损伤或损毁的破坏现象。

由于石窟寺文物本体文物信息载体规模很小，一般为石窟寺表层几厘米至几十厘米岩石，文物本体病害更易发生、损害更为直接，对文物价值的危害性更大。

依据破坏作用，石窟寺文物本体病害类型主要分为五种类型：（1）开裂失稳病害；（2）水侵蚀病害；（3）风化病害；（4）生物病害；（5）人为活动诱发的病害。

#### 1. 开裂失稳病害

开裂失稳病害是指由于裂隙切割的影响，石窟寺本体结构岩体失去原有的力学平衡状态，造成石窟寺本体结构岩体等发生开裂、变形直至失稳垮塌的破坏现象，对石窟寺文物形态、形制、结构造成损害，影响文物本体结构安全和文物价值（图一）。

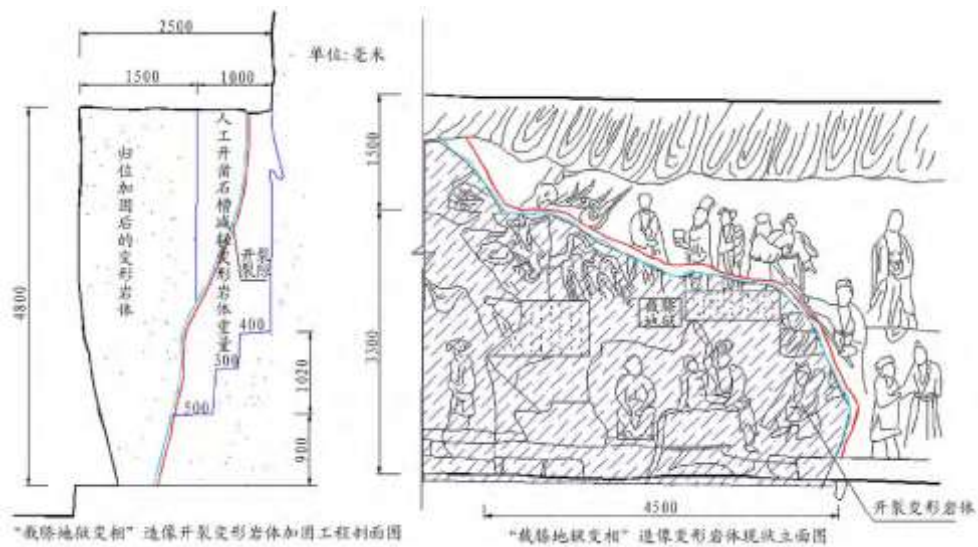
石窟寺文物本体开裂失稳病害与地质环境及载体岩体的开裂、变形危岩体病患相比，规模小，开裂变形小。由于此病害直接发生在雕塑艺术品上，会对雕塑品造成直接破坏，危害性极大，也是石窟寺及石刻比较普遍的病害现象。

比如，大足石刻宝顶山大佛湾“截膝地狱变相”造像岩体出现的开裂变形破坏现象，随着裂隙的进一步扩展，变形岩体有垮塌的危险<sup>17</sup>。

## 2. 水侵蚀病害

由毛细水、凝结水以及水汽运移诱发石窟寺文物表层岩石水岩侵蚀作用破坏，是石质文物本体普遍的破坏方式之一。水岩作用指在地质作用过程中，水溶液与矿物岩石间物质成分、微观结构相互作用发生的力学作用和物理化学反应。1960年，王大纯教授在《云冈石窟工程地质问题》明确提出“云冈石窟水岩长期而缓慢的相互作用是石雕遭受风化破坏的主要原因”<sup>18</sup>。

水岩作用病害类型有：（1）水侵蚀作用病害；（2）水冻胀作用病害；（3）水合及水解作用病害；（4）水溶解作用病害等。



图一//大足石刻-宝顶山大佛湾“截膝地狱变相”岩体开裂失稳病害（图片来源：作者自绘）

## 3. 风化病害

普通地质学中的风化作用是指由于受到大气营力(包括温度、降水、风等)以及生物活动等因素的影响，地壳表面或接近于地面的岩石将会发生机械破坏或化学分解。这种物理性质或化学性质的变化被称为“岩石的风化”，而引起岩石变化的作用被称为“风化作用”<sup>17</sup>（目前石质文物界常用“劣化”概念，更加适合岩石材料性能、成分、结构的衰减过程及现象，但难以涵盖石窟寺文物的材料劣化、结构损伤、形态演化、色泽变化、附着物覆盖等多类破坏现象）。

地质学或工程地质学中岩石风化现象的研究对象主要是岩体，研究目的是解决工程实践的地质学问题；研究时限为地质年代演化进程中时间跨度（百万年计）；研究过程包括未风化、微风化、中度风化、全风化、残积土全过程；研究规模跨度大，为几米至几十米甚至几百米，对这一跨度更为准确的名称是“风化带”。

石窟寺文物保护学作为工程地质学的深化和拓展领域，属于精细化文物工程地质学的范畴。风化病害研究的目的是保存状态及发展趋势评估，阻止或延缓风化病害演化进程，使珍贵文物延年益寿；研究时限具体明确（石窟寺及石刻开凿后的状态可以认定为新鲜岩石状态，而开凿时间一般有较为明确的记载，这一时间即可作为风化病害演化的起始时间），以及未来几十年、几百年时间的演化；研究的尺度只有几厘米至几十厘米（一般 20~30 厘米、最大 50 厘米）；研究重点是中等风化、强风化类型。

---

石窟寺文物风化病害指在大气营力（包括温度、降水、风等）、生物活动以及人类活动等因素的影响下，石窟寺表层岩石发生机械破坏或化学分解变化等风化作用，引发石窟寺文物表层岩石材料劣化、结构损伤、外貌形态变化以及颜色变化，影响了文物安全和文物价值。

在许多文献、研究文章甚至行业规范中，把石窟寺“风化病害”表述为“岩石表面风化病害”，这是不恰当、不准确的。“表面”是二维空间，不能准确描述“风化病害”，“风化病害”有一定深度且具有三维空间的含义，“岩石表层风化病害”的表述更为恰当。

按风化破坏作用机理，风化作用病害分为两种类型：（1）物理风化作用病害；（2）化学风化作用病害。

#### 4. 生物病害

生物病害是指石窟寺文物表层岩石矿物、微观结构、外貌等受生物生长及活动影响而发生的风化破坏现象。由于破坏作用方式的独特性以及生物病害十分普遍，这种病害作为单独病害类型。

生物通过生命活动的粘着、穿插和剥离等机械活动使矿物颗粒分解，是“生物物理风化”；生物通过自身分泌及死后遗体析出的酸等物质，对岩石的腐蚀称为“生物化学风化”。对于露天保存的石窟寺，动物爪蚀破坏、动物粪便、动物的巢穴等也对文物造成损害。

依据生物的种类，生物病害主要划分为三种类型：（1）植物作用病害；（2）藻类及微生物病害；（3）动物活动病害。

#### 5. 人类活动诱发的病害

我国石窟寺因人为活动引发的病害主要有三个方面：（1）大型水利工程建设产生的病害；（2）大气污染及酸雨危害；（3）人为生活活动的病害。

大型水利工程建设产生的病害如甘肃刘家峡水电站的修建造成炳灵寺石窟前冲沟严重淤积，淤积了 30~40 米厚的冲积物，掩埋了部分位置低的石窟，而且淤积过程仍在加剧；1977 年在库木吐拉千佛洞前渭干河下游修建水电站，渭干河水位、河床升高，河水倒灌进入部分低位置的石窟，对石窟内的壁画造成严重破坏。

大气污染对文物古迹的损害作用日趋严重，已成为全世界共同关注的问题。环境污染源有酸雨、有害粉尘以及工业、汽车燃油等造成的二次污染，其中酸雨危害是最大最普遍的。

早期朝拜或生活活动，比如在洞窟内烤火避寒，烟熏对石窟寺石雕像、彩塑等造成了严重的烟熏积垢污染，在 20 世纪 20—40 年代，库木吐拉千佛洞、云冈石窟等多个洞窟就存在生活烟熏的病害。

## 五、结论

石窟寺保护是我国石质文物保护的主体工作，本文充分考虑我国石质文物特点以及保护实践的需求，既将石窟寺赋存环境与文物本体视为一个整体，又从石窟寺赋存环境和文物本体两个维度开展了石窟寺病害概念及其类型的评估分析，并从破坏作用切入对石窟本体病害归类，有利于完善我国石窟寺保护学基础工作，提升对我国石窟寺病害认知的系统性，最终推动我国文物保护学理论和方法进展，完善学科体系建设。

---

**注释:**

- 1[1]中华人民共和国国家文物局:《石质文物病害分类与图示》(WW/T0002-2007),第1页。
- 2[2]中华人民共和国国家文物局:《石质文物保护工程勘察规范》(WW/T0063-2015),第2页。
- 3[3]中华人民共和国质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会:《馆藏砖石文物病害与图示》(GB/T304688-2014),第1页。
- 4[4]黄克忠:《岩土文物建筑的保护》,中国建筑工业出版社1998年。
- 5[5]李宏松:《石质文物岩石材料劣化特征及评价方法》,文物出版社2014年。
- 6[6]International Scientific Committee For Stone. Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns. Japan, 2012.
- 7[7]王金华、陈嘉琦:《我国石窟寺保护现状及发展探析》,《东南文化》2018年第1期。
- 8[8]王金华、严绍军、任伟忠等:《石窟寺岩体结构稳定性评估系统研究》,中国地质大学出版社2013年。
- 9[9]唐辉明:《工程地质学基础》,化学工业出版社2008年。
- 10[10]《中国水利百科全书》编辑委员会:《中国水利百科全书》(第二版),中国水利水电出版社2006年。
- 11[11]杨坤光、袁晏明:《地质学基础》,中国地质大学出版社2009年。
- 12[12]a. 严绍军、方云、孙兵、高洪:《渗水对龙门石窟的影响及治理分析》,《现代地质》2005年第3期; b. 王金华、邓云:《乐山大佛保存现状及保护策略评析》,《中国文物报》2019年4月12日第7版; c. 张兵峰:《川渝石窟裂隙水病害机理研究——以大足石刻大佛湾卧佛区域为例》,《中国文化遗产》2018年第4期。
- 13[13]同[9]。
- 14[14]国家气候中心:《中国气候变化蓝皮书(2019)正式发布》, [EB/OL][2019-04-03][2022-06-16][https://www.ncc-cma.net/Website/?News\\_ID=11025](https://www.ncc-cma.net/Website/?News_ID=11025).
- 15[15]《地震知识百问百答》编写组:《地震知识百问百答》,地震出版社2018年。
- 16[16]同[4]。
- 17[17]王金华:《大足石刻保护研究》,文物出版社2009年。
- 18[18]王大纯等:《云冈石窟工程地质问题的报告》,1960年,未出版。



---

19[19]a. 同[11];b. 杨志法、张路青、祝介旺等:《工程地质学的一个新课题—关于岩石风化速度的定量研究》,中国地质学会工程地质专业委员会《工程地质力学创新与发展暨工程地质研究室成立 50 周年学术研讨会论文集》,中国地质学会工程地质专业委员会、《工程地质学报编辑部》,2008 年。