

# 中国南方大型古遗址主要环境地质病害 及其防治对策研究

刘佑荣<sup>1</sup>, 陈中行<sup>2</sup>, 周丽珍<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学 工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 湖北省博物馆, 湖北 武汉 430077)

**摘要:** 分析我国南方潮湿岩体遗址的地质地理环境特征与病害类型, 得出水害、围岩失稳和环境因素改变引起的破坏是最常见的地质病害, 而水害是其中最重要的病害, 因而治水是关键。同时, 指出这类遗址保护工程既不同于普通的岩土工程, 也不同于其他类型遗址的保护工程。结合文物保护技术要求提出防治工程中需解决的关键问题与技术思路。以印山越国王陵为例分析遗址区的水文、工程地质条件, 采用赤平投影和块体极限平衡方法分析墓坑边坡的稳定性, 提出高分子化学材料滴注+短锚的边坡加固方案, 建立遗址区水文地质模型, 提出地面防渗铺盖+排水暗沟的治水方案。工程实施后, 效果很好。

**关键词:** 工程地质; 大型遗址; 地质病害; 防治工程

**中图分类号:** P 642

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000 - 6915(2009)增 2 - 3795 - 06

## RESEARCH ON PREVENTION COUNTERMEASURE AND MAIN GEOENVIRONMENTAL CAUSE OF LARGE-SCALE ANCIENT SITES IN SOUTH CHINA

LIU Yourong<sup>1</sup>, CHEN Zhongxing<sup>2</sup>, ZHOU Lizhen<sup>1</sup>

(1. Faculty of Engineering, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China;

2. Hubei Provincial Museum, Wuhan, Hubei 430077, China)

**Abstract:** Geo-environment characteristics and disease types of the sites located in watery rock and soil in South China were analyzed for the prevalent geological diseases were water-caused trouble, instability of the surrounding rock and the change of environment. Among the diseases, water-caused trouble was primary important, so the key of the conservation measure was to control the water. Since the cultural site is regarded as primary source, its conservation engineering is different from the ordinary geotechnical engineering. The conservation measures are decided by the geo-environmental condition of the site. Then basically technical scheme and the key technical problem of the conservation engineering are proposed. The mausoleum site of Yue Kingdom in Yinshan was taken as an example. After analyzing the hydrogeological conditions, the stereographic projection and the block limit equilibrium method are adopted to calculate the stability of the slope in the tomb pit. Drip of the polymer chemical material and short anchor to reinforce the slop are proposed. Finally, the hydrogeological model of the site region is established, and method of waterproof blanket and blind ditch to control the water is proposed. It was proven by practical engineering.

**Key words:** engineering geology; large-scale sites; geological diseases; prevention engineering

**收稿日期:** 2008 - 11 - 08; **修回日期:** 2009 - 02 - 05

**作者简介:** 刘佑荣(1955 -), 男, 1978 年毕业于武汉地质学院水文地质与工程地质专业, 现任教授, 主要从事水文地质与工程地质方面的教学与研究工作。E-mail: liuyourong1@163.com

## 1 引言

随着文化事业与考古发掘的不断发展,我国南方相继发掘出土了大量的古遗址及木构件等文物。在这些遗址中有相当一部分是属于低山丘陵岩体遗址,如浙江绍兴市印山越国王陵<sup>[1, 2]</sup>、湖北随州市擂鼓墩曾侯乙墓和铜绿山古铜矿遗址<sup>[3]</sup>等。这些遗址都位于地壳表层风化岩体内,围岩破碎,透水性强,遇水或扰动后极易失稳破坏,而遗址所处的南方气候湿润多雨,年平均降雨量一般在 800 mm 以上,最大可达 1 500 mm 以上。使大部分古遗址处于高含水状态,并处于干湿交替状态,赋存环境非常恶劣,常发生各种环境地质病害,如地下水渗水对遗址及其文物造成腐蚀和破坏、围岩物理力学性质退化引起的遗址基坑边坡变形破坏以及由于环境因素改变引起的地面变形等。如不及时治理将严重影响遗址及其文物的保存。但由于古遗址保护是一项复杂的系统工程,它既不同于边坡加固、基坑排水等普通的岩土工程,也不同于北方干燥遗址保护工程,它涉及文物保护、地质工程、岩土工程等不同的领域和学科,又没有现成的规程规范可做依据。因此,尽管近几年来,国家重视对古遗址的保护,采取了一系列保护措施。然而其效果并不理想,究其原因是一些遗址保护方案仅从文物保护角度提出的,没有注意到古遗址保护工程实际上是一项地质工程,应从遗址所处的地质条件研究入手,结合文物自身特点及文物保护要求,才能得出符合实际的工程方案。因此,系统开展对中国南方大型古遗址环境地质病害与防治对策研究具有十分重要的意义。本文以印山越国王陵为例对中国南方潮湿岩体遗址环境地质病害及其影响因素作简要分析,在此基础上,结合文物保护要求及其工程特点探讨这类遗址保护工程须解决的关键问题和防治对策。

## 2 主要环境地质病害及其影响因素

### 2.1 主要环境地质病害

由于自然环境变迁及人类活动等的作用,使古遗址破坏而影响其长期保存,引起各种环境地质问题或环境地质病害。总括起来中国南方古遗址中的环境地质病害<sup>[4~11]</sup>主要有如下类型:

#### (1) 水害

由于地下水或大量降水形成的渗水引起的病害,包括:霉菌、真菌及低等植物滋生、基坑围岩物理力学性质退化、木构件等文物变质腐烂、溶解、水解及冲刷潜蚀、干缩胀裂、地面沉降、坑壁边坡变形和可溶盐沉淀覆盖等等。这些病害直接起因于地下水的循环交替作用和地下水位波动,危害大,影响面广,几乎每个遗址都存在此类病害,只是由于所处的水文地质条件不同,其病害类型及程度不同而已。因此,治水是遗址保护的关键,也是其后续保护措施得以实施和初见成效的前提条件。

#### (2) 遗址围岩失稳造成的病害

主要是由于围岩内发育各种类型裂隙(结构面),导致围岩体破碎完整性降低引起的各种病害,包括:裂隙张开松动、裂隙渗水、岩崩、岩石风化剥落及边坡变形失稳等进而使遗址与文物遭受破坏。这些病害的严重程度和病害类型受岩体中结构面类型、发育程度及网络特征控制。

#### (3) 环境因素改变引起的病害

这类病害包括采石爆破、振动、开采地下水等人类活动及大气污染等引起的木构件腐蚀、围岩松动开裂变形、地面沉降等,进而使遗址及古文物遭受破坏。

## 2.2 主要影响因素

影响古遗址环境地质病害与保护的因素主要有:遗址区地形地貌、围岩地层岩性及地质构造、地下水和人类活动,降雨及地震等。地下水是引起遗址及木构件各种病害如腐蚀霉变、围岩变形破坏等的直接因素,直接受控于遗址区地形地貌、地层岩性及降雨等条件。人类活动、地震等是遗址地质病害的诱发因素,主要通过扰动或破坏遗址原有封闭的地质环境,改变遗址赋存条件来起作用的。

综合分析可知,影响遗址及其木构件原地保存的最基本的因素是遗址区地形地貌、围岩岩性及地质构造和水文地质条件等。

## 3 治理工程需解决的关键问题

古遗址保护工程<sup>[12~14]</sup>包括治水工程、岩土体加固工程及边坡加固工程等,它与通常的地质工程有很大的不同,其特点有:(1) 要求高,如彻底疏干的遗址要求围岩和文物的含水率在 40% 以下,因此,遗址疏干比普通基坑疏干要求要高得多,同时文物保护工程不允许有任何破坏与功能失效发生,必须长期保持稳定可靠;(2) 被疏干的地下水不是普遍

意义上的地下水,除重力水外,还涉及到毛细水和部分结合水,这就要求地下水位长期保持在遗址底板高程减去土层毛细上升高度的水平上;(3)服务年限长,一般来说遗址要求长期保护,这就要求为其保护服务的地质工程是一种能长期保持稳定和正常运行的永久工程;(4)工程中必须考虑文物特点,以不影响文物景观和文物内含为原则,即地质工程与文物景观相容。

由此可见,遗址保护工程是一项复杂的地质工程,涉及多方面的理论与技术。在遗址保护中既有遗址自身的病害与问题需要解决,另外,在工程施工及使用过程中,由于地下水的下降还会带来诸如地面沉降、边坡稳定及地下水资源枯竭等问题,进而影响遗址区的环境和文物的保护,概括起来防治工程中需要解决的问题有:(1)岩土体分布(特别是含水层、隔水层分布)及其渗透性;(2)岩体结构面发育情况及岩土体物理力学性质;(3)地下水位的分布状况以及变化趋势;(4)遗址区水文地质模型建立及地下水渗流场模拟计算;(5)基坑边坡稳定性分析及加固措施;(6)遗址区疏干排水方案论证;(7)岩土体加固措施及工程方案论证;(8)各类工程效果预测及其对遗址环境的影响分析,如排水工程实施后的效果与渗流场变化趋势及其影响的预测等。

#### 4 治理工程研究的基本思路

治理工程研究的基本思路如图 1 所示。由此可见,遗址保护工程要求从工程设计的角度布置水文工程地质勘探工作,并且要求文物保护工作参与其中,做到治理工程与文物保护协调一致,同时根据施工与监测信息的不断反馈,调整工程设计,达到工程设计的优化。

在治理工程中,工程地质条件是遗址保护工程方案论证与设计的基础,工程勘察是最基础的工作,工程方案论证是核心。工程勘察、渗流场数值模拟、工程监测及岩体结构面网络模拟技术是其关键技术。这些技术的应用不仅为遗址保护地质工程优化设计成为可能,而且使地质工程设计更可靠、更便捷。

#### 5 工程实例

印山越国王陵位于浙江绍兴市城西南约 13 km,

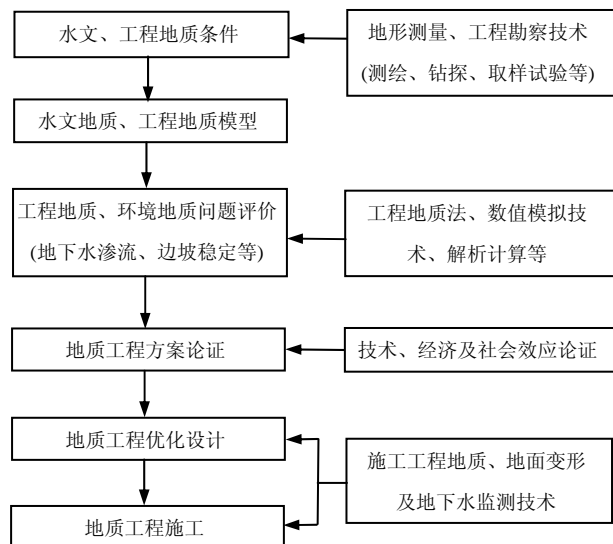


图 1 大型古遗址治理工程研究的基本思路

Fig.1 Basic thoughts of the protective engineering of the large-scale ancient sites

是 20 世纪重大发现之一,据考古发掘:该墓建于 2 500 年前的春秋末期,墓坑系人工凿岩而成,墓坑长 46 m,宽 14 m,深 12.4 m;墓道长 54 m,底宽 3.4~8.7 m,开口宽 6.5~14 m;墓室(椁室)为横断面呈等腰三角形木结构,用 189 根枋木搭建而成,长 34.8 m,宽 6.7 m,高 5.5 m。陵园四周为总长 888 m 的隍壕环绕。这在我国历代墓葬考古中是首次发现。为研究越文化及其与周围文化关系等提供了宝贵的资料。

由于时代久远,加上盗墓活动,暴露时间长,古墓遗址产生了严重的地质病害,其中最主要的病害是地下水渗水引起木椁的霉变腐烂和墓坑岩体边坡变形破坏等。

##### 5.1 墓区地质环境条件

印山越国王陵地处丘陵地带,总地势南高北低。受岩性和地质构造的控制,墓区地貌上为一系列呈 NE~SW 向展布的串珠状剥蚀残丘。印山为相对独立的小山包,主峰海拔高 41.7 m,山下最低处高程 12 m,大墓座西朝东建于印山 135 主峰之上。整个陵园面积包括隍壕在内约 8 500 m<sup>2</sup>。

本区属亚热带季风型,气候温和、湿润,四季分明。年均气温 16.5℃,盛夏季节平均气温 28.7℃,极端最高气温可达 41.1℃。年平均降水量为 1 583 mm,墓址区出露的地层有:寒武系下统荷塘组浅黄色、灰色薄层泥岩及硅质岩;燕山期褐红色、褐色斜长玢岩和第四系不同成因的含碎块石粉土、黏土,

含泥碎石土及青(白)膏泥。

墓区岩土体特别是表层岩土体渗透性强，一般为中至强透水性，往深部因裂隙闭合透水性相应变小。地下水位 14~17 m，低于墓坑底板。地下水主要靠大气降水补给。由于降水形成的暂时性水流，在墓坑四周见十多处渗水。

墓址区位于背斜西北翼，整体为一倾向北西的单斜构造。区内岩层薄而且软弱，小褶皱、节理裂隙发育，岩体破碎。墓坑壁岩体风化严重，掉块及小型崩塌等现象时有发生。

### 5.2 墓坑边坡稳定性与防治对策

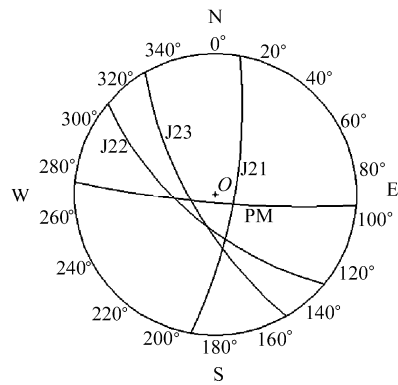
#### (1) 边坡工程地质特征及稳定性分析

印山越王陵墓坑边坡高 11.5 m，坡角 80°，其中北壁长 46 m，以反向坡为主，西壁长 14 m，为斜交坡。由硅质岩、斜长玢岩组成，岩体软弱，发育有 4~5 组结构面，完整性差。据现场调查及稳定性计算认为：该边坡整体稳定性好，不会产生整体滑动和大规模崩塌滑坡。但是，由于岩体中结构面组合形成了形状大小各不相同的块体，在重力、地下水等作用下将成为不稳定分离体而产生滑动、倾倒掉块等破坏现象。本文采用赤平投影方法来分析这种分离体的稳定性。其方法是将结构面和边坡面按产状同时投影到吴氏网中；然后得出结构面两两之间的交线，如果交线倾向边坡外且倾角小于边坡角时，则认为该分离体有可能沿该交线产生滑动，否则就不可能沿该交线产生滑动，只能产生倾倒破坏；最后进行稳定性计算。

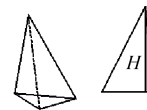
利用赤平投影原理分析边坡岩体稳定性的步骤如下：① 在边坡面上选择代表性的点，进行岩体结构面实测统计得出该处岩体优势结构面组数及其产状；② 将各组结构面与边坡面的产状投影到吴氏网中，两两组合得到结构面的交线产状，剔除与边坡面倾向相反或夹角大于 90°的交线；③ 利用实体比例投影法对可能滑动失稳的分离体投影，求得其体积与形状；④ 计算可能滑动楔形体的稳定性系数，评价其稳定性。

图 2, 3 分别为北壁斜长玢岩和西壁硅质岩结构面赤平投影图与实体投影图。分析结果表明：墓坑边坡岩体存在 7 类不稳定分离体，其规模一般为 0.01~0.30 m<sup>3</sup>。这些分离体在渗水及风化等作用下稳定性差，将产生崩塌或掉块现象。

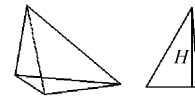
#### (2) 加固措施



(a) J2 点赤平投影图



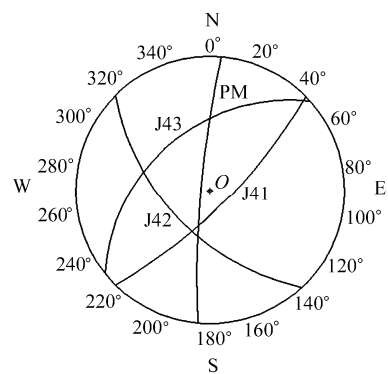
(b) J21, J23 和 PM 组成的四面体实体投影



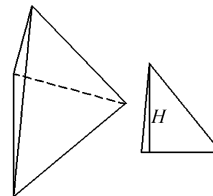
(c) J21, J22 和 PM 组成的四面体实体投影

图 2 北壁斜长玢岩结构面赤平投影与实体投影图

Fig.2 Stereographic and entity projection of the plagio-porphryrite in the north wall



(a) J4 点赤平投影图



(b) J42, J43 和 PM 组成的四面体实体投影

图 3 西壁硅质岩岩结构面赤平投影与实体投影图

Fig.3 Stereographic and entity projection of the siliceous rock in the west wall

稳定性分析表明：边坡整体稳定性好，不会产生整体滑动和大规模崩塌滑坡，因此，加固的对象主要是各类不稳定岩块崩塌、掉块及表面岩体风化、

剥落等, 相应的措施应以浅表层加固和护坡为主。具体措施<sup>[15-16]</sup>为: 高分子化学材料滴注+短锚。即在短锚杆加固不稳定块体的基础上, 采用强度高、适宜灌(滴)注加固的环氧树脂灌浆材料滴注, 达到全面加固边坡岩体的目的。并在边坡下部每隔一定间距用 PVC 管预留排水管, 以排除边坡岩体中的地下水。

### 5.3 地下水渗水特征与疏干排水工程方案

#### (1) 水文地质特征与水文地质模型建立

墓区岩体中节理、裂隙、层面等结构面发育, 岩体破碎, 完整性差, 风化强烈, 地表岩体渗透性强, 一般为中至强透水性, 往深部因裂隙闭合透水性相应变小。地下水主要靠大气降水补给, 地下水位 14~17 m, 低于墓坑底板。

墓区水文地质结构可概化为如下模型: 上部由剧强风化基岩孔隙裂隙——第四系孔隙含水层组成中、强透水含水层, 中部由基岩裂隙含水层组成弱透水含水层, 下部为微风化和新鲜基岩组成相对隔水层。

#### (2) 排水工程方案

水文地质条件分析可知: 目前地下水位处于墓坑底以下, 坑内所见渗水是雨季大气降水形成的暂时性渗水, 渗水强度与延续时间受降雨强度和持续时间影响, 动态变化大。因此, 排水工程的关键是完全杜绝大气降水和生活污水入渗形成的地下水进入墓坑, 并排除墓坑围岩内的地下水, 使之达到彻底疏干遗址的目的。具体方案为: 地面防渗铺盖+排水暗沟。即在遗址四周设置地面防渗铺盖(见图 4), 目的是杜绝大气降水和生活污水入渗; 排水暗沟布置在墓坑内(见图 5), 以明挖回填方式进行, 并在墓坑东侧设置集水井。整个暗沟系统向东南方向倾斜, 使地下水沿暗沟流向东南角的集水井, 集水井内的水再通过水泵抽出地表。

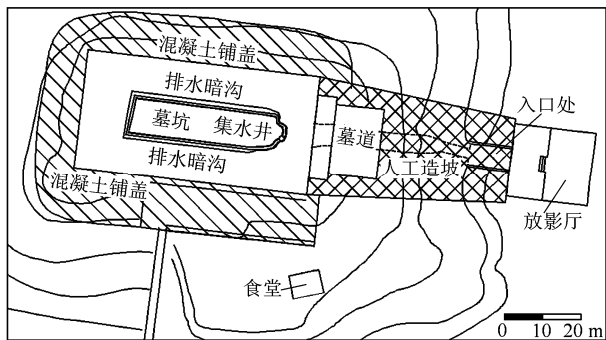


图 4 防渗铺盖和排水暗沟平面布置

Fig.4 Plan of the waterproof blanket and bind ditch

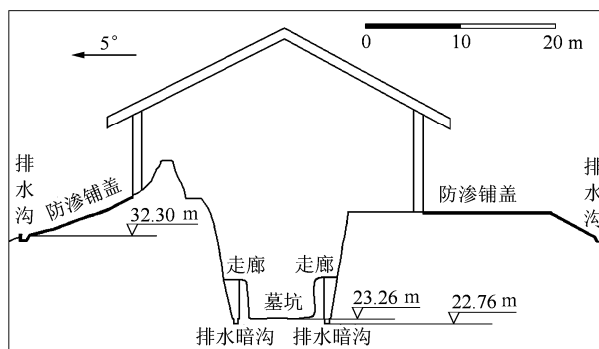


图 5 防渗铺盖和排水暗沟剖面示意图

Fig.5 Cross-section of the waterproof blanket and bind ditch

## 6 结 论

通过本文研究可以得如下结论:

(1) 中国南方潮湿岩体遗址的环境地质病害是多方面的, 包括渗水病害(水害)、围岩失稳造成的病害和环境因素改变引起的病害等。

(2) 由于南方独特的地质地理条件, 与北方遗址相比, 其环境地质病害不尽相同, 南方遗址环境地质病害中最重要的是地下水的循环交替作用和地下水位波动对遗址及其文物造成破坏, 即水害。因此, 治水是遗址原地保护的关键, 也是其后续保护措施得以实施的前提条件。

(3) 南方遗址保护是一项复杂的系统工程, 它既不同于普通的岩土工程, 也不同于北方干燥遗址保护工程, 有他的独特性和规律。

(4) 南方遗址保护工程的关键是查明遗址区的水文、工程地质条件, 并对遗址区地下水渗流场变化规律、岩土体稳定性及其演化趋势进行预测, 在此基础上才能进行方案论证、设计与施工。

### 参考文献(References):

[1] 俞延标, 高纪铨. 印山越国王陵文物保护建筑施工[J]. 建筑技术, 2002, (5): 25 - 30.(YU Yanbiao, GAO Jiquan. Preserving construction of royal tomb of Yue Kingdom, Yinshan[J]. Architecture Technology, 2002, (5): 25 - 30.(in Chinese))

[2] 孙 华. 绍兴印山大墓的若干问题——读《印山越王陵》札记[J]. 南方文物, 2008, (2): 7 - 12.(SUN Hua. Some questions for the Yinshan big tomb of Shaoxin—reading “Yue King’s tomb of Yinshan” notes[J]. Relics from South, 2008, (2): 7 - 12.(in Chinese))

[3] 刘佑荣, 杨裕云, 方 云. 湖北省随州市曾侯乙墓墓坑地质环境及

- 木椁原地保护研究[C]// 第六届全国工程地质大会论文集. [S.l.]: [s.n.], 2000: 111 - 113.(LIU Yourong, YANG Yuyun, FANG Yun. Research the protection of coffin wood in situ and geological environment of tomb of Marquis Yi of the Zeng State in Suizhou, Hubei[C]// The 6th National Engineering Geology Conference. [S.l.]: [s.n.], 2000: 111 - 113.(in Chinese))
- [4] 刘佑荣, 陈中行, 周丽珍. 大型平原土体遗址主要地质病害及其保护治水工程技术研究[J]. 文物保护与考古科学, 2007, 19(3): 11 - 15.(LIU Yourong, CHEN Zhongxing, ZHOU Lizhen. Research on the main geologic diseases and the water-control technology for conservation of the sites made of soil body on the large-scale plain[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2007, 19(3): 11 - 15.(in Chinese))
- [5] PURNACHANDRA V R, MONTAGGIONI L, VORA K H, et al. Significance of relic carbonate deposits along the central and southwestern margin of India for late quaternary environmental and sea level changes[J]. Sedimentary Geology, 2003, 159(1/2): 95 - 111.
- [6] GALLI P, GALADINI F. Disruptive earthquakes revealed by faulted archaeological relics in Samnium(Molise, Southern Italy)[J]. Geophysical Research Letters, 2003, 30(5): 701 - 704.
- [7] KOO M H, MAN-CHEOL S. Geotechnical and hydrogeological approaches towards conservation of the Muryong Royal Tomb in Korea[J]. Man-Cheol Suh. Environmental Geology, 2001, 41(3/4): 470 - 479.
- [8] 周丽珍, 刘佑荣, 谢其勇. 遗址饱水木构件原址保护技术初探[J]. 江汉考古, 2004, (1): 92 - 96.(ZHOU Lizhen, LIU Yourong, XIE Qiyong. Tentative discussion on on-site preservation techniques of waterlogged wooden construction[J]. Jiangnan Archaeology, 2004, (1): 92 - 96.(in Chinese))
- [9] 周双林. 谈谈考古遗址的展示保护[J]. 文物保护与考古科学, 2006, 18(1): 47 - 51.(ZHOU Shuanglin. The preservation of archaeological sites[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2006, 18(1): 47 - 51.(in Chinese))
- [10] 官 信, 闫亚林. 浅议当前大遗址保护问题[J]. 江汉考古, 2008, (1): 129 - 132.(GUAN Xin, YAN Yalin. Discussion on conservation of the large-scale site[J]. Jiangnan Archaeology, 2008, (1): 129 - 132.(in Chinese))
- [11] 严绍军, 方 云, 孙 兵. 渗水对龙门石窟的影响及治理分析[J]. 现代地质, 2005, 19(3): 475 - 478.(YAN Shaojun, FANG Yun, SUN Bing. Influence of water permeation and analysis of treatment for the Longmen Grottoes[J]. Geoscience, 2005, 19(3): 475 - 478.(in Chinese))
- [12] 周 环, 张秉坚, 陈港泉. 潮湿环境下古代土遗址的原位保护加固研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(4): 954 - 962.(ZHOU Huan, ZHANG Bingjian, CHEN Gangquan. Study of consolidation and conservation of historical earthen sites in moisture circumstances conservation of Tangshan Site in field[J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(4): 954 - 962.(in Chinese))
- [13] 郭 宏, 黄槐武. 文物保护中的“水害”问题[J]. 文物保护与考古科学, 2002, 14(1): 56 - 62.(GUO Hong, HUANG Huaiwu. The problem of water-damage face in the conservation of antiquities[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2002, 14(1): 56 - 62.(in Chinese))
- [14] 黄克忠. 岩土文物建筑的保护[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.(HUANG Kezhong. The conservation of the ancient culture architecture in rock and soil[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1998.(in Chinese))
- [15] 赵海英, 王旭东, 李最雄. PS 材料模数、浓度对干旱区土建筑遗址加固效果的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(3): 557 - 561.(ZHAO Haiying, WANG Xudong, LI Zuixiong. Impact of modulus and concentration of potassium silicate material on consolidating earthen architecture sites in arid region[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(3): 557 - 561.(in Chinese))
- [16] 甄广全. WD - 10 在石质文物表面封护中的应用[J]. 化工新型材料, 2001, 29(9): 48 - 50.(ZHEN Guangquan. Application of WD - 10 to the surface protection of the lithoid cultural relic[J]. New Chemical Materials, 2001, 29(9): 48 - 50.(in Chinese))