

石质文物

◎刘强著

HISTORIC STONE RELICS

保护



科学出版社

石质文物保护

刘 强 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

暴露在野外的众多大型石质古迹,包括建筑、洞窟、石碑等,由于自然因素的风化作用和人为因素的破坏,许多文物的表面都已发生严重的劣化现象。如不采取有效措施,许多珍贵的实物记录将不复存在。所以,研制性能良好的石质文物保护功能材料已成为文物保护研究领域的迫切任务之一。但是,目前所使用的保护材料几乎都不能完全满足保护者的要求,这源自于文物保护“不能改变文物原状的基本原则”的苛刻要求。

本书首先介绍了石质物的定义、价值和分类,以及构造文物岩石种类,说明了石质物风化的作用类型,并在综合介绍了文物保护的概念、原则的基础上,论述了目前常用的保护方法和材料,以及保护材料的评价体系。最后,结合我们自己的工作,谈了一些目前较新的石质文物保护成果。

本书适合从事文物保护、科技考古等专业的研究人员及大专院校相关专业师生参考、阅读。

图书在版编目(CIP)数据

石质文物保护 / 刘强著. —北京: 科学出版社, 2012. 12

ISBN 978-7-03-036181-3

I. ①石… II. ①刘… III. ①文物保护 IV. ①K87

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 297224 号

责任编辑: 宋小军 樊 鑫 / 责任校对: 张怡君

责任印制: 赵德静 / 封面设计: 美光制版

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 12 月第 一 版 开本: B5 (720 × 1000)

2012 年 12 月第一次印刷 印张: 9 3/4

字数: 176 000

定价: 80.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

目 录

第一章 石质文物	(1)
1.1 石质文物的定义	(2)
1.2 石质文物的价值	(4)
1.2.1 历史价值	(4)
1.2.2 艺术价值	(5)
1.2.3 科学价值	(6)
1.3 石质文物的作用	(6)
1.3.1 史料作用	(7)
1.3.2 教育作用	(7)
1.3.3 借鉴作用	(8)
参考文献	(8)
第二章 构造文物的岩石	(10)
2.1 岩和石	(10)
2.2 岩石种类	(11)
2.3 岩石的基本性质	(16)
2.3.1 岩石的组成	(16)
2.3.2 岩石的结构	(16)
2.3.3 岩石的物理性质	(17)
2.3.4 岩石的力学性质	(20)
2.3.5 岩石的化学性质	(22)
2.3.6 岩石的热学性质	(23)
参考文献	(24)
第三章 石质文物的风化	(25)
3.1 石质文物的风化	(25)
3.2 石质文物的风化作用类型及影响因素	(25)

3.2.1 物理风化作用	(25)
3.2.2 化学风化作用	(27)
3.3 石质文物的风化形态	(31)
3.3.1 粉状风化形态	(31)
3.3.2 页片状风化形态	(31)
3.3.3 带状、洞穴状风化形态	(33)
3.3.4 板状风化形态	(33)
参考文献	(34)
第四章 石质文物保护	(36)
4.1 文物保护科学的概念	(36)
4.2 石质文物保护的重要意义	(37)
4.3 石质文物保护的原则	(37)
参考文献	(39)
第五章 石质文物保护的基本方法	(40)
5.1 表面清洗	(40)
5.2 脱盐处理	(42)
5.3 加固	(43)
5.4 表面封护	(44)
参考文献	(45)
第六章 常用的石质文物保护材料	(46)
6.1 石质文物保护材料的基本要求	(46)
6.2 无机类石质文物保护材料	(46)
6.2.1 石灰水	(47)
6.2.2 氢氧化锶、氢氧化钡	(47)
6.2.3 碱性硅酸盐	(47)
6.3 有机类石质文物保护材料	(48)
6.3.1 石蜡	(48)
6.3.2 有机硅类	(48)
6.3.3 丙烯酸聚合物	(49)
6.3.4 环氧树脂	(49)
6.3.5 其他人工有机聚合物	(49)

6.4 石质文物保护材料的缺陷	(50)
6.4.1 无机保护材料的缺陷	(50)
6.4.2 有机保护材料的缺陷	(50)
参考文献	(51)
第七章 石质文物保护材料的评价	(54)
7.1 常用材料组成与结构的表征	(54)
7.1.1 X射线衍射结构分析(XRD)	(54)
7.1.2 X射线荧光光谱分析(XRF)	(55)
7.1.3 红外吸收光谱分析(FTIR)	(56)
7.1.4 扫描电子显微镜分析(SEM)	(57)
7.1.5 色差分析	(57)
7.1.6 热分析技术	(58)
7.2 材料性能表征	(59)
7.2.1 耐酸性	(59)
7.2.2 耐碱性	(60)
7.2.3 耐盐性	(60)
7.2.4 憎水性	(60)
7.2.5 耐污性	(61)
7.2.6 耐酸度	(62)
7.2.7 耐候性	(62)
7.2.8 透气性	(63)
7.2.9 吸水率	(63)
7.2.10 抗压强度	(63)
7.2.11 表面硬度	(63)
参考文献	(63)
第八章 表面能分析在石质文物保护研究中的应用	(65)
8.1 表面能的定义	(65)
8.2 表面能的分析	(65)
8.3 从表面能角度分析石材表面的预处理	(67)
参考文献	(70)

第九章 常用有机保护材料的副作用	(73)
9.1 研究实验	(73)
9.1.1 材料和试剂	(73)
9.1.2 样品的预处理方法	(74)
9.1.3 腐蚀循环	(74)
9.2 结果与讨论	(75)
9.2.1 实验现象	(75)
9.2.2 腐蚀循环实验	(75)
9.2.3 岩石性质的影响	(80)
9.2.4 保护剂憎水性强弱的影响	(81)
9.2.5 石材体积大小的影响	(82)
9.2.6 破坏因素强弱对比实验	(83)
9.3 结论与启示	(85)
参考文献	(85)
第十章 石质文物仿生防护的理论探讨	(87)
10.1 石质文物表面的天然保护材料	(87)
10.2 生物矿化材料	(89)
10.2.1 生物矿化的一般原理	(90)
10.2.2 分子水平上的生物矿化机制	(91)
10.2.3 常见的天然生物矿物	(94)
10.2.4 生物矿物的种类	(99)
10.2.5 生物矿化材料的优点	(100)
10.3 生物矿化材料保护石质文物的可能性	(101)
10.4 石质文物仿生防护的意义	(101)
参考文献	(102)
第十一章 石质文物天然防护层的仿生模拟合成	(110)
11.1 COM 的仿生合成	(110)
11.2 COM 仿生防护材料的性能	(119)
11.2.1 憎水效果	(120)
11.2.2 防污效果	(120)
11.2.3 防酸效果	(120)

11.2.4 耐老化效果	(120)
11.2.5 透气效果	(121)
11.3 COM 仿生合成的影响因素	(121)
参考文献	(125)
第十二章 劣化岩石的仿制	(128)
12.1 仿制方法	(128)
12.1.1 材料	(128)
12.1.2 仪器和设备	(128)
12.1.3 制备方法	(129)
12.1.4 物理性质指标确定	(129)
12.2 结果与讨论	(130)
12.2.1 压实原理及压实特性	(130)
12.2.2 含水率的影响	(130)
12.2.3 粉粒比的影响	(132)
12.2.4 含水率与粉粒比的协同影响	(133)
12.2.5 干燥时间的影响	(134)
参考文献	(136)
第十三章 濒危石质文物的仿生加固	(137)
13.1 濒危石质文物仿生加固的探索	(137)
13.2 仿生加固实验	(140)
参考文献	(143)

第一章 石质文物

文物是人类在改造客观世界和主观世界的过程中遗留下来的遗物或遗迹，是历史的、民族的文化遗产，是社会文明和民族精神的物化载体。它们是考古学的重要资料，历史的重要物证，包含着社会、文化、艺术、科技等多方面的历史信息，既是世界各民族的历史载体，又是全人类共同的珍贵文化遗产。

文物数量很大，种类繁多，其中石质古迹和文物占有相当大的比例，这些珍贵的石质文物许多都已被列入《世界遗产名录》（以下简称《世遗录》）中，作为全人类共同的财富、共同继承的遗产，属于全人类所有，即使在战争中，也不能成为军事攻击的目标^①。

在国内，如河南洛阳龙门石窟（2000年列入《世遗录》）、山西大同云冈石窟（2001年列入《世遗录》）、重庆大足石刻（1999年列入《世遗录》）、泰山石刻（1987年列入《世遗录》）、甘肃敦煌石窟（1987年列入《世遗录》）等，都是石质文物的典型代表^②。

在国外，如非洲的孟菲斯狮身人面石像（埃及，1979年列入《世遗录》）、拉里贝拉独石教堂（埃塞俄比亚，1979年列入《世遗录》）、蒂亚石刻（埃塞俄比亚，1979年列入《世遗录》），亚洲的吴哥窟（柬埔寨，1992年列入《世遗录》）、婆罗浮屠（印度尼西亚，1991年列入《世遗录》），欧洲的雅典卫城帕特农神庙（希腊，1987年列入《世遗录》）、阿尔塔米拉洞窟（西班牙，1985年列入《世遗录》），等等^③，举不胜举。

但是，由于石质文物的数量众多，体积大，不易移动，大部分分布在各种野外环境中，而且其组成材料多数是耐腐蚀性较差的无机矿物质，一般也没有采取任何保护措施，历经岁月沧桑，日晒雨淋，都受到了不同程度的破坏，风化问题严重，有些甚至已经危害到了文物的长久保存，如石窟风化侵蚀，石雕艺术品残破崩塌^④。尤其是近代工业的发展和随之而来的环境污染，还有不同程度的、自觉或不自觉的人为破坏因素，更加速了石质文物的破坏

速率^⑤。如不采取有效措施，许多珍贵的实物记录将不复存在。

保护文物，实际是保护一个国家和民族的凝聚力、向心力，是对历史负责。基于对历史负责的态度，对石质文物采取相应的有效保护措施已经刻不容缓。只有这样，才可使文物长久存在，发挥其历史作用，并能充分利用这些优秀的文化遗产在 21 世纪的经济时代更好地发挥其“古为今用”之优势。

虽然，近年来很多国家已采取了有效的保护措施，应用先进的科学技术和设备，研制成功多种新型材料用于石质文物的保护与修复。但总的来说要完全解决石质文物的风化和保护问题还有很长的路要走。这对文物保护工作者来说，也是一项十分艰巨的任务。因此，研究石质文物的破坏机理及其保护措施是摆在我们面前的一个重要课题。

1.1 石质文物的定义

研究石质文物的保护，首先应了解什么是石质文物，其定义是什么？

在国际社会，由联合国教育科学文化组织（UNESCO，简称教科文组织）会议通过的一些有关保护文物的国际公约中，一般把文物称作为“文化财产（Cultural Property）”或者“文化遗产（Cultural Heritage）”，二者所指的内容并不是等同的。从公约所列举的具体内容来看，前者是指可以移动的文物，后者是指不可移动的文物。

例如，联合国教科文组织大会第十六届会议 1970 年 1 月 14 日在巴黎通过《关于禁止和防止非法进出口文化财产和非法转让其所有权的方法的公约》（Convention on the Means of Prohibiting and Preventing the Illicit Import, Export and Transfer of Ownership of Cultural Property），公约对“文化财产”一词作了明确规定。它是指每个国家根据宗教的或世俗的理由，明确指定为具有重要考古、史前史、历史、文学、艺术或科学价值的财产。

1972 年 11 月 16 日，联合国教科文组织大会第 17 届会议在巴黎通过了《保护世界文化和自然遗产公约》（Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage）。公约规定文化遗产为“从历史、艺术和科学观点来看具有突出的普遍价值的建筑物、碑雕和碑画，具有考古性质成分或结构、铭文、窟洞以及联合体”。

2002年10月28日，第九届全国人民代表大会常务委员会第三十次会议上通过的《中华人民共和国文物保护法》（以下简称《文物保护法》）对受国家保护的文物范围有明确的界定。《文物保护法》“第一章总则”的第二条规定^⑥：

“在中华人民共和国境内，下列具有历史、艺术、科学价值的文物，受国家保护：

（1）具有历史、艺术、科学价值的古文化遗址、古墓葬、古建筑、石窟寺和石刻；

（2）与重大历史事件、革命运动和著名人物有关的，具有重要纪念意义、教育意义和史料价值的建筑物、遗址、纪念物；

（3）历史上各时代珍贵的艺术品、工艺美术品；

（4）重要的革命文献资料以及具有历史、艺术、科学价值的手稿、古旧图书资料等；

（5）反映历史上各时代、各民族社会制度、社会生产、社会生活的代表性实物。”

这就是说，凡是具有历史价值、艺术价值、科学技术价值的古代文化遗存都属于文物的范畴，亦即文物首先是一个实形物体，而这一物体是由特定历史时期的人们所生产创造的，因此，这一物体必然蕴涵着当时的社会政治、经济等各方面的信息。如果是天然物体，则必须是能够反映当时社会时代烙印的物体才能算作文物。这些物体同时必须具有历史、艺术、科技价值或至少具备其中一种价值。

为了便于科学管理文物，便于对文物进行整理研究和提供利用，特别是能够更好地保存文物，必须对文物加以分类。

文物分类就是按一定的方法，把具有同一特征的文物聚集在一起，把不具有这一特征的区别出来，这样按不同类别把文物组织起来。分类的过程就是根据不同标准，对文物的同与异集合、归类的过程。它是对文物进行整理研究、保护研究、科学管理、提供利用的中心环节。

文物的分类方法较多，主要有时代分类法，区域分类法，存在形态分类法，质地分类法，功用分类法，属性（性质）分类法，来源、价值分类法，等等。

其中，“质地分类法”是以制作文物的材料为标准，对文物进行分类的方法。由于组成文物的材料不同，所用材料多种多样，其要求存放环境也不同，所采取的保护处理方式以及修复保护材料、工艺也不相同，所以对文物藏品按质地分类优越性很大。当今我国博物馆文物藏品，大都采用按质地分类，即按制成器物的材料进行归类。西方博物馆也大多采用这种方法对文物藏品进行分类。

文物主要种类依质地分类应首先分为有机材料和无机材料两大类，然后再进行更细的分类^⑦，即：

无机材料文物包括：①金属文物（金、银、铜、铁、锡等）；②石质文物（石质雕像、石刻、石碑等石窟艺术品，石刀、石斧等石制用具，以及玉器、宝石等）；③陶瓷文物（陶器、瓷器、玻璃、珐琅器等）。

有机材料文物包括：①纸质文物（古书集、绘画等）；②漆木器文物（竹器、木器、版画等）；③牙骨器文物（甲骨、牙雕、贝币、骨角器等）；④丝毛棉麻文物（丝织品、毛织品、棉麻制品）；⑤皮革类（皮革制品、羊皮书）。

所以说，石质文物就是文物中的一种，其制作所用的材料为各种石材。其中，既有比较大型的石刻雕像、洞窟、建筑等艺术品或遗迹、遗址，如龙门石窟、泰山石刻，又有小型的石质艺术品或器具，如石斧、玉器等。

1.2 石质文物的价值

文物的价值是客观的，是文物本身所固有的。2002年通过的《中华人民共和国文物保护法》“第一章总则”明确指出文物具有历史价值、艺术价值和科学价值，尽管有人指出文物还有诸如审美、人类学等方面的价值，实际上，这些均可看做是上述三个价值的拓展。因此，石质文物的价值亦然。

1.2.1 历史价值

石质文物是一定历史时期，人类社会活动的产物，烙上了当时历史时代的烙印，记载了经历的历史留痕。因此，石质文物包含了当时及后续社会的

诸多内容。

例如，著名的《泰山刻石》，由秦朝丞相李斯篆书，刻石原文 222 字，历经沧桑，现仅残存十字：“臣去疾臣请矣臣”七字完整，“斯昧死”三字残缺。《泰山刻石》上的文字是为秦始皇歌功颂德之意。按照《史记·秦始皇本纪》记载：秦始皇统一天下后，为彰显自己、歌颂自己统一之功绩，在全国各地立了六块小篆碑刻，分别为峰山刻石、泰山刻石、琅琊台刻石、芝罘刻石、碣石刻石和会稽刻石。但大部分或毁，或不知去向，泰山刻石证明了《史记》记载的秦始皇刻石颂扬这段历史的真实存在。同时，泰山刻石的文字为小篆，也承载了秦始皇统一六国之后，由李斯负责进行统一全国文字的工作。将属于大篆系统的六国文字统一为小篆，结束了战国时期“文字异形”的局面。

再如，古希腊的雅典卫城，尽管经历了千年的演化、衰落，但是作为古希腊最杰出的建筑群，现在依然矗立着山门、帕特农神庙、伊瑞克提翁神庙、埃雷赫修神庙等雄伟建筑，这些古建筑无可非议地堪称人类遗产和建筑精品，在建筑学史上具有重要地位。迄今保存下来的这些大量的珍贵遗迹，集中展示了希腊的古代文明，真实地显示出古希腊政治、宗教和文化的历史环境，体现了当时希腊的物质生产、生活方式、思想观念、风俗习惯和社会风尚。同时，它们的演化也展现了文物古迹自身的发展变化。

1.2.2 艺术价值

石质文物的艺术价值内涵十分丰富，谈及文物，人们喜欢说“鉴赏”，所谓“鉴”主要是指对文物真伪的判断，亦即文物历史价值的体现过程；而“赏”则指是文物艺术价值的表现过程。据此而言，文物的艺术价值就是因为文物本身的艺术属性，及其给人们带来的艺术上的审美和借鉴、生活中的欣赏和愉悦。

例如，我们看到古代的石质建筑，会惊诧于它的空间构成、造型、装饰和形式美；看到吴哥窟、庞贝古城等遗址，会折服于其中的人文和城市的特殊风貌；看到我国不同地区的石窟寺，会被其中的雕刻、壁画、塑像等各种艺术的创意构思和表现手法所打动，这些都是石质文物的艺术价值所在。

1.2.3 科学价值

对于石质文物，一般人们关注于它的真与美，多是从艺术上去欣赏，或是探讨其历史背景，但是除去它的历史价值和艺术价值外，文物的科学技术内涵同样丰富。

例如，某处石质文物古遗址或景观的介绍，往往集中在它的历史传统角度，很少涉及科学方面，而这甚至恰恰是其丰富生动的精华所在。像小到一件工具类的石质文物，它的结构、材料和工艺，都给后来人认识它们所代表的当时科学技术水平，或其在科学技术发展过程中所处的环节提供了依据；大到大型的遗址、建筑、石窟寺等，其规划和设计，包括选址布局、生态保护、灾害防御，以及造型和结构设计等，都可以为今天提供重要的科学技术资料和借鉴。这些就属于石质文物的科学价值范畴，虽然这些从纯科学技术角度来看，可能已经远远落后了，但是这丝毫不降低其在科学史和技术史方面的价值，甚至有些石质文物本身就是某种科学实验及生产、交通等的设施或场所，如古罗马的高架输水道，所以这其中承载着重要的科学技术资料。

石质文物的历史价值、艺术价值和科学价值，是互相联系，不可分割的。比如站在我国的三大石窟面前，其造型的凝重优美，装饰精致细腻，给人以震撼的艺术美感。但是透过这些外在的表现形式，我们又可以了解当时社会的文化和风俗，并且可以探知当时的石材加工和开发工艺。再如，当前制作的石兽等，动辄高踞门前，多为粗质劣造之作，缺乏艺术价值，反映了当下某些流行的意识。所以，石质文物的历史价值、艺术价值和科学价值是相伴而行的，这才愈发地显示出其长久的生命力。

1.3 石质文物的作用

石质文物的作用，是石质文物价值的具体体现。石质文物对社会所能起到的积极作用主要有史料作用、教育作用、借鉴作用和为科学研究提供资料的作用。当然，这三方面的作用也是文物通有的一般作用。

文物的价值和作用，其间有联系，又有区别。文物作用的大小，取决于

文物价值的高低，因而文物的作用也会随着人们对文物价值认识的深化而变化。有时同样的文物，在不同时间、地点、条件下，其价值也会发生变化。这种变化通常不是改变或降低了它的固有价值，而是增添了新的价值。当然，这种情况只有在特定的条件下才会发生。

1.3.1 史料作用

石质文物的历史价值决定了其史料方面的重要作用。文物是人类历史发展的重要实物见证，并且不像史书经过了作者的加工，作为实物史料，其真实性、可靠性都是史书之类材料无法比拟的。因此，石质文物可以：①证实文献的记载（证史作用）；②校正文献的谬误（正史作用）；③补充文献记载的不足（补史作用）。

例如，1600年左右，一位研究历史的学者在查阅罗马古书时，知道了古罗马历史上有一座庞贝古城，但是其确切位置却未知，而且现实中也不存在，后来，一位建筑师在挖河时发现了庞贝古城遗迹，又过了几十年，人们才真正开始挖掘这座古城。庞贝终于被人发现，史书上关于庞贝的记载遂被证实。

再如，自20世纪90年代开始，在云南省抚仙湖地区发现了水下石质古建筑群，尽管其具体的功用和建筑年代有待进一步研究考证，但其发现无疑对我国西南地区的古文明研究提供了重要的参考资料^⑧。

1.3.2 教育作用

石质文物是重要的考古资料，承载着文物所属民族的发展历史，是认识本民族文明发展的重要物证。文物不仅是本民族的宝贵财产，同时也是全世界人类共同的珍贵遗产，记载着人类文明的进程。就像考古的任务一样，从学术角度看，考古是为历史研究提供物证；从终极目的看，考古应该是为人类文明的探源和其发展提供证明和依据，从而树立正确的价值观和历史观。文物，作为考古的重要材料，它的任务也不可避免地包含了这些方面，所以，石质文物的教育作用也是非常重要的。

例如，号称“万园之园”并且惊艳绝伦的圆明园，今天我们看到其衰败的惨相，想到清朝末期那段屈辱的中华民族史，我们要自强。可是想到外辱

之后,那些所谓王侯贵族,甚至一般平民百姓都参与到对其“豪取强夺”之中,我们要反省,这些才能避免下一个圆明园悲剧的发生。

1.3.3 借鉴作用

石质文物是一定历史时期的产物,是该时期文化艺术和科学技术发展水平的见证。虽然,过去的文明相对今天的文明而言已经落后了,但这并不排除过去的文明对当今的借鉴作用,特别是在艺术方面,这种借鉴作用仍然毋庸置疑地存在,甚至借鉴之外仍然有促进和发展。著名的大型民族舞剧《丝路花雨》就是以举世闻名的丝绸之路和敦煌石窟的壁画为素材创作的,被誉为“中国民族舞剧的典范”。事实上,众多的石质文物本身就是借鉴与发展的见证,像龙门石窟、云冈石窟、大足石刻等,其本身的开凿就历经百年,甚至数百年,这些石窟群中,人物形象神态各异、栩栩如生,雕刻精细,刀法娴熟,优美精致。在雕造技艺上,继承和发展了我国秦汉时代雕刻艺术的优秀传统,又吸取和融合了当时新出现的佛教艺术的有益成分,创造出具有独特风格的艺术品,在我国雕塑史上留下了重要的一页。即使在科学技术的借鉴与发展方面,我们也可以看到许多著名的例子,如赵州桥的造型对今天桥梁建造的启示,法国卢浮宫前的金字塔造型亦立刻使人联想起它的艺术灵感的源头——埃及大金字塔。

参 考 文 献

- ① 丁义忠,蒋长瑜. 人类之宝——世界文化古迹和自然遗址精粹. 上海:上海科技出版社, 2001.
- ② 杨立杰. 被列入《世界遗产名录》的中国遗产地. http://news3.xinhuanet.com/ziliao/2003-07/03/content_951834_1.htm, 2006-10-18.
- ③ UNESCO World Heritage Centre. World Heritage List. <http://whc.unesco.org/en/list/>, 2006-11-21.
- ④ Chabas A, Jeannette D. Weathering of Marbles and Granites in Marine Environment: Petrophysical Properties and Special Role of Atmospheric Salts. *Environmental Geology*, 2001, 40 (3): 359-368; Garcia-Vallès M, Vendrell-Saz M, Molera J; et al. Interaction of Rock and Atmosphere: Patinas on Mediterranean Monuments. *Environmental Geology*, 1998, 36 (1-2): 137-149; Moropoulou A, Theoulakis P, Chrysophakis T. Correlation between Stone Weathering and Environmental

Factors in Marine Atmosphere. *Atmospheric Environment*, 1995, 29 (8): 895-903.

- ⑤ Vendrell-Saz M, Garcia-Vallès M, Alarcón S, et al. Environmental Impact on the Roman Monuments of Tarragona, Spain. *Environmental Geology*, 1996, 27 (4): 263-269; Van Grieken R, Delalieux F, Gysels K. Cultural Heritage and the Environment. *Pure & Applied Chemistry*, 1998, 70 (12): 2327-2331; Meierding T C. Marble Tombstone Weathering and Air Pollution in North Amerce. *Annual of the Association of America Geographers*, 1993, 83 (4): 568-588; Nord A G, Svårdh A, Tronner K. Air Pollution Levels Reflected in Deposits on Building Stone. *Atmospheric Environment*, 1994, 28 (16): 2615 ~ 2622; Metallo M A, Poli A A, Diana M, et al. Air Pollution Loads on Historical Monuments; An Air Quality Model Application to the Marble Arch of Titus in Rome. *Science of the Total Environment*, 1995, 171 (1-3): 163-172.
- ⑥ 全国人民代表大会. 中华人民共和国文物保护法. 北京: 中国民主法制出版社, 2002.
- ⑦ 郭宏. 文物保存环境概论. 北京: 科学出版社, 2001: 6-13.
- ⑧ 李昆声, 耿卫, 张涛. 抚仙湖水下考古. 昆明: 云南美术出版社, 2008.