

环境因素对露天石质文物的危害

——以集安市高句丽王城、王陵和贵族墓葬为例

冯楠¹ 王蕙贞^{1,2} 宋迪生²

(1、吉林大学边疆考古研究中心.长春; 2、西北大学.西安)

摘要: 露天石质文物的保护一直受到文博工作者的关注,它们暴露在大自然环境中,经受着风砂吹蚀、有害气体及各类生物的侵蚀危害,材料老化速度要比馆藏的石质文物快得多。可以说露天石质文物的病害产生是多种环境因素共同作用、互相影响的结果,本文以高句丽王城、王陵和贵族墓葬的石质文物为例,对环境综合因素施于石质文物的危害作了详细的论述。根据“保持文物的历史真实性,尽量减少人为因素对文物的干预的原则”,应该以环境的治理为根本的解决方法,具体到某一地区和特定石质文物,就针对不同环境条件分析病变成因,采取防治对策。

关键词: 环境因素,露天石质文物病变,高句丽

石质文物是中华名族的灿烂文明,是无价的不可再生的文化遗产和旅游资源,世界上能保存至今的古建筑或较完整的遗迹几乎都是石质建筑。目前多数石质文物,特别是露天石质文物,暴露在自然界环境中,随着岁月流失不断受到各种自然和人为因素的破坏,近代工业带来的环境污染和酸雨使石质文物受到更严重的侵蚀,许多石质文物的文化特征和有关历史信息将很快消失。高句丽政权是我国东北地区的一个少数民族政权,集安是高句丽早中期(公元1-5世纪)的政权中心所在,其界域内的高句丽王城、王陵及贵族墓葬是高句丽的主要文化遗产,其中遗存材质多为石质文物,受周围环境的影响,现存的石质文物病害类型多、破坏速度快,急需开展保护工作。而石质文物产生病变和其所处的环境密切相关,对相关环境因素的研究直接影响着对石质文物病变的正确判断和分析,只有对石质文物的病害类型和产生病害的原因有了正确的认识和深入的分析,才能对症下药,制定合理的保护及修复方案,所以病害类型学对制定文物保护计划具有指导性的意义,而病害类型学的研究正是基于对影响文物环境因素的研究。本文主要针对石质文物病变的环境影响作用进行讨论,并以集安市高句丽王城、王陵和贵族墓葬为例,探讨其在其特殊的环境影响下的病害类型,并提出日常可行的保护建议。

一、露天环境

由于露天环境是开放式的,给石质文物带来的影响尤为明显。导致露天石质文物产生病变的因素,主要来自其周围的环境,一方面有巨大的自然灾害,如地壳运动引起的地震、火山爆发、洪水、潮汐、地下水活动、台风、雷击等,还有一类是自然因素的破坏,它们虽然不像自然危害那样来势凶猛,却是持久地、日复一日地侵蚀着文物,如温湿度变化、光辐射、灰尘、有害气体、植物微生物繁殖等因素的综合作用,这些环境因素日益改变着文物的外观形态和内部组成,露天石质文物更是受到直接的影响,对于环境因素的研究是正确了解石质文物病害成因的关键所在。露天环境大致可以包括五大部分:地质环境、大气环境、水文环境、生物环境和人文环境,它们共同组成了完整统一的文物保存环境,下面就分别探讨这五个部分,并以高句丽王城、王陵及贵族墓葬为例来阐述环境对露天石质文物产生的破坏作用。

1、地质环境

地质环境与石质文物的关系非常密切，它是石质材料形成的决定因素，地质环境不仅直接决定着石材的理化性质（岩性、颜色、密度、硬度、力学强度、可溶性等），同时其宏观结构、构造对于采石加工的大型露天不可移动文物的雕凿具有重要意义，像著名的龙门石窟、云冈石窟、乐山大佛等都开凿或雕刻在依山傍水的崖壁上，其保存的现状与地质环境关系十分密切。不同的石材来源于不同的地质环境，但多是就地或就近取材的天然岩石，文物石材的质地有砂岩、砾岩、石灰岩、大理石、汉白玉、板岩、页岩、凝灰岩、花伟晶岩等，从岩石的成因上看所有的岩石都可以归为3类：岩浆岩、沉积岩和变质岩。这三类岩石的结构、构造有较大差别。据考察集安城北23公里的绿水桥就是高句丽时代建造都城和石墓葬的采石场^[1]，主要采用的岩石矿物成分以花岗岩为主，还有部分大理岩、白云岩等。

2、大气环境

大气环境一般来说包括温度、湿度、光辐射、大气运动等，全国各地石质文物所处的不同的环境特点带来了不同程度的影响。在干旱地区，如甘肃麦积山石窟、新疆克孜尔石窟受水的吸收与蒸发，盐分的结晶与潮解，对石质文物的长期保存起着决定性的作用。而对于南方潮湿地区，植物的生长、微生物的侵蚀及各种化学风化表现较为突出，在寒冷地区则是冻融作用比较显著。高句丽文化遗存地处东北寒冷地区，日夜温差大，又号称“吉林小江南”，湿度适宜，生物危害也比较严重，导致病害类型多样，急需保护处理。

3、水文环境

水文环境是由各种水体及其分布、运动形态组成，主要包括地表水体、地表径流、地下水及地下径流等基本因子。这些水体的存在，诱发了石质文物的许多病害类型。水给其它物质，特别是空气中有害气体、灰尘、微生物破坏侵蚀石质文物提供了充分的媒介；水溶解岩石胶结组分及与岩石自身成分的反应；水的结冰、融化导致的体积涨缩产生的压力；洞窟渗漏造成雕刻表面长期遭受侵蚀等。高句丽文化遗存依山伴水，水资源丰富，常年湿度较高，随之伴随而产生的各种病害都较为严重。

4、生物环境

生物环境主要由动植物和微生物及其活动构成。一般来说，破坏石质文物的生物主要有两大类：一类是微生物（即细菌、真菌、地衣等）；还有就是较高级的生物（苔藓、植物、昆虫等）。微生物对石质文物的危害是普遍的，地衣、藻类、苔藓等可依附在石质表面和裂隙深处，其生长和繁殖会导致石质材料的劣化。高句丽石古墓群中生物的危害最为明显，随处可见植物和微生物生长、繁殖的痕迹。

5、人文环境

人文环境即社会环境因素，包括工农业生产带来的环境污染和不当的人为干预活动，是露天石质文物病害加剧的重要因素，随着近代工业的发展和人口迅速增长，大量的有害气体排入大气中，造成了严重的环境污染，据联合国卫生署统计，全世界每年有10亿吨以上有害气体排入大气中，而且这种趋势有增无减，这些有害气体不仅仅危害人类健康，还严重危害了人类遗留下来的文物古迹，使文物不同程度遭受到有害气体的侵蚀，对于露天石质文物危害更加严重。工业排放的有害物质包括硫化物、氮氧化物、氯化物、氟化物、烃类、烟尘、粉尘等有害物，由二氧化硫、二氧化氮进一步形成的酸雨则是对石质危害最为严重的影响因素。大气尘埃中的金属氧化物、燃料燃烧产生的各种有机化合物烟尘、被粉尘吸附的霉菌真菌孢子等降落在石质文物表面，遇到潮湿的空气，溶解而成的可溶性酸、碱、盐就会使石质

文物表面受腐蚀。

二、环境因素对石质文物的危害实例-以集安市高句丽王城、王陵和贵族墓葬为例

1、集安市高句丽王城、王陵和贵族墓葬概括

高句丽政权始于公元前 37 年、止于公元 668 年，曾是我国东北地区最强盛的少数名族政权之一，在东北亚历史发展过程中产生过重要影响。吉林省集安市是高句丽政权沿用 400 余年的政治、文化、经济中心，是高句丽王城、王陵及贵族墓葬分布最集中的地区。集安市高句丽王城、王陵及贵族墓葬分布面积约 140 平方公里。由于曾经在 2003 年对好太王碑的四周镶过钢化玻璃，加盖过保护亭，现已经基本上与外界环境相隔绝了，情况与国内城、丸都山城、王陵与贵族墓葬不完全相同，不包括在本文讨论范围内。各遗址概括见表 1^[2]。

表 1 遗存概况表

序号	遗存名称	历史年代	遗存现状
1	国内城	公元 3 年~ 6 世界末 7 世纪初	平面略呈方形，皆条石砌筑，另有大型块石砌筑排水涵洞 1 处。
2	丸都山城		城垣沿山势走向构筑，布局北高南低；墙体条石砌筑，平面为不规则矩形；含门址 7 处、蓄水池 1 处、瞭望台址、宫殿址 1 处、戍卒驻地址一处
3	王陵与贵族墓葬 (洞沟古墓群)		集安的高句丽王陵及贵族墓葬全部分布在洞沟古墓群中。其中王陵及陪坟 13 座；贵族墓葬 27 座。均为高句丽石墓的同时期高级、特征丰富的墓葬。选址具有一定的环境特征，并伴出与其地位相符的考古遗迹和遗物。洞沟古墓群散布于通沟平原的山麓和坡地上，含近 7000 座高句丽时代墓葬，按地形地貌和分布密集程度可分麻线、万宝汀、七星山、山城下、禹山、下解放和长川 7 处片区
4	好太王碑	公元 414 年	高句丽第二十代长寿王为其父谈德所建的记功碑，立于晋义熙十年。角砾凝灰岩粗制而成，近方柱状，高 6.39 米。四面环刻 1775 个汉字，可辨识 1590 字左右。碑文涉及高句丽建国神话、早期王系、好太王攻城掠地之功业、守陵制度等

集安地区是吉林省的高温多雨区域，属半大陆半海洋气候，是吉林省高温多雨区域，故被誉为“塞北小江南”，即使在冬季也仍然表现为高湿，即使在冬季低温-17℃ 下仍可达到 80%，1984~2003 年年平均相对湿度为 71%；年平均气温 6.5℃，最低气温可达到-39.8℃，最大温差可达到 50℃。年平均降雨量为 881.5mm，而日最大降雨量达到了 1956mm，各月降雨量及其不平均，如 2003 年 7 月的降雨量是 2 月份的 74 倍。年蒸发量为 1110.8mm，各月蒸发量极不平衡。

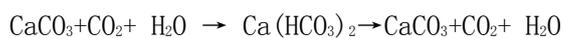
2、高句丽王城、王陵及贵族墓葬现存主要问题

由于高句丽王城、王陵及贵族墓葬处于一江（鸭绿江）一河（通沟河）之滨，常年水量充沛，加上处于两山之间，地址较低，水蒸气不易逸散。周围居民生活及集市内烧烤燃煤及鸭绿江对面的化工厂、水泥厂、树脂厂等生的有害气体在潮湿环境下更加容易对石材产生侵蚀，如图 1。



图 1 鸭绿江对岸的工厂产生的浓烟

为了了解高句丽王城、王陵及贵族墓葬中大量的石材的物理性质，笔者曾在丸都山城及贵族墓葬、将军坟等多处选取石质的样品进行 X-射线衍射结构分析（简称 XRD 分析）^[3]，从结果可知高句丽石质文物中所用的石材基本上是以硅酸盐[钠长石 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ 、钾长石 KAlSi_3O_8 、钙长石 $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_8$]为主的花岗岩，和以石灰质碳酸钙为主的大理石、汉白玉组成。贵族石墓周边基本上用花岗岩垒砌而成，而墓顶上面多用大小、形状不同的花岗岩或大理石小块堆填而成。系属于岩浆岩的花岗岩耐腐蚀的能力比属于变质岩的大理石强很多，所以一般都是石墓周边的风化程度比墓顶的石质风化程度要轻得多。如高句丽贵族墓中的 1298 号石质成分为：钠长石 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ 45.49%、钙长石 $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_8$ 45.49%、绿泥石 5.65%、伊利石 3.63%，而 1298 号石墓的风化产物成分为：钠长石 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ 22.93%、钙长石 $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_8$ 44.01%、绿泥石 3.40%、二氧化硅 32.67%，风化后的产物有些会呈片状剥落，但基本上仍有一定的强度。墓顶上的大理石的风化速度也很快，反应式为：



其中大理石 CaCO_3 由原来坚硬不溶于水的状态风化成可溶于水的 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ，而形成的 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 极易分解，产物就是粉末状附着在石质表面的强度很小的腐蚀层，稍用力挤压即可破碎脱落。这些石质文物的病害主要表现为风化坍塌、断裂及裂痕、层状剥落、表面大量地衣、苔藓的生长痕迹、石材颜色变黑、石材表面泛碱。下面结合集安地区的环境特征，对其病害进行综合分析。

(1)断裂与裂缝：表现在石材形成断裂，由于地震、历史上多次盗挖等事件，加上集安地区属高温多雨区域，湿度较大，气温变化幅度较大，日温差可达到 50°C ，温差导致岩体内不同矿物和胶结物的差异性膨胀和收缩，产生裂隙与断裂，水、植物也不断加速裂隙的发育。古墓群中的积石墓的代表——将军坟中块石断裂比较普遍，如图 2，断裂方向多为竖向。



图2 将军坟石材上产生的裂隙

(2)生物绿锈：生物绿锈主要由可以附着灰尘、肥土等物质的微生物构成。潮湿的环境给植物、微生物提供了一个适宜的生长环境，造成了高句丽贵族墓葬中地衣、苔藓等微生物在石质表面肆意生长，表层的石材遭受到了严重的侵蚀并附带有柔软均一的薄层，颜色不一，但近于绿色，影响了石材的原貌，如图3。据笔者现场对菌类微生物的采样、分离、鉴定后得知^[4]，该地区地衣种类较为常见，被称作淡腹黄梅，菌类种类也比较常见，分别为：园弧青梅、新月弯孢菌、牵连青霉、沙门柏干酪青霉和米根霉5种。



图3 石材上地衣、苔藓的侵蚀痕迹

(3)（盐性）结晶：由于地下水及地表水的长期作用，可溶盐随水渗入石质文物，当石材表面干燥时，内部的盐受毛细作用随水分迁移至石刻表面，水分蒸发，溶盐在石刻表面析出或沉积在石体的空隙中，周期性的温湿度波动造成可溶性盐的溶解和重结晶，如此反复进行，表面泛碱不仅会影响石质原貌，还会引起岩石的崩裂。如果使用了不合适的修复材料如水泥也会产生可溶盐，并且产生更严重的破坏。高句丽贵族墓葬周边曾经用水泥修，现今不仅析出可溶性盐而且产生了大块的裂隙和片状剥落，如图4。



图4 水泥修复后表面泛碱并产生大面积脱落

(4)生物存在：存在地衣、苔藓和其它植物。植物根系生长在墓顶的大理石石块种，随着植物根的生长壮大，会把石质文物的裂缝逐渐涨开，使得裂隙不断发展，造成严重的机械破坏。而菌类等微生物生长酸解和络解作用十分强烈，主要表现为岩石中矿物元素以离子形式从岩石中溶出的过程：



式中 $\text{R}^- = \text{NO}_3^-$ 、 RCOO^- （有机酸根）、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-}

最终甚至可以把石刻腐蚀成含有腐殖质的松散土壤^[5]，如图5和图6所示。



图5 贵族墓顶大量的生物存在



图6 贵族墓顶被地衣、苔藓侵蚀的大理石块

(5)结垢：层状沉积物，性质紧密，与底层扶着性强。由于有害气体、酸雨的侵蚀，高句丽贵族石墓葬中在雨水可以蓄积的部位随处可以见到白色化学腐蚀层，严重影响了石材的外貌，如图7。



图7 化学风化腐蚀层

(6)色彩变质：决定颜色的一种参数或多种参数变化导致的变质。一般来说，色彩变质可大范围出现或仅仅出现在局部。真菌是一类最为活跃的腐蚀石质文物的微生物，真菌可以使建筑石质表面颜色变黑或者染色，这一点在将军坟石材上特别常见^[6]，如图7。



图7 将军坟石坟表面真菌导致的发黑

三、结论和对今后工作的建议

文物保护学中的“保护”一词有三层含义：首先，控制环境，使得由环境因素作用使文物材料老化变质的速度降到最低限度；第二，人为采取措施，制止文物材料的损坏，使文物材料尽可能地保持稳定，以防进一步变质；第三，当对文物的保护性处理仍不足以使文物材料恢复到相对稳定状态时，为防止文物材料的进一步老化变质，则必须对文物进行修复处理，使文物材料达到新的稳定状态。随着对文物保护的不断深入，越来越意识到改善文物所处的环境，比在文物实体上进行处理，更为必要。目前这一理念已经被国际文物保护届完全接受。而对于露天石质文物的保护，对周围的环境的监测和治理就更为重要，也是最根本的解决方法。露天石质文物的保存状态以及文物周围环境这两个因素互相作用会直接影响石质文物的稳定性，定量地研究文物保存环境中有害因子对文物的损害机理，最终可以为像高句丽王城、王陵及贵族墓葬这样的露天石质文物长期保存提供理论依据。建立起文物环境观测系统，监测遗址区石质文物的微环境变化，开展微气候、腐蚀性气体（ SO_2 、 NO_x 和 O_3 ）、大气气溶胶（酸性气溶胶、有机碳和矿物粉尘）和降尘的联合观测，并且追踪寻找污染源，从而提出有效、易行的治理和控制对策。这就为露天石质文物保存环境的监测、控制的研究工作奠定了理论基础，提升文化遗产保护的科学化和规范化。环境监测的综合性表现在以下几个方面：监测手段包括化学、物理、生物、物理化学及生物化学等一切可以表征环境质量的方法；监

测对象包括室外大气、土壤、固体废物、微生物等，只有对这些环境要素综合分析，才能确切描述遗存周边环境质量状况。对监测数据进行统计处理、综合分析时，需涉及该地区的自然和社会各个方面情况。其中工作的细节应该包括：

①对石质文物的保存环境进行广泛的调查研究，包括地质环境、气象环境、大气环境和生物环境。

②定期监测露天石质文物所处环境的温湿度变黑、空气污染物的成分，加强环境监测，掌握其对石质文物所产生的影响程度。

③建立高句丽石质文物的环境卡片档案，为制定保护修复方案提供科学分析数据。

④加强对石质文物所处环境的治理，尤其是对室外环境污染的治理。

⑤对于高句丽王城、王陵及贵族墓葬等急需保护处理的部分进行保护措施，清除现有的表面有害物质，对于病害易发位置需要进行清洗、加固、填补裂缝及封护保护。

⑥对石质文物进行日常维护和定期维护，及时清理沉积在石质表面的污染物质，重点是病害多发、易发部位的保养。

希望我们可以通过以上的监测和预防性措施，来缓解环境产生的负面影响，并且延长这些珍贵的石质文物的寿命。

参考文献:

[1]尹国有.高句丽石文化[J].通化师范学报, 2001, 1: 28 32.

[2]中国文物信息咨询中心.文物保护工程[M].北京: 科学出版社, 2006.

[3]王蕙贞, 冯楠等.高句丽石质文物的物理、化学风化机理及保护方法研究.文物保护与考古科学(待刊).

[4]王蕙贞, 冯楠.高句丽石质文物生物风化机理及保护方法研究[A].第十届全国考古与文物保护化学学术讨论会(待刊).

[5]郭宏, 韩汝盼, 李斌等.广西花山岩石生物风化机理及防治对策研究.中国文物科学研究, 2007.

[6]Mansch R, Bock E, the influence of various air pollutants on the building materials, Biodegradation, 1998, 9, P47-P64.

The Deterioration of Environmental Factors on Open-air Stone Artefacts——A Case Study of Gaogouli King City, Kings Tombs and Noble Graves

FENG Nan WANG Hui-zhen SONG Di-sheng

Abstract: Open-air stone artefacts protection has always been concerned conservators, they are exposed to natural weathering conditions and subject to many damage factors such as wind, noxious gas, plants and microorganism, they become more easier to be deteriorated than those who are exhibited in the museum. The Gaogouli King City, Kings Tombs and Noble Graves has been taken as example in order to give more detailed explanation about stone cultural relics process of decay in certain environmental situation. Interaction and mutual influence of variable environmental factors are in fact responsible of many stone cultural relics deterioration. Applying the principles maintaining historic authenticity of relics to stone cultural artefacts, the actual conservation and restoration issues shows how

the control of the environmental factors could be the basic solution.

Key words:Environmental Factor, Deterioration of Open-air Stone Artefacts, Gaogouli.