

第一章 岩土文物建筑的主要病害

引起岩、土文物建筑破坏的原因很多，涉及范围广且复杂，破坏的类型很多，总的可分为两大类：一类是由于自然营力的作用引起的病害，如石雕溶蚀；由于岩、土裂隙切割及风化营力作用引起的崩塌脱落；岩、土风化剥蚀；渗水病害；地震坍塌；冲沟切割；沙漠粉尘风蚀掩埋；土体湿陷、沉降、液化以及崩解等。另一类是由于人类生产或工程建设，引起自然环境的改变，在改变后的自然环境营力作用下，引起原有病害的加剧或诱发新的文物环境病害，如爆破振动；采矿引起地面和边坡文物建筑的变形破坏；兴建水库引起小气候环境改变而使岩土文物风化加剧；酸雨、煤尘引起岩、土文物蚀变；改变河道而引起洪水淹没等。此外，还有一种是未领会文物建筑的价值及保护原则的情况下，采取不当的保护措施而引起的破坏，称为“保护性破坏”。本章重点介绍岩、土类文物建筑常见的几种病害类型^[6]。

第一节 自然营力作用于文物建筑而产生的病害

一、文物建筑的漏水、渗水和积水

降水、河水、地下水造成文物建筑的漏水、渗水和积水。这是最常见的，也是对岩、土文物建筑危害最大的病害，它可分为几种情况。

1. 由于洪水冲刷、淹没所造成的危害

新疆克孜尔千佛洞的渭干河水系，洪水多发生于 6~8 月，为融雪与暴雨混合型，具忽涨忽落特征。由于第三纪砂岩、泥岩内有大量易溶盐及蒙脱石，遇水岩体极易崩解。因暴雨、洪水冲刷崖壁形成大量冲沟，窟区仅 1 平方公里多范围内，有大冲沟 17 条，小冲沟 32 条，这也是引起洞窟大面积崩塌的重要原因之一。离它不远的森木赛姆千佛洞，有一条间歇河通过窟区，每年洪水下来，就将结构松散的第三纪砂砾岩体冲掉一部分，造成洞窟下部悬空，危及洞窟安全。又如敦煌莫高窟，虽然干旱缺水，但通过窟区的大泉河，过若干年都要暴发一次洪水。1987 年的洪水使底层的几个洞窟被淹，造成壁画损坏。陕西韩城司马迁墓祠耸立在黄土高坡上，芝河将崖脚掏蚀悬空，造成北坡大面积崩塌，危及顶部的建筑群。内蒙古辽上京遗址，在河两岸修筑拦河堤、坝，仍多次被洪水冲蚀、淹没。

2. 雨水从顶部或从地面灌入建筑物内

云冈石窟在以往的很长一段时期内曾处于无人管理的状态，窟内普遍积水。21 个大的洞窟中有 14 个窟内长期积水。7 个洞窟内地面低于窟外，雨水经常倒灌窟内。砂岩较大的孔隙率使地表的毛细作用将水吸到壁面 2m 的高度，长期干湿交替的环境下，使洞窟内下部石雕全部损毁。另外像河南的鞏县石窟，陕西的彬县大佛寺，洞窟底部低于窟外地面很多，一旦暴雨或洪水泛滥，窟内必定积水。四川王建墓曾由于墓顶封土开裂，雨水

直接灌入墓内，墓内渗水滴水严重（图 1-1）使石刻发生霉变风化。大足宝顶山石刻卧佛也是受顶部渗水严重侵蚀着佛身（图 1-2）。

3. 地下水从山体壁面渗入

陕西彬县大佛寺的后壁切穿了一个砂岩含水层，地下水呈条带状向洞窟内渗流，造成洞窟后壁冲蚀悬空，石雕严重风化（图 1-3）。云冈第二窟的寒泉洞内，因揭露了地下水，它以下降泉的形式向洞内排泄。在泉水的长期浸泡下，致使窟底基础岩体全部碎裂成小块，严重危及洞窟稳定。对于开凿在碳酸盐类岩体（如石灰岩、白云岩）中的

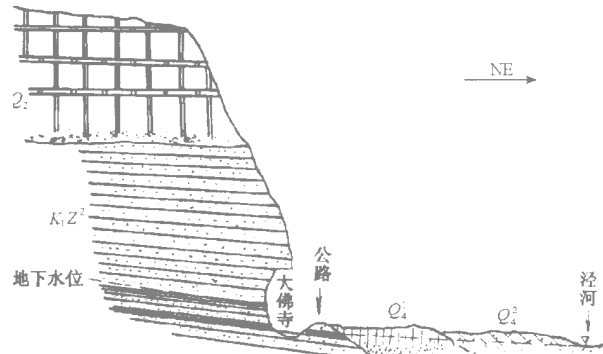


图 1-3 陕西彬县大佛寺水文地质剖面示意图（中国地质大学）

石质建筑和石雕，降水或地下水的入渗，还将溶蚀岩体，造成石雕表面灰华凝浆积聚、损坏石雕。洛阳龙门石窟、邯郸响堂山石窟、太原天龙山石窟等均出现此类病害。北京的明十三陵之一——定陵，河北清东陵、满城汉中山王墓等许多帝王墓内的渗水、滴水十分严重，不断溶蚀着碳酸盐类石雕。墓室内大量的凝结水与观众带入的有害污染气体，使石雕风化加剧。

二、石窟寺等大型建筑遗址的崩塌、开裂、边坡失稳

多数石质文物建筑依山傍水，开凿于河谷两侧的陡崖上。陡峻的边坡岩体，因河流冲刷卸荷，常常发育岸边卸荷裂隙，这类裂隙走向平行于边坡走向，倾向与坡向近一致，倾角等于或略大于坡角，构成文物建筑所在边坡岩体失稳的滑移面或崩落破坏面。岩体中的构造裂隙、风化裂隙、层面、断裂面或剪切带、软弱夹层等结构面，常常造成边坡失稳。各种不同成因的岩体裂隙互相切割，使石窟、摩崖所在的边坡岩体形成了可能变形、滑移、倾覆、错落、坠落、弯折的分离体（简称危岩），导致石窟等建筑所在边坡岩体的破坏。此外，石窟等边坡岩体中各类裂隙发育和交切，还为水的入渗和渗流，盐类的运移和积聚提供了良好通道，危及文物。这类现象几乎普遍存在于我国的大型石窟群和摩崖造像。最为严重的有麦积山、克孜尔（图 1-4）、须弥山、龙门、炳灵寺、石钟山等石窟寺；广元千佛崖、乐山大佛等摩崖造像；山西浑源县悬空寺所在的岩体等。

三、地震危害

因地震造成文物建筑大面积崩塌，往往是致命的。甘肃凉州天梯山石窟，就因当地频繁强烈的地震，当时认为无法保存，而于 50 年代进行了搬迁。麦积山石窟历史上几次大面积崩塌都是自然地震引起的。从有记载的一千九百多年以来，地震在麦积山附近的天水相当频繁，有严重破坏性的达 15 次。公元 602 年（隋仁寿二年）的大地震，使开凿于公元 566~568 年（北周）的上七佛阁前廊柱和石雕龕檐及以下约 1000m³ 的崖壁震塌，此处的洞窟几乎全部崩毁殆尽，后人便有东崖、西崖之称。敦煌莫高窟地区是属于地震活动频繁的地带。自公元 417 年以来，可查考的地震现象有 11 次。其中 1927、1932 和 1952 年的地震较强烈。1927 年的地震将莫高窟第 196 窟洞顶的一块壁画震落，并将佛龕上的塑像砸坏。（图 1-5）再加莫高窟历经各朝代重叠开挖洞窟密集，加速了洞窟的崩坍（图 1-6）

1952 年的一次地震又将第 211 窟洞顶的一块初唐壁画震落。

四、风化剥落

岩(土)体文物建筑时刻在经受着物理、化学和生物风化的危害。物理风化对石雕的破坏主要有太阳紫外线的辐射;温度与湿度的变化使表层中水与气体体积的热变化;干湿交替使各种矿物产生不同的胀缩系数,强度小的矿物易碎裂;水冻结时体积将膨胀 9%,在石刻内产生压力,造成岩石颗粒空间加大,使石雕刻裂,降低强度,加大了水的渗透性。另外,石雕表层聚集的含结晶水盐类,在干燥环境时失去或减少结

晶水,体积收缩,形成粉末,当处于低温或高温环境时又吸水膨胀,结晶时产生压力,加

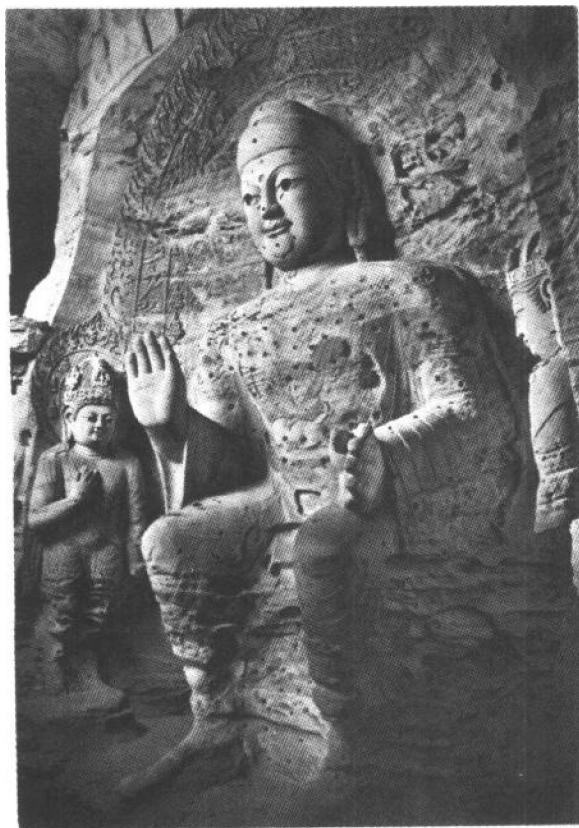


图 1-7 山西云冈石窟第三窟大佛风化现状

速了矿物颗粒间连接的破坏和裂隙的扩张。化学风化主要表现是石雕内的水(包括裂隙水、孔隙水、毛细水等)与气态的 O_2 、 CO_2 、 SO_2 等进行水化、氧化、还原、碳酸化等综合作用,逐渐使岩石中的胶结物、碳酸钙溶蚀,或使长石类矿物变成松散的粘土矿物,造成石刻的表面风化解体(图 1-7)。

以上两种风化现象,在大陆性半干旱气候地区表现最为明显。如云冈、克孜尔、炳灵寺、须弥山等石窟的岩石风化是以冻融、巨大温差、干湿交替作用而引起的物理风化为主,其次是含有盐类的地下水渗入石雕的孔隙,造成石雕表面盐类沉积、结晶、膨胀等作用,使岩石中矿物产生蚀变的化学风化作用也很普遍。龙门石窟中危及石雕的碳酸钙溶蚀则十分明显。

生物风化是指各种植物和动物有机体对石质文物的化学分解和机械破坏(图 1-8)。它往往发生在南方温暖潮湿的环境。如植物根系的根劈作用,使裂隙扩张、加宽;死亡的有机体使微生物迅速繁殖,形成的有机酸对石质的腐蚀,像福建泉州的九日山碑刻,虽是花岗岩质,也已被苔藓、地衣等低等植物风化得表面疏松剥落,字迹已模糊不清(图 1-9)。



图 1-6 莫高窟加固工程前残破现状

速了矿物颗粒间连接的破坏和裂隙的扩张。化学风化主要表现是石雕内的水(包括裂隙水、孔隙水、毛细水等)与气态的 O_2 、 CO_2 、 SO_2 等进行水化、氧化、还原、碳酸化等综合作用,逐渐使岩石中的胶结物、碳酸钙溶蚀,或使长石类矿物变成松散的粘土矿物,造成石刻的表面风化解体(图 1-7)。

以上两种风化现象,在大陆性半干旱气候地区表现最为明显。如云冈、克孜尔、炳灵寺、须弥山等石窟的岩石风化是以冻融、巨大温差、干湿交替作用而引起的物理风化为主,其次是含有盐类的地下水渗入石雕的孔隙,造成石雕表面盐类沉积、结晶、膨胀等作用,使岩石中矿物产生蚀变的化学风化作用也很普遍。龙门石窟中危及石雕的碳酸钙溶蚀则十分明显。

生物风化是指各种植物和动物有机体对石质文物的化学分解和机械破坏(图 1-8)。它往往发生在南方温暖潮湿的环境。如植物根系的根劈作用,

使裂隙扩张、加宽;死亡的有机体使微生物迅速繁殖,形成的有机酸对石质的腐蚀,像福建泉州的九日山碑刻,虽是花岗岩质,也已被苔藓、地衣等低等植物风化得表面疏松剥落,字迹已模糊不清(图 1-9)。

字迹已模糊不清(图 1-9)。



图 1-9 甘肃麦积山石窟泥塑受松鼠蝙蝠危害

五、风沙吹蚀

这类病害在我国的新疆、甘肃、宁夏等西北地区最为明显。紧靠莫高窟的鸣沙山是连绵的沙丘(图 1-10),遇到大风、沙尘暴时,沙石、尘土源源不断地刮到崖下,进入洞窟内。尤其是上层洞窟的壁画、彩塑受到严重磨蚀、变色、褪色甚至脱落。暴露于窟外露天的唐代土塔、灵塔,在受主害风向吹蚀的表面,已被磨蚀破坏得辨不清建筑外貌。新疆吐鲁蕃地区的高昌、交河古城,宁夏的西夏王陵,甘肃的汉长城、玉门关、阳关等这类大型土遗址,其中受风蚀的破坏是主要原因之一。

第二节 与人类活动有关的土石文物建筑受损破坏

一、环境污染的危害

大气环境的污染对文物古迹的损害作用日益严重突出,它已成为世界各国,特别是发达国家普遍关心和忧虑的问题之一。对土石文物建筑造成损害的污染源有:酸雨、有害飘尘以及游客参观和汽车燃油等带到空气中的二次污染。而其中酸雨的危害最大最普遍。

在欧洲和北美,由于降水的酸度日益增高,古迹迅速受到损坏。与过去的雨水的 pH 值 6 以上相比,现在雨水的 pH 值在 4 和 4 以下是很普遍的现象。过去是小面积的高酸度

核心，现在已扩散到整个大陆地区。印度泰姬陵大理石雕刻已有 400 年历史，现在在化学上处于极佳反应状态，酸雨使一些雕刻艺术品失去了其原有特征，并使大量石雕表层在结构上分解。意大利许多露天的大理石雕像也蒙上了污垢（图 1-11）。希腊雅典卫城内的巴特农神庙内的雅典娜女神像亦被带酸和盐的潮湿空气腐蚀成麻麻点点的洞穴。目前一些国家在防止文物受污染方面做了大量的研究，正在着手进行改善环境的努力。我国的酸雨污染范围日



图 1-11 意大利佛罗伦萨大理石像受污染形成黑斑纹

趋扩大，近几年来出现了从西南向北和东扩散的趋势，明显的酸雨区域已从原来的以重庆、南昌为中心的两个区域发展为现在的四个。新形成的酸雨区，一个在厦门、福州一带，另一个是以青岛为中心的污染区。酸雨出现的几率均在 90% 左右。雨水的 pH 值愈来愈偏酸性。1985 年连云港市测定的 11 次降雨中，有 8 次是酸雨，尽管孔望山石刻是致密的混合花岗岩质，也已受腐蚀而出现空洞、剥落。酸雨已对暴露于野外的地面文物构成普遍的威胁。

有害漂尘及游人参观、汽车燃油等带来的二次污染，最典型的例子是北京地区，城区内的文物古迹风化损坏的程度都较严重，故宫太和门石柱的汉白玉凤望柱，经 1923 年与 1985 年两张照片对照，发现相隔 60 多年原来十分清晰的雕刻花纹现已风化得面目全非，花纹几乎辨不清，甚至有些地方手触即掉粉末，风化剥蚀的深度已达 10~20mm，通过 X-衍射和液相色谱等测试结果表明，大理石雕刻表面已被蚀变成石膏层，在显微镜下发现石质文物表面的腐蚀斑点中有煤尘颗粒存在。据调查分析，北京城区的大气污染源主要有：风沙土壤、燃煤低空排放、汽车燃油和人为的二次污染。对露天文物古迹造成的危害，除日晒雨淋及风沙等自然风化营力外，不可忽视大气颗粒物中含有工业和人为污染的成分，其中就有燃煤排放出来的 SO_2 、 NO_x 汽车废气等排放的苯溶有机物以及人为污染形成的总颗粒有机物，它们一旦溶入雨水中形成酸雨，便直接危害文物古迹。地处交通要道的卢沟桥，以往每天要过大量机动车，加之附近工厂排放的酸性粉尘，已使桥墩条石腐蚀成蜂窝状。最严重的是在琉璃河水泥厂附近的一座明代石桥，其望柱已被腐蚀成拳头状的一个砣砣。地处北京中心的故宫，每年接待的游客已超过一千万，这座举世瞩目的紫禁城处在如此不利的环境中，文物风化的速度已明显加快。而北京远郊区十三陵的石雕艺术品，风化程度明显轻得多，远离城市的清西陵内所见石雕都十分新鲜、清晰。通过西安地区 1983 年对 10 个文物点进行的大气环境监督结果，也能说明这个问题^[7]（表 1-1）。各文物点距市中心越近，降尘、硫酸盐化速率、二氧化硫及氮氧化物的浓度越高，污染越严重。大同云冈石窟周围已被十多个煤矿包围，昼夜不停的运煤车，带来大量煤灰粉尘。1987 年大同矿务局环保站在云冈窟区的监测资料表明，带煤灰的飘尘日均值达 $0.525\text{mg}/\text{m}^3$ 。已超出国家二级标准 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ 近一倍。煤炭中的含硫量达 1%（重量比），在显微镜下观察到煤尘粉粒已深入风化石雕的孔隙中。活性碳和碳化物吸附 SO_2 和水蒸气的能力强，使石雕表面吸附 H_2S 及 H_2SO_4 ，以化学侵蚀的过程损害石雕。河北邯郸南、北响堂山石窟附近林

立着耐火材料厂、陶瓷厂、水泥厂等，窟区内普遍漂落着一层水泥粉尘，雨后形成一个水泥壳，大气中的 SO_2 含量也严重超标。它不断地对碳酸盐类石雕产生腐蚀风化作用。

西安地区文物点大气环境监测结果 (1983) (西北大学) 表 1-1

数据 文物点	项目	降 尘 ($\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{月}$)	硫酸盐化速率 ($\text{SO}_3 \text{mg}/100\text{cm}^2$)	二氧化硫 $\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{日}$	氮氧化物 ($\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{日}$)
乾 陵		10.23	0.053	0.044	0.095
茂 陵		10.10	0.068	0.153	0.145
大 雁 塔		17.98	0.103	0.129	0.149
华 清 池		10.84	0.114	0.313	0.243
小 雁 塔		14.56	0.170	0.316	0.307
七 贤		20.89	0.152	0.253	0.377
秦 俑		9.04	0.134	0.456	0.410
半 坡		26.75	0.189	0.243	0.232
西 门		19.42	0.426	0.274	0.351
钟 楼		31.29	0.378	0.559	0.789

二、小气候环境改变引起的风化损害

位于黄河边的炳灵寺石窟，1976年兴建刘家峡水电站后，水库的回水要淹没底部的几个洞窟，便修筑防护堤保护石窟。但蓄水后石窟的病害逐年加重。原因是小气候有了改变，使原来常年干燥的环境，湿度骤然加大。水位的频繁变化，使窟内环境干湿交替，石雕是属于白垩纪长石石英砂岩，其胶结物成分中粘土矿物占 15%，而粘土矿物中蒙脱石含量高达 38%。改变后的环境，使蒙脱石发生膨胀、收缩变形，加速了石雕表面强烈风化，使原来光滑圆润的石雕开始掉粉、落沙，变得粗糙模糊（图 1-12）。盐类溶蚀崩解病害也出现在北石窟寺、克孜尔千佛洞、库木吐拉千佛洞、森木赛姆石窟等。

三、采矿引起地面塌陷

连云港将军崖岩画是四千年以前一幅星像图，有“东方天书”之美称。



图 1-12 甘肃炳灵寺石雕因小环境改变造成的粉化

但由于岩画所在岩体位于锦屏磷矿矿床之顶板，磷矿的开采已经造成大面积的采空区，由于采空区的塌坍、崩落，导致地表岩体产生裂隙，而这些裂隙已经切割星像图所在岩体，危及岩画的安全。另一个典型例子是湖北大冶铜绿山古矿遗址，也因受采矿的影响，而威胁着该遗址的长期保存。这类问题还存在于江西的瑞昌，安徽的铜陵等古矿区。

四、人工爆破振动对文物环境的危害

人工爆破振动对石窟文物保存的危害也已在某些文物保护单位发生。最典型的事例发生在龙门石窟保护区。窟区内有洛阳水泥厂及乡镇企业的采石场，连年放炮采石，一次爆破使用的炸药达 4 吨，距石窟仅 1km。焦枝铁路及穿越石窟区的洛临公路的火车、汽车行驶时的振动，均是导致石窟岩体因振动失稳的动力源。在这类动荷载作用下，使石窟区内的岩体分离体渐趋失稳，1973 年以来已发生 12 次较大的崩塌掉块，窟内普遍漏水。云冈石窟附近煤矿的采空区，由于顶板坚硬、采空区的空间和面积都很大，因此引起的大面积塌顶时产生振动，相当于 3~4 级地震。由此可能引起石窟不稳定岩体的崩落。

五、大规模水利建设，使文物建筑遭受淹没或被迫迁移

1965 年新疆的渭干河上要修建东方红引水枢纽和电站，当时负责施工的单位不顾其上游的全国重点保护文物——库木吐拉千佛洞，无视水电部和文化部的批示，在不做任何保护措施的情况下，擅自决定于 1970 年 10 月蓄水时将水位抬高 2.5m，致使千佛洞一片汪洋，20 多个洞窟倒塌，31 个洞窟的珍贵壁画全部被毁（图 1-13），后经主管部门的干预，施工队又不负责任地在河床内筑沙堤，反而将主河道移到千佛洞前，直接冲刷洞窟，直到 1979 年才在千佛洞外围堤（沉箱围堰），堰内设集水井，用水泵排水，但由于沉箱建在 50m 厚的覆盖层顶部，起不到防漏作用，尤其冬天表面结冰，泥沙淤积，河水漫涨，却不能抽水，相继四次洞窟进水，至今位于千佛洞下部的精华壁画洞窟全被泡毁，占全部石窟的 44%，尽管国家先后 3 次投资达 230 万元进行抢修，但位于丝绸之路上闻名中外的库木吐拉千佛洞仍是后患无穷。

1992 年 4 月全国人大通过了兴建长江三峡水利枢纽工程的决议，三峡工程中的文物经初步调查有 1282 处。其中地上古遗址、墓葬有 760 余处，地上文物建筑及石雕碑刻等 440 余处^[8]。这些宝贵的文化遗产将大部分被发掘或迁移。由于三峡工程的性质、工期及施工方式限制了库区文物保护工作不能以正常的时间及方式进行。它决定了库区文物保护工作的性质是抢救性的和一次性的。根据我国的实际情况，只能从浩如烟海的文物中抢救出一小部分。

六、对文物建筑进行保护时的损坏

对文物建筑的保养或维修，其目的本来是要利用现代科学技术的方法来保护文物，使之能“益寿延年”。但是，有时却起了相反的作用，造成了对文物的破坏。这类事例以往并不少见，历史上许多重要的文物建筑内的塑像、石刻、壁画等，由于善男信女们的“乐善好施”，在重修庙宇、再塑金身的美名下被破坏了。近几十年，在维修中破坏文物建筑原貌，甚至使文物毁损的教训也时有发生。如某地的一尊石雕大佛，一些专家去看后，认为可能是北魏的，在没有认真调查研究，对大佛破损情况不明的情况下，冒然剥去大佛表层的部分泥塑外壳后，发现内部的石胎已破损十分严重。后又用泥重妆佛像，像这样的维修就违背了“不改变文物原状”的原则。又如在 60 年代初，有人对云冈石窟第一、二窟内的壁画石雕进行防风化学喷涂试验，因使用材料的性质、浓度、配比及施工工艺等方

面的原因，使壁面玄光、变色、起壳等，试验失败。后花了很大的气力才把这些材料去除。这一教训说明，未经深思熟虑，未经大量室内和野外试验证明对文物保护无害的情况下，不能轻易地直接在文物上作保护方法的试验。四川成都附近的宝光寺里有一块千佛碑，是公元 540 年的石刻，有很高的史艺价值。但被宗教部门管理后，寺僧为了好看便把碑文加深凿刻。也许这是好意，但它的艺术价值便一落千丈，这种行为可称为无知的破坏。191

又如天安门前的华表，原来汉白玉质的表面蒙上一层污垢，某施工单位修缮时，用高压喷砂将表层污垢带石质一起铣掉，焕然一新。原意是保护文物，实质起到了破坏文物的作用。对用在文物上的保护方法，一定要持慎重态度，事先应做出切实可行的保护修复方案，经有关部门及专家研究批准后方可实施。一般说来，最好不要在石质文物上面施加新的材料，不得已要施加新材料时，则要经过反复试验，经鉴定论证切实可行后才能实施。保护或修复前应做详细的记录、摄影，保护过程要记录并建立技术档案，它应与文物一起长期保存。复原工作尤其要慎重，因为我们加上的任何东西都是现代的，就像维纳斯像不能加胳膊的道理一样。有的石刻窟龕周围本已没有雕刻的迹象，后人却又在重新修复的梁柱上雕刻得琳琅满目，这就不符合文物保护的原则。

国外的事例也有，如意大利一处教堂内的石刻风化较严重，在 40 年代由于对化学材料的性质了解不够，用钠水玻璃喷涂了石刻浮雕，十多年后发现石雕全部酥碱粉化，到了不可收拾的地步（图 1-14）。埃及的狮身人面像，在法老时代以后的几次修复中，使用富盐的灰浆去补砌已经风化而不坚固的石灰岩块护面。这些后补的灰浆内盐分逐渐渗移，损坏了早期经精心挑选的、非常完整的石灰岩块和它们之间的粘结物。华盛顿奥林匹亚的国会大厦砂岩饰面，由于岩块吸收的水分，滋生了地衣类植物，使建筑物拱顶外表变成黑色，很不雅观。为了减少外界水的渗人，使用了透气透水性差的丙烯酸类涂层，使建筑物表面慢慢变干，但是内部的水仍在石质建筑物内循环，而使盐分聚集在不透水的涂层下面，盐类形成的围限结晶压力使石质建筑物的一些地方出现几英寸的深槽。

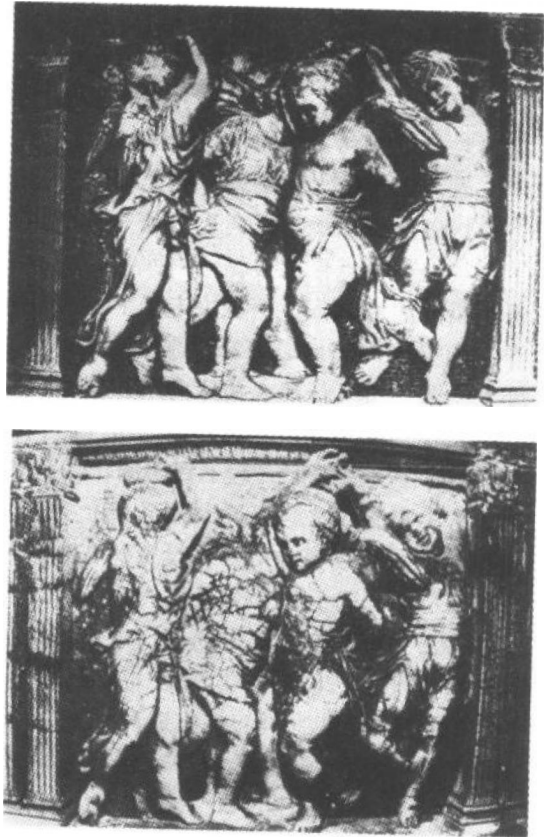


图 1-14 意大利某教堂石刻因
使用化学涂料不当而损坏

（上）摄于 1881 年（下）摄于 1969 年

第二章岩、土文物建筑保护的 前期研究

进行文物建筑保护的前期研究目的是为了充分认识文物建筑的价值，对它们的造型、结构、材质、工艺等进行深入的研究。收集整理文物建筑原来面貌的一切根据，更科学、准确的领会文物法中“必须遵守不改变文物原状的原则”。强调保护工作的科学性，使我们的保护维修工作避免主观随意和盲目性。

前期研究的内容应包括：对文物建筑的历史价值、艺术价值与科学价值的充分认识；研究文物建筑的历史沿革；受到的损害，存在哪些“病害”；周围环境对文物的影响及改善办法；如何充分理解、贯彻保护的管理与保护原则、方针；如有必要还需对文物建筑保护的勘测方法、设计方案、施工方法、维修保护中新技术、新材料等进行初步的了解。在此基础上写出维修保护的立项申请报告。

第一节 基础资料的收集与整理

要做好土、石文物建筑的保护、管理工作，首先须对它有个全面充分的了解。因此在拟订长远或近期的保护规划过程中，重要的一步是收集该文物建筑的历史与基础资料，并予记录归档。通过收集到的文字记载，图表照片和考古资料等，提供这个文物建筑的自然地理状况的信息资料、环境与建筑物的关系，以及历史沿革与修缮史的资料。如对石窟寺来说，要求了解崖面的原状，洞窟建筑的时代，窟檐建造的情况等。只有尽可能充分地确定文物建筑过去的自然历史，才能更好地分析它的现状，从而了解其目前和未来的需要。所以从广义的说，基础资料的收集与归档即是保护工作的开始。

一、文物建筑的历史沿革

其内容包括建造文物建筑时的历史背景、目的、规模、营造者与周围文物建筑的联系等。随着历史推移，建筑物及其周围环境的兴衰、变迁，其中，应特别注意它的修缮史。这些主要是从文献档案，历史资料中寻找。还可从当地的老工人，老住户中去了解。如果是在较长时间内形成的大型文物建筑群，这种研究就要求更细致。如其鼎盛时期是以哪些建筑物为代表的，总体建筑布局与单体建筑之间的联系，各单体建筑的时代特征和风格，后来如何改动，重修或重建等，都需要研究清楚。年代久远的文物建筑或遗址，往往缺少资料，各人理解也有可能千差万别，这样就需要更多地收集资料，听取各方面的意见，集各家之长，尽可能的使它符合当时的客观实际。

对于已残毁只剩下基址的文物建筑或遗址，一般不再进行复原，如欲进行复建，就必须按考古发掘的方法、步骤进行科学测绘，记录。留出较充裕的时间探讨研究。要找出原来的体量大小，结构造型，布局位置来恢复，并要考虑与原有的建筑群作出整体的保护规

划。如果已经没有这些依据，只能凭历史传说的大致方位或简单的文字记载。没有基础、遗迹的情况下，就叫重建，实际上它就是新的仿古建筑了。

研究文物建筑以往修缮过程的说明、图件等档案资料，应包括内部附属的壁画、雕塑、碑刻等。

文字档案资料可包括以往有关维修勘测设计及施工的合同、说明书、图纸、计算书、材料清单、使用材料收据，及保管维修单位的变换历史等。文字资料及技术档案资料可用于确定或强调文物建筑独特的或珍贵的历史特征及建造技术特征，从而证明它确实有必要进行保护。另外，当文物建筑遭受不同程度损坏、更改或缺失时，这些档案资料便可提供应恢复到什么程度才能符合文物保护原则。在收集资料过程中应重点收集的是以往维修过程的资料；维修中使用的材料及所选择维修方案的理论基础。具有历史意义的照片不仅可以反映当时的文物建筑残破状况，也可反映维修时所使用的工具及材料。在某种程度上还可反映出其破损、风化的程度。再显现在已看不到的遗迹。当然考古证据是记录一个文物建筑或遗址的最重要最关键的资料。通过发掘或发现所获得的历史资料，甚至能得到多方面的综合信息，如建造、维修年代、维修规模、材料、工艺水平等等。对于口述资料必须小心谨慎，要通过多方面印证，辨别真伪，去伪存真。

二、与文物建筑有关的自然及环境资料

要收集与文物建筑环境有关的降雨、蒸发、气温、湿度、地温、风向、风速、日照等资料；附近有河流的，还要了解水文资料，如最大洪水位、最大流量、年变化规律、上下游水库、河床变迁、淤积情况等；地质、地貌，要了解地层、岩性、渗水规律、泉水流量、水质、化学成分、构造节理、物理地质现象（如滑坡、崩塌等）；地震区域烈度，历代地震记载，受震历史，近期震情预报等；以及大气污染、漂尘性质指标，环保部门定点监测等资料。将以上的资料整理成图表，归纳成文字，装订成册，以便经常使用。

三、加强资料的科学归档工作

档案记录的过程不应中断，而且要日趋科学化、系统化。当前对文物建筑的勘测、规划设计和施工的所有资料都应编辑归档：尤其是经过修复或增添、减少的部分，更应有详细的记载。不能让后人再对我们做过的工作进行“考古”。必须做到根据这些档案资料能加以复原的程度。它应包括现状实测图、现状文字记录、现状照片、影片、录像、拍片、模型等。设计、施工资料，新的发现、新的研究成果等均应补入档案资料之内。为了便于查考可编制索引目录，重要的善本档案资料，应当复制。为了保存档案资料的安全和使用方便，应有数份，给管理、技术等有关部门分别保存。

第二节 鉴别文物建筑的价值

在对某个土、石文物建筑进行价值评估时，首先要弄清楚究竟哪些是价值的标准？它们对于人类到底能起哪些作用。这个问题在中外文物保护的宪章、法令以及专家的论文中都有各种阐述。价值是主观的东西，因此难以客观地拿出统一的标准，但是我们可以通过对某一文物的评估过程，来综合各种观点，加以归纳总结，不断完善。这里根据作者的体会，综合各家观点，结合岩土文物建筑的价值作一阐述。岩土文物建筑的价值在于它携带着大量历史的信息，它包括社会、政治、经济、文化、历史、科学、艺术等等，是各种历

史活动领域的见证，并且寄托着人类对它的情感，而且这些信息不能再生，不可替代。具体来说有：

一、文化价值

文化价值包括历史的、考古的、文献的、艺术审美的、建筑的、人类学的、景观与生态环境的、科学和技术等综合的价值。我国多数人简称为历史、艺术、科学价值。文物作为历史的遗产，必须是在历史上形成的，它能反映出它所产生的当时社会的政治、军事、经济情况，生产力发展的水平，科学、文化艺术的成就，当时的文艺特点以及人类的生活习俗，人际关系，国际交往等等。艺术价值可以表明文物建筑特定的结构造型，图案色彩，艺术发展或高水平的工艺。它表现了一种美学的概念、联想或情调等。科学价值是反映当代的科学技术水平和发展进程。鉴别其重要性、代表性、稀有性等。同时为今天的科学技术研究作借鉴、应用。并有可能为进一步解答在研究问题时提供补充资料。

就以河北赵州安济桥为例，试评其价值：它已有 1300 多年历史，突出反映当时很高的科学技术水平，材料加工、雕刻艺术、造桥技术及工艺等均已相当高超。这座桥以长 64m，净垮 37m，高 7.23m 的大弧形石券横垮洹河上，两肩又有两个小石券，从而开创了敞肩桥的桥型。这种结构形式，在洪峰过桥时，可增加泄洪能力，还能减轻桥身自重，节约工料，减少对桥台与地基的纵向压力和水平推力。此外还因地制宜地设计坦拱形式，使桥坡较缓便于桥上车辆通行。在施工技术上，安济桥是采用纵向并列砌筑的方法，即用平行而紧密并列的 28 道拱肋所构成。拱石的厚度不等，组成了变截面的拱圈，使拱角宽，拱顶稍窄，形成宽度“收分”的桥面，使两券的各道拱券都微微向内靠拢，同时在拱背上覆盖横向的护拱石板，并在拱背上横穿若干铁条，以锁牢整体拱圈，相邻拱石之间均用腰铁卡紧。由于采取这些措施后，使桥的横向起到了加固作用。在石桥的选材上，也经过精心挑选，使用强度高又耐冻的石灰石。

1979 年北京建工学院等单位通过勘探证实，赵州安济桥的桥台矩形，为低拱角，短桥台，浅基础。基础的埋置深度仅 2m 多，土质为轻亚粘土。它直接砌在天然地层上。在这样的地基上建造如此大跨度的石拱桥，仅用这样小的桥台（长 5m，宽 9.6m，高 6.6m），说明建桥者的设计思想既大胆又合理。在艺术造型上，这座桥也十分精美。桥的主拱是割圆 60 度的弧形弓形，桥两肩各用两个小拱组成小弧，再加桥面缓坡弧线，这六条不同弧线的相互关系处理得十分和谐，使桥的整体显得秀逸，轻盈。主拱顶部雕有龙头，桥两侧仰天石上用莲花瓣装饰，桥上栏板、望柱则用蛟龙、兽面、花饰、竹节等图像布置得生动绮丽，保持了我国民族传统的特色。

由于安济桥是古代中国南北交通一条主要干道上的一座石桥，当时桥上“来往征人急于蚁，……任渠车马纷于织，往过来续无病涉”。说明此桥长期以来担负着重载。历年战乱，在桥上进行争夺，火拼也在所难免。洪水的冲击又是一大威胁，每当山洪暴发，洹河的水势凶猛，水量陡增，无疑给桥造成巨大的压力。地震的影响，是对桥最严峻的考验。据县志记载，建桥后至今已经历过 8 次大的地震。这漫长岁月中的天灾人祸，居然此桥仍然屹立在洹河上，直到 1955 年仍在经受重载车的考验。大量生动的事实说明，安济桥不愧为中国古代石建筑的卓越代表，它闪耀着中华民族智慧的光芒。安济桥问世以来，不少石桥相继仿效，安济桥的结构原理至今在钢筋混凝土的桥涵工程中，也广泛应用。四川、云南等地已建成单垮 110m 的石拱桥，对古今世界的桥梁工程界产生了巨大的深远影

响。

二、情感价值

情感价值是指人们通过对文物建筑的认识后所反映出的精神、政治、民族或其他文化思想的感情。它包括历史延续的，象征性的，宗教崇拜的，民族认同的，新奇感等。每一个民族都在创造自己的文明，由于生活环境，生活方式和语言文字，宗教信仰不同，形成了不同的民族文化，它象征着民族的传统，而这些都能激发起人们的各种情感，属于精神文明的重要部分。例如我国的万里长城，它反映的不仅是举世公认的伟大的古代工程，而且它已成为中华民族勤劳勇敢、坚韧不拔、不屈不挠、团结奋斗的一种精神力量的象征。当我们看到圆明园的那些断墙残壁时，就会勾起中华民族受尽列强欺凌，灾难深重，国败民衰的那段苦难历史。在秦始皇兵马俑及铜车马等宏伟壮观的地下军队被发现时，引起世界公众的轰动。一种新奇感促使着人们都要涌向西安去一睹为快。当看到如此精湛的陶俑，技艺高超的铜车马和材料与工艺都先进的武器时，不能不为我国 2000 年前的科技水平而骄傲、感叹！

三、使用价值

使用价值包括功能性的，经济、社会和政治的。不言而喻，文物建筑多数处于环境优美的旅游胜地，这些名胜古迹自然为中、外旅游者所关注和向往。随着生产的发展和人民物质生活水平的不断提高，这种旅游和欣赏的需要将更为迫切。从最近对几个石窟和遗址的参观人数统计，近几年游客的数量在大幅度的上升。像敦煌如此遥远偏僻的地方，也成了国内外游客的热点，参观人数 1979 年为 2.6 万人，到 1992 年已达 14 余万人^[64]。保护维修的文物建筑是为发展旅游事业创造必不可少的物质条件。而开展旅游事业对于国家的经济、社会带来的巨大效益是有目共睹的。把岩土文物建筑当功能性的使用，现在已经很少看到。如始建于 1109 年金代的芦沟桥，不仅其雕刻的石狮子和碑刻有名，也是抗日战争开始的纪念地。同时，它还被作为北京南大门的重要交通桥梁。直到 20 世纪 70 年代末，才停止服役，作为文物被加强保护，并参观开放。当前还有少数石质文物建筑被当成宗教活动的场所在使用。

综上所述，一个文物建筑的价值最终是取决于社会对它们的承认。文物价值被认识得越清楚，越彻底，就能在维修过程中越能保持这些价值不受损害和改变。在充分评估文物价值的基础上，才有可能决定保护的级别、规模和方法，作出相应的保护和管理规划，最后写出评估报告书。有些文物建筑的价值由于种种原因，还有待进一步研究揭示，只有经过反复鉴别和研究才能使文物建筑的价值充分地被发现、完善。

评估报告书的内容包括：建筑创建的年代和维修或重建的几个阶段；与原有建筑比较已丧失了哪些东西；与其他建筑不同的特点；以往和目前的使用状况；与周围环境的布局结合状况；建造的形式、特点受到本地区哪些文化环境的影响（包括历史的和社会的）；开放这个文物建筑的意义是什么；它在历史上的地位和重要性，受到哪个时期的影响最大；它潜在的科学或研究价值有哪些；与其他同类文物建筑的关系是什么等等。最后，结论要确定该文物建筑在整个历史与发展过程中的地位和价值。这份报告不但要从罗列评估中找出的每一个有价值的证据，而且要明确清晰的说出这些证据重要性的理由。如果是评估一个建筑的群体，则应在评估单个或一组建筑价值的基础上，再进行整体的评估。

第三节 领会贯彻文物保护的法规与原则

一、文物保护方针和原则应符合国情

我国的文物保护方针和原则是符合国情的。有人把威尼斯宪章等国外的些文物法规看作是各国文物保护工作必须遵循的最高准则。应该看到威尼斯宪章主要是由欧美的文物保护专家起草的，里面阐述的原则主要是涉及欧洲文化遗产的保护，反映的是西方保护和管理的历史发展过程，没有考虑其他地区的文化观点，文化差别等综合因素。但是也要看到，这个宪章是一百多年来西方文物保护专家实践的总结，共同探索的成果，我们可以从中得到许多有益的借鉴，取其精华的为我所用。但它不妨碍而且完全有必要根据中国的国情，文化传统和建筑特点等总结出我们自己的文物建筑保护理论和原则。目的是能够使我们更严密，更细致地理解，执行这些原则。

中国文物建筑的历史悠久，多样复杂。历代各民族、宗教建筑的风格特点，传统做法差异较大。木结构的庙宇，皇宫，民居，楼、台、亭阁、园林、塔等，固然在世界的文物建筑史上有它的特殊地位。但还有大量的土、石文物建筑如石窟、摩崖、阙、经幢、牌坊、墓葬、陵园、灵塔、作坊、城墙、浴池、采矿等以及附属于建筑部分的壁画、碑刻、雕刻、彩塑等，综合构成中华民族的独特而光辉的历史文化。因此要求制定的维修原则包容性大，适应面广。

我们是发展中国家，目前又处在改革开放，转向市场经济的浪潮中，基本建设不断地在开拓扩展，要跟上建设的步伐，去保护被发现和将要破坏的大量文物，处于十分被动的状态，再加文物保护经费短缺，因此提出的保护方针要有紧迫感。比如“保护第一，抢救为主”，“两重两利”（重点发掘，重点保护；既对经济建设有利，又对文物保护有利）这些方针是符合国情的，也是相当长的时期内要执行的^[10]。

二、结合实际贯彻文物保护的原则

要结合当时当地实际，努力贯彻文物保护的原则。对土、石文物建筑保护的指导方针或原则精神应不断学习、理解，结合本地实际予以领会贯通。尤其是文物保护法和实施细则中的条款含意要清楚。结合当地实际如何具体贯彻到维修设计方案中去。比如我们在研究乐山大佛的维修方案之前，领会“不改变原状”的原则基础上，考虑了6条具体要求：

(1) 通过保护要使石窟的历史、文化、科学、群众感情等方面的价值尽可能完整地保存下来，不要忽略某个方面的价值。

(2) 把保护的重点放在预防石窟自然环境遭受破坏或恶化的方面上，但通过对环境的综合治理，又不能破坏其周围的自然风貌。

(3) 尽量减少对石窟艺术品附加新东西，石质很完整未风化的地方就不要涂什么材料，原来附加的证明对文物有害无益的部分，要经过专家认真研究报上级部门批准后才能去除。

(4) 修缮中如需用新材料、新工艺，则应经过对材料和工艺的科学检测证明对文物无害，保护有效后方能使用，文物上应尽可能避免使用水泥。

(5) 一切维修的措施应该是可逆的，它们不应妨碍后人采取进一步的保护措施。

(6) 如对某一部分必须修复（它只能占总体的很小一部分），修复前一定要对原状有

明确可靠的证据，被修复部分要做到“远看差不多，近看有区别”，并在修复后的档案中给予记载。

方针和原则明确之后，还需经过领会贯通地去运用。例如在考虑乐山大佛的维修时，对 60 年代两次修缮部分改变了头部的鼻子、眼睛、嘴和下颌。如果我们尊重历史原状，就应对它进行复原处理，但是如何处理才能恢复它的原状，要求恢复哪个时期的原状？民国时期的照片中看到的也是经十分粗糙地修复过并不美观也非唐代的面貌，而清代以前的原貌已经破损得十分严重。嘴、鼻、右眼、耳朵等部位已不存在，成了大窟窿，这种情况下按维修原则的理解还是不动为好。还有一个例子是石窟是否修窟檐的问题，往往在形式和保护功能上产生很大的争议。有些人认为不能修窟檐，一修就改变了原貌，但从保护石窟免受自然破坏来说，有些地方又确实需要修保护功能的窟檐。如云冈一些大型窟内煤尘飞扬，沉积在大佛身上已经造成危害。骤冷骤热的温度变化，干湿交替，在加速着石雕的风化，修起窟檐就能明显改善恶劣的自然环境。此外在窟檐的形式上也有争议，一些人认为要修就要传统的木结构古建筑形式，这样才能协调统一，但这类建筑工程浩大，而且在采光，防止漂尘，温湿度变化方面存在很大缺陷。于是想采用轻型金属结构的仿石构架，塑料纤维编织的网作为防护罩，造成可以人为控制的小环境，但这个方案至今还有较大的争议。所以，对原则、方针的理解到实际运用，并不是轻而易举的事，这里有维修人员的水平，素质，对维修原则的理解，有当地实际的困难和条件，也有经费预算问题，还有行政，管理部门的干与等等。

三、当前可参考的法令、法规和管理办法

当前有关文物保护的法令、法规、管理办法可分为 3 类：

1. 与我们关系密切必须重点学习领会的法规

如：《中华人民共和国文物保护法》（国务院 1982）及其实施细则（1992）；《纪念建筑、古建筑、石窟寺等修缮工程管理办法》（文化部 1986）以及即将公布的《文物修缮保护工程管理办法》（国家文物局）

2. 属于需要贯彻执行法规

如：《拓印古代石刻的暂行规定》（国家文物局 1979）

《关于加强历史文物保护工作的通知》（国务院 1980）

《关于不作为宗教活动场所的寺、观、教堂等古建筑不得从事宗教和迷信活动的通知》（文化部 1984）

《古建筑消防管理规则》（文化部、公安部 1984）

3. 作为有参考价值的其他法规和地方法规

如：《中华人民共和国宪法》第 22 条（1982）

《中华人民共和国刑法》第 173、174 条

《治安管理处罚条例》第 5、15 条（1957）

《环境保护法》第 17 条（1979）

《北京市文物保护管理办法》（1981）

《北京市防治大气污染管理暂行办法》第 6 条

《北京市实施文物保护管理条例罚款处罚办法》（1989）

《北京市建设工程质量管理监督办法》及实施细则（1985）

《山西省文化厅文物局关于文物维修工程严格实行技术审批制的通知》（1987）
《河北省古建筑修缮工程管理办法实施细则》
《陕西省文物保护管理条例及实施细则》

订了法规，如何贯彻执行，这不是件轻而易举的事，一方面要健全我们的管理机构，提高管理干部的素质，而且要通过艰苦、细致的努力做到执法必严，有时候甚至要经过反复工作，动员各界的力量，尤其是依靠上级行政手段才能执行下去。无论是文物法还是环境保护法，它贯彻的难易程度与当地政府的重视与否和群众的文化素质、法制观念有关。

我们在监督管理执法的同时，更需要向广大群众进行文物保护的宣传教育，提高群众的文物意识，把文物保护变成广大群众的共同事业。近年来，党和国家重视文物保护，为抢救文物进行更多的投资，这是我们搞好保护管理的物质保证。

第四节 监测与取样工作

一、监测内容与方法

岩土文物的环境是复杂的。要摸清文物建筑的病害，需要掌握各种破坏因素对文物的破坏过程；所考虑的保护措施，也需经受时间和环境的考验。因此设立各种长期监测点是十分必要的。监测的内容包括气候要素的观测；洞窟内的温度、湿度、墙温、气流、观众人数以及滴水、渗水、凝结水、毛细水、泉水等动态观测；影响建筑稳定的形体、变形测量；裂隙位移观测；环境污染源的监测；石雕风化速度、程度的监测；防护材料的选择及效果检测；以及地震、人为振动的监测等。现对一些监测方法作一介绍。

1. 气候要素的监测

主要通过设立小环境的气象站来观测文物区小气候的变异。项目有：气温、湿度、降雨、蒸发、风向、风速、日照、地温等。观测时间和方法应与地区气象站及建筑物内的观测一致，便于比较。观测资料要及时整理成表，画出曲线便于使用（图 2-1）。观测仪器可通过专业商店或气象部门购置，以半自动仪为宜。有些地方设立的全自动遥控装置，需复杂的设备和电脑处理，目前只能作为努力的方向。

2. 建筑物内的监测

主要是观测气温和湿度的变化，要与室外的气象站采用同步的方法和时间进行观测。测墙温与气流需用专门的测量仪器，目的是研究石质文物结露的条件和风化因素。洞窟内的渗水、滴水状态要以图表和计量的方法测出其范围、程度。要测量出毛细水在墙面的上升高度，使用定量、定时的办法测出凝结水在洞窟中的含量以及单位面积、单位时间内石质吸收与蒸发的水量。文物区内如有泉水，则应定期（一个月一次）观测水温、水量并作水质分析。每年整理成动态曲线，与洞窟内的渗水、湿度等相对照。

3. 裂隙位移的长期观测

这是监测文物建筑稳定性的重要手段。需要专用仪器，如裂隙位移计进行定点、定时测量（图 2-2）。仪器测量精度有 1/100mm 或 1/1000mm 两种。测量前需在裂隙两侧埋设（用万能胶固定或锚固）专用标志，一个观测点设三个标志点，一般每隔一个月观测一次（每次至少有三个读数），如发现位移变化，则要增加观测次数，观测记录要制成表格，成果绘成曲线。

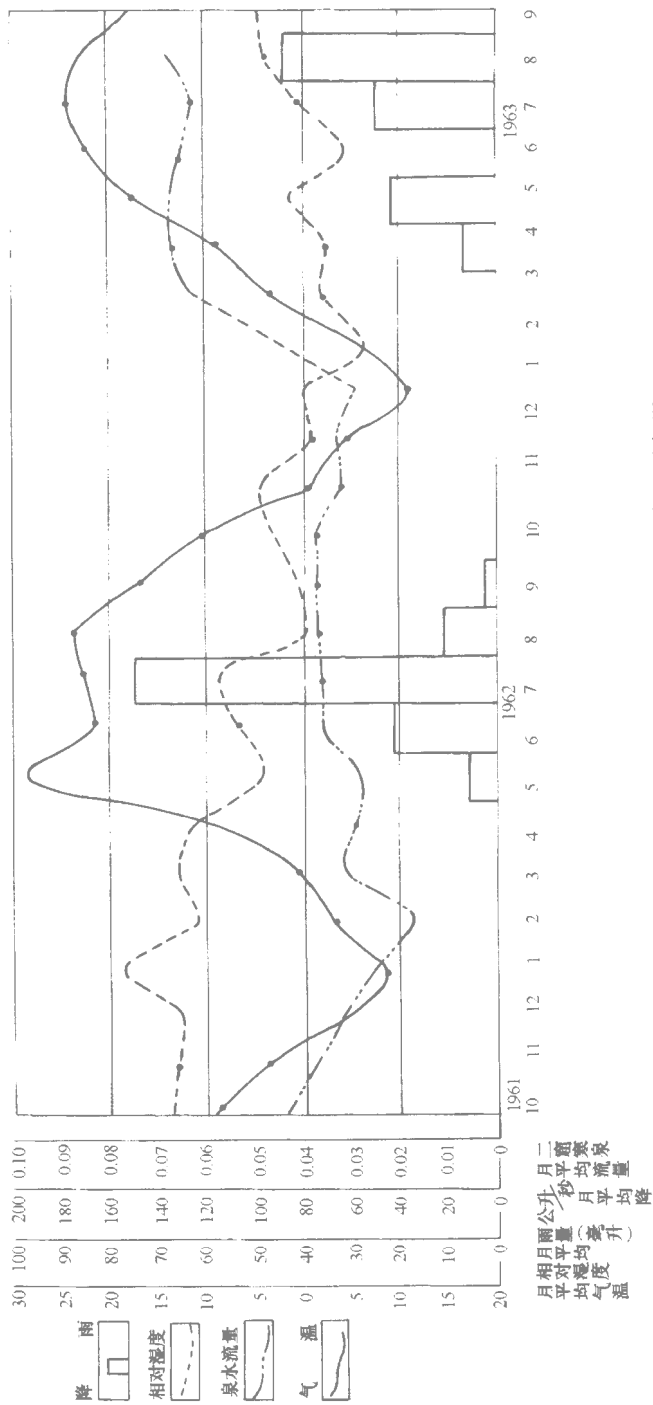


图 2-1 云冈石窟气象站 1961 年 10 月——1963 年 9 月气温、
相对湿度、降雨、二窟寒泉流量，月平均曲线

4. 文物建筑的形体、变形测量

为能较准确地观测出文物建筑的倾斜发展和不均匀沉降变化，从而了解建筑在结构上的趋向变化，需要对文物建筑进行定点、定人、定仪器和定观测标志的系统科学测量。这对保护和维修文物建筑是十分重要的信息。

文物建筑的测量分形体测量和变形测量两种，形体测量即对建筑的几何形态和大小及倾斜进行测量，由此得出的面积、体积、重量和应力状态，这是保护维修所必需的基本资料。变形测量即对古建筑基础及墙体的

沉降、位移和建筑高度的微量变化进行测量，在文物建筑维修施工中，变形测量是保障安全的一种重要手段。变形测量的时间往往需延续若干年，测量内容有建筑基底和底层壁面的沉降，建筑的位移测量，层面倾斜测量和顶部的高度测量等。

测量仪器多为经纬仪和水准仪。在建筑基底和上部适当位置安放观测标志（小钢尺，带十字线的大理石标石，铜质或瓷质水平标志）。用上述仪器对标志重复定期进行观测，一般是每月测量一次，施工中要进行密集测量。如在维修前就进行这样的长期观测，就能根据观测结果，分析研究其危险的程度。

5. 环境污染的监测

如发现文物区受酸雨、煤尘、水泥粉尘等污染源侵蚀的迹象，就要求环保部门配合，有针对性的定期监测某些可能危及文物的指标，如 SO_2 、 CO_2 、 NO_x 、苯溶有机物、酸性颗粒尘埃、酸性降雨量。通过初步工作如发现文物已受到某些污染源的严重损害，则有必要邀请有关部门对环境污染进行专门监测，拿出科学的报告，并提出防治对策。

6. 石雕风化速度、程度的观测

可与防护材料选择效果的检测结合起来进行。主要是在适当的地点设立风化长期观测场。在壁面开凿一定规格的凸出试块（也可用曝晒架和试块代替），进行表面形态、微测深试验、视电阻率值的变化及声波测试、纵波与横波速度、动弹模量的变化等，定期记录其变化速率。同时还可利用照相的办法与同一地点相隔多年的照片比较，观测风化变异的速度。

7. 地震监测

这种监测方法不同于因人为造成的振动对文物建筑影响，而是监测在自然地震频繁的多发区，文物建筑受到的损害程度，以及预测将来可能受到的破坏，为预防措施提供依据。预测可采用调查与试验相结合的方法。先对建筑受震后受到的破坏情况进行调查，在此基础上进行室内模拟抗震试验。筛选适合于抗震分析的激振方法和测量方案，再到现场进行动力试验，记录动力参数，然后根据实得数据修正初始数学模型，应用时间历程法与反应谱法进行抗震分析，为文物建筑的抗震能力作出定量的结论。

对石窟及其附加建筑物如何预测其抗震能力，一般应做如下工作：（1）对附加建筑物与洞窟岩体的联接状况进行详细的调查，对位移、沉降部位应及早进行稳定性分析，并作地基的勘察；（2）在抗震的薄弱环节，进行裂隙位移的长期观测，随时分析岩体稳定性动态；（3）请有关单位在现场作测震试验，进行石窟岩体和附加建筑物的地震反应谱分析：

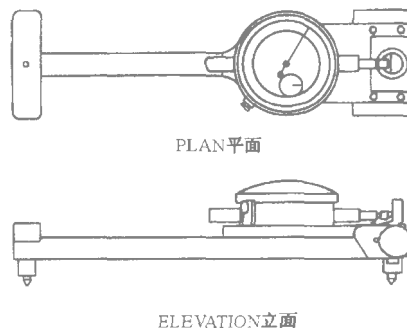


图 2-2 裂隙位移计