

浅谈田野石质文物在线保护系统

邓 宏^{1,2} 全定可^{1,2} 杨双国^{1,2} 贾 甲^{1,2}

(1. 西安元智系统技术有限责任公司, 陕西西安, 710000;

2. 陕西省文物保护研究院, 陕西西安, 710000)

摘要 我国是历史悠久、幅员辽阔的文明古国, 拥有丰富的文化遗产, 其中田野石质文物分布广泛, 但在漫长的历史长河中, 这些文物长期暴露在空气中, 遭受着物理、化学、自然风化影响, 再加上近年来工业化带来的空气污染、酸雨侵蚀以及旅游开发等作用, 导致文物所携带的包括历史、文化及艺术等重要信息丢失, 甚至有大批文物本体已损毁, 造成无法弥补的损失。本文从我国田野石质文物保护现状出发, 结合最新的科学技术, 说明田野石质文物在线保护系统的研究背景、基本原理和工作成果。

关键词 田野石质文物 环境监测 本体监测 安防监测 无线传感网络

引 言

我国拥有大量珍贵文物古迹, 列入世界文化遗产目录的就有三十余处, 其中相当一部分是石质文物。石质文物包括建筑、洞窟、石碑、石雕、岩画等, 其特点是组成材料都为无机矿物质。由于自然因素和人为因素的多重破坏, 这些长期暴露在野外的历史文化遗产饱经沧桑, 面临着老化、被盗等问题。近年来, 随着科技成果在文物保护领域的深入应用, 田野石质文物的保护也取得了一定成果。本文介绍的田野石质文物在线保护系统, 遵循“事前监测、事中报警、事后追溯”的设计原则, 集成现代传感器、无线通信、大数据、云计算等前沿技术, 提供了一套融环境监测、本体监测、安防监测为一体的系统解决方案。

1 田野石质文物环境监测

一般来说, 田野石质文物赋存的地质环境比较稳定, 大气环境、水文环境及生物环境对文物的影响是缓慢而持续的, 日积月累, 影响不容小觑。温度、湿度、降雨量、风速、风向、有害气体、降雨酸碱度等环境指标与石质文物本体的裂隙、风化、侵蚀等病害紧密关联, 本文介绍的环境监测系统可实现对文物赋存环境的实时监测, 提供可靠、稳定的数据, 便于进行文物损伤预防及成因分析。

1.1 温度和湿度的监测

温度和湿度与石质文物的病害发育息息相关。在高温低湿的环境中，石质文物裂隙中的水溶解着大量的盐类矿物，一旦蒸发浓度达到饱和，盐类再结晶会使自身体积增大，对裂隙产生膨胀压力，使裂隙扩大加深。在低温高湿的环境中，石质文物易遭遇冰劈危害。冰劈作用是指岩石的孔隙或裂隙中的水在冻结成冰时，由于密度的变化，体积增大，因而对围限的岩石裂隙产生压力，使岩石裂隙加深、加宽。环境监测系统实时收集的温湿度信息和其他环境指标的结合，有助于对石质文物的裂隙发育做出预警。

1.2 风速和风向的监测

石材是最古老的建筑材料和艺术雕刻材料，长期暴露于自然环境中的岩画、石窟造像、经幢石塔、牌坊石桥、石碑石雕等，由于风化作用，不同程度地出现溶蚀、裂纹、脱块、空鼓、劈裂等病害。风力可使石质文物表层已经疏松的颗粒剥蚀，暴露出新的表面，使破坏作用进一步向深层发展。风化作用是长年累月的侵蚀作用，环境监测系统实时收集的风速、风向信息，有助于量化风化侵蚀对石质文物病害发育的影响。

1.3 有害气体和酸雨的监测

大气中含有CO₂、SO₂、NO₂等多种对石质文物有害的酸性气体，在降水过程中，可形成pH≤5.6的酸性降水，而大多数造岩矿物在一定的温度下，极易遭受腐蚀。环境监测系统实时收集的CO₂、SO₂、NO₂、降雨酸碱度等数据，有助于进一步开展石质文物抗酸性气体、液体腐蚀的预警工作。

2 田野石质文物本体监测

田野石质文物长期暴露在空气中，遭受着物理、化学、自然风化的影响，再加上近年来工业化带来的空气污染、酸雨侵蚀，研究人员总结了石质文物的十八种病害（参考WW/T 0002—2007），其中结构裂隙、风化裂隙、断裂、植物病害、微生物病害等病害类型较为常见，对已出现的病变及存在隐患的部分进行长期监测可有效预防文物病害进一步恶化。

2.1 裂隙监测

结构裂隙、风化裂隙是田野石质文物经常出现的病害，除了上文中提到的温度、湿度因素，由于年代久远，地震、滑坡等地质灾害也是造成文物裂隙的一个自然因素。本体监测系统实时收集的裂隙发育数据，对文物保护尤为关键。

如图1所示，在2013年4月20日四川雅安发生地震时，某唐陵石刻的X和Z方向裂隙基本不受影响，Y方向裂隙有轻微影响。

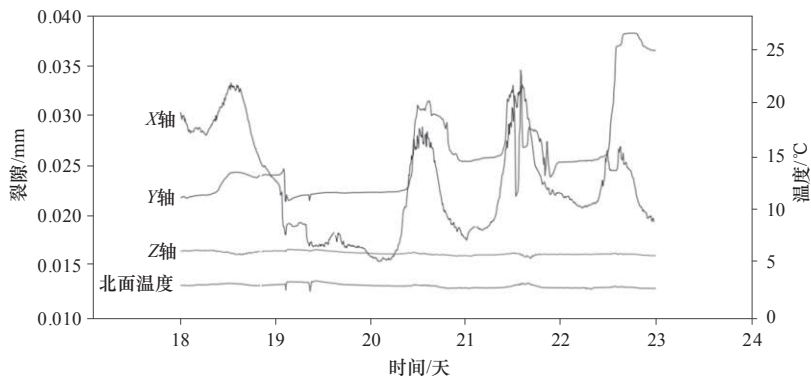


图1 28~170节点裂隙变化

2.2 位移沉降监测

石质文物一般密度较大、质量较高，当其赋存环境降雨量增多时，地基土壤含水率会不均匀上升，继而诱发不均匀沉降。结合图2和图3可以看出某唐陵石刻在有降雨的天气内位移变化，石刻基座东北角和西南角在8月31日22:00左右均发生对应变化：基座西南角存在下沉趋势，东北角存在相应的上升趋势。

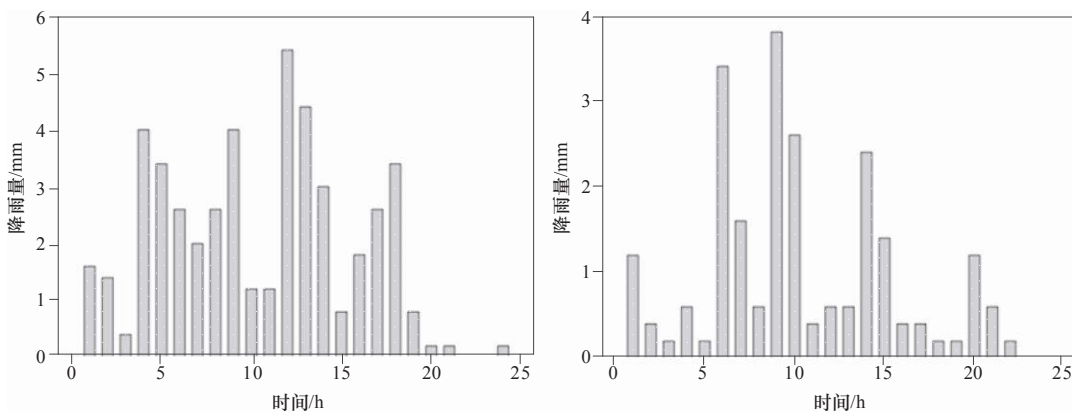


图2 8月31日和9月1日降雨量

2.3 表面温度监测

当石质文物表面温度过低时，文物的孔隙或裂隙中的水将冻结成冰，由于密度的变化，体积增大，因而对围限它的岩石裂隙壁产生压力，使岩石裂隙加深加宽。某唐陵石刻裂隙变化如图4所示，当文物表面温度低于20℃时，石刻裂隙安全，表面温度在20~25℃时，裂隙可能存在变化的风险，表面温度高于25℃时，石刻裂隙确定存在变化的风险。

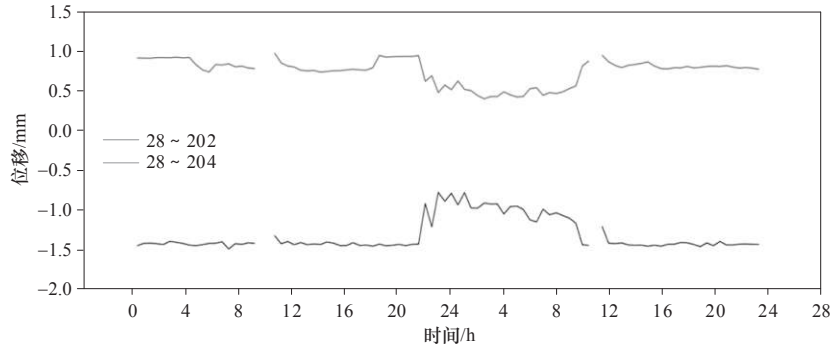


图3 某唐陵石刻位移变化曲线图

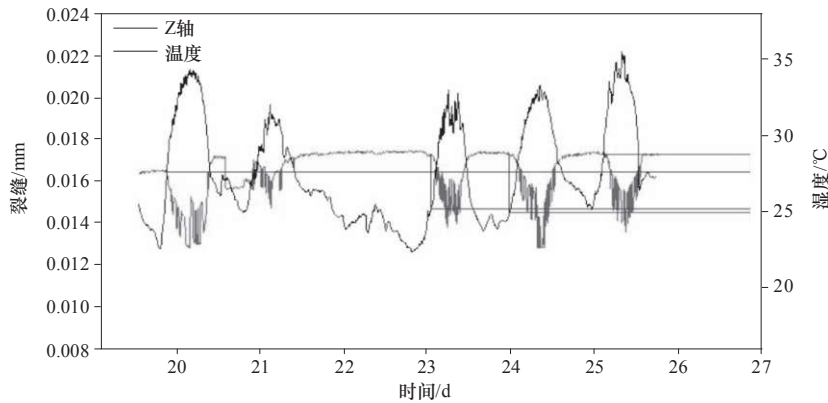


图4 某唐陵石刻裂隙与表面温度风险关系曲线图

3 田野石质文物安防监测

与自然因素对石质文物病害发育的缓慢影响不同，盗窃、恶意破坏等人文因素往往具有一定的突发性，且影响极大。自20世纪90年代中期开始，我国大遗址文物盗窃案件频繁发生，至今势头不减，对我国文物保护事业造成了巨大损害。对于田野石质文物而言，常见的安防监测手段有振动监测、红外监测、微动监测、位置监测（北斗）和射频识别（radio frequency identification, RFID）等技术手段，如图5所示。

3.1 事前监测技术方案

事前监测既包括上文提到的环境监测、本体监测，还包括RFID技术，该技术主要由读写设备和电子标签组成，读写设备和电子标签之间通过射频信号自动识别目标对象，获取其相关数据，从而实现对物体的识别。利用RFID技术的原理和特点，在石质文物本体通过无损手段嵌入电子标签，巡检人员可通过手持设备定期巡检。

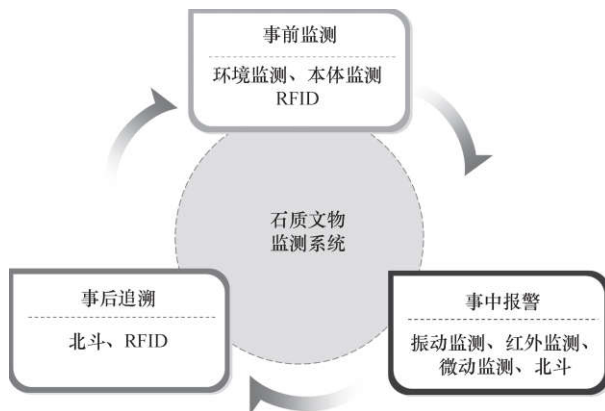


图5 石质文物监测系统

3.2 事中报警技术方案

3.2.1 振动监测

振动监测终端是文物安防监测中最为常见的一种监测设备，它集成了加速度传感器检测被测文物的振动。施工时可将监测终端部署在石质文物的周边或本体上，监测终端将根据设定的工作周期定期上传数据，当振动数值超过设定阈值时，终端将通过无线射频向服务器监测系统发送报警信息。

由于我国幅员辽阔，环境差异性较大，因此应对振动监测终端的环境适应能力提出严格要求，以适应各地的气候条件。除此之外，其无线通信技术应能满足田野和遗址区等应用场景，和网关之间点对点的传输距离至少应达到5km以上，尽可能减少中继设备数量，以降低施工成本。

振动监测终端应具备低功耗、小体积和易安装的设计要求，充满电的监测终端施工后至少应能持续运行三年，以降低运维成本。除此之外，还应确保其部署的方便性和隐蔽性，提高其自我防护的能力。

3.2.2 位置监测

对于存在于野外的石质文物，北斗定位在线报警终端更为实用，利用北斗传感器检测被测文物的坐标，该监测终端的传感器部分同样可与文物本体绑定，终端通过无线射频向监测系统发送坐标信息，系统通过坐标数据可以判断该监测终端绑定的文物是否已经偏离了既有位置。

事中报警技术方案应借助于多样化的监测指标，建立风险评估模型，形成一套实用化的入侵报警系统，如图6所示。该系统中，振动和位置监测均为事中报警模型的促进因子，使文物管理者

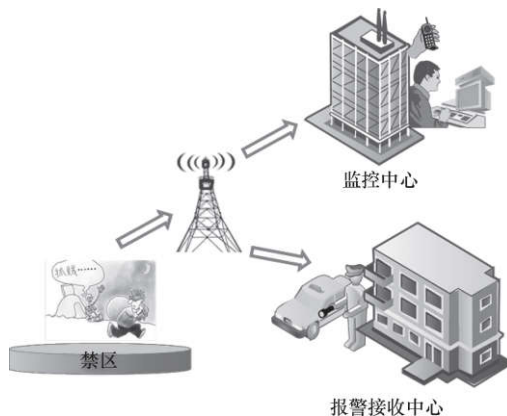


图6 事中报警系统

在第一时间获悉事故的发生。

3.3 事后追溯技术方案

在事故发生后，可利用位置监测终端以及RFID资产管理系统还原轨迹，追溯文物。如果文物已确定丢失，则可以通过文物本体内预置的RFID电子标签进行取证，并通过定位跟踪系统实时追踪，定位跟踪系统应具备数据序列化能力和良好的GIS呈现能力，为调查取证提供清晰的路径轨迹，如图7所示，模拟了某石狮被盗后的运动轨迹和最终定位。

◀ 文物位置轨迹

石狮



图7 文物定位轨迹

结 语

文物是不可再生的文化资源，受各种因素的影响，田野石质文物的残损率一直不低。截至目前，在田野石质文物的保护领域，普遍缺乏融环境监测、本体监测、安防监测为一体的综合性防护系统，因此，笔者认为，借助技术成熟的监测系统，提升田野石质文物风险预控能力是当务之急。