

浙江砖石古城墙的典型病害与科学保护初探*

崔彪¹ 傅峥嵘¹ 张秉坚²

(1. 浙江省文物考古研究所, 浙江杭州, 310014; 2. 浙江大学文物与博物馆学系, 浙江杭州, 310027)

摘要 浙江省现存许多具有较高文物价值的明清砖石古城墙。通过对其调研可知, 其中很多都存在一定的残损病害状况, 主要有风化酥碱、片状剥落、植物生长、表面泛盐、灰浆流失等砌筑材料的劣化, 以及局部的黧闪、开裂、坍塌等结构的变形与损伤。针对这些病害的类型和产生机理, 在城墙顶部构建有效的防排水措施, 合理利用糯米灰浆等传统的工艺和材料, 采用适当的工程技术手段来减弱本身结构缺陷带来的影响, 对一些结构病害并不严重的部位进行加固和补强, 以及加强日常的保养与监测, 将有效地促进这些砖石古城墙的科学保护。

关键词 古城墙砖石 砌体病害 糯米灰浆

引言

古城墙作为一种具有军事防御功能的独特建筑形式, 是城市发展的显著标志, 在建筑史上占有重要的地位。我国早期城墙均为夯土筑成, 后期开始包砌砖石。四川广汉的雒城遗址的发掘表明, 最晚到在东汉时期, 城墙就已经开始包砖了^[1]。明清时期以后, 砖石城墙的修筑发展到高峰。至今在浙江省, 还保留大量砖石城墙的城垣、城楼和城址。笔者根据第三次全国文物普查结果进行了初步统计, 全省现存县级以上的砖石城墙遗产点有40多处, 绝大部分为明清时期所筑。除此之外, 还有数十处官方和民间修筑的卫所、城堡等。这些古城墙对研究浙江各地的建制沿革、筑城技术、军事历史等均具有重要意义, 其中台州府城墙、衢州城墙、安城城墙、桃渚城、永昌堡、蒲门所城等均已列入全国重点文物保护单位。

然而, 由于历经数百年沧桑, 在自然风化和人为破坏的双重作用下, 许多留存至今的古城墙出现了不同程度的残损状况, 大大影响了这些古城墙的文物价值。受浙江省文物局委托, 笔者对省内二十余处砖石城墙进行了实地调研, 现对调研中所发现的典型病害状况以及相应的科学保护方法进行如下的初步总结和讨论。

* 本文受浙江省文物保护科技项目“浙江古代城墙保存现状及砌筑工艺研究”(编号2012002)资助。

1 浙江砖石古城墙典型残损病害

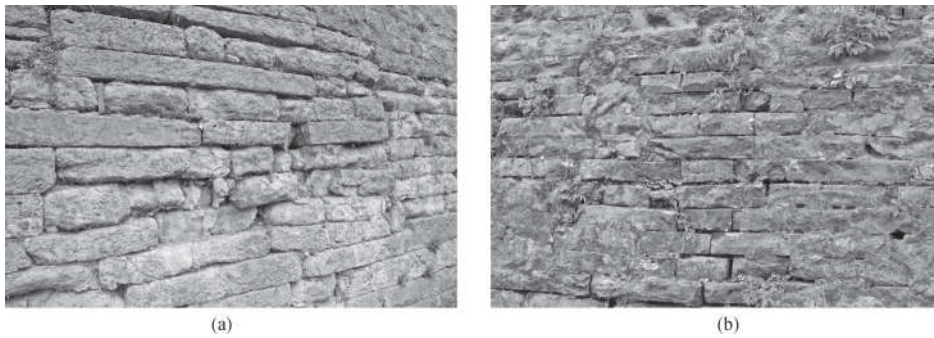
砖石城墙作为一种砌体结构，或者砌体-夯土复合结构，其出现的残损病害具有一定的复杂性。除了人为的拆除破坏之外，大致可以分为两类：一是砌筑材料的劣化，二是结构的变形与损伤。两类病害往往又有相互加剧的作用。

1.1 砌筑材料的劣化

砖石城墙的砌筑材料，除了墙芯内部的填土之外，主要包括砖、石等砌块以及灰浆等胶凝材料。其中砌块由于暴露在城墙外表，劣化现象最为普遍。常见的砌块病害有以下几种。

(1) 砖石表面风化酥碱：呈粉状或小颗粒状剥落，以砌块棱角处最为严重，多发生于质地较为疏松的沉积岩石材或砖块上（图1）。

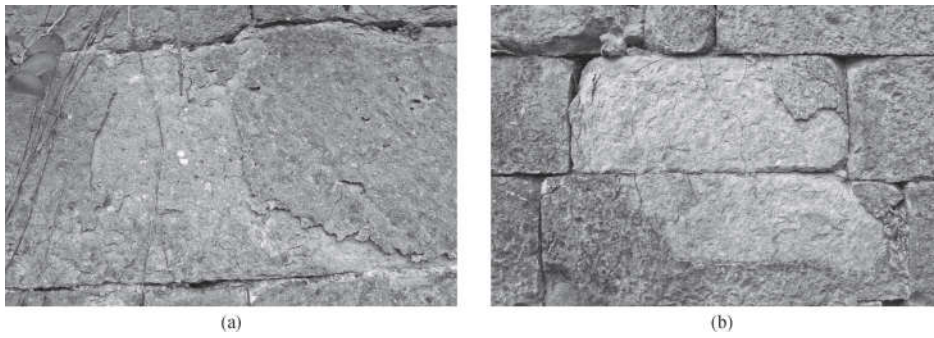
(2) 石质表层片状剥落：多发生在纹理较为发达、夹杂物较多的沉积岩石材上，并且多伴随有臃闪现象（图2）。



(a) (b)

图1 砖石表面风化酥碱

(a) 镇海后海塘城墙条石；(b) 临海台州府城墙城砖



(a) (b)

图2 石质表层片状剥落

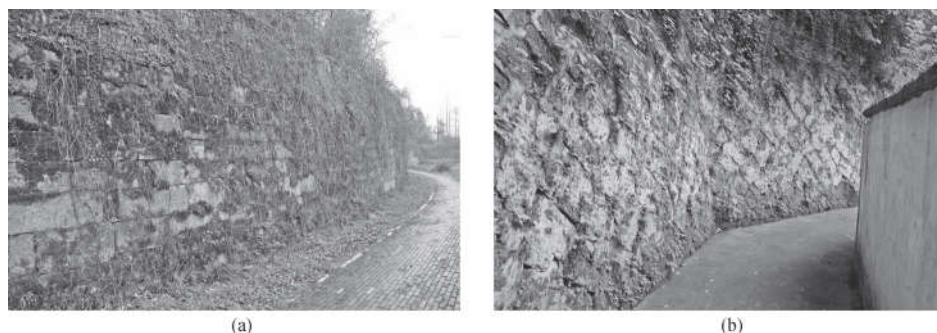
(a) 富阳新登城墙；(b) 安吉孝丰城墙

(3) 植物生长：浙江气候温暖湿润，墙体表面极易滋生草本植物以及苔藓之类低等植物，其繁衍生长容易导致砖石墙体开裂、变色、风化（图3）。

(4) 表面泛盐：由于毛细水和可溶盐活动，部分盐分在砖石表面富集析出现象，是导致砖石风化剥落的重要原因之一，多发生在靠近地面或者上部有渗水现象的拱券部位（图4）。

出现这些病害现象的原因，主要是周期性的温湿度变化、冻融和盐结晶循环、风雨冲蚀等^[2]。浙江属于亚热带季风和季风性湿润气候，雨量充沛，气温适中；加上处于沿海地区，土壤、雨水和地下水中盐分偏高，故相比内陆，更容易出现上述病害现象。一般来说，浅层的表面劣化对城墙结构安全并无太大影响，但由于砖石是脆性材料，抗拉、抗剪强度低，自重又大，因此一些风化剥落较为严重的砌块容易发生断裂、崩解，进而导致整体结构的变形和损伤。

胶凝材料用于黏接砌块，起到维持砌体结构的整体性、均匀传递荷载、封闭外立面缝隙的作用^[3]，是古城墙的重要组成部分。浙江在明清时期县级以上的砖石城墙，大多采用石灰砂浆砌筑；沿海地区的卫所城堡以及规格较低的城墙，大多采用块石干摆砌筑，仅在城门等重要部位施用灰浆。灰浆的劣化，大多发生在砌块不够规整、灰缝较大、容易被雨水冲蚀和侵入的部位，或者是上部有渗水现象的拱券等处。灰浆劣化主要表现为强度下降，最后松散、流失。笔者在调研时采用贯入式砂浆强度检测仪对部分古城墙灰浆进行了检测，结果显示不同城墙的不同部位，灰浆强度有很大差别。部分灰浆质量较好的，如临海台州府城墙临江大桥东侧某检测点，平均贯入

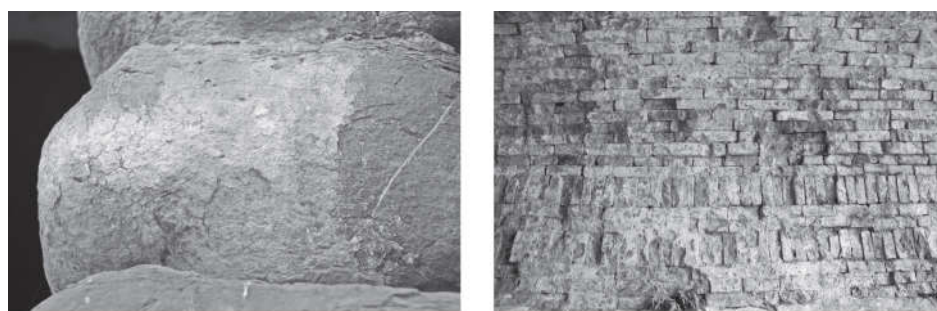


(a)

(b)

图3 墙体表面植物生长

(a) 安吉安城城墙；(b) 金华环城北段城墙



(a)

(b)

图4 砖石表面泛盐

(a) 兰溪古城墙门洞条石；(b) 安吉安城宝成门砖砌拱券

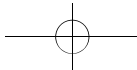


图5 临海桃渚城东城门内门拱券灰浆流失

深度仅3.9mm，折合水泥砂浆抗压强度为9.4MPa；而图5所示的临海桃渚城东城门内门拱券处，平均贯入深度达16.9mm，折合抗压强度仅为0.4MPa，不到前者的1/20。之所以出现这一情况，是由于传统石灰砂浆中的主要成分石灰是典型的气硬性材料，其硬化速度较慢^[4]；且在没有其他有机添加成分的情况下耐水性较差，潮湿环境对其硬化有较大影响^[5]；再加上砌筑工艺水平参差不齐，故在长期的风雨侵蚀之下，部分砌筑灰浆难免出现松散流失的现象（图5），使得墙体结构强度下降。

1.2 结构的变形与损伤

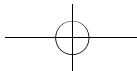
砖石城墙常见的结构病害，与其他砖石砌体文物类似，常见的有黧闪、开裂、局部坍塌等，其中黧闪现象最为普遍。就笔者曾调研的古城墙来看，一半以上都有明显的黧闪变形现象。由于砖石结构部分主要用于包砌在墙芯填土外层，受到内部填土产生的侧向压力。正常情况下，砖石包砌墙体的自重和整体强度，足够使其保持在一个稳定的状态；但在填土大量吸水、砌块风化严重、灰浆黏接力丧失、植物根系挤压等内外因素的综合作用下，容易出现局部向外黧闪的情况（图6）。



图6 局部向外黧闪
(a) 镇海后海塘城墙；(b) 临海桃渚城东城墙

开裂现象多发生在城墙用砖砌筑的部位，这是由于石砌部位单个砌块的尺寸较大，具有较高的强度，而且砌块间的缝隙也较大，具有一定的位移空间，相比开裂更容易出现变形。浙江由于多山，石材资源丰富，故大部分城墙均为条石或块石砌成，仅在城垛、拱券等少量部位，以及台州府城、衢州府城、安吉安城等少数城墙的部分墙体采用青砖砌筑。在基础沉降、长期荷载、植物根系挤压以及周边大型建设工程影响等因素的作用下，一些部位便出现裂缝（图7）。

局部坍塌是古城墙可能出现的最为严重的结构病害状况，大多发生在结构变形严重、已经濒临失稳的部位。在遇到突降暴雨，城墙上部又没有防排水设施的情况下，雨水大量渗入墙芯填土，很容易引发坍塌。此外，大型木本植物根系的生长，也有可能導致墙体的坍塌。近年来，浙江省内已有多座古城墙出现坍塌状况，如苍南蒲门所城、临海桃渚城等，大多出自以上原因（图8）。



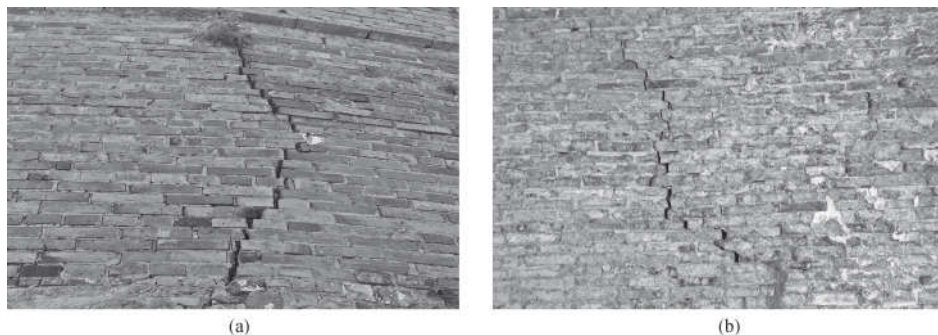


图7 砖砌墙体局部开裂
(a) 临海台州府城镇宁门瓮城上部；(b) 衢州城墙大南门砖砌拱券



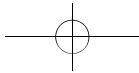
图8 古城墙局部坍塌
(a) 苍南蒲门所城东瓮城；(b) 临海桃渚城东瓮城

2 浙江砖石古城墙科学保护的思考

近年来,浙江省各地对部分保存状况较差、残损较为严重的砖石古城墙,展开了大量的保护工作,主要是对存在严重结构病害的部位的修缮和对缺失部位的复原。考虑到文物保护有最小干预的原则,对不影响结构安全的砖石本体的浅层劣化,一般不做处理;对于结构病害的常规修缮措施,主要有对坍塌的部位进行重砌,对影响结构安全的大型植物进行移除,对臃闪的部位进行摘砌和归安,对结构松散的部位进行灌浆加固等。针对浙江砖石古城墙常见的病害类型和产生机理,借鉴国内其他地区已经实施的工程实例,笔者认为,对这些古城墙的科学保护,以下几点值得重视。

2.1 加强城墙顶部防排水措施

前文所述浙江古城墙常见的病害,其产生和发展的过程大部分与水有关。许多古城墙由于年久失修,顶部土质墙芯直接裸露,没有防水层和砖石铺装,导致落在城墙顶部的雨水直接渗入填土内部,一是使其质量增加、体积膨胀,加大了对包砌墙体的侧向压力;二是改变了填土的重度、黏聚力、内摩擦角等力学指标,使城墙更容易出现滑坡、坍塌;三是城墙内部长期处于潮湿环境,更容易导致植物生长、砌块劣化和灰浆强度下降。因此,在古城墙顶部构建有效的防水排水体系十分



有必要。在浙江明清砖石城墙上较为常见的排水做法一般是通过砖石铺装封闭表面使雨水难以直接下渗，设置一定的坡度将雨水汇集至檐部内侧的排水沟，然后导流至泄水孔排出。近年来在一些城墙修缮工程中，为了增强封闭效果，在砖石铺装层下还另加现代防水隔层，如南京城墙、广州城墙



图9 苍南蒲门所城顶部三合土防水层

的部分城墙段^[6, 7]，具有一定的借鉴意义。有些古城墙，如大部分沿海地区的卫所，顶部原本便是裸露的填土，出于不改变文物原状的考虑，不宜采用砖石铺装方法。针对这种情况，浙江省外一些古城墙采用添加了桐油或糯米浆等有机成分的三合土来封护，如广东肇庆古城墙、山东岱安古城墙等^[8]。浙江也有类似的案例，如苍南蒲门所城近年来在修缮时在顶部做了一层有一定防水作用的三合土，中间略高于两侧，能够将绝大部分落在城墙顶部的雨水迅速排走（图9）。

2.2 合理利用传统工艺与材料

这里主要指的是传统糯米灰浆的使用。从历史文献和考古证据来看，出现于至少1500年以前的以糯米灰浆为代表的中国传统灰浆是我国古代建筑技术史的一项重大发明，代表了我国古代石灰基胶凝材料的最高成就^[9]。浙江大学文物保护材料实验室的相关研究表明，将一定比例的糯米浆与石灰两者混合使用时，其加固性能，包括黏接性能、抗压强度、表面硬度和耐水浸泡性等相比纯石灰都有很大的提高^[10]。浙江的明清砖石城墙，采用糯米灰浆砌筑已经十分普遍。在调研过程中，笔者与浙江大学联合对几个古城墙的灰浆材料进行了采样和初步检测，发现安城城墙、孝丰城墙、镇海后海塘城墙、台州府城墙的砌筑灰浆里均含有糯米成分^[11]。这些传统糯米灰浆经历了数百年的考验，耐久性、黏合力以及与古城墙的砖石相容性好，完全可以作为古城墙的修复材料使用，同时也符合文物保护原则中尽可能使用原工艺、原材料的要求。然而，在前几年浙江古城墙的修缮工程中，很少采用糯米灰浆这一优良的传统材料，有的甚至采用水泥砂浆，给古城墙的传统风貌和文物价值造成了一定的破坏。出现这一情况的原因，除了跟设计和施工单位对传统糯米灰浆材料性能的认识不足有关之外，主要还是由于传统糯米灰浆有工序复杂耗时、成本相对较高、固化速度较慢等缺点。针对这一问题，浙江大学文物保护材料实验室以古代典型糯米灰浆配方为基础，从石灰原料、糯米种类、填料和添加剂等方面开展了一系列配方优化研究，并研制出“即开即用”的糯米灰浆粉，将石灰陈化和糯米熬浆等复杂的传统工艺预先在工厂中完成，使传统糯米灰浆的使用能与现代水泥一样便捷，大大促进了这一传统材料的推广应用^[12]。在2013年实施的嵊州（别名为嵊县）古城墙修缮工程中，笔者在部分城墙段试用了这种新型糯米灰浆，经过一年时间的跟踪观察，在力学强度和观感效果上均优于普通的石灰砂浆。

2.3 采用适当的工程技术手段

浙江古城墙所存在的这些病害，一方面是由于风雨侵蚀、植物生长等外部因素，另一方面也与古城墙砌体-夯土二元复合结构本身容易出现的问题有关。尤其是一些块石干砌的古城墙，如大多数沿海卫所城墙，包砌层墙体不用灰浆，砌块之间无拉结作用，使得墙体整体强度较差，其形态完

全靠自重和砌块间的摩擦力保持，容易发生形变、失稳。因此，目前浙江发生的城墙局部坍塌事故，基本都发生在此类城墙之上。考虑到文物保护原则有“不改变文物原状”和“最小干预”的要求，有必要采用合适的工程技术手段来减弱本身结构缺陷带来的影响，并对一些结构病害并不严重的部位进行加固和补强，以避免坍塌之类更大损伤的发生。对于较为薄弱的包砌层墙体，浙江省外的古城墙修缮工程中在块石包砌层与填土之间增加一层墙体，使其能够起到挡土墙的作用，代替原包砌层承受填土压力，对城墙的风貌外观没有影响^[13]。对于出现黽闪但不严重的部位，可考虑采用锚杆加固的方法。如某古城墙采用的方法是埋设一根直径20mm FRP筋横穿墙体，两端加垫圈与外包砖部分锚固旋紧，起到防止外包砖外闪的作用^[14]；荆州古城墙采用的方法是用锚杆一端加垫圈固定住墙体，另一端与土城垣内的基坑相连，将外闪的墙体锁住^[15]。除了包砌层墙体之外，对墙芯填土的加固和改良，也能有效地减少结构病害的发生。如在襄阳古城墙保护工程中，回填时选用了浸水后可保持较大抗剪强度的土质，并掺入适量石灰以增加土中的钙离子，加快土体板结^[16]；某古城墙采用的方法是对原城墙内筑土采用石灰浆液进行压力渗透加固处理，以提高原土体的物理力学性能^[17]；南京城墙部分城墙段采用了现代堤坝和挡土结构物中广泛使用的加筋土以及锚杆加固技术^[18]，也取得了较好的效果。

2.4 注重日常的保养与监测

古城墙的病害是一个由轻到重、由量变到质变的发展过程，这就决定了对它们的保护是一项长期的工作，任何一种保护措施都不可能一劳永逸。在平时对古城墙定期进行观察，在病害发生的初始阶段及时采取一定的保养性措施，如修补顶部防水、清除杂树杂草、对灰浆流失的部位进行勾缝等，能够有效地延缓病害的发展，其效果远远好于出现严重残损时的抢救性修缮，也更符合最小干预的文物保护原则。有条件的话，还可以建立必要的监测体系，对城墙进行长期的、定量的观测，以便对其产生的变化、病害状况及时做出反应。南京城墙便有一套全面的安全性监测系统，利用现代测绘技术对城墙本体裂缝、黽闪、位移和沉降进行稳定性监测^[19]，能够为城墙的保护和修缮提供科学依据。

结 语

浙江的古城墙是古代两浙大地城市高度发展的标志，是对浙江作为“文物之邦”的证明，是各地悠久历史和深厚底蕴的载体，对延续城市历史文脉具有重要的意义。近代以来的大规模拆除，使得全国大部分城市的城墙已经不复存在，更加凸显了浙江仅存的这些古城墙的价值。然而，在自然和人为因素的双重作用下，这些仅存的古城墙面临的破坏风险也日益增大，对它们的保护和修复也有了更高的要求。由于各个古城墙的形制、工艺、材料、赋存环境均不尽相同，其病害类型和产生机理具有一定的复杂性，因此需要针对具体情况进行科学保护。本文对浙江若干典型的明清砖石古城墙出现的病害现象进行了调查和分析，并结合省内外城墙保护和修缮的工程实例，对浙江古城墙科学保护的方法和应当注意的问题进行了初步探讨，旨在为浙江古城墙的保护修缮工作起到一定的借鉴参考作用。

参考文献

- [1] 沈仲常, 陈显丹. 四川广汉发现的东汉雒城遗迹//中国考古学会第五次年会论文集. 北京: 文物出版社, 1988.
- [2] 冯楠. 潮湿环境下砖石类文物风化机理与保护方法研究. 长春: 吉林大学, 2011.
- [3] 中国文化遗产研究院. 中国文物保护与修复技术. 北京: 科学出版社, 2009.
- [4] 贾永辉, 贾潇姮, 徐超. 石灰抹灰砂浆增强技术. 中国科技纵横, 2013, (20): 164.
- [5] 陈斌. 建筑材料. 重庆: 重庆大学出版社, 2008: 4-5.
- [6] 马俊. 南京狮子山段损伤城墙的加固对策研究. 文物保护与考古科学, 2011, (4): 71-75.
- [7] 邹歆. 广州古城墙(越秀山段)保护初探. 广州: 华南理工大学, 2011.
- [8] 付晓渝, 鲁京慧. 肇庆古城墙的保护和维修. 山西建筑, 2007, (10): 22-23.
- [9] 杨富巍, 张秉坚, 潘昌初, 曾余瑶. 以糯米灰浆为代表的传统灰浆——中国古代的重大发明之一. 中国科学(E辑: 技术科学), 2009, (1): 1-7.
- [10] 杨富巍, 张秉坚, 曾余瑶, 潘昌初, 贺翔. 传统糯米灰浆科学原理及其现代应用的探索性研究. 故宫博物院院刊, 2008, (5): 105-114.
- [11] 刘效彬, 崔彪, 张秉坚. 浙江古城墙传统灰浆材料的分析研究. 光谱学与光谱分析, 2016, (1): 237-242.
- [12] 张雯. 传统工艺科学化的糯米灰浆. 中国文物报, 2014-08-22 (第007: 科技).
- [13] 尹谊, 谢永生. 寿县古城墙的加固与维修. 治淮, 1994, (11): 15-16.
- [14] 陈李锋. 某古城墙安全评估及加固设计. 福建建设科技, 2011, (2): 28-31.
- [15] 王新生. 古城墙修缮技术及运用初探. 古建园林技术, 2004, (1): 20-22.
- [16] 聂维中, 张平乐, 郭声波, 刘怀鸿. 影响城墙结构性能的因素及其对策——以襄阳古城墙为例. 襄樊学院学报, 2007, (11): 66-69.
- [17] 陈李锋. 某古城墙安全评估及加固设计. 福建建设科技, 2011, (2): 28-31.
- [18] 杨明. 浅谈南京城墙的维修与加固. 建筑结构, 2010, (S2): 291-294.
- [19] 马俊. 南京城墙安全性监测初探. 江苏科技信息, 2011, (7): 27-29.