

牺牲性保护在南方历史清水墙材料修复中的应用 ——以浙江大学之江校区钟楼立面修复为例

The application of Sacrificial Protection in material conservation for historical masonry wall in Southern area of China: in case of facade conservation of Bell House in Zhijiang Campus of Zhejiang University

何政¹, 钟燕², 王冰心², 戴仕炳² (1. 浙江德赛堡建筑材料科技有限公司, 浙江 湖州 313008; 2. 同济大学建筑与城市规划学院历史建筑保护实验中心, 上海 200092)

摘要: 南方地区历史建筑清水墙受南方地区亚热带季风性气候影响呈现出独特的劣化病害特征。以杭州市浙江大学之江校区钟楼为例, 通过对清水墙的病害特征、病害机理分析, 提出牺牲性保护修复材料体系的方案, 包括清洁、牺牲性修复、满足使用功能的憎水保护等等。

关键词: 南方地区; 历史建筑; 清水墙; 牺牲性保护; 修复材料

中图分类号: TU 352 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-3815(2018)01-14-05

清水墙是一种集建筑结构功能与装饰美学于一体的历史建筑构件。与其他建筑材料一样, 砖墙本身因受风化和其他因素影响, 不可避免的会出现劣化破坏。南方地区历史建筑清水墙受地区气候影响, 不同的病害机理呈现出不同的劣化特征。为了更好地保护历史建筑清水墙的历史价值和使用价值, 以科学的角度提出南方地区历史建筑清水墙牺牲性保护修复材料体系。

1 南方地区气候特点及病害机理

1.1 南方地区的气候特点

浙江省杭州市为典型的南方地区, 地处我国东部沿海, 位于东经120°, 北纬 30°, 属亚热带季风气候, 四季分明, 雨量充沛。一年四季呈现春阴雨、夏潮热、秋干爽、冬湿冷的气候特点。

杭州市气温和降水年际、季际、月际变化明显。年平均气温 15.3 ~17 °C, 1月最低, 一般 3.0 ~5.0°C, 7月最

高, 月平均气温 28.0 ~29.0 °C, 春秋两季气温转换较快。年平均降水量在 1 100~1 600 mm 之间。降水量在一年中的变化呈现为两个多雨期梅汛期和秋雨期, 一个多雨时段春雨期; 7、8月和10月至次年2月为两个相对干季。

杭州市年平均蒸发量为 1 150~1 400 mm, 夏季(6~8月)最大, 春(3~5月)、秋(9~11月)两季次之, 冬季(12月~次年2月)最小。年相对平均湿度和月平均相对湿度在 75%~85%, 全年相对湿度以梅汛期(6月)最大, 冬干期(1月)最小。

1.2 病害机理

清水墙以砖、石、砂浆等无机孔隙材料为主构成。到目前为止, 清水墙建筑中砖、石等常见材料的病害现象、特征、成因的研究已十分清晰^[1] (详细数据见表 1)。清水墙劣化主要体现在墙体面层 (具体数据见图 1~3), 由多种因素导致, 主要包括: 盐的因素、水的因素、气候因素等。这些因素之间相互影响作用, 共同导致材料的劣化破坏。

表1 南方地区历史建筑清水墙面层病害与机理

病状	机理
有机涂料覆盖	清水墙后期修复工程中使用了不当的有机涂料。用不透气的有机涂料覆盖清水墙面改变了清水墙原有的风貌。完全封闭还会导致清水墙劣化加剧
表面泛碱	墙体中的可溶性盐碱溶解到水分中,当水分蒸发时,溶解了的盐碱便在墙体表面及近表面处结晶析出 ^[2] 。墙体内部可溶性盐碱含量高,墙体防潮层缺失时,更容易出现泛碱现象
材料粉化剥落	构成清水墙的砖、砌筑砂浆、勾缝材料均为多孔材料,当孔隙结构被破坏后,材料会逐渐解体粉化,直至剥落。孔隙结构破坏主要由盐害和水冻融循环引起
砖砌体缺失	当砖砌体和砌筑砂浆破坏剥落到一定程度,砖砌体会脱离原位导致砖砌体缺失
开裂	墙体开裂的原因较多。地基不均匀沉降会导致墙体开裂;砖砌体由于温度、湿度变化会发生体积收缩膨胀,当收缩膨胀应力超过砌体的强度时引起墙体开裂;墙体结构强度不足时引起墙体开裂
植物和微生物破坏	植物和微生物会分泌有腐蚀作用的物质破坏材料;植物的根系生长进入墙体直接破坏清水墙;植物和微生物的生长有蓄水作用,增加墙体含水率,引发其他病害



图1 有机涂料覆盖

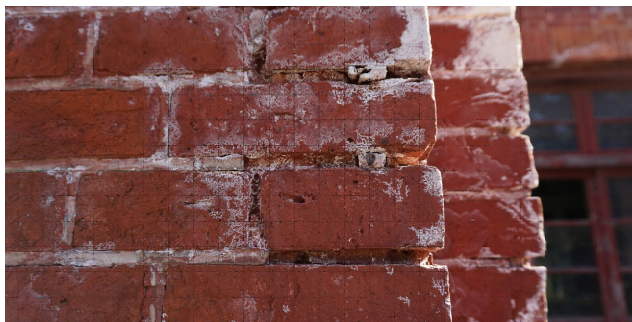


图2 表面泛碱



图3 植物和微生物破坏

1.2.1 盐的因素

盐害是导致清水墙劣化破坏的直接因素之一,其中以可溶盐的盐害为主。其阳离子包括 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等,阴离子包括 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 等。理论上认为盐害导致的材料劣化主要基于 3 个原因:一是结晶压力,即蒸发作用导致溶液发生过饱和作用,溶液中的可溶盐结晶并对孔隙或裂隙内壁产生膨胀压力;二是水合压力,即部分可溶盐遇水发生水合作用而膨胀,对孔隙或裂隙内壁产生膨胀压力;三是温差应力,即可溶盐与不可溶岩石矿物的热膨胀系数存在差异,在快速升温或降温过程中岩石晶体之间产生温差应力^[3]。

构成清水墙主体的砖砌体本身含有一定的盐分。若生产烧结砖的原料中含有可溶性无机盐类时,成砖时会隐含在砖体内部^[4]。传统石灰灰浆和石灰砂浆主要以生石灰 CaO 和消石灰 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 为主,一般只含有极少量的可溶性盐。使用含水泥成分的砌筑砂浆和勾缝修复材料会带入大量的盐分,在现代文物保护工程中严禁使用水泥。除墙体外,盐分还大量存在于清水墙邻近的地下土体中,可通过上升毛细水进入墙体内。此外,大气污染、水污染等危害都会将可溶盐带入到清水墙内。

盐分通过溶解于液态水,依靠液态水的运动在孔隙材料内部运动。墙体内部的可溶盐会随水分蒸发向墙体表面富集,严重时会在表面结晶形成泛碱现象。盐结晶通常容易吸收空气中的水分潮解,在遇到雨水或其他外界水后又会溶解反渗回墙体表层内部,之后随水分蒸发又富集到表面,如此反复。这就是难以用大量清水去除墙面泛碱的主要原因。可溶盐在材料表层反复溶解和结晶膨胀,会破坏材料孔隙结构,造成砖体表面粉化及剥落。

1.2.2 水的因素

水是导致清水墙劣化破坏的重要因素。水的侵入不仅会影响墙体物理性能与耐久性,而且为植物与真菌滋生创造条件,墙体热惰性也会因更多热耗散而降低^[5]。清水墙不是一个封闭的构件,内部存有大量孔隙,通过这些孔隙,墙体与自然环境之间形成了一个动态平衡的水循环系统。当墙体相对干燥时,外界水分如雨水、地下水 and 空气中的水分进入墙体,使材料含水率上升;当外界温度升高,风速增加会加快墙体内部的水分通过表面孔隙流失到外界环境,使材料含水率下降。由于墙体材料内部及周边外界环境中含有大量的可溶盐,这些盐随着水循环在墙体内部迁移富集、溶解结晶。

清水墙的含水率还会造成其他病害的出现。当清水墙含水率较高时容易在其表面滋生真菌和植物,真菌和植物会腐蚀材料且有蓄水功能,会进一步提高墙体的含水率,如此恶性循环,会加速墙体的劣化。水结冰后体积会增大,水的冻融会加剧墙体材料的劣化,但南方地区一年内出现冰冻的天

数较少，冻融导致的破坏相对有限。

1.2.3 气候因素

气候因素如气温、风速、日照等对墙体的直接破坏十分有限，但这些因素主要会影响墙体水循环速度和方向。南方地区气候多属亚热带季风气候，四季分明，每个季节的温度和湿度差别较大，不同季节清水墙体现出不同的病害特征。

综上所述，减缓清水墙劣化的途径是控制好清水墙内可溶盐含量和水循环，具体措施包括排盐和防水等。排盐：降低清水墙材料内特别是表层的可溶盐含量；防水：尽量隔绝外界液态水进入墙体内，可减缓和避免地下的盐分再次聚集到墙体内。

2 牺牲性保护修复材料选择原则

浙江大学之江学院钟楼位于浙江省杭州市杭富路六和塔西侧，位于校园轴线的起点，位置显要，初名“同怀堂”，又称“经济学堂”。1936年建成后未进行过大规模的改建，但立面经历过多次修复。2016~2017年钟楼进行了最新的保护修复。该次修复以外立面清水墙修复为主，主要采用敷贴清洗进行清洁、脱盐；采用了石灰类修补材料对砖砌体、勾缝破损严重的部位进行了修补；采用有机硅憎水保护剂对外立面进行了防水处理。

建筑材料的老化不可避免，但建筑不同部位老化速度是不同的。从病害机理上分析，这是由于盐分和水分布在建筑体内的分布不均匀所致。一般来说，清水墙体与外部环境水汽交换频繁的部位容易导致盐分富集，这些部位破坏速度明显快于其他部位。

从病害机理分析结果看，避免盐分富集是保护清水墙的有效途径。所以在材料使用上，首先要避免新的可溶盐的引入，如避免使用含水水泥的修复材料。清水墙作为一个建筑体，其内部的盐分富集是无法完全避免的。如果使用比原有材料有更强的盐吸附能力的修复材料，那么在施工后盐分将先集中在新的修复材料中，当修复材料因盐分富集等因素被破坏后，只要除去修复材料重新替换新的修复材料就可以有效出去盐分，降低盐分富集对原有材料造成的破坏。这就是牺牲性保护修复材料的原理。

综上所述，牺牲性保护修复材料选择原则主要体现在3点：不引入有害成分、可逆施工和可吸附保护主体内的有害成分。

3 材料系统

目前，历史建筑清水墙修复工序主要包括清洁、砖石修

复、防护。在符合牺牲性保护修复材料选择原则前提下，通过不同功能的修复材料组合，以达到对清水墙的保护修复，详细数据见表2。

表2 历史建筑清水墙牺牲性保护修复材料体系

工序	技术	材料	技术特点	应用范围
清洁	敷贴清洗	排盐纸浆	无损、脱盐、用水少	用于清水墙表面清洁、排盐
	脱漆清洗	脱漆材料	水性、高效、可降解、无腐蚀	脱除清水墙表面有机涂层
砖石修复	砖修复	石灰类砖修补材料	低盐、多孔、可逆	用于面层砖修复加固
	勾缝修复	石灰类勾缝材料	低盐、可逆	用于勾缝修复加固
	裂缝修复	石灰类注浆材料	低盐、低收缩、高吸水、高流动性	用于非结构裂缝修复加固
防护	防潮层修复	有机硅防潮剂	环保、防水透气、低干预、耐久	用于清水墙防潮层修复
	外立面防水	有机硅憎水保护剂	防水透气	用于清水墙外立面防水

3.1 清洁材料

历史建筑的清洗指清除影响历史砖石美学与历史价值的污染物或人工添加物，完全有别于既有建筑的翻新。历史建筑的清洗是一种重要的干预类型，错误的清洗对历史建筑表皮的破坏常常是毁灭性的，必须小心谨慎^[1]。清水墙清洁需考虑清水墙的材质类型以及污染类型和程度。

3.1.1 水

水是最常用的清洁材料。常规的水清洁过程中会耗费大量的水，清水墙吸收大量水分后容易激活墙体内部的可溶盐，在随后的水分蒸发中造成更严重的表面盐分富集。所以在清水墙清洗中应尽量减少水的使用量。蒸汽清洗是利用高温高压饱和蒸汽进行水清洗的技术，有清洁能力强、用水少的特点。

3.1.2 排盐纸浆

排盐纸浆兼具清洁和排盐的功能，一般以植物纤维为原料，经过特殊工艺处理成膏状材料，具有较大的比表面积和孔隙率。将排盐纸浆以10~15mm的厚度挂涂覆盖在材料表面，待其干燥到一定程度后揭除即可。因其干燥过程一般都需要数天时间，排盐纸浆中的水可以充分软化材料表层的污渍，达到清洁的效果。涂覆后排盐纸浆中的水进入材料内部活化材料中的盐分，被活化的盐离子随水分的蒸发向表层迁移，最终在排盐纸浆中结晶。揭除排盐纸浆后，盐分也被排除掉。

3.1.3 脱漆材料

对于常规清洗难以去除的有机涂料或污染，必须采取化学清洗或物理清洗的方式。一般的清洁剂呈碱性或酸性，对材料有一定的腐蚀性，不建议在清水墙的清洁中使用。目前

国内已有公司研发出中性、对砖石无腐蚀性的脱漆清洁产品，利用长时间覆膜缓释，高效的去除有机污染物。物理清洗如喷砂清洗通常损坏材料表面，不建议在历史建筑清水墙清洁中使用。

3.2 砖石修复材料

3.2.1 砖修补材料

目前砖修补材料按粘结材料分可分为有机和无机 2 类。

有机修补材料以环氧树脂为代表。粘结时，有机粘结材料会渗入砖砌体的孔隙中造成孔隙封堵，使清水墙的透水、透气性降低。其次，有机材料的应力-应变性能、导热系数和热膨胀等材料基本性质与砖砌体结构的无机材料相差较大，不能与砖砌体长期稳定的结合。有机材料容易老化，不可逆，可能造成更严重的问题^[6]。

无机修补材料以水泥类和石灰类为主。水泥中含有大量可溶盐如有 CaSO_4 等，使用水泥类修补材料会带入大量新的可溶盐，修补区边缘容易发生严重的盐害。水泥类修补材料通常内部致密，强度高，修补部位与原清水墙在色调、质地、透水性、热膨胀性能等方面相差巨大，修补后反而会加快修补区边缘的劣化。水泥类修补材料使用后去除困难，再次修复去除时无法避免对清水墙造成新的破坏。这不符合牺牲性保护修复材料的选择原则。

石灰以 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 为主，不含或含有极低的有害可溶盐成分。石灰类修补材料通常具有较大的孔隙率，可溶盐迁移过程中优先在其内部富集吸附。其强度一般低于原砖砌体材料，后期去除不伤害砖砌体，具有可逆性。以上 3 点均符合牺牲性保护修复材料的选择原则。常规气硬性石灰类修补材料难以在短时间内达到需要的强度，会延长施工工期，采用水硬性石灰可改善其早期强度偏低的问题。水硬性石灰砖修补材料，如图 4 所示。



图 4 水硬性石灰砖修补材料

3.2.2 勾缝材料

勾缝有 2 个作用：（1）功能上要求填充砖砌体之间的

缝隙，增强砖砌体之间的连接，防止风雨侵入墙体内部；

（2）装饰上使立面整体整齐美观，呈现不同建筑风格。勾缝材料应具有较强的耐久性能、抗渗性能，力学性能上要求具有较高的粘结性能。由于勾缝属立面垂直施工，应对施工有更高要求。

目前很少有专门针对清水墙科学设计的勾缝材料，清水墙勾缝材料除满足一般勾缝材料要求外还应具有低盐、可逆的特点。市场上常用的勾缝材料多用于瓷砖、面砖的填缝、勾缝，以有机高分子聚合物为主，掺加颜料、水泥及细砂等其他材料制成。这类勾缝材料致密防水、强度较高，不适合清水墙的勾缝。

传统的清水墙勾缝材料以石灰为主，具有可塑性强、韧性好的优点，但也存在硬化慢、强度低、硬化时体积变化大的缺点。传统石灰工艺可以改善石灰性能，如在石灰中加入植物纤维进行长时间窖藏可降低石灰材料开裂、在石灰中添加桐油可增强石灰防水性能等，但这些工艺大多失传，且往往需要较长的制作工期和繁琐的制作工序。可以依靠现代实验技术还原传统工艺改善石灰材料性能，研发出符合要求的石灰类勾缝材料。符合性能要求的水硬性石灰勾缝材料见图 5。



图 5 符合性能要求的水硬性石灰勾缝材料

3.2.3 注浆材料

石灰类注浆材料主要针对墙体用于非结构裂缝修复加固。有机类和水泥类注浆材料与原清水墙在色调、质地、透水性、热膨胀性能等方面相差巨大，很难与加固墙体长期有效结合。石灰类注浆材料在各物理化学性能上更接近原墙体材料。其强度低的不足，可通过水硬性石灰替代气硬性石灰和其他材料改性达到非结构注浆的强度要求。所以推荐使用石灰类注浆材料对历史建筑清水墙非结构裂缝进行加固。

3.3 防护材料

3.3.1 有机硅防潮剂

清水墙防潮层缺失是造成墙体长期潮湿的主要因素之一。在进行清水墙修复时有必要增设、修复防潮层。防潮

层增设、修复包括机械物理方法和化学注射方法两类。机械物理方法包括抽砖(石)置换法、V形切割法、打入金属板法、钻孔法等。因机械物理方法对墙体干预较大,应尽量避免使用。化学注射方法通过在墙体上打孔,注射防水剂来达到防止毛细水上升的效果^[7]。硅酸钾(钠)及甲(乙)基硅酸钾的复合溶液可能会产生衍生副产品,不建议使用。其他非渗透性、成膜的防水剂材料应经过实验室及现场试验后才可以。建议使用有机硅类的防水剂进行注射,其具有渗透性好、憎水效果强、耐久性优异的特点,已在上海等地的清水墙防潮层修复中得到很好的应用。

3.3.2 有机硅憎水保护剂

南方地区属于亚热带季风气候,降雨量和蒸发量都较大。所以有必要对南方地区清水墙做表面防水保护,防止外界水进入墙体,但不建议采用密封胶对墙体进行密封。密封会阻隔墙体内部的水汽通过墙体表面进入外界环境,水分长期聚集在墙体内部会加快砖砌体的劣化。建议采用透气的有机硅类憎水保护剂,可有效防止外界液态水的进入,又不影响水汽的蒸发。有机硅类憎水保护剂防水效果见图6。



图6 有机硅类憎水保护剂防水效果

4 结语

清水墙牺牲性保护修复材料的设计理念是以牺牲修复材料来保护清水墙主体。建筑的保护不可能是一劳永逸的,修复后的建筑依然会随时间老化,在老化过程中,将可预见的破坏引导控制在保护修复材料内,当进行下一次的修复,只要除去保护修复材料,替换新的保护修复材料即可,周而复始,长期保护。

南方地区清水墙牺牲性保护修复材料组合,结合南方地区气候特点和清水墙修复工艺,给出符合牺牲性保护原则的保护修复材料组合建议。采用排盐纸浆类敷贴法进行清洁排盐,采用石灰类修补勾缝材料进行修补勾缝,采用有机硅类憎水保护剂进行防水保护。

致谢

论文写作过程中得到了上海保文建筑工程有限公司周月娥、刘斐,浙江德赛堡建筑材料科技有限公司,上海文保建筑工程有限公司,杭州市园林工程有限公司的指导和帮助,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 戴仕炳,钟燕.历史建筑的材料病理诊断、修复与监测前沿技术[J].中国科学院院刊,2017,32(7):749-756.
- [2] 范孟华.既有建筑物泛碱问题的探讨[J].建筑科学,2006(05):80-82.
- [3] 王锦芳.孔隙材料盐劣化及可溶盐特征[J].甘肃科技,2011,27(02):55-58.
- [4] 古小英,赵为民,张吉鑫,朱开宇.历史建筑清水墙有害无机盐的分析与测定[J].住宅科技,2010,30(06):30-33.
- [5] 杨昌鸣,成帅.近代历史建筑砖石外墙劣化成因与修复技术探索[J].建筑学报,2011(S1):76-79.
- [6] 杨钻,程晓辉.劣化古建砖石砌体的微生物注浆加固试验研究[J].工业建筑,2015,45(07):48-53.
- [7] 戴仕炳,张鹏.历史建筑材料修复技术导则[M].同济大学出版社,2014:37-41.

收稿日期: 2018-01-20

作者简介: 何政, 现供职于浙江德赛堡建筑材料科技有限公司, 主要从事文物、历史建筑修缮材料的研发。钟燕, 博士生, 同济大学建筑城规学院 建筑保护理论与技术研究方向, 现供职于高密度人居环境生态与节能(教育部)重点实验室, 历史建筑保护实验中心。

通信地址: 浙江省湖州市吴兴区义山路1506号浙江德赛堡建筑材料科技有限公司, 邮编: 200092。