

# 不可移动石质文物冬季灌浆加固工艺研究及效果评估

## ——以雨花台烈士陵园太监会碑为例

陈婷婷

(南京市雨花台烈士陵园管理局规划建设处 江苏 南京 210012)

**[摘要]** 为了研究南京地区不可移动石质文物冬季灌浆加固修复的效果,以太监会碑为例,对其灌浆加固效果进行科学评估。在勘察病害及施工环境的基础上,进行冬季户外灌浆加固技术的应用研究,制定切实可行的灌浆加固技术措施,确保加固效果。超声波技术、色差测试等无损检测手段为保护工程验收提供了科学依据,有利于建立石质文物健康监测和预警的长效机制,同时对其他不可移动石质文物的冬季灌浆加固具有较好的借鉴指导作用。

**[关键词]** 不可移动石质文物; 冬季; 灌浆; 无损检测

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.03.1773

### 1. 现状勘察

太监会碑是明代太监会(宦官丧葬互助团体)所立石碑,曾长期背面向上置于地面,目前存放于雨花台烈士陵园梅岗北麓。碑身青石质,碑座为汉白玉石。碑刻工艺精湛,碑首双凤欲衔,云纹作饰,圭首额书竖题阴刻篆书“皇明”二字;碑身阳面刻碑文,自右向左横书“南京司礼监等衙门太监等官义会碑”十五个字,周边饰有薄纹,碑身阴面为无文无饰素面;碑座下部镂空海水、江牙山峰和四合云纹,上部饰云雁祥云图,反映了明代碑刻的艺术水平,对研究明代碑刻形制和艺术特征具有重要价值<sup>[1]</sup>。

由于长期暴露在自然环境中,再加上近年来人类社会活动的影响,太监会碑表面风化、浅表性裂隙与贯穿性裂隙等病害突出,亟须保护。2020年12月,雨花台烈士陵园管理局启动了方孝孺墓、太监会碑、杨邦义剖心处以及辛亥革命雨花台之役人马合冢四处不可移动文物的修缮工程。与此同时,施工过程中恶劣天气频发,受拉尼娜现象与季风气候等多重因素影响,天气持续异常寒冷。为了确保文物灌浆加固的效果,通过加固材料的选择、文物小环境的改变以及无损检测等手段,保证了工程的顺利实施。

### 2. 灌浆加固

#### 2.1. 材料选择

灌浆加固工程的材料为瑞士的爱牢达XH160A/B系列环氧树脂和德赛堡建筑材料有限公司的天然水硬性石灰(NHL),这两种材料在文物保护领域应用比较广泛,是目前较为成熟的保护材料。

由于XH160A/B系列环氧树脂具有超强的渗透性,即使在致密的花岗岩表面,亦可无需加压直接渗入石材25mm,因此常压灌浆即可对石质类文物细小缝隙起到较好的加固作用。但是环氧树脂作为有机高分子材料,在有光照的情况下,容易老化,因此不能直接暴露在石质文物表面<sup>[2]</sup>。水硬性石灰为无机材料,不存在老化等问题,可以作为环氧树脂灌浆加固后的填缝剂,避免环氧树脂直接暴露在光照下。同时,水硬性石灰具有附着力强、不挂浆、易清洗、不龟裂、固化速度快等特点,是较好的石质文物封缝材料<sup>[3]</sup>。

表1 XH160A/B不同温度时浆液的固化时间

温度条件	5℃	25℃	30℃	40℃	50℃
初凝时间(h)	20	0.8	0.7	0.4(爆聚)	0.2(爆聚)
终凝时间(h)	46	2.8	1.2	-	-

表2 水硬性石灰性能表

检测项目	颜色一致性	容重	抗压强度(28d)	粘接强度(28d)	收缩率
检测值	一致	1.4kg/l	4.3N/mm <sup>2</sup>	0.3N/mm <sup>2</sup>	0.015%
检测方法	圆勺压实法	容积升	GB/17671	GB/17671	比长仪

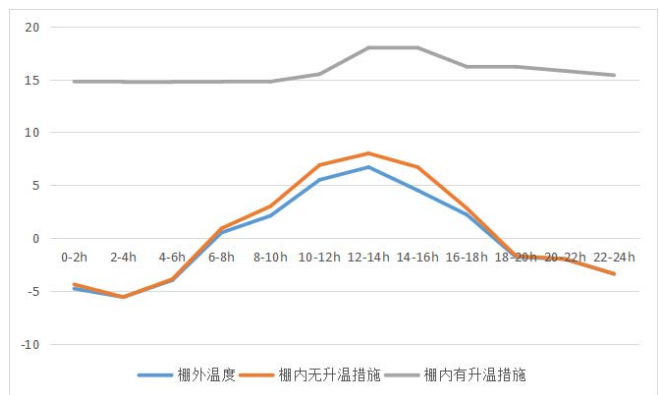
### 2.2 技术路线

由于本次工程为冬季户外施工,灌浆加固材料及操作过程对环境有一定要求。因此通过搭建工作棚的方式营造施工环境,待棚内环境监测稳定后,再对裂隙部位进行灌浆加固。

#### 2.2.1 升温措施

- 1、搭建防护工作棚,避免文物本体在灌浆过程中暴露于自然环境中,从源头上杜绝因雨雪天气造成的影响。
- 2、防护工作棚内铺设双层塑料薄膜,外挂防火布,营造大棚环境,在夜间增加保温毯。
- 3、内部增加取暖器等设备主动提升棚内温度,改变工作棚内环境温度。
- 4、使用电热毯整体包裹文物本体,电热毯外利用棉被包裹保温,提升文物本体的温度。
- 5、在工作棚内及棚外分别离地1m处放置数显温度计<sup>[4]</sup>,实时监测不同状态下棚内外温度变化情况。

表3 平均温度变化曲线



通过监测结果可知,搭建工作棚但不采取升温措施,棚内温度除10h—16h有小幅提升外,其余时间几乎与棚外温度一致;棚内采取升温措施后,温度可以调节并保持在15℃—18℃之间,不受棚外环境影响,满足施工需求。

#### 2.2.2 灌浆工艺

- 1、灌浆前将裂隙清理干净,并用钢丝刷深入裂隙使得裂

隙表面毛糙，便于浆液渗透，同时能够提高环氧树脂固化后的咬合力。

2、清洁完毕后，使用注射器将酒精推入裂隙内，同时配合压缩空气做进一步处理，直至裂隙内无污物。

3、使用水硬性石灰对裂隙进行封缝处理。

4、为了保证环氧树脂能完全灌满裂隙，在使用水硬性石灰封缝的时候，预留1—2个出气孔，形成内部空气对流，便于环氧树脂顺利流淌，同时也作为观察口，作为检测是否灌满的依据。

5、对于较长裂隙，采取分段灌浆的方式，避免因不能一次完全灌浆完成，二次灌浆导致浆液流淌不畅或阻塞浆液的情况。

6、灌浆加固结束后，使用矿物颜料对封缝部位进行做色处理，使文物整体保持协调一致。

### 3. 效果评估

对于灌浆加固效果，本次采用无损检测技术——超声波检测，在不损伤太监会碑本体的前提下，应用物理方法，研究内部和表面是否存在缺陷。另外，对修复后的文物使用色差仪检测修复效果，判断其是否遵循“修旧如旧”的原则，保持其原有面貌<sup>[5]</sup>。

#### 3.1 超声波检测

超声波是一种微机械振荡波，在不同的介质中都能以波的形式传播<sup>[6]</sup>。在石质文物的保护中，利用岩石等介质和超声波的相互关系，通过对比岩石处理前后超声波波速的变化，对加固效果进行评估。当岩石风化、裂隙严重时，孔隙较大，声波信号衰减较大，声时变长，波速变小。而在致密岩石中，声波信号衰减减小，相较而言，声时变小，波速较大。

分别在无裂隙部位、裂隙部位选取3个测点进行检测，测

得波速平均值。待选取的裂隙部位灌浆加固完成后，再次测得波速平均值。通过检测得知，波速明显提升，说明环氧树脂对裂隙部位进行了有效渗透，石质内部致密度得到提升，孔隙率减小。

#### 3.2 色差检测

为定量检测太监会碑灌浆加固后的修复效果，选取靠近裂隙部位及裂隙灌浆做色后的点为一组数据，总共三组数据，选取六个点的Lab差值对比，即 $\Delta Lab$ ，可以方便地得到做色后的颜色状况，也为后期色差监测提供数据依据。

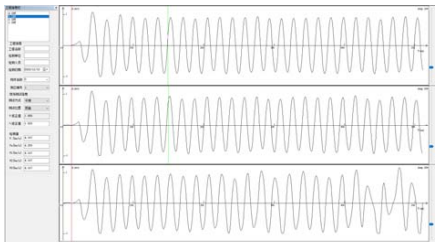

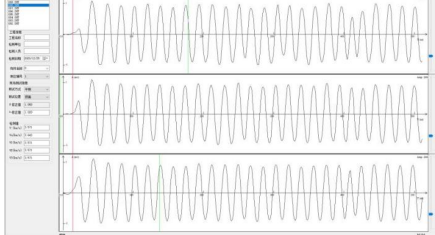
借助色差仪测量石质文物的 CIE-Lab 色空间值，CIE-Lab 色空间以L值表示颜色的明度、a值表示颜色的绿红值、b值表示颜色的蓝黄值。 $\Delta L+$ 表示偏白， $\Delta L-$ 表示偏黑； $\Delta a+$ 表示偏红， $\Delta a-$ 表示偏绿； $\Delta b+$ 表示偏黄， $\Delta b-$ 表示偏蓝。 $\Delta E = (\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)^{1/2}$ ，式中： $\Delta L = L$  修复后-L 本体，明度差异； $\Delta a = a$  修复后-a 本体，红/绿差异； $\Delta b = b$  修复后-b 本体，黄/蓝差异。如果 $\Delta E$ 大于 1，人们的眼睛就可以分辨出来。

经色差检测计算可知，灌浆加固修复后颜色整体协调，达到预期标准。

表5 色差检测表

检测部位		L	a	b	$\Delta E$	$\Delta E$ 平均值	
太监会碑	第一组	本体	58.27	0.23	1.92	1.54	0.99
		修复后	59.76	0.54	2.13		
	第二组	本体	58.76	0.45	1.84	0.35	
		修复后	58.54	0.67	1.68		
	第三组	本体	55.43	0.63	2.07	1.08	
		修复后	54.91	0.85	2.99		

表4 超声波波速图谱

太监会碑	超声波图谱	平均波速
无裂隙部位		4.167km/s
裂隙未灌浆部位		2.381km/s
灌浆加固部位		3.571km/s

### 4. 结论

(1) 本工程在施工过程中根据季节特点, 提前营造文物灌浆环境, 采用的“分段式灌浆加固”技术符合石质文物修复要求, 灌浆加固效果可靠。

(2) 无损检测手段对石质文物验收具有指导作用, 能够较为科学的对石质文物的修复效果进行系统的检测评估, 为石质文物的保存与后期检测等相关研究提供有力的数据支撑。

(3) 南京地区不可移动石质文物遗存较多, 太监会碑冬季灌浆加固技术及无损检测的成功应用, 对这些石质文物的灌浆修复及抢救性保护提供了较好的借鉴作用。当然, 在具体应用到某件石质文物的灌浆加固中, 需要我们根据实际情况制定技术路线, 合理使用修复材料, 不可生搬硬套。

### 参考文献

[1] 江苏华域文化遗产保护有限公司. 雨花台烈士陵园不可移动文物(方孝孺墓、太监会碑、杨邦义剖心处、辛亥革命

雨花台之役人马合冢) 修缮方案设计[Z]. 2020. 07.

[2] 丁著明, 吴良义, 范华, 田呈祥. 环氧树脂的稳定化(I) 环氧树脂的老化研究进展[J]. 热固性树脂, 2001(05): 34-36+41.

[3] 徐飞, 杨隽永, 杨毅. 水硬石灰作为贺兰口岩画加固材料的耐候性能研究[J]. 文物保护与考古科学, 2016, 28(04): 31-39.

[4] 李倩. 南方单栋塑料大棚微气候模拟研究[D]. 南京信息工程大学, 2013.

[5] 叶良, 李强强. 文物建筑灌浆修复效果科技检测技术应用研究——以杭州闸口白塔保护工程为例[J]. 浙江科技学院学报, 2018, 30(01): 58-64.

[6] 任建光, 黄继忠, 李海. 无损检测技术在石质文物保护中的应用[J]. 雁北师范学院学报, 2006(05): 58-62.

(上接第1867页)

(2) 你发现了哪些相等的线段或角?

(3) 你能发现什么, 把你发现的结论写下来。

点评: 操作活动也要适量、适度, 操作也不是多多益善, 我们也要摒弃无效的操作。学生对等腰三角形已有初步的认识。学生完全有可能完成课前等腰三角形纸片的准备。所以这样的“剪纸”操作在本节课属低思维层次的活动, 意义不大, 且如果教师没有提示, 大部分学生剪出来的都是顶角是锐角的等腰三角形, 对后面等腰三角形性质的归纳活动不利。因为本节课的重点内容: “等腰三角形的两底角相等”, “等腰三角形的顶角平分线、底边上的中线、底边上的高互相重合”这两个性质都不是通过论证得到的, 而是要让学生通过操作确认的, 这就需要学生在操作过程中, 要能体验无论哪种等腰三角形都具有这两个性质。所以我们建议课前先让学生准备好各种类型的等腰三角形纸片, 把探究活动的重点放在对折等腰三角形纸片后, 归纳总结等腰三角形性质的过程。

有价值的探究活动我们不只要关注教师是否给予学生充分的探究空间, 也要关注教师问题的设计是否能激发学生探究的热情, 启发学生的思维, 使学生的思维往较高层次发展。

精心设计数学活动, 关注学生的学习过程, 优化教学设计, 是提高课堂教学的有效性的途径之一。

1. 数学活动要区别于一般的活动, 结合本学科的特点, 蕴含相关的数学知识、数学方法, 对学生进行数学教育。数学活动也就是学生经历数学化过程的活动, 是学生建构数学知识的活动。而数学化是指学生从自己的数学现实出发, 经过自己的思考, 得出有关数学结论的过程。数学活动不是一般的活动, 在数学活动中要有数学思考的含量。如果数学活动游离于数学知识之外, 缺乏数学的思考, 或是没有对活动进行总结, 使得

活动没有提炼上升到数学知识、数学方法和数学思想的层面上来, 那么这样的活动只是课堂的一种负担。

2. 活动要能激发学生的学习积极性, 让学生主动参与探索过程, 在活动中发展学生的数学思维, 提高学生分析问题、解决问题的能力。学生的空间知识来自丰富的现实原型, 与现实生活关系非常紧密, 这是他们理解和发展空间观念的宝贵资源。

3. 活动要能给学生充分体验、思考的机会。在数学活动过程中, 探索性问题的设计一般都要求学生经历观察、实验、归纳、类比、推理等学习过程, 这说要求教师在课堂教学中要能提供给学生充分体验、思考的机会。

4. 活动要符合学生的认知规律, 使抽象的形式化的数学知识更易于被绝大多数学生所接受。由于全体学生积极参与活动, 通过外显的活动, 不仅有助于学生头脑中建立动作表象, 形成感知动作思维, 促使学生掌握概念, 而且能帮助学生运用表象进行思维, 进而促进学生建立符号表象, 使抽象的形式化的数学知识能被绝大多数学生所接受。在数学活动中, 要充分利用学生的手、脑、眼, 极大地挖掘学生的非智力因素, 提高学生的综合能力。

### 参考文献

[1] 林晴岚, 杨勤春. 基于中学数学课堂教学中例题“有效”设计的实践研究——以人教版《等腰三角形性质(第一课时)》为例[J]. 福建教育学院学报, 2014, 015(002): 59-61, 67.

[2] 施桂英. 初中数学复习课的“三定”策略——以专题复习《解动点与等腰三角形之缘》为例[J]. 福建教育, 2020(13).