

故宫文物建筑墙面病害现状调查

Survey on the Deterioration of the Walls of Historic Architecture in the Palace Museum

高甜

Gao Tian

内容提要：

故宫文物建筑墙面频繁发生空鼓、开裂、泛碱等病害的现象，为了找到病害的原因，对故宫围墙和院墙的墙面各部位进行了采样，主要包括大城砖、麻刀灰和涂料部位，并进行现场检测和实验室检测分析。

关键词：

文物建筑 病害分析 大城砖 麻刀灰 涂料

ABSTRACT:

Walls of the Palace Museum architecture heritage often suffer from deterioration including bulges, fissures, and efflorescence. In order to find out the cause, architecture conservators collect samples at different parts of the walls – primarily the bricks of the city wall, the hemp-cut lime paste, and the paint – for on-site testing and laboratory analysis.

KEYWORDS:

historic architecture, analysis on deterioration, city wall brick, hemp-cut lime, paint



图1 大面积空鼓、泛碱病害



图2 墙面开裂



图3 墙面抹灰脱落

故宫文物建筑的墙面,包括院墙和围墙,经常会出现空鼓〔图1〕、开裂〔图2、3〕、泛碱〔图1〕等病害现象,很大程度上影响了墙体的美观形象,每隔一段时间就要进行修缮工作,但目前修缮周期短,修缮后保持的时间比较短,这对故宫文物建筑的保护修缮是不利的。

为了更好的提高故宫院墙和围墙墙面的修缮效果,延长修缮后的保持时间,减少修缮的频次,因此对故宫文物建筑的院墙和围墙目前存在病害的现状进行了调研和分析,旨在为墙面的修缮提供科学可靠的依据,有利于故宫文物建筑墙面的保护。

目前主要对故宫文物建筑墙体的麻刀灰、大城砖、涂料进行了调研取样,按照墙面所处的东南西北四个方位以及墙面的下部破损部位分别进行采样,通过回弹仪无损检测设备对不同部位大城砖的强度现场进行了检测,对于麻刀灰、涂料等相关的检测,进行采样后进行实验室的检测分析。根据得到的调研测试结果,对空鼓、开裂、泛碱等病害的原因进行了分析,为将来的墙面修缮提供参考和依据。

墙体不同部位的采样及检测方案如下:

一 大城砖的采样及检测分析

1. 采样及检测方案

为了尽可能全面分析整个文物建筑大城砖的性能参数,目前采取的采样方案为:

- (1) 根据不同墙面阳光照射的程度来取样,选取典型南北方位和东西方位的墙面;
- (2) 墙面的上部破损的较少,同时为了方便取样,主要对墙面下部破损处进行采样;
- (3) 大城砖采样主要用于评价大城砖的强度、化学成分、孔结构等参数,强度的测试采取回弹法进行测试,含水率和孔隙率等测试的取样采取凿取小块的方式进行。

2. 使用的主要仪器及设备

- (1) 砖强度检测回弹仪:无损测试强度;
- (2) 粘接强度拉拔仪:测试粘接强度;
- (3) 荧光光谱分析仪:测试化学成分;
- (4) 压汞仪:测试孔结构;

采样方案如下表 1 所示：

表1 大城砖采样方案

采样部位	东南西北方位	上下方位位置	具体采样区
大城砖	东西墙	上	上、中、下各层3个测试区，每个测区3块砖，每块砖10个弹点，进行大城砖表面强度测试；对每层1个砖体钻芯取样，进行含水率和毛细吸水系数测定。
		中	
		下	
	南北墙	上	上、中、下各层3个测试区，每个测区3块砖，每块砖10个弹点，进行大城砖表面强度测试；对每层1个砖体钻芯取样，进行含水率和毛细吸水系数测定。
		中	
		下	

二 麻刀灰的采样及检测分析

1. 采样及检测方案

麻刀灰的采样方案为：

- (1) 参考大城砖采样方案进行分别采样；
- (2) 对于特征部位分别采样；
- (3) 麻刀灰主要测试粘接强度、PH 值。

2. 使用的主要仪器及设备

- (1) 粘接强度拉拔仪：粘接强度测试；(2) PH 计：PH 值测试。

具体的采样方案如表 2 所示：

表2 麻刀灰的采样方案

采样部位名称	东南西北方位	上下方位位置	具体采样区
麻刀灰部分	东西墙	上	上、中、下各层3个测试区，每个测区取3个外观良好的部位进行拉拔强度试验，并取样。另外再选择破损严重的部位取样。
		中	
		下	
	南北墙	上	上、中、下各层3个测试区，每个测区取3个外观良好的部位进行拉拔强度试验，并取样。另外再选择破损严重的部位取样。
		中	
		下	
另外检测未上墙麻刀灰样品(20公斤)			

三 涂料的采样及检测分析

1. 采样及检测方案

涂料的采样分两种，一种是上墙的涂料，另一种是未上墙在库房存留的涂料。

2. 使用的主要仪器及设备

- (1) 拉伸强度实验仪：主要测试涂料拉伸强度；(2) 湿流密度测试仪：防水透气性。

具体的采样方案如表所示：

表3 涂料采样方案

取样部位	类别	东西南北方位	上下方位	采样区
涂料	(1)已上墙涂料	东西墙和南北墙	上	每个采样区选择1m2，选取表观良好部位和破损严重部位分别刮取一定量涂料，封存后试验。
			中	
			下	
	(2)未上墙涂料10公斤			

四 现场实际采样过程和结果

2016年7月12日和7月20日取样两次，共取样14处，现场的检测主要包括：(1)不同部位砖表面强度的测试，采用测砖的回弹仪进行回弹；(2)粘接强度实验，主要测试灰浆与砖墙之间的拉拔强度的大小。现场的取样主要包括：(1)不同墙体部位破损处的灰浆层；(2)部分可以钻芯处的砖。

1. 采样1

(1) 采样编号及说明〔图4、图5〕

表4 采样说明

采样编号	部位描述
1	西墙，钟表馆左侧，高1.6m，靠左墙边缘1.6m。涂料灰浆采样。

(2) 回弹

回弹仪编号：DLCLC-135-1，砖墙回弹结果如表所示。

表5 1号样附近砖墙回弹数据记录

回弹部位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
1号样附近砖墙	34	38	38	37	32	35	36	37	37	35	36
下边基础砖（正常）	45	47	43	43	42	44	47	48	43	44	45
下边基础砖（粉化）	28	32	34	28	31	34	35	33	34	28	32

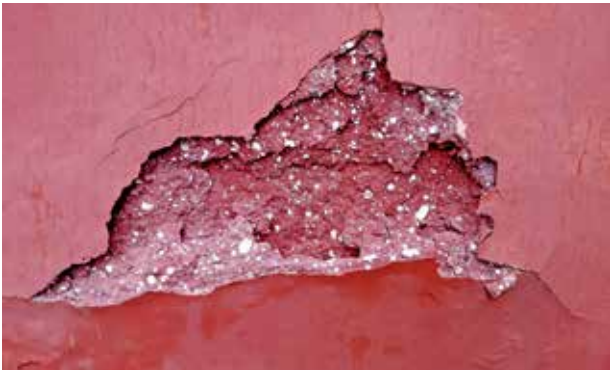


图4 采样1墙面麻刀灰局部脱落



图5 用回弹仪对采样1墙面进行回弹

(3) 粘接强度

粘接强度说明：砖墙与灰浆之间粉化严重，强度基本为零。

2. 采样 2

(1) 编号及说明〔图 6〕

表6 采样说明

采样编号	部位描述
2	西墙，钟表馆右侧，高1.6m，靠左墙边缘1.6m。

(2) 回弹

表7 2号样附近砖墙回弹数据记录

回弹部位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
2号样附近，下边基础砖（粉化）	25	18	19	20	21	20	18	17	22	20	20

3. 采样 3

(1) 编号及说明〔图 7〕

表8 采样说明

采样编号	部位描述
3	西面墙，高1.9m，靠右墙边缘5m。涂料灰浆采样。

(2) 回弹

表9 3号样附近砖墙回弹数据记录

回弹部位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
3号样附近，有涂料层	30	31	31	35	34	31	31	30	31	32	32
正常砖	35	38	30	30	34	30	38	30	29	27	32
粉化砖	18	22	25	15	17	19	22	21	14	16	19

4. 采样 4

(1) 编号及说明〔图 8〕

表10 采样说明

采样编号	部位描述
4	东面墙，高1.9m，靠左墙边缘6.85m。涂料灰浆采样。



图 6 采样 2 墙面空鼓、浆皮局部脱落



图 7 采样 3 墙面浆皮空鼓，局部脱落



图 8 采样 4 墙面返碱（左），浆皮空鼓脱落，麻刀灰粉化（右）



图9 拉拔实验现场情况

(2) 回弹

表11 4号样附近砖墙回弹数据记录

回弹部位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
上部回弹测点1	30	32	28	30	33	29	27	23	28	29	29
上部回弹测点2	28	30	39	30	35	30	33	31	39	30	33
下部回弹测点	36	37	40	37	37	36	37	35	35	36	37

(3) 4号样附近拉拔试验〔图9〕

表12 拉拔实验结果

编号	取样部位	粘接面积/mm	破坏荷载/N	破坏状态	拉拔强度计算/Mpa
1	东面墙	40×40	605	灰浆拉掉	0.378
2	东面墙	40×40	462	灰浆拉掉	0.289
3	东面墙	40×40	222	灰浆拉掉	0.139
4	东面墙	40×40	199	灰皮被粘掉，部分灰浆掉	0.124
5	东面墙	40×40	446	仅表皮被粘掉	0.279

拉拔试验如下图所示：

5. 采样5

(1) 编号及说明〔图10〕



图10 采样5墙面开裂，部分浆皮脱落

表13 采样说明

采样编号	部位描述
5	南面墙，高0.85m，靠左墙边缘1.25m。涂料灰浆采样。

(2) 回弹

表14 5号样附近砖墙回弹数据记录

回弹部位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
上部回弹测点	26	26	28	28	24	22	22	25	26	24	26
下部回弹测点	30	36	32	30	30	32	30	30	32	28	28

(3) 5号样附近拉拔试验

表15 拉拔实验结果

编号	取样部位	粘接面积/mm	破坏荷载/N	破坏状态	拉拔强度计算/Mpa
1	南面墙	40×40	39	基层涂料拉掉	0.024
2	南面墙	40×40	32	灰浆层拉掉	0.02

6. 采样6

(1) 编号及说明〔图 11〕

表16 采样说明

采样编号	部位描述
6	北面墙，高1.53m，靠右墙边缘1.35m。涂料灰浆采样。

(2) 回弹

表17 6号样附近砖墙回弹数据记录

回弹部位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
上部回弹测点1	23	26	24	23	25	35	38	29	29	23	28
下部回弹测点（粉化）	16	21	22	25	20	17	25	24	21	18	21

(3) 6号样附近拉拔试验

表18 拉拔实验结果

编号	取样部位	粘接面积/mm	破坏荷载/N	破坏状态	拉拔强度计算/Mpa
1	北面墙	40×40	76	灰浆层拉掉	0.0475
2	北面墙	40×40	62	灰浆层拉掉	0.0388

7. 采样7

(1) 编号及说明〔图 12〕

表19 采样说明

采样编号	部位描述
7	下部砂浆层及漆皮

8. 采样8

(1) 编号及说明〔图 13〕

表20 采样说明

采样编号	部位描述
8	南面墙(冰窖院墙)，高1.25m，靠右墙边缘较远。涂料灰浆采样。

(2) 回弹

表21 8号样附近砖墙回弹数据记录

回弹部位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
上部回弹测点1	12	15	15	16	23	25	24	14	18	26	19



图 11 采样 6 墙面空鼓，浆皮脱落



图 12 采样 7 墙面下碱浆皮脱落



图 13 采样 8 局部麻刀灰粉化脱落



图 14 采样 9 麻刀灰全部脱落露出城砖

(3) 8 号样附近拉拔试验

表22 拉拔实验结果

编号	取样部位	粘接面积/mm	破坏荷载/N	破坏状态	拉拔强度计算/Mpa
1	南面墙	40×40	307	灰浆层拉掉	0.192
2	南面墙	40×40	371	灰浆层拉掉	0.232

9. 采样 9（景阳宫）

(1) 编号及说明〔图 14〕

表23 采样说明

采样编号	部位描述
9	西面墙，高1.2m，靠右0.28m。涂料灰浆采样。

(2) 回弹〔图 15〕

表24 9号样附近砖墙回弹数据记录

回弹部位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
上部回弹测点	34	40	38	36	38	37	35	40	38	40	38
下部回弹测点	34	22	35	31	32	34	28	34	31	35	32

(3) 9 号样附近拉拔试验

表25 拉拔实验结果

编号	取样部位	粘接面积/mm	破坏荷载/N	破坏状态	拉拔强度计算/Mpa
1	西面墙	40×40	30	灰浆层拉掉	0.0188
2	西面墙	40×40	159	灰浆层拉掉	0.099

10. 采样 10

(1) 编号及说明〔图 16〕

表26 采样说明

采样编号	部位描述
10	西面墙，高1.5m做拉拔，高1.1m做回弹。涂料灰浆采样。

(2) 回弹



图 15 对采样 9 部位城砖进行回弹试验 图 16 采样 10 墙面空鼓，局部变黑 图 17 采样 11 墙面局部空鼓 图 18 采样 12 墙面局部麻刀灰开裂、粉化

表27 10号样附近砖墙回弹数据记录

回弹部位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
上部回弹测点1	32	32	33	45	36	42	46	32	34	30	36

(3) 10 号样附近拉拔试验

表28 拉拔实验结果

编号	取样部位	粘接面积/mm	破坏荷载/N	破坏状态	拉拔强度计算/Mpa
1	北面墙	40×40	148	灰浆层拉掉	0.0925
2	北面墙	40×40	137	灰浆层拉掉	0.0856

11. 采样 11

(1) 编号及说明〔图 17〕

表29 编号说明

采样编号	部位描述
11	北面墙，高1.56m做拉拔，高1.4m做回弹。涂料灰浆采样。

(2) 回弹

表30 11号样附近砖墙回弹数据记录

回弹部位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
上部回弹测点	16	20	24	20	32	--	--	--	--	--	22
下部回弹测点	36	34	36	34	31	32	28	20	26	22	30

(3) 11 号样附近拉拔试验

表31 拉拔实验结果

编号	取样部位	粘接面积/mm	破坏荷载/N	破坏状态	拉拔强度计算/Mpa
1	北面墙	40×40	35	灰浆层拉掉	0.0219
2	北面墙	40×40	89	灰浆层拉掉	0.0556

12. 采样 12

(1) 编号及说明〔图 18〕

表32 采样说明

采样编号	部位描述
12	北面墙，高1.4m做拉拔，高0.9m取样。涂料灰浆采样，粉化严重。

(2) 回弹

表33 12号样附近砖墙回弹数据记录

回弹部位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
上部回弹测点	19	20	12	14	14	24	20	22	22	23	19
下部回弹测点	26	26	24	26	23	20	25	24	20	27	24

(3) 12号样附近拉拔试验

表34 拉拔实验结果

编号	取样部位	粘接面积/mm	破坏荷载/N	破坏状态	拉拔强度计算/Mpa
1	北面墙	40×40	142	有纤维，灰浆层拉掉	0.0888
2	北面墙	40×40	78	有纤维，灰浆层拉掉	0.0488

13. 采样 13

(1) 编号及说明〔图 19〕

表35 采样说明

采样编号	部位描述
13	西面墙，高1.4m做拉拔，高1.4m取样。涂料灰浆采样。

(2) 回弹



图 19 采样 13 墙面局部空鼓、褪色、变黑



图 20 采样 14 墙面空鼓，下碱部位砖返碱

表36 13号样附近砖墙回弹数据记录

回弹部位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
上部回弹测点	23	18	22	30	40	36	26	34	36	34	30
下部回弹测点	36	35	40	38	34	36	32	32	34	32	35

(3) 13号样附近拉拔试验

表37 拉拔实验结果

编号	取样部位	粘接面积/mm	破坏荷载/N	破坏状态	拉拔强度计算/Mpa
1	西面墙(左)	40×40	101	有纤维，灰浆层拉掉	0.0631
2	西面墙(右)	40×40	76	有纤维，灰浆层拉掉	0.0475

14. 采样 14

(1) 编号及说明〔图 20〕

表38 采样说明

采样编号	部位描述
14	南面墙，高1.5m做拉拔，取样。涂料灰浆采样。

(2) 回弹

表39 14号样附近砖墙回弹数据记录

回弹部位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
上部回弹测点	23	24	24	20	15	20	24	20	26	24	22
下部回弹测点	32	30	29	32	32	31	33	32	35	29	32

(3) 14号样附近拉拔试验

表40 拉拔实验结果

编号	取样部位	粘接面积/mm	破坏荷载/N	破坏状态	拉拔强度计算/Mpa
1	南面墙(左)	40×40	181	有纤维，灰浆层拉掉	0.113

五 小 结

总共取样 14 处，8处是针对围墙墙面进行采样分析，6处是针对院墙（景阳宫）墙面进行采样分析。围墙目前出现的主要病害包括墙面空鼓、墙皮脱落、开裂、返碱、粉化等病害，其中空鼓最为严重，8处采样处均出现空鼓的病害；其次是墙皮脱落，7处出现墙皮脱落现象；开裂处6处，返碱4处；掉色、受潮变黑主要出现在院墙（景阳宫）内部，取样6处，其中5处均发现掉色、受潮变化（表41）。

表41为采样结果分析，1～8号是围墙的现场取样检测数据，9～14号是院墙内部墙的检测数据。

由1～8号围墙检测数据可知：

(1) 1～8号缺损部位砖强度回弹值在19～29之间，未缺损砖强度回弹值在32～38之间，缺损砖只有未缺损砖强度的59%～76%，说明砖已经承受着不同程度的破损，具体破损程度大小与墙的朝向、光照、环境等因素有关；

(2) 1～8号缺损部位麻刀灰与大城砖之间的粘接强度5处测试结果中，3处设备检测显示为0，已经基本没有粘接强度，另外2处的拉拔力值分别是36N和69N，外观未缺损部位的粘接强度为222N和344N，可见破损处麻刀灰与墙体的粘接强度大大降低。围墙墙面大面积出现空鼓、脱落的病害现象的原因可能与目前使用的涂料有关，目前使用的涂料是采用韩国的油性涂料，最大的问题是涂料不透气，导致砖体、灰浆层中的水蒸气出不来，大量的水蒸气的聚集，一方面会导致麻刀灰吸水大或长期处于高含水状态，粘接强度降低，麻刀灰层与砖墙之间的界面、麻刀灰与油性涂料之间的界面的粘接力弱化甚至丧失，另一方面会形成较大的额外水蒸气压力，将灰浆层或涂料层胀开，形成空鼓，当涂料层无法继续承受这样的压力时，产生裂缝，裂缝不断扩展，造成墙皮脱落。开裂后，麻刀灰层继续受空气中水分和其他有害成分的侵蚀，最终逐步粉化失去强度，在风力和自重的作用下发生脱落，失去保护层的大城砖继续受水分和大气环境的侵蚀，表面逐步粉化、掉落，从而强度降低。

由9～14号院墙（景福宫）内部墙的检测数据结果可知：

(1) 9～14号以掉色、受潮粉化、发黑为主，缺损部位砖强度回弹值在19～22之间，未缺损砖强度回弹值在30～36之间，缺损砖只有未缺损砖强度的54%～73%，说明砖经过多年的时间已经承受着不同程度的破损；

(2) 9～14号缺损部位麻刀灰与大城砖之间的粘接强度从62N～143N变化，未缺损部位粘接强度为

181N, 可见破损处部位的粘接强度有不同程度的降低, 具体破损程度大小与墙的朝向、光照、环境等因素有关。本次测试的院墙墙面应该是传统的红麻刀灰, 红麻刀灰主要是无机材料, 在雨水的冲刷、冻融循环、干湿循环等恶劣条件下, 会因收缩、冻融破坏引起裂缝、掉皮, 在雨水的冲刷下易褪色, 长期作用下易出现受潮发黑、粉化等病害现象。

表41 采样结果分析表

内容 编号	砖强度回弹值 (缺损部位)	砖强度值 (未缺损部位)	粘接强度N (缺损部位)	粘接强度N (未缺损部位)	破坏现象
1	--	38	0	--	空鼓、脱落、开裂、麻刀灰粉化
2	20	--	0	--	空鼓、脱落、开裂、砖粉化、砖返碱
3	19	32	--	--	空鼓、开裂、脱落
4	29	37	0	222	空鼓、脱落、麻刀灰粉化、砖返碱
5	26	--	36	--	空鼓、开裂
6	24	--	69	--	空鼓、砖返碱
7	--	--	--	--	开裂、浆皮脱落
8	--	--	--	344	开裂、浆皮脱落
9	19	35	95	--	空鼓、脱落、麻刀灰受潮粉化
10	--	36	143	--	褪色、受潮变黑
11	22	30	62		空鼓、褪色
12	22	--	110	--	褪色、粉化、返碱
13	--	33	88	--	褪色、麻刀灰受潮粉化、受潮变黑
14	22	32	--	181	褪色、麻刀灰受潮粉化、受潮变黑

[作者单位: 故宫博物院修缮技艺部]