



不考虑碳化深度的烧结砖砂浆回弹曲线

徐咏, 熊峰¹, 吴体²

(1. 四川大学建筑与环境学院, 成都 610065; 2. 四川省建筑科学研究院, 成都 610081)

摘要:通过对烧结普通砖砂浆回弹法所基于的历史试验进行再分析, 认为碳化深度对砂浆回弹值影响不大。在此基础上, 通过由不同强度等级的砂浆砌筑而成的烧结普通砖砌体结构进行新一轮砂浆灰缝试验, 运用 Origin8.0 软件对标准砂浆试块强度与砂浆灰缝回弹值进行回归分析, 得出了不考虑碳化深度影响的烧结普通砖砂浆回弹曲线。

关键词: 烧结砖; 砂浆灰缝; 砂浆回弹法; 碳化深度; 回弹曲线

中图分类号: TU362 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2015)06-0015-09

Sintered brick mortar rebound curve without considering the carbonation depth

Xu Yong¹, Xiong Feng¹, Wu Ti²

(1. College of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu 610065, P. R. China;

2. Sichuan Institute of Building Research, Chengdu 610081, P. R. China)

Abstract: The results of reanalyzing the testing method of sintered brick mortar rebound show that the carbonation depth has slight influence on the mortar rebound. Based on the results and analysis performed by Origin8.0, a sintered brick mortar rebound curve was shown between Standard mortar test block strength and mortar rebound value without considering the carbonation depth.

Key words: sintered brick; mortar joint; sintered brick mortar rebound method; carbonation depth; rebound curve

烧结砖砌体结构在中国大量存在, 对其进行现场质量检测是一项经常性的工作。作为砌体结构中必不可少的粘结材料, 烧结砖砂浆是砌体结构现场检测环节中必需的对象; 现场检测中, 通常采用回弹法进行烧结砖砂浆的强度检测^[1]。

在烧结砖砂浆回弹法的实际应用时, 很多工程单位反映该方法所需的碳化深度难以准确测量。同时, 在碳化深度界限值附近, 选择不同的公式会得出

不同的结果。那么, 对烧结砖砂浆进行回弹, 碳化深度对检测结果的影响到底有多大? 能否不考虑碳化深度建立统一的公式? 事实上中国标准 GB/T 50315—2011《砌体工程现场检测技术标准》(后文简称国标)^[2]中的烧结砖砂浆回弹法公式是参照《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》^[3]的思路, 认为回弹值与碳化深度密切相关而建立起来的。其基本理论依据为: 水泥一经水化就游离出大约 35% 的氢氧

收稿日期: 2015-07-27

基金项目: 行业标准《非烧结砖砌体现场检测技术规程》编制经费资助

作者简介: 徐咏(1989-), 男, 博士生, 主要从事砌体结构、装配式剪力墙结构研究, (E-mail)437350217@qq.com.

Received: 2015-07-27

Foundation item: Industry Standard "Non-Sintered Brick Field Testing Technical Regulations" Project Preparation Funding

Author brief: Xu Yong(1989-), PhD candidate, main research interests: masonry structure and precast shearwall structure, (E-mail)437350217@qq.com.

化钙^[4],当硬化的混凝土表面受到空气中二氧化碳作用时,氢氧化钙会生成硬度更高的碳酸钙,这就是混凝土的碳化现象^[5]。碳化使混凝土表面硬度增高、回弹值增大,但对混凝土强度影响不大,从而影响混凝土强度与回弹值的相关关系^[6],不同的碳化深度对其影响不一样。因此,过去中国国家标准制定中对烧结砖砂浆回弹法的数据处理时,沿用混凝土回弹法的思路,将试验数据根据碳化深度值分为3段,分别进行砂浆强度与回弹值之间的关系拟合^[6]。但是,即使对于混凝土回弹法,也有文献^[7-13]在探讨碳化深度的影响问题,如廉慧珍^[9]认为:由于混凝土材料的高度非匀质性,碳化边沿很难定量,目前用卡尺量测不显色部分的深度,取6个点的平均值作为碳化深度,其结果的代表性显然值得怀疑。陈海彬等^[12]率先在不考虑碳化深度的情况下建立了高强混凝土的回弹曲线。回到烧结砖砂浆回弹法中,由于砂浆的性能不同于混凝土,其水泥用量远小于混凝土中水泥用量,材料的致密性也远比混凝土低,因此,砂浆碳化速度很快,但硬度并不高,碳化深度对回弹值的影响应该不如混凝土明显。

本文对当年烧结砖砂浆回弹曲线的历史试验数据进行了再分析,以研究碳化深度对回弹值的影响程度,发现以碳化深度分类的3条曲线差别并不大,在工程精度的范围内可以合并;在此基础上,重新做了烧结砖砌体砂浆回弹法的系列试验,并拟合了统一的回弹公式。

1 碳化深度对砂浆回弹值影响的研究

回弹曲线是回弹测试法的关键,中国从1988年开始主要由四川省建筑科学研究院通过大量砂浆试块试验进行烧结砖砂浆回弹法的研究。试验过程是在砂浆试块上测出回弹值、碳化深度和强度值,以碳化深度分类回归得到相应回弹公式^[14],该公式即为国标中烧结砖砂浆分段回弹公式 12.4.3.1-1~12.4.3.1-3。

1988年开始的试验(后文简称历史试验)分为烘干砂浆与未烘干砂浆试验。试验过程及记录形成了《<砖砌体中砌筑砂浆回弹测强研究>回弹抗压试验记录》^[15]和《<砖砌体中砌筑砂浆回弹测强研究>砂浆碳化深度对回弹值影响试验记录》^[16](后文统一简称《试验记录》)并存档。《试验记录》对砂浆试块的基本数据和当时试验的背景有着详细的记录,共有完整数据(有清晰完整的碳化深度、砂浆强

度、回弹值记录的数据)1444组,包括烘干砂浆试块843组,未烘干345组,未记录烘干与否256组。为研究碳化深度的影响,从四川省建筑科学研究院档案室中找到《试验记录》并对当年的数据进行了再分析。

1.1 烘干砂浆试块

《试验记录》中烘干砂浆试块主要用来模拟龄期较长的砂浆。按照国标碳化界限分类,分别选取碳化深度在[0,1]mm、(1,3)mm、≥3mm区间的数据用Origin8.0采用最小二乘法进行非线性拟合^[17](以后的数据分析均采用该软件)。

按照数理统计的理论,在工程应用范围内当相关指数 $R^2 \geq 0.85$ 时^[18-19]能够认为两者之间具有较强的相关性。选取相关指数最高的乘幂形式得到烘干砂浆试块的拟合曲线如图1,同样地得到(1,3)mm以及≥3mm区间的拟合曲线(篇幅所限,拟合图略;两条曲线的相关指数分别为0.90和0.92),将在砂浆常见强度范围内(2~15MPa)的3条曲线绘制于一张图上,见图2。

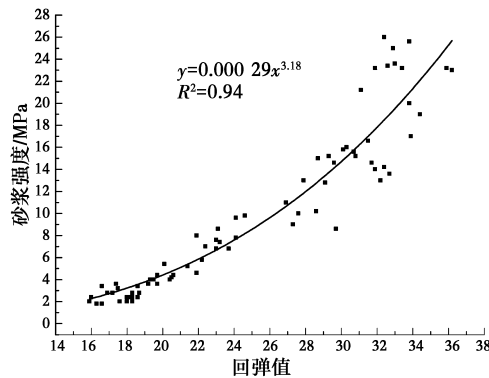


图1 烘干试块碳化深度在[0,1]mm范围内的拟合曲线

Fig. 1 The fitting curve when carbonation depth is in [0,1] from dried test block

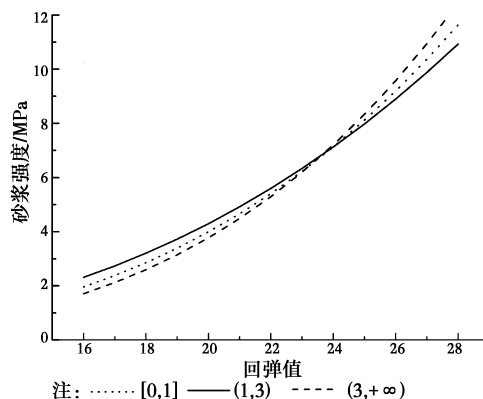


图2 烘干试块按国标界限做出的拟合曲线
Fig. 2 Fitting curve based on specifications boundaries from dried test block

计算3条曲线在砂浆常见强度范围内的强度值最大误差见表1。

表1 曲线强度误差表
Table 1 The error table of curve strength

回弹值	碳化深度/mm			误差/MPa	相对误差/%
	[0,1]	(1,3)	[3,∞]		
17	2.38	2.73	2.12	0.62	10.91
18	2.85	3.21	2.60	0.61	9.03
19	3.39	3.72	3.14	0.58	7.21
20	3.99	4.29	3.77	0.52	5.45
21	4.66	4.92	4.49	0.43	3.74
22	5.40	5.59	5.29	0.30	2.09
23	6.22	6.33	6.19	0.14	0.48
24	7.13	7.12	7.20	0.08	1.08
25	8.11	7.98	8.33	0.35	2.61
26	9.19	8.90	9.57	0.67	4.09
27	10.36	9.88	10.64	0.76	4.63
28	11.64	11.13	12.04	0.92	4.93

由表1可以看出:

1)3条曲线拟合形式相同。相关指数最高时3条曲线均为乘幂形式,此时3条曲线走势相同。

2)3条曲线换算出来的砂浆强度值差别较小。从表1中可知,最大误差0.92 MPa,最大相对误差10.91%。除去回弹值较小时的情况,大部分砂浆强度相对误差不超过5%,说明3条曲线很接近,碳化深度影响不明显。

1.2 未烘干砂浆试块

《试验记录》中未烘干的砂浆试块模拟的是龄期较短的情况。选取未烘干的砂浆试块继续分析,按照烘干砂浆试块的分析方法可以得到图3,碳化深度在[0,1]mm、(1,3)mm、≥3 mm区间内的相关指数分别为0.88、0.92、0.85。曲线误差分析如表2。

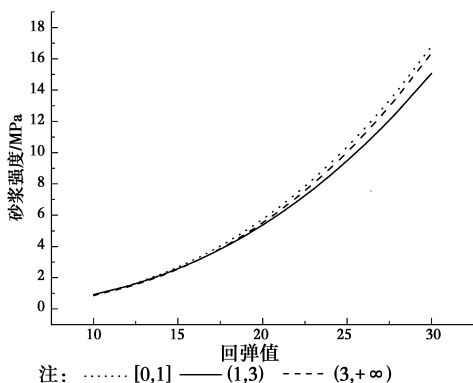


图3 未烘干试块按国标界限做出的拟合曲线
Fig. 3 Fitting curve based on specifications boundaries from undried test block

表2 曲线强度误差表

Table 2 The error table of curve strength

回弹值	碳化深度/mm			误差/MPa	相对误差/%
	[0,1]	(1,3)	[3,∞]		
14	2.23	2.16	2.11	0.12	5.20
15	2.67	2.57	2.54	0.13	4.97
16	3.17	3.03	3.02	0.15	4.75
17	3.73	3.54	3.56	0.19	4.54
18	4.34	4.10	4.15	0.24	4.34
19	5.01	4.70	4.80	0.30	4.16
20	5.73	5.36	5.51	0.37	3.98
21	6.53	6.07	6.28	0.45	3.82
22	7.38	6.84	7.11	0.55	3.66
23	8.31	7.66	8.01	0.65	3.50
24	9.30	8.53	8.99	0.76	3.36
25	10.36	9.47	10.03	0.89	3.22

由表2可知:

1)3条曲线均为乘幂形式,走势相同。

2)3条曲线换算出来的砂浆强度值差别很小,最大误差1.35 MPa,最大相对误差5.20%。说明曲线接近,碳化界限不明显。

1.3 实验室砂浆试块

《试验记录》中砂浆烘干与未烘干分类模拟的是砂浆龄期长短,如果不考虑龄期因素,将《试验记录》所有砂浆试块数据按同样的方法进行分析(即将《试验记录》中1444组数据进行分析),得到图4。图4中碳化深度在[0,1]mm、(1,3)mm、≥3 mm区间内的相关指数分别为0.87、0.90、0.85。同时,3条曲线的强度误差列于表3。

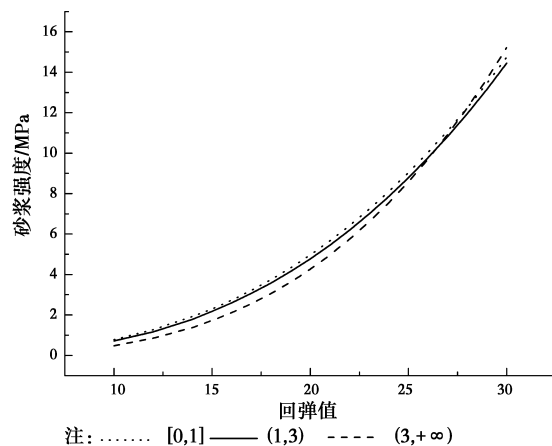


图4 实验室试块按国标界限做出的拟合曲线
Fig. 4 Fitting curve based on specifications from lab test block

表 3 曲线强度误差表
Table 3 The error table of curve strength

回弹值	碳化深度/mm			误差/MPa	相对误差/%
	[0,1]	(1,3)	[3,∞]		
15	2.30	2.18	1.73	0.57	5.29
16	2.73	2.60	2.11	0.62	4.98
17	3.21	3.06	2.56	0.66	4.70
18	3.75	3.58	3.06	0.69	4.42
19	4.33	4.15	3.63	0.71	4.16
20	4.97	4.77	4.26	0.71	3.92
21	5.66	5.45	4.96	0.70	3.68
22	6.42	6.19	5.74	0.67	3.46
23	7.23	6.99	6.61	0.62	3.24
24	8.10	7.85	7.55	0.55	3.04
25	9.04	8.78	8.58	0.03	2.84
26	10.04	9.77	9.71	0.03	2.65

由表 3 可知:

1)3 条曲线拟合形式相同,均为乘幂形式,3 条曲线走势相同。

2)3 条曲线换算出来的砂浆强度值差别很小,最大误差 0.77 MPa,最大相对误差 5.29%,曲线强度误差较小。

1.4 碳化深度比例统计

对《试验记录》所有砂浆试块数据进行统计,得到各个碳化界限区间的的数据见表 4。因为现场记录人员的疏忽等原因,《试验记录》中出现了没有准确记录砂浆是否烘干的情况,表 4 中未记录一栏的数据即来源于此。

表 4 砂浆试块数据表
Table 4 The table of mortar number

情况	[0,1]	(1,3)	[3,∞)	[3,∞) 比例/%	<3 mm 比例/%
烘干	75	63	705	83.63	16.37
未烘干	78	74	193	55.94	44.06
未记录	18	39	199	77.73	22.27
所有数据	171	176	1 097	75.97	24.03

从表 4 可知:大部分试块碳化深度在 3 mm 以上,在 3 mm 以下者不足 50%。特别是烘干的情况,碳化深度超过 3 mm 的试块占全部试块比例的 83.63%,说明砂浆试块的碳化作用比较迅速,养护完成后大多数试块超过国标中碳化深度的上限。该试验的时间跨度只有 12 个月时间,而现场检测中,

被检建筑都有一定的修建时间,砂浆碳化发展时间往往以年为单位,可以推断碳化深度在 3 mm 以下的情况会更少。从这个角度讲,砂浆回弹曲线中制定的碳化界限往往没有实际应用价值。

通过对历史试验的分析,根据烘干试块、未烘干试块、实验室所有试块数据,可以发现:

1)以碳化深度 1、3 mm 分界的 3 条曲线差别不大,在砂浆常见强度范围内,相对误差基本小于 5%,因此,可以考虑回弹曲线不用按碳化深度分类。

2)碳化深度 3 mm 以下的试验数据很少,低于 30%,考虑到现场检测中砂浆碳化发展的时间更加充足,可以认为现场中基本不存在碳化深度在 3 mm 以下的情况。

1.5 碳化深度影响的辨析

为了进一步研究碳化深度对回弹曲线的影响,探索是否存在其它的碳化界限。在所有的砂浆试块数据中,以碳化深度为横坐标、回弹值为纵坐标建立关系图。由于篇幅所限,仅显示出当砂浆强度为 7.5 MPa 时,烘干和未烘干时砂浆碳化深度与回弹值的关系,见图 5。

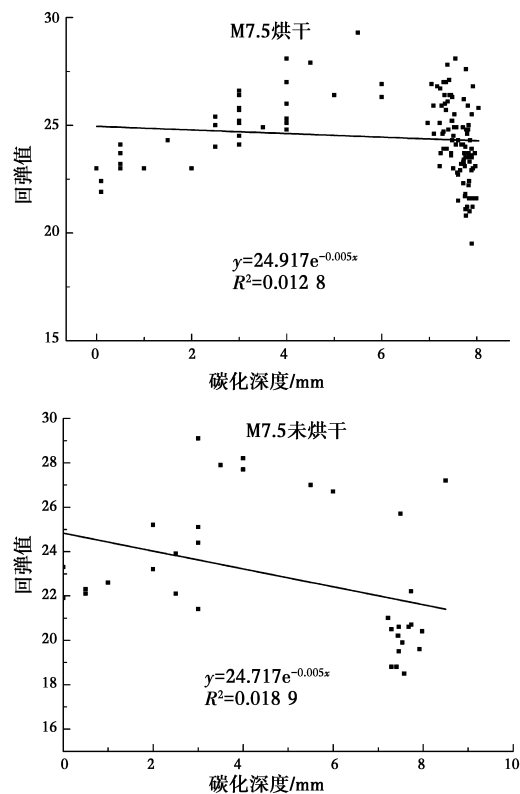


图 5 砂浆试块碳化深度和回弹值的关系
Fig. 5 The relationship between carbonation depth and the rebound value from test block

对图 5 中散点图进行曲线拟合,两种情况下的

最高相关指数分别为 0.012 8 和 0.018 9(其他区间曲线拟合结果于此类似)。根据数理统计理论,一般认为相关指数低于 0.15 则两者不具有相关性^[17-19],因此,从图 5 中可以得知:碳化深度与回弹值没有明显相关性。

2 烧结砖砂浆回弹曲线的建立

基于上节分析,同时考虑实际应用的可操作性,可以认为碳化深度对砂浆回弹值的影响不大,在工程应用范围内可以忽略这种影响。因此,本文结合标准的修编,基于最新试验,建立了不考虑碳化深度影响的烧结砖砌筑砂浆回弹公式,以便于实际应用。

2.1 试验设计与过程

历史试验是在砂浆试块上同时测得砂浆的回弹值、碳化深度和强度值,这样的试验方法可以很快地获得 3 组数据,并进行对应的数据分析。但由于砂浆试块与砂浆灰缝的工作状态是不同的,这种试验方法不能很好地模拟砂浆灰缝的状态。为了更好地模拟灰缝中砂浆的工作状态,本次试验(后文中简称灰缝试验)制作了不同强度等级砂浆砌筑的试验墙体,对墙体中灰缝砂浆进行回弹,得出回弹值后直接与砂浆试块强度值建立拟合曲线。

根据相关标准与规范^[20-24],灰缝试验选用 5 种强度等级的砂浆(1:4.5 超高强砂浆、1:5.5 高强砂浆、1:7 中强砂浆、1:8.5 低强砂浆和 1:9.5 超低强砂浆,比例为灰砂比,后文比例默认为灰砂比)。在四川省建筑科学研究院砌体结构实验室中每种砂浆各砌筑一片厚度为 240 的烧结砖墙,试验墙体见图 6。砂浆用水泥强度标号为 42.5、细骨料选用粗砂。拌制砂浆时掺入少量早强剂,每次拌制一盘 150 kg 重砂浆,同时,制作 6 块烧结普通砖为底模的砂浆试块;砂浆不够使用时重新拌制,并再次制作砂浆试块,实验过程中共得到砂浆试块 78 块。墙体和砂浆



图 6 试验墙体图
Fig. 6 Test wall

试块制作和养护共两个月时间,在此期间,试验墙体和砂浆试块就地进行自然养护,适当浇水湿润,前期(7 d)基本保持试验墙体和试块表面潮湿。试验时按照国标要求对试件墙体中的灰缝进行回弹法测试,如图 7,同时,用压力机测试砂浆试块强度。



图 7 回弹试验过程
Fig. 7 Rebound testing

2.2 碳化界限验证

灰缝试验中得到了一批砂浆灰缝的回弹值、碳化深度和强度值,按照前节的分析方法再次验证碳化深度对回弹值的影响。

2.2.1 试验碳化深度统计 对灰缝试验得到的数据进行统计,得到砂浆强度、回弹值、碳化深度相对应的有效数据共 135 组(文后附表 1 给出),对每一组数据按照国标中的碳化界限进行分类,见表 5。

表 5 最新试验数据表

Table 5 The table of the newest number

情况	[0,1]	(1,3)	[3,∞)	[3,∞) 比例/%	<3 mm 比例/%
最新数据	2	46	87	64.44	35.56

由表 5 可知:

1) 灰缝砂浆碳化发展也很迅速。养护 28 d 后,碳化深度在 3 mm 以下的情况为 35.56%,所占比例较小,这与历史试验数据表现出来的规律是相同的,这进一步证明了碳化深度划分成 1、3 mm 区间意义不大。

2) 碳化作用在砂浆灰缝中发展比在砂浆试块中更加迅速。选取灰缝试验与《试验记录》中的所有数据进行比较,碳化界限在 [0,1] mm 的数据所有比例,前者 and 后者分别为 1.48% 和 11.84%,说明前者碳化作用发展更为迅速。

2.2.2 按照碳化界限建立的回弹曲线比较 根据碳化界限在 [0,1] mm、(1,3) mm(图 8)和 ≥ 3 mm

(图 9)范围内的数据建立拟合曲线,两者的对比图见图 10,其误差分析见表 6。此时,没有给出碳化深度在 $[0, 1]$ mm 范围内的分析和比较是因为这个范围内的试验数据只有两组,无法建立较好的曲线拟合,所以与其他区间的曲线没有可比性。

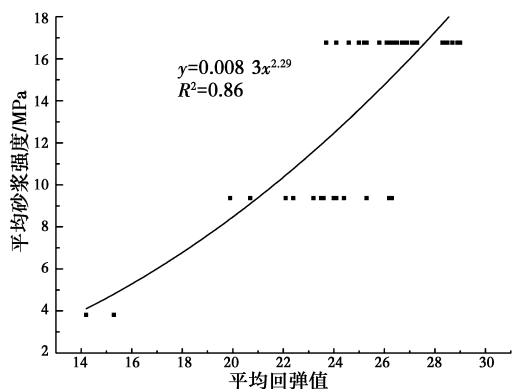


图 8 灰缝试验按照碳化(1,3)mm 的拟合曲线
Fig. 8 The fitting curve when carbonation depth is in (1,3) from new test

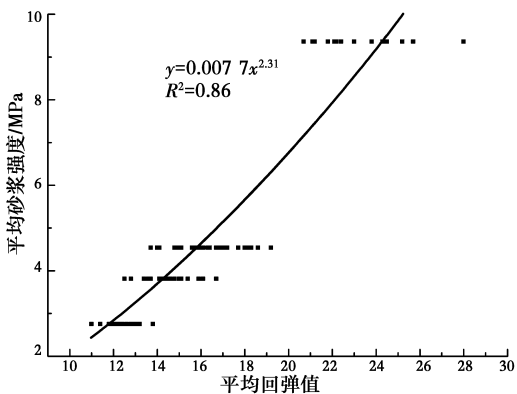


图 9 灰缝试验按照碳化 $[3, +\infty)$ mm 的拟合曲线
Fig. 9 The fitting curve when carbonation depth is in $[3, +\infty)$ from new test

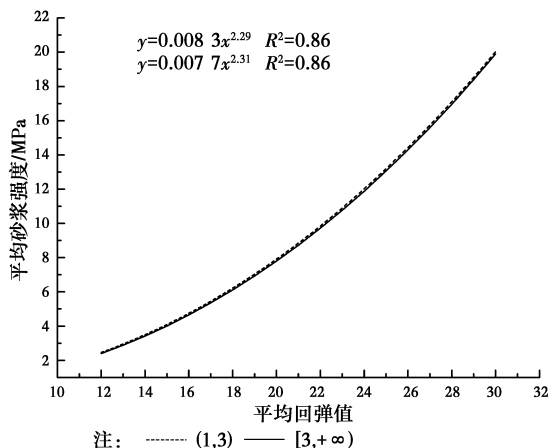


图 10 灰缝试验按国标界限做出的拟合曲线
Fig. 10 Fitting curve based on specifications from new test

表 6 曲线强度误差表

Table 6 The error table of curve strength

回弹值	碳化深度/mm		误差/MPa	相对误差/%
	[1,3]	[3,+∞)		
12	2.46	2.40	0.06	1.94
13	2.95	2.88	0.07	2.35
14	3.50	3.42	0.08	2.20
15	4.10	4.01	0.08	2.07
16	4.75	4.66	0.09	1.94
17	5.46	5.36	0.10	1.82
18	6.22	6.11	0.11	1.71
19	7.04	6.92	0.11	1.60
20	7.91	7.80	0.12	1.50
21	8.85	8.73	0.12	1.40
22	9.85	9.72	0.13	1.31
23	10.9	10.77	0.13	1.22

从表 6 可知,两条曲线最大误差 0.14 MPa,最大相对误差 2.50%,都在工程应用可接受范围之内,再次证明在建立砂浆的回弹曲线的时候不设立碳化区间是合理的。

2.3 不考虑碳化深度建立砂浆回弹曲线

根据试灰缝验墙片砂浆平均回弹值与平均砂浆强度,可以利用 Origin8.0 建立拟合曲线。试验中每条砂浆灰缝可以得到多个砂浆回弹值,而每一强度的砂浆只有一个砂浆平均强度值,故以下分析中存在多个平均回弹值对应一个平均砂浆强度值的情况。

Origin8.0 中共有 15 个函数目录(不包括用户自定义函数),每一个函数目录下通常有 10 多个具体函数,函数总量为 200 多个^[16]。选取函数形式常见且与国标曲线较为接近(凹凸性和基本走势)的几种函数关系进行拟合。

图 11 为散点图通过指数和线性形式建立的拟合曲线。其相关指数为 0.93,相比其他拟合曲线最大(线性形式的相关指数明显低于指数形式),故选取指数函数关系曲线,得砂浆强度与回弹值的关系为

$$f_{2ij} = 0.75 \cdot e^{0.11R}$$

式中: f_{2ij} 为第 i 个测区第 j 个测位的砂浆强度值,MPa; R 为第 i 个测区第 j 个测位的平均回弹值。

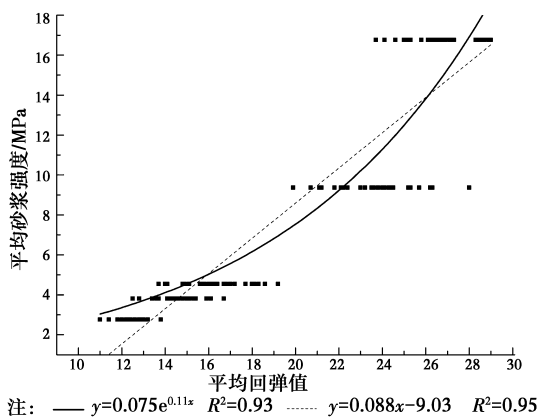


图 11 按照指数和线性关系进行数据拟合

Fig. 11 Data fitting in a exponential and linear relationship

3 结 论

以两次试验为基础,得到了以下结论:

1) 烧结砖灰缝砂浆碳化作用迅速。通过历史试验和灰缝试验可知,28 d 龄期后的砂浆灰缝的碳化深度大于 3 mm 的情况超过 60%。考虑到实际检测中的检测对象往往都是以年为单位的建筑,可以认为国标中的碳化界限没有实际应用价值。

2) 在工程应用范围内可以忽略烧结砖砂浆回弹法中碳化深度的影响。通过对历史试验的分析,按照碳化界限拟合出的 3 条砂浆回弹曲线误差很小,说明国标中强调的碳化界限对砂浆回弹值影响不大。

3) 提出了忽略碳化深度影响的烧结砖砂浆回弹曲线。该曲线回避了碳化深度测量不便的问题,在不失准确性的前提下提高了现场检测的速度,减少了客观因素的影响。

参考文献:

- [1] 吴体. 砌体结构工程现场检测技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012: 10-20.
Wu T. Technical for site testing of masonry engineering [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012: 10-20. (in Chinese)
- [2] GB/T 50315—2011 砌体工程现场检测技术标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011: 44-46.
GB/T 50315—2011 Technical standard for site testing of masonry engineering [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011: 44-46. (in Chinese)
- [3] JGJT 23—2011 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011: 10.
JGJ T23—2011 Technical specification for inspecting of concrete compressive strength by rebound method [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011: 10. (in Chinese)
- [4] Michael P, Schuller P E. Nondestructive testing and damage assessment of masonry structures [J]. Structural Masonry, 2003: 239-251.
- [5] McCann D M, Forde M C. Review of NDT methods in the assessment of concrete and masonry structures [J]. University of Edinburgh, Edinburgh EH9 3JN, UK.
- [6] 崔士起, 孔旭文, 郝玉友. 贯入法检测砌筑砂浆强度测强曲线建立[C]//第八届全国建设工程无损检测技术学术会议论文集, 2004: 128-131.
Cui S Q, Kong X W, Hao Y Y. Curve establishment on masonry mortar strength by penetration method [C]//The Eighth National Conference on Nondestructive Testing of Construction Projects, 2004: 128-131. (in Chinese).
- [7] Gumaste K S, Nanjunda-Rao K S, Venkatarama-Reddy B V, et al. Strength and elasticity of brick masonry prisms and wallettes under compression [J]. Materials and Structures, 2007, 40(2): 241-253.
- [8] Michael P, Schuller P E. Nondestructive testing and damage assessment of masonry structures [J]. Structural Masonry, 2003: 239-251.
- [9] 廉慧珍. 质疑“回弹法检测混凝土抗压强度”[J]. 混凝土, 2007(9): 1-8.
Lian H Z. Questions on utilizing method of schmidt for testing strength of concrete [J]. Concrete, 1999, 26(6): 33-42. (In Chinese).
- [10] 文恒武, 魏超琪. 对《质疑“回弹法检测混凝土抗压强度”》一文中几个问题的看法[J]. 混凝土, 2008(6): 1-3.
Wen H W, Wei C Q. Views on some problems about the paper: questions on utilizing method of schmidt for testing strength of concrete [J]. Concrete, 2008(6): 1-3. (in Chinese).
- [11] 廉慧珍. 关于《对《质疑“回弹法检测混凝土抗压强度”》一文中几个问题的看法》的讨论[J]. 混凝土, 2008(6): 4-7.
Lian H Z. Discussions on “views on some problems about the paper: questions on utilizing method of schmidt for testing strength of concrete” [J]. Concrete, 2008, (6): 4-7. (in Chinese).
- [12] 陈海彬, 周鹏, 陆辉东. 高强混凝土回弹法地方测强曲

- 线的研究[J]. 混凝土, 2012(6):128-130.
- Chen H B, Zhou K, Lu H D. Research on building local curve of rebound method for high strength concrete [J]. Concrete, 2012(6):128-130. (in Chinese).
- [13] Roberto F, Natalino G. A penetration test to study the mechanical response of mortar in ancient masonry buildings [J]. Materials and Structures, 1998, 31(1): 350-356.
- [14] 四川省建设工程质量安全监督总站. 四川省建设工程质量检测人员培训教材[M]. 成都:四川省建设工程质量安全监督总站, 2010.
- Sichuan Supervision Station of Construction Quality and Safety. Sichuan training materials of construction quality inspection staff [M]. Chengdu; Sichuan Supervision Station of Construction Quality and Safety, 2010;20. (in Chinese)
- [15] 四川省建筑科学研究院. <砖砌体中砌筑砂浆回弹测强研究>回弹抗压试验记录[Z]. 成都:四川省建筑科学研究院, 1994.
- Sichuan Institute of Building Research. Rebound strong mortar in brick masonry research rebound compression test records [Z]. Chengdu; Sichuan Institute of Building Research, 1994. (in Chinese)
- [16] 四川省建筑科学研究院. <砖砌体中砌筑砂浆回弹测强研究>砂浆碳化深度对回弹值影响试验记录[Z]. 成都:四川省建筑科学研究院, 1994.
- Sichuan Institute of Building Research. Test records of mortar carbonation depth affect rebound values for rebound research of mortar in brick masonry [Z]. Chengdu; Sichuan Institute of Building Research, 1994. (in Chinese)
- [17] 肖信. Origin8.0 实用教程——科技作图与数据分析 [M]. 北京:中国电力出版社, 2009:141-163.
- Xiao X. Origin8.0 practical tutorial - tech mapping and data analysis [M]. Beijing; China Electric Power Press, 2009:141-163. (in Chinese)
- [18] 杨琳. 回弹法、剪切法测砂浆强度的研究及测强曲线绘制[D]. 天津:天津大学, 2009:26-40.
- Yang L. Research on mortar strength detection by rebound method and method of mortar flake and drawing of intensity curves [D]. Tianjin; Tianjin Univevsity, 2009;26-40. (in Chinese)
- [19] 刘数华, 冷发光, 罗季英. 建筑材料试验研究的数学方法[M]. 北京:科学中国建材工业出版社, 2006.
- Liu S H, Leng F G, Luo J Y. Experimental study on mathematical methods in building materials [M]. Beijing; China Building Materials Press, 2006. (in Chinese)
- [20] 徐咏. 回弹法检测非烧结砖砌体工程中砂浆强度的研究[D]. 成都:西华大学, 2013.
- Xu Y. Study on the rebound method to test mortar strength in the non-sintered brick works [D]. Chengdu; Xihua University, 2013. (in Chinese)
- [21] GB/T 50129—2011 砌体基本力学性能试验方法标准 [S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2011:1-20.
- GB/T 50129—2011 Standard for test method of basic mechanics properies of masonry [S]. Beijing; China Architecture & Building Press, 2011;1-20.
- [22] GB 50203—2011 砌体工程施工质量验收规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2011:7-10.
- GB50203—2011 Code for acceptance of constructional quality of masonry structures [S]. Beijing; China Architecture & Building Press, 2011: 7-10. (in Chinese)
- [23] GB/T 2542—2003 砌墙砖试验方法[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2003:4-7.
- GB/T 2542—2003 Test methods for wall brick [S]. Beijing; China Architecture & Building Press, 2003:4-7. (in Chinese)

(编辑 王秀玲)

附表 1 砌筑烧结砖墙体的砂浆基本参数表

构件位置 (从上向下计算)	平均 回弹值	砂浆强度/ MPa	构件位置 (从上向下计算)	平均 回弹值	砂浆强度/ MPa	构件位置 (从上向下计算)	平均 回弹值	砂浆强度/ MPa
1:9.5 砂浆 第 17 条灰缝	12.3	2.75	1:9.5 砂浆 第 4、5 条灰缝	11.8	2.75	1:9.5 砂浆 第 6、7 条灰缝	12.3	2.75
	12.9	2.75		11.4	2.75		11.0	2.75
	13.8	2.75		12.6	2.75		12.2	2.75
	12.4	2.75		12.0	2.75		13.2	2.75
	12.8	2.75		13.0	2.75		12.6	2.75

续表(附录 1)

构件位置 (从上向下计算)	平均 回弹值	砂浆强度/ MPa	构件位置 (从上向下计算)	平均 回弹值	砂浆强度/ MPa	构件位置 (从上向下计算)	平均 回弹值	砂浆强度/ MPa
1:8.5 砂浆 第 2 条灰缝	14.5	3.81	1:8.5 砂浆 第 4 条灰缝	14.8	3.81	1:8.5 砂浆 第 6 条灰缝	15.9	3.81
	14.6	3.81		15.3	3.81		14.4	3.81
	13.6	3.81		13.6	3.81		14.3	3.81
	14.6	3.81		13.6	3.81		14.3	3.81
	14.5	3.81		13.4	3.81		14.5	3.81
1:8.5 砂浆 第 8 条灰缝	16.1	3.81	1:8.5 砂浆 第 10 条灰缝	15.0	3.81	1:8.5 砂浆 第 12 条灰缝	12.5	3.81
	15.1	3.81		15.9	3.81		15.4	3.81
	16.7	3.81		14.5	3.81		14.3	3.81
	15.4	3.81		13.7	3.81		14.2	3.81
	14.1	3.81		14.5	3.81		12.8	3.81
1:7 砂浆 第 2 条灰缝	16.8	4.54	1:7 砂浆 第 4 条灰缝	18.6	4.54	1:7 砂浆 第 6 条灰缝	15.1	4.54
	15.8	4.54		16.4	4.54		15.1	4.54
	18.1	4.54		16.1	4.54		14.9	4.54
	15.6	4.54		17.7	4.54		16.1	4.54
	14.1	4.54		15.8	4.54		14.8	4.54
1:7 砂浆 第 8 条灰缝	17.2	4.54	1:7 砂浆 第 10 条灰缝	16.0	4.54	1:7 砂浆 第 12 条灰缝	19.2	4.54
	16.3	4.54		14.0	4.54		18.3	4.54
	14.8	4.54		18.0	4.54		17.0	4.54
	15.7	4.54		16.7	4.54		14.9	4.54
	15.1	4.54		15.6	4.54		13.7	4.54
1:5.5 砂浆 第 2 条灰缝	22.2	9.36	1:5.5 砂浆 第 4 条灰缝	23.6	9.36	1:5.5 砂浆 第 6 条灰缝	26.3	9.36
	21.8	9.36		21.1	9.36		22.1	9.36
	25.2	9.36		21.2	9.36		24.4	9.36
	24.5	9.36		20.7	9.36		25.7	9.36
	23.0	9.36		25.3	9.36		28.0	9.36
1:5.5 砂浆 第 8 条灰缝	24.0	9.36	1:5.5 砂浆 第 10 条灰缝	22.4	9.36	1:5.5 砂浆 第 12 条灰缝	23.6	9.36
	26.2	9.36		21.2	9.36		23.2	9.36
	23.5	9.36		24.3	9.36		19.9	9.36
	24.4	9.36		23.8	9.36		24.1	9.36
	20.7	9.36		22.4	9.36		22.1	9.36
1:4.5 砂浆 第 2 条灰缝	27.2	16.76	1:4.5 砂浆 第 3 条	28.5	16.76	1:4.5 砂浆 第 4、5 条灰缝	26.7	16.76
	26.9	16.76		23.7	16.76		28.3	16.76
	26.1	16.76		26.2	16.76		28.7	16.76
	24.1	16.76		26.9	16.76		28.9	16.76
	25.0	16.76		26.4	16.76		29.0	16.76
1:4.5 砂浆 第 6、7 条灰缝	26.8	16.76	1:4.5 砂浆 第 8、9 条灰缝	24.6	16.76	1:4.5 砂浆 第 10、11 条灰缝	25.8	16.76
	26.9	16.76		27.3	16.76		25.3	16.76
	28.4	16.76		25.2	16.76		26.2	16.76
	25.3	16.76		26.2	16.76		26.5	16.76
	26.3	16.76		27.1	16.76		26.5	16.76