

CCCW 改善混凝土高温灼烧后强度的试验研究

尚晓华¹, 敬登虎², 邵凯华¹

(1. 山东鲁能亘富开发有限公司, 山东 济南 250000;

2. 东南大学 土木工程学院, 江苏 南京 210096)

摘 要: 为了探讨水泥基渗透结晶型防水材料(CCCW)改善混凝土性能的适用性,通过微观结构性能试验以及力学性能试验来分析 CCCW 对高温灼烧后混凝土的修复效果。研究表明:对于不同工况下的混凝土,高温灼烧混凝土表面涂刷 CCCW 后,其强度均有不同程度的提高,且提高程度与灼烧温度以及冷却方式有关;CCCW 密实混凝土机理:通过渗透结晶作用生成不溶性晶体填充在混凝土内部微裂缝中;CCCW 的渗透结晶深度在 20 mm 左右;CCCW 能够降低高温灼烧混凝土的中性层深度,提高混凝土抵抗外界有害物质侵蚀的能力。

关键词: 水泥基渗透结晶型防水材料;高温;混凝土强度;扫描电子显微镜;渗透结晶深度

中图分类号: TU528

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2019)01—0061—06

Experimental Investigation on Strength Improvements After Burning at High Temperature of CCCW Modified Concrete

SHANG Xiaohua¹, JING Denghu², SHAO Kaihua¹

(1. Shandong Luneng Genfu Development Co., Ltd., Jinan, Shandong 250000, China;

2. School of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210096, China)

Abstract: In order to investigate the applicability of cementitious capillary crystalline waterproofing materials (CCCW) applied to improve concrete properties. The repairing effect of CCCW on concrete after high temperature burning is analyzed by means of micro-structure performance test and mechanical property test. The research results show that under different conditions, the strength of CCCW modified concrete after high temperature burning, is improved in different degree, the increase is related with the high temperature and cooling mode; the mechanism behind this phenomenon is that insoluble crystals formed by infiltration crystallization are filled in microcracks in concrete, and the osmotic crystallization depth is about 20mm, therefore CCCW can reduce the neutral layer depth of concrete after high temperature and improve the ability of concrete to resist the erosion of harmful substances.

Keywords: cementitious capillary crystalline waterproofing materials; high temperature; concrete strength; scanning electron microscope; osmotic crystallization depth

2015 年—2017 年我国商品混凝土总用量(据中国混凝土网粗略统计)依次为:22.23 亿 m³、22.29 亿 m³、22.98 亿 m³, 呈现逐年递增的趋势,并且随着“十三五”规划的开展,对混凝土的需求将呈现快速增长趋势。然而实际结构工程中混凝土问题也是经常出现的。据调查资料显示:混凝土问题(如房屋建筑及

地下工程渗漏现象、混凝土老化等问题)已然成为困扰混凝土结构发展的难题^[1-4]。在此情况下,混凝土结构鉴定与加固技术兴然而起,如外粘碳纤维布加固技术、植筋加固技术等。经过大量实际工程证实,此类加固技术虽然能够在一定程度上起到加固修复效果,但均有一定的限制条件及优劣性。然而

在混凝土工程加固实践中,诸如外界环境限制、业主诉求以及耐久性等性能方面的需求将会变得更加苛刻,因此有必要寻求更快捷高效的加固方式。

水泥基渗透结晶型防水材料(CCCW)原主要用途是防水,但依靠其独特的作用机理(渗透结晶作用^[5-7]),其在建筑地下外墙等混凝土工程中逐步得到社会的青睐^[8-9]。本文主要通过试验研究水泥基渗透结晶型防水材料改善高温灼烧混凝土性能的适用性。

1 试验概况

1.1 试件设计

本试验共设计 34 个 $\phi = 150\text{ mm}$ 、 $h = 300\text{ mm}$ 的混凝土圆柱体试件,主要用于力学性能试验(30 个)与微观结构性能试验(4 个),分组情况详见表 1、表 2,其中测试日期计算始点为涂刷 XYPEX 浓缩剂当日,而涂刷日期为冷却至室温后静置 7 d(延迟稳定强度^[10]的影响);Z 表示自然冷却,P 表示喷水冷却。其中试验变量包括:

- (1) 灼烧温度:300℃与 600℃。
- (2) 灼烧方式:本试验采用模拟高温的仪器为节能箱式电阻炉,采用线性升温方式,升温速率 5℃/min,考虑到构件尺寸对耐火极限的影响,因此当达到设定温度(300℃或 600℃)后恒温 1.4 h。
- (3) 冷却方式:④ 自然冷却即在自然环境中静置冷却至室温;⑤ 喷水冷却即喷壶洒水降温至室温。
- (4) 水泥基渗透结晶型防水材料选用 XYPEX 浓缩剂(涂刷与否)。

表 1 力学性能试验编号						
试验 分组	试件 编号	混凝土 等级	灼烧 温度/℃	冷却 方式	是否涂刷 XYPEX	测试 日期/d
第 1 组	C3-0	C35	常温	—	—	30
	C3-1	C35	300	Z	Y	30
	C3-2	C35	300	Z	N	30
	C3-3	C35	300	P	Y	30
	C3-4	C35	300	P	N	30
第 2 组	C6-0	C35	常温	—	—	30
	C6-1	C35	600	Z	Y	30
	C6-2	C35	600	Z	N	30
	C6-3	C35	600	P	Y	30
	C6-4	C35	600	P	N	30

表 2 微观结构性能试验编号					
试件 编号	强度 等级	灼烧温度 /℃	是否涂刷 XYPEX	冷却 方式	测试日期 /d
CC3-0	C35	300	Y	P	60
CC6-0	C35	600	Y	P	60
CC3-1	C35	300	Y	Z	60
CC6-1	C35	600	Y	Z	60

1.2 试验方案

参考《普通混凝土力学性能试验方法标准》^[11]设计力学性能试验。试验仪器选用 200 T 全能试验机。

微观结构性能试验仪器选用的是“XL-30 环境扫描电子显微镜”。

2 试验结果及分析

2.1 力学性能试验

2.1.1 试验结果

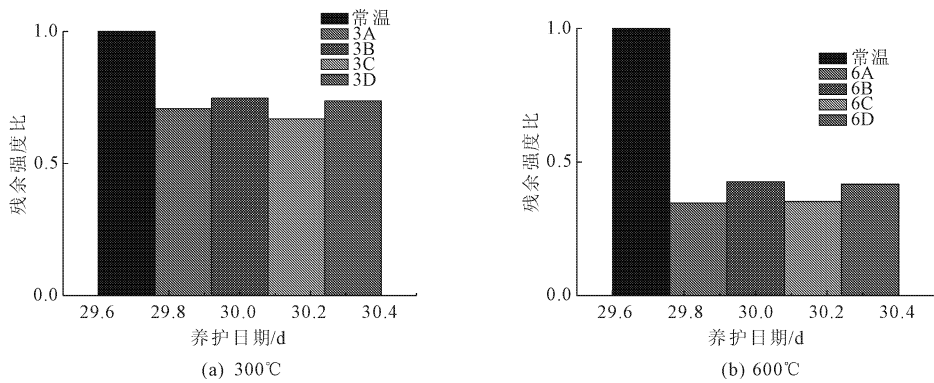
力学性能试验测试结果见表 3。

表 3 力学性能试验测试结果						
灼烧 温度/℃	冷却 方式	试件 编号	涂刷 与否	残余抗 压强度 /MPa	平均残余 抗压强度 /MPa	残余抗压 强度比
常温	—	C3-0	—	31.71	31.89	1.000
				30.57		
				33.40		
		C3-1	Y	23.50	23.84	0.748
				23.78		
				24.23		
		C3-2	N	22.65	22.55	0.707
				23.21		
				21.80		
		C3-3	Y	23.78	23.50	0.737
				21.80		
				24.91		
300	Z	C3-4	N	20.10	21.33	0.669
				22.93		
				20.95		
		C6-1	Y	13.59	13.59	0.426
				12.91		
				14.27		
		C6-2	N	11.04	11.08	0.347
				11.32		
				10.87		
		C6-3	Y	13.87	13.29	0.417
				12.74		
				13.25		
600	P	C6-4	N	11.89	11.21	0.352
				11.04		
				10.70		

注:残余抗压强度比=残余抗压强度/常温下试件强度

2.1.2 CCCW 对高温灼烧混凝土抗压性能的影响

由表 3 得出试件残余抗压强度比柱状图(见图 1)。



注:图中数字 3、6 分别标志为 300℃ 与 600℃,字母分别标志 A:自然冷却、不涂刷 XYPEX;B:自然冷却、涂 XYPEX;C:喷水冷却、不涂 XYPEX;D:喷水冷却、涂 XYPEX。如工况 6D 类试件表示灼烧温度 600℃、喷水冷却、涂刷 XYPEX 浓缩剂。

图 1 试件残余抗压强度比柱状图

表 4 XYPEX 浓缩剂的修复程度

灼烧温度/℃	冷却方式	改善程度/%
300	Z	5.72
	P	10.17
600	Z	22.65
	P	18.55

注:表中改善程度指的是高温灼烧后涂刷 XYPEX 浓缩剂试件强度比未涂刷试件强度的提高程度。

由图 1、表 4 可以发现以下几个规律:(1) 无论何种工况下,涂刷 XYPEX 浓缩剂的试件强度均高于相应工况下未涂刷的。原因:一是混凝土试件随温度的升高而出现的裂缝,为 XYPEX 浓缩剂的渗透结晶作用提供通道;二是混凝土表层处由于涂层微膨胀性而相对密实。其中 6B 试件强度提高程度达到 22.65%。

(2) 300℃ 高温下,无论何种工况下,自然冷却条件下的试件强度均高于相应条件下喷水冷却下的,但涂刷 XYPEX 浓缩剂后,喷水冷却条件下试件强度提高程度(10.17%)要高于自然冷却条件下的(5.72%)。由此可见:不同的冷却方式对混凝土损伤影响程度不同,由于喷水冷却相较于自然冷却方式加剧了裂缝的发展,因此喷水冷却方式下强度要更低;而 XYPEX 浓缩剂的渗透结晶作用要依靠高温造成的裂缝作为通道,因此喷水冷却条件下试件的强度提高幅度要高于自然冷却条件下的。但由于养护龄期短、喷水冷却试件损伤大的缘故,XYPEX 浓缩剂在短时间内不足以修复所有损伤,由此造成 3B 类试件强度要高于 3D 类的。

由表 3 得出 XYPEX 浓缩剂对高温灼烧后各工况下混凝土的改善程度(见表 4)。

(3) 600℃ 高温下,出现反常情况:喷水冷却方式下试件强度高于自然冷却下的。贾福萍等^[12]在试验过程中也发现在温度超过 650℃ 时出现此类情况,这是由于喷水冷却方式下造成的混凝土损伤加快了混凝土内外空气与水分的对流,从而在一定程度上起到自愈,对其原因还有待于试验证实。各工况下混凝土试件在涂刷 XYPEX 浓缩剂后均有一定程度的提高,且 6B 类试件提高程度高于 6D 类,由此得出:喷水冷却方式下,在涂刷 XYPEX 浓缩剂前已有一定程度自愈,从而在一定程度上阻碍了 XYPEX 浓缩剂的渗透结晶作用。

2.2 微观结构性能试验

SEM 扫描电镜取点:距离涂层表面 0 mm、5 mm、10 mm、15 mm、20 mm 处依次取点(综合考虑保护层厚度及电镜扫描范围)。同时不同矿物成分结合处是比较薄弱的位置^[13-15],因此对骨料与水泥浆交界面处进行扫描观察。

2.2.1 扫描结果

各工况下扫描结果见图 2—图 5。

2.2.2 扫描结果分析

通过对比分析各工况下微观结构形貌图,可推断如下几点规律:

(1) 各工况下不同深度处均有结晶物质,且结晶物质的量与距涂层的距离有关,距离越大,结晶物质的量越少。由此可见:XYPEX 浓缩剂能够通过渗透结晶作用密实混凝土,且离混凝土表层越远渗透结晶作用越弱。

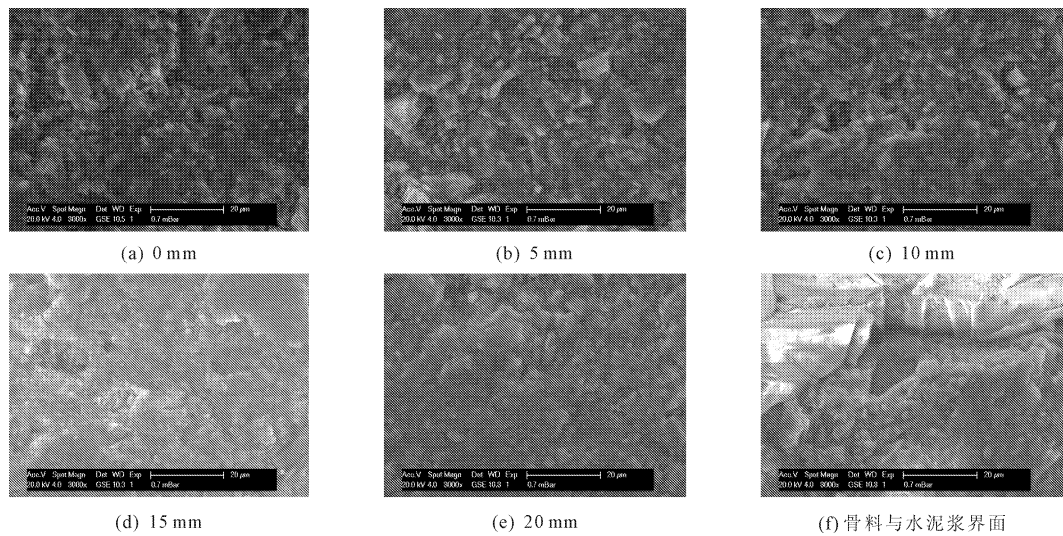


图 2 微观结构形貌图(300℃喷水冷却)

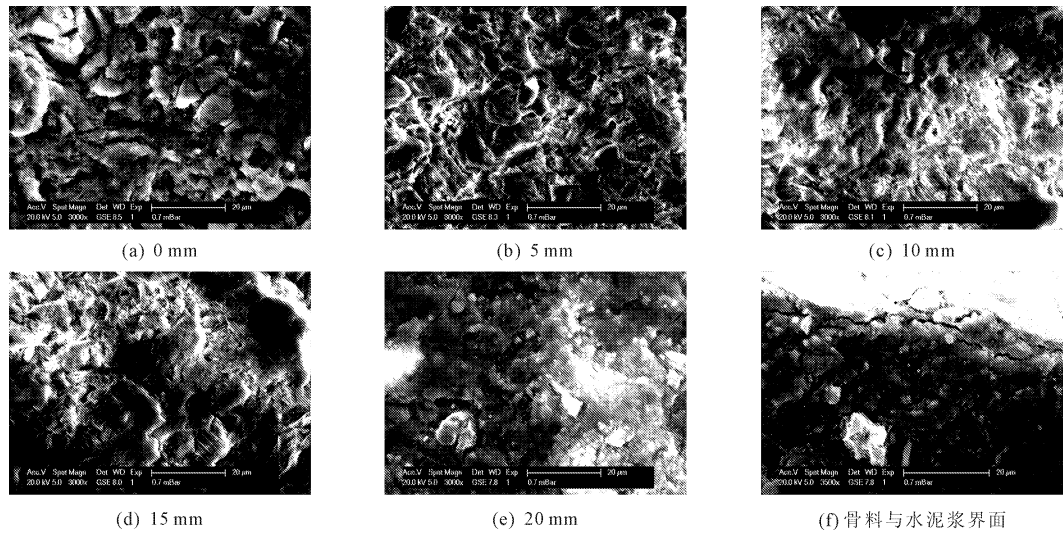


图 3 微观结构形貌图(600℃喷水冷却)

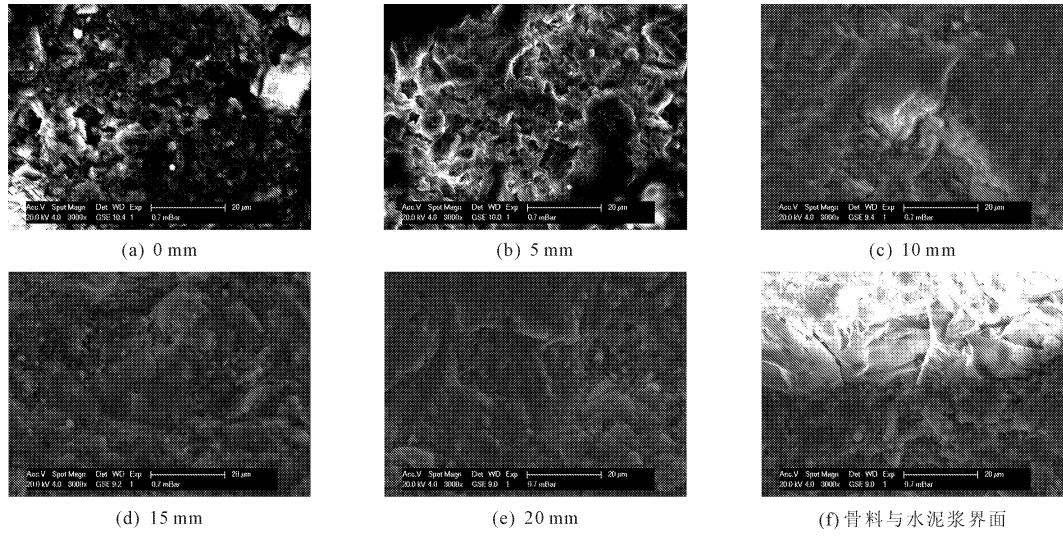


图 4 微观结构形貌图(300℃自然冷却)

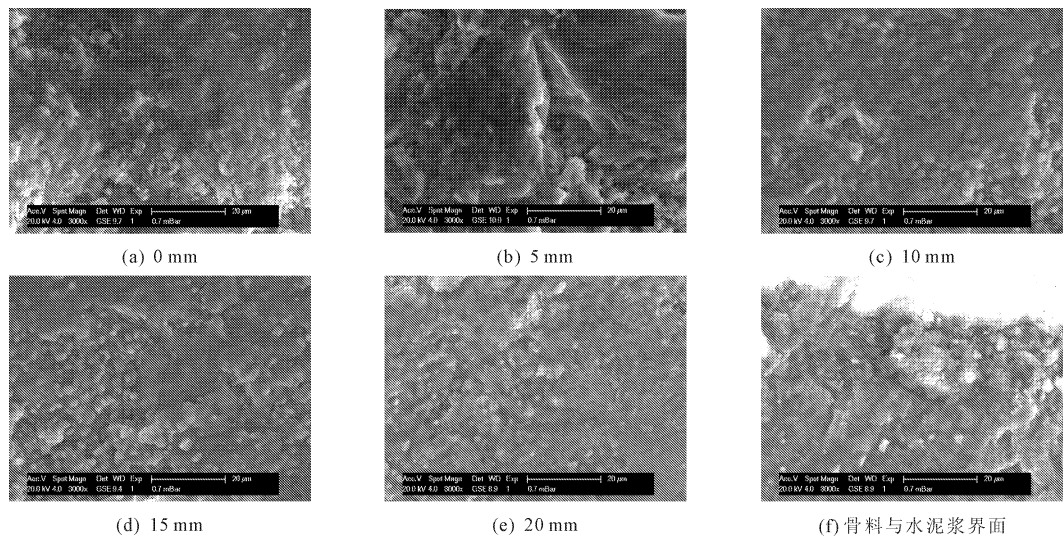


图 5 微观结构形貌图(600℃自然冷却)

(2) 各工况下均呈现表层混凝土结晶物质的量多但密实性相对较差。这主要是因为高温下,表层混凝土损伤大,密实性较差,并且养护时间相对较短,导致 XYPEX 浓缩剂虽然能够产生的结晶物质密实混凝土,但在有限时间内难以弥补高温造成的损伤。

(3) 不同冷却机制对 XYPEX 浓缩剂修复效果的影响:其他条件相同的情况下,自然冷却却方式下的密实性要优于喷水冷却方式下的,但结晶物质的量要相反。这主要是因为冷却过程中,喷水冷却造成的混凝土损伤要更为严重,由此为 XYPEX 浓缩剂的渗透结晶作用提供了便利。

(4) 不同温度对 XYPEX 浓缩剂修复效果的影响:300℃试件孔隙率相对较低,且结晶物质的量要低于 600℃高温下的。这主要是由于混凝土的拮抗作用^[16-17]导致的:高温作用下,在混凝土内部形成

蒸压环境,有效促进未水化水泥反应弥补损伤。然而随着持续升温,拮抗作用随未水化水泥数量的减少而弱化以及损伤的加剧,从而导致高温 600℃密实性要差。而孔隙率的提高为 XYPEX 浓缩剂渗透结晶作用提供了便利,从而比 300℃高温下产生更多的结晶物质。

(5) 在升温与冷却过程中,骨料的热胀冷缩与水泥浆的脱水收缩导致两者变形不同步,从而降低了界面处的粘结密实性,进而影响混凝土的性能。而由扫描图可见,交界面处有较多结晶物质,密实性较高。由此推断 XYPEX 浓缩剂能够通过渗透结晶作用密实交界面区域。

2.2.3 能谱分析

能谱仪的测试取点:距离涂层 0 mm、5 mm、10 mm、15 mm、20 mm,特征元素取为 Na(测试结果见表 5)。

表 5 测试结果(Na 元素)

深度/mm	Na 元素原子百分比/%				Na 元素重量百分比%			
	3B	3D	6B	6D	3B	3D	6B	6D
0	1.950	2.110	2.550	1.670	2.060	1.840	2.350	1.650
5	1.620	1.940	1.750	1.140	1.820	1.650	1.700	1.240
10	1.410	1.860	1.620	1.070	1.620	1.560	1.640	1.020
15	1.410	1.440	1.590	0.980	1.530	1.450	1.380	0.850
20	1.140	0.870	1.460	0.850	1.300	0.760	1.220	0.750

由表 5 可见:

(1) 各工况下,Na 元素的含量与距涂层的距离呈负相关关系,其中涂层处含量最高。由此可见涂层处仍含有大量的 XYPEX 浓缩剂可参与后续反应。

(2) 各工况下,Na 元素含量在各深度处并未呈现稳定趋势。由此可推断 XYPEX 浓缩剂的渗透结晶作用影响深度要大于 20 mm,即混凝土保护层范围内密实性得到改善。

2.2.4 CCCW 对混凝土中性层深度的影响

用酚酞试剂测试混凝土中性层深度(见表 6)。

表 6 中性层深度

灼烧温度/℃	冷却方式	是否涂刷	中性层深度/mm
300	自然冷却	Y	1.49
		N	2.55
	喷水冷却	Y	1.61
		N	3.21
600	自然冷却	Y	2.78
		N	8.22
	喷水冷却	Y	2.97
		N	8.94

在高温环境下,混凝土整体性将遭到严重破坏^[18]。但据表 6 可见:涂刷 XYPEX 浓缩剂后,高温灼烧混凝土试件中性层深度得到明显改善。各工况下,未涂刷 XYPEX 浓缩剂的中性层深度是涂刷 XYPEX 浓缩剂中性层深度的 2 倍~3 倍。由此推断,XYPEX 浓缩剂能够改善混凝土抵抗外界有害物质侵蚀的能力,进而改善混凝土的整体性。

3 结论与展望

3.1 结论

通过设计力学性能试验以及微观结构性能试验来研究水泥基渗透结晶型防水材料改善高温灼烧混凝土性能的程度,据此来探讨其应用于实际结构加固工程的可行性。主要结论有:

(1) 力学性能试验:灼烧温度与冷却方式对 XYPEX 浓缩剂的修复效果有重要影响。各工况下,温度越高,修复效果越显著;冷却方式对修复效果的影响:300℃高温时,喷水冷却方式优于自然冷却方式;600℃高温时,自然冷却方式优于喷水冷却方式。

(2) 微观结构性能试验:XYPEX 浓缩剂能够通过渗透结晶作用改善各工况下混凝土性能。

(3) 能谱测试试验:通过分析不同深度处 Na 元素含量,据此推断 XYPEX 浓缩剂的渗透结晶深度(均超过 20 mm),得出混凝土保护层深度范围内的密实性得到改善。

(4) XYPEX 浓缩剂能够降低高温灼烧混凝土的中性层深度,改善混凝土的整体性。

3.2 展望

目前对于水泥基渗透结晶型防水材料应用于混凝土加固修复方面的研究还未形成系统,本文通过试验研究该材料对高温灼烧混凝土的力学性能以及微观结构性能方面的影响,虽然在一定程度上取得

一些研究成果,但也存在如下几个缺陷:

(1) 本试验未设置养护龄期的试验变量(此试验养护龄期为 30 d),时间因素的影响有待研究。

(2) 本试验仅对混凝土材料进行研究,未对实际工程构件及整体建筑进行研究,存在尺寸效应方面的影响,实际应用方面有待深入研究,同时也应尽快建立能够反映实际工程的理论模型及数据关系,为实际工程应用做指导。

参考文献:

[1] 费广清,梁文泉.混凝土结构耐久性检测技术[J].工程与建设,2015,29(5):657-659.

[2] 杜 婷,郭太平.混凝土材料的研究现状和发展应用[J].混凝土,2006(5):7-9.

[3] 李红英,俞 新.从材料微观结构探究混凝土结构耐久性_李红英[J].建筑技术开发,2013,40(6):29-32.

[4] 尚晓华.CCCW 应用于混凝土加固修复效果的试验探讨[D].江苏:东南大学,2016.

[5] 曾昌洪,张玉奇.水泥基渗透结晶型防水材料涂层基体的微观分析[J].中国建筑防水,2006(11):15-18.

[6] 游有鲲,缪昌文.水泥基渗透结晶型防水材料的性能研究[J].化学建材,2005(6):28-32.

[7] 王 丹,张玉奇.水泥基渗透结晶型防水剂的性能研究及微观分析[J].新型建筑材料,2008(2):77-80.

[8] 徐明根.水泥基渗透结晶型防水材料渗透深度扫描电镜和能谱分析[J].铁道科学与工程学报,2005,2(3):67-70.

[9] 崔 巩,刘建忠.水泥基渗透结晶型防水材料渗透结晶性能评测方法研究现状[J].中国建筑防水,2010(16):35-38.

[10] 敬登虎,曹双寅.工程结构鉴定与加固改造技术一方法·实践[M].南京:东南大学出版社,2014.

[11] 戎君明,陆建雯.普通混凝土力学性能试验方法标准[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.

[12] 贾福萍,吕恒林.不同冷却方式对高温后混凝土性能退化研究[J].中国矿业大学学报,2009,38(1):25-29.

[13] 钱在兹,吴 慧.混凝土高温后的扫描电镜实验研究[J].福州大学学报(自然科学版),1996,24(S1):36-38.

[14] 尚晓华,敬登虎.水泥基渗透结晶材料的研究与应用现状[J].水利与建筑工程学报,2015,13(2):131-135.

[15] 尚晓华,敬登虎.CCCW 改善低强度混凝土性能的试验研究[J].水利与建筑工程学报,2015,13(2):131-135.

[16] 王孔藩,许清风.高温下及高温冷却后混凝土力学性能的试验研究[J].施工技术,2005,34(8):1-3.

[17] 赵现省,陈雄飞.火灾对钢筋混凝土结构力学性能的影响分析[J].特种结构,2014,31(3):7-10.

[18] 张 奕.火灾后混凝土结构耐久性研究[D].杭州:浙江大学,2005.