

水性环氧防水涂层材料对混凝土吸水性能的影响

阮峥, 刘朝辉, 成声月, 叶圣天

(后勤工程学院 化学与材料工程系, 重庆 401311)

摘要:目的 研究 E16 和 E44 两种水性环氧防水涂层材料对混凝土试块吸水性能的影响,以比较两种防水材料的性能。方法 分别对两种防水涂层材料设计不同的涂层配合比和涂层厚度,进行混凝土毛细吸水实验,对比混凝土试块在喷涂防水涂层材料前后的毛细吸水系数变化,以此评价防水涂层材料对混凝土试块吸水性能的影响。结果 涂层混凝土试块的吸水系数随涂层厚度的增加而减小。在一定范围内,涂层混凝土试块的吸水系数随 $n(\text{胺氢})/n(\text{环氧基})$ 的增大而先减小,后增大。兼顾性能与成本,确定 E16 和 E44 两种防水涂层材料的配合比分别为 $n(\text{E16}):n(\text{Anquamine721})=1:1$, $n(\text{E44}):n(\text{Anquamine721})=1:0.9$,涂层喷涂厚度皆为 $(300\pm20)\mu\text{m}$ 。此时, E16 和 E44 两种涂层混凝土试块的吸水系数分别为各自对应空白混凝土试块的 3.5% 和 3.4%。结论 相比之下, E44 防水涂层材料对混凝土试块吸水性能的影响较大。

关键词: 水性环氧树脂; 防水涂层; 混凝土; 吸水性能

中图分类号: TQ633 文献标识码: A 文章编号: 1001-3660(2015)04-0097-07

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2015.04.017

Research on the Effect of Waterborne Epoxy Resin Coating on Water-absorption Properties of Concrete

RUAN Zheng, LIU Zhao-hui, CHENG Sheng-yue, YE Sheng-tian

(Department of Chemistry and Material Engineering, Logistic Engineering University of PLA, Chongqing 401311, China)

ABSTRACT: Objective To study the effect on water absorption performance of concrete based on two water-based epoxy waterproofing coating materials E16 and E44 so as to compare the performance of the two kinds of waterproof materials. **Methods** Different mixture proportion and thickness were designed respectively for the two kinds of waterproofing coatings. The effect on water absorption performance of concrete was evaluated through the concrete capillary water absorption test, by which the absorption coefficient was compared before and after spraying the coatings on the concrete. **Results** The absorption coefficient of coated concrete block decreased with the increase of coating thickness. Within a certain range, the absorption coefficient of the coated concrete block first decreased and then increased with the increase of $n(\text{amine hydrogen equivalent})/n(\text{epoxy groups})$. With regard to both performance and cost, the proportion of E16 and E44 waterproof coating materials were determined as $n(\text{E16}):n(\text{Anquamine721})=1:1$, $n(\text{E44}):n(\text{Anquamine721})=1:0.9$, coating thickness were all $(300\pm20)\mu\text{m}$. At this time, the water absorption coefficient of E16 and E44 coated concrete blocks were 3.5% and 3.4% of the blank concrete blocks respectively. **Conclusion** Compared with each other, the influence of E44 waterproof coating material on the water absorption performance of concrete blocks was larger.

收稿日期: 2014-12-04; 修订日期: 2015-01-03

Received: 2014-12-04; Revised: 2015-01-03

基金项目: 全军后勤科研计划项目(CY112C014)

Fund: Supported by Logistical Scientific Research Projects of Army(CY112C014)

作者简介: 阮峥(1987—),男,湖北人,硕士,主要研究防水材料。

Biography: RUAN Zheng(1987—), Male, from Hubei, Master, Research focus: waterproofing materials.

通讯作者: 刘朝辉(1965—),男,重庆人,博士,教授,主要从事防水技术研究。

Corresponding author: LIU Zhao-hui(1965—), Male, from Chongqing, Doctor, Professor, Research focus: waterproofing materials.

721) = 1 : 1, $n(\text{E44}) : n(\text{Anquamine 721}) = 1 : 0.9$, the coating thickness was $(300 \pm 20) \mu\text{m}$, where, the water absorption coefficients of two kinds of coatings were 3.5% and 3.4% corresponding to the concrete block. **Conclusion** By contrast, E44 waterproof coating has more influence on the water absorption coefficient of the coated concrete block.

KEY WORDS: waterborne epoxy resin; waterproof coating material; concrete; water absorption performance

环氧树脂是含有两个或两个以上环氧基团,主链上含有脂肪族链段、脂环族链段或芳香族链段的高分子预聚物^[1],因具有良好的附着力、耐磨性能、机械性能、成膜性能、耐酸碱性能、耐油性能、介电绝缘性能以及对填料良好的分散性能等优点,而被广泛应用于各行各业^[2-6]。环氧树脂涂层材料作为环氧树脂的重要用途而得到广泛研究应用,按照溶剂的类型可分为水性和溶剂型两类。溶剂型环氧树脂含有挥发性有机溶剂,既污染环境,又危害健康,难以满足防水涂层要求。水性环氧树脂是以水为分散介质,安全环保^[7],并且韧性优良,具有更加广阔的发展前景,在防腐、绝缘、核设施等方面有着广泛的用途^[8],但其作为建筑用防水涂层材料未见文献报道。文中以水性环氧涂层材料作为防水涂层材料,研究其对混凝土吸水性能的影响,为水性环氧防水涂层材料的研究提供参考。

1 水性环氧涂料成膜机理

水性环氧树脂涂料的成膜机理有别于溶剂型环氧树脂涂料以及一般的聚合物乳液涂料,成膜过程如图 1 所示^[9-10]。

水性环氧树脂中的乳胶微粒为分散相,水为分散

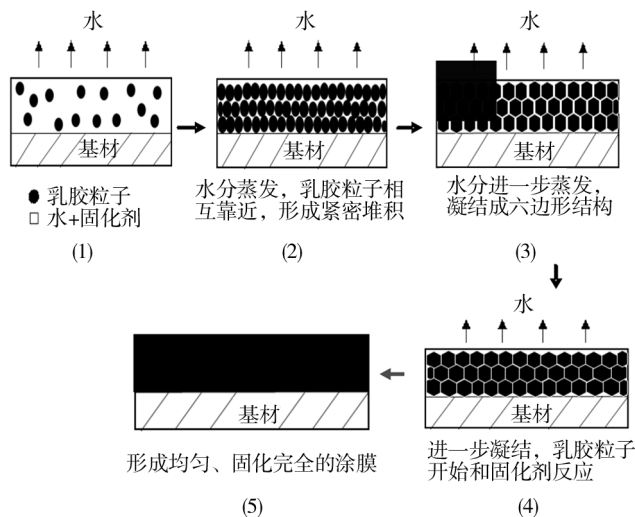


图 1 水性环氧树脂涂料成膜过程

Fig.1 The film formation process of waterborne epoxy resin coatings

介质,共同形成多相分散体系;水性固化剂则分散在水相中(如图 1(1)所示)。水性环氧树脂和水性固化剂共混并涂刷在基材上后,在适宜的环境条件下,水分快速挥发。当体系中大部分的水分挥发完后,环氧树脂的乳胶微粒相互靠近,形成紧密堆积(如图 1(2)所示),残存的水分则填充在堆积结构的空隙之间。水分进一步挥发后,紧密堆积的环氧树脂乳胶微粒开始凝结,形成六边形结构(如图 1(3)所示)。在水分挥发,乳胶微粒凝结的过程中,固化剂分子扩散到乳胶微粒表面或内部,与其发生固化反应(如图 1(4)所示)。最终,形成均匀、连续的涂膜(如图 1(5)所示)^[9,11]。

2 实验

2.1 原材料配合比

根据文献[12]设计本实验混凝土试块配合比: PO42.5 水泥 400 kg/m^3 , 水(实验用水均为自制超纯水) 200 kg/m^3 , 砂(中国 ISO 标准砂) 751 kg/m^3 , 碎石(最大粒径 25 mm) 1127 kg/m^3 , 水灰比 0.5。

实验中采用 E16 和 E44 两种市售环氧乳液,固化剂为环氧改性固化剂 Anquamine721。两种环氧乳液和固化剂的摩尔比均分别为 1 : 0.8, 1 : 0.9, 1 : 1.0, 1 : 1.1, 消泡剂适量。

2.2 吸水实验

朱桂红^[13]和战洪艳^[14]分别利用混凝土毛细吸水实验方法研究有机硅防水剂对混凝土吸水系数的影响。文中通过对比混凝土试块在喷涂防水涂层材料前后吸水系数的变化,来判断两种环氧乳液和 Anquamine 721 的最佳配合比。

混凝土试块(尺寸 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$) 在 $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$, $\text{RH} \geq 95\%$ 的环境中养护至 28 天后进行制样。用自动岩石切割机将混凝土试块切割成两个 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 的试样,其中一个在 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 的成型面上用涂料喷涂装置喷涂水性环氧防水涂层材料,并于 $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$, $\text{RH} = 50\%$ 的环境中养护 7 天。将无涂层混凝土试样和涂层混凝土试样一

同置于 50 ℃ 的电热恒温鼓风干燥箱内干燥 5 天,以保证二者初始含水率相同。用电子万用炉将石蜡加热熔融后侧封干燥的混凝土试样,仅留下两个 100 mm×100 mm 的相对面进行吸水实验。

吸水实验时,将两种样品置于直径 10 mm 的两根钢筋上,样品底面浸入水中深度为 (5 ± 1) mm^[15-16],如图 2 所示,利用增重法测试样品在 0.5,1,2,4,8,12,24 h 时的吸水增量。实验中以三个混凝土试样吸水增量的平均值作为吸水量数据。

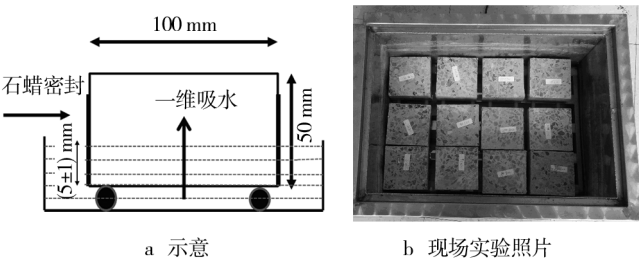


图 2 混凝土试块毛细吸水实验

Fig. 2 The experimental schematic diagram of concrete block capillary suction

Kelham 指出^[17],混凝土在初始吸水时间段内,其单位面积的吸水量 i (kg/m^2) 与时间 t (h) 的关系为:

$$i=A\sqrt{t} \tag{1}$$

式中: A 为毛细吸水系数,单位 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{1/2})$ 。在假定混凝土各向同性以及忽略混凝土基体内部成分与水发生化学反应的理想条件下,认为 A 是常数。从不同时间段内两种试块的吸水量变化趋势来看,利用公式(2)表述 i 与 t 的关系更符合本实验的实际情况。

$$i=A\sqrt{t}+b \tag{2}$$

式中:毛细吸水系数 A 为 i 对 \sqrt{t} 作图所得直线的斜率, b 为直线在纵轴上的截距。

3 结果及讨论

3.1 吸水量

3.1.1 空白对照混凝土试块的吸水量

未喷涂防水涂层材料的空白对照混凝土试块在 0,0.5,1,2,4,8,12,24 h 时的吸水量依次为 0,434.2,593.1,718.7,895.6,1122.9,1303.5,1630.8 g/m^2 ,作 $i-\sqrt{t}$ 图,如图 3 所示。

在 0~1 h 时间段内,由于混凝土内部气压较小,

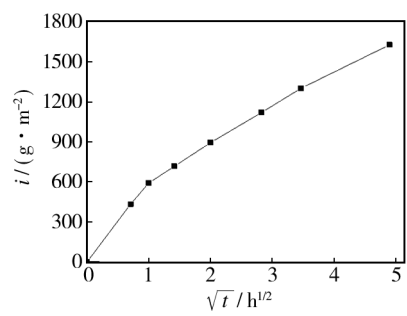


图 3 无涂层试块毛细吸水量随时间的变化

Fig. 3 Changes in the capillary water absorption quantity of uncoated test block over time

在外界大气压的作用下,水在短时间内被大量吸入混凝土内部,表现出较大的吸收速率。之后,随着混凝土内部水分增大,水的重力也增加,在外界大气压恒定的条件下,相对于 0~1 h 时间段,水的吸收速率减缓。对 0~24 h 整个时间段内每个时间点的吸水量进行拟合,算得拟合的斜率为 $314.1 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{1/2})$,此为空白混凝土试块的吸水系数。

3.1.2 E16 防水涂层材料对混凝土吸水性能的影响

E16 和环氧改性固化剂 Anquamine 721 按照四种配合比制备防水涂层,并进行涂层混凝土毛细吸水实验,每种配合比涂层喷涂四种厚度—— (100 ± 20) , (200 ± 20) , (300 ± 20) , $(400\pm20) \mu\text{m}$ 。记录各厚度涂层混凝土试块在 0~24 h 的吸水量,作 $i-\sqrt{t}$ 图,如图 4 所示。

从拟合的线性图上可以看出,喷涂水性环氧防水涂层的混凝土试块 i 与 \sqrt{t} 之间具有较好的线性关系,防水涂层的厚度从 $(100\pm20) \mu\text{m}$ 增大到 $(400\pm20) \mu\text{m}$,直线的斜率逐渐减小,对混凝土试块吸水性能的影响越来越明显。计算图 4 中每条拟合直线的斜率,结果见表 1。

为了更加直观地看出涂层混凝土吸水系数随涂层配合比和涂层厚度的变化,以及相对于空白对照混凝土试块吸水系数的变化,将涂层混凝土试块占空白混凝土试块的吸水系数百分比作为纵坐标,对涂层配合比及涂层厚度作图,如图 5 所示。

从图 5 可以看出两点:其一,相同配合比的防水涂层,其涂层混凝土试块的吸水系数随着涂层厚度增加而减小,但减小并未呈现出线性趋势。这可能是因为涂层的厚度存在 $20 \mu\text{m}$ 左右误差,并且同一批混凝土试块中也不能保证每一个混凝土试块的孔隙完全相同,这两方面的原因导致涂层厚度增加时,混凝土的吸水系数呈现出非线性减小。其二,涂层混凝土的

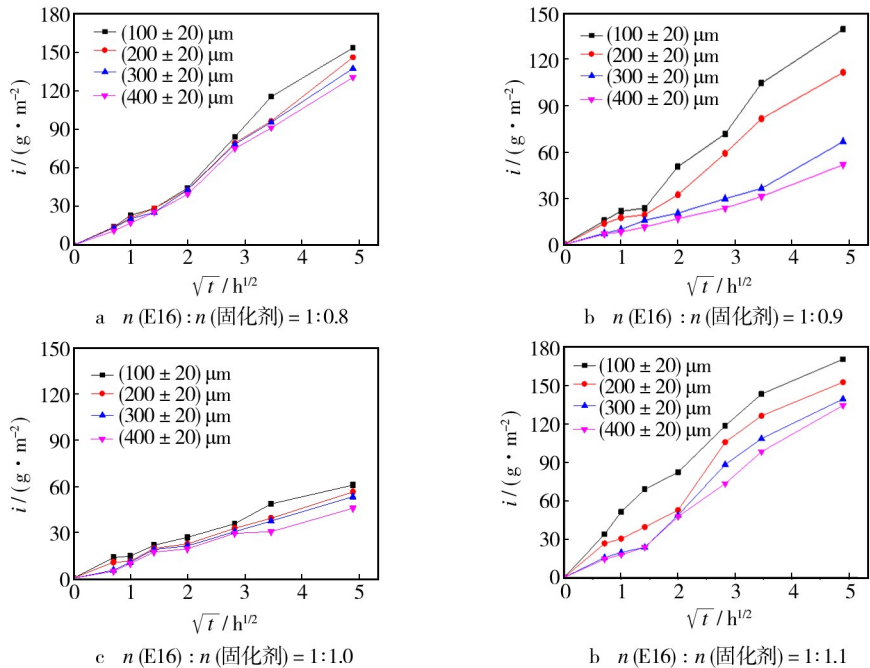


图 4 E16 防水涂层试块毛细吸水量随时间的变化

Fig. 4 Changes in the capillary water absorption quantity of E16 waterproof coating block over time

吸水系数随固化剂用量的增大而先减小,后增大,当涂层配合比为 1 : 1 时,吸水系数达到最小值,此时涂层厚度为 (100 ± 20) , (200 ± 20) , (300 ± 20) , $(400 \pm 20) \mu m$ 的试块吸水系数百分比分别为 3. 9%, 3. 6%, 3. 5% 和 3%。考虑到应节约成本,涂层的喷涂厚度为 $(300 \pm 20) \mu m$ 较好。

综合分析,E16 涂层配合比为 1 : 1、喷涂厚度为 $(300 \pm 20) \mu m$ 时,综合性能最佳。

表 1 图 4 直线斜率
Tab. 1 Straight slope in Figure 4

$n(E16) :$ $n(\text{Anquamine721})$	$g/(m^2 \cdot h^{1/2})$			
	(100 ± 20) μm	(200 ± 20) μm	(300 ± 20) μm	(400 ± 20) μm
1:0.8	33.3	30.6	29.3	28.1
1:0.9	29.9	23.7	12.9	10.2
1:1.0	12.2	11.2	10.9	9.3
1:1.1	35.1	33.2	31.0	28.9

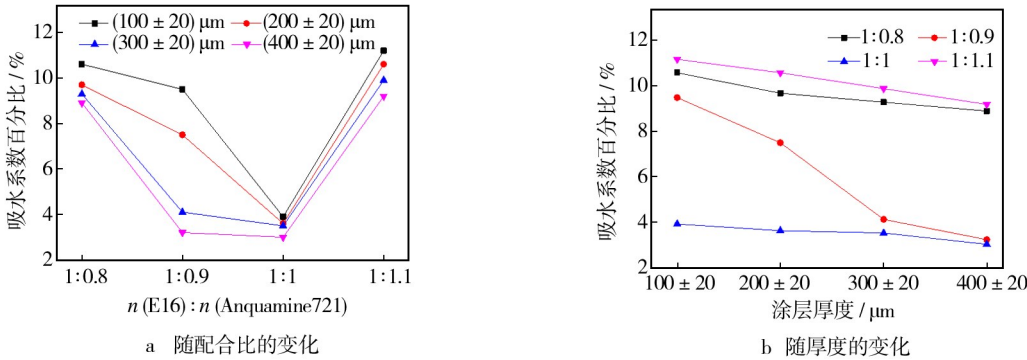


图 5 E16 涂层混凝土吸水系数随配合比及厚度的变化趋势

Fig. 5 Changes in the water absorption coefficient of E16 coated concrete with mixture ratio and thickness

3. 1. 3 E44 防水涂层体系对混凝土吸水性能的影响

E44 和环氧改性固化剂 Anquamine721 同样按照四种配合比制备防水涂层,实验方法同 3. 1. 2 节, $i-\sqrt{t}$ 图如图 6 所示。

分析图 6 可知,涂层混凝土试块的 i 与 \sqrt{t} 之间具有较好的线性关系。随着涂层厚度的增加,涂层混凝土试块的吸水系数减小。分别计算出每条直线的斜率,见表 2。同样将涂层混凝土试块占空白混凝土试

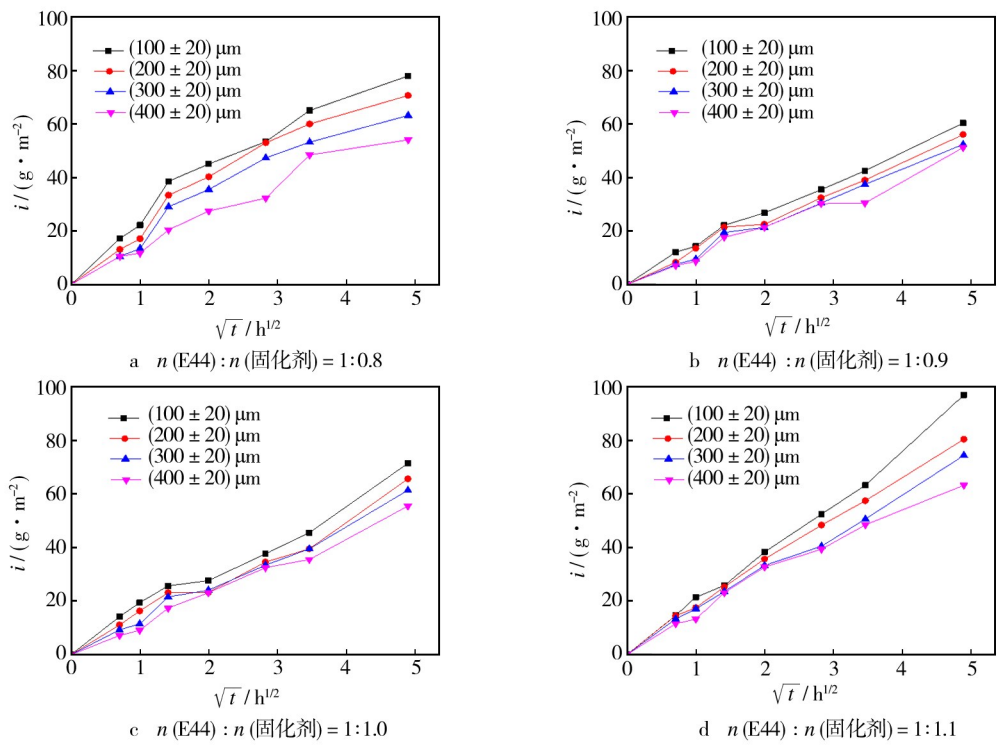


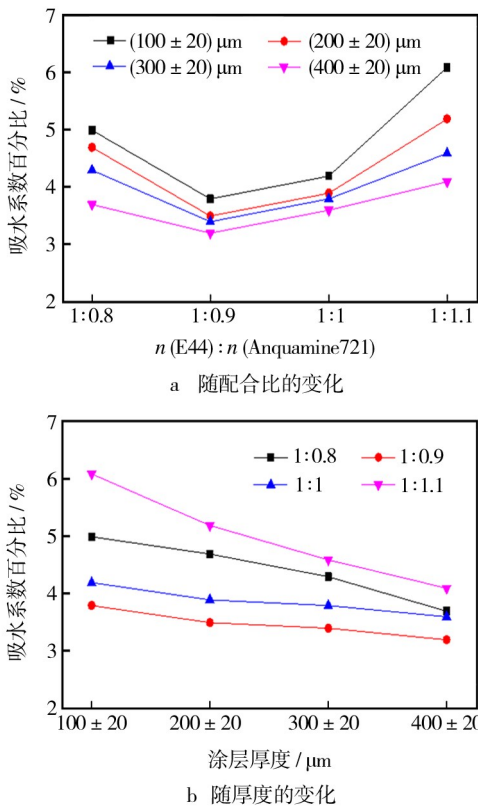
图 6 E44 防水涂层试块毛细吸水量随时间的变化曲线

Fig. 6 Changes in the capillary water absorption quantity of E44 waterproof coating block over time

表 2 图 6 直线斜率

Tab.2 Straight slope in Figure 6

$n(\text{E44}):$ $n(\text{Anquamine721})$	$g/(m^2 \cdot h^{1/2})$			
	$(100 \pm 20) \mu m$	$(200 \pm 20) \mu m$	$(300 \pm 20) \mu m$	$(400 \pm 20) \mu m$
1 : 0.8	15.7	14.9	13.5	11.5
1 : 0.9	11.8	11.1	10.7	10.1
1 : 1.0	13.3	12.3	12.0	11.2
1 : 1.1	19.2	16.2	14.6	13.0



块的吸水系数百分比作为纵坐标,对涂层配合比及涂层厚度作图,如图 7 所示。

分析图 7 中涂层混凝土试块吸水系数的变化趋势可知,吸水系数随涂层厚度的增加而减小;涂层配合比在 1 : 0.8 ~ 1 : 1.1 范围内时,吸水系数先减小,后增大,当配合比为 1 : 0.9 时,吸水系数达到最小值,此时涂层厚度为 (100 ± 20) , (200 ± 20) , (300 ± 20) , $(400 \pm 20) \mu m$ 的试块吸水系数百分比分别为 3.8% , 3.5% , 3.4% 和 3.2%。考虑成本,涂层喷涂厚度为 $(300 \pm 20) \mu m$ 。

综合分析,E44 涂层配合比为 1 : 0.9 ,喷涂厚度 $(300 \pm 20) \mu m$ 为宜。

图 7 E44 涂层混凝土吸水系数随配合比及厚度的变化趋势

Fig. 7 Changes in the water absorption coefficient of E44 coated concrete with mixture ratio and thickness

3.2 分析讨论

3.2.1 涂层配合比和厚度对混凝土吸水系数的影响

影响涂层混凝土试块吸水系数的主要是防水涂层本身的致密性。由图 5 可知,当 $n(\text{E16})/n(\text{Anquamine721}) > 1$ 时,环氧乳液过量,固化反应不够充分,形成的涂层不够致密,涂层混凝土的吸水系数较大; $n(\text{E16})/n(\text{Anquamine721}) < 1$ 时,固化剂过量,过量的固化剂分子因无法参与环氧树脂的固化反应而游离在水性环氧防水涂层中,导致涂层交联网络不严密,增大了水分的渗透性,从而使得涂层混凝土试块的吸水系数增大; $n(\text{E16})/n(\text{Anquamine721}) = 1$ 时,反应充分,涂层致密,涂层混凝土试块的吸水系数最小^[18-21]。同理, $n(\text{E44}) : n(\text{Anquamine721}) = 1 : 0.9$ 时的 E44 涂层混凝土试块吸水系数最小。

分析图 4 和图 6 可知,涂层混凝土的吸水系数随涂层厚度增加而减小。这可能是因为涂层厚度增加后,延长了水分进入涂层混凝土的路径,使得相同的时间段内,厚涂层混凝土的吸水量比薄涂层混凝土少,从而使得吸水系数小。

3.2.2 最佳配合比 E16 和 E44 涂层混凝土试块的吸水系数对比

$n(\text{E16}) : n(\text{Anquamine721}) = 1 : 1$ 与 $n(\text{E44}) : n(\text{Anquamine721}) = 1 : 0.9$ 的两种涂层混凝土的吸水系数随涂层厚度的变化对比如图 8 所示。可以看出,两种涂层混凝土试块的吸水系数均随涂层厚度的增加而减小。在 $(100 \pm 20) \sim (300 \pm 20) \mu\text{m}$ 的厚度范围内,E44 涂层混凝土的吸水系数均小于 E16 涂层混凝土;当涂层厚度为 $(400 \pm 20) \mu\text{m}$ 时,情况则相反。原因可能是,同一批混凝土试块中的个别试块成型时比其他混凝土试块密实,其本身的吸水系数比其他混凝土试块小,表面喷涂防水涂层后,吸水系数比其他涂层混凝土吸水系数小,即出现 $(400 \pm 20) \mu\text{m}$ 时吸

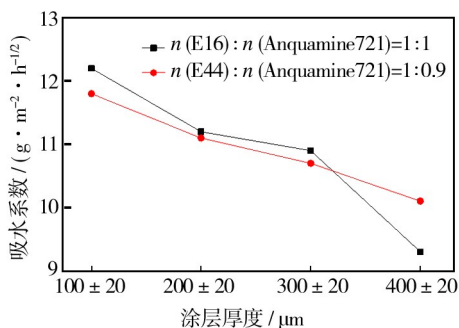


图 8 吸水系数对比

Fig. 8 Comparison of coefficient of water absorption

水系数突变的情况。总的看来,最佳配合比的 E44 涂层对混凝土试块吸水系数的影响比最佳配合比的 E16 涂层大。

4 结论

1) 环氧乳液 E16 与固化剂 Anquamine 721 的最佳配合比为 1 : 1,环氧乳液 E44 与固化剂 Anquamine721 的最佳配合比为 1 : 0.9。

2) 两种涂层混凝土吸水系数均随涂层厚度的增加而减小。在最佳配合比的基础上,喷涂厚度为 $(300 \pm 20) \mu\text{m}$ 的防水涂层较为经济。

3) 在最佳配合比的基础上,E44 涂层混凝土试块的吸水系数比 E16 涂层混凝土小。

参考文献

- [1] 王德中. 环氧树脂生产与应用[M]. 北京:化学工业出版社,2001.
WANG De-zhong. Production and Application of Epoxy Resin [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2001.
- [2] 郝少娜,甘孟瑜,冯利军,等. 反应温度及 pH 值对聚苯胺/环氧树脂涂料防腐性能的影响[J]. 表面技术,2011,40(2):76—78.
HAO Shao-na, GAN Meng-yu, FENG Li-jun, et al. Effect of Reaction Temperature and pH Value on Performances of Polyaniline/Epoxy Resin Composite Anti-corrosion Coatings [J]. Surface Technology, 2011, 40(2): 76—78.
- [3] 胡慧慧,李凡,李立群. 环氧树脂基导热绝缘复合材料的研究进展[J]. 绝缘材料,2011,44(5):27—30.
HU Hui-hui, LI Fan, LI Li-qun. Progress in Epoxy-based Thermal Conductive Insulating Composites [J]. Insulating Materials, 2011, 44(5): 27—30.
- [4] 于晓辉,朱晓云,郭忠诚,等. 鳞片状锌基环氧富锌重防腐涂料的研制[J]. 表面技术,2005,34(1):53—55.
YU Xiao-hui, ZHU Xiao-yun, GUO Zhong-cheng, et al. Development of Amicable Flake Zinc Based Heavy Duty Anticorrosive Epoxy Coating [J]. Surface Technology, 2005, 34(1): 53—55.
- [5] 李艳红,陈宏书,郑建龙,等. 环氧导静电涂料固化剂的研究[J]. 表面技术,2008,37(4):35—36.
LI Yan-hong, CHEN Hong-shu, ZHENG Jian-long, et al. Study on the Curing Agents for the Epoxy Static Electricity Conductive Coating [J]. Surface Technology, 2008, 37(4): 35—36.
- [6] 李玉峰,祝洪雷,高晓辉,等. 水分散性聚苯胺/环氧树脂

- 乳液防腐蚀涂层研究[J]. 热固性树脂, 2010, 25(3): 35—37.
- LI Yu-feng, ZHU Hong-lei, GAO Xiao-hui, et al. Study of Water-dispersed Composite Anticorrosion Coatings of Poly-aniline/Epoxy Emulsion [J]. Thermosetting Resin, 2010, 25(3): 35—37.
- [7] 张雪梅. 水性环氧树脂的制备及研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2012.
- ZHANG Xue-mei. Preparation and Investigation of Waterborne Epoxy Resin [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2012.
- [8] 狄宁宇, 曹万荣, 沈鉴峰, 等. 水性环氧树脂涂料的最新研究进展[J]. 绝缘材料, 2009, 42(4): 27—30.
- DI Ning-yu, CAO Wan-rong, SHEN Jian-feng, et al. Latest Progress in Research on Waterborne Epoxy Resin Coatings [J]. Insulating Materials, 2009, 42(4): 27—30.
- [9] 陈铤, 施雪珍, 顾国芳. 双组分水性环氧树脂涂料[J]. 高分子通报, 2002(6): 63—70.
- CHEN Ting, SHI Xue-zhen, GU Guo-fang. Two-component Waterborne Epoxy Resin Coating [J]. Polymer Bulletin, 2002(6): 63—70.
- [10] WEGMANN ALEX. Chemical Resistance of Waterborne Epoxy/Amine Coatings [J]. Progress in Organic Coatings, 1997, 32(1): 231—239.
- [11] 周立新, 杨卓如, 叶楚平, 等. 双组分水性环氧涂料固化成膜机理探讨[J]. 电镀与涂饰, 2009(2): 43—45.
- ZHOU Li-xin, YANG Zhuo-ru, YE Chu-ping, et al. Study on the Mechanism of Film Formation of Two-component Waterborne Epoxy Resin Coatings [J]. Electroplating & Finishing, 2009(2): 43—45.
- [12] 殷慧, 董必钦, 丁铸, 等. 混凝土的渗水、吸水特性研究[J]. 低温建筑技术, 2009(2): 4—6.
- YIN Hui, DONG Bi-qin, DING Zhu, et al. Study of the Water Absorbitivity and Permeability for Concrete [J]. Low Temperature Architecture, 2009(2): 4—6.
- [13] 朱桂红. 对氯离子侵蚀的混凝土进行表面防水处理的可行性研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2007.
- ZHU Gui-hong. Study on Feasibility of Surface Waterproof Processing for Concrete Eroded by Chloride Ion [D]. Qingdao: Qingdao Technological University, 2007.
- [14] 战洪艳. 有机硅防水处理技术及混凝土表面氯离子隔离层建立[D]. 青岛: 青岛建筑工程学院, 2004.
- ZHAN Hong-yan. Organic Silicon Waterproof Processing Technology and Establishment of Chloride Ion Isolation Layer on Concrete Surface [D]. Qingdao: Qingdao Institute of Architecture and Engineering, 2007.
- [15] 姜蓉, 张鹏, 赵铁军, 等. 内掺金属皂类防水剂对混凝土防水和抗氯离子效果研究[J]. 新型建筑材料, 2010(9): 61—64.
- JIANG Rong, ZHANG Peng, ZHAO Tie-jun, et al. Water Resistance and Anti-chloride Penetration of Integral Water Repellent Concrete with Addition of Metal Soaps [J]. New Building Materials, 2010(9): 61—64.
- [16] 马志鸣, 赵铁军, 朱方之, 等. 掺硅烷乳液制备整体防水混凝土的抗冻性试验研究[J]. 新型建筑材料, 2012(7): 53—55.
- MA Zhi-ming, ZHAO Tie-jun, ZHU Fang-zhi, et al. The Study of the Anti-freeze Performance of Integral Water Repellent Concrete with Addition of Silane Emulsion [J]. New Building Materials, 2012(7): 53—55.
- [17] KELHAM S A. A Water Absorption Test for Concrete [J]. Magazine of Concrete Research, 1988, 40(143): 106—110.
- [18] 史立平, 刘仲阳, 孔志元, 等. 水性环氧地坪涂料的研制[J]. 上海涂料, 2013, 51(11): 5—8.
- SHI Li-ping, LIU Zhong-yang, KONG Zhi-yuan. Development of Waterborne Epoxy Floor Coatings [J]. Shanghai Coatings, 2013, 51(11): 5—8.
- [19] 周玉生. 室温固化水性环氧混凝土封闭底涂的配方设计[J]. 涂料工业, 2009(3): 64—67.
- ZHOU Yu-sheng. Formulation Design of Room Temperature Curable Waterborne Epoxy Sealer Primer for Concrete [J]. Paint & Coatings Industry, 2009(3): 64—67.
- [20] 蒋志恒, 任天斌, 钱志国, 等. 一种水性环氧钢结构防腐涂料的制备及其性能研究[J]. 热固性树脂, 2010, 25(2): 27—31.
- JIANG Zhi-heng, REN Tian-bin, QIAN Zhi-guo, et al. Preparation and Property Study of Epoxy Waterborne Coating for Anti-corrosion of Steel Structure [J]. Thermosetting Resin, 2010, 25(2): 27—31.
- [21] 谢亦富, 张虎, 李国荣, 等. 防锈增强型无溶剂环氧防腐涂料的研制[J]. 上海涂料, 2013, 51(1): 9—12.
- XIE Yi-fu, ZHANG Hu, LI Guo-rong. Development of Anti-rust Enhanced Non-solvent Epoxy Anticorrosion Coatings [J]. Shanghai Coatings, 2013, 51(1): 9—12.