

# 渗透型防水乳液在混凝土防护中的性能研究

吴冠龙<sup>1</sup>, 孙强盛<sup>2</sup>, 王 晖<sup>2</sup>, 苏 凯<sup>2</sup>, 陈 鹏<sup>2</sup>, 李晓民<sup>2,3</sup>, 魏定邦<sup>2</sup>

(1.甘肃省白银公路事业发展中心,甘肃 白银 730900;

2.甘肃省交通规划勘察设计院股份有限公司,兰州 730000; 3.甘肃省公路交通建设集团有限公司,兰州 730000)

**摘要:** 通过制备若干组渗透型防水乳液,并对其在混凝土耐久性提升和防水性能方面进行了验证。结果表明:渗透型防水乳液可以显著提升混凝土的耐久性和防水效果,其处理的混凝土表面接触角可达 $98.5^\circ$ ,比封闭型防水乳液处理的混凝土表面接触角高出 $20^\circ$ ;其可渗入混凝土内部 $3\sim 11\text{ mm}$ ,使混凝土具有“立体防水”的效果;其处理的混凝土试件比普通混凝土多60个盐冻循环才开始破坏,显著提升耐盐冻性;户外试验段也充分验证了渗透型防水乳液对混凝土耐久和防水性能的提升。

**关键词:** 混凝土防护; 渗透型; 防水乳液

中图分类号: TQ633

文献标志码: A

文章编号: 1007-9548(2024)07-0007-05

## Study on the Performance of Permeable Waterproof Emulsion in Concrete Protection

WU Guan-long<sup>1</sup>, SUN Qiang-sheng<sup>2</sup>, WANG Hui<sup>2</sup>, SU Kai<sup>2</sup>, CHEN Peng<sup>2</sup>, LI Xiao-min<sup>2,3</sup>, WEI Ding-bang<sup>2</sup>

(1.Gansu Baiyin Highway Development Center, Baiyin 730900, Gansu, China; 2.Gansu Provincial Transportation Planning

Survey and Design Institute Co., Ltd., Lanzhou 730000, China; 3.Gansu Provincial Highway and Transportation Construction

Group Co., Ltd, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Several groups of permeable waterproof emulsion were prepared in this paper. The durability and waterproof performance of concrete are verified. The results show that permeable waterproof emulsion can significantly improve the durability and waterproof effect of concrete. The contact angle of the concrete surface treated with it can reach  $98.5^\circ$ , which is  $20^\circ$  higher than that of the concrete treated with closed waterproof emulsion. It can infiltrate into the  $3\sim 11\text{ mm}$  inside the concrete, so that the concrete has the effect of "three-dimensional waterproof"; the concrete specimen treated by it begins to be destroyed after 60 more salt freezing cycles than ordinary concrete, which significantly improves the salt frost resistance; the outdoor test section also fully verified the improvement of the durability and water resistance of concrete by permeable waterproof emulsion.

**Key words:** concrete protective; permeable; waterproof emulsion

收稿日期: 2024-01-26

基金项目: 甘肃省重点研发计划(工业类)21YF11GA010; 甘肃省交通运输厅科研项目 No.2022-43。

作者简介: 吴冠龙(1983—),男,本科,工程师,主要从事公路工程安全设施的维修、养护以及相关材料的开发、综合性能对比、耐久性研究和公路病害调查研究等相关工作。E-mail: 511726335@qq.com。

## 0 引言

混凝土是现代工程的主要材料,在不同环境下各种结构的建筑中用量巨大,混凝土结构的基础设施在社会发展中扮演着不可或缺的角色。随着混凝土材料的普遍应用,人们逐渐开始关注混凝土材料的耐久性;混凝土结构的腐蚀和破坏,将给以此为材料的各种工程带来巨大的安全隐患和经济损失,乃至会产生许多相关的社会问题。2017年,侯保荣院士团队报道了由

于材料腐蚀造成的经济损失<sup>[1]</sup>,比如,仅2014年在中国的路桥等交通运输行业由于混凝土的腐蚀造成的经济损失达3 310.9亿元。

混凝土的腐蚀大部分离不开水的参与,因水存在于混凝土内部导致混凝土基体出现冻融破坏,混凝土保护层粉化脱落<sup>[2]</sup>。目前有关混凝土耐久性提升的方法多种多样,有对混凝土原材料<sup>[3]</sup>、外加剂的性能提升<sup>[4]</sup>,也有通过后期加强的办法来提升混凝土耐久性<sup>[5-6]</sup>。其中,通过对混凝土表面处理来提高耐久性的方法是一种操作简单、价格低廉且易于实现的措施<sup>[7]</sup>。市场上出现了很多封闭型的防腐涂料来阻止腐蚀介质与混凝土接触进而破坏混凝土结构<sup>[8-9]</sup>。2005年祝和权等<sup>[10]</sup>介绍了采用柔性氟碳涂装体系来防护混凝土结构的方法。但是氟碳涂装体系价格相对较高且属于完全封闭体系,无法保留一定的水汽透过性,不利于寒冷地区的混凝土结构防护。近几年,滕赞等<sup>[11-12]</sup>报道了水性聚脲纳米涂层在混凝土防护领域的应用,他们将该类材料主要使用在化工厂等强污染环境下的混凝土结构上,且可将混凝土结构的寿命提升10~15年。但是,这些方法都将混凝土内部的水汽封闭在混凝土里面,无法适应冻融环境。另一方面,在风沙较大的区域,涂层无法经受风沙的磨蚀导致保护层很快失效。

有机硅类混凝土防水材料在市场上占据重要地位,其优异的防水性能为建筑行业带来显著的效益<sup>[13-17]</sup>。其中,甲基硅酸盐溶液和二甲基硅油是两种典型的有机硅防水材料。

甲基硅酸盐溶液作为水溶性有机硅防水材料,其优势在于能够很好地与混凝土结合,从而增强其防水性能;然而,当涂刷于混凝土表面时,它容易出现泛霜现象,这在一定程度上影响了其应用效果。因此,在实际应用中,甲基硅酸盐溶液通常会被内掺入混凝土中使用,以达到更好的防水效果。

二甲基硅油以其良好的憎水性能而著称,由于它不溶于水,涂刷在混凝土表面后,能够有效地防止水溶液向混凝土内部渗透。为了充分发挥其防水效果,二甲基硅油通常会被制成乳液形式进行使用;然而,普通有机硅乳液在使用过程中容易出现破乳、漂油等问题,且贮存稳定性较差,这极大地限制了其在实际工程中的应用。为了解决这一问题,研究者们开发出了有机硅微乳液。这种微乳液的乳液粒径小于0.15 μm,外观呈半透明至透明状态,不仅具有良好的贮存稳定性,还具备优良的渗透性能。因此,有机硅微乳液在防水领域具有广阔的应用前景。

目前,有机硅微乳液已经受到了国内外的高度重视。随着技术的不断进步,越来越多的有机硅微乳液产

品被开发出来,并广泛应用于织物整理、医药、建筑等领域。未来,随着研究的深入和市场的拓展,有机硅类混凝土防水材料将会在建筑行业中发挥更加重要的作用,为防水工程提供更加可靠、高效的解决方案。

本文研究了一种渗透型的混凝土防护剂,可以渗透到混凝土基体里面,将混凝土基体表面3~10 mm转化为耐腐蚀层,即便是表面防护层被磨损或者破坏以后,混凝土仍然保持耐腐蚀性能,通过测试渗透深度、接触角以及抗盐冻性能等,结果显示采用自制混凝土防护剂处理的混凝土试件的防水性能及抗冻融性能得到明显提升。

## 1 试验部分

### 1.1 试验原材料

聚氧乙烯失水山梨醇脂肪酸酯(吐温-20、吐温-40、吐温-60、吐温-80),亲水亲油平衡值(HLB值)为14.9~16.7;化学纯烷基酚聚氧乙烯醚(OP-10),亲水亲油平衡值(HLB值)为14.5;化学纯失水山梨糖醇脂肪酸酯(斯盘-80),亲水亲油平衡值(HLB值)为4.1;化学纯烷氧基硅烷,工业品。

### 1.2 试件制作方法

参考JT/T 991—2015《桥梁混凝土表面防护用硅烷膏体材料》方法:水泥应当符合GB 175—2023《通用硅酸盐水泥》规定的42.5级硅酸盐水泥;砂、石应当符合JG/J 52—2006《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》的规定;水应当符合JG/J 63—2006《混凝土用水标准》的规定;配合比W/C=0.6,水泥用量360 kg/m<sup>2</sup>,Ⅱ区河砂,5~25 mm连续级配碎石,砂率为36%~38%。试件涂覆量为(300±10) g/m<sup>2</sup>,涂覆面为试件的侧面,涂覆后试件应在(23±2)℃、相对湿度30%的条件下放置14 d。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 渗透深度测试

参考JT/T 991—2015《桥梁混凝土表面防护用硅烷膏体材料》所述方法测试渗透深度。

1)取3块涂覆之后试件,在50℃下烘干24 h取出,冷却到室温;

2)将试件劈裂,在劈开表面上喷涂染料(可采用蓝黑墨水);

3)不吸收染料的区域是渗透型防水乳液渗透深度,以8~10个测点的平均值作单个试件的渗透深度,以3个试件算术平均值为该组试件的渗透深度值,精确至0.1 mm。

#### 1.3.2 抗盐冻测试

1)将制备的6块混凝土试件放到(23±2)℃、相对湿度(60±5)%的环境箱养护7 d;

2)取出3块进行表面渗透型防水乳液涂敷处理,剩余3块作为基准试样;

3)将涂敷后的混凝土试件放在 $(23\pm 2)$ ℃、相对湿度 $(60\pm 5)\%$ 的环境箱养护14 d,养护后进行冻融循环测试;

4)将混凝土试件置于浓度为3%的NaCl溶液中,在 $-15$ ℃条件下维持16 h,再将试块置于水中,在 $20$ ℃条件下维持8 h,以此为一个循环,每个循环为24 h;

5)每5次循环之后测定试块质量损失,当质量损失达到5%以上时,记下循环次数,暂停对该组试件冻融循环的测试;

6)试件称取质量应符合下列规定:3个试件测值算术平均值可作为该组试件的称取质量;3个测值中的最大值或最小值之中若有一个与中间值之间的差值超过其15%时,则舍除最大值和最小值,取中间数作试件的吸水量。

## 2 结果与讨论

采用自主研发的混凝土防护乳液对混凝土试件进行处理后,分别测试了混凝土表面的接触角、渗透深度、混凝土试件的抗盐冻性能。通过各项防护性能测试来评估渗透型乳液在混凝土防护中的性能。

### 2.1 接触角测试

混凝土防护产品的防水性能至关重要。通过对比不同处理方式的混凝土试件表面的接触角,可以评估其防水效果。当使用渗透型防水乳液后,混凝土试件是否具有防水性能是一项需要测试的关键指标。我们分别测试了10块空白混凝土试件、10块渗透型混凝土防水乳液处理的混凝土试件以及10块普通封闭型混凝土保护产品处理的试件表面的接触角。

结果显示:当采用静滴法,控制针筒将 $5\ \mu\text{L}$ 水滴在试件表面后,空白对照试件表面的水滴几乎全部渗入混凝土内部,其接触角平均值为 $20.3^\circ$ ;普通封闭型防护产品处理的混凝土表面接触角平均值为 $75.2^\circ$ ;渗透型防水乳液处理的混凝土表面接触角为 $98.5^\circ$ 。这一结果说明,渗透型混凝土防水乳液具有与封闭型防水乳液相当甚至更优的防水效果。

空白对照试件表面的水滴几乎全部渗入混凝土内部,接触角平均值为 $20.3^\circ$ ,说明未处理的混凝土防水性能较差。而普通封闭型防护产品处理的混凝土试件,其表面接触角平均值为 $75.2^\circ$ ,显示出一定的防水效果,水滴在试件表面形成的接触角较大,表明水分较难以渗入。

最为显著的是,渗透型防水乳液处理的混凝土试件表面接触角达到了 $98.5^\circ$ ,这一数值远高于空白对照试件和普通封闭型防护产品处理的试件。高接触角意味着水滴在试件表面形成的角度更接近于直角,表明

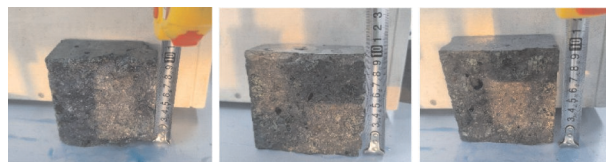
水分更难以在试件表面铺展和渗入。这一结果充分证明了渗透型混凝土防水乳液具有优异的防水性能,其效果优于普通封闭型防护产品。

综上所述,渗透型混凝土防水乳液在防水性能方面表现出色,能够有效地阻止水分渗入混凝土内部,为混凝土防护提供了可靠的解决方案,这一发现对于提高混凝土结构的耐久性和延长使用寿命具有重要意义。

### 2.2 渗透深度测试

除了表面具备防水功能外,人们期待防护效果能长期有效,甚至在表面的防护层脱落以后,混凝土结构仍然能具有良好的耐腐蚀性能。渗透型防护产品与以往普通封闭型防护产品不同,不仅在混凝土表面形成防护层,同时可渗透到混凝土内部形成一定深度的防护层。因此,该产品可以解决以往封闭型防护涂料粉化剥落或者在表面被磨损之后失效的问题。渗透深度的大小显示该类产品的防护性能高低。通过对比未经处理的混凝土试件、渗透型防护产品处理的混凝土试件以及普通封闭型混凝土试件的断面在水中浸泡之后的情况,分别测试了其渗透性能高低。

如图1所示:a为空白混凝土试件,其断面在水中浸泡后全部润湿;b为渗透型防护产品处理的混凝土试件,其断面在水中浸泡后,平均约为11 mm的深度仍然是水无法润湿的状态;c为普通封闭型混凝土保护产品处理的试件,其断面在水中浸泡后全部润湿。这一结果表明,本文中采用的自主研发的渗透型混凝土防护产品具有良好的渗透性能。



a 空白件渗透深度 b 渗透件渗透深度 c 封闭件渗透深度

图1 渗透深度对比

可以清晰地看出渗透型防护产品与传统封闭型防护产品在混凝土防护方面的显著差异。渗透型防护产品不仅能在混凝土表面形成防护层,更能深入混凝土内部,形成一定深度的防护,从而大大提高了混凝土的耐腐蚀性和防护性能的持久性。

对比试验的结果非常直观地展示了这一点。未经处理的混凝土试件在水中浸泡后,其断面完全润湿,这意味着水分可以轻易地渗透进混凝土内部。而经过普通封闭型防护产品处理的试件,虽然表面可能形成了一层防护,但在水中浸泡后断面仍然全部润湿,说明其防护效果并不持久,或者防护层不够深入。

相比之下,采用渗透型防护产品处理的混凝土试件,在水中浸泡后其断面平均有 11 mm 的深度仍然保持干燥,水无法润湿。这一数据充分证明了渗透型防护产品具有良好的渗透性能,能够深入到混凝土内部形成有效的防护层。

因此,渗透型防护产品不仅解决了传统封闭型防护产品易粉化剥落、表面磨损后失效的问题,而且通过深入混凝土内部的防护,大大增强了混凝土的耐腐蚀性和防护效果的持久性。这对于提高混凝土结构的使用寿命和安全性具有重要的意义。

### 2.3 盐冻性能测试

冻融破坏是混凝土结构最常见的一种破坏形式。当一种保护材料可以防止水进入混凝土内部,同时渗透到混凝土内部一定深度,该材料是否能最终提高混凝土的耐久性还需要在冻融条件下检测性能提升的程度。采用 5% 的 NaCl 溶液浸泡混凝土试件,并在  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  至  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  范围内进行冻融循环测试,结果如图 2 所示,结果显示:空白混凝土试件在该盐冻测试条件下经过 15 个循环就开始出现破损,其质量损失平均值为 5.2%;经过 30 个循环,其质量损失平均值为 43.7%,已被冻成碎渣。经过渗透型防水乳液处理的混凝土试件经过 45 个循环才开始出现轻微质量损失,损失质量平均值为 0.7%;其经过 75 个循环后,其质量损失才大于 5%,平均值为 5.8%。而普通的封闭型产品保护的混凝土试件在 30 个循环就出现明显的质量损失,损失质量平均值为 5.7%;经过 75 个循环,质量损失平均值为 68.1%,部分试件已被冻成碎渣。因此经过渗透型防水乳液处理的混凝土试件的抗盐冻性能明显提升。

首先,空白混凝土试件在盐冻测试条件下表现较差。经过 15 个冻融循环,试件开始出现破损,质量损失达到 5.2%。经过 30 个循环后,质量损失急剧增加到 43.7%,试件甚至被冻成碎渣。这表明未经处理的混凝土在冻融循环和盐的作用下,耐久性显著降低。

其次,经过渗透型防水乳液处理的混凝土试件在盐冻性能测试中表现优异。在 45 个循环后才开始出现轻微的质量损失,损失仅为 0.7%。即使在 75 个循环后,其质量损失也仅大于 5%,平均值为 5.8%。这表明渗透型防水乳液有效地阻止了水进入混凝土内部,从而显著提高混凝土的抗盐冻性能。

最后,普通封闭型产品保护的混凝土试件表现介于上述两者之间。在 30 个循环后,其质量损失平均值达到 5.7%,而在 75 个循环后,损失平均值更是高达 68.1%,部分试件同样被冻成碎渣。这说明普通封闭型产品虽然有一定的保护作用,但效果远不如渗透型防水乳液。

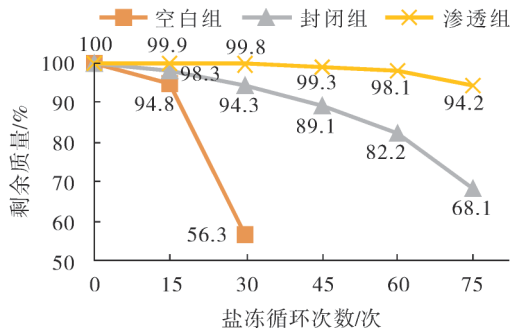


图 2 盐冻试件质量损失

综上所述,经过渗透型防水乳液处理的混凝土试件在盐冻条件下的耐久性明显优于空白混凝土试件和普通封闭型产品保护的混凝土试件。这一结果证实了渗透型防水乳液在提高混凝土抗盐冻性能方面的有效性,对于改善混凝土结构的耐久性具有重要意义。

### 2.4 户外试验

本课题组在甘肃省甘南、河西、陇中的典型气候分区做了渗透型防水乳液防护混凝土试验段,结果表明渗透型产品处理后混凝土防水效果显著,在混凝土表面喷洒相同量的水,未处理部分,水流几乎全部在混凝土表面润湿后渗入混凝土内部,而处理后的混凝土表面防水效果明显,水流流经混凝土表面聚集在混凝土底部,可随纵坡汇集至排水孔。

试验结果显示,这种渗透型防水乳液在混凝土防水方面表现出显著的效果。通过对比处理前后的混凝土,可以清晰地看到防水乳液对于改善混凝土防水性能的重要作用。

具体来说,未处理的混凝土在遇水时,水流几乎全部在表面润湿后渗入混凝土内部。而经过渗透型防水乳液处理的混凝土,其表面则展现出明显的防水效果。喷洒在混凝土表面的水,无法渗入其内部,而是聚集在混凝土底部,并可以随纵坡汇集至排水孔。这种效果表明,防水乳液不仅改变了混凝土表面的性质,还可能在混凝土内部形成了一层有效的防水层。

进一步凿开混凝土进行观察,可以更直观地了解防水乳液的作用机制。未处理的混凝土在凿开后,水流可以完全润湿并渗入其表面和内部。而经过防水乳液处理的混凝土,即使在内部被凿开后,水流也无法润湿或渗入其内部。这说明防水乳液不仅改变了混凝土表面的性质,还在其内部形成了有效的防水屏障。

这种防水效果对于防止水流中的腐蚀物质对混凝土的破坏具有重要意义。腐蚀物质往往通过渗入混凝土内部来破坏其结构,而防水乳液的使用可以有效地阻止这一过程。此外,防水乳液防护作用的空间立体效果也值得注意。即使混凝土表面被磨损,其内部仍然受

到保护,这是因为防水乳液不仅在混凝土表面形成了防水层,还在其内部形成了连续的防水网络。

总的来说,渗透型防水乳液在混凝土防护方面展现出了显著的效果和优势。它不仅提高了混凝土的防水性能,还增强了其抗腐蚀能力,为混凝土结构的长期保护提供了有效的解决方案。这一研究成果对于混凝土工程领域具有重要的实际应用价值和推广意义。

混凝土防护涂层作为近年来备受瞩目的技术,在提升混凝土耐久性方面发挥了重要作用。这种防护层的应用原理主要是通过喷涂或刷涂特定的耐腐蚀、抗渗透涂料,使其在混凝土表面形成一道屏障。这些涂料能够深入混凝土的内部,形成一层憎水防护层,有效阻挡水分的渗透。同时,它们也可以在混凝土表面形成一层防水且透气的保护层,从而修饰混凝土表面的微裂纹和孔隙等缺陷。这样的防护层对于混凝土结构的保护至关重要。它能够有效隔离外部的水和盐离子等有害物质,防止它们对混凝土造成侵蚀。这样一来,混凝土结构的承载力就能够得到更好的保持,降低了因外部环境因素导致的性能下降风险。除此之外,混凝土防护涂层的应用还显著提高了工程结构的安全性和可靠性。通过形成一层坚实的防护层,混凝土能够更好地抵御各种外部侵害,从而确保其在使用过程中能够保持稳定性和耐久性。这对于保障人们的生命财产安全以及维护工程结构的长期稳定运行具有重要意义。最终,混凝土防护涂层的应用能够显著延长混凝土结构的使用寿命。通过减少外部环境因素对混凝土的侵蚀,这种防护层能够延缓混凝土的老化过程,延长其使用寿命。这对于降低工程维护成本、提高工程经济效益具有积极作用。混凝土防护涂层是一种有效提升混凝土耐久性的措施,通过形成憎水防护层和防水透气的保护层,它能够有效地隔离外部侵害,保护混凝土结构的完整性和稳定性。这种技术的应用不仅提高了工程结构的安全性和可靠性,还延长了混凝土结构的使用寿命,为工程建设和维护带来了显著的效益。

### 3 结语

渗透型防水乳液在混凝土中的应用效果确实令人瞩目。这种乳液能够显著提高混凝土的耐久性和防水性能,为混凝土建筑的长久使用提供了有力保障。

首先,从防水效果来看,渗透型防水乳液处理的混凝土表面接触角高达  $98.5^\circ$ ,使得水体难以铺展润湿并渗入混凝土内部。这种特性有效阻止了水分的渗透,从而达到了显著的防水效果。

其次,渗透型防水乳液能够深入混凝土内部 3~11 mm,形成立体防水层。这意味着即使混凝土表面受到腐蚀或破坏,其内部仍具有一定的防水能力。这与普通

封闭型产品形成鲜明对比,后者仅在表面形成防水层,一旦表层被破坏,防水效果便大打折扣。

此外,经过渗透型防水乳液处理的混凝土在耐盐冻性方面也有显著提升。经过 75 个盐冻循环后,其质量损失仅为 5.8%,相比普通混凝土更能经受住盐冻循环的考验。这一特点使得渗透型防水乳液在寒冷地区的混凝土建筑中具有广阔的应用前景。

在实际应用中,渗透型防水乳液已经在甘肃甘南、河西、陇中等地区进行试验段的应用,并取得了优异的效果。

综上所述,渗透型防水乳液不仅具有显著的防水效果,还能提升混凝土的耐久性,特别是在耐盐冻性方面表现出色。因此,它在混凝土建筑领域的应用具有广阔的前景和巨大的经济价值。随着技术的不断进步和应用的不断推广,相信渗透型防水乳液将为混凝土建筑的长久使用做出更大的贡献。

### 参考文献:

- [1] 刘晓娟,颜军,战洪艳.有机硅防水处理技术及其在混凝土结构中的应用[J].中国建筑防水,2004(10):6-10.
- [2] 许春荣,郭慧乾,刘光严,等.桥梁混凝土的盐冻损伤与耐久性提升技术[J].公路,2020(4):192-196.
- [3] 孙福平.混凝土耐久性的影响因素和改善措施[J].道路工程,2019(8):43-45.
- [4] 徐亚丁,王玲.混凝土的耐久性及其提升对策[J].混凝土与水泥制品,2016(6):20-13.
- [5] 吕丽萍,章超,殷向东,等.混凝土制品后处理耐久性提升技术在工程中的应用[J].装配式建筑,2018(10):40-45.
- [6] 余茂林,邓安仲,罗盛,等.混凝土表面防护涂层材料的研究进展[J].混凝土与水泥制品,2021(10):29-34.
- [7] 张斌,李维红,范金朋,等.不同防护涂层提升混凝土耐久性研究[J].混凝土,2019(12):165-168.
- [8] 赵舟.提升混凝土耐久性的技术途径分析[J].建材质检研究,2018(65):4.
- [9] 沈玉君.提升现浇混凝土耐久性的相关因素分析[J].时代农机,2015(4):170-172.
- [10] 祝和权,杜存山,李海燕,等.混凝土结构防护用柔性氟碳涂装体系的试验研究[C].铁道科学技术新进展——铁道科学研究院 55 周年论文集,2005:800-806.
- [11] 滕赞,孔凡厚,吴井龙,等.水性聚脲纳米涂层在混凝土防护领域的应用[J].涂层与防护,2019(6):11-20.
- [12] 何朋祥,吕平,周琦,等.喷涂聚脲在混凝土防护中的应用[J].河南建材,2005(2):38-40.
- [13] 孙高霞.混凝土表面渗透性有机硅防护涂料的研究[D].南京:南京水利科学研究院,2009. (下转第 17 页)