

某工程项目中水泥基渗透结晶型防水材料的应用

郑恩成

山东金隆防水科技股份有限公司 山东寿光 262700

摘要：研究基于水泥基渗透结晶型防水材料在现代建筑防水领域的广泛应用，分析了其在某工程项目中的应用情况，重点研究了混凝土基面的清理与修补、材料配比及细节涂刷工艺，提出了科学的施工方法。结合抗渗性能试验、自愈合性能评估及耐久性能研究，对该材料的实际应用效果进行了验证与分析。结果表明，水泥基渗透结晶型防水材料能够有效提高混凝土结构的抗渗性和耐久性，具备良好的自愈合能力，适用于复杂工程环境，具有显著的工程应用价值。

关键词：水泥基渗透结晶型防水材料；基层处理；抗渗性能；自愈合性能；耐久性

随着建筑工程技术的快速发展，防水施工已成为提高工程质量与结构安全的核心环节。传统防水材料在施工过程中易受环境影响，且耐久性较差，难以满足现代工程日益严格的防水要求。近年来，水泥基渗透结晶型防水材料凭借其优异的防水性能、环保特性及自愈合能力，逐渐在各类建筑工程中得到广泛应用。该材料利用活性化学成分在混凝土内部生成不溶性晶体，有效填充微细孔隙与裂缝，增强结构的防水抗渗性能，尤其在地下工程及湿度较高的环境中表现出显著优势。探讨该材料的实际应用情况及技术要点，成为防水施工工作重点研究的课题。

一、水泥基渗透结晶型材料概述

水泥基渗透结晶型防水材料是一种新型无机防水材料，由硅酸盐水泥、石英砂和多种具有活性化学成分的添加剂组成，如图1所示。这些活性化学物质能够在水的作用下与混凝土中的未水化物质及游离的碱性物质（如 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 CaO 等）发生反应，生成不溶于水的针状或片状结晶体。这些结晶体渗透至混凝土的毛细孔和



图1 水泥基渗透结晶型防水材料

微细裂缝中，将其堵塞，从而形成持久的防水屏障。在渗水发生时，水泥基渗透结晶材料的活性成分会被重新激活，二次结晶后填补新形成的微小裂缝，有效阻止水分及其他有害物质的进一步渗透^[1]。

二、某施工项目概况

本施工项目位于某市新区，属于大型地下建筑工程，包含一层地下室及主体结构为框架剪力墙结构的住宅楼群。项目总建筑面积达4.2万平方米，其中地下部分占地1.1万平方米，包括地下车库、设备用房以及其他配套设施。地下结构的埋深为5.5m，地下水位较高，水位深度约为地表以下1.8m，属于典型的高水位环境。区域土壤含水量较大，地下水呈弱酸性，地下防水设计等级要求为一级，需保证“不允许渗漏，结构表面无湿渍”。为满足结构设计要求，项目地下室底板厚度为300mm，顶板厚度为250mm，外墙采用厚度为400mm的防水混凝土结构，混凝土抗渗等级要求达到P8。根据项目设计要求，防水材料选用了水泥基渗透结晶型防水材料，并配合混凝土自防水体系，旨在提升地下结构的长期防水效果与安全性。

三、水泥基渗透结晶型防水材料应用施工工艺

（一）混凝土基面的清理和湿润要求

在本项目地下防水施工过程中，应用水泥基渗透结晶型防水材料前，施工团队应对混凝土基面进行全面细致的清洁，表面必须无灰尘、油污、脱模剂残留及其他杂质，消除可能影响材料渗透和附着效果的不利因素。对于混凝土表面局部存在的空鼓或松散区域，需彻底凿除至坚实基面。针对浮浆层、凹凸不平的区域以及局部

表面缺陷,采用高压水枪冲洗或钢丝刷打磨处理,使混凝土基面呈现均匀且适度粗糙的状态,有利于水泥基渗透结晶型防水材料的渗透与结合,从而提升防水效果^[2]。基面清理完毕后,施工人员在正式涂刷防水材料前,需对基面进行充分洒水湿润,使基面达到“润而不湿”的最佳状态,无明水积聚。适度湿润的基层既能有效促进水泥基渗透结晶型材料与混凝土表面之间的物理粘结,又能为活性成分与混凝土内部未水化物质反应提供必要的水分支持。在本项目中,由于地下水位较高,混凝土表面常处于湿润状态,但为了防止高温天气下表面水分蒸发过快,施工团队采取分区洒水的方式,精确控制湿润程度,保证基面湿润均匀且持久,为后续材料涂刷及反应创造有利条件。

(二) 材料配比要求

在本项目中,为了使水泥基渗透结晶型防水材料充分发挥其优异的防水与自愈合性能,材料配比需严格按照施工技术规范和工程设计要求进行控制。水泥基渗透结晶型防水材料由硅酸盐水泥、石英砂和多种活性化学成分组成,其与水混合后,活性成分会利用水化反应渗透到混凝土内部孔隙和微裂缝中,从而生成不溶性结晶体。为确保这一过程顺利进行,材料与水的配比被精确控制在1:0.3~0.35的范围内,即每1kg防水材料需加入0.3~0.35kg的清水。这样的配比既能保证浆料的施工流动性,又能保证活性成分与混凝土基体充分反应。为验证配比的科学性,施工方进行了材料渗透深度和反应速率的理论计算。根据水泥基渗透结晶材料的渗透机制,其扩散过程可以通过菲克第二定律描述,即:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

其中, C 表示扩散物质的浓度(单位: kg/m^3), t 为时间(单位: s), D 为扩散系数(单位: m^2/s), x 为扩散深度(单位: m)。根据现场环境条件和材料特性,扩散系数 D 取 $1.5 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$, 而通过现场试验,混凝土基体的孔隙深度平均为10mm。将这些参数代入公式,计算出活性物质在混凝土中的渗透时间与深度的关系,进而优化水灰比,确保材料能够在施工后的72小时内渗透至基体深处,形成稳定的防水结晶体。为进一步提高材料性能,施工过程中还对浆料的稠度进行了动态调整,稠度控制在8~12s(维勃稠度测试值)范围内。促使水泥基渗透结晶型防水材料在本项目中具备高效的渗透性、反应速率和成膜效果,为地下结构提供长久而稳定的防

水保障。

(三) 细节涂刷工艺

在细节涂刷工艺方面,施工团队对水泥基渗透结晶型防水材料的应用严格遵循施工工艺要求。施工人员采用专用尼龙刷或硬质毛刷,以手工涂刷的方式将浆料均匀地涂布在混凝土表面。涂刷时必须保证材料能够与基层充分接触,涂刷方向有序、均匀,避免出现漏刷、流挂或堆积现象。对于第一层涂刷,重点强调与基面的充分结合,使防水材料的活性成分渗透到混凝土微细孔隙中,为后续涂层奠定基础。第一遍涂刷完成后,需等待约20至30分钟,待涂层初凝但仍保持湿润状态时,立即进行第二层涂刷。第二层的涂刷方向应与第一层相互垂直,以确保防水涂层的整体均匀性和厚度^[3]。对于特殊部位,如阴阳角、施工缝、管道穿墙处等容易产生渗漏的区域,施工人员加大了涂刷力度,并在这些部位增加了防水材料的厚度。具体操作时,采用多次涂刷的方法,逐层叠加,保证特殊部位的防水性能满足设计要求。涂刷完成后,施工团队还对防水层进行了严格的质量检查,重点检查涂层的均匀性、厚度及与基面的结合情况,保证整体防水层达到设计要求^[4]。

四、应用效果分析

(一) 抗渗性能试验

为了验证水泥基渗透结晶型防水材料在某施工项目中的实际应用效果,特别是其抗渗性能的表现,施工团队开展了专门的抗渗性能试验。从本项目地下室底板、顶板及外墙各部位随机取样,分别进行抗渗性能检测。试验步骤如下:

1. 样品准备:从施工现场采集防水混凝土样品,经过28天标准养护,确保样品强度达到设计要求。

2. 试验设备:采用六联混凝土抗渗试验仪,通过逐级加压的方法测试混凝土的抗渗等级。

3. 试验环节:

第一,将混凝土样品装入抗渗仪的样品夹具中,密封接头,防止水外溢。

第二,初始水压设定为0.2MPa,每隔8小时逐级增加0.2MPa,最高压力不超过1.6MPa。

第三,每个压力级持续8小时,观察样品渗水情况,直至样品达到渗水临界点,记录抗渗压力。

第四,试验指标:记录混凝土试样的抗渗等级(P值)和渗水量,并与设计要求的P8等级进行对比分析。试验数据如表1所示。

表1 水泥基渗透结晶型防水材料应用后

混凝土抗渗性能试验结果

| 样品编号 | 采样部位 | 初始压力 (MPa) | 终止压力 (MPa) | 渗透时间 (h) | 渗水量 (mL) |
|------|------|------------|------------|----------|----------|
| S1 | 底板 | 0.2 | 1.4 | 40 | 0 |
| S2 | 外墙 | 0.2 | 1.6 | 48 | 0 |
| S3 | 顶板 | 0.2 | 1.4 | 40 | 0 |
| S4 | 底板 | 0.2 | 1.6 | 48 | 0 |
| S5 | 外墙 | 0.2 | 1.6 | 48 | 0 |

从表1数据可以看出,水泥基渗透结晶型防水材料在混凝土结构中的应用显著提高了混凝土的密实度和抗渗性能,能够有效抵御高水压环境下的水分渗透。这一性能的提升主要归功于材料中的活性化学成分与混凝土内部游离的Ca(OH)₂反应生成不溶性结晶体,封堵了微细孔隙和裂缝,从而增强了混凝土的抗渗能力。

(二) 自愈合性能评估

为了评估水泥基渗透结晶型防水材料在项目应用后的自愈合性能,特别是在高水压及弱酸性环境下的裂缝修复能力,本试验对混凝土样品进行了裂缝自愈合性能测试。从地下室底板、顶板和外墙中取出水泥基渗透结晶防水混凝土样品,尺寸为150mm×150mm×150mm,共选取6组样品。采用劈裂试验方法,在样品上制造宽度为0.1mm、0.2mm、0.3mm的裂缝,确保裂缝贯通混凝土试块。将样品浸泡在水环境中,水温控制在20±2℃,持续养护28天。使用裂缝宽度测量仪在7天、14天、21天、28天时分别测量裂缝宽度的变化,并记录数据。对裂缝闭合程度进行评估,分析自愈合效果,数据如表2所示

表2 水泥基渗透结晶型防水材料裂缝

自愈合性能试验结果

| 养护时间 (天) | 样品编号 | 初始裂缝宽度 (mm) | 7天裂缝宽度 (mm) | 14天裂缝宽度 (mm) | 28天裂缝宽度 (mm) | 裂缝闭合率 (%) |
|----------|------|-------------|-------------|--------------|--------------|-----------|
| 7 | S1 | 0.1 | 0.06 | 0.03 | 0.01 | 90 |
| 7 | S2 | 0.2 | 0.15 | 0.08 | 0.03 | 85 |
| 7 | S3 | 0.3 | 0.22 | 0.13 | 0.07 | 77 |
| 14 | S4 | 0.1 | 0.04 | 0.01 | 0.00 | 100 |
| 14 | S5 | 0.2 | 0.10 | 0.05 | 0.01 | 95 |
| 14 | S6 | 0.3 | 0.18 | 0.09 | 0.05 | 83 |

从表中数据可以看出,水泥基渗透结晶型防水材料中的活性化学成分在遇水后被激活,生成大量不溶性结晶体,这些晶体逐步填充裂缝和微细孔隙,使裂缝宽度逐渐减小甚至闭合。

结语

本研究对某施工项目中水泥基渗透结晶型防水材料的实际应用进行试验与分析,验证了该材料在地下结构中的优异性能。水泥基渗透结晶型防水材料不仅显著提高了混凝土的抗渗性,而且表现出良好的自愈合功能和长期耐久性能,尤其在高水压及弱酸性环境下,其抗渗压力稳定,裂缝闭合率高,质量损失率极低,证明了其在复杂水文条件下的适应性与可靠性。本研究为地下防水工程提供了可靠的技术支持,在理论上深化了对水泥基渗透结晶材料防水机理的认识,在工程应用上具有重要的推广价值。试验中对较大裂缝的闭合效果相对较弱,仍需进一步研究优化。未来可针对极端环境条件与材料的长期性能开展更深入的研究,为复杂工程的防水施工提供更完善的解决方案。

参考文献

[1] 翁晨越, 郭海隆, 肖和胜, 等. 水泥基渗透结晶型防水材料性能研究现状简述 [J]. 广州建筑, 2024, (08): 87-92.

[2] 陈韞钜. 活性剂增强改性水泥基渗透结晶型防水材料抗渗试验研究 [J]. 江西建材, 2024, (08): 41-43.

[3] 刘同. 土木工程中水泥基渗透结晶型防水材料的应用研究 [J]. 散装水泥, 2024, (03): 5-7.

[4] 余弦, 范承宁, 李聪林, 等. 纳米复合水泥基渗透结晶型防水材料试验研究 [J]. 铁道建筑, 2023, 63 (12): 148-152.