

自防水混凝土在城市地下结构工程中的应用

郭瑞, 祁涛

(中国水利水电第七工程局有限公司 第一分局, 四川 彭山 620860)

摘要:城市地下结构根据其使用功能对防渗性能有一定的要求。结合实践总结出一种掺加防水添加剂的自防水混凝土并将其直接应用于城市地下结构工程的浇筑,从配合比设计验证、施工工艺、质量控制、应用效果等方面介绍了这种新型自防水混凝土,其防渗效果优于普通C40P8混凝土外包防水卷材且较为经济,可为类似工程施工提供借鉴。

关键词:自防水混凝土;配合比设计;地下结构

中图分类号: TU5; TU7; TU9; TU99

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2021)01-0025-04

Application of Self-Waterproof Concrete in Urban Underground Structures

GUO Rui, QI Tao

(First Branch of Sinohydro Bureau 7 Co., LTD. Pengshan, Sichuan, 620860)

Abstract: Urban underground structures have certain requirements for seepage resistance according to their functions. This paper proposes, based on engineering practice, a kind of self-waterproof concrete which can be directly applied in urban underground structures. From the aspects of mix design verification, construction technology, quality control and performance, this paper expounds that the new self-waterproof concrete has better anti-seepage effect than ordinary C40P8 concrete waterproof-coiled material and is more economic. This paper provides a reference for similar projects.

Key words: self-waterproof concrete; mix design; underground structure

1 概述

随着现代化城市的高速发展,为集约化利用城市地上、地下的空间资源,减少道路的反复开挖,利于管线增容扩容,有利于采用监视系统进行管线综合管理等,市政公用管线遵循统一规划、建设、管理,越来越多地采用地下管线廊道模式的要求。为保证管线的安全性和稳定性,地下主体结构的防渗性能尤为重要。常规地下结构工程的防水设防要求一般为普通防水混凝土外包防水卷材的形式,该防水组合措施在一定程度上可提升结构的防渗性能,但存在施工程序繁琐、增加工期且在建筑物回填时极易造成破损等问题。

根据工程实际,将自防水混凝土直接应用于城市地下结构工程的浇筑,取消了外包防水卷材,在保证防渗性能的前提下,可同时节约工期和造价。

2 自防水混凝土具有的主要特性

2.1 防水机理

自防水混凝土在搅拌过程中添加 PNC-803

添加剂,其可与混凝土拌和物中的水、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生反应,生成不溶于水的结晶体,填充并封堵毛细孔和收缩裂缝,使混凝土因而变得致密,从而为混凝土提供有效和持久的防水保护^[1]。无水时,活性成分处于休眠状态;当其再与水接触时就会被重新激活,产生新的晶体,自动修复微裂缝,使混凝土得到永久的防水保护。

2.2 材料特点

通过对类似工程的应用情况进行总结得知:自防水混凝土主要具有以下特点^[2-4]:

(1)呼吸作用。通过生成晶体密实混凝土,防止任何方向水的渗入,但并不阻挡空气分子的通过,不让水蒸气积聚,混凝土仍能保持正常的透气、呼吸作用。

(2)自修复能力。当混凝土结构出现微细裂缝(宽度不超过 0.4 mm)且有水渗入时,添加剂会再次反应生成新晶体,自动修复裂缝并填充孔隙。

(3)保护作用。添加剂结晶具有密实混凝土的功能,可最大程度降低化学物质、离子和水分的

侵入,使混凝土、钢筋免受侵蚀。

(4)施工操作简单。添加剂在混凝土搅拌过程中加入,不受气候条件的限制,极大程度地提高了施工效率。

(5)经济实用性。可完全代替传统的防水做法,免去了外防水,既缩短了工期,又能节约造价。

3 工程应用

3.1 工程概况

成都天府新区汉州路综合管廊工程为城市地下结构工程,地下埋深 5~8 m,主体结构净空为 4 m×3 m,结构壁厚 0.4 m,要求采用 C40P8 混凝土。入廊管线包括电力、通信、给水、中水等,结构设计防水等级为 2 级,防水标准为不允许漏水、结构表面可有少量湿渍。

根据地下工程防水技术规范(GB50108—2008),其他工程类二级防水标准为:总湿渍面积不应大于总防水面积的 2/1 000;任意 100 m² 防水面积上的湿渍不超过 3 处;单个湿渍的最大面积不大于 0.2 m²。

3.2 配合比设计及验证

自防水混凝土中加入添加剂的参考掺量为每 m³ 混凝土中水泥重量的 0.8%~1.5%^[1],具体掺量应结合混凝土强度等级、结构防水等级等经试验确定。

首先通过室内试验,在普通混凝土配合比基础上作添加剂最优掺量分析,然后在现场进行模

型水压试验用以观测渗水情况,验证掺加特定添加剂的自防水混凝土代替防水卷材作为综合管廊辅助防渗材料的可行性。

(1)初始配合比。根据设计要求,混凝土等级为 C40,结合当地材料,经计算与试验得知:C40 普通混凝土配合比见表 2。

根据工程所在地的实际情况,水泥选用 P. O42.5 普通硅酸盐水泥;F—II 类粉煤灰;细骨料采用机制中砂;粗骨料为碎石、最大粒径 25 mm;PCA—1 高效缓凝减水剂;HEA 混凝土膨胀剂。

(2)掺量拟定。在 C40 普通混凝土配合比的基础上,选取 5 组不同添加剂掺量的混凝土进行抗渗性能试验,依次取水泥质量的 0%、0.8%、1%、1.2%、1.4%。

(3)室内试验。

①试验设备。混凝土渗透仪:应符合现行行业标准混凝土抗渗仪(JG/T249)的规定,并应能使水压按规定的要求稳定地作用在试件上。抗渗仪施加水压力范围应为 0.1~2 MPa。

试模:采用上口内部直径为 175 mm、下口内部直径为 185 mm 和高度为 150 mm 的圆台体。

密封材料:采用石蜡加松香或水泥加黄油。

辅助设备:包括螺旋加压器、烘箱、电炉、浅盘、铁锅和钢丝刷等。

②试件的制作、养护、密封及安装。按不同

表 2 C40 普通混凝土配合比表

项 目	材 料 名 称						
	水	水泥	粉煤灰	细骨料	粗骨料	减水剂	膨胀剂
用量 /kg·m ⁻³	175	410	40	692	1031	7.88	45

添加剂掺量的混凝土试验配合比制作 5 组试样,每组为 6 个试件。制作完成后成型 24 h 拆模,用钢丝刷刷去两端的水泥浆膜,送至标准养护室养护 28 d,养护室的温度为 25 ℃,湿度≥95%。

在达到试验龄期的前一天,从养护室取出试件并擦拭干净。待试件表面晾干后用石蜡密封,在试件侧面裹涂一层融化、内加少量松香的石蜡,然后采用螺旋加压器将试件压入经过烘箱预热过的试模中,使试件与试模底平齐,并在试模变冷后解除压力。试模的预热温度以石蜡接触试模缓慢融化但不流淌为准。

③试验步骤。试件准备好后,启动抗渗仪并开通

6 个试件下的阀门,使水从 6 孔中渗出,充满试位坑,关闭抗渗仪,将密封好的试件安装在抗渗仪上。

试验时,水压从 0.1 MPa 开始,以后每隔 8 h 增加 0.1 MPa 的水压,并随时注意观察试件端面的情况。当 6 个试件中有 3 个试件表面出现渗水时即停止试验,并记下此时的水压力。

(4)室内试验结果分析。根据普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准(GB/T 50082—2009),混凝土的抗渗等级以每组 6 个试件中有 3 个试件未出现渗水时的最大水压力乘以 10 确定,按下式计算:

$$P=10H-1$$

式中 P 为混凝土抗渗等级; H 为 6 个试件中有 3 个试件渗水时的水压力, MPa。

通过室内试验并经计算, 所取得的结果见表 3。

表 3 渗透试验结果表

项 目	PNC-803 掺量 / %				
	0	0.8	1	1.2	1.4
最大渗水压力 / MPa	0.72	0.88	1.09	1.13	1.16
抗渗等级	P6	P8	P10	P10	P10

通过以上分析后认为: 选取添加剂掺量为 1% 时, 既可以节省材料, 又能大幅度提高混凝土的抗渗性能。

(5) 现场实体试验。在工地现场预制掺 1% 的添加剂自防水混凝土综合管廊结构, 通过水压试验验证混凝土结构的防渗效果。

① 实体模型。采用净空尺寸为 2 m(宽) × 2 m(高) × 2 m(长) 的钢筋混凝土结构, 断面形式为矩形。

② 试验步骤。混凝土结构分两次浇筑成型, 侧墙施工缝之间采用中埋式普通钢板防渗。

在混凝土结构侧墙及顶板内共预埋了 5 根 $\Phi 10$ cm 预埋镀锌钢管, 单根长 50 cm, 外露 15 cm; 待混凝土结构施工完成等强后(28 d), 再接长 $\Phi 10$ cm 镀锌钢管焊接至加压主管上, 通过一台打压泵向混凝土结构内的不同部位打压, 水压从 0.1 MPa 开始, 以后每隔 8 h 增加 0.1 MPa 水压。

③ 试验结果。现场水压试验结果表明: 在压力值持续加压至 1.2 MPa 时, 防水混凝土模型均未出现渗水情况且表面无湿渍。现场水压试验验证了室内试验结果的可靠性, 即当添加剂掺量为 1% 时混凝土的抗渗等级至少可达 P10, 能够满足综合管廊的设计防渗要求。

3.3 施工工艺

(1) 原材料控制。严格按照试验确定的配合比计算使用原材料, 以确保混凝土强度与抗渗等级, 同时避免浪费材料。

(2) 拌和使用。添加剂的使用方法主要有 3 种, 分别为^[5]:

① 搅拌站干拌法: 在混凝土搅拌站, 先将添加剂加入到石子和砂中, 充分搅拌 2~3 min 后, 再加入水和水泥搅拌均匀。

② 搅拌站预拌法: 在混凝土搅拌站, 先将添加剂与水拌和成薄浆, 倒入混凝土搅拌运输车中搅

拌均匀。

③ 工地现场掺加法: 预拌混凝土时扣除制浆时的用水量, 在混凝土运输车到达工地现场时, 将添加剂与水拌和成薄浆倒入混凝土搅拌车, 充分搅拌 5 min 左右。

经实践验证, 以上 3 种方法均能满足要求, 工程应用时可结合实际情况选用。

(3) 混凝土浇筑。混凝土浇筑采用连续浇筑, 浇筑时间不超过混凝土初凝时间。分层下料、分层振捣, 每层浇筑厚度不超过 30 cm。

采用混凝土泵车浇筑, 入仓时注意泵车卸料口接近仓面, 缓慢下料, 避免扰动钢筋或预埋件。混凝土振捣主要采用 $\phi 50$ 插入式振捣器, 局部辅以人工捣固。每点振捣时间以表面泛浆、混凝土表面不下沉或不冒气泡为准; 在振捣上一层混凝土时, 插入下层中 5~10 cm 以消除两层之间的接缝, 同时在振捣上层混凝土时, 需在下层混凝土初凝前进行。

混凝土浇筑至顶面后用平板振捣器振平, 并采用圆盘抹光机粗抹一遍、精抹一遍, 最后人工收面压光。

(4) 施工缝处理。按混凝土的硬化程度, 采用凿毛、冲毛或刷毛等方法清除老混凝土表层的水泥浆薄膜和松散层并冲洗干净, 排除积水; 待混凝土强度达到 2.5 MPa 后方可进行上层混凝土浇筑的准备工作; 临浇筑前, 水平缝铺一层 2 cm 厚、掺加添加剂的水泥砂浆, 垂直缝刷一层掺加添加剂的水泥净浆。

(5) 拆模养护。混凝土浇筑完成后, 在收浆后及时覆盖毛毡布并洒水养护, 养护时间不得少于 28 d, 同时派专人做好养护记录。覆盖毛毡布时不得损伤或污染混凝土表面。为防止风吹扰动影响养护效果, 毛毡布四周均采用沙袋压稳。

待混凝土强度能保证其表面及棱角不致因拆

模而受损坏时方可拆除(一般在混凝土抗压强度达到 2.5 MPa 时拆除),模板拆除按先支后拆、后支先拆的顺序进行,主要采用人工拆除。

3.4 质量注意事项

(1)根据配合比结果,对各原材料的重量需严格控制,尤其是在工地现场掺加添加剂时,需采用电子秤称重并安排专人复核。

(2)添加剂在存放时需注意通风,且需存放在干燥的地方。

(3)添加剂进场后需进行材料检测,满足性能指标后方可使用。

(4)混凝土浇筑前,需在现场实测坍落度,待其满足要求后方可入仓浇筑。

(5)混凝土浇筑过程中,必须保证振捣质量,严格控制来料速度和浇筑时间,确保混凝土在初凝时间内完成浇筑。

3.5 应用效果分析

自防水混凝土的实际应用效果主要包括:

(1)防渗效果:在普通混凝土配合比基础上,掺加 1% 的防水添加剂可达到 P10 等级,且工程实体无渗水及湿渍现象,完全满足设计要求。

(2)工期效果:掺加 1% 的添加剂自防水混凝土可取代常规的防水形式,简化了施工步骤,节约了施工时间。

(3)经济效果:按 1 km 长双仓综合管廊结构

(净空 4 m×3 m、壁厚 0.4 m)考虑,掺加 1% 添加剂的自防水混凝土可比常规的外包防水卷材设计形式节约 220 万元的投入。

4 结 语

掺加自防水混凝土应用于城市地下结构工程是一项意义重大的技术创新。经工程实践应用表明:该材料的使用可保证工程结构的防渗性能,且能加快工程进度、节约工程造价,同时,该材料为一种无毒无公害的环保材料,值得类似工程推广应用。

参考文献

- [1] 孙 英,高剑秋. 渗内传防水系统构造[M]. 北京:中国计划出版社,2015.
- [2] 牛建宏,李珊珊. Penetron 水泥基渗透结晶型防水材料的应用[J]. 云南水力发电,2007,23(3):67-69.
- [3] 戴鲜英. 掺渗内传 PNC-803 的防水混凝土在工程中的应用[J]. 山西建筑,2015,41(19):94-95.
- [4] 贺宇中,李瑞海,王小沛. 渗内传防水添加剂在极端条件科研工程中的应用[J]. 建筑技术开发,2019,46(6):100-101.
- [5] 晋 斌. Penetron 水泥基渗透结晶型防水材料施工的应用[J]. 山西建筑,2012,38(30):123-124.

作者简介:

郭 瑞(1986-),男,湖北仙桃人,项目经理,高级工程师,学士,从事水利水电与市政工程施工技术与管理工作;

祁 涛(1988-),男,安徽宿州人,工程师,学士,从事水利水电与市政工程施工技术与管理工作。 (责任编辑:李燕辉)

成都“第二水源”——李家岩水库开始进行大坝填筑

2020年12月24日,由水电七局承建的成都“第二水源”——李家岩水库开始大坝填筑施工,工程由基础开挖全面进入主体填筑阶段,建成后将为成都中心城区提供应急水源保障,确保城市供水安全。

李家岩水库大坝为混凝土面板堆石坝,坝顶高程 766.8 米,防浪墙顶高程 768 米,最大坝高 123 米,坝顶宽度为 12 米,全部填筑工程量约 404 万立方米;大坝填筑坝料质量的控制与填筑施工质量是整个施工的重中之重。项目部依托智慧工地建设,通过无人碾压技术、智能灌浆技术、智能拌合站管理技术、长距离坝料运输信息化管理技术等四大核心技术助力工程安全、高效、优质建设。

值得一提的是:无人驾驶碾压技术在成都市水利工程建设施工中首次应用。该技术采用高精度定位、无线通讯、自动控制、可视化技术和高级控制算法,其开发具有高度智能化、无人化的路面机械成套机群施工设备。系统主要包括摊铺机的 3D 自动找平、行驶自动引导技术、压路机的无人驾驶、智能压实技术、集群联合施工技术及数字化施工管理平台开发,实现了所有设备的物联网管理。该技术的应用可将施工效率提高 20%,施工成本节约 15%,提高了施工质量,保证了施工安全。

李家岩水库是国家 172 项重大水利工程项目之一,坝址位于崇州市怀远镇境内,开发任务以城乡供水为主,并为城市供水提供应急备用水源,兼顾灌溉、发电等综合利用。水库总库容为 17 346 万立方米,相当于 108 个锦城湖库容,可提供 0.42 亿立方米应急备用水量,满足成都中心城区至少 30 天、人均 70% 用水定额的应急水源需求。

(水电七局 供稿)