

# 自密实抑温防水复合材料在地下自防水中的应用\*

Application of Self-compacting Temperature-suppressing Waterproofing Composites in Underground Projects

邵晓芬<sup>1</sup>, 章保胜<sup>1</sup>, 黄海滨<sup>2</sup>, 马书山<sup>2</sup>, 张基勇<sup>2</sup>, 曾志勇<sup>3</sup>

(1. 浙江城市空间建筑规划设计院有限公司, 浙江 丽水 323000; 2. 浙江研翔新材料有限公司, 浙江 台州 318000; 3. 台州学院, 浙江 台州 318000)

**摘要:** 随着建筑行业的快速发展, 地下现浇混凝土工程大量出现, 而混凝土开裂问题成为了地下工程的一大顽疾。为了降低混凝土开裂对地下工程造成的危害, 采用降低水化热和增强抗裂性能的自密实抑温防水复合材料作为混凝土抗裂材料, 研究自密实抑温防水复合材料对水泥净浆抑温率和混凝土应力、抗压强度性能的影响。结果表明: 自密实抑温防水复合材料的掺入, 使得水泥净浆抑温率达到 40.7%, 地下室侧墙中部和下部的应变分别降低了 30.2%、13.7%, 同时对混凝土抗压强度无负面影响, 有效减少了混凝土的开裂, 提高了地下工程的质量。

**关键词:** 自密实; 防水; 水化热抑制剂; 温度收缩; 复合材料

中图分类号: TU57+5 文献标志码: A 文章编号: 1005-8249 (2024) 04-0027-04

DOI:10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2024.04.005

SHAO Xiaofen<sup>1</sup>, ZHANG Baosheng<sup>1</sup>, HUANG Haibin<sup>2</sup>, MA Shushan<sup>2</sup>, ZHANG Jiyong<sup>2</sup>, ZENG Zhiyong<sup>3</sup>

(1. Zhejiang Urban Space Architecture Planning and Design Institute Co., Ltd., Lishui 323000, China; 2. Zhejiang Yanxiang New Material Co., Ltd., Taizhou 318000, China; 3. Taizhou College, Taizhou 318000, China)

**Abstract:** With the rapid development of the construction industry, a large number of underground cast-in-place concrete projects have appeared, and the problem of concrete cracking has become a major problem in underground projects. In order to reduce the harm caused by concrete cracking on underground projects, the self-compacting temperature-suppressing and waterproofing composite materials that reduce the heat of hydration and enhance the crack-resistant properties are used as the anti-cracking materials for concrete, and the effect of self-compacting temperature-suppressing and waterproofing composite materials on the temperature-suppressing rate of the cement slurry and the performance of the stress and compressive strength of the concrete are investigated. The results show that the incorporation of self-compacting temperature-suppression composite material makes the temperature-suppression rate of cement mortar reach 40.7%, and the strains in the middle and the lower part of the basement sidewalls are reduced by 30.2% and 13.7%, respectively, and at the same time, there is no negative impact on the compressive strength of concrete, which reduces the cracking of concrete and improves the quality of the underground project.

**Keywords:** self-compacting; watertight; hydrothermal inhibitors; temperature contraction; composite material

\* 基金项目: 浙江省重点研发计划项目 (2021C03160); 台州市科技计划项目 (2001gy11)。

作者简介: 邵晓芬 (1976—), 女, 本科, 高级工程师, 一级注册建筑师, 注册规划师, 研究方向: 建筑工程设计。

收稿日期: 2023-03-02

## 材料科学

## 0 引言

近些年来,地下室因为开裂、渗水以及后期维修造成的直接或间接的经济损失巨大<sup>[1-2]</sup>。传统防水的主要做法是向混凝土中添加钙类膨胀剂和迎水面黏贴防水卷材,但是钙类膨胀剂因为早期膨胀过快,在后期不能很好地补偿混凝土裂缝<sup>[3]</sup>,而防水卷材也存在耐久性较差、卷材黏贴可靠性较低、底板剥离及局部破损后的窜水难以修补的缺点。结构自防水则是聚焦于防水混凝土,其系统以防水混凝土结构为主体,再结合1~2道附加防水层及节点柔性密封防水形成的一种刚柔并济的防水体系,具有节约工期、节省造价、防水层与结构同寿命等优势。

前期调研结果显示,地下室侧墙、底板因为混凝土温度收缩而导致的开裂占大部分。混凝土早期因水泥水化速率过快而温度升高过快,后期由于保温措施不当而导致混凝土表面降温速率过快,当混凝土的内外温差超过一定限度时,势必会导致混凝土产生温度开裂。而温度裂缝往往都是贯穿裂缝,严重影响结构的使用寿命以及整个地下室的防水效果,因此在地下工程中,需要调节混凝土自身水化进程,减小混凝土内外温差,避免结构出现温度裂缝<sup>[4-6]</sup>。罗雷等<sup>[7]</sup>在大连某地下室工程大体积混凝土中使用HEA高效抗裂防水剂达到了一定的抗裂抗渗效果,但未消除温度收缩对混凝土带来的影响;张海军<sup>[8]</sup>通过设置后浇带以及使用UEA补偿收缩混凝土的方法控制温度裂缝,不过存在施工工艺复杂和效果有限的缺陷。而自密实抑温防水复合材料是由抑温、抗裂、防水等功能材料和抗静电纤维等按一定比例复配而成的功能材料,具有降低水泥水化速率峰值、削弱混凝土内部温升、提高混凝土抵抗温度收缩和自收缩的能力。因此,本文研究自密实抑温防水复合材料对水泥净浆抑温率和混凝土应力、抗压强度性能的影响,可为提高地下工程抗裂性和抗渗性提供一些思路。

## 1 工程概况

工程位于莲都区常平路与联城路交叉口东南侧地块,地下室二层结构,总面积45 458.43 m<sup>2</sup>,为整体现浇钢筋混凝土梁板式体系,层高分别为3.8 m和2.9 m,设计使用年限为50年,防水等级为一级。地

下室底板厚400 mm,外墙厚300 mm和350 mm,顶板大面板厚250 mm和300 mm。

## 2 原材料、混凝土配合比及性能试验

## 2.1 原材料

采用P·O 42.5水泥;F类Ⅱ级粉煤灰;S95级矿粉;碎石,5~25 mm连续级配,含泥量0.6%;混合砂,细度模数2.8,含泥量2.9%;聚羧酸系高效减水剂,减水率28.4%,各胶凝材料性能指标见表1~表3;抑温材料分别为YX-W自密实抑温防水复合材料以及HHC-S水化热抑制剂,其性能指标见表4和表5。自密实抑温防水复合材料是由抑温、抗裂、防水等功能粉体材料和抗静电纤维按一定比例复配而成的混凝土结构自防水材料,掺入混凝土后可有效降低水泥水化速率峰值,削弱混凝土内部温升,延迟温峰出现时间,提高混凝土抵抗温度收缩和自收缩的能力,使混凝土具有优异的防裂抗渗性能。

表1 水泥性能指标

Table 1 Cement performance index

安定性	标准	凝结时间/min		抗压强度/MPa		抗折强度/MPa	
	稠度/%	初凝	终凝	3 d	28 d	3 d	28 d
合格	27.4	245	310	30.3	50.9	6.0	8.0

表2 粉煤灰性能指标

Table 2 Performance index of fly ash

细度/%	需水量比/%	烧失量/%	表观密度/(g/cm <sup>3</sup> )	游离CaO/%
16	100	1.3	2.24	303

表3 矿粉性能指标

Table 3 Mineral powder performance index

活性指数/%		SO <sub>3</sub> 含量/%	表观密度/(g/cm <sup>3</sup> )	比表面积/(m <sup>2</sup> /kg)
7 d	28 d			
80	101	1.7	2.7	410

表4 自密实抑温防水复合材料物理性能指标

Table 4 Self-compacting temperature suppression waterproof composite material physical performance indicators

水化热降低系数/%		28 d 28 d	48 h 48 h	抗压强度比/%	裂缝降低系数/%	劈裂抗拉强度比/%
1 d	7 d	度/mm	比/%	7 d	28 d	
41	-4	40	73	108	120	82 109

表5 HHC-S水化热抑制剂物理性能指标

Table 5 Physical property index of HHC-S hydration heat inhibitor

凝结时间差/min	泌水率比/%	混凝土抗压强度比/%		1 d混凝土绝热温升降低率/%
		7 d	28 d	
260	88	96	114	19

## 2.2 自密实抑温防水复合材料抑温率试验

为了探究自密实抑温防水复合材料对混凝土的水化热降低率,根据现场环境、施工工艺、工期时长以及设计要求进行抑温泡沫箱试验,试验参照 JC/T 60014—2022《地下工程混凝土结构自防水技术规范》附录 B 进行,表 6 为复合材料抑温率试验的配合比。

表 6 抑温率试验配合比

Table 6 Temperature suppression rate test ratio /g

组别	水泥	抑温材料	水
空白组	2000	0	700
YX-W	2000	20	700
HHC-S	2000	20	700

表 7 为抑温泡沫箱试验数据。试验水泥净浆从发生水化反应放热、降温,最后趋于环境温度耗时约 42 h。空白组入模温度为 12.9℃,14.2 h 后达到温峰值 64.8℃,绝热温升为 51.9℃;YX-W 组入模温度为 13.1℃,19.5 h 后达到温峰值 43.7℃,绝热温升为 30.6℃;HHC-S 组入模温度为 12.8℃,20.3 h 后达到温峰值 47.9℃,绝热温升为 35.1℃。与未掺加抑温材料的空白组相比,YX-W 和 HHC-S

两组绝热温升值分别降低 21.3、16.8℃,温峰出现时间分别延长 5.3、6.1h。其中 YX-W 组降低温峰值最为明显,抑温率最高,达到了 40.7%。温峰的降低以及温峰出现时间的推迟为混凝土散热提供了时间,大幅度减少了大体积混凝土因温度收缩导致的开裂,提高了抗裂性能。

表 7 抑温泡沫箱试验数据

Table 7 Temperature suppression foam box test data

组别	入模温度 /℃	绝热温升 /℃	温度峰值 /℃	达到温峰用时 /h	抑温率 /%
空白组	12.9	51.9	64.8	14.2	—
YX-W	13.1	30.6	43.7	19.5	40.7
HHC-S	12.8	35.1	47.9	20.3	32.6

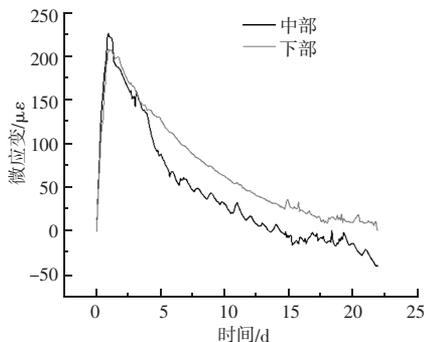
## 2.3 自密实抑温防水复合材料对混凝土应变性能的影响试验

试验根据 T/CECS 540—2018《混凝土用镁质高性能混凝土抗裂剂应用技术规程》设计了自密实抑温防水复合材料对混凝土侧墙中部和下部应变性能的影响试验<sup>[9]</sup>,具体配合比见表 8,图 1 为混凝土侧墙不同部位应变的变化。

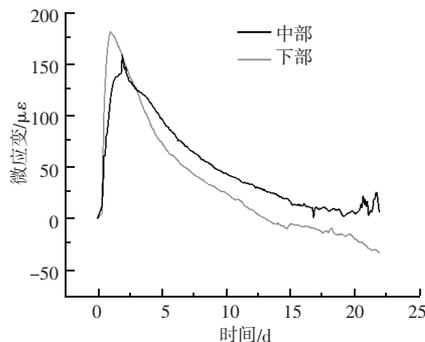
表 8 混凝土配合比

Table 8 Concrete mix ratio

组别	浇筑形式	强度等级	坍落度/mm	水泥	粉煤灰	矿粉	砂	碎石	水	YX-W	外加剂 / (kg/m <sup>3</sup> )
1	泵送	C35	160±30	178	124	53	769	1106	160	0	7.11
2	泵送	C35	160±30	178	107	71	769	1106	160	35	7.11



(a) 未掺 YX-W



(b) 掺 YX-W

图 1 侧墙不同部位应变图

Fig. 1 Strain diagrams for different parts of the side walls

由图 1 看出,混凝土侧墙的不同部位应变差异较大。未掺 YX-W 抑温防水复合材料,侧墙中部和下部的应变分别是 226.4、209.2  $\mu\epsilon$ ;掺入 YX-W 抑温防水复合材料后,侧墙中部和下部的应变分别为 158.1、180.6  $\mu\epsilon$ ,分别降低了 30.2%、13.7%。侧

墙中部应变降低程度较大,主要是侧墙中部的散热较差,导致内部温度过高,产生的应变较大,YX-W 抑温防水复合材料更大程度地降低了内部水化热量,应变降低较为明显,更好地增强混凝土侧墙的抗裂性能。

## 材料科学

## 2.4 自密实抑温防水复合材料对混凝土抗压性能影响试验

根据表 8 中配合比制成立方体混凝土试件,按照 GB/T 50081—2019《混凝土物理力学性能试验方法标准》进行 3、7、28 d 混凝土抗压试验,试验结果见表 9,从抗压强度值可以看出,掺抑温材料的混凝土试块与空白组混凝土试块相比,3、7 d 龄期的混凝土强度相近,28 d 混凝土强度还略有提升,表明在混凝土成型过程中掺入自密实抑温防水复合材料不会影响混凝土早期强度,还会增强混凝土 28 d 强度,有利于增强后期混凝土抗裂性能。

表 9 混凝土抗压强度

Table 9 Compressive strength values of concrete /MPa

组别	3 d	7 d	28 d
空白组	13.4	27.0	39.7
YX-W 组	13.2	26.1	40.3

## 3 结论

(1) 自密实抑温防水复合材料掺入混凝土中,使工程中侧墙中部和下部的应变分别为分别降低了 30.2%、13.7%,很大程度地减少温度裂缝的产生。特别是对于地下室侧墙等薄壁结构,在减少裂缝产生的同时,材料中的高分散抗静电纤维,在混凝土中呈现三维杂乱分布,对结构进行增韧,能够大幅

度提高混凝土抗裂性能。

(2) 自密实抑温防水复合材料在地下室工程使用中,实现了结构的自防水功能,使地下室防水工程重心从外防水转移到结构自防水上,并且取得了较好的效果。

## 参 考 文 献

- [1] 苏建滨. 大体积混凝土温度裂缝控制与优化分析 [J]. 散装水泥, 2022 (1): 124-126.
- [2] 乔永立. 大体积混凝土温度裂缝的分析与控制措施 [J]. 中国建材科技, 2022, 31 (2): 137-138, 84.
- [3] 王明, 郭海龙, 周清松, 等. 结构自防水在地下混凝土工程中的应用 [J]. 混凝土世界, 2022 (6): 62-65.
- [4] 李明, 姚婷, 王育江, 等. 基于多场耦合机制的混凝土墙板结构裂缝控制 [J]. 混凝土, 2017 (11): 58-62.
- [5] 黄河, 冯雁波, 杨鹏, 等. 混凝土抗裂能力的评价探讨 [J]. 工程建设与设计, 2022 (15): 219-221.
- [6] 邓其岳. 大体积混凝土温度裂缝防控措施 [J]. 江西建材, 2021 (5): 165, 168.
- [7] 罗雷, 杨奇玮. 高效抗裂防水剂在地下工程大体积混凝土中的应用技术研究 [J]. 中国建筑防水, 2016 (4): 21-25.
- [8] 张海军. 浅谈超长混凝土结构温度收缩裂缝的预防措施 [J]. 四川建筑, 2013, 33 (1): 113-114, 118.
- [9] 万里长, 范玮武, 叶庭, 等. 大体积混凝土温度裂缝控制技术的运用 [J]. 河南科技, 2020, 39 (34): 119-121.
- [10] 程云虹, 黄菲, 齐珊珊, 等. 高硅型铁尾矿对混凝土碳化及抗硫酸盐腐蚀性能的影响 [J]. 东北大学学报, 2019, 40 (1): 121-149.
- [11] 高润东, 赵顺波, 李庆斌, 等. 干湿循环作用下混凝土硫酸盐侵蚀劣化机理试验研究 [J]. 土木工程学报, 2010, 43 (2): 48-84.
- [12] 李涛, 朱鹏涛, 张彬, 等. 硫酸盐侵蚀下混凝土内腐蚀反应-扩散过程的实验研究 [J]. 硅酸盐通报, 2020, 39 (1): 50-55.
- [13] 黄泽轩, 侯义辉, 宋少民. 铁尾矿微粉对混凝土收缩及耐久性能的影响 [J]. 混凝土, 2020 (5): 56-59.
- [14] 程云虹, 黄菲, 齐珊珊, 等. 高硅型铁尾矿对混凝土碳化及抗硫酸盐腐蚀性能的影响 [J]. 东北大学学报, 2019, 40 (1): 121-149.
- [15] 常宁. 钕钛磁铁尾复合胶凝材料制备隔声板材的研究 [D]. 邯郸: 河北工程大学, 2020.
- [16] 石磊, 宋宵. 钕钛磁铁尾矿对蒸压加气混凝土砌块的影响 [J]. 钢铁钕钛, 2020, 41 (3): 84-89.
- [17] 叶鹏飞. 钕钛铁尾矿高强烧结透水砖的制备及机理研究 [D]. 邯郸: 河北工程大学, 2021.

(上接第 20 页)