

# 关于纤维混凝土抗硫酸盐侵蚀的研究

孔诗瑞 杜明峰 龙 坤 陶 鹏 杨 汉  
重庆交通大学 重庆 400074

**摘要:** 混凝土是现代建筑中最普遍的结构材料之一,在混凝土中掺入不连续的、乱向且分布不均匀的纤维能够提高混凝土构件的带裂缝工作能力,降低混凝土基体的原始缺陷,抑制裂缝产生。随着纤维混凝土在土木工程领域的广泛应用,纤维混凝土在硫酸盐侵蚀下的问题也越来越突出,国内外学者对此进行了大量的研究,但仍存在很多不足。本试验对纤维混凝土在硫酸盐侵蚀下的力学性能方面变化进行研究,通过试验着力于解决硫酸盐长期侵蚀纤维混凝土强度变化问题,对土木工程领域的研究和建设具有一定的科学意义和工程意义。

**关键词:** 纤维混凝土; 硫酸盐; 力学性能; 强度变化

## 文献综述

为解决硫酸盐的侵蚀对混凝土强度变化影响的问题。本文对欧阳东<sup>[1]</sup>提出的一种新混凝土抗硫酸盐腐蚀试验方法作出改进,加入聚丙烯纤维,再结合孔琳洁、欧阳东、傅浩<sup>[2]</sup>等人提出的“抗拉强度腐蚀系数”概念,探究纤维混凝土在硫酸盐侵蚀下的力学性能方面的变化。针对在不同硫酸盐浓度中,不同掺量纤维混凝土的强度变化展开试验,为纤维混凝土在实际工程环境中的运用提供理论基础。

## 1. 试验材料及方法

### 1.1 原材料

本试验选用P.O 42.5普通硅酸盐水泥。粗集料选用粒径5-20mm的石灰碎石,表观密度为2660kg/m<sup>3</sup>,堆积密度为1470kg/m<sup>3</sup>。细集料选用细度模数为2.34的河北天然河砂,含泥量为2.0%,表观密度2610kg/m<sup>3</sup>。聚丙烯纤维密度0.91g/cm<sup>3</sup>,纤维长度为20mm,抗拉强度为400MPa以上。选用液体秦奋牌聚羧酸高性能减水剂,减水率为37%,参量范围0.2%~0.5%。

### 1.2 配合比及成型

通过多次配比,最终确定的最佳配合比如表1所示。

表1 基准配合比

水 (kg/m <sup>3</sup> )	水泥 (kg/m <sup>3</sup> )	砂 (kg/m <sup>3</sup> )	碎石 (kg/m <sup>3</sup> )	减水剂 (kg/m <sup>3</sup> )	W/C	砂率 (kg/m <sup>3</sup> )
70	415	662	1178	1.7	0.41	36

### 1.3 试件制作与养护

将材料拌和,分别加入不同比例的聚丙烯体积掺量:0kg/m<sup>3</sup>、0.6kg/m<sup>3</sup>、0.9kg/m<sup>3</sup>、1.2kg/m<sup>3</sup>均匀搅拌后按规范装入试模。时间成型后,立即用不透水的薄膜覆盖表面,按照标准实验规范制作不同纤维掺量的混凝土试件,在

水中养护28d之后,放在自然环境中达到干燥状态。

## 2. 试验过程及现象

### 2.1 硫酸钠侵蚀试验

本次试验主要研究硫酸盐侵蚀下聚丙烯混凝土的力学性能变化,得到轴心抗压试验强度值,同时区不同侵蚀龄期的混凝土碎片进行电镜扫描试验,分析不同侵蚀龄期和硫酸盐溶液浓度下混凝土内部结构变化规律。

在四种不同硫酸钠质量分数(0、1%、5%、10%)溶液中,将试件放入配置好的不同浓度硫酸钠溶液中,进行干湿循环实验。为更接近于实际工程侵蚀环境,在室内自然条件下进行,保证温度与实际环境温度变化一致,侵蚀方式为立式全浸泡并保持硫酸钠溶液液面高出试件顶面2-3公分,以保证其充分侵蚀。在试验过程中为保持侵蚀溶液浓度及pH值稳定,采取每循环一次更换一次侵蚀溶液并保持侵蚀塑料箱的密封。

### 2.2. 立方体抗压试验

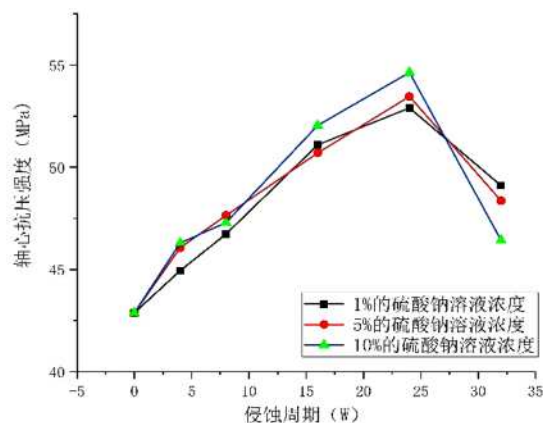


图1 1.2kg/m<sup>3</sup>聚丙烯纤维体积掺量试件轴心抗压强度变化图

①将到达既定侵蚀龄期的试件运至实验室准备试验;

②安放试件,将试验机下压板中心与试件的轴心对准,受压面为非成型面,通过调整球座,使上压板与试件接触均衡,开动试验机;

③对试件进行连续、均匀加载,混凝土强度等级(C40)时,取0.6 MPa/s;

④记录极限破坏荷载值,精确至0.1MPa。

聚丙烯纤维体积掺量试件轴心抗压强度变化图可以很好地反映出各个侵蚀龄期聚丙烯纤维混凝土的强度值,但无法直观地得到抗硫酸盐腐蚀性能。为了更加全面地分析硫酸盐侵蚀下聚丙烯纤维混凝土的强度变化规律和耐腐蚀能力,本次引入无量纲参数轴心抗压强度耐腐蚀系数 $K_{pc}$ ,其表达式如下:

$$K_{pc} = \frac{f_{pc,t}}{f_{pc,0}} \quad (4.1)$$

式中: $K_{pc}$ —轴心抗压强度耐腐蚀系数;

$f_{pc,t}$ —试件侵蚀 $t$ 周后轴心抗压强度(MPa);

$f_{pc,0}$ —试件初始轴心抗压强度(MPa)。

### 3. 试验结果及讨论

#### a. 聚丙烯掺量对试件表观形态的影响

本实验选用10%浓度的硫酸钠溶液,观察四种掺量的混凝土试件在16w、32w、48w四个阶段的表观形态。侵蚀到16w时,试件表面有大范围的白色晶体,盐析现象明显。普通混凝土棱边已经有微裂缝扩展为细长裂缝,边角出现了混凝土酥化现象。0.6kg/m<sup>3</sup>和0.9kg/m<sup>3</sup>聚丙烯纤维混凝土边角也出现少量的微裂缝,但长度较短,开口较小。1.2kg/m<sup>3</sup>聚丙烯纤维混凝土微裂缝开展更加不明显,仅在试件顶部出现很短的一条裂缝,周围有很多硫酸盐晶体聚集。侵蚀32w后,普通混凝土边角酥化和开裂严重,可以看到一场较长的斜裂缝,棱边细长裂缝已经扩展为贯通裂缝,裂缝开口变大。试件底部表层脱落,出现小面积的骨料外露。0.6kg/m<sup>3</sup>聚丙烯纤维混凝土边角也出现开始开裂,但斜裂缝倾斜度明显小于普通混凝土,试件底部出现了轻微的骨料外露现象,总体上损伤程度轻于普通混凝土。0.9kg/m<sup>3</sup>的聚丙烯纤维混凝土边角砂浆已经开始剥落,可以看到仍有少量基体在聚丙烯纤维的桥联作用下还未脱落。1.2kg/m<sup>3</sup>聚丙烯纤维混凝土边角除了细长的贯通裂缝之外,没有非常明显的砂浆剥落以及骨料外露。侵蚀48w后,普通混凝土边角损伤加剧,已经有一部分混凝土剥落,棱边呈现不规则形状,出现分层脱落。贯通裂缝持续扩展,开口变大,导致裂缝周围混凝土掉落,大量白色结晶盐填充在裂缝内部。0.6kg/m<sup>3</sup>的聚丙烯纤维混凝土裂缝表

层混凝土也开始脱落,但棱角相对普通混凝土依旧保持较好的完整度。而0.9kg/m<sup>3</sup>和1.2kg/m<sup>3</sup>聚丙烯纤维混凝土棱角出现砂浆剥落和骨料外露,棱边没有混凝土分层脱落。同时,边角的贯通裂缝在聚丙烯纤维的桥联作用下,开口宽度受到一定的约束限制,表现出优于普通混凝土的耐腐蚀能力。

#### b. 溶液浓度对试件表观形态的影响

本试验选用1.2kg/m<sup>3</sup>的聚丙烯纤维掺量的混凝土,分析16w、32w和48w三个阶段的表观形态。侵蚀到16w时,1%硫酸钠溶液中的试件表观形态与清水浸泡试件相差不多。5%硫酸钠溶液中的试件表面出现了少量的白色晶体,表观颜色也比清水浸泡试件更白。10%硫酸钠溶液中,试件表面覆盖了大量的白色晶体,试件上边缘产生一条较短的微裂缝,周围伴有少量聚丙烯纤维桥联的混凝土小块。

侵蚀32w后,清水浸泡和1%硫酸钠溶液的试件表面开始变黑,且1%硫酸钠溶液中的试件没有出现损伤现象。5%硫酸钠溶液中的试件,可以清晰地观察到棱边处出现一条细长的贯通裂缝,边角的砂浆也开始剥落,骨料外露。10%硫酸钠溶液中的试件,棱边均出现了细长的贯通裂缝。在棱角处,可以很清晰的观察到裂缝开口变大,且三条裂缝开裂使得棱角受损严重。

侵蚀48w后,清水浸泡的试件表观颜色进一步变黑,而1%硫酸钠溶液试件表面开始由黑转向白,棱边和棱角均为发现有明显的损伤现象。5%硫酸钠溶液中的试件表面布满了细长的硫酸盐结晶,棱边裂缝数量变多,且细长裂缝均以发展为贯通裂缝。边角受硫酸盐腐蚀严重,混凝土酥化范围进一步扩大。在10%硫酸钠溶液中,棱角砂浆剥落现象加剧,同时,棱边的裂缝开裂后,会有大量结晶盐堆积,产生膨胀应力,使得棱边变形加大,呈现四边凸起的现象。

### 4. 结论

聚丙烯纤维具有很好的阻裂性能,在混凝土内部以乱向分布的方式可以有效地约束住基体,保证混凝土试件开裂后依旧保持较好的完整性。

侵蚀产物和物理结晶盐的膨胀应力会破坏混凝土基体间的粘结作用,引起内部初始孔隙重新开展以及新裂缝产生,降低混凝土的密实性,从而引起表观的损伤。而聚丙烯纤维具有较好的抗拉强度,当聚丙烯纤维与混凝土的基体受到膨胀应力时,聚丙烯纤维可以有效地减缓裂缝的开展,从而减少形貌损伤,在硫酸盐侵蚀环境有更好的工作性能

参考文献:

- [1] 欧阳东. (2003). 混凝土抗硫酸盐侵蚀试验的一种新方法. 腐蚀与防护, 24(9), 3.
- [2] 孔琳洁, 欧阳东, 傅浩, 鲁刘磊, 黄成武, & 廖龙等. (2013). 聚丙烯纤维对混凝土耐硫酸盐腐蚀性能的影响. 硅酸盐通报, 32(8), 7.
- [3] 万菁. 对建筑工程混凝土结构的施工技术分析[J]. 工程技术:文摘版, 2016(12):00004-00004.
- [4] 郭鑫、曾良诚、张国祥、杨佳豪. (2020). 聚丙烯纤维及玄武岩纤维透水混凝土性能研究. 科学技术创新 (32), 2.
- [6] 汪金花, 曹兰杰, 徐国强, 封孝信, 吴兵, & 张博. (2019). 混凝土硫酸钠腐蚀产物的高光谱检测方法研究. 光谱学与光谱分析, 39(6), 7.
- [7] 黄金林, 李青, 陆金驰, & 唐贵和. (2020). 双掺硅灰和聚丙烯纤维透水混凝土试验研究. 广东土木与建筑, 27(8), 3.
- [8] 吴文伟, 董雪花, 姜旻骁, & 杨菲菲. (2011). 钢-聚丙烯纤维混凝土低温性能研究. 低温建筑技术 (9), 2.
- [9] 李贤, 王慧茹, 乔弘, 郝秀红, & 王彦敏. (2020). 基于紧密堆积理论的c30混凝土配合比设计. 山东交通科技 (1), 4.
- [10] 侯经文, & 秦亚梅. (2021). 粉煤灰掺量对纤维混凝土压缩强度的影响. 粘接 (4), 3.
- [11] 乔宏霞, 何忠茂, & 刘翠兰. (2006). 粉煤灰混凝土在硫酸盐环境中的动弹性模量研究. 粉煤灰综合利用 (1), 3.
- [12] 陈强. (2011). C90高性能混凝土配合比设计. 商品混凝土 (12), 4.
- [13] 朱伟兵, 孙红雨, Zhu, Weibing, Sun, & Hongyu等. (2016). 低vc值碾压混凝土性能研究. 长江大学学报(自科版): 上旬, 13(1), 4.
- [14] 严兵, & 张铮. (2015). C85抗冲耐磨混凝土配合比设计与研究. 水电与新能源 (9), 6.
- [15] 李培涛. 养护温度对喷射混凝土性能影响试验研究. (Doctoral dissertation, 河南理工大学).
- [16] 董智福. 耐碱集束型玻璃纤维混凝土和聚丙烯土工布服役性能研究. (Doctoral dissertation, 北京工业大学).