

# 基于灰色关联法的性能增强资源化混凝土耐久性影响因素研究

吴卓,郑文博,曲阳

(西京学院土木工程学院,陕西 西安 710123)

**摘要:**为了研究性能增强资源化混凝土影响因素对耐久性的关联度,本文设计4种配合比,测试了力学性能和抗冻性,对冻融循环次数、粉煤灰掺量、硅粉掺量、力学强度等几个相关影响因素对资源化性能增强混凝土质量损失以及相对动弹性模量进行关联度分析。结果表明:质量损失与冻融循环次数、粉煤灰掺量、硅粉掺量、抗压强度、劈裂抗拉强度5个相关影响因素之间的关联度依次为:硅粉掺量>抗压强度>劈裂抗拉强度>粉煤灰掺量>冻融循环次数;冻融循环次数、粉煤灰掺量、硅粉掺量、抗压强度、劈裂抗拉强度与相对动弹性模量之间关联度依次为:0.5965,0.7324,0.8261,0.9181,0.8394,表现为:抗压强度>劈裂抗拉强度>硅粉掺量>粉煤灰掺量>冻融循环次数。

**关键词:**性能增强;资源化混凝土;耐久性;灰色关联度

【DOI】10.12231/j.issn.1000-8772.2020.36.218

## 1 引言

随着我国城市化进程的加快,拌和混凝土所需的原料过量消耗,严重影响着生态平衡。而性能增强资源化混凝土它是将废弃拆除的混凝土进行回收作为骨料,通过在混凝土中添加掺合料,进行补强<sup>[1]</sup>。它的应用可以有效的减少环境污染,又可以缓解资源压力。但是,在耐久性方面受到多重耦合因素的影响。相比于单项指标评价混凝土耐久性,多重耦合因素评价耐久性较为复杂。于本田等研究矿物掺合料与水胶比对混凝土耐久性的影响,测试了不同混凝土的抗氯离子渗透性、抗冻性、耐磨性和抗硫酸盐侵蚀性能,采用灰色关联分析的方法,分析了矿物掺合料掺量、水胶比和混凝土耐久性之间的关联程度和关联极性。

## 2 灰色关联度模型确立

灰色关联度计算步骤:

(1)模型计算的参考母序列设为  $Y_0=(y_0(1),y_0(2),\dots,y_0(n))$ ,为计算模型母序列,本文将资源化混凝土冻融循环后的质量损失、相对动弹性模量两个混凝土耐久性评价指标作为参考母序列。

(2)确立影响资源化混凝土耐久性的相关因素子序列,本文中把冻融循环次数、外加剂、抗压、劈裂抗拉强度这四个因素作为耐久性相关因素子序列,设其为:  $X_i=(x_i(1),x_i(2),\dots,x_i(n))$ ,其中  $i=1$  为冻融循环次数; $i=2$  为粉煤灰掺量; $i=3$  为硅粉掺量; $i=4$  为抗压强度; $i=5$  为劈裂抗拉强度。

(3)求参考母序列  $Y_0$  与相关因素子序列  $X_i$  对应分量差值序列  $\Delta_i(h)$ ,其中设  $\Delta_i(h)=y_0(h)-x_i(h)$ , $\Delta_i=(\Delta_i(1),\Delta_i(2),\dots,\Delta_i(n))$ , $i=1,2,\dots,m$ ,差值运算完成后找出最大值与最小值,依次设为  $M=\max_i \max_j \Delta_i(h)$ , $m=\min_i \min_j \Delta_i(h)$ 。

(4)计算参考母序列关联系数,设为:

$$\gamma_{0i}(h)=\frac{m+\rho M}{|\Delta_i(h)|+\rho M} \quad (1)$$

其中根据文献  $\rho=0.5$ 。

(5)最后求出所需的关联度

$$\zeta_{0i}=\frac{1}{n} \sum_{h=1}^n \gamma_{0i}(h) \quad (2)$$

## 3 试验

(1)试验配合比及强度测试。本试验按照 JGJ 55-2011《普通混凝土配合比设计规程》设计了粉煤灰和硅灰的替代率为 0%(F0S0)、粉煤灰替代率 10%硅灰替代率为 10%(F10S10)、粉煤灰替代率 15%硅灰替代率为 5%(F15S5)、粉煤灰替代率 20%硅灰替代率为 0%(F20S0)四种配合比,天然组骨料与资源化粗骨料 1:1;制作 48 块 100mm×100mm×100mm 的立方体试件,标准养护 28d 后测试了力学性能,分别对应抗压强度为 25.8MPa、38.8MPa、35.9MPa、30.8MPa;劈裂抗拉强度分别为 1.25MPa、2.29MPa、1.55MPa、1.40MPa。

(2)性能增强资源化混凝土抗冻性测试。按照《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082-2009)的要求,进行冻融循环试验,测量质量损失率和相对动弹性模量损失,F0S0、F10S10、F15S5、F20S0 冻融循环 200 次质量损失率分别为:1.76%、0.48%、0.55%、1.01%,相对动弹模量为:79.2%、85.94%、83.99%、65.38%。

## 4 资源化性能增强混凝土抗冻耐久性与各因素间关联度分析

(1)质量损失与各影响因素之间的关联度分析。计算相关因素子序列与从参考母序列参数的差值后,计算灰色关联度模型,其质量损失与冻融循环次数、粉煤灰掺量、硅粉掺量、抗压强度、劈裂抗拉强度的关联度依次为:0.5218、0.7801、0.8356、0.8078、0.8042,表现为:硅粉掺量>抗压强度>劈裂抗拉强度>粉煤灰掺量>冻融循环次数。由此可知,性能增强掺合矿物料中的硅粉掺量对其抗冻耐久性指标中的质量损失的影响最大,随着冻融循环次数的增加,硅粉掺量越多,其质量损失越小,表现出其良好的抗冻耐久性,这是因为硅粉水化产生的凝胶填充了资源化混凝土结合面的裂缝,同时填充了结构内部孔隙,增加了密实度,使得资源化混凝土内部孔隙率降低。

(2)相对动弹性模量与各影响因素之间的关联度分析。所得的资源化混凝土 5 个相关影响因素与相对动弹性模量之间的关联系数,计算出冻融循环次数、粉煤灰掺量、硅粉掺量、抗压强度、劈裂抗拉强度与相对动弹性模量之间关联度依次为:0.5965、0.7324、0.8261、0.9181、0.8394,表现为:抗压强度>劈裂抗拉强度>硅粉掺量>粉煤灰掺量>冻融循环次数。由此可知,对于资源化混凝土的抗冻性,在多因素耦合作用下,抗压强度对其资源化混凝土抗冻耐久性指标中的质量损失的影响最大,随着冻融循环次数的增加,抗压强度越大,资源化混凝土的相对动弹性模量减小较慢。

## 5 结束语

随着冻融循环次数增加,性能增强掺合矿物料中的硅粉掺量越多,强度越好,其质量损失和相对动弹性模量较小减慢,表现出其良好的抗冻耐久性。

质量损失与冻融循环次数、粉煤灰掺量、硅粉掺量、抗压强度、劈裂抗拉强度 5 个相关影响因素之间的关联度依次表现为:硅粉掺量>抗压强度>劈裂抗拉强度>粉煤灰掺量>冻融循环次数。

## 参考文献

[1]仇金辉.《用于水泥和混凝土中的铁尾矿粉》标准推动资源化利用[A].  
[2]李沙,代文彬,潘德安,等.镍铁渣用于水泥及混凝土的资源化研究综述[J].硅酸盐通报,2019,38(06):1764-1768.

**作者简介:**吴卓(1986-),女,硕士研究生,研究方向:主要从事混凝土耐久性研究。