

# 混凝土掺合料对混凝土抗冻性影响的试验研究分析

郭书亮

重庆工贸职业技术学院，重庆，408000；

**摘要：**本文通过对 9 组复掺混凝土进行冻融循环试验，并在冻融试验后进行试块质量检测，动弹性模量测量和冻融循环后的抗压情况进行试验，来说明复掺掺合料对混凝土抗冻性的影响。最后得出结论，石灰石粉会使混凝土抗冻性下降，在复掺了粉煤灰和矿渣粉后，抗冻性得到有效的提升，而过量掺加掺合料后，抗冻性会不增反降。

**关键词：**冻融循环试验；动弹性模量；抗压强度；掺合料

**DOI：**10.69979/3029-2727.25.10.015

## 引言

混凝土被广泛应用于各个建设工程之中，从而导致混凝土原料越来越稀缺，成本越来越高，人们开始寻找一些掺合料来代替水泥，粉煤灰，石灰石粉和矿渣，作为工业废料，代替水泥的使用不仅可以降低成本，还能保护环境，有效处理工业废料。处于严寒地区的水工混凝土都会受到不同程度的冻融破坏，冻融破坏会造成混凝土的抗压强度，弹性模量等力学性能和耐久性能降低，混凝土在冻融环境下造成的破坏是不可逆的，会造成巨大的安全隐患和财产损失。随着三种掺合料的掺入，对混凝土各方面的性能都能进行改善，但是如果没有控制好，也会起到相反的作用，所以对掺合料的掺加研究是很有必要的。

## 1 复掺混凝土抗冻性能试验概述

混凝土抗冻性是混凝土耐久性当中的重要性能，冻融循环试验就是对在饱水状态下的混凝土于冻融循环

的环境下检测混凝土的抗冻性能。混凝土的掺合料对混凝土的抗冻性有很大的影响，因此为了研究石灰石粉，粉煤灰和矿渣粉复掺混凝土后对混凝土的抗冻性的影响，该试验对 9 组复掺参合料的混凝土进行了冻融循环试验，并在冻融试验后进行试块质量检测，动弹性模量测量和冻融循环后的抗压情况进行试验，来说明复掺掺合料对混凝土抗冻性的影响。

该试验根据《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ55—2011）计算出本次试验的复掺混凝土的配合比，掺入的石灰石粉、粉煤灰、矿渣粉等掺合料以不同比例去替代等比例水泥。三种掺量比例一定，最后根据正交试验设计方法确定。

本次试验是采用三因素三水平，三个因素为石灰石粉（A）、粉煤灰（B）、矿渣粉（C）。三水平为：石灰石粉掺量：0、5%、15%；粉煤灰掺量：0、5%、15%；矿渣粉的掺量为 0、5%、15%。正交试验设计水平因素表如表 1 所示。

表 1 正交试验设计水平因素表

水平	因素 A：石灰石粉 (%)	因素 B：粉煤灰 (%)	因素 C：矿渣粉 (%)
1	0	0	0
2	5	5	5
3	15	15	15

## 2 复掺混凝土抗冻性能试验

### 2.1 复掺混凝土冻融情况下的质量变化情况

冻融循环试验严格按照 GBT-T50082-2009《普通混凝土长期性能和耐久性试验标准》，对的 100×100×40mm 试件每冻融 25 次测量一次试件质量，并最终算出质量损失率。在质量损失大于 5% 的情况下停止试验。

试件质量损失率计算公式如下：

$$\Delta W_{ni} = \frac{W_{oi} - W_{ni}}{W_{oi}} \times 100 \quad (1)$$

式中： $\Delta W_{ni}$ ——冻融循环之后的混凝土试件质量损失率（%），精确至 0.01；

$W_{oi}$ ——冻融循环之前的试件质量（g）；

$W_{ni}$ ——冻融循环之后的试件质量（g）

### 2.2 复掺混凝土冻融情况下的动弹性模量变化情况

动弹性模量是反应混凝土内部致密性的重要指标，动弹性模量测定应严格按照 GBT-T50082-2009《普通混凝土长期性能和耐久性试验标准》进行试验，先用动弹仪测出试件的横向震动时的基频振动频率，然后按照公式(5-2)计算出动弹性模量。当相对动弹性模量下降60%时，停止试验。

$$E_d = 13.244 \times 10^{-4} \times WL^3 f^2 / a^4 \quad (2)$$

式中： $E_d$ ——混凝土动弹性模量(MPa)；  
 $a$ ——正方形截面试件的边长(mm)；  
 $L$ ——试件的长度(mm)；  
 $W$ ——试件的质量(kg)，精确到0.01kg；  
 $f$ ——试件的横向震动时的基频振动频率(Hz)。

### 2.3 复掺混凝土冻融情况下的抗压强度变化情况

混凝土抗压强度试验应严格按照 GBT 50081-2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》进行，所使用的仪器为 TAW—2000 电液伺服岩石三轴试验机，如图1.

所示。加载速度应按照《普通混凝土力学性能试验方法标准》，取每秒0.5—0.8MPa，混凝土立方体试件抗压强度公式为：

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (3)$$

式中： $\sigma_c$ ——混凝土立方体试件抗压强度(MPa)；

$P$ ——试件破坏荷载(N)；

$A$ ——试件承压面积(mm<sup>2</sup>)。

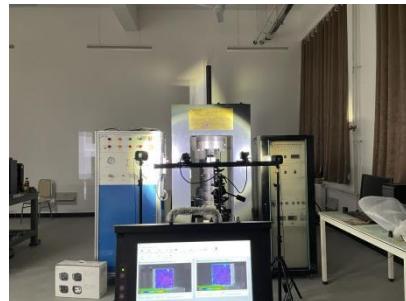


图1 TAW—2000 电液伺服岩石三轴试验机

## 3 复掺混凝土抗冻性能试验结果分析

### 3.1 质量变化情况分析

冻融循环试验得到的结果如表1、表2所示。

表1 复掺混凝土25次、50次质量损失变化表

冻融循环次数	0次		25次		50次	
	质量(kg)	质量(kg)	质量损失(%)	质量(kg)	质量损失(%)	
C1	9.45	9.58	-1.46	9.41	0.32	
L1	9.55	9.7	-1.58	9.51	0.36	
LF1	9.5	9.62	-1.34	9.47	0.26	
LF2	9.37	9.53	-1.81	9.32	0.44	
LS1	9.68	9.79	-1.23	9.65	0.22	
LS2	9.48	9.64	-1.76	9.43	0.41	
SF1	9.6	9.74	-1.53	9.56	0.33	
SF2	9.41	9.56	-1.7	9.37	0.39	
LSF1	9.55	9.68	-1.39	9.52	0.29	

表2 复掺混凝土冻融循环75次、100次质量损失变化表

冻融循环次数	0次		75次		100次	
	质量(kg)	质量(kg)	质量损失	质量(kg)	质量损失	
C1	9.45	9.36	0.93	9.27	1.81	
L1	9.55	9.45	1.01	9.35	2.04	
LF1	9.5	9.41	0.87	9.33	1.75	
LF2	9.37	9.25	1.25	9.11	2.67	
LS1	9.68	9.60	0.81	9.51	1.69	
LS2	9.48	9.36	1.18	9.24	2.43	
SF1	9.6	9.51	0.89	9.42	1.86	
SF2	9.41	9.30	1.13	9.18	2.35	
LSF1	9.55	9.45	0.99	9.36	1.98	

表 1、和表 2 展示了 9 组复掺混凝土在冻融循环情况下质量损失情况,当冻融循环 25 次时,9 组混凝土的质量都得到了增加,质量增加主要是因为冻融循环的冻胀作用导致混凝土内部的孔隙率变大,含水量增大。到了冻融循环 50 次时,9 组复掺混凝土的质量均出现了下降的情况,在冻融循环下,质量出现下降,是因为随着冻融循环次数的增加,试件表面会开始脱落,并且到了

冻融循环的中后期,试件破损会越来越严重,甚至会出现试件破裂的情况。最终通过对比分析得出石灰石粉会使混凝土抗冻性下降,在复掺了粉煤灰和矿渣粉后,抗冻性得了有效的提升,而过量掺加掺合料后,抗冻性会不增反降。

### 3.2 动弹性模量变化情况分析

动弹性模量试验得到的结果如表 3、表 4 所示。

表 3 复掺混凝土冻融循环 25 次、50 次动弹性模量变化表

冻融循环次数	0 次		25 次		50 次	
	动弹模 (MPa)	动弹模 (MPa)	相对动弹模 (%)	动弹模 (MPa)	相对动弹模 (%)	
C1	42238	40379	95.6	36873	87.3	
L1	42895	39892	93	36546	85.2	
LF1	44355	43157	97.3	39742	89.6	
LF2	40745	36263	89	32310	79.3	
LS1	45427	44563	98.1	41520	91.4	
LS2	41478	37454	90.3	34219	82.5	
SF1	43007	40168	93.4	37287	86.7	
SF2	41009	36621	89.3	32971	80.4	
LSF1	43306	41876	96.7	38499	88.9	

表 4 复掺混凝土冻融循环 75 次、100 次动弹性模量变化表

冻融循环次数	0 次		75		100 次	
	动弹模 (MPa)	动弹模 (MPa)	相对动弹模 (%)	动弹模 (MPa)	相对动弹模 (%)	
C1	42238	31847	75.4	27961	66.2	
L1	42895	31870	74.3	27538	64.3	
LF1	44355	36903	83.2	34375	77.5	
LF2	40745	27421	67.3	-	-	
LS1	45427	39112	86.1	35887	79	
LS2	41478	28785	69.4	-	-	
SF1	43007	32943	76.6	29502	68.6	
SF2	41009	27927	68.1	-	-	
LSF1	43306	35727	82.5	33908	78.3	

如表 3 和表 4 所示,其主要展示了复掺混凝土在冻融循环 100 次时动弹性模量变化的过程,9 组复掺混凝土在整个冻融循环过程中整体呈下降的趋势。混凝土的冻融破坏是混凝土试件从致密到疏松的过程,动弹模的下降反映了这么一个过程,混凝土内部本身就存在一定的缺陷和微裂隙,随着冻融循环的进行,缺陷和微裂隙会随之增长,并有新的裂隙产生,从而导致动弹模下降。通过对 9 组复掺混凝土的质量损失率和相对动弹性模量在冻融情况下的变化情况可以看出,掺入适量粉煤灰或

者矿渣粉的复掺混凝土试件的抗冻性得到了提高,而抗冻性减弱的几组,主要因为掺入过多的掺合料后,导致水化反应不完全,混凝土本身的强度密实度不够,孔隙和微裂缝较多,抗渗能力差,所以抗冻性差。由上述分析可知,适当掺入粉煤灰和矿渣粉参合料的复掺混凝土的抗冻性优于普通混凝土。

### 3.3 抗压强度变化情况分析

抗压强度试验得到的结果如表 5 所示。

表 5 复掺混凝土冻融循环抗压强度变化表

冻融循环次数	0 次	25 次	50 次	75 次	100 次
C1	36.9	32.6	27.5	23.3	19.6
L1	39	34.5	28.6	23.8	20.3
LF1	41.2	37.3	32.8	28.1	25.6
LF2	31.8	27.4	24.3	19.6	15.4
LS1	42.4	39.5	35.8	30.4	27.3
LS2	35.1	30.5	26.2	21.3	17.9
SF1	37.5	33.1	28.5	24.1	20
SF2	34.3	29.8	25.3	20.1	16.7
LSF1	38.9	35.8	30.5	26.3	23.1

如表 5 展示了 9 组复掺混凝土在 0~100 次冻融循环环境下抗压强度变化情况，通过以上数据可以看出，在试验当中随着冻融循环次数的不断增加，复掺混凝土地强度在不断的减小。

#### 4 总结

通过对 9 组复掺参合料的混凝土进行 100 次冻融循环试验，并对冻融后的 9 组混凝土试件的质量损失变化、相对动弹性模量和冻融循环后的抗压强度进行分析，得到了以下两点结论。

(1) 复掺石灰石粉会使混凝土的抗冻性下降，复掺粉煤灰和矿渣粉，混凝土的抗冻性能够得到有效提升，但过量掺加掺合料后，抗冻性会不增反降。

(2) 9 组混凝土与冻融循环前的抗压强度顺序整体差别不大，抗压强度最大的依旧是最大的，抗压强度最小的依旧是最大的。

#### 参考文献

- [1] 富立志. 冻融环境下混凝土单轴受拉性能的试验研究[D]. 扬州大学, 2010.
- [2] 李德康. 粉煤灰在混凝土中的应用[J]. 建筑技术通讯, 1983(21): 100-103.
- [3] 宋玉普, 冀晓东. 混凝土冻融损伤可靠度分析及剩余寿命预测[J]. 水利学报, 2006, 03: 259-263.
- [4] 沈乾洲. 石灰石粉作为掺合料在混凝土中的应用[J]. 重庆建筑, 2021, 20(04): 32-35.
- [5] 蒋家奋. 矿渣微粉在水泥混凝土中应用的概述[J]. 混凝土与水泥制品, 2002(03): 3-6.

[6] 张德思, 成秀珍. Research on the Freeze/Thaw Durability of PFA Concrete%粉煤灰混凝土抗冻融耐久性的研究[J]. 西北工业大学学报, 2018(002): 175-178.

[7] Coussy O. Poromechanics of freezing materials. Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 2005, 53(8): 1689-1718.

[8] Jacobsen S. Calculating liquid transport into high -rmance concrete during wet freeze-thaw. Cement and Concrete Research, 2005, 35: 213-219.

[9] 段安, 钱稼茹. 混凝土冻融过程数值模拟与分析[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2009, 49(09): 1441-1445.

[10] 商怀帅, 宋玉普, 覃丽坤. 普通混凝土冻融循环后性能的试验研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2005(2): 9-11.

[11] 覃丽坤, 宋玉普, 陈浩然, 王列东, 张众, 于长江. 双轴拉压混凝土在冻融循环后的力学性能及破坏准则[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, (10): 1740-1745.

[12] 姚家伟, 覃丽坤, 宋玉普. 三轴压的普通混凝土在冻融循环后的力学性能[J]. 混凝土, 2011, (03): 25-27+37.

作者简介：郭书亮(1984-)，男，讲师，主要从事于水土建筑结构和建筑材料分析研究。

基金项目：重庆市教委科学技术研究计划项目 (KJQN202103602)；重庆工贸职业技术院项目 (ZR202435)。