

C30 钢渣混凝土的温度线膨胀系数试验研究

刘安宁¹, 徐兵¹, 徐兵²

(1. 上海勘测设计研究院, 上海 200434; 2. 上海宝钢新型建材科技有限公司技术中心, 上海 201999)

摘要:通过埋设在 C30 普通混凝土和 C30 钢渣混凝土中无应力计的实测伴测温度及计算得到的无应力应变值, 采用最小二乘法进行拟合。拟合成果表明: C30 普通混凝土的温度线膨胀系数接近 $10.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, C30 钢渣混凝土的温度线膨胀系数大于 $11.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$; 无论是 C30 普通混凝土还是 C30 钢渣混凝土, 其温度线膨胀系数 α 不是一个定值, 它随着时间的改变而改变。为实现钢渣在混凝土中安全、可靠的利用, 建议钢渣混凝土在温度应力对结构稳定性影响不大的建(构)筑物中使用。

关键词:无应力计; C30 钢渣混凝土; 无应力应变; 最小二乘法拟合; 温度线膨胀系数

中图分类号:TV543.82 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2014)01-0061-04

混凝土的温度线膨胀系数是其热膨胀系数的一个方面^[1], 水泥混凝土的线膨胀系数是影响其早期行为的重要因素, 对混凝土翘曲、早期开裂有着直接影响, 是混凝土早期开裂敏感性分析的重要参数^[2]。在混凝土结构设计时常常需要考虑混凝土的热性质, 汪澜、冯乃谦等对混凝土材料的热膨胀性进行了很多研究^[3-4]。目前, 对于钢渣混凝土, 大多进行的是抗压强度和耐久性^[5]、工作性能和力学性能^[6]及钢渣安定性与活性激发^[7]等方面的研究, 对温度线膨胀系数展开试验研究的甚少。因此, 通过无应力计(实际上是由安装在锥形双层套筒内的应变计制成的应变测量仪, 由于这种特殊结构的隔离而不受外力作用, 通过对无应力计的电阻和电阻比测值可以计算出混凝土的自由体积变形, 也称混凝土的无应力应变或混凝土在非构造荷载作用下产生的变形, 一般用 ε_m 表示。安装在锥形双层套筒内的 DI 型应变计测试的就是这种自由体积变形)测值开展钢渣混凝土的温度线膨胀系数试验研究是有工程现实意义的, 有利于分析钢渣混凝土的应力应变, 有利于分析钢渣混凝土的裂缝成因。

1 C30 普通及钢渣混凝土的配置

选取两幅防汛墙进行现场试验, 一幅防汛墙用 C30 普通混凝土浇筑, 一幅防汛墙用 C30 钢渣混凝土浇筑。对比 C30 普通混凝土, C30 钢渣混凝土中利用钢渣微粉替代 20% S95 矿粉, 钢渣粗骨料替代碎石的比例 $\geq 20\%$, 钢渣细骨料替代河砂的比例 $\geq 40\%$, 固体废物占比达 32.1%。两种 C30 混凝土中水泥用量均为 220 ~ 230 kg/m³。

2 温度线膨胀系数 α 的计算依据

混凝土在非荷载作用下的变形 ε_m 、湿度变形及自生体积变形, 即:

$$\varepsilon_m = G_{(t)} + \alpha \Delta T + \varepsilon_w$$

式中: $G_{(t)}$ 为由混凝土物理化学因素引起的自生体积变形 ($\times 10^{-6}$); $\alpha \Delta T$ 为温度变化引起的变形 ($\times 10^{-6}$), 其中 α 为混凝土材料的温度线膨胀系数; ε_w 为湿度变化引起的变形 ($\times 10^{-6}$)。

通常认为: 混凝土的自生体积变形 $G_{(t)}$ 经过一段时间以后变化趋于平缓, 在 90 d 以后基本为一定值, 一般约 $20 \sim 100 \times 10^{-6}$ ^[8]; 湿度变形 ε_w 。

收稿日期: 2013-11-13

作者简介: 刘安宁(1979-), 男, 云南禄劝人, 工程师, 主要研究方向为水利水电工程监理。

通讯作者: 徐兵(1978-), 男, 湖北黄冈人, 高级工程师, 主要研究方向为岩土工程监测。

很小,基本上可忽略不计^[9]。因此,混凝土浇筑 90 d 后,基本可认为 $G_{(t)}$ 和 ε_w 为定值。由此,可以认为 90 d 后混凝土的温度线膨胀系数 α 只与伴测温度 ΔT 呈线性关系,即 $\alpha \propto \Delta T$ 。

3 研究内容及试验方法

试验用 DI-10 型无应力计测值计算出两种混凝土中发生的无应力应变 ε_m 及伴测温度,然后将 90 d 后两种混凝土的无应力应变值与伴测温度采用最小二乘法进行拟合,求出两种 C30 混凝土的温度线膨胀系数 α 。

为保证无应力计筒内的混凝土既要与筒外混凝土完全一样,又要处于无应力状态,本次试验中无应力计桶内加软塑料泡沫置于桶内壁,可保证无应力计处于不受构造荷载作用状态。无应力计安装埋设图详见图 1。

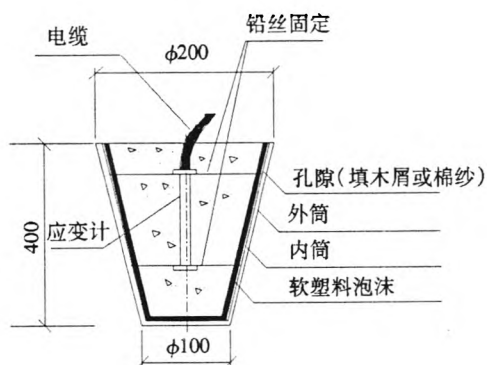


图 1 无应力计安装埋设详图

Fig. 1 Non-stress meter installation details

4 拟合计算成果及分析

4.1 1 年期实测资料拟合计算成果及分析

C30 普通混凝土中埋设无应力计编号为 I1、I2, C30 钢渣混凝土中埋设无应力计编号为 I3、I4。以无应力计电阻计算出的伴测温度为自变量,以无应力计计算出的无应力应变值为因变量,采用最小二乘法进行拟合。混凝土浇筑 90 d 后,普通混凝土中无应力计处的伴测温度-无应力应变变量实测及拟合曲线见图 2、图 3;钢渣混凝土中无应力计处的伴测温度-无应力应变变量实测及拟合曲线见图 4、图 5。

浇筑 90 d 后各无应力计的伴测温度-拟合无应力应变方程见表 1。

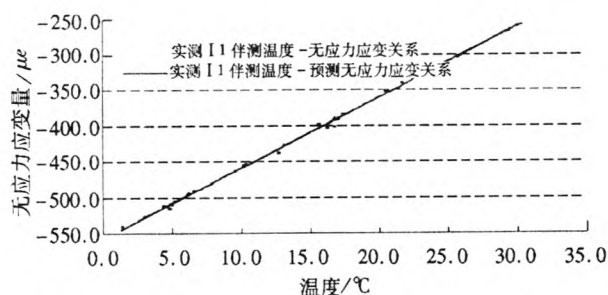


图 2 浇筑 90 d 后 C30 普通混凝土中无应力计 I1 处的伴测温度-实测及拟合无应力应变变量曲线

Fig. 2 The curve for non-stress meter (I1) no-stress strain and with temperature after C30 ordinary concrete pouring 90 days

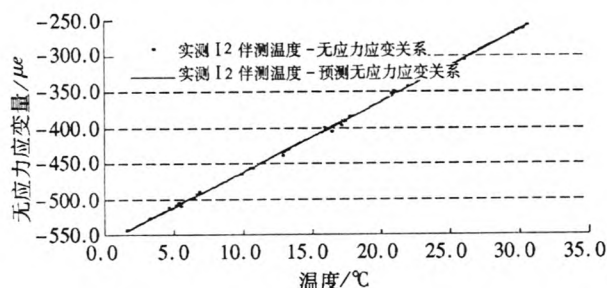


图 3 浇筑 90 d 后 C30 普通混凝土中无应力计 I2 处的伴测温度-实测及拟合无应力应变变量曲线

Fig. 3 The curve for non-stress meter (I2) no-stress strain and with temperature after C30 ordinary concrete pouring 90 days

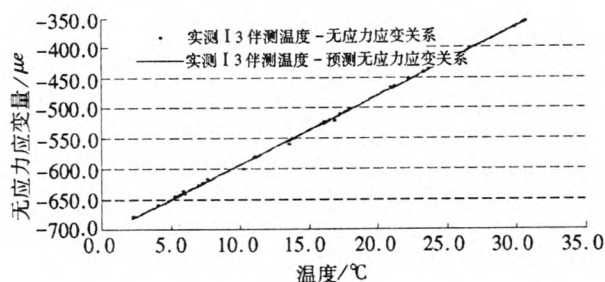


图 4 浇筑 90 d 后 C30 钢渣混凝土中无应力计 I3 处的伴测温度-实测及拟合无应力应变变量曲线

Fig. 4 The curve for non-stress meter (I3) no-stress strain and with temperature after C30 steel slag concrete pouring 90 days

由以上计算数据可知:①两种混凝土中实测无应力应变变量与伴测温度拟合计算出的相关系数在 99.9% 以上,表明混凝土中实测无应力应变变量与伴测温度这两个值呈现出较好的线性相关关系。②因为无应力计桶中的无应力计测值只受温度、湿度等非构造荷载的影响。因此,混凝土浇筑

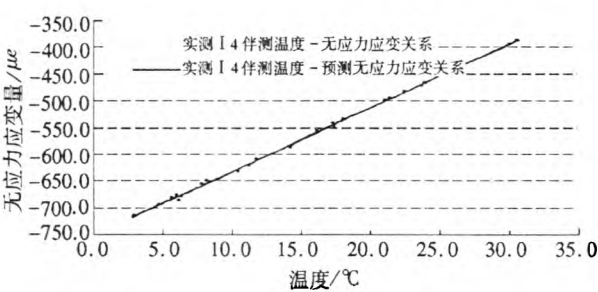


图 5 浇筑 90 d 后 C30 钢渣混凝土中无应力计 I4 处的伴测温度 - 实测及拟合无应力应变曲线
Fig.5 The curve for non - stress meter (I4) no - stress strain and with temperature after C30 steel slag concrete pouring 90 days

表 1 浇筑 90 d 后各无应力计的伴测温度 - 拟合无应力应变方程

Table 1 No stress meters with fit no - stress strain - with temperature equation pouring 90 days				
无应力计编号	拟合方程	相关系数 R	温度线膨胀系数 $\alpha/^{\circ}\text{C}$	
普通混凝土 I1	$\varepsilon_m = 9.916\ 3T - 557.956\ 7$	>99.9%	9.916 3E-06	
普通混凝土 I2	$\varepsilon_m = 9.875\ 2T - 560.740\ 3$	>99.9%	9.875 2E-06	
钢渣混凝土 I3	$\varepsilon_m = 11.486\ 3T - 708.441\ 7$	>99.9%	11.486 3E-06	
钢渣混凝土 I4	$\varepsilon_m = 11.902\ 7T - 750.956\ 2$	>99.9%	11.902 7E-06	

90 d 后,可以将回归方程中的 α 认为是混凝土的温度线膨胀系数,则计算结果表明:C30 普通混凝土的温度线膨胀系数 α 约为 $9.9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, C30 钢渣混凝土的温度线膨胀系数 α 约为 $11.7 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。表明相同级别的 C30 钢渣混凝土的温度线膨胀系数大于普通混凝土。

有关研究资料^[2,10]表明:集料类型对水泥混凝土的线膨胀系数影响显著,混凝土的温度线膨胀系数随着其骨料热膨胀系数的增大而增大。C30 钢渣混凝土的温度线膨胀系数大于 C30 普通混凝土,主要是 C30 钢渣混凝土中的替代料的热膨胀系数较大导致的。

4.2 不同时期实测资料拟合结果及分析

各无应力计基准时间后 90 ~ 180 d 的伴测温度 - 拟合无应力应变方程见表 2;各无应力计基准时间后 90 ~ 180 d 的伴测温度 - 拟合无应力应变方程见表 3。

从表 1、表 2 及表 3 的结果可以看出:①各阶段拟合方程的相关系数均大于 99.8%,说明伴测温度与混凝土的无应力应变值存在较好的线性关

系。②不同时间段的数据拟合结果表明,混凝土的温度线膨胀系数 α 不是一个定值,它随着时段的变化而改变。③不同时段 C30 普通混凝土的温度线膨胀系数 α 均接近 $10.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, C30 钢渣混凝土的温度线膨胀系数 α 均大于 $11.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。

表 2 各无应力计 90 ~ 180 d 的伴测温度 - 拟合无应力应变方程

Table 2 No stress meters with fit no - stress strain - with temperature equation during 90 ~ 180 days				
无应力计编号	拟合方程	相关系数 R	温度线膨胀系数 $\alpha/^{\circ}\text{C}$	
普通混凝土 I1	$\varepsilon_m = 9.497\ 9T - 555.021\ 6$	99.9%	9.497 9E-06	
普通混凝土 I2	$\varepsilon_m = 9.468\ 2T - 557.759\ 4$	99.9%	9.468 2E-06	
钢渣混凝土 I3	$\varepsilon_m = 11.023\ 2T - 703.992\ 2$	99.8%	11.023 2E-06	
钢渣混凝土 I4	$\varepsilon_m = 11.713\ 3T - 749.496\ 2$	99.8%	11.713 3E-06	

表 3 各无应力计 90 ~ 180 d 的伴测温度 - 拟合无应力应变方程

Table 3 No stress meters with fit no - stress strain - with temperature equation during 90 ~ 180 days				
无应力计编号	拟合方程	相关系数 R	温度线膨胀系数 $\alpha/^{\circ}\text{C}$	
普通混凝土 I1	$\varepsilon_m = 9.772\ 6T - 556.968\ 4$	99.8%	9.772 6E-06	
普通混凝土 I2	$\varepsilon_m = 9.778\ 9T - 560.098\ 5$	99.9%	9.778 9E-06	
钢渣混凝土 I3	$\varepsilon_m = 11.350\ 0T - 707.253\ 1$	99.8%	11.350 0E-06	
钢渣混凝土 I4	$\varepsilon_m = 11.910\ 5T - 751.014\ 4$	99.8%	11.910 5E-06	

5 结论及建议

利用埋设在混凝土中的无应力计测试出的伴测温度和计算出的无应力应变拟合计算结果表明:

(1) C30 普通混凝土的温度线膨胀系数 α 接近 $10.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, C30 钢渣混凝土的温度线膨胀系数 α 大于 $11.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。说明集料类型对水泥混凝土的线膨胀系数影响显著。

(2) 无论是 C30 普通混凝土还是 C30 钢渣混凝土,其热膨胀系数 α 不是一个定值,它随着时间的变化而改变。

由于钢渣混凝土的温度线膨胀系数与钢筋的温度线膨胀系数接近,使得钢渣混凝土中钢筋与

混凝土的协调变形能力增强;但是,为实现钢渣在混凝土中安全、可靠的利用,建议钢渣混凝土在温度应力对结构的稳定性影响不大的建(构)筑物中使用。

参考文献:

- [1] 水中和,曹蓓蓓.水泥混凝土材料热膨胀性能研究[C].广州:第九届全国水泥和混凝土化学及应用技术年会,2005,9:429-435.
- [2] 张艳聪,田波,彭鹏,等.水泥混凝土线膨胀系数试验研究[J].公路,2011(9):201-205.
- [3] 汪澜.水泥混凝土一组成性能应用[M].北京:中国建筑出版社,2005.
- [4] 冯乃谦.实用混凝土大全[M].北京:科学出版社,2001.
- [5] 孙家瑛.钢渣微粉对混凝土抗压强度和耐久性的影响[J].建筑材料学报,2005(8):63-66.
- [6] 李云峰,王玲,林晖.掺钢渣粉混凝土工作性和力学性能研究[J].混凝土,2008(9):38-40.
- [7] 张同生,刘福田,王建伟,等.钢渣安定性与活性激发的研究进展[J].硅酸盐通报,2010,34(4):42-47.
- [8] 张进平.大坝监测资料的管理与分析讲义[R].贵阳:中国水利水电科学研究院结构材料所,2012.
- [9] 薛桂玉,乔国龙,杨定华.江垭碾压混凝土坝无应力变形规律分析[J].水利与建筑工程学报,2011,9(3):54-57.
- [10] 黄兴,吴胜兴.不同粗骨料混凝土早期热膨胀系数试验研究[J].结构工程师,2004,26(3):154-155.

Experimental Study on the Coefficient of Thermal Expansion for C30 Steel Slag Concrete

LIU Anning¹, XU Bing¹, XU Bing²

(1. Shanghai Investigation, Design & Research Institute, Shanghai 200434, China;
2. Technology Center of Shanghai Baosteel New Building Materials Technology Co., LTD, Shanghai 201999, China)

Abstract: The temperature within C30 regular and steel slag concrete was monitored and the no-stress strain was calculated through the least squares fitting. This result showed that regular concrete has coefficient of thermal expansion less than $10.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ while steel slag concrete has coefficient of thermal expansion more than $11.0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. For both concrete, the coefficient is not a constant. According to the monitoring data and analysis, it is suggested that steel slag concrete should be used for structures which are not sensitive to stress induced by temperature.

Keywords: No-stress Meter; C30 Steel Slag Concrete; no-stress strain; Least Square Fitting; Coefficient of Thermal Expansion

(责任编辑:张英健)