

装配式叠合剪力墙叶板拆模时长的研究

赵茜

[三门峡职业技术学院(建筑工程学院), 河南 三门峡 472000]

摘要: 为了研究加热器热养护制度对UHPC(超高性能混凝土)薄板的拆模时间的影响,通过在密闭养护窑内布置不同数量的油酞电加热器,测试不同布置方案养护窑内的温度变化、UHPC薄板养护时长、UHPC抗压强度等参数;分析各方案的温度-时间曲线,研究养护度时(温度与时长的乘积)对UHPC抗压强度的影响。结果表明:随着养护窑中布置加热器数量的增加,窑内温度上升,单个加热器提升温度呈先升后减的趋势,加热器平均作用体积为 49.53 m^3 时,单个加热器提升温度达到最大。加热器对UHPC的抗压强度有显著影响,且随着加热器数量的增加其抗压强度呈上升趋势。尤其是在冬季施工时,养护窑内环境温度比较低,加热器可保证UHPC的养护在 $600\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{h}$ 时,相当于平均养护温度为 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 养护1d, UHPC达拆模设计抗压强度 30 MPa ,保证了UHPC薄板24h拆模。

关键词: 加热器热养护; UHPC薄板; 养护度时; 平均养护温度; 养护窑
中图分类号: TU375.4 **文献标志码:** A



超高性能混凝土(简称“UHPC”)具有十分优异的力学性能和耐久性能^[1-3],已逐渐应用于高耸建筑、大跨桥梁、预制构件和免拆模板等工程领域^[4]。

已有研究表明,养护制度对UHPC的力学性能和微观结构影响显著^[5]。热养护可使水泥水化和火山灰反应更充分,进而改善UHPC力学性能和微观结构。养护制度的开始时间、温度和养护持续时长可影响UHPC的性能。Tam等^[6]研究了温度($100\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $150\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $200\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $250\text{ }^\circ\text{C}$)和持续时长(8h和24h)对UHPC微观结构的影响,结果表明:UHPC内部水化产物的晶体类型随温度的不同而发生变化,延长热养护的持续时长也有助于生成更加致密的水化产物晶体,同时有硬硅钙石晶体生成。

为进一步改善UHPC的性能,有关学者对各种养护制度进行了研究。Yang等^[7]发现, $90\text{ }^\circ\text{C}$ 热水养护6d后, UHPC的抗压强度、抗弯强度和断裂能分别比 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 水养护时提高了20%、10%和15%。此外,蒸汽养护和蒸压养护可以显著提高UHPC的抗压强度,且后者的作用效果更佳。

Hiremath等^[8]研究表明,热水-干热组合养护可显著提高UHPC的早期抗压强度,其中干热养护的温度越高或持续时长越长, UHPC的早期抗压强度也就越高。当养护制度为热水养护+干热养护时, UHPC的抗压强度较高,较常温水养护时的强度提高了63%,这主要与组合养护时混凝土内部生成的大量硬硅钙石晶体有关。可见,组合养护对改善UHPC的力学性能有明显

的优势。牛旭婧等^[9]研究了热水-干热组合养护制度对UHPC力学性能的影响,结果表明,延长其中干热养护的持续时长或提高干热养护的温度,更加有利于其力学性能的提高。

可见,组合养护对改善UHPC的力学性能有明显的优势。然而,目前关于水-干热养护对UHPC薄板的拆模时间的影响,尤其是针对大批量工业生产的廉价环保的养护方式的研究尚未涉及。蒸汽养护制度需要设置蒸养窑、设置养护参数和开启锅炉等复杂精密的操作工艺,且大多数锅炉仍在燃烧设备部分,燃料燃烧不断放出热量,燃烧产生的高温烟气通过热的传播,将热量传递给锅炉受热面,而本身温度逐渐降低,最后由烟囱排出,造成污染空气的严重后果。近年来,国家严厉的环境保护政策使燃料锅炉的使用受到很大的限制。鉴于此,本文采用在养护窑内布置不同数量的电加热器和窑底加入15cm的自来水的的方法,对水-加热器热养护制度的温度变化过程、养护时长和UHPC的抗压强度进行研究,并与养护窑内未布置加热器的自然养护的情况进行对比。

1 试验

1.1 原材料及配合比

使用的UHPC组分为水泥、硅灰、砂、钢纤维、聚丙烯纤维和水,其中,按质量百分比计,水泥:硅灰:砂:水 = $1:0.24:1.25:0.24$;以水泥、硅灰质量质量之和为基数,聚羧酸高效减水剂的参量为1.86%;以水泥、硅灰、砂和水混合均匀后的总体积为基数,

钢纤维的体积掺量为1%，聚丙烯纤维的体积掺量为0.3%。

1.2 养护制度

在养护窑底部注入15 cm深的自来水，用以调节养护窑内的湿度。加热养护装置采用2000 kW功率的油酞电热器，选取在养护窑中安置0、4、8和10个电加热器方案（分别简称为方案A、B、C、D），其布置方案如图1所示。

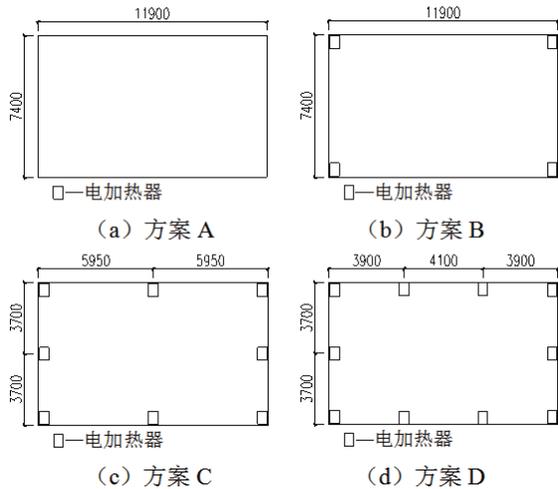


图1 加热器布置方案

试件浇筑过程如图2 (a) 所示，浇筑完成【图2 (b)】后立即用塑料薄膜覆盖，然后将试件吊运放置于窑中，养护24 h后取出立即进行脱模处理。



图2 UHPC薄板浇筑

1.3 测试方法

在养护窑的对角线处沿高度方向分别安装3个温度探测器（分别标记为窑底、窑中、窑顶温度计，如图3所示），以测定养护窑对角线位置上不同高度处的温度变化。取6个温度计的平均值作为加热器对养护窑的温度影响。

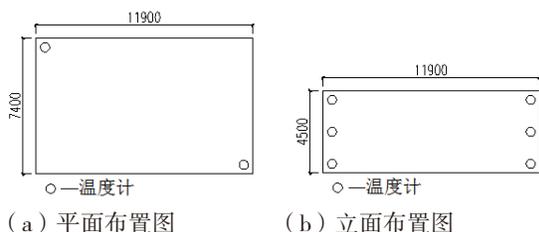


图3 温度计布置方案

依据《纤维混凝土试验方法标准》（CECS 13: 2009）^[10]，纤维长度小于40 mm，抗压强度应选用100 mm × 100 mm × 100 mm的立方体试件，每组制作3个；测定UHPC试件的早期抗压强度。测试龄期均为24 h，养护条件均为同条件养护试块。

2 结果与讨论

2.1 温度-时间曲线

对4种不同数量的电加热器升温布置方案，进行24 h内温度监测。各方案的温度-时间曲线如图4所示。由图4可知，与方案A相比，方案B、方案C和方案D的温度可提升102%、206%、221%，表明加热器对养护窑的温度影响显著。

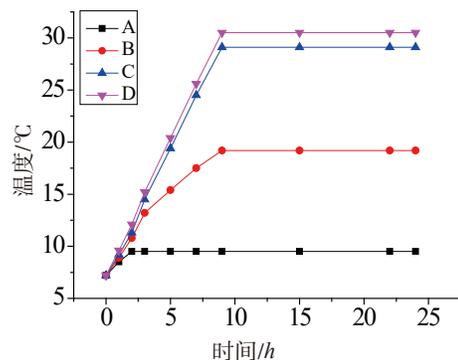


图4 养护窑内温度-时间曲线

由方案B和方案C可知，加热器对养护窑的温度提升效果与其数量基本成正比变化。由方案C和方案D可知，随着养护窑中布置加热器数量的增加，养护窑内提升的温度并不呈线性变化，这与加热器的热有效作用半径相互覆盖有关。

各方案的温度提升及每个加热器的平均提升温度（简称“单个加热器提升温度”）如表1所示。由表1可知，各方案温度提升率略有差异。当养护窑内布置8个加热器时，相当于单个加热器平均作用体积为49.53 m³，温度提升率达到最大（为2.45），表明此时加热器的布置最为均匀，加热器的加热效果最佳。

表1 各加热方案温度提升变化

方案	加热器数/个	稳定温度/°C	温度提升/°C	单个加热器提升率1%	平均作用体积/m ³
A	0	9.5	—	—	—
B	4	19.2	9.7	2.43	99.07
C	8	29.1	19.6	2.45	49.53
D	10	30.5	21	2.1	39.63

2.2 养护度时与力学性能

在不同养护制度下，UHPC的抗压强度如表2所示。由表2可知，热养护制度可显著提高UHPC的抗压强度，特别是在冬季施工的环境下。方案B、方案C和方案D的升温时间相同均为9 h，与其他学者研究的热养护方式相比，本试验方案升温均匀、缓慢，因此不

会导致UHPC养护初期的温度骤变,能有效抑制其初始裂纹缺陷的产生。与方案A相比,方案B、方案C和方案D的养护度时分别提高了80%、166%和178%,表明随着加热器数量的增加养护度时有增大趋势。

与方案A相比,方案B、方案C和方案D的抗压强度分别提高了1.67、4.72和5.01倍,表明加热器对UHPC的早期抗压强度有显著影响,且随着加热器数量的增加,其早期抗压强度呈上升趋势。与方案A相比,方案B、方案C和方案D的早期抗压强度提升倍数与加热器数量的比值(简称“早期抗压强度提高率”)分别为0.418、0.590和0.501,表明UHPC的早期抗压强度提高率随着加热器的数量增加呈先增后减的趋势。

表2 各养护度时下UHPC抗压强度变化

方案	升温时间/h	稳定温度/℃	养护度时/℃·h	强度/MPa
A	2	9.5	225.7	5.67
B	9	19.2	406.8	15.25
C	9	29.1	599.9	32.45
D	9	30.5	627.2	34.12

注:养护窑初始温度均为7.2℃。

由图5可知,UHPC的早期抗压强度与养护度时(图4中温度-时间曲线下的面积)的变化关系,UHPC的早期抗压强度随着养护度时的增大而增大,基本呈线性关系,表明养护度时对UHPC的抗压强度起决定性作用。

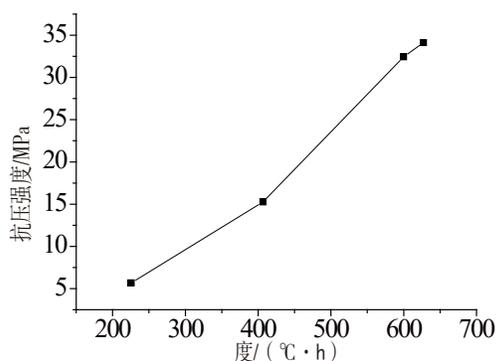


图5 养护度时-早期抗压强度曲线

2.3 机理分析

为了实现冬季UHPC免拆底板轻质芯模密肋板预制件的尽早脱模目的,在UHPC拌和物浇筑完成后在水-电加热器养护窑的环境下进行养护。本文分析了决定养护工艺的主要因素是养护度时。

通常认为养护温度和养护时间是影响混凝土性能的主要因素。英国学者邵尔和瑞典学者伯格森早在20世纪50年代就提出成熟度的概念,而且养护度时是影响UHPC材料成熟度的决定性因素。随着养护度时的增长,UHPC材料中胶凝材料的水化程度逐渐加深,进而UHPC的早期抗压强度逐渐提高。特别是在冬季施工

时,环境温度比较低,保证UHPC的养护在600℃·h,即平均养护温度为25℃养护1d,UHPC抗压强度达设计拆模强度30MPa。

3 结论

(1)随着养护窑中布置加热器数量的增加,养护窑内提升的温度呈上升趋势,加热器平均作用体积为49.53 m³时,单个加热器提升温度达到最大。

(2)加热器对UHPC的早期抗压强度有显著影响,且随着加热器数量的增加其抗压强度呈上升趋势。

(3)冬期施工时,环境温度比较低,保证UHPC的养护在600℃·h时,相当于平均养护温度为25℃养护1d,UHPC抗压强度达设计拆模强度30MPa。

参考文献

- [1] 梁兴文,胡翱翔,于婧,等.钢纤维对超高性能混凝土抗弯力学性能的影响[J].复合材料学报,2018,35(3):722-731.
- [2] 张荣华,徐迅,罗宏伟,等.活性粉末混凝土组成材料及制备方式研究综述[J].混凝土与水泥制品,2019,(10):14-18.
- [3] 胡翱翔,梁兴文,李东阳,等.超高性能混凝土配合比设计及其受拉性能[J].湖南大学学报,2018,45(3):39-46,66-73.
- [4] 李林,皇垚华,张涛,等.超高性能混凝土轻质密肋楼板预制件承载性能试验研究[J].工业建筑,2019,49(3):92-96.
- [5] 李响,高志扬,章鹏,等.水化热抑制剂和氧化镁对水工自密实混凝土性能的影响[J].混凝土与水泥制品,2019(10):6-9.
- [6] Chi-ming Tam, Vivian Wing-yan Tam. Microstructural behaviour of reactive powder concrete under different heating regimes[J]. Magazine of Concrete Research, 2012, 64(3): 259-267.
- [7] S.L. Yang, S.G. Millard, M.N. Soutsos, et al. Influence of aggregate and curing regime on the mechanical properties of ultra-high performance fibre reinforced concrete (UHPC) [J]. Construction and Building Materials, 2008, 23(6): 2291-2298.
- [8] Parameshwar N. Hiremath, Subhash C. Yaragal. Effect of different curing regimes and durations on early strength development of reactive powder concrete[J]. Construction and Building Materials, 2017(154): 72-87.
- [9] 牛旭婧,朋改非,尚亚杰,等.热水-干热组合养护对超高性能混凝土力学性能的影响[J].硅酸盐学报,2018,46(8),1141-1148.
- [10] 中国工程建设协会标准.纤维混凝土试验方法标准:CECS 13:2009[S].北京:中国计划出版社,2009.