



# 蒸汽养护技术在预制空心板构件生产中的应用

丁晓涵<sup>1</sup>, 赵志赫<sup>2</sup>

(1. 中交天航环保工程有限公司, 天津 300461; 2. 河南省豫北水利勘测设计院有限公司, 河南 郑州 450046)

**摘要:** 岳阳长岭炼化港口部码头提质改造工程自进入 11 月份以来, 受天气和温度等因素影响, 预制空心板在施工过程中出现强度上升缓慢、部分构件出现细微裂缝等问题, 严重影响施工工期和构件质量。针对上述问题, 对提高预制构件在施工过程中强度上升速率和构件质量的方法进行研究, 通过采用蒸汽养护技术分别进行对比试验。结果表明, 蒸汽养护技术能够有效提升预制构件在生产过程中的强度上升速率, 降低构件裂缝出现的频率。蒸汽养护技术在类似预制构件生产过程中能够起到提高强度上升速率、提高构件产品质量和降低废品损耗率等效果, 从而有效节约工期、降低成本。

**关键词:** 预制空心板; 蒸汽养护; 强度上升速率; 质量

中图分类号: U 655

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)S2-0024-04

## Application of steam curing technology in production of precast hollow panel members

DING Xiao-han<sup>1</sup>, ZHAO Zhi-he<sup>2</sup>

(1. CCCC-TDC Environmental Engineering Co., Ltd., Tianjin 300461, China;

2. Henan Yubei Water Resources Survey and Design Institute Co., Ltd., Zhengzhou 450046, China)

**Abstract:** Since November, due to the influence of weather and temperature, the strength of prefabricated hollow slabs of the wharf upgrading project of Yueyang Changling Refining and Chemical Port Department rise slowly, and cracks appear in some prefabricated hollow slab, which seriously affect the construction period and the component quality. Aiming at these problems, this paper studies the method of improving prefabricated strength rising rate in the process of construction and the component quality, and carries out means of steam curing technology contrast experiment respectively. The results show that the steam curing technology can effectively improve prefabricated in the rate of strength rise in the process of production and reduce the components of the occurrence of cracks. The steam curing technology can improve the rate of strength rise and the quality of components, and reduce the waste loss percentage in the production process of similar prefabricated components, so as to effectively save the construction period and reduce the cost.

**Keywords:** precast hollow plate; steam curing; rate of strength rise; quality

## 1 工程概况

拟建工程位于岳阳港陆城港区长炼油品作业区、长江中游杨林岩水道与螺山水道衔接段右岸, 中游航道里程约 209 km。本工程拟对原 3 座码头(共 6 个危化品泊位)拆除重建, 从上游到下游新

建 3 个 5 000 吨级油品化工泊位和 2 个 3 000 吨级油品化工泊位。成品油/化工品年吞吐量为 402 万 t。本工程含 198 帧预制空心板, 分为 19.16、20.16 和 22.16 m 共 3 种规格, 立面见图 1。

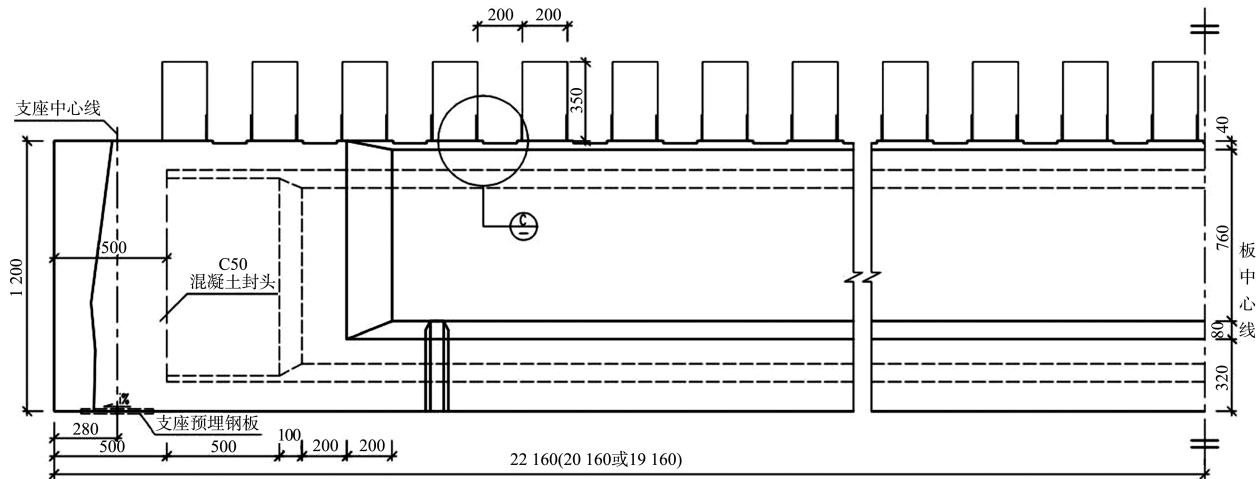


图 1 预制空心板立面 (单位: mm)

进入 11 月份以来, 受天气和温度等因素影响, 预制空心板强度上升缓慢, 严重影响施工工期; 昼夜温差大, 部分预制空心板出现细微裂缝<sup>[1]</sup>等现象。

## 2 预制空心板蒸汽养护技术原理

### 2.1 国内研究现状

1976 年, 宁夏第一建筑工程公司采用热台面-薄膜罩的蒸汽养护法<sup>[2]</sup>, 也称为蓄热养护法, 即用塑料薄膜钢罩盖住预制构件, 并且将蒸汽通入台面下预留的混凝土孔道内, 罩内再敷设 1 个喷气管, 而且由于塑料薄膜的隔热效果及透光效果, 形成 1 个简易的太阳能-蒸汽养护系统。

1988 年, 庄启才等<sup>[3]</sup>就热养护的优缺点以及如何改进进行研究, 以蒸汽为介质的湿热养护导致制品一直处于湿热膨胀状态, 而干热养护中制品一直处于失水状态容易剥皮和龟裂, 并且由于干缩产生内应力, 因此采用干-湿热定向循环技术: 升温阶段采用干热养护, 目的在于取消预养期, 恒温期采用湿热养护, 这样能够弥补升温阶段的过分失水; 而恒温阶段的蒸汽则由拉法尔喷嘴喷出, 加快了热交换速度。此方法既适合坑养护又适合窑养护。

1998 年, 姜德民<sup>[4]</sup>提出用空气替代部分饱和蒸汽并且做定向循环养护的方法, 一定程度上解决了饱和蒸汽上浮带来的构件上下温差大的问题,

也解决了饱和蒸汽由于放热系数过高而产生的冷凝效应, 同时也节约了大量资源。从此开始进入了混合蒸汽进行养护的时代。

2003 年, 杨吴生等<sup>[5]</sup>对高性能混凝土热养护进行研究, 试验表明, 高温养护更有利于混凝土的抗压强度发展, 热水养护更有利于混凝土的抗折强度发展。

2009 年, 福思特太阳能养护生产线的诞生, 使得一些高原地区的养护变得节能减排, 通过收集和储存稀薄的太阳能热进行养护, 利用自动爬升设备间接地进行升温降温, 这样大幅减少投资, 缩小养护生产线的占地面积<sup>[6]</sup>。

### 2.2 国外研究现状

早在 20 世纪 40 年代初, 由美国科学家首先提出混凝土薄膜养护工艺, 即在现场浇筑的混凝土表面喷涂或涂刷一种涂液, 此种涂液可以在空气中自然成膜, 从而阻挡水分流失<sup>[7]</sup>。

1974 年, Young 等<sup>[8]</sup>对波特兰水泥砂浆的二氧化碳养护进行系统的研究: 发现脱模后立即进行二氧化碳养护, 1d 强度要大于标准养护的强度, 但是对于养护过程中的含湿量要求较大。

1979 年, Goodbrake 等<sup>[9]</sup>分别对两种硅酸钙和两种铝酸钙进行二氧化碳养护试验, 发现硅酸钙浆体的强度能够迅速上升。

1986 年的丹麦, 当时主要采用热拌混凝土生产预制混凝土空心板, 以 3 种养护方式为主: 加

热模养护、隧道窑养护以及养护罩自然养护。其中隧道窑为平窑蒸汽养护，构件从成型到出窑只要 5 h；这是由于热拌混凝土初始温度即为 40~60 °C，基本可以取消预养护阶段，而升温阶段也会很快过去，初始强度有了保证且不会产生微裂缝<sup>[10]</sup>。

2006 年，Monkman 等<sup>[11]</sup>对两种不同细度的波特兰水泥、粉煤灰、高炉矿渣、电弧炉矿渣和熟石灰等 6 种胶凝组分的混凝土构件进行二氧化碳养护研究。通过试验发现含有这 6 种胶凝组分的混凝土实际消耗的二氧化碳量要远大于设计的二氧化碳量，通过扫描电镜和温度监测分析得知，

这种二氧化碳需求量的巨大差别是因为在蒸汽养护过程中生产产物将内部未水化部分隔离而造成的。

### 3 蒸汽养护试验设置

本文以中国石化集团资产经营管理有限公司长岭分公司港口部码头提质升级改造工程一标段（水域）设计-采购-施工（EPC）项目为依托，以空心板预制场地为试验地点开展预制空心板蒸汽养护技术试验研究，桥梁蒸汽发生器与预制空心板之间采用橡胶软管进行连接，软管直径 2 cm、长约 5 m，进水管管径 2 cm、长约 6 m，见图 2。

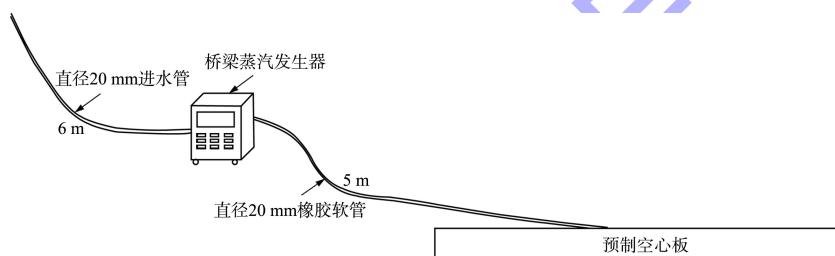


图 2 蒸汽养护设备连接布置

试验选取时间为 11 月 5—14 日，分别进行相同条件下的 3 组预制构件蒸汽养护强度对比分析，其中 A 组为桥梁蒸汽发生器+预制空心板 KB1-2a；B 组为桥梁蒸汽发生器+预制空心板 KB2-2a；C 组为桥梁蒸汽发生器+预制空心板 KB3-2a。

为保证试验数据的真实性和合理性，3 组预制构件在试验当天完成混凝土浇筑并初凝后第一时间连接桥梁蒸汽发生器进行蒸汽养护。

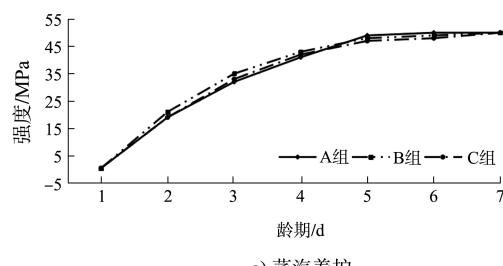
## 4 数据分析

### 4.1 同一养护条件下预制构件强度上升速率分析

在开始试验之前，首先用数字回弹仪测得 3 组预制构件的初始强度分别为 3.7、3.6、3.8 MPa。3 组构件各选取 1 塔预制空心板做蒸汽养护，另 1 塔做正常洒水养护。记录 3 组试验强度上升数据，见图 3。由图 3a) 可知，在采取蒸汽养护的试验条件下，3 组预制构件强度上升速率呈先高后低并逐渐趋于稳定，且在相同试验条件下，A 组强

度上升速率最快，其 6 d 强度率先达到 50 MPa，B 组次之，C 组最慢，3 组构件在 7 d 均已达到 50 MPa 强度要求；由图 3b) 可知，在采取洒水养护的试验条件下，3 组预制构件强度上升速率同样呈先高后低并逐渐趋于稳定趋势，且 A 组强度上升速率最快，其 11 d 强度率先达到 50 MPa，B 组次之，C 组最慢，3 组构件在 12 d 均已达到 50 MPa 强度要求。

对比图 3a)、b) 可发现，在同一养护条件下，A 组强度上升速率均高于 B、C 组，说明预制构件的规格对养护时间有影响，同一条件下构件尺寸越大，构件达到设计强度的时间相对就越长。



a) 蒸汽养护

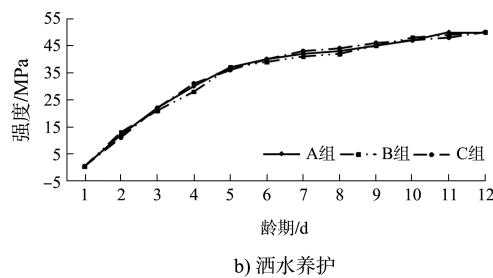


图 3 3 组构件试验强度曲线

#### 4.2 不同养护条件下预制构件强度上升速率分析

3 组构件在不同养护条件下的强度上升速率曲线见图 4。可以看出, 3 组试验构件在不同养护条件下的强度上升曲线走势大致相同, 且通过曲线可以明显看出在其他因素完全相同的条件下, 蒸汽养护可大幅提升预制构件的强度上升速率, 洒水养护需要 12~13 d 强度才能达到 50 MPa, 但蒸汽养护只需要 6~7 d 就可达到强度要求。

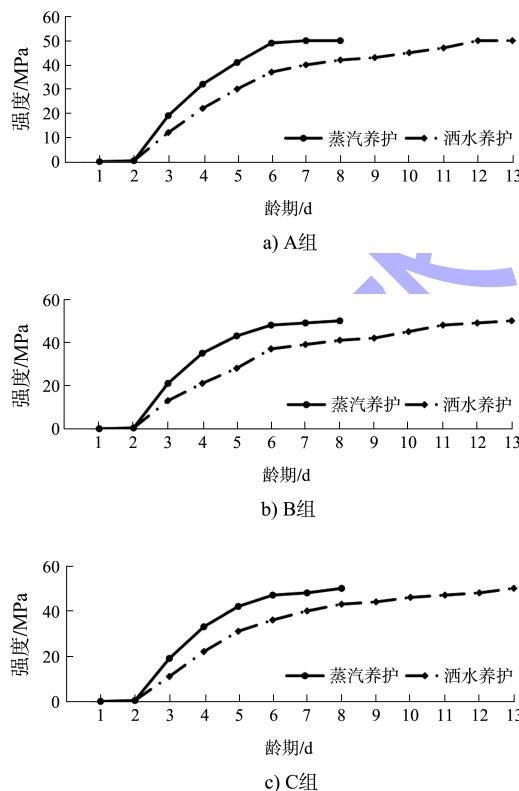


图 4 3 组构件在不同养护方式下试验强度曲线

#### 4.3 经济效益分析

通过试验提取的数据和曲线可知, 从构件强度上升速率上看, 蒸汽养护技术相比传统洒水养护, 能够明显提升构件的日强度上升速率; 从养

护时间上看, 达到强度要求时间从 12~13 d 缩短至 6~7 d, 极大地压缩了工期; 从养护质量上看, 蒸汽养护技术相比传统洒水养护, 能够更好地保持构件养护时的湿度和温度, 使混凝土在硬化过程中避免出现由于胶体干燥、表面游离水分蒸发而引起体积收缩、出现裂缝等现象<sup>[12-13]</sup>, 提升构件的强度和刚度, 降低损耗率; 从养护成本上看, 蒸汽养护技术能够释放养护劳动力, 减少人工费支出; 从净化养护环境上看, 蒸汽养护技术能够解决自然养护操作中因喷淋浇水造成积水难排的污染现象以及覆盖物碎片、构件表面残落的各种杂质、浇水管路等养护材料在场内堆放杂乱等问题, 提升了施工生产的文明指数。

#### 5 结语

1) 蒸汽养护技术在预制空心板施工过程中的确能够起到压缩养护时间、提升强度上升速率的作用和效果, 并且试验效果较为明显。  
 2) 在预制空心板生产过程中, 使用蒸汽养护技术可以相应地降低养护成本, 但考虑到桥梁蒸汽发生器等设备材料的投入和使用费, 在大中规模预制空心板生产过程中, 蒸汽养护技术降低成本的效果会更加明显。

#### 参考文献:

- [1] 毛磊, 张蕊蕊. 预制空心板桥安装施工及质量控制[J]. 技术与市场, 2013, 20(8): 146.
- [2] 李良. 预制混凝土构件二次振捣及蒸汽养护技术研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2015.
- [3] 庄启才, 蔡建明, 刘菊英, 等. 干-湿热定向循环养护工艺及其技术经济效益[J]. 混凝土与水泥制品, 1988(1): 54-56.
- [4] 姜德民. 混合蒸汽作热介质定向循环养护工艺原理及应用[J]. 北方工业大学学报, 1998(1): 93-96.
- [5] 杨吴生, 黄政宇, 汤拉娜, 等. 热养护对高性能混凝土强度的影响[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2003(S1): 150-152.
- [6] 于德海. FST(福思特) 太阳能养护法[J]. 墙材革新与建筑节能, 2009(6): 31-33, 3.