

# 全预制框架结构装配式混凝土建筑复合外墙“干式”建造优化思路探究

王世雄

山东建昌机械有限公司 山东济南 250400

**摘要：**在本文的研究活动中，针对复合外墙“干式”建造体系应用现状进行分析，内容包括连接节点设置不合理、墙体性能集成难度较高、生产精度控制不足、施工成效有待提高、设计协同水平较低等，提出完善连接节点设计体系、提高墙体性能集成度、加强生产精度控制、做好施工过程监督、完善协同设计体系等措施，充分发挥“干式”建造体系应用优势，延长全预制框架结构装配式墙体使用寿命。

**关键词：**框架结构；混凝土建筑；复合外墙

## 引言

全预制混凝土框架结构体系，是一种在工厂提前完成梁、柱、楼板等主要构件生产后，运输到现场进行组装的高效率、高质量建筑结构。复合外墙作为建筑重要的围护结构，施工时多采用“干式”建造技术，即借助各类机械连接方式，将预制外墙板和主体结构紧密连接在一起，以提高总体结构的稳固性。本文深入分析复合外墙“干式”建造相关内容，能够积累可靠应用经验，为理论与实践体系优化提供良好依据。

## 1 复合外墙“干式”建造体系应用现状

### 1.1 连接节点设置不合理

连接节点施工质量将直接影响复合外墙的稳固性和耐久性，基于以往实践经验，存在节点设置不合理问题。该问题主要体现在以下几方面：①设计理念有待更新，许多预制复合外墙依旧采用硬性连接结构（如现浇刚性结构），对全预制框架结构在不同场景（如大风、地震等）下的形变情况考虑较少，造成复合外墙与主体结构形变量差异，极易在连接节点位置产生额外应力，超出连接结构承载上限后，出现结构裂缝、断裂等病害[1]。②节点功能较为单一，对连接节点进行设计时，重点考虑复合外墙抗剪力、竖向承重能力，对结构防水性、热桥效应、施工误差累积效应等内容考虑较少，从而对建筑总体性能产生直接影响。例如，某全预制建筑框架在节点设计中，采用了大量钢制连接件。连接件导热性较强，局部热工性能同比其他连接件降低 20%到 30%，建筑总体耗能提升 10%。

### 1.2 墙体性能集成难度较高

复合外墙本身集聚了保温、装饰、防水等功能，采用“干式”建造技术进行作业时，面临着墙体性能集成难题。第一，各功能层之间的协同失效风险较高，降低墙体总体性能。夹心保温墙板作为常用保温结构，在预制时需做好内外隔墙体和保温层的科学连接。预制时多使用塑料连接件进行连接，但此类连接件自身抗拉拔强度较低，且防火性能相对较差，在外部温差应力持续作用下，会增加层间裂缝病害发生概率，影响结构防水性能。第二，接缝密封性不足，“干式”建造技术对板缝密封依赖程度较高，目前所使用的密封胶材料寿命集中于 15 到 25 年，而建筑主体寿命超过 50 年。建筑投入运营后若缺乏有效维护，那么也将增加渗水、炭化等病害发生概率，缩减建筑使用寿命[2]。第三，部分复合外墙装饰层将使用质量较大的石材、陶板等材料，此类材料的干挂系统在温度应力、风荷载持续作用下，会加剧其疲劳速度，增加材料脱落、结构裂缝等风险。

### 1.3 生产精度控制不足

全预制框架生产精度将直接影响复合外墙“干式”建造质量，但从实际应用情况来看，存在着生产精度控制水平较差的情况。一方面，预制全过程精度控制水平较差，“干式”连接件对连接螺母、预埋管道等部件布局位置精度、标高公差等要求较高，建筑规范中要求其误差不超过 2mm。但是在生产期间，受模具精度、钢筋绑扎质量、混凝土浇筑过程等影响，容易出现误差累积风险。例如，混凝土浇筑后由于养护时温度、湿度控制质量较差，在温度应力影响下，造成构件尺寸波动[3]。另一方面，检测机制有待完善，部分预制工

厂对预制件成品质量进行检测时, 依旧采用随机抽检模式, 增加“隐蔽偏差”构件流入施工现场概率, 现场需采用切割、缩孔、扩孔等措施才可使用, 影响结构完整性的同时, 增加 10%到 15%的安装时间。

#### 1.4 施工成效有待提高

复合外墙“干式”建造体系在应用中, 也面临着施工成效有待提高的问题。此类问题主要体现在以下几方面: 第一, 施工组织设计精细化水平较低, 在全预制框架进入现场之前, 施工组织未结合施工工序安排全预制构件类型、数量、堆放区域、吊装要求等内容, 工序之间衔接性较差, 影响复合外墙“干式”建造速度与质量[4]。第二, 复合外墙“干式”建造期间, 对墙板定位、安装固定、精度调整、紧固等环节, 尚未形成规范的操作规程, 并且所使用的校正工具较为滞后, 更加依赖安装工人施工经验, 增加人为因素对施工质量的影响权重。第三, 监理和验收标准滞后性较强, 目前采用的验收规范, 更加侧重于外观质量、结构强度等静态性能质量校核, 对螺栓紧固扭矩、螺栓弯折次数等动态指标校核较少, 导致部分潜在质量问题无法及时发现, 增加结构渗漏、异响等安全隐患。

#### 1.5 设计协同水平较低

除上述提到的相关问题外, “干式”建造期间也存在设计协同水平较低的问题。一方面, 继续沿用传统“串行设计”模式, 设计部门依次进行结构框架、机电设施、装饰等专业设计, 协同设计频率较低。此情况下, 容易滋生结构安装冲突, 增加施工变更频率。例如, 某复合外墙在前期设计中, 未校核机电管线工程和预留洞口位置匹配度, 导致后期频繁进行预留洞口改造, 增加了 10%-15%的工程量。另一方面, 细部设计质量较差, 设计方案对“干式”连接节点、防水结构、保温架构等内容的深度设计较少。而预制厂商在深化设计时, 会因知识储备差异导致结构设计偏差, 从而影响预制结果的科学性。同时所建立 BIM 模型录入信息完整性较差, 施工模拟和成本预测结果的可靠性较差, 增加施工变更频率, 影响复合外墙施工质量。

### 2 复合外墙“干式”建造优化思路

#### 2.1 完善连接节点设计体系

在连接节点设计体系完善过程中, 应注意以下内容: ①

积极更新设计理念, 在预制复合外墙连接结构设计期间, 需充分梳理全预制框架结构在不同荷载工况下形变情况, 据此来选择恰当连接结构, 如刚性连接结构、半刚性连接结构、柔性连接结构等, 使复合外墙与主体结构形变量处于相对稳定的变化状态, 减少结构裂缝、断裂等病害。②丰富节点功能, 对连接节点进行设计时, 可系统分析复合外墙抗剪力、竖向承重能力、结构防水性、热桥效应、施工误差累积效应等内容, 基于分析结果优化节点构造, 确保建筑总体性能稳定性。例如, 某建筑企业研发了“断桥式复合金属连接件”, 此类构件由高强钢、高强度玻璃纤维等组成, 可以将导热系数降低 60%以下, 具有良好的应用效能。

#### 2.2 提高墙体性能集成度

第一, 提高各功能层之间的协同效应, 提高墙体总体性能。实践中应重点研发保温层与结构层之间的连接方案, 例如, 夹心保温墙板的连接件可以更换成不锈钢桁架式连接件, 也可以使用高分子增强塑料制作连接件, 以保证连接件本身的抗拉拔强度, 降低层间裂缝病害发生概率。第二, 提高接缝密封性, “干式”建造技术对板缝密封依赖程度较高, 可以在缝隙内增加气压平衡孔、导排水通道, 以保证渗入水体的顺利排出。同时会增加耐久性超过 30 年的密封胶, 以降低渗水、碳化等病害发生概率。第三, 在石材、陶板等材料施工期间, 会采用开槽、锚栓等方式固定结构, 以提高结构稳固性, 减少材料脱落、结构裂缝等风险。

#### 2.3 加强生产精度控制

一方面, 提高预制全过程精度控制水平, 加强连接螺母、预埋管道等部件布局位置精度、标高公差控制工作。实践中, 需做好模具精度、钢筋绑扎质量、混凝土浇筑过程等参数控制, 从源头处规避误差累积风险。所有预制构件制作精度, 都需要在 BIM 模型中进行确定, 并且可以制定数控机床加工代码, 从源头处消除精度误差。另一方面, 持续完善检测机制, 预制工厂对预制件成品质量进行检测时, 应依托三维扫描技术、数字技术建立在线检测技术, 所有预制件都需和 BIM 模型进行自动对比, 在允许公差范围内的构件, 才可以进行存储和运输出厂。

#### 2.4 做好施工过程监督

第一, 提高施工组织设计精细化水平, 在全预制框架进

入现场之前,施工组织应结合施工工序安排全预制构件类型、数量、堆放区域、吊装要求等内容,增强工序之间衔接性,有序推进复合外墙“干式”建造活动。第二,复合外墙“干式”建造期间,应组建覆盖墙板定位、安装固定、精度调整、紧固等环节的标准化操作规程,并且应积极更新校正工具,利用数字化工具校核预制件质量。第三,优化监理和验收标准,除校核基础内容外,还需要校核螺栓紧固扭矩、螺栓弯折次数等内容,及时发现和处理潜在质量问题,减少结构渗漏、异响等安全隐患。

### 2.5 完善协同设计体系

一方面,建立并行协同设计体系,设计部门可在 BIM 技术辅助下,同时进行结构框架、机电设施、装饰等专业设计。并且在 BIM 平台上,可以开展全周期协同设计,并且会在 BIM 模型中进行碰撞试验,根据试验结果调整各专业内容,提高设计方案可行性。另一方面,做好细部设计质量控制,加强“干式”连接节点、防水结构、保温架构等内容的深度设计。同时设计方需要和预制厂商进行及时的信息沟通,保证设计结果的合理性,另外,已经做好 BIM 技术全过程应用,除应用可视化出图外,还需做好成本预测、施工模拟、运维管理等评估,为“干式”建造活动的顺利推进提供良好依据。

### 结束语

综上所述,在全预制框架结构复合外墙“干式”建造期

间,应做好连接件设计、工艺监督、深入设计等工作,提高复合外墙“干式”建造效率与质量。未来,还需做好先进技术引入、先进设备更新、人才队伍培养等工作,持续优化“干式”建造体系,延长装配式建筑使用寿命。

### 参考文献

- [1] 马立,张天金,周典. 全预制框架结构装配式混凝土建筑复合外墙“干式”建造优化研究 [J]. 建筑技术, 2024, 55(01): 9-14.
- [2] 龚子荣,李银芳. 全预制装配式混凝土框架结构新型干式节点受力性能分析研究 [J]. 科学技术创新, 2022, (28): 85-88.
- [3] 龚子荣,李银芳. 全预制装配式混凝土框架结构新型干式节点埋件受力性能分析研究 [J]. 科学技术创新, 2022, (22): 115-118.
- [4] 龚子荣,李银芳. 全预制装配式混凝土框架结构新型干式拼接节点连接构造与设计研究 [J]. 住宅与房地产, 2022, (20): 28-31.

### 作者简介

姓名: 王世雄; 性别: 男 出生年月: 1986-9-27 籍贯: 吉林省永吉县 学历: 大学本科; 职称: 无 ; 研究方向: 混凝土施工, 建筑机械研发。