

装配式混凝土结构施工质量控制关键问题分析

吕一品

河北航东建设工程股份有限公司 河北 邢台 054000

【摘要】：装配式混凝土结构符合建筑行业绿色转型和工业化升级的发展需求，由于施工周期短、资源消耗少、现场污染小等特点，在国内民用建筑、公共建筑工程中得到了广泛的应用。装配式结构的施工过程比传统现浇结构要复杂得多，它包含构件工厂预制、转运堆放、现场吊装、节点连接、后浇混凝土施工等各个环节，各个环节的施工质量直接影响到建筑的整体安全性和耐久性。本文根据国内装配式建筑施工现状，对施工全流程常见质量通病进行梳理，分析构件预制、现场安装、节点连接等各阶段主要质量问题，针对这些问题提出全流程质量控制措施，完善施工质量控制体系，为同类装配式混凝土工程项目施工质量控制提供借鉴。

【关键词】：装配式混凝土；结构施工；质量控制；节点连接；预制构件

DOI:10.12417/2811-0722.26.07.031

引言

在双碳战略以及建筑工业化政策的推动下，国内装配式建筑产业的发展速度不断加快，装配式混凝土结构已经成为建筑工程的主要结构形式之一^[1]。该结构模式把大部分施工作业转移到工厂里完成，用标准化生产的预制梁柱、墙板、叠合板等构件，运到施工现场后再进行拼装和后浇作业，改变传统的建筑粗放式施工方式。目前我国装配式混凝土结构施工技术趋于成熟，但是行业整体发展时间较短，部分施工企业技术储备不足，一线作业人员专业水平参差不齐^[2]。另外行业的部分细分施工工艺标准不够细致，造成项目施工过程中经常出现构件尺寸偏差、套筒灌浆不密实、构件接缝渗漏、节点承载性能差等问题，不但会破坏建筑的外观和使用效果，还会降低整个结构的稳定性，严重的时候还会引起安全事故^[3]。因此，对装配式混凝土结构施工关键质量通病进行分析，并提出相应的控制措施，对于促进装配式建筑行业的健康发展具有十分重要的现实意义。

1 装配式混凝土结构施工质量影响因素

装配式混凝土结构施工具有全流程联动性的特点，质量影响因素涉及构件生产到工程竣工验收的全部过程，可以分为人为因素、物料因素、工艺因素、环境因素四类，各类因素之间互相联系，共同对工程施工质量产生影响。

1.1 人为因素

人员是施工质量控制的主要对象，包括构件生产操作人员、现场施工人员、技术管理人员、质量检测人员等。构件生产阶段，操作人员对模具的安装、钢筋的绑扎、混凝土的浇筑和养护的操作不规范，会造成构件先天质量缺陷。现场施工阶段吊装人员定位校准精度不够、灌浆作业人员不按标准操作，容易造成连接节点质量隐患。管理人员质量管控意识薄弱、巡检覆盖面小、检测人员检测方式不合理等都会造成质量问题不能及时发现和整改。

1.2 物料因素

物料质量分为预制构件和配套施工材料两大部分。预制构件模具精度、混凝土原材料性能直接影响构件出厂质量，模具变形、混凝土配合比失衡都会造成构件尺寸偏差、强度不合格。配套材料中套筒灌浆料、密封胶、坐浆料等专用材料性能十分重要，灌浆料流动性、抗压强度不符合要求，密封胶耐候性差，都会影响到构件连接质量以及接缝防水效果。

1.3 工艺因素

装配式施工工艺包括构件预制、转运堆放、吊装就位、节点连接、后浇层施工等工序。不同的工序所对应的施工工艺参数、操作标准有明确的要求，目前大部分质量问题都是由于工艺执行不到位造成的。构件堆放没有使用专用垫木、吊装吊点选择不合理、套筒灌浆不符合下进上出工艺施工、后浇混凝土振捣不密实等，工艺控制缺失是质量通病频繁出现的主要原因。

1.4 环境因素

施工环境主要是指施工现场的温湿度、风力和场地平整度。户外吊装作业受风力影响较大，大风天气时构件容易发生偏移，加大了定位的难度；低温高湿环境下灌浆料的硬化速度变慢，高温干燥环境下后浇混凝土表面会出现裂缝；场地凹凸不平会造成预制构件堆放不均，从而引起构件变形破损。

2 装配式混凝土结构施工关键质量问题

2.1 构件预制阶段质量问题

预制构件出厂质量是装配式结构施工质量的基础，该阶段主要存在三种问题。第一，尺寸精度不合格，部分预制工厂使用的老旧非标模具，模具长期使用造成变形、拼缝大等问题，混凝土浇筑时出现漏浆，脱模后构件长宽、平整度偏差超规范允许值。第二，预埋件定位偏差，套筒、预埋钢筋、预留孔洞没有专用定位工装，混凝土浇筑振捣时容易造成位移，使现场钢筋不能准确对接。第三，构件本体缺陷，操作人员浇筑节奏

混乱、振捣不到位、养护温湿度控制不严，造成构件表面产生蜂窝麻面、干缩裂缝等质量问题。

2.2 转运与堆放阶段质量问题

大多数施工企业忽略了转运堆放环节的质量控制，在搬运构件的时候没有使用柔性防护措施，吊装捆绑的位置不恰当，运输时构件和车厢、构件之间存在硬性碰撞，导致墙板、叠合板边角受损。施工现场堆放区未做硬化处理，排水设施不健全，构件堆放层数过高，与相应规格垫木不匹配，薄壁构件长时间受自身重力作用而产生弯曲变形。竖向墙板直接露天堆放，受雨水冲刷、温差变化的影响容易产生裂缝，大大缩短构件的使用寿命。

2.3 现场吊装安装质量问题

吊装安装属于现场施工的关键工序，也是质量通病较多的环节。目前一线吊装作业人员的水平较低，吊装前没有对控制线和标高基准进行复核，吊点的选择只凭施工经验，没有根据构件的受力情况来制定专门的吊装方案。吊装时受风荷载、人为操作失误影响，预制构件轴线、标高偏差超差，强行调整构件位置，容易造成构件内部出现隐性裂缝。另外一些项目为了赶施工进度，构件就位后没有及时校正固定，直接进行下一步工序的施工，造成累积拼装误差，影响建筑整体结构精度。

2.4 节点连接施工质量问题

节点连接是装配式混凝土结构的薄弱环节，直接关系到结构的整体性和抗震性能，套筒灌浆问题最严重。竖向预制剪力墙、框架柱钢筋大多采用套筒灌浆连接，作业人员经常会出现灌浆料搅拌配比不准确、搅拌时间不够、灌浆排气不彻底等情况，套筒内部留有空气造成空洞，使灌浆密实度不够，钢筋锚固强度达不到设计要求^[4]。水平构件接缝施工时坐浆料厚度控制不均、接缝清理不到位、密封胶填塞不密实，建筑投入使用之后，接缝处容易产生渗水、开裂的现象。下图是套筒灌浆缺陷图。



图1 套筒灌浆内部空洞缺陷示意图

3 装配式混凝土结构施工质量控制措施

3.1 强化构件预制源头管控

预制构件生产阶段要实行精细化管理，从源头上杜绝先天

性质量缺陷。第一，模具管理，统一使用高强度钢制模具，建立模具定期检修制度，及时修复变形、破损模具，控制模具拼缝宽度，杜绝浇筑漏浆问题。第二，预埋件定位，用专用定位工装固定套筒和预埋钢筋，浇筑作业前进行双人复核，确认预埋件位置、角度无误后才能施工。第三，浇筑和养护控制，优化混凝土配合比，采用分层匀速下料方式，配高频振捣设备进行振捣作业。构件脱模后按规范进行保湿养护，根据外界温湿度调整养护时间，低温环境加保温覆盖层，防止构件出现收缩裂缝。构件出厂前进行全方位的质量检测，不合格的构件不得出厂运输。

3.2 规范构件转运堆放作业

制定标准化转运堆放作业规程，减少物料损耗。构件转运前分类固定捆绑，构件接触面铺橡胶缓冲垫，防止硬性碰撞。运输车辆在行驶过程中控制车速，减少急加速、急刹车的操作。施工现场规划专用堆放区，对地面做硬化和排水处理，按构件种类选用相应的规格木质垫木，使垫木与构件受力点准确重合。严格控制堆放层数，墙板类竖向构件设倾斜支撑结构，防止倾覆变形。同时做好露天防护，全封闭防水保温篷布，隔绝雨水、温差对构件的影响。

3.3 优化现场吊装安装工艺

完善吊装施工方案，提高拼装精度。施工前根据构件自重、结构形式确定最优吊点，编制专项吊装施工方案，组织技术交底培训，明确作业人员的操作责任。吊装作业优先选择风力小于四级的天气进行，作业前复核施工现场轴线、标高基准线。构件吊装到位后缓慢调整位置，就位初期进行初步校准，用微调装置精确修正偏差，待各项参数达到规范标准后立即进行临时固定，防止后续工序引起的位移问题。另外还要进行全过程的技术巡检，及时纠正不规范的吊装操作。

3.4 严控节点连接施工质量

3.4.1 套筒灌浆施工质量控制

套筒灌浆主要应用于竖向剪力墙、框架柱预制构件的钢筋连接，是装配式结构中最重要、也是质量控制的重点。正式作业前，工作人员要将套筒内部的杂物、积水、预埋钢筋表面的浮锈、污渍全部清除干净，保证钢筋锚固段干净无杂质。根据施工现场环境温度的变化对灌浆料的配合比进行微调，严格按照厂家标准进行机械搅拌，搅拌时间控制在三到五分钟，静置消泡后使用，严禁随意加水稀释浆料。施工阶段统一采用下进上出压浆施工工艺，匀速加压注浆，待顶部排气孔溢出无气泡的均匀浆液后，依次封堵排气孔、灌浆孔^[5]。灌浆作业结束24小时内不得对构件进行触碰、震动，防止未固化浆料出现分层、空洞。同时实行抽检制度，用超声波探伤技术对灌浆密实度进行随机检测，不合格处必须返工处理。

3.4.2 构件拼接接缝施工质量控制

水平拼接缝、竖向拼接缝存在于预制墙板、叠合板等构件之间，通病主要是开裂、渗水，影响建筑使用功能。构件拼装就位前，人工配合高压风枪清理接缝内浮渣、灰尘和残留积水，保证接缝接触面干燥洁净。下部构件坐浆施工时，控制坐浆料铺设厚度在规范范围内，厚度均匀一致，防止局部厚薄相差太大造成构件倾斜、缝隙偏移。外墙外侧、厨卫等防水关键部位用分层填充的方式施工密封胶，保证胶体和接缝侧壁紧密贴合，内部无空腔、断点。所有接缝施工完毕后，对接缝进行外观检查和淋水试验，排除渗漏隐患，从源头上解决接缝渗水问题。

3.4.3 节点成品保护与验收

完成节点连接施工之后立即开始成品保护和专项验收工作。灌浆节点、后浇连接节点根据现场温湿度条件自然养护，养护周期不得小于规范规定的最低要求，不得早于受力。项目质检部门单独设立节点验收项目，分灌浆节点、接缝节点两类进行验收，核对施工原始记录、检测数据，结合目视检查、无损检测结果综合评定施工质量。所有节点验收合格之后才能进行下一步的土建装饰工作，从而形成闭环式的质量管理模式。

3.5 完善全过程质量管理体系

施工企业要创建起包含预制、转运、安装、验收全过程的体系。第一，人员培训，定期组织管理人员、一线作业人员进行装配式施工技术及质量控制培训，考核合格后方可上岗，提高全员的质量控制意识。第二，制度建设，细化各工序质量验收标准，落实岗位责任制，明确各岗位质量管控职责，实行

谁施工、谁负责的追责机制。第三，信息化管控，给每块预制构件赋予唯一的编码，将生产、运输、安装、检测等有关数据输入进去，从而达成质量问题的可追溯。第四，加强第三方检测，提高节点灌浆、构件强度、接缝防水等重要项目的抽检比例，依靠专业的检测数据来控制工程整体的质量。



图2 全过程质量管理体系

4 结论

装配式混凝土结构施工质量控制属于一项系统工程，质量问题存在于构件预制、转运堆放、吊装安装、节点连接等众多施工环节当中，套筒灌浆不密实、构件尺寸偏差、接缝渗漏是目前行业内最为突出的质量问题。产生这类问题的主要原因有物料控制不到位、施工工艺不规范、人员专业水平低、管理体系不健全等各方面的原因。要全面提高装配式混凝土结构施工质量，就要坚持源头治理、全过程控制的理念，加强预制构件出厂质量检测，规范转运堆放和吊装安装作业程序，细化节点连接关键施工工艺，借助信息化管理手段完善质量管理体系。施工企业要兼顾施工进度和施工质量，摒弃粗放式的作业方式，推进施工工艺的标准化、管控的精细化，促使装配式混凝土结构建筑达到安全、长效、高质量的发展目标，为建筑工业化转型升级奠定基础。

参考文献:

- [1] 何云枫,赵聪.公路桥梁钻孔灌注桩施工技术和质量控制要点构架[J].中华建设,2025,(4):163-165.
- [2] 杨福兵.桥梁钻孔灌注桩施工工艺及质量控制要点[J].工程技术研究,2023,8(22):71-73.
- [3] 陈国帅.公路桥梁钻孔灌注桩施工质量控制要点[J].四川建材,2021,47(9):153-154.
- [4] 师为谱.桥梁钻孔灌注桩施工质量控制要点之我见[J].四川水泥,2020,(4):50.
- [5] 王立刚.浅析市政桥梁钻孔灌注桩的施工质量控制要点[J].科技创新与应用,2017,(17):203-204.