

装配式混凝土结构施工关键技术及质量控制措施分析

朱江波

中远汇成建设工程有限公司 湖北 宜昌 443000

摘要:随着我国建筑工业化进程的不断推进,装配式混凝土结构因其施工效率高、环境污染小、资源利用率高等优势,逐渐成为建筑行业转型升级的重要方向。然而,装配式结构在施工过程中对精度、协同性与工艺控制提出了更高要求,其施工质量直接关系到整体结构的安全性与耐久性。本文系统梳理了装配式混凝土结构施工中的关键技术环节,包括构件深化设计、生产运输、现场吊装、节点连接及灌浆等,并深入分析各环节中常见的质量问题及其成因。在此基础上,提出针对性的质量控制措施,涵盖全过程管理、BIM技术应用、人员培训及标准化作业等方面。研究表明,通过构建“设计—生产—施工”一体化协同机制,强化全过程质量管控,可有效提升装配式混凝土结构的施工质量与工程效益。

关键词:装配式混凝土结构;施工技术;质量控制;节点连接;BIM技术;全过程管理

引言

近年来,国家大力倡导绿色建筑与智能建造,《“十四五”建筑业发展规划》明确提出要加快推进建筑工业化、数字化、智能化升级。装配式混凝土结构(PCS)作为建筑工业化的核心形式之一,通过工厂预制构件、现场装配施工的方式,显著缩短工期、减少现场湿作业、降低扬尘与噪音污染,契合“双碳”目标下的可持续发展理念。然而,相较于传统现浇混凝土结构,装配式结构在施工过程中面临更高的技术门槛和更复杂的协调需求。构件尺寸偏差、吊装定位不准、节点连接失效、灌浆不密实等问题频发,严重制约了其推广应用。因此,系统研究装配式混凝土结构施工中的关键技术环节,并制定科学有效的质量控制措施,具有重要的理论价值与实践意义。

1 装配式混凝土结构施工关键技术

1.1 构件深化设计与信息协同

该阶段需基于建筑、结构、机电等多专业模型进行精细化拆分设计,明确构件类型、尺寸、预留预埋位置、吊点设置等关键参数,同时必须充分考虑施工可行性,避免出现“设计可行但无法安装”的问题。传统二维图纸难以满足此类高精度协同需求,而BIM技术则为此提供了有力支撑。通过建立全生命周期信息模型,设计团队可在虚拟环境中完成碰撞检测、施工模拟与工程量统计,有效减少设计错误与返工。例如,利用BIM模型可提前发现管线与钢筋套筒的空间冲突,从而优化预留孔洞位置,避免现场开凿破坏结构受力性能。因此,深化设计不仅是技术转化过程,更是多专业协同、信息集成的关键节点。

1.2 预制构件生产与质量控制

预制构件在工厂内采用标准化模具与自动化生产线进行生产,其质量直接影响现场装配效果。为确保构件几何尺寸精确,模具制作误差应严格控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内,并定期校验维护。混凝土配合比需经过优化设计,通常采用高强、早强、低收缩的材料体系,以提升构件强度与长期耐久性。钢筋定位是另一关键环节,必须使用专用定位卡具或胎架,确保钢筋位置准确,保护层厚度符合规范要求(一般为20–30mm),防止因钢筋偏位导致结构性能下降。养护工艺同样不可忽视,蒸汽养护或电热养护被广泛采用,以加速混凝土强度发展,缩短脱模周期,提高模具周转效率。此外,构件出厂前须经过严格检验,包括外观质量、尺寸偏差、强度等级及预埋件位置等,并附带唯一身份标识(如二维码),实现从原材料到成品的全过程质量可追溯。

1.3 构件运输与现场堆放

在运输过程中,应使用专用运输架,构件之间加设柔性垫块以缓冲震动,并通过钢丝绳或绑带牢固固定,防止滑移或倾覆。同时,运输车辆应控制车速,避免急刹与剧烈颠簸,尤其在转弯或上下坡路段需谨慎操作^[1]。抵达施工现场后,堆放场地必须平整硬化,排水通畅,构件应按类型分区有序堆放,叠放层数不宜超过三层,并设置防雨、防倾覆措施。对于墙板类构件,宜采用竖向存放架,避免平放导致自重弯曲变形。合理的运输与堆放管理不仅保障构件完整性,也为后续高效吊装奠定基础。

1.4 现场吊装与定位安装

现场吊装是装配式施工中最关键且风险最高的环节,其成败直接决定整体施工质量与安全。吊装前必须编制

专项施工方案,根据构件重量、形状及重心位置选择合适的吊具(如平衡梁、专用吊钩),并进行受力验算,确保吊装过程稳定可控。测量放线是精准安装的前提,应采用全站仪或激光投线仪对轴线与标高进行复核,建立高精度控制网,避免误差累积。构件就位后,需立即设置临时斜撑或独立支撑系统,防止因风荷载或施工扰动导致倾覆或位移,支撑的间距与刚度应满足稳定性验算要求。在微调阶段,可借助千斤顶、撬棍等工具进行毫米级调整,确保构件平面位置与垂直度偏差控制在规范允许范围内(通常 $\leq 5\text{mm}$)。实践中,因吊点设计不合理导致构件开裂,或高空吊装时受风力影响摆动失控的案例屡见不鲜,因此必须加强安全技术交底与全过程监控,确保吊装作业安全高效。

1.5 节点连接技术

节点是装配式结构的“生命线”,其连接性能直接决定整体结构的力学行为与抗震能力。目前工程中广泛应用的连接方式主要包括套筒灌浆连接、后浇带连接以及螺栓或焊接连接。套筒灌浆连接主要用于竖向构件(如预制柱、剪力墙)的纵向钢筋连接,其原理是将下部预留钢筋插入上部构件的金属套筒内,再注入高强无收缩灌浆料,形成可靠的传力路径。该技术对套筒与钢筋的匹配性、灌浆料性能及施工工艺要求极高^[2]。后浇带连接则多用于水平构件(如叠合梁、叠合板)的拼缝处理,预制部分作为底模,现场绑扎附加钢筋后浇筑混凝土,使新旧混凝土协同工作,形成整体受力体系。此方式虽保留部分湿作业,但能有效保证结构连续性。螺栓连接与焊接连接多用于非承重构件或临时固定,需特别注意防腐处理与疲劳性能。总体而言,节点连接技术的选择应综合考虑结构受力、施工便利性与耐久性要求,任何连接失效都可能引发连锁反应,危及整体安全。

1.6 灌浆施工技术

完整的灌浆流程包括基层清理、封仓、润湿、灌浆、出浆口封堵及后期养护等多个步骤,每一步均需严格把控。施工前应彻底清除套筒内杂物与浮尘,并对连接腔体进行适度润湿,但不得有明水残留。封仓材料需具备良好的密封性与早期强度,防止灌浆过程中漏浆。灌浆料应严格按照产品说明书控制水灰比,采用电动搅拌设备确保均匀性,并在规定时间内完成灌注。灌浆应遵循“低位进、高位出”原则,待出浆口持续流出饱满浆体后立即封堵,避免空气滞留形成空腔。灌浆完成后需进行不少于7天的保湿养护,防止早期干缩开裂。实践中,因灌浆料搅拌不均、流动性不足、封堵不及时或养护缺失导致的灌浆不密实现象较为常见,因此必须严格执行工

艺规程,并辅以视频记录与抽样检测,确保连接可靠性。

2 装配式混凝土结构施工中的主要质量问题及成因分析

尽管装配式技术优势显著,但在实际工程中仍存在诸多质量问题,亟需深入剖析成因。在实际工程中,构件尺寸偏差与安装错位问题常见,如墙板拼缝不齐、楼板高低差明显等,根源在于工厂模具未及时校正、运输堆放支撑不当、现场测量放线基准失准、吊装调平手段缺乏或操作人员经验不足等环节累积误差,使微小误差在装配中被放大。节点连接失效是严重质量隐患,典型表现有套筒灌浆不饱满、钢筋未完全锚固等,原因包括施工操作不规范,如灌浆未遵循原则;灌浆料储存、使用不当或水灰比失控;钢筋插入深度不足、套筒内壁锈蚀或杂物未清理;后浇带界面处理不当等,这些隐蔽缺陷对结构整体性影响深远。预制构件在运输、吊装或堆放时,常因吊点设计不合理、早期脱模、堆放支撑点位置不当、冬季施工保温措施缺失等,出现角部崩裂、边缘缺损甚至贯穿裂缝,削弱结构承载能力。外墙接缝渗漏是装配式建筑常见通病,在窗框周边等部位突出,成因主要是密封构造设计不合理或施工质量不佳,如密封胶施工不连续、止水条未按要求嵌入、构件安装偏差过大等,部分项目未进行淋水试验验证,使渗漏隐患未及时发现。此外,装配式建筑高度依赖设计、生产与施工三方协作,但现实中常因协同机制缺失导致信息断层,设计单位深化图纸未考虑实际条件、生产厂未及时反馈问题、施工缺乏统一信息平台等,增加返工成本并埋下质量隐患,根本原因在于缺乏全过程集成管理理念与数字化协同工具支持。

3 装配式混凝土结构施工质量控制措施

针对上述问题,需构建覆盖“全链条、全过程、全员参与”的质量控制体系。

3.1 强化全过程协同管理

为破解设计、生产、施工脱节难题,应大力推行“EPC+BIM”总承包模式,实现责任主体统一、信息流贯通。通过建立项目级BIM协同平台,各参与方可实时共享模型、图纸、进度与质量数据,确保信息同步更新。关键节点如深化设计确认、构件出厂验收、吊装前检查等,应实行多方联合签认制度,明确责任边界。同时,应建立设计可施工性审查机制,在方案阶段即邀请施工与生产单位参与评审,提前规避实施障碍,真正实现“一次做对”。

3.2 完善构件生产质量控制

构件质量是装配成功的前提。生产企业应制定高于

国家标准的企业内控标准,尤其在尺寸精度、保护层厚度、预埋件定位等关键指标上从严要求。引入三维扫描仪等自动化检测设备,对每批构件进行100%尺寸复核,替代传统人工测量,提升检测效率与准确性。同时,为每个构件赋予唯一身份标识(如二维码),扫码即可查看原材料批次、配合比、养护曲线、质检报告等全生命周期信息,实现质量可追溯^[3]。此外,严格执行首件验收制度,首件构件经设计、施工、监理联合确认合格后,方可启动批量生产,从源头杜绝系统性缺陷。

3.3 优化现场施工组织

现场施工组织需精细化、标准化。专项施工方案应由具备丰富经验的技术团队编制,并经专家论证后实施,尤其针对超高层、大跨度等复杂项目。测量工作应由专职班组负责,每日开工前复核控制点,确保基准准确。鼓励采用智能化吊装设备,如配备激光定位系统的塔吊,可自动引导构件精准就位,减少人为误差。同时,全面推行“样板引路”制度,在大面积施工前先制作实体样板段,经各方验收合格后作为施工标准,有效统一工艺做法与质量要求。

3.4 严控节点连接与灌浆质量

节点连接质量必须作为重中之重加以管控。灌浆施工前应进行工艺性试验,确定最佳水灰比、搅拌时间与灌注速度等参数。施工过程应全程录像,影像资料作为质量验收依据存档。为验证灌浆饱满度,可采用X光探伤或超声波检测技术,抽检比例不应低于30%,对关键受力部位应提高至100%。灌浆料进场时须进行复检,重点检测初始流动度、30分钟保留值、1天与28天抗压强度及竖向膨胀率等指标,确保材料性能稳定可靠。只有通过多重手段交叉验证,才能真正保障连接可靠性。

3.5 加强人员培训与标准化作业

人是质量控制的核心要素。应对吊装工、灌浆工、测量员等关键岗位实行持证上岗制度,定期组织技能培训与考核。项目部应编制图文并茂、通俗易懂的作业指导书,张贴于各作业面,明确操作步骤与质量标准。通过

开展“质量月”“技能比武”等活动,营造全员重视质量的文化氛围^[4]。同时,建立质量奖惩机制,将个人绩效与工序合格率挂钩,激励一线人员主动提升操作水平,从“要我做好”转变为“我要做好”。

3.6 应用智能监测与数字孪生技术

面向未来,应积极融合智能建造技术提升质量管控水平。在关键构件或支撑系统上布设应变计、倾角仪、温湿度传感器等物联网设备,实时采集受力与变形数据,并通过无线传输至管理平台。结合数字孪生技术,构建与物理工地同步的虚拟模型,实现施工状态可视化、风险预警自动化。例如,当临时支撑位移超过阈值时,系统可自动触发报警并推送至管理人员手机,及时干预避免事故发生。此类技术不仅提升质量控制精度,也为装配式建筑迈向智慧工地奠定基础。

4 结语

装配式混凝土结构代表了建筑工业化的发展方向,其施工质量直接关系到工程安全与社会认可度。本文系统分析了从构件深化设计到现场灌浆的六大关键技术环节,识别了尺寸偏差、节点失效、裂缝渗漏等典型质量问题,并提出了以全过程协同、BIM赋能、标准化作业为核心的综合质量控制策略。未来,随着智能建造、机器人施工、新材料等技术的融合,装配式施工将更加高效、精准与可靠。建议行业进一步完善标准体系,加强跨专业人才培养,推动装配式建筑从“能建”向“优建”跃升,为建筑业高质量发展注入新动能。

参考文献

- [1]黄龙波,胡艺瀚,张国福,等.装配式混凝土框架结构施工技术[J].四川水泥,2025,(10):137-139+142.
- [2]李文侠.装配式施工技术在混凝土结构工程中的应用方法研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(31):139-141.
- [3]刘士伟.装配式混凝土结构施工质量技术要点探析[J].内江科技,2025,46(09):107-109.
- [4]陈恒福.装配式混凝土结构施工质量缺陷控制方法研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(19):48-50.