

装配式建筑给排水管道模块化设计与施工关键技术分析

李佩佩

广泓建设集团有限公司

摘要：装配式建筑的快速发展对给排水系统的集成化设计与高效施工提出了更高要求。本文聚焦装配式建筑给排水管道系统的模块化设计理念，系统分析管道模块的划分原则、标准化接口设计及预制加工关键技术。从施工技术角度，探讨模块化管道的现场装配工艺、连接密封措施及质量验收标准。研究构建了涵盖设计、生产、运输、安装全过程的模块化技术体系，提出基于建筑信息模型的协同设计方法及装配式施工的关键控制要点。研究结论可为装配式建筑给排水系统的设计与施工提供技术参考。

关键词：装配式建筑；给排水管道；模块化设计；预制加工；装配施工

装配式建筑以构件预制化、施工装配化为核心特征，显著提升了建造效率与工程质量。给排水管道系统作为建筑功能的重要组成部分，在传统施工模式下存在现场开槽、湿作业多、交叉作业干扰等问题，与装配式建筑的工业化建造理念存在冲突。将管道系统进行模块化设计与预制加工，实现工厂化生产与现场快速装配，已成为解决上述矛盾的有效技术路径。

1 给排水管道模块化设计的基本理念与原则

1.1 模块化设计的内涵与价值

给排水管道模块化设计是指将分散于建筑各功能区域的管道系统，按照空间位置、功能属性与施工组织要求，划分为若干相对独立的预制单元。每个模块在工厂内完成管道切割、连接、支架安装及保温处理，形成具备完整功能的管道组合体，运至现场后仅需与预留接口进行连接即可完成安装。模块化设计的价值体现在多个层面，工厂化生产使管道加工精度得到有效控制，避免了现场切割与焊接带来的质量波动。现场作业量大幅减少，湿作业与高空作业比例降低，施工安全性与环境友好性显著提升。

1.2 管道模块的划分原则与方法

管道模块的划分是模块化设计的核心环节，划分合理与否直接影响预制加工效率与现场装配效果。模块划分应遵循功能完整性原则，每个模块应具备独立的功能单元属性，如卫生间的给水支管与排水支管可整合为一个功能模块，厨房的给水系统与排水系统可分别形成独立模块。模块划分应遵循边界清晰原则，模块之间的接口应设置在管道主干管分支处或设备连接点，便于现场连接操作。模块尺寸需考虑运输与吊装条件，模块外形尺寸应满足运输通道与电梯轿厢的通行要求，模块重量应在塔吊或施工电梯的起重能力范围内。

1.3 标准化接口与连接技术

标准化接口是实现模块间可靠连接的关键技术保障。接口设计应遵循通用性与互换性原则，相同规格的接口应采用统一的结构形式与连接方式，确保不同批次生产的模块能够互换安装。接口类型应根据管道材质与功能要求进行选择，金属管道可采用法兰连接或卡压连接，塑料管道可采用热熔连接或承插连接。接口应具备一定的容差能力，能够补偿模块加工与现场安装产生的累积误差。柔性接口设计采用橡胶密封圈与金属卡箍的组合结构，在保证密封性能的同时允许一定范围内的角度偏差与轴向位移。

2 基于建筑信息模型的协同设计技术

2.1 多专业协同设计平台

建筑信息模型技术为给排水管道模块化设计提供了多专业协同的工作平台。在统一的三维模型环境中，给排水专业与建筑、结构、暖通、电气等专业共享同一信息模型，实现设计数据的实时交互与协同更新。给排水工程师在模型中布置管道系统时，可实时查看结构梁柱位置、风管走向及电缆桥架布局，避免后期管线碰撞问题的产生。协同平台支持各专业并行设计，大幅缩短设计周期。模型中的管道信息不仅包含几何尺寸与空间位置，还集成材质、连接方式、保温厚度等属性数据，为后续模块拆分与加工图生成提供完整的数据支撑。

2.2 管道模块拆分与深化设计

基于建筑信息模型的管道模块拆分，通过三维模型的可视化优势实现精准划分。设计人员在模型中按照划分原则对管道系统进行切割，每个模块生成独立的三维模型单元，模块之间的接口位置在模型中清晰标注。深化设计阶段对每个模块进行精细化建模，包括管道走向、支架位置、保温范围及接口细节。深化

设计成果直接用于加工图生成,系统自动提取模块的三维几何信息,生成包含尺寸标注、材料清单及加工工艺说明的二维加工图纸。模型中的参数化设计功能使模块尺寸调整与版本管理更加便捷,当设计变更发生时,相关模块的模型与图纸可实现联动更新,避免人工修改导致的错漏。

2.3 管线综合与碰撞检查

管线综合是给排水管道模块化设计的重要技术环节。在建筑信息模型环境中,系统集成给排水管道与结构构件、其他机电管线的完整空间信息,通过碰撞检查功能自动识别管道与结构、管道与管道之间的空间冲突。碰撞检查结果以可视化方式呈现,设计人员可精确定位冲突位置并调整管线布局。对于模块化管道而言,碰撞检查不仅关注模块内部的管线布置,更需重点检查模块与相邻模块、模块与结构预留孔洞之间的接口匹配情况。管线综合优化遵循小管让大管、有压让无压、电管让水管等基本原则,通过调整管道标高与走向,使各专业管线在有限的空间内实现有序布置。管线综合成果为结构预留预埋提供准确依据,确保预留孔洞位置与模块接口精准对应。

3 管道模块预制加工关键技术

3.1 工厂化生产工艺流程

管道模块的工厂化生产按照标准化工艺流程组织进行。原材料检验环节对进场的管材、管件及连接件进行外观质量与规格尺寸检验,确保原材料符合设计要求。管道切割环节采用自动化切割设备,按照深化设计图纸的尺寸要求进行精准切割,切割端面平整度与垂直度直接影响后续连接质量。组装定位环节借助专用工装夹具,按照模块设计图纸将管道与管件进行定位组装,工装夹具确保各管道之间的相对位置精度。连接成型环节根据管道材质选择合适的连接工艺,金属管道采用自动氩弧焊或高频感应钎焊,塑料管道采用热熔对接或电熔连接,连接质量需进行外观检验与无损检测。

3.2 预制精度控制措施

管道模块的预制精度是保证现场顺利装配的关键。工厂化生产条件下,通过工装夹具与数控设备实现精度控制。工装夹具依据模块设计图纸制作,定位点与定位面的位置公差控制在允许范围内,确保每个模块的管道位置与设计位置一致。数控切割设备通过编程控制切割长度与切割角度,消除人工切割带来的尺寸偏差。焊接或连接工艺参数需根据管材规格与壁厚进行优化设置,参数偏差可能导致连接变形或强度不足。模块检验采用三维测量设备对关键控制点进行

坐标测量,与设计模型进行比对,偏差超限的模块需进行校正或返工。精度控制体系需覆盖全部模块类型与规格,通过首件检验与过程抽检相结合的方式,确保批量生产的质量稳定性。

3.3 标识编码与成品管理

标识编码系统是保障模块在生产、仓储、运输与安装全流程中可追溯的重要手段。每个模块在出厂前赋予唯一编码,编码信息包含模块所属区域、功能类型、接口规格及安装方向等内容。编码可采用二维码或射频识别标签形式,便于现场通过移动终端快速识别模块信息。标识在模块上的位置应明显且不易磨损,确保在运输与存放过程中可清晰辨识。成品管理按照模块类型与安装顺序进行分区存放,存放场地应平整坚实,模块堆放时采用专用支架支撑,避免管道变形或接口损伤。成品出厂前需进行防护包装,对接口部位进行封口保护,防止运输过程中异物进入管道内部。模块发货时按照安装顺序组织装车,卸货时按照现场吊装顺序依次就位,减少现场二次倒运。

4 模块化管道现场装配施工技术

4.1 运输与吊装技术

模块化管道的运输与吊装是现场施工的重要环节。运输车辆需根据模块尺寸与重量进行选型,超长或超宽模块需办理特殊运输许可。模块在运输车辆上的固定方式应确保运输过程中不发生位移或碰撞,模块与车厢之间设置缓冲材料,防止刚性接触造成损伤。吊装作业根据模块重量与现场条件选择合适的起重设备,塔吊覆盖范围内的模块优先采用塔吊吊装,塔吊覆盖范围外的模块可采用汽车吊或履带吊辅助吊装。吊装索具采用专用吊带或吊梁,吊点设置应符合模块重心位置,确保吊装过程中模块保持平稳。

4.2 现场连接与密封技术

模块就位后的现场连接作业是保证系统完整性的关键工序。连接前需对模块接口及预留接口进行检查,清除接口处的污物与保护封口,检查接口端面平整度与密封圈完好情况。连接操作按照接口类型采用相应工艺,法兰连接需对称均匀拧紧螺栓,密封垫片应居中放置;卡压连接需使用专用工具进行压接,压接行程到位后进行检查确认;热熔连接需控制加热温度与熔接时间,保证熔接界面充分融合。连接完成后进行接口密封性能检验,给水管道进行压力试验,排水管道进行灌水试验或通球试验,试验压力与保压时间应符合设计要求与规范规定。接口部位应在试验合格后进行防腐处理与保温处理,保温层应包裹严密,接缝处采用胶带密封,防止冷凝水产生。

4.3 安装精度与偏差控制

现场装配过程中,安装精度控制直接影响系统运行性能与使用功能。模块安装前,需对结构预留孔洞与预埋件位置进行复核,偏差超限时需进行调整或处理。模块就位后,使用激光水平仪与经纬仪测量模块的水平度与垂直度,通过调整支架或垫片使模块位置符合设计要求。相邻模块之间的接口对中精度直接影响连接质量,轴线偏差过大可能导致密封失效或管道附加应力。管道安装完成后,进行系统整体坐标与标高复测,记录偏差数据并进行分析。偏差控制需建立预警机制,当连续多个模块出现同向偏差时,应分析原因并调整安装工艺。安装过程中的精度控制数据应纳入施工记录,作为竣工验收与运营维护的基础资料。

5 质量控制与效益分析

5.1 全过程质量控制体系

模块化管道系统的质量控制需贯穿设计、生产、运输、安装全过程。设计阶段的质量控制重点在于模块划分合理性、接口设计标准化及管线综合优化程度,设计成果需经过专业评审与碰撞检查后方可输出。生产阶段的质量控制涵盖原材料检验、过程检验与成品检验三个层级,关键工序设置质量控制点,检验记录完整可追溯。运输阶段的质量控制关注模块在装卸与运输过程中的保护措施,运输前对固定方式进行检查确认。安装阶段的质量控制包括就位精度检验、连接质量检验与系统试验,每道工序经检验合格后方可进入下道工序。全过程质量控制体系要求各环节建立明确的质量责任主体,形成从工厂到现场的质量闭环管理。

5.2 质量验收标准与检验方法

模块化管道系统的质量验收需遵循统一的验收标准与检验方法。验收标准涵盖模块外观质量、接口密封性能、系统运行功能等主要方面。外观质量验收检查模块表面无损伤、接口无变形、标识清晰完整、支架安装牢固。接口密封性能验收依据管道用途采用不同试验方法,给水系统进行水压试验,试验压力达到设计压力后稳压观察,检查接口无渗漏;排水系统进行灌水试验与通球试验,灌水试验检查接口无渗漏,

通球试验检查管道畅通。系统运行功能验收在系统调试阶段进行,检查水流方向正确、阀门启闭灵活、排水通畅无堵塞。验收记录应完整填写并归档保存,作为工程竣工验收的技术资料。

5.3 综合效益分析

模块化设计与施工技术对装配式建筑给排水系统建设效益产生积极影响。质量效益体现在工厂化生产使加工精度与连接质量得到有效控制,现场湿作业减少降低了质量通病发生概率,系统运行可靠性提升。工期效益表现为现场安装工序简化,模块吊装与连接作业高效推进,管道安装工期较传统施工模式显著缩短,为后续装修工序争取更多时间。成本效益来源于人工工时减少、材料损耗降低、脚手架等周转材料用量减少,综合建造成本得到有效控制。环境效益表现为现场噪声与粉尘排放减少,建筑垃圾产生量降低,符合绿色施工要求。综合效益的实现需要设计、生产、施工各环节协同配合,技术应用成熟度与项目管理水平是影响效益发挥的关键因素。

6 结束语

装配式建筑给排水管道模块化设计与施工技术,是实现管道系统工业化建造的重要技术路径。模块化技术的推广应用需要设计、生产、施工各环节的协同配合,以及配套标准体系的完善。未来随着数字化建造技术的深入发展,给排水管道模块化技术将向智能化、集成化方向持续演进,为装配式建筑的高质量发展提供更加坚实的技术支撑。

参考文献:

- [1] 苏群. 装配式建筑给排水系统集成化设计与应用研究 [J]. 给水排水, 2022,48(5):82-88.
- [2] 杨国辉. 基于 BIM 的装配式建筑机电管线模块化设计方法 [J]. 建筑技术, 2023,54(3):298-302.
- [3] 崔晓楠. 装配式建筑预制构件中机电管线预留预埋关键技术 [J]. 施工技术, 2021,50(10):56-60.
- [4] 陈永祥. 装配式建筑给排水管道工厂化预制与装配施工技术 [J]. 建筑机械化, 2023,44(2):41-45.
- [5] 万国威. 装配式建筑管线分离设计与模块化集成技术研究 [J]. 建筑结构, 2022,52(8):112-117.