

市政综合管廊预制拼装施工关键技术与质量控制要点

贺提波

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450000

摘要：随着我国城市化进程的不断加快，地下空间资源日益紧张，传统“拉链式”管线敷设方式已难以满足现代城市基础设施建设的需求。市政综合管廊作为集约化、现代化的城市地下管线载体，其建设模式正由传统的现浇施工逐步向工厂化预制、现场拼装方向发展。预制拼装技术凭借施工周期短、环境影响小、质量可控性强等优势，在综合管廊工程中得到广泛应用。本文系统梳理了市政综合管廊预制拼装施工的关键技术环节，包括构件设计标准化、工厂化生产、运输吊装、现场拼装工艺、接缝防水处理及信息化管理等，并深入分析了各阶段的质量控制要点。旨在为提升预制拼装综合管廊的施工质量与工程效率提供理论支撑与实践指导。

关键词：市政综合管廊；预制拼装；施工技术；质量控制；接缝防水

引言

市政综合管廊（Urban Utility Tunnel）建设对于提升城市韧性、保障管线安全、减少道路反复开挖具有重要意义。传统现浇混凝土管廊施工存在工期长、现场湿作业多、环境扰动大、质量受天气影响显著等问题。近年来，随着装配式建筑理念的推广和预制构件制造技术的进步，预制拼装式综合管廊逐渐成为主流发展方向。该技术将管廊结构划分为若干标准节段，在工厂内完成钢筋绑扎、混凝土浇筑、养护及预埋件安装等工序，再运输至施工现场进行吊装拼接，形成整体结构。然而，预制拼装施工对构件精度、拼装工艺、接缝处理及全过程协同管理提出了更高要求。若控制不当，易出现错台、渗漏、结构不连续等质量问题，影响管廊的长期使用性能。因此，系统研究预制拼装施工的关键技术与质量控制要点，对推动综合管廊高质量建设具有重要现实意义。

1 预制拼装综合管廊的技术优势与适用条件

1.1 技术优势

预制拼装综合管廊之所以受到广泛关注，根本在于其相较于传统现浇工艺所展现出的多重优势。首先，施工效率显著提升。由于大量结构工作前置到工厂完成，现场仅需完成基坑开挖、垫层施工与构件拼装，大幅压缩了关键线路工期，尤其适用于交通流量大、社会影响敏感的城市核心区项目。其次，构件质量更易控制。工厂环境稳定，温湿度可控，混凝土配合比精准，振捣与养护条件优越，使得构件强度、密实度、外观平整度及尺寸精度均优于现场浇筑，有效避免了蜂窝、麻面、裂缝等常见缺陷。此外，该技术显著降低了对周边环境的干扰。现场湿作业量减少90%以上，基本消除了模板支拆、混凝土泵送等高噪音、高扬尘工序，符合绿色施工与“双碳”目标的要求。

从安全角度看，深基坑内作业时间缩短、人员密度降低，也有效减少了高处坠落、坍塌等安全事故的发生概率。最后，预制拼装天然契合数字化建造趋势。标准化构件便于BIM建模、物联网追踪与智能运维系统的集成，为实现全生命周期管理奠定基础。

1.2 适用条件

地质条件是首要考量因素，该技术更适合地基承载力良好、沉降变形小的区域；在软土、高地下水位或存在显著不均匀沉降风险的地段，需辅以强夯、桩基或注浆等地基加固措施，否则易导致接缝错动甚至结构破坏。断面形式亦影响预制可行性，矩形、圆形等规则几何形状易于标准化生产与拼装，而异形断面、大角度转弯或复杂交叉节点则难以实现全预制，往往需局部采用现浇过渡^[1]。运输条件构成另一现实约束，大型混凝土构件受限于城市道路的限高、限宽、转弯半径及桥梁承载能力，需提前开展运输路径踏勘与交通组织模拟，必要时需分段设计或采用现场预制场。经济性方面，模具摊销成本较高，只有在项目规模大、构件重复率高的情况下才能体现成本优势，小型或零散工程可能反而增加造价。因此，应在项目前期开展技术经济比选，科学决策是否采用预制拼装方案。

2 预制拼装施工关键技术

2.1 标准化设计与BIM协同

预制拼装施工的核心前提是设计的标准化与模块化。只有在统一模数体系下，才能实现构件的大批量生产与高效拼装。设计阶段应根据区域管线规划容量、覆土深度、地面荷载及抗震设防等级，制定系列化的标准断面尺寸（如2.5m×2.8m、3.0m×3.2m等），并固化接口形式、预埋件位置、吊点构造等细节，最大限度减少非

标构件。在此基础上，BIM技术发挥着不可替代的协同作用。通过建立高精度的三维参数化模型，结构、水、暖、电等各专业可在同一平台进行协同设计，自动检测管线与结构之间的空间冲突，提前优化路由。同时，BIM模型可直接驱动数控设备生成钢筋下料单与模具加工图，并输出包含二维码或RFID信息的构件清单，实现设计信息向生产端的无缝传递。进入施工阶段，该模型还可用于吊装顺序模拟、拼装路径规划及进度可视化管理，显著提升施工组织的科学性与精准度。

2.2 工厂化预制生产

工厂化生产是保障质量的关键环节。通常选用C40及以上强度等级的高性能混凝土，通过掺加高效减水剂、粉煤灰或矿粉等矿物掺合料，提升混凝土的密实性、抗渗性与耐久性。生产过程始于高精度钢模的制作与校验，模具内腔尺寸偏差应严格控制在 $\pm 1\text{mm}$ 以内，并定期维护以防变形。钢筋骨架采用数控弯箍机与焊接网片技术加工，确保几何尺寸准确、保护层厚度均匀，偏差不超过 $\pm 3\text{mm}$ 。各类预埋件，如吊环、注浆管、止水带槽口及连接螺栓孔等，必须精确定位安装，其中心位置偏差不应大于 2mm ，以免影响后续吊装与拼接^[2]。混凝土浇筑普遍采用振动台整体振捣，确保内部密实无空洞。养护环节尤为关键，多采用蒸汽养护制度，通过精确控制升温速率（ $\leq 15^\circ\text{C}/\text{h}$ ）、恒温温度（ $\leq 60^\circ\text{C}$ ）及降温速率（ $\leq 10^\circ\text{C}/\text{h}$ ），有效防止因内外温差过大而产生的早期温度裂缝。脱模时，构件强度须达到设计值的75%以上，存放时应分层码放，每层间用通长垫木对齐支撑，堆放高度一般不超过三层，以避免因自重产生挠曲变形。

2.3 构件运输与吊装

运输前，应对每块构件进行编号、标识，并检查其外观是否存在裂缝、缺棱掉角等损伤。运输车辆需配备液压悬挂系统以缓冲路面颠簸，行驶过程中，尤其是在转弯、上下坡路段，车速应严格控制在 $5\text{km}/\text{h}$ 以内，防止构件因惯性发生滑移或碰撞。抵达现场后，吊装作业是另一高风险工序。必须使用专用吊具，如平衡梁配合柔性吊带，以均匀分布吊点应力，避免局部应力集中导致混凝土开裂。起吊前，需仔细核查吊环的牢固性与完整性。在空中移动过程中，应有专人指挥，并利用实时监测设备跟踪构件姿态，确保平稳就位。就位时，借助全站仪或激光定位系统进行精确定位，将平面位置与高程偏差控制在 5mm 以内，并立即用楔形木块进行临时固定，防止因风力或振动发生位移。

2.4 现场拼装工艺

目前主要有三种连接方式。干式连接，即通过预埋

在节段端部的钢板和高强螺栓进行紧固，其最大优点是无需现场湿作业，施工速度快，但接缝处刚度相对较低，结构整体性依赖于螺栓的预紧力，且防水性能主要依靠密封胶条，长期可靠性需谨慎评估。湿式连接则是在相邻节段间预留20至50毫米的间隙，安装中埋止水带后，浇筑微膨胀细石混凝土或注入高性能无收缩灌浆料，待其硬化后形成刚性连接。这种方式能有效保证结构的整体受力性能，但需要一定的养护时间，影响施工节奏。混合连接方式结合了前两者的优点，先通过螺栓进行初步定位与固定，再注入灌浆料填充缝隙，既保证了施工效率，又增强了结构的整体性和防水可靠性，已成为当前的主流做法。无论采用何种工艺，拼装顺序都至关重要，通常从工作井或变形缝等控制点开始，逐段向两端推进。为防止误差累积，每拼装3至5个节段后，必须使用高精度测量仪器对轴线和标高进行全面复测，并及时进行微调纠偏。

2.5 接缝防水关键技术

必须贯彻“多道设防、刚柔结合”的防水原则。第一道防线是设置在节段端面预留凹槽内的弹性密封胶条，通常选用三元乙丙（EPDM）或氯丁橡胶材料，其压缩率需精确控制在30%至40%之间，以确保在长期服役中能持续提供有效的密封压力，安装时必须保证胶条平顺无扭曲、不脱槽。第二道防线是在接缝中部预埋的中埋式止水带，多为橡胶或钢边橡胶复合材料，它与两侧的混凝土紧密结合，形成一道贯穿整个接缝截面的物理阻水屏障^[3]。第三道防线则是覆盖于管廊外侧的柔性防水卷材，如PVC或TPO高分子卷材，通过热风焊接形成连续、无缝的外包防水层，搭接宽度不得小于100毫米。作为最后一道保险，通常还会在接缝处预埋注浆管，一旦在后期运营中发现渗漏迹象，可通过该管道注入化学浆液进行封堵修复。此外，为增强新旧混凝土的粘结力，接缝处的混凝土表面必须进行凿毛处理，并涂刷专用的界面剂，确保后浇带或灌浆料与预制构件形成牢固的整体。

2.6 信息化与智能监测

信息化技术的应用是提升预制拼装管廊精细化管理水平的重要手段。通过对每个预制构件植入RFID芯片或粘贴二维码，可以构建其唯一的“数字身份证”，实现从原材料进场、工厂生产、物流运输到现场安装的全过程信息追溯。在施工过程中，可在关键部位布设倾角计、应变片、渗压计等智能传感器，实时采集结构的变形、应力及渗漏状态数据。这些数据通过无线传输汇集到基于BIM+GIS技术构建的数字孪生平台，不仅能够动态监控施工质量，还能为未来的运维管理提供宝贵的历

史数据。这种“建造即运维”的理念，使得管廊从建设之初就具备了智能化的基因，极大地提升了城市地下基础设施的韧性与智慧化水平。

3 质量控制要点

3.1 设计阶段质量控制

设计是工程质量的源头，必须从源头上规避潜在风险。首先，应大力推行模数协调和标准化设计，通过减少非标构件的数量来降低生产和施工的复杂性。其次，设计文件必须清晰、详尽地规定接缝的构造细节、防水材料性能指标以及整体的防水等级要求，通常不应低于二级防水标准。最后，必须对拼装完成后的整体结构进行严谨的力学分析，不仅要验算其在正常使用状态下的承载力和变形，还需考虑地震、不均匀沉降等偶然荷载作用下的安全性，确保预制拼装结构在各种工况下均能满足功能与安全要求。

3.2 预制生产阶段质量控制

表1 预制生产阶段质量控制要点

控制项目	允许偏差	检测方法
长度	±5mm	钢尺测量
宽度/高度	±3mm	游标卡尺
对角线差	≤ 5mm	对角线测量
平整度	≤ 3mm/2m	靠尺+塞尺
预埋件中心位置	±2mm	全站仪
保护层厚度	+5/-3mm	电磁感应仪

3.3 运输与吊装阶段质量控制

运输与吊装阶段的质量控制核心在于“保护”。构件在运输前必须经过全面的外观检查，任何存在结构性裂缝或严重外观缺陷的构件都不得出厂。在吊装过程中，必须严禁斜拉、猛起、猛落等野蛮操作，所有动作都应平稳、缓慢。专用吊具的使用不仅是效率的保障，更是安全的底线。构件就位后，不能仅依赖吊机维持位置，必须立即采用楔形块或其他可靠的临时支撑措施将其固定，防止在后续工序中因意外扰动而发生位移或倾覆，从而保证拼装精度。

3.4 拼装与接缝处理质量控制

拼装与接缝处理是决定管廊最终性能的“临门一脚”。拼装时，相邻节段之间的间隙必须均匀一致，最

大偏差应控制在3毫米以内，过大的错台会直接影响防水效果和结构受力。止水胶条的安装质量至关重要，必须确保其在凹槽内居中、平顺，无任何扭曲、翻转或脱出，且压缩量均匀。若采用注浆连接，所用灌浆料的流动性、强度等性能指标必须严格检测，确保其能充分填充缝隙并与预制混凝土形成可靠粘结^[4]。对于后浇带混凝土，必须保证振捣密实，杜绝出现蜂窝、麻面等内部缺陷，这是保证接缝长期耐久性的基础。

3.5 验收与检测

工程验收是质量控制的最后一道关口。验收工作应分层次、多维度展开。首先进行直观的外观检查，确认结构表面无贯穿性裂缝、露筋、孔洞等明显缺陷。其次，对关键节段的几何尺寸进行复核，确保其满足设计和规范要求。防水性能的验证可采用蓄水试验或高压淋水试验，持续观察24小时，确保无任何渗漏现象。在特殊或重要工程中，还可采用超声波、雷达等无损检测技术，对构件内部及接缝区域进行扫描，排查潜在的空洞或不密实区域，必要时可进行局部荷载试验，验证结构的实际承载能力。

4 结语

市政综合管廊预制拼装施工是推动城市地下基础设施现代化的重要路径。其成功实施依赖于标准化设计、高精度预制、科学拼装工艺与全过程质量控制的有机结合。尤其在接缝防水、结构整体性及信息化管理方面，需采取系统性措施确保工程品质。未来，随着智能建造、新材料与新工艺的不断发展，预制拼装综合管廊将在安全性、耐久性与经济性上实现进一步突破，为智慧城市与韧性城市建设提供坚实支撑。

参考文献

- [1]仲雨泽,孟志伟.市政综合管廊预制拼装施工技术[J].建筑工人,2025,46(09):35-38.
- [2]刘锐.市政综合管廊工程施工研究[J].科学技术创新,2025,(23):169-172.
- [3]翟佳露.市政综合管廊工程技术研究[J].全面腐蚀控制,2025,39(07):300-302.
- [4]王苏香.市政综合管廊工程施工技术关键探究[J].价值工程,2024,43(29):163-165.