

# 轨道交通机电管线工厂预制与现场装配协同管理研究

汪 洋 熊浩江

中国水利水电第七工程局成都水电建设工程有限公司 四川 成都 611130

**【摘要】**：轨道交通机电管线在多专业交叉与施工节奏紧凑的条件下，对安装精度与协作效率提出较高要求。以工厂预制与现场装配的协同方式为核心，通过标准化构建、数字化支撑与过程同步控制，可形成稳定的工序衔接模式，使预制构件在加工精度、物流组织与现场定位之间实现高匹配度。预制阶段依托参数化设计与批量制造提升一致性，装配阶段借助信息共享与过程可视化强化协同响应能力。通过构建贯通设计、生产与装配的管理链条，机电管线安装的可靠性、施工效率与资源利用率得到整体提升，并为轨道交通工程的大规模装配化提供可复制的路径。

**【关键词】**：轨道交通；机电管线；工厂预制；现场装配；协同管理

DOI:10.12417/2811-0722.26.07.040

## 引言

轨道交通建设不断迈向集约化与高质量方向，机电管线的安装方式正经历由传统湿作业向装配化模式的转变。大量工序在密闭环境中交叉推进，使对精度、时序与协作的要求持续提高。工厂预制能够通过集中加工提升产品一致性，而现场装配则依赖顺畅的衔接机制完成快速落地。当两者形成稳定的协同关系时，可促成全流程的可控、可视与可追溯，使项目在组织方式与生产方式上均呈现出新的特征。围绕这一变革展开的系统化管理模式，为提升建设效率与整体工程品质提供了新的动力来源，也为后续大规模推广装配化施工奠定基础。

## 1 机电管线装配化推进中的关键矛盾

轨道交通建设在空间受限、工序密集与专业交叉频繁的条件下推进，机电管线系统往往穿插于土建结构、装饰装修与设备安装之间，任何环节的偏差都会引发连锁反应。装配化模式的引入虽然带来加工一致性与安装效率的提升，但在实践中依然会暴露出多源信息不对称、构件尺度受限、运输路径复杂等矛盾<sup>[1]</sup>。设计模型与现场条件之间存在偏移，使部分预制构件难以与实际安装点位保持一致；同时，管线综合排布的耦合程度较高，不同系统之间的净距、标高与维护空间常出现冲突，导致预制化路径受到限制。施工现场的节奏亦高度依赖多工序并行推进，一旦衔接不严密，装配化带来的效率优势便难以释放。

随着预制深度的不断提升，机电管线的构件数量、连接方式、支吊架系统与接口数量持续增加，更多隐蔽条件在设计阶段难以完全呈现，造成预制模型与现场环境之间存在差距。结构梁底高差、设备基础偏移、土建留洞误差等因素都会影响机电线缆桥架、风管、综合支架等构件的精准定位，进而引发返工与现场切割现象，削弱装配化体系的稳定性。物流环节亦构成重要制约，管线构件往往尺寸大、数量多，需要在运输、吊装和楼层内流转过过程中保持排序与标识清晰，否则在现场组织安装时容易造成错配、滞留和堆积，影响通道占用与施工节奏。信息链条若缺乏实时反馈能力，预制工厂难以根据现场情况调

整生产节奏，形成新的瓶颈。

在多专业高度耦合的条件下，协同不足成为贯穿预制与装配全过程的突出矛盾。若缺少统一的参数化设计平台，各专业之间的模型独立运行，碰撞检查与路径优化难以一次性完成，使现场调整频繁发生。管线系统的装配顺序若未提前固化，装配班组之间容易出现节奏脱节，定位基准无法保持连续性，并可能影响消防、通风、给排水与电力系统的整体布局。管理链条中若无法形成数据驱动的调度模式，预制构件的生产排程、运输节点、现场堆放策略与安装窗口期之间难以实现动态平衡，使项目难以构建稳定的装配化运行机制。这些矛盾在轨道交通复杂的地下空间和长线作业环境中被进一步放大，成为制约机电管线装配化持续推进的核心挑战。

## 2 工厂预制环节的组织优化路径

工厂预制环节的组织模式决定了机电管线装配化能否在轨道交通工程中形成稳定的落地体系。预制构件的几何精度、接口位置、支撑结构以及标准化程度均取决于设计模型与加工链条之间的协调度。为了保证预制构件能够在现场完成快速定位与无干涉装配，需要在设计阶段建立参数化建模体系，使管线桥架、风管、线槽与综合支吊架在虚拟环境中完成构型固化<sup>[2]</sup>。通过预先定义连接结构、节点形式与构件模块化尺度，可让加工工序在工厂内部呈现出连续性，从而减少临时拼装与现场切割的需求。基于一体化建模的加工信息若能够直接驱动数控设备，对构件的折弯角度、孔位布置与连接件配置形成精细化表达，则预制构件的稳定性更容易被保证。

在组织流程中，工厂内部的生产排程、构件拆分策略与加工单元布置对整体效率具有明显影响。机电管线的预制数量大、种类多，需要通过工序分段、批次划分与流水化组织，使切割、冲孔、焊接、防腐与成品检验呈现连续流。构件的编号体系、包装方式与信息标识亦属于预制环节的重要组成部分，若在物流过程中能够保持构件之间的关联性，则现场装配时的排序、提取与定位将更加顺畅。为了避免大批量构件在短时间集中生产带来的拥堵现象，工厂加工应当借助可视化排程工

具,根据运输节奏和现场装配窗口动态调整生产节拍,让预制结构在上线、下线、转运之间形成稳定的周转路线。同时,通过在工序中设置质量控制点,可让构件在出厂前完成外观检测、尺寸复核与接口校核,降低到达现场后再次调整的概率。

在预制构件越趋复杂的背景下,组织优化还依赖跨专业的信息通信机制,确保设计、加工与现场需求能够在统一的平台中同步更新。若能在预制环节形成构件全生命周期的追溯链条,使结构形式、材料参数、加工工艺与检验记录保持连续记录,则各阶段之间的协同将更加顺畅。工厂与现场之间若具备实时反馈通道,可在土建偏差、点位调整或装配顺序变化出现时及时修订预制任务,避免批量构件失配。预制与装配的贯通需要更高水平的生产组织能力,通过精细化拆解工序、强化工厂内部布局与物流管理,使机电管线构件在从设计到加工再到运输的全过程保持一致性,为后续现场装配的高效率衔接奠定基础。

### 3 现场装配过程的协同控制机制

现场装配环节处于机电管线装配化体系的收束阶段,各类预制构件需要在受限空间内完成高精度定位,因此协同控制成为维系整体施工节奏的重要抓手。机电系统多沿隧道、区间和车站连续布置,装配过程受到结构净空、施工窗口与多专业交叉作业的共同影响,为保证装配路径的稳定性,需要在现场建立统一的定位基准,使构件能够依托激光测量、控制点复核与放样校准实现与设计模型的同步对齐<sup>[3]</sup>。装配作业面在动态变化,若缺乏连续的进度衔接与空间协调,现场容易出现工序冲突、管线互扰与作业滞后等问题,使预制构件的优势无法充分发挥。

在装配过程中,各类构件的吊装、拼接与固定需按照既定时序推进,而这一过程对多方的即时沟通能力提出较高要求。工序组织若能借助数字化指挥系统,将构件编号、安装顺序、施工工位和运输路径进行可视化表达,则管理人员能够及时掌握现场资源配置情况,使装配班组在不同区段之间实现高效切换。支吊架系统、风管模块、电缆桥架及附属连接件之间的连接方式呈现多样化特点,若现场在安装前完成构件状态核查,可避免因接口差异、孔位偏移或方向错误导致的返工。与此同时,现场装配人员需要在有限空间内完成高空作业与设备穿越,对材料堆放、构件摆放区域和通行路线进行提前规划,是维持协同控制不可缺少的组成部分。

工厂与现场之间的联动在装配阶段体现得更加明显。装配过程中若出现土建偏差、点位变化或其他管线的干涉情况,需要及时向工厂反馈并修订生成构件,使后续批次的结构能与最新现场条件保持一致。数字化协同平台在此阶段承担关键作用,通过构建实时信息链条,使设计模型、加工图纸与现场实际形成同步更新机制,从而保证现场装配指令的准确性。装配任务的执行若能持续获得来自调度端的进度监控、质量核查与

问题闭环管理,将使整个装配化过程在动态环境下保持稳定运行,并确保机电管线系统能够依托明确的协同控制框架完成高精度组装。

### 4 预制与装配贯通的管理联动体系

预制构件在工厂内形成稳定品质后,若缺乏与现场装配的贯通机制,装配化体系难以真正发挥整体效能,因此管理联动成为衔接两端的重要枢纽。轨道交通机电管线的布局跨越多个区域,点位密集且系统关联度高,设计、加工与装配之间任何一处偏差都会产生链式影响。为了避免断点,需要在项目早期构建统一的数据平台,使参数化模型、构件编码规则与加工指令在同一体系中运行,让预制构件在生成时便具备可装配性的逻辑<sup>[4]</sup>。工厂与现场之间的计划与资源信息若能具备实时互通能力,可使装配窗口与预制产能保持同步,减少因节奏不匹配导致的滞留、堆放或工序等待现象,从而让施工区域保持高效流转。

在管理链条中,构件的物流组织承担着连接预制与装配的过渡功能。轨道交通工程的作业通道狭长且转换频繁,运输路径规划、批次拆分方式与构件标识策略直接影响现场作业效率。若在构件出厂前建立数字化标签,将模型信息、安装序列、定位参数与检查记录集成为一体,现场装配人员便可依据标签内容快速完成提取与匹配。工厂侧若根据现场反馈及时调整生产节奏,可避免构件长期囤积或关键构件延迟到场,从而保持上下游运行的稳定性。管理联动的核心在于构建闭环机制,让信息在预制、运输、装配与质量验收之间形成连续循环,使每个阶段都具备明确接口与可判断的控制节点。

贯通体系的建立不仅依赖信息链条,还依靠明确的组织分工与协作路径。多专业在装配化施工中同时参与,对责任界面、工序优先级与协调方式提出更高要求。如能在施工区段内设置动态协调单元,由其统筹装配顺序、进度同步与交叉作业的空间调整,则预制构件可在最适时的窗口进入现场。管理联动还涵盖质量追溯,通过模型比对、尺寸校核与安装记录的同步更新,使预制端与装配端在质量控制上保持一致尺度。当这一体系稳定运行时,预制构件可在全流程中呈现出连续性,实现从数据生成到最终安装的无缝衔接,为轨道交通机电管线的装配化建设提供可靠支撑。

### 5 机电管线装配化实施的综合成效提炼

机电管线在轨道交通工程中呈现分布广、系统多、界面复杂等特征,装配化模式的持续推进使施工组织方式发生明显变化。预制构件在标准化、模块化和精度控制方面具备显著优势,通过与现场的精准衔接,使传统依赖手工测量与随场加工的模式得以转变。装配化带来的成效在于构件之间的匹配度提升,管线排布更加规整,系统之间的净距控制更符合设计要求,隐蔽空间的布局也趋向清晰有序<sup>[5]</sup>。在施工节奏方面,装配化减

少了湿作业与高噪声工序,使作业环境更加可控,区段切换更具连续性,整体过程在稳定性和均衡性上呈现出新的特征。

随着装配化体系逐步成熟,现场工序的可预测性不断增强。装配任务通过数字化系统进行调度,使施工管理能够以构件为核心开展排程,提升施工组织的透明度与协调效率。各类预制模块的到场时间、安装位置、连接方式和检验节点均可在系统中提前确定,使装配班组的工作内容更加清晰,人员配置与机械设备的投入方式也更加合理。现场作业面由于构件的精准匹配得以缩短占用时间,交叉施工的干扰被显著降低。支吊架体系、桥架模块和管道段块在空间中呈现出稳定的组合关系,使工程在复杂环境下保持较高的可控度。装配化推进还促使质量管理方式发生变化,过程记录、构件追溯与模型校核形成链式管理,使管线系统的安装精度与可靠性不断提升。

在更广范围内,装配化建设对工程资源的使用方式也产生影响。加工工序大量前移至工厂,使施工现场的材料堆放、加工设备和临时设施得到显著压缩,空间利用率随之提高。劳动

力结构亦发生变化,现场对高技能装配人员的需求增强,而对传统加工工人的依赖度减少,使整体作业结构更符合现代化施工要求。通过工厂规模化生产与现场节奏化安装,机电管线的安装呈现出可复制特征,为长距离轨道区间和多节点车站提供一致的施工模式,使工程组织成本、资源调配压力和外部干扰因素得到有效缓解。随着协同程度的不断提升,机电管线装配化展现出对工程品质、施工周期与管理效率多维度提升的综合价值,成为轨道交通建设向精细化、高标准方向迈进的重要支撑力量。

## 6 结语

装配化在机电管线施工中构建了由设计、预制到装配的连续链条,使轨道交通工程在组织方式与质量控制上呈现新的体系结构。预制端的稳定精度与现场端的协同机制相互支撑,使施工过程在节奏、空间与资源配置上更加可控。随着信息链条不断完善,机电管线的布局、安装与管理逐渐形成高效模式,为工程建设带来更具秩序性与可持续性的技术路径。

## 参考文献:

- [1] 管天宇.轨道交通工程施工安全事故类型分析及防范策略探讨[J].隧道与轨道交通,2025,(04):16-19+73-74.
- [2] 何旭,耿庆祝,张广达.轨道交通杂散电流腐蚀机理与防护措施研究[J].隧道与轨道交通,2025,(04):26-29+74.
- [3] 李想,李会林.城市轨道交通建设中的市政管线设计与思考[J].四川建筑,2025,45(06):287-290.
- [4] 张义.装配式建筑机电管线预埋优化与应用[J].住宅与房地产,2025,(35):50-52.
- [5] 张楠.轨道交通机电管线快装施工中的爬升装置技术应用研究[J].中国高新科技,2025,(07):124-126.