 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i4.9965

Research on Optimization of Construction Organization and Collaborative Control of Key Processes in Subway Engineering

Jie Li

Shanghai Tunnel Engineering Co., Ltd. Zhejiang Branch, Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract

Metro engineering is characterized by constrained construction environments,closely linked construction processes,and a high level of organizational complexity.The coordination between construction organization and critical construction processes has a direct impact on project schedule,safety,and quality control.Based on the practical demands of metro construction,this study systematically analyzes the structural characteristics and operational logic of construction organization,and clarifies the core role of organizational optimization in resource allocation,schedule coordination,and risk control.On this basis,key processes such as shield tunneling,station main structure construction,and structural transitions between sections are examined,with emphasis on the temporal coupling relationships and coordination control requirements among these processes.A coordination control framework for critical processes supported by optimized construction organization is proposed.The study highlights that organizational-level coordination and process control mechanisms can realize the synergistic operation of multiple processes,enhance the overall stability and implementation efficiency of the construction system,and provide theoretical support for the efficient advancement of metro projects.

Keywords

metro engineering; construction organization optimization; critical processes; coordination control; schedule management

地铁工程施工组织优化与关键工序协同控制研究

李杰

上海隧道工程有限公司浙江分公司，中国 · 浙江 杭州 310000

摘　要

地铁工程具有施工环境受限、工序衔接紧密、组织复杂度高等特点，施工组织与关键工序协同水平直接影响工程进度、安全与质量控制效果。围绕地铁工程施工实践需求，系统分析施工组织结构特征及其运行逻辑，梳理施工组织优化在资源配置、进度统筹与风险控制中的核心作用。在此基础上，聚焦盾构推进、车站主体施工、区间结构转换等关键工序，探讨工序之间的时序耦合关系与协同控制要点，构建以施工组织优化为支撑的关键工序协同控制思路。研究强调通过组织层面的统筹协调与过程控制机制，实现多工序协同运行，提升施工系统整体稳定性与实施效率，为地铁工程高效推进提供理论参考。

关键词

地铁工程；施工组织优化；关键工序；协同控制；进度管理

1 引言

随着城市轨道交通建设规模持续扩大，地铁工程逐步呈现出施工周期长、工序交叉频繁和不确定因素集中的特征。受地下空间条件、周边环境约束及施工技术要求影响，传统以单一工序或局部环节为中心的管理方式难以满足复杂施工条件下的组织需求。在实际建设过程中，施工组织不合理、工序衔接失序往往成为制约工程推进的重要因素，易引发进度滞后、资源浪费及安全风险叠加等问题。因此，从系统角度审视地铁工程施工组织结构，强化关键工序之间的协同控制，已成为提升工程实施效能的重要方向。基于此，有必要围绕施工组织优化与关键工序协同控制开展深入研究，为地铁工程施工管理提供更加系统化和可操作的技术支撑。

2 地铁工程施工组织体系的总体构成与运行特征

2.1 地铁工程施工组织结构的组成要素

地铁工程施工组织结构以工程总体目标为核心，由管理层级、专业分工、作业单元及协调关系共同构成。施工组织通常围绕线路工程、车站工程、区间工程等建设内容进行设置，通过项目管理机构对设计、施工、监理及相关参建单位进行统筹管理。组织结构中既包含纵向的管理层级划分，

【作者简介】李杰（1990–），男，中国山东临沭人，本科，工程师，从事建筑施工研究。

也包含横向的专业协作关系，不同工种、不同施工区域在统一组织框架下协同运作。施工组织还需结合地铁工程地下作业特征，对施工场地、工序顺序和空间占用进行合理安排，使结构设置能够适应复杂环境条件。通过明确职责边界与工作接口，施工组织结构为各类施工活动提供稳定运行基础，对工程顺利实施具有支撑作用。

2.2 施工组织运行机制与资源配置特征

地铁工程施工组织运行依托明确的管理流程与信息传递机制展开，涵盖计划编制、过程协调与动态调整等环节。施工组织运行强调各参与主体之间的信息联动，通过施工计划与现场反馈形成闭环管理模式。在资源配置方面，施工组织需要对人力、设备、材料和作业空间进行系统统筹，使有限资源在不同工序间实现合理流动。资源配置具有阶段性和动态性特征，需要根据施工进展和现场条件变化不断调整。施工组织运行机制通过协调各类资源投入强度与时序关系，保障关键作业连续开展，同时避免资源集中或闲置现象，对提升整体施工效率具有重要意义 [1]。

3 地铁工程施工组织优化的核心目标与技术路径

3.1 施工进度目标导向下的组织优化方向

施工进度目标是地铁工程施工组织优化的重要导向。施工组织优化需围绕总体工期要求，对施工阶段划分、工序衔接和作业顺序进行系统调整，使进度计划具备可实施性和协调性。通过强化计划管理与动态控制，施工组织能够及时应对环境变化和施工条件调整，减少非计划性停滞。进度导向下的组织优化强调各工序之间的协同推进，避免局部进度失衡对整体进度造成影响。施工组织在进度目标约束下不断完善运行方式，有助于提升工程实施的整体节奏与稳定性。

3.2 资源要素统筹配置的组织优化路径

资源要素统筹是施工组织优化的重要内容。地铁工程涉及多类型资源投入，施工组织需要在不同施工阶段对资源配置进行整体规划。通过对施工强度、作业面分布和资源需求变化的综合分析，施工组织能够实现资源配置与施工进展的匹配。资源统筹配置强调组织层面的协调能力，使人员、设备和材料按照施工需求有序流动。合理的组织优化路径有助于降低资源浪费和调配冲突，提升资源利用效率，为复杂工程条件下的持续施工提供支撑。

3.3 复杂施工条件下的组织协调机制

地铁工程常处于城市建成区，施工条件复杂多变，对施工组织协调能力提出较高要求。施工组织优化需要建立适应复杂条件的协调机制，通过强化信息沟通与管理协作，保障多工序、多区域同步推进。组织协调机制在面对地下空间受限、交叉施工频繁等情况时，能够通过合理调整作业安排减少相互干扰。施工组织在协调过程中发挥统筹与调节作用，使不同施工单元在统一框架下协同运行。有效的组织协调机制有助于缓解复杂条件带来的不确定性，提升地铁工程施工组织的整体适应能力。

4 地铁工程关键工序识别与工序衔接关系分析

4.1 地铁工程关键工序的类型划分与判定依据

地铁工程关键工序的识别以施工全过程为对象，结合工期约束强度、资源占用程度和风险集中水平进行综合判定。在区间施工阶段，盾构始发、连续掘进与接收作业通常占据单区间总工期的 45%~55%，盾构推进速度维持在 8~12 m/d 时，对后续工序启动时间形成直接制约。车站主体结构施工中，围护结构成槽深度一般达到 30~45 m，混凝土单次浇筑方量可达 1200~1800 m³，对设备能力和连续作业条件提出刚性要求。附属结构与机电安装阶段，单系统调试周期约 20~30 d，对线路贯通节点产生叠加影响。通过对工期占比、作业强度和风险参数的综合分析，能够将上述高影响环节判定为关键工序，为施工组织重点管控提供依据 [2]。

4.2 关键工序时序关系与空间交叉特征

地铁工程关键工序在时序与空间上呈现高度耦合特征。盾构区间施工与车站主体结构常形成前后衔接关系，区间掘进完成后 15~25 d 内需具备接收条件，否则将造成盾构设备停滞，单日待机成本可达到 8~10 万元。车站内部结构施工与区间二次衬砌在空间上存在纵向交叉，作业面高差通常为 6~10 m，施工组织需在有限空间内协调多工种同步作业。轨道铺设与机电安装阶段，线路有效作业长度约 300~500 m，空间占用重叠度超过 60%，对作业顺序与时间窗口提出严格要求。关键工序的时序依赖与空间交叉使施工组织必须通过精细化安排，避免作业冲突放大整体施工风险。

4.3 关键工序对施工组织稳定性的影响

关键工序运行状态直接影响地铁工程施工组织的稳定性。当盾构推进速率由 10 m/d 下降至 6 m/d 时，单区间工期将延长 20%~30%，进而引发人员与设备重新配置，增加组织调整频次。车站主体混凝土浇筑若因供应不连续导致间歇超过 4 h，结构质量风险明显上升，同时影响后续防水与回填工序安排。机电系统安装中，单专业延误 5~7 d 即可造成多专业交叉作业密度提高至 1.3~1.5 倍，组织协调压力显著加大。由此可见，关键工序的稳定实施是维持施工组织有序运行的重要前提，其波动会通过工序链条放大，对整体施工系统产生持续影响 [3]。

5 地铁工程关键工序协同控制的实施机制

5.1 基于施工组织的关键工序协同控制模式

关键工序协同控制需依托施工组织体系进行整体设计，通过明确控制层级与协作关系形成稳定运行模式。在组织层面，将盾构施工、车站结构施工和系统安装纳入同一协调框架，设置统一的进度控制节点，节点间隔一般控制在 14~21 d。施工组织通过统筹调度，实现人员投入强度维持在 90%~110% 合理区间，设备利用率保持在 80% 以上。协

同控制模式强调关键工序信息共享和决策联动，使各作业单元在统一组织指挥下运行，减少局部决策对整体施工节奏的干扰，从而提升施工组织的整体协调性。

5.2 关键工序协同中的进度与质量控制机制

在关键工序协同过程中，进度与质量控制需要同步实施。施工组织通过设置工序控制点，将关键作业划分为若干阶段，每阶段工期控制在 7~10 d 范围内，确保进度偏差可控。质量控制方面，盾构管片拼装允许偏差控制在 ±3 mm 以内，车站主体结构混凝土强度达到设计值的 95% 以上方可进入下一工序。进度与质量控制机制通过参数约束与过程检查相结合，避免因抢工期引发质量隐患，同时防止质量返工导致工期累计延误，实现协同条件下的平衡控制。

2.3 关键工序协同中的安全与风险防控机制

安全与风险防控是关键工序协同控制的重要组成部分。施工组织在协同控制中对高风险作业实施重点管控，盾构穿越建构筑物时沉降控制标准通常设定为 15~20 mm，超过警戒值需立即调整施工参数。深基坑施工阶段，围护结构位移控制在 25 mm 以内，监测频率提高至 1~2 次 /d，以保障作业安全。多工序交叉作业条件下，现场作业密度控制在每 100 m² 不超过 8~10 人，有效降低安全风险叠加概率。通过将安全指标嵌入协同控制体系，施工组织能够在复杂条件下维持风险可控状态，保障地铁工程施工顺利推进 [4]。

6 施工组织优化与关键工序协同控制的综合效应

6.1 施工组织优化对关键工序协同效率的提升作用

施工组织优化通过重构管理层级与运行流程，为关键工序协同提供稳定的制度环境。合理的组织结构能够缩短决策传递链条，使工序调整与资源调配更加高效，从而降低协同过程中的时间损耗。通过对施工计划、资源安排与作业接口的系统优化，关键工序之间的信息传递更加顺畅，协同响应速度显著提升。施工组织优化还通过明确责任分工与协作关系，减少工序衔接中的管理空档，使各关键作业能够在统一节奏下推进。随着组织运行效率的提升，关键工序协同由被动协调转变为主动配合，有助于整体施工效率持续提升，并为复杂条件下的连续施工创造有利条件。

6.2 关键工序协同控制对整体施工组织的反向支撑

关键工序协同控制在实施过程中对施工组织运行形成反向促进作用。通过对关键工序实施协同管理，施工组织能够更加直观地掌握施工节奏与资源消耗状态，为组织调整提供依据。关键工序在协同控制下运行稳定，有助于减少组织频繁调整带来的管理成本，使施工组织保持相对稳定的运行状态。协同控制还促使施工组织不断完善内部协调机制，通过实践反馈优化管理流程，提高组织适应复杂施工条件的能力。随着关键工序协同水平的提高，施工组织在整体调度与统筹方面的作用得到强化，组织体系的执行力与响应能力随之提升。

6.3 施工组织与关键工序协同控制的系统集成效应

施工组织优化与关键工序协同控制在长期运行中形成相互促进的系统集成效应。施工组织为关键工序协同提供框架支撑，协同控制的实施结果又不断反向修正和完善施工组织结构，使两者在互动中实现功能叠加。通过将组织管理与工序控制纳入统一体系，施工活动由分散管理向系统运行转变，整体协调性显著增强。系统集成效应使施工组织能够更好地应对施工环境变化，关键工序在统一管理框架下实现稳定衔接。该集成效应有助于提升地铁工程施工系统的整体可靠性与运行效率，为工程顺利实施奠定坚实基础。

7 结语

地铁工程施工组织优化与关键工序协同控制是保障工程高效、安全推进的重要基础。通过系统梳理施工组织结构与运行特征，明确关键工序在施工体系中的核心地位，并将协同控制理念贯穿于施工全过程，有助于提升施工管理的整体性与协调性。施工组织优化为关键工序稳定实施提供制度支撑，关键工序协同运行又反向促进组织体系不断完善，两者相互作用、协同演进，形成具有整体约束力和调节能力的施工管理体系。该研究思路对于应对地铁工程复杂施工条件、降低组织运行风险、提升工程实施质量具有现实意义。

参考文献

[1] 白光荣,彭放.PDCA循环法在贵阳地铁隧道病害整治施工组织中的应用[J].四川水泥,2025,(03):188-190.

[2] 贾倩.基于WSR的地铁工程施工安全风险分析与管理研究[D].导师：王丹;贾崇.辽宁工程技术大学,2023.

[3] 潘雯.地铁总承包项目施工成本管理影响因素研究[D].导师：郭晓剑.江西理工大学,2023.

[4] 崔芳兵.基于BIM的地铁项目进度智能优化与管理研究[D].导师：郑莲琼.福建工程学院,2023.