

预制装配技术在地下工程中的应用

邓朝普¹ 谭现江¹ 纪玉田¹ 宗明奇¹ 李亚丹²

1. 北京城建设计发展集团股份有限公司济南分公司; 2. 山东轨道交通勘察设计院有限公司

摘要: 预制装配技术是我国建设工程技术领域内非常先进的技术手段, 能够被广泛应用在地下工程项目之中, 但是不同于传统的地下施工技术, 预制装配技术对结构设计质量的要求更高。预制装配式结构能够在地下基坑工程、综合管廊工程、轨道交通工程中稳定应用, 其结构体系与支护形式更加可靠。本文将着重探析预制装配技术在地下工程中的应用要点。

关键词: 地下工程; 预制; 装配技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.16.027

在众多地下工程项目中, 很多管线以及构筑物的分布情况非常复杂, 因此难以提升工程建设质量和环境安全控制水平。在创新引入预制装配式工程结构体系之后, 地下工程项目的不同施工方案应用质量均显著提升, 因此需要结合具体地质条件以及环境影响因素, 选用安全可靠的预制装配结构体系以及施工图纸, 逐步提升技术应用质量和环境安全。

一、预制装配技术概述

预制装配技术不仅限于建筑结构, 还能够对不同基础设施建设工程项目中的结构体系进行对比分析, 其整体施工速度相对较快, 能够有效缩短施工周期, 但是需要对预制装配结构中的主要构件进行精细化设计和优化, 并确定完整的基础结构和其他结构体系应用形式^[1]。预制装配技术可以将全部构件和部分构件的预制生产质量进行重点跟踪和监督监控, 确保其工程造价以及工程量在可控范围之内。预制装配式结构对应的施工技术方法, 需要动态化平衡结构断面存在的差异特征, 还需要对整体预制结构、分块预制结构的应用优缺点进行对比, 将预制结构与现浇结构组合应用过程中, 会逐步凸显出预制装配技术的独特应用优势。在构建地下工程主体结构的过程中, 需要详细划分预制PC构件和现浇结构部分的材料成本投入比例, 还需要对机械化、人工作业的工程量进行精准核算。预制装配技术需要涵盖非常精准的结构计算与设计成果, 并将其应用在柔性化、精密工业生产制造模式之中。预制装配技术在基础工程以及地下工程中的应用质量符合行业技术标准的具体要求^[2]。

二、地下工程的施工特点

(一) 围岩稳定性难以判断

在不同地区的地下工程建设项目中, 很多地下围岩结构并不完全稳定, 在前期地质勘察工作的过程中, 所得数据分析结果并不完全准确, 施工技术人员并不能根据设计图纸和地质分析结果判断围岩结构的稳定性,

部分地区会受到地震波的影响, 地下空间地质结构非常复杂, 难以确定预制装配式PC构件的实际应用质量是否能够满足预期要求^[3]。围岩结构的相对空间稳定性, 会直接影响到预制装配式结构的实际受力状态平衡性, 尤其在对现浇管片以及管廊抗震等级进行全面评估的过程中, 部分围岩结构的薄弱位置难以被精准探查, 因此基坑支护施工作业进度比较缓慢, 还会额外浪费施工材料以及大中型盾构设备资源。尤其在基坑工程以及地下综合管廊工程项目中, 部分建设区段内的围岩结构稳定性难以判断和精准预测分析, 因此在选用支撑结构体系的过程中, 局部部位的支撑平面普遍存在较多薄弱问题, 难以客观分析受力变形特征等数据参数。地下空间的围岩结构稳定性难以判断, 是增加预制装配结构设计难度和风险的主要原因^[4]。

(二) 结构埋深浅, 与临近结构相互影响

很多地下工程项目中的预制装配式结构, 需要与特定预应力支护体系组合应用, 还需要在构建新型装配式基坑支护结构的过程中, 全面勘测支撑构件受力变形特征是否在可控范围之内。大部分地下工程的结构埋深相对较浅, 因此会与临近结构相互影响, 其整体性和局部受力薄弱问题非常普遍, 难以提升工程建设质量和环境安全稳定性^[5]。结构埋深较浅, 与当前很多地下工程的大跨度梁柱结构预制生产规模有限有关, 部分施工工法与传统支护结构体系的结合效果并不显著, 难以提升基础结构和抗侧弯结构的整体应用质量。结构埋深浅, 是当前大部分地线工程建设质量不达标的主要影响因素。预应力装配式构件与支撑结构体系的组合应用效果并不显著, 难以利用组合式对撑、角撑等结构构件构造出完整的地下支撑结构体系。结构埋深较浅, 与当前选用的装配式综合管廊计算模型、预制拼接技术不完善有关, IPS支撑与传统支撑结构体系的位移量普遍超出限定技术标准, 能够直接影响到工程结构构件和系统功能之间的适配度, 还会对临近构筑物建筑物的抗震性产生负面影响。

(三) 地质条件差, 环境复杂

很多城市的地下工程项目, 其施工周期相对较长, 中小型地下工程项目一般3-5年才能够基本建设完成。但是大部分地下工程的地质条件比较差, 地下空间的环境条件非常复杂, 因此会对设计和施工等建设活动的顺利开展产生负面影响, 更容易增加成本费用和人力资源投入比例。大部分城市的地下工程项目, 都需要动态平衡基坑工程和地下综合管廊工程中的技术资源矛盾等问题, 还需要与地下管线的管辖单位进行沟通协调, 才

能够及时打造立体化以及系统化的地下结构工程建设模式。地质条件和环境层面上的影响因素，会直接关联到施工质量和环境安全稳定性，因此需要选用环境低影响施工技术看方案，例如免共振微扰动沉桩技术、泥浆固化处理技术等方案。地质条件比较差以及施工作业环境非常复杂的地下工程项目，需要结合预制装配式结构体系的力学特征，合理引入国产化盾构装备，并对深层次盾构隧道、地下车站装配式结构的抗震性能进行预测分析。

三、地下工程中预制装配技术的应用形式

（一）明挖隧道

在不同规模的地下工程项目中，预制装配施工技术可以被应用在明挖隧道之中，例如轨道交通工程项目、隧道工程项目等，因此需要合理运用装配式衬砌结构进行隧道修筑作业，但是需要对装配式结构构件的受力特征进行精准验算分析，还需要详细划分现浇施工部位，因此施工单位会选用HK工法进行隧道施工作业。不同开口直径的明挖隧道工程项目，其构件之间的刚性稳定连接形式是预制装配式结构的关键组成部分，但是需要对接头部位进行特殊处理，才能够满足明挖隧道工程项目的运输和机械化拼装作业需求。但是在明挖隧道工程施工现场中，部分装配式衬砌结构的现场安装组作质量参差不齐，需要避免拱墙等部位出现应力比较集中等质量风险问题，因此需要在标准化设计流程的基础之上，根据明挖隧道工程项目的具体尺寸和多层次施工作业参数等具体要求，选用三分块或者四分块设计施工作业方法。明挖隧道施工作业过程中应用的预制装配式衬砌结构，还需要在现场架设过程中兼顾经济性和结构体系抗震性要求。

（二）地铁站台

地铁站台是城市地下工程项目的重要组成部分，可以将预制装配式结构广泛应用在车站主体建筑物、附属结构以及隧道区间等结构体系之中，还可以根据装配式地铁车站中不同功能系统以及管线敷设计标准，合理引入预应力施工技术看方案和通缝拼装作业模式。在对地铁站台主体建筑物进行预制装配设计的过程中，还需要对顶板覆土深度进行精准测算，部分城市的地铁车站选用了标准化的预制结构，车站主体可以被划分成七个分块，纵向宽度2m，自重系数最高的预制构件和安装作业空间比较有限，需要将预制钢棒作为构件之间的张拉固定材料。预制拼装式地铁站台主体，与附属结构之间的安装固定连接形式非常关键，因此施工单位还需要慎重筛选预制装配式构件和结构体系，避免在衬砌构造以及PC-ATM工法隧道施工现场中架设作业质量和环境安全性出现较多风险因素。地铁站台主体建筑物适用的结构分块设计方案需要与特定作业区间范围内地质环境条件相关联，逐步提升设计和PC构件安装作业质量。

（三）地下综合管廊

在不同城市的地下综合管廊工程项目中，部分管线的敷设计要求相对较高，但是很多地质环境条件过于复杂，因此施工单位需要选用预制装配式构件进行组作拼装作业，在现浇段、明挖段施工作业的过程中，逐步提升管廊工程的整体施工质量和环境安全控制效果。部分城市地下综合管廊工程项目需要对比分析分块预制装配、顶板预制装配、叠合装配以及钢波纹管装配技术方案是否符合工程施工作业需求。预制管廊结构的受力状态相对比较均匀，但是需要结合不同地区的地下空间地质条件和环境影响因素，辅以支护支撑结构体系。地下综合管廊工程项目选用的预制装配施工技术看方案，需要有效缩短工期、提高施工质量以及减少城市地表拥堵问题，并合理分块设计综合管廊空间中的不同区域，确保车辆和行人专用通行区域的安全稳定性，避免选用单一的支撑支护预制结构体系。地下综合管廊工程项目中应用的预制装配施工技术措施，都需要对现浇段的作业质量进行全面监督检验。

（四）暗挖隧道

在不同城市的地下工程项目中，明挖隧道与暗挖隧道工程适用的预制装配技术存在较大差异，其中明挖隧道工程更适合预制衬砌结构，但是暗挖隧道工程更适合预切槽法等特殊工法，其预制装配结构和构件规格并不完全标准，因此需要满足实际工程施工建设要求和需求。在实施暗挖隧道工程施工建设活动的过程中，施工单位还需要尽量减少地下空间施工作业对隧道内部车辆的负面影响，可以在不中断交通的情况下进行隧道扩建作业。暗挖隧道工程项目的隐蔽工程施工质量非常关键，若选用了部分预制衬砌结构和旁侧支护结构体系，则需要将其拱墙、拱脚厚度进行渐变式设计，才能够满足城市地下隧道工程项目整体结构的安全性和抗震性要求。暗挖隧道工程项目的施工作业区域与原始隧道区域相分隔，可以在安装预制钢筋混凝土箱体的基础之上，对隧道扩容断面进行精准计算和加固设计，并在精准定位主体结构构件和拼装区域的基础之上，逐步推升不同交叉施工工序的实际作业质量。

（五）盾构隧道

在大中型盾构隧道建设工程项目中，预制装配技术的应用非常广泛，但是需要对独立管片进行优化设计，还需要对大中型机械设备的选型工作、标准化施工技术体系进行系统化构建，逐步完善和优化衬砌设计与工法应用模式。大部分隧道结构普遍选用了矿山法进行施工作业，但是不同于传统的隧道结构技术体系，很多城市的地下空间环境和地质条件并不安全稳定，部分围岩以及临近构筑物建筑物都会存在相互影响等施工作业风险因素。因此在众多盾构隧道工程项目中，选择预制装配施工技术方法之后，还需要全面勘测装配式衬砌结构的各项设计参数是否科学合理，对管片设计环节中可能存在的操作风险因素进行精准识别。部分城市和地区还能

够在应用大断面盾构隧道预制装配式结构的基础之上，研发出马蹄形盾构隧道工法，并对比分析不良地质硬岩石条件下盾构空推隧道作业过程是否存在较多质量安全风险因素。

四、地下工程中预制装配式技术的应用要点

（一）预制装配式结构设计要点

在不同规模的地下工程项目中，施工单位需要与设计单位进行沟通协调，针对施工现场的实际地质勘测和工程测量数据信息进行对比分析，协同优化预制装配式结构设计方案以及施工图纸。尤其在预制PC构件进行尺寸设计以及构件标准化设计两个关键环节之中，预制装配式结构的安装组装作业难度是设计人员需要重点考虑的要素，在确定具体规格尺寸等数据参数的过程中，还需要对比分析构配件生产制作过程中的成本投入比例，对运输、堆放设备服务半径和空间进行精准测算。设计师需要合理运用BIM技术，精准测算预制装配式构件的尺寸规格是否满足工程建设要求。尤其对于大中型地铁车站以及盾构隧道预制衬砌结构，其结构设计方案的可行性、经济性非常关键，因此还需要全面评估预制构配件的标准化、模数化设计生产制造质量是否达标，对预制梯板、预制站台板两种构件的具体规格参数。

（二）构件吊装和运输要点

在对众多地下工程项目的预制装配技术进行对比分析过程中，施工单位选用的构件生产制造模式非常关键，还需要重点监督检验不同规格构件适用的吊装以及运输作业模式是否科学合理。在预制装配PC构件的吊装作业环节之中，受到地下工程实际施工场地的空间环境条件限制，吊装机械设备、不同构件吊装组装作业流程非常关键，大部分施工单位会选用两种构件吊装作业方案，其经济性以及可行性都满足工程建设要求。很多城市的地下工程预制构件吊装受限于地下空间的不足，不能采用常规吊装设备吊装。根据地下工程项目的实际建设规模，大部分施工单位会选用SWTC5型履带起重机，但是需要在施工现场严格设定吊装和运输作业的空间范围，避免浪费有限的空间和交通运输资源。预制装配式构件的吊装和机械化运输作业，都需要维持其水平和竖向受力状态的平稳性，并在施工现场执行严格的质量检验程序。

（三）施工质量和安全控制要点

地下工程的施工现场作业条件和影响因素都非常复杂，因此预制装配式结构和对应的施工技术方案非常关键，在进行构件吊装组装以及现浇施工作业的过程中，施工质量以及安全控制工作非常必要，需要最大限度选用机械化作业模式，避免过于依赖于人工操作。根据城市地下工程项目的实际建设规模，现场施工技术人员需要统一听从管理人员的组织和调配，对不同施工技术方案的实地验证结果进行详细记录和统计分析，逐步细化各专业部门的质量和安全管理目标。现场施工技术人员

和管理人员还需要对明挖隧道、暗挖隧道、地铁站台以及地下综合管廊等专业工程适用的预制装配式构件、模板进行科学分类，逐步提升隐蔽工程和主体建筑结构的施工质量和安全监督管理水平。尤其在地下轨道交通工程项目以及深基坑工程项目中，专业技术人员和管理人员还需要对比分析超深围护技术、节能支护技术、智能化控制技术资源的实际应用质量、地下地质环境扰动安全性能是否满足工程建设标准。

（四）施工进度和成本控制要点

在众多城市地下工程项目中，施工单位需要全面勘测各项技术参数的变化趋势，并协同监理单位逐步完善施工进度控制模式，还需要将进度控制与成本控制目标有效衔接，在合理运用各项预制装配式施工技术的基础上，合理分配施工技术资源和时间空间资源。尤其在创新引入盾构隧道工程新型施工技术、预制装配式地下车站新技术的过程中，现场施工技术人员和管理人员还需要对分部分项工程的实际工程量进行精准核算，部分工程项目需要涵盖较多隐蔽工程建设内容，还需要客观分析各部门执行的进度和成本控制目标是否具有可行性。施工单位需要如实记录和统计分析施工进度与成本控制目标的实际完成情况，对各类预制装配式施工技术方案的实际应用效果进行对比，合理运用价值工程等管理理论，确保地下工程环境和施工建设条件的相对稳定性。

结束语

综上所述，在众多地下工程项目中，预制装配技术的应用重点主要集中在构件尺寸规格设计、结构体系选型以及运输吊装等具体作业工序之中，因此施工单位需要全面勘测施工现场的地质环境和影响因素，对比分析预制装配式结构和构件材料的应用质量、进度、成本以及安全是否满足要求。

参考文献

- [1]董杰.地下综合管廊绿色施工技术[J].中国建筑装饰装修,2022(04):176-177.
 - [2]张超哲,刘松玉.地下空间预制装配式结构研究现状综述[J].应用基础与工程科学学报,2022,30(01):236-245.
 - [3]夏文强,李俊.预制装配式缆线管廊在城市建设中的必要性分析[J].广西城镇建设,2021(09):55-57.
 - [4]王卫东,丁文其,杨秀仁,郑刚,徐中华.基坑工程与地下工程——高效节能、环境低影响及可持续发展新技术[J].土木工程学报,2020,53(07):78-98.
 - [5]邓怡虎,任子华.预制混凝土箱涵装配式综合管廊设计[J].中国建筑金属结构,2022(03):82-83.
- 基金项目: 本文由山东省重点研发计划资助(Key R&D Program of Shandong Province, China), 项目编号: 2021CXGC011203.