

# 基坑内支撑转换条件下叠拼式CPM施工技术探讨及应用

周咏渠 孙冰封 陈宗涛

北京建工集团（广州）建设有限公司

**摘要：**目前，国内外地下工程预制拼装结构主要应用于放坡开挖或单道支撑浅基坑内施工，多应用于城市综合管廊施工，而应用于深基坑多道内支撑需受力转换条件下，采用预制拼装结构情况几乎很少，能实现结构多层拼装，更少之又少。为解决国内深基坑多道内支撑条件下，应用拼装预制结构难题，同时可实现预制构件大跨度，分层拼装，同时本着经济实用，操作简便原则，通过优化预制结构型式，自主研发拼装设备，提出深基坑多道内支撑条件下叠拼式CPM施工技术，为国内地下工程预制拼装结构施工技术助力，推广应用于大跨度，多层综合管廊，地铁车站、明挖段、折返线、暗挖隧道、地下空间等应用。

**关键词：**基坑内支撑转换；叠拼法CPM；

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.21.027

目前，国内外地下工程预制拼装结构主要应用于放坡开挖或单道支撑浅基坑内施工，多应用于城市综合管廊施工，而应用于深基坑多道内支撑需受力转换条件下，采用预制拼装结构情况几乎很少，能实现结构多层拼装，更少之又少。为解决国内深基坑多道内支撑条件下，应用拼装预制结构难题，同时可实现预制构件大跨度，分层拼装，同时本着经济实用，操作简便原则，通过优化预制结构型式，自主研发拼装设备，提出深基坑多道内支撑条件下叠拼式CPM施工技术，为国内地下工程预制拼装结构施工技术助力，推广应用于大跨度，多层综合管廊，地铁车站、明挖段、折返线、暗挖隧道、地下空间等应用，填补行业技术空白。

该技术成功应用于广州地铁某车站折返线施工，实现单班施工进度最高纪录可达7块（长10.5米），实际单块纯就位安装时间约10分钟，单施工流水段20米计算，较人工现浇结构施工约40天，预制结构约8天，工期至少提高80%，总体施工进度较快，拼装结构平整、美观，防水效果良好，作业环境空旷，舒适，安全，采用遥控操作设备，操作简单，人力劳动强度大大降低，具有较强不同场景适应性及推广性。

## 一、工程概况

广州轨道交通某地铁折返线，装配段全长46.5米，主体结构为地下一层双跨箱型，结构断面宽11.2米，高8.46米，顶底板0.8米，中隔墙0.4米，侧墙0.7米。

基坑围护结构采用地下连续墙加三道内支撑体系，两道砼+一道钢支撑，坑底采用600@450双轴搅拌桩格栅加固，基坑地层为素填土、淤泥、中粗砂、淤泥质土等，地下水丰富、地质条件复杂。

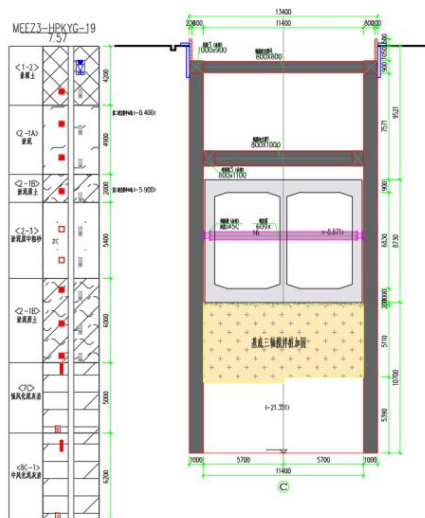


图1 地质及结构剖面图

叠拼式CPM工法的预制结构型式、施工过程和技术要求与普通的预制构件装配施工有着较大的区别，将大断面预制构件拆分为上下两个半环进行预制，利用自行研发的智能叠拼小车进行上下半环水平运输及拼装。上下半环分别拼装后采用后浇带湿接缝连接成完整结构，构件之间纵向采用预应力钢棒连接，构件连接端面上设置弹性密封垫，两个构件拉紧后实现挤压防水。

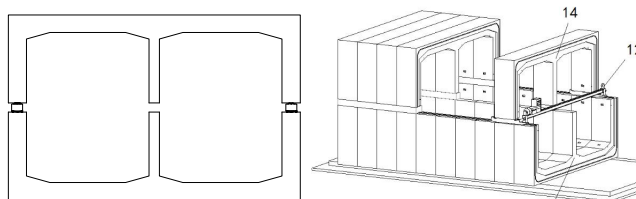


图2 叠拼式CPM法整体结构剖面图

## 二、施工流程

下半环拼装时将拼装系统布置在基坑底部，使其能够沿结构纵向行走，预制构件由吊点吊装就位后，利用拼装系统运输至拼装作业面。利用拼装系统的水平平移装置和竖向顶升装置，可直接调整构件的高程、轴线位置，完成对位工作。

利用张拉装置，将待拼装构件与已拼装构件拉紧，完成预制构件的连接。

上半环拼装时将拼装系统布置在下半环结构侧墙上，使其能够沿侧墙结构纵向行走，预制构件由起吊点吊装就位后，利用拼装系统运输至拼装作业面。

利用拼装系统的水平平移装置和竖向顶升装置，可直接调整构件的高程、轴线位置，完成对位工作。利用

张拉装置，将待拼装构件与已拼装构件拉紧，完成预制构件的连接。上半环拼装时采用临时支墩实现上半环临时固定，上下半环之间钢筋连接后浇筑混凝土形成设计封闭结构。

### 三、叠拼式CPM工法关键施工技术

#### (一) 基坑围护结构及预留下井口

基坑围护结构施工过程中，围护结构外放15-20公分间隙。在基坑围护结构支撑范围内，每隔20米左右且避开连续墙接头位置，选取宽3米位置设置预制构件垂直下料口。

#### (二) 构件预制

为满足预制装配式构件生产流水化、自动化、机械化要求，根据主体结构设计要求定制液压模具，该预制钢模主要采用3cm厚Q235B钢板焊接而成结构内、外侧挡板，通过液压驱动将各块挡板（侧模）有效的连接成一个整体。待浇筑完成后，即可利用蒸养罩对砼构件进行整体蒸养，加快混凝土结构强度成型速度。

#### (三) 构件吊装、翻转

##### 1. 构件翻转

由于预制装配式构件一次浇筑成型后均为倒“山”型，下部构件吊装下井前需要进行翻转，预制构件翻转区设置在生产场地南端，利用在沙坑内开挖斜坡的方式，通过履带吊缓慢松放钢丝绳将预制构件放置在斜坡上，然后将底部挂钩摘下，安放在预制构件顶部，通过各吊点均匀受力，达到预制构件翻转的目的。

##### 2. 构件吊装

预制构件的吊装均采用10米长， $\phi 40\text{mm}$ 钢丝绳，将预制构件垂直吊起，吊机通过旋转和起落臂杆移动到井口，缓慢下钩，使预制构件停放在运输车上，由于基坑宽度与结构宽度仅相差20cm，因此对吊装技术要求极高。

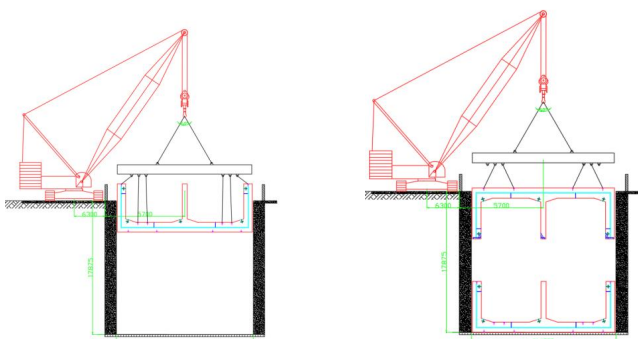


图3 下部预制构件吊装示意图 图4 上部预制构件吊装示意图

#### (四) 构件运输

##### 1. 自动化拼装、运输车施工原理

该运输车可沿钢质导轨水平运动，实现六个自由度（上下、左右、前后、俯仰、滚转、平转）调整的高精度拼装系统，运输预制构件到达指定拼装位置，通过控制系统进行沿线路方向纵向拼装和上下半环叠拼拼装，然后采用后浇带把上下半环结构连接成完整地下结构。

##### 2. 预制构件运输、定位

首节预制构件的定位是整个预制结构的基准，包括

高程、位置偏差等，因此构件吊入基坑前做好定位线（标注线，可采用红漆喷涂），标记线对准小车顶升横梁外轮廓，运输至指定位置后通过运输车6个自由度的调整，使其达到精准定位运输的目的，其余构件依次按照上述要求进行运输。



图5 现场下部及上部预制结构叠拼

#### (五) 上、下部构件间支墩安装

当运输车将上部构件运输至指定位置后，通过在上、下节预制构件之间放置临时支墩，完成受力转换后，运输小车的后退。每个构件（1.5m）通过2个临时支墩进行支顶，临时支墩形式为上下钢板+中间无缝钢管的形式，钢板采用160\*280\*20mm钢板无缝钢管采用 $\phi 48*5\text{mm}$ 钢管，该支墩放置应贴紧预制构件外侧，每个支墩通过6根预埋M20螺栓进行固定。

#### (六) 构件间防水施工

预制装配式结构防水施工主要分为三类，分别为：混凝土结构自防水（C50P10）、管节间防水（复合橡胶条）、预制构件与现浇结构防水（钢板止水带）。复合橡胶条采用“三元乙丙橡胶+遇水膨胀止水条”进行双重防水。

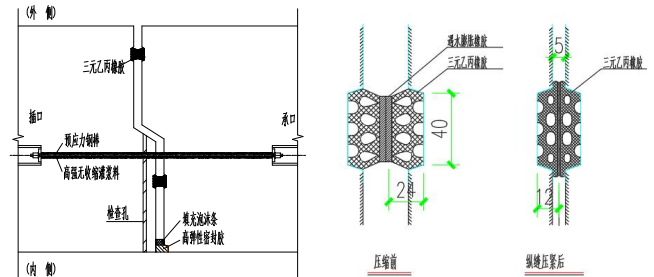


图6 构件间防水胶条安装、挤压效果图

#### (七) 纵向构件间张拉

预制构件间采用 $\phi 29\text{mm}$ ，极限强度为1230MPa，屈服强度为1080MPa的预应力钢棒进行张拉、锁紧。要求每节安装都需要进行张拉，拉力控制在30~51t，以预制结构纵向缝不大于5mm的控制值作为张拉结束标准。

#### (八) 肥槽回填及基坑支撑分层拆除、受力转换

预制装配式工程分为上下2部分进行吊装，两侧肥槽分为上、下两次进行对称回填，为保证肥槽回填密实，采用M20砂浆进行回填，底部回填高度应控制在底板腋角位置即可，待强度达设计值，分段拆除第三道钢支撑。

上部管节肥槽回填，需待湿接缝施工完成后进行整体肥槽回填，待回填强度达设计值，拆除第二道砼支撑。

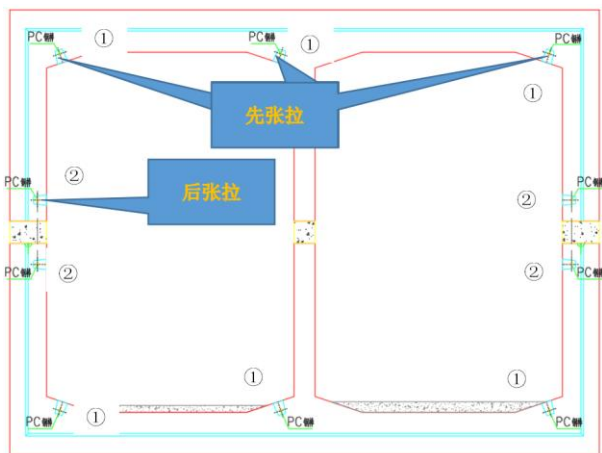


图7 预应力张拉点布置图

预制拼装结构完成后，施作防水及保护层，基坑分层回填土后，拆除第一道砼支撑。

基坑受力体系转换施工过程，密切关注基坑、预制结构受力及位移等变化情况，通过基坑支撑与预制结构之间受力转换，实现基坑内支撑转换条件下预制结构叠拼施工。

#### 四、叠拼式CPM施工技术施工重、难点

(一) 地质条件复杂，基坑支撑分层拆除、受力体系转换，确保基坑安全难度较大

基坑地层为素填土、淤泥、中粗砂、淤泥质土等，地下水丰富、地质条件复杂，不利于基坑稳定，基坑设计三道支撑，每道支撑拆除后，需将原作用在支撑上的力，转换到预制结构上，由于预制结构与围护结构间，存在拼装预留间隙，需做好预制构件固定及间隙填充，确保基坑围护结构侧向压力能通过预制构件进行传递，确保基坑整体稳定性和安全。采用分段、分层方式拆除支撑，严格把控填充质量，监测数据实时采集，信息化指导现场施工，才能成功实现基坑内支撑与预制结构受力体系顺利转换。

(二) 预制装配式构件体量较大、预埋件数量较多，预埋精度控制要求高

预制构件体量较大，预制装配式构件需要埋设6种预埋件，包含手孔、检查孔、套筒、吊钉、钢板、支墩锚栓螺母等，需要预埋构件数量较多且要求精度高，若尺寸位置有所偏差将直接影响构件拼装，为后期构件拼装增大难度。

(三) 预制装配式构件吊装精度控制要求高、翻身工艺难度大

预制构件采用预制钢模板进行支护，钢筋笼入模时，呈倒“山”型，待整体浇筑成型后，单件重量达57.3t，吊装、转运、翻身安全要求较高。

本工程为连续墙施工完成后进行装配式构件设计，基坑内净空11.6m，构件外尺寸为11.2m，单侧仅有20cm间隙，且吊装口仅有2.5m，吊装精度要求极高，若控制不好，容易造成预制构件碰撞支撑体系，间接造成基坑报警，同时造成构件损坏，难以保证整体施工质量要求。

预制构件浇筑成型后，单块重量达57.3t，高度为

4.05m，按照既定吊装、翻身方案，需要在沙坑内通过扁担实现翻身工况，若控制不好极易造成构件损坏。

(四) 预制装配式构件管节拼装精度是本工程施工的重点

预制装配式段主体结构全长46.5m，宽度11.2m，高度方向上分为上、下2个管节，总体高度8.46m，预制管节通过运输小车运输至指定位置后进行管节间张拉、湿接缝施工，张拉要求控制在节缝5mm，拼装全过程均为“毫米级”施工，若拼装精度控制不当极易造成管节拼装错缝、错台等现象。

(五) 上、下管节间支墩与小车的受力转换是本次施工的难点

装配式主体结构分为上、下两节，上部管节的运输，采用“三代”运输小车，通过在两侧侧墙预埋导轨进行运输，运输至指定位置后，通过在上、下管节间放置临时支墩使小车完成受力转换，达到运输小车可以回退的目的，如何快速、精准的放置临时支墩完成受力转换是本次的难点。

#### 五、结语

通过本次基坑内支撑转换条件下叠拼式CPM法地下结构工程的研究，总结了地下现浇结构与地下综合管廊相适应的施工技术及其成套装备，结合现场实际工况，有效提高了在大断面、深基坑环境中使用预制装配式施工的安全质量，实现了全机械化预制、装配施工，具体的实现包括预制、运输、对位、拼装等工序的机械化作业，总结形成基坑内支撑转换条件下叠拼式CPM施工技术。

本工法可替代目前常规采用的大型起重机吊装、工人协作对位的拼装方式，提高预制装配结构的施工效率，大幅减少起重吊装作业量，节省施工用地，减少工程前期投入，提高施工安全性、减少意外事故造成的损失，提高拼装精度和拼装质量，提高施工机械化水平，进一步降低劳动强度。工法具有较强的先进性，可促进预制装配式地下工程结构施工机械化水平的进步提高，进一步提高机械承载能力，能够广泛应用于大断面、深基坑的地铁站、多舱综合管廊、暗挖隧道等工程。

#### 参考文献

[1] 梁厚燃, 王建军, 解威威, 刘营, 刘卓等. 城市综合管廊工程装配式建造关键技术研究[J]. 施工技术, 2020(4)

[2] 谷音, 林炜超, 俞安华, 俞伯林, 黄强. 新型装配叠合式综合管廊受力性能试验[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2022(1)

[3] 郭建涛, 油新华, 耿冬青等. 地下工程叠合整体式预制装配技术研究[J]. 施工技术, 2016, 45(22)

[4] 樊骅, 张中育. 国内外混凝土预制件发展现状分析[J]. 混凝土世界, 2013(2): 70-75.

[5] 尹伟, 卞正涛. 装配式综合管廊全机械化拼装施工技术研究与应[J]. 建筑技术, 2022(9)

[6] 从敏. 装配式结构车站在长春地铁中的应用[工业设计, 2015(4)