

文章编号: 1007-2993(2024)03-0330-07

基坑盖板下逆作车站地下连续墙 托换破除技术

罗 鹏¹ 刘映晶¹ 卢敬科¹ 林廷松² 朱汉华¹

(1. 中天建设集团有限公司, 浙江杭州 310000; 2. 杭州市建设工程质量安全监督总站, 浙江杭州 310000)

【摘要】 附属结构与地铁车站连通常需要对地下连续墙进行破除, 当地下连续墙上设有临时承重盖板时破除的施工难度更大, 风险更高。以某地铁盖挖逆作车站的地下连续墙破除施工为依托, 提出了利用局部破除体作为临时竖向支撑进行托换破除的施工方法。首先, 采用数值计算分析了不同托换间距对盖板结构体系的受力影响, 综合施工进度和作业空间考虑, 确定预留 1 m 宽的临时托换柱和不大于 12 m 的破除间距为控制指标, 能够满足各受力结构体系在临时托换施工下的承载性能要求; 其次, 对盖板下地下连续墙破除及切割块转运施工进行了详细分析, 给出了分块尺寸、切割块吊装、预留柱节点等关键施工环节的控制指标与做法。实施结果表明: 利用既有地下连续墙作为临时托换结构进行破除地下连续墙的施工方法, 安全可靠, 施工速度快, 成本经济。

【关键词】 盖板; 托换间距; 地下连续墙破除; 数值计算; 绳锯切割

【中图分类号】 TU476

【文献标识码】 A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2024.03.011

Underpinning Methods of Diaphragm Wall of Subway Station Constructed by Cut and Cover Reverse Method under Foundation Pit Cover Plate

Luo Peng¹ Liu Yingjing¹ Lu Jingke¹ Lin Tingsong² Zhu Hanhua¹

(1. Zhongtian Construction Group Co., Ltd., Hangzhou 310000, Zhejiang, China; 2. General Supervision Station of Construction Engineering Quality and Safety of Hangzhou, Hangzhou 310000, Zhejiang, China)

【Abstract】 The connection between the auxiliary structure and the subway station usually requires breaking the diaphragm wall, which is more difficult and risky when a temporary cover plate is installed on the diaphragm wall. Based on the demolition construction of the diaphragm wall of a subway station constructed by cover and top-down construction method, a construction method of underpinning demolition using a local demolition body as temporary vertical support was proposed, and the problem was solved. First of all, the influence of different underpinning distances on the structural system of the cover plate was calculated numerically, and considering the construction progress and workspace, the temporary underpinning columns with a width of 1 m and a breaking distance of no more than 12 m were determined as the control indicators, which can meet the load-bearing performance requirements of each stressed structural system under temporary underpinning construction. Secondly, the demolition of the diaphragm wall under the cover plate and the transfer construction of the cut blocks were detailed, and the control indicators and practices of key construction links such as block size, cutting block hoisting, and reserved column nodes were given. The implementation results showed that using the existing diaphragm wall as a temporary underpinning structure for the construction of the diaphragm wall is safe, reliable, fast in construction, and economical in cost.

【Key words】 cover plate; underpinning distance; diaphragm wall demolition; numerical calculation; wire saw cutting

0 引言

我国经济和城市建设飞速发展, 大型城市市区的地上空间资源逐渐饱和, 城市轨道交通、市政隧道、综合管廊、地下商业中心等地下空间的开发也成了

必然趋势^[1-3]。对于变形控制要求较高的主城区深基坑多采用地下连续墙作为围护结构^[4-6], 大型工民建基坑常因外部因素(如基坑分期、基坑较大、基坑异型、基坑临近重要保护构筑物等)需要进行分坑施

作者简介: 罗 鹏, 男, 1991 年生, 汉族, 江西吉安人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事隧道、地下工程设计和施工技术研究工作。
E-mail: 617886047@qq.com

工,或者近地铁商业开发项目与地铁有联通需求时,在后续实施结构施工中可能需要进行大范围破除承重地下连续墙。该类施工中常见的难点有:(1)破除地下连续墙时可能会对基坑栈桥板和支撑体系的受力产生影响,从而威胁到基坑的安全;(2)采用常规托换柱进行地下连续墙破除会增加施工缝或者后浇孔洞,进而增加防水施工的难度;(3)临近运营地铁类重要构筑物的地下连续墙破除时的变形控制要求较高。由此深基坑地下连续墙拆除所带来的相关问题也日益突显,值得重点研究。

目前文献中对地下连续连墙破除的方法开展了较多的研究和实践,常规方法多为人工风镐破除和静力绳锯切割。何茂周^[7]通过对新、旧车站连接处 21.5 m(高)×24.48 m(宽)地连墙破除进行人工凿除、机械破除、浅孔微差爆破、静力爆破及金刚石静力切割施工方案比选,采用了金刚石绳锯与金刚石水钻相结合的静力切割技术分块破除地下连续墙。卫东等^[8]通过采用分区、分块孔内分段微差延时的爆破方法将上海著名恒隆广场两栋地下室相连的 800 mm 厚钢筋混凝土地下连续墙进行爆破拆除。于振民等^[9]以天津地铁某明挖车站为工程背景,通过优化附属的第一道支撑与主体上方的挡土墙连接,提高破除跨度和减少破除工序,加快了地下连续墙破除速度。马春元等^[10]以天津周大福金融中心工程为例,通过在分隔墙两侧每层水平结构施工时将主梁贯通部位的临时地下连续墙上开洞,保证主梁贯通受力来转换基坑支护体系,为后期快速、安全地拆除临时分隔墙做好了准备。孔 锴等^[11]通过在地铁车站与附属开洞范围相对应的车站主体结构顶板上设置一道压顶梁与地连墙连接,将位于洞口上部围护结构自重传递到主体结构顶板上,在进行洞门整体破除时可防止上部围护结构下坠。杨永华等^[12]对偏压换乘地铁车站基坑大面积破除地连墙通过有限元模拟分析不同破除跨度下的影响,最终比选确定了 30 m 跳仓拆除的施工方案。杨德春等^[13]通过建立“地铁车站—围护结构”的三维数值计算模型,分析了苏州地铁金鸡湖西站侧墙切割改造对车站结构变形和受力的影响,并从改造设计、施工和监测几个方面提出了相关措施。安东辉等^[14]采用有限元软件 MIDAS/GEN 建立三维数值模型进行分析车站改造前、侧墙开洞完毕与新建站厅相连后的三种工况下的内力及变形情况,提出了侧墙大开洞对原有结构受力的影响和施工存在的风险点。

已有研究的地下连续墙破除施工技术多是在地下连续墙未受到大型承重荷载的工况下。当位于基坑作业盖板下且周边保护要求高的承重地下连续墙需要大范围破除时,其施工难度及安全风险也进一步提高。本文以杭州某盖挖逆作地铁车站为工程背景,通过数值分析,优化地下连续墙托换破除施工的合理间距,并对进一步的地下连续墙破除及切割块转运输工进行量化分析,给出关键控制措施。

1 工程概况

1.1 工程简介

杭州某地铁车站为 10 号线和机场快线的重要枢纽换乘车站,位于西湖区闹市区,周边建构筑物密集,交通流量大,采用盖挖逆作法施工。该站机场快线部分车站主体结构为地下二层两柱三跨结构,顶板覆土约为 4.5 m。附属工程 3 号风亭及 C 号出入口位于该站机场快线部分的北侧,周边紧邻东信大厦(距离 6.08 m)和钱江科技大厦(距离 7.5 m)。该附属工程为地下一层结构的出入口通道段与地下二层结构的风亭相结合。地下一层结构覆土厚度约为 4.5 m,风亭局部部位需上盖地上 4 层建筑物。平面位置关系见图 1。

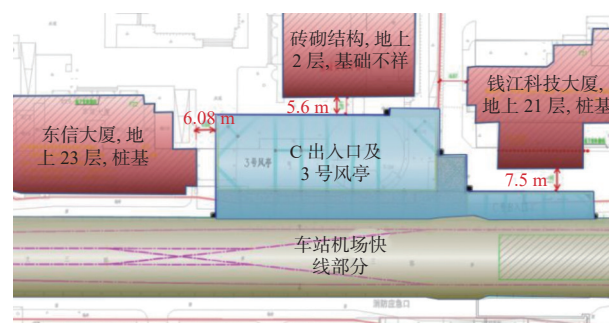


图 1 车站附属工程平面图

3 号风亭及 C 号出入口基坑深度约为 10 m,基坑支护形式为: 600 mm 地下连续墙+第一道砼支撑+第二、三道钢支撑。附属工程施工期间因紧邻主干道,场地狭小无作业空间,设置了宽约 9 m、厚度为 400 mm 的临时盖板作为施工作业平台,盖板一侧竖向支撑为主体车站 1000 mm 厚的地下连续墙,地下连续墙回填土一侧紧贴永久改迁的 220 kV 超高压电力管线。主体车站和附属功能联通需破除相连处的地连墙,总破除长度约为 97.4 m,其中盖板下破除长度约 80.2 m,高度约 6.6 m。破除范围见图 2。

1.2 工程重难点

地下连续墙破除实施过程中存在以下几个重难点:

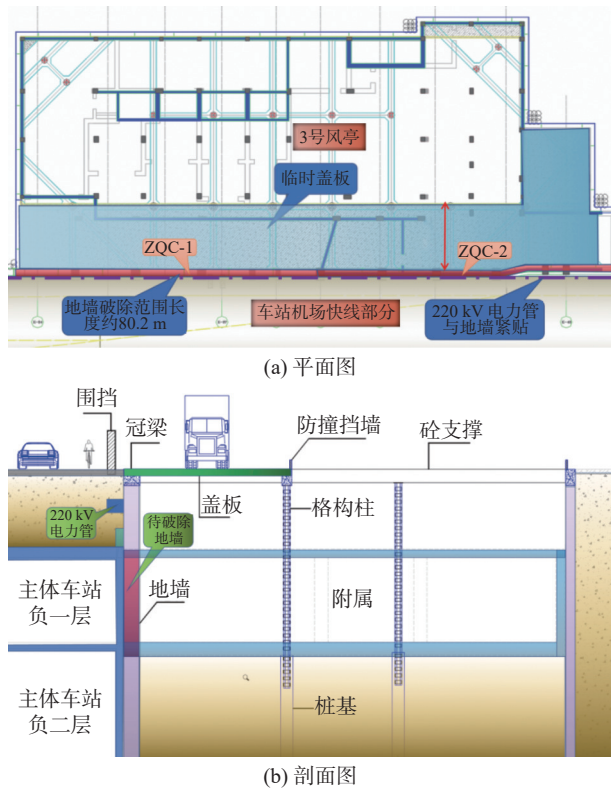


图2 地下连续墙破除范围示意

(1) 附属接口处盖板下主体地下连续墙破除长度约为 80 m, 高度约为 6.6 m, 厚度为 1 m, 地下连续墙破除的跨度、高度, 以及墙厚均较大;

(2) 主体地下连续墙作为附属基坑盖板体系的竖向受力构件以及附属基坑的侧向挡土结构, 附属破除地下连续墙时仍需保证临时盖板受力体系的稳定和基坑的安全;

(3) 现状主体地下连续墙主体回填土一侧紧靠永久改迁的 220 kV 超高压电力管线, 地下连续墙破除时需要保护既有的超高压电力管线、原有车站主体结构以及现状道路的安全。同时本项目为杭州亚运会重点项目, 工期紧张, 节点压力巨大。

1.3 施工方案比选

施工方案一: 协调施工场地, 占用周边道路, 先破除临时盖板, 再进行分段跳仓破除地下连续墙。此方案优点是减少了破除地下连续墙时上方存在施工盖板的安全风险, 施工速度快; 缺点是城区场地协调困难, 对现状社会交通影响大。经沟通协调, 此方案场难以实施。

施工方案二: 通过分段跳仓破除, 增设临时钢立柱进行边托换边破除。但由于地下连续墙上方基坑盖板承载较大, 会导致所需托换的钢立柱间距小, 施工效率低, 施工成本增加。同时也会影响后续结构施工

的整体性, 会存在较多的施工缝, 产生渗漏水隐患。此方案并非较优的实施方案。

施工方案三: 在地下连续墙破除过程中, 充分利用保留的部分地下连续墙结构作为临时支撑柱进行托换破除, 无需增加临时托换柱, 传力简单明确, 安全性高, 施工速度更快, 施工成本更低, 也可保证上方盖板继续使用。临时托换柱节点采用焊接止水钢板同期浇筑或者预留后浇孔的形式处理, 可有效减少结构板施工缝, 降低渗漏水风险。

通过以上三种施工方案, 从安全、工期、成本等方面综合考虑, 最终选择施工方案三进行深化实施。

2 数值模拟分析

盖板下地下连续墙临时托换柱优先考虑预留 1 m 宽的带型钢钢筋混凝土柱作为临时支撑, 若附属永久结构柱与型钢混凝土柱存在冲突时, 则预留钢筋混凝土柱作为临时支撑。预留临时地下连续墙托换柱间距过大会影响到盖板和基坑的安全, 间距过小则会降低施工效率, 与此同时还可能增加顶板的施工缝, 增加防水施工难度。通过建立有限元模型进行分析不同托换间距对盖板体系受力的影响, 确定合理的临时托换结构间距。

2.1 计算模型及计算参数

采用有限元软件建立三维荷载-结构模型, 分析盖板体系中各构件在不同托换间距下的影响。模型中的盖板和地下连续墙构件采用板单元进行模拟, 梁、柱构件采用梁单元进行模拟, 盖板体系主要结构材料参数见表 1。模型建立范围仅涉及附属盖板破除区域, 侧墙与周边土体的相互作用采用仅受压的面弹簧并按照土层分布进行模拟, 依据详勘报告所得地层分布及基本物理力学参数见表 2。地下连续墙底部和临时立柱底部边界约束均按固端考虑, 计算模型见图 3。

表 1 主要结构材料参数

构件	结构尺寸/mm	材料型号	弹性模量/Pa	泊松比
主体地下连续墙	1000	C30	3.0e10	0.2
附属地下连续墙	600	C30	3.0e10	0.2
盖板	400	C30	3.0e10	0.2
盖板支撑	800×1200	C30	3.0e10	0.2
预留地下连续墙	1000×1000	C30	3.0e10	0.2
格构柱	600×600	Q345	2.06e11	0.3

根据工程现场实际情况, 基坑周边的地面超载按 20 kPa 考虑, 盖板上的施工荷载按等效均布荷载 35 kPa 考虑, 坑外水土压力换算成静力作用在围护

地连墙上。由于主要分析计算盖板体系均为临时结构,因此按基本组合进行构件的强度验算。

表 2 土体参数

土层	深度 /m	天然重度 / (kN·m ⁻³)	静止侧压力系数 K ₀	基床系数垂直 / (MPa·m ⁻¹)	基床系数水平 / (MPa·m ⁻¹)
1-1碎石填土	4.2	17.5	0.55	10	12
4-1淤泥质黏土	4.2	17.2	0.59	71.9	60.9
4-2淤泥质粉质黏土	4.7	17.9	0.58	80.3	101.0
7-1黏土	3.1	19.1	0.39	284.0	261.2

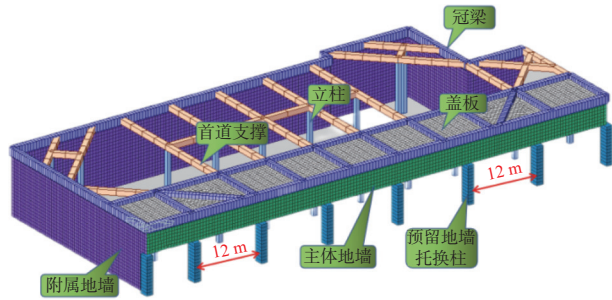


图 3 计算模型

2.2 临时托换间距参数受力分析

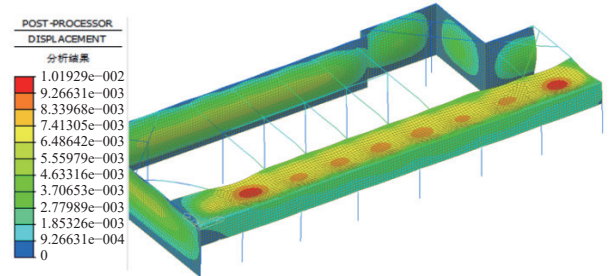
针对 6 m, 10 m, 12 m, 15 m 四种不同托换间距进行受力分析,分析在不同托换间距下对盖板支撑体系构件如支撑内力、盖板内力、临时托换柱轴力等的相关影响。其中 12 m 托换间距下构件相关计算分析结果见图 4。

不同托换间距下的盖板体系构件计算结果见表 3。

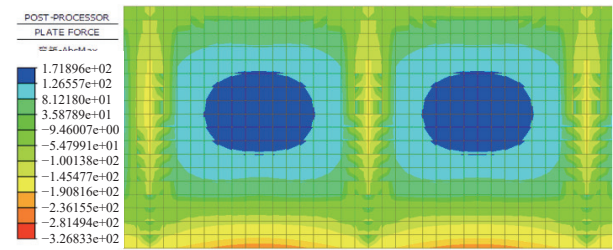
从表 3 计算结果可知,托换柱间距从 6 m 变化至 15 m 时,支撑梁的最大正弯矩和最大剪力分别仅增长了 1.49% 和 2.61%,盖板的最大正弯矩增长了约 0.82%,但是托换柱的最大轴力增长了约 130.12%,由此可见临时托换柱的间距大小对盖板体系的支撑梁内力和盖板内力影响微小,但对托换柱的轴力变化影响较大。根据盖板下支撑梁截面尺寸(800 mm×1350 mm)以及配筋得到其抗弯承载力约为 4273 kN·m,因此可满足不同托换间距下的支撑受弯强度要求。

预留临时钢筋混凝土托换柱结构截面尺寸为 1000 mm(宽)×1000 mm(长),在对临时地下连续墙托换柱的承载力复核时,考虑到地下连续墙结构为水下浇筑 C35 混凝土,计算按 C30 混凝土抗压强度进行计算,同时考虑地下连续墙破除时可能存在缺陷和误差,由此地下连续墙临时托换柱的有效受压面积按 800 mm(宽)×900 mm(长)考虑,根据《混凝土结构设计规范》^[15] 计算得到预留 1 m 宽的临时钢筋混凝

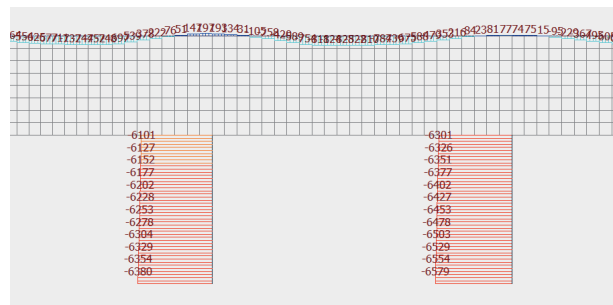
土托换柱的轴心受压承载能力约为 9266 kN,分别为 12 m 和 15 m 托换间距下托换柱轴力的 1.408 倍和 1.113 倍,由此可知,预留的临时地下连续墙托换柱结构尺寸满足以上几种间距下的受力要求。根据上述受力分析,考虑现场施工安全系数,临时托换柱的最大间距设置不大于 12 m。



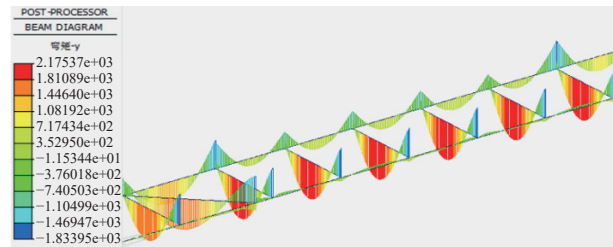
(a) 位移云图 (单位: m)



(b) 盖板弯矩内力图 (单位: kN·m)



(c) 盖板托换柱轴力图 (单位: kN)



(d) 盖板下支撑弯矩内力图 (单位: kN·m)

图 4 12 m 托换间距下的盖板系统计算结果

表 3 不同托换间距下计算结果

托换间距 /m	支撑最大正弯矩/(kN·m)	支撑最大剪力/kN	托换柱最大轴力/kN	盖板最大正弯矩/(kN·m)
6	2150	1074	3619	170.8
10	2161	1085	5312	171.2
12	2175	1093	6579	171.8
15	2182	1102	8328	172.2

3 地下连续墙破除关键施工技术

地下连续墙破除采用静力绳锯切割的施工工艺,整体破除顺序由西向东,由上至下依次破除。破除主要的施工流程如下:施工准备→测量放样→水钻孔引孔→金刚绳锯穿孔安装→金刚绳锯切割→切割地下连续墙破除后运出或整体吊出→人工风镐破除修整→结构施工→切割预留托换柱→结构封孔施工。

3.1 静力绳锯切割

绳锯切割的几步重要工序如下:放线定位分块→钻孔→地下连续墙混凝土切割。

(1)放线定位分块、钻孔

为减小和避免对洞口四周主体结构的破坏和损伤,施工中采用人工风镐配合绳锯切割破除地下连续墙,结构尺寸边缘预留 0.5 m 采用人工风镐破除修整,减去实际结构板厚度以及预留的 0.5 m 宽度后,绳锯切割实际高度约为 4.2 m。在割除地连墙施工前,测量放出主体和附属结构柱、板、梁等结构外 0.5 m,并设置标识线。在金刚绳挂牢的割线位置用水钻凿出可放进金刚绳的孔洞,对出入口及风亭进行分段分块切割,钻孔直径为 110 mm,孔间距设置的原则为 1 m×1 m 的矩形布置,当遇到主体结构时进行避让调整,地下连续墙切割示意及现场地下连续墙钻孔实施见图 5。

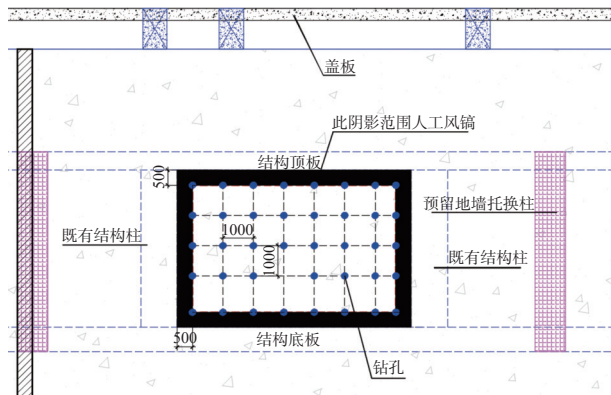


图 5 地下连续墙切割示意(单位:mm)

为了避免切割墙体分块因尺寸高宽过大而发生侧翻风险,同时也从后续叉车水平运输中效率、安全等方面考虑,地下连续墙切割的分块尺寸最大不超过 2 m×2.2 m,切割墙体重度按 24 kN/m³ 计算可得到最大单块切割体质量约为 10.6 t,可满足 12 t 叉车进行运输。

(2)地下连续墙混凝土切割

用 M16 化学锚栓固定绳锯主脚架及辅助脚架,以确保切割面的有效切割速度,严格执行安装精度要求。根据已确定的切割形式将金刚石绳索按一定的

顺序穿入绳锯切割孔内,然后缠绕在主动轮及辅助轮上,注意绳子的方向应和主动轮驱动方向一致。切割过程中必须密切观察机座的稳定性,随时调整导向轮的偏移,以确保切割绳在同一个平面内。

切割过程中通过操作控制盘调整切割参数,确保金刚石绳运转线速度在 20 m/s 左右,另一方面切割过程中应保证足够的冲洗液量,以保证对金刚石绳的冷却,并把磨削下来的粉屑带走。切割操作做到速度稳定、参数稳定、设备稳定。

3.2 切割块吊装

由于基坑盖板的存在,切割的混凝土块吊装与常规吊装有所不同,仅通过汽车吊完成吊装十分困难且工效低。通过采用 50 t 汽车吊垂直运输和 12 t 叉车水平运输进行交叉配合的施工方法完成切割混凝土块的吊装,实施示意图见图 6。

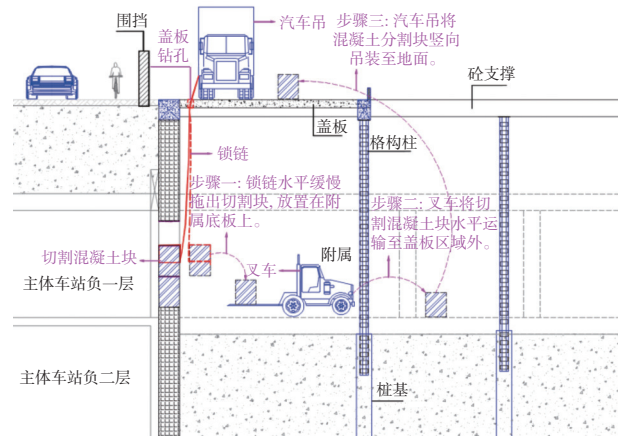


图 6 切割块吊运示意

在整个吊装实施过程中,吊装之前首先在距离附属侧地下连续墙边约 400 mm 处的盖板上每隔 1.5 m 打设直径 110 mm 的钻孔,汽车吊通过该钻孔用锁链将切割混凝土分块拖出并放置底板上,拖出时通过手拉葫芦倒链配合稳定切割块,以防剧烈晃动;其次通过 12 t 叉车将放置在底板上的切割混凝土块从盖板下方水平运至盖板区域外约 5 m 处;由于 50 t 汽车吊伸臂 31 m 处相应吊距最大起重能力约为 16.5 t,按安全系数 0.8 考虑最大起重约为 13.2 t 满足吊装要求,最后通过采用 50 t 汽车吊将运输至盖板区域外的切割混凝土提升吊离基坑进行装车运出场地。

3.3 临时托换柱节点施工

为了保证基坑安全尽早形成封闭结构的受力体系以便拆除预留的临时托换柱,同时减少主体和附属连接处的施工缝,降低后期渗漏水风险。对于预留的型钢混凝土地下连续墙托换柱在梁、板、柱节点处采用焊接止水钢板进行同步浇筑施工,而预留的钢筋混

凝土地下连续墙托换柱在梁、板、柱节点处则通过预留孔洞进行后浇法施工。

(1) 预留型钢钢筋混凝土托换柱节点施工: 首先将托换柱与新建梁、板交接处的混凝土地下连续墙进行人工破除露出型钢; 其次对钢筋穿越型钢腹板进行割除以满足钢筋贯通穿过, 同时在型钢位于结构板中部位置的内部以及外侧翼缘焊接止水钢板; 最后将型钢与结构板同步浇筑, 待结构达到设计强度后再将剩余的型钢钢筋混凝土托换柱割除。预留型钢钢筋混凝土托换柱节点施工剖面示意图见图 7。

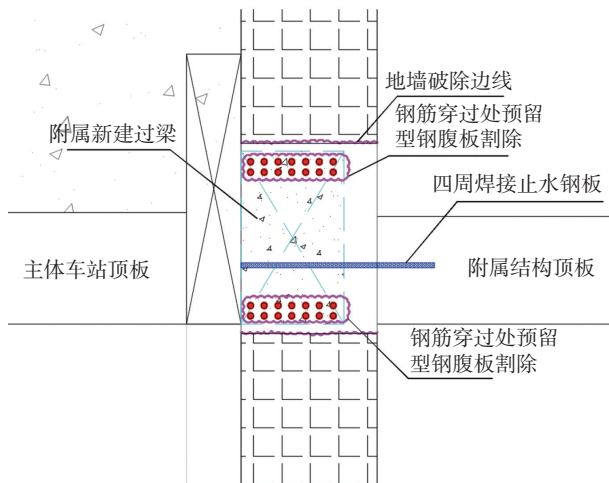


图 7 预留型钢托换柱节点示意图

(2) 预留钢筋混凝土托换柱节点施工: 首先在托换柱与顶板交接处预留带企口的后浇孔洞, 在企口四周预留钢筋接驳器以及预埋镀锌钢边橡胶止水带或者镀锌止水钢板; 待新建附属结构达到设计强度后再割除预留的钢筋混凝土托换柱; 最后将预留孔洞采用高一等级的微膨胀混凝土浇筑完成封孔施工。预留钢筋混凝土托换柱节点施工剖面示意图见图 8。

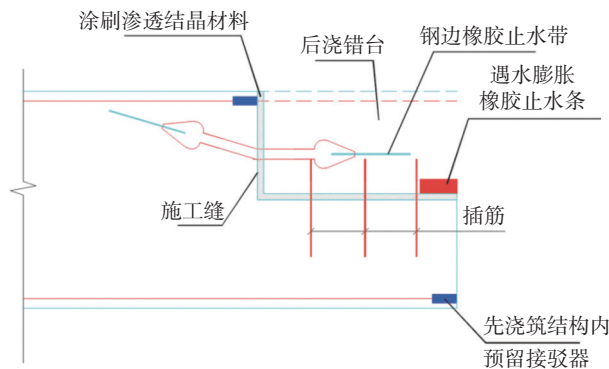


图 8 预留钢筋混凝土托换柱节点示意图

4 应用效果

为了重点关注地下连续墙在破除时盖板体系的变形情况, 地下连续墙破除前在盖板与地下连续墙上

方冠梁连接部位表层每隔 30 m 左右设置了 1 个沉降监测点。破除前与基坑施工监测数据同步采集, 地下连续墙破除阶段监测频率为 1 次/d, 地下连续墙破除过程中的冠梁竖向位移数据见图 9。从图中数据可以看出, 地下连续墙破除阶段 ZQC-1 和 ZQC-2 测点(测点位置见图 2)分别沉降了 0.6 mm 和 1.52 mm, 整体变化微小, 在可控范围内, 不影响结构安全以及正常使用。

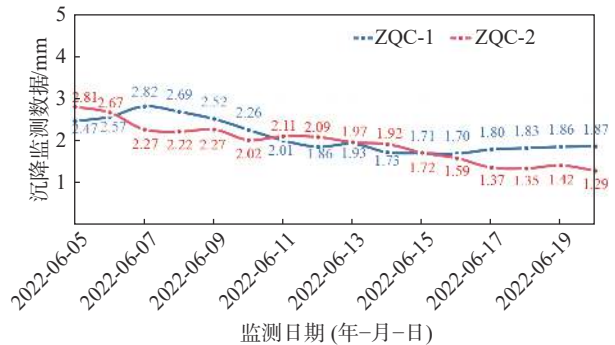


图 9 冠梁竖向位移曲线

本次破除盖板下约 80 m 承重地下连续墙仅通过预留既有地下连续墙作为临时托换柱进行施工, 地下连续墙破除完成总工期约为 15 天, 实施过程中不仅保证了盖板体系与基坑的安全, 减少了施工缝, 降低了后期渗漏水风险, 同时在工期和成本方面均产生了较好的效益, 达到了降本增效的目的。

5 结论与建议

基于实际项目为依托, 通过采用数值分析和现场实施应用案例相结合的方式, 详细介绍了利用保留既有地下连续墙带作为托换柱进行托换破除的施工方法, 安全有效地解决了基坑盖板下破除大跨度承重地下连续墙的施工难题, 并在实施过程得到以下结论:

(1) 通过计算分析结果可知, 托换柱间距从 6 m 变化至 15 m 时, 支撑梁和盖板最大正弯矩和最大剪力分别仅增长了 1.49% 和 0.82%, 托换柱的最大轴力增长了约 130.12%, 托换间距大小对基坑盖板结构体系梁、板受力影响较小, 对盖板竖向承载受力构件的地下连续墙托换柱受力影响较大, 可预留 1 m 宽的临时托换柱和不大于 12 m 的破除间距为控制指标。

(2) 利用既有地下连续墙作为临时托换结构, 无需增加临时托换结构, 在施工过程中传力简单和明确, 静力绳锯切割块的大小需要考虑后续叉车水平运输的能力, 建议控制切割尺寸控制在 2 m×2.2 m。

(3) 对于盖板下切割地下连续墙分块直接吊出难

题,可采用在盖板上开孔通过汽车吊垂直运输和叉车水平运输交叉配合解决,该方法安全可靠,工效高。

(4)在地墙破除时因优先考虑预留带型钢的临时托换柱,通过对预留地下连续墙托换柱节点采用焊接止水钢板同步浇筑施工,可增加破除时的安全性,同时减少施工缝,降低结构渗漏水风险。

参 考 文 献

- [1] 陈湘生,付艳斌,陈曦,等.地下空间施工技术进展及数智化技术现状[J].中国公路学报,2022,35(1):1-12.
- [2] 彭琦,罗毅.深圳城市地下空间开发现状及典型工程案例[J].地下空间与工程学报,2021,17(3):673-682.
- [3] 田野,刘宏,张智峰,等.中国地下空间学术研究发展综述[J].地下空间与工程学报,2020,16(6):1596-1610.
- [4] 戴清峰,谭宇,黄涛,等.中风化岩超深基坑“两墙合一”地下连续墙设计研究与实践[J].建筑结构,2020,50(20):133-137,117.
- [5] 张珂峰,吴昌将,易礼.“两墙合一”地下连续墙基坑开挖对邻近建筑的变形影响与实测分析[J].建筑结构,2020,50(20):128-132.
- [6] 刘秀珍,閻超.半落底半悬挂式地连墙在某紧邻地铁深基坑中的应用[J].岩土工程技术,2022,36(6):460-464.
- [7] 何茂周.金刚石绳锯在深圳地铁新旧车站接驳钢筋混凝土结构拆除施工中的应用[J].隧道建设,2015,35(10):1053-1059.
- [8] 卫东,陈志明,郑琼.闹市区地下连续墙爆破拆除施工技术[J].建筑施工,2006,28(8):612-613.
- [9] 于振民,伊容冰,位英超,等.地铁车站地下连续墙大跨度破除的支撑设计优化及稳定性分析[J].建筑施工,2019,41(10):1805-1807.
- [10] 马春元,杨俊鹏,徐辉,等.复杂工况下深基坑临时分隔地下连续墙拆除技术[J].施工技术,2017,46(23):108-111.
- [11] 孔锴,刘肖.地铁车站附属与主体连接段地下连续墙门洞整体开凿技术[J].建筑技术,2021,52(8):971-973.
- [12] 杨永华,梁亚华,李欢,等.偏压换乘地铁车站大体积地下连续墙拆除技术研究与应用[J].施工技术,2020,49(11):94-96.
- [13] 杨德春,刘建国.对建成地铁车站结构改造设计与施工的数值模拟分析[J].现代隧道技术,2012,49(3):94-103.
- [14] 安东辉,邵文.地铁车站扩建改造工程对原有结构受力影响分析[J].铁道标准设计,2020,64(11):129-135.
- [15] GB 50010—2010 混凝土结构设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.

收稿日期:2023-08-10