

装配式两墙合一技术在平战结合人防工程中的应用

黄龙 郭彬彬 刘晓虎

中建五局第三建设有限公司，湖南长沙，410000；

摘要：本研究以醴陵瓷城大道-青云路单建式平战结合人防工程为载体，针对传统盖挖逆作法施工存在的工期长、安全性低、造价高、渗漏严重等问题，提出并验证了装配式两墙合一技术的应用。项目地处醴陵市中心，地质条件复杂，包含素填土、粉质黏土、圆砾及中风化灰岩层，且地下水位高、周边环境密集。通过设计装配式预制地下连续墙，实现支护与结构功能的永临结合，简化了施工工序，提高了施工安全性。研究重点优化了墙-墙、墙-顶板、墙-底板连接节点，采用导墙与悬吊筋定位体系确保吊装精度，并通过三次注浆工艺提升墙体整体性与防水性能。试验段实施结果表明，该技术有效缩短了工期，降低了造价，减少了施工缝渗漏风险，为平战结合人防工程提供了创新解决方案。

关键词：装配式两墙合一技术；平战结合人防工程；施工工序创新；技术经济与社会效益

DOI: 10.69979/3041-0673.25.10.019

引言

随着城市化进程的加速，城市地下空间开发成为缓解土地资源紧张、提升城市综合承载能力的重要途径。单建式平战结合人防工程作为地下空间开发的核心形式之一，通过将人防设施与商业、交通等功能融合，既能在战时提供防护保障，又可在平时服务于民生需求，其社会价值与战略意义日益凸显。然而，传统盖挖逆作法施工在面对复杂地质条件与密集城市环境时，暴露出施工效率低、安全风险高、造价昂贵及渗漏严重等突出问题。以醴陵瓷城大道-青云路单建式平战结合人防工程为例，该项目地处醴陵市中心，周边建筑密集、地下管线复杂，且地质条件包含多层填土、圆砾层及岩溶发育区，地下水位高、水压大。传统施工工艺在此类环境中需采用分层分块逆作法，导致施工周期冗长、节点处理繁琐，且因地下连续墙受泥浆护壁影响，易出现混凝土浇筑质量缺陷及侧墙渗漏问题，严重制约工程效益。

1 项目载体概况

1.1 工程基本信息

醴陵瓷城大道-青云路单建式平战结合人防工程位于醴陵市中心核心区域，地处瓷城大道与青云路交叉口这一交通枢纽地带。项目沿线两侧商业氛围浓厚，人流量与车流量密集，地面建筑密集分布，地下管线纵横交错，施工环境极为复杂。该工程总长度达 1235 米，总建筑面积约 25922.35 平方米，主体结构为地下 1 层，

基坑开挖深度达 8.7 米，充分体现了对城市地下空间的立体化开发利用。作为平战结合人防工程的创新实践，该项目创新性地将人防防护功能与商业走廊功能有机融合，平时作为地下商业街运营，为市民提供便捷的购物、休闲场所，促进区域经济发展；战时则可迅速转换为人员掩蔽部、物资储备库等防护单元，为城市居民提供安全避难场所。这种“平战结合、综合开发”的模式，既实现了土地资源的集约化利用，又提升了城市综合防护能力，是醴陵市完善城市基础设施、增强防灾减灾能力的重要民生工程^[1]。



图 1 预制地下连续墙

1.2 工程地质与水文条件

醴陵瓷城大道-青云路单建式平战结合人防工程地质条件复杂，场地原始地貌属河流阶地，后经城市化改造形成现状。勘察揭示地层自上而下依次为：表层 0.6

-7.1米厚的素填土层,该层由粉质黏土及少量砂砾组成,经十年以上压实固结,均匀性较好;其下为1-23.2米厚的粉质黏土层,呈褐黄色硬塑状,含10%-20%粉细砂;再往下为1.9-24米厚的圆砾层,砾石含量超50%,粒径0.5-4cm,呈中密状态,具强透水性;基底为中风化灰岩层,岩体完整,属较硬岩类。值得注意的是,场地内分布有溶洞发育区,钻孔揭露溶洞率4.1%,溶洞垂高0.6-5.1米,顶板厚度0.2-5.3米,被划分为岩溶微发育区。水文地质方面,场地地下水含上层滞水、孔隙潜水及岩溶裂隙水:上层滞水赋存于素填土中,水位埋深1.8-5.5米;孔隙潜水赋存于圆砾层,与淅江存在水力联系,水量丰富,稳定水位埋深6-14.7米;岩溶裂隙水埋藏较深,对施工影响较小。

1.3 施工难点分析

醴陵瓷城大道-青云路单建式平战结合人防工程施工面临多重技术挑战,其核心难点集中体现于复杂地质条件下的基坑支护安全保障与低效传统工艺的升级需求。项目地处岩溶发育区,基坑开挖深度达8.7米,需穿越多层地质结构:表层素填土层虽经长期压实,但局部均匀性差异仍易引发地表沉降;粉质黏土层硬塑状态虽具一定自立性,但遇水软化特性加剧了坑壁失稳风险;圆砾层作为主要透水层,其强透水性(渗透系数达 $3.5 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$)与淅江的水力联系,导致基坑突涌风险显著,实测孔隙潜水水位埋深6-14.7米,高于基坑底板,形成持续水头压力;下伏中风化灰岩层虽岩体完整,但溶洞发育率4.1%,溶洞垂高最大达5.1米,顶板厚度仅0.2-5.3米,局部存在岩溶塌陷隐患。

2 装配式两墙合一技术体系设计

2.1 技术原理与优势

装配式两墙合一技术通过将预制地下连续墙创新性地设计为兼具基坑支护与主体结构双重功能,实现了地下工程建造模式的革命性突破。该技术核心在于将传统临时支护结构与永久地下室外墙整合为单一预制构件,通过工厂化生产确保墙体几何精度与材料性能,现场采用机械化吊装与注浆锚固工艺完成装配^[2]。在醴陵项目中,400mm厚C40预制墙既作为基坑开挖阶段的挡土构件,承担侧向土压力与上部交通荷载,又通过嵌固端设计与主体结构底板、顶板刚性连接,形成永久性受

力体系。技术优势显著:工序整合方面,颠覆传统逆作法分块浇筑模式,通过单次吊装替代三次支模施工,工序缩减60%以上;安全性能上,预制墙整体刚度较传统支护桩提升3倍,配合迎土侧高压旋喷桩形成全断面止水帷幕,实测基坑变形量控制在15mm以内,周边建筑物沉降速率低于0.2mm/d;成本控制层面,永临结合设计减少临时支护投入约40%,单侧支模混凝土浪费率从50%-120%降至5%以内;工期效益突出,工厂预制与现场施工并行作业,结合三次注浆工艺实现“吊装即受荷”,较传统工艺缩短工期45天。

2.2 导墙与吊装定位体系

导墙与吊装定位体系是装配式两墙合一技术的核心组成部分,其设计直接关系到预制地下连续墙的施工精度与结构安全。导墙作为预制墙吊装阶段的承重与导向结构,采用C20钢筋混凝土整体浇筑,设计宽度1.5米、深度2.0米、厚度0.15米,通过扩大基底接触面积实现应力扩散,确保单幅25吨级预制墙吊装荷载均匀传递至地基。导墙顶部预埋4组共8根直径32mm的HRB400悬吊筋,呈对称布设,作为墙体吊装时的临时锚固点。吊装过程中采用双机抬吊工艺,主吊车负责墙体垂直起升,辅吊车配合调整墙体平面姿态,当墙体下放至导墙上方50厘米时,插入两根I40b型钢支撑梁,通过千斤顶调节支撑梁标高实现墙体垂直度精确控制,实测垂直度偏差可控制在1/500以内。

2.3 施工工序创新

装配式两墙合一技术通过工序重构实现施工效率与质量控制的双重突破。传统盖挖逆作法采用“分层开挖→分段支模→逐次浇筑”的碎片化施工模式,以醴陵项目为例,需将8.7米深基坑分为3.1米与5.6米两次开挖,每层开挖后需等待剪力墙混凝土强度达80%方可进行下步施工,工序衔接耗时长达45天,且单侧支模工艺造成混凝土浪费率超50%,施工缝渗漏率达50%以上。新工艺彻底颠覆传统流程,首创“机械成槽→墙体吊装→三次注浆→基坑开挖→连接节点施工”的流水化作业体系:采用双轮铣槽机进行600mm宽、13.6m深机械成槽,配合超声波检测确保槽壁垂直度偏差 $\leq 1/500$;25吨级预制墙通过导墙悬吊筋系统实现毫米级定位,单幅墙体吊装就位时间控制在2小时内^[3]。

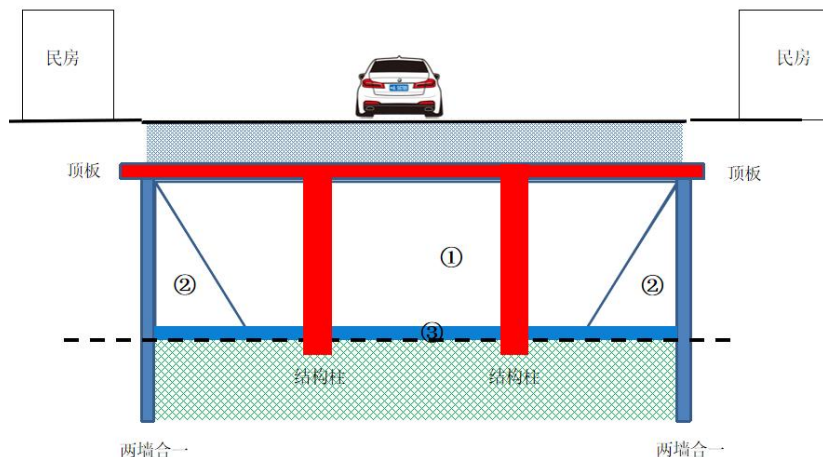


图 2 装配式两墙合一体施工工序示意图

3 试验段实施与验证

3.1 试验段概况

醴陵瓷城大道-青云路单建式平战结合人防工程试验段选址于瓷城大道 6 段 2-5 轴区域,该段全长 20 米作为全线技术验证的先导段,其支护体系采用“一次基坑+二次基坑”的复合支护形式,形成“临时支护+永久结构”的协同受力体系。一次基坑支护采用拉森 IV 型钢板桩,桩长 12 米,以“屏风式”打设工艺形成封闭围护结构,主要承担施工期间临时挡土与止水功能,同时作为二次基坑施工的操作空间。二次基坑支护创新应用装配式两墙合一技术,主体结构为预制地下连续墙,墙厚 4

00mm, 单幅宽 2.5m, 通过导墙定位系统实现毫米级安装精度, 墙体既作为基坑开挖阶段的永久支护结构, 又通过嵌固端设计与主体底板刚性连接, 形成地下室外墙的永久受力构件。为增强结构整体性, 二次基坑顶部设置钢混组合顶板支撑体系, 由 I45b 型钢梁与 C35 钢筋混凝土板组成, 施工期间作为预制墙吊装平台, 使用阶段转换为商业走廊结构楼板, 实现“永临结合”。该复合支护体系通过一次基坑钢板桩解决施工期安全风险, 二次基坑装配式地连墙实现结构功能永临结合, 配合顶板支撑体系形成空间受力框架, 较传统支护方案减少临时支撑量 60%, 钢材用量节约 45%, 实测钢板桩最大水平位移仅 8mm, 预制墙垂直度偏差控制在 1/500 以内^[4]。

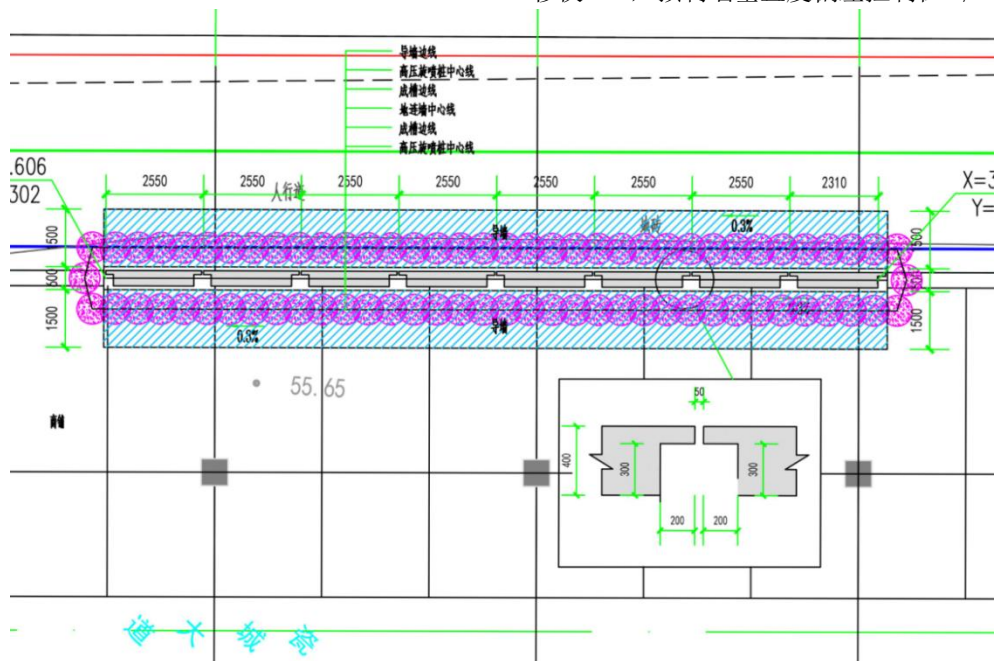


图 3 试验段平面图

3.2 关键施工技术

醴陵瓷城大道-青云路单建式平战结合人防工程试验段关键施工技术实现全流程创新突破。机械成槽采用双轮铣槽机进行 600mm 宽、13.6m 深槽段开挖,通过超声波检测实时修正槽壁垂直度,预留 100mm 操作空间确保成槽质量,配合迎坑侧高压旋喷桩形成 800mm 厚止水帷幕,迎土侧同步实施 500mm 厚隔水加固层,实测槽壁垂直度偏差 $\leq 1/500$,渗透系数降低至 $5 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 。预制墙吊装采用 25 吨级履带吊双机抬吊工艺,通过 I40b 型钢支撑梁与预埋悬吊筋实现三维精确定位,配合激光准直仪将垂直度控制在 1/600 以内,标高误差 $\leq \pm 5 \text{mm}$ 。创新研发三次注浆工艺:首次采用 C40 自密实混凝土填充墙底 100mm 空隙,二次注浆压力达 2.5MPa 实现迎坑侧土体充填密实,三次常压注浆形成迎土侧防水屏障,实测墙体与土体粘结强度提升 40%。连接节点施工采用扶壁柱预留钢筋掰弯-复位工艺,通过 50%弯折角度实现冷缝衔接,配合遇水膨胀止水条形成三道防水防线,角钢连接处采用满焊密封,焊缝高度 8mm,经气密性试验验证节点抗渗压力达 1.5MPa,超越传统现浇结构性能^[5]。

4 总结

醴陵瓷城大道-青云路单建式平战结合人防工程通过装配式两墙合一技术创新,成功破解复杂地质条件下城市地下空间开发难题。项目地处岩溶发育区,基坑深度 8.7 米,面临高地下水位、土质复杂、周边环境敏感等挑战。采用预制地下连续墙替代传统支护结构,实现

“永临结合”,通过机械成槽、三次注浆、扶壁柱节点等核心技术,将施工精度提升至毫米级,墙体垂直度偏差控制在 1/600 以内,节点抗渗压力达 1.5MPa。试验段验证显示,该技术体系较传统工艺缩短工期 45 天,节省造价 18%,渗漏率降至 0.5%以下,同时减少临时支撑量 60%,钢材用量节约 45%。项目创新构建“机械成槽→墙体吊装→三次注浆→基坑开挖→连接节点”全流程标准化工艺,形成可复制的装配式地下工程建造模式,为城市核心区平战结合人防工程建设提供系统性解决方案。

参考文献

- [1]陈伟. 装配式地连墙两墙合一永临结合应用技术研究[J]. 施工技术(中英文), 2024(6).
- [2]朱旻,孙晓辉,陈湘生,等. 地铁地下车站绿色高效智能建造的思考[J]. 隧道建设(中英文), 2021, 41(12): 11.
- [3]管飞,高彦斌. 装配式综合管廊预制地下连续墙的实测研究[J]. 山西建筑, 2019, 45(8): 2.
- [4]左春丽. 城市综合管廊的预制装配技术研究及应用[J]. 低温建筑技术, 2020, 42(11): 4.
- [5]陆晨,宋卫华,朱蕾. 预制装配式地下连续墙横向连接接头分析与设计[J]. 安徽建筑, 2020(012): 027.

作者简介:黄龙(1987.7-),男,汉族,江西吉安,高级工程师,注册岩土工程师,硕士研究生,研究方向:岩土工程。