

地铁车站复杂地层超宽超深基坑开挖与支护施工技术

窦维军

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450001

【摘要】：针对复杂地层条件下超宽超深基坑开挖与支护的施工难题，以深惠城际前保站工程为依托，系统研究了盖挖逆作法基坑开挖与支护关键技术，通过地下连续墙围护、坑内管井降水、出土孔出土及主体结构交叉施工等技术的实施，在保证基坑安全的前提下实现了超宽超深基坑的快速开挖与支护。工程实践表明，该技术有效控制了基坑开挖过程中的地层变形，可为同类复杂地层地铁车站深基坑工程提供参考。

【关键词】：盖挖逆作法；深基坑；地下连续墙；基坑降水；复杂地层

DOI:10.12417/2811-0528.26.20.091

1 工程概况

深圳前海保站位于深圳前海合作区妈湾二路和怡海大道交叉口东北侧，沿怡海大道地下敷设，为地下三层侧式（双岛四线），主体为三柱四跨、配线段为单柱双跨框架结构。车站长947m，布置形式为28m（暗挖法）+265m（盖挖逆作法）+26m（暗挖法）+140m（盖挖逆作法）+91m（明挖法）+34m（暗挖法）+363m（明挖顺作法），主体标准段宽42.8m，基坑开挖深29.2m；配线明挖段宽15.9m，基坑开挖深32.7m，总建筑面积87691m²。车站埋深约28.9~33.0m，标准段基坑宽42.8m，覆土厚约3.6m，基坑安全等级为一级，围护结构采用1.2m厚地下连续墙加环板撑加内支撑支护体系。车站地处填海区，场地内存在较厚淤泥层、填块（碎）石层、填砂层及花岗岩残积土等复杂地层，地下连续墙设计338幅。基坑开挖在浅埋软岩地段、自稳性差的软弱破碎围岩、断层破碎带及砂土层等不良地质条件下进行，车站周边环境复杂，与既有5号线铁路公园站通道换乘，紧邻高层、超高层建筑及月亮湾2号渠，并涉及下穿既有车站及管廊段的暗挖施工，施工组织要求高。

2 工艺原理

盖挖逆作法是由地面向下开挖至一定深度后，将顶部封闭，其余的下部工程在封闭的顶盖下进行施工的一种方法，其核心是用结构梁板代替常规顺作法的临时支撑，以平衡作用在围护墙上的土压力，适用于场地条件紧张、周边环境复杂、环境保护要求高的工程。

前海保站盖挖逆作段车站主体基坑开挖在浅埋软岩地段、自稳性差的软弱破碎围岩、断层破碎带、砂土层等不良地质条件下进行，土方开挖采用掏槽法。每层土开挖时，长臂挖掘机或吊车抓斗先在车站顶板开口处开挖出挖掘机作业面，小挖机自出土口向里抽槽开挖基坑中间土体，两侧预留护壁土体，铺设临时道路，再由长臂挖掘机或吊车抓斗将土方自开口处挖至地面外运。明挖段主体基坑开挖深32.7m，土方根据现有地面及

四层支撑分为15层进行开挖。

3 施工工序流程及操作要点

3.1 施工工序流程

前海保站盖挖逆作段施工工艺流程为：施工准备及前期工程→围护结构、永临立柱桩、抗拔桩及冠梁施工→基坑开挖至板底下并施作垫层→浇筑顶板及顶纵梁结构并预留出土孔→挡墙施工、顶板防水层及覆土回填→盖下开挖至负一层中板下，施作垫层后进行负一层结构及中纵梁施工→待负一层中板达到规范强度后，进行负一层侧墙防水及结构施工→开挖至底板，进行底板结构防水、保护层、底板及底纵梁施工→负三层侧墙防水及结构施工→车站内部结构、降水井封堵、出土孔封堵、顶板防水及回填→车站附属结构施工及场地恢复，其中基坑降水施工贯穿全过程，工艺流程如图1所示。

3.2 基坑围护结构施工

先施工地下连续墙两侧槽壁加固（高压旋喷桩），待槽壁加固桩达到一定强度后进行导墙施工，导墙达到养护期后进行地下连续墙施工。针对场地内较厚淤泥层易导致成槽塌孔的问题，在地下连续墙的内、外侧分别施做单排双管旋喷桩（φ600mm@450mm）进行槽壁加固，防止成槽过程中槽段塌孔。A区地下连续墙共107幅，其中直型幅99幅、“L”转角型8幅，最大幅宽6m，标准幅宽6m。

地下连续墙施工控制要点包括：地连墙中心线外放尺寸为13cm；成槽时采用优质膨润土拌制泥浆护壁，泥浆拌制后静放24h方可使用，成槽前先施工导墙，导墙混凝土达到强度后进行成槽作业；地下连续墙采用跳跃法施工，相邻槽段混凝土强度达到设计强度70%以上方可进行开挖，成槽后混凝土必须在8h内浇筑完毕，避免槽壁暴露时间过长，混凝土从底到顶一次浇筑完成；钢筋笼整体吊放，入槽后至混凝土浇筑时总停置时间不超过4h，纵向钢筋接长采用套筒连接，墙段接头

采用 10mm 厚钢板 I 型接头。地下连续墙施工工艺流程为：测量放线→导墙施工→地下墙成槽→清基→钢筋笼吊放→水下砼浇注→墙趾注浆。

3.3 降水井施工

主体基坑降水采用管井井点降水与基坑排水沟相结合的方法，将基坑水位降至基坑开挖面以下 1m。降水在基坑开挖之前及基坑施工全过程中进行，在基坑内设置 1~3 排管井井点，井点间距约 15m，共 118 口；基坑开挖前 20 天开始降水，采用分层降水，将地下水位降至基坑开挖面以下 1.0m，开挖至基底时亦须保证地下水位降至基坑底面以下 1.0m；降水过程伴随主体结构施工的始终，待顶板覆土后封闭降水井点管，灌注微膨胀混凝土并加焊钢板封闭。降水井设计深度为基底以下 5m，若遇岩石层则设计深度为岩层以下 2m。

降水井井孔直径 1.2m，井管直径 0.8m，滤水层厚度 0.2m，滤水层采用 3~15mm 级配砾石过滤层；井管结构由内向外分别为 800mm 开孔钢管、三层 60 目尼龙布、管外砾石滤水层，滤料填至井口下 2m 后用粘土回填并夯实。本工程降水井平均深度 36m 左右，穿越填块石、淤泥、粉质粘土、砾质黏性土、土状强风化花岗岩、块状强风化岩及中风化岩等地层，管井钻孔采用旋挖钻机成孔、冲击钻配合施工。

3.4 冠梁及支撑结构施工

冠梁及第 1 道混凝土支撑施工步骤为：地连墙施工完毕并检验合格→测量放线→开挖并将墙顶混凝土凿除→钢筋加工安装→模板安装→挡墙预埋件安装→浇注混凝土→混凝土养护→拆模板；开挖基坑至顶板（顶纵梁）底标高后，打设 V 型拉森钢板桩（12m 或 15m）。

第 2~4 道腰梁及混凝土支撑施工时，在腰梁设置区域凿除每道预埋钢筋范围内的地连墙混凝土，直至预埋筋全部露出，扳直腰梁预埋筋，清除松动混凝土块，用气泵将开凿面吹喷干净，经质检员验收后方可绑扎钢筋及进行后续施工；如预埋钢筋位置偏差较大或数量不足，须进行植筋补强后方可进行后续作业。

3.5 基坑开挖与结构施工

前保站盖挖段全长 405m，采用 1.2m 厚地下连续墙围护结构加各层板撑的围护结构体系，为三柱四跨地下三层结构，采用环板撑逆作法施工，基坑宽 42.8m，深约 28.9~33.0m，覆土厚约 3.6m，基坑安全等级为一级。根据基坑结构混凝土特征及 8~12m 的标准原则进行分段，标准段 8.5m，异形段视情况而定，共计分段 49 段；盖挖段每层开挖时，板的强度须达到设计要求强度的 80%。A 区从东端头第 14 段向西端头

开挖，第 15 段与 B 区第 1 段同步开挖，B 区盖挖段从大里程向小里程分段分层台阶式开挖。

盖挖段共设置 19 个出土孔（A 区 14 个、B 区盖挖段 5 个）。为保证垂直运输时出土孔口的防护，基坑内垂直和水平运输按规范严格执行，进坑人行扶梯及通道专门设置，两边立 1.2m 高的栏杆，设置后进行安全验收并定期检查；基坑上口挖土开始后在出土口四周设置防护，行人坡道设扶手及防滑措施；盖挖逆作段垂直方向施工缝凿毛并预埋钢边橡胶止水带，钢管柱牛腿处接入每层板中。

基坑开挖按步序一至步序六组织施工：步序一，第 14 段土方整体开挖至顶板下翻梁下 42cm 处，先进行垫层施工，再施工顶板，A 区从第 14 段向第 1 段开挖首层土体，随开挖拆除顶板模板、支架体系，靠近地铁 5 号线两侧的基坑同步开挖并边开挖边施工盖板；步序二，开挖至负一层中板下计划标高处，浇筑完垫层后用矮支模法施工负一层中板结构混凝土，出土作业面轮换至下一个出土孔；步序三，施工负一层侧墙，开挖至负二层中板下计划标高处，施工完垫层后用矮支模法施工负二层中板结构混凝土；步序四，施工负二层侧墙，开挖至负三层底板下，施工负三层底板混凝土结构，拆除已完工负二层中板模板、支架；步序五，施工负三层侧墙，继续开挖剩余底层土体并浇筑剩余负三层底板；步序六，施工剩余底板结构，完成剩余负三层侧墙及出土孔部位主体结构施工，进行楼梯结构施工、封堵孔洞、顶板回填及路面恢复。步序 1 和步序 6 施工示意图见图 1、图 2。

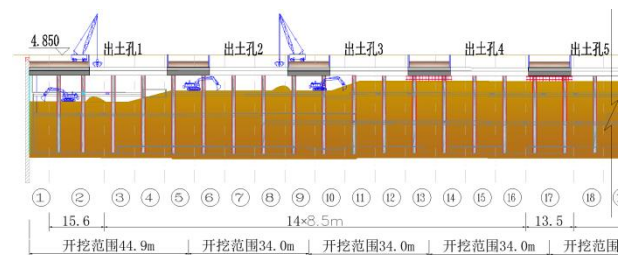


图 1 步序 1 施工示意图

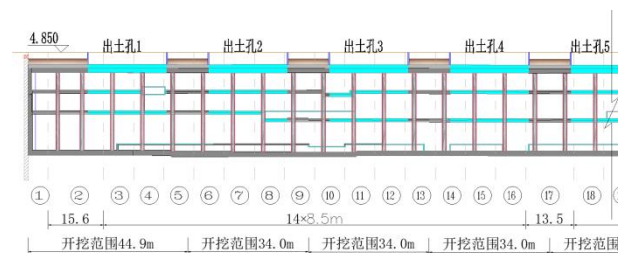


图 2 步序 6 施工示意图

基坑开挖时如超过设计标高造成超挖，禁止使用原状土回

填,应采用水泥土回填至设计标高,以保证后续盖板施工时基底有足够的强度;钢管柱周围土方开挖时提前预留2m保护层,由小挖机单独分层开挖,防止开挖时对钢管柱造成扰动影响。

盖挖逆作段结构施工工序为:基坑开挖至顶板底以下2000mm,采用矮支架施工顶板及部分侧墙;敷设顶板上层防水层,覆土分层回填夯实;待顶板(顶纵梁)混凝土强度达到80%后,开挖基坑至负一层中板(中纵梁)底以下2m,施作垫层后进行负一层中板及侧墙结构施工;待负一层中板混凝土强度达到80%后,开挖至负二层中板(中纵梁)底以下2m,进行负二层中板、侧墙结构施工;负二层中板混凝土强度达到80%后,继续开挖基坑至基底以上30cm,采用人工清底,有支撑处挖至支撑底,进行支撑施工,支撑混凝土强度达到85%后再开挖至基底;随后进行底板综合接地、底板防水层、垫层及底板(底纵梁)施工,进行负三层侧墙防水和结构施工及内部结构施工,预留孔洞封堵、混凝土强度达到100%后施作顶板防水层和混凝土保护层,最后进行降水井封堵。

3.6 主要施工设备

施工采用的主要设备包括:降水设备(冲击钻、旋挖钻机、泥浆泵及QY15-36-3型潜水泵80台等)和基坑土方开挖及支撑施工设备(PC220型挖掘机12台、PC60型挖掘机4台、1.2m3垂直提升抓斗9台、D31EX-22型履带式推土机2台、QY70/QY50型汽车吊3台、电焊机20台及组合千斤顶等)。

4 质量控制

基坑开挖严格按《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120-2012)的要求组织施工,分层分段开挖;开挖至支撑设计标高时,必须及时施工相应部位的支撑,开挖时机械避免碰撞支撑及钢管柱、型钢格构柱。为减少对围护结构的影响,基坑内靠近围护结构0.5m范围内的土方采用人工配合机械开挖。开挖过程中周期性对桩位点和埋设的水准点进行监测,并通过监测数据控制开挖,减少基坑变形。开挖最下一道支撑下方土方时,分小段开挖,16h内挖完;为减少对基底原状土的扰动,基底以上30cm的土采用人工开挖,对超挖部分采用砂、碎石或混凝土回填。开挖过程中按设计要求进行基坑降排水,确保基坑整体稳定;开挖如发现墙缝间渗、漏水,采用注浆及时封

堵,防止基坑失水对周围环境产生不利影响。根据监测信息,必要时采取加密支撑等措施防止基坑围护结构变形过大。

5 安全与环境措施

安全措施方面:各种机械设备操作人员和车辆驾驶员必须取得操作合格证,持证上岗;进入施工现场人员须佩戴安全帽、穿警示服及工作鞋等防护用品,班前不准饮酒,坚守岗位;施工用电不得超负荷,电器线路连接可靠,配电系统分级配电,多机作业必须分闸,严禁一闸多机和一闸多用;施工现场设立施工区和非施工区,施工区周围设防护围栏和警示标志;夜间施工设置固定、足够的照明设施和警示灯;各种机械专人负责维修保养,定期检查运行关键部位。

环境措施方面:制定项目环境保护计划,创标准化施工现场;现场临时道路采用混凝土硬化路面并及时洒水防止扬尘,粉细散材料室内存放、卸运时采取必要措施减少扬尘;施工作业产生的污水经沉淀池沉淀后方可排放;现场存放油料的库房进行防渗处理,防止跑、冒、滴、漏污染水源;机械选型优先考虑低噪音设备,对移动施工机械设置消声器、固定机械安装减振设施,保证白天噪音不超过70dB、夜间不超过55dB;施工场地远离居民集中区及其他环境敏感点至少150m,合理安排施工时间,避开学校、医院敏感时段及居民午休和夜间时段,减少对周边居民的影响。

6 结语

(1)以深惠城际前保站为工程依托,系统研究了复杂地层条件下盖挖逆作法超宽超深基坑开挖与支护施工技术,通过地下连续墙围护结构、坑内管井降水、出土孔出土与主体结构交叉施工等关键技术的实施,在保证基坑安全的前提下实现了基坑的快速开挖与支护。

(2)盖挖逆作法利用结构梁板代替临时支撑,先施工顶板后自上而下分层开挖,具有对周边环境影响小、结构受力合理、施工安全风险分散等优点,特别适用于周边环境复杂、场地条件紧张的超宽超深基坑工程。

(3)工程实践表明,该技术有效控制了基坑开挖过程中的地层变形,实现了安全、优质、快速施工,可为类似复杂地层地铁车站深基坑工程提供参考。

参考文献:

- [1] 刘昌用,郇强.地铁车站盖挖逆作法施工[J].市政技术,2010,28(1):95-98.
- [2] 苏洁,张顶立,高自友,等.盖挖逆作法施工地铁车站结构变形及其控制[J].中国铁道科学,2010,31(1):59-65.
- [3] 郑建国,刘涛,王秀海.盖挖逆筑车站竖向受力与变形协调分析[J].地下空间与工程学报,2011,7(S2):1598-1602.
- [4] 刘国辉,肖峰,李英杰.地铁车站盖挖逆作法施工结构内力和变形数值模拟.