

歇台子地铁车站双侧壁导坑施工方法研究

杨 航

中铁十五局集团有限公司, 重庆

收稿日期: 2023年9月23日; 录用日期: 2023年10月14日; 发布日期: 2023年10月25日

摘 要

当前我国城市化进程不断加快, 随着城市人口的增长我国地下隧道工程建设规模也在持续扩张。在城市地下隧道工程建设中, 经常遇到断层内浅埋的大跨度隧道类型, 如果采用常规开挖方法极易引起坍塌, 施工风险极大, 在地下隧道开挖工程中选择安全可靠的施工方法显得尤为重要。重庆轨道交通18号线歇台子车站实际工程采用双侧壁导坑法进行开挖, 施工过程中注意监测控制、预留变形量的设置, 顺利通过软弱围岩段, 有效控制了总体变形。故本文以重庆轨道交通18号线歇台子车站实际工程为例, 阐述双侧壁导坑法在城市地下隧道中的实际应用, 以期为类似的建设工程提供借鉴。

关键词

隧道施工, 地铁车站, 浅埋大跨度, 双侧壁导坑法

Research on the Construction Method of Double Side Wall Heading at Xietaizi Subway Station

Hang Yang

Railway 15th Bureau Group Co., Chongqing

Received: Sep. 23rd, 2023; accepted: Oct. 14th, 2023; published: Oct. 25th, 2023

Abstract

The current urbanization process in China is accelerating, and with the growth of urban population, the scale of underground tunnel construction in China is also continuously expanding. In the construction of urban underground tunnel projects, it is common to encounter large-span tunnel types that are shallowly buried within faults. If conventional excavation methods are used, it is very easy to cause collapse, and the construction risk is extremely high. Therefore, it is particu-

larly important to choose safe and reliable construction methods in underground tunnel excavation projects. Therefore, taking the actual project of Xietaizi Station of Chongqing Rail Transit Line 18 as an example, this paper briefly expounds the practical application of double wall heading method in urban underground tunnels, with a view to providing reference for similar construction projects.

Keywords

Tunnel Construction, Subway Stations, Shallow Buried Large Span, Double Side Wall Heading Method

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着城市地下轨道交通的快速发展,地铁隧道施工技术也越来越多样化。其中浅埋暗挖法的利用在城市地铁隧道的修建中较为广泛,包括盾构法、分部法、台阶法等。然而城市地铁大多地处市区,有人口众多、建筑物密集还有交通路线复杂等特点,在地下隧道开挖工程中选择安全可靠的施工方法显得尤为重要。双侧壁导坑法是浅埋暗挖法中安全性最突出的施工工法,其能够很好地控制围岩的变形,常用于围岩差、断面跨度大、地表沉降控制要求严格的隧道[1]。在双侧壁导坑施工方法的研究领域中,蓝洋[2]针对大断面超长隧道渝湘高速公路羊角隧道,利用荷载结构法进行数据分析,采用双侧壁导坑施工方法,着重注意软弱围岩段的监测控制以及变形量的预留设置,有效控制了总体变形;胡树刚[3]以青岛地铁清江路浅埋暗挖车站爆破开挖沉降控制为研究对象,以其采用双侧壁导坑法成功施工为例,介绍了工艺流程、关键技术和控制地表沉降的措施,对指导浅埋暗挖地铁工程施工有重要的意义;罗远煜[4]以大断面软弱围岩隧道宝兰铁路晁峪隧道为工程背景,介绍了双侧壁导坑法施工在减小围岩扰动方面的优势,为今后复杂环境隧道开挖提供了借鉴。韦彬[5]针对小净距大跨度隧道先后行洞施工的叠加作用会加剧土体变形的的问题,以沙浦山隧道为工程背景,采用FLAC三维数值模拟研究洞口段施工阶段的力学特征,指出大跨度小净距隧道先行洞开挖将引起围岩大范围扰动,使得后行洞施工条件变差,后行洞成为施工的薄弱环节。后行洞开挖扰动主要作用于先行洞拱腰和拱肩处,是该处安全系数显著下降的原因。本文以重庆轨道交通为工程背景,重庆轨道交通18号线工程歇台子车站施工环境具有地质条件差、地上建筑物密集、地下管线密集等特点,且考虑到歇台子站涉及到浅埋部分,隧道最大开挖宽度为26.02 m,具备大断面开挖的基本条件,为尽快稳当围岩,减少施工对环境的不利影响,根据经验和多方案的对比分析,本工程采用了双侧壁导坑法施工。

2. 工程概况

2.1. 工程简介

歇台子站为重庆18号线工程由北向南的第2座车站,位于虎歇路与渝州路交口处北侧,与轨道交通1号线(运营)、轨道交通5号线(在建)通道换乘。车站设计起点里程右DK12+563.003,车站设计终点里程右DK12+783.703,结构外包总长度220.7 m。车站共设置2个出入口,5个安全疏散口,2个风亭组,1个换乘通道,预留2个出入口。车站小里程端连接矿山法暗挖区间,大里程端通过矿山法扩大断面连

接 TBM 区间。

歇台子站为 14 m 岛式站台车站, 为单拱双层结构, 采用复合式衬砌, 隧道最大开挖宽度为 26.02 m, 开挖高度为 22.26 m, 开挖面积为 492.84 m²。车站范围线路设计坡度为 2%。车站地面高程 307.0 m~327.2 m, 拱顶埋深 19.65 m~40.38 m, 其中上覆土层厚度约 0.33 m~10.73 m, 上覆岩层厚度约 9.08 m~37.36 m, 由小里程端向大里程方向, 车站主体依次为浅埋、超浅埋、浅埋和深埋隧道。

2.2. 地质情况

歇台子站场地原始地貌属构造剥蚀浅丘地貌, 现经人工改造后地表为建成区, 纵、横坡平缓, 地形较平坦, 局部为边坡(挡墙), 高度一般小于 5 m, 地形总体南高北低, 地面高程在 302 m~329 m 之间, 相对高差 10 m 左右, 地形坡度 5°左右。场地地处构造剥蚀丘陵地带, 地貌形态较简单, 无区域性断裂通过, 水文地质情况相对简单, 上覆土层主要为四系全新统人工填土层(Q4ml)、残坡积层(Q4el + dl)粉质黏土, 下伏基岩为侏罗系中统沙溪庙组(J2s)岩层。

本工程地表为重庆城区, 第四系覆盖层一般厚度较小, 沟谷地段覆盖层厚度较大; 基岩为主要泥岩和砂岩互层陆相碎屑岩, 含水微弱。地下水的富水性受地形地貌、岩性及裂隙发育程度控制, 主要为大气降水及城市地下排水、给水管线渗漏补给。根据沿线地下水的赋存条件、水理性质及水力特征, 沿线地下水可划分为第四系松散层孔隙水、碎屑岩类孔隙裂隙水。

2.3. 周边管线及建筑物情况

车站上方及两侧建筑物密集。车站位于虎歇路与渝州路交口处北侧, 车站主体东侧侧穿、下穿电信公司家属区、下穿国宾豪庭(一期快乐空间), 下穿歇台子小学综合教学楼, 侧穿创客科技大厦; 车站西侧侧穿金山阁商住楼、德非酒店等建筑, 同时与轨道交通 1 号线 1 号出入口(运营), 石油路站~歇台子站区间(运营), 轨道交通 5 号线歇台子站施工通道(使用), 2 号出入口(未建), 1 号风道(未建)等位置关系较近。

隧道下穿管线众多, 主要包括 3 根排水管线, 1 根 DN400 (PVC), 2 根 DN400 (砼), 埋深约 1.30 m~1.93 m, 距离隧道拱顶约 18 m~36 m。2 根给水管线, 均为铸铁材质, 1 根 DN100、1 根 DN300, 埋深约 0.5 m~1.3 m, 距离隧道拱顶约 19 m~36 m。1 根燃气管线, PE 材质, DN110, 埋深约 0.3 m~0.7 m, 距离隧道拱顶约 19 m。2 根电信管线, 均为铜/光, 1 根 400 × 400 (16 孔)、1 根 300 × 200 (5 孔), 埋深约 0.8 m~0.9 m, 距离隧道拱顶约 36 m。2 根电力管线, 均为铜质, 1 根 200 × 100 (2 孔)、1 根 DN100 (1 孔), 埋深约 0.1 m~0.4 m, 距离隧道拱顶约 36 m。

2.4. 断面结构设计

主体结构设计遵循安全、经济、合理的原则, 在满足相关规范的前提下, 以理论分析计算结合工程类比法进行结构设计。初期支护结构应用 MIDAS GTS NX 有限元软件采用地层——结构模型进行计算, 并结合工程类比确定喷锚支护参数; 二衬结构应用 sap84 有限元软件, 采用荷载——结构模型, 按《铁路隧道设计规范》浅埋计算公式计算荷载, 按平面杆系有限元法进行计算, 确定二次衬砌结构尺寸及配筋[6]。车站隧道断面采用马蹄形断面, 隧道结构采用复合式衬砌。

2.5. 开挖方式的选择

在城市地下隧道施工中, 由于地下障碍物和周围环境的限制, 隧道通常采用的施工方法是喷锚暗挖(矿山)法中的浅埋暗挖法施工, 根据不同围岩情况及开挖掘进的方法的不一样, 可分为: 全断面法、台阶法、环形开挖预留核心土法, 单侧壁导坑法、中隔壁法(CD 法)、双侧壁导坑法、交叉中隔壁法(CRD 工法)等方法。而针对大断面大跨度的浅埋隧道, 目前常采用的施工方法有中隔壁施工法、台阶法及双侧壁

导坑法 3 种。

中隔壁施工法的特点为使用中隔板起到临时支撑作用，可以使两个隧道同时进行开挖和支护工作，适合于需要施工多个平行隧道且空间有限、要求同步施工并控制变形的隧道开挖情况。台阶法适用于施工环境条件较好，围岩情况较好且施工复杂程度不高的隧道施工情况。双侧壁导坑法适用于跨度大、围岩情况不佳、施工技术复杂程度较高，并且安全要求高的隧道。

本工程的重庆轨道交通 18 号线工程歇台子站涉及到浅埋部分，且隧道最大开挖宽度为 26.02 m，具备大断面开挖的基本条件，并且施工区域位于城市中心地段，需尽快稳当围岩，减少施工对环境的不利影响。本研究采用数值分析的方法确定隧道的开挖方式，主要为地层结构法及荷载结构法两种。歇台子站施工范围内的围岩情况较软弱，并且为浅埋区域，对应荷载的分布情况较易确定，即采用荷载结构法进行计算。边界条件依据浅埋隧道条件(上边界为自由边取自地表，另三边为约束边)，计算参数依据施工环境地质条件和设计支护参数确定[7]。计算结果见图 1。

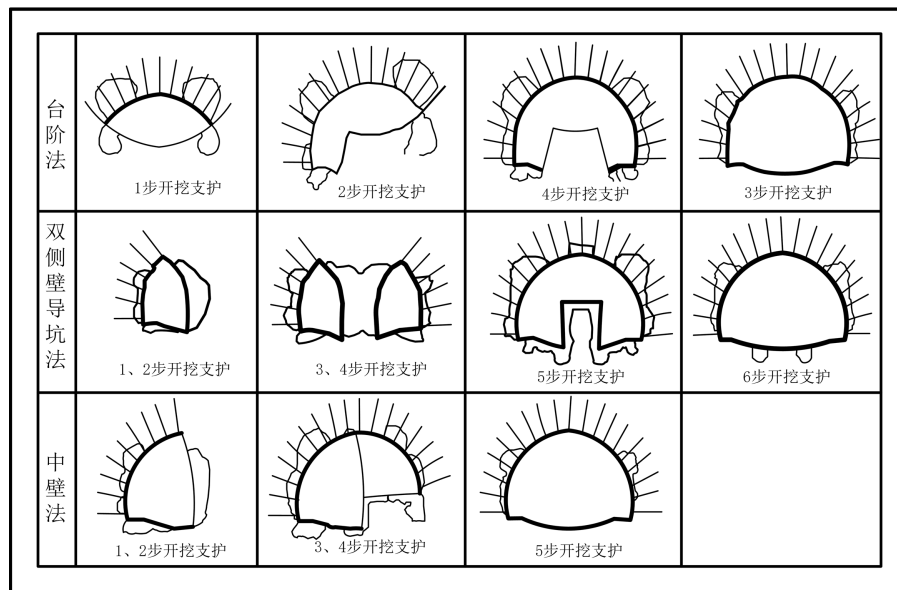


Figure 1. Tunnel excavation stability and plastic zone map
图 1. 隧道开挖稳定状况及塑性区域图

计算结果分析：

1) 由于车站断面跨度较大，在隧道底脚附近存在应力集中现象，同时施工区域围岩情况较软弱，应力分布不利。

2) 在相同支护条件下，台阶法施工工况在侧壁附近存在塑性破坏，说明侧壁承载力要求较大。

重庆轨道交通 18 号线工程歇台子站隧道为浅埋大跨度隧道，围岩情况较软弱，考虑施工时间段处于雨季，雨水渗入会对地质环境稳定产生一定影响，因此采用中壁法或台阶法不适宜。经过理论分析结合重庆实地工程经验，采用双侧壁导坑法作为隧道开挖方法。

3. 双侧壁导坑法

3.1. 施工方法概述

在地铁隧道施工中，运用双侧壁导坑法进行隧道的开挖工作是当前较为常用的一种方法，双侧壁导坑法又称双侧壁导洞法或眼镜工法，是以新奥法为基础原理进行优化升级后的一种施工方法。主要适用

于断面很大、地层较差的 IV、V 级围岩地层、不稳定岩体和浅埋段、偏压段、洞口段[8]。

3.2. 施工工艺及特点

双侧壁导坑法主要针对隧道跨度较大、地表沉降要求严格、围岩条件特别差的情况，其原理就是利用临时支撑将大断面分割成几个小断面，导坑尺寸的确定要严格按照设计尺寸，分割后每一个小断面作为一个独立开挖工作面，各小断面之间按照设计步距要求进行控制，按照左右侧导坑错开开挖，开挖一侧导坑所引起的围岩应力重分布的影响不致波及另一侧已成导坑为原则[9]。由于分割后开挖断面小，安全性相对较好，能构成窄立结构，在两边承载较大侧向压力，进而使初期支护尽快受力，有效提升初支的受力性能从而较少沉降，确保施工安全，但是在体系转换过程中属于对围岩的二次扰动，沉降变形变化较大，在这个过程中要做好沉降观测工作(具体施工工艺流程见图 2)。

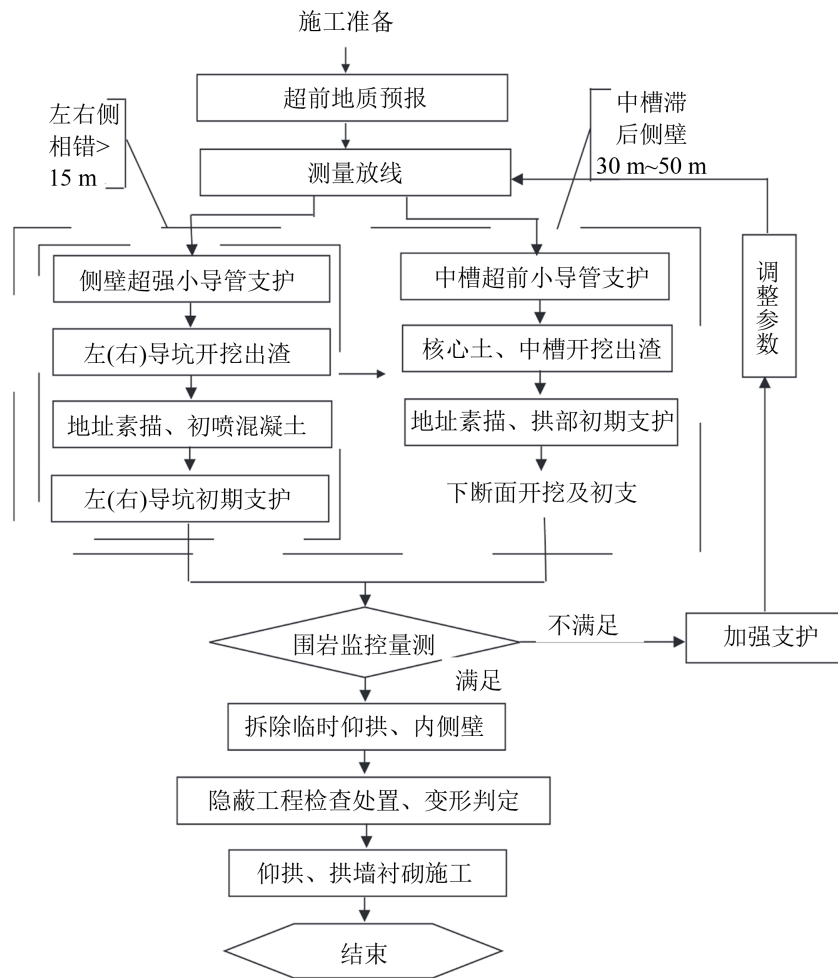


Figure 2. Construction process of excavation of double-sided wall guide pits
图 2. 双侧壁导坑开挖施工工艺流程

3.3. 施工步序

双侧壁法施工应遵循“超前支护、短进尺、强支护、早封闭成环、勤量测、衬砌紧跟、用量测指导施工”的原则进行。在分部开挖尺寸确定方面，一般是将整个断面分为 8 个或 12 个小导坑断面，单个导坑高度在 2.5 m~4.5 m 之间[10]。因此空间非常狭小，不适于大型机械作业，一般只能采取人工开挖的方

式，效率较低，并且随进洞距离的不断增加，更不易出碴。根据歇台子站施工现场周围土体情况，采取超前支护方法对掌子面土体进行混凝土喷射，起到封闭加固作用。

在实际施工中，歇台子站主体暗挖采用钻爆施工，为增加开挖速度，单个导坑高度约 4 m~5 m，宽度约 4 m~5 m，保证自稳同时减小了对围岩的扰动程度。利用 1、2、3 号施工竖井通过横通道形成 3 个作业面；采用双侧壁导坑法分 3 层、9 个洞室进行开挖。总体开挖顺序如图 3 所示。

左右侧导坑分为上、中、下 3 层，首先开挖第 1 层左右导洞并形成各井贯通作业面；再开挖第 2 层左右侧导洞；后开挖第 3 层左右导洞；左右侧导洞错台 5 m。各导洞开挖时根据地质情况采用台阶法或全断面开挖。

中导坑开挖也分为 3 层，在完成左右侧导坑开挖封闭成环后，按照上、中、下 3 层顺序开挖导洞；再开挖下部核心土；后施作左右侧导坑仰拱及车站边墙、拱部二次衬砌。

具体施工步序如下图 3 所示：

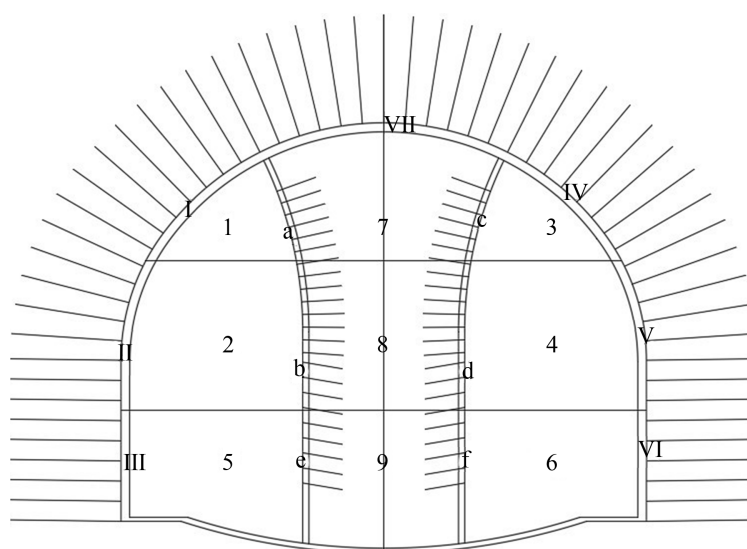


Figure 3. Construction steps of double side wall heading

图 3. 双侧壁导坑施工步序图

- | | |
|----------------|------------------------|
| 第一步：左部导洞 1 的开挖 | I. 该部初期支护 a、临时中隔墙支护； |
| 第二步：左部导洞 2 的开挖 | II. 该部初期支护 b、临时中隔墙支护； |
| 第三步：左部导洞 3 的开挖 | III. 该部初期支护 c、临时中隔墙支护； |
| 第四步：右部导洞 4 的开挖 | IV. 该部初期支护 d、临时中隔墙支护； |
| 第五步：右部导洞 5 的开挖 | V. 该部初期支护 e、临时中隔墙支护； |
| 第六步：右部导洞 6 的开挖 | VI. 该部初期支护 f、临时中隔墙支护； |
| 第七步：中部导洞上部开挖 | VII. 该部初期支护； |
- 第八步前可结合监控量测数据，尝试拆除部分 a、c，若拆除后数据稳定且收敛，可在后续步骤八之前进行 a、c 段拆除；若数据不收敛，应立即通知各方，并采取临时支护措施保证洞室稳定，且后续开挖不得拆除临时中隔壁。
- 第八步：中部导洞中部开挖拆除 b、d；
- 第九步：中部导洞下部开挖拆除 e、f；
- 第十步：敷设仰拱防水层，仰拱钢筋混凝土浇筑；
- 第十一步：敷设拱顶、侧墙防水层，施工侧墙及拱顶二次衬砌。

4. 二次衬砌施工技术

本工程段围岩基本分级为 IV 级，修正级别为 IV 级，为浅埋、超浅埋隧道，成洞条件较差，由于岩层倾角平缓，隧道拱部无支撑时易产生较大坍塌掉块。采用多分部开挖的施工工法、进行超前支护并加强初期支护，隧道施工时初支必须严格封闭成环，必要时可留设核心土，及时跟进二次衬砌，施工过程中对松动块体及时清除或锚固[11]。

4.1. 施工步序

首先施作二衬仰拱及矮边墙→跟进边墙二衬施工→边墙二衬施工完成 30 m 时拆除上部横竖向临时支撑，首次拆除长度 8 m，以后每次拆除 6 m，施工拱部二衬→拱顶二衬施工完毕后开挖掉剩余核心土部分，施作二衬底板仰拱[12]。施工步序如下。

- 1) 导洞 7 开挖贯通、支护施工完成后，施作二衬仰拱及矮边墙。
- 2) 及时跟进边墙二衬施工。
- 3) 边墙二衬施工完成 30 m 时，拆除拱部横撑及竖撑，首次拆除长度 8 m，以后每次拆除 6 m，浇筑拱部二衬。
- 4) 拱部二衬施工完毕后，开挖核心土部分，施作二衬仰拱。

4.2. 衬砌台车

本工程二次衬砌采用仰拱、边墙、拱部分开浇筑，因此分为 2 台边墙、仰拱台车和 1 台拱部二衬台车。台车根据隧道要求设计，长度 6.1 m。台车外轮廓半径外放 50 mm，模板面板选用 10 mm 厚度钢板，弧板最宽为 296 mm，中心高 6306 mm，轨距 3300 mm，净空高 4000 mm，顶升油缸行程 300 mm 4 只，侧向油缸行程 300 mm 2 只，水平油缸行程 300 mm 2 只，液压站 1 套，油管 1 套[13]。如图 4-5 所示。

边墙二衬开始施工时组装拱顶二衬台车。待边墙二衬施工 30 m 时开始施工拱顶二衬台车施工拱顶二衬。

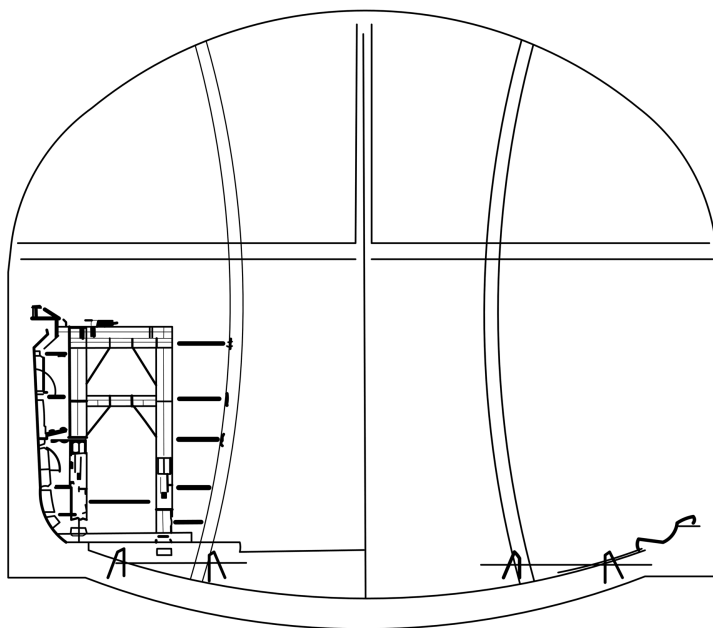


Figure 4. Low side wall inverted arch and side wall secondary lining trolley
图 4. 矮边墙仰拱及边墙二衬台车

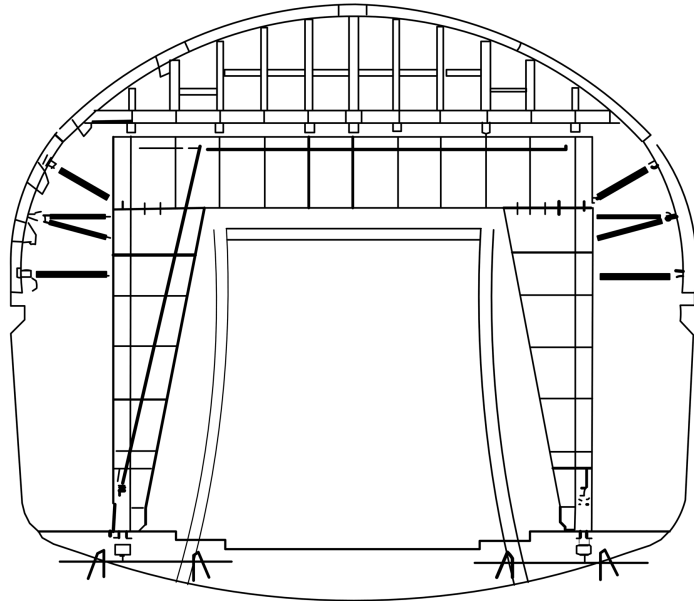


Figure 5. Arch second lining trolley
图 5. 拱部二衬台车

5. 施工监测

施工现场监控量测是现代化施工管理的重要组成部分，它不仅能指导施工，预报险情，确保平安，本项目中通过现场监控量测可获得围岩动态、支护工作状态等信息数据，为修正和确定初期支护参数、混凝土衬砌的支护时间提供信息依据，同时还能为隧道工程设计与施工积累资料，为今后的设计和施工提供类比依据，该项工作具有十分重要的意义。

5.1. 监测项目及指标

监控量测项目及指标确定：项目及指标的判定依据主要为施工区域内地质条件、围岩情况、隧道覆土厚度、隧道跨度、隧道埋置深度、隧道施工开挖方式、支护方式等等，需要综合考虑各种因素。在监测指标方面，本项目主要进行了地表下沉监测、地表位移监测、隧道拱顶下沉监测、净空收敛监测以及土体位移变形情况监测。

5.2. 监测成果的应用

- 1) 项目施工初期阶段或地质变化显著，位移及下沉量大时量测断面间距可适当加密。
- 2) 当项目施工进度到一定程度，地质情况良好，且位移下沉量较小时，量测断面间距可取相应规范中较大值，根据情况也可适当放宽。
- 3) 如遇围岩位移量较大、位移值突然增大、位移速度加快等情况，量测频率应增加。另外，进行洞内状态观测时，应对每个开挖循环都要进行观察，一般应每天观察一次，对于选测项目的量测断面布置及项目选择，根据地质条件和工程需要确定。
- 4) 根据净空收敛、沉降监测情况，车站隧道底脚、侧壁处易产生应力集中，针对这一问题采取扩大底脚基脚的措施，对已施工的基底进行补充加固，对临时支撑部分增喷混凝土的措施。

6. 结论

针对重庆轨道交通 18 号线工程歇台子车站施工环境具有地质条件差、地上建筑物密集、地下管线密

集等施工难点，且为大断面浅埋开挖隧道，通过理论分析结合工程经验的方法，选取双侧壁导坑开挖为施工方法，地铁施工沉降风险得到有效控制，很好地解决了大断面浅埋隧道开挖的安全性问题，且结构简单，安全可靠，拆装方便、灵活，经济效益显著。但双侧壁导坑开挖施工方法目前仍具有明显局限性，如开挖时分块单元较多，易在施工过程中产生相互干扰，易对单元拱架连接造成一定困难，并且该工法整体施工进度较慢，因此在初支闭环环节中易出现较大变形量，该工法的发展趋势应为有效控制变形方面。目前该隧道项目正在建设中，双侧壁导坑法在该隧道开挖中得到了很好的实际性应用，希望给相类似的城市浅埋大断面隧道的工程施工提供一定的参考和借鉴，更好更安全的加快国家城市现代化建设。

参考文献

- [1] 陈凯, 刘宁, 刘向远, 等. 超大断面双侧壁导坑法核心土宽度研究[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(26): 10912-10917.
- [2] 蓝洋. 羊角大断面隧道双侧壁导坑施工[J]. 隧道建设, 2009, 29(S2): 153-156.
- [3] 胡树刚. 大跨浅埋暗挖车站多层双侧壁导坑施工技术[J]. 国防交通工程与技术, 2015, 13(3): 51-53.
- [4] 罗远煜. 复杂环境隧道双侧壁导坑施工技术研究[J]. 高速铁路技术, 2017, 8(2): 81-85.
- [5] 韦彬, 戴智颖, 唐皓, 等. 大跨小净距隧道双侧壁导坑进洞施工力学特征分析[J]. 现代隧道技术, 2022, 59(S1): 276-283.
- [6] 余永华. 断层内浅埋大跨度隧道双侧壁导坑法施工技术分析[J]. 黑龙江交通科技, 2020, 43(11): 262-263.
- [7] 张宗鹏. 浅谈城市大断面隧道双侧壁导坑法开挖技术施工[J]. 中国新技术新产品, 2020(6): 98-99.
- [8] 李昊炎. 双侧壁导坑法地铁隧道开挖施工安全风险管理研究[J]. 建材与装饰, 2020(1): 241-242.
- [9] 王安祥. 双侧壁导坑法在浅埋暗挖隧道中的应用[J]. 黑龙江交通科技, 2015, 38(7): 100-101.
- [10] 郝小苏. 龙头山八车道公路隧道双侧壁导坑法施工[J]. 铁道标准设计, 2007(S2): 96-99.
- [11] 苗春雨. 双侧壁导坑法在大断面隧道中的应用[J]. 建筑工程技术与设计, 2017(25): 970-970.
- [12] 粟琼林. 隧道施工中双侧壁导坑法的应用优势及优化研究[J]. 建材与装饰, 2021, 17(5): 285-286.
- [13] 郭洪涛. 浅埋暗挖双侧壁导坑法隧道二衬施工方案优化[J]. 安徽建筑, 2020, 27(1): 194-198.