

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2024.04.015

# 叠摺地铁区间轨排井设计方案研究

李月阳<sup>1,2</sup>, 杜玉峰<sup>1,2</sup>, 刘飞<sup>3</sup>, 王伟锋<sup>1,2</sup>, 李哲<sup>3</sup>, 靳天睿<sup>3</sup>

(1. 北京市轨道交通设计研究院有限公司, 北京 100068; 2. 北京市轨道交通工程技术研究中心, 北京 100068;  
3. 北京建筑大学土木与交通工程学院, 北京 102612)

**摘要:** 为选择地铁轨排井合理设计方案, 解决设计过程中较大轨排洞口严重削弱板的刚度、施工工况下传统二维框架断面计算无法满足设计需求与实际情况的问题, 基于北京地铁 22 号线管庄站—永顺站区间高水压细颗粒地层中叠摺地铁区间轨排井设计的具体案例, 从工程围护、主体结构方案的设计思路等方面, 分析结构计算重难点等关键问题, 并建立二维、三维模型进行结构受力分析。总结设计经验与控制工况, 得出合理的设计方案: 针对富水地层较深叠摺轨排井, 支护结构采用地连墙与内支撑, 主体结构采用加大边梁结构体系抵抗水平荷载。研究成果对以后地铁建设过程中的轨排井设计可提供参考。

**关键词:** 城市轨道交通; 高水压细颗粒地层; 叠摺地铁区间; 轨排井设计; 结构方案

中图分类号: U231; TU921

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2024)04-0102-09

## Analysis and Design of Track Panel Wells in Overlapping Subway Tunnels

LI Yueyang<sup>1,2</sup>, DU Yufeng<sup>1,2</sup>, LIU Fei<sup>3</sup>, WANG Weifeng<sup>1,2</sup>, LI Zhe<sup>3</sup>, JIN Tianrui<sup>3</sup>

(1. Beijing Rail and Transit Design & Research Institute, Beijing 100068; 2. Beijing Rail and Transit Engineering Technology Research Center, Beijing 100068; 3. School of Civil and Transportation Engineering, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 102612)

**Abstract:** To address these challenges, a pragmatic design approach for the subway track panel and the substantial opening in the panel significantly reduces plate stiffness. Under construction conditions, traditional two-dimensional frame section calculations fail to meet design requirements and real-world conditions. Drawing from a specific case involving the design of a stacked subway track panel in the high-water-pressure fine particle strata east of Beijing, this paper introduces the project's envelope and main structural design concepts. It examines critical structural calculation issues, consolidates design insights, and outlines operational conditions. The study yields a practical design scheme, offering valuable insights for future subway track panel designs during construction processes.

**Keywords:** urban rail transit; high water pressure fine particle stratum; overlapping subway tunnel; track panel well design; structural scheme

## 1 研究背景

在城市轨道交通工程建设过程中, 轨道需通过轨排井由地面吊入地下结构内。为满足轨道吊装要求, 需在车站、隧道上方预留轨排井洞口, 左、右线各设一个, 洞口的中心线一般应与线路中心线对齐, 轨道施

工完成后封堵轨排孔。钢轨每节长度一般为 25 m, 因此单个轨排井洞口尺寸长约 28~30 m(沿线路方向), 宽约 5 m(垂直线路方向)。较大的轨排井洞口会削弱板的刚度; 同时, 由于板刚度的削弱, 会影响轨排井段基坑支护结构方案的选择。国内已有一些关于地铁轨排井工程实践与研究, 梁仕杰等<sup>[1]</sup>以实际项目为依托,

收稿日期: 2023-11-29 修回日期: 2024-03-18

第一作者: 李月阳, 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事地铁工程结构设计、岩土工程数值分析等方面研究, 510108707@qq.com

基金项目: 北京市教委科技项目(KM201810016005)

引用格式: 李月阳, 杜玉峰, 刘飞, 等. 叠摺地铁区间轨排井设计方案研究[J]. 都市轨道交通, 2024, 37(4): 102-110.

LI Yueyang, DU Yufeng, LIU Fei, et al. Analysis and design of track panel wells in overlapping subway tunnels[J].

Urban rapid rail transit, 2024, 37(4): 102-110.

通过有限元分析对轨排井构件进行了优化设计；侯尚蹇<sup>[2]</sup>对地铁车站轨排井做法进行归纳总结，分析不同做法的特点并提供选择建议；金思维<sup>[3]</sup>以徐州地铁3号线某车站轨排井结构方案为例，选用双柱大开孔式轨排井设计方案，对其进行数值模拟分析；欧阳伟强等<sup>[4]</sup>从造价、结构受力、施工难度等方面进行分析，提出一种新的结合盾构工作井设置轨排井方案；刘春杰<sup>[5]</sup>分别采用二维计算和三维有限元分析对轨排井结构进行计算分析，对轨排井结构内力进行对比，对轨排井结构设计提出建议；吴涛<sup>[6]</sup>通过建立三维有限元荷载-结构模型，分析结构受力特性，得出地铁轨排井更合理的布置位置及结构型式；贾兆平<sup>[7]</sup>以华东地区某车站为例，对轨排阶段围护结构和主体结构进行设计分析；孙瑁等<sup>[8]</sup>结合苏州4号线某车站，分析了轨排孔设置对土建专业的要求，对双柱车站轨排孔设置形式进行比选，并通过三维建模计算分析其结构受力特点，指出了结构设计重点。以上研究均针对常规轨排井进行分析，对于叠摺地铁轨排井目前研究较少。本文中的案例针对北京东部叠摺地铁区间轨排井进行了分析，该案例有以下两个特点：一是地下水位较高，水压较大；二是由于轨排井为叠摺型式较罕见，轨排井布置与结构设计方面也较有特色。

本文基于北京地铁22号线管庄站—永顺站区间设置轨排井的工程案例，介绍了围护、主体结构方案的比选思路及结构设计要点、相关注意事项等关键问题，为以后地铁建设中的轨排井设计提供参考。

## 2 工程概况

北京地铁22号线管庄站—永顺站区间为叠摺明挖区间，该区间功能较多：施工期间作为轨排井；区间兼做车站的活塞风井；同时为满足该线快慢车混跑功能于该区间设置越行线；此外该区间兼做远期联络线与盾构接收井。因此，该段区间为地下3层结构，地下1层为车站的活塞风井，地下2层、地下3层为正线及远期线的轨行区；线路型式为双层叠摺六条线。结构型式为地下三层四跨箱形结构，结构宽29.5m，长51.5m，标准段基坑深度31.5m，盾构井加深段基坑深度33.0m。线路及结构平面见图1，典型横断面见图2。

轨排井的设置要求：应在左、右线分别设置轨排下料口(双口)，以满足双线四个工作面双向同时铺轨施工要求；单线轨排井下料口几何尺寸(沿左、右线路中心线轨行区方向)：长度 $\geq 28$ m，宽度 $\geq 5$ m；下料口宜与线路中心线对齐，以提高铺轨效率。因本区间设置越行线，且区间地下2层、地下3层为叠摺轨行区，

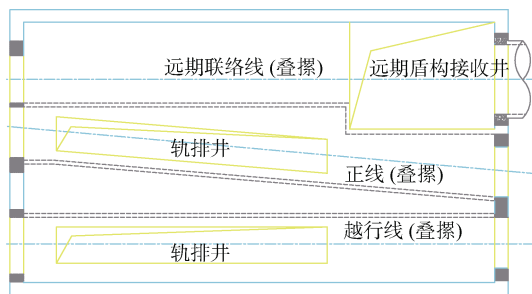


图1 线路及结构平面

Figure 1 Line and structure plane

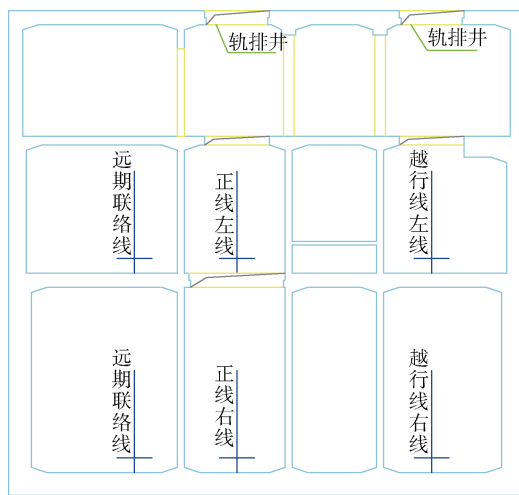


图2 典型横断面

Figure 2 Typical cross-section

因此正线、越行线均需设置轨排下料口，且需分别直通地下2层与地下3层；其中越行线(右线)的轨道需首先通过正线(右线)吊入地下3层，然后通过道岔折返进行铺轨。

### 2.1 工程地质

场地范围内土层划分为人工堆积层、第四纪沉积层两大类，共划分为9个大层。

1) 人工填土层(第1大类)。包括黏质粉土素填土①层及杂填土①<sub>1</sub>层。

2) 第四纪沉积层(第2大类)。人工填土层以下为第四纪沉积层，其岩性主要以黏性土、粉土、砂土、圆砾及卵石交互层为主。包括：粉质黏土-重粉质黏土③层，黏质粉土-砂质粉土③<sub>1</sub>层，粉细砂③<sub>2</sub>层及黏土③<sub>3</sub>层；细中砂④层；圆砾④<sub>4</sub>层；粉质黏土⑤层，黏质粉土-砂质粉土⑤<sub>1</sub>层，粉砂⑤<sub>2</sub>层，黏土-重粉质黏土⑤<sub>3</sub>层，细中砂⑥层，黏质粉土⑥<sub>1</sub>层，粉质黏土⑥<sub>2</sub>层，粉砂⑥<sub>3</sub>层，粉质黏土⑦层，黏质粉土⑦<sub>1</sub>层，细砂⑦<sub>2</sub>层，黏土-重粉质黏土⑦<sub>3</sub>层，细中砂⑧层，粉质黏土⑨层，黏质粉土⑨<sub>1</sub>层，黏土⑨<sub>3</sub>层。

## 2.2 水文地质

场地范围内存在 3 层地下水，分别为：潜水(一)、承压水(二)、承压水(三)，地下水情况如表 1 所示。场地工程地质与水文地质剖面如图 3 所示。

## 2.3 周边环境

明挖区间轨排井设置在公园绿地内，南侧邻近道路及地下过街通道，北侧为乡村供水站，西侧为暗挖区间，西侧有 3 000 mm×2 000 mm 雨水管与 D1 350 mm 污水管，环境风险源等级为一级，管线年代久远，对

沉降变形要求高，东侧为明挖渡线区，于渡线区端头设置正线盾构接收井。

表 1 地下水情况  
Table 1 Underground water condition

地下水层号	稳定水位埋深/m	初见水位埋深/m	含水层特征
潜水(一)	9.25~9.35	10.00~11.00	③ <sub>1</sub> 黏质粉土-砂质粉土、③ <sub>2</sub> 粉细砂、④ <sub>1</sub> 细中砂、④ <sub>4</sub> 圆砾
承压水(二)	19.05~19.30	27.50~27.60	⑥ <sub>1</sub> 细中砂、⑥ <sub>2</sub> 黏质粉土、⑥ <sub>3</sub> 粉砂
承压水(三)	约 26.6	约 50.0	⑧ <sub>1</sub> 细中砂

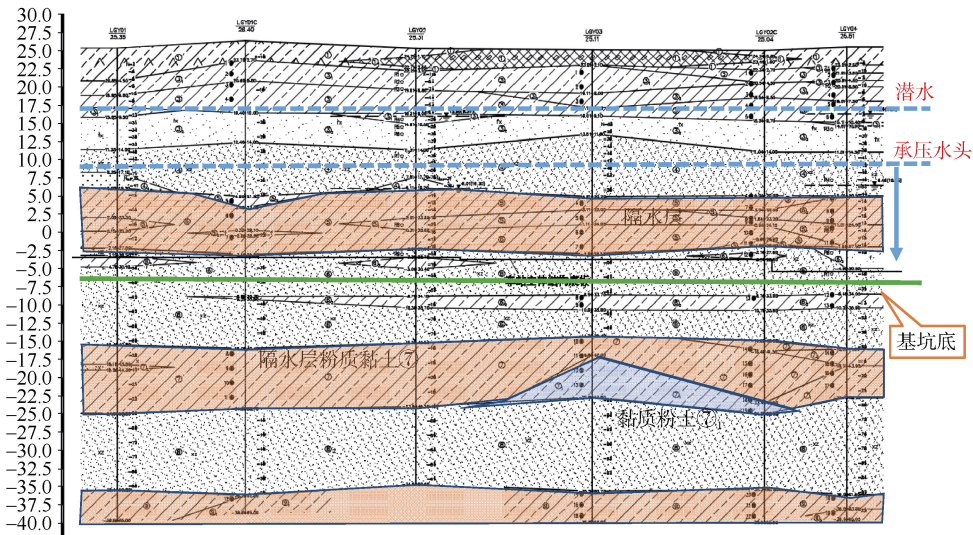


图 3 地质剖面  
Figure 3 Geological profile

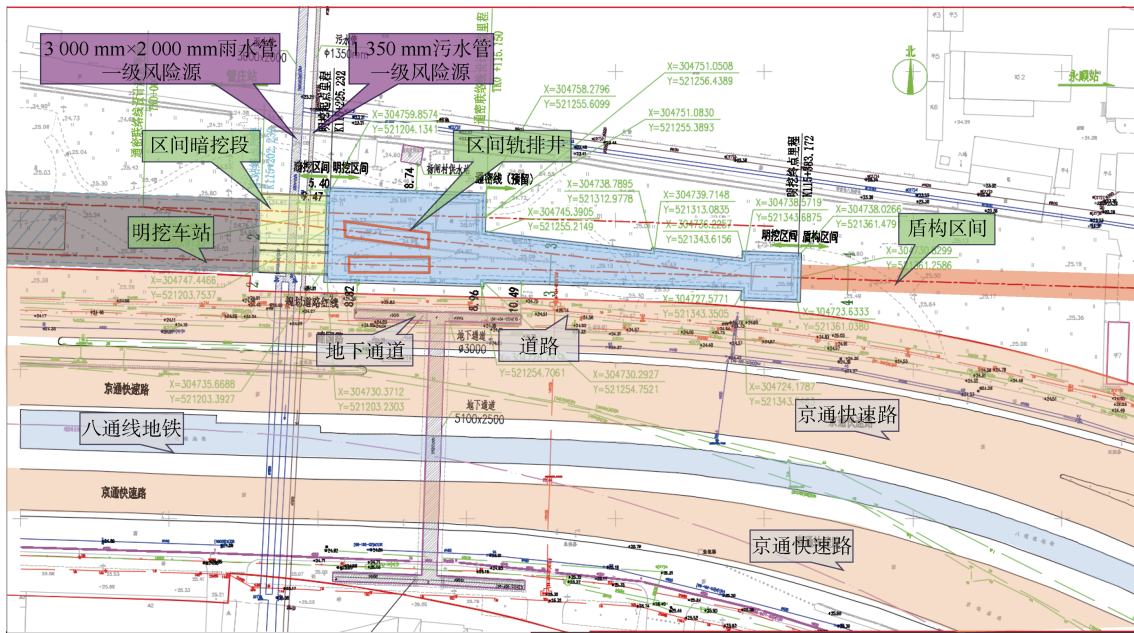


图 4 周边环境  
Figure 4 Surrounding environment

### 3 支护结构设计方案研究

本区间轨排井基坑深度达 31.5~33.0 m，场地存在砂层、粉土等细颗粒，地下水位较高，区间南侧及西侧存在重大环境风险源，若采用锚索，需要道数及长度较长，同时存在涌水、涌砂以及预应力损失等风险；另根据徐凌等<sup>[9]</sup>、祝建勋等<sup>[10]</sup>的研究成果，地连墙+钢支撑(墙撑)支护型的控制变形效果更好，且不必提前在基坑外进行降水，施工安全有保障，工程质量更好，在北京地铁地下水丰富地区具有明显的优越性。因此支护结构采用“地连墙+内支撑”方案。

根据工程地质剖面图，基坑底为细中砂⑥层，同时基底以下存在粉质黏土⑦层可作为有效隔水层，因此地连墙可插入隔水层，采用“落底式帷幕+坑内疏干”方式处理地下水。计算分析后，基坑支护结构方案如下：

1) 围护体系。采用 1 000 mm 厚地连墙围护兼止水，采用工字钢接头。墙顶设置 1 600 mm×1 000 mm 冠梁兼做压顶梁，地下连续墙标准段嵌固深度为 12 m，盾构井加深段嵌固深度 13 m。

2) 支撑体系。基坑竖向设置 5 道支撑+1 道换撑。第 1 道采用 1 000 mm×1 000 mm 混凝土支撑(标准段间距 9 m)，第 2 道采用  $\phi 800$  mm， $t=16$  mm 钢支撑(标准段间距 3 m)，其余均采用  $\phi 800$  mm， $t=20$  mm 钢支撑(标准段间距 3 m)；钢腰梁采用双拼 I56<sub>b</sub> 工字钢；设临时立柱，临时立柱采用 500 mm×500 mm 缀板式格构柱；立柱底部采用  $\phi 1\ 500$  mm 钻孔灌注桩。

目前基坑已开挖完成，现场实施过程监测结果反映，“地连墙+内支撑”支护体系具有较大的刚度，支护结构自身及周边环境风险源变形均较小。支撑平面布置及剖面分别见图 5~7。

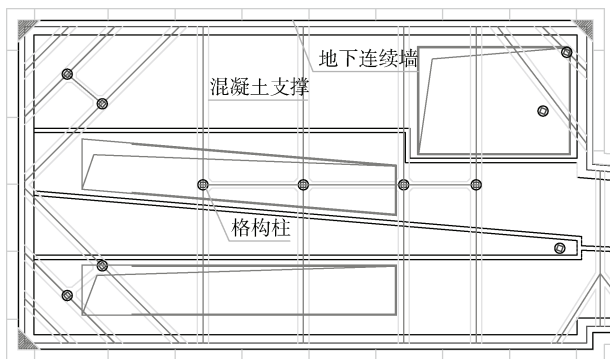


图 5 混凝土支撑平面布置  
Figure 5 Concrete supports layout plane

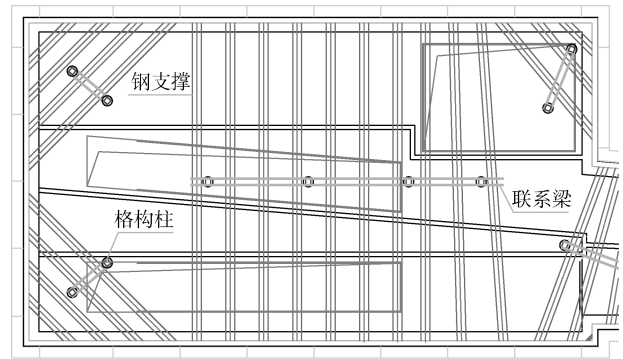


图 6 钢支撑平面布置  
Figure 6 Steel supports layout plane

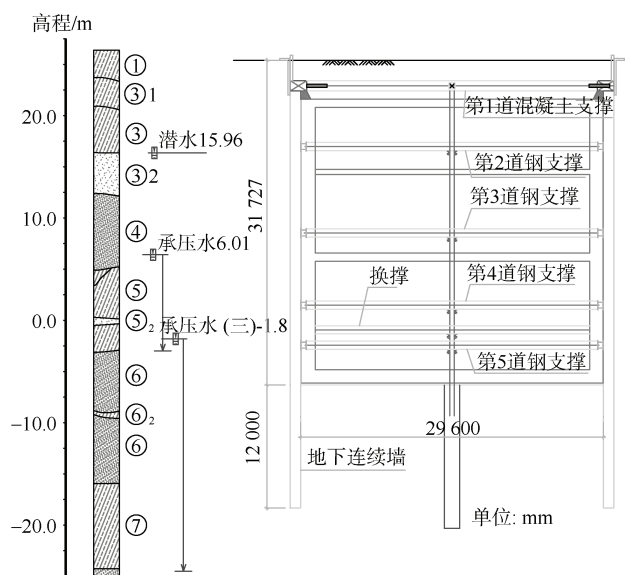


图 7 支护结构剖面  
Figure 7 Support structure section

### 4 主体结构设计方案研究

#### 4.1 主体结构方案选择

由于轨排井支护结构采用了支撑方案，因而在拆解回筑至轨排施工阶段，需要依靠结构自身与地连墙共同抵抗侧向荷载。由于较大的轨排洞口严重削弱了顶板及中板刚度，需对结构进行加强，结构加强可分为 3 种方案。

##### 4.1.1 悬臂式

通过加厚侧墙厚度，简化为悬臂模型，考虑侧墙及地连墙共同承担荷载。采用该种结构方案，侧墙及底板均较厚，工程量较大。

##### 4.1.2 扶壁柱或扶壁墙式

通过建立扶壁柱或扶壁墙，与侧墙、洞边梁、地连墙共同受力，可以简化为井字梁或桁架模型。该种

方案可优化侧墙尺寸,但扶壁柱或扶壁墙施工较繁琐,且侵占净空,需将扶壁结构在轨排完成后拆除或将界限加大(侧墙进行外扩)。

#### 4.1.3 加大洞边梁式

通过加大轨排洞口边梁的尺寸,使边梁具有足够的承载力、刚度,与侧墙及地连墙共同抵抗侧向荷载。传统二维模型无法分析,因此需通过建立“三维荷载结构模型”进行施工阶段分析,该种结构方案优化了方案一的侧墙厚度,简化了方案二的施工流程,但需对结构侧墙进行外扩以满足洞边梁尺寸。

#### 4.2 轨排孔尺寸、布置与叠摺区间特殊要求

由于较大洞口对结构板刚度削弱的不利影响,需与轨道专业配合,尽量压缩轨排洞口。最终确定单个轨排孔尺寸为  $28\text{ m}\times 3.5\text{ m}$ (线路纵向 $\times$ 线路横向),且保证轨排洞口位于区间线路正上方。

如图2所示,由于地下2层、地下3层为叠摺轨行区,有一处轨排洞口需3层板上开洞,使轨道可直达地下3层。对比分析后,将该洞口置于中跨,即保留较宽“板带”作为“大边梁”抵抗侧向力;另一个需在两层板上开洞的洞口置于边跨,尽量改善结构受力,优化构件尺寸,降低施工风险。

此外,由于为叠摺区间,地下2层底板为行车板。根据《混凝土结构设计规范》要求:直接承受动力荷载的板,同一连接区段内纵向受力钢筋接头面积百分率不应大于50%,结构构件(板、梁)中的钢筋应按规范要求预留:钢筋接头错开  $35d$ ,并预留I级钢筋接驳器。因此,地下2层底板轨排洞口的尺寸需考虑甩筋影响,适当扩大轨排洞口宽度(轨排井需要的净宽 $+35d$ )。

#### 4.3 计算方法与原则

1) 永久使用阶段,主体结构墙、板计算按照平面应变假设,采用二维荷载-结构模型进行内力分析;地下一层梁、柱体系采用纵梁-中柱框架模型进行分析;地下二层行车板采用容许应力法进行设计。

2) 支护结构与主体侧墙之间宜按复合结构设计。在使用阶段,主体结构计算应考虑支护结构的作用,水压力应作用在主体结构上,土压力应由支护和主体结构共同承担,并应考虑侧墙承受最大、最小侧压力两种荷载组合,支护结构应按100%和50%的刚度做包络设计。

3) 轨排施工阶段,采用三维荷载-结构模型对结构进行施工阶段分析。

4) 地震工况,采用二维反应位移法进行分析。

5) 人防工况,根据以往经验一般不控制。

#### 4.4 二维使用阶段分析

永久阶段轨排施工完毕,轨排孔已封闭。该种工况与传统地下结构计算无较大差异:应进行常水位、抗浮水位包络设计;考虑支护结构100%与50%刚度包络设计;荷载组合分为基本组合与标准组合。

模型采用二维荷载结构法进行分析,板、墙采用一维梁单元进行模拟,土体采用仅受压弹簧单元,围护结构与主体结构的连接为弹性连接。竖向土弹簧固定竖向位移,水平土弹簧固定水平位移,土弹簧刚度采用详勘报告提供的基床系数,弹性连接的刚度采用混凝土的弹性模量。

限于篇幅,不再罗列每种工况结果,部分工况计算结果如图8~图10所示,分析后可知,配筋由标准组合下的裂缝验算为控制工况,顶板配筋由常水位控制,底板配筋由抗浮水位控制,侧墙配筋由三维施工阶段开洞模型进行包络验算。

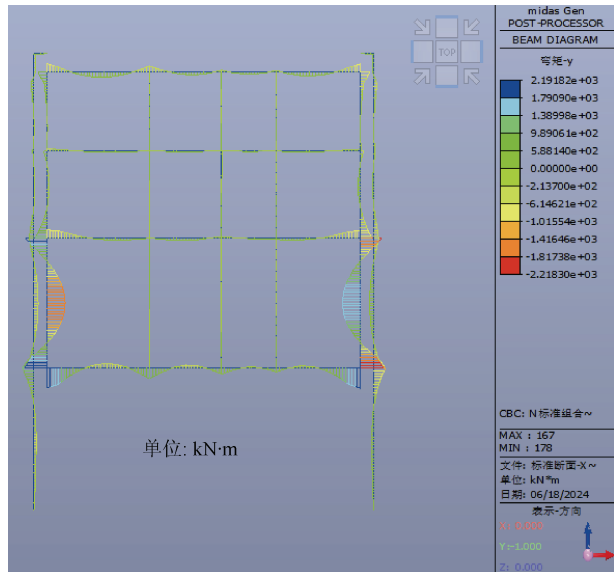


图8 常水位(50%围护结构刚度)标准组合弯矩

Figure 8 Bending moment diagram of standard combination under normal water level (50%stiffness of retaining structure)

#### 4.5 三维施工阶段分析

通过建立轨排施工阶段三维荷载-结构分析模型,主要目的是为保证楼板轨排开洞后侧墙受力安全,见图11。顶板与地下1层轨排洞口  $28\text{ m}\times 3.5\text{ m}$ (2个),地下2层轨排洞口  $28\text{ m}\times 5.3\text{ m}$ ;水、土压力荷载及地面超载等荷载为常规计算,此处不再赘述;板、墙采用二维板单元进行模拟,底部及侧向边界采用仅受压

弹簧模拟, 侧向弹簧刚度  $3 \times 10^4$  kN/m, 底部弹簧刚度  $3.8 \times 10^4$  kN/m。

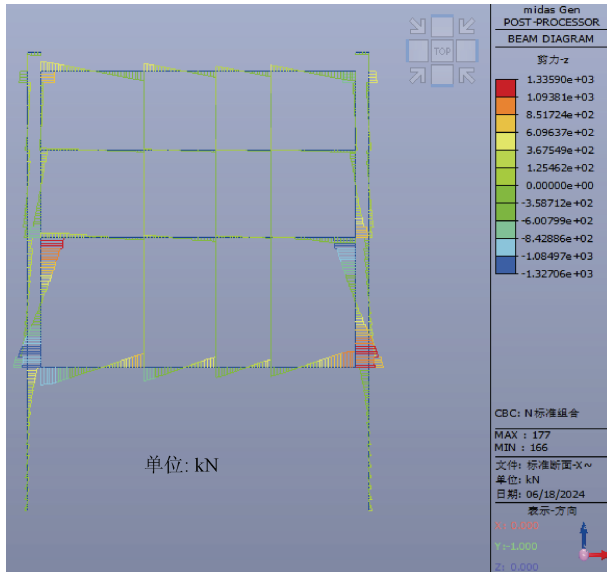


图 9 常水位(50%围护结构刚度)标准组合剪力  
Figure 9 Shear force diagram of standard combination under normal water level (50%stiffness of retaining structure)

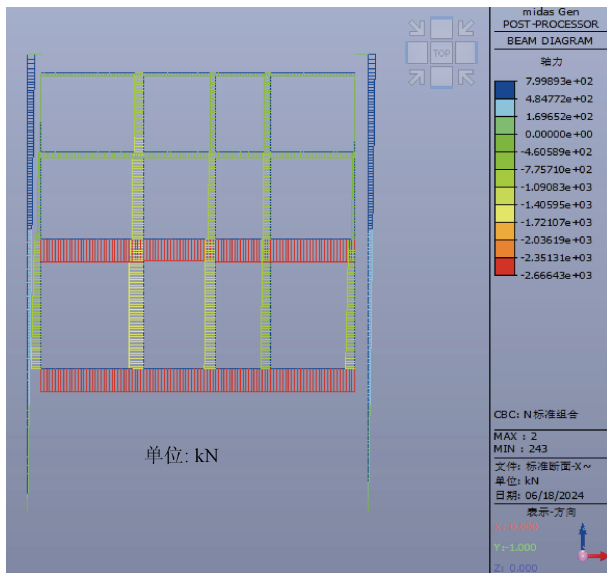


图 10 常水位(50%围护结构刚度)标准组合轴力  
Figure 10 Axial force diagram of standard combination under normal water level (50%stiffness of retaining structure)

通过三维模型的分析结果, 对结构侧墙及洞边梁进行截面、配筋设计, 同时与二维模型进行包络设计, 需满足承载力、裂缝、挠度等要求。三维分析结果如图 12~图 14 所示, 由图可知, 轨排孔开洞大大增加了侧墙的弯矩, 结构侧墙大部分配筋由施工阶段分析控制。

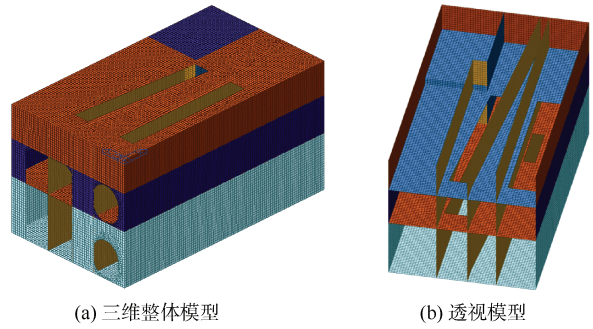


图 11 三维荷载-结构分析模型  
Figure 11 3D load-structure analysis model

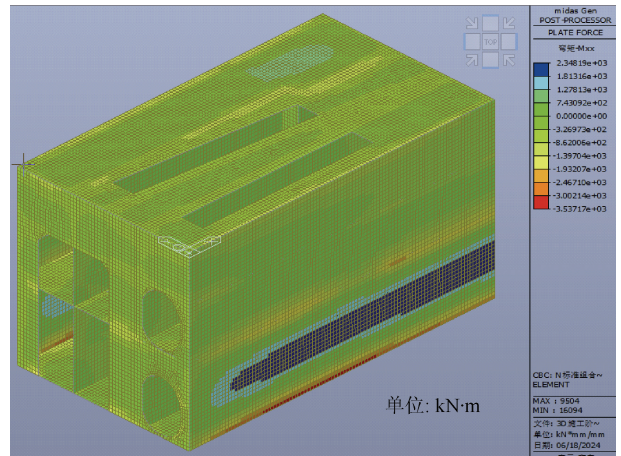


图 12 标准组合 XX 方向弯矩云图  
Figure 12 Bending moment cloud diagram (along XX direction) of standard combination

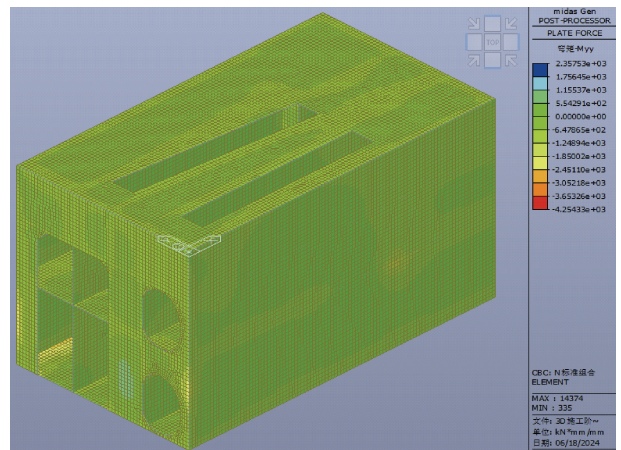


图 13 标准组合 YY 方向弯矩云图  
Figure 13 Bending moment cloud diagram (along YY direction) of standard combination

#### 4.6 抗震动力分析

通过建立二维反应位移法模型对结构进行抗震动力分析, 限于篇幅, 此处仅列出 E2(设防地震)工况下计算结果, 如图 15~图 17 所示。根据动力分析结果

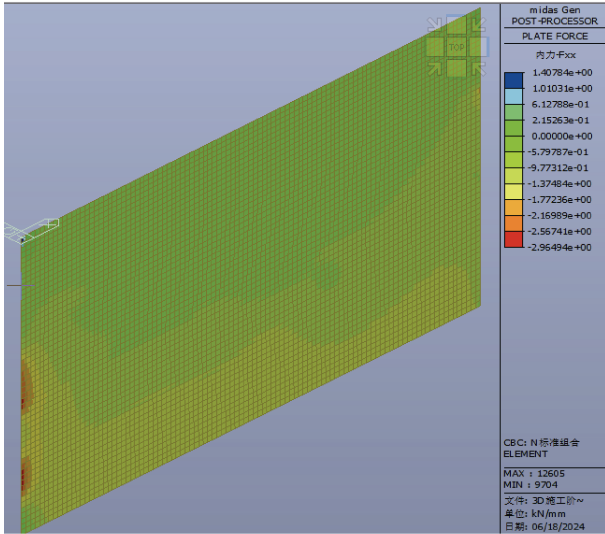


图 14 标准组合侧墙轴力云图  
Figure 14 Side wall axial force cloud diagram of standard combination

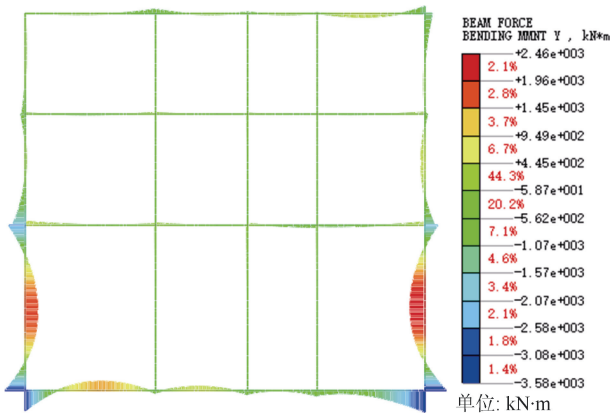


图 15 E2 工况下弯矩  
Figure 15 Bending moment diagram under E2 working condition

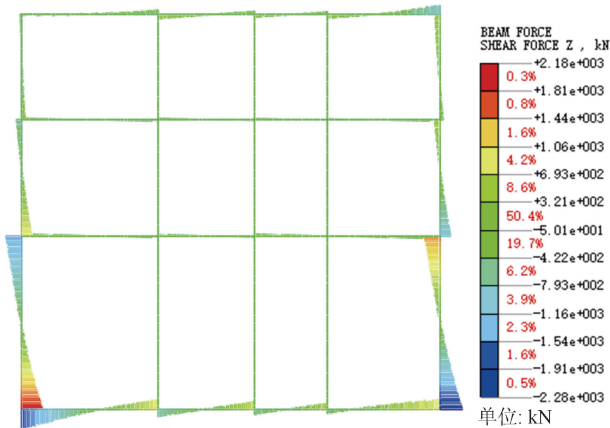


图 16 E2 工况下剪力  
Figure 16 Shear force diagram under E2 working condition

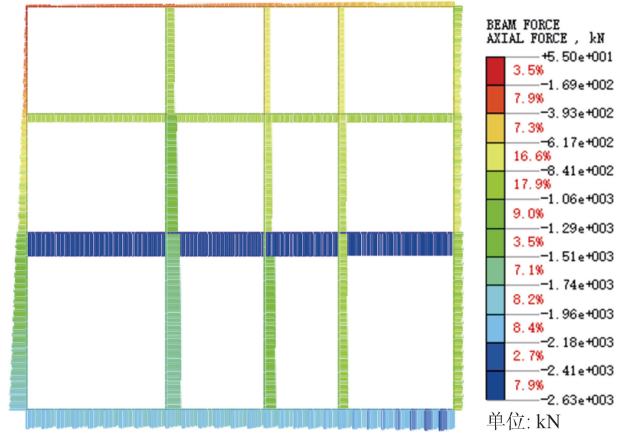


图 17 E2 工况下轴力  
Figure 17 Axial force diagram under E2 working condition

进行中柱截面及配筋设计以满足抗震轴压比要求；E2(设防地震)、E3(罕遇地震)工况下的层间位移角验算后可满足规范要求。

#### 4.7 结构设计方案

经过前文的分析进行结构构件截面与配筋设计，结构型式为三层四跨箱形结构，外包尺寸为 51.5 m×29.5 m×27.74 m(长×宽×高)。

结构构件采用 C40 钢筋混凝土，构件尺寸为顶板厚 800 mm，中板厚 500 mm(行车板厚 800 mm)，底板厚 1 300 mm，侧墙厚 800 mm/1 000 mm/1 300 mm(地下 1 层/地下 2 层/地下 3 层)。

主体结构顶板平面、典型纵断面与横断面分别如图 18~图 20 所示。

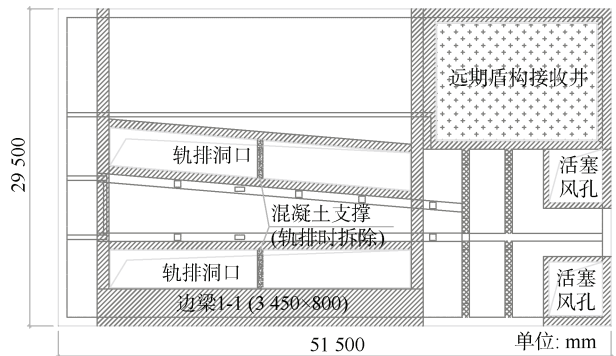


图 18 主体结构顶板平面  
Figure 18 Top plate plane of the main structure

## 5 结论

该叠摺地铁区间轨排井主体结构已于 2023 年顺利施工完成，两年后将交付铺轨单位使用，届时将经受高水压、大跨度、周边环境风险源复杂且变形要求

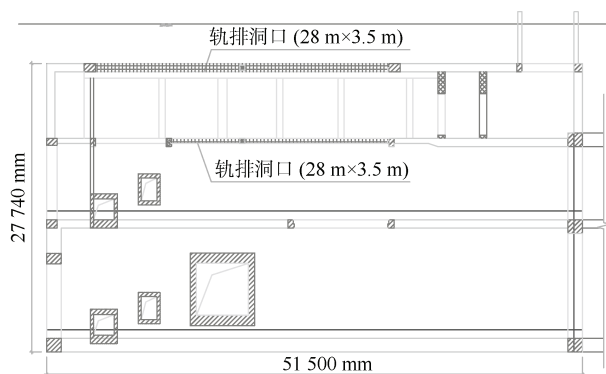


图 19 主体结构典型纵断面

Figure 19 Typical longitudinal section of the main structure

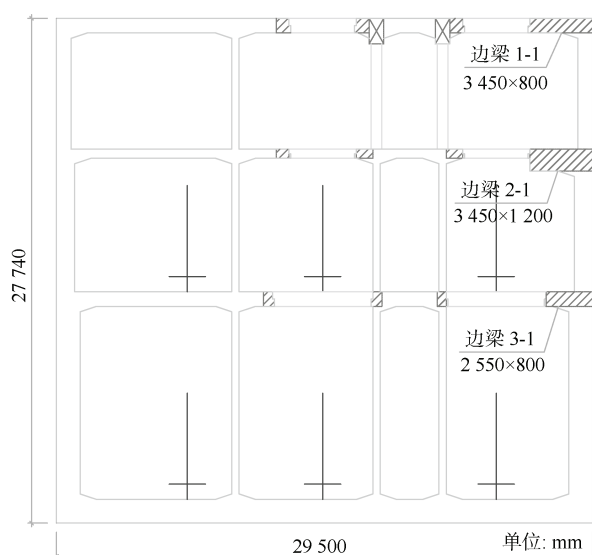


图 20 主体结构典型横断面

Figure 20 Typical cross-section of the main structure

高等多重考验。通过总结该轨排井的“支护+主体结构”方案比选、设计与实施过程，得出以下结论。

1) 轨排井基坑支护结构方案选择需要结合地层、水位、周边环境、基坑深度等因素综合考虑。富水细颗粒地层中，由于锚索锚固体抗拔力难保证，当基坑深度较大，较长时间使用时(如结构封顶至铺轨的2~3年)，锚索存在预应力损失风险。此外，施工过程中，锚索需打穿地连墙，处理不当易引起涌水、涌砂甚至结构抗浮等问题，深基坑支护结构一旦出问题，代价极大。因此，该种情况建议支护结构采用“地连墙+内支撑方案”。

2) 支护结构选择支撑方案后，拆撑回筑直至铺轨完成，需依靠主体结构自身与地连墙共同抵抗外部水、土压力，因此需对结构自身进行加强处理。

3) 因轨排洞口尺寸较大严重影响结构受力，过程

中应与轨道专业配合，尽最大努力压缩轨排孔尺寸，改善结构受力，减小构件尺寸，降低风险。

4) 对于叠摞区间，行车板需按照容许应力法进行设计，同时由于该板直接承受动力荷载，同一连接区段内纵向受力钢筋接头面积百分率不应大于50%，因此该层板应考虑洞口甩筋影响，适当扩大洞口尺寸，以满足轨排孔净空要求。

5) 对于轨排开洞施工工况，传统的二维断面计算无法满足要求，需建立三维荷载-结构模型进行结构受力分析，满足承载力、裂缝、挠度等要求。考虑结构施工完成至铺轨施工还有一段时间，可在轨排洞口中跨设置临时混凝土支撑，减小边梁跨度，改善结构受力，铺轨施工时拆除临时支撑。

6) 对于洞边梁的验算，传统算法是考虑边梁承担上、下半层侧墙范围内的全部侧向水、土压力，对于深基坑、高水压地层，边梁往往截面尺寸过大。传统算法是较保守的算法，因为该阶段是由地连墙、主体结构侧墙、洞口边梁三者共同变形受力，边梁承受部分荷载。因此可采用三维计算模型中的内力对边梁进行截面及配筋设计。

7) 区间结构设计过程中，一般由标准组合进行控制；常水位控制顶板，抗浮水位控制底板；侧墙由三维施工阶段控制；中柱由抗震轴压比控制。

本文轨排井案例由于叠摞布置基坑较深，且地下水位较高，地层较差，因此给结构设计造成了一定困难，笔者曾针对北京新线轨排井的案例做过大量调研，文中的围护、主体结构设计方案保证安全性的同时，重视经济性，符合目前“降本增效”趋势，可为未来地铁轨排井的设计提供宝贵经验。

## 参考文献

- [1] 梁仕杰, 金城, 戴谦, 等. 地铁车站轨排井结构优化设计研究: 以济南轨道交通6号线中央公园站项目为例[J]. 工程设计, 2023, (6): 190-192.  
LIANG Shijie, JIN Cheng, DAI Qian, et al. Research on structural optimization design of track shaft of metro station: A case study of central park station of Jinan Rail Transit Line 6[J]. Engineering design, 2023, (6): 190-192.
- [2] 侯尚骞. 地铁车站轨排井开孔做法研究[J]. 工程技术研究, 2021, 6(24): 63-65.  
HOU Shangqian. Study on the practice of opening holes in rail row wells in subway stations[J]. Engineering and technological research, 2021, 6(24): 63-65.

- [3] 金思维. 地铁车站双柱大开孔式轨排井设计方案探讨[J]. 现代城市轨道交通, 2018(5): 34-37.  
JIN Siwei. Design of double column and track panel shaft with large openness in metro station[J]. Modern urban transit, 2018(5): 34-37.
- [4] 欧阳伟强, 朱昔平, 刘奥林. 地铁轨排井布置方案研究及设计分析[J]. 工程建设, 2023, 55(5): 29-33.  
OUYANG Weiqiang, ZHU Xiping, LIU Aolin. Research and design analysis of subway rail shaft arrangement scheme[J]. Engineering construction, 2023, 55(5): 29-33.
- [5] 刘春杰. 地铁轨排井结构三维有限元优化设计[J]. 建筑技术开发, 2017, 44(12): 6-7.  
LIU Chunjie. Three-dimensional finite element optimal design of subway track and discharge structure[J]. Building technology development, 2017, 44(12): 6-7.
- [6] 吴涛. 地铁轨排井位置及结构型式研究[J]. 工程技术研究, 2019, 4(10): 1-4.  
WU Tao. Study on position and structure of metro rail shaft[J]. Engineering and technological research, 2019, 4(10): 1-4.
- [7] 贾兆平. 地下车站轨排井围护结构和主体结构设计研究[J]. 土工基础, 2017, 31(3): 264-268.  
JIA Zhaoping. The design of the supporting structure and the main structure of a metro station rail shaft[J]. Soil engineering and foundation, 2017, 31(3): 264-268.
- [8] 孙琛, 何肖健. 双柱地铁车站轨排孔方案比选及其结构分析[J]. 结构工程师, 2014, 30(6): 85-89.  
SUN Xun, HE Xiaojian. Scheme comparison and structural analysis of track panel opening of a double pillar subway station[J]. Structural engineers, 2014, 30(6): 85-89.
- [9] 徐凌, 张顶锋, 张昊. 北京地铁明挖车站典型支护结构的变形规律研究[J]. 都市轨道交通, 2016, 29(1): 47-50.  
XU Ling, ZHANG Dingfeng, ZHANG Hao. Deformation rule of typical supporting structures for Beijing subway station with open-cut construction method[J]. Urban rapid rail transit, 2016, 29(1): 47-50.
- [10] 祝建勋, 杨春阳, 罗正高, 等. 北京地铁地连墙基坑变形规律研究[J]. 都市轨道交通, 2023, 36(3): 35-42.  
ZHU Jianxun, YANG Chunyang, LUO Zhenggao, et al. Deformation law of foundation pit connecting Beijing subway and ground[J]. Urban rapid rail transit, 2023, 36(3): 35-42.

(编辑: 傅依萱)

### 封面车站设计理念

封面为太原地铁2号线长风街站站台。连贯的线条，强调了空间的整体性；曲面的造型与个性化的灯光，传递了美感和时尚感。借助中跨的天花起拱，设计月亮门的造型，在空间中起到交通指引的作用，同时也蕴含圆圆满满的吉祥寓意。站厅侧面天花通过灯光的明暗营造出山水画的感觉，又如梦幻的流星雨划过天际。侧墙在灰色金属板板间镶嵌的LED点光源形成阵列，展现出不同氛围下的动态光影效果。

### 我国自主研发的首台城市轨道交通新能源调车机车亮相

2024年7月17日，中车永济电机公司自主研发的我国首台城市轨道交通新能源调车机车，在中国城市轨道交通绿色创新大会上亮相。该车采用动力型磷酸铁锂电池作为整车牵引蓄电池，电池电量可达800 kWh，还具有安全性高、能量密度高、循环寿命长、充放电性能好等特点。在动力方面，这款机车的牵引电机采用了永磁同步电机，可单机牵引220 t载重在50%的坡道上起动并通过，且通过时速不低于10 km/h，综合续航里程可达120 km。

摘编自 <https://www.chinametro.net/index.php?m=newscon&id=539&aid=60195>

### 全球首列商用碳纤维地铁列车问世

2024年6月26日，全球首列用于商业化运营的碳纤维地铁列车“CETROVO 1.0 碳星快轨”在青岛正式发布。该车较传统地铁车辆减重11%，将引领地铁列车实现全新绿色升级。

该车由中车青岛四方机车车辆股份有限公司(简称“中车四方股份公司”)联合青岛地铁集团研制。目前，列车已完成厂内型式试验，按照计划，年内将在青岛地铁1号线投入载客示范运营。

碳纤维地铁列车的车体、转向架构架等主承载结构采用碳纤维复合材料制造，具有更轻更节能、强度更高、环境适应力更强、全寿命周期运维成本更低等技术优势。与传统金属材料的地铁车辆相比，碳纤维地铁车辆的车体减重25%、转向架构架减重50%、整车减重约11%，运行能耗降低7%，每列车每年可减少二氧化碳排放约130 t，相当于植树造林6.7公顷。

摘编自 <https://www.chinametro.net/index.php?m=newscon&id=539&aid=60056>