

超深条形狭窄基坑地下双层结构洞门切割施工方案研究

李 森 葛占洋 罗从岩 肖万国 李自强

中国铁建大桥工程局集团有限公司, 天津 300000

[摘要]由于泽民站附属结构与主体结构相接处存在地连墙,且主体结构和附属结构之间有互通的需求,需破除该地连墙。主体结构和附属结构之间地连墙的破除存在破除跨度小、施工速度慢,难以保证其安全性的问题。文中利用 Abaqus 有限元软件研究了破除地连墙时结构的变形情况以及支撑结构对顶板和中板的变形影响,分析了破除地连墙后,支撑结构间距和支撑结构的安装方式对结构的变形影响。研究结果表明,洞门切割施工中竖向位移随切割次数逐步累积,增设支撑可显著抑制顶板与中板位移,并通过对比不同支撑间距与安装方式,提出优化施工方案。研究揭示了洞门切割施工中结构变形规律,可为类似地下工程安全施工提供理论依据与实践参考。

[关键词]地下连续墙破除;数值模拟;支撑设计优化;有限元

DOI: 10.33142/ec.v8i8.17808

中图分类号: TU473

文献标识码: A

Research on Cutting Construction Scheme for Underground Double layer Structure Portal of Ultra deep Strip Narrow Foundation Pit

LI Sen, GE Zhanyang, LUO Congyan, XIAO Wanguo, LI Ziqiang

China Railway Construction Bridge Engineering Group Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

Abstract: Due to the existence of a ground connection wall at the junction of the auxiliary structure and the main structure of Zemin Station, and the need for interconnection between the main structure and the auxiliary structure, it is necessary to break down the ground connection wall. The dismantling of the connecting wall between the main structure and the auxiliary structure has the problems of small dismantling span, slow construction speed, and difficulty in ensuring its safety. In this paper, Abaqus finite element software was used to study the deformation of the structure when breaking the connecting wall, as well as the influence of the supporting structure on the deformation of the top and middle plates. The influence of the spacing and installation method of the supporting structures on the deformation of the structure after breaking the connecting wall was analyzed. The research results indicate that the vertical displacement accumulates gradually with the number of cutting times during tunnel gate cutting construction. Adding supports can significantly suppress the displacement of the top and middle plates. By comparing different support spacing and installation methods, an optimized construction plan is proposed. The study reveals the deformation law of structures during tunnel gate cutting construction, which can provide theoretical basis and practical reference for safe construction of similar underground projects.

Keywords: underground continuous wall breaking; numerical simulation; support design optimization; finite element

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]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围护结构,大型车站基坑往往由主体结构和附属结构组成,主体结构为站厅层和站台层,附属结构为风亭组区和车站出入口。主体结构和附属结构一般分期完成施工,而主体结构先完成施工,再完成附属结构的施工。因此,主体结构与附属结构的连接处有一道共用的地连墙,需要切割地连墙实现主体结构和附属结构的联通。

目前,有关隧道内洞门切割的研究有很多,门洞切割的方法主要有跳仓法破除,顺序切除等方法。于振民^[2]对某地铁车站主体,附属结构之间的地连墙采用优化后的

跳仓破除方案,并通过稳定性分析验证了其可行性。何茂周^[3]阐述了在深圳地铁新旧车站接驳过程中,提出采取金刚石绳锯与金刚石水钻相结合的静力切割技术,证明了金刚石绳锯切割技术在地铁车站新旧车站接驳钢筋混凝土结构拆除施工中的可行性和优势。罗鹏^[4]针对基坑盖板下逆作车站地下连续墙托换破除技术进行了深入研究,提出了一种新的施工方法,并通过具体工程实例验证了其可行性和效果。孔锴^[5]提出的新型地下连续墙门洞整体开凿方法,在保证基坑安全的基础上,显著加快了洞门开凿速度并节约了成本。但目前对洞门切割进行数值模拟计算的研究较少。

本文基于泽民站施工背景研究了泽民站 B 号风亭洞门切割施工方案,利用 Abaqus 三维有限元数值模拟分析了宁波泽民站洞门切割的施工情况。

1 工程概况

泽民站北接天一家园西站，南抵丽园北路站。车站为地下三层 13m 岛式站台车站，车站起止里程为 CK14+866.500~CK15+025.500，车站总长 159m，地下一层为车站站厅层，地下二层为设备层，地下三层为车站站台层，底板埋深 29.21~30.81mm，覆土约 3.2m。本站两端盾构井均为接收井。泽民站设 2 个风亭、2 个出入口及一换乘通道。其中主体结构为车站主体，采用地下三层岛式车站，附属结构为 A 号出入口，2 号风亭及 B 号出入口，1 号风亭以及换乘通道，围护结构均采用 1000mm 厚地下连续墙围护结构。

2 数值模型建立

为研究洞门施工方案，本文利用 ABAQUS 有限元软件建立三维数值模型，如图 1 所示。

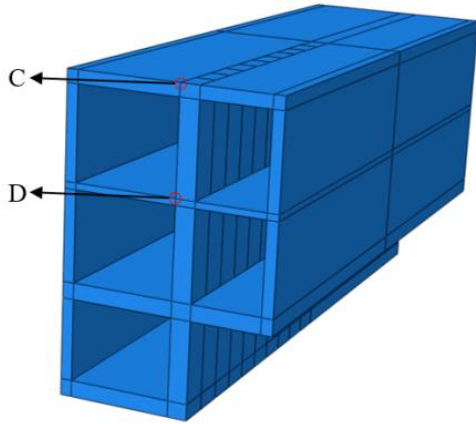


图 1 三维模型图

模型尺寸为 12.5m (X 方向)，13.46m (Y 方向)，40m (Z 方向)，其中模型左侧为泽民站主体结构，模型右侧为附属 B 号风亭，自上往下，顶层为 800mm 厚 B 号风亭顶板，第二层为 400mm 厚 B 号风亭中板，底部为 1000mm 厚 B 号风亭底板。模型设计需要切割长度为单层 20m，C 点和 D 点分别为顶板和中板模拟结果提取点。

支撑结构设置：支撑结构设置为工字钢，B 号风亭顶板设置为 I50C 工字钢，B 号风亭中板设置为 I40C 工字钢。支撑结构与顶板和中板之间设置绑定接触，模拟实际工程中的焊接效果。

模型边界条件设置：各个边界均为位移边界，顶部为自由平面，模型左右两侧设置为自由边界条件，模型前后设置法向约束，模型底部设置完全固定约束。为简化计算，将车站周围土体压力进行简化，在模型左右两侧设置压力，以模拟土体对主体结构和附属结构的压力作用，设置土体密度为 1.85 g/cm^3 ，土体压力可通过公式 (1) 获得。

$$Pa = \rho gh \quad (1)$$

模型左右两侧压力设置方式如图 2 所示。

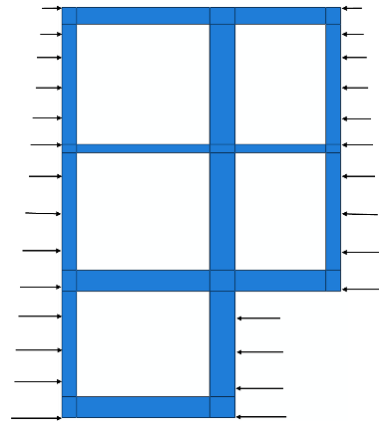


图 2 载荷设置方式

3 计算结果分析

3.1 顺切门洞工况下结构变形分析

本文模拟了洞门切割时的顺切门洞方案，采用自上而下的切割方式，单次切割距离为 2m，顶板和中板切割长度为 20m，即切割次数为 10 次，在单次地墙切割后，立即增加支撑结构，支撑结构按照 1 米间隔设置。未增加支撑结构的 Y 方向位移云图如图 3 所示，未增加支撑结构的 X 方向位移云图如图 3 所示。分别选取顶板和中板最外侧一点，并分别提取其竖向位移随开挖次数的变化情况，如图 5 和 6 所示。

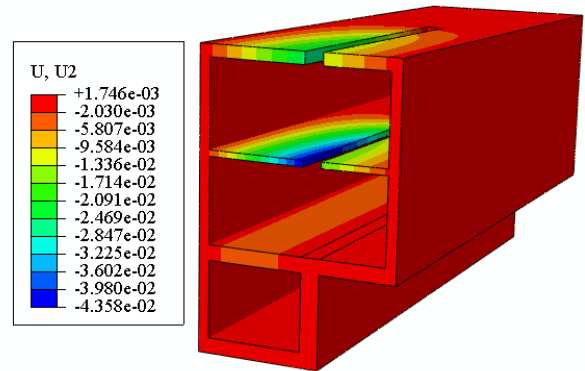


图 3 洞门切割后整体竖向位移

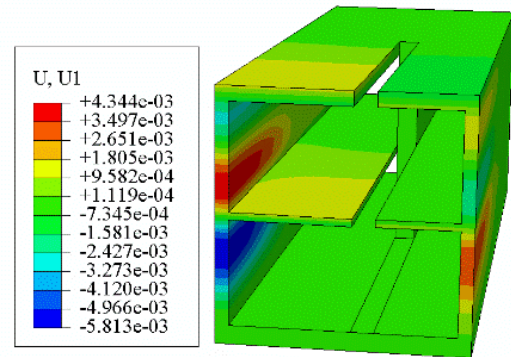


图 4 洞门切割后整体水平位移

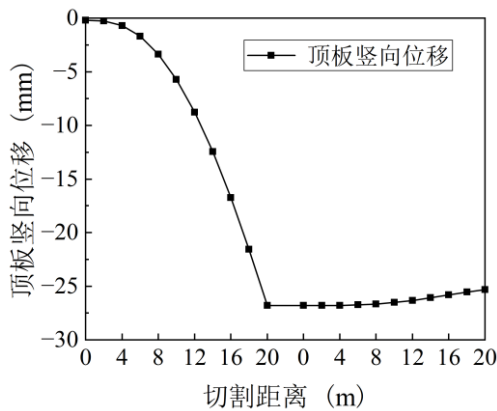


图5 顶板外侧竖向位移

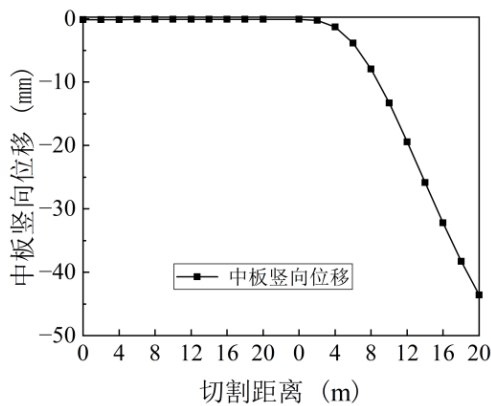


图6 中板外侧竖向位移

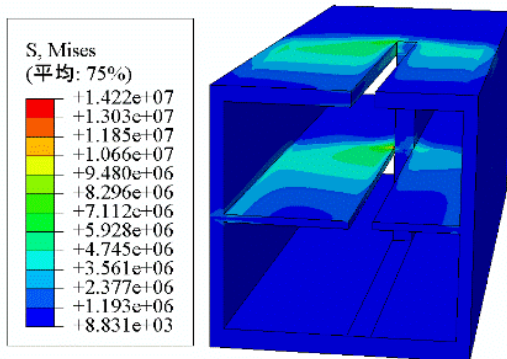


图7 结构应力云图

在整个顶板和中板切割过程中，整体竖向位移是随切割次数逐渐增大的。顶板的沉降主要发生在顶板与中板之间地墙切割过程中，沉降速率最大发生在切割的前6次，在顶层切割完毕后，产生了顶板最大竖向位移。在对中板与底板之间的地墙切割时，对顶板的竖向位移基本没有影响。中板的沉降主要发生在中板和底板之间地墙切割过程中，沉降速率最大发生在顶板与中板之间地墙切割第2次和6次之间。顶板与中板之间地墙切割对中板的竖向位移几乎没有影响。地墙在完全切割后，

整体结构的水平位移并不明显，主要发生在两侧墙处，如图4所示。洞门在完全切除后，应力集中在顶板与侧墙，中板与侧墙连接处，中板顶板与地墙连接处，如图7所示。

3.2 支撑结构对顶板沉降影响

为进一步探究切割地墙过程时，支撑结构对结构板的沉降影响，分别探讨了地墙切割后增加支撑结构和不增加支撑结构对主体结构顶板和附属结构顶板沉降的影响如图8和图9所示。

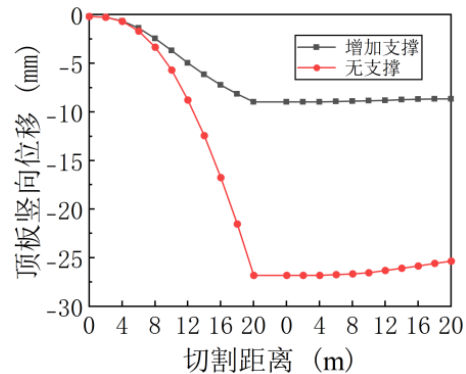


图8 支撑结构对主体结构顶板沉降影响

支撑结构未增加时，主体结构顶板最大竖向位移约为28mm，且沉降速率较大；支撑结构增加后，主体结构顶板最大竖向位移约为10mm，且沉降速率较缓。

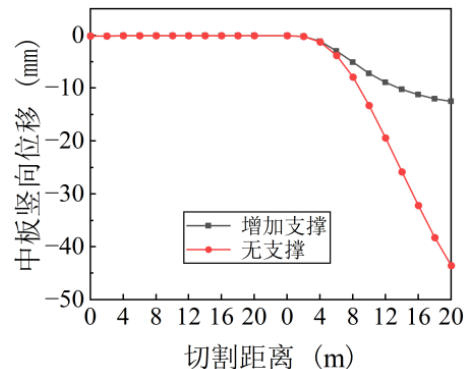


图9 支撑结构对主体结构中板沉降影响

支撑结构增加时，相对支撑结构未增加时最大沉降减少18mm，且沉降速率变缓。

支撑结构未增加时，主体结构中板最大竖向位移约为45mm，沉降速率较大；支撑结构增加时，主体结构中板最大竖向位移约为10mm，且沉降速率较缓。支撑结构增加时，相对支撑结构未增加时最大沉降减少35mm，且沉降速率变缓。

3.3 支撑结构间距优化

由之前进行数值模拟得出支撑结构对控制顶板结构，中板结构的竖向沉降，及减缓顶板结构，中板结构的竖向

沉降速率显著明显。本节基于此,控制顶板结构及中板结构的竖向位移不超过 9mm, 分别设置不同的支撑结构间距, 并分别提取顶板结构及中板结构最外侧竖向位移, 如图 10 和图 11 所示。

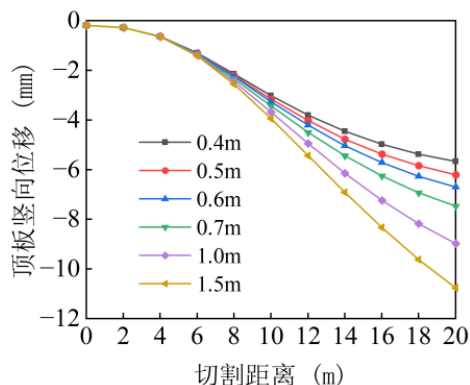


图 10 不同支撑结构间距对顶板竖向位移的影响

对于顶板结构, 支撑结构对其降低竖向位移显著明显, 由于顶板结构竖向位移较小, 在支撑结构为 1m 时, 便已达到目标要求。在已达到沉降要求时, 考虑施工成本, 可按照支撑结构为 1m 的情况进行施工。

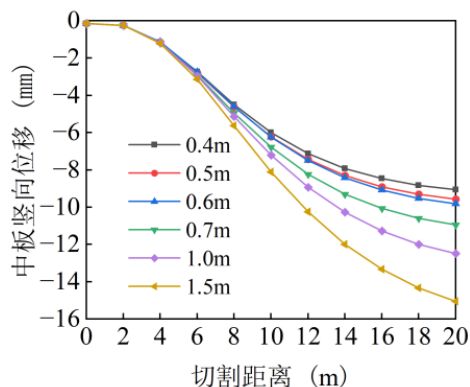


图 11 不同支撑结构间距对中板竖向位移的影响

对于中板结构, 其受力情况显著大于顶板结构, 竖向位移较大。按照支撑结构 1m 的情况, 无法满足最大竖向位移小于 9mm 的要求。在支撑结构为 0.4m 时, 达到了中板外侧最大位移为 9mm。在已达到沉降要求时, 考虑施工成本, 可按照支撑结构为 0.4m 的情况进行施工。

3.4 支撑结构安装方式

根据前文对支撑结构间距的研究情况, 本节分析了支撑结构的安装方式对顶板结构竖向位移的影响, 使用数值分析软件分别对洞门边拆边加支撑结构时, 洞门拆一段加支撑结构时, 顶板及中板结构的外侧竖向位移进行研究。

以拆 5m 再加支撑结构为例, 顶板和中板在不同支撑结构作用下外侧最大竖向位移如图 12 和图 13 所示。

模拟结果表明, 采取洞门边拆边加支撑结构的方式优

于洞门拆一段加支撑结构的方式。

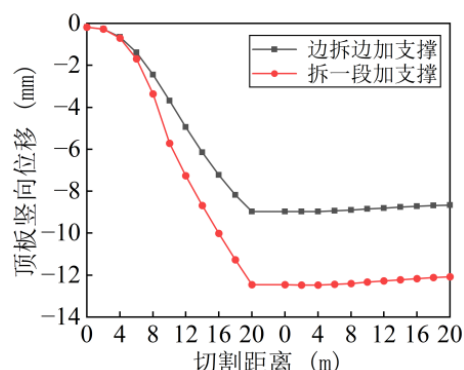


图 12 支撑结构安装方式对顶板竖向位移的影响

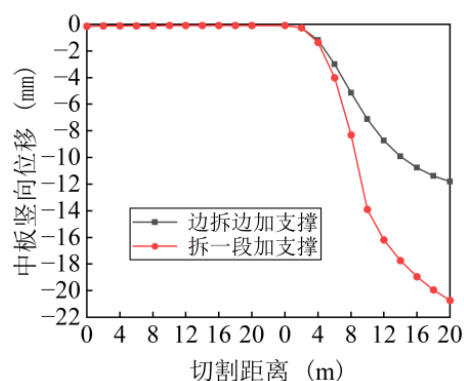


图 13 支撑结构安装方式对中板竖向位移的影响

4 结语

本文通过利用 Abaqus 有限元软件对泽民站主体结构和附属结构之间的地墙切割施工方案进行了深入研究。主要分析了洞门切割过程中的结构变形情况, 以及支撑结构对顶板和中板变形的影响, 并探讨了支撑结构间距和支撑结构安装方式对结构变形的影响。以下是本研究的主要结论:

(1) 结构变形分析

在洞门切割过程中, 整体竖向位移随切割次数逐渐增大。顶板的沉降主要发生在顶板与中板之间地墙切割过程中。中板的沉降主要发生在中板和底板之间地墙切割过程中, 顶板与中板之间地墙切割对中板的竖向位移几乎没有影响。沉降速率最大发生在切割的前 6 次。完成地墙切割之后的结构, 水平位移并不明显。洞门在完全切除后, 应力集中在顶板与侧墙连接处, 中板与侧墙连接处, 中板顶板与地墙连接处。

(2) 支撑结构对结构变形的影响

支撑结构的增加显著减小了顶板和中板的竖向位移, 并减缓了沉降速率。支撑结构对主体结构中板的沉降控制效果更为显著, 最大沉降减少量达 35mm。

(3) 支撑结构间距优化

对于顶板结构, 支撑结构间距为 1m 时, 已能满足控制竖向位移的要求, 并考虑施工成本, 建议按此间距进行

施工。对于中板结构,由于受力情况显著大于顶板结构,竖向位移较大,支撑结构间距需设置为 0.4m,以满足最大竖向位移小于 9mm 的要求。

(4) 支撑结构安装方式

模拟结果表明,采取洞门边拆边加支撑结构的方式优于洞门拆一段加支撑结构的方式。实际施工时,应在拆除洞门后立即增加支撑结构。

[参考文献]

- [1]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.
[2]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.

[3]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.

[4]罗鹏,刘映晶,卢敬科,等.基坑盖板下逆作车站地下连续墙托换破除技术[J].岩土工程技术,2024,38(3):330-336.

[5]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.

作者简介:李森(1989.2—),性别:男,民族:汉,籍贯:辽宁省沈阳市,学历大学本科,研究方向:地下工程。