

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.05.055

破除车站换乘节点预留墙体结构的变形及内力分析

张文正

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要: 随着轨道交通的发展,线网密度将会越来越大,导致换乘车站越来越多。新建换乘车站与既有车站衔接成为一个重要的设计内容,施工破除既有运营车站墙体成为一个重要关键的技术,一方面要保证既有线路运营安全,另一方面要保证既有地铁结构的受力在正常范围之内。以新建某地换乘车站为例,运用 ANSYS 有限元分析软件模拟凿除换乘节点侧墙的施工,求得既有结构的变形和内力变化,从设计和施工方面提出相应的技术措施。

关键词: 地铁车站;换乘节点;破除施工;有限元分析;沉降变形;内力分析

中图分类号: U231+.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)05-0234-05

0 引言

截止 2022 年 12 月,国内开通运营城市轨道交通的城市已达 55 座,运营线路总数达到 294 条,运营总里程达 10 291.95 km。随着经济的进一步发展,城市轨道交通未来将仍有巨大发展空间,线路网络会进一步加密,换乘车站会越来越多。早期规划轨道交通线网时,未认识到经济发展如此之快,城镇化建设如此之迅速,导致很多已运营线路的车站未预留换乘条件。因此要保证运营线路的正常使用,就必须分析既有线改造时结构的承载力,采取工程措施保证既有结构的安全,同时加强施工中的监测。

我国多位学者、教授和工程建设者对车站破除墙体设计以及施工技术进行了相关的研究。杨永生以北京市亦庄线宋家庄车站为背景,从施工技术和监测方面阐述了大跨度既有线墙体破除的施工工艺和监测技术^[1];秦李林、郭连东以北京市 2、4、13 号线换乘车站西直门站为背景,从施工工艺和数值模拟两个方面研究了墙体破除的内力分析^[2];张长泰运用 MIDIS Civil 有限元分析软件分析了换乘车站凿除既有结构的内力变化^[3];陈进山、李海龙从设计和施工方面阐述了换乘车站凿除既有结构的关键技术和施工工序,并运用 FLAC3D 有限元分析软件模拟了凿除施工对既有运营线路的影响,通过监控量测结果验证了设计方案和有限元计算结果的

正确性^[4]。

国内学者和科研工作者从设计、施工、数值分析等多方面研究了凿除施工对既有结构的影响,但在内力变化方面的影响分析则较少。因此,本文结合新建某地换乘车站破除施工的工程实例,分析凿除施工引起既有结构的变形和内力变化规律,判断既有运营线路的安全性,评估设计和施工方案的正确性,为今后换乘车站破除施工提供参考和借鉴。

1 工程概况

新建北京地铁 7 号线菜市口站属于宣武区,位于广内大街与菜市口大街交叉口,车站为东西方向布置,与既有地铁 4 号线呈十字换乘。新建 7 号线菜市口站主体为三跨双层矩形框架结构,明挖法施工,车站总长 255 m。7 号线菜市口站从 4 号线上方穿过,4 号线施工时已预留好换乘节点,换乘节点为柱网布置。7 号线菜市口站总平面图如图 1 所示。

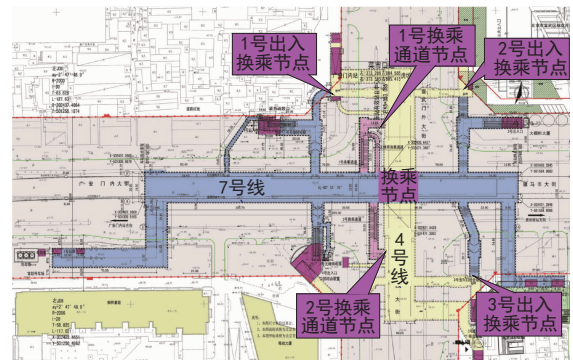


图 1 北京 7 号线菜市口站总平面图

既有 4 号线与新建 7 号线主体结构换乘节点处需要凿除既有结构侧墙,实现两站换乘。破除尺寸为:1

收稿日期: 2023-06-11

作者简介: 张文正(1988—),男,硕士,高级工程师,从事城市轨道交通设计工作。

处墙体 5 400 mm × 4 500 mm,III 处墙体 6 400 mm × 4 500 mm;II 处墙体 5 400 mm × 6 500 mm,IV 处墙体 6 400 mm × 6 500 mm。凿除的墙体四周由暗柱和暗梁组成。换乘节点处的横剖面关系如图 2 所示。

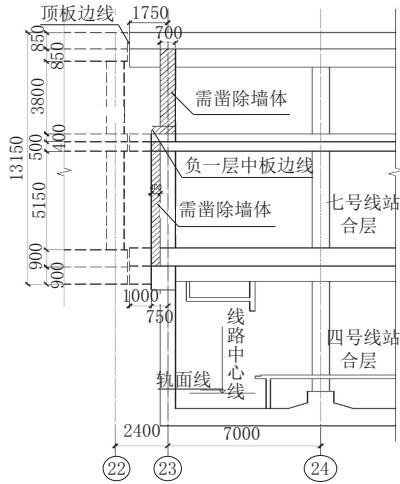


图 2 换乘节点处的横剖面图(单位:mm)

2 破除方案

北京地铁 4 号线实施时,已经为 7 号线菜市口站预留了换乘节点,换乘节点两侧采用了封堵墙。现阶段实施 7 号线菜市口站时,虽然 4 号线预留换乘节点,换乘节点为柱网布置,但 4 号线已经投入运营,凿除墙体施工会对既有地铁结构墙体四周的暗梁和暗柱产生一定影响,影响了地铁的正常运营和乘客安全性^[5-6]。破除 4 号线侧墙时,拟采用液压金刚石绳锯切割,切割分块尺寸为 375 mm × 390 mm,每块混凝土重约 150 kg,切割小块采用液压钳破碎。破除墙体的施工顺序如图 3 所示,不得破坏预留的暗梁和暗柱,同时严格控制地下水位的变化。

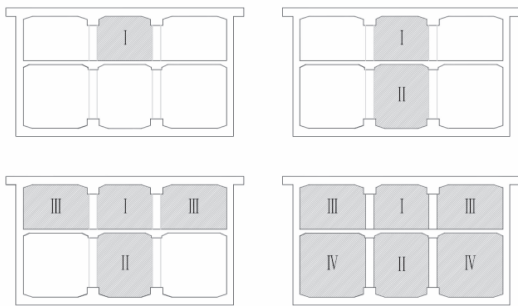


图 3 凿除换乘节点的工序图

3 数值计算模型

本次模型采用 ANSYS 有限元分析软件计算,地层模型采用大变形理论。其中,周围土体采用实体单元,土层采用相应的参数,除模型顶面为自由边界外,其他面均采用法向约束或全约束^[7-8]。模型中凿除

的墙体四周为暗柱和暗梁。

3.1 模型参数的选取

根据《岩土工程勘察报告》,车站所在各土层的物理力学性质指标如表 1 所示。

表 1 土层物理力学性质指标表

土层编号	土层名称	天然密度 / (g·cm ⁻³)	弹性模量 / MPa	泊松比
①	粉土填土	1.65	189.3	0.30
① ₁	房渣土	1.60	156.1	0.32
③ ₁	粉质黏土	1.97	220.0	0.31
④ ₃	粉细砂	2.01	350.0	0.26
⑤	圆砾	2.1	612.9	0.21
⑤ ₂	粉细砂	2.01	367.8	0.26
⑥ ₂	粉土	2.02	407.5	0.30
⑦	卵石	2.15	996.8	0.21
⑦ ₂	粉细砂	2.03	400.5	0.25
⑧ ₂	粉土	2.01	440.0	0.30
⑨	卵石	2.17	1 117.7	0.2
⑨ ₂	粉细砂	2.05	480.0	0.25

既有 4 号线菜市口站主体结构顶板、中板、底板、侧墙、暗梁和暗柱的混凝土强度等级为 C35,车站中柱的混凝土强度等级为 C45。既有 4 号线结构的物理力学性能指标如表 2 所示。

表 2 既有 4 号线主体结构参数

结构类型	天然密度 / (g·cm ⁻³)	弹性模量 / MPa	泊松比
顶板、中板、底板、侧墙	2.50	31 500	0.2
中柱	2.50	33 500	0.2

3.2 计算模型的范围

本次计算模型取长 200 m、宽 140 m、地表 60 m 厚的土体作为考察范围。计算模型共划分了 51 380 个单元,58 137 个节点,见图 4、图 5。

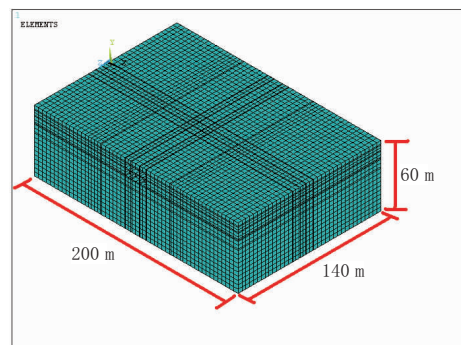


图 4 计算模型尺寸(单位:m)

3.3 施工模拟工序

本次计算模型模拟的是凿除既有地铁 4 号线菜市口站与 7 号线菜市口站接口处墙体的施工过程,施工模拟工序分为八步,详见表 3 与图 6。

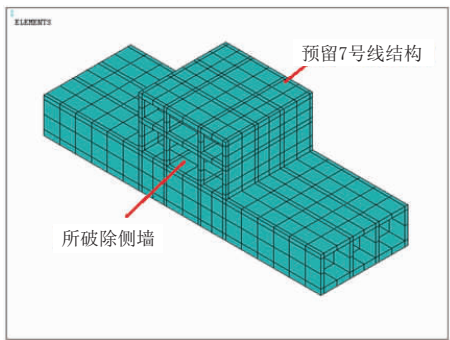


图5 菜市口站换乘节点示意图

表3 凿除换乘节点处菜市口站侧墙施工模拟工序

工序	说明	工序	说明
一	凿除 I 号墙体	五	凿除另一侧 I 号墙体
二	凿除 II 号墙体	六	凿除另一侧 II 号墙体
三	凿除 III 号墙体	七	凿除另一侧 III 号墙体
四	凿除 IV 号墙体	八	凿除另一侧 IV 号墙体

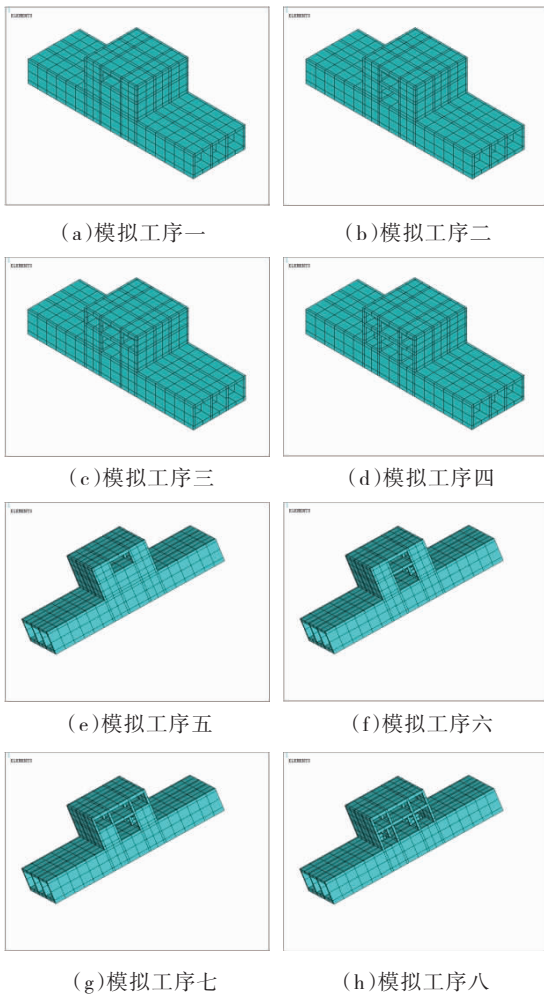


图6 施工工序图

4 有限元计算结果及分析

4.1 变形预测

依据上述模型的计算结果,凿除墙体后,地铁4号线菜市口站主体结构的最大竖向变形值为

1.152 mm,发生在第八步工序,上浮变形,变形部位在车站地下三层顶部;最大横向变形值为 0.290 mm,发生在第四步工序,变形方向为向车站内侧偏移,变形部位在车站地下三层侧墙,最大竖向变形云图见图7,最大横向变形云图见图8。本次模拟计算说明墙体凿除对预留的暗梁和暗柱的影响小。

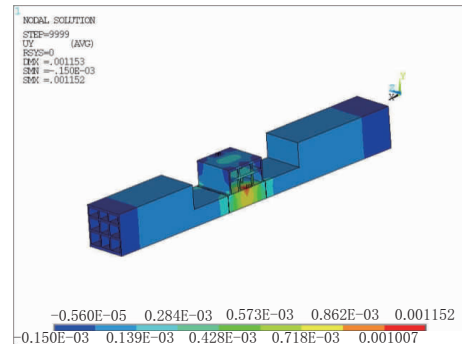


图7 最大竖向变形云图

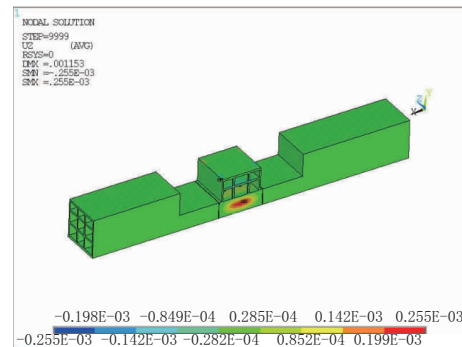


图8 最大横向变形云图

4.2 应力分析

凿除换乘节点处主体结构前,4号线的初始应力如表4及图9所示。

表4 既有4号线结构的最大初始应力值 单位:MPa

方向	初始压应力值	初始拉应力值
X 方向	2.500	1.330
Y 方向	6.440	0.493
Z 方向	2.140	1.330
XY 方向	0.895	0.893
YZ 方向	0.595	0.600
XZ 方向	0.483	0.482

根据有限元分析计算结果,最大初始拉应力值为 1.33 MPa(X 和 Z 方向),小于混凝土的极限抗拉承载力 1.98 MPa。墙体凿除施工完成后,既有4号线主体结构的应力值见表5,应力云图如图10所示。

施工完成后应力变化值与初始应力值的比较见表6。

根据《北京市地铁运营有限公司企业标准/技术标准-工务维修规则》(QB(J)/BDY(A)XL003—

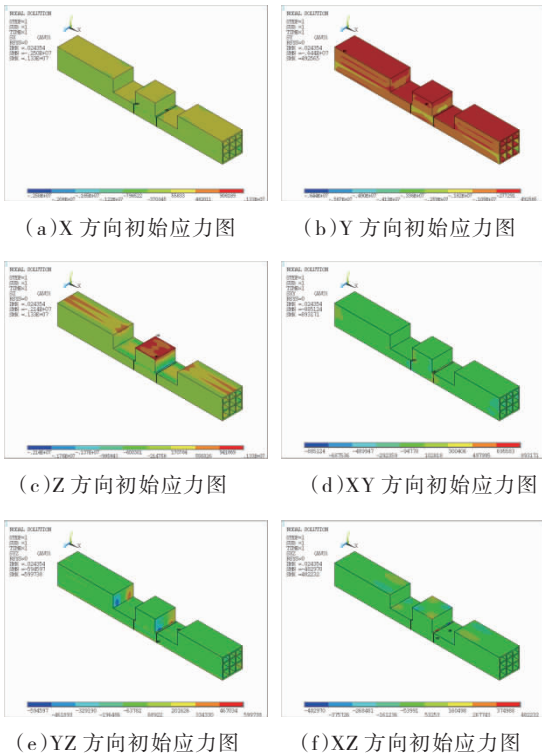


图9 初始应力图

表5 施工完成后4号线的最大应力变化值 单位:Pa

方向	最大压应力变化值	最大拉应力变化值
X方向	28 007	13 700
Y方向	60 094	24 482
Z方向	22 990	10 285
XY方向	7 069	7 011
YZ方向	8 162	8 142
XZ方向	3 598	3 631

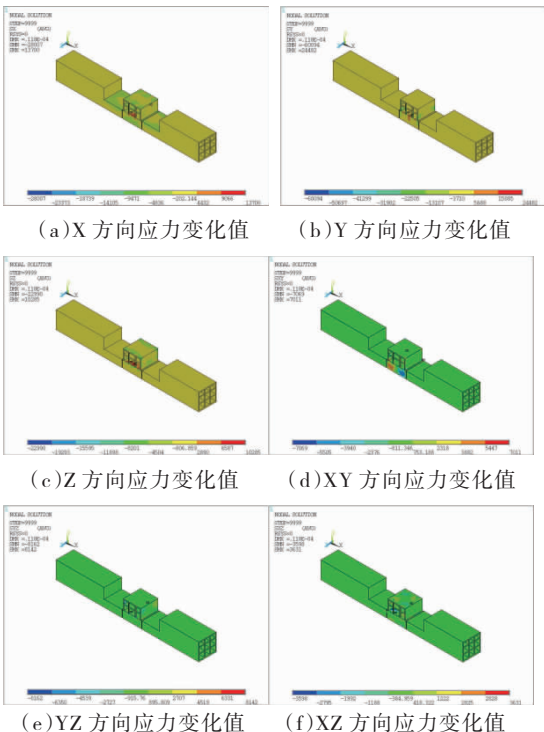


图10 施工后4号线结构的应力图

表6 施工完成后应力变化值与初始应力值的比较 单位:MPa

方向	初始拉应力值	最大拉应力变化值	百分比 / %	初始压应力值	最大压应力变化值	百分比 / %
X	1.330	0.013 7	1.03	2.500	0.028 0	1.12
Y	0.493	0.024 5	4.97	6.440	0.060 1	0.93
Z	1.330	0.010 3	0.77	2.140	0.023 0	1.07
XY	0.893	0.007 0	0.78	0.895	0.007 1	0.79
YZ	0.600	0.008 1	1.35	0.595	0.008 2	1.38
XZ	0.482	0.003 6	0.75	0.483	0.003 6	0.75

2009)、北京市地铁运营公司的有关规定以及《新建北京地铁7号线菜市口站工程安全性影响评估报告》的评估意见,凿除4号线既有菜市口站的侧墙结构,允许车站既有主体结构变形的控制标准为竖向变形值为3 mm,横向变形值为3 mm;最大应力变化率小于10%。因此,破除既有结构时,既要保证既有结构的变形,也要保证受力安全^[9]。

根据上述计算结果可知,凿除既有墙体时,既有结构的竖向变形为1.152 mm,横向变形为0.290 mm。此外,由于凿除墙体四周为暗梁和暗柱,凿除既有墙体施工虽然对既有结构的受力产生一定的影响,但影响不大。根据计算结果可知,既有结构在竖向(Y方向)的拉应力变化幅度最大,占初始应力的4.97%;其他方向的拉、压应力变化幅度整体小于5%。因此,既有4号线车站主体结构的变形和受力满足工务维修规则和地铁公司的要求,既有结构是安全的。

5 施工重难点及应对措施

凿除4号线既有主体结构时要先进行临时支撑措施,确保结构的整体稳定性和安全性。凿除墙体时,一方面要严格按照“先加固、后开槽”的原则进行设计和施工,同时关键部位需对原结构进行加固;另一方面,凿除既有4号线菜市口站预留结构侧墙时,需要加强破除洞口的收敛监测,保证施工在可控范围之内。

凿除4号线既有侧墙时,要建立严密的结构受力、变形、沉降的监控量测体系,对施工过程进行全面的监控量测,根据反馈的信息指导施工过程。若发生既有结构沉降出现预警值(70%)时应采取下列措施。

- (1)立即停止开挖施工,封闭所有施工掌子面,加强结构监控量测工作。
- (2)组织预警专题会议,各方均现场探讨,重新

制定或调整施工组织设计,进行施工交底。

(3)组织专家讨论沉降超限的原因和采取相应的措施,严格落实各项措施。

(4)既有结构的沉降速率未得到有效控制前,不得复工进行施工。

6 监控量测建议

凿除4号线既有结构的施工过程中,采用自动化和人工监测相结合的方法,主要的监测对象为4号线主体结构变形和应力变化。根据上述有限元分析结果,监测指标如表7所示。

表7 监控量测指标

监测对象	预警值(70%)	报警值(80%)	控制值	
主体结构	横向变形/mm	2.1	2.4	3
	竖向变形/mm	2.1	2.4	3
主体结构	应力变化率/%	≤10		

7 结论与体会

本文采用ANSYS有限元分析软件模拟换乘节点预留暗梁和暗柱情况下,破除既有车站侧墙的施工过程对既有结构的变形和内力影响较小,不影响

既有车站的运营安全。今后类似工程凿除墙体前,需在凿除的墙体四周预留好暗梁和暗柱,同时最好凿除墙体的应急预案,确保施工的安全性,为后续破除墙体的设计和施工提供参考和借鉴。

参考文献:

- [1] 杨永生.大跨度既有有线墙体破除施工控制[J].市政技术,2010,28(11):108-109.
- [2] 秦李林,郭连东.地铁车站既有结构破除施工技术研究[J].城市建设理论研究,2015,41(21):85-86.
- [3] 张长泰.换乘站施工破除既有车站结构的力学分析[J].市政技术,2014,32(1):90-92.
- [4] 陈进山,李海龙.新建结构与运营地铁车站接驳关键技术[J].隧道建设,2011,31(5):598-604.
- [5] 黄平生,高志宏,杨开武,等.分期实施地铁车站破墙接驳技术的工程实践[J].市政技术,2010,28(11):91-95,132.
- [6] 刘鑫,杨开武,彭华,等.破口施工对既有地铁车站结构安全性影响的数值模拟分析[J].市政技术,2010,28(11):88-90,114.
- [7] 周清福.既有隧道破除改造沉降变形的施工风险控制研究[J].隧道建设,2012,32(12):117-122.
- [8] 宋博.新建地铁换乘车站对已建车站影响研究[J].地下工程与隧道,2001,(1):33-35.
- [9] QB(J)/BDY(A)XL003—2009,北京市地铁运营有限公司企业标准/技术标准/工务维修规则[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com