

# 城市基础设施改造对邻近地铁隧道结构变形影响的案例研究

范锦峰

锡澄中车（无锡）城市轨道交通工程有限公司 江苏 无锡 214175

**摘要：**本文中，针对城市建筑设施改造对邻近地铁隧道结构变形影响的问题，以江阴海关业务技术用房及附属用房维修改造项目为研究对象，通过标准调研、有限元数值模拟、工程类比等研究方法，探究了工程施工对无锡至江阴城际轨道交通工程江阴外滩站-中山公园站区间隧道结构变形的影响，并给出了相应的工程建议。研究结果对类似的工程具有一定的借鉴意义。

**关键词：**地铁隧道；安全保护；结构影响

## 引言

近年来，中国城市地铁建设取得了快速发展。然而随着城市化进程，越来越多的地上基础设施施工、改造，不可避免地将破坏地中中原有平衡的应力和位移场，进而对邻近的埋置其中的既有地铁隧道产生不良影响。目前，地铁隧道多采用盾构法施工，隧道结构由预制管片通过螺栓组合拼装而成，具有接缝多、完整性弱、整体刚度低等特点。工程上，已有不少基础设施施工导致临近地铁隧道产生过量位移、变形、管片破损乃至工程事故的案例<sup>[1-3]</sup>。

为确保地铁隧道运营安全，相关规范对外界施工引起的隧道变形提出了严格的控制要求。如：《上海市地铁沿线建筑施工保护地铁技术管理暂行规定》<sup>[4]</sup>指出，各种加、卸载施工活动引起的地铁结构设施绝对沉降量及水平位移量不能超过20mm。《城市轨道交通结构安全保护技术规范》（CJJ/T 202—2013）<sup>[5]</sup>分别给出了隧道水平位移和竖向位移10 mm的预警值和20mm的控制值。《城市轨道交通工程监测技术规范》（GB 50911—013）<sup>[6]</sup>则要求隧道结构沉降控制在3~10 mm、隧道结构上浮控制在5mm、隧道结构水平位移控制在3~5mm。上述严格的隧道变形控制标准对合理预测、评估隧道变形以及采取控制措施提出了更高要求。

本文中，针对江阴海关房屋维修改造项目（以下简称“海关大楼项目”），研究了地上施工对临近区域隧道结构的变形的影响，给出了相应的工程建议指导施工，以期为类似工程提供一定的借鉴和参考。

## 1 工程概况

### 1.1 江阴海关房屋维修改造项目概况

海关大楼项目位于江阴市鲇鱼港路和公园路交叉口

北侧，总建筑面积约7750m<sup>2</sup>。无锡至江阴城际轨道交通工程（在建）江阴外滩站~中山公园站区间（以下简称“江中区间”）沿鲇鱼港路方向下穿江阴海关地块，地块内现有多栋建构筑物。其相对位置如图1所示。根据建设单位的工程筹划，需对部分建构筑物进行改造，涉及轨道交通特别保护区内施工作业且部分改造在轨道交通结构施工完成后进行。

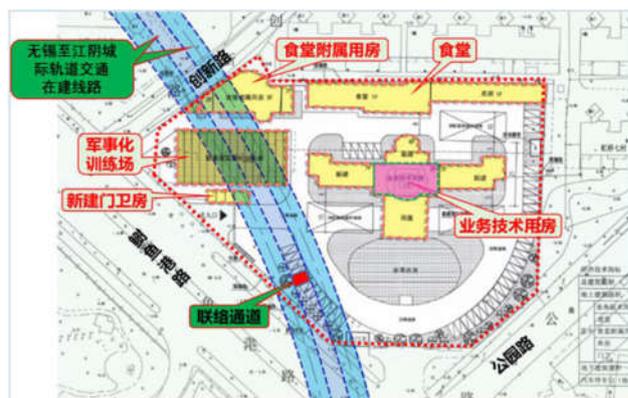


图1 江阴海关房屋维修改造项目与江中区间相对位置关系图

本项目改造内容分为两大块：1）结构工程：①业务技术用房（8~15F），原主体核心区钟楼7层以上拆除新建至15层，并进行基础加固；附属部分（7~8F）拆除及新建；②宿舍楼（5F）拆除改造为军事化训练场；③门卫房（1F）拆除，移位新建以及地面车位的改造；④门廊改造；2）装修工程：①食堂附属用房（3F）装修改造；②食堂（1F）装修改造。

### 1.2 江中区间地铁隧道工程概况

江中区间为地下盾构隧道，影响范围内的隧道轨面标高在-22.949m~-23.538m，场地标高约为

4.41m~4.97m, 隧道顶部埋深约为21.61m~22.67m, 标高约为17.24m~17.79m。隧道主要位于⑥1黏土、⑥3粉质黏土、⑥4黏土、⑦1粉质黏土层。隧道外径6.7m, 管片厚度0.35m, C50混凝土, 盾构管片环向共为6块, 每环纵向宽度为1.2m, 环向分块及纵向之间均通过高强螺栓连接, 整体刚度相对有限。

江中区间右线于2021年10月31~11月1日下穿通过该地块, 江中区间左线于2021年12月30~2022年1月3日下穿通过该地块, 隧道内于2022年12月底完成长轨铺设。海关大楼项目计划2022年3月1日开工, 工期约1年。业务技术用房的改造项目将在盾构掘进至该地块后进行, 故本次评估按本项目后行施工考虑, 需考虑项目实施对已完工轨道交通工程区间隧道的不利影响。

## 2 地铁隧道结构变形分析及控制建议

### 2.1 业务技术用房改造影响的有限元分析及控制建议

以海关大楼与轨道交通工程区间隧道的相互施工工序为基础, 通过对海关大楼业务技术用房拆复建施工过程中可能发生的不利工况进行梳理。最终选取了预估荷载变化量超过20kPa的, 对区间隧道建设的最不利的5个工况做详细数值分析。具体为业务技术用房附属结构拆除、核心区钟楼7层以上部分拆除、西侧基坑开挖至基底、业务技术用房复建至7层以及业务技术用房核心区封顶5个工况。使用MIDAS GTS NX软件进行了建模和有限元分析, 盾构管片结构采用板单元, 梁、柱采用1D梁单元, 桩基采用植入式1D梁单元, 土体采用实体单元。地面超载取20kPa, 建筑物荷载按实际考虑。土体本构模型选用修正的莫尔-库伦 (Modified Mohr-Coulomb) 模型, 具体的参数赋值参考工程勘察结果, 具体如表1所示。建立的数值模型如图2所示。

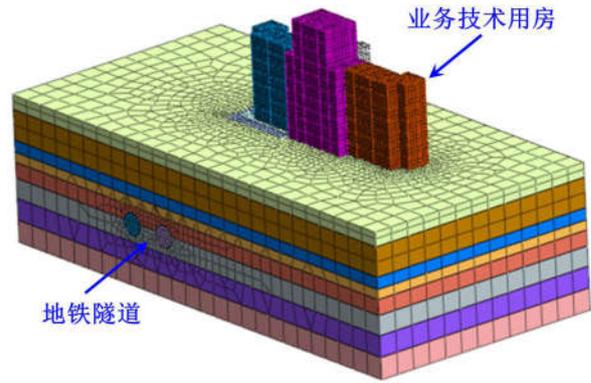


图2 建立的数值模型

计算项目主要为各工况下隧道结构的水平位移、竖向位移以及总位移。计算结果列于表2。图3以总位移云图为例对隧道结构的位移分布进行了展示。海关大楼业务技术用房核心区钟楼和附属部分拆除及新建过程引起隧道结构最大水平位移为1.85mm, 最大竖向位移为2.41mm, 最大总位移为2.97mm。业务技术用房核心区钟楼和附属部分拆除及基坑开挖阶段, 区间隧道竖向位移主要表现为隆起, 随着卸载量的增加, 隆起值增大; 结构回筑阶段, 隆起值随荷载增加逐步回落。因荷载变化区域主要位于区间隧道东侧, 故东侧隧道水平变形更为明显, 拆除施工卸载阶段, 区间隧道向东侧水平变形, 回筑施工加载阶段隧道水平变形量逐步回落。区间隧道变形量随区间与建构筑物的相对距离的增加而减小, 距离越近, 影响越明显, 反之, 影响减小。变形数值均在变形控制范围内, 整体可控。依据《城市轨道交通结构安全保护技术规范》(CJJ/T 202—2013), 并参照上海、广州、深圳等城市的轨道交通工程保护技术标准, 本工程的施工可满足轨道交通工程保护 (建设期/运营期) 控制标准。

表2 数值计算结果

序号	计算工况	计算项目 (区间隧道 mm)			
		X向水平位移	Y向水平位移	竖向位移	总位移
1	业务技术用房附属结构拆除	1.05	0.27	1.29	1.63
2	核心区钟楼7层以上部分拆除	1.60	0.38	1.90	2.44
3	西侧基坑开挖至基底	1.85	0.46	2.41	2.97
4	业务技术用房复建至7层	0.75	0.19	1.07	1.27
5	业务技术用房核心区封顶	0.26	0.09	0.53	0.57

建议施工过程中应严格限定施工工序, 逐层拆除。拆除产生的建筑垃圾应及时清运, 禁止在轨道交通工程特别保护区内堆放。施工过程中应适当控制施工速度, 严格控制单日荷载变化量不大于20kPa (含拆除卸载及回筑加载等)。另外业务技术用房的拆除应选用合理可行的方案, 不得采用爆破、大功率锤击等工法, 避免振动

对区间隧道结构产生不利影响。

### 2.2 景观及配套工程的影响

本工程中景观及配套工程主要包括军事化训练场新建、门卫拆除移位新建、地面车位改造、门廊拆复建、食堂及食堂附属用房的装修改造。其荷载变化量均低于15kPa, 满足轨道交通工程江中区间的设计超载及地铁

保护相关规范中对特别保护区内荷载的限制要求,根据无锡长江路改造工程案例及其他类似项目的相关工程经验,其景观及配套工程的施工对江中区间隧道的影响在可控范围内。

### 2.3 锚杆桩施工的影响及控制建议

本项目中业务技术用房核心区钟楼保留,7层以上部分拆除新建,需对该区域基础进行加固后方可使用,受一层结构层高及结构形式限制,该区域基础加固无法使用钻孔灌注桩,故采用锚杆桩进行内部加固。锚杆桩采用200×200mm桩径,桩长18m,桩间距为0.8m×0.8m,桩基数量为218根静压法施工。根据工程经验,静压桩施工可能产生挤土效应<sup>[7]</sup>和超孔压效应<sup>[8]</sup>共同作用。土层受到强烈扰动,土体结构受到挤压破坏,并产生很高的超孔隙水压力,从而使得土体有效应力减少,抗剪强度降低,发生较大的水平及竖向变位,从而对周边地下构筑物造成不利影响。

本项目锚固桩沉桩范围内的土质中③1层为粘性土,微透水层,渗透系数较小(5.14E-08~1.31E-07),总厚度约5m,对挤土效应不利。但①1、②2、③2、④1、④2层为弱透水层或中等透水层,渗透系数均较大(7.43E-05~1.52E-04),利于超孔隙水压力的消散。区间隧道上部④1、④2层中等透水层厚度共约7.2m,对防止挤土效应有利。通过工程类比,本工程加固桩与区间隧道结构距离最近为24.4m,接近1.5倍桩长,相对较远;且桩径较小,单桩面积仅为0.04m<sup>2</sup>。通过控制沉桩工序及沉桩速度可将其不利影响控制在允许范围内。

为进一步控制锚杆桩施工的影响,提出建议如下:

1) 优先施工西侧钻孔灌注桩,待钻孔灌注桩施工完成且达到设计强度后再施工核心区锚杆桩;2) 沉桩方向自西向东,间隔跳打施工;3) 施工前应进行试桩,试桩应在

监测的指导下进行,确保区间隧道结构的安全4) 建议在区间隧道结构的特别保护区附近设置深层土体位移监测点,监测点水平间距不宜大于10m,同步观测临近区间隧道特别保护区范围的深层土体位移;5) 必要时在特别保护区范围外相应位置打设应力释放孔,建议孔径不小于150mm,双排梅花型布置,排距0.8m,孔间距1.0m,应力释放孔至少应穿透③1、③2层。6) 在压桩前在设计桩位进行引孔,减小桩基挤土的体积,引孔直径不宜大于桩径的2/3,深度不大于桩长的2/3。

### 3 结论

(1) 对海关大楼业务技术用房拆复建施工过程中5个最不利的典型工况开展数值分析,结果表明施工引起区间隧道结构最大水平位移为1.85mm,最大竖向位移为2.41mm,最大总位移为2.97mm。变形数值均在变形控制范围内,整体可控。

(2) 由于景观及配套工程荷载变化量均低于15kPa,对江中区间隧道的影响在可控范围内。静压桩施工可能产生挤土效应和超孔压效应的共同作用,使地下土体发生较大的水平及竖向变位,从而对周边地下构筑物造成不利影响。为进一步控制锚杆桩施工的影响,提出了优化施工工序、加强监测以及打设应力释放孔的相关的具体建议。

### 参考文献

- [1] 刘庭金,夏文字.桩锚深基坑诱发地铁盾构隧道病害的成因分析[J].铁道工程学报,2016,33(1):109-115.
- [2] 郇亮.某软土地区盾构隧道抢险监护研究[J].施工技术,2018,47(23):98-101.
- [3] 刘波,范雪辉,王园园,等.基坑开挖对临近既有地铁隧道的影响研究进展[J].岩土工程学报,2021,43(S2):253-258.