

# 无锡地铁5号线解放南路站建设风险及对策

高峰

华昕设计集团有限公司

**摘要：**城市轨道交通项目工程建设复杂、影响范围广，随着城市建设迅速发展，城市建筑密集区内如何安全建设轨道交通项目便成了重中之重。本文以无锡地铁5号线解放南路站建设工程为依托，对该站建设过程中存在的风险进行探究，提出相关应对措施，为相关工程提供参考。

**关键词：**地铁建设；建设风险；基坑工程；风险应对措施

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.16.054

## 一、引言

解放南路站位于无锡著名景点南禅寺旁，周边为客流量众多的商业区，同时也是重要的交通枢纽。在该地区建设地铁站存在一系列的潜在风险因素，包括基坑开挖引起的变形、施工对已有地下设施的干扰、基坑开挖对周边环境的影响等。

在解放南路地铁站建设项目中，深入了解和分析

这些潜在的建设风险，并制定相应的对策和措施至关重要。通过科学的风险评估和有效的风险管理，可以最大限度地降低风险，并确保地铁站的安全、稳定和可持续发展。同时为此类项目建设风险的研究将有助于提供宝贵的经验教训，为类似地铁站建设项目提供参考。

## 二、项目概况

### （一）项目概述

无锡地铁5号线是完善老城核心与蠡湖新城、与新吴区之间直接联系的骨架线路，促进老城区向绿色交通方向转变。解放南路站是5号线与1号线的换乘站，位于解放南路与中山路、南长街交叉口处。车站型式为地下四层岛式车站，车站外包总长169米，标准段外包总宽23.7m、深约34.1m，端头井段宽约31.4m，深约36.2m，主体明挖段顺做施工，局部设置临时铺盖板，暗挖段采用顶管法施工。车站设多个出入口等附属结构，基坑深度从19.17m至10.6m不等。

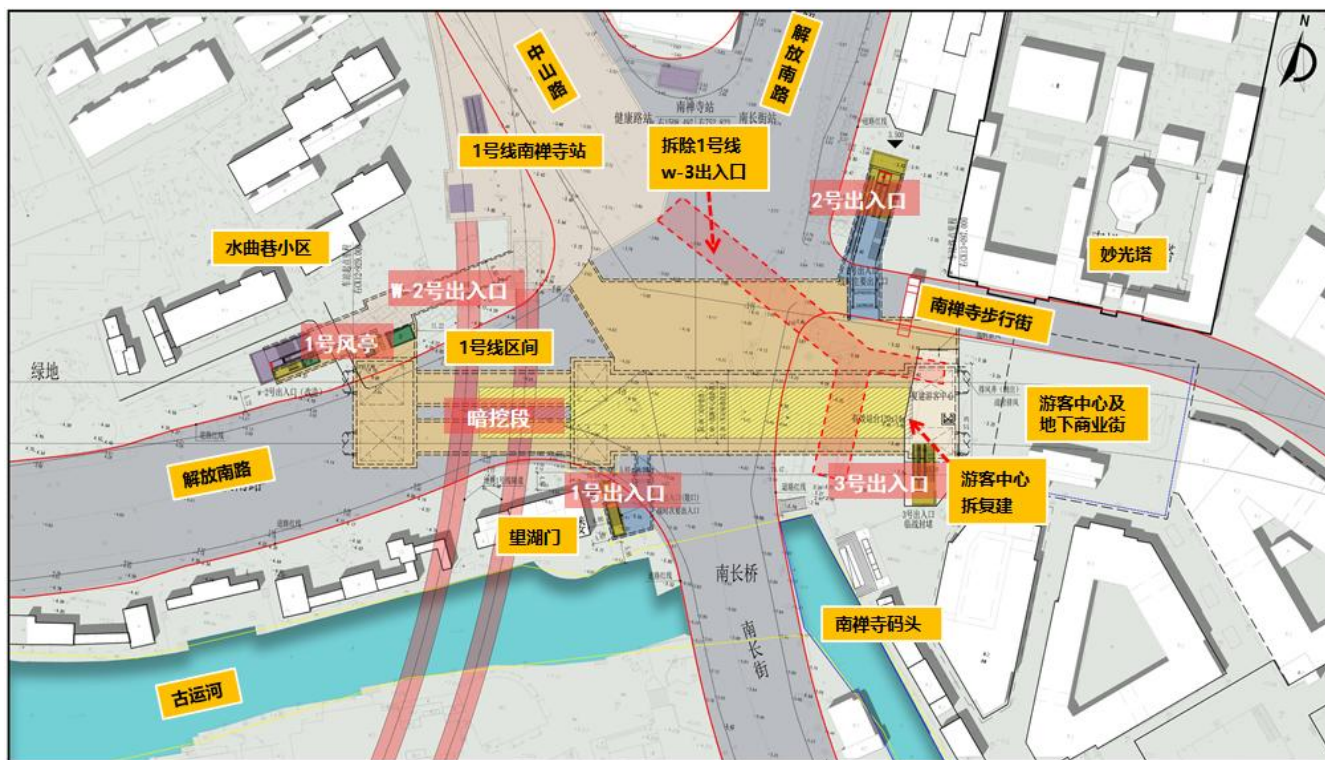


图2-1 解放南路站总平面

### （二）地质条件

无锡地区第四纪地层广泛分布，主要下部以杂色黏土夹含砾砂层为主，为地区性水动力条件下的河湖相近源沉积，其沉积时代相当于更新世早期；中部由黄色黏性土和较厚的灰色砂层组成，反映河流“二元结构”特征，上部为中灰色夹灰黄色黏土、粉质黏土、粉细砂发

育，为海陆交互沉积，其沉积时代相当于更新世晚期及全新世。表2-1列出了解放南路站50m以浅地层的力学指标和渗透指标。

从表中可知⑦<sub>1-1</sub>层粉质黏土处于软塑状态、⑦<sub>4</sub>层粉质黏土处于流塑状态，是无锡地区典型的软土地层，对车站沉降具有重要影响。

表2-1 无锡地铁解放南路站50m内土层的力学、渗透指标

层序	土层名称	固结快剪		室内渗透系数	压缩模量	备注
		$c_{cq}/kPa$	$\phi_q/(\circ)$	$K(cm/s)$		
③ <sub>1</sub>	黏土	48	13.7	$1.75 \times 10^{-6}$	8.1	
③ <sub>2</sub>	粉质黏土夹黏质粉土	22	16.2	$6.41 \times 10^{-6}$	5.0	
⑤ <sub>1</sub>	粉质黏土	12	11.9	$7.93 \times 10^{-6}$	3.8	
⑤ <sub>2-1</sub>	黏质粉土夹粉质黏土	6	25.8	$7.99 \times 10^{-5}$	5.9	微承压含水层
⑥ <sub>1-1</sub>	粉质黏土	53	15.6	$2.02 \times 10^{-6}$	8.7	
⑥ <sub>1</sub>	黏土	64	17.5	$8.38 \times 10^{-7}$	9.9	
⑥ <sub>2-1</sub>	粉质黏土夹黏质粉土	19	14.6	$1.41 \times 10^{-6}$	4.8	第一承压含水层
⑥ <sub>2</sub>	黏土	44	15.1	$9.62 \times 10^{-7}$	8.1	
⑦ <sub>1</sub>	粉质黏土	18	14.4	$3.95 \times 10^{-6}$	4.5	
⑦ <sub>1-1</sub>	粉质黏土	14	13.0	$3.40 \times 10^{-6}$	3.9	
⑦ <sub>2</sub>	黏质粉土	9	18.6	$5.16 \times 10^{-5}$	5.5	第一承压含水层
⑦ <sub>4</sub>	粉质黏土	12	12.0	$4.27 \times 10^{-6}$	3.5	
⑧ <sub>1</sub>	粉质黏土	58	15.6	$2.83 \times 10^{-6}$	8.8	
⑧ <sub>2-2</sub>	粉砂夹砂质粉土	6	31.6	$2.01 \times 10^{-4}$	8.1	第一承压含水层
⑧ <sub>2-3</sub>	粉质黏土夹黏质粉土	13	16.5	$8.14 \times 10^{-6}$	4.9	
⑧ <sub>3</sub>	粉质黏土	53	16.2	$4.57 \times 10^{-7}$	8.2	
⑨ <sub>2</sub>	黏质粉土	7	27.5	$1.12 \times 10^{-4}$	7.2	

### 三、解放南路站建设风险

解放南路站主体采用明挖法进行施工，涉及难度、风险非常大的基坑工程，对周边环境也存在着威胁，并且本站使用暗挖法参与建设施工，这在无锡地铁建设中属首次，同样也存在着未知的风险。

#### (一) 车站明挖段建设风险

车站基底位于⑦<sub>2</sub>层黏质粉土、⑦<sub>4</sub>粉质黏土层，承载力特征值 $f_{ak}$ 为120kPa以及90kpa，压缩模量为5.5及3.5Ma。该两层土为滨海~河口相软土层，因此在卸载范围内的开挖扰动对其结构影响较大，容易引起基坑开挖过程中变形过大和稳定性不足。经评定，本车站基坑安全等级一级，基坑变形保护等级为特级。在风险评估中，初始风险等级为I级，因此本站主体基坑施工对控制基坑变形有着严格的要求。

基坑安全等级均为一级，多个基坑变形控制保护等级为特级。其中，北侧附属（含8号、9号出入口）基坑距离周边建筑较近，距离南禅寺西侧沿街商铺6.3m，距离南禅寺大门侧建筑6.0m；11号出入口距离抚薰楼3.3m；3号安全疏散口及消防泵房基坑深约11.1m，距离南禅寺3.1m。

#### (二) 车站暗挖段建设风险

本车站主体过1号线区间段采取下穿形式，采用顶管法施工，与1号线区间净距为3.2m，顶管接收井埋深36.20m。此外，本车站为避开现有1号线隧道，在小里程端盾构井至顶管工作井之间设置左右两个采用水平顶管法施工的通道，长度45m，内矩形截面，外截面尺寸为9.9m×8.7m。

暗挖段施工在原有隧道周围施工作业，对隧道沉降存在较大影响，主要表现在隧道周围土体的卸荷作用导致隧道外土体向外移动和变形。通过对前人工作的研究

表明，隧道保护区内，尤其是隧道上部的构筑物荷载对隧道变形的影响十分明显<sup>[1]</sup>。盾构隧道会引起土体的沉降，这个沉降主要是因为盾构推进时对周围土体的扰动，及其他施工活动所引起的。徐永福等<sup>[2]</sup>根据现场监测和室内试验表明土体应力状态的变化是盾构掘进引起地表沉降的机理，土体应力状态变化越大，地表沉降越大。在风险评估中，暗挖段施工初始风险等级均为I级。

#### (三) 车站建设对环境风险

在车站基坑影响范围内由近及远存在抚薰楼（望湖门）、水曲巷小区、环城河及驳岸、南禅寺地下商业街、妙光塔、堵塞暗河等，距离主体基坑从4.5m至57m不等，均在基坑开挖影响范围之内，这些建筑的存在更为本站的建设添加了不确定性。

除各类在建设前改迁至车站主体范围外的市政管线，车站建设影响范围内存在较多需清障的障碍物，如南禅寺人防巷道、1号线多个入口通道、游客中心地下室、堵塞暗河及中山路雨水涵等；其中南禅寺人防巷道、1号线W~3号出入口通道等为大断面结构。此外，本站周围管线复杂，在进行完前期管线迁改后，在车站范围内仍存在废气管线，这为主体基坑开挖增加了新的风险和挑战。

### 四、解放南路站建设风险应对措施

无锡地区第四纪地层分布广泛，土质较软，城市地质环境复杂。上文通过对无锡地铁5号线一期解放南路站在建设过程中存在的风险调查分析，从车站自身基坑开挖到环境多个角度介绍风险详情。下文将根据建筑形式及建设过程中存在的风险，提出应对措施。

#### (一) 车站明挖段建设风险应对措施

深基坑开挖引起的基坑围护结构侧向变形及坑底土

体的隆起变形是基坑周围变形产生的源头,因此控制基坑施工阶段围护结构的侧向变形及坑底土体的隆起是基坑变形控制的关键所在。

在解放南路站建设的过程中,存在包括车站主体明挖段在内的多个安全等级为一级的基坑,且大部分基坑变形保护等级为特级。因此必须以控制基坑变形为重点在建设前确定好基坑围护结构,优化深基坑加固措施。对于各安全等级为一级的基坑,围护结构均采用地下连续墙+内支撑方案,多个车站出入口围护结构均采用SMW工法桩+内支撑布置形式,顶管接收井围护结构则采用钻孔桩+内支撑布置形式。一般支护系统刚度主要由围护结构刚度EI和水平支撑竖向间距h决定<sup>[6]</sup>,增加围护结构的厚度可减小基坑的变形,本车站主体基坑开挖围护结构除采用1200mm厚地下连续墙+内支撑方案外,第一、四、六道水平支撑设置为混凝土支撑,地下连续墙采用型钢接头。

除基坑加固措施外,地下水也是影响深基坑稳定性的重要因素。本次车站基坑均设置封闭止水帷幕,坑内疏干降水。由于主体基坑深度范围内存在微承压水、承压水层,因此围护结构需确保隔断与含水层的联系,并且在主体基坑开挖前就采用疏干井进行疏干,以保证基坑开挖的安全进行。

深基坑开挖施工技术也是不可忽视的一环,深基坑开挖的施工技术与工序不仅决定着基坑的稳定性。刘国彬等<sup>[7]</sup>通过对上海某地铁站基坑开挖时的变形监测数据研究,结果显示坑底土体暴露时间对坑底施工阶段的基坑变形有不利影响。因此,在开挖过程中,必须制定科学合理的施工工序,根据地质结构选择合适的开挖方式,缩短土体暴露时间是控制坑底施工阶段围护结构变形,保障施工安全的关键。本车站主体基坑拟采用分坑开挖措施,施工过程中严格遵循先撑后挖的原则,采用“分层、分块”的施工方法减少墙体位移;开挖后及时支护,减少无支撑暴露时间,从而达到控制基坑变形的目的。

## (二) 车站暗挖段建设风险应对措施

在借鉴了上海地铁静安寺站暗挖段建设经验的基础上,本车站暗挖段下穿段采用顶管法施工,采用超前 $\Phi 108$ 管棚注浆措施,施工前采用竖向MJS加固进出洞范围+单排 $\Phi 108$ 管棚超前支护,施工过程中严控施工参数(推进速度、跟进注浆、出土量、土压力等参数),减少对运营区间的影响。MJS工法是全方位高压旋喷注浆MJS工法的简称,与传统的高压旋喷工艺相比有着更强的可控性,能大幅度减少对运营状态的1号线的影响;注浆的关键则在于对围护结构作用,在具体实施时要不断根据围护结构的反映调整注浆方案。静安寺站案例成功实施的研究表明,在采取了适当的施工工艺后,此类超小间距平行叠交顶管施工沉降可控<sup>[8-9]</sup>。

为及时掌控建设风险,暗挖段施工期间同时对既有1号线区间采用自动化监测手段,信息化施工。并根据动态监测及结构评估,考虑既有1号线区间管片采取内衬钢板环加固处理。

## (三) 车站建设环境建设风险应对措施

解放南路站的建设中对环境造成的风险主要体现在基坑开挖过程中对周边建筑物沉降的影响,并随着基坑开挖深度的增加不断向外增大。且建设地点周边环境复杂、建筑物密集、管线复杂,依赖于单一的基坑变形控制措施难以满足周边环境的保护要求,因此还需采取额外措施避免临近建筑安全遭受威胁。

施工前应做建筑物现状调查及结构安全鉴定,在环境调查的基础上采取针对性保护措施,保证既有建构筑物 and 地下结构的安全,必要时考虑腾迁措施。尤其是针对施工影响范围内的环城河、南禅寺等影响较大的风险源,需分别编制施工方案并向相关单位报批。南禅寺内妙光塔作为市级文物古迹,由于建设年代久远,自身结构特性差,抵抗变形能力也较差,除从基坑变形源头控制外,还可对文物古迹本身结构补强及地基实施注浆加固、基础托换等措施。

针对人防巷道、W-3号出入口通道等遗留障碍物,在采用隔墙封堵后,采用全套筒全回转钻机清障,清障后采用水泥掺量8%的黏土进行回填,然后再施工围护结构。对于废弃管线、堵塞暗河、废弃砖块等深度小于5m的由施工现场自行考虑,深度大于等于5m的采取钢板桩支护开挖清障措施,清障后采用水泥掺量8%的黏土进行回填,然后再施工围护结构。施工前制定施工风险预案、建立应急抢险机制,监测数据出现报警时及时分析原因、进行处理,必要情况下增加临时措施减小建筑物结构变形,增加结构安全。

加强基坑支护结构刚度,局部增加支撑道数,设置轴力伺服系统、提高预加轴力等措施以控制基坑变形。加强对结构、地表和围护结构的变形进行监测。基坑开挖前对管线采取改迁措施,同时施工过程中加强对基坑周边管线的控制测量。对于坑外地下管线出现过大大变形时应通过注浆加固或施打临时钢板桩等措施抑制变形。

## 五、结语

本文以无锡地铁5号线解放南路站建设工程为依托,研究分析了本站施工所存在的风险并提出了相对的应对措施。通过分析,本站在建设过程中明挖段、暗挖段以及对周边环境均存在着一定的施工风险,针对这些风险分别提出了能够保障安全施工、减小对周边风险的应对措施,提出了信息化建设施工的想法。希望在保障地铁施工稳定推进的同时,为相似相近工程提供经验。

## 参考文献

- [1] 羊梅莉. 地铁工程施工诱发围岩特性变异与地层沉降变形研究[D]. 南京大学, 2014.
- [2] 张云, 殷宗泽, 徐永福. 盾构法隧道引起的地表变形分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(3): 388-392.
- [3] 刘国彬, 刘登攀. 基坑施工对周围建筑物沉降的影响分析[J]. 建筑结构, 2007, 37(11): 5.
- [4] 吴列成, 黄德中, 邱龔. 大断面矩形顶管法地铁车站施工沉降控制技术实践: 以上海轨道交通14号线静安寺站工程为例[J]. 隧道建设(中英文), 2021, 41(9): 1585.