

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:城市轨道交通有着较为复杂的项目工程建设,且其影响的范围较广,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,并根据提出了相关的解决应对措施,希望能够为之后的工程建设提供一些参考。

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.2096-6539.2023.15.046

一、引言

解放南路站位于无锡著名景点南禅寺旁,周边为人流量众多的商业区,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。该车站是低下四层岛式车站,方便乘客们在此处换乘,该车站外包的总长度为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,由于该地区靠近水,会出现地区性的河湖相近源沉积,其出现沉积的时代相当于更新世早期,因此该地区土地的下部的主要成分是杂色黏土夹杂着砾砂层;该地区的中部主要的成分是黄色黏性土以及较厚的灰色砂层,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,这些成分主要是由于海陆相互沉积出现的,上部发生沉积的时代相当于更新世晚期以及全新世。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⑦₁₋₁层粉质黏土处于软塑状态、⑦₄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。

三、解放南路站建设风险

解放南路站在进行建设时,主要采用的施工方法是明挖法,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⑦₂层黏质粉土、⑦₄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,在开挖基坑时,较易出现变形过大以及稳定性不足的情况。经评定,解放南路站的基坑安全等级为一级,而其基坑变性保护的等级则会特技。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。

本站所有地方的基坑的安全等级均被评定为了一级,由于其基坑较易出现变形,因此本车站的很多个基坑变性保护均被评定为了特级。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

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 ₁	黏土	48	13.7	1.75×10^{-6}	8.1	
③ ₂	粉质黏土夹黏质粉土	22	16.2	6.41×10^{-6}	5.0	
⑤ ₁	粉质黏土	12	11.9	7.93×10^{-6}	3.8	
⑤ ₂₋₁	黏质粉土夹粉质黏土	6	25.8	7.99×10^{-5}	5.9	微承压含水层
⑥ ₁₋₁	粉质黏土	53	15.6	2.02×10^{-6}	8.7	
⑥ ₁	黏土	64	17.5	8.38×10^{-7}	9.9	
⑥ ₂₋₁	粉质黏土夹黏质粉土	19	14.6	1.41×10^{-6}	4.8	第一承压含水层
⑥ ₂	黏土	44	15.1	9.62×10^{-7}	8.1	
⑦ ₁	粉质黏土	18	14.4	3.95×10^{-6}	4.5	
⑦ ₁₋₁	粉质黏土	14	13.0	3.40×10^{-6}	3.9	
⑦ ₂	黏质粉土	9	18.6	5.16×10^{-5}	5.5	第一承压含水层
⑦ ₄	粉质黏土	12	12.0	4.27×10^{-6}	3.5	
⑧ ₁	粉质黏土	58	15.6	2.83×10^{-6}	8.8	
⑧ ₂₋₂	粉砂夹砂质粉土	6	31.6	2.01×10^{-4}	8.1	第一承压含水层
⑧ ₂₋₃	粉质黏土夹黏质粉土	13	16.5	8.14×10^{-6}	4.9	
⑧ ₃	粉质黏土	53	16.2	4.57×10^{-7}	8.2	
⑨ ₂	黏质粉土	7	27.5	1.12×10^{-4}	7.2	

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，尤其是隧道上部的建构物荷载对隧道变形的影响十分明显^[1]。在建设盾构隧道时，会对扰动到周围的一些土体，同时其他的施工活动也会对土体造成一定的影响，进而会出现土体沉降的情况。徐永福等^[2]根据现场监测和室内试验表明土体应力状态的变化与地表的沉降呈现出正相关的关系，若土体应力状态出现较大的变化，那么其地表沉降的程度也会加大。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有着较为广泛的分布，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

车站的基坑周围之所以会出现变形，主要是因为其在开挖深基坑时，会导致基坑的维护结构出现侧向变形的情况，同时其基坑的坑底的土地也会出现隆起变形的情况，因此若想降低车站明挖的建设风险，减少基坑变性的情况，避免基坑维护结构出现侧向变形以及基坑坑底出现隆起变形是至关重要的。

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。一般情况下，基坑围护结构的刚度EI以及围护水平支撑的竖向间距h将会决定支护系统的刚度^[6]，因此，若能够增加基坑围护结构的厚度，那么将会有效的避免基坑出现严重的变形，解放南路站在开挖基坑时，所建立的围护结构，不仅会采用1200mm厚地下连续墙+内支撑方案，同时其第一、四、

六道水平支撑会设置为混凝土支撑，地下连续墙采用型钢接头。

除基坑加固措施外，地下水也会对基坑的稳定性造成严重的影响。在建设解放南路车站时，其车站的基坑会回设置一些封闭的止水帷幕，能够有效的避免地下水对基坑产生一些影响。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^[7]对上海某地铁站开挖基坑时监测到的基坑变形数据进行了研究，其结果显示坑底土体暴露时间将会对基坑的变形产生一些较为不利的的影响。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，缩短基坑坑底土体的暴露时间，能够有效避免在施工的过程中，其基坑的围护结构出现变形，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；在开挖基坑之后，需要及时安装支护系统，尽量减少土体暴露的时间，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工法的全称是全方位高压旋喷注浆MJS工法，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，在实施注浆时需要不断观察围护结构的情况，并根据其实际反映情况，不断的调整注浆的方案，保证注浆安全顺利的完成。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^[8-9]。

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，随着车站基坑开挖深度的不断增加，其影响周边建筑物的范围也会不断的扩大。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，并在此基础上，有针对性的采取一些保护措施，保证既有建筑物和地下结构的安全，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。在施工之前需要制定施工风险预案，一旦出现不良情况能够及时解决；建立应急抢险机制，将风险造成的影响降到最低；定期监测建设的数据，一旦出现报警，需要及时根据情况分析出现报警的原因，并及时处理，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。若基坑外的地下管线出现了过大变形的情况，此时需要采取注浆加固或施打临时钢板桩等措施，从而抑制其继续变形。

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.