

上软下硬地层地铁车站深基坑支护结构设计研究

王兆亮, 孙圣

(中大检测(湖南)股份有限公司, 湖南长沙 410208)

摘要: 深基坑工程是一项具有综合性、复杂性和不确定性等特点, 风险性极大的工程。设计失误是造成基坑事故的主要原因, 基坑工程一旦发生事故, 将危害人民生命安全, 严重损害国家经济, 对社会产生不良影响。本文依托沿海地区某上软下硬地层地铁车站深基坑工程实例, 综合考虑周边环境对支护结构进行了设计, 并采用数值方法模拟基坑开挖与支护, 数值分析结果表明, 上软下硬地层地铁车站深基坑采用围护桩+内支撑的设计方案安全可行。

关键词: 深基坑; 支护结构; 数值模拟

中图分类号: TU473 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 02—0146—03

为缓解城市交通压力, 保障民生基本需求, 出现了大量的轨道交通项目, 使得地铁车站深基坑工程日趋增多^[1]。研究表明, 设计失误是造成基坑事故的主要原因^[2], 车站深基坑工程一旦发生事故, 将危害人民生命安全, 严重损害国家经济, 对社会产生不良影响^[3]。本文依托沿海地区某地铁车站深基坑工程实例, 综合考虑周边环境以对支护结构进行设计, 并采用数值方法模拟基坑开挖与支护, 分析支护结构设计效果。

1 工程概况

该基坑位于城市道路交叉口, 周边建筑物密集,

交通流量较大, 且地下管线较多, 基坑安全等级为 1 级^[4]。基坑长 210m, 深 17.5m, 标准段宽为 19.9m。基坑所属地貌为洪冲击平原地貌, 场区地形平坦, 从上而下依次为杂填土、粉质粘土、粗砾砂、粗砂、风化安山岩, 属于典型的上软下硬地层。地勘报告显示, 地下水为第四系孔隙水和基岩裂隙水。

2 基坑支护结构设计方案

综合考虑基坑尺寸、周边环境、水文地质条件, 基坑采用围护桩加内支撑的支护结构型式^[4]。围护桩为钻孔灌注桩, 桩直径为 1m, 桩间距为 1.4m, 嵌固深度

向四车道, 设计速度均为 40km/h。目前仅建设至沈阳西路, 向北延伸段近期无建设计划。该节点远期作为枢纽立交, 近期根据征地和交通需求建设部分匝道。

(2) 设计方案。宏图街立交形式为扁苜蓿叶, 近期仅仅建设东南象限 HA 匝道, 北侧设置宽度 8.25m 的 WN 辅道与宏图街、赛马水泥厂大门平交, 满足近期保通需求。未来北侧两个匝道建设时拆除。

4.5 西环高速节点

根据用地红线以及红线外基本农田征地难度, 考虑采用分离式立交。综合施工难度及当地习惯, 采用隧道下穿西环高速, 隧道兼顾机动车道与非机动车和行人需求, 采用三孔隧道, 双向 6 车道。

5 结语

本项目老路改造与新建道路的结合, 以及节点近远

期的同步考虑是道路快速化改造的难点。

老路改造段充分利用老路断面及已建设施, 优化断面, 方案经济合理, 施工难度小。新建路段根据项目需求及限制条件, 提出一个科学合理、经济节约、近远结合的设计思路。本文以银川沈阳西路快速化改造为案例, 针对项目重点、难点提出解决方案, 以期同类城市道路快速化方案设计提供参考。

参考文献:

- [1] 银川市城市总体规划(2011~2020年)[EB/OL].
- [2] 陈超, 明道轩. 城区交通性干道快速化改造建设方式的探讨[J]. 城市建筑, 2016(33):229,254.
- [3] 王毅锋, 冯宇程. 浅议城市市政道路横断面设计[J]. 建筑知识: 学术刊, 2012:274-274.
- [4] CJJ37—2012, 城市道路工程设计规范[S].
- [5] CJJ193—2012, 城市道路路线设计规范[S].

为 7.5m，围护桩抗弯承载力设计值为 3843kN·m，抗压承载力设计值为 23550kN^[5]。基坑采用坑内降水方式，坑内地下水位降低到坑底下 1 m 位置。围护桩外侧采用水泥土搅拌桩墙（SMW）止水，水泥土搅拌桩直径 0.85m，间距 0.6m，并插一跳一布设 H 型钢。

基坑沿竖向设置三层内支撑：第一道采用 0.8×0.8m 的混凝土内支撑，水平间距为 12m，最大轴力标准值为 946kN；第二、三道内支撑采用双拼钢管支撑，钢管直径为 0.609m，厚 0.016m，水平间距为 4m，最大轴力标准值分别为 1108kN 和 1701kN。腰梁采用 56a 双拼工字钢。

3 支护结构设计效果分析

基于数值方法建立基坑开挖三维模型，将基坑内力和变形与规范^[6]进行比较，以分析基坑支护结构的设计效果。

3.1 基坑数值模型建立

为降低边界效应对计算结果的影响，基坑边界到边界的距离约 3~4 倍 H(H 为基坑开挖深度)，模型尺寸取 X×Y×Z 为 150m×12m×80m^[5-6]。模型侧面限制其水平方向位移，底面为固定边界条件，上边面为自由边界，计算模型见图 1。

土体、SMW 墙、围护桩、冠梁均采用实体单元（Zone 单元）模拟，内支撑采用梁单元（Beam 单元）模拟。模型中地下连续墙和土体之间的相互作用采用地下连续墙侧面和底面的接触面（Interface）实现，内支撑和围护桩直接的相互作用则采用连接（Link）实现。通过衬砌单元（Shell 单元）模拟基坑内侧网喷混凝土层。

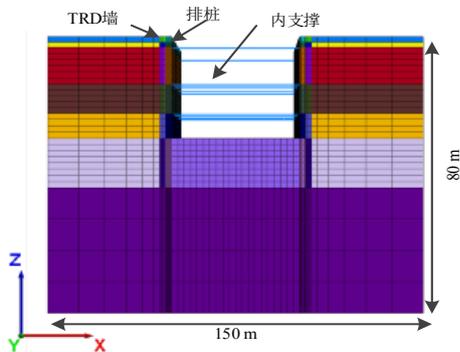


图 1 基坑三维数值模型图

基坑开挖是土体卸荷的过程，Mohr-Coulomb 模型所需参数少，且计算结果与工程实测结果比较接近，因此，采用土体采用摩尔库伦进行模拟，弹性模型实现

TRD 墙、围护桩、冠梁及内支撑的模拟，具体参数见表 1。

表 1 土体物理力学参数

地层名称	密度 g·cm ⁻³	泊松比	黏聚力 kPa	F
杂填土	1800	0.35	20	15
粉质粘土	1960	0.35	54	19
粗砾砂	2000	0.3	—	35
粗砂	2100	0.3	—	35
强风化安山岩	2300	0.3	2000	42
中风化安山岩	2600	0.3	3600	45

Mohr-Coulomb 模型涉及的土体参数主要有土体的内摩擦角 φ 、土体的粘聚力 c 及土体的剪胀角 Ψ ，所涉及的土体参数均易从土工试验中获取。

Mohr-Coulomb 模型的屈服面函数为：

$$F = R_{mc}q - p \tan \varphi - c = 0$$

式中 φ 和 c 分别为土体的内摩擦角和粘聚力。

R_{mc} 的表达式为：

$$R_{mc} = \frac{1}{\sqrt{3} \cos \varphi} \sin \left(\Theta + \frac{\pi}{3} \right) + \frac{1}{3} \cos \left(\Theta + \frac{\pi}{3} \right) \tan \varphi$$

其中， Θ 为极偏角。

Mohr-Coulomb 模型的塑性势面是一个椭圆函数，公式如下：

$$G = \sqrt{(\varepsilon c_0 \tan \Psi)^2 + (R_{mw} q)^2} - p \tan \Psi$$

式中 Ψ 和 c_0 分别为土体剪胀角和初始粘聚力。

的计算公式如下：

$$R_{mw} = \frac{4(1-e^2)\cos^2 \Theta + (2e-1)^2}{2(1-e^2)\cos \Theta + (2e-1)\sqrt{4(1-e^2)\cos^2 \Theta + 5e^2 - 4e}} R_{mc} \left(\frac{\pi}{3}, \varphi \right)$$

式中， e 为 π 面的偏心率。

根据实际施工过程，基坑开挖模拟共分为 9 个分析步：①初始地应力平衡；②施作地下连续墙和冠梁；③开挖至 -1.8 m；④施作第一道内支撑；⑤土体开挖至 -8.2 m；⑥架设第二道钢支撑并施加预应力；⑦土体开挖至 -13.2 m；⑧施作第三道钢支撑；⑨土体开挖至 -17.5 m。

3.2 基坑安全性分析

图 2 为基坑开挖完成后地层竖向位移云图，由图 2 看出，基坑开挖完成后模型竖向最大位移出现在基坑壁后 7.5m 位置，最大沉降为 7.97mm，均表现为沉降，且沉降值远小于规范^[6]要求。

图 3 为基坑的深层水平位移，其中图 3(a) 为不同施工步下围护桩的深层水平位移，图 3(b) 为基坑开挖结束后围护桩、桩间土和 SMW 墙深层水平位移。由图看出，围护结构变形呈“复合式”变形模式^[8]，随着坑内土体的开挖，围护桩的深层水平位移不断增大，

基坑开挖结束后,围护桩的水平位移达到最大,最大值仅为8.4mm,位于地表以下9.2m位置,远小于0.15H,且小于30mm^[7]。桩间土和SMW墙变形模式与围护桩相同,且相同深度位置,SMW墙和桩间土体的水平位移虽略大于围护桩水平位移,但最大水平位移均小于10mm,满足规范要求^[7]。

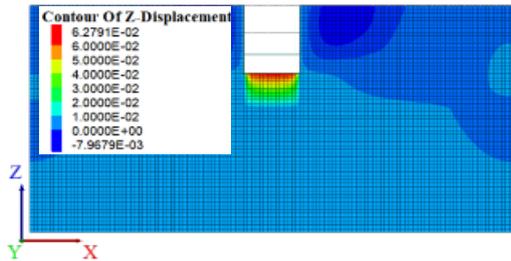
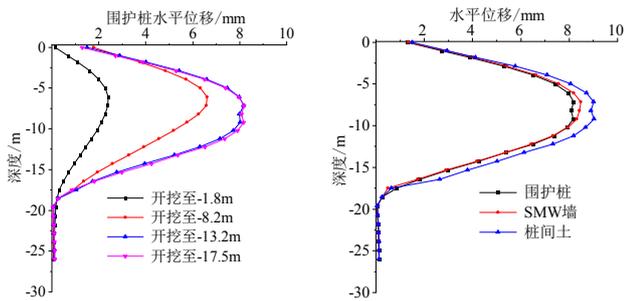


图2 地层竖向位移云图

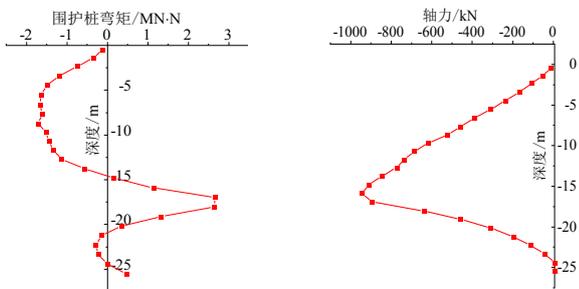


(a) 围护桩水平位移

(b) 深层水平位移对比

图3 基坑深层水平位移

图4为围护桩的弯矩和轴力图,弯矩以围护桩内侧受拉为负,轴力以围护桩受压为负。由图4看出,围护桩最大负弯矩为1.7MN·m,位于地下-8.7m位置,最大正弯矩为2.6MN·m,均小于抗弯承载力设计值;围护桩最大轴力为943kN,围护桩竖向均表现为受压,小于抗压承载力设计值23550kN。



(a) 弯矩

(b) 轴力

图4 围护桩内力图

图5为基坑开挖完成后内支撑轴力云图,以内支撑受压力为负。由图看出,第一道内支撑轴力806kN,小于混凝土支撑轴力标准值946kN;第二道内支撑轴力为550kN,小于轴力标准值1108kN;第三道内支撑轴

力为218.8kN,小于轴力标准值1108kN。

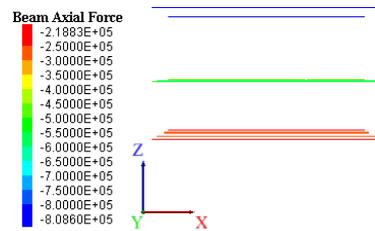


图5 内支撑轴力云图

综上所述,基坑围护桩变形和地表沉降均小于规范值^[6],围护桩和内支撑内力均满足设计要求,因此,基坑设计方案安全可行。

4 结论

基于数值方法,建立了地铁车站深基坑三维模型模拟基坑全过程施工,数值结果表明,上软下硬地层地铁车站深基坑采用围护桩+内支撑的设计方案安全可行,可为类似地层深基坑设计提供借鉴。

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(06):1596-1610.
- [2] 唐业清,李启民,崔江余.基坑工程事故分析与处理[M].北京:中国建工业出版社,1994.
- [3] 马海龙,梁发云.基坑工程[M].北京:清华大学出版社,2018.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑基坑支护技术规程:JGJ 120-2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部.混凝土结构设计规范:GB 50010-2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑基坑工程监测技术规范:GB 50497-2019[S].北京:中国建筑工业出版社,2019.
- [7] Lin D G, Chung T C, Phien-wej N. Quantitative evaluation of corner effect on deformation behavior of multi-strutted deep excavation in Bangkok subsoil[J]. Geotechnical Engineering, 2003, 34(1): 41-57.
- [8] Roboski J F. Three-dimensional performance and analyses of deep excavations[D]. Illinois: Northwestern University, 2004.
- [9] 刘守花,阳军生,傅金阳,等.既有基坑围护结构再利用技术研究与应用[J].建筑结构学报,2021,42(11):165-171.
- [10] 吴昊.某临海软土地区特大深基坑变形监测与分析[J].中国水运(下半月),2021,21(04):127-129.