

大堆载线缆隧道基坑支护技术研究

杨军

中铁二十一局集团第三工程有限公司

摘要: 针对城市复杂环境大堆载线缆隧道支护体系的合理性研究,以临安青山湖科技城科创隧道二期迁改工程为依托,根据其建设条件,对基坑支护方案进行了设计,并对支护体系的安全性和稳定性进行了计算分析。研究表明,设计采用的钻孔灌注桩、钢筋混凝土支撑梁和钢围檩设计合理,安全性良好。本文形成的城市大堆载线缆隧道基坑支护技术可为其他类似工程提供借鉴。

关键词: 隧道基坑; 明挖施工; 支护结构; 受力分析

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.22.008

引言

随着城镇化发展的进程加快,在城市基础设施建设过程中,地下空间的应用越来越多。城市交通通道、综合管廊等越来越多的采用地下通道的方式进行建设。近年来城市电力、管线等逐步采用综合管廊形式,线缆隧道的应用逐步增多。

城市隧道的施工方法主要以明挖法、暗挖法、盾构法等方法为主。其中明挖法是最常见的一种施工方法,但由于城市建设条件复杂,在确保施工过程中基坑自身安全的同时,也要保障周边结构物的安全。从而获得良好的经济效益。

目前明挖隧道常见的支护方式包括放坡开挖、开挖配合土钉锚杆防护、钢板桩支护、钢管桩支护、钻孔灌注桩支护、地下连续墙支护等方式。

临安青山湖科技城科创隧道二期迁改工程地处杭州市临安市区,周边建筑结构较多,地质条件较为复杂,同时在基坑两侧有较大范围的堆载存在。对该工程的支护方案进行设计与研究,和相应的计算分析,解决基坑开挖施工过程的安全问题。

一、工程概述

(一) 总体概况

临安青山湖科技城科创隧道二期迁改工程为了线缆入地工程,线路从星港路与岗阳街交叉口西南侧4号电缆井沿岗阳街南侧走线,穿过崇文路后至经一路(青罗线)与岗阳街路交叉口西侧,之后采用分支电缆沟连接至附近的4基双回路电缆端塔,架空引上后接至原220kV和110kV同塔四回路架空线路,全长约1302m。

其中电力隧道长度1162m,宽6.2m,电力隧道接头区长度140m,宽7.5m。隧道内主要敷设220kV、110kV电压等级及弱电电缆。隧道内设置一个设备工作井和7个通风、逃生口。隧道段采用双箱结构,外尺寸6.2m×3.5m,局部接头区7.5m×4.0m,基坑开挖深度约6.0~9.0m,顶面埋设约2.5~5.3m,采用明挖顺作法施工。

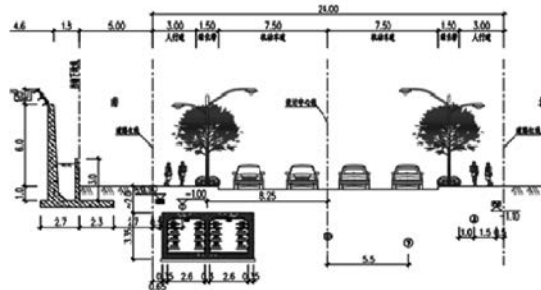


图1 线缆隧道典型断面示意(单位: m)

明挖隧道根据不同的开挖深度和建设条件分为三种不同的支护方式。其中无特殊条件制约区段采用放坡开挖配合土钉墙防护,对于工作井超深区域采用分级放坡开挖配合土钉墙防护,对于两侧不具备放坡开挖的区域采用钻孔灌注桩配合内支撑的防护方式进行支护。

(二) 高堆载区段施工条件

高堆载区段位于项目第三工区K0+580~K0+620范围,该范围在基坑一侧存在高填土边坡,在距离边坡约100m位置存在高层建筑。其中建筑基础形式为桩基础,桩长位于基坑坑底标高以下,故建筑自重荷载主要通过桩基向下传递,水平向传递荷载可不计入对基坑的影响,临近基坑侧的荷载主要为大面积堆填荷载。

本工程沿线表层普遍分布有杂填土,工程所在地原地貌为丘陵,因城市化进程加快,场地平整后修建为马路,填土层厚度不均匀,起伏较大,但揭露填土层后,覆盖厚度较薄,下层为稳定基岩,地层总体较为稳定。

二、支护结构设计

(一) 总体工艺选择

项目管线基坑施工的总工艺选择采用明挖法施工,支护形式拟采用钻孔灌注桩配合对撑的方式进行支护。主要工艺流程见图2,关键施工步骤包括以下几个环节:(1)场地平整,按照设计位置进行施工钻孔灌注桩施工;(2)桩顶施工冠梁,冠梁达到设计强度后,施工冠梁位置对应的横向支撑,后进行基坑开挖;

(3)基坑开挖至第二道对撑位置后安装相应的支护围

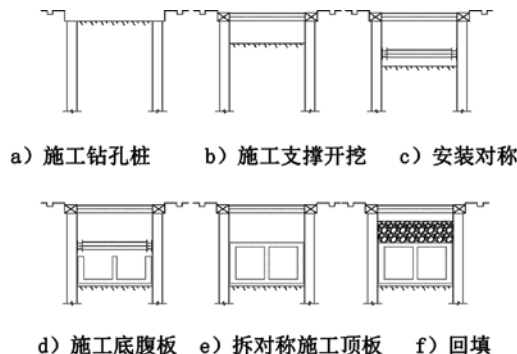


图2 施工工序示意图

檩和钢管对撑，并继续开完至设计标高；（4）施工基坑垫层，并完成隧道底板和腹板的施工；（5）底板及腹板混凝土达到设计强度后，拆除第二道对撑，后进行隧道顶板施工；（6）回填基坑，并拆除顶部支撑，完成隧道施工。

（二）支护结构设计

基于明挖法总体施工工艺，对基坑的支护方式进行设计，本高堆载区段基坑采用采用钻孔灌注桩配合对撑的方式进行支护，主要支护结构见图3。

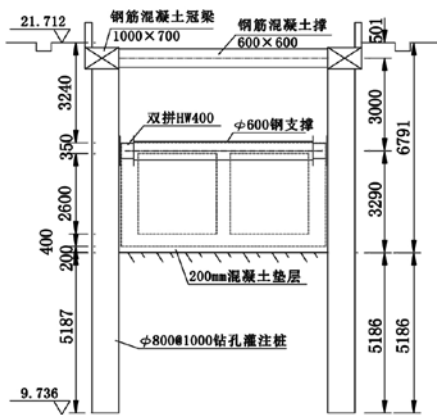


图3 基坑支护结构示意图（单位：mm）

钻孔灌注桩直径采用800mm，桩身中心间距为1000mm，桩底标高按照低于基坑底面5.186m进行控制。在钻孔桩顶部沿着基坑纵向设置钢筋混凝土冠梁，冠梁尺寸为1000mm×700mm，在冠梁之间设置钢筋混凝土对撑，对撑截面为600mm×600mm。在钢筋混凝土对撑以下3m处设置一道支撑，支撑由双拼HW400型钢围檩和直径600mm对撑钢管组成。钢筋混凝土对撑和第二道钢管对撑沿基坑纵向对应布置，对撑纵向间距为3m。在基坑顶部两侧设置排水沟和挡土墙，为基坑施工提供安全防护。

三、基坑稳定性计算

（一）计算参数与基本假定

（1）计算参数

在基本稳定性计算分析中，主要考虑基坑开挖后的侧向土压力、水压力及邻近基坑顶部的堆载效用。本项目地质以透水性土体位置，因此在地下水位以上土体采用天然重度计算，在地下水位以下采用水土分算发进行计算，土体采用浮重度计算。基本内衬支护不施加主动对顶力，只作为边界施加，撑杆内力随着基坑的施工被动增加。

（2）基本假定

其开挖后形成的主动土压力按照朗肯土压力进行施加，地下水位以上土层按照式（1）计算，地下水位以下土层按照式（2）计算。水压力采用静止水压力进行加载。对于基坑顶部未开挖区域被动受力侧，采用被动朗肯土压力进行施加。同时采用被动基床系数施加约束条安静，其中被动基床系数采用“m”进行计算，土体抗力不考虑极限土压力限值。支护帷幕墙体抗弯刚度在进行基坑稳定性计算是不考虑刚度折减。

$$\begin{cases} e_{a,i} = (q + \sum_{j=1}^i \gamma_j \Delta h_j) K_{s,i} - 2c_i \sqrt{K_{s,i}} \\ K_{s,i} = \gamma g^2 (45^\circ - \phi_i / 2) \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} e_{a,i} = (q + \sum_{j=1}^i \gamma_j \Delta h_j - (z-h)\gamma_w) K_{s,i} - 2c_i' \sqrt{K_{s,i}} \\ K_{s,i} = \gamma g^2 (45^\circ - \phi_i' / 2) \end{cases} \quad (2)$$

式中：

- γ_j —— 第j层土的天然重度；
- γ_w —— 水的重度，取10kN/m³；
- Δh_j —— 第j层土的厚度；
- $h_{w,i}$ —— 地下水位；
- c_i, c_i' —— 第i层土的内聚力、有效内聚力；
- ϕ_i, ϕ_i' —— 第i层土的内摩擦角、有效内摩擦角；
- q —— 超载。

对于邻近基坑的地面考虑邻近基坑无限长度存在20kPa地面超载，同时考虑基坑以外100m至无限远处存在104.5kPa超载。

在施加基坑内、外侧荷载及边界条件后对支护结构形成图2所示的计算图式，通过平衡求解可以得到基坑的变形以及支护结构的内力情况。对于基坑的整体稳定性验算采用瑞典条分法进行计算，对于基坑的抗隆起验算采用参照Prandtl（普朗德尔）和Terzaghi（太沙基）的地基承载力理论进行验算。

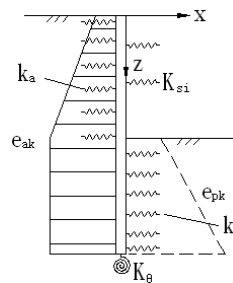


图4 支护结构计算图式

（3）主要计算工况选择

结合本项目基坑的施工工艺特点，在基坑计算过程中，需要考虑施工过程中不同支护条件下的最不利状况。共考虑9种不同的施工工况，模拟施工过程出现的最不利状态，详细的计算工况模拟情况见表1。

表1 计算模拟工况

计算工况	土层名称
工况1	无围檩开挖1.35m
工况2	安装冠梁处第一道围檩
工况3	继续开挖至4.35m深
工况4	安装第二道围檩
工况5	继续开挖至6.4m深
工况6	基坑底部施工隧道底板及侧墙
工况7	拆除第二道围檩
工况8	施工顶板并回填
工况9	拆除第一道围檩

（二）变形与支护结构内力计算

在施工过程中钻孔管柱桩支护结构沿着基坑不同高度的位移包括图见图5，在施工过程中最大为为6.4mm，

在第二道围檩施加前。施工过程中基坑的最大那个为基坑开挖深度的L/1000，变形较小，支护结构刚度良好。

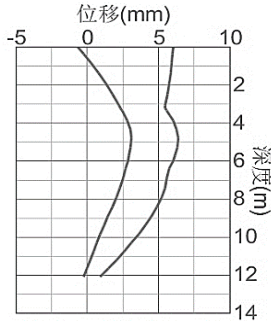


图5 施工过程中支护位移包络图

在施工过程中钻孔灌注桩沿着基坑不同高度的弯矩、剪力包络图分布情况见图6。弯矩最大值出现在深度4.25m位置，最大弯矩为432.6kNm，最大弯矩工况出现在第二道支撑施加前。最大剪力出现在3.35m位置，最大剪力为318.0kN，出现在开挖至基坑最深工况。

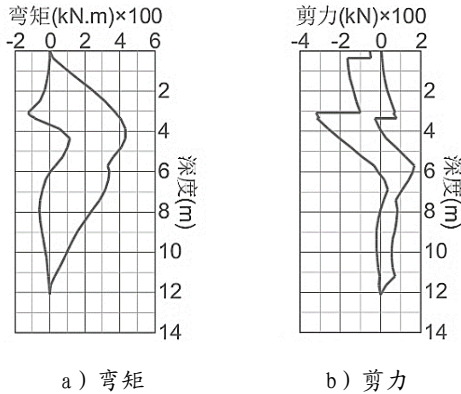


图6 施工过程中支护内力包络图

本项目用的直径800mm钻孔灌注桩用的混凝土标号为C35混凝土，配置了17根直径22mm的HRB400主筋和直径16mm的箍筋。经过验算内力及对应抗力情况见表2，支护桩具有良好的承载能力。

表2 钻孔桩内力及抗力情况

项目	计算值
最大弯矩/kNm	432.6
抗弯承载能力/kNm	594.9
最大剪力/kN	318.0
抗剪承载能力/kN	421.3

(三) 基坑稳定性验算

基坑整体稳定性采用瑞典条分法，应力状态计算采用总应力法计算，计算滑裂面的计算范围为从坡顶到坡底全范围计算。试算得到的最不利滑弧面对应的圆形位置为(0.61m, -2.34m)，半径为14.51m，起点(-13.71m, 0.00m)，终(12.19m, 6.40m)，拱高比0.660，对应的最小抗滑安全系数为1.92，具有良好的总体抗滑稳定性。

基坑墙底抗隆起验算采用Prandtl(普朗德尔)法进行计算，计算中考虑坑内侧向外6.4m范围内总荷载为1617.9kPa，验算断面处土体内聚力为60.0kPa，内摩擦

角为27.0°，计算得到抗隆起稳定系数为11.61，具有良好的抗隆起稳定性。

此外对桩底土层底部位置的抗隆起进行验算，验算图示见图7。坑内侧向外6.4m范围内总荷载为1762.2kPa，验算断面处土体内聚力为600.0kPa，内摩擦角为38.0°计算得到抗隆起安全系数为16.31，具有良好的抗隆起稳定性。

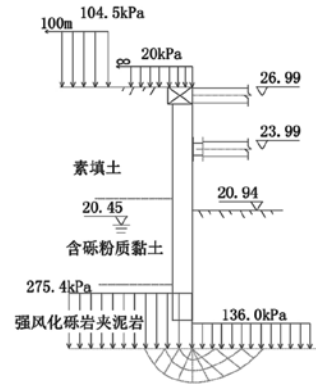


图7 桩底土层底部抗隆起计算图示

通过对支护结构强度验算、基坑抗滑移稳定性和抗隆起稳定性验算，分析了大堆载条件下深基坑的稳定性。计算结果表明本高堆载区段采用的钻孔灌注桩配合内支撑的围护方式合理，基坑施工过程中稳定安全。

结语

本文以临安青山湖科技城科创隧道二期迁改工程为依托对大堆载条件下线缆隧道基坑的合理支护方式进行了设计，并对基坑的安全性进行了分析，得到以下主要结论：

- (1) 针对项目基坑的施工条件和地质情况设计了钻孔灌注桩配合对撑支护的方式进行支护，利用钻孔桩承载力高的特点，应对基坑两侧的大堆载效应。
- (2) 基坑支护结构受力验算结果表明，设计采用的钻孔灌注桩、钢筋混凝土对撑的配筋合理，支护结构强度满足要求，结构安全性良好。
- (3) 基坑稳定性分析结果表明，本项目采用的基坑支护具有良好的整体稳定性、抗倾覆稳定性和抗隆起稳定性，满足隧道基坑施工过程的稳定性要求。
- (4) 本文针对大堆载城市环境下线缆隧道基坑施工的设计及分析结果具有一定的可推广性，其他类似工程可参考与借鉴。

参考文献：

[1] 王侃. 城市明挖隧道深基坑支护施工技术探究[J]. 中国建材科技, 2022, 31(05): 114-115+77.
 [2] 柴磊, 孙亚星. 市政隧道基坑支护体系及开挖方案优化研究[J]. 现代交通技术, 2021, 18(05): 18-26.
 [3] 李蕊. 临近地铁隧道的基坑支护变形控制[J]. 建筑技术开发, 2021, 48(13): 145-146.
 [4] 刘灿阳. 明挖隧道深基坑支护施工及其结构稳定性分析[J]. 中国新技术新产品, 2020(21): 89-91.
 [5] 李金鑫. 紧邻高楼的隧道基坑支护方案研究[J]. 湖南交通科技, 2016, 42(01): 133-136+167.