

# 吊脚桩在土岩地层盖挖逆作施工 深基坑支护设计中的应用

吕杰 耿羽

中铁第六勘察设计院集团有限公司

**摘要:** 本文以乌鲁木齐市轨道交通碾子沟车站深基坑工程实例为背景,对盖挖逆作深基坑在上土下岩特殊地层条件下吊脚桩支护问题展开研究,提出该支护类型的设计方法,证明上部土层采用桩+逆作板支撑支护、下部岩石边坡采用喷锚支护的组合支护形式是可行的,为今后类似工程的设计和施工提供借鉴。

**关键词:** 盖挖逆作; 上土下岩; 深基坑; 吊脚桩

## 一、引言

随着我国经济发展,城市化进程加快,地面交通压力日益显著,公共交通率先从地面转向地下,地铁应运而生。在地铁建设过程中,如青岛、深圳、广州、乌鲁木齐等地出现了上土下岩的地层,为了降低施工难度、加快工期、减少投资等原因,各地提出了吊脚桩支护的方案。赵文强<sup>[1]</sup>通过具体工程实例,采用等效被动土压力法和弹性抗力法分别对上部桩锚体系和下部岩石边坡稳定性进行了探索和分析。平扬、施沈卫等<sup>[2]</sup>采用 Bishop 法进行基坑吊脚桩支护刚体极限平衡稳定性分析,研究了支护桩预留岩肩宽度对基坑最危险滑动面和安全系数的影响。岳建国等<sup>[3]</sup>运用三维拉格朗日方法对深基坑施工过程中的吊脚桩支护性能进行数值模拟,提出了相应的计算方法和具体的设计步骤,探讨了深基坑开挖过程中岩土体应力场、位移场、塑性区以及吊脚桩内力的分布变化规律。刘红军、李东等<sup>[4]</sup>对吊脚桩设计和施工进行了有限元数值模拟与分析,研究了其设计方法及安全稳定性、桩脚处锚杆轴力、桩体嵌岩深度和预留岩肩宽度等各种影响因素。

目前,相关文献报道主要研究吊脚桩在明挖基坑支护中的应用,而对吊脚桩在盖挖逆作深基坑支护的受力、变形等问题研究较少。本文以乌鲁木齐市轨道交通碾子沟车站深基坑工程实例为背景,主要研究盖挖逆作施工深基坑在复杂环境、无岩肩等苛刻条件下的吊脚桩支护问题,以期今后类似工程的设计和施工提供借鉴。

## 二、工程概况

### (一) 工程概述

碾子沟站是2、3号线换乘站,呈“T”型换乘形式,盖挖逆作法施工。车站周边建筑物密集,地下管线复杂,地面车流量大,对基坑施工变形控制要求较高。车站总平面如图1所示。2号线车站沿黑龙江路东西向布置,主体为双层三跨箱型框架结构,总长246.6m,标准段宽23.1m,底板埋深16.6~18.7m。基坑处于杂填土、卵石层,基坑底部位于破碎的砂岩层,采用嵌入基坑底的桩+逆作板支撑的支护形式。该支护类型的设计方法已较为成熟,本文不再展开研究。3号线车站沿扬子江路南北向布置,主体为三层三跨箱型框架结构,总长173.8m,标准段宽23.3m,底板埋深26.3~24.8m。基坑负一层处于杂填土、卵石层,负二层局部处于强风化砂岩层,其余以下部分处于中风化砂岩层,岩石完整性较好,强度高。基坑上部土层采用吊脚桩+逆作板支撑支护,下部岩石边坡采用喷锚支护,本文重点研究该组合支护形式。

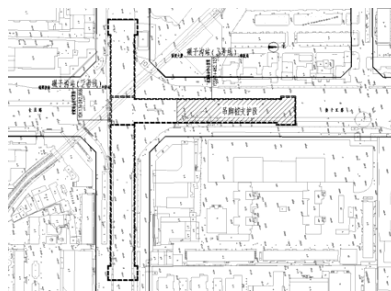


图1 车站总平面图

### (二) 工程地质

基坑所处场地高差约3.4m,地貌单元为乌鲁木齐河一级阶地,地层从上至下为:(1)第四系全新统杂填土,松散,压缩性高,以碎石土为主,与碎石、块石等建筑及生活垃圾混合而成。(2)第四系全新统冲、洪积卵石层,中密-密实,颗粒形状以圆形及亚圆形为主,母岩成分为硬质岩碎屑,填充物主要为中粗砂及粉土。(3)二叠系强风化砂岩,岩石风化程度强烈,岩性主要为粉砂岩,钙质胶结。岩石裂隙发育,岩芯破碎。(4)二叠系中风化砂岩,岩石风化程度中等,岩性主要为粉砂岩,钙质胶结,局部夹薄层黑色粉砂质油页岩。岩石裂隙较发育,岩芯较完整,较难击碎。各岩土层物理力学指标如表1所示。

场地内地下水主要分为第四系松散堆积层中的孔隙潜水及基岩裂隙水。孔隙潜水主要赋存于卵石层中,水量一般;基岩裂隙水主要分布于下部砂岩中,水量较小,但有时由于局部裂隙的发育,导致水量较大。

## 三、主体基坑支护设计

### (一) 基坑支护方案

碾子沟站处于乌鲁木齐市沙依巴克区主干道黑龙江路和扬子江路交叉路口处,处于城市繁华地段,邻近建筑物多,地下管线密集,必须严格控制基坑位移和沉降。黑龙江路是连接天山区和沙依巴克区并跨越河滩路的主干道,扬子江路是通往火车站的主要通道,地面交通繁忙,必须尽可能减小和降低对地面正常通行的影响。推荐采用顶板分幅的盖挖逆作法施工,占用场地范围小,影响时间短。

针对碾子沟站深基坑上土下岩的地质特点,考虑到下部中风化砂岩的完整性好、强度高,为充分发挥围岩的自稳能力,降低施工难度,节约投资,支护桩不要求施工至基坑底进行嵌固,而是进入中风化砂岩2m形成吊脚桩支护,桩底设置锁脚锚杆,不设岩肩。吊脚桩桩径1.2m,桩心间距1.8m,平均桩长约17m,每根桩底设2根锁脚锚杆,孔径160mm,内插3根Φ28三级螺纹钢。下部岩石边坡无放坡条件,采用直立开挖,表面挂Φ8钢筋网,喷射100mm厚混凝土面层,并按1.5m间距打设岩石锚杆,锚杆孔径160mm,内插3根Φ28三级螺纹钢。车站基坑支护剖面如图2

表1 各岩土层物理力学指标

土层	岩土体名称	重度 (kN·m <sup>-3</sup> )	静止侧压力系数	弹性模量/MPa	泊松比	与锚固体粘结强度标准值/kPa	粘聚力/kPa	内摩擦角 (°)
(1)	杂填土	18.9	0.50			35		10
(2)	卵石	23.0	0.28		0.23	145	3	42
(3)	强风化砂岩	23.5	0.23	22000	0.19	225	55	30
(4)	中风化砂岩	24.0	0.15	26000	0.17	240	115	37

所示。

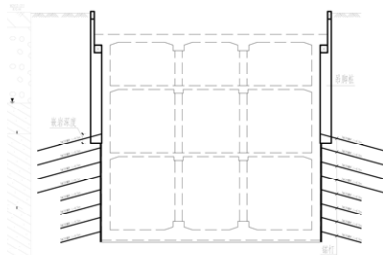


图2 车站基坑支护剖面图

(二) 吊脚桩支护要点

由于土体和岩体差异较大，目前工程界对此类基坑设计还没有成熟理论，也很难用一个计算模型来解决。一般而言，上部土体按照传统的平面杆系结构弹性支点法进行分析计算，下层岩体开挖后采用等效静止土压力按极限平衡法进行分析计算<sup>[5]</sup>。因本基坑无设置岩肩的条件，桩底嵌岩段岩体被挖除后，通过桩底设置的锚杆拉力来替代原来的土反力，保证桩底的水平向稳定。岩石边坡计算考虑上部土层及超载、锚杆垂直分力作为附加荷载作用在岩体上，根据岩体结构面倾角、结构面摩擦力和内摩擦角采用极限平衡法计算岩体稳定性。

1. 上部排桩+逆作板支撑体系计算

采用JGJ 120—2012《建筑基坑支护技术规程》中的平面杆系结构弹性支点法进行分析计算，取最不利工况包络设计，即基坑开挖到桩底，围护桩无嵌固段。排桩+逆作板支撑体系计算模型如图3所示。

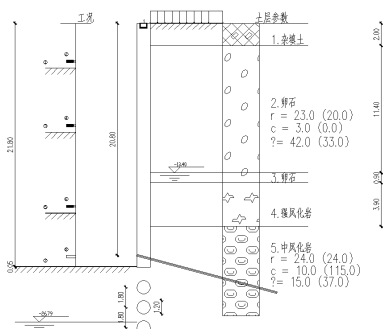


图3 排桩+逆作板支撑体系计算模型

2. 边桩承载力计算

根据盖挖逆作法施工工序分析，在车站箱形框架未形成之前，边桩作为盖挖顶板的边支座需要提供竖向承载力。边桩考虑到基坑开挖到桩端以下时，桩端的受力形态和构造条件与嵌岩桩的有一定差异，按一般摩擦端承桩验算，临空侧摩擦力折减系数取0.5。

3. 下部岩石边坡计算

1) 侧向岩石压力计算

岩石边坡侧向岩石压力计算时，假定上部吊脚桩桩底为岩质边坡坡顶，基坑底面为坡底，上部土体换算为超载作用于边坡上。侧向岩石压力计算简图如图4所示。

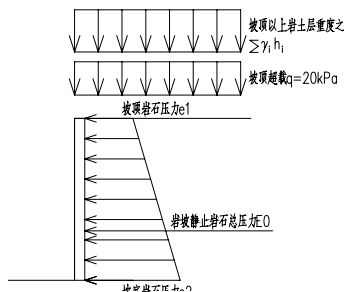


图4 侧向岩石压力计算简图

2) 岩石锚杆计算

吊脚桩下岩质边坡采用普通岩石锚杆支护，每个锚杆承受的荷载取该锚杆与相邻锚杆中心距的一半。为简化计算，侧向岩石压力近似按等效均匀荷载考虑，边坡岩石侧向压力为158.23 Kpa，计算得出每个锚杆承受轴力标准值为368.58KN，每个锚杆配筋面积1843mm<sup>2</sup>，锚杆长度取6.5m，符合规范要求。

3) 内部稳定计算

内部稳定性是指不产生贯穿岩质边坡的滑动破坏面，一般采用条分法分析。根据勘察报告和地区经验，中风化砂岩易产生沿软弱结构面的滑动破坏，假设岩体结构面通过边坡底。抗滑力主要由结构面黏聚力、结构面摩擦力构成，并计入锚杆的抗滑力（取滑动面外侧锚杆抗拔力和锚杆材料极限承载力的较小值），下滑力由潜在滑动体重力分量构成，取单位长度支护结构进行分析，计算简图如图5所示。

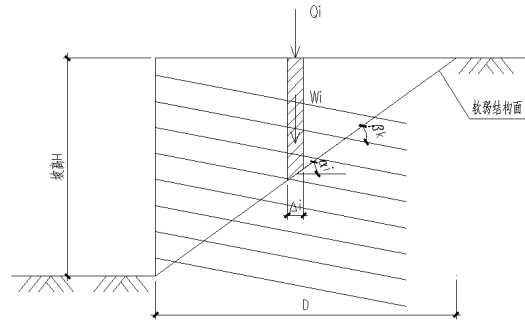


图5 岩体结构面内部稳定性分析计算简图

4) 外部整体稳定性计算

外部稳定性是指经锚杆加固的整个岩体不发生滑移、倾覆等破坏，可将由锚杆加固的整个岩体视作重力式挡墙，分别验算：1) 沿底面水平滑动；2) 绕基坑底角点倾覆<sup>[6]</sup>。挡墙宽度取底部锚杆的水平投影长度，高度取基坑底至吊脚桩桩底，采用GB50007—2011《建筑地基基础设计规范》公式6.7.5-1计算抗滑移稳定性，6.7.5-6计算抗倾覆稳定性。

结论

- 1) 上土下岩地质条件的盖挖逆作深基坑，上部土层采用桩+逆作结构板支撑，下部岩石边坡采用锚喷支护的组合支护方案是可行的，能够有效控制位移和沉降。
- 2) 盖挖逆作深基坑在无条件设置岩肩时，通过加强桩底锁脚锚杆，采用合理的施工措施避免扰动桩底岩体，加强监测，信息化施工，可以取消岩肩。
- 3) 吊脚桩支护形式在土岩组合地层的盖挖逆作基坑中具有适用性，可以有效地节约成本，缩短工期，保证施工质量。
- 4) 目前，工程界对吊脚桩支护设计理论尚不成熟，计算模型尚不完善，应重视现场信息化施工并反馈指导设计，推进吊脚桩设计的发展和进步。

参考文献

- [1] 赵文强, 上软下硬复合地层条件下深基坑支护设计探析, 隧道建设, 2014.
- [2] 平扬, 施沈卫, 色麦尔江·麦提玉苏普, 深基坑“吊脚桩”支护稳定性研究, 低温建筑技术, 2014.
- [3] 岳建国, 齐云龙, 深基坑吊脚桩的理论计算及数值模拟研究, 路基工程, 2016.
- [4] 刘红军, 李东, 张永达, 王秀海, 加锚双排桩与“吊脚桩”基坑支护结构数值分析, 岩土工程学报, 2008.
- [5] 《建筑基坑支护技术规程》, 中国建筑工业出版社, 2012.
- [6] 《建筑地基基础设计规范》, 中国建筑工业出版社, 2011.