

# 高铁高架桥近距离穿越在建软土深基坑施工技术

陈旺<sup>1</sup>, 李宗凯<sup>2</sup>, 李桂颖<sup>1</sup>, 周超<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中铁四局集团第四工程有限公司, 安徽 合肥

<sup>2</sup>同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 上海

收稿日期: 2023年7月10日; 录用日期: 2023年8月25日; 发布日期: 2023年9月4日

## 摘要

由于软土有易触变性、高压缩性、强度低等特征, 软土深基坑施工变形控制难度大; 高铁高架桥桥基与在建车站基坑围护结构距离只有0.6 m, 施工易造成相互影响。论文提出一种高铁高架桥近距离穿越在建软土深基坑施工技术, 在超深地下连续墙施工位置的外围施工三轴搅拌桩, 以加固围护结构, 维护基坑稳定; 桥基施工前, 在桥基地层范围施工高压旋喷桩进行加固, 以减小桥基施工对基坑的影响; 高铁桥基在临近基坑施工至坑底并完成封底后进行施工, 以减小桥基施工引起的基坑变形。

## 关键词

高架桥, 桥基, 车站深基坑, 近距离, 施工技术

# Construction Technology of Soft Soil Deep Foundation Pit under Construction for High-Speed Railway Viaduct Short Distance Crossing

Wang Chen<sup>1</sup>, Zongkai Li<sup>2</sup>, Guiying Li<sup>1</sup>, Chao Zhou<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The Fourth Engineering Co., Ltd., of CTCE Group, Hefei Anhui

<sup>2</sup>Key Laboratory of Road and Traffic Engineering Ministry of Education, Tongji University, Shanghai

Received: Jul. 10<sup>th</sup>, 2023; accepted: Aug. 25<sup>th</sup>, 2023; published: Sep. 4<sup>th</sup>, 2023

文章引用: 陈旺, 李宗凯, 李桂颖, 周超. 高铁高架桥近距离穿越在建软土深基坑施工技术[J]. 交通技术, 2023, 12(5): 403-410. DOI: 10.12677/ojtt.2023.125044

## Abstract

Soft soil has the characteristics of thixotropy, high compressibility and low strength, so it is difficult to control the deformation of foundation pit construction. The distance between the bridge foundation of the high-speed railway viaduct and the foundation pit retaining structure of the station under construction is only 0.6 m, so the construction is easy to cause mutual influence. A kind of construction technology of high-speed railway viaduct passing through soft soil deep foundation pit in short distance under construction is proposed, in order to reinforce the retaining structure and maintain the stability of foundation pit, the triaxial mixing pile is constructed in the periphery of the construction position of ultra-deep underground continuous wall. In order to reduce the influence of bridge foundation construction on foundation pit, high pressure rotary jet grouting pile is constructed in the range of bridge foundation stratum for reinforcement before bridge foundation construction. In order to reduce the foundation pit deformation caused by bridge foundation construction, the construction of high-speed railway bridge foundation is carried out after the construction of foundation pit to the bottom and the completion of bottom sealing.

## Keywords

Viaduct, Bridge Foundation, Deep Station Foundation Pit, Close Range, Construction Technology

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着我国高铁和城市轨道交通等基础设施的快速发展,城市轨道交通线路网规划越来越复杂,高铁高架桥跨越在建的深基坑的现象也非常普遍。对于高铁高架桥跨越基坑工程,在开挖基坑的同时,需要避免对既有相邻建筑物的干扰,还要注意临近工程的互相影响。当桥基距离基坑较近时,会对基坑的变形产生很大的影响。基坑的开挖势必会对周围高铁高架桥等建筑的稳定产生影响,高铁高架桥的建设也会加剧基坑的变形。

詹谷益等[1]提出了一种可行性的高压旋喷桩止水、旋喷钻孔灌注桩 + 内支撑支护方案,保证临近桥梁的软土地层深基坑工程顺利实施;王延安[2]采取围护桩外加旋喷桩防水的方式,进行深基坑设计施工,以确保既有桥的运营安全;杨晓猛等[3]通过在基坑开挖前对高架桥基进行预埋注浆加固处理并在靠近江海高架桥基的基坑一侧,采用钻孔灌注桩以及双排三重管旋喷桩进行加固并起到了隔离效果,很好地控制了桥桩及周围土体的变形。

针对台州高铁高架桥下穿在建市域铁路深基坑,桥基与基坑距离较近,仅 0.6 m,地连墙深度最深达 70 m,施工时两者势必会造成相互影响。因此,为了减少施工相互影响,确保施工安全,开展高铁高架桥近距离穿越在建深基坑施工技术研究,显得非常有必要。

## 2. 工程背景

### 2.1. 工程概况

台州中心站为市域铁路 S2 线与 S1 线的换乘站,车站施工场地属冲海积平原区,地形平坦开阔,主

要特殊岩土包括填土、淤泥和粘土，软土地基的强度低、稳定性差和不均匀沉降及变形大等是主要工程地质问题。

S2 车站基坑采用地下连续墙 + 内支撑的支护型式，地下连续墙厚度为 1.2 m，深度为 67.32 m~71.72 m。车站先期实施段下穿拟建杭绍台台州中心站 22-23 跨，桥梁承台距离车站基坑地下连续墙外侧 0.6 m。该站采用在高架桥下穿越方案，待底板达到 85% 强度后施做桥梁桩基。车站深基坑与高铁高架桥布置断面如图 1 所示。

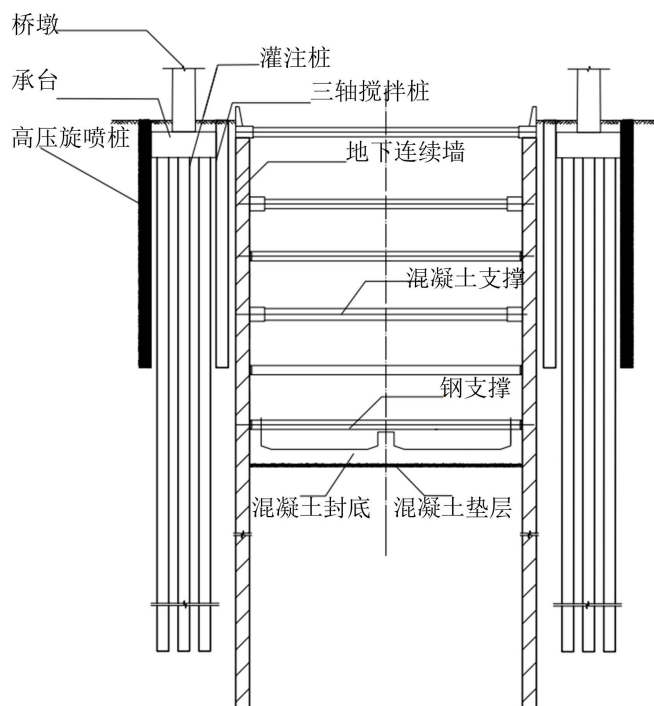


Figure 1. Station deep foundation pit and viaduct bridge foundation arrangement section

图 1. 车站深基坑与高架桥桥基布置断面图

## 2.2. 施工重难点

S2 线台州中心站临近东官河，采用明挖顺作法施工，围护结构地连墙最深处达 72 m，开挖最深处达 32 m (端头井)，工程范围内为冲海积平原区大范围分布的软土层，主要为淤泥，其具有易触变性、高压缩性、强度低等特征，基坑施工变形控制难度大，安全风险高。因此为了加固基坑围护结构，需要在地下连续墙的施工位置的外围先施工一圈三轴搅拌桩。

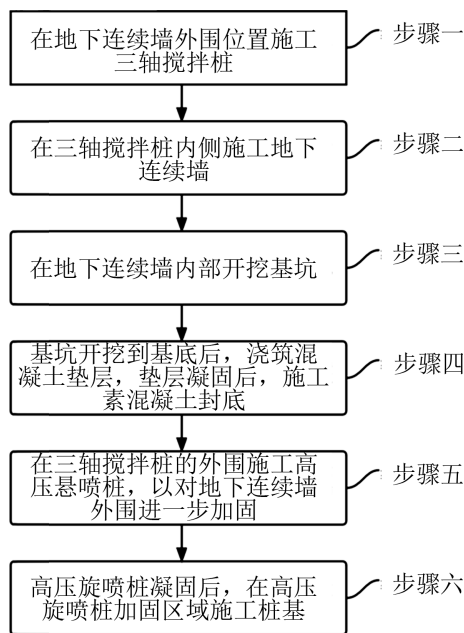
工程场地范围为软土层，车站基坑与高架桥桥梁承台距离非常近，仅 0.6 m，因此容易相互造成影响。因此需要在高架桥的桥基地层范围采用高压旋喷桩，以加固基坑与桥基之间的土体。

车站基坑与高架桥桥梁承台之间距离仅 0.6 m，需要在桥基施工前，进行基坑封底，以减小高架桥桥基的施工对基坑产生的扰动，保证超深基坑施工的安全性。

## 3. 施工工艺流程与施工技术要点

### 3.1. 施工工艺流程

高架桥桥基穿越在建软土深基坑的施工技术工艺流程图如图 2 所示。



**Figure 2.** Flow chart of bridge foundation crossing deep foundation pit under construction  
**图 2.** 桥基穿越在建深基坑施工流程图

## 3.2. 施工技术要点

### 3.2.1. 施工三轴搅拌桩

为了加固围护结构基坑, 提高槽壁稳定性, 避免基坑渗水涌水, 需要在基坑地下连续墙施工位置的外围施工一圈三轴搅拌桩[4], 如下图 3 所示为三轴搅拌桩施工现场图。

三轴搅拌桩采用湿法施工工艺, 紧贴地下连续墙, 以对地下连续墙起到支撑作用。

槽壁加固使用单排  $\Phi 850@600$  mm 三轴搅拌桩, 加固深度为穿透淤泥层 0.5 米(平均桩长 20.048 m), 搅拌桩采用 42.5 级普通硅酸盐水泥。三轴搅拌桩利用“三喷四搅”方法。工艺参数: 水泥掺量 20%, 水灰比: 0.45~0.55, 提升速度  $\leq 0.5$  m/min、桩径偏差  $< 0.04 D$ 、桩顶标高偏差 +100 mm/-50 mm、桩底标高偏差  $\pm 200$  mm、桩位偏差  $< 50$  mm、搭接长度  $\geq 200$  mm、垂直度偏差  $\leq 1\%$ 。

三轴搅拌桩的施工流程包括: 场地回填平整, 测量放线, 开挖沟槽, 桩机就位, 配置泥浆液, 喷浆。三轴搅拌桩在成桩 28 d 后, 检验桩身强度。



**Figure 3.** Tri-axial mixing pile construction site  
**图 3.** 三轴搅拌桩施工现场图



**Figure 4.** Trench section excavation construction site  
**图 4.** 槽段开挖施工现场图

### 3.2.2. 施工地下连续墙

本基坑围护结构设计采用地下连续墙 + 内支撑的支护型式,地下连续墙厚度为 1200 mm,深度 67.32 m~71.72 m; 基坑保护等级一级。

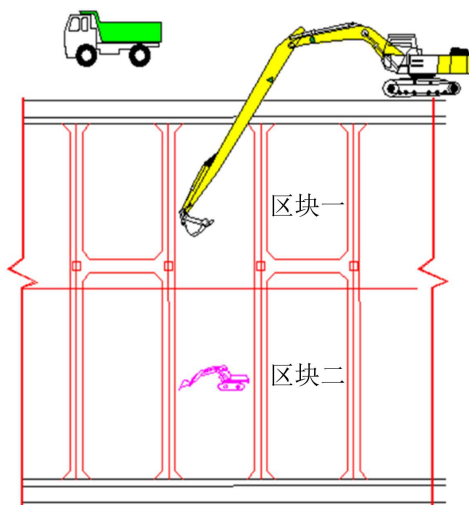
地下连续墙工艺流程: 测量放线, 导墙施工, 泥浆配制, 槽段开挖, 清基, 锁口管吊放, 钢筋笼吊放, 砼浇注, 锁口拔出, 墙趾注浆。现场地连墙槽段开挖如图 4 所示。

地连墙混凝土等级为水下 C35, 抗渗等级 P6, 槽段接头采用工字钢接头, 钢筋主筋净保护层厚度迎土面为 70 mm, 开挖面为 50 mm, 成槽垂直精度不得低于 0.3%, 纵向钢筋采用焊接连接, 优先采用对焊; 每幅地墙内设置 2 根注浆管, 每根注浆管的注浆量不小于  $2 \text{ m}^3$ 。

地下连续墙的施工深度深于后续施工的高铁或高架桥桩基的深度。

### 3.2.3. 开挖车站基坑

针对 S2 车站软弱土层地质的特征, 应用“时空效应”理论, 分析车站的基坑围护结构和开挖过程中的时空效应, 为了保证基坑的安全与稳定, 需要控制基坑变形, 采用分区分块开挖、加固地基等综合措施, 达到控制基坑沉降变形, 保护环境, 安全施工的目的[5]。下图 5 为基坑分块开挖示意图。



**Figure 5.** Block excavation schematic  
**图 5.** 分块开挖示意图

根据本次工程深基坑几何参数、支撑围护结构体系的规划，以及桥基土层加固和施工条件，采用分层、分块、平衡、对称、留土护坡的方法按施工顺序开挖和支撑，施工参数依据“时空效应”确定，并要保证以下几点：

- 1) 控制土体在开挖过程中的受影响范围，将沉降变形量尽量减小。
- 2) 在每一步基坑开挖工况下，基坑中已施工的支撑围护结构部分能够保持稳定，并控制坑周土体沉降变形。
- 3) 根据“时空效应”理论，监测现场施工进度，为了判断施工工艺和施工参数是否符合预期要求，应将监测数据与预测值对比，来确定并优化后续的施工过程[6]。

车站为地下三层结构，设六道支撑，采用随挖随撑、先撑后挖的原则进行基坑开挖。其中标准段第一、二、四道为砼支撑，其余均为钢支撑，端头井区域第一、二、四、五为砼支撑，其余为钢支撑。以各道支撑为界，竖向相应分七层放坡开挖。分层厚度根据各道支撑设计深度位置确定，相邻分层坡度控制在约 1:3，开挖总坡度保持在 1:8 左右。

地下连续墙的支撑中一部分旋转混凝土支撑，另一部分选择钢支撑，在保证地下连续墙能够得到足够支撑的前提下，节约生产成本，不仅更加经济实惠，而且还能够使施工更为便捷。

混凝土支撑的截面为 900 mm × 1200 mm 的矩形截面，混凝土支撑采用 C30 混凝土；钢支撑采用直径为 800 mm 的钢管，钢管壁厚为 16 mm。

### 3.2.4. 基坑封底

基坑封底加固能有效减小地连墙最大侧位移、地表最大沉降和基底最大隆起，相比未加固，变形量减少效果显著[7]。

基坑开挖到距离基底 30 cm 后，停止机械开挖，采用人工配合挖掘机进行捡底，控制超挖并减小机械对基底的扰动，然后分段浇筑施工混凝土垫层，垫层浇筑必须在 12 h 内进行；在混凝土垫层完全凝固后，施工素混凝土封底。

浇筑素砼垫层之前，要检验坑底表面平整度，对与地连墙的接触面进行凿毛处理，并清刷干净，使新老混凝土结合牢固。

在混凝土垫层浇筑 24 小时之后，施工混凝土封底，混凝土封底采用 C20 混凝土，如上图 1 所示。

### 3.2.5. 施工高压旋喷桩

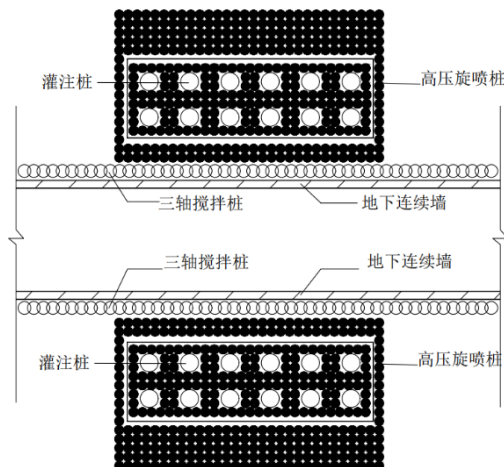


Figure 6. High-pressure rotary jet pile layout schematic  
图 6. 高压旋喷桩布置示意图

由于本次工程场地主要为软土地层，而在地层适应性和防渗加固性能方面，高压旋喷桩防渗效果明显[8]。所以在三轴搅拌桩的外围施工高压旋喷桩，以对地下连续墙外围和桥基范围进一步加固。

旋喷桩施工工艺流程：场地平整，测量放线，钻机就位，旋喷下沉，旋喷提升。高压旋喷桩施工布置示意如图6所示，任意相邻最近的四个高压旋喷桩中心所在点呈600 mm×600 mm的矩形布置，也即任意两个高压旋喷桩紧紧相邻设置，从而保证高压旋喷桩能够对三轴搅拌桩有足够的支撑，进而使得地下连续墙在外部得到足够的支撑。

桥基地层采用高压旋喷桩加固。22号墩承台左侧8 m，右侧0.55 m，23号墩承台左侧0.55 m，右侧5 m范围内采用地基注浆加固处理，注浆深度以穿透淤泥质粘土为原则。高压旋喷桩的桩间距为600 mm，桩径为600 mm。

高压旋喷桩的注浆材料为水泥和水玻璃双液浆，注浆采用强度标号为42.5的水泥，根据注浆效果监测结果可适当调整注浆孔位布置、注浆压力、浆液配比等参数，高压旋喷桩的深度与三轴搅拌桩相同。

### 3.2.6. 施工高架桥桥基

高压旋喷桩凝固后，在高压旋喷桩加固区域施工高铁或高架桥的桩基，从而保证桩基的施工与基坑的施工没有相互影响。

桩基为多根并列设置的灌注桩；再以灌注桩为基础施工承台与桥墩，然后采用架桥机跨基坑施工桥梁。

在施工桩基位置先挖出三轴搅拌桩、高压旋喷桩与桩基待施工位置重合的部分，然后再施工桩基。桩基的灌注桩采用泥浆护壁法进行钻孔施工，承台与桥墩采用现浇法施工。

## 4. 现场监测结果分析

为了评估验证上述施工方法的合理有效性，施工现场在地连墙顶冠梁上设有竖向位移监测点，测点布置如图7所示。通过现场测试数据分析可以得到桥基施工后地连墙顶最终竖向位移如表1所示。

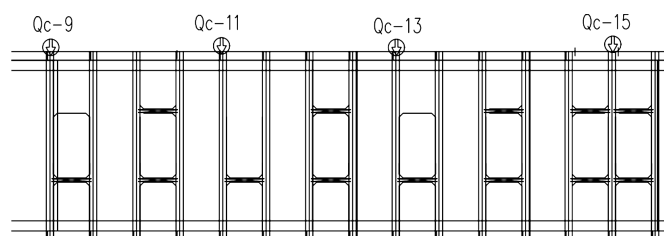


Figure 7. Schematic location of measurement points

图7. 测点布置位置示意图

Table 1. Vertical displacement of the top of ground wall caused by construction after reinforcement of soil around bridge foundation

表1. 桥基周围土体加固后施工引起的地连墙顶竖向位移表

测点	竖向位移值(mm)
QC-9	-1.57
QC-11	0.69
CQ-13	3.77
QC-15	6.46

可以看出,通过采取以上一系列施工措施后,桥基施工后实测地连墙顶最终竖向位移值分别为 QC-9 测点-1.57 mm, QC-11 测点 0.69 mm, QC-13 测点 3.77 mm, QC-15 测点 6.46 mm, 均满足规范要求控制在 $\pm 15$  mm 以内,可见控制效果理想,有效地降低了桥基施工对基坑产生的扰动。

## 5. 结论

针对高铁高架桥近距离穿越在建软土深基坑,提出了一套完备施工技术,在建深基坑围护结构通过采用地下连续墙,利用其刚度大,可以有效减小基坑的侧向变形,同时还有很好的防水效果;采用三轴搅拌桩加固基坑围护结构,提高超深地连墙槽壁稳定性,避免基坑渗水涌水;并且在高铁高架桥桥基施工前,进行基坑封底加固,减小基坑围护地连墙的侧向位移;对基坑与桥基之间的土体进行高压旋喷桩注浆加固,能够有效地减小高铁高架桥桥基施工对基坑产生的扰动,保证深基坑施工的安全性。

这一系列施工技术措施,能够有效减小基坑开挖和桥梁建设之间的互相扰动,避免基坑产生过大的变形和桥梁产生过大的沉降,保证基坑与高铁高架桥工程项目均安全、高效的推进。

## 参考文献

- [1] 詹谷益,张文明.考虑对邻近桥梁不利影响的基坑开挖支护设计[J].山西建筑,2019,45(15):47-49.
- [2] 王延安.临近既有桥的地铁高架基础基坑围护设计及施工[J].企业技术开发,2015,34(18):171-172.
- [3] 杨晓猛,杨杰仁.城市深基坑开挖对高架桥的影响及控制分析[J].天津建设科技,2015,25(1):51-54.
- [4] 刘建国,杨云飞,朱军,常海燕,江竹,梅源.三轴深层搅拌桩加固南京地铁车站槽壁应用研究[J].安徽建筑,2019,26(10):155-158.
- [5] 刘合寨,周元,尤波.软土地区大面积不规则深基坑支护设计实践与分析[J].岩土工程技术,2018,32(4):212-217.
- [6] 梁红旭.城市地铁车站深基坑开挖施工[J].民营科技,2009(6):171-173.
- [7] 尚桌,葛忻声,王菁悦,等.深基坑水平封底在富水深厚砂层的加固效果[J].太原理工大学学报,2022,53(4):786-792.
- [8] 何兵.深层淤泥土中高压旋喷桩浆液材料与施工工艺研究[J].四川水泥,2020(10):329-330+96.