

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.04.065

# 软土地区道路下穿高铁基坑设计方案分析

边慧

(苏州众通规划设计有限公司, 江苏 苏州 215131)

**摘要:** 在研究道路下穿高速铁路工程中,针对软土地区高铁桥下明挖基坑设计要点,以江苏省某市政道路下穿高铁桥梁工程为例,分析基坑支护措施在符合铁路相关管理规程和文件要求,保证高铁安全运营的前提下,如何能够满足基坑整体稳定性、抗倾覆稳定性、坑底抗隆起、墙底抗隆起和抗渗流稳定性。

**关键词:** 软土地区;道路基坑;下穿高铁;控制因素;稳定性验算

中图分类号: U412.37

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)04-0242-04

## 0 引言

随着经济快速发展,高速铁路里程不断增加,新建道路与高速铁路交叉需求也在不断增加。当道路因周边建筑物影响,下穿高铁桥梁处路面设计线标高低于铁路承台底标高时,则会涉及到基坑开挖。高铁桥梁下开挖基坑除满足一般基坑支护要求外,还需满足铁路相关要求。软土地区因土层承载力差,地下水位高,基坑开挖易导致土体变形过大,引起铁路桥墩承台不均匀沉降及变形,工程难度增加。现通过江苏省某市政道路下穿高速铁路实例,分析下穿高铁基坑设计要点。该项目控制因素较多,包含软土地基、高铁桥下净空受限、明挖较大深度基坑和坑底存在承压水。总之,项目较为典型,可为其他涉铁项目提供设计思路。

## 1 高铁下基坑设计要点简析

高铁桥下开挖基坑要求,现行规范和规程主要依据《公路与市政工程下穿高速铁路技术规程》(TB10182—2017)和《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120)。

### 1.1 沉降及变形控制值

(1) 高速铁路桥梁墩台顶位移限制应符合以下要求(见表1)。

(2) 下穿工程基坑支护结构安全类型应采用《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120)规定的一级标准。

### 1.2 基坑支护类型

在基坑开挖过程中,对高铁承台、桩基周边土体

收稿日期: 2022-10-24

作者简介: 边慧(1995—),女,本科,助理工程师,从事桥梁工程设计工作。

表1 墩台顶位移限值一览表 单位:mm

轨道类型	墩顶位移		
	横向水平位移	纵向水平位移	竖向位移
有砟轨道	3	3	3
无砟轨道	2	2	2

产生一定的卸载影响,引起土体的水平位移或沉降。对于群桩承台,因不同桩基周边土体位移不同,可能引起铁路承台不均匀沉降,进而引起道路桥墩沉降和位移,影响行车安全。《公路与市政工程下穿高速铁路技术规程》提出“高速铁路桥下的基坑支护结构优先采用钻孔桩”,并对采用钻孔桩支护时,与高速铁路桥梁桩基中心距作出规定:“软黏土及饱和粉、细砂土层等不良土层,不宜小于6倍下穿工程桩径”。

### 1.3 基坑地下水处理

当地下水位较高时,坑内地下水处理也是基坑围护结构设计的一大要点。高铁桥下大量抽降水会引起桩基周围土体沉降。当沉降值大于桩基本身沉降时,桩土之间会产生负摩阻力,不仅降低桩基承载力,且等效于增加桩顶荷载,造成桩基沉降量增大,进而引起桥墩沉降,《规程》对基坑止水提出要求:“当地下水位较高时,围护结构应有止水功能”,并在U型槽和框架结构下穿章节提出“当地下水位较高时,应在U型槽和框架结构基坑支护结构外侧设置截水帷幕,禁止坑外抽降地下水”。如果场地土层中含承压水,开挖基坑减小了含水层上覆不透水层的厚度,在厚度减小到一定程度时,承压水的水头压力能顶裂或冲毁基坑底板,造成基坑突涌、隆起情况,造成基坑围护结构失稳。根据《建筑基坑支护技术规程》要求,当坑底以下有水头高于坑底的承压水时,各类支护结构应进行坑底突涌稳定性验算,当不满足抗突涌稳定性要求

时,应对该承压水含水层采取截水、减压措施。

## 2 江苏省某市政道路下穿高铁实例分析

### 2.1 工程概况

江苏省某市政道路连续下穿京沪铁路路基段和京沪高铁桥梁段,道路等级为城市主干路,双向4车道,时速40 km/h。交叉处道路与铁路交叉角 $90^\circ$ ,道路框架桥下穿京沪铁路路基段。引道部分U型槽下穿沪宁城际铁路桥梁段,道路受下穿铁路桥墩影响,采用分离式左右(A线、B线)两幅路。

道路拟采用U型槽从沪宁城际铁路289#~291#桥墩之间通过。下穿处沪宁城际为桥梁结构,高铁上部桥跨布置为32筒支箱梁,采用花瓶式桥墩。289#墩高3.5 m,290#~291#墩柱高4.0 m,289#~290#桥墩承台尺寸均为 $8.6\text{ m}\times 6.3\text{ m}\times 2\text{ m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高),291#桥墩承台尺寸为 $13.6\text{ m}\times 6.3\text{ m}\times 2.5\text{ m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高),承台上有高1 m的台阶。289#~290#桩基为 $8\Phi 1\text{ m}$ 钻孔灌注桩,桩长44 m,291#桩基为 $12\Phi 1\text{ m}$ 钻孔灌注桩,桩长47 m。图1为道路下穿铁路平面布置图。

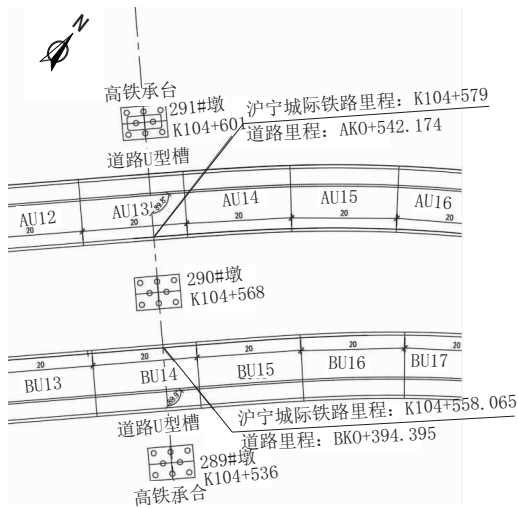


图1 道路下穿铁路平面布置图(单位:m)

### 2.2 地质条件

#### 2.2.1 土层信息

①杂填土(Q4ml):杂色,以建筑垃圾、混凝土块、碎石为主,夹少许黏性土。

②层黏土(Q4lh):灰黄色,硬塑~可塑,切面光滑,干强度高,韧性高,属中等压缩性土。

③层粉质黏土(Q4lh):灰黄色,可塑局部软塑,厚层状,夹绿色斑纹切面稍粗糙,干强度中等,韧性中等,属中等压缩性土。

④<sub>1</sub>层粉质黏土(Q4lh):灰色,软塑,稍有光泽,摇振无反应,干强度中等,韧性中等,属中等~高压

缩性土。整个场地分布。

④<sub>2</sub>层粉质黏土夹黏质粉土(Q4lh):灰色,软塑,局部粉性较强或呈稍密状粉土状,稍有光泽,摇振无反应,干强度中等,韧性中等,属中等~高压缩性土。

⑤黏质粉土(Q4lh):灰色,稍密~中密,饱和,夹薄层黏性土,含云母碎屑,属中等偏低压缩性土。

⑥<sub>1</sub>黏土(Q3al):暗绿色,硬塑~可塑,均质致密,可见少量铁锰结核,夹灰黄色条纹。厚层状,干剪强度高,韧性高,土质均匀,属中等压缩性土。

⑥<sub>2</sub>粉质黏土(Q3al):灰黄色~灰色,硬塑~可塑,均质致密,可见少量铁锰染斑,夹灰黄色条纹。厚层状,干强度中,韧性中,土质均匀,属中等压缩性土。

#### 2.2.2 场地地下水

微承压水主要赋存于⑤黏质粉土中,该层水补给方式以大气降水、地表水及上部潜水垂直入渗为主,排泄方式以地下迳流及人工开采为主。勘察期间(2021年8月)测得微承压水的测压水位埋深约为1.83~2.59 m(对应高程为0.95~1.02 m)。

据区域资料,历年最高微承压水稳定水位标高为1.74 m,近3~5 a最高微承压水水位标高为1.60 m,年变幅0.8 m左右,一般在6—9月份雨季水位最高。

### 2.3 方案设计

#### 2.3.1 下穿高铁主体结构

U型槽段采用A/B线分幅路的断面形式,双向四车道,单幅横断面具体布置11.5 m=3.1 m非机动车道+0.4 m中墙+8 m机动车道,底板厚0.8 m,采用C40钢筋混凝土,结构总宽度12.7 m(见图2)。

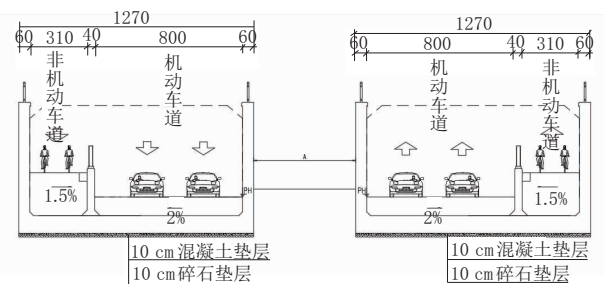


图2 U型槽结构横断面图(单位:cm)

#### 2.3.2 下穿高铁基坑支护方案

下穿处道路与高铁桥梁的横断面相对关系如图3所示,道路U型槽底板底面位于承台底面之下。U型槽基坑最大开挖深度为6.2 m,A线U型槽开挖至291号承台底以下2.4 m,开挖至290号承台底以下3.65 m,B线U型槽开挖至290号承台以下3.86 m,开挖至289号承台以下4.1 m。

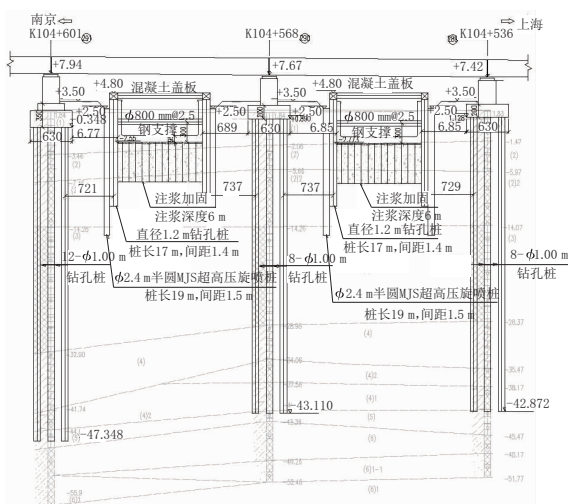


图3 道路与铁路立交关系图(单位:m)

高铁桥下道路 U 型槽基坑支护采用钻孔灌注桩支护和 MJS 高压旋喷桩止水帷幕的复合支护方法。围护结构为  $\phi 1.2\text{ m}@1.4\text{ m}$  钻孔灌注桩,桩长约 17 m (不计冠梁高度),桩底位于 $\text{②}_2$ 粉土中。外侧采用  $\phi 2.4\text{ m}@1.5\text{ m}$  半圆高压旋喷桩作为止水帷幕,桩长 19 m。坑底采用袖阀管双液注浆加固,注浆深度 6 m。基坑共设置 2 道支撑,第 1 道为 800 mm $\times$ 800 mm 钢筋混凝土永久支撑,间距为 5 m,第 2 道为  $\phi 800\text{ mm}$  钢支撑,壁厚为 0.02 m,间距为 2.5 m。

道路 U 型槽外侧边缘与 289# 桥墩最小净距为 8.69 m,与 290# 桥墩最小净距为 8.73 m,与 291# 桥墩最小净距为 8.60 m。U 型槽基坑钻孔围护桩与 289# 桥墩桩基最小间距为 7.29 m,与 290# 桥墩桩基最小间距为 7.37 m,与 291# 桥墩桩基最小间距为 7.21 m,最小间距满足 6 倍新建桩径要求。

### 2.3.3 下穿高铁基坑支护方案分析

高铁桥下净空约 4 m,支护桩施工空间受限,经调查,可采用改造过后的低净空钻孔桩机。因该场地为软弱地层,且地下水丰富,为了确保钻孔桩成孔质量,防止坍孔,高铁安全保护区内的钻孔桩,均采用钢护筒跟进穿透软弱土层(粉土层)。基坑采用两道横向支撑,第一道横向支撑采用 0.8 m $\times$ 0.8 m 钢筋混凝土支撑,第二道横向支撑采用直径 0.8 m 钢横撑。结合高铁桥梁检修通道要求,高铁桥边的混凝土支撑按照永久结构设计,以梁边缘投影线为界,伸入梁下 2 m 至伸出梁外 1 m 范围,设计宽度 3 m。该永久支撑不仅可以供高铁桥梁检修通道使用,同时可减少因道路下穿引起的高铁桥梁附属设施改造工作。根据铁路相关文件要求,当采用道路下穿高速铁路桥梁时,下穿桥孔的装配式混凝土栏杆需改造为

钢栏杆,桥面散排泄水孔封堵,改为集中排水方式。

因高铁桥下净空低、地质条件差、基坑与高铁桥墩距离近,传统基坑止水采用的搅拌桩打桩机械高,施工空间受限。高压旋喷桩挤土类桩施工时对周边土体扰动大,容易引起高铁桥墩沉降变形。因此,为尽量减小施工期间对高铁桥墩影响,采用施工扰动小,止水效果较好的 MJS 作为基坑止水帷幕。因勘察报告显示场地内地层中存在微承压水含水层,且水头高于坑底,为避免基坑开挖过程中产生突涌情况, MJS 止水帷幕采用 19 m 长度隔断含承压水层,隔断基坑内外的水力联系。MJS 施工前必须选取远离沪宁城际桥梁的桩位进行原位试桩,试桩不少于 3 根。验收标准: MJS 桩验收采用钻芯取样法,要求桩体单轴抗压强度 1~3 MPa,渗透系数不大于  $10^{-9}\text{ cm/s}$ 。建议喷射水泥掺量 20%至 30%,根据现场试验进行确定。

U 型槽基底作用在粉质黏土层上,基本承载力为 160 kPa。底板底约 1 m 以下处为软弱地层(粉质黏土层),软塑~流塑,基本承载力为 120 kPa,需对其进行加固处理。高铁桥下地基处理采用注浆加固,注浆深度 6 m。注浆材料为水泥-水玻璃浆液,水泥脚 P.042.5 普通硅酸盐水泥,水:灰:砂的比例为 0.4~0.45:1:1,浆液配比为水泥:水玻璃=1:0.6,水玻璃模数 2.4~3.4、浓度大于 35 度,水泥浆批拌时间要大于 120 s。压密注浆每立方土体水泥用量不少于 80 kg。可满足桥下低净空施工。

### 2.3.4 基坑围护结构稳定性验算

采用同济启明星基坑开挖计算软件验算沪宁城际桥下 U 型槽基坑稳定性,参考《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012),主要计算围护结构的内力及变形,验算基坑整体稳定性、抗倾覆、坑底抗隆起、墙底抗隆起以及抗渗流稳定性。基坑安全等级为一级。

选取沪宁城际 291# 桥墩中心处断面进行验算,开挖深度 6.2 m。采用  $\phi 1.2\text{ m}@1.4\text{ m}$  钻孔灌注桩支护,桩长约 17 m(不计冠梁高度),外侧采用半圆式  $D2.4\text{ m}@1.5\text{ m}$  MJS 旋喷桩作为止水帷幕,桩长 19 m,坑底采用袖阀管注浆加固,深度 6 m。基坑共设置 2 道支撑,第 1 道为 0.8 m $\times$ 0.8 m $\times$ 5 m 钢筋混凝土支撑,第 2 道为  $D800\text{ mm}@2.5\text{ m}$  钢支撑,验算截面如图 4 所示。

经计算,各项稳定性计算值汇总于表 2 所列。

由表 2 可知,该基坑围护方案的整体稳定性、抗

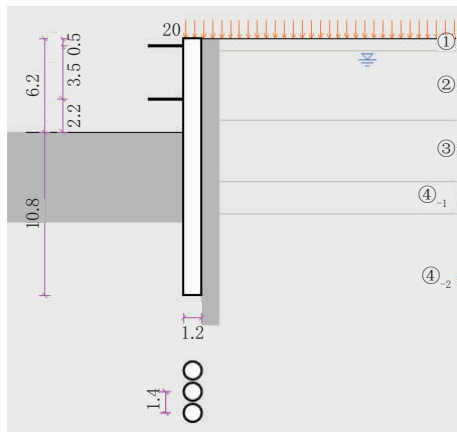


图 4 基坑验算截面图(单位:m)

表 2 基坑稳定性计算值汇总表

项目	整体稳定性	抗倾覆稳定性	坑底抗隆起	墙底抗隆起	抗渗流稳定性
规范要求	1.35	1.25	2.20	1.80	1.60
计算值	2.4	2.33	2.65	3.38	3.10

倾覆稳定性、坑底抗隆起、墙底抗隆起、抗渗流稳定性系数均满足《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120—2012)中安全等级一级要求。

### 2.4 施工注意事项

(1) 尽量避免在雨季施工,若必须在雨季施工时,开工前一定要与铁路局有关部门办好手续,施工前要加强安全措施,注意基坑坡面防水、桩孔四周挡水、防下雨等临时措施,谨防基坑和路基失稳坍塌,并做好防洪准备,严禁基坑浸入洪水中浸泡。

(2) 低净空钻孔桩施工期间,严禁管内抽水,避免抽水产生负压,引起周围的地下水夹带细粒土向管内流动,引起地层损失,影响周围建筑物稳定性。

对每节套管焊口应严格检查,确保焊缝宽度均匀无夹砂、焊漏、局部变形等质量问题。含水粉砂层中的钻进,应做好施工组织,在施工作业中避免出现长时间停钻现象,应一次穿越粉砂层。

(3) 基坑内土方每层开挖深度不超过 2 m,严禁一次开挖到底或者超挖,开挖应分层、分区进行,挖到距离设计标高还差 1 m 时,采用人工开挖,挖到设计标高后及时铺设碎石垫层和浇注混凝土垫层进行封底,严禁长时间基坑暴露。

### 3 结 语

通过对软土地区道路下穿高铁基坑设计方案设计要点简析,结合江苏省某市政道路下穿高速铁路实例设计方案,从基坑支护、止水帷幕和地基加固等方面分析高铁桥下基坑设计重点。高铁下基坑开挖,除考虑常规基坑设计要点外,应将保证铁路安全运营作为重要考虑因素,设计方案应充分征求铁路主管部门意见,施工过程中注意对铁路桥墩沉降和基坑支护变形监测。

#### 参考文献:

[1] 左亚飞,新建公路工程下穿既有高速铁路桥梁影响的研究[D],北京交通大学,2016.

[2] 王树芳,道路下穿铁路工程设计中的关键技术研究[J],江西建材,2016,23(19):179-182.

[3] TB 10182—2017,公路与市政工程下穿高速铁路技术规程[S].

[4] 陈广树. 下穿高速铁路桥梁的 U 型槽大体积基坑开挖方案优化研究[J],北方交通,2021(3):36-39.

[5] 王一莹. 城市道路下穿既有普速铁路桥梁影响分析[J]. 科技资讯,2022,20(1):96-98.

(上接第 233 页)

学,2008.

[4] 李艳坤,夏新波.城市绿化建筑垃圾污染区的土壤改良技术[J].中国高新科技,2021(4):140-141.

[5] 赵青龙,冷发光,何更新,等.各国建筑垃圾再生骨料标准浅析[J].建筑结构,2011(11):159-163.

[6] 吴兆仁,李剑锋,张伟.建筑垃圾用作掺和料对混凝土性能影响的研究[J].混凝土世界,2016(8):58-62.

[7] 王申宁. 建筑垃圾超细粉对砌筑砂浆基本性能影响的试验研究[D].青岛:山东科技大学,2017.

[8] 韩瑞民,祁峰,张名成.建筑垃圾再生混合料配合比设计及性能试验研究[J].建设科技,2014(1):25-28.

[9] JTG-T 2321—2021,公路工程利用建筑垃圾技术规范[S].

[10] DB4110 T6—2020,建筑垃圾再生集料道路基层应用技术规范[S].

[11] DB 61/T 1147—2018,道路用建筑垃圾再生细集料技术规范[S].

[12] 凌辉勋. 一种蒸压自保温砌块及其制备方法研究[J].砖瓦,2018(6):34-35.

[13] 黄鑫,田风,倪柳芳,等.建筑垃圾再生细骨料制加气混凝土砌块研究[J].建材与装饰,2021,17(20):27-28,31.