

DOI: 10.16799/j.cnki.csdqfh.240703

# 大湾区临河涌道路软基处理

钟晓梅

(中国市政工程西北设计研究院有限公司, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 详细探讨了湾区软土层的特性及其潜在风险, 揭示了处理软土地基的重要性和遵循的基本准则; 结合具体的工程实例, 研究与河涌同时施工的大厚度软土路基的有效处理方式, 结合项目的紧迫性、经济性以及设计要求提出了2种的河涌护岸+路基处理方式: (1) 河涌侧向约束支护(预制混凝土板桩)+路基采用轻质泡沫混凝土; (2) 河涌护岸采用浅埋式支护(素混凝土墙+松木桩)+路基采用复合地基法(水泥搅拌桩), 并分别对两种组合方式进行了整体稳定性的定量评估和完工后的沉降量计算(针对道路中心线), 并将这些理论应用到了实际的工程操作中。充分发挥本方案的实用经济性, 为河网密布的湾区工业园道路建设提供实际且有效的参考。

**关键词:** 临水道路; 软土地基; 素混凝土墙+松木桩; 水泥土搅拌桩; 预制混凝土板桩; 轻质泡沫混凝土

中图分类号: U416.1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)01-0207-04

## Soft Foundation Treatment of Riverside Roads in Greater Bay Area

ZHONG Xiaomei

(Northwest Design Research Institute of China Municipal Engineering Co., Ltd., Gansu Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** The characteristics and potential risks of soft soil layers in the Bay Area are discussed in detail, and the importance of treating soft soil foundations and the basic principles to be followed are revealed. Combined with the specific engineering examples, the effective treatment methods of thick soft soil subgrade constructed at the same time with the river are studied. Two methods of bank protection+subgrade treatment are proposed combined with the urgency, economy and design requirements of the project, which are the lateral constraint support for river (precast concrete sheet piles) + light foam concrete for subgrade, and the shallow buried support (plain concrete wall + pine pile) for riverbank protection and the composite foundation (cement mixing pile) for roadbed. The overall stability of two combination methods is quantitatively evaluated and the settlement after completion is calculated (for the road center line), and these theories are applied to the practical engineering operations. The practical economy of this scheme is fully played, which provides the practical and effective reference for the road construction of the Bay Area Industrial Park with dense river networks.

**Keywords:** riverside road; soft soil foundation; plain concrete wall + pine piles; cement soil mixing pile; prefabricated concrete sheet piles; lightweight foam concrete

## 0 引言

随着大湾区经济的迅猛腾飞, 对高新制造业产业园区的基石工程——基础设施建设, 其严苛的质量标尺、投资规模以及施工进度管控正面临前所未有的挑战。每一个环节都必须精益求精, 以适应这一区域经济发展的澎湃动力。

大湾区区内河流纵横、水网密布、大小河流蜿蜒曲折, 河流与海湾广为分布, 汛情长, 潮汐荡漾, 在长

期地质营力下, 广泛堆积着厚层的软土。广阔区域内的软土层深厚, 土质质量较差, 各项参数欠佳, 导致处理复杂性增加, 同时软土地基的整治成本显著高昂。湾区内新建的工业园区往往需要考虑防洪排涝的需求并新建河涌, 且大湾区经济较为发达, 无论是主干道还是次级道路, 都面临着高密度的交通需求。鉴于工程的时间紧迫性, 常有新建的水道和道路需在深厚软土层上施工, 这往往导致路基出现滑坡、裂缝和过度沉降等问题, 严重影响行车安全。因此, 探索如何科学且恰当地处理河岸防护与道路软基, 对于增强河岸的稳固性、提升地基承重能力、保证道路结构的安全稳定性和减少路基完工后的沉降

收稿日期: 2024-07-10

作者简介: 钟晓梅(1982—), 女, 本科, 高级工程师, 从事道路设计工作。

量,具有重大而深远的影响。所以,在道路建设的过程中,如何有效应对软土地基的问题显得至关重要。本文将基于实际案例进行探讨,对工业园区大厚度软土地基的河涌护岸以及道路路基联合处理方式以及效果进行研究。

## 1 软土及软土地基

常见的软土种类包含泥炭土、淤泥、淤泥质土及粉砂、粉质黏土等。若不妥善处理,会对建设工程产生显著的不利影响<sup>[1]</sup>。

### 1.1 软土地基特点

软土,通常指的是一种在自然状态下含水率极高(常常超过70%),具有大孔隙比例,高压缩性和低抗剪强度的黏性土壤,其状态多呈现软塑至流塑。此类型土壤的特性还包括长时间的固结过程,高度的敏感性,易受扰动影响,以及较差的透水性能。其地层结构错综复杂,各层次的物理力学性质差异显著,且缺乏明显的规律性<sup>[2]</sup>。

### 1.2 软土地基破坏特征

软土层基础的特性因其显著的可压缩性而闻名,当在这种地基上建造路堤时,会遭遇2类主要问题:一是稳定性问题,二是显著的沉降和形变。路堤在软基上的失效通常表现为边坡的滑移不稳定,这通常归因于施工速率过快,边坡过于陡峭,或是地基承载力不足所致。通常情况下,市区道路或公路的建设进程较为稳健,能够从容应对地基内孔隙水压力的自然衰减,不至于对地基稳定性构成威胁。然而,如果遇到陡峭的路堤边坡,或者在没有桩基础支撑的重力防护墙设计中,一旦路堤负载超越地基的承受极限,就可能引发显著的剪切形变,进而触发灾难性的滑坡失效。针对此类状况,应强化路堤坡面区域的地基处理,提升其承载力及抗剪切性能,以此确保路堤与地基的稳固性。

### 1.3 软土地基处理和路堤设计依据

在特定的地基环境中,一旦路堤的高度达到某个临界点,地基可能出现显著的沉降现象。在完成预定的预加载时段后,如果剩余的竣工沉降量超过工程设计所设定的标准,那么可推断此地基对当前路堤荷载的承受能力不足。若路堤继续加高,地基的沉降可能无法达到平衡状态,甚至可能引致路堤的滑移破坏。这两种状况都表明地基承载力不达标,需要采取加固措施。软土地基处理和路堤设计的依据为:路堤填筑高度大于路堤极限高度,且稳定

安全系数小于规范规定的容许值( $F=1.10\sim 1.40$ )时,应针对稳定性进行处治设计;当路面在设计的使用寿命期间,其剩余沉降度未达到允许的最终沉降标准时,应专门制定处理设计方案以解决沉降问题。

### 1.4 软土地基路堤稳定性验算

在进行地基和路堤的整体抗剪强度评估时,推荐采用分段圆弧分析策略;通常情况下,建议运用总应变理论或者有效固结应力准则进行计算。若具备条件,还可尝试应用有效应力法来估算稳定性安全比值 $F$ ,以确保设计的精确性和安全性。

## 2 工程概况

在佛山市的一个工业园区道路开发计划中,项目选址位于珠江三角洲的平原地带,其地理特征表现为广阔而平坦。当前场地是经过人工填筑的土地,原本的农田、沟渠和池塘大部分已被平整,提供了理想的建设环境。规划的道路全长约2 km,分为南北两部分,其间将建设新的河道和护岸。该工程参照城市次干路的标准,设计为4车道,预计行车速度为50 km/h。道路单幅红线宽度36 m,属新建道路;经过详尽的现场调查,虽然未察觉到明显的滑坡、崩塌或岩溶问题,但场地内潜藏的软土特性不容忽视。对此,我们有必要实施相应的应对策略。基于钻探揭示的地层动态,结合深入的工程设计细节以及周边地质背景知识,我们发现勘察区域内主要的地质构成包括:人工填土、粉质黏土、淤泥质土、粉状砂粒以及中砂层。沿线区域的表层主要由人工填土层构成,该土层的淤泥质土部分厚度显著不一,层厚1.40~23.70 m,平均厚度15.5 m,是道路结构经过的主要土层。经现场勘测确定的该项目主要土层物理力学参数(重度 $\gamma$ 、黏聚力 $c$ 、内摩擦角 $\phi$ 等)见表1。

表1 主要土层物理力学参数表

土层	厚度/m	压缩模量/MPa	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	$c/\text{kPa}$	$\phi/(\text{°})$
人工填土	1.6	3.5	18.5	5	10
粉质黏土	3.0	4.06	18.8	15	10
淤泥质土	15.5	2.55	17.2	5	5
粉砂	3.5	6.0	20.1	0	25
中砂	4.7	8.0	20.1	0	30
圆砾	—	15.0	21.0	0	40

## 3 新建临水道路软土地基处置方案

该场地内软土分布广泛且厚度较大,不适合浅

层换填处理。由于工期紧张,若采用塑料排水板及预压技术,因控制措施不足,将难以保证质量,因此不适用于本项目。两幅道路之间为新建河涌,河涌的护岸的建设方案分别为素混凝土墙+松木桩以及预制混凝土板桩(下文简称“板桩”)。由于北幅道路沿线企业投产时间紧张,施工工期仅有6个月,为保证路堤的稳定以及工后沉降要求,本工程最终决定北幅的河涌护岸采用预制混凝土板桩,道路路基处理采用轻质泡沫混凝土联合处理方式,见图1。

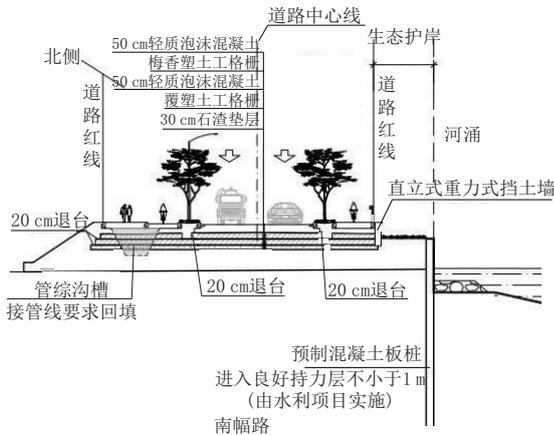


图1 北幅路轻质泡沫混凝土路基处理布置断面图

对于时间较为充裕的南侧路段,河涌护岸采用素混凝土墙+松木桩,道路路基处理采用水泥土搅拌桩复合地基技术<sup>[3]</sup>联合处理方式,见图2。水泥土搅拌桩的桩径为0.55 m,桩的顶部间距设定为1.3 m,采用等边三角形排列方式。在桩顶上方,铺设了30 cm厚的级配碎石垫层。值得注意的是,在碎石层下15 cm处,布置了一层双轴向土工格栅。工程中选择了18%和20%的水泥掺量。水泥土搅拌桩的施工方法因其快速、沉降控制简便、承载力优良以及拥有成熟的技术和实践经验而被采用,确保了工程质量的可靠性。

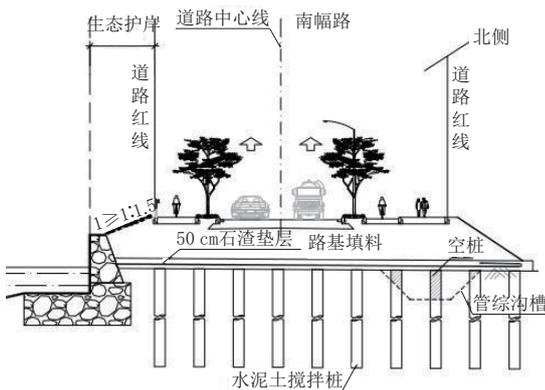


图2 南幅路水泥土搅拌桩路基处理布置断面图

#### 4 临水软基地基验算分析

软土地基稳定性设计的第一步是确定设计路段的极限填土高度。根据试验淤泥质土的黏聚力为5 kPa,按经验公式计算极限填土高度 $H_c=3C=1.5$  m。该路段路基平均高度为1.8 m,大于 $H_c$ 值。因此,对于超过极限高度的路堤,要保证其稳定性就必须采取相应的稳定措施。一般来说,考虑稳定措施的原则先采取地面措施,再采取地下措施。结合项目时效性以及工程投资,地基处理采用以下3种工况。

工况1:项目时间紧张,投资适度放宽。河涌侧向约束支护(预制混凝土板桩)+路基采用轻质泡沫混凝土。路基采用地面措施,路基处理为轻质泡沫混凝土厚度为1 m,28 d抗压强度不小于1.0 MPa,河涌护岸采用预制混凝土板桩,桩长平均为15 m,见图3。

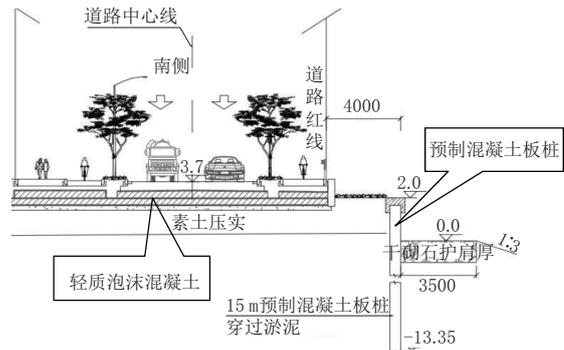


图3 预制混凝土板桩支护+轻质泡沫混凝土路基联合处理设计断面图(单位:mm,标高为m)

工况2:项目时间充足,投资紧张。河涌护岸采用浅埋式支护(素混凝土墙+松木桩)+路基采用复合地基法(水泥搅拌桩)。路基采用地下措施,路基下采用水泥土搅拌桩,桩径0.55 m,桩顶桩间距1.3 m,桩长平均长为10 m。对于河涌护岸采用浅埋式支护:素混凝土墙+松木桩,桩长为5 m。为提高河涌护岸稳定性的储备,对靠近河涌侧的两排路基水泥搅拌桩水泥掺量增加至20%,其余为18%,见图4。

工况3:路基不做任何处理。本工程河涌护岸整体抗滑稳定参考《堤防工程设计规范》(GB 50286—2013)附录F中规定的瑞典圆弧法计算。对于次级斜坡的抗滑稳定性评估,我们采用了北京理正软件设计研究院自主研发的岩土边坡稳定分析系统。采用总应力法以及直接快剪指标。另对于板桩护岸辅以《理正深基坑支护设计》计算其抗倾覆稳定性。结合《城市道路路基设计规范》(CJJ 194—2013)及本项目填方地基土渗透性差、排水条件不好,稳定安全系数取1.2。

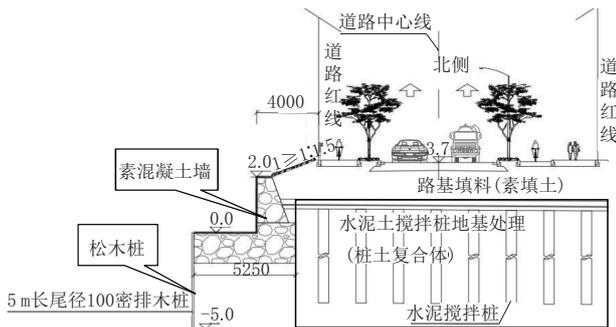


图4 素混凝土墙+松木桩支护及水泥土搅拌桩复合地基技术联合处理设计断面(单位:mm,标高为m)

对于时间紧迫路段,若采用地下处理措施则难以满足工期要求,故只能采用地面处理措施即工况1验算如下:如图3所示,河涌采用预制混凝土板桩护岸,板桩长15m,道路高程为3.7m。护岸高程为2.0m,河涌底标高为0.0m。道路软基上采用1m厚轻质泡沫混凝土,重度为 $6\text{ kN/m}^3$ 。由于淤泥的含水量在50%~80%之间,流动性很强,为了约束路基下淤泥的流动,避免发生滑移的情况,河涌护坡采用预制混凝土板桩,并穿透淤泥层。经过详尽的评估,河岸护坡的结构稳定性评估结果显示其综合安全系数达到了1.864,远超标准设定的1.30界限,体现出显著的稳固性。同样,其抗倾覆性能系数为1.406,也超越了基准值1.20,充分保证了结构的稳固与耐久。所有数据的收集和处理严格遵守了既定的标准和准则。对路基的沉降研究表明,竣工后的累积沉降量仅为30cm。这一结果在与《城市道路路基设计规范》(CJJ 194—2013)中的相关规定进行比较时,其中规定次干路普通区段的沉降极限为50cm,显然,我们的工程控制达到了高标准,符合规范要求,表现出卓越的工程管理成效。因此,整个项目的路基性能完全满足设计标准和使用需求。

对于大厚度淤泥路基且施工时间充裕路段,采用地下处理措施即工况2,如图4所示,验算如下:路基采用水泥土搅拌桩地基处理方式,水泥掺量为18%。由于河涌护岸采用素混凝土墙+松木桩方式,为保证路基稳定性以及提高河涌护岸稳定性的储备,在靠近河涌侧的两排路基水泥搅拌桩水泥掺量增加至20%。根据勘察室内土工试验,水泥桩间土黏聚力 $c=12\text{ kPa}$ ,验算后滑动安全系数为 $1.24>1.20$ ,路基计算工后沉降为22cm,满足规范要求。

对于路基不作任何处理工况3,计算工后沉降高达1.1m,工后沉降不满足规范要求且路堤过大的下沉和变形,以致产生较大的剪切变形导致滑移破坏。

故本项目不推荐使用。

综上,本项目紧密结合工程投资与进度即不同的工况,以提高软土地基处理质量为目标制定的处理措施如下。(1)工况1的河涌侧向约束支护(预制混凝土板桩)+轻质泡沫混凝土地基处理法,板桩穿透淤泥层并进入持力层不小于1m以限制基底软土的挤动,因此,确保地基的稳固性是至关重要的,而路基采用轻型路堤则能有效降低路堤自身的负荷,减小完工后的地基沉降,并提高安全稳定性系数,但是预制混凝土板桩造价较高,长15m的板桩每延米(沿河涌方向)造价高达上万元。但若项目的时效紧张并重要性很大,可优先考虑。(2)工况2的河涌浅埋支护(素混凝土墙+松木桩)及水泥土搅拌桩地基处理法,本项目主要聚焦于选用技术成熟、经济效益显著的水泥搅拌桩。经加固处理后,桩间土壤的物理力学特性显著增强,表现为孔隙比显著降低,密度略有增大,抗剪强度得到大幅提升。经过精确计算,证实了路基的稳定性得以显著提升,并为原本处于欠稳定状态的河道堤岸提供了额外的稳固保障。为了保证处理的质量以及经济性,首先需根据室内实验确定水泥土强度与水泥掺入量关系,结合桩长、桩间距、布桩方式,计算工后沉降及达到设计所求的容许承载力。本方案具有一定的经济优越性,若项目的时效允许,可参考本方案,现场的完成效果较为理想。

## 5 结语

在设定的2种工况中,工况2河涌浅埋支护(素混凝土墙+松木桩)及水泥土搅拌桩地基处理法,如图4所示的地基处理效果较好,水泥土搅拌桩技术在组合地基处理中展现出卓越的效果,能有效应对路基完工后的过度沉降问题<sup>[4]</sup>。同时,其工程成本相比工况1(预制混凝土板桩支护+轻质泡沫混凝土路基联合处理法,如图3所示),造价能降低10%至20%,故此方法可作为同等工程条件下的地基处理借鉴,具备一定的实际应用价值和参考意义。

### 参考文献:

- [1] 苏传行,赵甜甜.水泥土搅拌桩在城市道路软土地基的应用[J].城市道桥与防洪,2024(3):31-33,38.
- [2] 李云浩,刘方.道路工程施工中的软土地基处理技术[J].工程建设与设计,2022(16):206-208.
- [3] GBT 50783—2012,复合地基技术规范[S].
- [4] 殷爱国,刘明辉.水泥搅拌桩复合地基在郑焦城际铁路软基处理中的应用[J].路基工程,2011(4):159-161,165.