

# 钻孔灌注桩穿越厚砂层施工工艺

吴楠

(中交一航局第三工程有限公司)

**摘要:**在厚砂层地质条件下进行钻孔灌注桩施工,常常会遇到塌孔、断桩等问题。因此,研究灌注桩穿越厚砂层的施工技术,设计出有效防止塌孔措施至关重要。结合长春经济圈环线高速公路农安至九台、双阳至伊通段工程的施工,对泥浆相对密度进行试验,研究结果表明,采用增加护筒打设深度和增大泥浆相对密度的方法,能够有效提高穿越砂层的施工效率,降低施工风险,保证工程质量,提升了灌注桩技术在复杂地质条件中的应用前景,对于解决厚砂层地质条件下钻孔灌注桩施工中的难题具有重要的理论和实际意义。

**关键词:**钻孔灌注桩;厚砂层;塌孔;钢护筒;泥浆

## 0 引言

钻孔灌注桩作为一种重要的地基处理技术,在基础工程中得到了广泛应用。然而,在复杂的地质条件下,特别是厚砂层地质条件下的施工,常常会遇到诸多挑战,如穿越砂层困难、施工效率低下等问题,严重影响工程的进展和质量。针对上述问题,国内外学者们进行了大量的研究,提出了解决方案,如采用高压注浆<sup>[1]</sup>、改进钻具结构<sup>[2]</sup>等,以提高在砂层地质条件下的施工效率和质量。然而,针对厚砂层地质条件下的具体施工问题,目前尚缺乏系统的研究和解决方案。如何有效地解决在厚砂层地质条件下钻孔灌注桩施工中的难题,成为了当前工程技术研究和实践中的重要课题。

国内外研究主要集中在改进施工工艺和设备上,而对于如何在厚砂层中提高钻孔灌注桩的施工效率和质量方面,尚未有较系统和深入的研究。因此,本文将从增加护筒打设深度和增大泥浆相对密度 2 个方面探讨对施工效果的影响,并从理论和实践 2 个层面对其进行深入地分析和验证。结果表明,该方法可有效提高施工效率和施工质量,可为今后类似工程的施工提供参考和借鉴。

## 1 工程概述

### 1.1 项目概况

长春经济圈环线高速公路项目(二期)中的饮马河特大桥受饮马河水位与地质的影响,施工难度较大。饮马河特大桥全长 1 567 m,跨越河道段工程地质中砂、粗砂层较厚,该处结构为分离式,横向为 4 根桩基,桩基设计直径为 1.6 m,桩长

30 m。在灌注桩施工过程中,由于泥砂层较厚桩基施工过程需采取措施避免频繁出现塌孔。

### 1.2 地质条件

根据地勘显示,该区段桩基范围内由上到下依次为粉质黏土(填筑土)、细砂(厚度为 6.7~10.7 m)、全风化泥岩、强风化泥岩(厚度为 11.2~17.2 m),个别桩底位置地质为中风化泥岩,桩基进入中风化岩层深度为 2.5~3.4 m,地勘图见图 1。

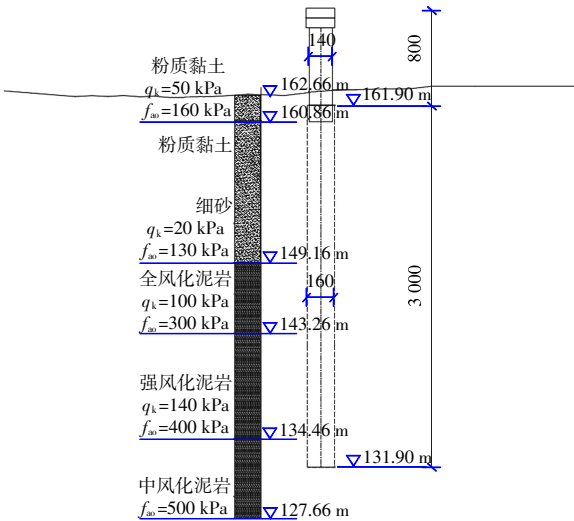


图 1 饮马河特大桥 46 排 0 号桩基地质勘探图(cm)

### 1.3 水文条件

饮马河为季节性、游荡性河流,地表径流分散,河流不发育,地下水以潜水为主,在河岸地段有小面积的承压水,由于受到河道游荡影响,冲积砂淤积量大且面广。

## 2 工程施工分析

### 2.1 工程难点

#### 2.1.1 质量难点

1) 砂层坍塌问题: 在穿越砂层时, 砂土容易坍塌, 导致桩孔失稳, 影响桩身质量。

2) 桩体成型问题: 砂土流动性强, 可能导致桩体周围的混凝土浆液难以保持均匀, 影响桩体质量。

#### 2.1.2 安全难点

1) 坍塌危险: 穿越厚砂层时, 桩孔壁面容易发生坍塌, 可能会造成施工人员受伤。

2) 压密作用: 在砂层中施工可能引起周围土体的压密效应, 导致地面沉降, 影响周边建筑物的安全。

#### 2.1.3 施工效率难点

1) 桩孔清理困难: 由于砂土具有流动性, 清理桩孔中的杂物和泥浆比较困难, 影响施工进度。

2) 工艺调整需求: 由于砂土的特性不同, 需要根据具体情况调整施工工艺, 增加了施工难度和时间成本。

### 2.2 工程关键点

1) 工程设计水位较低, 需在汛期来临前完成承台施工, 需要合理安排施工组织。

2) 该桥梁工程位于关键线路, 工期较紧, 桩基及墩柱必须在当年枯水季节完成施工, 丰水期无法进行筑岛施工, 若搭设栈桥将极大增加施工成本。

3) 因桩基地质主要为砂层, 透水性强, 护筒底部土层厚度不足出现漏水, 造成泥浆水头高度不足, 对孔壁压力小<sup>[9]</sup>。需要对泥浆及护筒的参数进行充分论证, 保证工艺的可行性、施工的安全性和经济的合理性等<sup>[9]</sup>。

## 3 施工工艺

采用长 12 m 加长护筒利用打拔机将加长护筒吊放至孔位, 穿越厚砂层, 保证护筒衔接严密不漏水, 防止不良地质造成钻孔坍塌。加大泥浆相对密度, 利用厚泥浆保护好孔壁, 防止塌孔, 并适当减慢钻进速度。

### 3.1 施工工艺流程

施工前, 桩位的放样允许偏差为 20 mm, 单排桩桩位的放样允许偏差为 10 mm。对混凝土的原材料质量与计量、配合比、坍落度、强度等级等进行检查, 泥浆严格按试验数据配置。采用低

应变反射波法检测桩身完整性, 施工工艺流程为: 钢护筒制作→测量放样→钢护筒起吊→钢护筒安装与校核→钻进成孔→钢筋笼安装→导管安装→水下混凝土灌注。

### 3.2 钢护筒制作

根据地质资料分析基坑砂层厚度为 8.4~14 m, 砂层下为全风化泥岩或强风化泥岩。根据地质实测情况, 钢护筒(内径 $>D+200$  mm,  $D$  为桩径)至少要有 1 000 mm 以上深度穿过砂层进入下层, 即护筒高度为 9~15 m, 并保证钢护筒的最小长度不小于 9 m, 当长度不足时可进行焊接。

钢护筒上下 2 个口加固处理, 避免钢护筒在振动下沉的过程中发生变形, 钢护筒的上下端均焊接了加强型钢板。

### 3.3 桩位测量放样

桩位采用 GPS 进行放样, 放样后钉好木方, 在木方上钉铁钉, 护桩采用混凝土固定无松动, 采用直径不少于 16 mm 且长度不小于 100 cm 的钢筋, 外露 50 cm, 插入深度不小于外露长度, 冲孔过程随时监测桩中心位置。由主办施工员、测量员上报监理进行桩位护筒复测, 如复测偏差较大, 立即调整, 复测合格后准备开孔。

### 3.4 钢护筒安装

桩位放样完成后用挖掘机开挖, 开挖半径应比护筒半径大 0.5 m 左右, 利用打拔机将钢护筒吊放至引孔中, 通过桩位调整使钢护筒中心点与桩基中心点重合。确定无误后, 利用打拔机下压护筒, 每下压 2 m, 通过不断调整 4 个护桩到钢护筒的距离, 使钢护筒中心点与桩基中心点重合, 直至钢护筒安装完成。护筒顶高出地下水位或孔外水位 1.5 m, 并高出地面 0.3 m, 四周用黏性土回填夯实。

### 3.5 钢护筒校核

护筒埋设时采用十字架对中法校正护筒上下中心位置, 保证护筒倾斜度不大于 1%, 护筒中心位置与桩中心位置偏差不大于 50 mm, 施工期间应定期检测护筒位置。安装完成的钢护筒, 需要专业测量员重新校核, 确认无误后, 方可进行下道工序。

### 3.6 泥浆制作

泥浆制作是否满足施工要求是达到既定目标的重点之一, 泥浆按设计的泥浆配合比配置, 确保泥浆指标满足施工要求。钻孔期间随时对泥浆

性能进行检测，不符合要求时及时调整。

泥浆指标是否满足施工要求，不仅与制备泥浆的材料有关，还与外界施工环境有关。本工程在厚砂层环境中，采用旋挖钻进行钻孔，在进行泥浆设计时，采用膨润土进行造浆，并对膨润土供应厂家的膨润土造浆率进行了计算，计算时参考了 API 标准、OCMA 标准、JBAS 标准及苏联标准，见表 1。

表 1 泥浆制备膨润土指标表

标准	质量标准指标				
	对被测土的技术要求		泥浆达到的性能指标		造浆率/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ )
	水分 含量/%	200 目筛余 量/%	API 失水/ %	漏斗黏度/ s	
API 标准	<10	<5.0	<13.5	—	>16
OCMA 标准	<15	<2.5	<15.0	—	>16
JBAS 标准	<10	<4.0	<415.0	—	>16
苏联标准	6~10	含砂率<6.0	—	25	>15

这些标准均没有针对地层环境以及使用的成孔设备给出泥浆性能的指导建议，针对这个情况，我国规范给出了指导建议，见表 2<sup>[9]</sup>。

表 2 泥浆性能指标(部分)

钻孔 方法	地层情况	泥浆主要性能指标			
		相对密度	黏度/( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ )	含砂率/%	pH 值
正循环	一般地层	1.05~1.20	16~22	4~9	8~10
	易坍塌地层	1.20~1.45	19~28	4~9	
反循环	一般地层	1.02~1.06	16~20	<4	8~10
	易坍塌地层	1.06~1.10	18~28	<4	
	卵石土	1.10~1.15	20~35	<4	
旋挖	一般地层	1.02~1.10	18~22	<4	8~11
冲击	易坍塌地层	1.20~1.40	22~30	<4	8~11

根据造浆率的要求，最终采用 API 标准，选择合适的膨润土造浆，确定初始造浆比例为膨润土:水:烧碱=80 kg:1 000 kg:3.5 kg。在桩基点附近进行了 6 次钻孔试验选择合适的泥浆性能指标，如表 3 所示。

表 3 钻孔试验数据表

试验 次数	钻孔 方法	地层 情况	泥浆主要性能指标			结果
			相对密度	黏度/( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ )	含砂率/%	
1	旋挖	砂层	1.1	16	3.5	4.5 m 处塌孔
2	旋挖	砂层	1.2	18	3.5	4.7 m 处塌孔
3	旋挖	砂层	1.3	20	3.5	8.7 m 处塌孔
4	旋挖	砂层	1.4	22	3.5	8.7 m 处塌孔
5	旋挖	砂层	1.5	24	3.5	18 m 处未塌孔
6	旋挖	砂层	1.6	26	3.5	18 m 处未塌孔

经试验最终确定，泥浆性能指标按相对密度 1.5~1.6，黏度 24~26  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ，含砂率<4%控制。

3.7 钻进成孔

钻机就位前，对钻孔各项准备工作进行检查。钻机底座和顶端必须平稳，钻进过程中，通过旋挖钻自动检测设备及人工量测方法判断钻杆是否垂直，并通过深度计数器控制钻孔深度。

成孔时，注意控制钻进速度和深度，防止出现超钻，并核实地质资料判断是否进入设计地层。

钻孔达到桩底设计标高即成孔后，再对孔深、孔径、桩孔垂直度、桩位等进行复测，复测合格后，上报主办施工员，由主办施工员上报监理进行成孔复测，复测合格后清孔。

3.8 清孔及验孔

清孔采用换浆法，钻孔达到设计标高后，将钻头提起，然后注入净化泥浆(根据试验测定配置)，形成泥浆循环。利用循环将孔内泥浆土渣排出，严禁用加深孔底的方法代替清孔。清孔时，注意保持孔内泥浆面高度始终在地下水位或孔外水位 1.0~1.5 m 以上，且高于护筒底标高 0.5 m 以上，以及泥浆相对密度是否合适，防止塌孔、缩孔。

孔深采用带刻度的测绳及测锤检测，孔径和孔形采用探孔器检测。探孔器的设计直径为钻孔桩直径  $D$ ，长 $(4\sim6)D$ 。

3.9 钢筋笼制作与安装

钢筋笼加工制作均在钢筋加工场集中进行，见图 2。用吊车和板车运输至现场，再由吊车吊装入孔，根据钢筋笼的重量选择吊装设备规格。钢筋笼吊装时采用吊车两点起吊，上端采用扁担梁过渡，起吊后对准孔位，尽量竖直轻放、慢放。



图 2 钢筋笼制作

严禁直接穿过钢筋笼挂在护筒壁上,在起吊第 2 节钢筋笼与第 1 节钢筋笼连接,钢筋笼的接长、安放过程中,始终保持钢筋笼垂直;钢筋笼接长按设计图纸采用套筒连接,每节接长保证顺直度满足要求,接头牢固可靠,同一断面接头数量不超过总根数的 1/2。

所有骨架安装完毕后进行钢筋笼中心定位,确定重合后在顶部加强箍四周均匀焊接 4 根定位钢筋定位。完成钢筋笼中心定位后进行钢筋笼底标高定位,采用吊筋定位,吊筋长度由测定的孔口标高和钢筋笼长度误差及现场垫起枕木的高度计算。钢筋笼下放完成后,通过十字护桩进行钢筋笼与桩位中心对中、固定,安装完成后上报主办施工员,由主办施工员上报监理验收合格后,浇筑混凝土。

### 3.10 导管安装

导管对正钢筋笼中心按照顺序依次慢慢下放,下放导管时应防止碰撞钢筋笼,各管节间连接安放“O”形密封圈,并保证每管节间连接紧扣。导管支撑架用型钢制作,支撑架支垫在护筒两侧的枕木上,枕木放置平稳,严禁将支撑架放在护筒上。导管全部下放到孔底,核对导管长度及孔深,然后向上提升 30~40 cm,开始浇筑水下混凝土。漏斗的容积要满足首灌方量要求并保证卸料时混凝土不会溢出。

### 3.11 水下混凝土灌注

混凝土浇筑应连续进行,不得中断,并始终使导管理入混凝土中足够深度,导管提升下放要轻提轻放,避免提升下放过快对护筒造成扰动。

灌注过程中,密切注意孔口情况,若发现钢筋笼上浮,应暂停浇筑,同时在钢筋笼上加压重物,在不超过规定的中断时间内继续浇筑;若发现孔口不返浆,立即查明原因,采取相应的措施处理。提升导管时应保持轴线竖直、位置居中。如果导管卡挂钢筋笼,可转动导管,使其脱开钢筋笼,然后再提升。每罐混凝土浇筑完成后测量桩孔内混凝土深度,并及时填写水下混凝土灌注

记录表,确定灌注高度和埋管深度,指导导管的拆卸工作。当灌注方量与混凝土顶面位置不相符时,及时分析原因,找出问题并处理。混凝土的实际灌注标高要高于设计标高 60 cm 以上,以保证桩头混凝土的强度,多余部分在承台混凝土施工前凿除,桩头应无松散层。

### 4 施工效果

通过组织有经验的施工队伍,强化施工管理,解决了河道区域厚砂层地质下钻孔塌孔的问题,砂层厚度超过 10 m 的桩基共 31 根,其中靠近饮马河两侧方向的两排桩基共 8 根桩采用加长钢护筒(12 m)的方式成孔,其他 23 根桩采用泥浆护壁工艺,均无塌孔。采用本文所述工艺,完成了既定的工期节点目标,后期经桩检均为一类桩,取得了较好的应用效果和示范作用。

### 5 结语

在本工程中采用长护筒和适当加大泥浆相对密度的措施,成功避免了塌孔现象的发生,也没有出现缩颈、断桩等问题,降低了钻孔灌注桩的风险,提高了施工进度,保证了项目钻孔灌注桩的顺利钻进和成孔质量。通过对泥浆配比设计的研究,总结了不同膨润土,在相同地质环境下配比的细微差别对实际泥浆效果的影响,积累了灌注桩在穿越砂层施工中泥浆制备的经验,可为今后类似工程的施工提供借鉴和参考。此方法也可能限制其在一些特定的工程地质中,未来的研究可以通过针对塌孔的确切深度来优化泥浆配比与护筒长度的组合,以此扩大此方法的适用范围。

### 参考文献:

- [1] 汪银广,翟光耀,姚瑞平,等.巨厚砂层中钻孔灌注桩施工关键技术研究[J].福建建筑,2021(9):122-126.
- [2] 欧阳继平,黄学龙.超厚砂层超深埋深大孔径钻孔灌注桩施工技术研究[J].新型工业化,2019(3):98-102.
- [3] 黄玮,张健,文华,等.下穿厚砂层的混凝土钻孔灌注桩施工关键技术研究[J].混凝土与水泥制品,2019(3):89-92.
- [4] 池秀文,姚志伟,林驰.厚砂层钻孔灌注桩成孔泥浆配比分析[J].武汉大学学报,2012,45(4):477-480.
- [5] JTG/T 3650—2020,公路桥涵施工技术规范[S].