

# 塑性混凝土垂直防渗帷幕施工技术及其质量控制

董烜瑀, 董鹏, 邹宏浩  
(中交一航局武汉建设投资有限公司)

**摘 要:**为解决垃圾填埋场封场修复工程施工中可能发生渗滤液泄漏造成环境污染的问题,以塑性混凝土垂直防渗帷幕在洪湖山水项目中的应用为例,采用塑性混凝土垂直防渗帷幕工艺,在填埋场周围设置垂直防渗帷幕,与天然相对隔水层共同构成相对独立的止水单元,防止渗滤液泄漏。通过塑性混凝土、膨润土泥浆的科学配比,泥浆护壁的标准化管理,旋挖成孔的规范施工,商品混凝土浇筑的严格管控,防渗帷幕质量合格,抗压强度、防渗系数均满足设计要求,封场修复工程顺利进行。

**关键词:**塑性混凝土;垂直防渗帷幕;配合比

## 1 工程概况

洪湖湖滨生态缓冲带建设工程生活垃圾填埋场生态修复项目位于洪湖市新莲村,洪湖市生活垃圾处理厂填埋库区西北角空地。距市中心城区 7 km,占地 0.11 km<sup>2</sup>,现垂直帷幕围场一周封闭设置,总长约 1 260 m,平均桩长 10 m,钻孔  $\phi 1.2\text{ m}@800\text{ mm}$ ,采用水工塑性混凝土,施工工艺采用旋挖钻孔灌注桩技术。

## 2 塑性混凝土配合比

塑性混凝土是一种柔性材料,由于添加了较多膨润土、粉煤灰等材料,具有良好的防渗性能,同时具有大应变、低强度、低弹模等特性。垂直防渗帷幕采用塑性混凝土施工,可以使帷幕与周围土层保持一致的形变,同时起到良好的防渗作用,适用于垃圾填埋场的修复工程。为了保证垂直防渗帷幕的施工质量,除了科学选择组成塑性混凝土的物料外,还要对配合比进行合理设计。试验配比可参照 DL/T 5786—2019《水工塑性混凝土配合比设计规程》执行,根据性能及工程实际情况择优选择。并按照 DL/T 5303—2013《水工塑性混凝土试验规程》进行相关性能试验,配比的调整和确定按 DL/T 5330—2015《水工混凝土配合比设计规程》执行。根据浆材固结体性能指标择优选取。本工程塑性混凝土的基本材料包括水、水泥、砂、石子、钙基膨润土、Ⅱ级粉煤灰、减水剂等,基本材料的配合比设计见表 1。

按表 1 中的配合比制作塑性混凝土试块并检测,检测出混凝土的坍落度为 220 mm、渗透系数

表 1 塑性混凝土配合比

材料	水	水泥	砂	石子	钙基膨润土	Ⅱ级粉煤灰	减水剂 XC-100B
掺量	245	160	790	775	65	65	4.8

为  $5.6\times 10^{-8}\text{ cm/s}$ 、平均 7 d 抗压强度为 2.1 MPa,各项指标满足本次塑性混凝土防渗垂直帷幕的设计要求。

## 3 垂直防渗帷幕施工技术

### 3.1 垂直防渗帷幕作用

本工程垃圾填埋场的防渗系统由塑性混凝土垂直防渗帷幕与天然相对隔水层共同构成。通过在填埋场周围设置垂直防渗帷幕,并将帷幕底部嵌入填埋场下方存在的天然相对隔水层(本项目中为黏土层)一定深度,可使场区构成一个相对独立的止水单元。垂直防渗帷幕与相对不透水层互为补充、相辅相成,构成一个立体的复合防护系统,通过这种方式可以阻止周围地下水向止水单元内部渗透、防止渗滤液渗漏出止水单元,避免地下水受到污染<sup>[1]</sup>。

### 3.2 垂直防渗帷幕工艺

垂直防渗帷幕采用塑性混凝土咬合桩,施工工艺采用旋挖钻成孔施工,主要包括护筒埋设、成孔、塑性混凝土浇筑等,钻孔  $\phi 1.2\text{ m}@800\text{ mm}$ ;旋挖钻机成孔采用跳挖方式,单桩钻孔、清渣、验孔完成后立即浇筑水工塑性混凝土,采用泥浆护壁防止塌孔。以间隔 3~5 根桩的方式跳挖,先施工奇数桩,待商品混凝土初凝后施工偶数桩,分段进行咬合施工。

#### 4 垂直防渗帷幕施工质量控制要点

##### 4.1 护筒制作与埋设

本项目施工场地素填土土层厚 2.0~4.5 m, 为了保证施工质量和施工安全防止孔口塌方, 采用埋设直径 1.4 m、壁厚 15 mm、长 3.0~5.0 m 的钢护筒加泥浆护壁施工, 因埋设护筒施工必然会导致实际使用的塑性混凝土方量超出设计方量, 需要在计算时将充盈系数考虑进去。通过安装护筒, 既可以防止地下水渗入, 又能确保护筒中的泥浆层高于施工平面, 从而产生足够的静水压, 防止灌注桩在灌注过程中发生倒塌, 从而确保灌注桩的质量。护筒安装之前与测量好的桩的中心保持一致, 且其中心距离不能小于 50 mm。护筒的水平程度需符合规定, 误差不能大于 1%。安装完成后, 检查护筒中央轴线的准确性和护筒的水平性。具体施工要求如下:

- 1) 采用埋设直径 1.4 m、壁厚 15 mm 的护筒, 内径超出桩径约 200 mm。
- 2) 在安装护筒时, 确保其精确性和稳固性, 并保证中轴线与桩的中心线完全对齐。此外, 护筒水平度的误差必须小于 50 mm, 以保证旋挖钻机在桩的垂直方向上的正常运行。
- 3) 为提高护筒结构的稳定性, 采用 15 mm 厚的优质钢材, 内壁和两端的端口处均配有一道强化的支撑肋。
- 4) 施工过程中, 为保证桩孔的质量, 泥浆的高度必须超过 1.0 m, 以防止因钻头和钻杆的频繁操作及其自身的震荡造成桩孔塌陷。
- 5) 护筒上部需开设一处溢浆孔以便泥浆循环。为了确保出浆过程顺畅, 防止护筒因外界泥土流失而导致塌陷, 护筒出浆口周围必须严格禁止积水, 并采用黏土夯实。

##### 4.2 泥浆制备和循环净化

###### 4.2.1 泥浆制备

为确保膨润土泥浆的质量, 泥浆制备必须严格遵守 JGJ 63—2006《混凝土用水标准》的规定。同时, 为防止施工区域的地下水对泥浆造成污染, 进行全面的水质检测, 并采取有效措施来确保泥浆的质量。经过试验证明, 泥浆处理剂的品种及掺比可根据需要调整, 常用的泥浆处理剂包括增稠剂、分散剂、增重剂、降低黏度剂、防渗剂等。在配制泥浆时, 必须严格遵守规定的比例, 并确保各种材料的添加量误差小于 5%。使用泥浆处理

剂时, 其添加量也必须符合要求, 且误差不得超过 1%。混凝土浇筑前的膨润土泥浆主要性能指标为: 漏斗黏度为 32~50 s; 密度 $\leq 1.15 \text{ g/cm}^3$ ; 含沙量 $\leq 4\%$ 。

为保证泥浆质量, 使用泥浆池制备泥浆, 同时使用高速搅拌机拌和, 以保证其溶胀时间不低于 12 h。本工程结合现场实际情况进行泥浆配比测试, 确定最佳的泥浆配比, 见表 2。

表 2 膨润土泥浆配合比

kg				
淡水	膨润土	CMC	聚丙烯酰胺 PHP	$\text{Na}_2\text{CO}_3$
100	10	0.003~0.008	0.003	0.03

在添加掺加剂时, 按照循环周期逐渐增加, 以保证混合物的性能, 避免掺加剂过多或不足。施工过程中, 定期检查储浆池中的泥浆, 确保其具有良好的性能, 以防止出现离析或沉淀。新拌制的泥浆应该具有良好的适应性<sup>[2]</sup>, 以便在施工过程中正常循环。

###### 4.2.2 循环净化

根据桩机的分布位置每台旋挖钻机设置 2 个长 6 m、宽 2.4 m、深 1.8 m 的钢制制浆池。通过循环槽连接制浆池、储浆池和沉淀池, 其中, 循环槽的底部坡度控制在 1% 以下。咬合桩施工过程中, 严防泥浆溢流。为保护环境, 施工过程中产生的废水和淤积物需尽快处置, 并将废料运送到指定场所处置, 严格遵守不在现场处置的原则。

##### 4.3 旋挖成孔与验收

###### 4.3.1 旋挖成孔施工

咬合桩桩孔跳挖先施工奇数桩, 待商品混凝土初凝后再施工偶数桩, 以间隔 3~5 根桩分段的方式跳挖, 各小分段内奇数桩或偶数桩必须当天施工完毕, 以确保第 2 天咬合施工, 各小分段必须 2 d 内连续完成咬合。旋挖成孔时钻机必须匀速钻进, 严格控制加压力度, 避免用力过大损伤已成型桩身, 对已成型的咬合桩进行软土覆盖保护。

使用钻机前仔细审核所有必需的准备措施, 以确保现场环境良好。开钻前, 经常检查水平和垂直测量设备, 一旦发生误差, 及时采取措施纠正。旋挖时待钻头完全进入钻孔之后, 方可将钻头提升到地面弃出斗内渣土, 然后再次开始钻挖, 直到到达终孔为止。旋挖过程中保持缓慢的速度, 直到钻头完全进入护筒下方的土层, 方可加快钻进的速度。如果发生了地层下陷, 必须立即停止施工并采取必要的防护措施。

为了保证成孔质量,旋挖成孔必须持续进行,同时保证在可控的时间内完成。成孔之前,必须进行全面测试,确保满足设计的深度和质量标准。已成孔验收合格后,马上进行下一步工序,禁止长期放置。因故停钻,应增加护盖保护孔口。

#### 4.3.2 成孔验收

施工过程中要检查成孔的质量情况。灌注桩成孔过程中对其进行孔径检测( $\pm 50$  mm)、孔深检测(符合设计长度及标高)及垂直度检测(允许偏差1%)等。终孔后及浇筑混凝土前对孔底沉渣厚度检测(小于100 mm),同时复测孔径、孔深及垂直度等。成孔自检合格后及时报监理单位验收,验收合格后及时灌注混凝土。

#### 4.4 灌注混凝土

混凝土开始灌注前做好准备工作,施工前根据设计要求监督商混站将其现场的水泥、砂、膨润土送到质检部门进行材质检验和水工塑性混凝土试配。为了确保混凝土有效施工,旋挖成孔验收合格后,及时联系商品混凝土站对现场施工点位合理调度,以便在60 min之内将商品混凝土灌入桩孔内。混凝土运输到施工现场前对坍落度、均匀程度等指标进行严格检测,若发现问题,立即停止施工,以防止对成桩质量造成影响。

塑性混凝土灌注采用直升导管法。导管采用直径为300 mm、壁厚为3 mm、每节长3 m的钢管,同时配备2节长0.5 m的短管作为补充。导管使用前进行接长密闭试验,以确保混凝土的浇筑质量。因采用泥浆护壁工艺保护桩孔,在水下灌注混凝土时必须使用隔水球。混凝土灌注期间,使用吊车吊放及拆卸导管,导管支撑架采用型钢材料,支撑架的支垫在钻孔平台上,用于支撑及悬吊导管。采用混凝土搅拌运输车运输混凝土至导管顶部的漏斗中。输送进漏斗前的混凝土应具有良好的和易性,混凝土的坍落度控制在200~220 mm。混凝土浇筑必须保持连续,保证灌注工作在首批混凝土初凝前完成。混凝土灌注开始前,导管底部至孔底应留有300~500 mm的空间,且首批灌注的混凝土必须有一定的冲击能量,确保能排出导管内的泥浆,并保证导管下端埋入混凝土的深度不小于1.2 m。浇筑混凝土过程中始终将导管埋入混凝土且保持深度不小于1.2 m,严禁将导管拔出混凝土顶面。初灌时,先在导管内安放好隔水盖板,初灌注混凝土量要一次投入孔内,

孔口大量出浆,初灌成功后按工序进行连续灌注作业。

第一批混凝土浇筑时应使用大型料斗和盖板。整个灌浆过程连续有序进行,严禁中途停止灌注。混凝土的浇筑时间不易过长,避免因坍落度过大导致堵管事故。因此,为防止孔内顶层混凝土失去流动性,需均匀提高槽孔内混凝土的浇筑速度。为保证桩头质量,需超灌0.5 m,待混凝土凝固后凿除浮浆达到设计标高。导管埋入混凝土的最小深度应控制在2 m以上,防止因导管拔出混凝土面造成断桩事故。设专人负责灌注过程中的检查和记录,随时观测孔内混凝土上升情况、管内混凝土下降情况及孔内返水情况,并及时提升和分段拆卸上端导管。

#### 5 防渗帷幕质量检查

常用的检测方法包括钻孔取芯法、压(注)水试验、钻孔全景图像法、声波CT成像法。本项目采用钻孔取芯法<sup>[3]</sup>。经过一段时间的使用,应对浆料质量进行严格检测,以确保渗透率始终小于 $10^{-7}$  cm/s。防渗帷幕施工完成后取芯,检测其长度、抗渗性能是否满足设计要求。每100 m取芯1根,总数不少于6根,取芯位置为孔与孔咬合部位。取芯后的钻孔应采用原浆液重新填充。本工程垂直防渗帷幕取芯检测结果满足质量要求,取芯完好无破损、混凝土渗透系数 $5.6 \times 10^{-8}$  cm/s、抗压强度3.1 MPa,防渗帷幕质量合格,各项指标满足设计要求。

#### 6 结语

塑性混凝土垂直防渗帷幕是防渗领域的重要工艺,是垃圾填埋场封场施工顺利进行的前提。本文通过对其施工技术及质量控制的分析,总结出施工中的技术质量控制要点。通过对塑性混凝土、膨润土泥浆科学配比及严格的质量管控,对旋挖成孔的规范施工、泥浆护壁的严格把控,使施工顺利进行,质量满足要求,可为类似工程提供借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 王旭旭.垂直防渗帷幕在滨海地区卫生填埋场中的应用[C]//中国环境科学学会2022年科学技术年会——环境工程技术创新与应用分会场论文集(二).南昌:中国环境科学学会环境工程分会,2022:373-375.
- [2] 黄政聪.某工程桩基施工工艺分析[J].建材与装饰,2013(22):65-66.
- [3] 张继伟,唐洪武.检测混凝土防渗墙质量的常用方法及应用[J].大坝与安全,2016(3):16-22.