

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.08.054

水冲法开挖基坑的前端出土方式与末端泥浆分离技术研究

张 弛, 龙莉波, 国文智, 柴玮琳, 张祝荣
(上海建工二建集团, 上海市 200080)

摘 要: 以浦东机场 T3 航站楼为例,介绍了浦东机场 T3 航站楼基坑开挖前,在水冲试验区对运土管线前端的出土方式,以及运土管线末端围区的泥浆分离技术进行的研究。首先计算了浦东机场深基坑开挖的总出土量,排布了对应的工期。其次对比了车辆运土、传送带运土和水冲管线 3 种运土方式,并研究了传统机械开挖和水冲开挖的各种组合。最后介绍了末端泥库的制作方法,探讨了泥浆分离技术和沉淀造土技术。

关键词: 水冲路由;接力泵布置;水冲管线运土;沉淀造土

中图分类号: TV4 **文献标志码:** B **文章编号:** 1009-7716(2021)08-0207-05

0 引 言

水冲法通过高压泵使水流产生压力,用水枪喷出的高速水柱将土体切割。粉碎后的土体将会发生湿化、崩解,使泥浆和泥块混合。混合足够均匀后,采用泥浆泵和输泥管将其吸送至回填区的泥库。

与挖机或抓斗配合运输车辆或传送带的传统机械式挖土和运土方式相比,水冲法的土方开挖与泥浆运送方法有以下特点。

(1)成本低。水冲法可以引用周边的河水、降水和析水,水可重复利用;静置后的泥土可用作回填土;施工设备简单,可有效降低工程总成本。

(2)工期短。与传统的机械开挖相比,水冲法受雨天影响小(特大暴雨除外),出土稳定,有较好的经济效益。

(3)污染小。水冲法采用的高压泵、泥浆泵等均为清洁无污染的设备;水资源可实现循环利用;与机械开挖相比,改善了劳动作业条件,主要是出色地解决了周边交通道路的限制,具有良好的社会效益。

为了解决水冲法在诸如浦东机场 T3 航站楼等工程超大基坑开挖过程中的技术、设备安装和调试,以及管线排布等问题,在浦东机场 T3 航站楼的前期工程中,选取排水渠和地道的一段作为水冲试验区。沉淀下来的泥土作为场内回填土或外运^[1]。运土

路径形成回路,循环用水^[2]。对于深大基坑,水冲法需要慎重选择前端的出土方式、合适的末端泥浆分离和沉淀造土技术。

1 工程概况

1.1 出土概况与需求

浦东机场 T3 航站楼核心区深基坑挖深 18.7 ~ 29.2 m,浅基坑挖深 8.7 ~ 14.7 m,共计出土约 850 万 m³。其中,逆作法区域约 279.2 万 m³,顺作法区域约 570.8 万 m³,深基坑约 741 m³。基坑顺作分区、逆作分区,与前端出土需求及概况如图 1 所示。

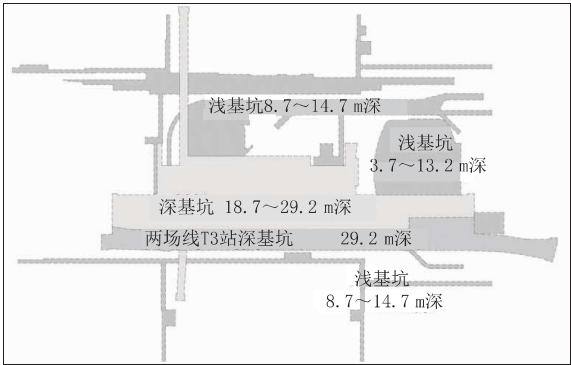


图 1 浦东机场 T3 航站楼分坑图

基坑开挖的工期测算如图 2 所示。桩基围护从 2021 年 9 月至 2022 年 3 月。一期基坑从 2022 年 4 月至 2023 年 1 月底板完成,2023 年 7 月出正负零米;二期基坑从 2023 年 2 月至 2023 年 10 月底板完成,2024 年 3 月出正负零米;三期基坑从 2024 年 3 月至 2025 年 1 月出正负零米。

收稿日期: 2020-12-08
作者简介: 张弛(1985—),男,博士,工程师,从事土木工程施工相关工作。

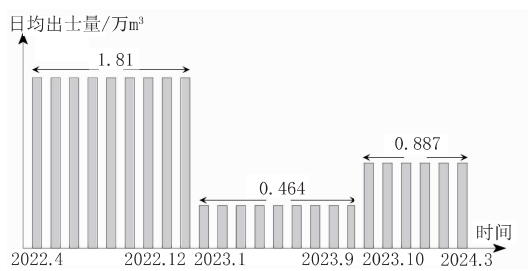


图2 T3航站楼深基坑(挖深18.7~29.2 m)出土需求测算

1.2 末端围区概况

末端的围区也决定着水冲运土的成败。现在很多地方都有严格的环保要求。水冲技术需要确保泥浆的流动以及浙出的水控制在施工方案确定的范围内^[3]。因此,从基坑中冲出的泥浆需要做泥浆分离。以机场建设中的3#围区和N1围区为例,如图3所示,各自的管理单位与环保要求见表1。

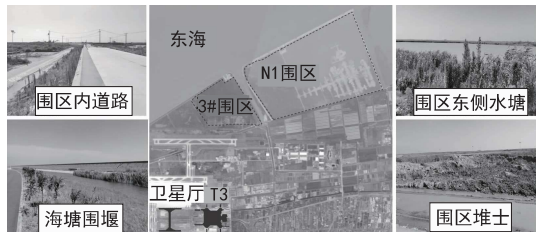


图3 浦东机场末端围区与周边情况

表1 地勘土体参数

项目	现存容量 / 万 m ³	管理单位	环保要求	卸土单位
3# 围区	500	上海机场	根据机场要求	上海路桥
N1 围区	2 000	长江航道局	干土	申通地铁、隧道股份 (机场外盾构土)

1.3 周边现场情况

浦东机场 T3 航站楼建设区域与 3# 围区、N1 围区之间除机坪区域外,自贸区临港新片区围场河以北区域已进入开发阶段,已形成围墙及巡场路,如图4所示。

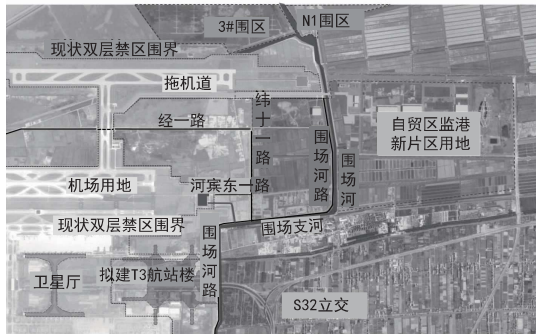


图4 浦东机场 T3 航站楼东侧区域现场情况

2 前 端

在浦东机场 T3 航站楼基坑土方开挖管线的前

端,为满足航站楼基坑出土需求,拟布置 10 组管路对泥浆进行转运。泵选用 250EPN-24,管径 400 mm,泵的流量 1 800 m³/h,效率 80%,每天 20 h。基坑中泥浆中土(体积)含量参考值需在前期工程试验段中进行验证分析,得到最优值。

2.1 水冲法前端出土方式

填土层含碎石、砖块等建筑垃圾;宜采用挖掘机挖土结合土方车运土;粉质黏土、淤泥质黏土层采用挖机喂斗法施工,如图5所示;砂质粉土层采用翻土冲挖法施工,如图6所示;粉砂层宜用泥浆泵冲挖施工且工效较高。翻土冲挖时,要控制冲刷部位,土体高差不宜大于 2 m,施工人员要与潜在的塌落土体保持一定的距离^[4]。



图5 水冲法中的挖机喂斗法



图6 水冲法中的翻土冲挖法

2.2 土质对出土量的影响

针对不同土质下各类前端出土方式对应的出土量理论参考值见表2。

表2 不同土质下不同出土方式的出土量与泥浆中土含量

土层土质	单根管路日均出土量 /m ³			泥浆中土 (体积) 含量参考值
	挖机喂斗法	翻土冲挖法	常规水冲法	
粉质黏土	4 800	3 840	2 560	8%
粉质黏土夹黏质粉土	4 800	3 520	2 240	7%
淤泥质粉质黏土	4 480	3 200	2 240	7%
砂质粉土	4 800	7 040	5 120	16%
淤泥质黏土	4 160	2 880	2 240	7%
黏土	4 160	2 880	1 600	5%
黏质粉土夹粉质黏土	4 800	3 520	2 240	7%

2.3 传送带与水冲法组合出土方案

第一批基坑 2022 年 4 月出土,表层土采用机械挖土土方车运输的形式出土,深基坑区域栈桥区域架设传送带,坑内挖机配合传送带出土。升降梯解决土方垂直运输问题,运至泥浆池(或斗)后用高压水枪化土为泥,通过泥浆泵排入管道;浅基坑通过土方车常规出土。前端 1# 泵至 2# 泵 850 m,2# 泵至 3# 泵 1 200 m,4# 泵至 3# 泵 600 m,如图 7 所示。

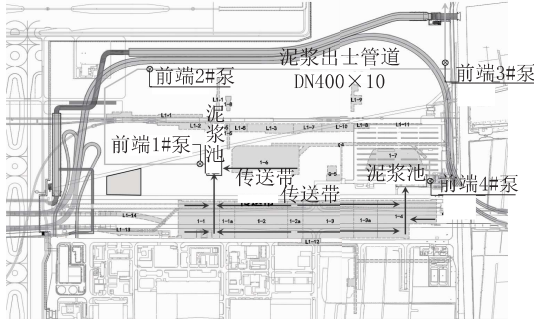


图 7 全水冲出土管道和泥浆池布置图

第二批基坑 2024 年 3 月开挖,表层土采用机械挖土土方车运输的形式出土,逆作法基坑 B0 板设置传送带,出土至泥浆池(或斗),通过泥浆泵排入管道;其余基坑通过土方车常规运输出土。前端 1# 泵至 2# 泵 700 m,2# 泵至 3# 泵 1 200 m,如图 8 所示。

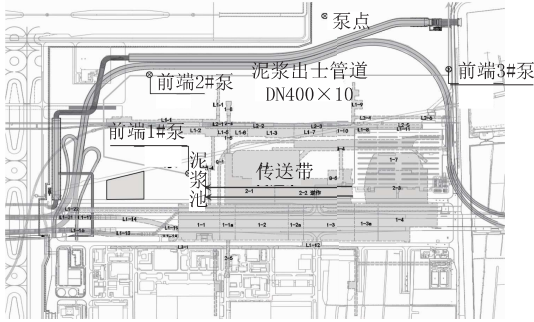


图 8 前端机械出土

根据初勘报告,T3 航站楼基坑区域 10 m 以下部分区域为黏土。为保守估算,10 m 以下基坑土质均按照黏土考虑,10 m 以上表层土以下土质均按照非黏土考虑,根据表 2 泥浆中土含量参考值,非黏土按 7%、黏土按 5%的比例进行保守估算。给水按中途折损 10%进行估算,水冲法给水需求如图 9 所示。

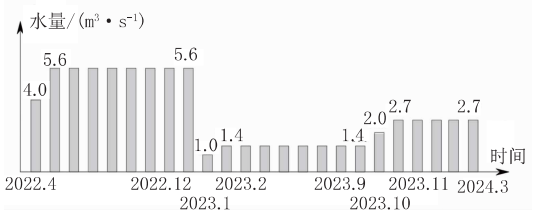


图 9 T3 航站楼深基坑(挖深 18.7~29.2m)
水冲法给水需求估算

初步设想供水来源:第一部分为机坪回灌后剩余的基坑降水、承压水;第二部分为围场河、临时东绕排水渠借水。

3 中端运土方式对比

3.1 土方车

浦东机场 T3 航站楼基坑若采用土方车出土,出土路线如图 10 所示:沿着围场河路从西往东,转到纬十一路上,穿过经一路,在机场围界和自贸区围界之间穿过,再上外海围堰巡场道路,最后到达机场围区。全线长 20 km,纬十一路、经一路为双向 4 车道,外海围堰巡场道路为双向 2 车道,道路限速 40 km/h。如图 11 所示,T3 航站楼高峰出土量为 18 100 m³/d,共需约 1 000 车次/d 运输强度,24h 全天出土,平均车速 40 km/h,全线 20 km 道路同时 20 台满车由基坑驶入围区,同时 20 台空车由围区回到基坑,车间距 500 m,对沿路道路和路下管线均存在较大的压力,交通组织协调管理难度较大。

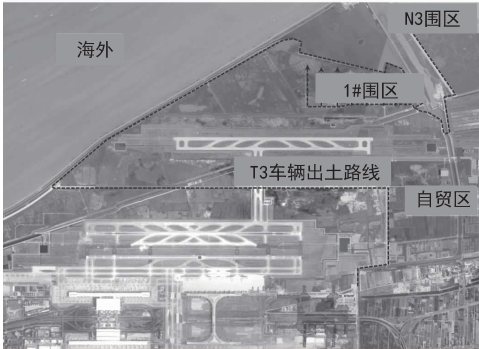


图 10 T3 航站楼土方车出土路线

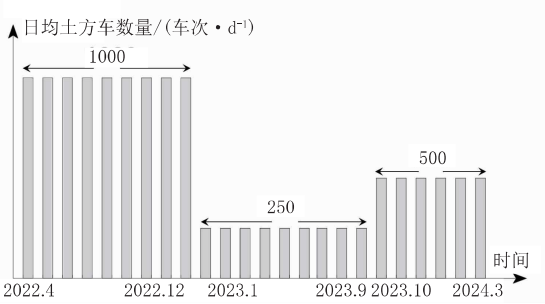


图 11 T3 航站楼基坑出土日均土方车数量

3.2 传送带

浦东机场 T3 航站楼基坑开挖若采用传送带出土,出土路线如图 12 所示:围场河路→纬十一路→拖机道→围场河路,最后抵达围区。全线长 7 000 m,其间需上穿经一路、钻拖机道桥桥洞,方案实施难度较大。

3.3 水冲管线

水冲管线的出土路线分前端、中端和后端。中端

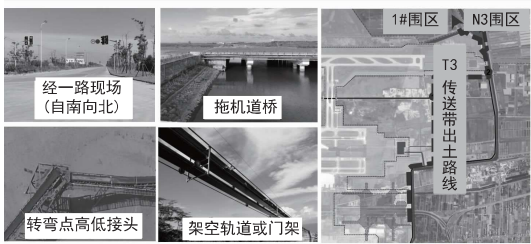


图 12 传送带周边出土路线

全长 4 600 m;跨围场支河,然后沿纬十一路东进,再跨经一路,在自贸区围界与机场围界间穿行,最后下穿拖机道桥,如图 13 所示。

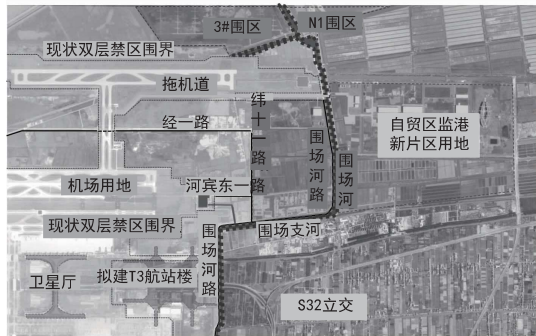


图 13 T3 航站楼水冲管线出土路线

与土方车出土、传送带出土相比,水冲法出土中端通过管道运输土的方案,能较好处理出土路线与周边建(构)筑物之间的关系,因此主推水冲法出土方案。当工程基础采用桩基础时,上部机械行驶会对工程桩和基坑支护产生较大的扰动^[5]。三种出土方案对比,见表 3。

表 3 出土方案比较

出土方案	优劣比较		
	前端	中端	末端
土方车出土	高峰期基坑内部同时 10 台以上土方车正在装车	运土道路单一,每天约 1 000 台土方车运输量,对道路和路下管线压力较大,容易出现塞车拥堵现象(不推荐)	能满足 3# 围区、N1 围区存土要求(推荐)
传送带出土	可通过常规设备解决基坑至传送带的送土问题	对周边环境存在较大不利影响,上跨经一路、下穿拖机道桥难度较大,全线出土传送带设备维护、人员看管要求较高(不推荐)	能满足 3# 围区、N1 围区存土要求(推荐)
水冲法出土	常规水冲法施工基坑内给水管、排泥管诸多,工作环境和场容场貌较差,基坑底标高以上 1~2 m 土仍需采用传统挖土方式,在施工支撑和底板前需对基坑进行降水(不推荐)	对周边环境影响相对较小,投入人工、设备的成本小于传送带出土,能解决出土路由需经过经一路、穿拖机道桥等建(构)筑物的问题(推荐)	能满足 3# 围区的存土要求,不满足 N1 围区的存土要求

由表 3 对比可知,在本工程项目中,水冲法在前端出土、后端出土中较为劣势,但在中端出土中的优势较为明显,且可大量节约成本。

4 末端围堰与排水方案

超大基坑的水冲法开挖重点之一在于末端泥浆的处理。围区收纳泥浆的流程为:设置围堰、接受泥浆、土体排水和沉淀硬化。同时,设置排水沟和沉淀池,形成三级排水沉淀,水体净化,排入外海。其中,3# 围区填土区域需要机场确认,N1 围区填土区域和泥浆形成的干土要求需长江航道局确认。前期工程中,泥浆可排入 3# 围区。

单个泥库容积为 270 000 m³。促淤帘是用钢丝绳穿在土工布上,钢丝绳两端固定于沉淀池的两侧固定位置,土工布随钢丝绳自重垂于水中。促淤帘可以减缓水流流动,过滤泥砂,达到泥砂快速沉淀效果。泥浆经过 3 座沉淀池,以及若干道防淤帘的减速作用,能提高吹泥尾水的排放标准。围堰上部宽度需满足挖机行进要求。

4.1 泥浆池沉淀造土

泥浆分离可以采用沉淀池,也可以采用滤水薄膜和泥浆分离器,如图 14、图 15 所示。滤水薄膜只适用于砂,不适用于土,因此无法满足基坑中各类黏性土的滤水要求。泥浆分离器能较好地解决泥浆沉淀问题,但是成本高、投资大、周期长。因此,推荐在本工程中使用沉淀池和泥库的做法。

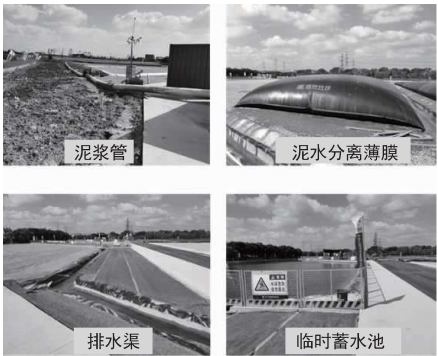


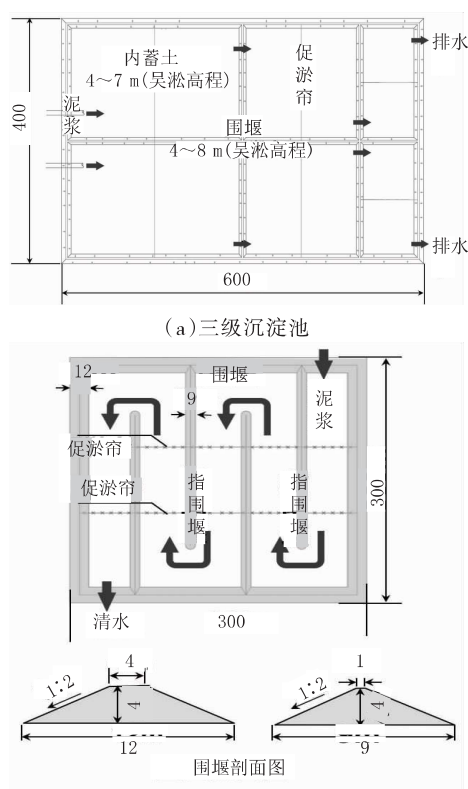
图 14 泥水分离薄膜系统



图 15 泥浆分离器

4.2 沉淀水排放

沉淀水排放工程规模巨大:一个标段 702 万 m^3 (堆载面积 102.1 万 m^2);二标 684 万 m^3 (96.78 万 m^2),共 1 386 万 m^3 (不含沉降量)。填土方案可概括为:第五跑道水冲法出土全部进入 3# 围区设置的围堰中。经沉淀过滤和净化,出水由新建大堤的外海排水口排放至外海。末端干土的解决方案:(1)泥浆在 3# 围区沉淀完成后,采用机械开挖,转运至 N1 围区;(2)在 N1 围区借地,待土体排水固结后转运至指定区域。围堰上部宽度需满足挖机行进要求。泥库与沉淀池如图 16 所示。



(a) 三级沉淀池
(b) 标准泥库平面布置与围堰做法
图 16 泥库与沉淀池(单位:m)

促淤帘用钢丝绳穿在土工布上,钢丝绳两端固定于沉淀池的两侧固定位置,土工布随钢丝绳自重

垂于水中。促淤帘可以减缓水流流动,过滤泥砂,达到泥砂快速沉淀的效果。泥浆经过 3 只沉淀池及若干道防淤帘减缓流速,能提高泥浆尾水排放的标准。泥浆排水分为两个阶段:前期初步排水(一周内),固结为干土(2~3 年);后期沉淀后的水根据现场情况,开渠引入围场河,具体以相关部门要求为准。由于航站楼出土周期不足 2 年,原基坑内黏性土难以固结为干土,因此需要按含有一定水分的虚土进行假设,初步认为固结湿土体积比原实土膨胀 1.5 倍(经验数值),则 T3 深基坑区域共计出土约 550 万 m^3 ,即泥库需要具备 800 万 m^3 湿土的存蓄功能。已知单个标准泥库容积 72 万 m^3 ,因此共计需要 12 个围堰。促淤帘根据现场实际情况,调整位置及数量。

5 结 语

制约水冲法大规模运用的因素在于前端出土的模式与末端围区的泥浆分离,以及泥浆沉淀技术。本文通过对前后端的关键技术进行总结,保证了水冲法与机械开挖组合方式在超大型深基坑开挖成套技术的完整性,帮助解决了不停航情况下,基坑大体量挖土与运土的工程技术难题。

参考文献:

- [1] 朱良锋,周建军.水冲法土方开挖施工技术[J].建筑技术,2008,39(5):352-353.
- [2] 泮峰,周坚伟,施树江,等.瑞安人民医院急诊大楼水冲法土方开挖施工技术[J].浙江建筑,2009,26(11):62-64.
- [3] 宋培培.水冲法土方开挖施工技术应用[J].科技创新与应用,2012(7):191.
- [4] 周科学.水冲法土方开挖施工技术[J].黑龙江科技信息,2017(9):176.
- [5] 闫红民,江啸.水冲法在软土地区深基坑工程中的应用[J].城市道桥与防洪,2016,5(5):230-234.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com