

吕燕. 某污泥转运车间通风除臭系统的低碳改造与运行优化[J]. 净水技术, 2026, 45(6): 116-125.

Lü Y. Low-carbon reconstruction and operation optimization of a ventilation and deodorization system in a sludge transfer workshop[J]. Water Purification Technology, 2026, 45(6): 116-125.

## 某污泥转运车间通风除臭系统的低碳改造与运行优化

吕 燕\*

(上海城投污水处理有限公司, 上海 201201)

**摘要** 【目的】针对污水处理厂污泥转运车间在实际运行中工况变化导致臭气控制效果下降、系统能耗偏高的问题,探索在不新增主体除臭装置的前提下,通过低碳改造实现臭气稳定达标与运行效率提升的工程技术路径,为既有污泥处理工程通风除臭系统优化提供参考。【方法】以某污泥脱水干化工程配套转运车间通风除臭系统为研究对象,基于运行监测与现场调研结果,分析臭气释放特征变化及原设计假设与实际工况之间的偏差。在此基础上,对现有多套除臭系统进行风量重构和除臭区域重新划分,结合车间气流组织与运行管理优化,形成系统性的低碳改造方案。【结果】改造后,转运车间臭气由高浓度、持续性面源释放转变为中低浓度、可控释放状态,空间臭气浓度由1 300~1 500降低至200~300,人员作业环境显著改善;各除臭装置排放口臭气浓度均稳定满足现行排放标准。通过风量重构充分利用既有系统处理余量,避免新增处理风量约为173 500 m<sup>3</sup>/h的除臭装置,系统换气需求由8次/h降低至约5.5次/h,全年可实现二氧化碳减排量约1 932 t。【结论】在既有污泥转运工程条件下,通过源头减臭、通风除臭系统风量重构及运行方式优化的协同实施,可在不新增主体除臭装置的前提下,同步提升臭气控制效果、系统运行效率实现低碳目标。相关技术路线具有较强的工程可实施性,可为同类污泥干化及转运工程提供参考。

**关键词** 污泥转运车间; 通风除臭系统; 低碳改造; 风量重构; 运行优化

中图分类号: X703 文献标志码: A 文章编号: 1009-0177(2026)06-0116-10

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.06.013

## Low-Carbon Reconstruction and Operation Optimization of a Ventilation and Deodorization System in a Sludge Transfer Workshop

Lü Yan\*

(Shanghai Chengtouw Wastewater Treatment Co., Ltd., Shanghai 201201, China)

**Abstract** [Objective] To address the deterioration of odor control performance and the relatively high energy consumption caused by operational condition changes in sludge transfer workshops of wastewater treatment plants (WWTPs), this paper explores a low-carbon reconstruction approach to achieve stable odor compliance and improve operational efficiency without adding new major deodorization facilities, providing a reference for the optimization of ventilation and deodorization systems in existing sludge treatment projects. [Methods] Taking the ventilation and deodorization system of a sludge transfer workshop in a sludge dewatering and drying project as the research object, this paper analyzed changes in odor emission characteristics and the deviations between original design assumptions and actual operating conditions based on operational monitoring data and field investigations. On this basis, a systematic low-carbon reconstruction scheme was developed through air volume reconfiguration and reallocation of deodorization zones among existing deodorization systems, combined with optimization of airflow organization and operational management. [Results] After the reconstruction, odor emissions in the sludge transfer workshop shifted from a high-concentration, continuous area source to a medium-to-low concentration and controllable release state. The spatial odor concentration decreased from 1 300-1 500 to approximately 200-300, significantly improving the working environment, while odor concentrations at the outlets of all deodorization units consistently met current emission standards. By fully utilizing the treatment capacity margin of existing systems through air volume reconfiguration, the

[收稿日期] 2026-02-12

[通信作者] 吕燕(1983—),女,高级工程师,主要从事污水处理工作,E-mail:coco\_lyyan@163.com。

installation of a new deodorization system with a treatment capacity of approximately 173 500 m<sup>3</sup>/h was avoided. The required air exchange rate was reduced from 8 times/h to about 5.5 times/h, resulting in an annual carbon dioxide emission reduction of approximately 1 932 t. [ **Conclusion** ] Under existing sludge transfer project conditions, the coordinated implementation of source odor reduction, air volume reconstruction of ventilation and deodorization systems, and operational optimization can simultaneously improve odor control performance, system operational efficiency to achieve low-carbon operation objectives without adding new major deodorization facilities. The proposed technical approach demonstrates strong engineering feasibility and can provide a reference for similar sludge drying and transfer projects.

**Keywords** sludge transfer workshop; ventilation and deodorization system; low-carbon reconstruction; air volume reconfiguration; operation optimization

随着污水处理厂提标改造和污泥处理要求的不断提高,污泥脱水干化工艺在城镇污水处理系统中的应用日益广泛。污泥性质复杂且具有较强烈的恶臭气味<sup>[1]</sup>,在脱水、干化处理及后续转运过程中,易产生硫化氢、氨气及挥发性有机物等恶臭气体<sup>[2]</sup>,若收集和处理不当,不仅会影响厂区作业环境,还可能对厂界及周边区域造成不利影响。相较于传统污水处理构筑物,污泥干化及转运环节臭气来源更为复杂,其臭气释放具有间歇性显著、空间分散、与运行工况高度相关等特点,这对通风除臭系统的设计和运行管理提出了更高要求。

在既有工程中,通风除臭系统的设计参考《城镇污水处理厂臭气处理技术规程》(CJJ/T 243—2016)<sup>[3]</sup>,设计阶段多依据对臭源类型和释放强度的假设进行配置,而实际运行过程中,受工艺条件、设备运行状态及操作方式变化等因素影响,部分区域可能出现与原设计假设不一致的臭气特征,若简单通过增大除臭风量或新增除臭装置进行应对性改造,往往伴随着较高的投资成本和运行能耗,不利于实现节能降碳目标。因此,在满足臭气控制效果的前提下,探索基于源头减臭、系统风量重构和运行优化的低碳改造路径,对类似工程具有重要的参考意义。

## 1 工程概况

本项目为某污泥脱水干化工程配套的通风除臭系统改造工程。污泥(干基)设计处理规模为 120 t/d,污泥经脱水及低温真空干化处理,含水率可降至 30%以下,随后以污泥箱形式进行装载并外运处置。工程采用“储泥池+污泥泵房+离心浓缩+低温真空干化脱水+外运”的处理工艺路线,污泥在干化、转运及装卸过程中存在一定程度的恶臭气体释放风险,需要配套设置通风与除臭系统进行控制。

根据工艺流程及构筑物布置情况,本工程涉及臭气收集与处理的区域包括干化机密闭罩、输送机、浓缩机房、污泥进料泵房、浓缩进料泵房、调质池、溶液池、污泥箱装卸车间(以下简称装卸车间)及污泥箱转运车间(以下简称转运车间)等。上述区域臭气来源类型及释放强度存在差异,既包含局部小空间内的点源臭气,如调质池等,也包含作业空间内的面源臭气,如装卸车间等。

工程共设置 3 套除臭装置,其中 1#除臭装置设计处理风量为 130 000 m<sup>3</sup>/h,2#、3#除臭装置设计处理风量均为 115 000 m<sup>3</sup>/h。3 套除臭装置分别承担不同区域的臭气收集与处理任务(图 1),其对应关系及系统配置如表 1 所示。各除臭系统在设计阶段均预留了一定的处理余量,以适应运行工况波动。同时,在部分作业空间内配置离子送新风系统,通过机械送风改善室内空气质量。

原设计 3 套除臭装置采用相同的除臭工艺组合形式,整体除臭流程为臭气收集后依次进入化学洗涤、生物除臭单元处理,系统末端设置活性炭吸附单元作为应急保障措施,以应对突发臭气负荷升高工况。净化达标后经高空排放。臭气的排放执行《城镇污水处理厂大气污染物排放标准》(DB31/982—2016)和《恶臭(异味)污染物排放标准》(DB31/1025—2016)。

工程投运后,除臭系统整体运行状况稳定,化学洗涤、生物除臭等主要处理单元运行参数处于设计控制范围内,系统对常规臭气污染物具有较好的去除效果。实际运行监测结果表明,除臭装置进、出口的臭气去除效率满足原设计要求。

在原设计工况假设下,转运车间污泥采用污泥箱的形式全密闭转输,该区域被定位为微量臭源空间,主要依靠离子送风及机械通风方式改善作业环

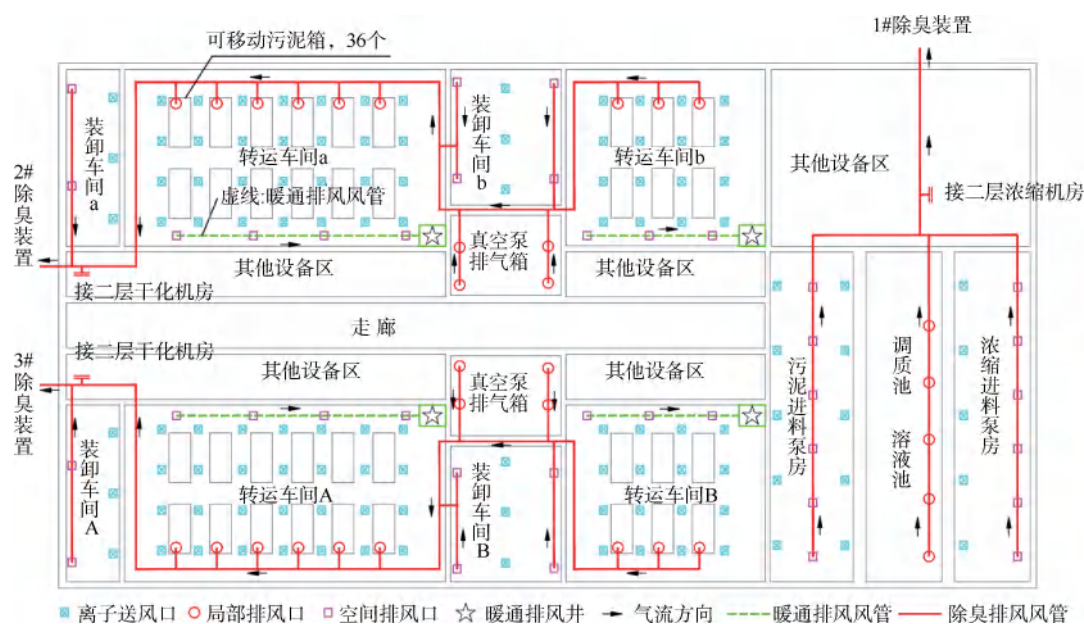


图1 一层车间布局(改造前)

Fig. 1 Layout of the First Floor Workshop (before Reconstruction)

表1 各除臭系统对应区域数据

Tab. 1 Data of the Corresponding Areas for Each Deodorization System

项目	项目	除臭排风风量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	车间暖通排风风量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	车间离子送风风量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )	总排风风量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )
1#除臭装置	浓缩机房	53 280	—	37 296	53 280
	污泥进料泵房	25 920	—	18 144	25 920
	浓缩进料泵房	20 880	—	16 704	20 880
	调质池	8 820	—	—	8 820
	溶液池	500	—	—	500
	小计	109 400	—	72 144	—
2#/3#除臭装置	主机密闭罩、螺旋输送机	127 512	—	—	127 512
	真空泵	5 400	—	—	5 400
	热水箱排气	5 400	—	—	5 400
	装卸车间	47 520	—	23 760	47 520
	转运车间 A/a 掉泥口	9 600	89 520	68 544	99 120
	转运车间 B/b 掉泥口	4 800	54 000	40 824	58 800
小计	200 232	—	133 128	—	

境,转运车间内污泥箱掉泥口处点源臭气收集与处理主要由2#、3#除臭装置承担。随着工程运行时间的延长,受污泥干化特性及转运工况变化影响,上述区域逐步呈现出与原设计假设不完全一致的运行特征,为后续通风除臭系统的优化改造提供了现实背景。

## 2 现状运行问题与成因分析

### 2.1 运行过程中暴露的主要问题

工程投运后,1#除臭装置对应的臭源区域及二

层污泥脱水干化设备区域臭气收集效果较好,运行期间车间环境基本满足设计预期。然而,2#、3#除臭装置所覆盖的转运车间在长期运行过程中逐步露出一系列问题,成为厂区内臭气投诉及运行管理的重点区域。

首先,污泥箱在运行过程中受空间环境温度的影响表现出明显的冷凝水外泄问题。经低温( $<90\text{ }^{\circ}\text{C}$ )真空干化的污泥在出料时仍具有一定温

度(60~70℃),颗粒间气体相对湿度(>90%)很高,当温度降低时,气相中的水汽凝结成水并聚集;污泥中的挥发性强恶臭物质(硫化氢、甲硫醇、甲硫醚、氨、胺类、挥发性脂肪酸等)随水蒸气一同挥发,在遇到冷的箱壁后冷凝成液态水,恶臭物质溶解并富集其中,形成高浓度的恶臭冷凝水。因污泥处理过程为连续式,污泥自料斗落入密闭污泥箱后,箱体内部热湿空气随环境逐渐冷却并发生冷凝,形成冷凝水。冷凝水沿污泥箱侧门缝隙渗漏,随污泥箱转

运滴落至地面各处。

其次,转运车间现有臭气收集方式难以对空间臭气进行有效控制。原设计仅在掉泥口附近设置小口径除臭吸风口(图2)。该布置方式对点源臭气具有一定收集作用,但对于冷凝水泄漏与污泥中挥发出来的甲硫醇、甲硫醚等扩散形成的空间弥散臭气基本无效。运行监测结果显示,转运车间内臭气浓度(>1 000)较高,引起工作人员感官不适,影响作业效率。

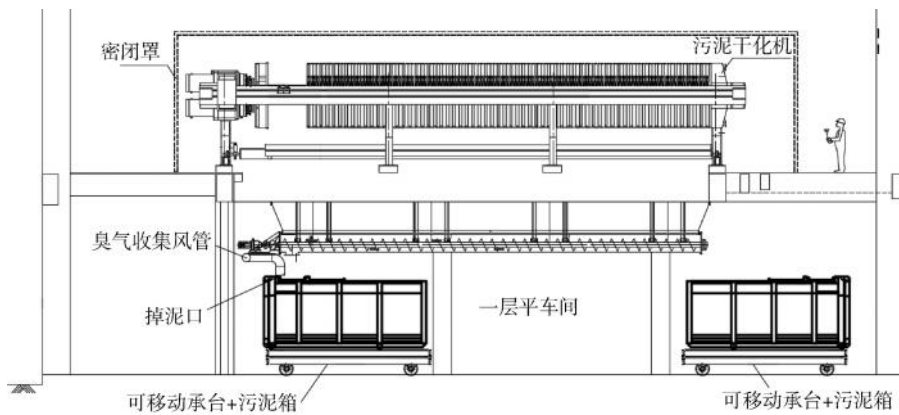


图2 一层车间布局剖面图(改造前)

Fig. 2 Sectional View of the Workshop Layout on the First Floor (before Reconstruction)

此外,现有送排风系统的运行方式在一定程度上破坏了车间的负压控制条件。转运车间内离子送风量约为暖通排风量的60%,该配置本身符合一般工业车间的通风换气要求。然而,在臭气浓度使作业人员不适的实际工况下,装卸车间门在作业期间

经常处于敞开状态,导致装卸车间及转运车间原有的微负压状态被破坏,臭气反而被离子送风正压鼓吹出车间至厂区外环境。车间内设置的通风排风管将车间内未经处理的臭气直接由排风井排放入大气(图3),影响厂区及厂界环境。

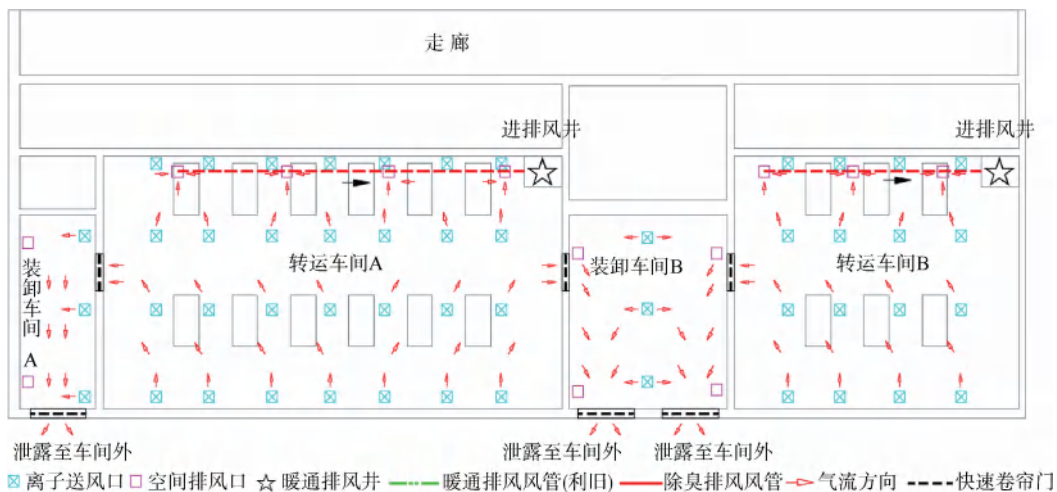


图3 一层车间气流流向(改造前)

Fig. 3 Airflow Direction in the Workshop on the First Floor (before Reconstruction)

综合上述问题,转运车间已成为本工程臭气控制的薄弱环节,不仅影响现场作业环境,也对厂区及

厂界臭气达标排放构成潜在风险,亟需对现状通风除臭系统进行针对性优化。

## 2.2 原除臭系统设计假设与实际运行偏差分析

对现状问题进行分析可以发现,其根本原因并非除臭装置处理能力不足,而在于原设计阶段对污泥箱运行特性的认知存在偏差。本工程所使用污泥箱为污泥低温真空干化工艺中的首次应用,污泥转运箱设计为全封闭式,仅分别在箱体上方设置污泥接收口和尾部设置污泥卸料活动侧板。原设计假设污泥箱在运行过程中具备良好的密封性能,不会产生明显的臭气或液体泄漏,因此在除臭系统设计中,未将污泥箱间作为高强度臭源空间进行考虑。

基于上述假设,原设计将转运车间定位为微量臭源空间,主要通过离子送风及机械通风方式进行环境改善,仅在局部掉泥口位置设置小规模除臭吸风口,用于处理掉泥过程中散发的直接臭味。这一设计思路在理论上适用于小臭气量、不易扩散的点位,但未充分考虑干化污泥带温转运过程中冷凝水产生、泄漏及其伴生高温、高浓度、易扩散臭气的实际情况。

从运行效果看,冷凝水泄漏导致车间的臭气释放方式由原设计预期的“点源、短时释放”转变为“面源、持续释放”,使转运车间实际运行状态由低浓度臭气空间转变为高浓度臭气空间。按照《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)<sup>[4]</sup>,人员需要进入的处理建(构)筑物,其换气次数需达到8次/h以上。对应本项目的装卸车间及转运车间除臭风量约为173 500 m<sup>3</sup>/h,计算如式(1)。该风量水平在现有除臭系统条件下难以通过简单增设风管或提高现有装置运行负荷实现。

$$Q=V \times 8 \quad (1)$$

其中: $Q$ ——除臭风量,m<sup>3</sup>/h;

$V$ ——需除臭空间体积,m<sup>3</sup>。

此外,离子送风系统在高浓度臭气空间中的适用性也受到限制。项目运行实践表明,在空间臭气浓度显著高于1 000时,单纯依靠离子送新风难以将空间臭气浓度降低至人员可接受范围,反而在不合理的送排风布置条件下,可能加剧臭气在空间内的扩散。

综上所述,现状问题的本质并非单一设备性能不足,而是臭源特性变化、空间臭气等级判断偏差以

及通风除臭系统配置与实际工况不匹配的综合结果。在污泥箱本体不具备大规模改造条件的前提下,亟需通过源头减臭、系统风量重构及运行方式优化等手段,对现有通风除臭系统进行低碳且可实施的改造。

## 3 改造技术路线与低碳设计思路

### 3.1 低碳改造原则

在“双碳”目标背景下,污水处理及污泥处置相关工程在满足环境达标和运行安全的前提下,逐步向低能耗、少排放方向优化已成为行业共识。对于既有工程的通风除臭系统改造而言,单纯依靠新增臭气收集、处理装置来扩大除臭规模,虽然在短期内可缓解臭气问题,但往往伴随着较高的设备投资和长期运行能耗,其衍生的碳排放增量不容忽视。

结合本工程实际运行状况及现场条件,改造过程中确立了以“不新增主体除臭装置、优先削减臭气负荷、充分利用现有系统余量、通过系统重构实现性能提升”为核心的低碳改造原则。在满足人员作业环境和厂界臭气达标排放双重要求的前提下,尽量减少新增设备数量及风量规模,避免对现有工艺运行和生产组织造成影响。

具体而言,低碳改造原则主要体现在以下几个方面:一是通过分析臭气产生机理,从源头入手削减臭气释放强度,降低系统所需处理负荷;二是对现有通风除臭系统进行系统性梳理,挖掘设计余量,通过风量再分配而非规模扩容来满足新增需求;三是尽量利用现有风管、风机及处理单元,减少新增土建和设备采购、安装工程量;四是通过优化气流组织和运行管理方式,提高现有系统的运行效率,从而间接降低单位处理风量对应的能耗与碳排放水平。

### 3.2 改造总体技术路线

基于现状运行问题分析结果,在明确污泥箱本体短期内不具备整体改造条件的前提下,本工程将改造重点放在污泥转运环节的臭气控制路径优化上,形成了“源头减臭-系统重构-运行优化”相结合的总体技术路线。

首先,在臭气源控制层面,通过识别污泥箱转运过程中冷凝水泄漏这一关键诱因,将原本在车间内无序扩散的高浓度臭气负荷转化为可控的局部问题,力求在冷凝水落地前完成收集与导排,从而减少其在车间空间内形成持续性二次臭源。通过源头削

减臭气负荷,由原运行状态下的高浓度臭气扩散到转运车间,向偶发性扩散转变,为后续通风除臭系统的合理配置创造条件。

其次,在系统层面,通过对现有3套除臭系统的风量配置及除臭区域划分进行重新梳理,评估各系统在实际运行中的负荷利用率和可释放余量。在不新增除臭装置的前提下,通过调整除臭区域对应关系、新增或改造局部收集风管、合理调配送排风比例等措施,将原本分散在不同系统中的富余处理能力进行整合,用于满足转运车间新增的臭气处理需求。通过系统性重构,实现整体除臭能力的再平衡。

再次,在运行与管理层面,针对转运车间现有送排风系统存在的气流短路、负压难以维持等问题,对送风口与排风口的空间关系进行优化调整,引导气流按照预期路径流动,提升臭气被有组织收集的效率。同时,通过对离子送风系统和暖通排风系统运行方式的优化,杜绝臭气未经处理直接排放,降低系统无效能耗。

## 4 关键改造措施

### 4.1 污泥箱冷凝水控制与源头减臭

运行实践表明,当冷凝水在车间地面大范围滴落、流淌并渗入地面缝隙后,会形成难以彻底清理的持续性二次臭源,使转运车间由原本设计的低浓度

臭气空间演变为高浓度臭气空间。箱体为一次性成型制造,在无法对污泥箱本体进行整体结构性改造的前提下,控制冷凝水泄漏、缩短冷凝水在空间内的停留时间,是实现源头减臭的关键。

针对上述问题,本工程在污泥箱可移动承台结构上进行针对性改造。在承台三侧设置挡水板,一侧设置接水槽,用于拦截从污泥箱侧门缝隙渗漏的冷凝水。接水槽底部设置排水口,并预留快速接头,与转运车间内固定排水管道进行对接,实现冷凝水及冲洗水的及时导排(图4)。通过上述措施,将原本在车间内无序滴落、扩散的冷凝水转变为有组织的收集和排放,显著减少冷凝水在转运车间和装卸车间内形成的高强度臭源,通过对车间内不同除臭系统工况下臭气浓度的测定(表2),确定了冷凝水的控制可以从源头上降低车间空间的臭气负荷。

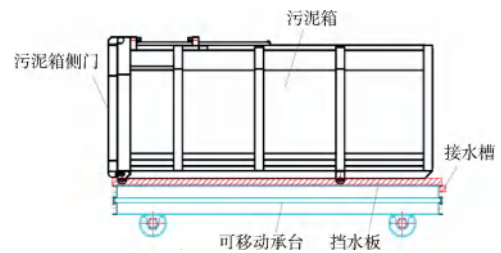


图4 污泥箱

Fig. 4 Sludge Collector

表2 改造前后转运车间臭气浓度对比

Tab. 2 Comparison of Odor Concentration in the Transfer Workshop before and after Reconstruction

项目	关闭送排风时的臭气浓度	打开送排风时的臭气浓度	说明
改造前	—	600~800	转运车间、装卸车间卷帘门打开状态
改造前(模拟工况)	5 000~6 000	1 300~1 500	转运车间、装卸车间卷帘门密闭状态
改造后	800~1 000	200~300	

### 4.2 通风与除臭系统风量重构

在完成源头减臭措施后,转运车间臭气环境由高浓度臭气空间向中低浓度臭气空间转变,其所需换气次数可由8次/h降低至4~6次/h<sup>[5-6]</sup>。按转运车间空间体积计算,对应的除臭风量需求为86 700~130 000 m<sup>3</sup>/h。若单独新增1套除臭系统,不仅投资和建设周期较长,同时也会带来显著的运行能耗和碳排放增量,难以在短期内实施。

为此,本工程对现有3套除臭系统的运行负荷和设计余量进行了系统性分析。结果表明,1#除臭系统原设计中,污泥进料泵房、浓缩进料泵房及浓缩机房均设置有除臭排风,设计除臭风量合计约为

100 080 m<sup>3</sup>/h。实际运行过程中,上述空间内泵类设备及浓缩设备密闭性较好,臭气泄漏量可忽略,门窗为开启状态,自然通风量大,空间内几乎无臭味,故其原设计除臭装置长期处于低负荷运行状态。

在此基础上,将上述100 080 m<sup>3</sup>/h的除臭风量与1#除臭系统原有设计余量进行整合,可形成约为120 000 m<sup>3</sup>/h的可调配风量资源。若将该部分风量用于转运车间臭气处理,可实现约为5.5次/h的换气次数,满足人员进入作业的环境要求。

考虑到单独对1#除臭系统进行大规模管道改造工程量较大,且车间内各专业管线已基本安装完成,新增大口径风管安装空间条件受限,本工程对3

套除臭系统的除臭区域进行重新划分。通过重新分配各系统的臭气收集范围、新增或改造局部收集风管,实现由3套系统共同消化转运车间新增臭气量

的目标。同时,充分利用现有暖通排风管道,将其改造为除臭排风管道,减少新增风管长度及空间占用,如图5所示。

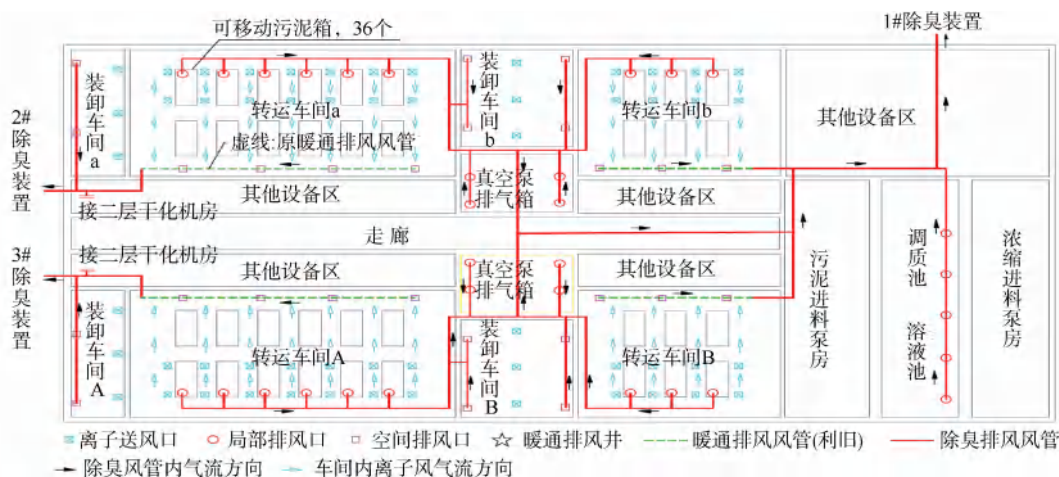


图5 一层车间布局(改造后)

Fig. 5 Layout of the First Floor Workshop (after Reconstruction)

经风量重构后,改造完成时1#除臭系统实际处理风量为 $111\ 520\ \text{m}^3/\text{h}$ ,2#、3#除臭系统实际处理风量均为 $109\ 256\ \text{m}^3/\text{h}$ ,均处于各自设计处理能力范

围内,如表3所示。由于3套除臭系统采用相同的除臭工艺流程,上述区域调整不会对最终排放达标产生不利影响。

表3 改造前后各除臭系统对应除臭区域及送排风量

Tab. 3 Corresponding Deodorization Areas and Supply and Exhaust Air Volumes of Each Deodorization System before and after Reconstruction

除臭区域	改造前对应除臭系统	改造前除臭风量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	改造后对应除臭系统	改造后送风量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$
浓缩机房	1#	53 280	无除臭	(无送风)
污泥进料泵房	1#	25 920	无除臭	(无送风)
浓缩进料泵房	1#	20 880	无除臭	(无送风)
真空泵	2#、3#	5 400	1#	—
热水箱排气	2#、3#	5 400	1#	—
装卸车间 B	3#	16 000	1#	8 000
装卸车间 b	2#	16 000	1#	8 000
转运车间掉料口 a、b	2#	7 200	1#	—
转运车间掉料口 A、B	3#	7 200	1#	—
调质池	1#	8 820	1#	—
溶液池	1#	500	1#	—
转运车间 B、b	无除臭	45 000	1#	26 000
转运车间 A、a	无除臭	75 000	2#、3#	41 000
主机密闭罩、螺旋输送机	2#、3#	127 512	2#、3#	—
装卸车间 A	3#	8 000	3#	4 000
装卸车间 a	2#	8 000	2#	4 000

### 4.3 车间气流组织与运行管理优化

在完成风量重构的基础上,针对转运车间内气流组织不合理、送排风短路及负压难以维持等问题,对车间送排风系统及运行管理方式进行同步优化。

原设计中,转运车间内离子送风口均匀布置于空间内,而暖通排风口靠近部分送风口设置,实际运行中易形成气流短路,导致新风未能有效穿过污泥箱作业区域即被排出,既降低了离子送风的除臭效果,也影响了除臭排风的收集效率。改造过程中,关闭靠近除臭排风口的两排离子送风口,保留其余送

风口,使送入的离子新风能够覆盖整个污泥箱作业区域,并沿预定气流路径流向除臭排风口,从而将空间臭气“驱赶”至有组织收集点。

同时,取消转运车间原有暖通排风系统,避免未经处理的臭气直接排放至厂区外环境。转运车间所需补风主要通过离子送风系统及装卸车间门缝处的自然补风实现,在保证人员作业安全的同时,维持转运车间及装卸车间整体处于微负压状态,减少臭气外逸风险,经优化后构建的车间气流组织流向如图6所示。

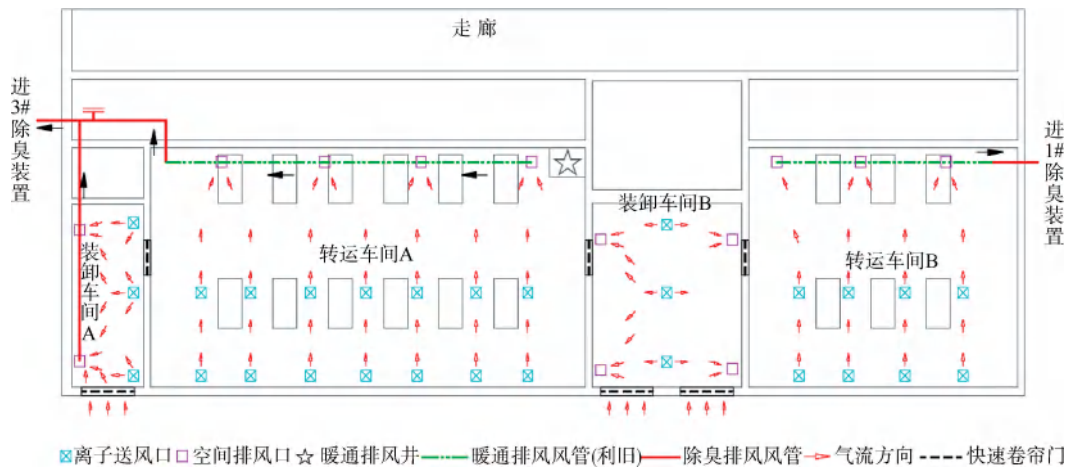


图6 一层车间气流流向(改造后)

Fig. 6 Airflow Direction in the Workshop on the First Floor (after Reconstruction)

在运行管理层面,通过明确装卸作业期间门窗管理要求,结合送排风系统运行工况调整,逐步减少人为操作导致的负压破坏情况。通过气流组织优化与运行管理协同实施,进一步提高了现有除臭系统对转运车间臭气的收集效率,为后续运行效果和低碳效益的实现提供了保障。

## 5 改造效果与低碳效益分析

### 5.1 改造后除臭效果

为客观评价通风除臭系统改造效果,对改造前后转运车间、装卸车间及厂区关键位点的臭气情况进行了对比分析。考虑到干化污泥在转运过程中产生的臭气以多种恶臭物质为主,成分复杂,单一采用硫化氢或氨气浓度指标难以全面反映臭气特征,因此在常规污染物指标基础上,引入臭气浓度作为主要评价指标。臭气浓度测定采用《空气质量 恶臭的测定 三点比较式臭袋法》(GB/T 14675—93),方法检出限为10。

改造前,转运车间内臭气浓度较高,瞬时高值可

达1500,部分区域在冷凝水集中滴落位置附近臭味尤为明显,严重影响人员作业环境。厂区内靠近转运车间排风井区域臭气浓度瞬时高值可达1000以上,对厂区环境及周边区域产生不利影响。1#除臭装置进口臭气浓度只有400~500,远低于除臭工艺负荷耐受能力。

改造完成并稳定运行后,对装卸车间、转运车间及厂区代表性点位进行复测,如表4所示。结果表明,改造后转运车间内臭气浓度均显著降低,臭气浓度下降比例达到80%以上,空间平均臭气浓度降至250,满足人员进入和短时作业的环境要求。厂区内原有明显异味区域臭气浓度同步下降,厂区环境得到明显改善。各区域高、低浓度臭气在3套除臭装置间重构后,1#除臭装置进口臭气浓度提高,发挥其设计除臭能力,2#、3#除臭装置进口臭气浓度降低,减少其除臭负荷。

同时,对1#、2#、3#除臭装置排放口臭气浓度进行监测。改造后,各除臭装置排放口臭气浓度均满

表 4 改造前后臭气浓度比较

Tab. 4 Comparison of Odor Concentrations before and after Reconstruction

区域	改造前的臭气浓度	改造后的臭气浓度
转运车间 A	1 300	200
转运车间 B	1 500	300
1#除臭装置进口	400~500	4 000~4 500
1#除臭装置出口	150	354
2#/#3#除臭装置进口	7 000~8 000	6 000~6 500
2#/#3#除臭装置出口	130	234
厂区	180	20

足本工程设计执行的《城镇污水处理厂大气污染物排放标准》(DB31/982—2016),厂界监测结果亦符合相关规范要求,未出现异常排放情况。

综合运行监测结果可知,通过源头减臭、风量重构及气流组织优化相结合的改造措施,在未新增主体除臭装置的前提下,实现了转运车间及装卸车间臭气环境的显著改善,除臭系统整体运行效果稳定可靠。

## 5.2 能耗与碳减排效益分析

在有效解决臭气问题的同时,本工程改造方案在能耗控制和碳减排方面取得了显著成效。通过对改造前后系统配置及运行方式进行对比分析,可从以下几个方面对低碳效益进行量化评估。

第一,通过污泥箱冷凝水控制措施,将转运车间臭气环境由高浓度臭气空间转变为中低浓度臭气空间,空间换气次数由原理论需求的 8 次/h 降低至约 5.5 次/h,对应除臭风量由 173 500 m<sup>3</sup>/h 降低至 120 000 m<sup>3</sup>/h。通过风量重构,利用现有除臭系统处理余量消化新增臭气负荷,避免了新增 1 套处理风量为 173 500 m<sup>3</sup>/h 的除臭装置。该措施极大地减少了设备采购、安装及配套土建工程所带来的碳排放。

第二,若按常规方案新增 1 套处理风量为 173 500 m<sup>3</sup>/h 的除臭装置,其运行过程中日均用电量约为 8 300 kW·h。按 2024 年度上海市公共电网电力二氧化碳排放因子为 0.470 1 kg CO<sub>2</sub>/(kW·h) 计算<sup>[7]</sup>,每日可减少碳排放量约为 3 901.8 kg CO<sub>2</sub>,折算成年减排量约为 1 424 t CO<sub>2</sub>。

第三,改造后污泥进料泵房、浓缩进料泵房及浓缩机房等空间通过开启门窗进行自然通风,关闭原设计的离子送风系统,原有除臭排风风量被重新调

配用于转运车间除臭。离子送风系统日用电量减少约 1 100 kW·h,对应每日减少碳排放约 517 kg CO<sub>2</sub>,年减排量约为 189 t CO<sub>2</sub>。同时,离子发生器更换频次降低,其设备制造、运输及废弃处理等环节产生的碳排放亦相应减少。

第四,为防止送排风气流短路,转运车间靠近除臭排风口的部分离子送风口关闭,整体送风量减少约一半,由车间门缝处自然补风作为补充。离子送风系统日用电量进一步减少约 780 kW·h,对应每日减少碳排放约 367 kg CO<sub>2</sub>,年减排量约为 134 t CO<sub>2</sub>,同时减少了离子发生器相关的隐含碳排放。

第五,转运车间原有暖通排风系统取消运行,日用电量减少约 1 080 kW·h,对应每日减少碳排放约 508 kg CO<sub>2</sub>,年减排量约为 185 t CO<sub>2</sub>。此外,通过后续运行管理优化措施(如夜间降低换气次数、与智慧水务系统联动等),系统仍具备进一步节能降碳的潜力。

综上所述,本工程在不新增主体除臭装置的前提下,通过系统性改造与运行优化,在满足除臭达标要求的同时,实现了显著的节能与碳减排效益,不考虑新增设备采购、安装等产生的碳排放量,仅考虑通风除臭系统的运行能耗,全年综合减少用电量约为 11 260 kW·h,对应碳排放量减少约 1 932 t CO<sub>2</sub>,低碳改造效果明显。

## 6 结语

(1) 污泥干化后在转运过程中仍具有一定温度,污泥箱内易形成高温高湿环境并产生冷凝水。具有较高臭味强度的冷凝水无序泄漏和扩散是导致转运车间臭气环境恶化的重要原因。针对冷凝水进行有组织收集与导排,是污泥干化转运环节实现源头减臭的有效途径。

(2) 在污泥进料泵房、浓缩进料泵房及浓缩机房等区域,设备密封性能较好,实际臭气泄漏量较低。在满足安全与管理要求的前提下,采用自然通风即可满足环境卫生需求,无需长期运行机械送风或除臭排风系统。对上述区域通风除臭配置进行优化,可释放系统处理余量,用于消化其他高需求区域的臭气负荷。

(3) 离子送风系统在低浓度臭气空间内对改善作业环境具有一定效果,但当空间臭气浓度达到 1 000 以上时,单纯依靠离子送风难以将臭气浓度

降低至人员可接受范围。离子送风不宜作为高浓度臭气空间的主要控制手段,其适用范围和运行边界需在工程设计中予以明确。

(4)在设有除臭排风的作业空间内,离子送风应与除臭排风系统在空间位置和运行方式上进行统筹考虑。均匀布置送风而未考虑气流组织,易造成送排风短路,降低除臭效率。通过合理控制送排风距离和气流流向,可显著提高现有除臭系统的臭气收集效果。

(5)在既有工程条件下,通过源头减臭、通风除臭系统风量重构及运行管理优化相结合的方式,可在不新增主体除臭装置的前提下,实现臭气控制效果和装置利用率的同步提升。本工程通过风量再分配和系统协同运行,将原需 8 次/h 换气次数的高浓度臭气空间转化为约 5.5 次/h 的中低浓度臭气空间,工程可实施性强。

(6)本工程改造后,转运车间臭气环境显著改善,除臭系统排放满足设计执行标准要求,同时实现了显著的节能与碳减排效果,全年仅运行能耗方面综合减少碳排放量约 1 932 t CO<sub>2</sub>。相关改造思路和技术路线可为同类污泥干化及转运工程的通风除臭系统低碳改造提供参考。

### 参考文献

- [ 1 ] 方红新,葛德强,吴超,等. 污泥处理工艺技术研究[J]. 广州化工, 2025, 53(16): 154-156.  
Fang H X, Ge D Q, Wu C, et al. Study on sludge treatment technology[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2025, 53(16): 154-156.
- [ 2 ] 吴宝强,蒋欢,张双福,等. 城镇污水污泥处理设施的恶臭气体污染特征及其处理技术研究进展[J]. 皮革制作与环保科技, 2025, 6(7): 130-132.  
Wu B Q, Jiang H, Zhang S F, et al. Research on the characteristics of odour gas pollution and its treatment technology of urban sewage sludge treatment facilities [ J ]. Leather Manufacture and Environmental Technology, 2025, 6(7): 130-132.
- [ 3 ] CJJ/T 243—2016 城镇污水处理厂臭气处理技术规程[S].  
CJJ/T 243—2016 Technical regulations for odor treatment in urban sewage treatment plants[S].
- [ 4 ] GB 50014—2021 室外排水设计标准[S].  
GB 50014—2021 Standard for design of outdoor wastewater engineering[S].
- [ 5 ] DG/TJ08—2385—2021 城镇污水处理厂恶臭气体治理技术标准[S].  
DG/TJ08—2385—2021 Technical standard for odors treatment in urban sewage treatment plant[S].
- [ 6 ] T/SGIPA 053—2024 分布式生活垃圾中转站臭气处理技术规程[S].  
T/SGIPA 053—2024 Technical specification for odor treatment of distributed household waste transfer stations[S].
- [ 7 ] 上海市生态环境局,上海市统计局. 关于发布 2020—2024 年度上海市公共电网电力、热力二氧化碳排放因子的通知 [EB/OL]. (2026-1-12) [2026-02-03]. <https://sthj.sh.gov.cn/hbzhwypt1098/ydqhbhgl/20260113/e8a1be0f8c91444581036739c1aff7ac.html>.  
Shanghai Ecology and Environment Bureau, Shanghai Municipal Bureau of Statistics. Notice on issuing carbon dioxide emission factors of electricity and heat for Shanghai public power grid for 2020-2024 [EB/OL] (2026-1-12). [2026-02-03]. <https://sthj.sh.gov.cn/hbzhwypt1098/ydqhbhgl/20260113/e8a1be0f8c91444581036739c1aff7ac.html>.