文章编号：1671-6612（2022）03-427-07

垃圾处理厂卸料坑吸风口位置及负压值对臭气逸散影响分析

曹东明　于文俊

（北京市市政工程设计研究总院有限公司　北京　100082）

【摘　要】　以垃圾处理站卸料坑为分析模型，采用 CFD 模拟方法分析卸料坑内吸风口负压值对卸料门处臭气逸散的影响。分析得出，卸料门处的负压值与吸风口负压值成线性关系，卸料门处的风速与吸风口负压值成二次函数关系。卸料门处的臭气浓度值与吸风口负压成幂函数关系。可以看出，侧吸风情况下，卸料门处的平均负压、风速值最大，但 H_2S 浓度却不是最小。工程设计中，在保证臭气不外逸的前提下，可通过优化臭气收集吸风口布置，降低吸风量，达到节能高效目的。

【关键词】　除臭；垃圾转运站；卸料口；CFD

中图分类号　TU27/TU83　　文献标识码　A

Analysis of Odour Collection in Waste Unloading Pit when the Position and Negative Pressure of Air Outlet are Different Respectively in Municipal Solid Waste Treatment Plant.

Cao Dongming　Yu Wenjun

(Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd, Beijing, 100082)

【**Abstract**】　Through establishing physical models and using CFD method to analyze effects of odor collection in the door area, when negative pressure values of air outlet in the pit differs at different position. Correlation between pressure values of air outlet and average pressure values in door area are linear. Pressure values of air outlet and average velocities in door area present quadratic function relations. Pressure values of air outlet and average H_2S concentrations in door area present power function relations. Pressure values and average speed in door area are highest when outlet is on the sidewall, but the concentrations, which indicate effect of deodorization directly, are not the lowest. Illustrating that position of outlet affects the capture of odor in the pit, whereas it is an efficient way to optimizing odor capturing system.

【**Keywords**】　deodorization; municipal solid waste treatment plant; waste unloading pit; CFD

作者（通讯作者）简介：曹东明（1987-），男，硕士研究生，工程师，E-mail：330899668@qq.com
收稿日期：2021-09-23

0　引言

现阶段垃圾处理厂房内除臭研究主要集中在臭气处理工艺及对周边环境的影响[1-10]，对于臭气收集端，也就是吸风口布置位置及相关参数的研究比较少，且现阶段文献大多集中在分析室内除臭工况或气流走向等方面[11,12]，缺乏臭气收集吸风口布置的相关研究。但臭气吸风口的设置参数直接影响到后端臭气处理风量及室内气流组织，从而影响室内臭气收集效果，并对除臭系统处理风量影响较大。

以生活垃圾转运站为例，臭气源主要集中在生活垃圾卸料坑内，卸料门处需为负压，以阻止臭气外逸。工程上的负压措施主要是设置吸风口，垃圾卸料坑内吸风口位置的不同对臭气捕集效果有所不同。卸料坑内空气污染物以浓度差或密度差为动力向上挥发，而吸风口处形成的负压不仅吸入挥发出的污染物，同时吸入周边空气。为便于分析吸风

口位置对臭气捕集效果的影响，忽略吸风口补风方式、周围工艺操作引起的气流干扰等影响因素，默认各种吸风方式均为自然补风，且补风面积相同。

选择典型的三种吸风口布置位置：上吸风、侧吸风、下吸风三种方式。以吸风口负压值为变量，对比三种风口布置形式下的臭气捕集效果。

生活垃圾组成物质主要有餐厨类、橡塑类、纸类、纺织类、木竹类、金属类以及陶瓷、玻璃等无机材料类等[13,14]。垃圾在卸料、输送、分选等过程中，在微生物作用下会发生分解，产生H_2S、NH_3和挥发性有机物等多种恶臭气体[15-17]。

以臭气成分硫化氢[18]为例，采用计算流体动力学方法对不同吸风位置进行模拟。总结对比吸风口位于不同位置、不同负压值等情况下，卸料坑附近的气流特性，并分析其对硫化氢逸散的影响。计算流体动力学方法（computational fluid dynamics, CFD）常用于研究包括室内气流组织、室内污染物研究等[19,20]诸多领域，并能达到较好效果。

1　模拟参数设置与验证

以生活垃圾卸料坑及卸料门的常规尺寸和参数进行建模。料坑尺寸为6m×4m×3m；卸料坑设置卸料门，尺寸为8m×5.5m。

顶吸风口位于卸料坑顶部；侧吸风口位于卸料坑侧方，与卸料门相对；下吸风口位于卸料坑内部卸料口一下。三处风口尺寸一致，各个风口布置位置详见图1。

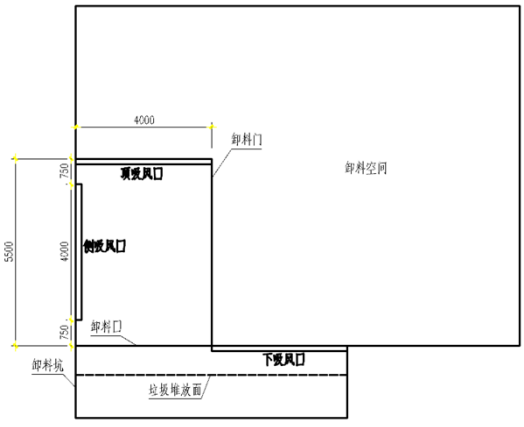


图1　物理模型

Fig.1　3D physical model

CFD模拟采用Phoenics软件，考虑室内空气流动基本为湍流流动，采用三维*N-S*方程作为控制方程，并采用标准*k-ε*模型建立封闭的控制方程组[21,22]，采用迎风差分格式进行离散计算，收敛残差为10^{-3}。

室内空气流动基本为湍流流动，采用三维*N-S*方程作为控制方程[23,24]，并采用*k-*ε模型[25]建立封闭的控制方程组。

连续方程：$\frac{\partial \rho}{\partial t}+div(\rho U)=0$

动量方程：

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t}+div(\rho U\phi)=div(\eta grad\phi)+S_\phi$$

能量方程：

$$\frac{\partial(\rho T)}{\partial t}+div(\rho UT)=div(\frac{\lambda}{c_p}gradT)+S_T$$

组分方程：

$$\frac{\partial(\rho c_s)}{\partial t}+div(\rho c_s T)=div(D_s grad(\rho c_s))+S_S$$

*K*方程：

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t}+div(\rho U\mathrm{k})=div((\eta+\frac{\eta_t}{\sigma_k})gradk)+G_k-\rho\varepsilon$$

ε 方程：

$$\frac{\partial(\rho\varepsilon)}{\partial t}+div(\rho U\varepsilon)=div((\eta+\frac{\eta_t}{\sigma_\varepsilon})grad\varepsilon)+\frac{\varepsilon}{k}(C_{1\varepsilon}G_k-C_{2\varepsilon}\rho\varepsilon)$$

式中，ρ 为空气密度，kg/m³；*t*为时间，s；*U*为速度矢量，m/s；*T*为空气温度，K；λ 为导热系数，W/m·K；c_p为定压比热，kJ/kg·K；ϕ 为速度变量，代表三个坐标方向上的分速度*u*、*v*、*w*，m/s；η 为动力粘度，N·s/m²；S_T、S_ϕ为广义源项，c_s为组分*s*体积浓度，ρc_s为组分*s*质量浓度，D_s为组分*s*扩散系数，S_S为系统内部单位时间内单位体积通过化学反应产生的组分*s*的质量。*k*为湍动能；ε 为湍流耗散率；η_t为湍动粘度；G_k为平均速度梯度引起的湍动能*k*的产生项；σ_ε、σ_ε分别是与*k*、ε 对应的Prandtl数，取值1.0、1.3；$C_{1\varepsilon}$、$C_{2\varepsilon}$为模型常数，取值1.44、1.92。

模拟假设：

（1）不考虑料坑外空间通风对料坑的影响。

（2）计算区域内气体为不可压缩牛顿流体，流态为稳态。

（3）臭气散发量不随时间改变，为恒定值。

（4）不考虑围护结构对流体造成的阻损。

（5）暂不考虑补风位置对流体的影响。

（6）暂不考虑风口尺寸对气流分布的影响。

边界设置：

料坑内设置臭气吸风口，补风为卸料空间外墙自然补风。垃圾臭气散发受温度、湿度、垃圾成分等诸多因素影响。为了便于观察特定污染物散发量下的通风除臭效果，散发量取定值进行分析，且具体取值不做进一步研究与阐述。

表1　边界设置

Table 1　Boundary Settings

名称	边界类型	边界参数	个数
吸风口	Pressure outlet	0~5Pa	1
补风口	Pressure outlet	0Pa	1
臭气散发面	Velocity inlet	7μg/m^2/s[26]	1

模型计算区域尺寸为12m×28m×13m，采用六面体进行网格划分，取负压值为1Pa时，进行计算，网格数量及对应结果如下所示。

表2　不同网格数计算结果

Table 2　Results of different mesh numbers

网格编号	X，Y，Z网格数	卸料门处平均风速m/s	卸料门处平均负压值Pa	卸料门处平均H_2S浓度
1	3，8，6	3.03E-01	8.92E-01	2.76E-05
2	6，28，29	3.03E-01	8.92E-01	5.74E-06
3	7，32，33	3.03E-01	8.92E-01	4.65E-06
4	6，56，58	3.03E-01	8.92E-01	2.77E-06

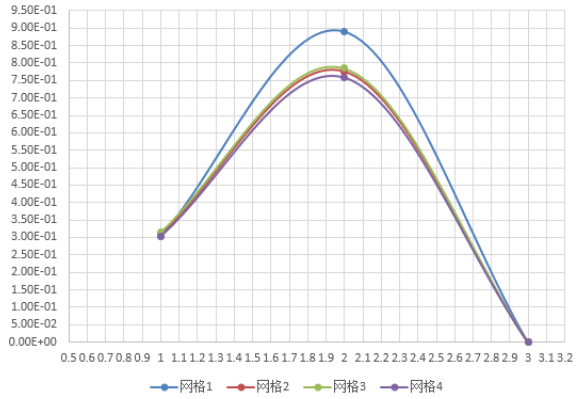


图2　不同网格数计算结果

Fig.2　Results contrast of different mesh numbers

计算结果可以看出2、3号网格数计算结果基本一致，本模拟采用2号网格数量进行模拟。

卸料坑内设置INLET作为臭气散发源，料坑外空间设置OUTLET作为自然补风口。

2　结果与讨论

理论上，负压值越大，吸风口附近臭气越容易吸入吸风口。同时，吸风量相应增加，引起卸料口周边风速增加，更容易捕捉外逸臭气。

对于顶排风和侧排风，为便于模拟分析，此处忽略料坑的深度对吸风的影响，认为料坑内臭气散发平面与地面一致。吸风口采用OUTLET，并分别设置其负压值。

2.1　风口负压值与卸料门负压值分析

吸风口位于不同位置，随着吸风口负压值变化，卸料门处负压平均值变化规律如图3所示。下吸风垃圾堆放面深选取0.6m、1.5m、3.0m等典型值进行分析，此时的料坑深度即为臭气散发面深度。为了便于对比分析，简称为顶吸风、侧吸风、0.6m下吸风、1.5m下吸风及3.0m下吸风。

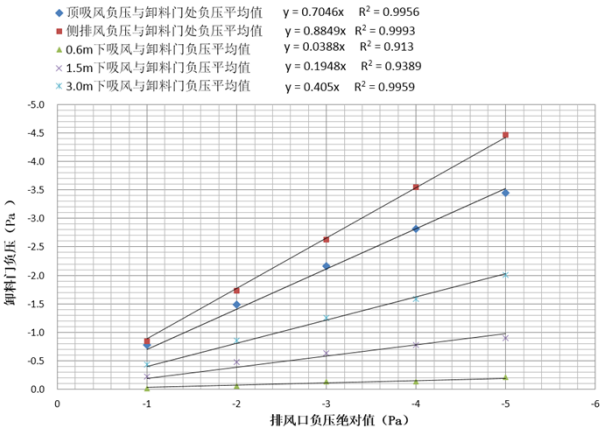


图3　吸风负压值与卸料门处负压平均值

Fig.3　Correlations of average negative pressure values between　head-outlet and door area

分析上吸风数值结果可以看出，卸料门处的负压绝对值随着吸风口负压增大成线型增长关系。顶吸风卸料门处的负压基本为吸风口负压的0.7倍，侧吸风卸料门处的负压基本为吸风口负压的0.88倍，下吸风口负压根据垃圾堆放面深度不同，基本为吸风口负压值的0.04~0.4倍。

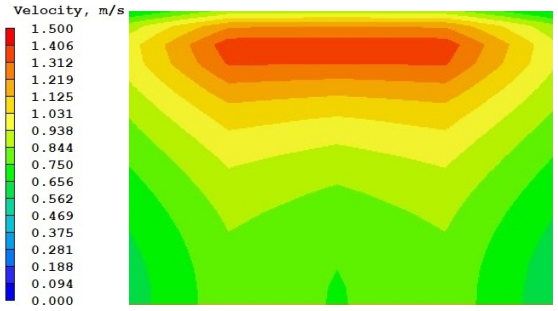
侧吸风引起的卸料门处平均负压最大，顶吸风次之，下吸风平均负压最小。针对吸风口位于下部情况，卸料门处风速在垃圾堆放面深3.0m时，平均负压最大，1.5m次之，深0.6m时，最小。

由于卸料门至吸风口的气流流动轨迹基本为直线，无变向，其流动阻力较小。同时，由于吸风口位于下部时，气流变向较多，卸料门处负压值最小。

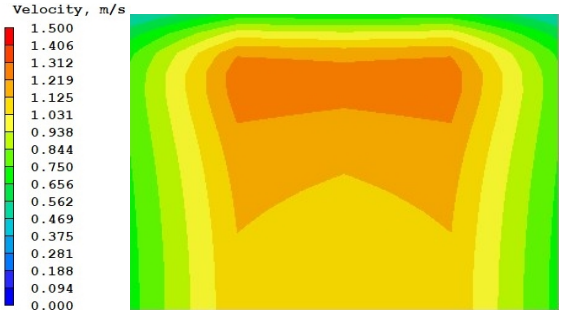
垃圾堆放面对于下吸风布置的主要影响是气流通道面积，堆放面越高，气流流通面积越小，此时造成卸料门处的负压也较小。

2.2　风口负压值与卸料门处风速分析

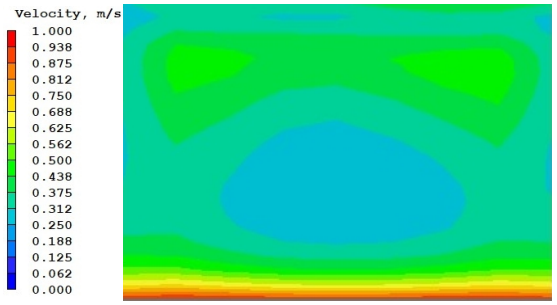
吸风口分别位于卸料坑上、侧、下部（-0.6m）时，取-5Pa负压值情况下，卸料门处风速分布云图如图4所示。



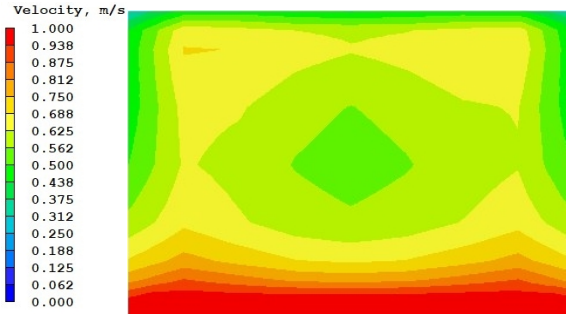
顶吸风卸料门处速度云图



侧吸风卸料门处速度云图



下吸风（-0.6m）卸料门处速度云图

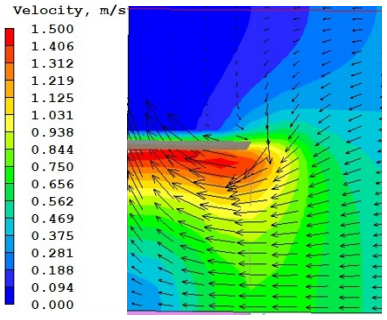


下吸风（-1.5m）卸料门处速度云图

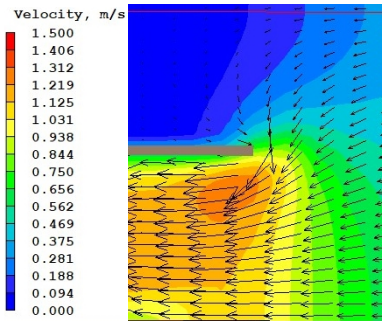
图4　卸料门处速度云图

Fig.4　Distribution of velocities around the door

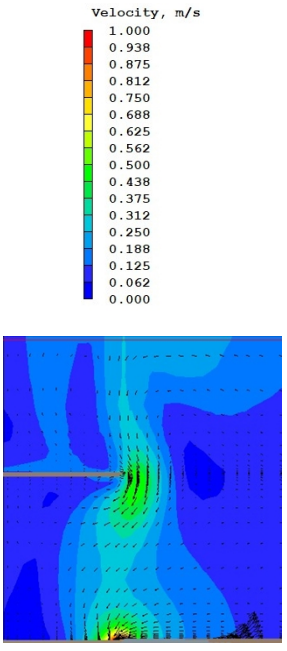
吸风口分别位于卸料坑上、侧、下部（-0.6m）时，取-5Pa负压值情况下，料坑内风速分布云图如图5所示。



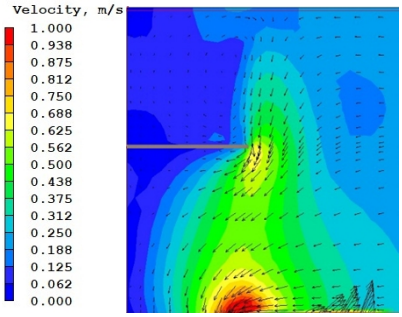
顶吸风料坑内气流云图



侧吸风料坑内气流云图



下吸风（-0.6m）料坑内气流云图



下吸风（-1.5m）料坑内气流云图

图5　卸料坑内速度云图

Fig.5　Distribution of velocities in the pit

对比速度分布云图可以看出，侧吸风情况下，卸料门处速度分布比较均匀，且速度值相对较大，料坑内流速分布也比较均匀。下吸风引起的卸料门及料坑内气流流态发展并不明显，呈流速低，分布不均现象。顶吸风引起的料坑内气流效果介于两者之间。

吸风口分别位于卸料坑上、侧、下部时，随着负压值增大，卸料门处的平均风速变化趋势如图6所示。

对比分析模拟云图可以看出，侧吸风卸料门处平均风速值最大，顶吸风次之，下侧吸风卸料门处的平均风速值最小。

随着负压值增大，卸料门处的平均风速逐渐增大，并成二次函数关系。其中，下吸风随着料坑深度的增加卸料门平均风速呈增大趋势。

下吸风情况，卸料门处平均风速在垃圾堆放面3.0m时最大，1.5m次之，0.6m时最小。料坑越深，下吸风气流发展越充分，其阻力越小，因而引起卸料门处的平均风速越大。

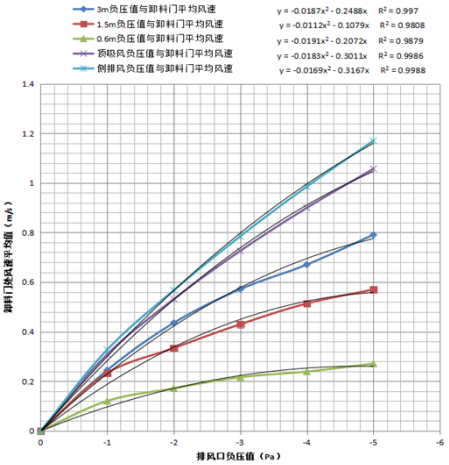


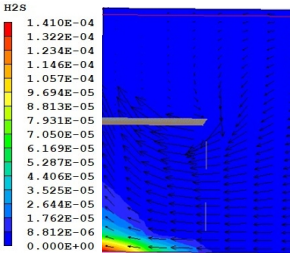
图6　吸风口负压值与卸料门处风速平均值（料坑深0.6m、1.5m、3.0m）

Fig.6　Correlations between average negative pressure values of floor-outlet and average velocity values in door area(0.6m 1.5m 3.0m)

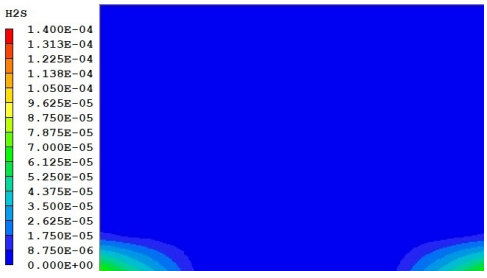
2.3　卸料门处H_2S浓度分析

吸风口位置与卸料门处硫化氢浓度云图如图7所示。

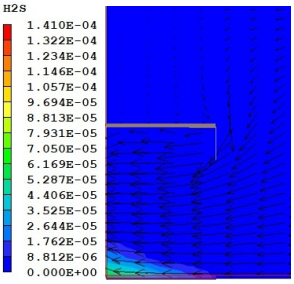
顶吸风卸料门处H_2S浓度云图



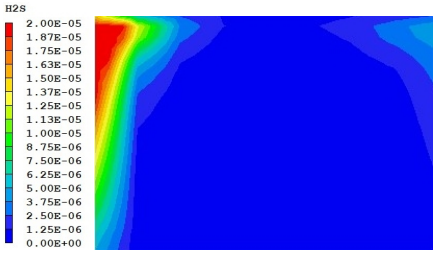
顶吸风料坑内H_2S浓度云图



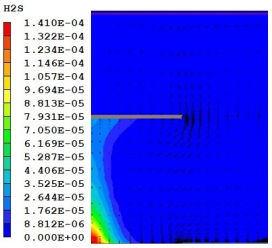
侧吸风卸料门处H_2S浓度云图



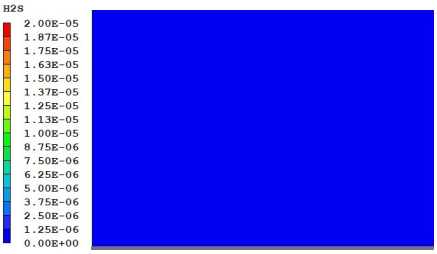
侧吸风料坑内H_2S浓度云图



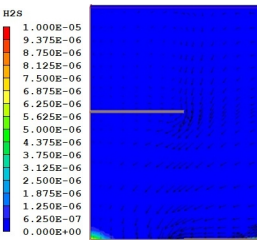
下吸风（-0.6m）卸料门处H_2S浓度云图



下吸风（-0.6m）料坑内H_2S浓度云图



下吸风（-1.5m）卸料门处H_2S浓度云图



下吸风（-1.5m）料坑内H_2S浓度云图

图7　H_2S浓度云图

Fig.7　Distribution of H_2S concentration

从浓度云图可以看出，-1.5m下吸风情况下，卸料门处及料坑内H_2S浓度最低。上吸风及侧吸风在卸料门底部均会产生臭气外逸区域，下吸风在卸料门上部会产生臭气外逸。此现象与吸风口引起的气流流态有关，吸风口位置不同，远离吸风口或有阻碍区域会产生气流死区，此处容易产生臭气外逸。

吸风口负压值与卸料门处硫化氢浓度变化如下图所示。当垃圾堆放面深为3m时，其臭气捕集效果优于1.5m及0.6m。为了便于与侧吸风及顶吸风方式进行对比，此处暂不分析3m深情况。

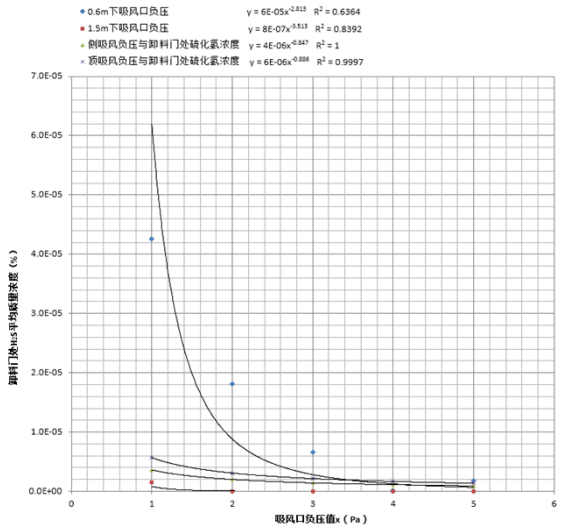


图8　吸风口负压值与卸料门处H_2S浓度值

Fig.8　Negative pressure values of outlet and average H_2S concentration values of pit door area

吸风口位于卸料下部时，卸料门处的硫化氢浓度值明显小于顶吸风和侧吸风情况。同时垃圾堆放面越深，卸料门处硫化氢浓度越小。

侧吸风情况卸料门处浓度平均值相对顶吸风卸料门处浓度平均值较小，说明侧吸风对于臭气捕集效果优于顶吸风。

在负压值在小于5Pa时，0.6m深堆料面的下吸风口作用下，卸料门处H_2S平均浓度值最大，顶吸风口次之，1.5m深堆料面的下吸风最小。随着负压值增大，下吸风情况卸料门处H_2S平均浓度值逐渐增减小，卸料门处的浓度减小量增速最大。同时，堆料深度越大，卸料门处硫化氢浓度越小。

由以上分析可以看出，下吸风对于防止臭气逸散效果跟垃圾堆料面深度和负压值密切相关。负压值越大，堆料面越深，越有利于防止臭气逸散。

从卸料门处的负压值和速度值可以看出，吸风口位于下部时，卸料门处的负压和捕集风速并非最大，但从卸料门处H_2S平均浓度值对比分析可以看出，排风口位于下部时，卸料门处臭气外逸相对较少。

分析产生此问题的原因是，臭气散发通过卸料口后再散发至卸料门处。因而，对臭气的捕集有两道重要区域：卸料口及卸料门，如图9所示。虽然下吸风作用下卸料门处的风速相对偏小，但是卸料口处风速较大，能够较好阻碍臭气逸散。但对于顶吸风及侧吸风，卸料口则并非臭气捕集区域。

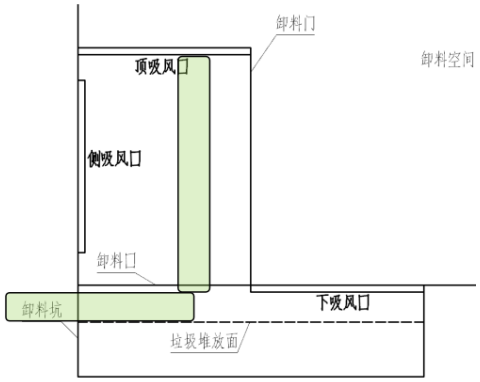


图9　卸料口及卸料门位置

Fig.9　Positions of outlet in the pit and door area

因而，对于臭气逸散，应尽量在靠近臭气源的区域进行捕集，如此才能提高臭气吸风口的捕集效率：以较小的风量防止臭气逸散。

3　结论

综上，吸风口布置位置对臭气捕集效果影响较大，合理采用吸风口布置能够在保证臭气收集效果的前提下降低吸风量。

本文是以垃圾站卸料坑臭气捕集为出发点进行风口布置的研究，总结对比了常规风口布置的除臭效果，对工程设计尤其臭气源卸料区域有一定参考意义。

工程设计中，在条件允许的情况下应尽量采用下吸风的方式对垃圾坑内臭气进行收集，也就是靠近垃圾源附件布置吸风口。同时，垃圾料坑卸料口尺寸应尽量小，便于以最小风量捕集臭气。垃圾堆放面深度应尽量大于0.6m，以保证气流能够充分发展，减少其流动阻力。

由于下吸风口对于卸料门处造成的负压值较小，因而，对于卸料门处有臭气源的情况，应尽量采用侧吸风口布置形式。

工程上常用的顶部吸风罩类似于顶吸风工况，对于臭气捕集效果最差。

本研究未考虑补风方式、卸料扰动、室内气流波动等对臭气外逸的影响，但这些情况是现阶段卸料过程中臭气外逸的重要影响因素，在以后研究中需进一步细化。

参考文献：

[1] 李夏,张益.大型城市生活垃圾中转站的环保除臭措施[J].环境卫生工程,2005,13(6):62-64.

[2] 袁松,黄丹丹,段怡彤.生活垃圾转运站臭气属性特征及不同除臭工艺[J].环境卫生工程,2018,26(3):56-58.

[3] 芦会杰.生活垃圾转运站除臭技术及典型工艺研究[J].环境科学与管理,2019,44(12):100-103.

[4] 黄求诚,陆新生,王锋.垃圾焚烧厂的恶臭污染控制[J].暖通空调,2019,49(9):82-85.

[5] 黄长缨,陆峰,李贤英,等.植物提取液对城市生活垃圾中转站VOCs的去除效果研究[J].环境工程,2018,36(2):98-103.

[6] 黄仁华.基于生活垃圾填埋作业工艺控臭的研究[J].环境卫生工程,2018,26(6):87-89.

[7] 刘璇,臧冰,侯越,等.典型垃圾处理设施异味污染研究进展[J].环境卫生工程,2019,27(3):2-5.

[8] 黄求诚,陆新生,王锋.垃圾焚烧厂的恶臭污染控制[J].暖通空调,2019,49(9):82-85.

[9] Vinay Yadav, Subhankar Karmakar, A K Dikshit, et al. A feasibility study for the locations of waste transfer stations in urban centers: a case study on the city of Nashik, India[J]. Journal of Cleaner Production, 2016,(126):191-205.

[10] BoveaM D, Powell J C, Gallardo A, et al.The role played by environmental factors in the integration of a transfer station in a municipal solid waste management system[J]. Waste Management, 2007,(27):545-553.

[11] 徐铭明.某垃圾焚烧发电厂垃圾库数值模拟及通风方式优化[D].上海:东华大学,2014.

[12] 方斌东,邹昊舒,冯旭东,等.生活垃圾焚烧发电厂暖通空调设计[J].暖通空调,2020,50(3):44-48.

[13] 吴龙,张谌,郝以党,等.生活垃圾资源化利用价值分析及处理工艺探讨[J].环境卫生工程,2018,26(1):19-22.

[14] 王桂琴,张红玉,王典,等.北京市城区生活垃圾组成及特性分析[J].环境工程,2018,36(4):132-136.

[15] 刘建伟,岳鹏,张波,等.生活垃圾综合处理厂除臭工艺选择与工程设计[J].中国给水排水,2020,36(2):53-58.

[16] 王玉婧,章骅,吕凡,等.生活垃圾转运站恶臭污染控制现状与问题思考[J].环境卫生工程,2019,27(1):1-7.

[17] 邹平洲,何枝贵,许岩.城市垃圾压缩中转站恶臭气体综合防治技术[J].环境保护科学,2018,44(6):110-115.

[18] CJJ274-2018,城镇环境卫生设施除臭技术标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2018.

[19] 蔡超然.污泥脱水车间除臭通风研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2019.

[20] 周海燕,苏冬云,周德生,等.基于CFD仿真模拟的恶臭气体智能化控制[J].环境卫生工程,2019,27(6):84-88.

[21] 龙天渝.计算流体力学[M].重庆:重庆大学出版社,2007:29-40.

[22] 潘冬梅, 徐象国, 王怡琳, 等. 高大空间气流组织模拟: 文献综述[J].暖通空调,2018,48(1):131-138.

[23] HK Versteeg, W Malalasekera. An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method[M]. Wiley, New York, 1995.

[24] Zhang Lin, TT Chow, CF Tsang. CFD study on effect of the air supply location on the performance of the displacement ventilation system[J]. Building and Environment, 2005,40:1051-1067.

[25] Launder B E, Spalding D B. Lectures in Mathematical Models of Turbulence[M]. London: Academic Press, 1972.

[26] 羌宁, 王红玉, 赵爱华, 等. 生活垃圾填埋场作业面恶臭散发率研究[J].环境科学,2014(2):513-519.