

污水处理厂曝气风量调配的优化探讨

姜 鲁

(苏伊士新创建有限公司, 上海 200003)

摘 要: 污水处理厂常常遇到不同生化反应池之间配气不均、难以调节的问题。结合实际工程案例,从理论层面就风量调配问题进行分析,总结了问题产生的主要原因。在此基础上,从设计及运营两方面提出一系列优化建议,包括干管布置形式优化、空气管道压力平衡校核、风量调节阀选型优化、设置管道压力调节附件,严格控制生化反应池液位,尽量减少不同分组曝气器的差异以及优化气量分配自控系统等。

关键词: 污水处理厂; 空气管道; 风量调配

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)10-0027-04

Optimization Study on Air Volume Allocation in Sewage Treatment Plants

JIANG Lu

(SUEZ NWS Limited, Shanghai 200003, China)

Abstract: Uneven air volume allocation and inconvenience of air flow adjustment are common problems in sewage treatment plants. This problem was analyzed from theoretical level based on one practical case, and the main causes were summarized in this paper. Accordingly, a series of optimization suggestions were provided from both design and operation perspective, including the optimization of the layout of the main air pipes, the check of the pressure balance of air pipe network, the optimization selection of the air flow adjusting valve, and the setting of the pressure regulating accessories. The liquid level of biochemical reaction tank was strictly controlled, the difference of aerators in different groups was reduced as far as possible, and the automatic control system of gas distribution was optimized.

Key words: sewage treatment plant; air pipes; air distribution

鼓风曝气系统是污水处理厂生化处理工艺最重要的设施之一,它主要由鼓风机、空气管道及水下曝气系统组成。在空气管道中,空气干管负责将鼓风机提供的空气输送、分配到水下曝气系统,再由水下曝气系统将空气均匀地分布在生化反应池中,为活性污泥提供氧气。空气管道布置科学与否,直接影响污染物的生化去除效率及运营管理的便宜性、灵活性。

然而,由于空气管道设计缺陷、管道附件选型不合理等,污水厂常常遇到不同生化反应池之间配气不均、难以调节的情况。这个问题在污水厂分多期建设、共用一根总空气干管时,表现得尤其突出。为

此,结合工程实例,从空气管道布置方面进行深入探讨,并借鉴暖通专业的经验提出一系列关于风量调配的优化建议。

1 典型空气管道布置形式

目前污水处理厂多采用一根空气干管的布置形式,所有鼓风机出口均连接至空气主干管起端,空气干管沿程依次连接各空气次干管,再由次干管将空气输送至不同的曝气系统。典型空气干管布置形式如图1所示。

该类型的布置形式架构简单,主干管长度短、工程投资较低,广泛应用于各种规模 and 不同工艺的污水处理厂中。

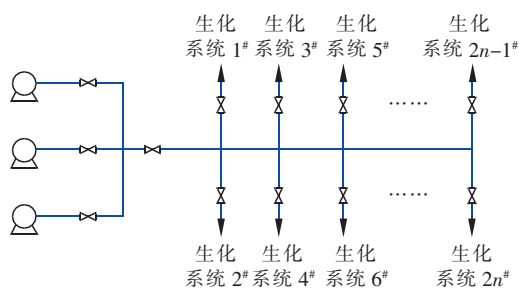


图1 典型空气干管布置形式

Fig.1 Typical layout of main air pipes

但当污水厂规模较大、分多期建设,或建设完成后多次扩建、改造时,可能有6组甚至更多组生化系统共用一根空气干管。此时在实际运行中,各组生

化系统气量的分配主要由各系统的风量调节阀进行控制。受管道布置形式影响,各风量调节阀的灵敏度各不相同、相互影响,调节难度很大,给生产运营带来诸多不便。

2 案例剖析

2.1 案例介绍

我国某大型城镇污水处理厂设计规模为 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,分三期建成,每期生化反应池分4组,共计12组。整个污水厂共用一根空气干管,12组生化反应池的曝气系统独立布置,均采用管式微孔曝气系统。其空气干管布置如图2所示,各组生化系统的设计需风量、实际运行水深等参数如表1所示。

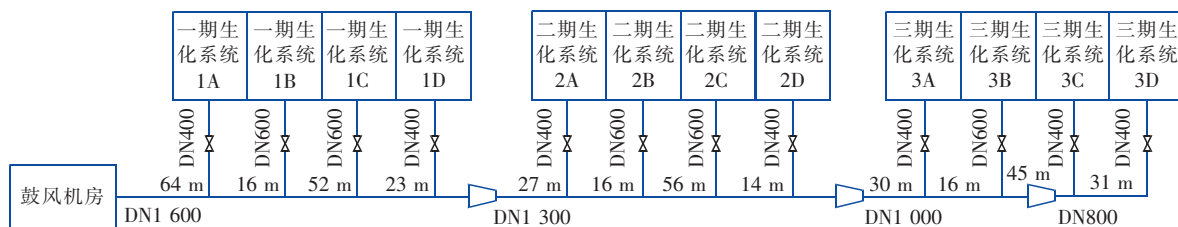


图2 案例污水厂空气干管布置示意

Fig.2 Schematic layout of main air pipes from case WWTP

表1 案例污水厂曝气系统相关参数

Tab.1 Aeration parameters of case WWTP

项 目	1A	1B	1C	1D	2A	2B	2C	2D	3A	3B	3C	3D
设计需风量/($\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	6 660	13 320	13 320	6 660	6 660	13 320	13 320	6 660	4 500	9 000	9 000	4 500
实际水深/m	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	6.01	6.01	6.01	6.01

因施工误差、构筑物沉降等,三期生化系统的水深比一期、二期深6 cm。各组生化系统的风量调节阀采用蝶阀。

该厂在运营中根据生化反应池溶解氧进行风量调节时,12组生化系统风量互相影响、调节难度极大。这一方面给运行参数的控制带来诸多麻烦,另一方面也影响了污水厂节能降耗方面的改进。

2.2 理论分析

根据《实用供热空调设计手册》对空气管道进行压力核算,其中沿程摩擦阻力(ΔP_m)按照下式进行计算:

$$\Delta P_m = \Delta p_m l \quad (1)$$

$$\Delta p_m = \frac{\lambda}{d_e} \frac{V^2}{2\rho} \quad (2)$$

式中 Δp_m ——单位管长摩擦阻力,Pa/m
 l ——风管长度,m

λ ——摩擦阻力系数

d_e ——风管当量直径,m

V ——管内风速,m/s

ρ ——空气密度, kg/m^3

局部压力损失(ΔP_j)按照下式计算:

$$\Delta P_j = \xi \frac{V^2}{2\rho} \quad (3)$$

式中 ξ ——局部阻力系数

以各次干管与干管的交叉点压力平衡为目标,考虑各系统风量、水深、管径的不同,可计算得出各系统风量调节阀的开度。调节阀开度以蝶阀阀板与风管中轴线的旋转夹角表示,蝶阀不同旋转夹角对应的局部阻力系数根据《实用供热空调设计手册》选取。考虑不同的曝气系统支管压力损失,可得到一系列满足压力平衡要求的风量调节阀开度组合,结果如表2所示。

表 2 风量调节阀转角计算结果

Tab. 2 Calculation results of rotation angle for adjusting valves

(°)

系统编号	风量调节阀转角								
	情形 1	情形 2	情形 3	情形 4	情形 5	情形 6	情形 7	情形 8	变化幅度
1A	26	27	29	32	37	43	56	64	38
1B	35	35	36	39	42	47	59	65	30
1C	34	35	35	38	42	47	59	65	31
1D	24	25	27	31	37	43	56	64	40
2A	23	24	26	31	36	43	56	64	41
2B	33	34	35	37	41	47	59	65	32
2C	33	33	34	37	41	47	59	65	32
2D	21	23	24	30	35	43	56	64	43
3A	12	18	23	32	41	50	61	70	58
3B	30	31	33	39	45	52	62	71	41
3C	27	30	32	38	44	52	62	71	44
3D	0	12	20	31	41	50	61	70	70
最大差值	35	23	16	9	10	9	6	7	

由表 2 可以看出,为保证风压平衡,12 组风量调节阀须开启在不同的角度,角度差值可达 35°。系统压力变化时,各风量调节阀的转角变化并非线性变化,且调节幅度差异较大。例如,情形 1 和情形 8 相比,系统 3D 调节阀转角调整 70°,而系统 1B 只有 30°。这就从理论上解释了为何该污水厂风量平衡难以调配。

2.3 问题原因分析

案例污水厂风量调配难的原因可以归结为如下几点:①单根空气干管服务的生化系统组数偏多,分配点偏多。②干管设计时未充分校核各次干管接出点的压力平衡。③风量调节阀采用蝶阀,其过流断面为月牙形,流量调节特性接近对数特性,非线性调节,难以实现精密调节。④生化系统之间水深的差异严重影响压力平衡的调节。例如在案例厂中 6 cm 水深差异产生约 600 Pa 压力差,相当于约 600 m 空气干管的沿程压力损失。这部分差异全部依赖风量调节阀平衡,实际操作难度相当大。⑤生化系统之间曝气器类型或更换时间的不同带来管道阻力的差异,影响气量的分配。

3 设计及运营优化建议

3.1 干管布置形式优化

当生化系统分组较多时,建议采用多干管布置形式,例如图 3 所示的双空气干管布置。多干管布置时,虽然会使空气干管及风机的建设投资有一定增加,但可以大大减少各组生化系统之间的干扰,提

高其运营调整的独立性。每根干管服务的生化系统数量应根据各组生化系统运行独立性的要求,生化系统之间的差异大小,以及鼓风机房与生化构筑物之间的距离等因素,进行经济、技术比较之后综合确定。

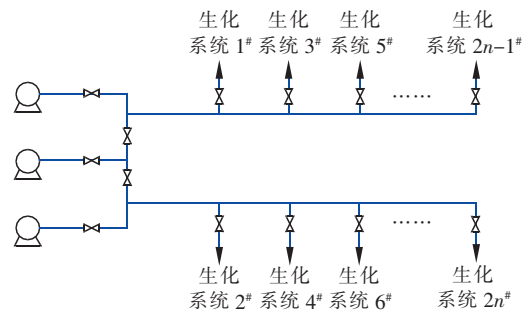


图 3 双空气干管布置

Fig. 3 Layout of double main air pipes

3.2 空气管道压力平衡校核

在进行空气管路设计时,须对空气干管进行详细的压力平衡校核,确保干管与各生化系统次干管的连接点处压力平衡,同时尽量减小空气管路的总压力损失。

关于压力平衡的设计标准,建议参考《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB 50019—2015),要求并联管路压力损失的相对差额不超过 15%。

空气干管压力计算方法可采用压损平均法、假定流速法、静压复得法和 T 计算法(T-Method)

等^[1]。其中,静压复得法是调整管道压力平衡的重要方法,它通过合理设计空气管道分支下游的管径,使变径复得的静压与相应管段的阻力相当,确保各管道分支处具有相同静压。

3.3 风量调节阀选型优化

风量调节阀是在管道优化设计的基础上进行风量分配的辅助调节设施。最佳的调节阀开度组合,应力求在整体开度最大、风机压力最小的情况下实现风量分配目标,以减少压力损失造成的能耗^[2]。这要求风量调节阀具有较高的调节精度。

风量分配系统较复杂、要求较高时,建议选用针阀等调节精度高、流量特性为线性的风量调节阀,并配置与之匹配的执行机构。例如,杭州七格污水处理厂(一期)利用针阀和溶解氧仪的联动控制,有效解决了7个污水处理单元之间气量分配不均的问题,大大降低了运行成本^[3]。

3.4 设置管道压力调节附件

仅以管径优化设计、空气流量调节阀控制仍难保证压力平衡时,可考虑在次干管空气调节阀前设置孔板等调整压力损失的管道附件。但需注意,这类管道附件会产生永久性的压力损失,应尽可能减少其使用量。

3.5 严格控制生化反应池液位

考虑到很小的水深差异就会对空气管的压力平衡造成较大影响,建议共用同一空气干管的生化系统设计相同的水深,并尽可能采用一致的工艺条件。

由于施工、调试及运营过程中复杂的变化因素,不同生化系统的水深之间很难保持完全一致。实际运营中可通过定期调节堰高度等方式,确保共用空气干管的生化系统水深严格一致。

3.6 尽量减少不同分组曝气器的差异

由同一空气干管供气的不同生化系统,应尽可能采用相同类型的曝气器,定期清洗维护,合理安排更换计划,以减少曝气器阻力差异对气量分配的影响。

3.7 优化气量分配自控系统

借助流量计、溶解氧仪等在线仪表、调节阀门、自动执行机构及自动化控制软件,可以大大提高气量分配调节的效率。但需特别注意对该系统运行效果有关键影响的因素,包括在线仪表、调节阀门、执行机构的精密度、准确度、灵敏度、稳定性,以及自控软件控制逻辑的合理性等。

4 结论

空气管道布置不合理容易导致风量分配难以调节的问题。结合实际案例剖析,建议从设计及运营两方面出发,通过干管布置形式优化、空气管道压力平衡校核、风量调节阀选型优化、设置管道压力调节附件、严格控制生化反应池液位、尽量减少不同分组曝气器的差异、优化气量分配自控系统等方式,避免或减少风量调配问题的发生。

参考文献:

- [1] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 2版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
Lu Yaoqing. Practical Design Manual for Heating and Air Conditioning[M]. 2nd ed. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008 (in Chinese).
- [2] 李建勇, 王建华, 范岳峰, 等. 曝气流量控制系统用于污水处理厂的节能降耗[J]. 中国给水排水, 2007, 23(12): 80-84.
Li Jianyong, Wang Jianhua, Fan Yuefeng, et al. Application of aeration volume control system to energy saving and consumption-reducing in WWTP [J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(12): 80-84 (in Chinese).
- [3] 芮旭东, 付静瑶. 针阀在城市给水厂和污水厂中的应用[J]. 中国给水排水, 2006, 22(14): 56-58.
Rui Xudong, Fu Jingyao. Application of needle valve to urban water and wastewater treatment plants [J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(14): 56-58 (in Chinese).



作者简介:姜鲁(1988—),男,山东聊城人,硕士,工程师,水务运营高级工程师,主要从事给排水工程设计与污水厂运营技术研究工作。

E-mail: jianglu52516@163.com

收稿日期:2019-01-03