

城市污水处理厂鼓风机曝气系统节能

Energy Conservation of Diffused Aeration System
in Municipal Wastewater Treatment Plant

林荣忱 李金河 (天津大学环境工程系, 天津 300075)

林文波 (天津市东郊污水处理厂, 天津 300300)

X505

摘要 鼓风机曝气系统是城市污水处理厂重要设施,其耗电量占全厂的40%~50%,因此是污水厂节能的关键。文章针对鼓风机曝气系统节能技术,分析了控制风量、曝气深度等与氧传质速率的关系并给出了不同条件下供气量的计算方法,最后论述了实施控制风量技术时应考虑的 airflow 率、搅拌强度、风机本身调节限度以及经济性分析等问题。

关键词 鼓风机曝气系统 节能 城市污水处理厂

Abstract Diffused aeration system is one of the most important facilities in municipal wastewater treatment plants. It consumes 40%~50% electricity consumption of a plant. The relationships between the rate of oxygen transfer and the control of air flow as well as aeration depth were analyzed. the calculations of gas supply under different conditions were offered. Finally authors discussed some considerations of the control technology of air flow such as air rate per diffuser, mixing, the adjustment limit of blower and economic analysis.

Keywords Diffused aeration system Energy conservation Municipal wastewater

鼓风机曝气系统包括鼓风机、空气输送管路和扩散装置,其作用有两个:一是充氧,以满足微生物的需要;二是搅拌、混合,使活性污泥与污水充分接触。鼓风机曝气系统电耗一般占全厂电耗的40%~50%,是污水厂第一耗电大户,自然也就成为整个污水厂节能的关键。

鼓风机曝气系统的节能可以从提高扩散装置效率,在保证微生物对氧的需求入手,采用控制风量技术,减少供气量,从而达到节能的目的。目前我国新建污水厂普遍从这一思路出发,采用了相应的节能技术,节能效果显著。天津东郊污水厂采用全面微孔曝气比穿孔管节电20%,采用溶解氧PLC控制风量可节省气量10%^[1,2]。

然而,在鼓风机曝气系统节能技术的实施过程中,如果我们不是从整个系统出发,而是片面强调某一方面的节能,就不能达到预期目的,有时甚至会破坏整个系统的正常运转。

1 运行参数的相对不固定

设计人员进行设计时,工程还没有建成,因此设计参数一般是参考国内外经验或根据小型实验结果选定的,与实际情况肯定会有差异,为保证安全性,设计时一般都留有余地。所以在运行中不能把运行参数当作固定不变的,而是应根据进水的水量和水质的变化确定实际的运行参数。这不仅是节能的需要,也是正常运转的需要。

比如在选择风机风量时,都要在计算需气量基础上加一个足够大的安全系数,以满足最大负荷时的需要。可是最大负荷出现的时间不到10%,运行时如果不考虑负荷大小一味按额定风量运转,不仅会造成能源的浪费,也会导致过曝气现象,影响出水水质。所以应根据负荷,以DO为指标采取控制风量技术。据EPA对美国12个处理设施调查结果显示,以DO为指标控制风量平均可节电33%^[1],节能效果显著。表1为我国设计手册与维护管理参数的异同^[3,4],以供参考。

表1 我国城市污水处理厂曝气工艺参数

项 目	污泥负荷 kgBOD ₅ /kgMLSS	MLSS (g/L)	回流比 (%)	曝气时间 (h)	泥 龄 d ⁻¹
给排水设计手册	0.2~0.4	1.5~2.5	25~75	4~12	5~15
建设部行业标准	0.2~0.4	1.5~3.0	25~50	4~12	5~15

2 氧的传质速率

2.1 氧转移原理

氧通过扩散装置向水中扩散遵循氧转移原理。在活性污泥法正常曝气条件下可应用双膜理论,其表述形式如下。

$$\text{清水中: } N = k_L A / V (C_S - C) = k_L a (C_S - C)$$

式中 N ——单位体积混合液中的氧传质速率 $\text{mg/L} \cdot \text{h}$;

$k_L a$ ——总传质系数, $1/\text{h}$;

C_S ——水中溶解氧浓度, mg/L ;

A/V ——单位体积混合液中气液总相界面面积, m^2/m^3 。

污水中: $N = a k_L a (\beta C_S - C)$, a, β 为反映污水与清水差异的校正系数。

这一理论的实质是:假定在气相与液相接触面两侧存在着气膜和液膜,传质阻力都集中于此,并假定接触面上气液经常处于平衡状态。空气中的氧向液体中转移时,空气处于紊流,所以可以认为氧的浓度是均一的。同时也可以假定,由于曝气的混合搅拌作用,液体内溶解氧浓度也达到了均匀状态。于是氧传质阻力只存在于两层界膜内,界膜内属于分子扩散。对于象氧这样的难溶气体,可认为传质阻力主要来自液膜。可见双膜理论的应用是有一定条件的,在不能满足这些假定条件下就不能使用双膜理论。

2.2 减小气量与传质速率

从公式不难看出 C 减小时, $C_S - C$ 即传质推动力增大,从传质角度来说应维持曝气池较低的溶解氧浓度,以减小能耗。因此有人认为在进出水条件一定时可以减小供气量,这样就可以减小 C ,从而增大传质。那么在停止曝气这一极端条件下,传质速率将达到最大,这显然是不对的。造成这一错误的原因是没有考虑双膜理论成立的条件,另外只考虑了 $C_S - C$ 未考虑 $k_L a$ 。

化工上许多研究表明,在双膜理论适用范围内, $k_L a = b u_G^n$, 其中, b 与曝气头有关,随孔径的减小而增大,而 $n = 0.78 \sim 0.82$ 与曝气头无关, u_G 为气体流率 (m/h),该式无须考虑流速对 $k_L a$ 的影响^[5]。将该式应用于曝气池,不难得出类似公式: $k_L a = K G^n$, 其中 K 与曝气池表面积和曝气头种类数量有关,同一曝气池为常数; G 指空气流量 (m^3/h), n 同上。

可见,在双膜理论适用范围内,减小气量虽然可以增大传质推动力,但 $k_L a$ 将减小,总的效果还是减小传质速率。具体分析如下:

以连续流搅拌池式反应器为研究对象见图 1。

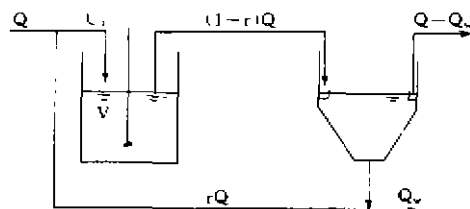


图1 连续流搅拌池式反应器的传质

图1中: r ——回流比;

Q ——进水量, $1/\text{h}$;

C_0 ——进水与回流污泥混合液溶解氧浓度, mg/L ;

C ——出水溶解氧浓度, mg/L ;

V ——池有效容积, L ;

R ——微生物氧利用速率。

首先作如下假设:

① 忽略通过大气的自然复氧,实际上大气复氧很小完全可以忽略。

② 认为生物需氧速率恒定,不随进出水溶解氧浓度的变化而变化。理论上 $\text{DO} > 0.3 \text{ mg/L}$ ^[1] 就不会对微生物的生命活动造成影响,此时 DO 不成为生长限制因素,因此在负荷一定的情况下,该条件容易满足。

对氧进行物料衡算:

$$(1+r)QC_0 + NV = (1+r)QC + RV$$

$$\text{即 } N = R - (1+r)Q(C - C_0)/V \quad (1)$$

因为减小气量, $k_L a$ 减小,所以必然引起 C 减小,由上式容易看出, C 减小, N 将随之减小。可见减小风量,将导致传质速率下降。

当 C 减小到 $C = C_0$ 时,显然 $N = R$,此时如果再减小风量,物料衡算方程将变为:

$$N + (1+r)Q(C_0 - C)/V = R \quad (2)$$

其中 $C < C_0$,可见 N 仍然减小。

综上所述,只要减小气量氧传质速率都要减小。因此,想通过减小气量减小 C ,从而增大传质速率是做不到的。可是通过计算看到 $N - R$ 只占 R 的 2% 左右,所以在 $N \geq R$ 范围内减小气量时,可认为 $N \approx R$,保持不变(一般情况下满足生物需氧即可满足搅拌要求,也就可以满足双膜理论条件)。 $N - R$ 虽小作用却不小,它决定着曝气池溶解氧浓度 C 的大小。

2.3 E_A 与传质速率

对于微孔曝气器,在允许空气流率范围内,最小空气流率时氧利用率 E_A (单位时间内吸氧量 / 单位

时间内供氧量)比最大流率时高25%^[7],因此,有人认为应减小气量至曝气头最小流率,以增大 E_a ,从而增大传质速率,同时达到节能目的。

$k_L a$ 随气量 G 的增大而增大,但气泡有增大的趋势,因此传质效率降低,即吸氧量增长速度放慢,也就是说吸氧量的增长倍数小于供氧量的增长倍数,但吸氧量终究还是在增长,因此传质速率就还在增大,只是 E_p (kgO_2/kWh)降低,越来越不经济而已。

为了减小气量同时使传质速率不减小,在允许空气流率范围内,可以增加曝气头个数,这样可以保证 $k_L a$ 不减小同时达到节能目的。

3 曝气池有效深度

随着曝气深度的增加,氧的分压增大,据亨利定律, C_s 必然增大,传质推动力必然增大,同时气泡走行距离加长,停留时间也增长,但因压力增大气泡变小、变少,深度增加到一定程度时,因压力太高超过风机负荷时,将完全没有气泡。可见对于同一台风机,随曝气深度的增加,传质速率不一定增加。日本实验结果表明^[5], E_a 与深度的0.72次方成正比,而功率在5 m~18 m范围内与深度的0.67次方成正比。所以在20 m,随深度的增加, E_a 的增大与耗电量的增大基本相互抵消,即单位吸氧量的电耗几乎与曝气池有效深度无关,因此节能潜力不大,但是仍可以把它作为节省占地面积的一项对策予以考虑。

因此,对于城市污水处理厂在确定曝气池有效深度时,考虑更多的是地质状况和工程造价而不是 E_a 或 E_p ,所以普通活性污泥法池深一般在3.5 m~4.5 m内。

4 微孔曝气器的堵塞经济性分析

微孔曝气器堵塞物可能是附着生长的微生物,沉积的细砂或金属粉末,也可能是因空气过滤不良带入的尘埃或空气管路上剥落的碎片等。当风压明显升高或 E_a 明显减小时,就应进行清洗。可根据不同原因采取以下相应措施:用高压水冲洗表面;用酸、碱、表面活性剂等药剂洗;向空气中加入氟气、氟化氢等;还可以短时间内增大空气量将堵塞物冲出;发生生物堵塞时,只需停止进水闷曝一段时间,随 F/M 的降低,生物进入内源呼吸阶段,就会逐渐脱落。另外开始运转前的彻底清洗以及运转中保证连续供气,也是非常重要的。这些清洗措施无疑都会增大能耗和运转费,但清洗后 E_a 可提高2%左右,只要清洗不是很频繁,完全可以从节电中得以补偿,因此还是值得的。

其实,不仅清洗曝气头要分析一下是否值得,所

有节能措施都要进行经济性分析,因为节能的最终目的是降低运行管理费用。以穿孔管系统为比较对象,分析采用微孔曝气系统是否经济时,可用如下方法:

收回投资期 = (微孔曝气系统投资 - 穿孔管系统投资) / (每年节电量 × 电价 - 每年维护费用)

只有当收回投资期 > 系统使用期才可考虑采纳这一节能措施。

5 控制风量时空气流率的核算

曝气器的空气流率太低可能导致堵塞或污泥沉淀;流率过高,不仅浪费能源,而且过量空气使气泡有变大趋势,此外过多的能量输入会导致垂直流速增大,缩短气泡在水中的停留时间,降低传质效率。

因此,曝气器有一个允许空气流率范围,这一范围由生产厂家给出,风量控制时不应超过这一范围,不能只考虑节电而毫无节制的任意减小风量,否则将得不偿失。

一般可事先由最大、最小允许空气流率算出最大、最小允许风机风量,风量调节不能超过此范围,但具体的风量调节界限还与搅拌强度以及风机特性有关。

6 搅拌强度

曝气的目的之一就是搅拌,对于大多数曝气池供气量 $> 15 \text{ W/m}^3$ 时^[7],就可以阻止活性污泥沉降,设计搅拌能耗明显高于供氧能耗时,就应考虑减小池体积和增大MLSS,以保持较高的电能利用效率。一般情况下,按设计手册推荐的几何比例进行设计时,能满足DO需求即可满足搅拌要求,所以问题并不是很突出。

可是当进行减小风量操作以节能时,尤其当 F/M 很低时,风量有可能降到最低所需搅拌强度以下,从而导致污泥沉淀。因此,在减小风量时,不仅要考虑最小允许空气流率,还应考虑最小搅拌强度,从而确定一个最小搅拌所需风量值,宁肯浪费一些电也不能使风量小于该值。

7 风机本身的调节限度

不仅曝气器和搅拌强度有一个允许风量问题,风机本身也存在一个风量调节范围问题。如果将进口蝶阀或导叶片关得过小,可能出现喘振,导致机组发热,甚至损坏。

一般对于进口蝶阀风量调节范围是45%~100%,而对于导叶片可达30%~100%^[7]。

至此将5、6、7各步算出的允许风量进行比较,我们最后可以确定一个风量允许调节范围,不论手

动还是自动调节,都不能为了一时的节能或适应负荷的变化而超过此范围操作。

8 结论

8.1 鼓风曝气系统是污水厂第一耗电大户,是整个污水厂节能的关键。

8.2 污水厂运行参数应在设计参数指导下根据实际情况不断进行调整,这既是保证正常运转的需要,也是节能的需要。

8.3 在实施鼓风曝气系统节能技术时应采用系统的观点,全面考虑节能技术可能带来的影响。

8.4 对于鼓风曝气系统,减小风量时,氧传质速率要降低,但在一定范围内传质效率会变好。

8.5 增加曝气深度虽然会提高 E_A ,但同时 E_P 也会增大,因此在 20 m 范围内,节能潜力不大。

8.6 任何节能技术都要对其效果是否经济进行校核,以使节能技术真正达到降低运行费的目的。

8.7 采取控制风量技术时,最小风量的确定除考虑节能外还应考虑允许空气流率、搅拌强度和风机本身的调节限度。

9 参考文献

- 1 顾夏声. 废水生物处理数学模式. 北京:清华大学出版社,1982
- 2 天津市政工程设计研究院编. 天津东郊污水处理厂新技术开发与应用研究报告
- 3 天津纪庄子污水处理厂编. 城市污水处理厂运行维护及安全技术规程
- 4 北京市市政设计院主编. 给水排水设计手册. 第5册. 北京:中国建筑工业出版社,1986
- 5 日本下水道协会. 下水道施設省资源省エネルギー化对策,1983
- 6 姜信真. 气液反应理论与应用基础. 北京:轻工业出版社,1989
- 7 Water Environment Federation. Energy Conservation in Wastewater Treatment facilities. Alexandria. USA. 1997
- 8 张自杰,林荣忱,金儒林. 排水工程. 第三版. 北京:中国建筑工业出版社,1996

林荣忱 教授,天津大学建筑工程学院环境工程系。

(收稿日期 1998-08-01)

“信息”

△ 1998年3月19日至21日在巴黎召开了“国际水资源保护大会”,参加会议的有84个国家的60多位部长和50多位中央政府人员。会议通过了:①、改善信息收集;②、促进管理能力;③、确定管理战略和资金提供手段等内容的“优先行动”。当前全球淡水资源存在的问题:淡水资源少;用水量剧增,约15亿人缺水;污染严重,至少每年有1500万人因饮用污染水患病致死;治理资金缺少。未来10年发展和治理水资源的资金需6000亿美元,而目前能筹集到的资金仅为10%。(“上海供水”No. 2, 1998)。

△ “福建给水排水”No. 5, 1998, 报导两条消息:

福建漳州九岭生活垃圾无害化处理厂已于1998年7月30日动工,总投资6000万元,占地39公顷,该工程被列为联合国工业发展署援华五城市环保项目之一;国家建设部和中科院生活垃圾无害化综合的处理示范工程项目之一。

法国环保工程师协会水处理专家孙仲平博士日前对太湖流域治污工程提出新见解。孙女士认为:传统的“两级处理法”(物理—生物法)显然已落后,建议采用“一级半加强法”(物理化学法),其不仅处理效果明显增强,且成本大大降低,这种处理方法在欧美已有20年的实践经验,以铁盐为主的絮凝剂(400元/t),摊到成本仅0.1元/t污水,而耗电量只0.05 kWh,其除磷率90%以上,有机物去除率达83%。

△ ‘98《工程建设全文信息检索系统》(光盘版 ISBN7-9800B-65-4/T006)现已问世。它收录了现行所有的工程建设国家标准、建设部城镇建设、建筑工程行业标准和中國工程建设标准化协会标准,共计495项,3000多万字。每年定期升版一次。系统可在WINDOWS系统下运行,硬件最低配置为主机386,内存8兆,2倍速光驱,硬盘剩余空间为15兆,采用全文信息检索方法,便于准确、迅速查阅所需标准,查全率达100%,全文检索的查询速度为每秒钟1万字。

价格:单机版2000元/套,网络版8000元/套。每年更新版费:单机版500元/套,网络版2000元/套。(“工程建设标准化”, No. 4, 1998)。

(于忠民)