① 污水处理厂 鼓风机 曝气系统

39-41

污水处理厂引进高速风机的探讨

冯生华*

(市政工程勘测设计院)

X 505

1985年由我院提出可行性研究报告,经有关部门组织专家进行评审,天津市纪庄子污水处理厂决定从国外引进高效率鼓风机。1989年该院进行我市东郊污水处理厂设计,其曝气系统也决定选用国外高效率鼓风机。现就两次引进先进设备及关键技术,对有关技术问题探讨,作为引进、消化、吸收的初步汇报。

用鼓风曝气处理污水的污水处理厂,其鼓风机的容量较大,一般几乎占全厂耗电量的60%以上。但在有些污水处理厂鼓风机房的设计中,往往忽略了全年气温变化对鼓风机运行的影响,造成鼓风机效率降低或超负荷运行,浪费大量电力。为了节省电力,不少污水处理厂已改用带有可调导叶片的单级高速离心鼓风机。这种鼓风机的优点是:

- (1) 可根据曝气池的负荷来调节风量,设置溶解氧自动控制装置,以减少不必要的能量损耗。
- (2) 可适应全年气温有较大的变化,当空气容重改变时,调节风量,避免电机超负荷运行。
- (3) 设备重量轻,易损部件少,壳体内不需要润滑,维修工作量小。
- (4) 与多级离心风机相比,在节能、防喘等方面更为有利。

高速风机的供油系统是设备安全运行的关键,在正常状态下,风机的供油是靠传动装置即变速箱的低速轴上所带动的主油泵供

给的,所以油泵是由风机自身带动的,不需另有动力。其优点是即使突然停电,只要风机转动,供油系统将参加工作,可避免一般风机突然停电后电动油泵停止供油,风机因惯性继续旋转而烧坏轴瓦之虞。

鼓风机的起动是由一个可编程序控制器来控制的。风机起动前,先令电动辅助油泵起动,供油系统投入运行,使油温油压达到一定值。同时要求将进风口可调导叶片全部关闭,进风管及出风管的所有阀门都开放,唯与外部风管相连逆止阀除外。风机起动时,放空阀也应开启,起动后,放空阀即渐渐关闭,压缩空气将逐渐进入出风管经逆止阀入外部管道。导叶片也随后慢慢开,使风量调节到需要的位置上,风机的起动才告完成。

由于我国污水处理厂建设的少,所以,尽管鼓风机耗电占全厂耗电60%以上,但有关设计资料甚少,设计、运行的问题也缺乏研究,现就我院两次引进国外高速风机中所涉及的几个技术问题,作如下探讨。

1. 鼓风机的功率计算

鼓风机的功率可用下式表示:

$$N = \frac{K}{K-1} \cdot \frac{rQRT}{6120\eta} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (\text{kW})$$

式中: K——气体的定压比热与定容比热之

* 高级工程师、副院长、总工程师、天津市政府授衔专家

比, 空气为1.4;

r ——空气的容重, P_1/RT
(kg/m^3);

Q ——鼓风机排出的空气量换算成吸入状态的体积 (m^3/min);

R ——气体常数, 空气为29.27;

T ——绝对气温, 以 $^\circ\text{K}$ 计;

P_2 ——排出空气的绝对压力 (Pa);

P_1 ——吸入空气的绝对压力 (Pa);

η ——鼓风机的总绝热效率。

纪庄子污水处理厂引进英国 BRYAN DONKIN 公司产高速离心鼓风机二台, 其性能如下:

风量 (15 $^\circ\text{C}$, 1.0133 $\times 10^5$ Pa 干空气)	36000 m^3/h ;
(40 $^\circ\text{C}$, 1.0133 $\times 10^5$ Pa 相对湿度 80%)	41850 m^3/h ;
进口 (过滤器) 损失	-700 Pa;
出口压力	65000 Pa;
大气压力	1.0133 $\times 10^5$ Pa;
气温	40 $^\circ\text{C}$;
相对湿度	80%。

查得水蒸气分压为 0.059×10^5 Pa, 则鼓风机进口压力为 $1.0133 \times 10^5 - 700 - 0.059 \times 10^5 = 0.9473 \times 10^5$ Pa。并算得空气容重为 $1.095 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

计算鼓风机的轴功率:

$$N = \frac{1.4}{1.4-1} \cdot \frac{1.095 \times 698 \times 29.27 \times 313}{6120 \times 0.8}$$

$$\left[\left(\frac{94730 + 65000}{94730} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} - 1 \right]$$

$$= 805 \text{ kw}$$

式中,

$$Q = 41850 \text{ m}^3/\text{h} = 698 \text{ m}^3/\text{min};$$

$$T = 273 + 40 = 313 \text{ K}。$$

上述计算与厂商提供的轴功率 795 kw 十分接近。

2. 风量换算

英国厂商提供的风量在标准状态下为

36000 m^3/h , 在 40 $^\circ\text{C}$ 、相对湿度 80% 时为 41850 m^3/h , 其供气量的换算可按式进行:

$$Q_{40} = \frac{P_{15} T_{40}}{P_{40} T_{15}} \times Q_{15}$$

式中,

$$P_{15} = 1.0133 \times 10^5 \text{ Pa};$$

$$T_{15} = 273 + 15 = 288 \text{ K};$$

$$P_{40} = 0.9473 \times 10^5 \text{ Pa};$$

$$T_{40} = 273 + 40 = 313 \text{ K};$$

$$Q_{15} = 36000 \text{ m}^3/\text{h}。$$

代入可得:

$$Q_{40} = \frac{1.0133 \times 10^5 \times 313}{0.9473 \times 10^5 \times 288} \times 36000$$

$$= 41850 \text{ m}^3/\text{h}$$

3. 空气容重计算

各种气温下的干燥空气的容重在气压为 1.0133×10^5 Pa 时, 列表如下:

t $^\circ\text{C}$	-10	0	
kg/m^3	1.342	1.293	
t $^\circ\text{C}$	15	30	40
kg/m^3	1.225	1.165	1.128

现计算当气压为 1.0133×10^5 Pa、气温为 40 $^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 80%、进风压力损失为 700 Pa 时的空气容重。

查得相对湿度为 80% 时的水蒸气分压为 0.059×10^5 Pa; 每千克空气中的水为 38 克, 则容重为:

$$1.128 \times 1.038 \times \frac{1.013 - 0.059 - 0.007}{1.013}$$

$$= 1.095 \text{ kg}/\text{m}^3$$

4. 风压换算

用鼓风曝气的大型污水处理厂, 常采用离心式鼓风机。而离心式鼓风机必须根据其性能曲线来选定型号, 目前产品样本中的性能曲线一般都是用标准风压来表示的。如处理厂当地的实际大气压如与标准风压差异较大时, 则应在设计中进行风压换算。

在污水处理厂鼓风机房的设计中,设计风压应略大于曝气池水深加管路及曝气器的压力损失。这里提出的供气压力为相对压力,即要求鼓风机增加的压力。鼓风机实际的供气压力为:

$$P_2 = P_1 + \Delta P$$

式中: P_1 = 鼓风机的进口压力;

ΔP = 鼓风机的压升。

由于厂商提供的鼓风机风压为标准风压,即进口风压为 1.0133×10^5 Pa 时的风压。如污水处理厂地处高原地区,必须将其设计风压换算成等效的标准风压。

根据工程热力学,鼓风机的绝热压缩功为:

$$h = \frac{k}{k-1} RT \left[\left(\frac{P'}{P} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

$$\frac{k}{k-1} RT_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] = \frac{k}{k-1} RT \left[\left(\frac{EAP + 1.0133 \times 10^5}{1.0133 \times 10^5} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

$$\left(\frac{EAP + 1.0133 \times 10^5}{1.0133 \times 10^5} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{T_1}{T} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] + 1$$

$$\frac{EAP + 1.0133 \times 10^5}{1.0133 \times 10^5} = \left\{ \left(\frac{T_1}{T} \right) \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] + 1 \right\}^{\frac{k-1}{k}}$$

$$EAP = 1.0133 \left\{ \left[\left(\frac{T_1}{T} \right) \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] + 1 \right]^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right\}$$

设计中,可用换算所得的 EAP 来确定鼓风机的设计容量。

算例: 设某污水处理厂所用鼓风机性能曲线的标准状态为 $t = 15^\circ\text{C}$, $P = 1.0133 \times$

设 $k = 1.4$, $k/k-1 = 3.5$, $k-1/k = 0.286$

$$EAP = 1.0133 \left\{ \left[\left(\frac{25 + 273}{15 + 273} \right) \left[\left(\frac{0.812 + 0.65}{0.812} \right)^{0.286} - 1 \right] + 1 \right]^{3.5} - 1 \right\}$$

$$= 0.847 \times 10^5 \text{ Pa}$$

换算风压与实际风压相差 $\frac{0.847 - 0.65}{0.65} \times 100 = 30\%$, 故必须经换算后才能根据性能曲线选用鼓风机的型号。

式中: k = 空气的绝热指数;

R = 气体常数;

T = 绝对气温;

P = 鼓风机进口压力;

P' = 鼓风机出口压力。

现今 EAP (Equivalent Air Pressure) 为换算后当风机进口为 1.0133×10^5 Pa 时的出口压力,同时:

T_1 = 污水处理厂实际大气绝对温度;

T = 风机性能曲线标准状态的绝对温度;

P_1 = 污水处理厂当地的实际大气压力产生的风机进口压力;

P_2 = 鼓风机实际的供气压力。

由于风压换算中,其压缩功相等,则可得:

10^5 Pa, 当地实际环境为 $t_1 = 25^\circ\text{C}$, $P_1 = 0.812 \times 10^5$ Pa。求 $\Delta P = 0.65 \times 10^5$ Pa 时的换算风压。