

# 污水处理厂鼓风机选型成本因素分析

陈现明

(中国船舶重工集团公司第七一八研究所, 河北 邯郸 056027)

**摘要:** 鼓风机是活性污泥工艺曝气的关键设备。针对污水处理厂建设方和运营方在选择鼓风机时不同的关注点, 分析了鼓风机在建设期和运营期内的各项成本因素, 提出了全寿命周期成本分析可用于指导鼓风机的选择, 并通过工程实例进行了验证。

**关键词:** 鼓风机; 成本; 全寿命周期

**中图分类号:** X703.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2455(2013)03-0045-04

## Analysis on cost factors of air blower selection for sewage treatment plant

CHEN Xian-ming

(The 718 Research Institute of CSIC, Handan 056027, China)

**Abstract:** Air blower is the key equipment of aeration in activated sludge process. According to the different focus of construction unit and operation unit on air blower selection, the cost factors of air blower in construction period and operation period were analyzed. It was pointed out that whole life cycle cost analysis could be used to guide the selection of air blower, which was verified through engineering examples.

**Keywords:** air blower; cost; whole life cycle

据住建部发布的《关于全国城镇污水处理设施2011年第四季度建设和运行情况的通报》显示,截至2011年底,全国已建成城镇污水处理厂3135座,在建污水处理项目达1360个。根据不完全统计,在已建和在建的污水项目中,95%以上的城市污水处理和50%左右的工业废水处理都采用活性污泥法,而活性污泥法中曝气方式多采用鼓风曝气<sup>[1]</sup>。目前城市生活污水处理工艺已较为成熟,未来鼓风机也将是污水处理中的核心设备之一。因此,采用合适的方法选择鼓风机对于指导污水处理厂的建设具有重要意义。

在满足风量、风压等技术要求的前提下,如何合理选用不同类型的鼓风机需要考虑多种因素,如不同鼓风机的采购成本、安装难易度、运行维护成本等,涵盖了前期投资和整个运营期投资,这种包含从投入使用直至报废全过程的费用,称之为全寿命周期成本。目前全寿命周期成本在设备选型中的应用较少,事实上,因为覆盖了设备的全过程费

用,全寿命周期成本在设备选型中可以有更广泛的应用。为此,分析了全寿命周期成本的组成,旨在建立合理的判断标准,使之可以更好地为鼓风机选型服务。

### 1 鼓风机全寿命周期成本因素构成

投资最少和运营费用最低是选用鼓风机时追求的理想目标,但事实上,投资最少的设备在运行时往往不一定经济,大多数时候,投资多的设备在运行费用方面反而占有一定优势。在压力一定、风量相同时,选用不同类型鼓风机的投资额和运营期内的运行费用是不同的,有时投资额高,有时运营费用高,而投资额和运营费用的总和可作为选择鼓风机的依据。

对于污水处理厂来说,鼓风机的初次投资和运营费用都视为鼓风机的成本。该成本覆盖了鼓风机从设计到报废的全过程,是鼓风机的全寿命周期成本,包括了设计、采购、安装、运行、维护、维修以及其它不可预知的成本等。可用公式表示为:

$$C = D + P + F + R + K + M + S \quad (1)$$

式中： $C$ ——鼓风机全寿命成本，万元；

$D$ ——设计费用，万元；

$P$ ——鼓风机采购费用，万元；

$F$ ——鼓风机安装费用，万元；

$R$ ——鼓风机运行费用，万元；

$K$ ——鼓风机维护费用，万元；

$M$ ——鼓风机维修费用，万元；

$S$ ——其它费用，万元。

## 2 鼓风机各项成本因素分析

构成不同污水处理厂的鼓风机全寿命成本的各项因素不尽相同，但主要内容基本一致。

(1) 设计费用。鼓风机设计费用主要包括鼓风机型号的选择、安装方式设计、配管设计、控制方式设计、所需厂房设计、通风设计以及设计校核、出图等环节产生的费用。

(2) 采购费用。鼓风机采购费用是全寿命成本费用中的重点，是一次性投资最大的部分。

鼓风机采购费用包含的内容主要有鼓风机主机费用、大功率鼓风机变频器费用、鼓风机降温冷却辅助设备费用和运输保险等费用。

(3) 安装费用。安装时需考虑的因素较多，包括水泥基础的制作、鼓风机安装、地脚螺栓的浇注、鼓风机配管、变频器的安装接线、隔音罩的安装以及鼓风机房内墙隔音材料的安装。

(4) 运行费用。运行费用指运行中的动力消耗费用。鼓风曝气系统动力消耗量一般占全厂总电耗的30%~50%，是全厂节能的关键<sup>[2]</sup>。一般污水处理厂设计寿命为50a，而污水处理厂重要设备按10a更换1次计算，由于是考核鼓风机从设计到使用寿命结束的成本，运行费用的计算周期按10a计。

(5) 维护费用。鼓风机维护费用指为保障鼓风机正常运行所产生的费用，主要包括运行过程中的定期加油、换油、皮带轮更换和滤网更换清洗等产生的费用。计算周期按10a计。

(6) 维修费用。维修费用指鼓风机进行大修需要开销的费用。不同类型的鼓风机大修周期不一样。罗茨鼓风机大修周期为3~5a，大修主要更换易损零部件，离心式鼓风机轴承与回转轴没有物理接触点，大修几率要小得多。

(7) 其它费用。其它费用主要指运行过程中的不可预见费用，如意外伤害、不可抗力造成的设备

损坏、因噪声超标或排水不达标造成的额外支出等，一般按照设备费用的5%计算。

## 3 鼓风机选型中成本因素的应用原则

污水处理厂在选用鼓风机时，应该结合污水处理厂的实际情况进行选择。如果建设资金有限，希望一次性投入低，应该选择 $C_1 = D + P + F$ 较小的鼓风机，常见于BT(Build+Transfer)建设模式；如果只看重运行费用，应该选择 $C_2 = R + K + M$ 较小的鼓风机，这是第三方运营公司考察已建污水处理厂的重要依据；如果建设资金充足，注重鼓风机从建设到运行的总体费用大小，应该考虑 $C = D + P + F + R + K + M + S$ 较小的鼓风机，该种鼓风机适合于追求总成本最小的污水处理厂，现阶段流行的BOT(Build+Operate+Transfer)模式是其典型范例。

## 4 工程实例

### 4.1 工程概况

南方某污水处理厂位于某旅游城市，二期工程建设规模为8000t/d，申请国债资金约4000万元，资金充裕。在该污水处理厂一期工程的运行过程中，暴露出了一些问题：一是罗茨鼓风机的日常维护和维修频繁，质保期后设备故障检修有诸多不便；二是旅游淡季时收取的排污费不足；三是噪声扰民问题突出。二期工程在设计阶段就以上问题对鼓风机的选型提出了分析和解决方案。

### 4.2 费用比较

根据该污水处理厂的实际情况，应该侧重选择维护工作量少、运行费用低和噪声较小的鼓风机。为此适合采用全寿命成本因素法进行分析，即希望选择 $C = D + P + F + R + K + M + S$ 较小的鼓风机。

按照设计院要求，设计鼓风机3台(2用1备)，单台鼓风机风量为33.86m<sup>3</sup>/min，出口压力为49kPa。

根据设计院推荐和污水处理厂工作人员考察结果，决定将某品牌罗茨鼓风机和某空气悬浮离心式鼓风机纳入比较范围。2种鼓风机的技术参数如表1所示。

表1 2种鼓风机参数对比  
Tab. 1 Parameters of two types of air blowers

鼓风机名称	规格型号	风量/ (m <sup>3</sup> ·min <sup>-1</sup> )	功率/ kW	转速/ (r·min <sup>-1</sup> )	压力/ kPa
罗茨	BK7018	33.86	45	1 150	49
离心式	NX50	34.6	37	12 000	49

#### 4.2.1 设计费用对比

罗茨鼓风机运行时由于振动较大，需要采用地脚螺栓固定，所以要设计 300 mm 高的水泥平台，离心式鼓风机运行时由于平稳无振动，只需平放在地面上，无需固定；离心式鼓风机自带 PLC 系统，只需输出信号即可，罗茨鼓风机需要设计配套的 PLC 和就地控制箱；由于罗茨鼓风机产生的噪音较离心式鼓风机大得多，设计时要加隔音罩，对噪音敏感的地区还需要在鼓风机房内壁采用吸音降噪措施；较大功率的罗茨鼓风机需要设计额外的水冷却装置对其进行降温。

相对来说，罗茨鼓风机的设计要略微复杂点，但总体差别不大。设计费用统一按 0.5 万元计算。

#### 4.2.2 采购费用对比

离心式鼓风机采用空气冷却方式，变频调节器集成在一体化的设备内，而罗茨鼓风机在功率较大时采用空气冷却效果不明显，需要安装水冷装置，同时需单独采购变频器安装。按照市场采购价格，费用对比如表 2 所示。

表 2 鼓风机市场采购价格对比

Tab. 2 Market purchase price of two types of air blowers

鼓风机名称	数量/台	单价/万元	附件/万元	总价/万元
罗茨	3	5.0	3	24.0
离心式	3	40.0	0	120.0

#### 4.2.3 安装费用对比

安装时，罗茨鼓风机要考虑水泥基础的制作、鼓风机的安装、地脚螺栓的浇注、鼓风机配管、变频器的安装接线、隔音罩的安装以及鼓风机房内墙隔音材料的安装，而悬浮鼓风机无须制作水泥基础、鼓风机安装重量较轻只需平放在室内地面、鼓风机配管向上延伸 1 m、无须另接变频器、无须安装隔音罩、无须采用内墙隔音材料。按照机电设备安装预算进行核算，2 种鼓风机的安装费用对比如表 3 所示。

#### 4.2.4 运行费用对比

运行费用指运行过程中产生的电费，按照当地工业用电标准，电费为 1.0 元/(kW·h)。计算周期按 10 a 计。

城市生活污水中的污染物浓度较低，控制气水体积比为 10:1 即可达到较好的处理效果。按照污水处理厂设计规模 8 000 t/d 计算，需要的空气量

表 3 鼓风机安装费用对比

Tab. 3 Installation costs of two types of air blowers

工序名称	数量/台	罗茨鼓风机/万元	离心式鼓风机/万元	备注
水泥基础	3	0.3	0	素混
设备安装	3	1.5	0.6	吊装、就位、人工
浇注螺栓	3	0.3	0	
配管	3	2.5	3.8	
变频器安装	3	0.8	0	
隔音罩安装	3	1.2	0	
内墙隔音	3	11.1	0	按 200 元/m <sup>2</sup> 计算
合计		17.7	4.4	

为 55.6 m<sup>3</sup>/min，此时运行 2 台鼓风机即可，单台鼓风机风量为 27.8 m<sup>3</sup>/min。

一般罗茨鼓风机的风量与转速成正比<sup>[3]</sup>。实际运行时风量为全开时的 82%，此时转速约为 950 ~ 1 000 r/min，根据厂家提供的样本可查得此时功率为 32 kW，总运行功率为 64 kW。

空气悬浮离心鼓风机可以直接在触摸屏上通过调节转速来调节所需风量<sup>[4]</sup>。按照该鼓风机转速调节与风量、功率之间的关系测试数据，3 台鼓风机开启 2 台，将转速调节到 92% 即可满足要求，此时 2 台鼓风机的功率为 50 kW<sup>[5]</sup>。

2 种鼓风机的运行费用对比如表 4 所示。

表 4 2 种鼓风机 10 a 运行费用对比

Tab. 4 10-year running costs of two types of air blowers

鼓风机名称	运行功率/kW	运行时间/h	单价/(万元·(kW·h) <sup>-1</sup> )	总价/万元
罗茨	64	87 600	0.000 1	560.6
离心式	50	87 600	0.000 1	438.0

#### 4.2.5 维护费用对比

鼓风机维护费用主要包括运行过程中的定期加油、换油、皮带轮更换和滤网更换清洗等产生的费用<sup>[6]</sup>。计算周期按 10 a 计。2 种鼓风机的维护费用对比如表 5 所示。

表 5 2 种鼓风机维护费用对比

Tab. 5 Maintenance costs of two types of air blowers

项目	罗茨鼓风机/万元	离心式鼓风机/万元	备注
定期加油	6.0	0	每 3 月加油 1 次
换油	1.5	0	每 1 a 换油 1 次
皮带更换	1.0	0	每 1 a 换 1 次
滤网换洗	0	1.0	每 2 a 换 1 次
合计	8.5	1.0	

#### 4.2.6 维修费用对比

一般罗茨鼓风机运行 3 a 后需要大修 1 次, 主要是对设备进行检查检修、更换齿轮和轴承, 在 10 a 运行期内预计大修 3 次, 更换电机 1 次, 预计每次大修费用为 1 万元, 更换 45 kW 电机费用为 2.4 万元, 共计 5.4 万元。离心式鼓风机的空气悬浮轴承运行时回转轴和轴承之间没有物理接触点, 高速直联电机由于没有了齿轮增速, 大大减少了机械传动和机械摩擦, 所以出故障的几率较小, 预计 10 a 内大修 1 次, 由于是进口产品, 大修时的配件和人工费较高, 按 8 万元计算。

#### 4.2.7 其它费用对比

该污水处理厂一期工程因噪声超标, 与周边居民引发了不少纠纷, 调解费用按照罗茨鼓风机设备费用的 5% 计算。而空气悬浮离心式鼓风机正常运行时噪声较小, 距离鼓风机 1 m 处, 噪声不超过 78 dBA<sup>[7]</sup>。经过污水处理厂工作人员的现场调研, 在鼓风机房外几乎听不到明显的声音, 因此不考虑调解费。

#### 4.3 全寿命成本汇总

按照上述分析, 汇总 2 种鼓风机的全寿命成本, 费用对比如表 6 所示。

表 6 2 种鼓风机 10 a 全寿命成本费用对比  
Tab. 6 10-year whole life cycle costs of two types of air blowers

序号	构成	罗茨鼓风机/ 万元	离心式鼓风机/ 万元
1	设计( <i>D</i> )	0.5	0.5
2	采购( <i>P</i> )	24.0	120.0
3	安装( <i>F</i> )	17.7	4.4
4	运行( <i>R</i> )	560.6	438.0
5	维护( <i>K</i> )	8.5	1.0
6	维修( <i>M</i> )	5.4	8.0
7	其它( <i>S</i> )	1.2	0
8	全寿命成本( <i>C</i> )	617.9	571.9

从 2 种鼓风机全寿命周期内的成本费用来看, 选用进口离心式鼓风机的费用稍低于罗茨鼓风机,

结合该厂一期运行中存在的问题和二期工程建设资金充裕的现状, 选用进口离心式鼓风机可以满足设计要求。

事实上, 同样的分析过程, 关注点不同, 选择的结果就大不一样。2009 年建成的湖南某污水处理厂二期工程, 处理工艺和建设规模与本工程实例相同, 由于受建设资金限制, 同时得益于污水处理厂工作人员专业配置较为合理, 在选择鼓风机时只考虑了前 3 项, 即  $C_1 = D + P + F$ , 由于罗茨鼓风机的前 3 项之和(42.2 万元)远小于离心式鼓风机的 124.9 万元, 最终选用了某品牌罗茨鼓风机, 运行至今, 效果良好。

#### 5 结语

通过对污水处理厂鼓风机的全寿命成本分析, 可以得出结论, 鼓风机的选择必须考虑鼓风机设计、采购、安装、运行、维护、维修等多方面的成本因素, 并结合具体的侧重点, 选择最适合该污水处理厂的鼓风机类型。

#### 参考文献:

- [1] 陈燕飞. 污水处理中活性污泥法与生物膜法的比较分析[J]. 山西水利, 2011, (4): 34-35.
- [2] 宋文清. 空气悬浮离心鼓风机在污水处理厂中的应用[J]. 城市道桥与防洪, 2010, 8(8): 114-116.
- [3] 张爱均. 污水处理厂鼓风机的选型及节能技术研究[J]. 机电信息, 2011, (33): 59-60.
- [4] 侯润珍. 污水处理工艺中鼓风机调控方式的选择[J]. 工业用水与废水, 2000, 31(6): 44-46.
- [5] 袁泉. 污水厂离心鼓风机选型中风量和风压的计算[J]. 工业用水与废水, 2005, 36(6): 58-61.
- [6] 冯建明. 离心鼓风机运行中遇到的问题及处理方法[J]. 工业用水与废水, 2005, 36(2): 55-56.
- [7] 谢长焕, 王鹏, 孟玉, 等. 空气悬浮离心鼓风机及其在污水处理厂的应用[J]. 中国资源综合利用, 2008, 26(9): 31-32.

作者简介: 陈现明(1976-), 男, 湖北利川人, 工程师, 主要从事水污染治理技术研究和环保设备的研制开发, (电话)0310-7189784(电子信箱)tjpr718@163.com。

收稿日期: 2013-04-16 (修回稿)

欢迎 订 阅 刊 登 广 告