

综述与专论

# 论水处理工程中的节能

郑纬元<sup>1</sup>, 刘世文<sup>2</sup>

(1. 杭州广业环保有限公司, 杭州 311200; 2. 杭州高新(滨江)水务公司, 杭州 310052)

**摘要:** 人们在污水处理厂的建设和对污水处理工艺的先进性、可靠性以及工程投资大小考虑较多, 而对污水处理厂建成后的运营管理考虑较少, 因而造成许多污水处理厂建成后由于运营成本过高而不能正常运行。从能耗角度出发, 分析造成运行成本高的主要原因以及相应采取的措施。

**关键词:** 污水处理; 运行成本; 能耗; 节能

中图分类号: X703, TK018 文献标识码: A 文章编号: 1006-8759(2014)01-0005-03

## THE ENERGY SAVING OF WATER TREATMENT

ZHENG Wei-yuan<sup>1</sup>, LIU Shi-wen<sup>2</sup>

(1. Hangzhou Guangye E.P Co.Ltd 2. Hangzhou H.T Binjiang Water Affairs Co.Ltd)

**Abstract:** In the construction of waste water treatment plants, people pay more attention to the advancement and reliability of the process, and the investment, but care little about operation management after construction, which makes many waste water treatment plants can't normally run because of high running cost. In this paper, the main causes of high running cost are analyzed and corresponding measures are put forward.

**Keywords:** waste water treatment; running cost; energy consumption; energy saving

我国从 20 世纪 80 年代初以来, 由于经济的高速发展和人口的快速增长, 每年工业废水和城市污水合计排放量约达 400 亿 m<sup>3</sup>, 且处理效率较低, 大量废水排入天然水体, 已使约 80% 的河流湖泊受到不同程度的污染<sup>[1]</sup>。我国城市和企业已经建设了大量的污水处理厂, 但很多均未能正常运行, 或全厂停止运行, 或处理规模减半运行, 或某些处理单元未运行。导致这种现象的主要原因是运行成本高, 经费短缺<sup>[2]</sup>。这也是很多企业不愿进行污水厂建设和管理的主要原因。污水处理厂的建设不仅要考虑污水处理工艺的先进性、可靠性和实用性, 考虑工程投资的大小, 更重要的是要考虑处理过程中的经济效益, 而这一问题中主要考虑运营中的能源消耗。从生态学观点来看, 能耗增加将导致气候和生态的严重破坏; 从经济学角度来看, 能耗增加将导致污水处理厂运行的困难。因此, 污水处理的工程设计人员不仅要从设计优化的角

度, 还必须从管理运营的角度, 设计出能更有效、更经济地利用能源的污水处理厂。

### 1 污水处理的能耗分析

污水处理本身是一个能源消耗密集性的过程, 污水处理所消耗的能量通常包括直接能耗和间接能耗。直接能耗是指污水处理厂运行过程中现场消耗的能量。直接能耗一般包括电力、燃油或煤、天然气, 主要是指污水与污泥的提升所消耗的电力, 好氧生物处理供氧所耗用的电力(曝气环节), 两者分别约占整个污水厂直接能耗的 35% 和 40% 左右<sup>[2]</sup>。间接消耗是指污水处理厂建设和运行过程中使用的非能源产品所涉及的能耗, 一般包括: 建设时所用建筑材料, 机电设备生产所需的能耗, 施工与安装过程消耗品的生产所需的能耗, 施工与安装所用设备的生产和使用涉及的能耗, 运输过程能耗, 运行时所用药剂和其他原材料涉及的能耗(如自来水、蒸汽), 尤其是药剂, 如絮凝剂、

絮凝剂、酸或碱、化学分析所用药剂等。在污水的物理化学处理过程或污泥脱水过程,大量使用价格高的絮凝剂,是导致污水厂运行成本增加的主要原因<sup>[3]</sup>。

## 2 污水处理的节能技术

从污水处理厂的能耗分析、污水处理厂设计和运行实践来看,污水处理厂的节能技术主要表现在:确定合理的处理工艺(包括尽量不用化学药剂来处理水),高效能的总体设计,选用节能的设备与装置,污水与污泥综合利用。

### 2.1 选择高能效的处理工艺

污水处理工艺的选择,除了根据污水水质和水量、排放标准、工程投资等来确定以外,尚需从节能角度合理选择。污水处理的工艺方法中,物理处理能耗较低;其次是厌氧生物处理法,处理费用约为前者的5~10倍;好氧生物处理法能耗较高,处理费用约为厌氧生物处理的5~8倍;而物理化学处理法则能耗最高,尤其是对于难处理的工业废水,选用价格高的絮凝剂、吸附剂时<sup>[4]</sup>。

(1)充分利用厌氧生物处理技术:采用物理处理法能耗最低,但一般只能作为预处理或一级处理,用以去除漂浮物,可沉淀或悬浮物,对于绝大多数污水处理厂不可能经物理处理达标排放。厌氧生物处理具有能耗低,外加营养少,产泥量少,污泥稳定化程度高等优点,并且可以把有机物转化为甲烷,作为一种清洁燃料。污水处理厂应当充分发挥厌氧生物处理的作用,对于可生物处理的工业废水,只要有有机污染物的组成和浓度合适,宜采用厌氧生物处理,可以避免采用好氧生物处理带来的高能耗。对于工业或生活小区废水处理,亦可以采用厌氧水解技术,以便大大降低后续(好氧生物)处理的负荷<sup>[5]</sup>。

(2)合理利用好氧生物处理技术:对于众多的好氧生物处理技术,工艺的选用及其节能效果,往往取决于污水处理厂的规模、处理出水标准等。例如,当出水要求脱氮、除磷时,中小型污水处理厂宜采用氧化沟工艺,而大型污水处理厂却适合采用传统活性污泥法。一般而言,好氧生物处理工艺中,延时曝气活性污泥法能耗高于传统活性污泥法,后者与生物接触氧化的能耗接近,它们的能耗均高于生物转盘或纯氧曝气,能耗最低的当属生物滤池。生物膜法是兼性生物处理过程,有机污染物

的部分降解是在厌氧条件下完成的,降低了生物代谢所需要的氧量,即能源。然而,由于生物膜(尤其是生物滤池)对进水水质和负荷的限制,设计中传氧能力与效率、工艺性能还不能准确定量表示,其应用受到限制<sup>[5]</sup>。氧化沟技术、AB法、AO法或A<sub>2</sub>O法及SBR工艺技术,与传统活性污泥法一样,都是好氧活性污泥法,污水中有机物的去除总的来说依靠微生物的好氧代谢来完成,因此与厌氧法相比,具有能耗较大、费用较高的缺点,这就促使人们去研究其他高效节能的污水处理技术。

### 2.2 优化处理系统总体设计

污水处理厂的处理工艺复杂,尤其是对难处理的工业废水,厂内建筑物多、构筑物多、管线多,做好总体设计不仅能减少占地、节省投资、方便生产、美化环境,而且能降低污水处理的能耗。处理系统总体设计时可考虑以下因素:

(1)在条件许可时,污水应一次提升,利用重力自流经过处理构筑物,以避免多次重复提升,节省能耗。

(2)合理设计构筑物的进水、出水形式和管道之间的连接形式,减少污水处理流程的水头损失。构筑物和管线的布置应力求紧凑、简洁,避免不必要的拐弯和长距离输送。这样往往可以有效地降低污水处理厂提升扬程,大大降低直接能耗。

(3)充分考虑构筑物的特征和构筑物之间的相互关系,合理集中布置某些构筑物,如污泥浓缩池与调节池或初沉池集中。

(4)条件许可时,将某些处理单元合建,如中和反应池与沉淀池,反应池与气浮池或滤池,调节池与浓缩池,格栅与沉砂池,多功能配水井与泵房等,以降低土建工程量。减少间接能耗的同时,亦能减少水力输送环节,降低直接能耗。

### 2.3 选用高能效的设备与装置

#### 2.3.1 污水提升泵

选用流量与扬程尽量达到设计要求的污水提升泵,尽量减少水泵台数,选用高效率的污水泵。例如,液下泵、潜污泵与普通卧式离心泵相比,安装形式简单,没有吸水管与启动辅助设备,直接能耗相同时,间接能耗要低得多;WG/WGF型污水泵在同一工况下比PW型污水泵效率高,另外,水泵机组尽量采用同一泵型,以便维修管理,不同流量大小搭配的水泵,型号尽量一致。对污水提升流量调节时,要避免阀门调节来节省能耗,可采用调速泵或

多台定速泵组合调节的形式。当采用水泵调速时,应该选用大机组和台数少的调速水泵<sup>[6]</sup>。

### 2.3.2 曝气系统

曝气过程是活性污泥法的中心环节,也是污水处理过程中能耗最大的工序。仅从降低能耗的角度考虑,表面曝气的性能要优于穿孔管曝气,微孔扩散器效率高于中气泡、大气泡扩散器,亦优于表面曝气机。但是表面曝气机械不需要修建鼓风机房,不需设置大量布气管道和曝气器,因此与微孔扩散器相比,表面曝气虽然直接能耗和间接能耗低,但氧的利用率低,在设计中,应综合考虑采用。

大、中气泡曝气器氧的转移率较低,微孔曝气器氧的转移效率较高,故目前采用微孔曝气器较多。另一个节能的重要措施是对曝气池供氧系统采用自动调节,根据曝气池中的溶解氧浓度由现场 PCL 自动调节供气量可节省气量 10%。鼓风机选用时,小气量、高风压的污水处理厂选用罗茨鼓风机,大风量低风压的污水处理厂选用离心式鼓风机。设计和运转时宜采用变频调速技术,根据曝气池溶解氧情况调节供风量,以节能降耗。此外,单级高速离心风机比多级低速离心风机节能,效率可由 60% 提高至 80%<sup>[7]</sup>。

### 2.3.3 污泥脱水设备

污泥经过脱水处理,其体积为原体积的 1/10~1/5,有利于运输和后续处理。目前普遍采用的脱水机械为板框压滤机、带式压滤机和离心机,也有采用干化床对污泥进行自然干化。板框压滤机较带式压滤机不易发生堵塞,但是带式压滤机能耗相对较少。现在随着技术的进步,又开发了两种脱水机械:带式浓缩脱水一体机和卧螺沉降离心脱水机。带式浓缩脱水一体机可直接进行浓缩和脱水,省掉污泥浓缩池及搅拌设备,节约占地面积,同时水耗量小,能耗低;卧螺沉降离心脱水机同样占地少,同时采用封闭式系统,作业环境好,设备磨损率低,运行费用低。虽然这两种机械总的成本较低,但是与前面的板框式和带式压滤机比,前期投资适合污泥量大的污水处理厂<sup>[8]</sup>。

## 2.4 污水处理系统资源利用

经处理后的污水是一种资源,同时污水处理中的副产品(主要是沼气和污泥)也有一定利用价值,对这些资源加以利用,也是污水处理厂节能降耗的有效途径。

### 2.4.1 污水的回用

处理后的污水一般可用于农田灌溉,经深度处理后,可作为市政或生活杂用水,亦可作为工业生产中循环冷却水。现在,很多国家已经提倡采用此种方法来解决水危机,而且污水回用的成本在一定程度上小于给水和引水工程,但是它的大规模采用不在技术上,而是必须解决一个社会系统工程的问题<sup>[4]</sup>。

### 2.4.2 厌氧沼气的利用

污水的厌氧处理和污泥的厌氧消化可产生甲烷沼气,该沼气送至锅炉燃烧产生蒸汽,可用于厌氧系统加热和取暖,沼气用于发电可回收大量电能。

### 2.4.3 污泥的综合利用

污水处理厂的污泥,尤其是生物污泥如果不含超标的重金属和其它有害物质,就应该将污泥加以综合利用。因为污泥中含有丰富的有机质和 N、P、K 等各种元素成分,所以是一种优质的有机肥料,非常适合于花卉、苗圃及城市绿化。另外,有人开始利用污泥来煅烧制作砖与纤维板材这两种建筑材料。污泥还可用于铺路,甚至用于低温炼油,制作燃料<sup>[9]</sup>。

## 3 总结

由于经济发展初期,我国对环保工作的忽视,使得水污染已成为我国目前面临的严重环境问题之一。1995 年以来,国家水污染治理工作力度加大,对城市和企业建设污水处理厂的要求更加严格。但在实际中,由于污水处理厂的运行成本高,很多污水处理厂无法正常运行,导致国家的环保要求不能顺利执行。在现有处理工艺下,污水处理厂运行成本过高的主要原因是设计不当造成运行中能耗较高。污水处理厂设计过程中应该采取的几个节能措施为:①确定合理的处理工艺;②在设计中优化处理系统总体设计;③选用高能效的设备;④处理系统资源化利用。以上所述供污水处理设计人员借鉴,希望同行在设计工作中多方面考虑,优化污水处理效果和效率,给国家和企业在污水处理方面减轻负担。

## 参考文献

- [1] 祁鲁梁,等. 水处理工艺与运行管理实用手册[M]. 北京:中国石化出版社,2002.

剂将  $\text{SO}_2$  氧化成为  $\text{SO}_3$ , 然后再经过三级喷淋吸收, 得到符合市场要求的硫酸。

### 3.2 利用废弃的碳素物去除 $\text{SO}_2$ 和 $\text{NO}_x$ 的一体化技术

采用固体废弃物(煤渣和锯末等)制备炭基吸附剂, 从燃烧气中去除大部分的  $\text{SO}_2$ 。使用过的吸附剂可以再生也可以抛弃。富  $\text{SO}_2$  气在  $100^\circ\text{C}\sim 200^\circ\text{C}$ , 经过 Claus 过程, 制得单质硫或者直接制成  $\text{H}_2\text{SO}_4$ 。去除了  $\text{SO}_2$  的烟气温度冷却至  $25^\circ\text{C}\sim 50^\circ\text{C}$ , 处于这个温度范围内的氮氧化物(主要是  $\text{NO}_2$ )被吸附剂吸附。然后将  $\text{NO}_2$  在  $200^\circ\text{C}\sim 350^\circ\text{C}$  的温度范围内解吸, 产生含有  $\text{CO}_2$ 、 $\text{NO}$ 、 $\text{N}_2$  和  $\text{CO}$  的气流。产生的  $\text{NO}$  则能在  $\text{CO}$  的作用下被催化还原。

## 4 结论

(1) 燃煤燃烧产生的  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  是大气污染的主要来源, 目前已经有许多  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  的控制技术。

(2) 按照  $\text{SO}_2$  的脱除位置,  $\text{SO}_2$  控制技术可以分为燃烧前脱硫, 燃烧中脱硫和燃烧后脱硫三种。燃烧后脱硫又称为烟气脱硫。烟气脱硫技术是目前燃煤电厂应用的最广泛和最有效的一项技术。

(3) 烟气脱硫技术又可以分为干法、半干法和湿法三种。湿法脱硫效率高, 技术也最为成熟, 但

投资、运行费用高。干法脱硫效率低, 工业应用困难。

(4)  $\text{NO}_x$  的控制技术有选择性催化还原法、选择性非催化还原法、烟道气循环法、低  $\text{NO}_x$  燃烧器法。其中, 选择性催化还原法是应用最多、技术最成熟的一种烟气脱氮方式。

(5)  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  的一体化脱除技术有  $\text{SO}_2$  氧化结合选择性催化还原技术和采用废弃的碳素物去除  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$ 。

## 参考文献

- [1] 王琼, 胡将军, 邹鹏.  $\text{NaClO}_2$  湿法烟气脱硫脱硝技术的研究[J]. 江西电力, 2004, 28(6): 14-16.
- [2] 刘伟军, 马其良.  $\text{SO}_x$  污染控制技术的现状与发展[J]. 能源研究与信息, 2003, 19(1): 1-9.
- [3] 武秀文. 烟气脱硫技术的研究[J]. 上海化工, 2003(2): 7-9.
- [4] 王雷, 章明川, 周月桂, 等. 半干法烟气脱硫工艺探讨及进展[J]. 锅炉技术, 2005, 36(1): 70-74.
- [5] 蒋欣, 黄玲, 武秀文, 等. 烟气脱硫技术的应用研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(3): 82-84.
- [6] 韩宇. 烟气脱硫新工艺研究进展 [J]. 节能与环保, 2005(2): 16-19.
- [7] 刘雪岩. 脱氮技术及其在燃煤电厂中的应用[J]. 电力标准化与计量, 2005(52): 36-40.
- [8] 黄军左, 顾立军, 刘宝生, 等. 脱除工业烟道  $\text{SO}_2$  和  $\text{NO}_x$  的技术[J]. 现代化工, 2004, 21(12): 44-47.
- [9] 彭会清, 胡海洋, 赵根成, 等. 活性炭材料用于烟气脱硫脱氮的研究现状及展望[J]. 炭素技术, 2003(6): 31-35.

(上接第 7 页)

- [2] 刘永龄. 从运转角度浅议城市污水处理厂的设计[J]. 中国给水排水, 1995(10).
- [3] 张晓明. 污水处理设计中需探讨的问题 [J]. 山西建筑, 2003, (29) 1: 131-132.
- [4] 国家环境保护局. 水污染防治及城市污水资源化技术[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [5] 杭世王君. 城市污水处理工程设计中值得探讨的几个问题[J]. 给水排水, 2004, (30) 1: 15-21.

- [6] 吴慧芳, 孔火良. 城镇小型生活污水处理设备及其展望[J]. 工业安全与环保, 2003, 29(5): 17-20.
- [7] 唐受印, 戴友芝等主编. 水处理工程手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [8] 周金全. 城市污水处理工艺设备及招标投标管理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [9] 翟云波, 魏先勋, 等. 城市污水处理厂污泥资源化利用途径探讨[J]. 工业水处理, 2004 (2): 8-11.