

城市污水处理厂节能降耗途径

陈 功,周玲玲,戴晓虎,董 滨

(同济大学城市污染控制国家工程研究中心,上海 200092)

摘 要 城市污水处理是一种高能耗的产业。污水处理过程消耗的能源主要包括电能和燃料、药剂等。本文从城市污水处理厂的污水提升、污水处理工艺、污泥处理以及管理方面,分析污水处理过程中的耗能情况,并提出各处理阶段,特别是污泥厌氧消化工艺的节能降耗途径。综合以上分析,城市污水处理厂有较大的节能降耗潜力,通过改进工艺、引进新技术、建立完善的节能管理机制,将是今后污水处理厂节能降耗的重要途径。

关键词 城市污水处理厂;节能降耗;药剂消耗;管理

中图分类号 X703

文献标识码 A

文章编号 1000-3770(2012)04-0012-004

城市污水处理是一种高能耗的产业之一。高能耗造成污水处理运营成本高,同时也加剧了我国现阶段的能源危机,我国经济正处于高速发展阶段,对能源的需求与依赖日益增加。据统计,2010 年我国各城市共有污水处理厂 2630 座,污水的日处理量可达到 1.22 亿 m^3 ,城市污水处理率也可达到 73%。污水处理厂在处理污水的过程中会产生大量的污泥。到 2010 年,全国污泥的产生量已将近 3 000 万吨(以含水率 80%计)。因此,有效地运行污水处理厂,污水处理的节能降耗是行业迫切需要解决的问题。

目前我国污水处理厂的主要处理工艺有普通活性污泥工艺、水解-好氧工艺、AB 工艺、A/O 工艺、A²/O 工艺、氧化沟工艺、SBR 及其改进工艺以及土壤处理技术,其中土壤处理技术还包括土地处理、人工湿地、人工快速渗滤、地表漫流。根据建设部统计,A²/O、氧化沟和 SBR 工艺在数量和处理能力方面占全国 80%左右。

1 我国城市污水处理厂能耗及分布

污水处理过程消耗的能源主要包括电能和燃料、药剂等,其中,电耗约占总能耗的 90%。目前,我国城市污水处理厂电耗的平均水平为 $0.29 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$,82%以上的污水处理厂能耗高于 $0.440 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$ 与欧美等发达国家相比差距较大。据报道,1999 年美国污水处理厂的平均电耗平均为 $0.20 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$,日本

为 $0.26 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$,2000 年德国污水处理厂平均电耗 $0.32 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-3}$,但这些耗值中均包含了污水消毒、污泥消化与焚烧等我国污水处理厂目前尚未普及的耗能环节^[1]。我国每年污水处理约消耗 $100 \times 10^8 \text{ kWh}$ 电,如果能耗降低 20%,则可以节约电能 $20 \times 10^8 \text{ kWh}$,因此,我国污水处理产节能降耗的空间是巨大的。

以普通活性污泥工艺为例,其中污水生物处理工艺能耗占 50%~70%,主要的能耗单元是曝气池供氧^[2],污水提升部分占能耗 10%~20%^[3],污泥处理能耗占 10%~25%,燃料、热能、药剂的能耗耗占 10%~40%。

2 城市污水处理厂节能降耗的途径

污水处理厂的能耗分布在污水提升、污水处理和污泥处理的各个单元,包括设备的电能消耗和污水处理涉及的药剂消耗等。其中,主要的耗能设备是污水提升泵、回流泵、鼓风机和污泥加热设备^[4],药剂消耗主要发生在除磷、污泥调理和污泥消毒阶段。降低主要耗能设备和工艺的药剂能耗,将是污水处理过程中节能降耗的重要途径。以城市污水处理的典型工艺流程为例,分别就各个单元的能耗加以分析。

2.1 污水提升

污水提升泵是污水提升的主要耗能设备,有较大的节能空间。牛住元等^[5]对北京某污水处理厂提升泵实际运行能耗的调查分析,结果显示该厂污水

收稿日期 2011-09-22

基金项目:“十一五”科技支撑计划项目(2010BAC67B04);十二五国家重大水专项(2008ZX07316);上海市科委科研计划项目(10DZ2212500)

作者简介:陈 功(1988-),男,硕士研究生,研究方向为城市污泥及有机质废物资源化利用技术

联系电话:18921933703;E-mail:zhou_LL@163.com

提升泵电耗占总能耗的 17% ,提升泵的电耗取决于泵的实际工作扬程,同时,构筑物水头损失设计过大,也会增加污水提升能耗。因此提出在设计阶段采取管道淹没出流和控制跌水高度,减小出口处水头损失,来有效降低污水提升高度,节约能耗。秦怀东等^[6]提出了降低泵扬程来节能降耗的措施:总体布置要紧凑,连接管路要短而直,尽量减少水头损失;改非淹没堰为淹没堰,尽量采用平流式沉淀池。

提高提升泵的效率也是节约能耗的重要方面。向伟芳^[7]提出可用变频调速技术控制提升泵,能有效降低泵的能耗。实际运行数据表明,使用变频调速设备可使水泵平均转速比工频转速降低 20%以上,综合节能效率可达 20%~40%。同样情况下,与用阀门调节流量相比,可节能 40%~60%。

2.2 污水预处理

城市污水处理厂的预处理系统包括格栅和沉砂池。格栅安装在污水渠道、泵房集水井的进口处或污水处理厂的前端,用来截留污水中较粗大漂浮物和悬浮物,防止堵塞和缠绕水泵机组、曝气器、管道阀门、处理构筑物配水设施、进出水口,减少后续处理产生的浮渣,保证污水处理设施的正常运行^[8]。虽然格栅的节能空间较少,但其对后续的全厂设备减少损耗有着重要作用。

沉砂池用于去除污水中的泥沙等无机颗粒,从而保证后续处理构筑物的正常运行。常用的沉砂池主要有平流式沉砂池、曝气沉砂池、旋流沉砂池等,其中,曝气沉砂池因含曝气设备而能耗较高,平流式和旋流式则能耗相对较低。因此,可以尽量采用平流式和旋流式来降低能耗。

2.3 污水处理

污水处理工艺耗能单元可以从好氧处理和厌氧处理两方面来分析。污水生物处理好氧工艺的曝气系统是主要耗能单元,寻找曝气系统的节能降耗方法可以大大降低污水处理厂的整体能耗。

赵宝江等^[9]总结了曝气装置的节能措施,主要包括:(1)做到精确设计,选用压力损失小的管材及局部构件,避免不必要沿长和局部损失;(2)选用微气泡空气扩散装置,产生微小气泡使得气、液接触面大,提高氧利用率;(3)考虑在单侧设曝气装置,在水流断面上形成旋转推流,使得气、液接触充分,以达到氧的高转移率;(4)安装自动调节装置,根据曝气池中的溶解氧浓度自动调节供气量;(5)采用混合效率更高的潜水搅拌器等来替代曝气设备;(6)使

用方便、故障率低、节能效果明显的变频调速风机。

金昌权等^[2]将风量作为曝气系统节能的指标,并将其节能途径分为 3 大类,第 1 类通过设备升级等方式提高氧在水中的利用率;第 2 类是通过模拟和优化运行的方式,精确控制风量(在机械曝气系统中表现为曝气设备的开启台数和运行频率的控制);第 3 类是通过变频等技术手段提高鼓风机、机械曝气机的运行效率。

黄浩华等^[10]以北京某污水处理厂二期工程 A²/O 工艺为例,研究了 A²/O 工艺中降低供氧能耗的可行性,结果表明,现有污水厂曝气池停留时间过长,存在过度曝气现象,并通过小试试验研究提出严格控制曝气池中的溶解氧在 2~3 mg·L⁻¹,并把好氧前段变成缺氧区,减少曝气段的长度,以此降低能耗。

在国外,节能的曝气控制系统已得到广泛应用。例如 VACOMASS[®]系统,是由德国 Binder 公司开发的一套污水处理厂生物池精确曝气控制系统,能有效降低污水厂的能耗和运行费用。绍兴污水处理厂对此系统进行的对照实验表明,该系统能节省 20.7%的曝气量,有力的节省了曝气能耗费用^[11]。

厌氧工艺的能耗相比好氧工艺较低,约占活性污泥工艺的 10%^[12]。其可以产生沼气,回收利用之后,能作为污水厂的能量来源,而如何提高沼气的收集以及所收集沼气的净化,将是资源化利用的重要保障。

2.4 污泥处理

污泥处理单元也是耗能较多的部分,主要包括污泥浓缩、污泥稳定、污泥脱水等。

常用的污泥浓缩方法有重力浓缩、气浮浓缩和离心浓缩。胡锋平等^[13]比较了不同污泥浓缩工艺的能耗,结果表明,重力浓缩的比能耗在 0.02~0.14 kWh·m⁻¹,气浮浓缩的比能耗在 0.2~1.0 kWh·m⁻¹,离心浓缩的比能耗在 0.5~1.2 kWh·m⁻¹,而气浮浓缩中的生物气浮比能耗在 0.05~0.12 kWh·m⁻¹。可见,重力浓缩的能耗最低,但由于其浓缩效率低,可能会造成磷的释放,将会被逐渐取代。因此,用生物气浮代替重力气浮是降低污泥浓缩能耗的一种有效途径。

目前国内常用的污泥稳定技术是厌氧消化占 38.04%、好氧消化占 2.81%、污泥堆肥占 3.45%也有部分被采用,约 55.7%的污水处理厂污泥未经稳定处理^[14]。

厌氧消化的能耗包括热耗和电耗,热耗主要在于维持消化所需的温度,而电耗主要在于搅拌和泵输送;好氧消化的能耗则主要在于风机对消化池的

曝气。所不同的是,厌氧消化所生成的沼气能够用于补偿消化时耗费的能量。李维等^[15]介绍了北京市高碑店污水处理厂对生化沼气的利用情况,其污泥处理采用中温及高温两级消化工艺,日产生化沼气设计量为 5.3 万 m^3 。稳定运行平均日产沼气 4 万 m^3 ,相应平均日发电量可望达到 7.5 万 kWh,全年发电量可望达到 2 700 万 kWh。污泥脱水目的在于进一步降低污泥的含水量,以便进行后续处置。污泥脱水包括自然脱水和机械脱水。目前,国内多数污水处理厂都采用机械脱水的方式进行污泥脱水,主要包括带式压滤脱水、离心脱水、板框压滤脱水等。而制约机械脱水发展的其中一个因素就是电耗。赵庆良等^[14]总结了不同机械脱水方式的电耗情况,其中带式压滤 DS 脱水 33~66 $\text{kWh}\cdot\text{t}^{-1}$,离心 DS 脱水 11~33 $\text{kWh}\cdot\text{t}^{-1}$,板框压滤 DS 脱水 33~55 $\text{kWh}\cdot\text{t}^{-1}$ 。可见,离心脱水的电耗较低,但其对污泥的预处理效果要求高,而且容易磨损。因此,改进现有污泥脱水工艺,开发新的脱水工艺,是污泥脱水节能降耗的可行途径。

3 药剂消耗

尽管药剂消耗占污水处理厂能耗不到 10%,但是在除磷、污泥调理和污泥消毒阶段还是存在一定的节能空间。城市污水处理厂除磷的方式主要有化学除磷和生物除磷。生物除磷无需投加药剂,产生污泥量少,但在厌氧释磷阶段需要保证严格的厌氧条件,工艺较复杂。因此,完善生物除磷工艺,不仅能达到较好的除磷效果,去除药耗,还能减少污泥量,降低后续污泥处理的能耗。

化学除磷是利用外加的化学药剂与污水中的磷反应,生成沉淀来达到除磷目的。不同的化学药剂除磷效果不同。俞蕴芳等^[16]比较了几种化学药剂的除磷效果,结果发现,在低药剂投加量下,硫酸铝处理效果较差;三氯化铁除磷效果较好,但存在排放尾水色度较大的问题;聚合氯化铝的效果则最好。可见,高分子混凝剂的使用能获得较好的除磷效果,且能大大降低药耗。

为了提高污泥的脱水性能,需要先对污泥进行调理。污泥调理一般可分为化学调理和物理调理。化学调理是向污泥中投加混凝剂或助凝剂,其处理效果较好,但因需要外加化学药剂,会使处理成本增加,同时增大污泥量。赵庆良等^[14]总结的污泥脱水阶段的药剂消耗情况显示,不同 DS 脱水工艺前的加药量在 4~150 $\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$,占污泥脱水总能耗的 7%~

89%。可见,药剂的消耗较大。

物理调理则包括加热、冷冻和淘洗等方法。加热、冷冻法均需要消耗较多的能量,运行成本高。而淘洗则是较常用的方法。淘洗主要用于消化污泥,而消化污泥碱度较高,需要投加大量的酸性药剂来降低碱度,而淘洗则能降低污泥碱度,从而降低药剂消耗。因此,淘洗是降低污泥调理药剂消耗的一种有效方法^[8]。

污泥消毒包括物理消毒、化学消毒和生物消毒。物理消毒主要是利用辐射来处理污泥。辐射技术无需高温高压,是污泥消毒的新技术,有利于污水处理厂的节能降耗^[17]。

化学消毒包括药剂消毒、石灰法消毒和超临界水消毒等^[18]。药剂消毒和石灰法消毒操作方便、效果较好,是传统的污泥消毒方法,但仍需消耗药剂。药剂消毒主要利用氯的氧化能力,但是可能产生有毒的副产物,对环境产生二次污染。石灰消毒则可以通过加入粉煤灰来减少石灰的用量^[19],不仅将粉煤灰变废为宝,也降低了药剂消耗。超临界水消毒则是一种高级氧化技术,需要在高温高压条件下,利用超临界水作为反应介质来氧化分解有机物,处理效率高,不产生二次污染^[20]。由于其需要在高温高压下进行反应,因此需要消耗一定的能量,研究如何利用污泥消化产生的沼气来供热,将有利于该法的发展以及污水处理厂的节能降耗。

生物消毒则可分为厌氧消化、好氧消化和堆肥技术。生物消毒无需投加药剂,是目前国内污水处理厂常用的污泥消毒方式,而在污泥消毒的同时,进一步提高污泥的脱水性能,以减少后续污泥脱水的能耗和药耗,将是今后的研究重点。

4 节能降耗管理

(1) 节能降耗分析。通过分析城市污水处理厂各个处理阶段的能耗情况,明确不同处理单元对能量的需求,确定与污水处理厂能耗密切相关的控制节点,分析各控制环节的节能降耗潜力。

(2) 建立统一能耗评估指标。建立具有明确的边界界定、统一能耗审计和评估的指标,建立基于不同污水处理工艺、不同工程规模等条件下的污水处理系统能耗评价指标,反映各部分的能耗水平,便于进行工艺间的横向比较,建立污水处理厂不同单元的能耗评估指标。

(3) 建立节能降耗目标。深入的能耗分析、节能潜力的识别以及能耗管理水平的提升,实现对污水

厂运行的精确控制,完成节能降耗的目标。

参考文献

- [1] 杨凌波,曾思育,鞠宇平,等.我国城市污水处理厂能耗规律的统计分析与定量识别[J].给水排水,2008,134(10):42-45.
- [2] 金昌权,汪诚文.污水处理厂能耗分析[J].建设科技,2009,3: 54-55.
- [3] 李海英,张贵节,孙贵石.降低中小型污水处理厂能耗的有效途径[J].节能,2007,3:34-36.
- [4] 姚远,张丹丹,楚英豪.城市污水处理厂中的能耗及能源综合利用[J].资源开发与市场,2010,26(3):202-205.
- [5] 牛住元,张雅君,王文海.污水处理厂污水提升节能措施研究[J].给水排水,2009,35(5):155-158.
- [6] 秦怀东,邵文卿.污水处理厂泵站与曝气系统的节能途径[J].山西煤炭,2000,20(4):24-26.
- [7] 向伟芳.污水处理厂节能设计的途径[J].企业技术开发,2008,27(7):57-59,71.
- [8] 高廷耀,顾国维,周琪.水污染控制工程(下册)[M].3版.北京:高等教育出版社,2007.
- [9] 赵宝江,李江,王丽萍.污水处理厂节能减排的实现途径分析[J].环境保护与循环经济,2010,11:49-52,62.
- [10] 黄浩华,张杰,文湘华,等.城市污水处理厂A²/O工艺的节能降耗途径研究[J].环境工程学报,2009,3(1):35-38.
- [11] Rishe G,蔡芝斌,尚爱安,等.VACOMASS[®]曝气控制系统实现污水处理厂节能降耗和自动化控制[J].中国建设信息(水工业市场),2009,3:67-70.
- [12] 尹志宏.污水处理厂的节能途径分析[J].山西焦煤科技,2009,6(增刊):133-135.
- [13] 胡锋平,朱自伟,李伟民,等.城市污水处理厂污泥浓缩工艺的应用与发展趋势[J].重庆建筑大学学报,2004,2(5):124-127.
- [14] 赵庆良,胡凯.城市污水处理厂污泥处理的能耗分析[J].给水排水动态,2009,2:15-20.
- [15] 李维,杨向平,李建军.高碑店污水处理厂沼气热电联供情况介绍[J].给水排水,2003,12:17-20.
- [16] 俞蕴芳,顾俊.城市污水化学除磷药剂的选择实验研究[J].污染防治技术,2010,23(4):74-76,100.
- [17] Wang J L, Wang J Z. Application of radiation technology to sewage sludge processing: a review[J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, 143:2-7.
- [18] 张景丽,顾平.污泥消毒技术的应用及进展[J].中国给水排水,2008,24(2):20-24.
- [19] Boost M V, Poon C S. The effect of a modified method of lime-stabilisation sewage treatment on enteric pathogens[J]. Environment International, 1998, 24(7): 783-788.
- [20] 易怀昌,王华接,陆超华.超临界水氧化技术在污泥处理中的应用[J].广东化工,2010,2(37):105-107,95.

ENERGY SAVING AND REDUCING CONSUMPTION APPROACH FOR URBAN SEWAGE TREATMENT PLANT

Chen Gong, Zhou Lingling, Dai Xiao hu, Dong Bin

(National Engineering Research Center for Urban Pollution Control, Tongji University, Shanghai 20092, China)

Abstract: Urban sewage treatment is a high energy consumption industry. The energy consumed in this treatment process mainly included electrical energy, fuel, chemical agent and so on. Energy consumption condition in sewage treatment process were analyzed, and energy saving and reducing consumption approach in each part, especially in sludge anaerobic digestion process was proposed from some aspects, that was sewage pumping, sewage treatment process, sludge treatment and management of urban sewage treatment. In conclusion, urban sewage treatment plant had large potential in energy saving. Energy saving and consumption reduction of urban sewage treatment plant will be enhanced by improving the process, introducing new techniques, and consummating management mechanism of energy saving.

Keywords: urban sewage treatment plant, energy saving and reducing consumption, chemical agent consumption, management

(上接第11页)

THE AND PROGRESS OF DEFLUORINATION MECHANISMS AND TECHNOLOGY FOR DRINKING WATER

Dai Zhenan, Zhou Yong, Zhao Ting, Gao Congjie

(Hangzhou Water Treatment Technology Development Center, Hangzhou 310012, China)

Abstract: In some developing countries, people suffered from high fluoride in drinking water for a long time. Defluorination of industrial wastewater is also a critical problem. The fluoride removal from water can be divided in three sections: precipitation, adsorption and membrane separation techniques. Precipitation includes chemical and physical ones. The sorbents of adsorption is took from metal oxides, zeolites, clays, LDHs and some other species. Besides, electro-dialysis, reverse osmosis and nanofiltration as membrane separation are also mentioned. The latest progress of defluorination of drinking water were reviewed.

Keywords: defluorination; precipitation; adsorption; membrane separation