

# 氧化沟工艺城市污水处理厂的能耗特征研究

周鑫<sup>1</sup> 郭雪松<sup>1</sup> 刘俊新<sup>1</sup> 王淦<sup>2</sup> 王颖哲<sup>2</sup> 侯红勋<sup>2</sup> 常会庆<sup>1</sup> 韩云平<sup>1</sup>

(1 中国科学院生态环境研究中心,北京 100085;2 安徽国祯环保节能科技股份有限公司,合肥 230088)

**摘要** 氧化沟由于其结构简单、运行操作简便和处理效果稳定而在世界各地被广泛研究与应用,目前已成为城市污水处理的主要技术之一。然而,氧化沟的低负荷运行方式存在着能耗高等问题。根据资料调查和对某些氧化沟工艺城市污水处理厂的实地调研结果,分析了氧化沟工艺城市污水处理厂的能耗特征,确定引起高能耗的工艺环节,以期为氧化沟工艺城市污水处理厂节能降耗技术研究提供科学依据。

**关键词** 城市污水处理厂 氧化沟 能耗特征 节能降耗

## 0 前言

城市污水处理的高能耗已在业内引起广泛关注,而且能耗随着处理水质的提高而增加。高能耗是造成污水处理设施运行成本高的主要原因,特别是随着电费的不断上涨,一些地区的污水处理厂由于资金和能源的短缺而不能正常运行。近年来,国内外对城市污水处理能耗、能效开展了许多研究<sup>[1~4]</sup>。在美国,污水处理厂的电负荷约占美国电负荷总量的3%<sup>[5]</sup>;对我国近500座城市污水处理厂的能耗调查和数据统计表明,不同类型污水处理工艺的平均能耗在0.25~0.35 kW·h/m<sup>3</sup><sup>[6]</sup>,2006年我国污水处理厂平均能耗为0.29 kW·h/m<sup>3</sup><sup>[7]</sup>。截至2009年末,我国已有污水处理厂1916座,因此开展污水处理厂节能降耗研究是十分必要的。

氧化沟的特点是混合液在封闭式的沟渠内连续循环且污泥负荷低<sup>[8]</sup>。氧化沟工艺操作简便,具有稳定的处理效果,特别是在运行可靠性和脱氮方面具有独特的优势<sup>[9]</sup>。自20世纪60年代以来,氧化沟工艺在世界许多地区得到广泛应用,目前也是我国城市污水处理的主导工艺之一<sup>[6]</sup>。然而,由于氧化沟的低负荷和长污泥龄的特点,也使得氧化沟的能耗较高。国内外研究者也对氧化沟工艺进行了技术经济评估<sup>[10,11]</sup>。本文的目的是通过对国内多家氧化沟工艺城市污水处理厂的调查与分析,确定该工艺的能耗状况与高耗能环节,以期为氧化沟工艺的节能降耗提供科学依据。

## 1 受调查的氧化沟工艺城市污水处理厂概况

氧化沟类型主要包括传统型、Carrousel、Orbal、DE型、T型、一体化氧化沟及改良型等,常用的曝气与推流设备包括转刷、转碟、倒伞式表曝机和微孔曝气器。考虑到地区差异、处理规模大小及不同氧

“十一五”国家科技支撑计划重点项目(2006BAC19B02)。

- 11 Rahn R O, Bolton J, Stefant M. The iodide/iodate actinometer in UV disinfection; determination of the fluence rate distribution in UV reactors. *Photochem Photobiol*, 2006, 82(2): 611~615
- 12 Elyasi S, Taghipour F. General method of simulation radiation fields using measured boundary values. *Chem Sci Eng*, 2010, 65(20): 5573~5581
- 13 Elyasi S, Taghipour F. Simulation of UV photoreactor for degradation of chemical contaminants: Model Development and Evaluation. *Environ Sci Technol*, 2011, 45: 3034~3039
- 14 Li M K, Qiang Z M, Li T G, et al. In situ measurement of UV

fluence rate distribution by use of a micro fluorescent silica detector. *Environ Sci Technol*, 2011, 45(7): 3034~3039

- 15 Jin S, Linden K, Ducoste J, et al. Impact of lamp shadowing and reflection on the fluence rate distribution in a multiple low-pressure UV lamp array. *Water Res*, 2005, 39(12): 2711~2721

○ E-mail: qiangz@rcees.ac.cn

收稿日期: 2011-06-08

化沟类型与曝气方式,本文选择了采用不同沟型、曝气设备和规模的 10 座氧化沟城市污水处理厂进行详细的现场调查和能耗统计。污水处理厂的能耗数据通过长期运行下各处理单元电表的耗电量计算。

受调查的 10 座氧化沟城市污水处理厂的基本情况见表 1。

表 1 调查的氧化沟污水处理厂基本情况

污水处理厂	氧化沟类型	曝气设备	设计处理量 /万 m <sup>3</sup> /d	实际处理量 /万 m <sup>3</sup> /d
A	传统	转碟	5	4.85
B	Carrousel	倒伞	14	15~16
C	Carrousel2000	倒伞	2.5	1.4
D	Carrousel2000	倒伞	6	6
E	Carrousel2000	倒伞	10	8~9
F	Orbal	转碟	10	
G	Orbal	转碟	8	6.5~7
H	DE	转碟	5	4.59
I	改良型	转刷/转碟	30	33
J	改良型	微孔曝气器	8	5

## 2 氧化沟工艺能耗分布特征

10 座氧化沟工艺城市污水处理厂的电耗情况见表 2。

表 2 受调查氧化沟污水处理厂的电耗

污水处理厂编号	A	B	C	D	E
单位电耗/kW·h/m <sup>3</sup>		0.12	0.29	0.23	0.25
污水处理厂编号	F	G	H	I	J
单位电耗/kW·h/m <sup>3</sup>	0.25	0.24	0.18	0.2	0.32

注:个别污水处理厂的深度处理、再生水处理设施电耗不计在内;办公用电等生活电耗比例很小,忽略不计。

由表 2 可见,各污水处理厂的能耗差距较大,其中 C 厂和 J 厂单位水量处理能耗远大于其他厂,主要原因是这两座厂的实际处理水量与设计能力差距较大(见表 1)。

为了进一步了解各单元的能耗,对所调查的各氧化沟污水处理厂内不同处理单元的能耗分别进行计量,并计算其占总能耗的比例(见图 1)。由图 1 可以看出,尽管各污水处理厂的规模、工艺类型及单位污水能耗方面存在差异,但就污水处理厂各单元能耗占总能耗比例而言,具有明显的一致性,即氧化沟的推流与曝气设备能耗比例最高,平均达 63%;其次为污水提升,平均为 22%;污泥回流占 8%;污泥处理占 5%;而预处理所占比例最低。

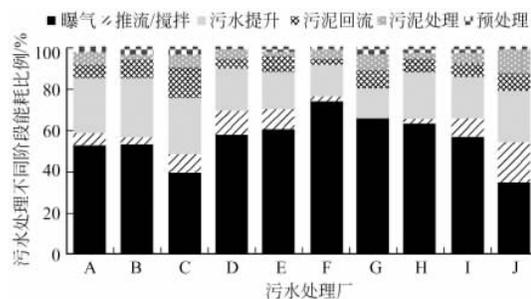


图 1 氧化沟污水处理厂不同处理单元能耗比例分布

从图 1 还可以看出,C 厂和 J 厂曝气所占的能耗比例与其他厂相比偏低,其原因与两厂实际处理水量与设计规模比值较小有关。此外,J 厂所采用的微孔曝气+水下推进器的方式也使曝气能耗有所下降,而推流能耗提高,比例近 20%,远高于其他污水处理厂。而 F 厂和 G 厂的曝气能耗比例高于其他厂,而推流能耗所占比例小,可能与氧化沟沟型及曝气设备传氧效率有关。污水提升能耗与提升高度(水泵扬程)和水头损失有关。因此,氧化沟的曝气与推流是氧化沟污水处理厂的最高耗能环节。

为进一步研究各单元的能耗情况,选择了一座 Orbal 氧化沟污水处理厂进行各处理单元能耗的长期监测。图 2 是各单元电表一年数据的统计结果。由图 2 可见,该厂能耗较大的单元依次是氧化沟曝气和推流、污水提升、污泥回流和污泥脱水,分别占 65%、15%、8%和 7%,其他各单元的能耗各占 0.5%~1%。

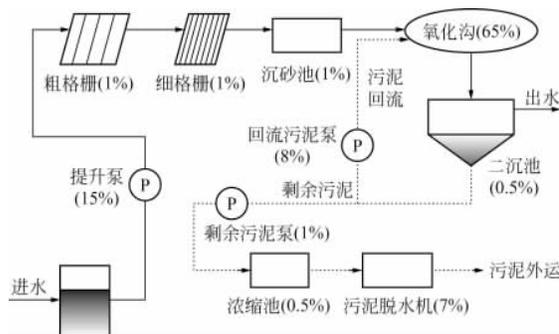


图 2 某氧化沟法城市污水处理厂能耗分布特征

## 3 影响氧化沟工艺能耗的主要因素分析

### 3.1 设计规模及利用率对能耗的影响

通常,污水处理厂处理污水的单位能耗随着处理规模的增大而降低。氧化沟污水处理厂也具有同样的规律。图 3 显示了所调查的污水处理厂以及国内部分氧化沟城市污水处理厂设计规模与处理污水

单位电耗的关系。如图 3 所示,单位水量电耗与设计规模有关,特别是设计规模小于 5 万 m<sup>3</sup>/d 时,受规模影响较大。另一方面,即使是相同设计规模,不同污水处理厂的单位水量电耗也不完全相同。因此,单位水量电耗还受到其他因素的影响。

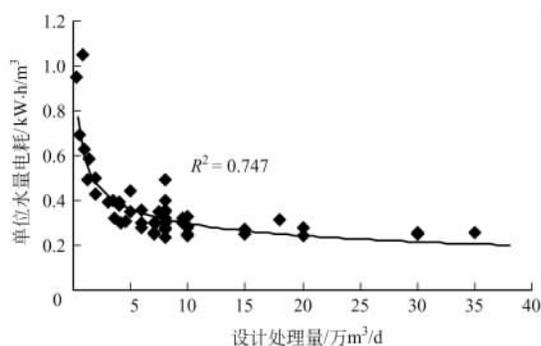


图 3 氧化沟污水处理厂设计规模与单位水量电耗的关系

一些污水处理厂由于各种原因,其实际处理水量没有达到设计能力,这也是导致污水处理厂能耗高的主要原因之一。图 4 是所调查的污水处理厂设计能力利用率(即实际污水处理量与设计处理能力之比)与单位水量电耗关系的统计结果。由图 4 中结果可见,污水处理厂设计能力利用率越高,则单位水量电耗越低。在表 1 和表 2 中,B、D、H、I 厂的单位水量电耗较低,而 C、J 厂较高。

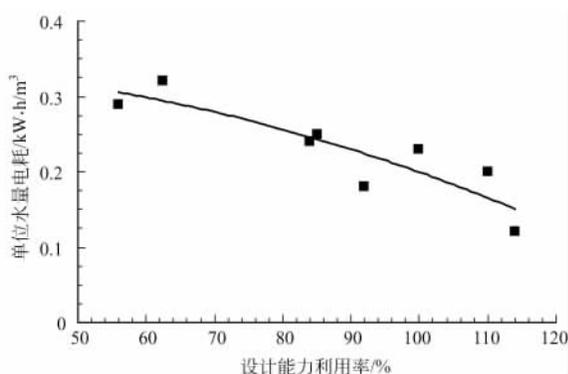


图 4 氧化沟污水处理厂设计能力利用率与单位水量电耗关系

### 3.2 污泥负荷对电耗的影响

污泥负荷是污水处理厂重要的运行参数之一,传统氧化沟一般按低负荷运行,但实际中也存在一些高负荷运行的氧化沟。调查结果表明,污泥负荷与单位水量电耗之间有一定关系(见图 5)。这是由于高污泥负荷运行时,有机物是以剩余污泥形式去除,而低负荷运行中有机物大部分是被好氧氧化。

因此,适当提高污泥负荷可以降低能耗,但过高的污泥负荷会使出水水质恶化。

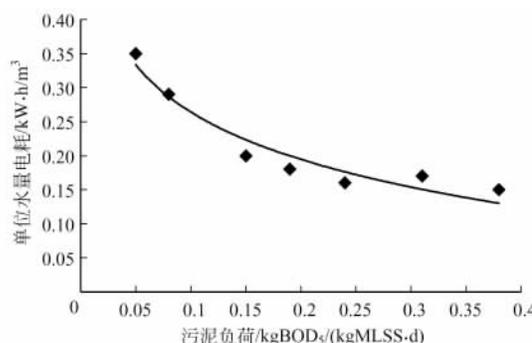


图 5 氧化沟污水处理厂污泥负荷与单位水量电耗关系

图 6 为有/无硝化反应发生时污泥负荷与去除单位 BOD<sub>5</sub> 电耗之间的关系。可以看出,对于氧化沟工艺,污泥负荷为 0.05~0.1 kgBOD<sub>5</sub>/(kgMLSS·d),相同负荷下要求硝化要比仅去除有机物所需电耗高 30%~50%。由此可见,能耗大小与处理程度相关。

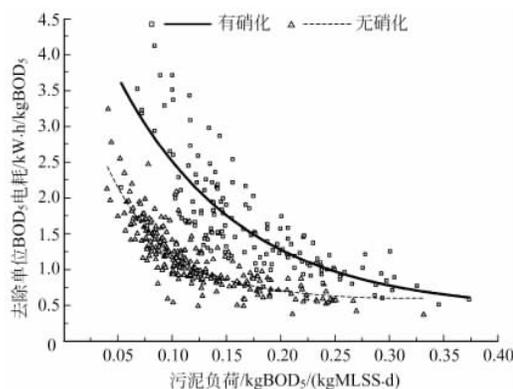


图 6 有/无硝化发生时污泥负荷对去除单位 BOD<sub>5</sub> 电耗的影响

### 3.3 处理效率对能耗的需求

污水处理效率与单位水量能耗之间存在一定的关系。通常,随着处理效率的提高会增加一定的能耗需求。图 7 是对 G 厂为期 1 年多的调查结果。

在调查前期的 240 d 内,该厂氧化沟的曝气转碟只有部分开启,处理污水的平均单位电耗为 0.22 kW·h/m<sup>3</sup>,氧化沟出水中有机物可达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 的标准,但氨氮去除效率小于 20%,出水中氨氮约 50 mg/L 左右。分析其原因是供氧量不足导致仅发生有机物降解而无法完成硝化。为此该厂开启了氧化沟全部转碟以增加供氧量。此后,氨氮去除率显著提高,达到 90% 以上,出水氨氮也可达到一级

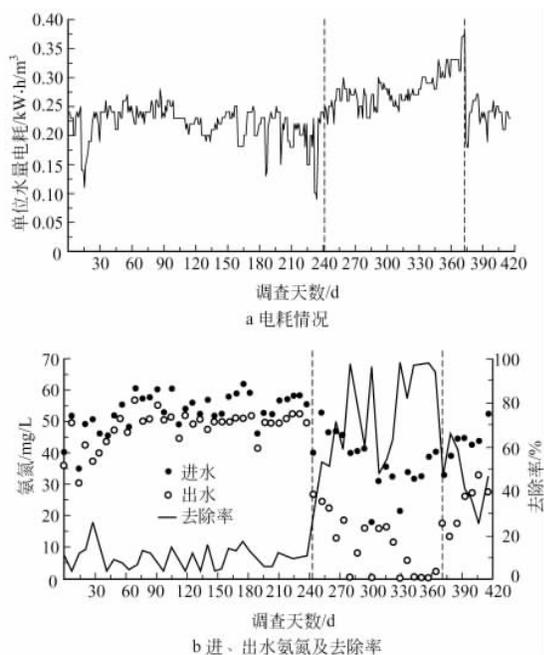


图7 G厂的单位水量电耗及氨氮去除情况调查结果

A标准,但单位水量能耗升高为  $0.28 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 。在调查研究的最后1个半月,又将氧化沟的部分转碟关闭,以测试再次减小能量输出后的氧化沟处理污水效果,由图7可见,氨氮去除率迅速降低,出水氨氮浓度明显升高。由此可见,过分降低能耗会降低处理效果,影响出水水质。

### 3.4 其他因素对电耗的影响

除上述主要因素外,污水处理厂的进水水质、氧化沟的污泥浓度、污泥龄、曝气和推流设备的性能等也对处理污水的单位能耗具有一定的影响。过高污泥浓度及污泥龄会大大增加耗氧量,使能耗上升。表1和表2中可见E厂能耗较高,主要是采用了长污泥龄的运行方式。

因此,在氧化沟法污水处理厂的运行中,各项参数需要根据实际情况进行优化,在保证出水达标基础上实现节能。

## 4 结论

(1) 对10座氧化沟法城市污水处理厂现场调查监测结果表明,氧化沟曝气与推流设备的能耗占整个污水处理厂能耗的比例平均为63%,是最大的能耗单元;其次是污水提升,平均为22%;污泥回流8%;污泥处理5%;预处理所占比例最低。因此,氧化沟曝气与推流环节是节能研究的重点。

(2) G厂的实际运行与调整试验结果显示,以去除有机物为主时的电耗为  $0.22 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ;为保证氨氮完全硝化,需要增加曝气量,污水处理电耗增加至  $0.28 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ 。因此,污水处理厂能耗随处理水质的提高而增加。

(3) 氧化沟污水处理厂能耗主要受设计规模、实际污水利用率、污泥负荷、处理效率等因素影响,接近设计能力的运行可以减少能量的浪费;从设备、工艺结构、流体力学特性和运行模式等方面进行改进和优化,可以有效地降低氧化沟法城市污水处理厂的能耗。

## 参考文献

- 孟德良,刘建广. 污水处理厂的能耗与能量的回收利用. 给水排水, 2002, 28(4): 18~20
- 高旭,龙腾锐. 城市污水处理能耗能效研究进展. 重庆大学学报(自然科学版), 2002, 25(6): 143~148
- Kenway S J, Lant P A, Priestley A, et al. The connection between water and energy in cities: a review. In: World Water Congress and Exhibition 2010, Montreal, Canada, 2010: 19~24
- 刘礼祥,张金松,施汉昌,等. 城市污水处理厂全流程节能降耗优化运行策略. 中国给水排水, 2009, 25(16): 11~15
- U. S. Environmental Protection Agency. Office of Wastewater Management. "Wastewater Management Fact Sheet: Energy conservation." EPA 832-F-06-024, 2006
- 杨向平主编. 中国城镇污水处理厂汇编. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006
- 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 with 定量识别. 给水排水, 2008, 34(10): 42~45
- U. S. Environmental Protection Agency. Office of Water Washington, D. C. "Wastewater Technology Fact Sheet: Oxidation Ditches." EPA 832-F-00-013, 2000
- 曼特著. 污水处理的氧化沟技术. 袁懋梓译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988
- Ghermandi A, Bixio D, Thoeve C, et al. Technical-economical evaluation of the operation of oxidation ditches. Water Science & Technology, 2005, 52(12): 133~139
- 邓荣森,张新颖,王涛,等. 氧化沟工艺的技术经济评估. 中国给水排水, 2007, 23(16): 37~40

通信处: 100085 北京市海淀区双清路18号  
 电话: (010) 62849133  
 E-mail: jxliu@rcees.ac.cn  
 收稿日期: 2011-03-21  
 修回日期: 2011-05-27