

® 城市给排水 ®

污水消毒标准及紫外线消毒技术应用

张 辰 张 欣 吕东明 肖卫星

提要 紫外线污水消毒技术在国外经过 20 多年的发展,已经成为成熟可靠、投资效益较高的绿色环保技术,在世界各地各类城市污水的消毒处理中得到日益广泛的应用,成为替代传统加氯消毒的主流工艺技术。为了解决今年非典型性肺炎疫情期间的消毒问题,国家环境保护总局发布的紧急通知中将紫外线消毒作为除加氯和臭氧外的另一种有效的消毒灭菌方法。结合紫外线消毒在国外的应用实例,介绍一些国内外的标准和紫外线消毒技术的应用情况。

关键词 紫外线 消毒 标准 应用

1 城市污水消毒的必要性

2002 年 11 月,某些国家及地区爆发了非典型性肺炎,这一疫情的元凶——冠状病毒的广泛传播和顽强存活的能力,使人们意识到消毒的重要性,尤其是污水处理厂的尾水消毒,成为防止疫情扩散的重要防线。

2003 年 5 月 4 日,国家环境保护总局要求“城镇污水处理厂出水应结合实际采取加氯或紫外线、臭氧等消毒灭菌处理,出水水质粪大肠菌群数小于 10 000 个/L”。由此可见污水处理厂尾水消毒的必要性和紧迫性。

为了保护人类的身体健康,保护好水环境,世界许多国家和地区(北美、欧盟、日本、韩国、台湾等)都要求对城市污水在排放前进行消毒处理。我国国家环境保护总局和国家质量监督检验检疫总局于 2002 年 12 月 24 日颁布的《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918 - 2002)中首次将微生物指标列为基本控制指标,要求城市污水必须进行消毒处理,从而使污水处理标准的病理指标与国际接轨。

2 城市污水消毒标准

许多国家和地区在对城市污水要求消毒的同时,也制定了相应的消毒指标。美国的污水排放标准一般是由国家环保局(EPA)制定出指导性原则,再由各州制定出自己的排放标准,向本州的污水处理厂发放国家污染物清除系统(NPDES)排放许可证,证上规定各个污水处理厂的详细排放指标。该许可证及监测数据最后汇总到美国环保局监控管理,不能达标的污水处理厂将被课以罚金。该执行

管理体系是世界上最为严格的,从而保证了标准的严格实施和执行。目前美国大部分州对经过二级生化处理后的污水出水的消毒指标为粪大肠菌群不超过 200 个/100 mL,极个别州的标准为粪大肠菌群不超过 400 个/100 mL 或 1 000 个/100 mL。在污水再生处理方面,美国大部分州采用了美国加州的消毒标准,即加利福尼亚第 22 号条例,该标准对非限制性使用的回用水的消毒标准为总大肠菌群不超过 2.2 个/100 mL。加拿大的污水排放消毒指标与美国类似。欧盟国家的污水排放标准主要受浴场水指导准则(Bathing Water Directives)约束,现行标准为接纳水体中的总大肠菌群不超过 10 000 个/100 mL,且粪大肠菌群不超过 2 000 个/100 mL,目前欧盟正在对这一标准进行修改,预计新标准中的粪大肠菌群数将修订为不超过 1 000 个/100 mL。

我国的《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918 - 2002)将粪大肠菌群列为基本控制项目。该标准规定执行二级标准和一级 B 类标准的污水处理厂粪大肠菌群最高允许排放浓度不超过 10 000 个/L(即 1 000 个/100 mL),执行一级 A 类标准的不超过 1 000 个/L(即 100 个/100 mL)。

部分国家和地区所采取的标准归纳见表 1。

3 紫外线污水消毒技术的历史和现状

给排水消毒方法可分为两大类,即化学消毒法和物理消毒法。化学消毒法有加氯消毒和臭氧消毒等;物理消毒法有紫外线消毒等。化学消毒法一般都会产生消毒副产物,而紫外线消毒是唯一不会产生消毒副产物的方法,不会造成二次污染问题。

表 1 部分国家和地区尾水消毒指标

国家或地区	指标值 *	标 准
美国国家环保局 (EPA)	200 个 / 100 mL	二级生化处理后的出水
美国 加利福尼亚第 22 号条例	总大肠菌群数 2.2 个 / 100 mL	非限制性使用的回用水
欧盟	2 000 个 / 100 mL	浴场水指导准则 (Bathing Water Directives)
日本指针	总大肠菌群数 1 000 个 / mL	水污染环境质量标准——二级 标准,渔业一级标准
中国 (GB18918 - 2002)	10 000 个 / L 1 000 个 / L 10 000 个 / L	二级标准 一级标准 A 类 一级标准 B 类
中国 (GB8978 - 1996)	5 000 个 / L 1 000 个 / L 500 个 / L 1 000 个 / L 500 个 / L 100 个 / L	医院、兽医院及医疗机构含病 原体污水;三级标准 医院、兽医院及医疗机构含病 原体污水;二级标准 医院、兽医院及医疗机构含病 原体污水;一级标准 传染病、结核病医院;三级标准 传染病、结核病医院;二级标准 传染病、结核病医院;一级标准
上海市地方标准 (DB31/ 199 - 1997)	3 000 个 / L 10 000 个 / L	黄浦江上游水源保护区 黄浦江上游准水源保护区
中国再生水用作冷却水 的水质控制标准 (GB50335 - 2002)	2 000 个 / L	再生水用作冷却水
中国城市污水再生利用 城市杂用水水质 (GB18920 - 2002)	总大肠菌群数 3 个 / L	城市污水再生用作杂用水
中国城市污水再生利用 景观环境用水水质 (GB18921 - 2002)	10 000 个 / L 2 000 个 / L 500 个 / L 不得检出	观赏性景观环境用水 河道、湖泊类 观赏性景观环境用水 水景类 娱乐性景观环境用水 河道、湖泊类 娱乐性景观环境用水 水景类

注: *除注明外均为粪大肠菌群数。

早在 1878 年人类就发现了太阳光中的紫外线具有杀菌消毒作用。1901 年和 1906 年人类先后发明了水银光弧这一人造紫外光源和传递紫外光性能较好的石英材质灯管,法国马赛一家自来水厂很快在 1910 年首次使用紫外线消毒工艺。人类对紫外线消毒技术在城市污水处理中的应用则始于 20 世纪 60 年代中叶,并于 70 年代到 80 年代初对紫外线消毒在城市污水处理中的应用进行了大量早期的研究,这主要是由于当时人们已认识到被广泛使用的加氯消毒工艺中的余氯对受纳水体中的鱼类等生物有毒,而且发现并确认了氯消毒等化学消毒方法会

产生如三卤甲烷 (THMs) 等致癌、致基因畸变的副产物。这些发现促使人类寻求一种更好的消毒方法。

加拿大安大略省水资源委员会于 1965 年和 1969 年对紫外线消毒技术应用于城市污水处理以及对受纳水体的影响进行了研究和评估^[1]。其他加拿大研究人员对紫外线消毒的效果、技术可行性、影响效果的水质因素、对受纳水体中鱼类的影响、消毒副产物以及与加氯消毒技术经济比较进行了大量先驱性的研究工作^[2~7]。这些研究结果表明,紫外线污水消毒技术可行,可达到和加氯相同甚至更好的消毒效果,对受纳水体中生物无毒副作用,不产生消毒副产物。以上研究为推动紫外线消毒在城市污水处理中的应用奠定了基础。

1982 年加拿大某公司发明了世界上第一套明渠式安装的紫外线消毒系统 2000,并引进了模块化紫外线消毒系统概念,即紫外线系统可由若干独立的紫外灯模块组成,且水流靠重力流动,不需要泵、管道以及阀门。系统维护可对单个模块进行,且紫外灯模块可轻易地从明渠中直接取出进行维护检修,维护时系统无需停机,可继续运行消毒,因而无需备用设备,如果需要对明渠进行清理也很方便。模块化明渠式消毒装置大大降低了紫外线污水消毒的成本并使得系统维护简单方便。同时,当污水处理厂在扩建或改造时,只需适当增加紫外灯模块的数量,而无需添购整套系统,可以节省设备投资,使用起来非常灵活。这一发明得到了污水处理厂的欢迎,大大推动了紫外线消毒技术在城市污水消毒处理中的应用。目前在世界各地已经有 3 000 多家城市污水处理厂安装使用了紫外线污水消毒系统,其中 95 % 以上的系统采用了明渠式模块化紫外线系统的创意。这些污水消毒系统规模小的每天处理几千 m^3 ,大的每天处理上百万 m^3 。

在亚洲,1999 年香港石湖墟污水处理厂投入运行,该厂规模 24 万 m^3/d ,消毒后粪大肠杆菌小于 1 000 个 / 100 mL。2000 ~ 2003 年间,陆续有深圳市龙岗大工业区污水处理厂 (5.6 万 m^3/d)、上海长桥污水处理厂 (2.2 万 m^3/d)、上海松江北区污水处理厂 (8 万 m^3/d)、无锡新区污水处理厂 (3 万 m^3/d)、苏州新区第二污水处理厂 (4 万 m^3/d) 和上海龙华污水处

理厂(10.5 万 m^3/d)等采用紫外线消毒系统。

4 应用实例

紫外线污水消毒技术如今已被广泛应用于各类城市污水的消毒处理中,包括低质污水、常规二级生化处理后的污水、合流管道溢流废水和再生水的消毒。低质污水的消毒,即只经过一级处理或一级强化处理的污水,其特点是高 TSS(50~150 mg/L)和低紫外穿透率(5%~25%),这类污水如果使用化学消毒工艺,将会产生大量的三致副产物。目前美国夏威夷沙岛污水处理厂是世界上最大的采用紫外线对低质污水消毒的城市污水处理厂,处理规模为 56 万 m^3/d ,采用了明渠式中压灯消毒系统。常规二级生化处理后的污水消毒,是紫外线污水消毒应用最为普遍的领域。这类污水 TSS 一般在 10~30 mg/L ,紫外穿透率在 40%~70%。目前正在建造的美国 Valley Creek 污水处理厂建成后可消毒 227 万 m^3/d 污水,将成为世界上最大的紫外线污水消毒系统,该系统为明渠式中压灯消毒系统。合流管道溢流污水用紫外线消毒,不仅消毒效果好,而且比加氯消毒在剂量控制上更为可靠和容易。这类污水的特点是水质可以在短时间内有大幅度的变化,例如 TSS 可在 10~100 mg/L 间,紫外穿透率可在 5%~70% 间变化。美国 Village Creek 污水处理厂采用了紫外线消毒技术每天可对 136 万 m^3 CSO 污水进行消毒。该紫外线消毒系统是目前世界上最大的紫外线污水消毒系统,也采用了明渠式中压灯消毒技术。再生水的消毒,是紫外线污水消毒的另一个重要应用范围,也是污水消毒标准最为严格的。美国加州于 90 年代初委托美国国家水研究所(NWRI)、美国供水协会(AWWA)和加州戴维斯大学对紫外线消毒技术在废水再生处理中的应用做了大量研究工作,并最早将紫外线污水消毒技术应用于再生水的消毒处理中。再生水表现为低浊度和高紫外穿透率,从美国的情况看,出水浊度按要求一般不得超过 2 NTU,紫外穿透率一般在 65%~80% 左右。对再生水进行紫外线消毒是出于对加氯消毒产生的三致副产物的担心,同时化学消毒剂可对一些农作物产生伤害或可能影响植物的生长,而农业灌溉是加州污水再生利用的主要途径。根据美国 1998 年的一项不完全统计,表明其 12 个州 80 家城市污水处理

厂采用了紫外线污水消毒技术处理再生水,总处理量约为 260 万 m^3/d 。目前世界上最大的使用紫外线消毒技术的再生水处理厂是加州 Santa Rosa 污水处理厂,处理规模 25 万 m^3/d ,该系统为明渠式中压灯消毒系统。

5 结语

紫外线消毒技术为物理消毒方式的一种,具有广谱杀菌能力,无二次污染。经过 20 多年的发展,已经成为成熟可靠高效环保的消毒技术,在国外各个领域得到了广泛的运用。在我国由于对其技术的了解有一定的局限性,在污水处理中的应用不多。上海市政工程设计研究院在这方面开展了许多研究,并已在上海闵行、长桥等污水处理厂得到应用。进入 21 世纪后,随着对污水尾水消毒的日益重视和运行经验的积累,紫外线消毒技术将得到推广,预计今后有条件的污水处理厂中 50% 将会采用紫外线消毒,并成为取代传统化学消毒方法的主流技术。

参考文献

- 1 G Sakamoto, B Topp. Ultraviolet Disinfection Technology in Ontario: The Past, The Present and The Future. WEAO Conference, Hamilton, Ontario, April, 2000
- 2 B Oliver, E Cosgrove. The disinfection of sewage treatment plant effluents using ultraviolet light. Can J Chem Eng, 1975, 53(4)
- 3 F Tonelli, A K Ho. Evaluating Disinfection Alternatives. Proc Toronto Pollution Control Association. April, 1978
- 4 K Ho, P Bohm. UV disinfection of tertiary and secondary effluents. Water Poll Res J Can, 1984, 16
- 5 K W A Ho. Application of Ultraviolet Disinfection in a Tertiary Wastewater Treatment Plant. Research Project # 87 Ministry of the Environment (MOE), 1982
- 6 P Bohm, K Ho, J Pagel. Application of UV Disinfection Technology in Ontario Pollution Control Plant Effluents. Tech Transfer Conference. Toronto, Oct, 1982
- 7 K Ho, P Bohm. Evaluation of UV Light Disinfection Process in Richmond Hill WPCP. Research Project for the Ministry of the Environment (MOE), 1984

作者通讯处:200092 上海市政工程设计研究院

电话:(021)65026848

吕东明 加拿大 TROIAN 公司

肖卫星 深圳海川实业股份有限公司

收稿日期:2003-6-13

ABSTRACTS

Wastewater Disinfection Standard and Application of Ultraviolet Disinfection Zhang Chen *et al* (1)

Abstract : Wastewater ultraviolet disinfection (UVD) has been matured adequately as a reliable and high-yield investable green technology for environment protection. UVD has been applied widely worldwide to replace the traditional chlorination as a main stream in urban wastewater treatment plants. During the time of SARS outbreak in this country UVD was nominated by the national environmental bureau equally with ozone and chlorination as one of main measures for epidemic protection. In this paper the application and standards deal with wastewater UVD home and abroad are presented.

Application of Bio-Filter for Water Purification Zha Renguang *et al* (4)

Abstract : Bio-filter (BF) was applied for raw water purification at Nanmen waterworks in Jiaying city. The trail-run shows that the COD and NH_3 -N removals are much better than that of the routine filter and the organoleptic indicators of the output water are upgraded evidently. Under adjusted operating condition the removal of turbidity seems improved. This is a feasible way to reconstruct old filter into biofilter, no new structures will be needed and it will be easy to maintenance and low investment.

Power and Heat Generation by Methane in Gaobeidian Wastewater Treatment Plant Li Wei *et al* (17)

Abstract : As a well-known regenerated energy, so called bio-gas with methane as main component could be generated in sludge digestion. The utilization of bio-gas in Gaobeidian WWTP was presented, this is a composite of methane engine, surplus heat recovery and electricity generation system. The technical process, equipment and the source, volume and quality of the bio-gas for this system are described and attentions in bio-gasutilization are also added.

Treatment of Slightly Polluted Raw Water by Ceramisite Bio-Filter and Activated Micro Flocculation Filter Sun Lina *et al* (24)

Abstract : Pilot-plant was conducted with composite processes of ceramisite bio-filter (BF) and activated micro-flocculation filter (AMFF) to treat the slightly polluted raw water of Luanhe River diverting to Tianjin. The results show that this integrated process is effective, and stable removals of 93.5%, 62.5%, 65.8%, 58.5% and 77.0% for turbidity, ammonia nitrogen, COD_{Mn} , chlorophyll and UV_{254} respectively have been obtained. The output water is satisfied. So this process has great potentials in further development and application for drinking water purification.

Experimental Study on Urban Wastewater Treatment by Composite Bio-Reactor Cao Bin *et al* (28)

Abstract : Hybrid bio-reactor (HBR) containing both suspended and attached growths was developed by adding suspended carriers into conventional activated sludge (CAS) system. A HBR laboratory model was conducted to treat municipal wastewater with experiment of CAS for comparison. The results indicate that the HBR provided higher removal efficiencies of organic compounds as well as process stability rather than the CAS, and the removal percent were >89% for COD, >81% for TOC and >72% for NH_3 -N respectively, in terms of the hydraulic retention time (HRT) at 5.5 hours and the organic loading rate (OLR) at 0.21~0.51 kg COD/kg Total Biomass per day. The colority of the effluent of HBR is also lower than that in the CAS process. Consequently, the biodegradation capacity can be improved in the HBR system. Moreover, the biofilm (attached-biomass) in the HBR plays a major role in COD removal.

P and N Removals and Bio-Selector Wu Fansong *et al* (32)

Abstract : The structures and working mechanisms of various biological selectors (BS) are discussed and indicate that the aerobic BS is working on the kinematics of filamentous and zoogea colonies in different conditions and the anaerobic or anoxia BS is working on the particular metabolisms of denitrifying bacteria and poly-phosphorus bacteria in different conditions. Although the later has similar working mechanism with the anaerobic or anoxia tank for P and N removals, but otherwise, they are quit different in working targets and results so in design and operation different structures and parameters have to be applied.

Hydrolysis-Acidification and PACT/SBR Processes in Treating Photosensitive Preparation Wastewater Ji Fangying *et al* (41)

Abstract : On the basis of profound investigation of wastewater discharges from photosensitive preparation, it is proposed a program constituted by separate pre-treatments of diversified discharges, especially the high salt contained discharge, and finally a comprehensive treatment to meet the national wastewater discharge standard. The existing wastewater treatment system will be reconstructed to a composite system called hydrolysis-acidification and PACT/SBR processes for comprehensive treatment which is developed from base of laboratory study. The practical results state that this way is effective to treat photosensitive wastewater with complex constitution and high salt content. In case when the inflow with COD = 2 500~4 000 mg/L, effluent with COD < 150 mg/L has been obtained, and this can be meet the requirement of class II of the national wastewater discharge norm.