

中国城市污水处理问题与水解—好氧生物处理工艺

王凯军

北京市环境保护科学研究院

关键词: 城市污水、水解反应器、活性污泥工艺

摘要: 本文对城市污水处理工艺等问题进行了探讨, 传统活性污泥工艺由于基建投资高, 能耗高和运行维护费用高, 在实践应用中受到了限制。水解-好氧生物处理工艺是近年来国内具有突破性进展的新工艺, 是处理城市污水十分有吸引力的新工艺。其中水解反应器因为仅仅发生水解和产酸反应具有停留时间很短, 其对悬浮物的去除率很高。由于水解出水污染物的降低和易降解有机物的增加, 使好氧处理的停留时间可以缩短。本文对水解-好氧生物处理工艺的研究和应用进行了阐述。

The Problem Discussion of Municipal Wastewater Treatment and Hydrolysis - Aerobic Biological Wastewater Treatment Process

Wang Kaijun

Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection

Key Words: Muncipal Wastewater, Hydrolysis Reactor, Activated Sludge Process

Abstract: The current situations of municipal wastewater treatment has been discussed in this paper, the disadvantages of high investment cost, high energy consumption and high maintenance cost of conventional activated sludge process, which limited the application municipal wastewater treatment in China. The breakthrough has been achieved of hydrolysis-aerobic biological process. It is an alternative process for municipal wastewater treatment. As only hydrolysis and acidification stages have taken place, the hydrolysis reactor has advantages of short hydraulic retention time and high suspended solids removal efficiency. As the lower pollutants concentration and readily biodegradable matter increased in effluent, it results the retention time decreased. The research and application of hydrolysis - aerobic biological process has been introduced.

一、城市污水处理问题讨论

1、概述

在当前水污染治理中, 亟待解决的问题之一是城市污水处理厂的建设问题。城市污水污染在我国各地已成为严重的环境问题。它不仅污染环境, 影响人民身体健康和工农业生产, 而且也直接造成经济和资源损失。水污染已经成为限制工农业生产和国民经济进一步发展的一个突出问题。因此, 尽快控制水污染的发展, 改善环境质量已成为迫在眉睫的问题, 日益引起人们的关注。目前我国城市污水年处理能力 38.1 亿 m^3 , 城市污水的处理率仅达 13.6%(其中二级处理率为 8.4%)。我国目前城市污水排放总量已达 350 亿 m^3 /年, 据初步估计目前全国城市污水要全部达标排放, 需要投资 1500 亿元以上, 每年需要 150 亿元的运行管理费用。如此高的投资和运转管理费用对一般城市来讲是一个沉重负担。对中小城市来说, 更难承担。因此, 城市污水处理问题不仅仅是环境问题, 同时还涉及到经济、技术和政策等各个方面, 需要认真加以研究解决。

2、传统活性污泥工艺存在的问题

国内外的经验都表明以活性污泥法为主的好氧生物处理工艺, 由于其出水水质好, 对于解决城市污水的污染, 是一种行之有效的办法。而且人们在长期实践过程中, 在设计和运行管理等方面积累了丰富的经验, 已广泛为人们所接受。因此, 长期以来它一直是城市污水处理工艺的主流。但是传统的活性污泥处理



工艺存在着以下的缺点:

1) 污水处理厂的基建投资大,即使按全国目前的污水量,靠传统的二级处理工艺,若全部污水均达标排放,需要投入 1500~2000 亿元的建设资金。而北京市污水至少需要投入 60 亿元的建设资金(按单位投资 1500~2000 元/m³污水计);

2) 污水处理的电耗高,据报导一般西方工业发达国家污水处理能耗占全国总能耗的 1% 以上。消耗能源只能进一步增加了环境压力;电耗大不仅仅增加了处理费用,消耗了大量能源,同时还增大了电厂、电网以及变电系统的投资。电厂脱硫的投资占电厂总投资的 15% 以上,近年来随着技术进步,费用虽然有所下降,但仍然超过 10%。对于大城市大气污染所需要的治理投资,甚至会超过水污染的投资^{[1][2]}。

3) 运转管理费用高,以我国目前已运行污水处理厂的的经验,年运转费用占投资额的 10%。全国需要 150 亿元运行费用(运行费以 0.50 元/m³污水计)^[3]。

3、技术引进带来问题

我国城市污水的建设从 80 年代初开始起步,是以天津纪庄子 26 万 m³/d 的污水处理厂的建设为标志。全部采用国产技术和设备。80 年代后期,由于城市污水处理建设资金不足,开始利用欧洲发达国家政府贷款(用于买贷款国的设备),这虽然推动了一批现代化污水处理厂的建设。但是,这种国外引进的意义仅仅是资金的引进,技术上的引进的意义极低。这是因为引进的是技术的末端成果——产品(设备)。引进结果是增加了工程投资(设备是国内设备 4-6 倍)和日常维护费用(需要外汇更新配件),在今后相当长的一个时期,还有还贷的包袱。这也严重抑制了国内污水处理设备制造业的发展,由于技术和资金投入不足使国内污水处理设备无法达到国际水平。

目前,引进结果是主要的技术仍然掌握在国外少数几个公司的手里,以城市污水处理技术中的氧化沟技术为例,目前中国的环保企业并没有通过技术引进而掌握美国的奥贝尔氧化沟、荷兰的卡鲁塞尔氧化沟和丹麦的交替式氧化沟这些技术关键。由于我们没有利用机会吸收所引进的技术单元,所以只好依赖于一次又一次地重复引进。这也是我们近年来,首先流行 AB 工艺,然后流行三沟氧化沟,以及其他形式的氧化沟,目前又在流行 SBR 工艺的原因所在,国内的研究和设计单位也是跟着这种潮流跑。由于缺乏技术吸收和创新的机制和能力,在很长的一段时间内国外的技术就会不断冲击国内市场,自己的技术总是无法在市场上占有一席之地。这样在一次引进后,国外又有其他新的技术,我们又要进行新一轮引进。在电厂烟气脱硫和垃圾处理等的环境保护领域也存在类似问题。

二、水解--好氧生物处理工艺开发和应用

1、工艺原理和开发

因此从我国的实际出发,根据污水的性质及用途,研究效率高、投资少、能耗低、占地少、运转费用低的污水处理工艺是当前的重要课题。针对以上问题,北京市环境保护科学研究院经过十余年的不懈努力,在此问题上获得了突破性的进展。开发了水解—好氧生物处理工艺,该工艺的研究工作是从污水的厌氧-好氧生物处理小试验开始,经过反复实验和理论分析,逐步发展为水解(酸化)-好氧生物处理工艺。厌氧发酵从工程上可分为:水解、酸化和甲烷化阶段三个阶段。水解池是把反应控制在第二阶段完成之前,不进入第三阶段。采用水解池较之全过程的厌氧消化具有以下优点:

1. 水解、产酸阶段产物主要为小分子有机物,可生物降解性较好。固水解池可改变原污水的可生化性,从而减少反应时间和处理的能耗;
2. 对固体有机物的降解减少污泥产量,功能与消化池一样。故实现污水、污泥一次处理,不需要经常加热的中温消化池;
3. 不需要密闭的池,不需要搅拌器,不需要水、气、固三相分离器,降低了造价、便于维护和放大。可以设计出适应大、中、小型污水厂所需的构筑物;
4. 第一,第二阶段反应迅速,水解池体积小,与初次沉淀池相当,基建投资省。

因此,水解-好氧生物处理工艺是一种新型的污水处理工艺。水解中试从 85 年 8 月开始,在北京高碑店建成处理 1800m³/d 的水解-好氧工艺示范工程。工艺中主要构筑物及设备利用原有设备,经过必要改建整



修后形成新的工艺。整个实验经历了春、夏、秋、冬四季，水温从 13~31℃，连续运行了 3 年以上。在水解池平均停留时间为 2.7h.，COD、BOD和SS去除率分别为 44%、32%和 84%。整个实验是在常温下进行的，当水温最低在 13℃时，水解池也可稳定运行，效果令人满意。平均COD浓度为 495mg/L，变化范围 177~1530mg/L。整个实验水解COD平均去除率为 49.6%，总去除率为 84.6%，水解BOD去除率为 32.3%，总去除率为 92%；水解SS去除率为 84%，总去除率为 94%，最终出水COD为 99mg/L，BOD为 15mg/L，SS为 17mg/L，全部达到二级排放标准。用气量比传统工艺减少 70%，水解-好氧系统污泥产量比传统工艺减少 30~40%。试验研究在 1986 年通过北京市科委和计委主持的鉴定，随后该技术获得了国家发明专利及北京市科技进步一等奖，该项研究的主要结论如下^[4]：

1) 采用水解池取代了传统的初沉池，水解池对各类有机物的去除率远远高于传统初沉池。因此，从数量上降低了后继构筑物的负荷；

2) 经过水解池处理后，污水中有机物不但在数量上发生了很大变化，而且在理化性质上也发生了很大变化，提高了污水的可生化性，使污水更适于后继的好氧处理，可用较短时间和较低电耗完成净化过程，使工艺具有效率高、能耗低的特点；

3) 新工艺由于采用厌氧处理技术，在处理水的同时，也完成了对污泥的处理，使污水、污泥处理一元化，简化了传统处理工艺流程；

4) 通过新的处理工艺和传统活性污泥法的技术经济比较可知，前者基建投资费用可节省 38.4%，总电耗可节省 34.0%，总运转费用可节省 39.7%；

2、密云示范工程

在 1986 年北京市计委，为了在今后北京污水处理建设上采用水解—好氧生物处理工艺并积累生产性经验。在北京其他污水处理厂没有上马的情况下，推荐在密云、怀柔和大兴三个县城的污水处理厂采用水解—好氧工艺。其中密云县污水处理厂水质和预计的处理效果如表 2。密云县污水处理厂一期工程处理能力为 15000m³/d(远期 45000m³/d)。其工艺流程见图 1 所示。下面将结合图 1 对水解—好氧工艺流程作进一步详细说明：

污水通过水泵提升通过格栅预处理装置，去除悬浮的大颗粒物质后。污水进入沉砂池，在其中将大颗粒的沙粒去除。沉砂池出水进入水解反应器，水解池停留时间 2.5h.。经过水解池后BOD₅(五天生化需氧量)去除率可达 25~35%；COD(化学需氧量)，去除率达 30~45%，SS(悬浮物)去除率 70~80%。污泥在反应器中的水解率为 25~50%(冬季数值为 25%)。经水解反应器处理后的出水进入后继(好氧)处理构筑物。后继处理可以采用多种形式的处理方式，如传统活性污泥工艺，氧化沟和SBR等等方式。如采用传统曝气池，污水在曝气池的停留时间较之传统的工艺可大为缩短，气水比也可大幅度降低；经曝气池处理后的水进入二沉池。最终出水BOD₅≤20mg/L，COD≤100mg/L，SS≤20mg/L。曝气池产生的剩余污泥连续送入水解反应器，整个工艺流程的剩余污泥从水解池排出，进入浓缩池，经 12~24 小时浓缩后可脱水处理。

表 1 密云污水厂水质设计条件

项 目	原污水	水解处理		好氧处理	
		出 水	去除率	出 水	去除率
COD	450mg/L	292mg/L	35%	100mg/L	66%
BOD	200mg/L	160mg/L	25%	20mg/L	87.5%
SS	300mg/L	60mg/L	80%	20mg/L	67%

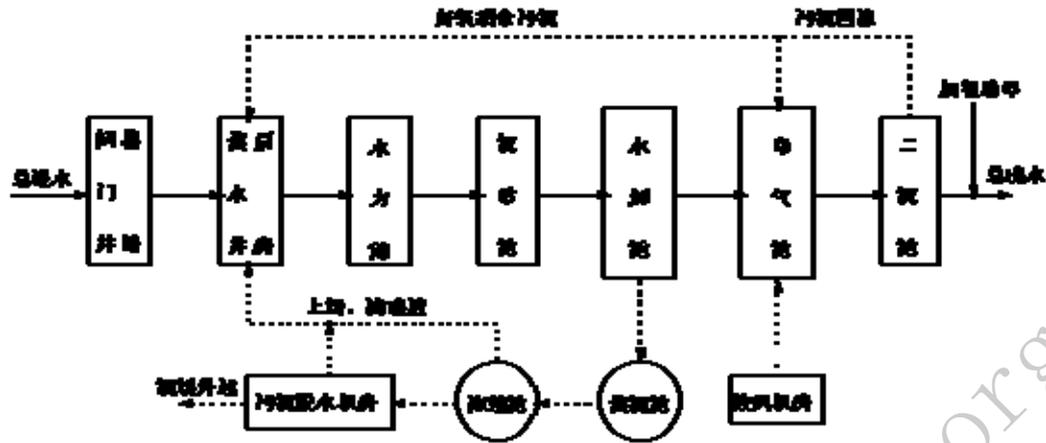


图1 北京密云污水处理厂工艺流程图

其中水解池设计平行的3组，每组处理量为15000m³/d，总变化系数K₂=1.5。一期先建1组池子，设计停留时间HRT=2.5h，每组由2个池子组成，每个水解池为(长×宽×水深)36m×9m×4.4m。配水采用上流式配水方式，出水采用矩形堰，经水解池处理后的污水送到曝气池。曝气池总体为1500m³(单池)，HRT=4h；回流比为50%，根据中试结果气水比5:1。水解池污泥用管道排至集泥池，进行污泥处理，污泥量为210m³/d、污泥浓度10~15g/L。为了防止配水管堵塞，在水解池旁设有反冲洗泵1台。

3、示范工程结果

在经过了20-30天左右的启动运行阶段后，92年9月中旬以后，密云污水处理系统逐渐进入正常运行的状态，这一阶段各项出水指标，逐渐稳定并接近和达到了设计要求，表2为污水处理厂启动期间近120天的运行各项指标的平均值。水解池COD、BOD和SS去除率分别为31.2%、33.2%和76.5%，这一数值已经接近中试的结果。图2是以密云污水厂1996年COD为例给出周平均运行结果图。

表2 正常运行时各段运行效果(92年9月10日—93年1月份)

项目	构筑物 进水	水解池		曝气池		总去除率 (%)
		出水	去除率	出水	去除率	
COD(mg/L)	360	247.9	31.2%	69.8	72.0%	80.6
BOD(mg/L)	153	102.0	33.2%	21.8	79.0%	85.7
SS (mg/L)	127	29.9	76.5%	16.4	45.0%	87.1

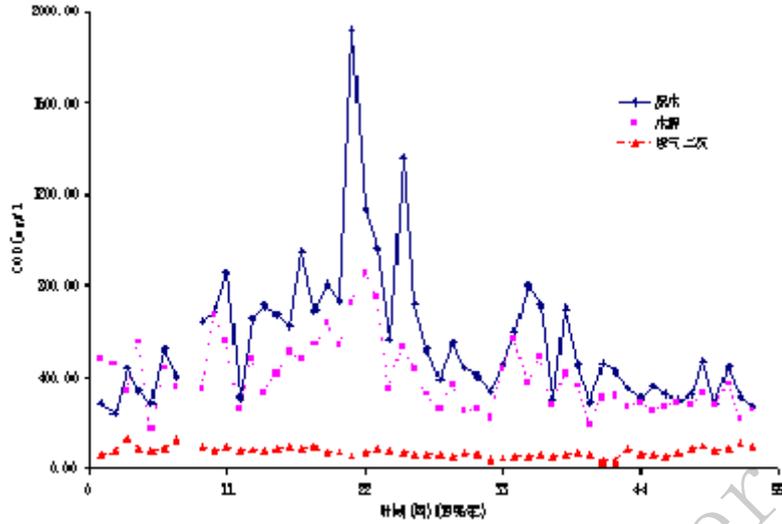


图2 密云污水厂1996年COD运行结果（周平均值）

由图2可见，总进水COD浓度的波动较大，但是水解池出水浓度变化幅度不大，总出水的变化更小，仅从70mg/l增大到90mg/l，增加28%，这说明系统抗冲击负荷能力较强，特别是水解池对于原水的激烈波动起到了非常大的缓冲作用；从而保障了后续好氧系统不受较大的冲击，因而保障了整个系统的出水稳定。

三、水解工艺的技术经济比较

为了更好地说明水解--好氧工艺流程技术经济特点，特将该工艺与传统活性污泥法，进行投资和运行费用的比较。水解--活性污泥法工艺的投资费用，采用密云污水厂的92年决算费用值，由于投资中包括了部分二、三期工程的费用，因此污水处理厂的处理规模按15000m³/d考虑时扣除了二、三期的相应费用(一期处理规模为15000m³/d)。同传统活性污泥法相比，北京密云污水处理厂的主要运行参数如表3所示。

表3 工艺参数比较

项目	传统活性污泥法工艺	水解--活性污泥法工艺
水解池或初沉池	HRT=2.0h	HRT=2.5~3.0h
曝气池	HRT=8.0h, 气水比 15:1	HRT=4.0h, 气水比 5~8:1
二沉池	HRT=2.0h	HRT=2.0h
污泥消化	有	无

由表3可见，由于采用水解池替代了传统的初沉池，不仅使整个系统水力停留时间(HRT)缩短，曝气池气水比降低，而且出水水质也优于传统工艺，同时使污泥和污水得到一次处理并取消了传统的污泥消化系统，这样既降低了总投资及其日常运行费用，同时也简化了操作管理。在以上数据基础上进行费用分析(见下表4)。

表4 费用分析表（1992年）

项目	单位	传统活性污泥	水解—活性污泥	节约比例(%)
水量	万吨	1.5	1.5	

基建投资	万元	2218.7	1362.5	38.6
综合折旧费(4%)	万元	88.75	54.50	38.6
维修费(2%)	万元	44.24	27.25	38.6
工资福利	万元	40.58	36.00	11.3
药剂费	万元	38.67	20.69	46.5
动力费	万元	107.83	71.17	34.0
总运行费	万元	319.79	209.61	34.5
直接费用	万元	231.79	155.11	33.1
处理成本	元/m ³ 污水	0.50	0.33	34.0
处理成本(不含折旧)	元/m ³ 污水	0.33	0.23	30.3
处理电耗	kWh/m ³ 污水	0.25	0.16	36.0
单位水量投资	元/m ³ 污水	1474.58	908.34	38.4

注: 基建投资包括土建、设备、仪表、厂区总平面、附属设施等, 未包括厂外污水管线

从上表分析可知, 水解--好氧生物处理工艺基建投资, 较传统活性污泥工艺可节约投资 38.6%, 处理厂占地也可相应减少, 总电耗可节约 46.5%, 处理成本为 0.23 元/m³污水, 较传统工艺节约 34.0%。98 年 10 月, 由国家环保总局主持鉴定了《城市污水水解—好氧生物处理工艺示范工程研究》, 广泛邀请了国内著名高校、设计院、研究院、建设部和污水处理厂等单位的专家学者作为鉴定委员, 与会代表给示范工程以极高的评价, 一致认为该技术已达国际领先水平。

四、水解—好氧工艺的应用

水解—好氧生物处理工艺开发十余年来, 国家和北京市各级科研计划给予了大力支持, 先后被列入国家“七五”攻关、建设部开发项目和北京市的重点科研计划。该技术先后获得了国家发明专利及北京市科技进步一等奖等各级政府奖励十余项, 也被国家环保总局列为最佳实用技术。迄今为止, 水解—好氧生物处理工艺已应用于 10 余座城市污水厂, 累计投资 10 亿元, 形成了 20 万 m³/d 的处理能力(最终可达 50 万 m³/d)。水解工艺既适用于城市污水, 也广泛应用于工业废水处理, 如印染、纺织、轻工、酿酒、化工、焦化、造纸等行业。表 5 是我院采用水解—好氧工艺的应用实例。

表 5 水解—好氧生物处理工艺的应用

地点	处理能力 (m ³ /d)	反应器体积 (m ²)	后处理工艺	阶段	年代
北京密云	15000	2×1600	活性污泥	运转	1991
河南安阳	10000	2×1100	过滤和稳定塘	运转	1989
新疆昌吉	11000	2×1100	稳定塘和活性污泥	运转	1992
北京大兴	40000	4×1800	活性污泥	设计	1990



北京怀柔	15000	4×860	活性污泥	设计	
山东潍坊	3000	2×1200	接触氧化	运转	
广东石岩	20000	4×1100	稳定塘	建设	
昆明福保	20000	4×1100	接触氧化	运转	1992
山东章丘	20000	4×1100	土地处理	运转	
福建福州	5000	2×1500	活性污泥	运转	1997

北京市环科院十多年来围绕水解—好氧技术已经形成一套完整的工艺技术。相继开发了水解-好氧生物处理工艺、水解-氧化塘处理工艺和水解-土地处理工艺等处理城市污水经济可行的工艺技术，为我国的水污染控制作出了贡献，创造了良好的社会效益和环境效益，为目前城市污水处理厂的建设提供了一条新的切实可行的技术途径。经过开发单位十余年的不懈努力，该工艺日趋完善。目前，国家正加强城市污水治理的投入，大力兴建城市污水处理厂，水解—好氧生物处理工艺一定会发挥出自身的优势，为改善我国的水污染现状作出贡献！

参考文献

- 1、王凯军,许晓鸣和郑元景,水解-好氧生物处理工艺应用实例,1991,环境工程,9(4):3
- 2、李彩亭,曾光明,中国中小型燃煤锅炉脱硫技术现状,1998,环境工程,16(2):33
- 3、Wang Kaijun, Integrated Anaerobic and Aerobic Treatment of Sewage, DEN HAAG
- 4、王凯军编著(1991),低浓度污水厌氧(水解)处理,中国环境科学出版社

http://www.chinacitywater.org 中国城镇水网