

编者按:

城市污水处理是高能耗行业之一。高能耗一方面造成了污水处理设施运营成本高;另一方面,也在一定程度上加剧了我国现阶段的能源危机。“十一五”期末,我国城市污水厂总数将达3000座,污水处理设计规模将超过5000万 m^3/d ,如何有效的运行污水处理厂,污水处理的节能降耗将成为行业亟需解决的问题。

“十一五”国家科技支撑计划重点项目“城市污水处理厂的节能降耗技术”(实施年限为2006年11月至2010年12月),针对我国污水处理行业的具体状况,在国内外研究成果和实践经验的基础上,通过新工艺的研发应用、运行的优化调控、设施设备的改造、先进控制手段的采用,使示范工程在保证出水水质稳定达标的前提下实现能耗大幅度降低,形成系统的污水处理节能降耗技术。

该项目包括6个课题,分别为“ A^2/O 工艺城市污水处理厂节能降耗关键技术”,“氧化沟法城市污水处理厂节能降耗关键技术”,“SBR工艺城市污水处理厂节能降耗关键技术”,“城市污水处理厂污泥处理处置节能降耗关键技术”,“合流制污水处理系统节能降耗关键技术”,“城市污水处理全流程节能降耗途径与技术集成”。

本期对项目承担课题组的部分研究进展和产业化应用进行报道,以促进科研成果产业化进程,为全国污水处理厂的节能降耗及运营优化提供技术支撑。

“十一五”国家科技支撑计划重点项目 北京城市排水集团有限责任公司研发中心

“ A^2/O 工艺城市污水处理厂节能降耗关键技术”研究成果及工程应用

王洪臣 甘一萍 施汉昌 黄霞 周军 王佳伟 李鑫玮

1 课题概况

城市污水中的氮磷是造成水体富营养化和生态环境恶化的重要污染污物。 A^2/O 工艺因其较好的除磷脱氮效果而广泛应用于城市污水处理之中。但由于设计运行不合理,相当一部分 A^2/O 工艺存在着高能耗问题,如:曝气量过大,一方面导致高能耗,另一方面导致缺氧区或厌氧区工作失常,工艺脱氮除磷效率下降;构筑物之间高程设计不合理,导致提升泵功率过大,能源浪费;缺乏对工艺全流程水力条件的模拟研究,导致曝气与搅拌设备的设计及配置不合理等。因此,研发新型节能降耗脱氮除磷工艺及低能耗的改良 A^2/O 工艺,研究基于进水负荷动态变化的工艺过程控制策略与模式,建立污水处理 A^2/O 工艺节能降耗设计准则、运行指南及评价体系,对于解决我国现有大部分城市污水处理厂运行中所面临

的成本高、能耗高等问题具有现实意义,对于新建污水处理厂的优化设计也将具有重要指导意义。

2 研究进展

为实现 A^2/O 工艺污水处理厂节能降耗的目标,课题组针对现有 A^2/O 工艺存在的问题,从污水处理新工艺、污水处理改良工艺、节能型曝气系统和污水处理厂进水负荷动态变化的动态优化四个方面进行了研究,并完成了相关试验基地和中试基地的建设,解决了示范工程的技术难点。目前已取得多项研究进展:

(1) 在小试条件下成功开发了节能脱氮除磷新工艺,实现了常温下的短程硝化和以亚硝酸盐为电子受体的DPR的耦合,在降低能耗的条件下

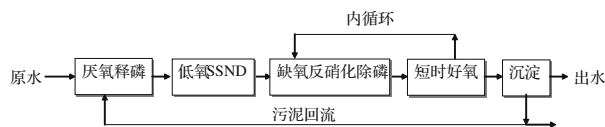


图1 SSND新型工艺流程图



图2 新型工艺试验装置

实现氨氮去除率达到85%以上, COD平均去除率达到90%, 出水总磷小于1 mg/L。

(2) 对污泥消化液脱氮技术进行了研究, 在小试条件下实现了污泥消化液的短程硝化, 启动了厌氧氨氧化技术的小试研究, 该项技术的成功实施可降低A²/O工艺污水处理厂主流区的氮负荷, 提高了脱氮除磷效率。



图3 污泥消化液脱氮试验装置

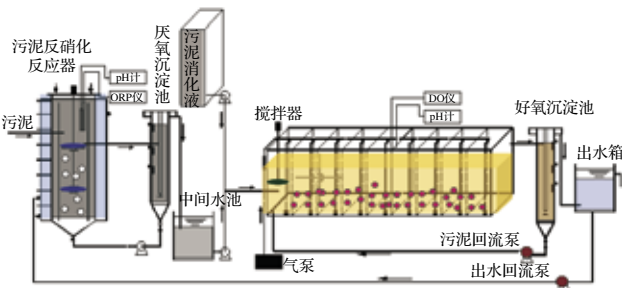


图4 污泥消化液短程脱氮技术流程图

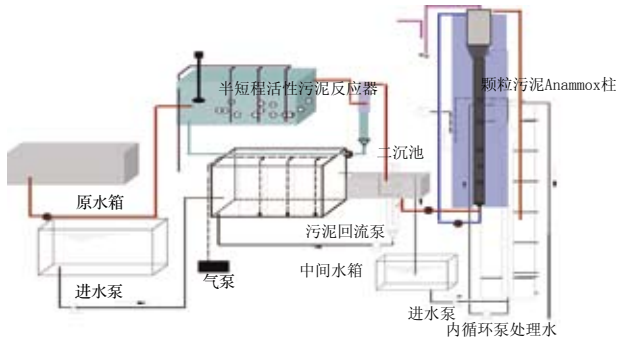


图5 活性污泥Anammox脱氮技术流程图



图6 微米气泡曝气装置



图7 曝气设备性能测试中试装置

(3) 为了实现曝气方式的节能降耗, 开发并制造出微米曝气装置, 并进行了相关参数的小试试验测定, 完成了中试基地的建设, 高溶氧效率且节能降耗的新型曝气设备的开发正在试制阶段。

(4) 在清河污水处理厂和芦村污水处理厂分别进行同步硝化反硝化技术研究, 获得了同步硝化反硝化与各因素的相关性。



图8 清河污水处理厂同步硝化反硝化小试试验装置



图9 芦村污水处理厂同步硝化反硝化中试研究

(5) 以清河污水处理厂为示范基地, 完成了进水负荷变化规律研究, 同时, 对生物反应段的COD、氨氮、总磷进行了沿程分布分析和水力学模拟研究, 建立了清河污水处理厂概化模型, 为下一步开发基于进水负荷变化的动态优化运行技术提供了重要依据。

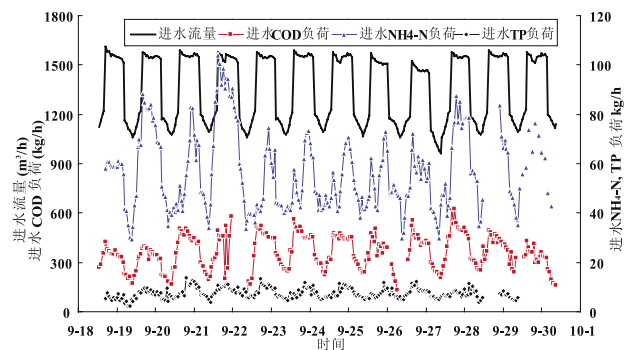


图10 水力负荷与污染物负荷关系

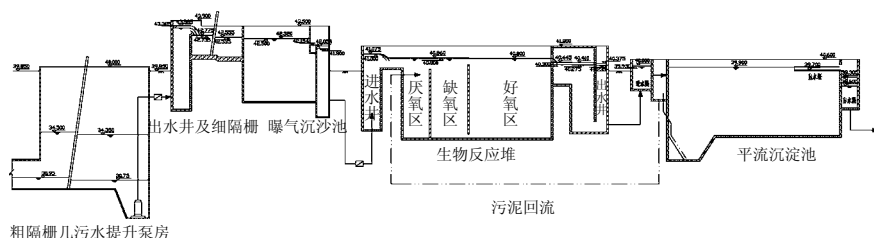


图11 全流程高程布置设计与实测比较

3 工程应用

下节将以 A^2/O 工艺节能降耗关键技术在北京市清河污水处理厂的研究应用为例，重点介绍课题部分研究成果的应用情况。

3.1 清河污水处理厂能耗现状

城市污水处理的能耗调查研究是节能途径和手段的基础。通过对清河污水处理厂主要设备消耗电量进行调查，可以明确处理工艺和各处理单元的能量需求，确定与污水处理厂能耗关系密切的控制节点，从而分析各控制环节的节能潜力。

清河污水处理厂预处理、二级处理、污泥处理等各主要处理单元的能耗核算结果如图12所示。从图中可以看出，二级生物处理单元是整个污水处理厂的最大耗能单元，占到整个污水处理厂能耗的59%（不包括办公区用电）。污泥处理单元耗能约占全厂的23%左右。从 A^2/O 工艺节能降耗关键技术出发，水区的节能是重点研究对象，

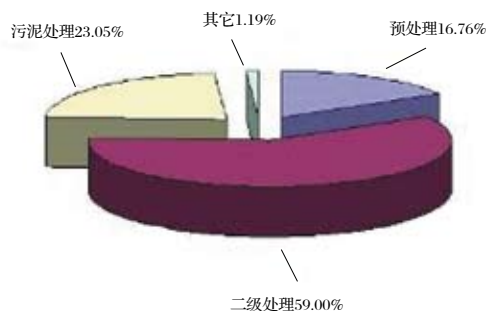


图12 污水处理厂能耗分布

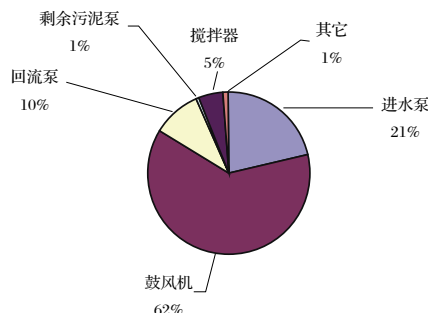


图13 水区各设备电耗情况

即将将预处理和二级处理单元的节能降耗的研究作为重点。预处理和二级处理单元主要包括以下设备：格栅、进水泵、鼓风机、回流泵、剩余污泥泵、搅拌器、刮泥机以及其它耗电量相对较小的设备。将水区的设备电耗情况作图，如图13所示，可以看出鼓风机在整个水区的电耗可达62%，进水泵、回流泵等各种泵的电耗占32%。可见，鼓风机和泵是整个污水处理厂节能降耗的关键控制节点。

3.2 清河污水处理厂节能降耗示范工程

由于鼓风机在整个水区的电耗达到62%，因此示范工程主要围绕鼓风机的节能降耗展开。精确曝气流量控制系统是一套集成的智能控制系统，系统包括溶解氧控制、出水氨氮浓度控制、鼓风机调节和空气流量分配等一系列针对 A^2/O 工艺曝气系统核心工艺环节或设备的模块，为曝气系统提供自动化、精确化的曝气解决方案。该控制系统可以使各种复杂的供气方案得以实现，间歇曝气、微量曝气、正常曝气、溶解氧分布控制、好氧体积的动态控制等。帮助用户实现 A^2/O 工艺的精细调节，适应各种工艺，并能够随着工艺变化而调整。控制原理如图14所示：

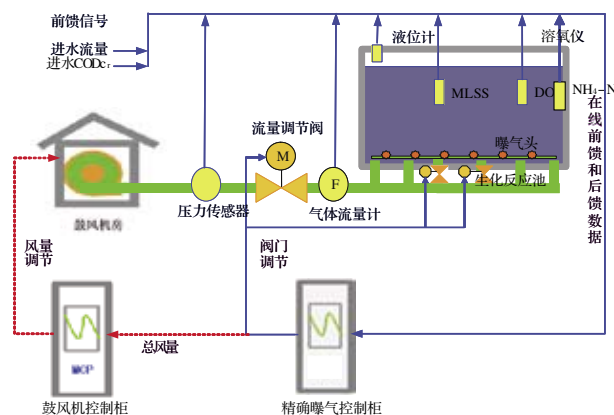


图14 精确曝气流量控制系统原理示意图

该控制系统主要包含以下三项关键技术：

“前馈+后馈+控制模型”组合控制技术：以污水处理厂进水区的进水流量、进水 COD_c 作为前馈信号、生化处理池中溶解氧检测仪、氨氮检测仪、污泥浓度计、液位计、温度、pH等作为反馈信号、发出阀位控制指令给各个流量调节阀的电动执行机构，发出总风量、风压指令给给鼓风机总控制柜。该系统可实时计算为了维持当前的好氧生化环境所需的供气量，可使运行过程能耗与实际需求匹配，按需供气，提高了运行系统的能源效率。

鼓风曝气系统配气调节技术：实际污水厂往往包括多

个并行的生化处理单元，鼓风机通过总管向每个生化单元供气。不同的处理单元在相同时刻的需气量有所不同，同一个处理单元在不同时刻的需气量也会变化。该技术的实质为：如何合理的调节不同阀门之间的开度组合，既可以满足不同生化处理单元的曝气流量需要，同时又使得调节造成的压力损失最小，使鼓风机能耗最低。

好氧体积控制技术：一方面污水厂出水中氨氮含量的波动比较明显，从而影响出水总氮浓度。另一方面进水中过低的氨氮含量，造成污水处理过程中电耗的浪费，同时消耗了大量可以利用的污水中所含生物细胞内的碳源，造成进水中碳氮含量比较低的污水处理厂因碳源不足而难以完成反硝化，从而使出水氮磷超标，达不到污水

处理的要求，或者不得不增加大量的外加碳源，造成过运行成本的提高。本技术的主要原理是在硝化速率基本不变的情况下，通过改变好氧池的体积使硝化反应时间发生变化，控制硝化程度，使出水氨氮维持在设定值。另一方面，维持合理的出水氨氮浓度可以防止过度曝气氧化细胞内的碳源，从而可节约电耗，并维持细胞内碳源用于反硝化和释磷，实现稳定的同步生物脱氮除磷。

示范研究初步结果表明相对于传统依靠人工控制鼓风机曝气而言，采用精确曝气技术通常可以实现20%~40%的节气率，在鼓风机风量可调节的情况下，对应地可以实现鼓风机10%~20%的节电率。[11]

课题承担单位简介

课题承担单位为北京城市排水集团有限责任公司，科研团队包括清华大学，北京百氏源环保技术有限公司，河海大学等。北京城市排水集团有限责任公司为北京市人民政府投资组建的国有独资公司，是国内最大的排水企业，水处理能力380万 m^3/d ，总资产115亿元；硕士以上学历100余人，并建有企业博士后工作站；中国城镇供水排水协会排水专业委员会和全国城市污水处理情报网设于集团内。

该集团正在承担国家863计划课题《 A^2/O 城市污水处理设备成套化研究》中的子课题： A^2/O 工艺综合优化研究—5F— A^2/O 工艺。已合作完成“城市污水再生利用政策、标准和技术示范”，并获2005年“中联重科杯”华夏建设科学技术奖一等奖等。清华大学作为国内优秀的理工类院校，环境工程学科具有世界先进水平，具有坚实的理论和应用研究基础。尤其在同步硝化反硝化（SND）、短程硝化反硝化（SSND）、厌氧氨氧化、反硝化除磷等新型污水脱氮技术方面开展了大量的研究，并取得了显著成绩；研制了国内第一个基于IAWQ生物处理模型开发的污水处理过程模拟软件—THSS系统；开

发了新的具有对脱氮除磷污水处理过程模拟软件—ODSS系统，并注册了软件的版权；获国家级省部级奖励多项。北京百氏源环保技术有限公司是水处理设备研发维护的重要基地，并具有较强的科研能力。该公司先后开发出具有国际先进水平的铝合金叠梁闸，具有国内领先水平的手电动不锈钢板闸、升降式可调堰、旋转式可调堰、水平轴转刷曝气机、液压平板式刮泥机、过滤器等水处理设备。



清河示范工程全貌