

A²/O工艺城市污水处理厂节能降耗关键技术研究及成果工程应用

文 / 张辉¹ 王佳伟¹ 周军¹ 李鑫玮¹ 施汉昌² 黄霞² 甘一萍¹
(1 北京城市排水集团有限责任公司; 2 清华大学)

一、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染物。A²/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A²/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,减排效果不好;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,从污水处理新

工艺、污水处理改良工艺、节能型曝气系统、污水处理厂进水负荷动态变化的动态优化和运行管理体系的建立五个方面进行了研究,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。

二、研究进展

为实现A²/O工艺污水处理厂节能降耗的目标,课题组针对

现有A²/O工艺存在的问题,对新型节能脱氮除磷新工艺及低能耗的改良A²/O工艺,基于进水负荷动态变化的工艺过程控制策略与模式,节能曝气装置等进行了研究,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,如:

1、在小试条件下成功开发了节能短程脱氮/反硝化除磷新工艺,实现了常温下的短程硝化和以亚硝酸盐为电子受体的DPR

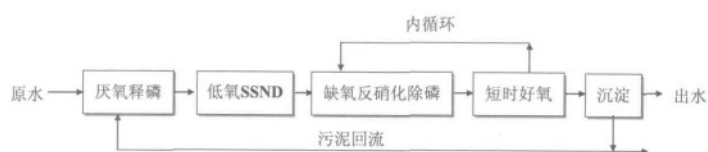


图1 SSND新型工艺流程图

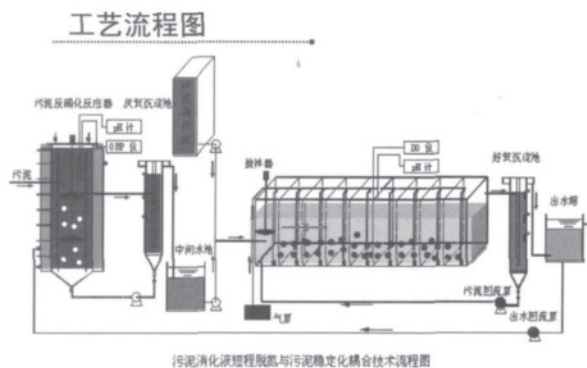


图2 污泥消化液短程脱氮技术流程图

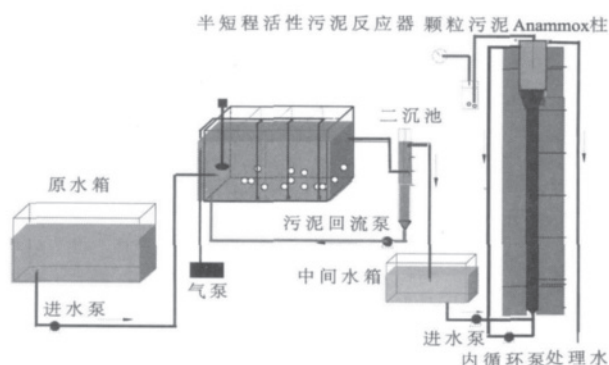


图3 活性污泥Anammox脱氮技术流程图

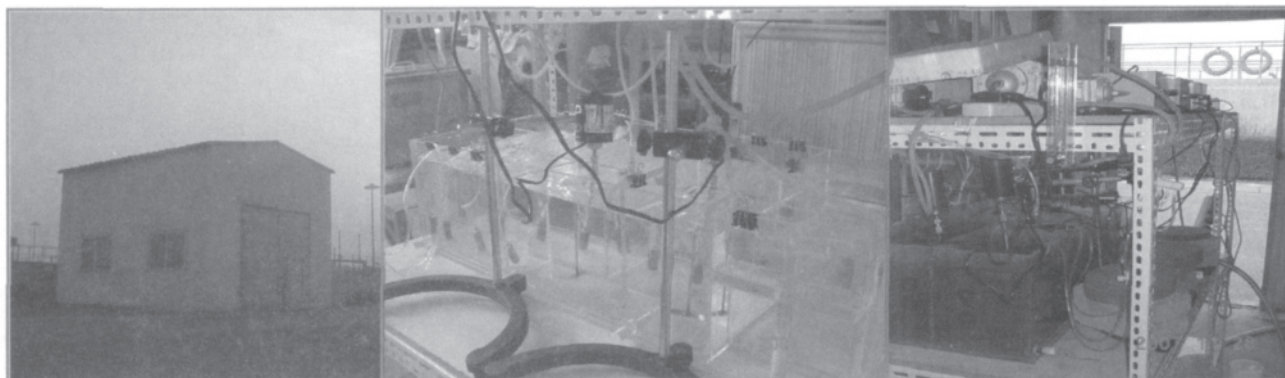


图4 清河污水处理厂同步硝化反硝化小试试验装置

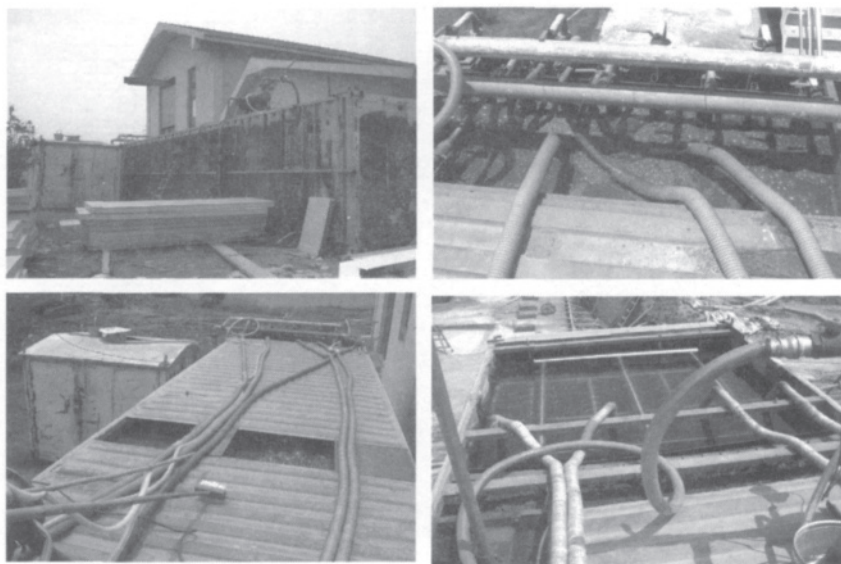


图5 芦村污水处理厂同步硝化反硝化中试研究

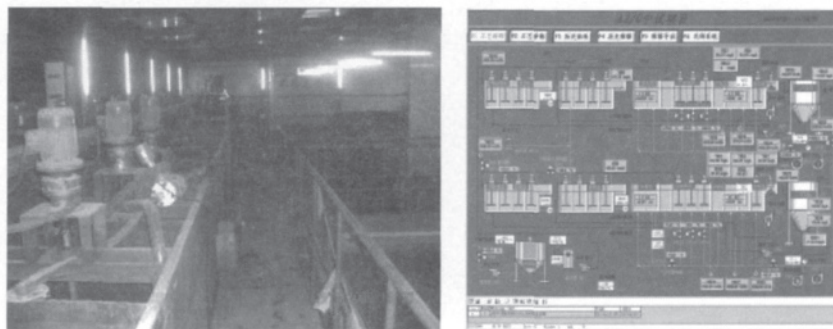


图6 前馈控制策略模拟试验装置

的耦合，在降低能耗的条件下实现氨氮去除率达到85%以上，

COD平均去除率达到90%，出水总磷在1mg/L以下。（见图1）

2、对高氨氮的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，提高脱氮除磷效率。目前，课题组已经建成国内最大的污泥消化液全程自养生物脱氮中试基地，处理规模为20m³/d，中试研究调试工作正在进行中。（见图2、图3）

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。同时在泗阳城北污水处理厂（规模5万m³/d）进行了同步硝化反硝化技术的工程应用，并取得了很好的节能降耗效果。（见图4、图5）

5、进行了基于动态进水负荷的前馈控制策略中试研究，基于中试现场数据和数值模拟，建立了A²/O工艺前馈控制系统。中试结果表明，采用基于进水负荷变化的前馈控制策略后，在保证出水达到一级A标准的前提下，总氮、总磷去除率提高了5.4%和21%，曝气量降低了28%。应用该策略可以协调AAO工艺中硝化、反硝化和生物除磷过程，提高脱氮除磷能力；同时针对进水负荷变化有效控制污水厂运行，降低能耗。（见图6）

以上为课题组目前的部分研究进展，为了实现工程化推广应用，下节将以A²/O工艺节能降耗关键技术在示范工程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。

三、工程应用

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

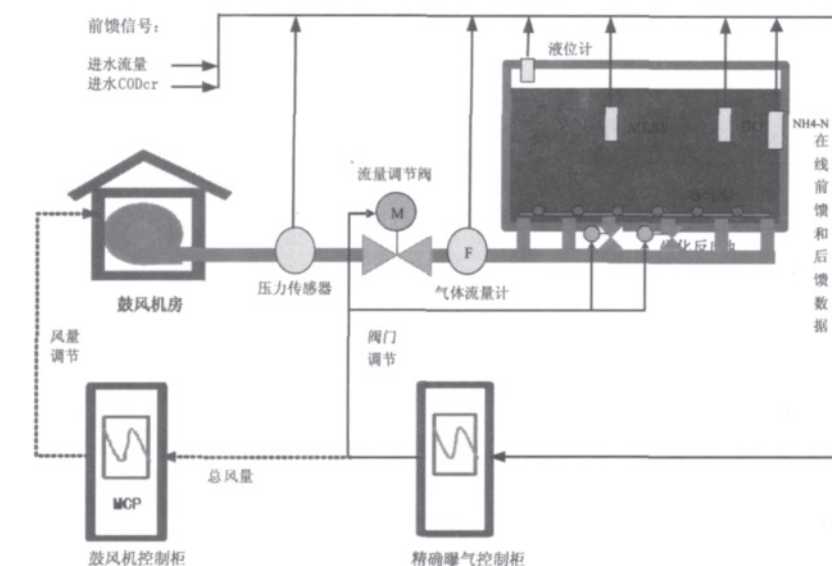


图8 精确曝气流量控制系统原理示意图

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10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A²/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，即应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。将水区的设备耗电情况作图，如图2所示，可以看出鼓风机在整个水区的耗电可达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。（见图7）

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耗电达到62%，因此示范工程主要

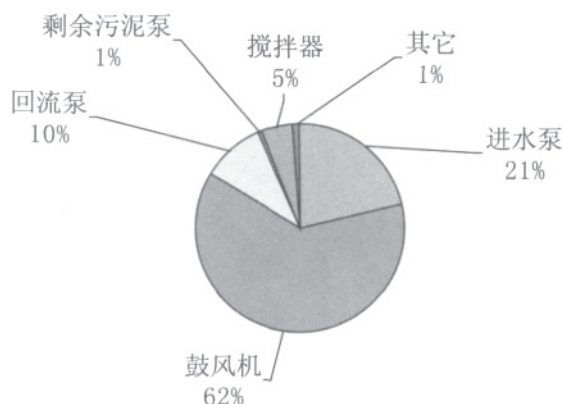


图7 水区各设备耗电情况

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8所示:

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:以污水厂进水区的进水流量、进水 COD_{Cr} 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 值等作为反馈信号、发出阀位控制指令给各个流量调节阀门的电动执行机构,发出总风量、风压指令给鼓风机总控制柜。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

术的本质为: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。另一方面进水污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。

四、小结

通过课题组的研究,明确

了 A^2/O 工艺城市污水处理厂水区能耗基本情况,同时,针对 A^2/O 工艺存在的问题,从节能降耗的角度,开发出新型短程硝化同步反硝化除磷工艺,完善了技术储备,对后续的深入研究应用奠定基础;对节能工艺同步硝化反硝化工艺和消化液“短程硝化+厌氧氨氧化”工艺进行了中试研究,为后期推广应用提供技术支持;在总体控制方面,研究形成了基于进水负荷动态变化的工艺过程控制策略与模式,通过精细化控制实现了出水指标的稳定性,避免了由于控制粗放导致的能源浪费;另外,通过开发能耗物耗评价软件和建立工艺设计准则、运行指南和评价体系,使 A^2/O 工艺城市污水处理厂的节能降耗管理更加规范。

针对能耗大户生物反应池曝气系统,课题组进行了精确曝气技术研究,开发了精确曝气流量控制系统,并在清河污水处理厂成功实现了研究成果的转化,通过该技术的应用,实现了清河污水处理厂二期鼓风机10%—20%的节电率。

综上所述,课题组对 A^2/O 工艺城市污水处理厂的节能降耗关键技术进行了不同程度(小试、中试、工程示范)的研究,并取得了很好的成效。但由于时间有限,以工程化应用为目标,对相关技术的研究仍需继续和深入。