清潭污水处理厂一级A提标改造工程脱氮除磷特性分析

杨　敏[1]　孙永利[1]　郑兴灿[1]　游　佳[1]　许光明[2]　陈　俊[2]　戴界红[2]

（1 国家城市给水排水工程技术研究中心，天津　300074；2 常州市排水管理处，常州　213017）

摘要　结合清潭污水处理厂一级A提标改造工程实例，通过全流程生产性测试和主要功能单元的模拟试验，对回流污泥内源反硝化强化环沟型改良A^2/O工艺的脱氮除磷特性进行了分析。结果表明，回流污泥内源反硝化池HRT为3.2 h时，内源反硝化NO_3^-—N去除量为9.6 mg/L，污泥内源反硝化速率为0.68 mgNO_3^-—N/(gVSS·h)；在进水COD/TN为3.3的条件下，工艺脱氮能力高达35 mg/L，回流污泥内源反硝化池、缺氧池和生物同化作用对工艺脱氮的贡献率分别为27.4%、44%和28.6%。通过将初沉池改造为回流污泥内源反硝化池，工艺脱氮能力提高37.8%；在进水PO_4^{3-}浓度均值为3.22 mg/L时，好氧池出水PO_4^{3-}可达0.3 mg/L以下，厌氧池厌氧释磷作用显著，PO_4^{3-}释放量高达8.3 mg/L，污泥厌氧释磷速率为9.68 mgPO_4^{3-}/(gVSS·h)。

关键词　改良A^2/O工艺　内源反硝化　脱氮除磷　一级A标准　提标改造

1　工程概况

清潭污水处理厂位于太湖流域，进水为生活污水，一、二、三期已停止运行，四期设计规模为1.5万m^3/d，原设计工艺为常规A^2/O工艺，主要构筑物包括辐流式初沉池、厌氧池、缺氧池和好氧池，设计HRT分别为3.2 h、1.65 h、3.3 h和8.25 h，设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级B排放标准。改造前清潭污水处理厂四期工艺平面布置如图1所示。

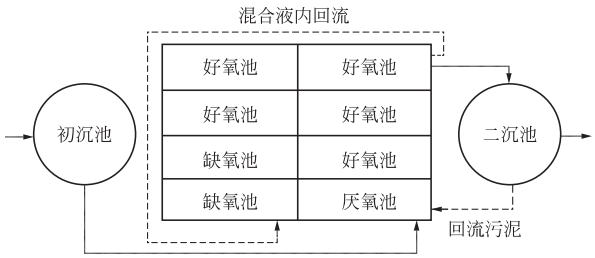

图1　改造前清潭污水处理厂四期工艺平面布置

由于2007年太湖蓝藻暴发，江苏省对太湖流域城镇污水处理厂提出了实施一级A提标改造的要求。因此，2009年2月，开始进行清潭污水处理厂四期工程一级A提标改造方案的研究，基于进水水质分析、工艺现状分析和小试及中试研究，提出了回流污泥内源反硝化强化环沟型改良A^2/O——转盘过滤的一级A提标改造工艺，并在国内首次提出将初沉池改造为回流污泥内源反硝化池[1]，以充分利用回流污泥内源反硝化作用强化工艺脱氮除磷。考虑到进水VSS/SS和生物池MLVSS/MLSS分别高达80%和75%，沉砂池出水直接进入生物池对生物池污泥活性影响较小，改造方案取消辐流式初沉池。

2010年5月底，清潭污水处理厂四期一级A提标改造工程土建和设备安装工程结束，经过3个月试运行，8月底提标改造工程正式投入运行。为确保出水TP稳定达标，系统采用以生物除磷为主、化学除磷为辅的除磷方式，除磷药剂投加点设置在好氧池出水处。运行至今，脱氮除磷效果良好，出水水质稳定达到了一级A排放标准。提标改造工程工艺流程和工艺平面布置分别见图2、图3。因此，本文以清潭污水处理厂四期一级A提标改造工程为例，通过生产性测试和小试试验研究，对回流污泥内源反硝化强化环沟型改良A^2/O工艺的脱氮除磷特性进行分析。

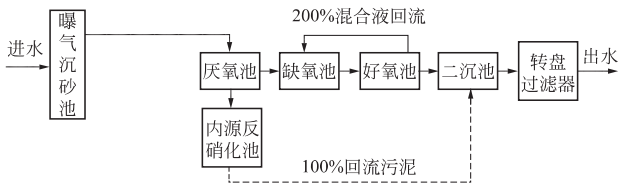

图2　清潭污水处理厂四期一级A提标改造工程工艺流程

国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2012AA063406)。

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

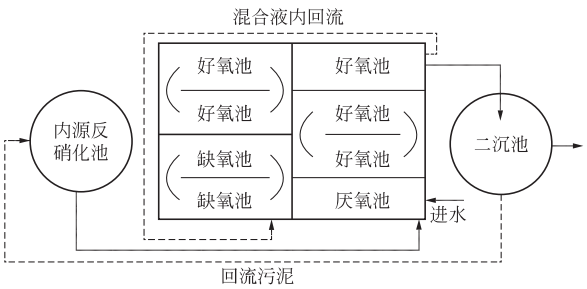

图 3　改造后清潭污水处理厂四期工艺平面布置

2　工艺脱氮除磷特性分析

2.1　工艺脱氮特性分析

2.1.1　生产性测试结果

工艺全流程生产性测试是工艺效能分析的重要方法，因此，为分析工艺脱氮特性，在外回流比和内回流比分别为 100%和 200%的工艺条件下，对工艺全流程 NO_3^-—N 浓度进行了生产性测试，取样点分别为曝气沉砂池出水、回流污泥内源反硝化池、厌氧池末端、缺氧池末端、好氧池末端和回流污泥，NO_3^-—N 浓度沿程变化如图 4 所示。

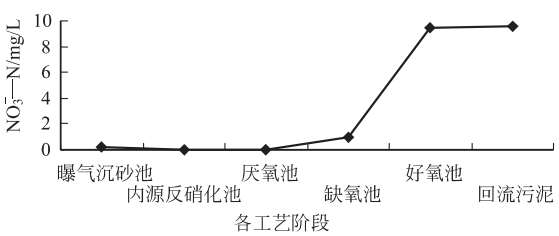

图 4　工艺沿程 NO_3^-—N 变化

由图 4 可见，内源反硝化池 NO_3^-—N 浓度基本为 0，回流污泥中的 NO_3^-—N 通过回流污泥内源反硝化基本完全去除，而回流污泥 NO_3^-—N 浓度均值为 9.6 mg/L，则回流污泥内源反硝化 NO_3^-—N 去除量为 9.6 mg/L，说明回流污泥内源反硝化作用明显，消除了回流污泥硝酸盐对后续厌氧释磷的不利影响，同时由于充分利用回流污泥内源反硝化作用，又实现了强化工艺脱氮。由于厌氧池基本不存在 NO_3^-—N，缺氧池 NO_3^-—N 主要来自好氧池末端 200%的内回流混合液，好氧池末端 NO_3^-—N 浓度均值为 9.5 mg/L，根据工艺运行控制参数，折算出进入缺氧池的 NO_3^-—浓度为 4.75 mg/L，而缺氧池实测 NO_3^-—N 浓度均值为 0.9 mg/L，计算缺氧池 NO_3^-—N 降低量为 3.85 mg/L，基于物料平衡计算，说明系统缺氧池反硝化 NO_3^-—N 去除量为15.4 mg/L。还可看出，由于回流污泥内源反硝化池基本不存在 NO_3^-—N，厌氧池只发生厌氧释磷作用，无反硝化脱氮作用。

由于工艺系统硝化效果良好，好氧池出水 NH_3—N 浓度一般均在 0.5 mg/L 以下，系统出水 TN 不会超过 10 mg/L，而同期实测进水 COD 和 TN 浓度均值分别为 149 mg/L 和 45 mg/L，进水 COD/TN 仅为 3.3，进水碳源严重不足，但工艺脱氮效果较好，TN 去除量高达 35 mg/L，其中反硝化作用的 TN 去除量为 25 mg/L，分析认为与工艺回流污泥内源反硝化池的强化脱氮效能有关。

生物系统脱氮主要包括反硝化生物脱氮和微生物对氨氮的同化吸收脱氮，同化脱氮作用通常可去除 5～10 mg/L 的 TN。对于高排放标准脱氮除磷污水处理系统，工艺脱氮主要依靠反硝化脱氮作用。分析不同脱氮功能区和生物同化作用对工艺系统脱氮的贡献率显得尤为重要。因此，根据上述回流污泥内源反硝化池和缺氧池的反硝化效果分析，对回流污泥内源反硝化池、缺氧池和生物同化作用对工艺系统脱氮的贡献率进行了分析，结果见表 1。

表 1　工艺系统脱氮贡献率分析

功能区或作用	内源反硝化池	缺氧池	生物同化作用
TN 去除量/mg/L	9.6	15.4	10
贡献率/%	27.4	44	28.6

由表 1 可见，工艺系统脱氮主要由缺氧池反硝化作用完成，回流污泥内源反硝化池对工艺脱氮的贡献率为 27.4%，基本和生物同化作用的贡献率相当。同时还可看出，通过将初沉池改造为回流污泥内源反硝化池，工艺脱氮能力可由改造前 25.4 mg/L 提高到改造后 35 mg/L，提高 37.8%，说明回流污泥内源反硝化池的强化脱氮对于清潭四期一级 A 提标改造工程出水 TN 的稳定达标具有重要的作用。

2.1.2　模拟试验结果

为进一步分析回流污泥内源反硝化特性，对清潭四期回流污泥内源反硝化池进行了模拟试验，回流污泥取自清潭污水处理厂四期，由于回流污泥内源反硝化池实际 HRT 为 3.2 h，试验设计时间为 180 min，试验结果见图 5。

由图 5 可见，回流污泥内源反硝化效果较好，污

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

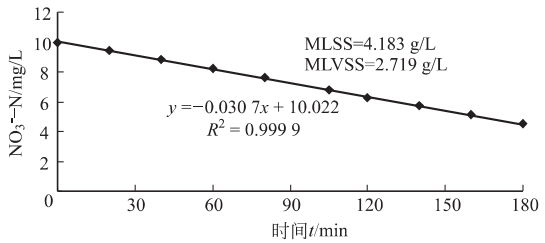

图 5　回流污泥内源反硝化池反硝化模拟试验

泥内源反硝化速率为 0.68 mgNO_3^-—N/(gVSS·h)，180 min 内回流污泥内源反硝化硝酸盐氮去除量为 5.5 mg/L，与前述的回流污泥内源反硝化池生产性反硝化效果 9.6 mg/L 相比，小试中反硝化效果低于回流污泥内源反硝化池的生产性反硝化效果，分析认为与试验所取回流污泥浓度较低有关，但可以通过试验所得的污泥内源反硝化速率对回流污泥内源反硝化池的内源反硝化能力进行核算，结合工艺生产运行实际，假定回流污泥 MLSS 为 7 g/L，MLVSS/MLSS 按 0.65 计算，计算理论回流污泥内源反硝化能力为 9.9 mg/L 的 NO_3^-—N 去除量，与回流污泥内源反硝化池的生产性反硝化效果基本吻合，可见，清潭四期回流污泥内源反硝化池的反硝化效果确实较好。

2.2　工艺除磷特性分析

2.2.1　生产性测试结果

一般来说，生物除磷包括厌氧释磷和好氧吸磷两个过程，因此，为分析工艺生物除磷特性，对工艺全流程 PO_4^{3-} 浓度进行了生产性测试，取样点分别为曝气沉砂池出水、回流污泥内源反硝化池、厌氧池末端、缺氧池末端和好氧池末端，测试结果见图 6。

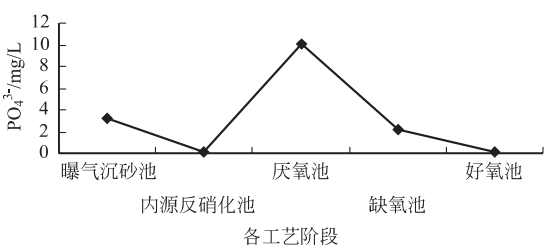

图 6　工艺沿程 PO_4^{3-} 变化

由图 6 可见，工艺系统缺氧池 PO_4^{3-} 浓度均值为 2.17 mg/L，好氧池 PO_4^{3-} 浓度均值为 0.15 mg/L，说明好氧池好氧吸磷作用明显，由于同期实测好氧池出水溶解性总磷 STP 浓度均值为 0.2 mg/L，可以认为在进水 PO_4^{3-} 浓度均值为 3.22 mg/L 的条件下，通过生物除磷作用，二级出水 TP 可达到一级 A 排放标准。还可看出，厌氧池 PO_4^{3-} 浓度较高，均值达 10 mg/L，初步说明厌氧池厌氧释磷作用明显，为分析厌氧池的厌氧释磷量，需结合工艺条件，对进入厌氧池的 PO_4^{3-} 浓度进行计算。由于外回流比为 100%和进水完全进入厌氧池，折算出进入厌氧池的 PO_4^{3-} 浓度均值为 1.7 mg/L，核算厌氧池生产性污泥厌氧释磷量为8.3 mg/L，说明工艺系统厌氧池厌氧释磷效果确实较好。分析认为原因有两点，其一是由于厌氧池前端回流污泥内源反硝化池的设置可为后续厌氧释磷提供良好的厌氧环境[2,3]，从上述回流污泥内源反硝化池 NO_3^-—N 浓度的生产性测试可以看出，回流污泥内源反硝化池内基本不存在 NO_3^-—N；其二是由于进水完全进入厌氧池，聚磷菌可充分利用进水中快速 COD，可强化工艺系统厌氧释磷作用

2.2.2　模拟试验结果

厌氧释磷是生物除磷的基础，为进一步分析工艺生物除磷特性，进行了厌氧池厌氧释磷模拟试验，根据工艺运行控制参数，试验设计如下：将曝气沉砂池出水和回流污泥内源反硝化池混合液按 1∶1 混合，在搅拌条件下进行厌氧释磷，根据厌氧池实际 HRT，试验时间设计为 50 min，试验结果见图 7。

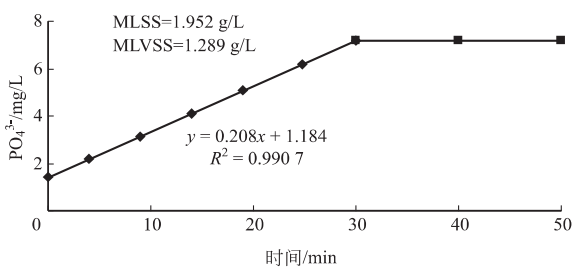

图 7　厌氧池厌氧释磷模拟试验

由图 7 可见，在前 30 min 内污泥厌氧释磷作用明显，PO_4^{3-} 释放量为 5.8 mg/L，说明工艺系统厌氧效果确实较好，但在 30 min 后污泥无厌氧释磷效果，分析认为，当试验进行到 30 min 时，由于进水中可用于聚磷菌吸收的快速 COD 消耗完毕，厌氧释磷开始停止。

根据 MLSS 1.289 mg/L 和厌氧释磷拟合曲线，计算出污泥厌氧释磷速率为9.68 mgPO_4^{3-}/(gVSS·h)。比较厌氧释磷小试与生产性试验结果发现，厌氧释磷小试中 PO_4^{3-} 释放量为5.8 mg/L，工艺系统厌氧池生产性试验中释磷量为 8.3 mg/L，两者相差 2.5 mg/L，分析认为可能与进水水质有关，进水中快速

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

合肥市排水系统雨天出流水质监测与分析

李 田[1] 钱 静[2] 沈 军[1] 阮大康[1]

（1 同济大学环境科学与工程学院，上海 200092；2 合肥市排水管理办公室，合肥 230001）

摘要 系统地监测评价了合肥市不同类型排水系统旱流水质与雨天出流水质及水量。确定了代表性分流制系统、混接分流制系统与合流制系统雨天出流主要污染物的事件平均浓度（EMC）和年溢流污染负荷，考察了其影响因素。定量评价了各类排水系统雨天出流的初期效应。为巢湖流域城市面源污染控制的规划与设计提供了基础数据。

关键词 城市面源污染 排水系统 雨天出流 EMC 年污染负荷 初期效应 合肥

为掌握合肥市城区面源污染特性与污染物排放规律，通过对合肥市代表性排水系统雨天出流的水量、水质系统性调查，确定相关排水系统的雨天出流主要污染物的事件平均浓度（EMC）、不同类型系统的年溢流污染负荷，定量描述污染物的出流规律与初期效应，收集合肥市排水系统雨天水质数据，为巢湖流域城区面源污染控制规划、排水系统雨天污染控制设施的设计提供参考，为巢湖富营养化控制总体目标的实现提供支撑。

1 研究范围与方法

对合肥市不同类型代表性排水系统进行水质、水量调查，其中包含6个分流制系统（4个存在雨污混接）和2个合流制系统，研究范围涵盖了不同排水体制、不同混接程度、不同土地利用类型以及系统运行状况等影响雨天污染特性的因素。对各个排水系统分别进行了6次以上有效降雨出流事件、2～4次非降雨日旱流24 h连续水量水质调查。被监测排水系统的概况和监测情况见表1。

泵排系统的流量根据泵站运行数据与水泵铭牌流量估算，重力出流系统的流量通过速度-面积流量计（NIVUS PCF4）连续测量。降雨量就地安装自记雨量计测量。雨天出流水样通过自动采样仪（ISCO6712）按照设定的程序采集；在没有条件安装

国家水体污染控制与治理科技重大专项（2009ZX07316-001）。

降解的COD不同会导致厌氧释磷效果不同。

3 结论

（1）回流污泥内源反硝化池工程应用效果良好，在实际水力停留时间3.2 h内，内源反硝化NO_3^-—N去除量高达9.6 mg/L，污泥内源反硝化速率为0.68 mgNO_3^-—N/(gVSS·h)，通过将初沉池改造为回流污泥内源反硝化池，工艺脱氮能力提高37.8%。

（2）对于回流污泥内源反硝化强化环沟型改良A^2/O工艺，在进水COD/TN仅为3.3的条件下，工艺系统TN去除量高达35 mg/L，回流污泥内源反硝化池、缺氧池和生物同化作用对工艺系统脱氮的贡献率分别为27.4%、44%和28.6%。

（3）由于回流污泥内源反硝化池的设置和进水完全进入厌氧池，厌氧池厌氧释磷作用明显，释磷量高达8.3 mg/L，厌氧释磷速率为9.68 mgPO_4^{3-}/(gVSS·h)，工艺生物除磷效果显著，在进水PO_4^{3-}浓度均值3.22 mg/L下，好氧池出水PO_4^{3-}浓度可达0.3 mg/L以下。

参考文献

1 杨敏，孙永利，郑兴灿，等. 初沉池改造为回流污泥反硝化池最佳进水比例研究. 南京理工大学学报，2011，34(2)：279～283

2 郑兴灿，李亚新. 污水除磷脱氮技术. 北京：中国建筑工业出版社，1998

3 江苏省住房和城乡建设厅. 江苏省太湖流域城镇污水处理厂提标建设技术导则. 北京：中国建筑工业出版社，2010

♀ 通讯处：300191 天津市南开区水上公园西路44号首创爱华402室

电话：13622023590

E-mail：707180297@qq.com

收稿日期：2013-07-02

修回日期：2013-11-26

© 1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net