节能型泥水自循环阶式 A^2/O 脱氮除磷工艺

摘要：介绍了节能型泥水自循环阶式A^2/O脱氮除磷工艺，阐述了该工艺的基本组成、运行过程与技术特点，总结了其脱氮除磷效果，通过工艺节能及动态优化控制节能两方面大大降低了本工艺的处理能耗。并且通过示范工程的处理效果进一步证明了本工艺的高效性与节能性。

关键词：泥水自循环；脱氮除磷；节能；动态优化控制

许　卓，朱光灿，吕锡武
（东南大学环境科学与工程系，江苏 南京　210096）

城市污水处理是高能耗行业，其中电耗占总能耗的60％以上。污水处理的达标减排以及节能降耗已经成为社会发展的必然要求。

1　泥水自循环阶式A^2/O工艺

为了满足新的排放标准对污水处理的要求，解决当前中小型污水处理设施难以除磷脱氮以及能耗较高的问题，东南大学在UNITANK工艺的基础上，基于生物缺氧反硝化、好氧硝化、厌氧释磷、好氧摄磷的传统生物脱氮除磷机理，开发了一种新型的城市污水脱氮除磷工艺——泥水自循环阶式A^2/O脱氮除磷工艺，它通过工艺上的控制来减弱硝酸盐对除磷的影响并协调除磷和脱氮对碳源的需求，每个反应池都出现厌氧或缺氧和好氧过程交替，在时间和空间转换过程中实现A^2/O状态交替。同时利用进水方向的周期性改变来达到混合液回流的目的，不需要或仅需少量的污泥回流，具有明显的节能效果。

泥水自循环阶式A^2/O工艺实现了中小型生活污水处理的过程智能化、设备国产化，为城市污水处理厂除磷脱氮工艺提供了新型节能降耗的实用技术。本工艺根据有无专用沉淀池，分为五箱一体化脱氮除磷工艺（无专用沉淀池）和六箱一体化脱氮除磷工艺（有专用沉淀池）两种。

1.1　工艺介绍

泥水自循环阶式A^2/O工艺是由5个生化反应池（六箱一体化工艺中还包括一个专用的沉淀池）组成的一体化池型，5个生化反应池中的任何一池均既可作为厌氧池、缺氧池或好氧池运行，根据需要进行改变，5池中均安装曝气设备、搅拌器，污水可以设定为进入5池中任意一池。六箱一体化工艺中还设置了污泥回流泵，回流污泥可以根据工艺要求进入中间三池的任意一池。各池的进水、进气、污泥回流管路上都装有电磁阀，搅拌器、曝气机、进水阀、进气阀、污泥回流阀、排泥阀均可通过PLC实现自动控制。工艺的运行方式如图1、图2所示。

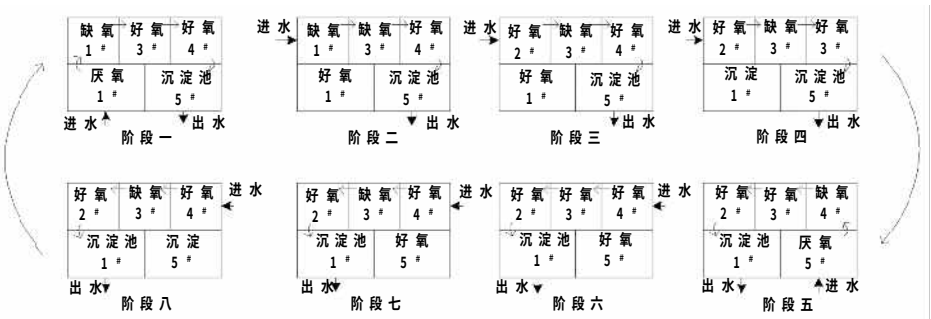

图1　五箱一体化脱氮除磷工艺

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

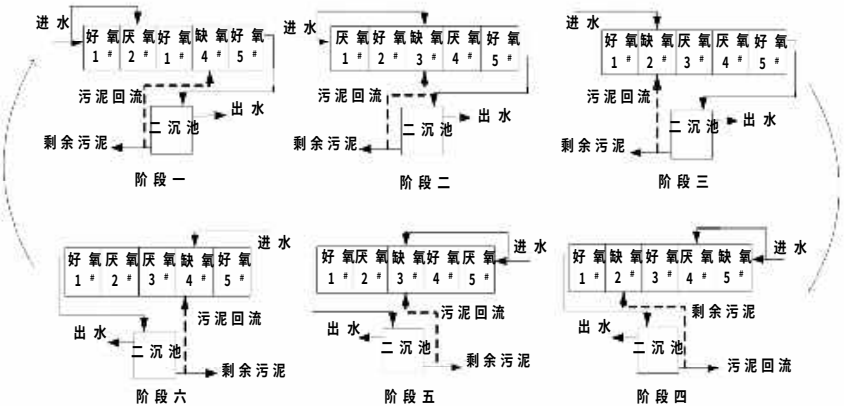

图2　六箱一体化脱氮除磷工艺

五箱一体化除磷脱氮工艺采用周期运行方式，一周期分为八个阶段。阶段一、二、三、四构成上半周期，阶段一为主体阶段，阶段二、三为过渡阶段，阶段四为沉淀阶段。阶段五、六、七、八构成下半周期，与上半周期反向对称，通过阶段转换完成同一个反应池的好氧/缺氧状态的转换，自动完成混合液回流，同时通过进水方向的改变自动完成污泥回流。

六箱一体化脱氮除磷工艺单独设置沉淀池，其设计仅需考虑泥水分离的功能，沉淀效果好；有部分污泥回流，使得各池污泥分布相对均匀，而且阶段时间受污泥分布的限制较少；相对于A^2/O、UCT等脱氮除磷工艺，省却了混合液回流，污泥回流量较小。但是与五箱工艺相比，在回流方面能耗升高。主体阶段采用两点进水方式，在一定程度上缓解脱氮除磷工艺中碳源的矛盾。

五箱一体化工艺适用于新建污水处理厂，六箱一体化工艺适合于原有污水厂提标改造。

1.2 工艺特点

根据泥水自循环阶式A^2/O工艺的运行和结构特征，本工艺主要有以下特点：

（1）水流依次进入5个反应池，具有推流的特征，与UNITANK的三池相比其更能保持反应基质的较大推动力。

（2）单池具有完全混合反应器特征，多阶反应器串联具有推流性质，在适应一定冲击负荷的同时可以保持较高的反应效率。

（3）恒水位运行，固定堰出水，节省了设备费用，也避免了滗水造成的水位损失。

（4）六箱一体化工艺设置专用于泥水分离的沉淀池，其设计仅需考虑泥水分离的功能，沉淀效果较五箱一体化工艺好；相对于A^2/O、UCT等脱氮除磷工艺，省却了混合液和污泥回流，或仅需较小的污泥回流量，能耗大幅降低。

（5）任何一个反应池在不同的阶段均经历了厌氧、缺氧、好氧的状态，全部进水和活性污泥在时间和空间序列上均完成了厌氧、缺氧、好氧环境的交替，对脱氮除磷相当有利，效率更高。

（6）厌氧释磷、缺氧反硝化、好氧吸磷及硝化环境相对专一，将不同因素对生化反应产生的影响降至最低。

另外，在池体结构上，池形为方形，可以共用池壁和底板，布置活性污泥紧凑，占地和土建省。

以规模为500m^3/d的五箱一体化示范工程为例，与有脱氮除磷功能的氧化沟工艺的投资运行费用进行比较，如表1。可以看出，从各方面指标来看，五箱一体化工艺都绝对优于氧化沟工艺。

表1　主要技术经济指标比较

	五箱一体化工艺	氧化沟工艺
电耗(kWh/m^3)	0.22	>0.40
吨水投资(元/m^3)	1140	1200～1600
占地面积(m^2/m^3)	0.40	0.70～1.0
运行费用(元/m^3)	0.49	0.55～0.88

1.3 脱氮除磷效果

采用泥水自循环阶式A^2/O工艺小试装置（五箱一体化装置和六箱一体化装置各一套）在南京江宁开发区污水处理厂以生活污水为原水进行了一系列试验研究。在此试验条件下的研究结果表明：

（1）五箱一体化装置的较佳运行参数为：水力停留时间13h，周期设置按主体段、过渡段和沉淀段分别为90min、120min、30min，泥龄12～15d。在上述工艺参数下，处理效果具有较高的稳定性。进水COD浓度在182～421mg/L之间，NH_4^+-N在22.6～56.4mg/L之间，TP浓度低于4.82mg/L，TN浓度低于49.6mg/L时，出水能满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级A标准要求。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

（2）六箱一体化装置的较佳运行参数为：周期设置按主体段3h，过渡段2h，即阶段一～阶段六运行时间分别为3h、3h、2h、3h、3h、2h；污泥回流比宜控制为30%；最佳泥龄为12d左右；常温下水力停留时间不宜小于12.5h，高温可适当缩短，低温下适当延长。在此工艺参数条件下，工艺可以取得良好除磷脱氮效果且各反应池中的污泥分布相对较均衡。在试验进水COD110～430mg/L、BOD_5 52～130mg/L、TN17～50mg/L、NH_3-N15～41mg/L、TP2.2～6.1mg/L的水质条件下，处理水COD、BOD_5、TN、NH_3-N、TP平均值分别小于55mg/L、10mg/L、10mg/L、5mg/L、0.5mg/L，能够达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级A标准。

（3）由于该工艺中5个池子在不同的处理阶段各自发挥不同的处理功能，厌氧释磷、好氧吸磷、硝化和反硝化在不同的池子和阶段出现，保证了整体除磷脱氮效果。本工艺是以传统的除磷脱氮反应为主，但在试验过程中，反应器中发生了多种脱氮除磷反应，除了传统的硝化反硝化、厌氧释磷和好氧吸磷，还存在同时硝化反硝化、厌氧氨氧化、内源反硝化、反硝化聚磷等反应。

（4）与SBR、UNITANK等工艺相比，本工艺更加适合于C/N比较低的中小城镇生活污水的除磷脱氮。这是由于同样无需混合液与污泥回流的UNITANK工艺，不能有效形成厌氧、缺氧和好氧状态交替的工艺条件，除磷效率较低；中间池一直曝气，脱氮效率不高；三池一般等体积设置，反应区利用率低。较易实现实时控制的SBR工艺，由于变水位运行，水头损失较大，并存在容积利用率不高的缺点。

2 泥水自循环阶式A^2/O工艺的节能与自动控制

污水处理的节能可以通过三个方面进行：工艺节能、设备节能与动态优化控制节能。即采用具有节能效应的高效除磷脱氮技术和节能设备，并进行智能化实时控制，以有效降低污水处理的能耗。

从工艺的角度，需开发新型节能工艺，研究工艺的实时控制策略，对工艺过程进行智能动态优化控制。本工艺省却混合液和污泥回流，或只需较小的污泥回流量，在工艺运行过程中，通过阶段状态的改变，实现脱氮除磷的要求，并且工艺中存在新型的脱氮除磷技术：同步硝化反硝化、短程硝化反硝化、反硝化除磷、厌氧氨氧化等。

除了通过工艺优化达到了大幅节能的效果，泥水自循环阶式A^2/O工艺可以通过实时控制策略进一步大幅降低处理能耗。由于污水处理厂设计时，通常以设计流量、设计负荷为基本参数，据此确定泵与风机的型号，而实际运行时进水量与污染物浓度一般低于设计值，并处于不断变化之中，运行时不能及时调整回流泵流量与曝气量，造成较大能源浪费。另一方面，新型除磷脱氮工艺对DO、pH、反应时间、基质浓度等参数的要求较严格，因此，采用动态优化运行技术，进行智能化过程控制，可有效降低能源消耗，提高除磷脱氮效率。

本工艺基于ORP、pH、DO的变化与硝化、反硝化、释磷、吸磷存在着紧密的关系，在反应池中安装在线监测探头，通过ORP、pH、DO的实时变化规律对阶段时间、运行状态、曝气量、进水点、进水比例等进行控制。试验结果表明ORP、pH、DO的变化规律与连续流泥水自循环阶式A^2/O工艺的水质变化有明显的相关性，3种状态参数随反应进程出现平台或突变，可以通过对状态参数的监测对工艺运行进行实时控制。本工艺采用实时控制后，可进一步降低污水处理过程中的能耗。

通过工艺节能和动态优化控制节能，本工艺可以在保证良好的氮磷去除效果的情况下，有效降低污水处理能耗。原有常规污水处理厂采用泥水自循环阶式A^2/O工艺进行提标改造后，可以降低10%以上的能耗。

3 示范工程

南京市青龙山精神病院位于南京市东南郊的青龙山南麓，现有医护人员约300名，床位1000张。污水处理工程主体采用五箱一体化工艺，设计处理规模为500m^3/d，其中主体部分的一体化生物池池体为长方形，分为5个池，采用半地下式设计，体积约230m^3。1#、5#池尺寸为3.6m×3.6m，池深4.9m，水力停留时间2.7h，表面水力负荷1.6m^3/m^2h。2#、3#、4#池尺寸为2.4m×3.5m，池深4.9m，水力停留时间1.8h，表面水力负荷1.6m^3/m^2h。5个池在角落处均安装1台功率为0.85kW的潜水搅拌机。采用硅橡胶膜曝气管，曝气量为56.7m^3/h。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

采用6 阶段的运行方式，各阶段运行时间：阶段一120min，阶段二60min，阶段三58min，排泥2min；后半周期，阶段四同阶段一，阶段五同阶段二，阶段六同阶段三。

稳定运行后，进出水水质如表2。

表2　示范工程进出水水质　mg/L

项目	COD	BOD_5	NH_4^+-N	TN	TP	SS
进水水质	250～330	150～180	25～33	28～40	2.1～5.5	250～340
设计出水	≤50	≤10	≤5	≤15	≤0.5	≤10
出水水质	27.8～42.1	6.8～9.6	1.3～3.1	6.3～9.8	0.38～0.53	7～10
平均去除率(%)	87	94.6	92.3	73.7	89.2	97.3

可以看出，出水指标基本上均能达到GB18918-2002的一级A标准，在TP不达标时，可以追加化学除磷，进一步降低出水TP含量，提高出水水质。

该工程总投资52.57万元（其中土建23.00万元，设备22.30万元，其他7.27万元），装机负荷16.5kW，运行负荷9.2kW，电耗0.35kWh/m^3，运行成本0.49元/m^3（含药剂费和人工费）。与常规脱氮除磷工艺相比，能耗明显降低，且污染物去除效果稳定，有一定的抗冲击负荷作用。

4 总结

泥水自循环阶式A^2/O工艺是一种新型的脱氮除磷工艺，由于它不需要污泥和混合液回流或只需少量污泥回流即可满足脱氮除磷要求，并且运行过程中有明显的同步硝化反硝化与反硝化除磷现象，与常规脱氮除磷工艺相比可以显著的节省能耗与碳源，提高污染物去除效果，适用于低C/N比生活污水的脱氮除磷，电耗、投资、占地、运行费用等各方面均大幅降低。

在试验过程中，ORP、pH、DO等状态参数与反应器中水质变化有明显的相关性，可以通过状态参数的在线监测对反应器进行运行控制，进一步降低污水处理过程中的能耗。

通过南京市青龙山精神病院的示范工程，进一步证明本工艺稳定运行时，出水基本可以达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级A标准，TP不达标时可以通过追加化学除磷予以去除。

本工艺进一步仍需在自动控制方面进行深入研究，完善自动控制措施，同时通过控制手段强化新型脱氮除磷途径（如同步硝化反硝化与反硝化除磷）在反应器中的作用，在城镇污水C/N比较低的情况下进一步提高污染物去除效率。■

亚行将帮助提高公众对气候变化的意识

近日，亚洲开发银行（亚行）批准了一项技术援助赠款，旨在通过媒体提高公众认识，使人们了解气候变化给该地区数以亿计的人口带来的严重威胁。

来自亚行“气候变化基金（Climate Change Fund）”的45万美元赠款，连同亚太广播联盟（ABU）提供的27.1万美元将用于提供技术培训，以提高亚太地区的国家广播电视机构进行有关气候报道的记者的知识水平。

四个研讨会将分别在印度、中国、菲律宾和泰国举办。预计参会人员将创作出百余部电视新闻短片，在全国播出，题材涉及诸如应对气候防护、灾难风险管理以及清洁能源等。其中，最佳新闻短片将通过区域及国际电视网推广播放。

作为该项目的一部分，亚行和亚太广播联盟将组织现场电视报道和卫星转播，对2009年6月举行的“气候变化高端对话”和访谈进行报道。之后，将报道在马尼拉亚行总部举办的“清洁能源论坛”。此外，还将组织一场面向电台记者的研讨会，力争拓展到没有使用电视的社区，并为制作有关该主题深度报道的纪录片和较长的作品提供赠款。

目前，亚太地区已经感受到由温室气体骤增引发的气候变化带来的负面影响。即使碳排放量被控制在当前的水平，到2020年，该地区仍将面临10%的农作物减产，海平面上升将迫使孟加拉国、印度、马尔代夫及其它太平洋岛屿沿海地区数以百万计的居民迁移。除此之外，到2020年，大约12亿人口将受到淡水短缺的威胁；到2050年，该地区34%的珊瑚礁可能会消失。

（本刊讯）

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net