

脱氮除磷污泥(混合液)回流方法*

鲜吉成, 高旭, 郭劲松, 周健

(重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045)

摘要:简要分析了脱氮除磷工艺三种污泥(混合液)回流方法(泵提升法, 叶轮搅拌提升法和空气提升法)各自的特点, 并认为由于叶轮搅拌提升法和空气提升法便于实现构筑物一体化, 可以简化工艺流程, 节省基建投资, 而且能耗低, 操作简单, 在拟建的中小规模污水处理厂中具有良好的应用前景。

关键词:污泥(混合液)回流; 泵提升法; 叶轮搅拌提升法; 空气提升法

中图分类号:X703.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7329(2006)02-0132-05

Analysis on Measures of Sludge (Mixed Liquid) Return about Process of Nitrogen and Phosphorus Removal

XIAN Ji - Cheng, GAO Xu, GUO Jing - Song, ZHOU Jian

(College of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: Three measures of sludge (mixed liquid) return (pump - lift, impeller - lift and air - lift) about nitrogen and phosphorus removal processes are introduced and analyzed. The measures of impeller - lift and air - lift can not only simplify processes and integrate the devices for nitrogen and phosphorus removal so that the land occupation and investment demand for the plant are reduced, but also can be easily operated with less electricity consumption, which are considered to be promising for application in medium - sized and mini - type plant of wastewater treatment.

Keywords: sludge (mixed liquid) return; pump - lift; impeller - lift; air - lift

目前,在以 A^2/O 工艺,氧化沟工艺,SBR工艺为基础所开发的系列脱氮除磷工艺中,大多数工艺都需要污泥或混合液回流,或污泥和混合液同时回流。综合现有的文献资料,按回流的动力设备来分,回流方法主要有三种:泵提升法、叶轮搅拌提升法和空气提升法。现对其各自的特点作简要分析。

1 泵提升法

在污泥(混合液)回流系统中,污泥泵是常用的提升设备。其主要型式包括轴流泵、螺旋泵和潜水污泥泵。轴流泵^[1]运行效率较高,可应用于较大规模的污水处理工程。采用轴流泵时,需单独设回流井,大中型污水处理厂还需设专门的回流污泥泵站。在选择该类泵时,转速不能过高,否则易破坏活性污泥絮凝体。在污水处理厂的实际运行中,朱午正^[2]发现该泵存在以下问题:由于回流污泥是絮状沉淀物,比重和粘度相对

较高,加之曝气池鼓风曝气使得回流污泥含气量较大,从而使该种泵体易发生气蚀,气蚀后果表现为:振动大,经常损坏轴承、口环和连轴器等易损件,甚至发生振坏泵壳,轴承箱,断轴事故,检修频次高,维修费用大。如果回流污泥中纤维状物质较多,叶轮受到缠绕,还会出现嵌在泵壳内的耐磨环受到磨损甚至整个松脱的现象^[3]。因为轴流泵存在以上一些问题,近十几年来,国内外在污泥回流系统中,比较广泛地使用螺旋泵。该种泵具有以下几项特征^[1]:(1)效率高,而且稳定,即使进泥量有所变化,仍能够保持较高的效率;(2)能够直接安装在曝气池与二沉池之间,不必另设污泥井及其他附属设备;(3)不因污泥而堵塞,维护方便,节省能源;(4)转速较慢,不会打碎活性污泥絮凝体颗粒。然而,冯生华等人^[4]却提出:螺旋泵在提升污泥时,具有“表曝”作用,使得回流污泥带有大量的分子氧,建议用复氧较少的提升设备如潜污泵回流污

* 收稿日期:2005-10-12

基金项目:国家“十五攻关”项目资助(2003BA808-17-2)

作者简介:鲜吉成(1972-),男,四川南部县人,硕士生,主要从事水处理理论与技术研究。

泥。在 SBR 的改进型 CAST 工艺^[5,6]中,污泥的回流和剩余污泥的排放都用到了潜污泵。

2 叶轮搅拌提升法

在具有脱氮除磷功能的新型一体化氧化沟工艺中,邓荣森等人^[7,8]省去两套回流系统,成功地实现了污泥和混合液无泵自动内回流。与传统的氧化沟污泥回流系统相比,节能可达 15% 左右,与传统的 A²/O 工艺混合液回流系统相比,节能可达 30% (图 1),而且由于二沉池内置,还省去了污泥泵房,故减少了占地面积。夏世斌等人^[9,10]则开发出另一种新型一体化氧化沟:立体内循环氧化沟(图 2)。该氧化沟与图 1 中的氧化沟相比,除了具有图 1 中的氧化沟的优点外,其最大的优点在于可以节省大量的土地。但该氧化沟还停留在实验研究阶段,而且脱氮除磷效果不理想,而图 1 中的氧化沟已经成功运用于工程实践,而且脱氮除磷效果比较好。

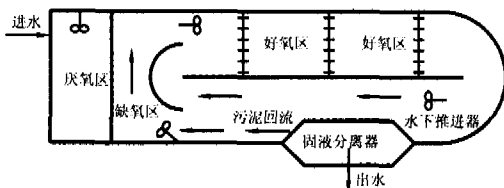


图 1 一体化氧化沟污泥内回流

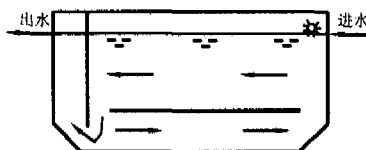


图 2 立体内循环氧化沟

将其污泥和混合液的自动内回流归属于叶轮搅拌提升法,是因为两种氧化沟都离不开曝气转刷(转盘)对沟内的水流起推动,特别是图 1 中的氧化沟,其水下推进器发挥着重要作用,它一方面克服了局部区域流速过低引发污泥沉积的现象,另一方面,固液分离器分离效果的好坏也依赖其提供的推动力。而图 2 所示装置在实验研究中虽然未设水下推进器,但为了不让污泥沉积,其曝气转刷(转盘)必须保持足够的转速。显然,转速过高,一方面耗能,另一方面不利于底部缺氧区的形成。据此笔者认为可以增设水下推进器,从而达到可以灵活调控曝气转刷(转盘)的转速以控制水中溶解氧和循环流量的目的。

在氧化沟工艺的许多变形工艺中,利用叶轮搅拌回流混合液并成功地大量运用于工程实践的工艺是 OCO^[11~13]工艺。该工艺的生化池因厌氧区、缺氧区和好氧区的组合形似 OCO、故称为 OCO 工艺。它独特的

池型结构和设备配置使生化池内的缺氧区和好氧区既能相对分开,又能巧妙地解决混合液内回流的矛盾,从而形成一种新型的污水处理工艺(图 3a、b)。

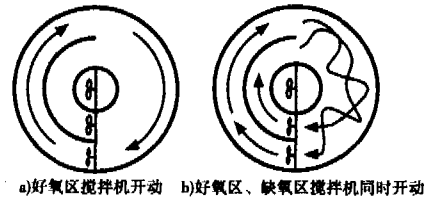


图 3 OCO 工艺

当好氧区开动搅拌机,缺氧区搅拌机关闭时,污水按图 3A 所示方向流动,两区的污水混合减至最少。同时开动好氧、缺氧两区搅拌机,污水按图 3B 箭头所示方向流动,进行充分混合,使 NO₃⁻ 进入缺氧区,发生反硝化反应。但该工艺需设单独的二沉池和污泥回流系统。为了解决污泥回流问题,国内学者李德豪^[14]等人将二沉池内置于 OCO 池中(厌氧池加入了填料,取消了搅拌器),形成一个完整的一体化装置(图 4a、b)。这样做的优点是:应用一体化方法可以节省项目占地和减少基建费用;省去污泥回流泵和厌氧区搅拌器,减少设备购置、运行和维护费。但由于在厌氧区与好氧区之间没有活性污泥的循环,因而不存在聚磷菌的超量摄磷与释磷,与 OCO 工艺相比,生物除磷效果较差。

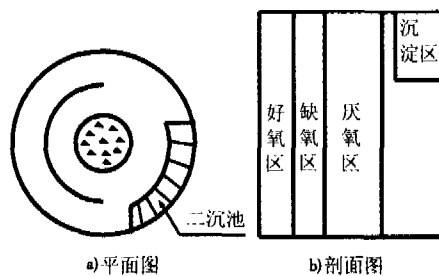


图 4 加填料的 OCO 工艺

梁益培在其发明专利“利用无动力内外循环装置处理下水、废水、有机物、氮和磷的设备及方法”^[15]中,利用导流筒及内置叶轮搅拌机实现了污泥和混合液的内外回流(图 5)。

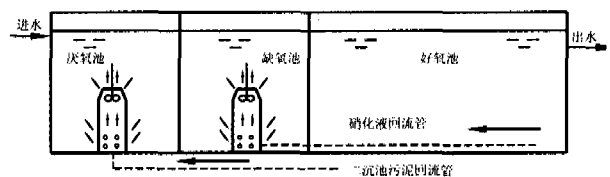


图 5 利用导流筒及内置叶轮搅拌机的内外回流

在该装置中,叶轮搅拌机除了起混合搅拌以防厌氧池和缺氧池污泥沉积的作用外,其旋转产生的负压提供了污泥和混合液的内外回流所需要的抽吸力。中

试结果表明:比普通的立式水泵用于污泥循环,每月可节约电费达 14.6% ~ 34.5%。不过,该装置被称为“无动力内外循环”,严格地说是 不准确的,称之为无泵内外循环更为确切。因为在 A²/O 工艺中,厌氧池和缺氧池中的搅拌机只是起混合搅拌以防污泥沉积的作用,其所耗功率小,差不多在 3 W/m³ 左右,单纯依靠这点动力是否能够提升污泥和混合液,该文献未明确指出,但通过其另设有控制箱控制搅拌速度来看,为了增大回流量,只能加大搅拌机的转速。显然,为了加大回流要多消耗动力,但搅拌机转速不能过高,否则会对活性污泥的絮凝有影响。

3 空气提升法

空气提升装置是通过在升流区或升流管内曝气充氧,利用升流区和降流区或升流管内外液体密度差来提升液体(如污泥或混合液)^[1,16]。巴雅尔^[17]在生物脱酚工艺中将空气提升装置运用于污泥回流,运行实践表明:在回流量相同的情况下,与污泥泵相比,一年可节省电耗 5 万元,而且维修量小,管理方便。在国外,以空气提升技术为核心而开发的空气提升反应器(Airlift reactor)首先被广泛用于生物化工领域,如好氧发酵等;在污水处理领域,空气提升反应器以及以空气提升反应器为基础开发的空气提升内循环生物流化床反应器(Biofilm Airlift Suspension reactor,简称 BAS 反应器)也已经被大量地应用于工程实践^[18~20]。空气提升反应器基本结构有两种:一种是用隔板将反应器分隔成升流区和降流区,如图 6a^[21],一种是用中心套筒将反应器分隔成升流区和降流区,如图 6b^[22]。而 BAS 反应器只不过是在空气提升反应器里面加入了可以流化的,供微生物栖息的惰性载体(图 7a、b)。

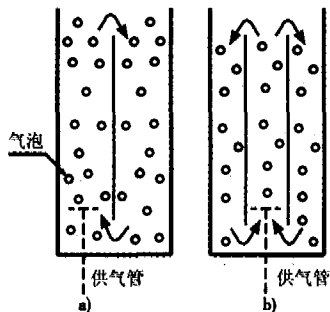


图 6 空气提升反应器基本结构

从国外文献来看,将空气提升反应器和 BAS 反应器经过适当改造用于污水脱氮的研究居多,鲜有除磷的报道。如 Hano^[23], Taku Fujiwara^[22] 等人将空气提升器的中心套筒(图 6b)作为好氧区,将套筒外的环形下降区作为缺氧区,通过对溶解氧,套筒与反应器直径比等因素的控制来达到脱氮的目的。而 W. A. J. Van.

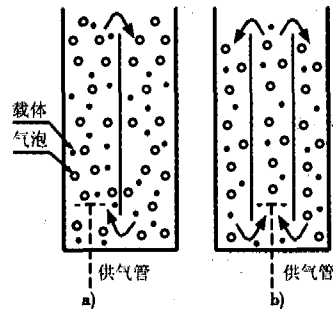


图 7 BAS 反应器中的空气提升情况

Benthum^[24~26] 等人最初将整个 BAS 反应器作为一个硝化池(好氧池),再单独前置一个反硝化池(活性污泥法)来达到脱氮的目的。后来把整个 BAS 反应器作为一个硝化区(好氧区),再增加一个降流区作为反硝化区(缺氧区),同时,在好氧区的顶部增加一个密封盖(密封盖上设有排气阀,图 8)形成一个脱氮一体化

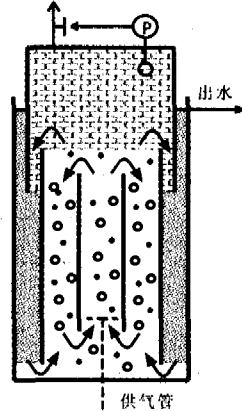


图 8 改造后的脱氮一体化 BAS 反应器

装置。该反应器不同之处在于其好氧区与缺氧区之间的循环流量不是通过改变空气流量来控制,而是通过部分关闭排气阀,在好氧区顶部形成超压,超压的产生导致好氧区底部静水压力增加,而缺氧区由于与大气环境相通,且缺氧区顶部出水通过溢流排出,故缺氧区底部静水压力不变,从而在好氧区与缺氧区底部之间产生了静水压力差,在曝气量不变的情况下,利用静水压力差来调节好氧区与缺氧区之间的循环流量。当然,静水压力差的存在只能减小循环流量。如此设计的原因在于 BAS 反应器为了保持载体的充分流化,其曝气量必须较大,从而好氧区与缺氧区之间的循环流量也较大,满足不了缺氧区水力停留时间的要求,所以利用静水压力差来减小循环流量,使得好氧区与缺氧区之间的循环流量相对地摆脱曝气量的约束。国内学者周集体等人^[27]将 BAS 反应器中的载体颗粒改为纤维填料,开发出一种构造更加简单,操作方便的硝化反硝化一体化的空气提升内循环生物膜反应器(图 9)。该反应器通过两块隔板(两块隔板部分重叠,隔板面积可以通过垂直移动重叠部分而得到调节)将反应器

分为三个区:好氧区,缓冲区,缺氧区。其中好氧区和缓冲区均用作硝化区,缺氧区用作反硝化区。在不改变曝气量的情况下,通过改变两块隔板的面积来调节进入缺氧区的流量和循环流量。缓冲区的存在一方面不仅确保进入缺氧区的溶解氧处于低值,而且使得该反应器具有抗冲击负荷的能力,此外,该反应器的循环流量所耗能量与好氧区曝气所耗能量相比很小,因此运行成本低。

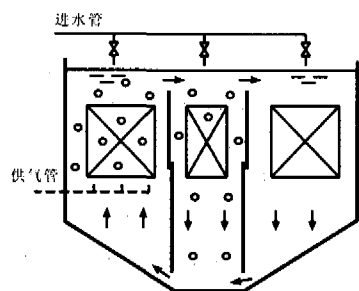


图9 空气提升内循环生物膜反应器

4 结论与建议

通过以上三种方法的分析,可以得出以下结论:

1)传统的轴流泵能耗高,污泥回流管易堵塞,维修量大,维修费用及设备购置费用高。需单独设回流井,大中型污水处理厂还需设专门的回流污泥泵站。螺旋泵虽然克服了轴流泵的许多缺点,但两种泵都不便于实现构筑物一体化,从而使得占地面积相对较大。

2)叶轮搅拌提升法和空气提升法最大的优点在于可以实现构筑物一体化,从而可以节省构筑物占地面积。其次,节能也是其一大优点。以叶轮搅拌提升法和空气提升法为基础开发的脱氮除磷工艺之所以节能的一个重要原因在于:用泵提升污泥或混合液是泵的唯一功能和目的。而叶轮搅拌提升法和空气提升法在许多脱氮除磷工艺中主要功能在于促进气液、固液、或气液固三相充分混合或曝气充氧以促进微生物的生长,而回流污泥或混合液只是它们的附带功能,此时,它们不需消耗额外的电耗或只需增加少量电耗就能达到泵回流污泥或混合液的目的。其三,维修量小,管理方便也是叶轮搅拌提升法和空气提升法的一大优点。但单池不能做得太大,所以一般只适合中小型污水厂。

3)污水处理是能源密集(energy intensity)型的综合技术。一段时期以来,能耗大、运行费用高一定程度上阻碍了我国城市污水处理厂的建设,建成的一些处理厂也因能耗原因处于停产和半停产状态。在今后相当长的一段时期内,能耗问题将成为城市污水处理的瓶颈^[28]。其次,我国人多地少,土地资源日益紧张,但环境污染尤其是水体富营养化却日益严重,开发一种

特别适合我国中小城镇的简易、高效、低耗污水脱氮除磷新工艺一直是国内学者和工程技术人员孜孜以求的目标。以叶轮搅拌提升和空气提升为基础开发的脱氮除磷新工艺与传统的泵提升相比,由于以上优点,符合我国国情,应该成为拟建中小污水处理厂的优先选择。

参考文献:

- [1] 张志杰.排水工程(下册)[M].北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [2] 朱午正.曝气回流泵的叶轮切削改造[J].内蒙古石油化工,2001,27:106-107.
- [3] 王刚.污泥回流系统存在的问题及解决措施[J].中国给水排水,2003,19(1):32.
- [4] 冯生华.生物除磷脱氮工艺的探讨[J].给水排水,1994,(2):18-24.
- [5] Mervyn C. Go ronszy.循环式活性污泥法(CAST)的应用及其发展[J].中国给水排水,1996,12(6):4-9.
- [6] 王维斌,吴凡松.小型污水处理厂的设计[J].中国给水排水,2002,18(3):57-60.
- [7] 邓荣森.新型一体化氧化沟工艺的节能特点[J].中国给水排水,2001,17(6):44-46.
- [8] 邓荣森.新型一体化氧化沟工艺及其运行方式的探讨[J].中国给水排水,2002,28(8):4-7.
- [9] 夏世斌,刘俊新.立体循环一体化氧化沟处理城市污水研究[J].中国给水排水,2002,18(6):1-4.
- [10] Shibin Xia, Junxin Liu. An innovative integrated oxidation ditch with vertical circle for domestic wastewater treatment [J]. Process Biochemistry,2004,39:1111-1117.
- [11] 张望军.OCO工艺对城市污水的处理[J].给水排水,2000,26(3):1-2.
- [12] 姬跃国.OCO工艺的处理特点[J].工业用水与废水,2001,32(3):48-49.
- [13] 何文远,杨海真.城市污水脱氮除磷工艺的比较分析[J].华中科技大学学报(城市科学版),2003,20(1):85-87.
- [14] 李德豪.一体化OCO工艺处理生活污水研究[J].给水排水,2004,30(8):17-20.
- [15] 梁益培.利用无动力内外循环装置处理下水、废水、有机物、氮和磷的设备与方法[P].中国专利:CN 1498863A,2004-05-26.
- [16] 周平.空气提升内循环生物流化床反应器动力学研究[J].环境科学,1996,17(6):9.
- [17] 巴雅尔.浅谈空气提升法在生物脱氮污泥回流中的应用[J].包钢科技,1999,(1):1-2,35.
- [18] John Whines et al. (1996). Prediction of flow rates and stability in large scale airlift reactors[J]. Wat. Sci. Tech., Vol. 34, No. 5-6, 51-57.
- [19] J. J. Heijnen et al. (1990). Large-scale anaerobic/aerobic treatment of complex industrial wastewater using immo-

- bilized biomass in fluidized bed and air - lift suspension reactors [J]. *Chemical Engineering Technology*, 13, 202 - 208.
- [20] Tjihuis et al. (1995). Formation of nitrifying biofilms on small suspended particles in airlift reactors [J]. *Biotechnology and Bioengineering*, 47, 585 - 595.
- [21] Fernando Camacho Rubio et al. (2001). Axial inhomogeneities in steady - state dissolved oxygen in airlift bioreactors; predictive models [J]. *Chemical Engineering Journal*, 84, 43 - 55.
- [22] Taku Fujiwara et al. (1998). Effect of draft tube diameter on nitrogen removal from domestic sewage in a draft tube type reactor [J]. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 38, No. 1, 51 - 57.
- [23] T. Hano et al. (1992). Biological nitrogen removals in a bubble column with a draft tube [J]. *Chemical Engineering Science*, 47, 3 737 - 3 744.
- [24] W. A. J. van benthum et al. (1998). Nitrogen removal using nitrifying film growth and denitrifying suspended growth in a Biofilm Airlift suspension reactor coupled with a chemostat [J]. *Wat. Res.*, Vol. 32, No. 7, 2 009 - 2 018.
- [25] W. A. J. van benthum et al. (1999). The biofilm airlift suspension extension reactor. Part I; Design and two - phase hydrodynamics [J]. *Chemical Engineering Science*, 54, 1 909 - 1 924.
- [26] W. A. J. van benthum et al. (2000). The biofilm airlift suspension extension reactor. Part II; Three - phase hydrodynamics [J]. *Chemical Engineering Science*, 55, 699 - 711.
- [27] Haiyan Guo, Jiti Zhou et al. (2004). Integration of nitrification and denitrification in airlift bioreactor [J]. *Biochemical Engineering Journal*, 2005, 23; 57 - 62.
- [28] 高旭. 城市污水处理能耗能效研究进展 [J]. *重庆大学学报(自然科学版)*, 2002, 25(6): 143 - 148.

(上接第 119 页)

险;项目投资者承担环境风险;有关政府机构承担政治风险;贷款银行承担金融风险;项目建设工程公司承担建设风险;项目产品购买方承担市场风险,项目设备、能源、原材料供应商等承担法律风险;项目管理公司承担生产风险。

6 结语

利用模糊层次分析法,建立项目融资各参与方的风险矩阵,按照风险最优分配原则,并使用匈牙利法对模型求解,为各类风险确定最优承担者,具有重要的实践意义。

在实际应用中,由于风险矩阵给出的模糊性和不精确性,通常是满意的而不一定是最优的分配决策结果,要结合具体项目的具体情况优化安排各风险的最优承担主体。如在本文给出的示例中,信用风险应由项目融资的所有参与方共同承担;项目设备、能源、原材料供应商等承担法律风险显然是不合适的,项目的环境风险、法律风险应由项目主办方和项目投资者共同承担;同时,应由项目设备、能源、原材料供应商和项目产品购买方共同承担市场风险。研究对象虽然是针对一个具体项目,但其研究结果却不失一般性,在实际应用中,可以根据不同项目的具体特点和投资者实际要求增加或者删除部分指标,以适应具体问题。

管理问题的定量化处理意义,不仅在于能求出最优或较优解,而且在于它同时含有丰富的管理指导意

义。寻求隐含在数量化过程中的管理意义与指导原则,以促进管理决策工作的科学化、最优化,是非常有价值的工作。

参考文献:

- [1] 屈哲. 项目融资的风险及其规避 [J]. *财经经济问题研究*, 2002, 5(5): 31 - 35.
- [2] 范小军, 王方华, 钟根元, 等. 大型基础项目融资风险的动态模糊评价 [J]. *上海交通大学学报*, 2004, 38(3): 450 - 454.
- [3] 张极井. 项目融资(第二版) [M]. 北京: 中信出版社, 2003.
- [4] 方芳. 工程项目投资与融资 [M]. 上海: 上海财经大学出版社, 2003.
- [5] 陈赞. 工程项目融资风险分配的博弈分析 [J]. *长沙交通学院学报*, 2004, 20(2): 83 - 85.
- [6] 张维迎. 博弈论与信息经济学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- [7] 王上铭, 李树丞, 王贵军. AHP 法在项目融资风险管理中的应用 [J]. *湖南大学学报(社科版)*, 2002, 16(6): 20 - 22.
- [8] 徐泽水. 模糊互补判断矩阵排序的一种算法 [J]. *系统工程学报*, 2001, 16(4): 311 - 314.
- [9] 聂琦波. 指派问题的模糊数学方法求解研究及其启发 [J]. *南京工业大学学报*, 2002, 24(6): 26 - 29.
- [10] 刘晓红. 基于模糊关系的人力资源管理工作分配算法 [J]. *软科学*, 2004, 17(4): 62 - 64.