

好氧-缺氧一体化高效分离生物流化复合反应器^{*}

张玉魁

石桂芳 施汉昌

(北京市政投资有限公司,北京 100083) (清华大学环境科学与工程系,北京 100084)

摘要 鉴于污水处理中对氮、磷去除率的要求和内循环三相生物流化床反应器存在的一些不足,为此,设计开发了一种好氧-缺氧一体化高效分离生物流化复合反应器。该反应器对好氧循环流化区采用了独特的分格结构,当反应器处理规模增大时,在不增加反应器总体高度的基础上,保证了循环流化区的高径比。循环流化反应器与高效气浮分离反应器的耦合,克服了循环流化床以沉淀原理为基础的固液分离效果不佳的状况,既可以保证出水水质,又可以实现反应器的一体化。通过气体提升方式实现了好氧出水回流,使该种反应器能够实现脱氮和部分除磷的目的。该反应器处理生活污水的初步试验结果表明它具有很好的抗冲击负荷和去除有机物的性能。

关键词 好氧-缺氧一体化 高效分离 生物流化 气浮 载体分离器

0 引言

三相好氧生物流化床污水处理设备具有处理效率高、占地省、抗冲击负荷能力强等一系列优点,是一种公认的高效污水处理设备。但是传统的好氧生物流化床只能氧化有机物和氨氮,并不能去除污水中的氮、磷等营养元素。据此,开发了一种既保留好氧生物流化床的优点,又实现好氧-缺氧一体化的高效分离生物流化复合反应器,并且完成了反应器中试规模的设备开发。

传统的活性污泥法等生物处理工艺在处理水量小、变化幅度大的污水时难以正常稳定地运行,而高效分离生物流化复合反应器耐冲击负荷的特性可以解决这一问题。传统的污水处理工艺普遍将各处理单元分设,往往还需要进行污泥回流和污水循环,这势必增加基础建设及管道设备的投资。研究一体化的处理设施必然将成为一种趋势,因此开发这种经济、高效、灵活、占地省的污水处理新工艺具有重要的现实意义。

1 新型反应器的研究

传统的内循环三相生物流化床^[1,2]以沉淀原理进行固液分离,虽然可以不设污泥回流设施,但存在载体流失和过饱和空气释放而产生污泥上浮的问题。反应器与沉淀池分建则又要多建一个沉淀池并增设污泥回流设施。

另外,为了维持好氧生物流化床的高效率,需要保证一定的高径比^[3],有人建议的合理高径比为3~5^[4]。在生物流化床反应器的实际应用中,为了维持

合理的高径比,当反应器直径增加时,必然要增加反应器的高度,造成能耗的增加。

为了维持循环流化反应器合理的高径比,同时不增加反应器的总高度,一个合理的方法是增加反应器的内筒数,即由一般的一个内筒改变成多个内筒而形成形式上类似于化工操作中的列管式反应器。根据理论分析^[5],该方法还可以使反应器离散数 D/uL 下降,使反应器流态接近于推流式反应器(PFR),从而处理效率可以得到提高。据此,在内循环三相生物流化床的基础上对反应器进行了改进,即将内循环生物流化床的内筒变小,同时对内筒和外筒之间的环隙进行分格,分别作为循环流化的上升区和下降区^[6]。改进的反应器除可以保持处理污水的高效率外,并且可以实现反应器的大型化。

鉴于内循环三相生物流化床固液分离效果不佳的情况,据此,设计的一体化高效分离生物流化复合反应器以水力停留时间短,分离效率高的溶气气浮作为泥水分离设备,并且与反应器主体进行了合理耦合,开发形成了一体化的反应器。

为了在循环流化反应器中实现脱氮和部分除磷的目的,在反应器中设置了一个缺氧区,并且利用气体提升的方式实现了污水从好氧区到缺氧区的回流。通过好氧-缺氧交替运行实现生物脱氮和部分生物除磷。如果处理出水对磷要求较高,还可以在气浮前加入化学药剂,实现生物除磷与化学除磷相结合。

2 反应器设计

整个好氧-缺氧一体化高效分离生物流化复合反应器的结构可以分成3部分,最下面是具有好氧区和

^{*}“863”计划资助项目(2002AA601200)

缺氧区的主体反应区,中间是实现固、液、气三相分离的三相分离器,上部是实现泥水分离的气浮反应器。

图 1 为好氧-缺氧一体化高效分离生物流化复合反应器的剖面图;图 2 为好氧、缺氧反应区横断面图,其中箭头所表示的是水流在反应区顶部的流动方向。图 3 为一体化反应器工艺流程图。

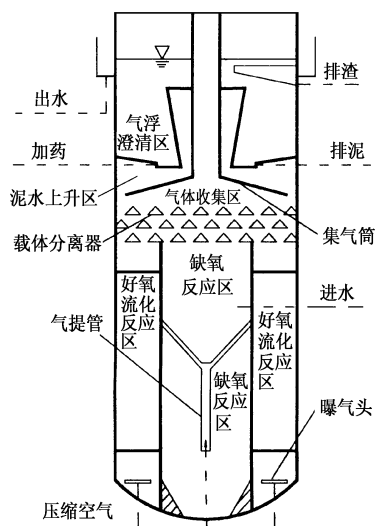


图 1 好氧-缺氧一体化高效分离生物流化复合反应器

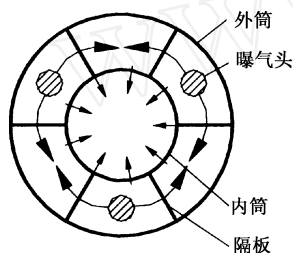


图 2 反应区平面示意图

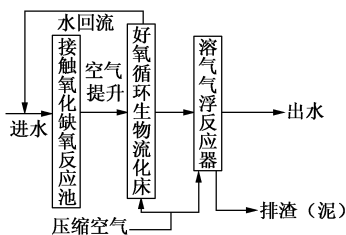


图 3 反应器工艺流程图

2.1 好氧、缺氧反应区

反应器主体反应区又分为好氧流化反应区和缺氧反应区。好氧反应区为内筒与外筒之间的环隙区域,好氧反应区中设有 6 块隔板将好氧反应区分为平面上独立的 6 个区域。在这 6 个区域中间隔安装有曝气头,在曝气头曝气的情况下,该区域作为循环流化的升流区,其余不安装曝气头的 3 个区域作为降流区。隔板底部与反应器底之间,以及隔板顶部与载体

分离器之间都有一定间隙,构成气、液、固混合体在好氧反应区循环流化的通道。

内筒作为缺氧反应区,缺氧反应区底部与反应器底连接在一起,防止好氧区液体从底部进入缺氧区。进水从反应器中部直接进入缺氧反应区。缺氧区液体进入好氧区的动力为缺氧区中间的气体提升管,在气体提升管底部空气进入的情况下,气体会携带缺氧区液体一起进入好氧反应区,从而实现水流从缺氧区向好氧区的流动。在缺氧区液体进入好氧区时,缺氧区的液体依靠进水和好氧区水回流补充。通过控制气体提升管中空气量的大小,可以控制缺氧区到好氧区的液体流量,同时也是控制好氧区液体向缺氧区回流的流量,即好氧区向缺氧区的回流比。

2.2 三相分离器

反应区上部为载体分离器,载体分离器的作用是将悬浮流化状态的生物载体限制在好氧反应区,防止载体和附着在载体上的微生物进入气浮分离区和缺氧反应区,同时使循环液体返回反应区,出水进入气浮分离区;剩余气体通过集气筒排出反应器。该分离器通道为迷宫式,主要由 3 层相互交错的三角形反射锥构成,如图 1 所示。

该分离器分离载体的基本原理为:上升的生物载体首先到达分离器最下面一层,若碰到反射锥下面的平面则改变向上的方向,随混合液进入下降区从而达到分离的目的;若刚好穿过最下面一层反射锥的间隔,向上则碰到分离器中间一层反射锥下面的平面从而起到分离作用。若少量生物载体穿过了下面两层反射锥,则最上面一层反射锥将进一步分离这少量的生物载体,从而提高分离器的分离效果。分离器反射锥上面的斜面是为了防止载体在反射锥上停留。

集气筒的作用是将反应区的剩余气体进行收集,防止气体进入气浮分离器影响气浮分离效果。集气筒下部的伞形结构可以使大部分反应区的剩余气体进入集气筒,而进入气浮分离器的出水从集气筒伞形结构的边缘通过,这样可以达到气液的分离。载体分离器和集气筒一起构成了反应器的三相分离器。

2.3 好氧区颗粒载体与缺氧区半软性填料

好氧区的填料应用了一种颗粒状的橡胶载体。该载体来源于废旧轮胎橡胶粉碎后形成的颗粒,该载体密度为 1.1 g/cm^3 ,粒径 $3 \sim 5 \text{ mm}$ 。该载体为有机材料,耐碰撞和摩擦,密度接近于水,易于循环流化,动力消耗小。

缺氧区填料为球形半软性填料。该填料的目的是使反应器缺氧区形成固定生长的生物膜,从而使缺氧区存在丰富的反硝化细菌。

3 中试反应器的设计尺寸

根据上述原理以及实验室的研究,设计出了处理水量 $20 \text{ m}^3/\text{d}$ 的好氧-缺氧一体化高效分离生物流化复合反应器。中试反应器直径 1000 mm , 内部缺氧区直径 500 mm , 反应器反应区高度 2000 mm , 整体高度 2800 mm 。好氧区在平面上平均分成 6 格, 升降流区面积比 $A_r/A_d = 1$; 每格水力直径为 0.35 m , 好氧区高度与水力直径之比 $H/D = 5.71$ 。气浮池高度为 0.6 m 。

根据设计水量及反应器尺寸得出各个反应区的水力停留时间分别为好氧区 1.5 h , 缺氧区 0.5 h , 气浮分离器 22 min 。

4 处理生活污水的试验结果

从 2003-10-25—12-25 间, 对好氧-缺氧一体化高效分离生物流化复合反应器进行了处理生活污水的试验。进水为污水厂沉砂池的出水。试验期间为冬季, 反应器所在处室温为 5°C , 污水温度为 11°C 。橡胶载体投加量为反应器好氧反应区体积的 10% , 缺氧区投加球形半软性填料。处理生活污水, 该反应器挂膜启动可不投加接种污泥, 直接进水运行即可快速启动。反应器经 1 周启动运行即可使 COD_Cr 达到较好的去除效果, 启动运行期间 HRT 为 1.2 h , 保持载体流化和供气的气量为 $5.0 \text{ m}^3/\text{h}$, 相当于气水比 $5:1$ 。

正常启动后, 保持 HRT 为 1.2 h , 并且从 10-25 开始对处理效果进行监测。由于气温较低, 并且启动时间较短, 世代周期较长的自养硝化菌还较少, 因此重点监测反应器对有机物的去除效果。图 4 是启动后 2 个月反应器对 COD_Cr 的去除效果。

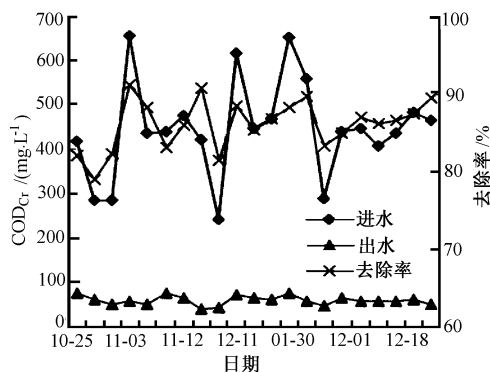


图 4 COD_Cr 进、出水及去除率变化图

从图 4 可以看出, COD_Cr 进水浓度平均为

446.62 mg/L , 出水平均浓度为 59.6 mg/L , 去除率为 86.06% 。进水 COD_Cr 在从 $241.4 \sim 658.35 \text{ mg/L}$ 之间波动时, 对 COD_Cr 出水的影响很小, 这表明了该反应器由于接近完全混合型反应器, 因此具有抗冲击负荷的特点。

5 结论

(1) 好氧-缺氧一体化高效分离生物流化复合反应器对好氧区分格结构的改进, 使得当反应器处理规模增大时, 在不提高反应器总体高度的基础上, 保证了循环流化区的高径比。另外这种分格结构增加了大型反应器的整体强度, 有利于实现大型反应器的工业应用。

(2) 循环流化反应器与高效气浮分离反应器的耦合, 克服了以沉淀原理为基础的固液分离效果不佳的状况, 既可以保证出水水质, 又可以实现反应器的一体化。

(3) 实现了循环流化反应器好氧-缺氧一体化的结合, 并且通过气体提升方式实现了好氧反应区向缺氧反应区液体的回流, 使该反应器能够实现脱氮和部分除磷的目的。

(4) 处理生活污水的初步试验结果表明, 该反应器具有很好的抗冲击负荷和在较短的 HRT 去除有机物的性能。

参考文献

- [1] 周平, 钱易. 空气提升内循环生物流化床反应器动力学研究. 环境科学, 1996, 17(6): 9-12.
- [2] 周平, 钱易. 内循环生物流化床处理生活污水的实验研究. 给水排水, 1998, 24(10): 28-31.
- [3] Russell A. B., Thomas C. R., Lilly M. D. The influence of vessel height and top-section size on the hydrodynamic characteristics of airlift fermentors. Biotechnology and Bioengineering, 1994, 43: 69-76.
- [4] 卢刚, 郑平. 气升式内环流反应器流体力学特征探讨. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2003, 29(2): 188-194.
- [5] 周平, 钱易. 内循环生物流化床反应器的理论分析. 环境科学, 1994, 16(2): 88-90.
- [6] 张玉魁, 施汉昌. 新型生物流化复合反应器的设计及气含率测定. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(7): 74-78.

作者通讯处 张玉魁 100083 北京市海淀区牡丹园北里甲 2 号市政投资商务楼 305 房间 北京市政投资有限公司

E-mail zhangyukui @tsinghua.org.cn

PILOT STUDIES ON TREATING MUNICIPAL SEWAGE UNDER NORMAL TEMPERATURE BY MODIFIED EGSB Zhang Xuanjun Ma Xiujuan Zhou Xuifei et al (7)

Abstract It is examined that the effects of circumfluence ratio ,hydraulic retention time and volume loading rate on treating urban sewage by modified expanded granular sludge bed(EGSB) . The results show that the effluent COD_{nit} of modified EGSB is decreased as circumfluence ratio increasing and hydraulic retention time decreasing ,however ,effluent SS , COD_{nit} and COD_{Cr} are increased evidently when hydraulic retention time is lower than 2 h. As compared with unmodified EGSB ,effluent COD_{Cr} of modified EGSB is decreased by 26.7 mg/L and COD_{nit} is decreased by 17.8 mg/L ,while SS is also decreased by 66.3 mg/L. The modified EGSB and unmodified EGSB became unstable when volume loading rate increased abruptly ;however , modified EGSB can recover from impact easier than unmodified EGSB.

Keywords EGSB ,municipal sewage ,volume loading rate and impact

STUDY ON BIOLOGICAL FLUIDIZED REACTOR OF AEROBIC-ANOXIC INTEGRATED HIGH-EFFICIENCY SEPARATION Zhang Yukui Shi Guifang Shi Hanchang (10)

Abstract As the requirements of phosphorous removal and denitrification in wastewater treatment , and there are some shortcomings in inner circulated three-phase biological fluidized bed , we designed and developed a kind of biological fluidized reactor of aerobic-anoxic integrated high-efficiency separation (BRAIH) . A kind of unique cellular structure is used in aerobic fluidized area of BRAIH. When volume of BRAIH is increased ,and height of BRAIH is not added , height-diameter ratio of fluidized area (H/D) can be ensured. While solid and liquid separation based on sedimentation on inner circulated fluidized bed can not ensure water quality of effluent , coupling of circulated fluidized reactor and high-efficiency air floatation can reduce suspended solid (SS) of effluent. Aerobic area and anoxic area are together in BRAIH ,and through air lifting can realize backflow of aerobic area effluent ,so BRAIH can achieve denitrification and part phosphorous removal. By treatment of municipal wastewater ,it is proved that BRAIH can effectively resist impact load and remove organic substance.

Keywords aerobic-anoxic integration ,high efficiency separation ,biological fluidization ,air floatation and carrier separator

DISPOSING THE BACTERICIDE WASTEWATER WITH THE PROCESS OF OXIDATION-MICROELECTROLYSIS-MEMBRANE BIOREACTOR Han Weiqing Zhou Gang Wang Lianjun et al (13)

Abstract A production wastewater contains lots of organic compounds and inorganic salts ,and especially it has isothiazoline-ketone and sulfide ,which are harmful to the bacteria disposing the wastewater. The ratio of BOD_5 to COD_{Cr} is smaller. Therefore it is very difficult to decompose by conventional biochemical treatment technologies. Making use of the wastewater disposing project of oxidation-microelectrolysis-membrane bioreactor can get a good operation. And the indexes of the effluent can meet the national emission standard.

Keywords oxidation , micro-electrolysis , membrane bioreactor ,isothiazoline-ketone and sulfide

TREATMENT OF LOW C/N LANDFILL LEACHATE BY PROCESS OF SHORT-RANGE NITRIFICATION-DENITRIFICATION Li Jun Peng Feng He Jianping et al (15)

Abstract As to the characteristics of landfill leachate and some problems in the traditional process of biologic nitrogen removal ,combined with research conditions at the present both at home and abroad ,it is put forward a new process that can treat landfill leachate with short-range nitrification-denitrification. The nitrite accumulation and ammonia removal rate have been performed steadily by controlling average dissolved oxygen concentrations of 2.0 mg/L and temperature of (30 ± 2) in the nitrifying activated sludge reactor ,and nitrite accumulation rate $[NO_2^- -N / (NO_2^- -N + NO_3^- -N)]$ and ammonia removal rate can be maintained at 83 % and 85 % ,respectively. The results of the experimentation indicate that as compared with traditional process of biologic nitrogen removal ,the process has obvious higher sludge load rate ,lower oxygen consumption and carbon requirement as well as a higher efficiency and velocity of denitrification ,and so it has a higher TN removal rate accordingly.

Keywords biologic nitrogen removal ,landfill leachate ,low C/N and short-range nitrification-denitrification

TREATMENT OF SLIGHTLY POLLUTED YELLOW RIVER RAW WATER USING TWO BIOFLM REACTORS Shi Dongwen Chen Jianbo Xi Danli et al (18)

Abstract COD_{Mn} removal by bio-ceramic filter was similar to that by moving bed biofilm reactor ,however ,the former process demonstrated a much higher removal efficiency of UV_{254} ,chloroform precursors and chlorophyll a (Chla) . Bio-ceramic filter also had better ammonia removal rate and nitrite in its effluent was lower.

Keywords moving bed biofilm reactor ,bio-ceramic filter ,pretreatment and Yellow River water

PRELIMINARY STUDY ON THE DYEING WASTEWATER TREATMENT BY HYDRODYNAMIC CAVITATION TECHNIQUE Wei Qun Xiao Bo (21)

Abstract Hydrodynamic cavitation is a new technique in wastewater treatment. The degradation of rhodamine B has been studied on a hydrodynamic cavitation set-up using multiple hole orifice plates. The experimental results showed that rhodamine B is really decomposed by hydrodynamic cavitation. There are the optimal geometric parameters and operating conditions in the system and the degradation rate of rhodamine B increases with decreasing the value of the modified cavitation number.