复合式生物膜—活性污泥工艺处理城镇污水工程实例

刘　硕[1]　王宝贞[1]　王　琳[1,2]　何圣兵[3]

(1 哈尔滨工业大学市政环境工程学院,哈尔滨　150090;
2 中国海洋大学,青岛　263000;3 上海交通大学,上海　200030)

摘要　山东省东阿县污水处理工程是复合式生物膜—活性污泥工艺应用于山东省县级城镇污水处理的示范推广工程。在近三年的运行中,该系统保持了良好稳定的处理效果。该工艺通过与生态塘—湿地联用,对 COD_{Cr}、BOD_5、氨氮、总氮、总磷和 SS 的去除率分别可达 90%,95.7%,93.5%,80%,92.6%和 96.2%。出水达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的二级排放标准,是集高效生物处理工艺和生态景观于一体的城镇污水处理厂。

关键词　城镇污水　复合式生物膜—活性污泥工艺　生态塘　湿地

0　引言

我国越来越多的县级城镇正在开始兴建污水处理厂,其处理规模一般为 2 万～5 万 m^3/d,有些较大规模县级市城镇的污水处理厂的设计规模达到 5 万～10 万 m^3/d。我国中小型城镇污水的主要特点是处理规模小,污水的日变化量和时变化量波动较大,水质波动较大,工业废水的流量和浓度大,这就使城镇污水处理厂的冲击负荷较为频繁,尤其是有毒有害污染物随污水进入污水处理厂而对生物反应池中活性污泥或生物膜中的微生物群落有毒害和抑制作用,使其变质并失去活性,从而导致处理施设不能正常运行。同时,由于缺乏建设资金,管理技术水平低下,采用活性污泥法等工艺的污水处理厂,有相当一部分不能正常运行。

相应提高,有效氯、高锰酸钾和臭氧的投加量应分别提高到 2.5 mg/L、1.2 mg/L 和 1.5 mg/L 以上。

(3) 混凝沉淀工艺在除藻的同时也降低了水体中总藻毒素 TMC 的含量,去除率为 51.4%,但却导致水中溶解性藻毒素 DMC 含量增加。

(4) 预氧化加混凝沉淀联合作用可提高对水中藻毒素的去除率,加氯、加高锰酸钾和加臭氧后比未投加预氧化剂对藻毒素的去除率可分别增加 27.2%、35.7%和 38.6%。且两者的联合作用可避免水体中溶解性藻毒素的增加。

(5) 中试结果表明,经不同氧化剂、混凝剂作用后,藻类含量降低的同时部分藻细胞内的毒素也被释放到水体中,低投加量的化学药剂虽然对释放到水体中 MC 也有一定的去除作用,但总的作用效果是使水中 DMC 含量增大。要减少水体中 DMC 的含量应该相应增加氧化剂的投加量。

(6) 经中试系统气浮过滤处理后水中 DMC 含量降低,而滤后的中间氧化、催化氧化、生物活性炭、消毒等工艺出水均未检测到 DMC。表明过滤后的深度处理工艺对藻毒素有明显的去除效果。

参考文献

1　Dawson M. The toxicology of microcystin. Toxicon, 1998, 36(7):953～962

2　WHO. Guidelines for drinking-water quality. Third edition. Geneva: World Health Organization, 2004, 195

3　Lawton L A, Robertson P K J. Physico-chemical treatment methods for the removal of microcystins from potable waters. Chem Soc Rev, 1999, 28:217～224

4　国家环境保护总局编. 水和废水监测分析方法. 第 4 版. 北京:中国环境科学出版社, 2002

5　Tsuji K, Watanuki T, Kondo F, et al. Stability of microcystins from cyanobacteria-iv. Effect of chlorination on decomposition. *Toxicon*, 1997, 35(7):1 033～1 041

6　孙韶华, 贾瑞宝. 含藻水库水中微囊藻毒素的混凝处理研究. 净水技术, 2005, 24(1):18～20

○电话:(029) 82203677
E-mail: jianweizhao@163.com
收稿日期:2005-11-14
修回日期:2006-02-24

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

自 2003 年 7 月 1 日起开始实施的《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中,对出水氨氮有了新的要求,对总氮和粪大肠菌群也提出了明确的要求,同时对污水中一些难降解物质的去除也提出了较高的要求。这就使中小型城镇污水处理厂在工艺的选择上除了应采用抗冲击负荷性强,运行稳定,基建费用低,耗能量低并易于操作和运行管理的处理工艺外,还应考虑选择能达到新标准对氮和磷的去除要求的工艺。

复合式生物膜—活性污泥工艺是一种高效的污水处理技术,它在传统同步脱氮除磷工艺的基础上通过向生物反应池中各区装填生物膜载体,使悬浮生长的微生物(活性污泥絮体)与附着生长的生物膜共存在一个生物反应池中[1,2]。该工艺抗冲击负荷能力强,反应池单位体积内生物量大,投资少,运行费用低,同时易于维护和管理,是一种适于在中小型城镇推广的污水处理工艺。

1 工程概况

采用复合式生物膜—活性污泥工艺的山东省东阿县污水处理厂建成于 2002 年 10 月,设计处理能力 4 万 m^3/d,占地面积 2.89 hm^2,经过近三年的运行,处理效果稳定,出水水质良好。

1.1 工艺流程(见图 1)

1.2 构筑物及设备

(1) 格栅。粗、细格栅均采用机械格栅,不锈钢材质,栅条间距分别为 30 mm 和 10 mm,配备螺旋压榨输送机,使栅渣直接在输送过程中完成干化和压榨,降低了栅渣的含水率,同时也改善了周围的工作环境。

(2) 污水提升泵房。1 座,格栅出水经过扩散段进入污水泵房的集水池,在污水提升泵房的集水池内设置 5 台可提式潜水无堵塞污水泵,4 用 1 备。水池上部设有 12 m ×5.7 m 的房间 1 座,内部放置潜水泵出水管路上的阀门。

(3) 曝气沉砂池。2 座,单池平面尺寸 18 m ×3.6 m ×4 m,采用平流曝气沉砂形式,在其中可以完成砂水分离和浮渣的清除。设桥式吸砂机 1 台,旋流式砂水分离器 1 台。

(4) 复合式生物膜—活性污泥反应池。2 座,钢筋混凝土结构,共 5 廊道,每廊道平面尺寸 44 m ×6 m ×5.5 m。第一廊道为厌氧段,第二廊道的前半段为缺氧段,后半段可根据实际运行的需要调节 DO 值,作缺氧或好氧段,后 3 个廊道为好氧段。反应池设计 HRT 7.92 h,设计污泥浓度 MLVSS6 000 mg/L(为悬浮生长的微生物与固定生长的微生物的总计),设计污泥负荷 F_w = 0.098 kgBOD$_5$/(kgVSS ·d)。生物池采用球状网格型填料,填料布设在填料框架上,总体积为 7 848 m^3。曝气设备为微孔管式曝气器。

(5) 二沉池。4 座,池体直径 25 m,深度4 m,有效水深 3.5 m,水力表面负荷 1.02 $m^3/(m^2 \cdot h)$。辐流式沉淀池,周边进水周边出水。在配水槽的内壁安装浮渣斗收集二沉池内的浮渣。沉泥采用 ZXX 型中心传动双管式吸泥机排泥,连续吸泥和刮渣。

(6) 集配水井。1 座,内径 3 m,外径 8 m,池深 4 m,生化池出水由管道输送至二沉池集配水井的中圈,由集配水井将进水通过 4 根配水管平均配入二沉池。集配水井的外圈用于收集二沉池的出水。内圈收集二沉池的排泥和浮渣。集配水井的集水和配水管均采用提板闸门进行控制。

(7) 生态塘。1 座,池体呈不规则带状,有效水深 1.5 m,HRT 0.8 d。在前端敷设 2 台潜水泵,1 用 1 备,用作回用水水源。

(8) 污泥处理单元。包括污泥储池 1 座,平面尺寸 5 m ×4 m,有效水深为 2.35 m,污泥停留时间为 2.35 h;污泥脱水机房 1 座,平面尺寸 18 m × 24 m,内设 2 台 ZNDY1000 型转筒浓缩带式脱水机,1 用 1 备;污泥泵房 1 座,平面尺寸 6 m ×6 m,用

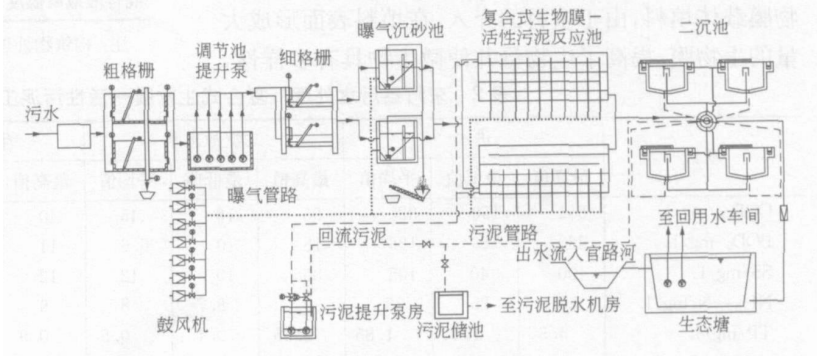

图 1 东阿县污水处理厂工艺流程

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

于提升二沉池中的污泥,并回流至生物膜—活性污泥反应池的首端。污泥泵房内设2台潜污泵,1用1备。

(9) 鼓风机房。1座,平面尺寸42 m×12 m×7.5 m。内设7台罗茨鼓风机,6用1备。为复合式生物膜—活性污泥反应池和曝气沉砂池提供溶解氧。控制方式可根据淹没式生化池中溶解氧的含量调节鼓风机的叶片角度和运行台数。

1.3 工艺特点

1.3.1 取消初沉池

在污水处理流程中,取消了初沉池,简化了工艺流程的同时,也可以保证复合式生物膜—活性污泥反应池有足够量和适当比例的C、N、P源,以进行活性污泥和生物膜的正常增长和同化,否则BOD_5浓度太低,将导致活性污泥的负增长,难以维持生物反应池的正常运行。此外,取消初沉池,有助于改善后沉池的活性污泥沉淀效果和剩余活性污泥的脱水效果[3]。

1.3.2 曝气沉砂池

采用平流式曝气沉砂池,去除颗粒直径大于0.25 mm的砂粒及其他无机颗粒,同时通过气浮除去相对密度<1的油脂等,以保证后续处理单元的管道和设备免受砂粒的磨损,提高污泥的流动性能,防止后续处理构筑物管道的堵塞,提高污泥有机组分的含量,以供作有机肥料或土地改良剂。

1.3.3 复合式生物膜—活性污泥反应池

核心生物处理单元采用淹没式生物膜与活性污泥法相结合的复合式生物反应池,在前部设置缺氧段,后接厌氧段,最后为好氧段,其容积比为1∶1∶3,并在其中加设比表面积较大的聚乙烯多面球型生物膜载体填料,由于填料的介入,在填料表面形成大量的生物膜,提高了生物量并使微生物具有多样性,如含有厌氧、兼性和好氧细菌,增加了反应池的抗冲击负荷及处理难降解有机物的能力。由表1中可以看出,在东阿县污水处理厂的运行期间,由于城镇污水的特性使进水的水质水量波动较大,尤其是COD和NH_3-N的冲击负荷在污水处理厂的调试和试运行期间均超过了设计值。

在曝气适宜的条件下,附着生长在填料表面的生物膜由于存在氧气扩散渗透阻力形成DO梯度分布,使生物膜内层供氧不足甚至处于厌氧状态,这样在生物膜中形成了由厌氧菌、兼性菌和好氧菌以及原生动物和后生动物形成的长食物链的生物群落,能有效地将不能好氧生物降解的COD部分厌氧降解为可生化的有机物,并能去除一定量的氮和磷,而且缺氧段和厌氧段还能有效地控制丝状菌的繁殖,抑制污泥膨胀,并能使剩余污泥量大幅度减少,使二沉池污泥沉降和脱水性能良好。二沉池的剩余污泥部分回流至复合式生物反应池的前端,在缺氧、厌氧和好氧的条件下可使磷得到较高的去除率,从而能达到GB 18918—2002的二级排放标准。在好氧段

表1 复合式生物膜—活性污泥反应池(单池)设计及实际运行负荷

参数	设计值	2002(10～12月)	2003(全年)	2004(全年)
平均流量/ m^3/ h	833.33	462.96	686.23	757.48
BOD_5/ kgBOD_5/ d	4	3.89	3.21	3.05
COD_{Cr}/ kgCOD_{Cr}/ d	8	9.56	7.54	7.81
TN/ kgBOD_5/ d	0.8	0.998 6	0.81	0.768
NH_3—N/ kgCOD_{Cr}/ d	0.6	0.831 6	0.615	0.548
TP/ kgCOD_{Cr}/ d	0.1	0.085	0.09	0.095
TSS/ kgCOD_{Cr}/ d	4	5.6	3.89	4.65
混合液最低温度/ ℃	10	13	13.2	15
混合液最高温度/ ℃	30	16	31.5	30.8

注:构筑物处理能力2万 m^3/ d。

表2 东阿县污水处理厂复合式生物膜—活性污泥工艺的运行效果

项目	进水			二沉池出水			生态系统出水			去除率/ %		
	最高值	最低值	平均值	最高值	最低值	平均值	最高值	最低值	平均值	最高值	最低值	平均值
COD_{Cr}/ mg/ L	651	150	320	55	16	45	40	15	20	95.5	80.1	90
BOD_5/ mg/ L	260	69	126	18	10	6.6	11	3	2.5	95	88.5	95.7
SS/ mg/ L	400	40	105	35	10	12	12	2.5	6.6	97.4	86.9	96.2
NH_3—N/ mg/ L	50.9	25	35	30	6.7	8	6	0.98	1.2	88.2	79.8	93.5
TP/ mg/ L	4.5	1.4	1.85	3.65	0.45	0.5	0.9	0.86	0.12	80	70.6	92.6
TN/ mg/ L	58.9	36.2	40.5	27.8	12.7	12.5	20.2	7.3	8.5	69	59.8	80

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

采用 5 h 左右的停留时间,整个处理工艺简化并节约运行费用。此外,由于生物膜的生态系由较长的食物链组成,即细菌、藻类—原生动物—后生动物等组成的生物链(网),通过高营养级生物的捕食作用,使剩余污泥量大为减少,大约仅为活性污泥法的 1/5～1/3,而不必再进行污泥厌氧或好氧消化,故取消了污泥消化池,这样使污水和污泥处理的工艺流程大为简化,既节省了基建费,也节省了运行和维护费。而且污泥的沉淀性能和脱水效果也得到改善。

1.3.4　二沉池

采用了穿孔管及其出水端加可调水位的溢流桶出水系统的辐流式沉淀池,克服了溢流堰出水不均匀及风力影响等缺点,水力流态更均匀稳定,有利于泥水分离。

1.3.5　生态系统

生态系统的作用是使二沉池出水进一步净化和稳定。它是设计和运行良好的最后净化系统,采用生态塘、人工湿地(均匀进水、布水和出水系统,种植高密度芦苇、水葱、蒲草、香蒲、灯心草等的地表径流式人工湿地)和净化塘组合。既能进一步有效地去除水中的有机污染物和氮、磷等导致水体富营养化的物质,还能有效地杀灭细菌、病原原生动物和病毒。生态系统的设置替代了传统的二级处理厂利用投氯消毒的方式,减少设备投资和运行费用,还能有效地抑制和防止消毒副产物的生成,保护了水资源和水环境。

2　系统处理效果

东阿县污水处理厂在近三年的运行中,处理效果良好(见表 2),出水水质稳定,而且随着运行时间的增加,复合式生物膜—活性污泥反应池中填料上附着的生物量也不断增加,并达到了稳定的状态。系统的出水均达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的二级排放标准,在温暖季节整个复合式生物膜—活性污泥处理系统—生态塘的出水甚至达到国家对城镇污水二级处理厂的新标准 GB 18918—2002 的一级 A 类的排放标准。经生态系统处理后,最后出水水质:SS 和 BOD_5 ≤10 mg/L(温暖季节 ≤5 mg/L);TN ≤10 mg/L,NH_3-N ≤2 mg/L;TP ≤1 mg/L;细菌总数减少 99.99 %,大肠杆菌减少 99.9 %。

2.1　影响有机物去除的主要因素

Mohamed F 等人的研究表明,在固定式生物膜处理系统中,当悬浮态微生物的数量低于 120 mgVSS/L 时,含碳有机物最初是通过固着态微生物的作用去除的。在固着态微生物对有机物的去除过程中,去除效率还受进水有机物负荷、水力停留时间和气水比等其他因素影响,下面就东阿县污水处理厂在运行过程中对有机物去除可能产生影响的因素进行讨论[4]。

2.1.1　BOD_5 容积负荷对有机物去除的影响

在复合式生物膜—活性污泥系统的设计中,BOD_5 容积负荷为 0.8 kgBOD_5/(m^3·d),去除率为 87 %。在污水处理厂的运行期间其出水的 BOD_5 去除率与 BOD_5 容积负荷之间的关系见图 2。

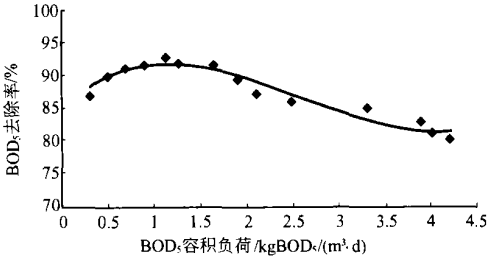

图 2　不同容积负荷下 BOD_5 的去除率

由图 2 可见,在运行期间 BOD_5 负荷最低为 0.31 kgBOD_5/(m^3·d),最高为 4.21 kgBOD_5/(m^3·d),对应的 BOD_5 去除率分别为 87 %和 80 %。在 BOD_5 负荷在 0.5～1.6 kgBOD_5/(m^3·d)的范围内 BOD_5 去除率都达到了 90 %以上。由此可看出,当 BOD_5 负荷在设计负荷的周围有较大波动时,系统都可以达到预计的去除效果,这也反映出复合式生物膜—活性污泥系统具有较强的抗冲击负荷能力。

2.1.2　气水比对有机物去除效率的影响

东阿县污水处理厂所采用的风机为三叶罗茨风机,单机风量为 Q = 30.9 m^3/min,P = 58.8 kPa,6 用 1 备。在污水处理厂的设计中所采用的气水比为 6∶1,在实际运行中发现,随着进水污染物浓度的波动,应对复合式生物膜—活性污泥反应池中的气水比进行调节,而调节的手段则是通过复合式生物膜—活性污泥反应池中的 DO 值来开启或关闭风机。从理论上讲,充足的 DO 是促进好氧微生物生长繁殖的重要条件,但是气水比并不是越大越好。在反应池中,过大的曝气量会加速生物膜的脱落,影

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

响出水水质,也加速了反应池内微生物对有机物的消耗速率。当有机底物的浓度降低到一定值后,在较高的 DO 条件下,微生物就会自身氧化,结果就会导致悬浮态的微生物絮体松散,不易沉降,影响出水水质。表 3 所示为在忽略氨氮去除所消耗 DO 的条件下(数据取自调试期间,当时由于气温的原因,系统中的硝化菌生长缓慢,系统对氨氮的去除效果很低,可以忽略其硝化过程中对 DO 的消耗),不同气水比对好氧段 COD_{Cr} 去除率的影响。采用 2∶1 的气水比相当于开 2 台风机,4∶1 的气水比相当于开 4 台风机,6∶1 的气水比相当于开 6 台风机。由表 3 可见,提高气水比有利于反应池内有机物去除效率的提高,考虑到电能的消耗,应在保证出水水质的前提下,尽量减少风机的开启数。

表 3　不同气水比对好氧段 COD_{Cr} 去除率的影响

气水比	进水/ mg/ L	出水/ mg/ L	去除率/ %
2∶1	398.41	53.75	75.38
4∶1	405.33	75.23	81.43
6∶1	388.47	95.62	86.51

3　结论及工艺改进方案

(1) 复合式生物膜—活性污泥工艺的处理效率高,抗冲击负荷能力强,运行的最高容积负荷达到了 4.21 $kgBOD_5/(m^3 \cdot d)$;对有机污染物的去除率高,在生态塘的强化处理下,COD_{Cr}、BOD_5、NH_3—N、TN、TP 和 SS 的去除率分别达到了 90 %、95.7 %、93.5 %、80 %、92.6 %和 96.2 %;生物反应池中的生物量大,占地面积小;由于生物膜的食物链和在厌氧、缺氧环境中的酸化、水解等因素,剩余污泥有良好的稳定性和脱水效果,产量也大幅度减少,大约仅为活性污泥法的 1/5～1/3,而不必再进行污泥厌氧或好氧消化,故取消了污泥消化池,减少了污泥处理装置和费用。

(2) 复合式生物膜—活性污泥工艺流程简单,取消了初沉池和污泥消化池,使整个污水处理厂更易于操作和维护,同时可通过中央控制室实现对各处理单元的实时控制,减轻了操作人员的工作量。

(4) 随着新型填料的不断发展,可采用表面多孔的悬浮填料或织物型填料来替代传统的多面球型填料,以克服传统填料由于表面光滑而使生物膜脱落的缺点,同时由于新型填料的比表积更大,所承载的生物量也更大,从而使反应池中单位体积的生物量增大,可减少反应池停留时间,节约占地面积。

(5) 对于土地短缺的地区,不适宜采用生态塘强化处理,可以通过在复合式生物膜—活性污泥反应池加设混合液内回流系统以实现氮的高效去除,同时在生物反应池前端加设预缺氧区,使反应池中划分成预缺氧区、厌氧区、缺氧区和好氧区,有利于生物除磷的实现。

参考文献

1　Wang B Z, Li G Q, Yang Q D, et al. Nitrogen removal by a submerged biofilm process with fibrous carriers. Water Science and Technology, 1992, 26(9～11): 39～42

2　Wang B Z, Li J, Wang L. Mechanism of phosphorus removal by SBR submerged biofilm system. Water Research, 1998, 32(9): 2633～2638

3　王宝贞,王琳. 水污染治理新技术—新工艺、新概念、新理论. 北京:科学出版社,2004

4　Hamoda M F, Al-Sharekh H A. Sugar wastewater treatment with aerated fixed-film biological systems. Water Science and Technology, 1999, 40(9): 313～321

◎通讯处:150090 哈尔滨市南岗区海河路 202 号哈尔滨工业大学二校区 2430 信箱

电话:(0451) 87011916

E-mail: liushuo_hit@163.com

收稿日期:2005-11-02

修回日期:2006-04-02

健康饮水必须具备的七大特征

日前,世界卫生组织在《生活饮用水质准则》中指出了理想的健康水应具备七大特征:

(1) 不含任何对人体有毒、有害及有异味的物质;

(2) 富含多种人体健康所需的矿物质微量元素;

(3) pH 呈弱碱性;

(4) 水中溶解氧适度;

(5) 水分子团小;

(6) 水的媒介营养生理功能要强;

(7) 水中溶解氧及二氧化碳含量要适中。

有关专家表示,倡导健康饮水新标准是一件系统工程,因此不仅需要全社会的参与,还需要企业在产品研发上储备实力。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net