

文章编号:1673-9469(2011)03-0042-05

改良型氧化沟脱氮除磷的正交试验研究

李艳平¹,刘 强²,李思敏³

(1.华北电力大学科技学院 建筑工程系,河北 保定 071000;2.徐水县住房与城乡建设局,河北 保定 072550;3.河北工程大学 城市建设学院,河北 邯郸 056038)

摘要:通过正交试验研究了溶解氧(DO)、污泥浓度(MLSS)、污泥回流比(R)对改良型氧化沟脱氮除磷效果的影响。极差分析结果表明,影响COD_{Cr}、TN、TP去除率各因素的重要性顺序分别为:DO > MLSS > R、DO > R > MLSS、MLSS > R > DO。方差分析结果表明,DO和MLSS对脱碳具有较显著的影响,DO对脱氮具有较显著的影响,MLSS、R对除磷具有较显著的影响。改良型氧化沟脱氮除磷的最佳运行工况为氧化沟缺氧区DO = 0.3 ~ 0.5 mg/L、好氧区DO = 2.0 ~ 2.5 mg/L, MLSS = 5 000 mg/L,污泥回流比R = 65%。

关键词:溶解氧;污泥浓度;污泥回流比;改良型氧化沟;脱氮除磷

中图分类号: TG333.17

文献标识码: A

Orthogonal test on nitrogen and phosphorus removal of improved oxidation ditch

LI Yan-ping¹, LIU Qiang², LI Si-min³

(1. Department of Architectural Engineering, College of Science and Technology, North China Electric Power University, Hebei Baoding 071000, China; 2. Bureau of Housing and Urban - Rural development of Xushui County, Hebei Baoding 072550, China; 3. College of Urban Construction, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract: The effects of dissolved oxygen (DO), mixed liquid suspended solids (MLSS) and sludge return ratio (R) on nitrogen and phosphorus removal of improved oxidation ditch were studied through orthogonal experimental. The results of range analysis show that the importance sequences of the factors influencing the removal of COD_{Cr}, TN, TP are DO > MLSS > R, DO > R > MLSS, MLSS > R > DO, respectively. The results of variance analysis show that, DO and MLSS have significant influence on decarburization, and DO also has significant influence on nitrogen removal, MLSS and R have significant influence on phosphorus removal. In the end, it is obtained that, the best operating conditions of improved oxidation ditch for nitrogen and phosphorus removal is that the concentration of anoxic zone and aerobic zone of improved oxidation ditch was 0.3 to 0.5mg/L and 2.0 ~ 2.5mg/L, MLSS is 5000mg/L, sludge return ratio R is 65%.

Key words: dissolved oxygen; mixed liquid suspended solid; sludge return ratio; modified oxidation ditch; nitrogen and phosphorus removal

影响活性污泥生物处理系统脱氮除磷的主要因素有环境因素、水质条件和运行参数。环境因素包括温度等;水质条件包括进水C/N、C/P、有机质种类和pH等;运行参数包括曝气量、水力停留时间(HRT)、污泥龄(θ_c)、污泥浓度(MLSS)、运行周期、污泥回流比(R)及其分配比等^[1-6]。一般环境因素和水质条件不易人为控制,因此,需根据进水

条件的波动范围调整运行参数以期获得良好稳定的出水水质。笔者通过正交试验主要考察溶解氧(DO)、污泥浓度(MLSS)、污泥回流比(R)对改良型氧化沟系统处理效果的影响,以获得最佳的运行控制参数和脱氮除磷的控制条件,为采用该工艺的同类污水厂的运行管理提供一定的技术基础资料和借鉴经验。

收稿日期:2011-5-29

基金项目:河北省重大科技攻关项目(07276713D)

作者简介:李艳平(1979-),女,河北南皮县人,硕士研究生,讲师,从事水污染控制理论的教学与研究。

1 试验装置与方法

1.1 试验装置

试验工艺选择厌氧池与改良型氧化沟合建的污水处理系统,它是一个多沟串联的系统,共分为两组,其单组平面布置见图1。测试所选用的改良型氧化沟单组有效容积为 $3.2 \times 10^4 \text{ m}^3$, 沟宽9.0

m,直段长 81.00 m,有效水深 4.0 m。

1.2 试验水质

试验进水为典型的城市污水,其水质见表1所示,在试验期间,水温 $T = 16^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C}$, $\text{pH} = 7.0 - 8.3$ 。相应地,本试验主要的监测项目与方法见表2。

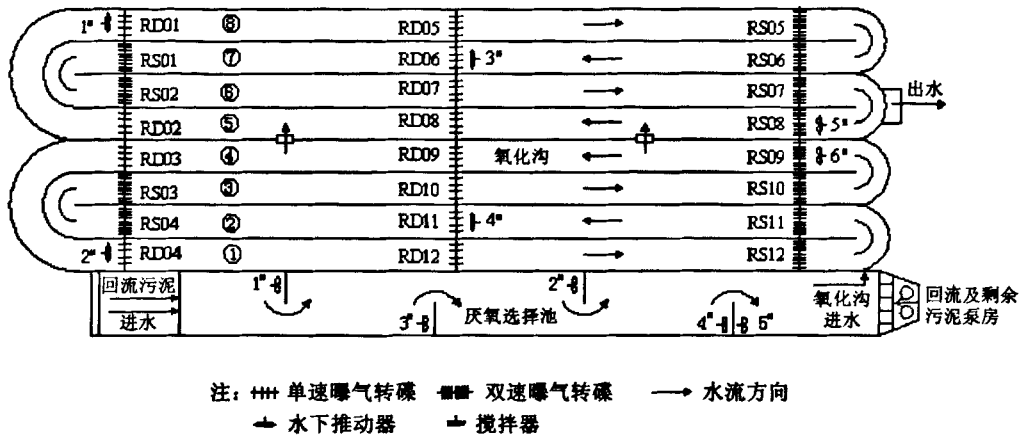


图1 改良型氧化沟单组沟平面布置图

Fig.1 The general layout of single modified oxidation ditch

表1 试验水质

Tab.1 Experimental water quality mg/L

水质指标	COD _G	BOD ₅	SS	NH ₄ ⁺ - N	TN	TP
最大值	745	392	782	37.85	90.86	11.85
最小值	75	62	86	12.34	37.60	1.89
平均值	424	240	405	24.36	66.67	5.49

表2 监测项目及其检测方法

Tab.2 Monitoring items and methods of the test

监测项目	方法	仪器
pH	PHBJ260 便携式 PH 计测定法	PHBJ260 便携式 PH 计
T	PHBJ260 便携式 PH 计测定法	PHBJ260 便携式 PH 计
DO	YSIMODEL52 型便携式溶解氧仪测定法	YSIMODEL52 型便携式溶解氧快速测定仪
SS	分光光度法	DR-2500 型分光光度计(美国哈希公司);10mL 螺旋口瓶盖密封比色瓶;
COD _G	重铬酸钾快速测定法	ET3150B 多功能消解器, 2010 型分光光度计
BOD ₅	压差法	HACH BOD ₅ 测量仪
NH ₄ ⁺ - N	纳氏试剂光度法	2010 型分光光度计, 25mL 比色瓶
NO ₃ ⁻ - N	紫外分光光度法	HACH NO ₃ - N 测定仪
TKN	凯氏法	硝化仪(温控电炉 + 冷凝装置), 2010 型分光光度计, 25mL 比色瓶
TP	过硫酸钾消解-钼锑抗分光光度法	温控电炉, 2010 型分光光度计, 25mL 比色瓶

1.3 正交试验设计及安排

为判断参数是否具有可控性及参数水平是否合理,因此在试验期间,对正交试验的各个因素及其对应的水平分别进行了如下分析。

DO 因素的考察及分析: DO 作为氧化沟系统的一个重要控制参数,其水平的高低会直接影响到好氧微生物的代谢活性及降解速率,且二级生物处理的曝气设备能耗在整个处理过程中所占能耗最大(约 45% - 60%),是整个污水厂能否正常运行的关键。由于传统氧化沟对 TN 去除率仅为 30% - 40%,而实际上,氧化沟的循环运行方式非常适于脱氮,而提高其脱氮效率的关键在于控制曝气量以使其在沟内形成缺氧段和好氧段^[7-9]。对于氧化沟处理系统来说,高的 DO 虽有利于好氧污染物的去除,但会削弱同步反硝化所需的缺氧环境,降低 TN 去除效果,同时也会过快的消耗污水中残存的或菌体内储存的有机物,使得污泥絮体解体、污泥沉降性能变差,从而影响其处理效果;过低的 DO 会使硝化受到抑制,使可能存在的同步反硝化因缺乏 $\text{NO}_x - \text{N}$ 而终止。因此,在该氧化沟系统中,各功能区合适的 DO 浓度控制就显得尤为重要,拟采用氧化沟缺、好氧区 0.2 - 0.3、1.5 - 2.0、0.3 - 0.5、2.0 - 2.5、0.5 - 0.7、2.5 - 3.0 mg/L 三个水平。

MLSS 因素的考察及分析: 活性污泥中的微生物是凝聚、吸附、氧化分解污水中有机物的主体,提高处理系统的效率与提高微生物的活性、改善污泥形状密切相关,若二沉池的沉降性能变差,将直接影响其泥水分离效果,从而会影响出水水质。同时,运行过程中的异常情况(水质、水量突变,溶解氧异常等)发生,都会首先影响活性污泥中微生物的种类、数量和活性,因此将 MLSS 作为正交试验的一个考察指标。结合本厂的实际情况,拟采

用 4 500、5 000、5 500 mg/L 三个水平。

污泥回流比(R)因素的考察及分析: 为维持系统稳定的活性污泥量(MLSS)和正常的处理过程,污泥回流是活性污泥处理系统的一个重要环节。在工艺设计和实际运行过程中,因回流污泥流量与进水流量有较大关系,故常用两者比值的大小,即污泥回流比(R)来表示。由于回流污泥量与污泥性质、沉淀池的运行状态等有关,常通过控制沉淀池污泥层高度和剩余污泥量来控制回流至氧化沟的实际污泥量^[10]。一般普通活性污泥法的污泥回流比(R)为 25% - 50%^[11],但其与废水性质、沟形、运行方式等有关,尤其对除磷效果来说更为重要,为防止污泥在沉淀池因厌氧而发生释磷现象,随氧化沟出水的污泥需携带足够的 DO 进入沉淀池,但若未能及时排泥致使池内泥层太厚,即使再高的 DO 也无法保证污泥不厌氧释磷。因此,R 不应太低,并应尽快将污泥排出^[11]。但过高的 R 必会增大回流系统和生物处理系统的能耗,且会缩短污泥在沟内的实际停留时间,从而影响系统的处理效果。结合本厂的实际情况,拟采用 50%、65%、85% 三个水平。

为了寻求氧化沟系统最佳的运行工况参数及脱氮除磷的控制条件,在试验阶段,采用 DO、MLSS、R 作为正交试验的 3 个控制因素,每个控制因素在实验中控制在 3 个水平,初步拟定的运行参数见表 3。

2 最佳运行参数的确定

2.1 多指标正交试验结果的极差分析

极差 R_i 的大小说明相应的因素作用的大小,极差越大,则说明该因素的变化对试验结果的影响越大。氧化沟系统正交试验结果与极差分析见表 4。

表 3 正交试验因素水平表

Tab.3 Factors - levels of orthogonal test

水平	(A)DO 浓度/mg·L ⁻¹		(B)MLSS/mg·L ⁻¹	(C)R/%
	氧化沟缺氧区	氧化沟好氧区		
1	0.2~0.3	1.5~2.0	4 500	85
2	0.3~0.5	2.0~2.5	5 500	65
3	0.5~0.7	2.5~3.0	5 000	50

由表4可知,按照极差 R_j 的大小排列影响系统 COD_G 、TN、TP 去除率各因素的重要性顺序分别为:DO > MLSS > R、DO > R > MLSS、MLSS > R > DO。

2.2 正交试验的方差分析

氧化沟系统正交试验的方差分析见表5。

由表5可知,对 COD_G 的去除率进行方差分析可知,DO 对系统的有机物去除有显著影响,因此须合理调整 DO 的水平,使其既能满足脱碳要求,又可最小程度的降低出现过量曝气的概率,以节省运行费用、降低能耗,并可使该系统的低碳源进水水质优先满足脱氮除磷的需要。同时,MLSS 对

表4 氧化沟系统正交试验结果与极差分析
Tab.4 Orthogonal test results of oxidation ditch and rang analysis

—	序号	A(DO/mg·L ⁻¹)		B (MLSS/mg·L ⁻¹)	空列	C(R/%)	试验指标(去除率/%)		
		氧化沟 缺氧区	氧化沟 好氧区				COD_G	TN	TP
试验结果	1	0.2~0.3	1.5~2.0	4 500	1	85	85.76	48.17	73.63
	2	0.2~0.3	1.5~2.0	5 500	2	65	78.74	51.23	84.62
	3	0.2~0.3	1.5~2.0	5 000	3	50	84.13	46.68	85.71
	4	0.3~0.5	2.0~2.5	4 500	2	50	89.54	53.13	84.85
	5	0.3~0.5	2.0~2.5	5 500	3	85	85.57	56.79	81.56
	6	0.3~0.5	2.0~2.5	5 000	1	65	93.30	60.73	92.87
	7	0.5~0.7	2.5~3.0	4 500	3	65	90.41	51.29	82.43
	8	0.5~0.7	2.5~3.0	5 500	1	50	85.62	44.15	87.16
	9	0.5~0.7	2.5~3.0	5 000	2	85	91.66	55.72	86.60
COD_G 去除率	\bar{k}_{1j}	82.88	88.57	88.23	87.66				
	\bar{k}_{2j}	89.47	83.31	86.65	87.48				
	\bar{k}_{3j}	89.23	89.70	86.70	86.43				
	R_{1j}	6.59	6.39	1.58	1.23				
TN 去除率	\bar{k}_{1j}	48.69	50.86	51.02	53.56				
	\bar{k}_{2j}	56.88	50.72	53.36	54.42				
	\bar{k}_{3j}	50.39	54.38	51.49	47.99				
	Rk_{ij}	8.19	3.65	2.34	6.43				
TP 去除率	\bar{k}_{1j}	81.32	80.30	84.55	80.60				
	\bar{k}_{2j}	86.43	84.45	85.36	86.64				
	\bar{k}_{3j}	85.40	88.39	83.23	85.91				
	R_j	5.11	8.09	2.13	6.04				

表5 氧化沟系统正交试验的方差分析
Tab.5 Orthogonal test results of oxidation ditch and variance analysis

项目	方差来源	S_j	f_j	\bar{S}_j	F	显著性	备注
COD_G 去除率	A(DO)	83.8945	2	41.9472	11.2110	显著	
	B(MLSS)	69.7265	2	34.8632	9.3177	显著	$F_{0.05}(2,2) = 19.00,$ $F_{0.1}(2,2) = 9.00$
	C(R)	2.6631	2	1.3316			
	e	4.8201	2	2.4100			
TN 去除率	A(DO)	112.1505	2	56.0752	12.5168	显著	
	B(MLSS)	25.7103	2	12.8552	2.8695	不显著	
	C(R)	73.1412	2	36.5706	8.1631	不显著	
	e	8.96	2	4.48			
TP 去除率	A(DO)	43.7584	2	21.8792	6.3455	不显著	
	B(MLSS)	98.1918	2	49.0959	14.2390	显著	
	C(R)	65.2558	2	32.6279	9.4628	显著	
	e	6.896	2	3.448			

系统的有机物去除也有显著的影响,这主要是因为 MLSS 的增加,会增加氧的传质阻力,从而使得有机物的降解受到影响,因此在满足系统出水水质的前提下,应尽可能将 MLSS 控制在较低范围内,以便满足脱碳要求。

对 TN 去除率的方差分析可知,DO 对该氧化沟系统脱氮具有显著的影响,其次是 R,而 MLSS 对系统脱氮率影响较小。这是因为,DO 的水平控制会直接影响到整个系统的硝化反硝化程度,进而影响到系统的脱氮效果。而在一定范围内,R 越大,在氧化沟缺氧区得以反硝化去除的硝态氮越多,因而脱氮效果越好。而从表 4、表 5 可知,MLSS 对该系统的脱氮效果也有一定的影响,在一定范围内,MLSS 越高,脱氮率越大。这是由于高浓度的活性污泥使缺氧过程中脱氮负荷大大降低,提高了脱氮速率;对好氧过程而言,维持高浓度活性污泥也是有利的,它降低了污泥负荷并提高了污泥龄,有利于硝化菌的生长。此外,高浓度活性污泥有利于在污泥絮体内部形成缺氧状态,实现好氧条件下的反硝化,这有利于降低氧化沟系统出水中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度。

对 TP 去除率的方差分析可知,MLSS、R 对该氧化沟系统除磷具有显著的影响,其次是 DO。从表 4 可知,在一定的 MLSS 条件下,高 MLSS 有利于系统中磷的去除,这和 Srinzth 和 Finstein 的研究所得出的结论一致,其原因可能是相应地污泥中的聚磷菌数量增加了^[1]。R 的控制对磷的影响在于,R 越大,进入厌氧选择池的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 越多,反硝化所消耗的易生物降解的 BOD 越多,而用于聚磷菌摄取的 BOD 越少,从而影响了厌氧释磷率和数量,同时也影响好氧吸磷能力;但 R 也不能过低,因选择池也是为防止丝状菌过量生长而设的,过低则不利于菌胶团的生长,易发生污泥膨胀。DO 对整个系统除磷也有较大的影响,尤其是对好氧吸磷过程,若不能严格控制好氧区 DO 的浓度,则会发生厌氧释磷现象,从而降低系统除磷效果。

综合考虑各因素的影响程度,该氧化沟系统脱碳、脱氮除磷的最佳运行工况条件为:氧化沟缺氧区 $\text{DO} = 0.3 - 0.5 \text{ mg/L}$ 、好氧区 $\text{DO} = 2.0 - 2.5 \text{ mg/L}$, $\text{MLSS} = 5\ 000 \text{ mg/L}$,污泥回流比 $R = 65\%$ 。

3 结论

1) 极差 R_j 的大小排列影响系统对 COD_G 、TN、TP 去除率的各因素的重要性顺序分别为 $\text{DO} > \text{MLSS} > R$ 、 $\text{DO} > R > \text{MLSS}$ 、 $\text{MLSS} > R > \text{DO}$ 。DO 和 MLSS 对脱碳具有较显著的影响,DO 对脱氮具有较显著的影响,MLSS、R 对除磷具有较显著的影响。

2) 综合考虑各因素的影响程度,该氧化沟系统的最佳运行工况条件为:氧化沟缺氧区 $\text{DO} = 0.3 - 0.5 \text{ mg/L}$ 、好氧区 $\text{DO} = 2.0 - 2.5 \text{ mg/L}$, $\text{MLSS} = 5\ 000 \text{ mg/L}$,污泥回流比 $R = 65\%$ 。

参考文献:

- [1] 黄祖安. Carrousel 氧化沟脱氮除磷工艺的运行控制[J]. 中国给水排水, 2003, 19(12): 101 - 102.
- [2] 汪永红, 何睦盈, 区岳州. 采用微孔曝气器的氧化沟实例分析[J]. 中国给水排水, 2003, 19(2): 75 - 76.
- [3] 彭永臻, 侯红勋, 乔海兵, 等. 改良型 Carrousel 氧化沟工艺生物脱氮除磷效果研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(12): 42 - 45.
- [4] 焦斌权, 李伟民. HRT、缺氧时间、好氧时间对碳、氮去除的影响研究[J]. 重庆建筑大学学报, 2003, 25(5): 78 - 86.
- [5] ROSEN C, INGILDSSEN P, GUILDAL T, et al. Introducing biological phosphorus removal in an alternating plant by means of control: a full scale study [J]. Water Science Technology, 2003, 53(4 - 5): 133 - 141.
- [6] 乔海兵, 王淑莹, 姚学同, 等. 污泥回流和前置区 THR 对氧化沟 N、P 去除的影响[J]. 北京工业大学学报, 2007, 33(4): 408 - 412.
- [7] B Y AMMARY, J A RADAIDEH. Simultaneous nitrification and denitrification in an oxidation ditch plant [J]. Chemical Biochemical Engineering Quarterly, 2005, 19(2): 207 - 212.
- [8] FITTER M, COLPRIM J, POCH M, et al. Enhancing biological nitrogen removal in a small wastewater treatment plant by regulating the air supply [J]. Water Science Technology, 2003, 48: 445 - 452.
- [9] INSEL G, ARTAN N, ORHON D. Effect of aeration on nutrient removal performance of oxidation ditch systems [J]. Environmental Engineering Science, 2005, 22(6): 802 - 815.
- [10] 任周鸣. 活性污泥法的工艺参数控制(下) [J]. 给水排水, 2007, 33(12): 44 - 49.
- [11] 陈华. Carrousel2000 氧化沟 DO 运行控制的研究[D]. 贵州: 贵州大学, 2007.

(责任编辑 刘存英)