

循环活性污泥系统(CASS)处理城市废水

沈耀良 王宝贞

提要 循环活性污泥系统(CASS)是一种具有脱氮除磷功能的以序批曝气-非曝气方式运行的充-放式间隙活性污泥处理工艺。它以设置生物选择器、运行容积可变及实现同步硝化和反硝化为其工艺特征,从而具有一系列的优点。分析介绍了 CASS 工艺的运行、特征、工艺设计要点及应用情况,并提出了该工艺在我国应用时应考虑的问题。

关键词 CASS 工艺 运行设计 应用

0 前言

CASS(Cyclic Activated Sludge System)工艺是 SBR 的一种改进型,是循环活性污泥技术(CAST)的一种型式。该工艺是由 Goronszy 教授及其同事在 SBR 工艺和氧化沟技术的基础上开发出来的,目前正得到深入研究并已在实际废水处理工程中得到应用。

1 CASS 工艺的运行及特点

CASS 特指设有一个分建或合建式生物选择器的可变容积、以序批曝气-非曝气方式运行的充-放式间隙活性污泥处理工艺,在一个反应器中完成有机污染物的生物降解和泥水分离的处理功能。整个系统以推流方式运行,而各反应区则以完全混合的方式运行以实现同步碳化和硝化-反硝化功能。

1.1 CASS 工艺的循环运行过程

CASS 以一定的时间序列运行,其运行过程包括充水-曝气、充水-泥水分离、上清液滗除和充水-闲置等 4 个阶段并组成其运行的一个周期。不同的运行阶段的运行方式可根据需要进行调整,如无反应充水(即进水时既不曝气也不搅拌)、无曝气充水混合、充水曝气及不进水曝气等。一个运行周期结束后,重复上一周期的运行并由此循环不止。循环过程中,反应器内的水位随进水而由初始的设计最低水位逐渐上升至最高设计水位,因而运行过程中其有效容积是逐渐增加的(即变容积运行)。曝气和搅拌阶段结束后,在静止条件下使活性污泥絮凝并进行泥水分离,沉淀结束后通过移动堰表面滗水装置排出上清水层并使反应器中的水位恢复至设计最低水位,然后,重复上一周期的运行。为保证系统在最佳条件下运行,必须定时排泥。CASS 反应器中经沉淀后的污泥浓度可达 $10\ 000\text{mg/L}$ 以上,剩余污泥量要比传统的活性污泥处理工艺少得多。

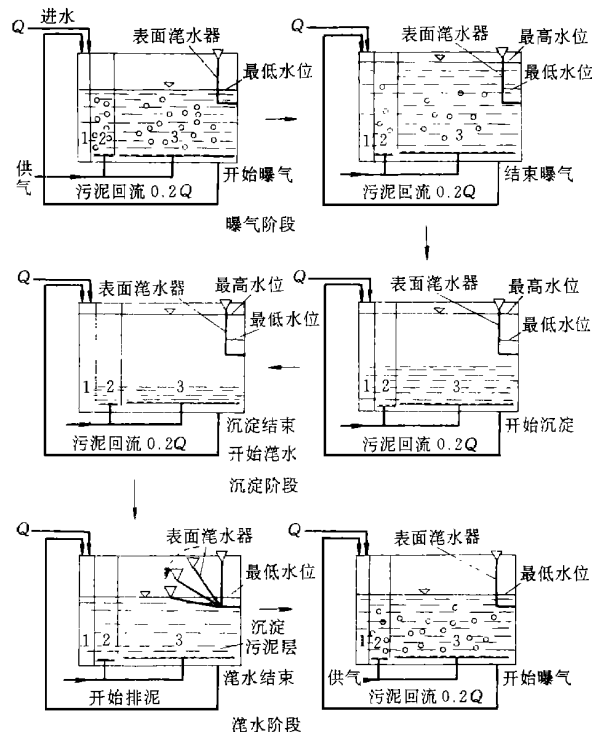


图 1 CASS 工艺的循环操作过程

1 生物选择器 2 兼氧区 3 主反应区

图 1 所示为 CASS 工艺的循环运行操作过程。具体运行过程依次为:(1)充水-曝气阶段。边进水边曝气,同时将主反应器区的污泥回流至生物选择器。污泥回流量约为处理废水量的 20%。(2)充水-沉淀。停止曝气,静置沉淀以使泥水分离。在沉淀刚开始时,由于曝气所提供的搅拌作用能使污泥发

生絮凝,随后污泥以区域沉降的形式下降,因而所形成的沉淀污泥浓度较高。当混合液的污泥浓度为 $3\,500\text{mg/L}$ 时,经沉淀后污泥的浓度可达到 $10\,000\text{mg/L}$ 以上^[2]。与SBR工艺不同的是,CASS工艺在沉淀阶段不仅不停止进水,而且污泥回流也不停止。后者在沉淀期间不停止进水而可获得良好沉淀效果的原因除上所述外,还由于在此期间反应器不出水,在合理设计的条件下,反应器犹如竖流式沉淀池,而其表面负荷则要比竖流式沉淀池低得多。

(3) 表面滗水(上清液排除)。处于滗水阶段的CASS反应器需停止进水。根据处理系统中CASS反应器个数的不同,或者将原水引入其它CASS反应器(两个或两个以上CASS反应器),或者将原水引入CASS反应器之前的集水井(单个CASS反应器)。滗水器为移动式自动控制装置。滗水过程中,根据CASS反应器内水位的变化,由一浮球式水位监测仪控制滗水器的升降。排水结束后,滗水器将自动复位。滗水期间,污泥回流系统照常工作。污泥回流的目的是提高缺氧区的污泥浓度,以使随污泥回流该区内污泥中的硝态氮进行反硝化,并进行磷的释放而促进在好氧区内对磷的吸收。由于CASS反应器在运行过程中的最高水位和滗水时的最低水位是设计确定的,因而在滗水期间进行污泥回流不会影响到出水水质。

(4) 闲置阶段。实际运行过程中,由于滗水时间往往要比设计滗水时间短,其剩余时间通常用于反应器内污泥的闲置以恢复污泥的吸附能力。正常的闲置期通常在滗水器恢复待运行状态 4min 后开始。闲置期间,污泥回流系统照常工作。

CASS工艺的运行即为上述4个阶段(1个周期)依次进行并不断重复的过程。每个运行周期中曝气和停止曝气的时间基本相等,而其一个典型的运行周期时间为 4h ,其中曝气 2h 、沉淀和滗水各 1h 。

1.2 CASS的工艺组成及设计要点

CASS是一种具有脱氮除磷功能的循环间歇废水生物处理技术。每个CASS反应器由3个区域组成,即生物选择区、兼氧区和主反应区(图2)。

生物选择区是设置在CASS前端的小容积区(容积约为反应器总容积的 10%),水力停留时间为

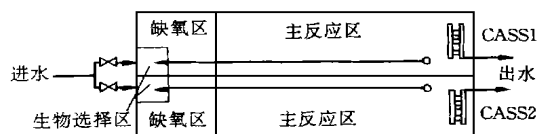


图2 二池CASS工艺的组成

$0.5\text{h} \sim 1\text{h}$,通常在厌氧或兼氧条件下运行。生物选择器是根据活性污泥反应动力学原理而设置的。通过主反应区污泥的回流并与进水混合,不仅充分利用了活性污泥的快速吸附作用而加速对溶解性底物的去除并对难降解有机物起到良好的水解作用,同时可使污泥中的磷在厌氧条件下得到有效的释放,而且在完全混合反应区之前设置选择器,还有利于改善污泥的沉降性能,防止污泥膨胀问题的发生。此外,选择器中还可发生比较显著的反硝化作用(回流污泥混合液中通常含 2mg/L 左右的硝态氮),其所去除的氮可占总去除率的 20% 左右。选择器可定容运行,亦可变容运行,多池系统中的进水配水池也可用作选择器。由主反应区向选择区回流的污泥量一般以每天将主反应器中的污泥全部循环1次为依据而确定其回流比。

兼氧区不仅具有辅助厌氧或兼氧条件下运行的生物选择区对进水水质水量变化的缓冲作用,同时还具有促进磷的进一步释放和强化氮反硝化的作用。主反应区则是最终去除有机底物的主场所。运行过程中,通常将主反应区的曝气强度加以控制,以使反应区内主体溶液中处于好氧状态,而活性污泥结构内部则基本处于缺氧状态,溶解氧向污泥絮体内的传递受到限制而硝态氮由污泥内向主体溶液的传递不受限制,从而使主反应区中同时发生有机污染物的降解以及同步硝化和反硝化作用。

CASS反应器的主要设计参数有:最大设计水深可达 $5\text{m} \sim 6\text{m}$,MLSS为 $3\,500\text{mg/L} \sim 4\,000\text{mg/L}$,充水比为 30% 左右,最大上清液滗除速率为 30mm/min ,固液分离时间 60min ,设计SVI为 140mL/g ,单循环时间(即1个运行周期)通常为 4h (标准处理模块)。处理城市污水时,CASS中生物选择器、缺氧区和主反应区的容积比一般为 $1\,5\,30$,具体可根据水质和“模块”试验加以确定。表1列出了CASS工艺处理不同规模城市污水时的参考设计参数。

表 1 CASS 工艺处理不同规模城市污水时的主要设计参数^[3]

主要设计参数	人 口 当 量		
	37 500	300 000	600 000 *
CASS 池数	2	4	8
单池面积/ m ²	772	2 552	2 352
最小充水比 V _R *	0.33	0.19	0.33
最小停留时间/ h	9.1	16.8	11.9
最大设计流量/ m ³ / d	18 546	85 000	192 000
BOD ₅ / kg/ d	2 255	15 000	37 140
TKN/ kg/ d	382	3 500	3 518
TSS/ kg/ d	3 377	15 000	30 400
P/ kg/ d	77	900	550
循环次数/ 次/ (d 池)	6	6	6
充水-曝气时间/ h	2	2	2
充水-沉淀时间/ h	1	1	1
滗水时间/ h	1	1	1

注：*含有较多工业废水。

1.3 CASS 工艺的主要特点

与传统的活性污泥处理工艺及 SBR 工艺相比，CASS 工艺具有以下 4 个方面的特征：(1) 根据生物选择原理，利用与主反应区分建或合建、位于系统前端的生物选择器对磷的释放、反硝化作用及对进水中有机底物的快速吸附及吸收作用，增强了系统运行的稳定性；(2) 可变容积的运行提高了系统对水量水质变化的适应性和操作的灵活性；(3) 根据生物反应动力学原理^[4]，采用多池串联运行，使废水在反应器的流动呈现出整体推流而在不同区域内为完全混合的复杂流态，不仅保证了稳定的处理效果，而且提高了容积利用率；(4) 通过对生物速率的控制，使反应器以厌氧-缺氧-好氧-缺氧-厌氧的序批方式运行，使其具有优良的脱氮除磷效果，降低了运转费用。表 2 列出了不同工艺处理规模为 6 万人口当量的城市污水时的费用等数据的比较^[3]。

表 2 不同工艺处理城市污水厂的费用比较(相对数据/ %)

处理工艺类型	土建费	设备费	总投资	年运行费	占地面积
传统曝气活性污泥	100	100	100	100	100
深井曝气	111	124	116	191	98
生物曝气滤池	100	167	125	216	59
CASS(微孔曝气)	80	74	78	133	64

注：*假定(1)各工艺中所采用的沉淀池均为辐流式沉淀池；(2)除 CASS 工艺外，其它工艺的出水 BOD₅ 和 TSS 标准分别为 25mg/L 和 35mg/L；(3)以传统曝气活性污泥法为参考比较对象。

2 CASS 工艺的效能及应用

CASS 反应器工艺是以生物反应动力学原理及合理的水力条件为基础而开发的一种具有系统组成简单、运行灵活和可靠性好等优点的废水处理新工艺，尤其适合于含有较多工业废水的城市污水及要求脱氮除磷的处理，目前已在欧美等国家得到较多的应用，国内也已开始对此进行研究并逐步在制药、啤酒、印染和化工等行业废水处理的实际工程中得到应用。表 3 所列为 CASS 工艺的处理效能数据，表 4 所列为国外主要的 CASS 工艺处理城市污水时的应用及工艺情况^[1,5,6]。

表 3 CASS 工艺处理城市污水的效能/ mg/L

指标	COD	BOD ₅	SS	TN	TP
进水 *	300 ~ 800	100 ~ 650	200 ~ 620	50 ~ 100	10
出水	≤150	≤60	≤100	≤25	≤1

注：* 进水 COD、BOD₅ 和 SS 各指标可偶尔高达 2 000mg/L ~ 3 000mg/L。

表 4 国外主要的 CASS 工艺处理城市污水的应用情况

国家(地名)	处理规模	CASS 平面尺寸
美国	80 000m ³ / d	—
澳大利亚(悉尼)	120 000/ 人口当量	113m ×77m(5 座)
澳大利亚(基隆)	245 000/ 人口当量	62.4m ×62.4m(6 座)
英国、法国、德国、奥地利	600 000/ 人口当量	84m ×28m
加拿大(Bradford 市)	12 166m ³ / d	72m ×23m(2 座)
泰国(曼谷)	1 000 000/ 人口当量	—(在建)
澳大利亚(Quakers Hill)	200 000/ 人口当量	131m ×76m(2 座)
澳大利亚(黑岩)	210 000m ³ / d	120m ×60m(4 座)
美国(Portage Catawba)	15 500m ³ / d	—
澳大利亚(Winma lee)	60 000m ³ / d	28m ×112m(4 座)

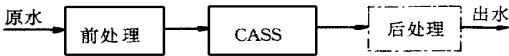


图 3 CASS 工艺流程

在 CASS 工艺的实际应用中，可根据原水水质及处理要求而合理地确定处理工艺流程(如图 3 所示)和有关运行工艺条件。如在处理含硫化物浓度较高的废水时，应注意将 CASS 工艺中的生物选择器控制在好氧-缺氧的条件下运行并合理控制氧化还原电位(ORP)以防止在非曝气阶段形成硫化物而导致丝状菌的生长。在 CASS 工艺的应用过程中，需注意以下问题：(1) 生物选择器运行的控制。为保

证回流污泥与进水底物的良好接触,生物选择器宜控制在厌氧或缺氧条件下运行并确保完全混合,以充分发挥其自我调节的功能;(2)生物速率的控制。CASS的主反应区具有同步硝化和反硝化功能,其反硝化主要是在停止曝气的泥水分离阶段和在曝气过程中使污泥结构内部处于缺氧状态而实现的。因而,反应器中溶解氧(DO)浓度的控制——即生物速率的控制十分重要。一般采用池内溶解氧探头仪控制DO,并据此测定微生物的代谢活性,作为自动调节曝气时间、曝气速率和排泥速率的重要控制参数。溶解氧探头仪可直接设置在主反应器内,也可设置在污泥回流管线上;(3)CASS工艺的放大。在实际应用中,CASS工艺的放大可通过重复“模块”试验而实现。即按照4h的标准运行周期(2h曝气、1h沉淀、1h滗水为1个模块)进行试验,以确定达到处理要求所需要的“模块”数及水力停留时间,并由此确定CASS的池数。如澳大利亚的Quakers Hill污水处理厂为目前世界上最大的可变容积CASS工艺处理设施,其运行由5个“模块”组成。生物选择器在旱流量时的HRT为1h。采用盘式膜微孔扩散器曝气。由设在池外的5个自动控制移动堰滗水器同时同速率滗水,滗水速率为13mm/min;(4)充水比(滗水量与池内最低水位时容积之比, V_R)的合理确定。由于污泥沉淀和滗水周期的长短及沉淀污泥浓度和SVI受 V_R 的影响,因而需根据所处理的废水水质通过试验合理地确定 V_R ,亦即确定CASS反应器的最低和最高水位。有关报道的 V_R 一般为30%~50%,但在实际应用中宜通过试验确定。

3 结语

随着对废水处理出水水质,尤其是对氮、磷等物质排放要求的日益提高,开发和应用经济合理、多功能、操作灵活且运行稳定的废水处理工艺已日益受到研究者和用户的重视。CASS作为一种具有竞争力的工艺,无论在城市污水还是在工业废水的处理中都具有良好的应用前景。目前该工艺在我国应用的技术关键主要是提高自动控制装置的可靠性及运行和操作管理人员的素质。此外,有必要进一步研究其设计的 V_R ,使其符合我国废水处理的实际,利于该技术的应用。

参考文献

- 1 Goronszy M C. Cyclic technology reaches new heights. Water Quality Intern, 1996, (3/4): 18~20
- 2 Transenviro inc. CASSTM (Cyclic Activated Sludge System) general process description. Information Package
- 3 Goronszy M C et al. Appllicaton of the CASS fed-batch reactor to municipal wastewater treatment in Western Europe. Information Package
- 4 沈耀良. AB工艺原理的系统分析. 环境科学, 1996, 17(6): 50~54
- 5 Goronszy M C. Industrial application of Cyclic Activated Sludge Technology. IAWQ Yearbook, 1997: 35~38
- 6 Goronszy M C. Advancements in cyclic activated sludge technology. IAWQ Yearbook, 1999: 24~25

◎作者通讯处: 215011 苏州市滨河路298号
苏州城建环保学院环保系
电话: (0512) 8255325 8247000
收稿日期: 1999-6-4