

跨界融合子处理豆制品废水控制参数 局部优化研究*

程树培 叶春剑 王 兵 崔益斌

(南京大学环境科学与工程系污染控制与资源化研究国家重点实验室, 南京 210093 E-mail: chengsp @ netra. nju. edu. cn)

摘要 根据跨界融合子基因工程菌降解豆制品废水动力学参数, 在流量 Q_0 和出水浓度 S_0 设定情况下, 推算在自控稳定回流系统中, 生物量的停留时间 θ 和相应的比降解率 q 等参数数值, 并代入约束方程和目标函数方程中, 采用 Turbo C 2.0 计算机语言编制程序, 计算出 16 组参数局部优化解。结果表明反应器中生物量 X 在 16 个局部水平, 所需反应器体积 V 费用 TA 达最小值时, 均有回流量 Q_r 和回流污泥浓度 X_r 的唯一解。

关键词 跨界融合子, 豆制品废水, 发酵处理, 参数局部优化。

Local Optimization Parameters for the Treatment System Control of Soybean Production Wastewater Degraded by Inter-Kingdom Fusant*

Shupeì Cheng Chunjian Ye Bing Wang Yibin Cui

(The National Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Nanjing University, Nanjing 210093

E-mail: chengsp @ netra. nju. edu. cn)

Abstract According to the kinetic parameters, the values of the biomass retention time θ and the specific degradation rate q were firstly calculated for the inter-kingdom fusant genetically engineered microorganism F_{OAZ} degrading the soybean production wastewater in a stable automatic control system. Then the values of θ , q , and other parameters were introduced in the constraint equations and the function equation for the calculation of the objective function TA minimum value of reactor volume V cost and the relative variable values of biomass X , return biomass X_r and return flow Q_r with the computer program of Turbo C 2.0 Language. The results show that it had an unique solution to Q_r and X_r respectively while the reactor volume was at the lowest level with X at each local level in 16 groups. There were 16 group local solutions obtained for the objective function TA and the variables X , X_r and Q_r , which could be used to design the treatment process and optimize the local parameters.

Keywords inter-kingdom fusant, soybean production wastewater, treatment system control, local optimization parameters.

用数学模型反映废水生物处理的复杂过程与相关参数之间的内在规律, 用于工艺设计和处理过程优化, 建立自控稳定系统, 是废水生物处理高新技术的发展趋势^[3, 5, 7, 8]。它的目标是节约投资和运行费用, 提高处理效率和设备利用率, 便于操作管理。本文报道跨界融合子基因

工程菌 F_{OAZ} 降解豆制品废水控制参数局部优化的研究结果。根据物料平衡原理, 建立降解过程

* 国家自然科学基金项目 (Project Supported by National Natural Science Foundation of China): 39570151 和江苏省自然科学基金项目 (BK95020301)
程树培: 男, 51 岁, 副教授
收稿日期: 1998-08-08

数学模型,以所需反应器最小体积费用 TA 作为目标函数,反应器内生物量浓度,回流量和回流污泥浓度作为控制变量.整个处理系统拟定为单级有回流发酵处理自控稳定系统.采用计算机语言编制运算程序,推算出 16 组参数局部优化结果^[2],每组局部优化解来自于 90 组数据串的迭代运算.

研究中以跨界融合子基因工程菌 F_{OAZ} 作为降解豆制品废水的菌株. F_{OAZ} 由光合球形红假单胞菌原核细胞和酿酒酵母真核细胞跨界融合而成,具有遗传稳定性,综合了双亲菌株高降解效率和高絮凝性能的优势^[1,6].对 F_{OAZ} 发酵处理豆制品废水参数局部优化控制的研究,旨在充分利用 F_{OAZ} 的优势,合理地设计和调控处理系统.针对高浓度有机无毒废水资源化处理问题,采用快速简便的计算方法,探索有关处理工艺优化控制高新技术的途径.

1 建立数学模型

跨界融合子 F_{OAZ} 降解豆制品废水单级回流稳定系统见图 1.

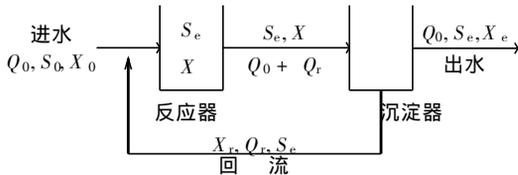


图 1 跨界融合子 F_{OAZ} 降解豆制品废水自控稳定系统流程

S_0 : 原废水进水 BOD_5 浓度; S_e : 反应器内及其出水 BOD_5 浓度; X_0 : 原废水进水中生物量浓度, $X_0=0$; X : 反应器内及其排出混合液生物量浓度; X_r : 回流混合液中生物量浓度; X_e : 最终出水中生物量浓度; Q_0 : 原废水流量; Q_r : 回流液流量.

现设定:①反应器内生物量 X 和有机污染物 S_e 浓度变化值为 0;②在沉淀和回流过程, S_e 浓度变化值忽略不计;③回流生物量浓度 X_r 维持不变.

根据物料平衡建立下列方程式:

自控稳定系统中过程生物量的增量=

反应后生物量-反应前生物量

即有:

$$\mu V X = (Q_0 + Q_r) X - (Q_0 X_0 + Q_r X_r) \quad (1)$$

经简化变形后得反应器体积 V 与相关变量之

间函数关系的数学模型:

$$V = (Q_0 X + Q_r X - Q_r X_r) / \mu X \quad (2)$$

方程(2)中 μ 为菌体比净增长率(d^{-1}); V 是反应器的体积(m^3),其他符号同前.

现将反应器体积达最小值时所需的构筑费用定义为 TA ,并在方程(2)的右边加上反应器构筑费用系数 f ,方程(2)改写为:

$$TA = f(Q_0 X + Q_r X - Q_r X_r) / \mu X \quad (3)$$

方程(3)中 TA 是反应器体积 V 构筑费用,为目标函数; f 是反应器体积构筑费用系数(常数).根据方程(3)寻求 TA 最小值时 X_r , X 和 Q_r 相应数值水平.

$$\text{若记: } C = (Q_r, X_r, X)^T \quad (4)$$

$$\text{则有: } TA = TA(C) \quad (5)$$

2 约束方程与约束条件

$$\theta_c = (K_{sq} - S_e) / (S_e q_{\max} Y - S_e K_d - K_{sq} K_d) \quad (6)$$

$$\mu = \mu_{\max} S_e / (K_{s\mu} + S_e) \quad (7)$$

$$Q_r = Q_0 X (\theta - \theta_c) / [\theta (X - X_r)] \quad (8)$$

$$K_d^1 = Y_q - 1/\theta \quad (9)$$

$$\theta = Y (S_0 - S_e) / [X (1/\theta_c + K_d^1)] \quad (10)$$

$$X_e = [X (Q_0 + Q_r) - Q_r X_r] / Q_0 \quad (11)$$

$$X_r = [Q_0 + Q_r - (\mu - K_d^1) (Q_0 S_0 + Q_r S_e - Q_0 S_e)] / (Q_0 q) \quad (12)$$

有关跨界融合子基因工程菌 F_{OAZ} 降解豆制品废水动力学参数测定值,有关符号名称,水质参数值和变量参数值拟定范围见表 1.

3 计算结果与分析

采用 TubroC2.0 计算机语言编制计算程序,将表 1 中的数据代入约束方程(6)~(12),并将获得的数据串代入目标函数方程(5)中,计算出反应器内生物量 X 在不同局部水平时,所需反应器体积达最小值相应的变量 Q_r , X_r 的数值. X , Q_r 和 X_r 是本项目研究中参数优化控制的变量,反应器体积 V 达最小值时的构筑费用 TA 是本研究的目标,计算结果见表 2.

从表 2 可以看出,生物量浓度 X 为 5—

20kg/m³, 共获取 16 组参数局部优化计算结果, 其中每组解从 90 组数据串迭代计算中优化选出, 这是第一次局部优化. 比较 16 组解参数优化结果, 再从 16 组中选出优化解, 还需要二次优化. 现在对二次优化有关问题进行讨论.

表 1 跨界融合子 F_{0AZ}降解豆制品废水参数局部优势计算有关条件

符号	参数指标名称	数值
动力学参数测定值		
q_{\max}	最大比降解率	32.4d ⁻¹
K_{sq}	q_{\max} 半速率常数	0.706kg · m ⁻³
K_d	衰减系数	0.504d ⁻¹
Y	产率系数	44.1%
μ_{\max}	最大比增长率	14.4d ⁻¹
$K_{s\mu}$	μ_{\max} 半速率常数	0.656kg · m ⁻³
水质参数和自控稳定系统中参数拟定值范围		
Q_0	进水流量	1000m ³ · d ⁻¹
Q_r	回流量	< 1000m ³ · d ⁻¹
S_0	进水浓度	14.346kg · m ⁻³
S_e	出水浓度	0.1kg · m ⁻³
X	反应器内生物量	5—20kg · m ⁻³
X_r	回流污泥浓度	> X kg · m ⁻³
θ	生物量停留时间	> θ
θ	水力停留时间	> 0.33d
q	比降解率	< q_{\max}
μ	比增长率	< μ_{\max}
Y	产率系数	< 44.1%
K_d	衰减系数	< 0.504d ⁻¹
f	构筑费用系数	290 元 · m ⁻³

从表 2 中 16 组局部解总趋势可以看出, 随着反应器内生物量 X 浓度设定值的升高, 此时所需回流量 Q_r 和回流污泥浓度 X_r 随之上升, X , Q_r 和 X_r 三者之间有正向相关性. 而所需反应器最小体积 V 构筑费用 TA 的数值随之降低, X , Q_r 和 X_r 与 TA 之间有负向相关性. 在实际运行过程中反应器内生物量 X 的范围可按照 $X = Y(S_0 - S_e) / [\theta(1/\theta + K_d)]$ 公式初步推算^[4], X 最高级约为 20kg/m³, 不可能无限增大, 此时所需反应器最小体积 V 为 296m³, 其构

筑费用 TA 为 85840 元, X_r 为 79.50kg/m³, Q_r 为 270m³/d, 这是 16 组局部优化解的第二次优化解(见表 2). 由此发现, 反应器内生物量浓度越高, 则所需的反应器体积越小.

国外研究生物处理活性污泥法的最优化控制, 多以出水浓度或回流量作为控制的单变量^[9,10]. 本研究以反应器内生物量浓度 X 、回流量 Q_r 和回流污泥浓度 X_r 作为 3 个控制变量. 回流污泥浓度的高低和反应器内生物量的高低势必影响到降解净化效率.

从表 2 看出, 随着生物量, 回流量和回流污泥浓度的上升, 菌体细胞的比增长率 μ 和产率系数 Y 均随之下降, 而衰减系数 K_d 随之上升. 表明废水中有机污染物转化为生物量的比例下降. 本研究以净化处理降解去除有机污染物为首要目的, 以所需反应器最小体积为基本目标, 兼顾废水资源化生产单细胞蛋白目的, 可以根据实际 X 所达的浓度值进行试验模型研究, 验证所获得的参数局部优化解. 应用 B. Braun 全自控反应系统对有关的数学模型进行修正和对参数局部优化解的验证结果, 将另文报道.

4 结语

(1) 在进水流量 Q_0 和出水浓度 S_e 数值设定的前提下, 跨界融合子 F_{0AZ}降解豆制品废水工艺控制参数有优化解, 所需反应器体积 V 最小时的投资费用 TA 为 85840 元.

(2) 以反应器内生物量浓度 X 、回流量 Q_r 和回流污泥浓度 X_r 作为 3 个控制变量, 在本研究设定的条件下, 3 个控制变量之间有正相关性, 3 个控制变量与目标函数 TA 之间有负相关性.

(3) 当 X 、 Q_r 和 X_r 数值上升时, 菌体比增长率 μ 数值下降, 表明菌体生物量的合成速率下降, 而此时菌体衰减系数 K_d 数值上升, 表明菌体生物量自身衰减速率上升, μ 的下降和 K_d 的上升, 可以综合说明反应体系降解净化效率升高的趋势, 因而所需的反应器体积 V 最小数值费用 TA 呈下降的现象.

(4) 反应器内生物量浓度 X 取 16 个数值, 优化解通过相应的 90 组数据串的迭代计算获得. 每个 X 数值对应一组优化解(见表 2), 每一组

表 2 跨界融合子 F_{OAZ} 降解豆制品废水参数局部优化计算结果

X / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	Q_r / $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	X_r / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	θ / d	μ / d^{-1}	Y^1 / %	K_d^1 / d^{-1}	V_{\min} / m^3	TA / 元
5	80	18.31	0.93	0.78	19.47	0.06	1006	291740
6	120	23.20	0.78	0.75	18.77	0.09	869	252010
7	150	27.43	0.67	0.73	17.28	0.11	765	221850
8	170	31.91	0.58	0.72	17.97	0.12	681	197490
9	190	36.66	0.52	0.71	17.67	0.13	616	178640
10	210	38.88	0.47	0.70	17.38	0.15	563	163270
11	220	43.11	0.42	0.69	17.23	0.15	516	149640
12	230	47.06	0.39	0.69	17.09	0.16	477	138330
13	240	50.77	0.36	0.68	16.95	0.16	444	128760
14	240	55.94	0.33	0.68	16.95	0.16	412	119480
15	250	59.26	0.31	0.68	16.81	0.17	388	112520
16	260	62.40	0.29	0.67	16.69	0.17	366	106140
17	260	67.25	0.27	0.67	16.55	0.17	345	100050
18	270	70.09	0.26	0.67	16.55	0.18	329	95410
19	270	74.79	0.25	0.67	16.55	0.18	311	90910
20	270	79.50	0.23	0.67	16.55	0.18	296	85840

参 考 文 献

- Cheng Shupe, Deng Liangwei, Cui Yibin. Continuous Fermentation of Soybean Processing Wastewater with the Fusant between Photosynthetic Bacteria and Yeast. *Acta Scientiae Circumstantiae* (in Chinese), 1997, **17**(3): 372—377
- 茨木俊秀, 福岛雅夫(日)著, 曾道智译. 最优化方法. 北京: 世界图书出版公司北京公司, 1997. 4—37
- Peng Yongzhen, Wang Baozhen, Wang Shuying. Multivariable Optimal Control of Activated Sludge Process: Basic Theory and Effect of DO on Operational Cost. *Acta Scientiae Circumstantiae* (in Chinese), 1998, **18**(1): 11—19
- 秦麟源. 废水生物处理. 上海: 同济大学出版社, 1989. 30—71
- 张新民, 施英乔, 房桂干. 废水 SBR 生化处理流程的自控系统. 林产化工通讯, 1997, **6**: 6—9
- Cheng SP et al. Inter-kingdom protoplast fusion and cytoplasmic intergration. *Biomedical Letters*, 1995, **52**: 101—112
- Kabouris JC, Georgakakos AP and Camara A. Optimal control of the activated sludge process: effect of sludge storage. *Water Research*, 1992, **26**(4): 507—517
- Kabouris JC, Georgakakos AP. Optimal control of the activated sludge process: comparison with conventional control. *Water Research*, 1990, **24**(10): 1197—1208
- Sincic D, Bailey E. Optimal periodic control of activated sludge process: results for the base case with monod/decay kinetics. *Water Research*, 1978, **12**: 47—53
- Yeung SYS, Sincic D, Bailey JE. Optimal periodic control of activated sludge process: comparison with conventional control. *Water Research*, 1980, **14**: 77—83