

厌氧流化床下向流布水装置结构型式的 试验研究 (I)

(以最小启动回流量为考察指标)

龙腾锐 郭劲松

(城市建设工程系)

摘要 本文以最小启动回流量为考察指标,用正交试验和统计分析方法,对下向流布水装置的结构组合型式进行了优化试验研究。得到了布水装置工况影响因素的重要性顺序和显著性因素,以及最佳布水装置的结构组合型式。

关键词 厌氧流化床,下向流布水装置,环境污染,废水处理

在流化床中,让废水在反应器断面,特别是在进水区域内均匀分布是一个十分重要的问题。传统的方法是采用所谓上向流大阻力配水系统,让废水由下向上流动,使载体处于流化状态。但是这种方式容易造成载体的堵塞,且因布水不甚均匀而容积有效利用率较低,同时存在因操作不当或载体长膜以后变轻而使载体外溢等缺点。下向流布水装置是在流化床中置一中心导流筒,进水从布水喷头射入,在混合室与从导流筒外区抽入的微生物载体混合,在导流筒内形成自上而下的流动,经反射板反射出导流筒,在外区形成自下而上的流动,从而造成内循环达到流化床中载体均匀流化和从结构上防止载体外溢的目的^[1]。

本研究以最小启动回流量和最大容积有效利用率为考察指标,对影响布水效果的布水装置结构进行多因素正交试验与分析,以得出最佳的布水装置结构型式。全文分为三部分,本文介绍以最小启动回流量为考察指标时的最佳布水装置的试验研究。

1 试验条件

1.1 试验装置及流程

图1为本试验用流化床装置及流程图。

本文1991年5月2日收到。

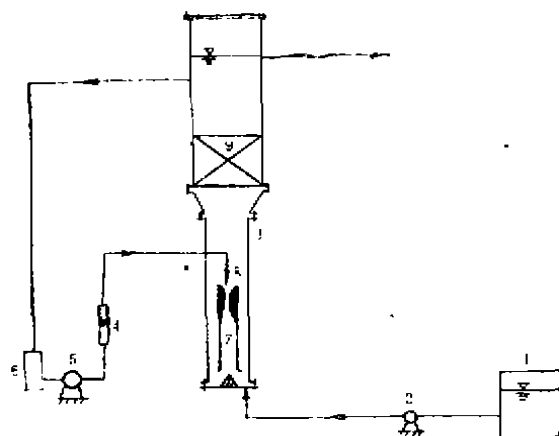


图1 试验装置及流程示意图

1 进水箱；2 进水泵；3 反应器；4 转子流量计；
5 回流泵；6 回流罐；7 导流筒；8 布水喷头；9 过滤层。

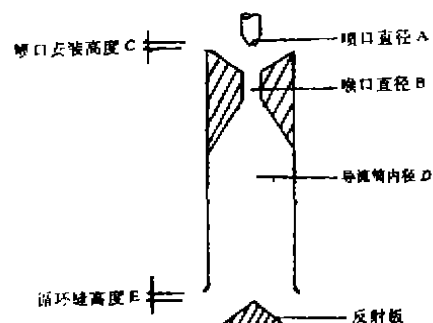


图2 布水装置结构示意图

厌氧流化床反应器本体及下向流布水装置均用有机玻璃制成,总高度2250mm,总有效容积41L。流化床反应区高度1000mm,内径140mm。导流筒高度550mm。进水采用IZJT型柱塞式计量泵,回流采用自吸清水泵,回流量用LZB40型玻璃转子流量计计量。载体采用陶粒M600,容重 $1.73\text{g}/\text{cm}^3$,粒径 $0.5\sim 1.0\text{mm}$,当量粒径 0.71mm ,填充高度为30mm。(填充量为20%)。

1.2 影响布水装置的因素和水平的确定

如图2所示,根据多相流体动力学及射流器的一般原理,确定以喷口直径、喉口直径、喷口安装高度、导流筒内径、循环缝高度,作为影响布水装置布水效果的主要因素。表1所示为试验的因素及其水平。

表1 试验因素与水平

水平	A 喷口直径(mm)	B 喉口直径(mm)	C* 喷口安装高度(mm)	D 导流筒内径(mm)	E** 循环缝高度(mm)
1	4	20	0	65	+ 8
2	5	30	+ 4	80	- 5
3	7	35	- 4	100	+ 10

表中: * 正号表示喷口安装在混合室上沿以上;负号表示上沿以下。

** 正号表示反射板顶低于导流筒下沿;负号表示高于导流筒下沿。

1.3 正交试验表头设计及试验安排

考虑到试验因素A和因素B以及因素B与因素D之间可能存在交互作用,所以采用 $L_{27}(3^{13})$ 正交表。表头设计及试验安排如表所示^[2]。

表2 $L_{27}(3^{13})$ 正交试验表头设计表

列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
因素	A	B	$(A \times B)_1$	$(A \times B)_2$	$(B \times D)_1$	C		$(B \times D)_2$	D	E			

按照表2的表头设计, 正交试验应按 $L_{27}(3^{13})$ 正交表^[2]中的第1, 2, 6, 9, 10列的因素水平安排进行试验, 如表3所示。

表3 正交试验安排表

列号	1	2	6	9	10	列号	1	2	6	9	10	列号	1	2	6	9	10
因素 试验号	A	B	C	D	E	因素 试验号	A	B	C	D	E	因素 试验号	A	B	C	D	E
1	A_1	B_1	C_1	D_1	E_1	10	A_2	B_1	C_2	D_1	E_2	19	A_3	B_1	C_3	D_1	E_3
2	A_1	B_1	C_2	D_2	E_2	11	A_2	B_1	C_3	D_2	E_3	20	A_3	B_1	C_1	D_2	E_1
3	A_1	B_1	C_3	D_3	E_3	12	A_2	B_1	C_1	D_3	E_1	21	A_3	B_1	C_2	D_3	E_2
4	A_1	B_2	C_1	D_3	E_2	13	A_2	B_2	C_2	D_3	E_3	22	A_3	B_2	C_3	D_3	E_1
5	A_1	B_2	C_2	D_1	E_3	14	A_2	B_2	C_3	D_1	E_1	23	A_3	B_2	C_1	D_1	E_2
6	A_1	B_2	C_3	D_2	E_1	15	A_2	B_2	C_1	D_2	E_2	24	A_3	B_2	C_2	D_2	E_3
7	A_1	B_3	C_1	D_2	E_3	16	A_2	B_3	C_2	D_2	E_1	25	A_3	B_3	C_3	D_2	E_2
8	A_1	B_3	C_2	D_3	E_1	17	A_2	B_3	C_3	D_3	E_2	26	A_3	B_3	C_1	D_3	E_3
9	A_1	B_3	C_3	D_1	E_2	18	A_2	B_3	C_1	D_1	E_3	27	A_3	B_3	C_2	D_1	E_1

1.4 考察指标的确定

众所周知, 在流化床的操作上, 往往需要回流来使床中载体流态化, 而回流量大小直接关系到反应器的耗能指标。最小启动回流量是指, 使床中载体开始膨胀时所需要的回流量。本试验装置运行表明, 在同一载体条件下, 维持相同膨胀高度所需回流量的大小与启动所需回流量的大小成正变关系, 即维持某一相同膨胀高度所需的回流量大者, 启动所需的回流量也大^[3]。因此, 采用最小启动回流量作为考察反应器耗能的指标。显然, 最小启动回流量最小者为优。

2 试验结果与分析

2.1 试验结果

最小启动回流量的试验结果如表4所示。从表中可以初步看出, 因素A和B对回流量影响较大, 且分别以它们各自的1, 2水平为佳。

2.2 结果分析

2.2.1 试验结果的极差分析

表5为根据表4试验结果所作的最小启动回流量极差分析表。表中 K_1, K_2, K_3 分别为各因素1, 2, 3水平所对应的最小启动回流量之和, k_1, k_2, k_3 分别为各因素1, 2, 3水平所对应的最小启动回流量的平均值。极差 $R = k_{i\max} - k_{i\min} (i = 1, 2, 3)$ 。图3系根据表5绘制的最小启动回流量平均值 k 与单因素各水平间的关系图。表6和表7分别为AB交互作用和BD

表4 最小启动回流量试验结果

试验号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
水平组合	$A_1B_1C_1D_1E_1$	$A_1B_1C_2D_2E_1$	$A_1B_1C_3D_3E_3$	$A_1B_2C_1D_3E_2$	$A_1B_2C_2D_1E_3$	$A_1B_2C_3D_2E_1$	$A_1B_3C_1D_2E_3$	$A_1B_3C_2D_3E_1$	$A_1B_3C_3D_1E_2$
最小启动回流量(m^3/h)	0.32	0.30	0.325	0.518	0.40	0.489	0.385	0.353	0.40
试验号	10	11	12	13	14	15	16	17	18
水平组合	$A_2B_1C_2D_1E_3$	$A_2B_1C_3D_2E_3$	$A_2B_1C_1D_3E_1$	$A_2B_2C_3D_3E_3$	$A_2B_2C_3D_1E_1$	$A_2B_2C_1D_2E_2$	$A_2B_3C_2D_2E_1$	$A_2B_3C_3D_3E_2$	$A_2B_3C_1D_1E_3$
最小启动回流量(m^3/h)	0.37	0.35	0.37	0.605	0.585	0.617	0.447	0.523	0.47
试验号	19	20	21	22	23	24	25	26	27
水平组合	$A_3B_1C_3D_1E_3$	$A_3B_1C_1D_2E_1$	$A_3B_1C_2D_3E_3$	$A_3B_2C_3D_3E_1$	$A_3B_2C_1D_1E_2$	$A_3B_2C_3D_2E_3$	$A_3B_3C_3D_2E_2$	$A_3B_3C_1D_3E_3$	$A_3B_3C_2D_1E_1$
最小启动回流量(m^3/h)	0.483	0.477	0.53	0.803	0.825	0.823	0.608	0.623	0.618

表5 最小启动回流量极差分析表

列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
因素	A	B	$(A \times B)_1$	$(A \times B)_2$	$(A \times D)_1$	C		$(B \times D)_2$	D	E			
K_1	3.47	3.525	4.836	4.601	4.539	4.605	4.64	4.581	4.471	4.464	4.190	4.53	4.526
K_2	4.337	5.645	4.326	4.317	4.436	4.446	4.431	4.541	4.476	4.691	4.578	4.549	4.535
K_3	5.79	4.427	4.435	4.679	4.622	4.546	4.526	4.475	4.65	4.112	4.529	4.518	4.536
k_1	0.386	0.392	0.537	0.511	0.504	0.512	0.516	0.509	0.497	0.496	0.499	0.503	0.503
k_2	0.482	0.627	0.481	0.480	0.493	0.494	0.492	0.504	0.497	0.521	0.509	0.505	0.501
k_3	0.643	0.492	0.493	0.520	0.513	0.505	0.503	0.497	0.517	0.494	0.503	0.502	0.504
差极R	0.257	0.245	0.056	0.040	0.02	0.018	0.024	0.012	0.02	0.027	0.01	0.003	0.001

交互作用 k 值的二元分析表,图4系根据表6和表7所绘制的二元分析图。

表6 $(A \times B)$ 二元分析表

k 值 因素	因素	B_1	B_2	B_3
A_1		0.315	0.462	0.379
A_2		0.363	0.602	0.480
A_3		0.497	0.817	0.616

表7 $(B \times D)$ 二元分析表

k 值 因素	因素	D_1	D_2	D_3
B_1		0.391	0.375	0.408
B_2		0.603	0.636	0.642
B_3		0.496	0.480	0.499

众所周知,极差的大小可定性表示因素的重要性。根据表5的极差大小,各因素的重要性顺序为: A, B, $(A \times B)$, E, D, $(B \times D)$, C。根据正交试验原理,空格列(第7, 11, 12及13列)被近似地认为是试验误差项,按表5误差项的极差及图3判定,单因素A, B, E的极差均大于最大误差列第7列的极差,故对最小启动回流量有明显影响,而因素C和D,影响不明显。由表5和图3得各单因素的最佳水平分别为: A_1 , B_1 , C_2 , D_2 , E_1 。

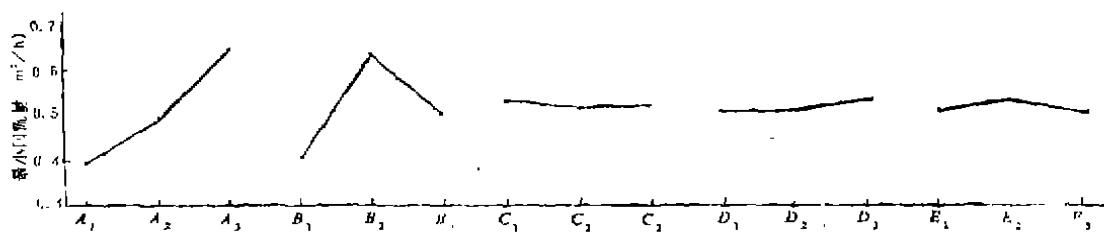
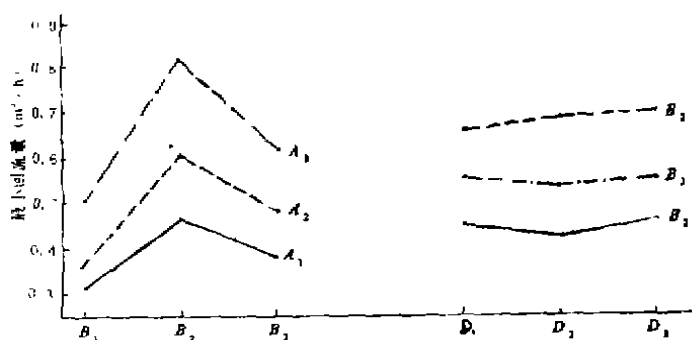


图3 最小启动回流量~单因素图

由交互作用 k 值的二元分析表6及二元分析图4可知,对于交互作用 $(A \times B)$ 水平组合的优劣顺序为: A_1B_1 , A_2B_1 , A_1B_3 …… A_3B_2 。同样,由表7及图4可知,对于交互作用 $(B \times D)$ 水平组合的优劣顺序为: B_1D_2 , B_1D_1 , B_1D_3 …… B_2D_3 。根据以上对单因素及交互作用的影响顺序的分析,对于最小启动回流量考察指标而言,布水装置最佳结构组合应为: $A_1B_1C_2D_2E_1$ 。

图4 $(A \times B)$
 $(B \times D)$ 二元分析图

2.2.2 试验结果的方差分析

表 8 最小启动回流置方差分析表

列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
因素	A	B	(A × B) ₁	(A × B) ₂	(B × D) ₁	C		(B × D) ₂	D	E			
K ₁	3.47	3.525	4.836	4.601	4.539	4.605		4.581	4.471	4.464			
K ₂	4.337	5.645	4.326	4.317	4.436	4.446		4.541	4.476	4.691			
K ₃	5.79	4.427	4.435	4.679	4.622	4.546		4.475	4.650	4.442			
$U = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^3 K_i^2$	7.1527	7.0989	6.8634	6.8554	6.8493	6.8488		6.8480	6.8497	6.8516			
方差来源	离差平方和Q	自由度φ	均方离差S	F值	临界F值	显著性	备注						
A	0.3054	2	0.1527	469.85	$F_{0.05}(2,8) = 4.46$	**							
B	0.2516	2	0.1258	387.08	$F_{0.10}(2,8) = 3.11$	**							
C	0.0015	2	0.0008	2.31		*							
D	0.0024	2	0.0012	3.69		**							
E	0.0043	2	0.0022	6.62		**							
(A × B)	0.0242	4	0.0061	18.62	$F_{0.05}(4,8) = 3.84$	*							
(B × D)	0.0035	4	0.0009	2.69	$F_{0.10}(4,8) = 2.81$	*							
误差	0.0026	8											
总和	0.5955	26											

极差分析的优点是简单、直观,但它只给出了因素重要性的顺序,而不能给出重要性程度的判定界线,也就是它不能给出一个判断被考察因素影响显著性的标准(即在给定显著性水平下是否显著),为此需进一步进行方差分析^[4]。最小启动回流量试验值的方差分析计算结果示于表8。由表8可知,因素A, B, E及交互作用(A×B)在显著水平 $\alpha=5\%$ 时显著,而因素D只有在显著水平 $\alpha=10\%$ 时才显著。因此可以认为,因素A, B, E及交互作用(A×B)对最小启动回流量有显著影响,而因素D影响一般,因素C及交互作用(B×D)则对最小启动回流量影响很小。这与极差分析的定性结论是一致的。

2.2.3 显著因素的多重比较

由方差分析得到了显著性因素,但是显著因素的各水平之间是否有显著差异,也需要分析。因为在生产实践中,由于某些原因,可能需要考虑最佳水平的替代水平,而所考虑的替代水平是否合理,需要通过多重比较来决定。因此,本试验研究根据方差分析的结论,采用Tukey提出的T法^[4],对在显著水平 $\alpha=5\%$ 时显著的因素A、B和E进行多重比较。通过多重比较得出:

(1) 因素A的各水平之间有显著差异,其中1, 3水平之间差异最大,说明因素A的各水平之间不能相互替代。

(2) 因素B的各水平之间有显著差异,其中1, 2水平之间差异最大,说明因素B的各水平之间不能相互替代。

(3) 因素E的1, 2水平之间和2, 3水平之间有显著差异, 1, 3水平之间无显著差异,说明因素E的1、3水平之间可相互替代,其它水平之间不可相互替代。

3 结论

1) 对于最小启动回流量而言,下向流布水装置结构因素的重要性顺序为: 喷口直径A, 喉口直径B, 循环缝高E, 导流筒内径D和喷口安装高度C, 其中喷口直径A, 喉口直径B, 循环缝高E对布水装置的最小启动回流量影响显著(显著水平 $\alpha=5\%$)。

2) 喷口直径A, 喉口直径B的各水平不可相互替代; 循环缝高E的1, 3水平之间可以相互替代; 喷口安装高度各水平之间可以相互替代。

3) 以最小启动回流量为考察指标得出的下向流布水装置的最佳结构组合型式为 $A_1B_1C_2D_2E_1$ 。

参 考 文 献

- 1 龙腾锐等. 下向流厌氧流化床(DAFB)常温处理屠宰废水试验研究. 重庆建筑工程学院学报, 1990, 12(4)
- 2 白新桂. 数据分析与试验优化设计. 清华大学出版社, 1986
- 3 龙腾锐等. 厌氧流化床水力混合特性的研究. 重庆环境科学. 1989, 11(4)
- 4 中国科学院数学研究所统计组编. 方差分析. 科学出版社, 1966

(编辑: 刘家凯)

RESEARCH ON THE STRUCTURE OF DOWNFLOW WASTEWATER DISTRIBUTORS IN AN ANAEROBIC FLUIDIZED BED(I)

(With the object of minimum return flow rate)

Long Tengrui Guo Jingsong

(Dept. of Urban Construction Engineering)

ABSTRACT In this paper, the optimization structure of downflow wastewater distributor in an anaerobic fluidized bed is studied by means of orthogonal test and statistical analysis with the object of minimum return flow rate. The sequence of importance, the prominent factors affecting performance of the distributor, and the optimum structure of downflow wastewater distributors are obtained.

KEY WORDS anaerobic fluidized bed, downflow wastewater distributor, environmental pollution, wastewater treatment