第16卷 第3期 环 境 污 染 与 防 治 1994年6月
Vol.16 №3 Environmental Pollution & Control June 1994

兼氧接触工艺处理造纸中段废水中间试验的研究*

浙江省轻工环保设计所 傅德龙 余淦申 郭茂新

摘要：采用中试规模的兼氧接触工艺处理造纸中段废水，当处理水量为4.8m³/d，水力停留时间3～4 h，气水比3：1，进水pH 8～9.5，平均COD浓度为1641.6mg/l，BOD_5 516.1mg/l，SS688.4 mg/l的条件下，处理后出水pH7.5左右，平均COD浓度为1959.8mg/l，去除率31.9%；BOD_5 246.5 mg/l，去除率52.1%，SS 161.9mg/l，去除率为77.1%。

造纸废水主要包括黑液、中段水及纸机白水三大类。其中黑液，特别是大型厂的木浆及麦草浆黑液和纸机白水的治理已有较成功的经验可借鉴。中段废水因水量大、成份复杂、有机污染物含量高，其处理工艺目前还在探索和起步之中。

近年来，国内外有关单位对造纸中段废水的治理作了一些有益的探索和试验。其中，以好氧生物处理工艺为主的生化法研究得最多。但是，在实践中发现，采用好氧生物法处理中段废水，在运行管理、处理成本和污泥处理等方面还存在着许多问题。因此，有必要进一步研究和开发适用性强、处理效果好、管理方便的处理方法。最近又提出了一种厌氧——好氧(A/O)系统联合处理新工艺。兼氧接触处理工艺就是在这一理论上提出的一种处理方法。

1989年，在杭州华丰造纸厂污水处理可行性研究项目中，进行了兼氧接触处理造纸中段废水的小型试验，取得了良好的效果。经过对小试结果研究分析后，于1990年中期至1991年初在华丰造纸厂现场进行了兼氧接触处理中段废水的中试研究，为开发生产性装置探索适宜的工艺参数。

一、废水水质

华丰造纸厂中段废水水质和水量如表1所示。从表1中可看出，同低浓度城市生活污水相比较，其COD值较高，属中等浓度废水，而BOD_5/COD比值为0.33，可生化性较差。此外，中段废水中还含有氯代有机物等有毒物质。

表1 中段废水水质

项目 / 水样	水质 COD (mg/l)	BOD_5 (mg/l)	SS (mg/l)	pH
中段废水	1430	480	500	8～9

二、中试工艺流程和工艺参数

1.工艺流程

工艺流程如图1所示。

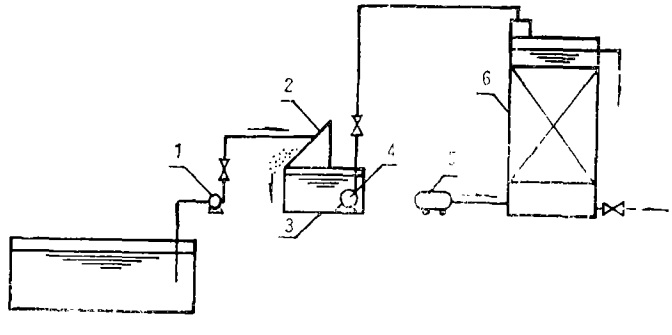

图1 处理流程图

1.泥浆泵 2.滤网 3.集水槽 4.潜水泵 5.空压机 6.兼氧池

流经全厂排水渠的中段废水先用泵提升，经滤网过滤后再提升，依次进入高位槽和兼氧接触反应器进行处理，出水排入全厂排水总管。兼氧接触反应所需空气由空压机供给。进水水

* 参加中试的还有周慧华、徐向红

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

量和供气量均用转子流量计计量。

2.工艺参数

水量　48m³/d，即2.0m³/h

温度　常温

水力停留时间　3～4 h

曝气强度　气水比 3～4 ：1

有机负荷　1.2kgCOD/m³·d

三、试验结果及讨论

1.中试装置运行效率

中试装置完成培菌驯化后，转入正常运行。在工艺参数相对稳定的条件下，1990年11月的试验结果如图2所示。从图中可以看出，当中段废水的进水COD在1212～2308mg/l（平均1611.6mg/l），BOD_5在367～617mg/l（平均516.1mg/l），SS在404～1030mg/l（平均688.4mg/l）的变化范围时，兼氧接触工艺的运行性能较为稳定，出水平均为COD 1059.8mg/l，去除率为34.9%；BOD_5为246.5 mg/l，去除率为52.1%；SS为161.9mg/l，去除率为77.1%。其他月份运行数据与上面相仿。

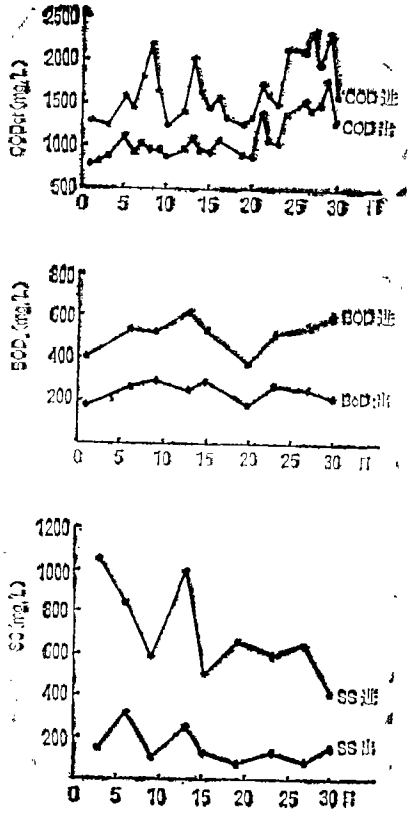

图2　中试反应器试验运行数据（11月份）

中试结果同小试相比较，有一定的差异。探讨其原因，主要有以下几点：第一、中试水质条件变化较大，如进水COD在1200～2300 mg/l范围内变化，这样使处理装置承受着较大冲击负荷，从而影响了运行效率；第二、进水pH变化幅度较大，一般pH为8～9.5，有时甚至高达10左右，而pH值对生化处理的影响是众所周知的；第三、中试装置的运行管理水平同小试有差异，因而影响了处理效果。但是，从中试运行最佳效率来看，若控制好进水pH值和水质条件，中试处理效果还可能进一步提高。

2.工艺参数及环境条件变化的影响

（1）停留时间

表2是不同停留时间对COD、BOD、SS去除率的影响。从表中可看出，停留时间6 h与4 h相比，去除率的变化幅度不大。就COD去除率而言，仅增加5.6%，这可能同中段废水水质特性与兼氧处理机理有关。一则，兼氧处理主要是利用微生物的水解酸化反应部分地降解有机物，而水解酸化反应所需时间相对较短，一般几小时之内即能完成；二则，中段废水中含有大量难生化降解物质（如木质素、木质磺酸等），即使将停留时间从4 h增加到6 h，对去除率影响不大。综合考虑技术经济条件，选择接触停留时间为3～4 h为宜，此时COD去除率可达到35%左右，BOD去除率可达52%左右。

表2　不同停留时间同去除率的关系

停留时间	去除率（%）		
(h)	COD	BOD	SS
4.0	34.9	52.1	77.1
6.0	40.5	56.3	33.8

（2）低强度曝气

在兼氧接触处理工艺中，采用低强度曝气，气水比为3～4 ：1，系统内溶解氧监测结果见表3。从表3中看出，兼氧接触反应器中的溶解氧为0.10～0.25mg/l，接近于零，说明该系统在兼氧条件下运行。通过观察污泥生物相也证实了这点。

在兼氧接触处理工艺中采用低强度曝气主要作用有如下几点：一是搅拌作用。使废水与

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

填料上的生物膜充分接触，增加传质效果；二是扰动作用，促进填料上生物膜的更新；三是少量曝气可改变系统中的氧化还原电位，有效地抑制生长缓慢的专性厌氧菌(如产甲烷菌)，同时少量充氧有利于微好氧菌群对基质的降解。

表 3　兼氧接触反应器溶解氧

项目 / 样品	溶解氧(DO)(mg/l) 浅表	深层
1	0.21	0.14
2	0.24	0.17
3	0.19	0.10

(3)填料

考虑到中段废水中含有大量的悬浮物，易使兼氧接触反应器中的填料发生堵塞现象，我们在中试装置中采用了新型弹性立体填料。这种填料是由中心绳和大量塑料细丝条编结而成，能在水中均匀伸展，呈辐射立体状态，避免了堵塞现象。此外，弹性立体填料比面积大，挂膜多，又由于特殊的丝条结构，有利于布水布气，增加了传质效果，从而能提高处理效果。

(4)间歇运转与处理效果

根据工业生产实际情况，停电、生产意外故障或停产检修是不可避免的，从而导致废水处理装置停止运行。为此探讨间歇运转对兼氧处理工艺的影响，进行了对比试验，结果见表4。从表4中看出间歇运转的处理效果与每天24 h连续运转相比较，差距不大。这可能同兼氧接触系统兼氧微生物的特性和填料上持留了大量活性污泥有关，因而适应性较强，也就提高了兼氧接触工艺的适用场合。

表 4　间歇与连续进料效果对比

运转方式	进水水量 (m^3/h)	进水 pH	去除率(%) COD	BOD_5	SS
间歇运转 (6:00～24:00)	2.0	8～10	32.7	50.6	78.9
连续运转	2.0	8～10	34.9	52.1	77.1

3.微生物学特性

在试验中，通过对培菌驯化及兼氧运转过程中生物膜生物相观察，发现在正常运转状态下，填料上的污泥外观呈褐色，菌胶团结构较紧密。生物相以杆菌为主，夹杂着球菌和少量的线状菌。除培菌初期观察到极少量的原生动物(如不活泼钟虫等)外，在正常运转状况下均未观察到原生动物。因此，从生物相上来看，兼氧接触工艺与好氧处理工艺有着明显差别。为进一步探讨兼氧接触工艺微生物学特性，我们采用常规的微生物学的研究方法，对装置中各类群微生物进行了分离计数和优势种群的鉴别，结果见表5。初步分离鉴别的优势种群有：假单胞菌属(Pseudomonas)，芽孢杆菌属(Bacillus)，气单胞菌属(Aeromonas)，变易球菌(Microcouas Varians)和发酵性丝胞酵母属(Trichosporon fermentans)。

表 5　兼氧系统各类菌群的数量分布

菌数(个/ml) 样品 / 菌类	兼性细菌	低等真菌	厌氧菌
生物膜	3×10^{10}	1.2×10^{5}	10^{4}
悬浮液	2.5×10^{7}	2.7×10^{3}	10^{3}

以上结果表明：兼氧系统存在着各种数量不同的微生物类群，大多数为兼性细菌，通过系统中各类群之间的协调代谢，使废水中的基质得到有效的转化和降解。

4.污泥形成量

在中试过程中，通过测定进水、出水和经静沉后出水的悬浮物含量来推算出兼氧接触处理系统污泥形成量。测定的平均数值见表6。

表 6　兼氧处理系统的污泥形成量

类别 / 项目	进水	出水(兼氧反应出口)	出水(静沉后)	污泥形成量
SS(mg/l)	815	375	156	219

从表中数据得出兼氧接触反应器平均截留悬浮物量为0.44kg/m^3，平均污泥发生量为0.22kg/m^3，污泥发生量大大低于截留污泥量。

污泥减少率按下式计算：

$$\eta=\frac{q_1-q_2}{q_1}=\left(1-\frac{q_2}{q_1}\right)\times100\%$$

式中，q_1—截留的悬浮物量(kg/m^3)

q_2—污泥发生量(kg/m^3)

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

将 $q_1=0.44kg/m^3$，$q_2=0.22\ kg/m^3$ 代入则：

$$\eta=\left(1-\frac{0.22}{0.44}\right)\times 100\%=50\%$$

污泥发生量与悬浮物去除之比 n 为：

$$n=\frac{C}{C_1-C_2}=\frac{219}{815-156}=33\%$$

式中，C——污泥发生量(mg/l)

C_1——进水悬浮物量(mg/l)

C_2——经静沉后出水悬浮量(mg/l)

从上述比值可说明采用兼氧接触方法处理含大量悬浮物的中段废水时，污泥发生量相对较少。初步分析其原因有两个方面：一是废水中的悬浮物在均匀进入兼氧接触反应器后，迅速地被截留吸附在填料的生物膜上，进而使兼性微生物群体有充足的时间和机会分解悬浮物中的有机质，减少了出水中悬浮物含量；二是兼氧系统的微生物主要是发酵性菌群，其细胞代谢速率远远低于好氧微生物，也即细胞产率相对较少。因而，污泥发生量要比好氧生物处理工艺少得多。

5.兼氧接触处理工艺机理初探

兼氧接触处理工艺的实质是在缺氧状态下，利用厌氧发酵中第一阶段的兼性水解产酸菌群倍增时间短，增殖快，代谢有机物能力强，以及对有毒物质耐受性能好等特点，使废水中部分有机物得到迅速降解，并且还可以提高系统中废水的可生化性，改善后续生物处理系统的处理条件。活性的兼性微生物附着在填料上形成生物膜，在控制一定的工艺参数条件下，生物膜得以不断代谢更新，维持着兼氧接触系统对有机物的稳定去除效果。

兼氧接触系统中有机物的代谢过程是大分子有机物经过水解性细菌分泌胞外酶作用，降解成小分子物质或可溶性有机物。如半纤维素经胞外酶作用，分解成二糖或单糖。单糖等可溶性有机物被产酸发酵菌群吸收利用，一部分转化成细胞物质，一部分代谢成小分子有机酸如丙酸、乙酸或 CO_2 和 H_2O 后，又重新释放到废水中。在小分子有机酸和溶解于水中的 CO_2 共同作用下，使出水 pH 值下降。中试结果证实了这点。

6.效益分析

从环境效益、经济效益和社会效益三方面分析。

环境效益：采用兼氧接触工艺处理造纸中段废水可以削减35%左右的有机污染物。以华丰造纸厂污水处理为例，若采用兼氧接触处理单元，以日处理水量为30000 m^3算，COD 年削减量为5676吨。环境效益较为显著。

经济效益：采用兼氧接触工艺处理造纸中段废水，电耗低，不需要投加营养元素，运行管理方便。以华丰厂为例，处理每 m^3废水的运行费用为0.033元，成本为0.045元。去除每 kgCOD 和BOD的成本分别是0.072元与0.167元，同其他生物处理工艺(如接触氧化法、活性污泥法)相比，去除单位重量污染物所需费用低得多。

社会效益：因华丰造纸厂处理后的出水排入市政污水管道，若采用兼氧处理单元后，一方面改善了纳入排污管道的水质，减轻污染负荷，减少对管道的堵塞与腐蚀，有利于管道设施的养护；另一方面是兼氧接触处理对中段废水中的有毒物质具有预处理作用，又能改善城市污水处理厂的运行条件，因而具有良好的社会效益。

四、初步结论

(1)试验表明，采用兼氧接触工艺处理造纸中段废水的构思合理，技术可行，处理系统操作管理方便。

(2)在运行系数为：HRT 3～4 h、气水比 3～4∶1、进水 pH8.0～9.5 时，COD、BOD_5、SS 平均去除率分别达到 34.9%、52.1%、77.1%。处理效果良好。

(3)兼氧接触处理工艺能耗低，污泥形成量少，处理成本低，处理成本为0.045元/m^3，去除单位污染物成本为0.072元/kgBOD_5，低于其他好氧生物处理工艺。环境效益、经济效益和社会效益比较明显，具有一定的应用前景。

参 考 文 献

[1] 国家环保局科技处等编，我国几种工业废水治理技术研究(第一分册造纸工业废水)，化学工业出版社，1988

[2] 王凯军等，城市污水水解(酸化)——好氧生物处理工艺研究，环境工程，4，1987

[3] 余淦申等，管道厌氧——好氧处理苎麻脱胶废水，中国给水排水，8(6)，11～14，1992

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net