

城市与工业废水处理 固定膜法的理论与实例

〔美〕Y. C. 伍 EdD. 史密斯 编

龙腾锐 郝以琼 潘伯寿 编译

中国建筑工业出版社

城市与工业废水处理 固定膜法的理论与实例

[美]Y.C.伍 Ed D.史密斯 编
龙腾锐 郝以琼 潘伯寿 编译

中国建筑工业出版社

**FIXED-FILM
BIOLOGICAL PROCESSES
FOR
WASTEWATERTREATMENT**

Yeun C.Wu

Ed D.Smith

NOYES DATA CORPORATION

1983

* * *

**城市与工业废水处理
固定膜法的理论与实例**

龙腾锐 郝以琼 潘伯寿 编译

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京市昌平县长城印刷厂印刷

*

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 11 字数: 246千字

1989年6月第一版 1989年6月第一次印刷

印数: 1—2, 520册 定价: 4.75元

ISBN7-112-00560-4/X·16

(5710)

本书从历史沿革、理论发展以及世界各地在城市与工业废水处理应用等方面,对固定生物膜法进行了详细的论述。主要内容包括固定生物膜模式的发展及其求解方法;固定生物膜工艺的模拟技术及其比例放大系数;以及固定生物膜工艺在美、英、日本、联邦德国等国的城市与工业(包括纸浆造纸、制革、食品加工、饮料、制药、石油化工、屠宰、啤酒等)废水处理中的应用情况和实例等。可供从事给水排水、环境保护的科研、设计与运行管理的技术人员以及高等院校有关专业的师生参考。

译者前言

本书摘译自美国Yeun C. Wu和Ed D. Smith主编的“Fixed-Film Biological Processes for Wastewater Treatment”一书。该书从历史沿革、理论发展以及在全球各地城市与工业废水处理中的应用等方面，对固定生物膜法进行了详细的论述。众所周知，固定生物膜法具有单位体积生物量大、运行管理简便、能耗较低、污泥沉淀性好等优点，因此，近二十年来，国内外的许多学者从理论和实际应用上进行了深入细致的研究。本书的特点是：第一、内容全面。书中涉及到的固定生物膜工艺设备有各类生物滤池，也称滴滤池、生物转盘（筒）、生物接触氧化池、膨胀床、流化床等；功能包括好氧和厌氧；废水类别包括有市政废水、市政与工业合流废水以及造纸、制革、制药、食品加工、饮料、啤酒、石油化工、屠宰等十多类工业废水；涉及到的国家包括美国、英国、日本、联邦德国等。第二、境界高，在理论上有相当的深度。大家知道，在废水生物处理中，有机物被微生物降解的一个先决条件是，有机物必须首先扩散渗透入生物膜内才能被微生物的生化反应所降解，因此，生化反应速率（即有机物的降解速率）首先受有机物扩散入生物膜内的渗透速率的制约。这样，生物处理中有机物的降解主要并不取决于微生物总量的多少，而取决于允许有机物渗透的微生物膜表面面积的大小以及由该表面面积所包围的微生物活性厚度。这一概念，不仅适用于固定生物膜法，在悬浮生长的活性污泥法中也是一样的。问题在于如何将这一概念量化，然后使之实用化。尽管目前已经有人（例如美国联合碳

化物公司)正在研究悬浮生长系统中絮体(floc)表面面积的量化问题,但困难很大,而固定生物膜法由于有固定的填料表面积,所以生物膜的表面积比较容易量化,再进一步实用化也就较易实现,因而目前人们集中对固定生物膜法进行着深入的研究,以期在这一问题上有所突破。本书对这一概念及其量化方法进行了详细的论述,并在实用化方面进行了一些尝试和探索,这对我国的读者具有重要的启迪和参考价值。第三、实用性较强。本书的编著者是世界各国长期进行固定生物膜法研究、设计、制造和运行管理的教授、专家和工程师们。因此,书中介绍了固定生物膜的模拟试验研究方法和成果;模拟设备放大到生产规模设备的设计参数和比例放大系数;以及生产规模设备运行中的运转参数和故障排除方法。译者期望,本书的翻译出版,对我国生物处理的理论研究以及探索高效、低耗、省地和污泥少的废水处理新工艺能有所帮助。

本书翻译时删去了原书的前言、参考资料目录及第十七、十九章,第一、二、十章做了必要的删节。书中的英制单位全部换算成了我国的法定计量单位(书中公式的系数因此而有变化),图中加注了单位换算式。原书中的某些错误,翻译时作了更正,必要时加了译注。

本书由龙腾锐(第一至四章、第十一至十三章)、郝以琼(第十四至十七章)、潘伯寿(第五至十章)翻译,龙腾锐校审。在翻译过程中,曾得到许保玖教授的热情帮助和指导,在此谨表谢意。限于译者水平,错误之处,请读者批评指正。

译者

1987.8.

目 录

第一章 固定膜废水处理系统的历史及其发展	1
第一节 引言	1
第二节 固定膜废水处理系统的历史及其发展	2
第三节 小结	16
第二章 市政与工业废水生物处理中合成填料的发展	17
第一节 引言	17
第二节 工艺过程研究计划	20
第三节 小结	32
第三章 固定生物膜模式	34
第一节 引言	34
第二节 生物膜	37
第三节 液相中物料的传递	38
第四节 生物膜的特性	45
第五节 生物膜内的传递与反应	55
第六节 求解技术	66
第七节 评价与推荐	78
第四章 塑料填料滴滤池的模拟	83
第一节 引言	83
第二节 试验目的	85
第三节 文献综述	85
第四节 控制因素	86
第五节 数学模型	91
第六节 材料与方法	97
第七节 结果和讨论	99

第八节 结论	113
第五章 水力负荷改变对固定膜反应器性能的影响	114
第一节 引言	114
第二节 可用的模式	114
第三节 回流比及控制对策	133
第四节 高峰流量限制系统运行性能的操作因素	136
第五节 设计资料的应用	137
第六章 实验室和生产规模RBC系统中的微生物群及其运行性能	140
第一节 引言	140
第二节 试验方法和材料	143
第三节 试验程序	144
第四节 试验结果	145
第五节 结果分析	151
第六节 生产规模RBC试验结果的分析	156
第七节 结论	158
第七章 生物转盘(旋转生物接触器, RBC)中的硝化与反硝化作用	160
第一节 引言	160
第二节 试验材料和方法	160
第三节 结果与讨论	162
第四节 结论	176
第八章 滴滤池(生物滤池)的运行特性	177
第一节 引言	177
第二节 概念化的和实际的滴滤池	182
第三节 实际的工艺运行性能	183
第四节 出水的水质、可靠性和稳定性	185
第五节 小结与结论	189
第九章 生态学对滴滤池(生物滤池)设计和运行的重	

要性	190
第一节 引言	190
第二节 生态学背景	191
第三节 生物技术述评	195
第四节 小型试验厂试验	196
第五节 试验结果	197
第六节 小结和结论	204
第十章 温度对生物转盘 (旋转生物接触器, RBC) 比 例放大的影响	208
第一节 引言	208
第二节 RBC的模式	208
第三节 RBC比例放大系数的确定	211
第四节 结 论	216
第十一章 塑料填料滴滤过程的比例放大与工艺分析方 法	218
第一节 引言	218
第二节 实验室设备特性的分析	224
第三节 比例放大关系式	230
第十二章 厌氧固定膜膨胀床原理	247
第一节 引言	247
第二节 膨胀床工艺定义	252
第三节 工艺发展现状	258
第四节 讨论	261
第五节 小结和结论	264
第十三章 浅填充床需氧和厌氧反应器	266
第一节 引言	266
第二节 浅填充床反应器	266
第十四章 固定膜反应器与改良型污泥悬浮反应器的比 较	282

第一节	引言	282
第二节	挡板反应器概念	283
第三节	试验材料和方法	284
第四节	挡板反应器试验结果	287
第五节	反应器性能的比较	290
第六节	挡板反应器性能模式	292
第七节	小结与结论	296
第十五章	厌氧生物过滤工艺的改进和系统设计	298
第一节	引言	298
第二节	可选用的厌氧生物滤池工艺	299
第三节	设计原理	300
第四节	应用及可达到的去除率	308
第五节	厌氧生物滤池的经济效果	308
第六节	讨论与结论	312
第十六章	固定膜生物工艺的一些经验	314
第一节	前言	314
第二节	接触曝气工艺废水处理厂的强化	314
第三节	处理含酚废水的滴滤池系统	322
第四节	生物转盘(旋转生物接触器, RBC)处理厂的“故障排除”	326
第十七章	日本生物转盘(旋转生物接触器, RBC)的现状及发展趋势	331
第一节	引言	331
第二节	日本 RBC 工艺综述	331
第三节	现况	332
第四节	RBC 的特殊应用	337
第五节	未来趋势	340

第一章 固定膜废水处理系统的历史及其发展

Robert W. Peters, Vernard L. Foley

普渡大学

第一节 引言

卫生工程中用固定膜系统处理废水的历史及其发展已经有几个世纪了。从罗马人的稀释和埃及人的渗滤开始，到1685年维也纳Porzio的慢砂滤池，水和废水处理发展成了十九、二十世纪的一门学科。这个发展受到诸如流行病、医学的进步和社会、经济与技术等一系列因素的影响。为将废水处理实践发展成为一门学科，Alexander、Mueller、Eduard Frankland和John Snow做了大量的工作，使疾病控制与环境保护有了长足的进步。在十九世纪末和二十世纪初，滴滤池、（也称生物滤池）接触床、间歇滤池和旋转生物接触器（也称生物转盘、生物转筒）的应用和改善支配了废水处理技术几十年。

本章综述了废水处理固定膜系统自古至今的历史及其发展。它当然不可能包括有关固定膜工艺过程的所有参考资料，只能着重于该领域已出现的技术进展，同时提供详尽的有关文献记录。

第二节 固定膜废水处理系统 的历史及其发展

自古以来，人类就已觉察到，有些水作为饮用是不安全的。人们在选择合适的城市地址中得到了一些经验，学会了以浊度、味、温度、嗅及矿物含量等项指标来分析饮用水的安全性。这些经验中有些是有用的常识，例如：他们摒弃滞流和混浊的河流而优先选择清沏的山溪。但是，由不合格水质引起各类疾病令人惊异莫解，人们便产生了一些混有占星术的想法，以为河流源头的流动方向很重要。

在古代文明中，罗马人和希腊人都很注意将局部沼泽地排干，并用他们的雨水道及下水道系统将废物冲走，只是他们并没有正确的细菌学知识来指导这些行动。

在中世纪的欧洲已记载有具有古代卫生措施的城市发展情况。个别的城镇和乡村还通过了一些针对有排出物的屠宰场、制革厂，和针对来自市区及水源上游的其它污染源的法律。那时，仍不了解有关微生物和其它污染物的特殊作用。

文艺复兴时期，各种工程项目都有所发展，特别是在泵汲方面，这导致了给水工程很大的发展。它们大多数是风力或水力驱动的。原始的蒸汽机到十八世纪初才开始出现。开初，主要是用于矿井排水，但其效率太低，以致不可能推广用于其它方面。十七世纪初，在荷兰和意大利北部已可见到完善的明渠系统；在英格兰开始了沼泽排水；在伦敦已可截断人工河道（新河）来补充供水。

在整个这一时期，能懂得一些简单的水处理工艺（如砂滤）价值的并非是西方民族。近代去土耳其的访问者发现了

一些用于个别家庭供水澄清的砂容器,特别是用砂做的水井。在许多所谓原始人之中,在浑浊河道的岸边用向下挖入砂层以获得清水的方法也是很普遍的,即使在二十世纪也这样。在医药方面的知识也处于类似的情况。例如,对于天花的预防注射,在欧洲还不知道的时候,亚洲和非洲显然是早已知道了。这样,在科学上能为水处理提供详细知识的细菌学出现之前几十年,即在维多丽亚时期,卫生工程师就已经有效地解决了水的处理问题。换句话讲,水处理技术的发展首先要回答的问题是“怎么办”,只是到后来才达到“为什么这么办”的境界。

十八世纪中叶,在欧洲兴起了产业革命,这就使水的澄清和供给问题更为突出,同时也为解决这些问题提供了更好的方法。不久就出现了设计和制造得更好并由蒸汽机带动的水泵等类的技术装置,这就神话般地大大缓解了供水问题。工业化还开辟了西欧人口增长的新区,这些新的城镇最初是有助于解决由于人口的重新分布而引起的水和人口的比例问题的。但在后来,产业革命从各方面增大了城市的密度,随之便出现了亟待解决废水处理问题的局面。这当然不是直接的因果关系,但事实上确实走过一些弯路。这些细节会使我们更深入地了解各种不同的、有助于最终导致十九世纪最后三十年间在水处理方面取得惊人进展的因素。

由于城镇的持续发展,产业革命最终给城市给水造成了新的压力。这种压力,即使有了蒸汽机也发生了,其原因至少是两方面的:第一是由于进入工业城市的许多移民都来自于穷乡僻壤,不习惯于城市生活所必须的新型的卫生措施。第二个主要问题来自于许多城市在没有房屋建筑规则和合理地规划给水排水系统的条件下发展起来了,因为它们缺乏足

够的管理部门来管理，或做出必要的财政安排来资助这样的基础设施项目。

这样，自罗马时代以来就至少为少数受过教育的人懂得了的卫生常识并没有起作用。十九世纪三十年代，由于工业化的结果推动了世界贸易的发展，把长期在亚洲流行的霍乱病带到了欧洲。这种影响逐渐蔓延。在那些生活条件比欧洲大多数的城市还更为原始的城市中，例如开罗，爆发一次霍乱病的死亡率竟高达百分之三十一。十九世纪三十年代，伦敦也开始出现霍乱。

十九世纪三十年代和四十年代，霍乱在伦敦反复流行，1831~1832、1848~1849以及1853~1854年间都流行过。霍乱的流行有助于1858年控制污水排放法律（有害物去除条例）的制订。此事并不是因为认识到了可能有对健康的潜在危险，而是从保护美学出发而促成的。此后不久，指定了许多皇家委员会来研究有关污水处理问题。当时的工艺水平可以归纳为不是灌溉就是化学沉淀和过滤。过滤和灌溉通常都与土地处理有关。这些技术没有一项涉及到生物系统。

当水通过过滤使伦敦有效地消除了霍乱之后，注意力便集中于该技术工程上的最优化。十九世纪五十年代末和六十年代初，随着砂滤饮用水的普及，开始了过滤对废水处理效果的研究。除了造成公害以外，还有一些原因使人们意识到污水必须处理，这就直接导致了污水处理工作的开展，并很快形成了三种主要的处理技术：化学沉淀、灌溉和过滤。

化学沉淀在美洲是重要的，但在欧洲，化学沉淀仍然较少选用。灌溉在开初比较注意，因为灌溉初看起来无疑是直接延伸了农民用动物废料给土地施肥的最古老的方法。但是，在实践上，由于十九世纪城市的扩大，其所需的灌溉规

模也增大，这就给推广应用灌溉提出了尖锐的问题。首先，由于城市的扩大，将废水从城市运往农村所需的运输费增加了。在沉淀的机理尚未弄得很清楚之前，污水是以一种未分离的状态来处置的，这意味着需处置的污水体积很大。大量这样的污水引起了土壤饱和、地面漫流和恶臭等问题，特别在雨量充沛和土壤孔隙性小的地区，例如在英国就常常如此。同时，从现代城市出流的污水量较为稳定，这与农业季节不协调。因此，在初期强烈的兴趣过了之后，灌溉的应用就趋于下降了。

当1865年 Alexandex Mueiler (柏林一位杰出的化学家) 在过滤柱中演示活着的微生物可以净化污水时，过滤便首次显现出是一个重要的方法。在英国，Edward Frankland于1868年发现了各种砾石、砂和土壤的过滤柱具有澄清作用，他的工作建立了在细菌澄清过程中曝气的作用，同时模拟了若干间歇式过滤方式。但是，这些方法大多数都涉及灌溉的利用，所以，正如上述，它们没能持续多久。

紧接着上述两项开拓性工作之后，英国和德国的研究人员弄清楚了细菌在澄清中的作用，这就使环境卫生与细菌学相互联系起来了。例如，Schloesing 和 Muntz 于1877年演示了土壤的硝化作用；1882年，Warrington进一步证实了消毒后的溶液一定要接种新鲜土壤后才有硝化能力。八年后，Winogradsky鉴定了硝酸细菌。但是，在工程方面的进展，多数以各自独立的方式集中出现于美国，特别是围绕马萨诸塞州卫生部劳伦斯研究所 Allan Hazen 的研究而出现的。Allan Hazen在1887年指导了一系列过滤试验，尽管模型尺寸大得多(每试验单元为 20m^3)，但都类似于 Frankland 的间歇投料试验。1890年，Allan Hazen 发表的研究成果确切地证

明：通过间歇投配污水，在滤池中生长的需氧性细菌可以完成污水在有氧环境中的降解，使出流污水达到完全卫生。这一结果导致了美国广泛采用间歇过滤法。在美国，土壤的渗透性通常比欧洲要好，并由于土地价格便宜，采用较大型的滤池也就可行。同时，在欧洲则普遍采用较粗糙的过滤填料作试验来解决孔隙率的问题，其中有些过滤填料如碎焦炭本身就是工业化的副产品。滴滤池则是利用这种粗糙过滤材料而建造的，它经滤池填料碎片之间的空间连续完成曝气。

在欧洲，Edward Frankland 还进行了砾石过滤性能的研究。他利用伦敦的原污水，在填充粗过滤填料（粗细介于粗砾石至泥炭土之间）的实验室过滤柱中，成功地进行了四个月以上的过滤性能演示试验（污水投配频率为每日两次）。Frankland把过滤池的处理能力归因于物理化学作用。他的工作的重要意义在于：确定了间隙过滤要求在两次污水投加之间要有一个休息即曝气的时间。其结果是使土地间隙过滤受到了皇家专门调查委员会的极大注意。基于威尔士的梅瑟蒂德菲尔（Merthyr Tydvil, Wales）第一个生产规模滤池运转的成功（由J. Bailey—Deyton首创），Frankland的概念为许多设计工程师所接受。但是，他们设计的严重缺点是忽略了这样一些关键性的参数，例如土壤的渗透性、间歇投配的必要性等等。所以，失败就毫无疑问了。在文献中曾报导过三十八个上述失败了的例子，这很快就使间歇过滤技术丧失了它的吸引力。当这些倾向在英国出现的时候，美国却在更进一步地研究过滤技术。经过许多人的努力，在美国是各式各样的过滤方法，包括利用混凝剂、滤料满负荷以后再清洗滤料的某种机械化方法，以及常常给予过滤过程以某种形式的机械辅助，例如泵汲、强力曝气或诸如此类的辅助形式等。

这样，美国对欧洲大量采用过的传统慢滤池做了重要的改进。诸如旋转的或固定的喷射臂、上向流辅助动力装置和反冲洗等改革措施，所有这些都导致了工艺过程更高的速率和以资本来代替劳力。据说，这些改革中的某一些，特别是旋转臂布水系统，是从面粉加工厂引用到污水处理中来的。

在这一时期，欧洲的研究是采用过滤填料（焦渣、煅烧粘土、粗白垩土、砾石等）来提高过滤速率。Scott—Moocrief和J. Worbett进行了污水通过填料床的过滤研究。F. Wallis Stoddart做了经粗填料滤池连续滴流的应用研究。接触床的概念于1891年由W. Santo Crimp和W. J. Didbin首先提出，他们采用的配水方式是将伦敦经八小时化学处理后的污水注入粗填料过滤床，十六小时后再排放。焦渣能令人满意地处理污水，而砂则由于经常会堵塞而不十分令人满意。这些试验导致成功地采用了较小填料的一级和二级床这种两级接触方法的发展，其中一级床作为粗滤池使用。这种操作方式的成功又导致了为采用包括进水、排水和反应等阶段在内的许多装置的出现。这种接触床的安装和运行在技术上都受到英国皇家委员会的支持。Waring和Lowcock对流量分布均衡和间歇滤池负荷均匀方面做了改善，Stoddart开发了具有对称排水孔口的波形金属板，Corbeff开发了开缝木槽和固定喷嘴，Carfield开发了经虹吸投配池的固定布水装置（可保证间歇投配程序，以防止填料的局部液阻现象），旋转臂布水器、带有气压扬水器的喷水装置和旋转木槽等，在这一时期都引入了污水处理中。这些生物处理系统（接触床、间歇过滤和滴滤池）都属于固定膜法。

十九世纪九十年代，由于污水处理的总体概念已为人们所接受。这一时期，正是城市不断增长，一个城市的饮用水