

城市水资源与水环境国家重点实验室开放基金项目资助

CHENGSHI SHUIZIYUAN YU SHUIHUANJING

GUOJIA ZHONGDIAN SHIYANSHI

KAIFANG JIJIN XIANGMU ZIZHU

水处理填料 与滤料

刘俊良 王 琴 编 著
张 杰 主 审



化学工业出版社

城市水资源与水环境国家重点实验室开放基金项目资助

CHENGSHI SHUIZIYUAN YU SHUIHUANJING
GUOJIA ZHONGDIAN SHIYANSHI
KAIFANG JIJIN XIANGMU ZIZHU

水处理填料 与滤料

刘俊良 王琴 编著
张杰 主审



化学工业出版社
· 北京 ·

本书全面介绍了各种水处理填料与滤料的性能特点、分类,系统分析了各种水处理填料与滤料的发展应用前景、处理对象及其处理效果,并对新型填料和滤料及其应用设备进行了详细描述。为方便查阅,在书后附上了填料环境保护产品技术要求、水处理滤料等部分内容。

本书内容丰富翔实,可供大专院校及科研院所环境工程、市政工程等专业师生作为教材或参考书,也可供与水处理有关的工厂企业、设计单位的广大技术人员、科研人员和管理人员等参考。

图书在版编目(CIP)数据

水处理填料与滤料/刘俊良,王琴编著. —北京:化学工业出版社, 2010.7
ISBN 978-7-122-08387-6

I. 水… II. ①刘…②王… III. ①水处理-填料②水过滤-过滤材料 IV. TU991.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 075664 号

责任编辑:刘兴春 陈 丽

文字编辑:刘莉娟

责任校对:陈 静

装帧设计:杨 北

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京市永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张12½ 字数284千字 2010年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

前言

水处理填料与滤料是水处理工艺中用于物化处理的过滤介质材料和生化处理的微生物栖息的载体物质，是现代水处理工艺中直接关系处理效果的不可缺失的环节。

过滤技术中，滤料及滤料层的构成是决定过滤设备性能优劣的关键，它们决定着滤后水的水质，决定着过滤设备的基本性能。因此，过滤技术的发展在很大程度上取决于对滤料和滤料层构成的研究与改进。随着人类生活水平的不断提高，人们对滤料的要求越来越高。经过多年的研究和发展，滤料的品种和规格日益增多，质量和性能逐步提高，应用范围不断扩大，适应了国民经济发展的需要，尤其是在水处理行业得到了良好的效果，正在逐步推动我国水处理过滤技术的进步和发展。

填料作为生物膜法的核心组成部分，影响着污水回用事业的发展。在生物处理技术中，填料作为生物膜的载体，是影响处理效果的关键因素之一。因填料在水处理领域独特的性能，国内外的水处理工作者一直不断地研制、开发、生产和应用各种不同的填料，提高水处理技术水平，满足各种需求。20 世纪 80 年代以来，国内陆续开发了许多种类的填料，包括弹性填料、生物填料、纤维填料以及新型填料等，各种填料由于自身的特点，有着不同的优势和劣势，给了厂家选择的空间，可以根据所需处理水质和水量以及所选处理工艺选择最佳的填料。

目前国内尚无系统介绍填料和滤料的相关书籍出版。本书是作者在近几年实践积累、试验研究和系统分析的基础上，结合编著者多年来从事水和废水处理教学科研的心得体会，对水处理所需的填料和滤料进行了详细的总结、分析和介绍。其主要内容如下。第 1 章，结合污水回用的发展趋势，分别阐明了填料和滤料在水处理行业的重要性以及广阔的应用前景。第 2 章，全面系统地论述了填料的发展过程、作用和性能特点，分析比较了各种填料（包括近几年水处理行业的新型填料）的特点、处理对象及其处理效果，并对填料的发展趋势进行了探讨性论述；从填料改性、功能复合化、形状改进和固体废物利用四个方面论述了新型填料的开发。第 3 章，论述了滤料的过滤过程、作用和性能特点，分析了各种滤料（包括近几年水处理行业的新型滤料）的特点、处理对象及其处理效果，并对滤料的发展趋势进行了探讨性阐释。第 4 章，结合滤料的应用情况，对水处理行业滤料的应用设备进行了总结分析，主要包括滤料应用设备的性能参数、主要特点和典型用途。最后，为便于查阅，附录部分列出了填料环境保护产品技术要求、水处理滤料等部分内容。

本书由刘俊良、王琴编著，中国工程院院士、哈尔滨工业大学博士生导师张杰教授主审。应编著者之约，王鹏飞、宋智慧、张立勇、张铁坚、刘京红、任轶蕾、周利霞、张思若、丁玎、宋建武、毕荫来等参加了本书的部分编写工作。编著过程中得到城市水资源与水

环境国家重点实验室开放基金项目资助，资助项目编号 HC 200903。另外，感谢江苏金山环保工程集团为本书编著提供的部分资料等支持。

限于编著者时间和水平，书中不足与疏漏之处在所难免，敬请有关专家和广大读者批评指正。

编著者

2010 年 6 月古城保定

目 录

1 水处理填料和滤料与污水回用	1
1.1 污水回用方式与技术	1
1.2 集中式回用发展趋势	1
1.3 分散式回用发展趋势	2
1.3.1 生物膜法分类及技术特点	3
1.3.2 常用生物膜法回用技术	4
1.4 填料和滤料的应用	6
1.4.1 滤料的应用	6
1.4.2 填料的应用	6
参考文献	7
2 填料	9
2.1 填料的发展	9
2.2 填料的作用	10
2.3 填料的性能	11
2.3.1 填料的性能要求	11
2.3.2 填料的性能参数	12
2.4 填料分类概述	14
2.5 定型固定式填料	14
2.5.1 蜂窝状填料	15
2.5.2 波纹板状填料	17
2.6 分散型填料	21
2.6.1 分散堆积式填料	22
2.6.2 分散悬浮式填料	25
2.7 悬挂式填料	40
2.7.1 软性填料	40
2.7.2 半软性填料	41
2.7.3 组合式填料	42
2.7.4 弹性填料	44
2.8 新型填料	47
2.8.1 粉煤灰固定化絮凝剂颗粒填料	47
2.8.2 新型 BF 填料	48

2.8.3	针刺聚氨酯纤维条状填料	49
2.8.4	阿科蔓填料	49
2.8.5	辫带式填料	50
2.8.6	牡蛎壳填料	51
2.8.7	稻壳填料	52
2.8.8	KP-珠填料	52
2.8.9	空间立体网状填料	53
2.8.10	新型 BioM 微生物载体	54
2.8.11	科利尔生物带	54
2.8.12	竹球填料	55
2.9	填料的比较	56
2.10	填料研究的发展方向	58
2.10.1	水处理中新型填料的开发	58
2.10.2	水处理中填料的作用机制	63
	参考文献	65
3	滤料	67
3.1	滤料的发展	67
3.1.1	从单层到多层的转变	67
3.1.2	从天然到人工的转变	67
3.1.3	滤料材质的转变	68
3.2	滤料的作用	69
3.3	滤料的性能	69
3.3.1	滤料的性能要求	69
3.3.2	滤料的主要性能参数	70
3.4	滤料的分类概述	71
3.5	天然矿物类净水滤料	71
3.5.1	无烟煤滤料	71
3.5.2	石英砂滤料	72
3.5.3	鹅卵石(砾石)滤料	73
3.5.4	锰砂滤料	74
3.5.5	磁铁矿滤料	74
3.5.6	火山岩滤料	75
3.5.7	膨胀珍珠岩	76
3.5.8	稀土瓷砂滤料	76
3.5.9	石榴石滤料	77
3.5.10	沸石滤料	78
3.5.11	金刚砂滤料	78

3.5.12	瓷砂滤料	79
3.5.13	人造火山灰 (SVA) 滤料	80
3.5.14	海泡石	80
3.5.15	膨胀珍珠岩	81
3.5.16	硅藻土	82
3.5.17	蒙脱土	83
3.5.18	凹凸棒土	84
3.5.19	麦饭石	86
3.5.20	蛇纹石滤料	87
3.5.21	陶粒滤料	87
3.5.22	陶柱滤料	95
3.5.23	浮石滤料	96
3.6	生物材质类净水滤料	96
3.6.1	果壳类滤料	96
3.6.2	活性炭滤料	98
3.6.3	果壳活性炭	99
3.6.4	焦炭滤料	100
3.7	化工材质类净水滤料	101
3.7.1	聚丙烯滤芯	101
3.7.2	聚醚砜滤芯	102
3.7.3	聚四氟乙烯滤芯	103
3.7.4	纤维球滤料	104
3.7.5	纤维束滤料	105
3.7.6	聚酯纤维针刺毡覆膜滤料	106
3.7.7	聚苯乙烯泡沫颗粒滤珠滤料	106
3.8	金属矿物滤料	107
3.8.1	活性氧化铝	107
3.8.2	凯得菲 (KDF) 多金属滤料	108
3.8.3	铁屑滤料	109
3.8.4	海绵铁	109
3.9	几种典型的新型滤料	110
3.9.1	彗星式纤维滤料	110
3.9.2	旋翼式纤维过滤料	111
3.9.3	多孔陶瓷	113
3.9.4	改性火山岩滤料	114
3.9.5	空心陶瓷球	114
3.10	滤料的发展趋向	115

参考文献	116
4 现代过滤设备	118
4.1 纤维转盘滤池	118
4.2 电动刷式全自动自清洗水过滤器	119
4.3 全自动阵列超滤器	121
4.4 自动旋流集污式砂滤器	123
4.5 板框式过滤器	124
4.6 砂芯过滤器	125
4.7 活性炭过滤器	126
4.8 袋式过滤器	127
4.9 自洁式排气水过滤器	128
4.10 机械过滤器	130
4.11 除铁锰过滤器	130
4.12 盘式过滤器	132
4.13 黄锈水过滤器	133
4.14 生物过滤装置	134
4.15 反渗透装置	136
4.16 MBR（膜生物反应器）	137
参考文献	142
附录 1 悬浮填料环境保护产品技术要求（HJ/T 246—2006）	144
附录 2 悬挂式填料环境保护产品技术要求（HJ/T 245—2006）	149
附录 3 水处理用滤料（CJ/T 43—2005）	154
附录 4 水处理用天然锰砂滤料（CJ/T 3041—1995）	164
附录 5 多层滤料过滤器（HJ/T 248—2006）	170
附录 6 反渗透水处理装置（HJ/T 270—2006）	175
附录 7 水处理用人工陶粒滤料（CJ/T 299—2008）	181

1 水处理填料和滤料与污水回用

1.1 污水回用方式与技术

城市污水回用技术是在城市污水处理技术的基础上，融合给水处理技术、工业用水深度处理技术等发展起来的。作为解决水危机的战略性措施，城市污水回用技术的研究与应用，在国内外已较普遍。通常，按照处理方式和回用规模不同，污水回用可分为集中式回用和分散式回用。集中式回用是以集中式处理和大规模回用为基础的，具体是指污水经城市排水管网收集送至污水处理厂集中处理达到回用标准后，再输送至用户进行利用。具体回用方式包括农业灌溉、地下水回灌、河湖补充用水、部分工业冷却用水或工艺用水等。分散式回用是与集中式回用相对而言的，是以污水的分散式处理为基础的，其目的是实现污水的就地收集、就地处理与就地回用。分散式回用的规模一般较小，回用途径主要有灌溉绿地、浇洒道路、冲洗汽车、建筑施工等城市杂用水，建筑中水和部分景观用水等。

1.2 集中式回用发展趋势

当前，世界各国大多仍采用集中式管网收集系统和大型污水处理厂的方式集中处理生活污水。污水的集中处理有许多优点。首先，能对污水处理厂进行可靠且有效的管理和控制，确保污水达标排放；其次，在对同一地区起同样作用时，大型污水处理厂本身的投资与运行费用要低于众多小型污水处理厂的费用总和。不过集中式污水处理厂建设除了本身基建投资以及日常运行费用外，还需要配套大量的管网收集系统，这部分投资费用也相当大，如将其考虑在内，则集中式污水处理的优势不再明显。

在处理工艺选择上，国内外大规模的城市污水处理主要以活性污泥法为主，对生物膜法应用较少。主要是因为活性污泥法具有稳定的出水水质、较低的运行费用等优点。但是，为了达到回用目的，尚需对活性污泥法处理城市污水的二级出水进行深度处理，这方面的研究在国内外由来已久。在国外，美国在 20 世纪 20 年代已经比较系统地研究了污水的深度处理回用技术；伯利恒钢厂几十年来一直利用城市污水回用作工业冷却水及工艺水；美国加利福尼亚州 21 世纪水厂将二级出水经化学澄清、碳酸化、活性炭吸附及氯化、反渗透处理后回注于地下含水层；美国洛杉矶的一个污水处理厂采用石灰混凝沉淀除磷—氨吹脱—过滤—活性炭吸附或反渗透—氯消毒的工艺对二级出水做深度处理；日本名古屋市的污水经混凝沉淀过滤后回用于工业；日本东京落合污水处理厂二级出水经过混凝、过滤和加氯消毒处理后，回用于新宿区的建筑杂用水和神田川的景观河道用水；澳大利亚 Eraring 发电厂用反渗透法

从废水中制备锅炉补给水；另外，以色列和新加坡等国的污水回用技术和回用规模也一直处于世界前列。在国内，北京高碑店污水厂将二级出水深度处理后回用于工业冷却、景观河道、城市绿化和城市喷洒道路等；太原市杨家堡污水厂的二级出水经过滤—曝气生物滤池—混凝沉淀—过滤—消毒处理后用作循环冷却水和市政杂用水；青岛市海泊河污水处理厂将二级出水经深度处理后回用于工业冷却、电厂冲灰、市区景观和生活杂用等方面；合肥一污水处理厂将二级出水经混凝沉淀、过滤、消毒处理后回用做景观用水和河流水体补水；石家庄市桥西污水处理厂的二级出水经深度处理后回用于景观用水；天津纪庄子污水处理厂、北京北小河污水处理厂和泰安市污水处理厂也分别将二级出水经过滤消毒处理后回用于工业用水、景观用水和绿化等。

1.3 分散式回用发展趋势

传统认识认为，分散式污水处理只是集中式处理的缩小，主要用于城市偏远地区、居住比较分散的中小城镇及广大农村等受地理条件和经济因素限制，不能纳入城市污水收集系统或不宜于进行污水集中处理的地方。现在，对这一概念更进一步的认识是污水的就地收集、就地处理与就地回用。因此，在以回用为目的时，污水的分散式处理较符合我国国情。这种回用方式既不需要大量的管网投资，也不会造成水质、水量的大量损失，同时还可因地制宜的灵活选用处理技术，由此可见，分散式污水回用对于有效缓解水资源紧缺压力显然更具有现实意义。由于活性污泥法存在占地面积较大，运行不当时易出现污泥膨胀、泥水分离困难等问题，所以，活性污泥法在分散式污水处理中较少采用。常用的污水分散式处理工艺主要有人工湿地、稳定塘、BAF、接触氧化法、MBR、与其他生物工艺组合的 MBR 法等。其中，人工湿地法具有投资少且运行成本低、污染物去除效率高等优点，其主要不足是占地面积较大、受气候条件限制、周边环境有异味等。稳定塘法也具有投资少，运行费用低等优点，但也是易受占地面积和气候条件限制。这两种工艺主要用于城郊或农村地区。而 MBR 工艺虽已在污水回用中有较多应用，但膜污染及投资较大等问题仍是该工艺应用的限制因素。在以回用为目的的分散式污水处理中，生物膜法以其占地面积小、处理效果好、运行稳定、管理方便等优势得到广泛认可。

生物膜法处理污水的实质是附着在反应器内填料上的细菌、原生动物、后生动物等微生物通过自身的繁殖和代谢对流经生物膜表面的污水中的污染物进行降解，使污水得到净化的过程。由于生物膜的形成和生长是生物膜反应器发挥作用的关键，对生物膜生长过程的了解对控制生物膜反应器的效率发挥有着重要意义。根据 Characklis 的研究，生物膜的形成是一系列物理、化学和生物过程的综合作用的结果，即污水中的有机分子输送至附着有生物膜的填料表面；在传输的过程中，污水中一些浮游型微生物细胞吸附到填料表面，但由于存在水力剪切力或物理、化学和生物作用，吸附到填料表面的一些细胞重新解析到水中，而其他细胞则变成不可解吸的细胞；不可解吸的细胞摄取污水中的营养物质，对其进行利用和氧化分解，同时由于细胞自身的新陈代谢而排出体外的胞外多聚物将生物膜结合在一起；正是由于微生物对污水中的有机物进行新陈代谢才使得生物膜不断地积累形成。对于生物膜的生长过

程,可由 Capdeville 等人提出的六阶段论来阐明,即适应期、对数增长期、线性增长期、减速增长期、稳定期和脱落期。在适应期,生物膜处于生长阶段,不可逆吸附的微生物固着于填料表面,逐渐形成较薄且疏散的生物膜;在对数增长期的初期,微生物在填料表面迅速增长,生物膜开始增厚,水中的有机污染物浓度下降,溶解氧也被大量的消耗,当进入对数增长期末期时,活性生物量应达到最大,此时系统内达到一种平衡,出水底物浓度基本稳定;在线性增长期时,随着生物膜在填料表面的不断增加,在生物膜增长曲线上出现了线性增长阶段,此时,非活性生物膜量占很大比例;在减速增长期,随着生物膜的增厚,营养物质和氧的传递阻力增加,生物膜内部好氧微生物开始死亡,兼性好氧微生物停止新陈代谢,转而进入厌氧期,生物膜厚度降低;在稳定期,兼性好氧和厌氧微生物逐渐适应环境的变化,利用好氧微生物的残骸以及传输过来的营养物质维持自身新陈代谢,在已死亡的微生物表面迅速生长,生物膜的厚度减小趋缓;在脱落期,老化生物膜受内层厌氧产气的顶托逐渐脱落,重新裸露的填料表面区域为新的生物膜的形成提供了场所。

在生物膜法中,由于微生物附着在载体表面,其具有较长的停留时间,所以在生物膜反应器内可形成稳定的生态系统,既能生长世代时间短、比增长速率大的微生物,又能生长世代时间长、比增长速率小的微生物,这就保障了反应器内微生物的多样性,使生物膜法具备高效去除多种污染物的能力。

1.3.1 生物膜法分类及技术特点

生物膜反应器种类繁多,通常可根据反应器内载体所处状态分为固定床和流动床两大类。固定床生物膜反应器主要包括生物滤池、生物转盘和接触氧化等,而流动床生物膜反应器主要包括生物流化床、气提式生物膜反应器、厌氧生物膜膨胀床和移动床生物膜反应器等。除上述传统的生物膜反应器外,一些新型的反应器也大量出现,如复合式活性污泥生物膜反应器 (Hybrid Activated Sludge-Biofilm Reactor)、序批式生物膜反应器、复合式生物膜反应器和一体化生物反应器等,它们也都得到了深入研究。目前,各类生物膜反应器已在工业废水和城市污水处理中发挥了重要作用。如 Iaconi 等人用接触氧化法和臭氧联用工艺处理制革废水的研究表明,COD、氨氮和 SS 的去除率分别可达到 97%、98%和 99.9%;Rajasimman 采用三相流化床处理淀粉废水时,在进水 COD 高达 2250mg/L 时,其去除率可达到 93.8%;Chowdhury 在液-固两项流化床用于模拟市政污水的除氮研究时发现,空床接触时间为 0.44h 时,缺氧-好氧两级流化床能将 90%的氨氮硝化,总氮去除率可达到 70%左右;郭远凯等采用好氧生物膜法和紫外消毒联用工艺直接处理居民区化粪池污水,COD、TN、TP 平均去除率分别达到 87.3%、62%和 76.8%,出水可满足 GB-18918—2002 一级 A 类标准;Fang 等采用内部装填纤维填料的 SBBR 反应器处理模拟城市污水的试验研究表明,在 COD 和氨氮负荷分别为 $0.56\sim 4.51\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 和 $0.04\sim 0.49\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 时,COD 和 TN 去除率分别可达到 95%和 57%;吴根等用悬浮填料生物膜反应器处理高校生活污水也取得了良好效果,在 HRT 为 6h 时,COD、氨氮和 TP 去除率分别达到 95%、80%和 50%以上,该工艺还被广泛用于处理高负荷有机废水和工业废水方面。

上述这些生物膜反应器虽然在生物膜载体和供氧方式上存在差异,但它们具有几个共同

特点。

(1) 抗冲击负荷能力强

一般生物膜法对进水水质和水量变化具有较强的适应能力，处理效果较为稳定。即使偶尔受进水有害物质的影响，导致出水水质恶化，但在进水水质恢复后，生物膜的除污功能仍能很快恢复。

(2) 运行简单，管理方便

生物膜法不需要污泥回流和控制污泥参数，故运行简单。另外，生物膜法不存在污泥膨胀问题，系统内的丝状菌具有很强的分解有机物能力，且对生物膜无不良影响。

(3) 具有较强硝化功能

通常，参与污水硝化反应的各种硝化菌属自养菌，其世代时间长，比增长速率小。当采用生物膜法时，由于填料对生物膜的固定作用，硝化菌可大量繁殖，完成对氨氮的硝化作用。

(4) 可处理低浓度污水

当进水 BOD 浓度小于 50~60mg/L 时，活性污泥法将较难形成有良好沉降性能的絮体，出水受到影响；而生物膜法不受此限制，可继续进一步地去处污水中的污染物。

(5) 能耗低

生物膜反应器内具有较高的生物量浓度，可高效完成对污染物的去除，另外，生物膜法一般不需要回流，所以其能耗较低。

(6) 污泥沉降和脱水性能好

生物膜法产生的污泥主要来源于老化生物膜的脱落，其含水率一般比活性污泥低，具有良好的沉降和脱水性能，使后续泥水分离和污泥脱水工艺更容易进行。

1.3.2 常用生物膜法回用技术

在诸多生物膜法污水处理与回用工艺中，应用较多的有生物接触氧化法和曝气生物滤池等。

(1) 生物接触氧化法

生物接触氧化是一种介于活性污泥法与生物滤池两者之间的生物处理技术，也可以说是具有活性污泥特点的生物膜法，兼具两者的优点。其处理污水的实质是，在好氧条件下，通过填料表面生物膜上的微生物的新陈代谢作用，使污水中的污染物得到去除。其核心包括两方面：一方面，在接触氧化池内填充惰性填料，已经预先充氧曝气的污水浸没并流经全部填料，污水中的有机物与填料上的生物膜广泛接触；另一方面，在氧化池内设有曝气装置，向池内供氧并起到搅拌和混合作用。生物接触氧化法的典型工艺由氧化池、填料、支架、曝气装置、进出水装置和排泥管道组成。生物接触氧化法具有如下特点：单位容积的生物量大，生物活性高；处理效果好；操作简便；体积负荷高，处理时间短，节约占地面积；动力消耗低；无污泥膨胀现象，运行稳定；污泥产量低等。

生物接触氧化工艺出现初期，主要用于处理低浓度、低有机负荷的污水，当时的填

料主要是砂石、竹木制品和金属品等。该工艺虽然克服了活性污泥法中因污泥流失而不能正常运行的缺点，但存在着布水布气不均、填料堵塞、运行费用过高等问题，这直接限制了其推广和使用。直到 20 世纪 70 年代，随着新型材料的发展和供氧方式的改进，才促进了生物接触氧化技术的新发展。近几十年来，随着专家学者对生物接触氧化工艺所涉及的填料、机理、微生物、构筑物等方面研究的深入，该工艺的应用范围也越来越广，已不局限于生活污水的处理，在高浓度有机废水和有毒工业废水的处理上也显示了其优越性。

生物接触氧化工艺在我国的发展已有 30 多年历史，尤其是近年来随着合成塑料工业的发展，新型填料不断问世，克服了传统填料易堵塞、布水布气不均匀的缺点，使得生物接触氧化技术在我国得到了广泛的应用。目前，生物接触氧化工艺在国内的应用涉及各个领域，除在给水中用于微污染源水的处理外，更多的用于污水处理中。宋襄翎等采用装填中空聚丙烯纤维填料的接触氧化反应器处理生活污水时，COD 和 TP 的最高去除率分别可达到 85.8% 和 82%；邵蓊等采用二段接触氧化法在寒冷地区处理生活污水，在温度为 8~12℃ 时，COD 和 BOD 的去除率可达到 88.63% 和 91.25%；刘庆斌等采用水解酸化和接触氧化联用工艺处理印染废水，COD、BOD、SS 和浊度去除率分别可达到 86%、92.5%、88% 和 90%，出水达到其行业标准 GB 4287—1992 的一级要求；古杏红等将生物接触氧化用作厌氧水解的后续工艺处理苯胺化工废水，在进水 COD、氨氮、苯胺分别为 617.5mg/L、45mg/L 和 25.8mg/L 的条件下，去除率分别可达 85.9%、78% 和 97.8%；李国秀等对生物接触氧化工艺进行了改良，增设了污泥回流步骤，该工艺在处理印染废水时取得了较好的效果；该工艺与水解酸化、UASB、电解等工艺单元联用后还被成功用于处理生物制药废水、养殖废水、树脂废水、油田采出水等。

目前，单独以接触氧化法或将其与其他工艺联用后作为污水回用处理技术的报道也很多。如：刘忠伟采用以接触氧化为核心工艺的一体化装置处理某企业生活小区污水处理厂的二级出水，深度处理后的出水可回用于小区绿化和锅炉房冲渣；许航等采用气提式接触氧化反应器处理校园生活污水，也取得了很好的效果，出水符合城市杂用水标准；邵武等采用接触氧化与膜分离技术对生活污水进行了中水回用研究，结果表明出水可满足杂用水标准；陈丽杰等采用生物接触氧化工艺作为核心处理单元，处理生活污水的出水可满足地方中水回用标准；秦英海和周建民分别采用接触氧化法作为核心工艺处理炼油污水和牛仔洗漂污水，出水分别回用于循环冷却水和牛仔洗漂工艺用水。

(2) 曝气生物滤池

曝气生物滤池 (Biological Aerated Filter, BAF) 是 20 世纪 80 年代末 90 年代初在普通生物滤池的基础上，借鉴给水滤池工艺而开发的一种好氧生物膜法污水处理新工艺。其对污水的净化实质是利用滤料的拦截和滤料上生物膜的生物降解双重作用实现对污水中污染物的去除。按照进水方式的不同可以将曝气生物滤池分为上向流和下向流两种形式。曝气生物滤池从结构上共分成三个区域：缓冲配水区，承托层及滤料层，出水区及出水槽。待处理污水由管道流入缓冲配水区，污水在向上流过滤料时，经滤料上附着生长的微生物膜净化处理后经过出水区和出水槽由管道排出。该技术充分利用生化反应和物理作用，使反应器兼有活性

污泥法和生物膜法的优点，其最大特点是集生物氧化和截留悬浮固体于一体，节省了后续二次沉淀，在保证处理效果的前提下使处理工艺简化。该工艺具有容积负荷高、水力负荷大、氧的传输效率很高、耐低温、挂膜启动快、占地面积小、基础投资少、能耗及运行成本低等优点，此外，该工艺可采用模块化结构，便于分期建设，但该工艺对进水水质要求较高，当进水 SS 浓度较高时，将大大缩短反冲洗运行周期，造成能耗增加。不过，自 20 世纪 80 年代在欧洲建成第一座曝气生物滤池污水处理厂后，曝气生物滤池已在欧美和日本等发达国家广为流行，目前世界上已有数百座大大小小的污水处理厂采用了这种技术。其应用领域涉及城市污水处理、生活污水处理和工业废水处理等。

1.4 填料和滤料的应用

从污水回用的发展趋势看，无论是集中式污水回用方式后的深度处理和分散回用的生物膜法。填料和滤料在污水回用中都是必不可少的环节，并发挥举足轻重的作用。

1.4.1 滤料的应用

结合活性污泥法处理城市污水的二级出水的特点，如需达到污水回用的目的必须对城市污水处理厂二级出水为原水进行深度处理后才能实现。目前，除必须设置的消毒单元外，国内外应用较多的深度处理工艺单元主要有过滤（可先进行混凝、沉淀）、膜分离、活性炭吸附、臭氧氧化和生物膜设备等。现有的污水深度处理一般均是由这几个处理单元选择性组合而成。膜技术由于具有高效节能的优点也在污水回用领域得到广泛应用，现在应用得较多的有微滤、超滤、反渗透、纳滤等。但是采用膜分离技术作为污水回用处理单元时，必须面对膜污染问题，这就要求污水在进入膜分离处理单元前必须经过预处理，将污水中微细颗粒和胶体物质去除，并将大分子有机物转化为固相，一般可通过混凝、沉淀、过滤和活性炭吸附等实现这一目的，此外，膜分离工艺投资一般较大。臭氧氧化消毒速度快、效果好但存在造价较高，不能长时间维持剩余臭氧，必须在使用现场产生，设备复杂，操作及维修麻烦，因而没有能得到普遍推广。所以在污水深度处理技术中，普遍采用滤料过滤技术。

过滤技术中，滤料及滤料层的构成是决定过滤设备性能优劣的关键，它们决定着滤后水的水质，决定着过滤设备的基本性能。因此，过滤技术的发展在很大程度上取决于对滤料和滤料层构成的研究与改进。随着人们生活水平的不断提高人们对滤料的要求越来越高。一种好的滤料，除了满足基本要求外，还要求其滤速大、过滤周期长、纳污量大、滤层水头损失增长慢、反冲洗彻底等，给人类提出了新的挑战。经过多年的研究和发展，滤料的品种和规格日益增多，质量和性能逐步提高，应用范围不断扩大，适应了国民经济发展的需要，尤其是在水处理行业得到了良好的效果，正在逐步推动我国水处理过滤技术的进步和发展。

1.4.2 填料的应用

填料在水处理中有着广泛的应用，无论是好氧、兼氧还是厌氧过程中，填料都发挥着重要的作用。近三十年来，随着新型材料的开发和配套技术的不断完善，与活性污泥法平行发

展起来的生物膜工艺技术得以快速发展,这是因为通过生物膜细胞固定技术相对于传统活性污泥法对比具有很多突出的特点和优势。

填料作为生物膜法的核心组成部分,影响着污水回用事业的发展。在生物处理技术中,填料作为生物膜的载体,是影响处理效果的关键因素之一。因填料在水处理领域独特的性能,国内外的水处理工作者一直不断地研制、开发、生产和应用各种不同的填料,提高水处理技术水平,满足各种需求。20 世纪 80 年代以来,国内陆续开发了许多种类的填料,包括弹性填料、生物填料、纤维填料以及新型填料等,各种填料由于自身的特点,有着不同的优势和劣势,给了厂家选择的空间,可以根据所需处理水质和水量以及所选处理工艺选择最佳的填料。但是目前国家尚未对填料的使用标准做出明确的规定,对于填料的各種特性也没有全面的描述,同时也增加了选择的障碍。

参 考 文 献

- [1] Frank Rogella. Cost reduction will make MBR realistic even for large plants [J]. International Desalination & Reuse, 2002, 11 (4): 3-12.
- [2] Prathmesh Barar, Seth V K. Application of reverse osmosis for water reclamation from sewage [J]. International Desalination & Water Reuse, 2001, 10 (4): 38-56.
- [3] 邵青, 龙荷云, 安鼎年. 水处理剂循环再利用技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004. 1-3.
- [4] Chan S Y, Tsang Y F, Cui L H, Chua H. Domestic wastewater treatment using batch-fed constructed wetland and predictive model development for $\text{NH}_3\text{-N}$ removal [J]. process biochemistry, 2008, 43 (3): 297-305.
- [5] 宣亚红, 王小江, 白玉华等. 垂直人工湿地在处理回用城市生活小区污水中的应用 [J]. 科技信息, 2008, (22): 52-53.
- [6] 康冠军. MBR 在 PTA 污水回用中的工程设计及运行 [J]. 石油化工安全环保技术, 2008, 24 (2): 1-5.
- [7] 孙星凡, 文一波, 张言. A/O-MBR 处理生活污水回用的试验研究 [J]. 供水技术, 2008, 2 (4): 24-26.
- [8] Chung Jinwook, Bae Wookeun, Lee Yong-Woo, et al. Shortcut biological nitrogen removal in hybrid biofilm/suspended growth reactors [J]. Process Biochemistry, 2007, 42 (3): 320-328.
- [9] Sung Ho Yeom. A simplified steady-state model of a hybrid bioreactor composed of a bubble column bioreactor and biofilter compartments. Process Biochemistry, 2007, 42 (4): 554-560.
- [10] 郭远凯, 黎松强, 吴馥平. 生物膜-紫外消毒工艺处理城市污水研究 [J]. 化学工程师, 2006, 126 (3): 15-17.
- [11] 吴根, 宋存义, 郭湛. 悬浮填料生物膜反应器处理高校生活污水 [J]. 环境污染治理技术与设备, 2005, 6 (1): 87-89.
- [12] 许泽美, 唐建国, 周彤等. 废水处理及再用 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002, 47-49.
- [13] 宋襄翎, 张欣, 李继荣等. 生物接触氧化法处理生活污水的研究 [J]. 化学与生物工程, 2007, 24 (2): 66-68.
- [14] 邵蓓, 李亭亭, 姚敬博. 二段生物接触氧化法处理寒冷地区生活污水试验研究 [J]. 辽宁化工,

2007, 38 (4): 274-276.

- [15] 刘庆斌, 陈超产. 水解酸化—接触氧化—混凝处理印染废水工程实践 [J]. 工业安全与环保, 2008, 34 (4): 24-25.
- [16] 古杏红, 耿书良, 李峰. 厌氧水解—生物接触氧化法处理苯胺类化工废水 [J]. 给水排水, 2002, 28 (1): 69-70.
- [17] 李国秀, 王克全. 改良生物接触氧化法在印染废水处理中的应用 [J]. 城市环境与城市生态, 2008, 21 (3): 36-37.
- [18] 周建民, 罗峥, 刘源等. 水解酸化与接触氧化在牛仔洗漂污水回用工程的应用 [J]. 水处理技术, 2008, 34 (3): 88-91.
- [19] 郑俊, 吴浩汀. 曝气生物滤池工艺的理论与应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005. 23-24.
- [20] 唐业梅, 唐锦涛. BAF 工艺处理城市污水 [J]. 湖南有色金属, 2002, 18 (5): 40-42.
易彪, 陶涛, 朱鹏. 曝气生物滤池处理城市污水的工程应用 [J]. 中国给水排水, 2007, 23 (20): 60-62.
- [21] 兰善红, 陈锡强, 梁谋会等. 新型填料曝气生物滤池处理生活污水的研究 [J]. 中国给水排水, 2007, 23 (9): 77-80.
- [22] 武晓刚, 史乐君, 曹文平. 两段 BAF 处理生活污水中试研究 [J]. 科学技术与工程, 2008, 8 (13): 3563-3566.
- [23] 郭景玉, 万小芳, 贺春梅等. 上向流 BAF 处理合成氨废水的应用研究 [J]. 石油化工安全环保技术, 2008, 24 (3): 55-56.