

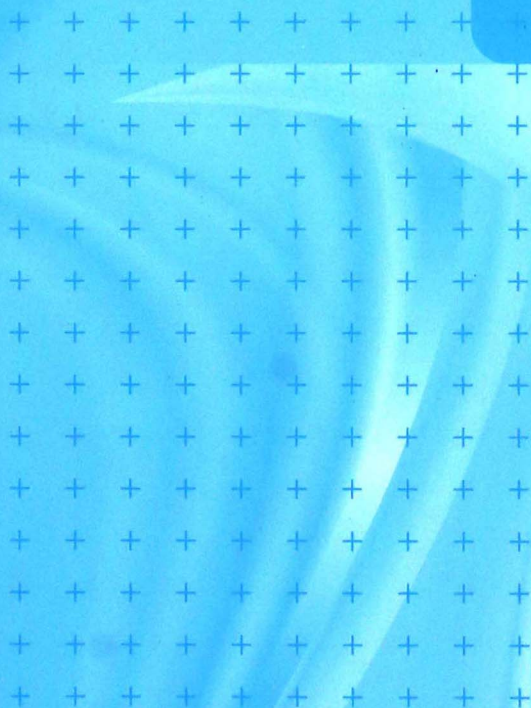
城市水资源与水环境国家重点实验室开放基金项目资助

水处理 第二版

填料与滤料

SHUI CHULI TIANLIAO
YU LULIAO

刘俊良 王 琴 李君敬 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

水处理填料与滤料

第二版

刘俊良 王 琴 李君敬 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,对新型填料和滤料及其应用设备进行了详细描述,并介绍了用废弃物作填料和滤料在水处理中的实际应用。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,可供与水 and 废水处理有关的工厂企业、专业公司、设计单位的广大技术人员、科研人员、设计人员和管理人员等参考,也可供高等学校及科研院所相关专业师生作为教材或参考书,以便正确掌握及合理使用填料与滤料。

图书在版编目(CIP)数据

水处理填料与滤料/刘俊良,王琴,李君敬编著.
2版.—北京:化学工业出版社,2015.8
ISBN 978-7-122-24372-0

I. ①水… II. ①刘…②王…③李… III. ①水处理-
填料②水处理-过滤材料 IV. ①TU991.24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 135680 号

责任编辑:左晨燕 刘兴春

装帧设计:孙远博

责任校对:边 涛

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:北京云浩印刷有限责任公司

装 订:三河市瞰发装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 310 千字 2015 年 9 月北京第 2 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:68.00 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生化处理的微生物栖息的载体物质和物化处理的过滤介质材料，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还是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，并发挥着举足轻重的作用。

填料是污水生物膜处理法的核心部分，它直接影响到处理效果、投资成本及运作费用。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水质和水量的特点以及所选处理工艺，选择最佳的填料。

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，不断适应国民经济发展的需要，尤其是在水处理行业得到了良好的发展，正在逐步推动我国水处理过滤技术的进步和发展。

本书全面介绍了各种水处理填料与滤料的性能、特点和分类，系统分析了各种水处理填料与滤料的处理对象、处理效果及其发展前景，并对《水处理填料与滤料》（第一版）作了修改和补充，特别补充了填料与滤料的应用实例，以及用废弃物做填料和滤料在水处理方面的应用实例。这样，不仅对填料和滤料在性能、特点、参数上做了详细介绍，在实际应用中也有描述，丰富了本书的内容，使其更具有参考性。本书主要修改内容有：第 1 章改为绪论，系统介绍了水处理的方法，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 章对填料作了更全面的说明，丰富了文章内容，并重点添加了废弃物填料以及填料在水处理中的应用。第 3 章对滤料作了更全面的说明，并重点添加了废弃物滤料以及滤料在水处理中的应用。特别在第 2 章和第 3 章中介绍了填料、滤料在水处理中的实例应用，为填料、滤料的全面应用提供参考。最后修订了附录，更方便查阅，也丰富了附录部分关于填料环境保护产品技术要求、水处理滤料的内容。

本书可为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提供参考，也可作为给水排水工程、环境工程、大专院校及研究院所的学习教材。

本书由刘俊良、王琴、李君敬编著，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。其中，刘俊良、付宝乐、王佳琪参加了第1章和第2章的编著工作，王琴、张立勇、张铁坚参加了第3章的编著工作，张小燕、郭华、李君敬参加了第4章及附录的编著工作，并由付宝乐进行了整个书稿的整理。

本书在编著过程中参考了其他大量的文献资料，在此向这些文献作者表示衷心感谢。限于作者水平，书中不足与疏漏在所难免，恳请有关专家和广大读者指正。

编著者

2015年1月30日古城保定

第一版前言

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 绪论	1
1.1 水处理技术	1
1.2 水处理中的填料	2
1.3 水处理中的滤料	3
参考文献.....	3
2 填料	4
2.1 填料的发展	4
2.2 填料的作用	5
2.3 填料的性能	6
2.3.1 填料的性能要求	6
2.3.2 填料的性能参数	7
2.4 填料分类概述	8
2.5 定型固定式填料	9
2.5.1 蜂窝状填料	9
2.5.2 波纹板状填料.....	11
2.6 分散式填料.....	16
2.6.1 分散堆积式填料.....	16
2.6.2 分散悬浮式填料.....	19
2.7 悬挂式填料.....	33
2.7.1 软性填料.....	34
2.7.2 半软性填料.....	35
2.7.3 组合式填料.....	36
2.7.4 弹性立体填料.....	38
2.8 新型填料.....	41
2.8.1 粉煤灰固定化絮凝剂颗粒填料.....	41
2.8.2 新型 BF 填料	41
2.8.3 针刺聚氨酯纤维条状填料.....	42
2.8.4 阿科蔓填料.....	43
2.8.5 辫带式填料.....	43
2.8.6 牡蛎壳填料.....	44
2.8.7 稻壳填料.....	45

2.8.8	KP-珠填料	45
2.8.9	空间立体网状填料	46
2.8.10	新型 BioM 微生物载体	46
2.8.11	科利尔生物带	47
2.8.12	竹球填料	48
2.9	废弃物填料	48
2.9.1	天然材料和固体废弃物在填料中的应用	48
2.9.2	矿业废弃物用作人工湿地填料处理污水	49
2.9.3	农林废弃物用作重金属离子吸附剂	50
2.10	填料的比较	51
2.11	填料研究的发展方向	53
2.11.1	水处理中新型填料的开发	53
2.11.2	水处理中填料的作用机制	58
2.12	填料在水处理中的应用	60
2.12.1	生物接触氧化填料在水处理中的应用	60
2.12.2	塔填料在工业中的应用	61
	参考文献	62
3	滤料	64
3.1	滤料的发展	64
3.1.1	从单层到多层的转变	64
3.1.2	从天然到人工的转变	64
3.1.3	滤料材质的转变	65
3.2	滤料的作用	65
3.3	滤料的性能	66
3.3.1	滤料的性能要求	66
3.3.2	滤料的主要性能参数	66
3.4	滤料的分类概述	67
3.5	天然矿物类净水滤料	68
3.5.1	无烟煤滤料	68
3.5.2	石英砂滤料	68
3.5.3	鹅卵石(砾石)滤料	69
3.5.4	锰砂滤料	70
3.5.5	磁铁矿滤料	71
3.5.6	火山岩滤料	71
3.5.7	石榴石滤料	72
3.5.8	沸石滤料	73
3.5.9	金刚砂滤料	73

3.5.10	瓷砂滤料	74
3.5.11	人造火山灰 (SVA) 滤料	75
3.5.12	海泡石	75
3.5.13	膨胀珍珠岩	76
3.5.14	硅藻土	77
3.5.15	蒙脱土	78
3.5.16	凹凸棒土	79
3.5.17	麦饭石	81
3.5.18	蛇纹石滤料	81
3.5.19	陶粒滤料	82
3.5.20	陶柱滤料	89
3.5.21	浮石滤料	90
3.6	生物材质类净水滤料	90
3.6.1	果壳类滤料	90
3.6.2	活性炭滤料	92
3.6.3	果壳活性炭	93
3.6.4	焦炭滤料	94
3.7	化工材质类净水滤料	94
3.7.1	聚丙烯滤芯	94
3.7.2	聚醚砜滤芯	95
3.7.3	聚四氟乙烯滤芯	96
3.7.4	纤维球滤料	97
3.7.5	纤维束滤料	98
3.7.6	聚酯纤维针刺毡覆膜滤料	99
3.7.7	聚苯乙烯泡沫颗粒滤珠滤料	100
3.8	金属矿物滤料	100
3.8.1	活性氧化铝	100
3.8.2	凯得菲 (KDF) 多金属滤料	101
3.8.3	铁屑滤料	102
3.8.4	海绵铁	102
3.9	废弃物滤料	102
3.9.1	果壳做滤料	102
3.9.2	利用废弃物制备系列多孔陶瓷滤料	104
3.10	几种典型的新型滤料	105
3.10.1	彗星式纤维滤料	105
3.10.2	旋翼式纤维滤料	106
3.10.3	多孔陶瓷	108

3.10.4	改性火山岩滤料	109
3.10.5	空心陶瓷球	109
3.10.6	Mediaflo 新型滤料	109
3.11	滤料的发展趋向	110
3.12	滤料在水处理中的应用	111
3.12.1	沸石在水处理中的应用	111
3.12.2	生物陶粒滤料在水处理中的应用	113
3.12.3	无烟煤在水处理中的应用	114
	参考文献	115
4	现代过滤设备	117
4.1	纤维转盘滤池	117
4.2	电动刷式全自动自清洗水过滤器	118
4.3	全自动阵列超滤器	120
4.4	自动旋流集污式砂滤器	121
4.5	板框式过滤器	123
4.6	砂芯过滤器	124
4.7	活性炭过滤器	125
4.8	袋式过滤器	126
4.9	自洁式排气水过滤器	127
4.10	机械过滤器	128
4.11	除铁锰过滤器	129
4.12	盘式过滤器	130
4.13	黄锈水过滤器	132
4.14	生物过滤装置	132
4.15	反渗透装置	134
4.16	MBR (膜生物反应器)	135
	参考文献	140
附录 1	悬浮填料环境保护产品技术要求 (HJ/T 246—2006)	141
附录 2	悬挂式填料环境保护产品技术要求 (HJ/T 245—2006)	145
附录 3	水处理用滤料 (CJ/T 43—2005)	149
附录 4	水处理用天然锰砂滤料 (CJ/T 3041—1995)	158
附录 5	多层滤料过滤器 (HJ/T 248—2006)	164
附录 6	反渗透水处理装置 (HJ/T 270—2006)	168
附录 7	水处理用人工陶粒滤料 (CJ/T 299—2008)	174
附录 8	环境保护产品技术要求 超滤装置 (HJ/T 271—2006)	183
附录 9	环境保护产品技术要求 微孔过滤装置 (HJ/T 253—2006)	191

1 绪 论

1.1 水处理技术

水处理技术包括物理、化学以及生物处理技术。物理、化学处理技术是为了适用于特定的用途而对水进行的沉降、过滤、混凝、絮凝，以及缓蚀、阻垢等水质调理的过程，生物处理技术是通过生物的降解作用把有机物从污染水中去除的过程。由于人类的生活、生产等一切社会活动都与水密切相关，因此，水处理领域涉及的应用范围十分广泛，构成了一个庞大的产业体系。

对于废水的预处理是去除粗大的杂质，一般属于水的预处理部分。悬浮物和胶体包括泥砂、藻类、细菌、病毒以及水中原有的和在水处理过程中所产生的不溶解物质等。溶解物有无机盐类、有机化合物和气体。去除水中杂质的处理方法有很多，主要方法的适用范围可以大致按杂质的粒度来划分。由于原水所含的杂质和成品水允许的杂质在种类和浓度上差别很大，水处理过程差别也很大。

就生活用水而论，取自高质量水源（井水或防护良好的给水专用水库）的原水，只需消毒即为成品水；取自一般河流或湖泊的原水，先要去除泥砂等致浊杂质，然后消毒；污染较严重的原水，还需去除有机物等污染物；含有铁、锰的原水（例如某些井水），需要去除铁、锰。生活用水可以满足一般工业用水的水质要求，但工业用水有时需要进一步的加工，如进行软化、除盐等。

当废水的排放或回用的水质要求较低时，只需用筛除和沉淀等方法去除粗大杂质和悬浮物（常称一级处理）；当要求去除有机物时，一般在一级处理后采用生物处理法（常称二级处理）和消毒；对经过生物处理后的废水所进行的处理过程统称三级处理或深度处理，如当废水排入的水体需要防止富营养化所进行的去除氮、磷过程即属于三级处理。当废水作为水源时，成品水水质要求以及相应的加工流程随其用途而定。理论上，现代的水处理技术可以从任何劣质水制取任何高质量的成品水。

水处理的过程，实际是按原水水质和成品水水质的差距所设计的，对原水必须采取的加工程序。每一工序对原水产生一个物理的、化学的或微生物学的效果，一个工序一般在一个处理设备中完成，但也有在一个处理设备中完成几个工序的。一个工序或几个工序的组合可以构成一个水处理的单元，如混凝、沉淀、过滤和消毒就是最常用的给水处理单元方法，按所应用的理论基础可以把各种单元方法划分为物理法、化学法和生物法三大类。

① 物理法 通过物理作用分离、回收废水中不溶解的呈悬浮状态的污染物（包括油膜和油珠）的废水处理法，可分为重力分离法、离心分离法和筛滤截留法等，以热交换原理为基础的处理法也属于物理处理法。

② 化学法 通过化学反应和传质作用来分离、去除废水中呈溶解、胶体状态的污染物或将其转化为无害物质的废水处理法。在化学处理法中，以投加药剂产生化学反应为基础的处理单元是：混凝、中和、氧化还原等；而以传质作用为基础的处理单元则有：萃取、气

提、吹脱、吸附、离子交换以及电渗析和反渗透等。后两种处理单元又合称为膜分离技术。

③ 生物法 通过微生物的代谢作用,使废水中呈溶液、胶体以及微细悬浮状态的有机污染物,转化为稳定、无害的物质的废水处理法。根据微生物的不同,生物处理法又可分为好氧生物处理和厌氧生物处理两种类型。废水生物处理广泛使用的是好氧生物处理法,按传统,好氧生物处理法又分为活性污泥法和生物膜法两类。活性污泥法本身就是一种处理单元,它有多种运行方式。生物膜法的处理设备有生物滤池、生物转盘、生物接触氧化池以及生物流化床等。生物氧化塘法又称自然生物处理法。厌氧生物处理法又名生物还原处理法,主要用于处理高浓度有机废水和污泥。

污水处理厂是城市排水系统的重要组成部分,由排水管道系统收集的城市污水,通过由物理、生物及化学等方法组合而成的处理工艺,分离去除污水中的污染物质,转化有害物为无害物,实现污水的净化,达到进入相应水体环境的排放标准或再生利用水质标准。污水处理厂工艺流程见图 1-1。

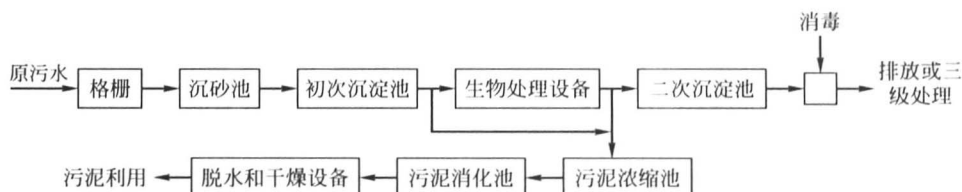


图 1-1 污水处理厂工艺流程

在城市给水处理中是把含有不同杂质的原水处理成符合使用要求的自来水,对于地面水源水而言,常规处理工艺是以去除浊度和杀死致病微生物为主的工艺,适用于未受污染或污染极其轻微的水源。自来水厂是在去除泥砂等悬浮物的同时,也能去除一些附着在上面的杂质和菌类,所以对降低水的浊度至关重要。

目前,去除水中浊度的方法很多,但自来水厂通常采用的方法是混凝、沉淀、过滤。经该工艺处理后的出水,再进行消毒,即可达到饮用水水质要求,其典型工艺流程见图 1-2。



图 1-2 常规处理工艺流程

1.2 水处理中的填料

填料在水处理中有着广泛的应用,无论是好氧、兼性厌氧还是厌氧过程,填料都发挥着重要的作用。近 30 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,这是因为生物膜细胞固定技术相对于传统活性污泥法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的水质和水量以及所选处理工艺选择最佳的填料。但是目前我国尚未对填料的使用标准作出明确的规定,对于填料的各種特性也没有全面的描述,这也增加了选择的困难性。

1.3 水处理中的滤料

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以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,操作及维修麻烦的缺点。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。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,给人们提出了新的挑战。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,满足了国民经济发展的需要,尤其是在水处理行业取得了良好的效果,正在逐步推动我国水处理过滤技术的进步和发展。

参 考 文 献

- [1] 杨程. 城市水系统中 PPCPs 分布及污水处理优化研究 [D]. 重庆: 重庆大学. 2014.
- [2] 蒙晓斌. 生物膜法净化污水机理及其工艺特点探析 [J]. 科技世界. 2012, (27): 358-359.
- [3] 陆进. 论污水深度处理技术的发展趋势 [J]. 北方环境. 2011, 23 (5): 19-20.
- [4] 刘洪涛, 徐冠华. 先进水处理技术研究进展 [J]. 水处理技术. 2008, 34 (4): 1-7.
- [5] 胡宏博. 厌氧好氧生物滤池组合工艺处理城市污水脱氮效能研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学. 2011.

2 填 料

2.1 填料的发展

生物滤池是以土壤自净原理为依据，在污水灌溉的实践基础上，经较原始的间歇砂滤池和接触滤池而发展起来的人工生物处理技术，已有百余年的发展史。

1893 年在英国试行将污水在粗滤料上喷洒进行净化的试验，取得良好的效果。1900 年以后，这种工艺得到公认，命名为生物过滤法，处理构筑物则称为生物滤池，开始用于污水处理实践，并迅速地在欧洲一些国家得到应用。

在 19 世纪末和 20 世纪初，韦林（Waring），迪特（Ditter）等人就以碎石、炉渣为填料进行了生物接触氧化法的试验。其后德国的韦加德（We Jgnad）以烧结渣为填料发明了旋转生物接触器，20 世纪 20 年代，德国的贝奇（Bach）和美国的布斯维尔（Buswell）又对生物接触氧化法进行了应用试验，得出 BOD 去除率最高为 69%，低的只有 28%，效果非常不理想。

到 20 世纪 50 年代以前，生产中采用的生物膜法处理构筑物仍是以碎石为填料。碎石比表面积小，占地面极大，卫生状况也不好。由于早期生物填料存在的这种缺陷，使生物膜法处理废水的技术未能进一步推广应用，逐渐被活性污泥法所代替。20 世纪 50 年代，在原民主德国有人按化学工业中的填料塔方式，建造了直径与高度比为（1：6）～（1：8），高度达 8～24m 的塔式生物滤池，通风畅行，净化功能良好。这种填料塔的问世，使占地大的问题，进一步得到解决。

20 世纪 60 年代初，由于新型合成填料的出现，给生物膜法的广泛应用带来了转机。许多新型生物膜反应器如塔式生物滤池、生物接触氧化池、流动床生物膜反应器、复合式生物反应器和生物流化床等先后问世，大大促进了各种填料的开发和应用，这充分体现了生物膜法在水处理工艺中的优势，促进了生物膜法在水处理技术中的应用。

之后随着塑料工业的发展，许多高效率塑料填料在接触氧化工艺中逐渐被开发利用，最典型的是由玻璃钢或塑料制成的波状板或蜂窝状硬性填料，其中以蜂窝填料最具代表性。该种填料由日本的小岛贞男最先研制，并首先在受污染原水处理中应用。蜂窝填料具有材料耗费较小、孔隙率大等特点，在水处理行业得到广泛应用。但在长期的污水处理使用过程中，蜂窝填料逐渐暴露出许多弊端：比表面积较小、生物膜量少；填料表面光滑，不易挂膜；水和气在填料内横向不能流通，造成布气布水不均；易堵塞等。

20 世纪 80 年代开始出现的由尼龙、涤纶、维纶、腈纶等化纤编结成束，并用中心绳连接成纤维束状的软性填料，克服了蜂窝填料的不足。组成填料的纤维丝具有很大的比表面积，相对容易挂膜；软性填料之间的空隙可以随水和气的流动而变化，避免了堵塞现象；物理化学性能稳定，加工运输方便，造价低。上海石化总厂涤纶厂采用装有这种软性填料的接触氧化工艺处理污水，容积负荷达到 $3.28\text{kg COD}_{\text{Cr}}/\text{m}^3$ ， COD_{Cr} 去除率为 80%，BOD 去除率为 80%～90%。但软性填料在长时间使用后纤维束易于结块，不仅降低填料的实际使用

面积,而且在结块区的中心易形成厌氧空间,影响处理效果。

针对软性填料的不足,北京纺织科学研究院开发研制了半软性填料,半软性填料的材质通常为变性聚乙烯、聚氯乙烯等耐酸、耐碱性能较好的有机塑料,它由填料单片、塑料套管和中心绳三部分组成。针刺状向外放射的圆形单片是半软性填料的主体,各单片以固定片距穿套在中心绳上。半软性填料优点较多:比表面积大(可达 $130\text{m}^2/\text{m}^3$),为微生物的生长提供了充足的空间;孔隙率高(大于 96%),流阻小;耐腐蚀、不易堵塞、便于安装。正常运行表明,相同条件下半软性填料比软性纤维填料可提高 COD_{Cr} 去除率达 10% 左右。此外,半软性填料还具有节能、降低运行费用等优点,目前应用较为广泛。

但是,由于半软性填料的表面积不如软性填料,又开发了将两者组合的填料,即中间为半软性,边缘为软性纤维丝的组合填料。经过 30 多年的研究开发,目前用于污水处理的生物填料除半软性填料、组合填料外品种繁多,如弹性立体填料、悬浮型填料等。

综上所述,生物膜工艺的演变过程,实际上是一个填料特性不断完善的过程。从开始的砂石等天然填料发展到目前人工合成材料填料,人们不断完善了生物膜法废水处理技术,并使其优点进一步得到发挥。随着生物膜法应用范围的不断扩大,国内外水处理工作者不断研制、开发、生产和应用各种填料,为丰富填料类别、促进填料技术的发展方面做了大量工作。据估计我国每年需要消耗的填料已达 $(15\sim 20)\times 10^4\text{m}^3$,随着我国经济的持续高速发展和对环保事业的日益重视,各种新型填料在废水生物膜处理工艺中必将发挥更加广泛的应用。

2.2 填料的作用

污水处理通常采用活性污泥法和生物接触氧化法。近年来,随着城市需水量的增加,污染日趋严重,河水、湖泊水等地表水不同程度地受到大面积有机污染,接触氧化法是净化有机废水的一种高效水处理工艺,目前已广泛地应用于纺织印染、毛纺针织、啤酒食品、石油化工化肥废水、医药及生活污水等处理,并获得了明显的环境效益、社会效益和经济效益。

生物接触氧化处理技术的实质之一是在池内充填填料,已经充氧的污水浸没全部填料,并以一定的流速流经填料。填料上布满生物膜,污水与生物膜广泛接触,在生物膜上微生物新陈代谢功能的作用下,污水中有机污染物得以去除,污水得到净化。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,是具有活性污泥法特点的生物膜法,兼具有高效节能、占地面积小、耐冲击负荷、运行管理方便等独特优点,因此深受污水处理工程领域人们的青睐和欢迎。

生物接触氧化法中的生物载体(填料)是生物接触氧化工艺的关键。载体是微生物的生长地,生物处理效果与所选用的填料有直接关系,是接触氧化法工艺的核心部分。它作为微生物的载体影响着生物的生长、繁殖和脱落的整个过程,它的性能直接影响和制约着处理的效果、充氧性能、基建投资、运行周期和费用。填料在一些生物膜反应器系统的建设费用中最高可占 50%。

综上所述,填料在生物膜法反应器中的作用主要有以下 3 方面。

① 废水处理装置中采用填料主要是为微生物提供附着生长的载体,细菌在填料表面的附着和相互结合,就形成了生物膜。活性污泥法中,细菌以结合成菌胶团的形式存在并始终

处于一种动态状况,对有机污染物的吸收分解是以形成更多的微生物为主。废水就相当于是一种微生物的一种培养基,在充氧和水流运动的作用下,微生物培养繁殖的数量越来越多,需要用剩余污泥的形式排出。细菌在填料上附着形成生物膜,其功能形式就不同于活性污泥法。生物膜法中,细菌附着在填料上稳定生存,废水中的污染物是被微生物吸收分解的对象,微生物充分发挥分解功能的同时进行繁殖,但新生繁殖的数量只与填料上老化脱落的生物数量相平衡。因此,填料不仅使微生物有了一个固定附着的场所,还使细菌的分解功能得到加强,新生繁殖的数量减少。

② 填料是反应器中生物膜与废水接触的场所,而且对水流有强制紊动的作用,促使废水在填料空隙间曲折流动形成再分布,从而使水流在滤池横截面上分布更为均匀。同时,水流在填料内部形成交叉流动和混合,为废水和生物固体的接触创造了良好的水力条件。在需氧反应器中,填料对气泡有重复切割作用和阻挡作用,使废水中的溶解氧浓度提高,可强化微生物、有机物和溶解氧三者之间的传质过程。

③ 填料对水中的悬浮物有一定的截留作用。由于反应器中填料的存在,使出水中悬浮物的浓度大大减少,填料对出水中悬浮物的截留作用是通过污水中悬浮物的拦截、沉淀、惯性、扩散、水动力等诸多因素来实现的。

2.3 填料的性能

2.3.1 填料的性能要求

填料的性能直接影响滤池出水水质和滤池运行费用的高低,且填料购置费用在生物滤池的基建费中占有较大比重,因此,在以生物膜法为主的工艺中,填料的选择是一个关键性的环节。废水生物处理中采用的填料一般应满足下列要求。

① 在使用过程中,具有化学和热稳定性,无毒、无有害成分,不溶出有害物质,不产生二次污染,不影响水质和微生物处理有机物的过程。

② 较大的比表面积,填料表面是生物膜形成和固着的部位,较大的比表面积可以提供更大的生物挂膜面积和相接处面积,有利于附着更大的生物量和提高传质效率。

③ 填料表面易于微生物生长、挂膜,这要求填料具有活性表面、吸水率高、表面湿润性好、有足够的粗糙度以利于微生物的附着生长。

④ 利于形成气相、液相的高湍流程度,以保证在浓度梯度的作用下气液相、固液相和气固相之间的传质,这是生物处理效果的重要保证。

⑤ 有良好的布气布水性能,两相在反应器中的流动状况好坏、接触是否充分,与填料的布气布水性能关系密切,布气布水均匀,可以避免反应器内形成堵塞、死角和短流,在正常运行时影响传质过程。

⑥ 有较大的空隙率,填料的空隙率越大,气体通过的能力越大且压降低。这点对生物反应器长期稳定运行,不易堵塞尤为重要,同时空隙率大,压降小,能耗低。

⑦ 重量轻,并具有一定的强度,耐磨、耐压、具有生物稳定性载体具有惰性,不参与生物膜的生物化学反应,载体本身是不可生物降解的;有抗环境的化学腐蚀能力;力学性能良好,在反应器运行过程中不需要时时更换。

⑧ 材料易得,价格便宜,易于购买。

⑨ 便于运输和安装。