(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 102284245 A
(43)申请公布日 2011.12.21

(21)申请号 201110159408.X

(22)申请日 2011.06.14

(71)申请人 浙江工业大学
地址 310014 浙江省杭州市下城区潮王路18号

(72)发明人 陈建孟 陈东之 房俊逸 钱东升 王家德

(74)专利代理机构 杭州天正专利事务所有限公司 33201
代理人 黄美娟 王兵

(51)Int.Cl.
B01D 53/84(2006.01)
B01D 53/48(2006.01)
B01D 53/72(2006.01)

权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 3 页

(54)发明名称

一种以生物滴滤塔处理废气的方法及其专用装置

(57)摘要

本发明公开了一种以生物滴滤塔处理废气的方法：将废气从生物滴滤塔底部通入，经过生物滴滤塔处理，处理好的废气从顶部排出，所述的生物滴滤塔由设有废气进口的塔底、塔身、安装有尾气出口的塔顶组成，所述的塔身由若干个生物处理单元至下而上叠置安装组成，相邻层的生物处理单元之间设有液体隔层，所述的液体隔层上布置有供相邻层气连通的通气口，每层生物处理单元都各自独立地至上而下设有营养液喷淋系统、设有温控装置的生物填料层、营养液接收池；本发明提高了单位填料处理负荷；改善了填料层堵塞问题，避免了沟流现象的出现，气液接触均匀、充分；填料更换及反冲洗更加方便；该工艺经济，适应复杂的挥发性有机混合污染物的净化处理。

CN 102284245 A

1. 一种以生物滴滤塔处理废气的方法，其特征在于所述的方法是将废气从生物滴滤塔底部通入，经过生物滴滤塔处理，处理好的废气从顶部排出，所述的生物滴滤塔由设有废气进口的塔底、塔身、安装有尾气出口的塔顶组成，所述的塔身由若干个生物处理单元至下而上叠置安装组成，相邻层的生物处理单元之间设有液体隔层，所述的液体隔层上布置有供相邻层气连通的通气口，每层生物处理单元都各自独立地至上而下设有营养液喷淋系统、设有温控装置的生物填料层、营养液接收池，所述的生物填料层上喷洒有活性污泥与营养液，所述的营养液喷淋系统由安装在生物处理单元顶部的喷洒器，安装在营养液接收池底部的营养液输出管，设在生物滴塔外部的营养液储罐、电磁计量泵、营养液输入管、pH 自动控制系统、蠕动泵、氢氧化钠储液罐连接组成；所述的营养液储罐承接所述的营养液输出管，所述的营养液储罐、电磁计量泵、营养液输入管、喷洒器依次相接，所述的 pH 自动控制系统通过蠕动泵分别与营养液储罐和氢氧化钠储液罐连接，pH 自动控制系统还设有与营养液储罐接通的 pH 计探头；所述的各生物处理单元的营养液的 pH 不同，所述的各生物处理单元的 pH 自动控制系统设定的 pH 值不同。

2. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于所述的塔身由三个生物处理单元至下而上叠置安装组成，至下而上所述的 pH 自动控制系统设定的 pH 值分别是 2 ～ 3、4 ～ 5、6 ～ 7。

3. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于所述的生物填料层中的填料为聚氨酯小球；填料直径为 13 ～ 16mm，堆积密度和真密度分别为 138.9kg·m^{-3} 和 1588.2kg·m^{-3}。

4. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于所述的生物填料层层厚与塔径比为 0.8 ～ 2.0 ： 1。

5. 如权利要求 1 所述的方法，所述的设有温控装置的生物填料层温度控制在 30℃。

6. 一种如权利要求 1 所述的废气处理方法的专用装置，其特征在于所述的装置为生物滴滤塔，所述的生物滴滤塔由塔底、塔身、塔顶组成，所述的塔底设有废气进口，所述的塔顶安装有尾气出口；所述的塔身由若干个生物处理单元至下而上叠置安装组成，相邻层的生物处理单元之间设有液体隔层，所述的液体隔层上布置有供相邻层气连通的通气口，每层生物处理单元都各自独立地至上而下设有营养液喷淋系统、设有温控装置的可承载活性污泥与营养液的生物填料层、营养液接收池，所述的营养液喷淋系统由安装在生物处理单元顶部的喷洒器，安装在营养液接收池底部的营养液输出管，设在生物滴塔外部的营养液储罐、电磁计量泵、营养液输入管、pH 自动控制系统、蠕动泵、氢氧化钠储液罐连接组成；所述的营养液储罐承接所述的营养液输出管，所述的营养液储罐、电磁计量泵、营养液输入管、喷洒器依次相接，所述的 pH 自动控制系统通过蠕动泵分别与营养液储罐和氢氧化钠储液罐连接，pH 自动控制系统还设有与营养液储罐接通的 pH 计探头，所述的尾气出口设有与氢氧化钠尾气吸收罐的通管。

7. 如权利要求 6 所述的专用装置，其特征在于所述的通气口为布置在液体隔层上的带有顶帽的管状突起，所述的管状突起的顶部连接有底面大于管状突起的顶帽，所述的顶帽与管状突起通过留有空隙的栅栏连接，所述的空隙位于所述营养液接收池预设液面的上方。

8. 如权利要求 7 所述的专用装置，其特征在于所述的顶帽为锥形。

9. 如权利要求 7 所述的专用装置，其特征在于所述的带有顶帽的管状突起有若干个，呈均匀布置在液体隔层上。

10. 如权利要求 6 所述的专用装置，其特征在于所述的塔身由三个生物处理单元至下而上叠置安装组成。

一种以生物滴滤塔处理废气的方法及其专用装置

（一）技术领域

[0001] 本发明涉及一种环境工程中废气净化方法及装置，特别涉及一种以生物滴滤塔处理废气的方法及其专用装置。

（二）背景技术

[0002] 众多工业化生产过程中不可避免地产生大量废气，这些废气不宜回收利用，通常含有多组分有毒有害的有机物和无机物，对人体和环境产生危害，造成大气污染。

[0003] 目前用于废气控制的技术较多，常用的几种技术主要有燃烧法、吸附法、化学吸收法和生物法等，其中生物法与其他传统的处理方法相比，具备投资少、运行费用低、无二次污染等优点，尤其在处理低浓度、生物降解性好的气态污染物时更显其经济性。在处理低浓度的有机气体和臭气时，生物法的一次性投资是燃烧法的 1/3、吸附法的 1/8 ～ 1/5、化学吸收法 1/3 ；运行费用是燃烧法的 1/20、吸附法的 1/10、化学吸收法的 1/15。因此该方法正在成为一项在废气污染控制领域迅速推广的高新技术。

[0004] 生物法处理废气时通常采用固定化微生物过滤废气的工艺，其装置主要使用滤塔的形式。工程实践及研究表明，这些滤塔存在五个方面的缺陷 ：①由于滤塔内现有用于微生物固定化的载体为有机或无机填料，传质效果较差，容易引起短路，实际运行中需要经常搅动填料或更换填料，处理效果较差且不利于滤塔的设备化生产 ；②表面负荷、质量负荷较小，因此去除能力和去除率也较小 ；③生物负荷较小 ；④抗高浓度有毒污染物性能较差 ；⑤滤塔的结构设计使空塔停留时间较短，影响去除能力和去除率。通过实践表明，生物滴滤塔在使用过程中存在的主要问题是塔体内布水、布气及 pH 控制不均，死亡微生物堆积引起填料堵塞。

[0005] 针对上述问题，本发明所述的生物滴滤塔处理工业废气，分别控制各填料层中营养液 pH 值及各填料层营养液喷淋量，每个塔体单元中营养液喷淋量可根据污染处理负荷灵活控制，每个塔体单元中营养液 pH 值可根据污染物处理的种类及去除的先后顺序分层控制，对生物净化的工程实践具有重要意义。

（三）发明内容

[0006] 本发明目的是提供一种以生物滴滤塔处理废气的方法及其专用装置，该处理方法及装置采用分层喷淋营养液，分层控制 pH 值，高效，经济。

[0007] 本发明采用的技术方案是 ：

[0008] 一种以生物滴滤塔处理废气的方法，所述的方法是将废气从生物滴滤塔底部通入，经过生物滴滤塔处理，处理好的废气从顶部排出，所述的生物滴滤塔由设有废气进口的塔底、塔身、安装有尾气出口的塔顶组成，所述的塔身由若干个生物处理单元至下而上叠置安装组成，相邻层的生物处理单元之间设有液体隔层，所述的液体隔层上布置有供相邻层气连通的通气口，每层生物处理单元都各自独立地至上而下设有营养液喷淋系统、设有温控装置的生物填料层、营养液接收池，所述的生物填料层上喷洒有活性污泥与营养液，所述

的营养液喷淋系统由安装在生物处理单元顶部的喷洒器，安装在营养液接收池底部的营养液输出管，设在生物滴塔外部的营养液储罐、电磁计量泵、营养液输入管、喷洒器、pH 自动控制系统、蠕动泵、氢氧化钠储液罐连接组成；所述的营养液储罐承接所述的营养液输出管，所述的营养液储罐、电磁计量泵、营养液输入管、喷洒器依次相接，所述的 pH 自动控制系统通过蠕动泵分别与营养液储罐和氢氧化钠储液罐连接，pH 自动控制系统还设有与营养液储罐接通的 pH 计探头；所述的各生物处理单元的营养液的 pH 不同，所述的各生物处理单元的 pH 自动控制系统设定的 pH 值不同。

[0009] 所述的塔身由三个生物处理单元至下而上叠置安装组成，至下而上所述的 pH 自动控制系统设定的 pH 值分别是 2 ～ 3、4 ～ 5、6 ～ 7。

[0010] 所述的生物填料层中的填料为聚氨酯小球；所述填料孔隙率大、强度高、易于挂膜，填料尺寸为 13 ～ 16mm，堆积密度和真密度分别为 138.9kg·m^{-3} 和 1588.2kg·m^{-3}。

[0011] 所述的生物填料层层厚与塔径比为 0.8 ～ 2.0 ： 1，最优选 1.4 ： 1。

[0012] 所述的设有温控装置的生物填料层温度控制在 30℃。

[0013] 一种本发明所述的废气处理方法的专用装置，所述的装置为生物滴滤塔，所述的生物滴滤塔由塔底、塔身、塔顶组成，所述的塔底设有废气进口，所述的塔顶安装有尾气出口；所述的塔身由若干个生物处理单元至下而上叠置安装组成，相邻层的生物处理单元之间设有液体隔层，所述的液体隔层上布置有供相邻层气连通的通气口，每层生物处理单元都各自独立地至上而下设有营养液喷淋系统、设有温控装置的可承载活性污泥与营养液的生物填料层、营养液接收池，所述的营养液喷淋系统由安装在生物处理单元顶部的喷洒器，安装在营养液接收池底部的营养液输出管，设在生物滴塔外部的营养液储罐、电磁计量泵、营养液输入管、喷洒器、pH 自动控制系统、蠕动泵、氢氧化钠储液罐连接组成；所述的营养液储罐承接所述的营养液输出管，所述的营养液储罐、电磁计量泵、营养液输入管、喷洒器依次相接，所述的 pH 自动控制系统通过蠕动泵分别与营养液储罐和氢氧化钠储液罐连接，pH 自动控制系统还设有与营养液储罐接通的 pH 计探头，所述的尾气出口设有与氢氧化钠尾气吸收罐的通管。

[0014] 本发明所述的废气处理方法专用装置中，所述的通气口为布置在液体隔层上的带有顶帽的管状突起，所述的管状突起的顶部连接有底面大于管状突起的顶帽，所述的顶帽与管状突起通过留有空隙的栅栏连接，所述的空隙位于所述营养液接收池预设液面的上方。

[0015] 进一步，所述的专用装置中，所述的顶帽为锥形。

[0016] 进一步，所述的带有顶帽的管状突起有若干个，呈放射状均匀布置在液体隔层上。

[0017] 进一步，所述的专用装置，所述的塔身由三个生物处理单元至下而上叠置安装组成。

[0018] 本发明所述的以生物滴滤塔处理废气的方法的专用装置由多层生物处理单元构成一个整体，每个生物处理单元可以单独控制 pH 值和营养液喷淋量，适用于能被微生物降解的污染物，对多组分的混合废气尤其适用。

[0019] 与现有技术相比，本发明的有益效果主要体现在：(1) 本发明以生物滴滤塔处理废气的方法，处理废气的专用装置由若干个生物处理单元至下而上叠置安装组成，每个生物处理单元中营养液强度可依据处理负荷单独控制，提高了单位填料处理负荷；改善了填

料层堵塞问题，避免了沟流现象的出现，气液接触均匀、充分；(2) 采用单独生物处理单元结构，填料更换及反冲洗更加方便；(3) 采用单独的 pH 自动控制系统能够获得不同 pH 值条件下的高效降解菌，稳定营养液 pH 需要投入的碱液量降低，该工艺更为经济，并且能适应复杂的挥发性有机混合污染物的净化处理。

（四）附图说明

[0020] 图 1 生物滴滤塔废气净化系统：1、废气进口，2、塔体，3、排气口，4、填料取样口，5、气体采样口，6、电磁计量泵，7、pH 计探头，8、营养液接收池，9、pH 自动控制系统，10、蠕动泵，11、氢氧化钠储液罐，12、氢氧化钠尾气吸收罐，13、尾气排放口 14、液体隔层，15、挡板结构，16、生物填料层，17、喷洒器，18、营养液输入管，19、营养液输出管，20、通管，21、生物处理单元；

[0021] 图 2 挡板结构图：22、管状突起，23、通气口，24、顶帽，25、栅栏；

[0022] 图 3 生物滴滤塔废气净化系统净化硫化氢的性能考察；

[0023] 图 4 生物滴滤塔废气净化系统长期净化硫化氢时各层去除负荷变化情况；

[0024] 图 5 生物滴滤塔废气净化系统净化甲硫醚的性能考察；

[0025] 图 6 生物滴滤塔废气净化系统净化四氢呋喃的性能考察；

[0026] （五）具体实施方法

[0027] 下面结合具体实施例对本发明进行进一步描述，但本发明的保护范围并不仅限于此：

[0028] 实施例 1

[0029] 以含有硫化氢、甲硫醚、四氢呋喃的混合废气来模拟要处理的废气，以本发明所述的生物滴滤塔处理废气，所述的生物滴滤塔塔体 2 由塔底、塔身、塔顶组成，所述的塔底设有废气进口 1，所述的塔顶安装有尾气排气口 3；所述的塔身由若干个生物处理单元 21 至下而上叠置安装组成，相邻层的生物处理单元之间设有液体隔层 14，所述的液体隔层上布置有供相邻层气连通的通气口 23，所述的通气口为布置在液体隔层上的带有锥形顶帽的管状突起 22，所述的管状突起的顶部连接有底面大于管状突起的锥形顶帽 24，所述的顶帽与管状突起通过留有空隙的栅栏 25 连接，所述的空隙位于所述营养液接收池预设液面的上方，所述的带有顶帽的管状突起有 15 个，均匀布置在液体隔层上。每层生物处理单元都各自独立地至上而下设有营养液喷淋系统、设有温控装置的可承载活性污泥与营养液的生物填料层 16、营养液接收池 8，所述的营养液喷淋系统由安装在生物处理单元顶部的喷洒器 17，安装在营养液接收池底部的营养液输出管 19，设在生物滴塔外部的电磁计量泵 6、营养液输入管 18、pH 自动控制系统 9、蠕动泵 10、氢氧化钠储液罐 11 连接组成；所述的营养液接收池 8 承接所述的营养液输出管 19，所述的营养液接收池 8、电磁计量泵 6、营养液输入管 18、喷洒器 17 依次相接，所述的 pH 自动控制系统 9 通过蠕动泵 10 分别与营养液接收池 8 和氢氧化钠储液罐 11 连接，pH 自动控制系统 9 还设有与营养液接收池 8 接通的 pH 计探头 7，所述的尾气排气口 3 设有与氢氧化钠尾气吸收罐 12 的通管 20，氢氧化钠尾气吸收罐 12 设有尾气排放口 13，如图 1 和图 2 所示。

[0030] 所述生物滴滤塔系统启动时，先对填料浸泡 24h 后装入塔内，对其进行气液循环以获得生物填料。生物滴滤塔由上、中、下三层生物处理单元组成，塔体内径为 140mm，每层

生物处理单元中生物填料层厚度为 200mm，营养液与硫化氢、甲硫醚、四氢呋喃混合废气呈错流式接触，营养液喷淋量控制一样，即喷淋量为 100mL·min^{-1}，上、中、下三层生物处理单元 pH 分别控制为 6.5、4.5、2.5；上层生物处理单元生物填料层中微生物优势菌为杆菌，中层微生物优势菌为杆菌兼丝状菌，下层微生物优势菌为丝状菌；所述的空床气速为 0.02 ～ 0.004m^3·s^{-1}、空床停留时间为 14 ～ 28s、营养液温度为 30℃的条件下，废气由废气进口通入生物滴滤塔内，处理后的清洁气体有尾气排放口排出。

[0031] 生物滴滤塔对硫化氢去除率的变化情况如图 3 所示。挂膜启动初期（进口硫化氢浓度维持在 50mg·m^{-3}），生物滴滤塔对硫化氢没有显著的净化效果。第 5d，硫化氢去除率逐渐升高，第 8d 的去除率达到 92.3%。此后尽管提高进口硫化氢浓度，而生物滴滤塔系统仍能维持较高的净化性能。第 14d，当硫化氢浓度为 94.3mg·m^{-3}、停留时间（EBRT）为 28s 时，生物滴滤塔对硫化氢的去除率达到 100%。这说明填料上已附着较多的硫化氢降解菌，生物滴滤塔系统的挂膜启动已经基本完成。此后虽然逐步提高硫化氢浓度至 250mg·m^{-3} 并缩短 EBRT 为 17s，但去除率一直稳定在 100%。

[0032] 生物滴滤塔对甲硫醚去除率的变化情况如图 5 所示，挂膜启动初期（进口甲硫醚浓度维持在 10mg·m^{-3}），生物滴滤塔对甲硫醚没有显著的净化效果，第 6d，甲硫醚去除率逐渐升高，第 8d 的去除率达到 66.7%。此后逐步提高进口甲硫醚浓度，生物滴滤塔的去除率也逐渐升高。第 17d，当甲硫醚浓度为 25.9mg·m^{-3}、EBRT 为 28s 时，生物滴滤塔对甲硫醚的去除率达到 100%。这说明填料上已附着较多的甲硫醚降解菌，生物滴滤塔的挂膜启动已经基本完成。此后逐步提高甲硫醚浓度至 50mg·m^{-3} 并缩短 EBRT 为 17s，虽然去除率有所下降，但去除率基本稳定在 90%。

[0033] 生物滴滤塔对四氢呋喃去除率的变化情况如图 6 所示，挂膜启动初期（进口四氢呋喃浓度维持在 10mg·m^{-3} 左右），去除率变化不明显。生物滴滤塔从第 7 天开始去除率明显升高，第 11 天达到 100%，这表明填料内四氢呋喃降解菌数量增多，生物膜逐渐形成。为了确定生物膜生长是否成熟，分别在第 13 天提高生物滴滤塔进口浓度至 20mg·m^{-3}，其去除率逐渐升高并稳定在 80%左右，；当浓度再提高到 50mg·m^{-3} 左右时，去除率也一直维持在 81%左右（去除负荷维持不变），这说明生物滴滤塔的挂膜启动基本完成。

[0034] 实施例 2

[0035] 生物滴滤塔结构及实验操作同实施例 1，反应器挂膜完成后，进气口硫化氢浓度 250 ～ 300mg·m^{-3}、EBRT 为 14s 的条件下，考察生物滴滤塔废气净化系统对硫化氢气体的净化情况，结果如图 3 所示，可以看出硫化氢浓度 250mg·m^{-3}、EBRT 为 14s 时硫化氢去除率始终维持在 100%；当突然提高硫化氢浓度至 300mg·m^{-3} 时，硫化氢去除率稳定在 99.9%以上，表明生物滴滤塔系统对硫化氢有较好且稳定的去除效果。

[0036] 由图 4 可见，当 EBRT 为 14s 时，进入生物滴滤塔系统中的硫化氢主要在下层和中层填料层被去除，上层填料层的去除负荷较小。上层填料层对硫化氢去除负荷的贡献逐渐增加；随着反应器的持续运行，下层和中层填料层的去除负荷逐步提高，两填料层对硫化氢的净化贡献占 90%以上。在进口浓度相当的条件下，EBRT 直接决定了硫化氢的进气负荷。综上所述，各层填料层对硫化氢的去除贡献随着进气负荷的波动而变化。

[0037] 反应器挂膜完成后，考察生物滴滤塔系统在进口甲硫醚浓度 10 ～ 100mg·m^{-3} 依次提高、EBRT 为 14s 的条件下的运行情况，结果如图 5 所示。当进口浓度为 60mg·m^{-3} 左右、

EBRT 为 14s 时，甲硫醚去除率始终维持在 90％；当突然提高浓度至 70mg·m^{-3} 以上时，甲硫醚去除率稳定在 90％以上。对于甲硫醚的去除，中层填料层的贡献较大，能达到 60％左右，下层及上层填料层的贡献相当。随着进气负荷的变化，各层对去除率的贡献也有相应的变化。

[0038] 反应器挂膜完成后，考察生物滴滤塔系统中四氢呋喃去除负荷、去除率随进口浓度的变化情况，四氢呋喃进口浓度为 10 ～ 80mg·m^{-3} 依次提高，如图 6 所示。当进口浓度较低（40mg·m^{-3} 以下）时，生物滴滤塔系统对四氢呋喃的去除效率可以达到 95％，去除负荷随着进口浓度的增大而增大。进口浓度进一步提高至 50mg·m^{-3} 后，去除率逐渐变小，生物滴滤塔系统对四氢呋喃的去除能力不再增加，而是维持在一个固定值（60％左右），此时生物滴滤塔系统的降解性能达到最大值。对于四氢呋喃的去除，下层填料层的去除效果不理想，四氢呋喃主要在上层填料层被去除，中层填料层也体现了一定的去除效果（10 ～ 20％）。

[0039] 生物滴滤塔系统启动时，微生物处于挂膜阶段，生物滴滤塔中总体压降很小，随着挂膜过程的完成以及进入稳定运行状态后总压降慢慢增加后也趋于稳定。由于各层填料层对于废气去除率的贡献不同，微生物生长情况也不同，导致各层的压降也不相同，可以看出下层填料层的压降最大，中层填料层次之，上层填料层最小。

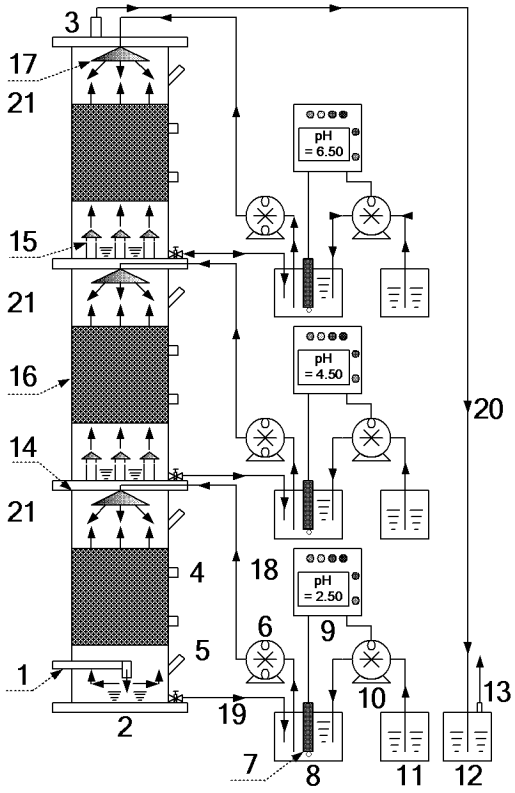

3
17
21
15
21
16
14
21
4
18
6
9
5
1
2
19
7
8
10
11
12
13
20
pH = 6.50
pH = 4.50
pH = 2.50

图 1

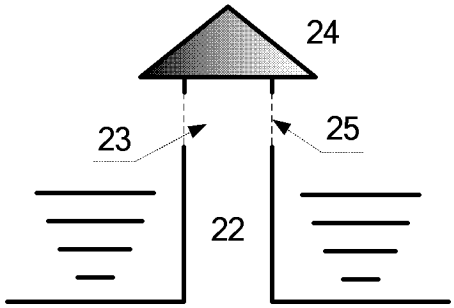

24
23
25
22

图 2

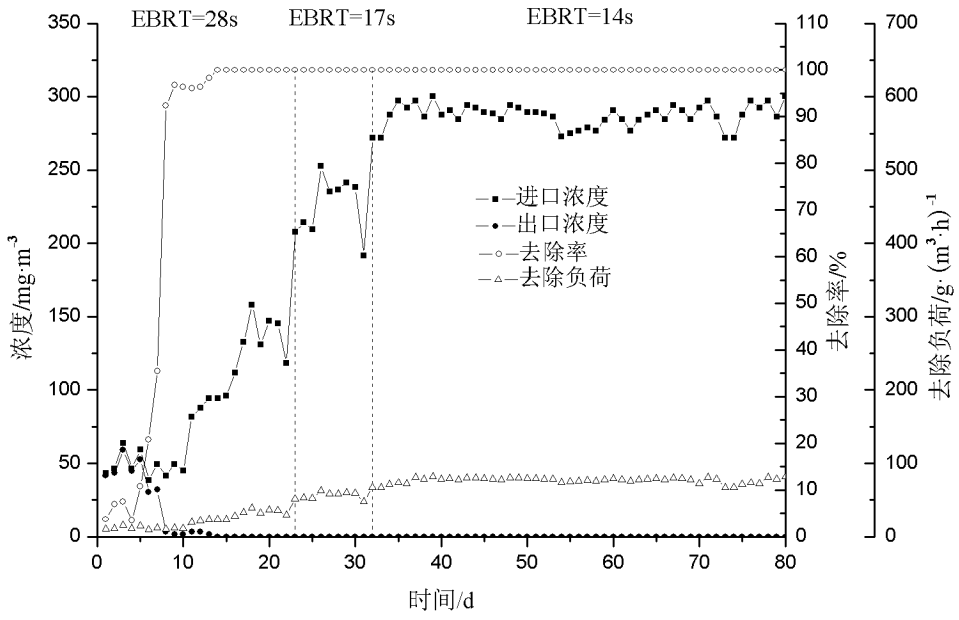

EBRT=28s
EBRT=17s
EBRT=14s
进口浓度
出口浓度
去除率
去除负荷
浓度/mg·m-3
去除率/%
去除负荷/g·(m3·h)-1
时间/d

图 3

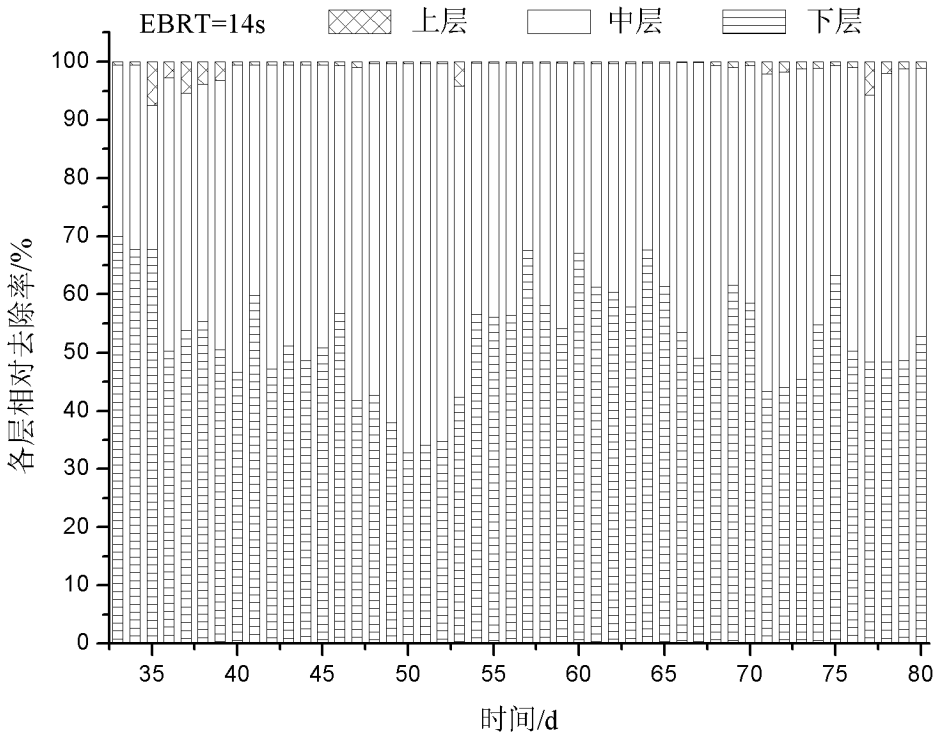

EBRT=14s
上层
中层
下层
各层相对去除率/%
时间/d

图 4

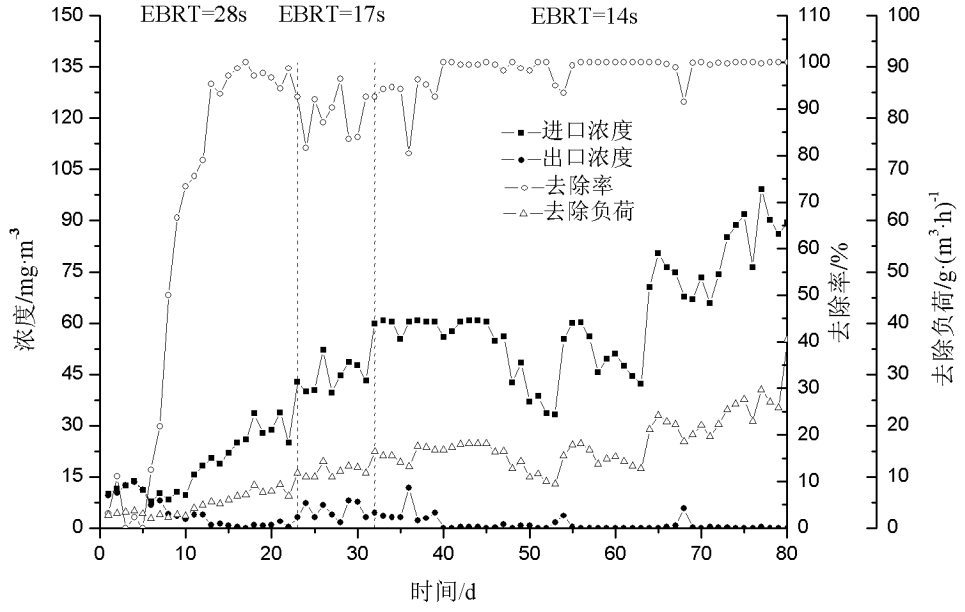

EBRT=28s
EBRT=17s
EBRT=14s
进口浓度
出口浓度
去除率
去除负荷
浓度/mg·m-3
去除率/%
去除负荷/g·(m3·h)-1
时间/d

图 5

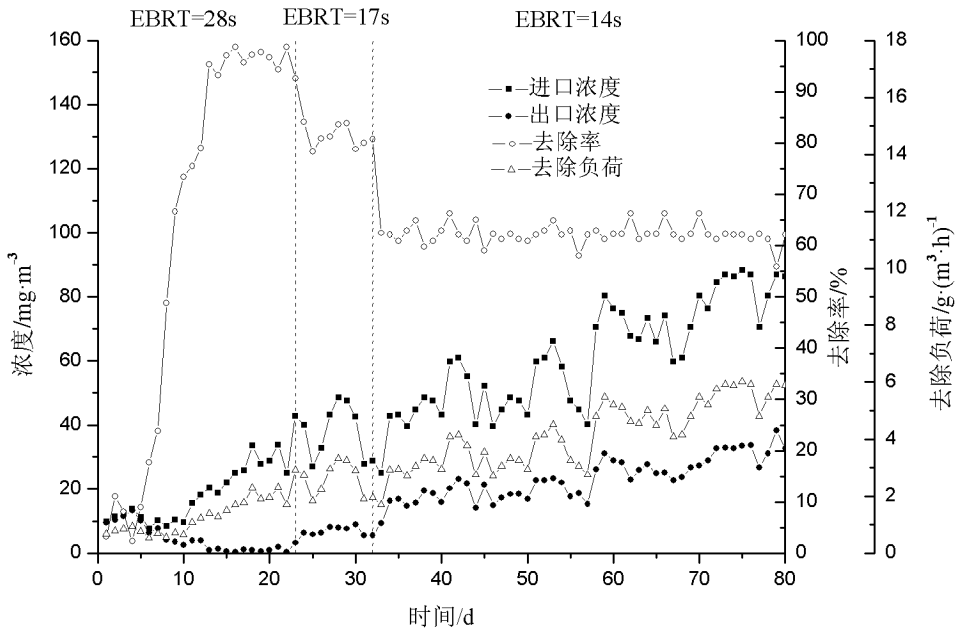

EBRT=28s
EBRT=17s
EBRT=14s
进口浓度
出口浓度
去除率
去除负荷
浓度/mg·m-3
去除率/%
去除负荷/g·(m3·h)-1
时间/d
0
10
20
30
40
50
60
70
80
0
20
40
60
80
100
120
140
160
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18

图 6