

新型悬浮填料滤池取代二沉池研究

傅 钢¹, 董 滨², 汪 波³, 周增炎², 高廷耀²

(1. 上海环保<集团>有限公司, 上海 200092; 2. 同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092; 3. 浙江大学 建筑设计研究院, 浙江 杭州 310027)

摘 要: 悬浮填料滤池是基于轻质悬浮填料技术而提出的新型高效固液分离技术, 不但可以代替传统二沉池完成固液分离、污泥浓缩, 而且具有占地省、出水表面无飘泥、出水水质好、冲洗简易方便以及一定的后续生物氧化作用等特点。在填料层高度为 2.0 m、填料比表面积为 $285 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 、表面负荷为 $1.98 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 、污泥回流比为 200%、滤池冲洗时间为 2~3 h 的工况下, 滤池稳定期长达 4~9 d, 出水 SS 可达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级标准。

关键词: 悬浮填料滤池; 二沉池; 固液分离; 污泥浓缩; 冲洗

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2005)08-0014-05

Pilot-scale Test on the Substitution of Novel High-efficient Suspended Medium Filter for Traditional Secondary Sedimentation Tank

FU Gang¹, DONG Bin², WANG Bo³, ZHOU Zeng-yan², GAO Ting-yao²

(1. Shanghai Environmental Protection Group Co. Ltd., Shanghai 200092, China; 2. School of Environmental Science & Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. Architectural Design and Research Institute of Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Suspended medium filter is a novel high-efficient solid-liquid separation technology, which is presented based on the light-weight suspended medium technology. It can not only accomplish the solid-liquid separation and sludge thickening in replace of traditional secondary sedimentation tank, but also can be characterized by less land occupied, non-floating sludge on the surface, good effluent quality, and easy for washing, with the subsequent bio-oxidation. Under the working conditions of filter height 2.0 m, specific surface area $285 \text{ m}^2/\text{m}^3$, surface load $1.98 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, sludge return ratio 200%, and filter washing time 2~3 h, the stable operation phase of the filter is as long as 4~9 days and its effluent SS can achieve the I-class criteria specified in the *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002).

Key words: suspended medium filter; secondary sedimentation tank; solid-liquid separation; sludge thickening; washing

污水处理系统中传统意义上的二沉池存在着一些不足之处:①固液分离所需占地面积较大,而且分

建式的二沉池需配套一定的绿化面积,这进一步加大了工艺整体所需的占地面积;②二沉池独立于反

应池之外会造成部分不必要的动力消耗,像回流管道加长、回流环节增多都会带来无益的动力消耗;③普遍发生飘泥现象等,这些都成为活性污泥工艺进一步发展的制约因素。为此,基于停气状态时一定厚度和形状的悬浮填料滤层具有较强“过滤”作用的事实,开发了一种取代传统二沉池的新型高效“悬浮填料滤池”(以下统称为滤池)并进行了中试。

1 试验装置与方法

1.1 试验装置

中试所采用的滤池以及配套使用的生化反应池的剖面图见图 1。

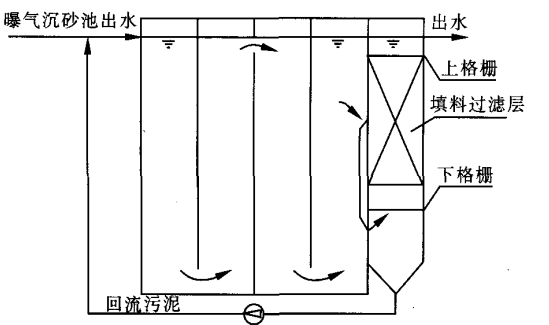


图 1 填料滤池及配套的生化反应池
Fig. 1 Medium filter and its combined biological reactor

如图 1 所示,滤池与生化反应池组合成为一体,生化反应池部分共有 5 格,第 1、2 格内装有双层搅拌桨,第 2、3、4 格底部配有穿孔曝气管,中试采用 A/A/O 工艺。中试装置第 5 格即为重点介绍的滤池。滤池的立体构造类似于方形二沉池,出口水位为 4.0 m(与前 4 格水位一致),其基本结构如下:最上部为清水区,也可称作保护区;中间是滤池的核心

功能区(悬浮填料滤层),由悬浮填料投加后自动压缩形成,滤层高度随滤池不同运行要求而变化,所投加填料采用自主开发的轻质悬浮填料;采用上、下格栅将悬浮填料与滤池其他部分隔离,格栅在保护清水区正常稳定运行的同时,起到防止轻质填料流失或堵塞回流污泥管道的重要作用;距下格栅底 0.1 m 处设有穿孔曝气管,供填料滤层冲洗时使用;滤池污泥斗是根据滤池与生化反应池组合上的需要而设计,污泥斗高为 0.5 m;滤池的有效截面积 $A=0.81\text{ m}^2$,与生化反应池尺寸一致。滤池的进水方式合理地与生化反应池结合起来,采用上流式过滤方式。底部污泥浓缩后由污泥回流泵打回生化反应池前端。

1.2 悬浮填料

试验所采用的新型球型轻质悬浮填料是填料滤池的核心技术,填料外观如图 2 所示,技术参数见表 1。



图 2 悬浮填料外观
Fig. 2 Suspended medium adopted in filter

表 1 滤池采用的悬浮填料及其技术参数

Tab. 1 Suspended medium adopted in filter and its technical parameters								
项目	形状	规格	外径/mm	比表面积/($\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$)	孔隙率/%	排列方式/(个 $\cdot \text{m}^{-3}$)	排列质量/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	材质
参数	球形	ZG25	25	285	>90	64 000	83	聚丙烯塑料

1.3 试验工况及分析方法

中试是在配套活性污泥工艺正常运行条件下进行的,原水取自上海某城市污水处理厂曝气沉砂池出水,且超越初沉池直接进入生化反应池。反应池混合液、滤池进水取样点均设在反应池第 4 格表层(反应池第 4 格为完全混合池,故由第 4 格表层取样点代替滤池进口取样点),而滤池出水直接取自滤池出水总管排放口。回流污泥取自至反应池前端回流污泥管出口。试验工况见表 2。

表 2 滤池的试验工况

Tab. 2 Running conditions of suspended medium filter				
项目	表面负荷/ ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)	填料直径 /mm	填料层高度 /m	污泥回流比 /%
数值	1.98	25	2.0	200

各水质指标的分析均采用标准法。

2 结果与讨论

2.1 滤池的固液分离功能

滤池取代二沉池,其功能主要是固液分离和污

泥浓缩两种作用。图 3 反映了滤池在 5 个不同稳定工作周期内的固液分离效果,即各稳定工作日的滤池瞬时进水 SS (即曝气池出口 MLSS) 与相应出水 SS 的变化情况。每日监测一次,共监测 30 次。

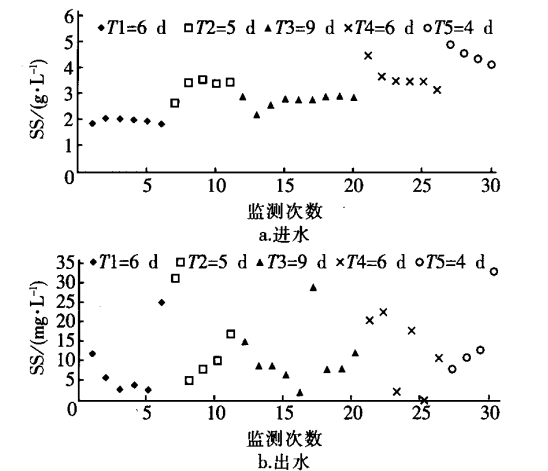


图 3 5 个不同稳定周期内滤池的瞬时进、出水 SS
Fig. 3 Influent and effluent SS of filter in 5 different periods

如图 3 所示,5 个不同稳定周期滤池进水 SS 在 1.8~4.9 g/L 之间变化,而相应的滤池出水 SS < 30 mg/L,且大部分出水 SS < 15 mg/L。由此可见,滤池能够承受不同混合液污泥浓度的冲击,且具有良好的固液分离效果。此外,参照《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的出水 SS 标准,滤池出水中达到一级标准(20 mg/L 以下)的运行天数为 24 个监测日,达到二级标准(30 mg/L 以下)的为 28 个监测日,仅有两日的瞬时 SS 监测值分别为 31、33 mg/L。若从整个工况的平均出水 SS 而言,平均出水 SS 只有 12 mg/L,低于 SS 允许排放浓度的一级 B 标准,接近其一级 A 标准。

2.2 滤池的污泥浓缩及回流功能

污泥浓缩及回流是传统二沉池的另一重要作用,滤池同样具备这样的功能。二沉池一般通过底部泥斗的污泥浓缩作用,降低回流污泥的含水率,减少回流污泥的体积。同时浓缩后的污泥直接通过污泥泵连续不断地回流至生化反应池前端。滤池的污泥浓缩功能通过两种途径实现:一种是通过类似二沉池的污泥浓缩及回流功能来浓缩并回流污泥,另一种则是通过填料滤池内滤层的截留、吸附等作用将污泥浓缩,并在滤层冲洗时将部分滤层内污泥回流。图 4 是滤池稳定工作时入流 MLSS 与对应的回

流污泥浓度(RSS)关系图,该图证实了滤池中第一种污泥浓缩作用的存在。

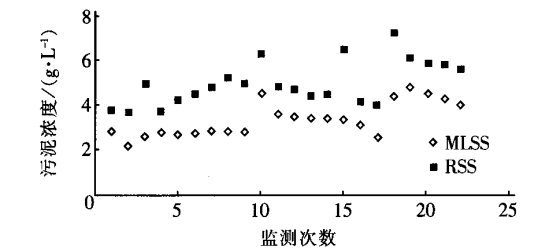


图 4 污泥回流比 $R=200\%$ 时的混合液
污泥浓度、回流污泥浓度

Fig. 4 MLSS, RSS under condition of $R=200\%$

图 5 所示是滤池某个冲洗工况条件下滤层截留污泥的释放过程,该图阐述了第二种污泥浓缩途径在滤池中的实现。在滤池的稳定运行过程中,填料滤层不断截留污泥,并得到一定程度的浓缩,冲洗时滤层截留污泥得以释放。图 5 所示工况的滤池 SS 平均值达到 15.765 g/L(冲洗 1 min 时),冲洗 120 min 时滤池 SS 平均值降至 2.459 g/L。同时,滤层冲洗释放的污泥大部分回流至生化反应池,对维持活性污泥工艺生化反应池的生物量起着重要作用。

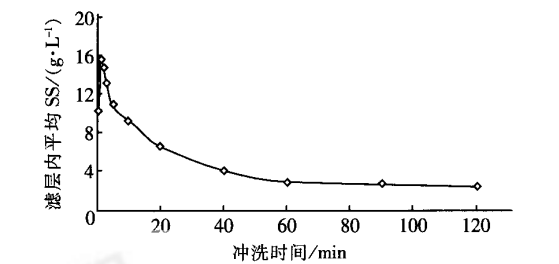


图 5 滤池平均 SS 值随冲洗时间的变化
Fig. 5 Variation of SS with washing time

2.3 滤池的生化功能

滤池除了具有良好的固液分离功能、污泥浓缩及回流功能之外,还具有一定的生化功能。一方面,滤池内填料的投加为微生物的附着生长创造了有利条件。滤池运行过程中滤层悬浮填料的平均挂膜量达到 1.012 g/L 左右,按 2 m 滤层折算至全池为 0.751 g/L。这部分附着生长的微生物为滤池发挥一定的生物氧化功能起到重要作用。另一方面,随着滤池的运行,滤池内的污泥浓度很快便达到一个较高的水平,形成浓度高达 4~10 g/L 的悬浮污泥层,相应地滤池内污泥负荷大大降低,也有利于滤池在生化反应池内发挥后续的生物氧化作用。

为此,通过比较滤池进、出水除 SS 外的其他各

项生化指标,研究了滤池的后续生化功能。监测的水质指标包括:DO、溶解性 COD、 NH_3-N 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 等。表 3 反映了表 2 试验工况条件下滤池进、出水水质的平均值变化。每个指标均监测 30 次(每天取样监测 1 次,共 30 d,分布在几个连续的不同稳定运行周期内,中间适当时段设有滤池冲洗)。

表 3 悬浮填料滤池进、出水水质的平均值变化

Tab.3 Average changes of influent and effluent water quality of suspended medium filter $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

水质 指标	DO		COD		NH_3-N		$\text{NO}_3^- - \text{N}$		$\text{NO}_2^- - \text{N}$		$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$	
	进	出	进	出	进	出	进	出	进	出	进	出
平均值	3.00	0.4	26	20	1.7	1.6	6.87	6.29	0.08	0.11	1.3	1.1

由表 3 中滤池进、出水水质平均值的变化来看,滤池的后续生物氧化功能具有以下特点:

① 滤池进、出水的 DO 发生了较大的变化(由进水的 3.0 mg/L 降为 0.4 mg/L)。这种 DO 大幅度下降的现象,与滤池内滤层的停气布置以及滤池内污泥浓度较高导致滤池整体耗氧量增加有关。

② 滤池对溶解性 COD 有进一步的去除,原因可能与滤层内微生物的同化作用有关,少量的去除还可能与反硝化作用相关。

③ 滤池对 NH_3-N 起到一定的去除作用,但可能由于滤池进水 NH_3-N 浓度偏低,这种作用并不明显。

④ 滤池内 DO 的变化在滤层内产生了一个缺氧环境,使得滤池对其 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 有一定程度的影响。但总体来说,由于滤池位于生化反应池的末端,滤池进水的易溶解性碳源较少,滤池的反硝化作用也相应较小。

⑤ 虽然滤池内 DO 大幅度降低,但并不足以形成厌氧环境,而且由于反硝化反应的进行,聚磷菌的厌氧释磷也需要碳源,而滤池位于反应池的末端,碳源较少,诸如 VAFs 之类的易降解碳源则更少,因此滤池并不会出现释磷现象。

总之,填料滤池的设置并不会出现明显的释磷现象而影响出水水质,同时还具有一定的 COD、 NH_3-N 的去除效果,这与采用滤池取消二沉池的一体化新工艺思路并不矛盾。

2.4 漂泥问题

漂泥问题是城市污水处理厂和工业废水处理站二沉池中普遍发生的一种现象。其直接后果是增加

了出水中的悬浮物含量,同时 BOD₅、COD、TN、TP 等指标的含量也会相应增加,严重时还会造成污泥流失而使系统运行不稳定。仔细观察滤池的中试运行情况后,发现滤池没有出现漂泥问题,这是传统二沉池所无法企及的。由于滤池设置了填料滤层,又加上滤池定期进行滤层冲洗,释放滤层不断截留活性污泥,可以避免污泥漂浮现象的发生。

2.5 滤池的稳定工作周期及滤层冲洗

随着工艺运行时间的推移,滤池填料滤层的污泥截留量逐渐达到饱和,泥水界面逐渐上升,直至最终污泥层穿透滤层,出水水质恶化。因此为了能够保证工艺出水水质的达标排放,作为出水水质的最后把关部分——填料滤层必须进行定期冲洗,以释放并去除滤层内截留的大量污泥,恢复填料滤层新的污泥截留能力,同时补充生化反应池的污泥量保证其具有一定的 MLSS。因此,滤池便有了稳定工作周期及滤层冲洗的概念。

从滤池一次冲洗的开始到下一次新的冲洗,这段时间称之为滤池的一个稳定工作周期 T 。滤池如同给水处理领域的传统滤池,受运行参数不同的影响,其稳定工作周期也有长有短。相应于滤池实际运行工况: $Q_{\text{出水}} = 1.6 \text{ m}^3/\text{h}$, $q_{\text{表面负荷}} = 1.98 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, $h = 2.0 \text{ m}$, $R = 100\% \sim 200\%$,通过适当的冲洗方法,滤池稳定工作周期一般都可以达到 4 d 以上,最长达 9 d。

滤池的滤层冲洗是滤池运行过程中必需而且重要的环节。在一般给水、污水过滤处理技术中,滤层冲洗所采用的方法有水力反冲洗、水力反冲洗加表面冲洗、水洗加气洗等。但由于滤池发挥过滤作用的主体不是填料本身,而是悬浮污泥层,因而与砂粒过滤机理不同,所需冲洗的方法和原理也有很大的不同。因此基于试验滤层所采用的悬浮填料具有孔隙率高、通水通气效果好的特点,且考虑到滤层截留的悬浮状或沉淀状污泥絮体极易为气流、水流打碎以及气体冲洗具有良好的搅动作用等原因,初步提出了采用常规穿孔管曝气冲洗的冲洗方法。同时充分结合滤层冲洗过程中的污泥回流,将滤层释放污泥打至生化反应池前端。该冲洗方法简易、高效,能够在 2~3 h 内恢复滤池填料层的过滤能力,而且避免传统过滤池冲洗时存在的管道复杂、冲洗水量大等不足。

此外值得注意的是,比较滤池稳定运行时间(4

~9 d)与冲洗过程所需时间(2~3 h,包括冲洗后所需的澄清时间与重新稳定达标出水时间),可知冲洗过程所需时间相对较短,对整个工艺的影响不大。而且城市污水处理厂不同时段进水流量变化大,夜间流量处于低谷,因此如能充分利用该时段进行滤池冲洗,不存在因滤池冲洗停运而影响工艺正常运行的问题。

2.6 滤池的特点

① 滤池能够承受2.0~5.0 g/L不同混合液污泥浓度,具有良好的抗冲击性。

② 在表面负荷高达 $2.0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ (是传统活性污泥工艺二沉池设计表面负荷的2倍左右)的运行条件下,滤池出水SS可达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级标准,具有良好的固液分离功能,可以大幅节约传统活性污泥工艺固液分离所需的占地面积。

③ 滤池具有良好的污泥浓缩功能,同时通过底部的污泥回流,可以满足一体化新工艺生化反应池维持一定微生物量的需要。

④ 滤池虽然处于一体化工艺的末端,但仍表现出一定的去除COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 效果,保留了悬浮填料滤池作为生物氧化单元的基本功能,为固液分离功能与生物氧化功能在同一单元上的一体化结合创造了有利条件。

⑤ 滤池出水表面无传统二沉池中常见的漂泥现象,出水水质稳定。

⑥ 滤层冲洗方法简易、高效,能够在2~3 h内去除滤层截留的污泥,恢复滤池填料层的过滤能力,避免了传统过滤池冲洗系统存在的管道复杂、耗能高、冲洗水量大等不足。

3 结论与建议

① 新型高效悬浮填料滤池不但具有良好的固液分离功能、类似于二沉池的污泥浓缩功能和一定的后续生化处理功能,而且还有效地解决了传统二沉池的漂泥问题,提高了工艺出水水质和出水稳定性,因此采用该新型滤池取代甚至取消活性污泥工艺的传统二沉池是可行的。建议进一步开展不同工况滤池的出水水质以及稳定工作周期的试验研究,以及滤池对配套活性污泥工艺的影响研究,全面了解滤池运行的情况,提出滤池运行参数。

② 滤池在一个稳定工作周期后,需进行定期的滤层冲洗,以释放并去除滤层内截留的大量污泥,恢复填料滤层新的污泥截留能力。初步提出了采用常规穿孔管连续曝气冲洗并结合污泥回流的滤层冲洗方法。该冲洗方法简易、高效,能够在2~3 h内恢复悬浮填料滤层的“过滤”能力,而且避免了传统过滤池冲洗时存在的管道复杂、冲洗水量大等不足。建议进一步系统地研究冲洗过程滤池的运行参数对滤层截留污泥去除效果的研究,并提出相应的滤池运行参数。

参考文献:

- [1] 杨青,甘树应,刘遂庆.二沉池反硝化浮泥产生机理及避免措施[J].中国给水排水,2002,18(10):68-70.
- [2] 陈中博.反硝化反应导致二沉池污泥上浮问题的研究[J].给水排水,1995,13(2):28-34.

作者简介:傅钢(1978-),男,浙江义乌人,工学博士,主要从事废水、垃圾处理技术研究和工程项目管理工作。

电话:(0)13917295247

E-mail:fgconna@sina.com

收稿日期:2005-04-04

· 工程信息 ·

威海火炬高技术产业开发区科技新城污水处理工程招商

工程内容:规划于初张路南侧建设 $3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的污水提升泵站一座, $2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的初村污水处理厂一座,铺设DN300~DN1000的玻璃钢夹砂管及球墨铸铁管59.4 km;投资总额:1205万美元;项目性质:合资、合作、独资、BOT、TOT等方式均可,项目单位:威海市水务集团,联系人:周靖祖,联系电话:0631-5204432,传真:0631-5213100。

(本刊编辑部)