同心列管式静态混合器的结构参数与应用性能研究

李伟光[1], 王广智[1], 南 军[1], 时文歆[1], 徐立群[2], 李 楠[3], 刘希逦[2]
(1.哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2.长春立源水处理技术有限责任公司, 吉林 长春 130022; 3.城市水资源开发利用<北方>国家工程研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘 要: 同心列管式静态混合器利用管道边壁的边界层作用,强化形成准均匀各向同性涡旋,实现快速混合作用。试验结果表明,同心列管间距为 100 mm、列管段数为 3、列管段间设置导流锥的同心列管式混合器的混合效果最优。与普通孔板式混合器相比,在相同操作条件下可以节省 15.8%的絮凝剂用量,同时使絮体的分形维数和粒径分别提高了 11.8%和 52.6%,使沉后水浊度降低了 2 NTU 左右。

关键词: 给水处理; 静态混合器; 同心列管; 导流锥; 分形维数; 絮体粒径
中图分类号: TU991 文献标识码: A 文章编号: 1000-4602(2009)09-0033-04

Research on Structural Parameters and Application Performance of Static Tubular Mixer with Concentric Tube-arrays

LI Wei-guang[1], WANG Guang-zhi[1], NAN Jun[1], SHI Wen-xin[1], XU Li-qun[2], LIN an[3], LIU Xi-miao[2]
(1. *School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China*; 2. *Changchun Leeya Water Treatment Technology Co. Ltd., Changchun 130022, China*; 3. *National Engineering Research Center of Urban Water Resources, Harbin 150090, China*)

Abstract For the static tubular mixer with concentric tube-arrays, semi-uniform and isotropy turbulent flow takes place because of the effect of boundary layer in the arrayed tube, which can achieve rapid mixing. The mixing effect is optimal when the space between concentric tube-arrays is 100 mm, the number of tube-array units is 3, and the cone-shaped baffle-boards are set between tube-array units. Under the same operation conditions, compared with the orifice plate mixer, the static tubular mixer with concentric tube-arrays can save about 15.8% of flocculant dosage, the fractal dimension and particle size of flocs are increased by 11.8% and 52.6%, and the turbidity of the sedimentation effluent is decreased by 2 NTU.

Key words water treatment; static mixer; concentric tube-array; cone-shaped baffle-board; fractal dimension; particle size of floc

同心列管式混合器是在孔板式混合器的基础上开发研制的新型混合设备,是对普通列管式混合器的改进型设备。它在流道中设置列管,水流经列管时,在管道边壁的边界层作用下形成准均匀各向同

基金项目: 国家科技支撑计划重点项目(2006BAJ08B09)

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

性紊流,产生空间分布均匀、可控密度、可控尺度的涡旋,实现快速混合作用。同心列管式静态混合器解决了孔板式混合器需要较大流场空间、混合效果受设备尺寸影响较大、设备易堵塞等不足,具有结构简单、成本低廉、高效节能等优点。同时,其对负荷变化的适应性也有很大增强,其超负荷运转能力可达 100%[1]。笔者研究了不同结构参数对该种混合器混合效能的影响,以优化其结构,为工程化应用提供技术支持。

1 试验装置和方法

1.1 静态混合器

不同结构的混合器均采用不锈钢制作,在其他设备的结构及操作参数保持不变的条件下,混合器使用 5种不同间距与长度的同心直列管束结构形式。混合器内置直列管束的间距分别取 25、50、100、150 mm,同心列管均布于混合器主管内,通过改变管径和增加导流锥形成不同结构形式的直列式混合器,其结构及参数如图 1和表 1所示。列管混合器总长为 3 m,内径为 300 mm,混合时间为 3 s,设计流速为 1 m/s,设计水头损失< 4.9 kPa。

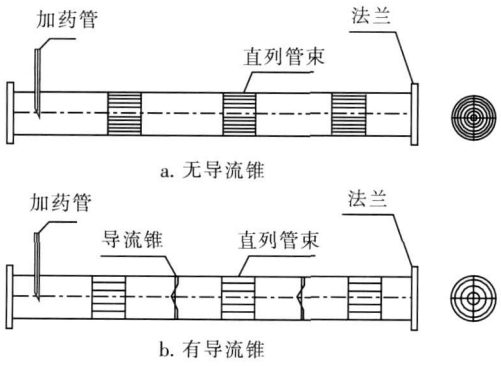

图 1 同心列管式混合器的结构

Fig. 1 Schematic diagram of concentric tube-array static mixers

表 1 同心列管式静态混合器的结构参数

Tab. 1 Parameters of concentric tube-array static mixers

混合器	A	B	C	D	E
管束间距/mm	25	50	50	100	150
导流锥	无	无	有	有	有

1.2 工艺流程

试验采用静态混合、隔板絮凝、斜板沉淀常规处理工艺(见图 2),设计处理量为 25 m^3/h。

在絮凝反应池的第一反应区出口设取样及测试点,每组试验运行 12 h,取样时间间隔为 1 h。试验用水取自某水库,试验期间其浊度较高,最大为 85 NTU,平均为 24 NTU,pH值为 6.5左右。絮凝剂为 10%的聚合氯化铝(PAC),投量为 10~25 mg/L;助凝剂为 0.1%的阴离子型聚丙烯酰胺(PAM),投量为 0.3 mg/L。

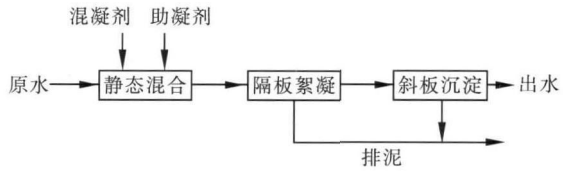

图 2 工艺流程

Fig. 2 Flow chart of experimental process

1.3 分析项目与方法

采用水下摄影仪进行摄像,利用物理影像法测算出相应的絮体分形维数(D_f)和有效粒径(d_f);采用便携式 2100P浊度仪测定沉后水浊度。

2 结果与讨论

2.1 沉后水浊度

采用不同结构的混合器时沉后水浊度的对比如图 3所示。

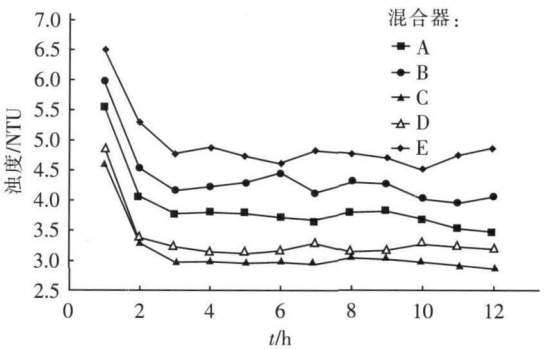

图 3 出水浊度的对比

Fig. 3 Comparison of turbidity of treated water

由图 3可见,设备运行 2 h后出水浊度趋于稳定。在投药量、流量、原水浊度以及其他操作条件基本相同的情况下,C、D型混合器的出水浊度较为接近,均略高于 3 NTU,其中 C型混合器的出水浊度最低;A型混合器的出水浊度略低于 4 NTU;B型、E型混合器的出水浊度较高(> 4 NTU)。这说明,相比其他型号的混合器,C、D型同心列管式混合器具有较高的混合效率。

2.2 絮体分形维数与絮体粒径

采用不同结构的混合器时,絮凝池中絮体的平均分形维数及平均粒径分别见图 4、5。

由图 4可见,C型及 D型混合器产生的絮体分

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

形维数较高 (C型比 D型的高 1. 2%), A型混合器的次之, B、E型混合器的絮体分形维数较低。相对于 B型混合器, C型混合器所产生絮体的分形维数值提高了7. 3%。C型、D型混合器产生的絮体占据的有效空间较大, 说明絮体具有良好的密实度及均匀性。各混合设备所产生絮体的粒径表现出与分形维数相近的变化趋势。其中, C型与 D型混合器产生的絮体粒径最大, C型的絮体粒径相对 A型混合器的提高了 16. 9%; B、E型混合器产生的絮体粒径较小。由此说明, C型及 D型混合器中微小涡旋比例及有效能耗都有提高, 絮体颗粒碰撞强度及次数得以增加, 设备具有较好的混合效果。

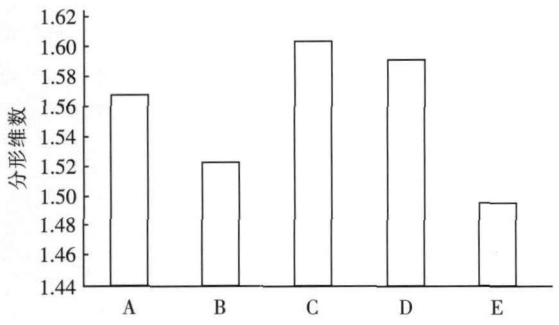

图 4　采用不同混合器时絮体的分形维数对比

Fig 4　Comparison of floc fractal dimension using different mixers

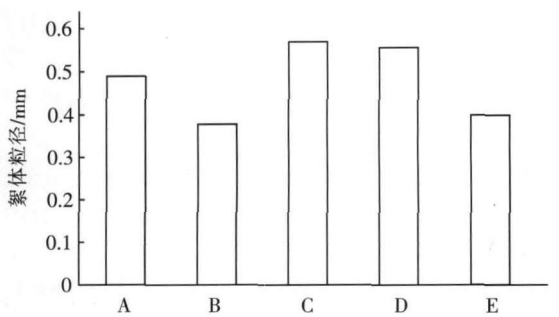

图 5　采用不同混合器时絮体粒径的对比

Fig 5　Comparison of floc size using different mixers

2. 3　混合器优化结构分析

从上述试验结果可知, 5种类型的混合器中, C型及 D型混合器具有良好的混合效果, A型混合器次之, 而 B、E型混合器的混合效果相对较差。各混合器的混合效果主要由其结构参数决定, 在管道中增加导流锥能起到强化混合的作用。

对于设置了导流锥的 C、D型同心列管式静态混合器, 其混合效果明显优于不含导流锥的 A、B型混合器。这主要是由于同心列管的管间距相对较大, 流体离开列管后产生的涡旋尺度也随之增加, 因此增加导流锥起到了强化混合的作用, 使混合效果得到明显提高。

同时可以发现, 减小同心列管间距即增加同心列管个数有利于提高设备的混合效果。这是由于流体在直列管内发生边界层分离, 形成较均匀的各向同性紊流, 当流体通过列管后, 产生同管间尺度相当的涡旋群, 随着涡旋群的衰减达到流体混合[2], 当列管间距减小后, 混合管内各向同性紊流增加, 且流出列管的涡旋群尺度减小, 能量衰减效率较高, 因此混合效率随着列管间距的减小而得到提高。对于 C、D型混合器, 虽然 D型混合器的管间距较大, 但其混合效果与 C型混合器非常接近, 这说明相对于列管段, 导流锥的强化混合占主导作用, 列管主要起到增加空间各向同性均匀紊流的作用。E型混合器的混合效果较差, 这是由于同心列管间距过大, 导致列管段出口流体涡旋尺度增大, 能量衰减效率降低, 同时其对形成空间均匀紊流的贡献也较小, 因此造成其整体的混合效率较低[3]。

综上所述, 在试验的混合器结构下, 当同心列管与导流锥结合使用时, 导流锥主要起到强化混合的作用, 同心列管间距存在最优值。从混合效果及制造费用上考虑, 带有导流锥、管间距较大的 D型同心列管式静态混合器的整体性能最佳。

2. 4　与孔板式混合器的混合性能比较

选取与 D型同心列管复合导流锥式混合器的管径及管长相当的孔板式管道混合器进行对比试验, 结果见表 2。

表 2　同心列管式混合器与孔板式混合器的混合性能比较

Tab 2　Comparison of mixing performance between concentric tube-array mixer and orifice plate mixer

项　目	d_f /mm	D_f	沉后水浊度 /NTU	最佳投药量 / (mg• L^{-1})
列管式	0. 58	1. 52	3. 37	16
孔板式	0. 38	1. 36	5. 21	19

由表 2可知, 相对于同尺寸的孔板式混合器, D型同心列管式静态混合器具有较低的出水浊度和较少的絮凝剂投量 (降低了 15. 8%)。同心列管式静态混合器的分形维数比孔板式混合器的高 11. 8%, 表明同心列管式静态混合器的絮体占据的有效空间较大, 絮体具有良好的密实度及均匀性; 同时, D型同心列管式静态混合器的絮体粒径比孔板式混合器

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的高 52 6%。这说明在相同的操作条件下, 相比于孔板式混合器, D型同心列管式静态混合器中的流体混合得到更有效的均匀强化, 设备具有较高的混合效率。也就是说, 在相同的操作条件下, 要达到与 D型同心列管式静态混合器相同的出水指标或絮体形貌, 孔板式混合器需要更高的运行费用及设备投资。

3 结论

① 对于同心列管式静态混合器, 减小同心列管间距及增加导流锥可以有效提高混合效果, 但过小的列管间距在增加设备制造费用的同时, 混合效果提高得不明显, 其结构参数对于设备混合效果及制造费用存在最优值。

② 具有 3段式同心管段、管段间设有导流锥、列管间距为 100 mm 的同心列管式静态混合器的混合效果最佳, 且具有较低的制造费用。

③ 与普通孔板式混合器相比, 在降低 15 8% 的絮凝剂用量下, 同心列管式混合器中的流体混合得到更有效的均匀强化, 设备具有较高的混合效率, 使絮体的分形维数和粒径值分别提高了 11 8% 和 52 6%, 降低沉后水浊度达 2 NTU 左右。

参考文献:

[1] 冯利, 汤鸿霄. 铝盐最佳混凝形态及最佳 pH 范围研究[J]. 环境化学, 1998, 17(2): 163- 169.

[2] Li Xiao Yan, Logan Bruce Settling and coagulating behavior of fractal aggregates[J]. WaterSciTechnol, 2002, 42(3- 4): 253- 258.

[3] 王东升, 汤鸿霄, 栾兆坤. 分形理论及其研究方法[J]. 环境科学学报, 2001, 21(增刊): 10- 16.

作者简介: 李伟光 (1962-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 博士, 教授, 研究方向为给水处理理论与技术及污水处理与回用技术。

电话: 13904512510

E- mail: hitlwg@ 126 com

收稿日期: 2009- 01- 09

(上接第 32页)

~ 2 0。

② 当保持好氧池的 DO 为 1 4~ 1 9 mg/L时除磷率达 85 11%, 在进水 TP平均为 2 99 mg/L的情况下, 出水 TP平均仅为 0 45 mg/L, 且对其他指标的去除效果均未受到明显影响。在高 DO情况下, 除磷效果显著下降。因此, 建议在实际运行中保持好氧池的 DO为 1 0~ 2 0 mg/L, 确保在污泥沉降效果不受影响的前提下获得良好的除磷效果。

③ 通过分流 30%的进水至厌氧池, 可使对 TP的去除率提高 9 91%, 出水 TP由分流前的 0 59 mg/L下降至 0 31 mg/L, 且对 TN 的去除效果未受明显影响。

④ 中试条件下, 对于进水碳源含量较低的白龙港污水厂, 通过对倒置 A^2/O 工艺的运行进行优化控制, 在水温比较理想的季节和 HRT为 9~ 10 h的条件下, 可使出水水质稳定地达到一级 A标准。

致谢: 上海白龙港污水处理有限公司、白龙港水质净化厂、上海水资源开发利用国家工程中心有限公司为研究工作的顺利进行提供了诸多帮助, 在此表示诚挚的谢意!

参考文献:

[1] 古凌艳, 张宏. 改良 A^2/O 工艺在南方雨季的工艺运行控制[J]. 中国给水排水, 2006, 22(16): 84- 86.

[2] 张亚勤, 熊建英, 雷震珊. 上海松江污水处理厂达标改造工程介绍[J]. 给水排水, 2008, 34(1): 12- 15.

[3] 张辰, 张欣, 杜炯. 上海市白龙港污水处理厂改造工程设计[J]. 给水排水, 2008, 34(4): 16- 19.

[4] 潘碌亭, 屠晓青, 罗华飞, 等. 改良厌氧/缺氧/好氧脱氮除磷工艺处理城镇污水[J]. 中国给水排水, 2007, 23(22): 61- 63.

[5] 张静. 倒置 A^2/O 工艺硝化除磷调控的实例分析[J]. 中国给水排水, 2007, 23(20): 93- 97.

[6] Brdjanovic D, Slamet A, Van Loosdrecht M C M, *et al*. Impact of excessive aeration on biological phosphorus removal from wastewater[J]. Water Res, 1998, 34(1): 200- 208.

作者简介: 姚海峰 (1984-), 男, 安徽巢湖人, 硕士研究生, 研究方向为水污染控制。

电话: (021) 65981070 15921538270

收稿日期: 2008- 12- 03

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net