

技术总结

管束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, 刘希邈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: 管束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。通过研究不同结构的管束列管式静态混合器对水处理效果的影响, 发现列管总长与管长之比为 1:3 列管段数为 3 时, 管束列管式静态混合器的混合效果最佳。与普通孔板式混合器相比, 在相同的操作条件下, 管束列管式静态混合器可以节省 23% 左右的絮凝剂用量, 且其絮体分形维数 D_f 和絮体粒径 d_f 分别较前者提高了 17% 和 18%, 降低沉后水浊度达 20 NTU 以上。

关键词: 管束列管式静态混合器; 絮体分形维数; 絮体粒径; 孔板式混合器

中图分类号: TU991 文献标识码: C 文章编号: 1000-4602(2009)07-0045-04

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

LI Wei-guang¹, WANG Guang-zhi¹, NAN Jun¹, SHI Wen-xin¹, XU Li-qun²,
LIN An³, LIU Xi-miao²

(1 School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090 China; 2 Changchun Leye 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 tube-arrays, semi-uniform and isotropic turbulent flow takes place using the effect of boundary layer in the arrayed tube, which can achieve rapid mixing. By investigating the influence of the static tubular mixer with different structures on water treatment, it is found that the mixing effect is optimal when the ratio of total length of the tube-array to the length of mixer is 1:3, and the number of tube-array units is 3. Under the same operation conditions, compared with orifice plate mixer, the static tubular mixer with tube-arrays can save about 23% of flocculant dosage, the fractal dimension D_f and particle size d_f of flocs are increased by 17% and 18%, and the turbidity of the sedimentation effluent is decreased by over 20 NTU.

Key words tubular mixer with tube-arrays; fractal dimension of floc; particle size of floc; orifice plate mixer

静态混合器是 20 世纪 70 年代发展起来的一种 新型高效化工单元设备^[1,2], 由于其具有流程简单、

结构紧凑、投资少、能耗省、易于实现连续操作等优点,被广泛应用于石油化工、生物化工、制药、环保等工业。管束列管式静态混合器是在孔板式混合器的基础上开发研制的一种新型混合设备,它在流道中设置列管,当水流流经列管时,在管道边界的边界层作用下形成准均匀各向同性紊流,产生空间分布均匀、可控密度、可控尺度的涡旋,涡旋在列管尾端衰减,完成混合作用。管束列管式静态混合器解决了孔板混合器需要较长流场空间、混合效果受设备尺寸影响较大等缺点,具有结构简单、成本低廉、高效节能等优点。同时,其对水流负荷变化的适应性也有很大提高,其超负荷运转能力可达 100%^[3]。

笔者针对管束列管式静态混合器,研究了不同的结构参数对其混合效能的影响,优化了混合器的结构,并与普通孔板式混合器的混合效能进行了对比,为其大规模工程化应用提供了技术支持。

1 试验装置和方法

1.1 试验装置

将不同结构的混合器分别与絮凝反应池、斜板沉淀池相连,采用不锈钢材质,加工成一体化设备,絮凝反应池及斜板沉淀池的结构及操作参数保持不变,静态混合采用 6 种 (A1~A6) 不同结构的管束列管式静态混合器。混合器内置 7 根长度相等的列管,列管直径为 70 mm,对两组以上的列管,其管间距离相等。混合器的结构及参数分别见图 1 和表 1。

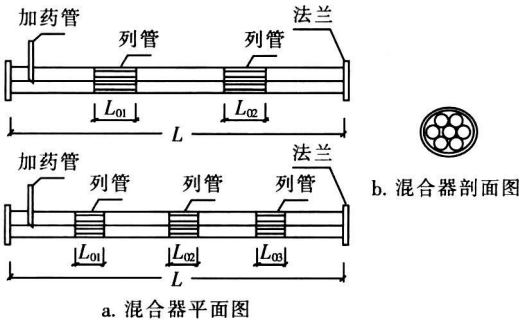


图 1 管束列管式静态混合器的结构

Fig 1 Structure of static tubular mixer with tube-arrays

表 1 管束列管式静态混合器的结构参数

Tab 1 Structural parameters of static tubular mixer with tube-arrays

混合器型号	A1	A2	A3	A4	A5	A6
L_0/L	1/2	1/2	1/3	1/3	1/4	1/4
n	2	3	2	3	2	3

注: L 为混合器的长度; L_0 为列管的总长度, $L_0 = L_{01} + L_{02} + L_{03}$; n 为列管段数。

管束列管式静态混合器的总长为 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 < 0.5 m (5 kPa)。在絮凝反应池的第一反应区出口设取样点和测试点。每组试验运行 12 h, 取样测试时间间隔为 1 h。

试验采用静态混合、隔板絮凝、斜板沉淀常规处理工艺, 设计处理量为 25 m³/h。试验原水为长江水, 试验期间水质比较稳定, 浊度最大为 110 NTU, 平均为 32 NTU, pH 值为 6.2 左右。试验采用絮凝剂为 10% 的聚合氯化铝 (PAC), 投量为 10~15 mg/L, 助凝剂为 0.1% 的阴离子型聚丙烯酰胺 (PAM)。

1.2 分析项目及方法

絮体分形维数 (D_f) 和絮体有效粒径 (d_f): 采用水下摄影仪进行水下摄像, 利用物理影像法测算; 浊度: 便携式 2100P 浊度仪。

2 结果与讨论

2.1 絮体分形维数与絮体粒径的对比

采用不同结构混合器的絮凝池中絮体的平均分形维数 D_f 及平均粒径 d_f 分别见图 2、3。

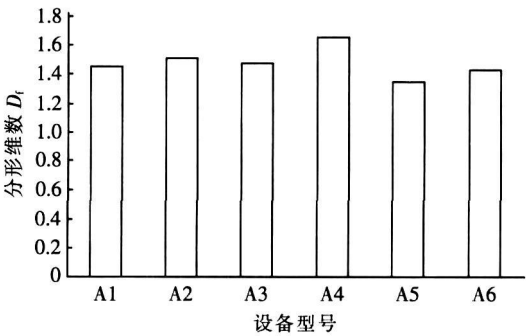


图 2 絮体分形维数 D_f

Fig 2 Fractal dimension D_f of floc

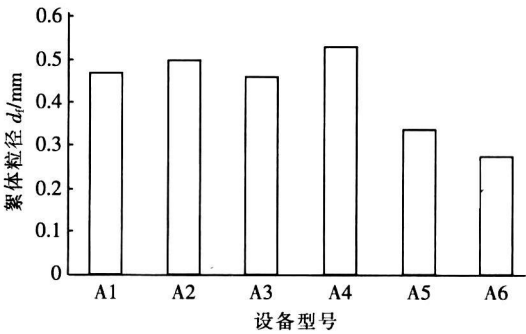


图 3 絮体粒径 d_f

Fig 3 Particle diameter d_f of floc

由图 2 可知, A4 型混合器产生的絮体分形维数 (D_f) 最高, A2 型混合器的次之, A1、A3 型混合器的

较为接近, A5、A6型混合器的较低。其中, A4型混合器产生絮体的分形维数较 A2型混合器的提高了 8.5%。结果表明, A4型混合器产生的絮体占据有效空间较大, 其密度及均匀性良好。

由图 3可知, 各混合器产生的絮体粒径与其分形维数的变化趋势相似。其中, A4型混合器产生的絮体的粒径最大, 较 A2型混合器的提高了 7.7%。同样, A1、A3型混合器的较为接近, A5、A6型混合器的较小。故在该中试条件下, $n=3$, $L_0/L=1/3$ 的 A4型混合器的混合效果最佳。

2.2 混合器的结构对出水浊度的影响

混合器的结构对出水浊度的影响见图 4。

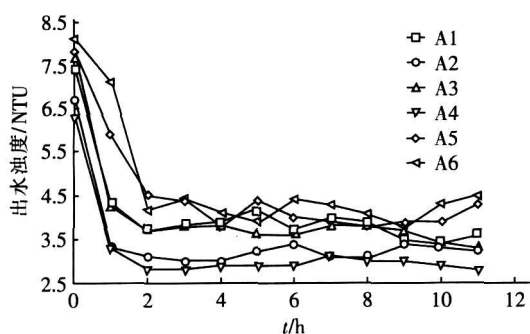


图 4 混合器的结构对出水浊度的影响

Fig 4 Effect of mixer structure on effluent turbidity

由图 4可知, 试验系统运行 2 h 后的出水浊度趋于稳定。在投药量、给水流量、原水浊度及其他操作条件基本相同的条件下, A4型混合器的出水浊度最低, 达到 3 NTU 以下, 且可以保持稳定的出水浊度; A2型混合器的出水浊度略高于 A4的; A1、A3型混合器的出水浊度较为接近; A5、A6型混合器的出水浊度较高, 略高于 4 NTU。

2.3 混合器的结构参数对混合效果的影响

各混合器的混合效果主要由混合器的结构参数决定, 对于管束列管式静态混合器, 列管段数 n 及管段长度 L_0 对其混合效果影响较大。

① 列管段数的影响

对于 3 段 ($n=3$) 式 A4型、A2型管束列管式静态混合器, 其混合效果明显优于 2 段 ($n=2$) 式 A1、A3型混合器的, 这说明在一定的列管长度下, 增加列管段数, 即增加了流体强化混合的次数, 同时也增加了产生空间均匀各向同性紊流的段数, 从而提高了流体中空间分布均匀、高密度、高强度的小尺度涡旋的数量。由于这些分布均匀的涡旋在列管后的紊

流区具有较高的旋涡及能量衰减效率, 因此其数量的增加可以有效提高混合效果^[4]。

② 列管长度的影响

由试验结果知, 在列管段数相同的情况下, 具有较长列管长度的 A4、A2型 ($n=3$) 及 A1、A3型混合器 ($n=2$) 的混合效果明显高于较短列管长度的 A5、A6型混合器的。这是因为当列管段数相同时, 由于列管管长相对于混合器的宏观尺度较小, 流体在列管内的停留时间较短, 列管内的流体没有足够的时间在管壁的边界层作用下进行边界层分离并充分发展成准均匀各向同性的紊流, 即流经列管后流体中的涡旋密度较低、尺度较大且空间均匀度不高, 因此其在出口紊流区的旋涡及能量衰减效率不高, 从而降低了混合效果^[5]。

试验结果还表明, 相对于列管管长较短的混合器 A5、A6 混合器 A1、A3 及 A4、A2 的沉后水浊度、絮体粒径 d_f 及分形维数 D_f 相对较为接近, 这表明列管长度存在最优尺寸。当列管达到一定长度后, 流体在边界层作用下充分发展为紊流, 此时增加列管长度, 对流体内高密度、小尺度、分布均匀的涡旋的数量影响不大, 因此设备的混合效果较为接近。

③ 列管段间距的影响

试验结果表明, 对于段数相同的 3 段式混合器 A2、A4, 管段长度较小的 A4型混合器 ($L_0/L=1/3$) 的混合效果较优。对于 A2型反应器, 由于其列管的长度较长 ($L_0/L=1/2$), 管段间的距离相对较小, 造成流体流经列管后的紊流区域过小, 旋涡及能量没有得到充分衰减就进入下一管段, 因此能量没有得到更高效率的利用, 流体均匀强化混合的效率不高。对于 A4型混合器, 流体经过列管段后, 旋涡及能量得到充分衰减, 故混合效率较高。同样 A1、A3 型 2 段式混合器比较接近的混合效果也表明: 管段间距离相对较大时, 旋涡及能量可以得到充分衰减。因此, 管段间距对混合效果及制造费用存在最优值。

2.4 列管式混合器与孔板混合器的对比

选取与试验中 A4型混合器管径及管长相当的孔板式管道混合器, 将其与试验中的反应设备连接组成一体化设备。在相同的操作条件下, 测试其沉后水的浊度及絮体粒径 d_f 、分形维数 D_f , 并与 A4型管束列管式混合器设备的作对比, 结果见图 5 (该试验条件下, 孔板混合器经调试确定其最佳投药量为 13 mg/L)。

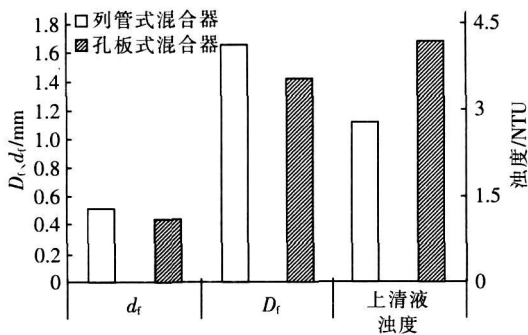


图 5 管束列管式混合器与孔板混合器的比较

Fig 5 Comparison of tubular mixer with tube-arrays and orifice plate mixer

由图 5 可知, A4 型管束列管式混合器较同尺寸的孔板混合器的出水浊度低。A4 型管束列管式混合器的分形维数 D_f 比孔板混合器的高 17%, 表明列管式混合器设备的絮体占据的有效空间大, 絮体的密实度及均匀性较好; 同时, A4 型管束列管式混合器的絮体粒径 d_f 比孔板混合器的高 18%。由此说明, 在操作条件相同、并减少 23% 的絮凝剂用量的条件下, A4 型管束列管式混合器较孔板式混合器的混合效率高。即在相同的试验条件下, 要达到与 A4 型管束列管式静态混合器相同的出水浊度或絮体形貌, 孔板混合器需要更高的操作及设备费用。

3 结论

① 管束列管式静态混合器的结构对混合效果有重要影响, 增加列管段数及列管长度可有效提高混合效果, 但过长的列管长度及过小的管间距对混

合效果不利, 其结构参数对于混合效果及制造费用存在最优值: 列管段数为 3 列管总长与总管长之比为 1 : 3 的管束列管式静态混合器的混合效果最佳。

② 与普通孔板混合器相比, 在降低 23% 的絮凝剂用量下, 管束列管式静态混合器中的流体混合得到更有效地均匀强化, 具有较高的混合效率, 其絮体的分形维数 D_f 和絮体粒径 d_f 分别较前者提高了 17% 和 18%, 降低沉后水浊度达 20 NTU 以上。

参考文献:

[1] 游晓宏, 陈晓琼. 混凝技术及其发展 [J]. 工业水处理, 2002, 22(11): 7-9

[2] 朱云, 肖锦. 给水处理中的混凝设施新进展 [J]. 水处理技术, 2001, 27(1): 5-8

[3] 范瑾初. 混凝技术 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992

[4] Mustafa M B, Harold W W. Effect of natural organic coatings on the polymer induced coagulation of colloidal particles [J]. Colloids Surf A, 2001, 177(2-3): 215-222

[5] Cheng W P. Comparison of hydrolysis/coagulation behavior of polymeric and monomeric iron coagulants in humic acid solution [J]. Chemosphere, 2002, 47(9): 963-969

电话: (0451) 86283003
E-mail hhwg@126.com
收稿日期: 2008-11-09

• 信息 •

国际领先的新型高效多元强化絮凝沉淀集成系统设备问世

由“城市水资源开发利用(北方)国家工程研究中心”与“长春立源水处理技术有限责任公司”共同研发出列管式管道混合器、翼片隔板絮凝和 V 型斜板沉淀设备, 并进行了系统优化集成, 进一步研发出新型高效多元强化絮凝沉淀集成系统, 并已形成工业化的生产能力。

该项技术已在国内外百余项工程中得到实际应用, 结果表明: 絮凝效果良好, 沉后水浊度 < 1.0 NTU 的保证率达到 85% 以上, 抗冲击负荷能力强, 能耗低(水头损失仅为传统工艺的 60%), 同传统工艺相比显示出较大优势。

该研究对净水过程(混合、絮凝、沉淀)的水动力学和接触絮凝的理论和应用有所创新, 形成的新型高效多元强化絮凝沉淀集成技术, 可广泛应用于市政、电力、钢铁、造纸、轻工、纺织、化工、建筑等行业的给水、再生水、污水处理, 应用前景广阔, 具有显著的经济效益、环境效益和社会效益, 成果总体上达到国际领先水平。

(本刊编辑部)