

多层平板单元组合沉淀池处理污水中试研究

周克钊¹, 罗万申¹, 赵远清¹, 李雨阳¹, 邓钦祖¹, 黄佳木², 符新建²

(1. 中国市政工程西南设计研究总院有限公司, 四川 成都 610081; 2. 重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400044)

摘要: 多层平板单元组合沉淀池技术,通过在沉淀池中增加平板来增加沉淀面积,从而提高沉淀能力和减少占地面积,并有助于高浓度活性污泥法的实现,进而缩小生化系统占地面积。在某污水处理厂进行了规模为 840 m³/d 的中试研究,结果表明:多层平板单元组合沉淀池能提高表面水力负荷 1.6 倍,与斜管(板)沉淀池接近,同时彻底解决了生物膜和藻类引起的堵塞问题。但和斜管(板)沉淀池一样,在污水处理过程中,平板沉淀池可以承受的表面水力负荷远未达到成倍增加的程度,存在严重的局限性。这是因为沉淀类型为拥挤沉淀,易发生清水与污泥层的掺混。

关键词: 污水处理; 多层平板单元组合沉淀池; 斜管(板)沉淀池; 临界表面水力负荷; 活性污泥浓度

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)15-0007-06

Sedimentation Tank with Multi-plate Unit for Wastewater Treatment: Pilot-scale Experiment

ZHOU Ke-zhao¹, LUO Wan-shen¹, ZHAO Yuan-qing¹, LI Yu-yang¹,
DENG Qin-zu¹, HUANG Jia-mu², FU Xin-jian²

(1. Southwest Municipal Engineering Design and Research Institute of China, Chengdu 610081, China;
2. School of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: The sedimentation tank with multi-plate unit, by adding plates in the sedimentation tank, increases the sedimentation area and improves the sedimentation capability. It can reduce the footprint of sedimentation tank and contribute to the realization of high concentration activated sludge process, thus saves the area of biological treatment system. The pilot-scale studies with a capacity of 840 m³/d had been carried out in a municipal wastewater treatment plant. The results showed that the sedimentation tank with multi-plate unit could improve the surface hydraulic loading by 1.6 times, which was close to that of inclined tube or plate sedimentation tank. At the same time, it completely solved the problem of blockage caused by biofilm and algae. However, like inclined tube or plate sedimentation tank, the surface hydraulic loading of the sedimentation tank with multi-plate didn't increase exponentially. The reason for the serious limitation was that the type of sediment was crowded sedimentation, and the mixing of fresh water and sludge layer had occurred.

Key words: wastewater treatment; sedimentation tank with multi-plate unit; inclined tube or

plate sedimentation tank; critical surface hydraulic loading; concentration of activated sludge

沉淀池是污水处理厂中占地面积最大的构筑物,为了节约污水处理厂占地面积,对沉淀池进行改进显得尤为必要。高浓度活性污泥法,是指活性污泥浓度高于 6 g/L (《室外排水设计规范》中推荐的最高活性污泥浓度)的活性污泥法污水处理工艺,可以获得极佳的脱氮除磷效果,具有显著优于其他活性污泥工艺的处理能力^[1-3]。但是,随着系统污泥浓度的增加,污泥沉降性能会迅速下降,泥水难以分离。虽然解决的途径很多^[4-5],但采用沉淀池无疑是最经济最简便的方法,这就需提高沉淀池的沉淀能力。

多层平板单元组合沉淀池技术,通过在沉淀池中增加平板来增加沉淀面积,从而提高沉淀能力。因此,在沉淀能力相同的条件下,该技术可以减少沉淀池占地面积。而且,由于沉淀池沉淀能力的提高,该技术还有助于高浓度活性污泥法的实现,从而显著提高生化系统的处理能力,缩小生化系统面积,达到进一步节地的效果。该技术已经获得两项专利授权(ZL201510256487.4 和 ZL201520325653.7),并完成了 $840 \text{ m}^3/\text{d}$ 的大规模中试研究。

1 技术原理

斜管(板)沉淀池在沉淀池中加装斜管(板),利用重力排除斜管(板)上的污泥,在给水处理和工业废水处理中得到了广泛应用,但在城市污水处理中应用较少。这是由于污水中所含营养物质多,斜管(板)上容易生长生物膜和藻类,引起堵塞,难以长期稳定运行。

多层平板单元组合沉淀池技术,以带刮泥装置的平板取代斜管(板),彻底解决了斜管(板)沉淀池的上述缺陷。沉淀平板为圆形,带中心传动刮泥机。平板中心开孔以便向下排出污泥,并容纳中心传动轴。众多的平板加入沉淀池,使得沉淀池的总沉淀面积提高数倍,可以显著降低沉淀池表面水力负荷,从而有利于提高沉淀能力,节约占地面积,并有助于维持系统高活性污泥浓度。

多个沉淀平板安装在多层平板单元内(见图1),沉淀平板被固定在单元的外部框架上。框架的最上层安装刮泥机的驱动电机和变速箱,带动中心传动轴,从而带动各层平板的刮泥机,在刮除污泥的同时,彻底消除生长生物膜和藻类引起的堵塞问题。

多个多层平板单元组合后放置于沉淀池上部澄清区内。沉淀池采用平流沉淀池池型。多层平板单元被搁置在支架上,可以单独从沉淀池中取出,以方便检修。沉淀池下部浓缩区底部另设链式刮泥机。

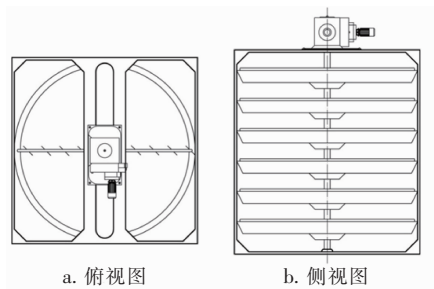


图1 多层平板单元设计

Fig.1 Design of multi-plate unit

2 中试装置及方法

2.1 装置及流程

中试目的是验证并改进多层平板单元组合沉淀池技术,故仅考察沉淀池的沉淀能力,而非考察整个污水处理流程的处理效果。由于中试依托的污水处理厂规模较小,为了尽量减少中试运行对污水厂的不利影响,中试仅在每次试验的预备阶段,从污水厂曝气池引入混合液,正式试验阶段则不再引入,而以中试装置的出水作为进水,中试流程见图2。

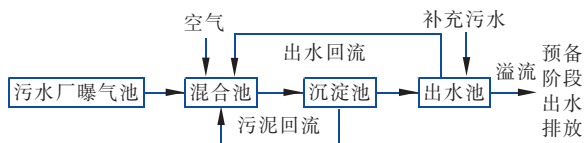


图2 中试流程

Fig.2 Flow chart of pilot-scale experiment

池体长为 10 m , 宽为 2.2 m , 高为 3.5 m , 另设走道和扶梯, 见图3。



图3 中试装置

Fig.3 Facility of pilot-scale experiment

池体依次为混合池、沉淀池和出水池,用钢板制成,内部防腐,外部涂漆。混合池底部设穿孔管曝气装置,以罗茨鼓风机供气。沉淀池为平流沉淀池,其中放置1个多层平板单元,见图4。



图4 多层平板单元

Fig.4 The multi-plate unit

沉淀平板为圆形,直径为2.14 m。中心开孔,直径为0.3 m,容纳刮泥机传动轴,带动各层平板的中心传动刮泥机,并作为向下排出污泥的通道。刮泥机的电机(含变频器)和变速箱位于单元的顶部。多层平板单元含10层沉淀平板,平板总面积为 35.26 m^2 ,加上沉淀池面积(8.8 m^2)则共 44.06 m^2 ,是沉淀池面积的5.01倍。

沉淀池底部设链式刮泥机(含变频器)和污泥回流泵(含变频器),出水池中设置出水回流泵(含变频器)。为了维持污泥营养,保持污泥沉降性能,试验期间需要向出水池补充少量污水。第10~12次试验则不同,由于无法再补充污水,改为每天进泥,利用不断补充的营养维持污泥沉降性能稳定。

2.2 试验方法

每次试验的初期预备阶段,从污水厂曝气池引入混合液到混合池,沉淀池出水排放,沉淀池浓缩污泥回流到混合池。随着混合池的污泥浓度越来越高,沉淀池的污泥面也越来越高,直到污泥面即将溢出为止。一旦混合池的污泥浓度达到峰值,则进入正式试验阶段,不再引入污水厂曝气池混合液,而是将出水回流到混合池作为中试系统的进水。

在一定的污泥浓度条件下逐渐增加表面水力负荷,直到沉淀池不能正常运行为止(即污泥回流比已调到最大),由此得到该污泥浓度条件下沉淀池可以承受的临界表面水力负荷。沉淀池正常运行的标准,是指在较长时间内污泥层稳定、出水清澈。

考察完成后送样化验,然后排放一定污泥,适当降低污泥浓度。重复以上过程,直到进水流量达到

设备极限为止。因此,每次试验期间的污泥浓度都是由高到低,只有第10~12次试验改为由低到高。每次试验期间均连续运行,持续大约20 d,第10~12次试验则缩短,仅持续数天。混合池的混合液由中试人员取样,送污水厂化验室检测MLSS、MLVSS和SV;沉淀池进水流量和污泥回流量,由中试人员自行读取仪表数据;出水池的水温由中试人员自行进行检测。

2.3 中试过程

2015年7月—2017年4月,在昆明经济技术开发区水质净化厂(倪家营污水处理厂)进行多层平板组合沉淀池中试。该污水处理厂的规模为 $5 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$,采用MSBR工艺。当时的进水流量偏小,进水浓度偏低。

2015年7月—8月,中试装置开始安装、调试和试运行,污泥来自污水厂脱水机房前的储泥池,含深度处理带来的化学污泥,非中试计划所预期;2015年8月—10月,开始正式试验,仍然采用储泥池污泥,共进行了2次试验,即第1、2次试验;2015年10月—2016年2月,按照中试计划改用曝气池混合液,共进行了4次试验,即第3~6次试验;2016年2月—5月,共补充进行了3次有无平板的对比试验,包括无平板的第7、8次试验,以及有平板的第9次试验。

进行补充试验的原因是,原计划以静置沉淀速度作为临界表面水力负荷的背景值,但在试验过程中发现静置沉淀速度具有不确定性,不宜作为背景值使用,故不得不补充进行有无平板的对比试验。

此前单元刮泥机的速度偏快,虽符合规范要求,但由于单元中有10层刮泥机,再加上沉淀池刮泥机,叠加后对水流的扰动较大。第9次试验降低了多层平板单元中的刮泥机转速,刮泥板边缘速度从以前的 1.77 m/min 降低到 0.31 m/min 。

为了考察污泥回流量对沉淀池沉淀能力的影响,第8、9次试验中均分别将污泥回流量调到最高及控制污泥回流比在100%左右。

2017年3月—4月,共进行了3次后续试验,即第10~12次试验。进行后续试验的原因是,中试期间沉淀池刮泥机的行进速度较快,大于规范 $0.3 \sim 1.2\text{ m/min}$ 的要求。因此,将沉淀池刮泥机行进速度从以前的 1.91 m/min 降低到 0.57 m/min 。

综上所述,中试共进行了12次试验,本文仅对

第7~12次试验进行分析。

3 结果与讨论

3.1 运行数据

MLSS 最大为 22 009 mg/L, 最小为 2 717 mg/L, 平均值为 9 147 mg/L。每次试验开始时污泥浓度最高, 每天排掉一部分污泥后污泥浓度逐渐下降, 但第 10~12 次试验则正好相反。

受检测条件的限制, MLVSS 仅测定了 3 次, 最大值为 5 499 mg/L, 最小值为 2 587 mg/L, 平均值为 4 324 mg/L。该污水厂污泥中有机物含量较低, 故 MLVSS 较小。

污泥挥发分数据也较少(仅 3 个), 最大值为 0.47, 最小值为 0.43, 平均值为 0.45。该污水厂污泥挥发分较低, 与 MLVSS 测定结果一致。

SV 最大为 99%, 最小为 18%, 平均为 75%。每次试验期间, 随着污泥浓度的降低, 沉降性能逐渐改善, 使得 SV 逐渐降低, 但第 10~12 次试验则正好相反。

SVI 最大为 177 mL/g, 最小为 45 mL/g, 平均值为 93 mL/g。由于该污水厂污泥沉降性能极好, 故 SVI 一般也很低。每次试验期间, 由于补充污水中有机物的逐渐积累, 污泥沉降性能逐渐降低, 使得 SVI 逐渐上升, 但第 10~12 次试验则正好相反。

临界进水流量是指沉淀池污泥层稳定条件下的最大出水回流量, 最大为 34.94 m³/h, 最小为 1.88 m³/h, 平均值为 13.08 m³/h。每次试验中, 临界进水流量随着污泥浓度的降低而逐渐增加, 但第 10~12 次试验则与之相反。

临界表面水力负荷是指沉淀池可以承受的最大表面水力负荷, 最大为 3.97 m/h, 最小为 0.21 m/h。每次试验中, 随着临界进水流量的增加而逐渐增加, 但第 10~12 次试验则与之相反。

污泥回流量最大为 56.41 m³/h, 最小为 3.03 m³/h, 平均为 39.31 m³/h。每次试验中, 污泥回流量一般不调节, 污泥回流泵开到最大, 波动显著, 只有第 10~12 次试验的波动较小。第 8、9 次试验通过调节污泥回流量将污泥回流比控制在 100% 左右, 故污泥回流量逐渐增加。

污泥回流比最大为 2 030%, 最小为 84%, 平均为 451%。每次试验中, 由于污泥回流量不调节, 使得回流比随着进水流量的增大而逐渐降低, 第 10~12 次试验则反过来。仅第 8、9 次的低污泥回流试

验将污泥回流比控制在 100% 左右。

水温最高为 21.0 ℃, 最低为 15.4 ℃, 平均为 18.3 ℃。水温较高, 但随季节变化或天气原因而有所波动。受条件限制, 第 10~12 次试验未测水温。

混合池的溶解氧浓度最高为 6.7 mg/L, 最低为 0.1 mg/L, 平均为 2.4 mg/L。混合池的溶解氧浓度并未有意控制, 但受进水流量等多因素影响, 存在较大波动。因条件限制, 第 10~12 次试验未测混合池的溶解氧浓度。

3.2 沉淀平板的影响

有无平板时的污泥浓度与临界表面水力负荷对比见图 5。

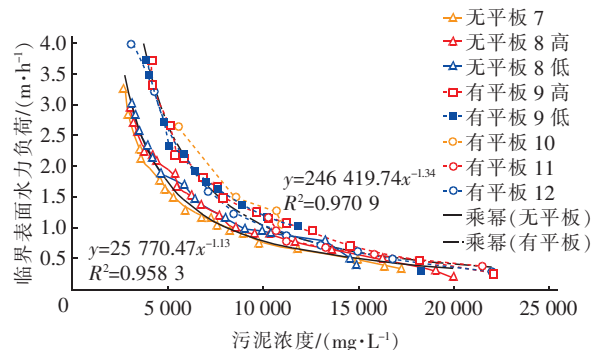


图5 平板的影响

Fig. 5 The influence of multi-plate

由图 5 可知, 有平板沉淀池的临界表面水力负荷曲线位于无平板沉淀池的曲线之上, 表明有平板沉淀池的沉淀能力更强。按照上述曲线可以得到关于有无平板沉淀池在一定污泥浓度条件下可以承受的临界表面水力负荷, 以及在一定表面水力负荷条件下可以承受的污泥浓度。当 MLSS 为 5 000、10 000、15 000 mg/L 时, 有平板的临界表面水力负荷为 2.70、1.06、0.62 m/h, 无平板的临界表面水力负荷分别为 1.74、0.79、0.50 m/h, 两者的比值分别为 155%、134%、124%。而在 0.5、1、1.5 m/h 的临界表面水力负荷下, 有平板的 MLSS 分别为 17 571、10 479、7 745 mg/L, 无平板的为 15 085、8 158、5 694 mg/L, 两者之比分别为 116%、128%、136%。可见, 在同样的污泥浓度条件下, 有平板沉淀池可以承受的临界表面水力负荷更高; 而在同样的表面水力负荷条件下, 有平板沉淀池可以承受更高的污泥浓度。因此, 平板可以显著提高沉淀池的沉淀能力, 多层平板单元组合沉淀池与普通沉淀池相比, 可以承受更高的表面水力负荷或污泥浓度。

3.3 污泥回流比的影响

不同污泥回流比条件下,表面水力负荷与可以维持的污泥浓度的关系见图6。

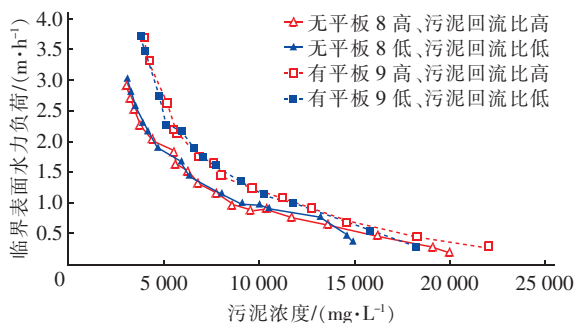


图6 污泥回流比的影响

Fig. 6 The influence of sludge reflux ratio

由图6可知,无论是无平板的第8次试验,还是有平板的第9次试验,不同污泥回流比的试验结果均非常接近,即:对于沉淀池的表面水力负荷与可以维持的污泥浓度之间的关系,污泥回流比的影响不大。正如在笔者之前的研究^[4]中发现的那样,只要污泥回流比不是很小(大于50%~80%),且表面水力负荷不是很小(大于0.2~0.4 m/h),则沉淀池已经进入澄清功能控制区,其沉淀能力仅与表面水力负荷有关,而与污泥回流比无关。

3.4 沉淀池刮泥机行进速度的影响

沉淀池刮泥机行进速度超出规范要求的第9次试验,以及沉淀池刮泥机行进速度降低到规范要求范围内的第10~12次试验,均都有平板,其污泥浓度与临界表面水力负荷的关系见图7。可见,各次试验的关系曲线均非常接近,并无明显差别,表明沉淀池刮泥机行进速度对沉淀效果无明显影响。

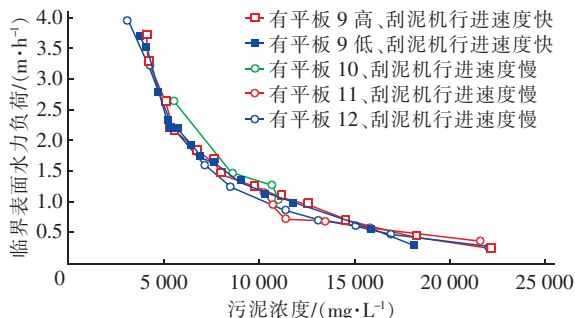


图7 沉淀池刮泥机行进速度的影响

Fig. 7 The influence of the tank scraper travel speed

4 不同沉淀池的局限性分析

如前所述,中试沉淀池和沉淀平板的总面积是

原沉淀池面积的5倍,那么对于同样浓度的污泥,平板沉淀池的临界表面水力负荷应该是无平板普通沉淀池的5倍,但是中试结果仅为1.6倍,差距巨大。

同样的局限性,其实也存在于排水斜管(板)沉淀池之中。按照《室外排水设计规范》(GB 50014—2006),斜管(板)沉淀池的设计表面水力负荷仅是普通沉淀池的2倍,大大低于沉淀池中安装斜管(板)所增加的沉淀面积。该数据较中试平板沉淀池的略高,这是因为斜管(板)沉淀池中的斜管(板)比中试平板沉淀池中的平板多得多。

按照《室外给水设计规范》(GB 50013—2006),斜管(板)沉淀池的设计表面水力负荷在5~12 m/h之间,平均为8.5 m/h。普通平流沉淀池的设计表面水力负荷无直接数据,按沉淀时间和池深推算,在1~2.33 m/h之间,平均为1.44 m/h。由此计算,斜管(板)沉淀池的设计表面水力负荷是普通沉淀池的6倍,表明斜管(板)沉淀池沉淀能力的局限性在给水处理中并不严重。

同样的平板沉淀池和斜管(板)沉淀池,在排水规范中只能提高设计表面水力负荷2倍,在给水规范中却可以提高6倍,这应该是由混合液浓度和沉淀类型不同造成的,给水规范涉及的是自由沉淀(I类澄清和II类澄清),而排水规范涉及的是拥挤沉淀(层状沉淀和压实)。在给水规范涉及的自由沉淀过程中,沉淀池中的污泥不形成明显的污泥层,平板和斜管(板)中的清水与污泥之间不至于发生严重的掺混,故沉淀效率较高,局限性较小。在排水规范涉及的拥挤沉淀过程中情况则有所不同,沉淀池中出现明显的污泥层,平板和斜管(板)中沉淀产生的清水,由于密度比污泥层小,必然上升穿过污泥层,发生严重的掺混,使得沉淀能力降低,局限性显著。另外,中试平板沉淀池的掺混发生在平板之外,可以看见,而斜板(管)沉淀池的掺混则发生在斜板(管)之内,难以被发现。

消除造成平板沉淀池和斜管(板)沉淀池沉淀能力局限性的方法,是在平板和斜管(板)系统中设置专门的清水上升通道,避免清水上升穿过污泥层,从而避免二者的严重掺混。但是,由于连通器原理,即使设置了专门的清水上升通道,清水通道中也必然存在着同样高度的污泥层(若忽略流动引起的水头损失),故上升的清水仍然会在通道中与污泥层发生掺混,故该解决方法不一定完全有效。也许,这

正是曾经出现的带清水上升通道的斜管(板)沉淀池未能普遍应用的原因。

5 结论

① 多层平板单元组合沉淀池能显著提高沉淀池的沉淀能力,在同样的表面水力负荷条件下可以承受更高的污泥浓度,或在同样的污泥浓度条件下可以承受更高的表面水力负荷。

② 平板沉淀池和斜管(板)沉淀池用于污水处理过程存在严重的局限性,可以承受的表面水力负荷远未达到成倍增加的程度,与在给水处理中不同。造成局限性的原因,是污水处理中的沉淀类型为拥挤沉淀(层状沉淀和压实),沉淀池中会形成明显的污泥层,污泥界面之下的平板和斜管(板)中沉淀产生的清水必然与其上的污泥层发生严重掺混,使得沉淀能力显著降低。其解决方法是设置专门的清水上升通道,但仍不能完全消除。

③ 多层平板单元组合沉淀池的沉淀能力接近斜管(板)沉淀池,却因单元内刮泥机的设置而彻底解决了斜管(板)生长生物膜和藻类引起的堵塞问题,可以在污水处理中广泛应用,值得继续改进,并逐步实现产业化。

参考文献:

- [1] 周克钊,段余杰,邬甘霖,等. Highsludge[®]高浓度活性污泥脱氮工艺中试[J]. 中国给水排水,2009,25(3): 1-6.
Zhou Kezhao, Duan Yujie, Wu Ganlin, *et al.* Pilot research on Highsludge[®] process with high MLSS for nitrogen removal[J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(3): 1-6 (in Chinese).
- [2] 周克钊,段余杰,邬甘霖,等. 碳源不足的城市污水 Highsludge[®]高浓度活性污泥法研究[J]. 给水排水, 2009, 35(3): 41-45.
Zhou Kezhao, Duan Yujie, Wu Ganlin, *et al.* Highsludge[®] activated sludge process for treatment of sewage with

insufficient carbon source [J]. Water & Wastewater Engineering, 2009, 35(3): 41-45 (in Chinese).

- [3] 周克钊. 城市污水高浓度活性污泥法的后续试验研究[J]. 中国给水排水, 2010, 26(15): 82-85.
Zhou Kezhao. Subsequent test of high-concentration activated sludge process [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(15): 82-85 (in Chinese).
- [4] 周克钊. 高浓度活性污泥法处理印染废水为主的城镇污水[J]. 中国给水排水, 2013, 29(3): 103-108.
Zhou Kezhao. High-concentration activated sludge process for treatment of municipal wastewater composed mainly of printing and dyeing wastewater [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(3): 103-108 (in Chinese).
- [5] 周克钊. 高浓度活性污泥法对二沉池的要求探讨[J]. 给水排水, 2013, 39(9): 46-51.
Zhou Kezhao. Requirements of high concentration activated sludge method for secondary clarifier [J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 39(9): 46-51 (in Chinese).



作者简介:周克钊(1948-),男,四川成都人,教授级高级工程师,中国市政工程西南设计研究总院有限公司顾问总工程师,从事给水排水、环境水力学、环境工程技术研究。

E-mail:zhoukezhao@126.com

收稿日期:2018-11-02