

基于计算流体力学 (CFD) 的氧化沟推流器布置研究

李纪宇

河海大学水文水资源学院 江苏 南京 210098

【摘要】在城市的污水处理中,工作人员经常会遇到氧化沟工作效率低的问题,如何控制氧化沟沟底的推流器工况,使其达到最优工作状态,这一直是水利工程师所必须研究的问题。随着相关计算机软件的发展与成熟,此类问题组建从经验公式的研究发展到数值模拟方面的研究。这主要涉及计算流体力学以及数学模型的理论。鉴于上面的例子可见“基于计算流体力学(CFD)的氧化沟推流器布置”这个课题的研究,不光是理论方面的研究,对城市污水处理的设计施工也具有很大的指导意义。

【关键词】流体力学(CFD);氧化沟;数值模拟;推流器

施工完毕的氧化沟需要时刻保证沟内流速保持在一定限度范围内,不过即使通过反复设计计算,也难免存在实际流速远低于设计流速的区域(通常称为“死区”),死区率的高低是衡量氧化沟推流器布置情况优劣的重要标准。因为进入污水混合沟内活性污泥在推流器的搅拌与混合下,处于固液混合的紊流状态,且受到沟池边壁与导流墙的阻碍作用,固液混合流质因推流器搅拌获取的能量在不断耗散,流速逐渐降低,难以维持正常工作所需流速,进而造成活性污泥的沉降淤积和菌群的大量死亡,造成能量损失与效率降低。这些取决于沟内推流器的位置布设与转速设计,当转速越快则流速越快,污泥不易沉降,污水处理效果较好,但是耗能过高,只有当转速与布设位置都处于合理区间,才能使其处于最优工作状态。

1 注重研究计算流体力学的意义

从观研天下发布的《2018年中国城市污水处理市场分析报告》得知,未来一段时间内城镇生活污水排放量仍将保持5%左右增速增长,城镇污水处理仍然是影响区域环境、经济和社会发展的的重要因素。

面对依然广阔的城市污水处理市场,传统的污水处理方法处理量小,处理效果不佳,不能满足我国污水处理的需求。相比之下,氧化沟通过曝气使沟内污水发生氧化反应,以此进行污水中的BOD去除,去除率可达97%。同时氧化沟工艺也具有较好的脱氮除磷作用,是流程简单,构筑物小,运行管理方便的有效新型污水处理设施;推流器能将沟内泥水混合物通过搅拌使之均匀稳定,能保证活性污泥不沉底死亡,避免氧化沟出现死角和死区,提高出水水质。然而,现阶段污水处理厂氧化沟运行能耗过大和推流器布置不合理等问题以及国内对污泥(氧化沟代谢废物)处置的需求十分迫切的现状,成为了研究推流器设置的主要推力。

而氧化沟沟体内流态复杂、流质组成难以把控,且涉及三维流场计算。按照以往经验公式计算与设置基本假设简化计算,已经不能满足当下城市污水处理厂工作灵活性与抗冲击性能的要求。目前,使用基于“计算流体力学”的数值

模拟方法优化推流器的设置,已然成为改善以上问题的重要举措。

2 国内外的研究现状

2.1 国内的研究现状

采用数值模拟方法对氧化沟推流器进行优化,在国内外学者中已经掀起了热潮。下面主要介绍三种研究课题。

首先是周大庆和所在团队的研究人员基于Navier-Stokes方程,利用标准k- ϵ 湍流模型、用SIMPLE算法对氧化沟进行数值模拟。研究了不同安装位置下推流器的功率以及沟体各截面的速度大小。结果显示:在不改变推流器安装参数的前提下,通过优化推流器的布设位置,可以有效解决因为推动力衰减引起的弯道流速过度降低、活性污泥大量沉降的问题。理论总结如下:对于基本的氧化沟,对于相同安装情况的推流器,旋转速度是能耗与沉降的主要影响因素;而在转速一致情况,则位置是主要影响因素。

其次是许丹宇团队,他们采用CFD数值计算的方法研究了Carrousel型氧化沟工艺的污水-污泥两相水力特性。该团队耦合了两相湍流混合物模型与污泥沉降模型(已进行湍流影响修正),建立了固-液两相湍流混合物模型,实现了氧化沟垂直方向上固-液两相运动的分离;随后带入Fluent(计算流体力学软件平台)对污水处理厂的氧化沟沟内流速进行模拟。结果表明:两相流混合物模型较好地揭示了氧化沟内混合液流场和污泥的分布情况,污泥浓度与流速呈负相关。

最后是施卫东、田飞团队,他们主要研究了推流器的分布对污水处理池内搅拌效果的影响,同样是利用了Fluent,不过采取了不同的数学模型。该团队采用RNGk- ϵ 湍流模型以及PIOS算法进行数值模拟,分析了流体的流场特性与各截面速度流场分布,据此检验各推流器的工作效率;同时对污水处理池内的流体平均速度及搅拌面积率进行了研究。

以上是目前国内利用“计算流体力学”数值模拟方法研究氧化沟工作状态领域几个比较突出的研究成果,主要

步骤不外乎选取合适的数学模型、建立推流器三维模型图、进行网格划分并带入求解器求解。

2.2 氧化沟数值模拟方法的国外研究现状

国外对计算流体力学的研究进展要相对领先于国内,其主要采取实验解析法或有限元模拟法这两种研究方法。不过此种方法并非相互独立的,反而在内容上相互补充,且均需要大量的实践操作才可以获得有效的检验。

实际地点的检验操作也需要注意许多事项,例如测验截面的选取要合理有效、截面的测验仪器安放位置也有许多限制,且相对精确的结果带来的是实验耗材的急剧增加。因此,国内这类研究发展缓慢,主要集中于研究推流器布置与沟体内流质的相互作用。国外此类研究相对较多,因为国外城市化发展较早、城市人口发展过快带来的污水处理能力的短缺问题及早暴露,在相关软件平台未得到长足发展时,可以利用较为先进的实验研究设备,进行有针对性的各项实验操作。随着目前计算流体力学软件平台的发展与整合,氧化沟推流搅拌的数值研究会更加精确。

3 “计算流体力学”的特点以及数值模拟研究策略

本理论大致具有以下两方面特点,其一是适用性较强,其二是应用范围较广。进行此类研究时需要考虑相当多的变量,而且在进行几何形状以及边界条件的计算过程中,很难一次得出计算结果,因此“计算流体力学”就显得十分重要。流体在流动的过程中,总是需要遵从一定的运动规律,以及物理守恒定律的约束,这些定律包括:质量守恒定律、动量守恒定律、能量守恒定律。如果在流动的过程中,流体包含有不同的成分的混合或者是相互作用,那么该整体还需要遵从组分守恒定律。只要能够提供相对比较精确的资料就可以做到在模拟条件下使得一些在正常情况下难以

实现的条件都无限接近理想值。

除此之外,本研究还要考虑湍流的影响。湍流的流动是自然界中是很常见的流动方式,在很多工程问题中流体通常以湍流流态运动,这种复杂的流态存在着各种不稳定、不规则的现象。例如即使计算的边界条件保持不变,得到的流动状态也是不稳定的,流动的速度、方向等流动所具备的特征都会发生无规律的变化。且湍流的速度脉动性较为强烈,由于湍流的不稳定性以及随机性,使得流体中出现脉动状况,使得设计时需要考虑更多因素,而建成的建筑物也需要能够抵抗压力脉动,压力脉动使得建筑物所承担的风险增加了。除此还有许多的问题需要解决,譬如:湍流具有非线性。不过随着计算机的水平的发展,以及研究的不断深入,使得研究过程得到了进一步的发展。目前湍流数值模拟方法基本可以分为两大类,包括:直接数值模拟方法和非直接数值模拟方法。直接数值模拟方法是指直接求解瞬时湍流方程进行,而非直接数值模拟方法就是运用一定的方法对湍流进行一定程度上的简化处理,减少将计算的强度,对湍流的脉动特性,并不直接计算。

当然以上所描述的该理论的局限性是可以随着科技水平的不断提升得到有效的解决的。

4 结语

基于“计算流体力学”的氧化沟推流器布置理论,是想要给予城市污水处理工程师一些解决工程实际问题的思路。由于现有的系统中存在推流器安装位置偏颇,转速设置不合理、污泥沉积等问题,所以本文以计算研究氧化沟推流器最优化的布置设计为目的,通过更改推流器的配置,在无需加装推流器和曝气机的情况下提高推流器的工作效率,从而提高氧化沟总体的污水处理效率,起到经济节能的作用。

【参考文献】

- [1] 田飞,施卫东,卢熙宁,等.潜水搅拌机分布对污水处理池搅拌效果的影响[J].排灌机械工程学报,2013,31(2):146-150.
- [2] 周大庆,吴思源,郑源.基于CFD的氧化沟推流器能量配置计算[J].排灌机械工程学报,2013,31(5):422-427.
- [3] 杨寅.氧化沟优化运行的CFD模拟及实验研究[D].武汉:华中科技大学,2011.
- [4] Mandt, Mikkel G, Bell, Bruce A. Oxidation ditches in wastewater treatment[J].Ann Arbor Science 1982:69.
- [5] David Barnes.Oxidationditches in wastewater treatment[J].Pitman, 1983:7.