

清水池水力效率影响因素研究

朱智勇

[上海城投兴港投资建设(集团)有限公司,上海市 201306]

摘要: 清水池具有水力调节和消毒接触的双重作用,提高 t_{10}/T 是提高消毒效率而减少消毒剂投加量和副产物生成量的有效方法。针对清水池实例,进行整体建模,以数值模拟方法,研究主要尺寸对清水池 t_{10}/T 的影响程度,并验证设计方案的合理性。结果表明:长宽比是 t_{10}/T 影响最为明显的因素,但变大的趋势放缓。减少弯道数量及宽度和增大进水管管径,均可使 t_{10}/T 有所增加。清水池实例的长宽比为 38,水力效率为 0.54,可以满足不少于 0.5 的设计要求。

关键词: 清水池;CFD;长宽比;弯道;进水; t_{10}/T

中图分类号: TU991

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)01-0230-03

0 引言

所有饮用水水厂中,清水池均是不可缺少的构筑物,具有水力调节和消毒接触的双重作用。优化清水池水力条件,使清池内水流尽量活塞流,能够提高消毒效率。根据 Collins-selleck 灭活模型以及美国《地表水处理法则》,CT 值是实用的预测消毒效果的控制参数^[1]。 t_{10}/T 则是反映短流程度的指标,其值越接近 1.0 则清水池流态越接近活塞流,流态也就越理想,水力效率 t_{10}/T 也就越高^[2]。有些清水池由于存在短流, t_{10}/T 大多仅在 10%~15%,水力条件亟待优化。

传统的示踪方法可被用于探求清水池的 t_{10}/T 。近年,有学者在中试试验中以 NaCl 等为示踪剂进行了研究^[3-4]。但是,通过示踪试验测定清水池时间分布函数费时费力,而且有时限于现场条件可能无法实现。采用计算流体动力学(CFD)全尺寸建模和数值仿真,可以便捷快速的模拟每一个工况下的水力条件及 t_{10}/T ,甚至揭示单个颗粒停留时间和运行轨迹等^[5]。因此,基于 CFD,研究清水池优化的几何结构、长宽比、隔板数量等影响因素,分析水力参数,为清水池的改造、新建和设计提供技术方法。

1 工程实例

实际清水池体积 1 万 m^3 ,设计参数如下:长 50 m,宽 48 m,水深 4 m;廊道宽 8 m,弯道宽 4 m;进水管和出水管均为 DN1000。

2 主要影响因素及数值模拟工况

2.1 主要影响因素

结合清水池工程设计中常用的技术手段,主要影响因素如下:

(1) 隔墙数/长宽比

通过增设隔墙,廊道总长度和宽度的比值,即长宽比也随之改变。一般,隔墙数越多,长宽比越大。以同样平面尺寸的清水池,隔墙分别为 2、3、4、5 和 11,则长宽比分别为 9、17、26、38 和 150。

(2) 进水方式

清水池的进水方式直接影响水流入池的能量转化和速度分布均匀性。实例中,进水管采用单管 DN1000,流速 0.74 m/s。其他进水方式,例如双管 DN700、增设穿孔墙、溢流或单管 DN1500 等作为对比,分析进水方式对水力效率的影响。

(3) 弯道宽度

工程实例中,廊道宽 8 m,转弯处宽 4 m。以弯道宽度 8 m 作对比,分析弯道宽度不同引起的水流特征对水力效率的影响。

(4) 弯道数量

通过改变清水池平面布置,由 48 m×50 m 变为 24 m×100 m,相应减少转弯次数,研究转弯数量对

收稿日期:2023-06-27

基金项目:上海市科学技术委员会科研项目(22dz1209100)

作者简介:朱智勇(1971—),男,硕士,高级工程师,从事水
务项目建设管理和技术研究工作。

水力效率的影响。

2.2 数值模拟工况

按照主要影响因素，设置各工况结构参数。以Fluent 对各个工况分别进行建模和模拟，分析水力效率 t_{10}/T 的变化。建模参数按文献[6]设置。其中，穿孔墙距进水口 5 m，受过水断面限制，孔口取 250 mm×250 mm,间距均为 250,共 64 个。

3 结果与讨论

3.1 长宽比对 t_{10}/T 影响

对于清水池,不同隔墙数对应不同的长宽比。不同工况下的 t_{10}/T 和停留时间分别见图 1、图 2。

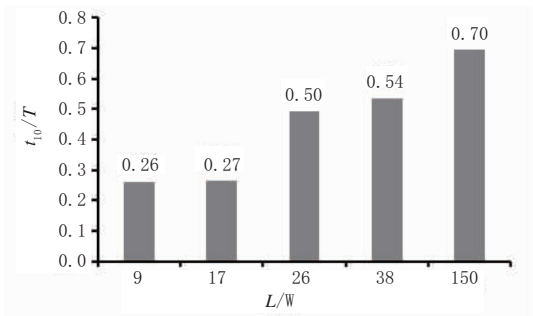


图 1 长宽比对 t_{10}/T 的影响

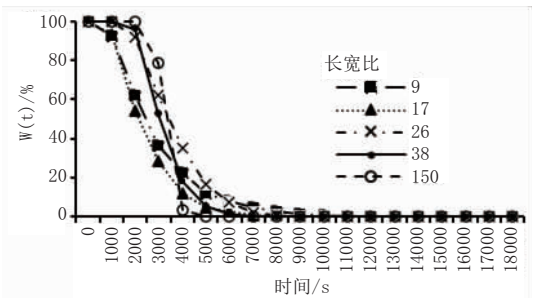


图 2 不同长宽比下的停留时间分布函数

由图 1 可知,增加隔墙导致长宽比增加后, t_{10}/T 随之增大。长宽比变大到 26 以上, t_{10}/T 的增大趋势显著变缓。以水力效率 0.5 衡量,按模拟趋势线法,长宽比 26 以上。

图 2 表明,随长宽比增大, $W(t)$ 曲线在 1 000~6 000 s 区间逐渐变陡,这表明进口管释放的颗粒越来越集中流出清水池。例如,长宽比 150 时,颗粒集中在 2 000~4 000 s 出流,时间段明显缩短。4 000 s 时,颗粒出流累积概率近 96.5%。

3.2 进口方式对水力效率影响

针对进水管直径、根数和增设穿孔墙等不同的进水条件,研究进口方式对水力效率对影响,结果见图 3。不同进水条件下,各工况的累积停留时间分布函数 $F(t)$ 见图 4。

由图 3 可知，不同的进口方式对水力效率的影响

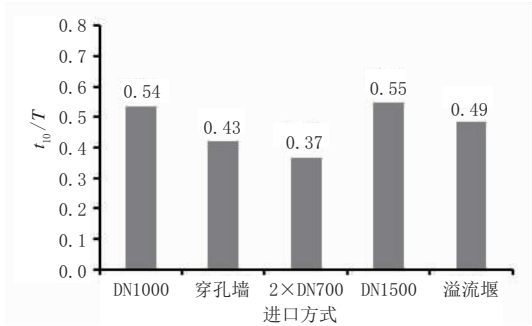


图 3 进口方式对 t_{10}/T 的影响

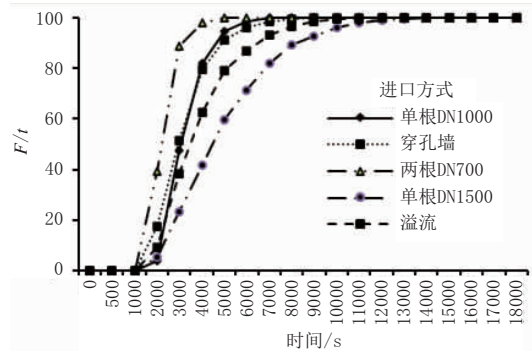


图 4 不同进口方式下的累积停留时间分布函数

响较明显，相差最大近 0.2。各模拟工况下，单根 DN1000 的水力效率比穿孔墙和溢流更好。DN1500 时,略好于 DN1000,后者却更经济。模拟中,加设穿孔墙后水力效率反而降低,原因可能在于:受过水断面仅 8 m×4 m 的限制，穿孔墙孔口过孔流速 0.14 m/s,大于 0.1 m/s,且距进水口没能足够远,导致水流流态发展不充分。两根 DN700 流速同单根 DN1000,但是 t_{10}/T 变差。

图 4 表明,所有工况中, DN1500 的 t_{10} 最长。对于设计采用的单根 DN1000 工况，停留时间密度较集中。

3.3 弯道宽度对水力效率影响

弯道宽度 8 m 工况下颗粒出流频数和累积概率见图 5。弯道 4 m 时,水力效率为 0.537,弯道扩至 8 m 后 t_{10}/T 减少至 0.444。

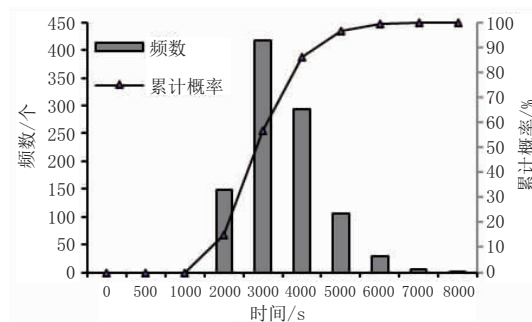


图 5 8 m 弯道下颗粒出流频数和累积概率

分析图 5 可知,弯道宽度增大到 8 m 后,集中出流的 3 000~4 000 s,颗粒数量比 4 m 弯道时略有减

少,约120个,因此,该工况下的水力效率有所减小。

3.4 弯道数量对水力效率影响

清水池平面由50 m×48 m改为100 m×24 m后,弯道数量由5个减少至2个。清水池100 m×24 m工况下颗粒出流频数和累积概率见图6。

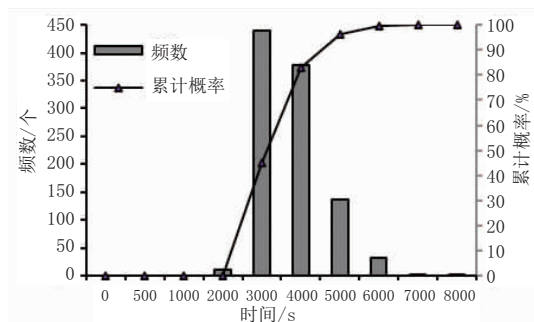


图6 2个弯道下颗粒出流频数和累积概率

如图6所示,集中出流的3 000~4 000 s,颗粒数量增加约40个。因此,水力效率有所增加,平面50 m×48 m时,水力效率为0.537,改为100 m×24 m后 t_{10}/T 略增至0.561。但弯道数量的影响相比于长宽比要明显变小,这表明弯道数量并非影响水力效率的最关键因素。

6 结 语

该文以CFD数值模拟,分析了影响清水池水力

效率主要因素,验证了设计实例的预期效果,得出以下结论:

(1)各主要影响因素中,长宽比对水力效率影响最为明显,弯道宽度和数量以及进水方式并非影响 t_{10}/T 的最重要因素。

(2) t_{10}/T 随 L/W 增大而增大,但变大放缓。清水池实例的长宽比为38,此时 t_{10}/T 为0.54,可以满足 t_{10}/T 不少于0.5的设计要求。

(3)减少弯道数量和增大进水管管径,均可使 t_{10}/T 有所增加,但增大幅度和效果并不明显。

参考文献:

- [1] 解跃峰,马军.饮用水厂病毒去除与控制[J].给水排水,2020,46(3):1-3.
- [2] American Water Works Association. Water Treatment Plant Design [M]. Reston: McGraw-Hill, 2012.
- [3] 安呈泰,刘衍波,万吉昌,等.基于示踪试验的清水池水力效率影响因素研究[J].中国给水排水,2015,31(15):49-53.
- [4] 刘文军.示踪实验确定消毒剂在清水池内有效接触时间[J].城镇供水,2021(5):48-51.
- [5] Eunher S, Jewan R, Heekyung P. Computational Fluid Dynamics Modelling and Analysis Approach for Estimating Internal Short-Circuiting in Clearwells[J]. Water, 2021, 13: 01849.
- [6] 张硕,王如华,邹伟国.基于CFD的清水池水力特性研究[J].中国给水排水,2010,26(21):80-83.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com