

机械加速澄清池的沉降比控制原理及应用

李 礼, 杨 扬, 刘 芬, 王 晶, 张 磊

(北京市自来水集团有限责任公司技术研究院 北京市供水水质工程技术研究中心,
北京 100192)

摘 要: 机械加速澄清池的稳定运行依赖于适宜的污泥浓度, 操作员一般通过人工读取污泥的沉降比来反映其浓度和总量, 沉降比可以作为控制污泥浓度的依据。借助絮体污泥“沉降通量”的概念, 对沉降比用于控制污泥浓度的原理进行了分析, 论述了如何通过沉降比来控制排泥, 以及如何应对生产上的水质与水量冲击。在分析沉降比的控制原理过程中, 通过实例中对“沉降通量”的计算, 得到“进水量-沉降比关系图”, 使操作人员可以便捷地找到进水量与沉降比的关系, 这为机械加速澄清池的实际运行提供了很好的指导, 同时也提供了沉降比作为生产运行控制指标的理论依据。

关键词: 机械加速澄清池; 沉降比; 沉降速度; 污泥浓度; 沉降通量; 排泥

中图分类号: TU991 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)13-0053-05

Sludge Volume Control Principle and Application of Mechanical Accelerating Clarifier

LI Li, YANG Yang, LIU Fen, WANG Jing, ZHANG Lei

(Beijing Engineering Research Center for Drinking Water Quality, Technology Institute of Beijing
Waterworks Group Co. Ltd., Beijing 100192, China)

Abstract: Maintaining optimal sludge concentration is key to the control of the mechanical accelerating clarifier. The sludge volume and concentration can be estimated from manually reading the sludge volume. Based on the concept of “deposition fluxes”, the principles of the sludge volume control were analyzed, to demonstrate the control of the sludge discharge through manipulating sludge volume, as well as the strategies towards fluctuating inflow rates. A graph showing the relationship between the inflow rates and the sludge volumes was generated to guide the operation of the clarifier. In addition, the theoretical basis was provided to support the use of the sludge volume as an indicator in operation.

Key words: mechanical accelerating clarifier; sludge volume; settling rate; sludge concentration; deposition flux; sludge discharge

机械加速澄清池(机加池)是一种将絮凝反应过程与澄清分离过程综合于一体的净水构筑物,其利用池中的循环泥渣与原水中的杂质颗粒相互接

触、絮凝而达到高效泥水分离的效果,具有生产能力高、处理效果好等优点。

机加池的运行管理中,污泥浓度或总量是非常

重要的控制指标,可以通过读取沉降比的方式反映出来。使用者大多通过人工读取反应区污泥沉降比或直接观测泥水分界面的方法来把握排泥时机与频率,达到控制污泥总量的目的。这种读取沉降比来控制污泥量的方法与污水处理领域中的情况相似^[1]。笔者对不同机加池使用情况调研后发现,使用者按照多年的运行经验来管理,对沉降比的控制标准都是经长期摸索得到的,大多数情况下能够满足生产需要,但在运行条件发生突变时,往往不能及时预测沉降比的变化规律。当遇到水质和水量冲击、季节交替时,泥渣层的沉降特性易发生变化,那么此时所需控制的沉降比就应及时作出相应调整,而不是沿用之前的数值;此外还发现,不同管理者对于沉降比应该控制多少、读取多长时间也没有统一的规范,大多按照自己的经验,这并不利于长期的管理;另外,多数机加池都在澄清区加装了斜管,不能看到泥水分界面,使得对排泥的控制只能依赖于沉降比这一个参考指标。综上,对于机加池的污泥量控制来讲,沉降比是个至关重要的参数,而调查结果显示出现机加池沉降比管理普遍存在理论依据不足、应变能力较差的问题。因此,笔者通过深入分析沉降比,找出机加池进水量与沉降比的关系,论述使用沉降比作为污泥浓度控制方法的原理并佐以具体实例进行说明。

1 机加池反应区污泥的特点

机加池的混凝阶段要求能在澄清区形成拥挤沉降,通过投加合适的药剂及控制污泥量使得反应区的絮体污泥达到一定浓度。浓度足够时,不同大小的颗粒由于互相干扰的结果,大颗粒沉降变慢了而小颗粒沉降变快了,因而形成了一个看起来由大小完全相等的颗粒组成的等浓度区,当絮体颗粒最大与最小粒度比小于6:1时^[2],就会出现一个清晰的交界面,它的下沉速度代表了颗粒的平均沉降速度,颗粒间的絮凝过程越好,细小颗粒就都能粘结在较大颗粒之中,交界面就越清晰,这个下沉速度是由污泥絮体的特性和浓度决定的。

交界面以下是污泥的体积,交界面以上是清水的体积,沉降比是指用量筒观察污泥沉降过程时,某个时刻污泥体积占整个泥水体积的百分数。某一种特定的污泥在某一时刻的沉降比都是一定的,也就是读取5、10或15 min等时刻的沉降比都能反映沉降性能,只不过各时刻的读数不同。在污水处理中,

习惯将30 min时的百分数定义为沉降比,它反映的是污泥的特性和浓度^[3]。在给水处理的实际运行中,不同使用者所规定的沉降比读取时间不同,机加池的污泥相比污水厂的污泥浓度较稀,沉降进入压实区所用时间较短,交界面等速下降之后,沉降比的读数变化幅度就很小了。

2 给水处理中的机加池沉降比

沉降过程曲线能够反映污泥颗粒的沉降速度随时间的变化情况。在实际给水处理生产中的机加池反应区污泥浓度会在一定范围内波动,不同浓度的污泥沉降性能会有所不同。笔者从北京市第九水厂的一座机加池反应区中取污泥样品进行试验,测定了浓度为0.31~2.71 g/L范围内的颗粒沉降特性。图1为不同浓度的絮凝污泥在30 min内交界面下沉过程曲线。

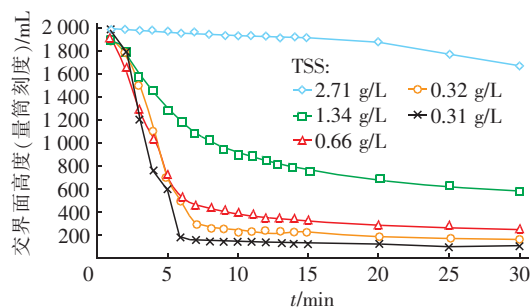


图1 不同浓度污泥的沉降过程曲线

Fig. 1 Settling curve of sludge with different concentrations

在30 min沉降过程中,TSS为2.71 g/L的污泥浓度太大了,几乎不沉降;TSS为1.34 g/L的污泥沉降曲线是一种典型的成层沉降曲线,在给水处理中机加池反应区的污泥浓度基本在此浓度之下。观察TSS在1.34 g/L以下各浓度污泥的沉降曲线,交界面下降的速度在5~10 min内出现一个曲度较大的点,絮体污泥在这里结束了交界面的等速下沉,说明在这段时间内,交界面接近池底,沉降过程逐渐进入压实状态。TSS为0.32 g/L的污泥沉降曲线是实际机加池反应区污泥浓度所得到的沉降曲线,其余曲线是浓缩或稀释的结果。

综上所述可以看出,当污泥浓度较大时,仅测5 min的沉降比不足以反映沉降速度,此时的交界面还没有完成等速下沉过程,而10 min时各浓度污泥的沉降过程均进入压实区。因此,考虑到实际机加池运行中的污泥浓度范围,宜将10 min沉降比作为反映污泥浓度和沉降特性的参考值。

TSS 为 0.32 g/L 的污泥取自第九水厂机加池第二反应室,在原水浊度为 2~5 NTU、加药条件为 2.5 mg/L PAC + 10 mg/L FeCl₃ 的运行条件下,污泥沉降特征曲线如图 2 所示。可以看出,在 3~5 min 之间可找到 3 个点连成一条直线,这条直线的斜率就代表了交界面的等速下沉速度。在 10 min 时,沉降比读数为 12%。

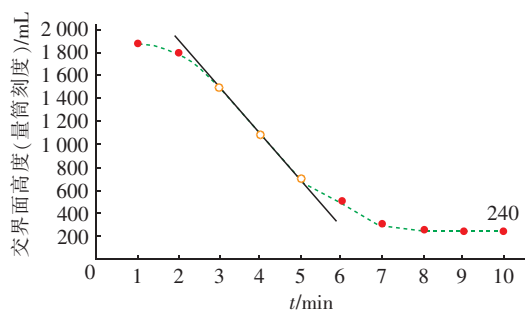


图 2 TSS 为 0.32 g/L 的污泥沉降曲线

Fig. 2 Settling curve of sludge with TSS of 0.32 g/L

机加池正常、稳定运行时,可通过观察沉降比来估计污泥量并判断排泥时机,但沉降比是一个点,是某段时间后的一个结果,它不能完全反映一个沉降过程,在机加池泥渣状态不佳而不能产生拥挤沉降或当水质、水量、加药等运行条件改变时,不仅需要频繁观察 10 min 沉降比,还需密切注意整个沉降过程,了解絮体沉降特性的变化,必要时应调整混凝方案。对于整个沉降过程的观察,可从絮体颜色、大小、沉降速度等方面进行关注^[4]。

3 沉降比控制方法论述与应用实例

3.1 污泥沉降速度和沉降通量

3.1.1 污泥沉降速度

上述沉降试验中交界面的下沉速度即污泥沉降速度(SV),可结合量筒的刻度尺寸算出。

用量筒取机加池反应区污泥,每隔 1 min 读取交界面刻度位置,记录 30 min 内的试验数据,即沉降时间分别为 1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、20、25、30 min 对应的量筒刻度分别为 1 900、1 800、1 500、1 100、700、500、300、260、250、240、230、220、210、205、200、180、160、155 mL。根据图 2 所绘直线,选取 3 min 和 5 min 的点计算,另量筒刻度的实际尺寸为 0.205 mm/mL。计算得到污泥沉降速度 SV 为 4.92 m/h。得到的 SV 值代表了此种污泥的沉降性能,其沉降性能是由原水水质和混凝条件决定的,不同运行工况下污泥沉降性能不同。

3.1.2 沉降通量

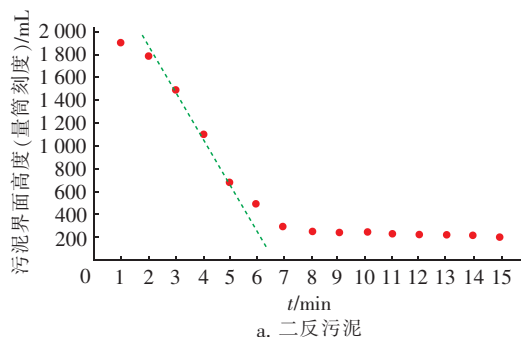
借用絮体污泥“沉降通量”的概念来讨论沉降比的控制原理。上述 SV 值若结合具体沉降区域的污泥体积和沉降面积来理解,可解释为区域沉降通量(用 Z 表示),即一定体积的污泥在一定面积上发生沉降,也即单位沉降面积上每小时通过的絮体体积,单位可写为 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。沉降通量(用 φ 表示)则是 Z 乘以总沉降面积,在不同大小或不同结构的机加池中澄清区结构大小也不同,因此相同 Z 值的污泥,其 φ 值因沉降面积不同而不同。

机加池总进水量 Q 决定了澄清区水流的上升流速,而 φ 值是通过絮体在静水中沉降测得的,与进水量 Q 做如下比较:当 $\varphi = Q$ 时,絮体沉降速度与水流产生的上升流速相等,此时絮体呈稳定悬浮状态;当 $\varphi > Q$ 时,絮体沉降速度大于上升流速,絮体为下沉趋势;当 $\varphi < Q$ 时,絮体沉降速度小于上升流速,絮体被上升的水流携带膨胀,有上涨趋势,反映在运行上即出现“翻池”现象,要避免这种情况发生。机加池在运行时进水量 Q 是已知的,因此要控制最佳的污泥浓度是使其 φ 等于 Q ,排泥后略大于 Q 。生产运行中沉降比方便可得, φ 值不易得到,因此需找到沉降比与 φ 的关系。

3.2 沉降比与 φ 、总进水量的关系

对于同种污泥,每一个浓度对应一个固定的沉降比,也对应了一定的 φ 值,因此 φ 与沉降比满足一定的关系,又基于以上讨论,可用总进水量 Q 直接对应沉降比来指导机加池的运行。仍然以上述第九水厂机加池实际运行情况为例进行说明。

取机加池各反应区域至少 3 个不同浓度的污泥进行上述沉降试验,也可取得一个泥样后稀释或浓缩成 3 个不同浓度,目的是得到 3 个 SV 值,也即 Z 值。图 3 即是实际第二反应室污泥及其分别浓缩 2 倍和 4 倍后所得的沉降曲线。



a. 二反污泥

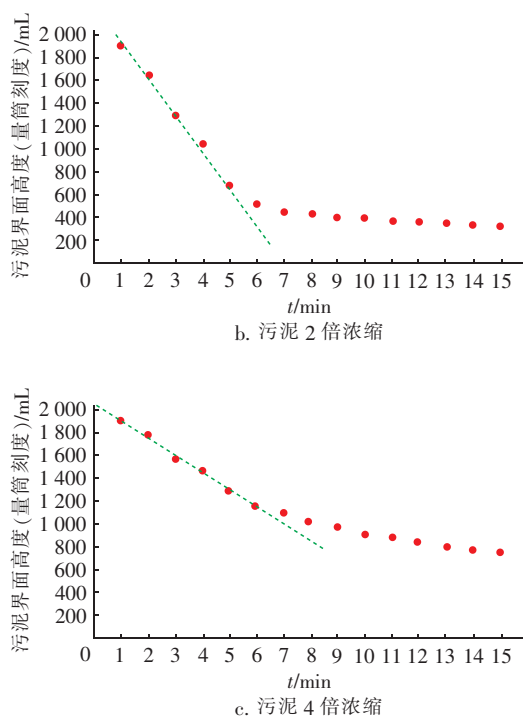


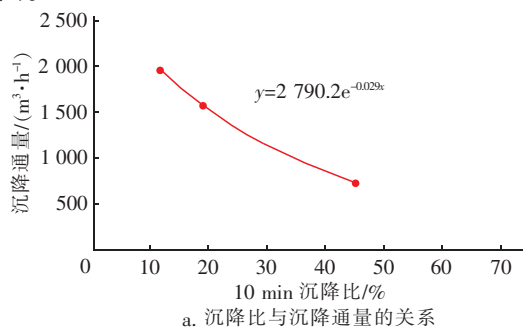
图3 3个浓度污泥的沉降曲线

Fig. 3 Settling curve of sludge with three concentrations

计算得到上述第二反应室污泥及其分别浓缩2倍和4倍后污泥的 Z 值分别为4.92、3.94、1.85 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

将机加池环形澄清区的沉降面积估算为400 m^2 ,即可计算出3个沉降通量 φ ,分别为1968、1574、738 m^3/h 。

上述3个浓度的污泥对应可读出3个10 min沉降比,以这3个10 min沉降比为横坐标,对应的沉降通量 φ 为纵坐标作图,二者呈指数关系,如图4(a)所示。将图4(a)的纵坐标变为对数坐标,即可得到图4(b)所示的近似直线关系,过图中各点可以绘出一条直线,然后将纵坐标沉降通量 φ 对应表示成进水量 Q ,这就是所需要的沉降比与进水量关系图。



a. 沉降比与沉降通量的关系

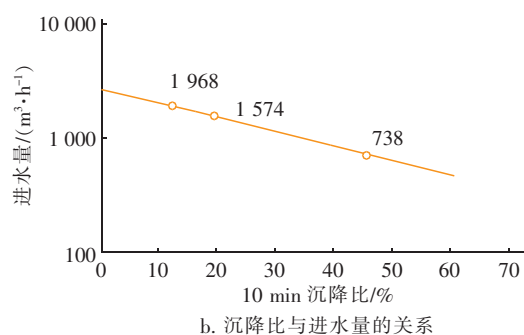


图4 沉降比与进水量关系

Fig. 4 Relationship between sludge volume and inflow rates

通过以上3个步骤可知,只要得到运行中机加池的至少3个污泥浓度,就可以过这些浓度所产生的10 min沉降比的点作出一条直线,得到进水量与沉降比的关系图。只要在纵坐标找到当时的进水量,即可找到对应的10 min沉降比。如图5所示,第九水厂机加池当时的运行条件下,进水量为1800 m^3/h ,直接读图得到对应的10 min沉降比应为13%,此沉降比就是理论上应控制的最佳沉降比,其可作为机加池排泥时机与排泥程度的指导值,当测得沉降比大于此值说明水量负荷过大,有絮体上浮风险,需及时排泥,排泥后可略小于此值,但不应过小,过小会导致泥渣不足而不能发生拥挤沉降。

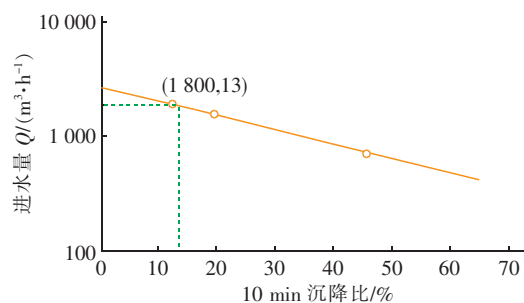


图5 最佳沉降比

Fig. 5 Optimum sludge volume

此关系图还可判断进水量发生改变时沉降比的控制值,如在当前10 min沉降比为13%的情况下,机加池进水量突降至1000 m^3/h ,那么通过读图即可得到10 min沉降比应控制在33%左右。

4 结论

一般情况下,机加池污泥的沉降性能与原水水质和混凝剂种类有直接关系,如果水质与混凝剂种类都没有变化,那么混凝所产生的絮体污泥的沉降特性就不会发生明显变化。在一定时期内,一座机

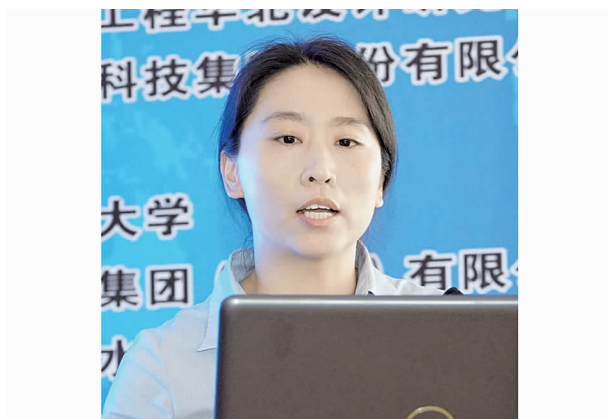
加池的进水水质一般不会剧烈波动,混凝方案也相对固定。从上述分析过程不难看出,在每座机加池稳定运行的状态下,可以通过沉降试验得到一个进水量与沉降比的关系图,那么在后续运行中,只要进水水质和混凝剂种类没有明显变化,就可以使用此图作为沉降比的控制依据,当水量变化时,能够马上读图预估新的沉降比数值。一旦当进水水质出现较大变化或更换了混凝剂种类时,絮体污泥的沉降特性会发生改变,则需要重新进行污泥沉降试验而得到一张新的关系图。

参考文献:

- [1] 杨大明. 基于图像处理的污泥沉降比测量系统[D]. 沈阳:沈阳工业大学,2008.
Yang Daming. Image Treatment Detection System to Sludge Settlement Ratio[D]. Shenyang: Shenyang University of Technology,2008(in Chinese).
- [2] 许保玖,龙腾锐. 当代给水与废水处理原理(第2版)[M]. 北京:高等教育出版社,2013.
Xu Baojiu,Long Tengrui. Contemporary Principles of Water and Wastewater Treatment(2nd Edition)[M]. Beijing:Higher Education Press,2013(in Chinese).
- [3] 任琳. 沉降比与污泥浓度及污泥指数的关系分析[J]. 山西建筑,2008,34(35):200-201.

Ren Lin. Analysis of the relation among subsidence ratio and mud density and mud index[J]. Shanxi Architecture,2008,34(35):200-201(in Chinese).

- [4] 胡丽萍,阮辰旻. 利用污泥沉降比 SV_{30} 分析生化工艺运行状况[J]. 净水技术,2016,35(2):105-108.
Hu Liping,Ruan Chenmin. Analysis of operation conditions of biochemical treatment processes by sludge settling ratio(SV_{30})[J]. Water Purification Technology,2016,35(2):105-108(in Chinese).



作者简介:李礼(1982-),女,北京人,大学本科,高级工程师,研究方向为给水处理工艺及管网水质控制。

E-mail:cafesarah@163.com

收稿日期:2017-12-10

(上接第 52 页)

- in aquatic environments[J]. FEMS Microbiol Ecol, 2002,39(2):91-100.
- [12] Meng J,Li J,Li J,et al. Efficiency and bacterial populations related to pollutant removal in an upflow microaerobic sludge reactor treating manure-free piggery wastewater with low COD/TN ratio[J]. Bioresour Technol,2016,201:166-173.
- [13] 黄冰. 浅谈稀疏标准化方法(Rarefaction)及其在群落多样性研究中的应用[J]. 古生物学报,2012,51(2):200-208.
Huang Bing. Discussion on the rarefaction standardization method and its application in the study of community diversity[J]. Acta Paleontologica Sinica,2012,51(2):200-208(in Chinese).
- [14] Martiny A C,Jørgensen T M,Albrechtsen H J,et al. Long-term succession of structure and diversity of a biofilm formed in a model drinking water distribution system[J]. Appl Environ Microbiol,2003,69(11):6899-

6907.



作者简介:周正协(1973-),男,浙江宁波人,硕士,高级工程师,从事饮用水安全保障研究。

E-mail:zzx9921@nbwater.com

收稿日期:2017-12-15