

斜管沉淀墙高效性的理论分析

王佃友¹, 夏玉龙², 刘凡清¹, 赵新峰³

(1. 同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092; 2. 宁波金轮集团, 浙江 宁波 315300; 3. 泰安市自来水公司, 山东 泰安 271000)

摘要: 介绍了沉淀墙的沉淀原理, 借助常用的分离粒径法和特性参数法从理论上分析了斜管沉淀墙的高效性原理; 并与传统异向流斜管沉淀水力计算公式进行了比较, 分析了沉淀墙的负荷公式及提高其负荷的途径。结果表明, 斜管沉淀墙通过合理增加净高度, 其负荷可达异向流斜管沉淀的两倍, 并减少了占地面积、节省了投资。

关键词: 沉淀墙; 斜管沉淀; 特性参数法; 分离粒径法

中图分类号: TU991.23 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2006)07-0065-04

Theoretical Analysis on High Efficiency Performance of Inclined Pipe Sedimentation Wall

WANG Dian-you¹, XIA Yu-long², LU Fan-qing¹, ZHAO Xin-feng³

(1. School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Ningbo Jinlun Group, Ningbo 315300, China; 3. Tai'an Water Supply Company, Tai'an 271000, China)

Abstract: The theory of inclined pipe sedimentation wall was introduced, and its high efficiency was analyzed by characteristic parameter method and particle diameter separation method. Compared with traditional hydraulic calculation formula of opposite flow sedimentation, load formula of sedimentation wall was analyzed, and the way to improve load was provided. The results show that the load of sedimentation wall achieves two times of opposite flow inclined pipe sedimentation through the rising of the wall height. The construction space is reduced, and capital investment is saved.

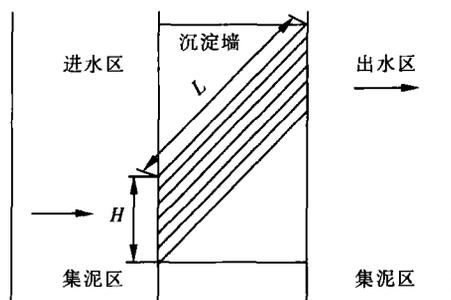
Key words: sedimentation wall; inclined pipe sedimentation; characteristic parameter method; particle diameter separation method

斜管(斜板)沉淀的水力计算方法有很多, 其中应用最广泛的是分离粒径法和特性参数法。特性参数法是在分析颗粒沉降时考虑了颗粒沿水流方向运动时的横断面的流速分布, 而分离粒径法在采用平均流速时则没有考虑流速分布的不同。两种分析方法考虑问题的角度虽然不同, 但实际分析的结果却相同, 笔者就此分别采用分离粒径法和特性参数法讨论了斜管沉淀墙的沉淀原理及其优势。

1 斜管沉淀墙的水力计算方法

1.1 沉淀墙的工作原理

斜管沉淀墙的工作原理见图 1、2。



L. 斜管沉淀墙斜管长度 H. 斜管沉淀墙净高度

图 1 沉淀墙原理示意图

Fig 1 Sketch map of inclined pipe sedimentation wall

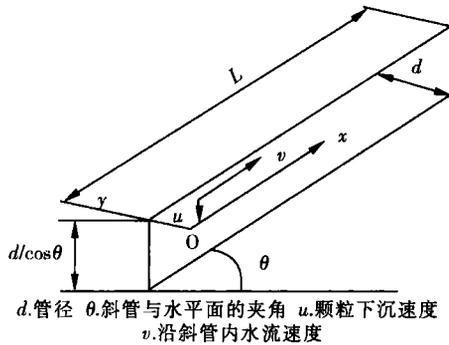


图 2 沉淀墙单元

Fig 2 Sedimentation wall unit

由图 1、2 可知,水流从进水区进入斜管沉淀墙的斜管内并沿斜管向上流动,同时水中的悬浮物下沉到斜管下壁并沿斜管下滑到进水区下部的集泥区,由此达到泥水分离的效果。沉淀墙原理是建立在浅池沉淀理论的基础上,与异向流斜管沉淀类似,斜管内的水流方向和泥的下滑方向相反,不同的是异向流斜管沉淀水流是从下往上进入斜管的,而沉淀墙水流则水平进入斜管,相当于把异向流斜管顺时针转动 90°并保持原来的水平倾角。

1.2 分离粒径法

首先假设: 颗粒的大小不再发生变化,以不变的速度下沉; 水流运动处于层流状态; 颗粒沉到斜管上便认为被去除,不再进入水流中。

由水力学知,水流通过斜管圆心的纵向断面时其平均流速最大,所以选择此断面作为最不利断面来推导斜管沉淀墙的公式。 v_1 表示最不利断面上的平均流速, v_0 表示斜管内的平均流速。由水力学知圆管流速公式有:

$$v_1 = \frac{J}{24\mu} d^2$$

$$v_0 = \frac{J}{32\mu} d^2$$

则: $v_1 = \frac{4}{3} v_0$

对于沉淀墙来说,水流沿斜管通过 L 的时间和颗粒下沉 d/\cos 的时间相等 (见图 2),有:

$$t = \frac{L}{v_1} = \frac{d/\cos}{u} \tag{1}$$

$$L = \frac{d}{\cos} \cdot \frac{4}{3} \frac{v_0}{u} \tag{2}$$

对于异向流斜管沉淀,水流沿斜管经过距离为

$L + d/(\sin \cos)$ 的时间和颗粒下降 d/\cos 的时间相等 (见图 3),有:

$$L = \frac{d}{\cos} \left(\frac{4}{3} \frac{v_0}{u} - \frac{1}{\sin} \right) \tag{3}$$

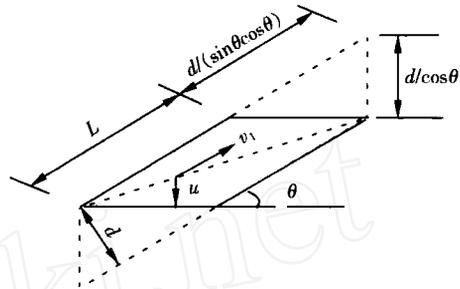


图 3 异向流沉淀单元

Fig 3 Opposite flow sedimentation unit

1.3 特性参数法

与分离粒径法的假设相同,也选择通过圆心的最不利断面进行分析。首先建立坐标系,以沉淀墙斜管中心线为 x 轴,以垂直斜管中心线且过斜管起始端上边缘的直线为 y 轴 (见图 2)。由水力学知识可知,水流在最不利断面上的流速分布为:

$$v = \frac{J}{4\mu} \left(\frac{d^2}{4} - y^2 \right) \tag{4}$$

管内颗粒的速度有:

$$v_x = \frac{dx}{dt} = v - u \sin$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = -u \cos$$

则 v_x/v_y 有:

$$\frac{dx}{dy} = \frac{v - u \sin}{-u \cos}$$

$$dx = -\frac{1}{u \cos} (v - u \sin) dy \tag{5}$$

将式 (4)代入式 (5)并积分则有:

$$x = \frac{JL}{4\mu u \cos} \left(\frac{1}{3} y^3 - \frac{1}{4} d^2 y \right) + y \tan + c \tag{6}$$

将边界条件 $x=0, y = \frac{d}{2}$ 和 $x=L - d \tan, y = -\frac{d}{2}$ 分别代入式 (6),有:

$$0 = \frac{JL}{4\mu u \cos} \left(\frac{1}{24} d^3 - \frac{1}{8} d^3 \right) + \frac{1}{2} d \tan + c \tag{7}$$

$$L - d \tan = \frac{JL}{4\mu u \cos} \left(-\frac{1}{24} d^3 + \frac{1}{8} d^3 \right) - \frac{1}{2} d \tan + c \tag{8}$$

式 (8)减式 (7)并将 $v_0 = \frac{J}{32\mu} d^2$ 代入,则有:

$$L = \frac{d}{\cos \theta} \cdot \frac{4}{3} \frac{v_0}{u}$$

用特性参数法推导异向流斜管沉淀公式与此类似,限于篇幅不再赘述。

2 不同沉淀方式的水力计算比较

由沉淀墙和异向流斜管沉淀的水力计算公式即式 (2)、(3)可知,沉淀墙的斜长比异向流斜管长了 $d/(\sin \theta \cos \theta)$ 。由于计算公式都是按圆形斜管最不利断面分析的,圆管最不利断面上的平均流速是整个管内平均流速的 $4/3$ 倍,而矩形沉淀单元最不利断面的平均流速和整个沉淀单元内的平均流速相等。若按圆管最不利断面来计算,其斜管的长度要比矩形断面斜管的长约 $1/3$,负荷也要低,但这并不是说圆管的沉淀效果比矩形断面斜管(板)的差,离圆管最不利断面越远的断面则其沉淀距离越小,断面的平均流速越小且沉淀效果越好。矩形断面异向流斜管沉淀公式为:

$$L = \frac{d}{\cos \theta} \left(\frac{v_0}{u} - \frac{1}{\sin \theta} \right) \quad (9)$$

实际使用的斜管沉淀多是六边形或是矩形断面,采用的计算公式多不考虑各断面流速分布的不同。用系数 η 修正以平均流速代替各断面流速和进、出口等因素对斜管计算长度的影响,用 L 表示斜管的实际长度,异向流斜管沉淀的计算公式为:

$$L = \frac{1}{\eta} L = \frac{1}{\eta} \frac{d}{\cos \theta} \left(\frac{v_0}{u} - \frac{1}{\sin \theta} \right) \quad (10)$$

3 沉淀墙负荷分析

以矩形斜管沉淀进行分析。矩形沉淀单元负荷见图 4。

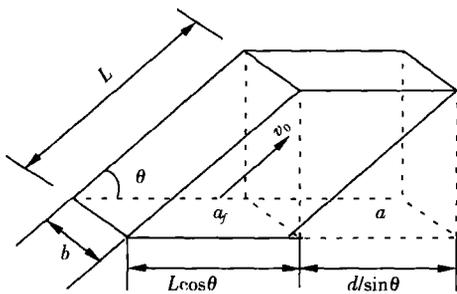


图 4 矩形沉淀单元负荷

Fig 4 Load of rectangular sedimentation unit

图 4 中 $bL \cos \theta$ 为沉淀单元斜面的水平投影面

积,用 a_f 表示; $bd/\sin \theta$ 为斜管沉淀单元水平面积,用 a 表示; b 为斜管沉淀单元的宽度,在矩形斜管内可以认为各断面上的平均流速相等。

沉淀单元流量为:

$$q = bdv_0 \quad (11)$$

将式 (9)代入式 (11)有:

$$q = u (bL \cos \theta + bd/\sin \theta) \quad (12)$$

异向流斜管沉淀负荷公式为:

$$q/a = u_0 (a_f + a) / a = u_0 \left(\frac{L}{2d} \sin^2 \theta + 1 \right) \quad (13)$$

由式 (13)可看出,当 $\theta = 45^\circ$ 时异向流斜管沉淀沉淀负荷最高。

对于沉淀墙,从图 2 可以看出,处理流量 q 为 $HBv_0 \cos \theta$,沉淀墙所占水平面积 a 为 $BL \cos \theta$, B 为沉淀墙的假设宽度。不计沉淀墙进水区和出水区所占面积,沉淀墙负荷公式为:

$$\frac{q}{a} = \frac{HBv_0 \cos \theta}{BL \cos \theta} = \frac{Hv_0}{L} \quad (14)$$

若按照圆管最不利断面计算沉淀墙的负荷,将式 (2)代入式 (14),有:

$$\frac{q}{a} = \frac{3Hucos \theta}{4d} \quad (15)$$

若按照矩形沉淀单元平均流速来计算沉淀墙的负荷,则有:

$$\frac{q}{a} = \frac{Hucos \theta}{d} \quad (16)$$

由于按斜管最不利断面来计算沉淀墙负荷会比按平均流速计算的负荷低,计算值偏于保守,实际的沉淀效果应该比理论效果好,下面以 (15)式计算沉淀墙的负荷。

假设异向流斜管和沉淀墙斜管采用相同的参数:倾角为 60° 斜管长为 1 m ,斜管直径为 35 mm ,将以上参数分别代入异向流斜管沉淀负荷公式 (13)和沉淀墙负荷公式 (15),计算得出:沉淀墙的净高度 (H)为 1.25 m 时,其负荷与异向流斜管的负荷相等。考虑到沉淀墙进水区和出水区也占一定的水平面积,这样其负荷会有所降低,但可通过增大沉淀墙净高度来增大处理水量,提高其处理负荷。假设进、出水区总共所占的水平面积和沉淀墙所占的水平面积相等,即使用进、出水区和沉淀墙占用的总的水平面积来计算沉淀墙的负荷,只要将斜管沉淀墙的净高度 (H)由 1.25 m 增加到 5 m ,其理论负荷也能达到异向流斜管沉淀的两倍。

从沉淀墙的负荷公式可以看出,沉淀墙的负荷与净高度、颗粒沉速和斜管倾角的余弦成正比,和斜管的直径成反比。沉淀墙优点是可以通过合理增加净高度来提高负荷,其负荷高于异向流斜管沉淀的,具有较好的应用前景。

参考文献:

[1] 施周,姜乃昌,秦戎生,等. 考虑三维流速分布的斜管

沉淀水力计算研究 [J]. 给水排水, 2001, 27 (7): 26 - 29.

[2] 许保玖. 给水处理理论 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.

[3] 吕文舫. 水力学 [M]. 上海: 同济大学出版社, 1990.

电话: 13918746006

E-mail: hahall9790709@163.com

收稿日期: 2005 - 11 - 06

(上接第 64 页)

表 5 各处理单元的除菌效果

Tab 5 Removal effect of similar anthrax bacillus propagulum and spore in every unit

水样	类炭疽杆菌繁殖体		类炭疽杆菌芽孢	
	含量 / (CFU · mL ⁻¹)	去除率 / %	含量 / (CFU · mL ⁻¹)	去除率 / %
原水	328		273	
超滤	41	87.5	28	89.74
纳滤	21	48.78	15	46.43
离子交换	>50	0.00	>50	0.00

注: 表中数据为三次试验的平均值; 阴性对照组菌数为零。

2.2.4 三合二消毒/净水装置的除菌效果

在初始水样中的类炭疽杆菌繁殖体含量为 8.2×10^4 CFU/100mL、类炭疽杆菌芽孢含量为 5.8×10^4 CFU/100mL 时,先加入三合二消毒剂(使有效氯浓度为 50 mg/L)作用 20 min,然后开启净水装置,经净化后出水中未检出试验菌(见表 6)。

表 6 三合二加净水装置的除菌效果

Tab 6 Disinfection effect of disinfectant and device

菌体	除菌率		
	消毒	超滤	纳滤
类炭疽杆菌繁殖体	100	100	100
类炭疽杆菌芽孢	99.99	100	100

3 结论

原水经 10 μm 保安过滤器、活性炭柱和超滤装置处理后,符合纳滤的进水水质要求,该流程可用于一般井水的预处理。

纳滤膜可有效去除水中的有机物及致癌、致畸、致突变物,出水的 Ames 试验结果为阴性,对 TOC 的去除率 >90%。

在试验水样含菌量为 $(2.7 \sim 3.3) \times 10^4$ CFU/100mL 的条件下,各级装置对类炭疽杆菌繁殖体的平均除菌率分别为:超滤为 87.5%,纳滤为 48.78%,离子交换树脂无除菌作用。

纳滤工艺用于饮用水深度处理时,对有机物及“三致”物质有很好的去除效果,但在去除类炭疽杆菌及其繁殖体时,若先经过消毒处理,则净化效果将更为理想。

参考文献:

[1] 高以恒. 膜分离技术基础 [M]. 北京: 科学出版社, 1989.

[2] Paul Fu, Hector Ruiz. A pilot study on groundwater natural organics removal by low-pressure membranes [J]. Desalination, 1995, 102: 47 - 52.

电话: (010) 66746452

收稿日期: 2005 - 11 - 15