

斜管沉淀池结构参数优化的理论分析¹

黄廷林¹ 李玉仙² 何文杰³

(1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 西安, 710055; 2. 北京市自来水集团水质监测中心, 北京, 10085; 3. 天津市自来水集团公司, 天津, 300040)

摘要: 研究认为斜管沉淀池的结构参数(管径 d 、管长 l 、倾角 θ)和控制参数(表面负荷 q 、管内流速 $\bar{V}$)影响了沉淀效率;且国内研究多是经验模型,很难推广于其他水源条件。本研究分析了进入斜管内的絮体的运动轨迹,并借助姚氏特征参数推求设计参数对临界沉速 u_0 的影响情况;同时,对沿斜管内壁下滑的絮团进行受力分析,求取其对结构参数的最低要求。结果表明, u_0 与表面负荷 q 成正比,且存在满足絮团下滑条件的最大 q ;综合考虑絮体沉降和絮团下滑,不同 q 下存在较优管径 d ;考虑管长方向上的比临界沉速(σ_{ul}),斜管长度 l 可以选择为 1.2~1.4m; q 相同时,斜管倾角为 $35^\circ \sim 60^\circ$ 时能基本满足絮团下滑的要求。

关键词: 优化结构参数;絮体临界沉速;表面负荷;沉淀效率;下滑絮团

Theory Analysis on the Configuration Parameters' Optimization of Inclined Settling Tank

HUANG Tinglin¹, LI Yu-xian², HE Wen-jie²

(1.School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055,China; 2.Tianjin Water Works Group Co. Ltd., Tianjin 300040, China)

Abstracts: The configuration parameters of inclined settling tank (including diameter, length, and obliquity of inclined tube) are main factors influencing the settling efficiency of floc. Studies in home are almost located in some experiential models, which are not fit to other raw water. In this study, moving track curve of floc that enters into inclined tube is analyzed. Based on Yaos theory formula, influence of some configuration parameters on u_0 are calculated. At the same time, imposed total forces on flocs are studied to find the minimum configuration parameters. Results show that u_0 presents direct proportion to surface load q ; there is a $\max(q)$ to fulfill flocs' down-sliding condition. An optimal diameter of inclined tube is needed for high settling efficiency of floc and flocs gliding. A specific critical settling velocity along the direction of length of inclined tube (σ_{ul}) is defined, and a reasonable l should be 1.2~1.4m. With the same surface load q , to meet flocs down-sliding conditions, the optimal obliquity of inclined tube (θ) would be $35^\circ \sim 60^\circ$.

Keywords: Optimization of Configuration Parameters; Critical Settling Velocity of Floc; Surface Load; Settling Efficiency; Down-sliding Flocs

0. 引言

由“浅层沉淀”原理发展形成的斜管或斜板沉淀池的实验研究开始于 20 世纪的 60 年代,近年来已在水处理中获得较为广泛的应用^[1,2]。国内外研究认为,影响斜管/斜板沉淀效率的主要因素^[3]是截留沉速、管径/板距、管长/板长、倾角、管内/板间流速以及作为水流控制条件的 Re 数和 Fr 数、配水均匀性、配水方式的选择等。

国内的一些研究人员^[4-7]在实验中研究了斜管/板沉淀池的结构参数(管长/板长)对沉淀效率的影响,但这些模型多是在特定水质下的经验公式,很难得到普遍推广。那么斜管沉淀池(本研究以斜管沉淀池为例)的结构参数对沉淀效率的影响情况如何呢?在特定絮凝条件下需要怎样的结构参数呢?为了提高沉淀效率如何选择较优的结构参数指标呢?同时,从

¹ 联系作者:李玉仙,女,(1979-),博士,北京市自来水集团水质监测中心,研究方向为饮用水的安全保障技术

通讯方式:北京市德外第九水厂内水质监测中心,100085 电话:62959163

邮箱:liyuxian790815@126.com

基金项目:国家教育部高校优秀青年教师教学科研奖励计划项目(2002-397);北京市水质科学与水环境恢复工程重点实验室开放课题

絮体沿斜管内壁下滑的条件来说,肯定又存在相应的结构参数要求,那么如何综合该两项目标确定较优的结构参数呢?这些均需要从理论的角度给出分析和推论,才能适时适地地指导设计和生产,并能提高斜管沉淀池的运行效率。

1. 临界沉速对沉淀效率的影响

1.1 絮体运动轨迹

目前,理论研究根据是 1970 年巴基斯坦 K.M 姚氏^[8]的提出的“高速沉淀池理论基础”(特性参数公式)。该理论主要应用于固定斜管组件(d 、 l 、 θ)的情况,然后根据所选用的絮体分离沉速 u_0 来确定沉淀池的管内平均流速 $\bar{V}$ 。但这些 d 、 l 、 θ 同时对 u_0 也存在影响;以 u_0 较小为目的,结构参数也应该有较优的取值范围。

本文即是从分析结构参数对 u_0 的影响情况出发,确定适合的结构参数范围,为斜管沉淀池的设计和推广提供理论上的指导作用。

根据姚氏公式,进入斜管内的絮体受到两个方向的力:絮体自身的重力和水流对絮体的剪切力。因此絮体的速度也是由两部分构成(如图 1 所示,本研究考虑为逆向流):絮体沉速 u 和絮体随水流的上升速度 $\bar{V}$ (平行于斜管)。设定 x 轴为与斜管垂直的方向, y 轴为随水流向上与斜管平行的方向。则絮体在斜管内沿 y 轴方向的速度可以表示为:

$$V = G\bar{V}\left(\frac{x}{d} - \frac{x^2}{d^2}\right) \quad (1)$$

这里, G —— $G=8$ (对于斜管沉淀池);

d ——斜管管径;

$\bar{V}$ ——斜管内水流的平均上升流速。

在 x 、 y 方向上的速度分量可以表示为:

$$\begin{cases} \omega_x = \frac{dx}{dt} = u \cos \theta \\ \omega_y = \frac{dy}{dt} = V - u \sin \theta = G\bar{V}\left(\frac{x}{d} - \frac{x^2}{d^2}\right) - u \sin \theta \end{cases} \quad (2)$$

这里, u ——絮体的沉淀速度;

θ ——斜管倾角;其他同上。

已知流场内可以用 Euler 法^[9]求取任意质点在任一时刻(t)的轨迹:

$$\begin{cases} x = ut \cos \theta + c_1 \\ y = \frac{G\bar{V}u \cos \theta}{2d^2}(d - 2c_1)t^2 - \frac{G\bar{V}u^2 \cos^2 \theta}{3d^2}t^3 + \frac{G\bar{V}c_1}{d^2}(d - c_1)t - u \sin \theta \cdot t + c_2 \end{cases} \quad (3)$$

其中,微分方程的临界条件是:

$$t=0 \text{ 时, } \begin{cases} x = x_0 \\ y = x_0 \operatorname{ctg} \theta \end{cases} \quad (4)$$

这里, x_0 ——絮体初始进入斜管内的位置,且 $0 < x_0 < d$;

c_1 、 c_2 ——积分常数,可以通过临界条件确定。其他同上。

为了描述从不同位置进入斜管的絮体的运动轨迹,这里设定絮体沉速 $u=1\text{mm/s}$,管径 $d=50\text{mm}$,管长 $l=1\text{m}$, $\bar{V}$ 考虑为沉淀池表面负荷的函数 ($\bar{V} = \frac{q}{\sin \theta}$,下同)。轨迹曲线如图 2 所示。

图 2 中的曲线为从任何 x_0 ($0 < x_0 < d$) 位置处进入斜管后的运动轨迹,当该絮体运动到 $x=d$ 处即表示絮体沉积到斜管上。从图 2 中可以看出,在 $x=0$ 处进入斜管的絮体的运动轨迹最长,且其在 y 轴方向的位移也最大。本设定条件下 y 轴方向最大位移小于斜管长度 $l + d \cdot \operatorname{ctg} \theta$ (如图 1 所示),这就说明该种絮体沉速下(为理想条件,即不考虑絮体重新浮起的情况)的絮体可以全部在斜管中沉淀以去除。

那么对于一定结构条件的斜管沉淀池,絮体沉速为多少时才能使得进入斜管的絮体刚好全部从该种沉淀池中完全去除呢?为了解决该问题,这里引入临界沉速的概念。

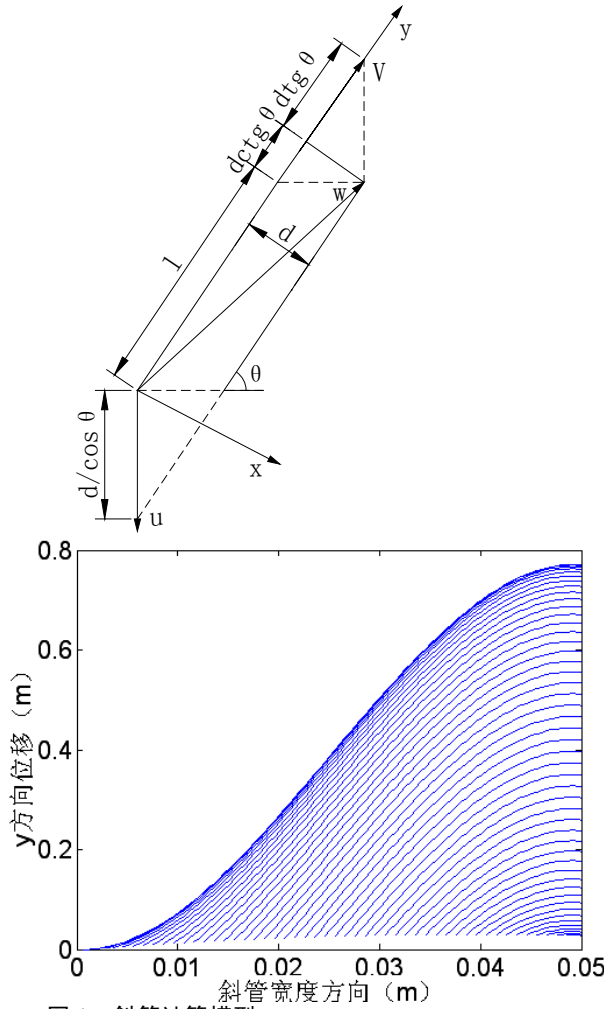


图1 斜管计算模型

图2 絮体运动轨迹曲线

1.2 临界沉速的求取

所谓临界沉速，即是当絮体到达斜管管壁而沉淀下来的时间（ t_x ）和被水流正好带出斜管的时间（ t_y ）正好相等时的絮体沉速。

根据（3）式和边界条件（（5）式）求取斜管沉淀池的临界沉速 u_0 （利用 Matlab 编程^[10,11] 计算）。

$$t=0 \text{ 时, } \begin{cases} x=0 \text{ 时, } y=0 \\ x=d \text{ 时, } y=l+d \cdot \text{ctg} \theta \end{cases} \quad (5)$$

在不考虑水流带动絮体重新浮起的条件下，即可以判定 u_0 沉速下的絮体可以刚好从水中完全分离出来。

1.3 沉淀池沉淀总效率

很明显沉速比 u_0 大的絮体均可以全部通过沉淀去除，沉速小于 u_0 的絮体只能部分去除，去除比率与该絮体的沉速（ u_i ）和絮体进入斜管的初始位置（ x_0^i ）有关^[12]。

x_0^i 即表示 $t=0$ 时刻，絮体进入斜管内的初始位置，假设在该种位置下的絮体刚好可以从水中分离出来。即：

$$t=0 \text{ 时, } \begin{cases} x=x_0^i \text{ 时, } y=0 \\ x=d \text{ 时, } y=l+d \cdot \text{ctg} \theta \end{cases} \quad (6)$$

则在 x_0^i 处进入斜管的絮体（沉速 $u_i < u_0$ ）的去除效率即为：

$$\eta_{ui}^i = \frac{d - x_0^i}{d} \times 100\% \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (7)$$

因此，沉淀池的总去除率为：

$$\eta_{\text{总}} = p_{u \geq u_0} + p_{u1}^1 \times \eta_{u1}^1 + p_{u2}^2 \times \eta_{u2}^2 + \dots + p_{un}^n \times \eta_{un}^n \quad (8)$$

其中 p_{ui}^i 为沉速 u_i 的絮体所占总进水絮体的百分比。

从上面可以看出：

(1) 已知絮体沉速分布情况，能够预测沉淀池的总去除率；

(2) u_0 为影响总去除率的主要因素，临界沉速越小则大于该沉速的絮体比例就越高，继而一定沉淀结构条件下的沉淀效率也就越高。

反之言之，如何改变沉淀池的结构参数来减小 u_0 （相当于提高沉淀效率），即成为斜管沉淀池结构优化的主要目标。

1.4 絮体受力分析

上文对絮体临界沉速的求取时，假定絮体沉积到斜管内表面即认为是从水中分离出去。但实际情况并非如此，沉降在斜管上的絮团需要沿着斜管内壁与重力合成的方向下滑。絮团下滑的基本条件是絮团与水的重力差，即在斜面上引起的下滑力大于絮团受上升水流和下部的斜管形成的阻力之和。如果阻力过大则势必恶化下滑效果，甚至絮团被水流带出斜管。

因此，絮团在下滑过程中同样受到结构参数的影响，下面进行受力分析。

根据固液两相流进行动力分析^[13]，絮团在下滑过程中共受有 3 个力（忽略下部斜管对絮团的摩擦力）：自身重力 G 、絮体形状阻力 $W_{\text{形}}$ 、水流的粘性阻力 $W_{\text{粘}}$ ，如图 3 所示。

只有满足 (9) 式絮团才能沿内管壁下滑：

$$G \sin \theta \geq W_{\text{粘}} + W_{\text{形}} \quad (9)$$

这里， $G = (\rho_s - \rho)g \frac{\pi d_s^3}{6}$ ；

$$W_{\text{粘}} = 6\pi\rho\nu(u_s + V) \left(1 + \frac{3}{16} \text{Re}\right) \cos^3 \theta_*$$

$$W_{\text{形}} = 0.45 \frac{\pi d_s^2}{4} \sin^2 \theta_* \frac{\rho(u_s + V)^2}{2}；$$

且： ρ_s ， ρ ——分别为絮团和水的密度；

d_s ——絮团直径；

u_s ——絮团下滑速度；

$(u_s + V)$ ——絮团和水流的相对速度； V 的计算见公

式 (1) 所示。

Re 为雷诺数，且 $\text{Re} = \frac{d_s(u_s + V)}{\nu}$ ；

ν ——水的运动粘度系数；

θ_* ——水流流过絮团时的紊流分离角，其由雷诺数 Re 决定，且

$$\theta_* = \begin{cases} 0 & \text{Re} \leq 0.5 \\ \frac{\ln(2 \cdot \text{Re})}{\ln 5000} \cdot \frac{\pi}{2} & 0.5 < \text{Re} \leq 2500 \\ \frac{\pi}{2} & \text{Re} > 2500 \end{cases} \quad (10)$$

在下文絮团下滑受力的计算中，考虑为絮团初始下滑条件，即考虑初始沉积到斜管内壁上的絮团下滑时所必须满足的受力要求。这样，可以认为初始速度 u_s 为零，即絮团和水流的相对流速项 $(u_s + V)$ 中，仅存在水流的上升流速 (V) 。同时，考虑絮团的受力情况，在 V 的计算中（见式 (1) 所示），设定为影响到絮团的最大上升流速，即： $x=d_s$ 。

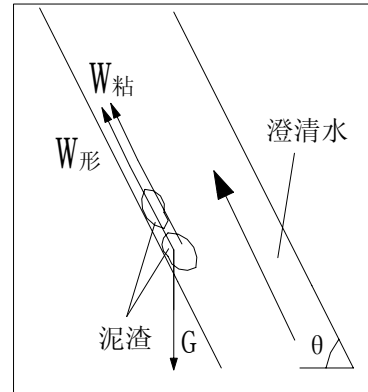


图 3 斜管泥渣下滑受力示意图

由上可以看出对于一定沉降特性下的絮团 (ρ_s , d_s , u_s 等), 必定存在一个最大的水流上升速度 $\max(\bar{V})$ (或最大表面负荷 $\max(q)$) 可以满足公式 (9)。即, 斜管沉淀池的管内流速 $\bar{V}$ (或表面负荷 q) 影响了絮体的下滑能力, 进而影响了固液分离效果和沉淀效率。

2. 结构参数对临界沉速的影响分析

由公式 (3) 和边界条件 (式 (5)) 可知, 影响临界沉速的结构参数或操作参数主要是: 斜管长度 l 、斜管管径 d 、斜管内水上升流速 $\bar{V}$ 、斜管倾角 θ 。

下文计算中, 首先固定 l ($l=1\text{m}$) 和 θ ($\theta=60^\circ$), 分别讨论 u_0 受表面负荷 q 和 d 的影响情况; 然后固定斜管管径 $d=35\text{mm}$, 讨论 l 和 θ 对 u_0 的影响; 同时, 讨论不同条件满足絮团下滑的结构参数要求。

为了计算方便, 这里设定絮体的直径 d_s 为 $4\text{mm}^{[1]}$, 絮体的密度 ρ_s 为 1.0033g/cm^3 (下文不再赘述)。

2.1 表面负荷的影响

用 Matlab 编程计算, 根据公式 (3) 和 (5) 计算不同管径 d 时表面负荷 q 和管内流速 $\bar{V}$ 对临界沉速 u_0 的影响, 结果如图 4、5 所示。

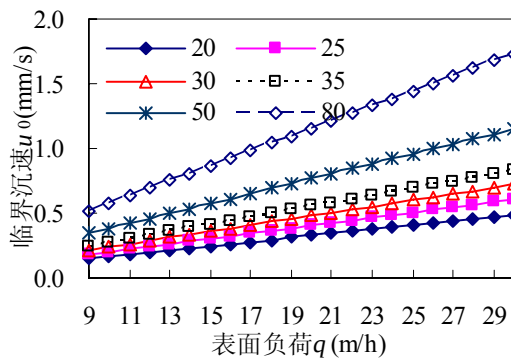


图 4 不同斜管管径下临界沉速随处理表面负荷的变化规律

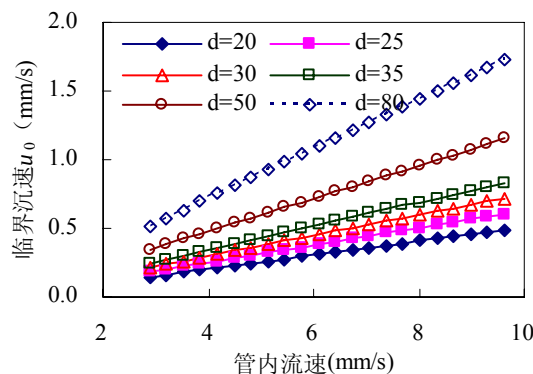


图 5 不同斜管管径下临界沉速随管内流速的变化规律

从图 4 可以看出, 临界沉速 u_0 基本与处理负荷 q (m/h) 成正比例关系; 且在不同斜管管径下的斜率并不相同: 管径越大斜率越大, 即临界沉速受表面负荷的影响越大。同时, 一定斜管管径下, 表面负荷越大则临界沉速也就越大。该结果符合我们对斜管沉淀池的一般认识: 增大沉淀池负荷需要提高絮体的絮凝效果, 否则, 沉淀效率下降影响出水水质; 另一方面, 一定的絮凝条件下降低沉淀池的运行负荷, 则相应的临界沉速下降, 根据公式 (8) 可知沉淀池的总去除效率相应增大, 从而提高沉淀出水水质。

图 5 则为斜管内水流速度对临界沉速的影响情况。表 1 为图 5 的拟合表达式。由表 1 可知, 絮体的临界沉速基本与斜管平均上升速度成正比, $\bar{V}$ 越大则絮体的临界沉速也变大, 则相应斜管内的沉淀效率降低。

因此, 当斜管沉淀池布水不均匀时, 则布水廊道内首末管的水流上升速度也差别较大。根据黄廷林等^[14]的研究结果, 首管内的流速远大于末管内流速, 这就说明布水廊道的首管

对应的 u_0 较大，则沉淀效率降低，出水水质变差。从该角度分析，沉淀池布水廊道的不均匀性也成为影响出水水质的主要因素。

表 1 斜管平均速度对临界沉速的影响

管内流速 ($\bar{V}$, mm)	20	25	30
絮体临界称速 u_0 (mm/s)	$u_0=0.051 \times \bar{V} + 3 \times 10^{-5}$	$u_0=0.063 \times \bar{V}$	$u_0=0.0748 \times \bar{V} + 8 \times 10^{-5}$
管内流速 ($\bar{V}$, mm)	35	50	80
絮体临界称速 u_0 (mm/s)	$u_0=0.0863 \times \bar{V} + 8 \times 10^{-5}$	$u_0=0.1195 \times \bar{V}$	$u_0=0.1801 \times \bar{V}$

根据上文 1.4 节对下滑絮体的受力分析，一定特性的絮团 (ρ_s, d_s, u_s) 和一定的管径下，必然存在一个最大的表面负荷，使得 $G \sin \theta \geq W_{\text{粘}} + W_{\text{形}}$ ，即满足絮团下滑的条件。

图 6 为不同管径下、相同絮体下滑条件时的最大表面负荷（这里考虑絮团初始下滑条件，即 $u_s=0\text{mm/s}$ ，下同）。从图中可以看出，提高斜管沉淀池的表面负荷时，要使上升水流不影响絮团下滑，则需要增大斜管管径。且在管径为 20mm 时，最大表面负荷不能超过 16m/h；管径为 35mm 时，最大表面负荷不能超过 27m/h。

同样，考虑管径 $d=35\text{mm}$ 时，不同表面负荷下 $\Delta F = G \sin \theta - (W_{\text{粘}} + W_{\text{形}})$ 的变化情况； $\Delta F \leq 0$ 说明絮团不能下滑，即该种条件严重不利于固液分离。结果如图 7 所示， ΔF 与 q 成二次方关系： $\Delta F = -0.0053 \cdot q^2 - 0.2402 \cdot q + 9.8992$ 。且在设定絮团特性下，当表面负荷 $q=27\text{m/h}$ 时， ΔF 趋于零；再增大表面负荷则 ΔF 为负值。

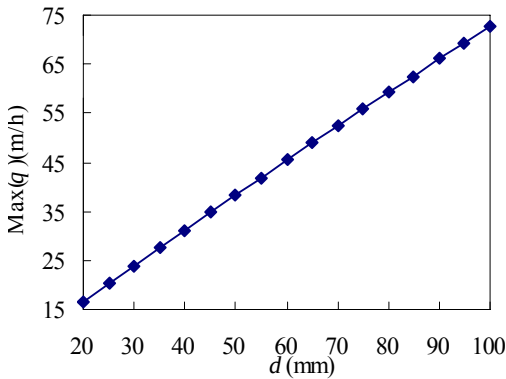


图 6 不同管径下满足絮团下滑时的最大表面负荷（考虑初始下滑）

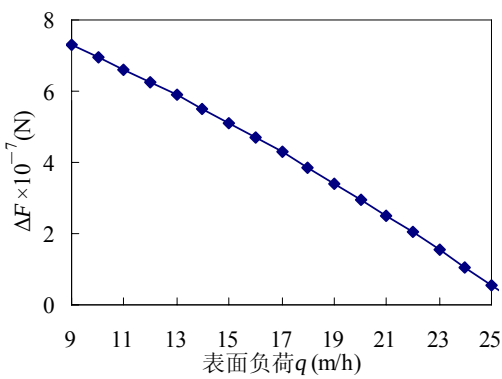


图 7 ΔF 随表面负荷的变化情况 ($d=35\text{mm}$)

2.2 斜管管径的影响

同样用 Matlab 编程，根据公式 (3) 和 (5) 计算不同表面负荷下斜管管径对临界沉速的影响，结果如图 8 所示。

图 8 则表明在表面负荷 q 相同的情况下，临界沉速 u_0 随斜管管径 d 的变化也基本呈线性递增关系，不同负荷下的曲线斜率也不相同： q 越大，则 u_0 受 d 的影响越大。且 d 越小则对应的絮体的 u_0 越小，则一定絮凝条件下的絮体沉降效率就越高，这是不考虑上升水流对沉降于管面上的絮体的剪切作用时的结果。

然而当沉积于斜管管面上的絮团沿内管壁下滑过程中，由于固液两相间的相互扰动，管径过小则絮体和水流之间的缓冲层则过小，这样势必恶化沉降过程。因此，从这方面考虑必定存在一个使得下滑絮团不受上升水流影响的最小管径 d 。

同样考虑絮团初始下滑条件，求取不同表面负荷 q 下的最小管径 d 的变化情况（如图 9 所示）。从图中可知，在 $q \geq 15\text{m/h}$ 时， $\text{Min}(d) \geq 18\text{mm}$ ；当 $q \geq 30\text{m/h}$ 时，则 $\text{Min}(d) \geq 65\text{mm}$ ，否则絮团下滑条件受到破坏，恶化处理水质。

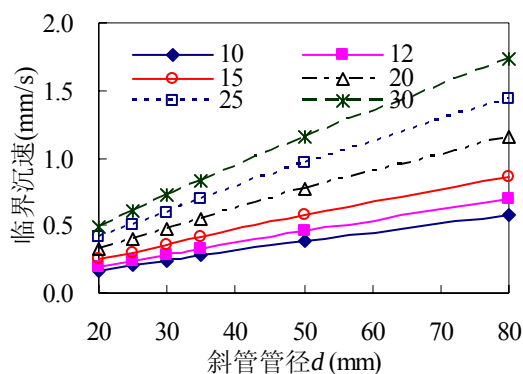


图 8 不同处理负荷下临界沉速随斜板间距的变化规律

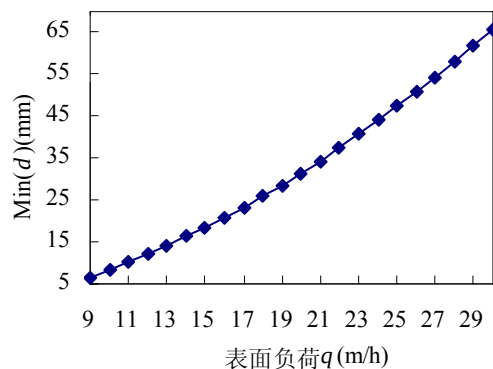


图 9 不同表面负荷下的最小管径 d

2.3 斜管长度的影响

廖足良等^[4]研究结果表明,斜管越长沉淀面积越高,则沉淀效率越高,单位占地面积的产水量越大,但却增加了沉淀池的相应水深。从经济和效率两方面怎么来确定合适的斜管长度呢?目前沉淀池的斜管管长一般选择为 1m,那么理论上分析是否合适呢?下面分析较优斜管管长 l 。

从 1.3 节可知,临界沉速的大小直接可以反映一定絮凝条件下的沉淀效率。因此,本研究假定管径 $d=35\text{mm}$,通过改变斜管管长 l 和处理负荷 q ,来研究管长对絮体的临界沉速的影响。结果如图 7 所示。

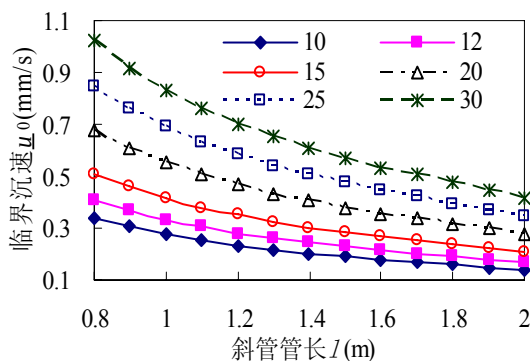


图 10 不同处理负荷 (q) 下临界沉速随斜管管长 l 的变化规律

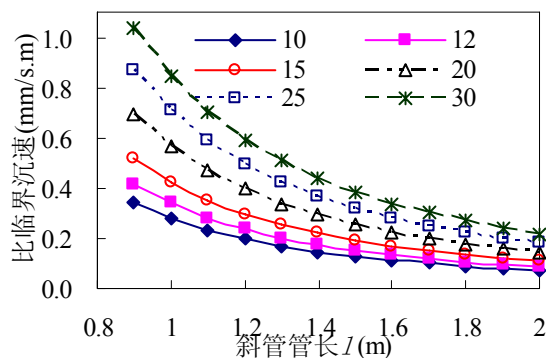


图 11 不同处理负荷下比临界沉速随斜管管长 l 的变化规律

从图 10 可以看出,临界沉速 u_0 基本与斜管管长 l (m) 成反比关系,在不同处理负荷下函数的系数并不相同: q 越大则 u_0 受管长 l 的影响越大。即在 q 一定的情况下管长 l 越长,则所要求的絮体临界沉速越小,其沉淀效率也就越高。但由于池深挖方的限定, l 又不可能无限制地增长,如何来确定合适的管长 l 呢?这里定义管长方向上的比临界沉速。

所谓管长方向上的比临界沉速即是指单位斜管长度 l 的增长所引起的临界沉速 u_0 的减小

量，即比临界沉速(σ_{ul})= $\frac{\Delta u_0}{\Delta l}$ ， σ_{ul} 越大则说明斜管长度的增加能够带来较大的影响效果。

从图 11 可以知道，当管长大于 1.4m 时， u_0 降幅逐渐变缓， σ_{ul} 较小，再增加管长只能过多地增加池深，而不能带来处理效率的明显提高。

因此可以确定，斜管长度 l 可以适当延长尺度 (1.2~1.4m)，这样可以明显降低临界沉速 u_0 ，降低对絮凝效果的要求，减少絮凝剂的投加量；另一方面，在絮凝条件相同的情况下，可以提高沉淀池的沉淀效率和出水水质，减轻后续滤池的处理负担。

2.4 斜管倾角的影响

由式 (2) 可知，絮体沿 x 轴 (见图 1) 方向上的分速度与斜管的倾角的余弦成正比关系。因此倾角越大，则 x 轴方向上的分速度则越小，絮体被水流带出斜管的可能性就增大，絮体沉降于内壁上的概率就减小，相应地就降低了絮体的沉降效率。

另一方面，当倾角过小，絮团的下滑力不能克服上升水流的阻力 (见 1.4 节)，则不利于絮团下滑；反之，当倾角过大，减小了沉淀面积，即降低了沉降效率，体现不出斜管沉降的优势。

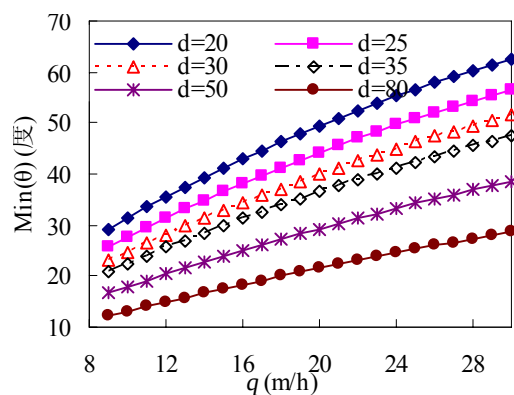


图 12 不同斜管管径下的最小倾角随表面负荷的变化规律

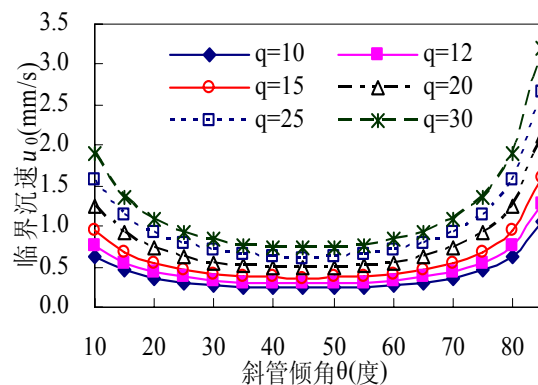


图 13 不同处理负荷下临界沉速随斜管倾角 θ 的变化规律

如公式 (9) 所示，倾角越大则絮体的重力分量越大，则越容易实现絮体与上升水流的分离。在设定絮团特性下，计算不同斜管管径下的最小倾角 (同样考虑絮团初始下滑)，结果如图 12 所示。从图中可以看出，表面负荷 q 增大，则需要最小的倾角也逐渐增大；在同等负荷条件下适当增大斜管管径也可以使得最小倾角 θ 变小。且在 $d=35\text{mm}$ 、 $q=15\text{m}^3/\text{h}$ 时， $\text{Min}(\theta)=30^\circ$ ，即在该种条件下，如果 $\theta \geq 30^\circ$ ，则即可以满足絮团下滑的条件。

从上面的分析可知，在满足絮团下滑条件下，斜管的倾角应该存在一个较优的范围使得沉淀效率较高。在本研究当中，同样固定斜管管径 $d=35\text{mm}$ 的条件下，求取不同处理负荷下对斜管倾角的要求情况。结果如图 13 所示。

从图 13 可以看出，在表面负荷相同的情况下，确实存在较优的斜管倾角 θ 范围使得临界沉速最小，且不同负荷下的较优倾角 θ 基本与处理负荷关系不大。即从临界沉速的最小

值来看,较优的斜管倾角 θ 为 $35^{\circ}\sim 60^{\circ}$ (该角度能满足絮团下滑的倾角要求)。

3. 结论

本文从理论角度分析了斜管沉淀池的结构参数对沉淀效率的影响情况,并分析了不同结构参数(d 、 l 、 θ)对临界沉速 u_0 的影响情况,确定一定絮凝条件下的较优设计参数及范围。同时,对沿斜管内壁下滑的絮团进行受力分析,求取其对结构参数的最低要求,或者所能满足的表面负荷 q 最大值。具体结果如下:

(1) 临界沉速 u_0 基本与处理负荷 q 成正比,且管径越大受表面负荷的影响越大;从絮团下滑的角度考虑,管径 $d=35\text{mm}$ 时,最大表面负荷不能超过 27m/h ;

(2) 综合考虑絮体沉降和絮团下滑,则必定存在合适的管径 d ,使得絮体的沉降和絮团的下滑效率均较高;当 q 增大时,必须增大斜管管径,使其满足下滑絮团对最小管径的要求;

(3) 处理负荷一定时,管长 l 越大,絮体临界沉速 u_0 越小,沉淀效率越高;考虑管长方向上的比临界沉速可知,斜管长度 l 可以延长至 $1.2\sim 1.4\text{m}$,以降低临界沉速,减少絮凝剂的投加量,提高沉淀池的沉淀效率和出水水质;

(4) 表面负荷相同时,存在一个较优的斜管倾角 θ 使得临界沉速最小,且较优的斜管倾角 θ 为 $35^{\circ}\sim 60^{\circ}$,该角度能基本满足絮团下滑的倾角要求。

上面的计算是在固定絮体(或絮团)的沉降(或下滑)条件时的结果。在实际的工程应用中,通过已知的絮体条件可以求取该种条件下的最优结构参数;同时可以根据斜管沉淀池的结构参数,求取所要求达到或满足的絮体条件,以指导混凝单元的参数调节。

参考文献

- [1] 汪光焄. 城市供水行业 2000 年技术进步发展规划[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993
- [2] 钟纯昌. 净水厂设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986
- [3] 上海市政工程设计院. 斜板斜管沉淀[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1978
- [4] 廖足良, 刘荣光. 斜管沉淀效率与斜长关系的试验研究[J]. 重庆建筑工程学院学报, 1993, 15(4): 45~50
- [5] 邹品毅. 影响斜管沉淀池出水效果的因素[J]. 中南工学院学报, 1999, 13(1): 87~90
- [6] 刘荣广, 罗辉荣, 田伟博等. 斜管沉淀的斜管长度研究[J]. 给水排水, 1997, 22(3): 13~15
- [7] 廖足良, 刘荣光, 罗辉荣等. 斜管沉淀的评价指标[J]. 水处理技术, 1996, 22(4): 227~232
- [8] Yao, K M. Theoretical study of high rate sedimentation. Water Pollution Control Federation, 1970, 42(2): 218
- [9] 周光炯, 严宗毅, 许世雄等. 流体力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000
- [10] 闻新, 周露, 王丹力等. MATLAB 神经网络应用设计[M]. 北京: 科学出版社, 2002
- [11] 苏金明, 张莲花, 刘波. Matlab 工具箱应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004
- [12] 严旭世, 范谨初. 给水工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社[M], 1995
- [13] 吴望一. 流体力学[M]. 北京: 北京大学出版社[M], 1995
- [14] 黄廷林, 李玉仙, 张志政等. 斜管沉淀池布水均匀性模拟计算与工艺参数分析[J]. 给水排水, 2005, 31(4): 16-19