

不设初沉池时沉砂池的选型分析*

许 劲¹, 孙俊贻², 周幸儒³, 罗留念⁴

(1. 重庆大学 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045; 2. 重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045; 3. 九江市自来水公司, 江西九江 332000; 4. 广厦重庆第一建筑(集团)有限公司, 重庆 400043)

摘要:针对目前不设初沉池的活性污泥法工艺的特点和对沉砂池的要求,建议选用平流沉砂池或涡流沉砂池,提出沉砂池设计时应主要考虑对细小粒径砂粒的去除效率,并从沉淀理论出发,着重分析了两类沉砂池的除砂原理、关键技术参数的控制以及除排砂设备选型等,以期对沉砂池的设计选型提供参考。

关键词:平流沉砂池; 涡流沉砂池; 选型; 小粒径; 除砂效率

中图分类号:X703 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7329(2005)02-0061-04

Type Selection of Grit Clarifier without Primary Sedimentation Tank

XU Jin¹, SUN Jun-yi², ZHOU Xi-ru³, LUO Liu-nian⁴

(1. Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Area Ecological Environment of Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China; 2. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China; 3. Jiujiang Water Supply Co. Jiujiang, Jiangxi Province 332000, P. R. China; 4. Guangxia Chongqing Construction(Group) Co. Ltd No. 1, Chongqing 400043, P. R. China)

Abstract: In view of existing features of activated sludge process without primary sedimentation tank and the requirements on grit removing sedimentation tank, in this paper, two types of grit clarifier - horizontal and whirling one are suggested with consideration of grit removal efficiency for fine particle size during its design. Then, according to the sedimentation theory, the principle of grit removal, control of key technical parameters and type choice of grit discharge equipment are analyzed. It can serve as reference for the design of grit clarifier.

Keywords: horizontal grit clarifier; whirling grit clarifier; type selection; fine particle size; grit removal efficiency

沉砂池是城市污水处理厂必不可少的预处理构筑物,除砂目的是避免砂粒对处理工艺、设备和管道的不利影响。沉砂池去除的沉砂主要包括砂粒、砾石和少量较重的有机性颗粒,要求尽可能多的去除细小砂粒,而且有机物尽可能少。初沉池是传统活性污泥法工艺必需的重要组成部分,可去除进水中20%~30% BOD₅和大部分SS。目前我国所建中小型污水处理厂很多都取消了初沉池,有些是为了不减少生物处理的碳源,因为污水BOD₅值较低,而有些主要是因为对初沉污泥的处理缺乏信心,同时也为了节省建设投资。有鉴于此,以及革新的活性污泥法的发展,我国待建和新建的污水处理厂有不少都会取消初沉池。初沉池取消后,原来的初沉污泥便以悬浮固体的方式直接进入曝气池,对系统的净化功能产生重要影响,对沉砂池的要求也有了很大变化。因为在传统法中,沉砂池之后要设置初沉池,初沉池较长的停留时间(1~2 h)弥补了按现行规范设计的沉砂池池内水平流速过快、停留时间过短的不足,这样大量来不及在沉砂池沉淀的小颗粒杂质在初沉池得到有效沉淀,从而保证了曝气池、二沉池等处理

* 收稿日期:2004-11-25

作者简介:许 劲(1968-),女,武汉人,副教授,博士生,主要从事水污染控制工程及其系统规划的研究。

构筑物的正常运行。所以对沉砂池而言,主要的变化在于对细小粒径砂粒的去除率应提高,传统的意见是去除 0.2 mm 以上粒径的砂粒,其比重按 2.65 计,而现代沉砂池则要求能以 75% 的去除率去除粒径为 0.15 mm 的砂粒,故对沉砂池的选型与设计参数的选取提出了新的要求。

1 沉砂池设计的理论基础

沉砂池是主要沉淀无机固体的装置,其设计建立在离散颗粒沉淀理论上,即以 Stokes 自由沉淀速度公式为基础。在理想矩形沉砂池中,砂粒以水平流速 v 和砂粒下沉速度 u 的矢量合速度下沉,其沉砂效率为:

$$\eta = \left[(1 - p_0) + \frac{1}{u_0} \int_0^p u dp \right] \times 100\% \quad (1)$$

$$u_0 = \frac{Hv}{L} = \frac{HBv}{LB} = \frac{Q}{LB} = \frac{Q}{A} = q \quad (2)$$

式中: u_0 为设计需去除粒径砂粒的沉淀速度, L 、 B 、 H 分别为理想沉砂池的长、宽、高, A 为理想沉砂池平面投影面积, q 为理想沉砂池的表面水力负荷, Q 为过水流量。

因此,当沉砂池设计尺寸一定时,其除砂效率与 u_0 和砂粒的粒径级配有关,也即去除的砂粒不仅与 q 有关,而且取决于水平流速 v 。 v 越小, η 越大,当流量一定时,沉砂池截面积 HB 也越大,池容也越大,不经济,并且 v 过小,会使污水中的有机物大量沉淀,使沉砂池排出物极易腐败,难以处置,故存在一经验参数值 v_{\min} ,国内外一致推荐 $v_{\min} = 0.15$ m/s; v 越大,池容越小,但 η 会降低,并且 v 过大时,有可能将原已沉淀的砂粒带起流出,故也存在 v_{\max} ,国内规定为 0.3 m/s,国外设计手册推荐采用 0.4 m/s;也可采用 Shields 的计算公式计算^[3],最佳流速为 0.3 m/s。

目前城市污水处理厂沉砂池的类型主要有平流式、涡流式和曝气沉砂池,其池型选择只宜据工程的特点来考虑,因现在还没有一种完全超越其他池型^[1]。方形平流沉砂池也称多尔(Dorr)沉砂池,在国外已系列化并广泛使用,但在国内极少采用;涡流沉砂池由于是国外公司的专有产品和设计技术,设计时采用较多,但实际运行能达到良好除砂效果的仍较少,表明国内对该种池型的工艺运行与技术参数尚未完全掌握,应进一步研究确定;在国内较多城市污水处理厂实际进水水质偏低、又要进行除磷脱氮,或采用机械曝气的氧化沟工艺时,曝气沉砂池就不适宜了;平流式沉砂池结构简单,灵活性大,调节出口流量控制即可改变运行特性,且当水平流速稳定在 0.3 m/s 时可获得“洁净”沉砂。针对我国目前污水处理厂不设初沉池、须除磷脱氮、进水水质偏低等特点,在沉砂池选形时,主要考虑采用平流式或涡流式。

2 平流式沉砂池

平流式沉砂池是按理想沉砂池的模型并根据实际情况修正后设计的^[2]。一个粒径和比重的砂粒对应着一个 u_0 和 v ,反之一个 u_0 和 v 也确定了截流下来的砂子的粒径和比重,而与停留时间 t 无关,故水平流速 v 是影响砂粒去除效率的关键因素,细小的砂粒需较低的 v 才能去除。 t 的长短在 u_0 和 v 已确定时对截流的砂子的粒径和比重没有影响,但是池的有效水深 H 和尺长 L 则与 t 直接相关: $H = u_0 \cdot t$, $L = v \cdot t$ 。由于 H 和 L 是沉砂池的基本尺寸,决定着沉砂池的水流流态和流速分布,因而也决定了沉砂池的沉淀效率。因此,停留时间 t 也是沉砂池的重要设计参数。

在不需要设置初沉池的城市污水处理厂,如氧化沟工艺、 A^2/O 工艺,如果按现行规范取水平流速 0.3 m/s、 $HRT = 30 \sim 60$ s 设计平流式沉砂池,大量细砂会随污水流出沉砂池,进入后续处理构筑物。实际运行中往往会出现氧化沟或曝气池内沉砂较多、幅流式二沉池排泥管因积砂易堵塞等现象^[3]。究其原因,主要是沉砂池水力停留时间 t 选择过短,池长不够,影响了沉砂效率。面对国内已广泛使用的革新的活性污泥工艺,平流式沉砂池现行的设计参数已不适宜,从沉砂池的发展趋势看,采取较长的停留时间是其方向之一,在新的设计规范未颁布前,平流式沉砂池宜按曝气沉砂池设计参数选择^[3]。德国对曝气沉砂池停留时间的选择为:旱季流量是为 20 min,雨季流量时为 10 min^[4]。

另外,平流式沉砂池必须保持一定的水平流速,才能保证只沉下预期的砂粒而不沉下有机的小颗粒,若进水水量变化幅度很大,必须要有恒定沉砂池水平流速的设施,设在沉砂池出口端的比例流量堰为控制水平流速的一个有效方法。运行中当流量变化时,应首先调节水深,如不满足要求,再考虑改变池数。昆明市第二污水处理厂(A²/O工艺)的平流式沉砂池就采用了一种咽喉式节流设施,t不变(1.56 min),通过改变水深,控制池内水平流速始终保持在0.3 m/s,而瑞典ET公司提供的整套沉砂池装置可以保证如下沉砂率: $d \geq 0.149 \text{ mm}, \eta = 80\%$; $d \geq 0.211 \text{ mm}, \eta = 90\%$; $d \geq 0.29 \text{ mm}, \eta = 98\%$ 。该厂沉砂池实际运行效果较好。建议国内对这种设施和装置进行进一步的研究和开发利用。

另外,行车式砂泵除砂机采取砂泵抽吸沉砂,辅助砂水分离器的有效分离,使得该设备对细小砂粒的去除具有独特的优势,尤其适宜于不设初沉池的城市污水处理厂,其效果远胜于链条式除砂机。

3 涡流式沉砂池

涡流式沉砂池具有占地紧凑、节省土建费用、占地小、对细砂去除效率高的特点,对于存在下述情况的污水处理厂特别适用:(1)完全分流制或仅有少量合流污水进入;(2)用地紧张或征地费用贵;(3)厂内未设鼓风机房;(4)需要设置厌氧池。

3.1 Pista 第二代沉砂池和 Jeta 沉砂池

目前进入我国市场的涡流式沉砂池有美国 Smith & Loveless 公司的比氏(Pista)沉砂池(第二代产品)和英国 Jones & Attword 公司的钟氏(Jeta)沉砂池,是近年来应用日益广泛的两种圆形沉砂池,主要利用水力涡流使泥砂和有机物分开,以达到除砂目的,即:污水从切线方向进入圆形沉砂池,中心轴上的螺旋桨将水流带向池心,形成涡形水流,较重的砂粒在靠近池心的一个环形孔口处落入积砂斗,而较轻的有机物在螺旋桨作用下与砂斗分离并迎向出水渠。排砂可用砂泵抽出,也可压缩空气提升,砂泵抽排更为可靠。

涡流式沉砂池的砂粒沉降是重力和池中涡流产生的离心力的共同作用。控制池中螺旋桨的转速,从而控制螺旋状涡流速度,是保证圆形涡流式沉砂池除砂效率的关键。从国内各涡流沉砂池的运行情况来看,尽管螺旋桨的转速可调,但由于各污水厂进水水质的差异、具体工艺流程的不同、涡流沉砂池规格型号各异及进水水位和流速的变化,而运行管理人员也未能及时调控和摸索最佳的运行参数,是导致该类沉砂池未能正常运行的主要原因。其除砂效率可用下式表示^[5]:

$$\eta = \frac{r_\varphi - r_i}{r_a - r_i}, \quad r_\varphi = r_i + \frac{1}{18\mu}(\rho_p - \rho_g)d_p^2 V\varphi \quad (3)$$

式中: r_a 为圆形沉砂池半径,m; r_i 为圆形集砂区半径,m; r_φ 为在某一点上含砂水流与不含砂水流交界处的半径,m; μ 为水的运动粘滞系数,20℃时, $\mu = 0.01010 \text{ cm}^2/\text{s}$; ρ_p 为砂粒的比重,2.65; ρ_g 为水的比重,1; d_p 为砂粒直径,mm; V 为池中螺旋桨的转速,即池中螺旋状环流速度,m/s; φ 为砂粒从池入口沉向集砂区的沉降弧度,一般取 $5\pi/3$ 。

3.2 Pista 360°涡流沉砂池

上面的计算式不适用于最新的第三代 Pista 360°涡流沉砂池,因该种涡流沉砂池采用轴流式浆板定速运行,可调节有机物的分离效果,但对于池内的水平环流没有调节作用,因此控制进水流速是影响其处理效果的关键因素。其工作流态为,在垂面环流和射流的共同作用下,水流在池中以螺旋状前进,砂粒在离心力作用下撞向池壁沿水流滑入池底。理想的设计进水流速宜选用平均流量(3/5~4/5设计流量)时的进水流速0.6~0.9 m/s^[5]。根据 S&L 公司提供的资料,该种沉砂池在峰值流量(0.38~26.5万 m³/d)下,当 $d \geq 0.297 \text{ mm}$ 时, $\eta \geq 95\%$; $0.211 \text{ mm} < d < 0.297 \text{ mm}, \eta \geq 85\%$; $0.149 \text{ mm} \leq d \leq 0.211 \text{ mm}$,去除率 $\eta \geq 65\%$;对 $d = 0.11 \text{ mm}$ 的细砂, η 可达73%。

鉴于国内目前已建涡流式沉砂池螺旋桨转速难以合理控制的现状,第三代 Pista 360°涡流沉砂池仅利用水力自然形成的环流有效地除砂,运行管理相对方便,是一种具有很强竞争力的池型。目前这种沉砂池已在上海白龙港、深圳罗芳、深圳盐田等污水处理厂得到应用,实际效果和运行参数尚待总结。

总之,涡流式沉砂池因池体尺寸小、水力停留时间较短(峰值为20~30 s,一般 ≤ 60 s),对水量变化或者砂量冲击负荷过大的进水难以适应。由于涡流沉砂池集砂区的容积较小,对于砂量变化较大的进水,选型时宜考虑一定的余量;当水量变化较大时,宜采用切换运行池数的方法,以保证满足流速要求。

对各种采用气提方式排砂的涡流池型的设计回访和调研,都表明不同程度地存在沉砂进入后续处理构筑物的情况^[6],原因可能是:(1)气提方式排砂保证率不高;(2)未掌握适宜的工艺运行参数;(3)进水水量或砂量变化过大,对涡流式沉砂池的平稳运行造成冲击。前两者可从涡流式沉砂池本身入手解决,而后者则需从源头控制,并提高污水处理厂的调控水平。

4 结论与建议

1) 对于不设初沉池又须除磷脱氮并且进水水质偏低的城市污水处理厂,设计沉砂池时主要应考虑提高细小粒径砂粒的去除率,宜选用平流式沉砂池或涡流式沉砂池,这两种池型不仅适宜于中小型污水厂,也适用于大型污水厂。建议设计前认真调研。

2) 设计平流式沉砂池时,宜适当增大水力停留时间,同时采用恒定水平流速的设施,选择行车式砂泵除砂机并进行优化,以保证0.15 mm砂粒75%的去除率。

3) 选择涡流式沉砂池时,应结合每种池型的特点,注重分析并控制保证除砂效果的关键技术参数,同时采用砂泵排砂。

4) 考虑到实际运行中可能出现大量细砂随沉砂池出水进入后续处理构筑物的情况,设计时应在各排泥管道接口处加装冲洗水接口,发现排泥管道积砂时,可接入0.6~0.8 MPa冲洗水进行疏通。

5) 对于运行中的城市污水处理厂,建议连续测量并记录每天的除砂量,对沉砂池排砂定期进行筛分分析,筛分至少应分0.10 mm、0.15 mm和0.20 mm三级。根据以上测量数据评价沉砂池的除砂效率,并及时反馈到运行调度中去。

6) 鉴于我国城市污水的特点,在今后较长一段时间内不设初沉池的城市污水厂仍将占相当比例,建议有关部门及时补充不设初沉池时沉砂池的设计规范,并组织力量对现有涡流式沉砂池进行现场测试,总结并公布关键技术参数,为设计和运行管理提供可靠依据。

参考文献:

- [1] 许泽美. 水工业设计手册——废水处理及再用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2002,4:25-33.
- [2] 蔡金榜. 沉淀池水流数值模拟[J]. 重庆建筑大学学报,2003,25(4):64-69.
- [3] 邵林广. 平流式沉砂池设计参数的研究[J]. 给水排水,1999,25(9):21-23.
- [4] 潘伯寿. 德国污水处理技术的新发展[J]. 中国给水排水,1997,13(5):28.
- [5] 邵林广. 圆形涡流式沉砂池除砂效率的探讨[J]. 给水排水,1998,24(12):38-40.
- [6] 王雪原. Pista 360°涡流沉砂池的特色与设计要点[J]. 中国给水排水,2001,17(8):36-38.