

某净水厂反应沉淀池设计研究

李晓军

湖北省漳河土木工程设计院 湖北荆门 448000

摘要: 反应沉淀池作为净水厂常用的净水建筑物之一, 广泛应用于各型净水厂, 但是其设计计算由于上下衔接建筑物高程控制和较复杂水力条件, 比较难以准确计算, 且不太能通过检测仪器进行复核, 大多数情况下只能根据经验和已建水厂类似情况进行控制。本水厂在设计过程中, 利用现有的基础资料, 对设计计算过程进行了较为详细的论证计算。希望对类似设计提供一个参考实例。

关键词: 穿孔旋流絮凝池; 斜管沉淀池; 水力计算

Design of reaction sedimentation tank in a water purification plant

Xiaojun Li

Zhanghe civil engineering design institute Hubei Jingmen 4480001

Abstract: It can only be used as one of the commonly used instruments for water purification plant design and elevation control due to the complex conditions of water purification plant, which can only be used as one of the commonly used instruments. However, it can not be used for water purification plant design and elevation control according to the experience. In the design process of the water plant, the existing basic data are used to demonstrate and calculate the design and calculation process in detail. Hope to provide a reference example for similar design.

Keywords: Perforated cyclone flocculation tank; Inclined tube sedimentation tank; hydraulic calculation

1. 引言

随着前些年国家实施精准扶贫战略, 广大偏远农村安全饮水尚未达到全面覆盖的地区新建、改扩建了一批集中式供水净水厂。为顺应国家战略, 本地区开展了“一管清水进农家”行动, 统筹资金新建了本净水厂, 近期供水规模5000t/d, 远期10000t/d, 近期受益人口约5万人, 远期受益人口约9.21万人。在本工程设计过程中, 采用了较为成熟的穿孔旋流絮凝池+斜管沉淀池的组合作为净水厂主要净水建筑物之一。

2. 絮凝池设计

天然水体中大部分含有大量细小的粘土颗粒, 粒径极小, 属于胶体物质, 不能自由沉淀, 水中含有大量细小悬浮物质, 如藻类, 细菌等细小的颗粒物, 因为沉降速度慢不易沉淀, 通常需要采取絮凝处理: 向水中投加

絮凝剂, 使水中的胶体颗粒和细小的悬浮物相互凝聚变大, 形成沉淀性能好、尺寸大的絮状颗粒(矾花), 使之在后续的沉淀工艺中能够有效的从水中重力作用下进行沉淀, 混凝处理对水中某些溶解状的无机、有机污染物、色度、臭等也具有有良好的去除效果。

投药是絮凝工艺的必要前提, 混合和反应是絮凝工艺的两个阶段, 为了提高混凝效果, 结合水质选用性能良好的药剂, 创造适宜的化学和水力条件, 是絮凝工艺上的技术关键。

本工程加药设备采用专业厂家提供的成套加矾机设备, 采用流量及浊度测控仪表, 在线检测水体的流量或浊度, 来实现自动控制加矾量, 确保加矾准确、稳定、经济。从而达到稳定混合效果。

本次本水厂设计絮凝池采用穿孔旋流反应池, 该建筑物适合水量变化较小的中、小水厂。其特点是构造简单, 造价较低和施工方便。

(1) 设计要求: 穿孔旋流絮凝池的最佳絮凝时间为

作者简介: 李晓军, 男, 1983年1月, 藏族, 甘肃, 河海大学, 邮编: 448000, 本科, 工程师, 水利水电工程。

15~25min, 本次实验取絮凝时间为25min; 进口处流速: 0.6~1.0m/s, 取1m/s; 出口处流速: 0.2~0.3m/s, 取0.2m/s; 每格孔口应上下交错布置, 穿孔旋流絮凝池每组絮凝池分格数取8。

(2) 各格配备直径为200mm的穿孔排泥管, 便于排泥以及清洗。

(3) 每格进、出水孔应设计靠近池壁, 下孔应在积泥面以上, 上孔应在最高水位以下0.05~0.1m, 孔口高度可取为孔口宽度的2倍。

2.1 絮凝池容积计算

$$W = \frac{QT}{60}$$

W—絮凝池容积, m³

Q—水厂设计规模, 按照近期5000m³/d, 208.33m³/h,

T—絮凝时间, 25min,

计算得到絮凝池容积: 86.81m³

2.2 单池容积计算

单池容积: W' = 86.81/8=10.85m³

2.3 单池边长, 边墙高度计算

池有效水深为H' 取3m

单池面积为: f=10.85/3=3.62m², 单格为正方形, 取边长为2.24m, 边墙超高h=0.3m, 设计取0.45m;

污泥斗底为棱台体, 斗底平面为正方形, 边

长0.2m, 斗高h₃=1.02m, 则絮凝池最小高度为: H=h₁+h₂+h₃=0.3+3+0.7=4m, 本次设计取4.9m。

2.4 孔口尺寸设计

上部孔口顶距池顶0.45m; 下部孔口孔底距池顶2.8m。进水管在第一格池子的上部, 孔口上、下对角交错布置。

$$v = v_1 + v_2 - v_2 \sqrt{1 + \left(\frac{v_1^2}{v_2^2} - 1 \right) \frac{t}{T}}$$

v₁进口流速, 1m/s

v₂出口流速, 0.2m/s

t: 反应经历的时间;

T: 反应总时间, 取25min;

共8格, 第一格t为1/8, 第二格t为2/8……, 第八格t为8/8

第一格至第二格孔口流速t' =t,

计算得到V₁₋₂=0.8m/s; V₂₋₃=0.67m/s; V₃₋₄=0.57m/s; V₄₋₅=0.48m/s; V₅₋₆=0.4m/s; V₆₋₇=0.33m/s; V₇₋₈=0.26m/s; V₈=0.2m/s;

计算孔口过水面积, 得到: f₁₋₂=Q/v=0.07m²; f₂₋₃=0.09m²; f₃₋₄=0.1m²; f₄₋₅=0.12m²; f₅₋₆=0.14m²; f₆₋₇=0.18m²; f₇₋₈=0.22m²; f_{出口}=0.29m²;

孔口高宽比为2, 则各孔口尺寸为(宽×高);

表2.4-1 设计孔口尺寸表

| 设计孔口宽度 v1-2 (m) | 设计孔口宽度 v2-3 (m) | 设计孔口宽度 v3-4 (m) | 设计孔口宽度 v4-5 (m) | 设计孔口宽度 v5-6 (m) | 设计孔口宽度 v6-7 (m) | 设计孔口宽度 v7-8 (m) | 设计孔口宽度 v8 (m) |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 0.25 | 0.26 | 0.27 | 0.29 | 0.30 | 0.33 | 0.35 | 0.38 |
| 设计孔口高度 v1-2 (m) | 设计孔口高度 v2-3 (m) | 设计孔口高度 v3-4 (m) | 设计孔口高度 v4-5 (m) | 设计孔口高度 v5-6 (m) | 设计孔口高度 v6-7 (m) | 设计孔口高度 v7-8 (m) | 设计孔口高度 v8 (m) |
| 0.50 | 0.52 | 0.54 | 0.58 | 0.60 | 0.65 | 0.70 | 0.76 |
| 设计孔口面积 1-2 (m ²) | 设计孔口面积 2-3 (m ²) | 设计孔口面积 3-4 (m ²) | 设计孔口面积 4-5 (m ²) | 设计孔口面积 5-6 (m ²) | 设计孔口面积 6-7 (m ²) | 设计孔口面积 7-8 (m ²) | 设计孔口面积 8 (m ²) |
| 0.13 | 0.14 | 0.15 | 0.17 | 0.18 | 0.21 | 0.25 | 0.29 |
| 设计孔口流速 v1-2 (m/s) | 设计孔口流速 v2-3 (m/s) | 设计孔口流速 v3-4 (m/s) | 设计孔口流速 v4-5 (m/s) | 设计孔口流速 v5-6 (m/s) | 设计孔口流速 v6-7 (m/s) | 设计孔口流速 v7-8 (m/s) | 设计孔口流速 v8 (m/s) |
| 0.46 | 0.43 | 0.40 | 0.34 | 0.32 | 0.27 | 0.24 | 0.20 |

2.5 水头损失

(1) 沿程水头损失忽略不计。

(2) 喷嘴水头损失。

$$h_1 = \frac{v^2}{U^2 2g}$$

式中: u—流量系数, 常取0.9;

V—喷嘴流速, 3m/s;

计算得到: h₁=0.57m

(3) 孔口水头损失。

$$h = \xi \frac{v^2}{2g}$$

式中: ξ—局部水头损失, 进水口管取1, 孔口取1.06

V—孔口流速;

表 2.5-2 孔口水头损失计算表

| | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 进口 | 实际孔口 | |
| 流速 | |
| | v1-2 | v2-3 | v3-4 | v4-5 | v5-6 | v6-7 | v7-8 | v8 | |
| 1 | 0.46 | 0.43 | 0.40 | 0.34 | 0.32 | 0.27 | 0.24 | 0.20 | |
| h 进水管 | h1-2 | h2-3 | h3-4 | h4-5 | h5-6 | h6-7 | h7-8 | h8 | Σ h |
| 0.051 | 0.012 | 0.010 | 0.009 | 0.006 | 0.006 | 0.004 | 0.003 | 0.002 | 0.102 |

2.6 流速梯度

$$G = \sqrt{\frac{\rho h}{\mu T}}$$

式中: μ —水的绝对黏度, $1.029 \times 10^{-4} ((\text{kg} \cdot \text{s}) / \text{m}^2)$
 ρ —水的密度, 1000kg/m^3 ;
 h —絮凝池水头损失,
 T —絮凝时间, 取 25min

表 2.6-1 流速梯度计算表

| 孔口位置 | 絮凝历时 T | | | 水头损失 h | G |
|-------|--------|---|--------|--------|--------|
| | 0 | n | T | | |
| 进口处 | 0 | n | T | 0.05 | |
| 一、二格间 | T/8 | 1 | 187.5 | 0.012 | 24.499 |
| 二、三格间 | 2T/8 | 2 | 375 | 0.010 | 16.016 |
| 三、四格间 | 3T/8 | 3 | 562.5 | 0.009 | 12.126 |
| 四、五格间 | 4T/8 | 4 | 750 | 0.006 | 9.103 |
| 五、六格间 | 5T/8 | 5 | 937.5 | 0.006 | 7.608 |
| 六、七格间 | 6T/8 | 6 | 1125 | 0.004 | 5.918 |
| 七、八格间 | 7T/8 | 7 | 1312.5 | 0.003 | 4.724 |
| 出口 | 25 | 8 | 1500 | 0.002 | 3.749 |

计算得到, 絮凝池平均流速梯度 G 为 10.47s^{-1}

计算得到 GT 为 7.07×10^4 , 介于 $1 \times 10^4 - 1 \times 10^5$ 之间, 符合要求。

3. 沉淀池设计

3.1 沉淀池选择

沉淀池是净水处理中的重要工序, 沉淀池型式的选择应根据原水水质, 水厂规模, 平面和高程布置要求, 并结合絮凝池型式等因素综合考虑确定。

目前, 国内净水厂多数采用平流沉淀池和斜管沉淀池, 下面就这两种类型进行对比分析, 详见下表。

两种池型在技术上都是可行的, 都可以经过处理达到待滤水的水质要求, 两者在经济造价和运转适应性方面各有突出特点。但从占地少, 投资省等情况考虑, 推荐采用斜管沉淀池, 池型更具有合理性和优越性。

表 3.1-1 沉淀池池型比较表

| 沉淀池形式 | 平流沉淀池 | 斜管沉淀池 |
|-------|---|---|
| 优点 | 1、总停留时间长, 对水质、水量、投药量、排泥等的变化适应性较强, 沉淀效果稳定。 2、结构简单, 池深较浅, 维护管理方便。 3、耗药量低, 比斜管沉淀池低 20% 左右。 | 1、占地少, 投资省。 2、絮体沉降距离短, 效果好。 |
| 缺点 | 1、工程量较大, 占地面积较大, 投资比较高。 2、排泥机维修量大。 | 1、斜管使用寿命短, 更换费用高。 2、对水质、水量、投药量、排泥等的变化较敏感。 3、耗药量高, 维修管理比较复杂。 |

3.2 斜管沉淀池设计计算

本水厂的斜管沉淀池, 设计的沉淀能力为 $5000 \text{m}^3/\text{d}$ ($208.33 \text{m}^3/\text{h}$), 斜管材料采用的是厚 0.4mm 的塑料板压成的正六角形管, 内切圆管直径 $d=35 \text{mm}$, 长 1000mm, 斜管水平倾角设计为 60° 。

3.2.1 清水区面积

$$A = \frac{Q}{q}$$

式中: A—清水区面积, m^2

Q—设计流量; $Q=208.33 \text{m}^3/\text{h}$

q—斜管沉淀池的表面负荷; $q=9.0 \text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{h})$

计算得本水厂沉淀池清水区的计算面积为 23.15m^2 。

3.2.2 清水区实际面积

$$A' = \frac{A}{\alpha}$$

式中: A'—清水区实际面积, m^2

α —有效系数, 本次设计采用塑料六边形蜂窝斜管, 取值范围 0.92-0.95, 设计取 0.93;

计算得到清水区实际面积为 24.89m^2 。

3.2.3 清水区宽 B

清水区宽度同絮凝池。通常为保证排水均匀, 清水区宽 B 沿絮凝池的长边布置。

即清水区宽为: 4.57m

3.2.4 清水区长 L

$$L = \frac{A'}{B}$$

计算得到清水区长为 5.44m,

水厂沉淀池设计尺寸为 33.73m^2 , 清水区长为 7.38m,

均大于计算面积。

3.2.5 斜管长

$$\begin{aligned} \text{斜管内水流速度 } v_2 &= v / \sin 60^\circ = 3.0 / 0.866 = 3.5 \text{ mm/s}, \\ L &= (1.33v_2, -0.35 \times \sin 60^\circ) d / (u_0 \times \cos 60^\circ) \\ &= (1.33 \times 3.5 - 0.35 \times 0.866) \times 35 / (0.35 \times 0.5) \\ &= 753.23 \text{ mm} \end{aligned}$$

考虑到管端紊流, 积泥等因素, 过渡区采用 200mm, 斜管总长为以上两者之和, 斜管取值 1000mm。内切圆管直径 $d=35\text{mm}$ 。斜管支撑系统: 钢筋混凝土梁——角钢——扁钢。等边角钢对中置于钢筋混凝土上, 且两侧需要电焊连接, 角钢与扁钢垂直搁置并在接头扁钢两侧接头处焊牢固, 钢筋混凝土两端与池壁现浇。

3.2.6 沉淀池总高度

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5$$

式中: H —沉淀池总高度 m 。

h_1 —保护高度 m , 取 0.4m

h_2 —清水区高度 m , 根据《室外给水设计规范》要求, $h_2 \geq 1.0m$,

h_3 —斜管区高度 m , $h_3 = l \cdot \sin \alpha$, l 为斜管长度 $1m$, 斜管水平倾角 60° , 计算得 h_3 为 0.87m

h_4 —配水区高度 (m), 根据《室外给水设计规范》要求, $h_4 \geq 1.5m$

h_5 —泥斗高, 为 1.78m

计算得 $H=5.55m$, 设计取沉淀池总高度为 5.55m。

3.2.7 沉淀池水力校核

斜管水利半径 $R = \omega / \chi = 35/4 = 8.75\text{mm}$ 。

斜管内流速取 $v = Q / \omega \sin 60^\circ = 5000 / 24 / 3600 / 24.89 / 0.87 = 2.67\text{mm/s}$

计算 $Fr = v^2 / Rg = 8.31 \times 10^{-5}$, 大于 10^{-5} , 满足要求。

计算 $Re = vR / \gamma = 23.11$, 小于 500, 满足要求。

3.2.8 其他

单组斜管沉淀池分成两格。沉淀池清水区上升流速为 3.0mm/s, 有效停留时间不超过 30 分钟。斜管沉淀池进口采用穿孔墙, 排泥采用穿孔管, 集水系统采用集水堰。斜管预沉池采用多斗排泥, 斗内设有水力控制液压池底闸阀, 斗内及排泥管上设有反冲洗水管, 保证排泥干净、彻底, 避免排泥管的堵塞。

絮凝反应池内设有 SCDR 游动电位仪, 用于对加药实行自动控制。根据各自来水公司的使用经验, 采用游动电位仪对加药过程进行自动控制后, 可以节约 30% 的混凝剂用量。

在斜管沉淀池出水渠内设有浊度仪, 目的在于方便对沉淀池出水浊度进行连续性的在线检测。检测数据被送至值班室进行显示、记录。

4. 总结

净水厂净水建筑物作为核心建筑物, 对水厂出水质量起着举足轻重的作用。在以往的农村集中供水净水厂设计过程中, 多数情况下都是根据已建工程、标准图集、建管者经验来综合考量净水建筑物的设计规格和尺寸。穿孔旋流絮凝池+斜管沉淀池这种组合虽然广泛应用于农村的集中供水工程, 但由于水力条件较复杂, 在计算过程中面临不确定因素较多, 使得设计计算成果和实际运行过程中有较大偏差, 本计算成果也仅仅对本工程具有指导意义, 但对类似工程也只能提供有限的参考指导。

参考文献:

- [1] 李焱. 穿孔旋流反应斜管沉淀池工作原理及改进[J]. 山西科技, 008(3): 2.
- [2] 崔丽娜. 穿孔旋流絮凝池的数值模拟研究[D]. 合肥工业大学, 2017.
- [3] 黄廷林, 李玉仙, 何文杰. 斜管沉淀池结构参数优化的理论分析[J]. 给水排水, 2007, 33(4): 20-26.