

微涡流混凝技术在西桥水厂中的应用

童祯恭 方永忠

(华东交通大学土建学院,南昌 330013)

摘要 介绍了微涡流混凝工艺的核心——涡流反应器的特点及其混凝机理,指出对不同表面开孔直径的选用与开孔率的控制是其技术关键。同时阐述其在广东梅州西桥水厂的改造及运行情况。运行实践表明,涡流反应器具有混凝效率高,絮凝时间短,出水质量优,适应变化能力强,施工方便等特点。

关键词 混凝 涡流反应器 开孔率 开孔直径

Application of micro-whirling coagulation in Xiqiao Waterworks

Tong Zhen-gong, Fang Yong-zhong

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: The feature and working mechanism of micro-whirling reactor (MWR) are presented. MWR is used as the core of micro-whirling coagulation and the opening rate control to fit suitable selection of different surface opening diameters is very critical. Meanwhile the practical application of MWR in reconstruction of Xiqiao Waterworks in Meizhou City, Guangdong Province is described. The operation shows that this reactor has advantages of high coagulation effect, short reaction time, flexible and easy to construct. Also the quality of output water is good enough.

Keywords: Coagulation; Micro-whirling reactor; Opening ratio; Opening diameter

1 涡流反应器

1.1 特点

微涡流混凝工艺的核心是涡流反应器,其构造特点: 空心球形结构,直径根据工艺需要确定,内外表面均打毛; 表面开有小孔,孔径和开孔率根据工艺需要确定; 采用 ABS 塑料,密度略大于水,壁厚由结构强度设计确定。

涡流反应器的构造特点决定它具有以下特性:

无方向性,直接投入水中使用,相互堆积不堵塞壁孔,不需要固定安装; 工厂化批量注塑生产,改造工程施工期短; 过孔水流流速、流向变化,加之内外壁面的磨擦阻力,使水流产生微涡旋流动; 材料强度好,无毒性,耐腐蚀,抗老化,使用寿命可达数十年; 在上向水流中可浮动和旋转,不会漂浮于水面,也不易被漂浮物堵塞。

1.2 原理

涡流反应器外形为空心球体,其反应主要原理就是微涡流凝聚,立体接触絮凝。其混凝作用见图 1。

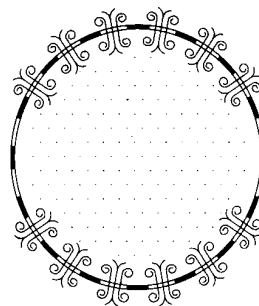


图 1 涡流反应器混凝作用示意

1.2.1 微涡流凝聚

从混凝动力学可知,推动水中颗粒相互碰撞的动力主要是由流体运动来进行的。当水流穿过涡流反应器壁面的大量孔洞时,在形成一部分小涡旋的

同时也形成无数的微小涡旋。根据 Kolmogoroff 局部各向同性紊流理论可知,紊流中存在各种尺度不等的涡旋。大涡旋将能量输送给小涡旋,小涡旋又将能量输送给更小的涡旋。大涡旋往往使颗粒作整体移动而不会相互碰撞,而尺度过小的涡旋其强度往往不足以推动颗粒碰撞,只有涡旋尺度与颗粒尺寸相近才会引起颗粒间相互碰撞。根据原水的实际情况可选用不同表面开孔直径与开孔率的涡流反应器来控制紊流程度,同时进行不同开孔直径的涡流反应器的安装组合,使其形成微小涡旋的尺度最大限度地与颗粒碰撞半径相近。这是涡流反应器取得较好混凝效果的技术关键。众多的微涡旋流动能有效地促进水中微粒的扩散与碰撞。一方面,混凝剂水解形成胶体在微涡流作用下快速扩散并与水中胶体充分碰撞,使水中胶体快速脱稳;另一方面,涡流形成流层之间较大的流速差,造成流层中携带微粒的相对运动,同时涡流的旋转作用形成离心惯性力,造成微粒沿旋涡径向运动,故水中脱稳胶体在微涡流作用下具有更多碰撞机会,因而具有更高的凝聚效率。通过控制水流方向各层涡流反应器的开孔比,使流速逐渐减小,从而使各种尺度涡旋之间的能量传递也越来越小,同时产生更小尺度的涡旋,水的粘性影响开始增加,产生能量损耗。随着停留时间的延长,水流能量逐渐减少,矾花逐渐长大、密实,抗剪能力也相应逐渐增强,使之不易破碎并在后续的沉淀池中顺利下沉。

1.2.2 立体接触絮凝

当混凝反应区放置了大量的涡流反应器后,由于反应器内流速相对较小,大量较大粒径的絮体(矾花)在涡流反应器内积累悬浮于水中。悬浮絮体(即通常说的泥渣)对水流中的脱稳胶体产生吸附絮凝作用即接触絮凝。该工艺上向流区每个涡流反应器内都有悬浮絮体,总体积大,形成立体接触絮凝;涡流反应器内絮体成长质量高,成长过大的絮体在微涡流的作用下会破碎成较小絮体从而保持絮凝能力,密实度较低的絮体在微涡流的作用下会破碎并重新絮凝成密实度较高的絮体,有利于沉淀分离。

此外,涡流反应器还具有防止水流短流,使水流均匀分布以及提高流速梯度等作

用。

2 工程应用

2.1 工程背景及工艺改造

西桥水厂始建于 20 世纪 80 年代,水厂设计规模为 $10 \text{ 万 m}^3/\text{d}$,工艺流程:原水 → 沉砂池 → 穿孔旋流絮凝池 → 平流沉淀池 → 普通快滤池 → 清水池。水厂共有 2 组构筑物,每组 $5 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 。随着时间的推移,水厂原设计规模已不能满足当地快速发展的需要。为解决供求矛盾,当地政府要求自来水公司扩大生产规模至 $18 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 。新建水厂不仅工期长,而且投资较大,故考虑对原水厂进行扩建或改造。综合考虑技术、经济、工期等各方面因素后,最终采用微涡流混凝工艺。对水厂原各构筑物外形基本保持不动而仅作如下改造:

(1) 将沉砂池和絮凝池改造为微涡流絮凝池。为了提高产水量,将沉砂池改造为微涡流絮凝池可以延长絮凝时间 0.8 min 左右(进水部分适当改造),有利于保证混凝反应的效果。

(2) 产水量提高后,原絮凝池前 2~3 格易发生溢水,须将部分池体加高 0.5 m ;沉淀池只对其出水区扩大淹没孔口;滤池基本不作改动(当初设计时水厂有 3 组滤池,但只用了 2 组,此次改造启用了第 3 组滤池);然后絮凝池内投入按水厂设计规模计算好开孔比(60%,考虑到上下孔的重叠,实际开孔率为 40%)的涡流反应器。

沉砂池改造见图 2。絮凝池改造见图 3。

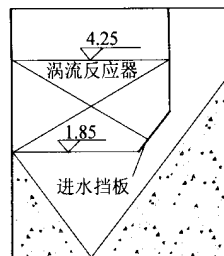


图 2 沉砂池改造示意

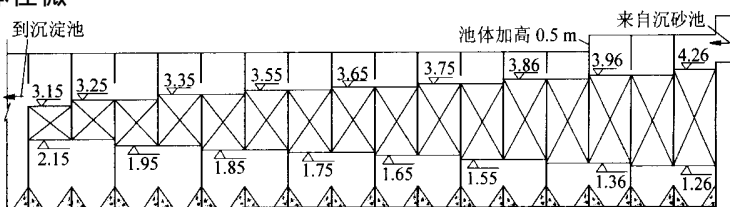


图 3 絮凝池改造示意

2.2 关键工艺参数

2.2.1 微涡流絮凝时间

原沉砂池可以放置涡流反应器的高度为 2.4 m, 总体积为: $4.5 \text{ m} \times 4.5 \text{ m} \times 2.4 \text{ m} = 48.6 \text{ m}^3$ 。

原絮凝池可以放置涡流反应器的高度: 第 1 格 3.0 m, 第 2 格 2.7 m, 第 3 格 2.6 m, 第 4 格 2.5 m, 第 5 格 2.3 m, 第 6 格 2.2 m, 第 7 格 2.1 m, 第 8 格 2.0 m, 第 9 格 1.9 m, 第 10 格 1.8 m, 第 11 格 1.7 m, 第 12 格 1.5 m, 第 13 格 1.4 m, 第 14 格 1.3 m, 第 15 格 1.1 m, 第 16 格 1.0 m。总高度为 31.1 m, 总体积: $1.7 \text{ m} \times 1.7 \text{ m} \times 31.1 \text{ m} \times 2 = 179.8 \text{ m}^3$ 。

每组微涡流絮凝区总体积: $48.6 \text{ m}^3 + 179.8 \text{ m}^3 = 228.4 \text{ m}^3$ 。

每组按 $9 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 设计, 则微涡流絮凝时间为 3.65 min。

根据微涡流混凝工艺的设计要求, 微涡流絮凝时间一般要达到 5~8 min。考虑到原沉砂池和絮凝池总体积为 497.2 m^3 , 非微涡流絮凝时间为 4.3 min, 所以, 总絮凝时间为 7.95 min。根据经验, 絮凝效果可以保证。

2.2.2 微涡流絮凝区流速

微涡流絮凝区流速应控制在 60~80 m/h, 流速过大时, 应在上升流区设置压盖设施, 防止涡流反应器漂浮。

沉砂池改造为微涡流絮凝池后, 上升流速为 185 m/h, 因此沉砂池改造后要采取压盖措施。

絮凝池改造为微涡流絮凝池后, 上升流速为 649 m/h, 因此絮凝池改造后也要采取压盖措施。

2.2.3 平均速度梯度 G 和 GT

由公式: $G = [(Yh)/(60 \times \mu \times T)]^{1/2}$ (水温以 15 计算)。

经过现场测算, 水流方向每 m 涡流反应器的水头损失约为 7 mm。则水流经整个涡流反应器的水头损失为 0.24 m。代入数据后 $G = [(1\ 000 \times 0.24)/(60 \times 0.116\ 5 \times 10^{-3} \times 7.95)]^{1/2} \approx 65.7 \text{ s}^{-1}$; 平均 $GT = 65.7 \times 7.95 \times 60 = 3.15 \times 10^4$, 符合传统经典的混凝控制指标(平均 $G = 20 \sim 70 \text{ s}^{-1}$, 平均 $GT = 1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^5$)。

2.2.4 沉淀时间

改造后, 由于产水量提高, 沉淀时间缩短为 0.94 h。而微涡流混凝工艺能够提高絮凝效果, 所以沉淀效果可以保证。

2.3 调试运行

从 2001 年 11 月 23 日开始改造, 同年 12 月 13 日完成第一期(一组 $5 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ 扩大为 $9 \text{ 万 m}^3/\text{d}$)的工艺改造。整个改造工艺简单, 施工方便, 工期短。12 月 14 日进行现场调试, 18 日试运行。经过近 2 个月的试运行, 效果令人满意。从总体上看, 采用微涡流混凝工艺后, 原水混凝充分, 水质较原工艺有明显改善, 具体表现: 其一, 在絮凝池中, 生成的矾花清晰, 颗粒明显, 沉降性能好, 而改造前只有在沉淀池中才能看见矾花颗粒; 其二, 沉淀池浑水区明显缩短, 改造前沉淀池 2/3 部分水都是浅黄色的, 而改造后沉淀池 2/3 部分水的颜色是碧绿色, 表明水质明显改善; 其三, 滤池工作周期延长, 反冲洗时间缩短(由原来的 9 min 降低为 6 min, 反冲洗水源为冲洗水塔供水), 反冲洗水消耗降低约 30%, 表明待滤水浊度降低, 且矾花的絮凝质量提高; 其四, 滤前水浊度基本保持在 3 NTU 左右, 而出厂水浊度检测均在 1 NTU 以下。在制水值班人员熟悉新工艺, 能够及时调节和合理控制投药量, 且保持滤池状态良好时, 出厂水浊度可以控制在 0.5 NTU 以下, 实现优质供水。表 1 是水厂改造前后的部分参数比较。

表 1 水厂改造前后部分参数比较

项 目	改造前	改造后	备 注
产水量/ $\text{万 m}^3/\text{d}$	5	9	
投药量(AlCl_3)/ mg/L	5	4	
絮凝时间/ min	12	8	
沉淀池停留时间/ min	114	56	
矾花情况	不明显	颗粒清晰	絮凝池内
滤前水浊度/ NTU	10	3	
滤速/ m/h	8	10.8	
滤池工作周期/ h	22	34	
反冲洗强度/ $\text{L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$	约 13	约 13	由冲洗水塔供水
反冲洗时间/ min	9	6	
每格滤池反冲洗水量/ m^3/d	340	240	均为 $5 \text{ 万 m}^3/\text{d}$
反冲洗效果	不彻底	彻底	
出厂水浊度/ NTU	1	0.5	

从表 1 分析可知,采用涡流反应器后,滤池反冲洗干净彻底,过滤效果好,过滤周期延长,冲洗次数减少,反冲洗水量降低(见表 2)。全年节水量为 25.68 万 m^3 。如果每 m^3 水按成本 0.5 元计算,每年可节约 12.84 万元。由于反冲洗水是由冲洗水塔供水,而反冲洗水量减小,故也节约了不少动力费用。据初步估计采用涡流反应器后,改造费用在五年内就可全部收回。

表 2 改造前后反冲洗水量比较

项 目	改造前	改造后	节约水量	节约比例/ %
每格每次反冲洗水量/ m^3	340	240	100	29.4
滤池工作周期/ h	22	34		
全年反冲洗次数/ 次	398	257		
每格每年反冲洗水量/ m^3	135 320	61 680	73 640	54.4
滤池格数/ 格	6	9		
整座滤池反冲洗水量/ m^3	811 920	555 120	256 800	31.6

3 结语

采用微涡流混凝技术改造施工简单,安装方便,只须往池中扔球即可,而且反应器寿命长(可达 30 年),适应能力强。维修也很方便,只须打捞起来即可进行更换。除此之外,改造费用也相对便宜。在该水厂的改造中,每万 m^3 水絮凝池的综合造价(包括涡流反应器材料、安装、土建等费用)约为 15 万元。涡流反应器还有一个显著特点就是不易堵塞,因为反应器在池中处于悬浮状态,在水流的作用下能缓慢翻转使堵塞物上浮得以清除。在絮凝池底部合理设置排泥区,由于涡流反应器内含有悬浮泥渣,因此可以将涡流反应器之外的泥渣排尽。选用不同表面开孔直径与开孔率的涡流反应器来控制过孔流速以达到较好的紊流程度,同时进行不同开孔直径安装组合,这是涡流反应器取得较好混凝效果的技术关键。

虽然采用涡流反应器后混凝效果较好,但也必须是在合理投药量的前提下才有较好的脱稳效果。由于流量提高了近一倍,絮凝、沉淀池停留时间大大缩短,过滤速度提高,因此必须更加严格要求操作和管理,特别是对投药量的控制更要注意。如果能实行自动投药则涡流反应器的混凝效果会更加明显。在调试过程中观察发现,必须保持较长时间的稳定

流量运行,微涡流絮凝才能达到最佳效果。这是因为在稳定流量运行时,涡流反应器内部会逐渐积累泥渣,以充分发挥接触絮凝(吸附)作用。该水厂改造后运行一直稳定,出厂水浊度基本保持在 0.5 NTU 以下。

4 后记

2003 年夏天询问水厂的运行情况,反映运行良好。由于实际用水量的关系,平时每组构筑物产水量约为 7 万 m^3 ,滤前水浊度基本保持在 3 NTU,出厂水水质优良。但当产水量长时间在 9 万 m^3/d 运行时,由于平流沉淀池的水平流速太大,出水端会造成部分矾花被水流带走以致于出现滤前水浊度上升,滤池工作周期缩短的现象,为此将对涡流反应器技术作进一步的研究。

参考文献

- 1 严煦世主编. 给水工程. 第四版. 北京: 中国建筑工业出版社. 1999

○通讯处:200092 上海市同济大学环境学院 0101[#]
电话:13970871808
E-mail: zgong7212 @163. net
修回日期:2004-2-17

北京市《简易自动喷水灭火系统设计规范》 (送审稿)通过审查

2004 年 4 月 29 日,由北京市建筑设计标准化办公室负责组织,北京市公安局消防局和公安部天津消防科学研究所编制的《简易自动喷水灭火系统设计规范》北京市地方标准送审稿,经专家审查通过。

该规范是对国家标准《自动喷水灭火系统设计规范》的补充。主要适用于新、改、扩建的民用建筑及已有建筑中含有或属于歌舞娱乐放映游艺场所,其室内净空高度不超过 8 m 且保护区域面积不超过 1 000 m^2 的湿式自动喷水灭火系统。

该规范规定了简易自动喷水灭火系统设计参数、系统组件和管道及喷头布置要求等。主编单位在规范中引进了 CPVC 管可用于该系统等多项新技术。

(本 刊)