

# 高效沉淀工艺在暴雨水处理中的设计要点

王芳

中国南水北调集团水网水务投资有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i5.16855

**[摘要]** 本文讨论了以Actiflo®为代表的高效沉淀工艺在暴雨水处理中的系统设计思路以及注意事项,并结合新加坡某樟宜污水回用厂雨水处理项目设计,介绍了Actiflo®工艺在实际暴雨水处理项目中的设计参数、总图布置情况、运行策略与长期停机维护经验,并提供了长期停机程序和维修清单,以便为类似设计提供参考。

**[关键词]** 高效沉淀工艺; 暴雨水处理; 设计

**中图分类号:** TV122+.1 **文献标识码:** A

## Key Design Points of High-Efficiency Sedimentation Tanks in Stormwater Treatment

Li Wang

China South-to-North Water Diversion Group National Water Network Investment Co., Ltd.

**[Abstract]** This paper discusses the system design concepts and key considerations of high-efficiency sedimentation processes represented by Actiflo® in stormwater treatment. Combined with the design of the stormwater treatment project at a Changi Water Reclamation Plant in Singapore, it introduces the design parameters, general layout, operation strategies, and long-term shutdown maintenance experience of the Actiflo® process in practical stormwater treatment projects. It also provides long-term shutdown procedures and maintenance lists to offer references for similar designs.

**[Key words]** High-efficiency sedimentation process; Stormwater treatment; Design

### 1 总论

雨水,特别是初期雨水不经处理直接排入河道,将对河道生态造成很大影响<sup>[1]</sup>。这些雨水如果不经处理,直接进入河道将会成为严重的面源污染;而如果通过收集系统进入传统的污水处理厂,则较大的水量往往会超过水厂的处理能力,且会稀释污水浓度,影响系统的正常使用<sup>[2]</sup>。面对越来越严峻的水体考核要求,对暴雨水的处理越发迫在眉睫。

综合考虑进水水质、出水要求以及运行费用,混凝沉淀工艺被广泛应用于暴雨水处理中。而传统的混凝沉淀工艺,上升流速低、占地大、药剂用量大,不适用于暴雨处理的需求。基于以上原因,越来越多的高效沉淀工艺,特别是载体絮凝-沉淀工艺,被运用在暴雨水处理当中。同时,不同于常规市政污水处理,对于暴雨水处理的特别需求,还要求所选用工艺需要重点考虑以下几个需求:

**结构紧凑:** 因雨水处理系统平时并不启动,仅在雨季启用,所以需要尽量压缩占地。

**快速启动性能好:** 暴雨往往突如其来,需要系统有良好的快速启动性能。

**旱季维护方便:** 由于旱季不运行,需要对系统进行简单维护,保证设备完好,防止蚊虫滋生,工艺应维护方便。

**自动化程度高:** 系统应该根据不同工况自动调节运行参数  
**抗冲击性好:** 雨水水质波动大,需要系统具有良好的抗冲击性。

美国EPA对载体絮凝的定义是通过使用不断循环的颗粒和各种化学药剂强化絮体吸附从而改善水中悬浮物沉降性能的物化处理工艺。其工作原理是先向水中投加混凝剂,使得水中的悬浮物形成胶体,然后加入高分子助凝剂和密度较大的载体颗粒,使脱稳后的杂质可以以载体为絮凝核,快速生成密度较大的矾花,从而大大缩短沉降时间,提高表面负荷,并有效应对冲击负荷<sup>[3]</sup>。其最具代表性的工艺包括由得利满公司开发的DensaDeg®工艺,和OTV-Kruger(威立雅水务集团工程子公司)开发的Actiflo®工艺。根据Landon等人进行的为期三个月的平行中试测试,Actiflo®工艺与DensaDeg®工艺均具备较好的处理表现,较短的停留时间,以及较好的启动特性。

### 2 Actiflo®工艺介绍

Actiflo Turbo®工艺与传统的水处理技术(混凝、絮凝和沉淀)原理很相似,都是使用混凝剂脱稳,高分子絮凝剂聚集悬浮物,斜板(管)沉淀去除悬浮物。Actiflo Turbo®工艺的改进是加入了Actisand®作为形成高密度絮体的“种子”和压载物,絮体从而具有较大的密度而更容易被沉淀去除。

采用此种工艺,只需要6~8分钟就可以完成混凝和絮凝,只需要少于10分钟的沉淀就可以获得良好的处理水水质。

**混凝池:**原水中引起浊度的自然微粒是带有负电荷,并且互相排斥,从而形成了高度稳定状态。为了去除它们,首先要对这些微粒进行脱稳,这个过程需要混凝剂的投加(如:聚合氯化铝、硫酸铝或氯化铁)。混凝的动力学过程非常短,铝盐和氯化铁投加到混凝池后,借助搅拌能量可实现快速且完全的扩散。

**絮凝池:**絮凝阶段的作用是为了形成大的絮凝体。絮凝是一个物理机械过程,该过程由于分子间的作用力和物理搅拌作用而增强絮凝体的生长。阴离子高分子电解质的投加可以通过吸附以及电性中和颗粒之间的架桥作用来提高絮凝体生成效率。

加速絮凝的核心组件包括:

导流筒,目的是获得好的絮凝效果;

布置在导流筒上部的防短流挡板;

布置在导流管下的横挡。

加速絮凝有很多优点:

更好的利用絮凝池的容积;

更高的水泵流速;

抑制扰动的发生;

更有效的聚合物的混合;

可以提高推进器的速度,而不会产生扰动。

**微砂(Actisand®)**投加到絮凝池中并持续循环。Actisand®的主要作用如下:

Actisand®具有较高比表面积,可作为絮体形成的种子;

Actisand®和聚合物提高了颗粒的捕捉,从而形成大和稳定的絮体;

与传统工艺相比,使用Actisand®形成的絮体具有较大的密度和较高的稳定性;

较高的上升流速使 Actiflo®工艺的占地面积显著减小,大幅降低了建筑成本;

高浓度的Actisand®极大的改善了原水的水质;

Actisand®不会发生化学反应,可以从污泥中分离并循环使用。

与传统的Actiflo®不同,Actiflo Turbo®的最大特点就是在絮凝池中引入了被称为Turbomix®的水力调整系统,Turbomix®系统由淹没式的导流桶,位于导流桶上方的漏斗状整流器,位于导流桶内部的机械搅拌装置和搅拌装置底部的整流系统组成,另外,在导流桶和池体之间还装有导流板,防止在絮凝池内形成涡流和短流。导流桶的存在优化了搅拌装置的运行条件,防止了因水流的变化造成的搅拌装置机械疲劳或损坏的发生,同时,良好的流态也提升了搅拌装置的工作效能,与传统的Actiflo®相比,Actiflo Turbo®搅拌装置的排液效果提升了25%以上,因此,Actiflo Turbo®的搅拌装置更为小巧,节省了设备成本,降低了运行能耗。

**沉淀池:**沉淀效果的提高是基于:

微砂的应用使矾花加重;

斜板的逆流系统。

在絮凝后,水进入沉淀池的底部然后从斜板底部通过斜板间形成的通道向上方流动。颗粒和絮体沉淀在斜板上并由于重力的作用滑下。由于较大的上升流速和斜板的60度倾斜可以形成连续自刮的过程,所以在斜板上很难发生絮体的积累。由于沉淀区上游具备良好的混凝和絮凝效果、斜板与沉淀池的设计及材料经过优化、絮凝池产生的矾花密实且易沉淀,再加上沉淀池内污泥收集区的独特设计,大部分污泥在未进入斜板区前已沉积至Actiflo Turbo®沉淀池底部,斜板不会像现有沉淀池那样容易产生堵塞。因此,Actiflo Turbo®沉淀池的斜板不需要经常的冲洗。

**沉淀后水的收集**

上清液由分布在斜板沉淀池顶部的集水槽收集。

**微砂和污泥的排除**

微砂加速沉淀的污泥沉淀在斜板沉淀池的底部。旋转刮泥机把沉淀的微砂和污泥混合物刮向中心坑中。微砂污泥循环泵连续抽取集中在底部的污泥以防止堵塞。

**微砂和污泥的分离**

循环泵把微砂和污泥输送到水力分离器中。在离心力的作用下,微砂和污泥进行分离:微砂从水力分离器下部流出并再次投入絮凝池,污泥从上部分溢出被送往污泥处理系统。

**斜板清洗系统**

运行一定时间后,需要清洗斜板。清洗周期由水质而定。为了减少停产冲洗的频率,在斜板下安装空气冲洗系统,释放出的气泡产生的振动可以剥离斜板上的污泥。

该系统的优点如下:

该系统为在线清洗,无需停产运行;

分段逐步清洗,因此在清洗过程中,对沉淀出水水质没有明显的影响。

### 3 案例介绍: Actiflo®用于新加坡樟宜污水回用厂暴雨水处理

众所周知,新加坡是一个热带岛国,温度常年保持在23℃~31℃之间,温差很小,雨量充足,空气湿度高。作为国际知名“花园城市”,新加坡地域虽狭小(国土面积为699.1km<sup>2</sup>)人口密度高(约520万人),但绿化面积巨大,拥有10325公顷,绿地率为50%,人均公共绿地面积为2m<sup>2</sup>,森林覆盖率为30%。历史最大年降水量为3452mm,最小为1484mm,多年平均为2355mm;日平均相对湿度为85%。12月是降水量最高的月份,月平均降水量达280mm。

樟宜污水回用厂(Changi Water Reclamation Plant,简称CWRP)是新加坡最大的污水处理厂。其日处理量为80万吨,污水来自新加坡DTSS工程(Deep Tunnel Sewerage System)。除了污水处理,它的出水同时还要供给两个NEWater水厂。为了应对2030年的用水需求并提升CWRP对于暴雨水的处理能力,当地政府决定新增加日处理量20万吨的高效处理系统(HRC-High Rate Clarification System)。

业主根据长期的统计数据,确定了进水水质与出水标准,并要求整个系统需要考虑在N-1的条件下可以处理全部的水量,即有一条处理线备用。

表3-1 进水水质及出水水质要求

进水水质					
指标	单位	2% ile	5% ile	50% ile	95% ile
TSS	mg/L	146	161	214	272
BOD <sub>5</sub>	mg/L	153	165	219	273
COD	mg/L	370	404	497	591
TKN	mg/L	32	34	42	49
NH <sub>3</sub> -N	mg/L	23	25	31	38
TP	mg/L	3.5	3.9	5.3	6.9
碱度(以 CaCO <sub>3</sub> 计)	mg/L	136	141	170	200
出水水质要求					
指标	要求				
TSS	> 85% 进水TSS去除率				
BOD <sub>5</sub>	> 55% 进水BOD <sub>5</sub> 去除率				

在2015年底新加坡DTSS EP21项目包竞标中, Actiflo®工艺凭借优势成功击败其他工艺, 最终中标。在中标方案中, 威立雅提出使用4组平行Actiflo® Turbo处理单元的解决方案, 并有针对性地优化了设计参数。同时, 考虑到当地业主对自控的严格要求, 处理单元配套的加药系统、微砂投加系统、斜板清洗系统等子系统均实现了远程控制, 使得整个系统可以全自动化运行, 显著降低了运维劳动强度。

考虑到当地的实际情况, 设计时特别制定了以下运行策略:  
旱季时系统转入“长期停机”状态;

雨季来临前将系统转入“待机”状态;

随着雨量的增大, 逐个启动处理单元到“运行”状态, 降低运行费用;

针对各处理单元的运行情况, 由中央控制系统自动分配处理单元与各备用设备的运行时间, 延长系统使用寿命。

系统如需从长期停机状态切换至待机状态, 可按照下列步骤执行, 整个过程可在2~3小时内完成:

使用正常停机程序停止系统(15分钟);

运行斜板自动冲洗程序(5分钟);

执行斜板手动冲洗程序, 水位在此过程中会逐渐降低(60分钟);

通过变频器减慢絮凝池搅拌器速度(5分钟);

排空絮凝池, 并使用高压水清洗池壁(20分钟);

放空沉淀池(45分钟);

在絮凝池中投加次氯酸钠, 直到余氯达到20mg/L。

在长期停机期间, 需要对阀门、管线、仪表、搅拌器、刮泥机、循环泵进行定期维护。在正常情况下, 每周仅需0.5小时即可完成所有的维护工作。同时, 需要每天检查一次絮凝池余氯, 当余氯浓度低于1~2mg/L时, 需要向絮凝池中补充次氯酸钠。

主要设计参数见下表3-2所示。

系统如需从长期停机状态切换至待机状态, 可按照下列步骤执行, 可在2~3小时内完成切换。

关闭所有阀门(15分钟);

打开进水闸板阀并将所有水池充满(30分钟);

将循环泵密封压盖螺丝复位(30分钟);

打开循环泵隔离阀(15分钟);

所有设备通电(10分钟);

将pH计探头从储存液中取出并安装到位(15分钟);

将系统置于“自动AUTO”或“手动MANUAL”模式(30分钟)。

表3-2 主要工艺参数

	描述	技术参数
1	工艺选择	Actiflo® Turbo
2	处理线数量	4组
3	每条处理线处理能力(平均)	50 MLD (2,083 m <sup>3</sup> /h)
4	每条处理线处理能力(峰值)	67 MLD (2,792 m <sup>3</sup> /h)
5	絮凝池	
	宽×长	4 m×4 m
	水深	6 m
	超高	0.8 m
	最小水力停留时间	2 min
6	絮凝池	
	宽×长	5.5 m×5.5 m
	水深	6 m
	超高	0.8 m
	最小水力停留时间	4 min
7	沉淀池	
	宽×长	8.5 m×8.5 m
	水深	5.5 m
	超高	0.8 m
	最小水力停留时间	>7.8 min
	刮泥机直径	8.5 m
8	斜板	
	每个处理单元斜板模块数量	72
	最大上升流速	65.8 m/h
	材质	ABS
	倾斜角	60°
	斜板间距	80 mm
	每单元沉淀区有效面积	40.25 m <sup>2</sup>
9	微砂循环系统	
	水泵形式	离心泵
	每单元循环泵数量	2台
	流量	90 m <sup>3</sup> /h
	污泥浓度	2.2-4.9 g/L

#### 4 结语

随着环保意识的不断加深, 业界对于暴雨水处理越来越重视。高效沉淀池用于暴雨水处理时, 需结合该应用场景的特点, 选择结构紧凑、快速启动性能好、自动化程度高、抗冲击性强的工艺; 同时, 还需制定完善的运行维护策略, 才能确保系统达到预期效果。

#### [参考文献]

[1]周传庭,王梦玉,幸韵欣,等.城市初期雨水污染及处理措施的研究进展[J].净水技术,2022,41(7):17-26.  
[2]王淑梅,王宝贞,曹向东,等.对我国城市排水体制的探讨[J].中国给水排水,2007,23(12):16-21.

[3]United States Environmental Protection Agency.(n.d.). Wastewater technology fact sheet: Ballasted flocculation.

#### 作者简介:

王芳(1988—),男,汉族,四川营山人,硕士,工程师。研究方向: 水处理、水务运营管理。