

城镇给排水工程设计案例专栏

张家铭, 韩庆祥, 奚影影, 等. 水厂沉淀池改造方法与应用分析[J]. 净水技术, 2021, 40(4):106-115.

ZHANG J M, HAN Q X, XI Y Y, et al. Reconstruction methods and application analysis of sedimentation tank in water treatment plant [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(4):106-115.



扫我试试?

水厂沉淀池改造方法与应用分析

张家铭, 韩庆祥, 奚影影, 张云海

(山东建筑大学市政与环境工程学院, 山东济南 250101)

摘 要 针对传统沉淀工艺在水厂运行中存在的问题,通过总结沉淀池改造成功案例,得出改造方案。完善进水区以降低进水流速,提高布水均匀性;通过延长排泥车行程等方式改造排泥系统以解决“跑矾”现象;针对不同的水质问题,可考虑平流-斜管组合池、浮沉池、水平管沉淀技术等来提高水处理效果。通过进水口、排泥系统以及沉淀池型3方面改造可有效提高沉淀池进水稳定性,解决排泥不畅的问题,增强对低温低浊水以及含藻水的适应性。在未来,沉淀池改造仍应以进水口、排泥系统以及沉淀池型3方面改造为主,并适当借鉴国外的高效沉淀技术,以提高对原水的处理效果。

关键词 水厂 沉淀池改造 进水口 排泥系统 池型选择 应用

中图分类号: TU991.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-0177(2021)04-0106-10

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2021.04.020

Reconstruction Methods and Application Analysis of Sedimentation Tank in Water Treatment Plant

ZHANG Jiaming, HAN Qingxiang, XI Yingying, ZHANG Yunhai

(College of Municipal and Environmental Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China)

Abstract Aiming at the problems existing in the operation of the traditional sedimentation process in the water treatment plant, the specific reconstruction scheme is proposed based on the analysis of successful cases about sedimentation tank reconstruction. The inlet zone is improved to reduce the inlet velocity and enhance the uniformity of water distribution. By extending the track of the sludge discharger, modify the sludge discharge system to solve the phenomenon about upward floating of alum particle. For different water quality problems, horizontal-flow inclined-tube sedimentation tank, floatation sedimentation tank and horizontal tube sedimentation technology can be considered to improve the water treatment effect. The improvement of inlet, sludge discharge system and sedimentation tank type can effectively enhance the stability of inlet flow, solve the problem of non-smooth sludge discharge and strengthen the adaptability of low temperature turbidity and algae-laden water. In the future, the reconstruction of sedimentation tank should be mainly carried out in three aspects: inlet, sludge discharge system and sedimentation tank type, and the efficient precipitation technology from abroad should be used for reference to improve the treatment effect of raw water.

Keywords water treatment plant(WTP) sedimentation tank reconstruction water inlet sludge discharge system settler choosing application

[收稿日期] 2020-09-14

[作者简介] 张家铭(1997—),男,硕士,研究方向为水处理理论与技术,E-mail:zjm9725@163.com。

[通信作者] 韩庆祥(1963—),男,副教授,研究方向为水处理理论与技术,E-mail:499267813@qq.com。

1 沉淀技术发展及技术特点

沉淀池是水厂常规处理工艺的核心处理单元,通过沉淀可以去除原水中80%~90%的颗粒。沉淀技术在20世纪初便与混凝、过滤、消毒一起成为饮

用水处理的常规净水技术,并作为主要的饮用水处理工艺沿用至今。

早期建设的水厂多采用平流沉淀池,池体构造简单,为方形水池,常与絮凝池合建,采用穿孔花墙配水,机械排泥机排泥,指形集水槽集水,操作管理方便,对原水浑浊度的变化有较强的适应性。《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—1985)要求出厂水浑浊度不大于 3 NTU,平流沉淀池的出水浑浊度一般可以控制在 5 NTU 以下。建成超过 20 年的老水厂多采用平流沉淀池,出水浑浊度基本满足要求。

在 20 世纪 70 年代—80 年代,为了提高水厂工程投资效益,提高处理效果,出现了经济高效的净水工艺,如斜管沉淀池、斜板沉淀池、气浮池等快速澄清工艺^[1]。斜管(板)沉淀池具有占地面小、沉淀效率高的特点,常用于中小型水厂。沉淀效率如式(1)。

$$E = \frac{u_0}{Q/A} = \frac{u_0 A}{Q} \quad (1)$$

其中: E ——悬浮颗粒在理想沉淀池中的去

除率;

u_0 ——理想沉淀池的截留沉速, m/s;

Q ——沉淀池进水流量, m³/s;

A ——沉淀池水面的表面积, m²。

由式(1)可知,斜管(板)的设计参数、斜管(板)区的高度、清水区及配水区的高度等都对沉淀效果造成影响。斜管一般多采用断面为六边形的蜂窝斜管[图 1(a)],也有应用研究发现,使用 U 型斜管[图 1(b)]对传统蜂窝斜管进行改造后,出厂水浑浊度降低了 32.2%^[2]。斜管或斜板的倾斜角度宜为 60°,斜管管径宜为 25~40 mm,黄廷林等^[3]通过研究发现,斜管管径对布水的均匀性影响较大,随着管径的增大,布水不均匀程度增加。张慧等^[4]发现,在同一上升流速条件下,斜管管径越小,对应的絮体沉速越小,能截留的颗粒便越多,考虑到经济性,建议斜管最小管径取 DN30,斜板板距宜为 80~100 mm。《室外给水设计规范》(GB 50013—2018)规定,斜管沉淀池清水区高度不小于 1.2 m,底部配水区高度不小于 2.0 m。清水区与配水区的高度过低均会对出水水质造成不同程度的影响。

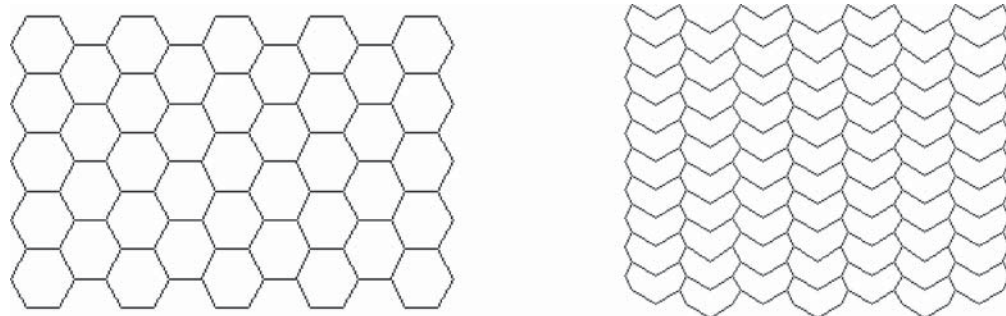


图 1 斜管断面示意图^[2] (a)蜂窝斜管断面示意图;(b)U 型斜管断面示意图

Fig. 1 Schematic Diagram of Inclined Tube Section^[2] (a) Schematic Diagram of Honeycombed Inclined Tube Section; (b) Schematic Diagram of U Inclined Tube Section

平流沉淀池利用颗粒与水的密度差在沉淀区进行重力分离作用,斜板(管)沉淀池通过在沉淀区加入斜板及斜管装置,使沉距缩短,水力半径减小,从而提高沉淀效率。斜板(管)沉淀池的出现给平流沉淀池的挖潜改造提供了选择。斜板沉淀池水流方向分为上向流、下向流及侧向流 3 种,3 种流向的应用特点如表 1 所示。斜管装置与斜板装置工作原理相同,但斜管水力半径更小,因此,应用沉淀效果更好,水厂中常用上向流斜管沉淀池。

理想沉淀理论认为,悬浮颗粒的去除率只与沉

淀池的表面负荷有关。在沉淀池实际运行中发现,颗粒沉淀过程距离理想沉淀理论存在较大的差距。平流沉淀池中水流的雷诺数 Re 一般为 4 000~15 000,属于紊流状态,此时水流除水平流速外,尚有上、下、左、右的脉动分速度,且伴有小的漩涡体,引起水中杂质颗粒沉降困难。沉降受阻的颗粒体在水中运动的过程中也会造成水流的紊动,带来更多小漩涡体。水流的紊动还会导致已经沉到底部的颗粒被扰动而重新返回水中,甚至随出水进入到滤池中,出现沉淀池出水浑浊度大于进水浑浊度的现象。

表 1 3 种流向的斜板沉淀池的比较
Tab. 1 Comparison of Three Inclined Tube Sedimentation with Different Flow Direction

沉淀池类型	上向(异向)流斜板沉淀池	侧向流斜板沉淀池	下向(同向)流斜板沉淀池
液面负荷/($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$)	5~9	6~12	30~40
颗粒沉降速度/($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$)	0.3~0.6	0.16~0.3	8.3~11.1(截留沉速)
优点	水和泥的运动方向相反,便于水与泥的收集	水和泥的运动方向相互垂直,泥水分离效果好	泥流与水流同向,有助于泥的下滑;可大大提高表面负荷
缺点	当斜管内水流上升流速较大时会影响颗粒下沉,导致斜管堵塞	水流易不经过斜板部分通过,使水流分配与收集不均匀,需设置阻流墙	不能解决好泥水分离问题,清水不能稳定有效收集,需要在斜板内设置单独的集水装置,该装置易被堵塞

20 世纪 80 年代至今,随着城市建设与社会经济的高速发展,水源水污染问题加剧,水体富营养化情况越来越普遍。受工业废水及生活污水排放的影响,江河水呈现有机物及氮磷、色度超标的现象,水库水表现为藻类暴发,水源中各种有毒有害物质检出频繁。现行《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)对出厂水浑浊度的要求提高至 ≤ 1 NTU,均给传统水处理工艺带来极大冲击和水质安全风险的挑战。水体中藻类及有机物等会影响絮凝沉淀效果,天然有机物如腐植质等是消毒副产物前体物,易经氯化消毒生成具有“三致”作用的消毒副产物。北方水库水体在每年有 5~6 个月的时间呈现低温低浊现象,低温低浊水的处理一直是水厂管理中最棘手的问题之一。面对越发复杂的水质状况,平流沉淀池、斜管沉淀池等传统沉淀工艺表现得力不从心。作为水厂出水质量控制的关键点,沉淀效果不达标会严重影响后续滤池的运行状况,造成滤池堵塞,使出厂水水质恶化,对于沉淀工艺的改造势在必行。

2 沉淀池改造的主要要求与方法

沉淀池要想获得良好沉淀效果需要满足以下几点要求。

(1)在进水端尽量保持流态平稳,防止流态紊动造成絮体破碎、颗粒下沉受阻的现象。

(2)保持排泥系统稳定,及时排泥,避免堆积的积泥重新返回沉后水。

(3)针对水体中含藻、低温低浊以及微污染现象,要选择合适的池体来应对颗粒沉淀困难的问题。

因此,沉淀池的改造应从进水、排泥以及池型方面着手。

2.1 沉淀池进水区

沉淀池的进水区作用是使水流尽量做到在整个

进水断面上均匀分布,并减少扰动,避免已形成的絮体破碎。沉淀池的进口一般采用穿孔墙布置,孔眼直径一般在 100 mm 左右。水流经过穿孔墙孔眼的流速一般为 0.08~0.10 m/s,较池中水流速 3~20 mm/s 高出很多,所以进池水流有很大的动能,能在池内持续很长距离(数十 m)才会消失。这种射流加剧水的紊动,从而影响沉淀效果。范翊等^[5]通过研究总结良好沉淀池运行参数发现,当配水区起端水平流速控制在 0.010~0.018 m/s 时能够取得较好的沉淀效果。另有研究显示,沉淀池起端水平流速较高时,沉淀池出水水质对表面负荷及积泥深度的变化会很敏感。

为保证均匀配水,陕西省延安市某县城水厂在改造中对沉淀池前端整流段进行了改造,改造了传统的配水花墙,在过渡段末端隔墙上设置上疏下密的配水孔,配水孔不均匀的布置形式使反应池形成的矾花较为密实且不易破碎,改造后,沉淀池始端水平流速达到 12.73 mm/s,起到较好的稳流效果^[6]。在乌金塘水源设计中摒弃了传统穿孔花墙的进水方式而采用了淹没堰整流布水方式,在过渡段末端隔墙上设置了 1 m 高的条形进水孔^[7]。进水孔由于面积较大,过孔流速小,不会引起水流扰动沉底颗粒,保证了进水水质稳定,该布水方式如图 2 所示。岳阳市自来水制水二厂在平流沉淀池进水口设置竖条格栅墙面以防止絮体破碎,使水流能够均匀地分布在进水截面上^[8]。莱芜市某水厂在斜管下部的配水区沿池长设置穿孔管配水,如图 3 所示^[9]。由于在水流方向穿孔管会存在一定的水头损失,为防止不同位置的孔口出流量不同,保证均匀配水,在穿孔管上采用了变间距布孔的方式,单池设 52 根配水管,并根据孔间距不同将管道均分为 3 段,最前段孔间距 220 mm,中间段孔间距 146 mm,末段孔间距

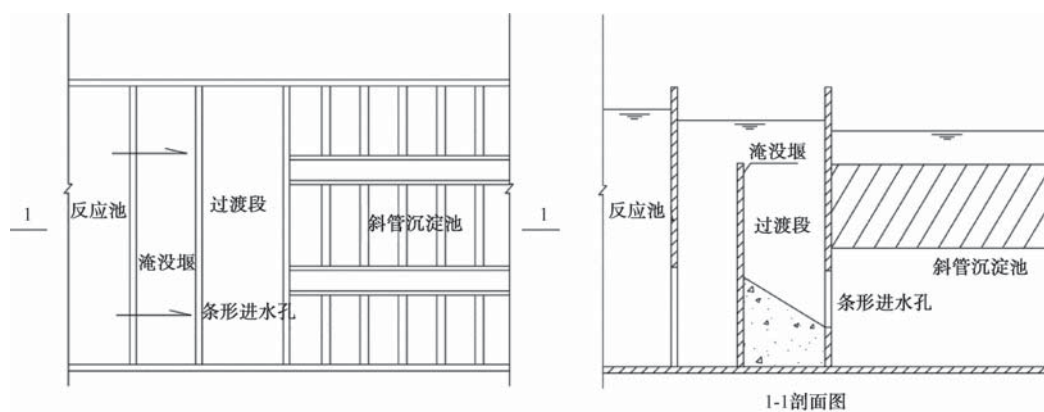


图2 淹没堰整流布水方式示意图^[7]

Fig. 2 Schematic Diagram of Rectifying Water Distribution Mode for Submerged Weir^[7]

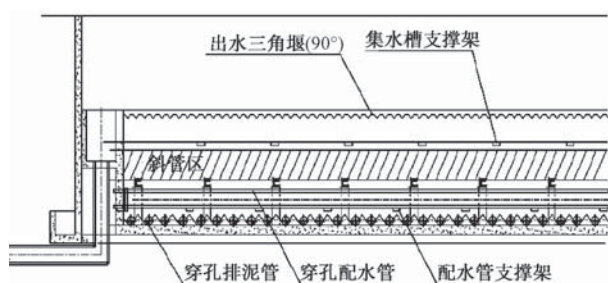


图3 沉淀池构造示意图^[9]

Fig. 3 Schematic Diagram of Sedimentation Tank Structure^[9]

110 mm,使沿整个池长方向都基本达到了配水均匀性。

综上所述,尽管配水花墙在沉淀池进水口设计中应用广泛,为了保证配水均匀,提高沉淀效果,许多水厂在沉淀池进水口改造中做了新的尝试,其根本原理是通过降低进水流速来提高布水的均匀性。

2.2 沉淀池排泥

水厂在沉淀池运行中常面临由于排泥处理不当导致的排泥系统堵塞问题,造成沉淀池内积泥越来越多,严重时不得不停产排空池水进行人工冲洗排泥,浪费了大量冲洗水,而且影响了用户正常用水。

沉淀池积泥对水沉淀池造成的危害具体包括以下几点。

(1)沉淀池内积泥过高降低了沉淀池有效深度,影响配水均匀性。

(2)已经经过沉淀去除的颗粒重新返回沉淀池中使出水浑浊度升高。

(3)未及时排出的沉泥中有机物及微生物的降解过程会产生异味,严重影响出水质量。

因此,有必要对沉淀池排泥系统进行优化改造,

以提高沉淀池出水水质。

2.2.1 平流沉淀池排泥系统改造

在平流沉淀池运行过程中常见积泥死区,积泥位置主要包括沉淀池池底、进、出水端底部、集水槽下部及配水墙附近等。如不对积泥问题引起重视,沉积过高的泥粒会占用平流沉淀池的过水面积,提高水平流速,严重影响沉淀效果。

平流沉淀池最常见的排泥方式为机械排泥,采用机械排泥时可不设置排泥斗,充分利用沉淀池的容积。但由于排泥车行程有限,某些位置排泥车不能到达,该处形成排泥“真空”地带,造成池内局部位置积泥严重。

南方某水厂在运行过程中常观察到矾花上浮的现象,造成沉淀池的出水浑浊度比进水浑浊度高^[10]。经检查后发现,矾花上浮主要是受平流沉淀池积泥的影响。积泥主要存在于配水花墙进口处、出水末端、集水槽下部,这些位置都是排泥车吸口无法到达的地方,形成了排泥死角。由于配水花墙最下部的孔口距离池底只有1 m,配水花墙进口处堆积的污泥会影响配水,集水槽下部及沉淀池出口处的积泥是导致矾花上浮的主要原因。该水厂的排泥改造措施如下。

(1)加长排泥车路轨以延长排泥车吸泥范围。

(2)在配水花墙最下部孔口处至池底设置斜坡,斜坡角度为59°,坡面采用光滑瓷砖铺砌,使沉泥能够沿斜坡滑下至距离吸泥口更近的位置。

(3)在配水花墙墙底钻孔,埋设DN25的塑料管,水流可通过塑料管将沉泥推至吸泥口附近。

(4)集水槽下部的支撑柱之间加筑斜坡,角度

为 65° , 使该部分的沉泥能够滑到排泥车吸泥区内被排泥车吸走。

(5) 在排泥车吸泥口挂泥板增加胶片, 吸泥口使用鸭嘴形不锈钢嘴。

改造后, 池底已经没有积泥现象, 出水水质较好, 浑浊度稳定在 1 NTU 以下。

南宁市三津水厂的排泥系统也遇到了相同的问题, 该水厂采用虹吸排泥机进行排泥, 由于排泥车行程有限, 沉淀池的进出水端约 1.5 m 的区域内成为吸泥“盲区”, 积泥严重, 高度可达 1 m, 最高处甚至可达 1.5 m^[11]。沉泥将配水花墙下的配水孔堵塞, 严重影响了沉淀池均匀配水, 减小了沉淀池过水断面面积, 造成沉淀池出水浑浊度升高。针对以上问题给出的排泥改造建议如下。

(1) 在沉淀池进水端配水花墙后设置小型潜水排污泵以清理进水端积泥。

(2) 在沉淀池出水端设置斜坡, 坡底长 1.5 m, 高 2.6 m, 坡面铺光滑瓷砖, 以便污泥随斜坡滑下由排泥机排走。

(3) 增设辅助排泥槽。

尽管选用不同的机械排泥设备, 但排泥改造都是通过延长排泥车的行程加大排泥范围, 在此基础上, 通过在排泥死角处设置潜污泵及光滑斜坡辅助排泥机排泥, 这样的改造效果切实可行。

2.2.2 斜管(板)沉淀池排泥系统改造

斜管(板)沉淀池较平流沉淀池有更高的沉泥效率, 因此, 其积泥速度更快。斜管(板)沉淀池常用 V 型槽穿孔排泥管进行排泥, 若排泥不及时或者排泥效果不好会导致沉泥堵塞排泥管孔口, 造成沉泥严重积压, 从 V 型槽溢出上升至配水区, 最后涌入斜管, 使斜管自重增加, 严重时会使支撑斜管装置的托架, 造成斜管坍塌。江苏某化纤公司给水厂曾发生斜管倒塌现象, 原因是排泥不及时, 污泥越积越多直至大量涌入斜管内致使斜管负荷增大^[12]。进入斜管中的絮体会继续与斜管中的上升水流接触, 截留水中的小颗粒从而长成更大的絮体落在斜管上。其中一部分絮体会沿着斜管沉淀至积泥区, 而另一部分会附着在斜管表面, 形成絮状泥层。泥层的形成会使斜管面积减小, 管内流速上升, 当斜管流速过大时会影响斜管内颗粒下沉, 改变颗粒沉淀方向, 使颗粒随上升水流至亲水区后沉积在斜管顶端, 运行 3~5 d 后斜管上部即被一层厚厚的积泥覆

盖^[13]。这种斜管上部的绒状积泥现象十分普遍和严重, 有时积泥会堆积至集水槽淹没出流孔口处, 严重影响出水水质。

从各地水厂的工程实例中可见, 造成斜管沉淀池排泥情况差的原因主要包括以下几方面。

(1) 原水中藻类等大颗粒异物较多易堵塞穿孔排泥管。

(2) 穿孔排泥管上的开孔孔径较小。

(3) 穿孔排泥管采用钢管、铸铁管等管材, 其内壁粗糙, 摩擦阻力较大, 易引起堵塞。

(4) V 型槽夹角偏小, 槽板阻力较大, 导致污泥下滑困难。

潮州市自来水公司城北水厂的斜管沉淀池沉淀效果不理想, 沉淀池出水浑浊度常年在 10 NTU 以上^[14]。针对排泥系统中存在的问题, 将穿孔排泥管由原 DN200 钢管改成 DN300 UPVC 管, 在增大排泥管断面的同时减小阻力系数, 孔眼直径由 $\Phi 32$ mm 改为 $\Phi 40$ mm, V 型槽板倾角由 47° 改为 $55^\circ 30'$ (图 4), 利于污泥下滑, 同时, 将配水区高度增高 0.2 m, 增加配水容积。改造后基本解决了池底积泥的现象, 减少了排泥耗水量, 出水浑浊度保持在 3 NTU 以下。扬州市自来水总公司第三水厂于 2000 年进行了排泥系统改造, 将孔眼由原 $\Phi 20$ mm 间隔 250 mm 于管底两侧呈 45° 交叉布孔改为 6 个集中排泥口, 孔口口径由 $\Phi 40 \sim 80$ 等距布设, 孔口向上, 直接与排泥槽下口对接, 排泥槽倾角由 54° 改为 58° , 污泥沉入排泥槽后可顺槽板坡面直接进入孔口由排泥管排出 (图 5), 穿孔排泥管由原 DN150 钢管改为 UPVC 管以减小管内阻力系数^[15]。漏斗式集中管口排泥的方式达到了预期的改造效果, 提高了排泥效率, 解决了水厂积泥现象, 并将排泥周期由原先的 8 h 延长至 24 h, 出水浑浊度保持在 3 NTU 以下。桑植县自来水公司八斗溪水厂在扩大排泥孔口、更

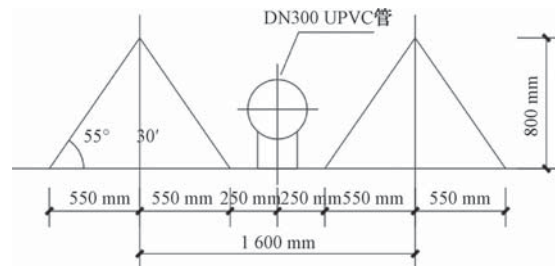


图 4 V 型槽示意图^[14]

Fig. 4 Schematic Diagram of V Type Groove^[14]

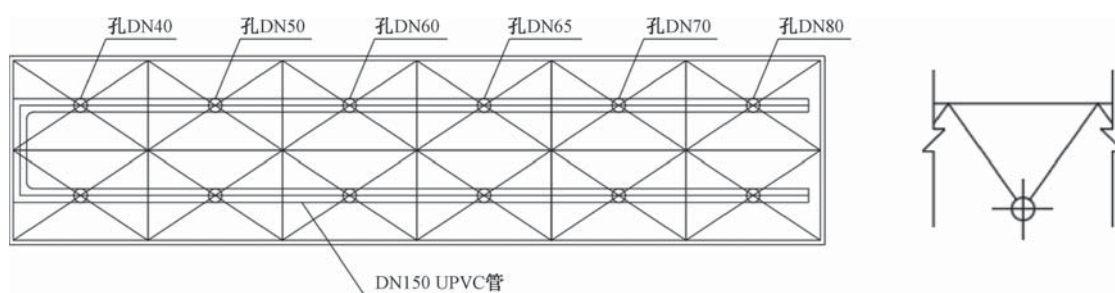


图5 排泥改造示意图^[15]

Fig. 5 Schematic Diagram of Sludge Discharge System Reconstruction^[15]

换排泥管材的基础上也将原有的 V 形槽改造为下口对应排泥孔口的漏斗式排泥,并将倾斜角度由 47°扩大至 50°并作光滑处理,经改造池底再无积泥现象,达到了预想中的改造效果^[16]。大丰水厂在排泥系统改造方案中提出,在穿孔排泥管上方 5 ~ 10 cm 内设置压力喷嘴^[17]。喷嘴均匀布设在一根 DN25 镀锌钢管上,在打开排泥阀前,先打开镀锌钢管上的进水阀使喷嘴出水搅动冲刷 V 型槽内泥层,水流冲击会松动排泥管孔眼附近的污泥颗粒,使污泥含水率增加,提高污泥流动性。冲刷结束后污泥与污泥水一并进入穿孔排泥管内被排除池外,大大增加排泥效率。

2.3 沉淀池型的改进

平流沉淀池由于造价低,结构简单易维护等优点在我国得到广泛的应用,不少新建水厂的沉淀池首选仍是平流沉淀池。然而,平流沉淀池并非适用于所有水厂,考虑到目前原水中污染物的复杂程度以及用地紧张的严峻形势,平流沉淀池已经无法满足水厂的需求。许多水厂为了追求低成本而选择平流沉淀池,为了满足出厂水质要求不得不加大投药量提高沉淀效果,增加了药耗却并未取得理想的沉淀效果。沉淀池型的选择必须结合水量、水质条件、气候以及水厂占地面积等多种因素,合适的沉淀池型是确保沉后水质达标的关键因素。目前,许多老旧水厂都在保留原有池身的情况下对沉淀池进行了合理的改造及扩建,在避免拆除重建的高昂费用同时取得了较好的沉淀效果。

2.3.1 平流-斜管组合沉淀池的改造应用

平流沉淀池对原水的水质水量变化有很好的适应性,但沉淀效果不及斜管沉淀池;另一方面,平流沉淀池池身较长,根据水厂运行经验表明,颗粒有效沉降仅发生在前 1/4~1/3 段,后半部分对浑浊度去

除的促进作用不大。斜管沉淀池大大增加了沉淀面积,沉淀效率高,但其对水质水量的冲击负荷的适应能力差,管板易堵塞,同时对水力条件有比较严苛的要求。

平流-斜管组合沉淀池是将二者的优点进行放大,缺点进行互补的措施。其基本构造是将两池体进行组合,池体的前 1/4~1/3 段为平流沉淀池,后半部分安置斜管或斜板,也有水厂以池体的 1/2 处为界对两种池体进行组合^[18]。根据水厂运行经验,沉淀池前端沉泥较多。保定中法供水有限公司在平流沉淀池运行中发现,沉淀池底部的积泥以前 1/3 段最多,该段排泥浓度达到其他区域的 5~7 倍^[19]。平流-斜管组合池利用平流沉淀池对水质水量变化以及浑浊度的缓冲作用,使大量悬浮物在平流段沉淀下来,确保了后段的斜管沉淀池正常发挥其除浊能力,且不易堵塞。而平流沉淀池出水中未沉淀的轻小颗粒在进入斜管装置后会发生再次絮凝碰撞而沉淀,提高了沉淀效果,进一步提高出水的可靠性。平流-斜管沉淀池的组合还能够节省用地和资金,即有效地利用好水厂的用地规模,最大程度地发挥其沉淀功能。松江二水厂在水厂改造前使用平流沉淀池,池长 75 m,根据其对池长方向的浑浊度监测发现,在沉淀池进水 35 m 后浑浊度已很难发生变化,即平流沉淀池后 40 m 的浑浊度去除效率不高(图 6),很难再发挥作用^[20]。于是决定保留平流沉淀池的前 34 m,后接 20 m 的斜管沉淀区,剩余部分改造为上向流颗粒活性炭滤池以加强对有机污染物的去除。改造后组合池运行良好,由图 7 可知,该组合池的出水浑浊度稳定在 0.6~1.6 NTU,平均在 1 NTU 左右,达到了改造的目的。

西安市曲江水厂原采用斜管沉淀池,在应对原水低温低浊以及高浊现象时沉后水水质难以达

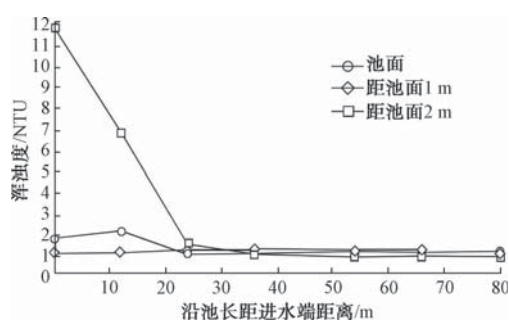


图6 改造前沉淀池纵剖面浊度分布^[20]

Fig. 6 Vertical Section Turbidity Distribution along Sedimentation Tank before Reconstruction^[20]

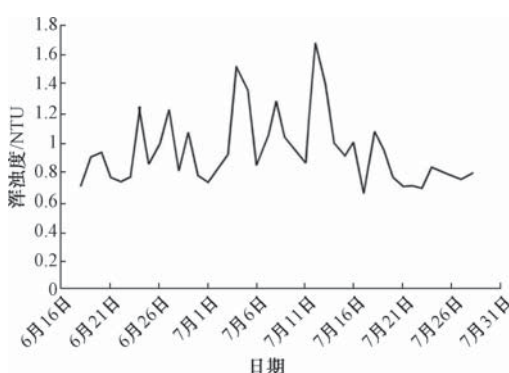


图7 改造后沉淀池出水浑浊度曲线^[20]

Fig. 7 Turbidity Curve of Sedimentation Tank Outflow after Reconstruction^[20]

标^[21]。原斜管沉淀池与絮凝池之间距离 37.2 m, 沉淀改造在该段长度内进行。在原有的斜管沉淀池前新建平流-沉淀斜管组合池, 其中平流段长 13.25 m, 新增斜管段长 23 m, 新增沉淀池宽度与原斜管沉淀池宽度尺寸一致, 两池合建。斜管段底部没有设置排泥槽, 采用全断面配水的方式, 仅在池底设置机械刮泥车, 于平流段进水端设 V 型泥斗, 刮泥车将池底的污泥刮至前端 V 型排泥斗内, 由穿孔排泥管排出。改造后, 沉淀池出水浑浊度常年保持在 2 NTU 以下, 出厂水浑浊度在 0.5 NTU 以下, 达到了改造目标。陕西延安市某县城水厂在每年冬春季节水源水呈低温现象, 每年汛期浑浊度升高, 斜管沉淀池处理困难, 因此, 采用平流与斜管相结合的沉淀形式^[6]。为提高净水效果, 在平流段与斜管段之间增设导流隔墙, 使平流沉淀段出水能顺利从斜管底部进入, 提高了斜管沉淀效率。沉淀池改造完成后的 3 年内, 定期对沉淀池出水浑浊度进行取样测定, 并与未改造的沉淀池出水浑浊度比较发现, 未改造的沉淀池出水平均浑浊度为 2.3 NTU, 而改造后沉淀

池出水浑浊度稳定在 1.3 NTU 左右, 沉淀出水 TOC 的去除效果也比原先提高了 6.08%, 同时原供水量由 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$ 提高至 $1.6 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{h}$, 沉淀效率大幅提高。

在我国沉淀池改造的选择中, 这两种池型的组合使用十分常见, 对低温低浊水及高浊水都有很好的处理效果。在排泥选择方面, 既可以选择排泥斗排泥, 是值得考虑的沉淀池改造选择。

2.3.2 浮沉池的改造应用

我国北方地区的地表水体受季节影响较大。每年冬春季节, 气温较低, 水体呈现低温、低浊现象, 由斯托克斯公式可知, 当水体呈现低浊现象时, 絮体颗粒松散, 密度接近水, 不易沉淀。低温影响时, 水的动力黏度系数增加, 再次给絮体沉淀造成困难, 藻类密度也接近于水, 在水中常呈现悬浮状。因此, 水厂的传统沉淀工艺很难处理低温低浊水以及水中的藻类, 经常引起后续滤池堵塞及出厂水质恶化的现象。

气浮池是通过释放大量微气泡, 使气泡黏附于细小颗粒及藻类表面, 造成气泡与颗粒结合体整体比重小于水而浮于水面, 最后由水面刮渣设备清除来实现固液分离的设施。气浮工艺针对藻含量较多的水体以及低温低浊水都有较好的处理效果, Valade 等^[22]的试验表明, 在原水温度为 $2.1 \sim 3.0 \text{ }^\circ\text{C}$, 浑浊度在 0.79~1.27 NTU 的情况下, 经气浮处理后滤池出水浑浊度为 0.01~0.07 NTU。但气浮池不适合处理高浑浊度水, 有研究表明, 当原水浑浊度大于 100 NTU 时已不再适合使用气浮工艺, 这使气浮池的应用受到限制^[23-24]。

浮沉池是把气浮与沉淀结合在一个池体内的构筑物, 通过在沉淀池中加入溶气释放装置, 使该池体集沉淀与气浮的功能于一体, 能有效根据进水浑浊度来灵活切换沉淀或气浮工艺。当冬天原水呈低温低浊、夏季藻类繁殖旺盛时, 可借助溶气释放装置释出的微气泡将难沉颗粒带至池体表面去除, 利用了该池的气浮功能, 当原水浑浊度较高时, 浮沉池按沉淀方式运行。浮沉池不仅对低温低浊及高藻水有很好的处理效果, 也能有效应对原水浑浊度突然升高的问题, 对原水水质变化有很强的适应性。目前常见的浮沉池如表 2 所示。

中山市南头一水厂原水取自西江, 浑浊度起伏变化较大且饱受藻类繁殖影响^[25]。原斜管沉淀池除藻效果差, 在斜管上部及滤池内藻类滋生, 严重影

表 2 浮沉池类型及特点的比较
Tab. 2 Comparison of Types and Characteristics of Flotation-Sedimentation Tank

浮沉池类型	池体结构	优点	缺点
平流气浮组合池	在平流沉淀池中加入溶气释放装置	构造简单,水流稳定	占地面积较大
斜管气浮组合池	斜管安置在气浮池之下,水先经过斜管进行沉淀,再进入气浮池进行气浮分离	水质处理稳定,管理方便	池深较大,构造复杂,斜管装置封闭在下部,不易观察和维护
斜管浮沉池	斜管沉淀(异向流斜管)装置与气浮装置放置在一个池内,可通过闸板来切换进水方式,沉淀与气浮各自运行,互不干扰	池体较小,能有效适应原水水质的变化	闸板体大笨重,启闭不便,且密封性不好时易漏水,给操作管理带来困难
侧向流斜板浮沉池	在气浮分离区加装侧向流斜板,气浮与沉淀在一个池内分别进行	池体较小、深度浅、设备简单;侧向流斜板不改变水流方向,水流稳定;表面负荷大,产水量高	集水区出现跑“矾花”现象,操作管理不便,排泥效果差,斜板板距较大,有待改善

响了斜管沉淀池及滤池的正常运行。针对这种现象,在升级改造中采用了斜管-气浮组合池。在池体进水口通过一个闸板灵活切换斜管沉淀池进水与气浮进水,在进水浑浊度较高时闸板上提,运行上向流斜管沉淀池,进水浑浊度较低且藻含量高时闸板下插,运行气浮池。通过交替运行两种工艺提高了对原水水质变化的适应性,改造后取得了较好的运行效果。秦皇岛海港水厂受藻类繁殖影响较大,滤池堵塞严重,影响了水厂产水量^[26]。该水厂在平流沉淀池进水区设置了两块挡板,第一块挡板距池底 10 cm,第二块挡板贴池底放置,于两块挡板之间在池底布设溶气释放器,该池体作气浮装置运行时,水从池底流入,与溶气释放器释放出的小气泡充分接触后经第二道挡板自上流入沉淀池。改造后除藻率达到 60% 以上,沉淀池出水浑浊度也较原先下降 2 NTU 以上,水厂供水量提高至 15 万 m³/d,达到了原先设计要求。类似地,阜阳市二水厂在平流沉淀池末端增设气浮池应对未来可能出现的微污染及低浊水质^[27]。调试期运行发现,气浮池出水浑浊度为 0.9~1.2 NTU,相对平流沉淀池出水下降了 2 NTU 左右(图 8),达到深度处理要求。济南玉清水厂在沉淀池末端增加气浮设备,气浮设备后接活性炭滤池,气浮功能在有效除藻的同时还可以起到充氧的作用,为后续活性炭滤池增加了溶解氧含量,更能充分发挥滤池的作用^[28]。改造后浮沉池的除藻率达到 92.54%,较原平流沉淀池提高了近 11%。

浮沉池结合了沉淀与气浮两种工艺,构造较为复杂,尤以添加了快速沉降系统的斜管(板)浮沉池为甚。王静超等^[29]通过研究发现,斜板的加入对浮

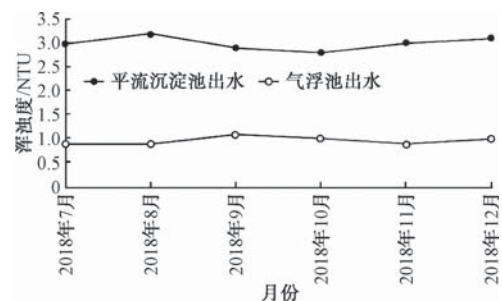


图 8 改造后平流沉淀池与气浮池出水浑浊度曲线^[27]
Fig. 8 Outflow Turbidity Curve of Horizontal Sedimentation Tank and Flotation Tank after Reconstruction^[27]

沉池的运行具有双重效应,且原水浑浊度越高,斜板装置带来的不利影响越大。孙志民等^[30]认为,气浮与沉淀不能兼顾,若要解决浮沉池存在的问题,需要首先满足气浮要求,再考虑沉淀池要求。因此,水厂在进行浮沉池改造时要特别注意设计参数的选择对运行效果造成的影响,确定首先满足气浮要求的主导思想进行设计,以实现浮沉池良好的运行效果。

2.3.3 水平管沉淀新技术的改造应用

珠海九通研发的水平管沉淀分离技术是将菱形截面的水平管束(图 9)水平放置在沉淀池内,使进水沿水平管呈水平方向流动,而沉泥垂直下降,通过管内开设的排泥口落至滑泥道滑出。水与泥都通过各自的通道行进,互不干扰,有效避免了斜管沉淀池泥水共用同一流道而引发的跑矾现象,解决了“浅池理论”中“排泥难”的问题。

水平管沉淀池具有平流沉淀池的优点,但又优于平流沉淀池。如表 3 所示,水平管沉淀池大大缩短了沉淀时间,提高沉淀效率,占地面积仅为平流沉

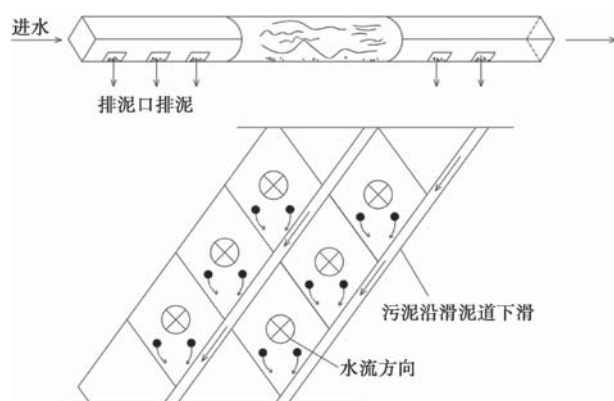


图9 水平管流态图

Fig. 9 Flow Diagram of Sediment Horizontal Tube

淀池的9%。陈球等^[31]通过水平管浑浊度冲击试验发现,进水浑浊度为10~144 NTU时,出水浑浊度为0.5 NTU以下,进水浑浊度为144~1 000 NTU时,出水浑浊度小于3.0 NTU,表明水平管沉淀池对进水浑浊度的抗冲击能力较强。在水平管对含藻类原水的去除试验中发现,水平管沉淀池对藻类同样有很好的去除效果,经过水平管沉淀池处理的含藻原水放置在烧杯中,于阳光充足处静置两个月都没有藻类滋生的痕迹,表明水平管沉淀技术可有效应用于低温低浊水及含藻类水的水质提升。

表3 平流沉淀池与水平管沉淀池工艺参数比较
Tab. 3 Comparison of Technical Parameters of Horizontal Sedimentation Tank and Horizontal Tube Sedimentation Tank

沉淀池	水平流速 $/(mm \cdot s^{-1})$	沉淀时间/min	长度/m	有效水深/m
平流沉淀池	10~25,一般取15	60~180	80~100	3~3.5
水平管沉淀池	7~14,一般取10	3~5	6~8	3~3.5

该技术在许多水厂改造中已经投入使用。淮安东方水厂拆除池体内原斜管沉淀装置后架设水平沉淀管,同时运行原有的斜管沉淀池与改造后的水平管沉淀池,取沉淀池出水进行浑浊度检测,结果如图10所示^[32]。由图10可知,在相同进水条件下,斜管沉淀池出水浑浊度平均值为7.2 NTU,而水平管沉淀池出水平均浑浊度为2.4 NTU,达到了改造预期。葫芦岛市老合台水厂原斜管沉淀池跑矾严重,沉后水浑浊度在10~15 NTU,无法满足出水要求^[33]。遵循着尽量减少对沉淀池主体改动的原则,用水平管装置取代斜管装置,并改造相应的集配水设备及排泥系统。改造后沉后水浑浊度稳定在3

NTU以下,并使处理水量达到了设计要求,有效满足该水厂“提质增量”的要求。

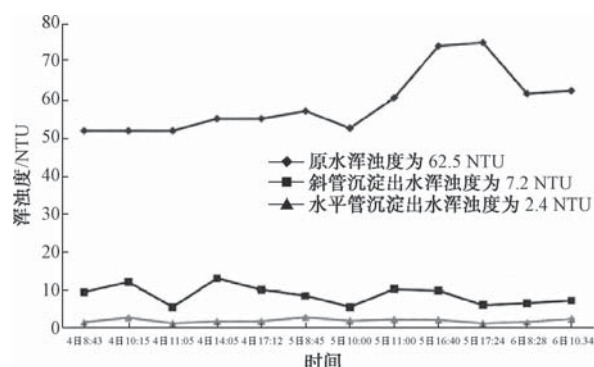


图10 沉淀池进水、出水浑浊度曲线^[32]

Fig. 10 Turbidity Curve of Inflow and Outflow of Sedimentation Tank^[32]

水平管沉淀分离技术经过试验与实际运行证明,其对原水的净化效果显著优于平流与斜管沉淀池,沉淀效率为平流沉淀池的9~25倍,是斜管沉淀池的3~5倍^[34]。改造成本较低,可充分利用原池体构造,工程量小,投资少,是值得考虑的水厂改造选择。

3 总结

通过各水厂沉淀池改造案例发现,需要根据沉淀池运行中存在的问题及进水水质情况“对症下药”。合理改造进水口形式控制进水流速,均匀配水,对排泥车与积泥区进行改造以防止出水“跑矾”的现象。面对原水低温低浊及高藻等现象,可以通过选择合适的池型来进行处理。平流-斜管组合池构造简单,能高效除浊,提高出水安全性,浮沉池对原水水质有更好的适应性。水平管沉淀技术是目前最接近“浅池理论”的技术,相比传统沉淀技术有更好的沉淀效率,已应用于越来越多的水厂中。

在未来,随着人们对出水水质要求的进一步提高,沉淀技术的改造应用也会引发更多关注。沉淀池的改造及新建仍需要重点关注进水区、排泥系统及池型三方面。进水仍将以穿孔花墙为主,但在设计时应考虑孔眼面积大小造成的影响,也可根据水厂实际情况设计配水口、穿孔管及栅条配水方式,实现进水均匀稳定。排泥系统改造需要更加注重细节,如在积泥处设置斜坡、延长机械排泥车的车程等来实现高效排泥。合理地选择沉淀池型对传统沉淀方式进行改造以满足未来水质与节能的需求,可通

过在池内增设溶气装置或水平管装置,或对沉淀工艺进行组合来完成优化改造。随着原水水质的复杂性增强,为了提高沉淀效果,越来越多的水厂亦通过强化混凝来提升颗粒沉淀效率。代表性强化混凝技术如 Densadeg 高密度沉淀池(法国)、Actiflo 高效澄清池(法国)等工艺已在国外应用于多个水处理方向多年,但在国内还未得以大规模推广^[35]。相信随着行业内标准、规范的完善,这些技术会在不久的将来大规模地投入到改造应用中。

参考文献

- [1] 王星. 国内外给水厂净水工艺研究综述[J]. 江西化工, 2009(2): 32-35.
- [2] 陈虹, 李婷, 林春敬, 等. U型斜管在给水厂沉淀池改造中的应用及探讨[J]. 城镇供水, 2020(2): 27-32.
- [3] 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.
- [4] 张慧, 杨娟. 有关斜管沉淀池的上升流速讨论[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(s2): 305-307.
- [5] 范翊, 廖凤京. 笔架山水厂沉淀池存在的问题和改造措施[J]. 中国给水排水, 2006(6): 32-34.
- [6] 吴东升, 崔红军, 何秀秀, 等. 改进型斜管沉淀池在水厂改造中的实际应用[J]. 中国给水排水, 2016, 32(4): 68-71, 76.
- [7] 段龙武. 改善斜管沉淀池沉淀效果的工程措施[J]. 水利科技与经济, 2003, 9(4): 299-300.
- [8] 朱勇. 平流沉淀池水质提升改造与探讨[J]. 供水技术, 2017, 11(5): 40-41.
- [9] 刘建胜, 宋桃莉, 伊学农. 平流沉淀池升级改造技术与应用[J]. 水资源与水工程学报, 2013, 24(1): 189-191.
- [10] 伍新政. 平流沉淀池排泥系统的优化改造[J]. 给水排水, 2010, 47(2): 19-21.
- [11] 朱翠英. 三津水厂平流沉淀池排泥系统设计优化建议[J]. 工程与建设, 2012, 26(1): 66-67, 70.
- [12] 唐展, 陈明. 从斜管倒塌谈斜管积泥及其改造措施[J]. 中国给水排水, 1996, 12(2): 34-35.
- [13] 李三中, 陈俊学, 郝庆玲, 等. 斜管沉淀池斜管积泥成因及解决措施[J]. 中国给水排水, 2002, 18(8): 76-77.
- [14] 吴再民, 陈健, 谭金章. 斜管沉淀池排泥系统的改造[J]. 城镇供水, 2000(2): 10-12.
- [15] 季红军, 周锦良, 蒋东. 斜管沉淀池排泥系统改造[J]. 给水排水, 2001(10): 28-29, 1.
- [16] 张明雄. 斜管沉淀池排泥系统改造[J]. 城镇供水, 2015(6): 26-28.
- [17] 陈瑶, 彭祥, 盛丹阳, 等. 大丰水厂斜管沉淀池排泥系统技术改造[J]. 给水排水, 2009, 45(s1): 208-209.
- [18] 罗岳平, 邱振华, 李宁, 等. 用斜管(板)沉降系统改造矩形平流沉淀池-平流斜管(板)组合沉淀池[J]. 净水技术, 2003, 22(5): 45-47.
- [19] 王旭宁, 孙学东, 姜红安, 等. 平流沉淀池运行中存在的问题及改造措施[J]. 中国给水排水, 2006(10): 27-30.
- [20] 冯钧, 陶明, 徐建平. 松江二水厂深度处理改造方案及净水效果[J]. 净水技术, 2011, 30(3): 72-77.
- [21] 史春海, 马小蕾, 王海梅, 等. 前置平流段全断面配水斜管沉淀工艺在曲江水厂技改工程中的应用[J]. 给水排水, 2010, 46(12): 22-24.
- [22] VALADE M T, EDZWALD J K, TOBIASON J E, et al. Particle removal by flotation and filtration: Pretreatment effects[J]. Journal—American Water Works Association, 1996(12): 35-47.
- [23] KIURU H J. Development of dissolved air flotation technology from the first generation to the newest (third) one (DAF in turbulent flow conditions) [J]. Water Science Technology, 2001(18): 1-7.
- [24] LUNDH M, JONSSON L, DAHLQUIST J. Experimental studies of the fluid dynamics in the separation zone in dissolved air flotation[J]. Water Research, 2000(1): 21-30.
- [25] 徐晓然, 孙志民, 李鲁新, 等. 中山市南头一水厂传统工艺升级改造工程实例[J]. 中国给水排水, 2016, 32(12): 114-116, 119.
- [26] 龙宝云, 华世新, 张秀华. 平流沉淀池的浮沉池改造[J]. 城镇供水, 2003(6): 20-21, 36.
- [27] 李裕铨, 任博渝. 阜阳市二水厂改造工程设计与特点[J]. 供水技术, 2019, 13(1): 35-38.
- [28] 李浩, 贾瑞宝, 李世俊. 济南玉清水厂强化常规处理工艺改造设计及运行分析[J]. 中国给水排水, 2012, 28(14): 90-93.
- [29] 王静超, 马军. 浮沉池中斜板装置对气浮运行效果的影响研究[J]. 中国给水排水, 2008, 24(7): 92-95.
- [30] 孙志民, 赵洪宾, 马军. 侧向流斜板浮沉池存在的问题及解决途径[J]. 中国给水排水, 2003, 19(6): 87-88.
- [31] 陈球, 张良纯, 杨有禄, 等. 水平管沉淀新技术的应用及工程实例[J]. 中国建设信息(水工业市场), 2010(10): 49-53.
- [32] 鲍正忠, 张良纯, 陈球. 水平管沉淀新技术在淮安老水厂改造工程中的应用[J]. 城镇供水, 2012(1): 90-92.
- [33] 马旭, 张良纯, 方素梅. 水平管沉淀用于老水厂提质增量改造工程实例[J]. 给水排水, 2013, 49(s1): 23-24.
- [34] 张建国, 张良纯, 刘玲云. 水平管沉淀分离装置的开发研究[J]. 中国给水排水, 2008, 24(9): 47-51.
- [35] 吕尤, 李星, 俞岚, 等. 典型的高效混凝与沉淀工艺[J]. 净水技术, 2012, 31(1): 38-41.