

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.16.017

净水厂气浮单元的系统性工艺优化及技术改造

刘云奎

(上海市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘要: 山东省M水厂设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 原水为水库水。2003年增设气浮单元, 包括静态管道混合器、穿孔旋流池和气浮池。针对气浮单元实际运行期间出现的问题, 采取了相应改进措施: 将现状管道混合、穿孔旋流工艺优化为机械混合和机械絮凝工艺; 采用高速气浮技术, 将液面负荷由原设计的 $5.6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 增至 $12.1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 由此将分离区长度缩短至8.0 m, 节省的空间改造为直板絮凝区和气浮出水区; 优化了溶气罐布置, 缩短了溶气水管长度; 采用集水更均匀且与高速气浮技术耦合的大阻力配水板, 改进了气浮集水方式; 气浮刮渣水位控制方式由电动调节阀改为即时联动更快捷的电动堰门, 操作更加直观便利。

关键词: 高速气浮; 液面负荷; 大阻力配水板

中图分类号: TU991 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)16-0101-05

Process Optimization and Technological Upgrading of Air Flotation Unit in a Waterworks

LIU Yun-kui

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: The design scale of M waterworks in Shandong Province is $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, and the raw water is from a reservoir. The air flotation process unit was added in 2003 including a static pipe mixer, the perforated swirl pools and the gas flotation pools. In view of the problems found during actual operation, the corresponding improvement measures were taken that the current pipeline mixing and perforation swirl processes were optimized to mechanical mixing and flocculation processes. The high speed air flotation technology is adopted to increase the surface loading from the original design of $5.6 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ to $12.1 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, thus shortening the length of the separation zone to 8.0 m, and changing the space saved into a straight plate flocculation zone and gas surface water zone. The layout of the dissolved gas tank is optimized and the length of the dissolved gas pipe is shortened. The high resistance water distribution plate with more uniform water collection and coupled with high speed air flotation technology is adopted to improve the air flotation water collection mode. The water level control mode of air float scraping slag is changed from electric regulating valve to electric weir gate with instant linkage and faster operation, which is more intuitive and convenient.

Key words: high speed air floatation; surface loading; high resistance water distribution plate

山东省M水厂于1992年建成投产, 设计规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 原水为水库水。随着原水水质变差特别是藻类污染日益突出, 该水厂于2003年增设了气

浮单元, 包括静态管道混合器、穿孔旋流池和气浮池。当时为尽量减少对工艺流程的改动、不影响正常供水, 气浮单元设置于水厂净水流程最前端, 相应

总体工艺变为气浮(管道混合+穿孔旋流+气浮池,可超越)-机械混合折板絮凝平流沉淀池-V型滤池-清水池。气浮池的增设,强化了净水流程对藻类、浊度等的去除能力,进一步改善了出水水质。为满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)的要求,M水厂拟对气浮单元进行系统性挖潜改造,最大程度发挥其净水作用,减轻下游工艺流程负担。

1 现状气浮单元总体布置

气浮池分独立运行4格,每2格为一组,总共2

组,2组之间为气浮辅助车间。每格气浮池前对应5格穿孔旋流絮凝池。气浮辅助车间设有溶气罐、回流泵、空压机及储气罐等。穿孔旋流絮凝池、气浮池及气浮辅助车间组合于1座单体内,上部设置保温建筑。气浮溶气采用填料式溶气罐,回流比为5%~12%。主要设备数量、规格:回流泵4台,单台流量 $180\text{ m}^3/\text{h}$,扬程440 kPa;空压机2台,单台流量 $3.6\text{ m}^3/\text{min}$,压力700 kPa;储气罐1台,容积 1.0 m^3 ;气浮溶气罐4台。现状气浮池布置见图1。

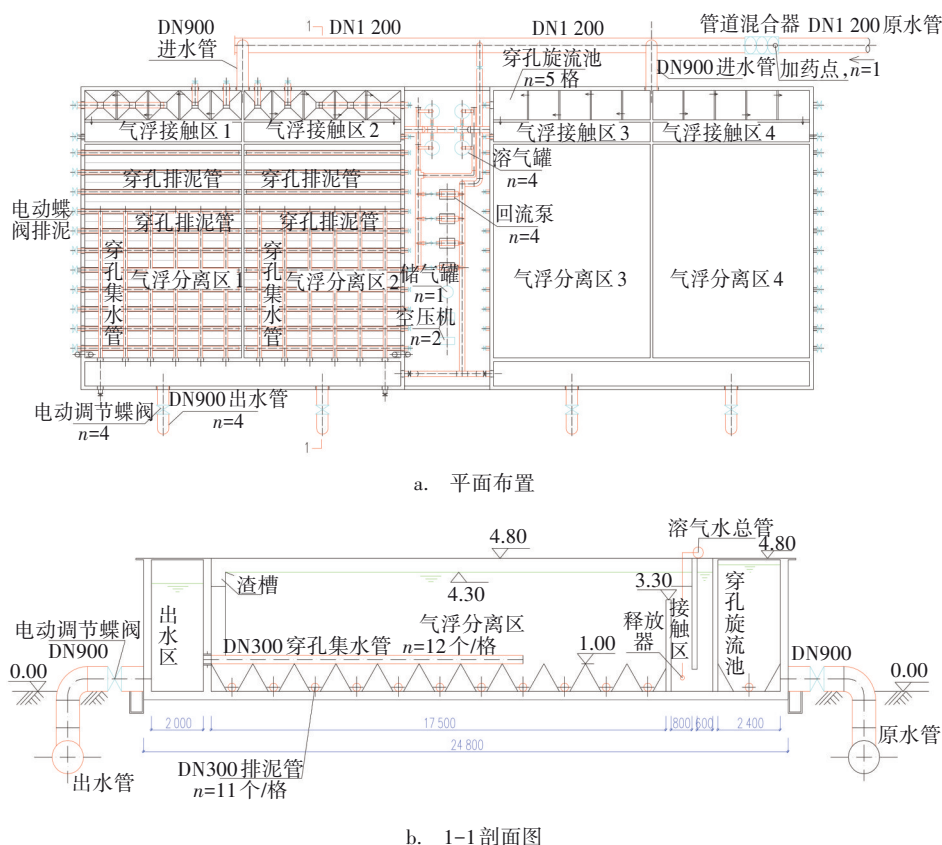


图1 现状气浮池布置

Fig.2 Layout of the existing air flotation tank

2 气浮系统运行现状

原水直接进入气浮单元。进水浊度为30 NTU,气浮出水浊度为1.5 NTU;进水高锰酸盐指数为 5.5 mg/L ,气浮出水为 4.5 mg/L ;进水蓝藻为 $3\,000\times 10^4$ 个/L,气浮出水为 $(200\sim 300)\times 10^4$ 个/L。气浮前投加液体聚合氯化铝(有效成分 Al_2O_3 含量10%),投加量为 $20\sim 30\text{ mg/L}$ (以商品液计)。气浮单元对浊度和蓝藻的去除率较高,但对有机物、鱼腥藻、席藻、颤藻的去除率较低。气浮单元存在的主要问题:

① 气浮池前的静态管道混合器设置于

DN1 200原水总管上,对应设置加药点1个,混合出水分别从两根DN900管道接入两组气浮池前的絮凝段。该布置方式使混合出水进入絮凝单元的路径过长,絮体会过早形成并遭到破坏,影响最终絮凝效果;另外进入两组气浮池的管道长度也不同。

② 絮凝工艺采用穿孔旋流池,平面净尺寸为 $2.4\text{ m}\times 2.4\text{ m}$,有效水深4.4 m。每格气浮池前对应5格穿孔旋流池,总停留时间6.9 min, G 值 40.8 s^{-1} , GT 值17 017。穿孔旋流池构造简单,施工方便,但絮凝效果欠佳;同时,相对于气浮位于流程最前端

而言,需要进一步加强絮凝。

③ 溶气罐集中设置于辅助车间内,溶气罐至最远端气浮池接触区约30 m,至近处气浮池接触区约13 m,因距离太远,存在气体过早析出的问题,且每侧2格气浮池对应的溶气水管长度相差较大,微

气泡数密度差异较大。

④ 每格气浮分离区长17.5 m、宽12.5 m,由于刮渣路径太长,存在气泡破裂浮渣返沉现象。

3 改造技术措施

气浮池改造后的布置见图2。

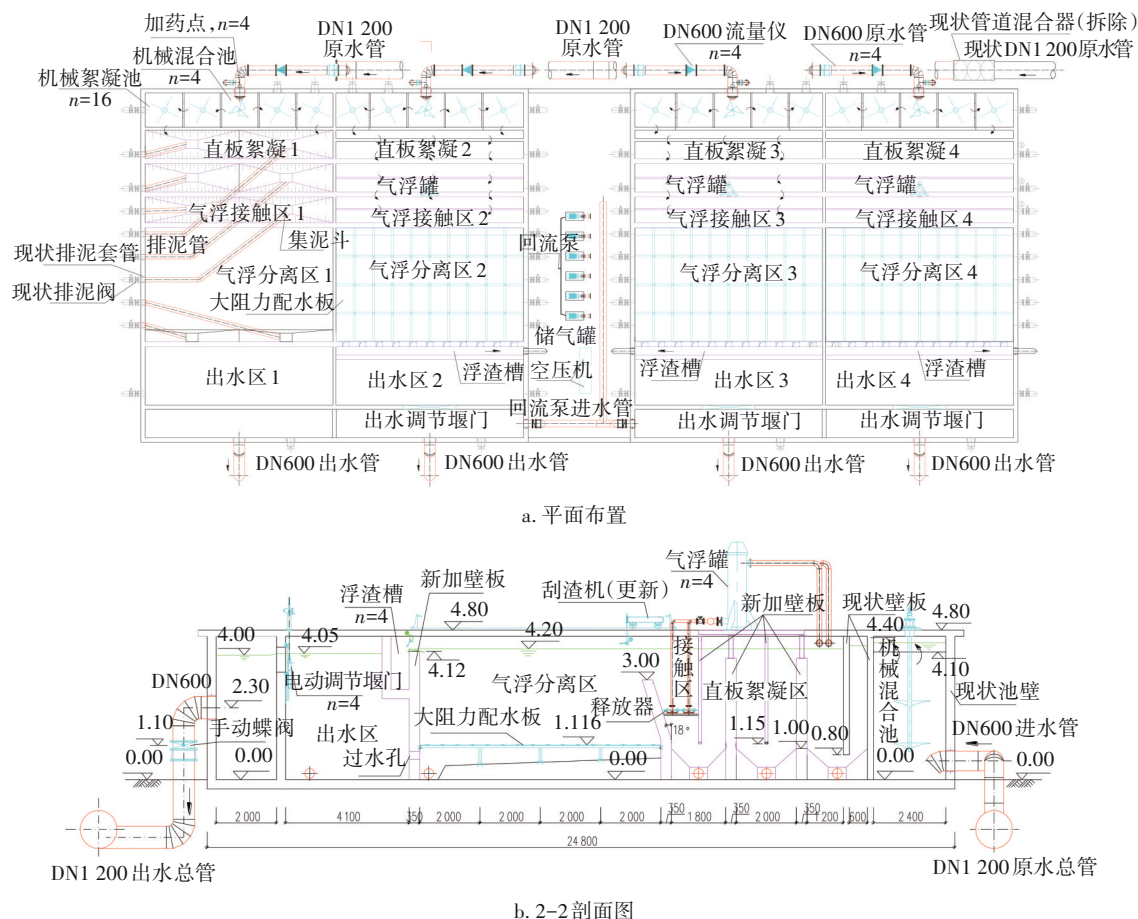


图2 气浮池改造后的布置

Fig.2 Layout of the air flotation tank after renovation

3.1 混凝工艺段

因受限于现状流程,气浮系统直接接纳原水,故气浮工艺存在两个难点:一是在高浊度条件下(汛期或风浪大时),原水中较大的泥砂颗粒密度较大,不易浮起;二是原水含有藻类,气浮对颗粒物的去除率与颗粒物的表面性质有关,某些藻类与气泡亲和力很小,不易与气泡黏附。另外,若前期絮凝效果不好,水中必然存在大量的细小藻类,很难被微小气泡颗粒捕集而去除。

据此,结合气浮系统现状,需加强混凝作用:优化混合,提高脱稳效果;加强絮凝,以适应气浮位于流程最前端、原水浊度不稳定的固有工况;优化加药,结合混合工艺的改进措施优化加药点设置。

① 穿孔旋流池改造

拆除现状管道混合器,将每格气浮池对应的5格穿孔旋流池改造为1格机械混合池和4格机械絮凝池,即1格机械混合池两侧各对应2格机械絮凝池。机械混合池内设置垂直轴快速混合搅拌机1台,转速不低于125 r/min,轴和叶片为316不锈钢材质。混合池水力停留时间1.4 min,混合 G 值不小于 500 s^{-1} ,搅拌均匀度 $>95\%$ 。搅拌机附带的减速机可变频调速。

混凝剂加药点由现状进水总管移至每格机械混合池前的进水管上,即整个气浮单元加药点由1个优化为4个,对应配置4台加药泵和4根加药管,这样加药设施可相对独立,易于管理控制。

絮凝工段采用2级2格机械絮凝。每格机械絮凝池内设置垂直轴絮凝搅拌机1台,叶轮直径2.1 m,共设桨板8块,内外侧各4块,轴和桨板材质为316不锈钢。每块桨板长1.5 m,宽0.12 m。两格絮凝池的叶轮桨板中心点线速度分别为0.55、0.35 m/s。搅拌机附带的减速机可变频调速。改造后絮凝池总水力停留时间5.7 min,平均 G 值 61.1 s^{-1} ,GT值20 400。

② 气浮分离区的前段改造

鉴于现状气浮分离区较长,改造在现状分离区前端3.8 m长度范围连同现状接触区,新增直板絮凝区,长度共5.5 m。新增絮凝区具有3方面作用:a. 整流,每格气浮池进水端两侧各对应一个机械絮凝区出水口,设置絮凝区兼具整流作用,使得水流沿宽度均匀分布;b. 絮凝,通过设置平行直板使水流上下往复,促使微絮粒进一步凝聚,增强絮凝效果,但时间不必过长,促使气浮工艺的微气泡与絮凝初期的网捕、吸附、架桥共同作用,更易形成密度较低的絮体而上浮去除^[1];c. 沉淀,借助本段空间可使大颗粒易沉物质预先沉淀,减轻后续工艺负担。

上述增设平行直板形式,其中上翻隔板采用新建钢筋混凝土壁板支撑于气浮池底板上,同时要避开原有排泥管套管,下翻隔板采用不锈钢板支撑于气浮池顶板上。直板絮凝区分两段,第一段直板净间距0.6 m,第二段直板净间距因受限于池壁原有的排泥管套管,设净间距0.9 m通道3个和1.2 m通道1个。改造后的直板絮凝区总停留时间为13.6 min,平均 G 值 5.5 s^{-1} ,GT值3 415。

3.2 气浮工艺段

现状气浮接触区上升流速34 mm/s,水力停留时间88 s。原设计填料式溶气罐集中于4格气浮池中间的辅助车间。现状气浮分离区净长17.5 m、净宽12.5 m,液面负荷为 $5.6\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。现状布置形式存在两个弊端:①溶气罐至每格气浮接触区的距离太远且各溶气水管长度差别较大;②由于分离区较长,浮渣刮除时间过长,气泡易破裂而返沉。

改造工程的溶气装置采用MST高速离子气浮罐4套,与4格气浮池一一对应,分别设置于气浮池接触区前端,溶气水可就近接入释放器。气浮罐直径0.8 m,溶气量为60 mL/L,溶气效率不低于92%。气浮罐材质为304不锈钢。气浮罐利用高频共轨喷射强溶切割专利技术,裂变出3~7 μm 带电荷微细气

泡云团,气泡直径小,表面能高,进入絮凝体微孔缝隙中的气泡数量较多,絮凝体获得的浮力较大,上浮速度快,由此所对应的气浮分离表面负荷可相应提高^[2];通过改变水分子表面张力,减少气泡上升的摩擦阻尼,吸附水中有色基团及部分亲水性胶体脱稳,从而形成具有强大托附能力的气泡浮渣层;另外,气泡稳定时间较长,可为气泡与絮体的黏附提供充足的空间和时间^[3]。由此,利用气浮罐强大的气泡云团形成能力,将原设计液面负荷由 $5.6\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 增至 $12.1\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,由此将分离区长度缩至8.0 m,消除了刮渣时间过长的弊端。

改造后的气浮分离区前部新设接触区,底部宽度由现状0.8 m增至1.2 m,接触区出水侧隔墙不同于原直立隔墙,而是沿水流方向倾斜 18° ,为接触区出水创造更好的流态。改造后气浮回流比设计最大取11%,接触区上升流速17.7~22.4 mm/s,水力停留时间77 s。每格接触区设溶气释放器98个,分成12组。释放器材质为304不锈钢,每个作用直径0.5 m。本次改造对应每组释放器设一套溶气水支管和控制阀门,便于分组单独调节和检修,克服了原系统释放器易堵且不易检修的难题。

新设分离区上部设刮渣机1台,因其体积和质量较大,进出现状房间及内部吊装较困难,为此保留现状刮泥机框架,仅对其刮渣板、导渣板和运转部件进行更新。更新后的刮渣机行走速度不小于5 m/min且可调;导渣板、刮渣板高度可调,材质均为304不锈钢。

3.3 气浮辅助系统

① 气浮回流泵组和供气系统

气浮回流泵组和供气系统(空压机组)仍设置于现状辅助车间。回流水系统保留现状进水管,回流泵全部更新,采用单级离心泵6台,4用2备,单泵流量 $120\text{ m}^3/\text{h}$,扬程600 kPa,功率37 kW。空压机全部更新,新设空压机2台,1用1备,单机流量 $1.0\text{ m}^3/\text{min}$,压力0.8 MPa,功率7.5 kW,变频控制。储气罐利旧,仅更新1台过滤器,过滤量 $1.0\text{ m}^3/\text{min}$ 。

② 气浮加药系统

气浮单元混凝剂仍采用液体聚合氯化铝(有效成分 Al_2O_3 含量10%)。气浮单元改造后最大加药量设计取15~25 mg/L(以商品液计)。混凝剂按稀释4倍后的溶液投加,对应4格机械混合池前的4个加药点配置6台隔膜计量泵,4用2备,加药泵与加药

点一一对应。单泵流量120 L/h,扬程400 kPa,功率0.25 kW,均设变频调速。气浮所需混凝剂的原液储存池和溶液池与水厂絮凝沉淀池加药系统共用,连同以上投加设备置于水厂综合加药间内。

3.4 气浮出水段

3.4.1 气浮集水方式

如果气浮集水不均匀,局部区域出水流速过高势必影响气浮水质,气浮池液面负荷较低情况下不明显,但对于高速气浮来说,必须重视气浮集水的均匀性。现状气浮出水采用DN300穿孔管方式,穿孔管中心间距为2.0 m。考虑到采用高速气浮而液面负荷取值较高,改造工程改变传统常用的穿孔管集水方式,采用集水更均匀的大阻力配水板,其与高速气浮技术耦合能够保障气浮池的处理效率。大阻力配水板开设 $\varnothing 16$ mm配水孔,孔中心间距为0.20 m,即开孔数为25个/ m^2 ,开孔比为0.787 5%。大阻力配水板为UPVC材质,厚16 mm。

3.4.2 气浮液位控制

原设计气浮出水采用4根DN600出水管,上设电动调节蝶阀,通过调节电动调节蝶阀开度控制气浮刮渣水位。这种操作系统较为简单,但刮渣时控制水位变化较迟缓,阀门操作与水位变化的即时联动性差,液位不易控制。改造工程在现状出水隔墙上部开孔安装电动调节堰门,取代电动调节蝶阀,每格气浮池设电动调节堰门1个,规格为3.50 m \times 0.80 m,材质为304不锈钢。每个调节堰门配置2个手电一体式执行机构,刮渣时电动堰门控制水位变化较直观、快捷。

4 工程费用分析

该气浮池改造工程建设费用含建筑工程费、设备购置费和安装工程费等,其中,建筑工程费主要包括气浮分离区前段新增絮凝直板、气浮出水区新增壁板(上设浮渣渠)、池顶局部敷设钢格栅走道板、池底排泥斗砌筑等;设备购置费主要包括混合搅拌机、絮凝搅拌机、气浮罐、释放器、刮渣机、回流泵组、空压机组、阀门和堰门、管路系统、大阻力配水板、配电和控制设备及线缆等。上述建筑工程费及安装费为240万元,设备购置费为450万元。

5 结语

① 针对气浮单元处于水厂流程最前端的实

际情况,优化了混凝工艺及加药点布置,加强了气浮前处理措施。

② 改造工程的气浮核心设备(气浮罐)可采用较高的液面负荷,节省用于加强絮凝沉淀的空间。

③ 4套气浮溶气罐对应4格接触区一一就近布置,尽量缩短溶气水在管道内的停留时间且各气浮池管路一致,提高溶气效率。

④ 采用集水更加均匀的大阻力配水板,其与高速气浮技术耦合可保障气浮池的处理效率。

⑤ 优化气浮池刮渣液位控制手段,将出水电动调节阀改为电动调节堰门,堰门操作与水位变化的即时联动性更好,操作更加直观便利。

参考文献:

- [1] 童佳佳,张秋勉,李纲,等. 气浮与多种常规工艺联用对低温低浊水的处理效果分析[J]. 净水技术,2023,42(4):191-196.
TONG Jiajia, ZHANG Qiujian, LI Gang, et al. Effect analysis of combined air flotation and multiple conventional processes on low temperature and low turbidity water treatment [J]. Water Purification Technology, 2023, 42(4): 191-196 (in Chinese).
- [2] 何才昌. 高速气浮在伊朗大型海水淡化工程的应用[J]. 中国给水排水,2023,39(18):141-146.
HE Caichang. Application of high-speed air flotation in large seawater desalination project in Iran [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(18): 141-146 (in Chinese).
- [3] 沈虎,王永磊,鞠玲,等. 城镇给水厂气浮工艺运行性能与经济性分析[J]. 中国给水排水,2023,39(3):47-55.
SHEN Hu, WANG Yonglei, JU Ling, et al. Performance and economic analysis of air flotation process in urban water supply plant [J]. China Water & Wastewater, 2023, 39(3): 47-55 (in Chinese).

作者简介:刘云奎(1969—),男,山东潍坊人,硕士,高级工程师,主要从事给排水工程的设计研究工作。

E-mail:liuyunkui@smedi.com

收稿日期:2024-03-05

修回日期:2024-05-09

(编辑:衣春敏)