

• 城镇给排水 •

东营南郊净水厂超滤膜示范工程的设计和运行经验简介

常海庆¹ 梁 恒^{1,2} 高 伟¹ 纪洪杰³ 李圭白^{1,2}

(1 哈尔滨工业大学城市水资源与水环境国家重点实验室, 哈尔滨 150090;

2 城市水资源开发利用(北方)国家工程研究中心, 哈尔滨 150090; 3 东营市自来水公司, 东营 257091)

摘要 东营市南郊净水厂水质改善工程是国内首座日供水 10 万 m³ 级的浸没式超滤膜净水厂, 由于缺乏相关的设计、施工、调试及运行的规范与经验, 在设计、施工、试运行阶段遇到了一些困难和问题, 在此就超滤膜系统相关设计和运行经验进行介绍。

关键词 净水厂 超滤膜 设计 运行 示范工程

1 工程背景

1.1 水厂概况

东营市南郊净水厂位于东营市东城区, 是东城区范围内的主供水厂, 供水范围包括东城及东营经济开发区。该水厂以引黄水库为水源, 黄河水经过沉砂处理后进入南郊水库, 水厂直接从水库取水, 采用常规处理工艺, 即二氧化氯预氧化、混凝、沉淀、砂滤、消毒工艺。南郊水厂始建于 1993 年 3 月, 设计规模为 10 万 m³/d, 分两期建设。一期 5 万 m³/d, 于 1998 年 5 月 27 日投产运行; 2005 年 6 月扩建了南郊水厂二期工程, 常规处理能力达到 10 万 m³/d, 出厂水水质符合原国家《生活饮用水水质标准》(GB 5749—85) 的 35 项卫生指标要求。

1.2 原有工艺的主要问题

1.2.1 引黄水库水水质微污染

南郊水厂由自建的专用引黄水库——南郊水库取水。近年来随着中上游地区大量城市污水和工业废水的排入, 黄河水体污染加剧, 南郊水库水的水质也逐年呈现了一定的微污染特性。综合近 6 年东营市自来水公司水质检测中心的报表, 南郊水库水水质表现为: 冬季低温低浊, 浊度平均为 3.54 NTU, 水温平均为 4.9℃; 夏秋季高藻, 藻类总数平均在 9 000 万个/L 以上。

此外, 水库水的总氮均值约为 1.99 mg/L; 耗氧

量基本上在 6 mg/L 以下, 平均值为 3.51 mg/L; 黄河水中溴化物含量长期较高, 对南郊水库水抽样检查, 发现原水中溴化物(Br⁻)的含量高达 154 μg/L。

1.2.2 原净水工艺不完善

南郊水厂原净水构筑物的设计均以执行《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—85) 为基础, 主要以感官和细菌为处理目标。

原工艺在沉淀池部分的池顶设置桁车式刮吸泥机, 但未设保温建筑。因此, 在冬季低温期时, 沉淀池水面都会因气温较低而结冰, 致使刮吸泥机无法行走, 沉淀池也因此而长达 3 个月无法正常排泥。当运行负荷较低时, 冬季沉淀池积泥相对较少, 对出水水质影响不大; 但随着水厂供水量的提高, 沉淀池积泥增加, 对沉淀出水带来一定的影响。

1.2.3 出水水质难以全部达标

近年来由于水源水质受到污染的客观现实, 加之新颁水质标准出台后出水水质标准大大提高, 尽管南郊水厂对原有部分处理设施进行不断改进和完善, 但出厂水水质仍难以达到新颁标准。

1.3 水质改善工程的提出

南郊水厂水质改善工程范围是指在现有水源和处理构筑物条件下, 即在现有厂址范围内, 尽量减少对现有生产流程的影响, 且对现有部分构筑物进行改造或新建构筑物, 改善出厂水水质。改善目标如下:

(1) 水量目标。本工程保持现有水厂处理规模, 净水能力为 10 万 m³/d。

(2) 水质目标。东营南郊水厂水质改善工程建成后, 出水水质将达到《生活饮用水卫生标准》

国家自然科学基金重点项目(51138008); 哈尔滨工业大学城市水资源与水环境国家重点实验室自主课题(2010DX01); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07422—005)。

(GB 5749—2006)要求。

2 工程内容介绍

水质改善工程采用高锰酸钾预氧化—混凝沉淀过滤(沉淀污泥回流)—投加粉末活性炭—浸没式超滤膜组合工艺,是“引黄水库水超滤膜处理集成技术与示范”课题的示范工程,工艺流程见图1。该示范工程主要是在原工艺基础上增加了粉末活性炭投加系统、高锰酸钾投加系统和浸没式超滤膜系统,其中,超滤膜系统包括超滤膜的过滤系统、曝气系统、水力清洗系统、化学清洗系统、真空引水系统、膜组件完整性检测系统及相应的配电和控制系统等。本文主要对超滤膜系统的设计及施工进行介绍。

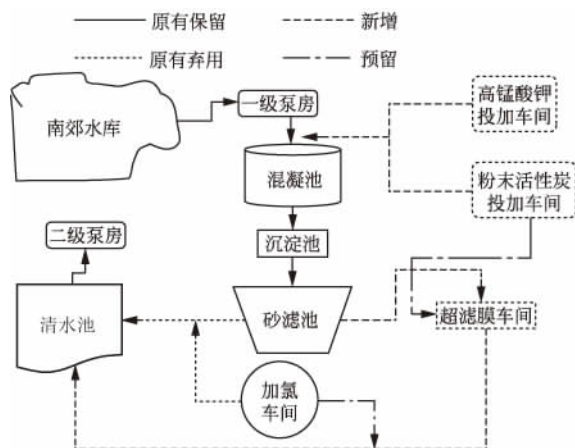


图1 南郊净水厂示范工程工艺流程

超滤膜系统共设置膜池12格,每格面积 31.9 m^2 ,设计水深 3.2 m ,分双排布置,中间设出水总渠,两外侧布置进水和排水渠,进水渠设在上层、排水渠设在下层,东西向布置;西端设有鼓风机间、配电间和控制室,东端设有化学清洗池;膜池进水渠端头一侧设有溢流堰,堰长 5.5 m 。南侧膜池采用A厂家帘式膜,每池内设膜组6个,每个膜组由60帘膜丝组成,每帘膜丝膜过滤面积为 35 m^2 ;北侧膜池采用B厂家柱状膜,每池内设膜组7个,每个膜组由72个膜柱组成,每个膜柱膜过滤面积为 25 m^2 。整个膜车间的总膜过滤面积约 15 万 m^2 ,超滤膜设计通量为 $30\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,水反冲洗强度 $60\text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,气反冲洗强度 $60\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ (以膜池面积计)。

3 经验总结

南郊水厂超滤膜示范工程在国内首次大规模采用浸没式超滤膜技术,缺乏相关的设计、施工、调试

及运行的规范与经验。在设计、施工、试运行阶段遇到了一些困难和问题,为此采取了系列措施。

3.1 妥善处理老水厂改造中新增构筑物的布局

新增的生产构筑物如何布置,是老水厂工艺改造中面临的一个共同问题,也是影响改造工程成败的一个重要因素。在保证新工艺完善的同时,尽量做到厂区总体平面布局合理,与已有的构筑物衔接良好,保持厂区布局的美观性、完整性,并适当考虑水厂发展的场地预留。

以膜车间选址为例。原设计方案为:在V型滤池与二期清水池之间、反冲水塔以南,3座构筑物自东向西依次排列,形成比较合理的工艺布局(见图2)。

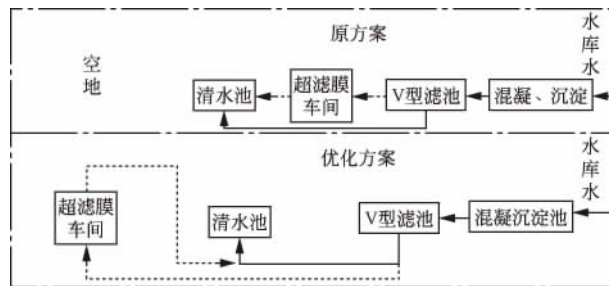


图2 新增膜车间布局示意

经过实地勘测,发现原设计方案存在空间相对狭小且不安全的因素,在V型滤池与二期清水池之间既有电缆沟又有废水排水沟和生产道路,如果在此选址,施工时势必对现有设施特别是二期清水池基础安全造成破坏性的影响,同时也对水厂现有建筑布局造成视觉上、自然环境上的不协调。

因此,在原方案基础上进行了优化(见图2),即通过敷设100余米的水管线,将膜车间选址于二期清水池西侧宽阔地带。尽管该方案需敷设管线,但广阔的空间有利于施工,膜组、设备运输安装均优于原方案,对整个水厂的布局起到了很好的协调作用,工艺前后布局较合理且不失紧凑感。

考虑到供水行业的特殊性,施工的便利性,水厂整体布局的协调性,选择的优化方案,既满足了水质改善工程的工艺要求,又保持了水厂原有的建筑布局风格,并使膜车间周围有足够的空间供设备检修及货物存放。

3.2 科学选择膜池进水方案

膜池进水来自V型滤池,靠高程差自流入膜池。进水口设计尺寸为 $300\text{ mm} \times 400\text{ mm}$,由气动

阀门控制, 设置于进水渠道的底部。

膜池进水存在两种情况: 膜池初运行或排水后, 水位较低, 水力冲击进入; 膜池连续运行, 进水口完全被淹没, 靠连通作用, 水流入。

在设计阶段, 未考虑到进水对膜丝的冲击作用; 安装调试阶段, 初期进水时, 发现进水过程中水头冲击力较大, 直接冲击膜丝时, 易造成超滤膜组断丝的现象, 会对维护和运行带来诸多不便。

为了解决进水对膜丝的冲击作用, 工程中采用了在进水口前安装 $1\,200\text{ mm} \times 1\,600\text{ mm}$ 的不锈钢消能板的方法 (见图 3), 大大减小了膜池进水口处侧向进水对膜丝的冲击影响。



图 3 膜池进水及不锈钢消能挡板

当然, 膜池的进水方式和布水方式仍有许多值得优化的地方, 如可通过底部进水或设布水槽均匀布水等。

3.3 合理优化膜池和膜组的布置与安装

原设计中, 每个膜池设有 12(14) 个膜组, 每组装有 30 帘(36 柱)膜丝, 膜组件的安装方向为东西方向, 即与出水渠的方向平行, 且每个膜组与主管的接口设在膜池中轴线, 这样存在着膜组的连接及管道布置较为困难的问题 (见图 4)。

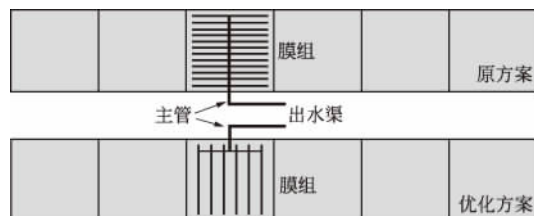


图 4 膜组布置示意

在综合考虑化学清洗周期、劳动强度、管道复杂度以及供货商产品设计的情况下, 对原设计进行了优化 (见图 4): 膜组安装方向垂直于出水渠, 主管设在管廊的走道一侧, 膜组的数量由 12(14) 组改为 6(7) 组, 每组装配 60 帘(72 柱)膜丝。膜丝总面积不变, 即将膜组规模放大 1 倍。

其中, 南侧每个膜组长 $\times$ 宽 $\times$ 高 $= 490\text{ cm} \times 80\text{ cm} \times 300\text{ cm}$, 过滤面积 $2\,100\text{ m}^2$; 北侧每个膜组, 长 $\times$ 宽 $\times$ 高 $= 487\text{ cm} \times 70\text{ cm} \times 330\text{ cm}$, 过滤面积 $1\,800\text{ m}^2$ 。干重与湿重差别较大, 分别为 1.5 t 和 3.2 t 。

如此大规格的膜组生产、运输、吊起、安装和施工, 目前国内尚未见成功的范例报道。在各方技术人员的共同努力下, 通过反复试验, 采用 S30408 不锈钢作支架, 表面钝化处理, 研制了专门的不锈钢吊架, 在膜池内设计和安装了专门的膜组固定轨道, 从而有效地保证了膜组吊起、安装、运行的稳固性和安全性。

为使膜池中膜组安装就位准确和快捷, 限位固定机构设在膜池现有走道板两侧。采用定位条和 T 型导轨, 起固定膜组及吊起膜组临落地前精确定位作用, 以减小膜组产水总管与膜池母管同轴偏差, 避免起吊时碰伤池壁或相邻膜组。并在单个膜组的集水管与膜池集水管连接处, 采用活接方式, 为膜组维修和清洗吊起拆装提供方便。

另外, 由于进水、排水阀门及产水管等一般位于膜池的中轴线, 当膜池中膜组数为偶数时, 检修时需将 2 个膜组吊出, 而当为奇数时, 则只需吊出 1 个膜组。因此, 为便于安装、施工及阀门检修等, 建议一个池子中膜组数目设为奇数组。

3.4 超滤膜系统的调试

系统调试时按照空车调试—手动调试—自动调试的顺序进行。空车调试时: ①确保抽吸泵、鼓风机、化学清洗泵、加药泵、空压机、真空常吊装置等单元设备符合设计及安装要求; 电机转向正确, 手动、自动及远程控制正常; ②确保进水阀门、产水阀门、排污阀门、气冲阀门等自控阀门符合设计及安装要求; 开关状态正常, 且开关自如, 受控状态正常; ③确定抽吸泵进出口手动阀门、空压机及鼓风机管路所有手动阀门均处于打开状态; ④确保液位计、压力传感器、流量计等自控仪表安装符合设计要求和性能要求, 数据输送、显示准确; ⑤确保膜系统抽真空装置符合设计要求。

3.5 膜池盖板或护栏的优选

对于大型的浸没式地下膜池, 为防止人不慎落水, 原设计中设有护栏, 存在的问题是膜组吊装比较困难, 并且由于没有盖板, 在曝气清洗时水中氯会散

发出来,腐蚀机电等设备。

为减少曝气时余氯的散发,膜池应作适当密封处理。可覆盖密封性较好的轻质盖板,盖板上设观察窗,工程中盖板材料宜采用塑料板、玻璃钢(较贵),不锈钢及钢格板等材料易锈蚀而不宜采用。同时考虑到膜丝对光线的敏感性,以及净水厂中水的清澈性,应采取一定的遮光措施,避免阳光等光线对膜丝的长期直射,透明的盖板材料也不适合采用。

本工程采用塑料盖板(见图5),单块盖板荷载1 kN,每块板上留有观察口。这样省去了护栏,既便于膜组的吊装,又不失美观。



图5 膜池盖板

3.6 膜池反冲洗废水及溢流水的回收利用

膜滤系统周期反冲洗后,生产废水需要进行定期排放。膜工艺本身冲洗时需排水量为 $800 \sim 1\,200 \text{ m}^3/\text{d}$,即水厂自用水量最大新增 $1\,200 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

整个膜池在运行状态下,池内的水大约有 90 m^3 ,靠重力完全排出大约需要30 min,这就降低了超滤膜系统的产水效率。原设计中,反冲洗排放的废水经2台潜水泵抽吸排放,因此排放时间取决于选择的泵的型号。

为此,在原设计的基础上增加了容积为 245 m^3 的排水池,膜池反冲洗废水进入排水池,由2台小功率潜水泵连续抽吸,提高了膜池排水速度;同时在运行中,由于在膜系统前有很好的预处理系统,所以进入膜池的污染物较少,实际排水量仅为膜池总水量的 $1/4$,这就大大缩短了排水时间,提高了膜系统的产水率。

当膜系统不足以完全处理进水量时(如一格反冲洗或故障,其余膜池负荷加大),多余的水通过溢流堰(3.0 m)排出。

为节约水资源,降低运行成本,该工程将反冲洗

废水排放到水库,而非配水井。主要考虑沉淀池定期检修时,若排放至配水井,则影响生产,同时排放时间的长短也是实际运行中需注意的事项。

排水池可以起到一定的缓冲作用,可有效保护水泵等电器设备。为减少排水对水库产生淤积,拟将生产废水先送至水厂调蓄池预沉后再提升至水库,同时改造原溢流系统,由原来的直接溢流排放改为集中回收利用。

3.7 合理确定反冲洗周期

膜的冲洗系统分两部分,一是通过曝气利用气泡的剪切作用对膜丝进行擦洗,另一是采用清水进行反冲洗。以膜池面积计气反冲强度 $60 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;以膜面积计水反冲强度 $60 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,每格膜池反洗时间控制为10 min。反冲洗周期受运行通量、进水水质及水温等影响较大,运行中需根据季节和水温调整反冲洗周期,经过摸索本工程反冲洗周期在冬、春季为5 h,夏、秋季为8 h。

3.8 合理选择化学清洗系统

超滤膜的化学清洗周期设计为4~6个月,化学药剂为柠檬酸(或盐酸)、氢氧化钠和次氯酸钠等。进行离线化学清洗的周期需根据生产实际来确定,以跨膜压差为控制指标,当跨膜压差始终控制在一定范围内时,即长时间的持续运行并没有使得跨膜压差过大(始终 $<50 \text{ kPa}$),跨膜压差的同比增长(如运行1年前后)很缓慢,就没必要进行离线化学清洗,本工程在2年的运行中没有进行离线化学清洗。

化学清洗的前期准备及相关工作:化学清洗池的防腐处理,化学清洗阀门应满足防腐要求,检修排水阀,确定清洗程序(药剂种类、浓度、清洗时间等),调试清洗控制系统等;还应确保清洗后出水余氯在一定限值,并考虑清洗废液处置方式。

化学清洗包括离线和在线清洗,特点如下:

(1) 离线化学清洗。优点:一个膜池中的各个膜组相互独立,互不影响,清洗时可保证正常产水;仅需将少数清洗池做防腐处理,清洗前只需将清洗池、清洗水箱及连接管道进行清洗,并检修清洗池的排水阀,工作量小;由于膜组一个个进行清洗,清洗药剂可重复利用,减少药耗;鼓风机单独设置,离线化学清洗自成系统,清洗灵活方便,不受其他进行生产的膜池曝气影响;可进行膜丝的断裂检测及修补

工作,即离线可将清洗及膜丝检漏的过程合二为一。
缺点:膜箱吊装较繁琐,整个清洗时间持续较长。

(2) 在线化学清洗。优点:减小膜组吊装的工作,工作量大大降低;由于一次进行整个膜池的清洗,清洗时间大大缩短。缺点:所有膜池都需做防腐处理;清洗前需检修全部排水阀;由于清洗时整个膜池停止工作,正常产水受影响;清洗时间较长(如清洗超过一个工作日)时将影响生产;清洗一个膜池后,需将清洗液排掉,药剂费较高,清洗废液量较大;清洗时不能进行膜组检修和修复工作。

因此,需根据实际需要及使用的方便性考虑选择何种清洗系统。该示范工程设有在线次氯酸钠清洗系统和独立的离线化学清洗系统,设计时后者的鼓风系统采用膜组生产的鼓风设备,试运行阶段发现清洗持续时间可能较长,易受其他进行生产的膜池曝气影响,后期设置了独立的小型鼓风机,使得离线化学清洗自成系统。而各种清洗方式实际清洗效果及特点需在实践中摸索和总结。

3.9 通风系统

膜车间墙壁上部设置轴流风机向室内空间送入足够的新鲜空气,同时将室内不符合要求的污浊空气排出。

作用:①水中余氯会随着曝气散发至空气中,排出余氯,可减少对设备的化学污染;②湿气除潮,减轻湿气对设备的腐蚀;③设备散热。

对于超滤膜车间,由于余氯主要是在曝气时散发,没有必要一直通风,因此仅需在曝气清洗时通风,通过设定控制程序,膜池曝气冲洗时启动通风装置。

对于水泵、电机等设备,由于设备本身产生热量,同时处在相对封闭的空间,应及时将热量散发出去,特别是夏季高温时,本工程采用轴流风机定时更换管廊中的空气。

3.10 抽吸泵与维护

该工程采用的抽吸泵为转子泵,是膜工艺的核心设备,对膜的运行尤其重要,一旦出现问题,则所对应的膜池将会处于瘫痪状态,因此要加强对转子泵的维修维护,确保其正常运转。转子泵在实际运行中会出现发热、震动和漏油的现象。

(1) 发热、震动。原因:实际运行频率超过了膜厂家的允许运行频率,容易造成泵的气蚀,致使电机

发热和泵的异常震动。措施:根据季节和水温的不同调节泵的运行频率。

(2) 漏油。易在泵体隔离腔,特别是电机减速箱内发生。原因:换油时油量添加过多,超过标准液位,设备高速运转导致溢油;反冲洗时电机高速运转振动与泵转子离心振动的共振,致使油位升高;在低转速运转时,电机自带风扇风力小,冷却能力弱,不能有效控制电机升温,并传导至减速箱使其温度升高。措施:更换电机减速箱齿轮油和泵体隔离腔的润滑油,加注至标准液位;重新调整泵的轴承和加速电机泵轴的同心度,使其恢复出厂状态;抬高减速箱呼吸栓位置,减少呼吸口溢出量。

另外,还可将电机自带风扇更换成独立风扇,保证设备在低转速和高转速运转时均能有效保持工作温度。

3.11 其他需注意的问题

设计施工安装中:①选用吊装设备时起重重量应考虑膜组湿重;②吊装设备设计及安装位置的要求;③管廊间排水措施,完善自动、手动、报警功能;④仪表间要求美观、实用、维护方便;⑤气动阀管路材质,一般采用铜管或不锈钢管;⑥化学清洗泵、管路、阀门应满足防腐要求;⑦确保进出水渠、集水管道及膜池冲洗干净,无杂质残留;⑧膜组要避免暴晒;⑨要检查膜组是否有断丝。

调试及试运行中:①均匀布水,减弱进水对膜的冲击;②充分浸泡、冲洗,清除膜保护液;③运行频率要从小到大;④要定期检测膜组件的完整性;⑤要注意观测水温对跨膜压差的影响;⑥要尽量减少离线清洗;⑦取样管使用前要认真检测气密性;⑧排水池液位控制等系统报警信息的及时处理;⑨定期检查(尤其是在化学清洗前)排水阀是否漏水。

4 结语

针对国内首座 10 万 m^3/d 规模的浸没式超滤膜净水厂,本文总结了超滤膜在旧水厂改造中相关的设计、施工及运行经验。工程的成功实施表明,超滤膜组合工艺是适合旧水厂改造的理想选择之一。

○ 通讯处:150090 哈尔滨工业大学市政环境工程学院
梁恒

E-mail: changingchq@126.com

收稿日期:2012-04-06