

建筑中水处理设施设计实践

范 懋 功

提要 总结了北京多处洗浴水为中水原水的处理设施设计和调试经验。从理论和实践提出采用接触氧化-过滤处理工艺的可行性和采用填料表面积有机负荷 SOL 作为设计接触氧化池的主要参数。介绍确定调节池有效容积的方法;选用多向喷射自吸式潜水曝气机的算法。并从余氯量和出水卫生等指标分析了采用快速混合接触消毒技术的优点。

关键词 洗浴水 处理 接触氧化-过滤 设计

TJ99 B

北京目前已建成 100 多处建筑中水处理设施,大多数为宾馆饭店、高级公寓和综合性商业大厦内以洗浴水为原水的处理设施。现将部分处理设施的设计调试运行经验进行分析总结,供设计人员参考。

1 原水水质

中水原水水质是设计的重要依据。表 1 为北京一些以洗浴水为原水的处理设施进水水质实测数据。

表 1 中水原水水质

分类	名 称	pH	COD /mg/L	BOD /mg/L	SS /mg/L	LAS /mg/L
宾馆、饭店	新世纪饭店	7.83	69	25	9	1.98
	德宝饭店	7.2	68	38	11	1.23
	天伦王朝饭店	7.53	67	26	5	0.74
	松鹤大酒店	7.86	37	12	24	0.39
	天坛饭店	7.59	23	6	26	0.75
	天鸿科技园大酒店	7.82	48	10	46	0.12
	马哥勃罗酒店	7.79	302	51	80	1.37
高级公寓	福景苑	7.43	64	18	31	0.18
	罗马花园	7.48	98	32	49	0.51
	三全公寓	7.6	46	13	24	0.68
	碧湖居公寓	7.65	44	14	20	1.03
综合性商业大厦	东方广场	7.84	118	27	46	0.91
	丰联广场	7.51	192	61	28	1.32
	嘉里中心	7.78	56	17	14	0.66
	华融大厦	8.01	68	22	14	3.29
	北京电视台	7.38	51	16	18	0.61

从表 1 可见,洗浴水水质一般为:pH 7.5~8, BOD 20~50 mg/L, COD 40~120 mg/L, BOD/COD 平均为 0.35,属低浓度含少量可生物降解的有机污水,宜用生物法处理。

2 处理工艺

国内外设计以洗浴水为中水原水的处理设施多采用生物接触氧化法。如果在设计接触氧化池时采用较短的 HRT,可使池中悬浮微生物的生长减至最低。有人曾进行 MBBR(流动层生物膜反应器即装有悬浮填料的接触氧化池)在不同 HRT 下反应器内生物量的变化试验。处理生活污水时,反应器 HRT 从 4 h 缩短到 2 h,反应器内悬浮微生物量从 220 mg/L 下降到 152 mg/L。说明 HRT 和悬浮污泥量的关系。从氧化池出流的水中非溶解性物质主要是从填料上脱落的生物膜(微生物絮片),胶体物质少,絮片强度较高不易破碎,有良好的过滤性能。因此在接触氧化池后可不设沉淀池就过滤。在东方广场、嘉里中心等中水处理的沉淀池中泥量很少,沉淀池作用不大。

北京有福景苑、罗马花园、华融大厦、劲松宾馆、腾达大厦、静安中心、松鹤大酒店、京民大厦、中央民族大学、北京电力生产调度中心等处的中水处理设施采用接触氧化-过滤工艺,不设沉淀池。下面列出 3 处实例的处理效果。

(1)北京华融大厦总建筑面积 4.6 万 m²,中水原水为洗浴水,水量为 7.5 m³/h。采用接触氧化-砂滤工艺。2000 年 9 月经北京市环境保护监测中心测定, BOD, COD, SS 和 LAS 分别从 22 mg/L, 68 mg/L, 14 mg/L 和 3.29 mg/L 降到 2 mg/L, 10 mg/L, 5 mg/L 和 0.14 mg/L。

(2)北京福景苑以洗浴水为中水原水,采用接触氧化-砂滤工艺。2002 年 12 月经北京市环境保护监测中心测定, BOD, COD, SS 和 LAS 分别从 18 mg/L, 64 mg/L, 31 mg/L 和 0.18 mg/L 降到 2 mg/L,

10 mg/L, 5 mg/L 和 0.05 mg/L。

(3) 日本东京都新宿区海洋饭店总建筑面积 39 166 m², 地下 4 层, 地上 23 层。除客房外还有举行婚礼和办在职人员进修班的场所。中水原水为客房的洗浴水, 水量 157 m³/d。采用接触氧化-砂滤工艺。BOD 和 SS 均从 150 mg/L 降到 10 mg/L。

3 处理单元

3.1 格栅

洗浴水中含有较多的毛发, 必须用细格栅将其除去。根据多处中水处理设施的设计调试经验, 可不设毛发过滤器。例如北京港澳中心瑞士酒店中水处理设施就不设毛发过滤器仅设一道栅条间隙宽度为 2 mm 的自动机械格栅。日本 NIHON、INKA 株式会社, 三机工业株式会社和竹中工务店等公司设计的中水处理设施中均采用自动机械微细格栅除毛发。

3.2 调节池

洗浴水来自卫生间浴盆/淋浴和洗脸盆, 排水量很不均匀, 处理设施中应设调节池。由于池中通常设有单向射流自吸式潜水曝气机 (Single-Jet Submersible Self-Aspirating Aerator) 在预曝气的同时使池水充分混合, 因此调节池的主要作用是水量调节。调节池应贮存一段时间的进水量并保证随时提供需要处理的水量。调节池出水用泵抽送到生物接触氧化池。水泵采用高水位开泵、低水位停泵自动控制方式, 出水泵和接触氧化是间歇运行。调节池的有效容积应根据洗浴水进池水量变化情况、出流水泵流量和工作时间等因素确定。实际设计时调节池出流水泵流量等于日处理水量即洗浴水排水量除以泵的工作时间。水泵工作时间可采用 16~24 h。池的有效容积可采用 6~12 倍洗浴水平均时排水量。

调节池预曝气用的射流曝气机可根据动力密度大于 15 W/m³ 选用。例如北京某饭店中水处理设施中调节池容积为 96 m³, 采用 1.5 kW 单向喷射自吸式潜水曝气机 1 台, 布置在调节池与进水方向相对的短边一侧, 动力密度为 15.6 W/m³。预曝气可使 COD 下降 10%。

3.3 生物接触氧化池

洗浴水属低浓度有机污水。日本学者曾对活性污泥法和接触氧化法进行比较, 认为中水原水中

BOD 在 50 mg/L 以上时宜用活性污泥法, 在 20~50 mg/L 时宜用接触氧化法。

《生物接触氧化法设计规程》条文说明中指出, 当进水有机负荷较低时采用一段式生物接触氧化系统。北京多数用接触氧化法的中水处理设施(中水原水为洗浴水)为一段式。

接触氧化池中的生物膜载体采用固定填料存在一定缺点: 例如硬性填料挂膜不易, 常堵塞; 软性填料易结团和产生短流; 半软性填料片之间空隙大, 比表面积较小, 挂膜较难; 组合填料生物膜不易脱落。固定填料包括弹出立体填料在内都要有支架, 而支架在接触氧化池中易腐蚀, 维修困难。最近国内外开发的各种悬浮填料有比表面积大, 水力停留时间短, 处理效果稳定, 不易堵塞, 使用寿命长, 运行费用低, 不要支架, 安装方便等优点, 足以补偿其价格高的缺点。建议在中水处理的接触氧化池中采用。

任何一种生物处理方法的性能都受工艺负荷的影响。对于悬浮生长系统活性污泥曝气池, 常用污泥负荷 F/M 或泥龄 SRT 作为工艺负荷。但对于附着生长系统接触氧化池来说, 用 F/M 或 SRT 就不适宜了。因为接触氧化池中填料上生物膜厚度的各种测量方法尚未完善(有的准确率低, 有的费用高), 微生物浓度不太容易确定。虽然最近有人进行试验求得用 MBBR 处理生活污水的反应器中生物量和污泥负荷; 也有人提出用污泥负荷作为生活污水处理的接触氧化池设计参数; 但所得的污泥负荷不可用于以洗浴水为中水原水的接触氧化池。因为试验求得的生物膜厚度约为 2~3 mm(未说明测量方法), 推算设定的生物膜厚度约为 0.5~1 mm, 所得结果并不相符。因此生物接触氧化池的工艺负荷宜用其他参数表示。目前采用的参数有池容负荷 (Space Load)、填料容积负荷和 HRT。但 HRT 不能表示池内填料的性能。池容负荷不能反映填料填充率的变化, 填充率小则池容大, 填充率大则池容小。填料容积负荷不能反映各种填料比表面积的差异, 比表面积大的填料其容积负荷大, 比表面积小的其容积负荷也小。接触氧化池的处理效率和附着在填料上的生物量有直接关系。生物反应一般受传质控制, 总反应速率是生物膜表面积的函数。在有机负荷一定的条件下, 生物膜表面积越大则生物量越多,

处理效率也越高。由于生物膜表面积随填料表面积的加大而加大,因此可用表面积有机负荷 SOL 作为主要设计参数。填料表面积负荷 λ_s 与填料容积负荷 Λ_s 之间通过填料比表面积 a_s 相关联, $\lambda_s = \Lambda_s / a_s$ 。根据国内外资料求得各种填料在处理城市污水或洗浴排水的 SOL 见表 2。

表 2 不同填料效果比较

填 料 类 型	$a_s/m^2/m^3$	污水性质	$\Lambda_s/kgBOD/(m^2 \cdot d)$	$\lambda_s/gBOD/(m^2 \cdot d)$
半软性填料	100	洗浴排水	1.1	11
丝状球形悬浮填料	250	洗浴排水	2.7	10.8
组合填料	100	生活污水	1.5	15
美国 BIODEK - 30060 PVC 斜管固定填料	100	城市污水	1.5	15
挪威 KMT PE 空心圆柱体, 悬浮填料 $d=10\text{ mm}, h=7\text{ mm}$	400	城市污水	6	15

从表 2 可见,处理城市污水各种填料的 SOL 约为 $15\text{ g}/(m^2 \cdot d)$;洗浴排水 BOD 浓度低, SOL 约为 $11\text{ g}/(m^2 \cdot d)$ 。设计以洗浴水为中水原水的接触氧化池时,为了安全 SOL 可采用 $10\text{ g}/(m^2 \cdot d)$ 。根据填料的 SOL 和填充率即可计算接触氧化池的填料容积和池的有效容积。

计算举例:某酒店洗浴水排水量 $240\text{ m}^3/d$ 。接触氧化池进水 BOD 50 mg/L ,过滤出水 5 mg/L ,则 BOD 负荷为 10.8 kg/d 。采用组合填料, SOL 采用 $10\text{ g BOD}/(m^2 \cdot d)$,所需填料面积为 $1\ 080\text{ m}^2$,填料比表面积为 $100\text{ m}^2/m^3$,填料容积为 11 m^3 。填充率采用 80% ,接触氧化池的有效容积约为 15 m^3 , $HRT=1.5\text{ h}$ 。如果采用球形悬浮填料,比表面积为 $1\ 000\text{ m}^2/m^3$,填料容积为 1.1 m^3 。处理流量小时,悬浮填料的填充率可采用 $10\% \sim 30\%$ 。填充率过大造成池中部分区域填料拥挤,不能在池内自由流动而与气水频繁接触,生物膜新陈代谢作用低,从而影响处理效果。现填充率采用 10% ,接触氧化池的有效容积为 11 m^3 , $HRT=1.1\text{ h}$ 。

由于潜水曝气机不用空气管道和曝气头,安装方便,噪声低,特别适用于建筑物内的中水处理接触氧化池。一般采用多向射流自吸式潜水曝气机 (Multi-Jet Submersible Self-Aspirating Aerator)。

根据《室外排水规范》(1997 年版)规定,采用空

气扩散曝气时去除每 kgBOD 的供气量可采用 $40 \sim 80\text{ m}^3$ 。现根据国外射流潜水曝气机制造商提供的资料和北京多处中水处理设施的调试运行资料,分析管理得出氧计量系数 Y_{O_2} 见表 3。

表 3 氧计量系数 Y_{O_2}

制 造 商	产 品	污水性质	$Y_{O_2}/kgO_2/kgBOD$
德国 FRINGS 公司	多向喷射自吸式潜水曝气机	生活污水	1.5~2
英国 TRANSVAC SYSTEM 公司	单向喷射自吸式潜水曝气机	生活污水	1.6
日本鹤见泵行	多向喷射自吸式潜水曝气机	洗浴水	2
北京银燕环保公司	多向喷射自吸式潜水曝气机	洗浴水	2

从表 3 可见,低负荷工艺有较多的微生物衰减, Y_{O_2} 值要大一些。

计算举例:上例中流入接触氧化池的 BOD 负荷为 $50 \times 10 = 500\text{ g/h} = 0.5\text{ kg/h}$,实际需氧量 $AOR = 2 \times 0.5 = 1\text{ kgO}_2/h$ 。由于潜水曝气机的供氧能力是在清水中测定的,选择曝气机时应将计算所得之 AOR 除以供氧系数 α 得出标准状态下清水需氧量。国内外生产的部分射流潜水曝气机的 α 值见表 4。

表 4 射流潜水曝气机 α 值

曝 气 机 类 型	α
德国 FRINGS 公司自吸式	0.9~1
日本鹤见泵行自吸式	0.85
北京银燕环保公司自吸式	0.85
日本阪神动力机械株式会社压入式	1
芬兰 NOPON OY 公司压入式	0.9~0.95

注:压入式潜水曝气机空气由所带鼓风机压入。

$AOR = 1\text{ kgO}_2/h$, α 值取 0.85, $SOR = 1/0.85 = 1.2\text{ kgO}_2/h$ 。选用 1.5 kW 多向喷射自吸式潜水曝气机 1 台,供氧量 $1 \sim 1.4\text{ kgO}_2/h$ 。

3.4 过滤

宾馆饭店、高级公寓和综合性商业大厦的中水处理水量小,设施布置在地下层。过滤设备通常采用单层压力砂滤器。由于过滤器是出水水质把关设备,设计参数要稳妥并留有余地。单层石英砂滤料过滤器滤料粒径可采用 $0.8 \sim 1\text{ mm}$,滤层厚度 $0.7 \sim 1\text{ m}$,滤速 $\leq 8\text{ m/h}$ 。反冲洗排水可流入调节池。实践经验证明,滤前可不加絮凝剂。

3.5 消毒

洗浴水中含有大量细菌,北京一些酒店和公寓洗浴水测定结果见表5。

表5 洗浴水细菌测定结果

名 称	总大肠菌群数/个/L	细菌总数/个/mL
马哥勃罗酒店	2.38×10^7	2.1×10^6
天鸿科技园大酒店	2.38×10^7	6.5×10^5
福景苑	2.3×10^5	1.3×10^6

洗浴水处理后加次氯酸钠溶液消毒。次氯酸钠溶液使用浓度12%~13%,相当于含有10.4%~12.2%的有效氯。次氯酸钠溶液不稳定,贮存期不宜超过7天。消毒后水的pH和碱度将升高。对消毒效率起决定作用的重要因素是有效氯的投加浓度C和接触时间T,即CT值控制。投药浓度高,所需的接触时间短。现行建筑中水设计规范只规定加氯量和接触时间,没有规定CT值。

通常采用接触池保证氯与污水接触。洗浴水处理设施中采用有多孔隔墙的接触池,但这种接触池消毒效率不高。例如东方广场洗浴水设计处理水量为1200 m³/d,接触池容积45 m³,接触时间大于30 min,池内设3道开孔隔墙形成回流。2001年12月测定接触池出水余氯量2.2 mg/L,总大肠菌群数7个/L,细菌总数3个/mL。总大肠菌群数达不到北京市中水水质标准中小于3个/L的规定。2002年1月提高加氯量使余氯量达4 mg/L,才使总大肠菌群数小于3个/L。但北京电视台、希尔顿饭店和三全公寓等处采用快速混合接触消毒技术,不设接触池仅在压力过滤器出水管上安装螺旋形静态混合器,混合器出水余氯0.3~1 mg/L时总大肠菌群数小于3个/L。即使城镇杂用水水质控制指标冲厕时总大肠菌群数放宽到≤100个/L,但洗车时仍为≤3个/L。

螺旋形静态混合器中元件数采用6个,管内流速范围1~2 m/s。混合器直径可按表6选用。

当采用其他形式的混合器时,可按制造商提供的资料确定其直径和元件数。

静态混合器后进入中水池之前应有一定长度的管段。次氯酸钠溶液用计量泵投加。在几处中水处理设施中曾使用ORP或余氯控制器自动调整计量泵的加氯量,但因控制器的探头安装要求高,

表6 混合器直径的选择

流量/m ³ /h	混合器直径/mm	流速/m/s	压力损失/×10 ⁴ Pa
5	32	1.5	3
8	40	1.7	3.5
10	40	2	5
15	50	2	4.5
20	65	1.7	3
30	75	1.7	2.7
40	100	1.5	1.6
50	100	1.7	2.4

要装在雷诺数大于4500的满管紊流管中,运行时要每周清洗一次后再用缓冲溶液校正,还要定期更新。现在运行人员的技术水平有限,自动控制器难以发挥作用。简单有效的方法是在调试时根据出水中总大肠菌群数合格所需的游离性余氯量调整计量泵的加液量,运行一段时间后再测定余氯量进行校正。

4 讨论

以洗浴水为中水原水的处理工艺可采用生物接触氧化-砂滤工艺。设计接触氧化池时宜以填料表面积有机负荷为主要参数,处理低浓度洗浴水时SOL值可用10 g/(m²·d),曝气设备宜采用射流自吸式潜水曝气机,氧计量系数Y_{O₂}可采用2 kgO₂/kgBOD,消毒可采用在线静态混合器快速混合接触消毒技术。

参考文献

- 1 张锡辉,等译.废水生物处理.北京:化学工业出版社,2003
- 2 尹军.对日本中水道系统的经济分析.给水排水,1988,14(2):35~38
- 3 中国工程建设标准化协会标准.生物接触氧化法设计规程.2001
- 4 季民,等.移动床生物膜反应器处理生活污水.中国给水排水,2003,19(2):56~57
- 5 李怀正,等.小型生活污水处理装置存在问题及对策.给水排水,2000,26(4):61~63
- 6 范懋功.快速混合接触消毒技术用于中水处理.给水排水,1999,25(5):52~53

▽作者通讯处:100088 北京新外大街甲8号22-4-8

航空工业设计院

电话:(010)62038864

收稿日期:2003-3-12