

某高校中水处理工程改造前后工艺技术分析和建议

叶丽影, 肖淑梅, 徐 鹏
(中国人民大学 校园建设处, 北京 100872)

摘 要: 高校是耗水大户。在高校中水处理工程中推行新设备、新技术, 实现水资源可持续利用是降低高校人均耗水量、节约用水的重要举措之一。高校中水处理工程在建设和运行两个阶段采用相对独立的管理模式使得两者之间存在一定割裂, 容易出现因设计的处理工艺与实际运行结果存在较大偏差, 达不到使用要求而重新改造的情况。以某高校中水处理工程改造为例, 对比了改造前后工程建设情况和后期运行管理情况, 结合实际运行数据, 对接触氧化处理工艺和膜生物处理工艺在处理流程、用地面积、项目投资、处理效果、运营成本及维护管理等方面的优劣进行了分析探讨。研究表明, 如设计合理, 管理到位, 膜生物处理工艺较之生物接触氧化处理工艺, 具有流程工序较少、占地面积较小、处理水质稳定、运维管理工作量减少、后期运营管理成本较低等特点, 但对管理人员专业素质和管理水平要求较高。基于该中水处理系统长期运行情况, 针对投入使用后出现的问题, 从前期项目设计、工程建设到后期运营管理等方面提出了改进建议。

关键词: 中水处理工程; 膜生物处理; 接触氧化

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)08-0039-06

Technical Analysis and Suggestions before and after Transformation of Reclaimed Water Treatment Project in a University

YE Li-ying, XIAO Shu-mei, XU Peng

(Construction Department, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

Abstract: Colleges and universities are big water users. In order to reduce the per capita water consumption and improve water conservation, it is one of the important measures to promote new equipment and new technologies in water treatment projects to achieve sustainable use of water resources. In the two stages of construction and operation, the sewage treatment project in colleges and universities adopted a relatively independent management mode so that there would be a certain gap in the two stages. It was necessary to reconstruction because the actual operation results didn't meet design requirements. Taking a reclaimed water treatment project reconstruction in a university as an example, the project construction situation and post-operation management situation before and after the transformation were compared. Combined with the actual operation data, the advantages and disadvantages of the contact oxidation treatment process and membrane biological treatment process were analyzed and discussed in terms of the treatment process, land area, project investment, treatment performance, operation costs and maintenance management. The research showed that if the design was reasonable and the management was in place, except for the high requirements for the professional quality and management level of

managers, the membrane biological treatment process had less process steps, less floor space, stable effluent quality, less operation and maintenance management workload, and less operation and management costs than the biological contact oxidation treatment process. Based on the long-term operation of the project, some suggestions for improvement were put forward to solve the questions in the operation which came from the previous project design, project construction and the operation management.

Key words: reclaimed water treatment project; membrane biological treatment; contact oxidation

目前,中水处理系统已在各高校中得到广泛应用,在校园水资源循环利用方面发挥了重要作用^[1-4]。但在实际工程中,由于工程建设与后期运行一般由高校内不同部门负责,管理相互独立,尚没有建立有效的协同管理机制,工程建设与后期运行难以形成有机整体,导致在工程建设过程中,基建部门和运行管理部门因缺乏深入的沟通交流和有效的协同配合,而容易出现前期设计处理工艺与实际运行结果存在较大偏差,工程项目预期功能难以得到充分发挥的问题。因此,一些投入使用的中水处理工程在后期运营过程中经常出现管理不便、运维成本高,处理结果达不到使用要求的问题,从而不得不进行改造。

以某高校中水处理工程改造为例,通过对比改造前后工程建设情况与后期运行管理情况,从处理流程、用地面积、项目投资、处理效果、运营成本及维护管理等方面对接触氧化处理工艺和膜生物处理工艺两种方案进行了分析探讨,以期为高校中水处理工程处理工艺的选择提供技术支撑。

1 项目概况

1.1 改造前工艺

该项目为北京某高校中水处理工程,改造前采用接触氧化处理工艺,设计处理水量为 $65 \text{ m}^3/\text{d}$ 。处理站原水主要来源于学生宿舍洗浴、盥洗、冲厕及学生餐厅冲洗组成的生活污水及废水等,处理后的中水主要用于卫生间内的冲厕、校园绿化的浇灌、校园道路的喷洒等。

进水 BOD_5 为 $70 \sim 150 \text{ mg/L}$, COD 为 $120 \sim 150 \text{ mg/L}$, SS 约 200 mg/L , 氨氮为 $15 \sim 25 \text{ mg/L}$ 。出水需满足冲厕、城市绿化、道路清扫再生水要求,参照《建筑中水设计规范》(GB 50336—2002)及《北京市中水设施建设管理试行办法》,最终主要设计出水指标确定为: pH 值为 $6.0 \sim 9.0$, 浊度 $\leq 5 \text{ NTU}$,

$\text{BOD}_5 \leq 10 \text{ mg/L}$, $\text{COD} \leq 50 \text{ mg/L}$, 氨氮 $\leq 10 \text{ mg/L}$, 总大肠菌群 ≤ 3 个/L。

该工程于2010年4月交付运行,处理工艺流程见图1。

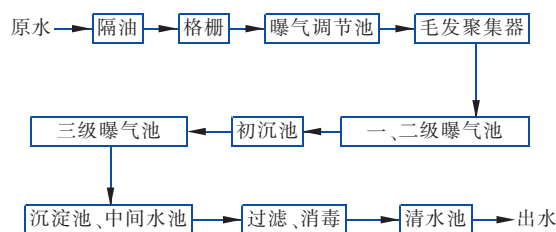


图1 改造前的接触氧化处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of contact oxidation treatment process before transformation

该工程在交付运行一年多的时间里,经常出现处理后的中水水质不稳定现象, COD 和 BOD_5 分别超标 $20\% \sim 40\%$ 和 1 倍, 还曾因出水水质屡次变差、达不到标准而停运。为了查明原因,运营中心对曝气池进行了取样观察,发现水样中鞭毛虫、钟虫单位数量不足,曝气池生物相未达到良好状态。进一步分析发现,由于场地面积十分有限,设计原水调节池容积时采用了规范要求范围的低限值,而高校学生用水时间集中,处理站来水短时间内过于集中,导致水力停留时间不足,负荷冲击较大,从而造成曝气池生物相波动,处理效果变差。此外,处理系统中生物膜会发生周期性的脱落并悬浮在水中,导致过滤罐实际工作负荷超出原设计负荷,过滤效果不理想,处理后的水质达不到使用要求。

从一年多的运行情况来看,该系统处理效果难以满足实际使用功能的需求。

1.2 改造工艺

为了解决这一问题,2011年10月运营中心对原中水处理系统进行了升级改造。此次改造取消了原系统中的一二级曝气、沉淀、过滤等流程,拆除了

一二级曝气池、初沉池、过滤罐、三级曝气池生物填料、沉淀池斜板、中间水池和过滤泵等设施,将三级曝气池和沉淀池改造为膜生物组件处理池,保留曝气装置,增加了与膜生物处理工艺相配套的膜生物组件和自吸泵。在原水量、原水水质、处理要求、处理站用地面积不变的情况下,将处理工艺由原来的接触氧化处理法改为膜生物处理法,经过一段时间的运行观察,发现改造后出水水质得到了较大的改善,系统稳定性也得到了较大的改观,基本满足使用功能的需求。

改造后的膜生物处理工艺流程见图 2。

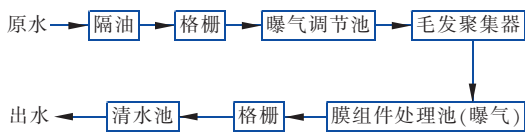


图 2 改造后的膜生物处理工艺流程
Fig.2 Flow chart of MBR treatment process after transformation

2 处理工艺比较

2.1 工艺流程比较

由于本项目处理的是高校学生宿舍区和学生餐厅的生活污水,经过预处理之后,污水悬浮物较少,生化性较好,采用常规氧化+沉淀+过滤工艺本身是没有问题的。但高校学生宿舍一天内用水时间集中,排水时间集中,水量波动大,变化快,同时具有教学期及寒暑假假期用水量差异大的特殊性,在一年内

的不同季节里也会存在“丰”“枯”水期,对整个中水处理系统造成较大的冲击性。这种过大的冲击性,对于传统接触氧化法来讲是“致命”的。

改造后采用的膜生物处理工艺,在原有前处理段基础上增加了膜生物反应器工艺。膜生物处理工艺容积负荷高,抗水力、有机物负荷冲击能力强,可以大大提高曝气池及膜池的污泥浓度,在相同池容下大大增加了生物量,降低了有机物处理负荷;其次选择较低的设计膜通量,膜的过水能力可以适应较大的水量变化,这也是本项目采用膜处理工艺后出水水质稳定达标的重要原因。

相比之下,改造后的中水处理流程工序减少,有可能出现问题的步骤相应减少。

2.2 用地面积比较

按处理水量为 65 m³/d 计算,改造前的接触氧化处理工艺相关设施总占地面积为 90 m²,改造后的膜生物处理工艺相关设施总占地面积为 70 m²,与接触氧化处理工艺相比,膜生物处理工艺配套设施占地面积减少超过 20% 左右。因此,膜生物处理工艺单位占地面积内处理水量更大,节省用地空间,提高建筑面积使用率。

2.3 处理效果比较

运营中心在改造前和改造后同一季节、同一时段、同样的用水情况下,分别对原水、接触氧化处理水、膜生物处理水进行了取样分析,对三种不同水质的主要指标进行对比,结果见表 1。

表 1 接触氧化处理和膜生物处理效果比较

Tab.1 Comparison of contact oxidation treatment and membrane biological treatment

项目	原水	接触氧化处理水	膜生物处理水	中水水质标准(参见 GB 50336—2002 及北京市中水设施建设管理试行办法)
色度/倍	55	15	<5	≤30
浊度/NTU	25	3.8~4.7	≤4	≤5
臭	有不快感	有不快感	无不快感	无不快感
pH 值	8.02	7.50	7.38	6.0~9.0
悬浮物/(mg·L ⁻¹)	≈200	8~10	5	≤10
BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	70~150	6~20	<6	≤10
COD/(mg·L ⁻¹)	120~150	40~70	30	≤50
氨氮/(mg·L ⁻¹)	15~25	8~10	5~8	≤10
游离余氯/(mg·L ⁻¹)		≥1	≥1	≥0.2(管网末端)
总大肠菌群数/(个·L ⁻¹)	4 600	忽高忽低,不稳定	(稳定)<3	≤3
稳定性	差		好	—

由表 1 可以看出,接触氧化处理工艺出水水质指标不能全部达到中水标准要求,且水质稳定性不

好;而膜生物处理工艺出水各项指标均优于接触氧化处理工艺,且均达到中水水质要求。

3 投资对比分析

3.1 前期投资比较

前期投资主要是指建造中水处理系统时设备和土建的投入。对接触氧化工艺和膜生物处理工艺的

前期投资进行对比(处理水量为 $65 \text{ m}^3/\text{d}$),结果如表2所示。

由表2可知,由于膜组件的增加,膜生物处理工艺的前期投资比接触氧化法高 $950 \text{ 元}/\text{m}^3$ 。

表2 接触氧化处理工艺和膜生物处理工艺前期投资比较

Tab.2 Comparison of investment of contact oxidation treatment and membrane biological treatment process

项目	前期投资 (设备和土建)/万元	减少部分	增加部分	单位投资/ (元· m^{-3})
接触氧化处理工艺	34.36	—	—	5 286
膜生物处理工艺	40.54	一、二级曝气池,中间水池,过滤罐,生物填料,沉淀斜板等(共计5.97万元)	膜组件 (约12.15万元)	6 236

3.2 后期投资比较

后期投资主要是指中水处理系统投入使用过程中的运营维护费用,包括设备运行管理费用、设备折

旧费、各项耗材费用、人工费和水电费等。对接触氧化和膜生物处理工艺的后期投资进行对比(处理水量为 $65 \text{ m}^3/\text{d}$),结果见表3。

表3 接触氧化处理工艺和膜生物处理工艺运维费用比较

Tab.3 Comparison of operation and maintenance cost of contact oxidation treatment and membrane biological treatment process

元· a^{-1}

项目	接触氧化处理工艺	膜生物处理工艺	费用增(+) 减(-)
生物相稳定性维护	19 479 (补水量为 $2\ 390 \text{ m}^3/\text{a}$,水费为 $8.15 \text{ 元}/\text{m}^3$)	无	-19 479
过滤器清洗/更换滤料	1 300	无	-1 300
药剂、滤料消耗	10 000	5 000	-5 000
膜组件清洗	无	120(2~3次/a)	+120
膜片更换	无	19 200(该工程安装1组膜组件,80个膜片,按5年累计更换率为100%、每片膜为1 200元计算)	+19 200
更换填料	2 000(5~7年更换一次,包含材料费、存贮、人工费等)	无	-2 000
其他	300	200	-100
合计	33 079	24 520	-8 559

由表3可知,综合对比各项费用,相比于接触氧化处理工艺,膜生物处理工艺后期运营管理费用约减少8 559元/a。

4 运营管理对比

为了进一步研究接触氧化处理工艺和膜生物处理工艺的优缺点,现从日常管理、设备维护和药剂投放三方面对两种工艺的运营管理需求进行对比分析,结果见表4。

由表4可以看出,接触氧化处理工艺需要对氧化池、过滤罐和清水池等构筑物和设备进行日常的管理和维护,需要分别对营养物和消毒剂进行投放管理,需要每天对过滤罐进行反冲洗,所需管理事项较多,频率较高。虽然曝气池填料和过滤罐滤料更换频率不高,但每次更换时需要系统停机,不仅影响

系统的正常运行,而且人工管理成本也较大。膜生物处理工艺只需对膜组件进行日常的管理和维护,在更换有问题的膜片时可以分组操作,不需要系统停机,所需投放的药剂只有清洗药剂和消毒剂。因此,所需管理事项较少,频率较低,人工管理运行成本较少,且大部分管理不影响系统的正常运行或对系统正常运行影响较小。综合对比分析可知,膜生物处理工艺在运行管理方面优于接触氧化处理工艺。需要注意的是,由于膜生物处理工艺中膜组件的特殊性,日常管理中需进行良好的维护,所以在系统运行过程中,膜生物处理工艺对工作人员的专业素质和管理行为要求较高,需要其严格遵守管理规定,按规范流程执行操作,严控杂物进入膜处理池堵塞膜组件,造成膜通量降低,以保证系统正常运转。

表 4 接触氧化处理工艺和膜生物处理工艺运行管理比较

Tab. 4 Comparison of operation management of contact oxidation treatment process and membrane biological treatment process

项目	接触氧化处理工艺		膜生物处理工艺	
	管理要求	是否影响正常运行	管理要求	是否影响正常运行
日常管理	需经常观察曝气池中生物相稳定情况,并调整生物相	是	需经常检查膜组件工作状态,及时清理膜表面的堵塞物质	否
	需对曝气池中填料进行更换(5~7年一次),重新培养生物相	是	为保护膜组件不受损,需严格控制杂物流入膜组件处理池	否
	进出水压差 ≥ 250 kPa时需对过滤罐进行反冲洗(频率 ≥ 2 次/d)	否	当即时操作压差超过初期操作压差5 kPa时需对膜组件进行清洗,清洗频率为2~3次/a	否
	需开启过滤罐,更换滤料(1次/a)	是	出水浊度较高时,需停机维修或更换问题膜片	是,但较小
	细菌受生物相、季节影响变化较大,消毒剂投放频率高且量大	否	细菌达标稳定,消毒剂投放量少	否
设备材料维护	曝气池填料更新与维护(5~7年一次)	是	膜组件清洗与维护(2~3次/a)	否
	过滤罐滤料更换与维护(1次/a)	是	膜片更换,5年累计更换率为100%	否
药剂清洗投放	添加消毒剂,投量高	否	—	—
			添加膜组件清洗药剂(2~3次/a)	否
			添加消毒剂	否

5 结论与建议

5.1 结论

① 高校学生宿舍区和学生餐厅的生活污水,经过预处理之后,生化性较好,采用常规的氧化+沉淀+过滤的接触氧化处理工艺是没有问题的。但该工艺抗水力、抗有机物负荷冲击能力较低,对于高校学生用水时间集中,处理站来水短时间内过于集中,来水不规律的变化性适应较差,导致水力停留时间不足,负荷冲击较大,生物相易产生波动,系统易受到较大冲击。因此,在进行处理工艺系统设计、计算调节构筑物容积及用地面积时,需要充分考虑这些因素,并应结合高校用水特点进行综合比较,在符合设计规范要求范围的基础上留出足够的余量,而不应仅仅因为场地面积受限就降低标准导致整个处理系统不能正常使用甚至瘫痪。

② 膜生物处理工艺中水处理流程工序减少,相对减少了有可能出现的问题环节。在相同的设计处理水量的情况下,膜生物处理工艺占地面积减少20%左右,提高了建筑面积使用率。

③ 对于高校学生用水时间集中、处理站来水短时集中、用地面积受限、后期运行管理到位的小规模中水处理工程,采用膜生物处理工艺抗水力和抗有机物负荷冲击能力较强,有机物降解较充分,处理

水质稳定性较好。

④ 膜生物处理工艺前期投资较高(比接触氧化工艺高950元/m³),后期运营维护管理费用有所降低。虽然膜生物处理工艺日常运维管理事项较少,管理频率较低,人工管理成本减少,但对运维工作人员的专业素质和管理水平要求较高。

5.2 建议

① 膜生物处理工艺中膜通量的大小决定了设计处理能力的大小,足够的膜通量是维持中水处理系统长期稳定正常运行的重要保证。从项目几年的运行情况看,对膜组件进行2~3次/a的常规药洗不能完全清除膜表面的堵塞物质,久而久之,膜通量降低,且衰减较快。笔者结合膜生物处理中水工程建设管理经验与系统运营管理方的意见,建议采用自动化控制,增大药洗频率,宜一周一次,同时增加对膜组件每天一次反冲洗工序。经实际工程反馈,改变药洗频率和增加反冲洗可以大大减少膜片更换率,膜组件使用寿命可延长达7年。

② 原水有部分为食堂餐饮废水,系统运行过程中发现,当食堂餐饮排水隔油器没有及时清理、更换而达不到隔油效果或隔油器损坏时,油污水直接排入中水处理站,会造成膜表面严重堵塞且无法清理。因此,对于采用膜工艺处理餐饮废水的工程必

须保证油污隔油器正常运行和工作。

③ 根据工程运营经验,膜生物处理工艺通常在活性污泥浓度 $\geq 7\,000\text{ mg/L}$ 下运行才能达到有效膜通量,保证处理效果。因此,系统运行管理中要特别注意保持活性污泥浓度值。运营中心管理人员总结出一种简单易行的测试方法——烧杯观察法。若沉淀速度太慢,说明污泥仍在膨胀,易形成絮状黏在膜表面造成堵塞,需要时间再培养,直到沉淀速度达到要求。

④ 由于膜生物处理系统在运行时会产生持续噪声,对周围环境造成一定的影响。因此建议在中水处理工程设计时,要充分考虑噪声的影响,做好鼓风机、水泵的隔振处理和墙、屋顶的吸声降噪处理。对于学校、医院、小区、实验室等有安静要求的场所,可考虑采用回转式鼓风机,相对于罗茨鼓风机,回转式鼓风机具有噪声较低、所需动力小、节能效果较好、安装简单、搬运灵活等优势,较适宜在小型中水处理项目中应用。

⑤ 膜组件运行维护标准较高,管理人员需要严格进行原水预处理操作、持续观察膜表面有无堵塞和膜通量情况,杜绝系统长时间停运造成膜干燥损坏现象的出现。应选择专业水平高、管理素质过硬的工作人员进行膜生物处理系统的运行管理与维护工作,定期检测,定期记录,发现问题及时处理,严格遵守管理规定,按规范执行操作流程,以保证系统正常运转。

⑥ 中水系统的处理效果及运行稳定与否,与后期运营管理密切相关。选择工艺流程方案时不仅要注重处理效果好,运行可靠,投资适中,还应充分考虑运营维护管理简单方便,安全易操作,维护成本低等因素。因此,高校基建管理部门和后勤运行管理部门需要尽快研究并形成行之有效的协同管理体系和共享机制,在工程建设前期及建设过程中做到充分沟通和协调配合,对工艺处理流程、用地面积、项目投资、处理效果、运营成本及维护管理等方面的优劣进行充分研究和论证分析,合理规划和整合利

用项目资源,力求得出最优设计方案,最大程度地发挥项目功能。

参考文献:

- [1] 冯为为. 加强绿色校园建设促进城市永续发展[J]. 节能与环保,2017(5):36-37.
Feng Weiwei. Strengthening the construction of green campus and promoting sustainable development of cities [J]. Energy Conservation and Environmental Protection, 2017(5):36-37 (in Chinese).
- [2] 吕宏德. 水处理工程技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
Lü Hongde. Water Treatment Engineering Technology [M]. Beijing:China Architecture & Building Press,2008 (in Chinese).
- [3] 王文东. 废水生物处理技术[M]. 北京:化学工业出版社,2014.
Wang Wendong. Wastewater Biological Treatment Technology[M]. Beijing:Chemical Industry Press,2014 (in Chinese).
- [4] 高静思. 中水处理与回用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2014.
Gao Jingsi. Water Treatment and Reuse Technology[M]. Beijing:Chemical Industry Press,2014 (in Chinese).



作者简介:叶丽影(1965—),女,北京人,本科,高级工程师,从事工程建设技术管理工作。

E-mail:yely@ruc.edu.cn

收稿日期:2018-12-14