

用于高校优质中水原位处理的设备研究

李甲亮^{1,2} 王琳¹ 陆兆华³ 陈平² 董晓娜³

(1. 中国海洋大学环境科学与工程学院, 青岛 266003; 2. 山东科技大学化学与环境工程学院, 青岛 266510;
3. 滨州学院城市与环境系, 滨州 256600)

摘要 为了提高高校优质中水的处理与回用率, 提出了适用于高校优质中水的处理与回用系统, 设计了中水原位处理设备, 并进行了试验验证。结果表明, 沉淀-SOBMR-过滤设备能够实现无动力、自动化运行, 尤其适合于盥洗和洗浴废水的处理。沉淀单元对盥洗废水 COD 和 SS 去除率分别为 23.8% 和 55.7%; SOBMR 单元对盥洗废水 COD 和 SS 去除率分别为 35.8% 和 27.9%; 过滤单元能有效去除废水中绝大部分 SS, 且能耐受 SS 冲击负荷, 对废水 COD 去除率先增后降, 受水力负荷的影响, 负荷越小, 处理效果越好。整个系统出水水质满足杂用水对 COD、SS 和色度等要求, 可用于冲厕和杂用。每套处理装置可节约水资源 151.2 m³/a, 设备投资回收期为 2.01 年, 具有巨大的经济效益。

关键词 中水 原位处理 沉淀-SOBMR-过滤 设备

中图分类号 X703.3 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2007)11-0069-05

Research on the apparatus for in-situ treatment of high quality reclaimed water in universities

Li Jialiang^{1,2} Wang Lin¹ Lu Zhaohua³ Chen Ping² Dong Xiaona³

(1. College of Environmental Science & Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003;
2. College of Chemical & Environmental Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510;
3. Department of Urban & Environment, Binzhou University, Binzhou 256600)

Abstract In order to increase the treating and recycling ratio of reclaimed water in universities, this paper introduced the conception of high quality wastewater treatment and recycling system, designed a high quality wastewater treatment instrument in situ, and carried out some demonstrating experiments. The result showed: sedimentation-SOBMR-filtration system can run automatically without power, which fit to treat washing and bathing wastewater especially. The COD and SS removal rates for washing wastewater are 23.8% and 55.7% in sedimentation unit, 35.8% and 27.9% in SOBMR unit respectively. Filtration unit can remove SS in washing water efficiently, and can bear the SS load strike, but the COD removal was affected by hydraulic load, the lower the load low, the high the COD removal rate. The ultimately outflow quality met the all-purpose water quality standard require for COD, SS and chroma, etc such as lavatory washing water or other usages. Each instrument can spare water resource 151.2 m³/a, and its investment returning period is about 2.01 year, which can bring great economic benefits.

Key words reclaimed water; treatment in situ; sedimentation-SOBMR-filtration; apparatus

随着高等教育的发展, 我国高校规模不断扩大, 2006 年全国在校大学生 1 400 万人。大多数高校人均用水量在 200 ~ 300 L/d, 约是居民人均用水量的 2 ~ 3 倍, 不少高校进入城市用水量前 10 名^[1]。据 2005 年对青岛 8 所高校的调查, 在校生人均用水量为 77 ~ 185 L/d^[2]。国内开展了对高校污水的处理和回用实践, 对校内污水集中处理或者将优质中水分离、单独处理回用, 这些方法都需要废水异位处理, 消耗动力^[3,4]。在我国水资源日渐紧张的今天, 在高校开展优质中水原位处理与就地回用具有重要

的意义。

1 高校优质中水处理与回用现状分析

1.1 高校排水及水质特点

高校用水集中在学生宿舍和教学楼, 如某高校用水方向及用水量见表 1, 主要用于盥洗、洗浴和洗衣, 占全校总用水量的 59%, 冲厕用水量仅占 13%,

收稿日期: 2007-07-26; 修订日期: 2007-09-08

作者简介: 李甲亮 (1972 ~), 男, 博士, 讲师, 主要从事水污染控制研究工作。E-mail: jialiangli@tom.com

杂用、绿化、景观用水量为 11%。盥洗、洗浴和洗衣废水处理容易,成本低,处理后可用于冲厕、室内杂用及景观绿化用水,是主要的优质中水源。学生宿舍楼比较集中,而且宿舍楼是公寓式的,每间房住 4~8 人,人口密度远高于普通居民住房。另外,高校用水具有规律性:早上 6:00~8:00,晚上 21:00~23:00 为用水和排水高峰期,上课和夜间(0:00~5:00)时用水量较少。周末洗澡的人数较多,导致洗浴和洗衣排水量猛增^[1]。

表 1 某高校用水方向及水量分析
Table 1 Analysis on water consuming fields and quantities in a university

项 目	用水量 (m ³ /d)	比例 (%)	项 目	用水量 (m ³ /d)	比例 (%)
洗 澡	591.5	13	开 水	91	2
盥 洗	955.5	21	冲 厕	591.5	13
洗 衣	1137.5	25	绿 化	136.5	3
扫 除	273	6	景 观	91	2
食 堂	682.5	15	合 计	4550	100

采集某高校学生宿舍的盥洗、洗衣等 6 个水样,主要水质指标见表 2。测试发现,样品的 COD 总体较高;男生宿舍明显的比女生宿舍水质好;废水具有一定的可生化性,可以采用生物处理;盥洗废水水质较洗衣废水好,但氮和磷都超标。

表 2 盥洗、洗衣废水水质特点
Table 2 Quality of washing and laundry wastewater (mg/L)

测定项目	测定值	测定项目	测定值
COD	180~361	TN	40~154
BOD ₅	38~106	TS	1.47
BOD ₅ /COD	0.21~0.29	VS	0.46
TP	0.1~0.48	VS/TS	0.32

1.2 高校中水处理与回用的现状分析

目前高校污水一般直接纳入城市排水系统,随着污水分散式处理理念的提出和小区污水处理技术的成熟,很多高校开始尝试中水的处理与回用。和居民小区相比,高校内由于盥洗室、厕所、食堂、浴室相对独立,其排水自然形成水质分流,可以单独把洗浴、盥洗和洗涤废水集中起来直接处理,设计、新建或改造管线较容易,费用较低。现有的中水处理模式一般为:优质排水收集-调节池(沉淀)-混凝/气浮

(或活性炭、MBR)-消毒-中水供水,这种处理本质上仍属于小规模集中处理模式,存在着排水-污水处理-再提升-回用的循环调水弊端,浪费了大量的动力^[5,6]。

2 优质中水沉淀-SOBMR-过滤原位处理模式的提出

2.1 沉淀-SOBMR-过滤设备工作原理

沉淀-SOBMR(序批式充氧生物膜反应器)-过滤是针对高校中水的特点提出的水处理新工艺,其结构如图 1 所示。该装置可连在上层楼的优质中水排水管道,接受上层来水,依次经过沉淀箱-SOBMR 箱-过滤箱处理后,排入本层楼中水水箱,供冲厕或室内杂用水。

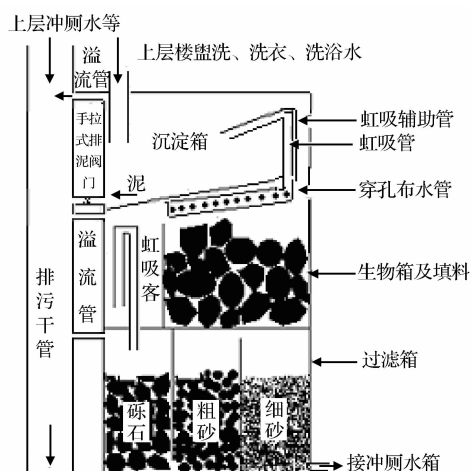


图 1 中水 SOBMR 原位处理设备

Fig. 1 SOBMR reclaimed water treatment apparatus in situ

工作原理:(1)上层优质中水连续进入沉淀箱,当水位上升到虹吸管顶端时开始排水,虹吸管内形成真空,短时间内水被吸入 SOBMR 箱,排水停止后再蓄水,进入下个周期。沉淀箱内沉泥可定期人工排出。(2)SOBMR 箱内水位逐渐上升到虹吸管顶部,箱内水迅速排空,被吸到过滤箱,此时外界空气进入,填料表面的生物膜接触空气,完成势能充氧过程^[7]。箱内填料可采用砾石,为减轻重量,增加有效容积,最好采用半软性纤维填料。废水中有机物可在 SOBMR 内被填料生物膜上附着的微生物降解,去除水中的 BOD₅ 和可溶性固体,该系统处于低负荷运转状态。(3)从 SOBMR 虹吸排出的水首先

进入复合过滤箱的砾石层,然后经第 1 道隔板底部缝隙进入粗砂过滤箱,水位上升越过第 2 隔板,流入细砂过滤箱,箱末端出水口接中水水箱。过滤箱底部安装反冲洗进水管。反冲洗用水为自来水或上层楼中水箱蓄水,反冲洗排水及上面 2 箱的溢流水排入下水干管进城市下水道。

2.2 高校优质中水处理与回用系统组成

按照优质中水原位处理的理念,高校的优质中水处理利用的系统模式如图 2 所示。该系统在不改变原来供水模式的前提下,将优质中水与冲厕污水分开,借助于楼层间的势能差,进行原位处理和滤池反冲洗,不消耗动力,可连续、自动化的运行,只需要定期由学生负责拉手动闸门排沉淀池积泥和对滤池进行反冲洗。必要时可在中水箱内投加适量次氯酸钠等消毒剂。

3 沉淀-SOBMR-过滤中水原位处理系统的试验研究

3.1 设备的基本参数

为验证沉淀-SOBMR-过滤一体化设备的有效性和可靠性,按照图 1 原理,制作了适用于学生宿舍、办公楼的中水处理模型。设计水量:以每宿舍 8 人,用水量 120 L/d,每天排水时间 17 h 计,确定设计流量 34 L/h。一体化组合处理设备长×宽×高为 400 mm×400 mm×750 mm,沉淀箱有效容积 26.44 L,HRT=45 min,通过调节虹吸管高度,控制每次排水 5.7 L(10 min 的进水量);SOBMR 箱有效容积 23 L,HRT=40 min,控制每次排水 22.5 L(40 min 的进水量);过滤箱高度 25 cm,滤料装填高度 15 cm,连续运行。各箱设有溢流排水管,设备运行周期设计如表 3 所示。

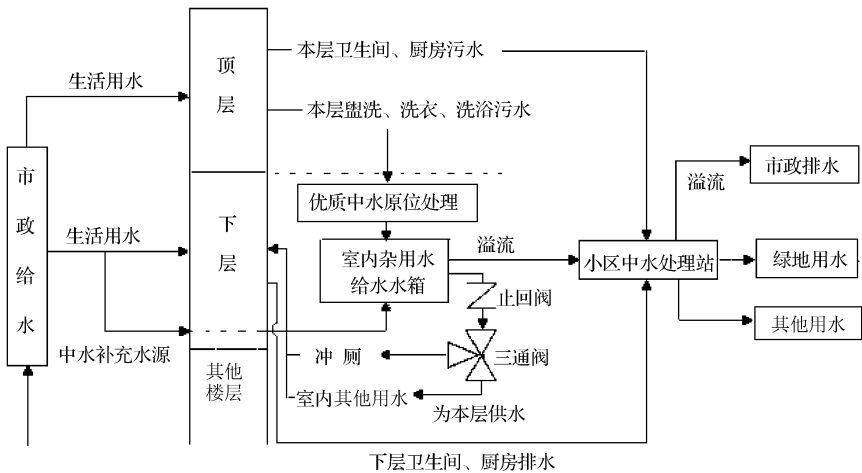


图 2 高校中水处理与回用模式图

Fig. 2 Treatment and recycling pattern of university reclaimed water

表 3 运行周期内各单元的运行状态分析

Table 3 Analysis on operating conditions of three units during one cycle

周期	运行时间 (min)	沉淀箱	生物箱	过滤箱
I-1	0 ~ 10	进水-排水	进水,降解,全部膜充氧	连续过滤,高速
I-2	11 ~ 20	进水-排水	进水,降解,中上部膜充氧	连续过滤,高速
I-3	21 ~ 30	进水-排水	进水,降解,上部膜充氧	连续过滤,中速
I-4	31 ~ 40	进水-排水	顶部充氧,水位逐至最大,排水	连续过滤,低速
II-1...	41 ~ 50	进水-排水	进水,降解,全部膜充氧	连续过滤,高速

3.2 设备水力参数的计算

3.2.1 虹吸管流量 Q 的计算

虹吸管属于简单有压管自由出流,出流平均流量公式为:

$$Q = \mu_c A \sqrt{2gH_0} \quad (1)$$

式中: μ_c 为管道系统的流量系数,可以 0.62 计,计算公式为:

$$\mu_c = 1/\sqrt{1 + \lambda(1/d) + \sum \zeta} \quad (2)$$

H_0 为作用水头,公式为:

$$H_0 = H + \alpha_0 v_0^2 / 2g \quad (3)$$

A 为出流截面积。

3.2.2 虹吸管安装高度 h_s 的计算:

$$h_s = \frac{p_a - p_c}{\gamma} - \left(\alpha_c + \lambda \frac{1}{d} + \sum \zeta \right) \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

式中 $\frac{p_a - p_c}{\gamma}$ 为虹吸管内真空度,后 3 项为虹吸管的总水头损失。工程中常常限制虹吸管中的真空度不得超过允许值(一般为 6~7 m 水柱),因此虹吸管的安装高度 h_s 不能太大。

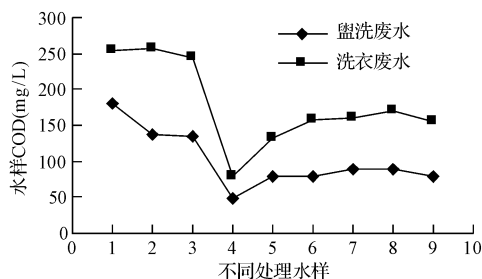
3.2.3 虹吸管排水时间 t 的确定:

$$t = 2V_{\text{有效}} / Q_{\text{max}} \quad (5)$$

式中: $V_{\text{有效}}$ 为每周期的应排水量, Q_{max} 为虹吸管最大流量。管平均流量以最大流量的 1/2 计算。

3.3 沉淀-SOBMR-过滤系统对中水污染物的去除

试验用水采集自学生宿舍盥洗及洗衣废水, COD 分别为 203 mg/L 和 254 mg/L, SS 分别为 70 mg/L 和 89 mg/L, 洗衣废水 pH 为 8.58, 偏碱性。组合设备对废水的处理情况如图 3~图 5 所示。

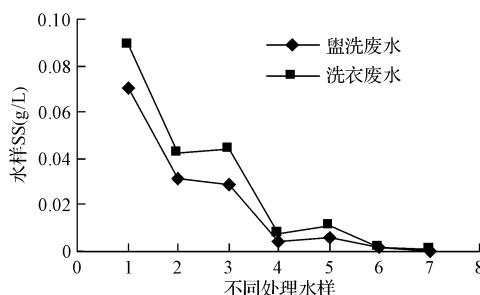


(1~9#水样:原水、沉淀箱出水、生物箱出水和过滤箱在 1、5、10、20、30 和 40 min 出水)

图 3 处理系统对中水 COD 的去除

Fig. 3 COD removal in reclaimed water treatment system

从图 3 和图 4 可知,沉淀对盥洗废水 COD 去除率为 23.8%,对洗衣废水没有去除率,这与洗衣废

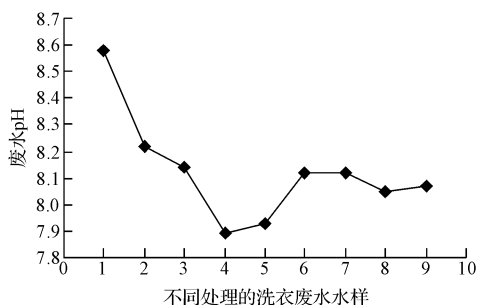


(1~7#水样:原水、沉淀箱出水、生物箱出水和过滤箱在 1、10、30 和 40 min 出水)

图 4 处理系统对中水 SS 的去除

Fig. 4 SS removal in reclaimed water treatment system

水中 LAS 存在有关;2 种废水 SS 的去除效果很好,去除率分别为 55.7% 和 52.8%;过滤箱主要用于去除掉 SOBMR 出水中脱落的生物膜,进一步改善水质。过滤效果受来水水头的影响,如图 3 和图 4 所示,过滤周期不同时间内 2 种废水出水 COD 分别为 47.8~89.7 mg/L 和 77.9~171 mg/L,波动较大,但出水 SS 去除效果很好,分别为 0 和 1 mg/L。图 5 还表明,经过沉淀池和 SOBMR 处理后,洗衣废水的 pH 有所下降,但经过滤池后, pH 有所增高并稳定,满足城市杂用水要求。



(1~9#水样:原水、沉淀箱、生物箱和过滤箱在 1、5、10、20、30 和 40 min 出水)

图 5 中水处理过程中 pH 的变化

Fig. 5 Change of pH in reclaimed water treatment system

SOBMR 箱主要用于去除废水中残存的有机物,上述试验中 SOBMR 箱内挂膜过程未完成,生物箱的处理能力没有体现。后经过对砾石填料 SOBMR 箱进行模拟有机废水闭路曝气循环以促进挂膜 10 d 后,对盥洗废水的处理试验发现,SOBMR 对 COD 和 SS 去除率分别为 35.8% 和 27.9%,若采用半软性纤维膜材料,去除效率可能更好。

沉淀-SOBMR-过滤系统运行正常后,对 3 个处理单元其主要水质指标进行了监测(表 4)。其中,沉淀池的出水值是整个运行周期内(0~40 min)混合出水的测定结果。

表 4 稳态运行的沉淀-SOBMR-过滤系统处理效果

Table 4 Treatment result of complex system under constant operation conditions (mg/L)

	盥洗废水	沉淀出水	SOBMR 出水	过滤出水
COD	180	137	88	36
SS	76	35	34	5
NH ₄ -N	34	30	12	9.5
LAS	7.4	7.2	0.9	0.8

对沉淀-SOBMR-过滤系统过滤箱出水的水质指标综合测定结果如表 5 所示,数据表明,经复合系统处理后的优质盥洗废水能满足城市杂用水水质标准(GB/T18920-2002)关于冲厕用水的要求。

表 5 系统出水与城市杂用水水质标准
(GB/T18920-2002)比较

Table 5 Contrast between outflow with urban reclaimed water quality standard

序号	项目	系统出水	冲厕用水
1	pH	8.03	6.0~9.0
2	色度	< 30	30
3	嗅	无不快感	无不快感
4	浊度(NTU)	3	5
5	溶解性固体(mg/L)	13.4	1 500
6	BOD ₅ (mg/L)	8.9	10
7	氨氮(mg/L)	9.5	10
8	LAS(mg/L)	0.8	1.0
9	铁(mg/L)	未检出	0.3
10	锰(mg/L)	未检出	0.1
11	溶解氧(mg/L)	2.6	1.0
12	总余氯	≥0.2	管网末端≥0.2
13	总大肠菌群(个/L)	<3	3

3.4 应用沉淀-SOBMR-过滤系统产生的效益分析

组合设备可采用 PP-R 材料制作,安装于学生宿舍或教学楼、办公楼,该装置全自动、无动力、无运行成本,每个造价及安装费用约 800 元,使用寿命 30 年以上。按学生用水量的 59% 转化为优质中水计,则每套装置处理中水量为 566 L/d,一部分用于

冲厕和室内杂用,其余部分可汇入学校中水系统,用于绿化、景观等,以学生每年在校时间 9 个月,自来水价 2.6 元/m³ 计,则每套设备投资回收期为 2.01 年,30 年可节水 4 536 m³,直接经济效益 1.18 万元,扣除设备投资和维护费用 1 800 元,则每套设备创造效益 1 万元。以 2 万人的学校规模计,30 年总经济效益达 2 500 万元,平均每年 83.3 万元,经济效益显著。

4 结 论

高等学校优质中水中盥洗废水污染较轻,水量较大,沉淀-SOBMR-过滤系统克服了传统集中处理的缺点,解决了污水分质排水、分散处理的难题,实现了原位处理、连续、无动力、全自动的运行;SOBMR 实现了靠势能来自动充氧,从而将污水二级处理方法引入了优质中水的深处理,虹吸管是本套设备中的重要组成,其水力计算以有压管自由出流来计,应注意保证其有效性、连续性;对一体化设备的实验表明,设备对废水中 COD 和 SS 有较好的处理效果,处理后的中水能满足杂用水水质标准(GB/T18920-2002),可用于冲厕和杂用,每年创造 83.3 万元的经济效益,具有推广的价值。

参 考 文 献

- [1] 刘米囡,王波. 高等学校中水回用的可行性. 环境卫生工程,2004,12(2):117~120
- [2] 李甲亮,王琳,吴水波. 青岛高校用水与节水现状调查与模式研究. 水资源保护,2007,23(2):88~90
- [3] 王小雨. 住宅小区中水回用工程实例. 江苏环境科技,2005,18(2):21~22
- [4] 葛志鹏. 公寓楼中水回用技术. 兰州工业高等专科学校学报,2003,10(2):52~55
- [5] 付宛霞,李蕾,吴国璜,等. 高校学生宿舍盥洗废水回用的优势分析. 北京建筑工程学院学报,2002,17(4):30~33
- [6] 魏娜,蒋文举,廖文杰. 高校校园盥洗废水回用分析. 资源开发与市场,2005,21(5):432~435
- [7] 陈铭钊,丁训静. 势能大气复氧理论与实践. 北京:化学工业出版社,2006. 24~33