

太阳能路灯的优化设计与实现

刘德雄¹, 杨华¹, 胡思福²

(1. 西南科技大学理学院, 四川 绵阳 621010; 2. 成都电子科技大学微电子学与固体电子学院, 成都 610000)

摘要:太阳能路灯安全节能无污染、工作自动化、节省电费、维护简便, 相对普通路灯而言有较高的性价比。无需复杂昂贵的管线铺设, 可任意调整灯具的布局, 适用于中等大小的环境。综合考虑具体的地理位置和气候条件, 经过优化配置太阳能路灯系统。结合蓄电池放电深度, 根据 LED 光源的大小计算太阳能光伏组件和蓄电池容量, 确定太阳能路灯系统最佳配置的方法。以西南科技大学太阳能路灯优化设计为实例进行分析, 系统实行智能控制, 能提供连续 5 个阴天的照明要求。

关键词:太阳能电池; 蓄电池; 绿色环保; 优化设计; 高性价比

中图分类号:TK01

文献标识码:A

引言

近年来, 由于人们对能源、环境问题的日益关注, 太阳能这种非常理想的清洁能源的应用与普及越来越受人们重视。若能合理地利用太阳能, 将会为人类提供充足的能源, 太阳能是地球上最普遍也是最清洁的能源。同时, 随着太阳能光伏技术的发展和进步, 太阳能发电在路灯照明领域发展已经日趋完善。太阳能路灯具有安全无污染、工作自动化、节能维护简便等特点, 相比普通路灯具较高的性价比^[1]。

根据四川绵阳的地理位置和太阳能年辐射量等条件, 优化设计出一套太阳能路灯系统, 并进行测量与性能比较。

1 太阳能路灯系统的优化设计

1.1 太阳能路灯系统简介

一套完整的太阳能路灯系统包括: 太阳能电池组件、蓄电池、控制器与 LED 灯具以及灯架。各个组件组合起来, 形成一套太阳能路灯系统^[2-3], 下图 1 展示了部件之间的连接方式。

白天太阳能电池组件将太阳能转化为电能通过控制器储存到蓄电池里, 晚上蓄电池通过控制器给光源进行供电。其中 LED 光源、太阳能电池组件、蓄电池和控

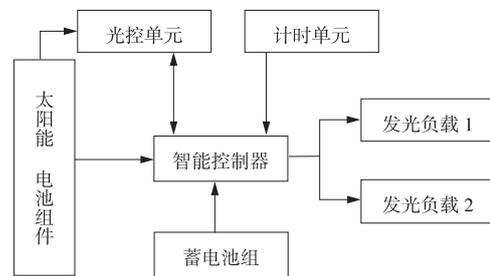


图 1 太阳能系统组成图

制器是决定太阳能路灯系统性能好坏的关键, 应进行优化设计。

1.2 太阳能路灯系统匹配问题

现在做太阳能路灯的厂家过多的追求灯的外观造型设计, 而忽略了最重要的灯具系统的匹配问题, 不经过设计和优化, 简单设计了事, 最后导致灯具在使用过程中出现大量问题。还有些厂家为了营造好的价格优势, 不惜牺牲系统的稳定性, 这些做法是不可取的^[4]。

匹配的设计是关系到系统的可靠型和稳定性的重要因素, 应引起重视, 可从以下几个方面着手:

- (1) 耗电量和电蓄电池容量配比应满足连续阴雨天数要求且放电深度合理;
- (2) 太阳能电池的发电量和负载量的配比合理;
- (3) 太阳能电池的充电电流和蓄电池的容量配比。

收稿日期:2011-05-15

基金项目:国家自然科学基金(10976025/A06)

作者简介:刘德雄(1976-), 男, 湖北黄冈人, 助教, 硕士, 主要从事新能源技术与太阳能电池器件方面的研究。

1.3 太阳能路灯系统的优化配置

1.3.1 LED 的选择

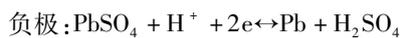
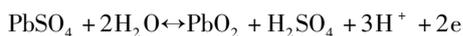
LED(Light Emitting Diode)即发光二极管,是一种固态半导体照明器件,它可以直接把电能转化为光能^[5]。与普通的照明电器相比,LED 优势明显。LED 属于低压供电照明系统且不需要变压器、镇流器、启动器等附件;LED 属于冷光源的固体照明,有可控性好、节能环保、使用寿命长等优点。

本系统主要针对西南科技大学的校园环境设计出一套路灯系统,所以不需要像高速公路上的路灯功率那么大。根据校园道路的照明情况,设计时选择每台太阳能路灯的 LED 功率为 12W,完全能够满足夜晚的照明要求,与现在校园 40W 的节能灯的亮度相当。选用 LED E27 球泡灯,灯的型号为 DCL006-D/W-Y(E27)。

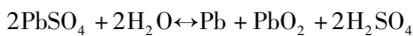
1.3.2 蓄电池的选择

综合比较各类太阳能蓄电池,我们选用 VRLA 蓄电池,VRLA 蓄电池的工作原理基本上仍沿袭于传统的铅酸蓄电池,它的正极活性物质是二氧化铅(PbO₂),负极活性物质是海绵状金属铅(Pb),电解液是稀硫酸(H₂SO₄),其电极反应方程式如下:

正极: $335 \sim 419 \times 10^7 \text{ J/cm}^2 \cdot \text{a}$



阀控密封式铅酸蓄电池反应方程式:



VRLA 蓄电池的设计原理是把所需份量的电解液注入极板和隔板中,没有游离的电解液,通过负极板潮湿来提高吸收氧的能力,为防止电解液减少把蓄电池密封,故 VRLA 蓄电池又称“贫液铅酸蓄电池”。

绵阳位于四川盆地西北部,涪江中上游地带。地理坐标:东经 103 度 45 分-105 度 43 分,北纬 30 度 42 分-33 度 03 分。最长阴雨天大概是 5 天。负载的工作状态:设为八小时,按照上面所选的 LED 灯具,每架太阳能路灯的工作功率 12 W,电压 12 V,即总即总工作电流 $I = 12/12\text{A}$ 。

$$W = 1 \times 8 = 8\text{Ah}$$

蓄电池容量: $C = W \times d \times 1.1 = 8 \times 5 \times 1.1 = 44\text{Ah}$
(d 是连续阴雨天气,1.1 是蓄电池安全系数)

所以所选蓄电池容量只需大于 44 Ah 就可以保证 LED 灯 5 天内正常工作。为了防止出现特殊情况,选择 45 Ah 的蓄电池^[6]。

1.3.3 太阳能电池板的选用

四川地区的辐射总量是 $335 - 419 \times 10^7 \text{ J/cm}^2 \cdot \text{a}$,

绵阳地区年日照为 662 h—1287 h。负载功耗:

$$W = \Sigma I \times h$$

$$T_{\min} = 662 \text{ h}, T_{\max} = 1287 \text{ h}$$

负载年消耗的总能量:

$$W_l = V \times I \times T \div K$$

V 为负载工作电压 12 V, I 为负载的工作电流; T 为负载的工作时间: $365 \times 8 = 2920 \text{ h}$;

$$K = 0.6$$

$$W_l = 58400\text{Wh}$$

$$P_{\max} = W_l \div T_{\min} = 88\text{W}$$

$$P_{\min} = W_l \div T_{\max} = 45.38\text{W}$$

(K 包括充电效率、太阳能电池板脏污系数、电池板温度补偿序数、并联接线损失系数、最佳输出修正系数、蓄电池放电效率、驱动效率、线损)。

上面只是日照情况下的计算,在实际中我们还要考虑阴天情况下的发电,所以并不需要满足 88 W ^[7],我们选择了一个 45 W 的多晶硅组件作为太阳能路灯系统的发电源^[8]。

1.3.4 控制器

蓄电池在白天的时候会接受充电,而在晚上则会提供能量给 LED 灯。LED 灯的工作是通过控制器进行的,控制器在保证 LED 灯恒流工作的同时,也会监测 LED 灯的状态以及控制工作时间长短。连续阴雨天以及蓄电池电能不足的情况下,为了防止蓄电池过放电,控制器会发出控制信号切断 LED 的供电回路。太阳能充放电控制器基本功能必须具备过充保护、过放保护、光控、时控与防反接功能^[9]。我们选用了有如下功能的 SLC 系列太阳能充放电控制器,它具有以下的功能:

① 可编程控制;

② 通过测量太阳能电池板的开路电压,自动判断白天和黑夜;

③ 全面电子保护功能,有效控制反接,短路,过载;

④ 自动识别 12 V 或者 24 V 的系统电压。

此控制器的主要特点是根据需要进行时控与光控进行程序控制的选择,同时具备两路电路的控制功能。

2 性能测试与分析

2.1 路灯系统实现与测试

将进行了优化配置的太阳能路灯各个组件组合起来,形成一套太阳能路灯系统^[10]。绵阳的纬度是北纬 30 度 42 分-33 度 03 分,西南科技大学的纬度北纬 31° 32.2526',所以倾角设置在 $41^\circ 32'$,取 40° 。方位角是太阳能电池的垂直面与正南面的夹角(向东偏设定为负角

度,向西偏设定为正角度)。方位角的计算公式为:方位角 = (一天中负荷的峰值时刻(24 小时制) - 12) × 15 + (经度 - 116)。西南科技大学的经度为:东经 104° 42.0302', 设 12 点为负荷峰值时刻,得到的方位角为 -11°18', 取 -10°。太阳能组件方阵的倾角和方位角确定,方阵倾角与纬度的关系见表 1。

表 1 方阵倾角与纬度的关系

当地纬 Φ	0° ~ 15°	15° ~ 20°	25° ~ 30°	30° ~ 35°	35° ~ 40°	>40°
方阵倾 β	15°	Φ	Φ+5°	Φ+10°	Φ+15°	Φ+2°

将系统置于绵阳西南科技大学进行测试,测试数据见表 2、表 3。

表 2 太阳能电池板测试数据(一)

时间	开路电压(V)	充电电压(V)	短路电流(A)	充电电流(A)	开路功率(W)	充电功率(W)
11:00	21.5	12.54	1.5	1.42	32.25	17.8068
11:15	21.5	12.6	1.66	1.55	35.69	19.53
11:30	21.5	17.7	1.6	1.49	34.4	26.373
11:45	21.5	12.57	1.56	1.49	33.54	18.7293
12:00	21.5	12.61	1.81	1.66	38.915	20.9326
12:15	21.3	12.4	1.66	1.3	35.358	16.12
12:30	21.8	12.43	1.76	1.67	38.368	20.7581
12:45	21.8	11.85	1.74	1.64	37.932	19.434
13:00	21.7	12.2	1.82	1.71	39.494	20.862

测试电池板:45 W 多晶硅电池板;方位角:南偏东 10°;倾斜角:40°;天气:晴转多云;气温:2 °C - 12 °C;测试地点:绵阳

表 3 太阳能电池板测试数据(二)

时间	开路电压(V)	充电电压(V)	短路电流(A)	充电电流(A)	开路功率(W)	充电功率(W)
11:00	21.4	12.9	1.75	1.52	37.45	19.608
11:30	21.2	14	2.25	1.98	47.7	27.72
12:00	20.8	14.5	2.38	2.01	49.504	29.145
12:30	21	13.6	2.41	2.09	50.61	28.424
13:00	21	12.8	2.44	2.11	51.24	27.008
13:30	21.1	12.72	2.38	2.09	50.218	26.5848
14:00	21.2	12.65	2.18	1.98	46.216	25.047
14:30	21.3	12	2.1	1.8	44.73	21.6
15:00	21.4	12.3	1.84	1.67	39.376	20.541
15:30	21.4	12.5	1.74	1.62	37.236	20.25

测试电池板:45 W 多晶硅电池板;方位角:南偏东 10°;倾斜角:40°;天气:晴;气温:5 °C - 31 °C;测试地点:绵阳

2.2 性能分析

蓄电池容量为 45 Ah,工作电压为 12 V,充满蓄电池需要太阳能电池板提供的总能量为:

$$P_{总} = 12 \times 45 = 540 \text{Wh.}$$

根据测得的表 2 和表 3 两组数据,运用公式:

$$C = V \times I \times t$$

其中 V 为电池板充电电压,I 为充电电流,t 为充电时间。由表格中数据计算平均充电电压 V = 12.96 V,电流为 1.93 A,充电时间光照充足时平均为 9 小时。

可得出:

电池板产生总能量分别为:

$$C_1 = 226 \text{Wh}$$

根据蓄电池充电情况计算每天充电利用总能量分别为: $C_2 = 188 \text{Wh}$

$$\text{利用率: } P_1 = C_2 / C_1 = 83.1 \%$$

再利用上面得到的充电利用总能量 C_2 计算可得到充满蓄电池所需时间为^[11]:

$$T1 = P_{总} / C_2 = 540 / 188 = 2.87 \text{天}$$

以上测试条件是在春天阳光不是很充足的条件下得到的一个平均值。

2.3 太阳能路灯系统与普通路灯的比较

设定西南科技大学科技广场需要安装 40 盏高度为 3.5 米的路灯,每天照明时间 10 小时,使用年限 10 年。(12 W 的 LED 灯亮度相当于 40 W 的普通节能灯亮度),以下数据仅供参考。

由表 4 可得出以下基本结论:①就产品本身而言,太阳能灯具比普通灯具造价要高,但是规模越大,普通灯具安装的相关费用越高,其初始投资将高于太阳能灯具;②运行费用上,普通灯具明显高于太阳能灯具,而且会越来越高(电费、人工等);③太阳能灯具的安全性非常高,不会像普通电力灯具出现安全隐患。

表 4 太阳能 LED 路灯与普通路灯的对比

项目	太阳能路灯	普通路灯
灯具费	1650 元 × 40 盏 = 66000 元	400 元 × 40 盏 = 16000 元
安装费	120 元 × 40 盏 = 4800 元	112000 元 × 10% = 11200 元
灯管	无需更换	50 元 × 40 盏 × 3 = 6000 元
辅助设备	—	配电柜与路灯控制装置 6000 元
G3 电费	—	40 瓦的节能灯每天 10 小时则 0.4 度电
控制费	—	1 人 × 5000 元 × 10 年 = 50000 元
维护费	蓄电池更换一次 360 × 40 = 14400 元	—
合计	85200 元	118400 元

在灯具寿命方面,太阳能灯具的寿命比普通电力灯具的寿命要高很多,如太阳能电池组件的使用寿命 25 年;低压钠灯的平均寿命 18 000 h;低压高效三基色节能灯的平均寿命 8 000 h;超高亮 LED 的平均寿命大于 50 000 h。太阳能专用蓄电池的寿命:60 Ah 以下 3 - 5 年;60 Ah - 150 Ah 的 5 - 7 年^[12]。

3 结论

在冬天和春天,该系统的充电利用率为 66.6%,均可提供接近两天夜里的供电,而在夏天光照强度更强、光照时间更长的情况下,这套太阳能路灯系统充电量应

该是春天的两倍,即1.5天即可充满45 Ah,而12 W的LED灯五个晚上用电为48 Ah。所以说,该套系统基本满足应用条件^[13],即在连续四个阴雨天(一天充电能给5个夜晚正常供电)正常运作。

参考文献:

- [1] 杨成银,黄志辉,邱望标.太阳能照明系统的设计[J].光源与照明,2007,31(3):17-20.
- [2] 姜祥元.太阳能路灯的设计与应用[J].福建建筑,2008(7):95-99.
- [3] 周志明,纪爱华.太阳能LED路灯设计与应用[M].北京:电子工业出版社,2009.
- [4] 杨希,刘彩凤,王昌斌,等.一种LED太阳能路灯系统匹配设计的方法[J].电源技术应用,2009(12):69-70.
- [5] 毛兴武.新一代绿色光源LED及其应用技术[M].北京:电子出版社,2008.
- [6] 鞠振河.可再生能源[J].2007,25(5):80.
- [7] 伊世明,徐贵生,高瑞林.太阳能[J].2009(2):28.
- [8] 彭路明.新型太阳能路灯控制器设计与实现[D].新疆大学,2004.
- [9] 何朝阳,戴君,吴立琴.电子技术[J].2006(12):70-71.
- [10] Solar development association.Solar photovoltaic power generation system design and construction[M].Beijing:Science press,2006:68-84.
- [11] Delhi,Chennai,Jaipur.Financial evaluation of renewable energy technologies[M].India:Rajiv Beri,2003.
- [12] 邓赞高,胡立伟,杜长泉.浅析我国太阳能光伏发电市场发展的趋势[J].珠江现代建设,2009(5):29-31.
- [13] 周志敏,周级海,级爱华.LED照明技术与应用电路[M].北京:电子出版社,2009.

Optimization Design and Implementation of Solar Street Lamps

LIU De-xiong¹, Yang Hua¹, HU Si-fu²

(1. School of Science, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China;

2. School of Microelectronics and Solid-State Electronics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610000, China)

Abstract: Solar street lamps have higher cost performance compared to the normal street lights that they are safe, energy-saving, pollution-free automatic working, electricity-charge-saving and maintainable. They can be used without complicated and expensive pipeline installation, and applied to medium-size environment by adjusting their layout. After comprehensive consideration of the specific location and climate conditions, Solar street lamps system is optimized. Combining the solar radiation principle of equilibrium energy in the whole year and the biggest energy, the capacity of Solar photovoltaic module and battery according to the sizes of LED lights is calculated so as to attain the optimal design way of Solar street lamps system. The optimization design of Solar street lamps in Southwest University of Science and Technology is taken as an example. The system can provide continuous illumination for five overcas days by the intelligent control.

Key words: Solar cells; storage battery; green environmental protection; optimization design; high cost performance

人工快速渗滤系统主要技术研究的国内进展

王志帅¹, 王成端²

(1. 西南科技大学环境与资源学院, 四川 绵阳 621010; 2. 四川理工学院, 四川 自贡 643000)

摘要:在综合国内对人工快速渗滤污水处理系统的一些主要技术研究进展基础上,对系统构建中基质、植物的选择和运行过程中应注意的问题以及系统中各污染组分的去除机制等进行了讨论,同时分析了其在处理分散式污水方面的优势,为该系统的实际工程应用提供一些思路。

关键词:人工快速渗滤系统;污水处理;研究进展

中图分类号:X703.1

文献标识码:B

引言

人工快速渗滤系统 CRI (Constructed Rapid Infiltration System) 是在人工强化传统污水快速渗滤系统 (RI) 的基础上综合生物滤池技术发展起来的一种新型的生态处理系统。CRI 系统的核心是采用渗透性能较好的天然河砂、陶粒和煤矸石等为主要渗滤介质代替天然土层,从而大大提高了水力负荷^[1]。该系统不仅具有低投资、低能耗、低成本等优点,并且有一定的脱氮除磷效果,因此能够应用于对城镇和生活小区生活污水、洗浴废水、微污染河水和富营养化湖库、养殖废水、工业废水、垃圾渗滤液和二级污水处理厂出水等不同类型水体的处理,尤其是在减轻分散式生活污水污染源对地面水环境造成的污染和对水生生态造成的破坏方面,具有广泛的经济效益、生态效益和社会效益^[2-9]。

1 基质的选择

CRI 系统中的基质选择首先要有良好的吸附性能,有利于生物膜的生长和对污水中有机物的吸附;同时也应该有良好交换性能,以利于处理含磷和重金属离子废水;另外考虑是否有利于生物膜的更新,防止填料发生堵塞;最后选择的基质价格便宜,容易获取,最好是本地就有的^[10]。常见的基质有:土壤、卵石、炉渣、砾石、沸石、煤矸石等,新型填料诸如火山岩、蛭石、陶瓷填料、活性碳填料、塑料填料等,另外有学者研究腐殖垃圾也可以作为 CRI 的基质使用。

CRI 系统中基质的构建需从基质的种类、粒径、厚度、填充方式和防堵等方面加以考虑。孙宗健^[11]等研究发现砂滤对于颗粒 COD 具有很好的去除,砂滤介质的比表面积越大、孔隙直径越小,颗粒 COD 的去除效果也就越好。针对氮的污染问题,刘小娜^[12]采用人工快速渗滤法去除污水中的氨氮在不同干湿比的情况下,结果表明去除效果最好的渗滤介质为表层土,其次是煤灰,最后是沙子。

一般而言,系统的滤层厚度越大,系统的纳污能力越强,同时污水在系统中的水力停留时间也就越长,系统的出水水质就会越好;但是随着滤层厚度的增加工程投资费用也会增加。因此,设计合理的滤层厚度而达到满意的出水水质是解决这一问题的关键^[1]。有学者通过向天然河砂中添加沸石或火山岩填料,以受污染河水为处理对象,结果表明不但可以提高对水质的净化能力,而且可以大幅提高快渗系统的水力负荷,增强系统的实用性。其中以火山岩与河砂混合填料滤池的处理效果最佳。平均水力负荷为 4.1 m/d,是传统土地处理系统水力负荷的 10 倍^[13]。另外有研究表明,复合系统的处理效果优于单一介质的系统^[14]。

2 植物的选择

植物是 CRI 系统的重要组成部分,不仅通过吸收利用、吸附和富集等作用去除水体中的污染物,而且也作为基质层内微生物群落提供了适宜的附着场所。植物的吸收、吸附和富集作用与植株的生长状况和根系发达程

收稿日期:2011-06-23

基金项目:四川省科技支撑计划(2009SZ0244)

作者简介:王志帅(1987-),男,河南濮阳人,硕士生,主要从事污水处理与资源化方面的研究。

度密切相关。

一般来说,选取当地或本地区存在的植物,可以提高植物的成活率,减少投资;通常选择根系比较发达的植物以提高纳污能力;对抗病虫害、对周围环境的适应能力,生命周期长也是很重要的因素;考虑植物的综合利用价值,比如收割后可以作为饲料,或者有机肥等;还要具有一定的观赏性,美化环境。

郭劲松^[15]等发现种植植物可提高装置对 TN 和 TP 的去除率。污水中的无机氮可以直接被植物吸收利用,植物吸收所去除的氮所占比例不足总去除率的 20%^[16]。张建^[17]等也认为通过植物吸收而得到的总氮去除率通常为 20% 左右。

植物和基质的搭配问题也可能影响对污水处理的去除效果。以深圳白泥坑人工湿地为例:基质为碎石,灯心草从基质中吸收营养盐能力下降,生长受阻,生物量下降,又反过来影响植物对营养盐的吸收;相比之下,粘土与砂的混合物,灯心草一直旺盛,吸收营养盐能力正常,净化效果好,对凯氏氮的去除率维持在 95% 以上^[18]。

3 运行技术

3.1 预处理技术

预处理的主要目的是去除颗粒性污染物,防止快渗池的快速堵塞,以提高人工快渗池的净化效果。预处理工艺多为初沉池、水解酸化池或砂滤池。为使人工快渗系统能够应用于较高氨氮负荷的生活废水处理中,需采用更为有力的强化预处理手段,使污水在进入人工快渗系统前,将氮负荷降到人工快渗可以承受的范围内^[19]。

3.2 曝气量

植物根系对氧的传递和释放以及进水中携带的氧是系统中的氧主要来源。系统增氧的措施:采用干湿交替的工作方式进行系统复氧;设置通气管对系统内部进行复氧;利用植物的根系对系统内部复氧;系统预处理曝气;其他复氧方式如喷淋曝气、跌水曝气、利用小风机进行微曝气。

陈明利^[20]等采用跌流曝气能有效改善处理系统内部溶解氧含量,系统氨氮去除率与未采用跌流曝气系统相比可以提高 24%。另外有学者研究自动增氧型潜流人工湿地增氧效果明显,湿地运行过程中内部 DO 始终保持在 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上,同时也保证了出水有较高的 DO (平均为 $1.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)^[21]。针对传统地下污水渗滤系统的主要缺陷,有人提出了采用人工土壤提高系统的污水承载能力,采用多层过渡结构增大颗粒有机物的接触氧化表面积,采用高渗透性夹层增加氧气供应,同时设置曝气装置保证好氧过程的氧气供应以提高污水地下处理系统的水力负荷^[22-23]。

3.3 水力负荷周期

以天然砂作为主要渗滤介质,建立污水处理人工快速渗滤系统的试验结果表明,通过缩短淹水周期,加大系统淹水和落干的频率,提高了人工快渗系统的复氧效率,可以明显改善 CRI 系统的污染物去除效果^[24-25]。

3.4 湿干比

适宜的湿干比是确保人工快渗系统高效、稳定运行的关键。郭劲松^[24]等通过试验研究发现湿干比与对 TN 的去除率呈负相关关系;湿干比越小则越有利于脱氮,湿干比与除磷率无显著相关性,通过种植植物进行强化复氧对 COD 的去除作用不大,但可提高对氮、磷的去除效果。孙小静^[26]等在 CRI 系统现场系统中湿干比对复氧效果的研究,发现在湿干比 1:6 时,CRI 系统对与复氧有关的指标 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除率较高。

3.5 C/N 比

当将 CRI 系统作为脱氮的方法进行污水处理时,会遇到低 C/N 比造成的脱氮效率低的问题。微生物对污染物的去除受到 DO、pH、C/N 等诸多因素的影响,尤其是 C/N 对微生物硝化反硝化脱氮作用及溶磷效果的影响较大^[27]。因此,如果想同时达到脱氮除磷的效果,进水中必须达到较高的碳氮比^[28]。反硝化常用外加碳源有甲醇、有机酸,果酸,葡萄糖;新型碳源有污泥分解产物、制酒废水、PBS、奶厂废水、养猪废水、废报纸、纤维素等;另外玉米秸秆,芦苇竿^[29],香蒲茎叶,树皮^[30]也可以作为碳源。

3.6 “过冬”问题

为了解决该系统在北方应用过程中存在的“过冬”问题,很多学者设想采用地下构建来维持系统的正常运行^[31-32]。

3.7 堵塞问题

堵塞是污水渗滤土地处理系统必须研究的问题,因为它不仅影响到系统水力负荷,而且也影响到系统寿命。造成渗滤系统介质孔隙堵塞的原因主要有悬浮物截留、吸附堵塞、化学沉淀堵塞、土壤颗粒遇水膨胀崩解堵塞、以及微生物生长造成的堵塞等^[33-34]。微生物的生长一般不会导致系统内部产生堵塞,而悬浮物的截留、吸附常常会造成系统表层比较严重的堵塞^[35]。邵坚^[36]等对造成人工快速渗滤系统堵塞的原因进行了详细研究,结果表明污水中有机悬浮物由于截留和吸附作用而在浅表层渗滤介质中的积累是造成 CRI 系统堵塞的最主要成因。目前解决这一问题的途径主要有:一是加强预处理,降低系统的有机负荷;二是根据进水浓度和系统处理出水水质要求,选择渗透性能适中的渗滤介质;三是改变系统的运行方式^[37]。

4 去除机理的研究

4.1 有机物的去除

普遍认为 CRI 系统中有机物的去除是在过滤截留、

吸附和生物降解的协同作用下完成的^[38-40]。孙小静^[26]等通过试验也得出相同结论,有机物首先是通过渗滤介质及其表面的微生物过滤吸附作用而截留在系统内,并通过微生物作用特别是落干期好氧微生物的降解作用而获得最终去除的。

4.2 氮的去除

一般生活污水中氮的主要存在形式为氨氮和有机氮。氨化作用无论在好氧还是厌氧条件下,中性、碱性还是酸性环境中都能进行,故一般不做特殊的考虑^[41]。氮的去除首先是好氧带硝化细菌的硝化作用将 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和有机氮转化为 $\text{NO}_3 - \text{N}$, 而后,在厌氧带反硝化细菌的反硝化作用将 $\text{NO}_3 - \text{N}$ 转化为 N_2O 、 N_2 等最终排出系统,达到去除的目的。氮的去除主要受控于系统复氧对硝化作用的影响、合适的 C/N 对反硝化作用的影响以及温度对微生物活性的影响,其中系统的复氧最为重要。

王禄^[42]等认为氨氮的去除首先是介质对氨氮的吸附作用,其次是氨氮的硝化反应。刘英^[43]等认为对氮的去除能力,湿干比越小,干化时间越长,越有利于氮的去除。张建^[17]等对总氮去除机理的分析表明,由硝化/反硝化实现生物脱氮是地下渗滤系统去除总氮的主要途径。此外,植物在生长过程中吸收土壤中的氮,通过修剪植株也可以将氮去除。但由植物吸收形成的总氮去除率一般不会超过 20%^[17,44]。

4.3 磷的去除

CRI 系统中对磷的去除主要有 3 种方式:吸附、化学沉淀和微生物的吸收^[45]。生物作用对除磷的贡献是有限的^[46]。基质的吸附与沉淀作用是去除磷的主要途径。其中化学沉淀作用除磷主要是通过钙、镁、铁盐与正磷酸盐反应形成沉淀^[47-48]。Netter^[49]发现在滤料中添加含铁氧化物的填料可以提高系统对磷的去除效率。

5 结束语

由于 CRI 系统采用人工构建,有适用性广、可人工调控性强、基建投资及运行费用相对于常规生化处理技术又低得多等优点,为分散式污水的低成本处理提供了一种切实可行的思路。笔者认为 CRI 系统以后的研究方向是在保持 CRI 系统的大水力负荷、低成本和高处理效率的前提下探索多个处理单元以及和其他工艺流程的优选组合。深入研究污水人工快渗系统关键技术,在新农村建设中使之成为适应量少分散、无集中收集系统的村镇污水处理的主流推广技术。

参考文献:

[1] 王成端.低成本污水处理技术及工程实例[M].北京:化学工业出版社,2008.
[2] 王庆永.分散式生活污水的处理模式探讨[J].农村经济与科技,2009,20(4):92-93.

[3] 郭永龙.分散式生活污水污染源的治理技术与方法述评[J].环境科学与技术,2004,27(1):100-102.
[4] 冯华军.分散式生活污水处理工艺开发及机理研究[D].浙江大学,2008.
[5] 梁嘉晋,董申伟.分散式农村生活污水处理技术[J].广东化工,2009,36(7):168-187.
[6] 刘洪喜.农村生活污水处理技术的探讨[J].污染防治技术,2009,22(3):30-32.
[7] 齐瑶,常杪.小城镇和农村生活污水分散处理的适用技术[J].中国给水排水,2008,24(18):24-27.
[8] 孙宗健,滕彦国,王金生.人工土壤渗滤—湿地系统农村污水分散式处理[J].水处理技术,2007,33(11):82-84.
[9] 郑向勇,严立,王崇,等.地下渗滤污水处理系统的工艺类型[J].中国给水排水,2006,22(6):11-14.
[10] 崔理华,卢少勇.污水处理的人工湿地构建技术[M].北京:化学工业出版社,2009.
[11] 孙宗健,丁爱中,滕爱国.人工土壤渗滤的吸附效应[J].环境科学与技术,2009,32(7):41-45.
[12] 刘小娜.人工快速渗滤处理水中氨氮的实验研究[J].广州化工,2010,38(2):134-136.
[13] 李丽,陆兆华,王昊,等.新型混合填料人工快渗系统处理污染河水的试验研究[J].中国给水排水,2007,23(11):86-89.
[14] 刘传,田媛.人工快渗系统处理生活污水的试验研究[J].环境科学与技术,2009,32(1):134-137.
[15] 郭劲松,王春燕,方芳,等.湿干比对人工快渗系统除污性能的影响[J].中国给水排水,2006,22(17):9-12.
[16] 朱静平,王中琪.污水处理工程实践[M].成都:西南交通大学出版社,2010.
[17] 张建,黄霞,刘超翔,等.地下渗滤处理村镇生活污水的中试[J].环境科学,2002,23(6):57-61.
[18] 成水平,吴振斌,况琪军.人工湿地植物研究[J].湖泊科学,2002,14(2):179-184.
[19] 薛强,张国臣,陈鸿汉,等.人工快渗的强化预处理研究[J].环境工程,2008,26:33-35.
[20] 陈明利,吴晓芙,陈永华.蛭石人工湿地中吸附-生物转化系统脱氮能力及其机理研究[J].环境工程学报,2009,3(2):223-228.
[21] 孙亚兵,冯景伟,田园春,等.自动增氧型潜流人工湿地处理农村生活污水的研究[J].环境科学学报,2006,26(3):404-408.
[22] 谢兴华,吕莹,陈繁荣.高负荷地下土壤法处理有机污水的模拟实验研究[J].环境污染治理技术与设备,2006,7(5):104-107.
[23] 侯立柱,周训,许靖华,等.多层渗滤介质处理微污染水体的中试研究[J].现代地质,2009,23(1):125-129.

- [24] 邵坚,孙恩,杨小毛,等.运行方式对人工快渗系统水质净化效果的影响[J].环境监测管理与技术,2006,18(5):31-34.
- [25] 张永华,张金炳,殷淑华,等.水力负荷周期对人工快渗系统污染物去除效果的影响[J].华北水利水电学院学报,2004,25(3):68-71.
- [26] 孙小静,马利民,梁小超,等.人工快速渗滤系统的运行方式对复氧效果的影响[J].四川环境,2010,29(2):9-12.
- [27] 刘晓芳,黄晓东,孔健.不同的碳源、氮源及碳氮比对微生物溶磷的影响[J].山东大学学报,2005,40(2):15-18.
- [28] 贾文林,吴娟,武爱国,等.碳氮比对人工湿地污水处理效果的影响[J].环境工程学报,2010,4(4):767-770.
- [29] 赵联芳,朱伟,高青.补充植物碳源提高人工湿地脱氮效率[J].解放军理工大学学报:自然科学版,2009,10(6):644-649.
- [30] 姜应和,李超.树皮填料补充碳源人工湿地脱氮初步试验研究[J].环境科学,2011,32(1):158-164.
- [31] 薛亮,梁继运,李娟,等.地下式人工快速渗滤系统的室内砂柱试验研究[J].污染防治技术,2005,18(4):14-18.
- [32] 黄丽华,张卫民.地下渗滤系统处理生活污水的研究进展[J].江苏环境科技,2008,21(10):105-107.
- [33] Kristiansen R. Sand-filter trenches for purification of septic tank effluent I. The clogging mechanism and soil physical environment[J]. J. Environ. Qual., 1981, 10(3): 353-357.
- [34] Platzer C, Mauch K. Soil clogging in vertical flow reed beds-mechanisms, parameters, consequences and solutions[J]. Watet. Sci. Tech., 1997, 35(5): 175-181.
- [35] 何江涛,马振民,张金炳,等.污水渗滤土地处理系统中的堵塞问题[J].中国环境科学,2003,23(1):85-89.
- [36] 邵坚,程林,刘俊.人工快速渗滤系统堵塞现象及成因探讨[J].安徽农业科技,2006,34(18):4814-4816.
- [37] 张永华.人工快速渗滤系统堵塞原因的实验研究[J].商场现代化,2005,15:216.
- [38] Katsutos S, Tsuyoshi M. A mathematical model for biological clogging of uniform porous media[J]. Water Res., 2001, 37: 2995-2999.
- [39] 况琪军,胡征宇,夏宜.污水处理生物技术的应用[J].长江流域资源与环境,2003,12(3):259-264.
- [40] 崔程颖,马利民,张选军,等.人工快速渗滤系统对污染物的去除机制[J].环境污染与防治,2007,29(2):95-98.
- [41] 李军,杨秀山,彭永臻.微生物与水处理工程[M].北京:化学工业出版社,2002.
- [42] 王禄,喻志平,赵智杰.人工快速渗滤系统氨氮去除机理[J].中国环境科学,2006,26(4):500-504.
- [43] 刘英,李国学,崔丽华.不同配水周期人工土快滤系统对城市污水的净化效果[J].农业环境保护,2000,19(6):332-335.
- [44] 刘晓宁,邱荣华.地下渗滤系统处理分散式生活污水的研究[J].节水灌溉,2007,8:129-130.
- [45] 何江涛,孙志勇,何小娟,等.对人工快速渗滤污水处理系统的几点认识[J].地球学报,2003,24:196-200.
- [46] Brix H. Do macrophytes play a role in constructed treatment Wetlands[J]. Water Sci. Technol., 1997, 35: 11-17.
- [47] 郭振远,贺松年,刘宗耀.改进型人工快速渗滤系统除磷研究[J].水处理技术,2010,36(6):116-118.
- [48] 蔡世涛,王成端,徐庆元,等.无砾石微孔管地下渗滤系统试验研究[J].环境科学与技术,2011,34(3):98-101.
- [49] Netter R. The purification efficiency of planted soil filters for wastewater treatment[J]. Water Sci. Technol., 1992, 26: 2317-2320.

Review on Main Technology Development About Constructed Rapid Infiltration System in China

WANG Zhi-shuai¹, WANG Cheng-duan²

(1. School of Environment and Resources, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China;
2. Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: Based on main technologies development about Constructed Rapid Infiltration Wastewater Treating System in China, some opinions are put forward on the selection of matrix and plant in the system construction process and issues which should be paid attention to in the operation process as well as the removal mechanisms of pollutants. Furthermore, some advantages in the decentralized sewage dispose are analyzed, and some ideas are provided for further researches

Key words: Constructed Rapid Infiltration System; wastewater treatment; research progress