

紫外线相关消毒工艺在饮用水处理中的应用

郭建伟¹, 张永吉¹, 高乃云¹, 任鹏飞²

(1. 同济大学污染控制与资源化研究重点实验室, 上海 200092;

2. 吉林建筑工程学院市政与环境工程学院, 吉林 长春 130021)

摘要:叙述了国内外紫外线消毒技术在给水处理中的最新研究进展。介绍了紫外线的消毒效果、反应动力学及缺点, 对紫外线与其它化学消毒剂联用消毒工艺, 以及近年来发展的光催化消毒技术、UV/H₂O₂ 工艺用于消毒的可行性进行了分析。对紫外线相关消毒技术的研究趋势进行了展望, 认为饮用水消毒方面, 应特别针对隐孢子虫、贾第虫以及藻类等的灭活效果及影响因素进行探讨, 深入研究紫外线与其它消毒剂的联用技术, 加强中压汞灯的光催化消毒效果、机理的研究; 藻类控制方面, 应系统研究紫外线对不同藻类的灭活剂量以及预处理中对藻毒素、消毒副产物的控制, 并加与其它工艺联用除藻工艺的研究。

关键词: 紫外线; 饮用水处理; 光催化消毒; 协同作用

中图分类号: TU991.25

文献标识码: A

文章编号: 1000-3770(2009)07-005-04

自上世纪 70 年代发现氯消毒会产生具有致癌作用的副产物, 以及后来在饮用水中不断发现氯消毒不能有效灭活的新病原微生物, 如微小似病毒、贾第虫、军团菌和隐孢子虫后, 人们对传统氯消毒工艺产生了质疑。紫外线(UV)消毒以其杀菌的高效、广谱性(特别是对贾第虫和隐孢子虫等)、无二次污染、安全可靠等优点受到人们的重视^[1-3]。

除了在消毒领域的研究, 近年来有学者开始将 UV 用于预处理、深度处理等方面。本文对 UV 相关消毒技术的应用及最新发展进行综述。

1 消毒效果及动力学

水体中的各种致病微生物对 UV 的敏感程度差异很大, 其顺序是: 病毒 < 细菌 < 隐孢子虫 < 贾第虫。目前 UV 消毒领域最为关注的病毒是腺病毒的 40、41 类型。

有研究表明, UV 对大肠杆菌的灭活遵循 1 级反应动力学模式, UV 剂量为 16.9 mJ·cm⁻² 时, 达到 2 个对数级的灭活, UV 剂量为 24 mJ·cm⁻² 时可达到 3 个对数级的灭活, UV 对其灭活效果的好坏取决于水样的穿透率, 穿透率越高, 其灭活效果越好^[4]。其它一些研究也表明, 在一定范围内时, UV 剂量越高, 灭活率越高, 但达到相同灭活率所需的 UV 剂量

差别较大^[3,5]。Lawrence 等人研究了低压汞灯和中压汞灯对 MS-2 噬菌体的灭活情况, 认为不同的浊度和粒径分布对低压汞灯和中压汞灯对 MS-2 噬菌体的灭活效果没有影响, 且中压汞灯的灭活效果优于低压汞灯^[6]。

尽管多年来人们对 UV 灭活水中的病原微生物进行了多次研究, 但是不同的实验条件, 缺少规范的 UV 剂量确定方法, 使得各个学者得出的结果相差很大。Sommer 的研究表明, 在测定 UV 强度时, 需要同时考虑到水的穿透率及光的反射、折射作用, 这样才能使所测定的结果真实有效^[4,7]。所以今后 UV 测量时需要考虑一些参数, 如容器、照射水深、受试菌的初始含量、穿透率、照射时间及检测方法等。

微生物的 UV 剂量反应关系是指微生物的灭活率与照射的 UV 剂量(紫外光强×照射时间)之间的关系。微生物的灭活率一般以式(1)表示:

$$\text{灭活率} = \lg(N_0/N) \quad (1)$$

N_0 和 N 分别为灭活前的受试菌种的含量。

对于水样中分散均匀的大多数微生物, 满足 1 级反应动力学:

$$\lg(N_0/N) = kD \quad (2)$$

k 为 1 级灭活速率常数, D 为受试微生物接受

收稿日期 2008-12-01

基金项目 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAJ08B06, 2006BAJ08B02), 高等学校博士学科点专项科研基金(200802471037)

作者简介 郭建伟(1984—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水处理理论与技术, 联系电话: 13917440371; E-mail: guojianwei11@126.com

联系作者 张永吉; E-mail: zhang_yongji@163.com

的UV剂量。

但是正常来讲,UV剂量反应曲线会存在所谓的前滞后(如枯草芽胞杆菌)、后拖尾(如总大肠菌群)的现象。即在剂量小时,基本无灭活率;而在高剂量时会出现剂量增大,灭活率下降的现象。这使得仅在中间剂量时满足线性关系。为此,Cabaj等提出包括前滞后区域的UV剂量反应模型^[8]:

$$N/N_0=1-[1-\exp(-kD)]^d, \quad (3)$$

d 为UV剂量反应曲线中线性关系部分与 y 轴的纵截距。

Dietrich等人的研究认为拖尾现象是因为水中颗粒物的存在为微生物提供了庇护的场所^[9],Emerick等在此基础上提出用于拖尾区域新的反应模型^[10]:

$$N_D=[N_{D0}\exp(-kD)]+N_{P0}[1-\exp(-kD)]/kD \quad (4)$$

N_{D0} 和 N_D 分别为UV照射前后的大肠菌群含量, N_{P0} 为颗粒物(至少含有1个大肠菌)的含量。

2 消毒存在的问题

2.1 光复活现象

UV通过破坏微生物体内的遗传物质核酸来达到消毒效果,其中最常见2种损伤形式为环丁烷嘧啶二聚体和嘧啶-嘧啶酮光产物^[11-12]。但UV照射后微生物的UV损伤能被可见光所逆转,称为光复活现象。*E. coli*、*Pseudomonas cepacia*、*Streptococcus faecalis*、*cyanobacteria*和*Extreme alophilic bacteria*等已经被证实具有一定的光复活能力。

UV剂量及照射强度均会影响光复活率。张永吉等考察了大肠杆菌在可见光下的光复活情况。结果发现在UV辐照度为 $0.1 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$ 、UV剂量分别为5和 $10 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ 时,经UV灭活后的大肠杆菌在可见光下会发生明显的光复活,光复活率分别高达84.5%和45%^[13]。因此,实际应用中应尽可能采取较大的剂量和强度以减少光复活带来的负面影响。

Zimmer等则对比研究了低压与中压汞灯消毒后大肠杆菌的光复活。结果发现,中压汞灯的复活率远低于低压汞灯^[14]。

2.2 无持续能力

化学消毒(如氯、臭氧等)由于水体中有残留消毒剂的存在,所以水体可长时间保持消毒状态。UV消毒是物理消毒技术,与加热消毒类似,消毒后如果污染源存在,将会再次被污染。此类问题的解决有赖于UV与化学消毒的组合技术。

3 联合消毒技术

UV虽然对各种病原微生物特别是对贾第虫、隐孢子虫等抗氯性的致病菌有很高的灭活率,但是UV消毒技术不具有持续性消毒能力。为了解决这个问题,通常采用UV与其它消毒剂联合消毒。目前与其联用消毒剂有氯、氯胺及二氧化氯等。

3.1 与氯、氯胺联用

氯消毒在我国使用普遍,因此研究UV与氯系消毒剂联合消毒技术具有重要的现实意义。

张永吉利用UV与氯气联用灭活枯草芽胞杆菌的研究表明,二者确实发生了协同作用。在UV剂量为 $10 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ 、氯的CT(质量浓度×时间)在 $50 \text{ mg} \cdot \text{min} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,对枯草芽胞杆菌的灭活率为0.74个对数级,较单独UV和氯气分别提高0.34和0.68个对数级^[15]。

Nicola等人研究了UV与氯及氯胺联合消毒时对腺病毒的灭活效果时发现,单独UV消毒时,UV剂量为 $40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ 对腺病毒只有1个对数级的灭活效果,而经过 $40 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ UV消毒后再经过CT为 $27.2 \text{ mg} \cdot \text{min} \cdot \text{L}^{-1}$ 的氯胺消毒后,灭活率可以提高到4个对数级^[16]。

Rand等的研究发现,UV与氯在去除悬浮性细菌上具有协同作用,而在去除附着性细菌方面则无此作用^[17]。

Murphy等使用UV与氯、氯胺控制配水管网中的大肠杆菌增长的研究中也发现,在氯气的投加量为 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 经UV处理的环状反应器(模拟实际配水管网,简称ARs)中的大肠杆菌仅降低0.5个对数级,而不经UV处理其灭活率则高达3.31个对数级^[18]。究其原因,这可能是因为经UV处理后,进入ARs水中的大肠杆菌总数虽然降低了,但是残留的大肠杆菌适应性更强,繁殖更快。氯胺-UV联用消毒虽然可以保证ARs出水大肠杆菌低于检测限,然而会增加铸铁管材上生物膜中含量。

此外,在使用氯或氯胺与UV联用的消毒技术中,氯或氯胺的存在可能会影响UV消毒效率。有研究报道表明, $3.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 OCl^- 投加量会使得水的透光率从91%降到90%^[19]。 $\text{OH}^\cdot$ 与 OCl^- 的反应速率常数 $k=8 \times 10^9 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,这表明 OCl^- 是一种很强的自由基清除剂^[20]。

氯分子可能会截获奔向致病菌的光子进而降低UV消毒效率,或者如果水厂采取前加氯时,则会提

高后续 UV 消毒反应池进水的透光度;再者,在 UV 消毒反应体系中会产生羟基自由基,进而会分解水中的氯系消毒剂。

因而,在 UV 与氯或氯胺联用消毒系统设计时,应充分研究水中氯系消毒剂在常规 UV 剂量下的分解及对 UV 消毒效率的影响。

3.2 与其他消毒剂联用

Sharrer 等研究了 UV-臭氧联用对大肠杆菌的消毒效果。结果表明,单独使用臭氧时,在 CT 为 $0.1 \sim 3.65 \text{ min} \cdot \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,细菌总数及大肠杆菌分别降低 1.1~1.6 和 1.9~3.1 个对数级。臭氧 CT 的变化对灭活率基本无影响;而当使用 UV 和臭氧联合消毒时,臭氧投加剂量 $\text{CT}=0.1 \sim 3.65 \text{ min} \cdot \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、UV 剂量为 $42.5 \sim 107.7 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ 发现 2 种检测指标分别降低 1.6~2.7 和 2.5~4.3 个对数级,在臭氧投加 CT 为 $0.1 \sim 0.2 \text{ min} \cdot \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、UV 剂量 $\geq 50 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ 时即可达到细菌总数及大肠杆菌为 0 目标^[21]。

Rand 等通过现场试验考察了输配水系统中,UV- ClO_2 、UV- Cl_2 、 ClO_2 和 Cl_2 等 4 种消毒技术对控制管道生物粘泥的效果。结果发现,UV- ClO_2 技术效果最佳,对悬浮和附着的细菌总数分别降低 3.93 和 2.05 个对数级^[17]。

以上的研究表明,臭氧及二氧化氯消毒剂与 UV 联用消毒效果要优于氯气与 UV 联用。但考虑到臭氧及二氧化氯的消毒成本较高,且监测手段复杂,现阶段还较难得到实际应用。

4 基于 UV 的高级氧化消毒技术

近些年来,研究者们逐渐开始将基于 UV 的高级氧化技术用于消毒领域,如 UV- O_3 、UV- TiO_2 和 UV- H_2O_2 等。其主要机理是在 253.7 nm 波段的 UV 照射下诱发生成具有很强氧化能力的羟基自由基,它不仅可以杀灭细菌,而且可以完全矿化水中的有机物,是一种较新的 UV 消毒方法。

4.1 光催化消毒技术

光催化技术是基于 UV 与半导体材料的相互作用,生成很高活性的 $\text{OH}\cdot$ 、 $\text{O}_2\cdot^-$ 、 $\text{HO}_2\cdot$ 。在该反应中,可以使用的催化剂主要有 ZnO 、 ZrO_2 、 CeO_2 、 Fe_2O_3 和 WO_3 等,其中最常用的是 TiO_2 。

Sjogrent 等人用 UV 强化 TiO_2 对 MS-2 的研究表明,噬菌体 MS-2 悬浮液的灭活率从 99% 提高到 99.9%^[22]。Benabbou 等使用 Degussa P25 TiO_2 研究了光催化技术的效果,证实了该技术受受试菌初始含

量、光强、催化剂投加量以及 UV 种类的影响^[23]。但是,试验得出单独 UV 消毒效果高于 TiO_2 -UV 消毒技术。这可能是因为 TiO_2 催化剂保护了某些细菌。所以今后应当研究光催化消毒技术是否会生成其他的有毒物质,以及分析生成的各种中间产物来探究 TiO_2 催化剂是否促进了 UV 的光解。

Lan 等考察了 AgBr-TiO_2 在可见光下灭活致病菌的效果,发现这种光催化剂比单独的 TiO_2 对大肠杆菌和葡萄状球菌有更好的灭活效果^[24]。细菌与催化剂之间的静电力对消毒效果起着至关重要的作用。因此,反应液的 pH 不可过高,应低于 6.5 以下,以降低细菌与催化剂之间的静电斥力。

Kubacka 等则探究了 Ag 对促进 TiO_2 光降解消毒能力的效果。结果发现,Ag 的涂覆无论采用浸泡还是光分解沉积,均是 Ag 的质量分数为 1% 时效果最好。Ag 能与细菌蛋白质中的巯基作用使其失活而具有很好的杀菌作用;同时 Ag 改变了 TiO_2 表面的性质,从而有利于微生物吸附到催化剂表面^[25]。

许多研究已经表明,光催化消毒技术表现出高效的杀菌效果,在达到同样消毒效果时,可以降低 UV 剂量,从而降低水厂 UV 消毒运行成本。但 TiO_2 的制备、涂覆方式和反应器的设计是限制该技术实际应用的主要原因。

4.2 UV- H_2O_2 消毒技术

UV- H_2O_2 工艺是高级氧化技术之一,体系中会产生更强氧化性的羟基自由基。

Mamane 等研究了 UV- H_2O_2 高级氧化工艺中产生的羟基自由基对 *E. coli*、*B. subtilis* spores、MS-2、T4 和 T7 的灭活效果。结果发现,单独 H_2O_2 无杀菌作用,UV- H_2O_2 工艺在将 200~295 nm 的 UV 滤除后对各种受试菌种的灭活能力较差;对于 T7、*E. coli* 和 MS-2 单独靠羟基自由基氧化达到 0.5 个对数级的杀菌效果需要的 CT 分别为 0.147×10^{-12} 、 0.147×10^{-12} 、 $0.118 \times 10^{-12} \text{ min} \cdot \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。这说明单纯的羟基自由基氧化消毒能力相对于 UV 辐射对微生物细胞的破坏甚微^[26]。

有研究表明,羟基自由基较难扩散到病毒及细菌细胞内可能是其较低消毒效率的主要原因^[27]。

5 结论与展望

目前,国内外对于 UV 技术在给水处理中应用研究非常活跃,并且已有较多的应用实例。我国在 UV 消毒技术应用方面做的工作较少,笔者认为今

后 UV 技术不仅用于饮用水消毒方面,还可以用于在藻类控制方面。

饮用水消毒方面:目前关于 UV 消毒效果评价大多数简单的以大肠杆菌和细菌总数为指标,今后应特别针对隐孢子虫、贾第虫以及藻类等的灭活效果及影响因素进行探讨;对 UV 与其它消毒剂联用技术进一步深入研究,特别是联用技术中各种因素的影响机理,从而为工程实际应用提供依据;国内目前关于光催化消毒技术对于杀灭水中微生物效果及灭活特点研究并不充分,加强中压汞灯的光催化消毒效果、光催化消毒机理的研究。

藻类控制方面:UV 对于藻类有很好的灭活效果,试验已经表明该技术可以作为预处理控制高藻污染原水。今后应系统研究 UV 对不同藻类的灭活剂量以及预处理中对毒素、消毒副产物的控制;另一方面,加强 UV 预处理与其它工艺联用除藻工艺的研究。

参考文献:

- [1] 刘文君. 给水处理消毒技术发展展望[J]. 给水排水, 2004, 31(1): 2-5.
- [2] Paleologou A, Marakas H, Xekoukoulotakis N P, et al. Disinfection of water and wastewater by TiO_2 photocatalysis, sonolysis and UV-C irradiation[J]. Catalysis Today, 2007, 129: 136-142.
- [3] 张永吉, 刘文君. 紫外线对自来水中微生物的灭活作用[J]. 中国给水排水, 2005, 21(9): 1-4.
- [4] R Sommer, A Cabaj, D Schoenen. Comparison of Three Laboratory Devices for UV-Inactivation of Microorganisms[J]. Wat Sci & Tech, 1995, 31(5): 147-156.
- [5] Liu G. An investigation of UV disinfection performance under the influence of turbidity & particulates for drinking water applications[D]. Waterloo: Waterloo University, 2005: 101-103.
- [6] Lawrence F Batch, Christopher R Schulz, Karl G Linden. Evaluating water quality effects on UV disinfection of MS-2 coliphage[J]. AWWA, 2004, 96(7): 75-87.
- [7] Sommer R, Cabaj A. Evaluation of the efficiency of a UV plant for drinking water disinfection [J]. Wat Sci & Tech., 1996, 27 (3): 357-362.
- [8] Cabaj A, Sommer R, Pribil W, et al. What means "dose" in UV-disinfection with medium pressure lamps [J]. Ozone Science & Engineering, 2001, 23: 239-244.
- [9] Dietrich JP, Basagaoglu H, Loge FJ, et al. Preliminary assessment of transport processes influencing the penetration of chlorine into wastewater particles and the subsequent inactivation of particle-associated organisms[J]. Wat Res., 2003, 37: 139-149.
- [10] Emerick RW, Loge FJ, Ginn T, et al. Modeling the inactivation of coliform bacteria associated with particles[J]. Water Environ Res., 2000, 72: 432-438.
- [11] Tornaletti S, Pfeifer G P. UV damage and repair mechanisms in mammalian Cells[J]. Bioassay, 1996, 18: 221.
- [12] 徐志通, 王颖. 饮用水的紫外线消毒[J]. 给水排水, 1999, 25(4): 58-61.
- [13] 张永吉, 刘文君. 紫外消毒对光复活时大肠杆菌活性的影响[J]. 中国给水排水, 2006, 22(17): 46-49.
- [14] Zimmer J L, Slawson R W. Potential repair of *Escherichia coli* DNA following exposure to UV radiation from both medium and low pressure UV sources used in drinking water treatment[J]. Applied And Environmental Microbiology, 2002, 68(7): 3293-3299.
- [15] 张永吉. 紫外线消毒对水中微生物灭活效果研究[D]. 北京: 清华大学, 2006: 63-68.
- [16] Nicolaa Ballester, James P Malley Jr. Sequential disinfection of adenovirus type 2 with UV-chlorine-chloramine[J]. AWWA, 2004, 96(10): 97-103.
- [17] Rand J L, Hofmann R, Alam M Z B, et al. A field study evaluation for mitigating biofouling with chlorine dioxide or chlorine integrated with UV disinfection[J]. Wat Res., 2007, 41: 1939-1948.
- [18] Murphy H M, Payne S J, Gagnon G A. Sequential UV-and chlorine-based disinfection to mitigate *escherichia coli* in drinking water biofilms[J]. Was Res., 2008, 42: 2083-2092.
- [19] Cushing, R S, Mackey E D, Bolton J R, et al. Impact of common water treatment chemicals on UV disinfection[C]. Proceedings of the AWWA Annual Conference, 2001.
- [20] Nowell L H, Hoigne J. Photolysis of aqueous chlorine at sunlight and ultraviolet wavelengths-I. Degradation rates [J]. Wat Res., 1992, 26(5): 593-598.
- [21] Sharrer M J, Summerfelt S T. Ozonation followed by ultraviolet irradiation provides effective bacteria inactivation in a freshwater recirculating system[J]. Aquacultural Engineering, 2007, 37: 180-191.
- [22] Sjogren J C, Sierka R A. Inactivation of phage MS-2 by iron-aided titanium dioxide photocatalysis [J]. Appl and Environ Microbiol, 1994, 60(1): 344-347.
- [23] Benabbou A K, Derriche Z, Felix C, et al. Photocatalytic inactivation of *escherichia coli*-effect of concentration of TiO_2 and microorganism, nature, and intensity of UV irradiation[J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2007, 76: 257-263.
- [24] Lan Y Q, Hu C, Hu X X, et al. Efficient destruction of pathogenic bacteria with AgBr/ TiO_2 under visible light irradiation[J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2007, 73: 354-360.
- [25] Kubacka A, Ferrer M, Martinez-Arias A, et al. Ag promotion of TiO_2 -anatase disinfection capability: study of *escherichia coli* inactivation [J]. Applied Catalysis B: Environmental, 2008, 84: 87-93.
- [26] Mamane H, Shemer H, Linden K G. Inactivation of *E. coli*, *B. subtilis* spores, and MS-2, T4, and T7 phage using UV/ H_2O_2 advanced oxidation[J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, 146: 479-486.
- [27] Watts R J, Kong S, Orr M P, et al. Photocatalytic inactivation of coliform bacteria and viruses in secondary wastewater[J]. Wat Res., 1995, 29: 95-100.

(下转第 21 页)

FORMATION OF SOLUBLE MICROBIAL PRODUCTS UNDER THE OLIGOTROPHIC ENVIRONMENT

Wang Shengyong, Sun Baosheng, Wang Jincui

(School of Environmental Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The soluble microbial products (SMP) formation process by microorganisms from activated sludge of membrane bioreactor (MBR) and biodegradation process by other microorganisms, *pseudomonas putida*, under oligotrophic environment were discussed, respectively. The results indicated that SMP possess buffer action towards the oligotrophic environment. The SMP formation process could be divided into five phases, which is related to cell autolysis, mutual conversion between extracellular polymeric substances (EPS) and SMP. *Pseudomonas putida* showed weak biodegradability to SMP of activated sludge. SMP displayed a bimodal style molecular weight distribution during the biodegradation and are mainly low M_r fractions ($<1 \times 10^3$) and high M_r fractions ($>30 \times 10^3$), which accounted for over 90%.

Keywords: membrane bioreactor; soluble microbial products; extracellular polymeric substances; *pseudomonas putida*; molecular weight distribution

(上接第 8 页)

THE APPLICATION OF ULTRAVIOLET RELATED DISINFECTION TECHNOLOGY IN DRINKING WATER TREATMENT

Guo Jianwei¹, Zhang Yongji¹, Gao Naiyun¹, Ren Pengfei²

(1.State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, China

2.School of Municipal and Environment Engineering, Jilin Institute of Architecture and Civil Engineering, Changchun 130021, China)

Abstract: The latest development of ultraviolet disinfection technology in drinking water treatment was stated. The effect of ultraviolet disinfection, reaction kinetics and its disadvantages were firstly introduced. Then, combination of ultraviolet irradiation with other chemical disinfectants and the latest developed photo-catalytic disinfection technology with disinfection by UV/H₂O₂ process were also analyzed. In the end, some scientific tendencies in this field were prospected.

Keywords: ultraviolet; drinking water treatment; photo-catalytic disinfection; synergetic effect

简 讯

GE在中国大陆的首个超纯水系统项目荣获绿色创想领袖奖

2009年6月12日,隶属于GE能源集团的GE水处理及工艺过程处理授予上海广电富士光电材料有限公司绿色创想领袖奖,以表彰其在水资源高效利用以及降低成本方面所作出的努力。

GE用先进的水处理技术来帮助上海广电富士光电材料有限公司减少清洁补水用量、废水排放量以及运行成本。为其量身定制的水处理系统已于2008年9月在上海投入运行并实现高品质出水以及降低耗水量的目标。相对于传统水处理方案,GE的解决方案能够使耗水量降低15%~25%。

该系统是GE在中国大陆地区安装的首套超纯水处理系统,处理量达180 m³·h⁻¹,采用了GE得到专利许可的高效反渗透过滤技术(HERO™)。

(钱伯章)

厉行节约用水 建设节水型社会