

含盐废水的生物处理研究进展

文湘华 占新民 王建龙 钱 易

(清华大学环境科学与工程系环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084 E-mail: shc-den@tsinghua.edu.cn)

摘要 含盐废水包括海水直接利用后排放出的废水和许多工业废水, 如化工废水、农药废水. 因为含盐量高, 废水的生物处理具有一定的难度. 本文在文献调查的基础上讨论了含盐废水生化处理的可行性、盐对微生物生化特性的影响和国内外对含盐废水生化处理技术和机理研究的进展.

关键词 含盐废水, 生物处理, 嗜盐微生物.

Review of The Biological Treatment of Salinity Wastewater

Wen Xianghua Zhan Xinmin Wang Jianlong Qian Yi

(State Key Joint Laboratory of ESPC, Department of Environmental Engineering, Tsinghua University,

Beijing 100084, China E-mail: shc-den@tsinghua.edu.cn)

Abstract Many kinds of wastewater contains highly-concentrated salt, such as municipal wastewater in cities utilizing sea water as one part of water supply, chemical industrial wastewater and pesticide wastewater, etc.. It is necessary to put emphasis on the biological treatment of salinity wastewater. In this paper, influence of salt on microorganism and the development of the biological treatment are reviewed.

Keywords salinity wastewater, biological treatment, halophilic bacteria.

含盐废水包括含盐生活污水、含盐工业废水和它的含盐废水. 根据含盐废水的来源可以将含盐废水分为:

(1) 海水直接利用过程中排放出的废水^[1] 近年来, 为缓解淡水资源日益紧缺的局面, 许多沿海城市开始推行海水直接利用.

海水可以直接用于很多方面: ①海水用作工业冷却水, 广泛用于电力、钢铁、化工、机械、纺织、食品等行业. 现在, 日本沿海绝大多数企业的工业用水量的40%~50%为海水, 美国工业用水的1/5为海水, 西欧六国到2000年海水利用量将达到 $2500 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[2,3]. 我国海水年利用量约为 $60 \times 10^8 \text{ m}^3$, 大大落后于日美等先进国家^[1]. ②用作工业生产用水. 在建材、印染、化工等行业的某些生产工艺中, 海水可以直接作为生产用水. 例如碱厂用海水代替淡水用于化盐工艺; 电厂把海水作为冲灰水. ③城市生活用水. 用于冲洗道路和厕所, 消防以及游泳娱乐等方面. 在香港, 冲厕海水量已达 $43 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 约为全港淡水用量 $225 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的17%^[1].

无论海水直接用于哪一方面, 最终都将进入城市污水处理厂.

(2) 工业废水 一些工业行业在生产过程中排放出高含盐的有机废水, 如印染、腌制、造纸、化工和农药

等行业. 表1和表2分别列出了染料中间体对氨基偶氮苯盐酸盐废水和农药多菌灵废水的含盐情况^[4].

(3) 其它含盐废水 大型船舶上的污水是高含盐生活污水; 某些地下水异常地区的天然水比一般淡水的含盐量高很多, 如河北平原部分地区浅层地下水为咸水, 总溶解固体浓度可以到 5g/L 左右^[5].

1 含盐废水生物处理的可行性

微生物广泛存在于自然界, 其中一些对盐适应性强的嗜盐微生物在含盐废水生物处理中占有重要地位. 表3对常见的嗜盐细菌作了简单的概括^[6].

作为废水生物处理生物相中重要一相的原生动物中也有一些嗜盐类, 如: 展现突口虫(*Condyllostomatium*), 红色角毛虫(*Keronopsis rubra*), 绿模瘦尾虫(*Uroloptop sisviridis*)和扇状游什虫(*Euplothesvannus*)^[7].

这些嗜盐微生物为废水生物处理提供了保证.

另外, 适应于生活在淡水或淡水生物处理设施中的微生物在受到高含盐废水的冲击时, 会通过自身的渗透压调节机制来平衡细胞内的渗透压或保护细胞

表 1 对氨基偶氮苯酸盐生产废水水量和水质

水量/t · d ⁻¹	pH	COD/mg · L ⁻¹	色 度	苯胺类物质/mg · L ⁻¹	Cl ⁻ /mg · L ⁻¹
21	0~0.6	40000~60000	20000~40000	7000~9000	40000~100000

表 2 多菌灵农药废水水质

COD /mg · L ⁻¹	邻苯二胺 /mg · L ⁻¹	CaCl ₂ /mg · L ⁻¹	色 度
44500	875	143000	1000~3000

内的原生质,这些调节机制包括细胞聚集低分子量物质,如氨基酸、糖、甘氨酸三甲基内盐来形成新的胞外保护层,调节自身新陈代谢,改变遗传基因^[8]。因此,正常的活性污泥处理工艺会通过活性污泥的适应性而处理含盐废水。

表 3 嗜盐细菌

名 称	嗜 盐 浓 度	特 性
野油菜黄单胞菌 <i>X. campestris</i>	2.0%~5.0%	革兰氏阴性,好氧,杆菌
生枝动胶菌 <i>Z. ramigera</i>	3.0%生长良好,6.5%不生长	革兰氏阴性,好氧,杆菌
鳗弧菌 <i>V. anguillarum</i>	NaCl 10%不生长,7%生长差,不加 NaCl 可以生长	致病菌
费氏弧菌 <i>V. fischeri</i>	10%不生长,不加盐不生长,7%生长良好	革兰氏阴性;兼性厌氧,孤菌
肋生弧菌 <i>V. costicola</i>	NaCl 10%中生长	不水解酪蛋白
霍乱弧菌 <i>V. cholerae</i>	NaCl 7%中生长差,不加 NaCl 可以生长	
付溶血弧菌 <i>V. parahaemolyticus</i>	NaCl 7%生长良好,无 NaCl 不能生长	
明亮发光杆菌 <i>P. phosphoreum</i>	3%适于生长,0.5%~5%可生长,无盐不生长	革兰氏阴性,兼性厌氧,杆菌
哈威折光杆菌 <i>L. harveyi</i> 1970	最适合食盐 2.0%~3.0%,无盐不长	
紫色色杆菌 <i>C. violaceum</i> Bergonzini	盐浓度不能超过 6%	严格好氧或者兼性厌氧
咧嘴黄杆菌 <i>F. indoltheticum</i>	生长需食盐,从海水环境分离	菌体周生鞭毛
泰伦黄杆菌 <i>F. tiranicum</i>	生长需食盐,从海水环境分离	菌体周生鞭毛
湿润黄杆菌 <i>F. uliginocum</i>	生长需食盐,从海水环境分离	
嗜海水黄杆菌 <i>F. halmephilum</i>	生长需食盐,从海水环境分离	
脱硫酸硫弧菌河口亚种 <i>D. desulfuricans</i> subsp. <i>aestuarii</i>	生长需要 NaCl,在含苹果酸盐硫酸盐培养基上生长	革兰氏阴性厌氧菌
需盐脱硫酸弧菌 <i>D. salexigens</i>	生长需要 NaCl,在含苹果酸盐硫酸盐培养基上生长	革兰氏阴性厌氧菌
盐脱氮付球菌 <i>P. halodenitrificans</i>	嗜盐	专营有机化能型
威氏硝化杆菌 <i>N. winogradskyi</i> Winslow et al 1917		革兰氏阴性无机化能型,专性好氧
硝化球菌 <i>N. mobilis</i> , Watson et Waterbury 1971	海水+亚硝酸盐环境	革兰氏阴性无机化能型,专性好氧
欧洲亚硝酸单胞菌 <i>N. europaea</i> Winogradsky 1892	海水或者淡水富加 NH ₃ 和无机盐的培养基	革兰氏阴性无机化能型,专性好氧
海洋亚硝化球菌 <i>N. oceanus</i>		革兰氏阴性无机化能型,专性好氧
禾甲甲烷球菌 <i>M. voltae</i>	可以忍受 5% NaCl	革兰氏阴性球菌,产甲烷细菌

2 含盐废水生物处理的实验研究

Kargi 和 Dincer 利用间歇生物反应器进行了自配水样实验,研究了盐的抑制作用及动力学常数^[9]; Hanoda 和 Al-Atlar 利用完全混合式反应器研究了 NaCl 浓度(10 g/L 和 30 g/L)对活性污泥工艺处理效率的影响^[10]; Belkin 等研究了高盐环境下化工废水生物处理的可行性^[11]; 在国内,安林和顾国维讨论了盐度对二阶段接触氧化法处理废水的影响^[12]。其它一

些学者开展了用不同反应器处理含盐废水的效率研究,如滴滤池^[13]、延迟活性污泥法^[14]、传统活性污泥工艺^[15]等。同济大学环境生物教研室提出了用不同生物处理工艺处理有机废水时所允许的 NaCl 浓度(表 4)^[12]

关于高含盐量对生物处理系统的影响,有以下 2 种观点:

(1) 高盐环境及盐浓度的变化对生物处理有抑制作用 Ingram 通过对杆菌的研究发现,当 NaCl 浓度

表 4 几种生物处理方法中 NaCl 浓度的限制量

工 艺	污泥处理	活性污泥工艺	生物滤池	自 净 化	两阶段接触氧化
NaCl/mg · L ⁻¹	5000 ~ 10000	8000 ~ 9000	10000 ~ 40000	10000	25000 ~ 35000

大于 10 g/L 时,微生物呼吸速率降低^[16]。当 NaCl 浓度大于 20 g/L 时,会导致滴滤池 BOD 去除率降低^[13],在此浓度下,活性污泥法的 BOD 去除率降低,同时污泥的絮凝性变坏,出水 SS 升高,硝化细菌受到抑制^[15]。以含高浓度卤代有机物废水进行的试验表明,BOD 去除率随盐浓度的增加而降低^[11]。

高盐环境下微生物代谢酶活性受阻,生物增长慢,产率系数低;水体密度增加;影响污泥絮凝性^[1]。处理含盐废水反应器中溶解氧浓度较低^[7]。高盐环境下的污泥较一般污泥糖类、蛋白质含量低而脂类、RNA 含量高^[18]。

许多学者发现盐浓度的变化对生物处理存在影响。延时曝气工艺中,急剧的盐度增高导致 BOD 去除率降低;反之当进水由含盐水换成一般废水时,曝气池中污泥浓度降低^[14]。降低含盐浓度比增加盐浓度对微生物的影响更大,当无盐系统突然加入 30 g/L NaCl 时,系统 BOD 去除率降低 30%;而当污泥经 30 g/L NaCl 驯化后,系统 BOD 去除率则要降低 75% 左右。Kincannon 和 Gaudy 认为盐浓度的变化会导致细胞组分的分解^[18]。

(2) 含盐量不会降低废水生物处理的有机物去除率,适当的含盐量可以提高污泥絮凝性,还对生物处理系统起到稳定作用 Woolard 等把嗜盐微生物在序批式生物膜反应器(SBBR)中培养,处理含盐量 1% ~ 15% 的合成含酚废水,即使含盐量高达 15% (150 g/L),对酚的去除率依然在 99% 左右^[9]。

Hamoda 和 Al-Atlar 对活性污泥法处理含盐废水(10g/L 和 30g/L)的研究发现,高盐环境下生物活性和有机物去除率均有提高,TOC 去除率在 NaCl 0 g/L、10 g/L、30 g/L 时,分别为 96.3%、98.9%、99.2%;OUR 分别为 1275 mg/(L · d)、1987 mg/(L · d)和 2000 mg/(L · d)。他们认为在高盐条件下,微生物生长没有受到抑制,相反促进了一些嗜盐菌的生长,使反应器内微生物浓度增加,降低了有机负荷。另外,NaCl 的加入也提高了污泥的絮凝性^[10]。

Kincannon 和 Gaudy 发现在适宜 NaCl 浓度下(8 ~ 10 g/L),能维持反应器内较高的污泥浓度,并建议城市污水处理厂可通过适当措施使污水 NaCl 浓度维持在 8 g/L 左右^[20]。

目前生化治理含盐废水的研究得出的结论不很

一致,且多数工作局限在配水实验,因此,研究含盐废水的生物处理的可行性、机理和处理技术是必要的。

参 考 文 献

- 1 尤作亮等.海水直接利用及其环境问题分析.给水排水,1998,24(3):64
- 2 刘洪滨.我国海水淡化和海水直接利用事业前景的分析.海洋技术,1995,14(4):76
- 3 谭征等.走向海洋新世纪.北京:北京工业大学出版社,1993.93
- 4 占新民,王建龙等.中和沉淀-树脂吸附法处理对氨基偶氮苯盐废水的实验研究.环境工程,1998,16(3):7
- 5 郭永海.河北平原地下水环境演化规律及其与人类活动相互关系的研究.中国地质大学博士论文,1993.12
- 6 邱文芳主编.环境微生物学技术手册.北京:学苑出版社,1989.234
- 7 沈韞芬,章宗涉等.微型生物监测新方法.北京:中国建筑工业出版社,1990.63
- 8 Gauthier, M. J. Flatau G. N and Breittmayer U A. Protective Effect of Glycine Betaine on Survival of *Escherichia Coli* Cells in Marine Environment. *Wat. Sci. Tech.*, 1991, 24(2): 129 ~ 132
- 9 Fikret Kargi and Ali R Dincer. Biological Treatment of Salinity Wastewater by Fed-Batch Operation. *J. Chem. Tech. Biotech.*, 1997, 69: 167 ~ 172
- 10 Hamoda M F and Al-Atlar I M S. Effects of High Sodium Chloride Concentration on Activated Sludge Treatment. *Wat. Sci. Tech.*, 1995, 31(9): 61-72
- 11 Shimshon Belkin, Asher Brenner et al. Biological Treatment of a High Salinity Chemical Industrial Wastewater. *Wat. Sci. Tech.*, 1993, 27(7 ~ 8): 105 ~ 112
- 12 An Li and Gu Guowei. The Treatment of Saline Wastewater Using a Two-Stage Contact Oxidation Method. *Wat. Sci. Tech.*, 1993, 28(7): 31 ~ 37
- 13 Lawton G W et al. Effect of High Sodium Chloride Concentration on Tricking Filter Slimes. *Sewage and Industrial Wastes*, 1957, 29(11): 1228 ~ 1236
- 14 Stewart M S, Ludwig H F et al. Effects of Varying Salinity on the Extended Aeration Process. *Sewage and Industrial Wastes*, 1962, 34(11): 1161 ~ 1177
- 15 Ludzack F J et al. Tolerance of High Salinities by Conventional Wastewater Treatment Processes. *Sewage and Industrial Wastes*, 1965, 37(10): 1404 ~ 1416
- 16 Ingram M. The Influence of Sodium Chloride and Temperature on the Endogenous Respiration of *Bacillus Cereus*. *Journ. Bacter.*, 1939, 38: 613 ~ 618
- 17 Ching-Guang Wen, Jao-Fuan Kao, Lawrence K Wang and Chii Cheng Liaw. Effect of Salinity on Reaeration Coefficient of Receiving Waters. *Wat. Sci. Tech.*, 1984, 16(1): 139 ~ 154
- 18 D F Kincannon and A F Gaudy. Some Effects of High Salt Concentrations on Activated Sludge. *J. WPCF.* 1966, 38(7): 1148 ~ 1159
- 19 Woolard C R. Biological Treatment of Hypersaline Wastewaters. *DAI*, 1993, 54-058: 2645 ~ 2833
- 20 Kincannon D F and Gaudy A F. Response of Biological Waste Treatment Systems to Change in Salt Conditions. *J. Biotech. Bioeng.*, 1968, 10(4): 483 ~ 496