

海水资源在环境工程中的应用*

UTILIZATION OF SEA WATER IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING

单宝田¹ 侯海军¹ 杜春梅² 王修林¹

(¹ 中国海洋大学 青岛 266003)

(² 青岛市环境保护局崂山分局 266061)

地球上海水总体积约为 $13.7 \times 10^7 \text{ km}^3$, 可以说是取之不尽、用之不竭的资源。面对目前全球, 特别是我国的水资源危机, 如何对这一巨大资源实现有效的综合利用, 以缓解淡水资源的紧张局面, 一直广受人们关注。由于海水的含盐量高, 使其作为水资源应用受到许多限制。目前的海水直接利用技术主要有海水淡化、海水冷却、海水冲厕等。前者主要技术包括多级闪蒸 (MSF)、反渗透 (RO) 和多效蒸发 (MED) 等^[1], 在中东及美国等经济发达国家已实现大规模应用^[2]。由于认识和成本问题, 海水直接利用技术在我国仍处于小规模应用阶段。据统计, 采用海水做工业冷却水, 可节省城市工业用淡水总量的 70%~80%, 以海水替代淡水作为城市生活用水, 能节省城市生活用淡水的 20%~30%^[3,4]。以海水做工业冷却水在我国青岛、大连等沿海城市已有一定规模利用, 但不够普遍; 海水冲厕在香港已实现大

规模应用, 70% 冲厕水使用海水, 而在我国大陆还处于试验应用阶段。为了最大限度地开发应用海水及海水资源, 近年来国内外学者针对海水组成的特点, 对海水及海水资源应用于环境工程中脱硫、处理废 (污) 水等技术分别进行了应用研究, 取得了许多实用性成果。

1 海水用于烟气脱硫

20 世纪 80 年代发展起来的海水烟气脱硫技术, 利用天然海水作为烟气中 SO_2 的吸收剂, 其理论脱硫率可达 98%^[5]。自从世界上第一座海水烟气脱硫装置 1988 年在印度孟买建成以来^[6], 已在欧洲、亚洲等安装了 30 多台海水脱硫装置, 我国的深圳西部电厂、福建后石电厂均采用了海水脱硫工艺^[7]。

1.1 海水脱硫的基本工艺和原理

海水通常显弱碱性 (碱度约 $1.2 \sim 2.5 \text{ mmol/L}$), 海水脱硫即利

用了其天然碱度 (CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 等) 来吸收烟气中的 SO_2 。目前所见报道的海水脱硫工艺基本相似^[5-8], 工艺流程见图 1。

工艺过程为: 经过除尘处理及气-气换热器 (GGH) 降温后的烟气由塔底进入脱硫吸收塔中, 在塔内与由塔顶均匀喷洒的海水逆向充分接触混合, 海水吸收烟气中的 SO_2 生成 SO_3^{2-} , 脱硫后的海水进入曝气池 (海水恢复系统) 与大量海水混合并鼓入空气, 氧化其中的 SO_3^{2-} , 使其转变为海水中稳定存在的 SO_4^{2-} , 同时海水中的 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 中和 H^+ , 生成的 CO_2 在鼓入空气作用下从海水中逸出, 使海水 pH 得以恢复, 重新排入大海。脱硫工艺中发生的主要化学反应为:

吸收 SO_2 过程:



海水恢复过程:

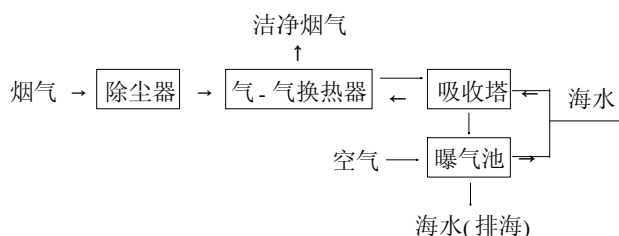
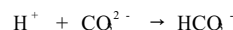


图 1 海水脱硫工艺流程

* 山东省自然科学基金资助项目

L2000E01 号。

第一作者: 单宝田, 出生于 1963 年, 高级工程师, 主要从事环境科学与工程技术研究。E-mail: btshan@mail.ouqd.edu.cn

收稿日期: 2002-09-16;

修回日期: 2002-10-18

除单纯利用海水进行脱硫外,美国比奇特尔公司采用海水与石灰结合工艺,脱硫效率也达到 90% 以上^[9];在石灰法脱硫工艺中,海水可以作为 CO_3^{2-} 、 CaCl_2 源,使脱硫吸附剂重新得到活化,从而提高吸附剂利用率和脱硫效率^[19]。

1.2 海水烟气脱硫的工艺特点

与传统脱硫工艺比较,海水脱硫工艺具有脱硫效率高(大于 90%)、工艺简单、无二次污染、投资及运行费用低等特点^[7,8]。但是,相关报道也指出了应用该工艺还需注意的几个问题:(1) 采用海水脱硫工艺时,应燃烧中、低含硫煤;(2) 必须保证烟气的除尘效果,防止烟尘污染海水水质;(3) 确定采用海水脱硫工艺前,需对附近海域海水碱度进行年度累计检测分析,确定是否满足脱硫工艺需要;(4) 海水恢复过程中必须以大量海水稀释脱硫海水,一方面降低其中 SO_4 分压,防止 SO_4 的解吸再释放,另一方面使脱硫后海水较低的 pH 值得到一定恢复,利于在曝气作用下 SO_3^{2-} 向 SO_4^{2-} 的转化^[5]。

2 海水在废(污)水处理中的应用

2.1 城市污水海洋处置

城市生活污水的海洋处置技术是将经一定程度处理的污水通过远离岸边并固定于海床上的扩散器,均匀地排入海中,利用海洋固有的自净能力来降低污染物浓度。海水的自净能力是稀释、扩散、光氧化、物理化学沉淀、吸附、生物降解、自然消毒杀菌等多种过程共同作用的结果^[20]。因此,虽然污水海洋处置是对海水最大量最直接的利用,但从严格意义上说,并不是单纯利用了海水,而是利用了海洋这一巨大生态系,是广义上的海

水利用。

目前,许多国家的沿海城市都建有污水海洋处置工程,美国东西海岸共建有污水排海工程 250 多处,英国大型污水排海工程也有 40 多处。国外近百年的工程实践表明,污水海洋处置工程是一条解决沿海地区特别是沿海城市水污染问题的有效途径^[10-12]。为最大限度地降低对海洋环境的影响,污水排放方式已由 19 世纪末不加任何预处理的近岸直接排放,到 20 世纪中期的一级处理远距离深海排放,再到 20 世纪 80 年代以后欧盟国家、美国等强调的二级甚至更高级处理后排海,随着排海污水处理程度的提高,其对海洋环境的影响越来越小,深海排放逐步成为沿海地区污水最终处理的主要方式。

应该指出的是,采用污水海洋处置工程绝不等同于污水的近岸自流排放,必须对受纳海域的海洋环境容量进行科学的规划和计算论证,应该以不改变海域原有使用功能为前提;同时,进入污水排海工程系统的污水应是经一定程度处理的以天然有机物为主的城市生活污水或类城市生活污水,含有有毒有害物质的工业废水,必须经适当处理达标后进入城市污水管网。

2.2 海水及海水资源用于废水处理

海水直接用于废水处理,主要利用其中所含的大量 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} 等离子,在碱性条件下生成 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 及 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 沉淀,这种沉淀物是优良的絮凝剂,能有效去除废水中的悬浮颗粒物、胶体物质及可溶性的磷酸盐等^[21-24]。利用棉布煮练废水自身的碱性,海水对棉布煮练废水中的悬浮物具有较好的吸附、絮凝作用,并有一定的脱色、除臭能力,处理水可以循环利用于印染工

艺^[18]。在废水生化处理中,一定比例的海水有利于改善活性污泥的生长与沉淀性能^[13-15]。用生化法处理以海水稀释的炼焦废水的实验结果表明,海水有助于污泥的沉降^[26];冲刷海水进入城市污水处理厂后,对污水生化处理影响的研究结果也表明,当污水中海水含量小于 36% 时,随着污水盐度的提高,污泥产率系数逐渐增大,沉降性能也越来越好,污泥容积指数逐渐降低,污泥出现膨胀的 SVI 临界点显著降低,海水的存在不会对城市污水处理造成明显影响;当海水量超过 36% 时,由于海水盐度效应对生物菌体的影响,将导致污染物去除效率的下降。

但是,海水直接用于废水处理存在的问题是:(1) 为保证足够量的 Mg^{2+} 等有效离子浓度,海水需与废水进行较大体积比混合,必然导致处理设施容积过大,增加基建投资费用;(2) 海水中其它组分同时被带入水中(主要为 NaCl),增加废水盐度;(3) 大量直接利用海水对处理设施的防腐要求较高;(4) 应用范围仅限于沿海取用海水方便的地区。而利用主要成分为镁盐和钙盐的盐化工副产品就可以解决上述问题。利用镁盐对印染废水、陶瓷废水、纸浆及纸板废水、奶制品废水、大理石制品生产废水、制革废水、混凝土废水等进行综合处理的研究结果表明,悬浮物去除率在 95% 以上, COD 去除率为 40% ~ 99%,脱色率达到 98% 以上^[16,17,25]。在对活性、直接、酸性三种水溶性染料废水进行脱色处理的实验中,比较对含磺酸基团与不含磺酸基团染料的脱色效果表明,镁盐脱色剂是通过与染料结构中的磺酸基团发生化学作用,生成不溶性的盐,经沉淀分离而从溶液中除去,因对常规情况下难以脱色的水溶性含磺酸基团染料,使用镁盐脱



色有良好作用; 镁盐处理以直接灰为主的印染废水的实验结果表明, $Mg(OH)_2$ 对直接灰染料的饱和吸附量达 $2.1221 g/g$; 吸附规律符合朗格缪尔模式。

3 结语

海水在环境工程的应用主要包括海水脱硫、海水作为经一定程度处理的城市生活污水的接纳体和海水用于废水处理。海水脱硫和污水海洋处置技术已经趋于成熟, 在国外已经得到有效利用, 在我国沿海地区仍需在科学论证、统一规划的基础上加以普及推广; 海水及海水资源用于废水处理技术研究已经取得了一定成果, 但真正大规模应用尚未见报道。在海水用于脱硫和污水海洋处置中, 设施的防腐和防海洋生物附着生长技术是关键, 应进行进一步技术攻关加以解决, 以保证设施的使用寿命和运转效果; 海水资源(镁盐)用于废水处理研究中, 研制以镁盐为主体的新型、高效复合或化合絮凝剂是一个非常有意义的方向, 力争能在提高絮凝剂性能和解决镁盐使用时较苛刻的 pH 条件要求方面取得突破, 这样, 海水资源在环境工程中 will 得到更为广泛的应用。

参考文献

- 1 林斯清, 张维润. 海水淡化的现状与未来, 水处理技术, 2000, **26**(1): 7~122
- 2 李仲钦、毛艳华. 推广海水淡化技术, 加强水资源的开发, 南海研究与

- 开发, 1999, 1: 59~64
- 3 徐丽君、于廷芳、于银亭等. 中国海水利用技术与 21 世纪的发展, 海洋科学, 1999, 2: 67~70
- 4 张雨山、王静、寇希元等. 大生活用海水技术, 海岸工程, 2000, **19**(1): 73~77
- 5 董学德、李绍其. 燃煤电厂海水烟气脱硫工艺原理初探, 环境工程, 1997, **15**(4): 23~26
- 6 杜秋平. 利用烟气脱硫技术控制大气污染, 华北电力技术, 1999, 11: 29~32
- 7 严峻. 海水烟气脱硫, 华东电力, 2001, 4: 42~44
- 8 李艳萍、李勇. 海水脱硫工艺及在我省沿海电厂的应用前景, 山东电力技术, 1999, 3: 11~13
- 9 陈理. 国外烟气脱硫技术开发近况, 化工环保, 1997, **17**(3): 145~150
- 10 康建华. 污水排海大有可为, 水处理技术, 1997, **23**(5): 309~310
- 11 吴洪杰、黄智民. 对我国城市污水海洋处置的思索, 海洋环境科学, 1996, **15**(3): 71~75
- 12 张永良、赵章元、周岳溪. 污水海洋处置综合研究, 环境科学研究, 1997, **10**(1): 7~13
- 13 张雨山、王静、蒋立东等. 海水盐度对二沉池污泥沉降性能的影响, 中国给水排水, 2000, **16**(2): 18~19
- 14 张雨山、王静、蒋立东等. 利用海水冲厕对城市污水处理的影响研究, 中国给水排水, 1999, **15**(9): 4~6
- 15 王静、张雨山、寇希元等. 完全混合活性污泥法处理含海水污水时基质降解与生物增长量之间的关系, 工业水处理, 2000, **20**(11): 14~16
- 16 嵇雅颖. 水溶性染料脱色新方法的研究, 上海环境科学, 1990, **9**(8): 8~11

- 17 嵇鸣、赵宜江、张艳等. 氢氧化镁对印染废水脱色处理, 水处理技术, 2000, **26**(4): 245~248
- 18 丁存义、王志俭、单文宏. 棉布煮练废水封闭循环处理的研究, 环境科学丛刊, 1984, **5**(10): 29~32
- 19 Gutiérrez Ortiz F.J., Pedro Olleró. A pilot plant technical assessment of an advanced induct desulphurisation process, *J. Hazardous Materials*, 2001, 2: 197~218
- 20 Lei Yang, Wen Shichang et al.. Natural disinfection of waste water in marine outfall fields, *Wat. Res.*, 2000, **34**(3): 743~750
- 21 Vrale L.. Chemical precipitation of waste water with lime and seawater, *Prog. Water Technol.*, 1978, 10: 645
- 22 Ayoub G.M., Koopman B.. Algal separation by the lime-seawater process, *J. Water Pollut. Control Fed.*, 1986, 58: 924~931
- 23 Ayoub G.M., Lee S.I., Muzidji C.N. et al.. Seawater flocculation of emulsified oil and alkaline wastewaters, *Water Res.*, 1992, 26: 817~823
- 24 Ferguson J. F., Vrale L.. Chemical aspects of the lime seawater process, *J. Water Pollut. Control Fed.*, 1984, 56: 355~363
- 25 Ayoub G. M., Mrhebi F., Acra A. et al.. Seawater bittern for the treatment of alkalized industrial effluents, *Wat. Res.*, 2000, 34(2): 640~656
- 26 Toki S. et al.. Biological treatment of waste water from coke oven gas, *Fuel and Energy Abstracts*, 1998, 5: 217

(本文编辑: 张培新)