

• 策略研讨 •

我国水资源污染治理的技术策略

杨鲁豫 王 琳 王宝贞

提要 水环境污染和水资源短缺是全球淡水资源正面临的两大问题。随着我国经济的迅速发展,人口的增加,人民生活水平的逐步提高,工业化和城市化步伐的加快,用水量急剧增加,污水排放量也相应增加,加剧了淡水资源的短缺和水环境的污染。我国污水处理设施落后,污水处理率低,是造成我国水环境污染的主要原因之一。为了更快地改善我国的水环境,保护水资源,在学习国外成功和先进经验的同时,应汲取国内外的失败教训并结合我国的实际情况,对我国水污染防治和水资源保护采取综合治理措施。要研究、开发和应用基建费低、能耗低和运行费低的革新技术。因地制宜,采用处理与利用相结合的措施,利用生态处理系统,在污水处理的同时实现污水的无害化和资源化,实现水的良性循环和水资源的可持续利用。

关键词 水资源 水污染 技术策略 可持续利用

0 概述

随着经济的发展,人口的增加,生活水平的不断提高,世界范围的淡水资源的需求和消耗不断增多,相应的城市污水和工业废水的排放量也在不断增多。由于污水处理设施的滞后和非点源污染控制不够得力,使全球淡水资源正面临两大问题:水环境污染和水资源短缺。这在一些国家和地区,尤其是发展中国家和地区,愈益严重并有加剧的趋势^[1~3]。

在本世纪 60、70 年代曾发生过石油和能源危机,这种危机愈演愈烈,并最终引发了一些局部战争。通过新能源,如核能、太阳能和风能的开发和利用,一定程度上缓解了这一危机。同样地,淡水资源危机的日益加剧,不仅影响了人们的正常生活,甚至威胁了人们的生存,这也同样孕育着国家和地区之间的冲突和战争的威胁^[2~3]。

在 1998 年 8 月份召开的“水与可持续发展”的会议上,法国总统希拉克对代表们警告说:“如果不尽快行动起来,下个世纪可能因水而引起战争^[4]”。在他的重点发言中说:“水是生命的源泉,但也常常是冲突的起源”。联合国确定了 70 处与水有关的冲突地区,从近东到西非,从拉丁美洲的干旱地带到印度次大陆,主要的闪燃点包括以色列与阿拉伯国家之间的争执,埃塞俄比亚与埃及对尼罗河的争执,印度与孟加拉国对恒河的争执,土耳其、叙利亚和伊拉克对幼发拉底斯河的争执等。

当水不是潜在的冲突起因时,它也可能引起大的外交问题,例如墨西哥抗议美国对科罗拉多河上游的污染,有时水甚至成为政客们的交易工具。

早在 1977 年各国就已经预感到这种全球性水危机的威胁,为此召开了联合国水会议,在会议上和会后,对这一问题的性质和危害程度,防止这一危机爆发应采取的措施有了越来越多的共识。1992 年在都柏林召开的“水与环境”的会议上,重申了上次会议提出的一些原则,更加明确了共同面临的问题。同年在巴西里约热内卢召开的联合国“环境与发展^[5]”会议上也重点讨论了水的问题。1997 年在联合国可持续发展委员会和联合国大会第十九次特别会议上,进一步强调紧急行动起来合理开发利用水资源,利用生态系统等途径保护好现有的水资源,并将水资源纳入总的经济框架中的一系列的措施和计划。如利用市场机制采用价格和交易许可等方式控制水资源有效合理的分配。在联合国水资源管理战略措施专家组会议上指出:“水是一种有限的脆弱的环境资源,是一种社会和经济物品。在竞争的使用者之间对有限的水资源的分配,对生态系统和国家经济的发展,包括就业收入的产生和分配有着重大的影响,对土地规划利用和人口在城市和乡村之间的迁移也有着深刻的影响。为此,应将保障人民基本水量的需要,与水资源的开发和分配的经济政策的制订和实施相结合^[6]”。1998 年在巴黎召开了国

际水与可持续发展会议,明确指出:水资源是今后世界经济和社会可持续发展的关键因素之一,必须对水资源进行合理的开发和利用^[3]。

尽管联合国为了合理开发和利用水资源,召开了多次国际性会议,通过了有关的决议和声明,颁布了一系列的原则和措施,但收效不大,尤其是国际流水资源的合理开发、利用和保护困难重重,举步维艰。为了改变这种局面,联合国可持续发展委员会定期调查世界水资源的状况,并在第15届会议上审查了“世界淡水资源的全面综合评价”,为世界水资源的合理开发和利用迈出了第一步。

世界上共有215条国际河流,占世界主要流域面积的2/3,虽然大多数发达国家已建立了管理体系,但是水资源的分配仍然是主要的潜在冲突的起源。水资源越缺乏,冲突的可能性越大。潜在的问题往往是个观念问题,每个国家都将其水资源看成是可以在自己领土内自由开发的资源,当不考虑上下游国家的利益和团结时,就会引发紧张的关系。

因此国际流域组织网(International Network of Basin Organisation, INBO)在巴黎会议的研讨会的建议中提出,几个相邻国家共享的水资源的管理,应该认识到这一点,即水没有国家和行政管理的界限,而且应当按相应的流域规模组织管理体系,如国际管理委员会,可成为国际河流流域可持续管理的途径和增强该流域各国家之间的合作^[4]。

和水资源管理密切相关的给水和排水设施的建设,在发达国家和发展中国家和地区存在着巨大的差距,情况截然不同。在发达国家和地区,如北美、西欧,给水普及率为100%,拥有先进的给水处理和配水设施,可靠的饮用水水质,达到了安全生饮的程度,污水管道和处理系统普及率都在90%以上,以二级处理为主,为了防止接纳水体的富营养化,许多污水处理厂采用了去除磷、氮等营养物的处理工艺;积极开展污水回收与再用,根据回用的目标,采用相应的处理措施和进一步的净化工艺,如:农田灌溉、浇洒绿地、高尔夫球场等,甚至在一些缺水地区,如美国的加州南部,二级处理出水经活性炭吸附过滤,反渗透等工艺回流入地下或地表水饮用水源中^[5]。

在发展中国家和地区,由于缺少必要的资金,不能建成完善的给水和排水设施,已建成的给水和排

水设施,由于缺少必要的管理和运行费用,缺乏训练有素的管理和运行人员,无法正常运行,一些采用先进技术和设备的给水和污水处理设施更是如此。有关资料表明,在发展中国家,约有10亿人没有给水设施,约20亿人没有排水和污水处理设施。只有很少一部分城市污水得到了处理,大部分未经任何处理的污水直接排入附近的接纳水体,严重污染了水资源,破坏了水环境^[6]。

饮用水源的污染和给水处理设施的落后,使发展中国家人民的饮用水合格率低,并引发了多种疾病,包括癌症。即使在最发达的国家美国,也不能完全消除水传染性疾病的发生,在1920~1992年这70多年间,共爆发水传染性疾病1768次,共有472228人得病,1091人死亡。1993年在威斯康星州,密尔沃基市(Milwaukee, Wisconsin)爆发了有文件记载以来最严重的由隐孢子虫引发的饮用水传染病,共有40多万人患病,4000余人住院,122人死亡^[6~7]。

在发展中国家情况更加严重,每年因饮用污染水引起上亿人得腹泻病,约200万儿童死亡;有约2亿人感染肠道病毒,有2010人死亡。1973年首次发现旋转病毒(Rotavirus),它是由供水受粪便污染或饮用水处理不好造成的,主要引起病毒性感冒和肠炎。在美国的1~4岁年龄组中,估计有100多万人由旋转病毒引发严重腹泻,其中150人死亡。在世界上每年有4.5万人因此死亡。在发展中国家,由此引发的儿童胃肠炎每年超过1.25亿人,其中1800万人为中等严重和严重病例。此外危害很大的病原菌——霍乱也一直困扰给水界,自从18世纪霍乱蔓延肆虐欧洲和北美以来,由于缺乏必要的卫生设施(下水道系统),人口增长,净化水技术有限等,导致多次大规模爆发。1995年6月泛美卫生杂志报道,在美国1076372个霍乱病例中,有10098人死亡^[6]。

1 中国水资源与水环境基本状况

1.1 我国水资源基本情况

随着我国经济的迅速发展,人口的增加,人民生活水平逐步提高,工业化和城市化步伐的加快,用水量急剧增加,污水排放量也相应增加,加剧了淡水资源的短缺和水环境的污染。

我国水资源的总储量平均每年达28000亿 m^3 ,但人均水资源拥有量仅为2340 m^3/a ,为世界平均值

的 1/4。并且水资源时空分布不均 ,造成南多北少 ,东多西少的局面。在北部降水大部分集中在 6 ~ 9 月份 ,此期间的降水量占全年降水量的 70% ~ 80%。缺乏生态保护意识 ,一些急功近利的做法严重破坏了森林和植被 ,破坏了生态系统平衡 ,导致洪涝和干旱频繁发生。

城市严重缺水制约了经济的发展 ,影响了人民的正常生活。在 80 年代 ,全国缺水城市 236 座 ,缺水总量 1 200 万 m³/d ;90 年代初 ,缺水城市增加到 300 座 ,总缺水量为 1 600 万 m³/d ,预计 2000 年将有 450 座城市缺水 ,总缺水量将达 2 000 万 m³/d。

我国水环境污染状况也相当严重 ,根据 1998 年中国环境状况公报^[8] ,全国废水排放总量为 395 亿 m³ ,化学耗氧量排放总量为 1 499 万 t ,分别比上年 (1997 年)下降了 5% 和 14.7%。生活污水占废水排放总量的 49.1% ,生活污水 COD 排放量占 COD 排放总量的 46.2% ,均比上年有所增加。

我国主要水系长江、黄河、松花江、珠江、辽河、海河、淮河和太湖、巢湖及滇池的断面监测结果表明 ,36.9% 的河段达到或优于地面水环境质量Ⅲ级标准 ,其中Ⅰ类水质占 8.5% ,Ⅱ类水质占 21.7% ,Ⅲ类水质占 6.7% ,3.1% 河段的水质为Ⅳ、Ⅴ或劣Ⅴ类 ,失去了作为饮用水源的功能 ,其中Ⅳ类水质河段占 18.3% ,Ⅴ类水质占 7.1% ,劣Ⅴ类水质占 37.7%。其中长江、珠江水质较好 ,监测河段中 70% 以上达到或优于地面水环境质量Ⅲ级标准 ,黄河、淮河、海河有 28% ~ 29% 达到或优于地面水Ⅲ级标准 ;松花江、辽河污染严重 ,分别只有 4% 和 11.3% 达到或优于地面水Ⅲ级标准。

我国一些湖泊的污染比河流更加严重 ,如滇池、巢湖都严重富营养化 ,全湖水质为Ⅴ ~ 劣Ⅴ类 ;太湖中等富营养化 ,湖水为Ⅳ ~ 劣Ⅴ类。

1998 年我国海域监测到赤潮 22 起 ,其中南海 10 起 ,东海 5 起 ,渤海和黄海 7 起 ,对我国近海生态系统和水产资源造成严重的破坏^[8] (如表 1)。

1.2 污水处理设施

我国污水处理设施落后 ,污水处理率低 ,是造成我国水环境污染的主要原因之一。

我国城市供水设施的建设要比排水设施先进得多 ,例如 1996 年我国城市供水设施服务人口的普及

表 1 1998 年中国七大水系污染情况^[8]

项 目	Ⅰ类	Ⅱ类	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅴ类	劣Ⅴ类	主要污染物
长江/%	4	67	4	11	10	4	悬浮物、高锰酸钾指数、氨氮
黄河/%	0	24	5	47	12	12	悬浮物、挥发酚
珠江/%	29	36	7	22	2	4	石油类、悬浮物、氨氮
淮河/%	0	11	17	18	6	48	高锰酸钾指数
海河/%	5	19	4	10	9	53	石油类、高锰酸钾指数、挥发酚、氨氮
辽河/%	4.5	2.3	4.5	22.7	4.5	61.4	氨氮、高锰酸钾指数、挥发酚
松花江/%	0	0	4	67	21	8	挥发酚、石油类

率达到了 94.5% ,而同年城市污水处理率仅 13.1% ,而且城市污水的日处理能力的增加幅度远低于城市日供水能力增长的幅度 ;1990 ~ 1998 年城市市政公共污水处理厂平均年增加日处理能力 110 万 m³ 左右 ,而城市供水年增加日供水能力 850 万 m³ 左右。如照此模式发展 ,城市水环境恶化的状况将难以缓解或好转^[9]。

由于目前仅有部分城市征收“ 排水设施有偿使用费 ”或“ 污水处理费 ” ,而且收费额低于污水处理成本 ,城市污水处理厂所需费用主要靠政府财政支持 ,由于资金不足 ,使一些已建成的污水处理厂难以维持正常运行。

此外 ,我国的非点源污染也相当严重 ,主要有农田径流 ,许多农田施用大量的化肥、农药包括有机磷、有机氯农药 ,其中有些是高毒性、难降解、高残留的农药 ,在食物链中有富集作用 ,对水环境的污染和对人体的危害较大。

2 我国水污染控制的改进措施

我国水污染的状况是严重的 ,我们有限的淡水资源数量不足 ,质量下降。我国各级政府已认识到水污染治理和水资源保护的重要性 ,认识到经济和社会的持续发展有赖于环境的保护和资源的合理开发利用 ,包括水环境的保护和水资源的合理开发利用 ,重视和加速了水污染治理设施的建设 ,争取在 20 世纪末使我国城市污水处理率达 20% (归口于城市市政设施的污水处理厂)^[9] ,如果把工矿企业修建的污水处理设施的处理能力统计在内 ,估计城市污水处理率达 30% 以上 ,如果把池塘、人工湿地、土地处理 (农田灌溉) 等自然法处理设施处理的污水量考虑在内 ,污水处理率可达 40% (国外统计污水处理

率都把塘系统、土地、湿地处理系统等考虑在内)。

据统计我国工业废水处理设施的总处理率已达到 87%(1998)^[8],但实际上处理的工业废水量远达不到该值,因为一些调查统计表明,我国工业废水处理设施只有 1/3 是运行正常的,1/3 运行不正常,而另 1/3 停产不运行。

不少城市污水处理厂有钱建得起,却无钱维持正常运行,一些中小城市建成的常规活性污泥法处理厂尤其如此,除资金缺乏之外,操作运行和管理人员技术和管理水平低,难以掌握和操作技术复杂的处理过程和设备。

经过几十年的努力,尤其是近十年的努力,我国的水污染治理工作已有很大的发展,城市污水处理率从 80 年代末的 5% 发展到 90 年代末的近 20%,局部水环境已有所改善,但总体上全国的水环境并未有明显改善,有些水系如东北的松花江和辽河,污染反而加剧^[8]。

为了更快地改善我国的水环境,保护水资源,在学习国外成功和先进经验的基础上,汲取国外和自己的失败教训并结合我国的实际情况,对我国水污染防治和水资源保护应采取综合治理措施。

2.1 推广应用清洁生产工艺和清洁产品,将污染消除在生产过程中

这种清洁生产工艺(Cleaner Production Process)^[2],在国际上最近也称为“环境友好”(Environment Friendly)的生产工艺,因为他们应用的原料,中间产品和产品对环境不会造成严重污染,即使有也是轻微的。例如,合成洗涤剂的生产中用不含磷洗涤剂取代含磷洗涤剂,从而在生产过程中消除了磷的最大污染源;在农药生产中取消了六六六、DDT 等高毒性、高残留的有机氯农药,代之以高效、低毒、低残留农药的生产;一些化工产品生产中使用汞催化剂的生产工艺被无汞新工艺取代等,都是将污染物消除在生产过程中,消除了它们对水环境的污染和在水生态系统中的富集及对人的潜在危害。

2.2 因地制宜,多种方法并举解决污水处理问题

目前我国在污水处理技术方面有一种倾向,认为活性污泥法是最有效的,忽视和排斥了其它的处理方法和技术。其实在任何国家,都不是任何一种单一的处理方法能完全解决污水处理和水环境污染

问题的,即使在发达国家,例如美国,也是采用多种处理方法来处理城市污水和工业废水的。例如,美国共有稳定塘上万座,占处理污水总量的 25%,它与土地处理、人工湿地等系统成为中小社区(城镇)的主要处理设施^[1,12]。美国在应用塘系统、土地处理系统的过程中研究开发和推广应用了多种多样的先进、科学、高效、节能、工程化和美化的新型塘系统(如先进组合塘系统、双曝气功率水平多塘系统、水力调节贮存塘、完全封闭蒸发塘、水生植物塘等)。德国、法国、加拿大、澳大利亚、巴西、东南亚、非洲也有大量的塘系统在应用。近十年来英国、德国、法国、荷兰等人工湿地发展迅速,它与塘系统不仅成为中小城镇的主要污水处理设施,而且也成为雨水处理的主要设施,以及工业废水重要的处理技术^[13~15]。

作为发展中国家,中国更应该重视研究开发和推广经济、节能和有效的处理技术,具体设想如下。

2.2.1 在大城市中宜以活性污泥法处理设施为主

要研究、开发和应用基建费低、能耗低和运行费低的革新的活性污泥法技术。污水处理流程的主要改进措施有:

2.2.1.1 取消初沉池

我国大多数城市因多种原因(如设置化粪池,污水管道内渗严重,给水浪费等)污水有机物浓度低, $BOD \leq 100\text{mg/L}$,设置初沉池,一般能削减 BOD 负荷 30% 左右,难以使其后的曝气池维持正常运行。由于有机碳源的亏缺,更难于进行生物去除氮、磷的处理。目前国外一些污水处理厂,为了有效地去除氮、磷和改善活性污泥沉淀性能,采用了取消初沉池的工艺。对于我国处理低浓度污水的处理厂,取消初沉池能更加充分利用有限的碳源,提高出水水质,同时简化了处理流程,节省了基建投资和运行管理费用,我国广州大坦沙、佛山镇安污水处理厂等在这方面已有成功的经验^[17~19]。

2.2.1.2 曝气池宜采用节能的工艺

如 A/O 或 A/A/O 工艺在节省部分能耗的同时,还能达到部分去除氮、磷和改善活性污泥沉淀效果。在原生污水有机物浓度低($BOD \leq 100\text{mg/L}$)的情况下,采用:

a. 不同形式的强化一级处理,以不采用化学沉

淀的工艺为宜。采用化学沉淀的强化一级处理,不仅能将 BOD 和 COD 的去除率从普通一级处理的 30% 左右提高到 50% ~ 60%,而且能将磷减少至 1mg/L 以下,其缺点是化学沉淀污泥脱水性能不好,体积大,难以处理和处置。最好采用不加化学沉淀的强化一级处理技术。例如:在曝气沉砂池之后(合建或分建)加设短水力停留时间($HRT \leq 30\text{min}$)曝气池,沉淀池污泥回流至曝气池。回流到曝气池中的沉淀池污泥在好氧条件下进行活化,对污水中的有机物具有较强的降解和同化能力并具有良好的沉淀性能,混合液进入沉淀池后能达到较高的固液分离效率,可使 BOD 的去除率达到 50% ~ 60%,SS 去除率达到 80% 以上。

这种短 HRT 曝气池也可只接受沉淀池污泥作为污泥活化再生池,而沉砂池出水经旁路直接进入沉淀池的进水口,在此与再生污泥混合一并进入沉淀池,在此情况下 BOD 和 COD 的去除主要靠生物吸附来完成的。

b. 短 HRT(0.5 ~ 1h)的接触氧化处理工艺。山西省一些采用二级串联接触氧化法的污水处理厂的设计与运行成功经验值得推广,太原有两个处理规模相同的污水处理厂,一个采用常规活性污泥法,一个采用二级接触氧化法(也可称为“曝气生物滤池”),前者厂区占的面积为后者的 2 倍,且曝气池的体积比后者接触氧化池大十几倍。采用这种污水处理工艺的污水处理厂,其基建费要比相同规模的活性污泥法节省 1 倍以上,运行费也仅为活性污泥法的 30% ~ 40%,这种处理工艺值得在中小型规模的污水处理厂中推广应用。

c. 采用 AB 法中的 A 段处理工艺。在预处理之后设置短 HRT 的曝气池($HRT 30 \sim 40\text{min}$),在适宜的高负荷($F/M = 0.5 \sim 2.0\text{kgBOD/kgMLSS}$)下工作,后接沉淀池,其去除 BOD 的效率可达 50% ~ 60%,SS 去除率达 80% ~ 85%^[20~21]。

d. 采用 HRT 短的淹没式生物膜法工艺。淹没式生物膜法,包括固定式载体生物膜和悬浮载体生物膜,如:Linpor, Biostyr 等,在 80 年代中期随着新型填料和载体的出现,被广泛用于污水处理中。用淹没式生物膜工艺处理生活污水,垃圾渗滤液和工业废水表现出了优越的性能,与常规的活性污泥法

相比,淹没式生物膜曝气池的水力停留时间短,二沉池出水水质好,SS、BOD、COD 和 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的去除效率高,剩余污泥量相当少,这就大大降低了处理、处置及运行维护费用。

祈福新村位于广东省番禺市郊,作者与同事设计和指导建成的祈福新村污水处理厂采用淹没式生物膜法新工艺,第一年全年运行效果良好,去除率 BOD 平均为 97.2%,COD 为 84.6%, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 为 98.1%,TP 为 36%,在正常运行条件下溶解氧为 3 ~ 5mg/L,气水比为 2.5:1,曝气池出水中 BOD 平均为 1.1mg/L, COD 为 13mg/L, TSS 为 25mg/L, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 为 0.2mg/L 和 TP 为 1.1mg/L。

曝气池出水 $\text{TSS} \leq 30\text{mg/L}$,二沉池无剩余污泥产生,也无剩余污泥排放,自投产以来浓缩池及带式压滤机从未使用过,这样使污水厂运行简便、能耗低和运行费用低。再经 2 ~ 3 年的运行和试验研究,如仍能保持目前的运行效能,并无剩余污泥产生,通过明确其无剩余污泥的机理和相应的运行参数,可将其推广应用于气候条件和水质条件相似的城市和地区,如地处亚热带或热带,处理低浓度生活污水($\text{BOD} \leq 100\text{mg/L}$),在设计时处理流程可大大简化,取消污泥浓缩池、消化池和污泥脱水等设备。或经适当地调整应用于其他不同条件的城市 and 地区。

2.2.1.3 取消氯化消毒

二级出水仍含有较多的 SS 和 BOD、COD,投氯并不能有效杀灭病原菌,更不能杀灭病毒和病原原生动物,反而会形成大量的有机氯化物,排入水体后会造成污染。因此德国许多污水处理厂,如鲁尔河协会的 100 余座污水处理厂多采用最后净化塘进行杀菌,多级串联塘的细菌总数去除率高达 99.99% ~ 99.999 9%^[10~11]。加拿大、瑞士等一些污水处理厂采用紫外线灭菌技术。

2.2.1.4 采用新技术和新工艺

膜生物反应器是生物反应器(如活性污泥法曝气池)与膜分离设备的组合,形成一元化设备,同时对污水进行生物处理和固液分离^[22~23]。在这些膜生物反应器中一般使用微滤膜(MF)和超滤膜(UF)来阻留生物反应器中的生物体(污泥)取代二沉池,实现固液分离。这一处理系统的主要运行优点是,出水质量不依靠混合液的沉淀性能,也不会因任何

运行失误而使出水含有悬浮固体。由于活性污泥不必沉淀,使得这种生物反应器可在高的生物体浓度(MLSS 20 000~30 000mg/L)和长的污泥停留时间(SRT 50~360d)等特定条件下运行,而常规活性污泥法是无法在这样的条件下运行的。

在长 SRT 下运行,可使污泥中增殖硝化细菌对污水进行硝化和部分反硝化处理,可使污泥本身发生好氧消化,而使剩余污泥产量比常规活性污泥法减少 50%~80%。与常规活性污泥法相比,装有中空纤维微滤膜装置的生物反应器,可取代二次沉淀池和污泥消化池。多功能的膜生物反应器仅为相同处理规模的常规活性污泥法曝气池的 1/5。提高处理能力 4~7 倍,而不必增加基建投资^[23]。

膜生物反应器是一种三级处理设施,其出水水质相当于甚至优于常规三级处理系统的出水。因此,膜生物反应器后接纳滤(NF)或反渗透可生产出优质水而回流地下。而常规污水处理达到优质水需要经历许多个处理步骤。因此,膜生物反应器特别适用于缺水城市用作污水回收与再用设施,其出水可用作工业用水如冷却水,生活杂用水,景观用水等,其出水后加纳滤或反渗透处理,出水达到饮用水水源标准,注入地下和地表水源,或经矿化处理和消毒处理,再作饮用水。

2.2.1.5 适宜的污泥处理技术^[24~27]

我国一些污水处理厂已建成的污泥消化池大都运行不够令人满意,有些运行不起来或者一直未曾运行,有些虽然能运行,但生物气产量少且甲烷含量少,低于维持消化池正常运行所需的能耗。为此宜采用 A/O 或 A/A/O 处理工艺,其剩余污泥脱水性能良好,可以不用消化池或采用适宜的其它工艺进行污泥的处理与处置。

a. 将污泥转化为燃料^[24]。污泥变成油工艺在德、加、澳已经研究开发了 15 年,污泥转化过程是在一个双料反应器(dual reactor)中,在常温和 450℃无氧的条件下进行的,污泥中含有的铝硅酸盐和重金属催化了汽相的转化反应。生产的油其性质近似于中馏分燃料,可作为内燃机和外燃机的燃料。该工艺的优点是:实现污泥的完全循环,回收能量和可利用的副产品,重金属被固定,病原菌、病毒、寄生虫卵和有机氯化物被破坏,温室气体的产量最小。

b. 将污泥制成建筑材料^[25]。日本年生产污泥 300 万吨,过去多采用焚烧和污泥灰填埋技术,但存在二次污染问题,因此近年来,日本采用高温熔融技术,将污泥制成玻璃和陶瓷块,其重金属熔出率几乎为零,现正进一步研制建筑陶瓷材料等。

c. 污泥及其它废物的回收再用-生产燃气和甲醇^[26]。德国柏林的 Schwinge Pumpe 煤气厂,始建于 60 年代,因为在德国东部发现大量的泥煤储量,故用于生产煤气和发电,为此建立了许多煤化工、炼焦厂、发电厂和煤气厂。1995 年该煤气厂改为次生原料回用中心(SVZ-Sekundarrohstoff Verwertungs Zentrum)。这是世界上第一座废物回用厂,将旧汽车的塑料部件、木质废料,污水污泥和家庭垃圾进行气化以生产合成煤气,然后将其转化成甲醇和用于发电。现该中心已处理了 50 万 t 废物,每年生产 10 万 t 甲醇,最近刚投产运行一座新的气化系统,使该中心的生产能力增加了 12 万 t/a。

d. Cambi 工艺:同时实现污泥减量和生物气产生^[27]。由 Purac 开发的 Cambi 工艺中,通过高温水解过程使污泥中的有机成分从不溶解状态转化为溶解状态,使有机物可用于生物降解,即厌氧消化。经高温水解后固体中有机物大为减少,再进行厌氧处理,促进了生物气产量的增加,也可将释放出的碳作为生物脱氮的碳源。经 Cambi 工艺产生的脱水污泥的总固体含量达 30%~40%,可以直接进行污泥焚烧。根据污泥的来源和组分,这一工艺可以间歇地和连续地运行。

在挪威奥斯陆(Oslo)以北的 Hamar 建立了一座污泥处理厂,该厂由 Cambi 工艺(水解和厌氧消化),化学回收和烘干等过程组成。送入该厂的污泥量为 1 000t/月(20%总固体 TS),经脱水后污泥量降至 290t/月,经烘干和萃取后减少至 66t/月,即污泥量减少 93%。在烘干和萃取之后 TS 减少 70%。该系统采用全封闭工作,污泥加热时无臭味释出。

2.2.2 中小城市以实用处理技术为主

在县级市的城镇,污水量为数千至数万,一般小于 5 万 m³/d。由于资金有限,技术力量薄弱等原因,宜于采用经济、简易、节能和有效的处理技术,即实用技术,主要是塘系统、人工湿地和土地处理与利用系统,与当地的生态农业相结合,成为生态农业的

一个组成部分,即污水回收与再用的生态农业。

2.2.2.1 高效新型塘

废水稳定塘不仅在发展中国家广泛应用,而且在发达国家应用得也很普遍,在美国用于处理城市污水和工业废水的塘共有上万座,在德国有3 000多座,法国有2 000多座,它们或单独应用,或与其它处理设施组合应用。

这些塘系统大都由兼性塘、曝气塘、好氧塘和厌氧塘等4种普通型式的塘以多种不同的组合方式组成,因而称为普通塘系统,或称为常规塘系统。

但是,这些普通塘系统有一些缺点和局限性而影响了其推广应用。从70年代末开始,美国着手研究和开发了一些新型的单元塘和塘系统。由美国加州大学W. J. Oswald教授研究开发的,由高级兼性塘、高负荷藻塘、藻沉淀塘和熟化塘等4种塘串联组成(如图1所示),它们与普通单元塘和塘系统相比,具有如下一些优点和缺点:

水力负荷率和有机负荷率较大,而水力停留时间较短,甚至很短,如只有数天之久;节省能耗;基建和运行费用较低;能实现水的回收和再用以及其它资源的回收;其代表性的BOD去除率为98%,COD为93%,TN为70%, NH_3-N 为95%,TP为90%,细菌为99.999 9%。

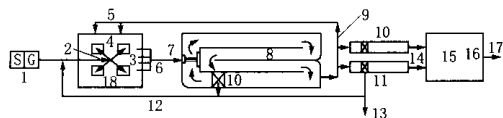


图1 废水处理和氧、水、营养物回收和再用的高级组合塘系统^[23]

- 1 格栅和沉砂池 2 配水池 3 发酵坑 4 兼性塘
5 充氧水回流 6 低水位出水 7 浆板混合器 8 高负荷藻塘
9 高水位出水 10 藻储存衰减坑 11 藻沉淀塘
12 沉淀藻回流 13 藻回收 14 低水位出水 15 熟化塘
16 高水位出水 17 水再用 18 补充曝气

由美国克莱姆逊大学里奇(L. G. Lich)教授研究开发的双功率曝气水平多塘串联系统(DDMC),是在美国通用的曝气塘→最后净化塘系统的基础上改进而成,由首端的高曝气功率塘(或称完全混合塘)与其后的三个串联的低功率曝气塘(部分混合塘)组成,按活性污泥法的原理工作的。这种塘系统的优点是通过曝气供氧以及由此形成的活性污泥大大提高了塘的处理效率和负荷,相应的总水力停留

时间仅为4~6d(南方~北方),这比普通塘系统至少需20~30d,最长达半年之久要少得多。另通过曝气系统的优化设计与运行,可使新增的活性污泥与衰亡的活性污泥量相等,实现剩余污泥的零排放。

2.2.2.2 人工湿地

人工湿地主要用于小城镇、村镇的污水处理。人工湿地为工程筑造的湿地,筑有围堤,为保证污水有良好的水力流态和较大体积的利用率,采用适宜的形状和尺寸,及进水、出水和布水系统。其中种植生长芦苇等沼生植物。人工湿地运行简单,处理效果良好,不仅能去除COD、BOD等有机物,而且能除磷脱氮和去除重金属等^[15];因此近年来发展迅速。例如英国Severn Trent水公司所服务的区域内,人工湿地污水处理系统从80年代以来的一座迅速发展到了90年代末的一百余座,并迅速推广应用于雨水处理,成为雨水处理的主要方法之一^[13]。人工湿地也成为许多种工业废水(化工、石油化工、纸浆、纺织印染、重金属废水、化学试剂等)的有效处理方法^[15]。英国已建成了处理能力为3 000m³/d,占地面积为5hm²的芦苇湿地,用于处理化工废水,其去除率为酚95%,甲醇>99%,甲基苯胺95%~97%,COD 80%;德国一养猪厂用芦苇床人工湿地(0.25hm²),处理约100m³/d高浓度养猪废水,其总氮, NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-} , K^+ , Cu^{2+} 的去除率分别为88.9%,93.2%,95.2%,99.6%,86.8%和95%^[15]。

我国有大面积的分布广泛的自然湿地,如:黑龙江省有自然湿地2 000万亩,在我国沿海地区从北到南分布有大量的自然湿地;仅天津就有湿地面积200余万亩,在山东省如:寿光、胶南、胶州和荣城等都有大面积的天然的湿地或半人工的湿地,在处理城市污水或工业废水中,表现出明显的净化效果。这些自然的或半人工的湿地处理系统,与国外人工湿地相比是原始的,通过借鉴和学习国外的先进和成功的经验,许多城市可建成处理生活污水和工业废水的比较完善的人工湿地处理系统。

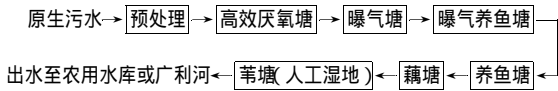
2.2.2.3 污水处理与利用^[18 28 29]

在我国的中小城镇和农村,在污水处理上应因地制宜的处理与利用相结合,利用生态处理系统,在污水处理的同时实现污水的无害化和资源化,从而

实现水的良性循环和水资源的可持续发展。

污水处理与利用生态系统是以太阳能为初始能源,通过在污水生态系统中种植水生作物,进行水产和水禽养殖,形成人工生态系统。在太阳能(日光辐射提供能量)的推动下,通过生态系统中多条食物链的物质迁移、转化和能量的逐级传递、转化,将进入该系统污水中的有机污染物进行降解和转化,最后不仅去除了污染物,而且以水生作物、水产(如鱼、虾、蟹、蚌等)和水禽(如鸭、鹅等)的形式作为资源回收,净化的污水也作为再生水资源予以回收再用,使污水处理与利用结合起来,实现了污水处理资源化。

作者在总结以往负责设计和指导的黑龙江省安达、九三农场,内蒙古集宁市,山东省胶州市等城市污水或高浓度有机废水的处理与利用生态工程的基础上,1998年又完成了山东省东营市污水净化与回收再用生态处理系统的设计,其污水处理量为10万m³/d,处理流程如下:



污水在高效厌氧塘、曝气塘和曝气养鱼塘中处理后,进入到养鱼塘、藕塘和苇塘进行多级利用和进一步净化。在这一处理与利用工程中,污水中的有机物和营养物通过食物链的物质转移和能量转化,实现了污水的净化和资源化。该工程已于2000年10月建成并投产运行。生活污水作为稳定可靠的水源,将极大地缓解当地的水资源短缺问题。

参考文献

- 1 王宝贞,等. 水污染控制工程. 北京:高等教育出版社,1991
- 2 Piet Odendaal. Water Quality Management in Developing Countries. New World Water,1999. 9~11
- 3 Pierre Najilis. Forward. Ibid,1999. 7~8
- 4 Speical Report. Water :the Potential for Wars and Conflict. World Water and Envir. Engng. 21(5):12
- 5 王宝贞,王琳. 水污染治理工程技术新近展. 污水回收与再用,第五章. 哈尔滨建筑大学研究生教材,1999
- 6 D E Friedman-Huffman and J B Rose. Emerging Waterborne Pathogens. Water Quality International,1998
- 7 J Clancy and C Fricker. Control of Cryptosporidium-how Effective is Drinking Water Treatment. Water Quality International,1998
- 8 国家环保总局. 中国环境状况公报,1998
- 9 宋序彤. 中国供水排水发展特征及未来发展问题. 21世纪中国城市水管理国际研讨会,1999

- 10 1913~1988 75 Jahre Ruhrverband Ruhrtalesperrea Rerein in Dienst Fur Die Ruhr 1988
- 11 Ruhrverband Jahresbericht 1996
- 12 Berlin Water Industry Supplement. Gasification :Reusing a Waste Product. World Water & Enviromental Engineering 22(8):18
- 13 Sludge Treatment. Reuse and Disposal. The Cambi Process :Volume Reduction and Biogas Production in One 21(1):14
- 14 USEPA. Design Manual. Municipal Wastewater Stabilization Ponds, EPA-625/1-83-015,1983
- 15 J Upton and B Green. A Successful Strategy for Small Treatment Plants. Water Quality International,1995
- 16 广州市大坦沙污水处理厂. 有关低浓度城市污水生物脱氮除磷运行实验研究报告(鉴定会资料),1991
- 17 广州市市政工程设计研究院. 佛山市镇安污水处理厂设计成果鉴定会资料,1996
- 18 Baozhen Wang, Lin Wang, Luyu Yang. Case Studies on Pond Eco-Systems for Wastewater Treatment and Utilization in China. World Marketing Series. Global Water and Wastewater Technology. 1999. 64~71
- 19 D Jin, B Wang, L Wang. Design and Operation of a Wastewater Treatment Plant Treating Low Concentration of Municipal Wastewater. Wat Sci Tech 33(3):167~172
- 20 Botho, Bohnke. Das AB-Verfahren Zur Biologischen Ab Wasserreinigung. Aug,1992
- 21 沈耀良,王宝贞. 废水生物处理技术-理论与应用(第一章). 北京:中国环境出版社,1999
- 22 T Stephenson, K Briendle. Membrane Bioreactors-Dual Processing in One Unit Operation. World Marketing Series, Business Briefing, 1999. 164~169
- 23 Zenon Municipal International. Advanced Membrane Systems for Municipal Wastewater Treatment. ISO9002-87, Cept. # 002946, CANADA,1996
- 24 T Bridle. Fuel First. Water Quality International. 1999
- 25 M Iriyama. Vortex Melting Furnace Allows Sludge Reuse. Water Quality International,1997
- 26 D M Revitt et al. Design of Wetland System for the Treatment of Urban Runoff. Water Quality International,1997
- 27 P Adcock. Reed Bed Take on Industrial Waste. Water 21,1999. 50~52
- 28 王宝贞. 中国缺水城市污水回收与再用探讨. 21世纪中国城市水管理国际研讨会论文集,1999
- 29 王宝贞,王琳,杨鲁豫. 污水处理与利用生态系统的研究与工程实践. 21世纪中国城市水管理国际研讨会论文集,1999

○作者通讯处:100037 建设部城建司

王琳 王宝贞 哈尔滨工业大学 479[#]

电话 (0451) 6282108

收稿日期:2000-9-12

Abstract : The water environment pollution and water resource shortage are two big problems worldwide. The water consumption in this country is increasing rapidly with the continuously economic development , population growth , elevated quality of life and accelerated industrialization and urbanization. The wastewater discharge is increasing respectively and the crisis of water pollution and water shortage become sharpen more. These were caused almost by a cardinal limitation : insufficient wastewater treatment capacity with low wastewater treatment percentage. For the aims to improve the water environment quality and to protect the water resources as soon as possible , all the advanced experiences worldwide in this sphere will be learnt and all the defeats worldwide in this sphere will be avoided. Comprehensive administration is necessary in the field of water pollution protection and water resources conservation to meet the practices in this country. Technical renovations of low investment , low power consumption and low operating expenses might be developed and adopted preferentially. The treatment and utilization shall be joined together , the ecological treatment system will be used adjust measures to local conditions to realize the wastewater innocuousation and resourcelization , to realize the favorable circulation of water cycle and to realize the sustainable utilization of water resources.