

制浆造纸废水的生物处理技术

伍健东

(华南理工大学工业装备与控制工程系, 广州, 510640)

摘要: 本文对制浆造纸废水的特点进行了介绍, 并着重阐述了应用于制浆造纸废水处理的各种生物技术及其研究情况。

关键词: 制浆造纸废水; 生物处理

1 前言

制浆造纸工业废水排放量大, 废水中含有大量的纤维素、木质素和各种化学药品, 耗氧量大, 是污染环境的主要污染源之一。美国将其列为六大公害之一, 日本列为五大公害之一。在我国, 制浆造纸工业废水排放量占工业废水的 1/6, COD 和 SS 均占 1/4, 造纸废水污染如此严重, 对我国人民生活与生态环境造成了严重的影响, 因此, 必须对制浆造纸废水进行有效的处理。

制浆造纸废水浓度高, COD、BOD 含量大, 其处理方法较一般工业废水有所不同, 目前, 造纸废水的处理方法主要有物理法、化学法、生物法和物理化学法。其中生物法的应用最为广泛, 已成为造纸废水二级处理的主要方法之一。本文主要介绍应用于制浆造纸废水处理的各种生物处理技术。

2 制浆造纸废水的特点

制浆造纸工业废水主要包括蒸煮废液、制浆中段废水和抄纸废水三大类。三种废水由于产生的工序不同, 其理化性有显著的差异。

2.1 蒸煮废液

蒸煮废液是制浆蒸煮过程中产生的超高浓度废液, 包括碱法制浆的黑液和酸法制浆的红液。我国目前大部分造纸厂采用碱法制浆, 所排放的黑液是制浆过程中污染物浓度最高、色度最深的废水, 呈棕黑色。它几乎集中了制浆造纸过程 90% 的污染物, 其中含有大量木质素和半纤维素等降解产物、色素、戊糖类、残碱及其它溶出物。每生产 1t 纸浆约排黑液 10t (10°Be), 其特征是 pH 值为 11~13, BOD 为 34500~42500mg/L, COD 为 106000~157000mg/L, SS 为 23500~27800mg/L^[1]。

亚铵法制浆废液呈褐红色, 故又称红液, 杂质约占 15%, 其中钙、镁盐及残留的亚硫酸盐约占 20%,

木质素磺酸盐、糖类及其它少量的醇、酮等有机物约占 80%^[2]。

2.2 制浆中段废水

制浆中段废水是经黑液提取后的蒸煮浆料在洗涤、筛选、漂白以及打浆中所排出的废水。这部分废水水量较大, 每吨浆约产生 50~200t 中段废水。中段废水的污染量约占 8%~9%, 吨浆 COD 负荷 310kg 左右, 含有较多的木质素、纤维素等降解产物、有机酸等有机物, 以可溶性 COD 为主^[3]。一般情况下其水质特征为 pH7~9, COD1200~3000mg/L, BOD400~1000mg/L, SS500~1500mg/L^[6]。

2.3 抄纸废水

抄纸废水又称白水, 是在纸的抄造过程中产生, 主要含有细小纤维和抄纸时添加的填料、胶料和化学品等, 这部分废水的水量较大, 每吨纸产生的白水量为 100~150t, 其污染物负荷低, 以不溶性 COD 为主, 易于处理, 在回收纤维的同时可以回用处理后的水, 一般白水的 COD 仅为 150~500 mg/L, SS 为 300~700mg/L, pH 为 6~8^[6]。

3 废水的生物处理技术

废水的生物处理技术就是利用微生物的新陈代谢功能, 使废水中呈溶解和胶体状态的有机污染物被降解并转化为无害稳定的物质, 从而使废水得以净化。生物处理法是去除 BOD、COD 不可缺少的二级生物处理过程, 它兼有去除 SS、脱色、除臭等作用。根据参与作用的微生物种类和供氧情况, 分为好氧生物处理、厌氧生物处理及好氧厌氧组合处理三大类。

3.1 好氧生物处理法

好氧生物处理法即在有氧条件下, 借助于好氧微生物(主要是好氧菌)的作用来降解污染物的方法。根据好氧微生物在处理系统中所呈的状态不同可分为活性污泥法和生物膜法两类。

《造纸科学与技术》2002年第21卷第1期

3.2 厌氧生物处理法

厌氧生物处理是利用兼性厌氧菌和专性厌氧菌在无氧的条件下降解有机污染物的处理技术。在厌氧生物处理过程中,复杂的有机化合物被降解和转化为简单、稳定的化合物,同时释放能量,其中大部分能量以甲烷的形式出现。

废水的厌氧生物处理,由于不需另加氧源,运转费用低,产生的污泥量少且性质稳定、易于处理,因而得到了大的发展。现在厌氧生物处理法不仅可以用于高浓和中浓有机废水的处理,而且也适用于低浓度有机废水的处理。目前一大批高效的厌氧生物处理工艺和设备相继出现,包括有厌氧生物滤池、上流式厌氧滤池,升流式厌氧污泥床(UASB)、厌氧流化床(AFB),厌氧附着膜膨胀床(AAFEB)以及厌氧浮动生物膜反应器(AFBFR)和厌氧折流板反应器(ABR)等。

3.3 好氧厌氧组合处理

把厌氧法与好氧法组合起来对废水进行处理的方法即为好氧厌氧组合处理法。目前已开发的组合工艺有厌氧—好氧(A_1-O)、缺氧—好氧(A_2-O)以及厌氧、缺氧和好氧三段处理(A_1-A_2-O 或称 A^2/O)等。

4 生物处理技术在制浆造纸废水处理中的应用

4.1 好氧生物处理技术

制浆造纸工业废水中应用较普遍的好氧生物处理技术包括:不同改进型活性污泥法、生物转盘、生物滴滤池、接触氧化、氧化塘、曝气稳定塘(ASB)和土地处理系统等。

4.1.1 活性污泥法

活性污泥法是应用最为广泛的废水生物处理技术。它是利用悬浮生长的微生物絮体(这种微生物絮体叫活性污泥)吸附、吸收、氧化和降解废水中的有机污染物,使之转化为无害的物质,从而使废水得以净化的一种好氧生物处理法。活性污泥法主要降低废水的BOD值,其基本流程如图1所示^[4]。

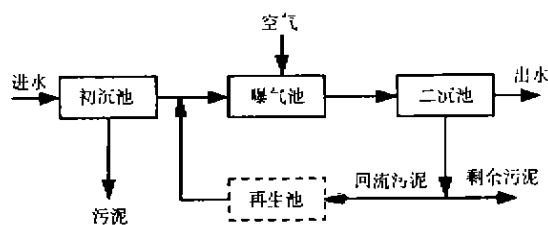


图1 活性污泥法基本流程

制浆造纸废水含有大量有机物,废水可生化性较好,所以活性污泥法在造纸废水处理中得到广泛的应用。我国的科研人员对此亦进行了大量的研究,取得了许多成功的经验。

陈让福等^[5]用好氧活性污泥法处理造纸废水得到很好的效果,用盐酸和石灰产生的二氧化碳来控制pH值,对设备腐蚀性小,该法对BOD₅、COD、SS的去除率分别达到88.5%、77.8%、85.3%。

赵金辉^[7]利用混凝—水解—好氧活性污泥法对造纸废水进行试验研究并取得较好的效果。为保证曝气池的去除效率,防止丝状菌污泥膨胀,在废水中加氮可作为该工艺流程的常规操作。中间试验结果表明该方法对高浓度的造纸工业废水有良好的处理效果,COD、BOD₅、SS的总去除率分别达到91.9%、90.9%、94.5%,最终的出水水质可满足GB3544—92《造纸工业水污染物排放标准》中的二级要求。

陈敏等^[10]在处理高浓度CTMP制浆造纸废水的活性污泥系统中,采用改良的活性污泥驯化工艺,在驯化阶段间歇式与连续式进料相结合,能够明显改善污泥沉降性能,并显著增加处理效果,COD去除率达77%~85%,BOD₅去除率90%~95%,TSS去除率75%~89%。

陈金中等^[13]采用活性污泥法对混凝处理后的废纸脱墨废水进行了试验研究,结果表明活性污泥法可以使有机污染物进一步降低,其COD和BOD₅的去除率分别达88.6%和93.4%。

传统活性污泥法的缺点是污泥易膨胀,但实验发现向污泥中投加粉状褐煤能改善污泥沉降性能和生化降解能力^[11]。另外通过对传统活性污泥法进行改进亦可解决该问题。

4.1.2 活性污泥法的改进

4.1.2.1 序批式活性污泥法(SBR)

序批式活性污泥法(SBR)是一种间歇运行的废水处理工艺,它是在一个反应器内按时间顺序先后完成普通连续流活性污泥法中多个处理单元所进行的工艺环节。SBR法具有工艺简单、经济、处理能力强、耐冲击负荷、占地面积少、运行方式灵活和不易发生污泥膨胀等优点,是一种适合于制浆造纸工业废水处理、投资省、运行费用低,处理效率高的新工艺。

颜尚华等^[8]研究发现制浆蒸煮黑液经酸析木质素后,直接通过SBR系统处理可使COD去除率达54.5%~63%,BOD₅去除率达70%~84%;若采用内电解和SBR联合对黑液进行处理更为有效,

酸析木质素后的黑液经内电解预处理后再经 SBR 系统处理可使 COD 去除率达 71%~77%、BOD 去除率达 67%~75%。

方士等^[9]利用 SBR 工艺对造纸废水进行处理,连续运行结果表明:COD 去除率为 82.5%,且运行比较稳定,处理效果良好,出水水质达到国家规定的造纸行业废水排放标准。SBR 工艺对 pH 值变化有一定抵抗能力,且活性污泥沉降性能良好,均以菌胶团为主,不易发生污泥膨胀。

对于再生纸废水,中国林科院林产化工所研究开发了气浮-SBR 组合处理技术。该技术对 COD 去除率高,不发生污泥膨胀问题,工艺运行稳定,再生纸废水经处理后可达一级排放标准^[33]。

4.1.2.2 HCR 废水处理技术^[12,14]

挪威克瓦纳水处理公司设计的高效生物反应器(High efficiency Compact Reaction,简称 HCR)是活性污泥法的一种发展,其特点是高效、高浓、高负荷、占地小、污泥少、能耗低,很适合于 COD 浓度较高的制浆造纸工业废水的处理。这种反应器的结构主要由一个环形的混凝土塔体、循环泵、射流喷嘴、导流反应管、布气管等部件组成。据介绍,HCR 的反应效率较常规活性污泥法高,接近到纯氧曝气的水平,其容积负荷可达 50~70kg COD/m³·d,是常规活性污泥法的 10~30 倍,反应时间为 1~2h,是常规活性污泥法的 1/20~1/4,污泥负荷可达 5~10kgCOD/kg·MLSS,是常规活性污泥法的 2~3 倍,从而使“HCR”系统的反应体积仅为常规活性污泥法的 1/50~1/30,大大减少了占地面积。同时“HCR”技术还可处理高浓度(COD 可达 13000mg/L)、低生化性(BOD:COD≤3)和 CTMP 废液蒸发的污冷凝水等有毒废水。例如 HCR 处理半化学浆废水和 TMP 废水,COD 去除率均可达 70%,处理亚硫酸盐废液蒸发污冷凝水,COD 去除率可达 80%、糠醛去除率可达 100%。

4.1.2.3 循环式活性污泥法^[15]

循环式活性污泥法简称 CAST 工艺,是一种可变容积的活性污泥法,整个工艺为一间隙式反应器,在此反应器中活性污泥法过程按曝气和非曝气阶段不断重复进行,生物反应过程和泥水分离过程亦结合在一个池子中进行。CAST 工艺中设有生物选择器,可根据具体情况以好氧或缺氧-厌氧运行。生物选择器的主要作用是使系统选择出絮凝性细菌,以利于污泥的沉降。

目前,循环式活性污泥法已成功应用于造纸

废水的处理。在应用 CAST 工艺对某造纸厂的造纸废水进行中试试验后发现,当进水 COD 在 1600~3415mg/L 波动时,其出水平均值为:BOD₅7mg/L,SS 22mg/L,COD 205mg/L。在整个试验过程中 BOD₅ 几乎完全得到去除,COD 的去除效率在进水浓度较低时在 80%左右;在进水浓度较高时达 90%以上。应用 CAST 工艺再对该纸厂废水进行生产性试验发现,造纸废水经 CAST 系统处理后 COD 去除率为 85.7%~88.6%、BOD₅ 的去除率大于 97.5%。

4.1.3 土地处理法

土地处理法是利用土壤-微生物-植物组成的生态系统净化废水的处理技术,具有投资少、运行费用低、耗能少、处理效果高的特点,美国的实践表明制浆造纸工业废水较适合于土地处理。于秀玲等^[16]利用土柱试验模拟土地处理系统,对乳山市造纸厂废水进行试验研究,结果表明在温度 10~28℃,投配水量为 20000 mL/d,水力负荷 0.25m³/次时,COD 去除率在 80%左右。在模拟试验基础上,建立由厌氧塘、沉淀调节池和土地处理系统组成的废水治理工程,初步运行结果表明出水可以达到国家规定的排放标准,且运行费用仅相当于常规物化处理的 6%,为 0.06 元/m³。

利用土地处理技术要注意控制用于土地处理的废水的水质,因此对于污染负荷大的造纸废水,要进行预处理以降低其污染负荷,使之符合植物正常生长、保护土壤和地下水不受污染以及不降低农产品质量的要求。

4.2 厌氧消化法

用厌氧消化法处理制浆造纸工业高浓度有机废水是一种行之有效的处理方法。与好氧法相比,厌氧法具有以下优点^[17]:(1)废水中的有机物转化为甲烷气,产生新能源;(2)BOD₅ 和 COD 去除率高,处理效果好;(3)污泥产率低且易脱水处理;(4)无需供氧曝气、投加营养盐少,因而处理费用低;(5)结构紧凑,占地面积少。

用于处理制浆造纸废水的厌氧反应器主要有厌氧接触反应器、厌氧滤池(AF)、上流式厌氧污泥床(UASB)、厌氧流化床(AFB)以及组合型和二相厌氧工艺等。

我国自二十世纪八十年代初以来也开展了对造纸废水厌氧消化处理的研究,试验的废水包括碱法黑液、碱回收污冷凝水、高得率制浆废水等等。

4.2.1 厌氧接触反应器

厌氧接触反应器是在厌氧池的基础上发展起来
(《造纸科学与技术》2002年第21卷第1期

的,它的主要特点是使有效混合与污泥回流结合为一体,以达到高效率的处理。污泥分离采用传统的重力分离或斜板分离。这种反应器适合于悬浮物含量高的制浆造纸废水的处理。较早把厌氧接触反应器应用于制浆造纸废水的是瑞典的 AC 生物技术公司,该公司研制的 Anamet 系统以厌氧接触反应器为主,已在近 10 家造纸厂中运行^[18],处理的废水包括 TMP、CTMP、磨木浆、废纸、亚硫酸盐冷凝液等, BOD₅、COD 去除率分别为 50%~99.5%、40%~85%。我国轻工部环保所进行的“半化学草浆废液厌氧发酵的研究”中也采用了全混合式厌氧接触反应器^[19]。

4.2.2 上流式厌氧污泥床(UASB)

UASB 反应器属于高效厌氧处理技术,该反应器是由污泥床、污泥层和气液固三相分离器组合而成的。它可以处理 SS 浓度在 40~60g/L,其中 VSS 占 60%~90%,颗粒直径为 0.5~4mm 的高负荷黑液。与其它厌氧反应器相比,UASB 具有以下优点:(1)启动速度快,处理时间短;(2)污泥产率低;(3)COD 去除率高。UASB 反应器目前已广泛应用于处理包括制浆黑液在内的许多高负荷废水。荷兰 Paques 公司生产的以 UASB 为核心的 Biopaq 厌氧装置,其负荷率为 20kgCOD/m³·d,水力停留时间小于一天,COD 去除率为 50%~80%,BOD₅ 去除率为 75%~90%^[18]。我国对 UASB 反应器也进行了多方面的研究。例如,王静霞等人^[20]的实验室研究结果表明山杨高得率浆(CTMP、APMP)废水采用上流式厌氧污泥床(UASB)处理时能得到较好的净化效果,且处理系统较稳定。对 CTMP 废水,COD 和 BOD₅ 去除率分别为 53.5%~62.3%(平均 59.0%)和 83.5%~88.6%(平均 87.1%);对 APMP 废水的 COD 去除率可达 69.0%~72.3%(平均 70.9%),BOD₅ 去除率可达 92.5%~93.4%(平均 93.0%)。

4.2.3 厌氧滤池(AF)

厌氧滤池分升流式和降流式两种。目前降流式已取代了升流式,因为降流式避免了悬浮物的堵塞问题和短路问题,它特别适合于处理硫化物含量高和低 BOD/硫化值(小于 10~15:1)的造纸黑液。同时,降流式厌氧滤池下部产生的沼气有助于把上部产生的 H₂S 带走,保护了对毒性敏感的甲烷细菌。1987 年,在比利时的 Lanken AF 装置被应用于 CTMP 制浆造纸废水的处理上,它对 CTMP 废水的处理效果如下:BOD₅ 的去除率达 85%,COD 去除

率为 70%,负荷率为 12.7kgCOD/m³·d^[18]。

4.2.4 厌氧流化床(AFB)

厌氧流化床是使附着微生物的填充材料的有效表面积最大,而填充材料所占反应槽的体积最小,保证体系内附着的活性微生物浓度最大。实验室和中试研究都表明用 AFB 处理制浆造纸废水是可行的,而且能达到比其它高效厌氧反应器高得多的负荷率,同时保持相似的处理效果^[21]。在法国经过一年中试后,生产型的 AFB 已投入使用,其 BOD₅ 和 COD 的去除率可望达 83.3%和 72.2%,负荷率可望达 35kgCOD/m³·d^[18]。

周健等^[22~23]对中温(30±2℃)条件下颗粒活性炭(GAC)载体厌氧流化床反应器处理硫酸盐草浆废水启动方式进行了研究,完成了微生物的驯化和反应器的成功启动,并在此基础上对厌氧流化床处理硫酸盐草浆废水的性能进行了研究,结果显示当进水 COD 浓度为 2000~5000mg/L,HRT 为 3~9h 时,COD 去除率为 50.1%~70.2%,容积产气量 1.46~3.0m³/m³·d,有机容积负荷可达 43.2kgCOD/m³·d。

4.2.5 IC 厌氧反应塔^[24]

IC 厌氧反应塔是荷兰 Paques 公司的专利产品,它是在 UASB 内循环三相反应器的基础上改进的先进技术,它与传统的 UASB 比较有更突出的优点:能耗低、占地更小、容积负荷更高、处理效果更好和抗冲击能力更强以及布水系统不易堵塞等。

IC 塔的工作原理是:污水从 IC 塔底部沿切线方向进入,在底部循环回流与膨胀污泥床的颗粒污泥充分混合进行生化反应,在此大部分的有机物降解转化为沼气。产生的气泡由低部位的一级分离器收集,并形成气提,气提携带水和污泥经上升管道冲至反应器顶部的气液分离器内。在反应塔高部位产生的部分沼气则被二级分离器收集,然后沿另一上升管道也进入顶部的气液分离器。在顶部分离出来的沼气导入火炬燃烧或发电后回用污水处理系统。而污水混合液通过下降管道降至反应器底部,如此形成了内循环。处理后的水最终经出水堰溢流排出进入曝气系统。

IC 塔内部大多由各种特殊的工程塑料做成的单元模块组成,便于拆卸、运输、安装和维修。外部的支撑结构为简洁的钢材料,可在污水处理厂现场制作和安装。

4.3 厌氧-好氧处理工艺

厌氧-好氧处理工艺是厌氧处理后再进行好氧

处理,它具有以下优点^[17]:(1)处理效果均比单一的厌氧或好氧好。(2)经济效益好,厌氧预处理时产生新能源沼气。(3)占地面积少,废水中大部分有机物在厌氧段被降解,好氧段的处理负荷轻,因而其设备可减少占地面积。(4)污泥量少,废水中大部分有机物被厌氧菌转化成沼气,污泥量大为减少,为单独好氧的20%。

近年来,许多国家对厌氧-好氧法处理造纸废水进行了研究,并取得了重大进展,欧洲许多国家的造纸厂均采用这种方法对造纸废水进行处理。例如,荷兰 Eerbeek 污水处理厂利用 UASB 进行预处理后再进入射流曝气池,对三家造纸厂的 DIP 污水进行集中处理。其处理量为 15600m³/d,进水 COD 为 1800mg/L,出水 COD 为 70mg/L,COD 去除率达 96.1%。又如德国 Wepa 造纸厂使用厌氧-好氧处理法处理 DIP 污水,其厌氧反应器采用 IC 厌氧反应塔,处理量为 4000m³/d,进水 COD4000mg/L,出水 COD 为 200mg/L,COD 去除率为 94.6%^[24]。

我国对这种处理系统也进行了相应的研究,取得了不少成果。例如浙江水美环保工程有限公司的水美 A/O 处理技术是在活性污泥法的前段设置厌氧槽,在此厌氧槽内将原废水、回流污泥同时流入,待保留 40~60min 后再流入好氧池内氧化。该技术在宁波中华纸业的废水处理中取得了较好的效果,工程的处理水量为 35000~40000m³/d,处理废水主要为制浆脱墨废水和造纸白水,进水 pH7.1~8.9, COD 为 1500~3500mg/L,SS 为 1400~3000mg/L 的条件下,处理水质可达 COD60~100mg/L,SS 为 20~30mg/L,达到国家一级排放标准^[25]。

徐华等^[26]采用混凝沉淀-厌氧-好氧处理工艺对草浆中段废水进行了试验研究,结果表明该处理工艺比常用的混凝沉淀-好氧处理工艺有优越性,它在去除污染物令排水达标的同时,厌氧处理有沼气产生,具有一定的经济效益,且运行费用亦较低。

施英乔等^[27]则采用厌氧(UASB)-好氧(SBR)组合技术对高浓度的 APMP 制浆废水进行了试验研究,结果发现采用 UASB-SBR 组合技术可使 APMP 废水的 COD 去除率达到 90.3%。

厌氧-好氧处理还可以用于含氯漂白废水的脱氯。陈元彩等^[28]的研究表明采用混凝-厌氧-好氧的一体化处理装置,对有毒的亚硫酸盐浆含氯漂白废水能进行有效的净化,在整个反应器停留时间

为 15h 时,整个系统 COD、BOD₅、AOX 和毒性值的去除率分别达 88.1%、81.0%、98.4% 和 92%。

4.4 利用特种微生物处理技术

利用特种微生物对制浆造纸废水进行净化处理是一个很有前途的研究方向,目前研究较多并表现出高效降解木质素能力的是担子菌纲的白腐菌,其中黄孢原毛平革菌是研究得最为深入的一个典型菌种。

研究发现白腐菌对纸浆 CEH 漂白废水具有明显的脱色、消除毒性和降低 COD 与 BOD 的作用^[29~31]。例如,王双飞等^[29]采用吸附法固定白腐菌,利用自行设计的顺流式固定床反应器,对苇浆 CEH 三段漂的混合废水进行实验研究,连续运行结果表明吸附法固定白腐菌处理苇浆 CEH 三段漂混合废水,处理效果较稳定,COD 去除率保持在 65%~68%,BOD₅ 去除率 89%~92%,TOCL 去除率 58%~62%。又如徐海娟等^[30]利用白腐菌,在活性炭-化学纤维固定膜反应器上,对苇浆 CEH 三段漂混合废水进行试验研究发现,漂白废水的脱色率达 60%~90%,COD 去除率在 50% 以上。

白腐菌处理其他制浆废水也同样有效。如同冰等^[32]把白腐菌应用于 CTMP 制浆废液处理中,研究表明,白腐菌具有对 CTMP 废液的适应性和显著降解其中污染物的能力。在添加适量营养盐条件下,处理 15 天时 COD 的去除率达 68%~73%;未添加营养盐时,白腐菌直接作用于 CTMP 废液,COD 去除率可以达到 69%。

5 结 语

制浆造纸废水具有浓度高、色度深、水量大、含纤维悬浮物多、BOD 和 COD 含量高等特点。生物法处理制浆造纸废水具有效率高、成本低、二次污染少等优点,今后随着造纸工业和生物技术的迅猛发展以及对环境质量要求的提高,生物处理技术必将在制浆造纸工业废水处理中得到更广泛的应用,研究高效、低耗、技术简单的制浆造纸废水生物处理技术是一个非常具有前途的课题。

参 考 文 献

- [1] 杜仰民.造纸工业废水治理进展与评述.工业水处理,1997,17(3):1
- [2] 张鑫斯.浅析造纸工业废水的净化治理.工业水处理,1998,18(2):41
- [3] 章进.造纸废水治理与技术.浙江造纸,1998,(4):15

(下转第 59 页)

瘪,但是在喷放时有相当部分闪蒸蒸汽从通天管直排到大气中,对周边环境造成污染并造成热能损失。同时,通天管的排汽,加快了 $\phi 1090\text{mm}$ 排汽管的蒸汽流速,使蒸汽夹带纤维量增多。为此,我们用真空破坏阀来取代原来的通天管,采用 $\phi 150\text{mm}$ 的真空破坏阀既能防止周边空气被污染,又能防止喷放锅因瞬时真空而被破坏,并能充分回收闪蒸蒸汽的热能。同时减缓了大排汽管的蒸汽流速,使喷放锅内维持适当的正压,蒸汽的排放与纤维的沉降也取得

了平衡。

3 小结

经过5个月的生产实践,证明此次喷放锅改造已完全达到预期目标:污热水系统只夹带微量纤维和黑液,污热水颜色由原来的黑色变成了淡黄色,过滤较前畅通,换热效果有所提高,同时也为兄弟厂家同类设备的改造提供了成功的范例和经验。

(上接第38页)

- [4] 唐受印等编. 废水处理工程. 化学工业出版社, 1998
- [5] 陈让福等. 环境保护, 1992, 1: 20
- [6] 徐华. 制浆造纸废水的特点及处理技术简述(上). 桑德视窗, 3版, 1998, 总(6)
- [7] 赵金辉. 混凝-水解-好氧活性污泥法处理造纸废水的研究. 重庆环境科学, 1997, 19(4): 39
- [8] 颜尚华, 陈敏等. SBR生物技术处理竹浆造纸黑液的研究. 环境科学, 1997, 18(3): 30
- [9] 方士, 詹伯君等. SBR工艺处理造纸废水试验研究. 水处理技术, 1999, 25(2): 122
- [10] 陈敏等. 活性污泥硝化技术与高浓度CTMP废水生物处理的研究. 环境科学, 1996, 17(6): 27
- [11] Dernel. Io. et al. Water Sci. Technol., 1988, 20: 65
- [12] 杨光誉. 广州造纸有限公司的废水处理. 广东造纸, 1998, 2: 31
- [13] 陈金中等. 废纸脱墨废水活性污泥处理工艺研究. 广东造纸, 2000, 4: 23
- [14] 李显康, 蔡卫. 介绍HCR废水处理新技术的特点. 广东造纸, 1997, 4: 24
- [15] M. C. Goronszy et al. 循环式活性污泥法(CASTTM)在工业废水处理中的应用. 中国给水排水, 1997, 13(增刊): 7
- [16] 于秀玲, 李万庆. 乳山市造纸厂废水土地处理工程技术. 城市环境与城市生态, 1998, 11(2): 13
- [17] 王双飞, 陈嘉翔. 制浆造纸废水的生物处理. 北方造纸, 1994, 4: 27
- [18] 周健等. 制浆造纸工业废水厌氧生物处理的研究及应用现状. 四川轻化工学院学报, 1996, 9(1): 51
- [19] 王正建. 采用厌氧技术处理造纸工业废水方兴未艾. 轻工环保, 1991, 3: 43
- [20] 王静霞等. 高得率浆废水生物净化处理系统研究(1). 林产化学与工业, 1997, 17(3): 53
- [21] Hakulinen R. et al. Treatment of pulp and paper industry waste water in an anaerobic fluidized bed reactor. Process Biochem, 1982, 17: 18
- [22] 周健, 杨平等. 厌氧流化床处理硫酸盐草浆废水启动实验研究. 四川联合大学学报(工程科学版), 1997, 1(3): 49
- [23] 周健, 杨平等. 厌氧流化床处理硫酸盐草浆废水的研究. 水处理技术, 1997, 23(6): 363
- [24] 崔廷龄. 福建南纸赴欧考察制浆造纸污水处理. 中国造纸, 2001, 20(3): 58
- [25] 余淦中. 造纸废水处理技术及其工程实例. 浙江造纸, 1998, 4: 21
- [26] 徐华, 祝万鹏等. 草浆中段废水混凝沉淀-厌氧-好氧生物处理的工艺研究. 给水排水, 1999, 25(1): 44
- [27] 施英乔等. 高得率制浆(APMP)废水厌氧-好氧处理的研究. 广东造纸, 2000, 3: 21
- [28] 陈元彩等. 混凝-生化法处理亚硫酸盐浆CEH漂白废水的研究. 广东造纸, 2000, 4: 14
- [29] 陈嘉翔. 生物技术在制浆过程应用研究的部分结果(续). 广东造纸, 1997, 2: 29
- [30] 徐海娟, 梁文芷. 白腐菌处理漂白废水工艺及脱色机理探讨. 广东造纸, 1999, 5-6: 121
- [31] 林鹿等. 工业水处理, 1996, 16(3): 25
- [32] 闫冰等. 白腐菌 *Phanerochaete Chrysosporium* 处理CTMP废液的研究. 广东造纸, 2000, 1: 8
- [33] 施英乔等. 序列活性污泥法技术在中国的发展. 林产化工通讯, 1999, 33(5): 22

Biological Treatment of Waste Water from Pulp and Paper Industry

Wu Jiandong

(South China University of Technology, Guangzhou, 510640)

Abstract: In this paper, the properties of the pulp and paper wastewater are introduced. And the applications and studies of biotechnology on treatment of wastewater from pulp and paper industry are especially reviewed.

Key words: pulp and paper wastewater; biological treatment

Paper Science & Technology 2002 Vol. 21 No. 1