

# 印染废水治理研究现状

傅平青 程鸿德

(中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002)

**摘要:**本文综述了印染废水水质及特点, 染料的分类和发色机理。评述了目前印染废水治理研究中的各种物理、化学和生物方法应用现状、优点和存在的问题, 及其对脱色效果的影响机理。

**关键词:**印染废水; 脱色; 废水处理

**中图分类号:**XS05 **文献标识码:**A

## 1 印染废水特点

印染废水由印染厂家的各种加工工序、生产过程中流失的物料, 以及冲刷地面的污水组成。其特点是: 废水量大, 一般可达印染废水厂家用水量的 70%~90%; 废水色度高、组成成分复杂, 它的有机成分大多是芳烃和杂环化合物, 其中带有各类显色基团(如  $-N=N-$ ,  $-N=O$  等)以及极性基团( $-SO_3Na$ ,  $-OH$ ,  $-NH_2$ ), 还可能混有各类卤代物、苯胺、酚类及各种助剂; 化学需氧量(COD)较高, 而生化需氧量( $BOD_5$ )相对较小, 可生化性差; 印染废水水质随原材料、生产品种、生产工艺、管理水平不同而有所差异; 废水排放具有间歇性。

## 2 印染废水组成

### 2.1 印染工序中的有害物质及废水水质

不同印染厂家如棉染厂、毛纺厂、丝绸厂、亚麻厂等的生产工序不同, 废水水质也不尽相同。一般在印染加工的四个阶段中, 预处理阶段(包括烧毛、退浆、煮炼、漂白、丝光等工序)要排出退浆废水、煮炼废水、漂白废水和丝光废水, 染色工序排出染色废水, 印花工序排出印花废水和皂液废水, 整理工序则排出整理废水。各阶段废水中含有诸如染料、浆料、浆料分解物、纤维、酸碱类、漂

白剂、树脂、油剂、里胶、蜡质、无机盐等多种污染物, 印染废水是以上各类废水的混合废水, 或除漂白废水以外的综合废水。但印染废水最主要的来源还是染色废水, 其中含有染料、助剂、微量有毒物和表面活性剂等。印染各工序废水水质一般如下<sup>[1]</sup>:

**退浆废水:**退浆是用化学药剂将织物上所带浆料水解形成可溶性物质, 然后除去。其水量较小, 但污染物浓度高, 含有各种浆料、浆料分解物、纤维屑、淀粉碱和各种助剂, 使废水呈碱性, pH 值为 12 左右, COD 和  $BOD_5$  都很高。

**煮炼废水:**水量大, 污染物浓度高, 其中含有纤维素、果酸、蜡质、油脂、碱、表面活性剂、含氮化合物等。煮炼废水呈深褐色, 碱性很强, 且水温高。

**漂白废水:**漂白是去除棉、麻纤维上的天然色素, 使纤维变白。其废水水量大, 但污染较轻, 含有残余的漂白剂、少量醋酸、草酸、硫代硫酸钠等。

**丝光废水:**含碱量高, NaOH 含量在 3%~5%, 多数印染厂通过蒸发浓缩回收 NaOH, 所以丝光废水一般很少排出, 经碱回收后排出的废水仍呈强碱性, pH 值高达 12~13, COD、 $BOD_5$  和 SS(悬浮物)都较高。

**染色废水:**水量较大, 水质随所用染料的不同而复杂多变, 其中含有浆料、染料、助剂、表面活性剂等。废水一般呈碱性, 色度很高。对于硫化和还原染料的染色废水, pH 值可达 10 以上。COD 较高,  $BOD_5$  值较低, 可生化性较差。

**印花废水:**主要来自配色调浆、印花滚筒和筛网的冲洗水, 以及印花后的花洗水洗液、皂洗液

收稿日期:2000-08-01; 修回日期:2001-05-11

基金项目:贵州省人事厅外智办中加合作项目(98520025)

第一作者简介:傅平青(1974-), 男, 硕士研究生, 从事废水处理及环境地球化学研究工作。

等。水量较大,污染物浓度高,废水中除含有染料、助剂外,还含有大量的浆料。COD、BOD<sub>5</sub>均较高。其中BOD<sub>5</sub>值大约占印染废水中总BOD<sub>5</sub>值的15%~20%。

整理废水:通常含有纤维屑、树脂、油剂和浆料等。由于水量较小,对整个废水的水质影响较小。

## 2.2 染料发色机制及其组成和分类

染料的分子结构决定了染料的颜色。我们知道,一个单独的一C=C—在紫外波长处吸收,而在可见光波长处没有吸收,因此是无色的。但是把单独的双键和其他的共轭体系连接起来,成为一个共轭体系,当这个共轭体系长到一定程度时,就变为有色物质。这是因为共轭体系增长时,增加了 $\pi$ 电子的离域范围、成键轨道与反键轨道的数目,同时减少了激发态与基态的能量差。除了分子中增加共轭双键数目外,在共轭体系上有带孤电子对的原子,如氧、氮等也同样增加 $\pi$ 电子的离域使分子的激发光波从紫外光向可见光方向移动,成为带色分子。因此,染料分子中一般含有诸如—C=C—、—NO<sub>2</sub>、—N=N—、—N=O、=C=O等基团。但是带色分子并不一定是染料,要使一个分子具有染料性质,必须使它和被染的纤维牢固结合。一般认为,带色分子中需含有如一SO<sub>3</sub>Na, —OH, —NH<sub>2</sub>, —COOH等基团,这些酸性或碱性的基团有助于与纤维结合成盐。染料的颜色一般随共轭双键的数目、苯环数目以及分子量的增加而加深<sup>[2]</sup>。

印染工业中染料在应用方面基本按以下分类。直接染料:是在染色时,把纤维直接放入染料的热水中就可着色,因此得名。一般属双偶氮、三偶氮或二苯己烯型结构。由于染料分子中—SO<sub>3</sub>Na, —OH, —COOH等亲水基团较多,所以水溶性较好。此类染料分子可通过亲水基之间以缔合氢键形式聚集成胶体状态存在于水溶液中。碱性染料也属于直接染料。常见的直接染料有刚果红、甲基橙、三苯甲烷、苯酞染料和荧光黄等。

中性染料:分子结构复杂,常见的为单偶氮2:1型金属配合染料,中心配离子为Co<sup>3+</sup>、Cr<sup>3+</sup>等,有一定的溶解度。但由于分子间较难缔合,染料在水中以接近真溶液的状态存在。

活性染料:有偶氮型、蒽醌型、酞菁型等。染料母体上含有较多的一SO<sub>3</sub>Na, —OH, —COOH等

亲水基团,水溶性较好。在水中的分散状态随其结构不同而变化。其中分子量小、芳环不在同一平面的以真溶液状态存在;反之以胶体状态存在。活性染料的一大特点是染料分子以共价键的方式和纤维的羟基结合。常见的活性染料有艳红X-3B、活性艳橙X-GN等。我国目前常用的硫化染料(是一种瓮染料)属于活性染料。但目前硫化染料的结构尚不清楚,它们一般是用多种芳香硝基化合物、芳香胺或酚等与硫磺同时加热而制成。其分子中含有二苯并硫噻嗪环系。经常使用的二亚甲基蓝就含有这一环系。

还原染料:其分子结构的基本骨架是分子量较大的多环芳香族化合物,一般含有二至四个—NH—及—C=O基团,疏水芳香环多而亲水基团少。常见的有还原灰M、还原黑BB等。在水中的溶解度极小,粒径>100 $\mu$ m。悬浮微粒稳定性差,易被混凝除去。

分散染料:具有偶氮、蒽醌骨架,分子中含—O—、—NH—等极性基团而无—SO<sub>3</sub>Na, —OH, —COOH等亲水基团。同还原染料一样属于非离子型疏水性染料,如分散红3B、分散橙GFL、分散红玉-2GFL等。

弱酸性染料:一般为单偶氮或双偶氮类,结构较为复杂,分子中含有一SO<sub>3</sub>Na, —OH, —COOH等亲水基团,溶解度中等,常温下以胶体状态存在。例如弱酸性卡普伦红B、弱酸性深蓝GB等<sup>[2,3]</sup>。

各类染料的相对分子量一般在700~1500之间,印染废水中胶体粒子通常带负电荷, $\zeta$ 电位在-7~-20mV之间。

## 3 印染废水治理方法

印染废水因其色度高,组分复杂,直到目前仍是工业废水治理中的难题之一。其处理方法常见的有物理化学处理法、化学处理法及生物处理法等。本文拟对以上各种方法和研究进展作一简要综述。

### 3.1 物理化学处理法

3.1.1 吸附法 吸附法是利用多孔性固体吸附剂来处理废水的方法。在印染废水处理中所用的吸附剂主要有活性炭、焦炭、硅聚合物、硅藻土、高岭土和工业炉渣等。不同吸附剂对染料有选择性。影响吸附的条件有温度 $t$ 、接触时间 $t$ 和pH值等<sup>[4]</sup>。有报道采用锯木屑经弱酸水解再经焦化

后制成吸附剂,可以用来处理多种废水<sup>[5]</sup>。开发高效廉价的吸附剂是吸附法的研究方向。

**3.1.2 超滤法** 超滤是利用一定的流体压力推动力和孔径在 20~200Å 的半透膜实现高分子和低分子的分离。超滤过程的本质是一种筛滤过程,膜表面的孔隙大小是主要的控制因素。此法只能处理所含染料分子粒径较大的印染废水。优点是不会产生副作用,可以使水循环使用。

### 3.2 化学处理法

废水的化学处理法是利用化学反应的原理及方法来分离回收废水中的污染物,或是改变它们的性质,使其无害化的一种处理方法。在印染废水处理中常用的有絮凝沉淀法、电化学法、化学氧化法及光催化氧化法等。

**3.2.1 絮凝沉淀法** 絮凝沉淀法的关键是絮凝剂。应用于印染废水处理方面的絮凝剂主要是铁盐、铝盐、有机高分子、生物高分子<sup>[6]</sup>。但由于高分子絮凝剂可能存在的毒性,加之价格昂贵等原因,故很少应用<sup>[7]</sup>。铁盐絮凝剂絮凝效果不错,但铁离子使用时对设备有强腐蚀性,调制和加药设备必须考虑用耐腐蚀材料。应用最广泛的絮凝剂还是铝盐絮凝剂,主要有硫酸铝、氯化铝、明矾、聚合氯化铝、聚合硅酸铝类等。硫酸铝是世界上水和废水处理中使用最早、最多的絮凝剂,自 1884 年美国开发硫酸铝(AS)以来一直被广泛使用。由于它存在着成本高、投量大、会降低出水 pH 值,在某些情况下(低温低浊和高浊水)净水效果不理想等不足之处,已逐渐被聚合氯化铝(PAC)等代替。60 年代,聚合氯化铝以其性能好、用量少、对原水 pH 值适应性较广等特点,在水工业中被广泛应用。后来在聚合铝的制造过程中引入一种或几种不同的阴离子,利用增聚作用在一定程度上改变聚合物的结构和形态分布,制造出含不同阴离子的新型聚合铝絮凝剂如聚硫氯化铝(PACS),聚磷氯化铝(PACP)<sup>[8]</sup>。1989 年汉迪化学品公司研制成功一种碱式多羟基硅酸铝(PASS),成本约为明矾的两倍,但它含有更多的活性铝,能生成高密度的絮状物,沉降速度快,用量少,温度范围广,处理后残余铝低<sup>[9]</sup>。另一种含铝的聚硅酸絮凝剂(PSAA)也被认为对低温低浊度废水具有良好的混凝性能。

印染废水中的分散染料、硫化染料、还原染料等憎水性染料分子的分子量大,在水中以悬浮物

或胶态存在,易被脱稳絮凝除去。

镁盐絮凝剂在碱性条件下可处理含水溶性阴离子染料废水<sup>[10]</sup>,但对阳离子染料如亚甲基蓝、阳离子红-GRL 脱色率低。嵇鸣等<sup>[11]</sup>采用氢氧化镁对直接染料印染废水进行脱色处理,其结果表明,在镁盐添加量为 600mg/L, pH 值 11 的条件下,脱色率可达 98% 以上。硫酸亚铁对带有一  $\text{SO}_3\text{Na}$ 、 $-\text{OH}$ 、 $-\text{NH}_2$ 、 $-\text{X}$  等基团的染料分子也具有较好的混凝脱色效果,这是由于  $\text{Fe}^{2+}$  可与之配合形成螯合物,降低了染料的溶解度而脱稳去除。

有文献报道<sup>[12]</sup>,利用聚丙烯腈(PAN)与二脒二胺(DCD)的反应产物 PAN-DCD 作为一种有效的有机高分子絮凝剂,它通过静电作用和分子间氢键将水中的染料絮凝、聚沉和沉降。当 pH < 3.2 时,对活性染料废水脱色率可达 98% 以上。

**3.2.2 电化学法(电解法)** 电化学法是废水处理中的电解质在直流电的作用下发生电化学反应的过程。废水中的污染物在阳极被氧化,在阴极被还原,或者与电极反应产物作用,转化为无害成分被分离除去。它是一种简单、经济、有效的方法。

在电解时使用可溶性阳极(铁、铝等),使其产生  $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$  等离子,经水解聚合成絮凝剂,从而达到去除印染废水中 BOD、COD、色度的效果。如果在废水中投加阳离子高分子絮凝剂,使与阴离子染料分子形成配合物,再进行电解脱色则可节约电能。当废水中以纳夫妥为主的混合染料的质量浓度为 154mg/L 时,耗电仅为 0.15~0.2kW·h/m<sup>3</sup><sup>[13]</sup>。

L·Daniliuc<sup>[14]</sup>报道用电絮凝法处理进入色度为 8 万倍、COD 为 5000mg/L 的印染废水时 COD 去除率为 40%,脱色率为 80%,且该法可提高废水的可生化性。

若采用石墨、钛板作极板,以  $\text{NaCl}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  等做导电介质,则在电解时阳极产生  $\text{O}_2$  或  $\text{Cl}_2$ 、阴极产生  $\text{H}_2$ ,利用产生的  $\text{O}_2$  和  $\text{Cl}_2$  溶于水后生成的  $\text{NaClO}$  氧化作用以及  $\text{H}_2$  的还原作用,可以破坏染料分子结构而脱色。一般用于含有一  $\text{N}=\text{N}$  双键及  $-\text{SO}_3^-$  的可溶性酸性染料,活性染料的脱色处理。

贾金平等<sup>[15]</sup>用活性炭纤维电极法处理还原深蓝 VB、还原蓝 RSN、硫化艳绿 GB 废水均有很好的脱色率。其机理可能是:染料分子吸附→分子自由基化→偶合成大分子→絮凝或偶氮基还原断

裂。赵永才等<sup>[16]</sup>用微电池法在强酸性条件下对含蒽醌类和多偶氮类染料的混合废水平均脱色率为82%。

李长海选择圆桶型铁板作电极,采用导电凝聚法新工艺处理长春市印染厂含有活性K4G、活性K2GN、活性蓝KNR等染料的印染废水,pH=8.2时脱色率为96%,COD去除率为90%,耗电0.425 kW·h/m<sup>3</sup><sup>[17]</sup>。

**3.2.3 化学氧化法** 化学氧化法分为空气氧化法、氯氧化法及臭氧氧化法等,是印染废水脱色处理的主要方法。其机理是利用氧化剂将染料不饱和的发色基团打破而脱色。常见的有组合法和催化氧化法等。

采用混凝-二氧化氯组合法。它的优点在于ClO<sub>2</sub>氧化能力强,是HClO的9倍多,且无氯气氧化法处理废水时可能与水中有机物结合生成氯代有机物(AOX)<sup>[18]</sup>。

近年来,Fenton试剂(由H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>和Fe<sup>2+</sup>混合而成)处理易溶解的染料废水是国内尝试的热点。据报道<sup>[19]</sup>,采用铁屑-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>氧化法处理印染废水,在pH为1~2时铁氧化生成新生态的Fe<sup>2+</sup>,其水解产物可使硝基酚类、蒽醌类印染废水脱色率达99%以上。美国佛罗里达大学的W.Z.Tang教授用Fe粉/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>系统进行染料脱色实验,得出在铁粉质量浓度为1g/L,pH值为2~3,H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>浓度为1mmol/L时,脱色率极好;当pH值提高到10时,脱色反应停止<sup>[20]</sup>。

O<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>组合法利用H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>诱发O<sub>3</sub>产生氧自由基和·OH自由基,通过羟基取代反应及氧化裂解开环反应等使各类染料废水脱色。

采用超声强化臭氧氧化处理偶氮类染料废水<sup>[21]</sup>。这是因为超声空化效应产生的高能条件促使臭氧快速分解,产生大量氧自由基,从而使偶氮类染料降解脱色。超声的作用是提高了O<sub>3</sub>的利用率<sup>[22]</sup>。

李硕文等<sup>[23]</sup>利用活性炭-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>吸附催化氧化法来处理印染废水,其机理是利用活性炭的表面吸附作用富集染料分子进行强化脱色。

此外,有报道<sup>[24]</sup>利用天然锰矿中含有的一些变价金属氧化物如Mn(Ⅲ)和Mn(Ⅳ)等,考察其对染料化合物的脱色效果,并探讨了溶液pH值、环境温度、光照射及颗粒物浓度和粒径对脱色效果的影响。其机理是利用锰氧化物在被有机物还原溶解,从而提高变价金属的流动性和生物可

利用性的同时,可以使环境中某些有机物实现降解。

**3.2.4 光催化氧化法** 光催化氧化法效果好、无二次污染,是一种很有前途的印染废水脱色新方法。

据吴峰等<sup>[25]</sup>报道,用Fe<sup>3+</sup>-羟基配合物作为催化剂,在pH值为3~5时进行紫外、可见光光解实验,可使Fe<sup>3+</sup>-草酸盐配合物-溶解氧体系产生H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>及·OH自由基,从而打断染料分子的不饱和键而脱色。

岳林海等<sup>[26]</sup>采用ZnO-CuO-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Air体系利用UV使半导体产生电子空穴来破坏染料分子结构而脱色。其结果表明在光照30min时脱色率接近100%。

徐向荣等<sup>[27]</sup>研究了不同金属离子与紫外光的催化下,H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>对染料罗丹明B溶液的氧化反应,催化的结果为:Fe<sup>2+</sup>/UV > Cu<sup>2+</sup>/UV > Fe<sup>2+</sup> > Cu<sup>2+</sup> > Mn<sup>2+</sup>/UV > Ag<sup>+</sup>/UV > Mn<sup>2+</sup> > Ag<sup>+</sup>。通过与还原蓝RSN溶液的反应,表明Fenton/UV体系中的反应程度大于Fenton及H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV 2种体系中的反应程度的加和,紫外光与亚铁离子对H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>的催化作用存在协同效应。

### 3.3 生物化学法

生物化学法是利用自然环境中的微生物,对废水中的某些物质进行氧化分解作用。主要是利用印染废水中的大部分有机物都具有可生物降解性来脱色。生物化学法脱色率一般可达50%左右,但由于印染废水BOD/COD值小,限制微生物效能,对COD去除率不高。

生化处理法包括好氧法和厌氧法。处理印染废水的好氧法常见的有活性污泥法、氧化沟法、生物塘法、接触氧化法、曝气法等。而厌氧法对含有偶氮基、蒽醌基、三苯甲烷基的染料均可降解。80年代以前,我国印染废水的可生化性一般较高,COD<sub>Cr</sub>在800mg/L以下采用传统物化-生化组合法,出水即可达标排放。近年来,由于难生化降解的新型染料和助剂进入印染废水中,其生化性大为降低,色度增加。一般废水COD<sub>Cr</sub>在1000mg/L以上,可生化值BOD<sub>5</sub>/COD<sub>Cr</sub>在0.25以下。在传统生化工艺基础上,新的厌氧-好氧工艺处理印染废水屡有报道<sup>[28,29,30]</sup>。肖羽堂等<sup>[31]</sup>采用缺氧-二级好氧(A/O<sup>2</sup>)工艺处理后的出水COD<sub>Cr</sub>、色度,和SS去除率分别高达97.0%、96.0%、

98.5%,出水水质低于国家太湖流域一级排放标准。

张笑一等用量子化学半经验分子轨道计算结果来讨论偶氮染料分子的电子结构与生物降解活性的关系,得出含三种取代基偶氮染料的生物降解活性顺序为:硝基>氨基>羟基<sup>[32]</sup>。

三相生物流化床处理印染废水在国内外都有工程实例,研究目标着眼于使用轻质生物载体以减少能耗。日本试验用粉末活性炭胶结涂布聚丙烯醇作载体,效果较好。

纯氧曝气生物处理在国外应用较多,由于氧转移效率高,混合液污泥浓度(MLSS)高,因此可提高去除有机物及脱色能力。其缺点是装置复杂、运转管理麻烦;若原水中混入大量烃类物,则可能引起爆炸;有机物代谢产生的CO<sub>2</sub>重新溶入系统,使废水pH值下降<sup>[4]</sup>。厌氧生物滤池(AF)近年来出现一些变型,如厌氧污泥床-滤层反应器、变速厌氧/缺氧生物滤池等。AF的优点是运行稳定、启动快、反应器内污泥产率低。而且很适宜于处理间隙排放的废水,进水暂停1~3天,系统性能不受影响<sup>[33]</sup>。李亚新等用AF处理印染废水,进水COD一般在300~600mg/L,试验期间经历了两次冲击负荷,一次由COD 364.3mg/L突增至1038mg/L,出水COD值为303.8mg/L,去除率70.8%;另一次COD由351.4mg/L突增至1327.4mg/L,出水COD仅为151.3mg/L,去除率达88.6%。但是AF的性能高、价格低的新型填料尚待开发。

全燮等<sup>[34]</sup>用改进的Bunch和Chambers的静态生物培养技术研究了五种通式为R—N=N—R'的偶氮染料的生物降解性。结果表明,这些染料在厌氧条件下比在好氧条件下容易降解。厌氧降解时偶氮基断裂生成胺基物。降解速率与染料结构及取代基种类和数目有关。

黄民生等<sup>[35]</sup>用GCI培养基从某污泥中分离出高絮凝活性的微生物,所研制出的微生物絮凝剂在CaO的助凝作用下,对碱性染料的COD去除率达70%左右,对色度的去除率达92%。

有研究<sup>[36]</sup>提出以厌氧UASB和生物接触氧化为主体来处理偶氮染料废水,其出水经过吸附处理后清澈透明,COD、SS、色度均达到国家排放标准。

近年来SBR(Sequencing Batch Reactor)工艺处理难降解印染废水也有报道。在进水COD600~1000mg/L,BOD5130~300mg/L,色度400~2000倍时去除率分别达80%~90%,85%和90%<sup>[37]</sup>。

在提高生化脱色率方面,近年来着眼于培养新菌种。例如假单胞细菌、浮游球衣菌、节杆菌、枯草菌、氧化酵母菌等微生物对偶氮类染料的降解脱色有相当作用。有研究发现<sup>[38]</sup>,从印染厂土壤中提取出来的假单胞菌属在pH值7.45~10.6及常温曝气条件下脱色率可达81%。

我国印染工业废水排放量大,废水中含有多种有机物、无机物,是众所瞩目的污染源。我们需要在考虑工业效率和处理成本的基础上,加强对新型处理技术及工艺的开发和研究。

## 参 考 文 献

- [1] 戴日成,张统,郭茜,等.印染废水水质特征及处理技术综述[J].给水排水,2000,26(10):33~34.
- [2] 邢其毅,徐瑞秋,周政,等.基础有机化学(下册)[M].北京:高等教育出版社,1995.822~825.
- [3] 卢建杭,刘维屏,张刚,等.印染废水混凝脱色与染料结构及混凝剂种类间的关系[J].工业水处理,1999,19(4):28.
- [4] 唐受印,汪大翠.废水处理工程[M].北京:化学工业出版社,1998.
- [5] Nag A. Utilization of Charred Sawdust as an Adsorbent of Dyes, Toxic Salts and Oil from Water[J]. *Process Safety and Environmental Protection*, 1995, 73(134):299~304.
- [6] 甘光奉,甘利.无机高分子絮凝剂研究的进展[J].工业水处理,1999,19(2):6~7.
- [7] 永泽满,潼泽章.高分子水处理剂[M].北京:化学工业出版社,1985.
- [8] 汤鸿霄.羟基聚合氯化铝的絮凝形态学[J].环境科学学报,1998,18(1):1~10.
- [9] 苏威.无机絮凝剂发展及建议[J].工业水处理,1993,13(1):3.
- [10] 秦葵,乌锡康.镁盐对水溶性阴离子染料废水的脱色研究[J].中国环境科学,1994,14(5):359~360.
- [11] 嵇鸣,赵宜江,张艳,等.氢氧化镁对印染废水脱色处理[J].水处理技术,2000,26(4):245~248.
- [12] 余颖,庄源益,邹其猛,等.有机絮凝剂对水中染料的絮凝作用探讨[J].环境化学,2000,19(2):142~147.
- [13] 张林生,B. Dobias.染料废水综合混凝-电气浮脱色处理[J].给水排水,1993,(6):22~26.
- [14] Daniliuc L. Performance and Economic Aspects of the Treatment of Effluents by Electro-Flocculation Using the Dequalox Process

- [J]. *Tribune de l' Eau (in French)*, 1995, 48(576): 37 ~ 39.
- [15] 贾金平, 杨骥, 廖军, 等. 活性炭纤维电极法处理染料废水机理初探[J]. 环境科学, 1997, 18(6): 31 ~ 34.
- [16] 赵永才, 孙又山. 微电解法脱除水溶性染料废水色度的研究[J]. 环境污染与防治, 1994, 16(11): 18 ~ 21.
- [17] 李长海. 导电电凝聚法脱除印染废水色度的研究[J]. 化工环保, 1999, 19(5): 264.
- [18] 陈鸿林, 张长寿, 苏静. 混凝 - 二氧化氯组合法处理印染废水[J]. 工业水处理, 1999, 2(2): 32.
- [19] 崔淑兰, 王峰云. 铁屑 - 双氧水氧化法处理染料废水[J]. 环境保护, 1990, (12): 10 ~ 11.
- [20] Tang W Z, Chen R Z. Decolorization Kinetics and Mechanisms of Commercial Dyes by Hydrogen Peroxide/Iron Powder System[J]. *Chemosphere*, 1996, 32(59): 947 ~ 958.
- [21] 胡文容, 钱梦霖, 高廷耀. 超声强化臭氧氧化偶氮染料的脱色效能[J]. 中国给水排水, 1999, 15(11): 1.
- [22] Terese M O, Philippe F B. Oxidation kinetics of natural organic matter by sonolysis and ozone[J]. *Water Research*, 1994, 28(69): 1338.
- [23] 李硕文. 活性炭 - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 催化氧化在染色废水脱色中的应用[J]. 工业水处理, 1989, 9(4): 25 ~ 27.
- [24] 刘瑞霞, 汤鸿霄. 不同染料化合物在天然锰矿界面的脱色特性[J]. 环境化学, 2000, 19(4): 341 ~ 346.
- [25] 吴峰, 邓南圣, 罗凡, 等. 铁 - 草酸盐络合物的光解对水溶性染料脱色作用的研究[J]. 环境污染与防治, 1998, 20(1): 17 ~ 20.
- [26] 岳林海, 樊邦棠. 半导体复合体系光催化降解水溶性染料的研究[J]. 环境污染与防治, 1994, 16(4): 2 ~ 5.
- [27] 徐向荣, 王文华, 李华斌. Fenton 试剂与染料溶液的反应[J]. 环境科学, 1999, 20(3): 72 ~ 74.
- [28] 戚新. 气浮 - 厌氧 - 好氧工艺处理高浓度印染废水[J]. 环境污染与防治, 1997, 19(1): 16 ~ 19.
- [29] 鲁玉龙. 厌氧 - 好氧工艺处理印染废水技术的现状及发展[J]. 污染防治技术, 1998, 11(1): 12 ~ 14.
- [30] 汪凯民, 靳志军. 印染废水处理技术进展[J]. 环境科学, 1991, 12(4): 62.
- [31] 肖羽堂, 许建华, 陈伟, 等. 难生化降解的某丝绒印染废水处理新工艺(A/O<sub>2</sub>)工程应用研究[J]. 工业水处理, 1999, 19(3): 14.
- [32] 张笑一, 兰薇, 潘渝生, 等. 偶氮染料分子的电子结构与生物降解活性(II) - 取代基非定域活性对偶氮键还原裂解的影响[J]. 高等学校化学学报, 1999, 20(2): 268.
- [33] 方芳, 龙腾锐. 厌氧生物滤池的研究及应用现状[J]. 中国给水排水, 1999, 15(4): 24.
- [34] 全燮, 杨凤林. 几种偶氮染料生物降解性研究[J]. 环境科学, 1991, 12(3): 27 ~ 30.
- [35] 黄民生, 孙萍, 朱莉. 微生物絮凝剂的研制及其絮凝条件[J]. 环境科学, 2000, 21(1): 23 ~ 26.
- [36] 闫庆松. 厌氧 - 好氧 - 煤渣吸附处理偶氮染料废水研究[J]. 工业水处理, 2000, 20(7): 19 ~ 22.
- [37] 王东海, 文湘华, 钱易. SBR 在难降解有机物处理中的研究与应用[J]. 中国给水排水, 1999, 15(11): 29.
- [38] Sarnaik S, Kanekar P. Bio - Remediation of Color of Methyl Violet and Phenol from Factory Soil[J]. *Journal of Applied Bacteriology*, 1995, 79(4): 459 ~ 469.

## PROGRESS IN THE TREATMENT OF DYEING AND PRINTING WASTEWATER

Fu Pingqing, Cheng Hongde

(State Key Lab of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002)

### Abstract

This paper reviews the characteristics of dyeing and printing wastewater. Many conventional methods involving physics, chemistry and biology are described in this paper. The paper also discusses the advantages and disadvantages of different methods.

**Key words:** dyeing and printing wastewater; decolorization; wastewater treatment.