

環境保護叢書

工業廢水的治理

馬榮駿 編著

中南工業大學出版社



TREATMENT OF INDUSTRIAL
WASTEWATER

Ma Rongjun

工業廢水的治理

——馬榮駿

編著

——中南工業大學出版社

TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER Ma Rong Jun

内 容 简 介

本书为了适应我国治理工业废水的需要，详细地阐述了各种工业废水的治理方法。书中首先简述了工业废水治理方法的概况和工业废水治理方法的基本原理，分章讨论了黑色冶金工业废水、有色冶金工业废水、造纸纺织印染废水、高浓度有机废水、电镀废水及放射性废水的治理方法。在每种治理方法的介绍中，既有理论探讨，也有实际应用参数，并评述了发展前景。书中的内容对理论研究及实际应用，提供了可靠的参考资料。

本书文字精练、结构严谨，具有系统性、逻辑性、准确性、全面性的特点。书中图文并茂，内容丰富，是一本具有较高学术水平和应用价值的专著。适用于从事环保、化工、冶金等专业科研、设计工作者及厂矿工程技术人员，并可作为有关院校师生的参考书。

湘新登字 010 号

工业废水的治理

马荣骏 编著

责任编辑：文 刀

中南工业大学出版社出版发行
长沙矿冶研究院印刷厂印装
湖南省新华书店经销

开本：850×1168/32 印张：12.5 字数：313千字 插页：2

1991年10月第1版 1991年10月第1次印刷

印数：0001—3000

ISBN 7-81020-370-3/X·003

定价：平装 6.00元
精装 10.00元

前 言

在人们环境保护意识日益增强的今天，普遍地认识到：在人类经济发展的同时，保护环境，进行环境建设，已成为人类社会前进中的重要任务。鉴于保护环境与建设环境的重要性，我国政府已确定，在社会主义的现代化建设中，把保护环境作为我国的一项基本国策。

工业废水，在世界上，以及在我国都属于造成环境污染的主要污染源。据统计我国废水的排放总量为354亿吨，其中工业废水约占70%以上。冶金废水、造纸废水、纺织印染废水、高浓度有机废水、电镀废水、放射性废水不仅数量大、分布面广，而且含有大量金属离子、酸、碱、有机物及有毒物，给环境带来了严重的污染。因此，在世界范围内，各国都积极努力开展工业废水治理的工程建设和科研工作，力求不断地完善和提高工业废水的治理技术，以求较好地解决工业废水对环境的污染问题。

本书是在长沙矿冶研究院环保所的交流资料《工业废水的治理》*基础上，根据同行朋友的意见，作了补充与修改，编写而成的。书中对主要的工业废水及其治理技术进行了比较全面的阐述与讨论，既介绍了工业废水治理方法的原理，也叙述了具体的治理技术，并展望了发展方向。其目的是想在促进各种工业废水治理技术的发展上，起些作用；以期对解决工业废水的问题作出应有的贡献。

由于作者水平所限，书中错误难免，请各级领导及从事环保、冶金、化工等同行朋友多多给予指正。

马 荣 骏

1991年3月

*马荣骏，《工业废水的治理》，长沙矿冶研究院环保所，1989年5月（内部交流资料）

3/10 24/15 02

目 录

1 概述	(1)
2 主要治理方法的基本原理	(66)
2.1 物理化学方法	(66)
2.1.1 去除悬浮固体和胶体	(66)
2.1.1.1 简述	(66)
2.1.1.2 凝聚和絮凝	(70)
2.1.1.3 沉淀和澄清	(77)
2.1.1.4 浮选	(89)
2.1.1.5 过滤	(91)
2.1.2 溶解物质的去除	(98)
2.1.2.1 膜分离	(98)
2.1.2.2 吸附	(105)
2.1.2.3 离子交换	(106)
2.1.3 液—液分离	(113)
2.1.4 化学方法	(113)
2.1.4.1 沉淀	(113)
2.1.4.2 中和	(114)
2.1.4.3 氧化与还原	(115)
2.2 生物方法	(117)
2.2.1 细菌培养物的生长过程	(117)
2.2.2 有机污染的评价	(120)
2.2.3 需氧处理	(122)
2.2.4 厌氧处理	(128)
2.2.5 细菌的氧化还原作用	(132)

3 黑色冶金工业废水	(133)
3.1 选矿废水的污染与治理	(133)
3.1.1 污染	(133)
3.1.2 治理	(141)
3.2 钢铁冶炼废水的污染与治理	(145)
3.2.1 焦化酚氰污水	(148)
3.2.2 高炉煤气洗涤水	(154)
3.2.3 炼钢除尘废水	(159)
3.2.4 轧钢生产废水	(161)
3.2.5 其它废水	(166)
3.3 废水的治理方向	(166)
4 有色金属工业废水	(169)
4.1 矿山废水的污染及其治理	(169)
4.2 冶炼废水的污染与治理	(175)
4.3 有色冶金工业废水的治理方法	(178)
4.3.1 物理法	(183)
4.3.1.1 重力分离法	(183)
4.3.1.2 过滤法	(192)
4.3.1.3 其他方法	(196)
4.3.2 化学及物理化学法	(196)
4.3.2.1 中和法	(196)
4.3.2.2 混凝法	(201)
4.3.2.3 氧化还原法	(203)
4.3.2.4 吸附法	(206)
4.3.2.5 离子交换法	(210)
4.3.2.6 萃取法	(213)

4.3.3	有色冶金工业废水处理实例	(217)
4.4	展望与发展	(219)
5	造纸、纺织印染废水	(223)
5.1	造纸工业废水	(223)
5.1.1	废水的厂内处理	(224)
5.1.2	废水的厂外处理	(227)
5.1.3	制浆造纸废水处理新技术的发展	(229)
5.1.4	国内对造纸废水治理技术的研究与发展	(233)
5.2	纺织印染废水	(238)
5.2.1	印染废水	(239)
5.2.1.1	生物化学处理方法	(239)
5.2.1.2	物理化学处理方法	(242)
5.2.1.3	我国印染废水治理的研究工作	(245)
5.2.2	洗毛废水	(250)
5.2.3	生产化学纤维的废水	(253)
6	高浓度有机废水	(257)
6.1	高浓度有机废水的治理技术路线	(258)
6.2	国内外高浓度有机废水的治理方法及进展	(259)
6.2.1	培养单细胞蛋白	(259)
6.2.2	浓缩干燥生产固体饲料	(260)
6.2.3	厌氧发酵	(260)
6.2.4	好氧生物处理	(281)
6.2.5	湿式空气氧化法	(281)
6.2.6	焚烧法	(283)
6.3	展望与发展	(284)
7	电镀废水	(287)

7.1 我国电镀废水的治理概况	(287)
7.2 电镀废水的主要治理方法	(291)
7.2.1 物理法	(291)
7.2.1.1 蒸发浓缩法	(291)
7.2.1.2 晶析法	(292)
7.2.1.3 活性炭处理法	(294)
7.2.1.4 反渗透处理方法	(296)
7.2.2 化学法	(298)
7.2.2.1 含氰废水	(298)
7.2.2.2 含铬废水	(300)
7.2.2.3 含锌废水	(306)
7.2.2.4 酸碱废水	(308)
7.2.2.5 电镀混合废水	(310)
7.2.2.6 不溶性淀粉黄原酸脂处理法	(311)
7.2.3 离子交换处理法	(313)
7.2.3.1 镀铬和钝化废水	(313)
7.2.3.2 镀镍废水	(316)
7.2.3.3 镀铜废水	(317)
7.2.3.4 镀锌废水	(320)
7.2.3.5 镀金废水	(321)
7.2.4 电解处理法	(322)
7.2.4.1 含铬废水	(323)
7.2.4.2 镀银废水	(325)
7.2.4.3 含铜废水	(325)
7.3 展望	(327)
8 放射性废水	(330)
8.1 中和沉淀法	(333)

8.2	离子交换法.....	(335)
8.3	离子交换法处理放射性废水的实例.....	(340)
8.3.1	处理反应堆废水.....	(340)
8.3.2	工厂和实验室产出的废水.....	(342)
附录 I	制订地方水污染排放标准的技术原则与方法 (GB3839-83)	(350)
附录 II	地面水环境质量标准 (GB 3838—88)	(361)
附录 III	污水综合排放标准 (GB 8978-88)	(367)
附录 IV	评价企业合理用水技术原则 (GB 7119—86)	(384)
主要参考文献	(391)

1 概述 [1-39]

人类在生活和生产中都离不开水，所以说水是人类赖以生产的物质基础，也是人类生产和经济活动的前提。水在使用过程和受人类活动的影响而混入污染物，使其不能达到使用要求时，这种水通称为“废水”。在废水这一概念中，还应该认识到，所谓废水不一定要废弃，它对某一种用途来说是废水，而对另一种用途还可能具有使用价值。另外，在当今人类社会中，许多废水经过净化处理后仍可重复使用。

废水按其来源分类，可分为生活废水和工业废水两大类，生活废水是指人们在日常活动中所产生的污水。例如，厨房、盥洗室、沐浴室等排出的洗涤废水和厕所、禽舍、畜厩的粪便等用水都属于生活废水。工业废水是指工厂、企业在生产过程中排出的各种废水。工业废水的种类繁多，成分复杂。目前一般以废水中的主要污染物来命名废水的名称，如酚氰废水，重金属废水等；也有人按发生来源来命名废水，如在冶金工业中有高炉煤气洗涤水，转炉烟气净化废水、酸洗废水等；又因为各种工业产出的废水不同，又可分为冶金废水、电镀废水、造纸废水、印染废水等。

水的污染及其毒害可归纳为：

1. 有毒物污染：这类污染物质包括汞、镉、砷、铅、铬等重金属，氟化物、氰化物等无机毒物，酚类、多环芳烃、多氯联苯，有机农药等有机毒物。
2. 无机物污染：这类污染包括无机酸、碱、盐类和无机的悬浮物。无机酸、碱和盐类主要来自工厂的废水。这些污染物不仅能破坏水体的自然缓冲作用，抑制水生生物和农作物的生长，而且也腐蚀船

船、工厂设备和水工设施，这类污染有时也称为盐污染。这类污染中的无机悬浮物主要来自选矿厂的尾矿水，火电厂、冶炼厂的冲灰渣水和采煤、选煤和炼焦厂的洗煤水。大量的悬浮物会淤塞河道与湖泊，阻碍鱼的呼吸，甚至使鱼窒息而死，使水生生物灭亡。

3. 病原体污染：在生活废水，医院废水及各种生物加工工业废水中，含有各种病菌，病毒和寄生虫卵等病原微生物，它们进入水体后，通过饮用或接触使人畜得病。

4. 植物营养物质污染：在生活污水，生物加工和化肥工业废水中含有大量氮、磷植物营养物。这样的废水进入湖泊、水库、内海等流动缓慢的水体后，能促使藻类急速繁殖，造成水体的“富营养化”，严重时可导致水体的消亡。

5. 耗氧物质污染：在生活污水和许多工业废水中，常常含有一些有机物。它们在水体中进行氧化分解时，要消耗水中的溶解氧，其消耗量有时很大。严重时会使水体变黑发臭，水生生物死亡，甚至使水生生物绝迹。

6. 石油污染：石油等类有机物是水体中最普遍的污染物，尤其在海洋中最为突出。它主要来自油轮事故，航运用业、海底油井渗漏和损毁，以及石油化工等工业废水。油在水面上形成油膜，阻碍水体复氧、水分蒸发和阳光辐射，严重时影响局部地区气候和造成大量水生生物死亡。

7. 热污染：这类污染主要由工业冷却水直接排入水体造成。它能使水温升高，溶解氧减少，从而破坏水生生物的正常生活条件，同时又加快细菌和藻类的繁殖。

8. 放射性污染：放射性废水主要来自铀、镭、钍、钚等放射性元素的生产和使用部门。通过饮用和接触，能引起人体内外各种急慢性辐射损伤的病变和放射性引起的病症。

在上述各类污染中，以耗氧物和有毒物污染的影响最大，也最为普遍。因而，水体中DO、BOD₅、COD和有毒物等也就往往成为

衡量排放废水和受纳水体污染程度的重要的水质指标。

在环保中把工业上各行业排放废水的重点控制项目列出于表1-1中。

表1-1 工业中各行业排放的废水中所控制的特征项目

工业上的行业	需控制的特征项目
有色、黄金矿山及冶炼厂	SS、氰化物、重有色金属离子
纺织工业、粘胶纤维工业	pH、BOD ₅ 、COD _{Cr} 、色度
化学医药工业	COD _{Cr}
烧碱生产	总汞、SS
有机磷农药工业	SS、COD _{Cr} 、BOD ₅ 、总有机磷
合成氨厂	SS、氨氮、COD _{Cr} 、硫化物
石油化工	SS、BOD ₅ 、COD _{Cr} 、硫化物、石油类、氰化物
钢铁企业	SS、COD _{Cr} 、挥发酚、氰化物、油类
炼焦工业	SS、挥发酚、氰化物、COD _{Cr} 、油类
染料工业	COD _{Cr} 、BOD ₅ 、色度苯胺类、硝基苯类
造纸工业	SS、BOD ₅ 、COD _{Cr}
制革工业	SS、总铬、硫化物、BOD ₅ 、COD _{Cr}
制糖工业	
甘蔗制糖	SS、BOD ₅ 、COD _{Cr}
甜菜制糖	SS、BOD ₅ 、COD _{Cr}
合成洗涤剂工业	石油、LAS、COD _{Br}
合成脂肪酸工业	Mn等、COD _{Cr}
酒精工业	SS、BOD ₅ 、COD _{Cr}
味精工业	SS、BOD ₅ 、COD _{Cr}
啤酒工业	SS、BOD ₅ 、COD _{Cr}

由表 1-1 可见, 各行业的废水所控制的特征项目, 有些是类似的, 但是不同行业的废水, 也各有特点, 其治理方法, 也就不能一样。

目前, 在工业废水的治理上, 研究和使用的办法很多, 现归纳于表 1-2 及表 1-3 中。表 1-2 列出了工业废水的处理单元作业; 表 1-3 列出了工业废水的治理方法。由这两个表可以综观到工业废水治理方法的概况。各种方法各有优缺点, 在具体考虑工业废水的治理中, 可根据废水的性质, 选择合适的方法。所谓合适的方法, 是要把社会效益, 环境效益及经济效益统一起来。应该强调指出, 工业废水的治理方法还在研究发展中, 为了寻找更有效的方法, 现在还在积极地研究新方法。

把表 1-2 及表 1-3 所列出的方法, 按其原理可分为物理化学方法及生物方法。

物理化学方法, 是借于物理化学的理论建立起来的方法, 这类方法目前是废水处理的主要方法。生物方法在发展过程中, 越来越使人们认识到它是治理各种不同工业废水的一种有经济效益可行方法。因此, 对工业废水的治理, 首先要考虑废水是否适于生物降解或可转化成能生物降解的废水, 一旦确定了废水的可生物处理的可行性, 就应该选择最佳的生物处理方案。不同生物处理方案在诸如电子受体(好氧、缺氧或厌氧)的特性及生物量的状态(分散或固定生长), 水力状况(逆流动或完全混合)等许多方面有所不同, 均要详加考虑。选择工艺时, 总的要求是根据废水的特性和能达到处理目标为原则。

表1-2 水污染处理单元

(1) 物理处理的各种单元

处理单元	处理设施 (技术)	应用范围 (适用条件)
沉淀	普通沉砂池 曝气沉砂池 平流沉淀池 竖流沉淀池 辐流沉淀池 斜板沉淀池	<p>沉砂池主要去除污水中的砂、砾石等无机物。沉淀池主要去除污水中有机、无机悬浮物,这是水处理中最基本的处理方法,适用于除含油废水以外的所有废水。沉砂池通常用于废水经格栅后的第一步处理,沉淀池通常作为各级处理中的一步。</p>
过滤	格 栅 筛 网 普通滤池 无阀滤池 压力滤池 微孔过滤 真空过滤	<p>格栅用以截阻水中粗大的悬浮物和漂浮物,设在泵站集水池的进口处。根据筛网孔径不同,筛网过滤可作为水的预处理或重复利用水的深度处理。洗毛、造纸废水中含有的细小纤维可用筛网去除。</p> <p>其余几种过滤形式主要用于生活及工业给水处理中。在废水处理中,如果对出水要求很高,过滤可作为最后一道处理工序。微过滤和真空过滤还可用于工业废水中有用物质的回收。</p>
除油	平流隔油池 斜板隔油池 油水分离机 浮化液处理机	<p>适用于含油废水、悬浊液、乳浊液的处理。</p>

续表

处理单元	处理设施 (技术)	应用范围 (适用条件)
蒸发	普遍蒸发	通过加热或减压,使水分子大量气化,可以从废水中制取纯水并浓缩溶质,加以回收利用。
	薄膜蒸发	用于进一步处理,通常用于含重金属废水的处理。
	闪蒸器	该法可获得较浓的浓缩质,但耗能大。
	浸没燃烧 蒸馏	浸没燃烧法常用于含有机可燃物废水的处理。
离心	压力式水力旋流器	利用水中杂质和水的质量不同,在高速旋转时所受离心力不同从而进行水质分离。
	重力式水力旋流器	可用于轧钢废水的处理,纸浆、矿浆、洗毛废水的分离,水中乳化油的回收等。
	离心式水力旋流器	离心分离设备不仅用于液—固相分离,还可用于气—固相、液—液相的分离。
浮选	通气气浮 加压气浮 叶输气浮	废水中靠自然沉淀或自然上浮难以去除的悬浮物,可用气浮法去除。如石化工业含乳化油的废水,毛纺工业含羊毛脂、洗涤剂的废

续表

处理单元	处理设施 (技术)	应用范围 (适用条件)
	射流气浮 真空气浮	水, 洗煤车间含细煤粉的废水, 造纸、纤维工业含细小纤维的废水等。 与沉淀池相比气浮设备的运行能力高, 效率高, 但电耗大, 减压阀, 释放器或射流器易堵塞, 维修工作量大。
物理吸附	固定床、移动床- 流动床	吸附剂有: 活性炭、粉煤灰等。 可用于去除有害气体或废水处理的深度处理, 如残余溶解性有机物及色素等。
磁分离	高梯度磁分离器 2秒钟分离机	一般用于钢铁企业废水处理
萃取	多段逆流萃取器 往复叶片式脉冲萃 取塔 离心萃取机	利用杂质在水中萃取剂 (不溶于水) 中不同溶解度进行杂质和水的分离。常用于含酸废水的处理。 该法的主要缺点是萃取后的废水中或多或少引入新的污染物质 (萃取剂)。
吹脱	吹脱池	将空气通入水中, 可将水中溶解状挥发气体吹脱扩散到大气中去。可去除水中的 CO_2 、 H_2S 、 CNH 、 CS_2 等有毒气体, 然后可用碱性溶液吸收或活性炭吸附含挥发性物质气的

续表

处理单元	处理设施(技术)	应用范围(适用条件)
吹脱	吹脱塔	体。废水中如含油类物质,会影响吹脱,应在预处理中除去。
气提		适用于易挥发、有毒水溶物处理,如含酚废水的处理。该方法投资较大。

(2) 化学处理的各种单元

处理单元	处理设施(技术)	应用范围(适用条件)
中和	中和池 中和滚筒 升流中和塔	适用于各种废水的酸碱中和处理。
焚烧	焚烧炉 碱回收炉	适用于高浓度有机废水及高浓度碱的回收。
氧化	次氯酸钠氧化 加氯氧化 臭氧氧化 湿式氧化 其它(H_2O_2 氧化等)	可以处理各种工业废水,尤其适合于处理废水中难以生物降解的有机物(如:杀菌消毒,去除水中的酚、氨,去除水中铁、锰等,除异味和臭味等)。
混凝气浮	气浮罐	适用于处理混凝后絮片较大易上浮的废水。