



活性炭处理水的 技术和管 理

〔日〕北川睦夫 编著

丁 瑞 芝 等译

新 时 代 出 版 社

活性炭处理水的技术和管理

〔日〕 北川睦夫 编著

丁瑞芝 等译

新时代出版社

内 容 提 要

本书是一本活性炭应用在处理水方面的专著,较系统地介绍了活性炭用作处理水的历史过程、活性炭的基本结构和性能,活性炭处理水的试验、吸附装置的设计、活性炭的再生以及在活性炭处理水过程中易发生的故障和其消除措施等。

本书既介绍概念和理论基础,又给出了具体的实例和计算方法,做到了理论和实践并重,因此是一本很有参考价值的书。

本书内容相当广泛,适合从事活性炭处理水技术领域的研究人员、工程技术人员、教师和学生等作为参考读物。

活性炭水处理技术与管理

北川睦夫 编著

日刊工業新聞社 1978

*

活性炭处理水的技术和管理

〔日〕 北川睦夫 编著

丁瑞芝 等译

新时代出版社出版 新华书店北京发行所发行

国防工业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 7.625 印张 166千字

1987年7月第1版 1987年7月北京第1次印刷

印数: 0001—2900册

统一书号: 15241·107 定价: 1.60元

科技新书目 147-141

序 言

很久以前，人们就把活性炭用于水的脱臭和除味，二十多年前又开始用于污水和废水的处理，从此，活性炭与水的关系越来越密切。活性炭除用于处理水外，还在食品、化学、医药等工业部门的精制脱色过程中，得到了广泛的应用。正因为如此，在大学、研究单位和工厂研究室的试剂架上，活性炭成了不可缺少的物品。尽管活性炭应用广泛，历史悠久，但人们对构成活性炭吸附现象的基本孔隙结构，迄今仍不十分清楚。难怪《活性炭》一书的作者哈斯勒 (Hassler) 要把活性炭称为“黑魔” (Black magic)，活性炭的确具有许多复杂的因素，不能简单地归结为吸附现象。为了更有效地把活性炭应用于包括处理水在内的各个领域，必须对活性炭本身及使用对象以及设备等，有个全面的了解，否则就不可能收到满意的效果。

作者于 1941 年从岐阜药物专科学校毕业后，即在大阪市立工业研究所任职，在日本的工业研究单位中，这是一个具有独特历史和取得很多辉煌成果的研究所。在这里，作者从事过有机合成、塑料、抗生素的精制和农药合成等课题的研究，从 1947 年开始从事活性炭的研究，此后三十年来一直专门从事这项工作。我深深感到这个研究所的气氛，对活性炭及其应用技术的研究非常有利，由于它是工业研究所，因此接触实际的机会很多，这对于充实和推动我的研究工作，提供了得天独厚的条件。

HA796/10

三十年来的研究工作，使我有机会结识了许多知己，从而为编写此书奠定了良好的基础。由于执笔者之一，我在研究工作中的密切合作者立本英機先生，曾多次建议合作编写关于活性炭处理水方面的指导书，从而促使我下了编写这本书的决心。然而我本人只承担了活性炭的基础及其在处理水中的必要性的部分；而在应用技术和消除故障措施方面，则由日本最先引进糖液粒状活性炭脱色、精制装置，现在仍然在活性炭处理水方面不断作出成就的厂商——有机株式会社和立本英機先生承担；至于吸附装置的化工设计方面，则求助于京都大学的橋本健治先生，正是由于他们的欣然承诺，本书才得以问世，在此特向上述诸君表示衷心的感谢。

为使本书能在活性炭处理水的实际应用方面对读者有所帮助，书中除编进必要的活性炭基础知识外，还汇编了一些应用指南，但是由于我本人与执笔者之间联系不够充分，肯定会有许多不完善之处。如果本书能对关心这一领域的研究人员、技术人员以及理工科大学的学生有些参考价值的话，本人将感到不胜荣幸。

本书在出版期间，给日刊工业新闻社出版局的诸君添了不少麻烦，特在此一并表示深深的谢意！

活性炭技术研究会会长 北川睦夫

1978年7月

执笔者名单 (以写作章节为序)

- 北川睦夫 活性炭技术研究会 会长 (第一章、第二章、第五章)
- 立本英機 伦塞勒合成工艺研究所 博士研究生 (第三章)
- 橋本健治 京都大学工学部化学工程系教授 (第四章)
- 清水 博 有机株式会社 常务董事 (第六章、第七章)
- 酒井重男 有机株式会社 中央研究所 副所长 (第六章、第七章第一节和第二节)
- 安藤時也 有机株式会社 中央研究所 科长 (第七章第三节)
- 五十畑喜正 有机株式会社 第三技术部 科长 (第七章第四节的 1 ~ 4)
- 水本和智 有机株式会社 设备营业部 科长 (第七章第四节之 5 部分)

译 者 序

《活性炭处理水的技术和管理》一书是日本活性炭技术研究会会长北川睦夫编著的一本应用活性炭处理水方面的专著，在此之前尚未有过类似的著作问世。主编北川睦夫是一位从事活性炭应用技术研究逾 30 年的研究人员，积累了丰富的经验，因此这本书的实用价值比较大。

为了使从事处理水技术工作的同志系统地了解这方面的理论和实际的应用技术，我们特将此书全文译出，供大家参考。

本书的一、三、四、六章系丁瑞芝翻译；二、七两章系蒋仁甫翻译；五章系孙业斌翻译；全书由蒋仁甫校对。

由于时间仓促，水平所限，不当之处在所难免，请多指正。

译 者

目 录

第一章 概述	1
一、活性炭吸附法处理水的历史	2
二、活性炭吸附法处理水存在的问题	5
第二章 活性炭的基本结构和性能	8
一、基本结构和孔隙结构	8
(一) 基本晶体结构	8
(二) 活性炭的孔隙结构	12
二、活性炭表面的化学性质	17
(一) 活性炭的元素组成	17
(二) 表面氧化物	19
三、活性炭的制造方法和性能	31
四、用于处理水时的特性	35
(一) 活性炭对有机物的吸附	38
(二) 生物氧化处理与活性炭吸附处理的关系	44
第三章 处理水的吸附试验方法	50
一、吸附性能测定方法的研究	50
二、吸附平衡和吸附速度	57
(一) 吸附平衡的测定	57
(二) 吸附速度的测定	63
三、固定床吸附塔的连续通液法	66
四、活性炭吸附法处理水计划的制订	68
(一) 活性炭处理水应用的综合研究	68
(二) 活性炭吸附工程的规划	71
(三) 吸附装置设计的要素	72
第四章 吸附装置的设计和操作方法	74
一、吸附平衡	74

(一) 单组分的吸附平衡	74
(二) 多组分的吸附平衡	76
(三) 吸附平衡的测定	78
二、吸附的速度和过程	81
(一) 流体界面上的传质	82
(二) 颗粒内的扩散系数	82
(三) 颗粒内部扩散系数的测定法	83
三、吸附装置	93
四、固定床吸附装置的设计	95
(一) 穿透曲线	95
(二) 基础方程式及其简化	96
(三) 近似设计法	101
(四) 改进的近似设计法	104
(五) 数值解析法	111
(六) 设计方法的试验研究	116
(七) 多组分的固定床吸附	118
第五章 活性炭的再生法	124
一、再生在活性炭水处理中的重要性	124
二、再生法的种类	126
三、高温加热再生法	131
(一) 再生条件	132
(二) 工业再生装置的种类及其特点	136
(三) 再生活性炭的评价	142
四、再生的经济性	144
第六章 生产管理与消除故障的措施	148
一、粉状活性炭的加料	148
二、粒状活性炭装置的管理	149
三、活性炭吸附装置的检查	150
四、活性炭吸附装置的材质	151
第七章 生产管理的实例	152
一、在给水上应用	152
(一) 概述	152
(二) 粒状活性炭处理的现状	154

(三) 应用实例.....	155
(四) 活性炭的质量.....	181
二、在工业用水中的应用	182
三、在处理污水中的应用	185
(一) 南塔湖公共事业区的实例.....	186
(二) 加利福尼亚州扑茅拿的实例.....	195
(三) 日本的实例.....	199
(四) 盐湖市的实例.....	209
四、处理工业废水中的应用	212
(一) 石油精制废水.....	212
(二) 石油化工废水.....	219
(三) 印染废水.....	223
(四) 含表面活性剂的废水.....	228
(五) 制药废水.....	231

第一章 概 述

二次大战后，日本经济取得了令人瞩目的迅猛发展，尤其是 1965 年以后，经济处于高度发展时期，重工业与化学工业的发展尤为突出。这本来是好事，但在工业大发展的背后也带来了环境的污染，如大气污染、水体污染、噪声和振动等危害所波及的范围远远超过了人们的想像。近来，尽管不断地采取措施，在防止污染方面取得了一定的成效，但环境的污染远未消除。

水质污染，导致给水水源水质的恶化，以致采用常规净水装置来净化水质，已不能满足要求，而必须增设水的深度净化装置，否则将无法满足用户的需要。从前对污水和工业废水大多只进行一些简易处理或不经处理就直接排放，明显加快了城市周围水系的污染趋势。随着排放标准的强化及处理装置的改建和新建，排放水的水质有了明显的提高，但到目前为止水质的污染远未根除。包括工业用水在内的水资源是有一定限度的，而生活用水和工业用水的需求量还在日益扩大，因此，必须对水进行深度处理，最终实现水的循环和重复利用。目前，在给水处理中采用的凝聚、沉淀、过滤等都是围绕固液分离后的杀菌进行的，而污水和工业废水则采用固液分离和活性污泥法等生物处理方法进行净化，其中对某些水质在二级处理后进行深度处理。活性炭，在处理水方面，仍然作为三级处理或深度处理中的一个操作单元来使用。尽管活性炭吸附法在除去水中的微量有机物等杂质方

面，确实能发挥很大的作用，有时甚至是不可缺少的。然而，迄今为止，由于受到经济条件的限制，活性炭吸附法还没有被广泛应用。

处理水当中采用的吸附剂，概括起来有活性炭、合成吸附剂、煤及其加工品、骨炭和离子交换树脂等，上述材料可根据无机离子的吸附和有机物的去除等不同目的来进行选择。从吸附能力和经济效果来看，在这些吸附剂中，活性炭在去除水中溶解性微量有机物方面，显示了最大的优越性和操作上的简易性。

一、活性炭吸附法处理水的历史^[1,2]

历史上，使用木炭进行水净化的方法，早在公元前二百年就被采用。据记载，那时认为最好的方法就是将水放进铜器皿中，放在日光下曝晒，然后再用木炭过滤。从那时以后，人们为了获得洁净无味的水，一直采用木炭来过滤水。1806年尼科尔森(Nicholson)用木炭净化过航船上的饮水，后来辛克莱(Sinclair, 1807年)和达克(Dahke, 1861年)等人也都先后使用木炭净化水。日本将木炭用于水的净化是从江户末期开始的，与此同时还有使用骨炭净水的，但与活性炭相比，其吸附能力是非常小的，因而只能用于单个家庭用水的过滤。

九十年代初，水质的污染在欧美也逐渐严重起来，为了灭菌而使用大量的氯，余氯的存在或水中化合物和氯作用的结果，导致水中出现了臭味，从而促进了以去除水中臭味为目的的精制设备的开发和改进。1927年，从密执安湖取水的美国芝加哥市，水中出现了严重的氯酚味，为了除去这种令人讨厌的臭味，曾进行过许多种试验，结果活性炭的除臭能力

得到了确认和肯定。第一次世界大战后,从 1920 年开始,活性炭已进入了工业化生产,这样一来,活性炭在除去水中臭味方面所发挥的作用,即使从经济效益方面来分析也是很明显的。斯波尔丁 (Spalding)^[3]于 1929 年开始将粉状活性炭用于新泽西州的新米尔福给水处理中,后来美国和欧洲各地也使用添加活性炭的方法来净化水。在这以后,人们并未停步于使用粉状炭,而是继续开拓了粒状活性炭填充层的净水装置。粒状活性炭填充床适宜于处理污染比较稳定的水,而不大适宜于处理污染变化大的水,正因为上述原因以及经济方面的因素,所以迄今为止,在给水处理中基本上用的都是粉状炭。目前,在美国用于处理水的活性炭量,每年有 25000 t。

与美国或大陆国家相比,日本从来是多水的国家,将活性炭用于给水净化的必要性本来不大。然而由于工业高度增长期的到来,重工业、化学工业的发达以及城市人口的高度集中,从而加剧了水质的污染,尤其明显的是水质中的有机物、表面活性剂和酚的含量在逐年增加,因此决定从 1962 年开始在东京都多摩川水的处理厂,采用粉状活性炭来除去水中的烷基苯磺酸盐简称 (ABS) 和有机物,直到现在各地水的处理厂还在用这种方式进行水的净化。具体做法是,当水质污染指标超过规定值时,就往水中投加活性炭,使污染物含量控制在规定的范围内。在水质污染比较稳定的条件下,不管粒状活性炭填充床的应用规模如何?其使用价值和发展方向都是一目了然的。在医药和化学工业中,粒状活性炭的使用比较普遍,经常用它来作为上述工业用水的制备,而在电子设备和高压锅炉用纯水的制备中,则用作前处理,以除去水中的有机物。由此可见,活性炭在工业用水的处理中是

有悠久历史的。

如上所述，由于水质污染而导致了通常污水和工业废水进行物化或生化处理的重新研究，得出了必须增加深度处理的结论，并选择了能连续通水、容易维护管理、对周围环境无污染，容易再生并能反复使用的粒状活性炭作为深度处理的一个操作单元。在污水处理中，活性炭的用法大致有两种：一种是作为生化处理后的深度处理，这时活性炭处理的是不少于二级处理的水，因而整个工艺还包括一系列的工序，如：二级处理、化学处理（凝聚沉淀处理……除磷）、去除营养盐（脱氮）、过滤、活性炭处理和杀菌等等；另一种方法是将活性炭用于物化处理（即所谓 PCT 法）。美国从 1960 年开始大规模、广范围的研究并使之实用化，目前这两种方法都已进入实际使用阶段。下面列举的是活性炭处理工厂废水的几个实例。日本通产省，从 1970 年开始，首先在东京都以“工业废水再利用的调查”为课题，着手活性炭处理水的研究，并在 1973 年取得了成果，在此基础上建起一个日

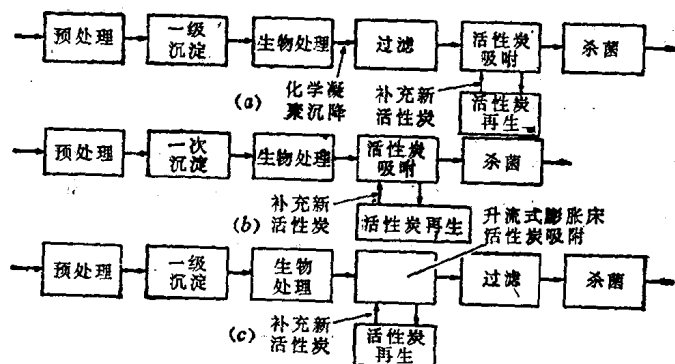


图1-1 活性炭吸附法用作深度处理时的代表流程

处理水量达 5 万 m^3 规模的废水再利用实验厂并投入了运行。随着废水排放标准的逐步严格，利用活性炭处理工业废水的处理厂，在日本到处可见。图 1-1 和 1-2 为具有代表性的深度处理或物理化学处理的系统图⁽⁴⁾。污水或工业废水经深度处理后可以重复使用。由此可见，活性炭吸附法在任何情况下，对深度处理来说，都是必不可少的。今后，活性炭在处理水方面必将得到更加广泛的应用，这是毫无疑问的。

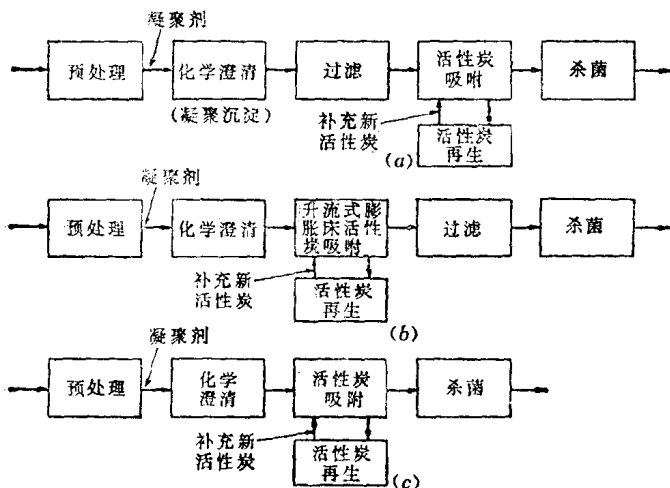


图1-2 物理化学处理的代表流程

二、活性炭吸附法处理水存在着的问题

活性炭处理生活用水、生活污水、工业用水和工业废水，完全依靠活性炭对被处理水的吸附现象，由于活性炭本身包含着许多复杂因素，而被处理的水中又含有多种溶质，从而使表面现象的复杂程度远远超过了人们的想像，因此需要以多

次的实验结果，才能评价其优劣。特别是在处理工业废水时尤其如此。从经济上看，如果不把再生也包含在活性炭的应用中并和整个处理水系统综合起来考虑，想使其充分有效的利用，那几乎是不可能的。

如上节所述，活性炭分为粉状和粒状两种，粉状活性炭多用于间歇式接触，而粒状活性炭多用于填充塔。至于粉状活性炭，在找出适用的有效的再生方法之前，就不宜大量使用。因此本文将以粒状活性炭填充塔的应用为主进行叙述。

(1) 当被处理的水中含有悬浮固体时，一般来说，应先除去悬浮固体物，然后再进入吸附塔，否则，不论是处理无机废水，还是有机废水，都会造成填充塔的堵塞。

(2) 当被处理水中含溶解性有机物的浓度较高时，不宜一开头就采用活性炭吸附，因为这样做，不论在经济上，还是在技术上，都难以取得良好的效果；在这种情况下，往往先用其他方法使溶解性有机物浓度降低后，再用活性炭吸附。通常，活性炭吸附适用于生化需氧量（简称 BOD）和化学需氧量（简称 COD）在 50ppm 以上的废水。此外，还必须注意如废水中含有硫化物时，还会导致 H_2S 的产生。

(3) 至于水是以升流的方式还是以降流的方式通过活性炭层，必须在充分考虑各种因素的基础上加以确定。当溶质浓度低时，处理的水量可以大些，其接触时间为 10~15min，通水速度为 10~20m/h（线速度），在一般情况下接触时间以 20~40min，通水速度以 5 m/h（线速度）为佳。这些条件适用于处理污水和工业废水。

(4) 从充分利用活性炭的吸附容量出发，最理想的床层是固定床串联或移动床（脉冲床）在某些情况下，也可采用流动床，但后者尚需进一步研究。

(5) 当用活性炭处理水时, 如果活性炭不能再生重复使用, 那在经济上是不合算的。尤其是用于处理废水时, 其全部投资都是负值, 因此需进一步对包括再生在内的整个处理水系统加以研究。

参 考 文 献

- 1) C.L. Mantell: "Adsorption" II Ed., p. 489, McGraw-Hill Book Co. (1955);
C.L. Mantell 著 (柳井弘, 加納久雄訳): 吸着および吸着剂, p. 451, 技報堂 (1969)
- 2) 北川睦夫: 科学と工業, 36, 468 (1962)
- 3) G.R. Spalding: JAWWA, 22, 646 (1930)
- 4) 北川睦夫: 用水と廃水, 17, 935 (1975)