

● 金兆丰 余志荣 主 编
● 徐竟成 屈计宁 副主编

污水处理组合工艺 及工程实例



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

污水处理组合工艺及工程实例

金兆丰 余志荣 主 编
徐竟成 屈计宁 副主编

化学工业出版社
环境科学与工程出版中心
·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

污水处理组合工艺及工程实例/金兆丰, 余志荣主编.
北京: 化学工业出版社, 2003.4
ISBN 7-5025-3708-2

I. 污… II. ①金…②余… III. 污水处理 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 015020 号

污水处理组合工艺及工程实例

金兆丰 余志荣 主 编

徐竟成 屈计宁 副主编

责任编辑: 管德存

文字编辑: 徐 娟

责任校对: 郑 捷

封面设计: 蒋艳君

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市管庄永胜印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 25¼ 字数 627 千字

2003 年 4 月第 1 版 2003 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3708-2/X·145

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

随着我国经济的快速发展和人们生活水平的不断提高，政府、企业、居民的环保意识不断增强，对生活质量和环境质量的要求越来越高，水污染治理也越来越受到人们的关注。在这样的背景下，政府颁布了更加严格的环境保护法规、规范和污水排放标准，投入巨资兴建了许多大型的污水治理工程；学术界和工程界对污水治理技术进行了更加广泛、深入的研究和实践，使污水处理技术得到前所未有的快速发展和突破，形形色色新的污水处理组合工艺和技术在新建和改建的污水处理工程中被采用。

为了满足从事水污染控制工作的研究人员和工程师们了解和掌握国内外最新污水处理技术的迫切愿望，本书作者查阅、收集和分析了国内外大量有关污水处理组合工艺的研究报告和工程实例，编写了《污水处理组合工艺与工程实例》一书。

本书的特点之一是内容全面。从一般城市污水到各行业工业污水；从传统的污水处理工艺到高浓度、难降解污水的组合处理工艺；从成熟的污水处理技术到最新的污水处理技术，包括刚刚发表的研究报告和正在建设的污水处理院所采用的新工艺，都被收集在本书中。

本书的特点之二是注重实践。全书分二篇六章，其中第一章“城市污水处理概论”、第二章“城市污水处理组合工艺”、第四章“工业污水处理概论”和第五章“工业污水处理组合工艺”对污水处理组合工艺进行了系统的理论阐述；第三章“城市污水处理工程实例”、第六章“工业污水处理工程实例”和第二章第四节“国外城市污水厂改造技术”对国内外41个工程实例进行了全面的分析，加上散见于其他各章节的工程实例，总共约占全书篇幅的40%以上。

本书的特点之三是所引用的材料绝大部分是原始材料。特别值得指出的是，第三章和第六章的工程实例均由工程项目的�主要设计负责人撰写，内容包括设计概况、处理工艺、设计参数、运行数据、设计心得以及设计流程图和平面布置图等。相信这些翔实的第一手资料对于读者是非常珍贵的。

本书可供环境工程、给水排水工程专业的科研、设计人员和高等学校教师、本专科学生、研究生阅读参考。

参加本书编写工作的有金兆丰（第一章、第四章、第五章第七节）、余志荣（第二章、第五章第一、二、三、四、六节）、徐竟成（第五章第五节的一、二、三、五）、屈计宁（第五章第五节的四、六、七）等。第三章城市污水处理工程实例主要由上海市政工程设计研究院提供，由张辰、李春光组织撰写和校改，执笔人有胡维杰、张辰（实例1）、张欣、邹伟国（实例2）、徐国锋（实例3）、俞士静（实例4）、过永祥（实例5）、陈锦焕（实例6）、张欣（实例7）、王解萍（实例8）、王锡清（实例9）、徐建初（实例10）、王国华（实例11、12）、陆嘉竝（实例13）。第六章工业污水处理工程实例主要由上海同济污水处理技术开发中心提供，由范建伟组织撰写和校改，执笔人有范建伟、张杰、刘新超、祝经伦、毛艳芳等。全书由金兆丰统稿。

高琼、王田、张静、杨兴豹等参加了本书的资料收集和编写工作。
由于作者水平所限，书中疏漏和错误之处，敬请读者批评指正。

金兆丰
于同济大学
2002 年 12 月 31 日

编 委 名 单

编委会

主 任 张 辰

副主任 范建伟

编 委 (按姓氏汉语拼音排列)

陈锦焕 范建伟 过永祥 胡维杰 金兆丰 李春光

刘新超 陆嘉竑 毛艳芳 屈计宁 王国华 王解萍

王锡清 徐国锋 徐建初 徐竟成 俞士静 余志荣

张 辰 张 杰 张 欣 祝经伦 邹伟国

主 编 金兆丰 余志荣

副主编 徐竟成 屈计宁

参加编写人员 (按姓氏汉语拼音排列)

高 琼 王 田 杨兴豹 张 静

目 录

第一篇 城市污水处理

第一章 城市污水处理概论	1
第一节 污水的物理特性及其污染指标	1
一、水温	1
二、溶解氧	2
三、色度	2
四、臭味	2
五、固体含量	2
六、放射性物质	3
第二节 污水的化学特性及其污染指标	3
一、无机物及其指标	4
二、有机物及其指标	7
三、有机物污染指标	9
第三节 污水的生物特性及其污染指标	12
第四节 污水排放标准与处理程度确定	14
一、水环境质量标准简述	14
二、排放标准	14
三、污水处理程度的确定	15
第五节 污水处理工艺	16
参考文献	18
第二章 城市污水处理组合工艺	19
第一节 一级物理处理工艺	19
一、格栅	19
二、破碎机	21
三、沉淀	22
第二节 一级强化处理工艺	34
一、概述	34
二、物化一级强化处理工艺	35
三、生物一级强化处理工艺	36
第三节 二级生物处理及脱氮除磷处理工艺	38
一、吸附-生物降解工艺	38
二、A/O工艺	43

三、间歇式活性污泥法	51
四、氧化沟	73
五、曝气生物滤池	83
六、膜生物反应器	90
第四节 国外城市污水厂改造技术	95
一、Bekkelaget 污水处理厂改造实例	95
二、法国中高负荷活性污泥法污水处理厂的改造实例	99
三、德国 Arnsberg 污水厂改造实例	102
四、Southpest 污水厂的改造实例	106
五、美国华盛顿 Blue Plains 污水厂的改造实例	110
六、奥登堡城市污水厂的改造实例	114
七、汉堡市联合污水厂的改造实例	119
八、小型污水处理厂搅拌和曝气系统的改造实例	123
九、一种新型的污水厂改造技术实例	126
参考文献	129
第三章 城市污水处理工程实例	133
工程实例一 上海市石洞口城市污水处理厂工程	133
工程实例二 上海市白龙港城市污水处理厂工程	139
工程实例三 杭州市七格污水处理厂工程	148
工程实例四 深圳市滨河污水处理厂三期工程	152
工程实例五 山东济南污水处理厂工程	158
工程实例六 淄博污水处理厂工程	163
工程实例七 上海闵行水质净化厂工程	169
工程实例八 上海石化股份水质净化厂四期扩建工程	174
工程实例九 上海市金山县朱泾污水处理厂工程	178
工程实例十 昆明市第五污水处理厂工程	183
工程实例十一 浙江新昌制药厂污水处理工程	186
工程实例十二 上海三得利梅林食品有限公司污水处理工程	190
工程实例十三 上海桃浦工业区污水处理厂工程	193

第二篇 工业污水处理

第四章 工业污水处理概论	203
第一节 工业污水的分类及特点	203
一、工业污水的分类	203
二、工业污水的主要特点	204
三、工业污水的危害	205
第二节 工业污水的污染源调查与处理方法选择	206
一、污染源调查	206
二、工业污水污染治理	207
第三节 工业污水的主要污染物与排放标准	209

一、工业污水的主要污染物·····	209
二、工业污水的排放标准·····	212
第四节 工业污水与城市污水合并处理·····	213
参考文献·····	213
第五章 工业污水处理组合工艺·····	214
第一节 工业污水预处理及基本处理工艺·····	214
一、预处理工艺·····	214
二、基本处理工艺·····	221
第二节 轻微污染污水处理工艺·····	226
一、污水来源·····	226
二、污水特点·····	227
三、循环冷却水的处理·····	231
第三节 无机悬浮物污水处理工艺·····	238
一、高炉煤气洗涤污水·····	238
二、铸造水力清砂污水·····	243
第四节 液态悬浮物污水处理工艺·····	244
一、炼油厂含油污水·····	245
二、机械加工含油污水·····	246
三、含油污水处理组合工艺·····	247
第五节 有机污水处理工艺·····	253
一、食品污水·····	253
二、纺织印染污水·····	267
三、制浆造纸污水·····	274
四、石油化工污水·····	282
五、制革污水·····	287
六、焦化污水·····	296
七、制药污水·····	301
第六节 有毒有害污水处理工艺·····	306
一、电镀污水·····	307
二、农药污水·····	316
第七节 国外工业污水处理新技术·····	321
一、臭氧氧化技术·····	321
二、高级氧化技术·····	322
三、催化湿式氧化技术·····	323
四、超临界水氧化技术·····	324
五、萃取膜生物反应器技术·····	325
六、内循环厌氧技术·····	326
七、高温厌氧处理技术·····	327
八、高温好氧处理技术·····	327
九、SFABR 技术·····	328

十、电气浮凝聚技术·····	329
参考文献·····	330
第六章 工业污水处理工程实例·····	332
工程实例一 上海小西生物技术有限公司制药污水处理工程·····	332
工程实例二 奉贤县华欣种畜场禽畜粪水处理工程·····	335
工程实例三 上海市第十五制药厂污水处理工程·····	338
工程实例四 浙江丽水市制革厂综合制革污水处理工程·····	340
工程实例五 创利皮革(扬州)有限公司污水处理工程·····	345
工程实例六 河南省鞋城皮革制品有限公司污水处理工程·····	349
工程实例七 山东九九有限公司玉米酒精污水处理工程·····	353
工程实例八 山东雪花淀粉集团污水处理工程·····	356
工程实例九 上海油脂二厂污水处理迁建工程·····	358
工程实例十 江苏靖江锦绣漂染厂污水处理工程·····	362
工程实例十一 上海嘉圣丝染有限公司污水处理工程·····	364
工程实例十二 上海环风电子有限公司油墨污水处理工程·····	366
工程实例十三 南昌印钞厂污水处理工程·····	369
工程实例十四 上海有色金属压延厂污水处理工程·····	373
工程实例十五 上海异形铆钉厂污水处理工程·····	375
工程实例十六 杭州北站污水处理工程·····	380
工程实例十七 上海铁路洗衣厂洗涤污水处理工程·····	383
工程实例十八 上海夏普电器有限公司污水处理工程·····	386
工程实例十九 上海拖拉机内燃机公司污水处理工程·····	389

第一篇 城市污水处理

第一章 城市污水处理概论

水是一切生物生存必不可少的物质之一，没有水的世界是无法想象的。虽然我国水资源总量非常丰富，年径流总量 $2.71 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，居世界第六位，但是由于人口众多，人均占有仅 2262 m^3 ，约为世界平均的 $1/4$ ，属世界缺水国家之一。由于水污染控制的相对滞后，受污染的水体逐年增加，又加剧了水资源的短缺。而中国迅速进行的工业化、城市化，不可避免地会加快水污染速度。据统计，2000 年我国城市污水排放量已达 332 亿立方米，其中绝大部分污水未经有效处理而排入江河湖海。全国 90% 以上的城市水域受到不同程度的污染，近 50% 的重点城镇的集中饮用水源不符合取水标准。我国北方城市大部分受到资源型缺水的困扰，南方多水地区由于受到不同程度的污染，已经呈现水质型缺水趋势。因此，增加污水处理比例和将污水处理之后再回用是今后我国城市污水处理的趋势。今后 5 年我国要新增 2800 万吨城市污水日处理能力。此外，我国城市污水再生利用项目已经启动，一些城市或区域正全面规划污水资源化工程。到 2005 年，我国城市污水处理率将达 45%。

城市污水包括生活污水、工业污水（受轻微污染的冷却水除外）、初期污染雨水三种。生活污水是指人类在日常生活中使用过的，并被生活废料所污染的水。工业污水的分类和性质详见本书第四章。初期污染雨水指降雨初期的雨水冲刷地面后形成的污染较严重的雨水。城市污水的性质特征主要与下列因素有关：人们的生活习惯；环境气候条件；生活污水与生产污水所占比例；所采用的排水体制以及国家、地方部门对水质要求等。城市污水排放至下水道时要满足《污水排入城市下水道水质标准》（CJ 3082—1999），排放到水体时要满足《污水综合排放标准》（GB 8978—96）。为了经济有效地解决水污染问题，必须深入了解城市污水的各项特性。

第一节 污水的物理特性及其污染指标

表示污水物理性质的主要指标有水温、溶解氧、色度、臭味、固体含量以及放射性物质等。

一、水温

水温并不是污水的一种污染组分，而是影响受纳水体的一种物理指标。当高温废水（工业冷却水）排入水体后水温升高，引起水体的物理性质、化学性质的变化，从而威胁到水体中水生动、植物的生长与繁殖，这称为水体的热污染。对水生生物来说，水温是最为重要、最有影响的一项水质参数，它对水体将带来如下后果：①水的饱和溶解氧浓度与水温呈反比，水温升高使饱和溶解氧降低，从而亏氧量减小，造成大气中的氧气向水体的复氧速率减慢，与此同时水体中水生生物因温度升高，耗氧速率加快（温度每升高 10°C 鱼类所需氧量

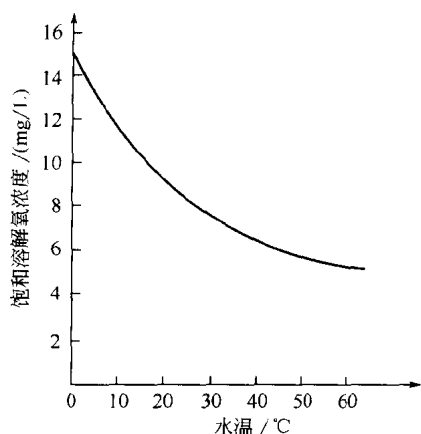


图 1-1 水中饱和溶解氧浓度和水温的关系

大约增加 1 倍),造成鱼类和水生生物窒息死亡,使水质迅速恶化;②化学反应速率加快,引发水体中诸如电导率、溶解度、离子浓度和腐蚀性的变化,同时臭味加大,水体感官性状恶化和卫生质量下降;③使水体中细菌繁殖加速;④加速藻类的繁殖,因此水体的热污染也会加速水体的富营养化过程;⑤污水水温低于 8℃或高于 40℃都将影响污水的生物处理效率。图 1-1 为水中饱和溶解氧浓度和水温的关系。

二、溶解氧

溶解氧 (Dissolved Oxygen, 简称 DO) 不是一种污染物质,但它却是一个普遍应用的水质指标。越是生物生长旺盛的富营养水体,其含氧量越受到生物活动的影响,所以溶解氧浓度可作为富营养化的良好指标。

溶解氧是水域功能分类的重要指标之一。根据《地面水环境质量标准》(GB 3838—2002), I 类水体的溶解氧要求在 7.5mg/L 以上, II 类水体的溶解氧为 6~7mg/L, III 类水体溶解氧为 5~6mg/L, IV 类水体溶解氧为 3~5mg/L, V 类水体溶解氧为 2~3mg/L。

大量的城市污水排放进入水体后会降低水体中的溶解氧,溶解氧低于 2mg/L,将导致水体发臭,由于城市污水溶解氧一般为零,所以可以明显地嗅到臭味。

溶解氧与水体中的生物种群有着密切的关系,各种浮游生物在溶解氧低于 5mg/L 时不能生存。大多数鱼类要求水体中溶解氧在 4mg/L 以上。

三、色度

水体的色度,会刺激人们的视觉神经,从而引起人们的感官不悦。城市污水的色度是由于诸如印染、造纸、农药、焦化及有机化工之类有色工业废水排入城市下水道后形成的。色度分为表色和真色。表色是由悬浮物(泥沙、纸浆、油脂)形成的,通过过滤可以去除。真色是由胶体物质与溶解物质(如化学药剂、染料、盐类物质、色素)形成的。水体的色度会使透光性减弱,不利于水生生物的光合作用,影响其繁殖生长,降低水体的自净功能。城市污水色度一般在 70 倍左右。

四、臭味

臭味通过刺激人的嗅觉神经使人产生感官上的不悦,有的臭味会危害人体的生理健康,使人呼吸困难、胸闷和呕吐等。

生活污水的臭味主要由有机物腐败产生的气体(H_2S 等)造成。工业废水的臭味主要由挥发性化合物造成。

臭味主要有鱼腥臭[胺类,如 CH_3NH_2 , $(CH_3)_3N$],氨臭(NH_3),腐肉臭[二元胺类,如 $NH_2(CH_2)_4NH_2$],腐蛋臭(H_2S),腐甘蓝臭[有机硫化物,如 $(CH_3)_2S$],粪臭(甲基吲哚 $C_8H_5NHCH_3$)以及某些工业污水的特殊气味(如酚等)。

五、固体含量

固体含量的英文名称为 Total Solid, 简称 TS。城市污水中的固体根据其粒径大小不同分为三类,即悬浮固体(Suspended Solid, 简称 SS, 粒径大于 $100\mu m$),胶体(Colloid, 粒径 $1\sim 100\mu m$),总溶解固体(Total Dissolved Solid, 粒径小于 $1\mu m$)。

悬浮固体由无机物和有机物组成。它可分为挥发性悬浮固体和非挥发性悬浮性固体(又

称灰分)两种。生活污水中,前者约占70%,后者约占30%。水体受到悬浮固体污染后,浊度增加,透光度减弱,产生的主要危害是:①降低水的透光深度,抑制水生生物的光合作用,从而影响能量的供给和鱼类饵料的生长;②悬浮固体堵塞鱼鳃,导致鱼类窒息死亡,如制浆废水中的纸浆在这方面的危害尤为明显;③微生物对悬浮固体的代谢作用,会消耗水体中的溶解氧;④悬浮固体中的可沉固体,沉在湖底,造成底泥积累与腐化,使水体水质恶化;⑤其他污染物质和细菌、病毒等吸附在悬浮物质上,随水流迁移污染;⑥灌溉田地时,悬浮物质在土壤表面结壳,降低土壤的透气性,沾染植物叶面妨碍光合作用,淤塞水库和水渠。

胶体颗粒尺寸很小,在水中长期静置也难以下沉。水中存在的胶体通常有黏土、某些细菌和病毒、腐殖质和蛋白质等。有机高分子通常也属于胶体一类。工业废水排入水体,会引入各种各样的胶质或有机高分子物质。例如人工合成的高聚物通常来自生产这类产品的工厂所排放废水。天然水体中的胶体一般带负电荷,有时也含少量带正电荷的金属氢氧化物胶体。胶体对水的不利影响是:①胶体中的细菌、病毒等原生生物病原体会通过水体传播疾病;②胶体和悬浮物是水产生浑浊现象的根源,有机物往往会造成水的色和味。因此悬浮物和胶体是饮用水处理的主要去除对象。

总溶解固体是水中可溶性盐类的总称,一般是在淡水系统中使用的术语,有别于海水的盐度。它对水会产生如下不利影响:①通过刺激人的嗅觉使人产生感官上的不悦,尤其在饮用水中,不希望有过多的总溶解固体;②溶解固体中的物质对人体生理上产生不利的影响;③水生生物和鱼类对其具有敏感性,因此它的总量不宜过大,为保护鱼类和其他海洋生物,河口的盐度变化不要偏离天然变化的10%以上;④会使土壤结块,造成土壤渗透压变化,从而危害植物的生长;⑤使水的电导率增加,从而使设备的腐蚀速度加快,并且使输送管道的结垢速度加快。

六、放射性物质

因为放射性物质具有特别的放射特性,可以作为水体运动的示踪剂,所以放射性物质是具有重要意义的的水质指标之一。水体中可能存在着来自天然的和人造的各种放射性物质。在天然放射源中,铀矿床附近的地下水和温泉水中放射性物质含量较高,但只局限于局部地区内,所以一般不成问题。水体放射性污染主要是人为因素造成的。目前,放射性物质有几个来源:①核试验,虽然近年来试验次数减少,但是放射性物质会随大气传播到很广的范围,并且进入水圈,造成水体污染;②医院和科研院所发生事故而引起污染以及核电站可能发生核泄漏造成的放射性污染;③核电站冷却水;④某些有色冶金污水。一般认为,要对排放到环境中并且已经扩散的放射性物质进行处理是不可能的。与化学物质相比,放射性物质的毒性要大得多。放射性元素会对人体带来影响,尤其是诸如镭、铀等半衰期较长的放射性元素。《污水综合排放标准》(GB 8978—96)把总 α 放射性和总 β 放射性规定为第一类污染物,可见对其的重视,其最高允许排放浓度分别为 1Bq/L 和 10Bq/L 。

第二节 污水的化学特性及其污染指标

污水中的污染物质包括无机物质和有机物质,相应的也就产生了无机污染物质指标和有

① Bq为[放射性]活度单位, $1\text{Bq}=1\text{s}^{-1}$ 。

机污染物质指标，同时还有反映它们总和的指标，如生化需氧量、总有机碳、理论需氧量等。

一、无机物及其指标

1. pH 值

pH 值表示溶液的酸碱度，它等于氢离子的负对数。pH 值等于 7 时，污水呈中性；pH 值小于 7 时，污水为酸性，数值越小，酸性越强。pH 值大于 7 时污水显碱性，数值越大，碱性越强。

地表水的 pH 值接近于 7，而海水的 pH 值稍高，通常为 8 左右。生活污水的 pH 值为中性，城市污水的 pH 值取决于所含工业废水的种类和比例，一般在 6.5~9.0 之间。

pH 值对水体的影响主要有以下几点。①许多弱离解化合物的离解平衡受 pH 值变化的影响，许多化合物的毒性也受到 pH 值的影响。一般说来，低 pH 值的酸性条件会使水中污染物的毒性增大，但也有例外，如铵离子。②水体的 pH 值对底质中和悬浮物中有毒金属的溶解、释放和迁移过程起着决定性作用。③对 5 日生化需氧量产生重要影响。④对鱼类生长繁殖产生影响，如低 pH 值时鲈鱼行为失常，产卵及卵的孵化率降低。对于淡水生物，pH 值应控制在 6.5~9.0 之间，对于海洋生物，pH 值应控制在 6.5~8.5。⑤在接触人体的给水中，较大或较小的 pH 值会刺激人的皮肤和眼睛。农田灌溉用水中，农作物能够适应较大的 pH 值范围。⑥污水的 pH 值会对输送管道产生不利影响，pH 值小于 6.0 时将对金属管道或混凝土管道产生腐蚀作用。

2. 碱度

碱度是指能与水中含有的强酸发生中和反应的物质，即 H^+ 的受体。主要有三种：氢氧化物碱度、碳酸盐碱度和碳酸氢盐碱度。污水的碱度可用下式表达：

$$\text{碱度} = [OH^-] + [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-] - [H^+]$$

在污水处理过程中，碱度对外界加入的酸、碱具有缓冲作用，使 pH 值保持基本不变，这样可以保证生物处理中的微生物具有较好的生长繁殖条件。例如城市污水厂剩余污泥厌氧消化时，要求碱度不低于 2000mg/L，以缓冲有机物产酸阶段产生的有机酸。

3. 氮和磷

氮和磷是植物的重要营养物质，是导致湖泊、水库、海湾等缓流水体富营养化的主要原因，它们与溶解氧同为富营养化的重要指标。

(1) 氮及其化合物

氮是构成细胞的必需元素之一，存在于决定细胞构造和作用的蛋白质分子中，因此，它是所有活体必需的营养元素。在自然界中，气态氮（分子氮和氮氧化物）和非气态化合氮（铵、亚硝酸盐、硝酸氮和酰胺基化合物）构成了全球氮循环的主要环节。

污水中含氮化合物有四种：有机氮、氨氮、硝酸盐氮和亚硝酸盐，它们总称为总氮（TN）。有机氮容易在微生物作用下生成其他三种氮化合物。在无氧环境下分解为氨氮；在有氧环境下先分解为氨氮，然后再氧化为亚硝酸盐氮和硝酸盐氮。

凯氏氮（KN）是有机氮与氨氮之和。凯氏氮指标可以作为判断污水在进行生物处理时，氮营养是否充足的根据。生活污水中凯氏氮含量约为 40mg/L（其中有机氮约 15mg/L，氨氮约 25mg/L）。

氨氮在污水中以两种形式存在，即游离氨（ NH_3 ）和离子状态铵盐（ NH_4^+ ）。污水进行生物处理时，氨氮不仅向微生物提供营养，而且对污水的 pH 值起缓冲作用。但是氨氮浓度

过高会抑制微生物的生命活动，其中的 NH_3 毒性要比 NH_4^+ 大得多。氨氮的浓度可以作为地面水域功能分级的参考指标：Ⅰ类水体 $\leq 0.15\text{mg/L}$ ；Ⅱ类水体 $0.15\sim 0.5\text{mg/L}$ ；Ⅲ类水体 $0.5\sim 1.0\text{mg/L}$ ；Ⅳ类水体 $1.0\sim 1.5\text{mg/L}$ ；Ⅴ类水体 $1.5\sim 2.0\text{mg/L}$ 。

(2) 磷及其化合物

水体中的磷包括有机磷和无机磷两类。

有机磷多以葡萄糖-6-磷酸，2-磷酸-甘油酸及磷肌酸等形式存在，大多呈胶状和颗粒状。可溶性有机磷约占 30% 左右。

无机磷几乎都是以可溶性磷存在，例如正磷酸盐、偏磷酸盐、磷酸氢盐、磷酸二氢盐以及聚磷酸盐。

水中可溶性磷很容易与 Ca^{2+} ， Fe^{3+} ， Al^{3+} 等离子生成难溶性沉淀物沉积于水体底部成为底泥。沉积物中的磷在一定条件下重新释放到水体中。

总磷是以 PO_4^{3-} 表示的，测定时要将含磷化合物转化为正磷酸盐。

我国城市污水中氮、磷含量见表 1-1，某些工业污水中氮、磷含量见表 1-2。

表 1-1 我国城市污水中氮、磷含量/(mg/L)

城 市	总 氮	氨 氮	磷
北京	26.7~55.4	22~48	11~39
上海	78~93	18.9~79.7	
天津	50	29	3.2
南京	33	—	11
武汉	28.7~47.5	25.2~40.3	11.5~34.5
西安	36	36	4~21
哈尔滨	63~67	63~67	

表 1-2 某些工业污水中氮、磷含量/(mg/L)

工业污水类型	总 氮	氨 氮	磷
洗毛污水	584~997	120~640	—
含酚污水	140~180	2~10	3~17
制革污水	30~37	16~20	6~8
化工污水	30~76	28~56	1~12
造纸污水	20~22	4~8	8~12

4. 氯离子

淡水中的氯离子是判断淡水受污水、粪便污染的指标，生活污水中的氯离子主要来自人类粪便物，每人每天排放氯化物约 5~9g。工业污水以及采用海水作为冷却水时，氯离子浓度都很高。临海地区地下水中的氯离子浓度是判断海水侵入的指标。

氯离子含量高时，对管道和设备有腐蚀作用；用于灌溉农田，会引起土壤板结；氯离子浓度较高时，对生物处理的微生物有抑制作用，对活性污泥法的净化功能构成危害。

根据氯离子含量可将水分为以下几种：

淡水 $< 100\text{mg/L}$ ；

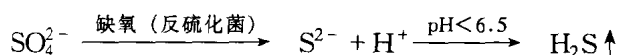
低咸水 100~1000mg/L;
半咸水 1000~17000mg/L;
海水 >17000mg/L。

5. 硫酸盐和硫化物

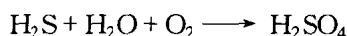
由于亚硫酸盐具有强还原性，容易被氧气氧化为硫酸盐，故自然界中存在量很小。水体中存在的硫化物和它的氧化物——硫酸盐主要有两个来源：①地质上的原因和天然生物过程的结果；②冶金、石化、制革、造纸和煤气产物进入水体。

硫化物在水中的存在形式有硫化氢、硫氢化物和硫化物，随着 pH 值增加它们所占比重依次增加。硫化物能够与重金属反应，生成不溶于水的黑色沉淀。

污水中的 SO_4^{2-} 在缺氧条件下的转化为：



排水管道内，释放出的 H_2S 与管顶内壁附着的水珠接触，在噬硫细菌的作用下形成硫酸，反应式如下：



硫化物所产生的危害为：①强烈地影响人的感观；②硫化氢对人和鱼类都有很大的毒性，并且 H_2S 的存在是水体缺氧的直接原因；③由硫化物形成的硫酸对管壁具有强烈的腐蚀作用。

6. 无机有毒物质

氰 (CN) 在水中的存在形式有氰离子、氰化氢、与多种金属离子化合而成的配合物以及有机氰化物 (称为腈，如丙烯腈 $\text{C}_2\text{H}_3\text{CN}$)。氰的毒性很大，但是没有积累性，其中游离状态的氰离子毒性最强，配合物的毒性相对较弱。氰化物的对人致死量为 0.05~0.12g。

天然水中通常不含氰，但在电镀、金属冶炼、照明工业、城市煤气、焦化、塑料、机械制造工业中含量较大，因此这些行业的工业污水要特别重视氰的污染。

7. 金属及其化合物

金属离子是水中普遍存在、危害较大的污染物质。生活污水中的金属离子主要来源于人类排泄物；工业废水中的重金属主要来源于冶金、电镀、陶瓷、玻璃、氯碱、电池、制革、造纸、塑料、颜料等工业所产生的污水。金属可分为两类。一类是有剧毒金属，如汞、镉、铅、铬、钡以及类金属砷、硒等。它们多为重金属，毒性较强，有些不仅有毒而且有致癌、致畸作用。其中汞、铬、镉、铅、砷及其化合物被称为五毒。另一类是毒性较小的金属，如铁、锰、铜、锌、钛等。它们是人体所必需的元素，对人体的危害较小。

(1) 汞 (Hg)

汞是常温下惟一的液态金属，很容易挥发。电解苛性钠工业、氯乙烯工业和其他使用电极的工厂都产生大量的含汞工业污水。汞的存在形式主要有无机汞 [HgCl_2 , HgClOH , $\text{Hg}(\text{OH})_2$, HgCl^+ , Hg^{2+} , $\text{Hg}(\text{HS})_2$, HgS_2^{2-}] 和有机汞 (甲基汞)。

无机汞的危害是它与生物体蛋白质的巯基结合后抑制其活性，从而使细胞的正常代谢功能发生障碍。有机汞的毒性大大超过无机汞，它造成的典型危害是在水俣病中表现出来的对神经中枢的影响。

(2) 镉 (Cd)

水体中的镉来源于岩石和土壤溶出水，以及锌矿和黑铅矿开采排出的矿山废水和电镀工

厂和合金工厂的污水排放。水中的镉主要造成慢性影响。根据鱼的试验结果来看，镉不仅在体内积累，而且还能使骨骼中的钙溶解下来，造成骨骼变形。镉对人和温血动物的毒性更大。

(3) 铅 (Pb)

涂料、电池、农药等工业大量使用铅造成了铅污染，一些化工厂排放的污水中也含有铅，此外汽车尾气中也含有铅，当它排放到大气中后，相当一部分还会进入水体。人体从水域中摄取铅而造成的影响以铅在骨骼中积累而引起慢性变形为主，此外还有贫血和肌肉麻痹等。

(4) 铬 (Cr)

水体中铬的主要来源除了从岩石和土壤溶出之外，还有电镀厂、皮革厂、印染厂、胶片厂、化学分析实验室等排出的废水。铬在水中的存在形式为 Cr^{2+} ， Cr^{3+} ， $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 等。其中六价铬的毒性最大，它具有很强的氧化作用，可以在酸性条件下被有机物还原为三价铬。不过铬的危害主要是来自大气粉尘而非水体。

(5) 砷 (As)

天然水中的砷是从各种矿物中溶解出来之后进入地下水和地表水的。污水中的砷化物主要来自化工、有色冶金、焦化、火力发电、造纸、制药和制革等工业污水。

砷的存在形式有无机砷 (As^{3+} ， As^{5+} 和砷酸盐) 和有机砷 (甲基砷)。砷具有积累性，慢性毒性较强，能够缓慢导致牙齿黑斑和组织坏死等，还会因积累而致癌。

(6) 硒 (Se)

硒的污染源除来自含硒的土壤外，还有电子工艺等废水和废气通过大气进入水体。自然界的河水中硒含量为 $0.2\mu\text{g/L}$ ，海水中为 $0.45\mu\text{g/L}$ 。

硒化物对人和温血动物有毒，它的毒性表现与砷的毒性相似。人们认为它是造成牙齿腐蚀的原因，同时也具有致癌性。此外，硒还可以通过食物链起作用，通过植物体积累起来，然后对家畜产生影响。所以，一般情况下，不宜将含硒废水用于灌溉。

二、有机物及其指标

1. 油类

油类包括动、植物油和矿物油，其成分主要是碳、氢和氧，生活污水中的油类来源于人类排泄物和餐饮业的洗涤水。工业废水中的油主要来自炼油厂、石化工业和机械加工工业等。

油类在水体中的存在形式有四种：漂浮油（油粒直径大于 $100\mu\text{m}$ ），分散性油（油粒直径 $10\sim 100\mu\text{m}$ ），乳化油（油粒直径小于 $10\mu\text{m}$ ），溶解油（直径小于 $5\mu\text{m}$ 的油珠）。因为油具有这四种形态，且往往是四种形态并存，所以它的污染也是水体整体环境的污染，造成的危害也是多方面的。

① 油类进入水体后，在水面形成油膜阻止大气复氧，妨碍浮游生物的光合作用。

② 大量乳化油和溶解油进入水体，在被微生物分解时要消耗水中的溶解氧，导致水体呈现缺氧状态，同时，水中的二氧化碳浓度增高，使水体的 pH 值降到正常值以下，从而导致鱼和其他水生生物死亡。

③ 石油污染水体后，可使食用水生生物带有强烈的异味（油臭），失去食用（饮用）价值。同时，石油及其制品含有高沸点多环芳烃类致癌物，通过食物链会危害人类的健康。

④ 以污泥状沉淀物沉积于水底时，使底栖生物窒息。