

“九五”国家重点科技攻关成果
给水和废水处理新技术丛书

部科技司组织编写 丛书总主编 聂梅生

国建筑工业出版社

污水除磷脱氮技术

郑兴灿 李亚新 编著

(京)新登字 035 号

图书在版编目(CIP)数据

污水除磷脱氮技术/郑兴灿,李亚新编著.—北京:中国建筑工业出版社,1998
(给水和废水处理新技术丛书)
ISBN 7-112-01370-4

I.污… II.①郑… ②李… III.①除磷-废水处理-技术 ②反硝化作用-废水处理-技术 IV.X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 13710 号

责任编辑 俞辉群
责任设计 郭耀秀

“九五”国家重点科技攻关成果
给水和废水处理新技术丛书
污水除磷脱氮技术
建设部科技司组织编写
丛书总主编 聂梅生
郑兴灿 李亚新 编著

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店总经销
北京工大印刷厂印刷

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 22 字数: 534 千字

1998 年 11 月第一版 1998 年 11 月第一次印刷

印数: 1—2,200 册 定价: 32.00 元

ISBN 7-112-01370-4

TU · 1006(8825)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

内容简介

近 20 年来, 污水除磷脱氮处理技术的研究、开发和工程应用一直是国内外污水处理界关注的热点和难点。随着工业化和城市化程度的不断提高, 合成洗涤剂、化肥和农药的广泛使用, 世界各国的污水总量及其有机物和氮、磷营养物排放总量不断增加。由于污水的大量排放, 过多的有机物和氮、磷营养物进入水体环境, 使水体环境的污染和水质富营养化日益严重, 迫使越来越多的国家和地区制定严格的污水有机物和氮、磷排放标准。我国新近实施的国家《污水综合排放标准》(GB8978 - 1996) 也明确了适用于所有排污单位, 非常严格的磷酸盐排放标准和较严格的氨氮排放标准, 这就意味着今后绝大多数城市污水和工业废水处理厂都需要考虑除磷处理, 大部分要考虑氨氮的硝化处理或脱氮处理。

针对国内城市和工业污水处理厂规划设计、工程建设和运行管理的实际需要, 结合作者多年的研究体会和实践, 在分析整理和总结国内外试验研究成果、工程实践和运行管理经验的基础上, 本书全面系统地介绍了国内外污水除磷脱氮技术的发展历程、基本原理、各种新工艺新流程、污水水质特性分析、工艺特征、工艺选择、设计运行参数、设计计算方法、技术设备选择、运行性能、过程控制和应用范围。

全书共 8 章, 第 1 章论述了污水除磷脱氮的发展背景及污水生物处理理论的新近进展, 讨论了污水除磷脱氮的目的及意义、污水生物处理工艺的组成、几个重要概念的含义及辨析、IAWQ 活性污泥数学模型、活性污泥法工艺计算等; 第 2 章阐述了污水生物脱氮的原理与工艺类型, 包括污水生物处理过程氮的转化和去除、生物硝化和反硝化过程、生物硝化和反硝化动力学、影响因素、污水脱氮方法; 第 3 章全面介绍了各种悬浮生长型和附着生长型生物硝化工艺, 包括工艺分类、工艺组成及特点、设计理论及计算方法、工艺选择及设施设计、运行控制和前处理技术; 第 4 章全面介绍了各种悬浮生长型和附着生长型生物反硝化脱氮工艺, 详细讨论了甲醇为碳源反硝化工艺、单一缺氧池活性污泥脱氮工艺、多缺氧池活性污泥脱氮工艺、氧化沟脱氮工艺和 SBR 脱氮工艺的组成与特点, 以及工艺选择、工艺设计计算方法、配套设施设计、设备选择和运行控制等。第 5 章简要介绍了物理化学法脱氮技术及工程实例, 包括折点氯化法、选择性离子交换法和空气吹脱法; 第 6 章系统总结了污水生物除磷技术的发展过程, 详细介绍了各种除磷工艺的组成和特点、工艺性能、特性分析、影响因素、生化机理和动力学特性; 第 7 章全面介绍了污水生物除磷设施的设计、运行控制和工程实例, 包括污水除磷工艺方案的选择、影响工艺选择的主要因素、工艺设计的总体考虑、侧流除磷工艺系统的设计、主流除磷工艺的设计、专用设备及构筑物、处理系统的监控和运行管理; 第 8 章系统介绍了各种污水化学除磷工艺的原理、工艺组成、工艺性能、工艺选择、设计方法、工艺设备、污泥处理处置和工程实例。

本书内容详尽、系统全面, 既体现先进性和理论深度, 又具有很强针对性和实用性。是从事城市污水处理和工业废水处理的工程设计人员、科研人员、运行管理人员、有关部门领导、决策人员、环境评价人员、监测人员和设备制造厂商的综合参考书, 也可作为大专院校给排水专业、环境工程专业、市政工程专业和环境微生物专业师生的重要参考书。

内容简介

总序

我国水处理技术发展历程是与不同历史时期的经济、社会发展及人民生活水平密切相关的。总体来看，在给水与废水处理技术方面曾经历了以解决量的需求为主要目标的第一阶段，此间的水处理技术主要是围绕着满足水量供应为主题展开；经济的快速发展引发了环境污染问题，随着水污染形势日趋严峻，水处理技术开始了以环境保护为背景的第二阶段，这期间的技术研究围绕着去除各类污染物以达到水质指标为目的而进行；全球性的环境污染和资源短缺引发了人们对发展问题的重新思考，可持续发展观念的提出使现阶段环境领域的技术逐步发生了战略性转折，这期间水处理技术不仅由单项技术走向综合集成并加速产业化、市场化转移，更重要的是逐步走向以人为本的发展道路，这正是可持续发展的最终目标。

聂梅生

我国水处理技术的发展历程是与不同历史时期的经济、社会发展及人民生活水平密切相关的。总体来看，在给水与废水处理技术方面曾经历了以解决量的需求为主要目标的第一阶段，此间的水处理技术主要是围绕着满足水量供应为主题展开；经济的快速发展引发了环境污染问题，随着水污染形势日趋严峻，水处理技术开始了以环境保护为背景的第二阶段，这期间的技术研究围绕着去除各类污染物以达到水质指标为目的而进行；全球性的环境污染和资源短缺引发了人们对发展问题的重新思考，可持续发展观念的提出使现阶段环境领域的技术逐步发生了战略性转折，这期间水处理技术不仅由单项技术走向综合集成并加速产业化、市场化转移，更重要的是逐步走向以人为本的发展道路，这正是可持续发展的最终目标。

本丛书作为“九五”国家重点科技攻关项目的成果之一，希望能反映我国水处理技术的前沿，并以此献给从事给水和废水处理事业的广大读者。

1998年9月

前 言

污水处理厂的主要处理对象包括有机物（COD、BOD₅）、悬浮固体（SS）和氮、磷营养物质。传统的污水处理以去除有机物和悬浮固体为目标，并不考虑氮和磷的去除。到60年代和70年代，随着常规二级生物处理技术在工业化国家的普及，人们发现仅仅去除有机物和悬浮固体还是不够的，氨氮的存在依然导致水体黑臭或溶解氧浓度过低等一系列环境危害。到70年代和80年代，随着污水排放总量的不断增加，以及合成洗涤剂、化肥和农药的广泛使用，磷、氮营养物质引起的水质富营养化问题日益突出，不但给水体环境造成种种严重的危害，而且造成巨大的直接和间接经济损失。

水环境污染和水质富营养化问题的尖锐化以及公众环境意识的增强，迫使越来越多的国家和地区制定严格的污水有机物和氮、磷排放标准，涉及的控制指标、内容和数值不断改进，越来越严。我国新近颁布实施的国家《污水综合排放标准》（GB 8978—1996）也明确了适用于所有排污单位，非常严格的磷酸盐排放标准和较严格的氨氮排放标准，这就意味着今后绝大多数城市污水和工业废水处理设施都要考虑除磷处理，大部分要考虑氨氮的硝化处理或脱氮处理。

法规的压力、市场的需求加速了污水除磷脱氮技术的发展。近20年来，污水除磷脱氮问题在全球范围内引起广泛的重视，一直是污水处理领域的热点和难点，经济高效的有机物和氮、磷去除技术成为研究开发的重点课题。1983年国际水污染控制和研究协会（国际水质协会IAWQ的前身）在哥本哈根组织召开的第一次磷氮去除国际会议是污水除磷脱氮技术研究和工程应用取得重大进展的重要标志。此后，各种类型的磷氮去除技术国际会议一直不断，出现了各种各样的污水除磷脱氮技术和工艺流程，其重大突破就是生物除磷脱氮技术的发展，以及生物处理和化学处理的有机结合。国际水质协会还设立了氮磷营养物质去除专门委员会来引导和组织学术活动，使世界各地的专家学者能够更好地交流该领域中的最新研究成果和工程实践经验。

改革开放以来，我国的社会经济得到快速发展，工业化和城市化程度不断提高。但由于工农业生产尚未摆脱粗放型的生产经营模式，以及实施污染治理政策方面的一些失误，城市和工业污水排放总量不断增加的同时，氮、磷化合物排放总量也明显增加，导致水体环境污染和水质富营养化日益严重，不但严重制约国民经济的可持续发展，造成相当可观的经济损失，而且对人民生活和健康，甚至对人民的基本生存条件造成了很大威胁。在许多地区，防治饮用水水源污染和水质富营养化已成为防治水污染的重要问题，在缺水地区实施污水再生利用也已提到议事日程。在此背景下，污水除磷脱氮技术被列入“七五”和“八五”国家及省市重点科技攻关计划，中国市政工程华北设计研究院、华东师范大学、上海市政工程设计研究院、北京市环境保护科学研究院、天津市污水研究所等几十个单位先后开展了污水除磷脱氮技术的研究、开发和工程应用，取得了一大批有实用价值高水平的研究成果和工程经验。

中国市政工程华北设计研究院结合广州大坦沙污水处理厂、泰安污水处理厂、青岛李村河污水处理厂等污水处理工程的设计和建设,承担“七五”和“八五”科技攻关专题,开展了污水生物除磷脱氮技术的应用性试验研究、中试研究、生产性研究、动力学研究、机理研究和污水回用工艺流程研究,研究成果获得1991年度建设部科技进步二等奖,1992年度国家科技进步三等奖和1997年度建设部科技进步二等奖。北京市环境保护科学研究院结合污水回用技术“八五”科技攻关专题,开展了长泥龄A/A/O生物除磷脱氮工艺的研究,研究成果获得了1996年度建设部科技进步二等奖。作为《常温厌氧与一体化氧化沟技术研究》科技攻关专题的重要组成部分,中国市政工程东北设计研究院在大连开发区污水处理厂开展了A/O生物除磷工艺的研究,该专题获1996年度建设部科技进步一等奖。

本书作为“九五”国家重点科技攻关计划《污水处理与水工业关键技术研究》项目(编号96-909)《城市污水处理技术集成与决策支持系统建设》专题(编号96-909-01-01)的污水处理技术集成化研究成果之一,旨在较全面地总结和反映国内外污水除磷脱氮处理技术的基础研究、应用研究和技术开发成果,以及成套技术设备、工程设计实践和运行管理经验,为从事城市污水和工业废水处理的科研人员、工程设计人员、行政主管人员、决策人员、运行管理人员和高校师生提供一本较为详尽的污水除磷脱氮技术原理和工程应用综合参考书。

本书第1、6、7、8章由郑兴灿编写,第2、3、4、5章由李亚新编写。全书的计算机文字处理和定稿工作由郑兴灿完成。

本书的编写工作由建设部科技司组织领导并得到国家城市给水排水工程技术研究中心和中国市政工程华北设计研究院的大力支持,以及众多同事的真诚鼓励和帮助,在此谨表示衷心的感谢。

限于学识水平和实践经验,本书定有诸多不足不妥之处,敬请读者批评指正。

3E	.....	.....	.....
8E	.....	.....	.....
9E	.....	.....	.....
9E	.....	.....	.....
14	.....	.....	.....
01	.....	.....	.....
第 1 章 绪论			1
04	1.1 氮磷去除与水质目标.....		1
04	1.1.1 水质目标与污水处理程度.....		1
5E	1.1.2 氮磷污染与水质富营养化.....		4
2E	1.1.3 氮对水环境质量的其它危害.....		9
7E	1.1.4 氮磷去除与污水的再生利用.....		10
8E	1.2 活性污泥系统的构成与术语含义.....		11
8E	1.2.1 污水处理厂的工艺组成与处理等级.....		11
5E	1.2.2 活性污泥法污水处理工艺的组成.....		13
03	1.2.3 厌氧、缺氧、好氧概念的含义辨析.....		13
60	1.2.4 微环境概念及其意义.....		14
4E	1.2.5 污水的可生物处理性.....		15
2E	1.2.6 微生物生长与衰减的概念.....		17
2E	1.2.7 微生物生长产率.....		19
0E	1.3 IAWQ 活性污泥数学模型简介.....		22
7E	1.3.1 模型的意义.....		22
6E	1.3.2 模型的表述形式.....		22
4E	1.3.3 污水水质特性及其组分划分.....		23
7E	1.3.4 活性污泥中的有机固体.....		26
7E	1.3.5 化学计量学与动力学参数的确定.....		27
8E	1.4 活性污泥法工艺计算方法的简要说明.....		29
0E	1.4.1 污泥量的计算.....		29
8E	1.4.2 需氧量的计算.....		31
0E	1.4.3 反应池池容计算.....		32
0E	1.4.4 剩余活性污泥量的计算.....		32
8E	1.4.5 出水 BOD ₅ 和 COD 的估算.....		32
0E	1.4.6 主要工艺参数选择与计算示例 1.....		32
101	1.4.7 主要工艺参数选择与计算示例 2.....		33
01	1.5 污水除磷脱氮技术发展简史.....		34
第 2 章 污水生物脱氮原理与工艺			36
101	2.1 水环境与污水中氮的来源和循环.....		36
01	2.2 污水生物处理过程氮的转化和去除.....		37
01	2.2.1 城市污水氮的来源和组成.....		37

2.2.2	污水生物处理过程氮的转化	38
2.2.3	生物合成和污泥排除对氮的去除	38
2.3	生物硝化过程与动力学	39
2.3.1	生物硝化过程	39
2.3.2	生物硝化动力学	41
2.3.3	生物硝化过程环境影响因素	43
2.3.4	附着生长硝化动力学特点	48
2.4	生物反硝化过程与动力学	49
2.4.1	生物反硝化过程	49
2.4.2	生物反硝化动力学	52
2.4.3	生物反硝化过程环境影响因素	55
2.4.4	生物硝化和生物反硝化系统的数学模型	57
2.5	城市污水脱氮技术概述	58
2.5.1	污水生物脱氮	58
2.5.2	污水物理化学方法脱氮	62
第3章 污水生物硝化工艺		
3.1	生物硝化工艺的分类	63
3.2	生物硝化的前处理	64
3.3	微生物悬浮生长型硝化	65
3.3.1	设计理论及方法	65
3.3.2	完全混合活性污泥法	69
3.3.3	普通推流式活性污泥法	72
3.3.4	延时曝气活性污泥法与氧化沟工艺	73
3.3.5	吸附再生活性污泥法	74
3.3.6	阶段曝气、渐减曝气和污泥再曝气系统	77
3.3.7	高纯氧活性污泥法	77
3.3.8	粉状活性炭活性污泥法	78
3.3.9	序批式活性污泥法	79
3.3.10	其它设计考虑要点	83
3.4	微生物附着生长型硝化	86
3.4.1	生物膜降解有机物数学模型与设计	86
3.4.2	生物滤池和塔式生物滤池	88
3.4.3	生物转盘	96
3.4.4	淹没式生物滤池	101
3.4.5	生物流化床	103
3.4.6	生物曝气滤池	105
3.5	微生物悬浮生长和附着生长合并和组合工艺	107
第4章 污水生物反硝化及生物脱氮工艺		
4.1	引言	109

4.2 甲醇为碳源微生物悬浮生长型反应器反硝化	109
4.2.1 概述	109
4.2.2 反硝化速率	110
4.2.3 完全混合悬浮生长反硝化	110
4.2.4 推流式悬浮生长反硝化反应器动力学设计方法	115
4.3 以甲醇为碳源微生物附着生长型反应器反硝化	116
4.3.1 动力学特点及一般设计准则	116
4.3.2 附着生长反硝化构筑物	118
4.4 单一缺氧池活性污泥脱氮系统	124
4.4.1 历史沿革与工艺概述	124
4.4.2 工艺与设备设计通则	126
4.4.3 运行控制	129
4.5 双缺氧池和三缺氧池活性污泥脱氮系统	129
4.5.1 工艺概述	129
4.5.2 工艺与设备设计通则	131
4.5.3 脱氮效率分析	132
4.6 多缺氧池活性污泥脱氮系统	135
4.7 氧化沟生物脱氮工艺	136
4.7.1 工艺概述	136
4.7.2 常用的几种商业性氧化沟系统及生物脱氮工艺特点	137
4.7.3 工艺设计	142
4.8 SBR 脱氮工艺	146
4.8.1 工艺概述	146
4.8.2 设计与运行控制	148
4.9 生物脱氮工艺选择	149
4.9.1 单级活性污泥脱氮工艺与分级生物脱氮工艺比较	149
4.9.2 单级活性污泥脱氮工艺选择	151
4.10 生物脱氮工艺配套设施设计要点	154
4.10.1 初沉池	154
4.10.2 二沉池	154
4.10.3 生物选择器	156
4.11 活性污泥系统脱氮工艺设计计算示例	158
4.11.1 工艺设计计算一般原则及程序	158
4.11.2 工艺设计计算示例	159
第 5 章 物理化学法脱氮	165
5.1 折点氯化法去除氨氮	165
5.1.1 基本原理	165
5.1.2 工程考虑与运行控制	166
5.1.3 余氯脱除	169

5.1.4 工程实例	169
5.2 选择性离子交换法去除氨氮	171
5.2.1 基本原理	171
5.2.2 设计要点与工程实例	181
5.3 空气吹脱法去除氨氮	186
5.3.1 基本原理	186
5.3.2 工艺设计及操作因素	188
5.3.3 生产试验实例	190
第6章 污水生物除磷原理与工艺	192
6.1 污水生物除磷技术的发展背景	192
6.1.1 概述	192
6.1.2 污水处理厂除磷现象的发现	193
6.1.3 生物除磷作用的证实	194
6.1.4 生物除磷现象的早期研究和应用	196
6.1.5 生物除磷的快速生物降解基质假说	199
6.1.6 生物诱导化学沉淀的除磷理论	201
6.2 污水生物除磷工艺及性能	202
6.2.1 生物除磷工艺概述	202
6.2.2 活性污泥系统的运行改进	203
6.2.3 A/O 工艺系列	204
6.2.4 Phoredox (Bardenpho) 工艺系列	209
6.2.5 氧化沟工艺系列	215
6.2.6 序批式反应器 (SBR) 工艺系列	215
6.2.7 侧流除磷 (Phostrip) 工艺	220
6.3 污水生物除磷的机理和动力学	223
6.3.1 生物除磷机理概述	223
6.3.2 贮磷微生物	224
6.3.3 磷的厌氧释放	227
6.3.4 磷的好氧 (缺氧) 吸收	232
6.3.5 磷的有效释放和无效释放及其对好氧吸收的影响	232
6.3.6 磷的厌氧释放和好氧吸收的生化机理	234
6.3.7 挥发性脂肪酸的外部产生	237
6.4 污水生物除磷系统的污水和污泥特性分析	237
6.4.1 引言	237
6.4.2 污水的典型组成成分	238
6.4.3 城市污水有机物组分的划分	238
6.4.4 城市污水的含氮组分	240
6.4.5 城市污水的含磷组分	240
6.4.6 目前没有标准分析方法的模型组分	241

6.5 影响生物除磷工艺性能的主要因素	243
6.5.1 出水 SS	243
6.5.2 用于除磷的有效有机物	243
6.5.3 泥龄(固体停留时间)的影响	244
6.5.4 厌氧区的硝态氮	244
6.5.5 污水温度	245
6.5.6 pH	246
6.5.7 磷吸收区的 DO 浓度	246
6.5.8 厌氧发酵区	246
6.5.9 设计参数	247
6.5.10 基质的可获得性	248
6.5.11 VFA 产生量与除磷量的关系	248
6.5.12 提高生物除磷能力的途径和措施	249
第 7 章 污水生物除磷设施的设计和运行	251
7.1 污水除磷工艺方案的选择	251
7.1.1 工艺方案选择所需的基础资料和数据	251
7.1.2 可供选择的除磷工艺方案	253
7.1.3 工艺方案选择的两个要点	255
7.1.4 除磷方案的选择和确定方法	256
7.2 影响生物除磷工艺选择的几个因素	256
7.2.1 污水处理的功能要求	256
7.2.2 污水水质特性	258
7.3 污水除磷工艺设计的总体考虑	259
7.3.1 工艺流程的组成和单元设施选择	259
7.3.2 系统设计需要考虑的通用参数	259
7.4 侧流除磷工艺(Phostrip)设计要点	260
7.4.1 总体考虑	260
7.4.2 Phostrip 工艺设计方法	261
7.4.3 Phostrip 工艺的专用设备	263
7.4.4 Phostrip 构筑物	264
7.5 主流除磷工艺设计	265
7.5.1 一般考虑	265
7.5.2 主流生物除磷工艺设计方法	266
7.5.3 所需要的专用设备	270
7.5.4 构筑物设计	270
7.5.5 改进工艺以提高性能	271
7.5.6 已有处理厂的更新改造	271
7.6 生物除磷系统的运行	273
7.6.1 工艺参数的监测	273

7.6.2	Phostrip 工艺	273
7.6.3	BOD ₅ /TP 比值问题	274
7.6.4	活性污泥系统的泥龄	274
7.6.5	氮与回流的控制	275
7.6.6	厌氧区水力停留时间	275
7.6.7	溶解氧 (DO) 控制	275
7.6.8	污泥处理	276
7.6.9	浮渣控制	276
7.6.10	运行操作人员的技术水平	276
7.6.11	曝气池氧化还原电位的控制	276
7.6.12	有机酸发生器的监测和控制	276
7.6.13	化学药剂备用需求	277
7.6.14	高水平除磷	277
7.7	设计运行经验和实例研究	277
7.7.1	概述	277
7.7.2	设计运行实例	278
第 8 章 污水化学除磷的原理、设计和运行		284
8.1	污水化学除磷原理	284
8.1.1	化学除磷方法概述	284
8.1.2	添加石灰法	285
8.1.3	添加铁盐和铝盐	286
8.1.4	污泥产生量	291
8.2	污水化学除磷工艺及选择	291
8.2.1	化学药剂的选择范围	291
8.2.2	化学药剂的投加点	292
8.2.3	化学除磷工艺的运行性能	293
8.2.4	化学除磷工艺的选择要素	293
8.3	污水化学除磷工艺设备	297
8.3.1	药剂的管理与贮存	297
8.3.2	干式药剂的进料和溶解	299
8.3.3	液态药剂与药液的投加	300
8.3.4	加药剂量的控制	301
8.3.5	药剂混合和絮凝	302
8.3.6	澄清	303
8.4	工艺设计方法	304
8.4.1	基本设计步骤	304
8.4.2	污水特性	304
8.4.3	化学药剂的选择	304
8.4.4	药剂投加量的确定	305

8.4.5 原有工艺单元的性能评估.....	306
8.4.6 生产性试验.....	306
8.4.7 药剂准备和管理设备.....	307
8.4.8 水处理工艺设计.....	308
8.4.9 构筑物.....	310
8.4.10 污泥处理系统.....	311
8.4.11 污水处理厂更新改造.....	311
8.4.12 设计示例.....	312
8.5 污泥处理处置.....	315
8.5.1 概述.....	315
8.5.2 化学污泥处理的生产性实践.....	316
8.5.3 铝盐产生的污泥.....	319
8.5.4 铁盐产生的污泥.....	326
8.5.5 污泥的最终处置.....	328
8.6 生产性运行实例.....	329
8.6.1 概述.....	329
8.6.2 实例研究.....	329
参考文献.....	330
索引.....	335

第1章 绪论

1.1 氮磷去除与水质目标

1.1.1 水质目标与污水处理程度

1. 城市污水处理的水质对象及方法

城市污水由排入城市下水道的生活污水和工业废水组成。按城市污水处理的水质净化对象演变,城市污水(生物)处理技术经历了三个发展阶段。在污水处理技术发展的初期,人们认识到有机污染物对环境生态的危害,从而把有机污染物即碳源生化需氧量(BOD_5)和悬浮固体(SS)的去除作为污水处理的主要水质目标。到60年代和70年代,随着常规二级生物处理技术在工业化国家的普及,人们发现仅仅去除 BOD_5 和SS还是不够的。氨氮(NH_4^+-N 和 NH_3-N)的存在依然导致水体的黑臭或溶解氧浓度过低,这一问题的出现使常规二级生物处理技术从单纯的有机物去除发展到有机物和氨氮的联合去除,即污水的硝化处理。到70年代和80年代,由于水质富营养化问题的日益严重,污水氮磷去除的实际需要使二级(生物)处理技术进入了具有除磷脱氮功能的深度二级(生物)处理阶段。而采用物理、化学方法对传统二级生物处理出水进行除磷除氮处理、去除有毒有害有机化合物及某些无机物质的处理过程通常被称作三级处理或深度处理。

总的来说,城市污水处理厂的主要处理对象包括COD、 BOD_5 、SS和氮、磷营养物质。根据这些污染物的无机或有机属性,溶解态和非溶解态,按去除对象和设备归类,城市污水处理方法主要包括以下几个类别:

- 去除粗大颗粒悬浮物与漂浮物: 格栅和筛网;
- 去除大颗粒沉淀物: 沉砂池;
- 脱除油脂和类似的漂浮物: 除油池、浮选池,带隔油设备的沉淀池或沉砂池;
- 去除细微悬浮物: 沉淀池、浮选池、化学絮凝沉淀池、砂滤池;
- 去除溶解、半溶解和极细微的有机物以及特殊的无机物: 各种生物处理设施、物理(机械)处理设施或化学处理设施。

上述处理设备和设施还可按机械法、化学法和生化法归类。一般情况下,生化处理部分是城市污水处理厂工艺流程的核心部分,也是工艺方案选择的主要对象。在不同地区和不同环境条件下,水体环境的功能划分及相关的水体水质标准往往差异甚大,因而污水处理的目标及相应的处理程度也就不同。

2. 水质目标和水质标准

城市污水和污泥经过有效处理之后,其排放、利用和处置的去向往往因地而异,因此必须根据当地的具体情况,依据国家和地方的有关水质标准和接纳水体的等级划分(水质目标),合理确定城市污水处理厂的污水处理程度和水质指标。目前执行的国家标准主要

有以下几种:

A、《污水综合排放标准》(GB8978-1996)。该标准是GB8978-88的修订,对城镇污水二级污水处理厂的主要出水指标规定如表1-1所示。除了保留原来的二级标准外,该标准新增了更加严格的一级标准($BOD_5 \leq 20 \text{ mg/L}$, $SS \leq 20 \text{ mg/L}$, $COD \leq 60 \text{ mg/L}$, 磷酸盐 $\leq 0.5 \text{ mg/L}$, 氨氮 $\leq 15 \text{ mg/L}$)。国外城市污水二级生物污水处理厂一般按 BOD_5 和SS两项指标控制,不考虑COD。对于工业废水处理或污水二级化学处理来说,把COD列为考核指标是合理而且必要的。但对于城市污水生物处理来说,一般情况下由于不具备特殊或强化的COD去除能力,处理厂的出水COD基本上取决于进水的水质特性,标准中确定的 $COD \leq 60 \text{ mg/L}$ (一级标准)和 $COD \leq 120 \text{ mg/L}$ (二级标准)似乎缺乏足够的技术依据。与GB8978-88相比,GB8978-1996确定的磷酸盐排放标准非常严格,而且扩大到所有排污单位。

根据GB8978-1996确定的排放标准,今后绝大多数城市污水处理厂都要考虑除磷处理,大部分城市污水处理厂要考虑硝化处理或脱氮处理。

污水综合排放标准(GB8978-1996)(摘录) 表 1-1

序号	污染物	适用范围	一级标准	二级标准	三级标准
3	SS (mg/L)	城镇二级污水处理厂	20	30	—
		其他排污单位	70	200	400
4	BOD_5 (mg/L)	甘蔗制糖、苕麻脱胶、湿法纤维板工业	30	100	600
		甜菜制糖、酒精、味精、皮革、化纤浆粕工业	30	150	600
		城镇二级污水处理厂	20	30	—
		其他排污单位	30	60	300
5	COD (mg/L)	甜菜制糖、焦化、合成脂肪酸、湿法纤维板、染料、洗毛、有机磷农药工业	100	200	1000
		味精、酒精、医药原料药、生物制药、苕麻脱胶、皮革、化纤浆粕工业	100	300	1000
		石油化工工业(包括石油炼制)	100	150	500
		城镇二级污水处理厂	60	120	—
		其他排污单位	100	150	500
11	氨氮 (mg/L)	医药原料药、染料、石油化工工业	15	50	—
		其他排污单位	15	25	—
13	磷酸盐(以P计)	一切排污单位	0.5	1.0	—

排入GB3838中III类水域(划定的保护区和游泳区除外)和排入GB3097中的二类海域的污水,执行一级标准。

排入GB3838中IV、V类水域和排入GB3097中三类海域的污水,执行二级标准。

排入设置二级污水处理厂的城镇排水系统的污水,执行三级标准

B、《地面水环境质量标准》(GB3838-88)。该标准对与城市污水处理厂出水有关的主要指标作了相应规定(见表1-2)。一般要通过数学模型对环境容量作出预测后,

才能求出允许的排放总量，从而确定处理程度和工艺流程。

地面水环境质量标准（GB3838—88）（摘录） 表 1-2

序号	参 数	I类	II类	III类	IV类	V类
9	硝酸盐（以 N 计）(mg/L)	10 以下	10	20	20	25
10	亚硝酸盐（以 N 计）(mg/L)	0.06	0.1	0.15	1.0	1.0
11	非离子氨 (mg/L)	0.02	0.02	0.02	0.2	0.2
12	凯氏氮 (mg/L)	0.5	0.5	1	2	2
13	总磷（以 P 计）(mg/L)	0.02	0.1（湖库 0.025）	0.1（湖库 0.05）	0.2	0.2
16	COD (mg/L)	15 以下	15 以下	15	20	25
17	BOD (mg/L)	3 以下	3	4	6	10

I类： 主要适用于源头水、国家自然保护区。

II类： 主要适用于集中式生活饮用水水源地一级保护区、珍贵鱼类保护区、鱼虾产卵场等。

III类： 主要适用于集中式生活饮用水水源地二级保护区、一般鱼类保护区及游泳区。

IV类： 主要适用于一般工业用水区及人体非直接接触的娱乐用水区。

V类： 主要适用于农业用水区及一般景观要求水域。

C、《海水水质标准》（GB3097—82）。目前污水排海工程按该标准控制达标，经环境容量预测确定污水处理厂的出水水质或排放总量。

海水中有毒物质最高容许浓度（摘录） 表 1-3

序号	项目名称	第一类	第二类	第三类
14	无机氮 (mg/L)	0.10	0.20	0.30
15	无机磷 (mg/L)	0.015	0.030	0.045

1. 第一类适用于保护海洋生物资源和人类的安全利用（包括盐场、食品加工、海水淡化、渔业和海水养殖等用水），及海上自然保护区。

2. 第二类适用于海水浴场及风景游览区。

3. 第三类适用于一般工业用水、港口水域和海洋开发作业区等。

D、《生活杂用水水质标准》（CJ25.1—89）。该标准是城市污水再生后回用于生活杂用水的水质标准。一般城市污水二级处理厂的出水需要再作深度处理后方能达标。

E、《农田灌溉水质标准》（GB5084—92）。当出水用于农灌时应执行该标准。但因农灌用水有季节性，污水处理工艺一般按排入水体的水质标准确定。

F、《农用污泥中污染物控制标准》（GB4284—84）。该标准适用于城市污水处理厂污泥用于农田时的控制标准。标准中规定生污泥须经高温堆肥或消化处理后才能施用于农田。

另外，回用于工业的水质，目前还没有国家标准。可参考国外标准和国家“八五”科技攻关成果，结合回用水用户对水质的要求来确定。

3. 处理程度与工艺选择

在进水水质水量特性、环境条件、允许的污染物排放总量（或出水水质浓度）确定以后，就可以据此确定污水处理的水质目标和处理程度，随后列出所有能够满足处理要求的工艺流程或方案，并从中初选出几种可行的处理工艺方案，通过全面技术经济比较后确定处理工艺流程和设计参数。

处理工艺方案的选择一般应体现以下几点：确保处理效果，运行稳定，首先要满足排放水体或回用对象对水质的要求；基建投资省，能耗和运行费低，占地面积少；近期适当利用水体环境容量；管理简单，最终污泥量少等。

值得注意的是，任何一种处理工艺方案的优点都是相对的，不可能十全十美。在确定处理工艺方案时，要因地制宜，结合当地条件和特点，有所侧重，尤其是排放与利用的结合，不同处理工艺的组合。例如在一个处理厂内，一部分采用强化一级处理加排海（江）工程；一部分采用二级处理后用于农田灌溉；还有一部分采用深度处理后回用于工业。要根据当地财力情况，充分考虑处理工艺的分期、分级实施。比如说，可以先采用一级处理或强化一级处理，以后再建二级处理，或一部分采用一级处理，另一部分采用二级处理（国内外均有先例）。污泥处理应根据污泥的出路（农用、填埋、排海等），确定是否需要消化处理。

1.1.2 氮磷污染与水质富营养化

1. 水质富营养化现象及主要成因

“富营养化”是湖泊分类与演化方面的概念。湖沼学家认为天然富营养化是水体衰老的一种表现。过量的植物性营养元素氮、磷排入水体会加速水体的富营养化过程。富营养化水指的是富含磷酸盐和某些形式的氮素的水。在光照和其它环境条件适宜的情况下，水中所含的这些营养物质足以使水体中的藻类过量生长，在随后的藻类死亡和随之而来的异养微生物代谢活动中，水体中的溶解氧很可能被耗尽，造成水体质量恶化和水生态环境结构破坏，这就是所谓的水体富营养化现象。

大多数水质富营养化实质上是水体生态系统受污染造成的。生态系统在尚未受到污染的情况下，系统内的生物群体中存在着多种多样的种群。各个种群之间关系密切，而又各有自己的特性，例如，有的微生物是致病菌，有的是捕食的，也有被食的，有共生的，也有自生的，每个种群的个体数量不会太多，但较为稳定。因此，可以认为在未受污染的系统中，生物群体的特点之一是种类多而每个种的个体少。生态系统受到污染以后，群体中的种数便逐渐减少，而能存活下来的每个种的个体数却在增加。当污染极严重时，往往只能看到少数几种生物，它们的个体数目急剧增加。在富营养化的水体中所看到的正是这种生物群体种类减少，个体剧增的现象。生态系统受污染程度越高，系统中的种就越少。

藻类所需要的无机营养与植物相同，需求量大的元素包括碳、氮、磷、氢、氧。 CO_2 是最主要的碳源，氮源是氨氮和硝酸盐，磷源是溶解性磷酸盐类，氢和氧由水提供。藻类需要的微量元素有锰、硫、氯、铁、铜和其它许多金属元素，这类元素一般在水中都是大量存在的。许多藻类不能合成一些称为生长因子的必要的代谢物。在实验室培养时，需要人工加入这些物质，而在天然水域中，这类生长因子则由其它生物有机体的分泌物或降解产物提供，如大部分海生的硅藻需要 B_{12} ，海水中存在的这类维生素是由细菌所产生并分泌出来的。