

· 浑河中游水污染控制与水环境综合整治技术丛书 ·

北方城镇污水处理厂提标改造 及污泥处理处置技术与案例

单连斌等◇编著



科学出版社

浑河中游水污染控制与水环境综合整治技术丛书

北方城镇污水处理厂提标改造 及污泥处理处置技术与案例

单连斌 等 编著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以我国北方辽河流域重点城市——沈阳为样本，全面系统地对该地区城镇污水处理及污泥处置技术进行了分析和评价，同时对污泥处理的新型工艺也做了一定的介绍。

全书内容共分为8章，在主要对沈阳市污水排放、污泥产生、污水处理厂建设运行及污泥处置状况调查研究的基础上，总结沈阳市城镇污水处理厂存在的问题、剖析原因，并提出城镇污水处理厂提标改造及污泥处理处置的技术方案，同时提供了相关的实际工程案例。

本书可为环境科学与工程、市政工程等领域的工程技术人员、科研人员提供参考，也可供高等院校相关专业师生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

北方城镇污水处理厂提标改造及污泥处理处置技术与案例 / 单连斌等编著. —北京: 科学出版社, 2018.5

(浑河中游水污染控制与水环境综合整治技术丛书)

ISBN 978-7-03-057169-4

I. ①北… II. ①单… III. ①城市污水处理-污水处理厂-污泥处理-案例-沈阳 IV. ①X703

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第076313号

责任编辑: 王喜军 / 责任校对: 彭珍珍
责任印制: 吴兆东 / 封面设计: 壹选文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

http://www.sciencep.com

北京厚诚则铭印刷科技有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年5月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2018年5月第一次印刷 印张: 11 1/4

字数: 225 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

作者名单

单连斌 邵春岩 祁国恕

张磊 孔德勇 赵勇娇

王允妹 魏春飞 侯海盟

陈明 戴桓 刘舒

前 言

我国北方多处于干旱、半干旱地区，水资源较为贫乏。随着工业化、城镇化深入发展，北方地区水污染严重、水生态恶化问题突出，严重制约着该地区经济社会的可持续发展。为解决这一问题，政府和社会在环境保护方面的投入力度不断增大，修建了一大批城镇污水处理厂。但是部分污水处理厂由于建设时间早，处理能力已经无法达到国家的相关标准和要求。同时，随着污水处理厂的建设，剩余污泥产量也在快速增多，如果不能妥善处理将会造成二次污染。所以有必要对城镇污水处理厂进行提标改造，并对剩余污泥进行妥善处理处置。

为确保污水厂提标改造和污泥处理处置技术可行、经济合理，我们依托国家水体污染控制与治理科技重大专项“浑河中游工业水污染控制与典型支流治理技术及示范研究”（2012ZX07202-005）开展了调研分析工作，以期为我国北方地区的城镇污水处理厂提标改造和剩余污泥处置提供经验和依据，实现环境、经济、社会的协调可持续发展。

沈阳地处辽宁省中部，交通网络发达，地理位置优越，是连接我国东北和华北地区的重要枢纽城市。同时，沈阳也是我国北方缺水最为严重的城市之一，人均水资源量远低于全国平均值。因此，沈阳可以作为北方地区城镇的典型样本。本书在全面调查、分析、总结沈阳城镇污水处理厂提标改造及污泥处理处置现状的基础上编写而成，适用于指导沈阳及其周边，乃至我国整个北方地区污水处理厂提标改造和污泥处理处置工程的设计、施工及运行，也可以为我国其他地区的城镇污水处理厂提供参考。

本书参考了科研、设计及教学领域同行的文献著作，也使用了相关单位提供的工程实例资料。作者谨在此一并表示衷心的感谢。

由于时间仓促，加之作者水平有限，书中难免存在疏漏之处，敬请读者批评指正。

作 者

2017年4月

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 我国城市污水处理厂发展概况	1
1.2 我国城市污水处理厂存在的主要问题	3
1.2.1 区域间发展不平衡	3
1.2.2 再生水利用不充分	4
1.2.3 运行管理水平低	5
1.2.4 污泥处置率低	5
1.3 城市污水处理厂提标改造和污泥处置的必要性	6
1.3.1 城镇建设快速发展	6
1.3.2 排放标准日益严格	6
第 2 章 城镇污水处理厂常用工艺及技术	8
2.1 污水处理工艺	8
2.1.1 预处理工艺	8
2.1.2 生化处理工艺	12
2.1.3 深度处理工艺	23
2.2 污泥处理处置技术	26
2.2.1 污泥浓缩脱水技术	26
2.2.2 厌氧消化技术	33
2.2.3 好氧堆肥技术	37
2.2.4 污泥干化技术	41
2.2.5 新型污泥处理技术	45
第 3 章 沈阳市污水排放状况及预测	48
3.1 沈阳市水体环境质量现状	48
3.1.1 辽河沈阳段水质状况	48
3.1.2 浑河沈阳段水质状况	49
3.1.3 城市集中式饮用水水源地水质状况	49
3.2 沈阳市城镇污水排放状况	49
3.2.1 城区污水排放系统状况	49

3.2.2	郊区县城排水系统概况	51
3.3	沈阳市城镇污水排放预测	51
3.3.1	污水排放量预测方法	52
3.3.2	系统动力学模型建立	53
3.3.3	参数及变量选择	54
3.3.4	污染物排放量预测结果	55
3.3.5	污染物排放特征预测结果	56
3.3.6	对污水处理厂及环境产生的压力	57
第4章	沈阳市城镇污水处理厂状况	58
4.1	沈阳市已建成污水处理厂的规模、分类及布局	58
4.1.1	沈阳市污水处理厂分类原则	58
4.1.2	污水处理厂构成及规模	58
4.1.3	沈阳市污水处理厂的布局	60
4.2	污水处理厂工艺状况	61
4.3	污水处理厂运行与达标情况	63
4.3.1	污水处理厂排放标准	63
4.3.2	沈阳市污水处理厂运行情况	65
4.3.3	污水排放达标情况	66
4.4	主要问题及成因	66
4.4.1	基础设施落后	66
4.4.2	设计缺陷	66
4.4.3	进水水质复杂	66
4.4.4	设备陈旧、老化	67
4.4.5	污泥处置	67
第5章	城镇污水处理厂提标改造的难点及原则	68
5.1	主要水质指标达标难点及原因分析	68
5.1.1	化学需氧量和生化需氧量	69
5.1.2	悬浮固体	69
5.1.3	总氮和氨氮	70
5.1.4	总磷	71
5.2	提标改造的基本原则	71
5.3	提标改造技术路线选择	73
5.3.1	强化源头控制	73
5.3.2	重视非工程措施的运用	73
5.3.3	优先选用生物处理工艺	73

第 6 章 大型污水处理厂升级改造案例	75
6.1 沈阳市北部污水处理厂提标改造工程	75
6.1.1 原工艺流程及设计进出水水质	75
6.1.2 原有主要构筑物及运行状况	76
6.1.3 问题评估	77
6.1.4 提标升级改造方案	78
6.1.5 费用效益分析	82
6.2 沈阳市仙女河污水处理厂提标改造工程	83
6.2.1 原工艺流程及设计出水水质	83
6.2.2 原有主要构筑物及运行状况	84
6.2.3 问题评估	86
6.2.4 提标升级改造方案	87
6.2.5 费用效益分析	92
6.3 沈阳市沈水湾污水处理厂提标改造工程	92
6.3.1 原工艺流程及设计进出水水质	93
6.3.2 原有主要构筑物及进水状况	93
6.3.3 问题评估	94
6.3.4 提标升级改造方案	95
6.3.5 费用效益分析	97
6.4 沈阳市西部污水处理厂提标改造工程	98
6.4.1 原工艺流程及设计进出水水质	98
6.4.2 原有主要构筑物及进出水状况	99
6.4.3 问题评估	100
6.4.4 提标升级改造方案	101
6.4.5 费用效益分析	104
第 7 章 中小型城镇污水处理厂提标改造案例	105
7.1 法库县团山子污水处理有限公司提标改造工程	105
7.1.1 工程概况	105
7.1.2 原工艺设计及主要构筑物	105
7.1.3 主要问题	106
7.1.4 工程改造	107
7.2 沈阳新城子污水处理厂应急改造工程	108
7.2.1 工程概况	108
7.2.2 原工艺设计及主要构筑物	109
7.2.3 主要问题	111

7.2.4	工程改造	111
7.3	康平县城北污水处理厂应急改造工程	113
7.3.1	工程概况	113
7.3.2	原工艺设计及主要构筑物	114
7.3.3	主要问题	115
7.3.4	工程改造	115
第 8 章	沈阳市污泥处理现状及资源化利用分析	118
8.1	沈阳市污泥处理现状	118
8.2	沈阳市污泥产生情况及特性分析	118
8.2.1	污泥泥质基本特征	118
8.2.2	污泥脱水性能及含水率	119
8.2.3	安全风险评价	120
8.3	沈阳污水处理厂污泥脱水现状调查	121
8.3.1	污水处理厂分类解析	121
8.3.2	污水处理厂污泥脱水电耗及药耗分析	122
8.3.3	污泥脱水单元成本分析	124
8.3.4	沈阳污泥深度脱水重要性分析	126
8.3.5	小结	127
8.4	沈阳市污泥处理处置面临的问题	128
8.5	沈阳市污泥资源化利用分析	129
8.5.1	污泥土地利用	131
8.5.2	污泥资源化技术	136
8.6	沈阳市污泥处理处置工程	142
8.6.1	沈阳市污泥生物干化处理处置工程	142
8.6.2	沈阳市祝家(堆存)污泥处理处置工程	148
参考文献		155
附录		158

第1章 概 述

1.1 我国城市污水处理厂发展概况

我国人均水资源相对短缺，2000年我国水资源人均占有量仅为 2200m^3 ，而世界水资源人均占有量为 7113m^3 ，我国水资源人均占有量不到世界人均占有量的 $1/3$ 。同时，我国的水环境污染问题较为严重。因此，为改善水环境和促进城市的可持续发展，污水处理厂的建设和完善日益受到政府的重视。

我国城市污水处理事业开始于1921年，上海首先建立了北区污水处理厂；1926年又建立了西区和东区污水处理厂，总处理能力为 $3.45\text{万 m}^3/\text{d}$ (张辰,2008)。此后，我国城市污水处理厂的发展速度一直较为缓慢。截至1978年，我国污水处理厂只有37座，总处理能力为 $64\text{万 m}^3/\text{d}$ 。

改革开放以来，随着经济社会的迅速发展，我国的污水处理事业也进入了快速发展时期。如图1-1所示，1996~2015年我国城镇污水处理厂的数量和处理能力呈现快速增长趋势，尤其是最近十余年来，发展尤其迅猛。

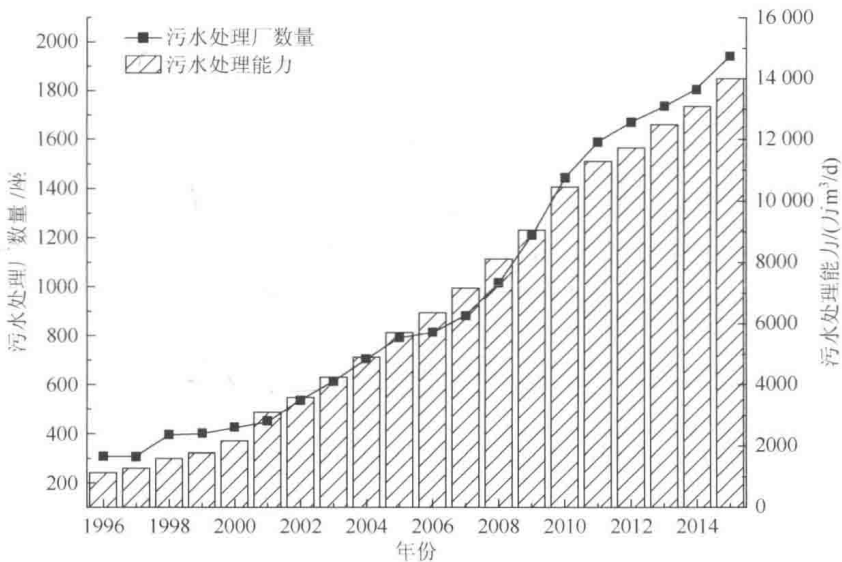


图 1-1 1996~2015 年城镇污水处理厂数量及处理能力

1996~2015年二十年间,我国污水处理厂数量从309座增加至1944座,污水处理能力从1153.13万 m^3/d 增长至14038.40万 m^3/d ,污水处理率更是从23.62%升至91.90%。

《“十二五”全国城镇污水处理及再生利用设施建设规划》中提出:优先支持目前尚无污水集中处理设施的设市城市和县城加快建设污水处理设施。

我国城镇污水处理设施已基本普及到县城。由图1-2可知,截至2015年,我国县城污水处理厂已达1599座,处理能力达到2999万 m^3/d ,污水处理率达到了85.22%(中华人民共和国住房和城乡建设部,2016)。

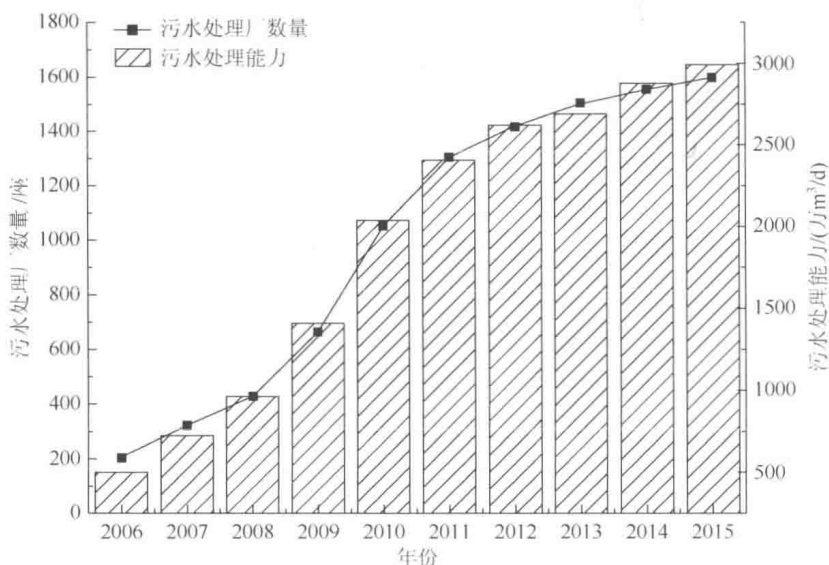


图 1-2 2006~2015 年全国县城城镇污水处理厂数量及处理能力

在县城建成的污水处理厂中,平均处理能力为1.88万 m^3/d ,其中,中、小规模污水处理厂占主导地位。

随着城市污水处理厂数量的增加和规模的扩大,污水处理的“副产物”剩余污泥的数量也在增长。截至2009年,我国每年产生的干污泥量就已高达130万t。由于我国城市化进程加快,每年的剩余污泥量还在增加,预计到2020年左右,我国干污泥年产量将达到800万t。

目前,国内污水处理厂剩余污泥常用的处置方法主要有填埋、农用、焚烧,其中以填埋、农用为主,另有部分污泥未进行任何处置,随意弃置堆放。我国的污泥处置仍存在较大的环境安全隐患,同时资源化利用率较低,整体技术落后于发达国家。今后,我国的污泥处置应该仍然向资源化和无害化方向继续努力。

1.2 我国城市污水处理厂存在的主要问题

尽管我国的城市污水处理厂在数量、规模和工艺上都发展较快,但是与发达国家相比,我国城市污水处理厂在建设、运行、管理和污泥处理处置等方面仍有诸多不足,主要问题有如下几方面。

1.2.1 区域间发展不平衡

《“十二五”全国城镇污水处理及再生利用设施建设规划》以“填平补齐”为原则提出建设重点由东部城市和主要的大中城市逐步向中西部、东北老工业基地、中小城市和县城倾斜(刘江帆,2016)。

表 1-1 为我国北方地区各省份的城市污水处理情况。由表可知,北京、天津和山东污水处理厂建设标准最高,污水处理厂 100%具备二、三级处理能力;东北地区、中部地区污水处理设施建设与北京、天津的差距较小,其中辽宁的污水处理厂数量和处理能力仅低于山东,污水处理率位居第三。由于经济发展相对落后,人口密度较低,西部地区在污水处理设施建设方面与其他省份仍存在一定差异,其中青海的污水处理厂数量和规模明显低于其他省份。

表 1-1 我国北方各省份城市污水处理情况(2015 年)

省份	污水处理厂数量/座		处理能力/(万 m ³ /d)		处理量/万 m ³	二、三级处理量/万 m ³	污水处理率/%
	总数量	二、三级处理数量	总处理能力	二、三级处理能力			
北京	51	51	442.5	442.5	141 105	141 105	88.4
天津	49	49	283.3	283.3	85 235	85 235	91.5
河北	76	57	551.6	431.4	156 851	123 517	95.3
山西	38	22	240.2	149.8	64 265	43 050	89.2
内蒙古	41	35	212.0	189.5	55 003	50 727	93.1
辽宁	93	75	787.1	642.1	220 385	181 798	93.1
吉林	41	21	330.0	211.8	77 493	54 693	90.4
黑龙江	63	39	347.4	256.3	84 337	64 643	84.4
陕西	37	23	335.5	263.0	88 756	72 965	91.6
甘肃	22	17	136.4	119.1	33 083	28 271	89.6
青海	11	10	41.9	41.3	11 143	10 924	60.0
宁夏	13	9	71.0	52.5	22 436	17 531	93.1
新疆	39	28	235.3	188.7	58 241	47 010	83.4
山东	161	161	994.1	994.1	289 050	289 050	95.8

1.2.2 再生水利用不充分

我国淡水资源人均占有量在世界上排第 121 位，属于缺水型国家，北方地区降水量较少，蒸发量较大，多数城市缺水严重，属于干旱型缺水（张建云，2013）；在水资源相对丰沛的南方地区则多出现水质型缺水。然而，我国污水处理厂处理后的中水利用率较低，大多直接排入自然水体，造成了水资源的浪费。

由表 1-2 可知，我国再生水利用率（再生水利用量/污水处理总量）整体较低，除北京、贵州、云南外，其他省份再生水利用率均不足 30%。再生水生产能力较高的省份多为经济发达地区，如山东、江苏、北京等；而西部地区，甘肃、陕西等严重缺水的省份的再生水生产能力和利用率则普遍低于其他地区。这说明虽然我国污水处理设施建设的地区差异在逐步缩小，但是在水资源利用方面的差异仍然较大。

表 1-2 我国再生水生产利用情况（2015 年）

省份	污水处理总量/万 m ³	再生水		再生水利用率/%
		生产能力/(万 m ³ /d)	利用量/万 m ³	
北京	145 189	226.3	95 714	65.9
天津	86 030	30.3	2 146	2.5
河北	159 274	194.7	36 443	22.9
山西	64 891	90.8	8 038	12.4
内蒙古	55 003	77.1	8 601	15.6
辽宁	226 685	125.2	22 498	9.9
吉林	78 072	30.0	821	1.1
黑龙江	103 566	28.4	5 578	5.4
上海	213 946	—	—	—
江苏	387 207	319.7	65 305	16.9
浙江	247 695	65.7	8 180	3.3
安徽	145 634	38.0	1 467	1.0
福建	106 819	11.0	117	0.1
江西	78 041	2.8	796	1.0
山东	289 341	430.5	72 154	24.9
河南	182 194	118.5	10 429	5.7
湖北	189 957	47.7	15 197	8.0

续表

省份	污水处理总量/万 m ³	再生水		再生水利用率/%
		生产能力/(万 m ³ /d)	利用量/万 m ³	
湖南	153 025	14.8	1 437	0.9
广东	628 706	77.4	7 447	1.2
广西	117 426	0.2	—	—
海南	23 798	12.2	1 260	5.3
重庆	91 887	14.6	854	0.9
四川	164 938	17.2	5 562	3.4
贵州	46 706	69.0	23 061	49.4
云南	77 763	86.8	29 689	38.2
西藏	2 478	—	—	—
陕西	88 779	71.5	8 618	9.7
甘肃	37 040	24.0	2 782	7.5
青海	11 143	2.6	701	6.3
宁夏	25 822	20.3	1 400	5.4
新疆	59 196	69.4	8 648	14.6

注：未统计香港、澳门、台湾。

1.2.3 运行管理水平低

我国许多城镇污水处理厂，尤其是中小型污水处理厂，在运行管理中存在诸多问题：

- (1) 没有建立科学严密的污水处理操作规程和管理制度。
- (2) 运行操作人员培训不足，不能正确地运行工艺、维护保养设备，造成设施、设备故障频繁。
- (3) 专业技术人员缺乏，不能针对日常运行中出现的问题、故障提出解决方案。

水环境质量的改善最终要依靠污水处理厂的正常运转来实现，而运行管理直接关系到设施处理效能的发挥。因此，应注重提高污水处理厂的运行管理水平，完善运行管理体系。

1.2.4 污泥处置率低

我国在城市环境保护工作中高度重视污水处理，而对污泥污染防治的重要性

认识不足。这导致城市污水处理厂剩余污泥处置率较低，污泥随意外运、堆放和简单填埋造成了严重的环境问题。

另外，由于污泥处理技术多处在起步阶段，难以对处理技术的效果进行追踪检验，再加上“重水轻泥”的认识误区，使得针对污泥处理的投资不足。部分污水处理厂没有完善的污泥处理设备，建有污泥处理设备的污水处理厂也可能因运行费用较高难以正常运行。

1.3 城市污水处理厂提标改造和污泥处置的必要性

1.3.1 城镇建设快速发展

随着我国城镇化水平不断提高，城镇的规模、人口也不断增长。图 1-3 为我国 2006~2015 年的城市人口、面积变化情况。十年间，我国城区人口增加了 6419.1 万，增长率为 18.5%；城区面积增加了 25 242km²，增长率为 15.2%。为了满足城镇居民对环境质量的要求，除了需要新建污水处理厂外，对于已建成的污水处理厂也要根据城市功能区划和服务人口的变化进行提标改造。同时，对污泥也应进行妥善处置，避免对城市环境产生破坏。

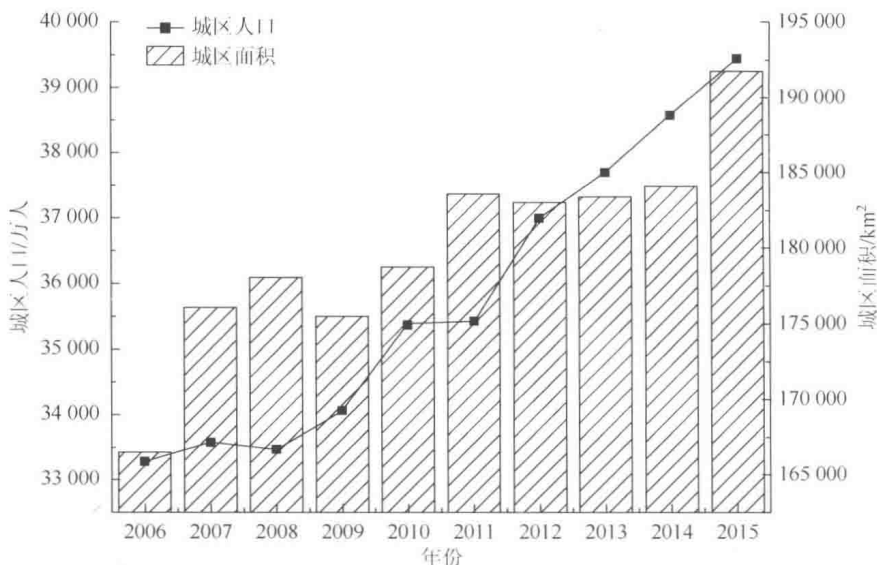


图 1-3 2006~2015 年我国城市人口、面积

1.3.2 排放标准日益严格

我国第一个污染物排放标准是 1973 年由全国第一次环境保护工作会议审查

通过的《工业“三废”排放试行标准》(GBJ 4—1973)。随着我国城镇化和工业化进程的加快及由此引发的环境污染问题日益严重,国家又陆续颁布实施了新的排放标准。1998年,新修订的《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)正式实施;2002年,国家环境保护总局和国家质量监督检验检疫总局联合发布了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)。2007年10月1日,针对污泥处置的《城镇污水处理厂污泥泥质》(CJ 247—2007)、《城镇污水处理厂污泥处置分类》(CJ/T 239—2007)、《城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化用泥质》(CJ 248—2007)和《城镇污水处理厂污泥处置 混合填埋泥质》(CJ/T 249—2007)开始实施。

排放标准在发展完善过程中,控制指标不断增加,排放限值也日益严格,这些都要求城镇污水处理厂进行升级改造,并对剩余污泥进行处理处置,以达到排放标准。

第2章 城镇污水处理厂常用工艺及技术

2.1 污水处理工艺

2.1.1 预处理工艺

1. 格栅

格栅是由一组平行的金属栅条或筛网制成的框架，倾斜安装在污水渠道、泵房集水井的进水口或污水处理厂的端部，用于截留污水中较粗大的漂浮物或悬浮物，如纤维、碎皮、毛发、木屑、果皮、蔬菜、塑料制品等，保护后续管道、设备，减轻后续处理构筑物的处理负荷，并使之正常运行。

按形状，格栅可分为平面格栅和曲面格栅两种。按栅条净间隙，可分为粗格栅（50~100mm）、中格栅（10~40mm）、细格栅（3~10mm）三种（张自杰，2000）。平面格栅与曲面格栅都可以做成粗、中、细三种。

被格栅截留的物质称为栅渣，按清渣方式，又可分为人工清渣和机械清渣两种。清渣方式一般按格栅栅渣量而定。人工清渣格栅适用于截留污染物量较少的小型污水处理厂。为了方便人工作业，避免清渣过程中栅渣回落入水中，格栅安装角度以 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 为宜，但需要较大的占地面积。当栅渣量大于 $0.2\text{m}^3/\text{d}$ 时，为改善劳动和卫生条件，都应采用机械清渣格栅。机械清渣格栅，除转鼓式格栅除渣机外，其余安装角度一般为 $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 。

城镇污水处理厂常见的机械格栅除渣机的类型及特点列举如下。

（1）钢丝绳牵引式：适用范围广、深度范围大；移动式适用于宽大格栅，固定式适用于中、小型格栅；维护检修方便。

（2）回转式：通常设置在粗格栅之后，作为中格栅。该类型除渣机结构简单、运行可靠、检修方便。

（3）高链式：用于深度较浅的渠道，一般作中、小格栅使用；使用寿命长，水下无运行部件，易于维修保养。

（4）阶梯式：典型的细格栅，适用于井深较浅，宽度不大于2m的场合。结构合理，维护保养方便；独特的阶梯式清污原理，可避免杂物卡阻及缠绕。

（5）转鼓式：集截污、除渣、输送、压榨四种功能于一体的细格栅，结构紧凑；全不锈钢结构，耐腐蚀性和强度较高；但是设备价格较高。