

# 城市污水厂 污泥处理与资源化

谷晋川 蒋文举 雍毅 主编



CHENGSHI  
WUSHUICHANG  
WUNI CHULI YU  
ZIYUANHUA



化学工业出版社

# 城市污水厂 污泥处理与资源化

谷晋川 蒋文举 雍毅 主编



化学工业出版社

· 北京 ·



本书主要介绍城市污水厂污泥处理与资源化的政策与法规标准、城市污水厂污泥来源与组成、城市污水厂污泥处理与资源化的基本方法、城市污水厂污泥减量化技术、污泥预处理、污泥热化学处理、污泥生物处理、污泥土地利用、污泥材料利用、污泥填埋处置等内容，并配合各种污泥处理技术的讲解进行了相关的应用实例介绍。

本书可供城市污水处理厂的管理人员、技术人员、工人学习使用，也可作为环境工程专业高年级本科生和环境工程研究生的教学参考书使用。

# 城市污水厂污泥处理与资源化

## 谷晋川 蒋文举 主编

### 图书在版编目 (CIP) 数据

城市污水厂污泥处理与资源化/谷晋川, 蒋文举, 雍毅主编. —北京: 化学工业出版社, 2008. 6

ISBN 978-7-122-03068-9

I. 城… II. ①谷…②蒋…③雍… III. ①城市-污泥处理②城市-污泥利用 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 083978 号

责任编辑: 满悦芝  
责任校对: 陶燕华

文字编辑: 刘莉琦  
装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装订: 三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 15 字数 386 千字 2008 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 29.80 元

版权所有 违者必究

# 前 言

随着我国城镇化进程的加快，城市污水的产生量越来越多，而构建和谐社会，要求改善环境，提高水环境质量，建设污水处理厂是其有效途径之一。伴随着城市污水处理率的不断提高，必将产生大量的污泥。城市污水污泥的成分复杂，由多种微生物形成的菌胶团与其吸附的有机物和无机物组成的集合体，含有水分、难降解的有机物、重金属、盐类以及少量的病原微生物和寄生虫等，如不加处理或处置不当，不仅占用大量的耕地，带来环境污染，而且还造成资源浪费，因此，如何将产生量大、成分复杂的城市污水污泥进行处理处置，使其减量化、稳定化、无害化、资源化，已经成为全球广泛关注的课题之一。

为了推动我国城市污水污泥处理处置与资源化进程，国家城市污水处理及资源化工程技术研究中心（筹）组织编写了这本书。全书主要介绍城市污水厂污泥处理与资源化的政策与法规标准、城市污水厂污泥来源与组成、城市污水厂污泥处理与资源化的基本方法、城市污水厂污泥减量化技术、污泥预处理、污泥热化学处理、污泥生物处理、污泥土地利用、污泥材料利用、污泥填埋处置等内容。

本书由谷晋川、蒋文举、雍毅主编。参加编写的单位有四川大学、西华大学、四川省环境保护科学研究院、四川省水处理及资源化工程技术研究中心、西南交通大学等单位，编写人员为：第一章张进；第二章谷晋川、代健；第三章杨志山；第四章蒋文举、林松；第五章谷晋川、侯锋；第六章蒋文举、杨爱丽、蔺丽丽；第七章雍毅、孙孝龙；第八章邱忠平；第九章魏文韞；第十章雍毅。

本书参考了一些科研、设计、教学以及生产工业同行的资料，也得到了相关企业和设计单位提供的工程实例基础资料，编者谨在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不足和疏漏之处，敬请同行专家和广大读者批评指正。

编 者

2008年7月

# 目 录

<b>第一章 城市污水厂污泥处理与资源化政策与法规标准</b> .....	1
<b>第一节 城市污水厂污泥排放状况</b> .....	1
一、城市污水处理状况 .....	1
二、城市污水厂污泥排放状况 .....	3
<b>第二节 城市污水厂污泥危害</b> .....	4
一、污泥对水体环境的影响 .....	4
二、污泥对土壤环境的影响 .....	5
三、污泥对大气环境的影响 .....	6
<b>第三节 城市污水厂污泥处理与资源化的政策法规</b> .....	7
一、污泥处理与资源化技术政策 .....	7
二、污泥处理与资源化法规与标准 .....	7
三、国外污泥处理处置政策与法规 .....	9
<b>第四节 城市污水厂污泥的环境标准</b> .....	10
一、城市污水厂污泥的排放标准 .....	10
二、城市污水厂污泥农用标准 .....	11
三、城市污水厂污泥建材利用的有关标准与规范 .....	14
<b>第二章 城市污水厂污泥来源与组成</b> .....	18
<b>第一节 城市污水厂污泥来源与分类</b> .....	18
一、城市污水厂污泥来源 .....	18
二、城市污水厂污泥分类 .....	18
<b>第二节 城市污水厂污泥产生量</b> .....	19
一、影响城市污水厂污泥产生的因素 .....	19
二、城市污水厂污泥产生量 .....	19
<b>第三节 城市污水厂污泥成分与特性</b> .....	20
一、污泥物理性质 .....	20
二、污泥化学性质 .....	22
三、污泥生化性质 .....	24
<b>第四节 城市污水厂污泥及污泥气体的分析</b> .....	25
一、污泥理化特性测定 .....	26
二、污泥中的成分测定 .....	26
三、污泥中重金属含量测定 .....	34
四、污泥消化气体测定 .....	45
<b>第三章 城市污水厂污泥处理与资源化基本方法</b> .....	48
<b>第一节 城市污水厂污泥处理与资源化技术原则</b> .....	48
一、减量化 .....	48
二、稳定化 .....	48

三、无害化 .....	48
四、资源化 .....	48
第二节 城市污水厂污泥处理与资源化基本方向 .....	49
一、资源化利用 .....	49
二、焚烧 .....	50
三、填埋 .....	51
第三节 城市污水厂污泥处理与利用技术单元组成 .....	51
一、污泥减量 .....	51
二、污泥预处理 .....	53
三、污泥热化学处理 .....	55
四、污泥生物处理 .....	55
五、污泥土地处理 .....	56
六、污泥材料利用 .....	56
七、污泥填埋处理 .....	57
第四节 污泥处理与资源化处理现状 .....	57
一、我国污泥处理与利用现状 .....	57
二、国外污泥处理与利用现状 .....	58
<b>第四章 城市污水厂污泥减量化技术</b> .....	61
第一节 剩余污泥减量化原理与方法 .....	61
一、不同生物处理法的剩余污泥产量比较 .....	61
二、剩余污泥减量化原理 .....	61
三、剩余污泥减量方法 .....	62
第二节 腐殖活性污泥法 .....	65
一、基本原理 .....	65
二、工艺过程 .....	65
第三节 解偶联剩余污泥减量技术 .....	65
一、基本原理 .....	65
二、工艺过程 .....	66
第四节 臭氧剩余污泥减量技术 .....	69
一、臭氧氧化的基本原理 .....	69
二、工艺过程 .....	72
第五节 超声波剩余污泥减量技术 .....	72
一、基本原理 .....	72
二、声化学反应器 .....	73
三、工艺过程 .....	74
第六节 加热法剩余污泥减量技术 .....	74
一、基本原理 .....	74
二、工艺流程 .....	75
第七节 生物捕食剩余污泥减量技术 .....	75
一、基本原理 .....	75
二、工艺过程 .....	78
第八节 应用实例 .....	80
一、腐殖活性污泥法 .....	80
二、臭氧氧化 .....	81
三、超声波 .....	81

四、加热法 .....	81
五、生物捕食 .....	82
<b>第五章 污泥预处理</b> .....	<b>83</b>
<b>第一节 概述</b> .....	<b>83</b>
一、污泥中水分存在形式 .....	83
二、污泥脱水方法 .....	83
<b>第二节 浓缩</b> .....	<b>84</b>
一、重力浓缩 .....	84
二、气浮浓缩 .....	86
三、离心浓缩及其他浓缩法 .....	89
<b>第三节 调理</b> .....	<b>90</b>
一、淘洗调理 .....	90
二、温差调理 .....	90
三、化学调理 .....	91
四、微生物絮凝调理 .....	95
五、超声波调理 .....	96
<b>第四节 脱水</b> .....	<b>97</b>
一、机械脱水基本原理 .....	97
二、压滤脱水 .....	97
三、离心脱水 .....	100
四、真空过滤脱水 .....	100
五、电渗透脱水 .....	101
<b>第五节 干化和干燥</b> .....	<b>103</b>
一、自然干化 .....	103
二、污泥干燥 .....	105
<b>第六节 石灰稳定化</b> .....	<b>109</b>
一、石灰稳定基本原理 .....	109
二、石灰稳定工艺 .....	110
三、石灰稳定工艺控制参数 .....	112
<b>第七节 辐射能处理技术</b> .....	<b>113</b>
一、辐射处理 .....	113
二、微波能 .....	114
三、等离子体 .....	116
<b>第八节 应用实例</b> .....	<b>117</b>
一、污泥浓缩 .....	117
二、污泥脱水 .....	118
三、污泥干燥 .....	119
<b>第六章 污泥热化学处理</b> .....	<b>123</b>
<b>第一节 热化学处理基本原理和分类</b> .....	<b>123</b>
一、热化学处理基本原理 .....	123
二、热化学处理技术分类 .....	124
<b>第二节 污泥焚烧</b> .....	<b>126</b>
一、污泥焚烧原理 .....	126
二、污泥焚烧影响因素 .....	128

三、污泥焚烧效果评价 .....	128
四、污泥焚烧工艺流程 .....	129
五、污泥焚烧工艺设备 .....	130
第三节 湿式氧化 .....	133
一、湿式氧化原理 .....	133
二、湿式氧化主要影响因素 .....	134
三、湿式氧化工艺 .....	135
四、湿式氧化应用特性 .....	136
第四节 污泥直接热化学液化处理技术 .....	137
一、污泥直接热化学液化原理 .....	137
二、工艺过程 .....	138
第五节 污泥热解 .....	138
一、污泥热解原理 .....	138
二、污泥热解工艺 .....	139
三、污泥热解影响因素 .....	140
第六节 熔融 .....	142
一、工艺过程 .....	142
二、主要设备 .....	143
第七节 应用实例 .....	143
一、污泥焚烧 .....	143
二、污泥热解 .....	145
<b>第七章 污泥生物处理 .....</b>	<b>148</b>
第一节 生物处理原理和分类 .....	148
一、生物处理原理 .....	148
二、生物处理体系 .....	148
第二节 污泥厌氧消化 .....	149
一、厌氧消化原理 .....	149
二、厌氧消化主要影响因素 .....	151
三、厌氧消化工艺 .....	153
第三节 污泥好氧消化 .....	157
一、好氧消化理论与机制 .....	157
二、好氧消化主要影响因素 .....	157
三、好氧消化工艺 .....	158
第四节 污泥堆肥化 .....	161
一、堆肥化原理 .....	162
二、好氧堆肥化过程 .....	163
三、堆肥化主要影响因素 .....	164
四、堆肥化工艺 .....	165
五、堆肥工艺所需设备 .....	168
六、工艺过程控制指标体系 .....	168
七、堆肥产品质量要求 .....	169
第五节 应用实例 .....	169
一、厌氧消化 .....	169
二、好氧消化 .....	171
三、好氧堆肥 .....	171



<b>第八章 污泥土地利用</b> .....	174
<b>第一节 污泥土地利用概述</b> .....	174
一、污泥土地利用的意义 .....	174
二、污泥土地利用的依据 .....	175
三、污泥土地利用的生态价值 .....	176
四、污泥肥料的分类 .....	177
<b>第二节 污泥土地利用的风险与控制</b> .....	178
一、重金属污染及其控制 .....	178
二、病原体的污染控制 .....	181
三、有机污染物的控制 .....	183
四、高浓度氮、磷和盐分的控制 .....	183
<b>第三节 污泥土地利用的科学使用</b> .....	184
一、污泥肥料的施用方法 .....	184
二、控制污泥的施用量 .....	185
三、选择合适的施用场地 .....	186
四、定期监测施用土壤 .....	186
五、完善技术规范 .....	187
<b>第四节 污泥土地利用的方式</b> .....	188
一、农业利用 .....	188
二、园林绿化 .....	190
三、林地利用 .....	191
四、退化土地的修复 .....	192
<b>第五节 应用实例</b> .....	192
一、农田应用 .....	192
二、园林绿化工程 .....	193
三、退化森林土地修复 .....	194
<b>第九章 污泥材料利用</b> .....	196
<b>第一节 烧结材料</b> .....	196
一、污泥砖 .....	196
二、人工轻质材料 .....	200
<b>第二节 水泥制品</b> .....	200
一、基本原理 .....	200
二、工艺过程 .....	201
三、产品性能 .....	203
<b>第三节 生化纤维板</b> .....	204
一、基本原理 .....	205
二、工艺过程 .....	205
三、产品性能 .....	206
<b>第四节 陶粒</b> .....	206
一、基本原理 .....	207
二、工艺过程 .....	208
三、产品性能 .....	211
<b>第五节 吸附材料</b> .....	211
一、基本原理 .....	211
二、工艺过程 .....	212

三、产品性能 .....	213
<b>第十章 污泥填埋处置 .....</b>	<b>215</b>
<b>第一节 污泥填埋原则与方法 .....</b>	<b>215</b>
一、污泥填埋原则 .....	215
二、污泥填埋方法 .....	216
<b>第二节 污泥单独填埋 .....</b>	<b>216</b>
一、沟填 .....	217
二、掩埋 .....	218
三、堤坝式填埋 .....	219
四、污泥单独填埋工艺及要求 .....	221
<b>第三节 生活垃圾卫生填埋场混合填埋 .....</b>	<b>222</b>
一、污泥、垃圾混合体填埋 .....	223
二、污泥用作垃圾处理场的覆土 .....	224
<b>第四节 应用实例 .....</b>	<b>225</b>
一、成都市污泥填埋场 .....	225
二、上海老港废弃物处置场 .....	225
三、上海市白龙港污水处理厂污泥填埋场 .....	226
<b>参考文献 .....</b>	<b>227</b>

# 第一章 城市污水厂污泥处理与资源化政策与法规标准

近年来，随着国民经济的迅速发展和人民生活水平的逐步提高，城市生活污水的处理程度迅速提高，在污水得到净化的同时，污水中的污染物质作为污泥被分离出来，也就是说污泥是污水处理厂净化污水时产生的副产物，是由有机残片、细菌菌体、无机颗粒、胶体等组成的极其复杂的非均质体。1995年，世界水环境组织（Water Environment Federation, WEF）为了准确反映绝大多数污水污泥具有可资源化利用价值，将污水污泥（Sewage Sludge）更名为“生物固体”（Biosolids）。为了进一步提高污泥利用的科学性和安全性，美国国家研究委员会（United State National Research Council, USNRC）将“生物固体”的定义重新修订为：经过处理过的、符合503号文件中土地利用标准或其他类似标准的污泥。

城市污水污泥的处理与资源化已经成为世界瞩目的环境问题，世界各国对污泥处置问题给予了高度重视，制订了相关的污泥处理、处置和资源化的政策、法规和标准，使污泥处理处置按规范进行。如美国1993年2月颁布了《有机固体废物（污泥部分）处置规定》（EPA503标准），欧盟于2000年修订的86/278/EEC标准，也对城市污水厂污泥的管理和处置提出了综合性要求，对重金属、病原菌和有机污染物等指标均有严格的限制。《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》规定了固体废物污染环境的防治基本原则和方法，是我国固体废物处理领域中的指导性法律。目前我国制定的与污泥处置相关的标准有《农用污泥中污染物控制标准》（GB 4284—84）、《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918—2002）、《城镇污水处理厂污泥泥质》（CJ 247—2007）和《城市污水处理厂污水污泥排放标准》（CJ 3025—93）等，与之相关的法律法规正在积极制定或贯彻落实中。

## 第一节 城市污水厂污泥排放状况

### 一、城市污水处理状况

随着城市污水排放量的增加，以及为完成国家环境保护目标，我国污水处理技术与污水处理产业近几年发展较快。据统计，我国城市污水年排放量、污水年处理量及污水处理率逐步提高，具体可见表1-1。从表1-1可知，我国污水处理率2007年已达到59%，比2000年增长20多个百分点。我国城市污水量在未来二十年还会有较大增长，根据预测，到2015年城市污水处理率将超过60%，污泥产量将达到1.17亿~1.95亿立方米。

从20世纪80年代至今，城市污水处理厂污水处理工艺技术得到了长足的发展，表1-2为对我国部分城市污水处理厂的调查情况，可以看出，目前中国污水处理厂采用的工艺基本涵盖了世界各国的先进工艺，采用较多的仍然是活性污泥法及其变种工艺，如传统活性污泥法、氧化沟、SBR、A<sup>2</sup>/O、A-B法，分别占到总数的29%、32%、11%、12%、5%，其他工艺包括生物滤池、土地处理等。从地区来看，南方采用传统活性污泥法、SBR、A<sup>2</sup>/O的

表 1-1 我国城市污水处理状况

年份	年排放总量/(10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> /a)	处理量/(10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> /a)	污水处理率/%
1991	299.7	44.5	14.86
1992	301.8	52.2	17.29
1993	311.3	62.3	20.02
1994	303.0	51.8	17.10
1995	350.3	69.0	19.69
1996	352.8	83.3	23.62
1997	351.4	90.8	25.84
1998	356.3	105.3	29.56
1999	355.7	113.6	31.93
2000	331.8	113.6	31.93
2001	328.6	119.7	36.43
2002	337.6	134.9	39.97
2003	349.2	148.0	42.39
2004	356.0	163.0	45.78
2005	610.2	295.3	48.40
2006	399.0	223.5	56.00
2007	433.1	255.5	59.00

注：部分数据引自《中华人民共和国国民经济和社会发展统计公报》。

表 1-2 我国城市污水处理厂污水处理工艺情况

项 目	传统	氧化沟	SBR	A <sup>2</sup> /O	A-B 法	其他	总计
南方/座	17	13	7	8	2	6	53
北方/座	12	19	4	4	3	5	47
小计/座	29	32	11	12	5	11	100
比例/%	29	32	11	12	5	11	100

略多于北方，而采用氧化沟和 A-B 法的则略少于北方，但总体来讲，南北方差异不大。

污水排放标准的要求决定了污水处理程度，根据《中华人民共和国环境保护法》及环境要求，我国于 1988 年出台了《污水综合排放标准》，该标准对污水厂出水的 COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、氨氮、磷做出了规定，要求处理系统不仅去除碳源有机物，还要去除氮、磷类无机盐，并于 1996 年对该标准进行了修订。修订后的标准提高了对有机物、氨氮的去除要求。2003 年又开始实行修订的新排放标准，对有机物、氨氮的要求进一步提高，并增加了对 TN 和粪大肠菌群的排放要求。纵观 1988 年到 2003 年三次标准的修改实施，对有机物、悬浮物、氮处理的要求逐渐提高，标准的提高，相应地要求污水处理工艺技术也要提高。李俊奇等对国内 87 座污水厂进水水质和出水水质进行了调查，统计分析结果见表 1-3、表 1-4。总体来看，大部分处理厂的可生化性较好，BOD<sub>5</sub>、COD、SS 三项出水指标可达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)中的二级、一级 (B)、一级 (A) 标准，分别占有数据水厂总数的 85%、43.7%和 8.0%。



表 1-3 我国城市污水处理厂进水水质情况

BOD <sub>5</sub>		COD		SS		NH <sub>4</sub> -N		TP	
范围 /(mg/L)	污水厂 数/座	范围 /(mg/L)	污水厂 数/座	范围 /(mg/L)	污水厂 数/座	范围 /(mg/L)	污水厂 数/座	范围 /(mg/L)	污水厂 数/座
(0,100]	22	(0,100]	2	(0,100]	10	(0,10]	2	(0,1]	3
(100,200]	46	(100,200]	23	(100,200]	35	(10,20]	11	(1,2]	7
(200,300]	10	(200,300]	14	(200,300]	19	(20,30]	25	(2,3]	13
(300,400]	6	(300,400]	17	(300,400]	10	(30,40]	13	(3,4]	7
>400	2	(400,500]	13	(400,500]	3	(40,50]	6	(4,5]	7
		(500,600]	5	>500	3	>50	6	(5,6]	7
		(600,700]	8					>6	14
		>700	5						
无数据	1			无数据	7	无数据	24	无数据	29

表 1-4 我国城市污水处理厂出水水质情况

标准级别	BOD <sub>5</sub>		COD		SS		NH <sub>4</sub> -N		TP	
	范围 /(mg/L)	污水厂 数/座	范围 /(mg/L)	污水厂 数/座	范围 /(mg/L)	污水厂 数/座	范围 /(mg/L)	污水厂 数/座	范围 /(mg/L)	污水厂 数/座
—(A)	≤10	27	≤50	43	≤10	20	≤5	25	≤1	34
—(B)	≤20	62	≤60	56	≤20	61	≤8	30	≤1.5	43
二	≤30	79	≤100	78	≤30	78	≤25	64	≤3	55
三	≤50	84	≤120	83	≤50	83			≤5	59
超标	>50	0	>120	2	>50	2	>25	6	>5	1
无数据		3		2		2		17		27

尽管我国的污水处理技术水平已接近发达国家,与国际先进水平相比,我国城市污水处理事业从数量、规模、处理率、普及率以及机械化、自动化程度上,还存在着较大的差别。据资料介绍,美国是目前世界上污水处理厂最多的国家,其中78%为二级生物处理厂;英国共有处理厂约8000座,几乎全部是二级生物处理厂;日本城市污水处理厂约630座,其中二级污水处理厂及高级污水处理厂占98.6%;瑞典是目前污水处理设施最普及的国家,下水道普及率99%以上,平均5000人1座污水处理厂,其中91%为二级污泥处理厂。

按照《城市污水污染控制技术政策》要求,城区人口达50万以上的城市,必须建立污水处理设施;在重点流域和水资源保护区,城区人口在50万以下的中小城市及村镇,应依据当地水污染控制要求,建设污水处理设施。

## 二、城市污水厂污泥排放状况

城市污水厂污泥的产生量受污水水质、污水处理量、处理工艺、处理水平、污泥脱水程度等因素影响。根据我国污水处理量,余杰等人计算了我国城市污泥产量,具体结果见表1-5。由表1-5可知,到2007年全国污水处理率59.00%,污泥产量为 $511.1 \times 10^4$ t干污泥/a。污水处理厂排放污泥量体积庞大,而且产量大约以10%的速度在逐年增加。如对污泥不加处理,会对环境造成严重的污染。因此,如何合理地处理城市污泥以及污泥的资源化利用问题显得越来越重要。

表 1-5 我国城市污水厂污泥产量情况

年份	污水年排放总量 ( $10^8 \text{m}^3/\text{a}$ )	污水处理量 ( $10^8 \text{m}^3/\text{a}$ )	污水处 理率/%	污泥产量/( $10^4 \text{t}/\text{a}$ )	
				含水率为 80%	干污泥
1991	299.7	44.5	14.86	445	89
1992	301.8	52.2	17.29	522	104.4
1993	311.3	62.3	20.02	623	124.6
1994	303.0	51.8	17.10	518	103.6
1995	350.3	69.0	19.69	690	138
1996	352.8	83.3	23.62	833	166.6
1997	351.4	90.8	25.84	908	181.6
1998	356.3	105.3	29.56	1053	210.6
1999	355.7	113.6	31.93	1136	227.2
2000	331.8	113.6	31.93	1136	227.2
2001	328.6	119.7	36.43	1197	239.4
2002	337.6	134.9	39.97	1349	269.8
2003	349.2	148.0	42.39	1480	296
2004	356.0	163.0	45.78	1630	326
2005	610.2	295.3	48.40	2953	590.6
2006	399.0	223.5	56.00	2235	447
2007	433.1	255.5	59.00	2555	511

## 第二节 城市污水厂污泥危害

城市污水厂污泥成分复杂，通常污泥具有：含有机物多，性质不稳定，易腐化发臭；重金属、有毒有害污染物的含量高，污水处理过程中许多有害物质富集到污泥中；含水率高，不易脱水；含较多植物营养素，有肥效；含病原菌及寄生虫卵等特性，其具体组成见图 1-1。由于污水厂污泥产量很大，若任意堆放不进行有效地处理处置将对环境和人类以及动物健康造成较大的危害。

### 一、污泥对水体环境的影响

目前，城市污水处理厂普遍采用活性污泥法及其各种变形工艺，进厂污水中的大部分污染物是通过生物转化为污泥去除的，因此，城市污水厂污泥中含有覆盖面很广的各类污染物质，其中包括各种重金属、微量的高毒性有机物（PCBs、AOX 等）、大量的各种致病微生物（致病细菌、病毒体、寄生虫卵、有害昆虫卵等），以及一般的耗氧性有机物和植物养分（N、P、K）等。并且污水处理厂均有大量工业废水进入（部分企业有着自己的污水处理厂，先进行预处理再排放），经过污水处理，污水中重金属离子约有 50% 以上转移到污泥中，这些污泥如果不进行有效处理就作为农业利用，将对地表水和地下水造成污染，严重的可导致环境污染事故。我国城市污水处理厂污泥中重金属含量情况见表 1-6。

同时，污泥的集中堆置，不仅将严重影响堆置地附近的环境卫生状况（臭气、有害昆

虫、含致病生物密度大的空气等),也可能使污染物由表面径流夹带和向地下径流的渗透引起更大范围的水体污染问题。

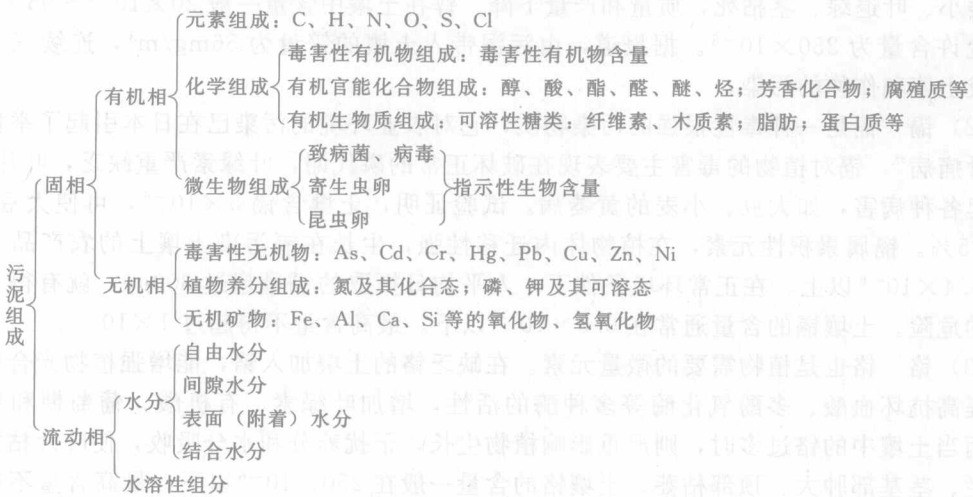


图 1-1 城市污水污泥的组成

表 1-6 我国城市污水处理厂污泥中重金属含量情况

元素名称	$\omega/(mg/kg)$	元素名称	$\omega/(mg/kg)$
Hg	4.63~138	As	12.5~560
Cd	3.6~24.5	Zn	300~1119
Cr	9.2~540	Cu	55~460
Pb	85~2400	Ni	3.6~24.5

## 二、污泥对土壤环境的影响

污泥中含有大量的 N、P、K、Ca 及有机质,这些有机养分和微量元素可以明显改变土壤理化性质,增加氮、磷、钾含量,同时可以缓慢释放许多植物所必需的微量元素,具有长效性。因此,污泥是有用的生物资源,是很好的土壤改良剂和肥料。污泥用作肥料,可以减少化肥施用量,从而降低农业成本,减少化肥对环境的污染。但是,由于污水种类繁多,性质各异,各污水处理厂的污泥在化学成分和性质上又很不相同,由许多工厂排出的污水合流而成的城市污水处理厂的污泥成分就更加复杂。在污泥中,除含有对植物有益的成分外,还可能含有盐类、酚、氰、3,4-苯并芘、镉、铬、汞、镍、砷、硫化物等多种有害物质。当污泥施用量和有害物质含量超过土壤的净化能力时,就可能毒化土壤,危害作物生长,使农产品质量降低,甚至在农产品中的残留物超过食用卫生标准,直接影响人体健康。因此,对污泥施肥应当慎重。

造成土壤污染的有害物质,主要是重金属元素。农田受重金属元素污染后,表现为土壤板结、含毒量过高、作物生长不良,严重的甚至没有收成。污泥中的重金属元素,根据它们对农业环境污染程度而分为两类。一类对植物的影响相对小些,也很少被植物吸收,如铁、铅、硒、铝。另一类污染比较广泛,对植物的毒害作用重,在植物体内迁移性强,有些对人体的毒害大,如镉、铜、锌、汞、铬等。

(1) 锌 锌是植物正常生长不可缺少的重要微量元素,锌在植物体内的生理功能是多方

面的。缺乏锌时，生长素和叶绿素的形成受到破坏，许多酶的活性降低，破坏光合作用及正常的氮和有机酸代谢，而引起多种病害。如玉米的花白叶病、柑橘的缩叶病。过量的锌，使植株矮小、叶退绿、茎枯死，质量和产量下降。锌在土壤含量一般  $20 \times 10^{-6} \sim 95 \times 10^{-6}$ ，最高允许含量为  $250 \times 10^{-6}$ 。据报道，由污泥带入土壤的锌量为  $56 \text{mg/m}^3$ ，连续三十年不会造成土壤和作物的污染。

(2) 镉 镉是一种毒性很强的污染物质，它对农业环境的污染已在日本引起了举世闻名的“骨痛病”，镉对植物的毒害主要表现在破坏正常的磷代谢，叶绿素严重缺乏，叶片退绿，并引起各种病害，如大豆、小麦的黄萎病。试验证明，土壤含镉  $5 \times 10^{-6}$ ，可使大豆受害，减产 25%。镉属累积性元素，在植物体内迁移性强，生长在镉污染土壤上的农产品含镉量可达  $0.4 \times 10^{-6}$  以上。在正常环境条件下，人平均日摄入的镉量超过  $300 \mu\text{g}$ ，就有得“骨痛病”的危险。土壤镉的含量通常在  $0.5 \times 10^{-6}$  以下。最高含量不得超过  $1 \times 10^{-6}$ 。

(3) 铬 铬也是植物需要的微量元素。在缺乏铬的土壤加入铬，能增强植物光合作用能力，提高抗坏血酸、多酚氧化酶等多种酶的活性，增加叶绿素、有机酸、葡萄糖和果糖含量。而当土壤中的铬过多时，则严重影响植物生长，干扰养分和水分吸收，使叶片枯黄、叶鞘腐烂、茎基部肿大、顶部枯萎。土壤铬的含量一般在  $250 \times 10^{-6}$  以下，最高含量不得超过  $500 \times 10^{-6}$ ，六价铬含量达  $1000 \times 10^{-6}$  时，可造成土壤贫瘠，大多数植物不能生长。

(4) 汞 汞是植物生长的有害元素。汞可使植物代谢失调，降低光合作用，影响根、茎叶和果实的生长发育，过早落叶。汞和镉一样属于累积性元素。据报道，当土壤含可溶性汞量达  $0.1 \times 10^{-6}$  时，稻米中含汞量可达  $0.3 \times 10^{-6}$ 。土壤汞的含量在  $0.2 \times 10^{-6}$  以下，最高含量不得超过  $0.5 \times 10^{-6}$ 。

(5) 铜 铜是植物的必需元素。土壤缺乏铜时，破坏植物叶绿素的生成，降低多种氧化还原酶的活性，影响碳水化合物和蛋白质代谢，能引起尖端黄化病，尖端萎缩病等症状。过量的铜产生铜害，主要表现在根部，新根生长受到阻碍，缺乏根毛，植物根部呈珊瑚状。土壤含铜量一般在  $10 \times 10^{-6} \sim 50 \times 10^{-6}$ ，可溶性铜的最高允许量为  $125 \times 10^{-6}$ 。据报道，土壤含铜  $200 \times 10^{-6}$ ，将使小麦枯死。

### 三、污泥对大气环境的影响

污泥中含有部分带臭味的物质，如硫化物、氨、腐胺类等，任意堆放会向周围散发臭气，对大气环境造成污染，不仅影响厂区周围居民的生活质量，也会给厂内工作人员的健康带来危害。同时，臭气中的硫化氢等腐蚀性气体会严重腐蚀厂内设备，缩短其使用寿命。目前，国家颁布了《城市污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)，对污水处理厂大气污染物的排放做出了限制，该标准中厂界废气排放最高允许浓度见表 1-7。

该标准规定位于《环境空气质量标准》(GB 3095—1996) 中一类区的所有污水处理厂均执行一级标准，二、三级相应类推。同时规定，污水处理厂四周应建设有一定防护距离的绿化带，必须对臭气采取综合治理措施，控制排放浓度，确保环境质量。

表 1-7 厂界废气排放最高允许浓度/( $\text{mg/m}^3$ )

控制项目	一级标准	二级标准	三级标准
氨	1.00	1.50	4.00
硫化氢	0.03	0.06	0.32
臭气浓度	10	20	60
甲烷(厂区最高体积分数)	0.50	1.00	1.00



### 第三节 城市污水厂污泥处理与资源化的政策法规

污水处理厂大量的投入运行,污泥处置成为污水处理、环境整治过程中的新课题。据报道,大部分污水处理厂缺少污泥处置设施,污泥尚未得到安全处置,因此必须及时建立污泥处置的相关法规政策,来规范污泥的处置,解决环境问题;同时,应完善管网排放户和污泥安全处置的监管体系,并逐步吸收和推广污泥消化、焚烧等无害化技术。

为了规范污泥的处理和处置,正积极制定污泥处理处置的相关政策和法规。

#### 一、污泥处理与资源化技术政策

对污泥的处理处置、环境保护监督管理工作,应在相应的法律规范下进行。

《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》第74条和第75条规定,污泥被视为固体废物,并根据该法律进行处理处置。

《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》第34条和《排污费征收标准管理办法》第3条规定,对没有建成工业固体废物储存、处置设施或场所,或者工业固体废物储存、处置设施或场所不符合环境保护标准的,按照排放污染物的种类、数量计征固体废物排污费。对以填埋方式处置危险废物不符合国务院环境保护行政主管部门规定的,按照危险废物的种类、数量计征危险废物排污费。

2000年5月29日,建设部、国家环保总局、科技部联合发布了《城市污水处理及污染防治技术政策》(城建[2000]124号),对污泥的处理处置又提出了总体技术要求。其中的第5条“污泥处理”部分明确规定:“城市污水处理产生的污泥,应采用厌氧、好氧和堆肥等方法进行稳定化处理,也可卫生填埋方法予以妥善处理。”该政策第7条“二次污染防治”部分规定:“城市污水处理厂经过稳定化处理后的污泥,用于农田时不得含有超标的重金属和其他有毒有害物质。卫生填埋处理应严格防止污染地下水”。在该政策中还明确规定:日处理能力在 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上的污水处理设施产生的污泥,宜采取厌氧消化工艺进行处理,产生的沼气应综合利用;日处理能力在 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以下的污水处理设施产生的污泥,可进行堆肥处理和综合利用。该技术政策还对污泥可能造成的二次污染进行了特别说明,指出进行农用的稳定化污泥不得含有超标的重金属和其他有毒有害物质。

现有的政策说明国家已经从法律法规的角度开始重视污泥的处理处置,主要侧重于技术层面,应进一步提出指标性的污染控制要求。

#### 二、污泥处理与资源化法规与标准

在法制社会,应有一个较为健全、科学的法规与标准指导污泥的处理与资源化,使之有章可循、有法可依。对于污泥的法规与标准可从污泥排放、污泥农用、污泥填埋、污泥干化和焚烧、污泥建材利用、污泥二次处理等方面说明。

污泥排放的标准包含《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)、《城市污水处理厂污水污泥排放标准》(CJ 3025—93)、《医疗机构水污染物排放标准》(GB 18466—2005)和《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995)等,对污泥脱水、污泥稳定等提出了控制指标。

污泥农用方面《农用污泥中污染物控制标准》(GB 4284—84)病原菌指标空白,具体的操作规范和管理措施欠缺,满足不了使用的要求,起不到控制污染的作用;GB 18918—