

环境工程系列图书

固体废物治理技术丛书

# 农村固体废物 处理处置与资源化技术

NONGCUN GUTI FEIWU CHULI CHUZHI  
YU ZIYUANHUA JISHU

王洪涛 陆文静 编著

中国环境科学出版社



环境工程系列图书——固体废物治理技术丛书

# 农村固体废物处理处置 与资源化技术

王洪涛 陆文静 主编

中国环境科学出版社·北京

## 图书在版编目 (CIP) 数据

农村固体废物处理处置与资源化技术 / 王洪涛, 陆文静主编. —北京: 中国环境科学出版社, 2006.10

(环境工程系列图书——固体废物治理技术丛书)

ISBN 7-80209-394-5

I. 农… II. ①王…②陆… III. ①农村—固体废物—废物处理②农村—固体废物—废物综合利用  
IV. X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 102040 号

责任编辑 刘大激 赵惠芬 季苏园  
责任校对 刘凤霞  
封面设计 龙文视觉

---

出版发行 中国环境科学出版社  
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)  
网 址: <http://www.cesp.cn>  
联系电话: 010-67112765 (总编室)  
发行热线: 010-67135108

印 刷 北京市联华印刷厂  
经 销 各地新华书店  
版 次 2006 年 10 月第一版  
印 次 2006 年 10 月第一次印刷  
印 数 1—2000  
开 本 787×1092 1/16  
印 张 17  
字 数 380 千字  
定 价 36.00 元

---

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

# 前言

农村固体废物包括农村生活垃圾、农业废物、畜牧养殖废物、林业废物、渔业废物、农村建筑废物等多个方面。农村固体废物是重要的环境污染源和疾病传播源，它以固态物质、渗出液态物质、释放气态物质以及传播疾病等方式污染环境，危害人体健康。在工业污染源不断得到有效控制之后，广大农村地区的面源污染问题凸现，已经成为我国未来环境污染控制的重点领域之一。随着农村经济的发展和农业结构与耕作方式的改变，农村固体废物呈现产生量增加、组分复杂化、污染程度加剧的趋势。在面源污染负荷中，农村固体废物占有重要比例，是最主要的环境污染源，也是应该控制的重点。如在滇池流域开展的面源污染控制技术研究成果显示，固体废物对滇池的面源污染负荷超过面源总负荷的一半。

农村固体废物一方面是重要的环境污染源和疾病传播源，另一方面，其又是或含有重要的有价资源。农村固体废物中含有大量的有机物，如碳水化合物、脂肪、蛋白质等，是重要的工农业原料。大量产出的作物秸秆、畜禽粪便、林业废弃物等都可以通过饲料化、肥料化、燃料化、能源化等转化技术得到利用。不能利用的废物也需要得到环境无害化的处理处置。我国人口众多、资源有限、生态环境整体性脆弱的国情决定农村固体废物的处理处置和资源化是发展农村循环经济，建设社会主义新农村的重要内容。

然而我国农村地区固体废物污染控制技术研究起步很晚，且重视程度不够，技术积累不多，实践经验缺乏。适合我国农村地区的固体废物污染控制体系尚在探索之中。我国正在开展新农村建设，迫切需要有关农村固体废物处理处置与资源化技术的支撑。

本书以农村固体废物处理处置和资源化技术为主线，在收集大量国内外相关研究及应用资料的基础上，结合国家重大科技专项“滇池流域面源污染控制技术研究”等课题的研究成果和工程实践，较为全面地介绍了农村固体废物组成、特性、污染特征和适合处理处置技术和综合利用方法。

全书共由九个部分组成。

第一部分和第二部分介绍农村固体废物的来源、物理化学和生物学性质、污染负荷、管理法规和污染控制标准与规范，并通过案例介绍了农村固体废物的调查方法和管理方法。第三部分介绍农村固体废物物理化学处理技术，包括预处理技术，畜禽粪便的固液分离、干燥、除臭、饲料化等技术，农作物秸秆的压缩成型、还田、饲料化等技术。第四部分和第五部分详细讨论了农村固体废物的堆肥化处理技术，包括好氧堆肥处理技术原理，堆肥过程影响因素与控制条件，堆肥过程中物质的物理、化学和生物性质变化，固体床堆肥系统，静态固体床系统，竖流式、平流式和非流动式反应器堆肥系统，好氧堆肥工艺，堆肥过程的环境保护，堆肥产品的品质分析、控制和对植物疾病和虫害的抑

制方法等，最后介绍了农村固体废物堆肥的案例。第六部分讨论厌氧消化技术及应用，包括厌氧消化的基本原理，厌氧消化系统和工艺，秸秆和粪便厌氧产沼气等。第七部分介绍农村生活垃圾小型填埋场技术，侧重讨论了小型生物反应器填埋场技术的最新研究进展，包括好氧填埋技术和生物预处理技术，准好氧填埋技术，反应器填埋场的水分和渗滤液控制，小型填埋场的可持续使用与稳定垃圾的利用等。第八部分讨论秸秆气化技术，包括秸秆气化的原理和工艺，秸秆气的净化和秸秆热裂解技术。第九部分简单介绍了农村固体废物处理和利用的新兴技术，如利用蚯蚓处理农村固体废物，秸秆生产乙醇技术，有机废物生产单细胞蛋白简介等。

本书的第一部分由陆文静编写；第二部分由王洪涛编写；第三部分由赵岩、陆文静编写；第四部分和第五部分由张相锋、王洪涛、陆文静编写；第六部分由李冬、陆文静编写；第七部分由王洪涛和王昊编写；第八部分由王昊和赵岩编写；第九部分由司继涛、生骏、王志超编写。全书由王洪涛和陆文静统稿审核。在本书的编写过程中，清华大学环境科学与工程系固体废物处理处置与资源化研究所的老师提出了诸多宝贵意见；中国环境科学出版社为本书的编辑、审阅、修改倾注了大量的时间和精力，在此谨向他们致以诚挚的谢意。

由于编者的水平有限，错误和疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者  
2006年7月

# 目 录

1 农村固体废物及污染特征 .....	1
1.1 农村固体废物组成和特性 .....	2
1.1.1 生活垃圾 .....	2
1.1.2 养殖业固体废物 .....	4
1.1.3 种植业固体废物 .....	6
1.1.4 农村地膜污染 .....	8
1.1.5 建筑固体废物 .....	9
1.2 农村固体废物污染特征 .....	9
1.2.1 生活垃圾 .....	10
1.2.2 养殖业废物 .....	11
1.2.3 种植业废物 .....	13
1.3 农村固体废物特性 .....	15
1.3.1 农村固体废物的物理特性 .....	15
1.3.2 农村固体废物的化学特性 .....	16
1.3.3 农村固体废物的生物学特性 .....	20
1.4 农村固体废物调查及污染负荷分析示例 .....	21
1.4.1 示范区废物产生量调查方法 .....	22
1.4.2 示范区废物产生量调查结果 .....	22
1.4.3 示范区固体废物流及污染负荷分析 .....	27
2 农村固体废物管理体系 .....	29
2.1 农村固体废物管理相关的法律法规 .....	29
2.2 管理原则制度和与农村固体废物有关的规定 .....	30
2.2.1 基本原则与制度 .....	30
2.2.2 与农村固体废物有关的规定 .....	32
2.3 污染控制标准与规范 .....	33
2.3.1 标准与规范概述 .....	33
2.3.2 与畜禽养殖有关的标准与规范 .....	33
2.4 乡级农村固体废物管理案例 .....	35

3	农村固体废物物理化学处理技术	38
3.1	农村固体废物的预处理	38
3.1.1	压实技术	39
3.1.2	破碎技术	40
3.1.3	分选技术	42
3.2	畜禽粪便的物理化学处理	44
3.2.1	固液分离技术	45
3.2.2	干燥技术	45
3.2.3	除臭技术	46
3.2.4	饲料化技术	47
3.3	农作物秸秆的物理化学处理	48
3.3.1	秸秆预处理技术	48
3.3.2	秸秆压缩成型技术	50
3.3.3	秸秆直接还田技术	54
3.3.4	秸秆饲料化技术	54
4	好氧堆肥处理技术原理	57
4.1	堆肥的概念及其发展历史	57
4.1.1	堆肥的概念	57
4.1.2	堆肥技术的发展历史	58
4.1.3	我国堆肥技术发展状况	59
4.2	好氧堆肥处理技术原理	60
4.2.1	堆肥中的微生物学	61
4.2.2	堆肥中的生物化学变化	65
4.3	堆肥过程影响因素与控制条件	73
4.3.1	生物挥发性固体(BVS)	73
4.3.2	通风供氧	74
4.3.3	水分	75
4.3.4	温度	75
4.3.5	碳氮比	76
4.3.6	酸碱度(pH值)	76
4.3.7	堆体密度和颗粒粒度	77
4.3.8	堆体控制条件小结	77
4.4	堆肥过程的物质变化	78
4.4.1	堆肥过程物理性质的变化	78
4.4.2	堆肥过程化学性质的变化	81
4.4.3	堆肥过程生物学性质的变化	87

5	好氧堆肥系统与应用 .....	89
5.1	固体废物好氧堆肥系统 .....	89
5.1.1	非反应器搅拌固体床系统 .....	89
5.1.2	非反应器静态固体床系统 .....	91
5.1.3	反应器系统 .....	94
5.2	固体废物好氧堆肥工艺 .....	101
5.2.1	堆肥物料及其预处理 .....	101
5.2.2	一次发酵 .....	103
5.2.3	二次发酵 .....	107
5.2.4	后处理 .....	107
5.2.5	恶臭控制 .....	108
5.3	堆肥产品的品质分析和控制 .....	112
5.3.1	稳定度和腐熟度 .....	114
5.3.2	化学方法 .....	115
5.3.3	腐殖化参数 .....	120
5.3.4	物理方法 .....	120
5.3.5	植物试验 .....	121
5.3.6	微生物测试及其活性 .....	121
5.3.7	植物毒性 .....	124
5.4	堆肥物对植物疾病和虫害的抑制 .....	126
5.5	农户型有机废物回用系统 .....	129
5.6	我国农村固体废物堆肥化案例 .....	132
5.6.1	示范工程设计 .....	132
5.6.2	粪便与蔬菜废物和花卉秸秆共堆肥工程规模研究 .....	139
5.6.3	堆肥生产有机—无机复合肥工艺研究 .....	142
6	厌氧消化技术及应用 .....	148
6.1	厌氧消化的基本概念及其理论研究 .....	148
6.1.1	厌氧消化的基本概念 .....	148
6.1.2	发展简史 .....	148
6.1.3	厌氧消化的理论研究 .....	149
6.1.4	厌氧生物处理的影响因素 .....	152
6.2	厌氧消化系统及工艺 .....	153
6.2.1	厌氧消化工艺特点 .....	153
6.2.2	厌氧消化反应器 .....	155
6.2.3	常用厌氧消化工艺 .....	159
6.3	作物秸秆产沼及其他厌氧消化工艺 .....	163
6.3.1	秸秆厌氧消化产沼 .....	164
6.3.2	秸秆青贮技术 .....	165



6.3.3 秸秆微贮与生物秸秆饲料加工技术.....	165
6.4 养殖废物产沼及其他厌氧消化工艺 .....	166
6.4.1 畜禽粪便厌氧消化产沼 .....	166
6.4.2 畜禽粪便自然青贮发酵 .....	172
6.4.3 畜禽粪尿的综合利用工程技术.....	173
7 小型垃圾填埋场技术 .....	177
7.1 卫生填埋方法 .....	177
7.1.1 土地填埋过程 .....	177
7.1.2 填埋场的基本构成 .....	179
7.1.3 填埋场选址 .....	180
7.1.4 土地填埋的主要环境问题 .....	181
7.2 填埋场中物质变化的过程 .....	182
7.2.1 填埋场中的物理化学和生物作用.....	182
7.2.2 影响生物降解的因素 .....	185
7.3 填埋场的污染控制 .....	188
7.3.1 填埋场气体的特征和产生阶段.....	188
7.3.2 填埋气体的控制 .....	191
7.3.3 渗滤液的成分与控制 .....	195
7.4 小型生物反应器填埋场技术 .....	198
7.4.1 反应器填埋场 .....	198
7.4.2 准好氧填埋——福冈填埋方法.....	200
7.4.3 反应器填埋场的渗滤液 .....	202
7.5 小型填埋场的可持续使用与稳定垃圾的利用.....	206
7.5.1 填埋单元的重复使用 .....	206
7.5.2 稳定垃圾的性质 .....	207
7.5.3 稳定垃圾的利用 .....	209
8 秸秆气化技术 .....	211
8.1 秸秆气化原理 .....	211
8.1.1 秸秆气化的概念 .....	211
8.1.2 秸秆的特点 .....	211
8.1.3 秸秆气化的基本热化学过程.....	213
8.2 常见秸秆气化工艺 .....	214
8.2.1 气化炉的类型 .....	214
8.2.2 固定床气化炉 .....	215
8.2.3 流化床气化炉 .....	217
8.2.4 气化炉性能及主要参数 .....	219
8.3 秸秆燃气的净化 .....	220

8.3.1 常用的净化方法和设备 .....	221
8.3.2 机械式除尘器 .....	222
8.3.3 湿式分离器 .....	223
8.3.4 电捕焦油器 .....	224
8.3.5 过滤器 .....	225
8.3.6 焦油的催化裂解 .....	226
8.4 秸秆热裂解技术 .....	226
8.4.1 秸秆热裂解反应的基本过程 .....	227
8.4.2 秸秆热裂解工艺类型 .....	228
8.4.3 影响秸秆热裂解的因素 .....	228
8.4.4 秸秆干馏的工艺流程 .....	229
8.4.5 秸秆干馏气的应用 .....	230
9 其他农村固体废物资源化及资源化新技术 .....	232
9.1 蚯蚓在农村固体废物处理中的应用 .....	232
9.1.1 概述 .....	232
9.1.2 用于固体废物处理的蚯蚓品种 .....	233
9.1.3 蚯蚓处理废物的主要影响因素 .....	234
9.1.4 处理工艺 .....	235
9.1.5 蚯蚓的重金属富集效应 .....	237
9.1.6 应用实例 .....	237
9.1.7 存在的问题 .....	239
9.2 作物秸秆生产乙醇技术介绍 .....	239
9.2.1 原理及概述 .....	239
9.2.2 相关微生物及原料 .....	240
9.2.3 方法及工艺 .....	242
9.2.4 应用实例 .....	244
9.2.5 存在的问题 .....	245
9.3 有机废物生产单细胞蛋白简介 .....	245
9.3.1 原理及概述 .....	245
9.3.2 相关微生物以及生产原料 .....	246
9.3.3 方法及工艺 .....	247
9.3.4 应用实例 .....	247
9.3.5 存在的问题 .....	249
参考文献 .....	250

# 1

## 农村固体废物及污染特征

固体废物指在生产、生活和其他活动中产生的丧失原有价值或者虽未丧失利用价值但被抛弃或者放弃的固态、半固态和置于容器中的气态的物品、物质以及法律、行政法规规定纳入固体废物管理的物品、物质。但是，排入水体的废水和排入大气的气体除外。

固体废物有多种分类方法，既可根据其组分、形态、来源区分，也可就其危险性、可燃性等分别区分。

- (1) 根据其来源分为工业固体废物、农业废物、生活垃圾等；
- (2) 按其化学组成可分为有机废物和无机废物等；
- (3) 按其形态可分为固体废物（如玻璃瓶、报纸、塑料袋、木屑等）、半固体废物（如污泥、油泥、粪便等）和液态、气态废物（如废酸、废油与有机溶剂等）；
- (4) 按其污染特性可分为危险废物和一般废物；
- (5) 按其燃烧特性可分为可燃废物（如废纸、废塑料、废机油等）和不可燃废物（如金属、玻璃、砖石等）。

农村固体废物是按农村这一地域范畴界定的固体废物，从广义上说，农村固体废物是产生在农村的固体废物，包括了农村生活垃圾、农业废物、畜牧养殖废物、林业废物、渔业废物、农村建筑废物等多个方面。本书侧重讨论农村生活垃圾、种植业废物和畜禽养殖废物三方面。

随着农业产业化发展，农村生活水平的提高和人口的迅速增长，农村固体废物产生量大幅度增加。对城乡固体废物的区别对待，不仅使农村固体废物处于无序堆放的状态，还导致城市垃圾向农村转移，造成垃圾围城、土壤和水源污染、农村卫生条件恶化。农业废物和农村垃圾所造成的污染问题日趋严重。因此，2005年修订后的《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》中明确规定“从事种植、畜禽养殖、水产养殖等农业生产活动的单位和个人，应当对生产过程中产生的秸秆、畜禽粪便、淤泥以及其他农业固体废物进行综合利用；不能利用的，按照国家有关环境保护规定收集、贮存、处置，防止污染环境”，并明确“农村生活垃圾污染环境防治的具体办法，由地方性法规规定”，从而将农村固体废物的管理纳入法制轨道。

## 1.1 农村固体废物组成和特性

### 1.1.1 生活垃圾

生活垃圾 (municipal solid waste) 是指在日常生活中或者为日常生活提供服务的活动中产生的固体废物以及法律、行政法规规定视为生活垃圾的固体废物。农村生活垃圾是指在农村这一地域范畴内, 在日常生活中或者为日常生活提供服务的活动中产生的固体废物。其主要有两种类型, 一是农民日常生活所产生的垃圾, 主要来自农户家庭; 二是集团性垃圾, 主要来自学校、服务业、乡村办公场所和村镇商业、企业 (其所产生固体废物中的非工业固体废物部分) 等单位。生活垃圾的成分主要是厨余垃圾 (蛋壳、剩菜、煤灰等)、废织物、废塑料、废纸、陶瓷玻璃碎片、废电池, 以及其他废弃的生活用品等。影响农村生活垃圾成分的主要因素有村民生活水平、生活习惯、能源结构、地域、季节、气候等。国内一些省份的农村垃圾成分见表 1-1。

表 1-1 农村垃圾成分

单位: %

地区	有机成分	无机成分	玻璃	金属	塑料	纸张	其他
河南 1	14.9	68.1	3.97	0.3	6.96	5.48	
河南 2	19.1	69.9	1.76	0.13	6.43	2.67	
北京 1	20	70	1	1	4.7~7.0	0.2	0.8~3.1
北京 2	60	30	1	1	6.8	0.2	1
江苏 1	50	17	2	1	20	10	
江苏 2	42.5	37.3	1.6	0.3	9.2	6.2	2.9

农村生活垃圾主要由燃料灰渣、清扫泥沙、包装物及厨余等易腐的有机物组成。近年来废电池、废电器元件、无纺布类等一次性卫生用品有上升的趋势。从元素组成来讲, 绝大部分为碳, 其次为氧、氢、氮、硫等, 见表 1-2。与城市生活垃圾相比, 农村生活垃圾的剩菜饭较少, 而蔬菜废物和作物秸秆较多; 废品含量较低; 塑料制品、玻璃等较少; 纸张含量较低; 其中有毒物品 (如电池、油漆、化妆品等) 含量较少, 但可能含有残留农药; 灰渣成分中泥土的比例较高。典型农村生活垃圾的物理化学成分见表 1-3 (王洪涛等, 2003)。

表 1-2 一般生活垃圾化学元素组成及含量

组分	干基质量分数/%					
	碳	氢	氧	氮	硫	灰分
餐厨						
脂肪	73.0	11.5	14.8	0.4	0.1	0.2
混合食品废物	48.0	6.4	37.6	2.6	0.4	5.0
水果废物	48.5	6.2	39.5	1.3	0.2	4.2
肉类废物	59.6	9.4	24.7	1.2	0.2	4.9
纸制品						
卡片纸板	43.0	5.0	44.8	0.3	0.2	5.0
白报纸	49.1	6.1	43.0	<0.1	0.2	23.3
混合废纸	43.4	5.8	44.3	0.3	0.2	6.0
塑料						
混合废塑料	60.0	7.2	22.8			10.0
聚乙烯	85.2	14.2		<0.1	<0.1	0.4
聚苯乙烯	87.1	8.4	4.0	0.2		0.3
聚氨酯	63.3	6.3	17.6	6.0	<0.1	4.3
聚乙烯氯化物	45.2	5.6	1.6	0.1	0.1	2.0
玻璃、金属等						
玻璃和矿石	0.5	0.1	0.4	<0.1	-	98.9
混合金属	4.5	0.6	4.3	<0.1		90.5
橡胶、衣物						
混合废橡胶	69.7	8.7	-		1.6	20.0
混合废衣物	48.0	6.4	40.0	2.2	0.2	3.2

注：据解强等，2004

表 1-3 生活垃圾物理化学成分表（样品平均值）

项目	含水量/ %	密度/ (kg/m <sup>3</sup> )	粗有机物/ %	全氮 N/ %	全磷 P/ %	全钾 K/ %	全硫 S/ %	重金属/ (mg/kg)
含量	83.44	0.21	64.65	1.74	0.87	2.84	0.26	174.18

按 2000 年的统计，目前中国城市人均生活垃圾年产量为 350 kg，年增长率为 6%~10%，少数城市年增长率为 15%~20%，年产垃圾总量 1.4 亿 t。随着农民生活水平的不断提高，农村生活垃圾的产生量和堆积量也将逐年增加。由于农村生活垃圾缺少完整的基本数据，王洪涛等对滇池流域农村地区生活垃圾产生量的调查表明，当地村民人均垃圾产生量为 0.5 kg/d，约是城市生活垃圾人均产生量的一半（王洪涛等，2003）。按我国 2000 年第五次人口普查结果，我国农村人口数 80 739 万。以农村人均垃圾产生量 0.5 kg/d 估算，我国目前农村生活垃圾年产生量约 1.47 亿 t。随着国民经济的发展和农村地区生活水平的提高，垃圾产生量也呈增加趋势。虽然垃圾产生量巨大，但因农村人口居住分

散，没有专门的垃圾收集、运输、填埋及处理系统，加上农民环境意识相对较差，垃圾在田头、路旁、水边随意堆放，许多河道成了天然垃圾箱。堆放的垃圾中，不可降解的无机物长期存在，而易腐的有机部分在腐败菌作用下降解，产生渗滤液，是蚊蝇、细菌、病毒的孳生繁衍场所，也是水体直接或间接的重要污染源。关于城市生活垃圾的治理早已成为各方的焦点，而对农村生活垃圾污染问题关注得较少，但随着农村经济的快速发展，城乡差距的不断缩小，农村生活垃圾无论从成分还是污染危害与城市生活垃圾相比都越来越接近。随着对各类工业污染源的有效控制，使得农村农业面源污染日益上升为主要问题。

### 1.1.2 养殖业固体废物

养殖业固体废物包括在畜禽养殖过程中产生的畜禽粪便、畜禽舍垫料、废饲料、散落的毛羽等固体废物，以及含固率较高的畜禽养殖废水。主要污染物是粪便及其分解产物、伴生物和养殖废水。粪便及其分解产物主要包括固形有机物和恶臭气体物质两部分，前者包括碳水化合物、蛋白质、有机酸、酶类等，后者包括氨、硫化氢、挥发性脂肪酸、酚类、醌类、硫醇类等。伴生物包括病原微生物（细菌、真菌、病毒）和寄生虫卵等。养殖废水主要是指禽畜养殖过程中冲洗粪便的废水、各类禽畜尿液及其他生产过程中造成的废水。

改革开放以来，随着我国人民生活水平的不断提高，对肉类、奶类和禽蛋类的消费需求急剧增加，以每年 10% 以上的速度递增，由此带来了养殖业的迅速膨胀，特别是畜禽养殖业，由家庭副业逐步发展成为一个独立行业；畜禽场由农业区、牧区转向城镇郊区；饲养规模由分散走向集中。表 1-4 是 1998—1999 年全国牲畜存栏情况。这种封闭型集约化的养殖产业一方面使畜禽养殖业脱离了传统的种植业，改变了原有分散放养，四处收购，长途运输的模式；但另一方面，其产生的大量污水、粪便，局部地区难以用传统的还田方式处理，因此，对环境、饮用水源和农业生态造成了巨大危害。

表 1-4 1998—1999 年全国牲畜存栏情况

种 类	1999 年	1998 年	1999 年比 1998 年	
			增加数	增长率/%
牛/万头	126 998.3	12 435.4	262.9	2.1
猪/万头	43 019.8	42 256.3	763.6	1.8
羊/万只	27 925.8	26 903.5	1 022.3	3.8
肉牛/万头	3 766.2	3 587.2	179.1	5.0
肉猪/万头	51 977.2	50 215.1	1 762.2	3.5
肉羊/万只	18 820.4	17 279.6	1 540.8	38.9
家禽/万只	743 165.1	684 378.7	58 786.4	8.6

注：据边炳鑫等，2005

粪便是养殖业主要污染物，占整个排放污染物的比重最大。粪便排放量和动物种类、品种、性别、生长期、饲料甚至天气等诸多因素有关。单个动物每天排出粪便的数量为禽畜的粪便排泄系数，不同机构给出的粪便排泄系数有所不同，见表 1-5 和表 1-6。

表 1-5 日本农业公害手册提出的畜禽污染物排泄系数 单位: kg/(头·d)

畜禽名称	粪	尿	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Cr</sub>	NH <sub>3</sub> -N
奶牛	25	10	0.64	1.1	0.055
肉猪	3	6	0.20	0.27	0.004 5
肉鸡	1.0	-	0.0065	0.009	0.000 12

注: 据张克强等, 2004

表 1-6 环保总局推荐的畜禽污染物排泄系数 单位: kg/(头·a)

畜禽名称	粪	尿	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Cr</sub>	NH <sub>3</sub> -N	TP	TN
牛	7 300.0	3 650.0	193.70	248.2	25.15	10.07	61.10
猪	398.0	656.70	25.98	26.61	2.07	1.70	4.51
羊	950.0	-	2.70	4.40	0.57	0.45	2.28
家禽*	26.3	-	1.015	1.165	0.125	0.115	0.275

注: \*为鸡、鸭粪的平均值。据张克强等, 2004

随着畜禽养殖业规模的不断扩大, 畜禽数量的增多, 不可避免地带来大量的养殖业废物的排放, 使得环境承载力日益增大, 畜禽养殖业已经成为农村面源污染的主要因素。自 1999 年以来, 我国养殖业废物年产生量超过 19 亿 t, 是当年工业固体废物产生量的 2.4 倍。COD 含量高达 7 118 万 t, 流失量为 797.31 万 t, 畜禽污水中的高浓度 N、P 是造成水体富营养化的重要原因。从规模化养殖场的地区分布来看, 主要集中在河南、浙江、山东、广东、辽宁、福建、河北、广西、吉林、上海、北京等地区, 这些地区的规模化养殖场量占总量的 80%以上, 其中北京、上海、广东的总体规模化程度比较高, 见表 1-7。

表 1-7 1999 年全国畜禽养殖排放总量及环境负荷

地区	畜禽污染物产生量/ 10 <sup>4</sup> t		规模化养殖场产生量/ 10 <sup>4</sup> t		工业污染物产生量/ 10 <sup>4</sup> t		生活污水 COD/ 10 <sup>4</sup> t	每公顷耕地负荷 <sup>①</sup> 畜禽粪便水平/t	
	粪便量	COD	粪便量	COD	固体废物	COD		出现值	警报值
全国	190 366	7 118	21 535.6	805.19	78 441	691.74	697	14.64	0.49
北京	637.6	27.9	195.0	8.54	1 161.42	3.03	13.9	18.54	0.62
天津	303.6	12.2	62.8	2.52	407.16	4.72	11.8	6.25	0.21
河北	12 708	469.3	1 832.7	67.67	7 156.24	58.1	21.8	18.46	0.61
山西	4 192.9	139.1	317.0	10.52	6 242.17	29.2	17.6	9.14	0.30
内蒙古	6 460.7	170.9	683.4	18.08	2 510.29	11.99	12.0	7.88	0.26
辽宁	4 272.4	173.7	728.3	29.60	7 545.10	34.46	38.2	10.24	0.34
吉林	7 191.2	268.7	666.7	24.91	1 770.08	21.29	22.3	12.89	0.43
黑龙江	5 509.3	205.2	896.2	33.39	2 880.63	19.38	35.1	4.68	0.16

地区	畜禽污染物产生量/ 10 <sup>4</sup> t		规模化养殖场产生量/ 10 <sup>4</sup> t		工业污染物产生量/ 10 <sup>4</sup> t		生活污水 COD/ 10 <sup>4</sup> t	每公顷耕地负荷 <sup>①</sup> 畜禽粪便水平/t	
	粪便量	COD	粪便量	COD	固体废物	COD		出现值	警报值
上海	587.5	28.4	233.1	11.26	1 211.14	8.92	26.1	18.64	0.62
江苏	5 119.4	211.3	1 220.9	50.40	2 906.72	29.72	37.7	10.11	0.34
浙江	1 683.3	82.5	392.7	19.24	1 361.48	31.81	27.5	7.92	0.26
安徽	8 163.3	311.6	813.2	31.04	2 973.63	18.66	27.7	13.67	0.46
福建	2 267.2	104.1	425.6	19.54	1 589.54	14.95	17.0	15.80	0.53
江西	5 182.8	220.1	658.0	27.94	3 983.56	7.94	29.7	17.31	0.58
山东	18 960	667.6	2 319.1	81.56	5 166.06	55.00	48.4	24.66	0.82
河南	17 895	639.0	1 240.4	44.29	3 477.02	50.46	42.8	22.06	0.74
湖北	6 005.5	255.0	800.3	33.98	2 510.58	33.39	37.4	12.13	0.40
湖南	8 784.0	388.2	1 182.4	52.25	1 869.37	35.75	30.2	22.22	0.74
广东	6 716.4	295.9	1 357.3	59.81	1 877.37	33.96	51.0	20.53	0.68
广西	9 031.1	364.3	853.3	34.41	2 068.24	52.18	26.1	20.49	0.68
四川	14 442	591.8	1 513.3	62.01	4 395.82	37.80	31.3	15.75	0.53
贵州	7 213.7	270.6	301.1	11.29	2 925.10	8.20	17.1	14.71	0.49
云南	8 589.7	325.4	462.0	17.50	3 117.42	28.39	14.6	13.38	0.45
陕西	3 586.3	130.4	324.4	11.80	2 623.92	16.91	16.1	6.98	0.23
甘肃	4 424.0	144.8	458.1	15.00	1 699.34	5.83	8.3	8.80	0.29
宁夏	852.8	25.6	92.7	2.78	418.51	6.93	3.4	6.72	0.22
新疆	5 755.1	142.2	884.7	21.86	702.34	13.26	9.3	14.44	0.48

① 据边炳鑫等, 2005

随着畜禽养殖业从分散的农户养殖转向集约化、工厂化的养殖, 畜禽粪便污染也以类似于工厂企业污染的“大型”污染源出现, 甚至在许多地区以面源的形式出现。由于大型集中养殖场多在城市周边郊区和近郊农村, 使得养殖业污染对于城市、城镇环境的压力越来越大, 并成为重要的水体污染源。规模化畜禽养殖业的环境问题主要由以下几方面因素造成:

① 农牧严重分离脱节, 导致规模化畜禽养殖场周边没有足够的耕地消纳畜禽养殖产生的粪便, 不同类型养殖场单位标准畜禽占有的配套耕地没有达到 1 亩 (1/15 hm<sup>2</sup>) 的基本要求, 占有耕地最少的尚不足 0.02 hm<sup>2</sup> (0.3 亩);

② 养殖场规划及管理不科学, 一些养殖场由于多种原因建在城区上风向或靠近居民区, 尤其靠近居民饮用水水源地 (50 m 以内), 对饮用水水质直接造成威胁;

③ 许多养殖场目前仍沿用水冲粪或水泡粪湿法清粪工艺, 耗水量大且给后续处理造成困难;

④ 环境管理不到位, 绝大部分的规模化畜禽养殖场建设或投产前未经过环境影响评价和审批;

⑤ 缺少环境治理和综合利用设施或机制, 环境治理和综合投资也非常短缺。

### 1.1.3 种植业固体废物

种植业固体废物是指农作物在种植、收割、交易、加工利用和食用等过程中产生的



源自作物本身的固体废物，包括根、枝、叶、秆、果、花等。种植业固体废物有初级固体废物和二级固体废物之分。初级固体废物产生在作物生长地及其附近，它是作物在外运前及收割过程中产生的，如废弃在田间、地头、沟渠等地的蔬菜和花卉叶、根等。二级固体废物是在作物收获及外运以后，在家庭、交易市场和深加工场所产生的废物，如蔬菜在交易市场的净菜过程中去掉的部分外叶和根，蔬菜加工食用前去掉的一部分叶和根。典型的种植业固体废物主要包括粮食作物秸秆、蔬菜、瓜果废物及各种经济作物的废物，如花卉、果树、林木等。

据估计，地球上光合作用生产的生物质约 1 500 亿 t/a，可作为人类的食物或动物的饲料部分约占其中的 1/4（约为 400 亿 t），经过加工，最后供人类直接使用的大约仅为 3.6 亿 t，因此，地球上每年生产的废弃物（包括收获和加工过程中的）约为 135 亿 t，作物秸秆的元素组成中，碳占绝大部分，其次为钾、硅、氮、钙、镁、磷、硫等元素，见表 1-8。秸秆的有机成分以纤维素、半纤维素为主，其次为木质素、蛋白质、氨基酸、树脂、单宁等，具有很大的开发利用价值。

表 1-8 几种作物秸秆中的元素成分质量分数

种类	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Si
水稻	0.60	0.09	1.00	0.14	0.12	0.02	7.99
小麦	0.50	0.03	0.73	0.14	0.02	0.003	3.95
大豆	1.93	0.03	1.55	0.84	0.07		
油菜	0.52	0.03	0.65	0.42	0.05	0.004	0.18

注：据边炳鑫等，2005

我国的各类种植业废物资源十分丰富，目前仅重要的作物秸秆就有近 20 种，且产量巨大，约为 7 亿 t/a，其中稻草 2.3 亿 t，玉米秆 2.2 亿 t，豆类和杂粮的作物秸秆 1.0 亿 t，花生和薯类藤蔓、蔬菜废物等 1.5 亿 t。此外，还包括大量的饼粕、酒糟、甜菜渣、蔗渣、废糖蜜、食品工业下脚料、锯末、木屑、草、树叶等，我国主要作物秸秆资源和几种作物秸秆中的有机成分含量分别见表 1-9 和表 1-10。这些秸秆资源中，可能的利用量为 2.8 亿~3.5 亿 t。按现有发酵技术的产气率 0.48 m<sup>3</sup>/kg 估算，每年产生甲烷量约 850 亿 m<sup>3</sup>。

表 1-9 1999 年我国主要作物秸秆资源量

作物种类	产量/ 10 <sup>6</sup> t	秸秆粮食	秸秆数量	占秸秆总 量比例/%	作物种类	产量/ 10 <sup>6</sup> t	秸秆粮食	秸秆数量	占秸秆总 量比例/%
水稻	198.48	0.97	191.73	29.93	花生	12.64	1.52	19.21	3.00
小麦	113.87	1.03	117.29	18.31	油菜	10.14	3.0	30.41	4.75
玉米	128.09	1.37	175.48	27.39	芝麻	0.74	0.64	0.48	0.07
高粱	3.24	1.44	4.67	0.73	向日葵	1.77	0.60	1.06	0.17
谷子	2.32	1.51	3.50	0.55	棉花	3.83	3.00	11.49	1.79
其他	7.02	1.60	11.23	1.75	麻类	0.47	1.70	0.80	0.12
大豆	18.94	1.71	32.39	5.06	甘蔗	74.70	0.25	18.68	2.92
薯类	36.41	0.61	22.21	3.47	总计			640.63	100