

生猪粪便综合利用成本效益 及所需支持政策分析

——以河南省为例



仇焕广 陈菲菲 王艺诺

李一方 唐晓云 杨 超



中國人民大學
RENMIN UNIVERSITY OF CHINA

农业与农村发展学院
School of Agricultural Economics and Rural Development

GREENPEACE 绿色和平

摘要

随着我国畜禽养殖规模的逐步扩大和专业化程度的不断提高，畜禽生产及畜产品加工过程中产生的大量排泄物和废弃物对周边及养殖场自身环境的污染程度也日益加剧。研究畜禽污染现状、趋势、问题及其所需政策支持，对于缓解我国农村畜禽污染，提升畜禽粪污资源化利用率，实现畜禽养殖可持续发展，从而改善农村生活环境和居民健康状况，具有重要意义。河南省是传统的农业大省，而且畜牧业规模大，发展历史悠久，经济发展水平相对较低，畜禽养殖业排放的废弃物对环境造成的污染较大，在当前中国的畜牧业污染案例中具有典型性。因此，本文以河南省为例，根据畜禽养殖中生猪养殖业的发展变化，总结当前不同粪污处理模式，分析不同粪污处理模式的成本收益以及存在的问题，并结合相关技术和国内外政策，提出解决我国畜禽粪便污染的政策建议。

本文根据养殖规模将河南省生猪养殖户分为大、中、小三类，根据不同规模养殖户的实际情况介绍在不同资金技术条件下，三类养殖户典型的几种粪污处理模式，并分析不同规模的污染系数及其成本收益。在此基础上，提出适合该省的不同规模养殖户粪污处理的标准化模式及其对应的成本收益。基于上述分析和建议，本文再从技术角度对不同畜牧业污染治理模式进行了探讨和对比分析，评估不同粪污处理模式和技术的优势和适应条件，提出适合我国实际情况的畜禽污染治理模式和技术。同时也从政策角度，梳理国内外相关畜禽污染治理政策，总结发达国家治理经验，以为我国畜禽污染治理提供参考。

本文研究发现，河南省畜禽粪便污染较为严重，大、中、小规模生猪养殖户的排污系数分别达到 13.5%、27.31%和 47.93%。从粪污处理环节成本收益的角度来看，各规模养殖户的粪污处理环节均处于亏损状态，养殖户粪污处理没有经济动力，需要相关部门的引导与监管。粪污处理投资方面，各规模养殖户的主要压力是缺乏粪污处理设备建设的启动资金。在标准化粪污处理模式中，大、中规模养殖户的粪污处理环节可基本实现盈亏平衡，小规模养殖由于处理难度较大，仍然处于亏损状态，需要政府加大扶持力度，提供相关补贴，以引导其采用标准化粪污处理模式。从粪污处理技术角度来看，通过综合对比分析，根据养殖规模匹配土地规模，选择合适的畜禽粪污处理模式和技术，以实现农牧结合，提高粪污还田率，是解决畜禽污染问题较为现实的路径。从粪污处理政策角度来看，我国畜禽污染治理的相关法律法规建设需要进一步完善，特别在具体补贴环

节、补贴方式和补贴力度方面需要进一步明确，而且养殖业污染治理总体政策仍然需要进一步完善。

综合以上研究，本文提出当前我国中小规模养殖户存在以下现实问题：资金压力大；“规模化养殖”与“土地分散式经营”矛盾凸显，配套耕地难度较大；沼气工程综合利用率低，经济效益差；商品有机肥市场发展不完善，行业格局混乱；监督机制尚不健全，粪污资源化治理效果的环境监测有待加强等。本文以探索分级指导和差异管理为原则，提出以下政策建议：第一，充分发挥养殖企业在污染防治中的主体作用；第二，提高生态环境保护的扶持力度，鼓励中小规模养殖户开展生态养殖；第三，积极推进畜禽养殖污染第三方治理的发展，拓宽不同规模养殖户粪污资源化利用渠道；第四，完善配套设施建设和补贴环节，提高粪污处理工程利用率；第五，加强监督引导，规范有机肥市场秩序；第六，健全监督机制，管控养殖场固液废弃物的排放符合国家标准，固体废弃物符合有机肥加工标准等。

目录

一、引言.....	1
二、不同养殖规模的主要处理模式及其污染系数.....	4
（一）大规模养殖户的排放规模与粪污处理工艺.....	4
1. 自然稳定塘处理模式.....	4
2. 厌氧生物处理模式.....	5
3. 厌氧—好氧生物处理模式.....	5
4. 大规模养殖户排污系数估算.....	6
（二）中规模养殖户的排放规模与粪污处理工艺.....	7
1. 中规模养殖户粪污处理模式概况.....	7
2. 中规模不同粪污处理模式下的粪污废弃率与排污系数估算.....	7
（三）小规模养殖户的排放规模与粪污处理工艺.....	9
1. 小规模户粪污处理模式概况.....	9
2. 小规模养殖户排污系数估算.....	12
（四）河南省不同养殖规模粪便污染程度对比分析.....	13
（五）不同养殖规模粪污处理的实际成本收益.....	14
1. 成本收益科目划分说明.....	14
2. 不同规模养殖户（企业）成本收益对比分析.....	16
三、不同养殖规模粪污处理的标准技术模式及其经济分析.....	19
（一）大规模养殖户标准化粪污处理模式下成本收益计算.....	19
1. 粪污处理标准技术模式.....	19
2. 标准技术模式的成本收益分析——以万头猪场为例.....	20
（二）中规模养殖户标准化粪污处理模式下成本收益计算.....	24
1. 中规模养殖户标准化粪污处理模式.....	24
2. 成本收益核算.....	25
（三）小规模养殖户标准化粪污处理模式下成本收益计算.....	27
1. 粪污处理标准技术模式.....	27
2. 标准技术模式的成本收益分析——以千头猪场为例.....	28

(四) 总结与对比分析.....	31
四、畜牧业污染治理模式探讨.....	34
(一) 配套耕地规模与处理模式选择.....	34
1. 有充足消纳农田——种养结合.....	35
2. 消纳农田面积有限——有机肥+循环利用.....	35
3. 无消纳农田——有机肥+达标排放.....	36
4. 总结.....	37
(二) 养殖户分散程度与处理模式选择.....	38
1. 小规模养殖分散区——自然养猪法的发酵床技术.....	38
2. 养殖密集区和大规模养殖——集中处理.....	41
(三) 对不同粪污采用不同的处理方式及存在的困难.....	42
1. 干粪的处理：有机肥.....	42
2. 沼液的处理：还田.....	44
五、国内外政策对比分析.....	46
(一) 国内政策分析.....	46
1. 中央层级.....	46
2. 地方层级.....	50
(二) 国际畜禽养殖粪便处理经验.....	52
1. 美国养殖业环境管理政策.....	52
2. 欧盟养殖业污染管理政策.....	53
3. 日本.....	54
(三) 政策总结与对比.....	54
(一) 粪污资源化利用存在的问题.....	56
(二) 治理对策建议.....	58
参考文献：	61
附录——河南省生猪养殖粪污资源化利用的典型案例分析.....	62

一、引言

随着我国畜禽养殖规模的逐步扩大和专业化程度的不断提高，畜禽生产及畜产品加工过程中产生的大量排泄物和废弃物对周边及养殖场自身环境的污染程度也日益加剧。2010年《第一次全国污染源普查公报》显示，畜禽养殖业主要水污染物排放量中化学需氧量（COD）1268.26万t、总氮（TN）102.48万t、总磷（TP）16.04万t，分别占农业源主要水污染物排放（流失）量的95.78%、37.89%和56.34%，占全国主要污染物排放总量的41.87%、21.67%和37.90%；铜2397.23t、锌4756.94t，分别占农业源主要水污染物排放（流失）量的97.76%和97.83%。这表明，畜禽养殖造成的污染已经成为影响整个社会环保的热点。

就省级层面而言，畜禽养殖规模较大的省份主要有河北、山东、河南、广东等，其中，河北省距离首都较近，环境保护措施较为严格，畜禽粪便污染相对较轻；山东省和广东省经济较为发达，有资金建设配套设施处理畜禽粪便污染，畜禽粪便污染相较于河南省也并不严重。与之相对，河南省畜牧业规模大，发展历史悠久，而且是传统的农业大省，经济发展水平相对较低，畜禽养殖业排放的废弃物对环境造成的污染较大，在当前中国的畜牧业污染案例中具有典型性（仇焕广等，2013）¹，所以本研究选择河南省作为研究对象。

作为畜牧业大省，河南省的畜禽养殖规模在全国处于较高水平。河南省地处黄淮海平原，一直以来是农业大省，种植业和畜禽业发展历史悠久；同时，河南省内交通贯通我国东西部和南北方，为其畜禽养殖业的发展提供了有利条件。而作为主要畜禽品种的生猪更是河南省畜禽养殖业发展的重中之重。2013年河南全省畜牧业产值2486.3亿元，畜产品产量持续增长，全年肉、蛋、奶产量分别达到699.1万吨、410.2万吨、328.8万吨，同比分别增长3.2%、1.48%和-0.5%。河南省主要畜禽饲养量在全国继续保持较高水平，其中生猪出栏量5996.9万头，存栏量4426.7万头，同比分别增长5.0%、-3.5%（国家统计局，2014）。同时，河南全省规模饲养发展迅速，截止到2013年底，全省各类较大规模养殖场达8874个，其中年出栏万头以上猪场达559个，规模饲养的发展成为河南省发展现代畜禽养殖业的重要举措（国家统计局，2014）。

¹仇焕广,廖绍攀,井月,栾江. 我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析[J]. 环境科学,2013,07:2766-2774.

生猪粪便排放量和污染量主要受生猪养殖规模的影响,作为生猪养殖大省的河南省也是生猪粪便排放量和污染量较大的省份。2007 年河南全省畜禽养殖业粪便产生量 1.30 亿 t, 养殖场污水产生量 1.28 亿 t, 畜禽养殖粪便和污水中总的 COD 产生量为 1776.4 万 t、氨氮产生量为 177.7 万 t, 以粪便中产生的污染物为主(袁彩凤, 2012)²。周凯(2010)³通过分析认为, 河南省 2008 年主要畜禽粪便排放总量为 2.8 亿 t, 其中的氮、磷含量分别相当于同年施用化肥的 62.7%和 88.9%; 同时, 河南省畜禽粪便耕地负荷为 40.79t / hm², 超过 30t / hm² 的畜禽粪便还田限量值, 远高于全国耕地的畜禽粪便平均负荷 4.19t / hm²。上述研究也印证了本文的观点——河南省畜禽粪便污染程度远高于全国其他省份, 是畜牧业重污染的典型地区, 研究河南省畜禽粪便污染情况的时空差异, 有助于为解决我国畜禽粪便污染问题提供合理有效的政策建议。

中央及地方各级政府也对畜禽养殖污染治理及其资源化利用十分重视, 相继出台了一系列有关畜禽污染治理政策。首先, 中央及相关部门先后颁布了《畜禽养殖污染防治管理办法》(国家环境保护总局令第 9 号), 《畜禽养殖业污染物排放标准》法规, 以及《畜禽规模养殖污染防治条例》(国务院令第 643 号)等政策法规, 对我国畜禽养殖业污染物的利用和排放做了更加严格的规范和要求(朱德文, 2007)⁴。其次, 为加快畜牧业生产方式转变, 中央财政从 2010 年开始采取“以奖代补”的方式支持畜禽标准化生产改造。补贴方案对畜禽养殖场(区)的养殖规模、占地面积、配套设施、区位布局、粪污处理技术等方面都有较高要求, 补贴对象皆为规模化、规范化、组织化、示范化程度较高的畜禽养殖场(区)。

在此背景下, 各地区畜禽粪污处理模式发生了较大转变。不同规模的养殖场根据政策要求对粪污处理设备进行了优化改造, 形成了固液分离、自然生物处理、厌氧发酵、有氧曝气, 以及有机肥生产加工等多种单一或混合的粪污处理模式。不同模式的适用范围和成本收益情况如何? 技术上是否存在其他更优的处理模式? 可否通过政策引导突破应用瓶颈加以推广? 回答以上问题对缓解我国畜禽污染, 提升畜禽粪污资源化利用率, 实现畜禽养殖可持续发展具有重要意义。为此, 本文基于实地调研数据, 分析河南省代表性生猪养殖场粪污综合利用模式, 着重从成本收益角度对各模式进行深入剖析,

²袁彩凤, 张飞, 张粉如, 常杰. 河南省畜禽养殖污染对环境影响研究[J]. 中国人口. 资源与环境, 2012, S1: 44-48.

³周凯, 雷泽勇, 王智芳, 史杰, 彭兴芝. 河南省畜禽养殖粪便年排放量估算[J]. 中国生态农业学报, 2010, 05: 1060-1065.

⁴朱德文, 钟成义, 陈永生. 畜禽养殖业粪污处理现状与对策研究[J]. 家畜生态学报, 2007, 06: 163-166.

以期为相关政府部门制定畜牧污染治理政策提供决策支持。

二、不同养殖规模的主要处理模式及其污染系数

河南省作为我国的养猪大省，其粪污处理模式在全国范围具有一定的代表性。通过实地调研，本研究发现由于养殖户养殖规模、资金实力、受当地政策影响等方面存在差异，河南省存在多种粪污处理模式并存的现象。本研究的主要研究对象为年出栏超过 50 头的专业养殖户，为深入探索不同规模专业养殖户（企业）粪污处理模式的差异，本文将养殖户分为大、中、小三类，50~2000 头为小规模养殖，2000~5000 为规模养殖，5000 以上为大规模养殖。样本中共包含专业养殖户 40 家，其中小规模养殖户 19 家，规模养殖户 11 家，大规模养殖户 10 家。然后根据不同规模养殖户的实际情况介绍在不同资金技术条件下，大、中、小养殖户采取的最为典型的几种处理模式，并得到不同规模的污染系数，以便后续对比分析。

（一）大规模养殖户的排放规模与粪污处理工艺

根据实地调研总结，大规模养殖户的粪污处理模式主要包括“自然稳定塘处理法模式”、“厌氧生物处理模式”和“厌氧—好氧生物处理模式”三种。三种模式都是利用微生物对污水进行净化，区别在于微生物的反应环境不同，分别是在自然、厌氧和先厌氧再好氧三种环境。

1. 自然稳定塘处理模式

自然稳定塘处理模式指不刻意创造微生物反应环境，使得污水在自然条件下进行反应、逐步得到净化。所需的设备包括固液分离机、有机肥发酵场和稳定塘等，一般的处理流程为：首先，通过干清粪或水泡粪等清粪工艺将粪污清出；然后，通过固液分离机进行干湿分离；分离后的干粪运到有机肥场进行生产加工，污水排到稳定塘中进行自然静置处理；加工熟化后的有机肥用于自营地作物种植或者销售，自然反应后的污水达标后排放或用于农田灌溉。

该种模式下，养殖粪便的废弃率约为 25%，主要是因为自然稳定塘处理无法判断粪污水是否完全净化达标，且自然反应的速度与温度高度相关，冬季反应速度较慢，但由于稳定塘的容积有限，很有可能在未完全熟化时排放，造成污染。此外，无偿送于他人占比 40%，养殖场粪污干湿分离后，干粪基本都送于周边农户或蔬菜园用于还田；通过稳定塘处理的部分约占 35%（表 2.1）。

2. 厌氧生物处理模式

厌氧生物处理法是在厌氧条件下，形成厌氧微生物所需的营养条件和环境条件，利用这类微生物分解污水中的有机质并产生主要成分，达到污水净化处理的目标。这里主要指沼气发酵，其能量转化率高，有机物去除率高达 80-90%，且发酵过程无需能耗，运行费用低，并具有降解某些难降解物质和有毒有机物的能力。所产生的沼气通过净化后可以作为燃料，沼液沼渣作为下一级生产活动的原料、肥料、饲料等进行再利用；同时该方法还可以结合氧化塘或土地处理系统，使得污水在非利用季节达到排放标准（林聪，2007）⁵。

该种模式的主要处理设备包括固液分离机、厌氧发酵池、有机肥加工厂和沼液储存池等，一般流程如下：首先，采用水冲粪、水泡粪等清粪工艺将养殖区的粪尿清理收集，粪尿经固液分离形成粪渣和粪水。粪水流入沼气池进行厌氧发酵，产生沼气、沼液和沼渣：沼气通过净化、脱硫等工艺后用于发电或者供给养殖场和周边农户取暖做饭；沼液部分储存在有防渗漏措施的沼液储存池中，进一步通过自然生物处理达标后排放；沼渣与较为干燥的粪便一起用于制造有机肥。有机肥的制造主要是通过堆沤、加入发酵菌种进行好氧发酵，有机肥可有效改良土壤结构、活化土壤、提高肥力，降低化肥施用量，减少环境污染，提高农产品品质，养殖场生产的有机肥不仅用于配套的粮食、果蔬基地使用，多余的还用于包装外销。

该模式下，养殖粪污的废弃率约为 10%，主要来源于两个方面：一是干粪缺少消纳途径被废弃，干粪主要用于销售、自营耕地和周边农户还田，由于种植业的规模化落后于养殖业的规模化，且有机肥销售市场不完善，导致干粪不能完全被消纳，从而造成废弃污染；二是部分养殖场配套的沼液池与养殖规模不匹配，沼液池无法容纳的部分会直接排放造成水源污染。此外，该模式的粪污资源化利用率比较高，达 56%；无偿送于他人、直接销售和直接还田占比分别为 12%、14%和 8%（表 2.1）。

3. 厌氧—好氧生物处理模式

厌氧—好氧生物处理法主要是指畜禽污水在经过厌氧发酵后，必须再经过适当的好氧处理，使其达到国家规定的畜禽养殖业污染物排放标准。该方式的关键是污水减量化，主要粪污处理设备包括固液分离机、厌氧发酵池、好氧曝气池、沼气储存处理等。

⁵林聪.规模化养猪场沼气工程应用技术[J]. 猪业科学,2007,09:32-34.

一般流程如下：首先通过固液分离将固态粪分离出来，分离出来的粪渣直接出售或者制成有机肥，分离出来的粪水进行厌氧发酵，产生沼气、沼液和沼渣，沼气、沼渣进行资源化利用，沼液通过好氧处理系统进一步净化，达到环保规定的排放标准后排入相应水体。该模式通常规模较大，整体运行费用较高，处理效率高，一般应用于周边既没有一定规模的农田，又无闲暇空地可供建造鱼塘和水生植物塘的养殖场。

该模式下，养殖粪污的废弃率约为 5%，“厌氧+好氧”的多环节净化处理模式处理效率较高，但固液分离后的部分干粪不能完全处理消纳，以及少部分处理未达标的污水排入水体会造成一定的污染。此外，该模式下 80%左右的粪污都通过了资源化利用处理，直接还田率仅为 15%（表 2.1）。

表 2.1 大规模养殖粪污处理方式（%）

	自然稳定塘处理	厌氧生物处理	厌氧—好氧生物处理
占比	30.00	50.00	20.00
无偿送与他人	40.00	12.00	0.00
直接销售	0.00	14.00	0.00
直接还田	0.00	8.00	15.00
资源化利用（沼气、有机肥）	0.00	56.00	80.00
废弃	25.00	10.00	5.00
其他	35.00	0.00	0.00
合计	100.00	100.00	100.00

数据来源：根据调研数据整理

注：这里的“直接还田”和“直接销售”不包括通过沼气等方式处理后的沼渣、沼液和有机肥再还田的情况，“其他”主要指稳定塘处理

4. 大规模养殖户排污系数估算

本研究假设未经处理废弃畜禽粪便会对环境造成直接污染，并将样本养殖户的畜禽粪便废弃率作为污染系数。由于不同处理模式粪污废弃率差异较大，本研究首先分别测算不同粪污处理模式下的粪便废弃率，再以调研获得的各种处理模式的占比作为权重，

加权获得不同规模养殖户粪污的污染系数。

根据实地调研数据，大规模养殖户的三种粪污处理模式自然稳定塘模式、厌氧生物处理模式和厌氧—好氧生物处理模式的占比分别为 30%、50%和 20%，加权获得的大规模养殖粪便污染系数为 13.5%（表 2.2）。

表 2.2 大规模养殖单位生猪粪便污染系数（%）

	占比	粪便污染系数
自然稳定塘处理	30	25.00
厌氧生物处理	50	10.00
厌氧—好氧生物处理	20	5.00
大规模养殖加权污染系数	100	13.50

数据来源：根据调研数据整理

（二）中规模养殖户的排放规模与粪污处理工艺

1. 中规模养殖户粪污处理模式概况

中规模养殖场处于养殖规模扩张的中期，粪污处理模式也往往处于完善变更的过渡期，其排污量和粪污处理工艺是否完善能够在一定程度上反映某地区畜牧业污染的总体状况。与小规模养殖户相比，中规模有一定资本购买部分粪污处理设备，能够自身处理部分粪污。根据调查，中规模养殖户主要使用沼气池厌氧发酵方式处理生猪粪便。在具体流程方面，养殖户首先采用干清粪方式将干粪从猪舍收集出来，统一堆放发酵后转作他用。对于剩余粪便，使用水冲的方式将其统一收集在储粪池，并使用固液分离机进行干湿分离。干湿分离后的干粪同样用来堆放发酵，液体部分经过管道进入沼气池进行厌氧发酵以产生沼气，主要用于养殖场内日常生活使用，如做饭、猪舍取暖等。

2. 中规模不同粪污处理模式下的粪污废弃率与排污系数估算

根据具体处理环节，可将中规模户粪污处理流程进一步细分为三种处理方式，不同处理方式下的排污量也存在相应差异。

对于规模偏小的中规模户，主要使用户用沼气池方式处理粪便。该类养殖户规模较小，产污量也相应较少，而且受资金约束，一般沼气池仅按照户用规格建设，容量普遍在 30 立方米左右，而且受气温限制，冬季无法正常运作，仅能处理部分污水，从表 2.3 来看，使用户用沼气池养殖户的资源化利用率仅为 14.29%，无法处理的污水则直接排放，废弃率达到 32.14%。该类养殖户一般仍然保留有少量耕地，可以消纳部分干粪用于直接还田，剩余部分则通过免费送给周围农户的方式处理，该部分比例达到 40.71%；粪污是质优价廉的有机肥，部分养殖户也会将部分干粪作为有机肥出售给周围种植蔬菜、园艺等经济作物的农户，销售比例达到 12.86%，但是一般价格较低，大致在每吨 20 元至 50 元左右。

规模稍大的养殖户一般采用建设大型沼气池的方式处理粪便。大型沼气池容量较大，能够消纳更多污水。从表 2.3 中也可以看出大型沼气池的资源化利用比例达到 55%，远远高于只使用户用沼气池的养殖户。在粪污废弃方面，尽管这一处理方式下的废弃率有所降低，但比例仍然达到 22.5%。这一原因可能是尽管该类养殖户的大型沼气池能够处理较多粪污，但是缺乏配套耕地消纳粪污，其直接还田比例为 0，周围农户可消纳粪污比例仅为 20%，加大沼气池处理压力，特别是在冬季沼气池发酵能力下降时，更是无法处理全部粪污。所以对于该类养殖户，即使建有大型沼气池也无法全部处理粪污。

为解决粪污排放问题，部分中规模户建设大型沼气池的同时，会选择建设配套的沉淀池存放多余粪液，形成了“大型沼气池+沉淀池”的粪污处理模式。沉淀池的使用，一方面能够储存粪液，通过露天存放达到好氧发酵的目的，利用微生物将粪污腐熟并将有机物转化为有机质，从而减少排放物的污染程度；另一方面，沉淀池与沼气池配合使用能够在一定程度上提高沼气池工作效和粪便的资源化利用比例，从而减少粪污排放量。从表 2.3 可以看出，“大型沼气池+沉淀池”模式下的粪便废弃率为 15%，明显低于户用沼气池处理模式下的废弃率。

综合三种处理模式的废弃率，同样可以计算出中规模养殖户的加权排污系数，从表 2.3 可以看出，中规模养殖户的加权排污系数为 27.31%。

表 2.3 中规模不同处理方式下的粪便处理各用途比例（%）

处理模式	占比	供给周围农户	直接销售	直接还田	资源化利用	废弃
大型沼气池+沉淀池	18	15.00	0.00	0.00	70.00	15.00
大型沼气池	18	20.00	0.00	0.00	55.00	22.50
户用沼气池	64	12.14	12.86	28.57	14.29	32.14
加权排污系数			27.31			

数据来源：根据调研数据整理

对于中规模养殖户，通过种养结合充分利用可获得耕地消纳粪污，极大地减少了粪污的废弃率。农田消纳粪污是一种较为有效的粪污处理方式，不仅减少粪污直接排放带来的污染，还能节省化肥使用，降低农业生产成本的同时改善土壤质量。从表 2.3 可以看出，粪污还田在三种不同处理模式中均发挥重要作用。特别是在仅使用户用沼气池处理的中规模农户中，一般仍然保留有少量耕地，直接还田比例高达 28.57%。如果没有配备耕地，户用沼气池无法处理该部分粪污，养殖户只能废弃，该类养殖户的粪污废弃率将达到 60%左右，对农村环境产生严重的负面影响；使用大型沼气池的中规模养殖户由于缺乏配套耕地，直接还田比例均为 0，但是可以通过免费供给周围农户的方式进行种养结合，有沉淀池和无沉淀池的供给周围农户比例分别为 15%和 20%，如果无法通过周围农户还田，粪污废弃率也将分别达到 30%和 42.5%，同样也将对环境产生不利影响。

（三）小规模养殖户的排放规模与粪污处理工艺

小规模户是指年出栏量在 50 到 2000 头的养殖户，在实际中占比较大，因此在本次研究选取的调研样本也较多。小规模户存在着养殖自动化水平低、融资难度大、抗风险能力低等特点，这就使小规模养殖户在粪污处理方面，一般采用简单、低效的处理工艺，从而加重了河南地区养殖废弃物的面源污染。

1. 小规模户粪污处理模式概况

在计算粪污废弃率的过程中，因为大多数的粪污都是经过干湿分离后再分别处理的，根据林聪等的测算，本研究假定生猪粪污中固体粪污比例为 40%（即如果干粪全部

进行了资源化利用，而废液没有处理，则该养殖户的废弃率为 60%)。在河南省调研的 19 家小规模户中，主要存在“零处理，直接排放”、“部分处理，再排放”、“处理加储存”，这三种粪污处理方式，区分这三种模式的依据为资源化利用率的高低。

(1) 零处理，直接排放

“零处理，直接排放”的处理流程，就是不对粪污做额外的处理，直接将其排放到环境中。首先，清理人员先采用干清法将固体粪便从圈舍清出，堆于自建粪场。然后，尿液和冲洗猪舍后的废水混合流出，拥有固液分离机的养殖场的废水经过固液分离机，过滤出的干粪堆到粪场，过滤后的液体排放到厂外沟渠或未做防渗处理的储液池，而未安置固液分离机的养殖场的废水则不经固液分离，直接排放沟渠和储液池。（固液分离机一般都是当地政府统一购置赠与，但因该政策还未全面落实，所以存在部分农户还未受到赠与，这与养殖户的条件、资质无关，有一定的随机性）。最后，堆在粪场的干粪经过堆沤、熟化后，被自家或周围农户免费取用。废液则因为不便于运输和使用，被全部废弃。

小规模养殖户中约有 36.8%的养殖户采用这种粪污处理方式。在此处理方式下，粪污的平均废弃率高达 61%，主要原因是粪污中的废液部分没有进行任何一种资源化利用的处理工艺，以致废液的废弃率接近 100%。除此之外，粪污中直接还田的部分占 18%，其次是免费赠与他人占 15%，最后有 6%的粪污是被直接销售给周围农户、菜农和花农（表 2.4）。因该部分养殖户所占比重大，废弃指数高，在资金短缺的情况下，一般是最迫切需要政府协助其整改的。

(2) 部分处理，再排放

“部分处理，再排放”的处理流程是在直接排放的基础上，有 10%—20%的粪污进行了资源化利用。采用该模式的养殖户都因配有政府免费安装的户用沼气池，所以有部分粪便或废液会被填入沼气池中，进行无氧发酵产生沼气，沼气可供养殖户日常做饭和取暖使用。但经过发酵的沼液、部分沼渣和未被填入沼气池的粪污则没有得到很好的处理，被直接排放到周围环境中。

由表 2.4 可看出，“部分处理，再排放”模式与直接排放模式下的无偿送于他人和直接销售的比例很相似，但是直接还田的比例显著小于直排模式，只占处理比重的 6%，

而资源化利用的比例提升为 17.3%。这一类养殖户，虽将部分粪污进行了资源化利用，可是也存在堆放和废弃粪污的行为，所以这种模式对周围环境也存在很大程度的污染。

（3）处理加储存

此类处理模式，均为清理人员先采用干清法将固体粪便从圈舍清出，堆在粪场。然后，尿液和冲洗猪舍后的废水混合流出，未经或经过固液分离后，过滤出的干粪堆到粪场，过滤后的液体再经过三级沉淀池的厌氧发酵，或者长时间储存在稳定塘内进行无氧发酵，经过一段时间的反应后，将其排放或灌溉。干粪则堆于粪场，供自家和周围农户使用。这里的三级沉淀池或稳定塘不同于“直接排放”方式中的储粪池，区别有二：第一，尺寸不同。储粪池尺寸很小，几十个立方，只能用于短时间的储存废液，时间一长就得外排；而三级沉淀池和稳定塘的尺寸很大，平均近几百立方，可以长时间储存和发酵，满足养殖场的日常处理粪污的需要。第二，建造工艺不同。储粪池是养殖户简单挖掘深坑再用混凝土抹面建成的，废液会下渗，从而污染地下水和土壤；三级沉淀池和稳定塘则是铺设了防渗膜的大液体存放池，有效地防治废液下渗，所以造价也高。

与前两种工艺相比，该模式相对完整的处理流程大大提高了粪污的无害化处理程度，降低了粪污的废弃率，使废弃率下降到 30%左右。第三种处理方式是在第二种方式上进一步完善的。虽然，不存在了直排现象，处理化程度高。但是，因为处理过程缺乏检测，粪污的熟化程度没有严格的把控和质检，即使流程上是可以实现无害化处理的，但实际处理效果也有一定的折扣，因此还是存在一定比例的废弃率。采用这类处理工艺的养殖户，虽然不能实现粪污完全的资源化利用，但是在废液处理环节中，能保证长时间的储存和发酵，这就大大降低了粪便污染土壤和地下水的可能性，因此是值得被完善和推广的。

表 2.4 小规模养殖粪污处理方式（%）

	直接排放	部分处理，再排放	处理加储存
占比	36.80	26.40	36.80
无偿送与他人	15.00	14.00	10.80
直接销售	6.00	5.50	5.00
直接还田	18.00	6.00	11.20
资源化利用（沼气、有机肥）	0.00	17.30	35.80
废弃	61.00	57.20	28.20
其他(三级沉淀等)	0.00	0.00	9.00
合计	100	100	100

数据来源：根据调研数据整理

注：这里的“直接还田”和“直接销售”不包括通过沼气等方式处理后的沼渣、沼液和有机肥再还田的情况，“其他”主要指稳定塘和三级沉淀处理

2. 小规模养殖户排污系数估算

在计算小规模养殖户的排污系数时，本研究将不同处理方式下粪污的废弃率作为它的粪便污染系数，在估算小规模户总体排污系数时，将废弃率和养殖户所占比重加权求和。

根据实地调研数据，小规模养殖户的“零处理，直接排放”、“部分处理，再排放”、“处理加储存”，这三种粪污处理模式的占比分为 36.8%、26.4%和 36.8%，加权获得的小规模养殖粪便污染系数为 47.93%（表 2.5）。

表 2.5 小规模养殖单位生猪粪便污染系数（%）

	占比	粪便污染系数
零处理，直接排放	36.80	61.00
部分处理，再排放	26.40	57.20
处理加储存	36.80	28.20
小规模养殖污染加权系数	100	47.93

数据来源：根据调研数据整理

（四）河南省不同养殖规模粪便污染程度对比分析

近年来，河南省生猪养殖呈现规模化趋势，规模养殖产量占比逐年增加。本文将年出栏 50 头以下的养殖户定义为散养，年出栏 50 头以上定义为规模养殖。2013-2015 年河南省生猪规模养殖产量占比均高于 80%且稳步提升，其中小规模产量占比最大，基本保持在 46%，大规模产量提升最快，3 年提升 2.35 个百分点（表 2.6）。从产量占比来看，规模养殖的排污量远高于散户，且小规模养殖面临的粪污处理压力较大。

表 2.6 2013-2015 年河南省不同规模养殖场生猪年出栏总量及占比

类别	项目/单位	2013	2014	2015
散户	年出栏数（百万）	12.95	12.03	11.89
	占比（%）	16.85	15.04	14.54
小规模	年出栏数（百万）	35.03	37.14	37.72
	占比（%）	45.59	46.44	46.14
中规模	年出栏数（百万）	11.16	11.32	11.41
	占比（%）	14.53	14.16	13.96
大规模	年出栏数（百万）	17.7	19.48	20.74
	占比（%）	23.04	24.36	25.37
合计	年出栏数（百万）	76.85	79.98	81.76

数据来源：农业部相关数据整理

河南省规模养殖中，小规模养殖的污染量最大，应重点关注。然而，现行粪污处理支持政策过于偏向于中大规模养殖户（企业）。本文基于各规模养殖户（企业）不同的粪污处理模式，估算出不同养殖规模的污染系数，假设 2013-2015 年各规模污染系数保持不变。再结合各规模生猪产量比估算其污染量占比，结果显示，小规模养殖的污染量最大，污染量占规模养殖污染总量的 75%，且远高于中规模 and 大规模养殖户。但目前河

南省“以奖代补”政策主要针对中、大规模养殖户（企业）。以漯河市为例，市政府主要针对养殖规模 5000 头以上的养殖场进行配套粪污处理设施补贴，县级政府着重扶持年出栏 3000 头以上的中规模养殖场的粪污处理设施建设，2015 年舞阳县出资 200 万元扶持配备达标粪污处理设备并通过验收的中规模养殖场。

表 2.7 河南省不同规模生猪养殖污染排放占比

项目	年份	小规模	中规模	大规模
出栏量占比	2013	45.59	14.53	23.04
	2014	46.44	14.16	24.36
	2015	46.14	13.96	25.37
污染系数	2013-2015	47.93	27.31	13.50
	2013	75.53	13.71	10.76
污染量占比	2014	75.67	13.15	11.18
	2015	75.34	12.99	11.67

数据来源：农业部畜牧业生产数据及调研数据整理

（五）不同养殖规模粪污处理的实际成本收益

1. 成本收益科目划分说明

粪污处理成本主要包含设备一次性投入成本和正常运转的可变成本。设备投资成本包括固液分离设备、厌氧发酵池、沼液储存池等固定设备建设成本，以及土地租金等；可变成本包括人工成本、原料成本、运输成本、设备维护费、水电费等。本文将成本科目划分为设备折旧、人工成本、能源成本和其他，具体核算公式和科目说明见表 2.8。

表 2.8 成本收益科目划分说明

	项目	计算公式	说明
成本项	设备折旧	购买价/预期使用年限+年均土地租金	包括固液分离机、厌氧发酵池、稳定塘等固定设备折旧，以及设备占地土地租金；
	人工成本	(自有人工工时+雇工工时)*单位工资	包括粪污清理、设备维护等粪污处理环节的所有自有和雇佣人工；
	能源成本	各项能源费年均之和	包括粪污处理的水、电和燃油等能源费；
	其他	其他费用之和	除以上三类的其他成本，主要包括设备维修保养费等。
收益项	肥料化收益	自营地施用面积*每亩节约化肥金额	包括干粪、沼液、商品有机肥自用还田；
	直接销售收入	干粪销售量*价格	直接销售干粪的收益；
	节约能源收益	节约能源年均总和	主要指使用沼气烧饭供暖节约的电费和燃油费；
	能源化产品销售收入	销售量*价格	销售沼气、商品有机肥等能源化产品的收益。
转移支付	补贴金额	补贴总额/设备预期使用年限	政府部门针对粪污处理的专项补贴

注：为使得不同规模养殖户（企业）成本收益情况具有可比性，表中各项成本收益均除以养殖场生猪平均年出栏数

粪污处理的收益项包括直接收益和间接收益。直接收益主要包括干粪、沼气、沼液和有机肥的自用和销售收益，间接收益包括免费供气供沼液给周边农户带来的人际关系价值，以及施用有机肥带来的作物增产等潜在销售价值。由于间接价值影响因素复杂，难以衡量，本文仅考虑粪污处理带来的直接价值，主要包括肥料化收益、直接销售收入、节约能源收益和能源化产品销售收入四项。其中肥料化收益仅包含养殖场种养结合过程中自身施用沼液、有机肥等节约的肥料成本；能源化产品销售收入仅指销售有机肥或者沼气带来的现金收益，不包含周边农户免费使用沼气、沼液的收益（见表 2.8）。另外，需要说明的是，此处没有考虑粪污处理带来的环境效益。

转移支付主要指中央和地方财政针对生猪粪污处理设备、工程建设等方面的实物和

资金补贴。实地调研结果显示，河南省的相关补贴主要分为粪污处理设备实物赠予、项目竞标和达标验收补贴三种。本文根据实际情况将相关补贴金额分摊到各类粪污处理设备上，并根据预期使用年限冲减每年的设备折旧成本。

2. 不同规模养殖户（企业）成本收益对比分析

小规模养殖户粪污处理的猪均成本最高，毛收益为负，且对政府补贴依赖性较强（表 2.9）。小规模养殖户猪均粪污处理成本为 22.88 元/头，其中人工成本较高，主要是因为小规模养殖户一般没有达到最优养殖规模，且机械化处理水平低，人工成本较高。粪污处理猪均收益为 10.30 元/头，其中主要收益来源于种植业肥料节约，主要因为小规模养殖场猪均配套的自营耕地相对较多。此外，值得关注的是，小规模养殖户粪污设备建设 64.34% 依赖政府补贴，说明小规模养殖户自主承担粪污处理设施建设的能力较弱，一旦政府降低补贴力度，小规模养殖户生猪养殖污染可能会更加严重。

中规模养殖户粪污处理的猪均成本和收益均最低，毛收益和净收益都为负，且净收益亏损程度相对较高（表 2.9）。中规模养殖户粪污处理的猪均成本为 12.30 元/头，每头比小规模低 10.58 元，比大规模低 4.21 元，其中占比最大的为人工成本，主要是因为中规模养殖户在扩大养殖规模的同时粪污处理规模基本保持不变，使得粪污处理的边际成本显著下降。中规模养殖户粪污处理的猪均收益为 2.29 元/头，远低于大、小规模养殖户，主要是因为中规模养殖户种植规模不配套，粪污处理依赖他人免费取用，基本不带来直接收益。此外，中规模养殖户粪污处理设备的政府补贴率比小规模低，但仍达到 57.23%。

大规模养殖户粪污处理猪均成本处于中等水平，猪均收益最高，虽然政府补贴率较低，但考虑补贴后基本能覆盖亏损（表 2.9）。大规模养殖户粪污处理的猪均成本为 16.51 元/头，其中占比最大的为设备折旧，达 9.14 元/头，主要是因为环保部门对大规模养殖户监管更为严格，大规模养殖户配套的粪污处理设备更完善、成本更高，即便实现规模效应，其边际成本仍高于中等规模养殖户。由于大规模养殖户粪污资源化利用率较高，即便沼气后期利用率低、有机肥市场不完善，其粪污处理的能源化产品销售收入仍能有效弥补一部分成本，从而使得粪污处理基本处于盈亏平衡点。此外，大规模养殖户粪污设备政府补贴率较中小规模相对较低，仅为 36.61%，但大规模养殖户一般具有较为雄厚的资金实力可以支付起该项投资，实地调研相关受访者反映，即便没有政府补贴大规

模养殖户基于养殖场长期发展考虑，也会投资建设较为完善的粪污处理设备。

表 2.9 不同规模养殖规模下粪污处理成本和收益表

	项目	小规模	中规模	大规模
猪均成本（元/头）	设备折旧	4.51	2.39	9.14
	人工成本	17.38	8.32	6.37
	能源成本	0.94	0.81	0.69
	其他	0.06	0.78	0.31
	合计	22.88	12.30	16.51
猪均收益（元/头）	节约肥料	7.17	0.56	2.02
	直接销售收入	1.79	1.26	6.11
	节约能源	0.94	0.16	0.85
	能源化产品销售收入	0.40	0.31	5.56
	合计	10.30	2.29	14.55
毛收益	猪均收益-猪均成本	-12.57	-10.01	-1.97
猪均补贴（元/头）	补贴金额	2.90	1.37	3.35
净收益（元/头）	毛收益-猪均补贴	-9.67	-8.64	1.38
粪污设备政府补贴率（%）		64.34	57.23	36.61

数据来源：作者调研数据整理

注：粪污设备政府补贴率=猪均补贴/猪均设备折旧

横向来看，仅考虑粪污处理环节的成本收益，各规模养殖户均处于亏损状态，养殖户粪污处理没有经济动力，需要相关部门的干预和监管。不考虑政府补贴的情况下，大中小规模的粪污处理均处于亏损状态，且小规模养殖户亏损最为严重，加之小规模养殖户整体经济实力和抗风险能力较弱，更易被市场淘汰。考虑政府补贴的情况下，大规模养殖户转亏为盈，中小规模仍处于亏损状态且亏损程度相近。综上所述，中小规模养殖户对政策补贴依赖程度较高，大规模养殖户基本能够独立承担粪污处理成本。因而，短期内，为控制生猪养殖粪污污染，畜牧业污染补贴政策应向中小规模养殖户倾斜，以政策鼓励刺激其标准化粪污处理体系；长期内，应加大环保监管、鼓励养殖场规模化经营和资源化利用，逐步减少直至取消粪污处理补贴。

纵向来看，各规模养殖户粪污处理的主要资金压力来源于粪污处理设备建设的初始投资。除设备折旧外，后期运行成本中占比最大的为人工成本，比较人工成本可以发现，后期运行的人工成本与设备初始建设的完善程度高度相关。建设较为完善的粪污处理系统，后期运行所需人工成本较低；一次性投入建设不到位的设备系统，后期运行和改造成本较高，严重影响养殖场正常经营的资金运转。另外，实地调研发现，成本收益还与养殖场配套种植田地的经营权相关，拥有周边耕地经营权的养殖场可以通过作物收入提高粪便资源的利用效率和经济效益，部分规避生猪市场价格波动风险。因而，政策补贴类型应以初始投资补贴为主，并配套建设土地流转平台、完善土地流转市场。

三、不同养殖规模粪污处理的标准技术模式及其经济分析

由上章可知，不同规模养殖户在处理过程中所面临的处理难点不同，因此评价处理模式的标准不可一概而论，引导不同规模户改善其处理模式需要因地制宜地优化处理流程。本章一方面主要探讨在基于不同规模户现有处理条件的基础上，如何规划指导不同规模养殖户进行粪污处理，制定标准化粪污处理模式，以实现粪污的无害化排放和资源化利用。另一方面，分析了各种标准模式下的成本收益，核算了粪污资源化利用的潜在收益，为政府制定政策支持提供了导向和依据。

（一）大规模养殖户标准化粪污处理模式下成本收益计算

1. 粪污处理标准技术模式

生猪粪便中含有大量的有机质、氮磷钾等营养成分，厌氧发酵可以有效去除有机质。根据林聪等的测算，猪粪的含水量为 82%，有机质含量为 15%，氮磷钾钙含量为 1.49%；猪尿的含水量为 96%，有机质含量 2.5%，氮磷钾钙含量 1.38%，厌氧发酵可以有效去除 80% 的有机质，因而沼气发酵是粪污无害化处理的核心。

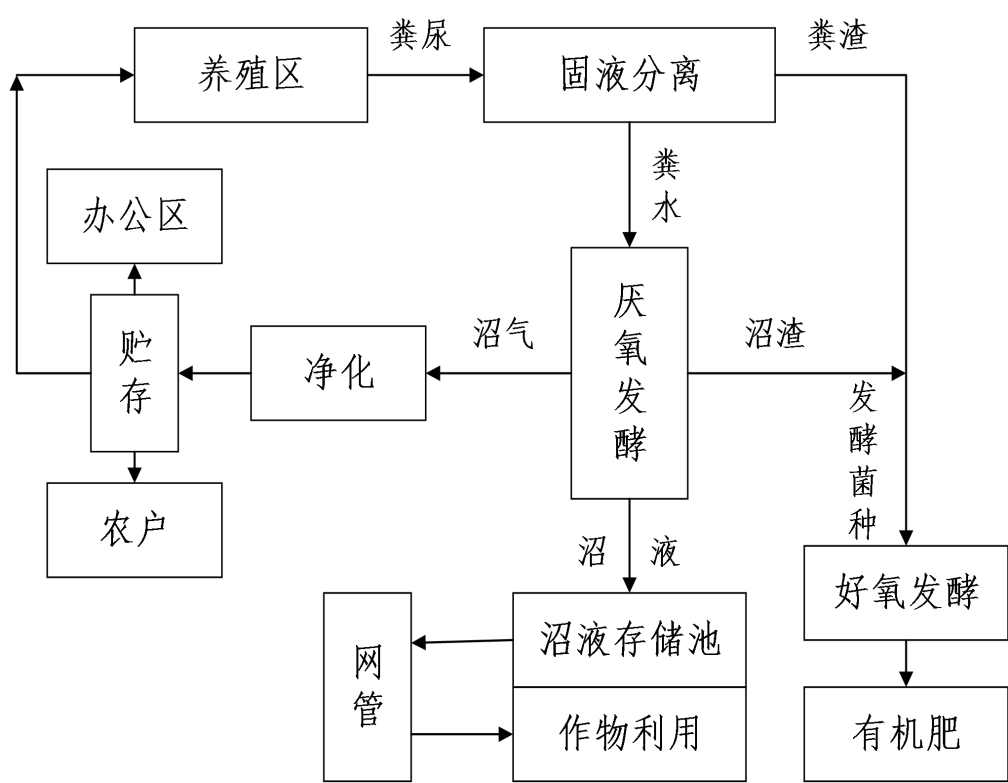
比较大规模养殖户现实中常用的三种粪污处理模式，“厌氧生物处理模式”和“厌氧—好氧生物处理模式”都以沼气发酵为核心，后者在厌氧发酵之后增加了好氧曝气环节，对废水处理得更为彻底，但该套处理设备投入成本较大，实际中应用较少，有点是该种模式处理后的沼液基本是达标排放。而畜禽沼液中氮磷钾等营养物质含量较高，有较高的肥料价值，且沼液还田可以有效利用土地处理系统进一步净化污水，达到与“厌氧—好氧生物处理模式”相似的处理效果。因而，沼液还田是生猪粪污处理中经济有效的环节。

综合以上分析，本研究认为大规模养殖粪污处理的优化模式应以“厌氧发酵”为核心，“土地消纳”为目标的种养结合生态处理模式，具体流程如下（图 3.1）：

首先，利用干清粪工艺将粪便从猪舍清出；然后，将粪尿经过固液分离机分离，分离后的污水进入厌氧发酵池发酵，产生沼液、沼气和沼渣；分离后的干粪和沼渣一起用于生产商品有机肥。产生的沼气经过脱水、脱硫、净化等处理后供给养殖场和周边农户使用；沼液排放到沼液储存池中，一方面使得沼液在自然环境下进一步反应净化，另一

方面也可以调节沼液在非施肥季节的存储，然后，引导种植户根据季节合理适量施肥；不形成地表径流；不过度浇灌，不形成地下水污染。理想状态下，粪污处理过程中产生的沼气、沼液和有机肥用于销售和自用，能够带来直接的经济效益，实际操作中由于沼气和沼液不便于长距离运输，基本供给养殖场自身和周边种植户使用。

图 3.1 大规模养殖粪污处理的优化模式



2. 标准技术模式的成本收益分析——以万头猪场为例

(1) 成本核算

该优化模式的成本包括固定成本和正常运转的可变成本。其中，固定成本主要为设备折旧；可变成本包括人工成本、原料成本、运输成本、设备维护费、水电费等。以粪污完全处理为目标，万头猪场应配备固液分离机、1000 立方米的厌氧发酵池、沼气净化室、有机肥发酵床和加工车间，以及约 1 万立方米的沼液暂存池，总造价约为 150 万元，按照预期使用年限为 15 年折旧，每年的设备折旧成本为 10 万元，平均到每头猪约为 10 元/ 头*年。

后期运转的可变成本：人工干清粪 2 人，每月工资 1500 元；设备操作及日常维护 1 人，每月工资 3000 元，每年合计的人工成本为： $(1500 \times 2 + 3000) \times 12 = 7.2$ 万元。设备运转每月电费约为 250 元，燃油费约为 100 元，水费主要为人工干清粪后的冲洗水量，根据胡建红等的测算，出栏万头猪场的粪污日冲洗水量为 88 吨，按照每吨 0.65 元的市场价格计算，每月水费约为 1700 元，合计每年能源费用为： $(250 + 100 + 1700) \times 12 = 2.46$ 万元。此外，设备维修等其他成本约为 4000 元/年。合计每年运行的可变成本为： $7.2 + 2.46 + 0.4 = 10.06$ 万元，平均到每头猪约为 10.06 元/头*年。综合固定成本和后期运行成本，每头猪每年的粪污处理成本约为 20.06 元。

表 3.1 万头猪场粪污处理成本预算

项目	金额(万元/年)	计算说明
设备折旧	10.00	购买价/预期使用年限
人工成本	7.20	包括粪污清理、设备维护等各环节的所有自有和雇佣人工
能源成本	2.46	包括粪污处理的水、电和燃油等能源费
其他	0.40	除以上三类的其他成本，主要包括设备维修保养费等
合计	20.06	以上四项的年均和

(2) 理想收益核算

粪污处理的收益项包括直接收益和间接收益。直接收益主要包括沼气、沼液和有机肥的自用和销售收益，间接收益包括免费供气供沼液给周边农户带来的人际关系价值，以及施用有机肥带来的作物增产等潜在销售价值。由于间接受益较难衡量，所以本文仅考虑粪污处理带来的直接价值以及作物增产的潜在效益，主要包括商品有机肥的收益、沼气利用收益和种养结合的收益三项。

商品有机肥收益。年出栏万头猪场存栏生猪约 6000 头，按照林聪等测算的每头猪每天产猪粪 3KG，含水量 82%，假设猪场的干粪 70%生产为有机肥出售，另外 30%用于还田自用，烘干发酵后的商品有机肥含水量约为 30%，则一年生产有机肥约 1200 吨，大型养殖场有机肥的市场价格约为 300 元/吨，调研获知毛利约为 150 元/吨（除去有机肥生产过程中的人工、运输、装袋等成本），该厂销售有机肥可获利 18 万元。

沼气利用收益。沼气利用收益主要为使用沼气所节省的燃油和电费，根据实际调研万头猪场每年因沼气使用节约的能源为 1.2 万元。由于实际调研中发现，沼气发电成本约为 1.5 元/度，远超国家电网电价，养殖场很少用其发电。此外，由于沼气供气不稳定，周边农户使用的积极性不高，夏季沼气产量过剩时养殖场往往会直接燃烧排放，因而此处沼气利用收益只包括养殖场自用沼气的收益。

种养结合的收益。种养结合的收益主要包括两个方面：一是施用沼液和有机肥节约的肥料成本；二是施用有机肥和沼液带来的作物增产收益。假设标准模式以沼液完全消纳，有机肥自用量 30% 为目标，盛婧等（2015）⁶研究了种养结合生态养殖模式下不同种植模式农田畜禽粪便承载量，结果显示：以沼液完全消纳为目标，万头猪场需要配置的最少粮油作物地面积为 12.4~13.7 公顷，即 186~205.5 亩。基于该项研究结论，本文假设万头猪场配备 200 亩的小麦可以消纳 30% 的有机肥和全部沼液。但目前种植业的规模化落后于养殖业的规模化，种养结合模式面临挑战，养殖场可能缺乏足够的自营土地消纳沼液，一般万头猪场配备自营耕地 55 亩。调研中发现，养殖场扩大到一定规模后，一部分采取与周边农户签订协议，免费为其修建灌溉设施并提供沼液，以达到完全消纳沼液的目标；另外一部分会选择增加污水处理环节，如好氧曝气，使得沼液快速达到排放标准后排入水体。

本文假设万头猪场配套自营耕地 55 亩，为完全消纳沼液及 30% 的有机肥，假设养殖场与周边约 200 亩耕地的农户签订协议免费为其提供沼液。则自营耕地的直接收益为：1) 节约肥料：根据调研数据，使用沼液和有机肥每季每亩可节约肥料费约 150 元，河南省为一年两季，计算可得万头猪场配套的 55 亩耕地每年可节约化肥 1.65 万元；2) 增产收益：根据调研中部分养殖企业的试验数据——施用沼液和有机肥可以使得小麦显著增产约 20%，按照小麦单产 700 斤⁷计算，即每亩增产约 140 斤，以 2015 年小麦最低收购价 1.18 元/斤计算，增产收益约为 0.91 万元。由于河南一般为稻麦两季，假设水稻增产收益与小麦相同，则一年增产总收益约为 1.82 万元。综合以上两种收益，种养结合每年带来的收益约为 3.47 万元。

综合以上三类收益可得，理想状态下，万头猪场通过“厌氧发酵+种养结合”这种

⁶盛婧,孙国峰,郑建初.典型粪污处理模式下规模养猪场农牧结合规模配置研究 II.粪污直接厌氧发酵处理模式[J]. 中国生态农业学报,2015,07:886-891.

⁷数据来源：《中国统计年鉴 2015》，小麦单产为 349 公斤/亩

标准技术模式每年可以获得 $18+1.2+3.47=22.67$ 万元，平均每头猪的粪污处理收益为 22.67 元。

表 3.2 标准化粪污处理模式下万头猪场粪污处理收益预估（单位：万元/年）

项目	金额	计算说明
有机肥销售收益	18.00	主要指商品有机肥销售毛利
沼气利用收益	1.20	主要指使用沼气烧饭供暖节约的电费和燃油费
种养结合收益	3.47	包括施用沼液、有机肥节约的化肥成本和作物增产收益
合计	22.67	以上三项年均和

（3）成本收益对比分析

比较万头猪场标准技术粪污处理模式的成本收益，每头猪每年粪污处理的成本为 20.06 元，收益为 22.67 元，净收益为 2.61 元，说明该理想模式下大规模养殖户（企业）进行粪污处理基本可以实现盈亏平衡，但实际操作中收益可能会有所削减：

第一，商品有机肥市场机制不完善，有机肥缺少权威统一的认证，市场存在劣币驱逐良币。首先，由于有机肥生产中存在抗生素和重金属两大难题，直接影响了有机肥的品质，且目前绝大部分养殖场没有成熟的技术可以解决，加之我国缺少职业农民，农民兼业现象十分普遍，化肥较有机肥见效快、经济省力而被种植户追捧，因而短时间内普遍扩展有机肥市场阻力较大。其次，有机肥市场混乱无序，鱼龙混杂，缺少权威的有机认证标准，市面上有机肥的品质参差不齐，调研显示，由于市场上存在大量加工粗糙的有机肥，有机肥售价一般只能达到 80~100 元/吨，导致高品质的有机肥达不到预期收益。因此，上文预测的商品有机肥销售收益在实际操作中大打折扣。

第二，沼气实际使用率较低，导致资源浪费，削减了粪污处理的收益。首先，养殖场建厂选址大都距离居民区较远，不少为村边的坡地和荒地，沼气运输管道铺设和后期维护成本较高；其次，沼气供应季节性较强，持续性差，周边农户使用的积极性差；再者，沼气工程建设的福利化性质，使沼气未能按市场价格收费，影响了养殖场储存处理

的积极性；此外，沼气发电成本高，1 度电的成本约为 1.5 元，远高于市场电价，养殖场沼气发电缺乏激励。因此，实际操作中，很多养殖场将富余的沼气直接排放或燃烧。如果考虑被浪费的这部分沼气，粪污处理的收益仍有潜在的提升空间。

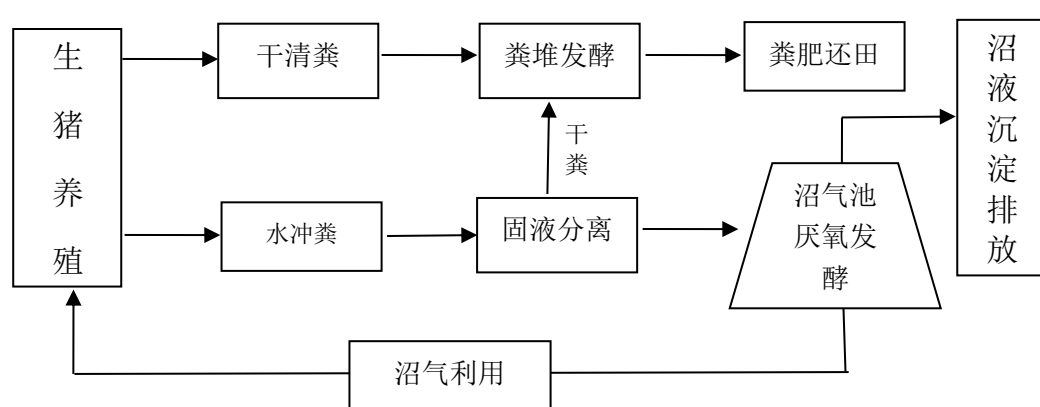
综合来看，虽然大规模养殖户粪污处理设备的一次性投入成本较高，但其预期收益基本可以覆盖成本，针对这一群体的政策扶持重心应放在保障粪污处理预期收益的可获得性上。具体地，政策应引导监督商品有机肥市场的完善建设，制定统一的有机认证标准，鼓励种植业有机肥的施用；对沼气入户进行末端补贴，即根据养殖场生产使用沼气的数量进行补贴，以提高沼气利用率；完善土地流转信息平台的建设，平稳有效地推动规模化种植，积极鼓励粪污的资源化利用，对沼液还田进行合理的末端补贴。

（二）中规模养殖户标准化粪污处理模式下成本收益计算

1. 中规模养殖户标准化粪污处理模式

在目前的粪污处理模式下，中规模养殖户的粪污废弃率仍然较高。其主要原因在于处理环节不完善和配备设备容量不足。建设标准化的粪污处理模式能够保证最大化利用粪便资源，实现粪污零排放或达标排放，但是所需投资成本较高。

图 3.2 中规模养殖户标准化粪便处理流程



结合中规模养殖户的生猪头数，建设标准的粪污处理模式需要以下处理流程（图 3.2）：首先将养猪场的干粪排泄物统一搜集，堆放发酵制成有机肥；冲粪用水和猪尿经过固液分离之后，干粪同样堆放制作有机肥，液体则进入沼气池进行厌氧发酵，产生的

沼气用做燃料，厌氧处理后的沼渣和沼液经过存放进一步发酵后可以分别制作成固体和液体有机肥。

2. 成本收益核算

实现上述标准化粪污处理需要初期的设备投资以及后期的运行管理投入。设备投资成本主要包括粪便发酵床、固液分离、厌氧发酵池、沼液沉淀池等粪污处理设备；后期运行管理投入主要包括人工清粪与设备维护成本、生产原料成本、运输成本、设备维修费用、水电费等。另外，粪污处理场所也需要支付一定的能源费。

根据本文分类，将中规模养殖户定义为年生猪出栏量为 2000-5000 头养殖场，因此在计算中规模养殖户粪污处理成本时，以年出栏量为 5000 头作为基准。在设备投资方面，养殖场建设完善的粪污处理设备和环节大约需要花费 32 万元，其中固液分离机 3 万元，200 立方粪便发酵床大约 1 万元，500 立方米沼气发酵池大约需要 10 万元，2000 立方米的沼液沉淀池大约 18 万元。在后期运行管理方面，平均每年产生费用 8.66 万元。在粪污粪污处理设备方面，需要雇佣两人工作，平均每人每月 3000 元，每年人工成本大约 7.2 万元，由于所需原料主要为养殖场粪污，可以免费获得并不产生成本。在运输成本方面，一般并不往外输出，大多为周围农户需要时自己搬运，因此同样不产生费用。在设备维修方面，由于设备运行过程中，故障发生时间不定，根据估算，大约每年维修费用为 400 元。在燃料动力费方面，由于大多使用地下水，所以并不会产生水费，而更多是电费和燃油费高昂，每月可用电费和燃油费 12000 元左右，每年大约 1.44 万元。

限于资金压力，中规模投资设备质量大多处于中等水平，在调查中也发现，设备年限大多为 10 年，因此本文按照直线折旧法计算，所投资设备每年成本为 3.2 万元，加上设备运行管理费用每年 8.68 万元，每年共需投入 11.88 万元。

粪污处理的收益主要来源于沼气、直接还田和粪肥销售。产生沼气和直接还田相结合是目前养猪场粪污处理普遍采用的方法。因此把沼气的能源替代效益和干粪、沼渣与沼液作为有机肥施用节约的化肥、农药购置费用作为计算粪污处理工程收入的来源。在沼气方面，一般中规模养殖场产生沼气的主要供自己生活使用，如做饭、照明和取暖等。按照 500 立方米的沼气的量，如果能全部得到利用，每年可以节省燃料费用 3000 元，电费 2000 元。在直接还田方面，在理想情况下，年出栏量 5000 头猪可供 500 亩土地，但考虑到实际情况，中规模养殖户很难流转这么多土地，研究设定中规模养殖户可配套 200

亩耕地。尽管干粪、沼渣和沼液能够替代化肥施用，但是目前仍然不能完全取代化肥，仅能替代大约 70% 的化肥施用量。按照每亩地每年需要使用化肥 300 元计算，每年大约节省化肥使用 4.2 万元的化肥。

由于缺乏配套土地，无法完全消耗粪污，实际中部分养殖户可以转而制作有机肥销售。年出栏 5000 头猪场存栏生猪约 3000 头，按照每头猪每天产猪粪 3KG，含水量 82%。烘干发酵后的商品有机肥含水量约为 40%，则一年生产有机肥约 985.5 吨。但是中规模养殖户有机肥制作过程往往简单，质量较差，受限于运输费用，市场并不乐观。而且扣除还田部分，一般只能销售干粪总量的 55%。在价格方面，尽管有机肥的市场价普遍在 300 元/吨左右，但由于其质量较差，只能达到 150 元/吨左右。但是该种模式下成本较低，经调研知其毛利价格大约为 100 元/吨（扣除人工、运输、发酵设备等），从而有机肥收益大约为 5.4 万元。

根据上述分析，如果能够实施标准化的粪污处理工程，中规模户每年可获得纯收益为：

$$TY=TR-TC=10.1 \text{ 万元/年}-11.88 \text{ 万元/年}=-1.78 \text{ 万元/年}$$

因此，标准化粪污处理工程建设不仅有效地处理了养殖场畜禽粪便及冲洗废水，减少了养殖业废弃物和通过自然堆沤方式产生的温室气体排放，改善了农村生态环境，也提供了清洁的可再生能源和优良的有机肥料。但是其经济收益并不乐观，每年大约可能损失 1.78 万元，平均每头猪损失 3.56 元。

表 3.3 标准化粪污处理模式下中等规模生猪成本收益(万元/年)

成本项目		收益项目	
固定设备投资	3.2	燃料收益	0.3
人工成本费用	7.2	节省电费	0.2
维修费用	1.48	肥料收益	9.6
合计	11.88	合计	10.1

在现实中，粪污处理的损失可能还远远大于标准化处理模式。主要原因在于只有部

分中规模养殖户配套拥有相应的消纳沼肥的农田、果园、蔬菜基地等，其他大都以养殖业为主，沼肥的农田使用主要依赖周边农户，但由于沼肥在运输和施用上的不便，周边农户付费使用沼肥的意愿并不高。同时，沼肥每天连续产生与作物施肥季节性存在矛盾，因此实践中往往业主免费把沼渣沼液提供给农民进行农田的施肥和灌溉。而且实际中，粪污处理设备初期投资大，许多设备购置不完善，缺乏必要处理环节；而且大多中规模养殖户并没有配套耕地，缺少了沼肥的经济收入。在当前政策环境下，要想鼓励养殖户采用标准化粪污处理工程，一方面要对粪污处理设备进行补贴，另一方面也要鼓励养殖户配备足够消纳沼肥的自有农田，以沼肥代替化肥，节约种植业生产成本，提高“三沼”经济附加值，实现种养业相互促进、协调发展。

（三）小规模养殖户标准化粪污处理模式下成本收益计算

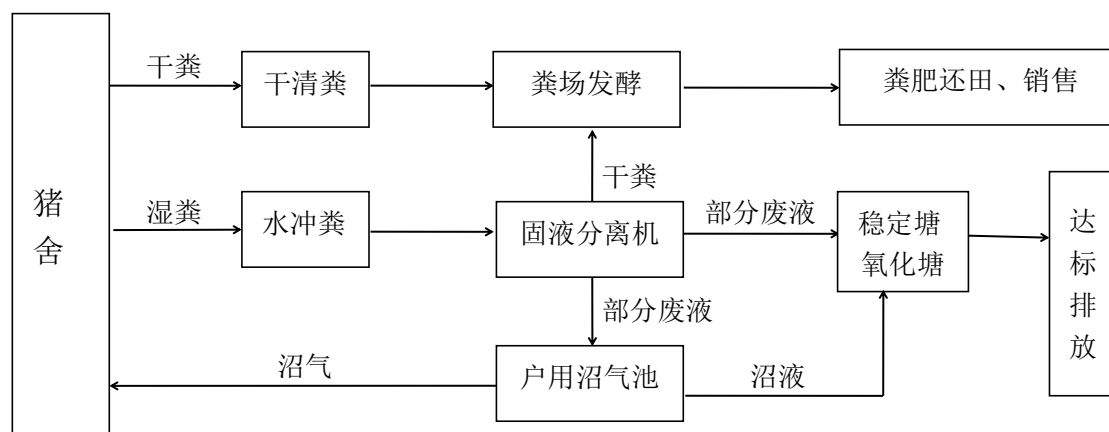
1. 粪污处理标准技术模式

在现有粪污处理技术中，沼气发酵技术是使用最为有效且广泛的，但针对于小规模户的特殊性，沼气发酵技术却难以较大规模推广，只能用户式沼气池处理小部分粪污。主要原因有：第一，小规模户没有足够的资金购建大规格沼气发酵设备；第二，沼气发酵产生的大量的沼气远远超出小规模户自用需求量，而养殖户却没有足够的资质将富余沼气安全、稳定地供给周围农户，只能燃烧释放，这大大降低了沼气发酵技术的经济效益。

在其他国家，种养结合也是被重点推广的一项粪污处理方式，即为养殖规模应和种植规模相匹配，保守估计，每五百头猪需要配套至少一百多亩的土地才能消纳其产生粪污。对于河南地区的小规模户（50-2000 头年出栏量）来讲，这种方式在短时间内也很难实现。调研对象中，存在一定比例的无种植地养殖户，平均千头猪户的种植土地面积也仅在 40 亩左右，远远低于粪污消纳所需面积。并且当地土地流转困难，养殖户很难流转 to 需要的种植用地，周围农户主动取用粪污的积极性不高，所以单纯的利用种养结合的模式来处理小规模户的粪污是远远不够的。

结合以上分析，想要实现小规模户粪污的无害化处理和资源化利用，就得在农户现有处理设备的基础上，综合各种粪污处理技术，以求低程度投入，高程度处理，实现达标排放。这种以“综合处理”为核心，“达标排放”为目的的处理模式，具体流程为：

图 3.3 小规模养殖粪污处理的优化模式



首先将干粪从猪舍清出，堆放在有顶棚的粪场堆沤（粪便在堆沤过程中可保持干燥），堆沤、熟化的过程要严格控制发酵时间和温度，把控有机肥质量。保证有机肥完全熟化，有害菌和虫卵被杀死后，供自家还田或者出售。废液从猪舍清理出来后，经过固液分离机，干粪堆回粪场，液体储于氧化塘或稳定塘（氧化塘比稳定塘多一套爆氧设备，使无氧发酵变为有氧发酵，大大缩短处理时间），部分废液可用于沼气池发酵，发酵产生的沼液也要引回稳定塘或氧化塘，等液体净化到达标程度，可冲洗猪舍、再利用或灌溉农田、直接排放。在此模式上，严格遵守粪污的处理流程和发酵时间，做到粪污的达标排放，不对环境造成污，是至关重要的。

2. 标准技术模式的成本收益分析——以千头猪场为例

（1）成本核算

该标准模式的成本包括固定成本和可变成本。其中，固定成本主要为设备折旧，以粪污达标排放为目标，千头猪场应配备固液分离机一台、8 立方集污井一座、70 平方米的带顶粪便发酵床、30 立方户用沼气池和 2000 立方的稳定塘，总造价约为 18 万元，按照预期使用年限为 10 年折旧，每年的设备折旧成本为 1.8 万元，平均到每头猪约为 18 元/头*年。

后期运转的可变成本包括人工成本、能源成本、其他成本等。每月清粪 75 个工时，每个工时 8.5 元；每年清理一次稳定塘，额外花费人工费用 500 元，每年合计的人工成本为： $75 \times 8.5 \times 12 + 500 = 8150$ 元。设备运转每月需电费约为 65 元，燃油费一年约为 70 元，水费主要为人工干清粪后的冲洗水量，按出栏千头猪场的粪污日冲洗水量为 4 吨，按照每吨 0.65 元的市场价格计算，每月水费约为 78 元，合计每年能源费用为： $(65 + 78) \times 12 + 70 = 1786$ 元。此外，设备维修等其他成本约为 500 元/年。合计每年运行的可变成本为： $0.82 + 0.18 + 0.05 = 1.05$ 万元，平均到每头猪约为 10.50 元/头*年。综合固定成本和后期运行成本，每头猪每年的粪污处理成本约为 28.5 元。

表 3.4 标准化粪污处理模式下千头猪场粪污处理成本预算（万元/年）

项目	金额	计算说明
设备折旧	1.80	购买价/预期使用年限
人工成本	0.82	包括粪污清理、设备维护等各环节的所有自有和雇佣人工
能源成本	0.18	包括粪污处理的水、电和燃油等能源费
其他	0.05	除以上三类的其他成本，主要包括设备维修保养费等
合计	2.85	以上四项的年均和

（2）理想收益估算

小规模户粪污处理的收益项目很少，主要包括销售收益、节省能源收益等几方面的收益，关于因免费供给周围农户而节省的他人的花费和社交价值因难以衡量，均不在考虑范围之内。具体来看，收益项目有：有机肥销售收益、沼气利用收益，和种养结合的收益。

有机肥销售收益。因小规模户的粪便产量不高且质量不稳定，所以很难吸引定时大量回收的大型收购商，只能低价卖给周围花农、菜农，价格约为 80~100 元/吨。调研发现千头出栏量的小规模养殖户配套自营耕地约为 40 亩，根据盛婧等（2015）的研究结果，以完全消纳有机肥为目标，千头猪养殖场至少需配套粮油作物地 325.35 亩~448.8 亩，因而小规模户有机肥自用可消纳 10%，假设出售 40%，免费赠与周边农户使用 50%。

年出栏千头猪场存栏生猪约 600 头，日产猪粪量约为 1800KG，含水量约为 82%，小规模养殖户有机肥加工工艺较为粗糙，含水量一般为 50%，则千头猪场一年可生产有机肥 230 吨。按照 90 元/吨，毛利为 50%估算，销售 40%的收益约为 0.41 万元。

沼气利用收益。沼气利用收益主要为使用沼气所节省的电费、煤气等能源费用。因为小规模户配备的均为户用沼气池，设备规格小，一般只能够满足自家使用，不能对外供给其他农户，因此，此部分的收益只包括养殖场自用沼气的收益。根据实际调研每千头猪场每月因沼气使用可节约一罐煤气，按每罐煤气 100 元，则每年节省的煤气费为 1200 元。因小规模户沼气产量低，所以不适用沼气发电技术，节省电费为 0 元，因此，沼气利用收益为每年 1200 元。

种养结合的收益。种养结合的收益主要包括两个方面：一是施用沼液和有机肥节约的肥料成本；二是施用有机肥和沼液带来的作物增产收益。标准模式下，沼液是采用自然净化至达标排放处理方式的，所以沼液几乎没有被当作找肥料使用，即该部分收益可视为零。又因为小规模户作物产量基数很小，因施用有机肥带来的增产收益可以忽略不计，所以种养结合的收益仅包含有机肥节省的化肥费用。按千头出栏规模的养殖户平均拥有 40 亩种植用地，每亩地每年因使用有机肥而节省化肥 300 元，则该户一年的潜在收益为 $40 \times 300 = 12000$ 元。

综合以上三类收益可得，标准处理模式下，千头猪场通过“综合处理+达标排放”这种标准技术模式每年可以获得 $0.93 + 0.12 + 1.2 = 2.25$ 万元，平均每头猪的粪污处理收益为 5.8 元。

表 3.5 千头猪场粪污处理收益预估（单位：万元/年）

项目	理想收益	计算说明
有机肥销售收益	0.41	主要指商品有机肥销售毛利
沼气利用收益	0.12	主要指使用沼气烧饭供暖节约的电费和燃油费
种养结合收益	1.20	包括施用沼液、有机肥节约的化肥成本和作物增产收益
合计	1.73	以上三项年均和

（3）成本收益对比分析

经过对比千头猪场标准技术粪污处理模式的成本收益，每头猪每年粪污处理的成本为 28.5 元，收益为 17.3 元，在标准技术模式下，小规模养殖户每头猪每年因粪污处理要亏损 11.2 元，因而引导小规模养殖户向标准技术模式转变需要政府财政的大力支持。

综合来看，小规模养殖户粪污处理设备的一次性投入成本较高，并且其预期收益不足以支撑其投入，优化模式的推广需要许多客观条件和养殖户的自查、自律意识。短期内，为解决小规模户的污染问题，一方面，应将政策扶持重心放在粪污处理设备补助上，减轻养殖户的粪污处理成本压力；另一方面，要加强政府监管力度，加大粪污治理宣传，树立农户的环保意识。长期来看，可以建立第三方粪污处理厂就成为必要且最优的。它能定期收购小规模户的干粪，将其处理成价格低廉，施用方便的有机肥，就近销售，将生猪粪便发挥最大的经济效益。

（四）总结与对比分析

从排污系数和污染量占比来看，小规模养殖户生猪粪便污染情况最为严重。小规模养殖的污染量在规模养殖中占比高达 75%，排污系数也远高于中大规模，主要原因如下：第一，目前小规模养殖户年出栏生猪量最多，粪便排放和处理压力最大；第二，小规模养殖户的粪污处式模式简单，处理工艺较为粗糙，且小规模养殖户约有 14.7 万户，监管难度较大。

从实际成本收益情况来看，各类规模养殖户在粪污处理环节均处于亏损状态。其中，小规模养殖户的猪均亏损程度最大，平均每年每头猪因为粪污处理需承担亏损 12.58 元，主要是因为其猪均粪污处理的人工成本较高；中规模亏损程度次之，虽然其猪均粪污处理成本较小规模养殖有大幅下降，但其猪均收益也被摊薄，亏损程度依然较为严重；大规模养殖亏损最小，基本已经实现盈亏平衡。

从标准模式成本收益情况来看，各类规模养殖户粪污处理的净收益均得到了改善，中大规模基本可以自负盈亏，但小规模养殖户粪污处理的亏损程度依然很大。标准技术模式是以粪污完全处理、零排放为目标，以技术可获得并能够广泛传播为基础，在充分考虑成本收益的情况下，针对不同规模提出的养殖粪污处理优化模式。该理想状态下，中大规模养殖户由于存在规模效应和一定的资金实力，其转化为标准模式后基本可以自

负盈亏，大规模养殖户甚至有望从粪污资源化利用中获利。但小规模养殖户依然处于亏损状态，主要因为其粪污资源化产物，如有机肥、沼气等，生产不够规范且市场认可度低，建议考虑第三方收购或尝试自然养猪法（见下节介绍）。

表 3.6 不同规模养殖户粪污处理情况对比分析表

项目	单位		小规模	中规模	大规模
2015 年污染量占比	%		75.34	12.99	11.67
实际情况	主要模式		“零处理，直接排放”、“部分处理，再排放”和“处理加储存”	户用沼气池、大型沼气池和“大型沼气池+沉淀池”模式	自然稳定塘、厌氧生物和厌氧—好氧生物处理模式
	排污系数	%	47.93	27.31	13.5
	实际成本	元/头*年	22.88	12.3	16.51
	实际收益	元/头*年	10.3	2.29	14.55
	实际净收益	元/头*年	-12.58	-10.01	-1.96
标准模式	理想成本	元/头*年	28.5	23.76	20.06
	理想收益	元/头*年	17.3	20.2	22.67
	理想净收益	元/头*年	-11.2	-3.56	2.61
转化成标准模式的资金缺口（实际收益-理想成本）		元/头*年	-18.2	-21.47	-5.51

数据来源：作者调研数据整理

为引导各规模养殖户向标准技术模式转变，政府财政需进行针对性的补助，因为理想模式下的成本要远高于目前模式下的实际收益。短期内，要引导小、中、大规模向标准技术模式转变每头猪每年分别需要补助 18.2 元/头，21.47 元/头和 5.51 元/头。根据河南省 2015 年各规模的生猪出栏数，按照该种补贴力度，河南省小、中、大养殖户每年投入在生猪粪污处理环节的补贴将分别达到 6.87 亿、2.45 亿和 1.14 亿元。其中，对小

规模养殖户的补贴总额最高，主要是因为其生猪年出栏量最大；对规模每头猪的补贴力度最大，主要是因为规模养殖场处于规模快速扩张阶段，设备整改的进程慢于生猪养殖量的增速，使得每头猪粪污处理的收益被摊薄，打破现有粪污处理模式的成本较高。但长期来看，生猪粪污处理补贴的财政压力会逐步减轻。随着有机肥的产品认证标准和市场定价机制的不断完善，种植业规模化经营的进一步推进，以及沼气发电等技术的不断进步，生猪粪污资源化利用的收益将大大提升，维持标准技术粪污处理模式的资金压力也将逐步降低。达到标准技术模式下的理想收益时，大规模养殖户粪污处理基本可以实现盈利，中规模养殖户每头猪的理想净收益为-3.16 元/头，接近盈亏平衡点，小规模养殖户的补贴需求也会从 18.2 元/头下降到 11.2 元/头，财政补贴压力将大大减轻。

四、畜牧业污染治理模式探讨

随着畜禽养殖总量和养殖场户规模的不断扩大，畜禽粪污的产生量不断增加。2014年规模畜禽养殖化学需氧量和氨氮排放量分别为1049万吨和58万吨，占当年全国总排放量的45%和25%，占农业源排污总量的95%和76%，全国共有24个省份的畜禽养殖场（小区）和养殖专业户化学需氧量排放量占到本省农业源排放总量的90%以上（于康震，2014）。

国家鼓励和支持采取种植和养殖相结合的方式消纳利用畜禽养殖废弃物，《畜禽规模养殖污染防治条例》和《农业部关于打好农业面源污染防治攻坚战的实施意见》都鼓励因地制宜开展畜禽污染防治，并优先考虑畜禽粪便的综合利用。国内外实践经验表明，大力发展种养结合模式是解决农业系统内部物质与能量消纳与再利用的有效途径。一方面，种养结合可以变废为宝，将粪便变为有机肥，降低了畜禽养殖污染；另一方面，可以对冲养殖业的风险：猪肉价格波动较大，养殖户不仅面临着生产风险，还面临着市场风险，如果通过种养结合的方式，养殖户如果在养殖市场上亏本，还可能通过种植业的收入作为基本收入。

在我国，利用沼气工程是实现种养结合的最常见的方式之一。但是，由于大中型沼气工程沼液产生量大，沼液储存与运输设施不完善，而我国人口密集，农田土地管理分散、农户拥有土地面积小，达不到大面积消解利用的要求。因此，养殖场的规模化与集约化趋势使得周边环境常常产生过饱和现象，消纳沼液的土地面积远不能满足畜牧业的发展。

配套土地规模与养殖规模不匹配的矛盾，是当下畜牧污染治理亟需解决的关键问题。如果该问题得不到解决，则将严重制约种养结合的顺利开展，并大幅降低其环境和经济效益。基于对河南省的深入的实地调研，我们认为：分别根据匹配土地规模以及根据养殖户的分散程度，选择选择不同的畜禽粪污处理模式是解决该矛盾较为现实的路径。

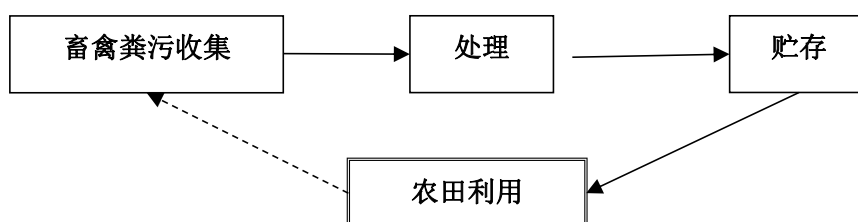
（一） 配套耕地规模与处理模式选择

根据不同的配套耕地规模，我们划分了不同的粪污处理模式：（1）对于有充足消

纳土地的养殖区，应当鼓励种养结合的方式；（2）对于消纳土地面积有限的养殖区域，应当提倡使用“有机肥+循环利用”的模式；（3）对于没有消纳农田的地区，应当要求采用“有机肥+达标排放”的模式；（4）对于养殖密集区，可以尝试集中处理的模式。在下面小节中，将对这几种模式进行深入探讨。

1. 有充足消纳农田——种养结合

图 4.1 种养结合模式图

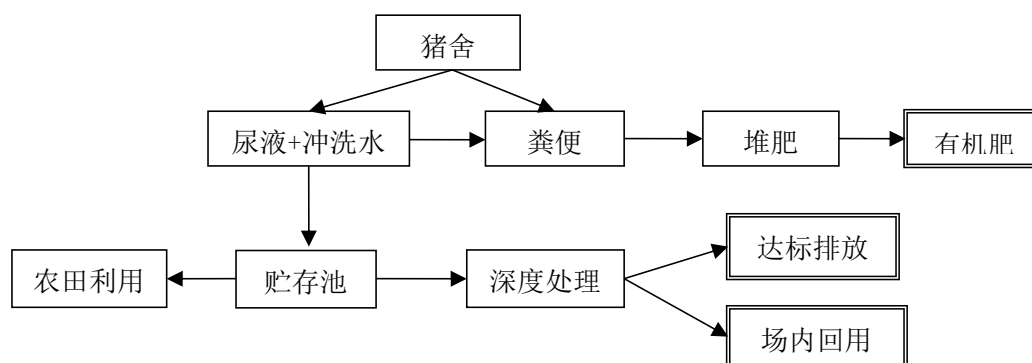


畜牧业发展规划应当统筹考虑环境承载能力，将畜禽粪便等用作肥料的，应当与土地的消纳能力相适应。如果超出土地消纳能力，造成环境污染的，依照法律有关规定予以处罚。种养结合主要有以下技术要点：

（1）无害化处理。根据 NY/T 1168-2006 畜禽粪便无害化处理技术规范，要严格控制蛔虫卵死亡率、类大肠杆菌值，以及有效控制苍蝇孳生，堆体周围没有活的蛆、蛹或新羽化的成蝇，并且沼气池粪渣达标固体无害化处理后可作为农肥（2）贮存设施。畜禽粪便贮存设施应参照 GB/T 27622-2011 设计要求，畜禽养殖污水贮存设施应参照 GB/T 26624-2011 设计要求。在建设贮存设置时，要综合考虑种类、规模、清粪工艺、处理工艺和周期、施肥时间等各项因素。（3）农田利用。畜禽粪便的农田利用应参照畜禽粪便还田技术规范 GB/T25246-2010）和沼肥施用技术规范（NY/T2065-2011）。综合考虑农田作物养分需求、土壤养分、不同作物粪肥施用时期。

2. 消纳农田面积有限——有机肥+循环利用

图 4.2 有机肥+循环利用模式图



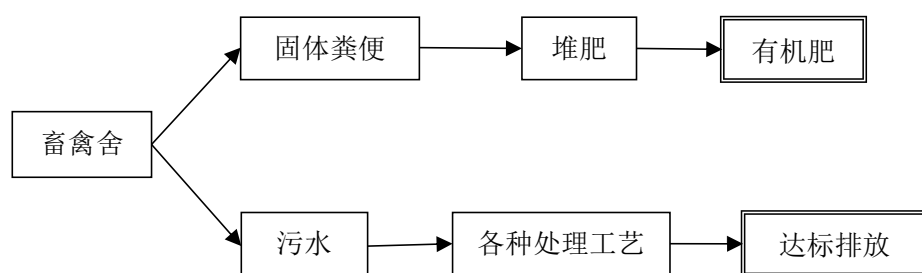
在畜禽养殖过程中通过干湿分离、雨污分离、饮用水和污水分离等技术手段减少废弃物的产生，降低末端治理的难度和成本。

首先，在养殖过程中通过清干湿分离、固液分离和雨污分离实现清洁生产。干湿分离是指利用刮粪便将粪便和污水分开，最大限度地保存粪中的营养物，同时减少污水中污染物的浓度。固液分离是指通过固液分离减少污水中粪便含量，从而进一步减少后续处理压力。雨污分流是指雨水收集后就近就地排放，污水收集系统则将养殖污水收集输送至处理系统内进行处理，减少污水混入污水的数量，从源头进一步减少污水的产生量。此外，养殖过程中的工艺改进也有利于末端污水处理，例如采用科学的饮水器，降低饮用水浪费和污物排放量；采用节水型的圈舍清洗方式和冲洗设备，如高压水冲洗，最大限度减少冲洗用水，减轻末端污水处理量。

对于尿液和冲洗水，首先将其贮存在贮存池内。待储存一段时间达到农田利用标准之后，一部分用于农田，另外一部分进行深度处理，以满足回用的相关要求，例如对污水通过厌氧、好氧以及膜处理等工艺进行无害化处理。在污水处理达标之后，可排放或者场内回用。对于固体粪便的处理，主要采用堆肥的方式，在堆肥之后，将制成的有机肥用于生产或者销售。

3. 无消纳农田——有机肥+达标排放

图 4.3 有机肥+达标排放模式图



“有机肥+达标排放”养猪模式是对粪污水集中治理，通过厌氧好氧处理后，实现养殖废水达标排放的环保养殖模式。主要生产工艺是：养猪场粪污排泄物经干清粪和固液分离后，将粪渣固体集中堆积发酵制成有机肥，污水则进入沼气池厌氧发酵，沼液经过专门的沉淀池沉淀、好氧曝气池处理和水生植物生物氧化塘吸纳降解，或通过其他的污水深度处理设施设备处理，使排放水的水质达到 (GB18596-2001)规定的标准后排放。固体粪便通过堆肥发酵后制作成有机肥使用或者销售。该种模式对于设备和工艺要求较高，投资和运转均需要具有较高技术水平的人员。因此，一般这种模式多应用于地处大城市近郊、经济发达、土地紧张地区的规模猪场粪污处理，并且一般多为大型规模养殖场。

这种模式的优点是：适用于周边没有足够吸纳沼液农林吸纳地的各类生猪养殖场，以及对农林吸纳地面积较小地区已运行又无法进行猪舍改造的中小型养猪场。这种模式的缺点是：猪场要建造储粪池、沉淀池、沼气池、储液池、好氧曝气池和生物氧化塘，以及其他的污水深度处理设施设备，需不小的投资。

4. 总结

从以上不同粪污处理模式来看，对于固体粪便的处理较为单一，一般都在固液分离之后进行发酵，规模较大的进行加工，做成商品有机肥，还田或者销售；规模较小的养殖场，则可能进行简易加工，甚至不加工，进行还田。尿液和污水处理的能耗和对环境的影响潜力均最大，是粪污处理过程中的难点和重点。

但是，不同粪污处理模式的污水处理模式差异较大。养殖场的污水的去向主要有以下几种：作为沼液还田、达标排放、以及集中处理，集中处理最终也是还田或者达标排

放，所以，每种方式都有不同程度的还田。

（二）养殖户分散程度与处理模式选择

1. 小规模养殖分散区——自然养猪法的发酵床技术

自然养猪法是从韩国地球村自然研究院引进的技术，经过本土反复试验研究，结合现代微生物发酵技术，形成的一种相对环保、安全、有效的生态养殖法。这种养殖方式涉及到养猪学、动物营养学、环境卫生学、生物学与土壤肥料学等科学。它是以养殖业为主体进行开发、利用对猪排泄物的科学处理，实行种养结合，做到科学利用、互相促进，低投入、高产出、少污染的良性循环的生态养猪系统工程。具体来说，自然养猪法是以因地制宜的猪舍和有利于活性土著微生物生长发育的发酵床技术为核心，以饲养过程中不清粪便、提高冬季猪舍温度、增加生猪抵抗能力、节约成本、提高效率和生产优质猪肉为特点的综合养猪技术。

自然养猪法的技术核心是发酵床技术，其要点是：以地下式发酵床为主要形式，在地面以下挖 1 米左右的深坑，在坑内先后填入沙土、树枝树杈、成捆的秸秆、锯末秸秆和稻壳等，然后加入采集和培养的土著微生物，再掺上部分当地土壤和一点天然盐，根据当地的自然生态进行配合，营造出有利于土著微生物生长繁殖的环境，发酵后三、四天就可上面直接正常饲养生猪。在饲养过程中，生猪可在发酵床上直接排泄，排泄物会和发酵床垫料在猪的搅拌、踩踏和微生物的综合作用下再发酵反应，通过微生物的分解和吸氨固氮，将猪排泄出来的粪尿发酵成猪可口的、富含菌体蛋白的食物和可直接用作肥料的有机质。因此，猪舍无需再清理打扫，也没有了臭味和蝇虫。并且通过发酵，冬日内圈底温度会升高到 35 度，猪舍无须耗煤耗电加温，有利于生猪全年的生长发育，节省能源支出。

除发酵床技术外，自然养猪法还要求养殖户做到自产饲料等。自产饲料则是为了改善猪肉品质，降低饲养成本，自然养猪法改变了生猪的饮食结构，在保证营养均衡的条件下，通过拱食发酵床的食用菌体蛋白搭配饮用中草药制剂，改善猪体里的微生物菌落，提高生猪的消化能力和抗病能力，再改喂自产的玉米、麦麸、秸秆和青饲料（野菜、淘汰蔬菜、农作物附属物等），从饲料源头把控重金属、和抗生素的使用，减少了外购饲料的风险和成本，间接地改善了因焚烧秸秆等带来的农业污染问题，提高了猪肉品质，

也带来了经济效益。

这样一个良好的微生态发酵床，一般可连用 2-3 年，三年后可考虑更换垫料，但如果维护得当，菌群活性高，发酵床就可持续使用。在具体操作过程中，每头猪的粪便大约需要 1.5 平米发酵床的垫料来分解，这就要求发酵床养殖密度要小于传统养殖技术。再者，发酵床技术需要人工定期给发酵床添加垫料（秸秆、锯末等），以维持微生物的正常反应和生猪的日常拱食。除此之外，发酵床技术不需要其他的额外投入。相比起传统养猪法，发酵床养猪不需要用水冲洗圈舍，仅需要满足猪的日常饮水即可，所以较传统集约化养猪可节水 85%~90%，节约了大量资源。第二，生猪日常食用垫料，所以还可以节约 20% 的精饲料费用，更重要的是，由于猪粪尿全部在猪舍内降解，没有污水和粪便向外排放，基本根除其对空气、沟渠、地下水的污染，实现了农民增收、食品安全。

（1）自然养猪法的优势：

第一，节约资源。

自然养猪法不需要对圈舍进行清扫，也不会排放大量的冲圈污水，仅需要满足猪只饮用和保持垫床 60% 以上湿度的水分即可，所以较传统集约化养猪节省用水 85% 以上，节约了水资源；不需要额外的粪污处理用地，圈舍可以实现边养殖，边处理的作用，节约了土地资源；该技术下，一个人可饲养 800-1000 头育肥猪，较传统养殖法节约 1.5 倍的人力；发酵床通过微生物将猪的粪便中没有被吸收的营养物质和垫料转化为猪可食用的有机物和菌体蛋白质，可节省 20% 左右的精饲料。

第二，提高品质。

自然养猪法帮助猪只恢复了自然习性，保留了优良的习性，有着更适宜于发酵床养殖的强大的消化能力和抗病性。猪只应激少，又采食菌体蛋白、有机酸、抗菌肽，提升了猪的免疫力和抵抗力，可减少每头猪药费 10 元左右。在保证所需的各类营养满足的前提下，让生猪多食用青饲料，减少精饲料的喂养，因青饲料比较新鲜，有猪能吸收的各种维生素和微量元素，改善猪的适口性和猪肉品质。并且自然养猪法的养猪舍有足够大的空间供生猪活动，尽可能的实现动物福利，生猪每天有足够的活动量，加上饮食均衡健康，所生产的猪肉品质明显改善，氨基酸及其他营养含量提高 5%-10%，完全达到了无公害猪肉标准，售价可高于普通猪肉 10 元/斤，实现了经济效益。

第三，改善食品安全。

该生态养殖模式全程不添加抗生素，降低药物残留，利用微生物制剂（乳酸菌、果实酵素等）来改善动物的肠胃功能，增强胃动力，帮助消化粗制饲料；通过中草药制剂（汉方营养液等）来提高动物免疫力，对环境进行消毒、杀菌，防止动、植物病害，恢复动、植物生长能力，实现反哺防疫效果。不外购商品饲料，注重饲料的本地化和自己生产是为了让猪群吃到绿色无污染、无重金属的相对安全的饲料。从源头管控重金属和抗生素的摄入，尽可能的改善食品安全问题。

第四，降低污染排放。

除前面已述及饲料中不添加抗生素，猪肉中降低药物残留外。生猪所产粪尿经过菌种发酵转变为微生物蛋白，猪场内外无臭味，氨气含量显著降低。该模式的生产过程减少了对外排放粪污，发酵后的垫料可分离出来经处理做成固体有机肥料，可用于有机农业生产，这样就形成了一种循环经济的生态环保养猪模式。

第五，经济效益高。

除了节约资源，提高品质都可实现经济效益外，降低成本也增加了其经济效益，现已育肥猪为例，对比了自然养猪法和常规养殖法的成本，可见每头育肥猪可节省成本约400元。

表 4.1 发酵床养猪与常规养殖成本比较

种类\项目\方法	自然养猪法	常规养猪法
仔猪成本（元/头）	370	400
饲料（元/头*批）	467 斤/头*1.5 元/斤=700.5 元	650 斤/头*1.5 元/斤=975 元
育肥人工费（元/头）	15000 元/半年÷400 头/人=37.5 元	15000 元/半年÷200 头/人=75 元
医药费	10	40
水电费	3	6
死淘费	20	40
合计	1140.5	1536

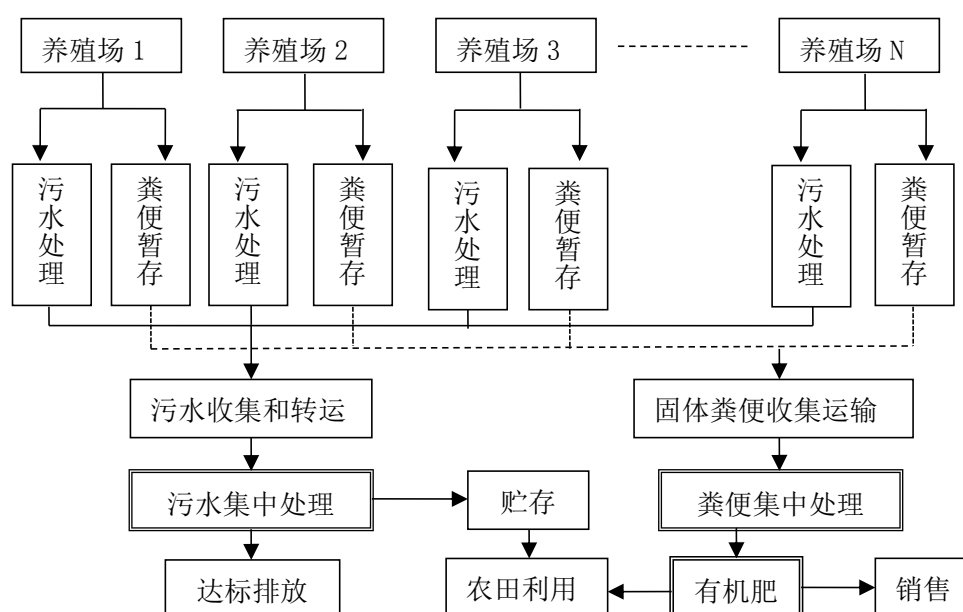
数据来源：云凤合作社《发酵床养殖专题培训·参考资料》

(2) 自然养猪法适用范围及可能存在的不足

虽然发酵床技术节省了大量的人力、物力，节约了能源，并且可以通过对饲料的严格把控来管理对抗生素和重金属的使用，该技术避免了沼气发酵技术上的诸多问题，但这些优点可能在小规模养殖情况下才能更好地实现。中大规模户因为养殖规模较大，灵活度不高，可能很难通过该种农业生产方式获益。除此之外，自然养猪法因其技术要求较高，菌种不能进行商品化生产，养殖区无法实现统一化的管理，这就要求采用该技术的养殖地区必须有熟悉该技术的技术员做指导。目前，了解和熟习该技术的人员及组织还太少，不能满足推广需要，成为该技术发展和传播的掣肘。

2. 养殖密集区和大规模养殖——集中处理

图 4.4 集中处理模式图



集中处理是指在养殖密集区，依托规模化养殖场后专门的粪污处理中心，对周边养殖场（小区、养殖大户的）粪便或污水进行收集并集中处理。集中处理的使用的范围与区域一般为：养殖集中区域、小型养殖场集中区域、养殖小区、一条龙企业服务模式。相比于其他模式，排泄物的收集是集中处理的关键技术环节：

(1) 谁来做。专业化企业，合作社，分公司，要充分考虑不同处理主体的处理能力，专业化处理，销售与利用能力；(2) 收集的形式。通过干清粪工艺，粪便通常为固态；通过水泡粪、水冲粪工艺，通常为液态；(3) 粪污收集方式。在养殖厂内粪污收集方式，主要通过两分两池。两分是指雨污分离和固液分离；两池是指集尿池和贮粪池。固体通过干清粪到贮粪池；液体则先后通过收集沟，主渠再到收集池。在场外，小型运粪车负责收集每个猪场的干粪，运输至干粪储存收集站，倒入粪便收集斗内，摆臂式收集车将装满粪便的收集斗装回处理站，并更换空收集斗。

概括来说，集中处理模式有如下特点：(1) 集中处理，实现了专业化；(2) 提高了处理设施的利用效率；(3) 适合养殖集中区域，或大型养殖公司。集中处理也存在以下两个主要问题：

(1) 运输成本高。对于本身利润就较低的有机肥厂来说，难以承受高成本的运输成本。如果养殖企业较为偏远、养殖规模很小，即使中小养殖场免费给有机肥厂，有机肥厂运回的猪粪所产生的价值可能都难以弥补运输成本。处理猪粪某种程度上具有一定的正外部性，政府应当对于有机肥厂提供畜禽污染外包提供一定的补贴。

(2) 收购时间。由于对于中小养殖户来说，如果将养殖污染外包出去，则必须每天安排劳动力与收购企业对接，必要时得帮助收购者运上车，这也存在很高的人力成本。

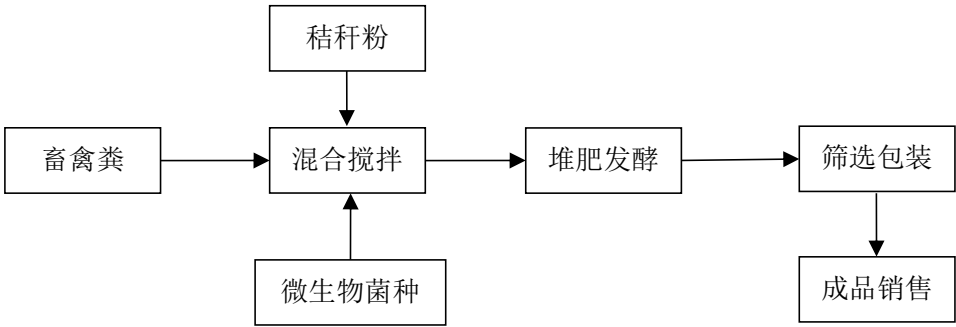
(三) 对不同粪污采用不同的处理方式及存在的困难

1. 干粪的处理：有机肥

(1) 干粪的处理现状

国家粪便无害化卫生标准中规定堆肥无害化应符合的几项指标：堆肥无毒最该堆温达 50-55 摄氏度以上，持续 5-7 天。蛔虫死亡率 95-100%；粪大肠杆菌值 0.1-0.01；有效控制苍蝇孳生。常见的堆肥方式有：条剁式堆肥、强制通风静态剁堆肥和堆肥反应器三种。

图 4.5 常见的干粪处理模式



(2) 有机肥及有机肥市场的问题

有机肥问题自身目前存在两个重难点：重金属、抗生素。重金属和抗生素的解决程度决定了有机肥的质量如何。针对重金属有两种方法：源头控制、技术高效解决。针对抗生素，找到抗生素的替代品。但是对于这两个关键问题的解决，目前技术不成熟且成本高昂。

关于有机肥的使用，农户的积极性不高。当下，农户兼业化程度高，使用非成品有机肥机会成本高。并且，散户的比例在养殖户中越来越小，中大规模的养殖户基本都为专业化养殖。而在联产承包责任制下，现阶段种植业多为兼业化种植。专业化养殖畜禽污染多成点状形式，处于其周边的农户，距离点越远，其运输成本越高，其使用猪粪作为有机肥的机会成本是从事非农工作的工资。对于兼业化的农户，其在农业的投资可能就不多，最优的决策是农业的边际投入回报等于在二三产业投入的边际回报，往往在这种情况下的农业投入是偏低的。所以，在自己使用猪粪处理麻烦、需要较多劳动时间单位的情况下，即使养殖场免费提供给农户，农户也不选择使用是农户的理性决策。

对于有机肥市场，存在鱼龙混杂、劣币驱逐良币的现象，并且同质化严重。有机肥市场的无序影响了整体市场需求方对于有机肥的认识，降低了有机肥的总需求。

(3) 促进有机肥发展，规范有机肥市场的对策

针对上述有机肥及有机肥市场存在的问题，提出下列对策：

第一，限制有机肥使用范围，规范有机认证标准。市场上因为对于有机肥名称的乱用、滥用，导致普通农户形成不了有机肥的一致认识，甚至由于使用过质量差的所谓“有

机肥”，而对有机肥形成差的刻板印象。因此，对于小规模生产、未进行深加工的、未达到有机肥标准的“农家肥”，限制其使用有机肥的名称。另外，对于规模较大、投入市场的商品有机肥，要进行有机肥认证，提高进入壁垒，规模认证标准。

第二，通过技术创新，解决有机肥自身存在问题。技术变革带动商业模式的变革，一方面，鼓励企业通过技术创新，解决有机肥生产过程中的重金属和抗生素问题；另一方面，政府支持相关科研单位进行专门的技术攻关，有针对性的解决此问题。

第三，对有机肥企业适当补贴，弥补企业效率损失。有机肥作为传统加工业、投机高、回报慢、收益低是一个对社会有正外部性（主要是环境的正外部性）的行业，企业进行有机肥的生产处理，一定程度上降低了企业的效率，政府应当对有机肥企业给予适当的补贴或者政策支持。

2. 沼液的处理：还田

（1）沼液还田的问题

沼液还田作为目前处理畜禽养殖业污水最常见的措施，显然该措施有较多优势。但是，也存在许多不容忽视的问题：

第一，由于大中型沼气工程沼液产生量大，沼液储存与运输设施不完善，而我国人口密集，农田土地管理分散、农户拥有土地面积小，达不到大面积消解利用的要求。

第二，养殖用地需额外普通用地，不能在基本农田建设养猪场，普通用地距离城郊或者村庄比较近，可能引起环保问题，并且可能离农地较远，造成种养结合存在很高的运输成本。

第三，土地流转问题。如果养殖户想通过种养结合来解决养殖污染和对冲养殖风险，但是由于我国现在土地流转市场仍不完善，特别是在大部分养猪企业都是非本地人的时候，这种流转发生的概率较低。

第四，由于我国各地土壤、气候、降水和种植作物类型存在较大差异，尚未出台有关沼液灌溉的整体技术规范，加之不同沼气工程投料种类、比例和加水量的差异，造成沼液养分含量、成分不尽相同，使得沼液还田存在较大的问题和风险。不合理的使用方式和连续过量使用将导致硝酸盐、磷及重金属的沉积，从而对作物、土壤、地表水和地

下水环境构成污染，存在传播疾病、危害人类健康的风险。

(2) 沼液还田的优化建议

基于以上问题，对于沼液还田处理污水这种模式，本报告提出以下优化建议：

第一，实行适度规模、发展农牧结合模式。养殖场不可能到基本农田上建猪舍，那么对于猪场粪便的利用问题，一方面，猪场周边肯定有基本农田，这样就需要养殖场跟当地农户签订协议，让他们使用猪粪作肥料；另一方面，在新的养殖项目落地的时候，应配备猪场需要的土地。

第二，对于土地紧张的地区，应控制养殖规模。并将污水先厌氧发酵后再处理达标排放，或者通过集中处理的方式。发展以沼气工程为纽带的农牧结合循环农业模式应是目前发展的重点，但同时也对厌氧发酵工艺、装备和技术提出新的挑战。

第三，沼液适度还田，依据作物生长规律还田。现实中，沼液过度还田的现象仍常见，并且不根据作物生长规律还田。因此，在沼液还田的过程中，不能形成大面积地表径流，不形成埋怨污染；同时，不能过度浇灌，不形成地下水污染；再者，也不能过度施肥，不形成土壤污染；并且，还要根据季节合理施肥，不伤害作物。

五、国内外政策对比分析

（一）国内政策分析

近年来国家及地方有关畜禽养殖的环境保护政策的变化，尤其是《畜禽规模养殖污染防治条例》和新修订的《中华人民共和国环境保护法》对生猪养殖业产生了重大影响，对废弃物综合利用和无害化处理提出了新要求。解决环境污染问题，建立环保型生猪养殖新模式已成为生猪养殖业发展的关键性难题。本小节将从中央层级和地方层级分别进行介绍。

1. 中央层级

近些年来，畜禽规模养殖的快速发展对我国城乡，特别是对农业农村生态环境形成了巨大威胁。国家为健康发展生猪产业，出台一系列相关政策。其中对生猪规模化建设、排泄物及病死猪的处理提出严格要求，以缓解生猪养殖的环境污染问题，推进生态文明建设。

2015 年，农业部会同有关部门制定了《全国农业可持续发展规划(2015-2030 年)》《农业突出环境问题治理规划(2015-2018 年)》和《农业部关于打好农业面源污染防治攻坚战的实施意见》等文件，对当前和今后一个时期规模化畜禽养殖等农业面源污染防治工作进行了总体规划部署；2014 年 4 月 24 日，新修订的《环境保护法》经十二届全国人大常委会第八次会议以绝对高票审议通过，已于 2015 年 1 月 1 日起施行，该法律对畜禽粪便、动物尸体、污水、废气的排放等粪污治理提出了更高的要求；2014 年开始实施的《畜禽规模养殖污染防治条例》是中国第一部专门针对农业农村环保领域的行政法规，对畜禽规模养殖污染防治工作的推进具有重大意义；2012 年发布的《全国畜禽养殖污染防治“十二五”规划》是中国首次出台针对畜禽养殖污染防治的专项规划；2001 年实施的《畜禽养殖业污染物排放标准》为国家强制性标准；此外，还颁布了若干行业推荐性标准和部门规范性文件。

为贯彻落实国务院《水污染防治行动计划》，2015 年 11 月，农业部发布《关于促进南方水网地区生猪养殖布局调整优化的指导意见》。提出，要对上海、浙江、江苏、广东、安徽、江西、山东、河南、湖北、湖南等地的生猪养殖业做出调整优化，到 2020 年，南方水网地区生猪养殖转型升级取得明显成效，年出栏 500 头以上的生猪规模养殖

比重达到 70%以上, 生猪规模养殖场粪便处理设施配套比例达到 85%以上, 生猪粪便综合利用率达到 75%以上, 生猪存栏量与土地承载力相适应, 形成产出高效、产品安全、资源节约、环境友好的生猪养殖业新格局, 实现生猪养殖污染基本治理和生猪生产基本稳定的双重目标。

以上初步构成了中国新时期畜禽养殖污染防治的政策框架。纵观我国中央层面出台的畜牧业环境污染防治政策, 主要可分为命令控制性政策和经济激励型两类 (孟祥海, 2014)⁸。

(1) 命令控制性政策

2001 年以前, 我国缺乏专门性的畜牧业环境污染防治法律法规, 仅靠《环境保护法》、《水污染防治法》和《畜牧法》等法律法规, 无法有效地防治畜牧业发展造成的环境污染。2001 年以后, 面对严峻的畜牧业环境污染形势, 环境保护部相继出台了针对性的政策法规及标准(表 5.1), 《畜禽养殖业污染物排放标准》首次明确规定了畜禽养殖业污染物排放标准并提出了“无害化处理、综合利用”的总原则; 《畜禽养殖污染防治管理办法》(国家环境保护总局令第 9 号)进一步明确: “畜禽养殖污染防治实行综合利用优先, 资源化、无害化和减量化的原则”; 《畜禽养殖业污染防治技术规范》(HJ/T81-2001)对畜禽养殖业污染排放标准技术做出了明确规定; 《畜禽养殖业污染防治技术政策》(环发[2010]151 号)从技术政策层面鼓励畜禽污染防治的专业化, 鼓励因地制宜开展畜禽污染防治, 并优先考虑畜禽粪便的综合利用。《畜禽规模养殖污染防治条例》及《新环保法》正式颁布和施行, 让养殖业健康发展和污染治理从此真正走上“有法可依”的法制化轨道。

2014 年 1 月 1 日《畜禽规模养殖污染防治条例》开始实施, 对粪便污水无害化和病死猪处理等做出相关规定。2015 年 1 月 1 日起最新的《环境保护法》开始实施, 明确规定“保护优先、预防为主、综合治理”的原则, 要求建设项目中的防治污染设施, 应当与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。

⁸孟祥海, 张俊飏, 李鹏, 陈晓坤. 畜牧业环境污染形势与环境治理政策综述[J]. 生态与农村环境学报, 2014, 01: 1-8.

表 5.1 中央层面颁布的畜牧业环境污染防治政策法规

编号	政策/法规名称	发布单位	实施时间
1	《畜禽养殖污染防治管理办法》	环境保护总局	2001-05-08
2	《畜禽养殖业污染防治技术规范》	环境保护总局	2002-04-01
3	《畜禽养殖业污染物排放标准》	环境保护总局 国家质检总局	2003-01-01
4	《畜禽场环境质量及卫生控制规范》	农业部	2006-10-01
5	《畜禽粪便无害化处理技术规范》	农业部	2006-10-01
6	《畜禽养殖业污染治理工程技术规范》	环境保护部	2009-12-01
7	《畜禽养殖业污染防治技术政策》	环境保护部	2010-12-30
8	《畜禽养殖场（小区）环境监察工作指南（试行）》	环境保护部	2010-06-03
9	《规模畜禽养殖污染防治最佳可行技术指南（试行）》	环境保护部	2013-07-17
10	《畜禽规模养殖污染防治条例》	国务院	2014-01-01
11	《新环保法》	全国人大	2015-01-01
12	《南方水网地区生猪养殖布局调整优化的指导意见》	农业部	2015-11-27

数据来源：农业部、环保部等部门政府文件整理

（2）经济激励政策

面对严峻的畜牧业环境污染形势,我国政府陆续出台了一系列以沼气治污为主的经济激励政策(表 5.2),鼓励畜禽养殖场配套建设沼气工程,促进了农村沼气工程建设快速增长。目前,全国沼气用户已达到 4300 万户,规模化沼气工程已发展到 10 万处。全国农村沼气年生产量可达 160 亿立方米,处理粪污、秸秆、生活垃圾近 20 亿吨,形成年节约 2600 多万吨标准煤的能力,减排二氧化碳 6300 多万吨,生产有机沼肥 4 亿多吨,为农民增收节支近 500 多亿元(农业部, 2015)。

然而,随着城镇化的快速推进和农村牲畜养殖方式的变化,农村沼气建设面临着新情况、新问题,如户用沼气需求和使用率下降,一些中小型沼气工程出现运行效果不佳、沼渣沼液综合利用水平不高等现象,农村沼气工程亟须转型升级。2015 年,国家发改委和财政部联合发文颁布《2015 年农村沼气工程转型升级工作方案》,这为推动沼气工程向规模发展、综合利用、科学管理、效益拉动的方向转型升级提供了明确的思路,中央开始转变政策方向,对符合条件的规模化大型沼气工程、规模化生物天然气试点工程予

以投资补助。

表 5.2 中央层面颁布的沼气治污经济激励政策

编号	政策 / 法规名称	发布单位	发布时间
1	《农村沼气建设国债项目管理办法（试行）》	农业部	1993
2	《大中型畜禽养殖场能源环境工程建设规划（2001-2005）》	农业部	2000
3	《农村小型公益设施建设补助资金管理试点办法》	财政部	2001
4	《可再生能源发电有关管理规定》	国家发改委	2006
5	《可再生能源发电价格和费用分摊管理试行办法》	国家发改委	2006
6	《可再生能源电价附加收入调配暂行办法》	国家发改委	2007
7	关于进一步加强农村沼气建设管理的意见	农业部 国家发改委	2007
8	《农村沼气项目建设资金管理办法》	财政部	2007
9	关于印发养殖小区和联户沼气工程试点项目建设方案的通知	农业部 国家发改委	2007
10	《农村沼气建设和使用考核评价办法（试行）》	农业部	2011
11	关于进一步加强农村沼气建设的意见	国家发改委 农业部	2012
12	《畜禽规模养殖污染防治条例》	国务院	2014
13	《2015 年农村沼气工程转型升级工作方案》	国家发改委 农业部	2015

数据来源：农业部、发改委等部门政府文件整理

此外，《畜禽规模养殖污染防治条例》的出台为推动畜禽养殖业加强科学规划布局、加强环保设施建设提供了重要治理基础。该条例将激励和引导废弃物综合利用作为解决畜禽养殖污染问题的根本途径，做了一系列规定：畜禽养殖污染防治设施建设和改造可以申请环境保护等相关资金支持，利用畜禽养殖废弃物进行有机肥生产等综合利用活动享受税收优惠，购买使用有机肥享受不低于化肥的使用补贴等优惠政策，制取沼气及发电上网享受相关优惠政策等。

在资金划拨上，2014 年，中央财政共投入资金 38 亿元支持发展畜禽标准化规模养殖。其中，中央财政安排 25 亿元支持生猪标准化规模养殖小区（场）建设，安排 10 亿元支持奶牛标准化规模养殖小区（场）建设，安排 3 亿元支持内蒙古、四川、西藏、甘肃、青海、宁夏、新疆以及新疆生产建设兵团肉牛肉羊标准化规模养殖场（小区）建设。2015 年国家继续支持畜禽标准化规模养殖但因政策资金调整优化等原因，暂停支持生猪标准化规模养殖场（小区）建设一年。2015 年，中央财政安排 1.8 亿元，在河北、内蒙古、江苏、浙江、山东、河南等 9 省（区、市）开展畜禽粪便资源化利用试点项目。资金主要用于对畜禽粪便综合处理利用的主体工程、设备（不包括配套管网及附属设施）及其运行进行补助。

2. 地方层级

（1）河南省

2010 年，河南省环境保护厅下发《关于加强规模化畜禽养殖污染防治工作的意见》，《意见》规定，河南将鼓励规模化养殖发展，规模化畜禽养殖场的选址应当符合国家有关畜禽养殖污染防治技术规范和疫病防控的要求。到 2012 年，河南将禁养区内已设立的畜禽养殖场、养殖小区搬迁或者关闭完毕；到 2015 年，规模化畜禽养殖场排泄物综合利用率达到 60%以上，新建规模化养殖场、养殖小区的环评执行率达到 50%以上。

2013 年，河南省下发《2013 年河南省畜禽养殖总量减排实施方案》，对该省粪污治理的减排目标、主要任务、保障措施等内容进行了较为细致的规划和要求。

2014 年，河南省环境保护厅、农业厅、畜牧局制定《2014 年河南省畜禽养殖主要污染物总量减排实施方案》，重点推进 1792 家规模化畜禽养殖场（小区）新上污染治理设施，涉及养猪企业 1335 家、奶牛 79 家、肉牛 125 家、蛋鸡 132 家、肉鸡 121 家。

2015 年，河南省环境保护厅、河南省农业厅、河南省畜牧局联合发布《河南省 2015 年畜禽粪污资源化利用试点项目实施方案》，对新时期该省粪污资源化利用展开试点项目，支持大型养殖企业或商业化畜禽粪污处理企业，按照“畜禽粪污+清洁能源+有机肥料”三位一体的技术路线，开展畜禽粪污资源化综合利用试点建设，探索畜禽粪污资源化综合利用模式和运行机制，每个试点项目可申请财政补助 300-500 万元。

（2）山东省

山东省在 2016 年 3 月最新发布的《山东省畜禽养殖粪污处理利用实施方案》中，结合本省养殖主体的具体情况提出了更为详尽的目标和措施。《实施方案》主要内容如下：

一是，加快调整优化产业布局。科学划定禁养区、限养区和适养区，优化养殖布局；农牧结合，优化生态布局，在搞好粪污无害化处理的基础上，实现粪污资源化利用，形成养殖业、种植业生态循环大格局。

二是，大力推进标准化生产，提高畜禽生产效率，降低污染物排放量；全面推行“一控两分三防两配套一基本”建设。

三是，分类推行无害化处理模式，针对于不同规模的养殖户，从小到大依次推广自然发酵技术、垫料发酵床技术、有机肥生产。和大型沼气工程技术，还可以通过种养结合，即“以地定养、以养肥地、种养对接”，根据畜禽养殖规模配套相应土地消纳粪污，或根据种植需要发展相应养殖场户。

《山东省畜禽养殖粪污处理利用实施方案》有以下主要目标：到 2017 年，该省依法完成禁养区内畜禽养殖场(小区)和养殖专业户的关闭或搬迁；畜禽粪便处理利用率达到 78%以上，污水处理利用率达到 50%以上；到 2020 年，全省规模养殖场畜禽粪便和污水处理利用率分别到 90%和 60%以上。

（3）浙江省

2000 年以来，浙江省在中央相关政策文件的指导下在畜禽养殖污染防治方面做了许多有益探索，颁布了一系列与畜禽养殖污染防治直接相关的地方法规及文件：2002 年发布《关于加强畜禽养殖业污染防治工作的通知》，2005 年出台《浙江省畜禽养殖业排放标准》，2010 年发布了《关于进一步深化畜禽养殖污染防治加快生态畜牧业发展的若干意见》、《浙江省生猪养殖业环境准入标准》、《关于促进商品有机肥生产与应用的意见》等，初步形成了命令强制型和经济激励型环境政策工具相结合的畜禽规模养殖污染防治政策体系，明确定义了各养殖品种“规模养殖场”概念，对“规模养殖场”排放设立具体量化标准，该标准严于国家标准。并对养殖总量进行控制：对全省生猪养殖总量进行量化控制，到 2015 年全省生猪饲养总量调减 400 万头，以嘉兴、衢州等养殖过载区域为例，规划要求分别调减生猪养殖总量的 45%和 15%，对有机肥生产厂的生产、

用电、税费等方面给予明确的财政补贴政策。

（4）福建省

福建省在《进一步加强生猪养殖面源污染防治工作六条措施》的通知中要求：1）2016 年底全面关闭并拆除禁养区内的生猪养殖场；2）积极推进可养区生猪养殖场标准化建设，确保粪污得到有效治理，经改造仍无法实现达标排放的养殖场一律关闭、拆除。对生猪规模养殖场干湿分离配套建设、沼气工程、粪污处理设施等给予补助；3）因地制宜，大力推广生猪环保养殖模式，推进养殖废弃物综合利用。山地较多地区重点推广猪-沼-果生态型养殖模式；新建生猪规模养殖场全面推广微生物发酵床零排放生态养殖模式；4）积极推广深埋法、焚烧法、化制法、发酵法等病死猪无害化处理技术，严禁非法丢弃、转运、出售、加工病死猪。

（5）湖南省

湖南省出台《生猪规模养殖场防疫管理办法》，对生猪生产的防疫条件和生猪进出场管理等方面作了严格要求：1）生猪防疫要求场内不同功能区应严格分开，并有隔离设施；猪场生产区内清洁道、污染道分设，不能重叠和交叉。各养殖栋舍之间距离在 5m 以上或者设

有隔离设施；猪场大门处应设置车辆消毒池，生产区入口处设置人员消毒室；新建场时，应坚持生产和防疫设施做到“四同步”，即同步规划、同步设计、同步建设、同步验收。2）在生猪进出场管理方面：猪场应坚持自繁自养。须引进种猪的，应从合格的猪场中选调。种猪调入后，隔离观察 45 天确认健康合格后，方可供生产使用；猪场引进育肥仔猪时，应从管理规范、疫情背景清晰的猪场引进，并进行严格隔离观察，严禁从交易市场选购；猪场出售生猪时，应当向当地动物卫生监督机构依法设立的检疫申报点申报检疫。供屠宰或育肥的生猪应提前 3 天报检；种猪应提前 15 天报检。

（二）国际畜禽养殖粪便处理经验

1. 美国养殖业环境管理政策

美国在畜禽养殖业发展过程中，同样遇到过水土污染问题。为解决该问题，美国联邦和州政府出台各项政策开展养殖业粪污处理项目。在法律法规方面，建立了完善的养殖业环保法律体系，主要包括《清洁水法》、《水污染法》、《动物排泄物标准》等相

关法律，对畜禽养殖场建设相关环境标准及污染治理责任进行了严格的规定。此外，也通过税费和转移支付手段降低养殖场的排污意愿。对集约化 畜禽养殖场产生的废弃物和农作物秸秆征收废物税；并通过财政拨款补偿，设立专项财政资金支持养殖污染治理；设置养殖污染环境责任保险补偿，通过环境投保的方式，由保险公司运作的强制环境责任保险、自愿环境责任保险制度（朱永慧等，2009）⁹。

在养殖模式方面，美国推崇种养结合发展模式。美国十分注重通过农牧结合来化解养殖业的污染问题。美国的大部分大型农场都是种养结合型的，从种植制度安排到生产、销售等各个方面都十分重视种植业与养殖业的紧密联系，而且是养殖业规模决定着种植业结构的调整，养殖业与种植业之间在饲草、饲料、肥料 3 个物质经济体系形成相互促进、相互协调的关系，养殖场的动物粪便或通过输送管道或直接干燥固化成有机肥归还农田，既防止环境污染又提高了土壤的肥力（朱永慧等，2009）。

2. 欧盟养殖业污染管理政策

欧盟成立以来，致力于改善农业生产环境，促进农业持续发展，不断增加控制养殖业污染的政策，并将其列于欧盟宏观战略政策范围内，确保政策的生命力（Shortle J S et al., 2001）¹⁰。

在法律法规方面，欧盟及其各成员国制订了较为完善的法律体系，确保养殖业污染处理在法律上的效力。在欧盟发布的《欧共体硝酸盐控制标准》中，规定每年 10 月至来年 2 月禁止在田间放牧或将粪便排入农田。其中，德国专门出台《粪便法》，规定畜禽粪便不经处理不得排入地下水源或地面，畜禽排泄量与当地农田面积相适应，每公顷土地家畜的最大允许饲养量不得超过规定数量。英国在其《污染控制法规》中要求粪便贮存设施距离水源至少 100 米，有 4 个月的贮存能力和防渗结构。畜牧业远离大城市，与农业生产紧密结合。

除法律法规以外，欧盟同样通过补贴政策推动养殖业的粪污处理。重点将农业补贴与环境保护补贴相衔接，在经济上实行农业环境补贴，将农业补贴与环保标准挂钩，对减少肥料使用、扩大生态农业耕作、使用有利于环境和资源的其他生产技术都可以给予补贴，并大幅度增加用于环保措施的资金。在欧盟共同农业政策的框架内，成员国对农

⁹朱永慧,马春艳,王璐.国外养殖污染补偿制度考察及对我国养殖业的启示[J].当代畜禽养殖业, 2009, 12 (5): 47.

¹⁰Shortle J S and Abler D G. Environmental Policies for Agricultural Pollution Control[M].CAB International, 2001.

业发展和环境保护采取积极补贴政策。如英国政府规定，农民负责对农场附近的树林、河沟的保护，养殖农场必须有环保计划书，农场遵守了这些措施，政府支付 105 英镑补贴费（余瑞先，2000）¹¹。

3. 日本

日本在 20 世纪 70 年代发生严重的“畜产公害”，此后便制定了《废弃物处理与消除法》、《防止水污染法》和《恶臭防止法》等 7 部法律，对畜禽污染管理作了明确的规定。具体而言，畜禽粪便必须经过处理，处理方法有发酵法、干燥或焚烧法、化学处理法、设施处理等。畜禽场养殖规模达到一定程度的养殖场排出的污水必须经过处理，并符合规定要求，禁止畜禽粪便在野外堆积或者直接向沟渠排放，粪便贮存设施的地面要用非渗透性材料。而且畜禽粪便产生的腐臭气中 8 种污染物的浓度不得超过工业废气浓度。

日本政府不仅对养殖场建设进行宏观指导，污染治理也以政府投入为主体，主要用于治污设施建设，同时投入大量经费进行畜禽排泄物治理方面的科技攻关。建设费用 50% 来自国家财政补贴，25% 来自都道府县，农户仅支付 25% 的建设费和运行费用，每个治理点投资都在 1.5 亿日元以上。此外，日本对私营牧场治理粪便污染可补助 50%~80%，对养殖业者建立堆肥化设施特别返还 16% 的所得税和法人税，还设定了按 5 年课税标准减半收取固定资产税的特例（尹红，2005）¹²，并且对所生产的有机肥实施政府补贴，从而做到低价供给农民，大大提高了农民使用有机肥的积极性（易志刚，2007）¹³。

（三）政策总结与对比

从上述分析可以看出，我国各级政府日益重视生猪养殖粪便污染处理政策，相继出台一系列有关生猪养殖粪便处理的政策。首先，中央层面主要通过控制型和激励性政策相结合的方式解决粪便处理。一方面，通过一系列法律法规，提高粪便排放标准，禁止乱排和随意堆放，另一方面，通过对沼气、有机肥等粪污处理相关技术措施提供补贴，配套专项资金鼓励建立专业养殖小区，集中处理养殖粪便。其次，政府政策引导生态养

¹¹余瑞先. 欧盟的农业环保措施[J]. 世界农业, 2000, 2 (11): 82-86.

¹²尹红. 美国与欧盟的农业环保计划[J]. 中国环保产业, 2005, 8 (3): 42-45.

¹³易志刚. 农业面源污染及其防治策略研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35 (24): 7589-7590.

殖。各级政府聚焦生态养猪，鼓励建立标准化规模养殖场，做好科学规划布局、加强环保设施，从源头上减少粪便排放。其中河南、山东、福建等省份成为生猪环保重要改造省份。新政策的相继实施增大生猪养殖场成本，猪场建设环保投入占总投入比重由 20% 增加至 40%~50%，每头出栏生猪均摊成本将增加至 30~50 元（钟明珠等，2015）¹⁴。最后，鼓励粪污的资源化利用实现粪污的综合利用和达标排放。重点对沼气综合利用工程和有机肥项目进行补贴，在对粪污厌氧发酵处理的同时进行有效利用，既能实现经济效益，也能实现生态效益。

发达国家的养殖业污染治理政策同样采取了控制型政策与激励型政策相结合的方式，治理效果明显。但是我国的畜牧业污染治理工作刚刚起步，相关法律法规建设需要进一步完善。在具体补贴环节、补贴方式和补贴力度方面仍然需要进一步明确；此外，养殖业污染治理政策要政府统一规划，以中央政府为主体，各级地方政府为辅。当前我国政策中央层面仍然以法律法规建设为主，缺乏补贴政策的顶层设计。限于财政力量，各地政策制度和执行力度不一，养殖业污染治理总体政策仍然需要进一步完善。

从政策效果来看，当前各级政府的畜禽污染政策推动了生态养殖的发展和生猪粪便的处理，但也对生猪养殖产业产生了重要影响。首先，环保法规推动生猪产业转移，形成生猪养殖调整区。在新形势下，2015 年生猪存栏量有一定程度的下降，缓解规模快速扩张所导致的产能过剩压力，但也导致了猪肉价格的上升。其次，《畜禽规模养殖污染防治条例》、《新环保法》等的出台，要求生猪养殖减量提质，明确生态环保目标，再加上劳动力成本增加及市场风险增大，使养殖的门槛不断提升，生猪行业整合速度加快，落后产能逐渐被淘汰，规模化和标准化进程加快。例如，2014 年正大集团、雏鹰农牧、温氏集团、牧原股份等规模企业凭借资金、技术实力及规模化等优势迅速发展，规模化产业布局将加快生态环保养殖的转型。最后，现有关于生猪养殖粪便资源化利用补贴政策，大部分针对规模化养殖场，这在一定程度上进一步促进了养殖的规模化发展趋势，但是广大小规模 and 散养户的粪污处理仍然未能得到较好解决。尽管从长期看，小规模养殖户在环境标准和市场的双重压力下，呈现逐渐减少的趋势，但是在未来一段时期内，如何鼓励小规模养殖户粪污处理仍然是当前政策需要进一步考虑的问题。

¹⁴钟明珠,林聪,段娜. 环保政策变化对生猪养殖业的影响[J]. 猪业科学,2015,08:90-91.

六、当前粪污资源化利用存在的问题与治理对策建议

（一）粪污资源化利用存在的问题

尽管当前养殖户对畜禽粪污进行了较为有效的处理与利用，通过上述分析并结合项目组调研实际，我们认为，养殖业在粪污资源化利用过程中仍然存在诸多问题：

第一，粪污资源化利用工程投资巨大，中小规模养殖户圈舍改造资金压力大。调研中发现，不少中小规模养殖户现有的粪污处理设施远不能达到新的《粪污治理条例》及《环保法》的要求，在国家提升畜禽养殖环评门槛的背景下，圈舍二次改造难度高，资金投入量大。这就使得养殖户，特别是中小规模养殖户面临较大的资金约束。尽管部分小规模户能够通过自己所经营土地消纳部分粪污，但所配土地规模过小，消纳能力有限，若要真正实现无害化处理和粪污资源的有效利用，粪污资源化利用工程建设仍然十分必要。但粪污处理工程前期投入大、收益期间隔时间长，且目前大多数养殖户对于粪污的资源化利用形式过于单一。因此，该工程目前虽然带来一定经济效益和较好生态效益的，但设备造价高，尤其是固液分离机、沼气发酵池、沉淀池等设备昂贵，中小规模养殖户融资压力较大。在 2013 至 2015 年上半年期间，猪价低迷，饲料价格高企，养殖场处于亏损状态，养殖户更是难以承受高额的建设成本。

虽然地方政府一般会有粪污处理工程专项补贴资金，能够在一定程度上缓解资金压力，但由于地方财政资金限制，一般补贴对象仅限于大规模养殖企业，缺少针对中小规模养殖厂粪污治理工程建设的政策扶持，数量较多的中小规模养殖户仍然无力承担巨大的投资额度，其粪污治理情况应引起高度重视。

第二，“规模化养殖”与“土地分散式经营”矛盾凸显，配套耕地难度较大。当前养殖散户的比例在养殖户中越来越小，大中规模的养殖户基本都为专业化养殖尤其是 2007 年以来规模化养殖发展迅速，调研中发现，不少养殖户都是在 2007 年底扩大猪场面积，提高存栏量。一方面，猪场的规模户养殖带来巨大的粪污处理压力，而专业化养殖场并没有相应配套耕地直纳粪污资源，粪污需要先由养殖场进行处理，再运输给周边农户使用。但是另一方面，养殖场离居民区较远，需要较高的运输成本，而且目前农村种植业多为兼业化种植，农村青壮年劳动力大量外流，施用粪污肥料费时费力，面临较高的机会成本，施用化肥简单快捷，销售网络健全，增产效果明显，农户更倾向于通过

施用化肥实现“一炮轰”。此外，由于种植业收入占其总收入的比重往往不高，兼业化农户对农业生产投入的意愿不强，导致当地农户对粪污资源需求不足，严重限制了粪污的资源化利用，“养殖企业+农户”这一消纳粪污的模式实现难度逐步增大。

第三，沼气工程综合利用率低，经济效益差。尽管大规模企业有足够资金建设资源化利用工程，但是资源的综合利用率并不高，并未形成较好的经济效益。在调研中发现，当前粪污资源化利用一般以沼气工程和有机肥加工为主，但是由于养殖场选址距离居民区较远，且多为村边的坡地和荒地，导致沼气运输管道铺设成本较高；加之沼气供应季节性较强，持续性差，不少农户自家配套建有沼气工程，沼气工程建设的福利化性质，使沼气未能按市场价格收费，很少有企业将沼气通过铺设管道供给农户，少量提供供给也大多为减少供气不稳定性造成与农户之间的矛盾，从而免费供给农户使用，一些居民对沼气、沼渣、沼液等需求不高，这些资源大多是免费供给周围农户，并未真正实现生态养殖的经济效益，企业利用沼气设备的积极性较差。在夏季气温高、沼气产气量较大时，部分企业将多余的沼气通过“火炬”燃烧或直接排放以减轻储气压力，能源浪费情况较为严重；但是在冬季气温较低，产气量不足，甚至难以满足养殖企业的能源需求，此时沼气工程大多处于闲置状态。这就形成了“夏季多得用不完，冬季不够用”的尴尬局面。不稳定的供气也导致周边居民使用沼气作为家庭燃料的意愿不高，降低了沼气工程的利用率。

第四，商品有机肥市场发展不完善，行业格局混乱。畜禽粪污是制作有机肥产品的主要来源，但是目前有机肥市场并不完善，而且并没有统一的质量标准和检查制度，不利于有机肥产业的进一步发展，严重影响粪污的资源化利用。一方面，粪污资源运输成本较高，对于本身利润就较低的有机肥厂来说，难以承受高成本的运输成本。如果养殖企业较为偏远、养殖规模很小，即使中小养殖场免费给有机肥厂，有机肥厂运回的猪粪所产生的价值可能都难以弥补运输成本。除运输成本外，畜禽粪污在运输过程中也容易产生二次污染，这些使得市场上的有机肥生产企业难以发育壮大；另一方面，尽管有机肥具有较好的生态和经济效益，但是该技术仍然存在重金属和抗生素残留等问题，但是目前针对有机肥产品缺乏统一的质量标准和完善的监测制度，市场上有机肥难辨真假，使得以次充好，以劣充优情况时常发生，相关政府部门无法对有机肥产品实行有效监督，严重影响有机肥市场的健康发展，在长期将严重限制畜禽粪污的资源化利用。

第五，监督机制尚不健全，粪污资源化治理效果的环境监测有待加强。尽管通过沼气发酵和有机肥制作等资源化利用方式能够较好地处理畜禽粪污，但是仍然可能面临潜在的污染风险，而地方针对这一领域的监督机制尚不健全，无法真正实现畜禽粪污的完全无害化处理。一方面，部分地区粪污处理过程大多为露天处理，仍然产生一定大气污染与水土污染；而且部分养殖场未建设与本身养殖规模相匹配的沼气规模，导致粪污发酵时间短，尚未完全发酵时便排出，仍然存在一定污染，但是在监测环节往往只是检查是否有相应处理设施，而未对处理结果达标程度进行检验；另一方面，经沼气池发酵后产生的沼液一般被直接喷洒于作物中，一旦未达标或土壤不能及时消纳，仍然有可能渗入地下，污染地下水，而且以动物粪污为原料的有机肥和沼液里也含有一定的重金属，如果大量施入土壤，可能会导致土壤的重金属超标。但当地一般没有相关部门在排放沼液和有机肥进行相应检测，无法确保粪污资源的无害化处理。此外，在政府相关部门的检查过程中也存在一定程度的“不作为”、“乱作为”等违规现象，抑制了养殖户进行粪污无害化处理和资源化利用的积极性。

（二）治理对策建议

针对上述问题，本研究提出以下建议，以推动我国畜禽养殖粪污处理的发展完善，治理农村面点源污染，改善农村生产和生活环境。

第一，探索分级指导和差异管理的方式，充分发挥养殖企业在污染防治中的主体作用。随着《条例》颁布实施，养殖者对自身在生产过程中产生的污染进行治理已经从社会责任转变为法律责任，对于新建或扩建的养殖场，政府要强制养殖者在新建、扩建过程中必须将污染治理纳入投资运营规划，在生产过程中积极倡导规模适度、种养结合、循环利用的可持续生产方式，加大执法力度，使其在污染治理和排放中严格遵循相关国家标准和技术规范。对于《新环保法》与《粪污治理条例》颁布前建成的企业，不能搞“一刀切”，要利用中央与地方配套的标准化建设资金、粪污治理专项资金推动中型规模养殖场积极逐步改造升级。对一些大型企业畜禽粪便，应着重进行技术研发方面的指导和提供必要的支持，以重点加大技术研发支持大型企业提高畜禽粪便的处置和综合利用水平；对中小规模的养殖场，应着重加大一次性设备建设扶持，并引导其进行粪污处理设备配套改造。

第二，提高生态环境保护的扶持力度，鼓励中小规模养殖户开展生态养殖。一是针对中小规模养殖场粪污治理设施改造成本高的现状，提高畜禽养殖场配套设施改造的“以奖代补”水平。鼓励中小规模养殖户建设绿色环保的生态养殖场，开展以养定种、种养结合、生态循环、持续发展，探索多样的种养结合生态循环模式，从而从源头上减少污染排放，提高废物利用率，兼顾经济效益和生态效益。二是适度扩大政策受益群体。政府在制定养殖污染治理补贴政策时，应当考虑到中小养殖户的治污资金需求，扩大补贴范围，适当补贴中小规模养殖户建设粪污处理工程；三是通过政策引导“种养结合”模式推广，中小规模户通过建固定堆粪场所和污水氧化三级沉淀池，控制粪污排放，通过签订销售合同处理粪污，用作农田、大棚蔬菜、果园消纳有机肥。

第三，积极推进畜禽养殖污染第三方治理的发展，拓宽不同规模养殖户粪污资源化利用渠道。为解决部分农户缺少配套土地消纳畜禽粪污问题，需要推动畜禽养殖污染第三方治理组织的发展。在调研中发现，不少中小型规模养殖企业的粪污处理已经成为企业发展的负担，其自身经济实力很大构建专业化、标准化的粪污处理设施，并未发挥沼气的经济效应，期待第三方进行综合治理的意愿十分强烈，而部分大型养殖户已经具备了较为完善、成熟的粪污处理技术与经验，其粪污资源化利用的产业链更长，市场风险应对能力更强，例如牧原等大型企业完全具备消纳周边企业粪污处理能力。首先在发展当前畜禽粪污主体治理模式的基础上，积极探索并因地制宜地发展养殖污染第三方治理，中小企业在新建跟扩建厂房时候要考虑与大型养殖企业的空间距离，通过签订合同有计划地将本厂的粪污与大型养殖企业共同治理，积极培育并促进区域粪污收集处理中心、有机肥生产厂商、沼渣沼液中介服务组织等第三方治理模式的发展，完善补贴政策，将第三方治理组织纳入补贴范围，或者由政府在一定区域内成立专门粪污处理中心，以促进第三方治理组织发育。特别注意在扶持政策向生态农场倾斜，通过生态农场的最终市场效益促进畜禽养殖场或有机肥加工第三方治理的经济效益。

第四，完善配套设施建设和补贴环节，提高粪污处理工程利用率。首先要搞好环保配套设施规划和建设，完善沼气管道铺设、运输道路等粪污处理配套服务设施建设，以减少粪污资源化利用工程的运行成本；其次要充分保障规模化畜禽养殖在密集养殖区内按照养殖规模在周边配套相应耕地，减少畜禽粪污产品流通的中间环节、降低粪污产品运输距离。同时，根据一定半径内相关行业对畜禽粪污的消纳能力来控制密集养殖区内

的畜禽养殖总量，实现种植业与畜禽养殖业的协调发展，从区域、季节上合理规划畜禽粪污流向，努力开拓更合理的消纳场所与方式。最后要完善补贴环节，延长补贴链条，不仅要资源化利用工程的建造进行补贴，也要对其后期运行管理与维护进行补贴，鼓励养殖户引入相关技术，稳定供气，提高沼气利用率。

第五，加强监督引导，规范有机肥市场秩序。首先要加强有机肥原料市场的基础建设工作，为有机肥生产和运输提供较好的基础平台，并将有机肥纳入到肥料政策体系，具体包括税收优惠政策、运输价格和运力安排的优惠政策、有机肥使用补贴等优惠政策，降低有机肥生产成本，鼓励种植户使用有机肥，提高有机肥生产和消费积极性。其次要完善相关政策法规，综合考虑技术、经济以及法律等多个角度，出台统一的有机肥质量标准，完善有机肥质量等级体系，以为有机肥生产企业和农户提供有效透明的信息；最后要建立完善的有机肥市场监督机制，充分调动环保、工商和畜牧等积极性，发挥多部门合力优势，通力合作，根据相关法律法规，规范有机肥生产和市场竞争秩序，为有机肥产业的健康发展提供保障。

第六，健全监督机制，管控养殖场排放质量。首先加大对畜禽规模养殖污染防治的政策支持力度，明确政府在养殖污染防治中的主要责任和主导作用。充分考虑畜禽养殖废弃物资源化利用环环相扣、污染治理难度大等问题，加强粪污资源化利用过程的监督，尽量从源头控制污染，降低污染风险；其次要健全畜禽粪污排放监督机制，不仅要在生态养殖工程建设初期进行合格验收，也要在沼气工程运行中进行定期检测，建立客观的检测标准，加强执法力度，保证最终排入土壤中的沼液和有机肥等符合相应标准；建立针对监测机构和人员的监督机制，严格监督和惩罚在监测环节中出现的违规行为，加强监督力度，对违反有关规定的畜禽饲养场要加大查处力度，使治污有法可依，同时对“乱作为”的监测机构人员进行严格惩处，真正做到依法治污，确保养殖户的合法权益，真正解决畜牧生产所带来的环境污染问题。

参考文献：

- [1]林聪.规模化养猪场沼气工程应用技术[J]. 猪业科学,2007,09:32-34.
- [2]孟祥海,张俊飏,李鹏,陈晓坤. 畜牧业环境污染形势与环境治理政策综述[J]. 生态与农村环境学报,2014,01:1-8.
- [3]仇焕广,廖绍攀,井月,栾江. 我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析[J]. 环境科学,2013,07:2766-2774.
- [4]仇焕广,井月,廖绍攀,蔡亚庆. 我国畜禽污染现状与治理政策的有效性分析[J]. 中国环境科学,2013,12:2268-2273.
- [5]盛婧,孙国峰,郑建初.典型粪污处理模式下规模养猪场农牧结合规模配置研究Ⅱ.粪污直接厌氧发酵处理模式[J]. 中国生态农业学报,2015,07:886-891.
- [6]Shortle J S and Abler D G. Environmental Policies for Agricultural Pollution Control[M].CAB International, 2001
- [7]易志刚.农业面源污染及其防治策略研究[J].安徽农业科学, 2007, 35(24): 7589-7590.
- [8]尹红.美国与欧盟的农业环保计划[J].中国环保产业, 2005, 8(3): 42-45.
- [9]于康震, 2014.于康震副部长在全国畜禽标准化规模养殖暨粪污综合利用现场会上的讲话.
- [10]余瑞先.欧盟的农业环保措施[J].世界农业, 2000, 2(11): 82-86.
- [11]袁彩凤,张飞,张粉如,常杰. 河南省畜禽养殖污染对环境影响研究[J]. 中国人口.资源与环境,2012,S1:44-48.
- [12]钟明珠,林聪,段娜. 环保政策变化对生猪养殖业的影响[J]. 猪业科学,2015,08:90-91.
- [13]周凯,雷泽勇,王智芳,史杰,彭兴芝. 河南省畜禽养殖粪便年排放量估算[J]. 中国生态农业学报,2010,05:1060-1065.
- [14]朱德文,钟成义,陈永生. 畜禽养殖业粪污处理现状与对策研究[J]. 家畜生态学报,2007,06:163-166.
- [15]朱永慧,马春艳,王璐.国外养殖污染补偿制度考察及对我国养殖业的启示[J].当代畜禽养殖业, 2009, 12(5): 47.

附录——河南省生猪养殖粪污资源化利用的典型案例分析

一、案例 A：河南省 A 企业生猪养殖粪污资源化利用情况

（一）企业基本概况

A 养殖企业位于河南省舞阳县，2009 年正式注册为公司。该企业采取“猪—沼—圣女果”循环模式处理养殖粪污。基地生猪年出栏 1 万头左右，养殖周期为半年，拥有育繁母猪 540 头，平均 2 年产 5 窝。2015 年每头育肥猪的销售利润约为 400 元，全年获利约 400 万元；圣女果主要销售给武汉的批发商，2015 年产量约为 3 万多斤/棚，平均销售价格 1.7 元/斤，总销售额约为 765 万元。

（二）企业粪污资源化利用成本收益分析

粪污处理成本主要包含设备投入固定成本和正常运转的可变成本。该基地粪污处理设施总投资约 120 万，验收达标后政府补助 60 万元（约占投入成本的 50%）。后期运行成本较低，主要包含以下几个部分：（1）人工成本：人工成本主要是清理沼气以及粪污处理设备的日常维护与管理。基地年人工成本合计约为 40200 元/年。（2）土地成本：粪污处理设备占地约 5 分地，按照基地 15 年租地的平均地价 900 元/亩计算，一年的租金需要 450 元。

（3）水电费：基地用水为地下水，沼液还可以用于循环冲粪，不需要水费；基地每个月电费约为 7500 元，按照 3%估算粪污处理设备的用电量，其电费约为 255 元/月。综合以上 3 项，设备运转的可变成本约为 43710 元/年。

粪便资源化利用的直接收益主要包括沼气、沼液和有机肥收益。其中，沼气的使用每月可以给基地节约 7000 元的电费，沼液和有机肥的使用可以使得每个圣女果大棚每年节省 400 元的化肥费用，每年可获得直接收益 14.4 万元的收益。值得注意的是，这其中还没有包括免费供气给周边农户带来的人际关系价值，以及有机肥使用对圣女果增产和销售带来的潜在价值。

（三）案例总结

该企业采用循环养殖模式处理养殖粪污，将养殖业和种植业有机结合起来，实现了粪污的有效处理和利用。从粪污处理的成本收益情况来看，粪污资源化利用的成本压力主要集中在设备建设期的一次性固定支出，完善的处理设备日常运行和维护成本较低。长期来看，充分资源化利用粪污将带来一定收益，但也面临沼气供应不稳定、沼气发电技术不经济等现实问题。此外，种养结合的循环养殖模式需要相应面积的配套土地来吸纳养殖场所产生的大量粪污，但各地在制定出台相关环境政策时通常没有充分考虑到畜禽养殖污染的排放特征和经济属性，现在养殖场用地存在不少困难，亦缺乏相关种植业、有机肥产业、农村能源等领域的配套政策，最终使政策实施的效果大打折扣。

二、案例 B：河南省 B 企业生猪养殖粪污资源化利用情况

（一）样本企业概况

B 企业位于河南省舞阳县，占地 120 亩，主要经营业务为生猪养殖。公司始建于 2008 年，目前该企业商品猪存栏 13500 头，年出栏商品猪 2.5 万头以上。该企业采用种养结合的方式开展生猪养殖，主要种植品种包括牡丹与红叶石楠等苗木花卉，小麦玉米等粮食作物，另外，为充分利用空间和消纳粪污，公司也利用树林和沼气池进行养殖，主要用于养鸭和养鱼。。同时开建有机肥厂，实现养殖粪污的资源化利用。

（二）粪污资源化利用成本收益分析

利用沼气和有机肥进行畜禽粪便无害化处理和资源化利用在减少污染的同时，也能带来带来一定的经济效益。

粪污处理成本较高，特别初始投资金额巨大，需要配备完善的供暖、供电、供水、治污的设施设备。具体包括固液分离机，1200 立方米沼气发酵罐，500 立方米的贮气罐，合计投资 300 多万元。在实际运行过程中，需要临时雇佣 5-8 人进行沼气设备维修与清理，每月清理 2 天，日工资为 100 元，一年需要投入人工 19200 元。同时，沼气设备也能产生一定的收益。在有机肥生产的利润方面，公司每年可产有机肥 5000 吨，据公司相关负责人估算，扣除人工成本、设备折旧、电力等，平均每吨有机肥利润为 100 元，即每年有机肥利润为 50 万元。

综上所述，当前污水处理设施共需花费约 551 多万元，另外该公司建造粪便处理系统时，政府给予沼气工程补贴 120 万元，生态养殖补贴 120 万元，县级政府奖励 50 万元，共 290 万元，每年可产生利润约为 99 万元。照此计算，需要 3 年时间方可收回粪污处理投资成本。

（三）案例总结

该企业的粪污处理方式与 A 企业类似，采用种养结合模式开展粪污处理，但是主要有两点不同：一是种植品种的多元化，包括经济作物和粮食作物；二是商品有机肥的大规模制造，实现减少污染排放的同时，增加了粪污创收渠道，有机肥的收益使得粪污处理工程更具有经济可行性。

但是该企业的粪污处理仍然存在沼气设备利用率不高的问题，导致夏季多余沼气被直接烧掉，而冬季无气可用，不得不搁置沼气设备。不稳定的供气也导致周边居民不愿意使用沼气作为家庭燃料使用，降低了沼气工程的利用率。而且有机肥生产过程中监督机制并不健全，也存在生产不规范和重金属残留等问题。

三、案例 C：河南省 C 养殖场粪污治理案例分析

（一）样本企业概况

C 养殖公司所在内乡县是河南省内乡县，成立于 2007 年。2015 年，该企业育肥猪出栏 15000 头。现有仔猪有 15000 头，母猪有 1200 头，种猪 30 头，2016 年拟将年出栏数扩大至 30000 头，并在外县区重新选址构建分厂进行养殖。该企业属于新环保法和《畜禽规模养殖污染防治条例》实施后正在改建和配套粪污处理设施的典型企业。

（二）粪污资源化利用成本收益分析

该养殖场的粪污处理成本包括以下几个方面的内容：最初处理设施投入：10 万，其中，政府补贴 3 万，自己负担 7 万；专职处理工人两人，年工资共计 7.2 万元；沼液沼渣清理临时雇佣工人 10 人，每月四次，每人 200 元/次，年成本为 8 万元；设备维护：200 元/年；年流转土地 200 亩，每亩地 1000 元，共 20 万元。以上成本总计 42.22 万元。

该户的收益主要包括以下几个方面的内容：种植牧草，共收益 10 万元；每亩节省化肥 200 元，每年共节省 4 万元；沼液卖给附近的菜农，共收益 2 万元；每月节约电费 2000 元，年节省 2.4 万元；干粪肥卖给附近的菜农跟花农，共收益 3 万元。

（三）案例总结

“猪-沼-草-猪”是该养殖场采取的养殖模式，种植牧草可消纳大量沼液，吸收猪场臭气，起到绿化猪场、改善猪场及其周边环境的作用；收获的牧草又可作为青饲料喂养生猪。按照规划设计，该模式通过沼气和有机肥这个纽带，使整个生产过程形成一个封闭式立体种养体系，完成了从动物到微生物，再到绿色植物，最后又回到动物的良性循环，力求实现养殖废水的零排放和资源化利用。

但是由于牧草种植效益低显然，由于牧草种植的积极性低、产业链短而农村劳动力成本上升，该养殖企业并未真正实现“种养结合、循环利用、变废为宝”的发展理念。但目前粪污处理设施落后，排污渠、纳污池的防渗透措施、沼液储藏池的面积等未达到新颁布的《畜禽规模养殖污染防治条例》的要求。

四、案例 D：河南省 D 养殖场粪污治理案例分析

（一）案例概况

D 养殖场位于河南省漯河市，该养猪场占地 12 亩，距离村庄 1 公里，始建于 1996 年。现在该养猪场有 31 头种猪，其中长白猪 3 条，大约克 7 条，21 条杜洛克，该养猪场种猪都来自国家核心种猪场。另外，该养猪场有 200 头母猪，生产仔猪，自繁自养。商品猪年出栏量 3500-4000 头，大部分供给双汇，部分销往上海等地。

（二）D 养殖场粪污处理方式及成本收益分析

该养猪场通过“三级沉淀”+“种养结合”的方式处理养猪粪便，采用水冲粪的形式（水为地下水），冲入三级沉淀池。对于沉淀后，只要水质清澈，无异味（没有经过其他检测），就可以排放到沟渠。对于沉淀下来的粪渣，采用水泵抽取出来给免费给附近村民使用，该厂给村民免费提供水泵，村民自取沼渣，村民取回粪渣后在田间地头自然发酵后使用。

该养殖场的主要粪污治理成本包括以下几个方面：三级沉淀池处理设施投入：30 万（无补贴）。折旧期约为 15 年；专职处理工人两人，年工资共 45000 元；年流转土地成本 1400 元；水泵电费一年约 3000 元。在收益方面，帮助周边农民节约化肥：500 元/亩*100=50000 元。

（三）总结与讨论

目前，受养殖规模和资金的制约，该养猪场污染处理方式较为简陋，处理设施落后，排污渠、纳污池的防渗透措施、沼液储藏池的面积等未达到新颁布的《畜禽规模养殖污染防治条例》的要求。其根本原因在于养殖企业不能实行种养结合，猪粪“出口”没有疏通，猪场废弃物难以科学有效地消化利用，从而成了污染物。而且该养殖场建设三级沉淀池等粪污处理设备时，没有得到国家补贴。因为市政府规定年出栏量在 5000 头以上的才会有相应的补贴。这也是该厂没有建成沼气池的主要原因。

五、案例 E：吉林省 E 养殖户自然养猪法粪污处理案例分析

（一）企业基本概况

E 养殖户位于吉林省长春市，2009 年正式成立为农牧专业合作社。该合作社采取“自然养猪法”新型环保养猪技术。合作社生猪年出栏 8000 头左右，拥有育繁母猪 400 头左右，平均年产仔俩窝，与传统养殖技术不同的是，自然养猪法为了提高肉质风味，将养殖周期延长到 8 个月左右，商品猪的出栏体重大约在 250 斤到 350 斤，远远高于传统方法饲养下的商品猪，此时猪肉口味好、营养物质高，并且料肉比也仅仅为 2.7 比 1，这样的猪肉不但售价比普通猪肉高 10 元/斤，而且养殖成本也大大低于普通生猪。

（二）企业粪污资源化利用成本收益分析

应为这种发酵床养猪技术不需要清扫猪圈，因此不能够单算出粪污处理的成本和收益。这里就合作社自己的示范养殖场来计算一下养殖成本和收益。养殖场现在存栏母猪为 400 头，按每头猪平均需要 1.5 平的垫料来处理粪污，那么需要 600 平米的猪舍。每平米建筑造价约为 250 元，则猪舍的建筑费约为 15 万，按 10 年折旧，平均每年 1.5 万元。每平米垫料费约 50 元，则总垫料费为 3 万元左右，一次填充可用 3 年左右，垫料费平均每年 1 万左右，又因在日常添加的垫料都是农产品下脚料，如秸秆、锯末、稻壳等，日常维护的材料成本可忽略不计。菌种的成本为每平米 30 元，则总菌种费用为 1.8 万元，如果日常维护得当，菌种成本为一次性投入，按猪舍的折旧率来算，每年所需的菌种成本为 1800 元。因为发酵床不需清扫，所以 400 头猪只需要一人即可完成饲喂和发酵床维护。则人工成本一年为 3 万元。该养殖区一年的总成本（包括建舍和运营）为 5.68 万。如表 1，即为发酵床养猪与常规养殖成本的比较。

表 1 发酵床养猪与常规养殖成本比较¹⁵

种类\项目\方法	自然养猪法	常规养猪法
仔猪成本（元/头）	370	400
饲料（元/头*批）	467 斤/头*1.5 元/斤=700.5 元	650 斤/头*1.5 元/斤=975 元
人工费（元/头）	15000 元/半年÷400 头/人=37.5 元	15000 元/半年÷200 头/人=75 元
医药费	10	40
水电费	3	6
死淘费	20	40
合计	1140.5	1536

¹⁵ 吉林长春市云凤农牧专业合作社、北京小毛驴市民农园、中国人民大学乡村建设中心、北京梁漱溟乡村建设中心主办，《第三届自然农业培训教材》，第 63 页

在收益方面，该养殖区主要存在一部分隐形收益，即为垫料发酵后的肥料收益，这种有机肥每立方售价约为 70 元。则有机肥料如销售，则每年的销售利润至少在 1.4 万元。该养殖区没有外销有机肥料，采用的为种养结合，肥料自用，随用随取，因此没有现金收益。

（二）案例总结

从案例 E 来看，自然养猪法的投资压力主要集中在前期，日常维护费用极低，非常适合中小养殖户。这种技术的猪舍建筑简单易行，易取材、成本低，便于推广。第二经济方便，垫料都是农产品下脚料，即便宜方便，又能间接解决因秸秆焚烧带来的污染。第三、节能增效。该技术不需冲洗圈舍，只需要提供生猪日常饮用水即可，节约了大量的水和人工。在此技术下饲养的生猪抵抗力好，应急小，基本无病原菌传染，所以减少了药残。第四、生态环保。这种生态环保主场内外无臭味，养殖环节消纳污染物，实现了零排放，从根本上解决了环保污染问题，实现了生态环保养殖。但因该技术的核心是采菌和发酵床的日常维护，而菌种因各地的环境条件不同，需技术员到当地采集培养，目前公司不能制作大批量的标准化的菌种，这种“私人定制”的菌种采集就加大了该技术的推广速度和难度。

