

村镇建设高研班@北京市长之家，2016年9月20日

## 构建乡村污水治理的管理体系与技术体系

范彬 研究员 首席教授 博士生导师

中国科学院生态环境研究中心  
中国科学院大学  
住建部农村污水处理技术研究中心

1

## 提纲

- 一、乡村污水治理的对象、目标与任务
- 二、规划与建设中存在的问题
- 三、技术与经济
- 四、常熟模式简介
- 五、构建乡村污水治理的技术与管理体系
- 六、推广应用源分离资源化综合治理技术

2

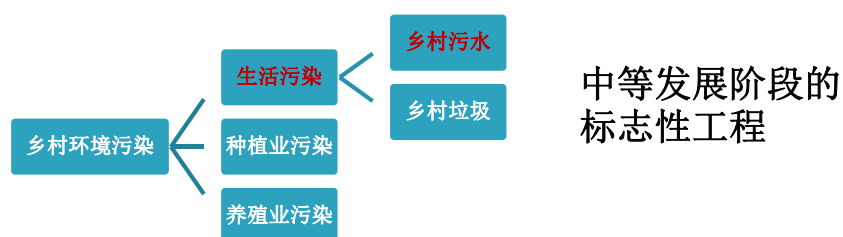
# 一、乡村污水治理的对象与任务

## 1.1 乡村or农村

传统农村 与 现代乡村

建设现代化的乡村是新型城镇化的重要内容

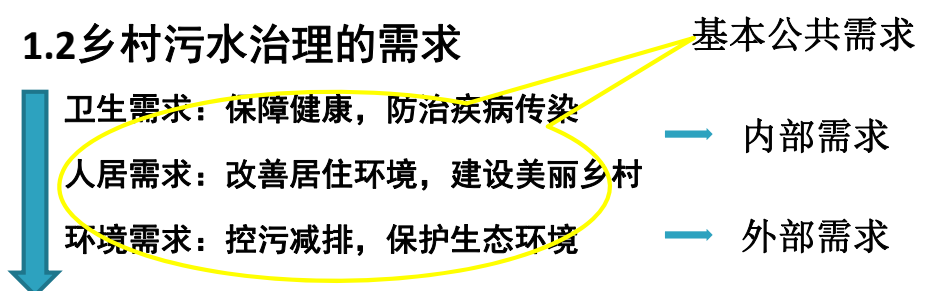
乡村污水治理是随着乡村生产和生活方式由传统向现代转变而产生的一项基本民生与环境发展的需求



3

# 一、乡村污水治理的对象与任务

## 1.2 乡村污水治理的需求



推进原则：适应公共需求，量力而行，既不要滞后，也不必超前

建国后相关工作推进的次序

卫生改厕 → 环境整治 → 污水治理

4

## 一、乡村污水治理的对象与任务

### 1.3 乡村污水的定义

乡村污水是乡村聚落内围绕居民生活所产生的综合性市政废水，包括家庭生活污水、公共生活污水、雨污水、庭院经济废水等。

- 治理的重点是生活污水
- 从发展趋势看，高污染的庭院生产会日渐消失
- 雨污水以自然排放为主，兼顾处理后回用

5

## 一、乡村污水治理的对象与任务

### 1.4 治理的范畴

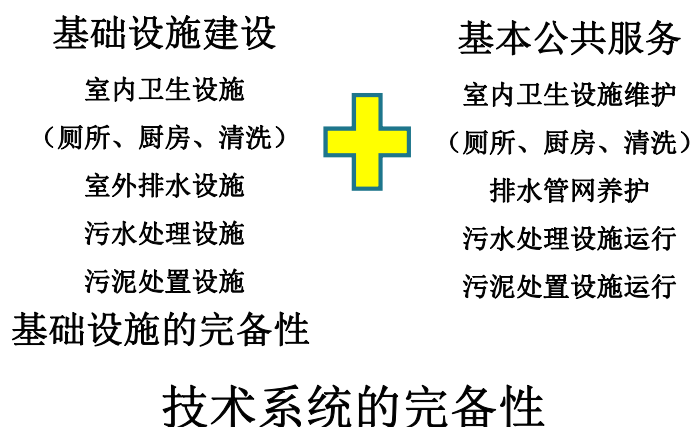
纳入现阶段乡村污水治理范畴的村庄应满足：

- 居民对现代卫生设施产生普遍需求（安装水冲厕所等）
- 聚落内的污水治理具有显著公共需求的属性
  - 人口规模 $\geq 100$ 人，居住密度 $\geq 50$ 人/公顷
- 对于现状1万人以上的聚落，从技术上宜纳入城镇污水治理的管理范畴

6

## 一、乡村污水治理的对象与任务

### 1.5 乡村污水治理的建设任务与具体内容



7

## 一、乡村污水治理的对象与任务

### 1.6 技术体系建设所面临的结构性难题

- **技术难题：乡村污水的分散性，强调技术和过程管理的精细化**
  - 缺乏（合格的）产业支撑
  - 缺乏有效的行业管理（技术引导、技术支持、技术监管）
- **管理难题：过渡阶段的农村社会问题**
  - 资金问题
  - 居民动员问题

**治小污难过煮小鲜！**

8

## 二、当前存在的规划与建设问题

### 2.1 实施质量不高

- 已建成设施有效运行率不足15%
- 40%的设施需要经过大修才能投入正常运转
- 部分设施建成几年趋于报废

#### 资金保障原因

- 总量不足
- 强度不够
- 可持续性差

#### 产品与安装质量原因

- 制造不过关
- 施工安装质量不过关

9

## 二、当前存在的规划与建设问题

### 2.2 实施成本高 ( +50%~100% )

- 技术模式选择存在问题 ( +20% )
- 建设标准偏低
- 要求的出水水质偏高 ( +20% )
- 居民不支持、不理解甚至提出过分要求 ( +20% )
- 现有工程管理的体制机制 ( +15% )
- 用电费用和税费等不合理 ( +15% )
- 面子工程、搭便车工程

## 三、技术与经济

### 3.1 乡村污水治理的技术决策



### • 排水模式选择

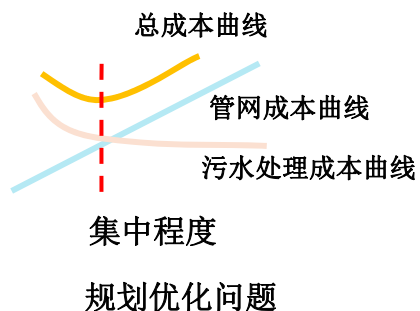


就地处理——出户管直接接入处理装置

村组处理——村组管网收集后接入处理装置

集中处理——村组管网收集后接入城镇管网

分散处理



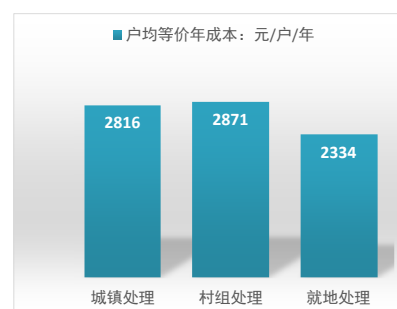
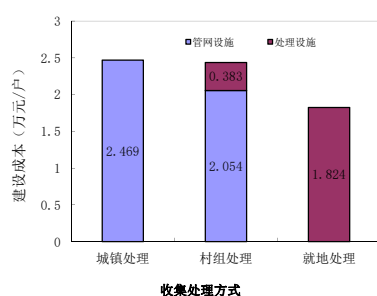
地图作业

管道成本  
= 每米造价定额 × 长度  
× 难度系数

经济评价：常熟市  
2012年-2014年建  
设的污水治理设施

评价样本概况

| 收集模式 | 居民点<br>(个) | 设施数量<br>(套) | 处理水<br>量<br>(m³/天) | 收益农户<br>(户) |
|------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 城镇处理 | 135        | -           | -                  | 26149       |
| 村组处理 | 170        | 365         | 4715               | 7364        |
| 就地处理 | 9          | 164         | 164                | 304         |



## • 排水模式决策：经济比较

第一步：首先按分户处理进行设计，并做投资概算；

第二步：做一个分组处理的管网设计，测算管网成本，如果这个成本比分户处理总成本的80%高，则选择分户处理模式。

第三步：测算从村庄接入主管网的干管造价，如果这个造价高于5000元/户，就采用村组处理模式，否则采用集中处理模式。

## • 处理模式选择

### ➤ 强化自然反应器（生态处理）

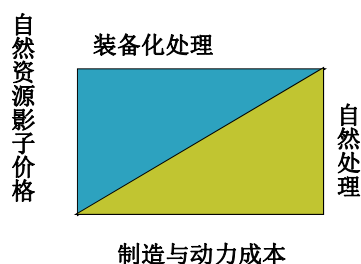
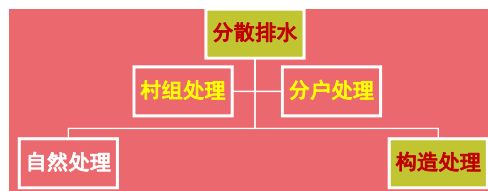
✓ 优点：能耗较低

✓ 缺点：因地制宜，现场安装，建设质量与运行操作不易控制

### ➤ 构造型反应器

✓ 优点：可利用批量制造降低成本，建设、运行操作容易控制

✓ 缺点：有较高动力消耗需求



## 工艺模式与技术构型选择



结构、工艺组合、关键单元设备、材料、安装、运行

### 基本原则：

- 工艺没有好坏，只有适合与否
- 在同一个地区，工艺模式尽可能少，技术构型尽可能统一，安装、运行提倡标准化

### 自然处理

- 因地制宜
- 负荷指标选择宜保守
- 定期维护必不可少

适用于资源丰富、人口少的地区

### 构造型处理：

- 以质量为前提
- 工厂化制造有利于降低成本
- 小微设施以生物膜工艺为主
- 智能化运行的水平宜适当追高



## 户用净化槽技术 (引进久保田技术)

- ▶ 全部型号采用了整体高度为1,550mm的浅型设计，并且进水和出水管底高度差为50mm。
- ▶ 考虑到对周围环境的影响，本型号还具备去除BOD，氮，悬浮物的处理性能。
- ▶ 采用了可视性，操作性高的部件，无需反洗，易于维护管理。
- ▶ 无需工程排管设计，施工快捷。
- ▶ 处理水质稳定。

断面图



处理流程图



## 户用净化槽技术



### 技术特点

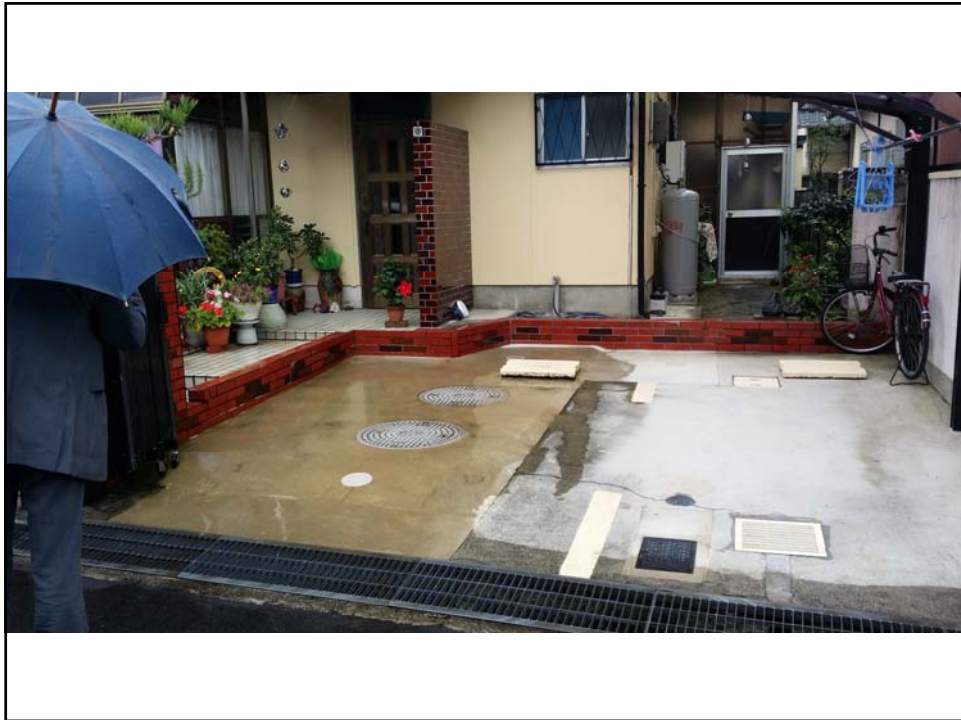
- 分户处理，管道建设费节省80%
- 设置灵活，施工便捷
- 运行可靠，年操作次数≤4次
- 主体寿命30年，风机寿命10年
- 可随建筑迁建而迁移。



住建部陈政高部长视察常德模式



为在群湖总巡湖塘供研



## 三、技术与经济

### 3.2 建立专业化、集约化的运行维护体系

- 在制定区域总体规划时就要明确专业化、集约化运行的原则，提倡第三方委托运行
- 在实施中，建设与运行应无缝对接

## 三、技术与经济

### 3.3 乡村污水治理的成本

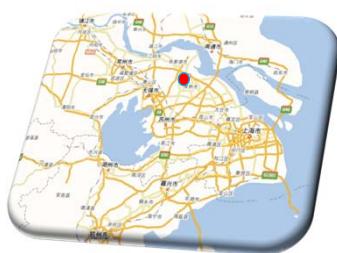
- 基本认识
  - 保障基础设施建设质量是前提
  - 乡村污水治理的成本总体上要高于城镇污水治理
  - 评价乡村污水治理的直接经济成本应以户均（或人均）投入为主要依据进行核算
- 成本构成
  - 收集设施建设成本
  - 处理设施建设成本
  - 运行维护成本
  - 组织实施和监管的成本

## ◆我国乡村污水治理建设与运行成本匡算（5亿乡村人口）

- 乐观的边际成本匡算：1.40万亿
- 按照分户处理模式匡算边际成本：1.88万亿
- 中位边际成本匡算：1.64万亿
- 悲观的成本估算>3万亿

| 卫生模式 | 排水模式 | 适用村落       | 处理模式 | 投资成本<br>元/人 | 适用人口<br>亿 | 总投资<br>万亿 | 运行成本<br>元/人年 |
|------|------|------------|------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| 水冲式  | 纳管   | 城镇周边       | ——   | 2500        | 1.5       | 0.375     | 40           |
|      | 村组   | 远离城镇，管网铺设易 | 构造型  | 3000        | 0.9       | 0.270     | 60           |
|      |      |            | 自然型  | 2500        | 0.1       | 0.025     | 8            |
|      | 分户   | 远离城镇，管网铺设难 | 构造型  | 3750        | 0.8       | 0.3       | 75           |
| 资源化  | 真空   | 小康村庄       | 自然型  | 1000        | 0.2       | 0.02      | 12           |
|      | 改厕   | 一般村庄       | ——   | 750         | 0.5       | 0.0375    | 10           |
| 合计   | -    | -          | -    | -           | 5         | 1.4025    | -            |

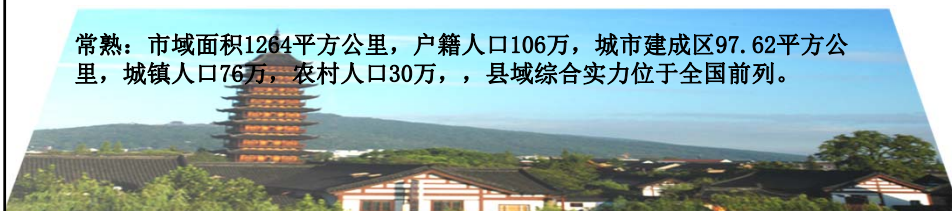
## 四、常熟模式简介



标志性成果：

- ◆ 指导常熟市建立了较为有效的管理体系，技术应用进入正途，总体治理水平接近发达国家
- ◆ 指导常熟市和中国中车创新应用PPP模式，引进世界先进技术，使我国乡村污水治理第一次看到成功的希望

常熟：市域面积1264平方公里，户籍人口106万，城市建成区97.62平方公里，城镇人口76万，农村人口30万，，县域综合实力位于全国前列。




## 4.1 市财政统筹污水处理资金

**2015年之前：**

四个统一，建设费**80%**，运行费**100%**

专项收入来源

- 城乡居民污水处理费
  - 工业排污费
  - 上级项目支持
- } 1.5亿/年
-  银行贷款建设

**2015年之后：**

**PPP模式，建设费100%，运行费100%**

25

## 4.2 统一规划

打破内部行政区划

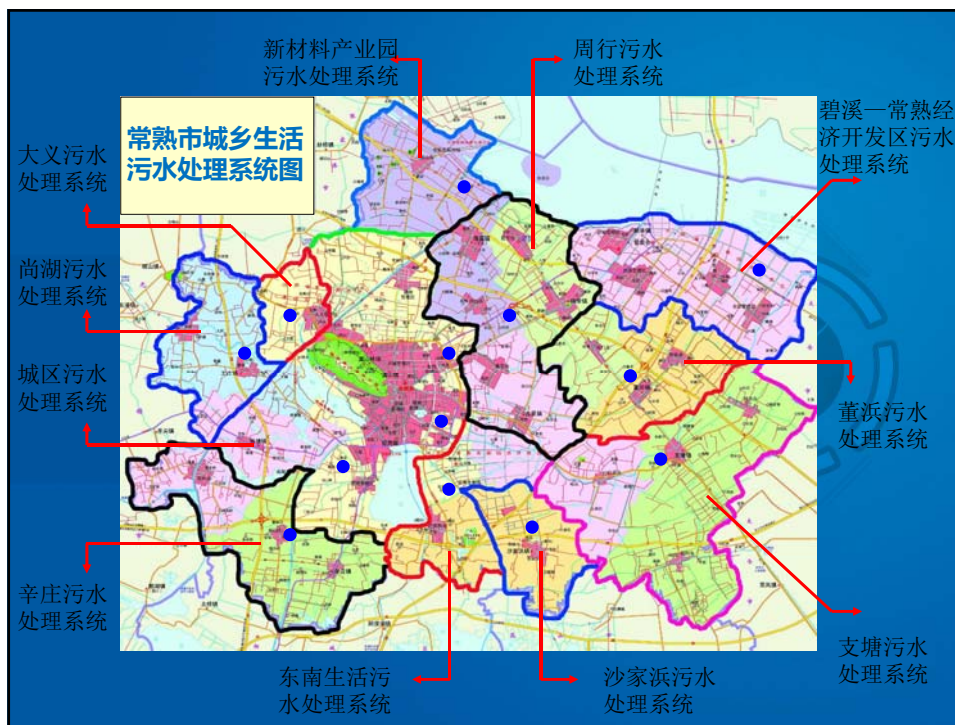
优化集中处理设施布局

合理选择村庄污水处理方式

确定纳管处理范围的基本方法：

- (1) 位于重力自流的主干管道**1公里**范围之内
- (2) 污水收集后能够通过自流管接入主干管
- (3) 受河道等因素阻隔的村庄污水一般不纳入集中处理系统

26



## • 规划要点

- 实事求是地制定村庄污水治理目标
  - 通水通电、普及水冲厕所、人口在100人以上
- 实事求是地确定村庄污水处理深度
  - 重点去除COD、氨氮和SS
- 实施求是地测算近期村庄污水处理量
- 避免过于倚重集中处理，重视分散处理



### 4.3 统一建设

- 集中处理：市政统一建设，建管分离
- 分散污水处理
  - 以乡镇为建设主体
  - 住建局统一制定工艺，统一设计原则，统一认定承包商与供货商资格，组织批量发包

**保证质量、降低成本、高效推进**

29

### 曾经出现的主要问题

- 建设质量低下，设施寿命短，运行维护困难
- 片面追求建设期的低成本，导致运行维护人力消耗大
- 技术类型过多，缺少建设的规模效应，不利于今后集中运行
- 迷信免维护、无动力
- 超标准建设，投资过大

30

## •统一选择技术

统一  
工艺

- 制定并颁布县域分散污水适用技术目录
- 技术适当集中，设备化处理工艺不宜超过四种

统一  
设计

- 同种工艺主体结构标准化，主要机电设备通用化

统一  
采购

- 统一认定供货商与承包商资格
- 提高采购批量，鼓励总承包

31

## •村庄污水处理技术方案制定

### 第一步：比选分户处理与社区处理

分户处理设施成本+运行成本

社区管网成本+处理设施成本+运行成本

### 第二步：比选强化自然处理与设备化处理方式

土地等资源成本

动力成本

### 第三步：平衡设施投资与运行维护的人力成本

设备制造与自控水平的先进性

运行维护的人力成本

32



- 管网建设问题：建设成本高，质量控制困难  
道路硬化使管道建设成本成本增加

常熟市分散污水处理设施建设成本分析表

|       | 总投资   | 管网    | 处理设施  | 管道占比 | 户均长度 | 管道造价 |
|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| 平均值   | 15957 | 11538 | 4419  | 0.68 | 34.2 | 425  |
| 中位值   | 15686 | 12218 | 3545  | 0.78 | 31.7 | 335  |
| 最大值   | 36041 | 27223 | 12981 | 0.89 | 74.0 | 1352 |
| 最小值   | 3100  | 357   | 1204  | 0.11 | 0.5  | 110  |
| 75%位值 | 18508 | 14117 | 4611  | 0.82 | 47.1 | 526  |
| 25%位值 | 12310 | 8939  | 2857  | 0.56 | 24.1 | 256  |

33

4.4 统一运行

- 统一制定运行规范，
- 统一资质认定或人员培训
- 提高专业化运行维护的水平
- 强化过程监管



通过提高集约化水平，  
降低运行与监管成本



## 4.4 统一运行

- 集中处理系统

- 管网系统，市政统一养护
- 集中污水处理厂通过联合运行，共享管理、生产等环节的技术人员、设备与信息，降低运行成本
- 注意消除产权和运行权障碍
  - 通过行政划拨，统一产权
  - 通过市场方式，统一运行权

35

## 4.4 统一运行

人员配置、巡检策略、运行技术、成本测算等参考《常熟案

- 分散污水处理设施

- 集中运行：交通便利，设施集中，有一定数量规模
  - 定期巡检+事故检修+技术中心调度与支持
- 指导运行：少数僻远村落
  - 指定专人（如电工），兼职负责
  - 接受培训与技术指导
  - 由负责集中运行的单位提供维修等服务

36

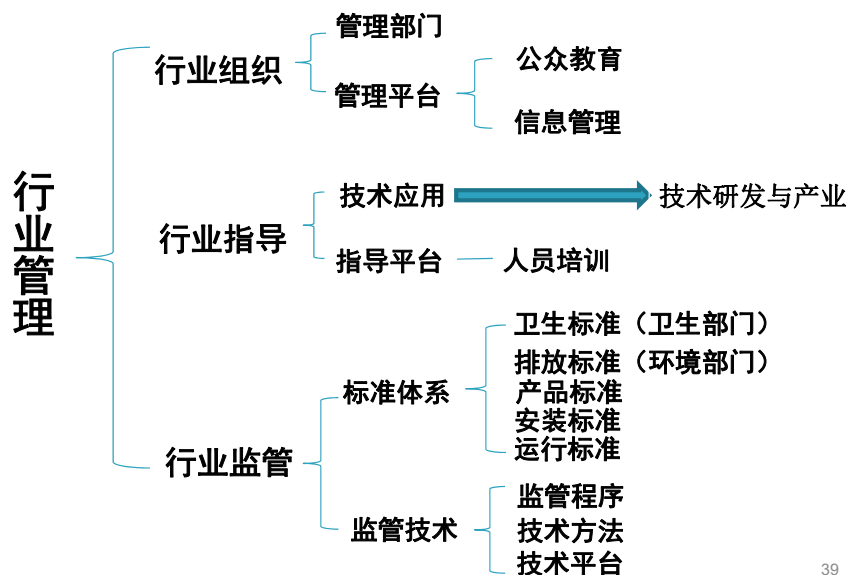
## 五、构建乡村污水治理的技术与管理体系

- **构建乡村污水治理的国家技术体系**
  - 乡村污水治理行业的国民经济价值（中期）
    - GDP贡献：2000亿/年
    - 就业岗位：100万人，其中本地就业70万人
  - 技术体系设计须解决的核心问题
    - 我国应选择什么样的装备型分散污水处理技术作为重点发展的方向
    - 生态卫生模式是否应成为我国农村分散污水处理技术的重点发展方向
    - 如何从科技支撑、产业政策、技术标准、应用规范等各个方面促进重点技术发展与应用

## 构建国家技术与管理体系

- **构建乡村污水治理的国家管理体系**
  - 制定颁布《乡村污水治理责任法》，明确排污者与受益人、政府、行业三方责任，从根本上解决资金筹集与有效推进的问题
  - 建立健全行业管理体系，强化行业指导、组织实施与监管的能力
  - 以县域为最基本单元，城乡统筹，集约化组织实施，普遍建立“建设-形象移交-寿命期质保运行”的PPP运作模式
  - 建立国家和省统筹的滚动发展基金，支持县域开展乡村污水治理

## ◆行业管理体系框架



39

## ◆“建设-形象移交-寿命期质保运行”的操作步骤

(一) 县市域政府制定乡村污水治理的总体规划，明确将所有分散污水治理项目打包（以一个包为宜，在必要的情况下也可按内部区域划分为几个包）。在项目包设计时无须明确各个具体工程及工程量，只需明确项目实施的区域范围，同时约定所有不适宜纳入城镇集中污水治理系统的村庄点都将自动进入项目包。在项目推进过程中，政府可根据集中污水治理系统的实际规划调整及实施的进程，分批确定不再纳入城镇集中污水治理系统的村庄点。

40

（二）设计关键技术指标，包括：第一，工程推进指标，明确分散污水治理的设施覆盖率（综合考虑人口覆盖率与村庄点覆盖率等）的形象推进进度；第二，技术质量指标，包括运行期公共排水服务的质量指标和运行期环境污染排放指标；第三，运行期结束后的设施移交质量指标。

一般而言，乡村排水管网的运行责任及质量保证期应在30年以上，污水处理设施的运行责任及质量保证期应在15年以上。运行期结束后，合作企业可将设施按照约定的质量要求移交政府，或者续签RTO合同（修复-形象移交-继续运行）。

41

（三）设计经济指标和支付方式。限于分散污水治理的工程数量多、实施地点分散，单个工程规模小、实施难度差异大等特点，建议的主要经济指标以现状人口（或户数）为基础，结合对未来排水量的预测，并基于当地实际的工程造价指标，测算区域范围内平均的基准年人均（或户均）设施建设成本和设施运行成本，综合考虑建设期融资需求、未来价格指数变动等因素，设计项目的经济指标和支付方式。在没有建设期向企业融资需求的情况下，政府可与合作企业约定，在建设工程形象移交后，即行支付建设成本，建设期利润分摊至运行期逐年支付。

42

（四）对合作企业选择何种分散污水处理技术模式以及设备与服务采购等不做具体规定，给予企业充分的技术自主权。

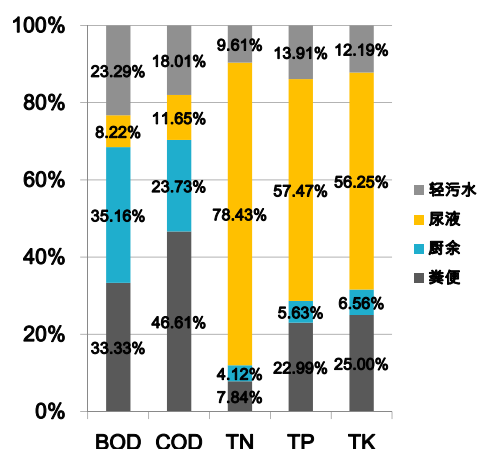
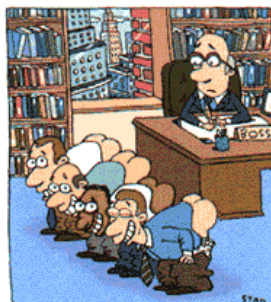
（五）基于公平、公正和公开的原则，对项目进行公开招标、邀请招标或竞争性谈判，并最终签订项目合同。基于此类项目的公共服务属性、实施区域范围大、责任年限长等原因，合作企业应具备高度的市场信誉和长期经营的稳定性。

43

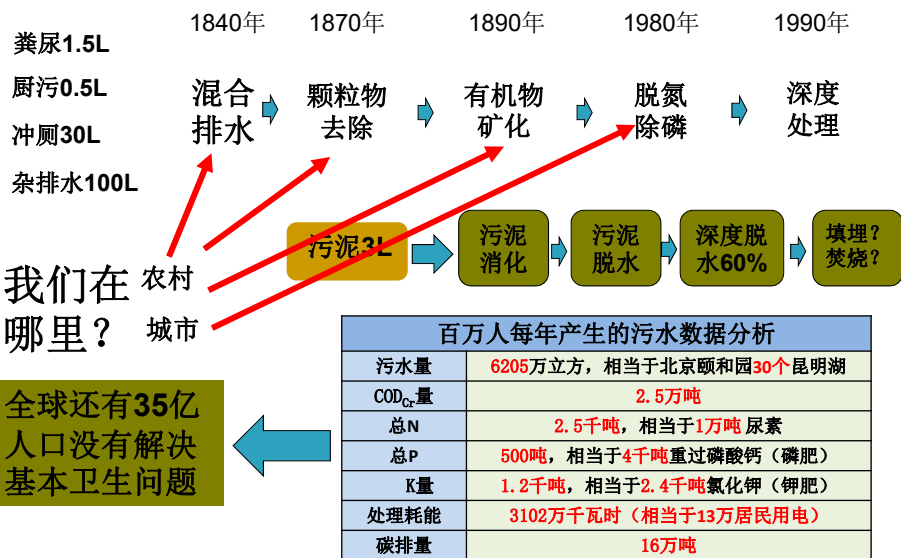
## 五、推广应用资源化综合治理模式

### • 常规环境卫生模式面临的挑战

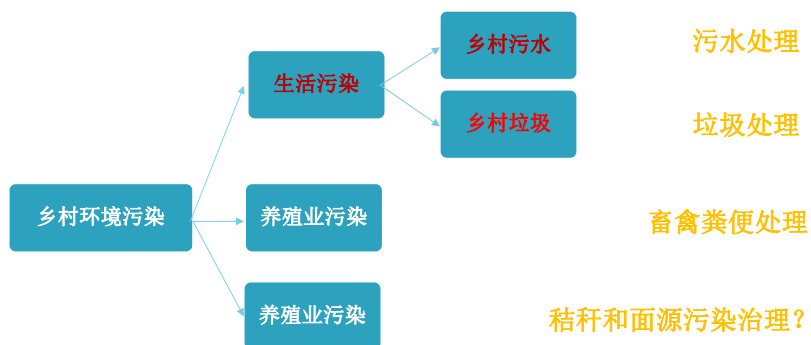
- ◆ 排水系统归根结底是要解决人类排泄物的问题
- ◆ 排泄物虽然只占污水不到1%，但含有大部分有机物和绝大部分营养盐



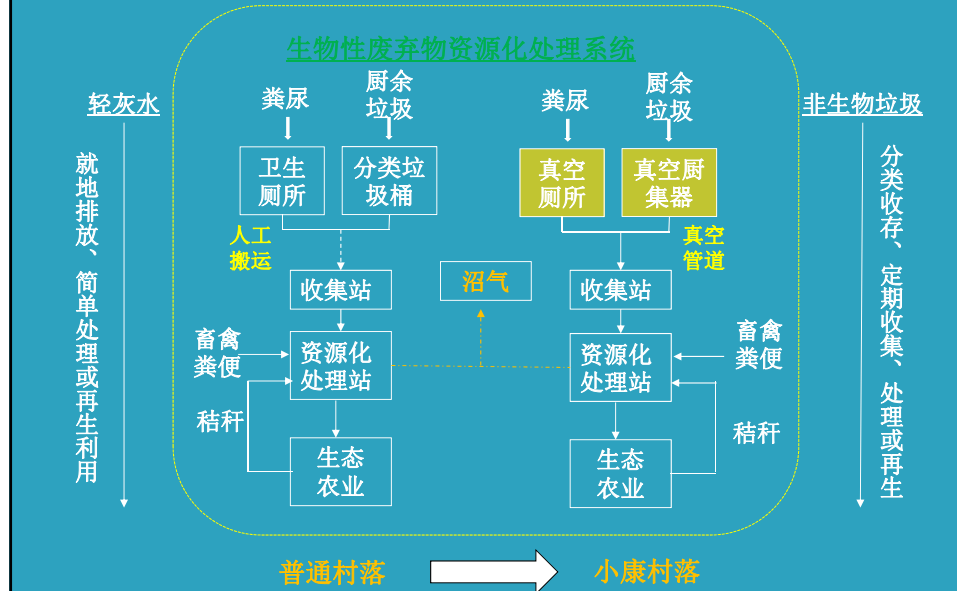
## 常规卫生模式：欧美发明·排水系统历史沉积·处理系统机械叠加



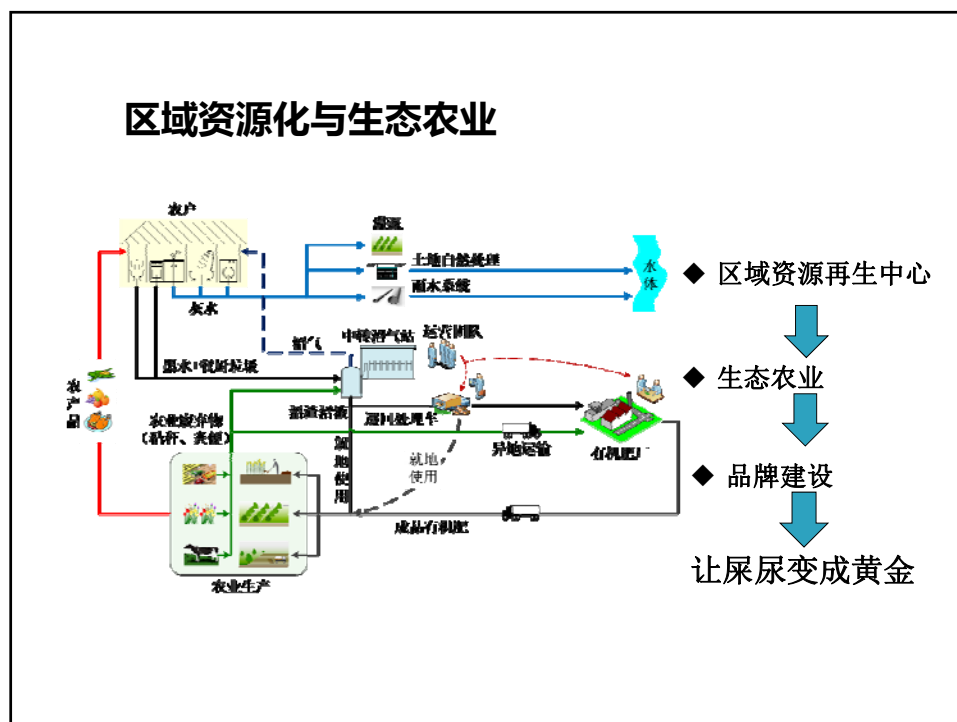
## • 乡村污染治理的常规思路



## 面向资源化的解决方案



## 区域资源化与生态农业





## 成套技术



家用型厨集器



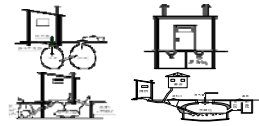
真空厕所技术



真空管道技术



真空泵站技术



改良的传统污水厕所技术



就近资源化处理技术



生态农业技术

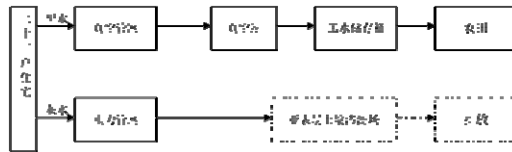
49

## 工程案例

- 地点：常熟市古里镇陈塘村
- 概况：23户居民，约100人

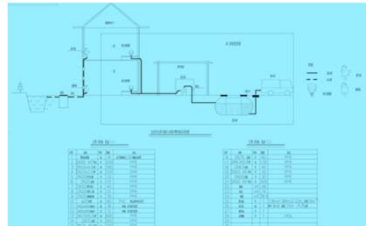


## 工程概况



- 41个厕所
- 1个真空泵站
- 24m<sup>3</sup>黑水箱
- 730米管道
- 总投资48万

• 厕所：0.51L/次 • 电耗：1.98度/天 • 年节水：1267m<sup>3</sup>



excavation for vacuum pipe-line



PP pipe material of the vacuum pipe-line



butt fusion welding of the vacuum pipe-line



pressure test of the vacuum pipe-line



check well in construction



Vacuum pipe-line



black water box in installing



vacuum pump in use



appearance of the finished pump station

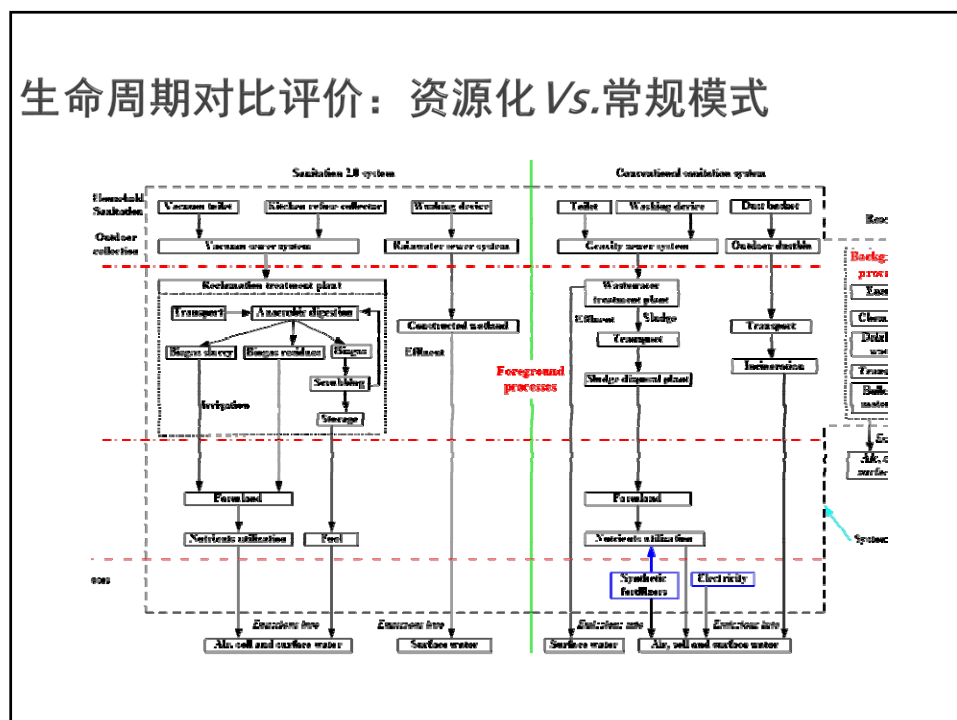


installed vacuum toilet



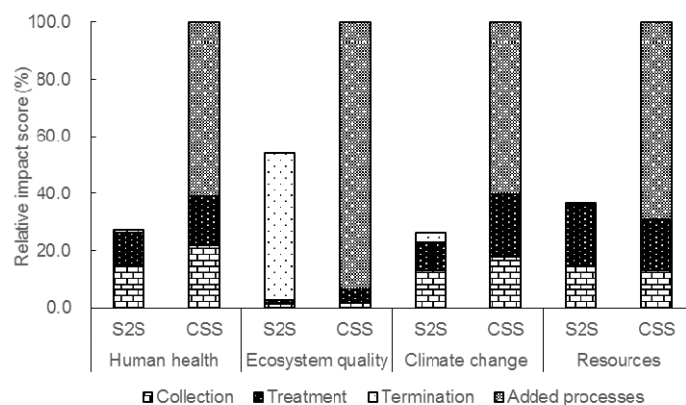
vacuum toilet in use







评价结果:与常规模式相比,资源化模式的资源环境成本总体降低**70%**



S2S:——资源化模式; CSS——常规模式

敬请批评指正!

中国科学院生态环境研究中心  
中国科学院大学

范彬 研究员, 博士导师, 首席教授  
电话: 010-62849142, 13501003728  
Email: fanbin@rcees.ac.cn



住房和城乡建设部  
农村污水处理技术北方研究中心  
North Research Center for Rural Wastewater Treatment Technology,  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development