

A large, irregularly shaped stone monument with the characters '同济大学' (Tongji University) carved into it. The monument is situated in a paved plaza with a green lawn and modern university buildings in the background.

基于应对气候变化挑战的 污水污泥处理技术对策

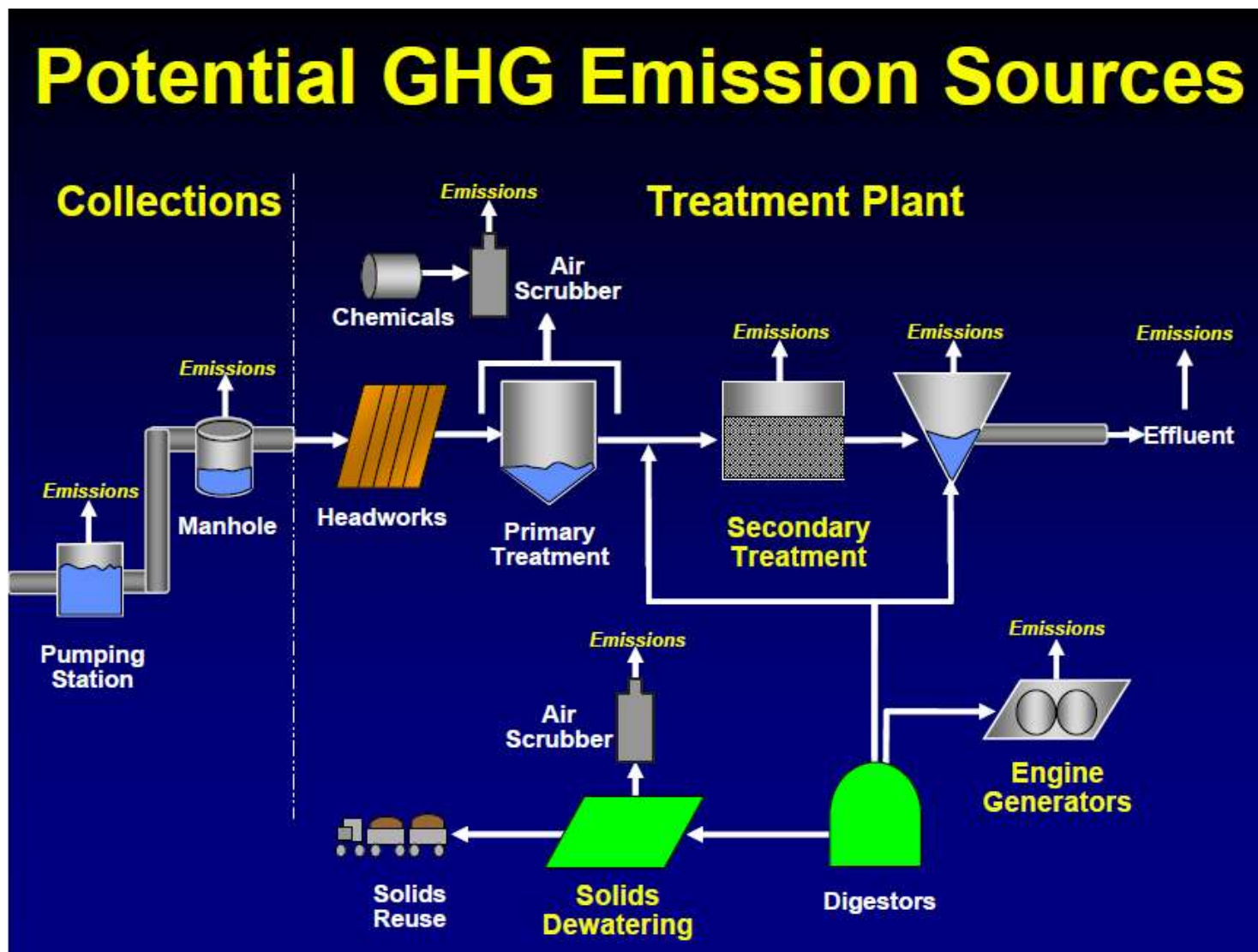
戴晓虎 教授
牛冬杰

同济大学环境科学与工程学院
国家城市污染控制工程研究中心

Disclaimer:

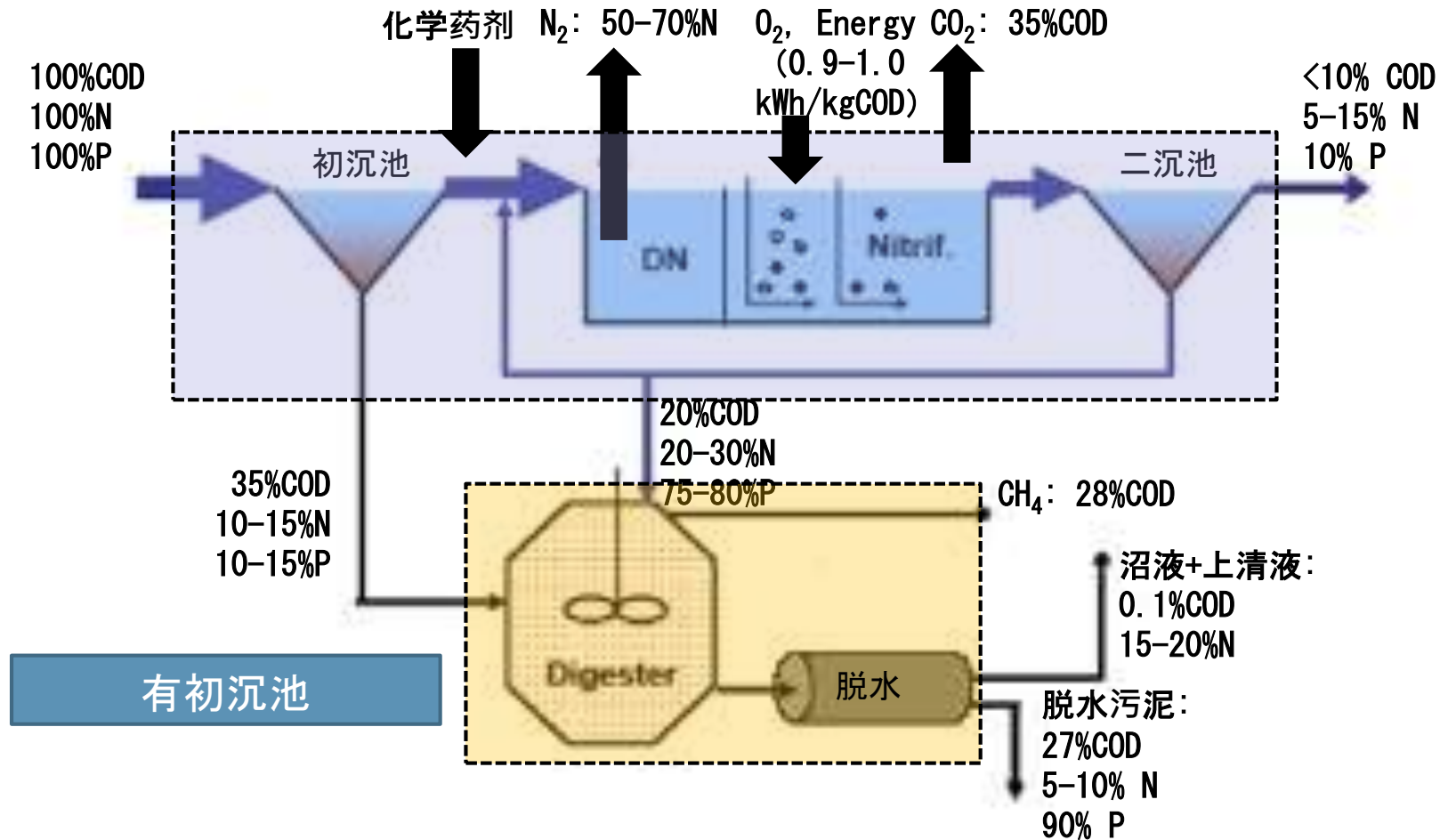
The views expressed in this document are those of the author, and do not necessarily reflect the views and policies of the Asian Development Bank (ADB), its Board of Directors, or the governments they represent. ADB does not guarantee the accuracy of the data included in this document, and accept no responsibility for any consequence of their use. By making any designation or reference to a particular territory or geographical area, or by using the term "country" in this document, ADB does not intend to make any judgments as to the legal or other status of any territory or area.

污水处理系统的温室气体排放



污水生物处理过程主要污染物物质流

Mass balance in WWTPs

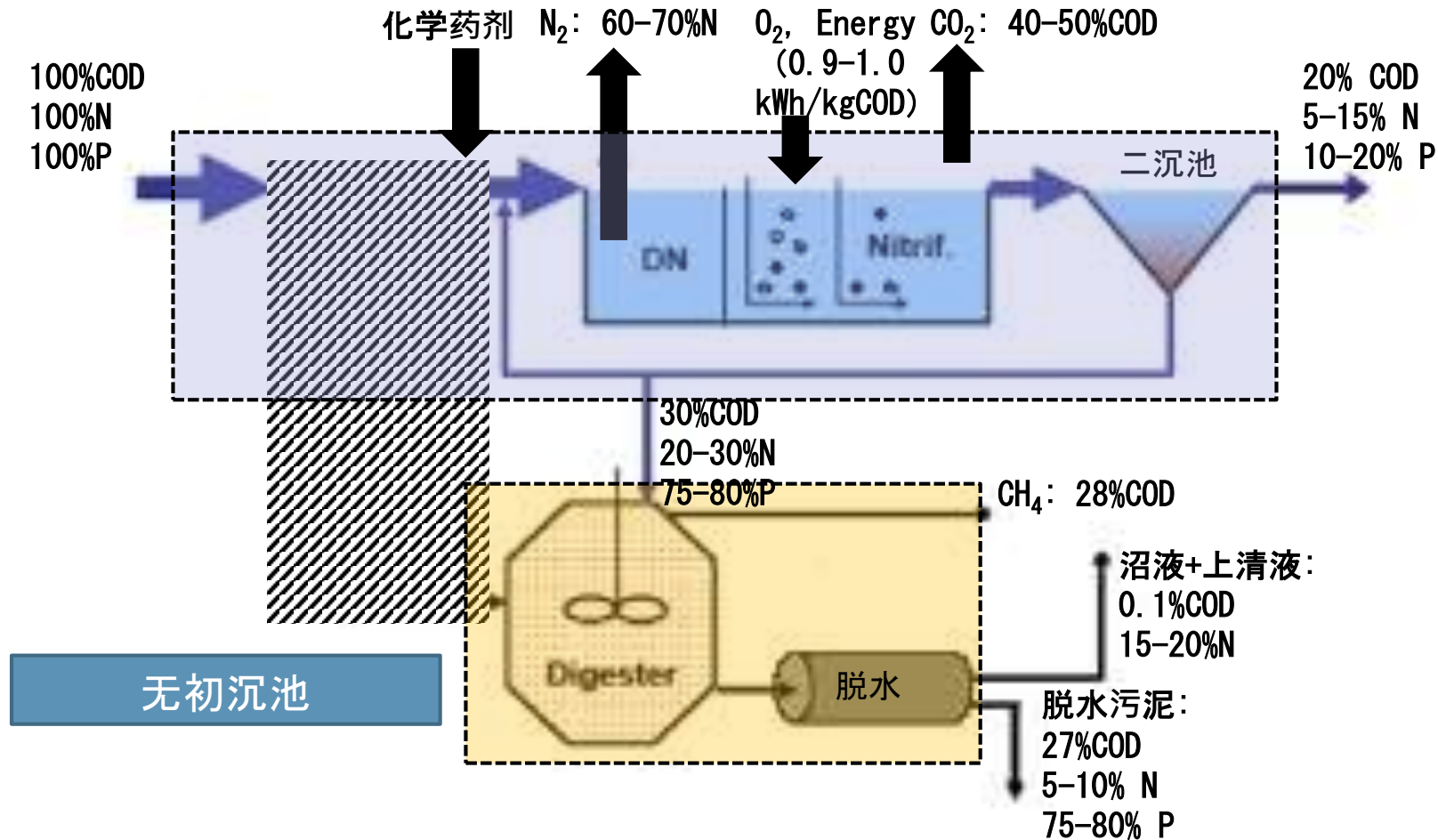


- COD in sludge about 30-50%
- N in sludge about 30-45%
- P in sludge about 90%

- 污染物通过污泥处理, 有限利用
Limited use of pollution by sludge treatment

污水生物处理过程主要污染物物质流

Mass balance in WWTPs



- COD in sludge about 30%
- N in sludge about 30%
- P in sludge about 80%

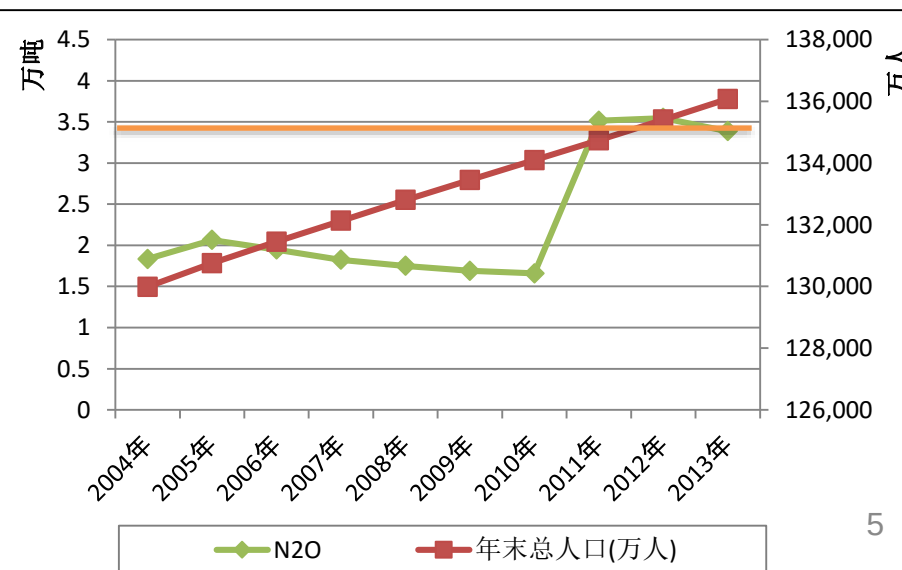
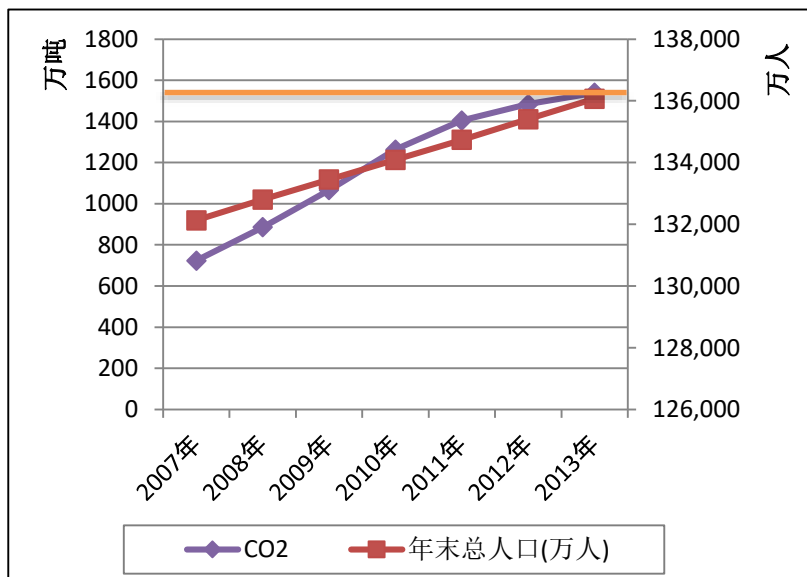
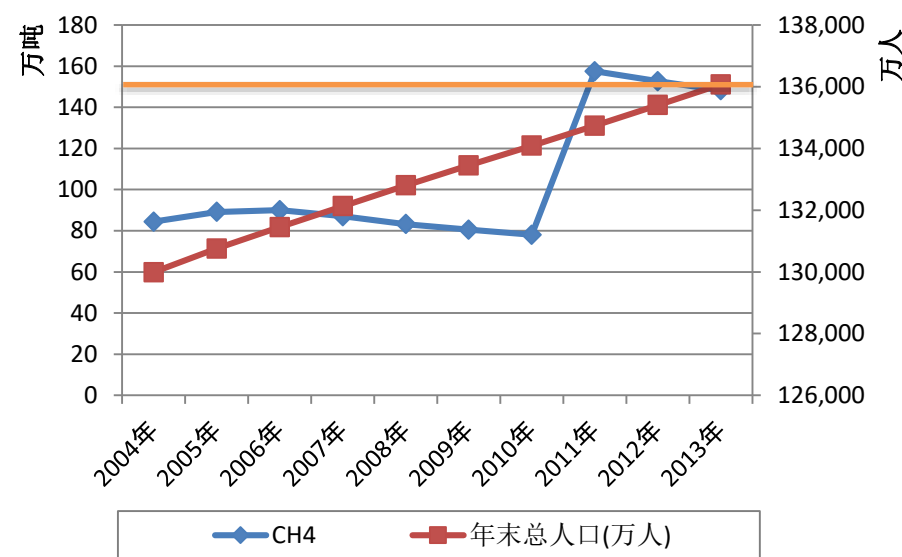
- 污染物通过污泥处理, 有限利用
Limited use of pollution by sludge treatment



污水处理系统的温室气体排放

- 在污水污泥的收集处理和排放过程中，厌氧环境会产生甲烷，废水中氮的去除会产生 N_2O ，削减COD产生 CO_2 。它们的增温潜势分别为21、310和1。
- 2013年污水处理系统产生 CH_4 150万吨，相当于3150万吨 CO_2 。
- 2013年污水处理系统产生 N_2O 3.4万吨，相当于1050万吨 CO_2 。
- 2013年污水处理系统产生 CO_2 1540万吨，这还不包括消耗能源所产生的 CO_2 。

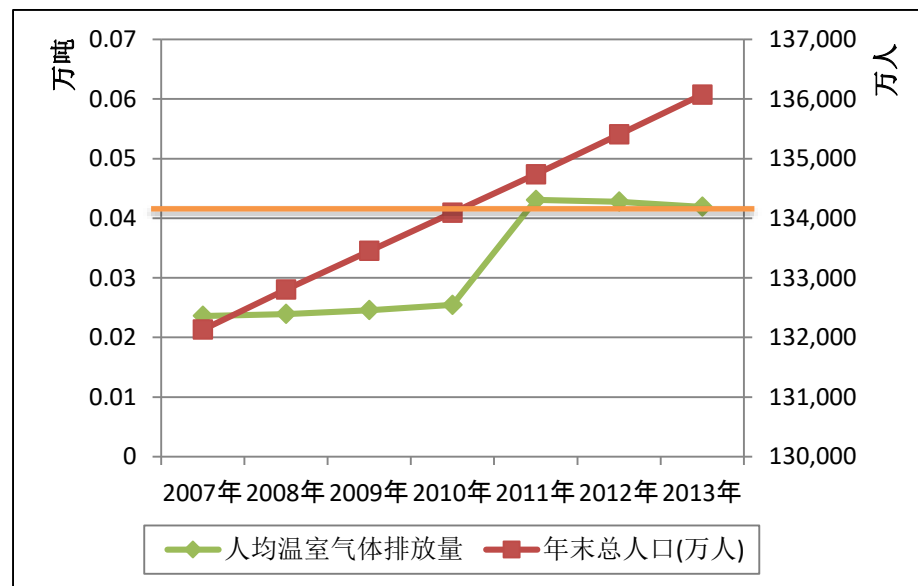
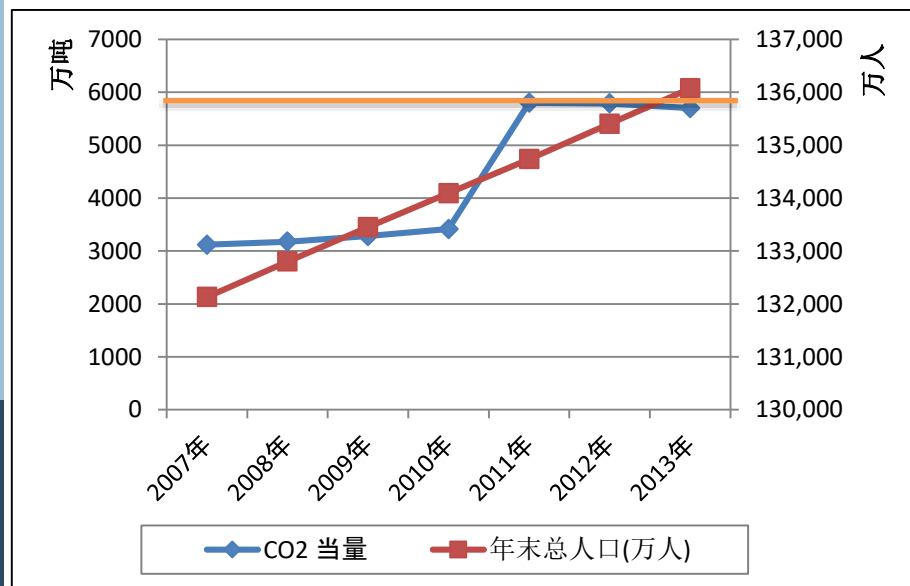
计算公式和参数参照IPCC出版的《2006年IPCC国家温室气体清单指南》





污水处理系统的温室气体排放

- 折算成CO₂ 当量排放，2013年污水处理系统排放温室气体**5700万吨**，相当于燃烧**2200万吨煤炭**。
- 2013年污水处理系统人均温室气体排放量为0.04吨/人。





污泥处理工艺的碳足迹核算

➤ 系统边界及处理流程图

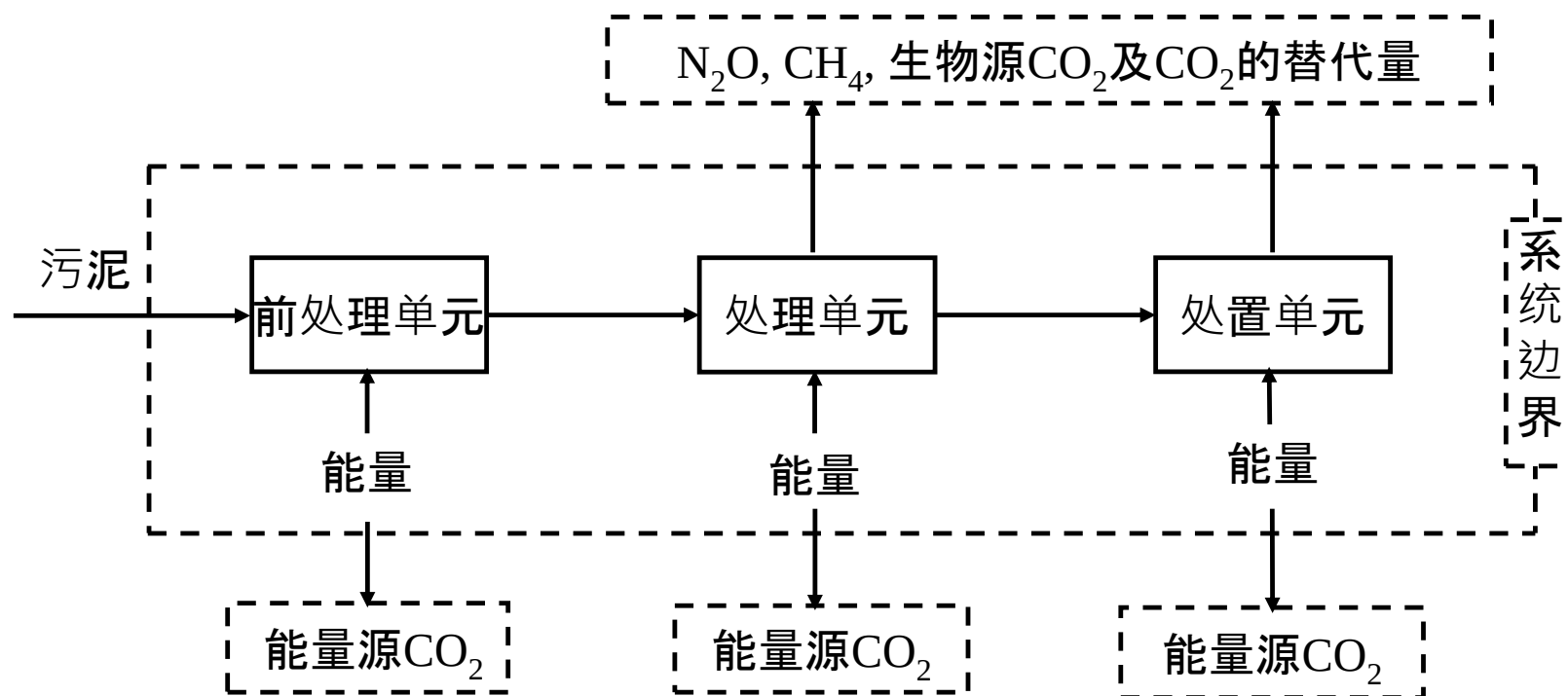
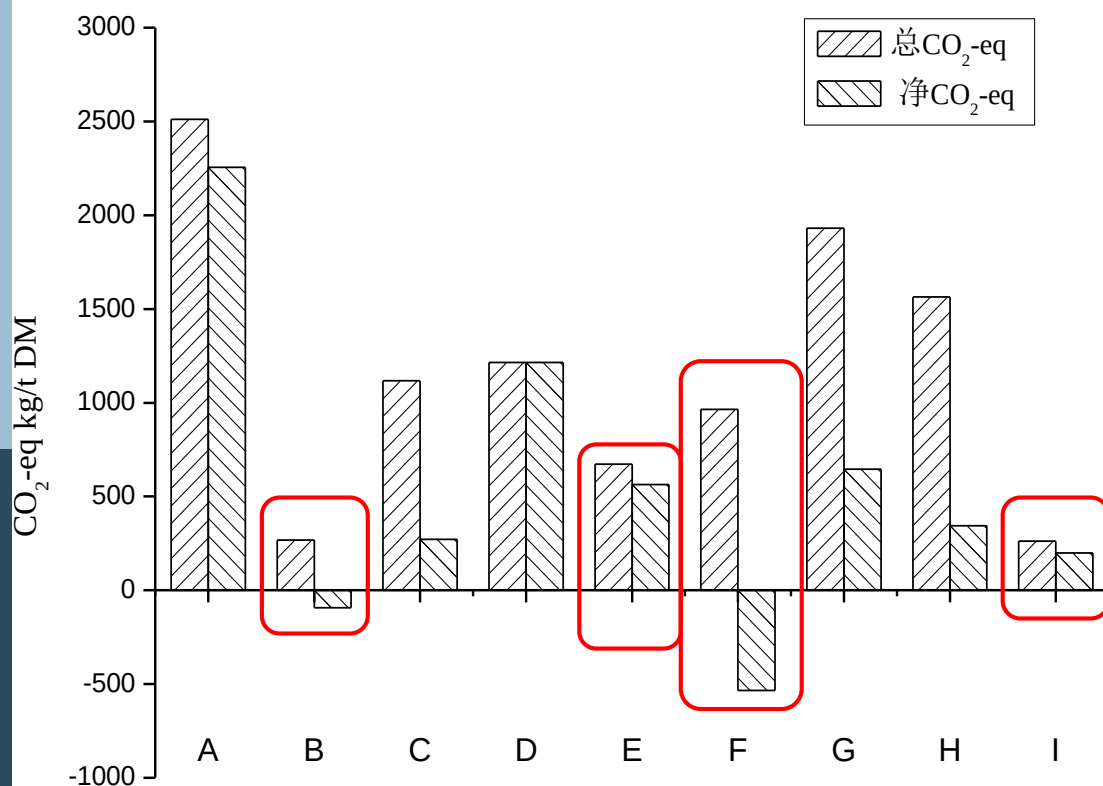


图 污泥处理处置工艺温室气体核算的系统边界

污泥处理系统的碳足迹核算

— 九种工艺的总CO₂-eq及净CO₂-eq对比



- A : 浓缩-脱水-填埋 ;
 B : 浓缩-厌氧消化-土地利用 ;
 C : 浓缩-脱水-石灰干化-土地利用 ;
 D : 浓缩-脱水-热干化-土地利用 ;
 E : 浓缩-脱水-堆肥-土地利用 ;
 F : 浓缩-脱水-热干化-焚烧-填埋 ; G :
 浓缩-脱水-制砖 ;
 H : 浓缩-消化-脱水-热干化-焚烧-制
 砖 ;
 I : 浓缩-脱水-热解

图 九种污泥处理工艺的总碳排放与净碳排放当量的对比分析



污水处理系统减排策略

理念的转变
新技术开发
综合评价方法



降低能耗、药耗
污水C、N、P资源回收利用



传统活性污泥法的局限性

- 活性污泥法100周年，传统概念“消除污染物”为主导，需要新思维；
- 基本原理无重大突破；
- 效率低：如混合菌种混合反应器，浓度受制于传统的重力分离；
- 分解为主要思路（ $\text{CO}_2 + \text{N}_2$ ）、能耗高：每人年降解COD和N需电耗约20-25kWh（污泥回收沼气发电12-15kWh）（我国单位水量能耗和国外相当，但BOD浓度为国外1/2-1/3！）；
- 污染物资源化利用水平低。



污水资源化利用潜能

- 处理出水可作为再生利用资源，200-300 l/P·d；
- COD：40-45kg/P·a，潜能85-90kWh（-10/15kWh）
- N：3-5kg/P·a，回收可替代30%（化学固氮）氮肥；
- P：0.5-0.7kg/P·a，回收可替代30-40%磷肥需求（磷矿开采周期：中国约40年，全球约70-100年）。



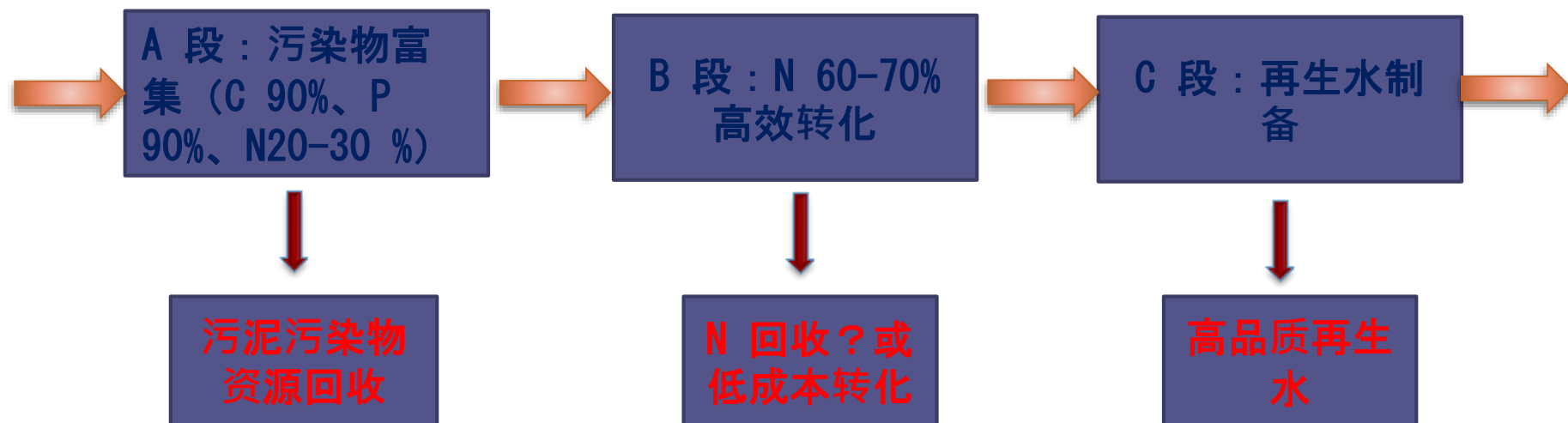
污染物利用的潜能



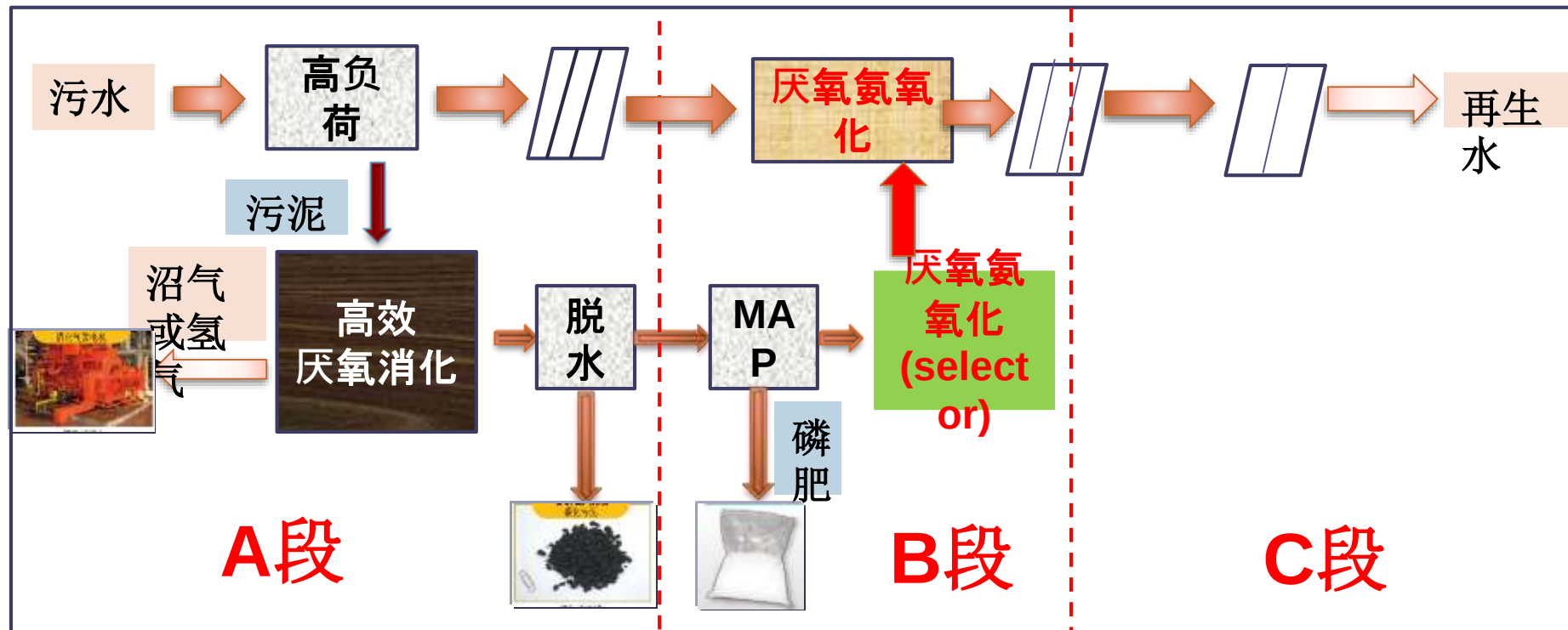


基于污染物污泥富集资源回收模式

- 最大化利用生物污泥富集污染物，回收C和P，实现高效高值利用
- 改变分解为主的思路，强化合成
- 目标：能耗输出、N、P回收，反应时间为原1/3-1/4



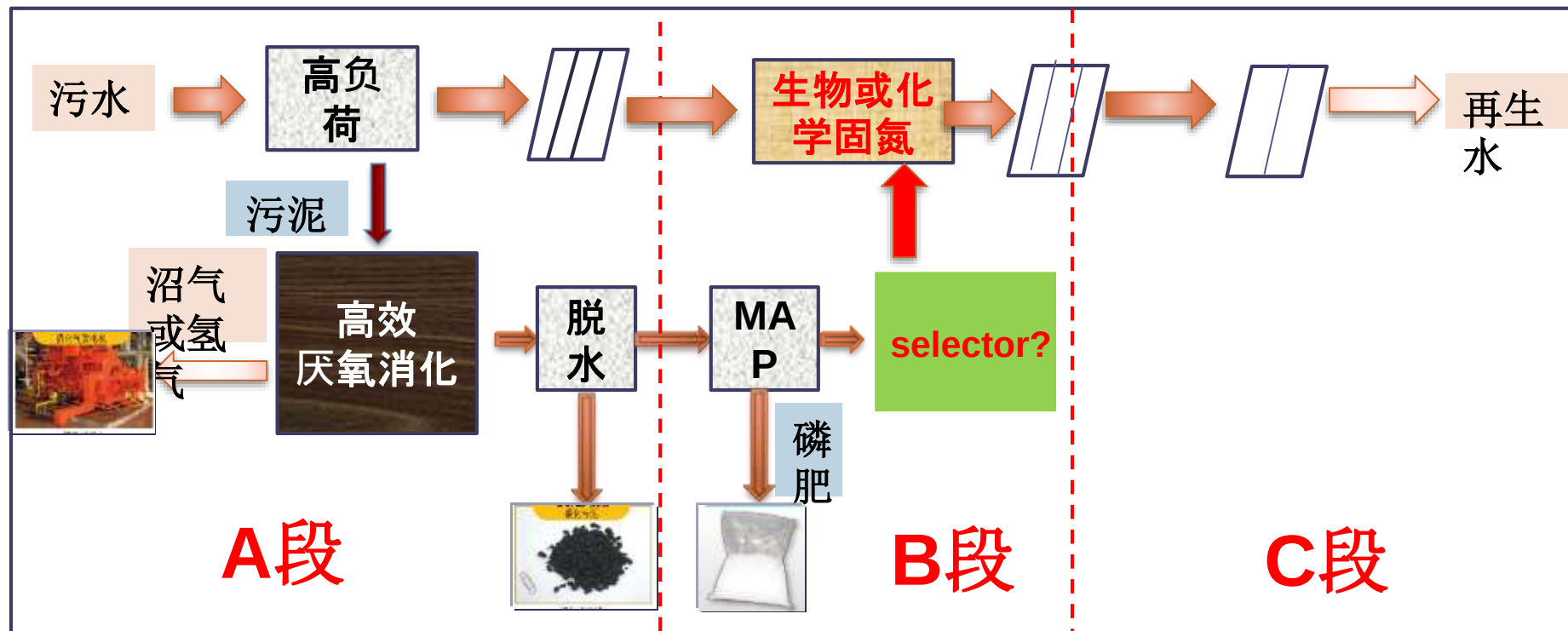
污染物的富集+厌氧氨氧化技术



原理：	利用微生物富集，碳磷最大化转入污泥	A段水中的溶解性氨氮和溶解性COD通过沼液的厌氧氨氧化强化手段，达标排放
进展：	A段已有大量工程实践，高效厌氧消化已有技术需要提升降解效率	厌氧氨氧化>25度已有工程化，低温条件下的厌氧氨氧化正在开发

目标：能源外输，N转化能耗低，反应时间为原1/3-1/4，磷最大化回收

污染物的富集+N合成



原理：	利用微生物富集，碳磷最大化转入污泥	A段出水中的溶解性氮通过固氮微生物，藻类或化学固氮实现N回收利用
进展：	A段已有大量工程实践，高效厌氧消化已有技术需要提升降解效率	固氮菌，优势藻已有大量研究，但工程应用是挑战

目标：能源外输，N，P 回收，反应时间为原1/3-1/4



污水源分离——C、N、P回收



		污水		
		灰水 (盥洗、冲刷)	黄水 (尿)	黑水 (粪)
量	150 l/(人日)	99%	0.9%	0.1%
COD	82 g/(人日)	41%	12%	47%
N	14.1 g/(人日)	5.6%	81.6%	12.8%
P	2.5 g/(人日)	20%	60%	20%
K	1.8 g/(人日)	34%	54%	12%

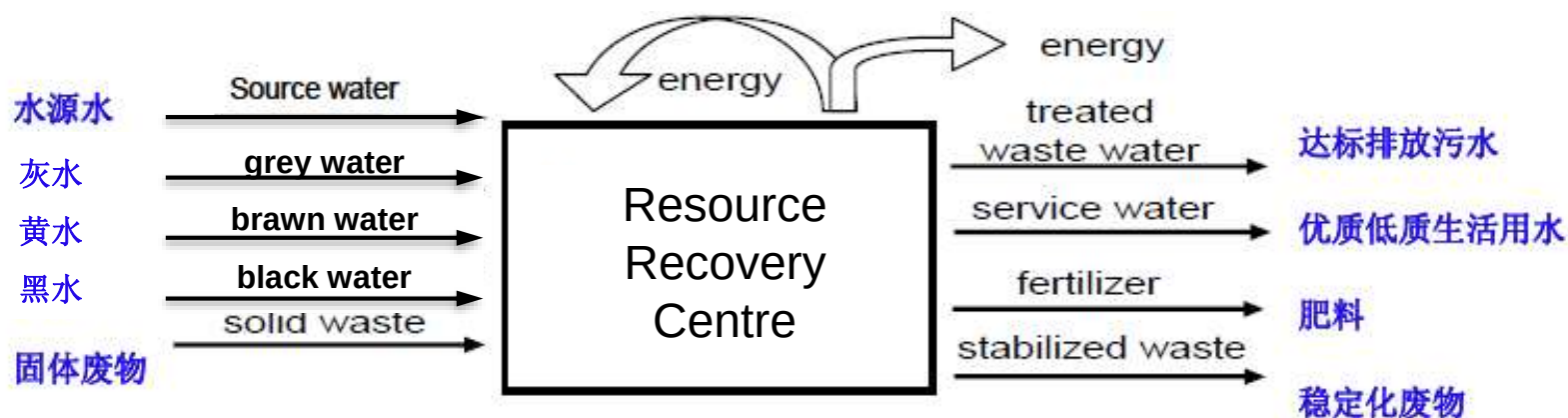
关键科学问题待解决

污水源分离——C、N、P回收

污水源分离技术的优点：

- 🔥 可回收有机质能源，并节省能耗
- 🔥 氮磷可以达到充分的回收，且氮回收率在95%以上，磷在80%以上
- 🔥 节水30-40%

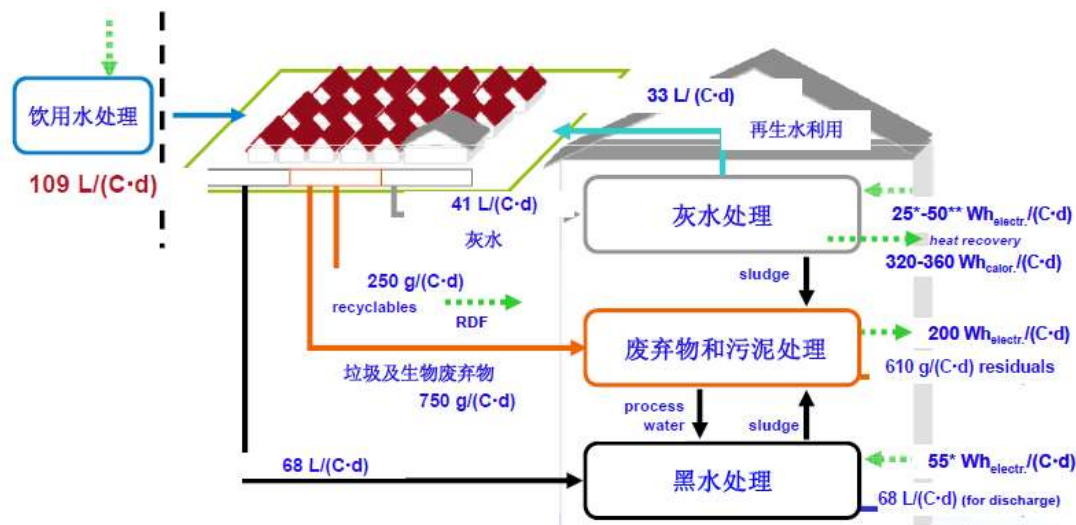
芬兰、瑞典、德国已做了大量的研究，并在一些小型公共设施得以推广。



大规模的工程应用存在的问题是设备的稳定性和可靠性不足，
处理成本较高

污水源分离——C、N、P回收

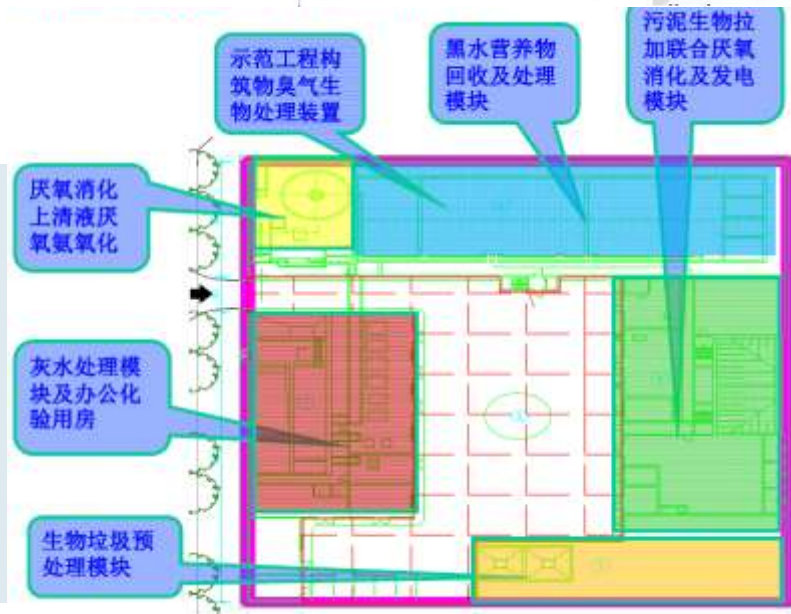
针对居住区或居住区群或新建城镇化地区而建立的区域性分质供排水和废物处理及资源化系统，可以将污水进行源分离，分质处理。



区域性分质供排水和废物资源化系统集成应用—青岛世园会示范工程

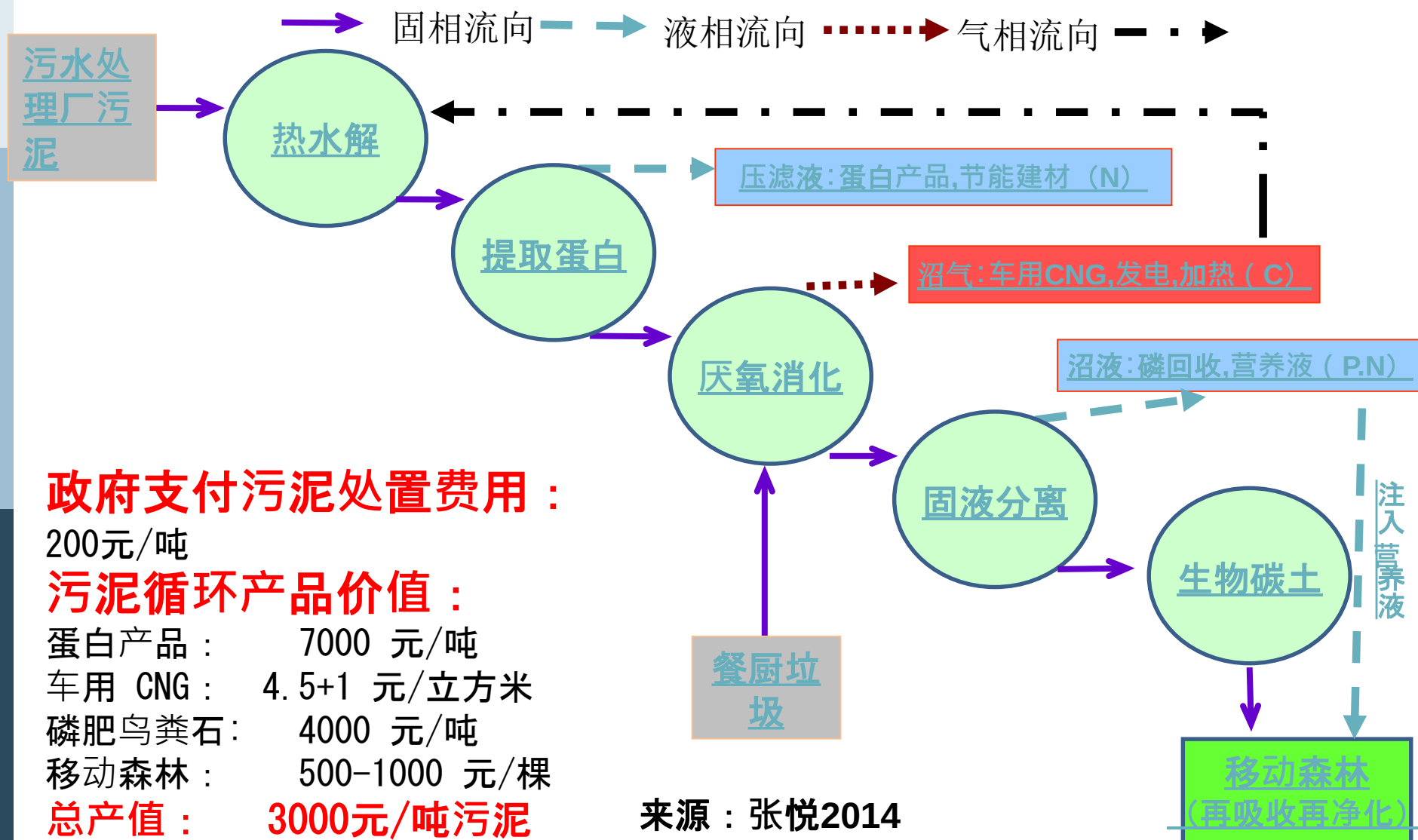
处理规模：

- 灰水：700m³/d
- 黑水：800m³/d
- 厨余垃圾：22.93m³，折合3.44吨干固体

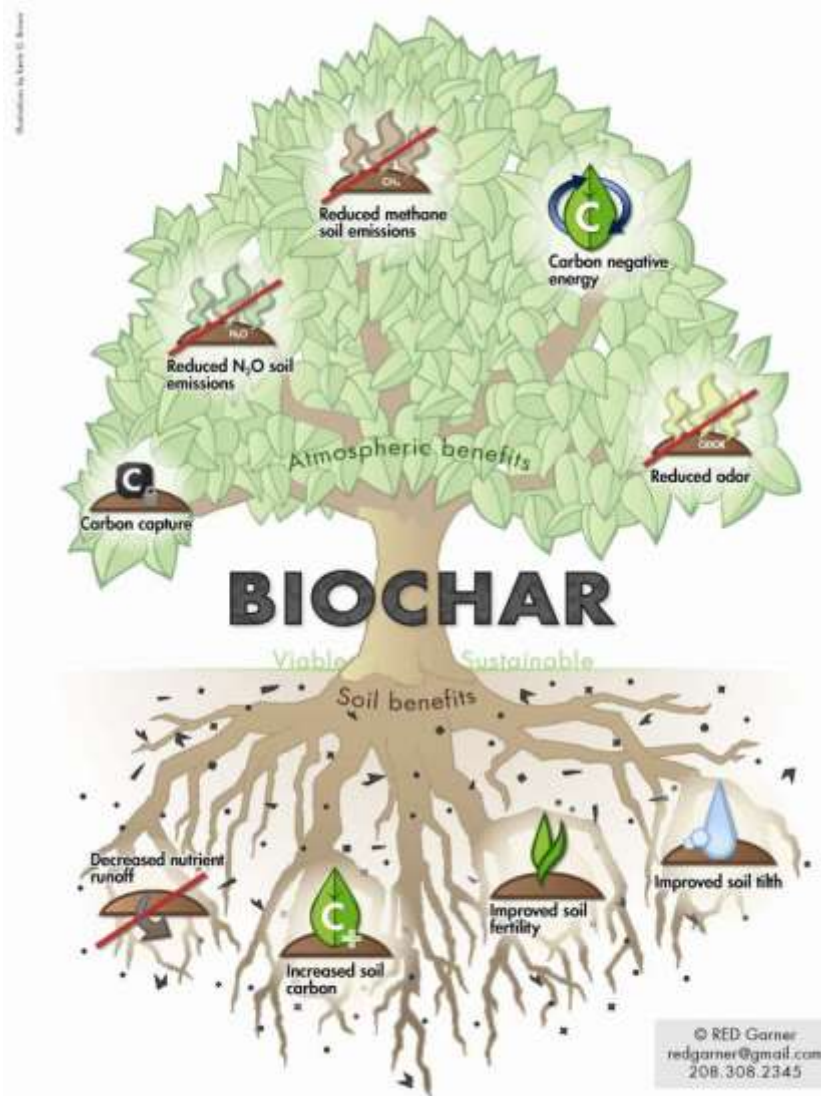




污泥“绿色、循环、低碳”模式

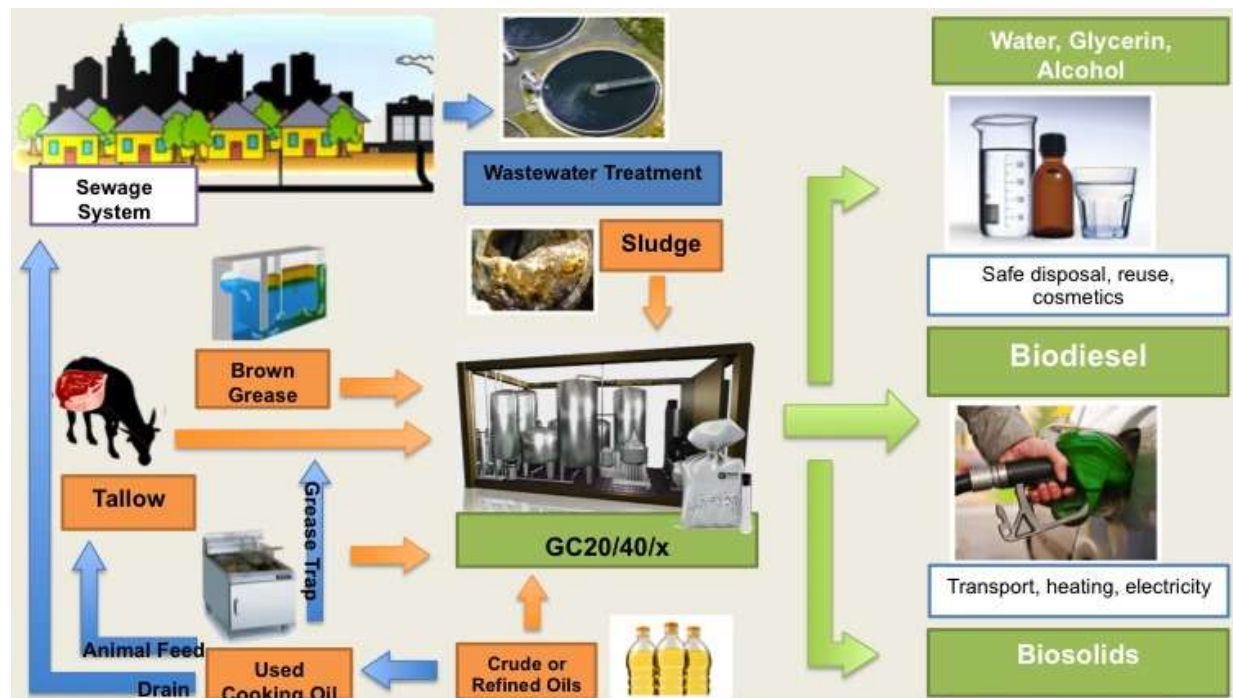


生物碳土



污泥制生物柴油技术

可通过污泥热解来
制取生物柴油



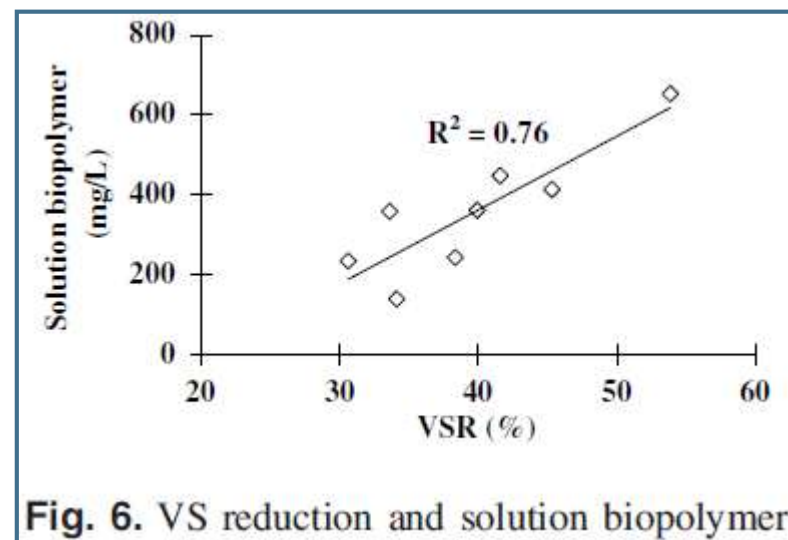
Fecal Sludge-Fed
Biodiesel Pilot Plant
Opens in Ghana

Multi-national team launches
groundbreaking research facility
that transforms human waste
into renewable biodiesel fuel

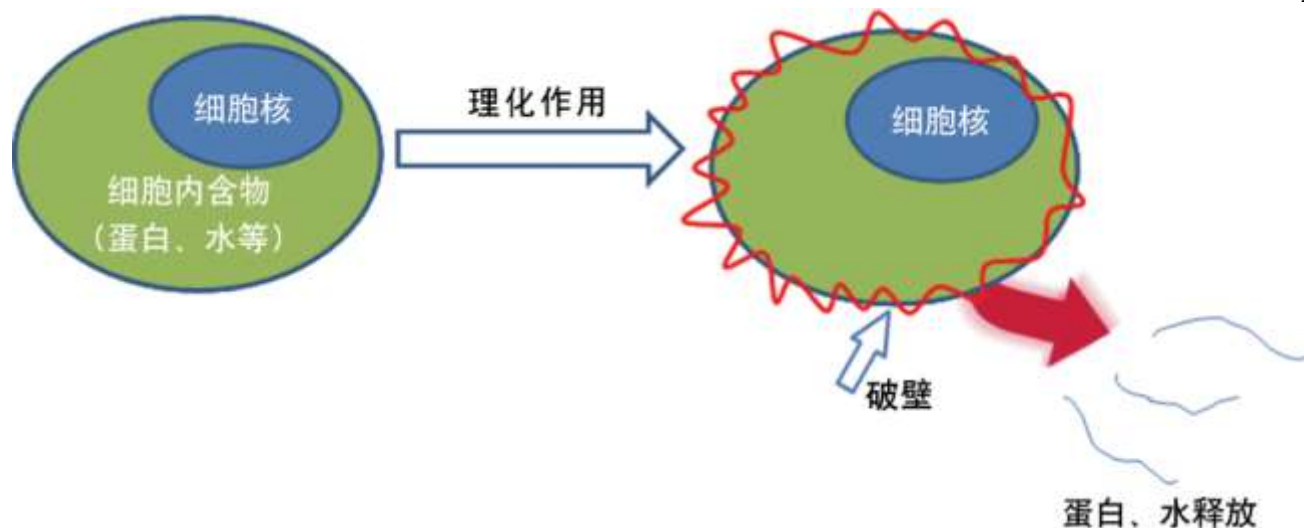


污泥蛋白提取技术

- 我国的污水生物处理所产生的剩余污泥中蛋白质含量通常约**34%**，美国的剩余污泥中蛋白质含量可高达**40%**以上。
- 随着污泥厌氧消化VS的降解，越来越多的生物聚合物溶解累积在消化液中。
- 中温厌氧消化产生的消化液溶解有**140mg/l**的生物聚合物，而高温厌氧消化产生的消化液溶解有**400mg/l**的生物聚合物。



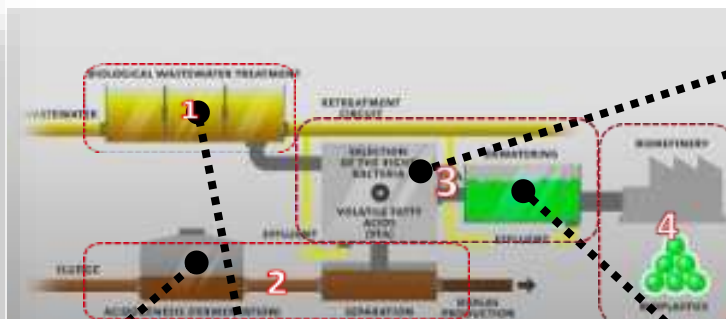
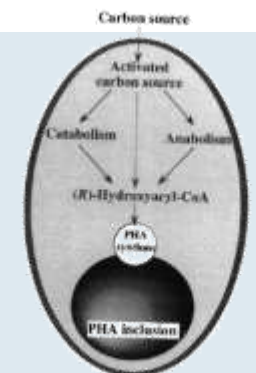
Kim et al., 2011



污泥中提取PHA技术

四个主要步骤:

- 1) 筛选适合的微生物PAM, 也称为富集步骤
- 2) 生产制造PHA需要的碳源挥发酸, 也称为发酵步骤
- 3) 在生物质中富集PHA, 生产半成品
- 4) 最终精炼半成品, 获得纯的PHA, 最终根据用户的需求生产塑料





总结

- 未来技术应充分考虑资源能源的短缺和 CO_2 的排放；
- 污水处理必须要改变传统的模式，实现污染物的回收利用已成为焦点，且需要把污水处理和污泥的处理过程统盘考虑；
- 还有众多关键科学问题急待解决；
- 新一代技术如污水厌氧处理、高级厌氧消化技术、厌氧氨氧化等已有突破。

谢谢！

