

未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



王洪臣

中国人民大学

低碳水环境技术研究中心
环境学院

二零一五年五月



未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



- (一) 污泥处理处置困难的本质原因
- (二) 未来污水处理情境下污泥问题的变化趋势



未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



西方国家七十年代末期全面开始污泥处理处置。

三十多年来，

在污泥处理处置以及资源化方面成果显著，

但污泥问题仍未根本解决。

中国则处于起步阶段。

世界范围内，污泥问题还没有解决。

未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



美国年产 750 万吨干污泥；

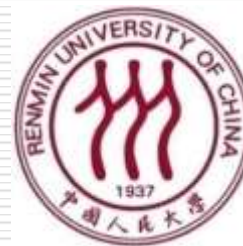
欧洲年产 1000 万吨干污泥；

中国年产 500 万吨干污泥；

全球年产 3000 万吨干污泥，折合湿污泥 1.5 亿吨。

偌大一个世界，这点污泥怎么就成了一个问题？

未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



1.5 亿吨无机物（渣土）？不难；1.5 亿吨有机物？也不难。

难在：是含有1.5 亿吨高比例的“活性有机物”，活性污泥！

这些活性污泥，减容难、稳定化难！

减容：难以浓缩、难以脱水、难以干化（50% - 55%的粘滞区）

稳定化：厌氧消化、好氧发酵，稳定化程度低。

未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



活性污泥是以**活细胞形态**存在的
有机物-水的特殊水和结构：

自由水 (free)：不受固体颗粒影响。

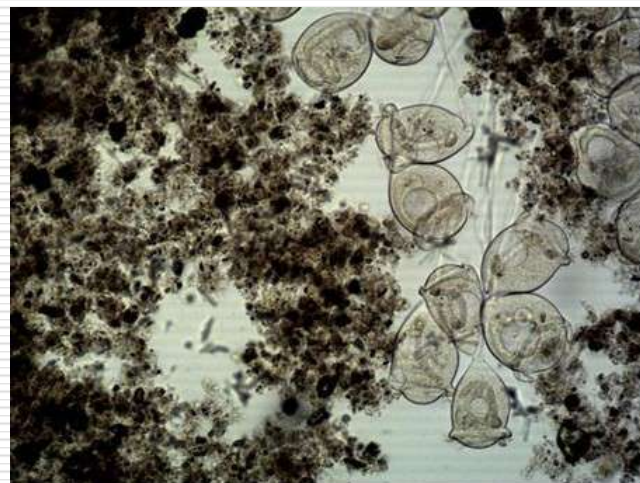
束缚水 (bound)：受到束缚。

间隙水 (interstitial)：絮体间毛细作用束缚的水；

表层水 (vicinal)：**絮体粘滞力束缚的水**；

结合水 (hydration)：结构水、内部水、细胞内部水。

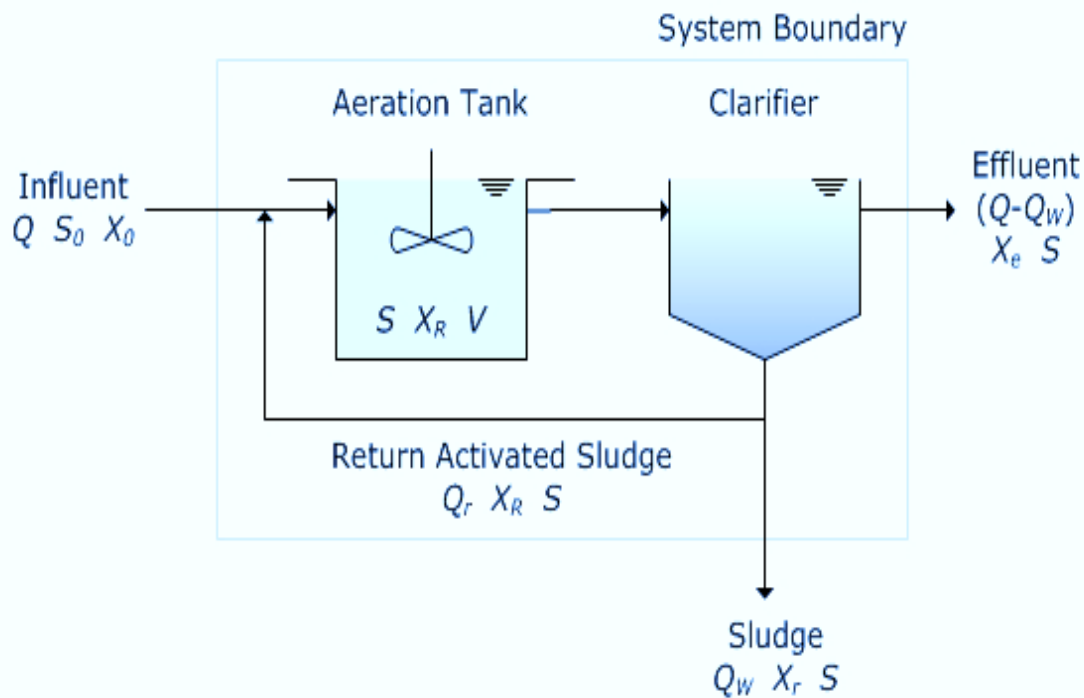
污泥中存在大量活细胞。大量水分和有机物都被“吸附”在细胞外、或“包裹”在细胞内，导致**脱水难**、**不易降解**，成了污水处理的“累赘”！



未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



活性污泥法污水处理过程，产生了活性污泥。



未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



1914年4月3日，Ardern 和 Lockett 在英国皇家化学学会年会上宣读了论文《无需滤池的污水氧化试验》，被认为是活性污泥法正式诞生。

Manchester Section.

Meeting held at the Grand Hotel on Friday, April 3rd, 1914.

MR. J. H. HOSEASON IN THE CHAIR.

**EXPERIMENTS ON THE OXIDATION OF SEWAGE
WITHOUT THE AID OF FILTERS.**

BY EDWARD ARDERN, M.SC., AND WILLIAM T. LOCKETT, M.SC.

未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



此后，Arden 和 Lockett 又在化工学会会刊陆续发表了3篇论文，系统论述了活性污泥法。

Arden, E., Lockett, W.T. (1914a) Experiments on the Oxidation of Sewage without the Aid of Filters. J. Soc. Chem. Ind., 33, 523.

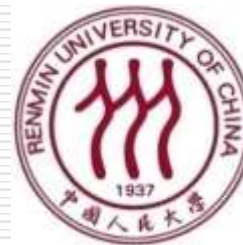
Arden, E., Lockett, W.T. (1914b) Experiments on the Oxidation of Sewage without the Aid of Filters, Part II. J. Soc. Chem. Ind., 33, 1122.

Arden, E., Lockett, W.T. (1915) Experiments on the Oxidation of Sewage without the Aid of Filters, Part III. J. Soc. Chem. Ind., 34, 937.

这些文章均指出：活性污泥法处理污水效果好，

但留下了难以处理的活性污泥！ 时至今日，仍是问题！

未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



活性污泥法还将服务下一个百年吗？

目前，世界同时面临着水污染、缺水、气候变化、能源危机以及资源枯竭等许多危及人类社会可持续发展的重大问题，而污水处理与这些人类社会重大问题密切相关。必须看到，人类社会可持续发展对城镇污水处理存在多目标要求：提高出水水质，满足水污染控制和水资源可持续循环利用的需要；节能降耗、控制碳排放，实现低碳污水处理；开发污水潜能，提高能源自给率，并逐步实现清洁能源的净输出；回收有机和无机资源，实现资源的循环利用。但是，活性污泥法实现污水处理功能是以高能耗为代价，这些能耗被用于为微生物供氧分解污水中的有机物，而这些有机物本身却是能量载体。因此，活性污泥法被形象地表述为“**以能量摧毁能量**”的技术，也是“**减排水污染物、增排温室气体**”的技术。

基于以上分析，虽然活性污泥法还会惯性地为人类继续服务，但我们有理由认为，它**不会持续成为下一个一百年的主流技术**！

未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



（三）革新方向

活性污泥法将50%左右的有机物分解成水和二氧化碳，另一部分合成为生物菌体，在“**以能量摧毁能量**”的同时，产生大量难以处理的生物污泥。

因此，人们很自然地希望污水处理首先是对有机物进行**厌氧产能或分离后厌氧产能**，而不是**好氧氧化分解与合成**。

但是，如果有机物首先被分离或处理，污水中将会留下待处理的无机营养物质。无机磷通常可通过生物或化学过程实现高效去除，不存在技术障碍，问题主要集中在无机氮的去除。氨氮通常通过硝化和反硝化过程转化为氮气脱出，硝化过程需要大量能耗，因此人们一直在探求低能耗硝化工艺。另外，反硝化过程需要消耗大量碳源，如果有机物首先被分离，反硝化则无法进行。

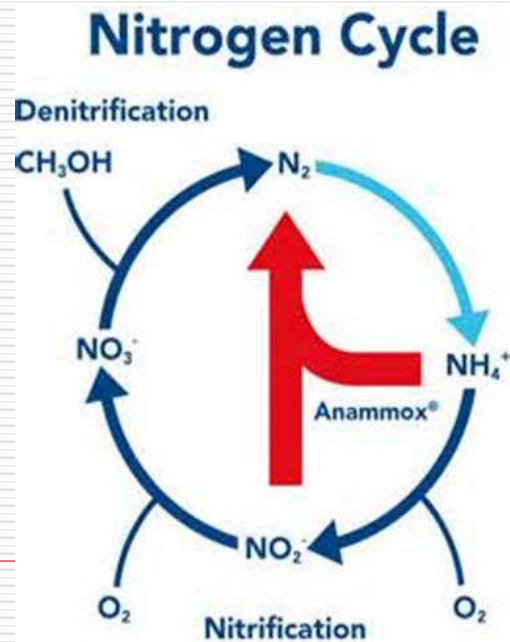
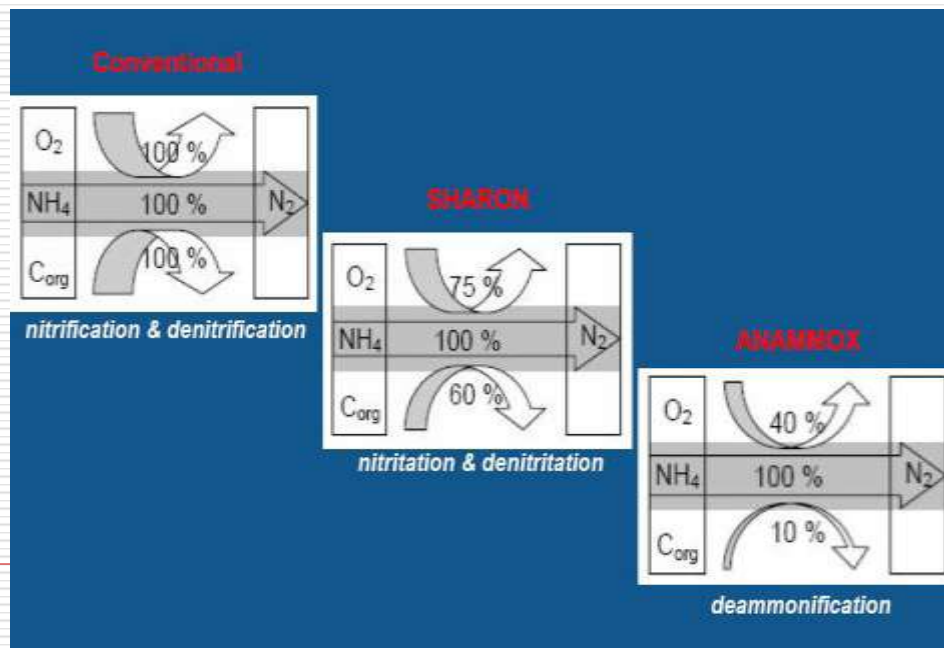
未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



(三) 革新方向

如果存在低能耗和低碳源需求的脱氮技术，污水处理过程将发生重大变化：
采用产能的厌氧处理替代高能耗的好氧处理，首先将有机物去除并回收能量，
进而再将无机氮进行低能耗去除。

厌氧氨氧化（ANAMOX）技术有可能让这一设想变为现实！



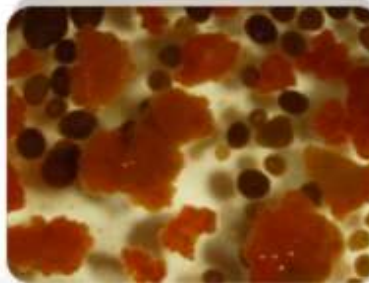
未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



（三）革新方向

如果存在低能耗和低碳源需求的脱氮技术，污水处理过程将发生重大变化：
采用产能的厌氧处理替代高能耗的好氧处理，首先将有机物去除并回收能量，
进而再将无机氮进行低能耗去除。

厌氧氨氧化（ANNAMOX）技术有可能让这一设想变为现实！



未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



（三）革新方向

与传统硝化/反硝化工艺相比，

厌氧氨氧化曝气能耗降低了**60%**、碳源减少**100%**、污泥量减少**90%**，优势巨大。

经过近十年的研究与实践，厌氧氨氧化技术发展迅速，

采用SBR、颗粒污泥和MBBR等反应器形式，

开发出了**DEMON**、**PN/AA**、**ANAMMOX**、**ANITA Mox**、**DeAmmon**以及**RBCs**等工艺，

目前已建成生产性设施约 **100** 座，绝大部分运行良好。

现有设施主要集中在高氨氮废水的处理，

75% 的设施用于污泥消化液或脱水滤液的脱氮（侧流应用），

而厌氧氨氧化技术的**最大潜力**应是直接处理生活污水（主流应用）。

未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



（三）革新方向

厌氧氨氧化技术在侧流的应用已经较为成熟，在主流应用目前还存在**技术瓶颈**！

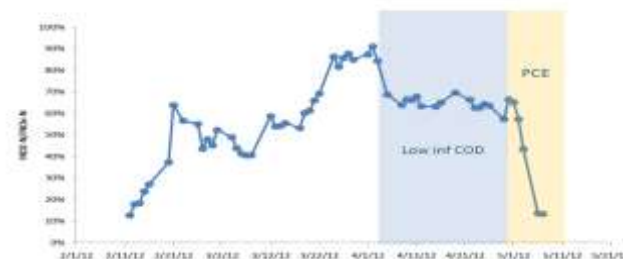
与侧流相比，主流应用工况有三个显著变化：

温度低了，成为常温；

氨氮浓度低了，每升只有数十毫克；

反应器大了，控制难度增加。

Nitrite Accumulation Rate



这三个工况变化导致厌氧氨氧化微生物生态系统不稳定：

温度低、氨氮浓度低，致使**厌氧氨氧化菌**增长慢，难以补充随出水的流失；

温度低、氨氮浓度低、pH值无法控制、溶解氧难以控制，致使**无法抑制或淘汰硝化菌 (NOB)**，难以形成亚硝酸盐积累，无法使氨氧化菌具有竞争优势，进而导致出水硝酸盐越来越高。

未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



(三) 革新方向

针对上述问题，欧美几个大型课题组近几年开展了厌氧氨氧化主流应用的大量小试和中试研究，提出一些解决对策，初步证明了厌氧氨氧化主流应用的可行性。

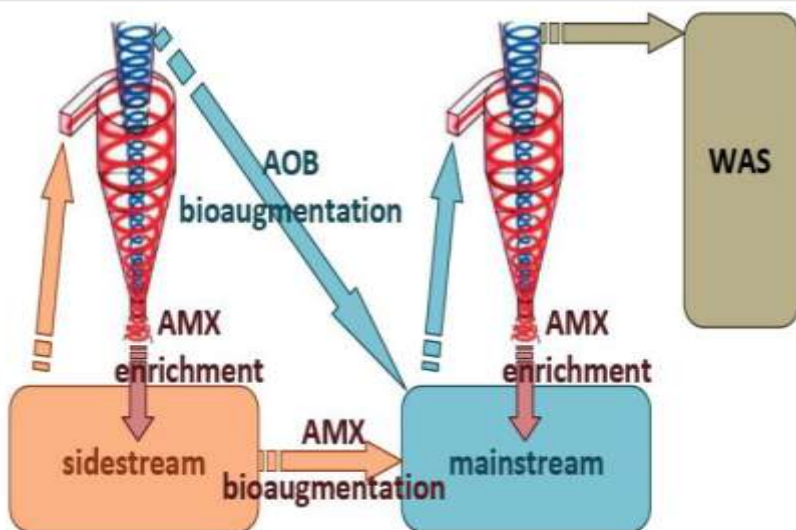


未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势

(三) 革新方向

目前提出的主流控制对策：

- (a) 通过水力旋流器富集剩余污泥中的AMX；
- (b) 将侧流工艺中水力旋流器的溢流液排入主流反应器，倍增AOB；
- (c) 将侧流反应器的混合液排入主流反应器，倍增AMX；
- (d) 主流反应器间歇曝气，抑制NOB。



未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



（三）革新方向

在主流应用中获得突破的因素可能还有：

- （1）高浓度处理设施作为污水处理主流设施的种源；
- （2）运行成功的主流处理厂之间相互种源互备；
- （3）采用生物菌剂制备技术大量生产种源，解决主流不稳定问题；



未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



（三）革新方向

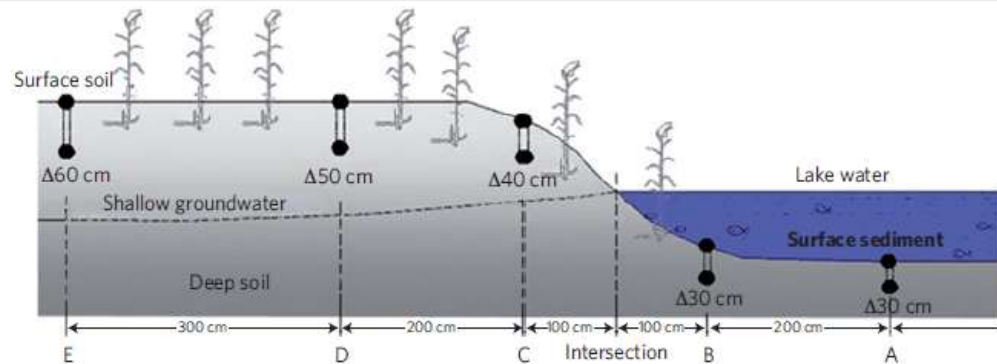
在主流应用中获得突破的因素可能还有：

（4）自然界大型种源的发现；

已经确认，

水陆交界处沉积淤泥中的 Anammox 菌最丰富，是厌氧氨氧化反应的**热区**。

祝贵兵研究白洋淀湖滨湿地岸边带系统，发现岸边带水路交界区淤泥中厌氧氨氧化速率高于水相和陆地，并算出厌氧氨氧化产生氮气占总氮气生成量的比值达到 **11% - 35%**。



未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



（三）革新方向

在主流应用中获得突破的因素可能还有：

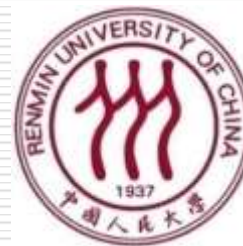
（5）在生产规模上开展探索研究，可能利于突破。

技术研发在打通技术路径后，就必须走出实验室，采用工程手段解决问题。

近两年，西方企业界已经开始厌氧氨氧化主流应用的研究，将大大加速进程。



未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



（三）革新方向

Glen Daigger 预测未来**十年**内

将获得突破并进行大规模应用

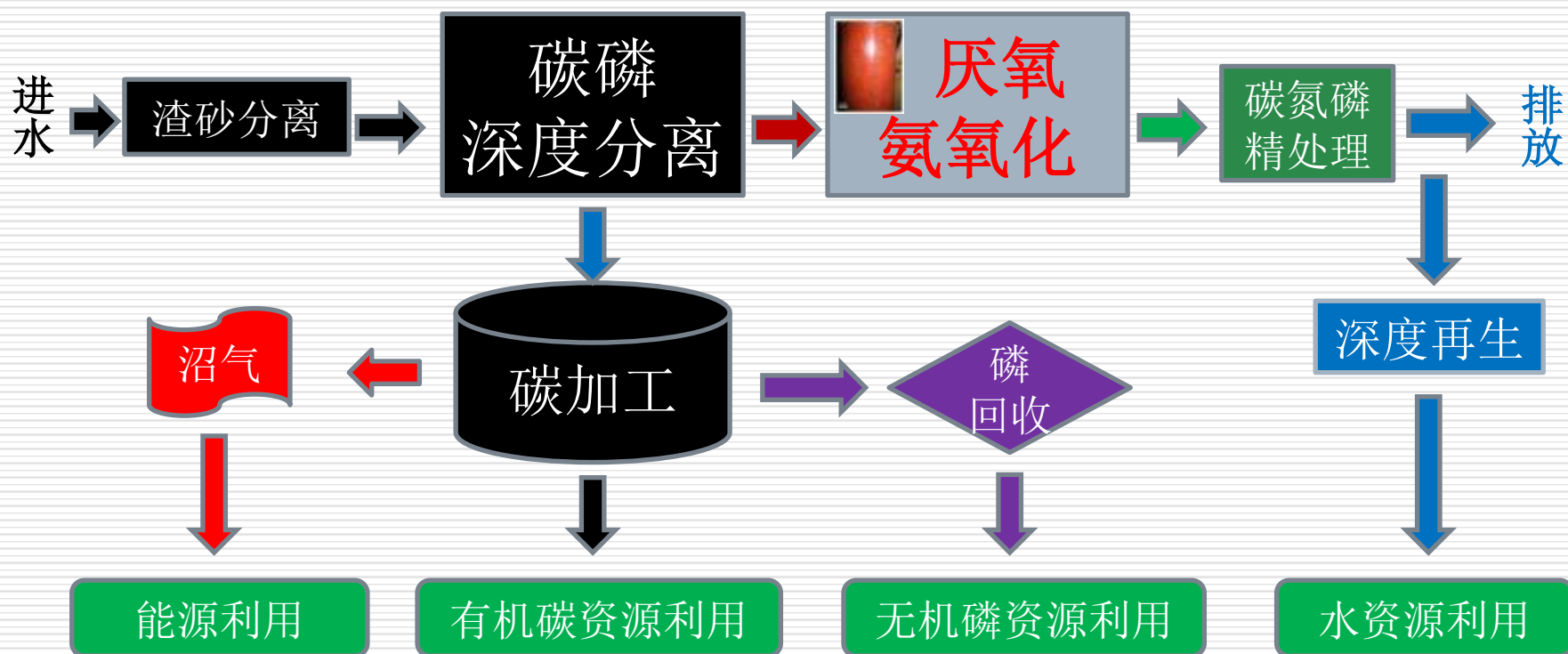


Mark van Loosdrecht 预测未来**五年**内

将获得突破并进行大规模应用



未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



未来污水处理情境下 污泥问题的变化趋势



未来的污泥处理主要是对**非活性有机污泥**的处理，处理难度大大降低！

不需要各种预处理，

易于浓缩脱水，

厌氧消化效率高，产气量大，

稳定化程度高，

可有效实现能源化和腐殖化有机肥料。



谢谢大家！