北京交通大學
BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

2017·弗戈制药培训会　济南站

制药废水处理关键技术研究与应用

报告人：姚 宏 教授 博导

13366738735 yaohongts@163.com

北京交通大学

国际持久性有毒有害物质研究中心

2017-4-26

北京交通大學
BEIJING JIAOTONG UNIVERSITY

目　录

一　制药行业发展与管理政策

二　制药废水氨氮、总氮处理技术

三　制药废水有毒有害物质处理技术

四　制药行业生物安全性问题

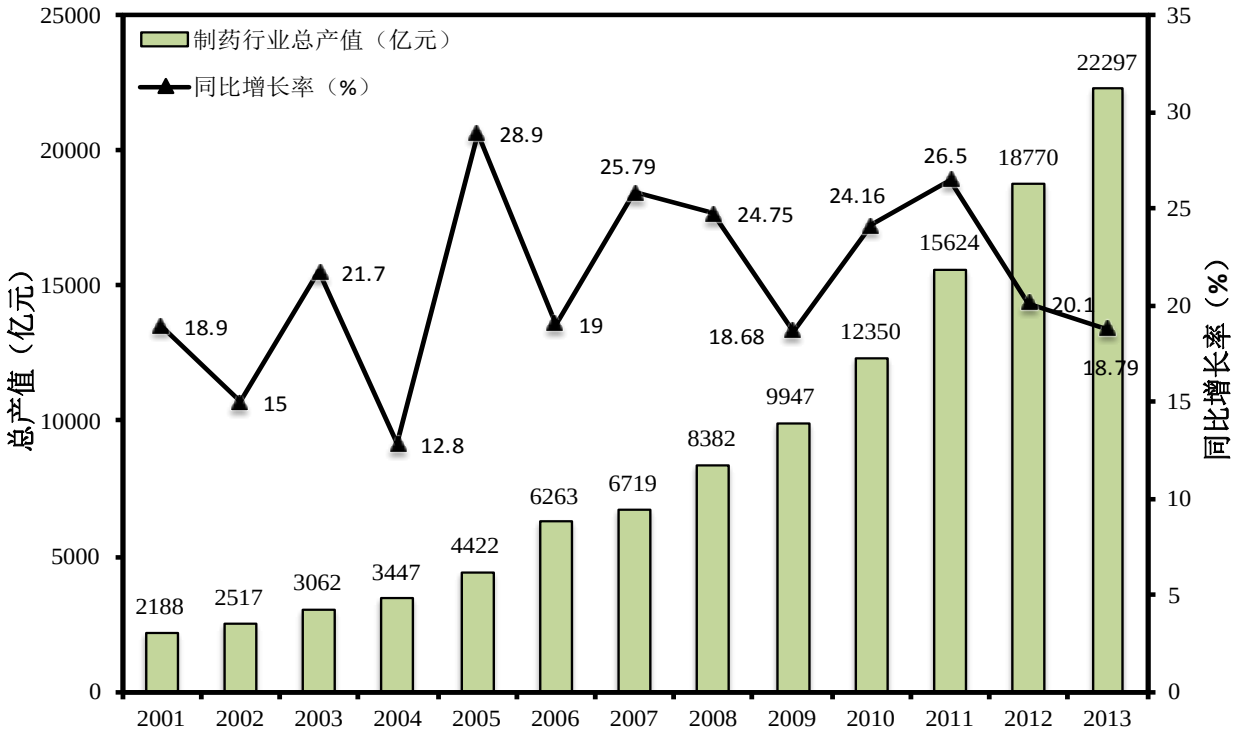
五　课题组简介

一、制药行业发展及管理政策

1.1 制药行业发展现状

制药行业总产值

- 近13年我国制药行业产值以13%速度增长；
- 2015年我国制药行业总产值2.6万亿元，废水排放量也逐年递增；



1.1 制药行业发展现状

制药行业特点

- 医药制造是朝阳产业，市场潜力巨大，我国制药行业的发展具有鲜明的特点，可概括为“一小、二多、三低”，即规模小，数量多、产品重复多，产品技术含量低、新药研发能力低、经济效益低。
- 目前我国医药企业有6000多家，可以生产化学原料药近1500种，大型企业仅70余家。抗生素产量占全球市场总量的70%以上，其中青霉素工业盐、头孢菌素、土霉素和链霉素的年产量分别占全球产量的75%、80%、90%和90%。

1.2 制药行业废水、污泥废渣排放特点

制药废水排放特点：

- 废水水质水量波动大，间歇排放或生产依赖性强。
- 制药废水中COD浓度值可高达几千到几十万mg/L；
- 存在生化性差且具强烈微生物毒性的中间体和成品药；
- 发酵类制药废水氨氮、总氮排放浓度较高；
- pH值极端，废水高盐，或pH极端导致次生高盐；

制药污泥排放特点：

- 制药污泥包括原料药、中间体、药物母体及其降解产物等，大部分制药污泥均属于高毒级别，且难于过滤脱水。；
- 根据生产药物与加工工艺不同制药污泥通常含有浓度较高的重金属；

1.3 制药废水排放管理政策——国外管理政策

•美国EPA (40 CFR Part 439, Jan 2006)Pharmaceutical Manufacturing Point Source Category为制药废水的排放制了直接排放和间接排放标准，并按照BPT, BAT, NSPS 进行控制。

表 制药废水COD日排放量和月平均排放量（mg/L）

Subpart	Pollutant or Property	BPT Effluent Limitation for End-of-Pipe Monitoring Points	
		Maximum for any one day (mg/L)	Monthly Average (mg/L)
A-Fermentation Operations	COD	1675	856
B-Biological and Natural extraction Operations	COD	228	86
C-Chemical Synthesis Operations	COD	1675	856
D-Mixing, Compounding, or Formulating Operations	COD	228	86

1.3 制药废水排放管理政策——国外管理政策

•美国EPA (40 CFR Part 439, Jan 2006)Pharmaceutical Manufacturing Point Source Category为制药废水的排放制了直接排放和间接排放标准，并按照BPT, BAT, NSPS 进行控制。

表 制药废水污染物排放量（mg/L）

Pollutant	Maximum for any one day (mg/L)	Monthly Average (mg/L)
COD	1675	856
Ammonia as N(氨氮）	84.1	29.4
Benzene(苯）	0.05	0.02
Chlorobenzene （氯苯）	0.15	0.06
n-Hexane （正己烷）	0.03	0.02
Phenol (苯酚）	0.05	0.02

1.3 制药废水排放管理政策——国内管理政策

发酵类制药工业水污染物排放标准 GB21903-2008

化学合成类制药工业水污染物排放标准 GB21904-2008

提取类制药工业水污染物排放标准 GB21905-2008

中药类制药工业水污染物排放标准 GB21906-2008

生物工程类制药工业水污染物排放标准 GB21907-2008

混装制剂类制药工业水污染物排放标准 GB21908-2008

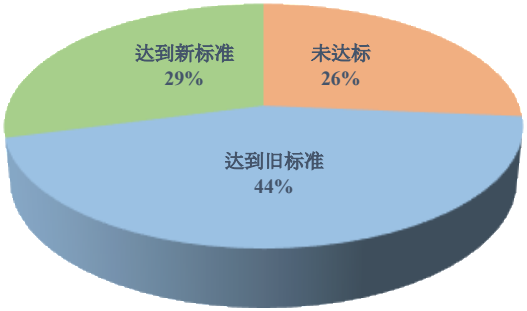
1.3 制药废水排放管理政策——国内管理政策

		悬浮物（SS）	五日生化需氧量（BOD_5）	化学需氧量（COD_{cr}）	氨氮	总氮	总有机碳（TOC）	急性毒性（$HgCl_2$毒性当量）
发酵类	现有企业	100	60（50）	200（180）	50（45）	100（90）	60（50）	0.07
	新建企业	60	40（30）	120（100）	35（25）	70（50）	40（30）	0.07
	先进控制技术限值	10	10	50	5	15	15	0.07
化学合成类	现有企业	70	40（35）	200（180）	40（30）	50（40）	60（50）	0.07
	新建企业	50	25（20）	120（100）	25（20）	35（30）	35（30）	0.07
	先进控制技术限值	10	10	50	5	15	15	0.07
提取类	现有企业	70	30	150	20	40	50	0.07
	新建企业	50	20	100	15	30	30	0.07
	先进控制技术限值	10	10	50	5	15	15	0.07
中药类	现有企业						30	0.07
	新建企业						25	0.07
	先进控制技术限值						20	0.07
生物工程类	现有企业	70	30	100	15	50	30	0.07
	新建企业	50	20	80	10	30	30	0.07
	先进控制技术限值	10	10	50	5	15	15	0.07
混装制剂类	现有企业	50	20	80	15	30	30	0.07
	新建企业	30	15	60	10	20	20	0.07
	先进控制技术限值	10	10	50	5	15	15	0.07

新标准GB21903／08-2008
严于美国制药废水排放标准

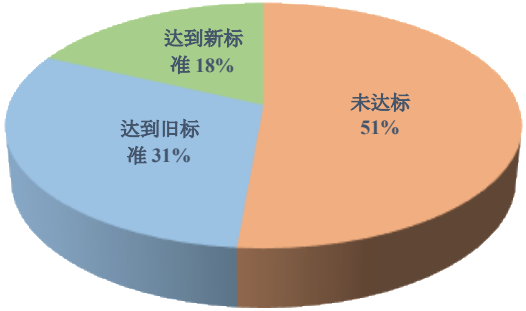
1.4 制药行业废水排放达标现状

现存问题1——COD达标排放问题



新标准：200mg/L　旧标准：300mg/L

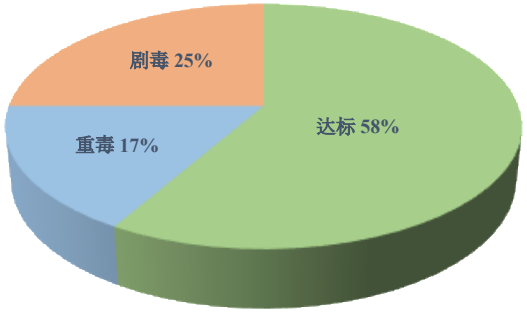
现存问题2——氨氮达标排放问题



新标准：30mg/L　旧标准：50mg/L

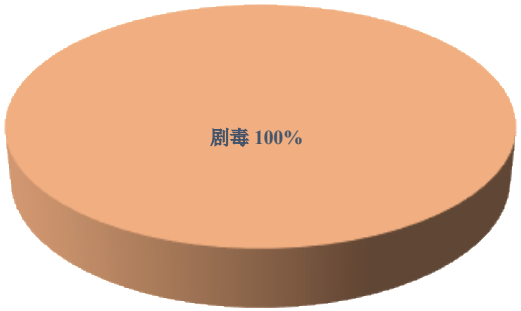
现存问题3——生物安全排放问题

废水生物安全



新标准：0.07mg/L　旧标准：未作要求

污泥生物安全



发光细菌法表征急性毒性

1.5

制药废水处理中亟须解决的问题

1 制药废水氨氮、总氮的去除

2 制药行业中有毒有害物质的去除

3 制药行业的生物安全性问题

生物脱氮技术

高级氧化技术

急性毒性、抗药基因

二、制药废水氨氮、总氮处理技术

2.1 制药废水氨氮、总氮处理技术——背景介绍

- **"十二五"**期间国民经济和社会发展规划纲要和国家**"十二五"**环保规划明确提出**氨氮减排10%**的目标，将氨氮作为新增约束性指标；
- **"十三五"**期间国民经济和社会发展规划纲要和国家环保规划明确指出针对**典型行业开发新型脱氮工艺(如厌氧氨氧化工艺)**，是实现总氮减排的重要手段；
- 环保部**2015年4月16日**发布的**"水十条"**中提出：专项整治包括焦化、氮肥、有色金属、印染、农副食品加工、原料药制造、制革、农药、电镀、造纸等行业在内的十大行业，尤其对**制药业、稀土冶炼业**和大豆蛋白等典型工业高氨氮废水排放行业做重点整治，要求到2020年底，**制药废水**达到**氨氮5mg/l**，总氮**15mg/l**的排放标准，稀土废水达到总氮30mg/l的排放标准，大豆蛋白废水达到总氮20mg/l，氨氮15mg/l的排放标准，2017年制药行业要开始排污许可。

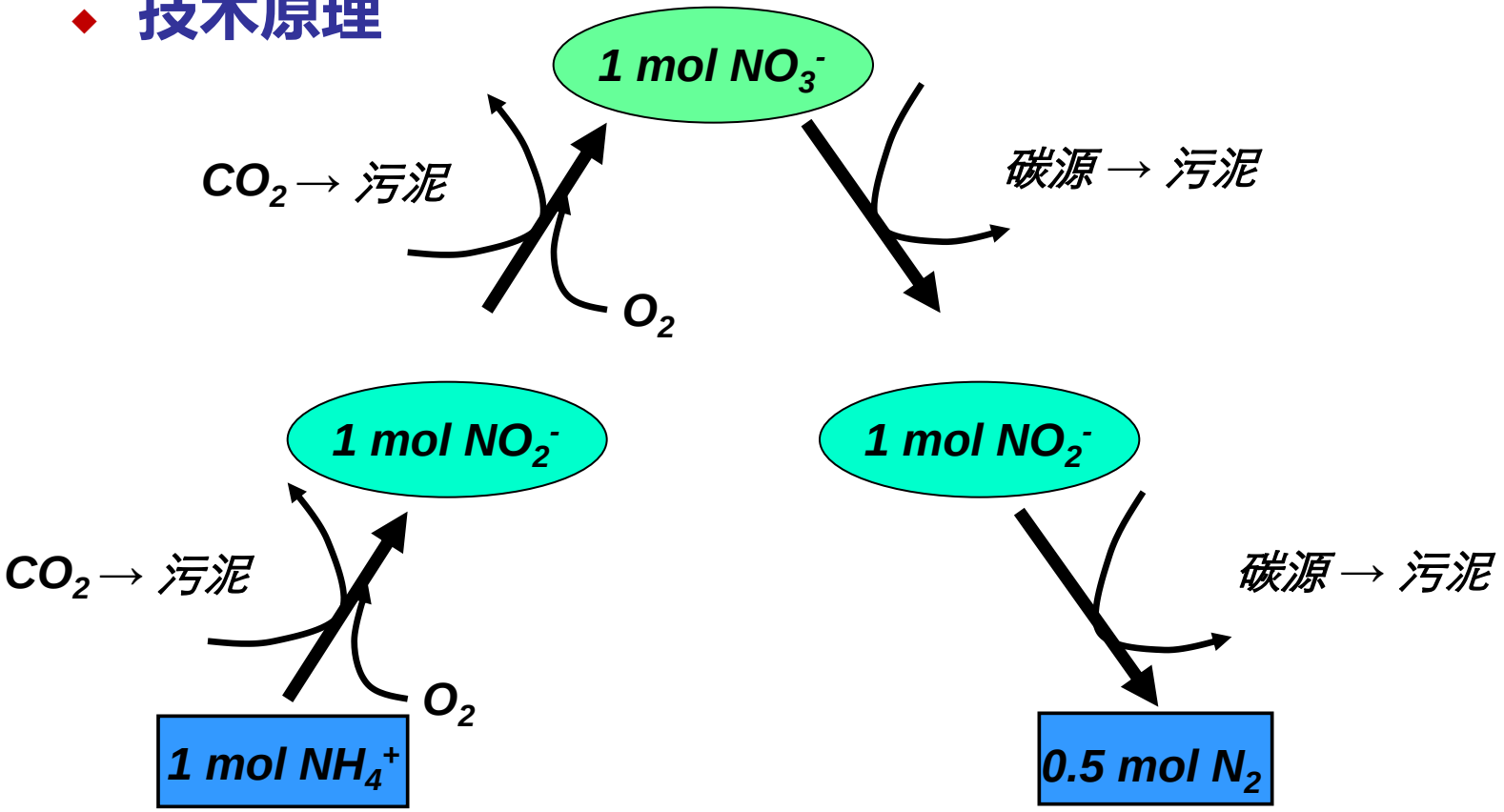
2.1 制药废水氨氮、总氮处理技术——背景介绍

脱氮技术对比分析

序号	硝化-反硝化	蒸氨法	厌氧氨氧化法
占地面积	大	较小	**较小**
	厌氧氨氧化法脱氮负荷高，可大大减小有效池容的要求		
处理效果	低	较低	**较高**
	厌氧氨氧技术氨氮去除率可达**95%**以上，总氮去除率可达**90%**以上		
能量消耗	普通	较高	**较低**
	厌氧氨氧化技术耗氧较少，曝气量低，降低能耗**50%**以上		
原料消耗	额外碳源	无	**无**
	与普通生化法相比，厌氧氨氧化无需碳源		
运行费用	较高	高	**较低**
	厌氧氨氧化工艺比传统工艺节省30%的运行成本		

制药废水氨氮、总氮处理技术——厌氧氨氧化工艺

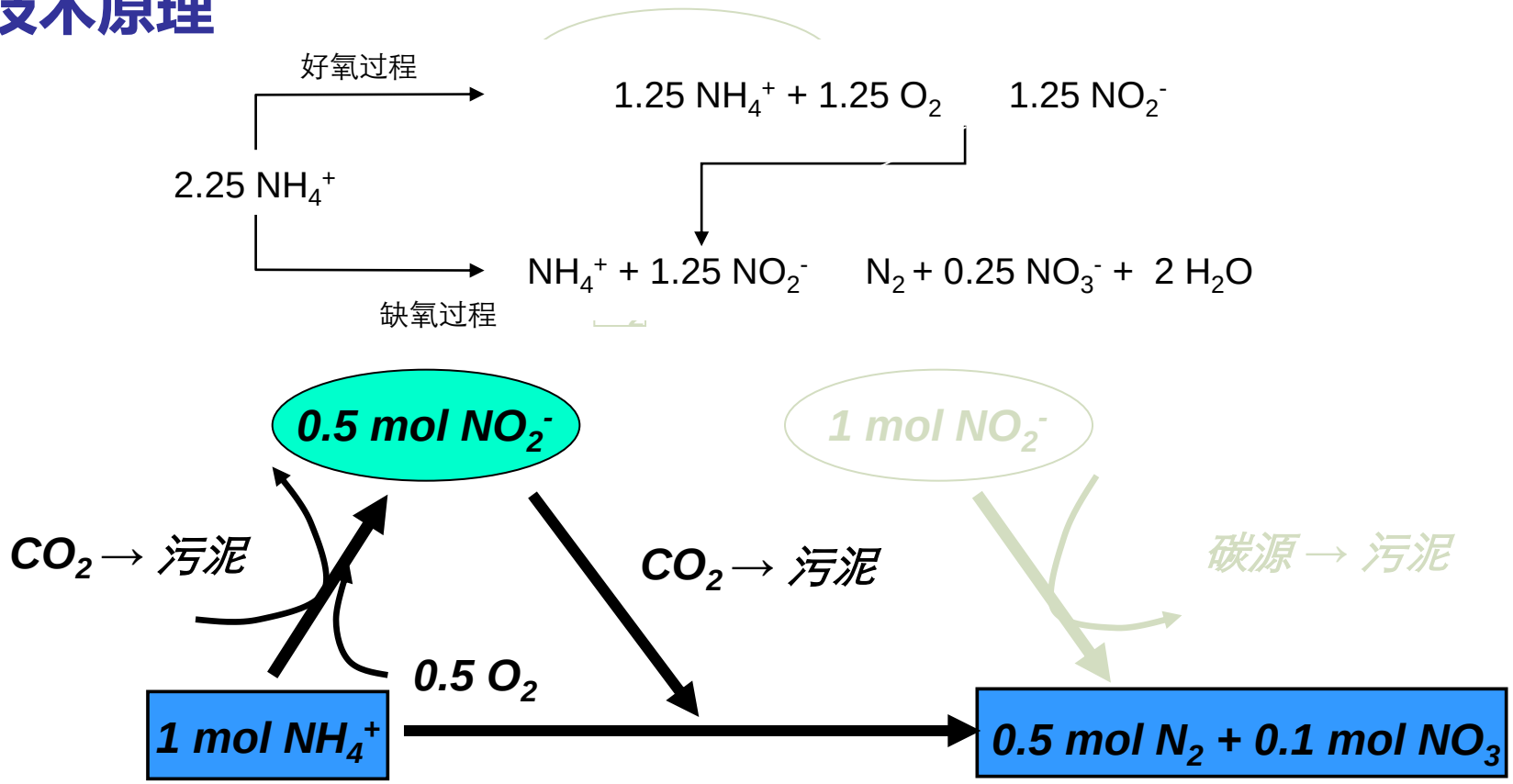
技术原理



传统硝化反硝化脱氮工艺原理

2.2 制药废水氨氮、总氮处理技术——厌氧氨氧化工艺

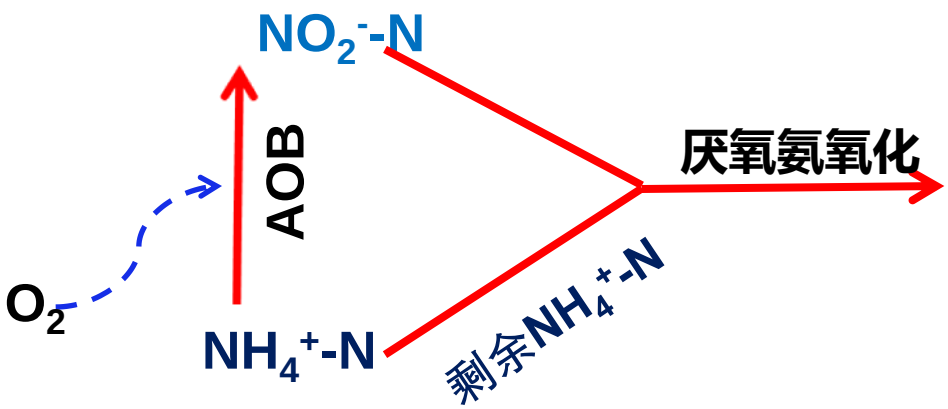
技术原理

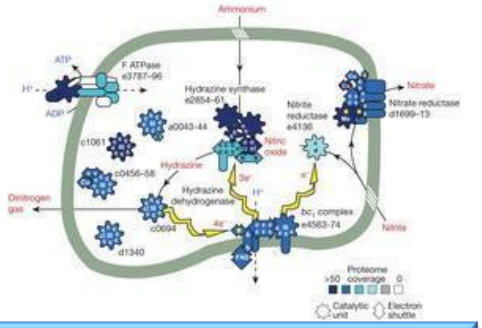


厌氧氨氧化脱氮技术原理

2.3 制药废水氨氮、总氮处理技术——厌氧氨氧化工艺应用

核心技术 ⇨ 厌氧氨氧化脱氮





厌氧氨氧化生物脱氮优点

- 电耗降低60%以上
- “0”有机碳源需求
- 温室气体减排90%以上
- 污泥产量降低50%以上

⇨

根本改变现有高氨氮废水处理模式

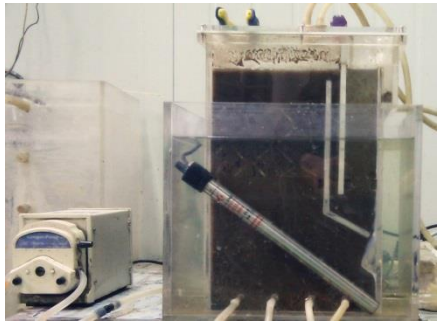
可持续的最佳生物脱氮模式

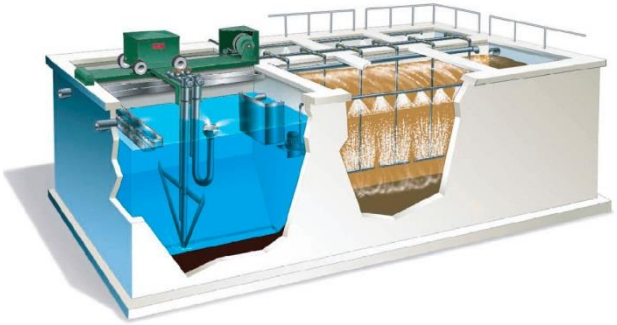
2.3 制药废水氨氮、总氮处理技术——厌氧氨氧化工艺应用

厌氧氨氧化技术适用范围

适用于高氨氮（氨氮浓度>200mg/L）废水，尤其是高氨氮低有机物（低C/N比）废水。包括：**发酵类制药废水、大豆蛋白废水、养殖废水、污泥消化液、垃圾渗滤液、煤化工废水、皮革加工废水、味精废水、酵母废水、马铃薯加工废水、稀土金属加工废水、电子产品加工废水**等。

课题组自2008年起开始深入研究厌氧氨氧化在实际制药废水处理上的研究。





小试条件优化 → **中试及示范** → **目标：产业化**

本课题组研究重点

中试-实际废水试验

在制药废水、稀土废水、大豆蛋白废水等典型高氨氮有机废水处理中实现高效厌氧氨氧化脱氮，市场应用前景广阔，节能降耗效果显著。

制药废水

大豆蛋白

玉米发酵

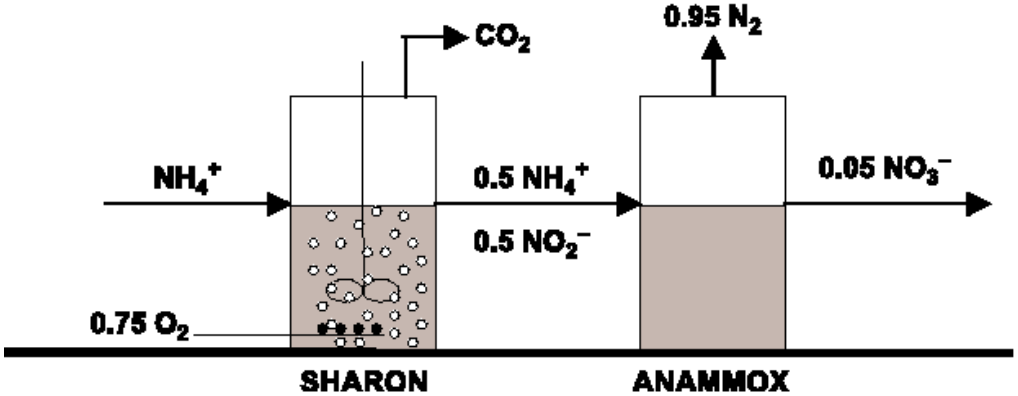
稀土废水

技术发展研究过程

工艺研究-SHARON/ANAMMOX工艺

将短程硝化与厌氧氨氧化两种工艺联合起来，在反应系统中，进水NH_4^+-N的50%在半硝化反应器内发生如下反应：

$$NH_4^+ + HCO_3 + 0.75O_2 \rightarrow 0.5NH_4^+ + 0.5NO_2^- + CO_2 + 1.5H_2O$$



短程硝化-厌氧氨氧化工艺适合处有机碳含量低的高NH_4^+-N浓度工业废水（C/N较低）。较之传统的硝化-反硝化工艺，该工艺耗氧量由4.6kg O_2/kg N_2降到1.9 kg O_2 /kg N_2，降低了耗氧60%，且无需添加碳源，产生的剩余污泥量很少。

2.3 制药废水氨氮、总氮处理技术——厌氧氨氧化工艺应用

小试条件优化 → **中试及示范** → **目标：产业化**

中试试验-制药废水（分段式）

通过UASB反应器构建ANAMMOX工艺，2008年研究**分段式厌氧氨氧化工艺**处理制药废水的可行性。

反应器：厌氧氨氧化UASB（0.8L）

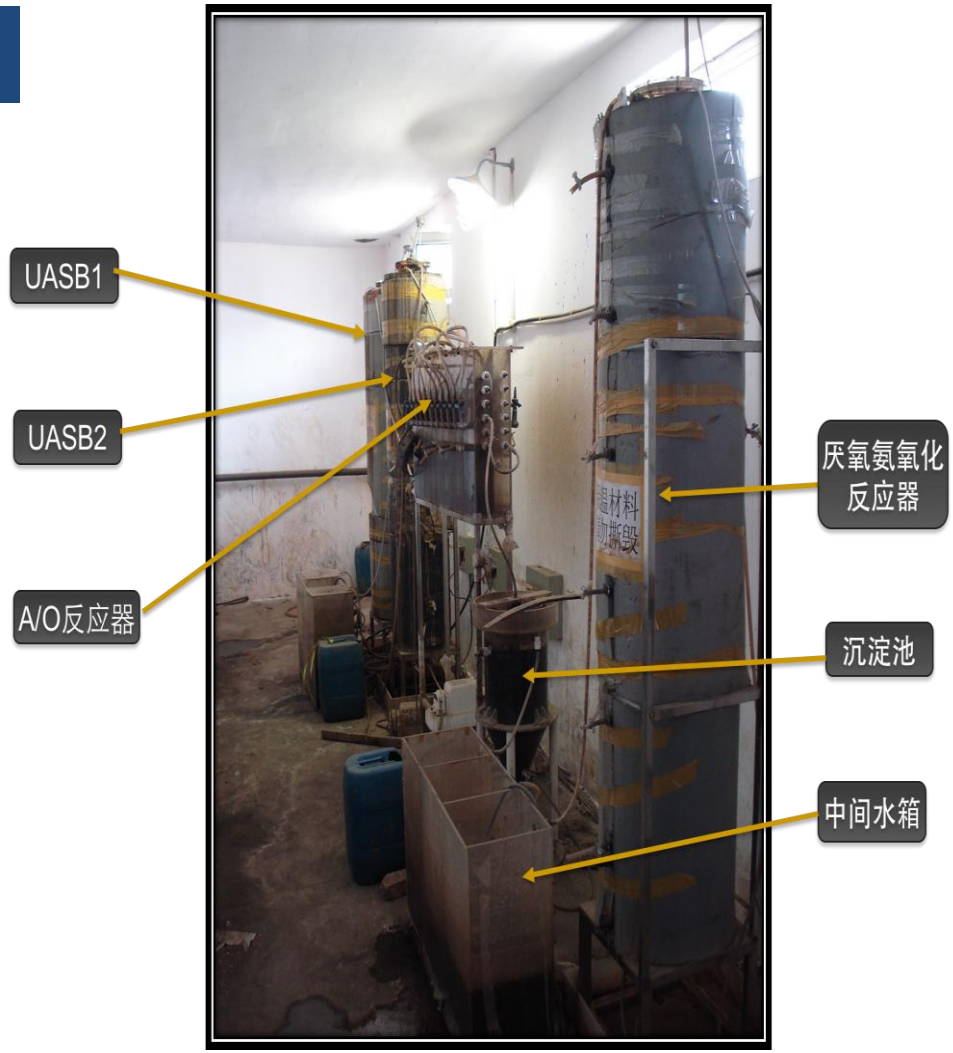
污泥：成熟厌氧氨氧化颗粒污泥

废水：取自内蒙古金霉素厂厌氧出水

水质：氨氮、亚硝氮：200-300mg/L

NH_4^+-N：NO_2^--N= 1:1.2

流量5.63L/d

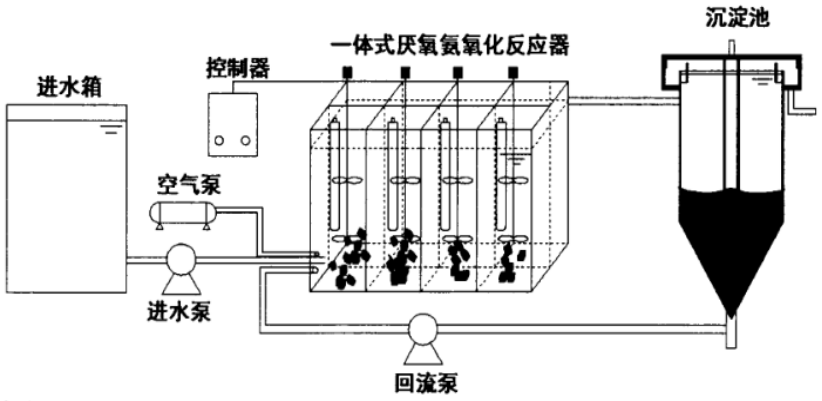


2.3 制药废水氨氮、总氮处理技术——厌氧氨氧化工艺应用

小试条件优化 → 中试及示范 → 目标：产业化

中试试验-制药废水（一体式）

通过连续流反应器（40L）构建CANON工艺，研究一体式厌氧氨氧化工艺处理制药废水的可行性。



种泥：CASS絮状污泥+成熟一体式厌氧氨氧化填料污泥

废水：取自内蒙古某抗生素生产厂厌氧、好氧出水。水质基本情况如下表所示：

废水	COD_{cr}/(mg/L)	pH	NH_4^+-N/(mg/L)	NO_2^--N/(mg/L)	SO_4^{2-}(mg/L)	温度(℃)
二级厌氧出水	3000~4000	6.5~7.5	600~800	0	150~300	26
好氧(CASS)出水	800~1200	7.0~8.0	300~700	150~200	400~800	28

2.3 制药废水氨氮、总氮处理技术——厌氧氨氧化工艺应用

小试条件优化 → 中试及示范 → 目标：产业化

中试试验-制药废水（一体式）

选取金霉素废水好氧(CASS)处理的出水为研究对象，考察一体式厌氧氨氧化工艺的脱氮效果。

出水NH_4^+-N、TN浓度在20mg/L和50mg/L以下， NH_4^+-N、TN去除率分别达到90%和80%，TN容积负荷最高为0.6kgN / (m^3·d)。

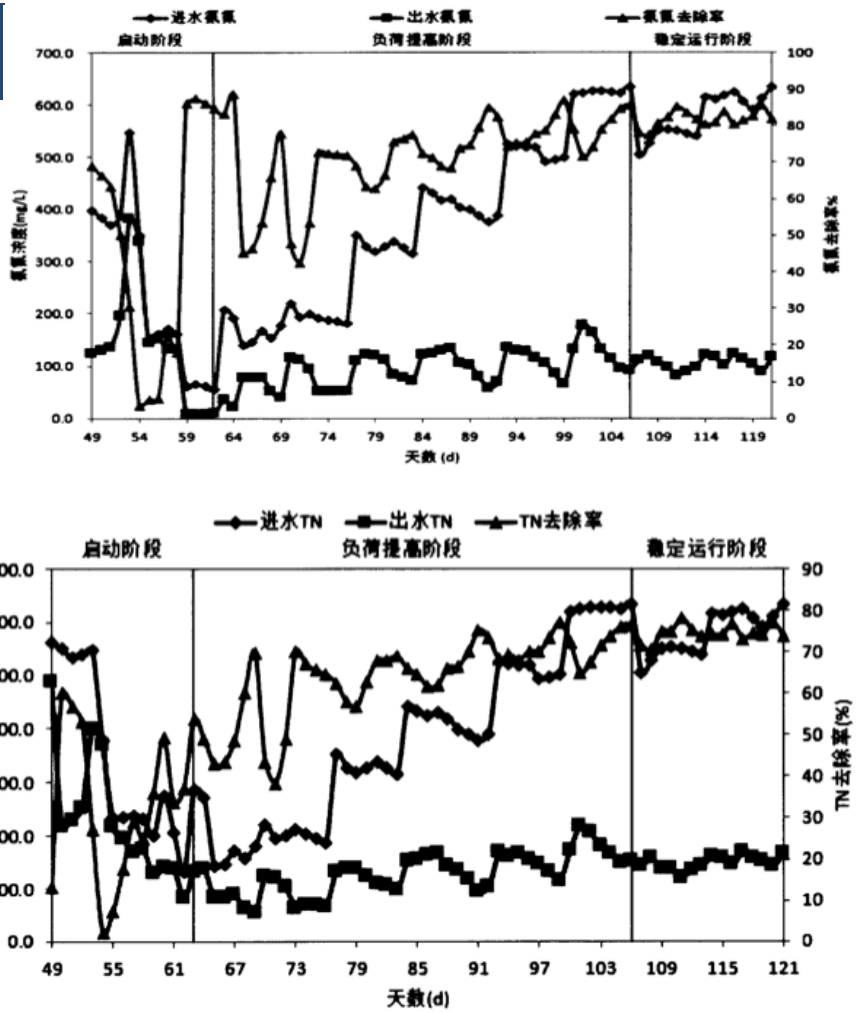


图 反应器进出水水质变化图

2.3 制药废水氨氮、总氮处理技术——厌氧氨氧化工艺应用

小试条件优化 → 中试及示范 → 目标：产业化

中试试验-稀土废水

通过SBR装置构建一体式厌氧氨氧化反应器，研究一体式厌氧氨氧化工艺处理稀土废水的可行性。

反应器：SBR（2.0L）

污泥：成熟一体式厌氧氨氧化颗粒污泥

废水：取自内蒙古某稀土厂碳沉出水，水质如下：

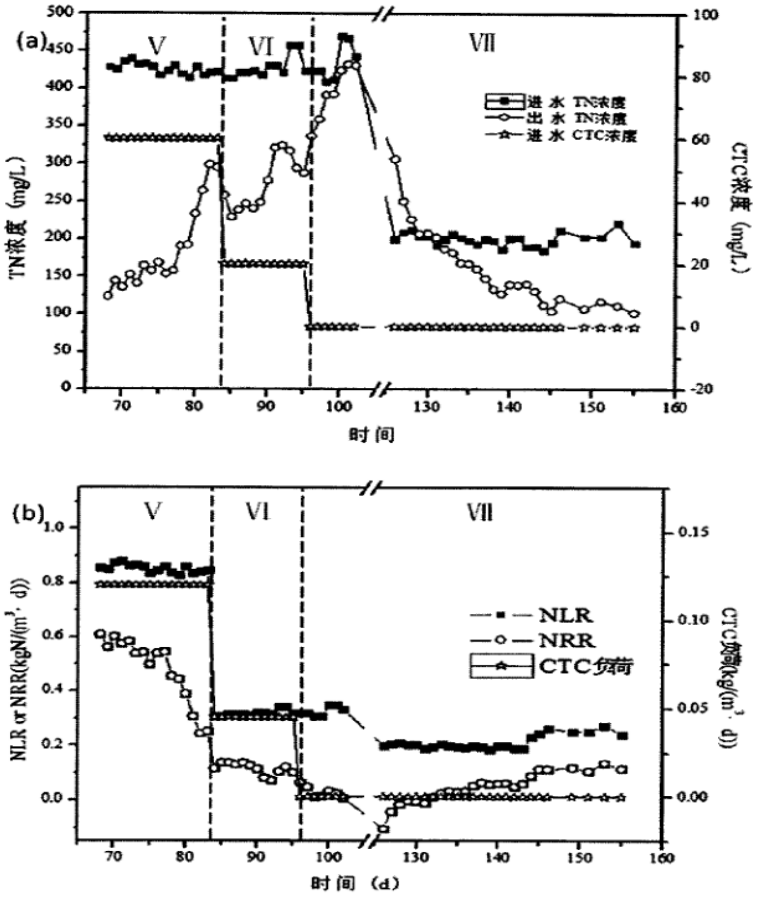
pH	氨氮（mg/L)	COD（mg/L）	碱度（mg/L)	TDS（mg/L）
7.5-8.0	300-400	100-150	800-1000	15000-25000

2.3 制药废水氨氮、总氮处理技术——厌氧氨氧化工艺应用

小试条件优化 → **中试及示范** → **目标：产业化**

条件优化-金霉素抑制

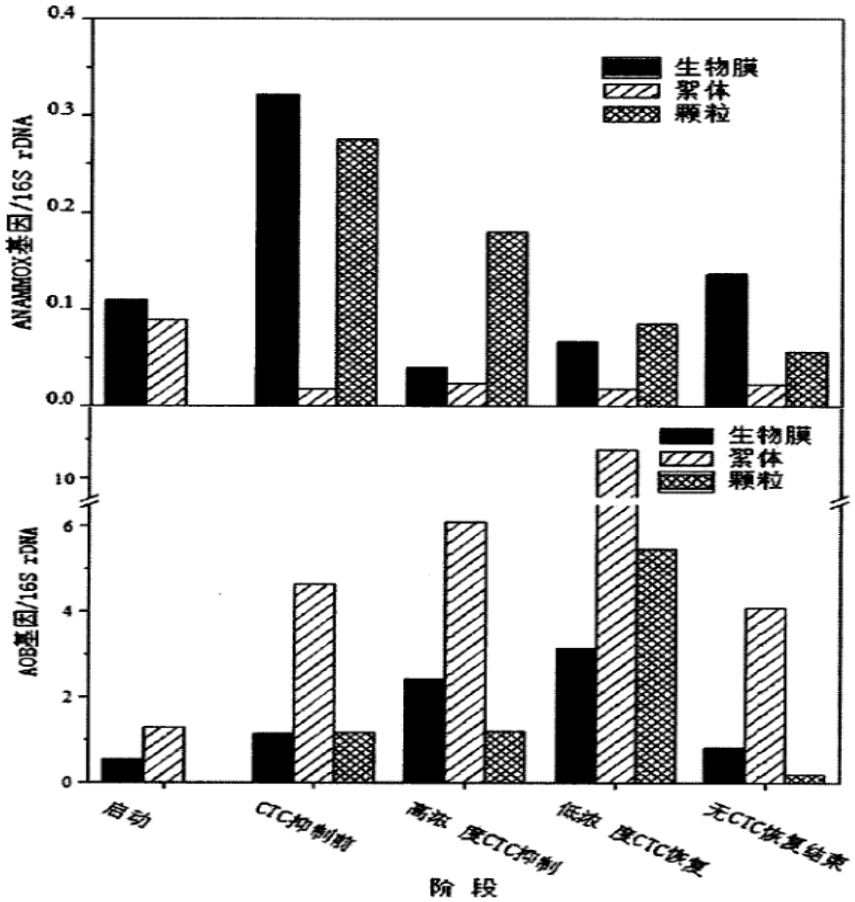
- 反应器进水中添加60mg/L金霉素，运行16天后反应器的总氮去除率下降62.7%。
- 低进水中的金霉素浓度不能恢复反应器脱氮性能。在低浓度金霉素存在下，AOB细菌可以恢复活性，但ANAMMOX细菌的活性没有恢复.
- 改善反应器的运行环境后，经过54天后反应器总氮去除速率恢复到0.12 kgN/(m^{3}d)。



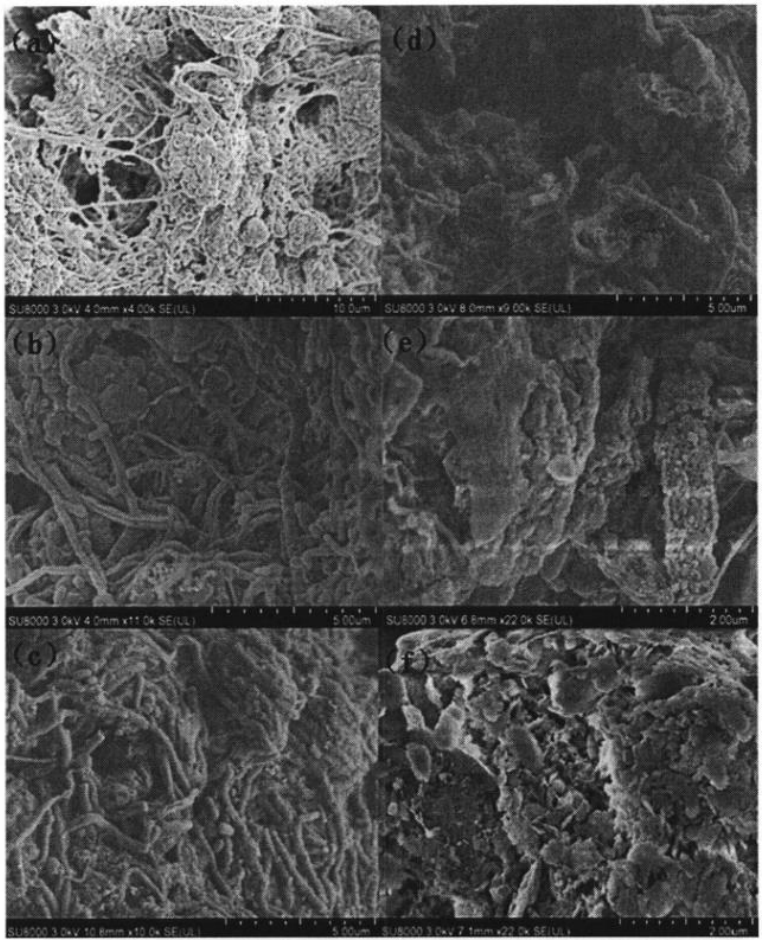
反应器性能变化图

2.3 制药废水氨氮、总氮处理技术——厌氧氨氧化工艺应用

条件优化-金霉素抑制



功能菌群丰富变化情况图



SEM下功能微生物形态
（a-c抑制前，d-f抑制后）

2.3 制药废水氨氮、总氮处理技术——厌氧氨氧化工艺应用

小试条件优化 → 中试及示范 → 目标：产业化

应用案例-种泥基地

曝气系统

温控系统

在线监测系统

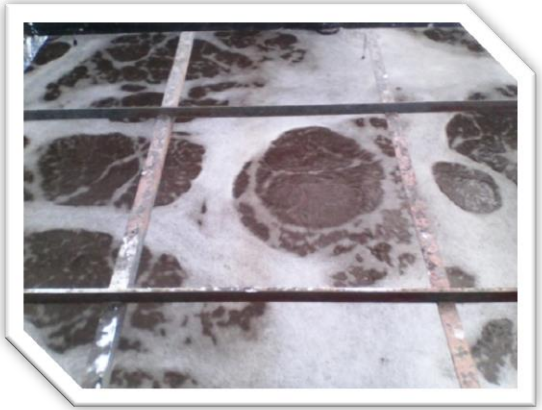
进出水系统

2.3 制药废水氨氮、总氮处理技术——厌氧氨氧化工艺应用

小试条件优化 → 中试及示范 → 目标：产业化

应用案例-种泥基地

目前，该种泥基地已稳定运行2年，脱氮负荷维持在0.5kgN/(m^3d)以上，为课题组的实验和实际工程承接提供优质厌氧氨氧化接种污泥。



示范工程-维生素B12+玉米淀粉加工废水

- **中试试验**
  - **进水水质：**

    玉米深加工废水：

    pH7.2-7.5

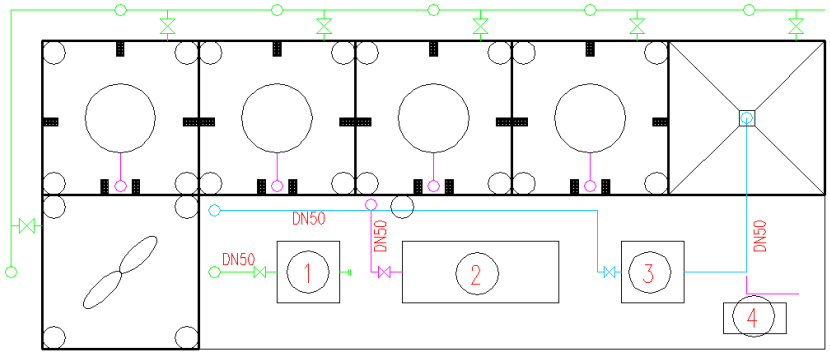
    氨氮300-400mg/L

    COD400-500mg/L
  - **反应器设计：**

    试验装置为一体式厌氧氨氧化反应器

    有效容积3.60m^3

    占地面积16m^2

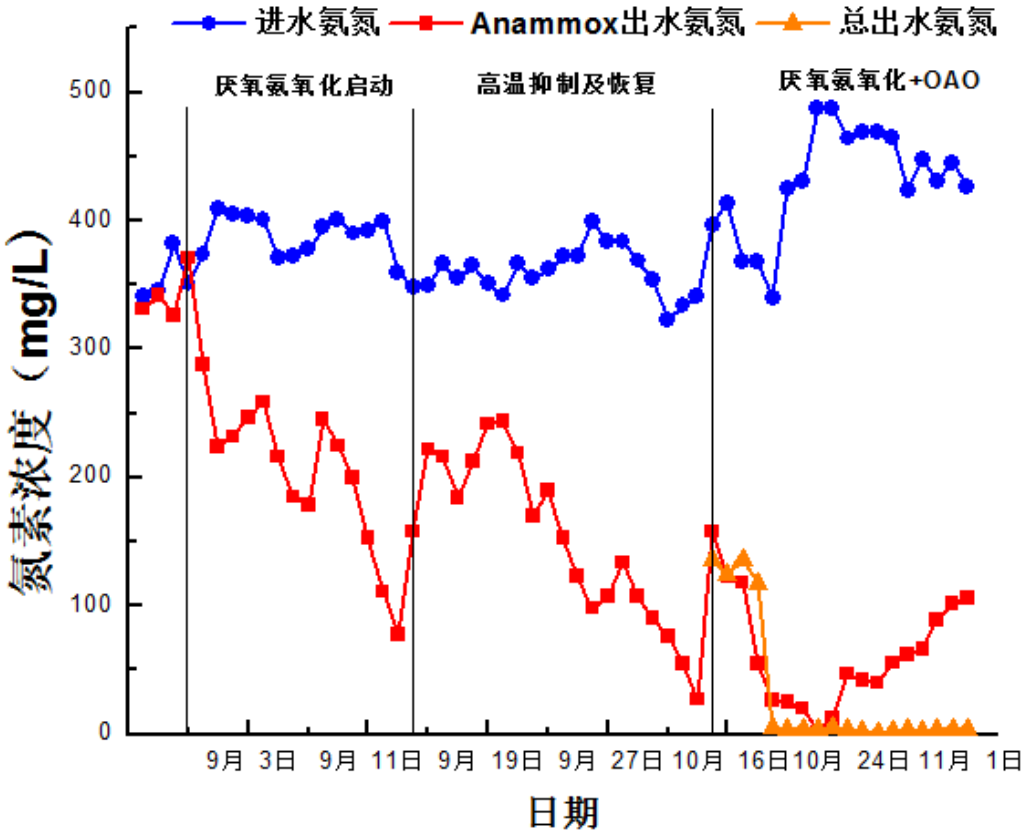


中试装置图

2.3 制药废水氨氮、总氮处理技术——厌氧氨氧化工艺应用

示范工程-维生素B12+玉米淀粉加工废水

- 10月3日-14日由于设备故障反应器暂停运行。
- 10月15日开始恢复运行，后段加装OAO反应器。
- 运行5-6天后，自10月21日起出水水质趋于稳定。厌氧氨氧化出水氨氮低于5mg/L，OAO反应器出水氨氮低于5mg/L，无亚硝氮积累。



反应器氨氮去除效果图

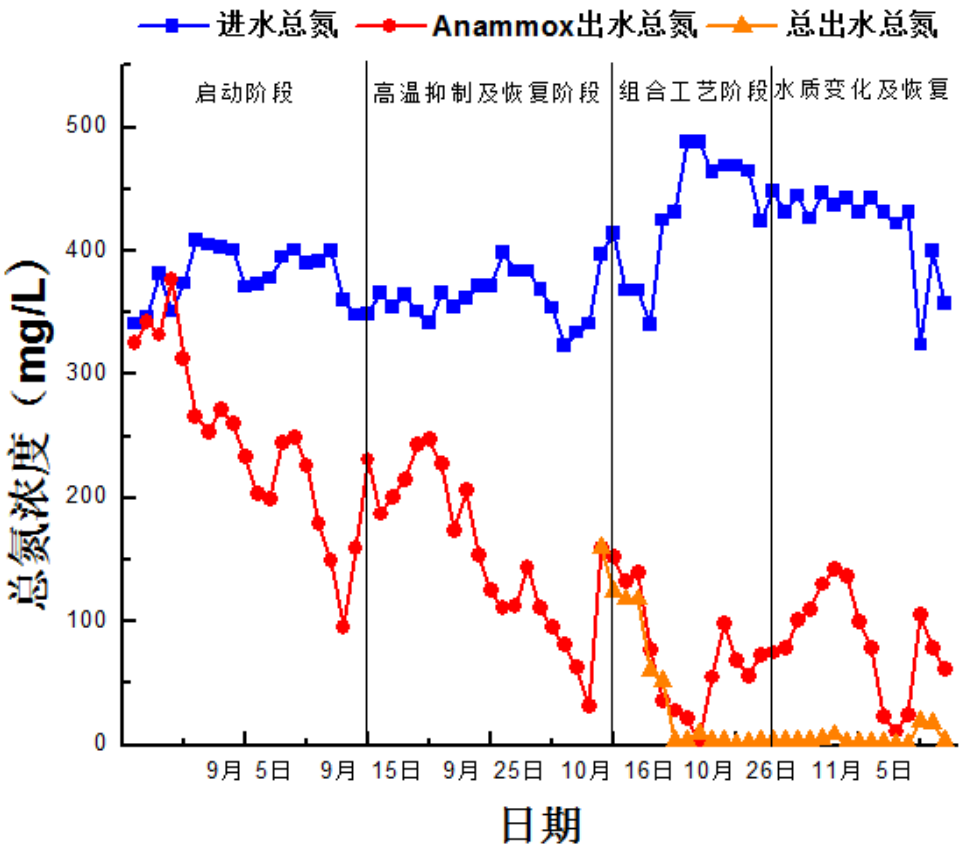
示范工程-维生素B12+玉米淀粉加工废水

- **中试试验**

•利用一体式厌氧氨氧化工艺处理淀粉废水是可行的，并可取得良好效果。

•厌氧氨氧化出水氨氮低于5mg/L，OAO反应器出水氨氮低于5mg/L，无亚硝氮积累，出水总氮低于50mg/L。

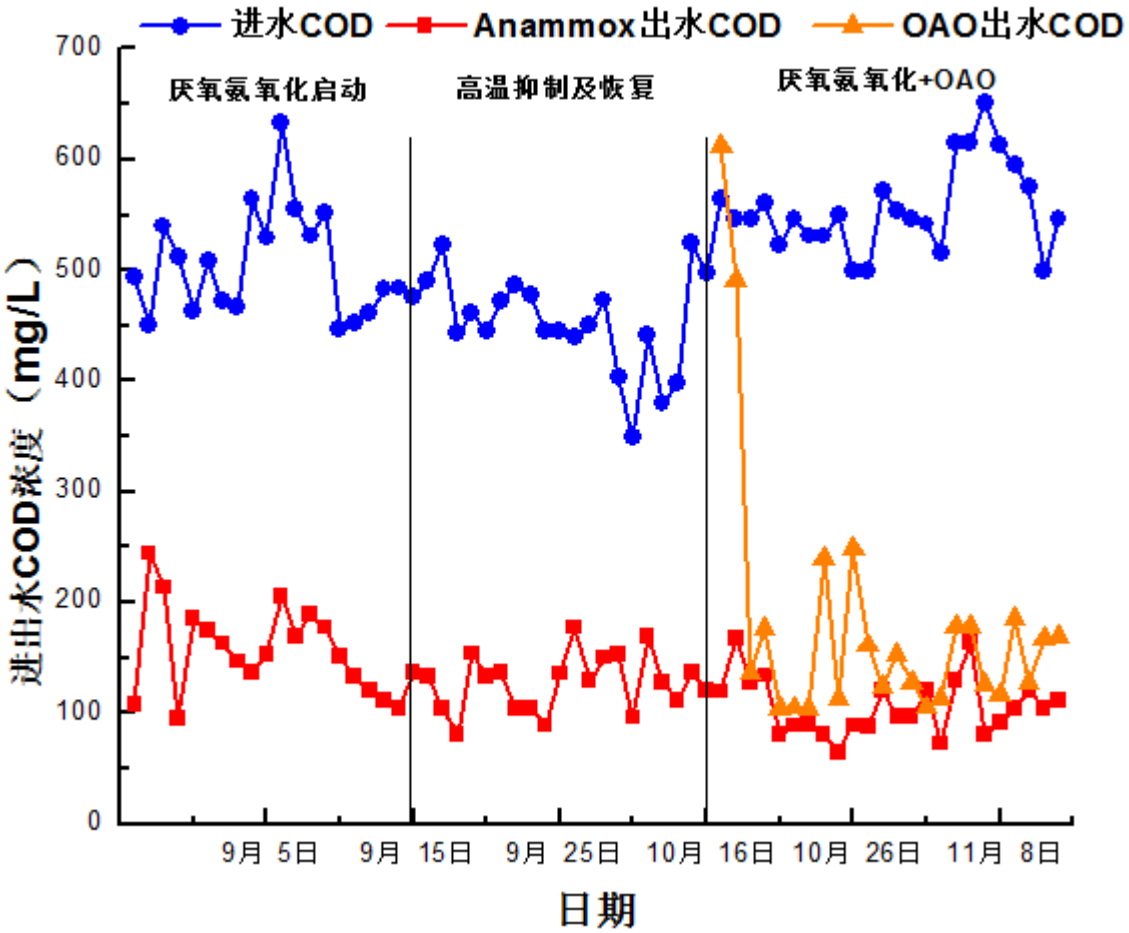
•厌氧氨氧化与OAO反应器联合运行后，出水总氮进一步降低至15mg/L以下。



2.3 制药废水氨氮、总氮处理技术——厌氧氨氧化工艺应用

示范工程-维生素B12+玉米淀粉加工废水

- 利用一体式厌氧氨氧化工艺处理淀粉废水是可行的，并可取得良好效果。
- 厌氧氨氧化与OAO反应器联合运行后，自10月21日至11月12日COD进水在400-600，出水均可稳定在150mg/L左右，DO为0.5mg/L以下。

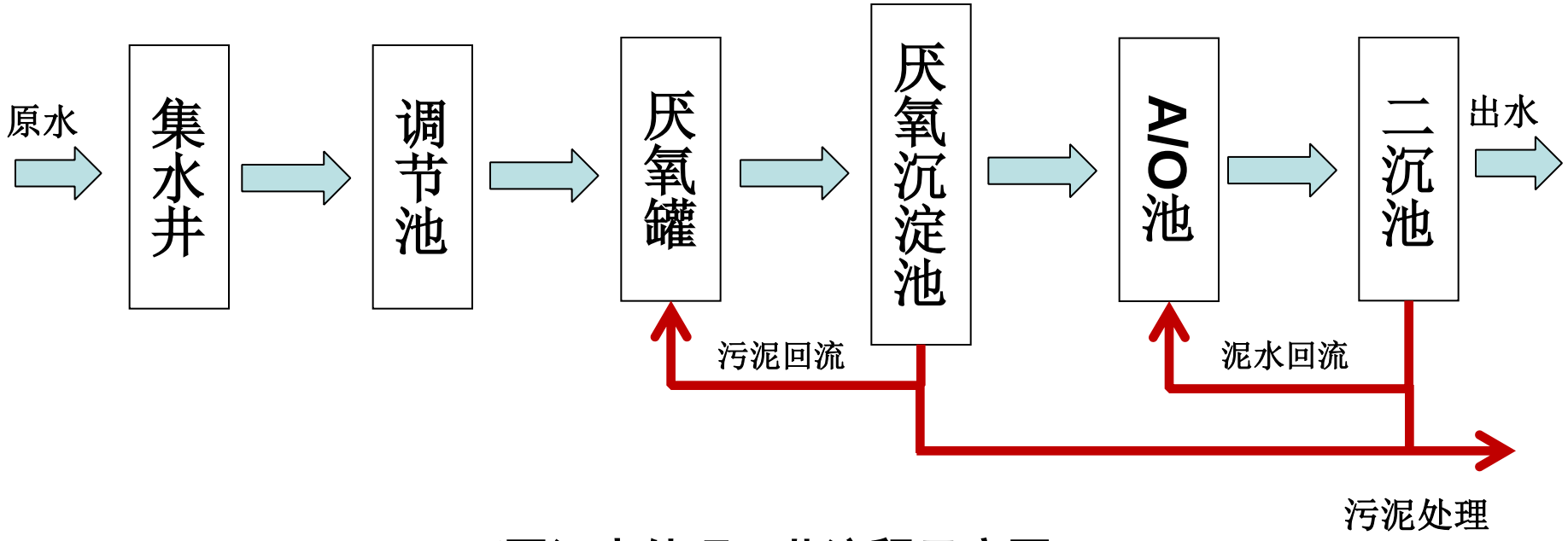


反应器COD去除情况图

制药废水氨氮、总氮处理技术——厌氧氨氧化工艺应用

示范工程-维生素B12+玉米淀粉加工废水

现有工艺分析



厂区污水处理工艺流程示意图

2.3 制药废水氨氮、总氮处理技术——厌氧氨氧化工艺应用

1. A/O工艺脱氮负荷较低，水利停留时间，构筑物大。

2. 厌氧出水C/N较低，不利于当前后端A/O工艺

3. 好氧曝气量大、DO在3mg/L,耗电量大，运行费用高。

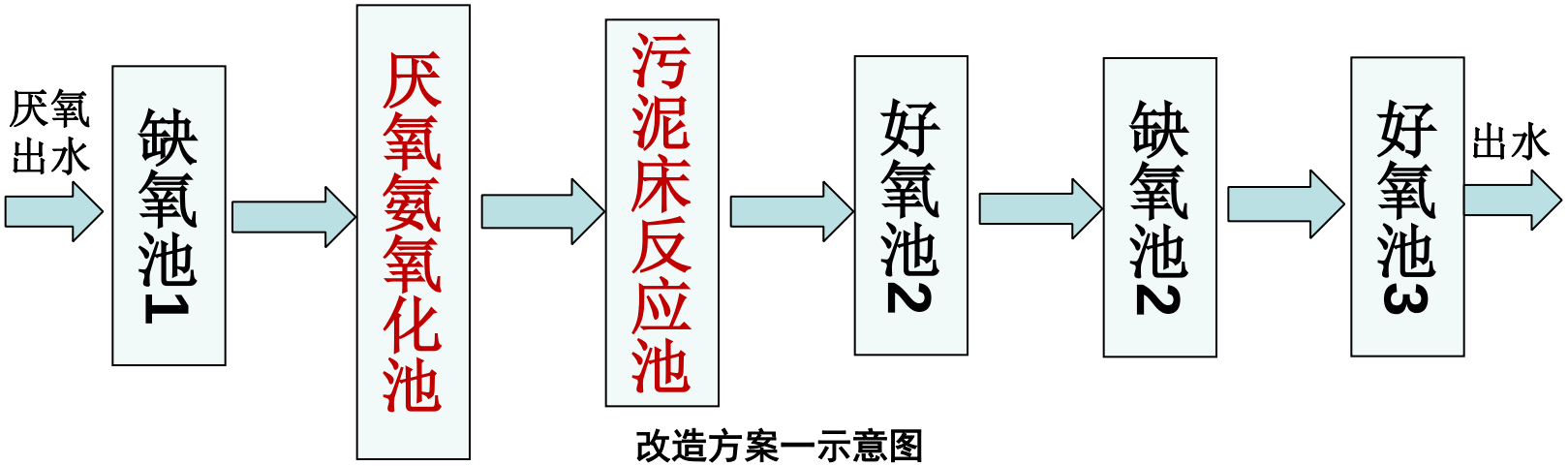
4. 需要投加碱度和碳源，药剂费用高。

5. 反硝化效果不好，总氮去除效果差，且产泥量大。

2.3 制药废水氨氮、总氮处理技术——厌氧氨氧化工艺应用

- **方案一 设计处理水量5000m³**

改造对象为厂区内一个系列的A/O反应池（旧），有效容积10920m³。本改造方案采用高效经济的厌氧氨氧化脱氮技术，改造后的工艺流程如下所示，改造后系统可实现氨氮与总氮达到污水综合排放一级A标准，



改造方案一示意图

技术对比

	项目	传统方案1	传统方案2	改造方案一	改造方案二
1	处理水量(m^3/d)	5000	5000	5000	7000
2	脱氮负荷（$kgNm^{-3}d^{-1}$）	0.1	0.1	**0.2~0.3**	**0.25~0.35**
		改造方案采用厌氧氨氧化技术，脱氮负荷可明显增加			
3	建设成本（万）	998	998	440	440
	生物池容积（m3）	24960	24960	11000	11000
	改造后节约（m3）	0	0	**节省14960**	**节省14960**
	优点	改造方案水力停留时间需求较短，大大减少反应器所需容积1/2。			

2.3 制药废水氨氮、总氮处理技术——厌氧氨氧化工艺应用

	项目	传统方案1	传统方案2	改造方案一	改造方案二
4	**运行费用(元/m³)**	**3.4584**	**5.0984**	**1.06**	**0.36**
4.1	运行电耗(元/m³)	0.4594	0.4594	0.2794	**0.2798**
4.2	药剂费用(元/m³)	1.8	4.25	0.6	**0**
4.3	污泥处置费用(元/m³)	0.81	0	0.126	**0.05**
4.3	沼气损失费用(元/m³)	0.389	0.389	0.06	**0.025**
5	**年运行费(万元/年)**	**570.636**	**841.236**	**175.791**	**81.9588**
6	备注（相对一传统脱氮节省费用）	药剂费和污泥处置费可通过不同的运行方式进行控制，详细情况详见说明		**394.845万**	**488.677万**
7	达标情况	氨氮达标难	氨氮达标难	**氨氮达标**	**氨氮达标**
		总氮达标难	总氮达标难	**总氮达标**	**总氮不达标**
		COD<150	COD<150	COD<150	COD<150

改造后直接经济效益

1.出水总氮、氨氮双达标，满足国家和地方环保要求， 减轻企业环保压力。

2.在达标基础上，与传统脱氮技术比可节省池容14960m^3，为企业二期扩建节省大量池容和占地面积。

3.与传统方式氨氮、总氮达标对比，处理5000m3/d和7000m3/d水，采用方案1,2可节约运行费用分别达到394.845万，488.677万。

三、制药废水有毒有害物质处理技术

关键技术：新型臭氧催化技术开发

技术核心：带催化功能曝气头＋催化剂

- 臭氧氧化途径：
  - 臭氧本身的氧化性
  - 臭氧分解产生的羟基自由基氧化性
- 催化功能：快速分解O_3使之短时间产生大量·OH

催化剂是催化氧化的核心和关键，可成倍提高单位臭氧的氧化能力，大幅降低处理成本。

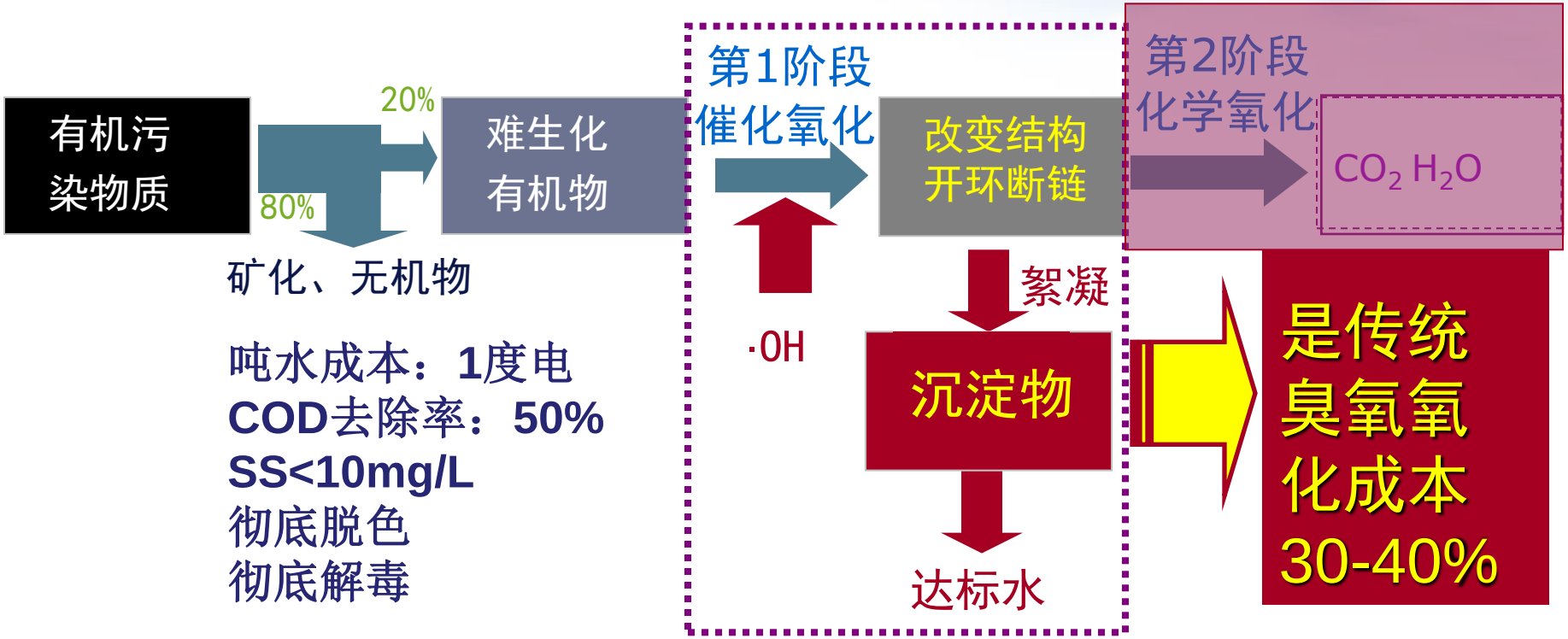
制药废水处理技术——有毒有害物质的去除技术

传统高级氧化物质代谢途径

生化

制药废水处理技术——有毒有害物质的去除技术

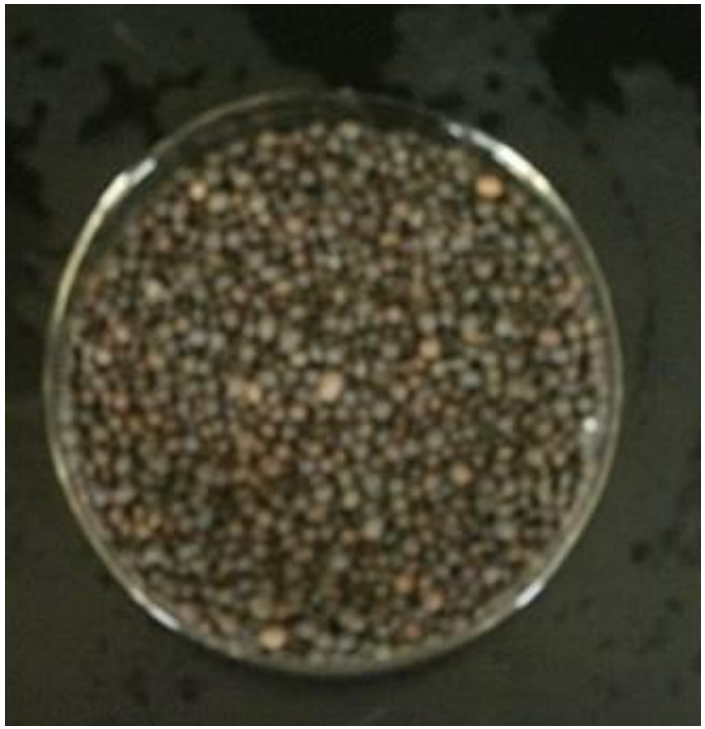
低成本
催化氧
化途径



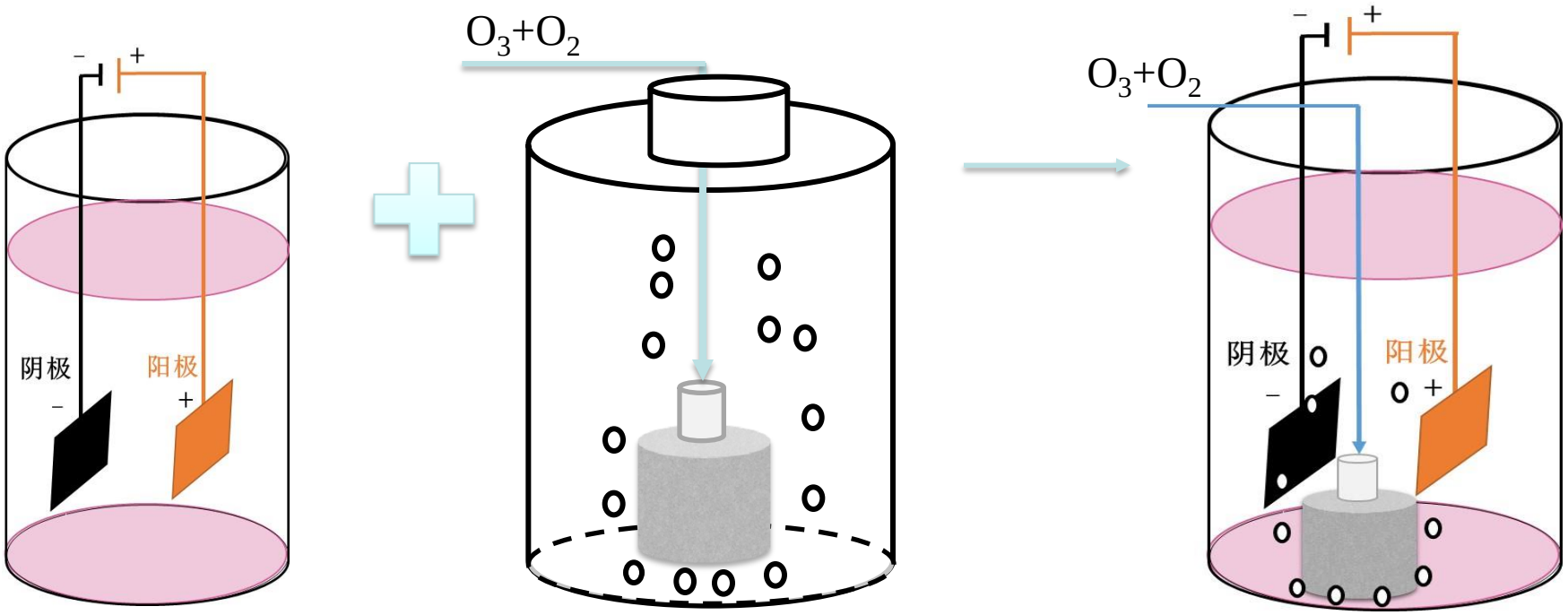
吨水成本：1度电
COD去除率：50%
SS<10mg/L
彻底脱色
彻底解毒

工程案例

关键技术一：催化剂

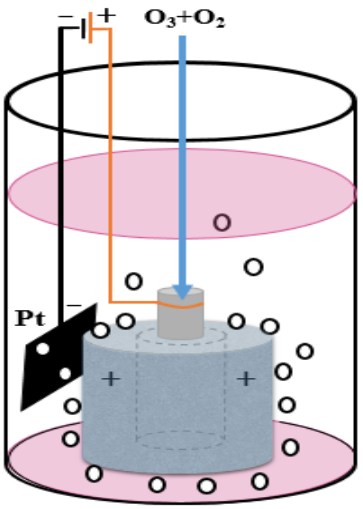


关键技术二：新型电催化-臭氧工艺



电化学氧化　　臭氧氧化　　电催化/臭氧氧化

新技术开发——新型电催化-臭氧工艺（电-异相臭氧催化）

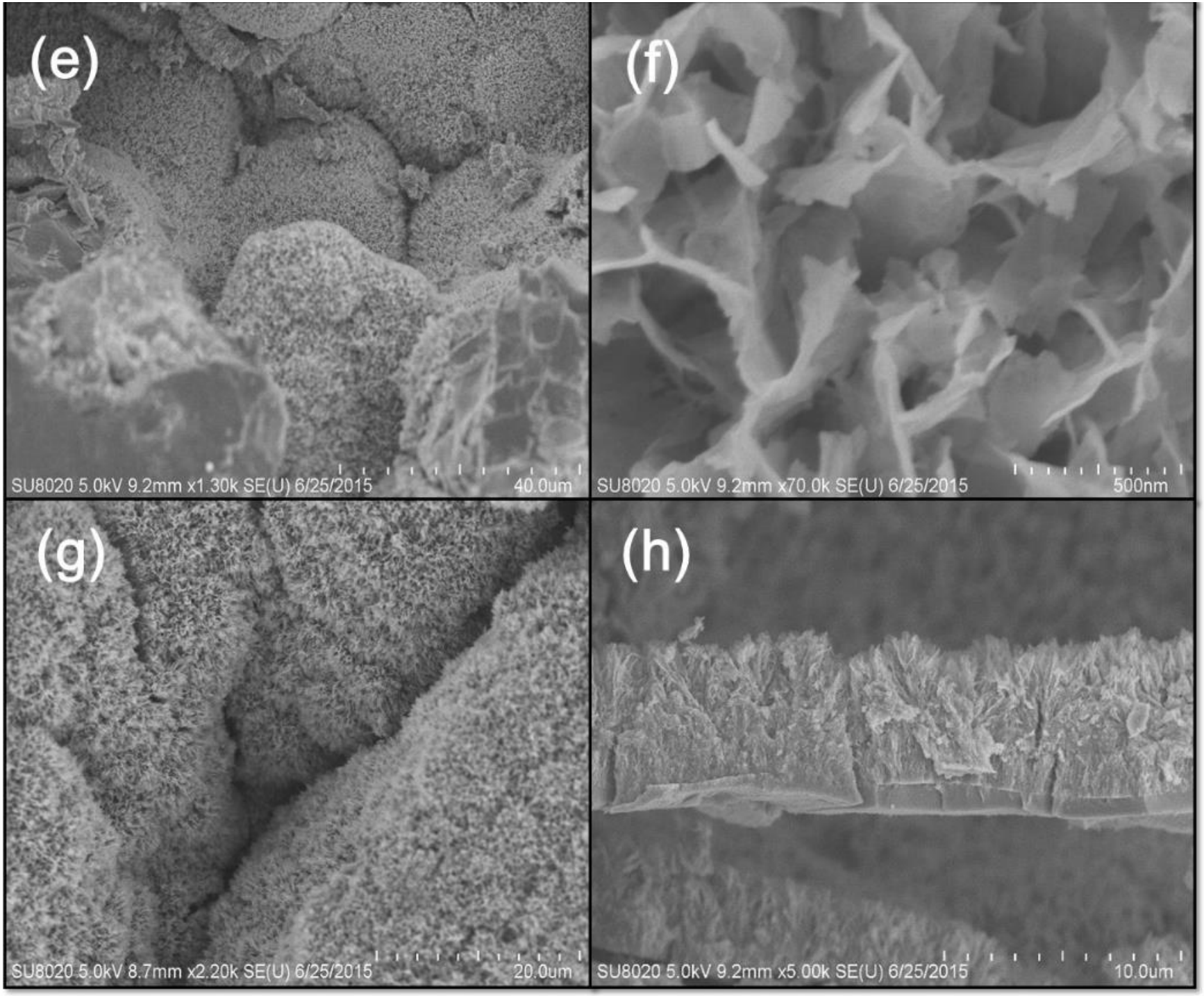


优点：

- ✓ 将阳极与曝气器合二为一，简化了设备，提高了氧化能力。
- ✓ 曝气头即作为电极，有作为催化剂基体。
- ✓ 负载兼备电催化活性与异相臭氧催化能力的催化剂(具有微米花形貌)。

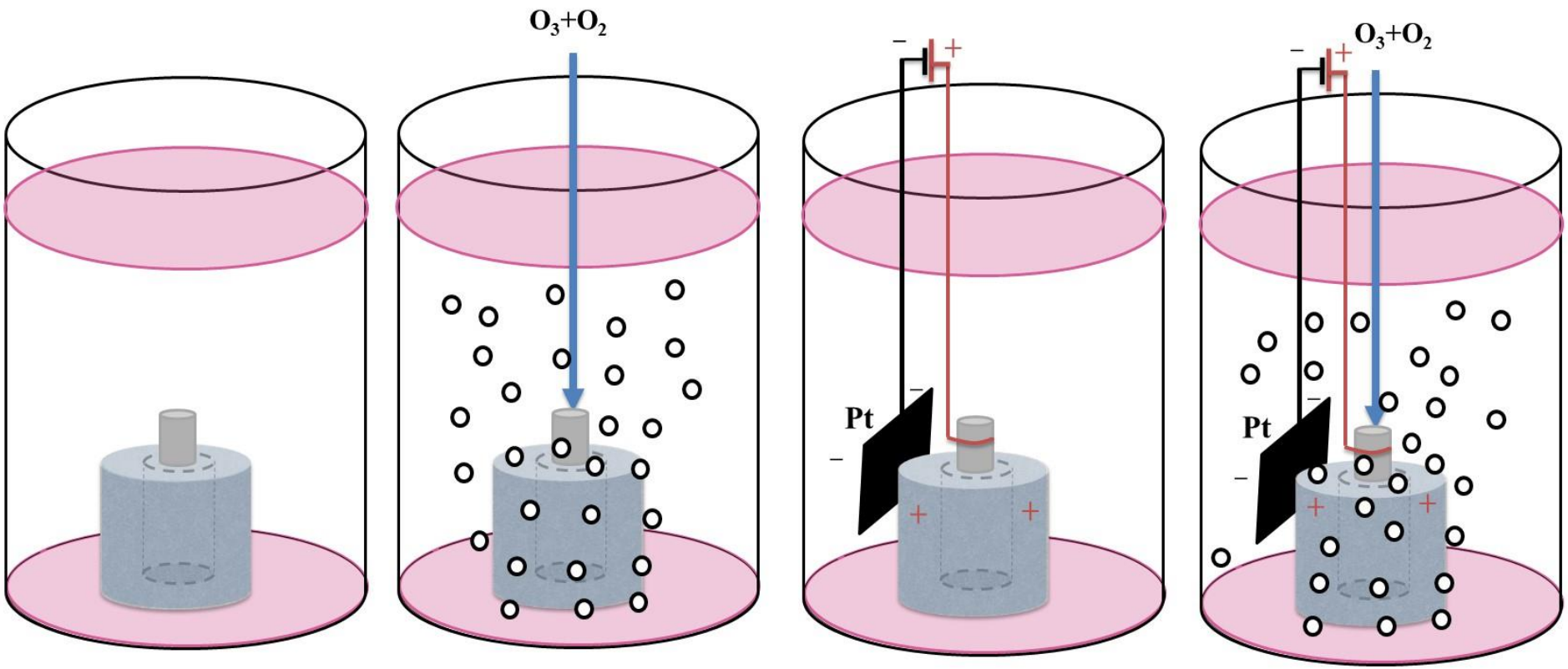
具体为：

- ✓ 使得臭氧/电极界面传质距离由原来的毫米级缩短到小于200纳米。
- ✓ 相比平板电极，可提供的丰富表面积 2m2/g。
- ✓ 负载上的纳米花状催化剂既具有异相臭氧催化能力，也有优良电催化活性



表面原位合成纳米花催化剂

不同反应系统示意图（对比试验）



MFT-PTGD (Adsorption)

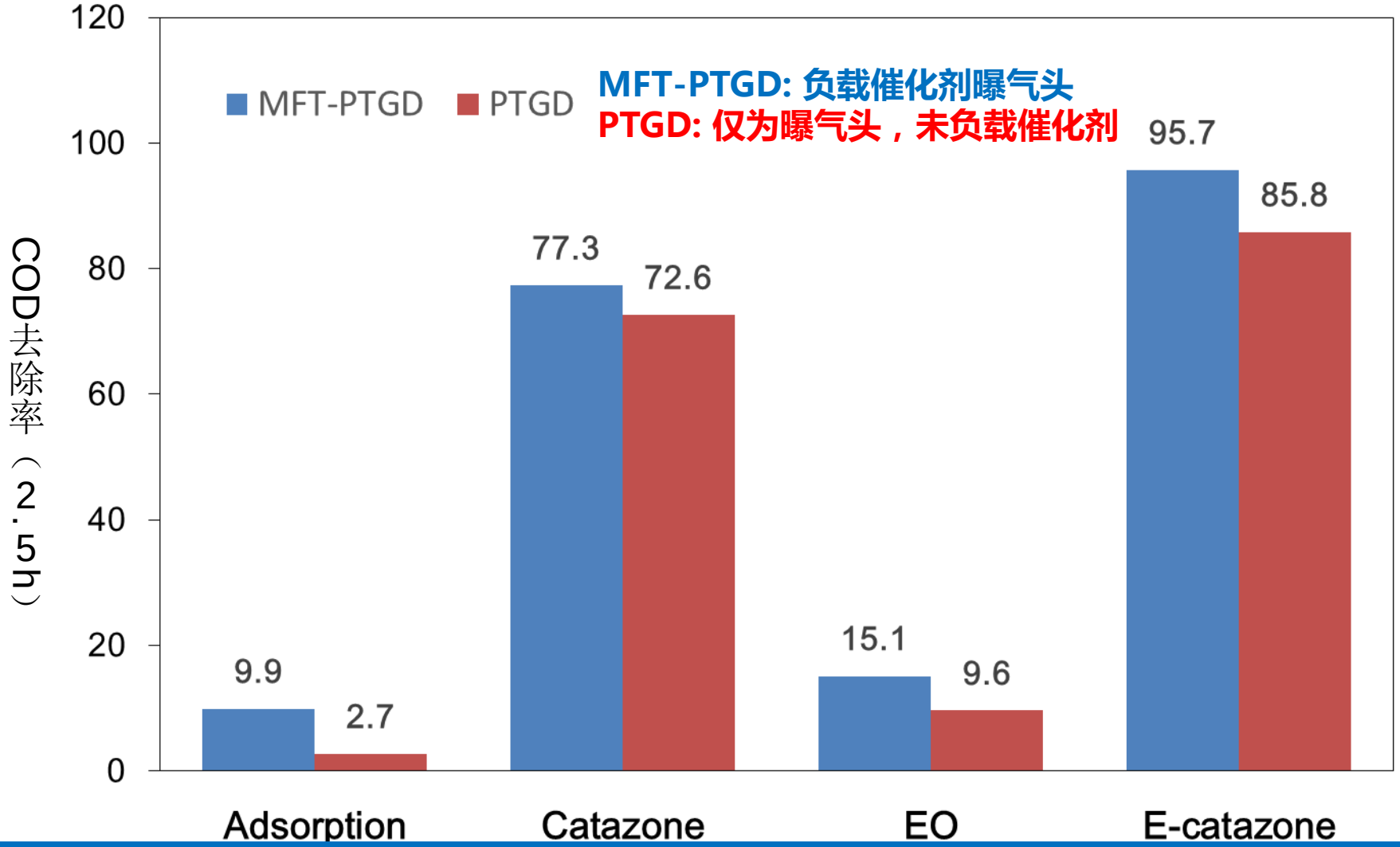
MFT-PTGD (CATAZONE)

MFT-PTGD (anode) (EO)

MFT-PTGD (anode) + O_3 (FT) (E-CATAZONE)

吸附　　仅臭氧催化　　仅电催化　　臭氧+电

3.1 制药废水处理技术——有毒有害物质的去除技术

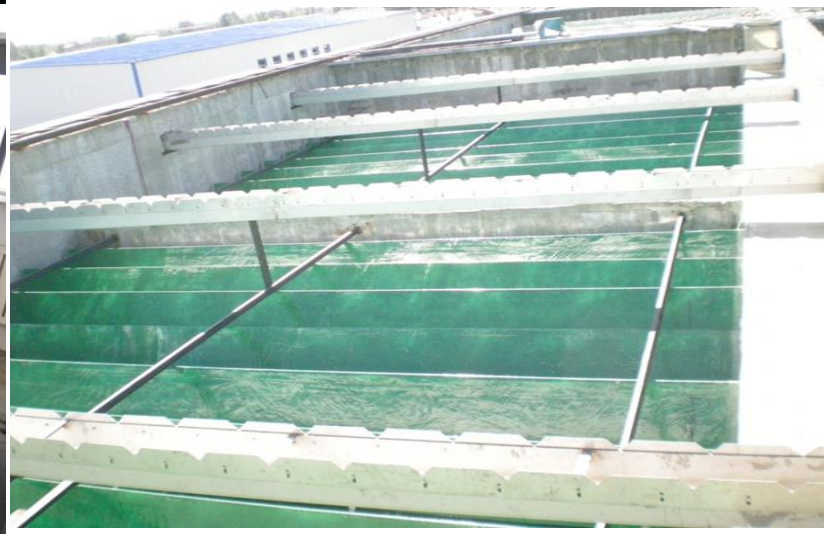


电-异相臭氧催化工艺优于其他单一氧化工艺，MFT-PTGD催化效果优异。

工程案例

吉林长春某抗生素厂：
产品:6APA　水量:3000m³/d
工艺流程:
调节—氧化沟—生物强化反应器—臭氧催化反应器—接触氧化反应器—FETON--出水（达到《发酵类制药工业水污染物排放标准》GB21903-2008排放标准（新企业表2标准），其中COD要求小于80mg/l）

工程案例



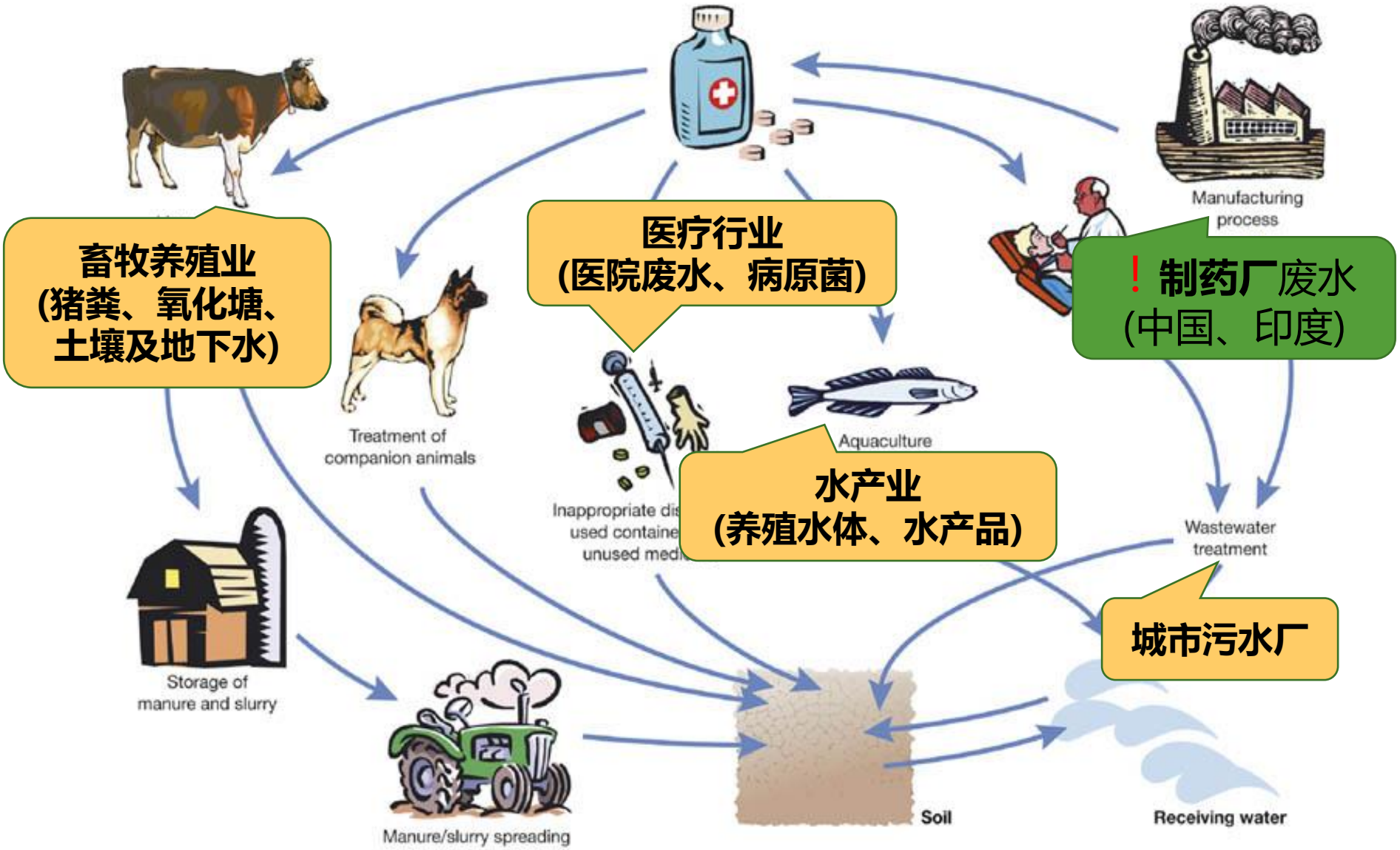
3.2 制药废水处理技术——有毒有害物质的去除技术

工程案例

- 产品:青霉素等 发酵制药
- 水量:一期15000+二期30000m³/d
- 进水COD:10600mg/l; NH_3-N： 800mg/l
- 出水COD=50mg/l; TN：15mg/l
- 工艺流程:--四效蒸发－调节—混凝沉淀--水解酸化—EGSB—分段进水多级A/O—后处理--出水

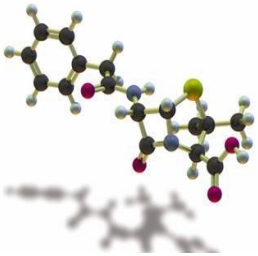
四、制药行业生物安全性问题

4.1 制药行业高浓度残留抗生素加剧了抗药基因污染

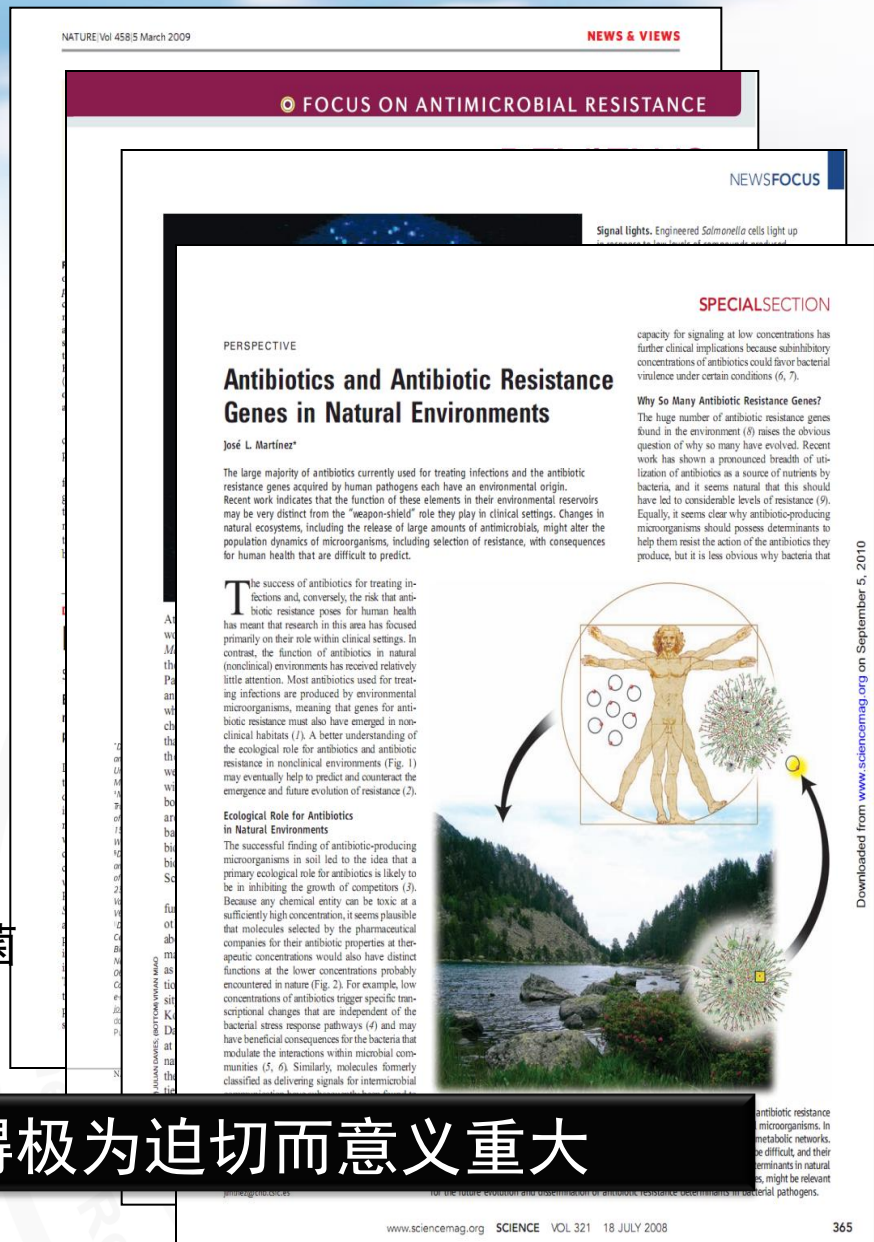


制药废水的危害-以抗生素类药物为例

- 多数抗生素被设计为**高度结构稳定型**和具有**强亲脂性**
- 高浓度抗生素类药物会对水生生命体造成严重的**急性毒性**和**基因毒性**
- 抗生素**抗性菌**及其**抗性基因**得以诱发、维持、迁移、散布和传播的最主要诱因



超级细菌


NATURE|Vol 458|5 March 2009 NEWS & VIEWS

FOCUS ON ANTIMICROBIAL RESISTANCE

NEWSFOCUS

SPECIALSECTION

PERSPECTIVE

Antibiotics and Antibiotic Resistance Genes in Natural Environments

José L. Martínez*

The large majority of antibiotics currently used for treating infections and the antibiotic resistance genes acquired by human pathogens each have an environmental origin. Recent work indicates that the function of these elements in their environmental reservoirs may be very distinct from the "weapon-shield" role they play in clinical settings. Changes in natural ecosystems, including the release of large amounts of antimicrobials, might alter the population dynamics of microorganisms, including selection of resistance, with consequences for human health that are difficult to predict.

The success of antibiotics for treating infections and, conversely, the risk that antibiotic resistance poses for human health has meant that research in this area has focused primarily on their role within clinical settings. In contrast, the function of antibiotics in natural (nonclinical) environments has received relatively little attention. Most antibiotics used for treating infections are produced by environmental microorganisms, meaning that genes for antibiotic resistance must also have emerged in nonclinical habitats (1). A better understanding of the ecological role for antibiotics and antibiotic resistance in nonclinical environments (Fig. 1) may eventually help to predict and counteract the emergence and future evolution of resistance (2).

Ecological Role for Antibiotics in Natural Environments

The successful finding of antibiotic-producing microorganisms in soil led to the idea that a primary ecological role for antibiotics is likely to be in inhibiting the growth of competitors (3). Because any chemical entity can be toxic at a sufficiently high concentration, it seems plausible that molecules selected by the pharmaceutical companies for their antibiotic properties at therapeutic concentrations would also have distinct functions at the lower concentrations probably encountered in nature (Fig. 2). For example, low concentrations of antibiotics trigger specific transcriptional changes that are independent of the bacterial stress response pathways (4) and may have beneficial consequences for the bacteria that modulate the interactions within microbial communities (5, 6). Similarly, molecules formerly classified as delivering signals for intermicrobial

capacity for signaling at low concentrations has further clinical implications because subinhibitory concentrations of antibiotics could favor bacterial virulence under certain conditions (6, 7).

Why So Many Antibiotic Resistance Genes?

The huge number of antibiotic resistance genes found in the environment (8) raises the obvious question of why so many have evolved. Recent work has shown a pronounced breadth of utilization of antibiotics as a source of nutrients by bacteria, and it seems natural that this should have led to considerable levels of resistance (9). Equally, it seems clear why antibiotic-producing microorganisms should possess determinants to help them resist the action of the antibiotics they produce, but it is less obvious why bacteria that

Downloaded from www.sciencemag.org on September 5, 2010

www.sciencemag.org SCIENCE VOL 321 18 JULY 2008 365

制药废水处理技术的研究变得极为迫切而意义重大

4.1 制药行业生物安全性问题——抗药基因的危害

theguardian

UK world sport football opinion culture business lifestyle fashion environment tech travel

browse all sections

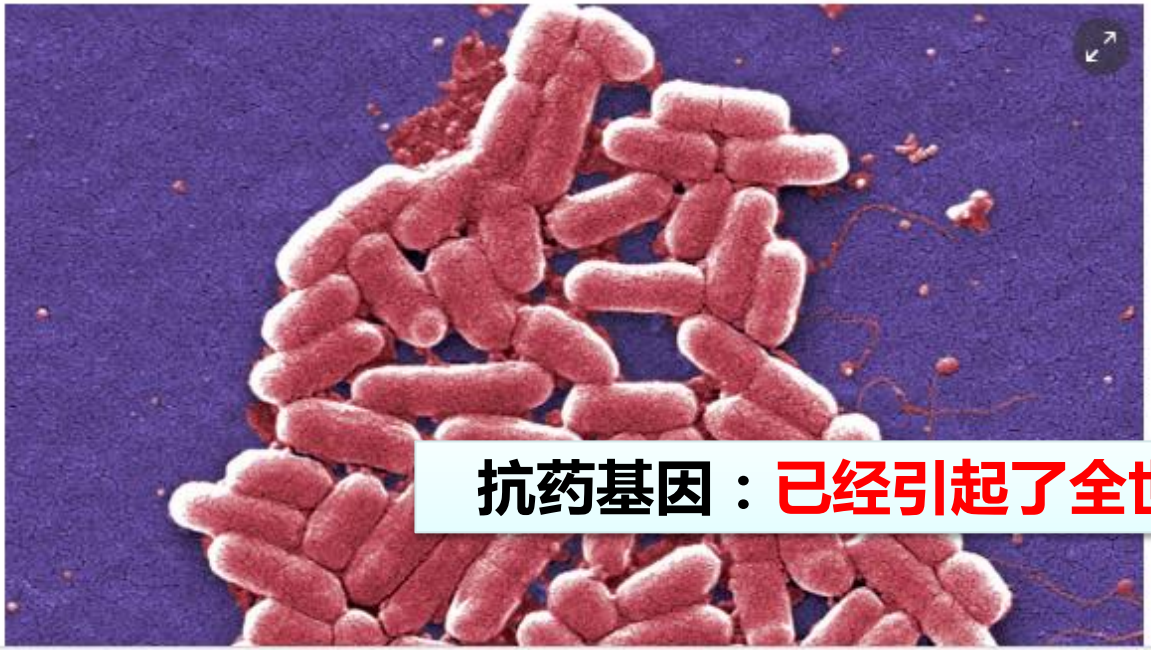
home › environment › pollution climate change wildlife energy

Guardian sustainable business

Business and the sustainable development goals

Antibiotic waste is polluting India and China's rivers; big pharma must act

Pollution from drugs factories, many in India and China, is causing the spread of anti-microbial resistance. Pharma companies are under pressure to act



抗药基因：已经引起了全世界的广泛关注

Most popular

US election: Donald Trump's presidential win sparks protests across major US cities - live

Donald Trump's unexpected win ignites street protests across the US

It was the rise of the Davos class that sealed America's fate | Naomi

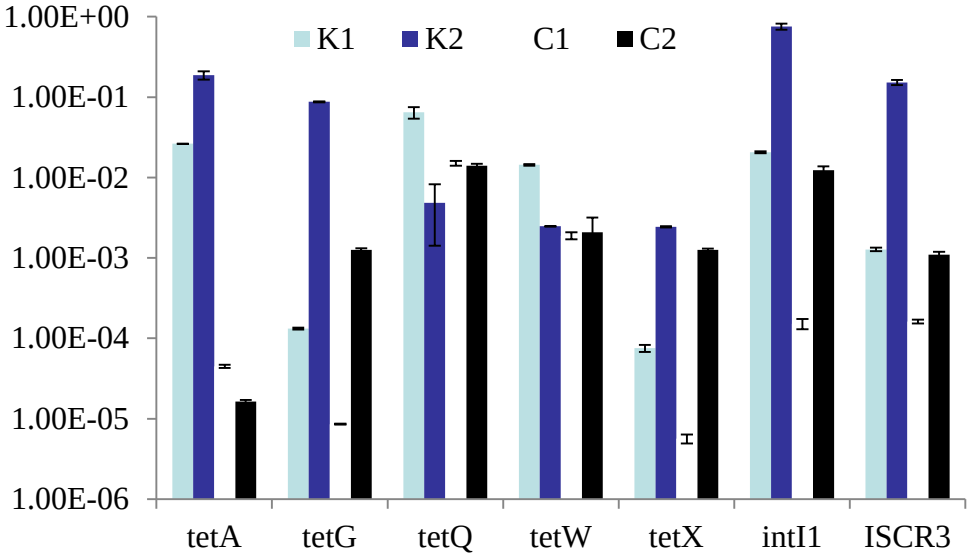
live results: track who is winning, county by county

4.1 制药行业生物安全性问题——抗药基因一种新型污染物

抗药基因是细菌编码合成并表达抗药性的遗传因子，作为一种新型污染物引起了广泛关注，有研究表明制药废水处理装置出水和活性污泥中四环素抗药基因的总丰度比城市污水厂高出 1～4 个数量级。

环境	抗药基因/抗药菌种类及丰度	检出地区	参考文献
城市污水	四环素类(23%)>多抗药性(20%)>氨基糖苷类(15%)	中国香港	Ying Yang(2014)
城市污水	四环素抗药基因(13种)：10^1~10^6copies/mL	中国大陆	Xu-Xiang Zhang(2011)
养殖废水	四环素类、磺胺类、β-内酰胺类抗药基因：10^4~10^6copies/mL	中国台湾	Tucker(2014)
地表水	四环素类抗药基因：10^2~10^3copies/mL	北美	Timothy M(2014)
养殖场空气	抗药菌：红霉素(98%)、氯林可霉素(94%)、四环素(90%)、维吉尼霉素(37%)	美国	Amy Chapin(2005)
制药废水	四环素类、磺胺类、β-内酰胺类抗药基因：**10^4~10^{10}copies/mL**	中国	本课题组

4.2 制药行业生物安全性问题——废水中抗药基因控制技术



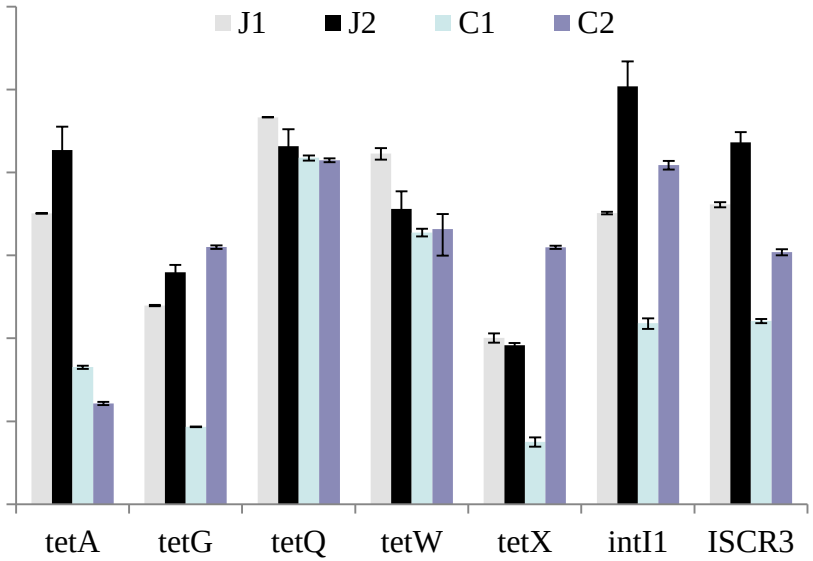


图 四环素生产废水系统中抗药基因的相对丰度

结论：

制药废水处理系统中抗药基因比非抗生素发酵类废水处理系统中抗药基因高1~4个数量级，好氧污泥中抗药基因的丰度比厌氧污泥中高1个数量级，好氧污泥和厌氧污泥中丰度差异主要由宿主分布及抗药基因转移引起，而好氧污泥中抗药基因水平转移潜力更大。

4.2 制药行业生物安全性问题——污泥的生物安全

技术名称	工艺条件	处理效果	处理成本 元/t
电化学裂解技术	激电裂解90min pH中性条件	含水率下降至60%以下	200
PAM絮凝沉淀技术	阳离子型PAM 投加量4g/L	脱水泥饼含水率下降至53% 重金属浸出浓度达标 污泥急性毒性去除效果不明显	190
超声溶胞破解技术	超声频率：21kHz 声强：0.6W/mL 超声时间：60min	污泥平均粒径削减了58.75～72.81% VSS去除率可达53.1%以上 多环芳烃类物质去除35.29%	600
污泥热解技术	热解温度：700℃ 反应时间：30min	泥量减少30%以上 重金属浸出浓度达标	500
污泥制作活性炭技术	$ZnCl_2$:污泥质量比5：3 550℃碳化2h	污泥活性炭吸附量达28.57mg COD/g活性炭	700

4.2 制药行业生物安全性问题——污泥的生物安全

技术名称	工艺条件	处理效果	处理成本 元/t
污泥好氧消化技术	温度：15~20℃；HRT：10d 碱度：2500mg/L；DO：2mg/L	VS去除率26.8%	250
污泥厌氧消化技术	温度：37℃；HRT：20d 碱度：3000mg/L；容积大小：1L	VS去除率达33.9% 甲烷产量8mL/d	150
臭氧氧化+厌氧消化技术	臭氧剂量100mg/g TS 厌氧消化条件同上	VS去除率达到37.9% 甲烷产量40mL/d 污泥脱水性能显著提高 多环芳烃去除率22.9% 急性毒性削减60% 抗药基因去除1个数量级	200
热水解+厌氧消化技术	热水解温度180℃；反应时间30min； 反应压力0.8 Bar 厌氧消化条件同上	VS去除率达到46.6% 甲烷产量44mL/d 污泥脱水性能显著提高 大肠杆菌去除1个数量级 抗药基因去除2~3个数量级	220

研究平台-发明专利

1、同步生物反硝化反硫化及自养生物脱氮处理制药废水的装置和方法，20111006180633.1
2、一种抗生素废水深度处理装置与处理方法，201210062067.9
3、一种高盐分高氨氮制药污水的处理装置，201210295894.2
4、一种同步短程硝化与生物膜式厌氧氨氧化方法与装置，201310093431.2
5、厌氧产甲烷厌氧氨氧化联合处理大豆蛋白废水装置及方法，201410454215.0
6、一种高盐度高氨氮稀土生产废水的处理工艺方法及装置，201510024421.2
7、大豆蛋白废水处理装置及其处理方法，201510095066.8
8、一种气体循环搅拌式厌氧菌培养驯化装置，201610064892
9、一种溶解氧智能控制缺氧菌培养驯化装置及方法，201610065458
10、一种厌氧氨氧化去除NO的生物脱硝方法，S20161337

专利证书