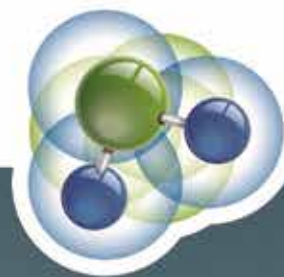


The International Conference on the Evolution
of China Urban Water Environment & Ecology, 2019



2019中国城市水环境与水生态发展大会 热点话题及精华合辑

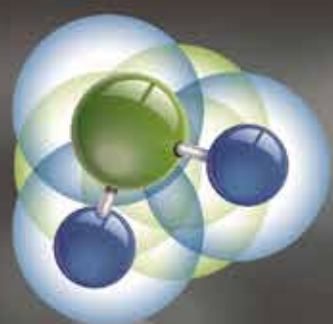


主办单位：中国城市科学研究会水环境与水生态分会

承办单位：清华大学环境学院

支持单位：中国工程院环境与轻纺工程学部

协办单位：北控水务集团有限公司 中持水务股份有限公司



The International Conference on the Evolution of China Urban Water Environment & Ecology

2019中国城市水环境与水生态发展大会 热点话题及精华合辑

总 编 谢琤琤

主 编 李瑞玲

责 编 张敏、陈湘静、郑权、李侃、侯经洲

编 辑 杨祥宇、洪毅怡晖、陈子惟、白小霞、张鋆茂、陈孟立、
姜蕾、常炼、毕墨涵、岑森、艾涛、曾琰婷、邹林志、
何璇、邓若愚、罗亮、李欣忱、许浩廉、胡美珩、程呈、
张倩、沈秋实、孙晓辉

序

2019年7月15-16日，首届中国城市水环境与水生态发展大会如期在成都开幕。国务院参事、中国城市科学研究会理事长仇保兴，四川省人民政府副省长杨洪波，中国工程院院士、中国城市科学研究会水环境与水生态分会会长曲久辉，中国长江三峡集团有限公司副总经理孙志禹、北控水务集团有限公司执行董事、执行总裁李力、中持水务股份有限公司联合创始人及董事张翼飞等出席开幕式致辞、做主旨报告。来自政府部门、水环境水生态产学研各方专业人士、机构代表等千余人参加了大会。

“我们之所以发起成立水环境水生态分会，并决定从今年开始持续举办这样的行业会议，原因在于我们深深懂得水环境和水生态在本质、科学意义、管理工程等各方面，都具有深刻的紧密联系，在迎接挑战、面向未来时，必须将二者统筹考虑、系统科学推进；同时我们也深深体会到，要践行不忘初心，在“绿水青山就是金山银山”的伟大理念和旗帜引领下，做好城市水环境水生态工作”，曲久辉在大会致辞中讲到。同时，他表示，“中国水环境和水生态面临很多挑战，围绕城市河流黑臭的治理和修复，长江大保护视野下绿色流域的构建，中国的城市水环境水系统的可持续性等问题的深刻反思，也将会启发全行业从可持续发展角度，做好水科技、水管理相关工作，实现真正有用和到位的水工程。这次大会也将是不忘初心、面向未来的大会。每位参会人员都有一个共同愿望，那就是要把中国的水环境水生态保护好、建设好，美丽的家园不仅仅可以提供生活和生产的服务功能，还必须提供生态完整的服务功能。“这样的宏伟目标将在此次会议期间得到广泛而深入的讨论。这一工作‘前无古人、后有来者’，这样的伟大事业将使我们这个分会茁壮成长，也将使中国水环境水生态系列大会越办越好。”

本届大会由中国城市科学研究会水环境与水生态分会（以下简称水环境水生态分会）主办，中国工程院环境与轻纺工程学部支持，清华大学环境学院承办，北控水务集团有限公司、中持水务股份有限公司协办。

来自高校、科研院所和产业界的66位专家，以十大专题会议从修复、标准、未来基础设施、安全运营、化学品管理、风险控制、资源回收、工业园区、技术创新、智慧水务等方面，多维度讨论了城市水环境与水生态的可持续绿色未来。在此特别感谢于丹、王凯军、王洪臣、王爱杰、王殿常、王燕、韦朝海、尹炜、石磊、叶春、朱伟、朱传俊、朱红祥、朱霞、乔森、任洪强、刘少非、刘宁、刘伟岩、刘会娟、刘爱群、刘鸿、李春光、李涛、杨敏、杨强、何强、余刚、余若祯、邹启贤、汪秋婉、张岚、张昱、张晓昕、张徐祥、张效伟、张琼华、张耀斌、陆继来、陈书义、陈光浩、陈银广、陈景文、茆林凤、范秦寅、范晓军、欧阳志云、庞洪涛、郑平、郑兴灿、英卓哲、俞汉清、施汉昌、袁志国、徐祖信、高吉喜、谈振娇、黄霞、曹业始、曹洪斌、喻正昕、程军、程忠红、雷晓玲、蔡然、戴晓虎（以姓氏笔画排序）等教授的精彩报告和分享！

本报告的编写工作得到了重庆大学环境与生态学院的大力支持，特别感谢何强院长的亲切关怀，感谢侯经洲、杨祥宇、洪毅怡晖、陈子惟、白小霞、张鋆茂、陈孟立、姜蕾、常炼、毕墨涵、岑森、艾涛、曾琰婷、邹林志、何璇、邓若愚、罗亮、李欣忱、许浩廉、胡美珩、程呈、张倩、沈秋实、孙晓辉等同学，他们为每章节的编写付出了辛勤劳动，确保了本报告的顺利进行。

同时，特别感谢郑权、李侃，作为责编对各章节内容进行了认真的审核。对于所有对大会及本报告做出贡献和给予支持的机构和个人，一并致以诚挚的谢意！

目 录

1. 中国城市水环境水生态的可持续绿色未来	1
1.1 公园城市与微循环	1
1.2 Green technologies and Tools for Sponge City Development	3
1.3 城市水环境水生态的可持续绿色未来	5
1.4 环境产业从成本属性向价值属性转变中的技术升级	7
1.5 以断面达标为目标的小流域综合环境服务	9
1.6 河流健康与环境治理刍议	11
2. 水环境综合治理与水生态修复	14
2.1 中国城市河流污染治理的几个关键问题探讨	14
2.2 城市氮代谢排放特征与控制策略	15
2.3 基于自然的流域水环境综合治理途径	17
2.4 近自然湿地生态修复的思考与实践	18
2.5 流域水环境治理中的几个问题与研究探索	20
2.6 中国三峡集团长江大保护先行先试实践与思考	20
2.7 南水北调中线水源地面源污染生态阻控技术及应用	23
3. 城市水环境与水生态标准化体系	24
3.1 中国饮用水标准体系建设与发展	24
3.2 标准化引领水处理化学品行业高质量发展	26
3.3 国家节水行动计划要求与水资源管理标准化发展	27
3.4 中国水环境与生态技术标准体系构建的难点与建议	30
3.5 太湖地区污水排放标准解析及展望	33
3.6 ISO国际水标准化现状及发展趋势	37
3.7 物联网标准体系建设与环保物联网标准制定	41
3.8 燃煤电厂水资源回收及零排放技术与标准	43
4. 未来城市水环境基础设施建设	46
4.1 污水厂污泥处理处置技术研究现状与发展趋势	46
4.2 基于海绵城市建设理念的排水系统设计	49
4.3 下沉式再生水系统的模式创新与发展	50

4.4 国内污水三大特征及带来的挑战 and 对策	53
4.5 从能耗角度思考污水处理技术的发展趋势	56
4.6 生态人工湿地技术应用及展望	61
4.7 前瞻性污水提标改造解决方案	64
4.8 威立雅高效集约的污水处理提标升级与初期雨水处理工艺	68
5. 城市水处理设施的持续安全运营	71
5.1 污水处理厂可持续运营困境与挑战	71
5.2 智慧水务与可持续运营	75
5.3 工业园区水环境设施运营优化与风险管控	79
5.4 流域全要素调度与管理	82
5.5 成都市百万吨级大型污水处理设施的运营优化对策	85
5.6 新形势下污水厂的现场安全管理	87
5.7 高标准下污水处理厂稳定运行存在问题和对策分析	90
6. 化学品管理与新兴污染物控制	95
6.1 水环境中药物风险与控制	95
6.2 水中典型抗生素的高效去除技术	97
6.3 复合污染流域水体与沉积物中毒性物质的归趋与管理	97
6.4 河岸过滤控制新兴污染物	103
6.5 基于生物学通路的毒害化学物质（品）筛查策略与技术	106
6.6 计算毒理学与化学品危害性预测	108
7. 城市水生态环境管理与风险控制	111
7.1 天津生态城新型水系统构建与管控	111
7.2 饮用水源地水生植物群落构建与水质净化	113
7.3 山地城市湖库水环境综合治理技术与管理	115
7.4 三峡库区山地城市水环境综合治理关键技术研究与应用实践	117
7.5 南宁城市水环境生态风险管控的探索和实践	118
7.6 流域水环境综合治理的实践与思考	122
8. 城市污水处理资源回收与循环利用	124
8.1 从低碳社会到低氮社会的污水处理技术	124
8.2 厌氧膜生物反应器	128

8.3 厌氧氨氧化研究进展.....	129
8.4 资源化利用餐厨废水实现城市污水短程硝化反硝化除磷.....	131
8.5 有机废物厌氧代谢新路径与强化方法.....	133
8.6 微藻培养与能源化应用	134
9. 工业园区水管理.....	137
9.1 化工园区废水处理技术的实践与创新.....	137
9.2 工业废水需要什么样的解决方案	139
9.3 工业水污染全过程控制的思考	140
9.4 物理法石化污水源头控制及资源化.....	142
9.5 工业园区介循环模式及实践	144
9.6 制药综合园区废水处理典型案例和几点思考	146
10. 城市污水处理领域的技术与产品创新	148
10.1 膜法城镇污水处理技术的现状与挑战	148
10.2 A promising nitrification process enabling stable mainstream deammonification ...	150
10.3 污水处理技术的创新与工程化—港科大的一点经验.....	152
10.4 SUEZ膜法生物处理解决方案	155
10.5 非碳源依赖污水深度控氮技术.....	157
10.6 SSCS超级蒸汽碳系统用于水的深度处理	159
11. 智慧水务管理与新型监测技术.....	161
11.1 智慧水务的实践与发展	161
11.2 水中微生物在线监测新技术与仪器.....	163
11.3 生态毒理学在环境监管中的应用	164
11.4 水质BOD快速检测的微生物库伦法及仪器研制	166
11.5 三维仿真在水生态监测及水务管理中的应用.....	167
11.6 智慧水务共享技术平台及气表在污水厂网的应用探索	169

1 中国城市水环境水生态的可持续绿色未来

1.1 公园城市与微循环

国务院参事、中国城市科学研究会理事长、住房和城乡建设部原副部长仇保兴在“2019 中国城市水环境与水生态发展大会”中作了题为“公园城市与微循环”的主旨演讲。

公园城市作为生态价值向人文价值、经济价值、生活



价值转化的重要载体、场景和媒介，既是城市规划建设理论的开创性突破，也是城市发展的一次全新实践。对此，仇保兴表示，一句话概述“公园城市”理念，就是“使人的生活更美好”。仇保兴认为：“山水情结在城市的建筑边上涌现，公园跟建筑就像阴阳的关系，是相互融合的。公园使人的生活更美好，使城市更有吸引力。”

西方国家的公园是服从于建筑的衬托，主要展现的是秩序感，而我国的山水园林注重的是和谐的山水组合，是天、地、人三者之间相互融合，相互补充的和谐关系。因此在看得见山、望得见水、记得住乡愁的公园城市建设过程中必须转变思路，摒弃传统挑战自然，征服自然的思维理念，遵循尊重自然、师法自然的建设理念，弥补和改善现代城市人工系统的脆弱性和局限性。通过在城市中构建与建筑和谐共生的富含东方智慧的公园体系，构建以水为核心的微循环，发挥园林、湿地等系统微渗透、

微过滤的功能，可以在不显著增加规模和造价的条件下，显著提升城市原有排水、净化系统的能力和效率，进一步实现和谐的城市建设。

效仿大自然的持续循环的能力，找到城市生态系统中生产者、消费者、分解者之间的平衡关系。微循环整个体系分为 8 个部分：

（1）微降解——重建城市生态系统的分解者；城市与自然的对立：生产、消费、降解三者的失衡都是由于降解者的缺乏造成的，垃圾的就近处理、分类处理等就是“分解者”的一种形态。

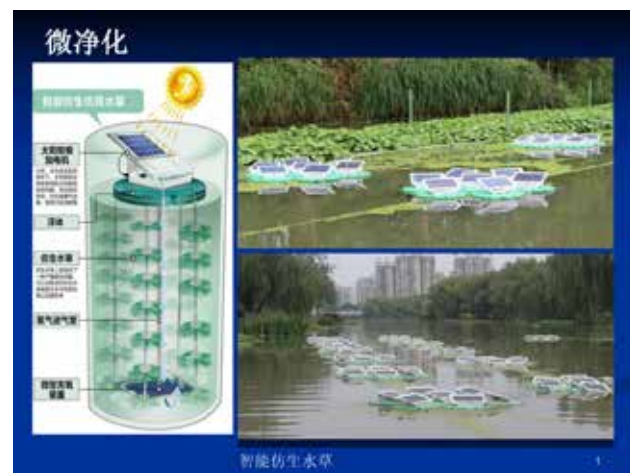
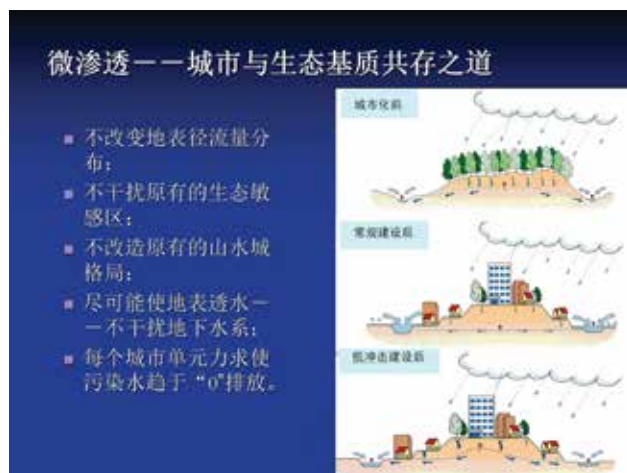
（2）微净化——就近净化循环利用。

（3）微中水——源头处理、多级循环、模块应用，模仿自然的微循环进行雨水收集和中水回用

（4）微渗透——城市与生态基质共存之道；城市雨水处理现状问题：城市硬质路面比例高，雨水渗透能力差，暴雨时期易产生内涝问题，补充地下水能力弱；雨水资源利用水平较低；缺乏完善的雨水收集利用系统。微渗透原理：不改变地表径流量分布；不干扰原有的生态敏感区；不改造原有的山水城格局；尽可能使地表透水——不干扰地下水系；每个城市单元力求使污染水趋于“0”排放。雨水收集利用：通过小型、分布式雨水设施，对雨水资源进行就地利用。回收雨水用于道路冲洗、绿地浇灌、景观补水等方面；超过渗透能力的雨水溢流进入城市排水系统。

（5）微绿地——从美化景观到节能减排。屋顶、立体绿化、行道树、小公园已成克服城市热岛效应的主力军；建筑外立面绿化与外遮阳可减少夏季 50% 的空调。内外都与植物融合的建筑，不仅清新空气且节能减排。





（6）微修复——城市原有水系的治疗康复。20世纪80年代，德国、瑞士等国提出将河流修复到接近自然的程度，很值得借鉴。要停止那些盲目改造自然的行为，不要填埋河湖、湿地、水田，不用水泥裹死原生态河流，避免使城市变成一块密不透气的“水泥板”。

（7）微农场——都市农业的多重功能。

（8）微调控——以信息化促进城市水务绿色转型。城市数字化管理——再造城市各阶层的共谋绿色化；从下而上形成城市绿色发展的细胞——绿色社区，是社会

生态城市的基础。

现代的城市公园肯定是“多元素”，绝对不是一个简单的景观，考虑水、气候、微环境等等因素，其中核心的就是“水”。在公园城市的内部，应该是建筑与园林相互融合，巧妙布局的城市空间。而“微循环”可以补充原有的“大循环灰色设施”的不足，可以明显提升城市的经济与生态效益。因此利用“微循环”促进公园城市的建设，把中国的山水文化与可持续发展组合在一起，必将给未来城市转型带来巨大机遇。

1.2 Green technologies and Tools for Sponge City Development

随着社会变革、气候变化和人口的加速增长，城市内涝、水资源短缺和水污染等城市发展问题使城市面临着严峻挑战。近年来，国外低影响开发技术的海绵城市技术成为中国城市规划与发展的热门话题。目前，中国

的海绵城市含义涵盖了与水环境相关的各方面的跨领域跨专业的综合型建设理念，旨在将绿色基建（如透水铺装、人工湿地和生物滞留设施等）与灰色雨洪基础设施（如污水处理厂、地下管网、深层隧道等）相结合。

Ana Deletic 教授是来自澳大利亚新南威尔士大学的海绵城市专家，目前担任中澳海绵城市研究中心首席科学家，致力于开发适用于中国城市雨水可持续发展管理的模型方法和绿色技术。目前，如何合理地规划海绵城市成为了大家关注的焦点和亟待解决的问题之一。Deletic 教授重点介绍了一款由其团队开发的海绵城市虚拟规划软件 -CA-ffe。

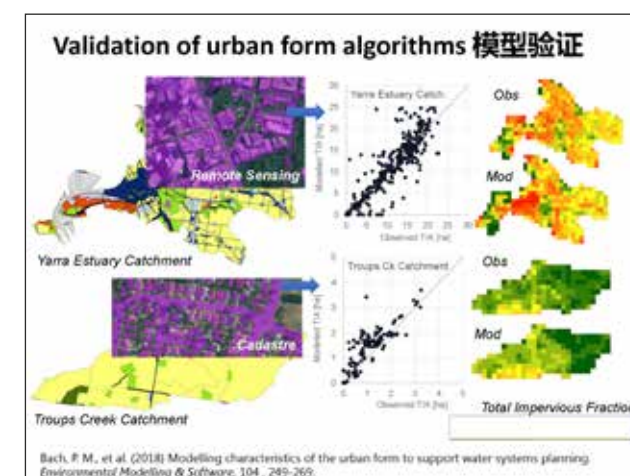
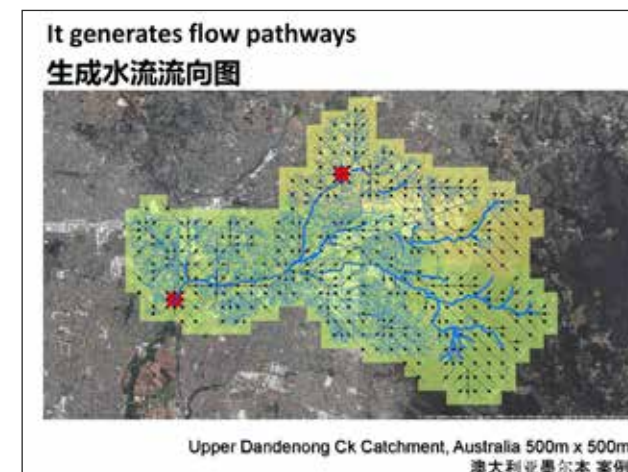
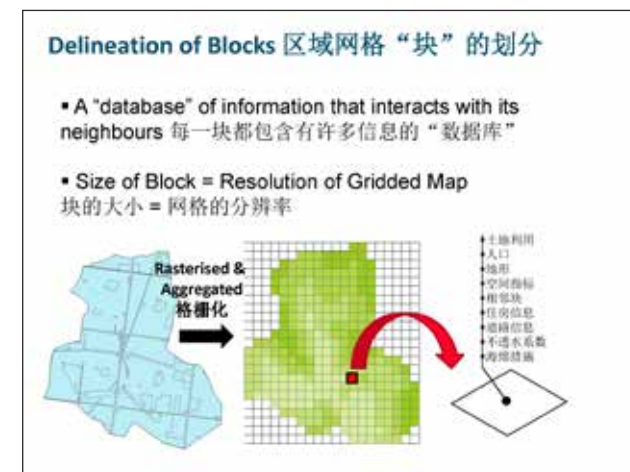
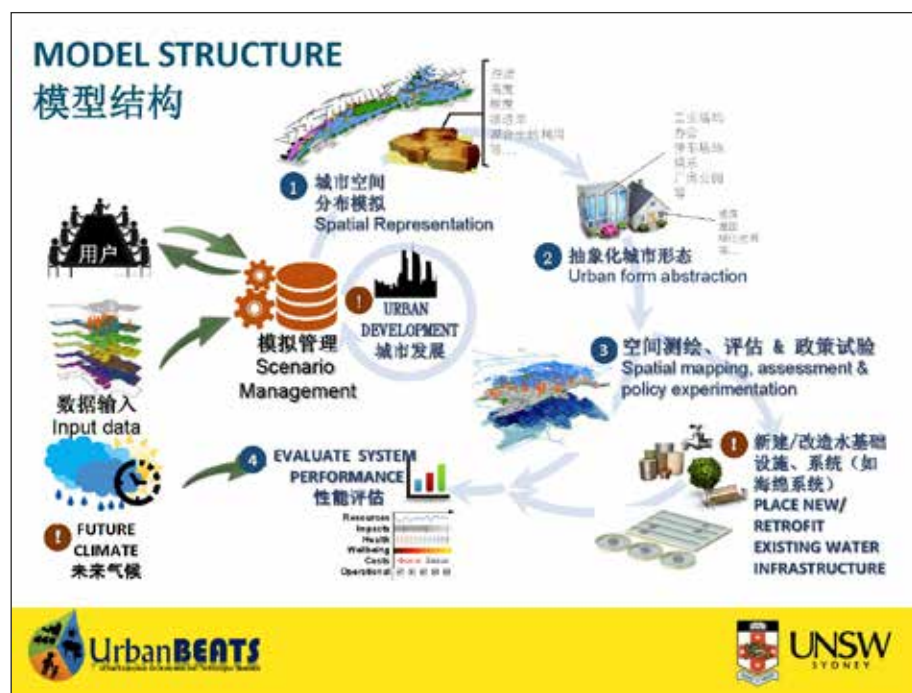
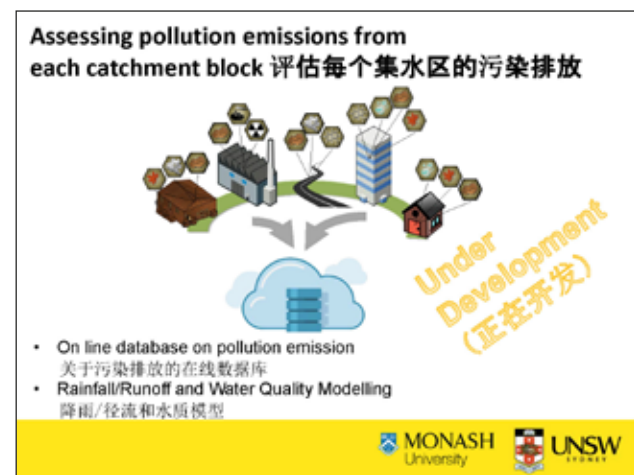


图9 CA-ffe 软件网格化区域地图后，利用网格块内包含的数据库生成水流流向图及模型验证等。

该软件可以在当前城市气候、人口、污染排放等数据的基础上，将城市网格化，在包含着大量信息的数据库的“块”上模拟未来海绵城市的建设，包括住宅区空间的划分，水流流向图，降雨、径流和水质模型，以及每个集水区的污染排放等。该模型旨在支持海绵城市开发过程中绿色基础设施的空间规划、设计、实施和评估，以实现预先设定的水污染控制和径流治理。通过该软件模拟，可以提前预估该区域海绵城市建设之后的径流控

制率、污染物削减率和内涝控制情况，更重要的是，通过软件模拟可以在建设初期预估是否有空间来布置海绵措施，甚至是垂直空间上的措施也可进行空间评估。最后 Deletic 教授还介绍了 CA-ffe 软件与目前市面上常见的雨洪模拟软件在预测速度、模拟精度上的对比，以及 Toolem 地区采用 CA-ffe 软件的模拟结果和实际项目实施结果。



图为利用 CA-ffe 软件评估每个集水区的污染排放、规划对比不同的海绵城市方案

1.3 城市水环境水生态的可持续绿色未来



中国工程院院士、中国城市科学研究会水环境与水生态分会会长曲院士在会议上展望了未来城市水环境格局：未来水环境的目标是绿色的，是消除黑臭，具有完整的生态系统，抑制生态风险，构建绿色体系，并对未来绿色城市水系统的构建提出了几点愿景：山水融合，生态完整，可渔可游，富有弹性，开放智慧。

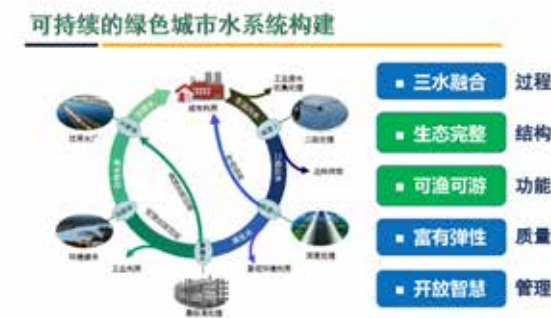
城市水环境的未来 – 可持续的绿色系统

中国城市水环境的变迁之路



从现在走向未来，从生态破坏走向生态文明

首先，三水融合，即水资源、水环境和水生态高度融合。水资源是水环境水生态的基本保障，以满足人们的基本需要，水还要有一定的质量要求，水环境就是水资源的质量保障。城市排水是影响城市水环境质量和生态功能最重要的方面，我们如何做到三水融合：首先水经过适当处理，能够满足城市水环境和水生态的基本水资源需求；第二，经过处理后的再生水，补充到城市水环境当中，不仅能控制水环境的生态风险，还具有生态恢复的功能；第三，由于再生水的补给循环，使城市河



流水质大大改善。

第二，生态完整，叫做善本之水（Eco-perfect Water）。构建绿色体系，生态系统完整性是首要考虑的问题。生态系统的完整性，强调物理、化学和生物的完整性，要求生态系统是稳定的，功能是优异的，以土著生物为主的生物多样性，同时具有高度的自组织自修复能力，水质稳定优良。生态功能做到可渔可游便是生态系统比较好的水。

第三，富有弹性，叫做容韧之水（Capacitative Water）。可持续的城市水系统中管网应该具有韧性，守住城市的良心；排蓄有容，建设海绵城市；水体自净，可提高消纳和抗污染冲击的能力；生态修复，增强生态系统的自我恢复能力；指标适度，注重生态关联、地域差异；同时考虑系统之间的协同，提升过程和单元的高度协同性。

目前面临的困惑是用什么样的指标评价排放污水。特别是应该用什么样的指标评价生态系统是否完整？是否得到恢复？有一些科学问题没有得到解决，专家很难界定用什么指标合适评价生态系统的好坏，也没有足够的证据评估生态风险。我们需要在生态恢复和生态完整的意义上，在生态和环境关联性上做进一步思考，把握好应该用的污水排放的标准，城市水排放的标准，生态系统评价的可行性指标，这需要深入的科学思索和探讨。

第四，管理要开放智慧，叫做明慧之水（Smart



Water)。流域统筹、水岸统治，多水统管。从流域的角度把流域的上下游，左右岸和干支流进行统筹考虑，要考虑水岸统治，岸边和水里协同治理，多水统管要把地下、地表、常规和雨洪进行综合考虑。立体监测、智慧管控和科学决策，即我们要构建水环境智慧管控系统，形成天地空一体化监测预警，建立水质与水生态因子之

间的响应，能够实行精准预案，精准施策和精准管理，搭建智慧管理与决策平台。最后系统开放，信息透明和公众参与。管理者与老百姓通过沟通交流来实现信息透明和公众信任。要开放管控系统，对称水情信息，让老百姓有一个顺畅的沟通渠道，实现广泛的公众参与，赢得真诚的社会公信。

1.4 环境产业从成本属性向价值属性转变中的技术升级

北控水务集团有限公司执行董事、执行总裁李力在会上作了题为《环境产业从成本属性向价值属性转变中的技术升级》的主旨报告。他指出，在“两山理论”和“两体论”引领下，环境产业发生了质的变化，特别是“十九大”以来，人们对美好生活的追求集中表现为对文化、教育、健康、环境等“新四大刚需”的高品质要求，也就是美

丽中国，这引领环境产业从成本属性向价值属性转变。在环境产业的大变革期，技术提升是关键。李力结合北控水务的思考和实践，从“成本最优化体现经济性、系统性解决体现绩效性、使用者付费体现经营性、城市正资产体现增值性、可持续发展体现绿色性”五个方面进行阐述。



环境产业技术提升五个方向



设真正服务新城区，与景观、河道、城区规划融为一体的第三污水厂。在中原水城河南睢县，中持通过对当地流域的系统梳理，在两三百平方公里的县域核心区重构成一个环境更加智慧友好的水生态系统，同时还基于四个追求建设了 1.0 版本的污水概念厂——睢县第三污水处理厂，在追求健康水质的同时，也着重关注了美好的感官需求。



第三个维度，包含溢流控制、雨季峰值处理在内的雨水管理。中持将磁混凝、高效澄清+BAF 的工艺装配化，在南京鼓楼区惠民河水质净化项目中，实现了对 COD、悬浮物、氨氮很好的去除效果，出水水质达到地



表水五类水(氨氮四类水)标准，断面的达标有效改善了整个河道的水质，实现了断面稳定达标。

第四个维度，农村和畜禽养殖的面源污染，中持以区域为服务单元，构建起收集、转化和利用的三级网络，综合解决区域内有机废弃物的污染问题。配合中持自身的技术产品——滚筒堆肥(SG-DACT® 滚筒动态好氧高温发酵技术)和干式厌氧(DANAS® 干式厌氧发酵技术)，在改善区域生态环境的同时，也帮助地方构建起物质持续利用的循环经济圈。

第五个维度，河道旁路净化系统，通过“扎口式”管理，实现水体的自然活化与生态化，同时把工程预处理系统、人工湿地系统和天然湿地系统进行有机结合，能够在短期内实现对小流域河道、季节性河道断面水质达标管理，具有较高性价比。

中持水务紧跟国家政策导向，不断借鉴国内外先进经验理念，并通过近年来的思考、实践与尝试，形成了与国内中小城市环保需求更为贴合的小流域水环境治理的综合服务体系，助力中小城市实现环境梦！

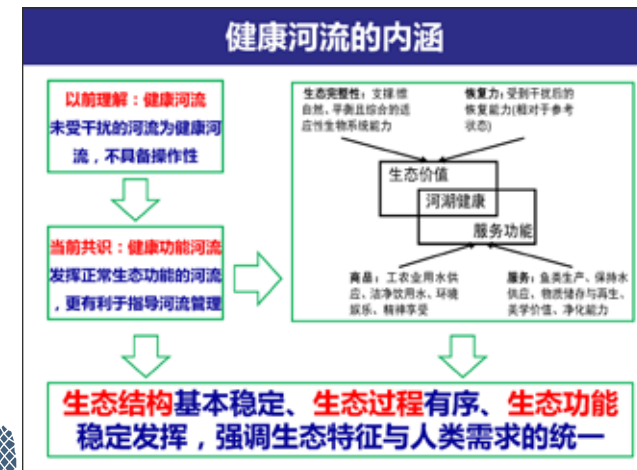


1.6 河流健康与环境治理刍议



河流健康是生态系统健康概念的一种派生。在目前中国大力改善生态环境、打造宜居健康生活圈的大背景下，河流健康与环境治理是当下每个环境人的共同的责任。北京师范大学杨志峰院士针对河流健康与环境治理给出了自己的几点看法。

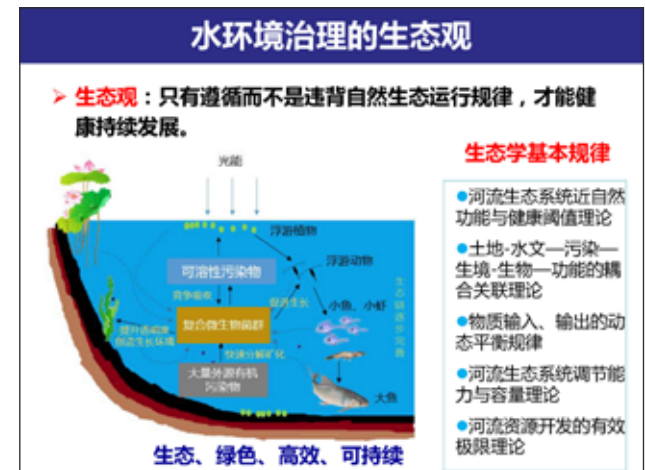
首先，杨志峰院士对当前中国面临的水环境问题做了简要概括。他指出，中国的环境问题具有自己本土的典型特点，即环境问题爆发时间集中，且具有叠加性，很多方面集中在一起，这就加大了环境治理的难度。此外，城镇化、工业化的发展速度过快，顾此失彼，发展了经济破坏了环境，最终水环境功能丧失，甚至难以恢复。谈到河流健康，杨志峰院士认为能够发挥正常生态功能的河流就是健康的河流，健康的河流就应该是一个生态

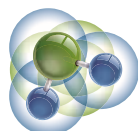


结构稳定、生态构成有序、生态功能正常发挥的河流，同时生态特征与人类需求要高度统一。因此健康河流具备三个要素：系统的活力、种群结构完整、系统恢复力。对于河流健康的评价，目前采取的主要是传统的化学物质检测，而这些并不能准确反映河流健康的要素。因此加大生态系统、生态指标建立，最大限度地对能反映河流生态系统的基本特征的指标进行研究和监测。杨志峰院士列出了欧盟和美国在水生态评价方面的领先优势，通过对比更加反映出中国在该方面的欠缺。同时他也指出中国幅员辽阔，各区域水质质量差异大，分区制定不同的标准，监测不同区域河流里面的健康状况存在很大难度，这些是其他国家所不存在的。

谈完河流健康，杨志峰院士对中国环境治理现状进行了总结概括。从河流健康角度讲，杨志峰院士认为河流健康治理体现在两个“完整性”。第一，要达到生态完整性，包括物理结构。只有物理结构的完整多样才能形成生物的多样和稳定。第二是功能完整性，这里包括生态功能和社会功能，同时还有对人类服务的功能也要正常发挥。他提到目前中国在这两大“完整性”上也做了很多工作，逐渐从环境治理、水质的提升向生态健康方向发展。

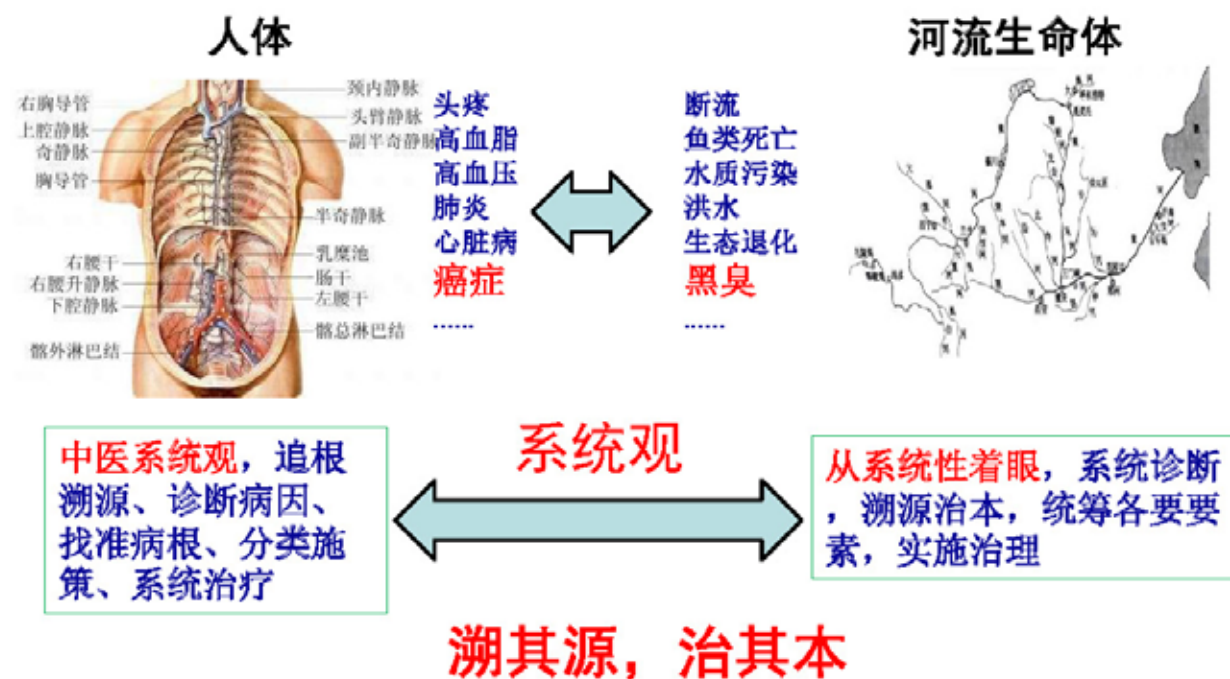
对于当前水环境治理方面存在的问题，杨志峰院士





水环境治理的系统观

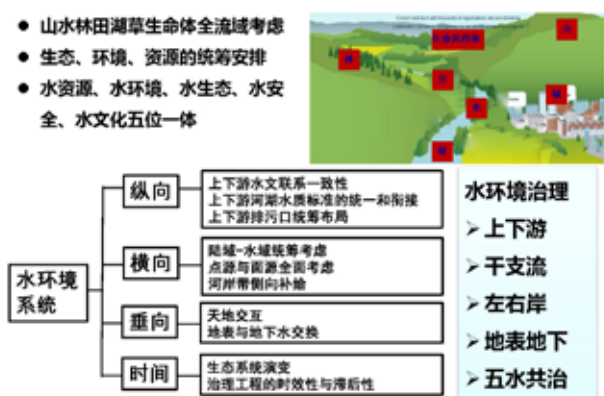
➤ **系统观：**河流是一个有机联系的整体，在这一整体中，所有事物都是相互联系、相互作用。



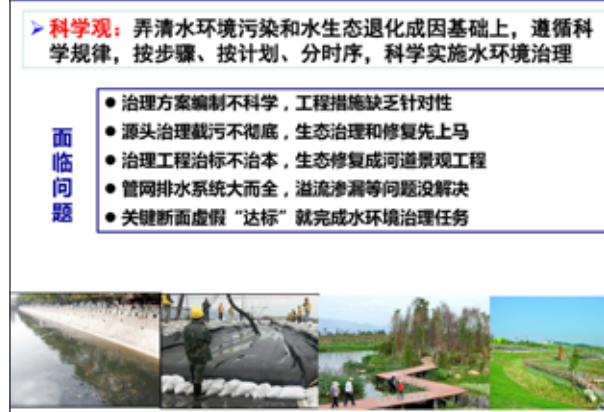
水环境治理的科学路径



水环境治理的四维性与五位一体



水环境治理的科学观



认为在水环境治理过程中，思路需要提升和完善。当前中国对生态系统健康功能保护与恢复的工作做得不足，不能以河流健康为目标去实施全要素整治，并且治理过程中存在盲目性和随意性。所以他建议今后需要以河流

健康为主线，全面提升水环境治理的生态观，系统观和科学观。对于提升水环境治理的“三观”，杨志峰院士给出了详细诠释。首先，生态观是要遵循自然规律，这是基本点。生态系统有三大功能，从发挥其正常功能的

思路进行河道的综合整治。生态理念是以生态学理论为指导，尊重自然，尊重生态规律。措施就是近自然，刺激生态自生能力。生态治理的目标是短期和长期相结合，实现水体生态健康。我们的目标是要恢复原有的功能，可以给予适度的人工干预，而不是完全改变它。其次是系统观，河流各个要素之间有联系，面对一个问题要追根溯源，诊断病因，找准病根。从根本上解决问题，而不是观其表层。水环境治理的四维和五位，就是纵向，横向，垂向和时间维，在治理时要考虑他们之间的联系。不仅把水环境、水生态结合在一起，同时还要把与水生态，水环境相关的水资源，水文化结合在一起，五位共治。这样才能达到系统性地解决生态环境问题。实际问题的解决过程中，要站在水外看，要把跟水密切相关的社会

经济系统和水系统两者之间密切结合，要把整个生态系统功能延伸到社会系统和经济系统去，整体优化和组合形成整体方案，这样效果更好。第三，科学观。整个的治理方案一定要符合科学，一定要科学来做，一定要遵循科学规律，加强基础研究，摸清规律，制定科学的方案，按计划科学实施治理，杜绝盲目性。

杨志峰院士在整个报告过程中列举了很过国内外实例进行论证阐释，整个报告生动且富有深意，很值得环境人认真思考。报告最后，杨志峰院士强调，水环境治理应该尊崇生态观，顺应自然，人水和谐。同时需要坚持系统观、追溯起源、根治其本，需要科学观，加强顶层设计。水环境、水生态治理是一场长久战，我们环境人要打好这个长久战，也一定能打好这个长久战。

2 水环境综合治理与水生态修复

2.1 中国城市河流污染治理的几个关键问题探讨



今年初，中国工程院成立了专家组对新修订的《水污染防治法》进行了评估。同济大学环境科学与工程学院徐祖信教授作为评估专家组的成员，向大家传达了几个重点问题的评估建议。

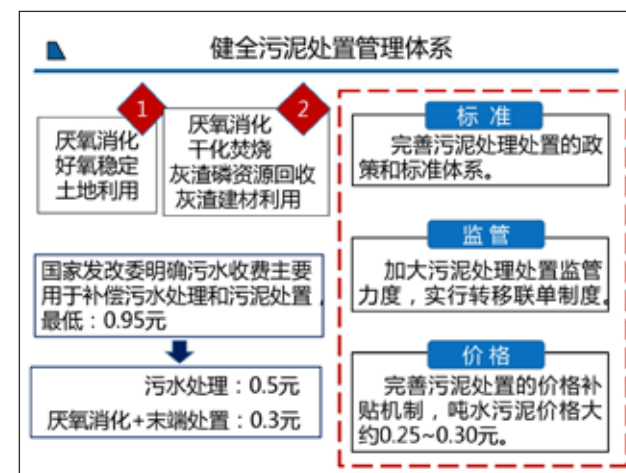
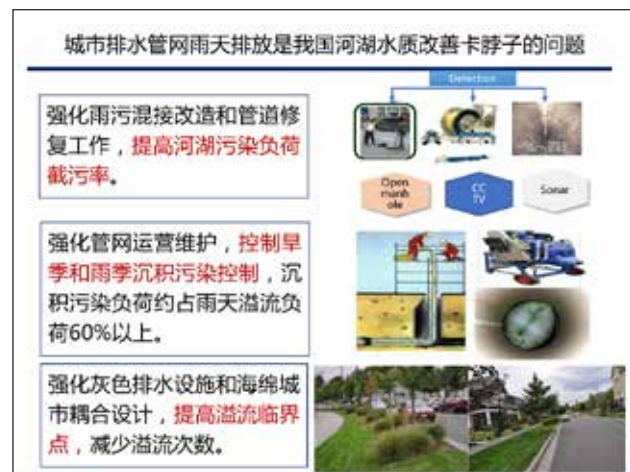
第一个重点问题是河长制的考核问题。目前中国城市管网建设日趋完善，城市的污水处理率也很高，但是目前为止河湖水质的改善并不明显。因为中国河湖污染大量来自于输入性的污染。因此，专家组认为建议在河长制的考核中需要把水质考核和污染负荷的截污率考核综合到一起，以保证污染治理走在正确的技术路径上。

第二个重点评估的问题是工业水污染防治。针对工

业区废水超标纳管问题普遍，车间有毒有害污染物监管能力不足的问题，专家们的建议是强化纳管废水的监管，排水标准中增加综合指标，对纳管废水执行解毒预处理，预防稀释排放。

第三个重点评估的问题是城镇水污染防治。城镇水污染防治问题的重点在于管网的建设，污水处理和污泥的处置。开展黑臭河流治理后，不少城市陷入了反复黑臭，反复治理的困境。这个问题产生的原因是：污水管网的收集系统不完善、管道错接破损和污水管道运输距离过远。为了解决上述的问题，专家们也提出了三点建议，一是强化雨污混接改造和管道的修复工作；二是强化管网的运营维护；三是强化灰色排水设施和海绵城市的耦合设计。中国污泥处理处置的问题在于填埋作为中国处置污泥的主要方式，很多城市已经无地可埋。针对这个问题需要推进市政污泥的资源化处置方法的建设，而目前的难点在于标准、监管和价格机制上。

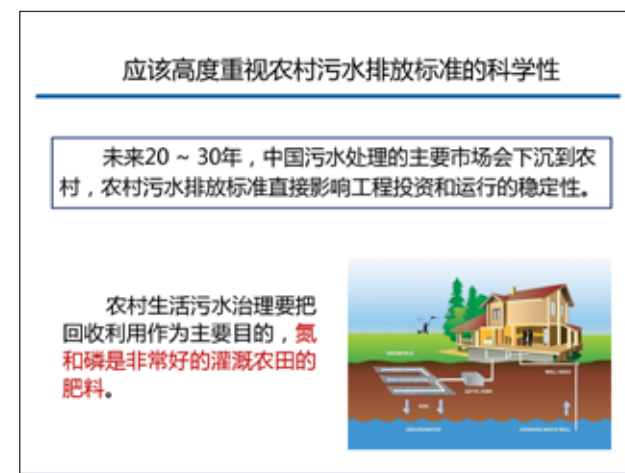
第四个重点问题是农业和农村水污染防治。目前中国农村污水的处理率不足 20%，据估算每年有 80 亿吨污水直排河道。由于氮磷都是灌溉农田的肥料，农村污



水处理应把回收作为主要目的。因此，农村污水的排放标准需更具科学性。中国农村污水处理技术选择应考虑生态、经济、简便。

2.2 城市氮代谢排放特征与控制策略

氮是生命的必需元素，同时氮也是水污染，大气污染，垃圾污染的重要的污染源。活性氮是指地球大气和生物圈中所具有生物活性、光化学活性和辐射活性的含氮化合物的总称，具有连锁反应的特性。在工业革命后，人为源的活性氮已经远超自然源，由人为活性氮素过量所引发的环境问题是继生物多样性减少和全球变暖之后

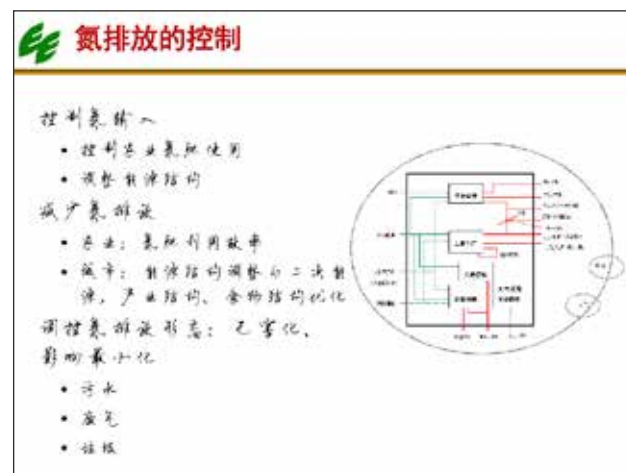
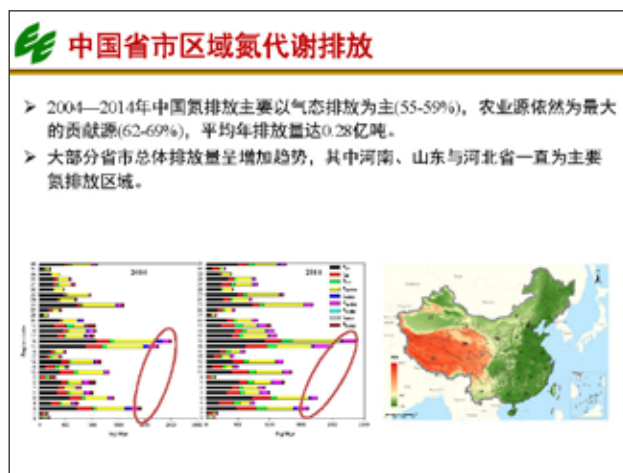


第五个重点是船舶水污染防治。在这个领域，中国刚刚起步，无论是小型化的处理处置设施，还是市场化的资本的进入空间，都有相当大的缺口，需要社会资本的介入。

的第三大环境问题。

中国科学院生态环境研究中心的欧阳志云主任介绍了城市活性氮排放核算。城市氮代谢排放有两种分析方法，一种是元素流分析方法，依据物质守恒定律，通过不同尺度的氮元素流分析，把氮元素分为输入、输出和储存并进行分析。第二种是氮足迹核算法，根据产品或服务在其生产、运输、存储及消费过程中直接或间接排放的活性氮的总和进行核算。

随后，欧阳志云主任向大家介绍了利用这两种方法所得到的城市氮代谢排放特征。从城市尺度上看，对于北京市，燃料燃烧是活性氮排放最大的贡献源。污水处理及农业生产氮排放减少，垃圾处理的氮排放波动稳定，活性氮排放 2/3 来源于生产源。在深圳市，水体的氮损失为主要的氮排放途径，而居民消费为城市氮排放的主要驱动力而工业生产的氮排放减少，这说明深圳的治理



难度很大。从区域尺度上看，在京津冀地区，河北省占据了活性氮排放的80%以上，而单位面积氮排放是天津最高。从全国尺度上来看，在2004~2014年，中国氮排放以气态排放为主，农业源贡献了62%~69%。大部分省市总体排放量呈增加趋势，主要的氮排放区域与人口、工业和农业密切相关。

从氮足迹来看，在1980年到2012年，城市和乡村居民食物氮足迹相差不大，随着城市化的发展，城镇

居民食物氮足迹呈上升趋势。城镇居民食物氮足迹主要来源于肉类，而农村主要是粮食消费。从深圳市的研究来看，城市的氮足迹呈增加的趋势，常住人口更高，老城区高于新城区。

最后，欧阳志云主任提出了控制氮排放的方法，一是控制农业氮肥的使用；二是控制氮输出，调整能源结构；三是调控氮排放形态，如调整污水处理工艺，尽量将氮排放的危害化降到最低。

2.3 基于自然的流域水环境综合治理途径

利用大自然的自净能力净化水体是有别于污水厂污水处理的另一条净化环境的途径，但如今自然水体的自净能力大幅下降，是近年来人们关注的一个热点问题。



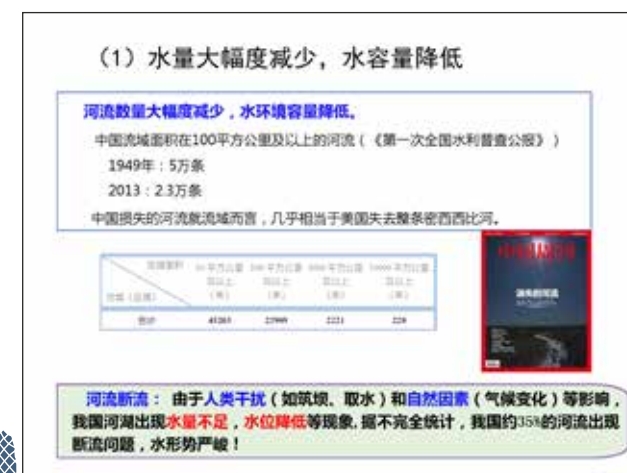
生态环境部卫星环境应用中心的高吉喜主任从生态的角度为大家分析了水体自净能力下降的原因，一是污染物排放量大，超过了自然界对水净化的能力。二是人们对自然的改造幅度过大，水循环动力下降。水循环动力下降体现在水量大幅减少，水容量降低；流域过程受阻，水资源的流速降低；河湖湿地萎缩，净化能力下降。为了恢复水体的自净能力，高吉喜主任从优化流域空间格局、优化生态空间格局、优化农业空间格局、优化城市生活空间格局和构建自然岸边带生态系统5个方面进

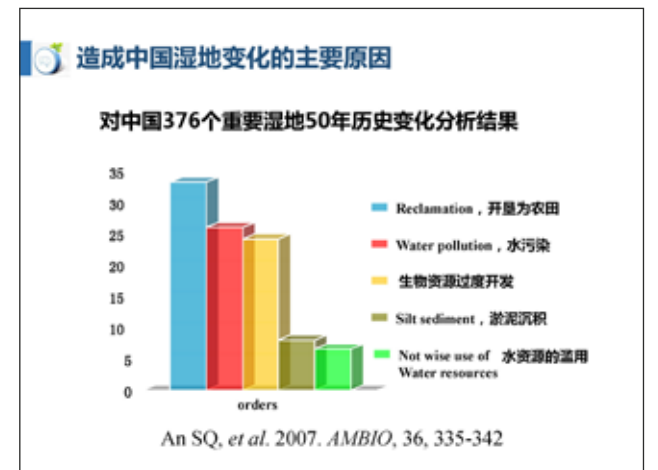
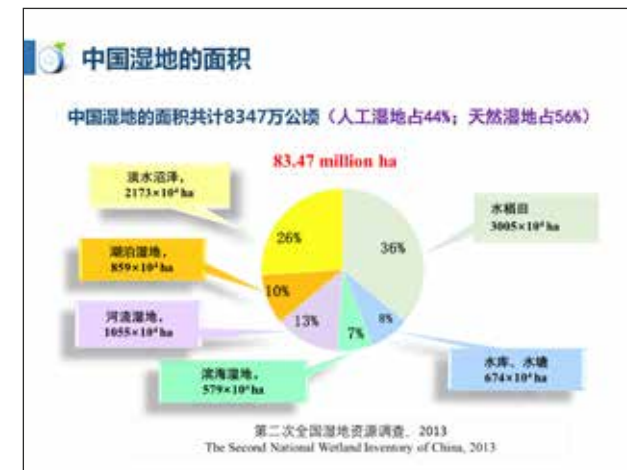
行了讲解。

为了提高水体的自净能力，一个方法是优化流域的空间格局。优化的基本思路是以净化水质为目标，在耕地中间穿插少量的对泥沙或污染物具有截流作用的河流、森林和草地。根据模拟，在农田面积减少4%~5%的情况下就能大幅减少泥沙输出量。

生态问题目前已经得到了中央的重视，优化生态空间格局、农业空间格局和城市空间格局在近年来会有较大的发展。在生态空间上，可以通过合理的植物群落的配置方式，提升水源的涵养功能2.4~3.8倍。在农业空间格局上，研究案例发现在大片的农田中增加一些生态岛、蓄水池可以大幅度地增加生物多样性。其中鸟类增加明显，病虫害发生的频次降低，也同时减少了化学农药的输入，从源头控制了污染。在城市生活空间格局上，需要提高都市系统的林地生态系统的质量，加强都市系统的海绵城市建设。

最后对于构建自然岸边带生态系统的问题，高吉喜主任认为保留自然的岸比构建人工的岸更加有效。目前长江两岸的湿地大部分都被建筑占用，这减少了水体自净的空间。



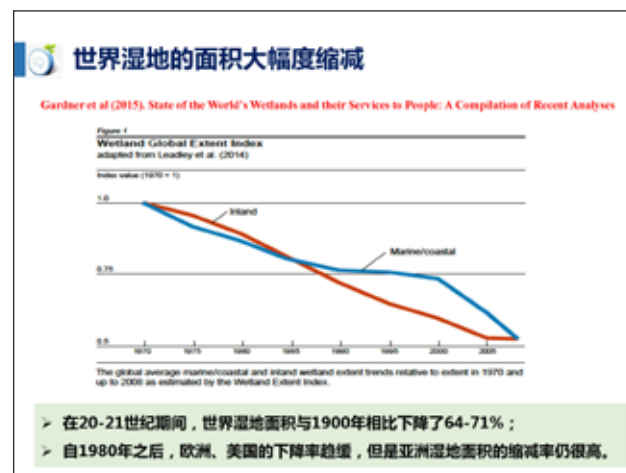


2.4 近自然湿地生态修复的思考与实践



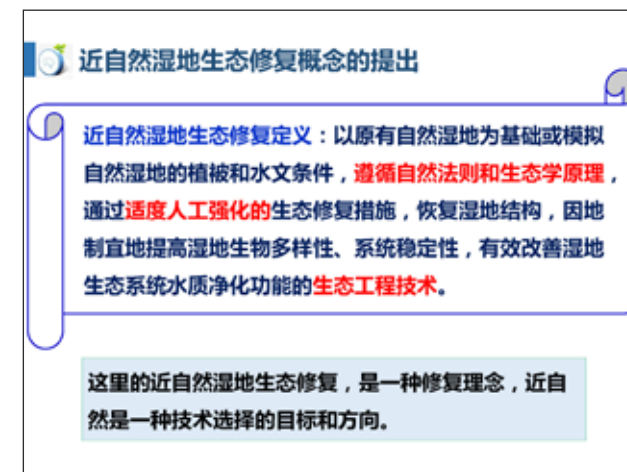
中国环境科学研究院湖泊环境研究所的叶春总工指出,目前世界上的自然人工湿地面积大幅度地缩减。据统计,从时空分布上来看,近一两个世纪与1900年相比下降了64%到71%;从空间分布上来看,内陆和滨海区域的湿地面积同步下降,20世纪八十年代欧洲和美国的湿地面积下降趋势缓慢,亚洲湿地面积下降速率较高。

从2003年到2013年两次全国湿地普查期间,中国的湿地面积减少了8.82%,主要是由人工湿地的减少造

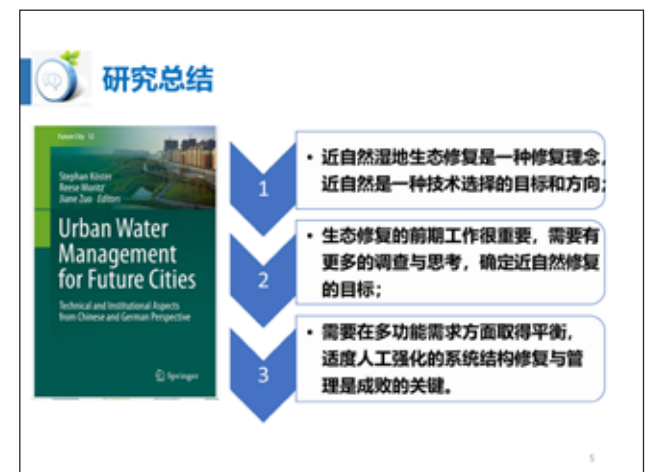


成的,其减少面积占总的湿地减少面积的99.41%。这种减少主要表现在两个方面:一是河流、湖泊的沼泽化,二是河流湿地转化为人工库塘。通过对中国的376个重要的湿地50年历史变化进行分析,结果发现导致湿地减少的最主要的原因就是农田开垦,此外还有水污染,生物资源的过度开发,淤泥的沉积和水资源的滥用等因素。

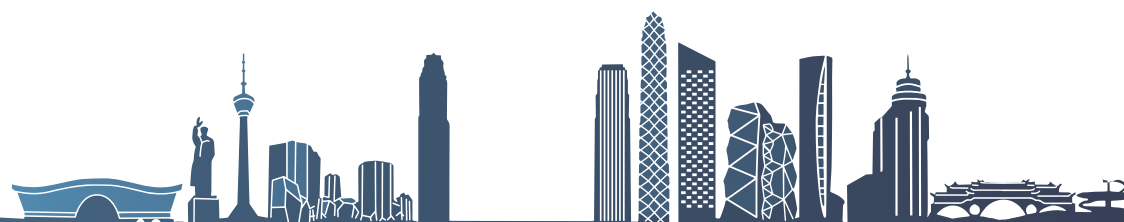
叶春总工通过对自然湿地现状的介绍,提出了一个近自然湿地生态修复的定义:以原有自然湿地为基础或



模拟自然湿地的植被和水文条件,遵循自然法则和生态学原理,通过适度人工强化的生态修复措施,恢复湿地结构,因地制宜地提高湿地生物多样性、系统稳定性,有效改善湿地生态系统水质净化功能的生态工程技术。与人工湿地技术相比有三方面的不同,一是近自然湿地生态修复技术是以自然净化为主,人工为辅。二是强化和净化的措施在近自然湿地生态修复中具有一定的临时性,随着系统的恢复,这些措施将逐渐弱化并撤离。三是近自然生态措施会最终发展成自维持的稳定湿地生态系统。



接着,叶春总工介绍了他们课题组在“十二五”的水专项课题中针对太湖西北部的竺山湾应用了近自然湿地修复。修复的主要原则是因地制宜,生态优先,联通水系以达到区域水质净化的目的,并兼顾景观。主要的生态修复步骤:基底构建、物种选择、生态调控。最后,叶春总工在总结中提到近自然湿地生态修复是一种修复理念,近自然是一种技术选择的目标和方法;生态修复的前期工作很重要,需要更多的调查与思考,确定近自然修复的目标;需要在多功能需求方面取得平衡,适度人工强化的系统结构修复与管理是成败的关键。



2.5 流域水环境治理中的几个问题与研究探索

河海大学大禹学院院长朱伟教授认为水环境是一个系统的环境，是一个流域性的环境，既不是单一的水质环境，也不是单一的水生环境，而是水—人—自然关联在一起的复杂问题，其中环境—社会—经济问题相互缠绕。



朱伟院长认为水环境是一个系统的问题。城市水环境，除了水的基本循环，物质循环和生物循环，还有景观系统、流域的社会，流域的经济，空间的格局，湿地系统等，这些系统全部叠加在一起，但这个叠加是有层级的，不是平行的叠加。叠加的顺序依次是：物理形态在最下面，依次是动力条件、水质、生态、景观、文化。目前，许多地方都把治水掉入水质的陷阱里面了，之前宣扬“水安全、水资源、水环境、水文化、水管理”五位一体，到现在的“水安全、水资源、水环境、水生态、水景观、水文化、水经济、水社会”八位一体，即八个矛盾叠加在一起，那么该如何解决这个问题成了关键。朱伟院长认为在攻克目前所面临的矛盾时得先抓住主要矛盾，再依次解决其余问题，需要考虑到一个层级问题。

朱伟院长提出了一个问题：水质改善和生态修复到底是什么关系？通过对化学环境、物理环境、生态环境改善、景观文化修复之间层级理论的分析，朱伟院长认为，水质改善是生态修复必不可少的部分，而生态修复也能

够起到一定的水质净化效应。

朱伟院长通过以日本东京的母亲河隅田川利用河流截污成功控制了黑臭水体为例，讲到水环境综合治理分成了三个阶段：物质阶段、生命阶段、人与自然关系修复阶段。而中国目前处于物质阶段，还需要在水质污染和生态退化方面展开大量工作。

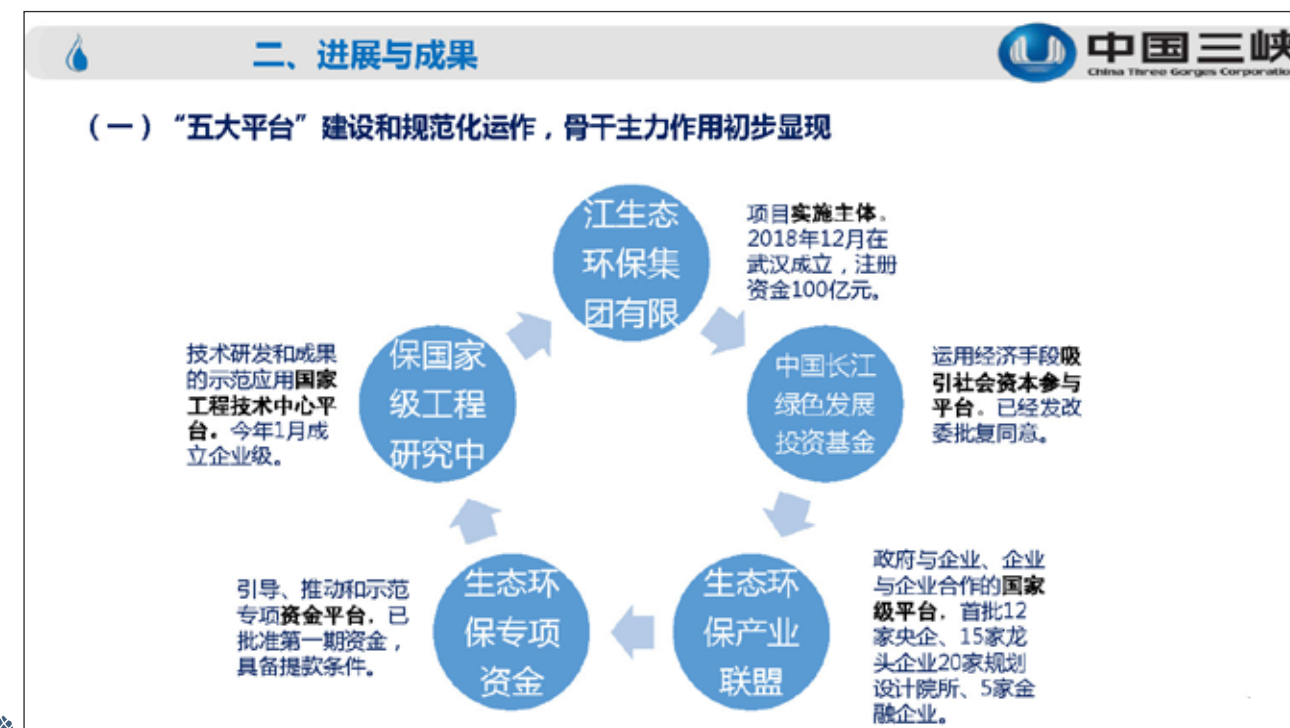
朱伟院长在总结中提到解决水系统环境就像解一个丝线结，如果基础工作没做好难以期待好效果，要踏踏实实做好最基础的工作，这就是捷径。

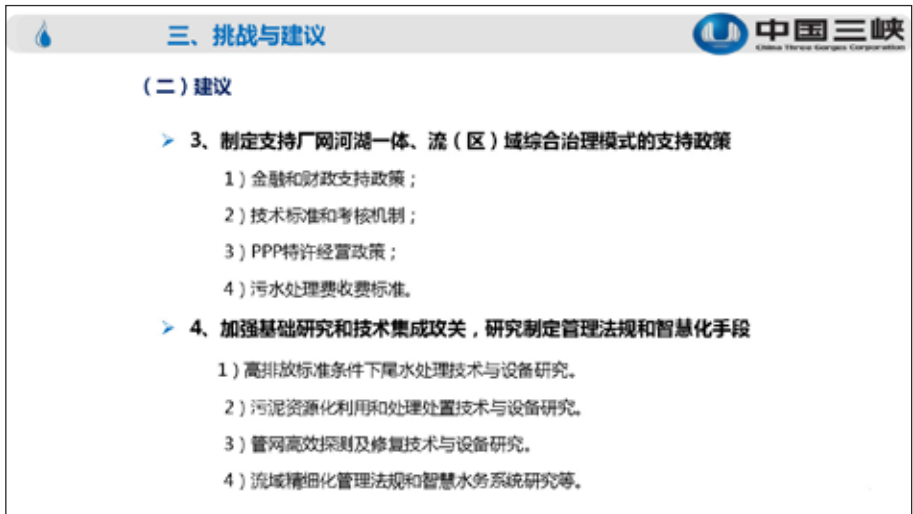
2.6 中国三峡集团长江大保护先行先试实践与思考

针对长江大保护，中国三峡集团公司环境保护部主任王殿常先生讲解了三峡集团在其中展开的先行先试的实践与思考。首先是三峡集团在长江大保护中的使命与任务。2018年4月24日习近平总书记视察了三峡工程，并在4月26日的座谈会上要求三峡集团要发挥好应有作用，积极参与长江经济带生态修复和环境保护建设。国家发改委和国务院国资委印发的《关于中国长江三峡集团有限公司战略发展定位的通知》中明确要求，“在深度融入长江经济带、共抓长江大保护中发挥骨干主力作



用”。三峡集团要从“建设三峡，开发长江”向“管理三峡，保护长江”转变。推动长江经济发展领导小组办公室印发的《关于支持三峡集团在共抓长江大保护中发挥骨干主力作用的指导意见》(长江办第74号)明确要求，以城镇污水治理为切入点，带动生态环保产业链上下聚合，探索生态环保产融发展之路，促进长江生态环境改善。





王殿常主任介绍三峡集团现已搭建了五大平台，其骨干主力作用初步显现，发起设立了长江绿色发展投资基金和生态环保产业联盟，凝聚政府与企业，企业与企业之间的平台，设立了生态环保基金，建立了生态环境工程研究中心，下一步即申请国家级的中心。接下来讲到三峡集团近期在污水处理厂、排水管网、污泥处置、河湖环境和管理监督等方面开展了深入调研，针对发现的问题提出了科学的污水治理方案。

王殿常主任提出了在长江大保护中面临的挑战：1、行业整合统领与政府管理能力的挑战。2、城市严重的污水处理基础设施的欠账和巨大资金投入的挑战。3、厂网

河湖岸一体，流（区）域综合治理模式和机制创新方面存在挑战，受行业分割，投资导向的影响，目前还是以碎片化的治理为主。4、流（区）域综合治理模式下技术与管理的创新存在挑战。

最后，王殿常主任针对上述面临的挑战提出了以下建议：第一，政府主导，实力企业牵头，社会各方参与的合作治理新模式。第二，创新投融资方式和项目运作的模式，探索可持续多渠道的投资途径。第三，制定支持厂网河湖一体、流（区）域综合治理模式的支持政策。第四，加强基础研究和技術集成攻关，研究制定管理法规和智慧化手段。

2.7 南水北调中线水源地面源污染生态阻控技术及应用



长江水利委员会长江水资源保护科学研究所副所长尹炜向大家讲解了南水北调中线工程是中国非常重要的战略性水资源配置工程，2014 年 12 月份通水到现在调水超过 200 亿立方米，受益人口超过了 1 亿人。南水北调工程的关键在于水质的好坏，也就是丹江口水源地的水质的好坏。国家一直重视丹江口环境保护工作，从 2000 年开始制定的“三先三后”原则，丹江口库区和上游的水污染防治以及水土保持“十二五”短期规划的实施，使整个水源区点源污染得到了控制。目前丹江口水质非常好，但也存在一些风险，该团队认为跟整个丹江口水源区大比例的农村人口和农业产业有关，因此该区域污染防治的重点应该是面源污染。

尹炜详细介绍了景观单元养分平衡技术，即水土资源格局与作物种植结构匹配的空间模型的建立，林一田一路等合理相间布设的设计参数的研发，形成景观格局优化的面源控制技术体系，农田排水通道植物生态位的空间优化配置技术的研发，养分循环利用与污染物多级削减技术体系的建立。同时也提到水廊道系统关键参数的设计、优化空间分布结构，优选物种，强化去污能力，提高氮磷滞留功能；建立养分利用型流域生态水廊道构建整体设计技术。基于这个技术，构建了景观养分盈亏平衡、沟塘水系功能提升和流域景观格局优化为一体的丹江口库区水土流失防治和面源污染生态阻控体系。

最后，尹炜结合这些年在丹江口面源污染治理的工作展开了思考：首先是如何进行科学监测？目前采用的方法是每个月监测一次，遇到雨季增加监测次数，这套方法在科研中可以应用，那么该如何应用推广？如何支撑大数据分析与管理智慧值得深思。其次是如何看待面源污染这个问题？面源污染应该防治还是调控，该怎么样保证可持续性？最后是关于新增淹没区面积大、范围广、缺办法、少规划、风险多、矛盾大的问题。



3 城市水环境与水生态标准化体系

水环境和水生态是中国生态文明建设最核心的内容之一，而标准化建设是对我国城市水环境和水生态文明建设的支撑和保障。2016 年中国发布了《水生态文明城市建设评价导则 (SL/Z 738-2016)》，但与国际水平相比，中国的城市水环境与水生态标准化体系尚不健全，有必要进一步加强城市水环境与水生态标准化体系建设。

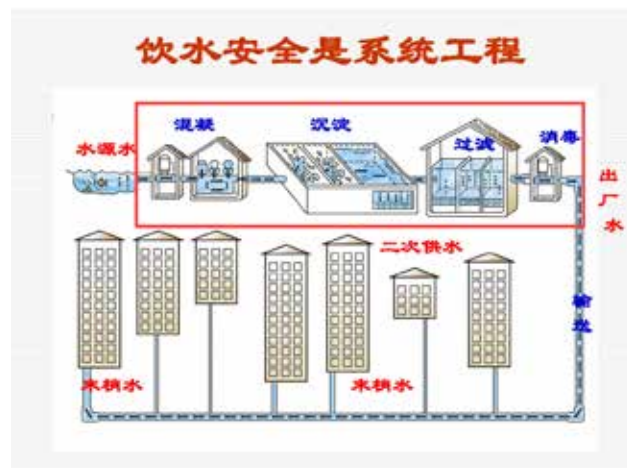
3.1 中国饮用水标准体系建设与发展



饮水安全工作是与人民群众日常生活与身体健康密切相关和引发广泛关注的议题，中国疾病预防控制中心环境所水质安全监测室主任张岚研究员参与了我国近年来在饮水安全保障各个方面的大量工作，特别是对饮用水标准体系的构建。张岚研究员指出：

饮用水标准体系的建立，需搭建好从源头到龙头的标准体系的框架，目前我国饮用水管理体系仍处于“九龙治水”的多部门分管状态，现有的 11 个饮用水标准包括：

- 针对水源的两个国家标准，对地表水和地下水水源的水质提出相应的要求；



- 饮用水水质标准和卫生规范，暨供水厂处理规范性的水质标准，及不同工艺的处理规范；

- 化学处理剂（含消毒剂和消毒设备）的卫生安全性标准；

- 饮用水输送的环节，饮用水配水设备和防护材料的安全性评价标准，对于高层住户还有二次供水设施，同样制定了卫生规范。

该饮用水标准体系主要目标是建立完善的生活饮用水卫生标准，配套实施饮用水标准的标准检验方法。

其中《生活饮用水卫生标准》及其配套标准方法是该体系的核心内容：

- 《生活饮用水卫生标准》是我国历史最悠久的标准之一，1955 年即首次制定了自来水水质标准；从 1955 版发展到 2006 版，水质指标从 15 项扩展到 106 项；106 项指标包括常规必检的 42 项和非常规选择性检测的 64 项，非常规指标只有在存在污染风险，可能会对健康造成损害时，才需要针对性监测。

- 标准中的水质安全性分为三个层次，第一个层次是生物学指标，防止饮水当中的传染病的发生和传播，

我国饮水标准发展历程

年份	标准/规范	项目数	颁布部门
1955	《自来水水质暂行标准》	15	卫生部
1956	《饮用水水质标准》（草案）	15	卫生部 国家建设委员会
1957	《集中式生活饮用水水源选择及水质评价暂行规则》	—	卫生部 国家建设委员会
1959	《生活饮用水卫生规程》	17	卫生部 卫生部
1976	《生活饮用水卫生标准》(TJ20-76)	23	卫生部 国家建设委员会
1985	《生活饮用水卫生标准》(GB5749-85)	35	卫生部
2001	《生活饮用水水质卫生规范》	96	卫生部
2006	《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)	106	卫生部 国家委

第二个层级是保证化学物质和放射性物质的安全，第三个层级，是提高饮用水的居民感官可接受性。

- 2006 版标准中 80% 的水质指标都是毒理学指标，其限值的制定依据是终生饮用不会对健康产生明显危害。

基于 2014 年至今的修标准备工作，2018 年 3 月 21 日，国家卫生健康委在京召开了“生活饮用水卫生标准及配套标准检验方法”修订工作启动会。基于城市与农村要求相结合，科学性和可实施性相结合，同国际接轨与符合国情相结合的原则，并体现与其他相关标准间的协调性和衔接性，修标广泛纳入涉及饮用水管理的住建部、水利部等各部委参与。一年的时间修标组织召开

饮水安全的内涵



- 首先，要保证流行病学安全，即要求生活饮用水中不得含有病原微生物，防止介水传染病的发生和传播；
- 再者，要保证化学物质和放射性物质安全，即水中所含化学物质和放射性物质不得对人体健康产生危害，不得产生急性或慢性中毒及潜在的远期危害（致癌、致畸、致突变）；
- 另外，要保证水的感官性状良好，即饮用水感官性状和一般理化指标应为用户所接受。

了九次会议。其中水质指标在遴选过程中要同时满足四个原则：在毒理学或人群健康效应方面具有充分研究成果；毒性物质在饮用水中存在且浓度水平可能带来健康风险；具备可行性和可负担的水处理技术；具有成熟的水质检测方法。

目前该标准修标已经形成了第 8 稿，水质指标 106 项到 97 项，删减了十几年监测中发现已经不存在或者存在的浓度和健康风险控制浓度有比较大的差距的指标，包括一些已经禁用，限用的农药。同时常规指标中增加了普适性的指标，还增加了新兴的污染物指标。力图通过此次修标，进一步改善我国居民饮用水水质，保障饮水安全，提升全民生活品质。

3.2 标准化引领水处理化学品行业高质量发展



全国化学标准化技术委员会水处理剂分会秘书长朱传俊在大会中指出：标准化是为在一定的范围内获得最佳秩序，对现实问题和潜在的问题制定共同使用和重复使用的条款的活动。标准化水平反映着一个企业、行业乃至国家的经济、技术以及综合实力的发展水平，是衡量其管理和技术水平的重要指标。在经济全球化和现代市场经济条件下，标准是企业和服务（服务）通向市场的通行证，因此，标准化就是制高点，就是话语权，就是控制权。

做好标准化工作的前提是制法执法、相关资质认定

和建立本领域的技术标准体系。《中华人民共和国标准化法》是从事标准化工作的法律基础。1988年12月通过了我国首部标准化法《中华人民共和国标准化法》，目前正在实施的是2017版。新版标准化法的目标是建立政府主导的制定标准和市场自主制定标准协同发展，协调配套的新型标准体系，即由政府主导制定的强制性的国标和推荐性的国家标准、行业标准和地方标准，以及市场自主制定的团体标准和企业标准组成。新标准化法的实施，实现了扩大标准范围、加强强制性标准的统一管理、增设标准实施反馈评估制度、加大了违法行为的处罚力度等17项重大突破。

朱传俊秘书长从水处理剂标准化工作回顾、水处理剂分领域技术标准体系和用匠心锻造高品质标准——为绿水青山保驾护航三个方面对标准化引领水处理化学品行业高质量发展进行了分享。

随着钢铁、冶金、制冷等行业的水处理进步，在冷却水处理过程中，产生了对冷却水和水处理剂产品的质量进行分析和检测的巨大需求，1986年化工部水处理药剂产品标准化技术归口单位水处理剂分会应运而生。

2019年项目	
1	循环冷却水处理运行效果评价 监测换热器法
2	再生水水质 苯系物的测定 气相色谱法
3	再生水水质 氯、氨、亚硝酸盐、硝酸根、硫酸根的测定 离子色谱法
4	再生水水质 阴离子表面活性剂的测定 亚甲基分光光度法
5	再生水水质 总磷的测定 原子荧光光谱法
6	再生水生物毒性检测的样品前处理通用技术规范
7	废水处理系统微生物样品前处理通用技术规范
8	水处理剂 复合混凝剂
9	水处理剂镍、锰、铜、锌含量的测定 电感耦合等离子体发射光谱（ICP-OES）法
10	化工园区混合废水处理技术规范
11	水处理剂 乳液型阴离子和非离子聚丙烯酰胺
12	水处理剂 聚天冬氨酸（盐）
13	水处理剂 二氯异氰尿酸钠
14	亚氨基二琥珀酸四钠
15	水处理用硝化菌剂性能评价方法
16	废（污）水处理用生物膜载体

水处理剂分领域技术标准体系的框架主要内容包括水处理剂、循环水、锅炉水、相关的技术规范和水处理剂产品命名工作和标准化培训咨询服务的工作，逐步建立了符合中国国情的水处理化学品的标准体系，“十三五”期间完成了建设编制，新增了节水技术规范等标准，目前为止先后组织了173项国家标准。水处理剂标准化助推了行业技术创新，提高了饮用水处理中化学制剂生产应用的整体水平。以聚合氯化铝标准为例，新版标准原料上采用的是工业合成盐酸，氢氧化铝，可以达到环保要

求和饮用水的要求，解决了由于老版标准，导致废渣产生过多的环境问题，通过新标准实施倒逼企业进行工艺改造。

技术创新和标准化的关系，技术标准化使技术最大范围地扩散，然后在通过创新突破形成的标准平台，循环螺旋式上升。高质量发展离不开高标准的支撑，充分发挥市场作用，形成以创新助推标准制定，以标准实施促进质量提升的良性循环，更好的促进行业的健康发展和可持续发展。

3.3 国家节水行动计划要求与水资源管理标准化发展

标准化已经成为国家和地区综合实力和核心竞争力的重要体现，中国标准化的改革工作也是刻不容缓，国家的标准化改革于2015年开始启动，习主席指示：标准是助推创新发展、引领社会进步的，中国也应该实施标准化战略，以标准助力创新、协调、绿色、开放、共享和发展。

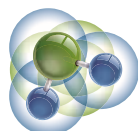


中国标准化研究院资环分院张晓昕博士指出：我国标准化改革推进至今已初见成效，成果包含四大方面的

提升：第一是功能定位更高，体现在标准化从原来的经济活动和社会发展技术支撑变成了国家治理体系和治理能力的基础。第二是作用领域更广，体现在标准化从原来的产品标准、工程标准、服务标准衍生到社会的各个层面，覆盖了工业、农业、服务业、社会事业。第三是形态模式更新，体现在标准化已经从纸质标准、传统标准像更加数字化、网络化、职能化方向发展。第四是供给体系更多元化，是指由原来的政府的单一的供给模式变成了一个市场与政府双重主导的二元的供给模式。

此外，张晓昕博士还讲述了国家节水行动方案的基本情况，以及中国标准化研究院在帮助、支撑国家实施该方案时所做出的贡献。

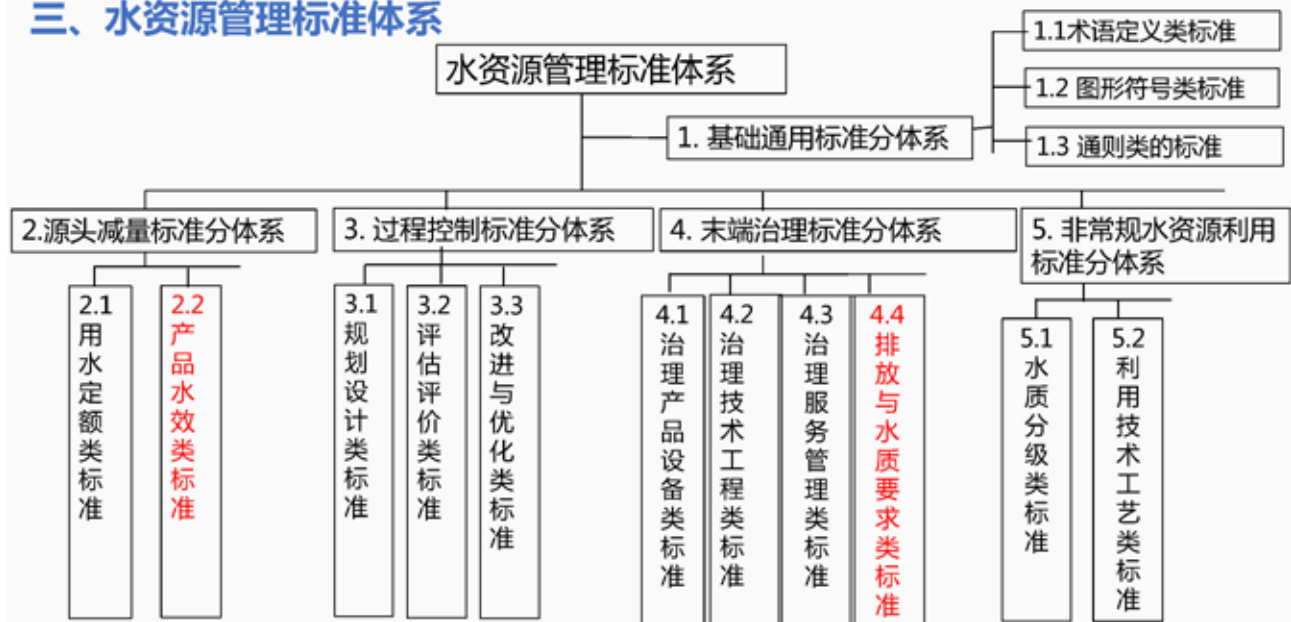
她认为，国家节水行动方案首先是总量强度双控，要强化刚性约束，严格用水过程中管理和强化节水考核。第二是农业节水增效，提出高效的节水灌溉，优化调整作物的种植结构。第三是工业节水减排，提出了大力推



标准化改革——供给体系更加多元



三、水资源管理标准体系

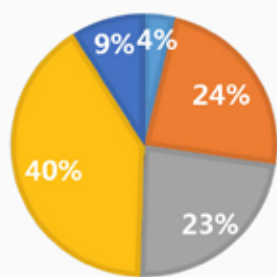
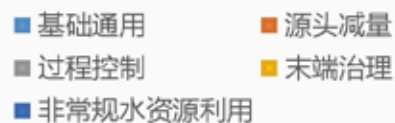


重点行动



水资源管理标准体系框架

水资源管理已发布国家标准情况



截至目前, 已发布的水资源管理国家标准212项, 其中基础通用标准子体系8项, 源头减量标准分体系50项, 过程控制标准分体系49项, 末端治理标准分体系86项, 非常规水资源利用标准分体系19项。

进工业节水改造，推动高耗水行业节水增效和积极推行水循环利用。第四是城镇节水降耗，构建城市良好的水循环系统，大幅降低供水管网的损漏。第五是重点地区的节水开源，对一些比较重点的地区提出了超采地下水的总量减少。最后是提出科技创新，引领加快关键技术研发，促进节水技术成果的转化。

在此基础上梳理、构建了全国水资源管理标准体系，包括基础通用标准分体系，源头减量标准分体系，过程控制标准分体系，末端治理标准分体系，非常规水资源利用标准分体系五大体系：

○ 源头减量分体系里，用水定额包括农业灌溉，工业取水和服务业，公共机构用水的标准，其中强制性标

准包括灌溉设备、工业设备、家用设备和商用设备水效方面的标准。

○ 过程控制标准分体系中，规划设计了一些节水设计和节水产品技术方面的标准，评估评价类的标准，包括节水剂量等方面的标准，改进和优化包括合同和供需优化的标准。

○ 末端治理标准分体系中，包括治理产品，材料、工程检测，环境影响评价，运行效果评价，第三方运营管理方面的标准，污染物排放要求和水质要求。

○ 非常规水资源利用分体系中，包括农业、工业、城镇用水的水质分级和利用绩效等方面的标准内容。

3.4 中国水环境与生态技术标准体系构建的难点与建议

人类工业发展史是伴随着技术的标准化发展史，最核心的即为标准。标准和技术与水环境和水生态的结合，是中国整个水环境和水生态文明建设最核心的内容之一。南京大学环境学院张徐祥教授在大会上汇报了水环境与水生态技术标准体系构建的重要性、难点和发展方向。

张徐祥认为：首先，在水环境和水生态标准的重要性上，整个水环境和水生态应该是我们国家生态文明建设最核心的内容之一，技术标准也是支撑着整个生态文明的建设，因为我们没有技术标准，就没有很好的环保产业，就没有办法去完成国家的生态文明建设，改善我们环境质量，支撑我们水生态保护的功能。这里最核心的问题就是技术或者工程缺乏标准的体系支撑，即包含整个工程技术的，包括技术的基础、产品，包括产品的检验检疫，包括水质的分析，包括工艺技术的标准，甚至包括水环境的管理，水生态的管理的标准。在该体系的支撑下，才能够有能力实现我国的污染物排放的目标，才能够支撑水环境质量标准的达标。因此，针对水环境、水生态的领域，1947年推出了第一个ISO标准，一直



一、水环境与水生态技术标准体系构建的背景

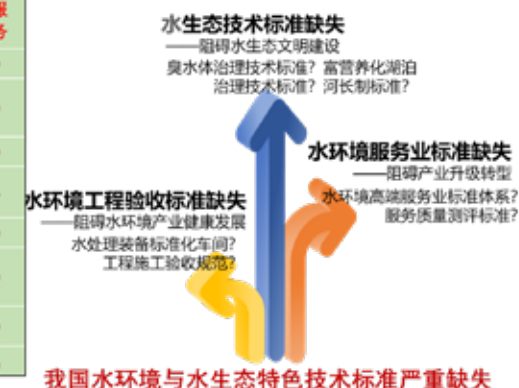
水环境与水生态技术标准是实现水环境质量标准目标的重要手段



二、水环境与水生态技术标准体系构建的难点

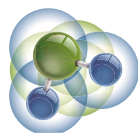
难点一：行业亟需的技术标准缺失，技术标准体系难以形成

	基 础 通用	检测	技术	装置	材料 药剂	施工	验收	运行 维护	管理 评价	服务
污水水	16	94	134	65	16	16	10	21	74	0
河流、 湖泊等	17	19	14	0	0	2	0	1	14	0
地下水	4	139	14	0	0	2		1	14	0
饮用水	1	33	27	4	1	1	2	3	11	5
海水	4	24	5	14	13	0	2	0	4	0
其他用 水	5	42	27	4	1	1	0	5	7	0
综合	62	389	0	155	1	0	0	0	52	0
水回用	0	0	10	0	0	0	0	0	1	0



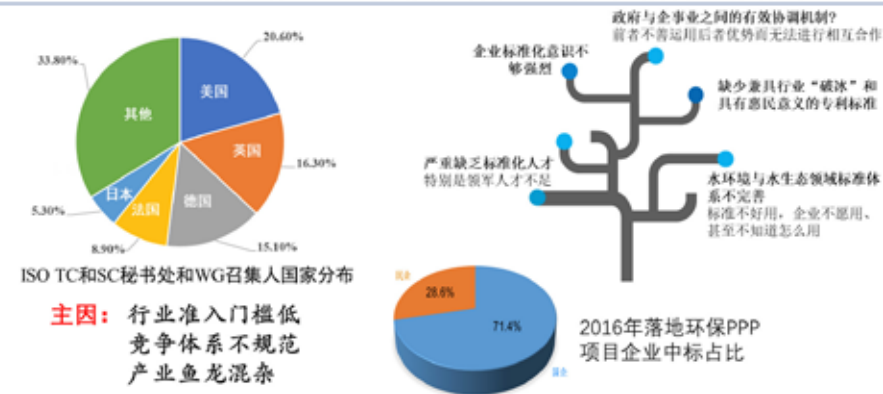
难点二：水质类型多，控制目标多，工艺、装备与药剂种类繁多





二、水环境与水生态技术标准体系构建的难点

难点三：我国行业企业标准化能力弱，标准有效供给不足



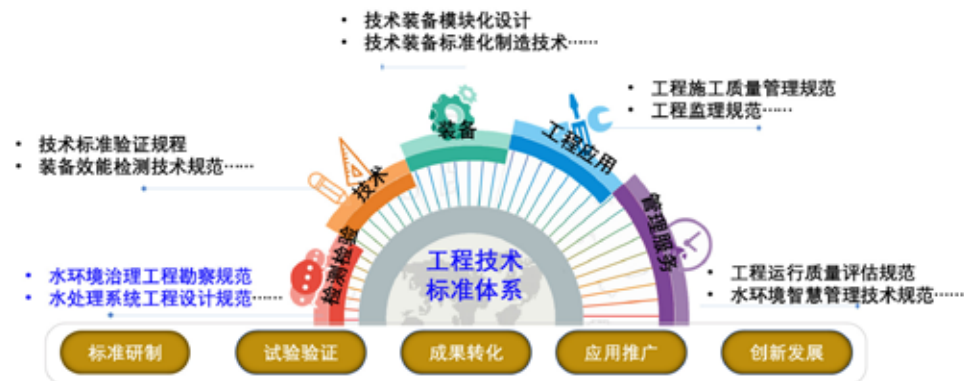
二、水环境与水生态技术标准体系构建的难点

难点四：政府主导标准制定，标准升级途径不畅通



三、水环境与水生态技术标准体系构建的建议

建立水环境与水生态全链条技术标准体系，支撑上下游产业融合发展



到去年的节水产品的 TC 出来，十多个技术专委会都在不停地往前推进，南京大学在 14 年左右参加了 TC282 水回用的专委会，并承担了工业水回用的技术分委会主席、秘书处和国内技术对口单位的相关工作。

其次，水环境和水生态标准体系建设过程中，难点主要集中在：首先中国标准化专业平台体系不健全，这就导致中国许多行业标准缺失，很难形成一个系统化的标准体系。其次，水环境中点源污染类型繁多，根据用户需求对水质要求也不尽相同，导致整个水处理的工艺、装备，药剂的种类十分繁杂，因此技术标准化存在一定难度。除此之外，针对面源污染治理，要控制污染源，要理清污染源负荷，要做景观优化，整个技术思路非常繁杂，再遇上中国的特色体制下水环境修复的高标准，加剧了标准化的难度。特别是我国环保产业还存在“小而散”的行业特征，并存在标准化人才缺失、产业链断裂的问题。

最后，针对水环境和水生态标准体系建设的建议，张徐祥认为首先政府和市场需引导环保企业参与标准研制，打通产业链，完成整个流程、标准、评估体系构建。同时需要建立一个包含创新科技成果、核心装备、服务业三方面的数据库，实现产业结构优化以及产品质量提升。在此基础上还需强化企业为主体的团体标准研制。并希望构建起上下游的结构，上下游包括标准的研制、实验验证、成果转化、应用推广、平台到标准的转化体系。

3.5 太湖地区污水排放标准解析及展望

太湖是国家第三大淡水湖泊，是中国三河三湖的重要关注对象。作为中国经济发达的地区，太湖流域具有人口密集、产业密集的环境特点，相应带来了巨大的环境污染负荷，流域单位排污量相当于全国平均水平的 30 多倍。



江苏省环境科学研究院政策标准所副所长陆继来介绍了太湖从 80 年代以来，污染物排放标准的演变历程，太湖水质标准制定的总体思路，并对太湖未来的污染物排放政策变化趋势进行了分析。

1988 年，中国制定了第一个比较全面的排放标准，96 年标准重新修订，形成了一个至今仍在执行的较全面的排放标准。但由于城市化的发展，人口的聚集与工业产业的发展导致了区域排污量迅速增加，标准的制定需要不断适应发展的实际情况。2008 年后，随着国家标准不断地严格，太湖流域的标准也经历了不断发展，不断加严，不断完善的过程。在此过程中，重大的环保行动和污染事件是标准制定最大的推动力。最早是 1998 年的零点行动，制定了太湖流域总氮总磷的排放标准。2004 年嘉兴截河事件，引发了纺织行业工业水污染排

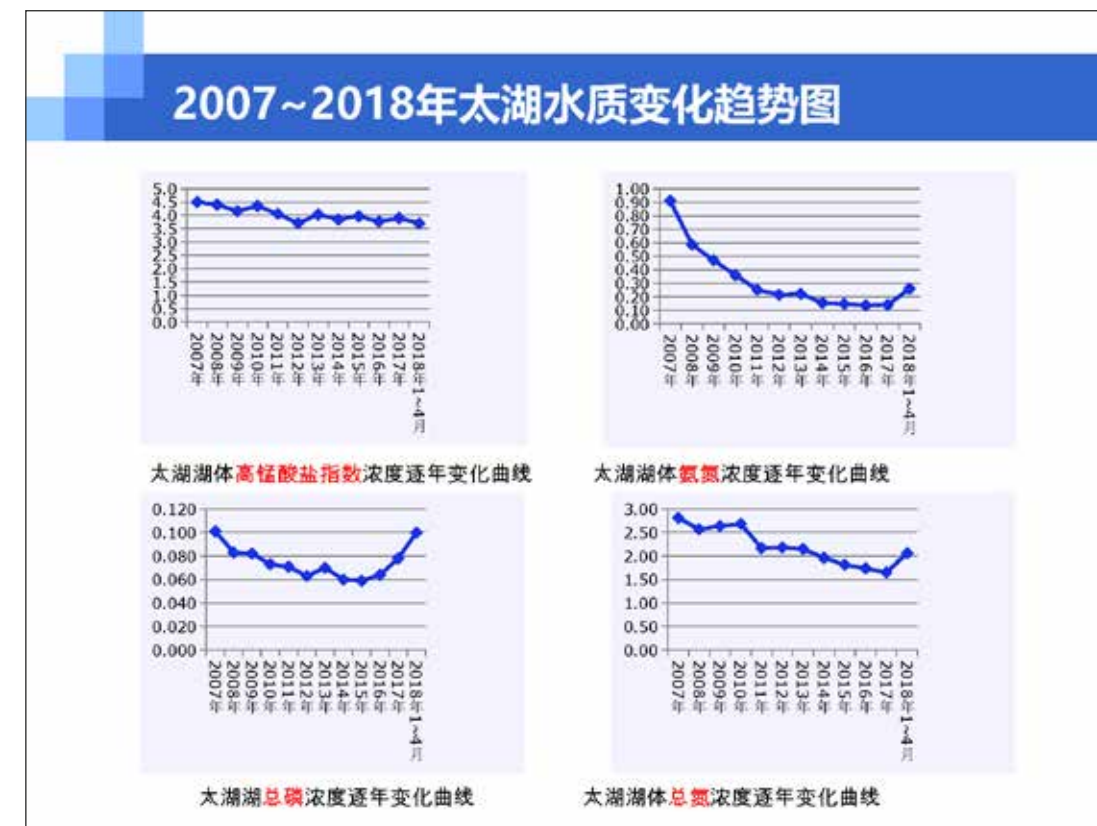
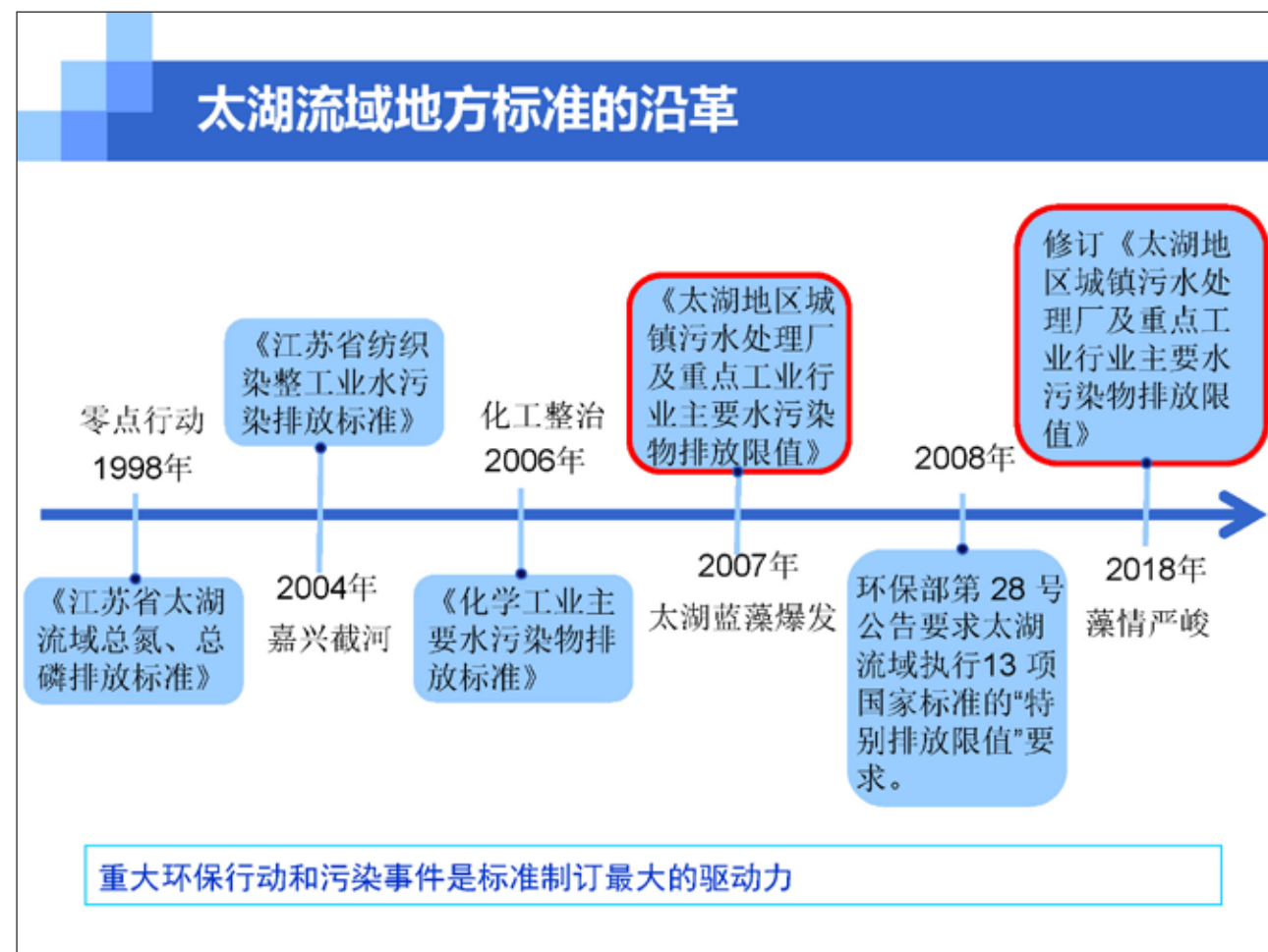
放标准的制定。2006 年化工整治，推动了化学工业主要水污染物排放标准出台。2007 年太湖蓝藻爆发，三个月内制定了太湖地区城区污水处理厂及重点工业行业主要水污染排放限制。2018 年又由于蓝藻再次爆发，对原来的太湖标准进行了进一步的修订和完善。

2018 年，基于国家标准兼容、技术可达、经济可行，三大原则修订颁布实施了新的《太湖标准》，其基本修订思路是：1) 精准治太，重点提高一二级保护区治理水平，重点瞄准 TN、TP 敏感指标。2) 推动重点行业产业布局 and 结构调整，实施不同的政策，可以推动一些企业从

一二级保护区疏散，直接排放和间接排放也有不一样的标准，引导企业减少 N、P 污染物，提高清洁生产水平。

3) 提高技术和运营管理水平，一些企业不需要采取工程的手段，只要加强管理就能达标。

太湖水质标准的制定是一个动态的过程，每五年进行一次回顾性评价、标准复审的环节。标准不求最严，要适度提升，让企业不断成长，引导产业布局与产业结构调整，推动相应技术进步。今后在氮磷方面还会进一步加严标准，行业覆盖面也会进一步扩大，另外会进一步优化检测和执法方法，以期达成太湖天蓝水清的治理目标。



2018新标准主要限值——重点工业行业									
重点工业行业									
行业类别	国家标准对应行业	COD(mg/L)		NH ₃ -N(mg/L)		TN(mg/L)		TP(mg/L)	
		本标准	太湖标准DB32/1072-2007	本标准	太湖标准DB32/1072-2007	本标准	太湖标准DB32/1072-2007	本标准	太湖标准DB32/1072-2007
纺织工业	纺织染整工业	60	60	5	5	12	15	0.5	0.5
	毛纺工业	60		5		15		0.5	
	缫丝工业	40		5		10		0.5	
	麻纺工业	60		5		10		0.5	
化学工业	石油化工工业	50	60	5	5	15	15	0.5	0.5
	合成氨工业	50	80	10	20	20	25	0.5	0.5
	合成树脂工业	50	80	5	5	15	15	0.5	0.5
	无机化学工业	40		5		10		0.5	
	磷肥工业	50		5 (10)		10		0.5	
	硝酸工业	50		8		20		0.5	
	硫酸工业	50		5		10		0.5	
	油墨工业	50		5		15		0.5	
	杂环类农药	80		5		15		0.5	
	其他化学原料及化学制品业	60		5		15		0.5	

2018新标准主要限值——重点工业行业									
重点工业行业									
行业类别	国家标准对应行业	COD(mg/L)		NH ₃ -N(mg/L)		TN(mg/L)		TP(mg/L)	
		本标准	太湖标准DB32/1072-2007	本标准	太湖标准DB32/1072-2007	本标准	太湖标准DB32/1072-2007	本标准	太湖标准DB32/1072-2007
造纸工业	制浆企业	80	100 ²	5	5 ²	10	15 ²	0.5	0.5 ²
	制浆与造纸联合生产企业	60		5		10		0.5	
	造纸企业	50	80 ³	5	5 ³	10	15 ²	0.5	0.5 ³
	钢铁工业	40	80	5	5	15	15	0.5	0.5
	电镀工业	50	80	5	5	15	15	0.5	0.5
食品工业	淀粉工业	60	80	5	5	15	15	0.5	0.5
	啤酒工业								
	柠檬酸工业								
	发酵酒精和白酒工业								

效益分析

环境效益分析

如果新标准全面严格执行到位，据初步估算，
太湖流域一、二级保护区地区污染物削减量如下图：

COD 预计削减量

TP 预计削减量

TN 预计削减量

NH₃-N 预计削减量

太湖地区其他区域可进一步削减 20%的 NH₃-N 和 TN。

3.6 ISO 国际水标准化现状及发展趋势



我国产业标准化规定，国家标准化组织正式表决批准并可以公开提供的标准是国际标准，国际标准管理办法定义 ISO，IEC，ITU 三大组织为我国认定的国际标准化组织，由他们发布或由他们确认发布的其他的标准化组织制定的标准为国际标准。国际标准是我国企业走出去，深度参与“一带一路”建设，打破国际贸易壁垒的重要依托。深圳市海川实业股份有限公司的朱霞总监介绍了 ISO 国际标准化组织的组织结构及工作内容以及



中国参与 ISO 水环境与水生态国际标准制定的历程与承担的工作。

ISO 是制定综合类国际标准的国际标准化组织，1947 年成立于日内瓦，目前已有 162 个成员国，一共设置了 247 个标准技术委员会，由技术委员会制定发布了 2 万多项国际标准，覆盖了各个行业。

ISO 成立于 1947 年，中国是创始国之一。1982 年中国当选理事会成员，之后当选常任理事国。中国在 ISO 的参与度从 2008 年开始迅速增高，2013 年中国成为 ISO 技术管理局的常任理事国，2018 年中国承担了 70 多个主席和副主席职位，87 个技术机构工作职位。由中国主导的标准制定也呈现快速增长趋势，2017 年由中国提交了 161 项标准提案。

2015 年联合国制定了可持续发展目标，其中 17 项与水行业直接相关。2018 年世界水资源开发报告里面提出的，随着技术的发展，工业生产用水大幅度的降低，随着人口和经济发展效率转变的因素，全球水资源还是以 1% 的速度增长，接近一半的人口居住在缺水的

地区，所以全球面临的水资源危机依然严峻。同时联合国也制定了水行动十年的行动计划。ISO 作为联合国综合咨询机构，将相关目标列入到对应技术委员会下面，并成立水专项小组，评估与水相关的技术标准以及与水相关的技术委员会的工作情况。到目前为止，ISO 发布了 1200 多项与水相关的标准，主要包括水回用技术委员会 TC82 与污水与雨水技术委员会 TC224。

ISO TC282 目前有 46 个成员国，下设四个分机构委员会。TC282 目前发布的国际标准共 15 项，主要是由中国和以色列共同主导。TC224 只设置了工作组，工作组制定的所有标准都是统一归法国秘书处处理，目前制定的标准原则是基于有效的水务治理原则。

中国参与国际标准的制定主要是为了满足遵守国际规则的需要，适应全球发展的需要，提高产业国际竞争力的需要和满足消费者价值观的需要。参加国际标准的制定对国家和行业发展有很多的益处，是我国企业提升国际话语权，实现走出去的重要保障。



关于ISO/TC282
About Us

ISO 城镇水回用技术委员会
TC 282/SC 2 Water Reuse in Urban Areas
2014年成立

秘书处：中国 SAC
秘书处承担单位：深圳市海川实业股份有限公司
国内技术对口单位：中国标准化研究院

主席

胡洪营
清华大学

秘书

朱霞
深圳市海川实业股份有限公司

ISO 工业水回用技术委员会
TC 282/SC 4 Industrial Water Reuse
2016年成立

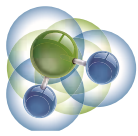
秘书处：中国 SAC
秘书处承担单位：南京大学
国内技术对口单位：南京大学宜兴环保研究院

主席

任洪强
南京大学

秘书

叶林
南京大学



ISO/TC282 已发布标准				14项
Number 序列号	Title 标题	Number 序列号	Title 标题	
ISO 26769-1:2018	Water reuse in urban areas -- Guidelines for centralized water reuse system -- Part 1: Design principle of a centralized water reuse system 城镇水回用 - 第一部分: 集中式水回用系统设计指南	ISO 26776:2018	Water reuse -- Vocabulary 水回用 - 词汇	
ISO 26769-2:2017	Water reuse in urban areas -- Guidelines for centralized water reuse system -- Part 2: Management of a centralized water reuse system 城镇水回用 - 第二部分: 集中式水回用系统管理指南	ISO 16075-1:2015	Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects -- Part 1: The basis of a reuse project for irrigation 废水处理为灌溉用水项目指南——第1部分: 水回用为灌溉用水基础	
ISO 26761:2018	Water reuse in urban areas -- Guidelines for water reuse safety evaluation -- Assessment parameters and methods 城镇水回用 - 水回用安全评估 - 评估参数和方法	ISO 16075-2:2015	Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects -- Part 2: Development of the project 废水处理为灌溉用水项目指南——第2部分: 项目开发	
ISO 16075-3:2015	Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects -- Part 3: Components of a reuse project for irrigation 废水处理为灌溉用水项目指南——第3部分: 回用为灌溉用水项目组成部分	ISO 26426:2018	Guidelines for health risk assessment and management for non-potable water reuse 非饮用水回用的健康风险评估和管理指南	
ISO 16075-4:2018	Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects -- Part 4: Monitoring 废水处理为灌溉用水项目指南——第4部分: 监测	ISO 26468-1:2018	Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems -- Part 1: General 水回用系统处理技术性能评价指南——第1部分: 总则	
ISO 26419:2018	Treated wastewater reuse for irrigation -- Guidelines for the adaptation of irrigation systems and practices to treated wastewater 废水处理回用为灌溉——废水处理回用于灌溉系统和实践指南	ISO 26468:2018	Guidelines for water quality grade classification for water reuse 水回用水质等级划分指南	
ISO 22519:2018	Purified water and water for injection pretreatment and production systems 纯净水和注射用水预处理和生产系统	ISO 21939-1:2019	A method to calculate and express energy consumption of industrial wastewater treatment for the purpose of water reuse -- Part 1: Biological processes 一种计算和表达工业废水处理能耗的方法, 用于水回用 - 第1部分: 生物过程	

ISO/TC282 已发布标准	
Number 序列号	Title 标题
ISO/AM1 26468-5	Part 5: Membrane filtration 水回用系统处理技术性能评价 - 膜过滤
ISO/AM1 26468-6	Part 6: Ion exchange technology 水回用系统处理技术性能评价 - 离子交换技术
ISO/AM1 26468-7	Part 7: Advanced oxidation Processes 水回用系统处理技术性能评价 - 高级氧化工艺
ISO/AM1 26468-8	Guidelines for performance evaluation of treatment technologies for water reuse systems -- Part 8: Evaluation of wastewater reclamation technologies based on life cycle cost 水回用系统处理技术性能评价 - 基于生命周期成本的污水回用技术评估
ISO/DIS 22447	Industrial wastewater classification 工业废水分类
ISO/DIS 22448-1	Use of reclaimed water in industrial cooling systems -- Part 1: Technical guidelines 废水回用于工业冷却水 - 技术指南
ISO/DIS 22448-2	Use of reclaimed water in industrial cooling systems -- Part 2: Guidelines for cost analysis 废水回用于工业冷却水 - 成本分析指南
ISO/DIS 22524	Pilot plan for industrial wastewater treatment facilities in the objective of reuse 以再利用为目的工业废水处理设施中试计划
ISO/CD 23043	Evaluation of industrial wastewater treatment technologies for reuse 工业废水处理回用技术的评估方法
ISO/CD 23044	Guidelines for softening and desalination of industrial wastewater for reuse 工业废水回用软化和脱盐技术指南

为何要参与国际标准制定

Why actively participate in international standardization

- 遵守国际规则的需要**
1995年, WTO通过签署《技术性贸易壁垒协议》(WTO/TBT协议)和《实施卫生与植物卫生措施协议》(WTO/SPS协议)的方式, 把国际标准化组织提升为国际贸易游戏规则的地位。WTO的成员国制定本国技术法规、标准和合格评定程序时以已有的国际标为基准。
- 适应经济全球化发展的需要**
经济全球化进程的不断加快, 迫切要求标准协调, 贸易需要国际外交的手段。政府最高层的力量, 标准化不独是国家战略的载体, 就难以集中优势应对和解决战略性难题。(WAP)
- 提高产业国际竞争力的需要**
经济全球化极大地促进了全球范围内的产业结构调整, 基于提高产业国际竞争力, 抢占产业战略制高点的需要, 各国将具有战略意义的技术标准转化为国际标准的紧迫性日益增大。一些国家制定的产业技术发展策略对标准提出了战略需求。
- 满足消费者价值观的需要**
消费安全是国际大趋势, 适应消费者价值观的需要。当前的商业理念已由重商主义转变为重商主义, 消费者迫切要求用标准为其提供公平、透明的有关商品的商标信息。

在标准全球一体化的今天
国力之争是市场之争
市场之争是资本之争
企业之争是技术之争
技术之争最终归结为标准之争
技术标准的管理符合者专利和市场

3.7 物联网标准体系建设与环保物联网标准制定

大会中, 无锡物联网产业研究院副院长陈书义详细讲解了物联网的定义。物联网由三部分组成, 第一部分是信息的获取; 第二部分是信息的传输, 第三部分是信息的处理和服务。所以, 物联网不是互联网。

物联网的核心: 第一, 物联网是一个技术的融合体系, 不是一个单独的技术; 第二, 物联网是信息技术的创新。

而针对环保行业, 环保物联网就是利用信息技术建设并用于环境质量、污染源、生态保护、环境风险等环境数据获取与应用的物联网。环保物联网的普及和推广将推动未来的环保监测通过泛在的微型终端, 从现有的被动监测走向主动监控, 从原来的被动治理走向主动的预防。

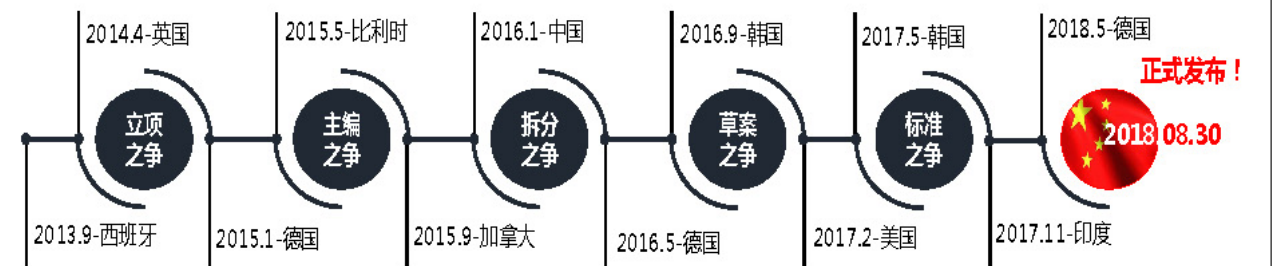


陈书义重点介绍了山东省、成都市和无锡市的三项环保物联网的示范工程, 通过所有的环境要素, 包括水与大气的监测系统的数据化, 建立数据辞典, 实现数据

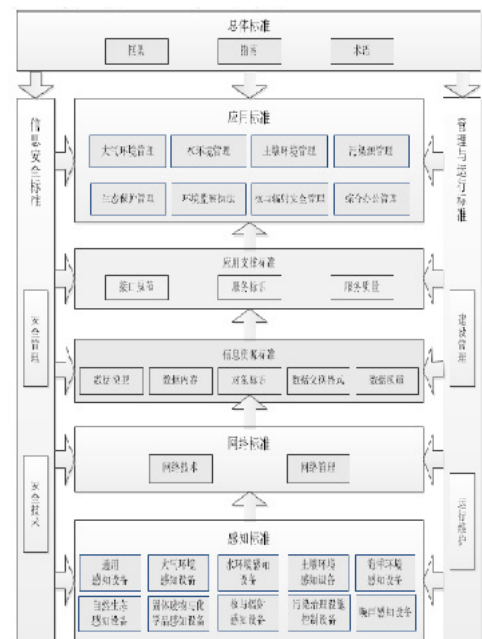
主导国际标准组织物联网架构标准

- 5年, 5轮, 10+次标准争夺战, 为国家荣誉而战!
- 互联网架构是美国的, 物联网架构是咱们中国的!!

ISO/IEC 30141



环保物联网标准体系



1. HJ 928/环保物联网 总体框架
2. HJ 929/环保物联网 术语
3. HJ 930/环保物联网 标准工作指南
4. 环保物联网 感知设备技术规范
5. 环保物联网 感知设备位置编码规范
6. 环保物联网 接入设备技术规范
7. 环保物联网 危险废物（含医疗废物）监控系统采集、传输与处理技术导则
8. 环保物联网 危险化学品监控系统采集、传输与处理技术导则
9. 环保物联网 放射源监控系统采集、传输与处理技术导则

WSN 无锡物联网产业研究院
Wuxi Sensingnet Industrial Research Institute

资源化，最后基于大数据深度挖掘技术实现数据资源的智慧化应用。

以上海市建有的亚洲最大水厂为例，一个每天处理水超过 700 万吨，供给上海 80% 人的给水厂，经过物联网改造之后，他们一年节水 48 万吨，节电 2100 万千瓦瓦，减员 50%，一年节约的成本约一千多万元。水厂 40% 的成本都是电的成本，物联网不仅跟企业的效益不矛盾，而且还可以帮助企业节能减排，提高效率。

物联网可以做到全面感知自然，所以物联网可以推动生态文明的实现。一方面物联网可以让企业滴水不漏，另外一方面物联网也可以让人类回归自然。而标准是物联网在环保行业普及的基石，因此全面推动环保物联网建设，利用物联网做好生态环境的保护，可以让我国早日实现天更蓝、山更绿、水更清、人民群众生活更幸福的治理目标。

3.8 燃煤电厂水资源回收及零排放技术与标准

燃煤对中国有战略性的意义，因为中国的煤炭储备资源量全球最大，也是在全球 78 个主要国家中使用煤炭作为资源发电占比最高的国家。由于燃煤发电耗水量巨大，因此燃煤发电用水的可持续利用对城市水环境和生态健康有重要意义。大唐环境产业集团股份有限公司的刘宁高工指出：我国有必要在燃煤发电领域的水资源回收利用的技术和标准化方面做出进一步的努力。



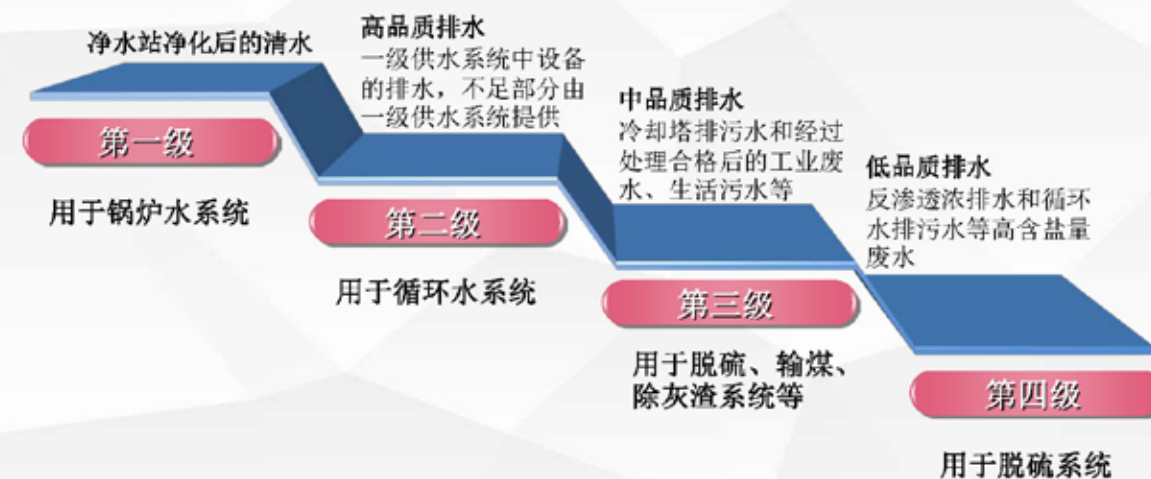
刘宁指出，根据 2013 年绿色发展协会统计的报告，全球燃煤电厂消耗的水资源为 190 亿立方米，相当于 10 亿人的生活用水消耗，其中仅中国一国，就消耗了 74 亿立方米。中国于 2004 年开始颁布了相关的制约水价的政策。中国在燃煤电站有相关的排放标准，此外，还有电力行业的标准以及 GB 3838-2002 地表水的排放标准，这些标准的总体趋势是从国家标准到地方标准到行业标准都在逐步地收紧控污。

能源行业做的节的工作，首先看用水点，主要是围绕电站和锅炉，锅炉前面是给水的部分，锅炉后面是环保产业的用水部分。相对应的给水的每个系统会有本身系统的排水，在环保标准逐步加紧以后，环保系统的排水愈来愈多。电力行业遵循水资源的一水多用，分类处理，每个电厂像一个小的工业园区，有自己的循环系统，包括微循环，整体上是梯级利用。

水资源回收与零排放技术

大唐环境产业集团股份有限公司
Datang Environment Industry Group Co., Ltd. 股票代码：01272

水资源梯级利用思路



最后整个电厂最末端的脱硫废水，具有高盐和高硬度的特点，通过标准化的通用技术，经过前端的预处理、中间的浓缩减量，最后的结晶固化实现整个电站最后一股水的零排放，整个电站不需要排水，给水达到 100% 的回收利用。

中国从 2013 年开始起步，至今 5、6 年的时间，已经形成了小型产业化的规模。国际上美国和意大利、日本的电站也正在推进这部分的工作。作为第一个提出废水零排放的行业，在燃煤电站水资源回收和零排放标准方面，我国燃煤发电行业在国家政策的引领下，从国家“十二五”开始不断地规划收紧相关的要求，紧跟产业的政策要求和环保步伐，把电力行业的水回用技术做到可以引领全球的高水平。该行业的先进经验，可以成为我们进一步配套发展水回用相关标准，实现全社会产业转型升级，并最终达成我国城市水环境和水生态标准体系建设完善的样板。



水资源回收与零排放标准

大唐环境产业集团股份有限公司
Datang Environment Industry Group Co., Ltd. 股票代码：01272

国内技术及设计规范

标准号	标准名称	相关内容
DL/T 5046-2018	发电厂废水治理设计规范	脱硫废水宜处理回用。当有零排放要求时，应对脱硫废水进行深度处理。
HJ 2301-2017	火电厂污染防治可行技术指南	各类废水“一水多用，梯级利用”；实现脱硫废水零排放。
DL/T 5483-2013	火力发电厂再生水深度处理设计规范	对火电厂再生水深度处理工艺进行规范。
GB/T 18916.1-2012	取水定额 第1部分：火力发电	对火力发电取水用量进行限定。

水资源回收与零排放标准

大唐环境产业集团股份有限公司
Datang Environment Industry Group Co., Ltd. 股票代码：01272

国外电厂废水排放标准

国家	标准名称
美国	Effluent limitations guidelines and standards for the steam electric power generating point source category (EPA-HQ-OW-2009-0819)
欧盟	Reference document on best available techniques for large combustion plants

水资源回收与零排放标准

大唐环境产业集团股份有限公司
Datang Environment Industry Group Co., Ltd. 股票代码：01272

国外工业废水回收标准（部分）

国家	标准名称
美国	Planning For The Distribution Of Reclaimed Water, Third Edition (AWWA M24-2009)
加拿大	Performance of non-potable water reuse systems (CSA B128.3-12)
英国	Code of practice for the selection of water reuse systems (BS 8595:2013)
法国	Guidelines for health risk assessment and management for non-potable water reuse (NF ISO 20426)
德国	Non-potable water reuse - development, technologies and international framework for agricultural, urban and industrial uses (Technical rule)

废水回收与零排放标准

大唐环境产业集团股份有限公司
Datang Environment Industry Group Co., Ltd. 股票代码：01272

国际标准

标准号	标准名称	相关内容
ISO 50045:2019(en)	Technical guidelines for the evaluation of energy efficiency of thermal power plants	Operation indexes relevant to boilers, turbines, water
ISO/TR 14073:2017(en)	Guidelines for the assessment of the water footprint of power plants	Water footprint of power plants
ISO 18888-2	Guidelines for the assessment of the water footprint of power plants	Water footprint of power plants
ANSI/ISA 77.42.01-1999 (R2011)	Feedwater Control System - Drum Type	Minimum design requirements for a feedwater control system

缺少燃煤电厂水资源回用及零排放的国际标准

4 未来城市水环境基础设施建设

4.1 污水厂污泥处理处置技术研究现状与发展趋势

污泥是污水处理的副产物，富集了原水中的污染物，具有“污染”和“资源”的双重属性。中国污水处理设施规模是全球第一，但相比污水处理，污泥处理处置的投入严重滞后，且泥量大、泥质差，致使目前中国污泥问题十分严峻。



同济大学环境科学与工程学院院长戴晓虎教授认为：面对气候变化及资源短缺等问题，“资源循环、绿色、低碳、健康”是未来科技研究的重点，从“消灭”污泥到“利用”污泥观念的转变是核心。

“浓缩 + 稳定 + 脱水 + 处理 + 处置”是目前的总体技术路线。在污泥的安全处置及最大资源化利用要求的基础上，处置技术大体上分为土地利用、建材利用和填埋三类。其中填埋技术不适用于中国现状，而处理技术能力不足及重金属等污染物质的浓度超标又在一定程度上限制了

污泥的土地、建材利用。

戴晓虎教授指出，低有机质含量及高含沙量的污泥泥质特征是导致我国污泥处理困难的主要原因。目前主流的处理技术包括厌氧消化，堆肥及水热处理等。城市污水高效处理与再生利用、城市污泥 C、N、P 高效资源化利用是未来厌氧消化技术的重要定位；相应的基础研究重点包括：提高甲烷含量 / 产率、强化厌氧微生物种间的电子转移调控以及强化预处理提高有机物降解率。高温发酵堆肥中，有机物降解与腐殖化过程的具体规律，微生物的角色定位等都是目前的研究重点。污泥水热处理过程中温度的影响机制及组分反应、产物特性的调控机制等基础研究，以及热解气化过程中污泥重金属和污染物质的定向控制及阻断机制等都是研究重点。此外，基于国家特色，高效脱离污泥结合水是国内较为关注的一个研究内容，其中污泥性状的变化机理、胶体稳定性的影响机制及结合水的转化机制等都是未来研究的重点内容。

未来污泥处理处置技术应实现绿色、低碳、循环及健康的模式，污泥中能源物质及营养物质的高效回收利用应是未来科技创新的重点。戴晓虎教授认为，将污水、污泥、有机质进行协同处理的模式是一种实现污泥处理处置经济、环境、社会三者有机统一的有效途径。

我国污泥产量大、污泥处理处置形势严峻

污泥是污水生物处理的副产物，富集了原污水的污染物质和营养物质。



- 1、污泥是污水处理中的“世界难题”
- 2、污泥投资占30%、运行占50%以上
- 3、污泥中富集了原水30-50%有机物 30-50%TN、95%TP
- 4、污水提标改造，黑臭水体治理等快速推进、但污泥问题没有解决
- 7、污泥未得到有效处理，污染转移，污水处理目标未完成，污水减排目标大打折扣
- 8、污泥处理处置理念和现状与我国污水处理差距甚大，远远落后发达国家

污泥处理处置主流技术路线

主流技术路线

厌氧消化生物处理

好氧发酵+土地利用

干化焚烧+灰渣填埋或建材利用

深度脱水+应急填埋

突破的技术瓶颈

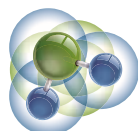
- 低有机质污泥强化厌氧消化关键技术
- 污泥高级厌氧消化技术与装备
- 高温好氧发酵技术智能化控制
- 辅料调控与臭气二次污染控制技术
- 圆盘、浆叶干化、带式干化等系列装备
- 电厂与水泥窑协同焚烧技术与装备
- 深度脱水调理集成化技术
- 深度脱水、脱水干化一体化装备

技术发展水平

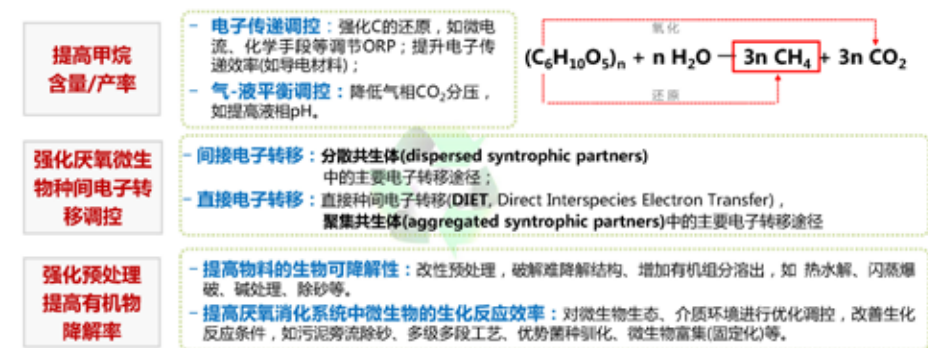
开发了高含固、协同、基于水热预处理的先进厌氧消化技术和装备；**规模化示范。**
开发智能化控制；高温好氧发酵技术，滚筒一体化好氧发酵设备；**规模化示范。**
干化焚烧装备；大型流化床焚烧技术集成，电厂水泥窑协同焚烧技术；**规模化示范。**
深度脱水技术及装备；**脱水机产业化应用并抢占国际市场。**

污泥处理技术瓶颈

		技术瓶颈
减量化处理	污泥浓缩	药耗(PA)如何降低？
	污泥脱水	含水率进一步降低？绿色药剂开发？
	污泥深度脱水	掺混及投加药剂(无机盐)，泥量未减，对后续处理影响大！替代药剂？
稳定化处理	厌氧消化	有机质转化效率较低；微生物定向调控机制？沼渣(原污泥量的20-50%)的最终出路？沼液单独处理达标排放成本较高？
	好氧堆肥	产品的品质保障？含水率高，辅料添加！
热处理	热干化	能耗高
	焚烧	投资运营成本高，尾气处理要求高，邻避效应，公众接受度低，环评要求高
	协同焚烧	添加量对炉体影响、对水泥的影响，飞灰处理，烟气的总量控制。
	热解汽化	属于新型工艺，装备还不成熟，产物的出路(油、碳)有待进一步研究。
	水热处理	属于新型工艺，装备还不成熟，高压反应运行要求高，亚临界的液体达标处理？



高级厌氧消化的基础研究重点



方案一

污水、污泥、有机质协同处理、资源回收利用模式



方案二：污泥重金属超标、土地利用受限

污泥厌氧消化生物+污泥干化焚烧/污泥热解气化

	脱水干化焚烧	厌氧消化+干化焚烧
生物泥量	1000 吨 (80%含水率)	1000 吨 (80%含水率)
厌氧消化后		300 吨 (70%含水率)
沼气回收		+ 40000 m ³ /d=2.6万kWh/d
干化能耗	- 800kWh/吨*1000吨=80万kWh	- 800kWh/吨*300吨=24万kWh
厌氧消化投资成本		50万元/吨*1000吨=5亿元
干化焚烧投资成本	100万元/吨*1000吨=10亿元	100万元/吨*300吨=3亿元
总投资	10亿元	8亿元

- 污泥厌氧消化生物处理：减量、降低含水率、稳定化
- 污泥干化焚烧处理：末端处理

4.2 基于海绵城市建设理念的排水系统设计



上海市政工程设计研究总院信息管理部李春光副主任在大会中提到，海绵城市理念下的排水系统设计需要达到四大目标——小雨不积水、大雨不内涝、河道不黑臭及热岛有缓解，围绕上述目标需要建设高标准、高质量的排水系统。《室外排水设计标准》从系统角度对雨水与内涝防治系统、污水与径流污染控制系统的系统性提出了新的具体要求。

雨水系统作为一项系统工程，涵盖了从雨水径流产生到末端排放的全过程控制。其中源头减排设施主要控制雨水径流产生，减少对水体的污染。《标准》提出应根据年径流总量控制率并明确相应的设计降雨量进而相应设计；排水管渠设施应考虑公众日常生活的便利，也要满足较为频繁降雨事件的排水安全要求。《标准》提

出应根据雨水管渠设计重现期并明确相应的设计降雨强度进行相应设计；排涝除险设施承担暴雨期间调蓄雨水径流、为超出源头减排设施和排水管渠设施承载能力的雨水径流提供行泄通道和最终出路等任务。相应的，《标准》也指出应根据内涝防治设计重现期及对应确定的最大允许退水时间进行设计。

对于污水系统，由于目前对排水系统中管网的建设及维护不够重视，以及系统的混接现象，这造成了城镇污水厂收集处理水量不断上升，污水 COD 却逐年下降的问题。针对该问题需要建设完全的污水收集系统，一方面需要通过标准引领、问题重视的方式减少系统间、系统内的混接情况，另一方面也要通过加强精确检测技术的研发解决管网的监测、维护等问题。

此外，《标准》也在原有基础上新提出了雨季设计流量的概念。对于合流制系统，雨季设计流量等于截流后的合流污水量；对于分流制系统，雨季设计流量则是在旱季设计流量的基础上，根据调查资料增加截流的雨水量。同时，污水厂中污水处理构筑物及污泥处理处置设施也应按照雨季设计流量进行计算或校核。

最后，李春光副主任提出，未来排水系统的设计应以系统思维对全系统进行管控，建设完善、完全的收集系统并达到全收集、全处理，最终实现水生态、水环境、水安全。

一. 排水系统设计目标

标准引领基于海绵城市建设理念的排水系统设计！

《室外排水设计标准》GB50014-2006

56年标龄，是排水工程的母规范

2014年、2016年局部修订：新增内涝防治系列内容，继续提高雨水管渠设计重现期和合流制系统截流倍数标准等

2019年全面修订：增强室外排水工程、雨水与内涝防治、污水与径流污染控制系统性，体现生态文明和技术进步。

2011年局部修订：调整排水体制、补充低影响开发(LID)、提高排水系统重现期标准、增加雨水调蓄和水量计算等。

二. 建设高标准的雨水与内涝防治系统

雨水与内涝防治是一项系统工程，涵盖从雨水径流的产生到末端排放的全过程控制，应包括源头减排、排水管渠、排涝除险等工程性措施和应急管理的非工程性措施，并应与防洪设施相衔接。



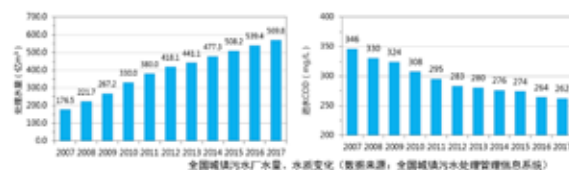
源头减排

排水管渠

排涝除险

三. 建设高质量的污水与径流污染控制系统

1. 应建设完全的污水收集系统



城镇排水系统建设和维护不够重视、排水系统的混接, 是造成污水系统效率低、水环境难以改善的主要因素。

四. 结语

- 增强系统性、整体性、协同性, 遵循全过程管理和控制。
- 建设完善的合流制排水系统, 建设完全的分流制排水系统。
- 实现对城镇所有用水过程产生的污染水和受污染径流的全收集、全处理。
- 实现保护水生态、改善水环境、保障水安全、提高水资源承载力的目标, 服务于新时代城镇发展的需要。

4.3 下沉式再生水系统的模式创新与发展

随着城市的发展, 污水处理厂已逐渐被城市包围, 而传统污水处理厂存在以下问题: 臭气、噪声严重影响周边环境和群众生活; 城区污水厂占用土地资源, 影响城市市容和周边产业开发; 出水水质标准低, 无法资源化利用, 处理规模不足, 亟需提标扩容。

城市土地作为一种自然资源显得愈发珍贵, 中国水环境集团副总经理庞洪涛认为, 下沉式再生水系统是一种环境友好型、土地集约型、资源利用型的新模式, 地上污水处理厂转变为下沉式再生水系统将是未来污水处理厂发展的新趋势。

中国水环境集团率先积极探索下沉式污水处理厂建设模式, 牵头承担国家“十三五”水专项“地下污水厂建设模式创新与生态综合体示范”课题, 开展节地型高效生物膜技术与传统的改良 AAO+二沉池方案, 自主研发的 HBR 技术顺利通过中国环境保护产业协会的技术成果鉴定并入选 2018 重点环境保护实用技术名录, HBR 方案节地 70%。此外, 还开发了一系列新技术, 包括 HERO 高效生物除臭技术, HBR 固定相流化态混



合式生物反应器, TREND 污泥低湿干化技术等。

中国水环境集团已完成了一系列下沉式污水处理厂实际工程, 并取得了良好的社会效益。在大理洱海水环境综合治理项目中新建 6 座高品质下沉式再生水厂, 节约地面空间约 160 亩, 对周边环境影响范围减少约 1400 亩; 年减少洱海抽取灌溉用水 2000 万立方米, 实现资源化利用。2017 年 9 月建成投运的天府新区第一污水处理厂, 出水主要指标达到地表Ⅳ类标准。该污水处理厂的亮点是土地综合利用, 地面设施有水环境科学馆、城市生态公园、市民休闲运动场所、儿童娱乐设施等, 地下设施有综合管廊, 还有地下停车场, 为天府华西医

院等重大产业提供 496 个社会公共停车位。

实现土地价值最大化, 进一步提升下沉式污水处理厂综

下沉式再生水系统是创新的系统技术体系, 我国目前还存在行业标准匮乏和技术创新等问题, 未来重点是

合价值, 加强行业发展和生态文明建设。

集团简介

中国水环境集团已实施国家级 PPP 示范项目 15 项, 投资、设计、建设、运营的下沉式再生水厂总规模超 260 万吨/日, 项目遍布北京、上海、贵州、四川、云南等多个城市:

- 京津冀一体化流域治理
- 上海市嘉定南翔下沉式再生水厂
- 贵阳市南明河水环境综合整治 PPP 项目
- 大理洱海环湖水环境治理 PPP 项目
- 广安区域水环境综合治理项目

真正实现城市“负资产”向下沉式再生水厂“正资产”的转变
Change from urban “negative assets” to “positive assets”

www.cwewater.com

下沉式再生水系统发展历程

国内发展

- 近年来, 下沉式再生水厂的应用规模快速增长, 其建设模式逐渐被用户接纳
- 目前, 全国已建下沉式再生水厂 70 余座, 总规模超过 700 万吨/日

“十二五”期间地上/下式污水处理厂的增量对比

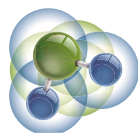
指标	地上厂	地下厂
总数量 (座)	1370	29 (2%)
总处理规模 (万吨/天)	4600	319 (6%)
总投资 (亿元)	920	128 (12%)

国内下沉厂工艺统计

2018 年工艺统计

工艺	占比
AAO 及其变型工艺	21.40%
MBR	65.70%
其他	12.90%

www.cwewater.com



国投 SDIC 中国水环境集团 China Water Environment

贵阳南明河水环境综合治理项目

案例背景:

- 主河道及5条支流共120公里,服务人口350万人,服务面积6600km²
- 改扩建水厂5座,新建17座,清淤、生态修复、智慧管理
- 历时仅四年,投资仅68亿元
- 节约管网投资约11亿元,节约土地1053亩
- 年生态补水1.6亿方,年节省调水费用1.58亿元

治理经验:

- 政府职能转变,全民参与
- 机制创新、科技创新、管理创新
- 城市母亲河黑臭河道治理典型案例

www.cwewater.com

国投 SDIC 中国水环境集团 China Water Environment

大理洱海水环境综合治理项目

- 6座高品质下沉式再生水厂; 231公里环湖截污干管(渠); 12座提升泵站、海绵农田、生态塘库
- 服务范围66.41km²,服务人口65.28万人(2050年)
- 节约地面空间约160亩,对周边环境的影响范围减少约1400亩
- 节约投资6亿元,缩短建设工期6个月
- 年减少洱海抽取灌溉用水2000万立方米,实现资源化利用

www.cwewater.com

国投 SDIC 中国水环境集团 China Water Environment

下沉式再生水系统技术与模式创新

城市水生态综合体

- 地下、地面及厂区周边有机结合;
- 生态景观、科普教育、科技研发等多功能有机融合

流域水环境综合治理

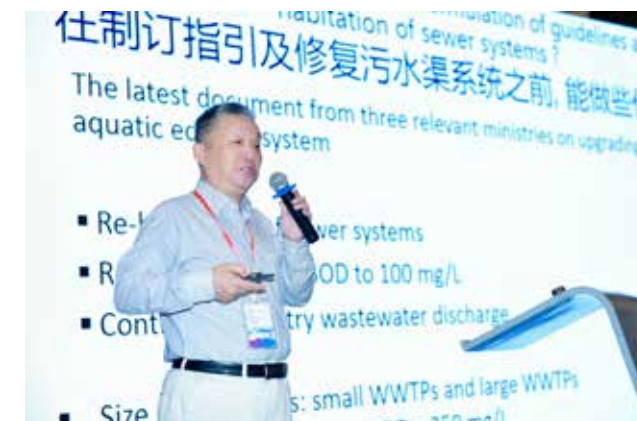
- “适度集中,就近处理,就地回用”的规划理念;
- 解决调水问题;
- 能量回收,减少减排

区域产业协同开发

- 结合区域产业旅游的统一规划,实现地上土地价值最大化;
- 多产业的开发与配套建设

提升下沉式污水处理厂综合价值,支撑行业发展和生态文明建设

4.4 国内污水三大特征及带来的挑战和对策



中持新概念环境发展宜兴有限公司的总工艺师曹业始先生在大会中讲到,中国城市污水处理量已经达到世界最大,城市污水 94.5% 都得到了处理,营养化处理的法律要求已经在全国颁布,并且付诸执行。但另一方面,市政污水厂目前存在不可持续发展的问题,主要体现在能源回收率低、营养物去除成本高和污泥产量高。污水水质的特殊性给中国城市污水处理带来了不少问题和挑战。

曹业始认为,中国污水处理存在以下三大特性: 1、高浓度无机悬浮固体,由于管网系统下水道泄漏和广泛的

城市建设,污水中含高浓度的直径小于 200 μ 的细无机颗粒; 2、进水 COD 低; 3、低碳氮比。2017 年中国平均污泥产率系数为 0.75kg/kg · CODrem, 比正常值 0.48kg/kg · COD 高出 77%, 这主要是由于高 ISS 和厌氧消化破坏 VSS, 从而导致污泥产量成倍增加。而污泥中有高含量无机颗粒,产气量也显著减少,不仅导致经济效益差,还会在系统中累计 ISS,使得反应器体积增大,污泥含有的热量低,机械设备被腐蚀,造成中国大多数污水处理厂不愿意使用污泥厌氧消化技术的现状。

为了给脱氮除磷环节提供更多 COD,目前的污水厂都取消了初沉池,而活性污泥、二沉池、厌氧消化器的体积和固体处理能耗增加高达 50%,但由于固体的 COD 利用是取决于水解的速度,因此取消初沉池不一定能提供更多 COD。低 COD 和碳氮比的另一个影响是高成本的营养物去除,如添加外碳源和使用大量化学品除磷。

针对中国上述污水特征,曹业始提出三点解决方案: 一是提高沉砂池效率,首先让现有的沉砂池运作起

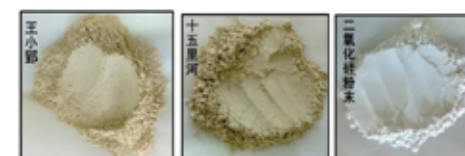
Three unique sewage characteristics I: High Inorganic suspended solids (ISS) conc.

三项独特污水特性 i: 高浓度无机悬浮固体

	XBOD5/TSS	XCOD/TSS	VSS/TSS
Reported typical values 典型值	0.8-1.0	1.2-2.0	0.7 - 0.8
Chinese literature 中国文献值	0.3-0.5	< 1	0.4 - 0.6

Henze et al., 2002; 戴晓虎, 2017; 吉芳英, 2017; 郑兴旭, 2017; 李激, 2019; 吴锦强, 2017; 杨立明, 2017; Cao et al. 2019

- High concentration of fine particulate (dia. < 200μ) in sewage due to sewer leakage and urban construction in China
- 由于中国的下水道泄漏和广泛的城市建设,污水中含高浓度的直径 < 200μ 细无机颗粒



戴晓虎, 2017; 吉芳英, 2017

来，提高现有除砂装置效率，比如改变提砂的泵。同时
由于中国的细沙含量比较高，可以试用或者自主研发去
除细沙的装置。

二是最大限度利用污水内部碳源，首先优化易生物
降解 COD 的使用，其次使用可生物降解固体颗粒。

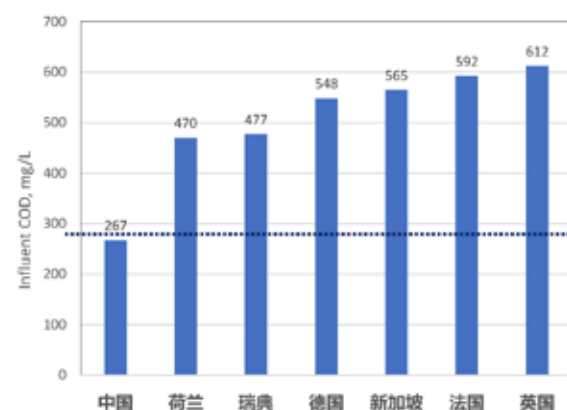
三是应用低碳源营养物的工艺。如将沉沙池的单元

改造后，可以减少 20% 的污泥量；使用厌氧消化稳定
化处理，可以再次减少 30% 的固体，同时得到能源的
回收。

曹业始提出，未来三至五年，希望国内污水厂能做
到污泥减量、能量回收和可持续的营养物去除。

Three unique sewage characteristics ii: Low COD 三项独特污水特性II: 低COD

Among 30 provinces and Internal
autonomy regions, eight < 200 mg COD/L,
fifteen < 250 mg COD/L; Some WWTPs in
the South Part < 100 mg COD/L.
在30个省和自治地区, 8个COD不到 200毫
克/升, 15不到250毫克/升; 南方部分污水处
理厂不到100毫克/升。

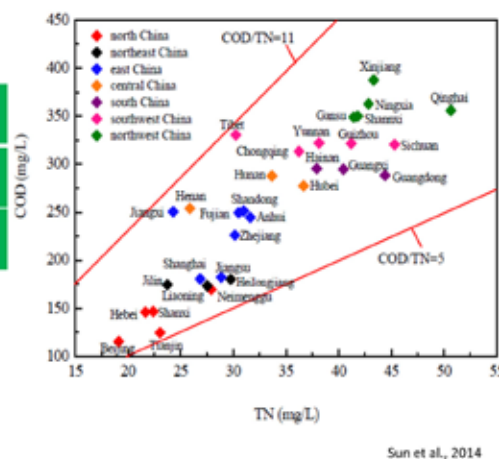


中国供水和污水处理协会, 2017; 住房和城乡建设部, 2018; Pons et al., 2004; Cao et al., 2014; Henze et al., 2009.

Three unique sewage characteristics iii. Low C/N ratio 三项独特污水特性 iii: 低碳氮比

	BOD5/TN	COD/TN
Typical	4.0 – 6.0	8.0 – 12.0
China	3.3	7.7

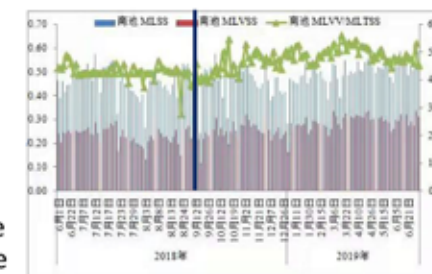
Henze et al., 2002; 中国供水和污水处理协会, 2017



Sun et al., 2014

Potential solutions i: to improve grit removal 方案 i: 提高沉沙池效率

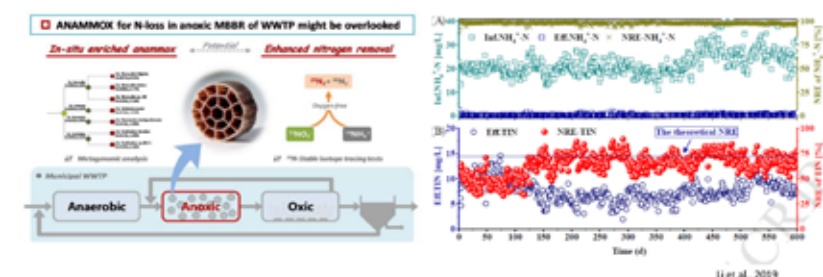
- To improve the performance of existing grit removal unit
提高现有砂粒去除装置的效率
Indicator: 55%-60% MLVSS/MLTSS
标尺: 55%-60% MLVSS/MLTSS
- To apply existing/develop innovative grit removal unit enabling to remove fine particulate
应用现有开发创新的去除细颗粒物砂粒装置
标尺: >70% MLVSS/MLTSS



7% of MLVSS/MLTSS increase due simple upgrading of
grit removal unit
由于砂砾去除单元的简单改造, MLVSS/MLTSS
增加 7%

Potential solutions iii: to apply low carbon BNR process 方案 iii: 应用低碳营养物去除工艺

- SANI (Costal areas) (van Loosdrecht and Chen, 2014)
- BCFS (DPAO) (Barat and van Loosdrecht, 2012)
- MABR (aeration energy saving) (Houweling and Daigger, in pressing)
- Xian No.4 Partial anammox proc (Li et al., 2019)



Messages to home 总结

- The performance of current municipal WWTPs are not sustainable due to the sewage characteristics
由于独特污水特性, 当前市政污水处理厂的运营是不可持续的
- Need to develop the integrated design and operation guidelines of the sewage treatment plant unit and the for the entire plant under current sewage conditions
需要开发在当前污水条件下污水处理厂单元操作和整个厂集成设计准则
- Prior to that
 - To improve grit removal for all municipal WWTPs and maximize of internal carbon usage. The sludge production can be reduced significantly, Energy recovery and cost of nutrient removal could be improved.
提高沉沙池效率, 最大限度地利用内部碳源, 显著减少污泥产量, 提高能量回收和降低营养物去除成本
 - to enhance engineering study to apply/develop innovative processes.
为应用创新工艺, 加强工程研究。

4.5 从能耗角度思考污水处理技术的发展趋势

水处理过程中 10%~35% 的成本与能耗有关，生产水或者是调配水也需要消耗能源，美国整体的系统中生产水的能耗占美国总能耗的 4%~5%，英国 3%，中国估计为 0.5~0.7%（？）。整个水处理管理过程中，水处理的能耗成本非常高，有时候大于人工的成本。国际水协会（IWA）大中华区总监李涛博士从能耗角度系统讲解了污水处理技术的现状及发展趋势。

李涛博士认为，当前中国面临的问题是在现行标准下是否考虑能耗的增加，对末端处理能耗是否需要相关的规范和管理。污水处理工艺发展过程中，能耗自给需做到节能和能源回收。首先是节能，包括用自动化的控制技术和新的技术应用，还有新材料模式的开发实现节能。第二是能源回收，包括热能和污泥有机质的回收，如通过厌氧消化的方式，把污泥中的有机质回收回来，可以达到 60%~80% 的能源自给率。

李涛博士介绍了未来的新型水处理技术。如 AvN 精确曝气技术结合传感器不仅提高效率，可稳定实现低总氮出水 and 低碱度效果。MABR（膜曝气-生物膜反应器），通过气体扩散膜，在膜表面形成好氧区，COD、硝酸盐和溶解氧可以实现同步的硝化、反硝化，目前已



有商品化的 MABR 技术（如苏伊士）。节能技术还有厌氧氨氧化和好氧颗粒污泥，其中好氧颗粒污泥优异的沉降性能有益于保持更多的微生物量、更高的微生物浓度和更高的抗冲击负荷能力，比传统的活性污泥系统的能耗降低了 30~50%。

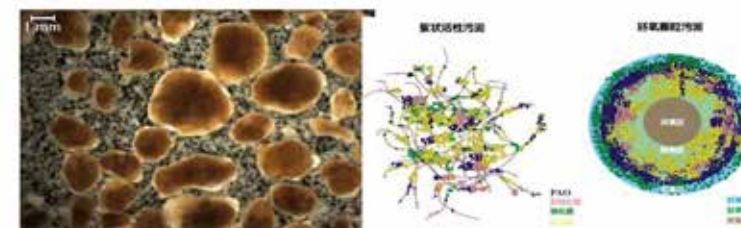
在产能方面，李涛博士介绍，污水中有机质所蕴含的能量理论上是处理它能量的 3 倍，如果回收 1/3 污水处理的有机质能量，就可以覆盖整个污水处理系统中的能耗。厌氧 MBR 工艺能耗为 0.058 千瓦，远低于 MBR 技术（MBR 在新加坡大型示范已达极限，能耗为 0.279）。CANDO 技术也是用传统甲烷进行燃烧实现能量，但其有意思的是反硝化时把氨氮作为亚硝酸盐，亚硝酸盐通过形成一氧化二氮收集起来或者以现有的甲

烷供燃烧以后作为助燃气，使能耗产能提高 1.5 倍。

李涛博士总结到，污水处理新技术的发展趋势，从 COD 的能耗、场地占地和生命周期来看，可能从原来的活性污泥法慢慢趋向一个占地较小的好氧颗粒污泥的技术；从总氮慢慢倾向到自氧脱氮的技术，配合前期的

预处理技术，包括亚硝酸盐的预处理技术，都可以在不同程度上提高产能的效率。从国际看，是时候改变对污水处理厂的定义和看法，未来应该朝着能源的工厂和资源的工厂发展。

节能技术：好氧颗粒污泥（AGS） （AEROBIC GRANULAR SLUDGE）



NEREDA®



荷兰 Garmerwolde

南非 Gansbaai

葡萄牙 Frietas

爱尔兰 Ringsend

- 好氧颗粒污泥优异的沉降性能有益于保持更多的微生物量、更高的微生物浓度、更合理的微生物群落结构、更强的抗冲击负荷的能力、显著降低占地面积。
- 好氧颗粒污泥系统比传统活性污泥系统的能耗降低了 30-50%。
- 荷兰 DHV 的 Nereda 好氧颗粒污泥工艺，适合 SBR 反应器的改造；最大应用已达 60 万立方每天

inspiring change

3

生产水需消耗的能源 (ENERGY FOR WATER)



污水厂迈向能耗自给：可能的路径 POSSIBLE APPROACHES TOWARDS ENERGY SELF-SUFFICIENCY WWTP

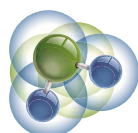


- 美国水系统能耗占全社会总能耗 4-5%，英国 3%，以色列 10%，中国 0.5-0.75%。
- 加州 20% 的能耗与水有关。
- 水处理过程中 10-35% 的成本与能耗有关；在水务公司中，除了人工成本，能源成本居运行成本第二位。
- 水质标准的提高，将增加系统能耗；缺乏对末端处理利用能耗的立法。



节约能源 10-20% （曝气过程中良好的气液控制，能源节约型泵类电机和风机）	可再生能源 5-10% （风能、光电、太阳能、地热能）
污水流中的能源 2-10% （水力涡轮机、蒸汽机、污水管余热交换器）	污泥 40-60-80% （厌氧污泥分解，预处理污泥以厌氧分解性能）

Valentina Lazarova et al., Water Energy Interaction of Water Reuse, 2012, IWA Publishing



产能技术：厌氧消化 (ANAEROBIC DIGESTION)



生物沼气

- 污水有机质蕴含能量值 13-15 KJ/Kg COD (或3.5-4 kWh/kg COD)
- 按每人每天排110 g COD计算，每人每年排入污水中的能量约为150 KWh
- 相当于18 W/person (而处理污水的能耗约5-7 W/person)

	Input	Out
Aerobic (好氧)	Influent: 100kg COD Aeration energy= 100 kWh	Heat loss Sludge: 30-60 kg Effluent 2-10 kg COD
Anaerobic (厌氧)	Influent: 100 kg COD	Biogas=35 m ³ (285 kWh) Stabilized sludge 5 kg Effluent 10-20 kg COD



- 生物沼气中一般含有55-75% CH₄
- 1立方生物沼气的能量相当于8kWh电能，约为1.1升汽油、1.3公斤木炭、0.94立方的天然气
- 生物沼气后续通过热电联产 (CHP) 转化效率约为35-40%，即1立方生物沼气能产生3kWh电

Helmut Krosis (2015), IWA ASPIRE conference
Gustaf Olsson, Water and Energy, IWA Publishing

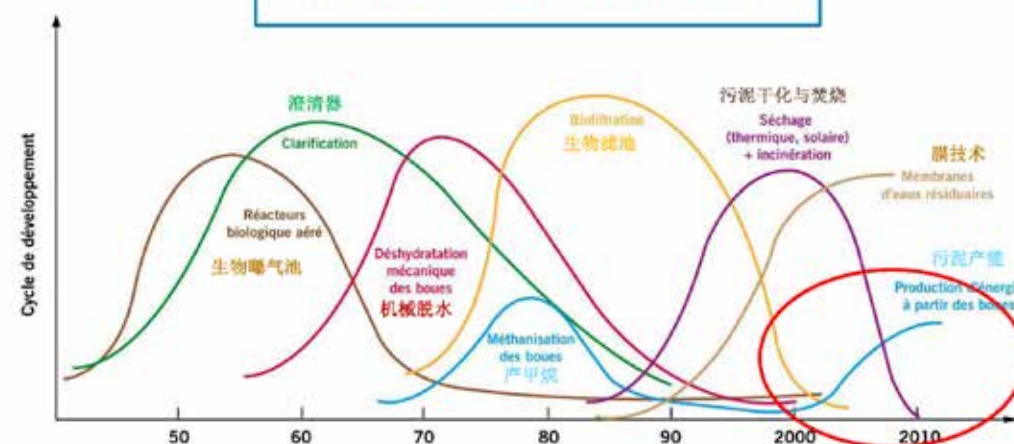
inspiring change

4

新技术的应用是个缓慢的过程



污水处理“新”技术的研发

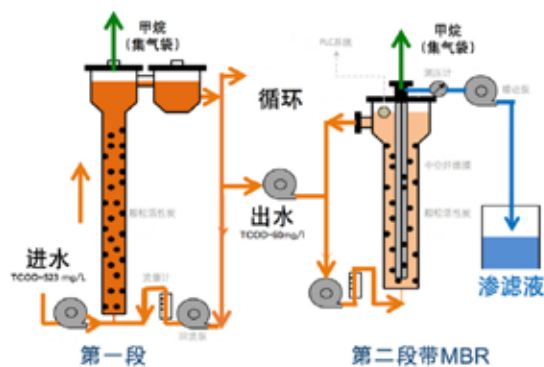


Courtesy of Diane D'Arras

inspiring change

6

产能技术：厌氧膜生物反应器(AnMBR)



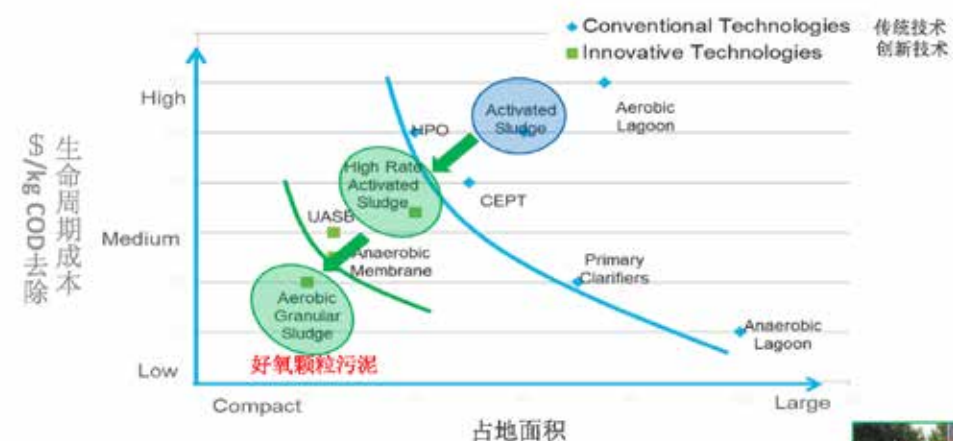
- 理论 AnMBR 克服了传统污水处理真正意义的可持续发展的技术障碍——无需好氧曝气
- 好氧MBR最低能耗：0.279 KWh/m³ (新加坡)
- 厌氧MBR理论最低能耗：0.058 KWh/m³ 出水都满足美国EPA的标准，BOD去除率超过95%，剩余污泥仅为好氧工艺的一半，而且无需后续单独消化处理。系统需要的能耗仅为0.058kWh/m³，远低于传统好氧MBR处理同等COD的能耗值 (1 kWh/m³)
- 所以后续氨氮的处理可能是AFMBRs需要解决的挑战之一

Kim et al., Environ. Science & Technology, 45:576(2011)

inspiring change

5

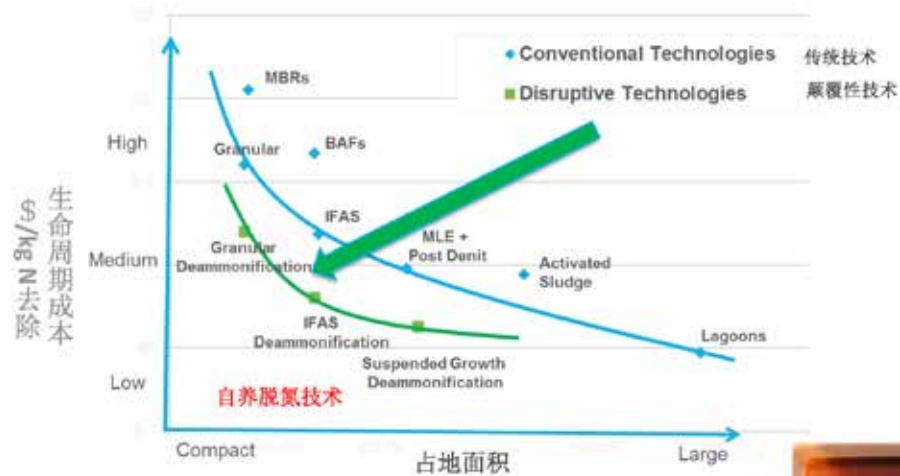
污水新技术发展趋势：有机物去除 (COD)



inspiring change

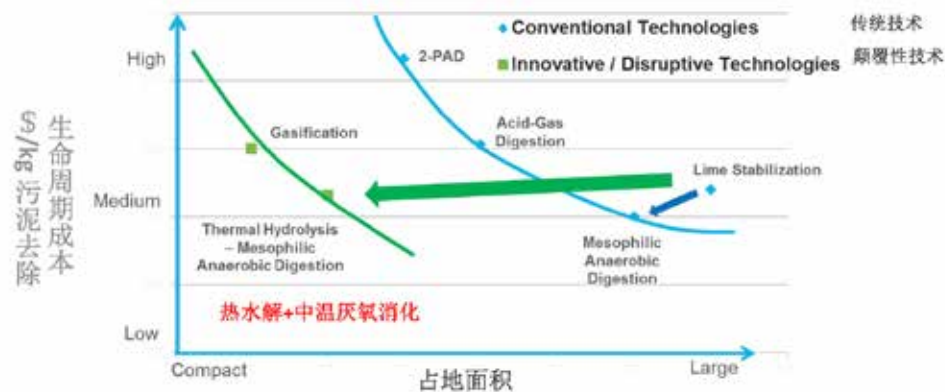
7

污水新技术发展趋势：脱氮（TN）



inspiring change

污水新技术发展趋势：污泥处置（SLUDGE）



inspiring change

4.6 生态人工湿地技术应用及展望

人工湿地具有生态属性和人工的特性，国合环境研究院常务副院长张琼华博士在大会中讲到，人工湿地用于水处理是植物、基质、微生物 3 种作用的结合，是以基质为核心，包括基质形成的生物膜，形成的类似于污水处理的反应条件和类污水处理工艺而实现水质的净化。

目前中国约有 300 座成规模的人工湿地应用案例，主要用于污水处理生物保障和深度净化。在国外，人工湿地也有直接应用到污水处理、工业废水处理案例。相对来说在湿地处理时或者应用案例时，生态工程的技术设计要因地制宜，这是人工湿地技术应用最基本的原则。同时他通过中国渭河的主要支流纳污河劣 5 类水体的皂河，以及另一个案例位于中国天津市占地面积 63 公顷的公园，水系面积有 17 公顷临港工业区湿地为例，介绍了生态工程的技术设计如何因地制宜在实际工程中应用。

同时也提出：人工湿地的管理重点关注是三方面，



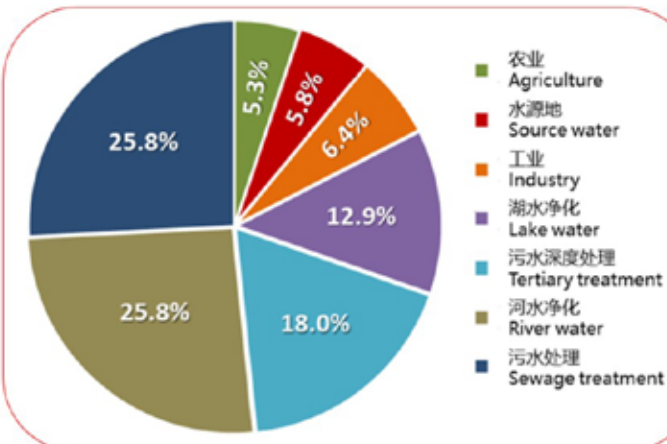
一个是植物收割管理，第二低温运行管理。再一个就是基质的堵塞问题，很多人提出通过生物添加的方式进行。作为一种技术方法，人工湿地也需要精确管理。

最后他提到，人工湿地填料微量和衡量污染物的处理和去除，以及现在最受关注的温室气体的排放也将都作为人工湿地技术研究的方向。

我国人工湿地应用概况 Application and of CW in China



人工湿地技术应用目的分类 Purposes of CW application



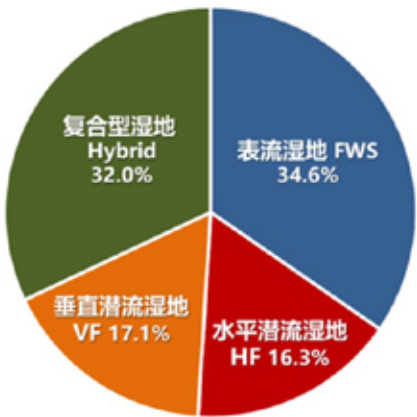
- 污水处理及污水深度净化是主要用途（合计约44%）
- 河湖水质净化的应用同样较多（合计约39%）
- 其他用途约占17%

我国人工湿地应用概况

Application and of CW in China



■ 人工湿地应用类型 Types of CW application



- 约三分之一为表流人工湿地（约34.6%）
- 表流-潜流复合型湿地同样占比约三分之一（约32.0%）
- 其他潜流湿地（包括垂直流和水平流）占比约三分之一（约33.4%）

我国人工湿地应用概况

Application and of CW in China



■ 人工湿地的污染物平均去除率 Pollutant Removals by CW systems

湿地类型 Type of CWs	BOD ₅ (%)	COD (%)	TN (%)	NO ₃ -N (%)	NH ₃ -N (%)	TP (%)
表流人工湿地FWS	78	60	48	29	57	55
水平潜流人工湿地HF	90	73	61	61	61	77
垂直潜流人工湿地VF	79	78	74	—	82	78
复合流人工湿地Hybrid CW	75	63	56	76	72	66

- 潜流人工湿地（包括HF和VF）具有较高的污染物去除率

我国人工湿地应用概况

Application and of CW in China



■ 人工湿地建设与运行成本 Costs for CW construction and operation

科目Item	单位建设成本 (RMB/m ²)	运行管理费用 (RMB/m ³)
人工湿地系统 CW systems	470 - 3200	0.01 - 0.33
常规污水处理系统 WWTP	1700 - 4500	0.8 - 1.7

- 湿地成本构成：填料（约40%），土方、结构（约40%），防渗（约15%），植物（约5%），潜流湿地建设成本一般高于表流湿地；
- 运行管理费用低是人工湿地系统的主要特点。

人工湿地技术展望

Prospect of CW technology



- 人工湿地运行和管理水平有待提升。尽管我国有许多人工湿地的应用案例，但是目前绝大多数人工湿地运行管理水平较低，管理制度不完善。
- 新型湿地填料的开发。进一步研发和利用新型功能填料，强化人工湿地中基质对污染物的去除能力。
- 微量污染物削减研究。有待进一步研究人工湿地对环境中微量污染物（PPCPs、EDCs等）的去除机理及强化处理措施。
- 温室气体排放控制。人工湿地运行中会产生CH₄、CO₂及N₂O等温室气体，探究湿地中温室气体的排放机制，对提高湿地的生态功能具有重要意义。



4.7 前瞻性污水提标改造解决方案



苏伊士新创建技术推广经理程忠红先生介绍了他们团队提出的改造解决方案。他讲到：“相对应传统的污水提标来说，每次提标都只关注当前的标准，并不会对污水厂的整体全生命周期进行核算。前瞻性改造会多考虑未来，通过关键技术的植入和保障，在后续运营再提高过程中能够大大简化提高的工作。比如这次完成一些

提高，再往上提时不用做普遍的工作也不需要增加其他的工艺，只需要调整原来的运行参数就可以。”

目前苏伊士提出了三个前瞻性解决方案，主要是针对氮磷。首先，对整个系统来说，在线控制和运营非常关键。还比如水质不稳定等一些常见问题也主要是因为设计不合理，还有控制不合理，包括排泥循环系统等等。接着他以搅拌机为例，虚拟保留的搅拌机跟普通的搅拌机不同，除了搅拌机之外还需要很大的电量提升，可以实现 10 倍以上的循环量，这样保障了良好的运行效果。

第二个是高速气浮，气浮的优势在于可以处理低温水，即便气温比较低也不会受到更多的影响，仍然能保持较好水质，相比传统具有较大的改进。相对传统的气浮而言，有一个水的管流，解决这个问题是在下面增加了一个布水板。随着开孔越大，走水越多，越可以有效提高它的流速和水质。

第三是生物脱氮。第一个是 Biofor 生物滤池，它具有可靠性强、除氮效率高的特点，一般可去除 30-50mg 的氮，而且除了污水池处理之外，还可以做污水的二级处理，其负荷相对较高，有时远高于国内 BAF 设计规范，目前已经做到 10-35m3/m2.h。这种情况下全套使用 Biofor 生物工艺相比传统可以节省 70% 的面积，

国内很多地下污水厂采用该工艺是非常好的选择。第二个是 Benifor V 深度脱氮 V 型滤池，采用生物滤料，其负荷相比 Biofor 生物滤池更高。

最后，程忠红先生讲到：“污水的标准越来越严，对技术的要求越来越高，还有很多技术需要进一步交流学习。”

SUEZ前瞻性提标改造工艺组合

1. Densadeg 高密池+Denifor V 深度脱氮 V 型滤池

- Densadeg 高密池运行稳定可靠，减轻后续工艺负荷
- Denifor V 深度脱氮、除磷、SS，恒水位运行
 - ✓ 出水一级A：用石英砂滤料，截留SS、除磷
 - ✓ 出水准IV类：Biofine 陶粒滤料，反硝化脱氮、除磷、SS

2. Biofor DN 反硝化滤池+GreenDAF 高速气浮

- GreenDAF 高速气浮出水水质好，占地小
- Biofor DN 反硝化滤池脱氮能力强，负荷高，占地小
 - ✓ 出水一级A：Biofor DN 低负荷运行，去除少量总氮
 - ✓ 出水准IV类：仅调整运行参数即可多去除总氮

3. Biofor CN 好氧滤池+Denifor V 深度脱氮 V 型滤池

- Biofor CN 有效去除氨氮、COD
- Denifor V 可去除总氮、总磷、悬浮物
- 尤其适用于部分扩容+提标的项目应用

SUEZ NWS

前瞻性提标改造

传统提标改造

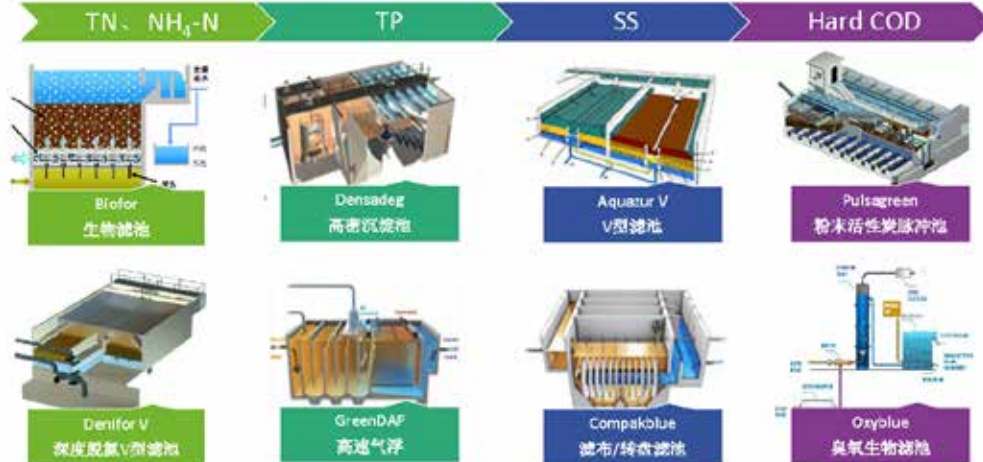
- 仅关注当前水质的提升
- 一次水质提升增加一次工艺单元，每次提标周期长、提标过程复杂
- 水质越高、工艺越长
- 污水厂全生命周期成本未做考核或核算

前瞻性提标改造

- 超前考虑提标改造**
从设计之初就考虑今后进一步提标改造的可能及面临的问题
- 关键技术保障**
核心工艺采用的高效、高负荷技术，可以满足今后二次水质提标
- 后续简单运营调整**
一旦需进一步提标，只需简单调整运行或极少量的工作改动

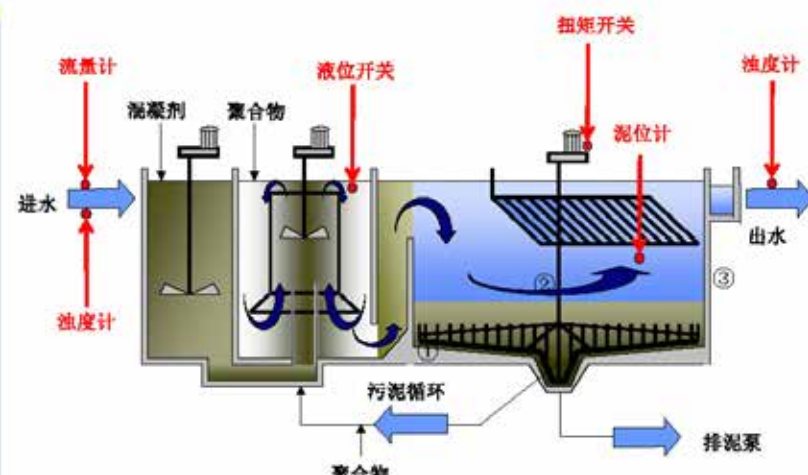
SUEZ NWS

SUEZ常用深度处理工艺单元



SUEZ NWS

Densadeg在线仪表



絮凝反应搅拌机 and 导流筒



污泥控制是重点

GreenDAF高速气浮

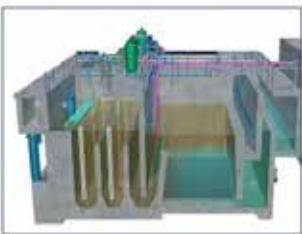
GreenDAF高速气浮

一种通过水力絮凝和高效气浮实现澄清处理的高速溶气气浮工艺

强化高效混凝工艺，主要用于去除原水中的总磷和悬浮物。

工艺优势

- 可处理低至 0°C 的低温地表水
- 上升流速达 $20\text{--}30\text{m/h}$ ，是传统气浮的 $2\text{--}3$ 倍
- 出水总磷可低至 0.3mg/L 以下，出水浊度低
- 无需投加絮凝剂或仅少量投加
- 可耐瞬间高浊高至 200NTU



部分业绩：

大连马栏河1期提标改造 12万吨/天

开封马栏河污水厂 10万吨/天

上海大众嘉定提标改造 17.5万吨/天

上海徐泾污水厂 5万吨/天



Biofor生物滤池

用于二级处理或深度处理中去除BOD、氨氮、TN、SS等

- Biofor C 去除含碳污染物
- Biofor CN 去除含碳污染物和氨氮
- Biofor N 去除氨氮(硝化)
- Biofor Pre-DN 前置反硝化
- Biofor Post-DN 后置反硝化

滤池类型		单位	
Nitrification (N-NH ₄) 硝化(去除N-NH ₄)	滤速	(m ³ /m ² ·h)	3 - 16
	去除负荷	(kg N-NH ₄ /m ³ ·d)	0.5~3
Post denitrification (N-NO ₃) 后置反硝化(去除N-NO ₃)	滤速	(m ³ /m ² ·h)	10 - 35
	去除负荷	(kg N-NO ₃ /m ³ ·d)	1.5~5
Pre denitrification (N-NO ₃) 前置反硝化(去除N-NO ₃)	滤速	(m ³ /m ² ·h)	10 - 30

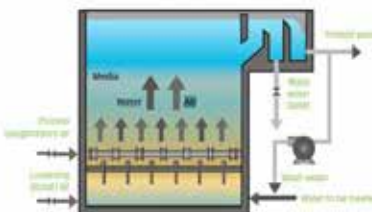
BIOFOR: 生物氧化+物理过滤的反应器

BIOlogical/生物

Filtration/过滤

Oxygenated/氧化

Reactor/反应器



Denifor V深度脱氮V型滤池

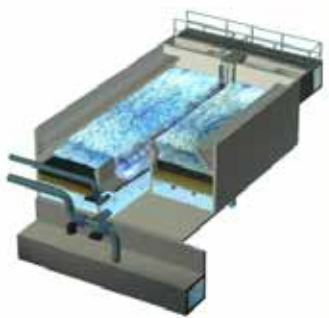
一种采用固定生物膜技术的下向流缺氧生物反应过滤器

主要用于去除污水中的氮、磷以及悬浮物。

工艺优势

- 可同步实现为絮凝除磷和除悬浮物的功能
- 陶粒滤料挂膜量大，不易磨损，截污能力强
- 真正意义的恒水位过滤，减少碳源投加
- 高效的节水水反冲洗+表面扫洗，反洗水量可 $<2\%$
- 出水TN、TP、SS可达准IV类水标准

主要指标	硝酸盐 (mg/L)	悬浮物 (mg/L)	总磷 (mg/L)
进水	15~35mg/L	10~35	1~2.5
出水(日平均)	<5	<5	<0.5



部分业绩：

长沙临空污水厂 10万吨/天

上海大众嘉定提标改造 17.5万吨/天

长沙先导洋湖再生水厂II期，8万吨/天

春南部污水厂提标改造 10万吨/天



Denifor V 反硝化滤池

- U型进水槽设计，长柄滤头+Azurfloor整体式滤板技术
- 池深略前，无表面扫洗功能
- Azurfloor整体式滤板轻、可叠加放置，易于运输和存储
- 尺寸：LxWxH = 3600x595x248 mm
- 材质：PP

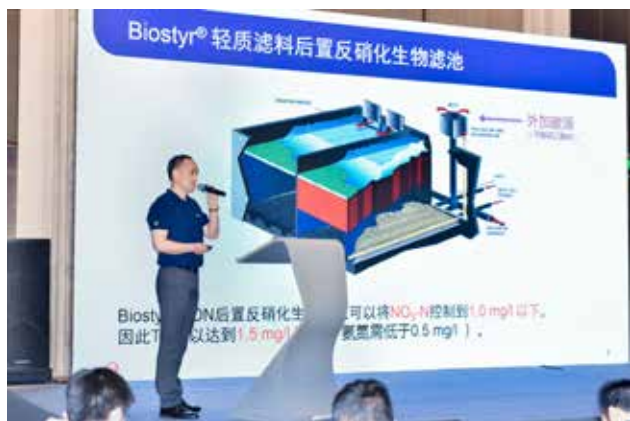


SUEZ
NWS

4.8 威立雅高效集约的污水处理提标升级与初期雨水处理工艺

目前污水处理领域经过蓬勃的发展，提标改造要求已经从一级 A 标准向地表 IV 类转变。来自威立雅水务的英卓哲先生介绍了威立雅在污水处理厂提标改造过程中创新研发的新型滤料高效生物滤池、集约的高效沉淀池以及转盘过滤器。同时还针对当前城市初期雨水污染控制水力和峰值负荷变化大、城市占地有限等难题给出了威立雅解决方案，通过利用效率极高、占地面积极小的威立雅 ACTIFLO 高效沉淀池快速高效地去除初期雨水中的悬浮性污染物，可以实现初期雨水处理的低成本稳定运行。

英卓哲指出，威立雅 Biostyr 后置反硝化生物滤池的主要特点是采用上向流方式进水，脱氮产生的氮气和水流同向，易于气体排出；采用 3.5-4mm 聚苯乙烯



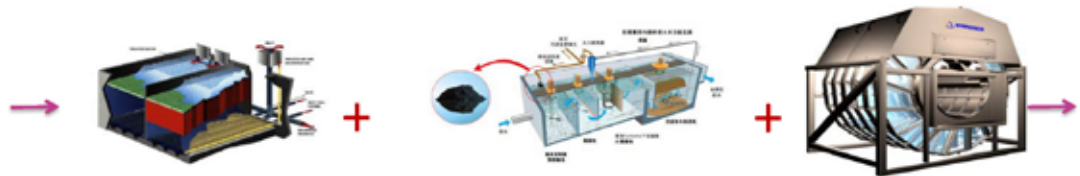
轻质小球作为滤料，滤层不宜堵塞且生物降解能力强，无需前端设置高效池。该滤池可以将 $\text{NO}_3\text{-N}$ 控制到 1.0mg/L 以下，TN 可以达到 1.5mg/L 以下（氨氮低于 0.5mg/L 时）。

威立雅 Actiflo Carb 加砂高效沉砂池中含有内径 $150\mu\text{m}$ 左右的微砂，该沉淀池能表面负荷能达到 $30\sim 40\text{ m}^3/\text{h}$ ，从而大大节约占地面积。同时可通过与活性炭等外加介质有效结合对污水絮体进行去除从而降低 COD 和总磷。该沉砂池可以将 COD 从 50 mg/L 降至 20 mg/L ，总磷可从 0.5mg/L 降至 0.2mg/L （视有机磷含量而定），因此，可用于含难降解 COD 污水的处理和污水处理厂的深度处理。

威立雅 Hydrotech 转盘过滤器采用独特的滤布设计，对进水中高分子絮凝剂残留不敏感，可以有效去除水中的悬浮固体含量，将固体悬浮物深度去除至 5 mg/L 以下（浊度 2mg/L 以下）。

因此现有污水处理厂提标改造，在二级生物处理流程后通过增设 Biostyr 后置反硝化生物滤池、Actiflo Carb 加砂高效沉砂池和 Hydrotech 转盘过滤器基本可以达到准地表 IV 类的污水排放标准。

污水提标改造 - 威立雅推荐工艺组合

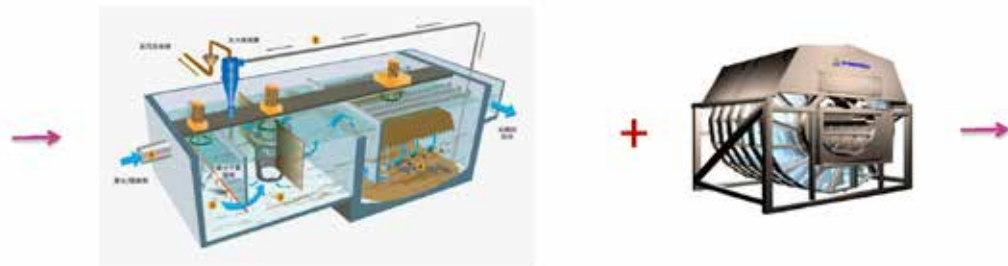


简单高效生物滤池工艺：
有效去除 TN, $\text{NH}_4\text{-N}$

高效加砂沉淀，集成粉末活性炭
投加同时保证 COD、TP 达标

创新的转盘过滤器：
确保 SS 万无一失

合流制初期雨水 (CSO) 处理 - 威立雅推荐工艺组合



高效加砂沉淀，有效去除初雨中悬浮性
污染物，同时保证 COD、TP 和 SS 达标

备用转盘过滤器：
确保 SS 达标

5 城市水处理设施的持续安全运营

5.1 污水处理厂可持续运营困境与挑战

随着城市化进程的不断加快，水污染控制问题已经引起国际社会的广泛关注。由于目前城市污水处理厂普遍存在资源消耗大，能耗高以及产生的碳排放总量多等诸多环境问题，所以污水处理厂的可持续运营非常必要。可持续污水处理主要是指在完成污水处理基本功能前提下，减少物料和能量的消耗、回收能量和资源，降低碳排放。

水厂占 57.8%，污水沉降性能 SVI 小于 80 和大于 120 的占比分别为 12% 和 52%。污水生物系统污泥存在的这些问题会导致污水厂曝气器堵塞，降低曝气效率，增大电耗；同时污泥在二沉池的“网捕作用”变差，大量生物絮体随出水流失，干扰后续深度处理；另外污泥沉积，减少有效池容，影响污水处理效果。

二是深度处理系统反冲洗回流量太大，导致全流程能力浪费。调查发现，反冲洗水回流量低于 5% 的污水厂仅占 65%，回流量 5%~10% 的污水厂约占 35%。大量反冲洗水回到工艺首段，将浪费提升能力；回流至曝气池，将减少水力停留时间，降低处理效果，同时增大二沉池表面负荷，使二沉池普遍不足的问题更加突出；回流至深度处理的过滤系统，将增大滤速，减少实际过滤能力。

三是污水处理厂实际处理水量超负荷严重。数据显示，水体负荷大于 80% 的污水处理厂占到总量的 63%。水体超负荷运行将导致无法匀和进水水量水质波动，降低达标的稳定性；同时为了保证稳定达标，将大幅度增加污水厂各种药剂的投加量；也将会使污水厂陷入设备无法停产检修维护的困境，使运营举步维艰。

总体来说，目前中国的污水处理厂普遍在高耗低效的状态下运营。同时，由于出水排放标准不断提高，可持续运营的理念没有得到充分重视。因此，王洪臣教授建议以后应针对我国具体问题，开发具有中国特色的可持续运营的技术，切实提升我国污水处理可持续运营的水平。



中国人民大学环境学院副院长王洪臣教授和他的团队最近对中国境内 467 座污水处理厂（约占总数量的 10%，总规模的 25%）的主要运行工况进行了调查，发现目前相当一批污水处理厂运行工况极不合理，与可持续运营的理念相距甚远，因此需要分析原因，找到对策，及时摆脱困境，走向可持续运营之路。

中国污水处理行业可持续运营主要存在三个方面的问题。一是污水处理厂生物系统的污泥浓度过高、活性太低、沉降性能太差导致的生物处理系统低效运行。王洪臣教授团队通过调查发现，污泥浓度大于 400mg/L 的污水厂占比为 67%，MLVSS/MLSS 低于 0.3 的污

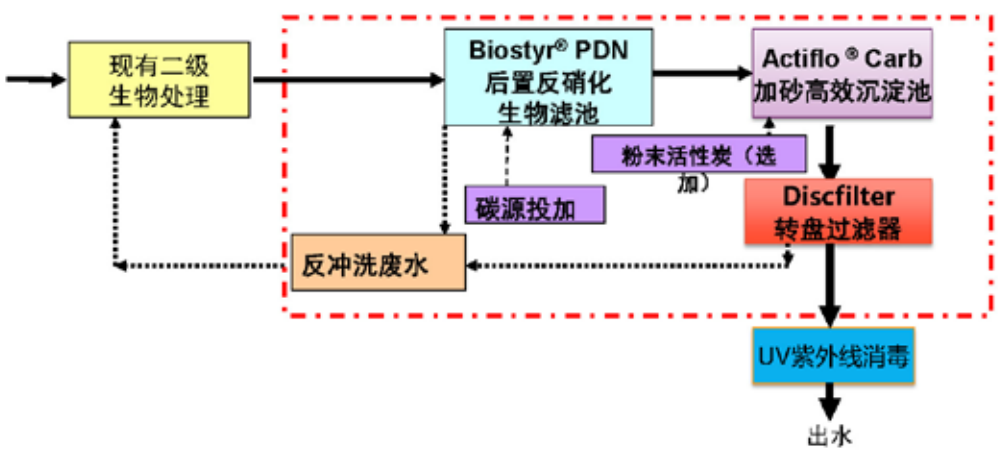


Hydrotech™ 转盘过滤器用于SS去除



Hydrotech™ 转盘过滤器可以将SS深度去除至 5 mg/l 以下（浊度 2 mg/l 以下）。因独特的滤布，对进水中高分子絮凝剂残留不敏感。

污水厂(准)地表四升级改造工艺流程建议





一、什么是可持续运营？

1. 可持续污水处理

在实现污水处理基本功能的前提下，减少物料和能量消耗、回收能量和资源，降低碳排放。

2. 污水处理厂可持续运营

通过运行调控和维护，使污水处理厂在稳定达标的基础上，降低能耗和物耗，降低碳排放。

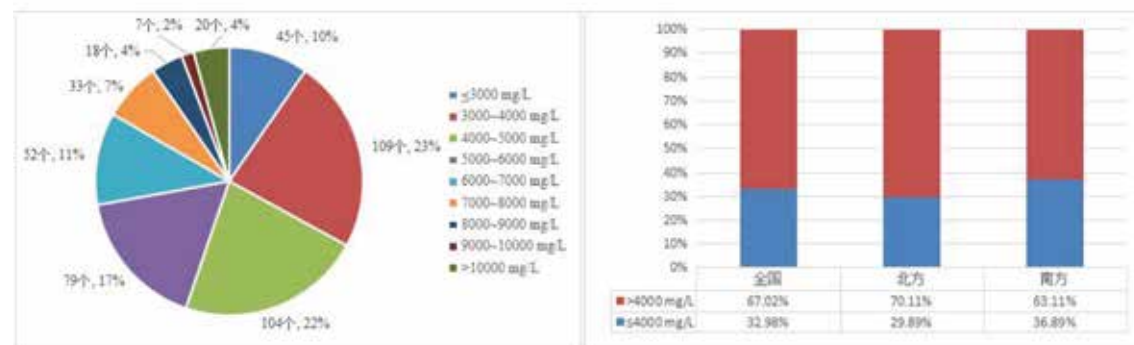
可持续设计、科学调控、合理监管，是污水处理厂可持续运营的基础。

我们随机调查了全国 467 座污水处理厂（约占总数量的10%，总规模的25%）的**主要运行工况**，发现目前相当一批污水处理厂运行工况极其不合理，与可持续运营的理念相距甚远。可以说，这些污水处理厂处于不可持续的运营状态，应分析原因，找到对策，摆脱困境，走向可持续运营之路。



二、可持续运营的困境

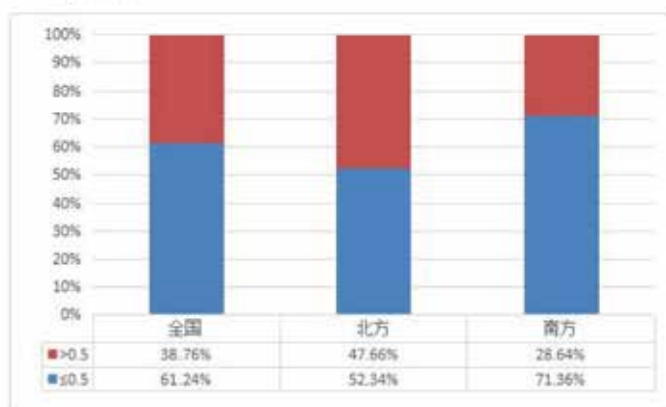
1. 生物系统污泥浓度（MLSS）过高



2. 生物系统污泥活性（MLVSS/MLSS）太低

以MLVSS/MLSS为0.5分界

南北方的差别



3. 生物系统污泥沉降性能（SVI）太差

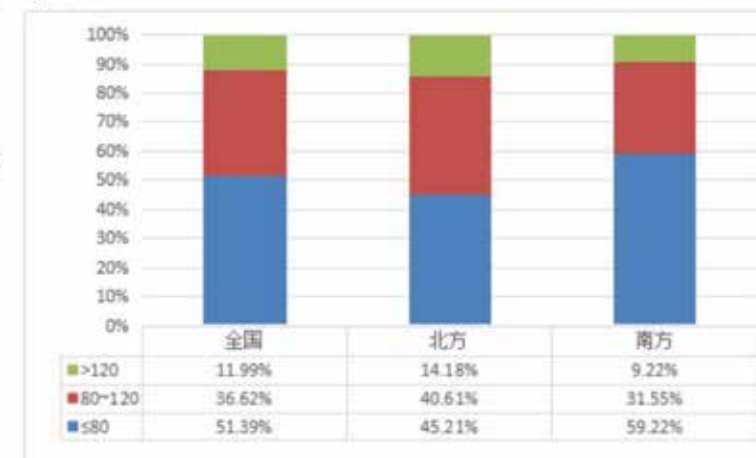
SVI大于120，属于微膨胀

SVI小于80，则网捕作用消失

以SVI在80-120为

最佳范围分界

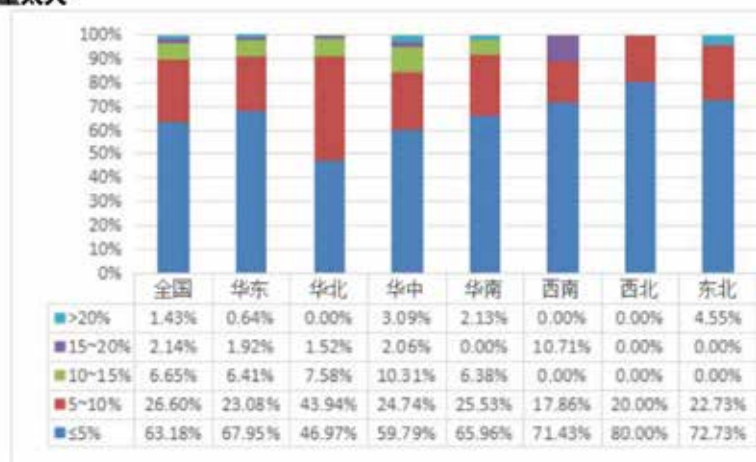
南北方的差别



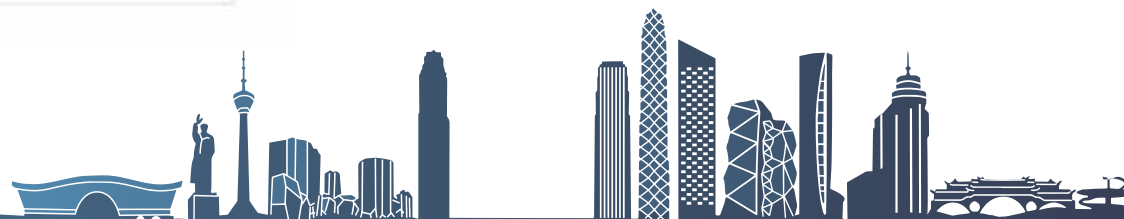
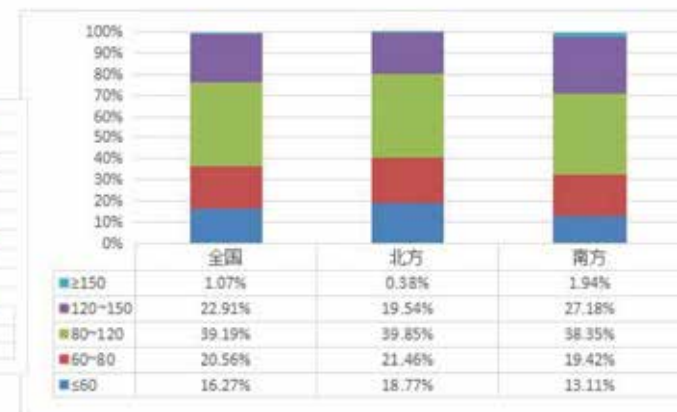
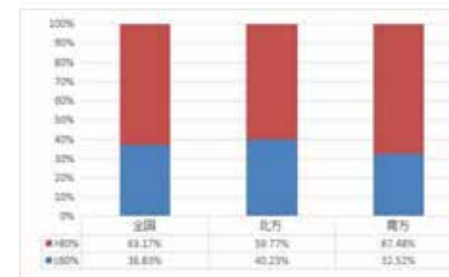
4. 深度处理系统反冲洗回流量太大

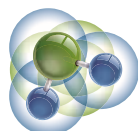
反冲洗水回流量

各大区的分布

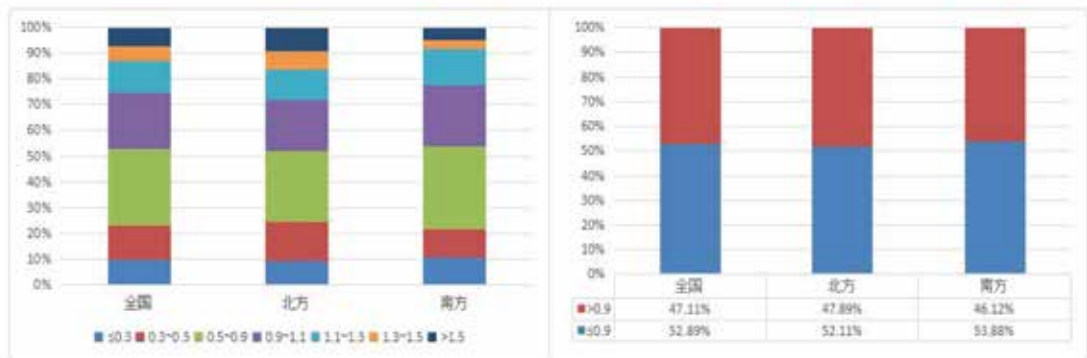


5. 实际处理水量超负荷严重





6. 各种药剂投加量过大



三、目前离可持续运营的理念有多远？

目前污水处理厂运营状态：

- 生物系统污泥浓度过高、活性太低、沉降性能太差，导致生物处理系统低效运行；
- 深度处理系统反冲洗回流量太大，导致全流程能力浪费；
- 水量超负荷、药剂投加量大、无备用设备长期无法停产检修，使运行举步维艰；

总体上，污水处理厂普遍在**高耗低效**状态下运营。

目前，不惜一切代价确保达标是最高准则，可持续运营理念抛在一边。
不只是远离可持续运营目标，甚至在相反方向行进。

对策？

各司其职、优化运行、合理改造、科学监管！

5.2 智慧水务与可持续运营

污水处理厂在可持续运营方面存在着困境与难题，同样大型的水务集团也面临着可持续发展的问题。面对新时代生态文明建设的新要求，如何实现企业的可持续发展、项目的可持续运营？北控水务集团运营总监刘伟岩女士通过识别发展的方向与需求，提出改变传统方法，发展智慧水务才是唯一正确的路径。



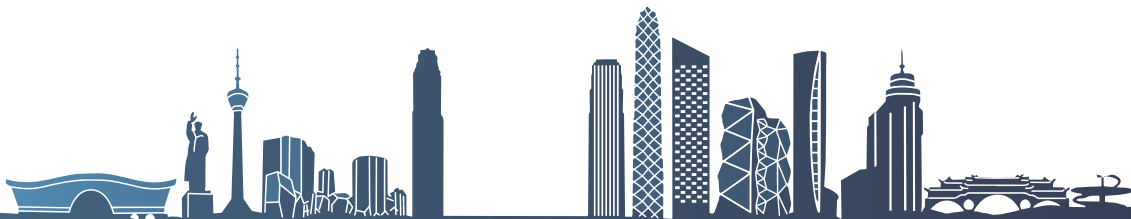
发展智慧水务首先要解决的就是管理模式的变化，北控水务通过创造高度集约的运营管理模式，实现企业大脑支撑所有项目的智慧运行，目前已有超过 40 个项目实现无人值守。其次是探索高度智能的运行控制方式，通过大数据工具的算法分析和在线仿真的预测分析，实现项目的实时优化控制。然后依托智慧水务建设过程，夯实可持续运营基础，补齐项目维护短板，提升智慧化标准建设，开发实现智能化的行业解决方案。同时通过智慧水务突破工艺技术的发展瓶颈，挖掘行业技术的深度，实现污水全流程的精确控制方案。还通过智慧水务拓宽业务数据的广度，建立高效流转的“一体化”运营管理模式，挖掘各业态联动的内源效益。而且通过智慧云平台建设，实现已验证技术模式的快速应用部署，提升行业应用化赋能。最后通过智慧水务突破行业认知的维度，建立前后打通的“全生命周期管理”模式，充分发挥企业生产线各环节的作用。

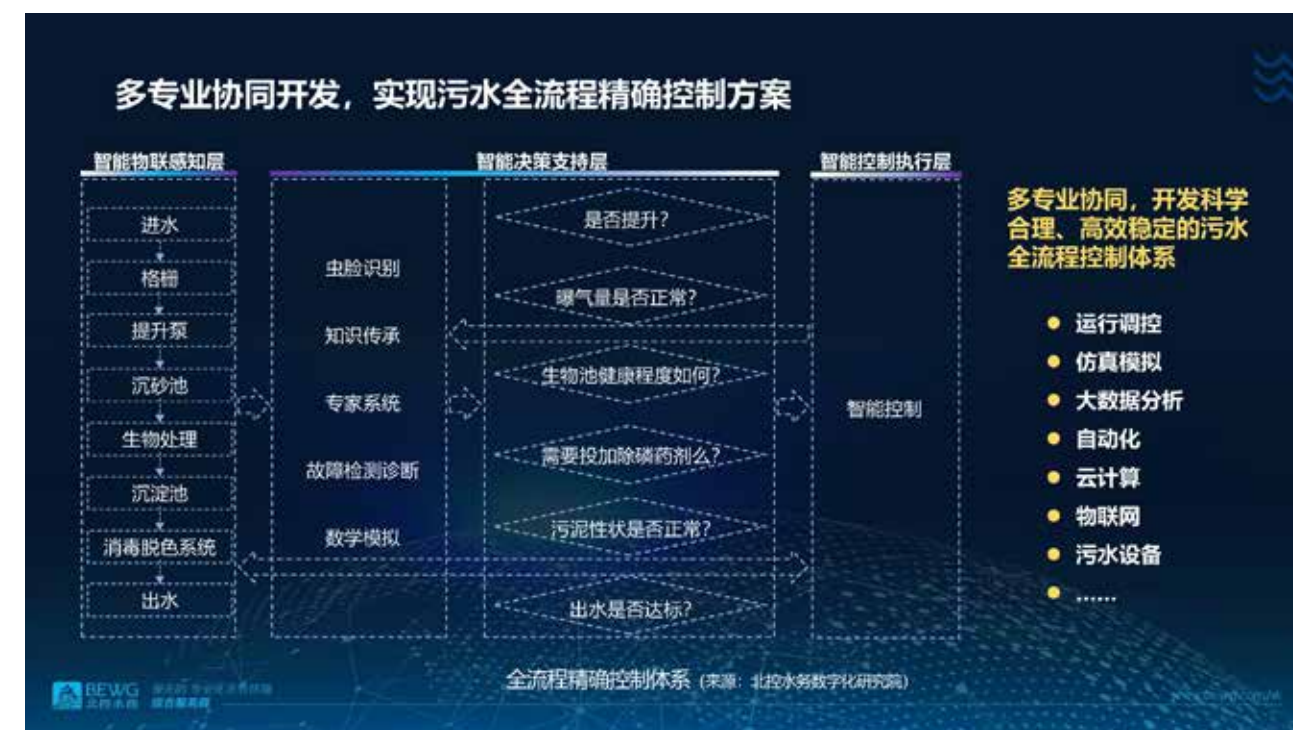
要实现企业可持续发展、项目可持续运营，路在何方？

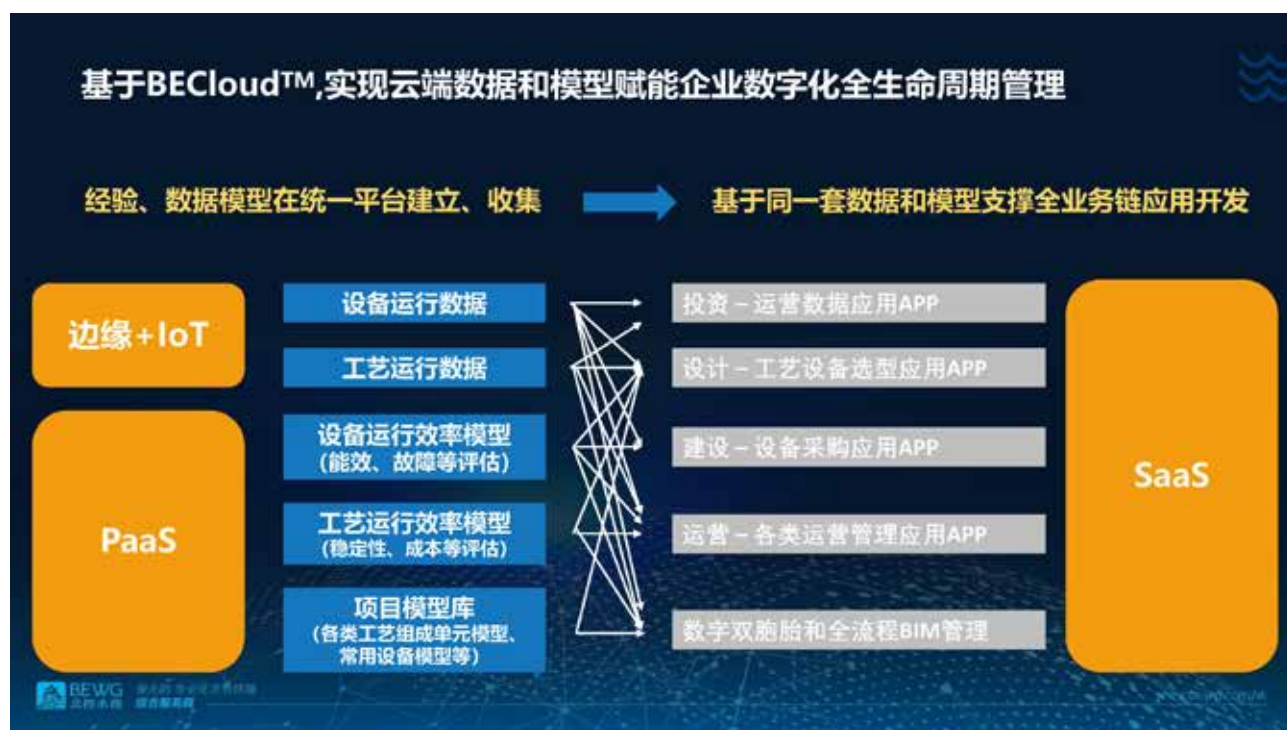
识别 发展的方向和需求 ——

- 创造更高效的运营管理模式
- 实现先进灵活的生产方式
- 低成本高要求补足行业短板
- 提升技术能力深挖工艺潜力
- 挖掘各业态联动的内源效益
- 经检验的经验、模式和技术可以快速推广
- 充分发挥企业生产线各环节的作用

依靠传统方法已无法满足需求，发展智慧水务是唯一路径







5.3 工业园区水环境设施运营优化与风险管控

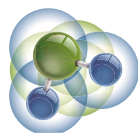


目前工业园区成为经济发展和工业升级重要承载平台，但由于工业企业聚集导致污染物排放风险高，处理难度大。因此工业园区的环境基础设施建设和管理水平直接决定了中国工业污染防治的未来。根据今年5月第二批中央生态环境保护督察组“回头看”及专项督查公布的情况来看，工业园区污染治理已成为生态环境保护事业的一块突出短板，主要存在环境监管手段简单、园区管理经验不足、污水处理厂无针对性处理措施以及基础设施建设资金缺口大等问题。

基于工业园区存在技术无法达标，资金和管理能力上不足的问题，中持水务股份有限公司副总经理喻正昕先生提出了一套综合和系统的工业园区综合环境服务（IES）模式。该模式通过采用适用性技术确保技术可持续，采用排污权预售促使财政可持续，通过污染溯源等手段推动管理可持续。并以某工业园区的实际案例对IES模式的创新实践进行总结。首先通过一厂一管的污水收集模式进行排污管理，控制排放企业的污染物负荷和排水总量；其次是建立排污管理体制机制，针对不同企业污染物的特点，实行一厂一策的差异化管理，实现多方共赢的局面。最后是根据企业生产需求，预估企业污水排放量和污水处理费用，并通过排污预售制度解决污水处理厂处理水量预估和收费问题。

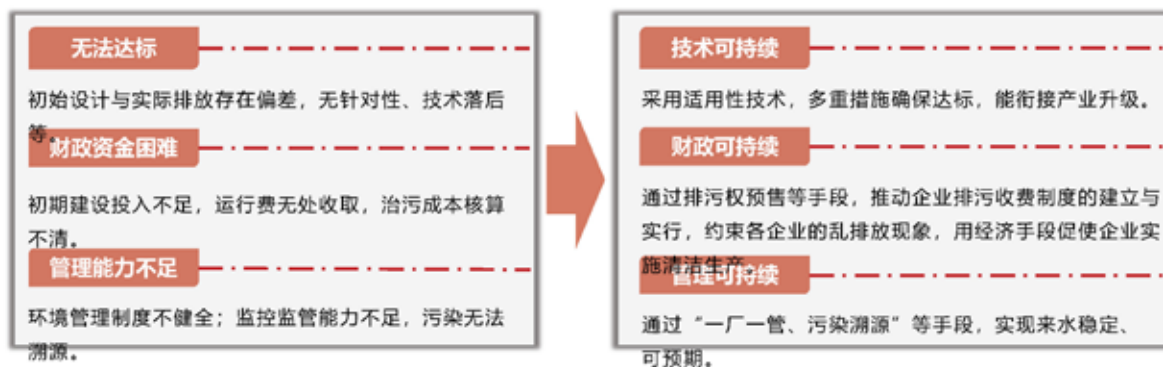
IES模式以防控环境风险，改善工业园区水环境为目标，通过管网收集、污水处理、回归自然的全流程解决方式实现了园区水环境治理的统筹化布局，专业化实施和标准化监管。





二、工业园区综合环境服务（IES）模式

“省级工业园区”：传统单一末端治理的措施无法有效解决问题，需要一套综合、系统的解决方案——**工业园区综合环境服务IES模式**（Integrated Environmental Services）



中持认为：有效控制工业生产对水环境带来的影响，促进城镇工业集聚发展并走向良性循环轨道，是解决

中小城市环境问题的一项首要任务，其优先级高于黑臭水体和海绵城市。



二、工业园区综合环境服务（IES）模式

IES模式可为工业园区提供从检测评估、方案设计、投资建设到运营管理的上下游一体化服务。



二、工业园区综合环境服务（IES）模式

- 工业园区水环境咨询服务内容清单**
- 企业排污情况调查与分析
 - 园区水环境管理现状评估
 - 企业排污行为管理，排污管网设计
 - 园区收费体系建立及计量设施设计
 - 园区综合水环境管理信息化平台建设



- 基于“风险防控”理念的污水处理厂运营服务——一厂一管排污管道**
- 事故池
 - 调节池
 - 沉砂池
 - 高稳定性生化处理系统
 - 特征污染物的深度处理
 - 运行监控与展示平台

- 工业园区水环境综合管理**
- 环境服务清单**
- 企业污水处理站运营管
 - 理
 - 企业排污管理
 - 污水处理厂运营管理
 - 雨水综合管理
 - 水环境监测
 - 水回用服务
 - 生态缓冲湿地管理



三、IES的创新实践：宁晋工业园区污水处理厂

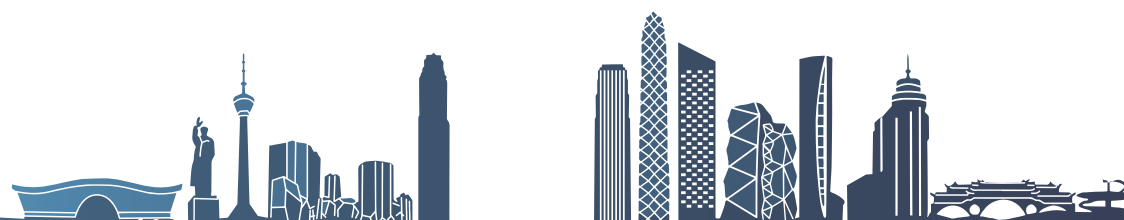
- 项目占地：80.9亩
- 建设规模：4万吨/天
- 投资规模：3.04亿
- 配套收水及退水管网26km、收水泵站2座
- 排水标准：一级A标准（COD ≤ 40mg/L）



生产区

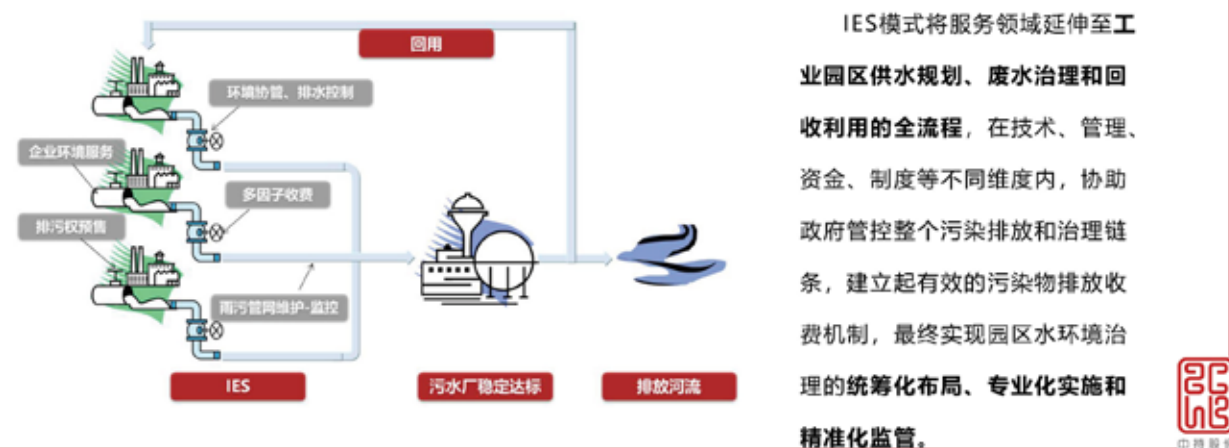


办公区



三、工业园区综合环境服务（IES）模式

式 以防控环境风险、改善工业园区水环境为目标，覆盖**工厂车间→管网收集→污水厂→回归水环境**全流程的一体化解决方案，提供以“基于总量控制的企业排污管理和收费”和“基于可持续的园区污水处理设施委托运营管理”为核心的专业化服务。



5.4 流域全要素调度与管理

近年来，以源头管控、过程调控、结果可控的系统思维在消除黑臭水体、改善城市水环境等方面产生了综合效益，切实增强了城市水安全保障能力。深圳水务（集团）有限公司生产运营部邹启贤部长以深圳河流域水环境综合治理为例，总结出一套城市水环境质量提升的“厂网河”全要素综合治理模式。

“厂网河”管理模式主要通过全面梳理全要素运行工况，列出河口总目标和各要素（水质净化厂、管网、泵站、闸坝）的拓扑关系，构建流域一体化全要素图，制定“厂网河”全要素调度方案，实现全流域厂网河治污设施的联动调度。在深圳河流域治理过程中，深圳水务将线下



问题转移至线上处理，通过构建监控系统感知各处理设施的运行问题和工单系统及时提供实时数据，并利用模拟仿真和大数据分析等技术建立深圳河流域厂网河水力

水质模型，通过三个系统的相互补充搭建了深圳河流域综合调度信息平台。其次是通过分流域精准施策，将深圳河流域细分为六个流域系统，通过实施溢流点应急转输工程，科学调度高峰期不同污水处理厂的污水处理量，确保污染物浓度较高的污水优先得到处理。最后将原有

污水管网末端截污改为源头截污，减少初期雨水径流污染，实现清污分流，并对流域内暗河实施清淤，将外水量占比降低 50% 以上。总体来看，城市水环境治理必须要遵循水文规律，打破行业壁垒，上下游联动调配进行系统性的流域治理。

1 统一调度流域治水治污设施

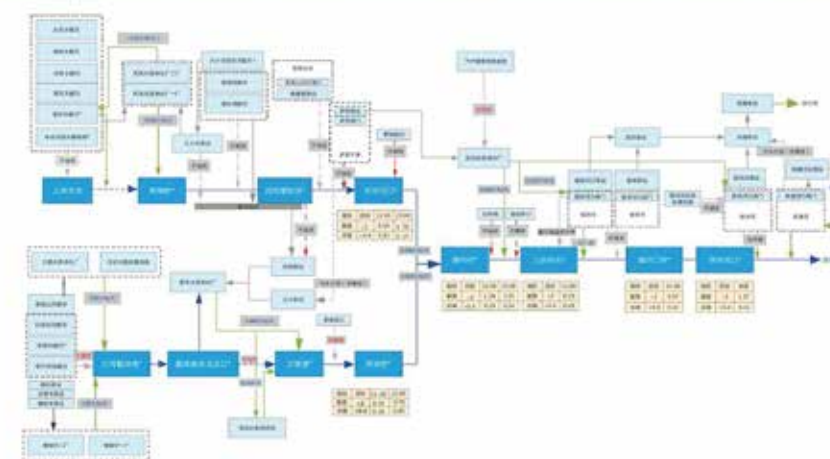
紧盯深圳河断面水质达标要求，全面梳理“厂网河”全要素运行工况，列出河口达标总目标与各要素（水质净化厂、管网、泵站、闸坝）的拓扑关系，实现全流域厂网河治水治污设施联合调度：

- 理清厂、网、河设施拓扑关系；
- 实现设施统一调度、联动运行，充分发挥设施能力；
- 形成日报制度，专人跟踪分析设施运行工况；
- 锁定影响达标薄弱环节，精准施策。

深圳河流域治水提质设施建设分布图



绘制“厂网河”一体化全要素图



制定“厂网河”全要素调度方案

调度目标：源头管控、过程调控、结果可控

调度要素：

- 流域：面积312.5km²，深圳境内187.5km²，支流9条
- 厂：涉及水质净化厂10座，分散式处理设施6座，总处理能力234.7万吨/日。
- 站：涉及污水提升泵站（含截污泵站）共43座，总提升能力为257.6万吨/日。
- 管网：1735km
- 排口：1171个
- 闸门：河道闸坝闸门9座，排水闸门35座
- 监测断面：14个

调度指令：

- 每天200余项关键指标（断面水质、管网液位、处理水量、溢流情况等），一张表展示
- 专人负责跟踪分析监测指标与河口水质达标的关系；
- 形成调度工单，下达任务，责任单位按指令操作。

1 流域统筹是基础

- 流域统筹管理：遵循水文规律，以流域为界开展系统性治理工作。
- 厂站网一体化运维：上下游所有设施必须围绕河道水质达标互动。
- 厂网河全要素调度：打破行政、行业壁垒，促进信息对称，提升运行效率。

2 设施建设是根本

- 处理能力要匹配：旱季污水量接近供水量的110%，雨季污水处理能力达到污水量的200%，确保污水全收集处理
- 互联互通是保障：管网之间要连网成片，污水系统间要建设污水调配通道。

3 高效联动是关键

- 河网联动：管渠降低水位，减少截流污水溢流。
- 厂网联动：排水小区之间、水质净化厂之间有效调水，进行水量分配，最大限度发挥水质净化厂处理效能。
- 上下游联动：上游控源，尽可能收集处理污水，下游腾出余量兜底，确保河流断面达标。
- 市政水利设施联动：属于市政设施的厂网站与属于水利设施的闸坝、排涝泵站等设施，都围绕河道断面达标互动，促使水体流动，流水不腐。最终达到，溢流污水少入河，水质净化厂减负荷，再生水补充河道生态用水。

5.5 成都市百万吨级大型污水处理设施的运营优化对策

除了污染物降解理论创新和进步外，如何把已经成熟的技术应用到污水处理厂的设计上，如何保证设计工艺和设备正常高效运行是影响城市污水处理实际效果的决定性因素。成都市排水有限责任公司第九净水厂刘少非厂长介绍了该厂的现状、运行经验和实际运行中发现的问题，并就提标改造提出了未来的构想。

刘少非指出，在实际运行中城市污水处理厂普遍在超负荷状态下运行，并大量投加药剂来保证出水水质。对此，刘少非提出现阶段只有通过精细化运行管理，结合运行数据来优化加药量以节约处理成本，结合信息化数据工作平台完善工作程序和机制以期更高效运行。此外，注重人才队伍的建设，培养专家型技术型员工，在实际运行中对原有设计进行优化，完成技术创新和改革也直接或间接地提升了经营效益和管理效益。

作为西南地区日处理规模较大的一体化成型污水处



理厂，在其他几个污水处理厂面临提标改造减产时承担了收纳这部分水量的责任，他表示在突发情况下管理过程中设备修理和保养、安全保障十分重要。

未来，成都市净水九厂将继续完成提标改造，同时预计投资12亿元进行市政管网提质增效，肩负起让环境更优，让生活更美的责任。

成都环境集团 | 成都市排水有限责任公司
CHENGDU ENVIRONMENT GROUP | CHENGDU DRAINAGE CO., LTD.

成都市第九净水厂简介

- ◆ 位于四川省成都市锦江区风景秀丽的白鹭湾湿地公园南侧，服务成都市中心城区第Ⅷ排水分区，服务面积约199km²，厂区占地面积801.435亩。
- ◆ 主体采用多模式A2/O+长纤维滤池+紫外线消毒的三级深度处理工艺
- ◆ 出水各项污染物指标执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）一级A标准
- ◆ 接纳水体为府河（Ⅳ类二级水域）。
- ◆ 总处理规模100万吨/天，国内目前一次性建成单体工程最大的污水处理厂
- ◆ 厂外配套建设了一座50万方/天的中水泵站，中水泵站与厂外提升泵站合并建设，目前管网配套输送能力30万方/天，其中25万方中水输送至府河上游清水河，余下5万方中水为沿岸的肖家湾湿地公园和锦城湖等人工湿地补水。
- ◆ 对污水处理过程中产生的污泥经机械浓缩、离心脱水处理后，送至配套建设的成都市第一城市污水处理厂进行干化焚烧处置。

► 信息化与生产管理



►技术创新、技改技革



5.6 新形势下污水厂的现场安全管理

安全管理一直是污水处理厂生产过程中易被忽视的问题，近年国家对水环境的重视使得污水处理厂的数量快速增长，增加了一批就职于污水厂的人员。而从事生产的工人，包括部分管理人员在安全生产方面意识尚有欠缺，而在污水处理厂生产中易发生中毒窒息、高处坠落和火灾触电等安全事故，故在实际生产过程中发生了许多由于安全意识不足引发的悲剧。



无锡市政公用环境检测研究院有限公司谈振娇副总经理基于多年的管理运行经验，总结了现今污水处理厂安全生产方面存在的问题，分阶段结合真实图像资料展示出来，具体包括设计阶段、生产阶段、施工和检修阶段，类似于电控柜没有及时更新，变频器周围环境不佳引起超温停机，鼓风机房没有通风，元器件断裂没有及时维修，在控制室和机房堆放药品和杂物等现象屡见不鲜，这些问题都给运行安全带来了隐患。谈振娇指出，污水处理厂的安全管理普遍存在流于形式和一阵风式的管理两个现象，管理人员不重视、操作人员不重视、安全教育和安全会议只求形式是安全管理薄弱的主要原因。

对于风险防范措施，谈振娇提出了四点建议：加强现场和设备设施管理；改进管理体系；重点督促安全管理；提高员工的安全知识和安全技能。污水处理厂现场安全管理重在管理，管理重在现场，现场重在落实，要做到我的安全我负责，企业的安全我尽责，他人的安全我有责。

无锡环测院

安全管理工作总是成为管理中薄弱和忽视的问题

管理者对安全的不重视

日常工作平淡化,变化不多,整体工作环境的危险性相对不高。运行员工的管理工作主要集中在巡视,涉及危险场所的机会较少。而管理者又往往疲于处理水质水量和外部的沟通,对不容易出现的安全事故往往掉以轻心。安全工作就往往只有周边区域的污水厂发生了安全事故以后,才加以重视,又很快变成一阵风式的管理。

操作人员对安全的不重视

平时安全事故的出现比较低，特别显性的危险并不是特别多，比如明火、高空、爆炸、剧毒等等，当没有视觉危险的时候，工作人员往往不能引起足够的安全注意，也使得安全教育成为了耳旁风。认为不可能出现在自己的身边，造成安全意识不足，工作中只是图快图省事，忘记了安全措施。

安全教育持续不了

安全工作总是一阵风式的管理模式。每年开展几天，然后从上到下就都习以为常，看到危险操作也不提醒，安全会议往往议题陈旧，甚至早已偏离了安全内容，召开了其他工作内容，没有持续的安全教育，寄希望于幸运，也导致安全事故在污水厂频繁发生。

17

生产过程风险

无锡环测院

类别	来源	风险点
1、坠落事故	污水、污泥池、罐，恶劣气候条件下频率较高。	高处坠落
2、机械伤害	电动机、格栅机、搅拌机、螺旋挤压机、传送机等机械在设备运转、检修过程中，因缺少防护设施或防护设施失效、操作人员劳保用品使用不到位、违章操作等。	人员受到擦伤、夹伤、挤压、碰撞、搅伤等机械伤害
3、电气伤害	全厂的电气系统，现场湿度大，部分场所通风不畅，设备检修时带负荷拉闸、带电作业	线路老化、短路、触电等
4、火灾事故	电气设备缺陷或者使用不当发生短路；格栅间、污泥脱水间内	沼气聚集后遇明火易发生可燃气体火灾；秋冬季节易发生绿化火灾；随意丢弃的未熄灭的烟头、违章用电动火等
5、高处坠落	在高于基准面2米以上的高空作业，防护设施缺失、违规作业	失足坠落
6、起重伤害	吊装、吊运作业中，吊运作业主要分布在提升泵房、鼓风机房、滤池车间、中水回用泵房等。	吊具倾斜、重物失落
7、噪声危害	主要是鼓风机、水泵、排风机等产生的机械性噪声，以及压缩空气产生的空气动力性噪声。	长期无防护的暴露在高噪声环境里，作业人员容易产生枯燥、烦躁、易疲劳、反应迟钝和注意力不集中现象，增加事故发生

22

一、加强现场和设备设施管理

无锡环测院



36

改进管理体系

无锡环测院

二、改进安全管理体系

建立明确的安全生产责任制，明确各自的安全职责，定期检查

完善隐患排查治理机制
定期对现场隐患进行检查，查出隐患及时治理，举一反三，避免重复

开展安全生产标准化工作
通过对标管理，提高安全生产管理水平

注：在污水处理厂安全生产管理制度贯彻方面，尤其**强调安全生产检查制度落实的重要性**，确保现场各类作业活动处于有效监督之下，这样才能规范员工的行为，才能将安全落到实处。

43

如何做好现场安全管理

无锡环测院



5.7 城镇污水厂的未来 – 提标改造的运行评估与启示——高标准下污水处理厂稳定运行存在问题和对策分析



江南大学环境与土木工程学院王燕博士介绍, 2007年太湖蓝藻爆发后引发了江苏省污水厂的提标改造, 综合排放标准由一级B提升至一级A。2012年、2017年分别有169座、245座污水处理厂完成提标改造, 2014年太湖水质也从2007年的劣V类提升到了IV类。

王燕首先提出了三个结论: 第一, 污染物的削减变化, 污染物削减总量上升; 第二则是不利的, 污水处理单位

电耗增加55%, 且吨水总磷总氮去除量下降; 第三, 药耗投加变化较大, 据工艺设计而定, 但总体能耗随着处理规模的增大而减小。

接着王燕博士总结了几个在实际工程中得出的启示
第一, 进水COD、SS和TP逐年下降, 除了太湖流域产业结构调整和企业的偷排漏排现象减少外, 管网渗漏也是一个不可忽视的重要因素, 所以管网提质增效刻不容缓, 要注重管网质量、管网监测和维护; 第二个是针对提标改造的工艺选择, 她提出了几个现有的存在问题的技术路线, 并就实际经验否定了在太湖流域采用如旋流沉砂池和高效沉淀池+滤布滤池等技术路线, 另外她还总结提出了生物段投加除磷药剂会影响生物活性、TN尽量避免在深度处理阶段去除等结论; 第三个是进行全流程评估, 对于现有污水处理厂先考虑优化运行后考虑工程改造。

一级A污水处理厂数量发展

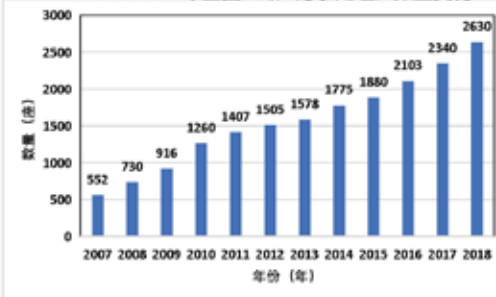
2008年-2012年太湖流域一级A数量和规模变化

年份 (年)	数量 (座)	规模 (万立方米/天)	改造完成率 (%)
2008	29	82	17.2
2009	45	132.5	26.6
2010	166	392.5	98.2
2011	167	394.5	98.8
2012	169	398	100

太湖流域:

- 2012年: 169座全部完成
- 2017年: 245座, 683万吨/天

2007-2018年全国一级A污水处理厂数量变化



全国:

- 2018年: 2630座
- 占比: 49%

污水处理厂标准不断严格

项目	COD mg/L	BOD ₅ mg/L	SS mg/L	NH ₃ -N mg/L	TN mg/L	TP mg/L
一级A标准	50	10	10	5(8)	15	0.5
北京市地方标准 (DB11/890-2012)	B标准 30	6	5	1.5(2.5)	15	0.3
天津市地方标准 (DB12/599-2015)	A标准 20	5	5	1.0(1.5)	10	0.2
GB18918-2002 (征求意见稿)	C标准 50	10	10	5(8)	15	0.5
江苏省地方标准 (太湖地区城镇 污水处理厂及重 点工业行业主要 水污染物排放限 值) (DB32-2018)	B标准 40	5	5	2.0(3.5)	15	0.4
特别排放限值	30	6	5	1.5(3.0)	10	0.3
一二级保护区	40	-	-	3(5)	10 (12)	0.3
其他地区	50	-	-	4(6)	12 (15)	0.5

COD:

50→40→30→20

NH₃-N:

5→4→3→1.5

TN:

15→10→5

TP:

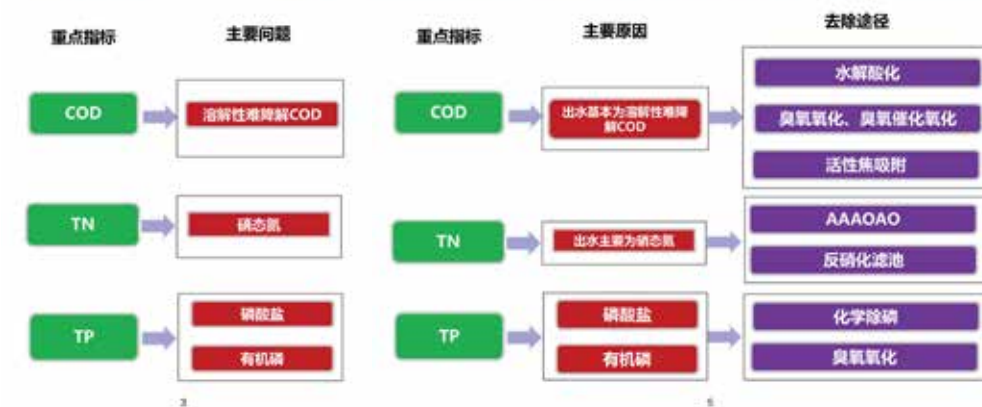
0.5→0.4→0.3→0.2

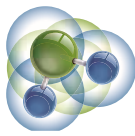
已提标城市污水厂深度处理技术路线

序号	强化去除污染物	深度处理技术路线
1	TN和NH ₃ -N	反硝化滤池+曝气生物滤池
2	TP和TN	高效沉淀池+反硝化滤池
3	COD和TN	反硝化滤池+臭氧氧化
4	COD、TN和NH ₃ -N	反硝化滤池+臭氧氧化+曝气生物滤池
5	COD、TP和NH ₃ -N	混凝沉淀+臭氧氧化+曝气生物滤池
6	TP、SS和COD	混凝气浮+活性炭吸附+砂滤
7	TP、SS、TN和COD	磁混凝沉淀+深床滤池+臭氧氧化
8	TP、TN (水质深)	气浮除磷
9	COD、TP、SS	MBR+反硝化滤池
		絮凝反应池+砂滤

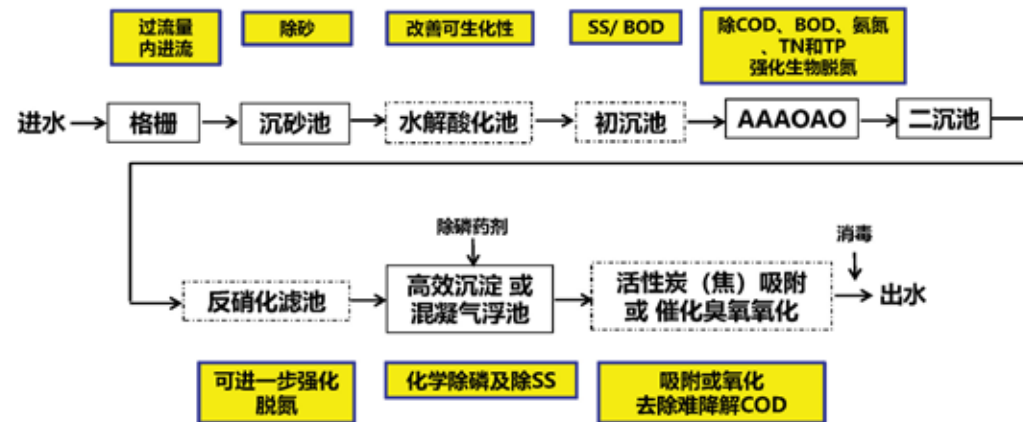
一级A到新标准-重点指标和问题

提标难点污染物去除途径分析及研究





推荐提标改造工艺路线方案



建议氨氮的去除优先考虑悬浮填料，其次曝气生物滤池

不建议工艺：旋流沉砂池；高效沉淀+滤布滤池

2019.02，江苏省住房和城乡建设厅发布新一轮提标改造通知



2019年2月，江苏省住房和城乡建设厅发布《关于做好太湖地区城镇污水处理厂新一轮提标工作的通知》，其中提出“抓紧做好城镇污水处理厂本地调查，按照《江苏省太湖地区城镇污水处理厂DB32/1072提标技术指引（2018版）》确定的工作流程，自行组织或委托专业机构尽快开展全流程技术评估，结合水质、水量特征和设施本底情况，科学制定“一厂一策”技术方案。

时间节点	2019年4月底	2019年6月底	2019年12月底	2020年底
具体要求	完成太湖地区城镇污水处理厂调查评估和确定布局优化方案	太湖一二级保护区内城镇污水处理厂应编制完成提标改造方案	太湖一二级保护区内城镇污水处理厂完成各项准备工作，具备条件要力争尽快开工建设	太湖地区城镇污水处理厂要全面完成提标改造工作，出水达标排放

提标改造技术原则：先优化运行 后工程改造

全流程评估结果

硝化:

影响因素	DO	MLVSS/MLSS	搅拌	温度	进水水质	HRT
占比 (%)	49	56	15.7	12	8.5	6

反硝化:

影响因素	碳源	回流比	DO	搅拌	其他(进水)
占比 (%)	85.5	16.4	9.1	7.3	7.3

除磷:

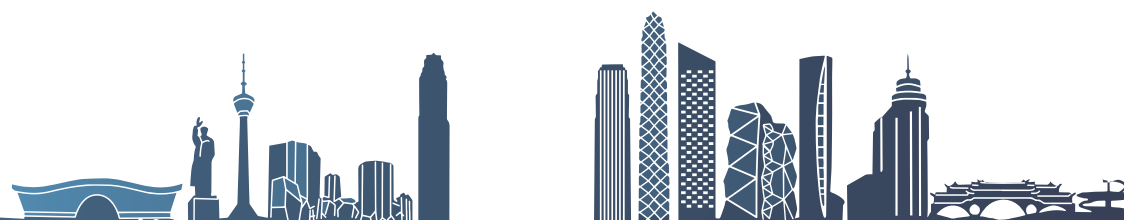
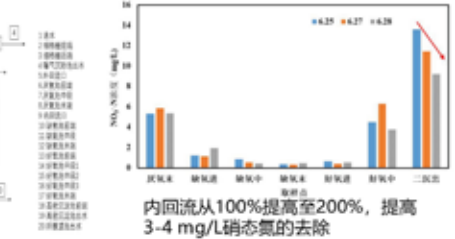
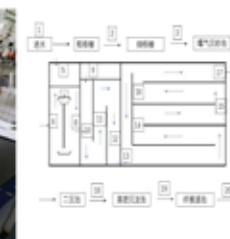
影响因素	除磷药剂投加	药剂混合反应效果	厌氧区硝态氮	厌氧区搅拌	化学除磷抑制生物除磷	进水冲击
占比 (%)	56	18	15.7	12	68	6

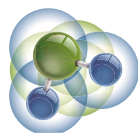
注：基于58座污水处理厂全流程分析数据

建议

开展全流程分析，掌握各功能单元运行现状，针对性进行工艺优化调控

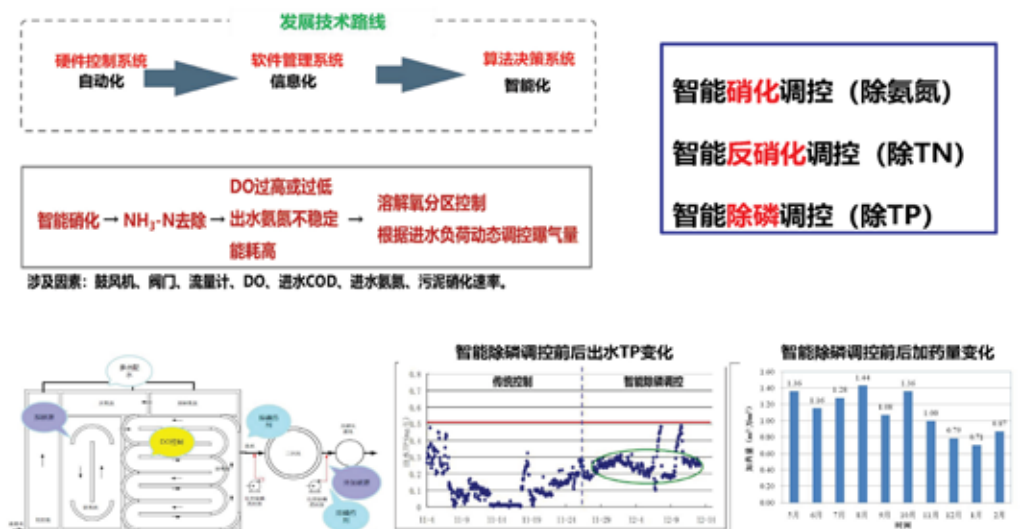
重点关注过程指标和非常规指标监测（如硝态氮、磷酸盐以及反映活性污泥功能菌群活性的硝化速率、反硝化速率和释磷速率等），根据测试结果反映的问题及时调整工艺运行参数，运行和管理更加精细化。从活性污泥的生长最适环境来思考如何提高活性污泥活性，从而强化污染物的去除效果。





建议

➤ 借助物联网技术，提高过程智能控制水平，增强运行稳定性，同时降低能耗



6 化学品管理与新兴污染物控制

6.1 水环境中药物风险与控制



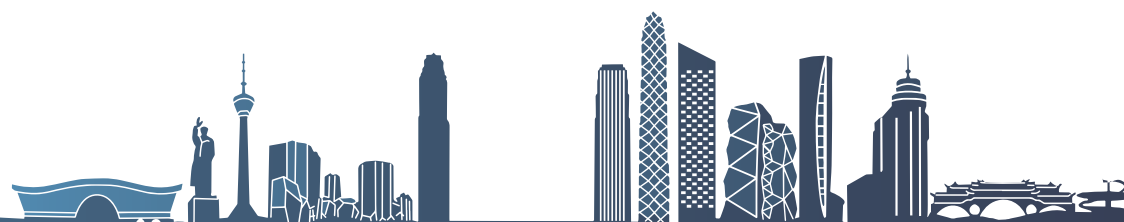
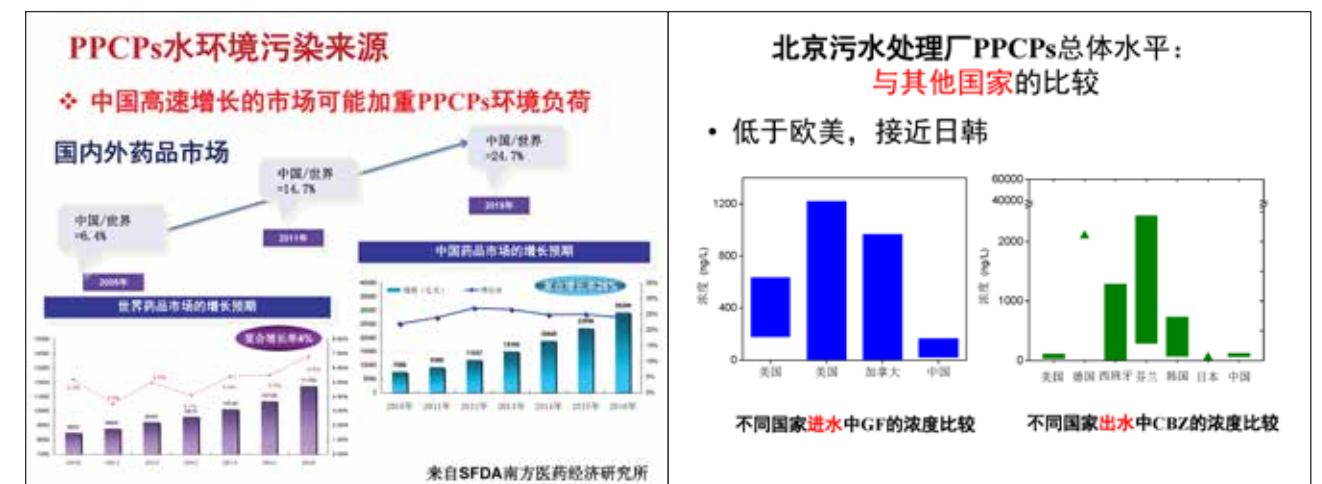
相应的评估。目前在欧美发达国家已经把一部分药物纳入了他们的产品风险管理过程中。从生态文明建设高度讲，水里面的新兴污染物以及风险控制，肯定是未来必要的工作。

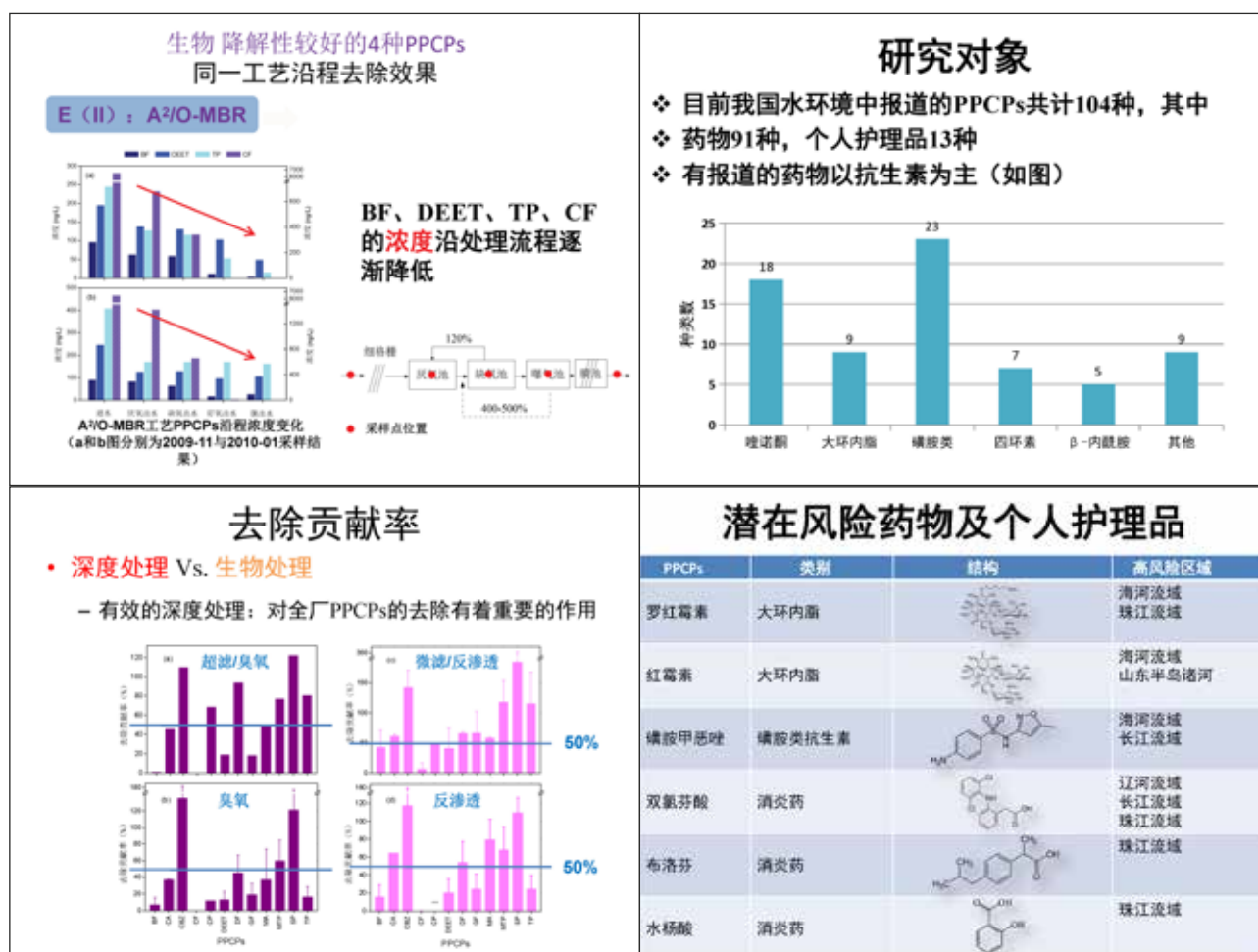
污水处理厂里面存在着一定浓度的 PPCPs，药物的浓度水平跟欧美和日韩的国家接近。余刚教授团队建立了相应的预测模型，可以使用这些模型预测水里面的相应 PPCPs 的浓度。余刚教授团队对全国范围内的抗生素做了相关风险水平的分析，发现大多数 PPCPs 处在比较低的风险水平，有一些药物达到中等的风险，极个别的药物达到高风险的状况。

余刚教授指出 PPCPs 是当前发达国家正在着力分析和试图解决的水环境风险问题，我国也面临着 PPCPs 对环境影响的问题，我们需要全面研究 PPCPs 的污染现状和控制政策。从我国目前研究来讲，氧化吸附等深度处理技术能有效地去除 PPCPs 等物质，但这些工艺的经济效益有待继续研究。

清华大学环境学院余刚教授就水环境中的 PPCPs 风险与控制进行了演讲。PPCPs，（Pharmaceutical and Personal Care Products），即药物及个人护理用品，在使用后通过城市水管网系统等途径进入污水处理厂，并最终进入水环境中造成潜在风险。PPCPs 的来源于有化工厂、畜牧业等。由于 PPCPs 在环境中的持久性，已经逐渐引起了越来越多的关注。

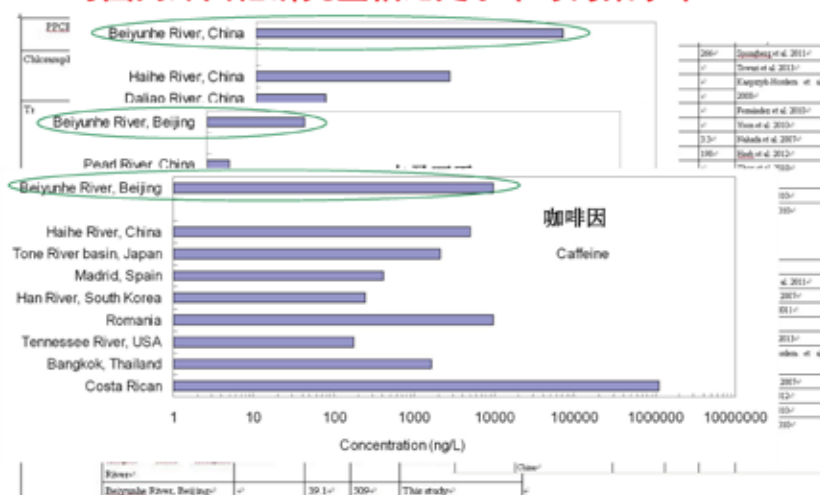
从 PPCPs 的来源讲非常复杂，由于近年来抗生素大量使用，药物的环境风险已经成为了重要的问题，要对特定 PPCPs 进行一些相应的筛选，对环境风险进行





北运河地表水中PPCPs的存在

❖ 与国内外其他研究区相比处于中等污染水平



6.2 水中典型抗生素的高效去除技术



大连理工大学的乔森教授报告的题目为：膜分离与AOPs耦合技术及其毒性控制原理。目前我国污水处理或者水生态、水环境面临很大的挑战之一，是废水中有毒有害物质怎么实现去除，它的毒性与控制应该怎么做。

全氟烷酸化合物从 80 年开始到 2015 年呈持续上升的趋势，我国目前已经是全球抗生素最大的使用国和生产国，抗生素所带来的最大的危害就是抗性基因，抗性基因会造成超级细菌。

膜技术是去除有毒有害化学物质很有用的工艺。对于反渗透来说它存在能耗较高、成本低、产水率低的缺点。膜污染造成预算不断的增加。由此首先想到高级氧化技

术，它可以去除有害有毒物的物质。

传统的高级氧化技术中，芬顿、臭氧氧化工艺的氧化能力弱，产生活性自由基少、所以将膜分离的技术和高级氧化的技术结合起来，实现有毒有害物质的去除。

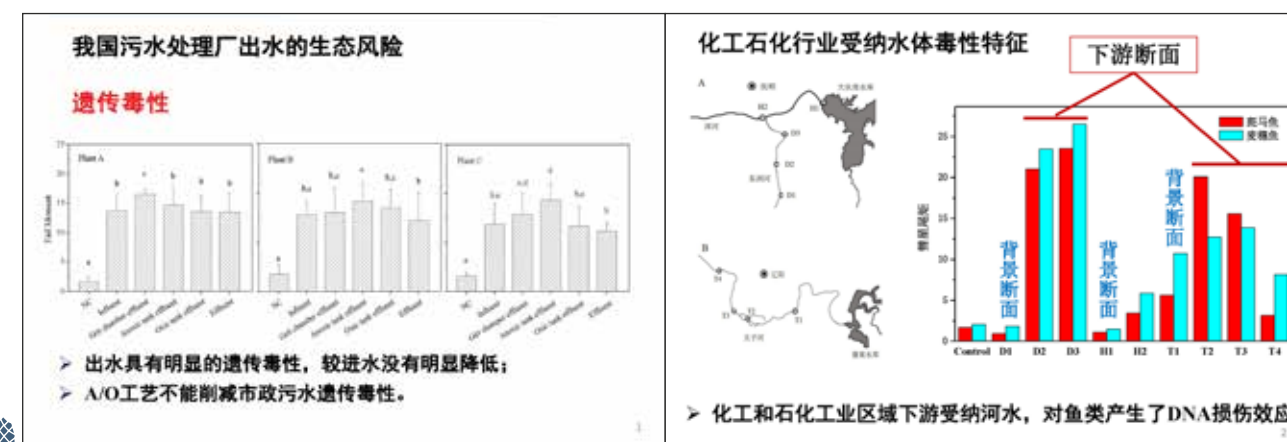
基于此，乔森教授课题组做了膜技术和高级氧化技术耦合方面的工作。首先跟电化学的耦合，通过真空过滤煅烧获得碳纳米管和陶瓷膜和管式膜。

乔森教授指出，如果不加电对腐殖酸去除效果很快就会下降到 10%，而加电之后它的去除效果一直稳定在 100%。导电的碳膜在电吸附和电脱附有显著的增加，加一个同向的电压可以把这些污染物释放出来。

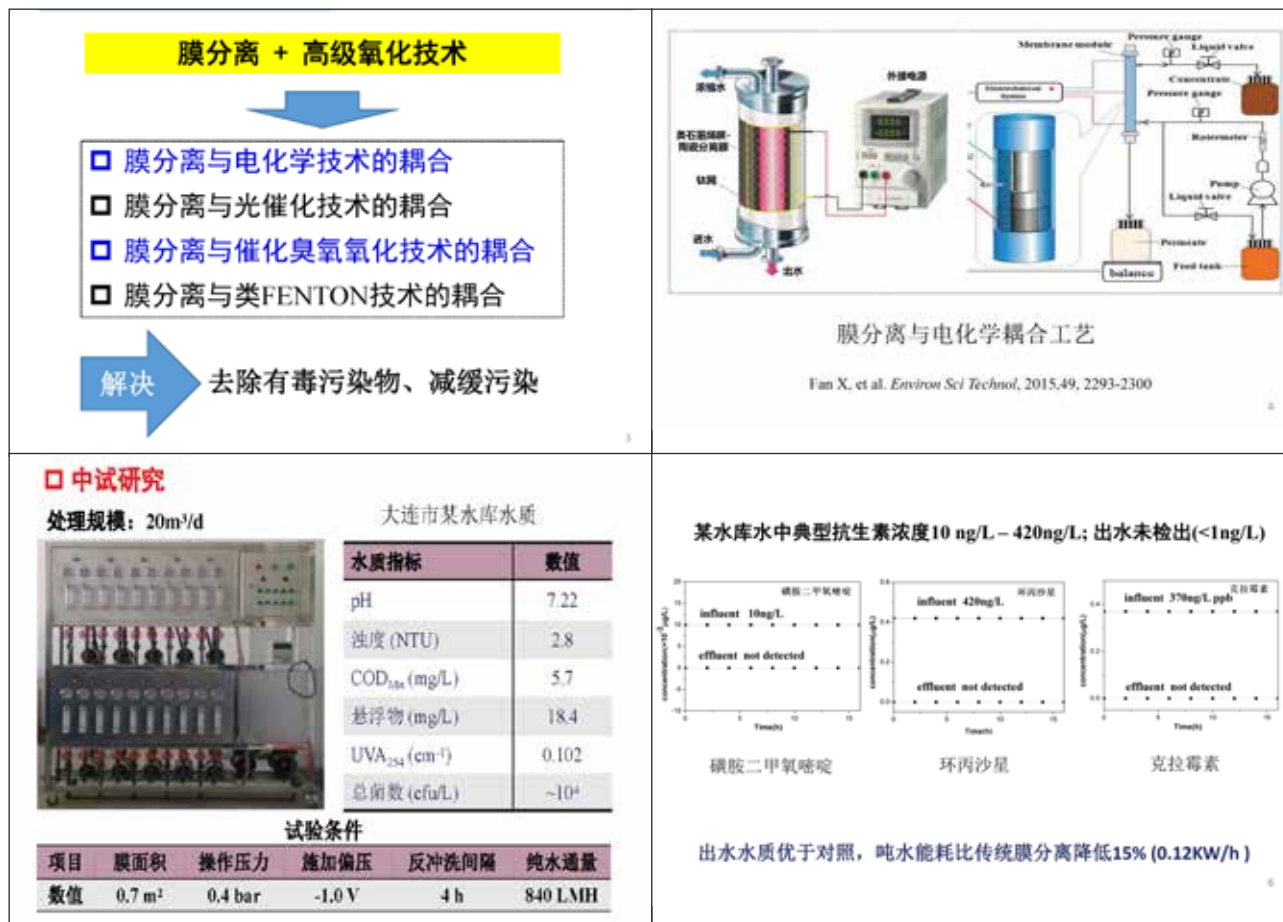
与催化臭氧氧化的耦合时,将催化层镀在膜的表面,这样通过膜过滤既有催化效果,又有膜过滤的双重效果。对于四环素的去除,二者协同后有提升,对于 UV254 有明显的提升效果。

膜技术与电化学或者催化臭氧氧化耦合后，能够有效减少膜污染，保持高通量、高污染物的截留效果，同时高效的截留或分解有机、有毒有害污染物，显著去除各类毒效。

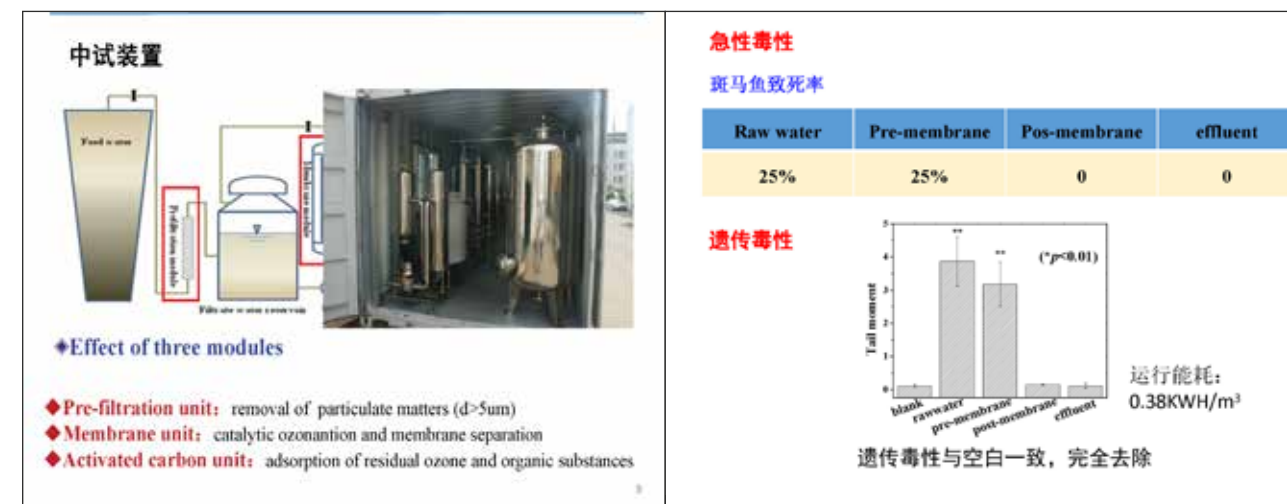
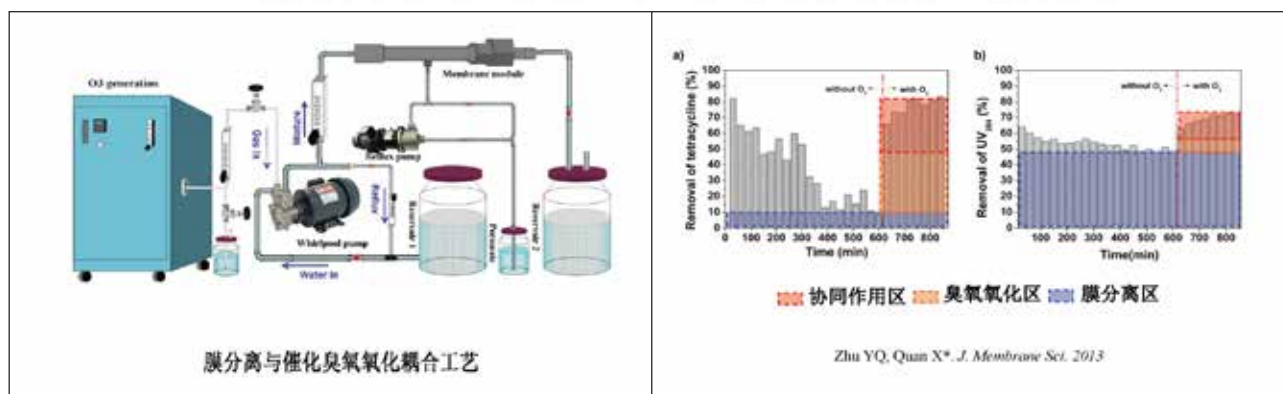
1、研究背景-面临的挑战



2. 膜分离与电化学耦合技术



3. 膜分离与催化臭氧氧化耦合



6.3 复合污染流域水体与沉积物中毒性物质的归趋与管理



韦朝海教授介绍了所发现环境当中水体毒性物质暴露的情况, 以及跟流域水体的本体之间的关系。北江 TOC 很高, 典型的有机污染。而西江是典型的矿产开发区。

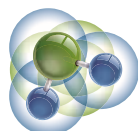
韦朝海教授介绍了广东珠江流域的 TOC 及重金属的时间空间分布情况, 为两江之间的重金属风险进行了详细的调查, 并对水环境污染物的风险权重做出了总结。

韦朝海教授指出, 北江流域要应对亚运会供水、用水安全的问题, 而西江出现了污染事件, 所以开始了这两个流域的研究。

针对这两个流域, 韦朝海教授的命题有 4 个方面。第一, 选择典型的重金属, 有机物 PAHS、OCPS、PAES 等。第二, 沉积物当中污染物成分, 污染物降解转化和矿化。第三, 基于重金属, 有机物的选择性分离, 处理与修复污染水水体。第四, 污染沉积物的修复, 零价铁原理, 磁性分离, 毒性削减。

韦朝海教授指出了所发现环境当中水体毒性物质暴露的情况, 以及跟流域水体的本体之间的关系。北江 TOC 很高, 典型的有机污染。而西江是典型的矿产开发区。

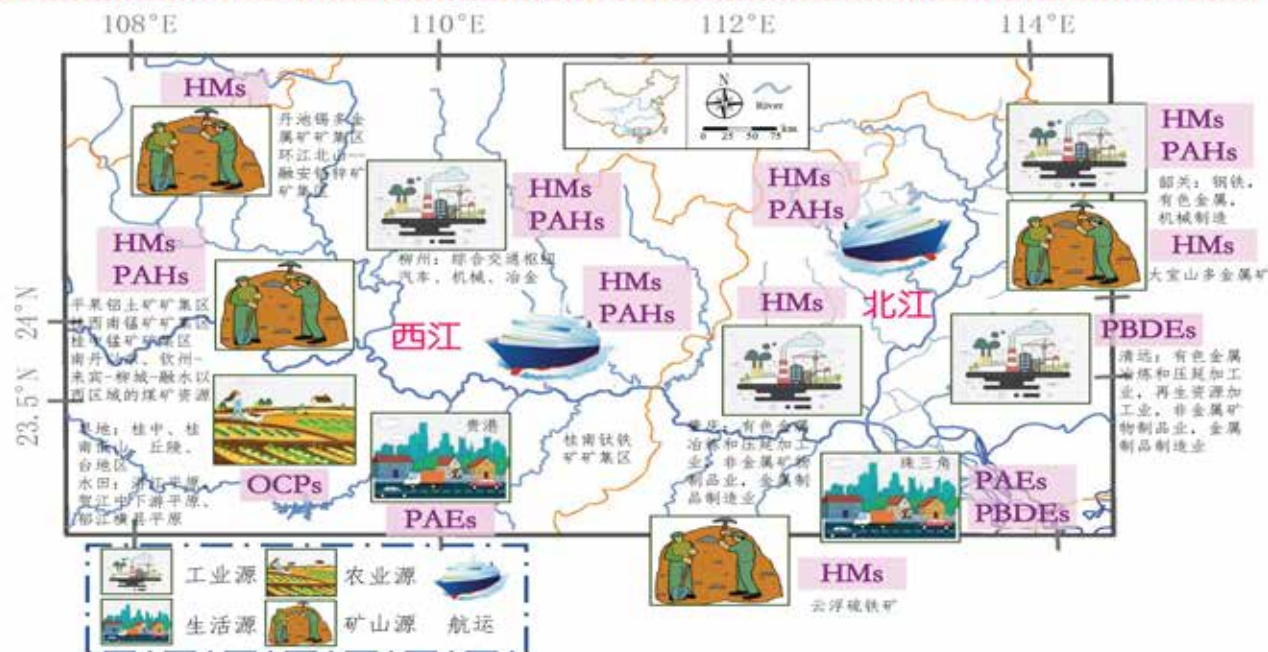
韦朝海教授指出污染源主要是两个部分, 一个是矿产冶炼, 一个是面源污染。风险这里有自然风险和非自然风险。根据风险由低到高的权重, 有毒污染物的控制应该考虑以下方面: 水质指纹分析、指纹图谱、荧光污染物、特征污染物、同位素探针、致修物、在线预警、统计与大数据、模型分析预测、毒性评价与反馈。



北江和西江流域代表性污染物及其来源

P1

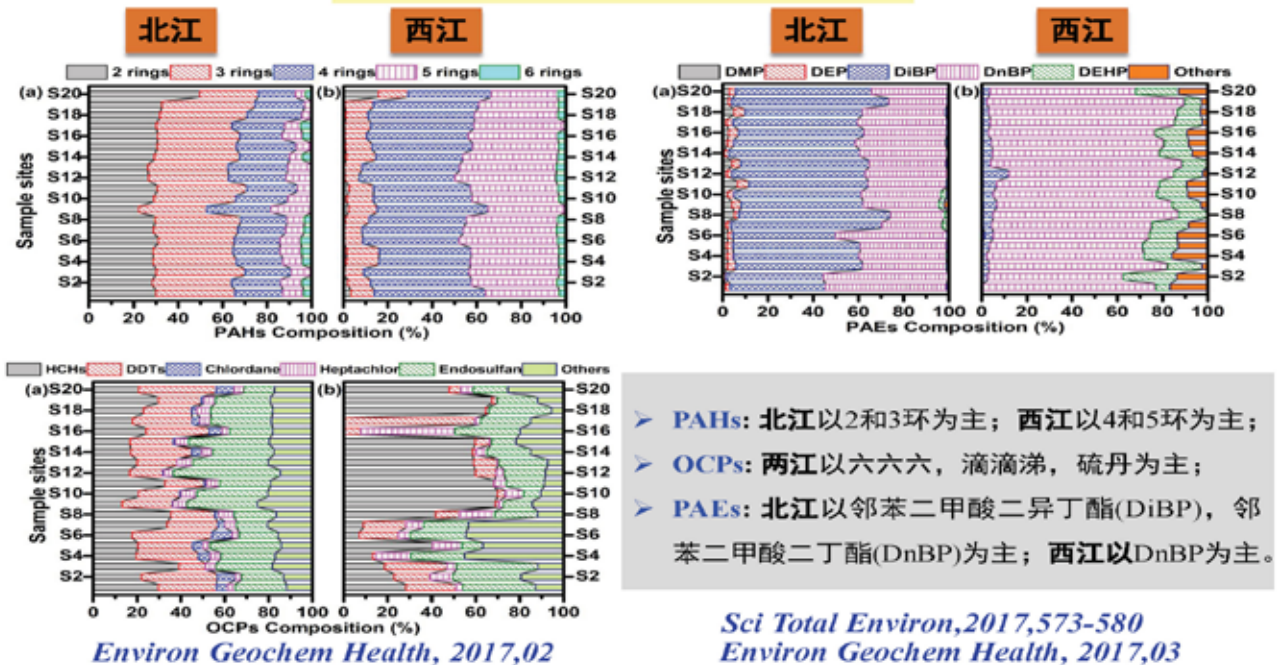
两江汇流经济高速发展圈，对社会稳定、经济发展、生态循环具有重要性。



污染暴露-两江水体PAHs/OCPs/PAEs组成分布

P2

两江水体PAHs/OCPs/PAEs组成分布



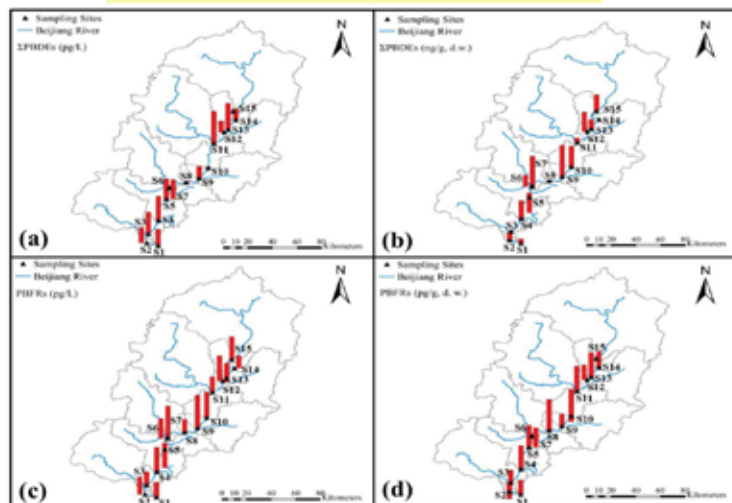
- PAHs: 北江以2和3环为主；西江以4和5环为主；
- OCPs: 两江以六六六，滴滴涕，硫丹为主；
- PAEs: 北江以邻苯二甲酸二异丁酯(DiBP)，邻苯二甲酸二丁酯(DnBP)为主；西江以DnBP为主。

Sci Total Environ, 2017, 573-580
Environ Geochem Health, 2017, 03

污染暴露-北江典型溴代阻燃剂分布与组成

P3

北江典型溴代阻燃剂分布特征

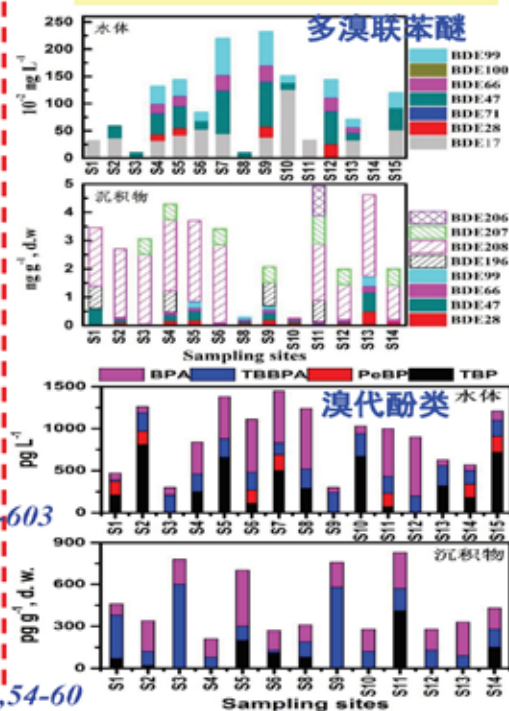


- (a) 水体中的 Σ_{20} PBDEs
- (b) 沉积物中的 Σ_{20} PBDEs分布模式
- (c) 水体中TBBPA、2,4,6-TBP、PeBP和BPA总和的分布模式
- (d) 沉积物中TBBPA、2,4,6-TBP、PeBP和BPA总和的分布模式

Environ Pollut, 2016, 596-603

Rapid Commun Mass Sp, 2015, 54-60

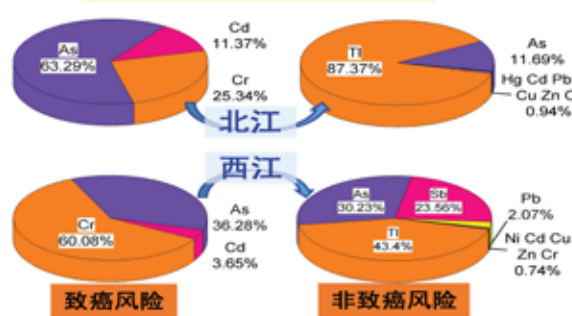
北江典型溴代阻燃剂组成



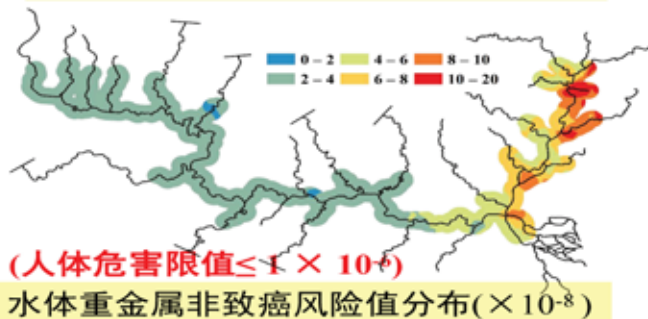
风险评价-两江水体重金属风险水平

P4

各重金属风险值占比

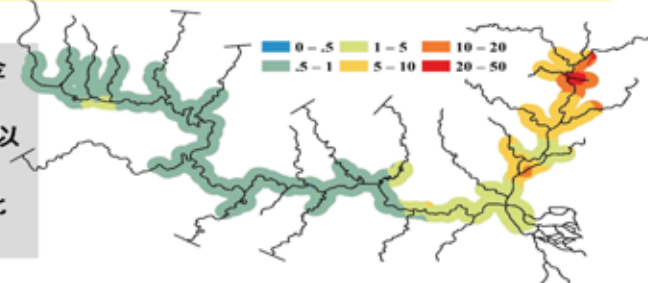


水体重金属致癌风险值分布($\times 10^{-6}$)

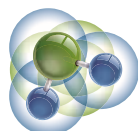


(人体危害限值 $\leq 1 \times 10^{-6}$)

水体重金属非致癌风险值分布($\times 10^{-8}$)



- 北江重金属污染比西江严重，且北江普遍重金属超标，具有健康风险；
- 北江水体以As、Cr、Cd、Ti污染为主，西江以Cr、As、Ti、Sb为主；
- 北江重金属污染源集中在大宝山和韶冶，对北江风险贡献量总和达80%。

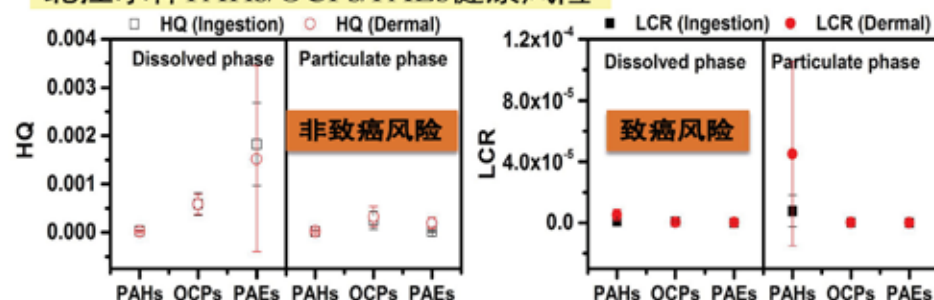


风险评价-两江水体PAHs/OCPs/PAEs风险

P5

北江水体PAHs/OCPs/PAEs健康风险

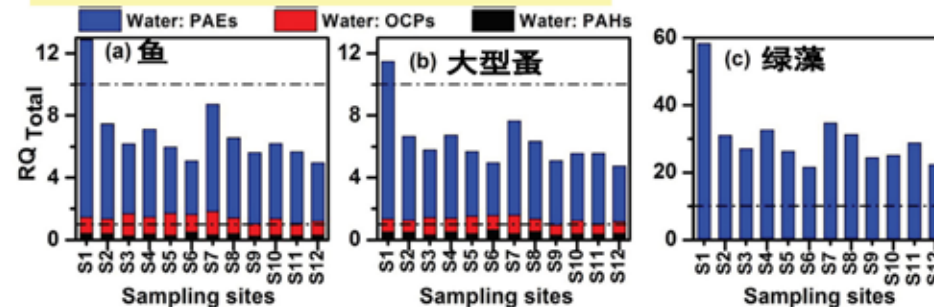
Environ Geochem Health, 2017,02



通过饮用和皮肤接触，均无非致癌风险和致癌风险。

西江水体PAHs/OCPs/PAEs生态风险

Environ Geochem Health, 2017,03

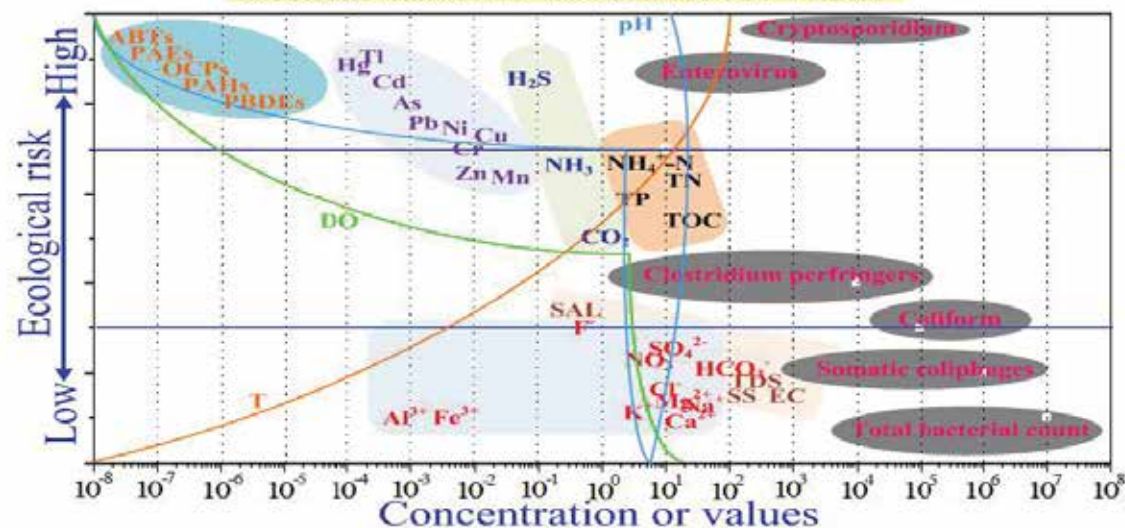


生态风险主要来自于PAEs；
对绿藻的生态风险最高。

风险评价-复合污染风险判定

P6

污染物的浓度分布与其生态风险水平关系



复合污染风险评价：

微污染物、微生物、重金属、放射性、有机污染、营养成分、溶解性气体、盐分污染、冷/热污染、酸碱污染

6.4 河岸过滤控制新兴污染物

刘会娟，清华大学环境学院特聘教授，中国科学院



生态环境研究中心研究员，国家杰出青年基金获得者。入选科技部中青年科技创新领军人才和中组部“万人计划”科技领军人才，国际水协亚太地区（IWA-ASPIRE）委员会成员。

饮用水水源中有很多新兴污染物如药品、个人护理用品（PPCPs）、内分泌干扰物（EDCs）等，因具有较高的生物活性和毒性备受关注。常规的水处理过程会

添加一些水处理药剂，如：消毒杀菌过程的氧化剂，混凝过程的絮凝剂、助凝剂，除藻过程的预氧化药剂等。然而，水处理药剂在水质净化过程中往往会产生处理一些副产物。因此，刘会娟教授指出水处理当中，应该尽量不用或者少用化学药品，开发净水安全的工艺。

无药剂净水的水处理工艺在中国比较少，在美国、荷兰、瑞士已经进行了多年的研究，其中最常见的是河岸过滤工艺。刘会娟教授基于自然土地慢滤系统，提出河岸过滤+生物强化慢滤+低压纳滤的3F工艺模式，取得了瞩目的成效。在3F工艺中首先利用自然的河岸过滤截留大部分新兴污染物，经过河岸过滤后有一些新兴污染物不能被截留，通过生物强化慢滤的过程进行削减和去除，最终用纳滤的方式进行保障性供水，从而满足安全供水。目前，3F工艺模式已在江苏句容陈庄的示范工程中有所应用，希望其能为中国饮用水无药剂制水，提供一些理论和实践支撑。

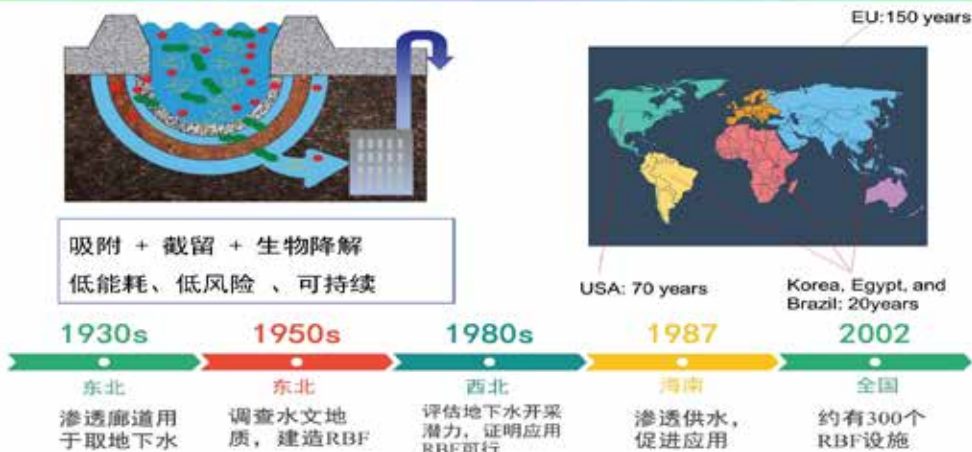
提出的问题：传统基于化学药剂的饮用水处理工艺存在缺陷



- ◆ 对微量污染物去除能力有限
- ◆ 使用消毒剂易形成具有“三致”作用的消毒副产物
- ◆ 2004年世界卫生组织（WHO）证实水中铝含量较高易导致老年痴呆症。

投加化学药剂导致的二次污染
是传统饮用水工艺面临的巨大挑战

河岸过滤 (Riverbank filtration, RBF)



河岸过滤对水质的净化作用

- 对细菌、胶体等具有100%的去除效率，对微量重金属、微量有机物等也具有很好的去除效果；
- 出水温度和水质恒定，便于后续处理。

指标	去除情况及效果
微生物	100% (T>60天)
胶体物质	100%
重金属与微量元素	大量去除
有机物及营养盐	50-75%
味觉&气味	50%
有机微污染物	0-100%
与地下水混合&分散	100%
温度与水质	恒定

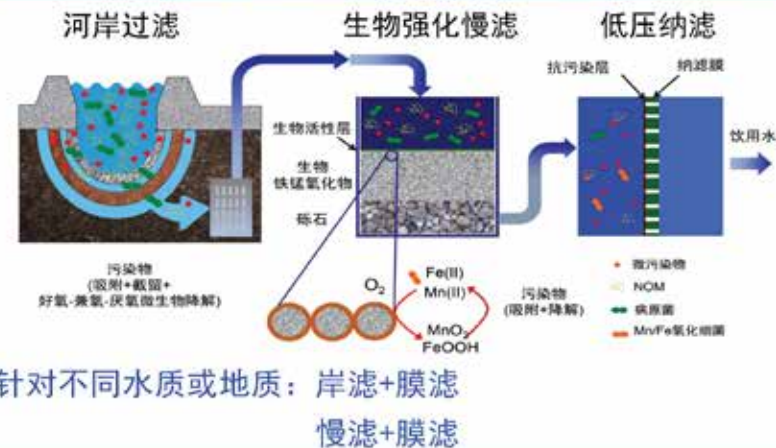
河岸过滤控制新兴污染物机制

ECs混合物及其物理化学性质

ECs	相对分子质量	pKa	电负性 (pH=8)	Log D (pH=8)
阿特拉津	215.68	1.6	0	2.26
卡马西平	236.27	-	0	2.64
氯杀灵	221.64	3.4	0	1.05
氟贝酸	214.65	3.2	-1	-0.18
双氯芬酸	296.15	4.2	-1	1.21
乐果	229.26	2	0	0.21
敌草隆	233.09	13.6	0	2.49
氢氯噻嗪	297.74	7.9	0	-0.72
酮洛芬	254.28	4.7	-1	0.49
林可霉素	406.54	7.6	1	-1.22
美托洛尔	273.36	9.4	1	0.14
非那宗	188.23	1.4	0	1.11
抗凝威	238.29	4.5	0	1.74
西玛嗪	201.66	1.6	0	1.83
磺胺甲恶唑	253.28	1.8、5.8	0	0.39

- 15种ECs混合物，不同物理化学性质和官能团；
- 地表水中的ECs在ng ~ μg/L范围内，实验ECs浓度每种500 ng/L。

3F工艺--无药剂工艺构建与系统调控原理



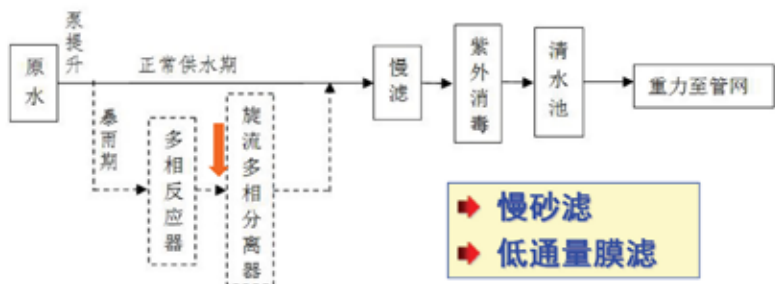
系统考虑各处理单元的污染物处理负荷和水力分布条件，实现3F的协同作用和智能控制。

示范工程：江苏句容陈庄供水工程

工艺流程及建设

工程概况

- 设计规模：一期供水50t/d，二期100t/d
- 设计工艺：原水→（混凝-多相分离）→慢滤/超滤



- 正常供水期，原水经提升之后直接进入慢滤系统，出水紫外消毒后供水；无需配制投加药剂，基本无需村民操作。
- 暴雨期或原水浊度较高时（>设定值），自动启动多相反应→旋流多相分离系统，经预处理后进入慢滤系统。

- 2018年4月正式投产，出水效果稳定，无人值守稳定运行；
- 经历夏季暴雨冲击，未投加药剂亦可稳定运行。

6.5 基于生物学通路的毒害化学物质（品）筛查策略与技术



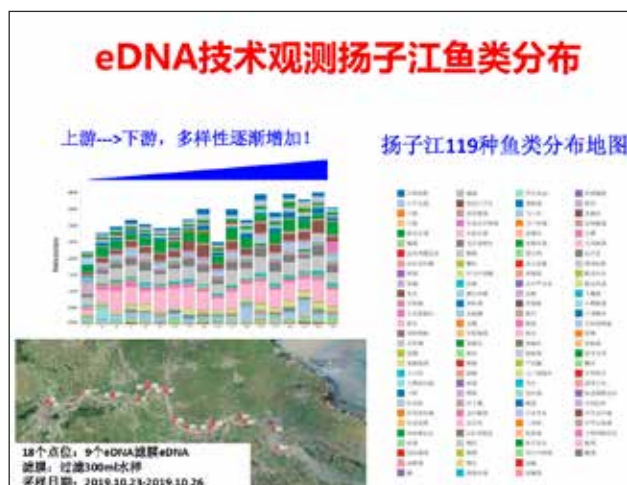
近年来环境基因（eDNA）在生态毒理学生态监测等领域发挥着越来越重要的作用，利用环境当中的DNA监测和量化生物多样性活动，被称为近年来生态学当中最重要的技术进步。

南京大学环境学院张效伟教授指出目前生态毒理学研究面临一些挑战：传统生态毒理学研究往往关注于生物个体而对生物种群的监测有所忽视，因此对于生物多样性和

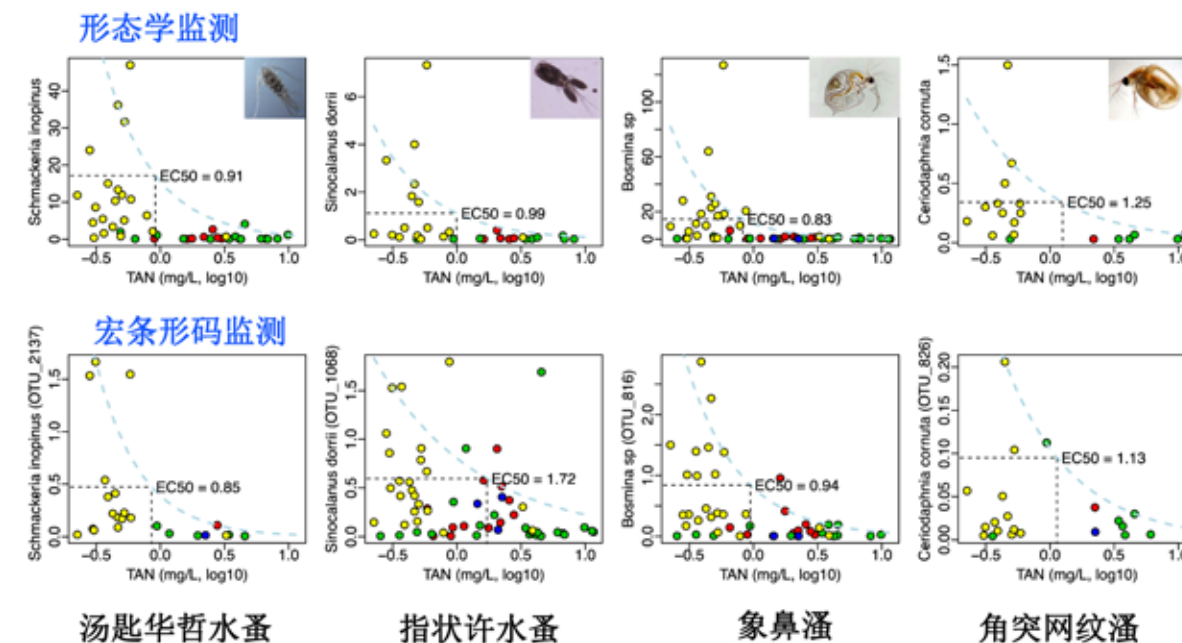
生物群落结构的影响的关键信息有所缺失，从而对生态系统功能的基本生态过程的影响在之前的生态风险评估中被忽视。通过eDNA的方法可以从分子到个体，到群落去评估一个生态系统健康程度。对于受损的生态系统，确定主要破坏因素，进行环境诊断。张教授将eDNA这个技术应用于4万平方公里河网分布的太湖流域。通过大量的监测，做多样化分析，包括：重金属、BOD、COD、氨氮等污染物质，同时监测太湖流域的物种分布，构建太湖流域浮游动物群落物种多样性基因图谱。整个流域群落有100多个物种，总体受到氨氮影响较大，种群大小随着污染物浓度增加在不断下降。

eDNA技术可以大幅提高我们对地球环境中生物元素及其结构的观测能力，帮助我们全面评估毒害胁迫因子对区域生态环境的长期效应及其作用机制，协助环境基准科学的发展。

基于eDNA宏条形码的水生生态生物多样性监测和健康评估



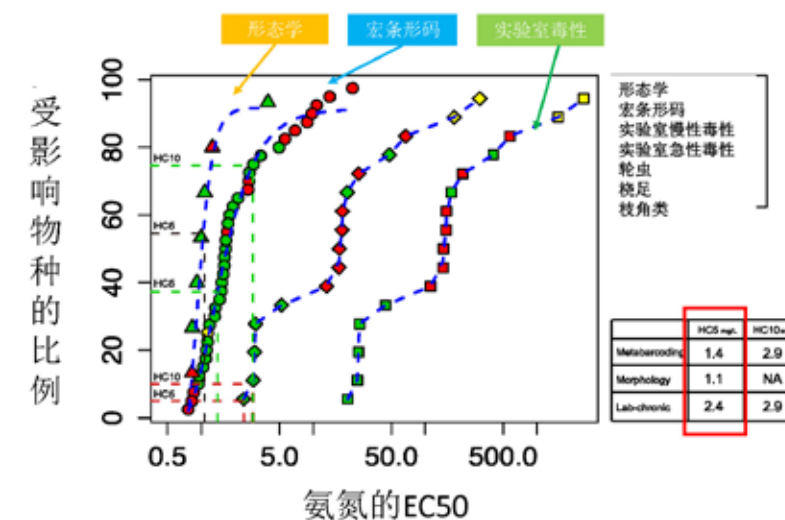
野外观测的敏感性物种种群变化



Yang J, Zhang X*, *Environ Sci & Technol.* 51: 3057–3064.

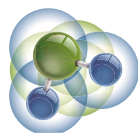
4

基于本土生态物种变化推导区域性氨氮基准



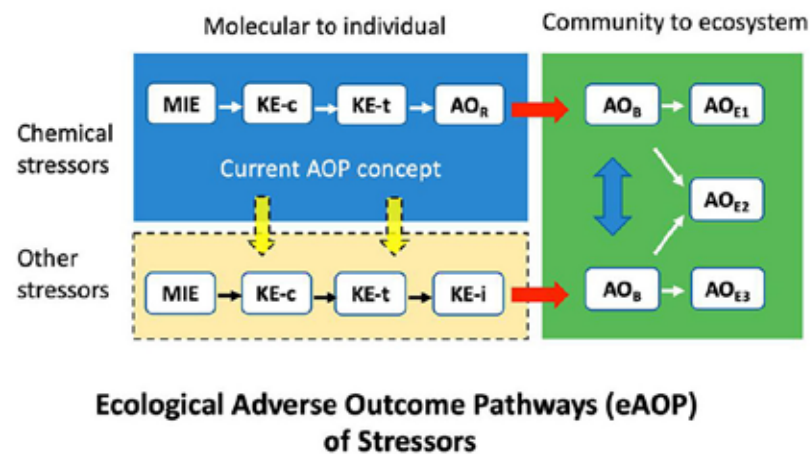
Yang J, Zhang X*, *Environ Sci & Technol.* 51: 3057–3064.

5



生态有害结局路径 (eAOP)

eAOP立足于解决多种环境胁迫因子共存条件下的对生物多样性和生态功能的影响



6.6 计算毒理学与化学品危害性预测

大连理工大学环境学院院长陈景文做了“计算毒理学与化学品环境危害性预测”报告。他指出,近100多年来,人类合成了化肥、农药、药物和各种工业化学品,CAS注册1.4亿种以上(每天约增加15000种),市场上使用14万种(REACH法规统计)。其中许多化学品是地球上原本不存在的物质,属于人为的合成化学品。对于这些化学品毒理效应进行逐一实验,存在效率低、成本高、耗时长等特点,是不现实的,因此需要从理论上、模型上、大数据的角度来评估和预测化学品的环境化学危害性,计算毒理学应运而生。

化学物质在环境中可以发生降解,其中环境光化学反应发挥了重要的作用。来自大连理工大学的陈景文教授研究了不同形态抗生素的环境光化学行为。陈景文教



授指出许多抗生素如环丙沙星分子结构比较复杂,在水中会发生变化,水解和配合,具有复杂的降解途径。仅采用实验的方法把这个过程说清楚很难。陈景文教授团队结合模拟日光实验和矩阵计算,测试不同形态抗生素的降解机制,从光能利用,自由基产生,化学键断裂

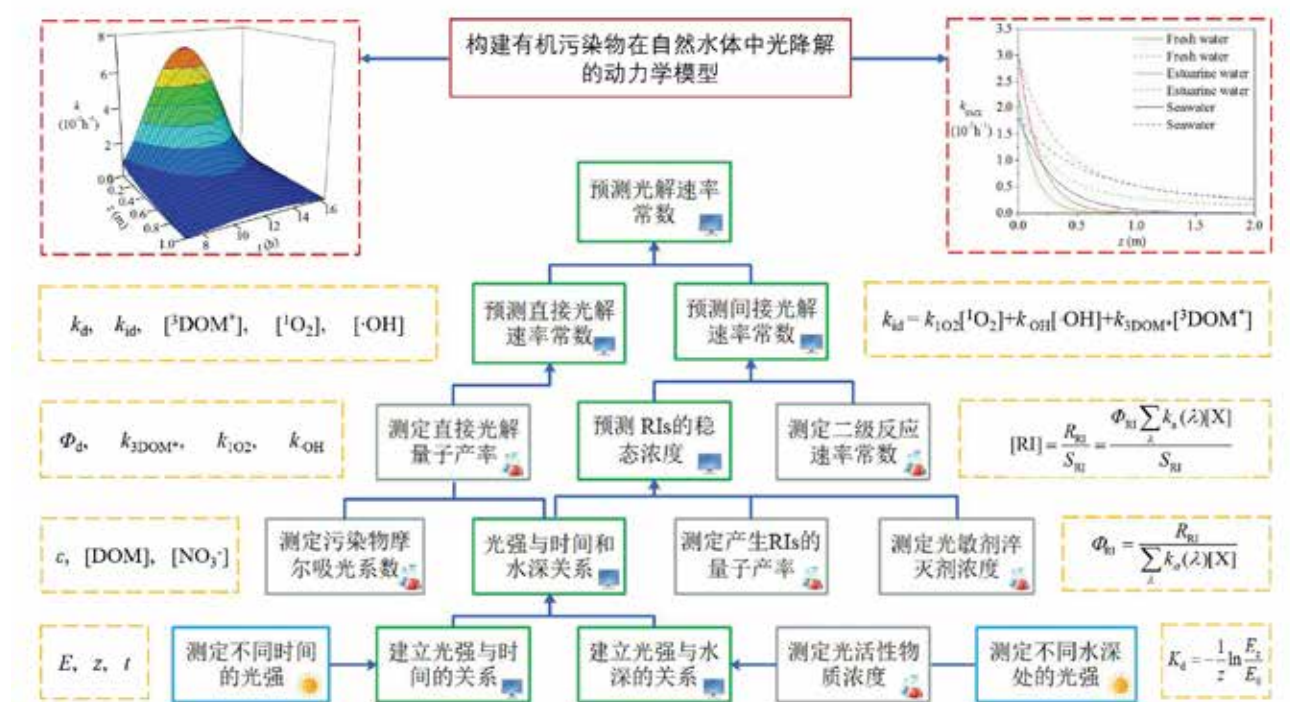


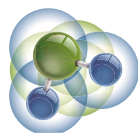
等角度发现和揭示了污染物降解的机理和过程,并研究了水环境中抗生素光降解动力学。另外,陈景文教授团队结合野外水下太阳光强度测定,构建了自然水体水下光强的预测模型,预测污染物在水体中光降解动力学过

程。模型预测值与实际抗生素降解实验结果相吻合。陈教授的计算毒理学研究为我国化学品危害性监测事业提供了更多的解题思路。

环境水体中抗生素光降解动力学

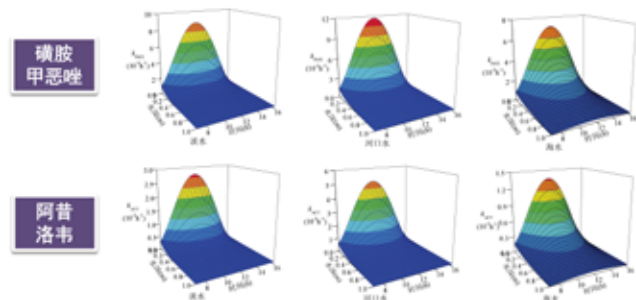
预测污染物在水体中光降解动力学:直接、间接





环境水体中抗生素光降解动力学

预测黄河三角洲不同水体、不同深度和不同时刻的污染物光降解速率；参数率定后可用于其它水体



黄河三角洲不同水体中光解速率常数(k)随水深和时间的变化，
预测值与实测值具有较好的一致性，均方根误差为0.31~0.76

环境水体中抗生素光降解动力学

意义：磺胺甲恶唑光降解动力学的预测比较

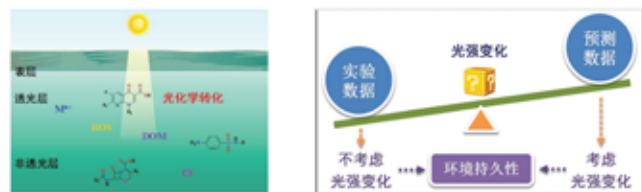
实验室数据用于预测(OECD的方法)：

$t_{1/2} = 8.1$ h (淡水), 5.9 h (河口水), 9.8 h (海水)

考虑光强变化：

$t_{1/2} = 501.6$ h (淡水), 321.6 h (河口水), 338.4 h (海水)

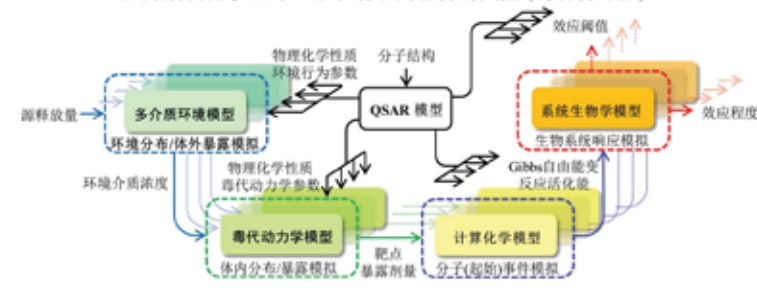
(OECD方法环境持久性被低估！预测准确性提高数十倍)



总结 - 展望

计算毒理学的3方面关键问题

- 如何模拟化学品从源释放到导致不利生态效应的连续过程？
- 如何评价与预测种类众多且数目不断增加的化学品的风险？
- 如何预测化学品对生态系统不同物种的风险(跨物种外推)？



王中钰, 陈景文, 乔显亮, 李雪花, 谢宏彬, 蔡喜运. 面向化学品风险评价的
计算(预测)毒理学, 中国科学, 2016, 46(2):222-240.

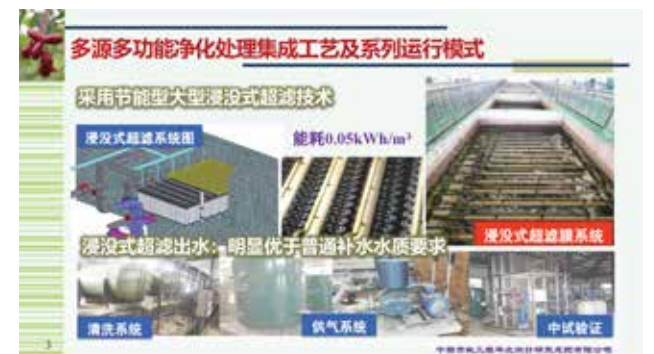
7 城市水生态环境管理与风险控制

7.1 天津生态城新型水系统构建与管控

新型生态城市具有实现资源节约、环境友好、社会和谐的功能。2008 年温家宝总理签约天津中新生态城，这是国际上第一次建立生态型城市，经过十几年的发展，现已初具规模。中国市政工程华北设计院总院总工程师郑兴灿系统介绍了天津生态城新兴水系统构建与管控。



郑兴灿总工程师介绍到，天津生态城的选址是工业盐碱地区。该地区建设环境本底差，建设目标高，在海外流域有河皆枯、有水皆污、生态退化的背景下，要实现非传统水源利用率达 50%，地表水环境质量达到四类水质，湿地零损失和景观生态和谐的目标。天津生态城最终提出构建绿色智慧新型城市水环境系统的总体思路：考虑雨水、低污染和净水等传统水源的利用，以及普通再生水和高品质再生水等非传统水源的开发，涉水设施全统筹，形成多水源协同补水、水利循环、旁路透析、景观修复、生态功能恢复兼顾的城市水系统及智能管控平台。



一是构建多源多等级非常规水协同利用的新型水系统。将城市水系统中的供水、水源、用水、排水、水体融合在一起，通过对水源的利用来改善水环境质量、修复生态景观，通过智能保护系统达到整体改善的效果。从供水的角度来看，污水再生利用与雨水、海水利用改善日常用水的需求，水系统由单一水源变为多水源，构建多水源协同利用的新型水系统，实现水资源高效利用。其次，水环境各方面变化具有很强的季节性特征，生态城的初始规划已经将海绵城市的概念运用到整个规划和建设计划里，开展雨水利用的综合管控。

二是通过联动智能系统实现新型水环境建设。通过再生水与雨水，实现多源协同补水，在增加好水的同时，还要强化生态水力学动力的循环，通过自我补给达到生态修复的效果，充分利用海绵城市的理念，充分利用自我补充为主的自然力量。通过功能性的湿地系统进行雨水

净化和水体旁路循环。在雨季可以净化雨水，不下雨的时候，可以作为河湖水体旁路循环的设施。为了这个系统更好的运转，天津新中城建立一个淋控系统，即智慧的城市平台，能对水进行有效的监控、调度等，形成具有风险、预警、智能响应和业务联动的系统。

未来，天津生态城的将由 30km² 发展成 150 km²，指标体系也已做了修改，如 2020 年全面实现水环境 IV

类标准，日均生活用水量要在 2035 年达到 110 L 以下。

当前，天津生态城供水达标率达 100%，污水集中处理率 100%，可再生能源占比 25%，非传统水资源利用率 60%。新指标里，生态环境指标、资源节约指标、社会指标以及经济相应指标均有所增加，由原来 22 项增加到现在的 33 项指标。这些新指标带来了新要求，下一步生态城的建设与相关的水体治理将迎来更多技术上的挑战。



7.2 饮用水源地水生植物群落构建与水质净化

湖泊的治理与保护，不仅追求短时间的有效，更需要长期的稳定。来自武汉大学生命科学院的于丹教授，以湖北梁子湖为例，结合云南洱海，湖南大通湖，湖北金湖，讲述了通过沉水植物的大面积人工种植，实现饮用水源地水生植物群落构建与水质净化。

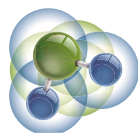


于丹教授介绍，由于江湖分割、围湖造田和围网养鱼，水体片断化、水生植被退化、鱼类小型化的现象在国内许多湖泊中出现。梁子湖水生生物资源丰富，水生植被覆盖率高，水质清澈，是长江中下游湖泊群中典型的草型湖泊，也是我国水生植物种类最多的湖泊。但是梁子湖流域洪水的频繁爆发，洪水过后梁子湖水生植被急剧减少，水质急剧下降。于丹教授团队专注于植被恢复与重建的研究，利用新技术催芽，合理配置群落功能群等手段来提高植物繁殖扩散几率，筛选具有较大经济价值

的水生植物品种，行成水生植物经济种植区，其最终目的是重建和恢复梁子湖原生水生植被，建立水生植被景观区和经济水生植物种植区，保护和恢复梁子湖水生植物资源，利用水生资源、利用水生植物强大的净化功能以保障梁子湖生态环境的健康稳定，为我国受损湖泊原生植被的重建提供研究模式。种植沉水植物过后，其团队还对该水域进行长时间的监测，发现随着植物量的增加，水体氮磷浓度下降，绝大部分水域水质稳定达到一类水体。

另外，于丹教授介绍了其团队在湖北牛山湖，云南洱海，湖南大通湖，湖北金湖等案例概况，经过对治理水域水生植被的恢复与重建，治理水域都达到了预期的处理效果，并且水质能够稳定达标。

针对我国湖泊退化污染加剧趋势，于丹教授以梁子湖工作为基础，提出抓紧治“小病”，分期治“重症”，保住“生态本钱”的湖泊治理新思路，推动了国家启动良好湖泊保护项目。在今后的湖泊治理与保护工作中，于丹教授希望能够实现从截污到治污，从化学检测到生态监测，从短期治标到长期治本，从岸边治水到水中治水，从人工控制水位到遵循自然涨落，从一般检测到水质达标好转及生物多样性有效保护的转变。



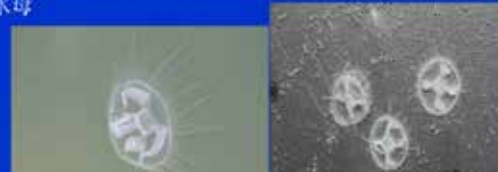
梁子湖生态系统特点

- 长江中下游发育着世界同纬度地区独具的浅水湖泊群，水生生物种类丰富，是世界水生生物的重要分布中心之一
- 江湖分割、围湖造田和围网养鱼造成水体片断化，水生植被退化、鱼类小型化；如东湖近50年随着水生植被消失，由草型湖泊演变为藻型湖泊
- 梁子湖水生生物资源丰富，水生植被覆盖率高，水质清澈，是长江中下游湖泊群中典型的草型湖泊；已被列入亚洲重要湿地名录

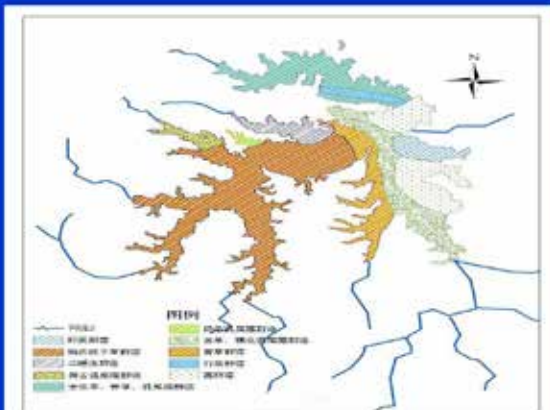
梁子湖水生植被恢复成效（2010年6月）

经过连续20年进行梁子湖水生植被恢复研究，目前梁子湖区已恢复沉水植被12万亩，浮叶植被4万亩，挺水植被4万亩；水生植被覆盖率达80%。梁子湖常年水质维持在II类水，1/2湖区达到I类水

梁子湖已成为中国东部湖泊中水生植被覆盖率最高、水质最好的湖泊。2009年5月-9月在梁子湖大面积、高密度的出现桃花水母



梁子湖植被图（2010年6月）



被国家采纳的湖泊保护的思路

- 以梁子湖工作为基础针对我国湖泊退化污染加剧趋势，提出**抓紧治“小病”，分期治“重症”，保住“生态本钱”**的湖泊治理新思路
- 该思路以内参形式呈送国家有关职能部门，国务院前总理温家宝和前副总理邹家华予以批示
- 有关部委到梁子湖调研后，推动国家启动了良好湖泊保护项目，已投资100多亿元保护了近百个湖泊

湖泊治理与保护有效性的思考

- 截污（点状污染）到治污（面源地表地下水复层污染）
- 人工湿地（低效高耗）到自然湿地（高效低耗）
- 挺水植被（洲滩沿岸带）到沉水植被（中央深水区）
- 化学监测（营养指标）到生态监测（生物指示种组）
- 短期治标（治后反弹）到长期治本（自然生态系统恢复）
- 岸边戏水（生物浮岛）到水中治水（水下草原和森林）
- 人工控制水位到遵从洪泛区自然消涨规律
- 一般监测管理到水质达标好转与生物多样性有效保护
- 地方应有大局观，国家利益至上

针对全国不同水体的保护思路

- 湖泊：禁渔，我国淡水鱼产量世界第一，主要养殖鲢、鳙等家鱼种类，应养殖鳊、鲮等优质鱼类
- 水库：主要作为饮用水源地保护，应有限度的养殖，但以野生鱼种类为主
- 池塘：鱼类养殖的主体，但实行精细化养殖，实现高效渔业和生态渔业
- 河流：在沿岸带设置生态保护红线，沿岸带300-500米内不能有密集村庄和工厂。严格保护源头及上游地区，中下游污水经过处理后才能排放入河

7.3 山地城市湖库水环境综合治理技术与管理



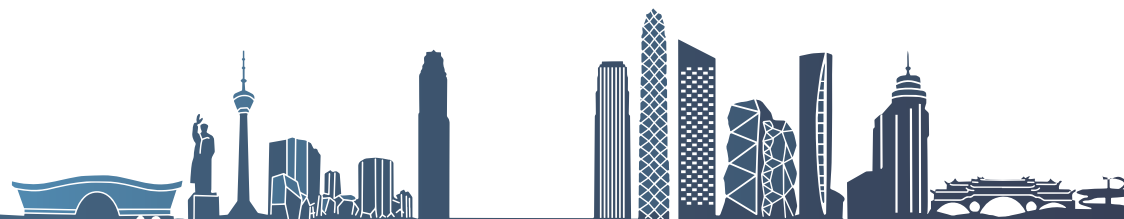
山地湖库水环境特征错综复杂，重庆大学环境工程学院何强院长以重庆龙景湖为例，与大家分享了山地城市湖库水环境治理技术与管理经验。通过科学的水环境问题诊断，合理的治理工程布局及技术与长效的管理措施，使龙景湖水质稳定在四类水体。

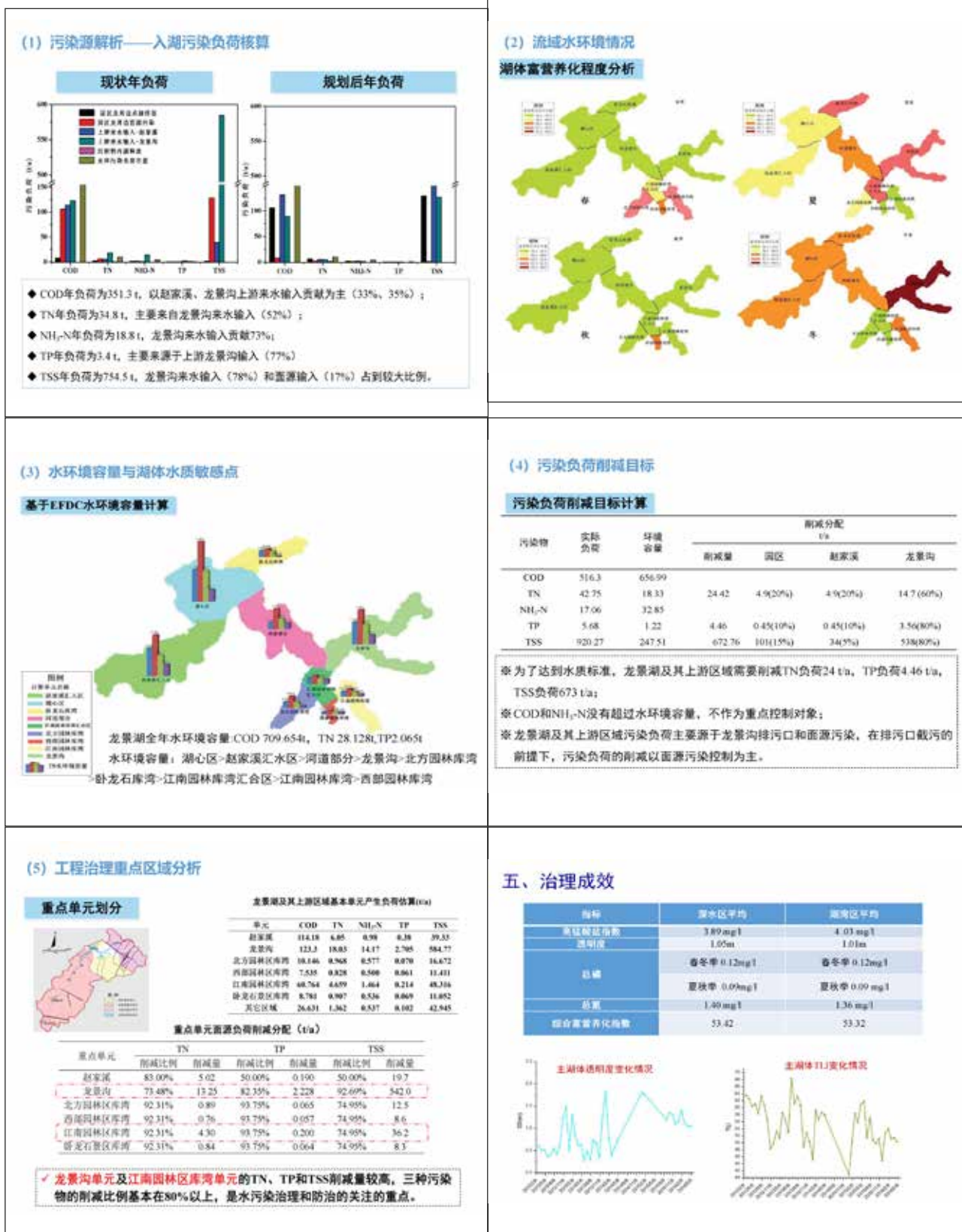
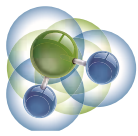
中国 70% 国土面积是山地，山地城市高低起伏、沟壑众多，而山地城市的河流受地形影响，支叉和冲沟多，通过修建堰坝设施，形成了河流-水库（山坪塘）-河流的形态。由于山地河流流域面积小，河流较短，导致了湖库换水周期长，同时，较快的来水速度和降雨后雨水的快速冲刷，使得泥沙与营养物质容易沉降在山地湖泊区。由于山地城市的发展与山系的开发利用，原有

的生态径流被管涵代替，湖库水量与流域面积减少，湖库的生态功能大大降低。山地城市湖库的点源，面源与内源污染与平原城市差异甚远。因此，在水质与水量的双重冲击下，山地城市湖库水环境具有更高的要求。

何强教授以龙景湖综合治理为例详细讲解了山地城市湖库水环境治理技术与管理。龙景湖地处重庆园博园，湖泊呈不规则状。上游水流经过重光水库，赵家溪与黄桷水库流入龙景湖内。通过对其上游水体的实地考察以及水环境问题诊断，如污染源空间分布解析与负荷比例解析等，何强教授团队将龙景湖水域划分为九个不同区域来进行水环境容量计算与污染负荷削减计算，并进行重点单元划分。其次，对上游水体和龙景湖水域进行控制工程空间布局，上游水体与规划局及房地产开发商共同配合，通过修建生态护岸、生态湿地、植草沟等及污水提升泵站，对点源与面源污染进行控制。龙景湖水域根据园博园公园布置要求，运用了 7 个针对山地城市湖库水体治理专利技术，对其进行有效的控制工程措施。

该示范工程 2016 年完成，减少了 83.7% 直接接入龙景湖地表径流，使龙景湖水域水质稳定在四类水体。同时，龙景湖水域综合治理为山地城市湖库水环境治理技术与管理提供了宝贵的经验与借鉴。





7.4 三峡库区山地城市水环境综合治理关键技术研究与应用实践

三峡库区山地城市由于其特殊的地理、地貌、地形、降水等特征，给其水环境综合治理带来了一系列难点。

重庆科学技术研究院低碳研究中心负责人雷晓玲教授结合重庆的水环境治理认为，三峡库区山地城市水环境综合治理的难点主要在于：首先，雨污分流不彻底，导致污水处理厂在雨季运行处于严重超负荷的状态。例如，作为重庆主城区的主要污水厂之一的鸡冠石污水处理厂，其设计运行负荷为80万吨/天，但在雨季，其一级处理的处理量要达到165万吨/天，二级处理则为120万吨/天。第二，厂网离散设置不合理。重庆的污水厂设置形式为大集中，污水收集率很低，风险大，回用量很低。第三，三峡库区重庆段处于回水区，其水体流速减缓，水体自净能力减弱，随之也会带来水污染的问题。

针对三峡库区、山地城市这些问题，应该采取什么策略？雷晓玲教授提出了以下七项。第一，全流域综合治理。从岸线管理，水污染防治，水资源保护等方面进行统筹考虑。第二，合理的建设理念。雷教授在这里强调了因地制宜的重要性，充分利用山地的特色和雨水资源，实现统一化的管理。第三，离散结合、就近处理，



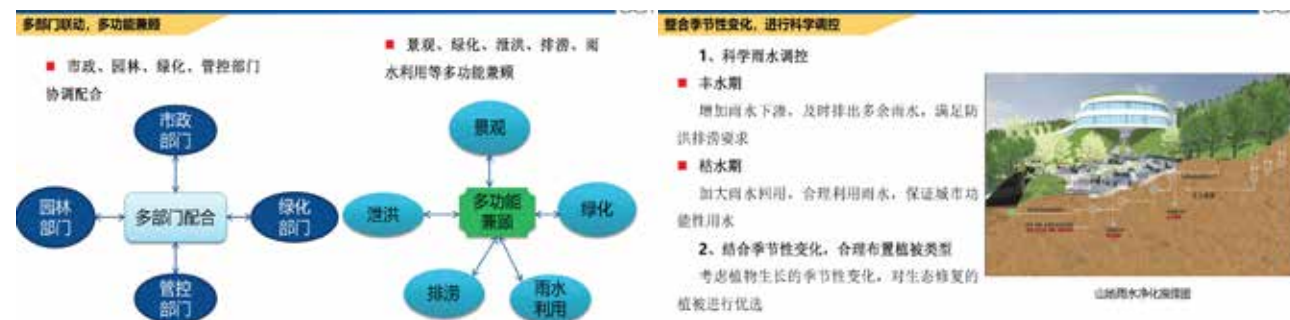
就地补给。在人口密集的区域采用集中处理的方式，但在低洼处要采取分散处理的方式进行必要的补充。依据地势特点和生态补水的需求，按照就近处理和就地补给的思路来对流域的雨污治理模式进行布局。除此以外，要就近处理农村的分散污水，争取灌溉利用，实现农家肥的还田。第四，建管一体。对一体化的设施设备，建议由设施设备的供应单位同时负责建设和以后的运行，以确保水环境治理的长效运行。第五，多部门联动，多功能兼顾。需园林、市政等多个部门联动，以实现景观、绿化、雨水利用和防洪排涝等多功能的兼顾。第六，对季节性变化进行科学调控。第七，全过程紧密结合。包



括规划、设计、施工，运行管理等环节，以达到长治久清的目的。

最后雷晓玲教授表示，治水的技术尽管千变万化，

但最终都离不开控源截污、内源治理、生态修复和其他技术这几类。在进行技术选择时，在遵照因地制宜、合理科学的原则时，还应考虑一些先进的技术。



7.5 南宁城市水环境生态风险管控的探索和实践

南宁市内有 18 条内河，总长超过 500 公里，这样的海量水量汇聚到城市后，带来了大量的触目惊心的污染。广西大学轻工与食品工程学院朱红祥教授表示，目前南宁需要首先做到水体的不黑不臭，然后再逐步恢复城市的水生态价值。

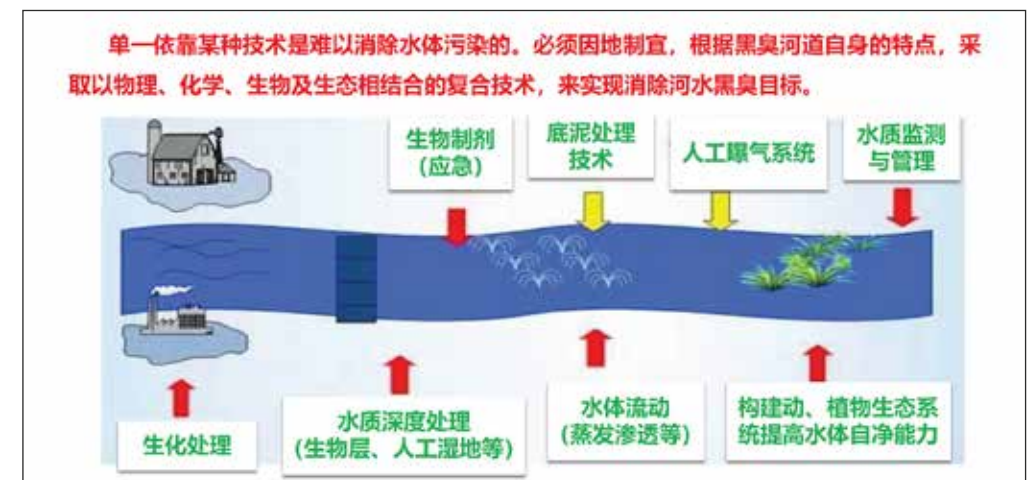


朱红祥教授结合广西黑臭水体治理经验，认为黑臭水体治理需要针对不同的水源水质特征，根据不同的治理目标，按照阶段对水体展开内源污染控制、外源减排、水生态修复、水动力增强等各方面工作。并需要对黑臭水体所存在的时空污染分布情况进行系统的了解，这是由于水环境的污染不是一个静止的状态，在流域不同的断面上，随着气候、季节的变化，水质会产生很大的波动，

若在治理策略上忽略了这些问题，最后将会导致黑臭水体治理的失效。

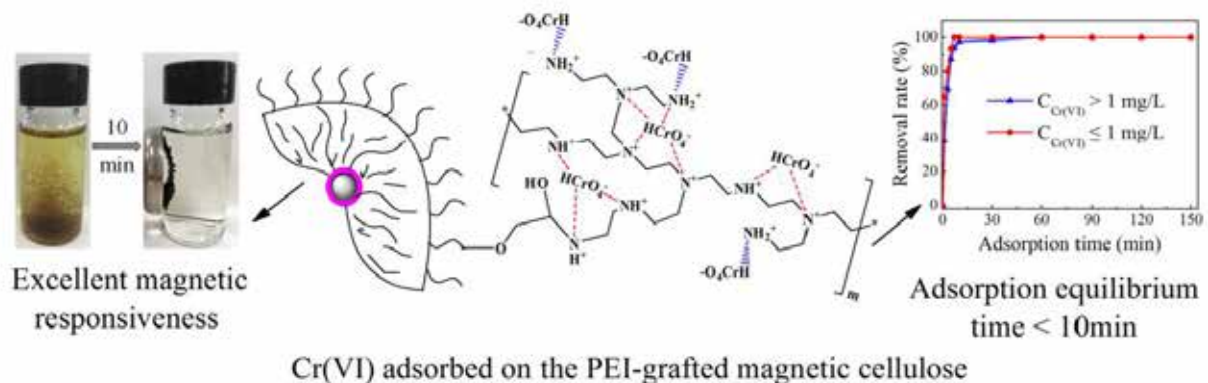
大会上，朱红祥教授对其团队开展的工作进行了分享，提出了从材料层面提升处理效率的思路。例如，通过铈离子引发的自由基聚合将 N- 异丙基丙烯酰胺（NIPAAm）接枝到甘蔗浆纤维素上，制备热敏纤维素基材料（cell-PNIPAAm），以实现对温度的特定响应。此外，在很多的废水处理过程中，需要实现更好的 pH 值控制，但可能需要大量的经费投入。朱红祥教授提出，可直接在材料设计的时候，基于其对 pH 值的响应进行控制，也可以实现污染物的有效分离；将微观结构上的关系推广应用到宏观的设备中来，可以对一些特殊性质的污水进行有效的处理。

最后，朱红祥教授表示，对于实际水体，除了外源污染，其内源的污染也相当重要；其团队也开展了黑臭水体中底泥污染因子的调查，以了解氮磷的形式和分布，以及转移释放的规律。朱红祥教授认为，黑臭水体超标在水里，根源在岸上，需要多种生态的技术结合，才能有效实现阻隔外源和面源污染转移到水体，以真正达到水质的提升。



主要污染控制技术

➤ 重金属吸附材料

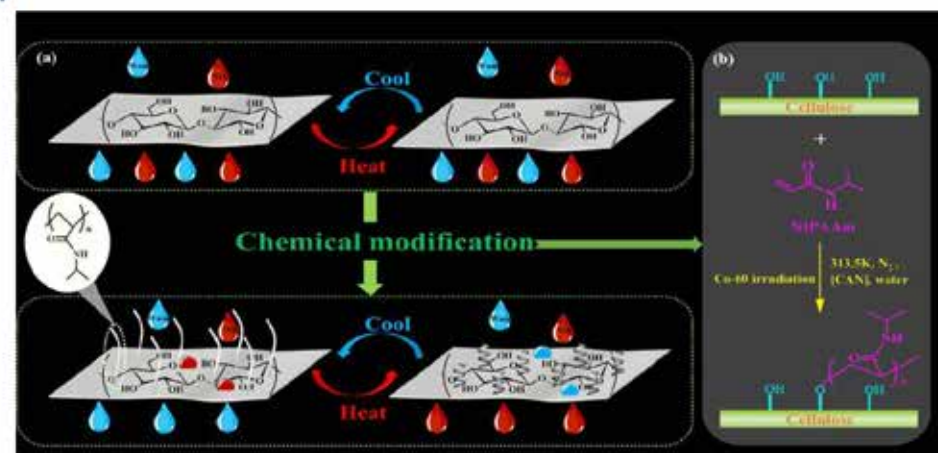


将PEI接枝到磁性纤维素表面，制备高氨基酸密度磁性纤维素基吸附剂（Fe₃O₄/MCC-PEI），从水溶液中除去Cr(VI)，克服了吸附剂回收和再生的难题，同时克服了传统吸附剂性能差，去除率低等缺点。

1. Li, Y.; Zhu, H.; Zhong, C.; Cheng, M.; He, H., PEI-grafted magnetic cellulose for Cr(VI) removal from aqueous solution. *Cellulose* 2018, 25 (8), 4757-4769.

12

➤ 温感材料



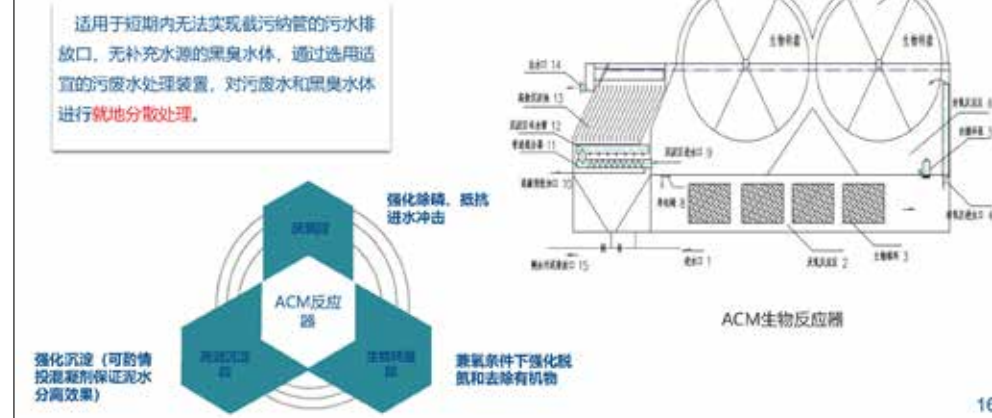
通过Ce(IV)引发的自由基聚合将N-异丙基丙烯酰胺（NIPAAm）接枝到甘蔗浆纤维素上，制备热敏纤维素基材料（cell-g-PNIPAAm）。实现对温度的特定响应。

2. Chen, W.; He, H.; Zhu, H.; Cheng, M.; Li, Y.; Wang, S., Thermo-responsive cellulose-based material with switchable wettability for controllable oil/water separation. *Polymers* 2018, 10 (6), 592.

13

智能纤维材料的开发

➤ 一体化处理设备



污染控制技术——外源控制技术研究

内源污染消除及控制技术应用

(1) 黑臭水体河道底泥污染影响因子研究

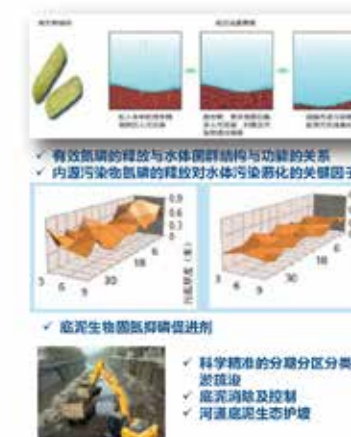
- 内源底泥的赋存形态与分布、迁移释放行为的研究
- 代谢组学的方法

(2) 黑臭水体河道底泥消减生物降解

- 底泥污染物降解规律
- 污染物生物可利用性
- 底泥微生物群落结构
- 底泥微生物代谢
- 底泥表面微生物变化趋势

(3) 黑臭河道底泥清淤疏浚及控制技术

- 底泥主要污染物识别与生态风险评估
- 底泥清淤疏浚及控制技术
- 种植土层的生态河岸稳定净化技术研究



污染控制技术——内源控制技术研究

□ 强化复氧生态湿地处理

利用土壤、植物、微生物的物理、化学、生物三重协同作用，对污水进行进一步的处理净化。

特点：

- 有较强的适应性：充分利用周边的地形特点，因地制宜，规模可大可小。
- 建设费用省，运行费用低能耗低：基建费用只有常规处理方法的1/2或1/3。
- 处理效果好：去除有机物的同时强化脱氮除磷作用，保证处理效果。
- 耐冲击负荷能力强：湿地进水出现短暂的超负荷，对湿地出水水质影响很小。
- 具有景观效应和经济效应：湿地的植物具有美化环境效果，也可以创造一定的经济效益。
- 不占或少占良地：可利用荒地、河滩边坡、绿化地。



污染控制技术——生物修复技术研究

7.6 流域水环境综合治理的实践与思考



北京首创股份有限公司生态环境事业部技术总监蔡然博士以沱江（内江段）流域水环境综合整治项目为例，从项目技术概况、技术管理体系、系统方案编制和黑臭水体四个方面，分享了她对流域水环境综合治理实践的经验与思考。

蔡然博士介绍到，沱江（内江段）流域水环境综合

整治项目体量非常大，覆盖 500 平方公里，涉及 139 个子项，包括沱江岸线治理，河道治理，污水处理厂等。其中主要的黑臭水体 11 个，湖泊 2 个，非黑臭水体约 10 个左右，面积大，且最终均汇入沱江的，还包括农村污水，整个建设期 3 年。该项目也涉及到不同的行政管辖层，需要和市住建、环保、发改、水务等部门沟通协调项目的边界条件。这些均给项目的技术管理带来了极大的管理难度。

沱江（内江段）流域水环境综合整治项目管理思路分三个层次。蔡然博士提出，首先是技术产品。通过实战打造技术产品，形成公司的技术核心力。第二是技术标准，为了全面推进设计进度，需要在设计、建设阶段尽可能实现标准化，比如按照不同厂的规模、不同的出水标准做相应的标准化的制度管理。第三是整合集成。

通过标准化的设计，在运营、建设期间对整个水环境的

技术做集成，形成技术咨询能力与技术装备市场输出。

在此项目，蔡然博士团队做了 8 条产品线。包括长江上游重庆区流域水环境治理综合技术集成，污水处理厂的标准化工艺及成套设备集成，农村污水处理示范工艺与设备集成，管网全周期管控，黑臭水体治理成套技术的系统设计和设备集成，兼顾水土保持的河湖生态治

理技术体系，体现地方特色及文化传承的生态景观技术集成以及智慧水务运管体系。

蔡然博士最后介绍到，水环境治理需要踏踏实实的干活，要天天去现场、天天去河边看到底有哪些排口，有哪些错接漏接，要和所有的相关单位了解情况，这些最基础的工作往往是成功的关键。



内江沱江流域水环境综合治理PPP项目总投资额约**64,476**万元（含建设期利息），共包含**27**个子项目**135**个分项目，项目建设内容包括**13.35**km沱江沿线治理、**23**条水体治理、**2**个湿地公园建设、**3**座水厂合计污水/再生水处理规模11万t/d（近期规模3万t/d）、**101**个乡镇约131座乡镇污水处理站合计规模约6.2万t/d、**100**个行政村约2.98万座户级污水处理设施。项目合作期限为25年，其中建设期3年，运营期22年。

项目类型	建设内容	建设投资（万元）	投资比例
沱江岸线整治	整治岸线13.35km，包括水源防护、堤防、截污、面源污染控制、道路等工程	123,882	19.72%
河道治理	共23条水体治理，其中21条河道，总长度130.77km，2条湖泊，水面面积4.36公顷。	192,556	30.65%
市政污水厂	共3座市政污水处理厂，共计规模11万m³/d	35,523	5.65%
湿地公园	2座湿地公园，占地面积730亩	35,864	5.71%
乡镇污水处理厂站	包括5个区县101个乡镇约131座污水设施，处理规模约6.2万m³/d。	127,840	20.35%
乡镇污水管网		85,226	13.57%
村户级污水处理	包括5个区县，100个村，约3万户	27,311	4.35%

8 城市污水处理资源回收与循环利用

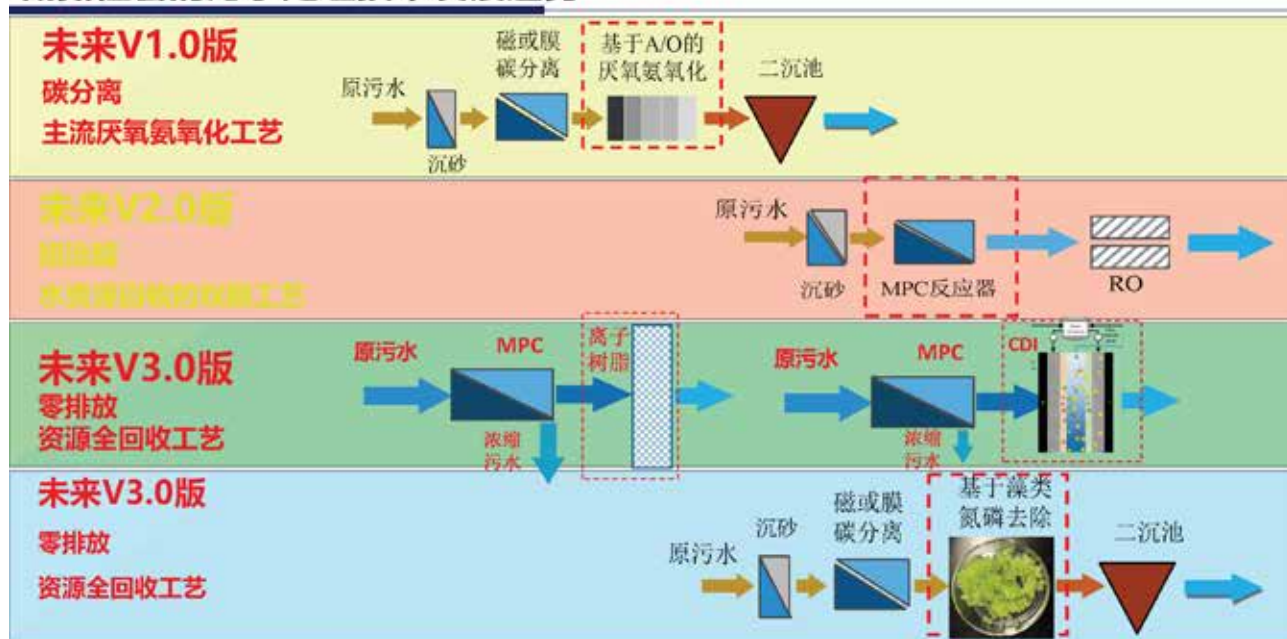
8.1 从低碳社会到低氮社会的污水处理技术



清华大学环境学院王凯军教授在城市污水处理资源回收与循环利用专题会议上指出：从工业革命开始，人类社会对水环境污染的应对可以分为三个阶段，第一个是污染控制阶段，第二个是可持续发展阶段，第三个阶段是生态文明阶段。而对污水的处理，随着污染控制力度的增加，目前的污水处理工艺流程越来越长，系统安全性降低，复杂程度增加。

而低氮社会是下一步的发展趋势。纵观整个污水处理工艺的闭环，从市政管网、浓缩氮源、AB法、厌氧硝化、能量回收、水资源的回收等等循环，几乎都是完整的循环。可以说污水处理最后的一环就是氮的回收，这也是目前污水处理中仍然没有闭环的一环。自从合成氨技术成功问世之后，人工合成的氮的量已经大大超过了自然固氮的量，逼近海洋的固氮能力，已经干扰了整个生态的平衡。在中国，氮肥的过量生产还带来了严重的面源污染，2015年我国合成氨产能达到8350万吨，产量约5791.4万吨，过剩率达30%以上，过剩形势严重。而农业由于氮肥的过剩所排放的氮，已经成为我国该污染物的首要贡献者。进一步研究发现，中国氮肥企业每年需要消耗大量的天然气、无烟煤和电，其中无烟煤的消耗量占中国年消耗总量的22.1%。因此，回收污水处理中的氮氮成为污水处理行业未来发展的趋势，这不仅意

低氮社会的污水处理技术发展趋势

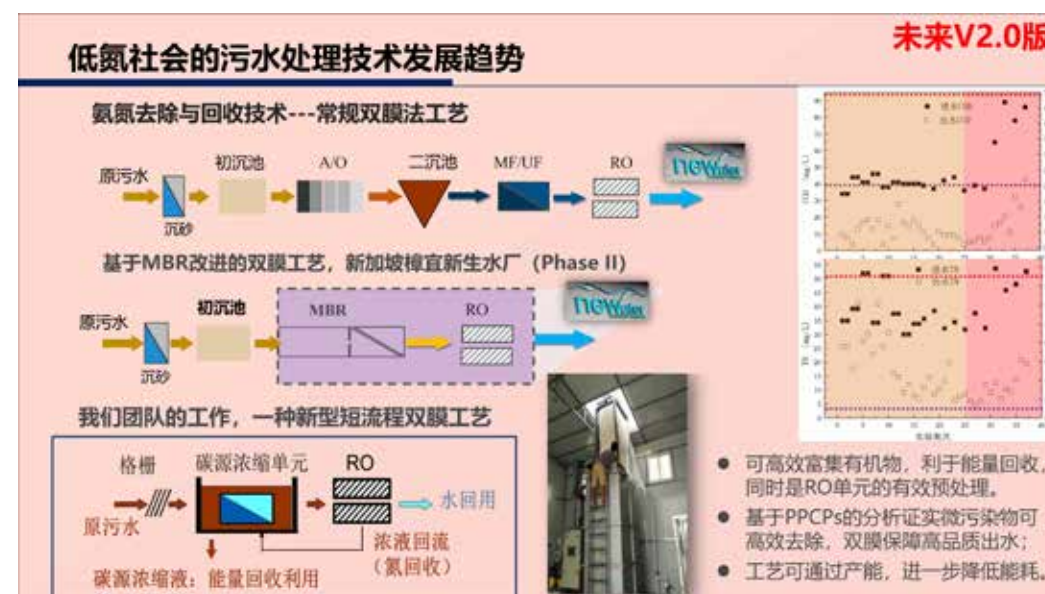


味着一部分氮的回收利用，还能直接节省传统工艺去除污水中氮氮所消耗的约占总处理能耗一半的能耗。

王凯军教授最后着重介绍了未来氮回收工艺的四条发展路线：1.0版的技术路线主要是污水经磁或膜分离之后，采用基于A/O的主流厌氧氨氧化工艺；2.0版的回收路线是短流程的MPC反应器和RO反渗透膜的组合；3.0版的技术是在MPC反应器后经过离子树脂交换后或者两级CDI处理；第四条路线是零排放的资源全

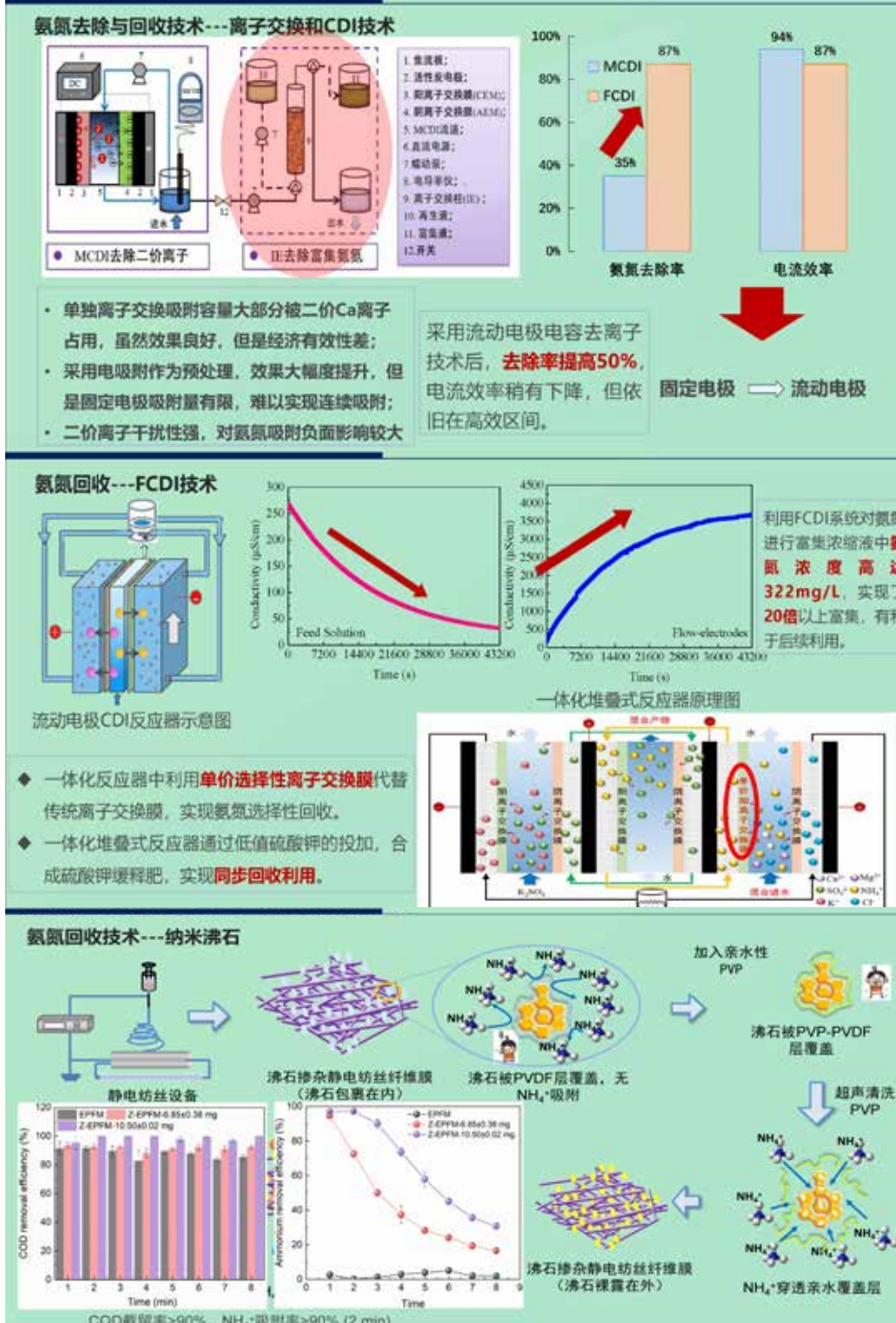
回收工艺，是污水经过磁或膜碳分离之后，基于藻类的氮磷处理技术。

王凯军认为，在生态文明阶段，中国是倡导者，这是千载难逢的伟大的历史机遇，大家应利用这个机会，实现跨越式发展，未来的氮回收技术由1.0版本到过渡技术到最后完全的资源回收，完成氮循环链条的闭环是完全可行的。



低氮社会的污水处理技术发展趋势

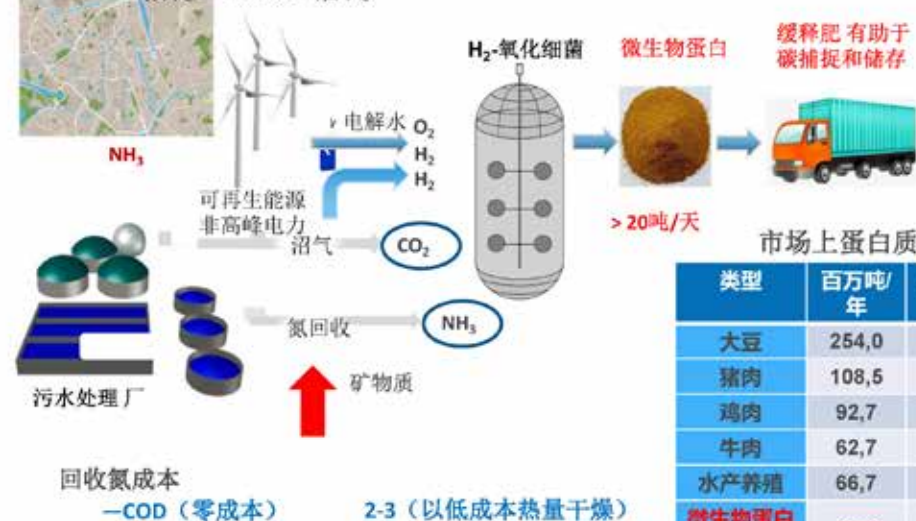
未来V3.0版



低氮社会的污水处理技术发展趋势

氨氮去除与回收技---合成蛋白质(Willy)

根特: 260 000 居民



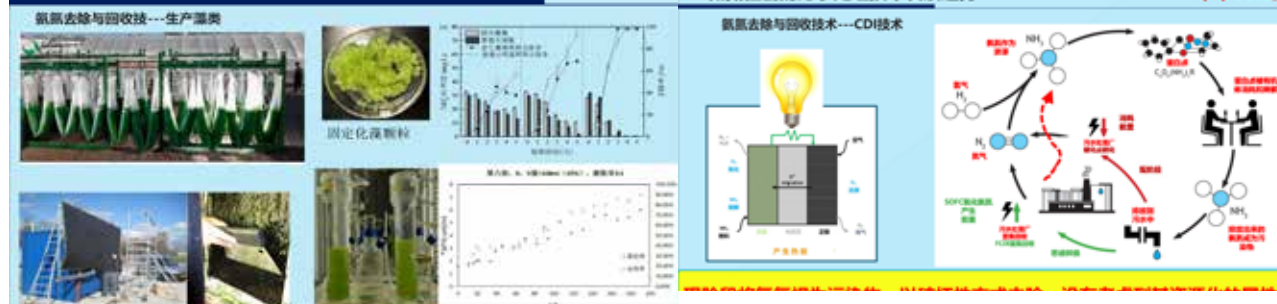
类型	百万吨/年	欧元/kg干重	蛋白质含量(干重%)	欧元/kg蛋白质
大豆	254,0	0,40	40%	1,0
猪肉	108,5	1,16	30%	3,9
鸡肉	92,7	1,08	30%	3,6
牛肉	62,7	2,04	40%	5,1
水产养殖	66,7	1,57	25%	6,3
微生物蛋白		0,60	60%	1,0-2,5

低氮社会的污水处理技术发展趋势

未来V3.0版

俄國紅雲的污水處理技術發展趨勢

末米VS.U唐



低氮社会的污水处理技术发展趋势



8.2 厌氧膜生物反应器



中国科学技术大学俞汉青教授介绍了厌氧膜生物反应器这一近年来重获业内关注的污水处理技术。作为在1978 年被发现后就得到快速发展的一项技术，厌氧膜生物反应器拥有几大特点：可以截留微生物和大部分的污染物，启动快，运行效果稳定，可以回收能源。但为何发展到今天，厌氧膜生物反应器反而失去了在污水处理上的一席之地呢？

俞汉青表示，因为该技术的缺点也显而易见：对污染物去除效果特别是氮磷的去除效果较差，出水效果无法和好氧技术相比，严重的膜污染带来高昂的运行成本，加上上世纪九十年代初以 UASB 为代表的高效厌氧反应器的成熟，厌氧膜生物反应器失去了生存空间。

但近年来，随着人们在废水处理上越来越多地将目光转向节能降耗和资源回收，以及自养脱氮技术的成熟，厌氧膜生物反应器又引起了人们的关注。麦克教授在韩国进行的相关实验表明厌氧膜生物反应器不仅能在低温的冬季正常运行，而且能耗非常低。俞汉青指出，相比于其他技术，厌氧膜生物反应器仍存在膜污染严重、低温运行效果相对较差以及能源回收效果不理想的问题，但针对特殊的污水处理，如有毒的工业废水，厌氧膜生物反应器仍有可以使用的空间。而厌氧反应器最大的特点是回收能源，通过处理高浓度的污水，厌氧膜生物反应器能回收甲烷，但是同时，该工艺处理后出水中带走的甲烷占总产生量的 1/3，无法回收，而且还会产生温室效应，这也是亟待解决的一个问题。

俞汉青最后指出，厌氧膜生物反应器确实有不错的应用前景，但中间还有许多问题需要解决。一是膜污染的控制，包括跟好氧膜生物反应器的区别在于没法用空气冲洗的情况下怎么缓解膜污染，二是在处理大流量的城市污水和生活污水时，如何回收出水中的甲烷，都是未来厌氧膜生物反应器需要解决的问题。

McCarty教授小组的工作

- 系统在冬天（气温低至9℃）运行时其出水中COD在23 mg/L以下
- 总能耗约为0.058 kWh/m³

AnMBR的应用

AnMBR出水有机物含量低、富含氮磷、无微生物

适合农业灌溉

资源回收型污水处理

AnMBR的适用范围

- 中高浓度工业废水 与UASB相比无优势
- 有毒工业废水 与UASB相比有优势
- 城市污水 与其他厌氧反应器相比优势显著

AnMBR处理城市污水的挑战

- 膜污染比好氧MBR更严重
- 低温运行时效果较差
- 能源回收效果不理想

展望

AnMBR在处理废水的同时产生能源，在城市污水和生活污水处理中展现出了良好的前景，但仍然存在较多问题有待研究和解决

膜污染控制

- 膜污染机制的深入研究
- 膜污染的缓解及清洗
- 新型膜材料的研发

甲烷回收

- 甲烷吹脱
- 气体分离

Process	Parameter	Value	Unit
UASB	Gas Production	0.40	m³/m³
	CH₄	0.35	m³/m³
	CO₂	0.05	m³/m³
	H₂	0.00	m³/m³
AFMBR	Gas Production	0.40	m³/m³
	CH₄	0.35	m³/m³
	CO₂	0.05	m³/m³
	H₂	0.00	m³/m³
AFMBR	Gas Production	0.40	m³/m³
	CH₄	0.35	m³/m³
	CO₂	0.05	m³/m³
	H₂	0.00	m³/m³
AFMBR	Gas Production	0.40	m³/m³
	CH₄	0.35	m³/m³
	CO₂	0.05	m³/m³
	H₂	0.00	m³/m³
AFMBR	Gas Production	0.40	m³/m³
	CH₄	0.35	m³/m³
	CO₂	0.05	m³/m³
	H₂	0.00	m³/m³

AnMBR未获广泛应用的原因

- AnMBR自身的技术瓶颈
 - 出水水质仍然无法与好氧MBR媲美
 - 对氮、磷的去除效果差
 - 膜污染严重，运行成本高
- 以UASB为代表的高效厌氧反应器技术的成熟

AnMBR的再次起航

- 废水处理思路的改变
 - 必须从废水中去除什么
 - 新思路
 - 能够从中回收什么
 - 能源
 - 资源
- 全自养脱氮技术的日趋成熟

为厌氧出水氨问题提供了解决方案

8.3 厌氧氨氧化研究进展

在废水处理的技术发展过程中，厌氧氨氧化技术作为节能降耗的新技术，近几年来一直是科研热点。浙江大学的郑平教授被誉为中国的厌氧氨氧化之父，本次报告郑平教授主要分享了他的团队在厌氧氨氧化细菌的培养、颗粒化过程以及厌氧氨氧化过程的工程应用情况。

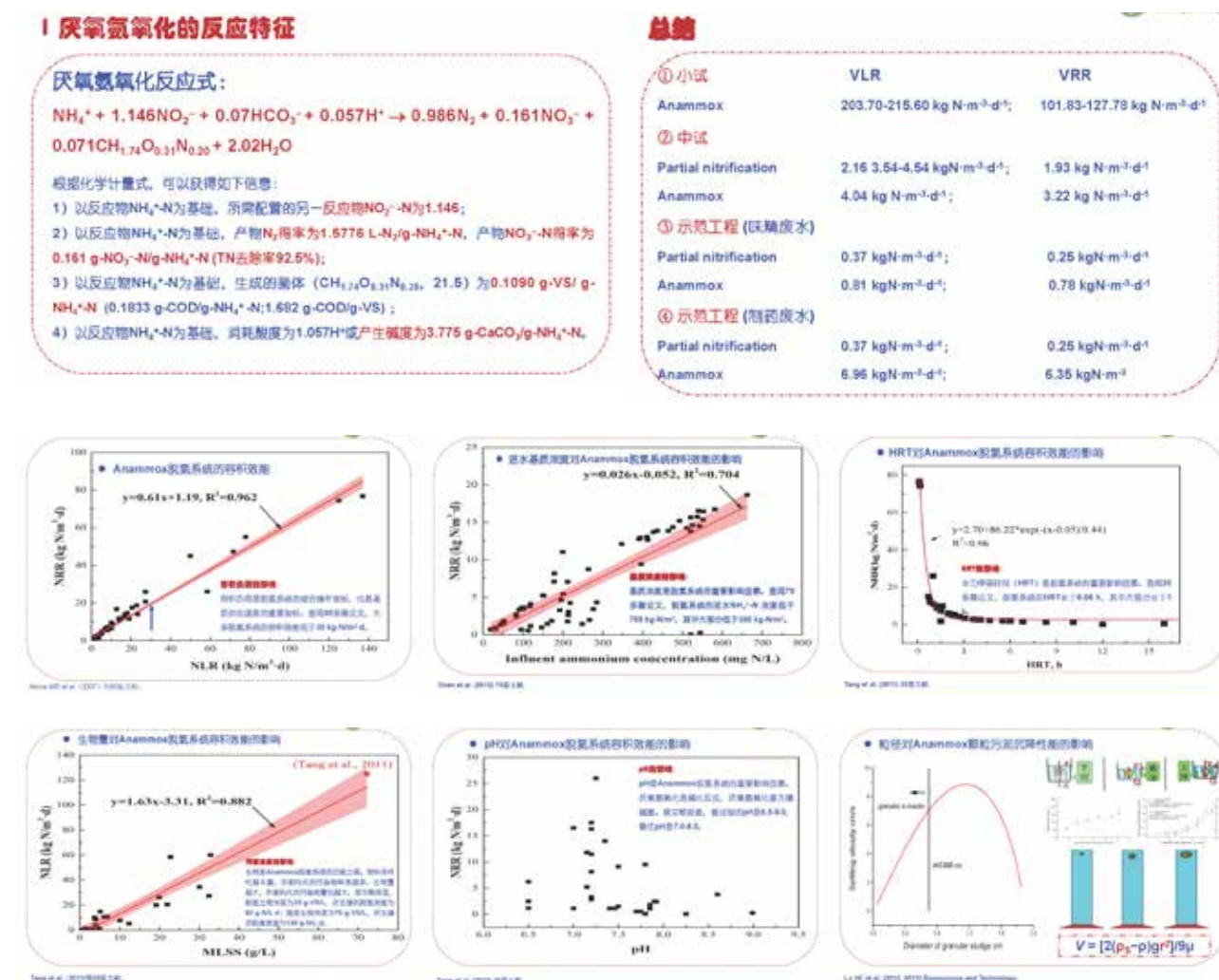
厌氧氨氧化细菌在污水处理上的应用，由其反应式来看应该注意四个方面：首先是亚硝酸的需求量，根据Lottel 教授提出来的化学计量式来看，硝酸盐的需求量



应该是氨氮的 1.146 倍；第二，用厌氧氨氧化工艺来去除总氮时，还需要考虑在反应过程中有 11% 左右硝酸盐的形成；第三，一个常见的误区是“厌氧氨氧化细菌生长速率低，其细胞分裂速率也一定很低”，实际上每公斤厌氧氨氧化细菌能产生 10% 左右的细胞；第四，也是工程应用上应该给予关注的一点，厌氧氨氧化反应是一个产碱的过程，在工程应用的过程中需要一定的缓冲空间。

郑平指出，建立一个完整的厌氧氨氧化系统，菌种、合适的调控和合适的反应条件，都很关键。在菌种的选择上，反硝化污泥作为接种的污泥对后续厌氧氨氧化菌

种的选取是最有利的。调控过程中首先需要注意的就是出水中氨氮和亚硝氮的含量，由于亚硝氮具有更大的生物毒性，在控制的过程中可适量增加氨氮的含量，确保亚硝氮的完全消耗。另外，工程应用中需要解决的一个问题是高效的处理速度，这关系到基质浓度的提高和进水量的提高，而高基质浓度产生的抑制问题是调控过程中的关键。而合适反应条件包括水力停留时间、高/低负荷、进水的基质浓度等。目前厌氧氨氧化工艺在主流废水的处理以及高负荷污水的处理上仍有一定的瓶颈需要突破。



8.4 资源化利用餐厨废水实现城市污水短程硝化反硝化除磷

资源回收利用是本届城市水环境与水生态发展大会的重点主题之一。传统方法补充碳源，成本昂贵且不符合可持续发展理念。是否可以使用其他的有机废水或者有机废物，这方面的研究近几年也非常多。同济大学教授陈银广谈到，利用有机废水和有机废物直接作为外加碳源存在两个问题，一是效率低，二是会有产生二次污染的风险。如果将其进行水解酸化后，作为补充碳源，一方面可以提高有机废物的处理效率，还可以应用到传统硝化反硝化过程中进行脱氮除磷。

短程硝化反硝化（简称为 SCND）以及以亚硝酸盐为电子受体的反硝化除磷，这两个过程具有碳源消耗少的特点。在碳源不足的条件下进行脱氮除磷，两个过程的耦合就显得尤为重要。陈银广教授提到，在保证磷释放少甚至不释放的前提下，提高污水中磷的吸收效率，就得以在同样的条件下更好地去除磷。而目前实现短程硝化反硝化和反硝化除磷过程，主要是通过控制温度和 pH 来实现，还没有发现通过增强好氧阶段磷的吸收而达到高效除磷的实例。那么，如何实现这个过程呢？陈银广教授创新性的将餐厨废水资源化利用，然后将短程硝化反硝化过程、以亚硝酸盐作为电子受体进行磷的吸收、以及强化磷吸收这三个过程相结合，就可以达到在含有



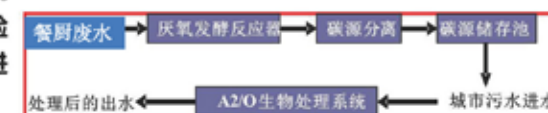
一定碳源的城市污水中进行很好的脱氮除磷过程。

他在报告中简单介绍了实现这个过程的方法。首先将餐厨废水进行厌氧发酵处理，然后通过实验室规模的反应器探究确定发酵液用于提高脱氮除磷效果的最佳工艺条件，并揭示其作用机理，最后将实验室规模扩大到实际工程应用中。为什么发酵液作为碳源可以更好地促进短程硝化反硝化以及强化除磷？陈教授认为发酵过程中产生的丙酸是重要因素，这种碳源显著提高了除磷脱氮微生物对其的利用效率。对微生物代谢研究发现，丙酸通过改变了微生物对碳源的利用途径。同时丙酸的存在使得短程硝化反硝化过程中的微生物具有更强的好氧吸磷能力。

材料与方法

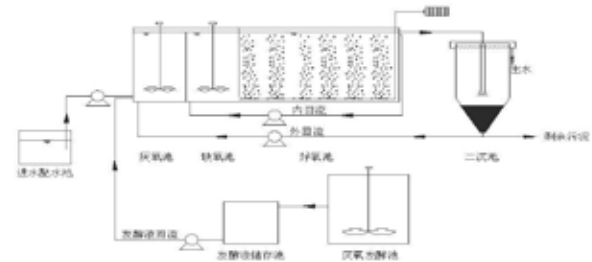
首先将餐厨废水厌氧发酵处理；然后通过实验室规模的反应器考察发酵液用于提高脱氮除磷效果的最佳工艺条件，并揭示其作用机理；最后将实验室获得的结果进行工程应用。

	实验室研究	现场研究
SCOD	44053±2986	41252±3365
乙酸	2643±157	3047±322
丙酸	59±29	102±54
SOP	167.2±22.6	141.2±15.1
TP	183.6±19.4	175.7±29.6
NH ₄ ⁺ -N	171.5±23.6	152.2±21.
TN	381.7±32.4	354.3±39.8

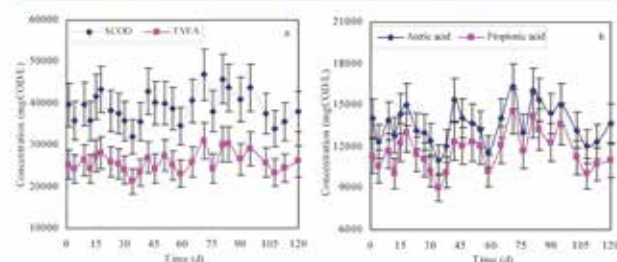


实验结果：发酵液作为补充碳源工程应用研究

两套处理系统平行运行，每套A2O处理城市污水规模：25000 m³/d
AA-A2O及AF-A2O分别外加150 mgCOD/L的乙酸和餐厨废水发酵液
HRT 8.7 h (厌氧 1.74 h、缺氧 1.74 h、好氧 5.22 h)
平均SRT 22 d
外回流和内回流分别为100% 和 300%

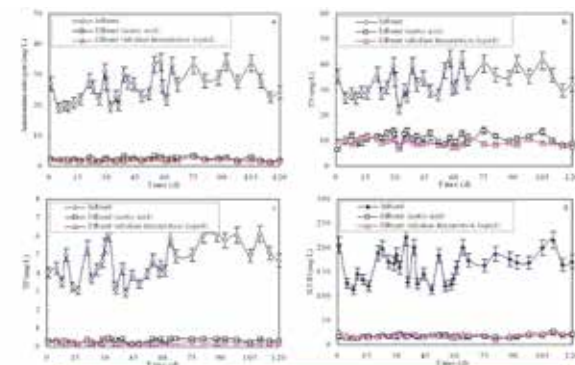


发酵前，餐厨废水的平均SCOD是41252 mg/L；发酵后39106mg/L，总VFA的得率是0.63，乙酸和丙酸的浓度分别为13621和11657mg COD/L，丙酸/乙酸为0.86/1。



进一步研究后发现，使用发酵液系统的出水具有更低的TN、NH₄-N及TP浓度，表明餐厨废水发酵液是一种比乙酸更好的除磷脱氮补充碳源。

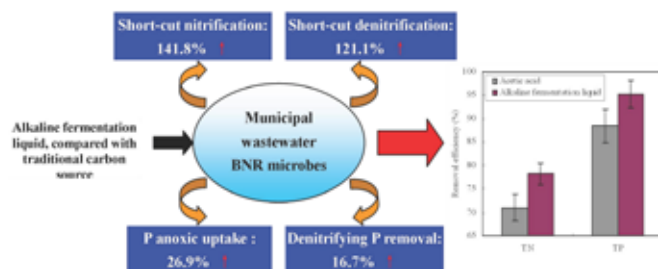
	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)		Removal efficiency (%)	
		AA-A ² O	AF-A ² O	AA-A ² O	AF-A ² O
NH ₄ -N	26.2 ± 4.3	2.4 ± 1.3	1.9 ± 0.4	90.8 ± 5.3	93.0 ± 4.9
TN	37.2 ± 6.8	11.3 ± 3.6	8.4 ± 2.8	69.6 ± 5.5	78.2 ± 6.1
TP	3.7 ± 1.3	0.43 ± 0.04	0.21 ± 0.03	88.4 ± 4.2	95.2 ± 4.7
SCOD	139 ± 55	28 ± 5	30 ± 7	90.3 ± 3.5	89.6 ± 4.4



无论投加乙酸还是餐厨废水，处理后的出水，都能够稳定达到GB18918-2002一级A标准。

结 论

- ◆ 将餐厨废水发酵，可获得除磷脱氮优质碳源
- ◆ 餐厨废水发酵液具有比乙酸更好脱氮除磷效果的原因：
 - 一定量丙酸的存在，有利于除磷脱氮微生物获得更大竞争优势、更强的缺氧和好氧吸磷；
 - 腐殖类物质的存在，促进了短程硝化和短程反硝化，提高了反硝化的电子传递及硝酸盐和中间产物的还原能力。



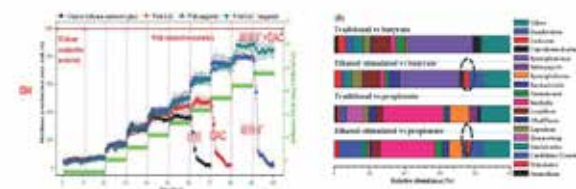
8.5 有机污染物的厌氧代谢新路径及强化原理

主要技术障碍

- (1) 复杂有机物
水解酸化慢，导致有机固废减量化率和甲烷化率较低
- (2) 简单有机物
酸性易积累，从而抑制产甲烷，导致厌氧处理不稳定

厌氧技术“叫好不叫座”：利用厌氧产甲烷技术用作有机废物处理时，甲烷产量低，商业价值低。

铁还原菌的富集——Fe(III)作为铁还原的电子受体端
Fe(III)氧化物富集异化铁还原菌，建立DIET产甲烷



- ◆ 在含铁(III)氧化物的厌氧系统，铁还原菌丰度提高4.6倍
- ◆ 在90kgCOD/m³d时，COD去除率仍>90%
- ◆ 产甲烷量提高50%以上，并应对高负荷冲击

厌氧处理作为有机废物处理的重要手段，在国内外拥有广泛和长期的实践。但其在国内的大规模实际应用还存在困难。针对这个问题，大连理工大学环境学院教授张耀斌提出了有机废物厌氧处理新的强化方法，并介绍了反应机理。

张耀斌表示，虽然现在对餐厨垃圾普遍进行分类处理，但是对于高浓有机废水的处理采用和低浓度有机废水一样的处理方式，导致其水解酸化慢且利用率低。尽管厌氧技术好，但应用于城市污泥的消化过程的实例却很少见。张耀斌也对此提出了自己的看法，他认为就是消化效率低导致产沼气效率低且无商业价值，是厌氧技术未被推广应用到餐厨有机废水的处理中的主要原因。

厌氧消化的本质其实就是有机物酸化过程中氢的传递过程。因此加快氢气扩散、提高电子传递效率是提高厌氧消化过程效率的本质手段。基于此，张耀斌团队在借鉴零价铁提高厌氧酸化过程的原理上，发现表面有锈蚀的铁对促进厌氧酸化过程更有帮助，同时发现铁还原菌的丰度提高了4.6倍，同时COD的去除率达到90%以上，产甲烷量也提高了50%，这样的体系可以很好地应对高负荷冲击。

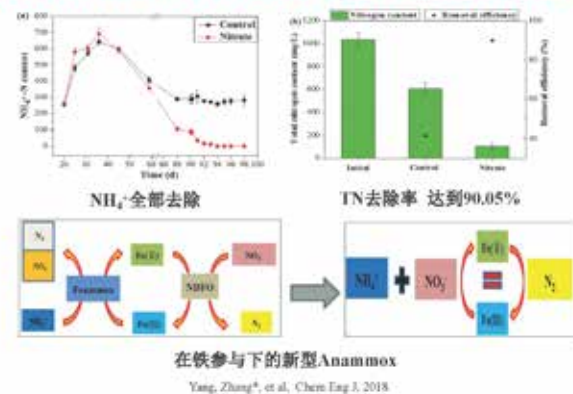
他们断定铁还原菌是这个过程重要贡献菌，并对这

种细菌进行了富集然后推断该过程的进行的原因。他们发现铁还原菌利用有机物过程是产热过程，产生的热量足够推动电子还原二氧化碳和氢气而产甲烷。其后又发现，无定型的铁氧化物可以刺激微生物分泌更多的EPS电子穿梭体，在这个过程中铁的形态存在二价和三价的循环。在加入氨作为电子供体、硝酸盐作为电子受体后，铁的循环会带动硝酸盐氧化氨，进而达到高效去除污泥中氨的目的。

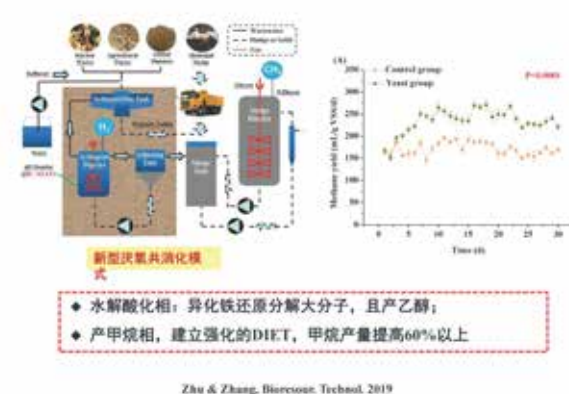
在后续实验中，他们又将铁氧化物加载到生物炭上，因为生物炭具有在低温时官能团较多，高温时官能团减少的特点，因此加载有铁氧化物的生物炭形成了一个在一定温度下含铁的生态链，可以在低温环境下仍具有达到高效产甲烷的能力。他们将这一方法应用到了实际造纸厂废水中，经过简单调整后，甲烷产量就提高了几十倍，同时每天可以节约近十吨煤。

新型Anammox

以氨氮为电子供体，NO₃⁻为末端电子受体，在Fe(III)/Fe(II)循环

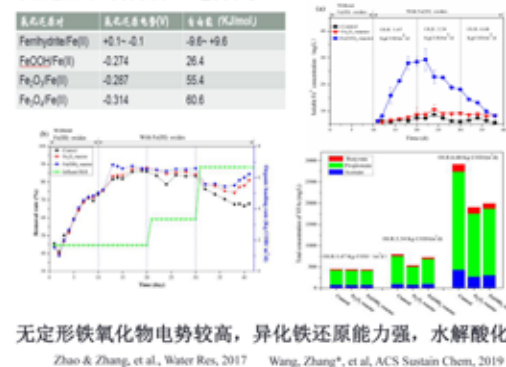


电子传递强化的新型厌氧消化策略



异化铁还原耦合DIET强化厌氧消化原理

异化铁还原对有机物的直接分解，取决于铁氧化物的电势/晶型
无定形铁氧化物：电势高



展望：新型厌氧消化

- 农村面源污染：畜禽粪便、生活垃圾——沼气池
- 农业废弃物：秸秆、废弃作物
- 城市高含固有机垃圾：餐厨垃圾、厨余垃圾——干式发酵
- 城市与工业剩余污泥：厌氧消化率低
- 工业废水（包括垃圾渗滤液）的水解酸化与产甲烷

8.6 微藻培养与能源化应用

近年来，微藻的能源化利用是能源环境领域重要的研究方向之一，目前仍处于发展阶段。浙江大学能源工程学院教授程军为大家介绍了他们在这领域的新进展。

所有地球生物中，微藻的能源转化效率位居前列，其生长速度非常快，远超陆地上生长最快的竹子。其能源转化的机理主要还是二氧化碳加水在光照情况下生成



葡萄糖、淀粉、蛋白质等能源物质。而藻的生长需要碳氮磷，同时在光照条件下又会高效同化二氧化碳产能源，这样结合到废水处理及废气处理中，就可以到达三重目的，即 a. 净化烟气二氧化碳；b. 净化废水里面的碳氮磷和污染物；c. 把生物指标还原成能源燃料。

程教授团队对微藻特性进行深入研究后，对基本代谢过程及参数调整进行了优化。之后他们在山东烟台某火电厂进行了示范工程搭建，将电厂燃煤后的烟气通入微藻池，生长后的微藻通过离心干燥做成饲料型藻泥进行后续利用。团队还在内蒙古鄂尔多斯建立了示范工程，

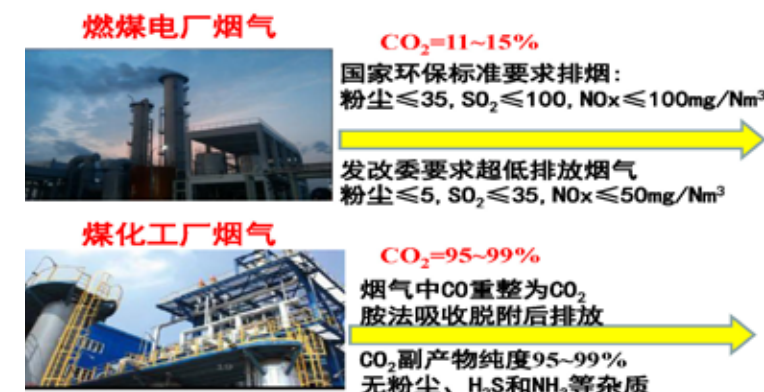
将烟气利用微藻进行固定做成食品级藻类产品进行出口。

此外，他们还将微藻利用到废水处理中。研究发现，微藻不仅可以同化废水中的碳氮磷元素，对重金属及新型污染物（如抗生素、个人护理品等）也有很好的吸收作用。

程军团队还开发出新工艺，将微藻产品进行加热，然后降低个体尺寸，使其自由流动，并进行高效的萃取，其使用效率可以提高到 90% 以上，不仅可以利用微藻炼制生物柴油，还有可能进一步脱氧得到航油。

一、研究背景意义

中国每年排放CO₂总量90多亿吨，其中燃煤烟气CO₂大约60亿吨，煤化工、水泥、陶瓷等排放烟气CO₂约5亿吨。

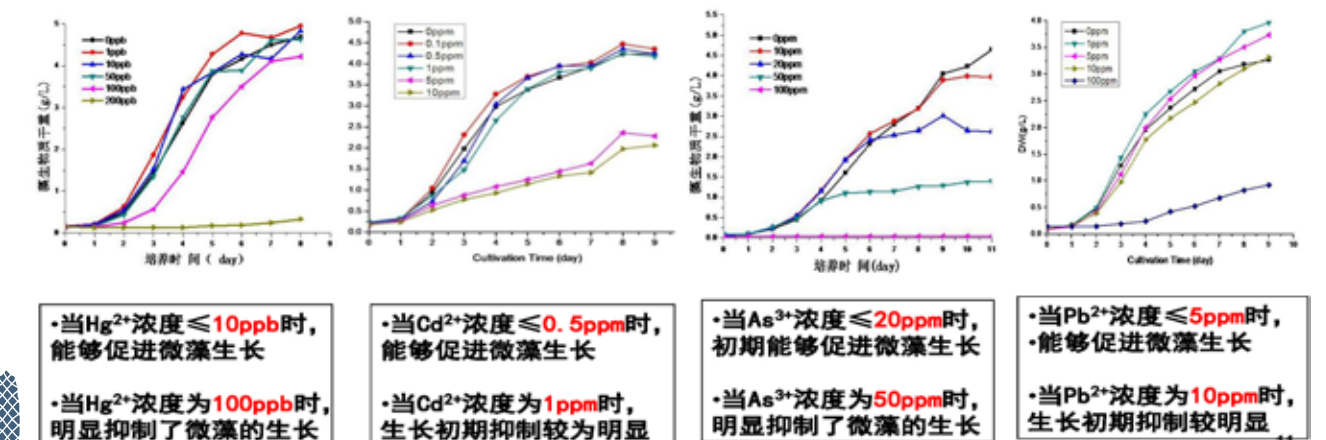


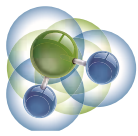
微藻固碳效率高：转化太阳能的量子效率高达2~10%（而陆生植物<1%），微藻生长速率极快（每天生物量增长量达1~3倍），吨藻可固定1.83吨CO₂，微藻固碳生物质具有较高经济价值



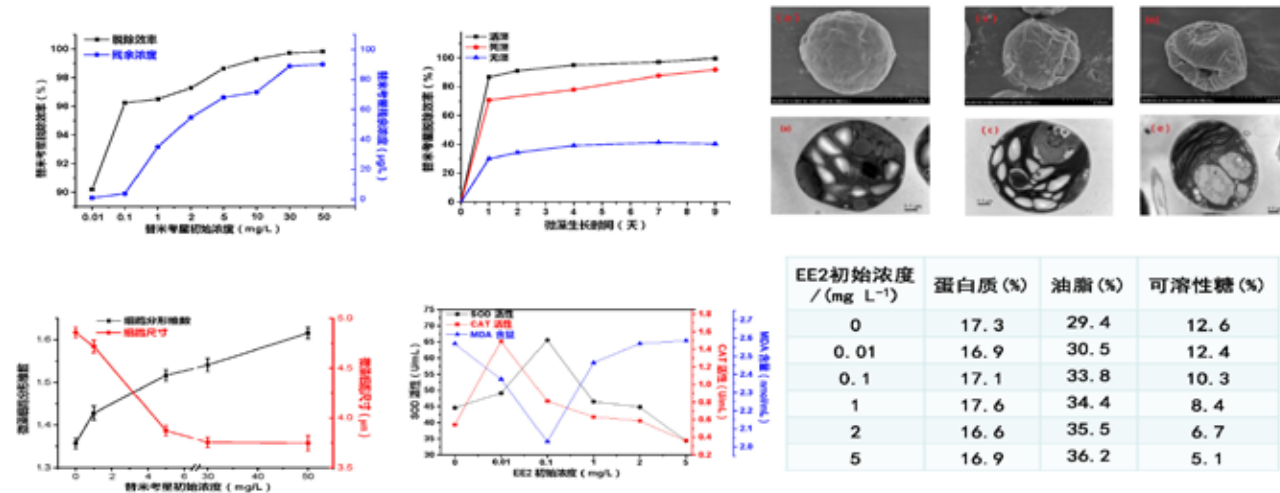
二、微藻固定烟气CO₂同时净化废水中污染物

抑制微藻生长的毒性为：Hg²⁺>Cd²⁺>As³⁺>Pb²⁺





微藻高效脱除有机微污染物：替米考星脱除率99%，乙炔雌二醇脱除率88%



小球藻脱除猪粪厌氧发酵尾液中重金属

微藻培养条件	重金属	沼液中原始含量 (mg/L)	微藻净化后废液中含量 (mg/L)	微藻脱除效率 (%)	微藻生物质中含重 (mg/kg)	从原始沼液到微藻生物质的富集因子
标准工况	Pb	0.031	0.0057	81.6	5.06	163.2
	As	0.028	0.013	53.6	1.13	40.4
	Hg	0.0015	0.00033	78.0	0.23	156.0
	Cd	0.0005	0.00019	62.0	0.076	152.0
在沼液中曝气后接种	Pb	0.031	0.011	64.5	5.21	168.0
	As	0.028	0.01	64.3	0.85	30.4
	Hg	0.0015	0.00031	79.3	0.31	206.6
	Cd	0.0005	0.00012	76.0	0.075	150.0
在沼液中补充碳元素	Pb	0.031	0.0074	76.1	3.48	112.3
	As	0.028	0.018	35.7	1.22	43.6
	Hg	0.0015	0.00017	88.4	0.20	130.4
	Cd	0.0005	0.00005	90.0	0.06	120.0

根据美国NRC公布的奶牛饲料中重金属的最大可容忍饮食水平分别为30mg/kg (铅), 50 mg/kg (砷), 2mg/kg (汞)和0.5 mg/kg (镉)。所以就重金属而言, 用UADES培养的小球藻作为动物饲料添加是安全的。

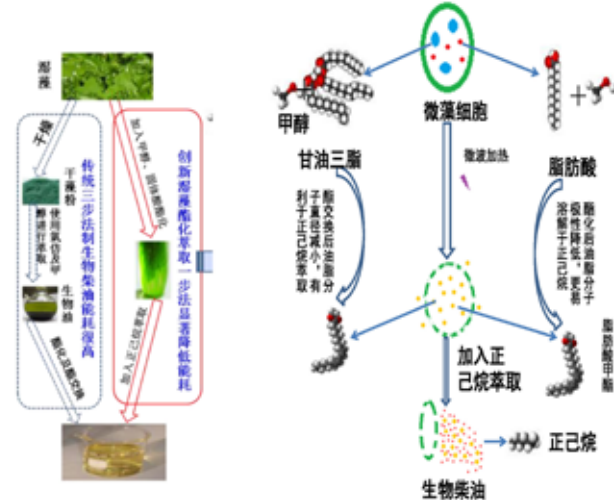
微藻油脂脱氧断键炼制生物航油

典型石化航油JP-8的主要化学成分

烃类名称	分子式	百分比 (%)
正辛烷	C ₈ H ₁₈	3.66
环辛烷	C ₈ H ₁₆	4.54
正十烷	C ₁₀ H ₂₂	16.08
均四甲苯	C ₁₀ H ₁₄	4.28
正十二烷	C ₁₂ H ₂₆	22.54
正十四烷	C ₁₄ H ₃₀	16.87
正十六烷	C ₁₆ H ₃₄	12.22

航空燃油必须具有较低的凝固点 (≤-40℃) 和较高的能量密度。化学成分为碳链分布较为均匀的C₈-C₁₆的烷烃、环烷烃、烯烃和芳香烃的混合物, 其中对于烯烃(双键易氧化) (<3 vol%) 和芳香烃(芳烃热值低) (<20 vol%) 的含量有严格限制。

四、湿藻胞内酯化再萃取炼制生物柴油



微藻油脂与传统油脂相比, 都是以脂肪酸成分为主, 但是藻油碳链长度分布更宽、长链脂肪酸更多、分子更大而且不饱和度更强。故藻油制航油时必须经过脱氧和断碳键反应

脂肪酸 ^{a)}	化学分子式	化学结构式 ^{a)}	小球藻油脂% ^{a)}	棕榈油% ^{a)}
十四碳酸 (C _{14:0}) ^{a)}	C ₁₄ H ₂₈ O ₂		1.6 ^{a)}	1.1 ^{a)}
十六碳酸 (C _{16:0}) ^{a)}	C ₁₆ H ₃₂ O ₂		35.7 ^{a)}	44.4 ^{a)}
十八碳酸 (C _{18:0}) ^{a)}	C ₁₈ H ₃₆ O ₂		8.5 ^{a)}	4.0 ^{a)}
十八碳二烯酸 (C _{18:2}) ^{a)}	C ₁₈ H ₃₄ O ₂		21.5 ^{a)}	40.0 ^{a)}
十八碳二烯酸 (C _{18:2}) ^{a)}	C ₁₈ H ₃₂ O ₂		15.3 ^{a)}	9.2 ^{a)}
二十碳五烯酸 (C _{20:5}) ^{a)}	C ₂₀ H ₃₀ O ₂		8.9 ^{a)}	0 ^{a)}
二十四碳二烯酸 (C _{24:2}) ^{a)}	C ₂₄ H ₄₆ O ₂		1.3 ^{a)}	0 ^{a)}

9 工业园区水管理

9.1 化工园区废水处理技术的实践与创新



南京大学环境学院院长任洪强教授指出: 自 1984 年以来, 已有国家级化工园区 500 多家, 但是近 3 年来, 中国化工园区的废水处理达标率很不理想, 仍然有 50% 不能达标。

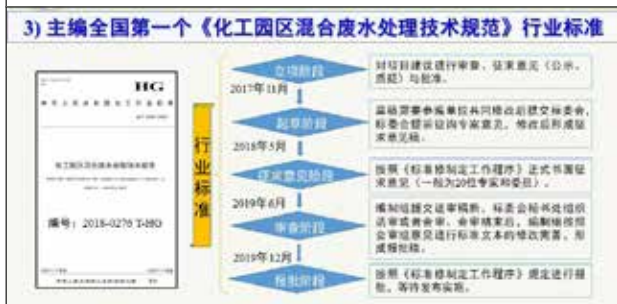
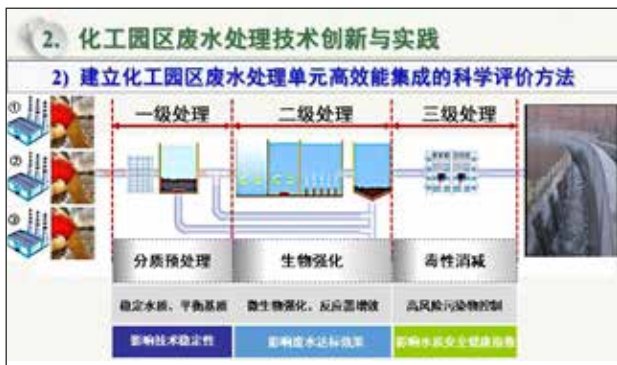
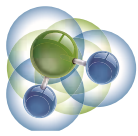
影响化工园区废水处理的因素主要有两个, 首先是接管标准的变化, 随着我国对生态环境的保护日趋严格, 接管标准在不断提升。其次, 随接管标准的变化, 技术必须对应提升, 整体管理水平和排水指标也需要随之改变。任洪强教授团队从 1990 年开始分两段进行了改进, 第一阶段针对生物强化过程中的稳定性强化, 2006 年以后开始做整体强化工作, 包括微生物处理的分子机理、响应机制和种群组成的相互影响等。

2015 年以后随着水质的复杂性以及处理工艺的复杂性和不确定性均不断上升, 旧有经验已经不再适应新形势需要, 因此需要变化化工园区处理技术的创新路径, 任洪强教授团队对应地探索了基于大数据的化工园区废

水处理新模式。在该平台下主要做了两点工作: 第一是针对整个工业废水处理过程的优化, 包括水质、工艺、过程、微生物等; 第二是针对生物处理中微生物信息的深化调整方法, 涉及污染物和工艺的关联以及微生物种群的关联, 作为基础性研发体系的数据积累。包括体系安全的评价方法等。

基于以上成果, 任洪强团队对江西的精细化工园区进行改造, 并通过此案例牵头编著了全国第一个化工园区废水技术标准《化工园区混合废水处理技术规范》, 即将正式发布。此标准规定了术语的要求, 工艺的选择和设计的规范等, 对未来有个很好的引导。

针对未来的严峻形势和工信部提出三个 20 要求, 任洪强教授认为仍应重点关注面向未来的水质安全性, 首先要建立面向生态化工园区污染物风险防控综合指标体系, 优化标准中的指标, 更多的关注生态安全和人体健康的指标要求。水质指标应由单一的污染物浓度的阈值向综合风险阈值转变; 基于生态健康的工业回用水安全风险评估, 保障化工园区工业废水处理工艺低耗稳定运行、高品质回用, 实现数据采集、问题诊断、工艺遴选、优化调控的系统智能化, 实现高值资源综合利用 - 工艺过程智慧运管 - 高风险污染物有效管控的治理体系建设; 围绕大数据做好数据挖掘和工艺智能化的技术方面的开发, 实现数据的采集、问题诊断、优化调整的智能化, 从而整体提升水处理装备包括园区水处理技术的效果。要通过大数据和标准、技术的进一步的融合, 支撑未来整个化工园区生态化发展过程中的水质安全。



9.2 工业废水需要什么样的解决方案



来自中国科学院的杨敏教授首先根据人类科学史，引申出科学家和工匠之间的区别和联系，杨敏教授指出：在工业废水处理技术领域，2002年以来，中国已经成为世界上在此领域文章和专利的第一大国，但这并没有解决目前的现实问题。

为什么繁荣的科学没有造福人类？

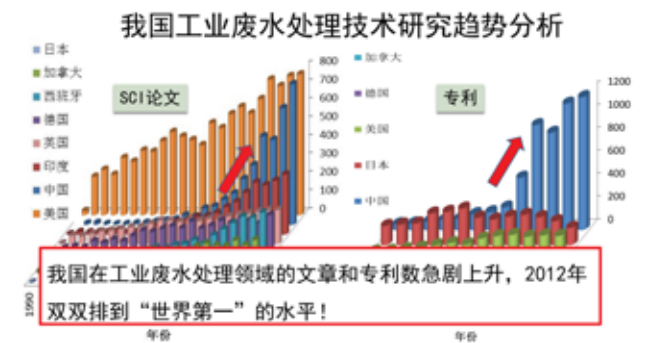
- 希罗发现了蒸汽机原理，却没能制造出蒸汽机和轮船；
- 工匠制造漂亮的玻璃制品，却不能制造玻璃试管和透镜；
- 工匠制造金属工具和武器，却不能制造天平；
- ...

追求事物本质的科学家与负责生产的工匠之间存在鸿沟！

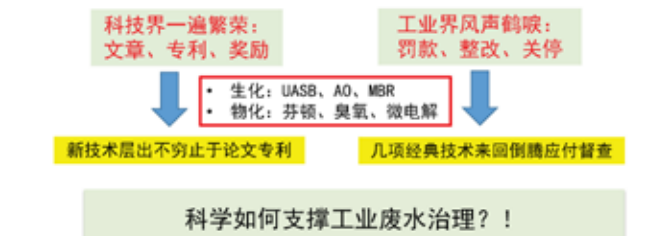
抗生素废水目前仍然是工业废水处理现场的困境。此类 COD>1 万 mg/L 的废水，处理工艺特别复杂，为满足对环保的要求，不断增强工艺，在不同阶段增加 USAB+AO，最后又加上臭氧。另一个是煤化工，可以看到不同的工艺，焦化废水处理工艺五花八门，堪称水处理技术博物馆。

但是文章、专利，甚至奖励的繁荣并未带来工业界问题的解决，对环保的要求越来越高，导致企业不断的承受压力，罚款、整改和关停时有发生。

杨敏教授团队针对工业园区的含氟废水的处理，提



科学的繁荣与现场的凄凉



出了新的改进方案。传统的氟化钙沉淀工艺，原理简单，但工程中会出现各种问题，成本高，流量非常大。通过在废水处理装置里面做一些改造，把废水分成两种，一种是小流量的高钙离子含量废水，引入沉淀池里面，促进晶种的形成，剩余的离子去除，采用纳米絮凝剂，使用原有一半的成本达到废水稳定的处理。

其次，杨敏教授团队针对焦化园区的废水进行改进，提出在工厂的预处理中间实现总量的去除。并通过实验发现，新方案中，工厂的 COD 可以降到 400mg/L，园区平均是 3000-4000mg/L，经过一系列的处理 COD 降低 50% 以下，通过两级处理，工厂的预处理和园区的深度处理以后，可以使总氮低于 30mg/L。

通过这两个例子，很好地体现了工厂的预处理和园区的深度处理达标间密不可分的相互影响，良好的预处理可以使园区事半功倍地解决废水中出现的问题。工程现场大量的问题需要科学家的智慧，工程师与科学家结合才是解决问题的关键所在。

141



结论与建议

- ◆ 全过程污染控制技术可行、先进适用，尤其适合我国重化工行业绿色化升级改造。
- ◆ 全过程污染控制以**污染物减排成本最小化**为首要目标，不片面追求单元技术最优。
- ◆ 将化工、化学、冶金、环境等多学科的理论与方法交叉融合用于全过程污染控制研究。
- ◆ 政府指导、市场引导、企业主体、科技支撑，共同推动全过程污染控制技术产业化，引领环保高技术跨越产业发展。

9.4 物理法石化污水源头控制及资源化

石油化工是把石油、煤炭、天然气、生物质作为原料，经过加工以后生产化学品，原料里面夹带着一些重金属或者分解物质，污水一部分矿化，一部分回收。华东理工大学机械与动力工程学院副院长杨强教授指出：美国对大型炼油厂的污染物排放标准，远远高于中国的控制标准，但是中国炼油从硫含量和金属含量都高于欧美，所以中国做好大型炼油厂的废水废气的管理，技术难度

针对石化污水分离处理过程中的能耗问题，结合湍流动力学和颗粒材料运动学理论，杨强教授团队创新的发现不仅在颗粒上，在三维过程中都有一个自转和颗粒大小的排序问题。围绕这个过程，杨教授团队从点、面、体做了全面的基础综合研究：

首先，制作了示踪粒子，结合高速摄像系统，能准确监测到颗粒在流动过程中的自转行为以及控制模型。其次，研究油滴的行为，油滴接触颗粒物的粘度，剪切流场下水滴的自转行为，发现水滴自由接触或碰撞接触很难结合在一起，因此围绕这个问题做了创新的发现，并相应地制作了工艺装备。然后，通过研究颗粒物的自转行为，发现水体中颗粒物包括污泥的振荡机制，可以有效的释放氮源，高活性进行回收，低活性进行外排，建立回流液的处理系统，出水 COD 减少 10%。基于油滴的机理研制了三锥体细长的机械扩容的分离方法，不



是比较高的。

需要添加化学药剂，没有二次污染，成本也比较低，预处理之后，污水汽提成本大大降低。利用悬浮物高效净化技术，悬浮物分离和振荡的作用，做了功耗放大的模型和体系，过程中随着吸附的体系，构建了梯度过滤和自转再生，吸附深入的融合，保证长周期的使用。

最后，杨强教授将团队技术应用的化工园区工程进行了概括，污水排放都低于国家标准，做到了自然和谐的清洁化生态厂区。围绕中石化，中石油的石化基地为主，全国各个省份包括出口的“一带一路”国家与地区，已有相应的厂区进行了技术应用和推广。

石化园区水循环流程

污水处理现状

- ◆ 采用物理分离、化学转化和生物降解处理废水，以石油炼制、煤直接液化为例，物理分离法占总成本的70%

三维旋转湍流动力学和颗粒运动学的综合理论雏形

- ◆ 原来五种流动：内/外旋流、短路流、循环流、空气柱
- ◆ 发现：颗粒**高速自转**、**自转和公转耦合**、脉动、排序

特点

- 无运动部件
- 占地小
- 快速高效
- 成本低

旋流自转强化生化

- ◆ 旋流内回流液，脱附污泥絮体表面及孔道中的有机物，**提高水体中碳源浓度**，降低回流液中DO浓度
- ◆ 分选二沉池污泥，高活性回收、低活性外排

技术2：油滴聚并机理-悬浮油滴快速分离

小油滴的主要分离部位是圆筒段和锥体段，大油滴的主要分离部位是圆筒段和锥体段上半部。

技术3：悬浮物高效净化技术

- 建立了双分支流放大模型，成功放大300倍，研制成功大型液-固旋流器、沸腾床分离器，分离精度100nm

在 Environ. Sci. Technol. 等期刊发表相关SCI论文 12 篇

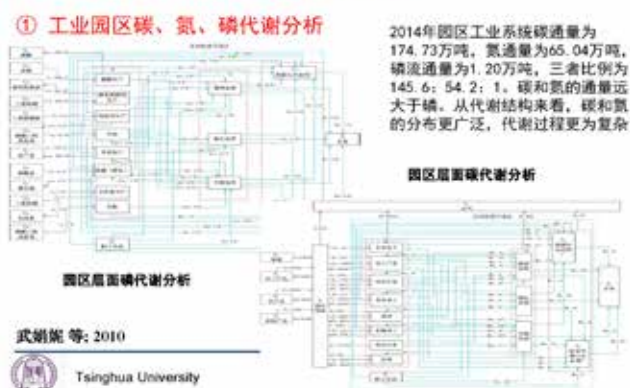
9.5 工业园区介循环模式及实践



水介循环即在原有的自然界水循环基础上，增加人类活动圈的水再生循环，且再生循环之后水的健康和安

全方面有所提升的整体循环概念。清华大学环境学院石磊副研究员认为工业废水的治理不应仅仅停留在微观视角上，而应从水循环整体来看，因此提出介循环概念。

工业园区主要污染物代谢特征



- 关键元素一磷>氮>碳
 - 磷是水体富营养化的关键限制因子
 - 磷的代谢通量虽小，但行业集中度较低、处理方式和去除率落后于碳和氮
- 关键行业
 - 磷—食品加工、纺织印染、化工产业
 - 氮—氮肥生产、纺织印染、食品加工
 - 磷—纺织印染、食品加工、机械（磷化）
- 关键节点—企业污水处理设施
 - 污水处理系统的核心节点
 - 大部分企业采取简单的物化处理直接排入水体的模式

石磊老师首先概括了工业园区的水循环和管理特征。工业用水排水情况复杂，环境影响大，工业系统、自然

生态系统以及水系统三大系统交互复杂影响。通过整理宜兴开发区的水案例，可以发现工业园区的水首先分布到不同工业企业中，产生废水后在企业先进行预处理，然后集中到污水处理厂。

其次，通过对工业园区水介循环进行了分析，可知：第一，工业园区水循环存在关键元素。在进行碳氮磷代谢分析后，发现水处理的环境，工业当中的用水环境都存在代谢过程。这是工业园区当中关键的元素，关键的行业和关键的节点，通过代谢分析可以调控制整个工业园区的排水和水循环。第二，工业园区在地域尺度上具有特殊性，不仅表现在工业园区的多样性上，实际中还表现在基础设施的多链接性。从管理角度看，还体现出多目标，多主体性的特点。

基于以上分析，石磊老师揭示了工业用水的尺度性，建立了介循环模式，提出了指标特性、结构性、功能等一系列指标的梳理和策划。从介循环的层级结构可以看出，这是一个跨越尺度的循环模式，通过这种模式，企业回用需要的关键技术，污水再生、生态再生等水的处理需求都一目了然，并且在升级改造过程中可以预算水的走向，带来的效率等。

石磊老师认为重点还是政府的关联度。模型里面的要义，内部四个要素，科研系统、处理单元、用户、对象系统和外部的生态系统以及政策系统均会产生广泛的相互影响，利用设备生态系统的框架解释工业园区的水管理，背后是不同的理念模式，对象系统受制于外部政策的变化。工业园区整体趋势而言，在水排放方面是存在政策变迁，在整个政策变迁和内部的驱动下，又会不断产生新模式。

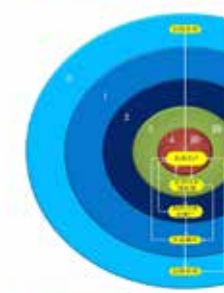
从介循环角度来讲，需要强调政策性，水循环管理要首先强化水介循环的理念，构筑介循环的体系。第二

个方面是技术层面，管理体系一定要和技术体系匹配。构建三重管理体系，最后集成到智慧水务当中，引领工

第三个方面，管理是非常复杂的体系，在这个体系下要业园区的高质量的发展，服务于中国的工业园区的改造。

强调服务扁平化的管理。产生要构筑的社会生态系统，

工业系统介循环的层级结构



- 0阶循环：即水的自然循环
- 1阶循环：即区域生态再生循环，主要是指再生水的生态利用与水质净化和水质安全保障
- 2阶循环：即区域工程再生循环，主要包括括区域内的污水集中再生处理与再生水直接回用。
- 3阶循环：即工业过程的预处理循环，主要是指企业尺度的预处理及其再生回用
- 4阶循环：即工业过程的内部循环，主要是指企业尺度的水量重复利用、梯级利用与直接回用

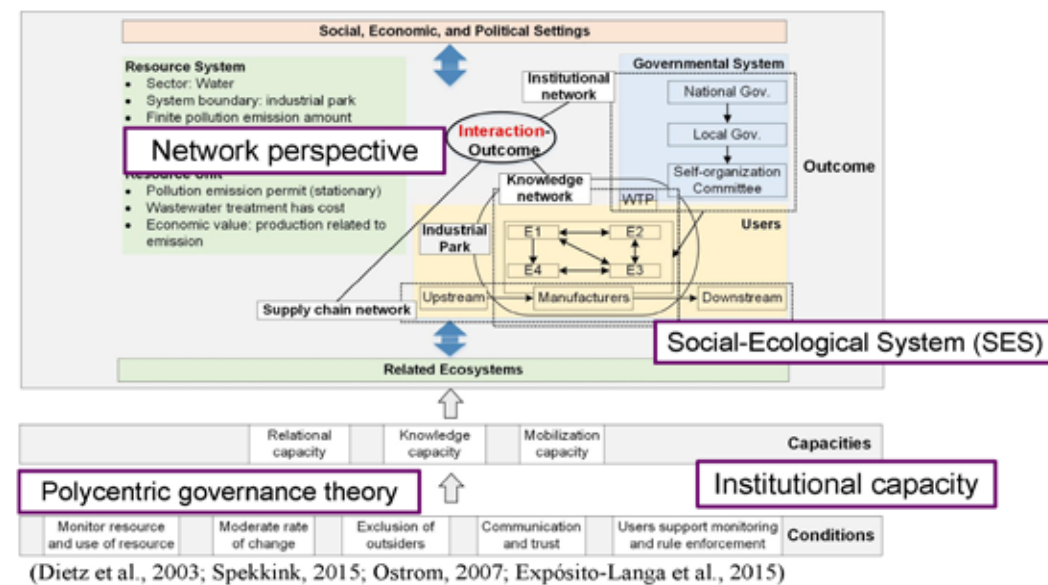
胡纳曹等, 2015

介循环评价指标体系



MA Lei et al, 2018

工业园区水环境管理框架



环境排放标准

	旧标准	新标准
GB 31571-2015	综合排放标准	针对具体行业
GB 31570-2015	企业总排口监控	生产设施全覆盖管理
	仅有控制指标	明确检测方法
	宏观污染物指标	特征污染物指标
	无总量控制	规定基准排放量

9.6 制药综合园区废水处理典型案例和几点思考



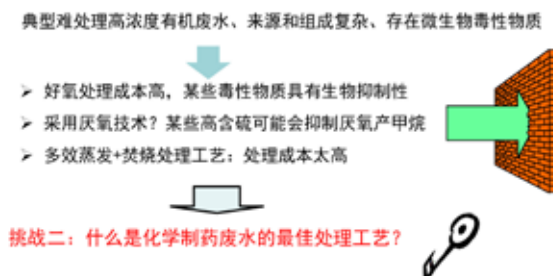
中国在医药行业的废水包括发酵类、化学合成类、制剂类等六大类，因为发酵类和化学合成类废水产生的量大，污染率高，是关注最高的污染类型。这两类废水执行非常严格的国家标准，是 50mg/L，另外还有总氮和毒性的要求。中国科学院生态环境研究中心研究员张昱表示：大家经常听到制药企业因为环保被关停，其实是因为行业本身存在很大的污染问题。

高抗生素残留的发酵类抗生素废水处理难题

废水难以达标（COD、TN），为了达标不断延长处理流程，运行费用高，处理效果不稳定

挑战一：发酵类抗生素废水处理到底难在哪里？

发酵类的制药废水会造成环境细菌的耐药性提高，而化学合成制药过程产生的废水，特殊污染物具有生物毒性，好氧处理无法进行。针对这两类废水的制药园区，一般是制药企业的废水进入到园区的废水，叫做难处理废水，即使采用了很多级别的处理工艺，但是仍然难以达标，针对制药园区的 COD 需要怎么处理，是另外一个难题。



张昱老师认为，特种污染物的识别是关键。首先是发酵类抗生素废水，采取的策略是选择性处理原水中的抗生素效价。基于抗生素的药效官能团的水解的特性开发了缩减抗生素水解半衰期的技术，该技术可以有效的选择性破坏抗生素药效官能团，但残留的 COD 很难处理，针对水解产物采用氧化吸附技术，能很好的去除 COD，达到发酵类抗生素废水处理要求。



挑战三：制药园区水厂针对生物出水中的HARD COD如何进行高效深度处理？

其次是关于化学合成类制药，高有机硫、高 COD 废水。高硫酸盐是工业废水中的难题，无法进行厌氧处理。张昱老师通过研究发现，原始 COD/TSO₄²⁻>0.9 时，是可以进行厌氧处理的。但处理后的水会和其他废水进入到化学制药园区，使得排放达标困难，因此，同样采用特征污染物的识别和技术的研发，就园区的废水改造针对性采用氧化过程，能有效控制出水 COD。

最后，张昱研究员通过制药的典型例子找到了工业废水处理的钥匙：找出水质的难降解污染物，产学研结合。对于高浓度难降解的废水，以低能耗，资源化为前提，采用清洁绿色过程，这是未来工业废水处理的实现达标排放的有效路径。

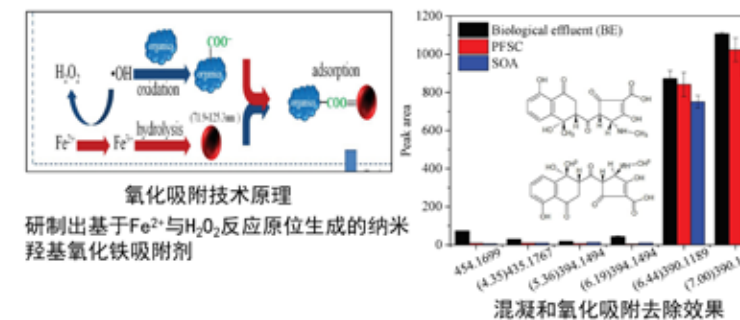
现场中试和无预处理对照系统处理效果比较

参数	样品	对照系统	中试系统
土霉素母液稀释率	母液进水	3-4 倍	—
COD (mg L ⁻¹)	土霉素母液	11,086 ± 602	—
COD去除率 (%)	-	51 ± 4	68.9 - 83.2
有机负荷(kg m ⁻² d ⁻¹)	-	1.2 ± 0.2	3.3-5.9
土霉素浓度 (mg L ⁻¹)	土霉素母液	874 ± 60	—
土霉素浓度 (mg L ⁻¹)	厌氧出水	219-290*	<0.1
土霉素浓度 (mg L ⁻¹)	厌氧出水	96.9 ± 4.2	0.13 ± 0.05
土霉素母液	900 ± 63	—	—
土霉素效价 (mg L ⁻¹)	厌氧进水	200-300*	<0.84
土霉素效价 (mg L ⁻¹)	厌氧出水	105.7 ± 7.1	6.5 ± 0.5

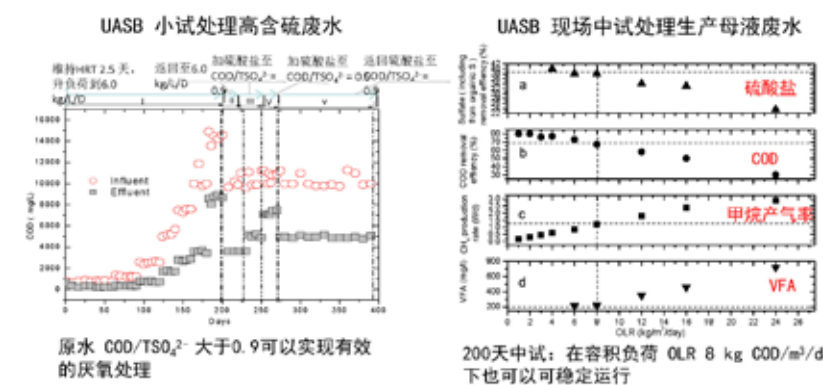
和对照系统相比，现场中试在母液没有稀释的情况下能够实现高有机负荷下抗生素效价和COD的高效去除

Yi & Zhang*, Water Res. 2017, 118:211

混凝和氧化吸附HARD COD中土霉素水解产物的去除



化学制药高含有机硫废水厌氧处理小试和中试



结 语

解决（制药）工业废水处理难题的钥匙：
—掌握废水水质特征—研发调控技术和工艺—

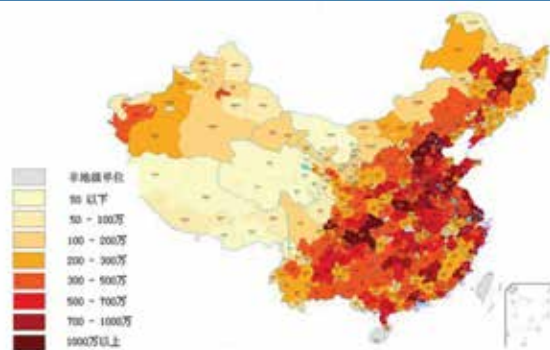
高浓度难降解有机废水处理

创新理念：以低耗、资源化为前提的清洁绿色过程
从浓度减排转向兼顾毒性减排
未来的工业废水处理厂-循环工厂

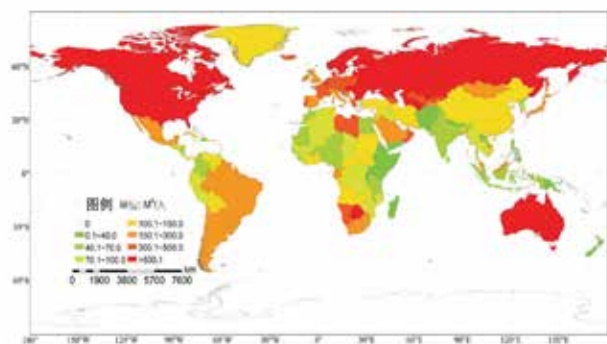
10 城市污水处理领域的技术与产品创新

10.1 膜法城镇污水处理技术的现状与挑战

城市化进程与土地资源减少



第6次全国人口普查图（2010）



2010年全球人均占地面积空间分布图

当前，在中国水资源短缺、水环境污染仍旧严峻、污水排放标准日趋严格的大背景下，城市污水处理领域对技术和产品创新的需求不断提升。随着城镇化脚步的加快，城市人口密度增大，对污水处理设施的占地也提出新的要求。因此，革新城市污水处理领域的技术和产品，以提高出水处理效率、提升运行稳定性、减少污水处理设施占地、降低污水成本、强化对新型污染物的处理等，是城市污水处理领域恒久的主题。

清华大学环境学院黄霞教授对膜法城镇污水处理技术的现状与挑战进行了概括。膜技术有很多分类，根据推动力的不同，膜分离就包括浓度差、电位差和压力差。

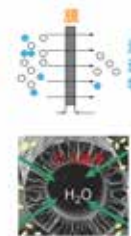


目前应用较多的主要为压力驱动型膜技术，具体可分为反渗透、纳滤、超滤和微滤。黄霞教授主要讲述了压力驱动型膜工艺特别是大型膜生物反应器（MBR）在国内的发展与应用。膜技术在城镇污水处理中的现有应用方式分为在原有二沉池的基础上加超滤/微滤，也可以将二沉池取消直接与生化池耦合利用膜生物反应器处理污水，从而达到稳定达标或去除病原菌等。对于较高的水质要求，可以采用纳滤去除微量有机物、高价盐类等，从而达到地下水回灌等高品质回用。对于特殊工业用水回用或饮用则需要反渗透技术深度去除痕量有机物、重金属等。

膜过程类型

根据推动力的不同，膜分离有下列几种：

- 浓度差：扩散渗析（分离离子、小分子）
- 电位差：电渗析（分离离子）
- 压力差：反渗透(RO, reverse osmosis)
纳滤(NF, nanofiltration)
超滤(UF, ultrafiltration)
微滤(MF, microfiltration)

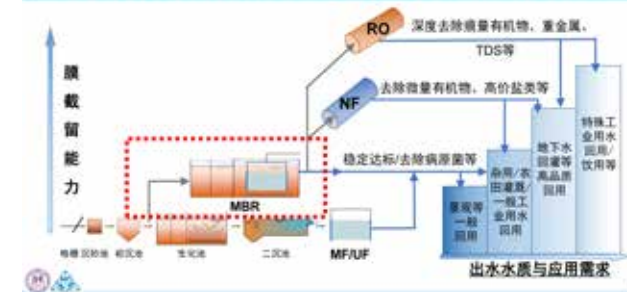


MBR 具有污染物去除率高、运行稳定、出水水质好、污泥浓度高、占地面积小、剩余污泥产量低、节约污泥

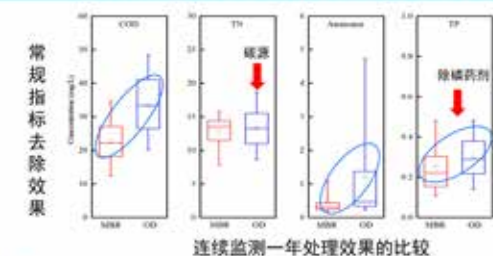
处理费、自动化运行程度高等特点，黄霞教授团队的研究结果显示实际 MBR 工艺在脱氮除磷、去除微量有机物和抗性基因等方面相对传统工艺具有优势，特别是微塑料的去除率由传统工艺的 53.6% 提高到 82.1%。其主要机理在于高污泥浓度强化吸附、膜截留效果提升、与亲疏水有关以及长污泥龄促进生物降解。

黄霞教授指出，膜技术具有效果好、占地少、自动化程度高和易于标准化生产等优势，但也面临着成本、能耗高和膜污染等问题；MBR 工艺在污水处理厂的平均投资成本约为 2500 CNY/(m³/d)，略高于传统工艺；未来的挑战主要在于开发高性能膜材料及膜组器、降低能耗和运行成本、有效控制膜污染及优化提升系统整体性能。

膜技术在城镇污水处理中的现有应用方式

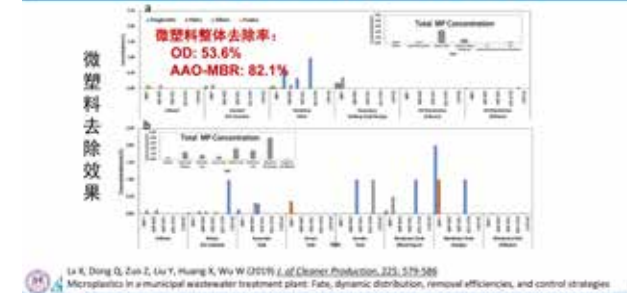


实际MBR工艺 vs 实际传统工艺



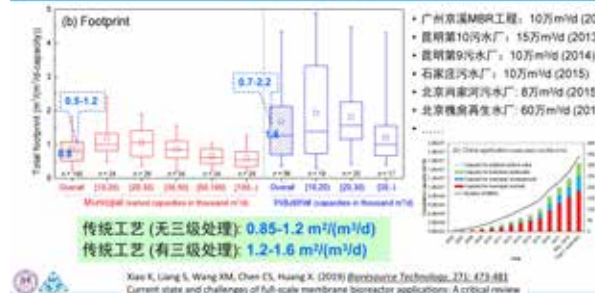
连续监测一年处理效果的比较
Xiao K, Liang S, Wang XM, Chen CL, Huang X. (2019) *Bioresour. Technology*, 271, 473-481
Current state and challenges of full-scale membrane bioreactor applications: A critical review

实际MBR工艺 vs 实际传统工艺



Li K, Dong Q, Zuo Z, Liu Y, Huang X, Wu W (2019) *J. Clean. Production*, 223, 579-588
Microplastics in a municipal wastewater treatment plant: Fate, dynamic distribution, removal efficiencies, and control strategies

MBR工程占地



Xiao K, Liang S, Wang XM, Chen CL, Huang X. (2019) *Bioresour. Technology*, 271, 473-481
Current state and challenges of full-scale membrane bioreactor applications: A critical review

膜技术的应用优势



膜技术应用的未来挑战



10.2 A promising nitrification process enabling stable mainstream deammonification

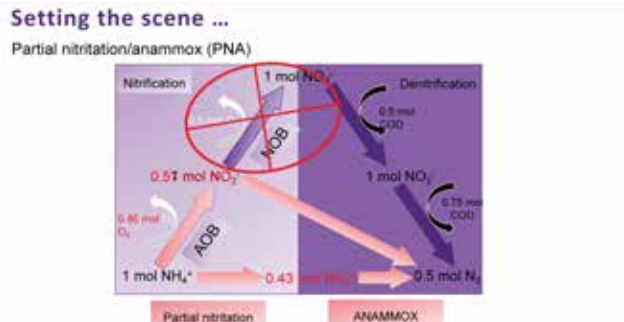
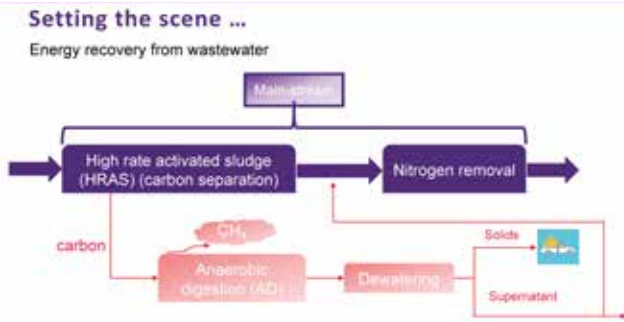


澳大利亚技术科学与工程院士，澳大利亚昆士兰大学高级水研究中心 (AWMC) 主任袁志国教授介绍了其团队在部分亚硝化 / 厌氧氨氧化 (PNA) 领域的最新研究。

污泥处置过程中要进行能源回收，主要是通过高速活性污泥 (HRAS) 将污水里的碳分离出来，分离之后得到的污泥通过发酵产甲烷，从而导致了碳源不足的情况下氮的去除问题。部分亚硝化 - 厌氧氨氧化 (partial nitrification/anammox, PNA) 工艺已经成为生物废水处理工艺中具创新性的工艺之一，该工艺是缺乏碳源条件下很有应用前景的脱氮工艺。在这一过程中，1 mol 氨氮被氧化为 0.57 mol 亚硝酸盐氮，厌氧氨氧化作用将 0.57 mol 亚硝酸盐氮和 0.43 mol 氨氮转化为 0.5 mol 氮气，其中最大的挑战之一就是抑制亚硝酸盐氧化菌 (NOB)。根据反应式 $\frac{dX}{dt} = (\mu - b - \frac{1}{SRT}) \cdot X$ ，要抑制 NOB

就需要保持 $\frac{dX}{dt} < 0$ ，即抑制 NOB 的三个策略分别为减小 μ 、增加 b 和减小 SRT，即缩短污泥龄 (SRT)、减少底物浓度或者限制溶解氧。其中最大的挑战是抑制 NOB 的同时要维持氨氧化菌 (AOB) 以及生物适应性。

袁志国教授介绍，在部分亚硝化 / 厌氧氨氧化 (PNA) 领域，他们采用了膜生物反应器 (MBR) 处理生物污水，碱度 / 铵 (摩尔比) 设置为 1.8，溶解氧 (DO) 大于 4 mg O₂/L，SRT 为 40-50 天，HRT 初始为 1.5 天，目前降为 10 小时，还在持续降低，为抑制亚硝酸盐氧化菌 (NOB) 提供思路。他们提出的方案已经经过 MBR 验证，经过 300 多天，目前已达到稳定运行，硝态氮基本在 0 mg/L 左右，且没有 NOB 的产生，氧化亚氮释放为 0.83 ± 0.63% 氮负荷，实际速率为 0.20 kg N/m³ d。袁志国教授团队还进行了一些小试研究，在第 250 天时，亚硝酸盐氮浓度维持 50 mg N/L，设置 pH 值分别为 4.5，5.5 和 7.5，测定结果表明 NOB 活性均较低，pH 值对其影响不大。在第 300 天时，pH 值为 4.5 条件下，分别测定了亚硝酸盐氮浓度为 70，120，170 和 220mg N/L 四种浓度下氨氧化速率，结果表明 AOB 没有受到抑制。在此研究中，AOB 抑制 NOB，主要机理为 NOB 产酸，AOB 产亚硝酸盐，从而抑制 NOB；另外通过把测流放入主流的一部分，创造较低氨氮的条件。



Nitrite-oxidizing-bacteria (NOB) suppression

$$\frac{dX}{dt} = \left(\mu - b - \frac{1}{SRT} \right) \cdot X$$

Solution 1: decrease μ

- DO limitation
- Stimulating nitrite competitors
- Inhibition (e.g. FA and FNA)

Solution 2: increase b

- Ex-situ killing of NOB using e.g. FNA, FA etc.

Solution 3: shorten SRT

Two challenges

- Separating AOB and AOB is difficult
- Adaptation

Nitrite-oxidizing-bacteria (NOB) suppression

Take a step back ... Rethink ...

How have NOB been stably suppressed in side-stream?

Ammonium oxidation: $\text{NH}_4^+ + 1.5\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$

FNA formation: $\text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{HNO}_2 \text{ (FNA)}$

500 mg NO₂-N/L + pH 5.6: ~3.0 mg HNO₂-N/L

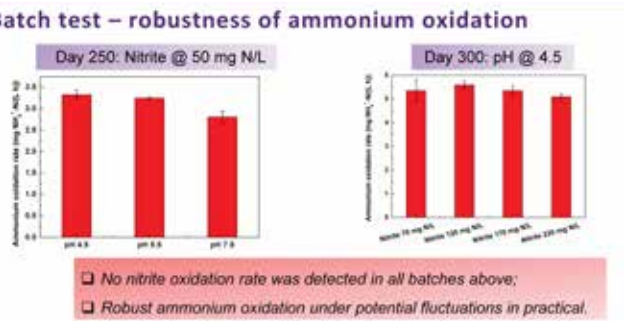
How could high in-situ FNA be obtained in diluted mainstream?

50 mg NO₂-N/L + pH 4.6: ~3.0 mg HNO₂-N/L

Reactor operation

- Alkalinity/ammonium (molar): 1.8
- DO: > 4 mg O₂/L
- SRT: 40-50 days
- HRT:
 - Initially, 1.5 days
 - Increase stepwise after reaching stable nitrification
 - Currently, 10 hours
- pH: 4.5-5.0

Real HRAS effluent (mainstream) + Real AD liquor (50:1)



Take home messages

NOB

AOB

- NOB were suppressed by AOB;
- By simply directing side-stream into a portion of mainstream rather than all of mainstream, as was previously done;
- The produced nitrite joins with the other half of mainstream with ammonium, which is exactly the suitable ratio for ANAMMOX process.

On-going work

N₂O emission factor: 0.83±0.63% of N load

Community analysis: no known NOB; unconventional AOB;

Several other aspects are also being investigated

10.3 污水处理技术的创新与工程化—港科大的一点经验



香港科技大学土木与环境工程系陈光浩教授分享了自己对技术创新的理解及其团队创新成果。创新是什么？他认为，创新是从发明发现到创造出来，到应用，最后必须创造东西出来去运用，它必须是创新性动力，有原始性对事物执著的追逐，追求美的东西。创新的范围很重要，从知识上、理论上、系统上、工艺上或者产品上的创新，这创新是独一无二的。创新影响力的评价可分为四个方面：合作力、宣传力、传播力和推广力。对于如何启动创新，陈光浩教授认为要做世界上没有的

1.何谓创新科研的一点私见

1.1 创新（发明/发现—）创造/应用）的理解

- ❖ **创新动力：**对现有不明事物执着性好奇，毅力性探索，渴望性理解，实现对改变现状的渴望等（原始性）。
- ❖ **创新的范围：**知识性、理论性、系统性、技术性到产品/服务性等。
- ❖ **创新规模：**取决于社会性/系统性影响力，如实际应用规模，社会效益的量化性。

1.2 创新影响力的评价

- ❖ **合作力：**广泛交流合作形成国内外共享共赢圈。
- ❖ **宣传力：**长达10-20年递增性影响力论文报告的不断发表，国际/国内专利和国际国内奖项的不断获取。
- ❖ **传播力：**国际/国内行业主题大会演讲的不断推广。
- ❖ **推广力：**中试，大试示范，工业级升级与迭代。

东西，原创性，桌子底下放风筝是放不起来的，一定要有突破现有框架的思考；需要阅读大量文献专利，温故

不足难以创新，不能囫圇吞枣，要有化学反应；广泛结交科研高人贵积极尊缘护缘；要善于在日常的科研中不断积累新的想法，再由这些不成熟的想法逐渐发展形成开拓性系统性观点；精深则新，做别人不想深入做的活，想别人想不到的新技，努力做教科书上留下一笔东西的愿望。

1.3 如何启动创新？

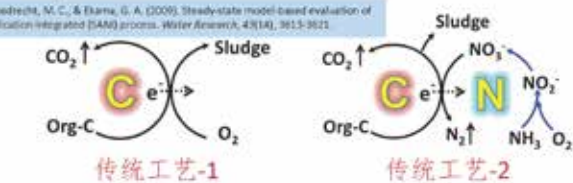
- ❖ 做世界上没有的东西，原创性。
- ❖ 桌子底下放风筝是放不起来的，一定要有突破现有框架的思考。
- ❖ 大量文献专利阅读：温故不足难以创新，不能囫圇吞枣，要有化学反应。
- ❖ 广泛结交科研高人贵积极尊缘护缘：幸得启发性/确认性/支持性机会。
- ❖ 不行脚，何至修道：要善于在日常的科研中不断积累新的想法，再由这些不成熟的想法渐渐发展形成开拓性系统性观点，没有这一步也就没有科研的创新基础。
- ❖ 精深则新：做别人不想深入做的活，想别人想不到的新技。
- ❖ 努力做教科书上留下一笔东西的愿望：找到自己感兴趣研究领域和范围，建立自己科研自留地，咬住不放，耐心等待果实。

陈光浩教授介绍了自己团队研究的两项创新技术，异养硫酸盐还原、自养反硝化、硝化反应一体化（杀泥 SANI）工艺和自生动态膜生物反应器在科研上和工程化的经验。SANI 工艺是从 1996 的污泥减量化研究开始的，直到 2003 年才提出 SANI 工艺概念，经过小试、中试和大试，预计 2020 年才能完成正规厂。自生动态膜生物反应（LWMBR）是从 2004 年开始研究，经过工艺概念探索、小试、中试不断进行工艺优化，目前已完成第三阶段中试。他介绍了如何度过技术研发和工程化过程中的瓶颈期，强调了资金、专才、硬件以及业界领军机构的重要性。最后他分享了团队正在 / 即将进行的其他核心科技孵化 / 产业化项目，包括市政污泥减量化与资源化处理—工业级硫酸多糖回收、电化学前处理技术、硫循环测流污泥减量技术等。

2.1 学术探究：杀泥 (SANI®)工艺 VS 传统工艺

传统工艺

利用异养氧化反应及异养反硝化反应去除有机物和硝氮的过程是传统污泥处理工艺污泥产率高的主要原因。



传统工艺-1	反应式 (碳源:葡萄糖)	ΔG°	污泥产率
异养氧化	$\frac{1}{24} C_6H_{12}O_6 + \frac{1}{8} O_2 \rightarrow \frac{1}{4} CO_2 + \frac{1}{8} H_2O$	-120.10	0.49 gVSS/gbCOD
传统工艺-2	反应式 (碳源:葡萄糖)	ΔG°	污泥产率
异养反硝化	$\frac{1}{24} C_6H_{12}O_6 + \frac{1}{5} NO_3^- + \frac{1}{5} H^+ \rightarrow \frac{1}{4} CO_2 + \frac{1}{10} N_2 + \frac{7}{20} H_2O$	-113.63	0.8-1.2 gVSS/gN
自养硝化	$\frac{1}{8} NH_4^+ + \frac{1}{4} O_2 \rightarrow \frac{1}{8} NO_3^- + \frac{1}{4} H^+ + \frac{1}{8} H_2O$	-43.64	0.17 gVSS/gN

杀泥 (SANI®) 工艺

厌氧硫酸盐反应，缺氧自养反硝化，好氧自养硝化反应均为低污泥产率的生化反应，所以杀泥工艺的污泥产量大幅低于传统工艺。



杀泥 (SANI®) 工艺	反应式 (碳源:葡萄糖)	ΔG°	污泥产率
硫酸盐还原	$\frac{1}{24} C_6H_{12}O_6 + \frac{1}{8} SO_4^{2-} + \frac{1}{8} H^+ \rightarrow \frac{1}{4} CO_2 + \frac{1}{16} H_2S + \frac{1}{16} HS^- + \frac{1}{2} H_2O$	-20.69	0.07 gVSS/gCOD
自养反硝化	$\frac{1}{16} H_2S + \frac{1}{16} HS^- + \frac{1}{5} NO_3^- + \frac{1}{20} H^+ \rightarrow \frac{1}{8} SO_4^{2-} + \frac{1}{10} N_2 + \frac{1}{10} H_2O$	-92.94	0.4-0.6 gVSS/gN
自养硝化	$\frac{1}{8} NH_4^+ + \frac{1}{4} O_2 \rightarrow \frac{1}{8} NO_3^- + \frac{1}{4} H^+ + \frac{1}{8} H_2O$	-43.64	0.17 gVSS/gN

2.2 LWMBR技术优势与市场前景



现有污水厂提标改造

低成本，不停工升级改造，缩短升级改造时间，达到国家I级A排放标准

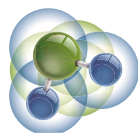
分散式污水处理

小型自动化污水处理设备，远程监控，即插即用

水回用预处理

极大降低后续超滤，纳滤，反渗透膜的堵塞率和运行成本，提高紫外杀菌效率

做了7年的博士毕业生主动创业，他已找到商业合作伙伴，但是在膜材料优化，生产系统化，膜组件制造规模化，系统控制的精细化自动化上，还得迭代几次才能开始大规模应用。



3. 团队正在/即将进行的其他核心科技孵化/产业化项目

1. 市政污泥减量化与资源化处理—工业级硫酸多糖回收（央企资助大型示范项目）
2. 无需药物投加污泥，底泥除臭及增强脱水一体化电化学前处理技术（LEEO）（香港渠务署资助中试项目）
3. 硫循环侧流污泥减量技术（SOSA, SANI® 的侧流版本）（将和康佳集团进行大型示范项目）
4. 渗滤液处理SANI工艺中试（国家科技部及伟明环保集团资助项目）
5. 化学辅助一级处理（CEPT）+ 杀泥（SANI®）+ 厌氧氨氧化（Anammox）工艺中试项目（香港渠务署有意向资助中试项目）
6. 还有其他5-7项创新水技术正在我们的研究中心进行研发



3. 团队正在/即将进行的国际国内官、产、学、研合作计划

- ✓ 大湾区成立“国际水技术中心（International Water Hub）”
 - 合作伙伴：港科大，当地政府及国外省级政府
 - 地点特定：深圳，广州等地在洽谈中



- ✓ 与商业机构在校内外成立创新水科技研发中心或团队，包括：
 - 澳洲南澳水务集团（SA Water）
 - 光大国际
 - 康佳集团
 - 固高科技（机器人，自动化，AI）



- ✓ 与下列国际著名大学紧密学术合作：
 - 三所南澳主要大学
 - 一所美国著名大学
 - 一所日本著名大学
 - 一所荷兰著名大学



- ✓ 与“联合国教科文组织高等水研究院（UNESCO-IHE）”科研合作



10.4 SUEZ 膜法生物处理解决方案

膜生物反应器（MBR）技术具有污染物去除率高、运行稳定、占地面积小、剩余污泥产量低、自动化运行程度高等诸多优势，适合于中国当前水污染形势严峻、人均占地面积有限的现状。产业界基于膜生物反应器的创新技术和产品发展迅速，并且有诸多成功应用于污水厂升级改造的工程实例。



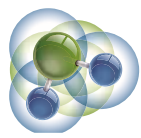
苏伊士新建有限公司水务运营总裁范晓军先生认为，MBR 中膜本身的应用并没有从理论上对水处理理论有决定性的贡献，它只是一种主要通过物理截留作用的分离工具。MBR 在成本上略显劣势，但是其处理效果好，

出水水质好，占地面积小，是城镇污水厂升级改造的一种较为理想的选择。范晓军先生介绍了苏伊士水务针对饮用水、污水和污泥消化液及高氨氮废水的一系列膜法生物处理技术与解决方案，并着重介绍了其中 3 种典型的 MBR 工艺——ZeeWeedTM MBR、ZeeLungTM MABR 和 ZeeWeedTM MACmbr 的工艺特征及其在城镇污水厂升级改造中的工程案例。

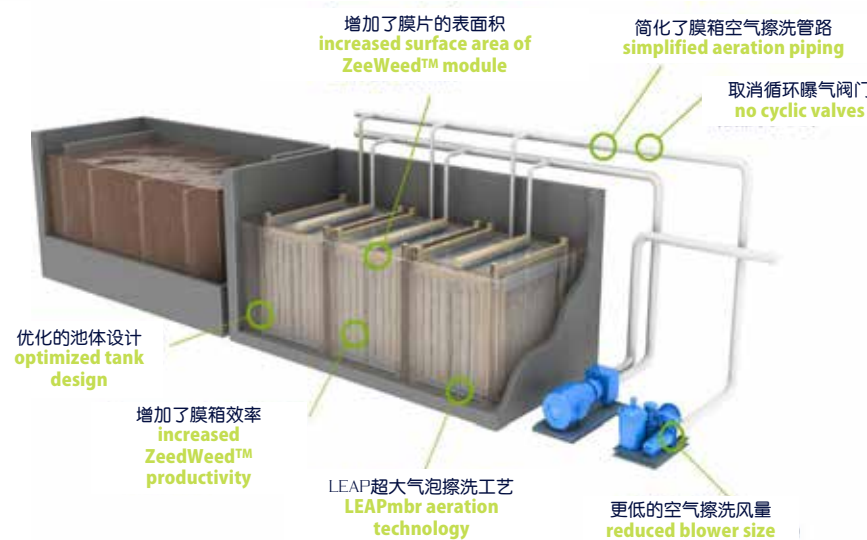
其中，ZeeWeedTM MBR 通过膜擦洗和在线原位清洗技术实现了对膜污染的有效控制，达到了高效、节能、紧凑、简便的目标。ZeeLungTM 膜传氧生物反应器（MABR）直接安装在现有缺氧生化池中，通过中空纤维膜高效传氧，在生物膜中创造氧浓度梯度，实现同步硝化反硝化和部分短程硝化反硝化，强化氮的去除同时节省外碳源投加。该技术适合于中国污水低 C/N 和低 VSS 的特性，具有水质提高、水量扩容、节省能耗、降低药耗的特征。ZeeWeedTM MACmbr 工艺通过向生化池投加 MACCarrier 载体形成生物膜，实现 MBR 条件下悬浮增长和生物膜的耦合，可以强化市政污水中微污染物的去除。

SUEZ 生物处理技术与解决方案



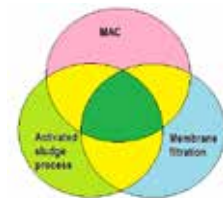
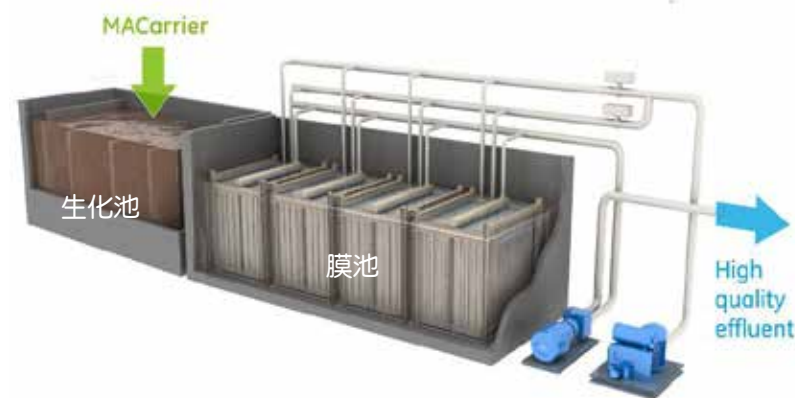


ZeeWeed™ MBR里程碑式的飞跃



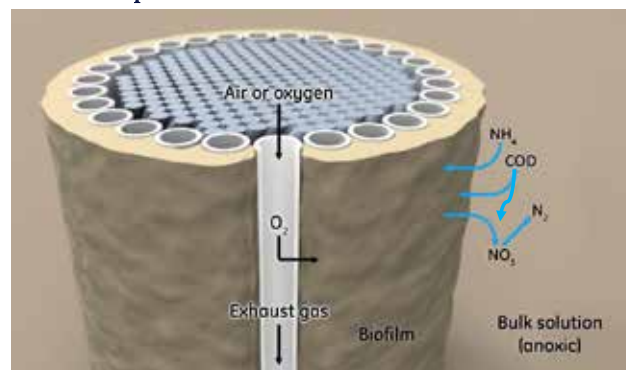
LEAPmbr提供了最低LCC的MBR系统

MACmbr



- 石油化工/煤化工 去除难降解有机物回用或排放
- 纺织印染 脱色、去除难降解有机物
- 微电子 去除毒性物质；稳定硝化处理
- 医药 去除难降解有机物，减轻废水的毒性
- 市政 强化COD、氨氮等物质的去除

ZeeLung®膜传氧生物膜反应器(MABR) Membrane Aerated Biofilm Reactor process



10.5 非碳源依赖污水深度控氮技术

消除劣 V 类水体是当前水环境治理的重要工作，由于中国许多城市天然径流匮乏，因而污水厂尾水作为城市水体的重要补给水源是一种非常普遍的现象。但从指标上来看，污水厂尾水达到一级 A 标准仍属于地表水劣 V 类，因此需将污水深度净化，进一步提升排放标准，尤其是总氮的进一步去除的需求是巨大的。



中国科学院生态环境研究中心研究员王爱杰认为，基于中国污水水质特征和当前城镇污水厂的运行现状，污水深度控氮的难点主要在于碳源的投加成本巨大且难以精准投加，深度控氮和深度减碳难以兼顾。基于单质硫驱动的自养反硝化技术已具有良好的技术成熟度，并且有大规模的工程案例。但是硫自养反硝化存在各种工程化问题，其一为脱氮效率有限，低于异养反硝化，其二为反应产酸，需额外补充碱度，增加配套系统，因此通常采用石灰石混填（如 SLAD 工艺），同时引发非活性区域产生等问题。

王爱杰研究员介绍了其团队研究的 SADeN（基于硫铁协同驱动过程的自活性脱氮）工艺，其工艺思想在于利用 FeCO_3 替代传统工艺中的石灰石与单质硫协同驱动自养反硝化，其中的 FeCO_3 不仅提供碱度，还作

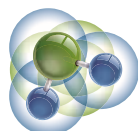
为电子供体。运行效果表明，SADeN 的硝酸盐去除速率较 SLAD 显著提升，反硝化全过程均得到加速，总氮去除负荷比 SLAD 工艺提升了 50%，并兼具同步除磷功能。硫-铁协同驱动自养反硝化机制主要在于硫驱动自养反硝化过程产酸，促进 Fe(II) 的释放，体系 pH 达到自维持的同时，反应热区从界面扩展到溶液区，铁还原菌丰度观察到显著增加。

SADeN 工艺在浙江东阳污水处理厂进行了自养反硝化技术示范，在实际运行中发现，硫-铁复配滤料存在反冲洗分层、消耗速度不同步、单质硫的应用有安全隐患等问题。为解决此类问题开发的 SADeN2.0 工艺进一步开发了硫铁组分分布均一的硫-铁自活性复合滤料（ReF），脱氮效率进一步提升了 25%。碱度提供能力增强，铁驱动脱氮贡献提高了 60%，生物量进一步提升。

王爱杰研究员团队开发了三种基于 ReF 的 SADeN 滤池、填充床和流化床工艺系统，分别针对污水处理厂三级处理、农村生活污水三级处理和高硝氮废水。其中，重力流滤池型工艺日处理规模 400 吨的技术示范中运行成本仅为 9.5 元/kgN（0.15 元/吨水），远低于异养反硝化的 ~20 元/kgN，出水 $\text{TN} < 10 \text{ mg/L}$ ，TN 去除负荷与异养反硝化工艺相当。

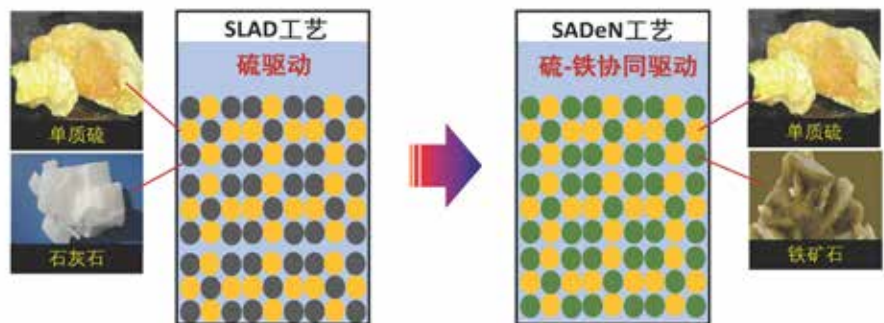
单质硫驱动的自养反硝化





SADeN 1.0工艺: 硫-铁协同脱氮

◆ 工艺思想: FeCO_3 不仅提供碱度, 还作为电子供体 $\rightarrow \text{S} + \text{FeCO}_3$ 脱氮效率 $> \text{S} + \text{CaCO}_3$ 脱氮效率

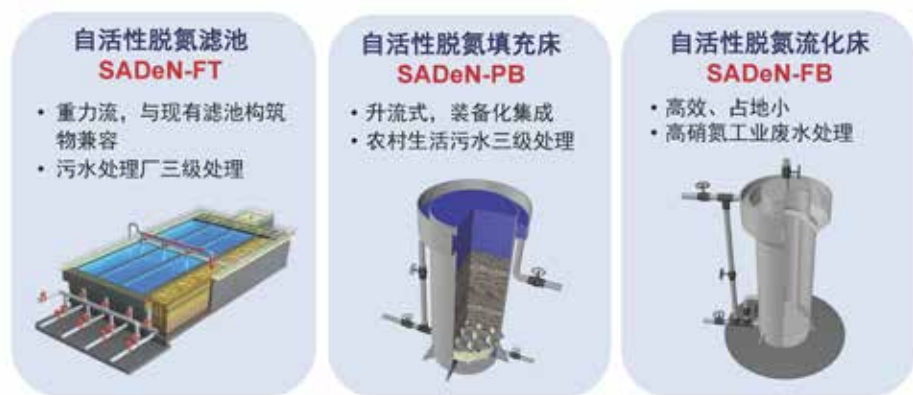


◆ SADeN: Self-active Denitrification (基于硫铁协同驱动过程的自活性脱氮工艺)

SADeN 2.0工艺的优势

参数	EBCT (h)	碱度 (mgCaCO_3/L)	SADeN-2.0工艺 基于ReF	SADeN-1.0工艺 基于RMC
脱氮负荷 ($\text{kgN}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$)	1	500	0.4 ± 0.06	0.35 ± 0.06
	0.5	500	0.67 ± 0.14 (提高25%)	0.55 ± 0.17
碱度提供能力 ($\text{mgCaCO}_3/\text{mgN}$)	1	100	3.28 ± 0.41	2.62 ± 0.59
	1	50	2.94 ± 0.16	2.45 ± 0.23
Fe^{2+} 脱氮贡献比 (%)	1	100	35.7	20.3
	1	50	37.0 (提高60%)	23.1

基于ReF的三种SADeN工艺



10.6 SSCS 超级蒸汽碳系统用于水的深度处理

活性炭是一种传统的吸附剂,因其发达的孔隙结构、较大的比表面积、较强的吸附效果和稳定的性能被广泛应用于城镇污水、工业废水的深度处理、饮用水深度净化以及废气的处理等。活性炭吸附工艺简单、使用时不需添加其他药剂,近年来随着活性炭制造技术的发展、制造成本的降低,以及活性炭再生技术的发展,活性炭吸附的应用也随之变得更为广泛。使用后的活性炭被认为是危险废物,再生难度大,再生成本高,工程上一般采用更换活性炭的方式,因而在一定程度上限制了活性炭的应用。



针对活性炭再生问题,赢特环保科技(无锡)有限公司董事长茆林凤先生介绍了超级蒸汽碳系统的原理及运行效果,为活性炭的原位及移位再生提供解决方案。

100 ° C 以上时,水蒸气变成干燥水蒸气(干燥饱和和蒸汽),继续加热时已超出饱和温度临界点,此时状态为过热蒸汽。茆林凤先生指出,超级蒸汽碳技术的核心是通过 400~800 ° C 的过热蒸汽对活性炭喷射进行再生,活性炭吸附的有机物被高温脱附、裂解或碳化,该技术可以保持活性炭较大的比表面积和吸附容量。

工程实例表明,经基于过热蒸汽再生活性炭的SSCS 超级蒸汽碳系统处理后的污水 COD 可达 15

mg/L 以下,SS 达 5 mg/L 以下。超级蒸汽碳系统具有无烧蚀、单次损失率仅为 1% 左右、能量损失少、管理运行简单、运行费用低、不产生活性炭粉等优点。此外,可根据实际情况选用原位或移位再生设备类型。

针对过热蒸汽再生过程产生的冷凝水和尾气的问题,茆林凤先生介绍了处理再生冷凝水采用的次氯酸钠处理和微电解处理工艺,再生尾气处理经污水厂除臭装置处理,或经除雾后采用二级活性炭吸附处理后达标排放。

针对活性炭再生技术中被广泛关注的建造及运行成本问题,茆林凤先生介绍到,有蒸汽来源时,活性炭再生成本为 800 元 / 吨,低于传统再生工艺的 1460 元 / 吨。以 10000 吨 / d,设计进水 COD 50 mg/L、出水 COD 20 mg/L 的项目为例,投资成本约为 1500 元 / 吨,有工业蒸汽时运行成本为 0.389 元 / 吨,无工业蒸汽时运行成本为 0.543 元 / 吨。

吸附效果

01 吸附处理后,水质:
COD 可达 15mg/L 以下
SS 可达 5mg/L 以下
辅以其他辅助设备,可达到饮用水标准

02 不需添加其它药剂,更生态,更环保!

03 碘值越高,吸附效果越好
韩国最长的超级蒸汽碳系统已经顺利运行六年之久,未更换过活性炭

- 搭载再生系统,容易维护管理;
用电量少,节省运行费用

- 用户现场再生,不需频繁更换活性炭,可长期使用

05

01

02

03

04

05

06

07

08

09

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

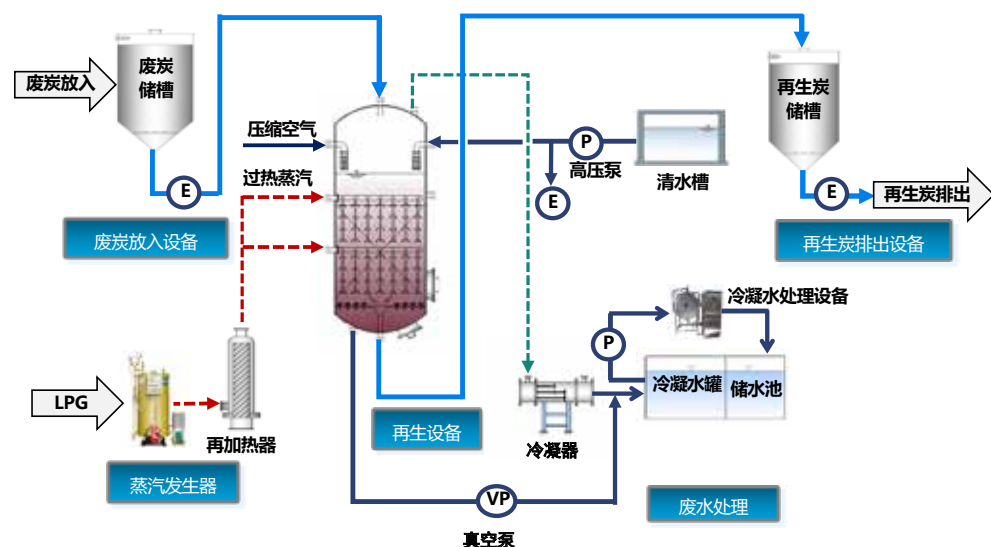
265

266

</

2、原址移位再生设备

通过移送设备将活性炭、活性焦从吸附装置中移送至再生装置，利用**无氧低温过热蒸汽**对活性炭、活性焦进行再生活化。



再生过程中产生的冷凝水以及处理方式

冷凝水产生量ton/ ton AC	1.2~1.7
冷凝水COD mg/L	450~1800

冷凝水处理方式：次氯酸钠处理和微电解处理

a. 某污水厂冷凝水次氯酸钠处理数据：

加入10%次氯酸钠溶液进行氧化，加入量为冷凝水量的3.2%，COD从1390mg/L降至260 mg/L

b. 某污水厂冷凝水微电解处理数据：

项目	COD (mg/L)	BOD(mg/L)	B/C
冷凝水原水	1685	33	<0.02
1级微电解	249.9	78	0.31
2级微电解	136.7	54	0.39

再生时，尾气处理方式



再生尾气达标排放，符合《GB31571-2015》，《DB32/3151-2016》要求。

以10000T/d、进水COD 50出水COD 20项目为例：

设计计算炭罐直径 $\phi 2.6m \times 3m$ （炭层高度），制水炭罐11个，单个炭罐处理量1000m³/d；停留时间25分钟，COD去除率为60%。

●投资成本：约1500元/吨水

●运行成本：

●有工业蒸汽的吨水运行成本为0.389元/吨，
去除单位COD的吨水成本为0.01297元/单位COD /吨水。

●无工业蒸汽的吨水运行成本为0.543元/吨，
去除单位COD的吨水成本为0.0181元/单位COD /吨水。

11 智慧水务管理与新型监测技术

智慧水务是信息化、自动化与人工智能深度融合于水务行业形成的新型精细化动态运行模式与管理系统。

智慧水务的研究与应用对象是人类活动涉及的水系统，包括水源、供水、管网、处理厂和受纳水体，目标是实现水资源的合理利用与水生态环境的有效保护。智慧水务是用信息化的手段借助于物联网、大数据分析、自动控制，在监控中心对整个系统进行管理，其中物联网包括水环境的监测、流域水体、饮用水水源和供水厂、污水处理厂以及管网与泵站。

智慧水务的5个支撑技术包括：自动监测、运行控制、数据分析、人工智能、网络计算。目前智慧水务即互联网+水务，急需解决的问题是水务的数据识别与联系。

11.1 智慧水务的实践与发展

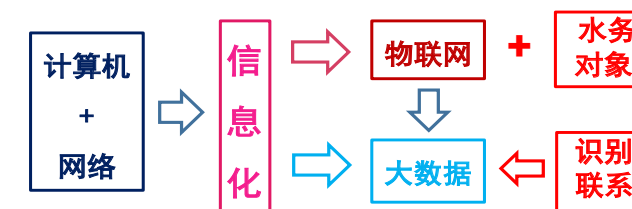


当前，智慧水务基本按照供水、排水、水环境的行业结构构建，尚未建立综合的智慧水务的系统。清华大学环境学院施汉昌教授介绍了目前智慧水务的发展情况。

施汉昌教授讲到，近年来水务行业同仁做了大量的努力，在智慧水务方面有相当的进展。供水行业，如江南水务江阴市智能水务建设项目，其基于生产数据中心和GIS技术，实现了供水系统的深度整合和决策应用。

排水行业，智慧水务的领头羊北控水务，以污水厂数字双胞胎（Gemini）TMV1.0为蓝版建立模拟的数字化污水厂。北控水务以数字双胞胎为基础，提出大集团的数字化高效运营的管理模式——“1+N”的管理模式，1是企业大脑，N是区域驾驶仓，进一步提出建立智能水厂标准体系和信息安全标准体系。北京协同创新研究院研究出“智慧水务共享技术平台”，包括智慧水务的定制平台、污水处理厂的模型优化、饮用水监管系统等。

智慧水务需要解决的问题



当前，智慧水务也面临着一定的挑战。一是水务行业的专业性壁垒，二是由于融资环境恶化和PPP清库使智慧水务的发展有所趋缓。面临的行业壁垒包括：1）高排放标准工艺设计不够合理；2）污水处理厂的个性化与进水的复杂性使运行规律不够清晰；3）设备仪表经常出现故障，完好率低；4）习惯性粗放管理，信息数据规范性差；5）污水处理系统的大迟滞特性需要前馈控制的配合；6）以信息公司主导的智慧水务系统，缺乏专业技术支撑。优化工艺、提升设备、规范管理、凝练模型是解决智慧水务专业性壁垒的有效措施。

施汉昌教授认为，智慧水务不仅是信息化大潮推动的必然，也是水务行业发展的刚需。污水处理领域基础薄弱，欠账多，需要实事求是的推进，首先实现稳定达标，进一步节能降耗，然后实现少人值守，最终实现无人值守。

排水行业的智慧水务系统

北京协同创新研究院“智慧水务共享技术平台”



<https://platform.ciwater.com/login>

在污水处理领域可提供污水处理厂排放超标分析与对策建议、脱氮除磷的智能加药技术、降低能耗的智能曝气技术和处理工艺优化运行条件的模拟分析。

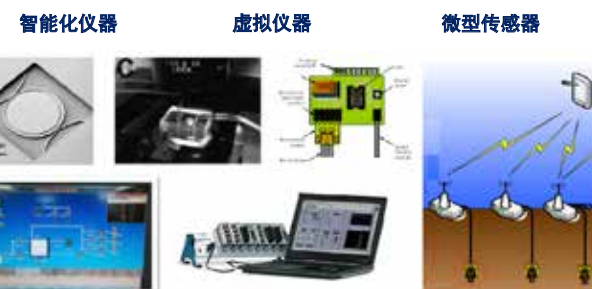


智慧水务面临的挑战

- ✓ 2018年是物联网与智慧城市理念兴旺发达的一年。“智慧”的理念被炒得火热，产生了智慧交通、智慧消防、智慧水务等等。不同领域的信息化、智慧化应用都是信息通信技术高速发展的产物。但真正落地时，各领域的专业性往往带来实践上的壁垒。
- ✓ 2018年底由于融资环境恶化和PPP清库使部分水务企业受挫，加之专业性壁垒，智慧水务的发展有所趋缓。水务行业的专业性壁垒是什么呢？

智能化过程监测仪器的发展

信息化 + 数据分析 + 微加工 + 人工智能



发展与展望

智慧水务是信息化大潮推动的必然，是水务行业发展的刚需。污水处理领域基础薄弱、欠账很多，需要实事求是地推进。



- ✓ 21世纪以信息化为起点，并将逐步走向智能化。在此大背景下“智慧水务”顺应历史发展的潮流，使信息化与智能化在水务行业落地开花，可在处理技术与运行管理上实现质的提升。
- ✓ 我国已建成运行5000余座污水处理厂，按照工程寿命30年计算，短期内不可能大量重建，**重点是优化运行和技术改造**，具有良好的市场前景。
- ✓ 从污水处理厂的ICA技术到智慧水务，不仅应用范围上得到了拓展，而且在技术水平上大幅度提高，需要多学科的共同努力才能实现。
- ✓ 目前，智慧水务还处于起步阶段，还是一种探索，需要顶层、底层起步，互联互通，渐进发展。

11.2 水中微生物在线监测新技术与仪器

在水环境和水生态治理方面，美国、新加坡等发达国家在排污许可制度中充分考虑到了水生生态系统的安全保证，采用水质生物预警技术进行常规排水综合毒性（WET）评价，生物监测主要关注寄生虫、细菌和病毒，以及毒素。新加坡南洋理工大学刘爱群教授系统介绍了新加坡生物监测技术近年来的发展与实践。刘爱群教授讲到，病毒中重点关注 Hepatitis A 和 Norovirus，Hepatitis A 通常通过饮用水来传播，是供水厂生物监测的重点；细菌重点关注 E.coli O157:H7、Salmonella、Salmonella typhi、Shigella、Campylobacter 和 Vibrio cholerae；寄生虫重点关注 Cryptosporidium、Cyclospora 和 Giardia。

针对寄生虫的在线检测技术，刘爱群教授介绍了新产品 Para-D。该产品于 2016 年在 PUB 的支持下通过了验证测试，并于 2019 年在新加坡水处理厂进行中试规模测试。该技术可快速、高灵敏度、高精度的原位检测，各项性能优于 EPA 标准检测方法。

最普遍的细菌指标 E.coli 的检测技术，包括：菌落培养法、酶识别技术和传统的 PCR 技术等，它们普遍需要较长的培养时间、较低的通量和较高的成本，甚至有的不能区别活菌和死菌。如何快速、低成本、实时、高精度的监测细菌浓度，是该领域面临的挑战。常用的病毒检测技术有流式细胞分析、微滴技术、基因芯片和



免疫磁珠技术，这些方法中有些对样品需求量巨大，有些则需要稀释和标记处理；此外病毒大多依附细菌生存，但前述方法大多不能实现细菌和病毒的同时检测。面对以上问题，刘爱群教授介绍了基于微流控光学的新型生物传感器和基于纳米环谐振器。其中，微流控光学的新型生物传感器通过物理特性实现细菌和病毒的分选，再通过抗体筛选结合与基因芯片分别对细菌和病毒进行检测。基于纳米环谐振器，是新型毒素物质的传感器，该技术可快速有效的检测 2,4-D 浓度；相较于 FDA 标准等其他方法，该技术大大提高了灵敏度和检测范围，且拓宽了现有方法专一于 Type-A 类物质的检测范围。

如何快速、低成本、实时测定水中的病毒、细菌及其他病原微生物，是关系到智慧水务中生物监测的重要内容，新型生物传感器的研发力图解决这一问题。

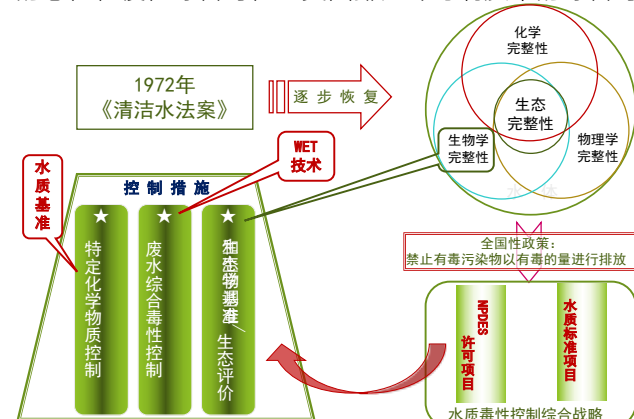
11.3 生态毒理学在环境监管中的应用

生态文明是人类遵循自然社会和谐发展这一客观规律而取得的物质和精神成果的总和，生态文明是人与自然、人与社会、人与人共生良性循环，全面发展、持续和谐为宗旨的形态。排水怎么与自然和谐共生呢？



中国环境科学研究院余若祯副研究员介绍，污水排放可能导致水生生态系统的破坏和失衡，因此采用水污染控制技术和相关政策法规可减轻它对水生生态系统的影响，保障水生生态系统的安全。

1972年，美国在《清洁水法》中提出要逐步恢复美国水体生态完整性，生态毒理学在环境监管中开始应用。20世纪80年代，美国提出排水综合毒性的概念，即由一组淡水、海水和河口的标准化动物、植物等水生生物来测试排水的综合毒性效应，评估排水和受纳水体的急性和慢性综合毒性。美国排污许可制度中的综合毒



性测试（WET），德国排放标准中的综合毒性限值，都是以以来控制排水对水生态系统安全的影响。

余若祯副研究员介绍到，综合毒性的测试对象包括排水的毒性和受纳水体背景的毒性。除美国以外，以德国为代表的欧洲国家和加拿大等国家，受试生物包括微生物、植物、无脊椎和脊椎动物。

目前，在突发污染事故预警系统包括预警、表征、交流、应对四个方面。其中生态毒理学的技术应用——水质生物预警技术实现了仪器化、自动化监测，以经济有效的毒性检测来补充化学检测的不足。

○ 发光细菌预警技术，主要采用发光细菌，现在国产化程度比较高；

○ 希瓦氏菌群预警技术，传感器集成度高，对大部分污染物敏感，但是没有标准依据；

○ 藻类预警技术，对除草剂非常敏感；

○ 溞类预警技术，对杀虫剂非常敏感；

○ 鱼类预警技术，对神经毒剂非常敏感。

在水环境和水生态治理方面，美国、德国等发达国家等在排污许可制度或排放标准中充分考虑到了水生生态系统的安全保证，采用排水综合毒性指标进行防控；在突发污染事故预警系统中生物预警技术在监控方面的应用也相当普遍。余若祯副研究员建议，中国在政策设计、管理制度和科研等各方面也应重视水环境及水生态的安全及监控。

排污许可制度中的水质综合毒性评价

- 排水综合毒性：Whole Effluent Toxicity, 缩写WET。
- WET的定义：由水生生物毒性测试直接测量的排水的综合毒性效应。
- 排水综合毒性测试：Whole Effluent Toxicity Test, 缩写WETT。
- WETT：用一组来自淡水、海水和河口的标准化植物、无脊椎动物和脊椎动物评估排水和受纳水体的急性和慢性综合毒性。（USEPA,1995）

综合毒性测试分类

测试对象：排放废水
受纳水体（淡水、海洋与河口）

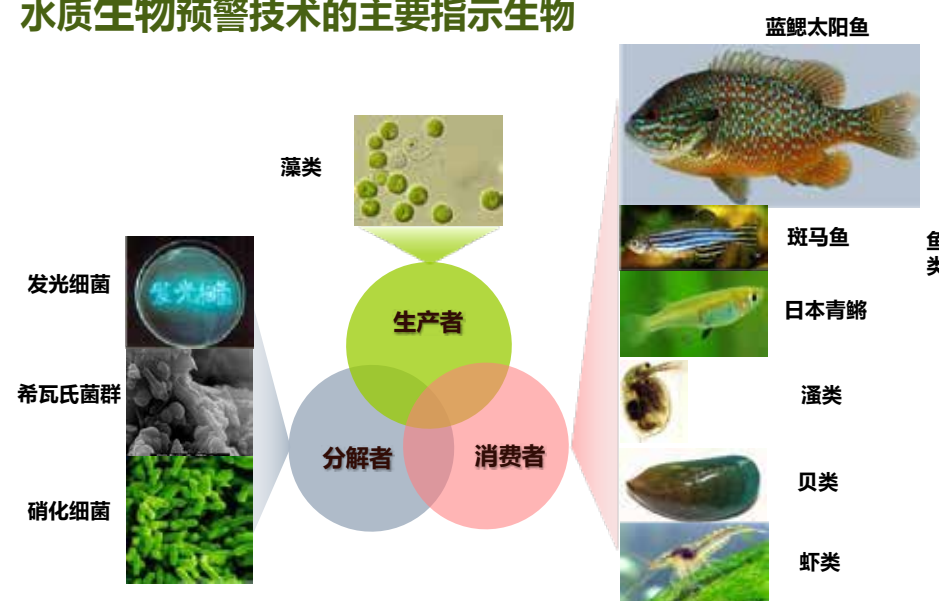
受试生物：微生物（细菌、真菌等）
植物（藻类、浮萍等）
无脊椎动物（溞类、贝类等）
脊椎动物（鱼类）

测试过程中受试水样的状态：静态、半静态、流水式；

测试终点：急性致死、急性亚致死、生长抑制、繁殖抑制、遗传毒性和内分泌干扰性等。



水质生物预警技术的主要指示生物



对我国推进WET应用的建议

- 推进农药行业排放标准的尽快出台；在排放废水成分复杂的化学工业行业水污染物排放标准中增加WET排放限值，开展常规例行监测；
- 在长江经济带工业污染防治工作中，应用WET技术排序，确定优先控制化工园区名单，制定毒性削减计划和有毒物质替代计划；
- 结合流域综合治理项目，开展小流域排污许可证WET排放限值、监测和达标排放的研究和试点工作；
- 加快推进国际标准化WET测试方法和测试机构管理体系的本土化工作。在消化吸收的基础上，推进本土受试生物测试方法的研究和建立；
- 以为生态环境部化学品环境管理提供生态毒理测试数据的机构为基础，建立规范的生态毒理测试机构监管制度。

11.4 水质 BOD 快速检测的微生物库伦法及仪器研制



环境指标在环境专业的发展及环境检测中起推动作用，BOD 作为废水处理、水体人工净化以及水体自净过程中的关键性指标是最重要的水质指标之一。中国科学院重庆绿色智能技术研究院刘鸿副院长在大会中介绍了一种水质 BOD 快速检测方法及仪器。

刘鸿副院长认为，污水中的碳素有机物在进入人工构筑物、自然水体后逐渐被微生物所降解是一个经济有效的过程，更是现今污水处理过程中的主流工艺。在此过程中所反映出来的问题即为：污水中有多少有机物可以被微生物所降解以及如何快速检测其中可降解有机物的含量？BOD 的快速检测成为重要保障。实际上，虽然 BOD 更能反映主流工艺对污水中有机物的去除程度，但是国内至今出于检测困难等原因仍多选却 COD 这一指标。

目前 BOD 的检测方法均是基于溶解氧法进行的，其原理是通过测定有机物在微生物代谢作用下所消耗的氧气的量进一步表达为 BOD。由于 BOD 的标准检测周期较长，行业中涌现出包括直接溶氧法和间接溶氧法在内的变种方法，如测定 CO_2 的释放量、溶氧传感电信号法等，这些方法的本质均为溶解氧法。实际上，不论是直接溶氧法还是间接溶氧法，目前的检测仪器在检测时间、准确率以及

检测范围上与实际需求仍存在较大出入。

基于上述问题，刘鸿副院长团队历经 10 年，提出了“微生物库伦法原理”，即测定有机物与溶解氧之间氧化还原过程中的所发生的电子转移量。这一方法的创新之处在于规避溶解氧误差、无需校正曲线。从分析化学的角度看待，凡是库伦法均为理论方法，而其他方法均需要通过库伦法进行校正。提及该方法的理论可行性与实际可行性，刘鸿副院长通过微生物燃料电池的研究发展现状完美解决了这一疑问。他指出通过改变阴极条件可以对 BOD 的测定进行一些功能上的改变，如缩短检测时间，同时阴阳极之间的电子传递又为 BOD 的精确测量提供了可靠依据。实践中，刘鸿副院长团队在研究过程中成功突破了阴极、反应池尺寸、有毒物质的干扰等对库伦法的影响，但这一方法也有新的瓶颈，如在实际废水当中究竟有多少电子可供测定？

目前，刘鸿副院长团队正致力于库伦法仪器的开发与推广，其将仪器分为三大板块：样品定量与预处理、BOM 消解检测、数据采集控制与分析。通过与手机 APP 相结合，能够帮助环保企业、政府有关部门在线检测水质状况，更有助于将智慧水务这一概念付诸于实践。

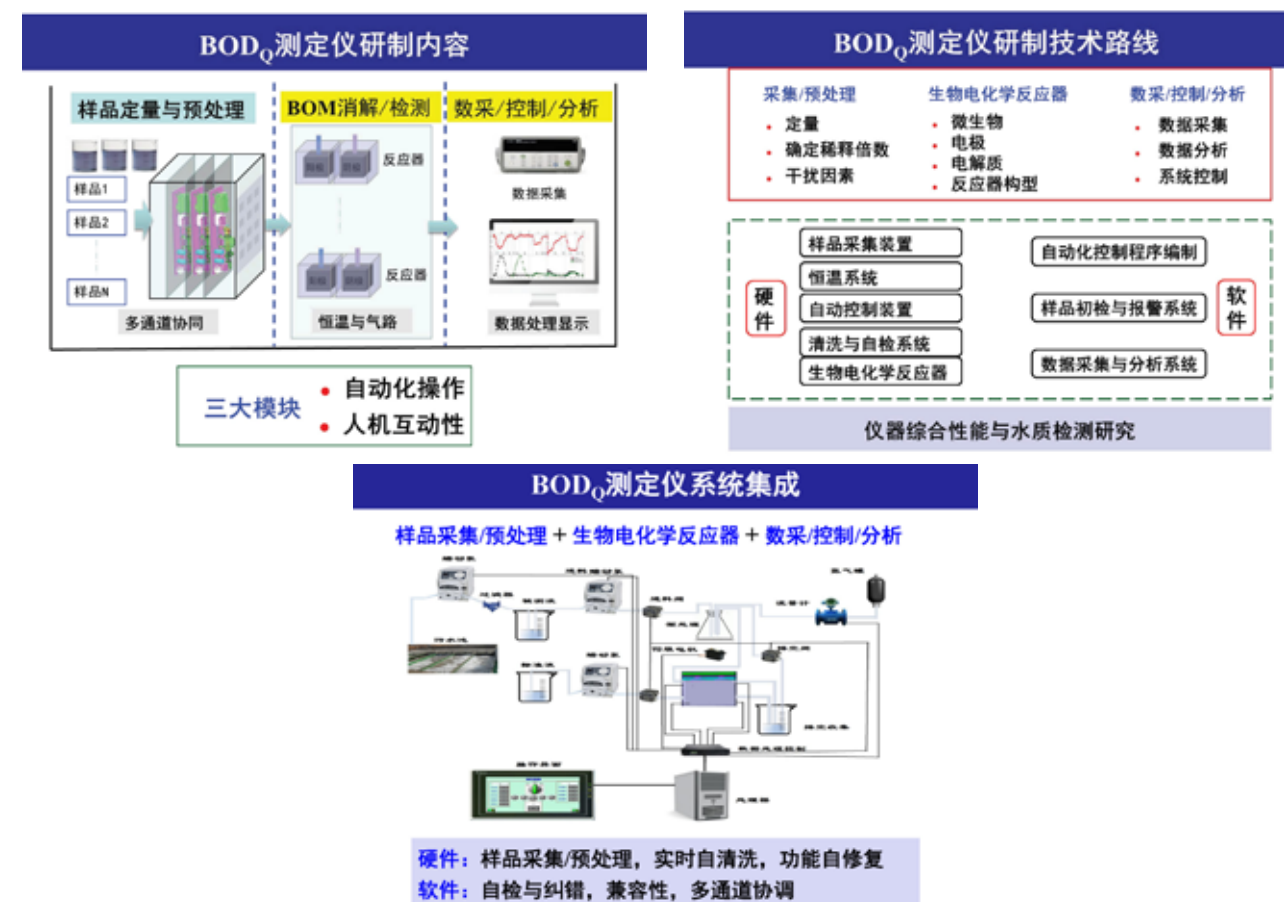
现有 BOD 测定仪性能

	现有仪器	实际需求	技术原理
检测时间	5 天	数小时	直接溶氧法
准确率	$\geq 85\%$	$\geq 95\%$	
直接检测范围	$\leq 2 \text{ mg L}^{-1}$	$\leq 100 \text{ mg L}^{-1}$	
检测全过程数十小时，经验工作曲线，准确率低			间接溶氧法

EXPECTATIONS

REALITY

理想现实



11.5 三维仿真在水生态监测及水务管理中的应用

来自日本大阪大学的范秦寅研究员讲述了如何将三维仿真技术与智慧水务相结合。当前，三维仿真技术在水环境中主要应用在水文水资源与水污染两个板块。

关于三维仿真在水文水资源中的应用，范秦寅研究员以蒙洼蓄洪区为例，讲述了展开三维仿真技术的优越性。他讲到，通过三维仿真技术，可以成功模拟蓄洪过程中各地水深分布、水位分布以及流速分布等随时间的变化情况，更能够反映地表与各地所受的水压大小，



相较于潜水模型和实际测试而言更加详细。在实际监测过程中，需要考虑监测点数量、监测点的布设与水位关系等情况。范秦寅研究员列举了三维仿真模拟结果与实际监测结果，结果显示监测点的增多只能一定程度上使监测结果尽可能的接近真实值，但仍存在较大差异。此外，从经济性角度来看，监测设备价格从 8800 元至 36000 元不等，价位越高则监测结果就愈发精准。这在一定程度上就凸显出监测精度与经济性之间的矛盾，而三维仿真技术能够有效地将成本控制在一定范围内。

范秦寅研究员以 50m³/s 的某种污染物流入水体讲

述了三维仿真在水污染监控中的应用。他讲到，污染物在水体中的迁移、影响范围、影响程度等均可通过三维仿真技术完美的体现出来，从而帮助大家进一步去判断该种污染物对生态环境的影响。

整体来看，三维仿真技术在水环境及水生态中的应用优势主要有：通过仿真来辅助数据的采集；通过计算得到三维数字，能得到更多的信息；检验和优化整个水务方案；在线预测污染物流入水体的迁移过程；实现精度和消费的平衡等。

水务管理和智慧水务

水务管理
城乡防洪、排涝、蓄水、供水、用水、节水、水环境保护、污水处理等涉水事务一体化。

智慧水务
通过数采仪、无线网络、水质水压表等在线监测设备实时感知城市给排水系统的运行状态，并采用可视化的方式有机整合水务管理部门与给排水设施，形成“城市水务物联网”。并将海量水务信息进行及时分析与处理，并做出相应的处理结果辅助决策建议，以更加精细和动态的方式管理水务系统的整个生产、管理和服务流程，从而达到“智慧”的状态。

水文监督和智慧水利的建设内容

水文监测系统适用于水文部门对江、河、湖泊、水库、渠道和地下水等水文参数进行实时监测，监测内容包括：**水位、流量、流速、降雨（雪）、蒸发、泥沙、冰凌、墒情、水质等。**

参照水利部颁布的水利信息化顶层设计，最严格水资源管理制度、水污染防治行动计划、水生态文明城市建设的相关要求，依据信息化建设相关国标及行业标准，智慧水利平台的建设内容包括完善四大监控体系，包括：

- 汛情监测体系、**
- 水资源监测体系、**
- 水环境监测体系、**
- 水生态监测体系；**

其中最基本的又是汛情监测体系，也就是对于危险水位的监测。

总结：水生态监测及水务管理仿真平台

1. 可以辅助数据采集。
 - 例如：蓄洪区的不同水位下的蓄水量，估算圩堤各处受到的水压大小等。
2. 可以计算出三维水流过程中各种参数随时间的变化：
 - 例如：水位，水深，流速，地表压力分布等。
3. 可以检验和优化整个设计方案。
4. 预测在先，
 - 为防止水质污染等提供更加科学的依据。
5. 低消费和高精度。
 - 大幅度提高精度，经费只要数分到数十分之一

结语 - 实施精细监测，优化自动控制，防患于未然！

洪水是天灾，洪水灾害的发生是不可避免的，水质的污染大多是人为的，两者都需要提高认识和加强教育进行预防和避免。

所以，对洪水也好，对水资源的污染也好，不断深入了解，进行精细监测，优化控制方案，尽可能减少洪水灾害造成的损失，尽可能避免水质的污染，是完全可以做到的。利用科学方法，预测将来，防患于未然！

事关人民的生命财产安全的大事，事关我们人类生存环境的维护，需要重视，必须重视，应该重视，有重视。

11.6 智慧水务共享技术平台及气表在污水厂网的应用探索



当前，水生态文明高度发展向水处理行业提出了更高的挑战。如污水处理厂水质水量复杂多变、工艺运行周期长、依靠人为调控，具有高能耗的特点，此外污水处理厂管网中存在混接、沉积现象，管网信息亟待提升等。在此挑战下，如何体现从智能化的模块到全流程分析，如何实现智慧水务的管理，为具体工作提供科技的支撑，成为当前的迫切需求。北京协同创新智慧水务有限公司汪秋婉总裁讲述了其公司在智慧水务上的探索。

汪秋婉总裁认为，挑战切实存在，而机遇同样能为智慧水务发展提供推动力。目前全国范围内有 5300 多座污水处理厂及大量管网配套，短期内若想实现达标排放、提标改造，势必要做好污水处理厂的运营管理优化，而 5G 时代的到来也为智慧水务信息化提供了可靠的技术支撑。

北京协同创新智慧水务有限公司致力于智慧水务技术共享平台的研发，是将水源、供水、管网、污水厂、接纳水体作为一个整体系统，将一系列新兴技术结合到一起的综合性技术平台，关注重点是污水处理的优化运营和管网的优化运行两方面。

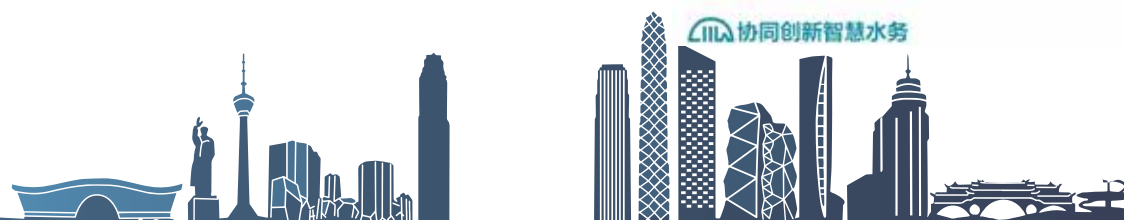
在污水处理厂的运营优化中，能耗、药耗问题备受关注。汪秋婉总裁介绍到，北京协同创新智慧水务有限公司通过数据采集构建、模型模拟等方式研发出 ECI-FRO；根据进水负荷、水质水量动态调控，开发出 AAS-QV 智能曝气控制系统。在 10 万吨污水处理厂实

智慧水务是什么

“智慧水务，是将信息化、自动化与人工智能深度融合于水务行业所形成的新型精细化动态运行模式与管理系统”。

其研究与应用对象是人类活动涉及的水系统，包括**水源、供水、管网、处理厂和接纳水体。**

其**目标**是实现水资源的合理利用与水生态环境的有效保护。



践中实现了节能率约在 10%~15% 之间。在碳源与除磷剂投加上，汪秋婉总裁以 8 个工程实际案例指出通过智慧水务平台可以有效降低碳源投加量 10% 左右，减少除磷剂投加量 8% 左右。

智慧水务平台也可以为管网优化提供多指标的在线监测与集成数据，作为管网监测的眼睛，作为模型分析支撑。

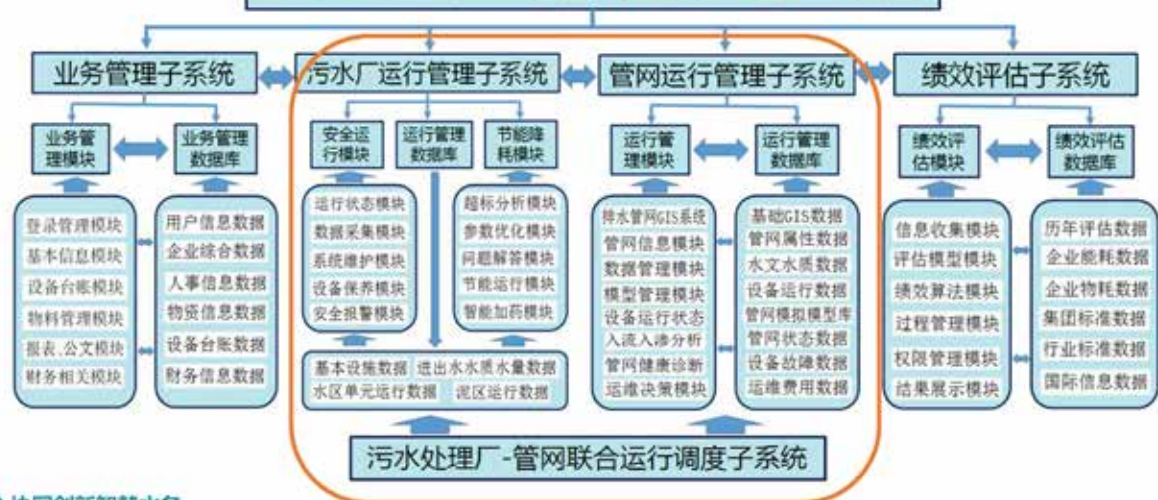
的基础。基于排水管网管理系统，要基于管网的 GIS 系统进行在线分析，可以确定入流入渗的状况并获取工业污水的冲击数据等。

汪秋婉总裁指出，智慧水务已看到曙光，希望其管理系统能更多为水务服务，并逐步提供更加有力的科技支撑。



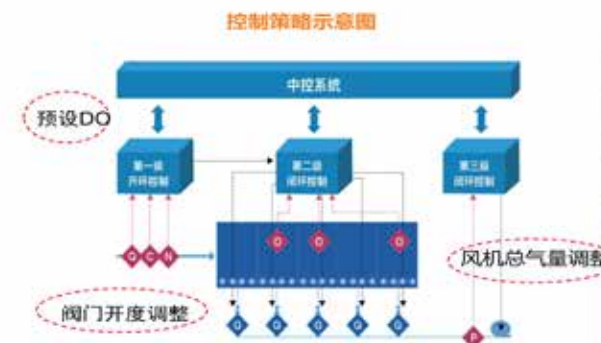
智能化信息管理平台

污水处理系统智能化信息管理平台



污水处理厂能耗药耗解决方案ECI-PRO

智能曝气控制系统AAS-QV



Characteristic 特点

- ASM工艺模拟深度挖潜
- 进水负荷指导曝气调控
- 核心算法、一厂一策
- 可基于工业互联网，实现专家诊断及算法优化

Performance 性能

- 稳定的DO控制
- 出水一级A达标
- 气水比1~2:1，曝气单耗0.12~0.16 kWh/m³
- 优化曝气节能10~15%

协同创新智慧水务

智能加药控制系统-IDS



IDS-N/P 应用实时控制理念、ASM工艺数值模拟深度挖潜，反馈+前馈串级控制策略，可实现按照进水负荷加药，实现出水水质稳定达标，优化污水处理厂运行，实现可持续的稳定达标与节能降耗。

- #### Characteristic 特点
- ASM工艺模拟科学挖潜
 - 进水负荷指导动态投加
 - 核心算法、一厂一策
 - 可基于工业互联网实现远程维护，及时推送工艺运行优化报告和专家诊断

- #### Performance 性能
- 出水TN/TP稳定达标
 - 碳源节省10%，除磷药剂节省8%
 - 投资回收期1~2年 (20~100万吨/天污水处理厂)



协同创新智慧水务

运行优化决策系统PODS



运行管理问题查询

出水水质超标判断

最佳运行参数搜索

污水处理性能评价

需氧量及加药量测算

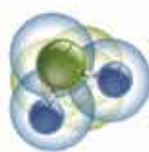
汇集上千条污水处理厂常见的工艺、电气、自控、仪表的现象及问题解释；运行人员提供了系统的理论指导

定性解决对策：针对污水处理厂不同工艺，对出水五大水质指标进行超标判断

基于运行优化历史数据库，提供定量对策；搜索历史最佳运行参数，并且提供可预测的出水水质

以《城镇污水处理厂运营质量评价标准》为依据，建立性能评价体系，对污水处理厂进行标准性评价

基于成熟的理论算法，通过获取具体污水厂的水质参数，可以测算出需氧量和加药量，以供运行参考和工艺调整。



中国城市科学研究会
水环境与水生态分会
Water Environment & Ecology Council
of Chinese Society for Urban Studies

INTRODUCTION 水分会简介

水环境与水生态分会是中国城市科学研究会下设的独立分支机构，由清华大学环境学院联合全国积极投身于水环境与水生态理论、技术与应用的部分政府管理部门、高等院校、科研院所和规划设计及工程类企事业单位于2017年11月发起成立。

分会以“改善城市水环境质量建立城市水生态系统良性循环”为使命，致力于积极整合水环境行业发展各方资源，建立交流、学习开放平台，集聚力量，凝聚共识，多角度、全方位推动水环境与水生态行业持续健康发展。

ADMISSION CONDITION 入会条件

凡拥护本会章程，执行本会决议；自愿履行会员义务，热爱本会研究事业并有一定研究造诣的个人、社会团体、政府部门、企事业单位、研究机构、基金会等，均可申请加入本会。



个人会员

在本会的业务及学科领域内有一定学术成就和影响力的专家、学者；从事和本会业务有关的职业工作者和管理工作者。

普通会员

已获得工程师、规划师、助理研究员以上职称，或具有相当于上述水平的相关领域科技人员，以及从事本学科范围内工作并热心倡导城市科学的有关管理工作。

高级会员

获得相当于副教授以上的专业职称，或具有城市科学领域博士学位；或在城市规划、建设、管理等相关领域从业5年以上，并有显著成就的科技人员。

荣誉会员

对城市科学学科及相关领域发展做出特殊贡献的人士，由理事长会议表决通过后，可聘为荣誉会员。

外籍会员

有加入学会意愿，对中国友好，技术上有突出学术成就以及对学会有过重大贡献的外籍人士。



团体会员

与本会的学科及专业领域相关，具有一定数量科技人员，愿意参加学会有关活动，三年内无重大违法记录，支持学会工作的科研、教学、生产、设计等合法设立的企业、事业单位以及社会团体。

01 一般团体会员

与本专业学科及专业领域相关，积极参加学会组织的各项活动的一般性企业、事业单位、科研机构及社会团体。

02 理事单位

本会学科及相关专业领域内有较高声誉的高等院校、企业、科研院、社会团体等机构。

03 常务理事单位

本会学科及相关专业领域内有很高声誉或创新能力位居行业前沿的高等院校、科研院所、企业或其它社会团体。

04 核心团体会员单位

除符合上一条款外，对学会发展有过特殊贡献并有意于长期紧密合作的各类社会机构。

ADMISSION PROCEDURE 入会程序

如何注册会员？

在中国城市科学研究会官网“会员中心-会员服务”板块点击注册链接（[HTTP://APP01.CAST.ORG.CN:7001/CAST/REG.JSP?SID=109](http://APP01.CAST.ORG.CN:7001/CAST/REG.JSP?SID=109)），填写信息并提交申请，审核通过后缴纳会费完成会员注册，或扫描会员系统二维码。

[主页](#) [申请加入学会](#) [交叉学科](#) [中国城市科学研究会](#) [个人/单位会员申请](#)

如何获取会费收据和会员证？

会员成功缴纳会费后，分会将按照会员申请材料中提交的地址邮寄由财政部印制的《社会团体会费统一收据》和会员证。

特别提示

- 为提高审核效率，并保障您能及时有效享受本会提供的各类权利，请务必详细填写各类信息，并上传清晰证件照。
- 团体会员提交网上申请后请务必通过邮件CSUS2017@126.COM同时提交社团法人登记证、工商营业执照、组织机构代码证、税务登记证扫描件及单位简介。

扫描二维码，注册会员！



如何缴纳会费？

（1）会费标准

个人会员

会费150元/年，600元/五年。

团体会员：

- 一般团体会员：5000元/年；
- 理事团体会员：3万元/年；
- 常务理事团体会员：10万元/年；
- 核心团体会员：100万元/年。

（2）缴纳方式

①支付宝在线缴费，请注明“水分会+您的姓名”

（个人会员缴费方式推荐）；

缴费链接：<http://t.cn/Rll3ZAJ>

②银行汇款缴费（团体会员缴费方式推荐）

户名：中国城市科学研究会

开户行：工行北京百万庄支行

银行帐号：0200001409014408576



中国城市科学研究会
水环境与水生态分会秘书处

邮箱: wee@chinasus.org