



目 录

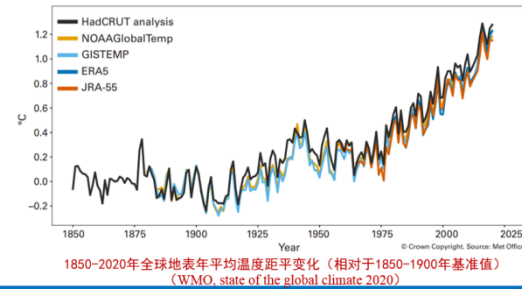
1.主旨报告	1
1.1 黄文海：新冠疫情下的医疗废水应急处理—火神山、雷神山医院污水处理设计、建设与运营经验分享	1
1.2 邵益生：气候变化背景下城市水系统面临的挑战	2
1.3 张慧春：污废水资源的商业化实践—模式、技术和瓶颈	5
1.4 Towards carbon neutral water utilities – Reducing greenhouse gas emissions: experiences of Waternet	7
2.思享荟	9
2.1 李力：双碳时代，环境产业：向左和向右	9
2.2 朱伟：太湖底泥是“源”还是“汇”？该清还是不清？	10
2.3 许国栋：水质是什么？	11
2.4 王爱杰：水系统大数据——有“融”乃大	12
2.5 史薇：阻击新污染物 水治理“升级战”	14
2.6 刘刚：城市水系统碳中和：小题大做，负而为零？	16
3.热点研讨	18
3.1 嘉宾观点分享	18
3.2 研讨及互动	22
4.专题论坛一 水资源综合利用与碳中和	25
4.1 双碳目标下的石化污水深度处理与资源化 郭宏山	25
4.2 城市污水厂提质增效下尾水湿地构建理念与验证 彭剑峰	26
4.3 碳中和背景下膜法污水处理技术可持续发展的思考 王雪野	27
4.4 污水处理全生命周期碳减排方案的思考与实践 安莹玉	28
4.5 物理法处理石化废水研究 汪华林	29
4.6 山地河湖水环境整治技术研究与应用 何强	30
5.专题论坛二 双碳时代的绿色基础设施	33
5.1 双碳目标下污水厌氧生物处理的机遇与技术革新 陈荣	33

5.2 “双碳”目标下“十四五”城市基础设施建设领域发展路径与主要任务 姜立晖	34
5.3 碳减排视角下的污水处理厂现状、问题与思考 李激	36
5.4 基于磷回收的污水资源化处理工艺的构建 潘杨	37
5.5 分布式下沉再生水生态系统的创新与实践 庞洪涛	38
5.6 双碳时代污水生物处理电能利用方式变革的思考 王鑫	39
5.7 绿色市政基础设施发展理念与路径探讨 郑兴灿	40
5.8 创新型装配式污水处理厂工艺及应用模式 朱泉强	41
6.专题论坛三 智慧水环境与碳中和	43
6.1 关于未来城市水系统的几点思考 刘书明	43
6.2 污水处理厂的碳减排与智能化运行技术 施汉昌	44
6.3 厂网河湖一体化管控——苏伊士的探索和实践 迟彤	45
6.4 多粒度认知计算与智慧水环境应用 王国胤	47
6.5 智慧水务标准化体系构建及思考 耿金菊	48
6.6 百度 AI 助力水务行业数字化与智能化发展 吴学义	49
6.7 大智慧 水融合——诠释城市智慧管理 黄瑾	50
6.8 污水处理智能化模式及电子流调控方法 刘鸿	51
7. 专题论坛四 青年论坛——城市水系统与碳中和	53
7.1 污水处理碳足迹核算模型构建及实例分析 李爽	53
7.2 关于污水处理提质增效和碳达峰碳中和的思考 许可	54
7.3 双碳背景下污水处理厂碳减排之路 黄翀	55
7.4 “碳”寻污水处理厂进阶之路 李果	56
7.5 富铁污泥资源化生产聚硫铁混凝剂及其减碳效应 朱遂一	57
7.6 可用于污水处理企业的前沿负碳资源化技术分析 朱文磊	58
7.7 城市水系统碳中和：更广泛的系统边界？ 林家良	60
7.8 MOFs 膜与吸附剂水质净化同步制冷供热 刘新磊	60
7.9 荷兰水科技领域产学研合作模式 刘刚	62



长，说明全球升温呈现加速的趋势。

■基本事实：2020年，全球温度比1850-1900年基准值升高 $1.2 \pm 0.1^\circ\text{C}$

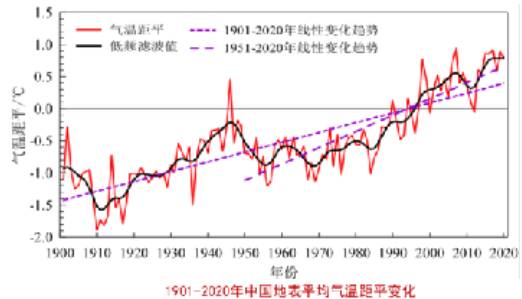


中国城市水环境与水生态发展大会

(2) 中国气温升高

在改革开放的近几十年间，随着经济快速发展，中国的升温速率高于全球升温幅度。最显著的增温区主要为我国北方和高原地区，而中低纬度地区增温相对较缓，增温最小的区域主要分布在西南地区东部，局部地区存在降温。对中国大部分地区而言，近50年增温速率远超过了过去100年的平均值。

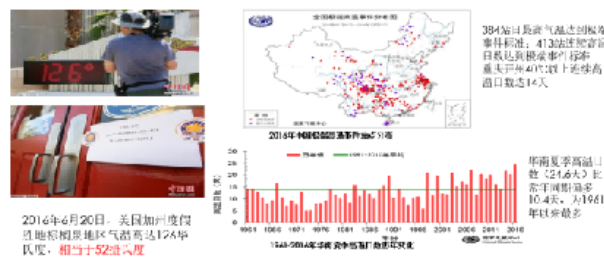
■基本事实：1951-2020年，中国升温速率为 $0.26^\circ\text{C}/10\text{年}$ ，高于全球升温幅度。



中国城市水环境与水生态发展大会

(3) 极端高温事件频发

由于全球气候变化所带来气象方面的影响，极端高温事件及降水事件频繁发生，例如暴雨灾害及高温旱灾等。



中国城市水环境与水生态发展大会

1.2.2 主要挑战

第一个挑战是海平面上升。

由于气候变化与降水密切相关，未来气候变化对城市的将具有很大影响。不同周期中海平面增长幅度

是不同的。20世纪早期以来，全球平均海平面上升速率在不断增加，且中国海平面的上升速率高于全球平面上升速率。

海平面上升引起一系列的环境问题，影响则主要集中在沿海城市。其中对供水、排水系统的影响首当其冲。随着沿海城市发展临海化的趋势，可能遭受的灾害和损失将更为巨大。海平面上升同时也正在影响西方发达国家。一些城市已经被海平面上升带来的海岸侵蚀淹没沿海低地，于是规划进行回迁。我国的工业布局大多分布在沿海地区，海平面上升对国民经济和社会发展的影响非常之大。

挑战一：海平面上升

■海平面上升对沿海城市的影响

●直接影响

- 海岸侵蚀、堤岸侵蚀
- 淹没沿海低地
- 咸潮上溯、海水入侵和土壤盐渍化
- 台风、风暴潮灾害加剧，海水倒灌
- 防御工程设计标准影响深刻

●间接影响

- 地面沉降，排水管道埋深加大
- 排水泵站的能力难以满足防洪排涝要求
- 暴雨、内涝等叠加复合灾害增加



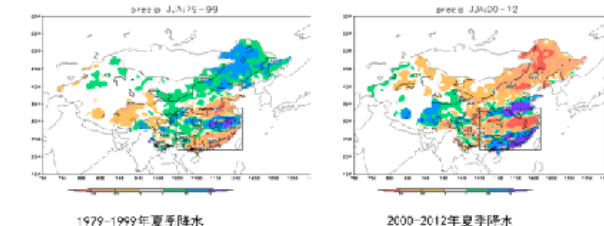
中国城市水环境与水生态发展大会

第二个挑战是降雨波动性增大。

降雨时间少，但每次降雨量大，这是一个非常明显的趋势，这是极端天气的一种表现形式。在空间上降雨也在发生一些变化，未来长江流域的降雨量会相对减少，北方特别是西北地区的降雨量会明显增加，这个趋势也是非常明显的。根据大数据分析，我国主要降雨带明显北移至到黄淮地区。所以我国南北干旱和半干旱分界线也在明显向北移动。

挑战二：降雨波动性增大

■雨带已从长江北移至到黄淮地区



中国城市水环境与水生态发展大会

第三个挑战是极端天气频现

近年来，全国各地降雨量以及降雨强度增加，都与全球气候变化有关。这种情况不仅出现在我们国家，



欧美部分国家也遭遇了各种天气灾害。欧洲过去20年的极端干旱为两千多年来最严重；2021年入夏以来，美国西部地区气温较以往更高，出现了广泛的、普遍性的干旱，造成极大的损失。

挑战三：极端天气频现—洪涝

济南718：2007年7月18日 济南市区遭遇超**强极端天气**特大暴雨，历时短、强度大。市区1小时、2小时、3小时最大降水量分别达151mm、167.5mm、180mm，均为有气象记录以来最大**值**。
--造成**30多人死亡**，170多人受伤，1800间房屋倒塌，约800辆车受损，约33万群众受灾。

北京721：2012年7月21日，北京特大暴雨，引发**泥石流**，最大降雨量达到460毫米，为61年以来最强暴雨。
--造成**79人死亡**，10660间房屋倒塌，160.2万人受灾，经济损失116.4亿元。



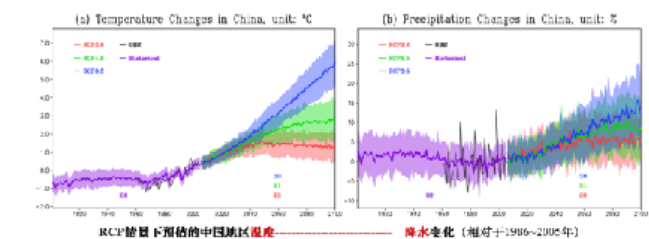
中国城市水环境与水生态发展大会

1.2.3 应对策略

(1) 重视气候变化预估

气候变化一定会对城市安全带来影响和挑战，气候变化需要水系统进行传导，所以应对策略分为两个方面：一个是增强韧性，提高抗风险能力；另一个则是节能减碳。

全球变暖是一个事实现象，但是它是什么原因导致的，或者由哪个因素主导还没有定论。对事实和观察到的现象，要做分析并进行预判预估。在不同的方案下，对于海平面的上升以及气温的变化都进行了预测，且预测周期为百年的周期。气候变化预测可以帮助我们战略性地确定我国的发展模式以及工程技术。气候变化影响最大的是沿海城市，最主要的是长江三角洲地区。



- 2013年IPCC报告：2081~2100年全球平均海平面将上升**26~82cm**（相对于1986~2005年）。
- 我国沿海海平面上升的速率差异很大，升幅最大的为长江三角洲和珠江三角洲。

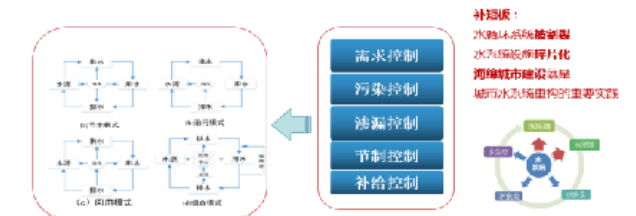
中国城市水环境与水生态发展大会

(2) 提高城市水系统韧性

改善气候变化现象相当迫切，我们现在能够做的就是提高城市水系统的韧性。首先是进行趋势判断，要转变不可持续的城镇化发展模式；第二则是科学的认知，城市水系统需要大量的基础设施去支撑，要考虑它们之间的协调和平衡，即系统性问题需要体系化

的整体解决方案，单向的技术并不能解决系统性问题；第三是要综合规划，据此落实我国的发展模式，绿色发展以及双碳目标。对于水的专项规划需要进行统筹、协调及控制，最终目标是要找到控制的思路及方法；最后则是系统控制，城市修补和生态修复就是要把水系统被割裂的状况控制起来。城市水系统控制的重要目标为：节水、减污；节能、降碳。

城市水系统控制的重要目标—节水、减污；节能、降碳



中国城市水环境与水生态发展大会

(3) 水系统重构探索—海绵城市建设

海绵城市是水系统重构的一个重要实践。习总书记在中央城镇化工作会议上提出：海绵城市建设的核心要义—“五个自然”。解决城市的缺水问题，必须顺应自然，比如在提升城市排水系统时要优先考虑把有限的雨水留下来，优先考虑更多利用自然力量排水，建设自然积存、自然渗透、自然净化的“海绵城市”。

海绵城市的规划建设要“讲政治、讲科学、讲绩效”，并力求三者的辩证统一。讲政治，就是要以人为本，尊重和顺应社会规律，以人民为中心，让老百姓有获得感；讲科学，必然要实事求是，要尊重和顺应自然规律，特别关注水的循环、生态系统；讲绩效，必须要算经济账，要尊重和顺应经济规律，按经济规律办事。



中国城市水环境与水生态发展大会

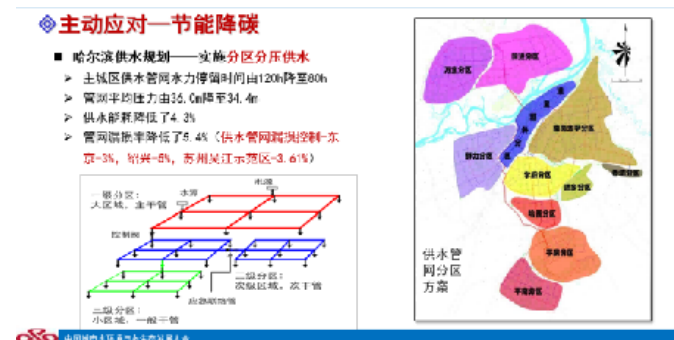
(4) 气候变化应对策略

有一些国外的案例，对于气候变化引起的一系列问题，有的在被动适应，一些则是主动应对。我国则属于严防死守型，例如1998年洪水就是一个标志性



事件。但是后来水利方面的专家领导开始反思，我们这样的一种防洪方式是不是可以复制的，万一没有防住，代价是什么？

1999 年开始，中国工程院启动了中国可持续发展水资源战略研究，迄今为止 12 年 7 个项目，一直在反思过去的做法是否正确。发扬正确的做法，纠正错误。我国在节能降碳和供水系统优化布局方面的探索，取得了较好的成果。



1.3 污废水资源的商业化实践—模式、技术和瓶颈

金科环境是较早一批从事水深度处理及污水资源化化的国家高新技术企业，围绕水处理膜应用，为客户提供投资、建设、运营、服务四个解决方案。公司一直致力于通过资源解决中国的水污染、水短缺和水安全。



传统的绿色经济模式，是将污水处理达标排放，节能减排，产品没有对价。

金科环境的蓝色循环经济模式，解决了水短缺、水污染、水安全的问题。不仅可以节约新鲜水，提高水资源循环使用效率；而且可以达标排放，节约 COD 排放总量，提供安全、稳定可靠的高品质再生水，回用给水源地、工业园区/工厂，以及资源化产品再利用。



金科环境股份有限公司董事长张慧春提到，污染达标，不仅仅是指达标排放，还需要减少 COD 的排放总量。在南方，像工业发达的长三角和珠三角地区，水资源虽然不存在短缺，但 COD 减排总量实际上是一个很大的瓶颈。

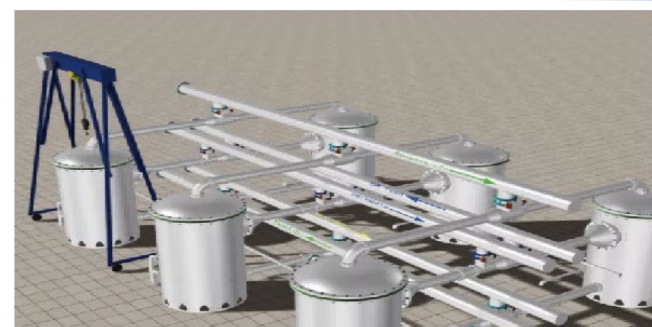
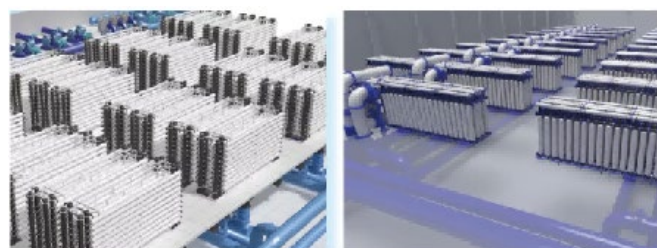


金科环境有两个解决方案。一是让污水厂的排放标准进一步提高，从一级 A 到地表 IV，从地表 IV 到地表 III。另外一种方法就是通过提高回用率来减少排放量，减轻地方政府因 COD 排放量对招商引资制约的压力。

1.3.1 污水资源化的核心技术

(1) GTMOST 膜通用平台技术

金科环境自主研发的膜通用平台技术，解决了膜和系统之间的匹配问题，实现了多个品牌膜元件的通用互换，能够在临更换期更换不同厂家的膜元件，解决耗材费用和通用化的问题。GTMOST 膜通用平台技术包括经典风、未来星和水晶宫三大系统



未来星



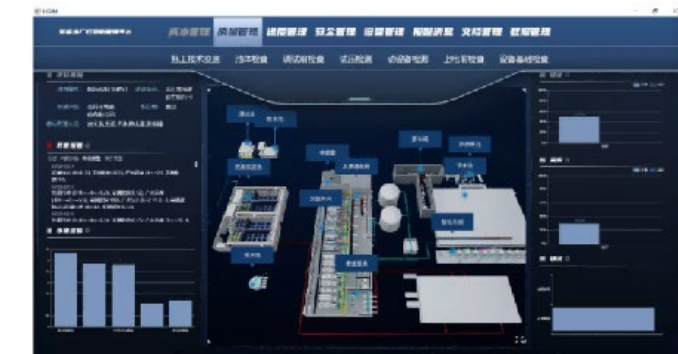
水晶宫

(2) 膜水厂工程产品化技术

像造汽车一样建水厂。通过工艺流程的标准化、模块化、规模化，实现膜水厂建设不再贵，运营不再难。

(3) 膜水厂数字化建设和运营技术

水厂双胞胎-建设管理平台，是金科环境用于水厂设计、建设的项目管理工具。公司在行业内率先采用 BIM 设计，建设过程中严格进行质控管理，保证水厂产品质量的同时，对用户开放，让用户参与决策和管控过程。膜水厂建设完成后通过数字化移交，能够实现全价值链的数据信息共享，包括竣工图纸、建设资料库、资产管理平台等。



水厂双胞胎-运营管理平台，是水厂数字化的运营工具，让膜水厂的运行维护复杂问题简单化，取

代了繁杂的运营管理手册，可以实现数据监控、自动巡检、工艺分析、故障诊断、设备维修保养等功能。

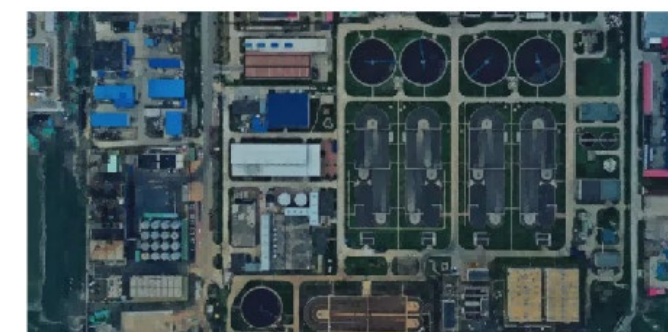


水厂双胞胎-运营管理平台

浓盐水如何处理，是污水资源化不可以回避的一个问题。金科环境拥有多种解决方案：一是选择达标排放，把浓盐水再处理成一级 A 或者是地表 IV 达标排放；二是浓盐水里的离子浓度如果有特点，可以回用。譬如我们在印染行业，就把印染助剂直接液态回用。三是浓盐水的解决需要因地制宜，有的地方可以作为景观补水。

1.3.2 污水资源化的典型案例

在资源化领域，金科环境采用双膜技术（超滤+纳滤/反渗透）将市政和工业园区污水深度处理并生产出优质再生水，产水量超过 20 万吨/日，公司的综合技术与实施规模处于国内领先地位。以下是公司投资建设的污水资源化项目。



唐山南堡化工园区废水资源化项目



无锡锡山开发区（电子/PCB 废水）
资源化项目



山西原平污水处理及再生利用 PIPP 项目



河北高阳印染废水再生回用资源化项目

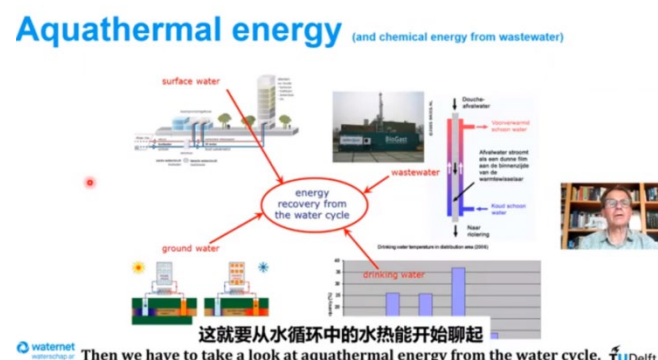
1.4 Towards carbon neutral water utilities - Reducing greenhouse gas emissions: experiences of Waternet

实现碳达峰、碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革，水务行业作为供排水民生保障类行业，

也需要加快绿色低碳改造，尽快转型构建新业态与新模式。代尔夫特理工大学教授、阿姆斯特丹水务公司 Waternet 战略研发 CIO Jan Peter van der Hoek 分享了 Waternet 的温室气体减排经验。



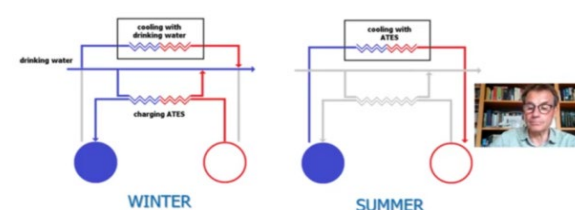
在全球温室气体减排的大背景下，荷兰阿姆斯特丹制定了相应的 2050 年气候中性路线图，其目标为，到 2030 年和 2050 年二氧化碳排放量分别减少 55% 和 95%。为了实现这一目标，Waternet 和代尔夫特理工大学联合开展了深入研究，检验了 50 多种温室气体减排的可能性，确定了不同方法实现二氧化碳减排的潜力和成本。研究发现，可以从地表水、地下水、污水和饮用水等水体循环过程中提取热能（称为水载冷热能，aquathermal energy），这部分能量可满足城市供暖、制冷等需求。因而，水载冷热能的回收在温室气体减排方面潜力巨大。van der Hoek 教授通过分享两个具体案例证明了水载冷热能回收的可行性。



案例一：饮用水供给系统中提取冷能冷却血库。阿姆斯特丹市一家血浆制品厂对制冷需求较强。工厂南侧恰巧有一条饮用水供水干管，通过旁通管中的换热器与工厂连接。冬季饮用水管网中水温低，饮

用水通过旁通管流经换热器，该热量交换作用可冷却血库，而温度略升高的饮用水又被送回到供水干管中。此外，冷能还可以储存在水热储能系统的冷阱中，由于夏季饮用水水温高无法冷却血库，水热储能系统的冷阱可充当冷源冷却血库，满足血库全年制冷需求。大量研究证明，饮用水水质并不会因水温升高而受到影响，而且与传统制冷剂制冷相比，饮用水制冷能耗、温室气体排放量与操作成本均更低，是一种创新可行的温室气体减排方法。

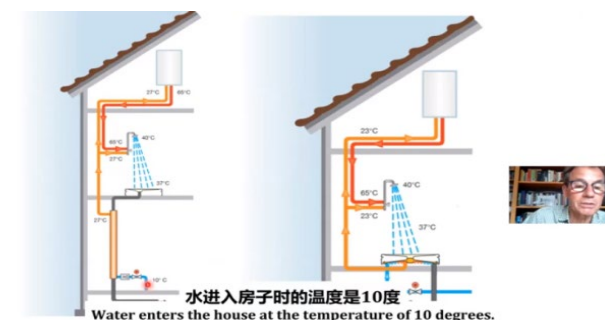
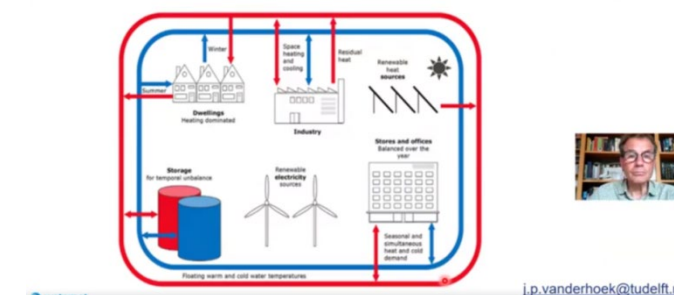
The principle



案例二：淋浴系统中使用换热器回收污水热能。在生活中，淋浴用过的水往往直接排入下水道，水温却依旧很高，我们能否利用这部分热能呢？答案是可行的。在淋浴室底部安装换热器，使用过的水流经换热器，水热能传递给进水管进而加热进水，减少加热需要的能耗。该系统结构简单、操作方便，可以连续从污水中回收热能加热进水，实现热能循环利用，效率最高可达 64%。通过安装此类换热器，阿姆斯特丹市可实现每年约 5.4 万吨二氧化碳减排。



Future perspective renewable energy



Introduction shower HE in an existing house



最后，van der Hoek 教授认为，构建一个包含冷水管网和热水管网的系统，能量由污水、饮用水、地表水等蕴藏的水载冷热能供给，依靠水热储能系统进行季节平衡，可为阿姆斯特丹所有房屋和建筑提供热能。van der Hoek 教授还展望，将太阳能和风能引入冷热水管网，可构建城市尺度上可持续可再生能源系统。

2. 思享会

2.1 双碳时代，环境产业：向左和向右

近年来，气候剧变，污染事件频发。城科会水环境与水生态分会副会长、北控水务集团公司执行总裁、执行董事李力，提出了应对气候变化水务和环境行业能够承担起更大的责任。



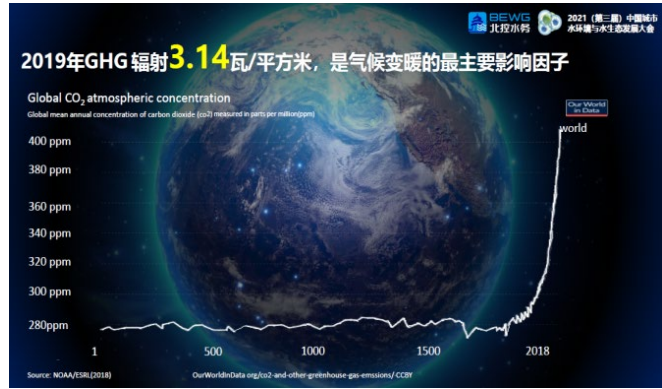
2.1.1 气候巨变，生境恶化

目前，气候变化造成地球十七个气候敏感单元中的九个被激活，在地球的五个大圈层里，除了岩石圈以外有四个圈层的气候敏感单元都在靠近阈值，若达到阈值必然引起级联反应，造成大气层的崩溃，环境将面临灾难性的后果。



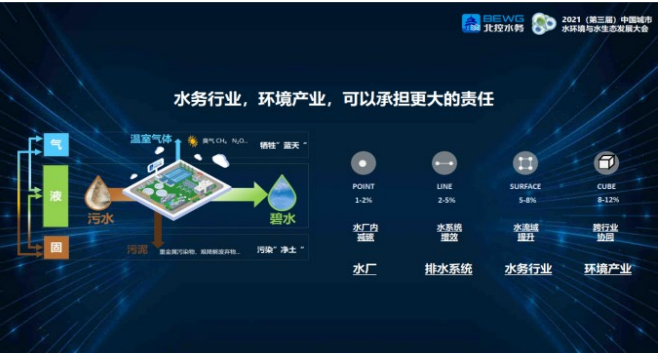
近年，地球的四大碳库中的大气碳库二氧化碳浓度达到 410 ppm，是器测数据前的 1.5 倍，辐射强迫达到 3.14 w/m²，远超过了太阳活动和火山爆发的辐射强度。由此可见，人工温室气体是气候变暖的主要影响因子。因此，我们必须通过政治、经济、技术等各种政策、措施和手段，控制 GHG 排放，进而应对气候变化，彻底改变文明的方向。尽管目前污水处理行业的碳排放仅占 1.2%，在“十四五”生态环境保护的主题将从“减排”到“减碳”进行转变这样的前提下，水

务环境产业将如何面对是值得深思的问题。



2.1.2 向左-积极应对，降碳增效

李力提出水务-环境产业需向左-积极应对，减排降碳。当前，污水处理仍然面对无法解决相间转移的问题，污水容易影响土壤、大气等环境，因此，在保护碧水的同时，还要造福净土和蓝天。



传统的水处理围绕解决 COD 为主的污染因子，减碳空间仅有 1.2%。为了承担更大的责任，水务行业应该考虑从点、线、面、体四个维度对减碳的贡献升值空间。首先，从点来看，对水厂全生命期的碳足迹进行盘点，水厂内减碳主要切入点是节电。其次，走出水厂向两端出发，溯源到管网和化粪池，通过污水处理的全流程及水输送系统的提升提质增效实现减碳 2%至 5%；再次，从“厂网河”走进“山水林田湖草沙”，多通过流域构建碳汇，使得“树上山、水进城、地变绿、天变蓝、城变美”，实现能源循环和资源循环，目标减碳 5%至 8%；最后，能源、交通、建筑、工业、农业五大责任行业是减碳主战场，水务环境行业可以跨行业间协同，实现环保产业减碳贡献度达到 8%至 12%。

2.1.3 向右-积极适应，韧性协同

未来，即使全社会达到近零排放，实现 1.5℃至 2℃控温目标，我们依然面临挑战。即使实现碳中和，由于海洋积累了 90%以上多余热量，大气的 GHG 浓度仍然

在高位，地球气候存在长期、巨大的热惯性。极端天气事件出现频率仍然高、强度仍然大，在相当长的时间内，地球还会处在“暖化状态”。面对气候变化的不确定性，李力提出水务-环境产业还需要向右-主动适应，韧性协同。站在企业的角度，需要从多源供水、韧性排水、生态净水、智慧管理等几大方面深刻变革水务环境产业。在供水方面，利用再生水构建水量稳定、水质可控的城市第二水源；在排水方面，将源头末端节点强化，构建韧性排水系统；在净水方面，河湖生态系统构建弹性净水体系；在管理方面，智慧管控，提升系统运行效能，才能夯实保障、提升韧性、适应更多的不确定性。



因此，在双碳时代，水务环境行业会两手发力，“左右”开弓，“向左”积极应对，减排降碳；“向右”主动适应，韧性协同。避免内卷和躺平，积极应对气候变化，担当更大的责任。

2.2 太湖底泥是“源”还是“汇”？



富营养化和蓝藻水华是太湖存在的突出水环境问题，底泥中磷的贡献至关重要。河海大学环境学院朱

伟教授，回顾了 2007 年以来太湖治理的基本情况、主要工程措施，分析了近年来水华的发展情势、底泥的磷释放贡献，提出一些思考。

2.2.1 太湖治理的基本情况

2007 年以来实施的主要工程措施有 12 项，包括供水安全确保、产业结构调整、工业污水收集处理、乡镇农村污水及垃圾的收集处理、农业面源污染控制、生态修复、再生资源利用、引江济太、河网地区的综合治理、节水、观测预报体系建设、加强新技术研究应用，总投资约 2000 亿元。

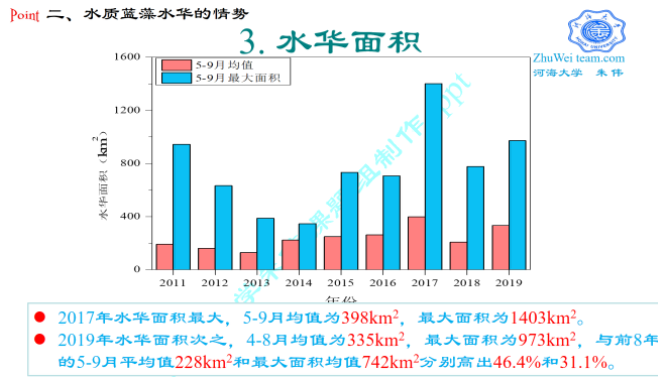
Point 一、太湖治理的基本情况

太湖富营养化治理总体方案

序号	内 容	项目数量	I期投资	II期投资	总投资	国家投资
1	确保饮用水安全	55	42.08	16.58	58.66	37.164
2	产业结构调整					
3	工业污水收集处理	491	39.07		39.07	20.35
4	农村污水及垃圾	491	258.54	6.45	264.99	182.837
5	农业面源	204	101.11	90.09	191.2	48.312
6	生态修复	107	74.37	63.73	138.1	136.5
7	资源化利用	27	4.06	3.56	7.62	
8	引江济太	10	168.34	80.12	248.46	113.26
9	河网地区综合治理	36	55.97	12.15	68.12	10.5
10	节水	69	30.96	0.27	31.23	31.42
11	观测预报体系建设	8	6.34	0.50	6.84	3.4
12	新技术研究应用					
合 计		1498	780.83	273.45	1054.29	583.743

2.2.2 水质蓝藻水华的情势

2010 年至 2014 年总磷明显下降，2015 年后平缓波动，有所回升。蓝藻生物量大体上持续增长，水华面积呈增加趋势。2017 年最大的水华面积达到 1400 平方公里，占太湖总面积的一半以上。在治理方面，太湖的 22 条入湖河道的水质一直在好转，断面达标率不断提升，污染源只有减少没有增加。生态清淤 3900 万方，望虞河调水改善了贡湖水华，每年打捞蓝藻几百万吨。连续 13 年的多项举措实现“两个确保”，即确保饮用水安全、确保不发生大面积湖泛。哪些措施有效，哪些无效仍需要研究和考虑，如，底泥清淤。



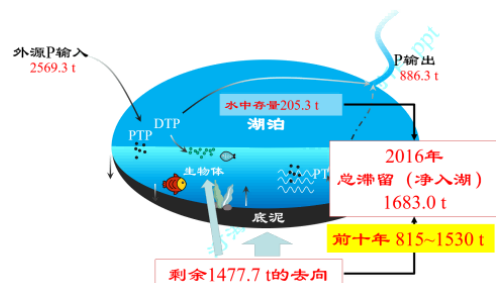
2.2.3 底泥释磷量情况

关于太湖底泥的磷释放量的研究报道存在较大差异，从 200 吨到 2 万吨不等，这种差异是由采样时间、

实验不同导致的，有必要进行系统全面的研究。研究发现太湖底泥存在 4 种结构，分别是粉质硬黏土、淤泥质粉土、有悬浊层、无悬浊层。总体来看，太湖西边磷含量高，东边磷含量低，由西到东不断降低。不同沉积物中的磷含量不同，而且间隙水中的磷浓度明显高于上覆水，浓度差达到 6 倍以上，存在磷释放的条件。然而，研究发现硬黏土的磷释放非常少，太湖中约有 1/3 的面积为这种硬底区域。通过外源磷的输入和输出核算，发现 2016 年太湖总磷的滞留量为 1683 吨，前十年为 815-1530 吨。

Point 三、底泥释放了多少磷？

◆ 太湖总磷的质量平衡(以2016年为例)



2.2.4 一些思考

浓度差引起的扩散，间隙水与上覆水存在 5 倍的浓度差。不同形态的磷扩散系数不同，并且其在水中和微孔隙的扩散也不同。氧化还原条件导致磷的反应不同，还原造成磷释放，而氧化造成磷沉淀，通常界面溶解氧 < 2 mg/L，超浅水湖泊的富氧能力强，实际界面溶解氧 > 6 mg/L。扰动实验可评估最大悬浮释放能力，悬浮再沉降对磷是吸附还是解析。底泥是磷的源汇变化为，80 年代是源，目前是汇，汇向源的转化需要一定条件。清淤的定位，应注意防治湖泛，考虑局部清淤去除内源。

Point 四、一些思考

四、一些思考

1. 浓度差引起的扩散：

浓度差5倍左右
扩散系数(有机、无机)
水中扩散与微孔隙中的扩散

2. 氧化与还原

还原造成磷释放、氧化造成磷沉淀
界面溶氧<2mg/L
实测界面>6mg/L
超浅水湖泊的富氧能力

Point 四、一些思考

四、一些思考

3. 再悬浮

扰动试验(最大悬浮释放能力)
悬浮再沉降—吸附还是解析

4. 汇与源的转换

80年代源→目前汇
汇→源的转化条件

5. 清淤的定位？

湖泛的防治？
局部内源的去除？

2.3 水质是什么？



中持水务股份有限公司董事长许国栋以水质为出发点，分析了人类对环境观点的演变。

2.3.1 水质的认知

群体不同，对水质的描述也不尽相同。普通群众对水质的描述一般用好坏的程度来定义，科学家对水质的评价一般用具体的水质指标来定义，而管理人员对水质的评价则一般用水质分类来定义。从上世纪 80 年代起，我国在水污染方面从本底研究、环境容量、水质标准等做了大量基础研究，同时逐渐建立了环境管理的法规体系，到本世纪初已基本完成。过去 20 年，我们取得了很大的进步，但随着时代的进步，人类认识的深入，这些基础研究成果和体系并非应该一成不变。

2.3.2 水质的管理

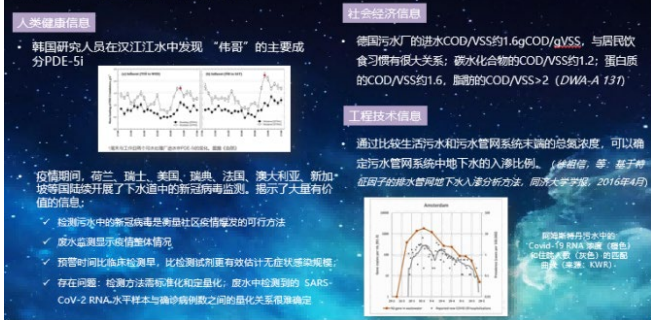


水的管理首先应该是社会管理，其次才是技术管理，技术管理为社会管理提供支撑。首先，社会管理层面应该给水质管理和其他环境管理提供更清晰的标准规范。随后，环境工作者和科研人员才可以按照标准路线突破研究，革新技术。同时，环境专业工作者应该不断向社会传播新的管理逻辑、科学认知，推动发展社会与管理者沟通的语言，即将科技化语言转变为可被公众和管理者认知的语言。以水质指标为例，将明确的指标转变为集约的指标，以便于科学管理和推动社会的发展。



“十一五”以来的节能减排行动，COD、一级 A 等评价指标被全社会熟悉。许国栋从公共卫生、环境保护、新公共卫生三个阶段讲述和回顾了人类对水质认识的历史。公共卫生阶段主要处理城市内综合有机污染，出现 BOD 和 COD 两个重要指标；环境保护阶段主要处理城市水环境和外部水环境问题；新公共卫生阶段，比起老的公共卫生时代，虽然还有很多黑臭水体没有彻底处理，但对社会的威胁已经不是主流，且在逐步消失。目前，人们真正面临的威胁主要包括丰盈复杂的化学品和古老的病毒。不同时期对水质的理解和关注评价指标不尽相同。目前，我们仍面临的一些问题，比如 COD 所反应的水质信息有限；高风险污染物在极低浓度下也可影响人群健康；新兴污染物（中国、美国、欧洲各有不同）的研究和管理；病毒在水质评价体系中的权重等。

城市下水道中的信息



新公共卫生时代，下水道信息是一个丰富的宝库，值得科学工作者深入研究。但大量的单一数据，需要进行深度解析，将数据和城市健康结合。由此，我们才能在新公共卫生时代确立针对水标准指标的服务点，才能在新时代突破发展。



再谈到一级 A 的由来，地表水水质标准将水进行分类，其分类方法在管理当中和应用意义与否是值得思考的问题。我们应该适当减少一些水质分类，以进步的方式有机推动环境保护工作，代替以往单纯利用行政化手段方法去推进环境工作，提高工作成效。

水质研究是基础研究，水质指标和水质标准的进步是根本进步，水质学不只是指标这样简单，这些都需要环境工作者和管理者不断地更新思想，找出社会可理解的综合指标。从社会管理出发，结合技术管理最终发展水的管理。

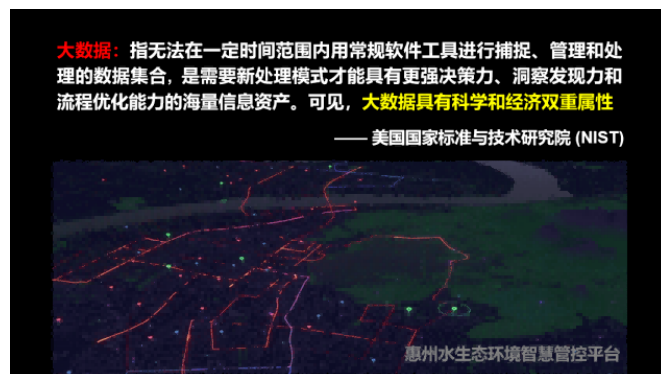


2.4 水系统大数据——有“融”乃大



2.4.1 大数据的概念与特征

美国国家标准与技术研究院提出了相对权威的定义，大数据指无法在一定时间范围内用常规软件工具进行捕捉、管理和处理的数据集合，是需要新处理模式才能具有更强的决策力、洞察发现力和流程优化能力的海量信息资产。可见，大数据具有科学和经济双重属性。大数据具备“5V”特征，即，Volume、Velocity、Variety、Value、Veracity。海量数据规模、高速数据流转、多样数据类型、低价值密度和真实性，是大数据的标签。



2.4.2 大数据技术与思维

从科学属性理解，大数据的“大”并非形容词，而是动词，也就是放大数据作为资产的价值。这正是大数据技术的战略意义所在，即通过对海量数据进行

随着物联网、移动互联网、云计算等新一轮信息技术的迅速融入，水务数字化和智慧化已经成为不可逆的大趋势。哈尔滨工业大学环境学院教授王爱杰指专业化处理和“加工”，实现数据的价值和“增值”。那么，如何处理和加工数据才能实现大数据的核心价值呢？大数据研究专家舍恩伯格指出，大数据思维最关键的转变在于从自然思维转向智能思维，使大数据像具有生命力一样，获得类似于“人脑”的智能，甚至智慧。因此，获取大数据，需要突破常规的思考维度，发展“融合”的思维模式。大数据与工业、农业、医疗等产业的深度融合，正代表和催生着一种全新文明形态的出现。



2.4.3 大数据技术的应用

以人工嗅觉为例，基于仿生原理，利用纳米传感器阵列芯片获得大数据，结合人工智能算法平台，可以让机器具备人的嗅觉和感知力。可用于气体泄漏诊断、挥发性污染物监测等智慧感知系统。当然也完全可用于污水厂的臭气监测。这样的融合思维模式，必然需要研究范式的支撑。因此，不同学科方法的融合用于大数据处理成为一种必然选择。



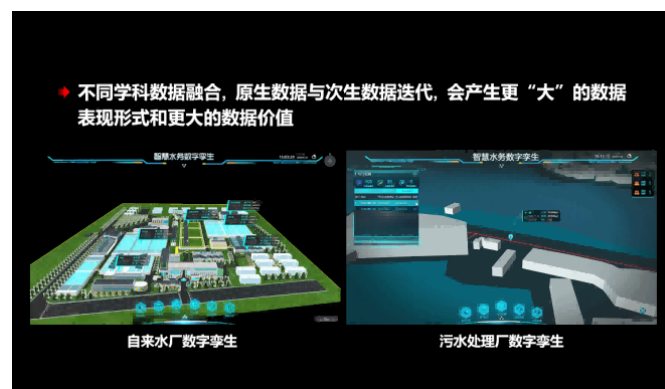
王爱杰团队开发了生物暗信息挖掘 ROMIDAS 系统。微型生物对于维持水系统结构和功能稳定性起着至关重要的作用，仅细菌和古细菌的细胞数量就高达 1.2

出，水系统智慧化的基本逻辑架构，从感知层、网络层到应用层，从水物联网、互联网到云计算和智能融合技术应用，毫无疑问数据是逻辑的基底——因为获 $\times 1030$ 个，可以绕地球 3 圈。然而，人类对水系统生物信息的认知严重缺失。2019 年发表在 Nature Microbiology 的文章表明，全球污水厂活性污泥微生物组细菌约 10 亿种，而我们能确定功能的还不足 0.05%，其余信息仍为暗信息。ROMIDAS 是一种新型传感系统，连续流经微流控室的活性污泥，相当于被标记了时间轴的连续样本，可以原位无损地采集可量化的图像数据。图像数据、结构化数据等单一维度信息，通过多源异构数据融合，可获得难以实时测量的“暗信息”，建立新的可量化指标，如污泥膨胀指数与水体富营养化指数等，并纳入水系统状态评估体系，从而将看不见的“暗信息”呈现为大数据源。

2.4.4 水系统大数据的意义

对于水系统而言，从生物信息到系统的功能，存在认知断层。但是王坚院士曾指出：挖掘“暗信息”的目的是要颠覆认知，这正是大数据的科学价值体现。从数据、到信息、到知识、到决策，不仅仅是建立逻辑关联的“接口”，更为重要的是，通过描述发生了什么、预测将发生什么、进而决策应该做什么，这才是智慧的内核。而且，大数据的应用正在不断打破学科的边界，实现专业间数据的贯通与融合。比如，一个智慧管道的例子，通过融合 3S、三维仿真、物联网、云计算等原理和方法，可以提供管道数据动态更新、智能监控等服务。

依托人工智能技术研发的管道内窥摄像检测系统和缺陷自动判读算法，可识别结构性及功能性缺陷，实现缺陷空间定位。如接口损坏、异物堵塞、渗漏等，用于评估排水管道完整性和指导管网修复。不同学科数据融合，原生数据与此生数据迭代，会产生更“大”的数据表现形式和更大的数据价值！以数字孪生赋能水厂为例，基于数字孪生引擎，可以对水厂不同工段关键参数进行监测，结合智能模型，实时优化工艺设备参数，实现智能投药、精准曝气，从而降药耗、降碳耗、降碳排。



水业，密切关联着能源、工业、农业、建筑、交通等行业。水的循环流动，势必牵引着数据在多个行业之间流动。无形之中，水业数据化身为行业之间信息的枢纽。水业的数据通过“跨界融合”，很可能在“智慧城市”的“政务平台”上呈现出重要的经济价值与社会价值。例如，水环境实时监测、水质及污染治理等多要素的可视化分析，可以为政府的科学决策提供重要依据。从数据资源到数据资产，正是大数据的科学属性与经济属性交汇的具体体现。



大数据之“大”，关键是思维模式的“大”、研究范式的“大”和应用融通的“大”。大数据的大，充分体现了融合之道，是思维模式的“融合”、是方法路径的融合，更是行业发展理念的融合！其实，目前水系统的数据还远未达到“大数据”的程度。这是智慧水务平台建设的一个痛点，但也正是我们的努力方向所在。我们坚信，大数据开启了一个重大的时代转型！未来社会的竞争，一定是对大数据的竞争！未来社会的繁荣，一定是因大数据所撬动的数字经济和生态文明而繁荣！

2.5 阻击新污染物 水治理“升级战”



近年来，化学品生产与消费引发新污染物的危机，南京大学环境学院史薇教授围绕新污染物展开论述，重点阐述了我国在新污染物识别方面所做的工作，指出新污染物的管控将显著改善我国水环境质量。



2.5.1 关注新污染物

我国是世界化学品生产和消费的第一大国，现有化工园区达到 600 多家。据联合国环境署统计，预计到 2030 年，化学品贸易额将达到全球的 50%。我国现有生产和使用的化学物质有 4.6 万种，预计有 7.2 万种已知的代谢产物，尚有大量企业生产的未知化学品以及代谢物。若这些污染物进入环境，将会对我国现有的监控体系形成巨大考验。

为何关注新污染物

■ 我国是世界化学品生产、消费第一大国

全国重点化工园区或以石化为主导产业的园区达 35 家。预计 2030 年化学品贸易额将达全球 50%



—数据来源：国家统计局、联合国环境署 2

我国对地表水、自来水和污水的监测指标均在 100 种左右，且仅掌握不足 1500 种物质监测的结果，仍有大量物质在环境中存在，其潜在的危害尚不清楚。2020 年末，十九届五中全会提出要重视新污染物的治理，生态环境部也提出要逐步在有条件的地区开展新污染物的监测评估，化学品司和清华大学于同年 11 月份也召开了新污染物的治理高端论坛。可见，我国从管理部门到监测部门，再到科学家，对污染物治理志在必得。人们对新污染物的定义也逐渐有了共识，它是指在环境中存在，但缺乏环境监测数据或是环境标准，

并可以在环境中低浓度暴露下产生毒害作用的物质，例如持久性有机污染物和内分泌干扰物等。

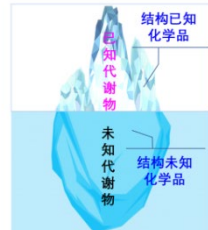
2.5.2 新污染物识别面临的问题

新污染物发现往往需要经历几十年的历程。举例来说，持久性有机污染物 DDT，由于其皮肤渗透系数很低，毒性长期被人们所忽视，大量使用后造成环境和生物体内累积，并对生物产生生殖毒性效应，使用 20

如何快速识别新污染物

■ 亟需新污染物快速识别方法

新污染物并不新，具有环境蓄积、毒性显著、风险较大的特点
我国有大量结构已知和未知的化学品及代谢物，亟需建立快速识别技术



年后逐渐被替代。内分泌干扰物双酚 A，由于其急性毒性较低，曾被认为可安全应用在婴儿用品当中。然而，逐年使用量的增加导致其在环境中浓度升高，产生生物体内分泌干扰效应，因此逐渐被各个国家所禁用和替代。针对这些并非新物质，却能够在大量使用后在环境中造成蓄积，对生物和生态产生风险的物质，如何能够高通量的快速识别以及建立快速筛查方法是我们亟待解决的问题。

2.5.3 正向识别策略识别新污染物

结合国内外研究，正向和逆向识别策略是研究新污染物的两条路径。欧美等发达国家主要采用的就是正向识别策略。首先，筛选出高产量和使用量的化学物质；其次，研究其中高暴露且具有持久性生物蓄积性以及能够造成人和生物毒性的物质，进而在这些综合因素基础上，建立高关注化学物质的筛选方法；最终，进行这些物质的风险评估，找到新污染物。欧盟化学品管理局每年会提出 20-40 种高关注化学物质名录，各成员国进行进一步的风险评估。

我国在 2013 年和 2016 年进行了现有化学物质普查。南京大学会同生态环境部固体废物与化学品管理技术中心，建立了中国现有化学物质数据平台，整理了我国现有的 4.6 万种化学品，其中包括 1.7 万种纯物质，并且经预测获得了 7.2 万种代谢物，结合模型，补充物质理化性质、行为参数、生态毒性和健康毒性

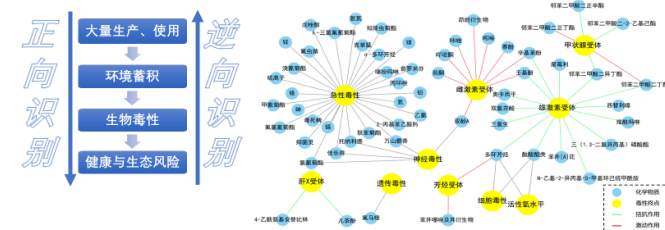
等数据。在此基础上，对数据库中所有化学品及其代谢物建立了非靶向识别策略，并成功应用于长江流域典型断面。然而，正向识别仍面临一些问题，如非靶向筛查方法标准化，毒性测试高通量化和难去除物质的治理。

2.5.4 逆向识别策略识别新污染物

如何快速识别新污染物

■ 基于毒性效应的逆向识别

32 篇文献，涉及长江、珠江、渤海湾等地区，识别出 82 种主要致毒物质，包括氮杂环类、重金属、含氮杂环类、菊酯农药类、甾体激素类、塑化剂类、PPCP 类等。



新污染物识别能力日益增强



2003 年，欧盟提出一种效应为导向的识别策略，对环境样品先进行综合毒性测试，对有毒性的样品再进行主要致毒物质识别。此前，我国只有 32 份相关研究，涉及长江、珠江、渤海湾等区域，识别出 82 种主要的致毒物质。为了将化学分析和毒性测试结果有机匹配，快速识别出主要致毒物质，我国在逆向识别新污染物方面也做了大量工作。近年，南京大学环境学院建立起水质健康研究实验室，实现了“化学分析—毒性测试—数据处理”的全自动化。在软件方面也力求有所突破，与安捷伦科技建立了新污染物分析联合实验室，开发新污染物高通量识别方案。随着我国新污染物识别能力日益增强，期待能够对新污染物有目的的管控，实现水环境质量全面改善。

2.6 城市水系统碳中和小标题大做，负而为零？

城市水系统的碳排放体量与能源活动、工业生产、

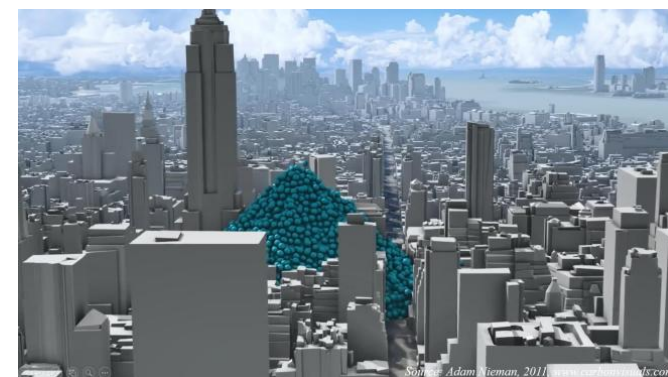
农业活动相比，可谓是微乎其微。那么，水系统是否有必要进行碳减排？中国科学院生态环境研究中心刘刚研究员给出了肯定的回答——“勿以碳少而不减”。



2.6.1 碳排放量

基于 2010 年纽约的碳排放数据，以帝国大厦为参照，一小时排放的碳堆积如山，一天排放的碳几乎将帝国大厦淹没，一年排放的碳占据了整个曼哈顿岛，碳排放量让人触目惊心，约为 5400 万吨。彼时，北京的碳排放量是纽约的 5 倍以上。

化石能源驱动了经济增长，GDP 与能源消耗和二氧化碳排放的关系非常紧密。20 世纪 50 年代以来的经济增长就是碳排放的增长，正因如此，堵住了碳排放的烟囱，就是熄灭了经济增长的引擎，也遏制了国家发展的咽喉。在发展的同时实现减碳任务异常艰巨。受新冠疫情影响，2020 年全球碳排放降低了 7%，其中，印度、欧盟、美国分别降低了 9%、11% 和 12%，中国仅仅降低降低了 1.7%，侧面说明了我国抗疫的卓越成效。



2.6.2 水系统的碳减排效益

生态环境部数据表明，我国碳排放从 1994 年到 2014 年总量从 40.58 亿吨增长至 123.02 亿吨。以 2014 年为例，能源相关的碳排放 95.59 亿吨，占比达到 78%，



废弃物处理比例仅为 1.5%，这其中又包含废物、废气和废水处理，而单独废水处理所占比更低。2019 年数据显示，英国碳排放量为 4.6 亿吨、美国 50 万吨、中国 140 亿吨，各国相应的集中污水排放量为 270 万吨、4500 万吨和 2500 万吨。综合计算废水处理的碳排放占比为 0.18%~0.78%，其中中国占比最低，美国占比最高。上述计算方法中，未考虑电耗、药耗等间接的碳排放。如果全部考虑在内，中国的水处理碳排放总量不足 7000 万吨，占比仅有 0.5%。



污水处理的碳排放占比微乎其微，不代表城市水系统的综合贡献少。以用户为中心的城市水系统，包括取水、净水、输水的给水系统，以及收集处理和排放的污水系统。英国 2005 年的数据显示，取水净水大约排放量是 100 万吨，输水 60 万吨，收集是 20 万吨，而污水的处理和排放大约是 210 万吨，总量是 390 万吨，占当年排放的比例是 0.6%。用户端为使用热水对水加热所产生的碳排放达到 3500 万吨，是城市水系统排放量的 10 倍左右。如果到达用户的水温升高，可能会显著提高节能和减排效率。

污水处理造成了温室气体的排放，但在另一方面也可减少温室气体的排放。2020 年联合国世界水发展报告指出，未经处理的污水是温室气体排放的重要来源，在排放前对有机物进行处理，可以减少温室气体的排放。2000 至 2020 年，我国的污水处理能力从每年 51 亿吨迅速增长至 742.7 亿吨，因出水水质的提升，污水处理能力的提高，相应的碳减排效应也从每年 76 万吨增长至 1300 万吨。保守计算，2000 年至今，因为污水处理能力提升、水质提升所实现的碳减排超过 1 亿吨，这还不包括污水直排造成的环境污染，水体黑臭化和黑臭水体质的间接碳排放。

2.6.3 城市水系统的碳中和策略

2021 年 5 月，英国皇家学会公布面向碳中和的 12 个重大科学技术问题，其中并无水相关的科学技术问题，但是包含制冷和供热技术。全球总体的制冷和供热技术所占的能源消耗比例超过 40%。2012 年数据显示，我国城镇居民空调的保有量是每 100 户 126.8 台，数量仅次于智能手机。以 2014 年我国碳排放的数据计算，制冷和供热技术的排放总量达到约 40 亿吨，占比超过 30%，其碳减排潜力相当可观。制冷和供热技术与水系统关系如何？举例而言，冬季集中供热将水加热，再将水载热能通过供热管网循环到千家万户。水载冷热能、跨时空搬运，为我们提供了制冷和供热技术的绿色方案。荷兰以阿姆斯特丹为代表的城市已经开始使用水载冷能，为中央血库制冷，实现了 90% 的减排，同时降低了 17% 的能源成本。



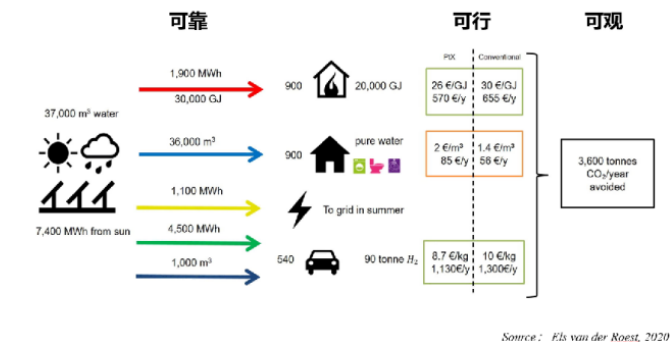
城市水系统中的碳减排，也可以通过特定的微生物实现高品质蛋白的回收，实现碳、氮、磷、硫等同步回收和利用。饮用水系统中，基于自然过程，实现短程低碳高品质的供水；在污水回用和城市地表水中，可以结合风能、太阳能等可再生能源，实现原位制氢供给其他行业使用。

2.6.4 城市水系统的碳减排前景

水中碳排放占比小于 0.8%，如果考虑水载冷热源以及水生能源资源，其最大化的占比可以超过 30%。因此，城市水系统的碳排放量微乎其微，但综合的贡献可能举足轻重。荷兰一个太阳能和雨水综合的水能系统，可以实现 900 户居民的供热和供水，夏季向电网输电，供给 540 辆新能源汽车，实现 3600 吨的碳减排，大约水量和碳减排量是 10:1。中国水环境集团在贵阳南明河建成了分布式污水系统，污水系统与居民之间几乎是零距离，最大限度缩短了资源和能源回收距离，实现碳减排。分布式概念厂的城市级别建设，可以实现以污水为中心，水、物质、能源的有机融通。城市



水系统的碳中和绝对不是小题大做，而是排放体量虽小，但是大有作为，富碳的水系统可以为构建碳中和城市做出卓越贡献。



3. 热点研讨

激荡观点，碰撞思想，热点研讨助力水业新发展

2021 年（第三届）中国城市水环境与水生态发展大会热点研讨于 9 月 28 日下午成功举行。本环节以全新对话式互动研讨，由王洪臣教授主持，6 位嘉宾以“气候变化背景下的低碳韧性城市水系统构建”为主题，分享了关于城市水系统应对气候变化和实现双碳目标的观点与见解。



主持人：中国人民大学环境学院王洪臣教授

3.1 嘉宾观点分享



清华大学环境学院教授王凯军提出了三个问题，第一个问题是中国污水处理行业能否实现碳中和。厌氧消化是一个产能的过程，在英国、荷兰、瑞士等国家已广泛应用。而在我国城市污水采用厌氧消化的不足 5%，处于较低的水平，导致在温室气体减排、节能降耗上缺乏抓手。市政行业在厌氧消化领域由于实践不足，远远落后于国际水平，因此需要推动该技术的应用。



第二个问题是国际上能否实现碳中和。目前奥地利污水处理厂已实现了能源中和，未来可进一步实现碳中和。目前我国的一些污水处理厂已应用了太阳能、风能等可再生能源，供能占耗能的 10%，通过调节风机、精确曝气等方式可降低能耗，节约的能耗占总能耗的 10-20%，若利用水源热泵等回收水中的能源，可进一步回收 2-10% 的能源。另外，由于国际上已通过厌氧消化技术实现产能，未来在世界污水处理行业一定能够实现碳中和。

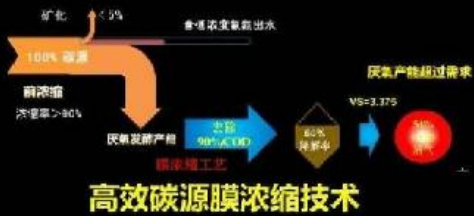


第三个问题是中国污水处理行业如何应对碳中和。目前我国急需颠覆性的污水处理技术改变能量流和物质流方向，改变污水处理工艺格局。若能够在污水处理前端浓缩 90% 以上的碳源，则与传统污水处理工艺相比，产能会高 3 倍。所以，我国污水处理领域需要颠覆性的污水处理技术。



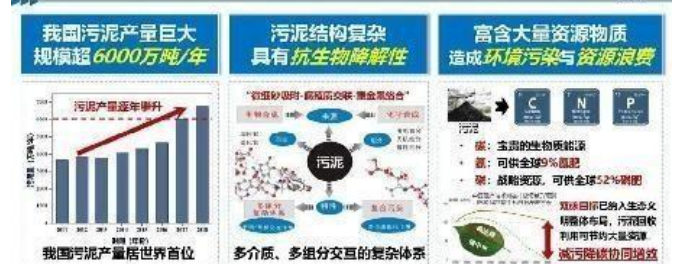
颠覆性污水处理技术

重大突破：
改变能量流和物质流方向！颠覆污水处理工艺格局！



同济大学环境科学与工程学院教授戴晓虎认为，我国污泥产量巨大，处理处置形势严峻。目前，我国污泥产量规模超 6000 万吨/年，位居世界首位。另外，污泥结构复杂，具有抗生物降解性，是多介质、多组分交互的复杂体系，同时其富含大量资源物质，易造成环境污染和资源浪费。在过去二十年，我国大力发展污水处理，忽视了污泥处理问题，导致目前污泥是我国污水处理的短板，实现资源化处置符合双碳目标需求。

我国污泥产量巨大，处理处置形势严峻



污泥是我国污水处理的短板，实现资源化处置符合双碳目标需求

戴晓虎教授认为，在污泥处理过程中应关注三方面问题，首先是在污泥处理中能源和化学药剂带来的直接碳排放，需要降低相应的成本；其次是 CH₄ 和 N₂O 等逸散性温室气体的排放，目前在污泥处理过程中相关的排放因子尚不明确，需要进一步探究；最后是碳补偿，在污水处理过程中碳补偿包括污泥资源化利用、氮磷等营养物质回收以及污泥资源化等，有利于“双碳”目标的实现。

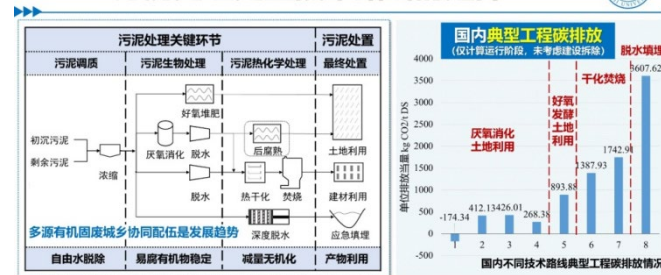
理念与前沿：减污&降碳&资源化



为实现减污降碳，未来污泥处置应以节能降耗及能源回收为目标

目前，污泥厌氧消化技术在我国应用不足 5%，其优势在于可以在高含水率情况下将污泥中的能源物质回收，另外，厌氧消化也可以处理厨余垃圾等废物。所以，厌氧消化技术在污水处理和城市有机废物处理行业未来都会有广阔的前景。对污泥填埋处置，虽然成本较低，但其为巨大的甲烷排放源，未来填埋技术会逐步被取缔。

污泥处理处置技术路线的选择



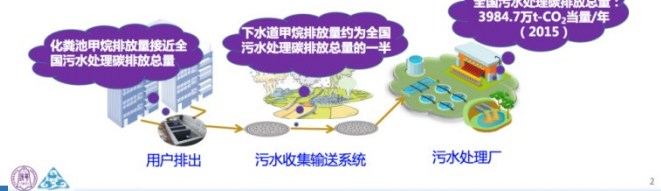
气候变化背景下的污泥处理处置对低碳科技创新提出更高要求



清华大学环境学院黄霞教授针对我国城市污水处理系统碳减排路径提出了三个观点。首先，需要从污水排放、收集、输送和处理全过程来考虑碳减排工作。污水处理厂排放的碳量是比较精准的，但是污水的收集和输送过程所排放的碳量也占有较高的比例，对城市污水系统碳排放贡献是不可小觑的。那么，如何开展碳减排工作呢？应该从能耗和药耗两方面着手，共同推进城市污水处理系统的碳减排。

1. 注重污水收集-输送-处理全过程降碳

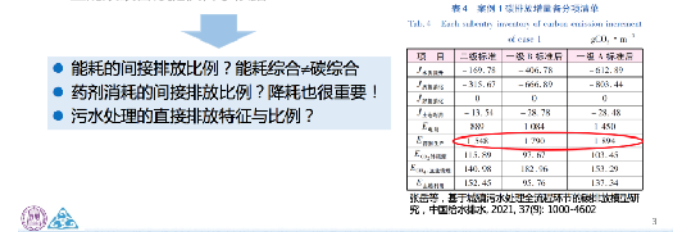
- 污水处理行业虽不是碳排放大户，也应积极响应碳减排战略需求
- 污水处理行业碳排放包括：
 - 间接碳排放：电能消耗、药剂消耗
 - 直接碳排放：污水在收集-输送-处理过程中产生的 CO₂、CH₄、N₂O 等
- 污水收集-输送-处理各个环节的碳排放均需要考虑



其次，目前污水行业碳排放基础数据缺失，核算方法不完善，尚需建立科学的碳排放基础数据库和完整的核算方法体系，为实现污水处理行业的双碳目标提供科学依据，进而有利于更加直观地了解污水处理系统能耗和药耗的排放比例，更为精准地开展碳减排工作。

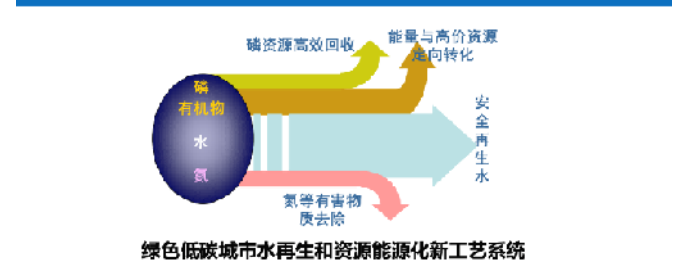
2. 建立污水行业碳排放基础数据和核算方法

- 目前污水行业碳排放基础数据缺失，核算方法不完善
- 尚需建立科学的碳排放基础数据库和一套完整的核算方法体系，为实现污水处理行业的双碳目标提供科学依据

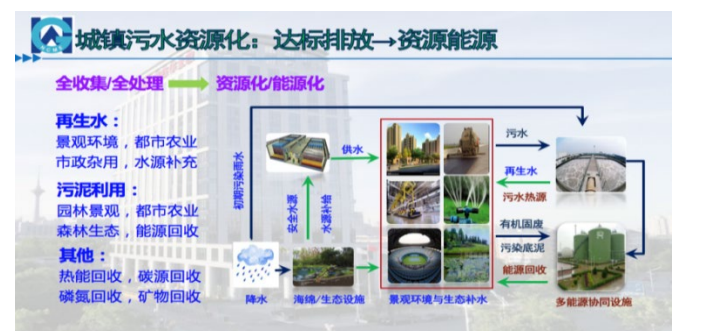
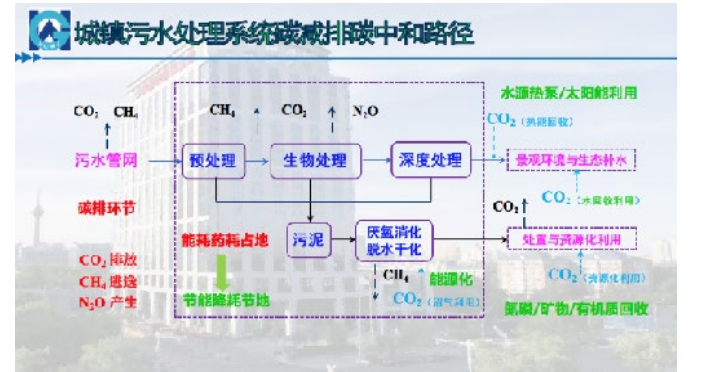


最后，污水处理系统工艺的开发研究应在水质的提升基础上实现能源和资源的回收。在双碳目标下，需要加入“碳排放”这一新的指标，作为污水处理工艺的新评价指标体系。污水处理工艺应该着眼于碳转化，将其转化成能源物质或一些高价资源。同时，也要着力于发展低成本的工艺，需要将污水处理工业的能量流和物质流重构，为建立低碳城市水再生和资源能源新工艺奠定基础。

3. 探索减污降碳协同资源回收的可持续新工艺



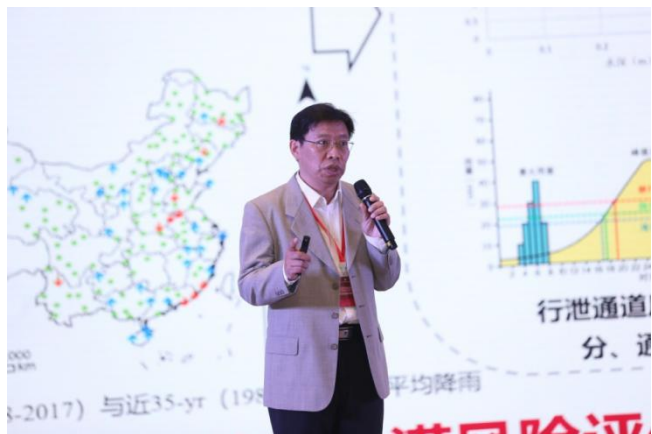
中国市政工程华北设计研究总院有限公司郑兴灿总工程师提出了工程师在实现“双碳目标”方面的工作方向。在整个城市系统或者更大的环境系统，碳排和碳汇的过程是一个非常复杂的过程。针对水生态系统，从供水—污水处理—再生水—水体维护增长过程中均存在着大量的碳排放，同时也形成了碳汇的一些途径，启发我们要通过不同途径和方法进行水生态系统建设，如海绵城市建设、再生水的景观环境和生态污水的综合利用等等。控制二氧化碳、甲烷和氧化亚氮的排放，即可为碳减排工作做出相应的贡献。但是，从工程角度来讲，需充分考虑的是工程的“安全性和风险、工程投资和效益”三方面，且需要通过逐步改制和提升来实现碳减排的目标。



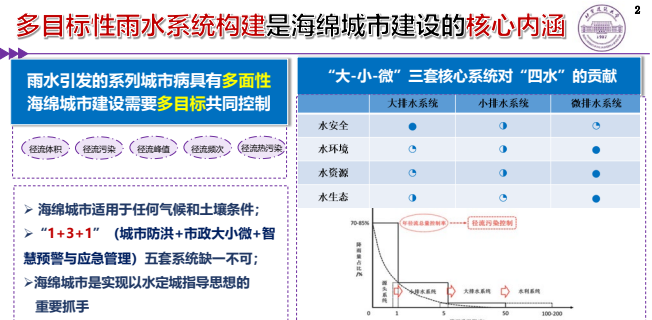
另外，在降低能耗和药耗的同时，还需充分考虑“占地”产生的资源消耗。这一点，往往被大家所忽略。



略。占地不仅仅是土地资源，而是整个空间资源，工程建设所占空间资源是非常珍贵的。

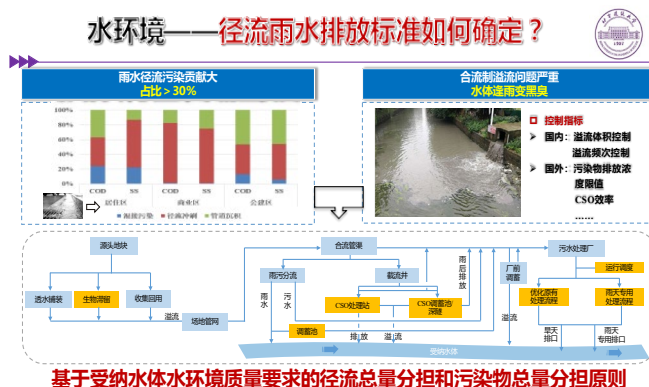


北京建筑大学李俊奇副校长提出，海绵城市是新一代城市雨洪管理概念，是指城市能够像海绵一样，在适应环境变化和应对雨水带来的自然灾害等方面具有良好弹性。我国海绵城市的理念与日本的雨水贮留渗透计划，英国的水敏感性城市设计，美国的 LID 低影响开发等基本一致，是城市雨水管理理念具有国际语境的中国化表达。海绵城市既是城市可持续发展建设的途径，也是最终的建设目标，是绿色城市韧性城市建设中不可或缺的重要内容。海绵城市建设的核心内涵是多目标雨水系统的构建，涉及水安全、水环境、水资源与水生态等方面。



围绕这一构建任务，目前还存在三个问题：（1）洪涝统筹如何发力？海绵城市是有边界的，能力是有极限的，不能解决所有问题。基于洪涝风险分类的预报预警和应急管理也是必须的，当前我国亟需补齐基

于洪涝风险评估的大排水系统与应急防控系统；（2）径流雨水排放标准如何确定？在管网覆盖率和污水处理厂排放标准逐渐提高之后，城市水环境负荷的贡献到底谁最大？大量研究表明，在华北地区雨水径流污染对地表水环境的贡献占 1/3 以上，也就是说，工业废水与市政污水都有排放标准，雨水要不要达到标准？（3）雨水径流控制要坚持绿色优先，建成区和新建区应有不同的应对原则。



苏伊士水务运营区域总监刘杰认为，水的属性是多方面多层次的，从与水有关的精神文化，到繁衍生命再到促进社会经济的发展。如何彰显人类社会水的价值、理解水对全社会的重大意义？一方面需要加大水行业内乃至全社会关于水价值的宣教，使得人们重新审视水的价值以及水行业的发展对全社会的贡献；另一方面，需要探究水的价值体系重构与体现，特别是赋予水在资源回收、能源转化、环境影响方面新的属性和价值。江河湖海的源水经过处理之后，达到饮

用水标准，并将其保质保量送到千家万户；污水收集处理之后，回用于农业灌溉、景观补水，回用以后的污水、污泥成为新的资源。通过科学智慧化的管理实现最大的资源回收、能源利用，不再产生或尽量最少的产生旱涝水害及水环境负荷，这个链条里都是赋予水的新价值。



只有提高针对水的全方位价值意识，实现水的经济价值，增加在水基础设施和科研方面的投入，才能达成双碳目标。在美国，水行业每创造 1 个职位，可能就能给其他行业带大概 3.68 个职位，水行业投入的每一美元，都能对整个经济的发展带来另外的资本收入，这就使供排水系统在原先的价值基础上赋予了它新的价值。



3.2 研讨及互动

嘉宾们针对主持人提出的水行业碳中和前景、膜生物反应器应用、城市水系统基础设施建设等问题展开了激烈研讨，现场多位与会专家学者参与了交流点评，进一步分享了个人思考与见解。



中国科学院生态环境研究中心研究员、清华大学环境学院特聘教授曲久辉院士认为，污水处理厂，从它诞生、发展到今天以及它的未来，都不是为碳中和而诞生，不能把污水处理厂和碳中和理念简单地联系在一起。“新概念”污水处理厂追求的是“水质永续、能量自给、资源循环、环境友好”，在这四点达成的过程中，自然就为碳中和做出了实质性的贡献。另外，能量自给并不等于碳中和。对于污水处理系统而言，随着科学技术发展，科技革命不断催生各种新技术新工艺，特别是在未来信息及材料技术等相关行业的发展进步，一定会影响到水处理工艺，将来的污水处理可能不再需要现在的复杂长流程、大规模，污水处理可能迈向社会化。那么，不同模式不同工艺污水处理系统碳排放该如何精准核算？这是业内需要解决的问题。



国际欧亚科学院邵益生院士首先认同了前面专家们提出的“在水生态系统建设中实现双碳目标，需要颠覆性的技术出现”这一观点，认为这是比较客观的判断。气候变化背景下构建低碳韧性城市水系统，需要站在更广的角度上思考，除考虑水系统自身外，还需考虑城市基础设施、电力和网络等。



同时，开展碳减排工作，不能落到一个狭隘的狭义的小圈子里。如果仅仅是水达峰是不够的，一定要同时做到水中和，水资源才能被可持续开发综合利用，我们需要思考这点，并活学活用。

另外，邵益生院士提出了三个关键词：交易、置换、协同。交易，可以在地区之间或行业之间进行碳交易。置换，比如区域之间土地资源存在差异，那么可以在区域之间置换，统筹资源。协同，一些关联的系统之间可以通过协同作用产生更大的效益。因此，在实现碳达峰与碳中和的道路上，仍需要“大处着眼小处着想”。



清华大学胡洪营教授对会议讨论的技术议题十分认同，同时他提出了另外的几点思考，首先，不管是业界管理者、技术人员还是研究人员，应当厘清所面临的水环境系统的问题，例如水体黑臭、城市内涝等等，是如何导致的？发展到今天，我们是缺技术？缺政策？缺管理？还是缺钱？是不是核心技术问题的限制？这是一个需要思考的问题。作为一名高校教师和研究人员，研究驱动力来自何处？要解决上述哪个环节的问题？我们追求的是提升产业发展还是政府决策？我们该如何分工？解决这些问题，需要我们学界做什么？设计界产业界做什么？政府做什么？需要先梳理清楚。关于城市水系统，未来城市水系统的核心是实现绿色循环，构建供水、排水、水环境间的联动一体化，实现趋零排放，需要政府、企业、学界找到核心推动力联合推动其发展。



河海大学环境学院朱伟教授认为，实现“双碳”目标的过程要明确根本理念。日本人在20年前就制定了循环型社会构建的一系列法规，其本质是通过循环型社会体系的构建，解决能源和资源利用问题。循环型社会就是整个社会要维持一个高度的经济和物质文明，少用甚至不用资源和能源即可实现绿色发展。所以，人类要可持续发展，绿色发展，最终还是要构建循环型社会，循环型的物质全部要循环型的利用，尽量用绿色能源，这样才能解决碳排放问题，实现低碳生产，延缓全球气候变暖。

朱伟教授非常认可邵益生院士的观点。很多事情

的发展存在滞后性，为实现“双碳”目标，应该尽可能在所有行为里面尽量低碳，根本实现途径就是减少使用能源和资源，或者提高能源和资源的利用率，或者减少化石燃料的使用。实现“双碳”目标不是一个人或一家企业的事情，而是一种社会行为，需要全社会每个人行动，共同努力实现目标。



金科环境股份有限公司张慧春董事长也发表了观点。他认为污水处理行业对温室气体排放的贡献仅为1.2%。到2030年，行业对碳达峰目标的贡献可能非常有限，但到了2060年，水处理行业会成为助力碳中和目标的主力。水处理行业可以从多角度削减现在的碳排放，例如经过无害化处理的污泥用于植树，再生水循环回用至生产生活的各个环节，以上工作是全社会的事情，但是关键在于水处理行业。

水处理行业急需颠覆性的技术。目前，污水处理所应用的技术普遍是几十年前提出的传统处理工艺。在当今社会的很多行业，新技术的诞生可以颠覆原有的做法和状态，例如，目前利用太阳能进行光伏发电的成本仅几分钱，如果其他国家可以在水处理中实现能量中和，那么我们就需要多关注学习新技术。因此，技术革命是整个行业更应该关注的。

围绕上述议题，与会专家们也都通过和主讲嘉宾的互动研讨分享了自己的观点。黄霞教授认为在水处理技术中，膜生物反应器是一种优缺点都很鲜明的技术，既存在能耗高的问题，亦具有水质稳定的特点。一方面，任何技术都有它的适用边界，应当因地制宜

地去评判一个技术的实用性；另一方面，单纯从水处理能耗的角度看待膜生物反应器技术是不全面的，还要看高品质的水用于稀缺行业所产生的经济价值、间接碳减排方面的效益等等。此外，膜生物反应器技术本身也在进步，在过去的十多年里，其能耗也在逐步降低。曲久辉院士对此表示认同，并进一步补充道：膜生物反应器的发展依赖于信息和材料科学的进步，它一定是一个方向和趋势。郑兴灿老师、王凯军老师等也提出，在膜生物反应器材料暂无突破的情况下，实际上也可以通过调控温度波动等环境条件、以及优化反应器运行使用来提高其寿命和效率，这些方面与当今电动汽车行业不产生关键的电池技术革命、但通过建立电源优化管理系统来提高电池的续航能力较为类似。



点评嘉宾：曲久辉院士

最后，曲久辉院士用八个字点评了本次会议——“紧张丰富，精彩纷呈”，总结了会议的三大特色“有观点、有格局、有视野”，评价本次研讨举办的非常成功！同时，曲久辉院士指出碳中和是一个目标，是一个方向，是一个理念，大家要冷静科学地对待。碳中和将启发我们新思路，开拓我们新视野，带来新问题。



4. 专题论坛一 水资源综合利用与碳中和

4.1 双碳目标下的石化污水深度处理与资源化



“双碳”背景下，石化行业面临转型和发展，将持续推进石化能源洁净化、洁净能源规模化和生产过程低碳化，努力实现零排放。这也对石化污水处理提出了新的要求。在 2021（第三届）中国城市水环境与水生态发展大会的“水资源综合利用与碳中和”专题论坛中，大连石油化工研究院环保所副所长郭宏山作了题为《双碳目标下的石化污水处理及资源化技术》的报告，介绍了石化污水处理的新技术，分析了实现石化污水资源化及零排放的可行性，分享了该技术成功应用的案例。

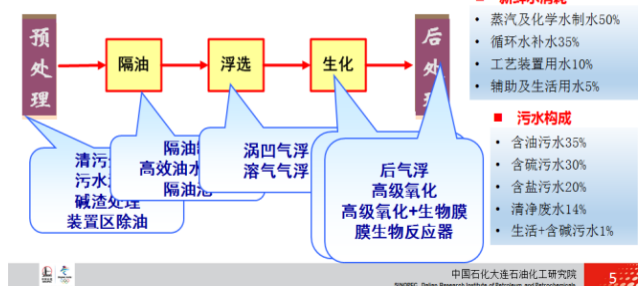
4.1.1 石化污水处理技术背景

典型的炼化污水处理流程包括：预处理、隔油、浮选、生化和后处理。但是，传统石化污水处理面临回用率低、排放总量大、成本高、缺乏节水减排系统等缺点。想要贡献于“双碳”目标的达成，石化污水处理行业需要进行污水的深度处理的同时，提高污水资源化和回用率。

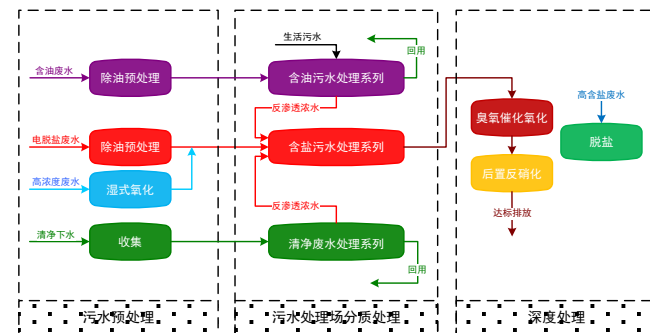
4.1.2 石化污水处理及资源化技术

石化污水处理现状与新发展要求

◆ 炼化污水典型处理流程



在“双碳”目标下，炼化污水处理指标已经提标到更严格的地方标准，这要求增强石化污水的深度处理。据此，郭宏山提出了高浓度污水预处理、生化反硝化过程优化、源头替代及生化过程除磷等新的技术路线，可实现石化污水的深度处理。

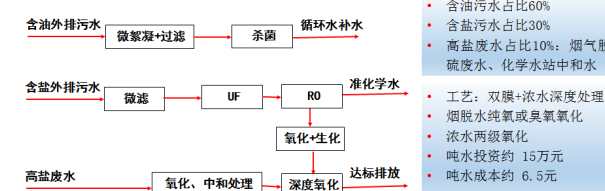


要实现石化污水的资源化，提高回用率势在必行。面对限制回收率提高的三个关键问题：处理成本、尾水稳定达标和占地及现有设施改造限制，郭宏山认为需要进行分质处理流程、混合处理流程的改进，并从给排水系统优化、化学节水减排、循环水系统节水减排和中水串级使用四方面进行技术改进，可将污水回用率提高至 60%，甚至 80%。

资源化及高比例回用

◆ 污水回用率80%技术方案

■ 设置三系列处理流程



污水零排放

◆ 典型案例



污水零排放是面向“双碳”目标的石化污水处理终极目标。污水零排放的核心竞争力在于装置稳定运行并不断降低成本。因此，对于污水零排放提出了新的全流程设计方案，提出核心不是脱盐，而是各阶段

预处理。郭宏山结合实际工程案例，进一步证实了石化污水零排放的可实现性。

4.1.3 建议与展望

石化污水资源化的实施已提上日程，全面降低污染物总量和排放强度、标准普遍提升是大趋势，同时逐渐提高污水回用率直至零排放，这就要有强烈的技术需求，并从企业扩展至园区化。在此需求下，传统的石化污水技术路线将逐渐被打破，形成零污染、资源化的给排水一体化模式，进一步要求开发应用绿色节能低成本的水处理技术。

4.2 城市污水厂提质增效下尾水湿地构建理念与验证

近年来，污水处理厂排放标准逐渐提高，由没有明显的要求提高到准 IV 类，现在很多地方甚至达到准 III 类。在这种背景下，IV 类尾水+大规模湿地到底是重复建设还是新模式？针对这一问题，在 2021（第三届）中国城市水环境与水生态发展大会“水资源综合利用与碳中和”专题论坛中，清华大学环境学院水质与水生态研究中心副主任彭剑峰研究员，介绍了城市污水厂提质增效背景下尾水湿地构建的重要性和必要性，就如何构建一个健康的城市水环境系统提出了新的思考，分享了在尾水湿地构建方面的理念与经验。



4.2.1 城市污水厂提质增效下尾水湿地构建的必要性

彭剑峰以“苏州特别排放限值”为例，对污水厂尾水湿地建设的必要性进行了科学论证。通过分析准 IV 类污水厂尾水对受纳水体和复杂生态系统抗风险能力的影响，得出尾水直接排入收纳水体将导致富营养化、水质恶化、有毒有害有机物积累等生态问题。自然生态处理系统可有效降低水质恶化风险，降低社会

用水对自然水循环干扰，促进城市水生态完整性形成，构成健康的城市水循环模式；是实现工程水到生态水转化，形成可靠优质生态补水，促进水生态系统健康的重要策略。

“苏州特别排放限值”的提出

苏州《关于高质量推进城乡生活污水治理三年行动计划（2018-2020年）的实施意见》中提到“未来三年，苏州市将按“苏州特别排放限值”全面推进污水厂提标改造工作”，到2020年底，建成尾水生态净化系统规模不低于污水厂总规模的三分之一。

项目	GB18918-2002 一级A	江苏省地方标准 DB32/4041-2021 准Ⅳ类	江苏省地方标准 DB32/4041-2021 准Ⅲ类	苏州特别排放限值
化学需氧量(COD _{Cr})	≤50mg/L	≤50mg/L	≤50mg/L	≤50mg/L
五日生化需氧量(BOD ₅)	≤10mg/L	≤10mg/L	≤10mg/L	≤10mg/L
总氮(TN)	≤15mg/L	≤12mg/L(水温>12℃)	≤12mg/L	≤12mg/L
氨氮(NH ₃ -N)	≤5mg/L	≤4mg/L(水温>12℃)	≤4mg/L	≤4mg/L
总磷(TP)	≤0.5mg/L	≤0.3mg/L(水温>12℃)	≤0.3mg/L	≤0.3mg/L
pH	6~9	6~9	6~9	6~9
粪大肠菌群数(个/L)	≤10 ³	≤10 ³	≤10 ³	≤10 ³

面临新问题：IV类尾水+大规模湿地→重复建设还是新模式？

4.2.2 尾水湿地设计理念与思路

现有的尾水湿地往往针对低浓度尾水，其占地大、效率低，与城市发展缺地状况不协调。研究团队提出新型污水厂尾水湿地设计理念、目标和指标，即实现工程水到生态水的转化，实现可游、可渔、可观；设计指标改为 DO、透明度、生物完整性、生境多样性和水质限制性指标（氨氮），完成了以水生态功能恢复为目标的湿地技术设计指南（苏州市）。同时，研究团队科学的计算和设计所需湿地面积和水量，充分利用原有地形，因地制宜并实现“厂、园、河、湖、岸”一体化统筹；体现自然湿地效果，减少灰色工程，构建复杂生态系统，并以生境类型多样性为基础构建优美湿地景观；实现生态孵化，水质净化，生态调蓄和优美景观为一体的尾水湿地工程。

尾水湿地设计理念

- 提出新型污水厂尾水湿地设计理念、目标和指标：工程水→生态水，实现可游、可渔、可观；
- 设计指标改为 DO、透明度、生物完整性、生境多样性和水质限制性指标（氨氮）



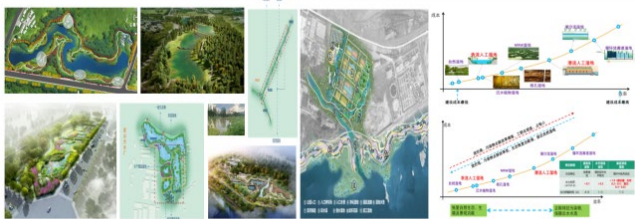
完成以水生态功能恢复为目标的湿地技术设计指南（苏州市）

4.2.3 尾水湿地试验与工程验证

运用该尾水湿地设计理念，团队在固原、苏州、内江、营山、昆山、泸州、重庆、石家庄等设计/在建/建成 26 个示范/验证项目，在国内首次实现利用污水厂尾水湿地重构城市水生态系统，并将该设计理念应用于东湖水生态恢复（设计中）和苏州彩石湖治理

及重庆广阳岛溢流污染控制中。

开展20多个污水处理厂尾水湿地设计 & 验证



在固原、苏州、内江、营山、昆山、泸州、重庆、石家庄等设计/在建/建成26个示范/验证项目，在国内首次实现利用污水厂尾水湿地重构城市水生态系统。

设计/建设了26个城市水生态系统重构示范验证工程

湖泊湿地：苏州彩石湖



4.3 碳中和背景下膜法污水处理技术可持续发展的思考



碳中和背景下，全球主要国家进入绿色发展引领环境污染控制、应对全球环境挑战的新阶段。在低碳/零碳水处理过程中，再生水资源回收利用是碳排放控制的关键环节，这要求在污水处理的全生命周期需要考虑控制碳排放。在 2021（第三届）中国城市水环境与水生态发展大会的“水资源综合利用与碳中和”专

题论坛中，同济大学环境科学与工程学院博士后王雪野代表王志伟教授作题为《碳中和背景下膜法污水处理技术可持续发展的思考》的报告，介绍了膜法污水处理的技术需求与挑战，探讨了膜法污水处理技术的可持续发展，分享了该技术的最新研究成果。

4.3.1 技术需求与挑战

同济大学王志伟教授团队围绕膜法污水处理技术开展了丰富的研究工作，积累了宝贵的经验。团队认为“双碳”背景下低碳/零碳并非完全等同于能耗自给、资源回收和污水零排，需要平衡排放高标准和处理技术的低碳/零碳排放，提出膜法污水处理过程碳中和实现途径包括四个方面：节能降耗、水资源利用、资源能源回收、膜材料再生。

技术需求与挑战

碳中和背景下的膜法污水处理可持续发展



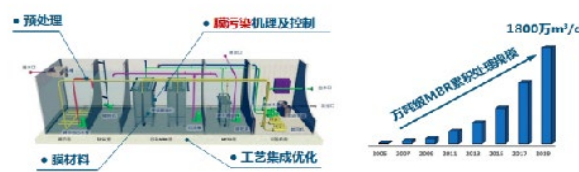
4.3.2 膜法污水处理技术的进展

（1）节能降耗

膜法污水处理技术应用规模不断扩大，同时面临突出的能耗问题。为了控制能耗，团队从膜污染机理与控制、膜材料抗污染、工艺集成优化三个方面进行了膜生物反应器技术节能降耗的研究，并取得了丰硕成果，将实际工程应用能耗降为 0.39 ~ 0.43 kWh/m³。

节能降耗

膜生物反应器技术节能降耗



膜生物反应器节能降耗的关键：膜污染机理与控制—抗污染膜材料—工艺集成优化

王雪野, 周海强, 韩学海等. 2020. 环境工程学报, 44(10): 2020. 曹海强, 王雪野, 中国环境科学出版社, 2020.

节能降耗

膜生物反应器技术节能降耗：工程应用



总磷水质优于一级A标准；TN<8 mg/L；能耗0.39~0.43 kWh/m³

（2）水资源再生利用

污水中小分子难降解有机物等有毒有害污染物是污水处理与回用领域面临的新挑战。实现有毒有害污染物高效转化与去除，保障再生水安全利用，是膜法污水处理技术亟待突破的难点问题。团队通过高性能膜材料设计，利用低压膜技术、耦合电化学氧化等技术强化微污染物降解，实现废水的近零排放。

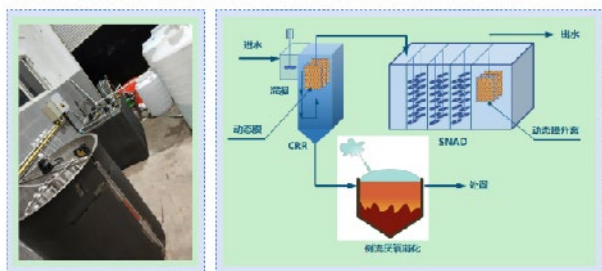


（3）资源能源回收

在实现水资源再生利用的同时，团队通过膜技术与其他技术的有机融合实现碳源捕获，并同步进行硝化、厌氧氨氧化和反硝化，达到了低耗脱氮，实现城市污水的低耗处理，即在资源回收、降低能耗的同时实现出水达标排放。此外，团队还发展了厌氧动态膜生物反应器强化污泥消化技术，实现污泥的强化处理。

资源能源回收

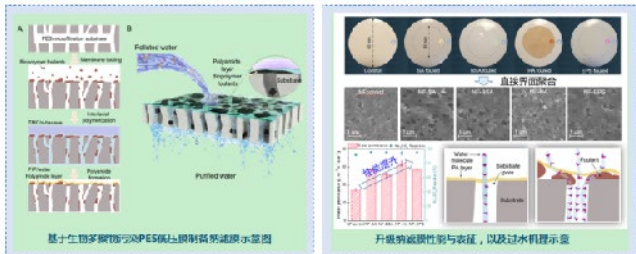
城镇污水的低耗处理：膜技术与其他技术的有机融合—碳源捕获—SNAD



（4）膜材料再生

膜材料再生

膜材料的循环利用：升级再生-PES低压膜作为基底的升级再生



Chen, Chen et al. 2021. 23-1213-021.

针对膜材料的循环利用，团队发展了基于生物多聚物污染 PES 低压膜制备纳滤膜的方法，实现了将低压膜向高压膜的升级再生以及使用寿命到终点的微滤膜平级再生。

4.3.3 总结与展望

全球新一轮的科技革命和产业变革，驱动了以绿色、低碳、智能和泛在为特征的群体性的重大技术变革。合成生物学、人工智能材料科学的蓬勃发展，也为污水处理技术的发展带来了新的机遇和新的探索落脚点。团队在膜法污水处理技术的可持续发展方面取得了显著的成果，实现了现有工艺的优化以及低碳的改造，并探索了该技术的实际工程应用。

4.4 污水处理全生命周期碳减排方案的思考与实践

随着全面控制污染物排放，以及“碳达峰、碳中和”纳入生态文明建设整体布局重大战略的颁布和实施，污水处理中碳减排日趋重要。在 2021（第三届）中国城市水环境与水生态发展大会“水资源综合利用与碳中和”专题论坛中，北控水务集团产品中心总经理安莹玉以“污水处理全生命周期碳减排方案的思考与实践”为题，详细介绍了在碳减排大形势下环保企业的思考和实践行动。



4.4.1 企业的研发背景

2020 年习近平总书记提出“30”和“60”的双碳目标。碳减排是一个科学共识，也达成了国际政治共识。我们国家碳排放量占全球 30%，是排放量最大的发展中国家，而且需要在短时间内实现生态文明建设总体布局的需求。北控水务目前是行业内水处理量排名全国第一、全球第三的企业，也曾经多次获得环境类大奖。在这样的背景形势下，作为一家环保企业，北控水务一直在思考应该怎么去应对挑战。



4.4.2 减碳行动方案

北控水务集团以厂内和厂外 2 个维度，通过每个维度 4 个方向来推进碳减排的工作。厂内重点集中在运行降耗、新工艺开发、建设过程减排控制以及温室气体溢出控制。厂外重点集中在管网的提质增效、尾水排放、污泥处理以及能源外供等方面。结合这 2 个维度 8 个方向，北控水务集团具体做了一些经典案例：

(1) 建立在马来西亚吉隆坡潘岱第二污水处理厂利用马来西亚热带气候，多途径实现能源循环的解决方案；

(2) 建立在山东青岛的胶南污水处理厂利用电厂协同处理污泥的负碳排放；

(3) 以北京稻香湖污水处理厂为代表的与热电厂协同负碳运行方案；

(4) 可广泛复制推广的河南洛阳瀍东污水处理厂。

4.4.3 科学行动 绝不躺平

北控水务集团从不同方面发展出：(1) 基于水厂全生命周期核算结果，提升污水厂效能并降低污水厂碳排放，实现厂端减碳；(2) 基于污水处理系统全流

程核算结果，提出收集系统和尾水排放系统减碳策略；

(3) 从产业协同和生态循环两个方面考量，加强水处理行业与其他行业间协同，为社会带来最高的减碳效益。从而促进水务行业与自然、社会系统之间的协同可持续发展。北控水务从技术到产品，从产品到服务，勇担环保责任，全方面践行低碳行动。

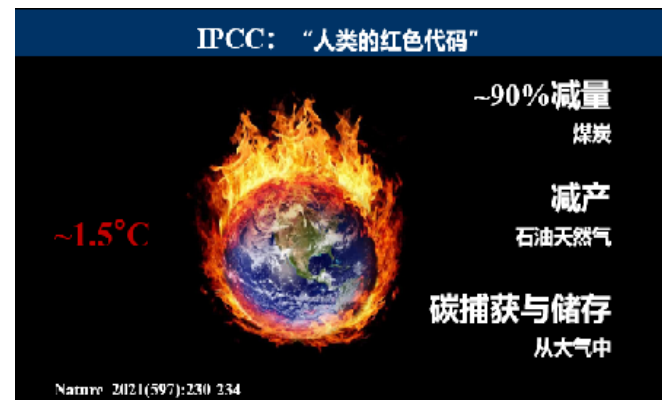
4.5. 物理法处理石化废水研究

习近平总书记在 2021 年两院院士大会上的讲话表示，石油天然气、基础原材料是我国的关键核心技术，需要全力攻坚。然而，中国碳达峰碳中和背景下的石化发展，对石化废水处理提出了新的挑战。在 2021（第三届）中国城市水环境与水生态发展大会的“水资源综合利用与碳中和”专题论坛，华东理工大学资源与环境工程学院院长汪华林教授作了题为《物理法处理石化废水研究》的报告，从“新需求、新思路、新实践”三个方面介绍了物理法石化废水处理。



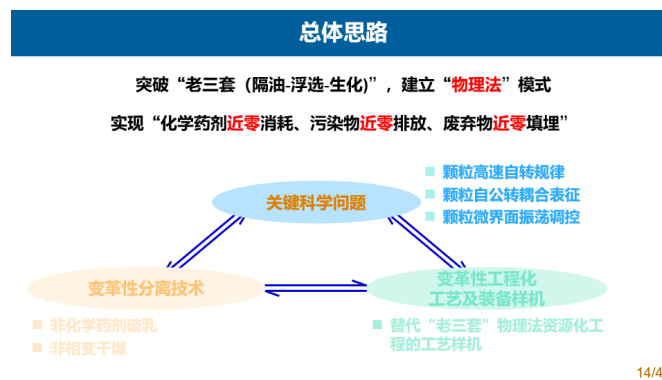
4.5.1 新需求

2021 年 4 月，全球 190 多个国家、240 多个地区、5000 多家企业加入到碳中和行动中。汪华林指出，面向 2060 碳中和目标，石化行业发展需要开发“五碳”并举、五倍级效率的原创性、变革性、颠覆性未来技术。与美国相比，中国原油品质更差、石化废水排放标准更严，美国技术不适合中国国情，我国需要另辟蹊径、走自己的路。我们需要变革石化废水常规化学与微生物处理模式，突破常规矿化模式，构建以物理法为核心的分离回收资源化模式。这种模式实践需要解决的关键科学问题为颗粒高速自转规律、颗粒自公转耦合表征和颗粒微界面振荡调控。



4.5.2 新思路

汪华林指出，新思路需要突破“老三套（隔油-浮选-生化）”，建立“物理法”模式，实现“化学药剂近零消耗、污染物近零排放、废弃物近零填埋”。实施路径为探索颗粒运动规律，构建分离新技术原理，表征自转、自-公转耦合及其诱导微通道振荡的新现象，揭示湍流运动新规律，建立湍流流动与颗粒运动的综合理论；研发变革性工艺流程，根据颗粒新运动形式，研发取消化学药剂的自转破乳、非相变干燥、替代生化的振荡分离新技术；研制新装备样机及示范工程技术方案，针对海上采油/气平台、石油炼制、煤化工废水及乙烯废液，研制了 4 种类型的分离装备样机，制订了 5 种废水废液处理方案。

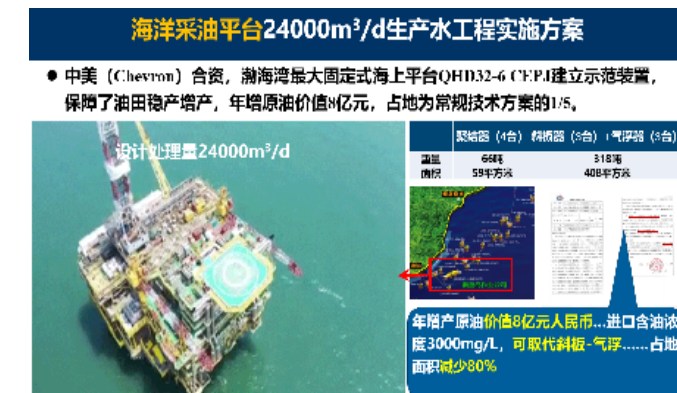


4.5.3 新实践

汪华林团队在实践方面构建了高速自转观测技术，建立了高速自转理论模型以及高速公转耦合模型，揭示颗粒微通道振荡规律，开发了微通道振荡分离技术以及结构化纤维异质结自转破乳技术。同时，开发了石油炼制废水预处理以及煤化工废水物理处理工艺。

工程案例：中美（Chevron）合资，渤海湾 QHD32-6 平台，采用物理法污染物源头控制及资源化技术、替代传统的斜板+气浮工艺，确保出水油含量 < 30 mg/L；

增设 24000 m³/d 生产水处理撬块，避免外扩甲板重新申请海域，突破空间及载荷瓶颈；构建了渤海湾最大固定式海上平台 QHD32-6 CEPJ 示范装置，保障了油田稳产增产，年增原油价值 8 亿元，占地仅为常规技术方案的 1/5。



4.6 山地河湖水环境综合整治技术研究与应用

山地城市的河湖水整治有着地形复杂、坡度大、污染转移快且换水周期长、湖库水生态系统脆弱等特点，在 2021（第三届）中国城市水环境与水生态发展大会“水资源综合利用与碳中和”专题论坛中，重庆大学环境学院何强教授进行了《山地河湖水环境治理技术体系研究与应用》报告，从龙景湖综合治理出发，阐述了山地河湖水环境综合整治面临的挑战，分享了山地河湖水环境修复的理论与方法。



4.6.1 面临的挑战

我国山地面积占国土面积的 64%，构建适宜于山地城市的河湖水环境综合整治技术，对我国 2/3 数量城市的水环境保障意义重大。山地区域坡陡起伏大，径流快排泄快，极易导致河湖水体污染。山地流域河流水力停留时间短，污染物迁移速度快，导致污染控制难，

同时山地流域湖库换水周期长，使得泥沙和营养物质沉降在山地湖泊区，易发生富营养化等问题。因此，亟需构建山地河湖环境综合整治理论与关键技术。



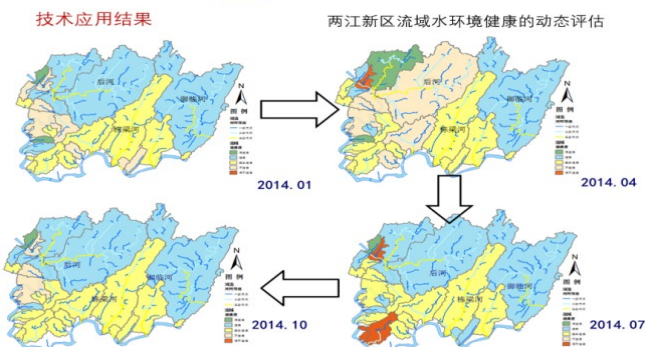
关键科学问题	水的自然循环与社会循环的耦合机制 山地河湖环境综合整治理论与方法
关键技术瓶颈	- 山地流域地形复杂——高效低耗污水处理技术 - 山地流域坡度大——大坡度污染控制技术 - 山地河流污染转移快——大数据监控模型与技术 - 山地湖库换水周期长——湖库水体循环与水质改善技术

构建适宜于山地城市的河湖环境综合整治技术，对我国2/3数量城市的水环境保障，意义重大

4.6.2 治理理论、方法与技术看新

何强认为，需从水的自然循环和社会循环耦合机制出发，凝练山地河湖环境综合整治理论与方法。根据两江新区水系统自然循环、社会循环的研究结果，结合两江新区的开发建设进度，团队完成了两江新区健康水系统构建决策支持系统，为两江新区健康水系统技术方案提供基础数据、模型运算及决策支持。何强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。通过科学的特征分析，提出了山地水环境“污染源解析—水环境容量核算—污染负荷分配—工程实施—可持续管理”全链条整治模式。通过对水环境容量和污染源的解析，将龙景湖水域划分为9个不同区域，并通过促渗减流、沉淀池、生态滤池、微型水景、侧向生物过滤等方式对点源与面源污染进行控制。利用科学的水环境问题诊断和合理的治理工程布局及管理措施，使龙景湖水质达到了IV类水的环境质量要求。

健康水系统构建、评价与决策支持系统



山地城市面源污染控制集成技术示范工程



4.6.3 推广应用及效益

从科学层面阐述了山地城市河湖污染物来源，提出了山地城市健康水系统构建方案、开发了山地城市入河污染物输入控制技术，构建了针对山地城市河湖的修复技术体系，并将研究成果应用于重庆、贵阳、昆明等山地区域的污染治理中，形成山地城市河湖治理技术体系。



重庆伏牛溪水动力改善与水环境综合整治应用示范工程

潭链系统水质净化技术示范工程

工程效果

进水				
序号	检测项目	单位	检测值	标准
1	高锰酸盐指数	mg/L	14.16	15
2	总氮(硝、磷、以N计)	mg/L	1.73	2.0
3	氨氮(NH ₃ -N)	mg/L	1.51	1.0
4	五日生化需氧量(BOD ₅)	mg/L	<0.5	0.5
5	悬浮物(SS)	mg/L	55	70
6	总磷(以P计)	mg/L	0.31	0.3
出水				
序号	检测项目	单位	检测值	标准
1	高锰酸盐指数	mg/L	4.24	15
2	总氮(硝、磷、以N计)	mg/L	1.18	2.0
3	氨氮(NH ₃ -N)	mg/L	0.34	1.0
4	五日生化需氧量(BOD ₅)	mg/L	<0.5	0.5
5	悬浮物(SS)	mg/L	16	70
6	总磷(以P计)	mg/L	0.25	0.3

4.7 再生水安全利用的关键问题与技术发展需求

水资源短缺、水环境污染和水生态破坏已经成为制约我国经济社会发展和生态文明建设的重要因素之一。污水再生利用是缓解水资源短缺和水环境污染的有效途径，是可持续发展、高质量发展的必然要求，也是实现“碳达峰、碳中和”的重要举措。在2021（第三届）中国城市水环境与水生生态发展大会的“水资源综合利用与碳中和”专题论坛中，清华大学环境学院胡洪营教授作了题为《再生水安全利用的关键问题与技术发展需求》的报告，阐述了再生水利用系统的主要特点，提出了再生水安全利用的发展需求，并对再生水未来研究方向进行的展望，详尽的分享了再生水安全利用的关键问题与技术发展需求。

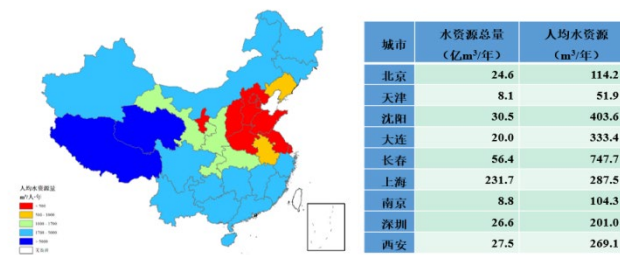


4.7.1 再生水利用系统及主要特点

从平均水平来看，我国水资源严重短缺，成为社会经济发展的刚性约束。再生水基本概念为污水经处理后，达到一定水质要求，满足某种使用功能，可以安全、有益使用的水。再生水利用效益显著，技术可行，值得大力推进。再生水系统的基本构成为污水→污水再生处理→再生水（商品）→再生水输配储存→再生水利用。再生水系统环节多，并非为传统供水工程，具有污水系统和供水系统双重特征；处理水有用户，具有“产品”特性，水源更复杂、非同一水质供水；同时具有污染治理、水资源供给（供水）、治污供水双重功能。

1.1 再生水利用需求及重要意义

我国水资源严重短缺，成为社会经济发展的刚性约束



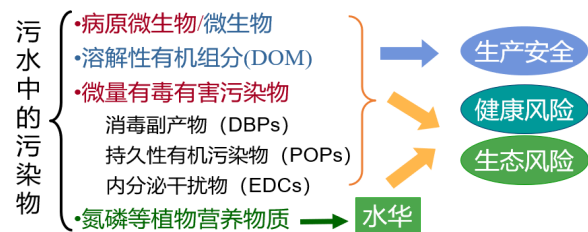
中国人均水资源分布情况（2019年）（中国水资源公报）
（新加坡210 m³/a；以色列120-300 m³/a）

4.7.2 再生水安全利用与发展需求

胡洪营指出，再生水的核心问题是保障安全。再生水利用面临的潜在风险主要包括生产安全、健康风险以及生态风险。大量研究表明，再生水作为饮用水水源，与目前的饮用水供应系统相比，不会增加新的风险。纳米比亚首都温得和克（Windhoek）自1968年就建设了Goreangab再生水厂，实现了城市污水的直接饮用回用。再生水利用需要全过程风险控制、多屏障安全保障、多方位供水监管，保证水质安全、水量安全以及事故安全。同时，需要制定再生水利用相关水质标准，严格控制微量污染物与病原微生物。

2.1 再生水利用安全与风险控制策略

再生水利用面临的潜在风险



再生水利用的核心：安全保障！

4.7.3 再生水未来研究方向的思考

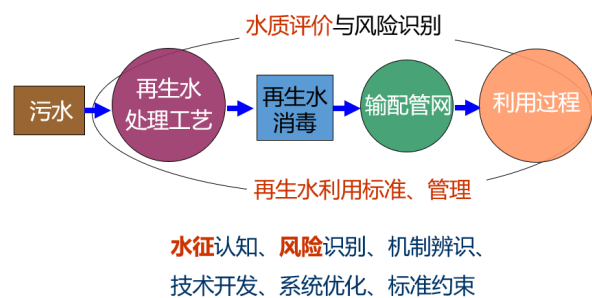
再生水利用并非传统供水工程，核心是安全保障，不是污水处理的简单深化和线性下延，也不是饮用水处理的简单复制和线性上延，需要发展《再生水工程学》理论、方法、技术体系，其研究领域包括再生水利用系统、理论、技术、标准、政策。再生水研究需要从水质测定向“水征”剖析发展，从浓度标准向效



应控制、技术标准发展，从单元突破向系统协同增效发展，从水质净化向全生命周期绿色低碳发展，从污水达标排放向区域循环利用发展。

3.1 发展再生水工程理论与技术体系

研究领域——再生水利用系统、理论、技术、标准、政策

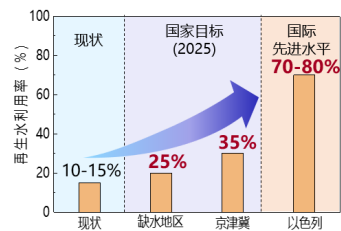


4.7.4 总结与展望

胡洪营认为，再生水利用潜力巨大，大有可为，我国再生水利用现状，发现目标和发展潜力有待进一步挖掘，发展空间巨大，要确立新目标，发展新系统和新模式，开发新技术与新市场。

结束语

再生水利用潜力巨大、大有可为！



我国再生水利用现状、发展目标与潜力

新目标→新系统/新模式→新技术→新市场

5. 专题论坛二 双碳时代的绿色基础设施

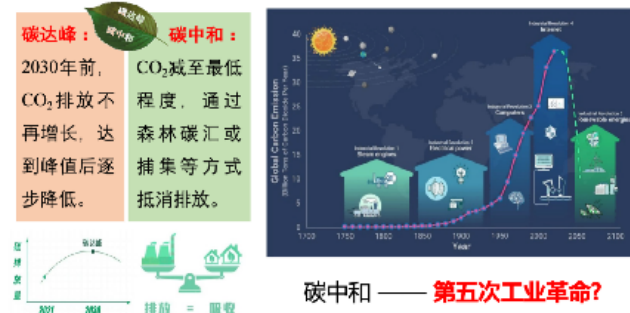
5.1 双碳目标下污水厌氧生物处理的机遇与技术革新



西安建筑科技大学陈荣教授在 2021（第三届）中国城市水环境与水生态发展大会“双碳时代的绿色基础设施”专题论坛上作了题为《双碳目标下污水厌氧生物处理的机遇与技术革新》的主旨报告。

厌氧生物处理作为一种古老的生物处理技术，因其较长的微生物倍增周期和相对较低的处理效率，主要应用于高浓度有机废水处理过程。“双碳”目标提出后，厌氧处理又以其独有的优势吸引了越来越多研究人员的关注。据统计，污水处理行业对全球 GHG 的贡献率占 2~5%，位居碳排放行业前 10 名，是不可忽视的重要减排领域。在此，陈荣教授结合“双碳”目标下污水处理的减碳需求，详细阐述了双碳目标下污水厌氧生物处理的机遇与技术革新等相关问题。

背景——“双碳”目标



5.1.1 机遇与挑战

陈荣指出，相对于好氧生物处理技术，厌氧生物处理具有剩余污泥少、能耗低以及营养需求小等相对优势。近年来，全球厌氧反应器的安装数量迅速增加。厌氧生物处理技术有着悠久的历史，现阶段，污水的厌氧生物处理所面临的挑战可归纳为以下几个方面：

(1) 不完全处理的厌氧过程需要联合后续处理以满足排放或回用标准。

(2) 厌氧过程产生的 CH_4 大部分溶于水中排出，目前未有措施阻止 CH_4 进入大气。

(3) 目前在低温条件下的工程应用经验较少。

(4) 还原性气体诸如 H_2S 气体溶于出水，逸散时导致异味问题。

(5) 高水力负荷下（短 HRT）污泥流失易引起厌氧功能菌群失衡。

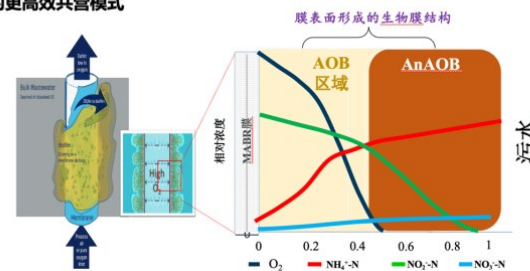
(6) 低 C/N、C/P 比厌氧消化出水后续低碳源条件的氮磷高效处理与回收。

5.1.2 双碳战略下污水厌氧生物处理的技术革新

革新主要包括厌氧氨氧化（Anammox）技术、n-DAMO 技术及厌氧膜生物反应器三大部分。陈荣提出了 Anammox 研究的新思路，即利用 MABR 进一步降低 PN 曝气能耗，形成 AOB-AnAOB 的高效共赢模式。同时，展示了团队开展的西安市草滩污水处理厂大型中试 AnMBR 污水处理系统（40 m^3/d ），并对其能耗与能量收支状况进行了系统评估。

二、双碳目标下污水厌氧生物处理的技术革新

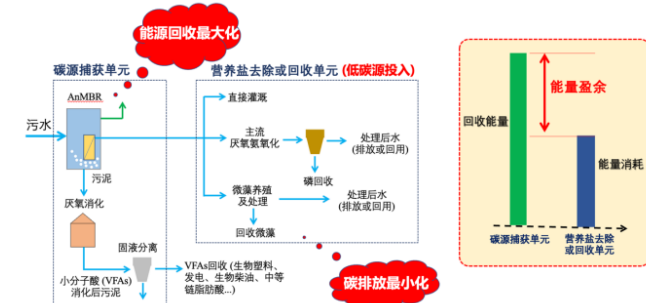
Anammox 研究的新思路：利用 MABR 进一步降低 PN 曝气能耗，形成 AOB-AnAOB 的更高效共赢模式



二、双碳目标下污水厌氧生物处理的技术革新



三、污水厌氧生物处理的工艺构思

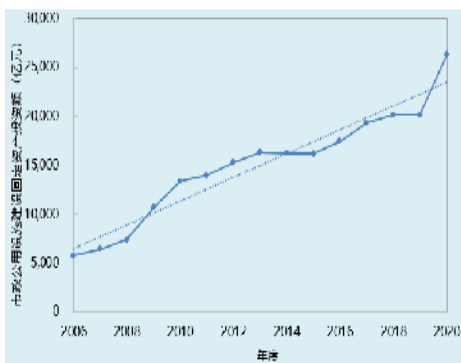


5.1.3 总结

最后，陈荣教授针对当前厌氧生物处理技术存在的不足，基于“能源回收最大化-碳排放最小化”的目标，给出了污水厌氧生物处理的工艺构思。该工艺构思将能源-资源全量回收技术体系与更新颖、更合理的全生命周期评价新方法有机结合，具有推动厌氧生物处理技术革新与应用的巨大潜力。

5.2 “双碳”目标下“十四五”城市基础设施建设领域发展路径与主要任务

在安全、资源、能源、环境、生态等多种需求的推动下，如何更好的建设我国现代化基础设施体系，满足新时代下人民对美好生活的向往，已逐渐成为备受关注的时代课题。在 2021（第三届）中国城市水环境与水生态发展大会“双碳时代的绿色基础设施”专题论坛上，中国城市规划设计研究院教授级高级规划师姜立晖作了题为《“双碳”目标下“十四五”城市基础设施建设领域发展路径与主要任务》的报告。姜立晖介绍了“十三五”期间我国基础设施建设取得的成就和存在的问题，剖析了“十四五”期间我国城市基础设施建设尤



“十一五”以来城市市政基础设施年度投资额

基础公共服务基本普及
安全保障能力有效提升
城市人居环境显著改善
城市生活品质不断提升

其是城市水系统领域的发展方向与重点任务，提出了当前我国系统推进水环境与城市内涝治理等重点工作的
发展目标与要求，为建设现代化基础设施体系指明方向。

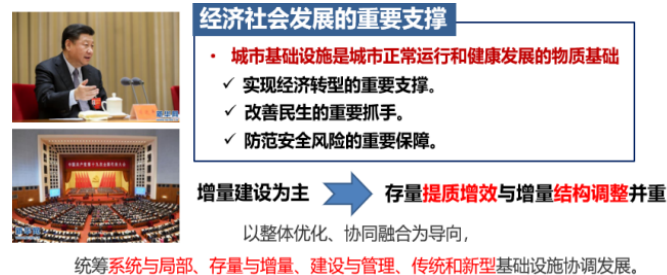


5.2.1 成就与问题

姜立晖指出，“十三五”期间，我国城市基础设施服务能力显著增强，有力支撑城市经济健康有序发展，其中基础公共服务基本普及，安全保障能力有效提升，城市人居环境显著改善，城市生活品质不断提升。随着设施总量快速增长，服务基本普及，综合承载能力逐渐增强。通过“十三五”期间水环境的治理，承担城市污水处理的基础设施数量大幅增加，地级以上城市建园区的黑臭水基本消除，污水处理率显著提高。然而，现今依然存在着系统性的不足，具体表现为对上述基础设施的管理大多呈现碎片化的状态，部分城市供需不平衡，生态环境类和支撑保障类基础设施存在突出短板，基础设施综合效能偏低且抗风险能力弱等问题。

5.2.2 “十四五”趋势与方向

城市基础设施建设需要由过去增量建设为主转向存量提质增效与增量结构调整并重的新模式。在这个过程中需要坚持系统观念；充分体现高质量发展要求，全面提高资源利用效率；加快推动绿色低碳发展；全面提升安全韧性保障能力；统筹推进传统基础设施和新型基础设施建设，加快提升智慧化水平。发展方向主要是均衡发展，开放共享，大力补足设施短板弱项；建管统筹，管线优先，推进城市线性空间一体化，整体安排地上、地下基础设施；提标提质，灰绿融合，普查现状，排查风险，加强城市生态基础设施体系建设；升级转型、智慧高效，构建智慧水务、智慧管网、智慧环卫、智慧能源等系统。



5.2.3 基础设施领域主要建设任务

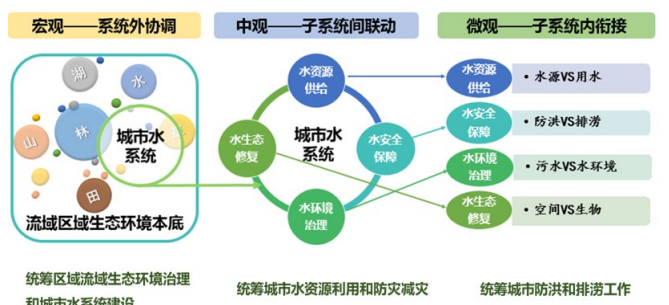
“十四五”期间，我国基础设施领域的重点建设任务，是在以人为本的前提下，推进城市基础设施体系化建设，增强城市安全韧性水平；推动基础设施共建共享，促进形成区域与城乡协调发展新格局；完善城市生态基础设施体系，推动城市绿色低碳发展；加快新型基础设施建设，推进城市智慧化转型发展。力求健全城市有机生命体，让城市更健康、更安全、更宜居。



5.2.4 城市水系统领域重点任务与行动

姜立晖最后指出，实现城市水循环系统的健康可持续发展，归纳起来的三大策略就是：补设施、补空间、系统化。统筹水源涵养、推进非常规水资源利用和城市节水，构建安全可靠的城市多水源配置格局，提高水资源供给能力和服务水平。构建安全韧性的城市排水防涝系统，提高城市水安全保障水平，恢复和保持城市及周边河湖水系的自然连通和流动性，推进城市水环境综合治理。在城市空间规划层面，进行蓝线、绿线划定，提出城市蓝绿空间的保护修复、建设目标和具体的空间管控要求。从宏观、中观、微观三个不同层面，通过三统筹，推进城市水系统体系化建设。

从宏观、中观、微观三个不同层面，以海绵城市建设为抓手，通过“三统筹”加快推进城市水系统体系化建设



5.3 碳减排视角下的污水处理厂现状、问题与思考



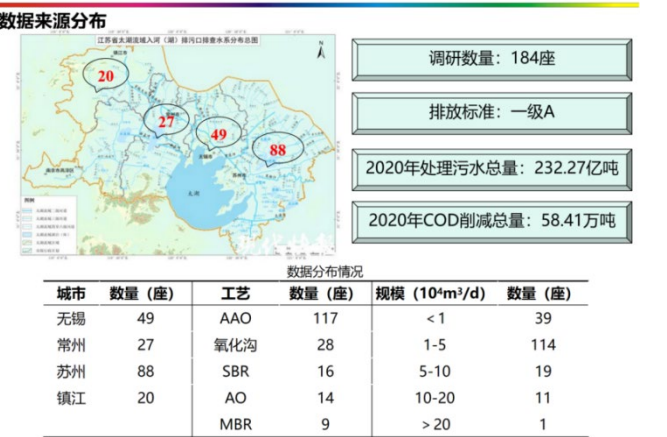
如何碳减排是当前污水处理行业的热点问题。在2021（第三届）中国城市水环境与水生态发展大会“双

碳时代的绿色基础设施”专题论坛上，江南大学李激教授作了题为《碳减排视角下的污水处理厂现状、问题与思考》的报告。首先，她指出国内外污水处理厂在碳减排方面存在两大问题。一是新技术用于碳减排尚有较大不确定性，如短程硝化反硝化中更低的溶解氧浓度是否更易导致N₂O释放；厌氧氨氧化工艺的高氨氮浓度、高碱度是否易导致N₂O的累积；厌氧膜生物反应器中存在的膜污染问题是否能够有效解决，低污泥产量是否会不利于能源回收等。二是能源回收技术多在试点，仍受投资成本等问题的约束，从全生命周期的角度难以快速减碳。故现有污水处理厂如何碳减排是当下污水处理厂的热点问题。

5.3.1 现状分析

通过对太湖流域184座污水处理厂碳排放数据的核算和分析，李激提出如下观点：生物作用导致的直接碳排放会随设计规模增加而在碳排放总量中逐渐占据主导；污染物比碳排放量与设计规模无显著相关性；污染物进水浓度越高，去除单位污染物引起的碳排放量越小；不同工艺的吨水碳排放量存在差异，且不同工艺在最佳吨水碳排放量时的运行负荷率存在差异。整体上，目前污水处理厂碳减排空间较大，但影响因素复杂，减排路径尚不清晰。

二、太湖流域污水处理厂碳排放现状



5.3.2 问题与思考

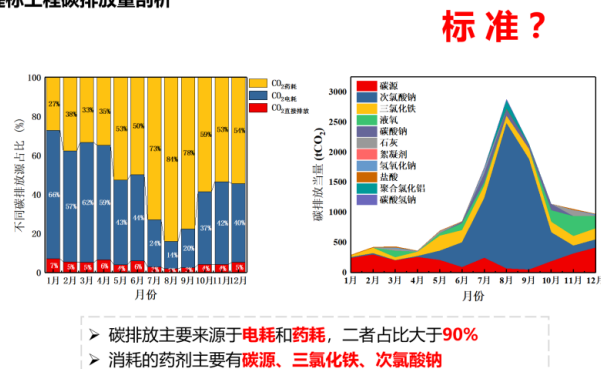
结合对两座污水处理厂运行调控过程间接碳排放和提标过程中的碳排放研究，李激认为，目前污水处理厂碳排放水平相差较大，尚存在有碳减排空间，



因此，在污水处理厂设计中，应重点开展管网系统的建设和修复，优选低碳工艺技术，合理高效设计；在污水处理厂运行过程中，可通过优化全流程的运行调控、加强负载管理以及构建智能控制系统可实现节能降耗，减少碳排放。另一方面，实际案例显示提标工程（COD:50→20 mg/L）的 COD 比碳排放量和 TN 比碳排放量分别是执行一级 A 标准（COD:310→50 mg/L）的 19.8 倍和 1.9 倍，且提标过程中能耗与药耗占比高达 90%，因此制定科学合理的出水排放标准是非常必要性。

三、污水处理厂碳排放案例解析

提标工程碳排放量剖析



最后，李激强调针对污水处理厂的碳减排要立足实际进行技术改造或创新，建立和完善碳排放因子数据库，研发污水处理系统碳排放核算系统，在准确核算碳排放量的基础是制定和实施科学合理可行的低碳解决方案和碳中和战略方案，才能在碳减排中真正取得实效，助力我国“双碳”目标的实现。

5.4 基于磷回收的污水资源化处理工艺的构建

如何将污水中的有机物以能源或产品的方式进行回收，实现污水无害化处理和资源再生利用已成为新时代城市污水处理发展的重要方向。在 2021（第三届）中国城市水环境与水生态发展大会“双碳时代的绿色基础设施”专题论坛上，苏州科技大学环境科学与工程学院院长潘杨教授作了题为《基于磷回收的污水资源化处理工艺的构建》的报告，提出了全面资源化和碳减排过程中存在的问题，介绍了强化生物膜反应

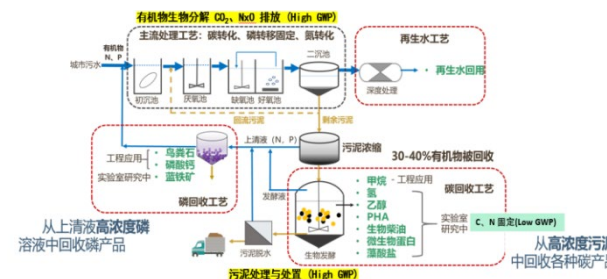
器以实现磷酸盐高倍富集的方法，及其在吸收和储存磷方面发挥的重要作用。



5.4.1 城市污水资源化

潘杨指出，当前城市污水资源化已成为最受关注、最前沿、最为活跃的研究领域。其中，全面资源化是城市污水厂的未来发展趋势。目前，城市污水厂多采用生物法或物理化学法实现污水中有机物的去除，资源回收面临着可回收物质浓度低，回收困难大的难题，浓缩富集已成为资源回收亟待解决的共性关键问题。

1



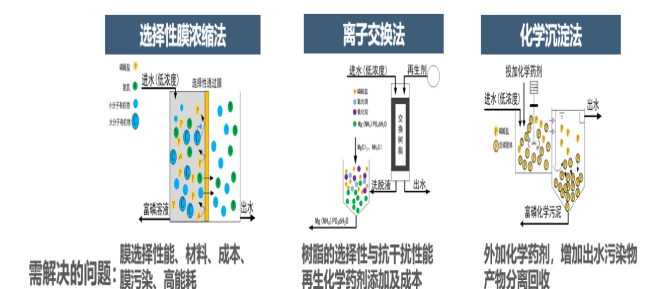
5.4.2 城市污水厂磷回收现状与关键问题

磷作为不可再生资源，城市污水厂仅能实现部分回收，且现有磷回收技术主要依赖于强化生物除磷工艺(EBPR)中富磷的污泥。相关文献报道表明，富集的磷酸盐浓度需较高才可具有回收上的经济可行性，且富集浓度越高，回收成本越低。目前，处理效果较好的有选择性膜浓缩法，离子交换法和化学沉淀法。其中生物膜法具有适用于低碳、低磷废水的处理，无需外加化学药剂，绿色环保，流程简单，与现行污水处理技术兼容性好，易推广等优点。虽然生物膜法可以高倍富集磷，但也存在运行周期长，回收效率低，碳源需求大，运行成本高等问题。且该研究处于实验室

阶段，尚未形成面向应用的工艺，因此还需进一步深入研究。

5.4.3 好氧/厌氧交替运行的生物膜反应器（BSBR）

BSBR 工艺与其他磷回收工艺的主要不同在于简



化了好氧阶段的外循环操作，并可实现对磷的多次循环回收。该工艺对磷去除率较高，出水平均浓度可保持在较低浓度，富集可实现高倍浓缩。对比显示，BSBR 工艺在磷去除率、富磷溶液的最高浓度、磷酸盐富集倍数和碳源消耗等主要技术指标上均优于文献报道水平。



此外，团队首次发现提高生物膜的蓄磷水平有助于提高回收液释放的磷浓度，获得更高浓度的富磷溶液。高蓄磷量导致的细胞内外浓度差是强化磷释放的有效手段，高溶解氧有利于获得高蓄磷量。通过监测生物膜内 PHA/PHB、糖原等聚合物的变化，观察到低碳源投加时，单位碳源消耗的吸/释磷水平显著高于传统 PAOs（碳源利用水平高）。同时，也发现温度对 BRBR 工艺的磷回收性能影响显著，低温更有利于生物膜富集更高的蓄磷量，从而能够获得高浓度的磷回收液。

综上所述，BSBR 综合系统对进水磷酸盐回收效率超过众多文献报道数值，且回收的磷可生成具有经济价值的蓝铁矿（纯度较高），具有良好的污水资源化应

用前景。

5.5 分布式下沉再生水生态系统的创新与实践

随着我国经济社会和城镇化的高速发展，传统污水处理模式暴露出诸多问题，如占用大量城市土地资源，再生水回用效率低；污水厂反复被城市包围，拆除异地重建浪费资源；集中建厂规模大，与城区距离远，漏损严重；再生水回用难、成本高。在 2021（第三届）中国城市水环境与水生态发展大会“双碳时代的绿色基础设施”专题论坛上，中国水环境集团工程技术中心常务副主任庞洪涛作了题为《分布式下沉再生水生态系统的创新与实践》的报告。他指出，分布式下沉再生水生态系统可以有效统筹土地、水资源及绿色能源，整合市政基础设施和公共服务功能，是一种可以支撑绿色低碳发展的新模式。



分布式下沉再生水系统



5.5.1 关键技术

中国水环境集团率先开展了分布式下沉再生水生



态系统的技术攻关。通过优化空间布局，强化空间利用效率，节省了土地资源，破解了用地紧张困局；开发了基于新型轻质填料和固定床的 HBR 高效生物膜技术，解决了传统固定床生物膜技术易堵塞、易板结等问题，出水 COD、氨氮等指标达准 IV 类，HRT 降低至 5-8 h，省去二沉池，节省了土地；开发了双功能性改良式生物过滤法、模块化装备及智能控制系统、通风除臭一体化设计技术，对硫化氢的去除效率达 99% 以上，平均去除负荷为行规最高值的两倍以上；利用浅层生态河道构建，重塑了南明河水生态系统；通过原地不停产下沉改扩建，搭建了科技成果转化平台。



5.5.2 推广应用

庞洪涛指出，分布式下沉再生水生态系统在国内进行推广应用并取得了良好的综合效益，显著改善了贵阳南明河、大理洱海等水域的水质，促进了分布式下沉与成都天府城市新区建设的有机融合以及周边路西河道一体化治理。

基于分布式下沉再生水生态系统厂网河一体、水地生综合、碳能质融通的优势，通过和技术模式上加强创新，未来有望将其建成城市的资源中心、绿色能源中心、数字化管理中心和公共服务产品的供给中心，



助力中国城镇水环境和水生态的绿色低碳高质量发展和我国生态文明建设。

5.6 双碳时代污水生物处理电能利用方式变革的思考

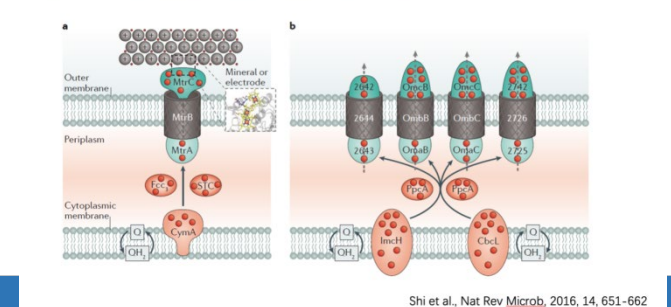
在 2020（第三届）中国城市水环境与水生态发展大会上，南开大学环境工程系主任王鑫教授作了题为《双碳时代污水生物处理电能利用方式变革的思考》的报告。基于双碳时代下污水生物处理技术中的能量效率问题至关重要，传统污水处理工艺中活性污泥技术能量效率低于 5%。能量损失体现在所有与电子受体补给相关的间接过程，比如机械磨损、热能耗散、传质损失、电子受体逸散等方面。基于双碳背景下，我们首要考虑的是降耗，与其说把能量降低不如说直接提高转化效率。因此，如何提效是我们亟待解决的问题。



5.6.1 观点提出

在双碳时代下，为实现电能高效利用与生物强化技术完美融合，王鑫教授给出了具有创新性的思考与见解。改变好氧生物处理技术中传统、低效的间接电子传递方式，将电子直接作用于微生物本身以实现高效的电子传递和能量利用，从而符合双碳新时代下污水生物处理技术的发展需求。

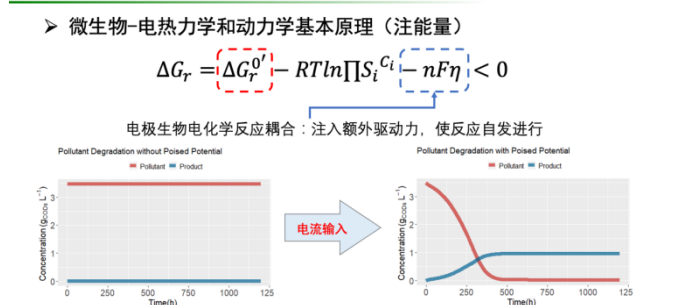
电活性微生物的特殊导电途径



5.6.2 能量转移机理解析

将电子直接作用于微生物本身以实现高效的电子传递和能量利用的关键在于电活性生物膜的形成。电活性微生物存在特殊的导电途径为电能直接驱动生物电子传递提供了先决条件。基于电活性微生物的导电特性，并结合微生物-电热力学和动力学的基本原理，对电能流入微生物反应的能量转移机理进行了深度解析，提出了生物膜电导率和生物质密度是实现高效电子传递和能量利用的两大核心问题，验证了电子直接作用于微生物本身这一创造性思考所具有的可行性。

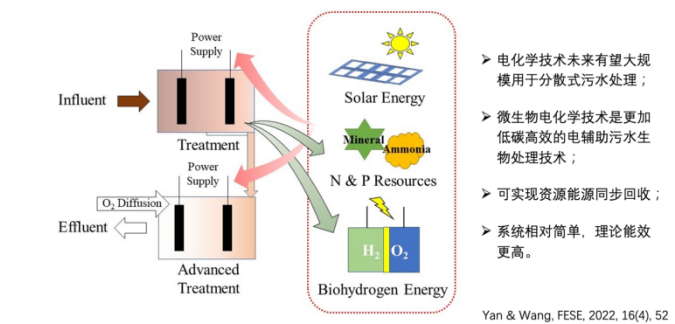
电能流入微生物反应的能量转移机理解析



5.6.3 阐述与分析

王鑫教授深度解析了生物膜的结构和功能，通过对特殊生物膜结构的深度认知，明确识别了生物膜的能量损失来源，为实现高效的电子传递和能量利用打下了坚实的基础。另外，他还强调了纳米材料强化微生物输电技术在提高微生物-电极和微生物间的界面电子传递的重要作用，为微生物输电效率的提高提供了更多的可能。

未来应用场景



5.6.4 评价与展望

电化学技术作为一项潜力巨大的污水处理手段，未来有望大规模应用于分散式污水处理。微生物电化学技术是更加低碳高效的电辅助污水生物处理技术，可实现资源与能源同步回收，系统操作简单以及理论能效高的特点。双碳时代背景下，微生物电化学技术等电辅助污水生物处理技术的涌现，为实现能量高效利用和能源全量回收提供了无限的可能。

5.7 绿色市政基础设施发展理念与路径探讨



市政基础设施是城市的生命线，绿色市政基础设施是民生福祉的重要保障。在 2021（第三届）中国城市水环境与水生态发展大会“双碳时代的绿色基础设施”专题论坛上，中国市政工程华北设计研究总院有限公司总工程师郑兴灿作了题为《绿色市政基础设施发展理念与路径探讨》的报告。

5.7.1 绿色市政基础设施发展的整体理念

在总结国际先进经验的基础上，提出了绿色市政基础设施发展理念的整体定位：安全、高效、生态、低碳、智慧，具体包括功能提升，弹性韧性，联动响应；资源循环，空间集约，设施共享；节能降耗，能源迭代，增进碳储；生境营造，和谐共生，景观自然；业务覆盖，智能网络，便捷服务。绿色市政基础设施的发展理念是“蓝-绿-灰融合”，即以智慧为联络、空间为脉络、景观为纽带，通过绿色基础设施（海绵）、景观基础设施（绿地、水体）、市政基础设施（灰色）、智能数字孪生系统的有效融合，实现低碳高质量发展。

42



联网+大数据”达到项目现场实时监控及监管中心实时响应，最终实现模块装配式污水处理厂的高效运营。

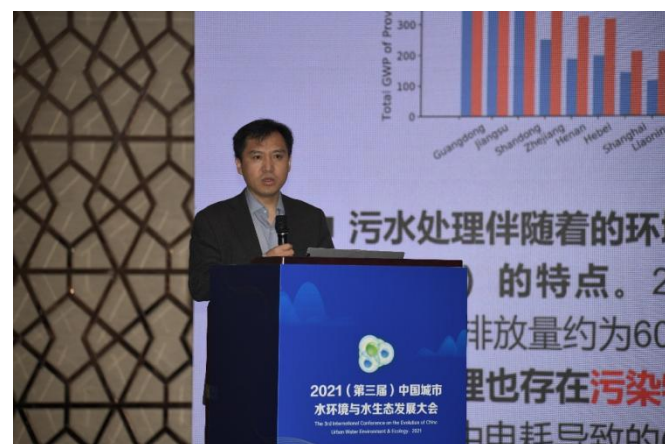
在未来，鹏凯环境自主研发的模块装配式污水处理集成系统（鹏凯圆、鹏凯塔和鹏凯云等）在拓宽节能环保产业的创新发展方式上大有可为。



6. 专题论坛三 智慧水环境与碳中和

6.1 关于未来城市水系统的几点思考

城市水系统是人类文明进步的重要产物之一，它连接了自然和人类社会，促进了人与水的交互。人类利用水以及治理污水的过程是一个熵减过程，需要消耗能量。早期的污水治理重点关注怎样提高污染物的去除效率，缺乏对能耗以及污染物在其它介质和区域之间转移的考虑。在“双碳”背景下，未来的城市水系统



应该是什么样子？怎么来解决当前面临的这些问题？清华大学的刘书明教授从八个维度对未来城市水系统提出了思考。



关于结构：城市用水量超过本地的水资源量不应该是一个常态，未来的城市系统应该是更多的转向本地的水资源，特别是本地污水资源的开发利用，通过循环结构实现水城共融。

关于要素：只考虑技术的可行性是不够的，空间

将成为城市水系统规划/重构的敏感性要素。

关于边界：需要重新思考污水厂的出水标准是不是越高越好。既要站在去除污染的角度，也要站在能耗的角度。

关于性能：未来的城市水系统要兼顾可知的现状与不可知的未来。在以后的供水系统的设计里，需要增加对城市水系统冲击韧性的思考。

关于认知：通过加大在线监测力度等高密度的感知方法可以弥补对于供水系统和排水系统的认知缺陷，这与智慧水务连接得非常紧密。

关于技术：绿色低碳将成为城市水系统技术的新要求。这里涉及药耗、能耗以及排放边界问题，需要将这些元素融合在一起思考。

关于管控：城市水系统的管控要从“治水”向“智水”的转变。虽然我国一些地方已经实现了“厂—网—二供”全流程水质监测、“网—调蓄池—厂”的一体化实时控制，但这些模型的精度还比较低，需要深度学习及提升数据挖掘技术。

关于内涵：应该赋予城市水系统更加多元的社会价值。例如，通过检测污水中的新冠病毒反推当地是否有新增病例，通过判断用水量大小发现一些社会的治安的事件等。

习近平总书记在 2021 年 8 月 30 日主持召开的中央全面深化改革委员会第二十一次会议上为我们未来的城市水系统指明了发展方向，即强化多污染物协同控制和区域协同治理，统筹水资源、水环境、水生态治理。更加注重综合治理、系统治理、源头治理。

在新视角下审视城市水系统

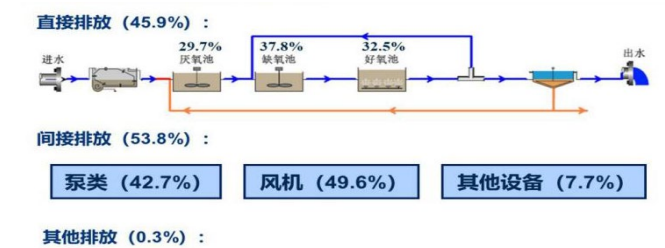


6.2 污水处理厂的碳减排与智能化运行技术



实现碳达峰、碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革，将给社会带来观念重塑、价值重估、产业重构等根本性变化。污水处理行业积极响应，将碳减排作为本行业发展的下一个重要任务。针对如何实现污水处理厂碳减排这一目标，清华大学施汉昌教授在《污水处理厂的碳减排与智能化运行技术》报告中给出了答案。

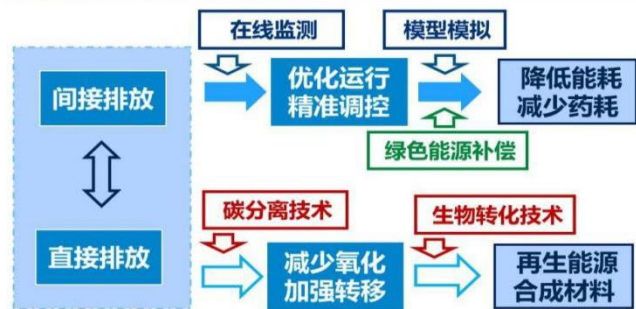
6.2.1 污水处理厂碳减排的途径及技术



污水处理行业的碳排放来自间接和直接两个方面：间接碳排放是指因消耗的电和药剂而计算出的碳排放，直接碳排放则是指通过生物化学作用直接向大气排放温室气体，如 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 等。通过在线精准监测、水泵优化编组运行、精确曝气、智能加药（碳源、除磷剂、污泥脱水剂）可以减少电力和药剂的消耗，有效降低间接碳排放。此外，联合绿色能源技术，如太阳能发电、水源热泵技术等，还可以为污水厂自身供电，进一步节省电力消耗。直接碳排放方面，可以采用非溶解碳分离技术截留非溶解碳，降低碳氧化导致的温室气体排放。分离的非溶解碳有两个出路，一是采用沼气生产技术，生产沼气作为再生能源；二是采用 PHA 合成技术，生产具有经济效益的可降解塑料。通过以上技术，不仅能有效控制间接和直接碳排放、

提高能源的自给率，还能进一步推进资源回收与综合利用等新技术的发展。

污水处理厂的碳减排原理



6.2.2 碳减排与智能化运行技术

与此同时，碳减排也向污水处理行业提出了更高的运行要求，这需要更加精细化管理和控制技术。构建污水处理厂智能化运行的综合技术支持系统，可以支持污水厂的精细化运行。污水处理厂智能化的实现基于两大类模型控制，即白箱模型和黑箱模型。白箱模型包括流量模型、经验模型、复合模型、线性模型、机理模型等，可用于泵站编组运行、精确曝气加药、反硝化碳源投加。黑箱模型是经验模型或者人工智能模型，可用于指导一些缺乏规律的问题上，比如说工业污水冲击预警、降雨突发事故等。

构建智能化运行的综合技术支持系统



6.2.3 结论与展望

未来，碳减排与资源的回收利用将突破以往污水处理低效率、求稳定的模式，建立精细化运行管理模式，降低系统的冗余处理能力，实现高效与资源化。同时，随着信息化技术在污水处理领域的发展，智能化运行管理技术逐渐成为污水处理厂精准监测、资源化工艺运行和精细化管理的重要支撑。

6.3 厂网河湖一体化管控——苏伊士的探索和实践

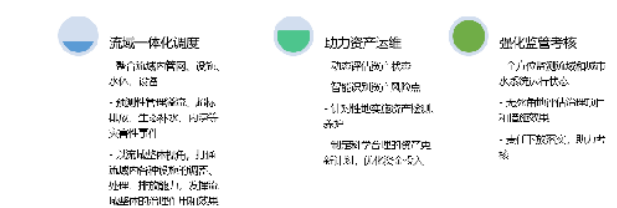
近年来，城市排水系统面临着一系列挑战，包括城市内涝、管网塌陷、水体返黑返臭、管网破损带来的入流渗入等问题。这些问题和人民生命财产安全、水环境以及城市水生态息息相关，一直广受业界关注。针对这一问题，苏伊士亚洲智慧与环境解决方案流域治理数字化工程师迟彤女士在本届大会上作了《厂网河湖一体化管控——苏伊士的探索和实践》的报告，介绍了智慧水务如何为城市排水设施赋能以及苏伊士智慧排水解决方案，并分享了该技术的一些工程应用实例。



6.3.1 智慧水务为城市排水设施赋能

智慧水务为城市排水设施赋能

通过智慧水务提升水务管理水平，**工程措施与高效应用结合**，整合各项治理措施，彻底发挥其作用。

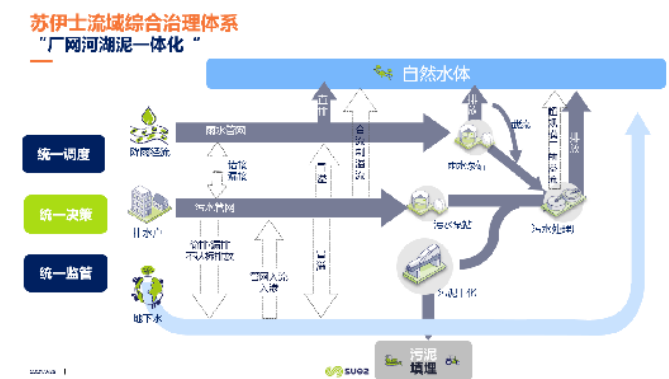


通过智慧水务提升水务管理水平，将工程措施与高效应用结合，整合各项治理措施，彻底发挥起作用。迟彤从流域一体化调度、助力资产运维以及强化监管心价值是通过科学化的管理手段、决策辅助，帮助实现传统管理模式很难达到的水务精细化管理，从而

实现低碳节能。针对管网做提质增效的改善，可以提升污水厂净水负荷，能够实现厂内节能低碳的目标；通过提升资产寿命，即投资优化，也能同时实现节能低碳。

6.3.2 苏伊士智慧排水解决方案

(1) 流域综合治理体系视角下的全产业链。首先针对城市排水，可以从规划阶段做出总体的规划设计，然后针对降低洪涝风险，合理管理排水系统，包括优化基础设施更新进行资产管理、设计和精准控制调蓄池、优化污水处理厂内的控制方案、优化排口的设计以及污水回用等，合理设计一套针对排水的全产业链解决方案。这种方案应用于欧洲很多城市和我国的武汉、重庆等城市。

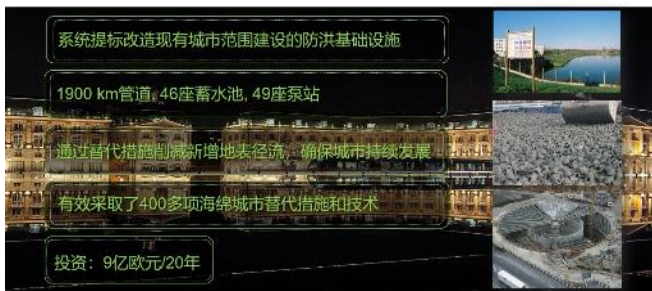


(2) 厂网河湖泥一体化。指从排水户开始，包括污水管网、污水泵站、雨水管网、雨水泵站、自然水体以及地下水等整个过程中的所有水利要素全部考虑，进行统一调度、统一决策和统一监管。三大核心功能是指监测、预测和动态管理，主要包括通过物联感知系统监测管网、水体的水力和水质状况；通过雷达监测、气象预报等数据，预测预警流域的洪涝和水污染风险；通过精细化调度，降低城市洪涝风险，减少管网溢流污染，保护自然水体环境；通过平台专门的算法和模型，提供流域调度管控策略，提升基础设施运行及投资效率，优化后期运维计划安排。

6.3.3 典型案例

(1) 波尔多智慧雨虹管理系统。

城市防洪管理行动-波尔多的基础设施投资



波尔多位于吉隆河的两岸，25-30%的面积都是位于吉隆河水位线以下，并且还有 20%的河流管网位于老城区，管网改造难度较高。波尔多在 1982 年连续发生了两次 10 年一遇的洪水，变成了一片水城，因此防洪成为了波尔多政府的首要任务。1992 年苏伊士参与到波尔多排水管网的运营管理中，采用智慧雨虹管理的解决方案，提升防洪基础设施，更新 1900 公里的管道，引入海绵城市的技术；采用智慧化手段，提升管理水平；采用雨虹系统，输入天气数据，以及管网的监测数据，通过水质模型模拟，并结合优化的算法，得到相应的动态管理措施。通过这套管理方案，成功管理波尔多 15-20 次的暴雨事件，没有城市内涝事件发生，同时也实现了雨水处理的最大化。

(2) 阿利坎特智慧管网

在投资预算有限的情况下，通过更加科学的方式设定投资计划，减少应急性作业，采用有效的预防性作业等方案，西班牙阿利坎特在使用智慧管网 8 年之后，投资降低了 15%，资产的平均寿命提升了 14%，减少了 2.5%的塌陷事故，大幅提升了管网的服务水平。

智慧管网案例





6.4 多粒度认知计算与智慧水环境应用

针对国家提出的碳达峰及碳中和理念，本届会议进行了水环境碳中和方面的探索讨论，邀请了重庆市计算智能重点实验室主任王国胤教授，进行“多粒度认知计算与智慧水环境应用”报告。

6.4.1 背景介绍

(1) 人脑认知与智能计算之间关系

人类具有认知能力，可以对简单的数据进行处理。随着科技的发展，我们可以用电脑建模的方式帮助人们进行数据分析处理，其目的就是用电脑代替人脑，达到人脑处理数据的效果，但目前此类技术还无法完全满足人们的需求。

(2) 深度学习的识别计算机理不等于人类大脑的识别认知计算



现在人工智能多应用于人脸识别等图像处理领域，其深度学习的速度与精度一定比人眼强，但是这不代表人工智能的深度学习能力已经实现了人眼级别的图像识别。

6.4.2 广义认知计算的定义及研究方向

(1) 传统的狭义认知计算的定义

传统的狭义认知计算指的是认知计算的目的是在人类思维能力的启发下，建立一个一致的、统一的、通用的模仿人类大脑功能的计算机制。认知计算是受人类思维启发的计算，是对人类大脑/思维的感知、推理和刺激反应等认知过程进行更加精准的建模。

(2) 广义认知计算的定义

广义认知计算即脑认知计算是认知科学与计算科

学的交叉科学，其包含以下三个方面研究内容：探讨如何在人类思维能力启发下发展智能计算机制；探讨如何借助智能计算机制促进对人脑认知的研究；融合人脑认知模型与智能计算机制，发展符合人类认知规律的智能化计算模型与系统。

广义认知计算的研究方向主要包括以下几个方面：

① 无需脑认知的智能计算

智力取决于感知和行为，智能行为可以通过现实世界与周围环境的互动体现，人工智能的控制论研究提出了“感知-行动”模型，说明智力可能不需要知识和知识推理。

② 脑认知启发的智能计算

人工智能通常以认知启发计算，就是向人类学习如何处理问题，并以此模式设计智能系统实现智能计算。

③ 智能计算辅助的脑认知

利用智能计算机制辅助，对如何发展符合人类认知规律的智能化计算模型和系统进行研究，反过来帮助传统认知认识大脑。

④ 脑认知与智能计算融合

建立满足水环境的智能计算模型，将科学家的认知植入系统，使得到的结果与认知一致。

6.4.3 多粒度认知计算

融合人类认知原理与计算机信息处理空间变换过程的多粒度认知计算，是挑战，也是必然的发展方向。其主要包括多粒度思维和多粒度计算模型方法两个方面。当前数据驱动的粒认知计算模型已经在多个方面进行了应用，如：基于大数据的三峡工程综合监测系统的智能预测预警、湖泊富营养化评价分析等。

6.4.4 未来值得关注的认知计算研究方向

主要有两个，一是基于智能计算的人脑认知仿真辅助模型与方法研究，将其作为智能探索的辅助；另一是人脑认知与智能计算的融合理论模型与方法研究，作为智能融合的实现。

6.5 智慧水务标准化体系构建及思考

在智慧性领域，标准化体系可以助推创新发展，引领时代进步，护航专业技术水平提升，促进可持续发展，提升全球环境治理能力。本届会议邀请了南京大学环境学院耿金菊教授，探讨了智慧水务标准化体系建设需求、智慧水务标准化体系构建、南京大学标准化工作进展三个方面。



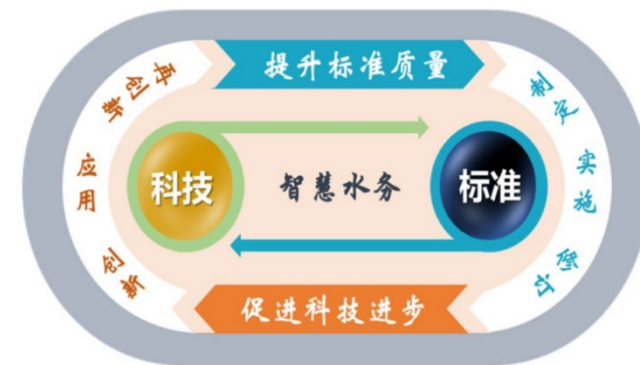
6.5.1 智慧水务标准化体系建设需求

在持续推进智能化战略的背景下，国家相继出台了一系列与智慧水务相关的政策与标准，

加强智慧水务标准化建设，为实现水务系统节能减排及精细化、智能化管理提供支撑。



智慧水务标准体系建设支撑水务综合管理水平的提升，深化水务行业的监督管理，助力运营、管理、服务模式的创新升级。国家明确指出要发展智慧管网，构建保障供水安全的智能处理系统，对污染事故等增加机动监测、巡监测手段，深化水资源智能管理应用试点，实现智慧水务对科技与标准的双重促进。



智慧水务市场发展迅速急需标准助力产业升级，推动产业技术创新与资源整合，支撑产业稳健发展，助力智慧水务管理从“无序化”走向“规范化”。

6.5.2 智慧水务标准化体系构建

智慧水务标准化体系的构建主要包括：建设标准化平台、梳理标准现状、构建标准体系以及研制系列标准四个方面。在标准化平台建设方面，主要通过分析现有的国内外标准化平台，搭建标准研制平台。在梳理标准现状方面，主要通过全面搜集相关领域标准，进行现状、趋势、重点发展方向的分析。在标准体系构建方面，以系统性、先进性、适用性、科学性为原则，构建标准体系。在系列标准研制方面，主要是研制基础、通用和关键标准。通过上述努力，实现明晰智慧水务的发展目标，推进智慧水务标准化健康有序发展。此外，目前正在筹建智慧水务国内分技术委员会，探索打通国内-国际同质标准的“双通道”。

6.5.3 南京大学标准化工作进展

目前，南京大学及南京大学宜兴环保研究院已建成标准化平台 5 个，其中包括：国际标准化平台 2 个、国家标准化平台 1 个、省级标准化平台 1 个、团体标准化平台 1 个。由南京大学作为秘书处单位，南京大学宜兴环保研究院作为技术对口单位的国际标准化组织——水回用技术委员会工业水回用分委员会主导研制水生态环境领域标准 72 项，其中已发布 42 项，在研 30 项，应用于美国、新加坡、越南、澳大利亚、马来西亚、土耳其等 41 个国家以及我国 21 省的 287 项水污染治理工程。发布的各类标准中，最具代表性的“脱



氮生物滤池技术标准”从 2016 年的团体标准，2019 年上升至国家标准，同年 12 月上升至国际标准，获批工信部团体标准应用示范项目，并获得日内瓦国际发明金奖。

目前，主要致力于建设以“标准化”为核心的完善平台链，将标准研制、验证评估、推广应用、人才培养、国际合作融为一体，以提升我国水环境技术与装备标准创新能力、产业竞争力和国际影响力。

6.6 百度 AI 助力水务行业数字化与智能化发展

百度作为一家高科技互联网公司，从 2000 年就开始搭建了各类先进互联网平台，包括云计算平台、大数据平台以及人工智能平台。百度拥有世界排名第二的深度学习框架，也是我国自主可控、自主研发的人工智能框架。基于上述基础，百度可以提供一套非常先进的技术平台支持大型市政水务，为众多大型水务集团正在进行的数字化转型提供条件。本届会议邀请了百度智能云战略行业解决方案总监吴学义，探讨人工智能助力水务行业数字化与智能化发展方面的内容，并对典型的水务智能化案例和方案进行分析。



6.6.1 数字水务发展历程

水务行业近些年正不断进行水务数字化转型，其大体上可分为以下三个阶段：第一个阶段是自动化，这个阶段以自动化控制为核心，着眼于工艺优化以及生产效率的提升；第二个阶段是信息化，这个阶段以企业信息化为核心，更多地企业资源管理、移动应用、算法应用方面进行突破；第三个阶段是智能化，

这个阶段主要着眼于 AI、大数据、云计算、物联网、5G、区块链等技术的综合应用。

6.6.2 《人工智能赋能数字水务》白皮书

百度携手国际水协发布《人工智能赋能数字水务》白皮书，助力水务智能升级。该白皮书的主要内容包括以下几点：（1）水务发展新挑战；（2）人工智能赋能水务数字化；（3）基于人工智能的数字水务解决方案、建设路径及实施方法。

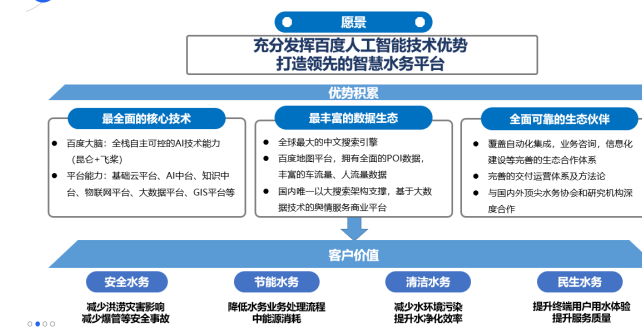
百度携手国际水协发布《人工智能赋能数字水务》白皮书，助力水务智能升级



6.6.3 百度智慧水务价值主张

百度智慧水务的价值主张是依托自身 ABC+X 核心技术，以及特有的丰富数据生态优势，打造全球领先的智慧水务平台；同时联合可靠的生态伙伴，助力水务企业实现智能化转型，实现安全水务、节能水务、清洁水务、民生水务的运营目标。

百度智慧水务价值主张

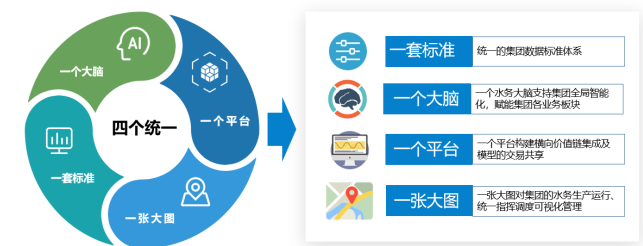


6.6.4 水务顶层设计

百度集团经常同水务行业内的合作伙伴交流，讨论如何规划扩大智能水务规模。现阶段百度经过对水务行业进行研究，归纳总结出一套方法论，即水务的

顶层设计，建设“四个一”。

水务顶层设计：建设“四个一”



其具体内涵如下：

一套标准：建立一套统一的集团数据标准体系，把现有的数据统一管理，同时为以后的数据接入打好基础。

一个大脑：将集团各业务板块数据进行统一融合整理后，让数据发挥业务价值，并充分发挥人工智能的优势，把海量的数据进行标注、建模、知识转化等，进而如同大脑般指导集团业务。

一个平台：通过不断的业务应用使系统愈发成熟，赋能整个集团内部，还可以向产业链的上、下游赋能，同时构建横向价值链集成，最终打造水务互联网生态平台。

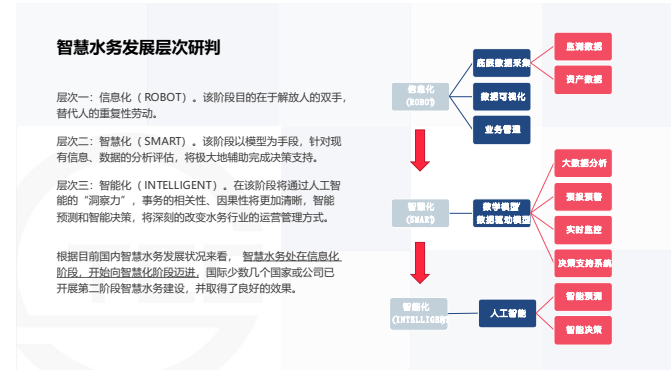
一张大图：将水务集团的基础设施、运行流程等进行可视化展示，实现对水务集团的生产运行、统一指挥调度进行可视化管理，建设水务集团的智能驾驶舱。



6.7 大智慧 水融合——诠释城市智慧管理

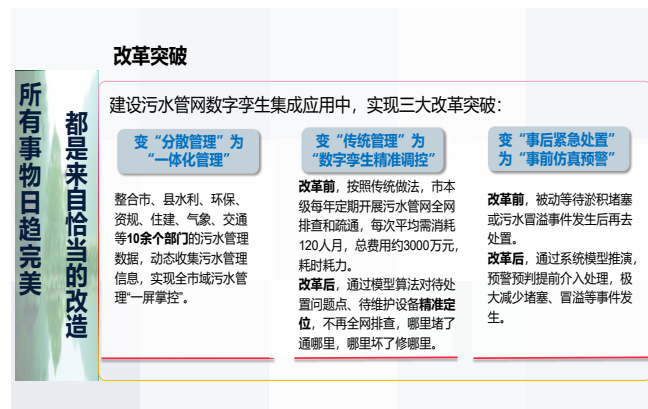
“智慧水务”是我国大力倡导打造的“智慧城市”的重要组成部分，也是“新基建”的重要赋能对象，数字化、智能化的改造，将全面提升水务管理的效率和效能。上海市城市建设设计研究总院（集团）有限公司副总工程师黄瑾指出，根据目前国内智慧水务发展状况，智慧水务处在信息化阶段，开始向智慧化阶段迈进。同时，她还以嘉兴市污水管网智慧平台项目为例，分享了如何

通过智慧水务赋能传统水务行业。



传统水务行业存在多头管理、传统管理、滞后管理、粗放管理等问题，而这些瓶颈问题必须通过数字化方式来解决。在嘉兴市污水管网智慧平台的设计上，黄瑾提出 4 个 1 目标，即一张网规划、一盘棋建设、一体化运营、一平台监管。并在此基础上，打造了“1235”框架。整个平台包含 9 大模块，以数字资产、孪生底座为基础，可实现动态感知、网格管理；智能分析、实时预警；科学调度、精准施策；虚实结合、智慧思维等多跨场景的应用，最终达到规一建一管一体化。





嘉兴市污水管网智慧平台的建设和运行取得了显著的成绩，实现了三大改革突破，变“分散管理”为“一体化管理”，变“传统管理”为“数字孪生精准调控”，变“事后紧急处置”为“事前仿真预警”。同时，取得了多项实践及理论制度成果，成为浙江省首批数字孪生试点应用。

所有的事物的日趋完美，都需要来自于恰当的改造。未来，平台的运行和管理还要持续深化，坚持以用户视角看待数字化转型需求，推出更多具有标杆示范意义的应用场景，让整个行业更智慧、更敏锐。

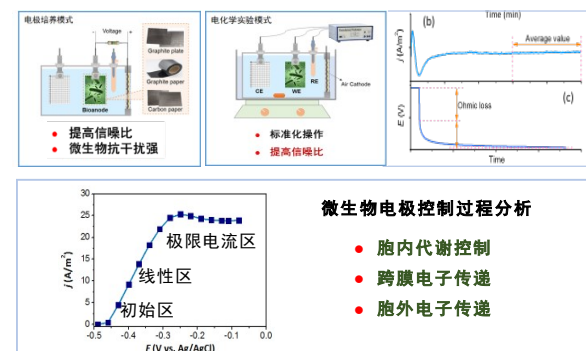
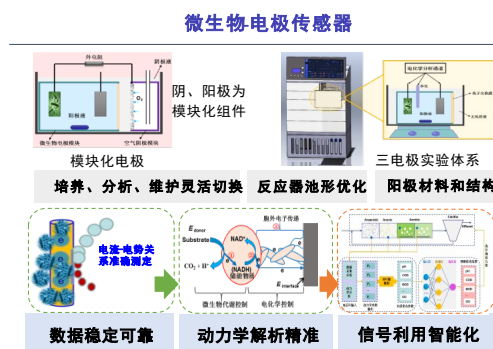
6.8 污水处理智能化模式及电子流调控方法

污水处理智能化的过程较为复杂，如何做到真正颠覆性的智能化，即从对复杂过程的感知——信号的转化——流程控制模式的选取——设备的反馈，这个过程是比较困难的。针对上述问题，在 2021（第三届）

中国城市水环境与水生态发展大会“智慧水环境与碳中和”专题论坛中，中国科学院重庆绿色智能技术研究院副院长刘鸿研究员，介绍了近年来团队在对污水处理智能化的探索中面临的一些挑战和创新性的进展。

6.8.1 污水处理智能化

污水处理智能化与传统的自动化不同，自动化主要是替代人的肌肉力量以及功能，而智能化更重要的是替代大脑的思维。污水处理智能化的基本原则是外界感知，自我判断，行为调整，环境适应。现今的污水处理智能化发展与传统产业如汽车制造业相比差距甚远，仍然停留在采用运用简单的信息化技术进行污水处理，即主要采用的是物质流的调控，体现在对水质的物理信号的监测。然而，对化学和生物信号监测尚存在滞后性、数据缺乏和装备化难等问题，解决的也仅仅是初步问题，对污水处理过程认识还较为粗浅。



6.8.2 关键问题

（1）关键问题 1：过程传感原理与技术

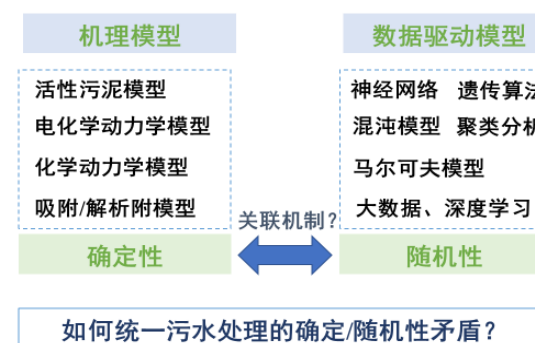
充分运用电子流信号更有利于认知污水处理内部的复杂过程。如何将电子流动力学与智能调控系统相结合是建立污水处理智能化过程的关键问题之一。团队通过微生物—电极传感器详细剖析了解决这一关键问题的几点重要指标，包括数据稳定可靠、动力学解析精准以及信号利用智能化三个方面。

方法体系 (6种)	状态	指标体系 (10项)	状态
1 恒电位极化	已构建	1 电子传递系数	已构建
2 极化曲线非线性拟合	已构建	2 平衡电势	已构建
3 极化曲线导数分析	已构建	3 传质效应系数	已构建
4 传质参数线性拟合	已构建	4 半波电位	已构建
5 线性/非线性插值	拟构建	5 活化速率	已构建
6 微生物电化学阻抗谱	拟构建	6 透气性	已构建
		7 扩散系数	已构建
		8 速率常数	拟构建
		9 半饱和常数	拟构建
		10 产率系数	拟构建

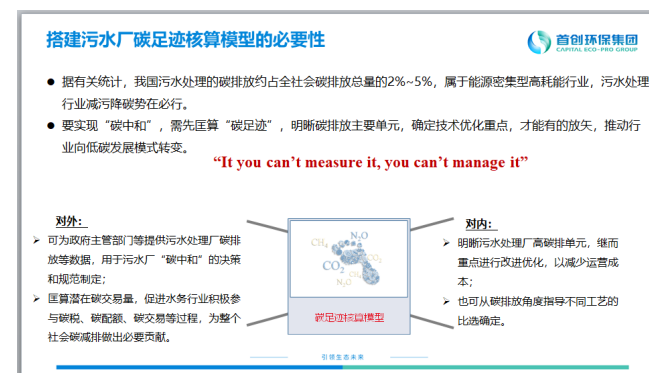
针对此关键问题，团队在以下三方面取得了创新性进展：①开路-电位阶跃稳态伏安法，建立动力学数据分段解析方法；②库伦信号与物质浓度的定量关系，研制快速仪器；③研制动力学试验仪，为微生物电极传感器的动力学指标测试提供工具保障。

（2）关键问题 2：模型选择

关键问题2：模型选择



污水处理智能化面临的第二个关键性问题是模型的选择。每一个污水处理小的单元都是一个微型系统，整个污水处理系统或者一个区域的污水处理都是一个大的系统。如何把这些有机协同起来，从而变成一个强大的污水处理系统关键就是如何统一污水处理的确定/随机性矛盾。先解决好确定性的问题，才能够解决好随机性的问题，先控制好每一个微型系统，再把他们连起来，作为一个协同的大的系统，才能解决模式问题。





7. 专题论坛四 青年论坛——城市水系统与碳中和

7.1 污水处理碳足迹核算模型构建及实例分析

随着“双碳”目标的提出，水务行业低碳化已经箭在弦上。要实现“碳中和”，需先匡算“碳足迹”，明晰碳排放主要单元，这样才能有针对性开展减碳行动。北京首创生态环保集团股份有限公司高级技术专家李爽，从模型构建的必要性、模型简介、实例分析等方面做了污水处理碳足迹核算模型介绍，并对未来污水厂碳中和路径进行了展望。

7.1.1 搭建污水厂碳足迹核算模型的必要性

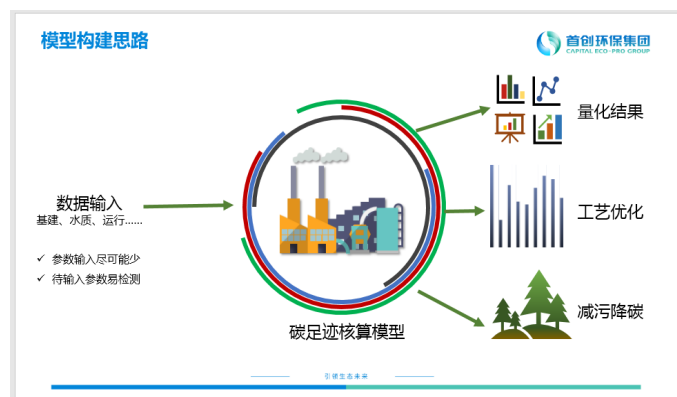
我国污水处理的碳排放约占全社会碳排放总量的2%~5%，属于能源密集型高耗能行业，污水处理行业减污降碳势在必行。要实现“碳中和”，需先匡算“碳足迹”，明晰碳排放主要单元，确定技术优化重点，才能有的放矢，推动行业向低碳发展模式转变。然而，污水处理的生化过程复杂多样，碳排放的精准核算及其模型构建是产业面临的难题之一。



7.1.2 碳足迹核算模型简介和实例分析

模型涉及到输入和输出，设计原则是尽可能少输入参数，以降低参数检测成本和难度。例如，输入污水厂的一系列基建数据、水质数据和运行数据，便可计算出碳排放结果，基于这个结果对工艺进行优化，最终达到减污降碳目的。

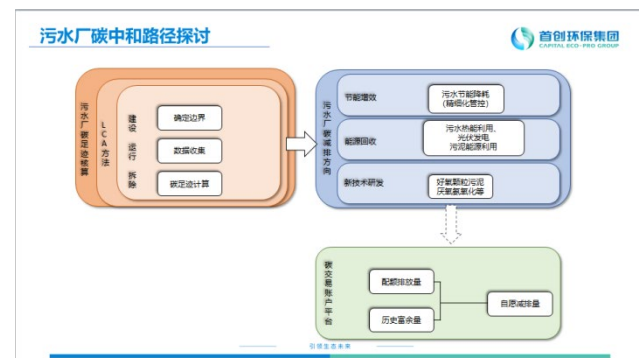
所构建的模型涵盖污水厂的5个碳排放单元（生物处理单元、厌氧消化单元、污泥处置单元、电力消耗、化学药剂消耗），并分为“已建”和“未建”两种情景模式，可为污水行业开展碳足迹核算提供技术支持。该模型已经实现了软件化，用户只需要输入水质参数、运行参数等数据，就能得出每个单元排放的温室气体量，所得结果对水厂制定减碳方案具有重要指导意义。



污水厂碳足迹核算软件



7.1.3 未来展望



计算出污水厂碳足迹的基底值，通过确定污水厂处理厂的边界，进行数据收集即可实现碳足迹的匡算，获取本底值后，就可以确定碳减排的方向。例如节能增效，可以通过精细化管控逐渐来实现。对整个污水

厂而言，仅靠工艺自身来实行碳中和是很困难的，需要进行能源回收来实现碳中和。例如，在污水厂铺光伏板，焚烧污泥来发电，热电联产都可以实现能源回收，也可以通过新技术研发来实现减碳。未来的污水处理厂还可以以碳资产的身份进入碳交易市场，给污水厂带来额外的收益。

7.2 关于污水处理提质增效和碳达峰碳中和的思考

污水处理行业是我国环境产业的重要组成部分，随着“3060”双碳目标全面纳入生态文明建设，该行业也已进入以生态文明建设为主旋律的新时代。中国市政工程华北设计总院北京分院总工许可，以“关于污水处理提质增效和碳达峰碳中和的思考”为题，从碳达峰碳中和的背景、废水处理行业碳排放的组成、废水处理行业未来碳减排的方向三方面提出了自己的见解。

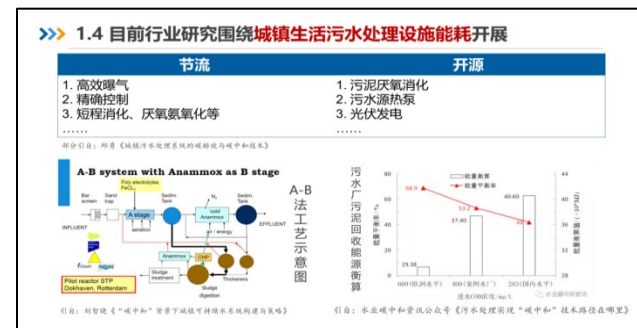


7.2.1 碳达峰碳中和的背景

对比内容	碳达峰	碳中和
覆盖范围	二氧化碳	二氧化碳，或全口径温室气体（包括甲烷、氧化亚氮、六氟化硫、氢氟碳化物、全氟碳化物等）
边界	目前仅考虑能源活动的二氧化碳（包含电力调入蕴含的间接排放），与单位GDP碳排放考核核算边界一致	暂未确定，可以是能源活动或全部，也可以是能源活动、工业生产、废弃物处理、农业、土地利用变化和林业等全口径排放和碳汇吸收
关注点	强调排放趋势，不强调整净排放量	既强调排放趋势，也强调净排放量（碳中和即净排放量为0）

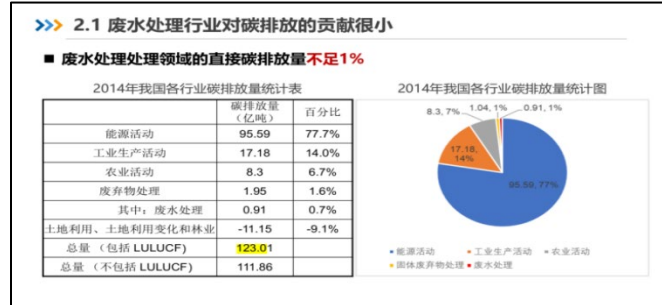
碳中和比碳达峰涵盖的温室气体种类更多、涉及领域更多，可开展的工作类型也更丰富。目前，废水

处理行业在碳排放方面的研究主要是围绕城镇生活污水处理设施能耗开展，通常包含节流（高效曝气、精确控制、短程硝化、厌氧氨氧化等）和开源（污泥厌氧消化、污水源热泵、光伏发电等）两方面。国外也有很多污水处理厂碳中和的实际运行案例，碳中和的比例可高达100%。



7.2.2 废水处理行业碳排放的组成

废水处理行业的直接碳排放全部为“非二氧化碳排放”（以下简称“非二排放”），占全国碳排放总量不足1%。目前，研究方向集中的城镇生活污水处理厂能耗领域，其排放为间接排放，占全国碳排放总量约1.0%；“非二排放”未纳入2030年碳达峰考核。这说明，废水处理行业碳排放对总排放量的贡献很小，但是污水量的增长和提标改造会导致废水处理行业碳排放持续增长，未来占碳汇的比例可能超过10%，具有显著的特殊性。



7.2.3 废水处理行业未来碳减排的方向

废水处理行业是协同减排最重要的领域之一，将碳减排和污水处理提质增效等工作相结合，开展系统减碳工作，把降碳作为源头治理的牛鼻子，实现降污减碳协同效应。此外，城镇生活污水存在集中收集率过低的问题，因此需要同步提升城镇生活污水集中收

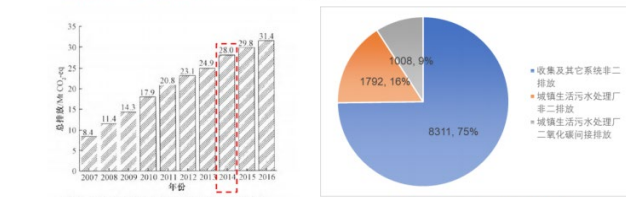


集率，降低温室气体直接排放；收集系统“非二排放”占比高，为废水处理行业总排放的 75%，是协同减排和未来碳中和的重点。因此，除了开展城镇生活污水处理厂内的能源减排和自身中和工作外，也需重点关注收集系统“非二排放”现状和如何减排的研究工作。

3.3 加大对“非二排放”，特别是收集系统“非二排放”的研究

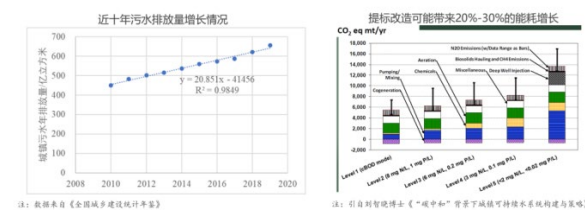
■ 收集系统“非二排放”占比高，是协同减排和未来碳中和的重点

- “非二排放”占废水处理行业总排放的90%
- 收集系统“非二排放”占废水处理行业总排放的75%。



3.1 废水处理碳排放持续增长，具有显著特殊性

- 污水量的增长：预计污水量2025年和2030年将在2019年基础上分别增加16.8%和32.7%
- 提标改造：进一步提升排放标准可能带来20%-30%的能耗增长
- 合计：2025年和2030年废水处理行业碳排放量可能增加至1.38亿吨和1.57亿吨，其中直接排放量分别为1.18亿吨和1.34亿吨，间接排放量0.20亿吨和0.23亿吨。



7.3 双碳背景下污水处理厂碳减排之路

在“双碳”背景下，污水处理厂该走什么样的碳减排之路？这是目前行业内广泛关注的一大问题。江苏裕隆环保有限公司总经理黄翀从污水处理与碳中和、污水处理碳减排创新与实践、碳中和背景下污水处理的未来之路三个方面，分享了自己的想法。



7.3.1 污水处理与碳中和

据统计，2020 年我国日用水处理量达到了 2.2 亿立方米，碳排放达到了 18.7 万吨的二氧化碳当量，约占每天全社会碳排放总量的 2%，因此，污水处理厂碳排放问题不容忽视。污水处理厂实现碳减排的主要途径包括：能源转换和能源回收、资源回收(磷、水)、及剩余污泥的能源化和资源化。通过这些途径，可以使污水处理由能源和资源的消耗者转变为供给者，进而实现污水处理厂的碳中和。但是，在迈向碳中和的过程中，我国污水处理厂需要解决水质、工艺和建造等诸多现实问题。



7.3.2 污水处理碳减排创新与实践

针对以上问题，江苏裕隆环保有限公司对污水处理工艺进行了一些创新以及实践。通过产学研合作，不断在污水脱氮除磷技术领域进行技术创新。自 2005 年起，与北京工业大学、南京大学和中科院长春应化所展开了深入的技术合作以及产学研的成果转化。形成了以 ISBAS®工艺包为技术核心的四大业务板块，包括污水处理厂的提标改造、污水处理厂的托管运行、河道流域综合治理以及村镇污水的整体解决方案。每个业务板块均有核心产品，包括 AOA 工艺、无碳技术一厌氧氨氧化自养脱氮工艺、装配式污水处理系统等，



可以有效降低污水处理厂的运行能耗，减少碳排放，实现深度脱氮和碳减排。

7.3.3 碳中和之下污水处理未来之路

最后，黄翀认为，碳中和背景下污水处理的未来之路，要做到“两个转变”，即污水处理向资源化和能源化的根本转变、企业创新由政策驱动向自觉与自发创新的根本转变，企业创新由政策驱动向自觉与自发创新的根本转变，以及“三个发力点”，即开展污水处理低碳零碳技术与装备创新，上下游结合提高污水与污泥资源化能力，紧跟行业变革、夯实基础、推陈出新。



1.3 碳达峰碳中和的概念的比较

具体对比范围、边界、关注点，碳中和比碳达峰覆盖的温室气体种类更大、涉及领域更多，同样的，可开展的工作类型也更丰富。

对比内容	碳达峰	碳中和
覆盖范围	二氧化碳	二氧化碳，或全口径温室气体（包括甲烷、氧化亚氮、六氟化硫、氢氟碳化物、全氟碳化物等）
边界	目前仅考虑能源活动的二氧化碳（包含电力调入蕴含的间接排放），与单位GDP碳强度考核核算边界一致	暂未确定，可以是二氧化碳（能源活动或全部），也可以是能源活动、工业生产、废弃物处理、农业、土地利用变化和林业等全口径排放和碳汇吸收
关注点	强调排放趋势，不强调整净排放量	既强调排放趋势，也强调整净排放量（碳中和即净排放量为0）

引自：中创碳投《碳达峰碳中和目标解读》

7.4 “碳”寻污水处理厂进阶之路

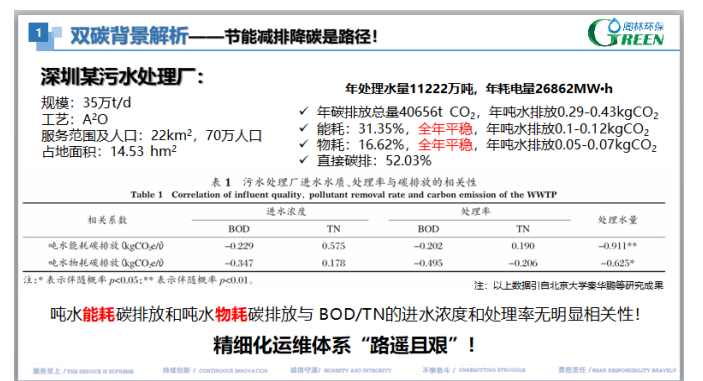


随着“3060”双碳目标全面纳入生态文明建设，

无论针对现有系统的提质增效，还是做优增量建设，污水处理行业都需要高质量发展，助力我国双碳目标的实现。针对污水处理厂贯彻碳中和政策过程中涉及的一些技术研究进展、示范工程的进展、以及未来可能延伸的方向，重庆阁林环保科技有限公司总经理李果对污水处理厂的进阶之路进行了详细的介绍。

7.4.1 双碳背景解析

目前，极端气候频发，温室气体排放是罪魁祸首，导致过剩“能量”无处释放，因而节能减排降碳是路径。重庆几个典型污水处理厂的碳排放数据表明，能耗是污水处理行业碳排放的一个重要组成部分。经对深圳某污水处理厂的数据分析，发现进水浓度和排放污水浓度以及处理率无明显相关性，而与处理水量相关性较强，说明精细化运作在节能降碳这个方向还有很多工作可做。



7.4.2 探索污水处理厂进阶之路

污水处理厂要实现碳中和，总体方向应从传统污水处理厂向能量中和发展，进而走向碳中和。实施路径可包括三个创新，即技术创新、管理创新和模式创新。在技术创新上，将 A/B+ANAMMOX 工艺应用于奥地利 Strass 污水厂，改造后实现甲烷发电超过耗电量 108%，实现污水厂运行能耗自给自足，即能量中和。在管理创新上，首创股份中一荷未来污水处理技术研发中心实现智慧化管理/精细化曝气/精细回流，在数学

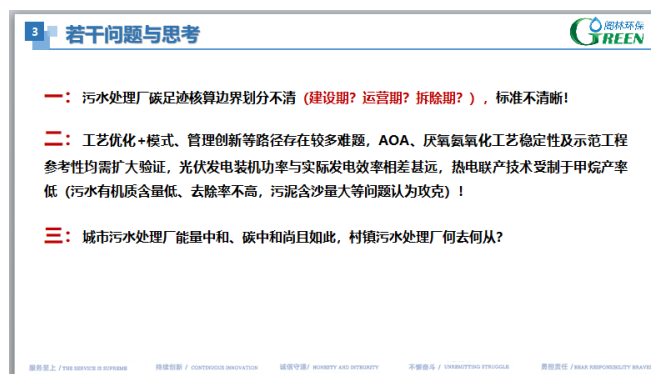


模拟辅助下指导污水处理厂运营管理实现精准曝气与回流控制，避免盲目投药脱氮除磷，可大大节省运行能耗与药剂投加成本，同类污水厂采取精细化运维能够实现 40-50% 的能耗降低。在模式创新上，重庆鸡冠石污水处理厂通过尾水电站自主发电，满足厂内用电需求量的 15%-17%。基于以上的案例，污水处理厂通过自身节能降耗、污泥厌氧消化与焚烧能量回收，辅之以额外的太阳能、风能等能源利用，可较容易实现能源中和目标。然而，碳中和目标的实现，必须达到弥补自身直接碳排与能耗及药耗间接碳排的要求。

7.4.3 若干问题与思考



总经理李果最后提出了三点值得大家思考的问题：一是污水处理厂碳足迹核算边界划分不清（建设期？运营期？拆除期？），标准不清晰；二是工艺优化+模式、管理创新等路径存在较多难题；三是城市污水处理厂能量中和、碳中和尚且如此，村镇污水处理厂何去何从，这些都是未来为实现双碳目标要考虑和解决的问题。



7.5 富铁污泥资源化生产聚硫铁混凝剂及其减

碳效应

实现双碳目标，必须依靠科技助力，加大科技创新和技术组合。东北师范大学环境学院朱遂一教授以小见大，通过富铁污泥资源化研发，实现冷轧铁泥资源化利用，为碳达峰碳中和贡献力量。



7.5.1 富铁污泥资源化“双减”效应分析

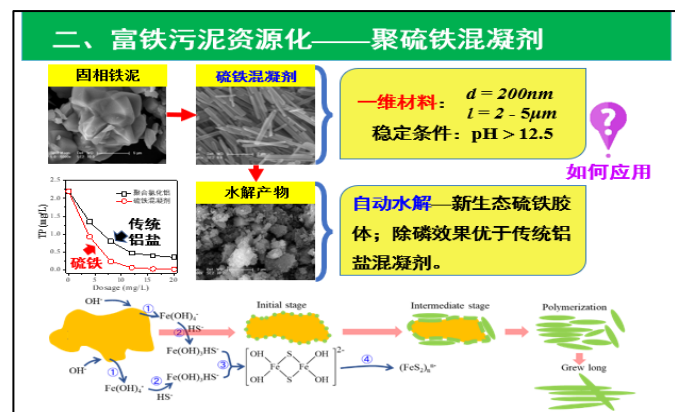
在碳达峰碳中和的背景下，开展富铁污泥资源化主要是研发产品，其是否满足双减政策，应关注三个要点，第一是研发的产品是否具备高效能和实用性。第二是生产的过程是否符合清洁生产。第三是全流程是否有明显的减碳效应。



7.5.2 富铁污泥资源化——聚硫铁混凝剂的制备与应用

在开展富铁污泥资源化过程中，朱遂一团队利用水处理及钢铁深加工行业的固体废物制备出一种新型的一维聚硫铁晶体。该晶体在废水中会自动分解，生成新生态的胶体，表面具有丰富的巯基，可以高效去除废水中的重金属离子（Cu、Zn、Ni）与抗生素（四环素、土霉素、强力素），是一种新型的聚硫铁混凝剂。铁泥中含有 Mn、Cr、Si、Al 等杂质，Mn/Cr 杂质能够通过氧化还原释放 OH^- ，促进 $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$ 的生成，有利于聚硫铁晶体的生成；而 Si/Al 溶解并重结晶之后能够生成钙霞石和勃姆石，不会影响聚硫铁晶体的生成。利用富铁污泥制备聚硫铁混凝剂，其性能接近于市售有机硫类重金属沉淀剂。然而，该混凝剂对喹啉及硝基酚类等污染物去除效率较低，证明该混凝剂具有较强的选择性去除功能。另外，

在中性和碱性条件下，该物质具有类芬顿催化性质，与常用亚铁盐相比，其性能可以提升 45%。



7.5.3 富铁污泥资源化过程中减碳效应的实现



在富铁污泥资源化过程中，朱遂一教授团队通过三个方面实现了减碳效应。第一，改变以往高温高压的制备条件，开发了 80 °C 常压条件下批量化合成聚硫铁晶体的新方法。第二，向碱性废液补充一定 $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ 试剂，可完全回用于聚硫铁晶体的生产，不仅节约了药剂，同时避免了废液的排放。第三，在保存方面，采用湿法保存，既可以提高晶体的稳定性，又简化了传统干燥流程。富铁污泥资源化过程的优化，为聚硫铁混凝剂的工业化生产奠定了坚实基础，同时实现了废物利用的清洁生产，为全流程减碳效应贡献了思路。

7.6 可用于污水处理企业的前沿负碳资源化技术分析

污水处理工艺会消耗大量的能源产生二氧化碳，同时会生成氮氧化物及甲烷等次生产物，如果通过负碳资源化将外界碳排放污染物转化为可再次利用的物质，就能够实现污水处理企业的碳中和。南京大学环境学院朱文磊教授由污水处理研究背景入手，对负碳资源化新技术进行了总结和展望。

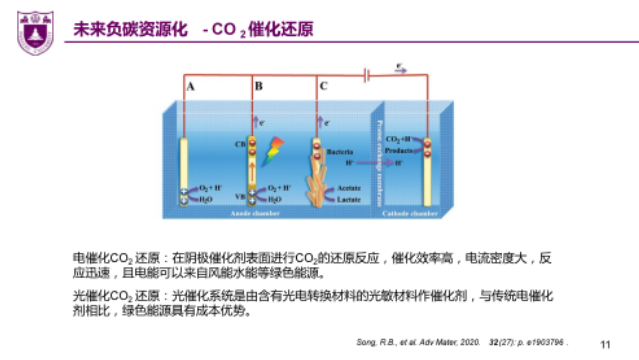


7.6.1 负碳资源化技术分析

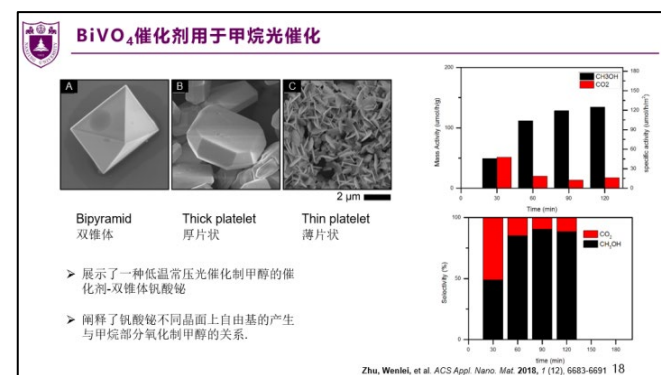
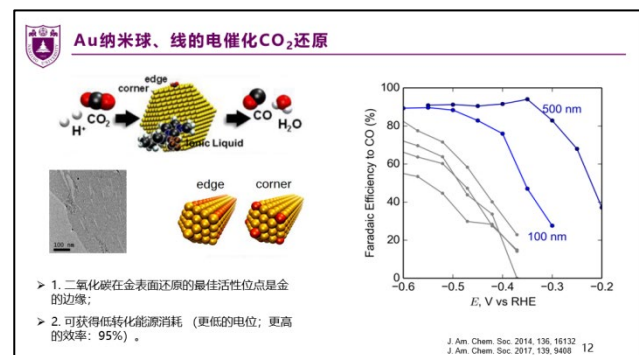
负碳资源化技术能够对二氧化碳催化还原。在电催化过程中，阴极催化剂表面进行二氧化碳还原反应，可以将二氧化碳还原为各种可以利用的小分子化合物，这种方法催化效率高，电流密度大，反应迅速，且电能可以来自于风能、水能等绿色能源。光催化系统以含有光电转换材料的光敏材料作为催化剂，可直接将

二氧化碳还原为小分子有机物。

7.6.2 负碳资源化技术实践

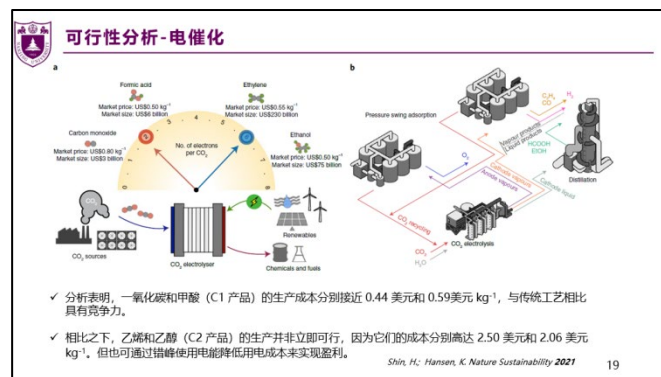


二氧化碳在电催化剂表面得到电子形成中间体，之后与质子结合形成 $\bullet\text{COOH}$ ，然后与电解液中的 H^+ 结合，脱去一分子 H_2O 便可生成一氧化碳。二氧化碳在金表面还原最佳活性位点是金的边缘，如果能够合成足够长的金纳米线，就可以让其表面有足够多的活性位点，实现更快速的二氧化碳还原。朱文磊教授团队制备了 500 nm 的金纳米线，在很低的能源消耗下得到了更高的效率。他们还设计了气液分布流动池，解决了传统 H 型电解槽最小扩散层电流限制的问题。将纳米多孔铜等催化剂应用于气液分布流动池，可更高效地将二氧化碳还原为乙烯和乙醇等高经济效益产物，在 -0.67 伏的外加电压下，可以实现 653 mA/cm^2 的电流密度和 62% 的含碳原子大于 2 的有机物产率。另外，二氧化碳及甲烷通过光催化剂可转化为乙醇和甲醇等物质。其团队制备的双锥体 BiVO_4 可以在低温常压下，高效地通过光催化将甲烷催化为甲醇，可有效地减少这种温室气体。



7.6.3 负碳资源化技术可行性分析及展望

电催化生产一氧化碳和甲酸的成本大约分别为 0.44 美元/千克和 0.59 美元/千克。相比之下，乙烯和乙醇的生产并非立即可行，因为他们的成本分别高达 2.5 美元/千克和 2.06 美元/千克，但未来可以通过错峰用电降低用电成本来实现盈利。对于污水处理厂，短期目标是实现污水处理厂温室气体减排乃至碳中和，长期目标其实是深度开发污水处理厂的能源，实现污水处理厂的能源技术。负碳资源化是较为可行的办法，但如何获得稳定且低耗的催化剂，如何设计稳定且高转化率的电解池和光解池，仍是目前科研面临的重要挑战。光电催化在目前价格体系和碳汇体系下的技术经济分析，如何进行扩大化生产，如何降低投产后实际运营成本也是未来急需解决的问题。

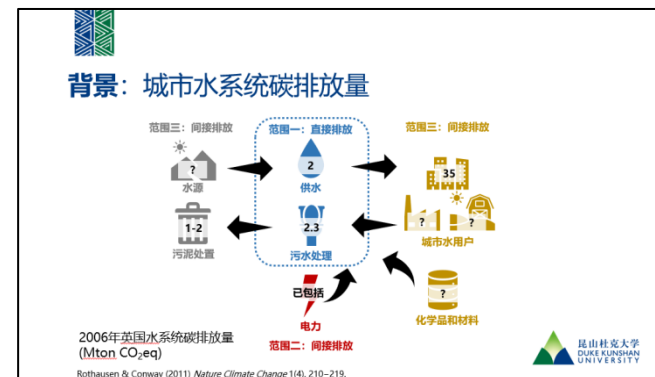


7.7 城市水系统碳中和：更广泛的系统边界？

水处理过程碳排放管理需要更广泛的系统边界思考，以便进行全局优化，从而更容易达到碳达峰碳中和的目标。来自昆山杜克大学的林家良教授分享了他对城市水系统碳中和的思考。



7.7.1 城市水系统碳排放核算体系



供水及污水处理系统(水行业系统)中温室气体核算体系包括三个范围，一是供水及污水处理过程中系统的直接碳排放；二是使用电网电力所产生的间接碳排放；三是水厂建设及材料消耗等的间接碳排放。范

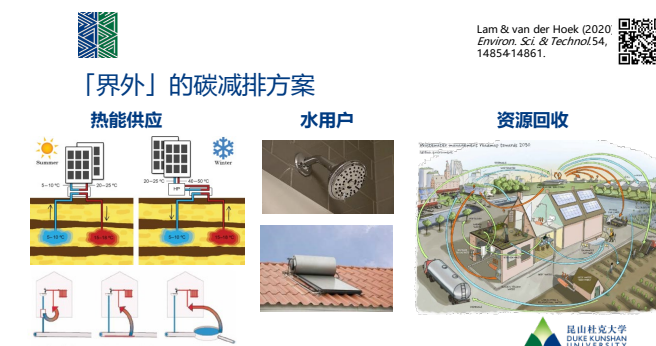
围三的上游和下游碳排放还包括城市水系统的其他部分，如水用户、水源和污泥处置。目前，很多国家或地区并没有对城市水系统有完整的碳核算，需要核算出一个基准才能够明确目标进行碳减排。

7.7.2 界内外案例分析与展望

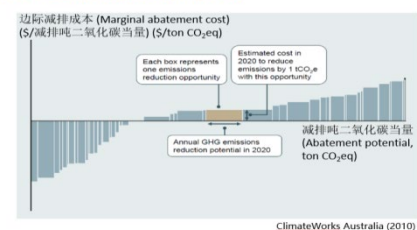
林家良教授介绍了一种表述和比较碳减排方案成本效益的方法——边际减排成本法，并将该方法应用于评价澳洲城市和阿姆斯特丹界内和界外碳减排方案的成本效益。界内是指水行业范围内的系统，而界外是指水行业范围外的系统。

研究发现，将相同的财政投入到界外的水相关方案可以实现更大的城市碳减排。澳洲城市评价方案认为，与用户使用热水相关的方案能达到更大规模的碳减排效果。这些方案例如包括节水淋浴头补贴，太阳能热水器补贴，节水洗衣机补贴。因此，墨尔本水行业正研究针对这些界外方案的碳核算和碳补偿机制修订。阿姆斯特丹则通过执行具有成本效益的热能供应、资源回收等界外方案，完成了减排 50000 吨 CO₂ 当量的目标。

水行业需要扩展本身的服务领域，除了供水及污水处理服务外可以提供资源和能源的供应，把界外部分变成界内，这个定位的改变可以慢慢减少水行业碳排放和提升水行业对城市碳减排的贡献。未来城市水系统碳中和需要根据当地实际情况探索界内和界外的方案，通过碳补偿机制抵消范围一和范围二的碳排放，达到一定的营利，从而促进城市的碳减排。



方法：边际减排成本曲线



7.8 MOFs 膜与吸附剂水质净化同步制冷供热

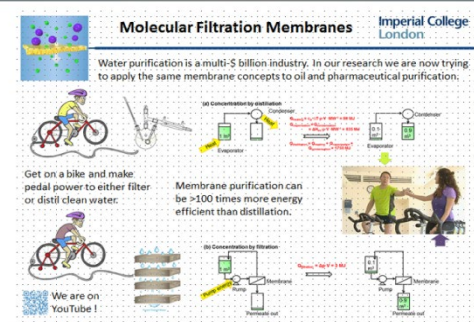
通过制备不同的 MOFs 膜，配合吸附剂进行水处理，在达到水质净化的同时，可进行热量交换控制。该技术为碳达峰、碳中和提供了另外一种思路。来自天津大学化工学院的刘新磊教授，从 MOFs 材料的结构、特性及应用前景进行了详细的介绍。



7.8.1 MOFs 膜与洁净水生产

通过设计，MOFs 材料可以有不同的拓扑结构，由其制成的膜主要靠内部结构尺寸对物质进行分离，而且元素周期表中的所有金属和配体都可以组装成 MOFs 材料。刘新磊团队在陶瓷管表面制备了一层致密的 MOFs 膜，该膜的厚度仅有 500 nm-1μm，能够去除水体中大部分的钙、镁离子，从而净化水质。通过有趣的科普实验，团队证明了膜过滤生产净化水的能耗要远远低于电加热制备纯净水，从而证明了基于 MOFs 膜分离的方法简单且降耗。

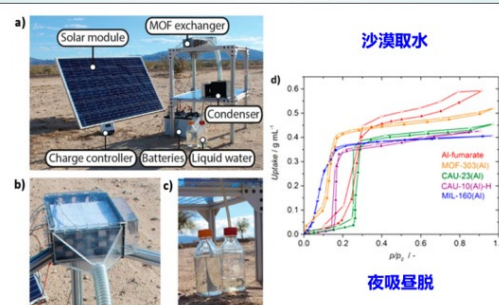
二、MOFs膜及洁净水生产



7.8.2 MOFs 吸附剂与洁净水生产

MOFs 材料还可以被制备成粉末状的吸附剂，与传统纳米材料相比，MOFs 材料因其特殊的有机框架结构不会出现严重的团聚问题，其中的原子可以实现类似于单原子分散，每一个单位尺寸可以达到 1 nm 以下，比表面积较大。将 MOFs 吸附剂应用于简单的水处理装备，既能够满足野外探险时的需求，也可作为特种兵野外作战时的水处理装备，不用担心敌人投毒，或者没有干净水源的问题。该材料因为具有非常强的可设计性结构，当空气湿度为 10% 时，依然能够对空气中的水蒸气进行捕获，而后在环境温度相对较高时水分子可以再挥发出来，因此可以在沙漠中使用获得水源。

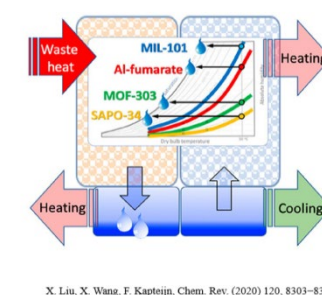
三、MOFs吸附剂及洁净水生产



7.8.3 MOFs 吸附剂与同步制冷供热

MOFs 材料还可应用在同步制冷供热中。MOFs 吸附剂下方放置液态水，通过化学势的驱动，可将液态水通过蒸汽的形式吸附，从而使得底部水的温度降低，达到制冷的目的；另一方面，被吸附的水通过太阳能或者工厂的废热脱附，而后冷凝释放一部分热量，即可达到加热的功能。当该体系引入海水，可以同时实现海水淡化与制冷制热的效果。

四、MOFs吸附剂及同步制冷供热



7.9 荷兰水科技领域产学研合作模式

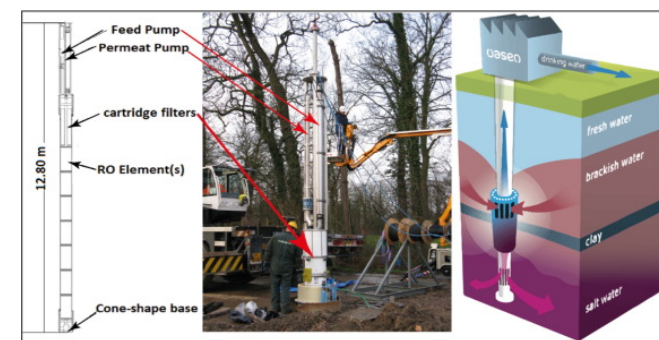
产业、学校和科研机构之间的相互配合，在功能与资源优势上实现协同与集成化，进而形成强大的研究、开发、生产一体化的先进系统，并在运行过程中发挥各自的优势。目前，学校及科研机构具有技术，而企业又有这方面强烈的需求。针对中国目前的现状，将高校与研究院的科研技术与企业运营有机结合在一起，形成具有特色的产学研模式，该从何着手？中国科学院生态环境研究中心刘刚研究员在本届大会作了题目为《荷兰产学研的模式与启发》的论坛报告，分享了他荷兰经历的关于产学研一些模式和启发。



7.9.1 产学研促技术应用

刘刚以无氯供水、一步 RO 和颗粒污泥为切入点，分别讲述了荷兰是如何通过产学研模式实现简单技术从研发到应用的开展。目前，荷兰是全球唯一一个全境无氯供水的国家，从水厂净水工艺、管网输配到用户龙头水均能实现无氯。而一步 RO，则是对饮用水净化技术的一个革新。对于好氧颗粒污泥技术的应用，

已经在全球建了很多的厂，而到目前为止在中国应该还没有建成运行的工厂。这些均表明了荷兰在产学研模式上获得的成功。



7.9.2 产学研实例

荷兰利用产学研模式对一步 RO 技术的开展及应用。首先，负责该技术的主要研发人同时具备企业的背景和职务，能够实现资源与技术的有效联动。其次，净水工艺的逐渐复杂化驱动了一步 RO 技术的诞生，即污染物通过天然含水层的净化，能够达到很好的净化效率，然后直接通过反渗透膜供给用户。2017 年，该工艺示范水厂已经建成，简单到只有一组模，即供给给了用户。受此启发，该团队尝试了另外一种更为简洁、占地更小的方式作为饮用水的供给，即把模组件和泵放到取水层，清水上来后，浓水直接流向地下的浓水层。另外，地下浓水层的浓水要比 RO 的浓水更为严重，并不会造成污染，因而这种方式还同时解决了浓水问题。

7.9.3 产学研未来

最后，刘刚分享了 KWR 研究所在产学研模式上所做出的努力。该研究所的标语为“bridging science to practice”，即连接科学与应用，因此设置 tools 和 product 两个平台，代表企业做科学技术和产品的应用推广，提供咨询服务，并利用集合水务公司的研发经费，攻克核心难题。此外，该研究所还包含商务部和基金委，从研发和商务的共同角度来评估技术的前景性。企业投资代表企业有解决实际问题的需求，基金会投资则助力于研发，而商务部则是做成研发技术的第一个案



例，并进行推广，从而实现研发技术产品到市场的畅通进行。

习近平总书记在党的十九大报告中明确提出，“深化科技体制改革，建立以企业为主体、市场为导向、产学研深度融合的技术创新体系，加强对中小企业创新的支持，促进科技成果转化”。可见，产学研模式的形成将是今后科研发展的新道路。

7.10 “双碳”背景下多业务协同的产学研模式思考

为实现“双碳”目标，仅仅依靠单一环保的力量是微弱的。现如今的“双碳”背景下，环保企业为实现长远发展，都有哪些技术需求？北京首创生态环保集团股份有限公司生态环境事业部技术总监蔡然表示，多业务协同、跨行业创新以及全链条减排是满足企业需求，实现碳减排的有力举措。



7.10.1 多业务协同

“双碳”背景下，企业的多业务需要协同。她表示，首创生态环保集团在 2021 年 8 月份完成了业务整合，将水、固、气、能 4 个业务整合在一起，并通过成立协同创新研究院，实现多业务协同。一个例子是，热力公司依靠火电厂做供热，但在“双碳”背景之下，热源并不稳定，火电厂可能面临关停的结果。因此，首创生态环保集团的固废业务则是通过垃圾燃烧发电解决热源问题，由此，该业务面临的技术需求则是垃圾发电如何产生更高的发电量以及供热淡季的储能问题，需要相关专家能做相关研究。另一个例子是研究

生物质发电，实现在工业园区同时给企业供气与供能，通过在水、固、气、能方面研发资金的投入，希望能够产生成品技术，实现多业务协同并产生更多的价值。



7.10.2 跨行业创新

从企业发展角度而言，则需要跨行业创新。在十年前的一体化设备中，主要是碳钢材质，长时间运行存在严重的漏损、腐蚀等问题。因而，许多企业，包括机械行业、造船行业、汽车行业、自控行业等将他们的先进技术带入环保行业，造就了装配式水厂的诞生，解决了环保装备的腐蚀、寿命以及装备时间的问题，并达到减碳的目的。目前来看，这种跨行业创新能够为环保行业带来颠覆性的效果。因此，促进跨产业融合、破除不同行业之间的界限与壁垒、实现产业之间的互联互通、推动技术进步与推广实施、探索行业良性发展方向，能够推动环保行业向前迈进，形成多行业共赢的局面。

7.10.3 全链条减排

科技创新引领绿色生产，环保技改助力减排降碳。企业在全链条减碳过程中需要能源优化方案，依托产、学、研一体化优势全力推进前沿环保技术研发和工艺优化。她表示，企业全链条减碳的业务主要还是在工业园区，因为园区不仅要兼顾水、固、气、能方面的多业务协同，而且还要解决废水、固废、大气和能源的问题，从整个园区环境角度考虑，系统的能源优化方案能够很好地解决能源和资源问题。对于园区目前涉及的污水热泵、光致发电等，若能够引入热力公司的供热设备、供气设备、供电设备，能够大幅度提高

园区的发电效率和使用效率。因此，为实现“双碳”目标，在多业务协同和跨行业创新基础上，实行能源方案优化是企业实现全链条减碳的迫切需要。

将科研技术成果转化与产学研合作有机结合在一起并创造价值，实现产学研链条式发展，需要水业青年能够集思广益，为“双碳”目标的实现增砖添瓦。