
《污水处理厂低碳运行管理技术规范》

（征求意见稿）

编制说明

《污水处理厂低碳运行管理技术规范》起草组

二〇二五年五月七日

目 录

1. 编制背景	4
1.1 相关政策	4
1.2 国内外污水处理行业现状	6
1.2.1 国内外污水处理厂对比	6
1.2.2 江苏省污水处理行业特征	9
1.2.3 低碳污水处理厂调研案例	16
1.3 国内外污水处理低碳化技术研究现状	21
1.3.1 通用耗能设备	21
1.3.2 污水处理	22
1.3.5 污泥处理	25
1.3.6 资源能源回收利用	28
1.3.7 智慧化管理	29
2. 编制的必要性	30
3. 国内外污水处理行业低碳化标准现状	31
3.1 国际污水处理行业低碳化标准	31
3.2 我国污水处理行业低碳化标准	34
3.2.1 污水处理行业相关标准	34
3.2.2 污水处理行业低碳化运行管理标准	39
3.3 已有标准与本文件的主要区别	39
4. 工作简况	43
4.1 任务来源	43
4.2 起草单位及分工	43

4.3	主要起草人情况简介	43
4.4	主要工作过程	44
4.4.1	标准预研	44
4.4.2	立项申请	44
4.4.3	标准立项审查会	44
4.4.4	标准起草	44
4.4.5	标准初审会	44
4.4.6	征求意见	44
4.4.7	标准修改和送审稿形成	44
4.4.8	标准送审稿审查	45
4.4.9	标准报批	45
4.4.10	标准发布	45
5.	标准主要技术内容及编制依据	45
5.1	碳排放关键环节及降碳措施	45
5.1.1	碳排放关键环节	45
5.1.2	降碳措施	46
5.2	通用耗能设备降碳措施	47
5.2.1	泵、通风机、鼓风机、空气压缩机	47
5.2.2	曝气机与搅拌机	48
5.2.3	电动机	48
5.2.4	电力变压器	49
5.2.5	其他通用耗能设备	50
5.3	污水处理系统降碳措施	50
5.3.1	源网站厂河一体化联合调度运行	50

5.3.2 全流程工艺低碳优化	51
5.3.3 污水处理减污降碳协同技术	55
5.4 污泥处置系统降碳措施	57
5.4.1 污泥浓缩、脱水	58
5.4.2 污泥厌氧消化	58
5.4.3 污泥干化	59
5.4.4 污泥炭化	59
5.4.4 污泥处置资源能源回收	60
5.5 可再生资源能源利用	60
5.5.1 污水热泵	60
5.5.2 源网荷储一体化	60
5.5.3 再生水回用	61
5.6 智能控制系统	61
5.6.1 智慧曝气系统	61
5.6.2 精确加药系统	61
5.6.3 精确排泥系统	62
5.7 碳管理	62
6. 标准适用性分析	63
6.1 实施过程	63
6.2 实施效益	65
7. 与现行相关标准的协调关系	67
8. 重大分歧意见的处理经过和依据	67
9. 标准实施建议	67
10. 其他应予说明的情况（涉及专利情况）	68

1. 编制背景

1.1 相关政策

为应对全球气候变化，我国提出“2030 年前达到二氧化碳排放峰值、2060 年前实现碳中和”的战略目标。随着国家应对气候变化行动的全面开展，碳排放管理领域的生态环境标准被提到了新的高度，近年来国家发布的政策文件，从不同角度多次强调了碳排放管理标准对实现碳达峰、碳中和发展目标的重要性，见表 1-1。

表 1-1 近年来国家政策文件中针对碳排放管理标准体系的重要方针

时间	发布部门	文件	重点方针
2012 年 2 月	原环境保护部（现更名生态环境部）	《关于加快完善环保科技标准体系的意见》	突出了环保标准在环保科技工作中的核心地位。
2014 年 11 月	国家发改委	《国家应对气候变化规划（2014-2020 年）》	研究制定重点行业单位产品温室气体排放标准、低碳产品评价标准及低碳技术、温室气体管理等相关标准。
2016 年 3 月	国务院	《“十三五”规划纲要》	健全统计核算、评价考核和责任追究制度，完善碳排放标准体系。
2016 年 10 月	国务院	《“十三五”控制温室气体排放工作方案》	研究制定重点行业、重点产品温室气体排放核算标准、建筑低碳运行标准、碳捕集利用与封存标准等，完善低碳产品标准、标识和认证制度。
2018 年 6 月	中共中央、国务院	《中共中央 国务院 关于全面加强生态环境保护 坚决打好污染防治攻坚战的意见》	加快建立绿色生产消费的法律制度和政策导向。加快制定和修改碳排放权交易管理等方面的法律法规。
2018 年 11 月	中共中央、国务院	《中共中央 国务院 关于建立更加有效的区域协调发展新机制的意见》	建立健全碳排放权、用能权初始分配与交易制度，完善交易机制。
2019 年 6 月	生态环境部	《大型活动碳中和实施指南（试行）》	指导规范大型活动实施碳中和，强调温室气体排放核算标准和技术规

时间	发布部门	文件	重点方针
			范。
2020 年 12 月	生态环境部	《生态环境标准管理办法》	将应对气候变化领域的温室气体排放核算与报告、企业碳排放核查、企业单位产品碳排放限额等标准纳入生态环境管理技术规范。
2021 年 1 月	生态环境部	《关于统筹和加强应对气候变化与生态环境保护相关工作的指导意见》	加强应对气候变化标准制修订，探索开展移动源大气污染物和温室气体排放协同控制相关标准研究。
2021 年 2 月	国务院	《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》	完善应对气候变化方面法律法规制度。进一步健全碳排放权交易机制，降低交易成本，提高运转效率。
2021 年 3 月	国务院	《关于落实〈政府工作报告〉重点工作分工的意见》	加快建设全国用能权、碳排放权交易市场。扎实做好碳达峰、碳中和各项工作，制定 2030 年前碳排放达峰行动方案。
2021 年 4 月	国务院	《关于建立健全生态产品价值实现机制的意见》	推动生态资源权益交易，健全碳排放权交易机制，探索碳汇权益交易试点。
2021 年 5 月	生态环境部	《关于发布〈碳排放权登记管理规则（试行）〉、〈碳排放权交易管理规则（试行）〉和〈碳排放权结算管理规则（试行）〉的公告》	为进一步规范全国碳排放权登记、交易、结算活动，保护全国碳排放权交易市场各参与方合法权益提供了指导依据。

国务院、生态环境部等部门前期发布的文件主要是明确环境标准在环保工作中的地位，工作重点为重点行业的排放管控、产品与技术的评价标准及碳排放核算、核查标准。随着工作的推进，监管范围与监管力度不断扩大。2018 年之后，碳排放权交易成为国家应对气候变化的重要手段，2021 年之后移动源管控与协同控制被纳入统筹应对气候变化与生态环境保护工作。碳排放管理也从标准体系建设逐渐上升到法律法规制度建设层面。

在中共中央、国务院、国家发改委政策方针的指引下，生态环境部对碳排放管理标准体系建设的重点任务不断细化和明确，2019 年以来不断加强对温室气体排放核算与报告、企

业碳排放核查、企业单位产品碳排放限额等标准的研究，完善碳排放管理标准体系，为规范碳减排工作、指导碳排放权交易提供了依据，为碳排放管理标准体系建设工作指明了方向。

污水处理行业位居我国碳排放行业前十，已成为助力碳达峰、碳中和的重点领域之一。国家发展改革委等三部门在《关于推进污水处理减污降碳协同增效的实施意见》（发改环资〔2023〕1714号）中提出，要强化标准引导，统筹考虑能耗、药耗增加，科学合理、因地制宜制定污水排放地方标准，再生水利用系列标准制修订工作，研究制定城镇污水处理碳排放统计核算、监测计量等相关标准，加快制定《协同降碳绩效评价 城镇污水处理》国家标准，建设绿色低碳标杆厂。

1.2 国内外污水处理行业现状

1.2.1 国内外污水处理厂对比

1.2.1.1 污水特点

我国与欧美等国家相比，德国污水处理厂进水 COD 浓度为 500~1000mg/L，美国污水处理厂进水 COD 浓度也约为 850mg/L，对比之下，我国处理厂进水浓度只有欧美国家的 40%-70%。根据德国 2021 年第 34 次污水处理情况调查，德国北部地区污水处理厂进水 COD 普遍在 700mg/L 以上，其他地区 COD 进水浓度也在 300mg/L 以上，远超我国污水处理厂进水 COD 浓度。德国北部地区的总氮进水浓度较高，为 80~120mg/L 范围，其他地区浓度较低，为 40~60mg/L，与我国情况相当。不同地区污水处理厂进水 COD、TN 浓度见图 1-1、图 1-2。

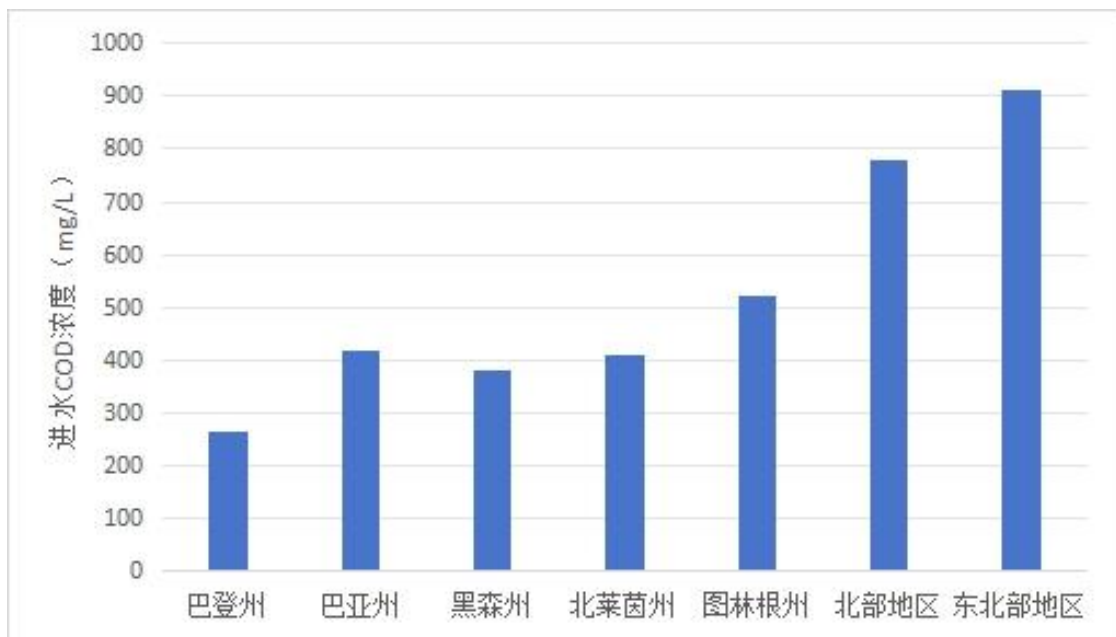


图 1-1 不同地区污水处理厂进水 COD 浓度

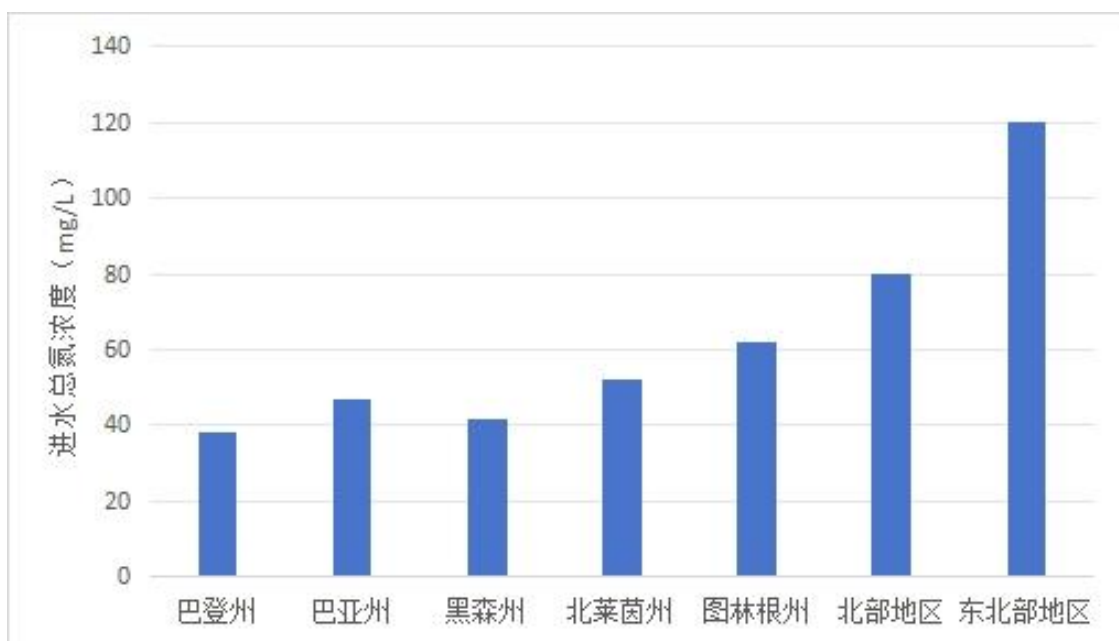


图 1-2 不同地区污水处理厂进水 TN 浓度

德国污水处理厂进水水质与管道质量密切相关。污水处理厂进水中除了污水之外，还包括有外来水和雨水。德国以分流制为主的北部和东北部地区的污水处理厂污染物进水浓度几乎比合流制为主的地区高 1 倍。我国只有低地下水位地区和排水管网较好的城市，其进水浓度才基本上与德国合流制地区接近，高进水浓度与德国有效杜绝地下水等外水入渗工作的成

效密切相关。我国城镇人口以 8.3 亿计，假设人口污染物当量 80g COD，实际城镇污水处理量 587.6 亿立方米，污水处理厂进水年平均 COD 280 mg/L，粗算只有 67%的污染物被收集到处理厂进行了处理；如果人口当量按照 120g COD 计，则粗算仅有 45%污染物被收集到处理厂，过半的污染物没有经过污水处理厂的处理。

1.2.1.2 工艺水平

(1) 水处理工艺

国外污水处理工艺与国内无较大区别，但在污泥资源化、新型低碳水处理技术的应用方面领先我国。全球处理规模前十的污水处理厂美国占据 50%，以美国较大规模污水处理厂为例进行分析。

①芝加哥 Stickney 污水处理厂是世界上最大的污水处理厂，日处理规模为 270 万吨，采用 A2/O 工艺。污水处理厂采用了多种污泥处理工艺，剩余活性污泥经浓缩后进行中温消化，最终制成农田使用的肥料。目前污水处理厂向着资源回收、能源回收的方向发展，正在对厌氧氨氧化技术应用于侧流工艺进行研究。

②美国波士顿鹿岛污水处理厂日均处理规模 140 万吨，二级处理系统采用 A2/O 工艺+纯氧曝气。该厂共设 12 座卵形消化池，污泥消化可以显著地降低污泥产量，产生大量的沼气用于发电。消化后的污泥进一步加工成农肥，日均产量 75 吨。

③美国洛杉矶 Hyperion 污水处理厂日均处理规模 175 万吨，采用 A2/O 工艺与纯氧曝气。污水处理厂建有 20 座厌氧消化池，每天可产 45 吨农肥以及 750 万立方英尺的沼气用于发电。

④美国华盛顿 Blue Plains 污水处理厂日处理规模为 143 万吨/日，采用 A2/O 工艺，目前污水处理厂正在开展厌氧氨氧化技术应用到主流工艺中的研究，该污水处理厂最为知名的一项技术是污泥热水解技术，该技术的应用使得厌氧消化的产气量显著提高，污泥热电联产的能量达到了 13 兆瓦。

1.2.1.3 能耗水平

根据德国 2021 年污水处理情况调查显示，其污水处理厂单位能耗平均值为 0.42

kWh/m³，与国内的污水处理厂基本相当。在同样处理标准情况下，国内污水处理厂在运行能耗方面并不比欧美发达国家差，两者基本在同一水平。但在污水处理厂能量回收方面，我国与欧美发达国家存在一定差距。例如通过污泥的厌氧消化回收沼气，再将沼气通过热电联产回收能量。根据国际水协会的资料显示，丹麦的 Marselisborg 污水处理厂通过这种方式在 2016 年就实现了 100% 的能量自给。通过沼气发电产生的电量不仅能满足自己的能耗，而且还有 50% 的电力盈余，除此之外，还有 2.5 GWh 的热能可输送给当地的供暖系统，而我国在污水处理厂能量回收方面发展较晚，还需要继续进一步学习国外的先进理念，争取在能源的综合利用方面更上一个新的台阶。

1.2.2 江苏省污水处理行业特征

1.2.2.1 污水处理厂数量

江苏省集中式污水处理厂（日处理规模≥500 吨）共计 850 座，其中苏州、徐州、盐城城镇污水处理厂数量为全省前三，分别为 89、87 和 68 座；苏州、无锡、盐城工业污水处理厂数量为全省前三，分别为 40、25 和 20 座。苏南和苏北污水处理厂较多，苏中污水处理厂数量较少，其中工业污水处理厂主要集中在苏南地区。

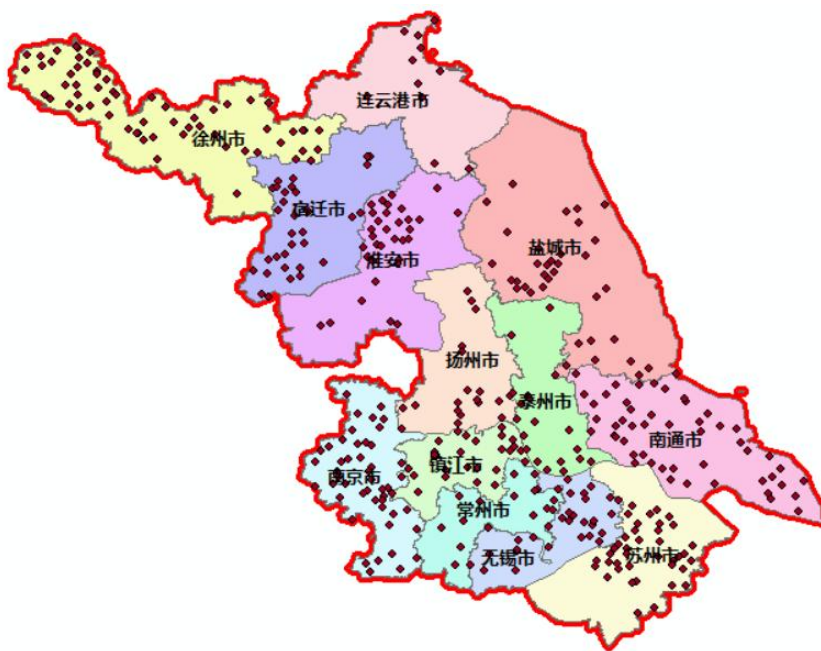


图 1-3 江苏省污水处理厂位置分布

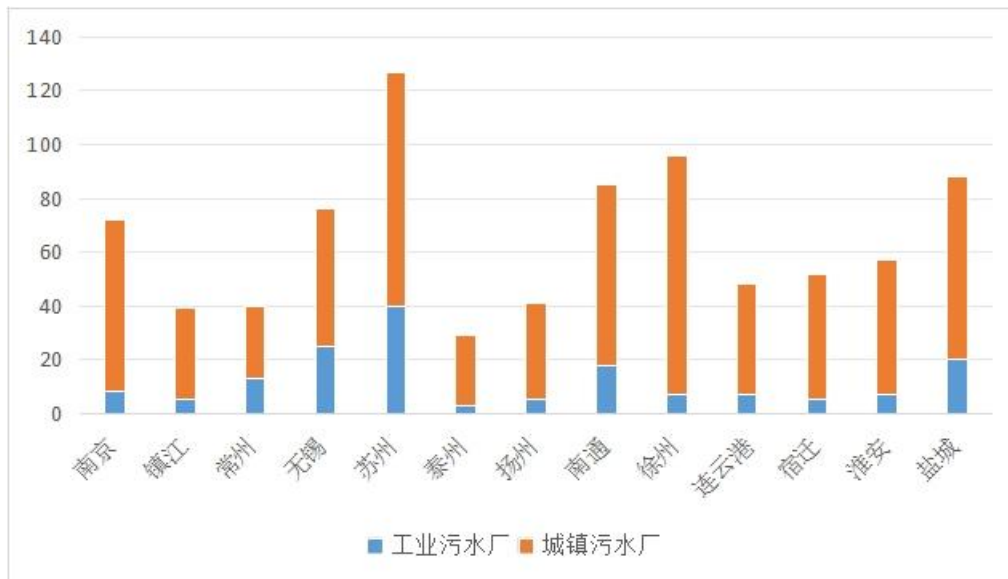


图 1-4 江苏省污水处理厂地区分布统计

1.2.2.2 污水处理量



图 1-5 江苏省污水处理量地区分布

江苏省污水处理量日均 1876 万吨，其中生活污水 1495.4 万吨，占比 79.7%；工业废水处理量日均 380.6 万吨，占比 20.3%。污水处理总量全省前三位是苏州、南京、无锡，均为苏南地区；苏中和苏北地区污水处理总量相对较低。

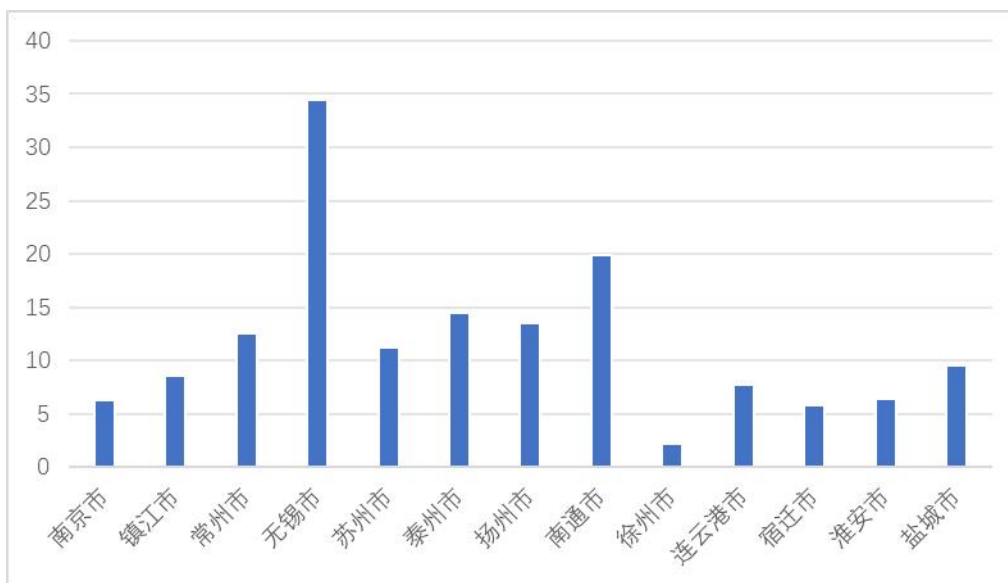


图 1-6 城镇污水处理厂工业废水混合比

城镇污水处理厂通常会混合工业废水进入，其中无锡最高，平均混合比为 34.4%，常州、无锡、苏州等 6 个地市混合比大于 10%。根据中国环保协会团标规定，其核算方法仅适用于混合比小于 10% 的城镇污水处理厂碳排放核算，因而无法适用于江苏省大部分地区的污水处理厂碳核算工作。

1.2.2.3 污水处理厂规模

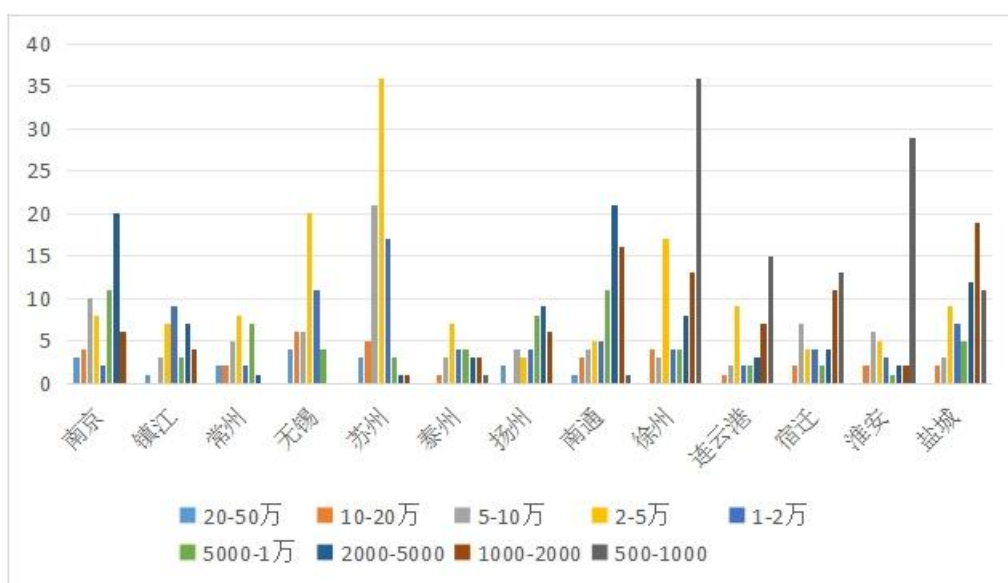


图 1-7 各地区污水处理厂规模分类

江苏省不同地区的污水厂规模分类占比存在较大差异，根据住建部污水处理厂规模分类

（小于 1 万吨/日为小型污水处理厂，1~10 万吨/日为中型污水处理厂，大于 10 万吨/日为大型污水处理厂），苏南与苏北地区污水处理厂规模类型存在显著差异。苏北地区的徐州、连云港、淮安、盐城以小型污水处理厂为主，其污水处理厂规模主要在 500~5000 吨/日；苏南的苏州、无锡地区以中型污水处理厂为主，其处理规模主要为 1~10 万吨/日。

1.2.2.4 进水浓度

污水处理厂的进水 COD 与 TN 浓度会影响污水处理厂直接碳排放，且低 COD 的进水需要额外投加碳源，提高间接碳排放，因而需要对各地区污水处理厂进水浓度进行对比分析。

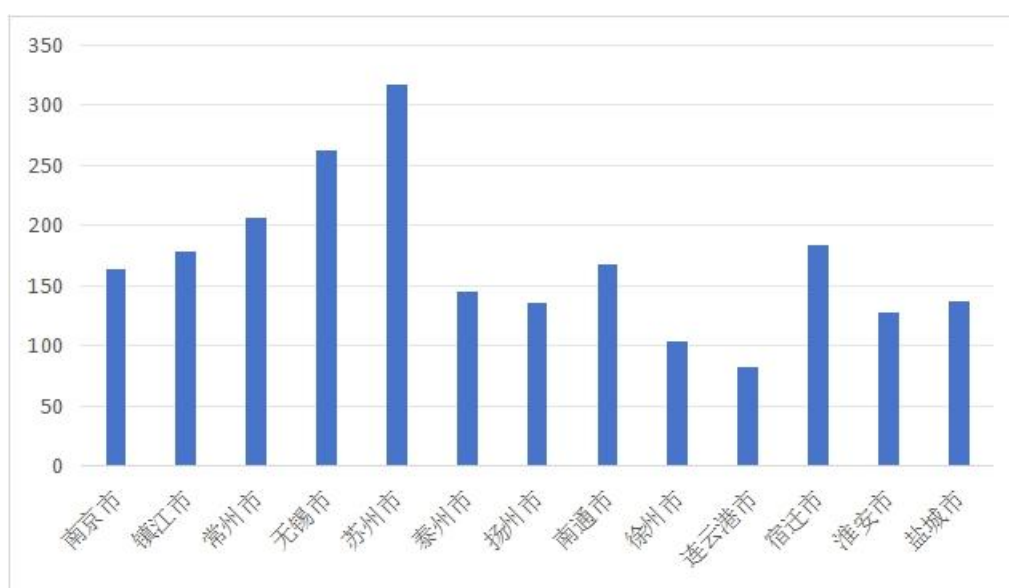


图 1-8 各地区城镇污水处理厂进水 COD 浓度

城镇污水处理厂进水 COD 浓度存在地区性差异，苏南地区的城镇污水处理厂进水 COD 浓度显著高于苏北、苏中地区，主要是由于苏北地区污水收集率较低，城市排水管网的铺设相对滞后，导致纳污率低，进水浓度变低。

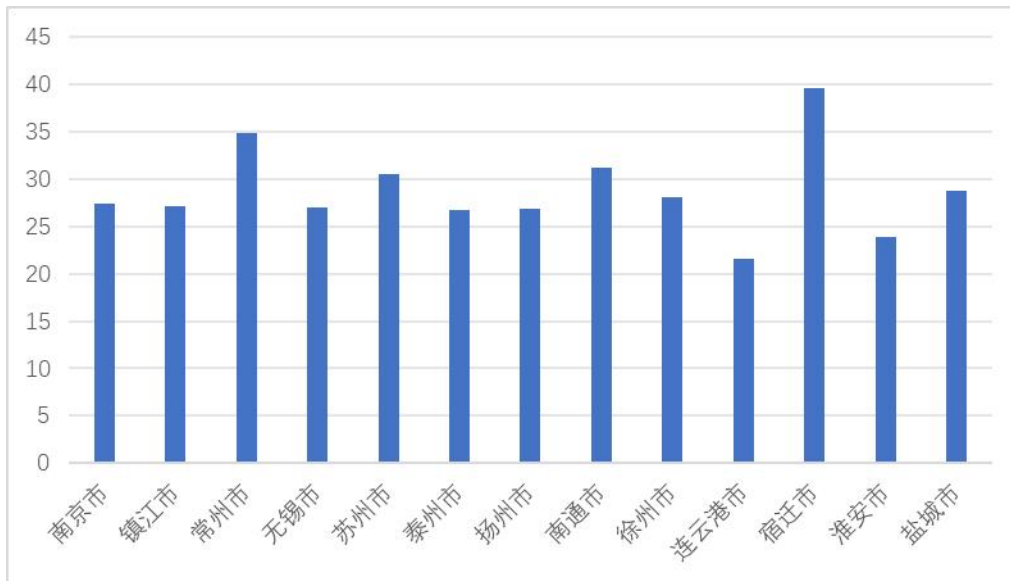


图 1-9 各地区城镇污水处理厂进水 TN 浓度

城镇污水处理厂进水 TN 浓度地区性差异较小，全省数据波动范围在 22~40mg/L。

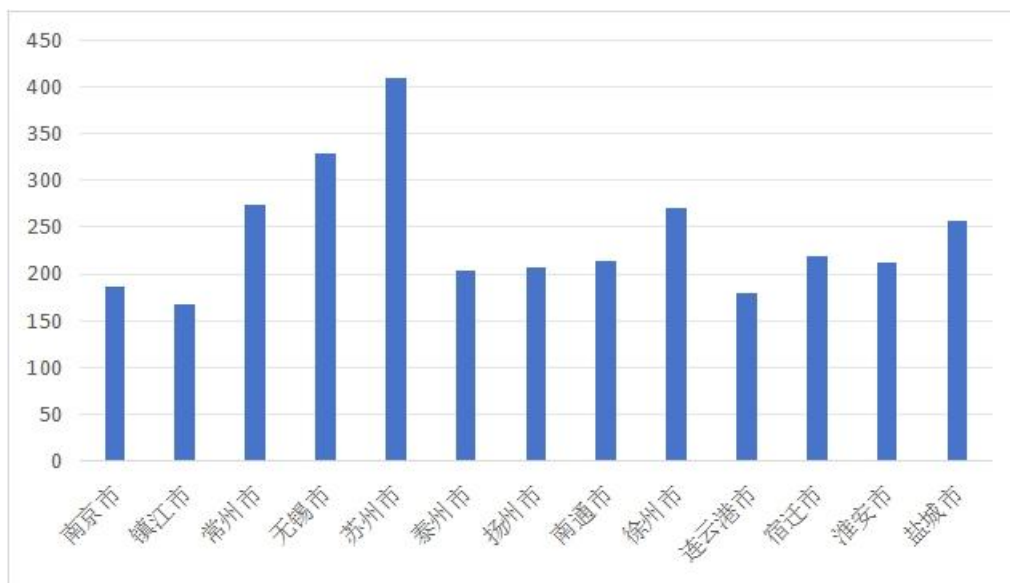


图 1-10 各地区工业污水处理厂进水 COD 浓度

工业污水处理厂进水 COD 浓度也存在地区性差异，与城镇污水处理厂特征一样，苏南地区的进水 COD 浓度显著高于苏北、苏中地区。

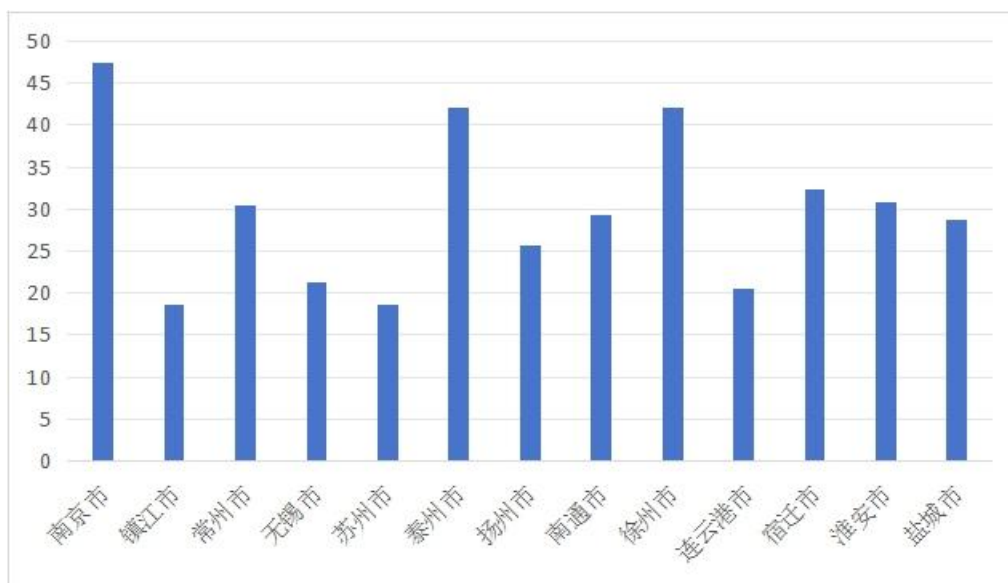


图 1-11 各地区工业污水处理厂进水 TN 浓度

工业污水处理厂进水 TN 浓度地区性差异较小，工业污水处理厂集中的区域污水处理厂进水 TN 浓度略低，其他地区相对较高，但全省整体差异不大。

1.2.2.5 生化工艺类型

污水处理厂工艺对碳排放存在影响，直接碳排放由生化工艺产生，且不同生化工艺排放因子也存在不同，对全省各地区污水处理厂生化工艺占比进行分析。

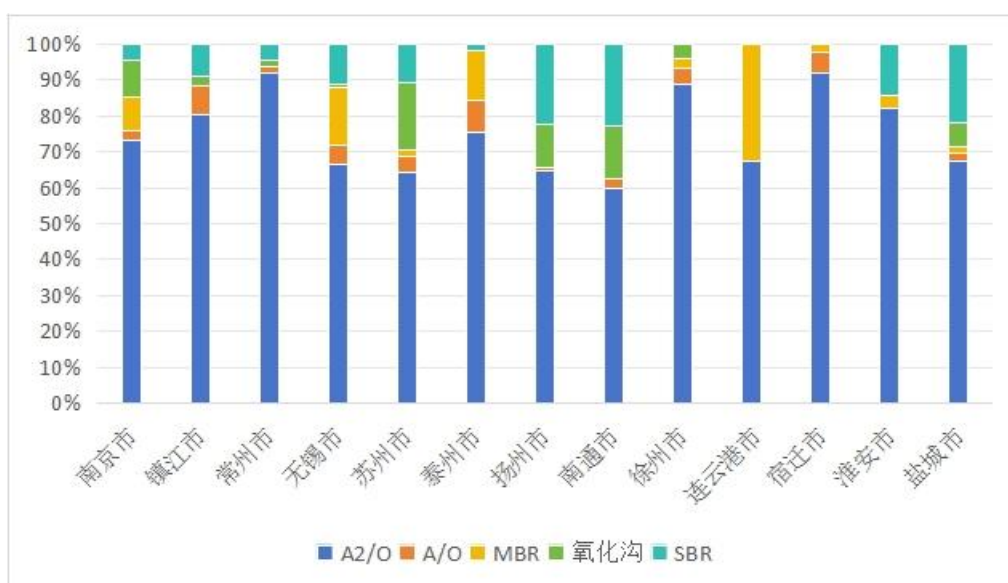


图 1-12 各地区城镇污水处理厂生化工艺类型

不同地区城镇污水处理厂生化工艺以 A²/O 为主，占比约 60%以上，其次氧化沟、SBR

为主。MBR 工艺从反应机理上分析不属于生化工艺，该工艺通过水泵抽吸将污泥与水进行分离，以代替二沉池的功效，通常与 A²/O 或 A/O 工艺进行联用。

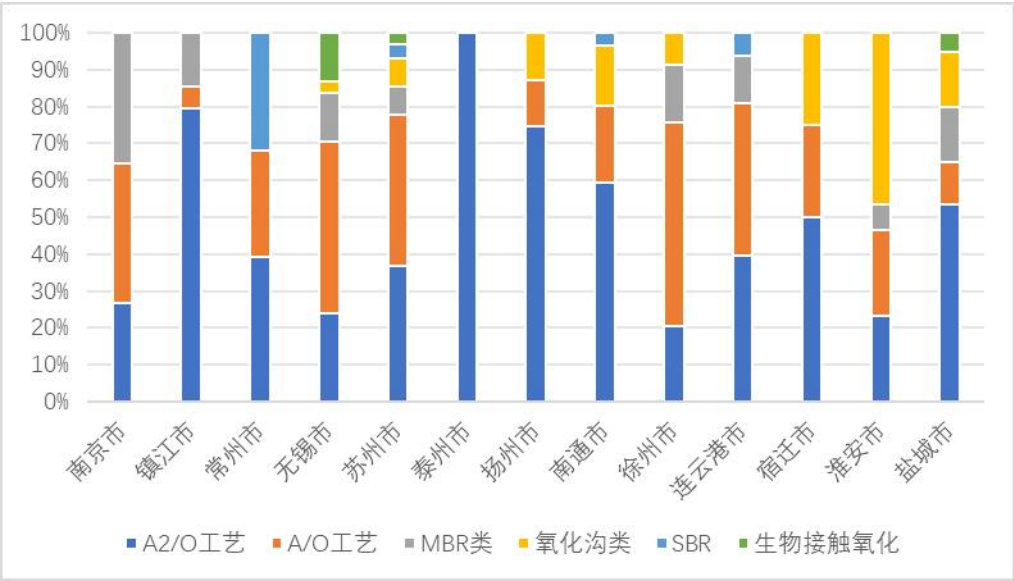


图 1-13 各地区工业污水处理厂生化工艺类型

不同地区工业污水处理厂生化工艺以 A²/O 和 A/O 为主，两者加和占比 60%以上，相比城镇污水处理厂，生化工艺还包括生物接触氧化，如 MBBR 等。

1.2.2.6 污水处理厂污泥浓度

抽取全省范围内 11 家污水厂监测 MLSS 与 MLVSS，整体污泥浓度在 3000~5000mg/L 浓度范围，略高于《室外排水设计规范》，MLVSS/MLSS 比值范围在 0.25~0.6 之间，低于《室外排水设计规范》。

表 1-2 各污水厂生化单元污泥浓度

编号	生化单元	MLSS（mg/L）	MLVSS（mg/L）	MLVSS/MLSS
1	厌氧池	4877	1267	0.26
	好氧池	4868	1132	0.23
2	厌氧池	4042	779	0.19
	好氧池	6091	1792	0.29
3	厌氧池	509	15	0.03
	好氧池	1506	112	0.07
4	厌氧池	11223	4468	0.40

编号	生化单元	MLSS (mg/L)	MLVSS (mg/L)	MLVSS/MLSS
	好氧池	8536	2737	0.32
5	厌氧池	-	-	-
	好氧池	6761	2274	0.34
6	厌氧池	4452	1952	0.44
	好氧池	4849	2187	0.45
7	厌氧池	2923	1265	0.43
	好氧池	3080	1291	0.42
8	厌氧池	4027	2326	0.58
	好氧池	4350	2521	0.58
9	厌氧池	3236	2084	0.64
	好氧池	3443	2176	0.63
10	厌氧池	1222	498	0.41
	好氧池	2758	1142	0.41
11	厌氧池	4254	1958	0.46
	好氧池	5725	2626	0.46

1.2.3 低碳污水处理厂调研案例

1.2.3.1 宜兴城市污水资源概念厂

宜兴城市污水资源概念厂位于江苏省宜兴市高塍镇，服务范围为宜兴环科园新城生活污水，厂内主要包括：1、出水排放高标准、工艺可迭代升级的污水处理工艺线一条，处理规模 2 万吨/日，尾水达到地表 IV 类水标准；2、可实现“能源自给、资源回用”的污泥与协同有机质处置工艺线一条，处理规模 100 吨/日（含水率 80%）；3、内置五条生产型研发线的生产型研发中心一座（2 条千吨级/日、3 条百吨级/日生产型研发线）。





图 1-14 宜兴城市污水资源概念厂现场调研照片

污水处理方面，同时实现氮磷极致处理与碳源能耗节约，概念厂应用的创新技术包括自主研发的**珊氮®**活性自持深度脱氮技术、高效加载澄清技术等。与常规处理工艺相比，不仅实现了对 TN (3 mg N/L) 和 TP (0.1mg P/L) 的极限处理，还减少碳源的投加，降低了能耗，真正做到了绿色低碳，同时与常规工艺相比，节省运行费用 30%~50%。在初沉发酵单元，采用初沉+水解系统实现碳源的有效回收，初沉污泥经过水解发酵，脱水滤液及水解池的上清液中富含 VFA，回流进入生物池的厌氧区，可有效改善厌氧释磷的效果，提高生物除磷效果。多模式生化处理单元采用多种运行模式的切换实现水厂低碳源运行目标，通过阀门和管道的切换、曝气管和搅拌器的启停，实现多级 AO 和 Bardenpho 工艺之间的灵活切换。通过局部投加填料，可以实现同步/短程硝化反硝化、主流程厌氧氨氧化。此外，江苏省重大科技示范项目——污水处理行业减污降碳协同增效关键技术研发及示范项目研发的“基于高负荷活性污泥法的低 COD 污水碳源高效捕集技术”技术正在宜兴城市污水资源概念厂开展中试示范。

污泥处理方面，应用污泥干式发酵技术、厌氧发酵液磷回收技术等，能源自给率可达 **65%~85%**。概念厂应用自研的 DANAS 干式厌氧发酵技术，专门针对 15%~35% 含固率的市政、农业和工业等一种或多种有机固体废弃物的厌氧消化处理技术。城市生活污水通过净化后，留下的污泥连同秸秆、餐厨垃圾、蓝藻、畜禽粪便等有机物通过高干厌氧及好氧堆肥过程，可加工为有机肥和营养土；产生的沼气则用于热电联产设备，产生的电能和热能用于厂内能量自给，达到了“能量自给、资源循环”的目的。借助“水-肥-气”的综合利用模式，概

念厂每天生产 20 吨营养丰富的土壤和肥料用于周边的农田，“产电”1.8 万千瓦时，已实现了厂区内总能源 65%-85%的自给率，水质净化中心实现了 100%能源自给。

1.2.3.2 南京水务集团江心洲污水处理厂

南京水务集团江心洲污水处理厂是南京市规模最大，也是江苏省规模最大的污水处理厂，设计规模达到了 67 万 m^3/d ，出水水质达标率及污泥无害化处置率均为 100%。江心洲污水处理厂的生态型人工湿地水质净化示范工程，是城市污水处理和生态保护相结合的典范，通过多级复合式人工湿地技术，对污水处理厂出水中的污染物进行削减，实现脱氮除磷，提升水质，构建生态缓冲区，不仅解决了高效脱氮问题，还大幅降低了湿地系统堵塞问题。此外，江心洲污水处理厂考虑未来利用中水，规划建设污水源热泵区域能源站项目，正在建设污水处理厂分布式光伏发电项目，提高绿电占比。



图 1-15 江心洲污水处理厂现场调研照片

1.2.3.3 南京水务集团桥北污水处理厂

桥北污水处理厂入围国家第一批“污水处理绿色低碳标杆厂名单”，在其建设成效、示范效益、可持续发展路径等方面，展现出优秀的可向同行业推广的经验做法及示范成效，包括“厂网河湖”一体化运行模式、节碳措施实践、再生水资源循环利用、BARMS 污泥减量化等低碳新工艺研究与应用、“光伏+”等替碳技术探索与规划等。桥北污水处理厂位于南京江北新区沿江街道浦泗公路与滨江大道交叉口西南角，占地面积约 10.59 公顷，地上式污水处理厂，设计规模 20 万吨/天。主要处理生活污水，是江北新区最大的污水处理厂，采用的主要

工艺是改良型 AAO。

再生水回用途径多元，回用率超过 80%。1、回用于河道生态补水、厂内生产用水和绿化景观，目前桥北污水处理厂再生水主要用于杏湖湿地公园和沿江街道片区河道生态补水、厂内生产用水和绿化景观，其中，尾水 10 万吨/天补水杏湖湿地公园，剩余部分排向 1.7 公里外的石头河。实际再生水用量逐步增加，实际再生水回用率达 80%，对区域水资源循环利用和节能减排发挥着积极作用。2、回用于厂内生产用水，生产用水基本全部实现了中水回用，包括药剂配制、设备冲洗、绿化景观等，桥北污水处理厂先后将脱水机冲洗水、阳离子 PAM 配药用水、PAC 稀释用水、细格栅内部和外部冲洗水全部由自来水改为中水，并增加了加压系统，保证冲洗压力和水压稳定，使用效果较好，大大节省了自来水用量，且可以避免停水或自来水供应故障对生产的影响。

太阳能清洁能源利用。桥北污水处理厂消毒池、生化池上方、鼓风机房等构筑物屋顶都铺设了光伏板，总装机容量为 3.87 兆瓦，截至 2025 年 2 月 20 日，最新抄表数据显示，光伏板发电量达到 31 万千瓦时。根据目前的发电量预测，3.87 兆瓦的光伏板全年可为电网提供近 3800 兆瓦时电量，每年可减少二氧化碳排放 3250 吨，节省标煤 1190 吨。

应用微球载体技术实现污泥减量化，低温干化后焚烧发电。1、桥北污水处理厂研究污泥减量低碳新工艺，通过向生化池体里添加微球载体，改变活性污泥生化系统的微生物结构，从而从源头减少污泥。2、通过脱水机低温干化，可以减少污泥的含水率，从而节约处置成本，同时提高热值。3、污泥经过处置被运送至电厂与煤掺烧用于发电，经低温干化后的污泥与煤掺烧时效率更高。

1.2.3.4 苏州狮山水质净化厂

苏州狮山水质净化厂是原苏州高新区污水处理厂的迁建项目，设计规模为 10 万吨/日，采用先进的“多模式 AO+双层沉淀池+混凝沉淀+精密过滤”工艺，处理后的水达国家一级 A 标准，其中 30%成为可利用的再生水。狮山水质净化厂生产设施位于地下，上盖公园对外开放，将科普廊道、景观公园、海绵城市等与污水处理设施建设相结合，是人水相亲、城水相

融的生态模式的新尝试。



图 1-16 苏州狮山水质净化厂现场调研照片

应用水源热泵、磁悬浮风机等低碳化技术设备。1、狮山水质净化厂建设时，在箱体内部设置了污水源热泵系统，污水源热泵夏季冷凝温度低，冬季蒸发温度高，能效比和性能系数高，且运行工况稳定，夏季可供冷量约 1465KW，冬季可供热量约 1400KW，可减少碳排放约 600kgCO₂/d，比传统中央空调节省 30%-40%的运行费用。2、磁悬浮鼓风机因其采用的是磁悬浮轴承，无接触、无摩擦、无需润滑，不易造成接触和机械损失，且无需变速调节。同时，还可根据工况需求进行转速调整，依据外界因素的变化，通过调节转速实现压力和流量的变化，与传统风机相比，节能 30%。

清洁能源利用，建设“光伏长廊+光充一体”智慧水务示范项目。狮山水质净化厂分布式光伏项目创造性地将主楼顶部及停车楼廊桥屋顶改造成 235.17KWp 光伏矩阵，在保留建筑美学的时候，实现年发电量 23 万千瓦时的清洁供给，每年可节约标准煤 69.5 吨，减排二氧化碳 190.4 吨，相当于种植 1.1 万棵成年树木。为进一步提升光伏项目整体运营效率，一方面，通过物联网技术构建的“智慧大脑”，可实现发电量与水处理能耗的动态平衡，形成“以光养水、以水促光”的良性循环；另一方面，项目搭载的功率优化器不仅能实时监测每块光伏组件的运行状态，实现精准故障定位，还兼具过压、过流、过温保护功能，紧急情况下可一键切断输出，为系统安全运行保驾护航。此外，停车楼内同步建成的“光充一体”示范站，集成 8 台直流快充桩与 6 台交流慢充桩，让新能源车充电与光伏发电形成完美闭环，引领“停

车充电两不误”的低碳生活新方式。

搭载智能污水处理系统，实现污水处理系统的全自动化。狮山水质净化厂搭载的智能污水处理系统，可清晰动态地展示污水处理、水质检测等全过程，通过该系统，不仅能够看到污水处理的运行状态，还能根据实时监控处理数据，对处理过程中出现的问题和偏差进行及时的调整和修复。

1.2.3.5 先进实践经验总结

一是工艺优化与技术创新，改良 A2O 工艺结合反硝化深床滤池等工艺优化方式，可有效降低碳排放强度，同时提高出水水质；后置反硝化 AOA 工艺、侧流短程硝化—厌氧氨氧化技术、藻膜生物反应器等新兴工艺，具有良好的降碳固碳效益。

二是资源能源高效利用，污水处理厂可通过再生水利用、污泥资源化、水源热泵和光伏发电等多方面提升资源能源利用效率。再生水多途径回用：通过工业回用、市政杂用、生态补水等方式，拓展再生水回用去向。污泥资源化处置：污泥脱水后送至热电掺烧，中温厌氧消化产沼气发电。新能源技术应用：光伏发电、水源热泵等技术应用，实现能源自给与碳减排。

三是智慧化管理与一体化运维，可通过 SCADA、AI 精确曝气、能源管理系统等实现精细化控制，深度挖掘污水处理电耗药耗降低空间，依托信息化管理平台等先进技术应用、“源厂站网、规建管养”一体化管理架构等，提升管理效率和运行稳定性，实现污水系统协同优化。

1.3 国内外污水处理低碳化技术研究现状

1.3.1 通用耗能设备

污水处理厂中的通用耗能设备主要包括污水提升泵、鼓风机、搅拌机、回流及反冲洗泵、除臭设施（通风机）等，其中鼓风机能耗最高，占污水处理厂总能耗约 50%，其次为泵（包括污水提升泵 17%、回流及反冲洗泵 7%）、搅拌机（11%）、除臭设施（2%）^[1]。一方面，通用耗能设备的选型和运行能效对污水处理低碳运行十分重要。研究发现，空气悬浮和磁悬

浮等高效风机可提高机械效率，节约曝气能耗可达 35%^[2-5]。在国外，德国 Grüneck 污水处理厂经过更换高效风机、优化风机性能后，污水处理厂能源自给率提升了 8%^[6]。在国内，某污水处理厂将原罗茨风机改造为空气悬浮离心鼓风机，可降低电耗约 22%，年节约电费约 100 万元^[7]；湖州某污水处理厂将原多级离心风机改造为磁悬浮离心式鼓风机，风量提高 17%，节能 23.7%，年节省近 66 万 kW·h^[8]。采用平板曝气器、带状膜曝气器、双叶轮搅拌设备等可将生化池能耗降低约 10%^[2]。另一方面，设备的运行优化也是碳减排的重要因素。主要节能措施有：根据水量选择合适的泵组和运行方式，避免设备低效或无效运行，定期检修维护，增加变频功能。例如卢伟等^[9]对某污水处理厂开展运行优化，通过改造提升泵叶轮使其实际提升流量、扬程均处于高效区，提升泵运行效率可由 58%提高至 65%以上。可采用变频调速、流量调节等措施，使提升泵处于高水位时启动运行，减少启停频率，从而减少能耗导致的间接碳排放。

1.3.2 污水处理

近年来，大量研究聚焦于各种低碳、高效、集约的新型污水处理技术开发，其中污水处理低碳新技术包括好氧颗粒污泥、厌氧氨氧化、短程硝化反硝化等。

1.3.2.1 吸附-生物降解法

污水中蕴涵着丰富的有机物化学能，但传统活性污泥（CAS）处理技术中约有 40%~60% 的有机物不仅没有得到有效利用，反而还需要通过碳排放的路径进行处理。自 1998 年 Böhnke 等提出吸附-生物降解工艺（AB 法）后，污水处理开启了碳转向技术的先河，为碳转向技术的开发和应用奠定了基础。德国 Steinhof 污水处理厂仅采用了传统 CAS 技术，虽进水 COD 高达 996mg·L⁻¹，大量有机物在生化曝气池以 CO₂ 形式排放，尽管采用了污泥厌氧消化技术回收能源，但能源自给率仅为 78%，而 Strass 污水处理厂以 AB 法碳转向技术代替传统 CAS 技术，在进水 COD 为 605mg·L⁻¹ 时，便可实现污水处理厂 108% 的能源自给率^[10]。AB 法碳转向技术扭转了“以能源摧毁能源”的传统处理模式，但仍存在停留时间长、占地面积大、污泥产量大、A 段曝气消耗污水中部分有机物等问题。

1.3.2.2 好氧颗粒污泥技术

好氧颗粒污泥是活性污泥微生物在好氧条件下形成的结构紧凑、形状规则的生物聚集体，分层结构营造了外部好氧区域和内部厌氧区域，因此好氧和厌氧微生物可同步去除氮磷。该技术微生物富集量是传统活性污泥法的 2~3 倍，占地节省 20%以上，能耗可减少 30%~50%，无需额外药耗；但造粒速度慢、稳定性差。工艺类型上，目前序批式反应器培养好氧颗粒污泥已可以进行工程应用，而连续流反应器培养好氧颗粒污泥仍在技术研发和改进阶段。世界范围内，荷兰 Garmerwolde 污水处理厂采用好氧颗粒污泥装置处理部分进水，新建系统比原有工艺节能约 51%。在国内，北京排水集团建设的吴家村再生水厂好氧颗粒污泥工艺提升工程于 2022 年投入运行，是目前国内规模最大的好氧颗粒污泥应用工程，可增加处理水量 20%以上，节约电耗 15%以上，节约药耗 50%以上。

1.3.2.3 高负荷活性污泥法

高负荷活性污泥法（High-rate Activated Sludge, HRAS）克服了 AB 法中停留时间长、碳源回收率低的问题，在停留时间为 0.5~2h 时，碳源回收率可达 55%~90%^[11, 12]。在彭永臻团队开发的超低泥龄高负荷活性污泥法中，当污泥龄为 3~4d 时，其碳源回收率可达 85%，同时还可实现高达 90%的磷回收率，超低泥龄高负荷活性污泥法在回收生活污水中碳源时选择性不强^[13]。

1.3.2.4 厌氧氨氧化技术

厌氧氨氧化是在厌氧条件下，厌氧氨氧化菌利用 CO_2 、 HCO_3^- 等无机碳，以 NO_2^- -N 和 NH_4^+ -N 为电子受体与供体，摩尔比为 1: 1.32 反应生成 N_2 的过程。与传统污水处理工艺相比，该技术无需外加碳源，可节约药剂 90%；污泥产量低，可减少 80%剩余污泥量；可节约投资和运行成本 20%，节省能耗 30%，全过程碳排放可降低 50%。厌氧氨氧化技术目前主要应用于污水处理厂污泥消化液处理，如北京市目前建有世界上最大规模的污泥消化液厌氧氨氧化脱氮工程，年碳减排量约 1.05 万 t^[14]。

1.3.2.5 短程硝化反硝化技术

短程硝化反硝化技术缩短了传统生物脱氮反应路径，控制硝化作用在 NO^{-2} 生成阶段后直接进行反硝化，可节约耗氧量 25%，节省碳源 40%，节约占地，减少污泥产量^[15]。该技术对菌种要求较高，在反应体系中需形成氨氧化菌对亚硝酸盐氧化菌的竞争优势，且对氧环境要求较高、受温度影响较大。短程硝化反硝化技术适用于低 C/N、高氨氮废水，在城镇污水处理中应用不多。然而，短程硝化或短程反硝化与厌氧氨氧化耦合技术在城镇污水处理厂减污降碳中具有应用前景。在短程硝化与厌氧氨氧化耦合技术中，短程硝化产生的 $\text{NH}^{+4}\text{-N}$ 被直接自养生成 N_2 ，大大降低 NO 和 N_2O 等温室气体排放量^[16]。在短程反硝化与厌氧氨氧化耦合技术中，将传统反硝化控制到以 NO^{-2} 为最终产物，可节约 43% 的耗氧量和 77% 的耗碳量^[17]。

1.3.2.6 基于膜分离的厌氧膜生物反应器

基于膜分离的厌氧膜生物反应器（AnMBR）技术因其超高的碳源回收技术及低污泥产率在近年来受到广泛关注和研究。AnMBR 技术的概念起源于 20 世纪 70 年代。Grethlein 在 1978 年证实，结合膜技术的废水厌氧处理系统能够极大地提高废水处理效果，可实现 85%~95% 的生化需氧量（BOD）去除率，以及 72% 和 24%~85% 的硝酸盐和磷酸盐去除率，碳源回收率普遍达 82.9%~90%^[18]。在处理高有机负荷和高悬浮物负荷的废水方面，如食品加工工业（包括酸菜、谷物、棕榈油加工）、乳品加工业以及酿酒业等，AnMBR 系统表现出卓越的处理能力。如英国 Spermal 污水处理厂，利用 AnMBR 进行厌氧处理城市污水，节约了曝气和污泥处理所需能源，并通过离子交换技术进一步处理生产硫酸铵和羟基磷灰石，用于农业生产^[19]。然而，该技术目前存在膜污染严重等问题，随着材料的发展和机制的深入研究，针对 AnMBR 技术创新不断涌现，如渗透厌氧膜生物反应器、氧动态膜生物反应器、氧膜蒸馏生物反应器等，扩大了 AnMBR 的应用范围，增强了其在废水处理领域的优势。

1.3.2.7 人工湿地微藻固碳技术

目前，单从节能降碳的技术应用实现污水处理的碳中和仍具有一定难度，具有固碳运行潜力的可持续处理工艺成为日益盛行的污水处理工艺。微藻处理污水过程中，不仅可吸收污

水中的氮、磷等营养物质将其转化为胞内的大分子物质（如蛋白质、油脂、碳水化合物等），还可以通过光合作用将 CO_2 转化为有机碳供体内生物物质合成，固定 CO_2 的量可达微藻生物质的 1.83 倍^[20]。微藻生物物质可以通过物理或化学手段提取加工成生物燃料或高值化学品，实现污水的能源化和资源化利用，促进污水处理厂的可持续发展并抵消其他环节的碳排放，是一种极具应用前景的污水处理生物固碳技术^[21]。但是，目前微藻处理技术应用于污水处理需要与其他深度处理技术相结合来实现出水达标。此外，微藻的分离浓缩过程能耗较高，增加了微藻能源化与资源化的成本，相关技术仍需进一步突破。

1.3.5 污泥处理

一是污泥减量化技术。污泥减量是后续储存、运输和处理处置的前提，减量化程度和效果关系到后续环节实施难度，影响经济性和碳排放，不同污水处理厂内剩余污泥脱水目标不同，需合理评估脱水必要性与脱水程度。此外应合理布置污泥输送及储存系统，尽量做好衔接，缩短在厂区储存或堆放时间。例如，九峰镇污水处理厂污泥产量较少，综合评估实际情况后设置污泥收集池进行暂时储存，每隔 15~20d 采用大型罐车运至污泥深度脱水处理中心一次性脱水至含水率 60%。在污泥脱水环节，应基于减量目标选择高效的脱水设备、确定适宜的药剂种类和投加比例，有助于污泥减量化，间接降低后续处理成本和难度^[22]。胡洁^[23]对污泥离心脱水系统进行优化控制，确定了最优药剂种类、药耗、离心机转速等参数，全年可节约聚丙烯酰胺(PAM)药剂成本约 25 万元，离心脱水电耗成本约 4 万元。

二是厌氧消化沼气利用技术。污泥中含有丰富有机质，通过厌氧消化可回收生物质能、产生沼气，沼气热电联产可实现热、电两种能源回收。污泥热电联产发电方式的能源转化效率可达 80%，但其设备及工艺要求较高，投资和能耗大。例如，芬兰 Kakolanmäki 污水处理厂通过该技术实现厌氧消化产能达 $21.9\text{GWh}\cdot\text{a}^{-1}$ ，扣除污泥处理的能耗外，仍有一定能量盈余 $7.7\text{GWh}\cdot\text{a}^{-1}$ ^[14]。德国 Köhlbrandhöft/Dradenau 污水处理厂应用热电联产，并利用太阳能、风能等清洁能源，实现厂区热能电能自给，并产生剩余热能供给周围港口。我国青岛海泊河污水处理厂的沼气热电联产系统于 2016 年稳定运行，沼气发电量占污水处理厂年耗电量的

25%~30%，年净利润达 200 余万元^[24]。在污水 CODCr 浓度偏低、污泥产量和有机质含量偏低的情况下，污泥单独厌氧消化难以实现能量自给，因此常添加其他高有机质废弃物协同处理。如美国 Sheboygan 污水处理厂将高有机质餐厨垃圾与污泥协同厌氧消化并进行热电联产，在 2013 年其产热量与耗热量比值达 0.85~0.90，产电量与耗电量比值达 0.9~1.15，基本接近“能源零消耗”目标^[25]。

三是污泥焚烧热能回收利用技术。污泥焚烧产生的烟气进行热能回收的方式分为一次利用和二次利用。一次利用指回收的热量用于焚烧以减少辅助热源或燃料消耗，如用于预热燃烧空气或污泥脱水/干化；二次利用指回收的热量用于发电、加热外部介质等^[26]。干化焚烧工程主要热损失及节能减排措施有：排烟热损失——改造省煤器进一步回收余热；烟气洗涤热损失——改造烟气再热器或预热一次风；干化烟气洗涤热损失——余热回收再利用；散热损失——改进系统保温性^[27]。常州市武进区污泥处置工程可实现自持焚烧，焚烧产生热量可向干化过程自给，无需外加热源^[28]。河北省辛集市污泥干化焚烧项目无需辅助燃料，除设备驱动耗能外无其他能耗，每年还可发电 8640 万 kW·h，每年减少 CO₂ 排放超过 7.5 万 t^[29]。

四是污泥磷回收技术。磷回收技术主要分为 5 类^[30]：源头分离回收、出水沉淀回收、污泥消化液或污泥脱水上清液中沉淀回收、生污泥及消化污泥沉淀回收、污泥焚烧灰分回收，其中后 3 类应用较多。磷回收多数通过投加化学药剂沉淀实现，产物主要有鸟粪石(磷酸铵镁)、磷酸钙、磷酸镁等。国际上，加拿大 Ostara 公司研发的 WASSTRIP 和 Pearl 技术通过活性污泥厌氧释磷、添加镁盐等方式实现磷沉淀、生产鸟粪石化肥，全球范围内进行推广应用，如美国芝加哥 Stickney 污水处理厂拥有全球最大的鸟粪石回收装置，年产量达 9000t。日本 Metawater 集团在岐阜和鸟取两座污泥厂应用污泥焚烧灰分磷回收技术，磷肥年产量分别达 300t 和 150t，经济收益良好^[31]。表 1-3 列举了部分国内外污水处理厂磷回收应用案例。

表 1-3 国内外污水处理厂污水热能回收应用案例

回收类型	污水处理厂	回收位置	回收方法
污水磷回收	意大利 Trivisio 污水处理厂	污泥脱水上清液	在污泥脱水上清液线路上安装鸟粪石结晶装置，采用吹脱方法沉淀生成鸟粪石，作磷肥利用
	荷兰 Geestmerambacht 污水处理厂	溶解性富磷上清液	向流化床反应器内投加氢氧化钙处理溶解性富磷上清液，回收磷酸钙
	荷兰 Nieuwveer 污水处理厂	污泥消化液	向污泥消化液中投加铁盐生成蓝铁矿，作化肥原料
污泥磷回收	中国济宁污水处理厂	脱水污泥	预脱水污泥在 180 ~ 220 °C 条件下于反应釜中炭化，再经压滤机固液分离产出污泥生物炭
	德国温克尔污水处理厂	脱水污泥	污泥在高温、高压、绝热条件下干化及碳化产出生物炭
污泥焚烧灰分磷回收	法国敦刻尔克	焚烧灰分	污泥焚烧热处理后产生的焚烧灰作为磷肥

五是污泥热解气化技术。污泥热解气化技术在中国处于起步阶段。污泥热解气化是在微正压、无氧或缺氧条件下通过加热使污泥中有机物充分分解，转化为热解气、热解油、残炭等产物的过程。可燃气经净化后可用于发电或补充干化系统热能，固态渣体可用于建材原料和土地改良等领域。污泥热解气化技术可彻底杀灭病原微生物，气化设施高效、集约，占地面积较小，可充分回收污泥中能源，与焚烧相比具有烟气量少、污染物浓度少的清洁化特征。目前该技术在西咸新区沣西新城污泥处理项目中已有应用，其污泥处理规模可达 600t/d，年

碳减排量可达 44 万 t。

1.3.6 资源能源回收利用

(1) 污水热泵技术

污水中含有丰富的余温热能，相比化学能高近 4 倍^[2]，占城市废热排放总量的 15%~40%^[32]。生活污水温度波动小，夏天温度低于环境温度，冬天温度高于环境温度；污水源热泵技术利用这一特点，实现夏天制冷、冬天制热，如满足厂内能源需求仍有富余还可扩大输出范围。但污水余热属于低品位热源，有效输送半径仅为 3~5km，适合就近利用^[32]。2009 年投运的芬兰图尔库市 Kakolanmäki 污水处理厂通过建造污水热泵站，为厂区和周边 15000 户家庭供热/制冷，满足了该市 14%供暖需求和 100%制冷需求，每年减少 8 万 t 碳排放^[14]。荷兰乌特勒支市市政污水处理厂投入运行的 25MJ 的新型水源热泵系统，出水温度可达到 75℃-83℃，每年可从出水中交换约 40 万 GJ 的热量，减少 1 万-2 万吨的碳排放^[14]。西安市第一污水处理厂收集周边 12 万吨的工业废水和近百万居民的生活污水处理，2016 年建成再生水源热泵集中供热（冷）项目，供热面积超 160 万平方米，是目前在运营的、全国单体规模最大的再生水源热泵供热项目，年可节约标煤 8300 余吨，减少二氧化碳排放 2 万余吨^[33]。2020 年，河北省清河县碧蓝污水处理厂采用污水源热泵技术回收出水余热后供给邻近的怡海花园小区，供热面积达 21 万 m²^[34]。天津创业环保大连春柳河污水处理厂一期项目的供暖采用水源热泵机组，冬季采暖供水温度达到 50℃，回水温度达 45℃；污水用量为 100 立方米/小时,总热负荷为 298 千瓦；选用制热量为 413.2 千瓦、制热功率为 86.3 千瓦的热泵，每年制热输出量为 1.07 亿千瓦时（每年供暖期 150 天），目前已投入使用，供热总建筑面积约 4000 平方米，满足厂区内办公及生产用房采暖要求^[32-33]。表 1-4 列举了国内外污水处理厂污水热能回收应用案例。

表 1-4 国内外污水处理厂污水热能回收应用案例

国家	污水处理厂	用途	应用时间
芬兰	Kakolanmaki 污水处理厂	厂区和周边 15000 户家庭供热/制冷	2009

国家	污水处理厂	用途	应用时间
荷兰	乌特勒支市市政污水处理厂	为一万户家庭供暖，覆盖全市 15% 的供暖需求	2018
中国	西安市第一污水处理厂	厂区周边 160 万 m ² 的建筑供热	2016
中国	大连春柳河污水处理厂	厂区 4000m ² 建筑供热/制冷	2017
中国	河北省清河县碧蓝污水处理厂	为居民小区供暖，供热面积达 21 万 m ²	2020
中国	常州江边污水处理厂	4 万吨/日再生水作为冷热源，为高铁新城核心区 6 平方公里内 2 万多户居民、1000 余家企事业单位集中提供冬季供热、夏季制冷服务	2021
中国	苏州狮山污水处理厂	办公区供热供冷，夏季可供冷量约 1465KW，冬季可供热量约 1400KW，可减少碳排放约 600kgCO ₂ /d，比传统中央空调节省 30%-40% 的运行费用	2022

（2）清洁能源开发

污水处理厂占地面积较大，沉淀池、曝气池、滤池等构筑物上方空间有条件安装太阳能发电设施，实施光伏发电可自给自用、节约能耗，符合循环经济理念和绿色低碳要求。20 世纪 70 年代以来，太阳能光伏发电技术开始受到关注，1997 年美国开始实施“百万太阳能屋顶计划”，而德国则在 1990 年—1999 年间实施了“千屋顶计划”。我国政策上鼓励污水处理厂推广建设太阳能发电设施，目前已有较多工程实践。芜湖市朱家桥污水处理厂采用“自发自用，余电上网”的运营模式，每年贡献绿色用电超 2000 万 kW·h，减排 CO₂ 约 1.6 万 t，减排 SO₂ 约 165.5t，减排 NO_x 约 142.2t，减排烟尘约 69t^[35]。北京排水集团在 3 座再生水厂实施分布式光伏发电项目，年均发电量为 2400 万 kW·h，CO₂ 减排约 1.45 万 t^[14]。

1.3.7 智慧化管理

（1）智慧曝气

曝气规模、曝气工艺、曝气管布置方式、设备选择等都将影响曝气系统能效，合理确定曝气规模是曝气系统节能降耗的基础。目前，污水处理厂曝气工艺优化正由常规人工调控和

自控向精准化、智能化控制转变，精确控制含氧量有利于系统稳定运行、降低能耗。现阶段精确曝气控制技术主要包括生物模型和硬件集成两类^[36]，其中生物模型技术通过在生化池中安装各种传感器和设备以监测水温、氧含量、微生物含量等指标，建立生化池污泥模型并预测空气需求量，从而实时调整鼓风机输出风量；硬件集成技术简化了生物模型参数，仅对曝气系统末端氧含量进行精确控制，对传感器和设备要求较高。卢敬斌^[37]基于某污水处理厂进水浓度远低于设计浓度而产生的过度曝气现象，提出在线监测溶解氧，并根据曝气池溶解氧浓度和进水 COD_{Cr} 浓度分段调控风机运行的调整策略，可提高污泥活性、降低系统能耗。余云龙^[38]等通过对某污水处理厂进行前馈补偿——多参数串级控制精确曝气改造，使单位水量电耗降低约 14%，出水日均 BOD_5 浓度下降约 16%，出水日均氨氮浓度下降约 52%。

（2）精确加药

在污水处理环节，普遍存在为实现出水达标而过量加药的情况，导致碳排放量间接提高。对于加药过程的优化控制可提高出水水质、节约药剂和人工成本。目前对于智能加药控制系统的研究主要分为两类：一类是应用无模型自适应控制技术对加药系统进行自动投药设计；一类是将模糊控制、神经网络控制等智能控制应用到自动加药系统^[39]。黄俊熙等^[40]采用基于模糊技术与常规 PID 控制算法结合的复合控制器和前馈的智能控制策略，在广州市某污水处理厂设计了除磷智能加药控制系统，可节约除磷剂量 40%~50%。吴宇行等^[41]提出以加药泵运行频率精确计算理论模型为核心的模型预测控制算法，在青岛市某污水处理厂建立了碳源智能投加控制系统，吨水药耗约降低 21%，月均节省药剂费达 4.72 万元。北京排水集团实施精准加药控制后，药剂投配率可降低 30%~50%。临沂青龙河净水厂通过采用智能加药系统，实现每吨水碳源投加量降低 13%，除磷剂投加量降低 27%^[14]。九峰镇污水处理厂基于当地进水总磷浓度不高的情况重新评估除磷剂投加量，每天可以节约除磷剂约 17.6kg^[22]。

2. 编制的必要性

污水处理行业是典型的高耗能领域，2020 年碳排放量达 6800 万吨 $\text{CO}_2\text{e/a}$ ，占全社会碳排放总量的 3%~5%。江苏省作为污水处理大省，年处理污水量约 60 亿吨，碳排放量位

居全国第二。随着城镇化、工业化进程加速，废水处理需求持续增长，污水处理行业面临规模扩张与标准升级的双重压力，减污降碳形势尤为严峻。

江苏省污水处理行业碳排放量呈显著增长趋势。一方面，污水处理规模和收集率不断提高，直接推高碳排放总量：2019 至 2022 年，全省污水处理厂数量增加 409 座，年处理水量增长 22 亿吨，碳排放累计增加 238.6 万吨；根据规划，2025 年全省城市生活污水集中收集率需达 80%，新增处理能力 430 万吨 / 日以上，这将进一步加剧碳排放压力。另一方面，江苏省地方排放标准加严推动污水处理厂提标改造，延长工艺路线并增加能耗药耗。江苏省发布《城镇污水处理厂污染物排放标准》（DB32 / 4440-2022），将于 2026 年开始正式实施，其中 A 标准的常规指标除 TN 外都达到了IV类水标准，以 2019 年为基准，尚有约 1/3 的污水处理厂达到新地标需要提标改造，其污水处理量约占 10%，增加碳排放约 11418 吨。

国家层面高度重视污水处理行业减污降碳协同发展。生态环境部等七部门联合印发的《减污降碳协同增效实施方案》中明确要求“要充分利用现有法律法规、标准、政策体系和统计、监测、监管能力，完善管理制度、基础能力和市场机制，一体推进减污降碳，形成有效激励约束，有力支撑减污降碳目标任务落地实施”。面对国家减污降碳新要求，要实现污水处理行业的污染物减排与温室气体减排双重目标，国家已发布标准 3 项，地方发布标准 4 项，团体标准 2 项，而江苏省在污水处理厂节能降耗、低碳管理方面的标准仍处于空白，难以满足国家政策要求与行业发展需求。

综上所述，江苏省污水处理行业面临规模扩张、排放标准加严与政策要求的多重挑战，亟须构建系统科学的低碳运行管理技术指南。通过全面评估行业工艺与碳排放特征，制定先进适用的技术标准，为全省污水处理行业碳减排提供科学支撑，助力实现碳达峰、碳中和目标，推动经济社会绿色可持续发展。

3. 国内外污水处理行业低碳化标准现状

3.1 国际污水处理行业低碳化标准

国际上成立了多个标准化技术委员会开展标准化工作。在水污染防治方面，ISO/TC224 饮用水、污水及雨水系统相关服务活动技术委员会：已发布或正在研制污水处理设施管理和污水处理服务评估指南、风险管理、应用示例、水效管理系统等领域 26 项国际标准。在固体废物处理处置方面，ISO/TC275 污水（污泥）回收、循环、处理和处置技术委员会：正在开展城镇及工业废水收集系统、粪便、雨水处理、给水处理设备、污水处理厂等污水（污泥）特性、分类、预处理、处理、循环和处置等方面相关的技术、工艺流程和测试方法的标准化工作。目前已发布国际标准 1 项，在研 7 项。

世界发达国家已经建立了适应市场经济发展的国家技术标准体系并达到完善阶段。在完善的技术标准体系下，标准已深入社会生活的各个层面，为法律法规提供技术支撑，成为市场标准人、契约合同维护、贸易仲裁、合格评定、产品检验、质量体系认证等的基本依据。

在经济全球化进程不断加快的今天，技术标准在国际贸易和各国经济发展中所发挥的作用日显突出。世界贸易组织（WTO）通过签署技术贸易壁垒协议（TBT）等方式，把标准提升到了国际贸易规则的地位，标准成为国际贸易中供需双方签订合同所必需的基础性文件，从而使标准具备了更为重要的属性——贸易属性。发达国家纷纷以技术标准，尤其是涉及国家、人身、财产和环境安全的技术标准为依据，强化其经济和技术在国际中的竞争地位，削弱发展中国家的成本优势，使我们面临严重的挑战。在当今减污降碳协同增效的关键时期，我国污水处理行业减污降碳标准体系的构建也需要和国际标准接轨。

根据对国际标准化服务网、中国标准服务网等的标准数据进行整理统计和分析，发现现有国际标准化组织等污水处理行业减污降碳相关标准主要涉及污水处理行业水污染防治和固体废物处置方面。通过对国外污水处理行业减污降碳主要标准的统计分析，了解国外污水处理行业减污降碳标准体系现状，确定国外发达国家污水处理行业减污降碳先进标准，为构建中国污水处理行业减污降碳标准体系提供技术支撑。

（1）发达国家标准的特点

美国、法国、日本等发达国家均采用自愿性标准体系，标准本身不具有强制性。标准基

本上划分为国家标准、团体标准和企业标准三个类型；标准的形式包括标准、技术守则、标准安利、补遗和公告等。近年来又出现了协议标准和事实标准等新模式，充分体现了标准应尽快反映技术进步和市场需求的原则。同时美国、法国、德国、日本等的专业团体学会和协会在标准化工作中也发挥主导作用。

（2）国际标准

国际标准化组织（International Organization for Standardization），简称 ISO，成立于 1947 年 2 月 23 日，是国际标准化领域中一个十分重要的组织，也是一个全球性的非政府组织。ISO 的组织机构分为非常设机构和常设机构，中国于 1978 年加入 ISO，在 2008 年 10 月的第 31 届国际化标准组织大会上，中国正式成为 ISO 的常任理事国，代表中国参加 ISO 的国家机构是中国国家技术监督局（CSBTS）。

联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）在其报告中指出，技术标准是当前减缓气候变化的一种技术途径，国际上成立了多个标准化技术委员会，开展标准化工作。目前已发布或在研水污染防治、固体废物处理处置标准共 34 项，主要聚焦以下方面：城镇及工业废水收集系统、给水处理设备、污水分类处理、污泥分类处理循环和处置、污水处理设施管理、污水处理服务评估以及水效管理系统等。

在水污染防治方面，ISO/TC224 饮用水、污水及雨水系统相关服务活动技术委员会：已发布或正在研制污水处理设施管理和污水处理服务评估指南、风险管理、应用示例、水效管理系统等领域 26 项国际标准。

在固体废物处理处置方面，ISO/TC275 污水（污泥）回收、循环、处理和处置技术委员会：正在开展城镇及工业废水收集系统、粪便、雨水处理、给水处理设备、污水处理厂等污水（污泥）特性、分类、预处理、处理、循环和处置等方面相关的技术、工艺流程和测试方法的标准化工作。目前已发布国际标准 1 项，在研 7 项。国际标准化组织现行污水处理相关减污降碳标准清单见表 3-1。

表 3-1 国际标准化组织现行污水处理相关减污降碳标准清单

序号	标准号	标准名称	中文名称
1	ISO 24516-3:2017	Guidelines for the management of assets of water supply and wastewater systems — Part 3: Wastewater collection networks	供水和污水处理系统资产管理指南 - 第3部分：污水收集网
2	ISO 24516-4:2019	Guidelines for the management of assets of water supply and wastewater systems — Part 4: Wastewater treatment plants, sludge treatment facilities, pumping stations, retention and detention facilities	供水和废水系统资产管理指南第4部分：废水处理厂污泥处理设施泵站滞留设施
3	ISO 19698:2020	Sludge recovery, recycling, treatment and disposal — Beneficial use of biosolids — Land application	污泥回收、再循环、处理和处置-生物固体的有益利用-土地利用
4	ISO/TR 20736:2021	Sludge recovery, recycling, treatment and disposal — Guidance on thermal treatment of sludge	污泥回收、再循环、处理和处置.污泥热处理指南

3.2 我国污水处理行业低碳化标准

3.2.1 污水处理行业相关标准

在我国，标准为污水处理提供基础制度保障。现行污水处理相关国家标准共 18 项，其中强制性标准 3 项，推荐性标准 15 项。行业标准共 63 项，主要包括机械、城镇建设与环境保护等行业，分别对污水处理设备与装备、污泥处置与排放、污水处理工程技术与运行监督管理等领域进行了规范。地方标准共 98 项，其中强制性标准 32 项，基本为城镇污水处理厂或农村污水处理设施的水污染物排放标准。推荐性标准共 66 项，涵盖了设施建设、设备装置、污水处理技术、尾水人工湿地建设、污泥处理与综合利用、运维管理、水量水质监控、物联网管理、安全生产、突发事件风险防控等领域。国家与行业标准涉及领域较广，但目前标准体系发展缺乏系统性，存在各地分别在个别领域开展标准编制的情况。

生态环境领域，污水处理已基本形成了国家与地方两级标准体系，强制性标准主要聚焦水污染物排放限值，推荐性标准主要聚焦污水处理与污染防治技术规范。我国于 2002 年发

布的《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）是目前应用最为广泛的污水处理行业标准。截至 2019 年底，全国共有 2913 座城镇污水处理厂执行 GB 18918-2002 中的一级 A 标准，占全国总数的 53.2%，在我国水体有机物、氮、磷减排和富营养化控制方面做出了积极贡献。在 GB 18918-2002 基础上，随着水环境质量要求不断提高，污水处理行业标准体系也在逐步完善。地方标准不断发展，江苏、北京、浙江、安徽、海南等地均制定了省级或重点流域的城镇污水处理厂水污染物排放标准，江苏、北京、浙江、山东、安徽、湖北、吉林等地均制定了农村生活污水处理设施水污染物排放标准。各细分领域的标准不断被提出，徐志荣等以《浙江省农村生活污水处理设施水污染物排放标准》（DB 33/973-2015）修订为切入点，结合浙江省对农村污水的实际管控需求，在设备规模、控制指标、直接和间接排入等方面提出修订建议。刘承东从地下污水处理设施的恶臭污染源监测、处理和扩散避免等角度阐释了《广东省城镇地下污水处理设施通风与臭气处理技术标准》的编制思路。可见污水处理行业水污染物排放控制标准已较为完善，面向碳中和发展需求，需进一步加强减污降碳协同治理技术的推广，补充减污降碳先进技术规范。

节能低碳方面，国家与地方陆续开展了相关标准制定。2019 年，国家标准化管理委员会发布了《污水处理用旋转曝气机能效限定值及能效等级（GB 37483-2019）》《污水处理用潜水推流式搅拌机能效限定值及能效等级（GB 37485-2019）》2 项强制性污水处理设备相关能效标准，规定了相关设备的能效等级、技术要求及测试方法，提升了污水处理行业相关设备标准要求，有利于促进行业节能、降耗、增效发展。北京在污水处理行业能耗管控方面起步较早，2014 年发布了《城镇污水处理能源消耗限额（DB11/T 1118-2014）》，规定了不同规模城镇污水处理厂能耗限定值与先进值，2017 年发布《城镇污水处理厂污泥处理能源消耗限额（DB11/T 1428-2017）》，规定了各污泥处理单元干污泥综合能耗限定值和先进值。2020 年河北省住建厅发布《河北省城镇污水处理厂节能运行标准》（DB13(J)/T 8364-2020），界定了不同出水标准下的城镇污水处理能耗限定值和先进值，并推荐了若干节能管理与措施。2022 年 6 月，中国环境保护产业协会发布团体标准《污水处理厂低碳运

行评价技术规范》（T/CAEPI 49-2022），将污水处理低碳运行评价分为碳排放强度和低碳行为两部分，其中碳排放强度包括直接碳排放强度和间接碳排放强度，并通过一系列修正系数进行差异化评价，低碳行为包括设施设备低碳改造、优化运行、低碳建设、监测与核算，并规定了三级评价等级。目前我国节能降碳领域污水处理行业标准数量较少，仅个别地区开展了先行研究，且标准主要集中在能源消耗管控方面，碳排放管理领域的标准研究较少，仍处于起步阶段。

目前江苏省污水处理相关现行标准共 6 项。其中强制性标准 2 项，包括《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/ 1072-2018）》与《农村生活污水处理设施水污染物排放标准（DB32/ 3462-2020）》。推荐性标准 4 项，分别为《新型冠状病毒肺炎疫情防控技术规范 第 22 部分：城镇污水处理厂（DB32/T 3761.22-2020）》《农村生活污水处理设施物联网管理技术规范（DB32/T 4024-2021）》《污水处理中恶臭气体生物净化工艺设计规范（DB32/T 4025-2021）》《城镇生活污水处理管理规范（DB3205/T 1032-2021）》。此外，江苏省生态环境厅组织编制的《城镇污水处理厂污染物排放标准》和《污水处理厂污染排放过程（工况）自动监控技术指南》正在研究中。通过对现行标准体系梳理发现，目前江苏省污水处理行业标准主要集中在生态环境治理领域，水污染排放标准已较为健全、管控要求不断收紧，涉及领域也从排放限值管控拓宽到先进技术的应用，但在节能降碳领域仍处于空白，仍需大力推进减污降碳先进技术规范、能耗管控与碳排放管理等标准的制定，以系统完善的标准体系推动行业低碳转型发展。

表 3-2 我国现行污水处理相关标准清单

标准类型	序号	标准名称
国家标准 (强制性)	1	GB 37485-2019 污水处理用潜水推流式搅拌机能效限定值及能效等级
	2	GB 37483-2019 污水处理用旋转曝气机能效限定值及能效等级
	3	GB 18918-2002 城镇污水处理厂污染物排放标准
国家标准 (推荐性)	4	GB/T 40201-2021 农村生活污水处理设施运行效果评价技术要求
	5	GB/T 37071-2018 农村生活污水处理导则

标准类型	序号	标准名称
	6	GB/T 34173-2017 城镇排水与污水处理服务
	7	GB/T 33815-2017 铁矿石采选企业污水处理技术规范
	8	GB/T 10833-2015 船用生活污水处理设备技术条件
	9	GB/T 28742-2012 污水处理设备安全技术规范
	10	GB/T 28743-2012 污水处理容器设备 通用技术条件
	11	GB/T 27888.4-2011 船舶与海上技术 船舶与海上结构物的排水系统 第 4 部分：卫生水排放和污水处理管理
	12	GB/T 25031-2010 城镇污水处理厂污泥处置 制砖用泥质
	13	GB/T 24600-2009 城镇污水处理厂污泥处置 土地改良用泥质
	14	GB/T 24602-2009 城镇污水处理厂污泥处置 单独焚烧用泥质
	15	GB/T 24188-2009 城镇污水处理厂污泥泥质
	16	GB/T 23486-2009 城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化用泥质
	17	GB/T 23484-2009 城镇污水处理厂污泥处置 分类
	18	GB/T 23485-2009 城镇污水处理厂污泥处置 混合填埋用泥质
行业标准 (强制性)	19	JBT13743-2019 污水处理用倒极式电渗析装置
	20	JBT13744-2019 污水处理预制排水泵站
	21	HJ2047-2015 水解酸化反应器污水处理工程技术规范
	22	HJ 2038—2014 城镇污水处理厂运行监督管理技术规范
	23	HJ 2029—2013 医院污水处理工程技术规范
	24	HJ 2021—2012 内循环好氧生物流化床污水处理工程技术规范
	25	HJ 2013—2012 升流式厌氧污泥床（UASB）反应器污水处理工程技术规范
	26	HJ 2014—2012 生物滤池法污水处理工程技术规范
	27	HJ 2005—2010 人工湿地污水处理工程技术规范
	28	HJ 576—2010 厌氧-缺氧-好氧活性污泥法污水处理工程技术规范
	29	HJ 577—2010 序批式活性污泥法污水处理工程技术规范
	30	HJ 578—2010 氧化沟活性污泥法污水处理工程技术规范
	31	HJ 579—2010 膜分离法污水处理工程技术规范
	32	HJ 580—2010 含油污水处理工程技术规范
	33	CJ 3025-1993 城市污水处理厂污水污泥排放标准
行业标准 (推荐性)	34	NB/T 10869—2021 水电工程移民安置生活污水处理技术规范
	35	NB/T 10611—2021 水力发电厂含油污水处理系统设计导则
	36	JB/T 14092-2020 集成式模块化污水处理设备

标准类型	序号	标准名称
	37	JB/T 14103-2020 一体化生活污水处理设备
	38	JT/T 1147.3—2020 公路服务区污水处理设施技术要求 第3部分：曝气生物滤池处理系统
	39	JB/T 13743-2019 污水处理用倒极式电渗析装置
	40	JB/T 13744-2019 污水处理预制排水泵站
	41	JB/T 13563-2018 污水处理曝气机用减速机
	42	CJ/T 522-2018 污水处理用沉砂池行车式吸砂机
	43	CJ/T 523-2018 污水处理用辐流沉淀池周边传动刮泥机
	44	JT/T 1147.1-2017 公路服务区污水处理设施技术要求 第1部分：膜生物反应器处理系统
	45	JT/T 1147.2-2017 公路服务区污水处理设施技术要求 第2部分：人工湿地处理系统
	46	CB/T 8532-2017 船厂污水处理工程设计规程
	47	CJ/T 510-2017 城镇污水处理厂污泥处理 稳定标准
	48	JB/T 12914-2016 无动力厌氧生物滤池法餐饮业污水处理器
	49	YB/T 4485-2015 铁矿石采选企业污水处理技术规范
	50	JB/T 11832-2014 污水处理厂鼓式螺压污泥浓缩设备
	51	JB/T 11826-2014 城镇污水处理厂污泥焚烧处理工程技术规范
	52	JB/T 11825-2014 城镇污水处理厂污泥焚烧炉
	53	CJ/T 441-2013 户用生活污水处理装置
	54	NB/T 34011-2012 生物质气化集中供气污水处理装置技术规范
	55	JT/T 802-2011 高速公路服务区生物接触氧化法污水处理成套设备
	56	CJ/T 362-2011 城镇污水处理厂污泥处置 林地用泥质
	57	CJ/T 355-2010 小型生活污水处理成套设备
	58	CJ/T 314-2009 城镇污水处理厂污泥处置 水泥熟料生产用泥质
	59	CJ/T 309-2009 城镇污水处理厂污泥处置 农用泥质
	60	CJ/T 290-2008 城镇污水处理厂污泥处置 单独焚烧用泥质
	61	CJ/T 291-2008 城镇污水处理厂污泥处置 土地改良用泥质
	62	CJ/T 289-2008 城镇污水处理厂污泥处置 制砖用泥质
	63	CJ/T 248-2007 城镇污水处理厂污泥处置 园林绿化用泥质
	64	CJ/T 239-2007 城镇污水处理厂污泥处置 分类
	65	CJ/T 247-2007 城镇污水处理厂污泥泥质
	66	CJ/T 249-2007 城镇污水处理厂污泥处置 混合填埋泥质

标准类型	序号	标准名称
	67	HG/T 3917-2006 污水处理膜 生物反应器装置
	68	CJ/T 221-2005 城市污水处理厂污泥检验方法
	69	CJ/T 158-2002 城市污水处理厂管道和设备色标
	70	JB/T 8938-1999 污水处理设备通用技术条件
	71	CJ/T 3015.4-1996 污水处理用可张中、微孔曝气器
	72	CJ/T 3044-1995 污水处理用沉砂池行车刮泥机
	73	CJ/T 3042-1995 污水处理用辐流沉淀池周边传动刮泥机
	74	CJ/T 3015.1-1993 污水处理用微孔曝气器
	75	SY/T 5580-1993 油田用原油破乳剂、污水处理剂技术管理规定

3.2.2 污水处理行业低碳化运行管理标准

面对国家减污降碳新要求，为实现污水处理行业的污染物减排与温室气体减排双重目标，国家已发布标准 3 项，地方发布标准 4 项（北京、安徽、河北、苏州），团体标准 2 项。我国现行污水处理相关减污降碳标准清单见表 3-3。

表 3-3 我国现行污水处理行业减污降碳标准清单

标准类型	序号	标准名称
国家标准	1	GB 37485-2019 污水处理用潜水推流式搅拌机能效限定值及能效等级
	2	GB 37483-2019 污水处理用旋转曝气机能效限定值及能效等级
	3	GB/T 40201-2021 农村生活污水处理设施运行效果评价技术要求
地方标准	4	DB3205/T 1032-2021 城镇生活污水处理管理规范（苏州）
	5	DB13(J)/T 8364-2020 城镇污水处理厂节能运行标准（河北）
	6	DB34/T 3831-2021 城市污水处理厂节能降耗运行技术规范（安徽）
	7	DB11/T 1428-2017 城镇污水处理厂污泥处理能源消耗限额（北京）
团体标准	8	T/CAEPI 49-2022 污水处理厂低碳运行评价技术规范
	9	T/GDDTJS001—2024 广东省城镇污水处理厂绿色低碳建设与评价指南

3.3 已有标准与本文件的主要区别

根据前文对国内外污水处理行业低碳发展标准化的情况梳理，总结国内外标准化文件的范围和核心技术要素，分析已有标准与本文件的主要区别，见表 3-4。

表 3-4 国内外标准化情况及与本文件的主要区别

序号	规范文件	主要内容	与本文件的主要区别
1	ISO 24516-3:2017 Guidelines for the management of assets of water supply and wastewater systems — Part 3: Wastewater collection networks	范围：适用于运营废水网络的所有类型和规模的组织和/或公用事业公司，以及公用事业公司内资产管理的所有不同角色/职能。 核心技术要素：规定了废水网络资产管理的技术方面、工具和良好实践的指南，包括战略、战术和运营层面良好实践方法的示例。	侧重于污水处理厂的在线管理运维，未强调节能管理和运行要求。
2	ISO 24516-4:2019 Guidelines for the management of assets of water supply and wastewater systems — Part 4: Wastewater treatment plants, sludge treatment facilities, pumping stations, retention and detention facilities	范围：适用于运营废水系统的所有类型和规模的组织和/或公用事业公司。 核心技术要素：包括战略、战术和运营层面良好实践方法的示例。	重点关注通常由废水公用事业公司拥有或运营的废水系统中的资产，未强调节能管理和运行要求
3	ISO 19698:2020 Sludge recovery, recycling, treatment and disposal — Beneficial use of biosolids — Land application	范围：适用于土地应用的生物固体，包括废水处理（市政、工业和私人现场系统）中的生物固体。 核心技术要素：提供了关于在生产粮食和饲料作物、能源作物、林业作物以及修复受干扰的作物中有益使用由工业和城市污泥产生的生物固体以及城市生物固体衍生产品（例如堆肥、生长介质）的条件指导。	侧重于固废的资源化利用，本文件对于可再生资源利用技术指南包括污泥、污水、太阳能等。
4	ISO/TR 20736:2021 Sludge recovery, recycling, treatment and disposal — Guidance on thermal treatment of	范围：适用于以下来源的污泥：雨水处理；粪便；城市污水收集系统；城市污水处理厂；处理与城市污水类似的工业污水。它包括所有可能具有类似环境和/或健康影响的污	侧重于污泥的资源化利用，本文件对于可再生资源利用技术指南包括污泥、污水、太阳能等。

序号	规范文件	主要内容	与本文件的主要区别
	sludge	泥，但不包括来自工业的危险污泥和疏浚污泥。 核心技术要素：提供了污泥通过热处理进行焚烧和其他有机物处理的良好做法。	
5	GB/T 40201-2021 农村生活污水处理设施运行效果评价技术要求	范围：适用于农村生活污水处理设施(规模 $\leq 500\text{m}^3/\text{d}$)运行效果评价。 核心技术要素：规定了农村生活污水处理设施运行效果评价的总则、评价指标与计算方法、评价方法，以及评价报告。	适用于农村污水处理厂，处理规模较小，以污染去除和水质达标为主要目的，减污降碳协同技术标准未涉及，本文件制定了减污降碳协同的污水处理工程技术要求。
6	GB 37483-2019 污水处理用旋转曝气机能效限定值及能效等级	范围：适用于各种工业废水、市政污水处理工艺以及水体复氧所使用的由电动机驱动的立轴式旋转曝气机、卧轴式旋转曝气机和自吸式叶轮曝气机。 核心技术要素：规定了污水处理用旋转曝气机的术语和定义、能效等级、技术要求及测试方法。	侧重于设备能效评价及技术要求，本文件补充了节能技术清单、节能改造要求等。
7	GB 37485-2019 污水处理用潜水推流式搅拌机能效限定值及能效等级	范围：适用于由潜水电机驱动的高、中、低速潜水推流式搅拌机。 核心技术要素：规定了污水处理用潜水推流式搅拌机的术语和定义、能效等级、技术要求、测试方法。	侧重于设备能效评价及技术要求，本文件补充了节能技术清单、节能改造要求等。
8	DB3205/T 1032-2021 城镇生活污水处理管理规范	范围：适用于苏州市排水户、污水处理厂、污水管网养护单位和排水主管部门等排水运行管理。 核心技术要素：规定了苏州市城镇生活污水收集、过程输送、城镇污水处理厂(以下简称“污水处理厂”)管理、再生水利用、数字化建设和管理、安全管理和考核监督等内	侧重于城镇污水处理厂的规范化运行管理，减污降碳协同技术标准处于空白，本文件制定了减污降碳协同的污水处理工程技术要求。

序号	规范文件	主要内容	与本文件的主要区别
		容。	
9	DB13(J)/T 8364-2020 河北省城镇污水处理厂节能运行标准	范围：适用于城镇污水处理厂运行能耗的计算、评价和节能管理。 核心技术要素：规定了城镇污水处理厂的技术要求、能耗统计要求、节能管理措施等内容。	侧重于污水处理厂节能效果的计算、评价和管理，而本文件提供了污水处理厂节能改造的具体改造要求、通用设备运行要求、通用设备管理要求，并提供了适配技术等。
10	DB34/T 3831-2021 城市污水处理厂节能降耗运行技术规范	范围：适用于处理规模 1.0 万吨/日(含)以上的城市污水处理厂的节能降耗分析、运行控制优化、自动化系统建立及节能降耗评价体系的建立与应用。 核心技术要素：规定了城市污水处理厂的设备节能改造与应用、工艺运行优化、药剂使用优化、精确控制系统建立、评价体系等内容。	侧重于设备节能改造与精确控制系统方面，本文件补充了污水热能、污泥化学能、太阳能等可再生能源开发利用的技术要求。
11	DB11/T 1428-2017 城镇污水处理厂污泥处理能源消耗限额	范围：适用于城镇污水处理厂污泥处理工艺能耗的计算、管理、评价和监督。 核心技术要素：规定了城镇污水处理厂污泥处理的能源消耗(以下简称能耗)限额的技术要求、统计范围与计算方法、节能管理与措施。	侧重于污水处理厂能耗核算及评价，而本文件提供了污水处理厂节能改造、污水处理系统优化、污泥处理系统优化等方面的技术指南，并提供了适配技术等。
12	T/CAEPI 49-2022 污水处理厂低碳运行评价技术规范	范围：适用于污水处理厂碳排放强度核算和低碳运行水平评价。 核心技术要素：规定了污水处理厂碳排放强度核算、低碳运行评价，提出定量(碳排放强度)和定性(低碳行为)的评价指标体系。	侧重于污水处理厂碳排放核算及评价，而本文件提供了污水处理厂节能改造、污水处理系统优化、污泥处理系统优化等方面的技术指南，并提供了适配技术等。
13	T/GDDTJS001—2024 广东省城镇污水处理	范围：适用于广东省新建和改扩建的城镇污水处理厂的绿色低碳建	侧重于污水处理厂低碳建设方面的指导，而本

序号	规范文件	主要内容	与本文件的主要区别
	厂绿色低碳建设与评价指南	设与建设过程的绿色低碳水平评价。 核心技术要素：提供了城镇污水处理厂绿色低碳建设与评价基本原则、规划设计、建造施工、建设评价等方面的指导和建议。	文件提供了污水处理厂节能改造、污水处理系统优化、污泥处理系统优化等方面的技术指南，并提供了适配技术等。

4. 工作简况

4.1 任务来源

江苏省环境科学学会于 2025 年 3 月批准立项（苏环学【2025】8 号）。

4.2 起草单位及分工

表 4-1 起草单位及分工

序号	起草单位	任务分工
1	江苏省环境科学研究院	收集整理国内外污水处理行业减污降碳相关政策、标准，分析污水处理行业减污降碳标准存在问题，依托污水处理厂碳排放核算、低碳技术和示范工程等，研制污水处理行业低碳运行管理技术规范。
2	江苏常环环境科技有限公司	设备节能改造、可再生资源利用、智能化控制系统专题
3	宜兴市公用环保集团有限公司	污水处理低碳技术、污泥处理低碳技术专题
4	中冶生态环保集团（滁州）研究院有限公司	污水处理低碳技术与运营、智能化控制系统专题
5	昆山市石牌琨澄水质净化有限公司	污水处理低碳技术与运营专题

4.3 主要起草人情况简介

表 4-2 主要起草人情况

序号	姓名	工作单位	研究方向
1	高爽	江苏省环境科学研究院	标准政策研究
2	刘智强	江苏常环环境科技有限公司	低碳发展与环境保护政策

序号	姓名	工作单位	研究方向
3	王大春	宜兴市公用环保集团有限公司	污水低碳处理与利用
4	曹伟	中冶生态环保集团（滁州）研究院有限公司	污水处理厂建设及运营管理
5	马志飞	昆山市石牌琨澄水质净化有限公司	城镇污水厂运营管理

4.4 主要工作过程

4.4.1 标准预研

2024 年 1 月-2025 年 1 月，编制组调研并系统分析了欧美等发达国家以及我国已发布的污水处理厂运行标准及技术指南等文件，结合国内外相关研究成果及典型污水处理厂调研情况，对污水处理过程碳排放特征进行分析，从设备节能改造与应用、污水处理系统优化、污泥处置系统优化、可再生资源利用、智能化控制系统建立等方面，构建污水处理行业低碳运行管理技术指南。

4.4.2 立项申请

2025 年 2 月，向江苏省环境科学学会正式提交立项申请。

4.4.3 标准立项审查会

2025 年 3 月 6 日，江苏省环境科学学会在南京组织召开了标准立项审查会，经专家质询和讨论，同意立项。

4.4.4 标准起草

2025 年 3 月，标准编制组针对专家意见进行了认真研讨和修改形成标准初稿。

4.4.5 标准初审会

2025 年 4 月 14 日-4 月 30 日，江苏省环境科学学会组织了团体标准初稿的函审。标准编制组针对专家意见进行了认真研讨和修改形成标准征求意见稿。

4.4.6 征求意见

××年××月××日—××年××月××日，江苏省环境科学学会公开征求意见。

4.4.7 标准修改和送审稿形成

××年××月，标准编制组根据征集的意见，对标准进行了认真修改，形成送审稿。

4.4.8 标准送审稿审查

××年××月××日，江苏省环境科学学会组织召开了标准送审稿审查会，经专家质询和讨论，专家组一致同意通过审查，建议起草组根据专家意见修改后提交报批稿，进入发布程序。

4.4.9 标准报批

××年××月，起草组根据专家意见修改后向江苏省环境科学学会提交报批稿。

4.4.10 标准发布

××年××月××日，江苏省环境科学学会于批准发布。

5. 标准主要技术内容及编制依据

5.1 碳排放关键环节及降碳措施

5.1.1 碳排放关键环节

2020 年我国城镇生活污水处理耗电约 184 亿 kW·h，仅能耗造成碳排放就高达 6800 万吨 CO₂eq/a，加上污水处理过程直接碳排放和工业废水处理碳排放，行业碳排约占全社会总量的 3%~5%。污水处理过程中的直接碳排放主要在生化工艺单元产生，包括 CH₄ 和 N₂O。CH₄ 主要在厌氧处理单元产生最多，占比约 84%，其次在初沉池阶段产生；N₂O 主要在硝化和反硝化阶段产生。间接碳排放 75% 为电力消耗，以二级处理阶段耗电最多，约占 60%~70%，一级处理阶段占 15%~20% 左右。污水处理全流程及各环节碳排放类型见图 5-1。

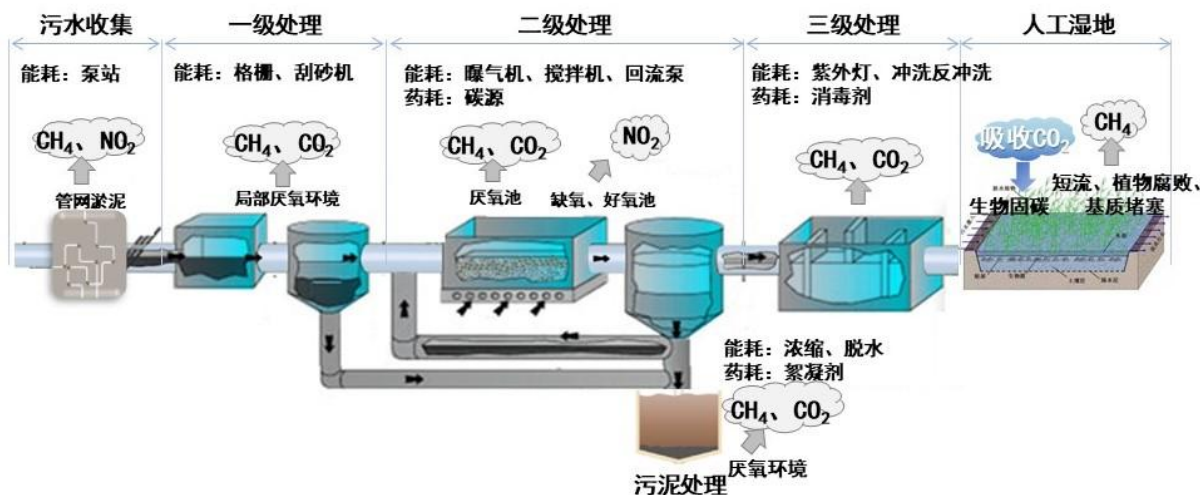


图 5-1 污水处理全流程及碳排放类型示意图

5.1.2 降碳措施

根据江苏省污水处理厂的碳排放核算结果及碳排放关键环节分析，污水处理碳减排关键环节包括通用耗能设备、污水处理系统、污泥处置系统、可再生资源利用、智慧化控制系统和碳管理，污水处理碳减排关键环节与降碳措施见表 5-1。

表 5-1 污水处理碳减排关键环节与降碳措施

碳减排关键环节	降碳措施
通用耗能设备	定期开展节能评估与改造
	提升系统、曝气系统、除臭系统等选用一级能效设备，配置变频器
	照明分时分区控制
污水处理系统	厂站网一体化联合调度运行
	全流程优化工艺参数
	一级处理优先选用吸附-生物降解技术等先进技术
	二级处理优先选用短程硝化反硝化、后置反硝化 AOA、厌氧氨氧化、好氧颗粒污泥、侧流活性污泥水解发酵生物除磷、侧流短程硝化-厌氧氨氧化、厌氧膜生物处理、基于高负荷活性污泥法的低 COD 污水碳源高效捕集等技术
	三级处理优先选用藻膜生物反应器、基于膜处理的再生水回用技术
	人工湿地优先选用尾水深度净化生物电化学-人工湿地降碳汇碳、基于微藻强化尾水的人工湿地菌-藻碳汇等技术
污泥处置系统	优化絮凝剂投加比例

碳减排关键环节	降碳措施
	采用热水解预处理、余热干化、污泥脱水上清液磷回收等技术
	污泥处置优先选用污泥掺烧发电、污泥碳化、热水解污泥-餐厨共厌氧消化-耦合热电联产等技术
可再生资源利用	建设光伏发电、尾水发电、微风发电及储能等多能互补的源网荷储综合能源系统
	采用污水热泵技术，对厂内及周边区域供暖供冷
	多途径利用再生水，如市政杂用、生态补水、工业回用等
智慧化控制系统	配套反馈系统的智慧曝气系统
	配套反馈系统的自动加药系统
	配套反馈系统的精确排泥系统
	配备 OA、SCADA 等信息化管理与控制系统
碳管理	建立低碳化管理制度

5.2 通用耗能设备降碳措施

污水处理厂中的通用耗能设备通过消耗电力产生间接碳排放，通用耗能设备主要包括污水提升泵、鼓风机、搅拌机、回流及反冲洗泵、除臭设施（通风机）等，其中鼓风机能耗最高，占污水处理厂总能耗约 50%，其次为泵（包括污水提升泵 17%、回流及反冲洗泵 7%）、搅拌机（11%）、除臭设施（2%）。本节根据通用耗能设备的不同种类提出降碳措施，包括设备选型及运行优化规定。

5.2.1 泵、通风机、鼓风机、空气压缩机

泵、通风机、鼓风机、空气压缩机是污水处理厂最主要的耗能设备，其中鼓风机和泵的电耗最多，鼓风机耗电量约占污水处理厂总耗电量的 50%，泵耗电量约占污水处理厂总耗电量的 15%~20%。

（a）泵的性能曲线主要包括流量-扬程曲线（Q-H 曲线）、流量-功率曲线（Q-P 曲线）等，反映了其不同流量、扬程下的效率变化。通过精准分析实际运行工况，如污水提升高度、流量波动等，匹配高效运行区间，可提高泵工作效率，降低能耗。例如，当污水处理厂夜间流量降低时，通过调节泵的运行频率或台数，使其工作在高效区间，有效减少电能消耗，从而减少间接碳排放。

(b) (c) (f) 《离心泵、混流泵与轴流泵系统经济运行》(GB/T 13469)、《通风机系统经济运行》(GB/T 13470)、《交流电气传动风机(泵类、空气压缩机)系统经济运行通则》(GB/T 13466), 这些标准对设备的选型、安装、调试、运行维护等全流程做出规范。合理选型确保设备适配实际工况, 减少不必要能耗; 规范安装与调试可降低设备运行阻力与能量损失; 良好的运行维护保证设备性能稳定, 始终处于高效运行状态, 从各个环节保障设备系统的经济运行, 实现节能降碳。

(d) 相较于低能效鼓风机, 1 级能效鼓风机能耗可降低 10% - 20%, 而减少污水处理厂整体能耗与碳排放。

(e) 喘振是鼓风机在特定工况下发生的不稳定现象, 会导致风机剧烈振动、噪声增大、效率急剧下降, 甚至损坏设备。确保鼓风机运行风量高于喘振曲线限定值, 可使鼓风机稳定运行, 避免因喘振造成的额外能耗与设备故障, 间接实现节能降碳。

5.2.2 曝气机与搅拌机

曝气机和搅拌机是污水处理厂的关键设备, 广泛应用于多个处理环节。在好氧处理阶段, 曝气机通过曝气向污水中充氧, 为微生物提供生存所需氧气, 促进有机物分解; 搅拌机则用于混合搅拌污水, 使污水中的污染物、微生物和溶解氧充分接触, 提升处理效果。这两类设备通常需要长时间连续运行, 因此耗电量较大。

旋转曝气机和潜水推流式搅拌机是较为常用的类型, 目前国家已有《污水处理用旋转曝气机能效限定值及能效等级》(GB 37483)《污水处理用潜水推流式搅拌机能效限定值及能效等级》对其能效进行限定, 其他类型曝气机和搅拌机可进行参考。

5.2.3 电动机

电动机是驱动各类设备运转的核心动力部件。污水提升环节, 离心式污水提升泵依靠电动机提供动力, 提升污水液位; 曝气系统中, 罗茨风机、离心风机等曝气设备的运转由电动机带动; 污泥处理环节, 带式压滤机、离心脱水机、污泥输送泵等设备均依赖电动机实现运行。电动机的电耗主要取决于其功率、运行时间以及负载率。在污水处理厂中, 电动机往往

需长期连续运行，如污水提升泵和曝气风机的电动机，其消耗的电能间接产生碳排放。当电动机处于低负载率运行时，其效率会大幅下降，导致额外的电能浪费和更多的碳排放。

(a) 符合《电动机能效限定值及能效等级》（GB 18613）规定的 1 级能效要求的电动机，相较于低能效等级的电动机，1 级能效电动机的效率可提高 5% - 10%，从而降低间接碳排放。

(b) 《三相异步电动机经济运行》（GB/T 12497）对电动机的选择、安装、运行维护以及调速控制等方面做出了详细规定，通过合理选择电动机容量，可使电动机运行在高效区间；规范的安装和良好的维护能够减少电动机运行过程中的机械损耗和电气损耗，从而降低电耗和碳排放。

(c) 变频器能够根据设备的实际运行需求，灵活调节电动机的转速，避免电动机长期在恒速运行下造成的电能浪费，有研究表明采用变频器可使电动机节能 20%~50%，大幅减少碳排放。如，在污水处理厂的曝气系统中，随着污水水质和水量的变化，对曝气量的需求也会相应改变。通过变频器调节曝气风机电动机的转速，使曝气量精准匹配实际需求，既能保证污水处理效果，又能显著降低风机的能耗。

5.2.4 电力变压器

电力变压器在污水处理厂中发挥着电力转换与分配的作用，主要应用场景包括污水提升泵房、曝气系统、污泥处置系统等，运行中主要存在空载损耗和负载损耗。空载损耗与变压器的材质、设计以及运行电压有关，且不随负载变化而显著改变。负载损耗主要是绕阻电阻在传输电流时产生的热量损耗。

满足《电力变压器能效限定值及能效等级》（GB 20052）规定的 1 级能效要求的变压器，相较于低能效等级的产品，其空载损耗和负载损耗可降低 20% - 30%，从而减少间接碳排放。

符合《电力变压器经济运行》（GB/T 13462）要求的电力变压器不仅可以降低能耗，还能延长使用寿命，减少因设备故障导致的间接碳排放。

正常变压器的负荷率不宜大于 85%，用电设备的负荷往往会发生波动，如变压器负载过高，可能会经常波动到额定值甚至过载运行，其效率降低、能耗显著增加，导致间接碳排放增加，寿命也会受到严重影响。例如，《民用建筑电气设计标准》（GB 51348-2019）4.3.2 中规定“配电变压器的长期工作负载率不宜大于 85%”，《工业与民用供配电设计手册-第四版》1.11.2.1 中规定“合理选择变压器容量，负荷率宜在 75%~85%”。

5.2.5 其他通用耗能设备

设备应预留远程自动化控制接口，便于未来接入智能化控制系统、中控系统，提升运行管理效率。厂区照明实施分时分区及感应控制，可避免不必要照明能耗。通过线路优化、设备更换等提升功率因数的举措，能减少无功功率与线路损耗，全方位助力污水处理厂实现低碳运行。

5.3 污水处理系统降碳措施

污水处理系统是污水处理厂实现减污降碳协同增效的核心环节。污水处理过程中的直接碳排放主要在生化工艺单元产生，包括 CH_4 和 N_2O ，其中 CH_4 主要在厌氧处理单元产生最多， N_2O 主要在硝化和反硝化阶段产生。间接碳排放 75% 为电力消耗，以二级处理阶段耗电最多，约占 60%~70%，一级处理阶段占 15%~20% 左右。本节围绕“源-网-站-厂-河”一体化联合调度、全流程工艺参数优化、减污降碳协同先进技术三个关键方向展开，提出系统性降碳路径。

5.3.1 源网站厂河一体化联合调度运行

“源网站厂河一体化联合调度运行”指根据水质水量等情况，协同调整污水源、污水管网、泵站、污水处理厂、纳污河道的运行状态，以实现污水的合理调配、有效处理以及水生态环境的整体改善。

当水流速度较慢或存在死水区时，有机物会在管网中逐渐积累，加之管道的封闭性，容易形成缺氧或厌氧环境，导致有机物发酵分解产生 CH_4 和 CO_2 。研究表明，管网底泥对污水管渠 CH_4 排放量的贡献占 59%，当管网流速从 0.1m/s 升高到 0.6m/s， CH_4 产排量可减少 27%。

5.3.2 全流程工艺低碳优化

5.3.2.1 当城镇污水处理厂年平均实际处理污水量低于设计处理能力的 60% 时，若仍按原设计参数运行，设备可能处于低效运转状态，造成能耗、药耗浪费。住房和城乡建设部发布的《城镇污水处理厂运营质量评价标准》(CJJ/T228-2014)中 4.1.3 规定：评价周期设施设备利用率应符合平均水力负荷率不应小于 60%。

5.3.2.2 《城镇污水处理厂运行、维护及安全技术规程》(CJJ 60)与《城镇污水处理运行监督管理技术规范》(HJ 2038)详细规范了污水处理设备操作、维护保养到水质监测、运行管理等各环节。如，CJJ 60 对设备的定期维护周期、维护内容明确要求，保障设备长期稳定运行，避免因设备故障导致的能源浪费与处理效率下降；HJ 2038 规范了水质监测频率、指标及运行监督流程，为工艺低碳优化提供准确的数据支持。

5.3.2.3 啤酒、白酒、淀粉等不含有毒有害物质，且有机质含量高的工业生产废水，简单预处理后作为优质碳源与生活污水协同处理，高效利用生产废水的同时大幅减少污水处理厂外购碳源，降低酒企处理废水所消耗的电能、有机物料等，推荐用于不含有毒有害物质、高有机含量的工业企业与碳源不足的污水处理厂。首先主要适用行业为《国民经济行业分类》(GB/T4754—2017)中的农副食品加工业(C13)、食品制造业以及酒(C14)、饮料和精制茶制造业(C15)，且污水处理厂处理能力需满足要求，遵循风险防范、不危及排水设施、总量不增加、公平竞争、自愿协商、稳定运行和出水达标原则，其次要经过环保部门、水务部门、主管部门的认可，开展环境影响评价补充，变更排污许可，最后要加强企业和污水处理厂的监测监管。

5.3.2.4 通过长期监测积累数据，建立模拟模型，可模拟不同工况下工艺运行情况，降低污水处理中的直接和间接碳排放。例如，利用活性污泥模型(ASM)模拟微生物生长代谢过程，预测不同进水水质、工艺参数下的处理效果、碳排放量和能耗，快速找到最优工艺条件，无需在实际生产中频繁调整，实现碳排放量的快速、精准优化。

5.2.2.5 曝气系统

- a) 曝气系统单独控制是实现精准曝气的基础。单独控制使曝气系统能独立响应水质、水量变化，根据实际需氧量灵活调节，减少能源消耗导致的间接碳排放。
- b) 溶解氧在线监测仪实时反馈曝气池中溶解氧浓度，空气调节阀依据监测数据精准调整进气量，两者配合实现溶解氧精准控制。
- c) 采用梯度控制溶解氧，即根据污水在曝气池中不同位置的需氧量差异，合理设置曝气量，减少能源浪费，同时避免二沉池中活性污泥处于厌氧状态而产生温室气体。
- d) 水质浓度高、水量大时，增加叶片浸没深度、提高转速或开启更多设备，增强充氧能力；反之则降低，避免能源浪费产生的间接碳排放。
- e) 曝气器表面易附着污垢、杂质，阻碍空气释放与氧转移。如微孔曝气器堵塞后，出气量减少，氧转移效率大幅降低，为维持溶解氧浓度，需增大曝气设备功率，导致能耗增加。定期清理可保证曝气器正常工作，降低能耗，延长设备使用寿命。

5.3.2.6 一级处理

- a) 集水井和调节池作为污水处理流程前端构筑物，易积累污泥和浮渣，井（池）底积泥、浮渣厚度过大，积泥中的有机物在厌氧环境下持续发酵，释放甲烷等温室气体。液位计用于实时监测集水井和调节池内水位，若液位计故障，可能导致提升泵持续空转，消耗大量电能。
- b) 沉淀池底部污泥若长时间积累，会进入厌氧状态，有机物被厌氧菌分解产生甲烷等温室气体，及时排放污泥可有效打断厌氧发酵过程，减少碳排放。此外，污泥长时间积累还可能影响沉淀效果，增加后续处理单元负荷，额外消耗能源。沉淀池表面浮渣和池底污泥若不及时清除，会逐渐腐败分解，产生二氧化碳、甲烷等气体，增加碳排放。

5.3.2.7 二级处理

a) 生物反应池

多点进水也称为分段进水活性污泥法，早期采用多点进水方式的目的是减少生物池需氧量和供氧量的差异，起到节能降耗的作用。当前采用该方式的目的一方面是增加脱氮除磷段

的碳源含量，另一方面也是消耗污泥回流和硝化液回流所携带的剩余的溶解氧，优化脱氮除磷的反应环境，从而提高处理效果。多点进水流量的分配受制于进水碳氮比。进水碳源充足时进水的流量逐级降低，最后一个分区的流量最低；而进水碳源缺乏时，进水的流量逐级提高，最后一个分区的流量达到最大。

通过监控溶解氧浓度、pH 和出水口氨氮浓度，判断微生物活性与处理效果，合理控制曝气量，降低因曝气设备运行产生的碳排放。

《城镇污水处理厂运行、维护及安全技术规程》（CJJ 60）3.6 规定，好氧池溶解氧浓度宜为 2~4mg/L。实际污水处理过程中，好氧池 DO 为 1.0 mg/L 时进水 TN 的 0.1%会转化成 N₂O 排放，而在 DO 为 2.1-6.2 mg/L 时为 0.04%~0.06%。因此污水处理厂应控制好氧池 DO 水平，相关研究表明，好氧池 DO 控制在 3.5-4.5 mg/L 时 N₂O 产量最低。

污泥浓度即混合液悬浮固体浓度 MLSS，代表单位容积混合液内所含有的活性污泥固体物的总重量（mg/L），MLSS 越高，微生物量越高，造成温室气体产量越高。《城镇污水处理厂运行、维护及安全技术规程》（CJJ 60）3.6 规定了生物反应池正常运行时的一般参数取值，《室外排水设计标准》（GB 50014）中表 7.6.17 建议的 A₂O 法污泥浓度为 2500~4500mg/L，然而实际运行过程中，有些污水处理厂为提高处理效果效率，投加量变高，导致碳排放增加。相关研究表明，MLSS 增大时，N₂O 产量可最高翻至 1.7 倍，在 3500-3700 mg/L 范围内，N₂O 产量最小。

污水内回流一般发生在 AAO（厌氧、缺氧、好氧）工艺的好氧段回流至缺氧段，此时好氧段 DO 随内回流进入缺氧池，若回流比过高，可能造成缺氧池 DO 升高，抑制反硝化过程，产生 N₂O，因此应合理控制回流比。

b) C/N 是控制缺氧反硝化过程 N₂O 产生的重要因素。研究表明，若反硝化过程实现完全反硝化，约至少需要达到 C/N=4。C/N 过低会导致反硝化过程 N₂O 产量增加，这是因为异养反硝化途径中的各种酶会竞争系统中的电子，但氧化亚氮还原酶对电子竞争力最弱，COD 不足时，会导致 N₂O 转化 N₂ 的量大幅减少。研究证明，C/N<3.5 时，N₂O 产量增加约

30%，C/N 更低时，N₂O 产量最高增加 65%左右。另一方面，实际运行过程中，缺氧池常通过外加碳源来满足反硝化所需 C/N，但过高的 C/N 也会导致 NO₂⁻量积累，从而导致 N₂O 增加，同时造成间接碳排的升高。综合考虑直接和间接碳排，缺氧段 C/N 维持在 5.0~6.0 左右，可使 N₂O 碳排量有效缩减。

c) 水质水量的变化直接影响生物滤池内微生物的代谢活动以及滤料的堵塞程度。通过实时监测水质水量与滤池压力，合理延长或缩短反冲洗周期，精准调节气、水反冲洗强度，既能保证滤池的过滤性能，又可避免过度反冲洗造成的能源浪费，降低运行能耗，减少因能源消耗产生的碳排放。

d) 膜分离系统

膜组件运行时对曝气量需求因水质、水温、膜污染程度而异，统一曝气易致曝气不足或过量。独立设置调节阀，可精准调节，减缓膜污染，延长膜寿命，降低曝气能耗，减少间接碳排放。

曝气为膜表面提供冲刷，抽吸泵负责出水。曝气停止时若抽吸泵继续运行会增加阻力耗电，联动控制可避免无效运行，减少能耗与碳排放。

损坏膜片及时修复或更换，可防止污水短路，保障膜分离系统正常运行，良好的膜性能能降低抽吸泵压力，减少能耗，减少间接碳排放。

e) 低分子有机碳源（如乙酸钠、甲醇）比高分子碳源更易被微生物利用，能快速参与反硝化反应实现脱氮。在缺氧区低溶解氧、搅拌好的点位投加，可让碳源迅速接触微生物，避免氧化，减少外部碳源投加量。

5.3.2.8 三级处理

若采用紫外线消毒，其碳排放主要来自电力消耗；若使用次氯酸钠、二氧化氯等化学药剂消毒时，除药剂生产过程中的间接碳排放，药剂运输、储存及投加设备运行也会产生一定碳排放。依据实际处理水量和出水类大肠菌群指标进行精准控制，调整紫外线灯管开启数量和药剂投加量，可避免能源浪费，减少不必要的碳排放。采用药剂消毒工艺时，配制、稀释

药剂优先选用回用水，可降低对新鲜水资源的取用，减少因新鲜水净化、输送产生的能耗及碳排放，实现资源的循环利用，从而达到降碳目的。

5.3.2.9 人工湿地

湿地植物生长、微生物活动及有机物质分解等产生温室气体，若通风不良、植物过于密集，会加剧气体积聚，增加碳排放。死水区和短流现象会导致污水不能充分处理，微生物分解不完全，也间接增加碳排放。保持良好通风条件、及时收割植物，可防止残体腐烂产生甲烷等温室气体；合理设计水流路径，可使污水均匀流经湿地，提高处理效率，同时减少污水及基质长时间厌氧产生碳排放，达到污水处理与低碳排放的双重目标。合理利用收割的植物，如作为生物质能源或有机肥料，能实现资源再利用，减少其他能源生产过程中的碳排放。

5.3.3 污水处理减污降碳协同技术

5.3.3.1 一级处理

a) 吸附—生物降解工艺

该技术可去除 50%~70%的 TSS、25%~40%的 BOD 和 20%~35%的 COD，推荐用于厌氧氨氮化和厌氧消化反应的前端，适合部分工业废水的处理，尤其 pH 值波动较大的废水。与常规一级处理相比，该技术可分别减少总机件费用 20%~25%、能耗 10%~20%、曝气池容积 30%~40%、曝气量 20%~30%。

5.3.3.2 二级处理

a) 短程硝化反硝化

该技术反硝化速率快，TN 去除率可达 90%，推荐用于为厌氧氨氧化提供亚硝酸盐，适合用于高浓度氨废水、污泥消化池上清液处理。与常规活性污泥工艺相比，该技术可分别减少反应器容积 30%、曝气量 25%、有机碳源 40%以上。

b) 厌氧氨氧化

该技术氮去除负荷高，TN 去除率可达 90%以上，推荐用于高浓度氨氮废水处理，其中，短程硝化耦合厌氧氨氧化技术在侧流脱氮中已成熟可用，短程反硝化耦合厌氧氨氧化技

术是实现主流城市污水部分厌氧氨氧化的新途径。与常规活性污泥工艺相比，该技术无需投加外碳源，可分别减少曝气量 60%、污泥产量 75%。

c) 好氧颗粒污泥

该技术具有同步脱氮除磷能力，COD、BOD、SS 去除率均达 90%以上，TN 去除率可达 80%以上。推荐用于高浓度有机废水、高含盐度废水处理。与常规活性污泥工艺相比，该技术可分别减少能耗 50%、占地面积 75%、运行成本 50%以上。

d) 侧流活性污泥水解发酵生物除磷

该技术主流磷去除率可达 90%以上，出水 TP 浓度可低于 0.2-0.3 mg/L，适合用于各种不同类型污水处理厂。与常规除磷工艺相比，该技术可实现侧流磷回收 60%以上，利用内碳源的同时减少污泥产量 10%~30%、药剂使用量 40%以上。

e) 侧流短程硝化-厌氧氨氧化

厌氧消化上清液的侧流短程反硝化—厌氧氨氧化（PD/A）技术，可以有效地降低侧流反硝化过程中的有机碳含量，同时也可以节省有机氧化和短程硝化的耗氧量，并为主流提供高品质碳源，降低碳源药耗碳排放。实现侧流部分硝化和厌氧氨氧化运行工艺优化，曝气能耗相比传统生物脱氮工艺减少 50%，脱氮效率达到 80%以上。

f) 厌氧膜生物处理

该技术 COD 去除性能优，中温下 COD 去除率可达 90%，推荐用于高浓度有机废水处理，AnMBR 耦合厌氧氨氧化工艺可实现有机物去除-能源回收与集约型脱氮过程的分离，提高厌氧氨氧化脱氮效率。与常规活性污泥工艺相比，该技术可实现甲烷产率 0.2 m³CH₄/kg COD、碳源回收率 80%以上。

g) 基于高负荷活性污泥法的低 COD 污水碳源高效捕集

该技术适用于低 COD（300mg/L）污水，利用核-壳式高活性生物炭材料、有机胺装填的多孔树脂材料，可有效捕集有机物。相较于接触稳定法（CS 法）碳捕集效率最高为 35%，基于高负荷活性污泥法的低 COD 污水碳源高效捕集的碳捕集率大于 50%，碳捕集率显著提

高。

5.3.3.3 三级处理

a) 藻膜生物反应器

该技术 TN、TP 去除率达 90%以上，推荐用于深度处理，去除剩余氮磷，回收有机物。与传统的藻类培养系统（如高速藻池和光生物反应器）相比，该技术提高了氮、磷的去除率和生物质产量，可同步实现污染物去除与生物质转化，CO₂ 捕获率达 80%以上。

b) 基于膜处理的再生水回用

该技术通过 MBR、双膜法等来生产符合再生回用标准的再生水，其中 MBR+RO/NF 技术的污染物去除率可达 95%以上，具有高效去除病菌和无机离子的能力，推荐用于深度处理工段以生产再生水。该技术可同步实现再生水回收率 50%~75%，最高可达 90%。

5.3.3.4 人工湿地

a) 尾水深度净化生物电化学-人工湿地降碳汇碳

该技术通过生物电化学作用强化污染物的去除，同时利用人工湿地实现碳的固定与汇集。该技术不仅能有效去除尾水中的氮、磷等污染物，还能通过植物吸收、微生物代谢等途径实现碳的固定。

b) 基于微藻强化尾水的人工湿地菌-藻碳汇

人工湿地-菌藻共生协同减污增碳技术：通过菌-藻精准匹配及共生系统微生态构建，探讨菌藻共生在人工湿地系统中的嵌入模式，实现人工湿地-菌藻共生系统二者的耦合与协同增效。实现菌藻共生系统汇碳能力提高 20%以上，并实现湿地系统 N、P 污染削减效能提升 10%以上。

5.4 污泥处置系统降碳措施

污泥处理处置旨在通过污泥浓缩（调理）、消化、脱水、干化和后续处置等达到污泥减量化、稳定化、无害化和资源化的目标。污泥处理过程的直接和间接碳排放主要包括处理过程甲烷和二氧化碳直接排放、电力使用产生的间接碳排放、加热保持消化温度产生的碳排放、

浓缩和干化中化学品的使用产生的碳排放等，其中污泥处理产生的甲烷在收集、加工后被利用（如发电、产热）可以抵扣部分的碳排放。

5.4.1 污泥浓缩、脱水

a) 应关注污泥浓缩池的进泥量、进泥含固率、排泥量及排泥含固率，以保证浓缩池按合适的固体负荷和排泥浓度运行。进泥量过大时，浓缩池表面固体负荷增加，若超过浓缩池的负荷，将导致出水悬浮物增多，污泥流失。进泥量过小时，污泥在池内停留时间增加，易导致污泥厌氧上浮。排泥量太大或一次性排泥太多时，排泥速率超过浓缩速率，导致污泥浓缩不完全。排泥量太小或一次性排泥历时太短，会导致污泥因停留时间过长发生厌氧污泥上浮。

b) 絮凝剂、除磷剂应按照《水的混凝、沉淀试杯试验方法》(GB/T16881) 要求进行小试试验，选择合适的药剂类型和投加量。

c) 定期检修加药螺旋机、加药泵等设备，通过清理螺旋机筛网杂质、校准计量泵精度、润滑传动部件等措施，可预防机械磨损或管路堵塞导致的药剂投加误差，降低因设备故障引发的非计划停机风险，减少设备能耗损失。

5.4.2 污泥厌氧消化

a) 污泥厌氧消化前，采用碱处理、热水解、超声波等预处理手段，可破坏污泥结构，使复杂有机物分解为易被微生物利用的小分子物质，从而缩短后续产沼周期，提高厌氧消化效率，减少处理时间与能耗。

b) 《室外排水设计标准》(GB 50014)8.3 节和《大中型沼气工程技术规范》(GB/T 51063) 规范设计、施工、验收及运行维护，指导厌氧消化工艺合理选择与设备规范运行，保障沼气高效产生，减少沼气泄漏导致的碳排放。

c) 根据中华人民共和国住房和城乡建设部发布的《污泥协同处理厨余垃圾工程技术标准（征求意见稿）》，污泥在进入协同处理系统前应除砂除渣，不宜含有粒径大于 0.2mm 的砂粒和长度大于 40mm 的纤维。餐厨垃圾除砂宜采用重力除砂或机械旋流除砂，2mm 以

上重质沉砂去除率不宜低于 95%。餐厨垃圾除杂宜采用除杂分离机去除长纤维杂质，除杂分离机孔径宜取 3mm-5mm。

d) 厌氧消化产生的沼气可开展制氢、热电联产。例如，上海市白龙港污水处理厂利用污泥厌氧消化产生的沼气制氢，每日产生近 3 万立方米沼气，其中约 10%用于制氢，每小时可制氢 100 标方；宜兴市概念污水处理厂实现处理污泥、蓝藻、畜禽粪便和秸秆等，厌氧消化产生的沼气用于热电联产，产生电能和热能用于厂内能源自给，实现能源自给率超 60%。

e) 磷回收技术主要包括污泥消化液或脱水上清液中回收磷、生污泥或消化熟污泥中回收磷、污泥焚烧灰中回收磷等。在污水处理厂中主要对鸟粪石(磷酸铵镁)、磷酸钙、磷酸镁、磷酸铝、磷酸铁、蓝铁矿等产品进行回收，其中，鸟粪石与蓝铁矿可直接以肥料的形式出售，其他磷酸盐化合物主要用作磷矿替代物供下游化工/化肥厂生产化肥。该技术通过替代传统磷肥生产及减少化学除磷药剂投加，可降低隐含碳排放约 15%~30%。磷回收技术在国外已形成成熟应用模式，如美国 Stickney 污水处理厂、德国 Lingen 污水处理厂等；国内也开展了相关技术研究，但暂无实际工程应用，推荐有条件的污水处理厂结合工艺升级探索磷回收路径，助力行业低碳化发展。

5.4.3 污泥干化

利用余热、清洁能源干化污泥可显著降低能源消耗与碳排放，该措施需结合热源和清洁能源稳定性评估。例如，阳泉市昇阳污水处理厂利用电厂蒸汽余热干化污泥，广州市萝岗水质净化厂利用水源热泵回收能量用于污泥干化，降低干化过程能耗。

5.4.4 污泥炭化

该技术可有效分离和消除污泥中所含污染物，达到污泥减量化、无害化、资源化的目的，将污泥含水率降至 5%，有机质、氮含量分别降低 30%、90%，推荐用于有机物含量较高的污泥处置。该技术能源消耗少，污泥炭化物碳含量高，发热量大，稳定性好，可用于燃料替代、土壤改良、污水处理和建材利用等。污泥炭化分为低温炭化、中温炭化、高温炭化。低温炭化温度为 250-350℃，有机物热解比例较低，炭化物主要用于燃料使用；中温炭化温度

为 400-500℃，污泥中蛋白质和脂肪等有机物得到了一定的热解，臭味完全消除，热值和营养元素也有一定程度的保留，已经实现了无害化，炭化物可用于土壤改良和建材利用；高温炭化温度一般指 800℃以上，主要制作吸附剂等工业用品。例如，武汉市汤逊湖污水处理厂是国内最早引进日本炭化技术的项目，80%含水率的污泥直接进入回转式直接干化机，干化后污泥刮板进入立式多段螺旋间接炭化炉，最终的炭渣主要用于园林绿化。

5.4.4 污泥处置资源能源回收

a) 污泥制备建材技术成熟度高，例如，上海市第一批减污降碳协同增效优秀案例中，以无害化处理的污水处理厂污泥作为主要原料，制成空心保温砖并砌筑成墙，每年约消纳污泥固废 35 万吨，可节约标煤 7.2 万吨，减排二氧化碳 17.6 万吨，降低 70%能耗。

b) 目前国内燃煤电厂掺烧比例达 10%以上，污泥掺烧发电技术成熟。例如，珞渝公司珞璜污泥处置中心处理重庆中心城区每天污泥产生量的 60%以上，每处理 100 吨湿污泥，约可掺烧发电节约 2.91 吨标煤，减少二氧化碳排放 8.14 吨。

c) 自江苏省实施污水分类分质处理以来，含重金属等有毒有害物质的工业废水逐步从城镇污水处理厂分离，污泥稳定化及无害化处理成本降低，若处理后的污泥符合《农用污泥污染物控制标准》（GB4284）要求，可作为有机肥料、土壤改良剂等利用。

5.5 可再生资源能源利用

污水处理厂可利用的可再生资源能源包括清洁能源、回收能源与资源。常见的清洁能源包括太阳能、风能、海洋能、尾水动能等，回收能源包括污水中的低品位热能、污泥中的化学能和生物质能等，回收资源包括再生水、污泥中的磷元素等。

5.5.1 污水热泵

多级热泵通过分级提温技术，可高效从污水中提取低品位热能，精准匹配处理系统的用热需求，如污泥消化所需温度，避免单级热泵在大温差下的低效问题，能显著提高能源利用效率，实现热能的低碳化利用。

5.5.2 源网荷储一体化

源网荷储一体化是指将能源源头（例如光伏、风电等）、电网、用电负荷和储能系统形成协同工作的系统，实现多能互补、供需协同的综合能源系统。污水处理厂可充分利用厂房屋顶、构筑物空间开发光伏发电，利用尾水排放动能建设尾水发电设施，结合场区自然风资源开发微风发电系统，并配置储能装置缓冲能源波动。实现清洁能源自发自用，降低污水处理厂对于高碳排放化石能源的依赖；余电上网则将富余绿色能源回馈电网，降低区域整体碳排放。

5.5.3 再生水回用

多途径利用再生水（如市政杂用、生态补水、工业回用等），通过替代传统水资源，减少新鲜水开采及处理过程的能源消耗。

5.6 智能控制系统

5.6.1 智慧曝气系统

智慧曝气控制系统需要针对生化工段工艺特点进行曝气控制区的划分，把单系列的生物池好氧段根据工艺特点和控制需求分段，每一个好氧段作为一个独立的曝气控制区进行精确曝气控制。系统应内置科学水质模型，根据在线仪表反馈现场水质参数实时计算出曝气池所需溶解氧浓度，同时计算出工艺所需曝气量。根据采用曝气方式的不同，选择不同的精确曝气系统。采用鼓风曝气系统时，可联动鼓风机控制柜，控制曝气总管风量，并通过管道流量调节阀，达到精确曝气效果。采用倒伞曝气机曝气时，联动倒伞曝气机变频控制柜，调节转速、台数来实现精确曝气，同时，倒伞曝气机运行工况动力效率还与叶轮功率(线速度)、叶轮浸没深度、出水堰高度存在着关系，还可以将倒伞表面曝气机与出水堰、进水泵进行联动控制，通过水量变化实现对倒伞曝气机充氧量的调控。

5.6.2 精确加药系统

精确加药系统可通过管道上设置流量控制阀及流量计，加药由 PLC 系统控制，根据出水流量计的数值、进水水质指标数据、目标水质指标、药单耗，计算出所需的药剂投加量，再通过流量控制阀调节所需的流量。在前端控制用水量变量控制的基础上，增加后端水质指

标反馈控制，根据反馈调整药剂单耗数值，从而实现自动控制药剂投加量实现精确加药的目标。具体地，精确加药系统可包括碳源投加系统、除磷投加系统、消毒投加系统等，精确碳源投加系统仪表配置主要包括水量流量计、加药流量计、DO 仪表，硝态氮仪表等；精确除磷投加系统仪表配置主要包括水量流量计、加药流量计、磷酸盐仪表等；精确消毒投加系统仪表配置主要包括水量流量计、加药流量计、磷酸盐仪表等。

5.6.3 精确排泥系统

精确排泥控制系统基于水质分析模型，根据进出水水质、混合液污泥浓度、污泥龄、剩余污泥浓度、剩余污泥流量及剩余污泥泵运行累计时间等数据综合分析，采用闭环控制、前馈控制等多种控制方式，控制排泥量。

5.7 碳管理

近年来，我国发布了一系列碳管理相关的标准与行动方案，污水处理行业企业正在开展碳管理实践。党的二十届三中全会《决定》强调，“构建碳排放统计核算体系、产品碳标识认证制度、产品碳足迹管理体系，健全碳市场交易制度、温室气体自愿减排交易制度，积极稳妥推进碳达峰碳中和。”因此本节从碳核查、碳足迹与碳标识、碳交易等方面对污水处理厂碳管理进行规定。

一是碳核查。政策方面，国家发展改革委等部门印发《完善碳排放统计核算体系工作方案》（发改环资〔2024〕1479 号），加快夯实碳排放双控基础制度，构建完善碳排放统计核算体系。**实践方面**，北京市已开展重点碳排放单位抽查工作，多家污水处理厂被列入重点碳排放单位抽查名单，例如，北京城市排水集团有限责任公司已对其 12 座再生水厂、5 座污泥处理中心、4 个管网分公司、17 个中水泵站/房等开展 2023 年度碳排放核查工作。

二是碳足迹与碳标识。政策方面，生态环境部发布产品碳足迹核算通则《温室气体 产品碳足迹 量化要求和指南》（GB/T 24067-2024），规定了产品碳足迹的研究范围、应用、原则和量化方法等，为指导编制具体产品碳足迹核算标准提供依据。**实践方面**，江苏泰源环保科技股份有限公司是污水处理装备领域首批获得该标签认证的企业，泰源环保“TIMP 智能

模块化装配式集成污水处理系统”于 2021 年成功通过碳足迹认证，TIMP 污水处理系统总碳足迹值仅为 313.09tCO₂e/万吨处理量，较同等规模处理量的混凝土污水处理厂 1272.65tCO₂e/万吨的总碳足迹值，减排量高达 75.4%。

三是碳交易。政策方面，国务院发布《碳排放权交易管理暂行条例》（国令第 775 号），规范全国碳排放权交易市场的碳排放权交易及相关活动，加强碳排放权交易领域的国际合作与交流。实践方面，北京排水集团与京能集团于 2024 年达成绿电合作，开展 2024-2025 年度电力市场化交易项目，签约绿电量约 4 亿千瓦时，预计减排二氧化碳 22 万吨，同时北京排水集团正在筹备 CCER 相关工作。

6. 标准适用性分析

以江苏省某污水处理厂为应用案例，将本标准的低碳运行管理技术规范融入该厂的生产流程与管理体系，分析标准在降低运营碳排放、提升能源管理水平等方面的综合效益，为污水处理厂应用本标准提供可复制的实践参考。

6.1 实施过程

江苏省某污水处理厂服务范围 500km²，服务人口 130 万人，设计规模 30 万 m³/d，污水处理工艺为“改良 A2O+反硝化深床滤池+次氯酸钠消毒”，污泥处置方式为“重力浓缩+离心脱水+焚烧”，尾水执行标准为《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》(DB32/1072-2018)表 2 标准和《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级 A 标准。

以该污水处理厂为实践载体，本标准通过以下路径实现有效落地：

（1）通用耗能设备

采用泵与风机容量匹配及变频技术，且达到一级能效水平，符合本标准要求。

（2）污水处理系统

1、水力负荷>60%。该污水处理厂 2024 年平均水力负荷为 69.65%，符合本标准水力负荷大于 60%的要求。

2、实行“源厂站网、规建管养”一体化运维。该市排水管理处实行的“源厂站网、规建管养”一体、“责权一体”管理架构，覆盖污水系统全域范围，坚持体制机制 30 年未变，突出系统性的特点，实现“点面结合、综合决策、联调联动、提质增效”，取得了良好成效和经验。

3、正在开展 AOA 减污降碳协同技术实验应用。污水处理厂正在开展 AOA 实验应用，该工艺在 C/N 比充足的条件下，后置反硝化理论上可以实现接近 100%的总氮去除，且可以充分利用内碳源，减少外碳源投加等。

（3）污泥处理系统

1、污泥焚烧发电。污水处理厂污泥经离心脱水后全量送至热电掺烧处置，充分利用污泥热能，实现无害化处置率 100%、资源化利用率 100%。

2、正在建设污泥厌氧消化项目。污水处理厂五期项目拟建设中温厌氧消化规模 600 吨/日（污泥 550 吨/日+餐厨 50 吨/日），远期可产生约 15000m³/d 沼气，热电联产沼气发电约 4 万度/日。全部用于发电时实现碳减排 22160.3 kg CO₂/d，余热回收利用实现碳减排 6361.7 kg CO₂/d。

（4）可再生资源能源利用

1、污水热泵回收污水余热。将 4 万 m³/d 污水处理厂再生水作为冷热源，采用水源热泵技术进行集中供冷供热，为高铁新城核心区 6 平方公里内 2 万多户居民、1000 余家企事业单位集中提供冬季供热、夏季制冷服务，为长三角体量最大的区域供暖系统。此外，污水处理厂五期项目拟配置 3 套水源热泵机组（2 大 1 小，大泵功率 456kW，小泵功率 240kw），最大供热量 4000kW。

2、再生水多途径回用。除厂内回用外，厂外已建成多个尾水回用路线，日回用规模达 16 万吨/天。2024 年中水回用率达到 58%，主要利用途径为：

①工业回用。常排高品质再生水利用项目采用“超滤-反渗透”核心处理工艺，产水量为 110m³/h，供应至广达热电和明泰纺织，并辐射供应周边纺织园区的其他印染企业。

②市政杂用。长江路再生水主干管沿路口引出多个 DN400~DN600 支管，安装消火栓，

预留市政杂用取水点，供绿化浇灌等单位使用再生水。

③生态补水。新龙生态林再生水利用工程。回用规模 8 万吨/日，远期总规模达 10 万吨/日，工程总投资近 3000 万元。高铁新城生态补水项目。污水处理厂再生水经高铁新城集中供冷供热项目热值提取后，作为高铁公园生态补水，回用规模 4 万吨/日。

3、正在建设光伏发电项目。污水处理厂五期项目拟建设规模 15.7MW、面积 10.7 万 m² 的分布式光伏，采用“自发自用，余量上网”模式，年平均总发电量约 1500 万度，预计可减少碳排放约为 7000 t CO₂/d。

（5）智能控制系统

1、配套反馈系统的全自动加药装置。

2、配套反馈系统的精确曝气系统。

3、设有 OA、SCADA、生产管理系统、能源管理系统、设备管理系统等信息平台。智慧应用方面，依托信息化管理平台，坚持数字化思维，开展 AI 等先进技术应用，不断提升污水处理厂管理各项工作。此外，该市排水管理处智慧排水项目已正式投入运行，包含智慧污水处理厂管理平台、污水运行管理系统、污水处理厂能源管理系统等，打造了智慧排水样板。

（6）碳管理

健全的环境管理体系和完备的管理文件。管理创新方面，污水处理厂结合“双控”“双碳”新要求，认真落实合规化运行、精细化管理理念，注重梳理关键控制指标，细化不同运行模式，建立“165”工作法、设备全生命周期管理制度、构建预警控制机制，建立分析诊断方法，确保安全稳定运行，同时探索低碳绿色、节能降耗、开源节流运行方式，建立绿色低碳污水处理厂管理制度，优化全流程能源资源管理利用措施。

6.2 实施效益

（1）出水水质良好

案例污水处理厂 2024 年实际进出水水质浓度见表 6-1。2024 年 COD、TP 指标出水浓度

分别为 13.54mg/L、0.087mg/L，优于地表水 II 类水标准，BOD₅、氨氮指标出水浓度分别为 0.857mg/L、0.101mg/L，优于地表水 I 类水标准，TN 出水浓度 7.312mg/L，优于太湖流域一级保护区排放限值。污水处理厂出水水质良好，能够稳定达标排放。

表 6-1 案例污水处理厂 2024 年进出水水质

指标	COD	BOD ₅	氨氮	TP	TN
进水（mg/L）	319.71	128.472	31.201	4.33	42.687
出水（mg/L）	13.54	0.857	0.101	0.087	7.312
削减率（%）	95.76%	99.33%	99.68%	97.99%	82.87%
出水达标率（%）	100	100	100	100	100

（2）单位污水电耗

案例污水处理厂 2024 年单位污水耗电量为 0.317 kW·h/m³，相较于本标准提供的江苏省单位污水耗电量先进值（0.320 kW·h/m³），案例污水处理厂的单位污水耗电量处于行业先进水平。

表 6-2 案例污水处理厂 2024 年单位污水耗电量与江苏省、北京市先进值对比

指标	案例污水处理厂	江苏省先进值	北京市先进值
单位污水耗电量 (kW·h/m ³)	0.317	0.320	0.489

（3）资源能源利用

一是 2024 年中水回用率已达到 58%，回用途径丰富。

二是污泥目前脱水后掺烧发电，此外，正在建设五期工程中温厌氧消化规模 600 吨/日（污泥 550 吨/日+餐厨 50 吨/日），远期可产生约 15000m³/d 沼气，热电联产沼气发电约 4 万度/日。全部用于发电时实现碳减排 22160.3 kg CO₂/d，余热回收利用实现碳减排 6361.7 kg CO₂/d。

三是正在建设五期工程 3 套水源热泵机组(2 大 1 小,大泵功率 456kW,小泵功率 240kw)，最大供热量 4000kW；厂外预留远期空间可服务约 35000m² 建筑面积。

四是正在建设五期项目规模 15.7MW、面积 10.7 万 m² 的分布式光伏，采用“自发自用，余量上网”模式，年平均总发电量约 1500 万度，预计可减少碳排放约为 7000tCO₂/d。

7. 与现行相关标准的协调关系

本标准符合国家现行法律法规、规章和强制性国家标准的要求，与现有标准、规范、指南协调统一，仅作为一种实用型、适用性技术规范对目前标准、规范、指南进行补充与完备。

8. 重大分歧意见的处理经过和依据

本文件在制定过程中广泛征求了参与者与相关单位专家的意见，进行多次修改，无重大意见分歧。

9. 标准实施建议

为确保本标准的有效实施，提出以下组织措施、技术措施、过渡办法方面的实施建议，旨在为该标准的顺利推广与应用提供有力支持。

在组织措施方面，相关部门应积极开展标准宣传与解读活动，通过线上线下的方式，如研讨会、培训班、网络平台等，广泛普及本标准的核心内容和重要意义；提升各利益相关方对标准的认知度，增强其在实践中应用标准的能力。同时，组建专业团队负责标准实施的技术指导与咨询服务，及时解答实施过程中的疑难问题，确保标准的准确理解和有效实施。

技术措施方面，应强化技术研发与创新。鼓励和支持科研机构、高校及企业等，针对本标准提出的技术要求，开展深入研发工作，不断优化污水处理工艺，提升节能降耗和减污降碳水平。此外，加强国际合作与交流，在本标准技术指南的基础上，结合我国实际情况引进国外先进的污水处理技术和管理经验，开展本土化改造和创新，推动污水处理行业的技术进步。

过渡办法方面，建议采取分阶段实施的方式，污水处理厂制定技术升级和改造方案清单，阶段性实施改造计划，相关部门应加强对实施情况的监测和评估，及时发现并解决存在的问题。同时，建立激励机制，对积极采用新技术、新工艺并取得显著成效的单位给予表彰和奖励，以激发其参与标准实施的积极性和主动性。

10. 其他应予说明的情况（涉及专利情况）

本文件的某些内容可能直接或者间接涉及专利及软件著作权，本文件的发布机构不承担识别这些专利及软件著作权的责任。