

《产业园区减污降碳协同增效技术导则》（征求意见稿）
编制说明

《产业园区减污降碳协同增效技术导则》团体标准
起草工作编制组
二〇二三年八月

目 次

1. 项目背景.....	1
1.1 任务下达情况.....	1
1.2 标准编制单位.....	1
2. 标准制定必要性.....	1
3. 主要工作过程.....	3
3.1 工作进度安排.....	3
3.2 工作实施内容.....	4
4. 国内外相关标准研究.....	7
4.1 我国产业园区减污降碳政策分析.....	7
4.2 与国内外相关标准关系分析.....	10
5. 标准主要内容及说明.....	19
6. 标准实施的环境效益及经济效益分析.....	28
7. 标准实施建议.....	29
附件 国内典型产业园区减污降碳协同增效案例.....	31

1. 项目背景

1.1 任务下达情况

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国大气污染防治法》《中华人民共和国水法》和《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》等法律法规，防治环境污染，改善生态环境质量，规范产业园区减污降碳协同增效设施运行管理，2023年2月，中国科技产业化促进会立项，提出制定《工业园区减污降碳协同增效技术导则》团体标准（T/CSPSTC-JH202304）的任务。中国科学院大学、生态环境部对外合作与交流中心等单位联合承担了本标准的制定工作。

1.2 标准编制单位

主承担单位：中国科学院大学。

合作单位：中国科学院大学、生态环境部对外合作与交流中心等。

2. 标准制定必要性

2020年9月，国家主席习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上，正式宣布中国“3060”碳达峰碳中和目标。2021年10月，《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》以及《2030年前碳达峰行动方案》，这两个重要文件的相继出台，共同构建了中国碳达峰、碳中和“1+N”政策体系的顶层设计。文件中也重点指出能源绿色低碳转型、节能降碳增效、工业领域碳达峰、循环经济、绿色低碳科技创新等“碳达峰十大行动”，包括实施园区节能降碳工程，以高耗能高排放项目集聚度高的园区为重点，推动能源系统优化和梯级利用，打造一批达到国际先进水平的节能低碳园区。实施重点行业节能降碳工程，推动电力、钢铁、石化化工等行业开展节能降碳改造，提升能源资源利用效率，该文件为推进园区节能降碳增效提供政策指引。

2021年11月，中共中央 国务院印发《关于深入打好污染防治攻坚战的意见》，意见明确提出要以实现减污降碳协同增效为总抓手。产业园区减污降碳协同增效也是由中国首次提出，因此在国内外尚没有产业园区减污降碳协同增效评价指标体系相关研究。

但在低碳园区等方面，欧美等国进行了探索和实践，研究发布了低碳发展评价体系方面的政策标准、评价体系、技术导则、建设指南、指标体系等，重点关

注环境保护、能源与建筑、转型升级、土地集约利用、绿色交通、社会人文、智慧城市、现代管理等低碳影响指标因素。德国柏林欧瑞府能源科技园、日本北九州生态工业园、丹麦卡伦堡生态工业园、加拿大伯恩赛德（Burnside）工业园等从宣传教育、社会基础设施等方面入手，开展了低碳园区实践，构建了工业共生网络关系、能量梯次流动废物循环利用体系等，推动园区生态共生和低碳发展。

2019 年，联合国工业发展组织（UNIDO）发布了《工业园区国际指南》，指南提出一套工业园区绩效评价指标体系，是衡量和提高工业园区绩效的实用工具；2012 年美国可持续发展社区协会（ISC），提出了低碳园区概念和低碳工业园区评价指标体系，该指标体系包括能源利用与温室气体管理、循环经济与环境保护、园区管理与保障机制、规划布局与土地利用 4 类，共计 23 个指标。

国内也陆续开展了相关研究，大部分也都是基于低碳园区建设，循环经济相关技术标准可以作为产业园区减污降碳协同增效技术标准的参考，制定相应的技术导则。

2022 年 6 月，生态环境部等 7 部门联合印发《减污降碳协同增效实施方案》，为 2030 年前协同推进减污降碳工作提供行动指南，对产业园区开展减污降碳协同增效也提出了明确要求：鼓励各类园区根据自身情况，积极探索推进减污降碳协同增效，优化园区布局、推广使用新能源、促进园区清洁生产、提升基础设施绿色低碳发展水平。

2023 年，生态环境部发布了《关于组织申报城市和产业园区减污降碳协同创新试点的函》，提出了产业园区试点的几个明确任务：“探索协同减排技术路径”、“探索协同创新管理体系”、“探索基础设施协同模式”、“开展重点行业协同试点”、“统筹各类园区试点创建”。

产业园区既是资源与能源集中消耗的大户，也是污染相对集中排放的管控单元，是工业领域污染防治的主战场，面临着艰巨的减污降碳压力。

基于我国制度优势，产业园区一般按照“统一规划、统一征地、统一管理、统一建设基础设施、统一环境质量和污染排放标准”进行规划、建设、运营以及管理。产业园区对于工业企业集中统一管理的优势，对于推动工业领域减污降碳协同增效方面具有重要作用，依据《方案》要求，推动产业园区减污降碳协同增效势在必行。但是，目前我国产业园区减污降碳协同增效仍然面临诸多困难，如总体碳排放底数不明，部分园区存在过度依赖化石能源，企业清洁生产以及污染

防治水平低，整个园区管理以及产业链系统化运行等缺乏有针对性的技术指导和管理依据。因此，有必要基于典型产业园区特点，产业园区减污降碳协同增效技术导则。

研究和制定《产业园区减污降碳增效技术导则》意义如下：

（1）强化园区内企业内部低碳化、循环化清洁生产改造。督促企业加强节能环保投入，采用先进技术降低污染以及碳排放；并以产品生产工艺流程为指引，以人、财、物、信息为纽带，以生态系统原理整合各生产环节。从宏观上推进产业共生与资源/能源梯级利用，在微观上加强工业生产过程污染及碳排放控制，最终实现资源/能源配置优化和循环利用。

（2）引导园区内企业间共建循环经济产业链。通过多级串联循环使用、副产品交换、废料循环利用、生产工业链、物质循环产业链、蒸汽—热水多级利用等合作，提升园区企业间的清洁低碳生产潜力。同时，加强政策引导及帮扶，打通危废定向“点对点”综合利用瓶颈，激发企业间共建循环经济产业链动力。

（3）结合地方特色，促进产业园区间构建环保低碳产业集群生态链构建。对于同一地区不同产业园区间的上下游关联产业、行业及企业，综合考虑各个企业主体之间、企业上下游产业及周边产业之间的关系，侧重于产业共生耦合和资源/能源梯级利用，并结合地区静脉产业园、大宗固废综合利用基地、城市集中供暖等项目，实现产业园区与周边城市的绿色低碳产城融合发展。

（4）促进技术创新，促进循环经济及园区产业管理能力提升。结合产业园区减污降碳试点示范，鼓励清洁生产、源头减量、固（危）废综合利用、危险废物精细化管理、衍生固废处置与资源化等方面的技术优化和升级，通过技术指南的规范，最终形成可复制、可推广的固废减污降碳绿色高质量发展模式。

（5）鼓励各类产业园区根据自身主导产业和污染物、碳排放水平，积极探索推进减污降碳协同增效，优化园区空间布局，大力推广使用新能源，促进园区能源系统优化和梯级利用、水资源集约节约高效循环利用、废物综合利用，升级改造污水处理设施和垃圾焚烧设施，提升基础设施绿色低碳发展水平。

3. 主要工作过程

3.1 工作进度安排

从贯彻落实现有环境领域法律法规和标准的实际需求出发，结合我国产业园

区减污降碳协同增效技术的发展及处理设施的运行管理需求，开展标准的编制工作。总体时间进度安排如下：

2022 年 12 月~2023 年 3 月：完成国内外产业园区减污降碳协同增效技术及应用相关政策、法规及标准及技术资料的收集、整理和分析工作；

2023 年 3 月~2023 年 4 月：完成本标准的开题论证工作；

2023 年 4 月~2023 年 5 月：开展标准的起草及对比分析和验证工作；

2023 年 8 月：形成《产业园区减污降碳协同增效技术导则》（初稿）及其编制说明（初稿），并组织专家评审，名称调整为《产业园区减污降碳协同增效技术导则》；

2023 年 9 月：形成《产业园区减污降碳协同增效技术导则》（征求意见稿）及其编制说明（征求意见稿），全国征求意见；

2023 年 10 月：形成《产业园区减污降碳协同增效技术导则》（送审稿）及其编制说明（送审稿），并组织专家评审；

2023 年 12 月：形成《产业园区减污降碳协同增效技术导则》（发布稿）及其编制说明（发布稿），并推进标准发布事宜。

3.2 工作实施内容

3.2.1 工作原则

（1）通过多技术研究、分类别筛选，为产业园区减污降碳协同增效技术的选择和应用提供标准和依据。

（2）通过系统化规定，针对产业园区减污降碳协同增效提出具体的应用模式，提供专门性的技术应用指导，为促进现行产业园区环境技术管理体系的建立提供依据。

（3）坚持因地制宜的原则。应考虑区域特性、经济水平以及环境特征，综合考虑技术可行性、成本有效性、可行收的环境风险水平、可操作性、社会可接受性、可持续性、生态友好性等，确定切实可行的减污降碳协同增效技术标准和选择依据。

（4）切实将清洁生产理念纳入到技术路线指南编制工作中，建立起能够引领现在和未来产业园区减污降碳协同增效技术选择和应用的纲领性文件。

（5）坚持不断更新原则。考虑到技术的不断推陈出新，应对技术路线指南

进行不定期的更新和完善。

3.2.2 工作方法

(1) 我国产业园区减污降碳现状调研与研判。通过资料收集、现场调研、专家问询等方式，调研国内外产业园区减污降碳协同增效主流技术、产污节点、风险管控措施等，重点针对园区重点行业和企业，主要通过能耗、物耗、废弃物排放等多项指标综合分析，筛选园区重点行业，考察重点行业中企业的管理、资源和能源消耗、污染物排放、废弃物管理等情况，通过综合评价等方法评价园区重点行业清洁生产水平，抓住重点行业环境核心问题，针对“水、气、固废”环境元素重点治理，利用共性技术提升重点行业清洁生产水平。实现对典型产业园区减污降碳协同增效现状和形势进行分析和研判，助力园区特色摸索。

(2) 基于减污降碳协同增效评价指标体系，明确产业园区减污降碳协同增效主要技术路径，确定技术及示范案例清单。针对典型产业园区的工艺流程、产排特点，开展资料收集、现场踏勘、对企业人员访谈、以及探访企业周围居民等工作，收集整理产业园区减污降碳协同增效典型案例，制定试点技术及案例筛选评估方法、从技术可达性、成本有效性、管理制度现状相符性等角度，重点针对园区企业共生，通过企业间多级串联循环使用、副产品交换、废料循环利用、生产工业链、物质循环产业链、蒸汽—热水多级利用等合作，明确产业园区减污降碳协同增效主要技术路径，确定技术及示范案例清单。并总结经验、凝练可复制、可推广的模式。

(3) 基于国际通用的技术方法，借鉴我国相关行业可行技术指南的编制原则、方法框架及管理程序，编制产业园区减污降碳协同增效系列技术路线指南。指南的编制将基于实现产业园区减污降碳管理业务的信息化、现代化、专业化，以更加精细、动态的方式实现产业园区生态环境空间管控的智慧化，增强园区能源消耗和环境治理的精细化管控能力，提升减污降碳协同治理能力的角度出发，切实发挥技术依据的作用。

(4) 开展公众参与，促进成果切实可行。通过调查问卷、座谈会、听证会等方式征询公众意见，并保留社会公众参与记录。分析产业园区减污降碳协同增效技术，结合典型产业园区的特点，形成有针对性的研究成果。

(5) 参与项目相关会议和活动

按照项目实施进度，参加项目启动会、专题研讨会和技术评审会等会议以及现场调研等活动。

3.2.3 技术路线

本研究拟采用的技术路线图如图 3-1 所示。

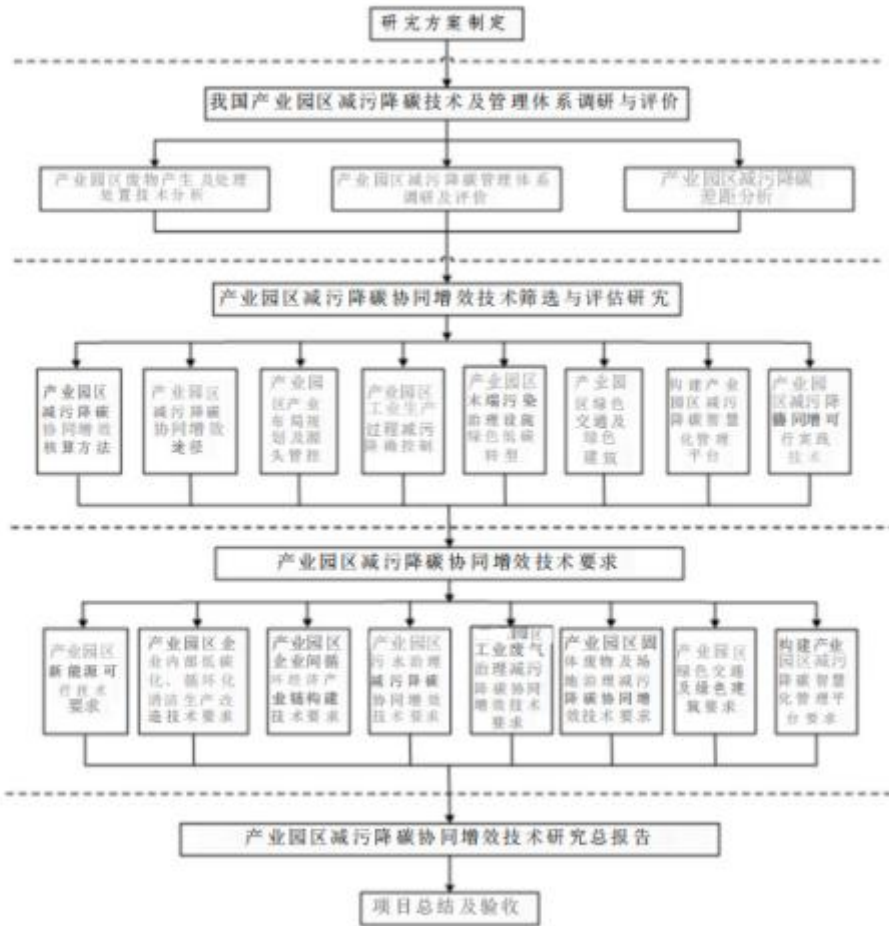


图 3-1 项目研究工作技术路线图

3.2.4 工作内容

(1) 完成国外有关产业园区减污降碳协同增效技术导则相关政策、法规、标准及技术要求的资料收集，重点完成美国和欧盟等国家对产业园区减污降碳协同增效技术导则相关法律、法规、标准及规范的收集工作和整理工作。

(2) 开展了国内 15 家典型产业园区减污降碳协同增效案例调研，国内先进产业园区的典型减污降碳协同增效案例，全面支撑本标准的源头控制、生产过程控制、污染物末端治理、产业循环链构建、基础设施绿色低碳化、绿色交通等要

求的具体内容。具体如表 3-1 所示。

表 3-1 国内 15 家典型产业园区减污降碳协同增效案例

序号	园区名称	典型案例
1	浙江省义乌市赤岸镇绿色低碳循环产业园	资源“双循环”
2	浙江台州湾经济技术开发区	医药化工产业园区工业废盐和危险废物资源化与能源化
3	苏州工业园区	污泥综合利用
4	上海化学工业区	危险废料协同处置模式
5	广东省佛山市沧江工业园	纺织印染园区集中化与集约化改造
6	浙江省级经济开发区温岭经济开发区	基于自然解决方案的园区减污降碳复合系统
7	山东临淄经济开发区智能制造产业园	基于碳基材料工业园区 VOCs 综合治理及资源循环利用
8	佛山市瀚蓝南海固废处理环保产业园	固废综合处理处置模式助力无废城市减污降碳
9	浙江秀舟纸业有限公司工业园区	造纸业生物质气资源回收利用
10	山东省潍坊市工业园区	乳制品加工废水处理及资源化综合利用
11	西安航空基地表面处理园区	基于分布式柔性单晶硅光伏的电镀废水处理能源补偿系统
12	江西省萍乡市国家级经济技术开发区	钢铁行业超低排放高效除尘
13	济南平阴县炭素工业园区	内炭素煅烧炉烟气脱硫与余热回收一体化
14	山东省济南市平阴县工业园区	沥青烟气多污染物高效协同处理
15	山东省博兴经济开发区	基于反应性聚合纤维材料高效去除污水处理厂臭气等项目

(3) 开展了国内产业园区减污降碳协同增效技术导则技术和管理现状的调研工作。在明确现行运行管理领域存在的问题进行系统分析的基础上，结合产业园区减污降碳协同增效途径、产业园区减污降碳协同增效技术要求、产业园区减污降碳协同增效绩效评价及监测/检测要求开展研究，为探索科学规范的产业园区减污降碳协同增效提供基础和条件。

(4) 完成《产业园区减污降碳协同增效技术导则》及编制说明征求意见稿。

4. 国内外相关标准研究

4.1 我国产业园区减污降碳政策分析

4.1.1 污染物减排政策

近年来，政府部门先后发布了关于产业园区环境污染物减排管理相关政策文件，包括水污染防治、大气污染防治、土壤污染防治、固体废弃物管理、新污染物和园区环评及排污许可等领域。从产业园区废气废水集中收集、废水收集管网

及集中处理、水环境风险管控、废弃危险化学品等危险废物管理、园区有毒有害气体监控预警等生态环境监测监控、绿色低碳产业园区建设等方面均提出具体要求或指南。

4.1.2 碳排放控制政策

我国自 2010 年，陆续发布了一系列有关园区绿色低碳发展的相关政策，包括园区低碳化发展、绿色发展体系建立、循环化改造、低碳模式探索以及碳排放评价试点等内容。自 2020 年，“双碳”目标的提出以及不断建立起的“1+N”政策体系顶层设计的出炉，我国把“双碳”纳入经济社会发展和生态文明建设整体布局，低碳发展提升到了空前的高度。

2021 年 10 月，国务院印发《2030 年前碳达峰行动方案》，文件指出实施园区节能降碳工程，以高耗能高排放项目集聚度高的园区为重点，推动能源系统优化和梯级利用，打造一批达到国际先进水平的节能低碳园区，为园区低碳发展提出了总方向。发改委联合司法部、科技部等相关部门，制定了促进绿色产业落地的保障性措施和实施方案，排除绿色生产和消费领域的法律障碍，倡导在绿色园区，尤其是高新区率先实现碳中和。

4.1.3 减污降碳协同增效政策

（1）国家层面

2021 年 1 月，生态环境部发布了《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》，要求“以二氧化碳排放达峰目标与碳中和愿景为牵引，以协同增效为着力点，坚持系统观念，全面加强应对气候变化与生态环境保护相关工作统筹融合”，其中在“突出协同增效，推动政策法规统筹融合”部分提出了减污降碳协同增效的方向和具体措施。随后，生态环境部又发布了《关于开展重点行业建设项目碳排放环境影响评价试点的通知》《关于推进国家生态工业示范园区碳达峰碳中和相关工作的通知》《关于在产业园区规划环评中开展碳排放评价试点的通知》以及《“三线一单”减污降碳协同管控试点工作方案（征求意见稿）》等文件，为推动园区减污降碳提供政策遵循，进一步推动了园区减污降碳协同增效。2022 年 4 月，生态环境部印发《“十四五”环境影响评价与排污许可工作实施方案》，文件指出要积极开展产业园区减污降碳协同管控，强化产业园区管理机构开展和组织落实规划环评的主体责任，高质量开展规划环评工作，推动园区绿色低碳发展。生态环境部修订印发的《规划环境影响评价技术导

则 产业园区》，将区域“三线一单”、减污降碳协同推进、规划和项目环评联动以及“放管服”改革要求等转化为技术要求，为实现园区绿色高质量发展提供了技术方法指引，并聚焦减污降碳协同增效，新增了资源节约与碳减排要求。2022年6月，生态环境部、国家发改委等部委联合印发了《减污降碳协同增效实施方案》，对减污降碳协同增效工作实施提供了技术方向，并明确了开展产业园区减污降碳协同创新的具体要求，包括空间布局优化、能源优化、资源循环利用和基础设施绿色低碳发展等方面。

2023年，生态环境部发布了《关于组织申报城市和产业园区减污降碳协同创新试点的函》，提出了产业园区试点的几个明确任务：“探索协同减排技术路径”、“探索协同创新管理体系”、“探索基础设施协同模式”、“开展重点行业协同试点”、“统筹各类园区试点创建”。强调在创新试点实施过程中，以减污为牵引强化重点区域、行业和领域降碳措施，以降碳为引领解决环境污染根源性和结构性问题，以结构调整、布局优化为关键，以优化治理路径为重点，以政策协同、机制创新为手段，打造能源清洁化、产业绿色化、排放减量化、资源循环化的协同创新模式，全面提高环境治理综合效能，整体推动经济社会发展绿色转型。

（2）地方层面

重庆、浙江、江苏、四川等地通过统筹碳排放评价与规划环评、统筹碳排放管理与排污许可、统筹温室气体减排与污染防治攻坚战考核、衔接地市重点排污单位名录与碳排放权交易配额管理重点排放单位清单以及市场机制衔接等方式，统筹环境质量改善及应对气候变化工作。具体如下：

1）在排污许可协同方面，2021年2月，重庆市印发了《重庆市规划环境影响评价技术指南—碳排放评价（试行）》，对产业园区规划环评、规划环境影响跟踪评价中的碳排放评价具体工作都给与了技术要求，包括产业园区现状调查、产业园区规划修编环境影响评价和规划环境影响跟踪评价、碳排放识别等内容。同年12月发布了《推动排污许可与碳排放协同管理》，要求在火电、水泥两个行业企业排污许可证核发（换发）过程中，在“其他控制及管理要求”栏中载入该企业上年度碳排放数据、碳排放管理和履约要求等信息。

2）在考核要求协同方面，浙江省将控制温室气体排放考核纳入到美丽浙江和污染防治攻坚战的考核中，苏州市将碳排放强度下降指标纳入苏州市生态文明建设规划，成都市将二氧化碳排放控制纳入生态环境保护“党政同责”、绿色发展

评价和生态文明考核体系。

3) 在排放清单衔接方面, 重庆市在年度重点排污单位名录确定中, 充分考虑企业碳排放情况, 衔接“全国碳排放权交易配额管理重点排放单位”和“重庆市碳排放权交易试点企业”两个清单库, 开展比对融合, 完善协同机制。

4) 在市场机制衔接方面, 浙江省将碳报告核查机构纳入企业环境信用评价体系中, 对碳报告核查机构采用分级信用管理, 并在企业环境信用评级中对外发布。

4.2 我国产业园区废气产生现状及减污降碳路径分析

4.2.1 产业园区废气产生现状

大气污染物按照不同的分类标准分类的种类不同。在形成污染物的过程中, 有的污染物如含硫化合物 H_2S 、 SO_2 。含氮化合物 NO 、 NH_3 , 含碳化合物 CO 、 CO_2 , 这些污染物是在工业生产的过程中直接生成的, 并且直接排放出来, 没有经过二次变化, 将这种特征的大气污染物称为一次污染物。而对于含硫化合物 SO_3 、 MSO_4 , 含氮化合物 NO_2 、 HNO_3 以及颗粒物 H_2SO_4 、 MSO_4 , 这些物质并不会存在于生产过程中, 而是随着生产出的一次污染物排放到空气中, 随着时间的变化发生化学物理变化, 进化成对环境更具有严重破坏性的化学成分, 并且将这种特性的污染物命名为二次污染物。

中国是制造业大国, 有很多的制造业园区存在。很多生产过程需要在园区进行实施。绝大多数制造园区都存在 VOCs 排放问题, 如石油化工、制药、医疗等园区, 园区内企业过于集中, VOCs 排放含量较强, 对局部的空气产生严重影响。要想强化科学管理, 有效解决污染治理问题, 需要强化推进制造业发展工作。现在产业园内 VOCs 排放相对较高, 占据着很多的排放量。因此, 园区需要重视治理工作, 保障综合治理效果, 达到 VOCs 智能减排的目的, 园区进行 VOCs 综合治理会成为节能减排的主力军。大多数省市地区已经制定了部分 VOCs 节能减排的管理计划。在江苏省实行的治理办法内部, 对 VOCs 治理工作的重难点进行了规定, 要求全省内的化工园区要统筹做好 VOCs 综合治理管控工作。其余地区也需要结合本地实际产业结构呈现的特点, 提出定期定时进行专项整改的措施。尤其需要整改的是汽车制造业、石油化工等等。

在工业生产中, 部分企业对于经济效益和环境保护来说更加注重环境保护,

加上环保意识淡薄，工厂的环保设备跟不上，中小企业的生产压力较大，在进行废气处理时存在偷工减料的现象，导致工业排放超标。产业园区内的 PM2.5 含量明显比园区外的要高，各月含量均超过 115 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，超过 115 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 即为中度污染，而园区外 PM2.5 的含量相对较少，园区内 PM2.5 排放超标。

4.2.2 产业园区废气处理协同减污降碳路径分析

（1）进一步提升环境准入门槛。工业区的环境准入制度应针对主导产业的变化不断调整和适应区域环境质量要求而同步更新，并逐步提升准入门槛。根据园区产业导向和规划要求，以国际先进水平为标杆，对工业区现有企业调整和未来项目引进，分别制定更为严格的环境准入门槛，包括产业导向、土地占用、能源资源消耗、污染物产生和排放、环境风险水平和控制措施等。

（2）工业区风险防范体系需完善。由于工业区目前及未来均不涉及重大风险源，主导产业中不包括化工等大量使用危险品的企业，所以园区整体环境风险较低。园区已制定园区环境风险应急预案，突发事件人员疏散撤离和应急防护预案，安全应急预案及召回制度等，需定期更新完善风险管理和防控体系。

（3）完善例行监测制度。工业区未单独设立环境监测站，且目前工业区尚未设置有例行监测制度，缺少对园区内大气、噪声、地表水、土壤和地下水的历史监测情况。园区应制定产业区环境质量例行监测计划，并落实对于环境监测费用，委托有监测资质和能力的监测单位定期对产业区的环境质量开展跟踪监测。

（4）按要求持续推进企业排污许可证的申请。按照《排污许可管理办法（试行）》（部令第 48 号）等要求，以《排污许可证申请与核发技术规范总则》及各行业排污许可证申请与核发技术规范为基础，持续推进园区内各行业企业排污许可证的申请工作。

（5）环境影响减缓措施。①大气环境：严格控制工艺废气排放；加强工艺废气治理，严格控制行业特征污染物排放；严格控制区域开发过程施工扬尘。②水环境：开展地表水环境整治工作；加强节水及中水回用措施，减少水污染物排放；建立水环境监控体系，实现废水排放的长效监控；提高全民节水意识。③土壤和地下水环境：实施全生命周期土壤和地下水污染防治；防范企业关停、搬迁过程土壤环境风险；强化废水排放企业土壤、地下水风险防范措施；定期实施土壤、地下水监测。④声环境：通过优化用地布局减少噪声影响；严格控制企业噪声源。⑤固体废物处置：源头控制实现废物减量化；加强一般工业固体废物的管

理；加强危险废物的管理。

（6）推进清洁生产审核。工业区应将清洁生产作为项目准入、项目监管的一项重要指标。优先引进清洁生产水平处于国际先进水平的项目，禁止引进落后技术、工艺和设备；优先引进使用清洁原材料（对环境无害或危害较小）的项目，限制引进大量使用有毒有害物质（比如国家优先控制污染物等）的项目；根据环保要求推进相关企业清洁生产审核，开展重点企业能源审计，通过清洁生产审核及能源审计的实施，进一步降低资源、能源消耗，提升该工业区工艺技术水平，减少污染物排放。

4.3 我国产业园区废水产生现状及减污降碳路径分析

4.3.1 产业园区废水产生现状

我国工业废水处理因地区、行业、工艺不同，水质水量、能耗水平差异较大，相对城镇污水处理行业综合研究数据较少，底数总体不清。据初步估算，2021 年我国产业园区工业废水排放量达到 63 亿吨，平均进水 COD 浓度约 340 mg/l。按《省级温室气体清单编制指南》方法估算，2021 年全国园区污水集中处理过程甲烷直接排放量超过 85.7 万吨，约合 2142.5 万吨二氧化碳当量；如果按工业污水集中处理设施平均吨水电耗约 2 kWh 估算，全国产业园区工业废水集中处理能耗约合二氧化碳排放量 1200 万吨。综上，2021 年我国产业园区污水集中处理设施运行碳排放量超过 3300 万吨（未含药剂和一氧化二氮折算），如果加上排污企业预处理高浓废水时产生的碳排放，园区污水处理系统碳排放量将占到全国污水处理行业碳排放的 50%。

4.3.2 园区污水处理协同减污降碳路径分析

我国产业园区污水处理协同减污降碳潜力较大。一是加强排污企业与下游污水处理厂的协同增效，从源头上加强污水减量化与资源化利用，并提升可生化性较好污水的集中处理规模，减少污水的重复处理量，提高生物脱氮除磷效率，降低全流程能源和物料消耗；二是加强污水集中处理环节的精细化管理，推进污水的分类收集，分质处理，降低能耗和药剂使用，并通过沼气发电及热电联产中和系统耗能；三是优化园区污水调配，加强污水处理设施闲置率较高的园区周边生活污水的收集，减少分散式化粪池等低效能、高温室气体排放设施的使用，推动

污水集中处理设施处理水量与设计负荷相匹配，避免“大马拉小车”带来的能源浪费。四是加快新技术新工艺的应用，推动污水处理高效机电、智能管控、污水热能利用、污泥减量、沼气回收利用等装备和技术的示范和推广，提高各环节精细化管理和能源再生利用效能，推动行业绿色低碳发展。

4.4 我国产业园区固废产生现状及减污降碳路径分析

4.4.1 产业园区固废产废特征及现状分析

（1）产业园区固废产量大、产废增速下降

2011-2019 年，我国大宗工业固废年产量均超过 30 亿吨，其中尾矿与冶金渣约占 50%，煤矸石与粉煤灰约占 30%。

我国大宗工业固废整体利用率呈上升趋势，产量总体呈下降趋势。每年都有新增固废因无法利用长期堆存，目前我国堆存的工业固废总量已超过 600 亿吨。工业固废长期堆存，一方面占用大量土地资源，造成周边环境污染隐患；另一方面固废堆场的建设和维护、固废运输等过程均产生了巨大的资源浪费与综合碳排放。

（2）宏观层面园区固废种类众多，单个园区固废种类趋同

宏观上，产业园区涉及的固废种类繁多，但由于产业聚集效应导致单个园区众多企业产生的固废种类及特征趋同。一方面有利于固废集中处置与综合利用，在配套建设集中处置设施的同时，方便园区进行统一监管；另一方面，若部分产业园区规模过大、产业过于单一，可导致新增固废无法有效进行处置或消纳。

（3）产业园区固废资源属性行业及区域差异大

赤泥、煤气化渣、电解锰渣为代表的难利用大宗固废，因其资源属性差、处理成本高，综合利用率尚不足 10%，成为相关产业绿色低碳发展的“卡脖子”问题。即便是资源属性较高的粉煤灰、煤矸石等工业固废，因受到产业园区周边城市综合利用产品消费能力的限制，也会造成发达地区供不应求，边远地区固废围城的“区域资源错配”等现象。

（4）部分产业园区危险废物环境风险较高

受园区自身管理水平、主导行业盈利能力、危险废物处置及资源化技术发展水平等因素的制约，存在部分园区危险废物管理底数不清和监管能力薄弱、企业难以承受危险废物（电解铝灰、黄金冶炼氰化渣等）处置费用、部分特种危废（废盐、废酸、飞灰等）处理处置及资源化技术不成熟、部分危险废物长距离跨省运

输等问题，导致产业园区危险废物非法处置事件频发。此外，产业园区普遍存在的废机油、废催化剂、实验室危废、废电池等小微源危废，因其分布广、种类多、产量小、收集困难等特点，逐渐成为企业发展痛点和园区监管难点。第三，除部分资源属性较高的危险废物被综合利用以外，危险废物处理处置以填埋及焚烧为主，一方面存在大气及地下水二次污染隐患，另一方面焚烧设施及填埋场建设维护都会产生大量综合能耗与温室气体。

（5）园区节能环保基础设施产生的衍生固废处置困难

产业园区节能环保基础设施普遍面临二次衍生固废处置的压力。一方面，部分园区污水处理及危险废物焚烧等环保基础设施在前期规划投资阶段对衍生固废处置成本估计不足，难以保障后续衍生固废处理处置费用；另一方面，特种污泥（含重金属污泥、含油污泥、含氟污泥等）、工业副产石膏（脱硫石膏、磷石膏、钛石膏等）、尾气处理废活性炭等处置及资源化技术不成熟也会导致衍生固废大量堆存的现象。

4.4.2 产业园区固废处置与资源化减污降碳路径分析

我国产业园区一般按照“统一规划、统一征地、统一管理、统一建设基础设施、统一环境质量和污染排放标准”进行规划、建设、运营及管理，在优化产业空间布局、调整产业链结构、实现污染物及碳排放有效监管等方面具有优势。

结合上述研究与分析，本章节将针对产业园区目前存在的工业固废产量大、资源化利用率低、危险废物环境风险较高、衍生固废处置困难、监管体系有待完善等问题，以固废处置及资源化的减污降碳协同增效为目标，提出路径措施，并结合典型案例进行减污降碳效益分析。

（1）源头减量与清洁生产

推进源头减量与清洁生产是实现产业园区固废领域减污降碳的根本途径。具体途径包括：1）针对园区主要产废企业，通过规划及环评、“以渣定产”要求、排污许可证管理制度等管理手段，使得企业重视固废减污降碳工作；2）通过使用新能源代替园区部分自备火电厂，降低粉煤灰等固废产量，减少大气污染物及碳排放；3）利用“无废工艺”，构建绿色设计、绿色化工、绿色交通、绿色产品新模式，采用先进技术及优质原料，实现单位产品固废产量及综合能耗的根本性降低；4）推进园区重点固废产生企业清洁生产改造，实现降低贯穿生产全过程

和产品全生命周期的固废减量与综合碳排放。

以固废产量巨大的钢铁行业为例，近年来国家大力推动钢铁企业退城入园，由此带来了通过技术改造以及优化上下游产业链实现钢铁行业减污降碳的历史机遇。短流程炼钢相比于长流程炼钢，无需矿石研磨、磁力分选、成球烧结等环节，极大降低了综合能耗，并大量减少了钢渣等固废的产生。根据《废钢铁产业“十三五”发展规划》数据显示，短流程炼钢比长流程炼钢每吨产品减少 1.6 吨二氧化碳排放、3 吨固废产量。按照相关规划，我国短流程炼钢比例将由当前的 10% 提高到 2025 年的 15%，预计可以减少二氧化碳排放量 7000 万吨，降低固废产量 1.5 亿吨。

（2）工业固废资源利用或替代原材料

工业固废资源利用或替代原材料是实现资源属性较高的产业园区大宗固废增量减少、存量有序降低的有效手段。具体途径包括：1）利用政策引导，通过保护绿水青山、禁止砂石开采，激发产业园区周边地区对大宗固废综合利用产品的市场需求；2）利用绿色建材、混凝土掺合料、高附加值利用等技术，推进粉煤灰、煤矸石、尾矿、冶炼渣、脱硫石膏等产业园区大宗固废的综合利用；3）通过就近建厂、优化产业布局，实现赤泥、磷石膏、锰渣等难利用产业园区固废的原位矿山修复与尾矿填充利用；4）利用智能收集溯源技术以及绿色低碳熔炼技术进行金属再生利用，减少铅、铜、铝等原生金属产生的固废及能耗。

以徐州丰县大宗固废综合利用示范基地为例，抓住徐州市作为资源枯竭型城市“无废城市”建设契机，针对当地产业园区大宗固废，建设了绿色建材产业园。园区通过建材化原料替代生产混凝土掺合料、绿色水泥、节能保温材料、绿色建材等产品，每年约可消纳工业固废 191 万吨（煤矸石 60 万吨、粉煤灰 45 万吨、尾矿 14 万吨、冶炼渣 15 万吨、脱硫石膏 15 万吨、工业污泥 42 万吨），通过固废原料替代、煤矸石能源利用、节能降碳改造等手段，年固废降碳量可达 830 万吨。

（3）园区内固废循环经济产业链构建

根据中国循环经济协会发布的《循环经济助力碳达峰研究报告》，“十三五”期间，发展循环经济及固废综合利用对我国碳减排的综合贡献率达 25%。“十四五”期间，相关贡献将进一步凸显。构建园区内固废循环经济产业链的具体途径包括：1）通过清洁生产改造，实现单个企业内原材料高效利用以及工业副产物

深加工利用；2）通过产业链上下游延伸，构建园区内企业间原料替代及固废循环利用；3）以园区内企业群为对象，考虑要素配置、物质代谢和能源梯级利用情况，构建园区内固废循环经济产业链；4）挖掘园区内工业窑炉潜力，实现园区内固（危）废协同处置，并利用余热回用技术增加处置收益与降碳效益；5）建设绿色交通、绿色物流、智能仓储等园区配套设施，增强固废综合利用产品市场竞争力。

以宁波石化经济技术开发区为例，因其固废产量大、种类多、管理难度高，所以园区进行了“无废园区”循环化改造。园区内多家龙头企业内部配套建设了废催化剂再生、废碱液及废渣减量化项目；园区相继引进了废催化剂再生、高浓度有机废水综合利用、废矿物油综合利用、一般工业污泥制陶粒等项目，打通了企业间的能源系统优化和梯级利用、水资源高效循环利用、废物综合利用。园区一般工业固废处置利用能力基本满足园区内需求；危险废物无害化处置率达 100%，90%以上实现了内部无害化处置利用。

（4）危险废物精细化管理

如前所述，危险废物目前存在管理尚需完善、处置方法简单、综合利用率不高、特种危废难以处置、综合碳排放较高等问题。因此危险废物精细化管理就显得尤为重要。危险废物精细化管理技术路线具体途径如下：1）健全危险废物管理制度，全面提升“三个能力”；2）完善危险废物产生、贮存、收集、处置或利用全过程的智能化监管平台；3）通过危险废物鉴别及第三方评估，构建产业园区内及园区间危险废物定向“点对点”综合利用途径；4）利用“互联网+智慧溯源”技术建立收运体系，实现小微源危险废物产生、暂存、收运、处置实时预警、全程监控及应收尽收。

以绍兴市为例，当地产业园区数量多，精细化工产生的废酸、废盐等难处置危废，以及大量小微企业产生的废机油、切削液、废活性炭、实验室危废等带来巨大环保压力。绍兴市通过建立危险废物“代收代运”+“直营车”模式，实现 20 多个产业园区小微企业危险废物收运全覆盖。并通过危险废物鉴别、危险废物管理计划审批及强化危险废物联单等制度，实现了园区内及园区间危废综合利用，2020 年共计有 27 万吨（1.8 万吨废盐溶液、5 万吨酯化反应残渣、20.87 万吨废酸）危废实现定向“点对点”利用。

（5）产业园区衍生固废减量及资源化

产业园区衍生固废的无害化、减量化、资源化是提升园区节能环保基础设施绿色低碳发展水平的重要内容。具体途径如下：1）通过提高产业园区污水接管标准、推行节水及固废利用技术，实现衍生固废源头减量；2）通过清洁生产技改，降低污水处理厂甲烷等温室气体和污泥产量，减少焚烧设施飞灰及底渣产量，降低工业副产石膏产量；3）利用园区内各种工业窑炉协同处置污泥、废活性炭、飞灰及底渣等衍生固废；4）对于脱硫石膏等具有一定资源属性的衍生固废，利用建材化技术进行综合利用，对于难利用的磷石膏及钛石膏等采用尾矿填充等技术进行处置。

以广东汕头潮汕纺织印染园区为例，配套污水处理厂产生的印染污泥是园区主要固废，含有大量的化学残留物，内部含水量高、难以脱水，处理处置难度大。园区以污水处理厂建设为核心，利用高效生化水处理技术实现了废水稳定达标和50%比例的高标准再生水回用，年减少废水排放约2400万吨；同时，配套建设热电联产项目，利用工业窑炉协同处置印染污泥，该项目日发电量60万度（含其他燃料），每年消纳印染污泥约7.5万吨。

4.5 与国内外相关标准关系分析

目前，国内外园区评价相关的代表性标准指南情况分析如下：

联合国工业发展组织（UNIDO）-《工业园区国际指南》。该指南提出一套工业园区绩效评价指标体系，是衡量和提高工业园区绩效的实用工具。该指标体系包括经济、社会和环境等13个关键绩效指标，且每个关键指标都由多个输入数据定量的子指标组成，总计有190多个子指标，可按此计算出关键指标得分，能够量化评价园区发展水平，协助决策者规划和实现新的工业园区，或升级运营中的工业园区。指南可为园区开展相关绩效评价提供参考。但本指南主要侧重于宏观参数，对于没有减污降碳具体指标设置。

2021年11月，中共中央 国务院印发《关于深入打好污染防治攻坚战的意见》，意见明确提出要以实现减污降碳协同增效为总抓手。工业园区减污降碳协同增效也是由中国首次提出，因此在国内外尚没有工业园区减污降碳协同增效评价指标体系相关研究。

但在低碳园区等方面，欧美等国进行了探索和实践，研究发布了低碳发展评价体系方面的政策标准、评价体系、技术导则、建设指南、指标体系等，重点关

注环境保护、能源与建筑、转型升级、土地集约利用、绿色交通、社会人文、智慧城市、现代管理等低碳影响指标因素。德国柏林欧瑞府能源科技园、日本北九州生态工业园、丹麦卡伦堡生态工业园、加拿大伯恩赛德（Burnside）工业园等从宣传教育、社会基础设施等方面入手，开展了低碳园区实践，构建了工业共生网络关系、能量梯次流动废物循环利用体系等，推动园区生态共生和低碳发展。

2019 年，联合国工业发展组织（UNIDO）发布了《工业园区国际指南》，指南提出一套工业园区绩效评价指标体系，是衡量和提高工业园区绩效的实用工具；2012 年美国可持续发展社区协会（ISC），提出了低碳园区概念和低碳工业园区评价指标体系，该指标体系包括能源利用与温室气体管理、循环经济与环境保护、园区管理与保障机制、规划布局与土地利用 4 类，共计 23 个指标。

同时，我国浙江省率先编制了《浙江省绿色低碳工业园区建设评价导则》（2022 版），为本标准的制定提供了很好的参考。在企业温室气体排放核算方法标准研究方面，国家发改委牵头制定了较为完整的各个行业企业温室气体排放核算方法与报告指南，具体包括：《企业温室气体排放核算方法与报告指南 发电设施（2021 年修订版）》（征求意见稿）、《中国发电企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》、《中国电网企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》、《中国钢铁生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》、《中国化工生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》、《中国电解铝生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》、《中国镁冶炼企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》、《中国平板玻璃生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》、《中国水泥生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》、《中国陶瓷生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》、《中国民航生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》、《中国石油和天然气生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》、《中国石油化工生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》、《中国独立焦化企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》、《中国煤炭生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》、《造纸和纸制品生产企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》、《其他有色金属冶炼和压延加工业企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》、《电子设备制造企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》、《机械设备制造企业温室气体排放核算方法与

报告指南（试行）》、《矿山企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》、《食品、烟草及酒、饮料和精制茶企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》、《公共建筑运营单位（企业）温室气体排放核算方法和报告指南（试行）》、《陆上交通运输企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》、《氟化工企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》、《工业其他行业企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》等二十多个标准，为产业园区减污降碳工作提供了较为充实的行业温室气体排放核算方法学依据。

5. 标准主要内容及说明

第一部分：适用范围

标准条文提出了本标准规定的内容和适用范围，即本标准规定了产业园区源头控制、生产过程控制、污染物末端治理、产业循环链构建、基础设施绿色低碳化、绿色交通要求等减污降碳协同增效途径、技术要求、绩效评价及监测/检测要求。

第二部分：规范性引用文件

标准条文阐述了标准中引用的有关文件，表明本标准部分内容的引用来源和依据。

第三部分：术语定义

本部分对本标准中所涉及的术语进行了定义，包括产业园区、减污、降碳、减污降碳协同增效、碳排放、碳排放量，引用方法原则上采取能引用现行技术规范的成形定义，采取原文引用的方式。

第四部分：总体要求

本部分提出了产业园区减污降碳协同增效责任主体、园区管理部门责任、摸清底数、源头减量、过程控制、环境治理、构建产业循环链、推动园区基础设施绿色低碳化、资源环境权益交易等法律法规和标准的相关要求。

第五部分：产业园区源头控制要求

本部分从优化产业园区空间布局、优化产业园区用能结构等两方面入手，提出了产业园区源头控制要求。主要包括：

5.1 优化产业园区空间布局

5.1.1 优化布局要求方面，提出产业园区应结合地区资源能源禀赋、经济发

展规划、园区总体规划、新能源产业规划、环境保护规划等，制定园区减污降碳绿色转型发展规划，统筹减污降碳，实现园区电、气、热等综合能源系统以及园区环保设施有机结合，提升园区综合管理水平。

5.1.2 产业转型升级方面，提出产业园区应结合自身产业特点，推进传统产业转型升级，发展高新技术产业、节能环保和新能源等绿色低碳产业，鼓励发展信息服务、咨询服务、节能与环保服务和生产性支持服务等现代服务业，提高产业的绿色化指数。

5.1.3 规范化要求方面，提出产业园区应制定入园企业要求，鼓励自主创新，推广使用先进的减污降碳协同增效的技术、工艺和设备。

5.1.4 退出清单方面，提出产业园区应结合所在地区减污降碳要求及“三线一单”所确定的相关清单，明确产业园区产业退出清单，优化园区鼓励类、限制类、淘汰类相关项目类别。

5.2 优化产业园区用能结构

5.2.1 新能源替代方面，提出工产业园区及企业应优化用能结构，实施清洁能源替代，提高风能、太阳能、生物质能、海洋能、地热能、氢能等新能源使用率，鼓励企业建设光伏、光热、地源热泵和智能微电网，因地制宜采用风能、生物质能等，提高清洁能源替代水平。

5.2.2 可再生能源应要方面，提出产业园区应推动可再生能源与常规能源融合，建立可再生能源与传统能源协同互补、梯级利用的供能体系，实现资源优化配置与高效供给，推广新型高效供能技术。

5.2.3 能源使用类型方面，提出应明确入园企业应执行的新能源及可再生能源关键技术及指标要求，逐步提高园区新能源和可再生能源占比、余热资源回收利用率。

第六部分：产业园区生产过程控制要求

本部分从提高资源能源利用效率、选择节能环保工艺设备、推广清洁生产、推广绿色供应链等三方面入手，提出了产业园区生产过程控制要求。主要包括：

6.1 提高资源能源利用效率

6.1.1 宏观要求方面，提出产业园区应结合域内重点企业特点，明确减污降碳技术及指标，优化产业链和生产组织模式。

6.1.2 具体措施方面，提出产业园区应采取措施，推进产业共生与资源/能源梯级利用，促进企业内资源/能源配置优化和循环利用。

6.2 选择节能环保工艺设备、推广清洁生产

6.2.1 节能环保装备方面，提出产业园区内企业新建或技改项目应采取先进适用的工艺技术和装备，确保工艺技术及装备的先进性，开展深度高效治理应用示范。

6.2.2 清洁生产方面，提出应推进企业清洁生产审核（参照《清洁生产审核评估与验收指南》要求），强化园区内企业内部低碳化、循环化清洁生产改造，提高企业清洁生产水平。

6.3 推广绿色供应链

6.3.1 绿色供应链思路方面，提出企业应从产品全生命周期角度，贯彻绿色发展理念，实现从设计到原材料采购、生产、运输、储存、销售、使用和报废处理的全过程实现全产业绿色供应链，参照 GB/T 39256、GB/T 39257、GB/T 39258、GB/T 39259 的相关要求。

6.3.2 园区绿色供应链措施方面，提出产业园区应制定可持续的绿色供应链管理措施，实施绿色采购，强化绿色生产，建设绿色回收体系。

6.3.3 企业绿色供应链措施方面，提出应鼓励企业开展产业园区绿色供应链示范，建立绿色供应链管理措施，提升园区整体绿色发展水平。

6.3.4 绿色供应链科学普及方面，提出应推进绿色消费理念科学普及，通过消费观念的转化、行为的转变，提高公众对环保、绿色消费与可持续发展的认识，提升绿色消费意识。

第七部分：产业园区污染物末端治理要求

本部分从推进大气污染防治减污降碳协同控制、推进水环境治理协同控制、推进固体废物污染防治协同控制等三方面入手，提出了产业园区环境治理环节要求。主要包括：

7.1 推进大气污染防治减污降碳协同控制

7.1.1 多污染物和温室气体协同控制方面，提出产业园区应推进典型行业企业废气处理设施与碳捕集协同增效技术的评估和标准化建设，推动碳捕集、碳封存与高效除尘、脱硫、脱硝等工艺耦合技术的示范与推广。

7.1.2 废气设施节能改造，提出产业园区内企业应通过采用先进大气污染治

理设备或对已有大气污染治理设备进行节能改造，可通过优化管线设计降低风阻、推广节能风机、采用低能耗高效废气处理单元技术、提高设备自动化智能化运行水平等途径予以实施。

7.1.3 可燃气及非甲烷总烃控制方面，提出产业园区内企业应加强甲烷及其他可燃气体综合利用回收能源，推广 VOCs 源头替代措施、高浓度有机废气冷凝回用、催化氧化处理等安全高效处理技术；强化相关污染物在线监测，推进重点行业企业 VOCs 及典型温室气体无组织排放收集与处理。

7.1.4 耗臭氧层物质控制方面，提出产业园区内企业应加强消耗臭氧层物质和氢氟碳化物管理，加快使用含氢氯氟烃生产线改造，逐步淘汰和替代氢氯氟烃。

7.2 推进水环境治理协同控制

7.2.1 节水总体措施方面，提出产业园区应因地制宜，推进以水定产、节水优先、系统治理，优化园区产业结构，鼓励高产出低耗水新型产业发展；积极开展园区企业用水审计、水效对标和节水改造，推进企业内部工业用水循环利用，提高重复利用率，逐步建立“节水型-节水标杆-水效领跑者”三级水效示范引领体系。

7.2.2 用水系统集成优化方面，提出产业园区应加强园区内水环境治理与温室气体减排协同，注重污水处理减污降碳协同，强化水资源节约集约利用；产业园区及园区企业应推进用水系统集成优化，实现串联用水、分质用水、一水多用、梯级利用和再生利用，构建区域再生水循环利用体系，大力推进污水资源化利用，推动节水治污与降碳协同改造；完善园区企业预处理设施、园区集中污水处理设施建设与运营管理水平，确保工业废水达标排放。

7.2.3 污水处理厂节能降耗及能源利用方面，提出产业园区及园区内企业应积极建设或升级资源能源标杆再生水厂，优化园区污水处理设施能耗和碳排放管理；推进园区集中污水处理厂节能降耗，优化工艺流程，提高处理效率；鼓励园区污水处理厂采用高效水力输送、混合搅拌和鼓风曝气装置等高效低能耗设备；推广污水处理厂污泥沼气热电联产及水源热泵等热能利用技术；在污水处理厂推广太阳能发电设施。

7.2.4 全过程精细化管理方面，提出产业园区应加强污水处理全流程管理，推进污水的分类收集、分质处理，降低能耗和药剂使用，选择性采用沼气发电及热电联产等措施降低污水处理厂综合能耗；鼓励有条件的污水厂协同发展新能源

推广绿电替代；应因地制宜，积极寻求海水、废污水、雨水等非常规水源作为园区工业企业生产用水的重要来源，积极创建产城融合废水高效循环利用创新试点。

7.2.5 优化园区污水调配方面，提出产业园区应加强污水处理设施闲置率较高的园区周边生活污水的收集，减少分散式化粪池等低效能、高温室气体排放设施的使用，推动污水集中处理设施处理水量与设计负荷相匹配，保障园区周边重要水体断面达标；园区应积极探索海绵区块建设，综合利用“渗、蓄、治、净、用、排”等技术措施，推进绿色低碳化。

7.2.6 加强高新技术引入方面，提出工产业园区应推动污水处理高效节能、智能管控、污水热能利用、污泥减量、沼气回收利用等装备和技术的示范及推广，提高各环节精细化管理和能源再生利用效能，推动园区绿色低碳发展。

7.2.7 节水控制措施方面，提出。产业园区应强化用水总量和强度约束性双控，稳步推进废水循环利用技术改造升级；高耗水行业项目具备使用再生水条件，推进再生水利用。

7.2.8 园区产业链合作方面，提出产业园区应积极推进采用低碳、节能、环保、清洁生产、资源综合利用等共性领域技术研发，探索建立园区上下游企业节水治污降碳合作新模式，促进节水治污降碳协同增效。

7.3 应推进固体废物污染防治协同控制

7.3.1 固体废物全过程管理方面，提出应构建企业间的产业共生网络和绿色供应链，加强资源和物料的循环利用和梯级利用，促进固体废物的减量化和资源化。

7.3.2 工业固废三化方面，提出产业园区及园区内企业应推进工业固体废物无害化、减量化、资源化，最大限度降低填埋量，强化资源回收和高值化综合利用；构建产业园区通过源头减量与清洁生产方式，减少固体废物产生量及相关综合能耗。

7.3.3 生活垃圾三化方面，提出产业园区应大力推进生活垃圾分类，促进园区内生活垃圾减量化、资源化和无害化处理。

7.3.4 危废处置及资源化方面，提出产业园区应加强园区内危险废物规范化管理。

第八部分：产业园区产业循环链构建要求

本部分从推动循环化、低碳化改造、园区内企业间循环经济产业链构建、产业园区与周边区域产城融合发展等三方面入手，提出了产业园区产业循环链要求。主要包括：

8.1 推动循环化、低碳化改造

8.1.1 产业链构建要求方面，提出产业园区应逐步构建园区内多级串联循环使用、副产品交换、废料循环利用、生产工业链、物质循环产业链、蒸汽—热水多级利用等合作模式，提升园区企业间的清洁低碳生产潜力。

8.1.2 产业链构建内容方面，提出产业园区应推动园区内企业间共建能源系统优化和梯级利用、水资源集约化循环利用、废物综合利用，形成绿色低碳循环经济产业链。

8.1.3 产业链构建措施方面，提出产业园区应积极推动副产能源（如余热发电、蒸汽、热空气等）及资源（污泥、副产石膏、工业废渣、尾水等）与园区内部及周边行业产业链融合发展。

8.2 园区内企业间循环经济产业链构建

8.2.1 废气内循环方面，提出产业园区应因地制宜推进园区内 VOCs 等多污染物和温室气体的集中收集和处理。

8.2.2 废水治理内循环方面，提出产业园区应按照 GB/T 7119 的要求督促园区内重点用水企业推进水资源循环利用，提高工业用水重复利用和中水回用，提高水资源产出率；利用节水及尾水回用技术降低园区整体污泥产量，充分发挥园区内工业窑炉实现园区内固体废物、危险废物的协同处置及余热利用。

8.2.3 固体废物治理内循环方面，提出产业园区应逐步实现以工业固体废物源头减污降碳、技术装备提升、园区产业联产联动为切入点，构建以固体废物共享消纳、集成控制、转化利用为核心的固体废物循环链；引导企业加强工业固体废物综合利用，减少有毒有害废物的产生；应指导并督促企业充分回收利用余热资源、废气资源和可再生资源，减少资源浪费。

8.3 产业园区与周边区域产城融合发展

8.3.1 规划布局思路方面，提出产业园区应遵循主导产业的生产及发展规律，进行产业升级改造，以主导产业为核心，拓展相关上下游产业，逐步构建产业整体化发展思路，优化园区空间布局。

8.3.2 协同发展措施方面，提出产业园区应推进跨园区产业生态集群构建，

结合园区及周边区域能源供应、城市供暖、固危废利用及处置、废水处理、废气处理等基础设施，统筹规划，促进园区与周边区域协同发展。

8.3.3 能源使用融合发展思路方面，提出应统筹考虑能源资源条件与可通过大电网等渠道获取的外部资源，优化内外部资源搭配，科学规划热电联产、热泵、燃气三联供等多能耦合环节的规模和布局，建立城市综合能源系统，实现冷、热、电等多能协同互补，提高能源利用效率。

第九部分：产业园区基础设施绿色低碳化要求

本部分从绿色建筑要求、供能设施要求等方面入手，提出了产业园区基础设施绿色低碳化要求。主要包括：

9.1 绿色建筑要求

9.1.1 规划措施方面，提出工产业园区参照 GB/T 50378-2019 相关要求，应积极推进建筑节能改造，对既有建筑实行建筑能源审计，根据实际建筑负荷特性，充分利用园区本地工业余热、清洁能源，积极使用水源热泵、地源热泵、储能等技术，提升建筑能效；新规划的建筑物直接应用绿色材料，加装光伏、采取装配式建筑等分布式发电设施推进绿色建筑的布局及发展。

9.1.2 运行管理措施方面，提出产业园区应加强对建筑的运行管理，可通过分隔冷热通道、避免冷热空气掺混；采取局部冷却而非整体空间冷却的方式，将机柜或设备作为冷却对象，降低能耗。

9.2 供能设施要求

9.2.1 对于拥有火电项目的园区要求，提出应按照国家相关要求逐步开展火电厂节能降碳改造、灵活性改造、供热改造“三改联动”。

9.2.2 对于以电力为主要能源消费特点的园区，应满足如下要求：

（1）充分发挥电能的高品位能源特性，优先采用公共配电网供能，适应电力市场改革方向，进一步提升电能质量。

（2）充分发挥电力基础设施在系统布局、用户配置等方面的平台优势，兼顾各种能源系统特点，科学合理配套其他能源供应方式，提高园区能源综合利用效率。

（3）充分利用电能可精确测量、可精准控制、可统一调控的特点，构建园区级智慧电力能源管理平台，与城市管理系统协同融合，实现园区综合能源系统的智慧化管控。

(4) 因地制宜推广新能源发电、高效储能、交直流电网等电力新技术、新设备。

9.2.3 对于以太阳、风电等为主要能源消费特点的园区，应满足如下要求：

(1) 充分挖掘本地风光资源，提高可再生能源发电占比，做到“宜风则风，宜光则光，风光互补，灵活供应”。

(2) 提高多时空尺度新能源出力及负荷需求预测水平，解决风光发电不确定性问题，减少弃风弃光现象。

(3) 推进“源-网-荷”多维度协调控制，灵活配置多类型储能装置，引进电转气、电转热等先进技术，促进富余可再生能源电力消纳。

(4) 优化和加强公共配电网建设，充分利用需求响应、虚拟同步机等技术，提高配电网对分布式发电的消纳和配置能力。

9.2.4 针对在我国地热能或水资源丰富地区的产业园区，应满足如下要求：

(1) 在坚持可持续发展的前提下，做好地质勘测等相关工作，准确把握园区地热、水源等资源开发和利用条件。

(2) 依据客户用能特点和基建施工要求，合理选择浅层地热型、深层地热型、地表水源型、污水源型等相关热泵适用技术。

(3) 遵循经济、清洁、安全原则，合理配置园区暖通空调等主要负荷的调峰设施，科学比选和采用太阳能集热器、燃气锅炉、电锅炉等技术设备参与调峰，保障能源供应的可靠性。

(4) 积极推广多种蓄热蓄冷技术，实现园区暖通空调等峰荷的时空转移，替代和减少调峰设备配置。

(5) 加强地源热泵等设施的施工过程管理，严控设备采购、施工工艺、施工资质等相关标准和规范，切实保证设备寿命周期内可靠运行。

9.2.5 针对临近大型发电厂（燃煤、燃气、生物质等）、各种大型工业生产厂区（如钢厂、纺织厂等）等具有大规模能源生产和消费设施的产业园区，应满足如下要求：

(1) 深入了解大型企业主要设施能源生产和消费的工艺特点，分类梳理不同环节和设备所产生的高、中、低品位余热资源。

(2) 厘清园区主要用户的用能负荷特征，结合周边余热资源情况，明确余热利用的主要技术设备。

(3) 综合考虑余热资源可利用的时长、最大功率、容量及余热产生与生产主业之间的时序关系等因素,统筹规划和部署园区内其他能源基础设施与余热利用之间的匹配和协调。

(4) 充分发挥中高品位余热利用价值,重视低温余热的收集和利用,鼓励应用高效热管换热、有机朗肯循环发电、低温余热溴化锂制冷等新型低品位热能利用技术,加大对余热中占比较大的低温余热的利用力度。

(5) 鼓励引导签订余热供给长期协议,明确奖惩条款,在给予供给方合理经济回报的前提下,保证余热用户供能的可靠性和长期性。

第十部分：产业园区绿色交通要求

本部分从产业园区应加强绿色交通体系建设、产业园区应加快道路体系建设、物流及交通向绿色化低碳化发展等三方面入手,提出了产业园区绿色交通要求。主要包括:

10.1 产业园区应加强绿色交通体系建设

10.1.1 规划发展要求方面,提出产业园区应参照《绿色交通标准体系(2022年)》相关要求,积极推进公路、铁路、水运设施等,开展新能源汽车及加气站、充电站、加氢站等配套设施的建设发展规划,做好充电设施在园区的总体布局,推进公共交通设施绿色化改造。

10.1.2 充电换点加气设施要求方面,提出产业园区应鼓励园区内部物流车、商务用车使用电动汽车、LNG、油电混合动力、燃料电池等节能车辆的推广使用。

10.1.3 车辆管理措施方面,提出产业园区应鼓励园区内部物流车、商务用车使用电动汽车、LNG、油电混合动力、燃料电池等节能车辆的推广使用。

10.1.4 特殊园区措施方面,提出在濒临江海河港口的产业园区,应大力推动岸电布局,推广靠港船舶使用岸电和装卸机械“油改电”。

10.1.5 智能化发展措施方面,提出产业园区应积极发展智能化、网联化、数值化交通体系,推动智能化交通管理和智能化交通服务模式。

10.2 产业园区应加快道路系统建设

10.2.1 道路建设条件方面,提出应推进产业园区至城区、工业功能区的快速通道建设,完善园区内企业之间的联络道路,提高园区企业间的连通性,改善园区出行条件。

10.2.2 道路出行工具方面,提出产业园区应为推进新能源汽车为核心的交通

工具电气化，为推进公共出行、共享出行提供条件，在园区内推行共享单车/汽车、新能源公交车等。

10.3 物流及交通向绿色化低碳化发展

10.3.1 推进绿色发展理念方面，提出产业园区应推进绿色民航、绿色港口、绿色物流系统建设，优先使用新能源或清洁能源。

10.3.2 推进绿色发展措施方面，提出产业园区应推动物流及交通向绿色化低碳化发展，加强建设园区铁水联运、充电及换电、智能中转仓储体系（节能改造），提高清洁能源交通工具比例。

第十一部分：减污降碳智慧化管理平台构建要求

本部分从产业园区应加强智慧化管理、应急管理、信息基础设施改造等三方面入手，提出了减污降碳智慧化管理平台构建要求。主要包括：

11.1 智慧化管理方面，提出产业园区应逐步构建减污降碳智慧化管理平台，通过物联网、互联网和云计算等技术，实时获取大气环境、水耗、物耗、能耗等数据，实时监控重点企业及整个园区的能源生产、消耗以及排放进行数字化管理及趋势分析，识别重点用能设备或工艺等，帮助管理者实时了解园区整体状态，为决策提供依据。

11.2 应急管理要求方面，提出产业园区应逐步建立统一的应急管理与日常管理、对内与对外服务的管理体系，生产数据体系化分析，实现环保平台、能耗监控平台、智慧化工综合管理平台等数据的接入，实现园区产业数据互联管理数字化。

11.3 信息基础设施改造方面，提出产业园区应积极推进高能耗的信息基础设施合理规划及节能改造，包括通讯网络、数据中心等，完善智慧管理平台对各类能源管理系统的兼容和扩展能力。

6. 标准实施的环境效益及经济效益分析

环境效益：减小产业园区污染物排放和碳排放，助力城市和区域环境质量改善，促进工业全面绿色转型，不仅可以同时实现“低硫”“低氮”和“低碳”，将“浅绿”变“深绿”，而且有利于经济结构绿色转型，实现扩绿和增长，降低园区对周边环境的负面影响，实现可持续发展。

经济效益：促进产业园区绿色低碳可持续转型升级，降低单位工业增加值综

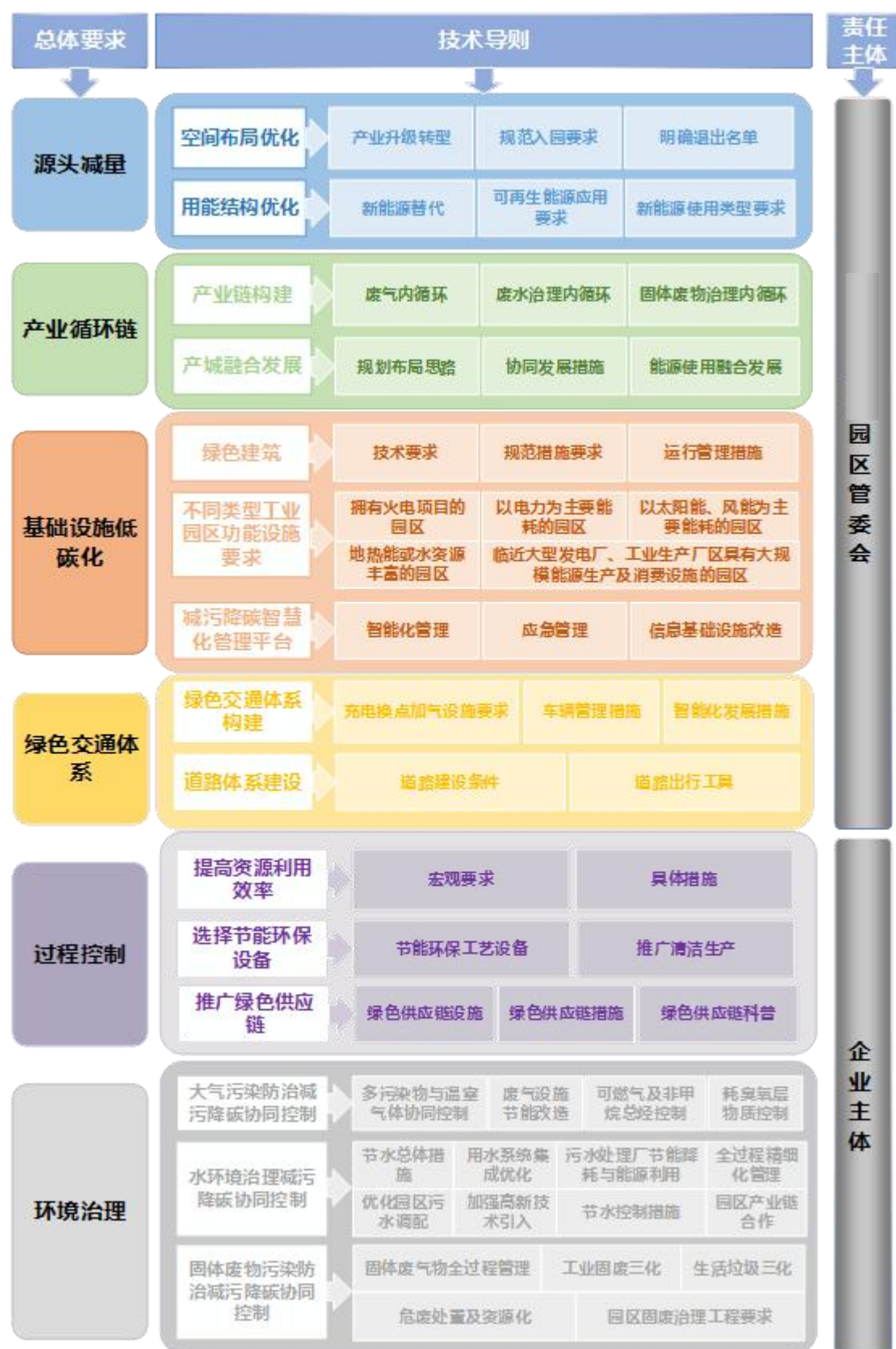
合能耗，并有效推动绿色低碳产业发展。

社会效益：为产业园区减污降碳协同增效示范及效果评价提供技术指南，保障园区绿色低碳可持续发展，促进园区内企业绿色转型，打造绿色低碳发展园区行业标杆，形成品牌效应，提升园区口碑，实现产业园区与周边环境和谐发展。

7. 标准实施建议

产业园区减污降碳协同治理是落实我国碳达峰、碳中和目标实现的重要措施之一。2020年9月，国家主席习近平在第七十五届联合国大会上宣布，中国“3060”碳达峰碳中和目标。2021年10月，《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》以及《2030年前碳达峰行动方案》，两个重要文件的相继出台，共同构建了中国碳达峰、碳中和“1+N”政策体系的顶层设计，为推进园区节能降碳增效提供政策指引。2022年6月，生态环境部等7部门联合印发《减污降碳协同增效实施方案》，对产业园区开展减污降碳协同增效也提出了明确要求。

产业园区减污降碳协同增效是一个不断进步和发展的过程，《产业园区减污降碳协同增效技术导则》将随着产业园区减污降碳协同增效途径、产业园区减污降碳协同增效技术要求、产业园区减污降碳协同增效绩效评价及监测/检测要求的进步和发展做实时的修订和完善；同时，将考虑不同类别产业园区、不同发展阶段产业园区、不同区域产业园区的特点，有针对性的制定专项产业园区减污降碳协同增效技术导则，以满足我国产业园区发展的需要。

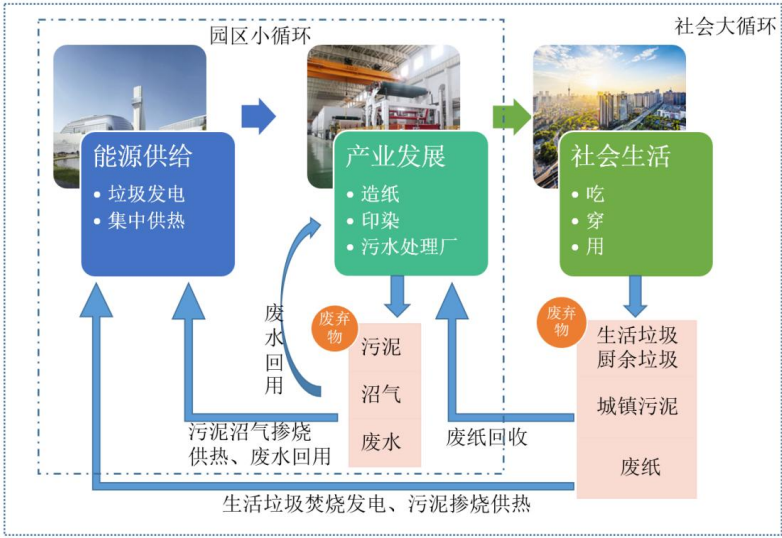


附件国内典型产业园区减污降碳协同增效案例

附件 1 赤岸镇绿色低碳循环产业园资源“双循环”

1.1 案例概况

赤岸镇绿色低碳循环产业园位于浙江省义乌市，通过构建循环经济产业链，将生活垃圾处理及传统造纸、印染产业废弃物处置与能源供给需求相耦合，形成了固废—废水—废气协同处置和资源综合利用的“双循环”发展模式。赤岸镇绿色低碳循环产业园“双循环”体系框架如附图 1 所示。



附图 1 赤岸镇绿色低碳循环产业园“双循环”体系框架示意图

社会层面“外循环”。以废弃物资源化利用为核心，构建全社会废纸、生活垃圾、城镇污泥等资源回收、处置、利用的循环体系，最大限度进行资源化、无害化处理，变废为宝，化害为利。年回收利用废纸总量稳定在50多万吨，生产包装纸60余万吨；年处理生活垃圾超100万吨，可消纳义乌城乡全部垃圾；年处置城镇污水、园区污水净化产生的污泥36万吨，有效解决了城市污水处理中的污泥出路问题；处理餐饮垃圾19万吨/年；对家具等大件垃圾进行破碎和回收利用，形成1万吨大件垃圾和4万吨园林绿化废弃物处置能力。同时把固体废弃物转化为热能、电能，向园区和周边用能企业供给气冷电。

园区层面“内循环”。实施固废、废水、废气等资源“内循环”利用，实现各类资源“零浪费”。造纸污泥经干化除水后用于焚烧发电，年处理造纸污泥3万吨；垃圾焚烧产生的废渣，按工业固废和金属材料分类处理，用于生产建筑材料和回

收利用；造纸废水处理达到工业用水标准后回用。园区废水循环利用率达到80%以上，每吨纸耗水小于5吨，远优于行业标准8吨水平。

通过社会层面的垃圾、污泥等废弃物分类处理处置“外循环”，实现源头减量化，并将部分废弃物通过园区“内循环”作为原材料，进行垃圾发电、集中供暖和循环利用等，供应社会能源利用，实现内外循环闭环运转。

1.2 减污降碳协同能力

赤岸镇绿色低碳循环产业园先后实施了 16 个重点项目，涉及老旧低效机组淘汰改造、污水沼气和城市污泥资源化利用、气冷电多联供、低品位能源梯级利用等方面，通过社会大循环的物质流和园区内小循环的能量流有机结合，协同构建固废—废水—废气资源综合利用处置的产业循环发展体系，实现能源+产业+污染物处置多环节的减污降碳协同治理。经初步测算，16 个重点项目建成运行后，每年合计可减少约 136.2 万吨 CO₂、1103.4 吨 SO₂、1029.4 吨 NO_x、614.7 吨烟尘排放。

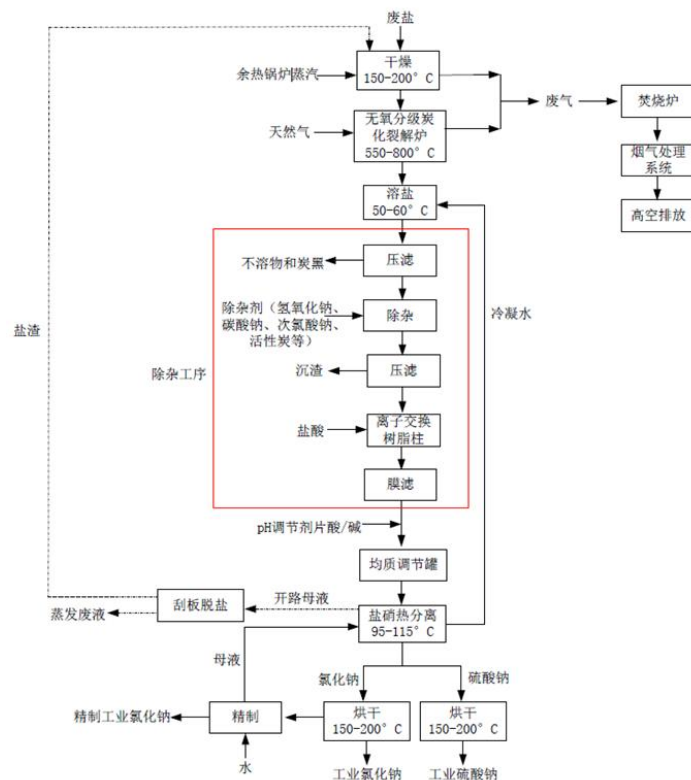
附件 2 医药化工园区工业废盐和危险废物资源化与能源化

2.1 案例概况

该案例位于浙江台州湾经济技术开发区的医化产业园内，园区共入驻医药化工企业 58 家，案例主要包括废盐综合利用和危废焚烧的烟气余热回收两个项目。

（1）废盐综合利用项目

项目采用“多级碳化+膜精制处理+冷冻分盐+余热回收”工艺，将医化产业园的工业废盐进行处理处置，生产出标准工业盐产品，用于下游氯碱、印染、水泥助磨剂、卤素化工的生产。技术路线如附图 2 所示。

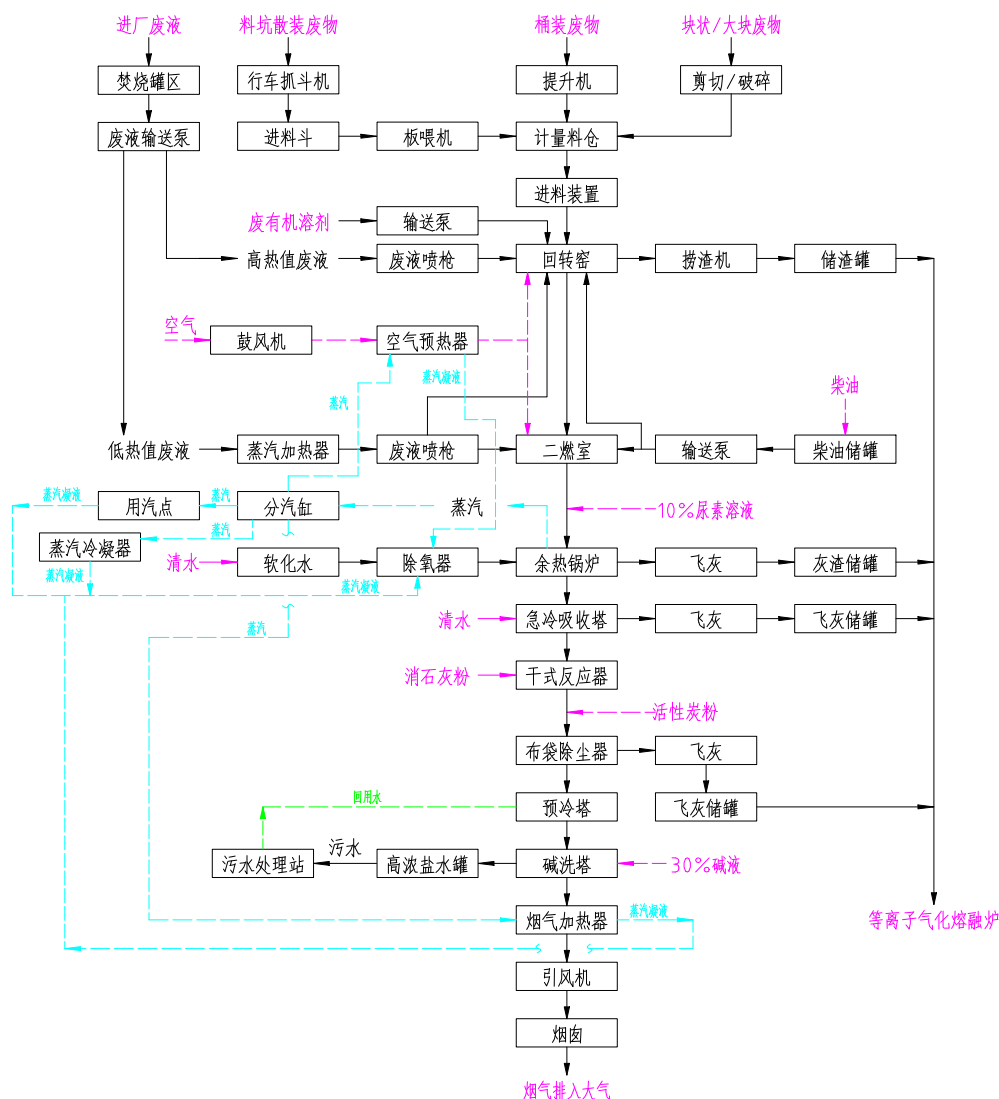


附图 2 废盐综合利用工艺流程图

项目主要采用三种工艺：一是多级碳化工艺，引入冶金炉的高效连续处理技术，预处理干燥后的废盐进入多级碳化炉，在无氧及缺氧条件下使有机物碳化，彻底去除工业废盐中的大分子与长碳链有机物，处理后的固体盐总有机碳（TOC） $\leq 50\text{ppm}$ ；二是膜精制，将碳化后的固体盐进行溶解，通过陶瓷硅碳化膜过滤分离后，再加入药剂进行精制除杂，去除重金属等杂质并进一步降低有机物含量，调节出精制盐水；三是冷冻蒸发分盐，除杂后的精制盐水进入冷冻蒸发系统，通过冷冻结晶器—多效蒸发器—多效蒸发器的系统循环交替生产，将氯化钠、硫酸钠等工业盐进行分离，最终制备出满足《再生工业盐》《无水硫酸钠》标准的工业盐产品，处理后的盐总有机碳（TOC） $\leq 10\text{ppm}$ ；四是项目产生的高温废气通过焚烧系统余热锅炉进行余热回收，回收后生产出的蒸汽供全厂蒸发器使用。

（2）危废焚烧的烟气余热回收项目

项目通过 100 吨/天回转窑+二燃室+余热锅炉+急冷塔+干式反应器+布袋除尘器+预冷塔+脱酸塔+烟气加热器+引风机+烟囱等设施，处置大宗固/液体废物。工艺流程如附图 3 所示。



附图 3 回转窑焚烧工艺流程图

2.2 减污降碳协同能力

(1) 废盐综合利用项目

减碳方面：项目将每年2万吨废盐再生为工业盐产品，减少了生产该部分工业盐产生的能耗。传统每年2万吨工业盐生产中，年耗电量为417.2万千瓦时，折算为碳排放量2424吨；年蒸汽用量44459吨，折算为碳排放量8637吨，故合计传统生产2万吨工业盐碳排放量为11061吨。该项目将废盐综合利用，年耗电1000万千瓦时，折算为碳排放量5810吨。因此，该项目减碳量为5251吨。

将园区内产生的危废废盐通过绿色资源化利用技术进行资源再生，不仅可以将高污染的危废废盐进行处理，避免送往填埋处置，减少了填埋污染地下水的风险和土地资源的浪费，还可再生出工业盐产品进行销售，真正实现了资源循环。

（2）危废焚烧的烟气余热回收项目

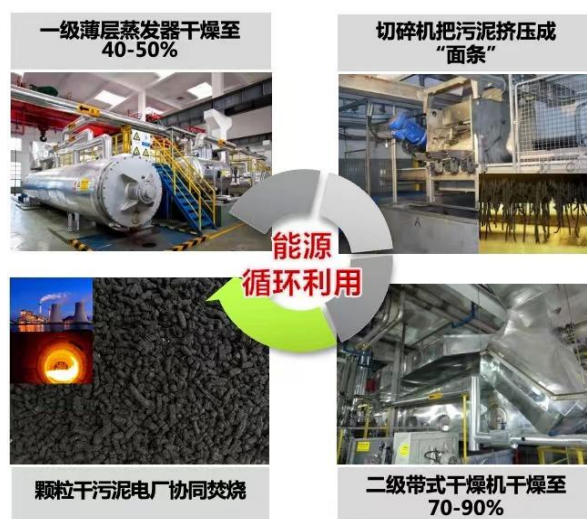
项目通过余热锅炉将焚烧产生的高温烟气进行热量回收，生产出蒸汽可外供使用，每年生成蒸汽 79200 吨，减少 CO₂ 排放 15386 吨。

附件 3 苏州工业园区污泥综合利用

3.1 案例概况

该项目位于苏州工业园区，设计总规模为日处理 900 吨湿污泥，主要处理园区两个污水处理厂所产生的全部生物污泥，污水处理过程中产生的污泥 100% 收集并进行无害化、减量化、稳定化和资源化处理。

项目主体工艺采用两段式干化工艺，即Ⅰ段薄层蒸发器和Ⅱ段带式干燥机（如附图 4 所示）：含固率 20% 的湿污泥用全封闭的卡车运至污泥干化厂污泥料仓，泵入Ⅰ段薄层蒸发器，蒸汽间接加热将污泥干化至含固率 40-45%，经切碎机成型后进入Ⅱ段带式干燥机，干化至含固率为 70-90% 的干污泥，Ⅱ段干化所用的能量大部分来自Ⅰ段产生的废热回收，最终干污泥送到热电厂的煤棚与煤混合后焚烧发电，焚烧后的灰渣作为建筑辅材循环利用。该工艺主要特点：一是节能低耗，Ⅰ段废热回用到Ⅱ段中，通过蒸汽梯级利用技术，能耗节省 30%；二是低温安全，与污泥接触部分最高温度不超过 105 度，安全可靠；三是无尘安全，污泥在塑性最好的阶段成型，无粉尘产生，安全卫生。



附图4 两段式干化工艺示意图

3.2 减污降碳协同能力

项目选址在热电厂区内，且紧邻污水处理厂，利用热电厂的余热蒸汽干化污水处理厂产生的污泥，干化后的污泥作为生物质能用于热电厂焚烧发电，而生产

过程中产生的污水、废气分别排回污水处理厂、热电厂进行处理达标排放，实现了污泥厂、污水处理厂与热电厂之间资源共享、协同发展。

项目达产后，全年可产生干污泥 4.8 万吨左右，热值约为 3000 大卡/公斤，可节约标准煤近 2 万吨，减少因燃煤产生的 CO₂ 排放超 5 万吨。同时，采用两段式干化工艺实现能源梯级利用，能量第一级利用是 I 段干化产生的废热用于 II 段带式干燥机循环风预热，第二级是 I 段的高温高压蒸汽冷凝水闪蒸成低压蒸汽作为 II 段带式干燥机的热源，生产过程中产生的热水全部循环利用。每吨湿污泥蒸汽单耗从设计 0.87 吨下降到实际 0.62 吨，按设计处理能力计算，每年可节约蒸汽 5.4 万吨，节约标准煤 0.77 万吨，减少 CO₂ 排放 2 万吨。

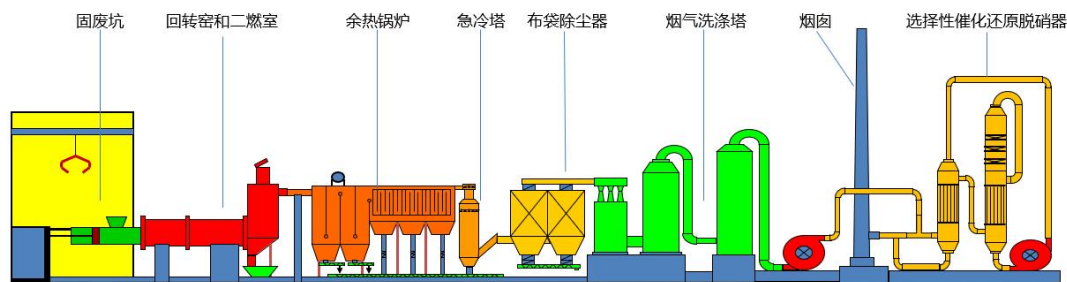
项目投产后，截至 2023 年 2 月，已累计处置湿污泥 140 万吨，因此产生了生物质燃料超 31 万吨，为园区节约标准煤超 13 万吨，减少因燃煤产生的 CO₂ 排放约 36 万吨，产生建筑辅材近 13 万吨。

附件 4 上海化学工业区危险废料协同处置模式

4.1 案例概况

该案例位于上海化学工业区，园区是以生产石油化工产品为主的国家级经济技术开发区，建设形成以乙烯为龙头的循环经济产业链，以化工新材料为主导的特色产业集群。园区内危险废料依托两家危废处置企业（升达、安悦）协同处置，互为备份，以柔性运行的模式满足园区危废处置需求，实现危废处置可控化、合理化。

危废处置主体施工工艺（如附图 5 所示）：采用先进的技术设计及成熟的工艺路线，对危废进行全生命周期管理。通过提供现场服务，从用户端的源头预处理进行减量化；通过管道化运输和集中处置、智慧物流和智能仓库系统减少污染物排放；焚烧末端通过选择性催化还原脱硝装置（SCR）系统降低氮氧化物排放；余热锅炉蒸汽回收再用；各种辅助设施如光伏发电、废水—污泥循环协同达到减污降碳目的。



附图 5 危废焚烧线主体工艺

4.2 减污降碳协同能力

(1) 源头控制

1) 升达公司建立了废料全生命周期管理体系，提供危废预处理现场服务，从而降低废料转运分线，提高后续入场处置效率，减少因包装不当、分类混乱造成的重复处置成本与碳排放。每年减少重复包装成本约 200 万元；

2) 利用厂区空地建设 600 千瓦分布式光伏发电设备，年产绿电约 58 万度，每年减少 CO₂ 排放约 578 吨。

(2) 过程控制

1) 通过技术改造增设 SCR，提升烟气 NO_x 处理能力至 20 吨/年；

2) 设计建造危废混合进料系统（SMP）和废气活性炭吸附再生工艺，每年减少 70 吨 VOCs 排放；

3) 升达公司依托区内公用工程一体化，实现了园区内 2 家产废单位的大宗废液和 4 家产废单位的废气可通过公共管廊管道输送至升达直接进行焚烧或存入罐区，从而提高升达与产废单位危废处置协同度，减少各产废单位废气处置设施重复投资以及液废运输成本、环境风险、过程碳排放。园区内产废企业的废液和废气通过管道运输至处置企业处理，减少至少 5 座 RTO 焚烧炉建设的土地占用和运营能源消耗产生的 CO₂ 排放。

循环经济。两家废料处置企业利用危废中所含有的热能，通过余热锅炉转化为可利用的蒸汽，供给园区内周边企业使用，并回用凝水再次产蒸汽，在此循环过程中，节约热量相当于标准煤 6.98 万吨/年，减少 CO₂ 排放约 18.5 万吨/年。

智慧化。升达协同合作物流企业，建设智慧物流系统，形成订单-物流计划-物流运单-在途跟踪-到厂排队全流程智慧化管理，减少无效搬运燃油消耗，每年减少 CO₂ 排放约 600 吨，节约成本约 710 万。

附件 5 纺织印染园区集中化与集约化改造

5.1 案例概况

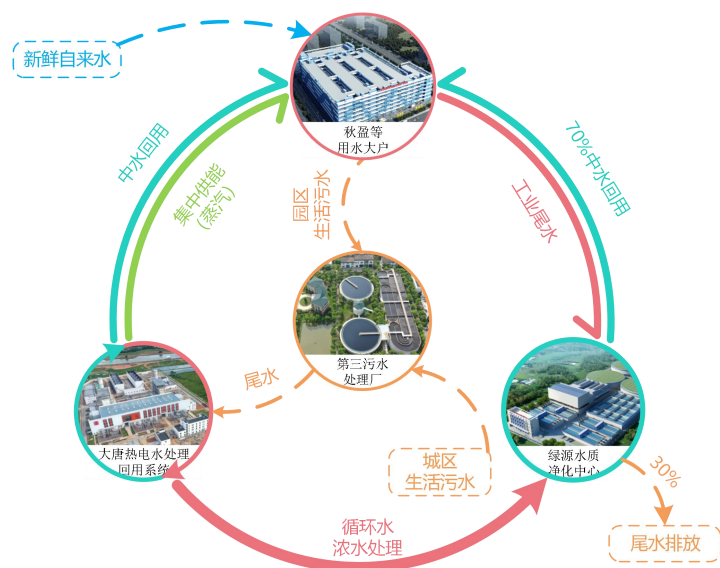
沧江工业园（西安园区）位于广东省佛山市高明区荷城街道，是省级工业聚集区，园区内主导产业为印染纺织。园区集中化与集约化改造项目主要通过城市更新与印染企业产业提升、节能减排与集中供热、水资源梯级利用与绿色循环等三种方式推动实现减污降碳协同增效。

（1）集约化发展。案例在印染企业相对集中片区建成集生产、仓储、物流于一体，集中供水、供热、污水处理于一体的秋盈纺织生态科技产业园，并将大成路原有 9 家分散的纺织印染企业集中搬迁、整合进驻其中，实现纺织印染产业集聚发展，提高资源和能源利用效率。整合优化后的纺织企业通过变频调节实现节约用电；通过使用低浴比染色机（1:4）、高温冷凝水回收、中压蒸汽闪蒸回收余压余热等手段减少水和热使用量，相比原大成路分散发展时从源头上减少废水产生量 165.4 万吨/年，减少产生比例 39.9%。

（2）集中供能，提高能效。引入大唐热电冷联产项目（简称大唐项目），构建“冷、热、电、气、水五联供”体系。其中，通过大唐项目余热供热可满足秋盈等纺织印染企业的蒸汽使用需求，减少纺织印染企业气态污染物排放和降低纺织印染企业蒸汽使用成本约 60 元/吨，实现经济效益和生态效益双赢。

（3）绿色循环发展。平衡“取水—净水—用水”关系，构建大、小水循环体系，一是大唐项目吸纳第三污水处理厂全部尾水用于生产，富余部分供印染纺织企业回用；二是绿源中心深度处理印染废水后，产生的 70%中水供纺织印染企业回用，耦合实现水资源价值更大化。通过上述项目，减少第三污水处理厂 3 万吨/天尾水排放，减少大唐项目向高明河河水取用 3 万吨/天，减少印染纺织等相关企业自来水使用 2.8 万吨/天，有效降低新鲜水取用和尾水排放对高明河生态的双重负面影响，促进园区绿色循环发展。

（4）强化监督体系。一是高质量推进园区“污水零直排区”建设，实现生活污水、工业废水、雨水分类收集、分质处理；二是充分利用“三线一单”严格准入，保障园区从“污水零直排”向“污水近零排放”进阶发展。三是建成水环境大数据监管系统，加强互联网+环境监管能力建设，实现以问题为导向的精准、科技执法，同时减少对企业的干扰。



附图 6 纺织印染园区集中化与集约化改造示意图

5.2 减污降碳协同能力

(1) 污染排放削减情况

1) 气态污染物排放削减。依托大唐热电冷联产项目，淘汰原分散印染企业的自备锅炉，并通过工艺优化、能源回收等途径，削减 SO_2 排放 42.09 吨/年，削减比例 19.9%，削减 NO_x 排放 183.74 吨/年，削减比例 15.8%。

2) 污水排放削减。依托绿源水质净化中心实现中水回用，集中污水减排量为 766.5 万吨/年，COD 减排量为 306.6 吨/年，氨氮减排量为 61.7 吨/年。此外，建成后园区仅保留绿源中心和第三污水处理厂共计 2 个集中排水口，无企业自行处理、排放污水，散排污水量减少约 300 万吨/年。

3) 降碳水平。通过初步核算， CO_2 排放削减量为 11.316 万吨/年，削减比例为 35.38%。其中，循环用水可降低尾水排放和新鲜自来水使用引起的碳排放，集中供能可降低电能和蒸汽使用引起的碳排放。

(2) 企业成本削减情况

项目可节约成本约 8612 万元/年。其中，秋盈产业园通过产业升级减少水、电、热等经济支出约 3722 万元/年；循环用水过程，企业使用中水运行成本约降低 10%，节约成本 647 万元/年；企业使用大唐项目蒸汽可以减少成本约 60 元/吨，根据企业 70.72 万吨/年使用量计算，节约成本 4243 万元/年。

附件 6 基于自然解决方案的园区减污降碳复合系统

6.1 案例概况

温岭市东部产业集聚区是浙江省级经济开发区温岭经济开发区的核心区块，重点发展泵与电机、汽车摩托车及配件、机床装备等传统优势产业和新能源、新材料等战略新兴产业。园区构建了一套基于自然解决方案的减污降碳复合系统，在缓解水资源短缺、解决城市内涝、削减径流污染、提升清洁用能等方面成效显著。

（1）海绵城市建设方面

1) 海绵型厂区。一是屋顶的雨水通过企业厂房屋顶的虹吸系统汇集于一处，经过过滤净化储存于贮水池，蓄满后经管道流到厂前区的人工湖中；地面的雨水经绿化带到集水井沉淀、自流，三次沉淀过滤后再汇集到人工湖，实现吸水功能。二是暴雨时，人工湖满载后会自动溢流到市政雨水管道中，实现排水功能。三是平时可从人工湖抽水，经过滤后用于企业绿化、冲厕等，或从贮水池抽水到屋顶用于厂房室温的物理降温，实现用水功能。该系统雨水收集有效容积为 3900 立方米，年可利用雨水近 1 万吨。

2) 海绵型道路。以金塘北路为例，在 8.5 米机非分隔带内设置生物滞留设施，主要收集路面雨水。生物滞留设施底部设有下渗渠，通过下渗净化后进入底部盲管，最终接入绿化带内植草沟或市政排水管道。生物滞留设施中每隔一段设有溢流装置，溢流雨水同样接入绿化带内植草沟或市政管网。

3) 海绵型污水处理厂尾水处理工程。污水处理厂尾水处理工程总规模为 4.06 万吨/日，尾水经污水处理厂内提升泵提升至配水井后排至尾水生态处理系统。每级人工湿地设置多组平行湿地处理单元，在正常情况下，尾水经过先后“三级人工湿地+生态塘”组合工艺处理达到四类水标准后排至园区河道，实现污染物通过自然的方式进行降解和固碳。



附图 7 污水处理厂尾水处理工程实拍图

(2) 可再生能源应用方面

1) 海上风电。从 2018 年开始在园区沿海位置架设风力发电装置并运行，截至 2021 年底，总装机容量达到 40 兆瓦，全年发电量为 6637.18 万度。

2) 分布式光伏发电。园区鼓励按照“自发自用、余量上网”方式建设屋顶分布式光伏发电系统。园区已有 30%的企业，80 万平方米厂房屋顶安装光伏，总装机容量为 60.2 兆瓦，年均发电量为 5626.5 万度。

6.2 减污降碳协同能力

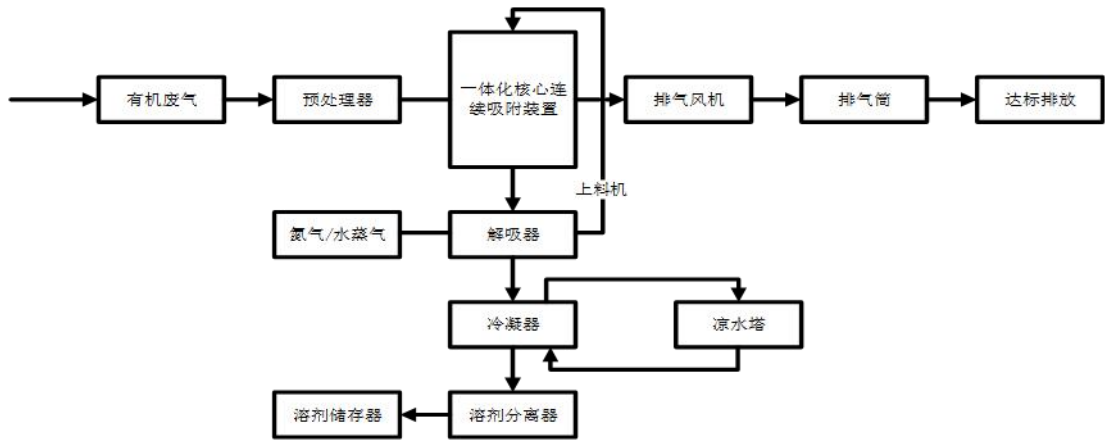
园区径流污染调蓄效果明显，发生溢流时外排径流水中相关污染物浓度均低于《地表水环境质量标准》（GB3838-2002），水环境改善成效显著。2021 年尾水生态化处理年削减 COD 438 吨，BOD 87.6 吨。2021 年园区供水量为 1112.18 万立方米，每年每平方公里单位建设用地综合用水量指标仅为 43.7 万立方米，远低于同类用地综合用水量水平。厂区等水资源利用体系对于优质水资源的减量使用效果明显，全区 130 家企业年雨水资源化利用近 100 万吨，节约水费 600 万元，可减少碳排放量 194 吨。2021 年园区可再生能源发电量达 1.22 亿度，经初步核算，可减少 CO₂ 排放 6.37 万吨，削减大气污染物 SO₂ 排放约 862 吨、氮氧化物约 65.9 吨、颗粒物约 421 吨。

附件 7 基于碳基材料工业园区 VOCs 综合治理及资源循环利用

7.1 案例概况

该项目位于山东临淄经济开发区智能制造产业园，通过物理、化学或生物等改性手段，定向制备高性能碳基功能新材料，实现 VOCs 废气高效吸附—脱附效果，同时开发集过滤—吸附—回收为一体的 VOCs 综合治理及溶剂回收资源循环利用工艺技术及装置，实现工业尾气无害化、资源化处置。

项目通过碳基吸附材料高效循环利用、VOCs深度治理及回收利用等方式实现减污降碳协同增效，具体工艺路线如附图8所示。



附图8 VOCs治理及资源化利用成套技术工艺流程图

7.2 减污降碳协同能力（以英科医疗单台200000立方米/小时VOCs综合治理工程为例）

（1）**节能。**每年可回收VOCs溶剂1200吨（5000-8000元/吨），产生效益约600-960万元/年，运行动能消耗（电）约120-150万千瓦时，约合每回收1L溶剂油消耗1度电。

（2）**节材。**项目吸附材料采用碳基固废制备，可实现循环利用，预计可节省活性炭4000吨/年，可以减少3万立方木材或1.2万吨煤炭的消耗。

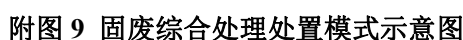
（3）**减污效果。**项目可减少固体废弃物排放4000吨/年。项目中主要固体废弃物为废活性炭，以医疗防护行业20万立方米/小时尾气气量为例，活性炭使用期限 ≥ 5 年，产废量约200—300吨，废活性炭经技术加工提供企业回收再生后，进行循环利用。

（4）**协同降碳效果。**项目采用可调节式连续吸脱附VOCs净化回收循环装置，可对不同浓度和风量的VOCs尾气进行治理，溶剂回收效率 $\geq 98\%$ ，环保治理的同时可产生收益。项目工程技术与目前市场应用较广的分解净化技术相比，可将溶剂回收再利用，节省天然气320万立方米/年，综合减少CO₂等温室气体排放4904吨/年，（D70溶剂油参考柴油CO₂排放系数：3.0959公斤CO₂/公斤；天然气碳排放系数：1.96公斤CO₂/公斤）。

附件 8 固废综合处理处置模式助力无废城市减污降碳

8.1 案例概况

项目固废综合处理处置模式如下图所示。园区内项目间环环相扣，从前端的垃圾集中压缩运转，中端的生活垃圾焚烧、污泥干化处理、餐厨垃圾和危废处理，到末端的污水（含渗滤液）、飞灰处理，打造了由源头到终端完整的固废处理循环产业链。同时，通过共享能源、共享环保设施、协同处置等措施，消除了各垃圾处置环节的孤岛，实现了各类固废的集约化、协同化、系统化处理。以垃圾焚烧发电为能源核心，生活垃圾焚烧产生的电能为产业园各项目输送稳定、经济的能源；垃圾焚烧蒸汽余热可供污泥干化、危废处理和餐厨垃圾提油使用，降低生产成本；污泥厂和餐厨厂产生的臭气通过负压系统抽入生活垃圾焚烧发电厂焚烧炉内焚烧，既彻底解决臭气问题且有助燃烧，更大幅降低除臭系统的运行成本；餐厨垃圾处理形成的沼渣、干化后的污泥与生活垃圾掺烧，不仅降低处置成本，还能产生能源效益。



43

城市管理业务体系。在集中控制的基础上，瀚蓝还构建了智慧城市管家平台，通过数字孪生技术进行3D场景还原，通过物联网等技术对多功能中转站、环卫车辆等运行过程中的数据实时进行分析，提升管理效率。此外，瀚蓝建设固废治理的“工业大脑”，打造标准统一、融会贯通、资产化的智能数据体系，促进固废处理智能化、数据化转型，帮助工艺专家沉淀经验、机理，利用数据驱动的方式快速提升垃圾焚烧发电效益，为城市固体废弃物的无害化、减量化、资源化处置提质增效，为“无废城市”建设固废治理的末端处置环节提供有力的保障。

在数智化电厂建设方面，瀚蓝推进垃圾焚烧发电项目管理精细化、流程数字化、工艺设备智能化，提升发电项目的运行效率与经济效益。以优化生活垃圾焚烧发电厂工艺为切入点，瀚蓝把云计算、大数据等新技术引入到生产应用各环节，构建全链路数据及智能算法模型、垃圾焚烧发电工艺优化的人工智能算法模型，打造环境治理行业首个AI“数字大脑”，有效提升垃圾焚烧稳定性。此外，瀚蓝还实现了渣吊全自动智慧化运行，强化了垃圾焚烧发电厂的全生命周期管理，为固废治理的末端提供了更丰富的智慧化经验。

8.2 减污降碳协同能力

园区内建有日转运生活垃圾4900吨的分类转运系统、日处理生活垃圾4500吨的垃圾焚烧发电厂、日处理450吨的污泥干化处理厂、日处理300吨的餐厨垃圾处理厂、年处置工业危险废物9.15万吨的佛山绿色工业服务中心项目。园内各项目不仅解决了南海区400万居民每日所产生的生活垃圾和24座城市生活污水处理厂每日所产生的污泥处理处置问题，也可满足60万居民日常生活用电的需求，而且通过园区协同处理和资源共享模式，实现处理后中水100%自用，年回收利用蒸汽余热近12万吨，餐厨垃圾提炼可自用生物柴油超过1000吨。通过深度的资源化利用和协同效应，园区2022年实现碳减排近70万吨。

未来，南海产业园内餐厨垃圾产生的沼气以及工业危废中铝灰渣处置过程中产生的富氢气体可用于制造氢气，预计可进一步减碳近5万吨/年。

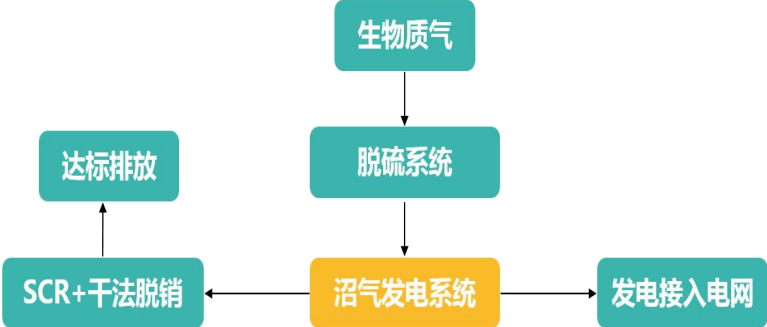
附件 9 造纸业生物质气资源回收利用

9.1 案例概况

造纸业生物质气资源回收利用项目位于浙江秀舟纸业有限公司工业园区内，配置3台700千瓦（两用一备）的内燃发电机组及配套设施，利用秀舟纸业生产的

日均1万立方的生物质气进行发电，同时产生的余热换热成蒸汽再利用，实现热电两联供。

项目主要通过三种方式实现减污降碳，具体技术路线如下图所示。一是生物质气发电，接入公网，减少燃煤发电量，达到降碳目的；二是处理沼气中硫化氢实现脱硫，利用铈合铁催化剂，通过氧化还原反应，将大部分硫化氢中的硫转化成单质硫，从而降低SO₂的排放；三是处理沼气燃烧后的氮氧化物实现脱硝，通过SCR+干法脱硝，将氮氧化物转化成氮气或者硝酸根，从而降低氮氧化物的排放。



附图10 造纸业生物质气资源回收利用项目技术路线示意图

9.2 减污降碳协同能力

项目自2020年12月投产试运行后，2021年全年发电量约900万千瓦时，年发电收入约495万元（电价0.55元/千万时），年回收0.8兆帕、170℃余热蒸汽约1000吨。经初步核算，年节约标准煤2730吨，减少CO₂排放7410吨，减少SO₂排放293吨，减少氮氧化物排放146吨，减少烟尘排放2652吨。

附件 10 乳制品加工废水处理及资源化综合利用

10.1 案例概况

该项目位于山东省潍坊市临朐县城关街道工业园区内，以潍坊伊利乳业有限责任公司自备污水处理厂为试点，推进污水处理流程实现碳中和。

污水处理厂购置高效磁悬浮风机代替罗茨鼓风机，降低电耗和噪声；同时在厂区安装分布式光伏，通过自产绿电降低电力消耗造成的排放；针对污水处理环节产生的沼气，购置了沼气锅炉，通过利用沼气生产蒸汽，每年节约 977.82 吨标准煤；污水处理厂将再生水回收利用，同时推动剩余污泥零化项目，降低了污泥运输和处理过程的环境影响。通过以上方式，实现了污水处理过程近零碳排放。



附图11 乳制品加工废水处理及资源化综合利用

10.2 减污降碳协同能力

经现场调研和初步测算，项目减污降碳效果如下：

- （1）污水处理厂剩余污泥零化项目每年可减少剩余污泥排放量 3600 余吨；
- （2）高效磁悬浮风机技术应用每年可节约电量 1.44 万千瓦时；
- （3）沼气资源回收利用每年可生产蒸汽 10320 吨，折合天然气 77.4 万立方米；
- （4）分布式光伏发电每年可发电 92.4 万千瓦时；
- （5）再生水回用每年可节约水资源 1.8 万立方米；
- （6）实现了厂区污水处理全流程的碳中和，每年可以减少碳排放总量 4284 吨，节约电费 64 万元、节约蒸汽费用 116 万元。

通过减污降碳的三个维度创新行动模式，潍坊伊利乳业有限责任公司实现了厂区污水处理全流程的碳中和，每年可以减少碳排放总量 4284 吨，节约电费 64 万元、节约蒸汽费用 116 万元。

附件 11 基于分布式柔性单晶硅光伏的电镀废水处理能源补偿系统

11.1 案例概况

该项目位于西安航空基地表面处理园区内，主要建设一套装机容量为 435 千瓦的分布式光伏电站，电站通过采用智能阳光云中心实现电站数据影像实时监控、发电数据分析、故障预警及故障定位等智能化手段，达到全方位数字化、精细化、效益化的光伏电站智能化管理目标，保障电站效益的最大化。项目采用“自发自用、余电上网”方式进行运营管理，已于 2022 年 8 月 9 日完成并网发电，全寿命周期为 25 年。

项目技术路线（如下图所示）：项目厂房屋面光伏组件采用 550Wp（太阳能电池峰值功率）单晶光伏组件与 375Wp 柔性单晶硅光伏组件，逆变器选择组串式逆变器。太阳能电池组件经太阳光照射后，形成低压直流电流，电池组串并联后的直流电流采用电缆送至光伏逆变器，经逆变为交流电流，送至厂区原有配电室进行并网发电。



附图 12 项目实景图

11.2 减污降碳协同能力

项目利用污水处理厂的建筑物屋顶面积，增加光伏发电收益，同时优化污水处理厂的能源结构和节能措施，提高能效水平，降低能源成本和运营成本，提高经济效益。项目每年可提供约 520 兆瓦时绿色清洁电能，与相同发电量的火电相比，相当于每年减少约 317 吨 CO₂ 排放，减少二氧化硫 15.6 吨，减少氨氧化物 7.8 吨。

（1）用能结构。充分利用太阳能资源，通过光伏效应把太阳辐射能直接转换成电能，改善园区能源结构，为园区提供更多可靠的清洁能源。

（2）光伏系统。光伏组件充分利用太阳能，减少顶层屋面的受热，从而间接降低顶层房间的温度。不仅节省从电网购买的电能，还通过降温节省了空调用能，达到双倍节能的效果。

(3) SCADA系统(数据采集与监视控制系统)。对废水中的各项特征污染物,尤其是各项重金属指标、COD、氨氮、磷浓度进行实时跟踪监控,并对鼓风机、提升泵、搅拌设备和脱水机安装变频器控制,大大降低了电耗,灵活适应每日变化的进水负荷。

附件 12 钢铁行业超低排放高效除尘

12.1 案例概况

该项目位于江西省萍乡市国家级经济技术开发区萍钢安源钢铁有限公司安源生产区内。项目主要内容是安源炼铁厂4#高炉环境除尘提标改造工程。

项目主要选择将原有布袋除尘器滤袋滤笼更换为折叠滤筒,如下图所示。该技术的特点包括:



附图 13 设备示意图

(1) 专用滤材,通过折叠的结构,同长度滤筒表过滤面积增大为原来的3-5倍,有效地提高过滤面积,降低过滤风速;

(2) 可替换传统布袋让除尘器更新换代,提高对微细粉尘的捕集效率,长期运行能稳定达到提标改造的功能;

(3) 易于脉冲清灰,无需更换原喷吹清灰系统;

(4) 阻力更小,压差更低,节能,延长滤筒使用寿命;

(5) 施工方便，更换周期短，维护时间及停机时间短，节省运营成本；

(6) 该技术可应用在钢铁、水泥、有色金属冶炼、铸造等行业，尤其满足了诸多企业不改造除尘器实现超低排放的需求。

项目对旧除尘器进行漏风治理和滤袋更换，将普通除尘布袋改为折叠滤筒，对 $\leq 0.5\mu\text{m}$ 粉尘的过滤效率大于 99.99%，滤料透气性好，且大大提高过滤面积，降低了运行阻力。滤筒内部支撑金属笼架采用镀锌钢材质和螺旋自动咬合工艺，使之在高负荷工作环境中使用不脱落，滤筒头部和底部采用高分子材料，耐酸碱耐水解，与滤料紧密结合，无泄漏点，从而确保了颗粒物排放浓度 $\leq 10\text{mg}/\text{立方米}$ ，达到超低排放标准。

12.2 减污降碳协同能力

(1) **环境效益。**在设备稳定运行情况下，设备改造后 1 号出铁场除尘器和矿槽除尘器每小时分别可节电 70.04 千瓦时和 172.11 千瓦时，两个除尘器合计年可节电超过 200 万千瓦时，节约能源费用 125 万元/年，共降碳约 642.6 吨/年。

(每节约一千瓦时电力折合节约了 0.1229kg 标准煤，燃烧 1 吨标准煤约产生 2.7 吨 CO_2 。由此计算出每年减少 CO_2 排放量) 设备改造后粉尘浓度由 $25\text{mg}/\text{m}^3$ 降低为 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ，年排放粉尘由 240.8 吨降低为 48.2 吨，年减排粉尘 192.6 吨。

(2) **经济效益。**4#高炉环境除尘提标改造工程节能效果明显，初步核算如下：

名称	改造前		改造后		节能情况	
	压差 Pa	电流 A	压差 Pa	电流 A	能耗减少 kW.h	节能费用 万元/年
出铁场除尘器	1500	45	900	40	72	36.2
矿槽除尘器	2800	77	950	65	172	88.8
合计						125
计算方法	根据公式 $P=31/2 \times \eta \times \cos\varphi \times U_e \times I_e$ ，年运行 8600 小时，电费 0.6 元/kW.h 计。					

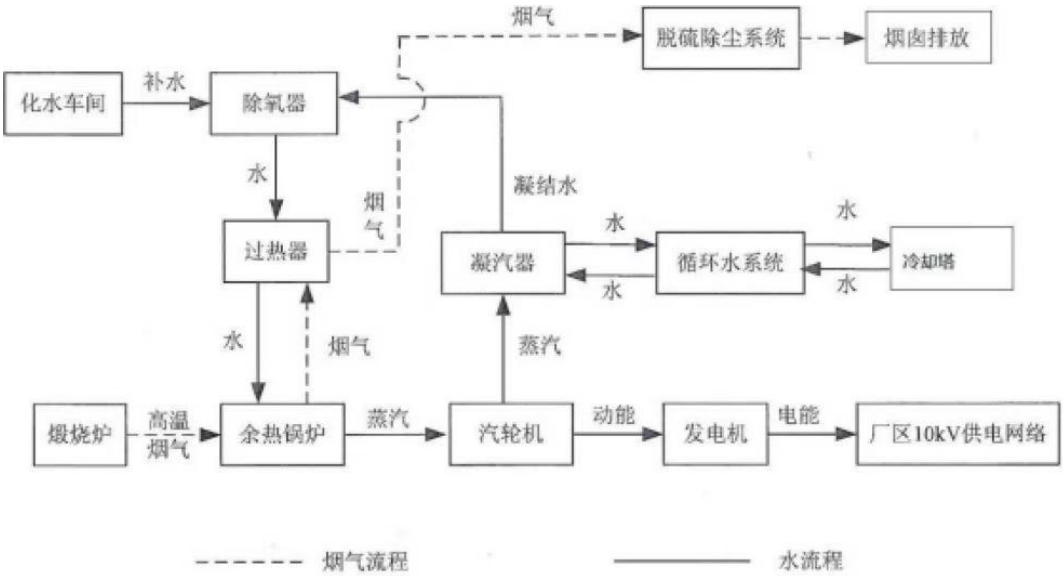
项目不仅让企业的环境得到改善，还能减少大量的电能消耗，节约能源费用 125 万元/年，对环保工作的推进和企业的创效都有非常积极的作用，实现绿色低碳环保和节能降耗双赢。

附件 13 炭素煅烧炉烟气脱硫与余热回收一体化

13.1 案例概况

该项目位于济南平阴县孔村镇丰源炭素工业园区内，项目内容为新建煅烧炉同步建设余热发电+环保脱硫脱硝除尘+循环水减排及废水零排的一体化工程，项目采用单塔一体化脱硫除尘深度净化技术（SPC-3D），可在一个吸收塔内同时实现脱硫效率 99%以上，除尘效率 90%以上，满足 SO₂ 排放 35 毫克/标准立方米、烟尘 5 毫克/标准立方米的超净排放要求。

项目技术路线（如下图所示）：项目生产规模为 5 兆瓦余热发电+2 台脱硫塔。罐式煅烧炉的烟气经高温母管汇合后温度约 1000℃，通过烟气通道从下端进入锅炉，再由水冷壁组成的辐射冷却炉膛中，先向上流动，再向下流动，并依次经过过热器、蒸发器，然后进入尾部对流段通过省煤器，最后经由尾部烟道排出锅炉，烟气温度降到 180-190℃后，经过由引风机送入湿法脱硫塔净化后经烟囱排入大气。



附图14 余热发电脱硫工艺流程图

项目充分利用蒸汽锅炉对高温余热进行回收，无需额外的燃料，仅靠石油焦自身的挥发份自燃烧提供热能，减少了燃料运输及燃烧过程中产生的固体以及气体污染。在对 SO₂ 的处理过程中采用旋汇耦合技术有效降低了系统能、物耗，同时采用石灰石粉代替石灰实现高效率脱硫减少了脱硫剂煅烧环节的能耗，在原理上降低环保系统能物耗，实现综合减污降碳效果。系统补充水采用多介质过滤器活性炭及二级反渗透，对水资源影响较小；废水通过低温闪蒸系统经辅汽加热蒸

发后至一定浓度后进入浓浆液箱，通过循环水减排系统对其进行进一步处理。制水车间的浓水通过反应池过滤器达到相应品质进入循环水池重复利用，污泥进入污泥池通过板框压滤机压成泥饼干燥后外运，全部废水回收利用，对水环境无影响，整个项目对用水环境影响较小。

项目采用高度自动化的智能控制系统，整个智能系统不仅是指发电、环保系统的智能控制，更主要的是体现在它的智能监测及提前预警功能。高度自动化的目的在于消除人为操作中的随意性、误操作、盲目性等，提高对工况变化适应性，及时对系统进行合理调节，达到安全控制、节能控制，实现减污降碳的目的同时降低人工成本。以炭素厂煅烧炉温度变化为例，智能控制系统自动监测炉温变化，反馈引风机、余热锅炉等及时自动调控，最大程度回收余热。余热锅炉自动调控期间，环保系统自动监测烟气参数变化，自动调控补浆、泵类启停、喷氨等系统，实现系统调控及时、准确、低能耗，达到减污降碳的目的。

13.2 减污降碳协同能力

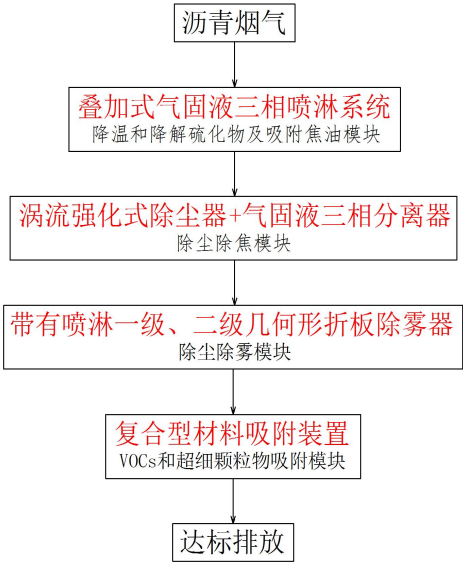
项目利用丰源炭素64罐煅烧炉产生的排烟温度约850-1100℃、烟气量52000-66000标准立方米/小时的废热烟气，进入余热锅炉利用产生约20吨/小时的过热蒸汽来驱动汽轮发电机组发电。折合每年可节省8840吨标准煤，年度减少CO₂排放量2.3万吨以上，减少二氧化硫2982.2吨、氮氧化物62.64吨、粉尘34.17吨排放量。

附件 14 沥青烟气多污染物高效协同处理

14.1 案例概况

该项目位于山东省济南市平阴县孔村工业园区，项目自主研发了用于沥青烟气的除尘除焦除雾预处理技术，对炭素行业的 VOCs 治理体系进行量化与系统性地改造。针对高温热压工况下产生漂移和游离现象的沥青烟气，采用二维叠加式气固液三相混合喷淋，达到降温、降解硫化物以及吸附焦油的效果，外加除尘除焦与三相分离及除雾技术的预处理协同改性活性炭组合成复合材料吸附等多种技术集合和聚焦的串联方式，对 VOCs 中含有超细颗粒物与焦油及雾滴（冷凝水）进行回收和深度处理，解决了新型预处理技术协同改性活性炭复合材料的制造与使用寿命难题，提高 VOCs 去除效率，降低企业运行成本；对 VOCs 中含超细颗粒物与焦油、雾滴（冷凝水）去除率达 80%以上，留有 20%的 VOCs 和焦油、

雾滴再经由制备 2-3 种改性活性炭复合材料的吸附 VOCs 的去除率达 90%以上；设计和搭建一套在高温工况下的沥青烟气实现二维叠加式气固液三相喷淋降温后、除尘除焦除雾的预处理设备协同深度处理 VOCs 的改性活性炭复合材料吸附的完整工艺技术路线，技术路径如附图 15 所示。



附图 15 除尘除焦除雾的预处理设备协同深度处理 VOCs 的改性活性炭复合材料吸附的工艺技术路线

14.2 减污降碳协同能力

(1) 减污。一年使用 8 吨改性活性炭材料处理 6000 立方米/小时风量沥青烟气，其材料吸附后固废量是 10.63 吨，可再用于阳极炭素的原料，达到无排污量的环保效益。处理 12 万风量沥青烟气脱硫可减少年使用生石灰量 2.4 万吨/年的排污量与排污费。被吸附后的活性炭材料重量为 212 吨，其材料被碾碎后可制造炭素原料再利用，可减少 212 吨危废排放。

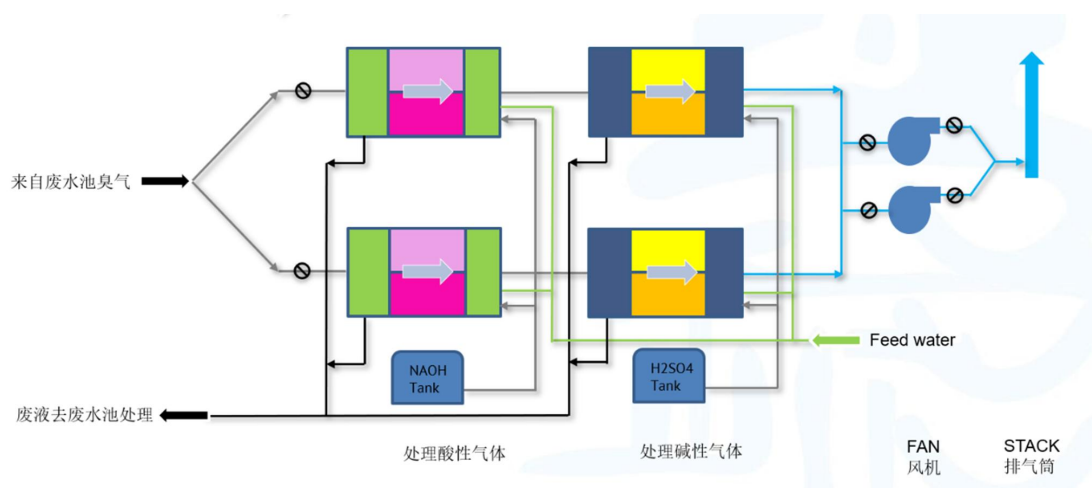
(2) 降碳。按照处理 12 万立方米/小时的风量计算，每年实际将减少 5380 吨的 CO₂ 排放量。参照《综合能耗计算通则》计算。处理 12 万立方米/小时风量烟气风机功率为 375 千瓦时，比现有的风机功率减少 615 千瓦时。电力按 0.303 公斤标准煤/千瓦时，企业每年可以减少 1,632 吨标准煤/年的使用量。

(3) 节水。采用新工艺技术处理 12 万立方米/小时的沥青烟气，企业可以每年可减少 2.13 万立方米水的使用量。

附件 15 基于反应性聚合纤维材料高效去除污水处理厂臭气

15.1 案例概况

该项目位于山东省博兴经济开发区。项目主要采用功能纤维（RPF）吸附式废气净化设备对各污水处理单元产生的恶臭气体进行净化，设计净化风量为 40000 立方米/小时，设置 RPF 吸附式废气净化设备分别对恶臭气体中的 NH_3 和 H_2S 等污染物质进行净化。设备采用模块化设计，单模块处理风量为 10000 立方米/小时，每级设置 4 个净化模块，串联运行，详细工艺流程见下图。该工艺可显著减少恶臭污染物的排放，相比传统喷淋洗涤工艺和生物除臭工艺显著降低系统能耗，实现减污降碳协同增效。



附图 16 项目技术路线示意图

15.2 减污降碳协同能力

RPF 吸附式废气净化设备不但具有吸附法的高吸附效率，而且具有占地面积小、反应速度快、应用灵活方便等特点，解决了传统吸附技术吸附剂再生、危废处理困难等问题。根据实际运行数据测算，可实现污染物中 NH_3 和 H_2S 分别减排 3.82 吨/年和 2.62 吨/年，减少污染物排放显著。另外，由于 RPF 吸附式废气净化设备阻力小，采用连续运行间歇在线再生的运行模式，显著降低了风机、喷淋泵能耗，相比传统除臭工艺，风机能耗降低 26.7%，喷淋泵能耗可节约 99% 以上，实现了高效、节能降碳效果。案例通过改进技术和工艺过程、产业共生与资源循环利用（包括余热回收等）、智慧化精细管控等减少能源消耗而降低碳排放量。实现年减碳量 479.8 吨。