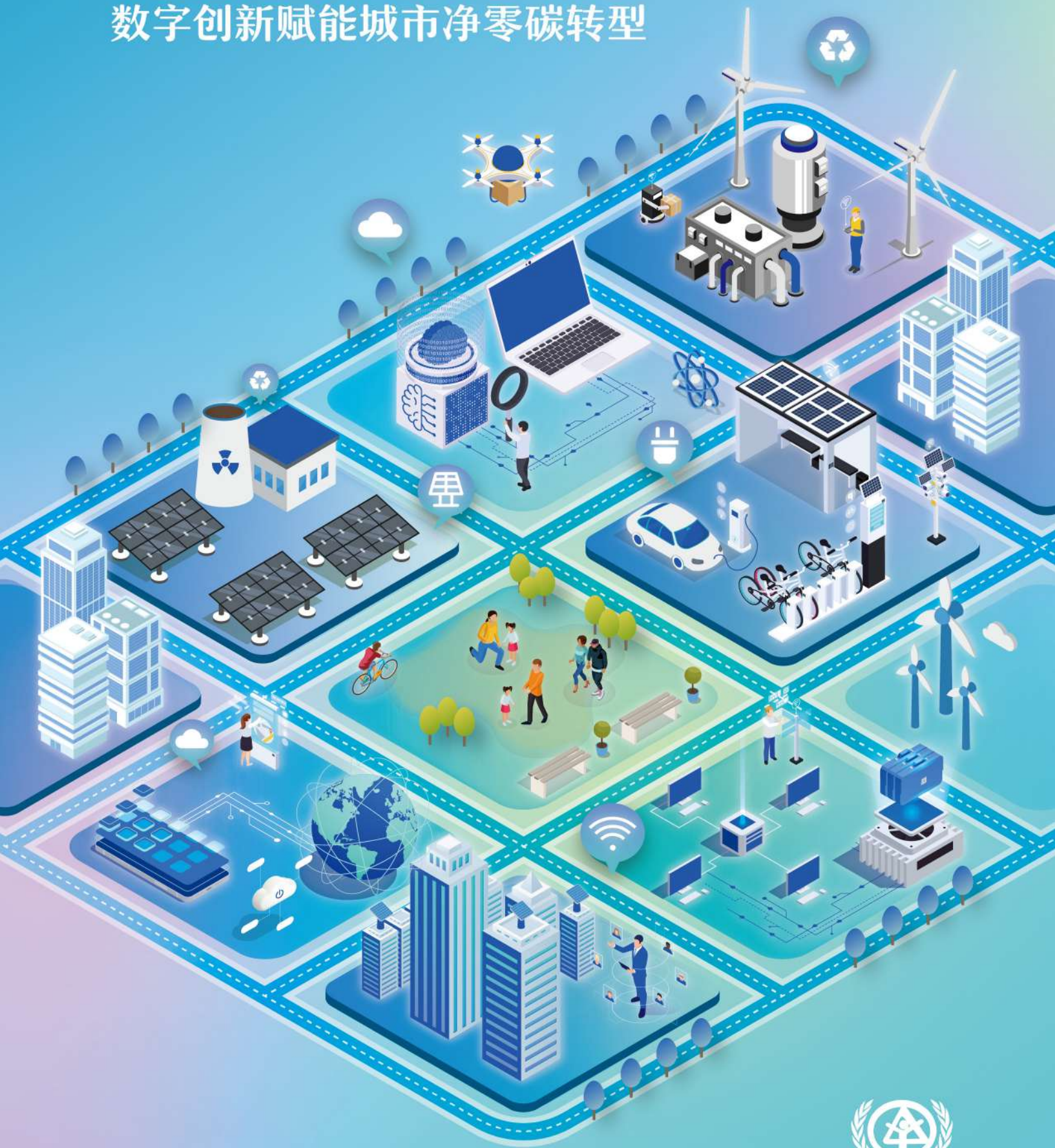


# 未来城市顾问展望2023

## 数字创新赋能城市净零碳转型





# 未来城市顾问展望 2023

数字创新赋能城市净零碳转型



联合国人居署



联合国人居署

未来城市顾问展望 2023：  
数字创新赋能城市净零碳转型

版权所有 © 联合国人类住区规划署，2023

联合国人居署中国办公室  
中国北京朝阳区秀水街 1 号建国门外外交公寓 6-1-83

#### 免责声明

本报告中使用的名称和呈现的材料并不意味着联合国秘书处就任何国家、区域、城市或地区或其政府部门的法律地位，或就其边境或边界划定，或关于其经济体系或发展程度发表任何意见。本出版物的分析结论和建议不一定反映联合国人类住区规划署或联合国或其成员国的观点。

## 未来城市顾问展望 2023：数字创新赋能城市净零碳转型

主编：应盛

主要作者：刘泓志、廖运发、周晖

撰稿参与人：张立、张军、甄玮、姜文清，谢晓慧、乔峰、陈韦、望开磊、刘卡丁、兰塔、原烽、骆欢、孟涛、王坐中、李萌、陶懿君、王怡宁、李城、高丹蒲

评审专家组：蓬托斯·韦斯特贝格（Pontus Westerberg）、哈特维格·克莱默（Hartwig Kremer）、利维娅·谢弗·诺诺斯（Livia Schaeffer Nonose）、萨尔瓦多·范戴罗（Salvatore Fundaro）

案例研究贡献者：上海真如城市副中心、深圳市生态环境局盐田管理局、武汉市规划研究院（武汉市交通发展战略研究院）、成都高新区、威海市住建局、万科公益基金会、新潮传媒集团、京东方科技集团、滴滴出行、比亚迪集团、美的楼宇科技

设计和排版：肖霄、韩滨竹、周楚昱

### 联合国人居署中国未来城市顾问委员会

主席：王石

副主席：庞升东

项目指导：布鲁诺·德肯、张振山、蓬托斯·韦斯特伯格

项目主管：应盛



# 序



地球上没有任何一个人或城市能逃避气候变化的影响。温室气体浓度、海平面上升、海洋热量和酸化等四大关键指标持续恶化，对全球可持续发展和生态系统造成持续阻碍和侵害，特别是在城市地区。

当前，全球 50% 以上人口居住在城市，预计到 2050 年城市人口将占全球人口的 68%。城市贡献了全球 80% 的 GDP，同时也产生了 70% 的全球能源消耗和温室气体排放。城市是问题的根源，也是解决问题的关键，是成为实现净零碳目标不可或缺的因素。

数字创新为城市实现净零碳提供了巨大机遇。大数据、人工智能、区块链、数字孪生等技术在实现“双碳”目标上取得了显著效果，发挥了独特作用，包括在路径规划、实践方式、数据监测、数据测算、反馈与评估等方面。数字技术还能促进城市能源供给侧和消费端的协调，推动清洁能源发展，创新能源模式，培育新业态，促进绿色消费，更有效地管理和提供城市服务。这些数字解决方案通过协同作用降低排放、提高能源效率和增强韧性，实现了城市净零碳的未来。

为了总结和分享中国城市在数字创新推动净零碳转型的经验，联合国人居署中国未来城市顾问委员会通过与城市政府、科技企业、研究机构、基金会和高级别论坛的积极交流与合作，总结了在城市建筑和住房、用水、交通、能源、固废管理及碳管理等方面的数字创新应用，完成了这份报告。

报告详细描绘了城市净零碳转型中采用的数字技术图谱，提出了城市利用数字化创新走向净零碳未来的路线图，并展示了 10 个优秀案例，同时发起了“全球城市数字化净零碳行动”的倡议。这份报告为全球城市实现净零碳转型提供了翔实的理论知识和实践案例。我们期望这份报告能够为全球城市带来积极的影响。

王石  
联合国人居署中国未来城市顾问委主席  
万科公益基金会理事长

# 谢词

《未来城市顾问展望 2023：数字创新赋能城市净零碳转型》是联合国人居署中国未来城市顾问委员会的第三份旗舰报告。本报告的编写得到了万科公益基金会、新潮传媒集团、软通智慧科技有限公司的资助。

联合国人居署特别感谢委员会主席、万科公益基金会理事长王石先生和副主席、新潮传媒集团联席董事长庞升东先生的大力支持，以及新潮传媒集团高级副总裁张立先生的鼎力协作；

联合国人居署中国未来城市顾问委员会项目由联合国人居署亚太办代理区域代表布鲁诺·德肯（Bruno Dercon）先生、联合国人居署中国项目主任张振山先生和联合国人居署对外关系、战略与创新司创新部门项目管理官员、以人为中心智慧城市全球旗舰项目负责人蓬托斯·韦斯特贝格（Pontus Westerberg）先生指导，联合国人居署中国办公室国家官员应盛先生负责具体领导实施。联合国人居署特别感谢报告撰写专家组的主要成员：刘泓志先生（AECOM 亚洲区高级副总裁、中国区战略与发展负责人、城市策略咨询负责人），廖运发先生（中国信息通信研究院华东分院院长）和周晖先生（软通智慧产品战略规划中心总经理）。

联合国人居署感谢软通智慧科技有限公司、比亚迪集团、华为技术有限公司、美的集团和 TCL 科技集团股份有限公司为委员会调研、会议举办等提供的大力支持；感谢软通智慧科技有限公司总裁冯峪先生，软通智慧科技有限公司首席技术官杨旭青先生，软通智慧科技有限公司战略市场部部长高丹蒲女士，比亚迪集团副总裁刘卡丁副总裁，比亚迪轨道交通产业办公室副主任兰塔女士，美的集团楼宇科技研究院院长孟涛先生和格创东智（上海）工业智能科技有限公司副总经理、能源双碳事业部总经理王辉先生对委

员会工作的积极参与和支持；

在案例征集的过程中，特别感谢上海市真如城市副中心、深圳市盐田区、武汉市规划研究院（武汉市交通发展战略研究院）、成都高新区、威海市住房和城乡建设局、新潮传媒集团、京东方科技集团、滴滴出行、比亚迪集团、美的集团的大力支持；

同时特别感谢报告评审专家组成员的大力支持，他们是：联合国人居署对外关系、战略与创新司创新部门项目管理官员、以人为中心智慧城市全球旗舰项目负责人蓬托斯·韦斯特贝格（Pontus Westerberg）先生、联合国城市创新技术加速中心（UNITAC）（汉堡）负责人哈特维格·克莱默（Hartwig Kremer）先生、联合国城市创新技术加速中心（UNITAC）（汉堡）技术和创新专家利维娅·谢弗·诺诺斯（Livia Schaeffer Nonose）女士和联合国人居署高级城市规划专家萨尔瓦多·范戴罗（Salvatore Fundaro）先生。

感谢联合国城市创新技术加速中心（UNITAC）（汉堡）、世界智慧城市博览会和大会（Smart City Expo & World Congress）、万科公益基金会、《联合国气候变化框架公约》第二十八次缔约方大会（COP28）以及凤凰网对报告中英文版全球发布的大力支持。

# 目录

1.1 气候变化：三大全球危机之一	02
1.1.1 气候变化对全球的影响	03
1.1.2 气候变化对中国的影响	07
1.1.3 应对气候变化的必要行动	08
1.2 城市净零碳转型的重要性	09
1.2.1 城市应对气候变化冲击的目标与路径	10
1.2.2 全球城市应对气候变化行动	11
1.2.3 中国城市应对气候变化行动	14
1.2.4 实现城市净零碳的挑战	16
1.3 数字化发展带来的转型机遇	17
1.3.1 全球数字技术的发展与趋势	18
1.3.2 数字科技助力城市净零碳转型	20
2.1 建筑与住房	23
2.1.1 设计、施工、运营阶段的能源管理	23
2.1.2 智能供热与供冷	23
2.2 城市用水	25
2.2.1 水资源分配	25
2.2.2 供水管网的运营与维护	25
2.2.3 废水处理	26
2.3 城市交通	26
2.3.1 智能交通管理	26
2.3.2 智能充电设施	26
2.4 城市垃圾与循环利用	26
2.4.1 废物回收	26
2.4.2 垃圾分类	27
2.5 城市能源	27
2.5.1 智能电网	27
2.5.2 能源互联网	27
2.6 碳管理	28
2.7 小结	28

## 第一章简介

## 第二章数字创新助力净零碳城市



3.1 掌握碳数据	32
3.1.1 建设碳数据底座	33
3.1.2 打造“双碳”大脑	38
3.1.3 推动数据中心绿色化	39
3.2 制定碳策略	41
3.2.1 构建碳管理反馈闭环	42
3.2.2 因地制宜，量体裁“碳”	42
3.2.3 处理好“四对关系”	43
3.3 精明碳行动	44
3.3.1 能源	44
3.3.2 市内交通	46
3.3.3 建筑	47
3.4 小结	53
4.1 城市案例	55
4.1.1 上海：真如副中心真如境项目与海纳工程院项目：数字创新赋能 楼宇净零碳	55
4.1.2 武汉：城市通风降温低碳实践	56
4.1.3 深圳：盐田区数字能源社区降碳实践	58
4.1.4 成都高新区：超大城市降碳减污协同增效管理方案	60
4.1.5 威海：数字赋能城市物业发展	62
4.2 企业案例	64
4.2.1 新潮传媒集团：低碳电梯智慧屏在城市预警信息发布中的应用	64
4.2.2 京东方科技集团股份有限公司：智慧视窗在城市降碳中的应用	65
4.2.3 比亚迪集团：新型中低运量轨道交通系统在城市降碳中的应用	66
4.2.4 滴滴出行：数字出行平台助力城市交通净零碳转型	67
4.2.5 美的楼宇科技：全链路多维分级降碳综合治理方案在园区数字化转型中的应用	69
5.1 应对气候变化的全球行动刻不容缓	73
5.2 发挥数字科技在城市净零碳转型的重要作用	75
5.2.1 实现城市净零碳转型是关键行动	76
5.2.2 数字科技是实现城市净零碳目标的关键路径	77
5.2.3 数字科技助力行业产业形成减碳工具	79
5.2.4 管理数字系统自身碳足迹	80
5.3 中国城市行动与全球协作	81
5.3.1 中国推动净零碳转型的城市实践经验	81
5.3.2 加大加深国际交流与合作	82
5.4 全球城市数字化净零碳行动倡议	84

# 图表目录

图 1-1 联合国气候行动：通往“净零排放”之路	3
图 1-2 1900-2008 年海平面变化 来源 BBC	4
图 1-3 威尼斯街道被水淹没 来源 TheMayor.Eu	4
图 1-4 海洋变暖导致珊瑚白化 来源 BBC	4
图 1-5 全球历史气温和未来排放情景及其对单个物种整个生命周期的影响 来源 国际自然基金会	4
图 1-8 北极冰川融化 来源 Berlingske	5
图 1-9 北极冰川融化 来源 Depositphotos.com	5
图 1-6 自 1955 年以来海洋热含量的变化 来源 NOAA	5
图 1-7 自 1992 年以来海洋热含量的变化 来源 NASA	5
图 1-10 2002 年以来南极洲的质量变化 来源 NASA	5
图 1-11 2002 年以来格陵兰岛质量变化 来源 NASA	5
图 1-12 饥饿中的人们 来源 Flickr.com	6
图 1-13 1970-2019 亚洲灾难与死亡数量统计	7
图 1-14 1970-2019 亚洲灾难与经济损失统计	7
图 1-15 1998 年洪灾 来源 BBC	8
图 1-16 2022 年上海极端高温天气下的市民	8
图 1-17 2022 年 6 月 -7 月全国极端最高气温分布图	8
图 1-18 人类活动导致全球气候变暖	9
图 1-19 全球能源需逐年变化率 (1900-2020)	9
图 1-20 全球能源相关二氧化碳排放量 (1900-2020)	9
图 1-21 全球能源相关二氧化碳排放量构成	10
图 1-22 哥本哈根自行车节 来源 Similarweb	11
图 1-23 Heerhugowaard 航拍图 来源 Milanium.eu	12
图 1-24 旧金山街道 来源 Davis Wright Tremaine LLP	13
图 1-25 托尼斯特城镇风光 来源 National Geographic	13
图 1-26 国务院发布《中国应对气候变化的政策与行动》白皮书 来源 中国城市规划学会	16
图 1-27 国家发展改革委发布碳达峰碳中和重大宣示三周年 重要成果 来源 国家发展改革委	16
图 1-28 2023 中国国际大数据产业博览会	17
图 1-29 C40 CITIES 全球城市气候联盟	18
图 1-31 数字科技领域 10 大热点前沿技术 来源 《2023 全球数字科技技术发展研究报告》	18
图 1-30 2023 世界人工智能大会在上海开幕	18
图 1-32 哥本哈根智能城市链接 来源 Europe-re.com	20
图 1-33 深圳智慧交通体验街区 来源 sznews.com	20
图 1-34 阿姆斯特丹绿色文化艺术节	21
图 1-35 中国银行推出绿色金融产品及服务 来源 IIGF	21
图 1-36 上海碳普惠宣传活动 来源 Unionpay.com	21
图 2-1 智能楼宇管理系统通用架构 来源 Sensors,2014,14(6)	24
图 2-2 智能水务管理系统架构示例 来源 中国移动. 中国移动新型智慧城市白皮书智慧水利分册 (2022 版)	24
图 2-3 涉及能源使用的水部门过程的概念模型 来源 Nature Climate Change,2011,1	25
图 2-4 各场景与能源供给与消耗, 以及碳的产生与减少方面的关系 来源 作者自绘	28
图 2-5 经数字技术赋能的各场景, 与能源以及碳的关系的重构 来源 作者自绘	28
图 2-6 数字技术赋能城市净零碳转型的 6 大场景与技术运用	30
图 3-1 城市边界碳排放核算视角示意	34
图 3-2 煤电 (能源) 行业碳排放监测示意图	34
图 3-3 化工 (重工业) 行业碳排放监测示意图 来源 作者自绘	35
图 3-4 餐馆 (商业) 碳排放监测示意图 来源 作者自绘	35
图 3-5 家庭 (生活) 碳排放监测示意图 来源 作者自绘	35
图 3-6 市内交通碳排放监测示意图 来源 作者自绘	36
图 3-7 “双碳”大脑 来源 软通智慧供图	39
图 3-8 高效制冷控制策略 来源 华为技术有限公司《下一代数据中心白皮书》	40
图 3-9 构建碳管理正反馈闭环 来源 作者自绘	41
图 3-10 城市分类施策分析示意 来源 作者自绘	43
图 3-11 武汉人工智能计算中心 来源 华为技术有限公司《下一代数据中心白皮书》	45
图 3-12 北京二环路交通信号控制系统界面	46
图 3-13 比亚迪云巴系统 来源 作者实拍	47
图 3-14 建筑全生命周期碳排管理 来源 北京清华同衡规划设计研究院供图	48
图 3-15 建筑全生命周期碳排放管理 来源 北京清华同衡规划设计研究院供图	48

图 3-16 公共建筑能耗和碳排放监管系统界面 来源 软通智慧供图	49
图 3-17 高效用能设备 来源 美的楼宇科技供图	50
图 3-18 用能设备负荷模拟示意 来源 美的楼宇科技供图	50
图 3-19 AI 屋顶面积和光伏收益测算系统 来源 软通智慧供图	51
图 3-20 AI 屋顶面积和光伏收益测算系统 来源 软通智慧供图	51
图 3-21 建筑数字化能耗碳排放管理系统 来源 美的楼宇科技供图	52
图 3-22 建筑数字化能耗碳排放管理系统 来源 美的楼宇科技供图	52
图 4-1 真如建筑智能化综合管理平台	55
图 4-2 海纳工程院正在安装光伏系统	56
图 4-3 武汉市风环境模拟模型示意图	57
图 4-4 模型分析图	57
图 4-5 武汉市二级风道布局图 (2012 年)	57
图 4-6 双碳大脑首页图 来源 万科公益基金会供图	58
图 4-7 建筑领域碳排放监测与管理系统的来源 万科公益基金会供图	59
图 4-8 黑水虻站展厅	59
图 4-9 生物多样性屋顶花园	59
图 4-10&4-11 建筑领域碳排放监测与管理系统的来源 成都高新愿景数字科技有限公司	61
图 4-12&4-13 智慧通行系统 来源 威海市住建局	63
图 4-14&4-15 智慧安防 来源 威海市住建局	63
图 4-16 智慧能源管理平台 来源 威海市住建局	63
图 4-17 智能预警 来源 新潮传媒集团	65
图 4-18 智慧视窗在第二届联合国人居大会上展示	66
图 4-19 深圳坪山云巴 来源 比亚迪集团	67
图 4-20 滴滴数字碳普惠行动 来源 滴滴出行	68
图 4-21 滴滴助力巴西数字化与绿色发展 来源 滴滴出行	68
图 4-22 全链路多维分级降碳综合治理方案图 来源 美的楼宇科技	69
图 4-23 美的工业城碳排量 IOC 来源 美的楼宇科技	70
图 5-1 2023 联合国气候雄心峰会 来源 DownToEarth.org	73
图 5-2 联合国气候行动：通往“净零排放”之路	74
图 5-3 《AR6 综合报告：气候变化 2023》来源 IPCC	75
图 5-4 第二届联合国人居大会 来源 Chinadaily.com	75
图 5-5 数字化城市解决方案 来源 AECOM	76
图 5-6 BIM 建筑信息模型技术 来源 BIM	78
图 5-7 深圳的“双碳大脑”：全国首个建筑领域碳排放监测与管理系统的来源 sz.gov.cn	78
图 5-8 更加智能的城市规划	79
图 5-9 数据中心的能源使用构成 来源 Hashnode.com	80
图 5-10 谷歌在欧洲建立的绿色数据中心 来源 Sustainableitdecoded withgoogle.com	80
图 5-11 2023 全国生态日主场活动生态文明重要成果发表会 来源 cpnn.com	81
图 5-12 《生物多样性公约》第十五次缔约方大会在云南昆明开幕 来源 Chinadaily.com	83
图 5-13 第 26 届联合国气候变化大会	83
图 5-14 南南合作示意图	83

# 主要发现和信息

联合国人居署中国未来城市顾问委员会由联合国人居署中国办公室发起成立，联合科技企业、城市政府、研究机构、基金会和高级别论坛，致力于用先进的智慧城市科技助力城市可持续发展，促进联合国 2030 可持续发展议程和《新城市议程》的落实。这份报告是委员会的第三份年度报告。本报告聚焦全球气候行动面临的主要挑战，气候变化对全球与中国城市的影响，并提出数字技术的发展助力实现净零碳城市的巨大机遇；随后重点解析了数字科技在城市建筑与住房、城市用水、城市交通、城市能源和城市固废管理及碳管理六大场景下赋能净零碳城市建设全景技术图谱；第三章着力于探讨构建数字创新助力城市净零碳转型路线图；第四章提供了详实的中国城市和企业案例，为全球城市走向净零碳转型提供中国策略与方案；第五章我们为全球净零碳城市建设提出了发展建议，并发起了全球城市数字化净零碳行动倡议。

## 第一章 简介

推动“双碳”目标的实现已成为全球发展共识，约 120 个国家已承诺在 2050 年前实现“碳中和”，一些主流发达国家以及以服务业为主的中小经济体已经实现“碳达峰”。2022 年 11 月，《联合国气候变化框架公约》第二十七次缔约方大会 (COP27) 呼吁将口头承诺转化为切实行动，尽快减缓升温速度、增加气候融资、推动绿色发展，共同应对气候变化，进一步推动各国目标的落实。然而世界仍面临严峻的气候变化挑战，包括温室气体、海平面、海洋状况告警，2019 新型冠状病毒肺炎、地缘政治、能源危机影响气候行动。伴随着人口、GDP、碳排放、能源需求急剧增加，城市净零碳挑战尤为紧迫。联合国环境规划署指出全球能源转型根本没有发生，全球在适应气候变化的

规划、资金支持和实施方面的付出还无法跟上日益增长的风险。对于世界上的城市来说，碳排放的挑战则更加紧迫。

随着大数据、人工智能、5G、物联网、云计算、区块链为代表的数字技术发展，全球主要国家高度重视以数字技术应用于各个领域实现数字化转型，大力推动数字经济的发展和治理模式的转型。“双碳”目标实现所面临的挑战与问题主要源于经济活动影响和减排路径的不确定性，而数字技术是破解信息不对称、数据不充分和精准预测能力不足的关键，能够实现对碳的优化、管理和交易的全周期赋能，有效实现供需匹配与提效保障，从而助力城市净零碳转型。

另一方面，数字技术在应对气候变化方面存在关键性挑战，如碎片化应用、缺乏全球协调、数字鸿沟与数据隐私安全、数字基础设施本身的高碳排问题等等。如何高效向净零碳城市转型？如何有效运营净零碳城市？这些问题成了我们打造绿色低碳城市未来的重要思考方向。

### 1. 气候变化对全球城市的影响

大气中的温室气体使地球变暖，是导致气候变化的主要原因，也是造成人居环境持续恶化的全球性共同问题。气候变化的负面影响包括海平面上升、海洋变暖、地球淡水储备流失、水土资源破坏，气候灾害频发，物种迁徙灭绝等，这些将引发一系列社会、经济、生态问题如：1) 适宜居住面积减少，人类迁徙和冲突；2) 食物和水资源短缺，引发饥荒和冲突；3) 破坏生态系统，降低生态系统生产力；4) 淡水储备流失，引发人类和动植物生存困境；和 5) 引发病虫害至粮食减产，打击农业和贫困人口生存。终将导致社会失序，环境破坏和经济衰退。



## 2. 城市应对气候变化冲击的策略与方法

### (1) 减碳策略

在城市空间规划建设方面减少城市能源消耗，包括制定更具综合性与包容性的土地利用规划和决策，通过区域改善职居平衡来实现紧凑的城市形态，通过加强公共交通体系、引导绿色出行、提倡数字化远程办公等方式减少交通运输相关碳排，建筑物的高效设计、建造、改造和使用等；

能源清洁化和产业经济转型，例如调整能源发电与供热结构，高能耗产业的升级和转型，构建低碳产业体系，发展绿色经济和循环经济，新能源车辆在城市交通中的推广等；

通过城市蓝绿基础设施加强城市环境中的碳吸收和储存，例如加强城市生态网络的投资与建设，将蓝绿基础设施与传统灰色基础设施的结合，同时也可以减少热浪、洪水、强降水和干旱等极端事件的风险，也为健康、福祉和生计产生共同效益。

### (2) 城市应对气候变化冲击的目标与路径

确立城市减碳目标，明晰减碳的优先序。这些目标应当基于科学依据，考虑城市的特定情况和资源可用性，以确保可行性和可持续性。为了实现这些目标，城市应当充分利用其在资源、技术和人文资源的集聚优势。这意味着城市可以积极投资于能源效率提升、可再生能源开发和可持续交通系统等领域，在减少碳排放并改善城市生活质量方面取得更大的回报。

谋求全球城市协作平台的搭建，促进城市之间的技术共享和经验交流。这种跨城市的协作有助于加速减碳技术和策略的传播，提高全球城市在气候行动方面的协同效应。同时，建立绿色人文价值体系也是至关重要的，这有助于塑造城市居民的环保意识和可持续生活方式，从而进一步降低碳排放。

城市减碳行动需要明确的行动路径和系统性的举措。这包括改进城市基础设施，推

广清洁能源，制定碳定价政策，鼓励绿色交通和城市绿化等方面的努力。同时，城市应该朝着实现净零碳排放的目标前进，这需要在碳排放无法杜绝的情况下，通过碳抵消和碳中和等手段来实现碳平衡。

## 3. 数字科技助力城市净零碳转型

(1) 发展新型能源技术，提高能源效率，降低温室气体排放

(2) 活化城市基础设施，助力精细治理，增强公共服务效率

(3) 引导绿色生活价值，促进公众参与，锚定生态人文意识

(4) 推动绿色金融发展，发展绿色产品，带动低碳经济发展

(5) 驱动创新商业模式，鼓励绿色消费，实现零碳经济腾飞

## 第二章 数字创新助力净零碳城市

以数字创新方案为依托，在城市六大场景下，不同的科技策略，人员参与和产品服务共同赋能净零碳城市建设。以技术为维度，数字技术从两方面赋能净零碳城市的建设，一方面是通过减少不必要的活动，另一方面是通过建设、运行的过程进行优化和非物质化实现减碳或降碳。其中，5G、物联网技术作为信息通信的基础，支撑数据监测、统计、核算过程中的数据采集、数据传输（例如支撑建筑运营的实时数据收集、能源互联网的动态数据传输）；大数据与云计算技术赋能算法与算力，主要通过数据挖掘、数据分析支撑情景预测、过程模拟（例如水资源分配与供水管网的运维）；人工智能技术通过深度学习、趋势分析，支撑各场景的决策优化（例如废水处理的水质监测与垃圾分类）；区块链技术主要应用于数据可信与交易激励场景，支撑碳管理的建设实现。

以场景为维度，数字技术在建筑与住房



场景下支撑全生命周期，尤其是运营阶段的供暖和制冷，实现降耗减碳；在城市用水场景下，通过调控水资源分配，优化供水管网的运维，以及优化废水处理流程进行减碳；在交通场景下，主要通过提升运输效率和新能源交通设施促进减碳、降碳；在城市垃圾与循环利用方面，通过建立奖励机制、提高回收利用效率减少能源消耗；城市能源方面，通过提升传统能源功能效率，解决清洁能源的消纳与稳定问题，在能源供给的角度促进净零碳城市建设。

### 第三章 数字创新赋能净零碳城市路线图

“碳中和”的城市净零碳化路线图，是碳源和碳汇动态平衡的过程；因此，净零碳城市路线图应该是一整套，能够系统应对各领域节能减碳技术实施效果、实施成本，以及负碳技术、森林碳汇水平等多种因素不断变化的动态方案。以物联网、大数据、云计算和人工智能为代表的数字创新技术，通过“掌握碳数据-制定碳策略-精明碳行动”三步走构建净零碳城市路线图，推动城市数字化、绿色化、可持续发展，实现“碳中和”目标。

**掌握碳数据：**通过对城市碳数据底座的构建，借助大数据、物联网技术推动碳排放数据实时采集，精准核算及溯源，并选择科学合理的碳核算视角和碳排放采集方式，对城市各基础碳排放单元及其跨边界的碳足迹进行准确核算，以厘清城市的碳排放在全国乃至全球供应链上的责任分配。同时，在数据的支撑下，打造“双碳”大脑，利用AI技术对排放数据进行建模，帮助城市相关决策者进行及时高效的城市碳排放管理策略制定，提高城市各领域运行的系统性效率。

**制定碳策略：**探索最佳的城市碳策略，寻求能源-环境-经济-社会的动态平衡，推动社会长期可持续发展。以数字技术为依托，构建以能源、产业、发展模式、污染控制、居民健康保障和社会民生等多方面关系协调发展为目标的城市碳管理正向反馈闭环管理机制和模型；同时，在“双碳”发展政策上，

全国统筹以形成系统降碳的合力，以应对“碳达峰、碳中和”目标的复杂性与差异性；坚定系统观念，注重处理好发展和减排、整体和局部、长期和短期、政府和市场这四对关系。

**精明碳行动：**最后，通过数字技术赋能的能源、建筑、交通领域精明碳行动，落实城市的减碳、新能源替代和固碳目标，以最终实现城市净零碳化。

### 第四章 案例研究

本章节以第二章提到的六大城市能耗场景为主线，涵盖城市规划，城市建筑，城市交通，社区参与等多方面内容，提供了5个城市和5个企业案例，为全球发展绿色低碳城市提供中国策略与中国方案。

城市案例包括城市规划相关智慧创新方案如上海真如副中心真如境项目与海纳工程院项目：数字创新赋能楼宇净零碳，和武汉：城市通风降温低碳实践；全市区降碳管理创新方案深圳：盐田区数字能源社区降碳实践，和成都高新区：超大城市降碳减污协同增效管理方案；以及社区管理创新方案威海：数字赋能城市物业发展。

企业案例涵盖以城市建筑节能和多功能赋能为主要研究目标的新潮传媒集团：低碳电梯智慧屏在城市预警信息发布中的应用，京东方科技集团股份有限公司：智慧视窗在城市降碳中的应用，和美的楼宇科技：全链路多维分级降碳综合治理方案在园区数字化转型中的应用；以城市交通为主要研究方向的比亚迪集团：新型中低运量轨道交通系统在城市降碳中的应用以及滴滴出行：数字出行平台助力城市交通净零碳转型。

### 第五章 建议

中国积极响应全球减碳目标，结合数字化手段，积极采取一系列减碳举措，并在政策、财政、工业和科技等多领域制定了具体高效的实施路径。中国城市将和全球城市共同协作，推进城市净零碳转型目标，推动城市朝着更可持续、低碳的未来迈进。

## 1. 数字科技助力行业产业形成减碳工具

数字科技在助力各行业实现净零碳目标方面发挥着重要作用，主要通过数字化信息、数字化流程和数字化产品三个方面来实现：

### (1) 数字化信息：

**数据收集和分析：**数字科技可以帮助城市收集大规模的环境数据，包括能源使用、交通流量、污染水平等。这些数据可以用于精确分析城市的碳排放源，帮助制定精确的减碳策略。

**智能传感器和监测系统：**数字科技使得城市能够部署智能传感器和监测系统，实时监测能源消耗、空气质量和交通流量等。这些信息可以用于实时调整城市设备和资源的使用，从而降低碳排放。

**模拟和预测分析：**数字技术允许城市建立模型和进行模拟，以预测不同减碳措施的效果。这有助于城市规划者选择最有效的策略，以最小化碳排放。

### (2) 数字化流程：

**智能城市规划：**数字科技可以协助城市规划师设计出更加低碳高效的城市布局，包括减少通勤距离、提供绿色空间和公共交通系统的优化。

**能源效率：**数字化流程可以帮助城市管理者优化能源使用，包括建筑物的节能、照明系统的自动调整、智能供电网络的管理等。

**供应链优化：**数字化流程可以改善供应链的可持续性，减少运输和仓储中的能源浪费，减少碳足迹。

### (3) 数字化产品：

**可再生能源：**数字科技有助于提高可再生能源的效率和生产，例如太阳能和风能。数字监控系统可以确保这些资源的最大利用率，降低碳排放。

**智能建筑：**数字化产品包括智能建筑技术，如智能照明、智能暖通空调系统和能源管理系统，它们可以显著减少建筑物的能源消耗。

**电动交通工具：**数字科技推动了电动汽车和交通工具的发展，这些车辆的使用可以大幅降低碳排放，特别是当这些车辆通过可再生能源充电时。

## 2. 中国城市加大加深国际交流与合作

### (1) 深化应对气候变化交流

- 应对气候变化成为领导人外交亮点；
- 推动高层对话交流，凝聚政治共识。

### (2) 推动多双边气候变化谈判

- 全面深入参与《公约》及其《巴黎协定》等主渠道国际谈判进程。
- 积极参与《公约》外渠道谈判，协同推进气候多边进程。

### (3) 强化应对气候变化务实合作

- 深化气候领域双多边合作机制。
- 南南合作取得新进展。
- 携手打造“绿色丝绸之路”。

## 3. 全球城市数字化净零碳行动倡议

(1) 以数字理念升维城市管理，全面贯彻落实减碳行动

(2) 以数字技术促进能源转型，有效降低温室气体排放

(3) 以数字平台加强国际合作，共同应对全球气候变化

(4) 以数字文化带动公众参与，孵育发展绿色人文价值

(5) 以数字金融推动绿色消费，带动创新低碳经济发展



图：风能  
来源：Pexel.com

简介

01



# 第一章

## 纲要

全球已普遍认同“双碳”目标，约 120 个国家已承诺在 2050 年前实现“碳中和”。2022 年 COP27 强调将承诺转化为行动，特别关注减缓升温、气候融资、绿色发展。但全球仍面临气候挑战，包括温室气体、海平面、海洋状况告警，新冠、地缘政治、能源危机影响气候行动。伴随着人口、GDP、碳排放、能源需求急剧增加，城市净零碳挑战尤为紧迫。中国提出“2030 碳达峰、2060 碳中和”目标，采取多领域政策，积极推动实施，但面临工业化、资源结构、经济差异、技术挑战，应采取适应国情、高质量、创新性的“双碳”道路，以实现雄心目标。

数字技术如大数据、人工智能、5G、物联网、云计算、区块链对实现“双碳”目标至关重要，可以优化碳管理、提高能源效率、智能资源调度，推动清洁能源采用，并且支持生态监测、碳捕集、交易市场建设，促进负碳技术发展。引入数字技术可实现城市治理精细化，促进净零碳城市建设。中国政府已将数字化纳入国家战略，特别在新能源汽车、智能充电、城市数字化方面取得进展。

本报告将说明全球气候行动面临的主要挑战，气候变化对全球与中国的影响，以及数字技术的发展趋势与助力实现净零碳城市的巨大机遇。

报告关键词：数字科技，城市，双碳 / 净零碳转型，气候变化

## 1.1 气候变化：三大全球危机之一

全球气候变化是指在全球范围内，气候平均状态统计学意义上的巨大改变或者持续较长一段时间的气候变动。在地球过往 60 亿年的地质历史上，地球的气候曾经发生过显著的变化。剧烈的气候变化曾经导致地球动植物大量毁灭。大约在一万年前，随着最后一次冰河期结束，地球的气候相对稳定在当前人类习以为常的状态。但期间的气候变化波动，仍旧会引起全球性的气候灾难，造成大量的人员伤亡和社会经济损失。例如历史上的气候灾难——小冰河期。其始于 13 世纪，在 17 世纪达到巅峰，并最终在大约 200 年前减缓了活动趋势。在它的巅峰时期，由于严寒，大量动植物被冻死。气温骤降也造成粮食减产，致使社会动荡，战乱频发，全球各地冰雪蔓延，北欧一带饥荒肆虐，挪威和瑞典有一半的人口在饥荒中丧生。

气候变化的原因可能是自然的内部进程，或是外部强迫，也是人为地持续对大气组成成分和土地利用的改变。工业革命后，随着人类活动的不断加剧，二氧化碳及其他温室气体排放的剧增打破了地球长期以来相对平和的气候平衡状态，“温室效应”加剧，全球气温不断升高。而今，气候变化已经与“生物多样性损失”和“全球不平等”并列，成为了三大全球危机之一。联合国气候变化专门委员会（IPCC）于 2018 年已发出重磅警告：“全球升温幅度需控制在 1.5 摄氏度，否则地球在 2030 年之后会迎来毁灭性气候”。





图 1-1 联合国气候行动：通往“净零排放”之路

来源 [https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/2021/04/timeline\\_2020.jpg](https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/2021/04/timeline_2020.jpg)

### 1.1.1 气候变化对全球的影响

如上文所述，工业革命之后，工业化与城市化带来的全球人口增长加剧了二氧化碳排放量和气候变迁。气候变化对全球造成了巨大的负面影响，据相关数据统计：全球温度自工业化以来上升 1.1 摄氏度。在不到 200 年的时间里，人类活动使大气中的二氧

化碳含量增加了 50%，二氧化碳大气含量上升至百万分之 421。大气中的温室气体使地球变暖，是导致气候变化的主要原因。此外，过去 200 年以来，大气中的甲烷浓度增加了一倍多。甲烷大气含量上升至十亿分之 1923.6，据估计，自工业革命以来，这种增长导致了 20% 至 30% 的气候变暖。



全球温度  
自工业化以来上升

**1.1 摄氏度**



冰盖  
每年平均减少

**4,240 亿吨**



二氧化碳 大气含量  
上升至

**百万分之 421**



海平面高度  
自 1993 年以来 共上升

**4 英寸 ≈ 10 厘米**



甲烷 大气含量  
上升至

**十亿分之 1923.6**



海洋变暖  
自 1995 年以来 共上升

**345 焦耳**

最近的上升速度是过去 2500 多年来前所未有的，与 1993 年相比全球平均海平面上升了 10 厘米，与 1880 年相比，全球平均海平面上升了 21-24 厘米。此外，与 50 年前比较，风暴潮造成的洪水概率增加了 3 到 9 倍。海平面的持续上升，将导致许多沿海和岛屿城市消失在汪洋之中。值得注意的是，全球 10 个最大的城市中有 8 个属于滨海城市，海平面上升正在严重威胁沿海城市群。过去 20 年间，人类历史文化的瑰宝——水城威尼斯曾出现了 166 次高水位，海水正在破坏威尼斯的建筑物，削弱地基并造成结构性风险。最坏的情况下威尼斯可能最早在 2100 年消失在海平面之下。

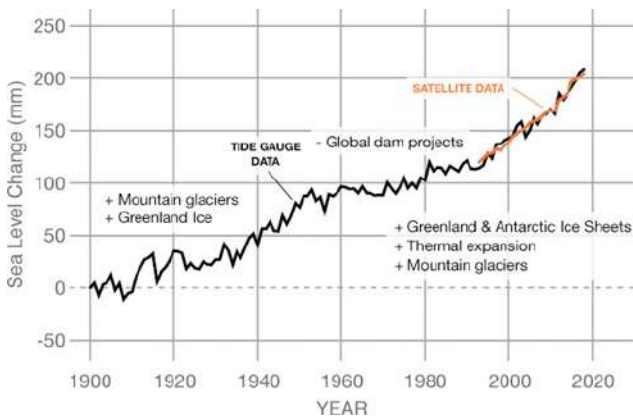


图 1-2 1900-2008 年海平面变化 来源 BBC



图 1-3 威尼斯街道被水淹没 来源 TheMayor.Eu

气候变迁也导致了海洋变暖。我们的全球海洋覆盖了地球表面 70% 以上，具有非常高的热容。自 1955 年开始现代记录以来，90% 的全球变暖发生在海洋中，导致海水内部热量增加。储存在海洋中的热量导致海水

膨胀，这是全球海平面上升 1/3 到 1/2 的原因。大部分增加的能量储存在零到 700 米深的地表。过去 10 年是至少自 19 世纪以来海洋最温暖的 10 年，2022 年则是有记录以来海洋最热的一年，也是全球海平面最高的一年。近几十年来，由于温室气体的增加，海洋吸收了 90% 的变暖，海洋顶部数米的热量与地球整个大气层的热量一样多。海洋持续变暖的影响包括热膨胀导致的海平面上升、珊瑚白化、地球主要冰盖加速融化、飓风加剧以及海洋健康和生物化学的变化。以珊瑚白化为例：海洋最上层（约 250 英尺）的升温速度最快，自 20 世纪 70 年代以来平均每十年升温约 0.11 摄氏度。珊瑚是海洋生物的避风港，珊瑚礁是世上生物多样性最高的生态系统，被称为“海中的热带雨林”。然而气候变暖已成为珊瑚礁死亡的重要原因之一。珊瑚礁的大规模白化，显示海洋环境正在急剧恶化中。根据 IPCC 的预计，如果海水温度上升 1.5°C，70% 的温水珊瑚将消失。超过 2°C，几乎所有的温水珊瑚都将消失。



图 1-4 海洋变暖导致珊瑚白化 来源 BBC

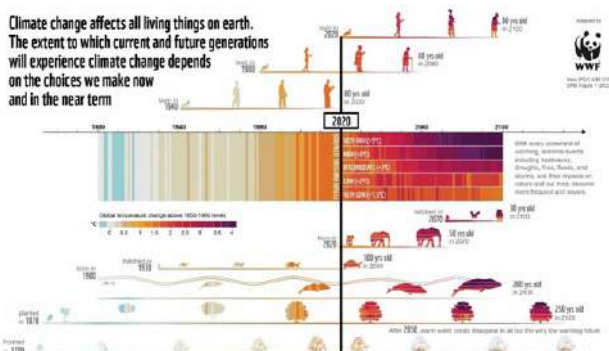


图 1-5 全球历史气温和未来排放情景及其对单个物种整个生命周期的影响 来源 国际自然基金会



图 1-6 自 1955 年以来海洋热含量的变化 来源 NOAA

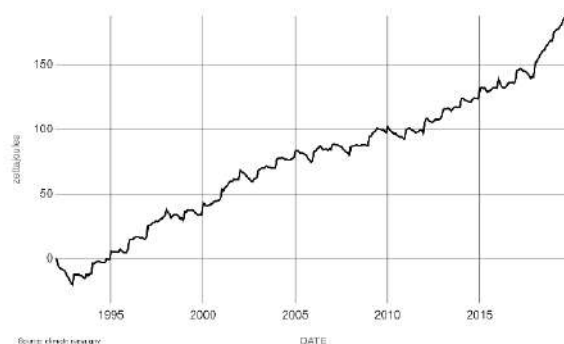


图 1-7 自 1992 年以来海洋热含量的变化 来源 NASA

气候变迁造成的海洋变暖也导致了全球主要海冰覆盖面积变化，全球冰盖的面积伴随着气候变暖显著减少：据统计，全球冰盖每年平均减少 4240 亿吨。格陵兰岛和南极洲的冰盖储存了地球上大约三分之二的淡水。由于地球表面和海洋持续变暖，它们正在不断融化。其中，南极洲正以每年约 1500 亿吨的平均速度融化，格陵兰岛每年损失约 2700 亿吨。自 1993 年以来，来自这些冰盖的融水约占全球海平面平均上升的 1/3。而北极海冰最小覆盖面积自 1979 年以来每十年缩小 12.6%。



图 1-8 北极冰川融化 来源 Berlingske



图 1-9 北极冰川融化 来源 Depositphotos.com

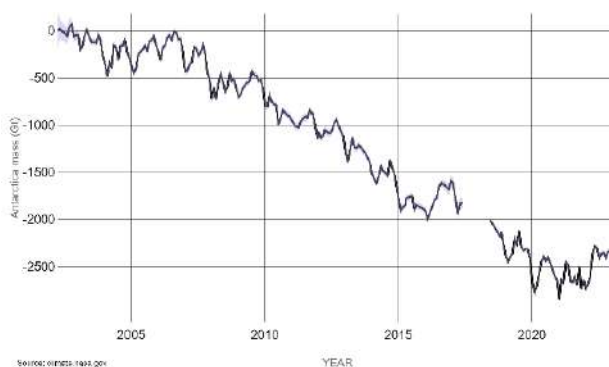


图 1-10 2002 年以来南极洲的质量变化 来源 NASA

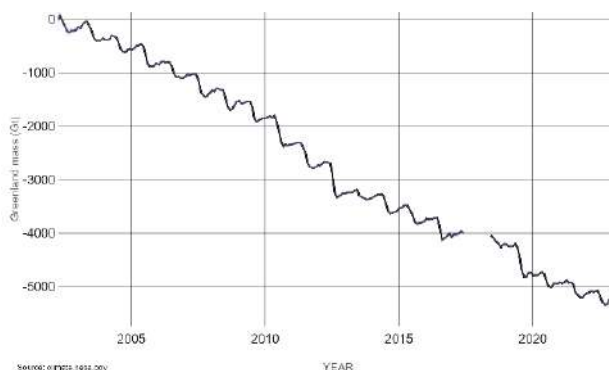


图 1-11 2002 年以来格陵兰岛质量变化 来源 NASA

气候变迁对地球生态、人类以及其他地球生物能够产生一系列连锁影响。受气候变迁的影响，人类和动植物维生所需的水资源将受到严重污染，可供食用的清洁水源正在减少，海平面上升和风暴将导致农田流失和盐水入侵，而强降水增加了农业径流进入海洋、湖泊和溪流的可能性，进一步污染水源。此外，伴随着气候变迁，全球土壤的营养也在渐渐流失，强降水可能会侵蚀土壤并消耗土壤养分，从而损害农作物。另一方面，从事农业生产的人口面临着多种与气候相关的



健康风险：例如高温和其他极端天气、由于害虫数量增加而导致的农药接触增多、蚊子和蜚虫等携带疾病的害虫以及空气质量下降等，因此，气候变迁也间接导致了农业人口健康危机。再者，气候变迁也对人类的粮食安全造成重大影响。虽然，在一些地区，气温升高可能会增加农作物产量。但是，气候变化对农业的总体影响预计将是负面的——气候变迁如干旱、洪水、极端气候将导致粮食减产，而粮食供应的减少导致了粮食价格的一路攀升，高昂的粮食价格对于许多处饥饿的贫困人口而言无疑是雪上加霜，进一步加剧了饥饿、贫困与不公平。例如，在非洲肯尼亚等干旱肆虐的地区，由于粮食减产，当地许多养牛户已经失去了牲畜、生计以及食物和收入来源。而与此同时，该地区的食品价格却在一路飙升。



图 1-12 饥饿中的人们 来源 Flickr.com

此外，由于气候变化加剧，人类所拥有的家园故土可能会不复存在，而资源战争将导致人们流离失所。气候变化间接地加剧了地区冲突，而地区冲突则加剧了气候变化的影响。随着未来几年和几十年气候危机的加剧，伴随着荒漠化和海平面上升等各种气候变迁所造成的负面原因，越来越多的人将被迫离开家园。2017年2月20日，世界上最年轻的国家南苏丹宣布进入饥荒。长年内战和干旱的综合影响导致该国近500万人（占总人口的40%以上）粮食不安全。世界粮食计划署国家主任乔伊斯·卢马(Joyce Luma)于2016年曾表示，南苏丹正在经历“冲突、经济困难和降雨稀少的致命结合”。苏丹和达尔富尔地区拥有多种生态区，从北部的干旱沙漠到南部的亚热带环境。在2003年战争爆发之前的几十年里，苏丹北

部萨赫勒地区的撒哈拉沙漠每年向南推进近一英里，年平均降雨量减少15%-30%。这些长期气候变化趋势对苏丹的两个主要农业系统产生了重大影响。而受气候影响巨大的是当地依靠雨水生产的小农和游牧牧民。由于，苏丹的农民主要是非洲裔，而牧民则是阿拉伯裔，快速发展的荒漠化和干旱慢慢侵蚀了该地区支持这两个群体生计和和平共处的自然资源，导致两个种族之间冲突不断，引起社会动荡，严重危害到了地区局势的和平稳固，大批当地民众被迫离开世代居住的家园，成为难民举家逃往邻国。而世界其他国家将应对难民涌入及资源分配问题而承受巨大压力。

人类活动随城市化及工业生产加速在上世纪中叶加剧，促成全球人口增长，碳排放也出现明显上升轨迹。二氧化碳吸热的特性对环境产生了巨大的影响，致使全球气候变暖，全球冰盖减少，海平面上升。同时全球气候变暖也加剧和导致了干旱、洪水、山火和风暴等自然灾害在数量上的增加和范围的扩大。根据气象组织《天气、气候和水极端事件造成的死亡人数和经济损失图集(1970-2019)》，全球在此期间有超过1万1000起气候灾害，死亡人数超过200万，损失达3.64万亿美元。排名前十的灾害中导致人员伤亡最严重的灾害是干旱(65万人死亡)、风暴(57万7000多人死亡)、洪水(5万8700人死亡)和极端温度(5万5700多人死亡)。天气、气候和水的危害占世界上所有灾害的50%，占有报告死亡人数的45%，占有报告经济损失的74%。值得注意的是，超过91%的死亡发生在发展中国家。

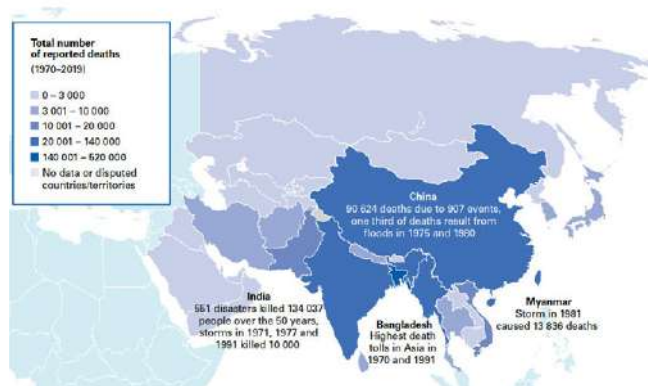


图 1-13 1970-2019 亚洲灾难与死亡数量统计  
来源 亚洲灾情报告

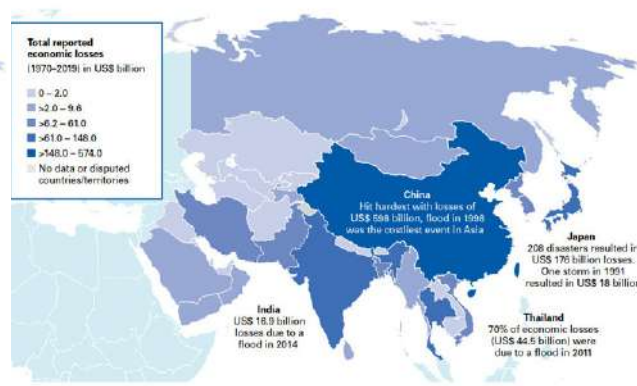


图 1-14 1970-2019 亚洲灾难与经济财产损失统计  
来源 亚洲灾情报告

综上所述，气候变化将导致海平面上升、海洋变暖、地球淡水储备流失、水土资源破坏并引发病虫害及农粮危机、人口迁徙与区域冲突、自然灾害的增加和扩大等多方面威胁人类生存的重大影响。人类活动引发并加速全球气候变化，而气候变化持续并快速压迫人类活动空间，生态系统生产力降低，长此以往，气候变化将彻底打破地球的生态平衡，人类赖以生存的资源将受到难以逆转的摧毁，最终将导致人类社会失序、环境破坏、经济衰退的严重后果。

### 1.1.2 气候变化对中国的影响

中国作为世界最大的发展中国家也是碳排放大国之一，经济活动集中沿海城市群，受气候变化影响巨大，中国气候灾难频发，造成了重大的经济损失和人员伤亡，高速发展中的中国所需要的减碳行动艰巨且迫切。

相对于非洲国家遭受干旱少雨的气候冲击，中国则是洪水灾害频繁的国家，深受水患威胁。据史书记载，从公元前 206 年至公元 1949 年中华人民共和国成立的 2155 年间，大水灾就发生了 1029 次，几乎每两年就有一次。在洪灾的侵吞中，大城市不能免。据相关历史记载，洪水曾五进北京城，天津市曾 8 次被淹。

1931 年，中国发生特大水灾，共有 16 个省受灾，其中最严重的是安徽、江西、江苏、湖北、湖南五省，山东、河北和浙江次之。8 省受灾面积达 94466 平方千米。据统计，半数房屋被冲，近半数的人流离失所，不少人举家逃难，受灾人口达 1 亿人，死亡 370

万人。1954 年的大洪灾，全国受灾面积达 16 万平方千米，成灾面积 11.3 万平方千米。长江洪水淹没耕地超过 3.1 万平方千米，死亡 3.3 万人。国家对自然灾害的救济费为 3.2 亿元。时隔四年，1958 年黄河郑州花园口出现特大洪水，郑州黄河铁桥被冲毁。1963 年海河流域遭历史上罕见的洪水，受灾面积达 40966 平方千米，减产粮食 300 多万吨。

根据《1970-2019 亚洲灾损报告》的统计数据，1970-2019 年间，中国共计上报 907 起气候灾难事件，导致经济损失高达 598 亿美元，并造成 90,624 人死亡，其中 1/3 的人员死亡源于 1975 年的河南驻马店特大暴雨洪灾以及 1981 年长江上游四川盆地特大暴雨引发洪灾。1998 年，一场世纪末的大洪灾几乎席卷了大半个中国，长江、嫩江、松花江等大江大河洪波汹涌，水位陡涨。全国 800 万军民与洪水进行着殊死搏斗，京广铁路行车受阻 100 天。这场洪灾中，中国共有 29 个省区遭受了不同程度的洪涝灾害，迄今为止被称为“亚洲最昂贵的灾难事件”，此次洪灾造成的直接经济损失高达 47.02 亿



美元，因灾害造成粮食减产上百亿公斤。2017年，中国武汉受中游型大洪水和汉江发生罕见秋汛的影响，长江流域洪涝灾害造成直接经济损失达到939亿元。2021年，中国遭受的洪涝灾害共造成5890万人次受灾，590人死亡失踪，351.5万人次紧急转移安置，20.3万间房屋倒塌，造成的直接经济损失2406亿元。



图 1-15 1998 年洪灾 来源 BBC

2023年7月29日起，受台风“杜苏芮”影响，河北涿州市遭遇持续强降雨，导致境内多条河流水位暴涨，部分地区出现严重内涝。据统计，截至8月1日10时，涿州全市受灾人数133913人，受灾面积225.38平方公里，经济财产损失巨大。

而全球变暖和城市集群化的叠加效应，也导致了中国城市群极端高温事件增多增强，给城市安全运行带来风险。以世界第六大城市群——长江三角洲城市群为例：长三角城市群地处东部沿海，是中国经济发达、财富集中、人口密度高、城市化水平最高的地区。然而，这个“富足区”一到盛夏季节就会受到西太平洋副热带高压控制，容易出现持续性高温天气。近年来，长三角地区的极端高温事件愈加明显。

以长三角城市群的核心城市——上海为例，自1873年有气象记录以来，上海总共出现21个40℃以上的极端酷热天气，其中2022年达7天，位居历史第一，其次是2013年的5天，在这之后分别为2017年3天、1934年2天、2016年2天、2009年1天、2010年1天。相关统计表明，由于气候变化、城市群热岛与区域性极端高温

事件产生的叠加效应，使得长江三角洲城市群遭遇极端高温的概率比20世纪50年代高出60倍，高温强度更强、持续时间更长。



图 1-16 2022 年上海极端高温天气下的市民  
来源 Chinadaily

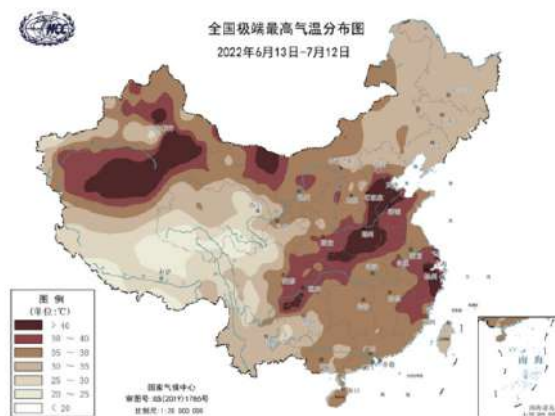


图 1-17 2022 年 6 月 -7 月全国极端最高气温分布图  
来源 国家气候中心

### 1.1.3 应对气候变化的必要行动

引起气候变化的原因，存在自然原因，例如太阳活动的变化和大型火山爆发，但自19世纪以来，人类活动一直是气候变化的主要原因。联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）第六次评估报告（AR6）《气候变化2023》中指出，主要通过人类活动产生的大量温室气体排放毋庸置疑导致了全球变暖。关于“人类活动在全球变暖中究竟起到多大作用”，报告措辞从之前的“可能”“很可能”“极有可能”“明确的”，升级为“既定事实”和“毋庸置疑”。人类活动中不可持续的能源使用、土地使用及其变化、生活方式、消费和生产模式都造成了全球温室气体排放量的继续增加。

造成气候变化的主要温室气体是二氧化碳和甲烷。根据联合国的数据，化石燃料的使用——煤炭、石油和天然气——是造成温室气体排放的最主要原因，占全球温室气体排放的75%以上，占有二氧化碳排放的近90%。而发电、制造业、交通工具、粮食生产、建筑供能等都涉及到化石燃料的使用。人类活动产生温室气体排放，造成世界变暖的速度比过去两千年的任何阶段都要快，在过去100年间地球温度已上升1.1度，造成的人类生存威胁加速放大中，全球协作全面进行净零碳转型刻不容缓。

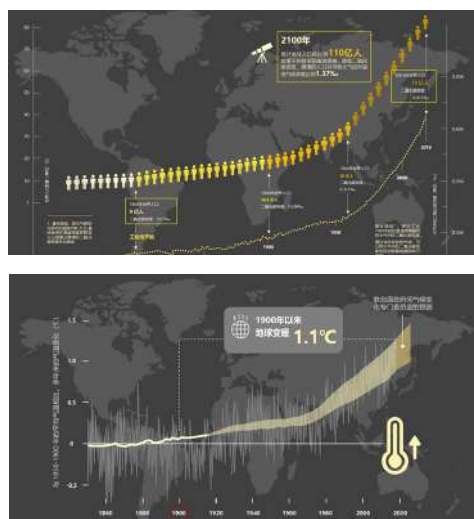


图 1-18 人类活动导致全球气候变暖  
来源 作者自绘

三年全球性新冠疫情（2020-2022）期间，人类由于防疫封控，生产活动与人、物流大量减少（如交通量下降，工厂停工等），二氧化碳等温室气体的排放也明显减少——根据国际能源机构（IEA）2022年发布的一份报告，2020年全球二氧化碳排放总量下降6%，为二战以来的最大年度降幅。另一项研究显示，受新型冠状病毒疫情影响，2020年4月初全球每日二氧化碳排放量比去年同期减少17%。疫情期间，全球因人类活动受限而放缓二氧化碳排放的同时，也放缓了相关减碳行动计划的进程。然而，过去传统的、各别的或分散的气候行动已完全无法应对当下与未来加剧的气候威胁。有效的应对方案必须仰赖跨地域、跨专业、跨部门的具体行动与科学精准的技术路径，从城市到国家到全球的一致协作是有效遏制人居环境持续恶化的必要行动举措。

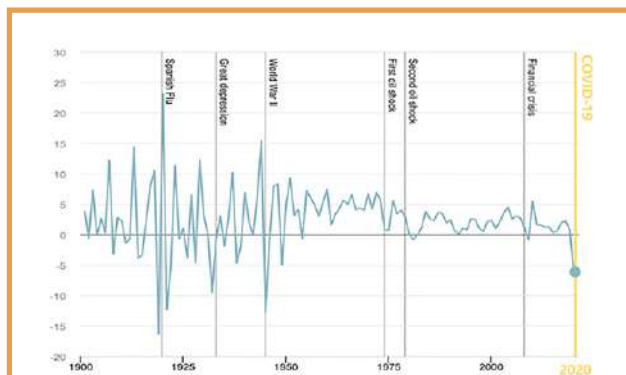


图 1-19 全球能源需求逐年变化率（1900-2020）  
来源 国际能源机构（IEA）《2020年全球能源报告》

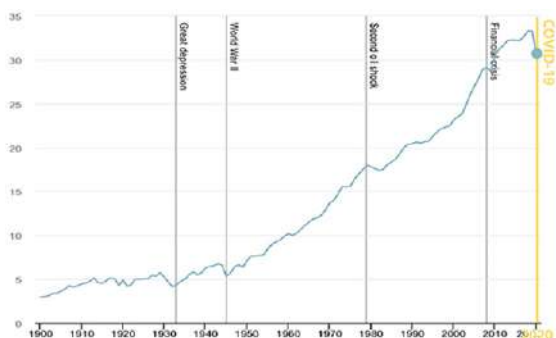


图 1-20 全球能源相关二氧化碳排放量（1900-2020）  
来源 国际能源机构（IEA）《2020年全球能源报告》

## 1.2 城市净零碳转型的重要性

人类活动排放的温室气体已经毋庸置疑成为如今全球气候变化的主要原因，而居住着全球50%以上人口的城市则显然成为实现净零碳排放目标的重点和关键所在。我们的城市贡献了全球80%的GDP，同时也带来了全球70%的能源消耗和70%的温室气体排放，并且在持续增长，而且预计到2050年城市规模还将翻两倍。因此，城市既是气候变化影响和风险的热点，也是应对气候变化解决方案的关键部分。

在联合国IPCC的气候报告中，已经开始单独列出城市、住区和基础设施减缓气候变化章节，强调了城市在应对气候变化中的作用，认为城市系统对于实现深度减排和推进气候适应型发展至关重要，特别是当涉及到包含物质、自然和社会基础设施的综合规划时。

根据国际能源署（IEA）的统计数据，全

全球能源相关碳排放来源构成中，前四位分别是能源发电与供热(40%)、工业生产(23%)、交通运输(23%)、建筑业(10%)，而这些关键领域，均与城市紧密相连。

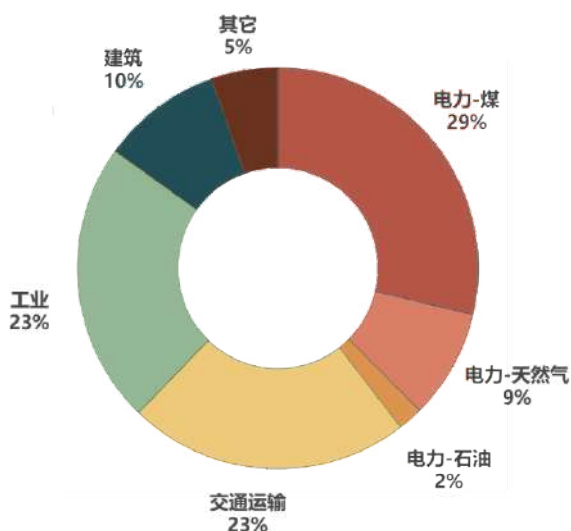


图 1-21 全球能源相关二氧化碳排放量构成来源 国际能源机构 (IEA)

针对性和高效率的城市减缓方案和策略也可以支持更广泛的可持续发展目标，而城市的减碳重点可以总结为三大策略：

**1 在城市空间规划建设方面减少城市能源消耗**，包括更具综合性与包容性的土地利用规划和决策，通过区域改善职居平衡来实现紧凑的城市形态，通过加强公共交通体系、引导绿色出行、提倡数字化远程办公等方式减少交通运输相关碳排，建筑物的高效设计、建造、改造和使用等；

**2 能源清洁化和产业经济转型**，例如调整能源发电与供热结构，高能耗产业的升级和转型，构建低碳产业体系，发展绿色经济和循环经济，新能源车辆在城市交通中的推广等；

**3 通过城市蓝绿基础设施加强城市环境中的碳吸收和储存**，例如加强城市生态网络的投资与建设，将蓝绿基础设施与传统灰色基础设施的结合，同时也可以减少热浪、洪水、强降水和干旱等极端事件的风险，也为健康、福祉和生计产生共同效益。

为了使城市能够设定和完成减排目标，需要多层次的治理和参与。此外，城市政府

需与国际机构、国家政府和地方利益相关方合作，为一系列低碳基础设施项目和跨关键部门的相关城市土地利用和空间规划方案来调动全球气候行动资源。

### 1.2.1 城市应对气候变化冲击的目标与路径

有效掌握并管理城市主要的碳排放源，以应对气候变化，城市减碳行动显得尤为关键和紧迫。研究表明，城市人口的人均能源消耗通常是农村人口的三倍左右。这一巨大的能源需求不仅导致城市巨大的能源消耗，也对大气排放产生了巨大影响。

在这个背景下，认识并有效管理城市中的碳排放活动至关重要。

**01 确立城市减碳目标，明晰减碳的优先级：**这些目标应当基于科学依据，考虑城市的特定情况和资源可用性，以确保可行性和可持续性。为了实现这些目标，城市应当充分利用其在资源、技术和人文资源的集聚优势。这意味着城市可以积极投资于能源效率提升、可再生能源开发和可持续交通系统等领域，在减少碳排放并改善城市生活质量方面取得更大的回报。

**02 谋求全球城市协作平台的搭建，促进城市之间的技术共享和经验交流：**这种跨城市的协作有助于加速减碳技术和策略的传播，提高全球城市在气候行动方面的协同效应。同时，建立绿色人文价值体系也是至关重要的，这有助于塑造城市居民的环保意识和可持续生活方式，从而进一步降低碳排放。

**03 城市减碳行动需要明确的行动路径和系统性的举措：**这包括改进城市基础设施，推广清洁能源，制定碳定价政策，鼓励绿色交通和城市绿化等方面的努力。同时，城市应该朝着实现净零碳排放的目标前进，这需要在碳排放无法杜绝的情况下，通过碳抵消和碳中和等手段来实现碳平衡。



综上所述，通过认识和有效管理城市碳排放活动，制定明确的减碳目标和优先序，充分利用城市资源和优势，建立全球城市协作平台与绿色人文价值体系，以及系统性开展净零碳转型举措，城市可以发挥关键作用，快速减缓或遏止气候变化，为人类创造更加可持续和宜居的未来。这是一项艰巨但至关重要的任务，需要政府、企业和居民共同努力，才能取得成功。

### 1.2.2 全球城市应对气候变化行动

面对气候变迁和气候灾难频发，全球各国城市面对气候变化纷纷采取了积极的应对措施。越来越多的国家、城市、企业和其他机构正在承诺实现净零排放。70多个国家，包括最大的污染国——中国、美国和欧盟——已经设定了净零排放目标，约占全球排放量的76%。超过3000家企业和金融机构正在与“基于科学的目标倡议”(Science-Based Targets Initiative)合作，根据气候科学减少排放。全球1000多个城市、1000多个教育机构和400多个金融机构加入了“向零的目标迈进”(Race to Zero)，承诺立即采取严格行动，力争到2030年将全球排放量减半。本文中，笔者将介绍四座积极展开气候行动的城市，它们分别是：丹麦哥本哈根、荷兰“太阳城”、英国托尼斯特、美国旧金山。

#### 1.2.2.1 绿色骑行之城——丹麦“环保之都”哥本哈根——绿色的生活方式

哥本哈根，以其卓越的环保措施而享有“环保之都”的美誉。该城市自行车文化深入人心，近半数市民将自行车作为日常通勤工具。这一自行车热潮起源于上世纪70年代，由丹麦骑行者联合会提出自行车网络规划，以应对石油危机，并得到政府支持。

自1997年起，哥本哈根政府采取一系列法规限制汽车增长，促进自行车和公共交通使用率。2000年，政府推出《哥本哈根交通安全计划》，旨在2001-2012年内减少自行车事故死亡率40%，创造更安全的骑行环境。2002年发布《自行车政策2002-

2012》，包括自行车绿道建设和停车设施改善，进一步改善骑行环境，鼓励绿色出行。2007年，政府制定《生态城市》计划，将哥本哈根打造成“世界自行车最佳城市”，提高自行车通勤率至少50%。

政府不仅发布政策，还大力投资自行车基础设施。改造包括拓宽自行车道、建设自行车天桥和300英里自行车高速道等。哥本哈根现已拥有完善自行车道网络，多用抬高处理和不同颜色标记，与机动车道分开。自行车道根据骑行方式分为左转、右转和直行，并在机动车单行道上提供双向自行车道。自行车高速公路鼓励中长距离骑行，设充气站和维修站。

政府还引入数字化技术，投资6000万克朗建立380个“智慧交通信号灯”，实时调整信号以提高交通效率。自行车道上的“绿波”信号灯建议20km/h速度，骑行者根据绿灯明暗调整速度，提高通行率。2016年，哥本哈根拥有26.57万辆自行车，超过汽车数量。同时，政府提升城市骑行形象，建立大众网站提供实用信息和反馈机制。每年举办自行车节、无车日和“骑车上班”等活动，提高自行车形象，增强市民环保意识。



图 1-22 哥本哈根自行车节 来源 Similarweb

总结来说，哥本哈根政府倡导绿色生活方式，制定可持续发展计划，发展绿色可再生资源 and 绿色建筑等50个项目，致力于在2025年将哥本哈根建设成为世界上第一个零碳排放城市。



### 1.2.2.2 零碳排——荷兰“太阳城” Heerhugowaard——高效的城市规划

荷兰一直在绿色减排领域保持领先地位。Heerhugowaard 郊外卫星城市，距首都阿姆斯特丹北方约 30 公里，代表了可持续新区项目的典范。它充分运用可持续发展理念和技术，包括紧凑混合开发、绿色出行、生态被动式建筑设计、多种绿色清洁能源以及自有的蓄水和保护系统，以最终实现零二氧化碳排放目标。

Heerhugowaard 的住宅区采用了“紧凑城市”的理念，四周环绕着广阔的水域和绿地，创造出宜人的居住环境，商店、学校、托儿所和医院等重要设施步行可达。城市内道路和人行道分开设计，一些住宅区不能直接通车，居民需使用远一些的停车场，鼓励步行和骑行等绿色出行方式。



图 1-23 Heerhugowaard 航拍图 来源 Milanium.eu

Heerhugowaard 的建筑均采用被动式生态节能设计策略，80% 的建筑朝向南北，每座建筑都装有太阳能电池板，光伏板总面积达 5 万多平方米，使其成为世界上最大的光伏社区之一，也被誉为荷兰的“太阳城”。城市还设有三座风车，实现了能源独立和负碳排放的目标。此外，城市积极采用可再生能源，如地热和生物质，同时应用蓄热和高隔热等节能技术。

城市拥有独特的蓄水和保护系统，被称为“环形开放水域”，将住宅区与休闲地带分隔开来，提供了大面积的公共开放空间。该

系统主要利用屋顶雨水收集与净化系统，将池塘水质提高至游泳池水质标准，同时用于雨水缓冲和休闲活动。

最后，Heerhugowaard 的城市规划着重注重多样性，拥有多样化的住宅类型，各个街区都独具特色，旨在让不同社会群体和年龄层的人们共同居住，实现城市的可持续发展，使城市建设不再单调。

### 1.2.2.3 零废弃——美国旧金山——完善的法规政策

在美国环境运动兴起的 1960 年代，旧金山湾区城市便开始了垃圾分类治理工作。经过政府的不懈努力，这一工作在新世纪得以不断完善，并逐渐上升到了强制性法规层面。在 2000 年，旧金山市已经成功实现了加州规定的 50% 废弃物填埋率，并设定了到 2010 年填埋率减少到 25% 的目标。而在 2003 年，旧金山市更进一步设定了到 2020 年实现无废弃物的宏伟目标。

这一目标的核心理念是依循废弃物处理的等级和原则，即通过预防废弃物产生、减少废弃物数量、促进废弃物循环利用以及生物处理（主要是堆肥），最终实现没有废弃物被填埋或焚烧。旧金山以其卓越的废弃物管理成就，于 2011 年被经济学人智库评为北美最环保的城市。在 2012 年，美国的全国平均废弃物填埋率达到了 66%，而旧金山则将这一比率降至了 20%，远远低于全美平均水平。

这一卓越成绩的背后，有三大关键方面的努力：

**01 垃圾减量法规：**旧金山市制定了多项法律法规，包括限制和规范相关物品使用的禁令、强制要求建筑循环利用材料、对废弃物征收费用等。这些法规从源头上控制城市垃圾的产生，实现了废弃物减量。

**02 志同道合的政企合作：**旧金山市政府与 Recology 公司的长期合作伙伴关系使市政府能够监督和推动废弃物分类设施的建设

和运营，同时确保市民获得垃圾分类的支持和信息。Recology 公司也积极参与社会责任活动，如雇佣本地工人，提供更好的待遇，为社区带来了社会效益。

**03 实施有效的垃圾分类激励机制：**旧金山市政府通过奖励制度、社区参与、教育宣传和不断改进激励机制，让市民积极参与垃圾分类，创造回收和堆肥文化，实现了垃圾减量目标。



图 1-24 旧金山街道 来源 Davis Wright Tremaine LLP

总之，旧金山湾区城市通过各类法规、合作和激励政策的综合应用，成功实现了废弃物管理的革命性改进，成为环保领域的榜样和典范。这一经验为其他城市提供了有益的借鉴，鼓励各地采取类似措施，推动可持续废弃物管理和环保发展。

#### 1.2.2.4 转型先锋——英国托尼斯特——不可忽视的社会力量

托特尼斯位于英国西南部，这个城市以成为全球首个致力于实现气候友好型城市和气候友好型经济转型的城市而闻名，也因其城市转型运动而成为英国著名的旅游胜地之一。

过去，托特尼斯曾有丰富的锡矿资源，但过度开采导致了达特河水源的污染和资源枯竭。1719 年，城市宣布破产，不得不举债以维持基本运行。

2005 年，英国学者罗布·霍普金斯博士提出了一个城市改造构想，最初是应对

气候变暖和石油短缺，逐渐演变成一系列应对现代发展问题的行动。霍普金斯博士将这一构想应用到了他的家乡托特尼斯，并与当地居民共同探讨如何推动城市的可持续发展。在他的倡导下，托特尼斯的社区成立了 Transition Town Totnes (TTT) 组织，这是一个由当地社区领导和运营的公益组织，旨在帮助经济发展、减少环境影响，使小镇能够在未来更好地适应气候变化。当地居民共同制定了为期 20 年的能源下降行动计划，以减少对化石燃料的依赖。



图 1-25 托尼斯特城镇风光 来源 National Geographic

城镇改造的核心议题包括“本地食物”、“新能源”和“社区经济”，通过各种本地解决方案，试图建立可持续的社区生活方式。

**01 本地食物：**本地食物运动重视乡村、土地和食物的重要性，鼓励社区成员参与公共农活并分享食物。采用有机、多样化的种植方式不仅降低碳排放，也改善食物的品质。本地食物运动成功地帮助社区建立了更具韧性的食物系统，包括推广生态农业原则的低碳粮食种植方法。

**02 新能源：**在政府和居民的共同努力下，托特尼斯的家庭都装备了自己的能源系统，包括风力发电和光伏发电。蓄电池的安装实现了零排放、零消耗和零电费的生活。这些可再生能源系统融入了古老的建筑中，成为城市景观的一部分。

**03 社区经济：**托特尼斯发行了英国第一种“转型货币”——托特尼斯镑，鼓励本地消



费，将挣来的钱重新投入到本地商品和服务中，创造良性循环。当地居民联合抵制现代商业冲击，鼓励本地经济发展，维护了当地的特色经济和文化。

托特尼斯的城镇改造是居民“自下而上”凝聚共识，在多方参与和支持下获得新生的。它是在面对石油危机和全球气候变暖的现实背景下，寻求可持续城市发展的有效实践。全球范围内已经有 100 多个城镇加入了转型城镇运动，建立了 Transition Network 组织。

### 1.2.3 中国城市应对气候变化行动

作为世界上最大的发展中国家，中国在经济增长过程中积极采取减碳措施，需要在政策、财政、工业和科技等领域制定更加具体和高效的实施路径。中国一直在不断努力和探索减少碳排放的道路。2020 年，中国政府提出了“双碳”目标，即在 2030 年前实现碳排放达峰，2060 年前实现碳中和。

为实现“双碳”目标，中国城市采取了多维度的气候行动。

**01 在应对气候变化的新部署方面：**完善应对气候变化工作的顶层设计，制定中长期温室气体排放控制战略，编制实施国家适应气候变化战略。

**02 在减缓气候变化方面：**调整产业结构，优化能源结构，促进节能提效，控制非二氧化碳温室气体排放，提升生态系统碳汇能力，推动减污降碳协同增效，并深化试点示范。

**03 在主动适应气候变化方面：**加强气候变化监测预警和风险管理，提升自然生态系统和经济社会系统适应气候变化能力，提升关键脆弱区域气候韧性。

**04 在政策体系和支撑保障方面：**推动立法和标准制定，完善经济政策，积极稳妥推进全国碳市场建设，加快温室气体统计核算监测体系建设，强化科技创新支撑，加强人才培养和能力建设，开展绿色低碳全民行动。

**05 在参与应对气候变化全球治理方面：**深化应对气候变化高层交往，推动多双边气候变化谈判，强化应对气候变化务实合作。

自 2020 年提出“双碳”目标以来，中国为达成双碳目标所作的工作已然初见成效，主要表现在以下方面：

### 01 构建完善的碳达峰和碳中和政策体系

- 党中央将碳达峰和碳中和目标纳入了生态文明建设和经济社会发展规划，并进行了整体部署。

- 党中央、国务院发布了《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》，国务院发布了《2030 年前碳达峰行动方案》。各相关部门制定了 12 份重点领域和行业的实施方案，以及 11 份支持和保障方案。31 个省区市制定了本地区的碳达峰实施方案，形成了完备的“双碳”政策体系并持续实施。

### 02 推动能源的绿色低碳转型

- 重点推进了煤炭的清洁高效利用，累计完成煤电机组节能降碳改造、灵活性改造、供热改造超过 5.2 亿千瓦。

- 新能源和清洁能源的发展被放在更加突出的位置，全国可再生能源装机容量已超过 13 亿千瓦，首次历史性超越煤电。

- 推动建立多元驱动的能源供应保障体系，包括煤、油、气、核能以及可再生能源，进一步巩固了能源安全基础。

### 03 持续优化升级产业结构

- 深入推进供给侧结构性改革，科学控制粗钢产量，自“十四五”以来已压减超过 4000 万吨。

- 大力发展战略性新兴产业，如太阳能电池、锂电池、电动载人汽车等，成为外贸增长的新引擎，今年上半年这些“新三样”产品的出口增长了 61.6%，带动了整体出口

增长 1.8 个百分点。

- 发布了重点行业和用能设备的能效标杆水平，推动了节能降碳的更新改造。

#### 04 在重点领域实现了绿色低碳发展

- 大力发展绿色建筑，2022 年新建筑中绿色建筑面积占比至 91.2%；同时推动着手改造现有建筑，使节能建筑面积比例超过 65%。

- 加速调整交通运输结构，2022 年全国铁路货运量增长 4.4%，水路货运量增长 3.8%。

- 上半年新能源汽车产销分别完成了 378.8 万辆和 374.7 万辆，同比增速均超过 40%，保有量超过 1620 万辆，占全球一半以上。

#### 05 生态系统的碳汇能力稳步提升

- 优化主要功能区战略布局，完成了生态保护红线的划定。

- 积极推进重要地区的生态系统保护和修复，特别关注了长江经济带和黄河流域的生态环境问题，同时积极推动京津冀、长三角和粤港澳大湾区的生态环保工作。

- 科学开展大规模国土绿化行动，“十四五”以来年完成国土绿化超 1 亿亩。

- 我国的森林覆盖率达到 24.02%，成为全球森林资源增长最多最快的国家之一。

#### 06 完善绿色低碳政策体系

- 坚持节约优先原则，完善了能源消耗总量和能耗强度的调控，实现了碳排放和能源消耗的双重控制能力。

- 持续优化财政资源配置，实施支持绿色低碳发展的税费优惠政策，2020 年以来中央财政已累计拨款 1.78 万亿元用于生态环保。

- 推出碳减排支持工具和支持煤炭清

洁高效利用的专项再贷款，截至 2023 年 6 月，这两项工具的余额分别为 4530 亿元和 2459 亿元。

- 成立国家绿色发展基金，首期筹资达到 885 亿元。

- 深化能源价格改革，推动燃煤发电的上网电价市场化改革，实施了新能源平价上网政策，完善了分时电价机制，健全抽水蓄能两部制电价政策。

- 建立了全国绿色电力交易体系，全国绿色电力交易电量超过 600 亿千瓦时。

#### 07 “双碳”工作基础能力明显提升

- 构建了统一规范的碳排放统计核算体系，将碳排放统计核算纳入了国家统计调查制度。

- 设立了碳达峰碳中和标准化总体组，实施了“十四五”百项节能降碳标准提升行动。

- 加强了绿色低碳科技创新，建立了 5 个“双碳”领域的国家重点实验室，并推动了“可再生能源技术”等关键研发项目，同时加强了“双碳”相关的专业人才培养。

#### 08 积极参与全球气候治理

- 坚持人类命运共同体理念，统筹对外合作和国内斗争，推动《联合国气候变化框架公约》缔约方会议达成了《沙姆沙伊赫实施计划》，努力构建公平、合理、合作共赢的全球环境治理体系。

- 积极推动绿色丝绸之路建设，深化南南合作应对气候变化，积极支持发展中国家在能源绿色低碳发展方面，提高其应对气候变化的能力。





图 1-26 国务院发布《中国应对气候变化的政策与行动》白皮书 来源 中国城市规划学会



图 1-27 国家发展改革委发布碳达峰碳中和重大宣示三周年重要成果 来源 国家发展改革委

### 1.2.4 实现城市净零碳转型的挑战

在全球碳排控制目标的有效实现方面，我们必须认识到协作性、时效性以及技术性突破是至关重要的举措，但同时也伴随着巨大挑战。当前，全球在推进碳中和目标方面进展缓慢，这主要归因于以下几个原因，这些原因需要我们深入思考和解决：

**01 缺乏对气候变化的有效数据共享和评估：**要有效地减少碳排放，我们需要准确的数据来监测和评估气候变化的影响。然而，许多地区仍存在数据不足的问题，这使得制定和执行减碳策略变得更加困难。

**02 缺乏跨领域协同模式或技术路径：**减碳行动需要不同领域的合作，包括政府、工业、农业和能源等。然而，目前缺乏有效的协同模式和跨技术领域的实施路径，这使得协作成本变得更加高昂而复杂。

**03 环境文化认同感存在差异：**不同地区和社群对气候变化的重要性和迫切性有不同的认知水平。这种差异导致了在减碳行动上的不一致，需要更广泛的教育和宣传来提高人们对气候变化的认识。

**04 人均碳排放主要集中于高收入人群：**高收入人群通常是城市经济发展的主要推动力，但他们也是人均碳排放的主要来源。这意味着减碳行动可能会与高收入人群的利益相冲突，需要制定策略来管理这一挑战。

**05 净零碳转型为长期任务：**实现净零碳

排放是一个长期任务，需要大量的资金和技术投资。这可能会受到资源有限和投资不足的限制，需要制定可持续的资金筹集计划。

**06 全球跨体制协作技术与执行门槛双高：**全球范围内的合作需要跨越不同的政治、经济和技术体制，这增加了合作的复杂性。同时，执行减碳计划所需的技术门槛也很高，这需要更多的研发和创新。

**07 全球合作力度有待加强：**虽然已经取得了一些进展，但全球范围内的合作力度仍然不够。我们需要更加紧密的全球合作来共同应对气候变化挑战，包括在国际政策制定、技术共享和资源分配方面。

要应对这些挑战，我们需要采取一系列综合性的措施，如数据共享和评估的改进、促进跨领域协同、提高公众意识、差异化减碳策略、可持续的资金筹集、促进技术创新、加强国际合作等。在面对这些挑战时，我们必须保持紧迫感，积极采取行动，以实现全球碳排控制目标。只有通过协作、创新和坚定的承诺，我们才能为未来的可持续发展铺平道路，减轻气候变化带来的影响。

### 1.3 数字化发展带来的机遇

近年来，全球主要国家纷纷意识到数字技术的崭新潜力，这些技术包括大数据、人工智能、5G、区块链、物联网和云计算等，它们不仅对数字经济的发展有着巨大推动作用，也有望引导治理模式的全面转型。在净零碳转型领域，这一数字技术浪潮也带来了前所未有的机遇和挑战。



图 1-28 2023 中国国际大数据产业博览会  
来源 Bigdata Expo.cn

与此同时，我们必须认识到实现“双碳”目标所面临的现实问题：

- 数字技术着力发展的主赛道还未完全覆盖到全球环境治理相关领域；
- 全球各国应对气候变化方面的行动还没有形成跨境合作体系；
- 数字化的技术发展所需的条件在快速应用到气候行动上会产生成本与时效问题。

如今数字化发展带来的机遇，正是如何找到数字技术应对这些问题的新的连接点与作用力：

**01 数据驱动的城市规划：**数字技术，尤其是大数据和人工智能，为城市规划提供了前所未有的能力。通过分析大规模数据集，城市规划师可以更好地了解居民行为、需求

和出行模式。这种深入洞察有助于制定更智能、高效的城市规划方案，以满足未来城市增长的需求，同时最小化资源浪费。

**02 碳减排的精细管理：**数字技术在碳减排方面发挥着重要作用。区块链技术可以用于跟踪和验证碳排放权的交易，确保排放权的透明度和合规性。同时，物联网技术可以监测和优化城市的能源使用，帮助城市实现更高效的能源利用，减少不必要的碳排放。

**03 智能能源供应：**5G 和云计算技术使城市能够更好地管理能源供应。智能电网和能源储存系统可以更好地整合可再生能源，实现能源供应的可持续性。这不仅有助于减少碳排放，还增强了城市的能源韧性，减少了对传统能源的依赖。

**04 绿色消费的推动：**数字技术可以促进绿色消费的普及。通过在线平台和应用程序，居民可以更容易地获得有关可持续产品和服务的信息。这有助于推动清洁能源的采用，减少对高碳产品的需求，从而降低了城市的整体碳足迹。

**05 城市治理的提升：**数字科技改善了城市治理的效率和透明度。通过数据监测和反馈，城市管理者可以更及时地了解城市的运行状况，采取针对性的措施来解决问题。这种实时反馈有助于城市更好地应对环境挑战，包括气候变化和自然灾害。

**06 全球合作的机会：**数字科技也为全球城市合作提供了新的方式。城市之间可以共享最佳实践、数据和技术解决方案，以共同应对气候变化和碳减排挑战。区块链技术和智能合同可以确保跨国合作的透明性和可信度。

综上所述，数字技术为城市净零碳转型提供了前所未有的机遇。通过合理利用这些技术，城市可以更有效地实现“双碳”目标，提高城市的可持续性，减少碳排放，改善居民生活质量，并促进全球城市之间的合作，共同应对全球气候变化挑战。





图 1-29 C40 CITIES 全球城市气候联盟  
来源 shortpixel



图 1-30 2023 世界人工智能大会在上海开幕  
来源 WorldAIC.com.cn

### 1.3.1 全球数字技术的发展与趋势

数字技术是当今世界的关键推动力，它们在各行各业都产生了深远的影响。从云计算到人工智能，从物联网到区块链，从生物科技到基因编辑技术，数字技术正不断演进，为全球带来了新的机遇和挑战。

阿里研究院、智谱 AI 近日联合发布《2023 全球数字科技技术发展研究报告》。报告基于 A Miner 科技情报平台的数据，利用文献计量方法，为数字科技研究前沿“画像”，揭示创新活跃程度，在系统、客观的分析方法基础上，总结 2023 全球数字科技十大趋势。这些趋势无疑对数字技术的未来发展具有重要的指导作用。

然而，值得注意的是，尽管数字技术领

域存在着众多的创新科技赛道和应用场景，但与城市应对气候变化的技术应用仍有很大的发展空间和潜力。因此有必要深入探讨数字技术如何为城市的碳生产、碳减排和碳管理应用场景提供革命性支持，以加速全球气候行动的升级。

首先，云计算技术已经成为数字时代的基石。它提供了大规模的计算和存储资源，使组织能够更高效地管理和分析数据。云计算不仅降低了成本，还提供了灵活性，使企业和政府能够更好地适应快速变化的需求。这对于低碳领域尤为重要，因为它能够支持能源管理、碳排放监测和气候建模等任务。

其次，人工智能 (AI) 和机器学习 (ML) 技术正在彻底改变各个领域。AI 和 ML 能够从大数据中提取信息、进行模式识别和自动

排名	热点前沿	TOP1% 论文数量 (篇)	高价值专利数量 (件)	前沿指数	平均出版年
1	生物大数据	694	13	0.99	2017
2	生成式对抗网络算法	141	150	0.98	2019
3	沉浸式扩展现实娱乐平台	54	1153	0.95	2018
4	量子计算机	81	1143	0.94	2017
5	AI 解码蛋白质结构	160	185	0.93	2018
6	移动边缘计算网络	175	1686	0.92	2018
7	可解释的 AI	126	41	0.92	2019
8	联邦学习	66	13	0.91	2020
9	混合计算	292	293	0.90	2018
10	能源区块链	67	33	0.86	2019

图 1-31 数字科技领域 10 大热点前沿技术 来源 《2023 全球数字科技技术发展研究报告》

化决策，这些技术在城市规划、能源管理和环境监测等领域具有巨大潜力。例如，智能交通系统可以优化交通流量，减少拥堵和能源浪费。在能源领域，AI可以帮助预测电力需求，以优化电力生产和分配。

再者，物联网（IoT）技术连接了数十亿的设备，将现实世界与数字世界相连。这些设备可以实时监测和传输数据，包括气象数据、能源消耗和环境参数。在低碳领域，IoT可以用于监测和管理可再生能源系统，实现更高效的能源生产和分配。

此外，区块链技术提供了一种去中心化的、安全的数据记录方法。它被广泛应用于金融领域，但也有潜力用于碳排放跟踪和碳交易。区块链可以确保能源的来源和使用都能够被透明地追踪，从而提高能源市场的可持续性。

尽管数字技术在应对气候变化方面潜力巨大，但当前依旧存在挑战：

**01 碎片化的应用：**数字技术在气候变化应对中通常是零散的，没有充分整合到全球协同的战略行动中。此外，城市规划、能源管理和气候监测等领域使用的技术往往相互独立，缺乏协同及技术加乘作用，导致潜在的效益未被充分实现。

**02 缺乏全球协调：**气候变化是全球性与开放性问题，但数字技术的应用通常局限于特定技术或行政边界条件。缺乏全球协调机制和标准化路径，可能导致数据或技术接口不一致，难以进行跨国界的合作。

**03 数字鸿沟：**一些地区和社群可能无法充分利用数字技术，因为它们缺乏数字基础设施或数字资源与能力不足。这种数字鸿沟可能会限制气候变化应对的全面性和公平性。

**04 数据隐私安全：**处理大量敏感数据乃至达到跨境共享时，数据隐私和安全问题变得尤为敏感而关键。从个人到国家对其数据的隐私或安全担忧可能限制数字技术的广

泛合作及应用。

**05 数字基础设施的高碳排：**尽管数字技术可以提高效率，但重要数字基础设施如数据中心其自身也需要大量能源以保持有效运行。这可能与低碳目标相抵触，需要在可持续性方面平行发展优化的减碳方案。

因此，为了更有效地引导数字技术应对气候变化，需要考虑采取一系列措施：

**01 重点行动规划：**城市和国家需要制定综合的数字化和低碳发展战略，确保各种数字技术应用可以有机整合，共同应对气候变化挑战。

**02 跨境投资与合作：**城市和企业需要增加对数字技术的投资，包括数字基础设施、人才培养和研发。同时积极参与国际合作，建立国际跨境合作伙伴关系，分享最佳实践和经验。

**03 完善政策支持：**政府应该制定相关政策，鼓励数字技术的可持续发展，同时确保数据隐私和安全。政策还可以促进数字技术的普及，减少数字鸿沟。

**04 调动社会与技术资源：**重视社会价值的孕育来引导社会资源转化为应对气候变化的支持，同时提高城市规划师、工程师和决策者的数字素养与气候行动的关注度，使他们能够更好地理解和应用数字技术来解决气候变化问题。

**05 可持续性考虑：**在推动数字技术的同时，需要重视其可持续性，包括能源效率和碳足迹。例如采用绿色数据中心技术和可再生能源以降低数字技术或设施对环境的影响。

总结而言，全球数字技术的迅猛发展正在重新定义净零碳转型的未来。这些技术的多面向发展为城市的碳生产、碳减排以及碳管理等关键领域提供了新的机遇，使城市能够更有力地应对气候变化的挑战。在全球范围内，面对不断加剧的气候变化，各国都积极采取行动，力图稳定全球气温，减轻气候变化带来的影响。在这一过程中，实现净零排放成为了一个至关重要的目标，而数字技



术创新则被认为是实现这一目标的关键路径。这需要政府、行业和学术界的合作，以共同推动数字技术在城市气候行动中的应用。只有通过创新和合作，我们才能更好地利用数字技术的力量，提高城市的气候适应能力，减少碳排放，为全球气候行动做出更大的贡献。

### 1.3.2 数字科技助力城市净零碳转型

数字技术在城市净零碳转型中扮演着关键角色，积极引领着可持续人居环境的发展。它不仅促使科技与人文价值观融为一体，也助推城市与自然的共生共存，旨在实现城市净零碳转型目标。

在追求“双碳”目标的过程中，数字科技具备独特的潜力，可在路径规划、实践方法、数据监测、测算与反馈、以及评估等方面发挥作用。它还有助于协调城市的能源供应与消耗，推动清洁能源的采用，促进创新能源模式与业态的发展，鼓励绿色消费，提升城市治理效能，增强公共服务效率等领域，发挥着至关重要的作用。数字科技所赋予的能力，通过协同作用，有助于减少排放、提升能源效率，增强城市韧性，从而为未来实现城市净零碳目标提供创新解决方案。

数字科技将在以下几个方面助力城市净零碳目标的实现：

**01 发展新型能源技术，提高能源效率，降低温室气体排放：**数字科技的应用可以加速新型能源技术的研发和部署，例如智能电网、太阳能和风能等清洁能源的集成。通过大数据分析和人工智能，我们能够更好地管理和优化能源供应链，降低能源浪费，减少温室气体排放。此外，数字孪生技术可以帮助模拟城市的能源系统，以找出提高能源效率的潜在机会，从而推动城市向净零碳转型迈出坚实的一步。以丹麦首都哥本哈根为例，该城市成功实施了智能电网系统，通过数字监控和控制，有效整合了风能和太阳能，实现了能源供应的稳定。此外，智能建筑技术和智能家居系统也有助于减少电力浪费，从而降低了温室气体排放。



图 1-32 哥本哈根智能城市链接 来源 Europe-re.com

**02 活化城市基础设施，助力精细治理，增强公共服务效率：**数字科技不仅可以改善城市能源系统，还可以提升城市基础设施的运营效率。智能交通管理、智能建筑和智能水务系统等数字化基础设施可以监测和调整城市资源的使用，减少能源浪费和环境影响。此外，数字化城市规划工具可以帮助城市决策者更好地理解城市的运作方式，从而实现更精细的治理，提高公共服务的质量和效率。例如中国深圳采用了大数据分析和智能交通系统来管理城市交通。通过手机应用和交通监测设备，城市可以实时监测交通流量，并根据需要调整信号灯和路线，这减少了交通堵塞与汽车排放。此外，深圳积极推动电动汽车和电动公交车的发展，提供充电基础设施，以减少燃油驱动车辆的数量，从而降低碳排放。



图 1-33 深圳智慧交通体验街区 来源 sznews.com

**03 引导绿色生活价值，促进公众参与，锚定生态人文意识：**数字科技也可以在促进绿色生活方式和提高公众参与方面发挥关键作用。通过智能手机应用程序和社交媒体，城市居民可以更容易地获得有关可持续生活

的信息和资源。此外，数字技术可以支持可持续出行，例如共享出行平台和智能交通管理系统，从而降低城市的碳排放。与此同时，数字技术还可以帮助城市管理者更好地理解市民需求，以便更好地满足他们的期望，锚定生态人文价值观。阿姆斯特丹作为荷兰的文化和艺术中心，通过数字化文化活动和互动展览，成功地将生态主题融入艺术和文化中，吸引了更多市民参与环保活动。这种数字技术赋能文化导向的环保意识有望在城市层面推动更多的可持续举措。



图 1-34 阿姆斯特丹绿色文化艺术节  
来源 Julielemberger

**04 推动绿色金融发展，发展绿色产品，带动低碳经济发展：**数字科技在金融领域的应用也有助于城市净零碳的实现。数字化金融平台可以促进绿色金融的发展，为可再生能源和可持续基础设施的投资提供资金支持。此外，数字科技可以帮助跟踪和验证绿色产品的环保性能，从而鼓励消费者购买更环保的商品和服务。这种趋势有望促使更多企业采取低碳经济模式，推动城市向净零碳的目标迈进。通过区块链技术，伦敦建立了碳市场，促使企业和投资者更容易融资和支持可持续项目，如可再生能源和能效改进。

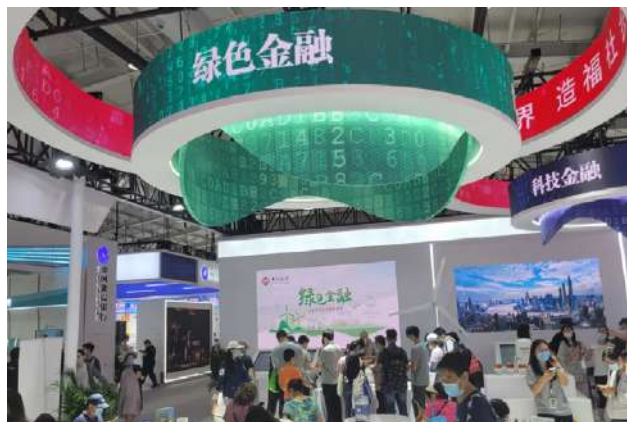


图 1-35 中国银行推出绿色金融产品及服务 来源 IIGF

**05 驱动创新商业模式，鼓励绿色消费，实现零碳经济腾飞：**数字科技的崛起还催生了许多创新商业模式，这些模式有助于城市实现零碳经济。共享经济、电动交通和智能城市解决方案等行业正在蓬勃发展，为城市提供了新的低碳替代方案。数字科技也可以帮助企业实施碳排放跟踪和减排计划，推动他们朝着更环保的方向发展。这些举措不仅有助于减少城市的碳排放，还为城市经济的可持续增长打下坚实基础。例如，上海建立碳普惠消纳机制，一方面对接上海碳市场，鼓励本市纳管企业购买碳普惠减排量完成碳排放权清缴履约；另一方面鼓励企业、个人及大型活动主办方购买碳普惠减排量实现碳中和。



图 1-36 上海碳普惠宣传活动 来源 Unionpay.com

数字科技在城市净零碳转型领域的发展不仅可以提高城市的能源效率和环保性能，还可以促进绿色生活方式的普及，激发公众参与，加速绿色金融的发展，推动创新商业模式的涌现，从而实现城市净零碳的愿景。数字技术创新是应对气候变化和实现城市净零碳转型的关键机遇，我们有信心通过数字技术的力量，共同塑造更可持续、更环保的城市未来。为了确保数字科技的最大潜力得以释放，我们需要在政策、技术研发和社会参与等方面采取综合措施，以建设更加可持续的城市，为子孙后代留下更美好的生活环境。

数字创新助力  
净零碳城市

02



## 第二章

城市在产生大量的碳排放的同时，也是积极应对气候变化、采取缓解行动的重要战场。

### 2.1 建筑与住房

全球约 40% 的碳排放是由建筑业产生的。建筑和住房的碳排放主要有两个来源，分别是建筑材料和建筑运营施工，基本覆盖了建筑和住房的全生命周期。以下将对数字技术在建筑和住房领域的应用进行探讨，说明其应用如何实现低碳排放目标。

#### 2.1.1 设计、施工、运营阶段的能源管理

**01 设计阶段：**建筑和住房的生命周期从设计开始，数字技术从这一阶段即开始在减少碳排放方面发挥作用，主要方式是为建筑和住房避免在后续建设和运营阶段产生的潜在的碳排放。具体来说，例如，大数据和人工智能可以进行地形地貌的空间计算和分析，选择对生态影响最小标准面来施工，使挖方填方尽量保持平衡。利用人工智能赋能的分析工具，可对建筑环境的空间利用和气流布局进行优化设计，从而在未来的运营中减少能耗。

**02 施工阶段：**在施工阶段，BIM 在减少碳足迹方面尤为重要。作为一种服务于建筑生命周期的方法，BIM 可以管理能耗，跟踪和监测建筑材料从制造、运输到使用的碳足迹。它还可以有效地计算实际安装或施工步骤中的潜在冲突，从而减少材料浪费，间接地减少碳排放。

**03 运营阶段：**建筑运营使用过程中所产生的碳排放量约占总排放量的 28%。因此，运行阶段是实现减排的关键环节。在此阶段，多种数字技术被用于减碳降碳，主要通过优化照明、供暖和制冷的能源供应实现。

具体而言，智能传感终端能够提供温度、

湿度、二氧化碳浓度、人员移动等环境参数的实时监测数据。数据通过网络共享或传感器连接到物联网，使利益相关者更好地控制能源使用量并进行预测性维护。通过大数据分析，监测数据还可以用于预估未来某段时间内的能源需求量。

数字孪生作为一种通过实时数据交换构建真实主体的虚拟模型技术，能够在不同范围内对维护和可持续性进行建模、分析和决策。它不仅可以通过开发实时数字模型来监控和管理整个建筑在日常运行中的能耗，还可以预测物理设备原型的更换时间周期。5G 和物联网技术可使远程管理和控制连接设备实现更快、更高容量的数据传输。

#### 2.1.2 智能供暖与制冷供应

供暖和制冷是建筑运营的一部分，但由于其在建筑运营阶段的高能耗占比，在此单独描述如何运用数字科技进行减碳降碳。

就建筑单体而言，数字技术通过智能建筑系统和控制暖通空调 (HVAC) 的集成减少碳排放。此类系统的基本架构一般由若干层级构成。位于第一层的是具有感知和交互功能的智能设备，用于获取不同结构的各类数据，如环境数据和能耗数据。第二层一般是数据集成层，负责数据收集和统一数据格式。第三层是数据处理层，基于建筑环境中的最终应用情况部署不同的智能规则，例如，采用基于径向基函数网络和粒子滤波的机制进行室内定位，采用基于遗传算法的优化方法计算最优舒适条件等。最后一个层级是应用层，其中智能供热管理在降低建筑运行能耗方面占主要地位。



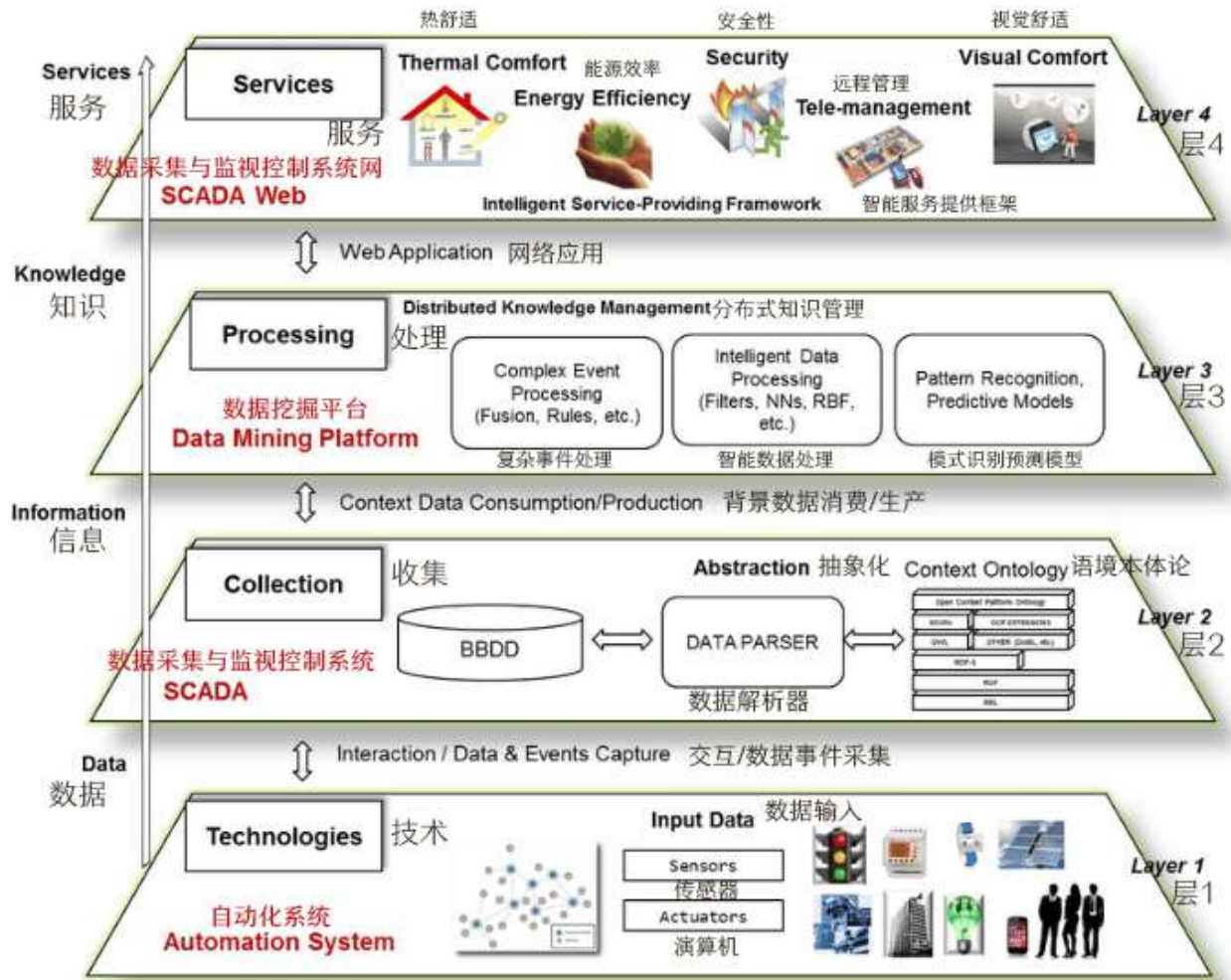


图 2-1 智能楼宇管理系统通用架构 来源 Sensors,2014,14(6).



图 2-2 智能水务管理系统架构示例 来源 中国移动. 中国移动新型智慧城市白皮书智慧水利分册 (2022 版)

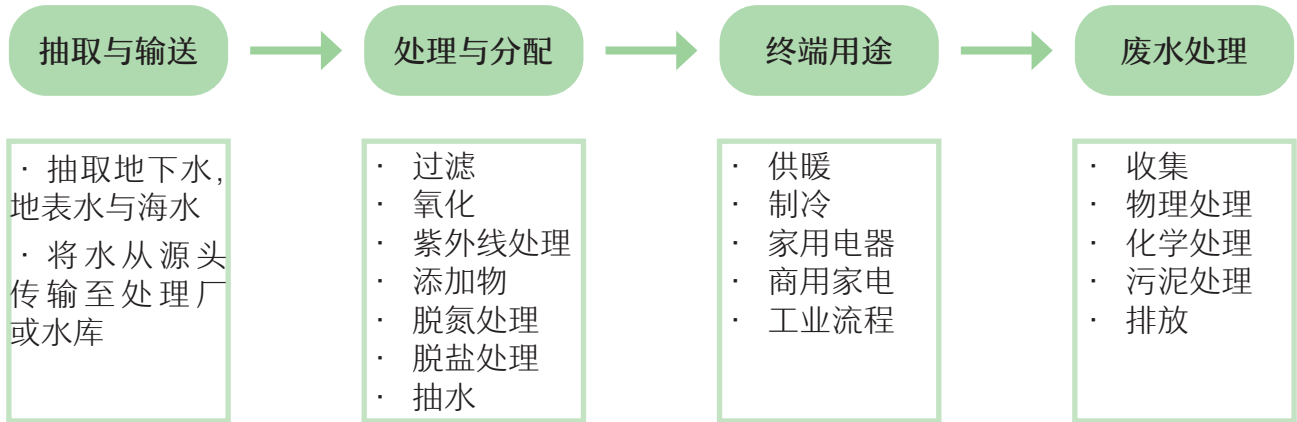


图 2-3 涉及能源使用的水部门过程的概念模型 来源 Nature Climate Change,2011,1.

## 2.2 城市用水

能源在城市供水的诸多环节都不可或缺，然而这一领域的能源消耗往往被低估。自 2000 年以来，中国用于饮用水的电能消耗翻了一倍。由于城市用水面临越来越多的挑战，例如水资源短缺、极端天气和基础设施维护等，城市用水的能源消耗和碳排放将可预见性地增长。当前，针对多种应用场景的智慧水务管理已涌现了诸多系统性解决方案。为了阐明数字创新如何在水务方面促进减碳甚至零碳，本节将说明有哪些技术用于供水及处理阶段，及其如何发挥作用。

### 2.2.1 水资源分配

水利部《“十四五”智慧水利建设规划》提出构建智慧水管理体系，提高水资源配置能力。在宏观层面，利用数字孪生技术，建设数字孪生流域，建设智慧水利体系，通过总体规划优化水资源利用，从而避免输水过程中不必要的大量碳排放。

在地区层面，数字技术还可以降低局域内水资源配置过程中的碳排放。人工智能与传感器网络能够赋能水流监测；大数据分析和人工智能技术能够从大量的时间序列数据中探索识别规则模式，用于用水量预测；多种算法可以通过配置水泵运行参数、制定抽水计划、优化供水方案等对水库运行进行优化。

### 2.2.2 供水网管的运营和维护

作为供水过程之一的运输和分配环节也涉及能源使用和碳排放。然而，不良的供水管网维护会导致供水效率低下和能源浪费。事实上，供水管网维护不善是造成水资源浪费的最重要原因。以下内容将简要说明数字技术如何通过管网压力管理和漏损控制赋能供水管网的运行和维护。

通过收集供水网络的历史数据（如管网年龄、管材、宽度、深度等）和外部实时数据（如当地降水、温度、运输量等），利用深度神经网络训练生成泵站压力管理模型。该模型用于泵站电机频率参数的调整，以及管道压力和流量预警阈值的设置，从而避免管道爆裂等潜在事故的发生。

传统的声学监测方法目前广泛应用于供水行业，然而这种方法在检测微小的泄漏点时效果较为有限。奇异谱分析是一种非参数自适应方法，能够处理非线性时间序列数据，对所研究的时间序列的轨迹矩阵进行分解和重构，提取时间序列数据中的不同成分序列。结合信号处理技术，该方法可以识别微小泄漏所产生的声音特征。

此外，压力传感器、DMA 分区计量法、GIS、大数据分析等技术能够在不同的时空维度上分析漏损点的数量，定位漏水位置；由于经常缺少管网水量、压力等监测数据，无监督学习方法也常被采用，例如，利用基于密度的聚类方法识别由于管道爆裂事故而失去空间相关性的数据，从而实现漏损检测。

### 2.2.3 废水处理

在不包括最终使用环节的情况下，水务方面碳排放量最多的是废水处理环节。本节将主要介绍数字方法如何在降低能耗的情况下提升处理效率。

活性污泥法是污水处理的主流工艺，曝气池中的溶解氧浓度是关键工艺参数。为了更好地调控溶解氧浓度，会使用 PI 或 PID 控制策略，并使用多种解决方案改善其适应性(如模糊自适应 PID 控制、多变量稳健控制、模型预测控制)。神经网络算法(如反向传播、稳健自适应、径向基函数)也被用于溶解氧的参数调整。通过工艺参数的调控，可以更精准地控制曝气量，既保证了处理水的质量，同时使总能耗最小化。

水回用正在成为一种广泛使用的提高水资源利用效率的循环方式，这使得水质监测越来越重要。人工智能技术可以预测多种化学物质的浓度，如三卤甲烷、氯、生物物质。通过训练水质特征与化学监测参数之间关联关系的神经网络，并结合序贯贝叶斯分析方法，可以提前预测和避免潜在的污染事件。

## 2.3 城市交通

交通运输产生的二氧化碳排放量约占全球二氧化碳排放量的 22%。实现绿色低碳城市交通的关键途径是建设智能交通系统和智能充电。

### 2.3.1 智能交通管理

智能交通系统促进了通勤者对实时交通信息的了解，同时赋能当地交通管理部门优化交通管理决策，从而提高了交通效率，减少道路拥堵造成的能源浪费。

智能交通系统的通用架构一般由若干层次组成。传感设备所在的基础层用于数据收集。其中，硬件包括车辆识别器、车辆定位器、传感器和摄像头等。通过采集车流量、车速、车重、延误等数据，在数据处理层可以进行纠错、数据清洗、数据综合、自适应逻辑分

析等处理。在其他公共数据的支持下，旅行者可以通过最终的应用层获取多种应用服务，例如实时交通状况信息、不同交通工具的行驶速度、道路事故情况和最优路线选择等，由此在提高交通效率的同时，减少交通运输产生的碳排放。

### 2.3.2 智能充电设施

**01 充电设施选址方案：**合理规划充电系统可以降低能源消耗和碳排放。建立准确的充电需求时空模型是分析电动汽车与电网交互情况的前提，也是制定充电设施选址计划的首要步骤。大数据和卫星遥感技术能够分析模拟交通数据和出行模式等，由此支撑分析充电需求的时空分布，从而更好地规划充电设施的位置和数量。

**02 电动汽车入网：**电动汽车入网 (V2G, Vehicle to Grid) 的核心理念是将电动汽车视为微型的能量储罐，作为电网的一部分。电动汽车具有发电能力，但当其处于停车状态时，产生的能量在 90% 的时间内未被使用。通过电动汽车入网技术，在用电需求较高且可再生能源不足时，电动汽车放电入网，可以降低用电高峰时段的负荷，即“削峰”；在用电需求较低且可再生能源充足时，对电动汽车充电，从而提高电网的利用率并增加对新能源的消纳，即“填谷”。通过平衡电网负荷，扩大新能源的使用比例，从而降低碳排放。

## 2.4 城市垃圾和循环利用

垃圾废物及其处理所排放的温室气体占 2017 年温室气体排放总量的 3%，而根据英国政府的数据，这一领域的碳排放量呈增长趋势。因此，推动执行“3R”原则，即减量化、再利用和再循环，变得愈发重要。在这一方面，数字化可以通过多种方式发挥作用，例如，预测废物产生模式、导航处置设施和优化燃烧方法。除此之外，数字技术能够赋能废物回收和分类，也是以下两个小节着重描述的细分场景。

### 2.4.1 废物回收



数字科技能够通过建立激励机制来鼓励回收利用。利用以数据共享、数据库和物联网为主导的技术，通过分析垃圾收集量的模式，可对可回收垃圾的价格进行调整。由此不但能够平衡不同类型废物的收集量，而且能形成价值激励机制，提升经济回报的吸引力。

#### 2.4.2 垃圾分类

将可回收废物从城市固体废物中转移出来，对于减少废物总量至关重要。人工智能的分支图像识别和机器学习，可以提高分类效率，提高分类过程的安全性。最常用的人工算法是线性回归 (LR)、遗传算法 (GA)、支持向量机 (SVM)、人工神经网络 (ANN) 和决策树 (DT)。利用前端智能摄像头和后端人工智能算法，可以准确区分相同材料的细微差别，从而提高废物分类的效率，有利于回收有价值的主体作为制造的二次原料，减少废物的总量填埋或燃烧，控制一线工人的事故和健康风险。此外，数字方法还可以为优化废物收集路线做出贡献。配备物联网的垃圾车可以生成和传输实时数据。同时，通过智能传感器监测容器的填充水平。对收集到的数据进行综合，最后给出垃圾处置位置的最优方案。

### 2.5 城市能源

2022 年，能源燃烧和工业过程产生的二氧化碳排放量占能源相关温室气体排放量的 89%，因此是一个管理和控制排放的关键领域。能源供给本身是数字技术应用于碳减排的场景，也是建筑和住房供电、城市供水、交通运输和废物管理等其他场景中控制碳排放的手段，具有需要格外关注的意义。

#### 2.5.1 智能电网

智能电网是自动化供电网络，连接电力供应商、输电网和终端用户，实时监控电力和信息从发电厂到用户终端的相互流动。

智能电网的建立主要需要七个领域的技术，包括灵活的网络拓扑结构、综合能源

与通信系统架构 (IECSA)、快速仿真与建模 (FSM)、分布式能源 (DER)、先进配电自动化 (ADA)、智能电子设备 (IEDs) 和先进计量基础设施。上述每一项都需要数字技术的支撑，特别是 ADA 和 IEDs。智能电网采用数字技术，更好地实时匹配电力供需，同时最大限度地降低成本，保持电网的稳定性和可靠性，从而于扩大可再生能源的使用，以及创造更加可持续的能源结构具有重要意义。

在智能电网的应用中，数字技术也发挥重要作用。利用人工智能、物联网、大数据等先进技术，可以对智能电网进行智能维护。基于物联网技术，实现线路监控、设备巡检和实时控制，提高故障响应能力。利用云计算和大数据技术构建“重过载预警模型”，有效预测配变过载，结合数据分析和机器学习，通过原因分析、快速响应和精确定位，实现对电网的定性评估和自动干预。

#### 2.5.2 能源互联网

智能电网强调电网信息化和智能化，而能源互联网的概念也在兴起。这一概念是以互联网为基础解决能源问题，可视为智能电网的 2.0 版本。

能源互联网的建立离不开数字技术，所使用的技术与智能电网类似，包括大数据、云计算、智能控制器，以及有线网络 (IP4/IPV6)、无线网络 (5G、NB-IoT)、人机接口 (HCI) 等。通过配备数字技术，能源互联网可以有效地克服电力输出不稳定和弃光弃风等问题，从而提高可再生能源的使用比例。

能源互联网的应用和运营也通过数字技术得以增强。在能源消耗方面，利用聚类和分类算法对能源系统进行合理定价，优化能源结构。在能源存储方面，在用户端闲置电池中存在大量分散的能量作为存储资源。基于云的电池储能系统 (BESS) 可以决定何时存储和释放能量，有助于“削峰填谷”，节省可再生能源，并提供具有成本效益的能源供应。除此之外，房屋和建筑物储存的能量也可以进入电网，使其成为能源供应单元，增强电网的弹性。

## 2.6 碳管理

数字技术的使用可以为碳核算、碳交易和碳融资做出重大贡献。

目前，可靠的碳核算是碳交易和碳融资的必要前提。应用无人机(UAV)、卫星和人工智能可以建立二氧化碳排放实时智能监测系统，减少人为错误，提高时效性。大数据、云计算和物联网为跟踪产品碳足迹的生命周期提供了更准确的方法。

数字技术的创新应用也促进了碳交易和碳融资。区块链是一个分布式数据库，可以建立实时可信的交易环境，维护交易记录的安全。区块链的不变性可以保证碳交易和融资的数据隐私性，使碳交易具有可追溯性。大数据分析能够提供碳市场预测和定价策略，从而提高碳交易和融资的效率。同时，知识图谱、深度学习可以应用于碳交易和融资信用体系的开发。有了信用报告的可靠背书，即可以为企业提供银行授信、融资担保等服务，加快了碳交易和融资的效率。

## 2.7 小结

本章介绍了数字技术作为创新方法，如何在六大场景下助力建设净零碳城市。以技术为维度，数字技术从两方面赋能净零碳城市的建设，一方面是通过减少不必要的活动，另一方面是通过对建设、运行的过程进行优化和非物质化实现减碳或降碳。其中，5G、物联网技术作为信息通信的基础，支撑数据监测、统计、核算过程中的数据采集、数据传输（例如支撑建筑运营的实时数据收集、能源互联网的动态数据传输）；大数据与云计算技术赋能算法与算力，主要通过数据挖掘、数据分析支撑情景预测、过程模拟（例如水资源分配与供水管网的运维）；人工智能技术通过深度学习、趋势分析，支撑各场景的决策优化（例如废水处理的水质监测与垃圾分类）；区块链技术主要应用于数据可信与交易激励场景，支撑碳管理的建设实现。

以场景为维度，数字技术在建筑与住房

场景下支撑全生命周期，尤其是运营阶段的供暖和制冷，实现降耗减碳；在城市用水场景下，通过调控水资源分配，优化供水管网的运维，以及优化废水处理流程进行减碳；在交通场景下，主要通过提升运输效率和新能源交通设施促进减碳、降碳；在城市垃圾与循环利用方面，通过建立奖励机制、提高回收利用效率减少能源消耗；城市能源方面，通过提升传统能源功能效率，解决清洁能源的消纳与稳定问题，在能源供给的角度促进净零碳城市建设。

通过下图梳理了各场景在能源供给与消耗，以及碳的产生与减少方面的关系。经由数字技术的驱动与创新，原本的能源消耗场景诸如城市交通、建筑与住房，转化成为能源供给方，体现了数字创新对于传统场景的重构。这也是为什么数字科技对于应对全球气候变化具有重要意义。未来，数字化将进一步成为减碳、降碳、零碳的重要技术路径。

为了更好地介绍各项数字技术的工作原理，下面简要介绍本章中提到的每种主要技

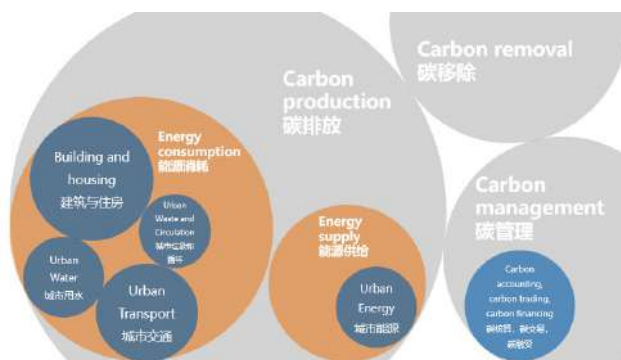


图 2-4 各场景与能源供给与消耗，以及碳的产生与减少方面的关系 来源 作者自绘

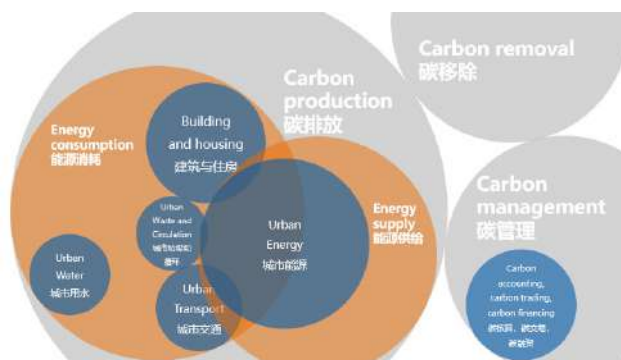


图 2-5 经数字技术赋能的各场景，与能源以及碳的关系的重构 来源 作者自绘

术，并归纳总结本章节的各个场景主要使用了哪些技术或系统。

标题	场景	细分场景	主要技术（及系统，如适用）	技术创新点
建筑与住房	设计、施工、运营阶段的能源管理	设计阶段	大数据、人工智能	径向基函数网络和粒子滤波的机制；遗传算法
		施工阶段	BIM	
运营阶段		智能传感器、大数据、数字孪生、物联网、5G		
	智能供暖/制冷供应	单个建筑单元的暖通空调和能耗管理	物联网与数据处理（及其构成的智能楼宇系统）	
城市用水	水资源分配	优化水资源利用总体规划	数字孪生	
		水流监测	传感器、物联网	
		预测用水量	大数据、人工智能	
	供水网管的运营和维护	优化水库运行	人工智能	随机模糊神经网络；噪音遗传算法
		控制管道压力	人工智能，传感器，大数据	深度神经网络
		检测微小泄漏	传感器、GIS、大数据、AI 算法	奇异谱分析（非参数模型自适应控制算法）
	废水处理	控制处理过程	数字孪生，人工智能	控制策略，算法
		监测水质	人工智能	神经网络与序贯贝叶斯分析方法
城市交通	智能交通管理	提高运输效率	传感器、无线通信、大数据、人工智能算法（及其构成的智能交通系统）	远距离无线电
	智能充电设施	定位充电设施	大数据、卫星遥感	
		车辆到电网 V2G	电动汽车、充电设施和电网的通信和控制	



标题	场景	细分场景	主要技术（及系统，如适用）	技术创新点
城市垃圾和循环利用	废物回收	建立激励机制	数据共享、数据库和物联网	机器学习（线性回归、遗传算法、支持向量机）
		现场废物分类	人工智能算法，智能传感器	
	垃圾分类	优化废物收集路线	物联网，数据共享，数据处理	
城市能源	智能电网	建立智能电网	灵活的网络拓扑结构、集成能源和通信系统架构 (IECSA)、快速仿真和建模 (FSM)、分布式能源 (DER)、高级配电自动化 (ADA)、智能电子设备 (IEDs) 和高级计量基础设施	重过载预警模型
		维护智能电网	人工智能、物联网、大数据、云计算	
	能源互联网	建立能源互联网	大数据、云计算、智能控制器、有线网络 (IP4/IPV6)、无线网络 (5G、NB-IoT)、人机接口 (HCI)	
		用户侧能耗和储能	人工智能	
碳管理	碳核算	碳核算	无人机、卫星、人工智能、大数据、物联网	
		建立诚信的交易环境	区块链	
	碳交易和碳融资	提供碳市场预测和定价策略	数据分析	
		发展碳融资信用体系	人工智能	

图 2-6 数字技术赋能城市净零碳转型的 6 大场景与技术运用  
来源 作者自绘

数字创新赋能  
净零碳城市路线图

03

## 第三章

### 纲要

2022年，全球与能源相关的二氧化碳排放量超过368亿吨，增加了0.9%，其中，中国与能源相关的二氧化碳排放量为121亿吨，受到COVID-19疫情因素影响，同比基本持平略微下降0.2%。

城市作为产业经济活动的集聚地及消费活跃中心，以不足3%的陆地面积容纳了世界56%的人口，到2050年世界城市人口比例预计升至66%。此外，城市是资源的消费者，其消耗了全球67%-76%的能源，排放了全球75%的温室气体。

国城市的净零碳化在“双碳”目标的大背景下，刻不容缓。而“碳中和”不是一个一劳永逸的状态，因此达成“碳中和”的城市净零碳化路线图，也将是复杂的系统工程，是碳源和碳汇动态平衡的过程；因此，净零碳化城市路线图应该是一整套，能够系统应对各领域节能减碳技术实施效果、实施成本，以及负碳技术、森林碳汇水平等多种因素不断变化的动态方案。

本章，将以物联网、大数据、云计算和人工智能为代表的数字创新技术，通过“掌握碳数据-制定碳策略-精明碳行动”三步走构建净零碳化城市路线图，推动城市数字化、绿色化、可持续发展，实现“碳中和”目标。

### 3.1 掌握碳数据

城市作为产业经济活动集聚地和消费活跃中心，同时也是政府政策调控的主要单元。相较国家范围而言，城市尺度，在应对气候变化时能够更加灵活、快速地采取相应的措施，因此，城市主体成为应对全球气候变化的主要参与者。因此掌握城市碳排放数据是净零碳化城市路线图的第一步，其目标主要有两个：

从统筹规划层面来看，城市净零碳化涉及能源、交通、工业、建筑、农业、生活等方面节能降碳和新能源替换政策、技术的制定和实施，需要建立在掌握各领域、各地域碳排放数据的前提下，“全国一盘棋”，有的放矢，系统推进，切不可漫无目的，头痛医头，脚痛医脚。

从系统效率层面来看，通过对能源消费活动、碳排放数据的采集、分析和建模，结

合深度学习以及大模型等AI技术手段，可实现能源、交通、建筑、工业等行业用能策略和流程规划等场景的优化，从而从系统的角度提升运行和用能效率，实现节能降碳。

城市边界的碳排放数据采集和核算，也存在其特殊性：在当今愈发开放的市场经济环境中，城市的功能性及消费型属性决定了城市需要通过跨城市边界的物流流转，以满足城市所需的商品和服务等功能需求，这就造成了化石能源使用、原材料和产品流通等行为所产生的碳排放生产和消费在地理上割裂，结果也导致了大量间接碳排放隐含在二次能源使用、产品和服务消费中，并随着供应链跨城市边境进行转移，这大大影响了城市为边界碳排放数据采集和算的系统性和准确性，这些流转于城市边界之间的碳排放，通常被称为城市碳足迹。城市碳足迹的核算是否视角得当、范围清晰，在城市净零碳化路线图的系统规划和统筹推进中，也非常关键。



对此，本节将从建立城市级别可测量、可报告、可核查（Monitoring, Reporting, Verification）的碳排放数据管理平台出发，通过构建城市碳数据底座。借助大数据、物联网技术推动碳排放数据实时采集，精准核算及溯源，选择科学合理的碳核算视角和碳排放采集方式，对城市各基础碳排放单元及其跨边界的碳足迹进行准确核算，有助于厘清城市的碳排放在全国乃至全球供应链上的责任分配。同时，在数据的支撑下，打造“双碳”大脑，利用 AI 技术对排放数据进行建模，能够帮助城市决策者进行及时高效的城市碳排放管理策略制定，提高城市各领域运行的系统性效率。

### 3.1.1 建设碳数据底座

#### 1 选择科学合理的城市碳核查边界和视角

城市系统为边界的碳排放核算方法，根据管理目标的不同，主流的核算视角主要有四种：

##### 01 基于地域范围内生产的核算视角：

城市地理行政边界内所有能源及非能源活动（化学过程和动物肠道等）直接产生的碳排放。该基于生产视角，难以厘清跨城市边界的二次能源消费和范围 3（Scope3）产生的碳排放，不利于系统性推动全国乃至全球系统性降碳。

##### 02 基于地域范围和供应链的核算视角：

除地域内直接排放外，还包括以外调电力、热力以及主要工业原材料等为代表的跨城市边界活动，而在上游供应链引发的间接排放。该视角考虑了二次能源消费和主要原材料在上游产生的碳排放，但对含碳产品消费对下游的影响仍未能纳入考虑，同样不利于整体系统性降碳的进程。

**03 基于最终消费的核算视角：**由城市边界内最终消费活动（政府消费、居民消费等）驱动的在全球价值链中产生的所有直接碳排放和间接碳排放。该视角单纯从最终的消费视角考虑碳排放情况，该视角最能够反映需求侧的碳排放情况，也最利于反映碳源

的排碳意愿和降碳责任。但该视角要求所有的含碳产品和商品的流转碳足迹在全球范围内均能够统一标准、精确计量，这从可操作性和性价比角度来说，难以实现。

##### 04 基于碳排放全生命周期的核算视角：

即城市地理边界内开展的能源及非能源活动产生的直接碳排放与发生在城市边界外的间接碳排放之和，构建涵盖上游生产输入、直接使用、下游流转、处置和回收的全生命周期碳排放核算视角。该视角既考虑了直接碳排放，也考虑了二次能源消费和含碳产品上下游流转的碳足迹，能够较为全面的从需求侧反映碳排放责任和意愿，同时兼具可操作性和性价比。

因此，基于碳排放全生命周期核算视角，在现阶段，能够科学合理的从需求的角度和碳排放系统统筹管理的目标出发，同时，秉承了习近平主席提出的“碳达峰、碳中和”全国一盘棋的指导方针以及“四个一体”的整体推进原则。但与此同时，该核算也给碳排放数据的采集和流转提出了更高的要求，需构建与之匹配的数字化碳排放采集、核算和分析体系。

#### 2 根据碳源不同，选择相应的数据采集和碳排放核算方式

在碳源识别和数据采集上，根据城市消费视角碳核算的要求，将城市的碳源进行系统分类，并根据不同的碳源类型，选择和实施与之相匹配的碳排放采集手段和核算方法。

根据 ISO14064 标准，二氧化碳排放碳源可分为三大类型：直接排放（范围一）、间接排放（范围二）和隐含碳排放（范围三），对此，需有针对性的选择相应的数据采集方法对能源活动、含碳原材料消费量和直接碳排放量等相关数据进行采集，并通过排放因子法、质量平衡法和实测法进行碳排放核算。

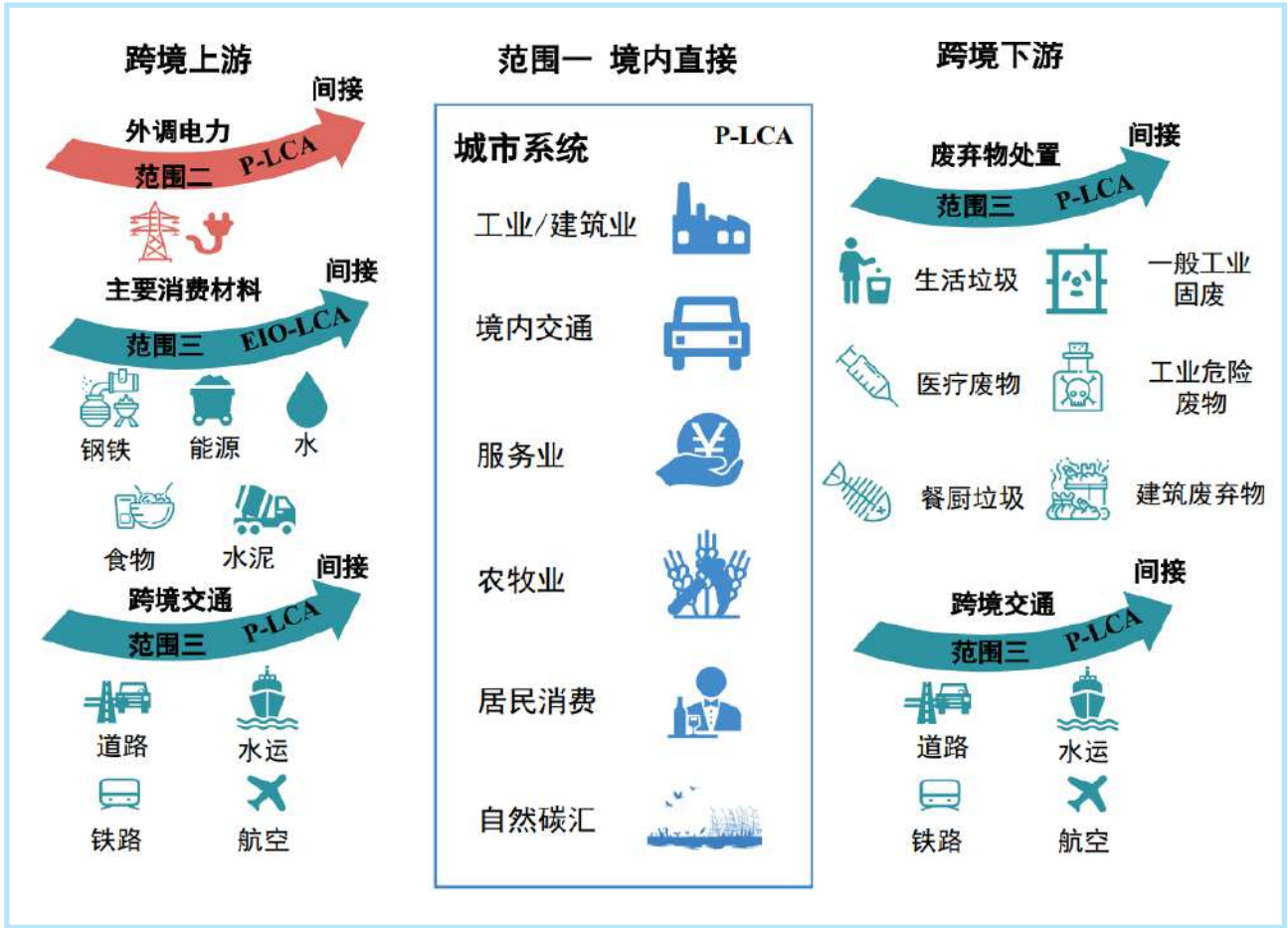


图 3-1 城市边界碳排放核算视角示意  
来源 《生命周期视角下城市碳足迹核算及实现碳中和的路径建议——以深圳市为例》

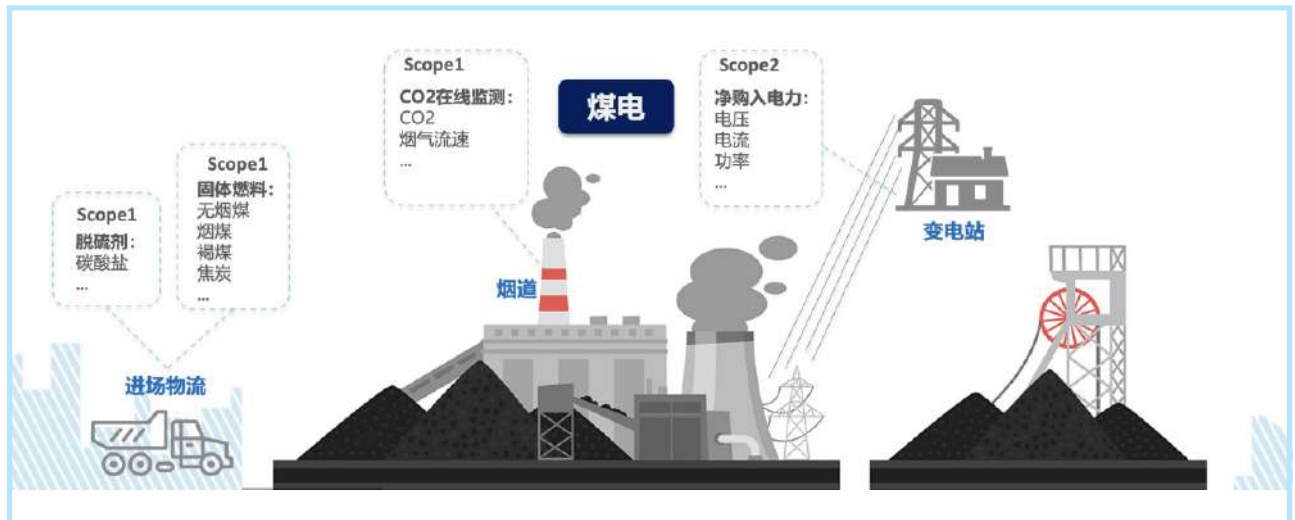


图 3-2 煤电（能源）行业碳排放监测示意图  
来源 作者自绘

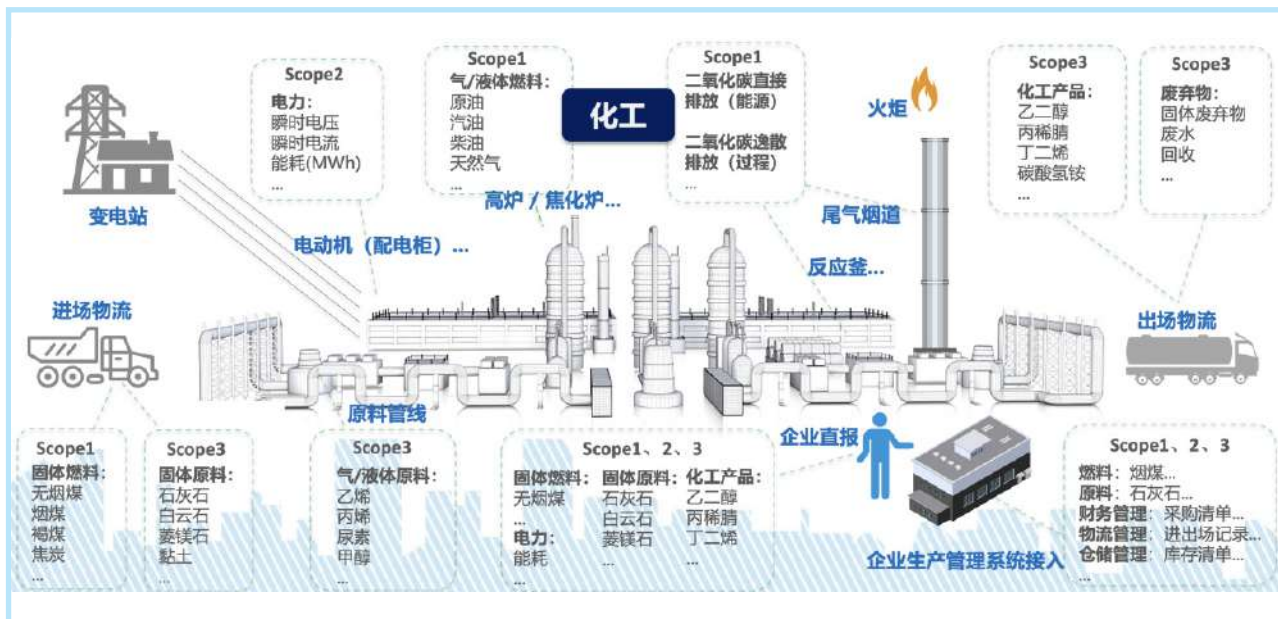


图 3-3 化工（重工业）行业碳排放监测示意图 来源 作者自绘

## 01 直接排放（范围一）采集方法

直接排放指由于燃烧化石燃料、生物质或工业过程等直接产生的二氧化碳排放，其本质是生产视角。针对直接排放的数据采集方式，又可细分为：固体燃料燃烧、气液体燃料燃烧、工业过程逸散排放以及烟气排放连续监测系统（CEMS）等几种类型。

### · 固体燃料燃烧 - 排放因子法：

针对直接排放中的固体燃料燃烧产生的碳排放计算，可通过使用汽车衡或皮带秤，进行固体燃料质量的采集。如：在物料进场过程，通过使用电子汽车衡器，对进场的固体燃料运输车辆进行称衡，采集输入的含碳燃料的质量数据；亦或，在燃烧前，通过使用皮带秤，对输送带上的燃料进行连续称衡。在对燃料质量进行采集后，通过《综合能耗计算通则》（GB/T 2589-2020）<sup>[3-5]</sup>等能源碳排放因子相关标准所定义的因子，使用排放因子法进行碳排放的计算。

· 气、液体燃料燃烧 - 排放因子法 针对使用气体、液体燃料的场景，可通过在管线外侧加装接触式或非接触式气液体流量计，通过超声、涡街、电



图 3-4 餐馆（商业）碳排放监测示意图 来源 作者自绘



图 3-5 家庭（生活）碳排放监测示意图 来源 作者自绘





图 3-6 市内交通碳排放监测示意图 来源 作者自绘

磁以及涡轮等原理，对气体、蒸汽或液体的体积流量或质量流量进行实时测量，再通过排放因子法进行碳排放的计算。

- **工业过程逸散排放 - 质量平衡法：**针对非燃烧工业过程（如：脱碳、脱硫等）产生的逸散排放，可分别通过前述皮带秤、流量计等固态、气态和液态物质质量获取方式，获取原材料和产物的质量，并利用质量守恒原理（碳排放由输入碳含量减去非二氧化碳的碳输量），从而获得该非燃烧工业过程的二氧化碳排放量。

- **烟气排放连续监测系统（CEMS）- 实测法：**针对直接排放，还可通过使用CEMS对设备烟气中的二氧化碳排放量进行直接监测，该方法主要通过测量烟道中烟气流速、二氧化碳浓度和湿度等烟气参数，计算单位时间内二氧化碳的排放量。

- **碳卫星反演 - 实测法：**针对较大范围

区域的直接排放，还利用碳卫星高光谱分辨率遥感技术，对特定区域大气中的二氧化碳含量进行定量分析，通过天地反演形式，实现特定区域的二氧化碳直接排放数据采集。

## 02 间接排放（范围二）

间接排放是指因使用、消耗外购的电力、热力和蒸汽而隐含的排放。间接排放的碳排放并非发生在碳使用主体设施边界内，而是由于使用主体的需求间接导致在能源生产的过程中产生的碳排放，其本质是碳排放的消费视角。

- **电力碳排放 - 排放因子法：**电力作为重要的二次能源，渗透经济社会的方方面面。从消费侧视角看，负载侧混合零排放的绿电比例也会逐渐提高，因此，电力碳排放的核算会有向供给侧（化石能源发电企业）转移的趋势。电力使用量，可通过在电力回路里接入电流、电压传感设备，计算用电负荷在

单位时间内的功耗，也可通过用能单位信息系统中发票、消耗记录、费用结算单等数据共享获取。并通过中国生态环境部应对气候变化司发布的《企业温室气体排放核算方法与报告指南-发电设施》中各地电力碳排放因子进行碳排放计算。

- **热力、蒸汽碳排放-排放因子法：**针对外购热力、蒸汽等二次能源，则可通过使用温度和压力传感器，对蒸汽、热水的温度和压力数据进行采集，通过计算热水、蒸汽的热值，并根据热值折合相应标准煤使用量，最后再通过 GB/T 2589-2020 所定义的排放因子计算热力、蒸汽的碳排放量。

### 03 隐含碳排放（范围三）

隐含碳（Embodied Carbon）是指从原材料获取和最终产品产出的整个生产过程中所有直接和间接排放的二氧化碳量。隐含碳常用的测算方法有投入产出法（Input-Output Model, IO）和生命周期法（Life Cycle Assessment, LCA）。

- **投入产出法：**投入产出法是研究和分析国民经济各部门间产品生产与消耗之间的数量依存关系的经济学分析方法，其主要通过将各种经济活动情况表示在一张专门设计的投入产出表中，从而建立一个国家或地区全面经济活动简明而又系统的活动模型。隐含碳的分析计算，可利用投入产出法，分析投入含碳能源和产出的含碳产品，从而追踪到各行政区域生产产品的直接和间接能源的使用，所产生的二氧化碳的排放情况。

投入产出法是用于区域碳排放核算的宏观方法，中国官方统计机构定期公布的投入产出表，数据范围覆盖省级行政单位，因此，通过投入产出法进行隐含碳排放计算，将无法对比省级行政单位更小的区域进行碳排放核算。该方法对于城市，乃至企业等微观层面的隐含碳排放分析场景来说，有较大的局限性。

- **生命周期法：**生命周期法是指对产品整个生命周期内二氧化碳排放量进行测

算，包括从原材料的获取、生产、运输、使用、维护、回收和废弃等产品生命周期各个环节中产生的二氧化碳排放量进行分析和测算，该方法是基于产品的隐含碳测算方法。

生命周期法是一种微观方法，可以对市级甚至企业、产品等微观碳源的隐含碳排放进行分析，能够为决策者提供更具体的信息。但该方法对产品原料、燃料和生产过程的数据完整性要求较为严格。

在如今工业生产企业信息化水平日益发展，企业对生产过程数据留存愈发完善的背景下，生命周期法将占据隐含碳排放计算的主流地位。

## 3 构建可信、可靠、可追溯的碳数据链

由于碳排放数据采集的复杂性，尤其是隐含碳排放在能源、原材料、中间产品和终端产品中的流转关系，通过使用区块链技术构建可溯源的碳数据链，可以保障碳排放数据在采集、流转过程中，具备可溯源、不可篡改等数据安全特性，能够在碳数据 MRV 各环节中，提供相应的数据安全特性：

- 01 **在监测环节：**碳数据链能够在碳排放的数据采集源头，提供数据分布式账本存证，追踪溯源工业过程碳排放，核算产品碳足迹；

- 02 **在报告环节：**区块链与隐私计算技术结合，对碳排放数据上链验真，保障报告数据的真实性；

- 03 **在核查环节：**利用碳数据链的防篡改特性，降低终端核查验证难度。

### 4 建立碳源碳账户

将采集的碳排放数据，以企业、个人/家庭等碳源为主体，建立统一碳账户，用以透明化各社会主体的低碳贡献、减碳责任，作为碳排放考核和管理的工具，进一步将碳源碳账户与碳金融、碳交易市场结合，发挥市场的调控作用，增加各碳源节能减碳的主观驱动力，发挥市场手段的力量，推动“双碳”目标实现。

**01 企业碳账户：**利用数字技术，建立企业法人主体碳排放账户，构建以碳账户为核心的控排企业考核体系，优化运行机制，推动全社会建立企业碳排放核算评价体系，探索建立企业碳账户和碳信用报告标准，加强碳排放信息共享和数据对接，鼓励金融机构、地方金融组织根据企业碳排放测算、核算和评价情况以及碳信用报告等对企业给予差异化金融支持和创新开发金融产品和服务。

**02 个人/家庭碳账户：**通过对个人和家庭生活中衣、食、住、行活动的碳排放量，以及绿色低碳行为进行量化评价，建立以个人为主体的碳排放账户，将个人碳排放账户水平与各类生活应用场景挂钩，有利于增强公众的绿色低碳意识，崇尚低碳生活，构建净零碳社会。

#### 3.1.2 打造城市“双碳”大脑

可在城市双碳数据底座的有效支撑下，利用人工智能技术，打造可用于净零碳城市规划、碳目标考核，以及面向能源、建筑、工业、交通、农业、生活等重点排放领域节能降碳的“双碳”应用支撑能力——“双碳”大脑。

“双碳”大脑，是一系列以多模态大模型为核心的AI模型群组，通过多模态大模型，提供时间序列、文本、语音、图像等多模态输入和输出能力，并连接下游“双碳”应用小模型（如：CGE、LEAP、LMDI等算法和模型），构建数字化“双碳”应用支撑模型组，实现城市净零碳化过程的宏观协调和微

观效率优化，提高城市应对气候变化的韧性，以数字技术赋能城市净零碳路线图。

**01 经济-能源-环境平衡模型：**经济-能源-环境平衡是城市净零碳化高质量发展的重要平衡过程，通过对城市能源-环境-经济复杂系统，使用一般均衡模型（CGE）为核心的模型进行建模，可通过该模型，综合分析研究中国、区域和全球绿色低碳转型中的一系列关键问题。

**02 碳达峰时间推演：**针对碳达峰时间预测，通过建立LEAP（Long Range Energy Alternatives Planning System，长期能源可替代规划模型）模型，以社会宏观经济数据为基础，结合微观的企业用能、碳排放以及产值等数据，使用LSTM（Long-Short Term Memory）等时间序列数据预测算法，进行数据期间全国及各区域的碳排放趋势动态预测推演，对碳达峰时间和达峰碳排放量进行预测推演。

**03 IPCC 情景分析和考核目标分解：**情景分析和考核目标分解，通过使用IPCC情景分析模型和节能减排假设，如：根据IPCC（联合国政府间气候变化专门委员会）AR6定义的5种SSP（共享社会经济路径）及4种RCPs（代表性浓度路径）情景的组合场景，在不同时间区间、不同温度变化、碳排放量、社会经济发展等影响因素下的模拟分析，并从净零碳化的实施落地路线图出发，将IPCC的情景的整体目标分解到不同的辖区地域及减排领域，实现减排情景的可落实、可考核。

**04 碳限额的经济影响分析模型：**以“双碳”大脑构建的CGE模型为基础，通过分析不同区域能源供给侧（如：电力和可再生能源供给）、能源消费侧（如：居民生活、重点行业）如何实现碳减排目标及实现成本影响，得出量化的碳减排对经济影响预测和推演，支撑减碳目标和策略制定。

**05 多目标用能策略优化：**提高能源系统运行经济性、减少污染排放、改善能源利用效率，是净零碳城市能源系统发展的重要目标。在实际能源系统规划和运行中，由于不





图 3-7 “双碳”大脑 来源 软通智慧供图

同目标（如：用能经济性、碳排放量、能源利用效率以及用能满意度等）之间具有复杂的关联性，当用能目标函数数量多于 3 个时，将难以求得全局最优解。通过构建多目标新能源发展优化模型，综合考虑用能的经济性、碳排放量、能效以及用户满意度等多目标需求，建立多目标优化模型。通过求解该策略模型，使得能源规划兼具全局最优性与鲁棒性（控制系统在一定结构，大小的参数摄动下，维持某些性能的特性）。

**06 市内交通效率优化：**市内交通通行效率与交通碳排放息息相关，市内交通具有：路网复杂、路线冗余大、车流峰谷变化大、潮汐现象明显等特征。因此，可通过建立交通优化模型，如：动态路径优化、智慧交通信号灯、动态车道设置，提高市内交通系统效率。动态路径优化，将路网分成一系列区域，通过蜂群算法动态优化车流路径，实现路网流量的平衡，降低拥堵率；信号灯，通过车流数据和模型分析，动态设置信号灯双向配时、绿波带等场景，提高路口通行效率；动态车道设置，通过交通车辆种类、流向、数量，动态调整车道属性，优化各车道交通流量，提高系统通行效率，降低交通整体碳排放量。

### 3.1.3 推动数据中心绿色化

在 AIGC 大模型等人工智能技术飞速发展的背景下，支撑包括“双碳”大脑在内的城市智能算力基础设施的能源需求也愈发强烈，数据中心的耗电量也急剧增加，据中国信息通信研究院数据显示，2021 年中国全国数据中心总耗电量达 2166 亿度，碳排放量达 1.35 亿吨，占全国二氧化碳排放量的 1.14% 左右，已成为全国“碳达峰、碳中和”目标的重要影响因素之一。

《Uptime 全球数据中心报告 2021》<sup>[9]</sup>指出，2014 年以来，全球大型数据中心 PUE 连续 7 年维持在 1.6 的水平，数据中心能效利用率低，亟待提高。为推动数据中心行业的可持续发展，多个国家、国际组织发布数据中心相关政策，如美国政府通过 DCOI 数据中心优化倡议，要求新建数据中心 PUE 低于 1.4，老旧改造数据中心 PUE 低于 1.5。欧洲数据中心运营商和行业协会在《欧洲的气候中和数据中心公约》中宣布 2030 年实现数据中心碳中和。中国出台《全国一体化大数据中心协同创新体系算力枢纽实施方案》推动构建全国一体化大数据中心，启动“东数西算”工程，促进数据中心绿色

可持续发展，加快节能低碳技术的研发应用，要求到 2025 年，新建大型数据中心 PUE 低于 1.3。在碳中和目标的驱动下，数据中心行业将产生深刻变革，数据中心低碳化成为必然趋势，清洁能源的大规模应用，叠光叠储、余热回收等节碳技术发展有效帮助数据中心实现可持续发展。

## 01 AI 赋能运营效率提升

· **高效制冷：**除 IT 设备外，数据中心制冷系统的电力消耗占比较高，传统制冷群控系统存在采集参数少于 10，可调节参数少于 3，调节速度慢且精度差，每次优化耗费 2 小时，调节效果持续时间短等挑战，同时主要依靠人工调优，严重依赖专家经验，对于技能要求非常高。针对日益复杂的制冷系统，仅基于专家经验的人工调节无法根据环境参数和负载率实时调优，而且为保证系统可靠性，制冷需求往往会被层层放大，从而造成能源浪费。

绿色数据中心能效调优利用 AI 技术动态建模，建立能耗与 IT 设备负载、气候条件、设备运行等可调节参数间的机器学习模型，在保障设备和系统可靠的基础上，实时诊断各个子系统的能耗，并自动准确地推理和配置出数据中心最优控制逻辑，通过深度神经网络下训练得出 PUE 预测模型，最后得出最合适的指令，1 分钟内从 140 万个环境参数

的原始组合中推断出最佳冷却策略，下发执行并反馈效果，实现数据中心能效最优。

· **高效 IT 设备运营：**在数据中心运营中，随着业务的变化，大量设备上下架对数据中心机柜空间资源的管理带来较大的挑战，数据中心经常出现某些机柜未充分利用甚至闲置的同时，某些机柜负载偏高的情况。如何更高效地管理数据中心资源，使其得到最大化利用，是绿色数据中心需要考虑的问题。

基于 AI 的资源优化技术通过对数据中心资产进行全生命周期管理，建立以设备管理为核心的管理模型以及分析平台，通过 AI 仿真设备状态和 AI 业务预测，自动盘点数据中心资产状态，基于资产 U 位精准定位，对机柜可用空间、可用电力、可用制冷和可用网络（SPCN: Space, Power, Cooling, Network）等要素进行综合分析，智能推荐设备最佳上架机位，实现数据中心资源的可视、可管，避免容量搁浅，实现数据中心资源最大化利用，提升资源使用率和运营收益。

· **高效能源利用：**随着数据中心的能源输入和使用逐步多元化，借助 AI 技术，可实现各种能源的灵活优化调度，在绿电直供、叠加光伏、储能削峰填谷等方面实现按需调用，减少人为计算和操作，最大化挖掘资源的价值。

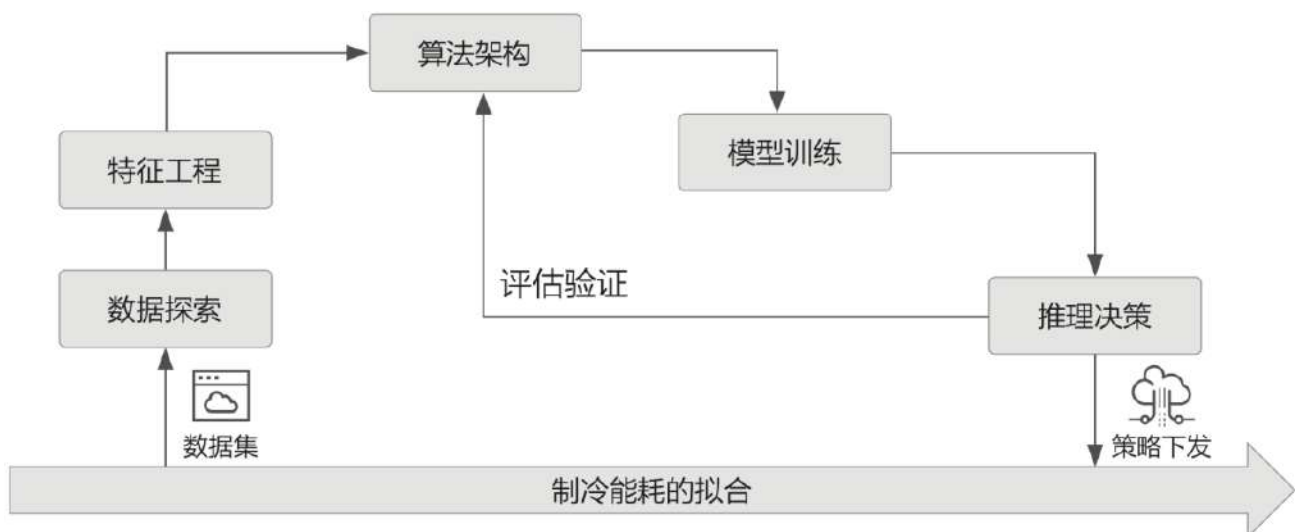


图 3-8 高效制冷控制策略 来源 华为技术有限公司《下一代数据中心白皮书》

## 02 资源循环回收

数据中心是耗能大户，同时也是“产热”大户，其所消耗的电能最终都转化成热量排放到了空气中，未得到有效利用，同时还在数据中心周围形成热岛，影响制冷 PUE。余热回收是低碳时代重要的技术，也是绿色中心的重要特征之一。《欧洲的气候中和数据中心公约》（CNDCCP）也提出热回收是 2030 实现碳中和的五大关键措施之一，欧洲可持续基础设施联盟（SDIA）已将热回收列入路标，数据中心余热回收比例大于 60%。通过余热回收，可以把回收的热量用于：

- 数据中心自用，可用于办公区域生活热水，油机房间加热。
- 数据中心周边的配套产业，如养殖、或商业综合体供暖。
- 并入市政热管网。

除了数据中心的余热回收，还需要关注数据中心设备和设施本身材料的可回收性。未来越来越多区域将推广新型装配式绿色建筑，采用绿色建筑材料，材料回收率超过 80%。在设备的元器件、单板、部件、辅料等层级采用无铅、无卤的绿色可回收新材料代替传统的含铅等有害物质，可以做到更高的可回收率，促进数据中心迈向低碳、循环和可持续发展。

### 3.2 制定碳策略

气候变化和环境问题的产生与解决不仅与污染排放相关，更与能源、产业结构、消费模式和宏微观决策相关，对社会经济影响深远。

如何保持在经济平稳发展的前提下如期实现“双碳”目标成为包括中国在内世界各国的绿色发展要求。这要求各国在节能降碳的同时，平衡处理经济发展与传统化石能源使用之间的矛盾关系，确保城市未来的净零碳发展路线图是高质量、绿色、循环和可持续的。

因此，城市需建立一套系统性的应对气候变化的战略和政策，寻求能源 - 环境 - 经济 - 社会的动态平衡，推动社会长期可持续发展。而以数字技术为依托，构建以能源、产业、发展模式、污染控制、居民健康保障和社会民生等多方面关系协调发展为目标的城市碳管理正向反馈闭环管理机制和模型，对城市净零碳化具有重要决策支持意义；

同时，因中国幅员辽阔，产业链完整且分布广泛，各地产业结构和自然资源禀赋差异较大，这决定了各城市在推进“双碳”目标的行动方案应差异化、精准化，因此，在“双碳”发展政策上，也不应当搞“一刀切”、“一窝蜂”，“双碳”目标实现应该全国统筹，形成系统降碳的合力；最后，为应对“碳达峰、碳中和”目标的复杂性、系统性特征，要把系统观念贯穿“双碳”全过程，注重处理好发展和减排、整体和局部、长期和短期、政府和市场这四对关系。

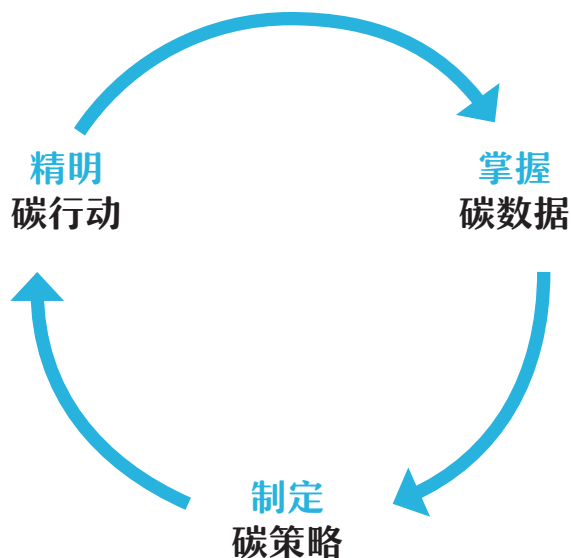


图 3-9 构建碳管理正反馈闭环 来源 作者自绘



### 3.2.1 构建碳管理正反馈闭环

在城市系统行政管理中，行政管理方向是自上而下进行，而缺乏自下而上的上行通路和机制。碳排放管理过程与此类似，在实践当中，为了优化城市系统的运行，需要以数字化系统为纽带，建立一条反馈通路，形成基层对上层的反馈机制，实现末端对始端的影响和作用，以构建碳中和的动态平衡状态，从而动态保持城市碳中和状态。

依托于碳数据底座和“双碳”大脑的数字采集和分析能力和相应的MRV (Monitoring、Reporting、Verification) 机制，构建城市有效而可靠的碳减排策略实施效果反馈通路，通过节能减碳效果的数据和反馈，推动衍生的碳市场、碳金融等市场化工具，促进城市系统向整体节能减碳收益增长（系统性节能减排）的方向转动。因此，通过构建掌握碳数据 - 制定碳策略 - 精明碳行动，三步走的碳管理正向反馈闭环，不仅补偿了整个系统末端的收益，同时也增加整个系统的收益。随着反馈闭环的循环迭代，城市系统的节能降碳驱动力也会提高，系统节能降碳的收益亦会逐步增大，将形成自激励的城市节能减碳良性循环。

**01 掌握碳数据：**在“双碳”政策和策略实施过程中，需对实施效果进行监测，将通过本构建的统一、可信城市碳数据底座进行采集汇总，建立城市碳排放核算机制，实现区域碳减排效果细粒度、高频度的数据采集和效果监控，形成碳管理数据闭环。

**02 制定碳策略：**利用数据，支撑各重点碳排放领域的节能减碳、新能源替换和固碳策略规划和制定，决策者以数据驱动，进行新政策的规划、制定和实施，全国一盘棋，科学、统筹推进“双碳”发展。

**03 精明碳行动：**在科学碳策略的引领下，各级政府和企业合作制定相应的“时间表、路线图、施工图”，在能源、建筑、交通等领域落地实施有效的节能降碳行动，扎实推进“双碳”目标实现。

### 3.2.2 因地制宜，量体裁“碳”

从世界范围看，不同的国家、地域在自然资源禀赋、生产生活方式、产业结构和工业化进程等方面均存在较大差异，因此，实现净零碳化的路径将不可能一致，制定相关策略也应该因地制宜，量体裁“碳”，例如：

· **能源资源禀赋不同：**俄罗斯、美国和加拿大等国拥有丰富的化石能源资源，而英国、法国、德国、日本的能源供给则高度依赖国际市场；20世纪70年代以来，因能源安全、节能环保的需要，资源节约型国家注重绿色转型，显著提高能源使用效率。

· **生活方式不同：**美国人口占世界的5%，而石油消耗量占世界的25%，美国的居民生活方式导致家庭碳排放总量显著高于世界平均水平，如：家庭洗完衣服后主要采用干衣机烘干（消耗电力），平均每户汽车拥有数超过1辆（消耗石油）等。

· **可再生能源利用情况不同：**欧洲国家普遍重视发展可再生能源，如：法国的核电、德国的光伏、挪威的水电、丹麦的风电，通过持续提高可再生能源的占比，更快实现了能源使用与碳排放“脱钩”。

中国地大物博、幅员辽阔，这种自然资源禀赋和产业结构差异同样不容忽视，不同地区“齐步走”实现“双碳”目标的期望，是不现实且不负责任的。因此，产业结构和民生福祉都决定了其“双碳”目标的行动方案应差异化、个性化，政策上不搞“一刀切”、“一窝蜂”，“双碳”目标实现应该全国统筹，形成系统降碳的合力。

#### 01 产业结构

“双碳”目标，对产业结构优化升级提出了紧迫要求，根据国家发展改革委环资司测算数据显示，产业结构调整对碳减排的总体贡献度超过50%。三次产业结构优化的重点是提高第三产业比重，而逐步降低第二产业比重；而在第二产业内部结构调整的重点，则是在严格控制高耗能、高排放

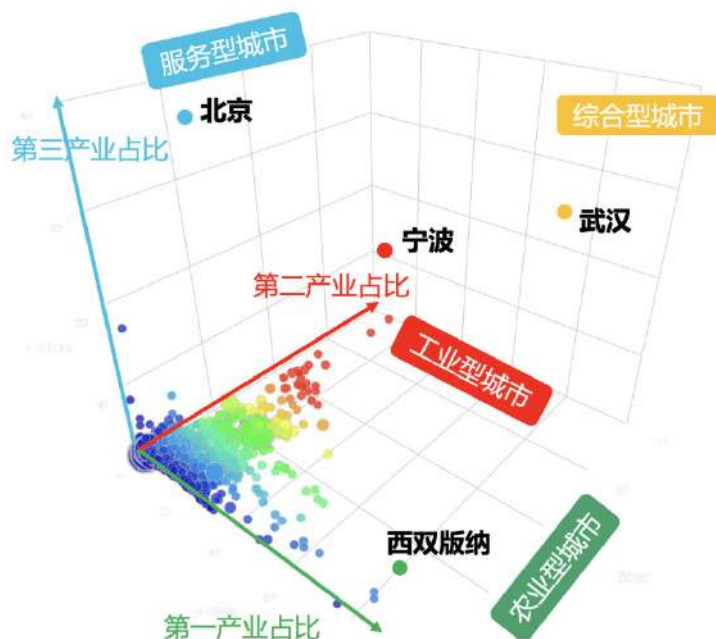


图 3-10 城市分类施策分析示意 来源 作者自绘

行业增速的同时，提升低耗能低排放行业的比重；同时，在产品层面，重点则应该在于提升产品附加值，从而降低单位 GDP 能耗和碳排放强度。

从具体区域分布上来看产业结构差异，中国东部地区大多省份已进入工业化后期阶段，西部产业结构上第一产业和第三产业为主，且西部地区太阳能、风能等新能源丰富，因此，东西部地区，相比中部地区更容易或者说更有条件实现经济发展的绿色转型，中部尤其是内蒙古、陕西、河北等省煤炭资源丰富，以化石能源为主要能源的重工业发达，产业结构调整 and 绿色转型难度较大。

因此，需根据三次产业结构等经济指标和能源、碳排放等数据，将城市进一步细分为：服务型、综合型、工业型以及农业型等经济产业类型，从而有针对性、精准制定节能降碳策略，实施个性化的净零碳路线图。

## 02 资源禀赋

新能源替代化石能源，是“双碳”发展的关键一环，太阳能、风能、水能等零碳新能源，则地区的资源禀赋关系密切。因此，各地在制定新能源发展战略时，应充分考虑和挖掘当地的自然资源禀赋，先立后破，在保障能源安全的前提下，因地制宜实施新能源替代策略。中国新能源发展和资源分布：

- **太阳能：**中国的太阳能总辐射资源分布特征是：西部高于东部、高原高于平原、内陆高于沿海、干燥区高于湿润区。宁夏北部、甘肃北部、新疆东南部、青海西部和西藏西部等地，是中国太阳能资源最丰富的地区，全年日照小时数能够达到 3200~3300。

- **风能：**根据中国气象局第四次风能资源普查数据显示，中国离地 50 米高度陆地上风能资源潜在开发量为 23.8 亿千瓦，近海 5~25 米水深范围内风能资源潜在开发量约为 2 亿千瓦。“三北”地区（华北、东北和西北）以及东南沿海地区、沿海岛屿潜在风能资源相对集中，开发量约占全国的 80%。

- **水能：**中国水能资源，时空分布不均衡，且与用能区域不协调。从空间分布上看，全国水电资源总量的四分之三集中在经济相对落后、交通不便的西部地区，其中云、川、藏三省（自治区）就占了 60%。其次是中南和西北地区，分别占 15.5% 和 9.9%。而经济发达、用电负荷集中的中国东部的华东、华北、东北三大地区，包括辽、吉、黑、京、津、冀、鲁、苏、浙、皖、沪、粤、闽等 13 个省（直辖市）仅占 7% 左右，且开发程度已处于较高的水平。

### 3.2.3 坚持系统观念，处理好“四对关系”

为应对“碳达峰、碳中和”目标的复杂性、系统性特征，中国国家主席习近平强调，要把系统观念贯穿“双碳”全过程，注重处理好发展和减排、整体和局部、长期和短期、政府和市场这四对关系。

- **01 发展和减排的关系：**习近平指出“减排不是减生产力，也不是不排放，而是要走生态优先、绿色低碳发展道路，在经济发展中实现更大发展。”

因此，要破除粗放式发展的错误认识，既要准确的识别和淘汰落后产能，升级“存量”；也要大力发展新兴的绿色低碳产业，做优“增量”；同时，也要加快科技成果转化和推广，用好“变量”。通过数字技术创新统筹谋划，在降碳的同时确保能源安全、产业链供应链安全和粮食安全，在城市迈向净零碳化的过程中，确保经济社会高质量发展。

**02 整体和局部的关系：**习近平同时指出，“既要增强全国一盘棋意识，加强政策措施的衔接协调，确保形成合力；又要充分考虑区域资源分布和产业分工的客观现实，研究确定各地产业结构调整方向和‘双碳’行动方案，不搞齐步走、‘一刀切’”。中国各地区资源禀赋、经济发展阶段、碳排放现状、减排潜力差异明显，应通过数字技术，在充分掌握当地碳数据的基础之上，科学的设定符合地区特点的“双碳”目标和相应的节能降碳策略，有效促进“双碳”行动。因此，各地区、各部门既要立足实际、因地制宜，科学制定碳达峰碳中和的具体实施方案，确保“双碳”工作符合地区实际；又要自觉同党中央的顶层设计对标对表，确保上级部门的“双碳”决策部署不偏向、不变通、不走样，整体和局部形成合力，协同推进。

**03 长期目标和短期目标的关系：**减碳目标设定上，要以数据为基础，既要在“长远目标”上布好局，又要在“短期目标”上落好子，形成科学有效的碳减排目标，不可脱离实际、好高骛远。即：既要立足当前的实际工作，一步一个脚印，从解决当下最突出的问题入手，聚力打好节能减碳“攻坚战”，完成阶段性任务，积小胜为大胜；又要着眼长远，综合分析，把握好减排降碳的节奏和力度，驰而不息打好“持久战”，实现“双碳”工作的长远目标。

**04 政府和市场的关系：**既要加强碳排放监管，又要激发市场的活力。习近平指出，“要坚持两手发力，推动有为政府和有效市场更好结合，建立健全‘双碳’工作激励约束机制”。要加强党对“双碳”工作的领导，发挥政府这只“有形的手”在市场建设中的监管和调控作用，以治理体系和治理能力现代化规范和引导资本重点投向绿色经济、循环

经济和低碳经济领域，推动“双碳”工作实现高质量发展，即通过碳数据的采集和核算、盘查，确保碳排放数据管理全流程的真实性、有效性，通过碳交易市场、碳金融、碳税等市场化机制这只“无形的手”在资源优化配置中的决定性作用，建立健全能够体现碳汇价值的生态保护补偿机制，吸引社会资本参与其中，发挥其作为重要生产要素的能动性和积极作用，最大程度激发市场主体活力。

### 3.3 精明碳行动

根据中国碳排放数据库的数据显示，以范围一计算，中国能源、建筑、交通三个领域的碳排放占总碳排放量的50%以上，若不计算可通过工业原材料和产品流转至城市边界外的工业领域碳排放，上述三个领域的碳排放占比将高达90%。因此，通过数字技术赋能的能源、建筑、交通领域精明碳行动，落实城市的减碳、新能源替代和固碳目标，是城市净零碳路线图的重要环节。

#### 3.3.1 能源

中国国家发展改革委和国家能源局于2016年7月4日曾联合发布《关于推进多能互补集成优化示范工程建设的实施意见》，意见提出，“提高能源系统效率，增加有效供给，满足合理需求，带动有效投资，促进经济稳定增长。”

推进多能互补的目的是要通过多种能源技术相互弥补彼此的缺陷，实现“集成优化”，充分兼容和利用间歇性的可再生能源，降低终端能耗。

通过数字能源技术将数字智能（比特）与能源技术（瓦特）进行深度融合，实现信息流与能量流互动，通过对能源转换、存储和控制的数字化、网络化、智能化，促进能源产品高密集成、高效运行，是能源效率优化的核心逻辑。

能源效率优化又可从下列方式进行细分：

**01 供给侧优化：**能源供给侧优化，是指



“通过利用大型综合能源基地风能、太阳能、水能、煤炭、天然气等资源组合优势，推进风、光、水、火、储多能互补系统建设运行”。从而对能源供给侧效率、稳定性、经济性实现优化。

中国国家能源局推进了千万千瓦级的“风电三峡”和“光伏三峡”，国家电网为了将这些超大规模的可再生能源电力输送到东部经济发达地区，建设了特高压输电线路，但是接踵而来的是不稳定的可再生电力时有时无，难以维持特高压输电线路的电压稳定。为了解决这一矛盾，要在新疆及西北煤炭丰富地区大规模建设燃煤火电集群，以发展“风火打捆”或“风光火打捆”模式，这是典型的供给侧多能互补的供给侧优化的典型案例。

**02 近需求侧优化：**近需求侧优化，是指“面向终端用户电、热、冷、气等多种用能需求，因地制宜、统筹开发、互补利用传统能源和新能源，优化布局建设一体化集成供能基础设施，通过天然气热电冷三联供、分布式可再生能源和能源智能微网等方式，实现多能协同供应和能源综合梯级利用”。近需求侧优化的侧重点仍然是提升能源供给侧（包括能源传输网）能源系统的转换效率，而不是将帮助用户“节能降耗省钱”作为出发点。

国家电网公司也已经开始尝试中国版的“三位一体”的近需求侧多能互补模式。通过为一些拥有屋顶分布式光伏的用户配置储能电池，并配置智能双向充电桩。双向充电桩具有充电和向用户或电网输电的功能，让电动汽车成为可移动的储能电源，在必要时向电网反向供电，成为需求侧多能互补系统中的重要组成部分。所有的数据都会通过互联网上传到云端，大数据系统帮助电网和用户实现大范围的多能互补。

**03 需求侧优化：**需求侧优化“是完全从需求侧出发，其目的是为能源终端用户直接参与“节能降耗省钱”。为实现这一目标，能源服务完全融入用户一侧，用户具有极高的参与度和自主性，在能源用户一侧实现对于节能减排的“人人参与、人人尽力、人人享有”。用户侧分布式能源和用户侧分布式储能和数字能源管理服务，重点在帮助用户侧实现多种二次能源的协同提效，提高用能效率。

华为数字能源 FusionDC 助力下的武汉人工智能计算中心，通过模块化设计，储能和数字技术结合，使供电面积节省 40%，效率提升 3.5% 以上。

**04 供需协同优化：**供需协同优化是指协调两个或多个不同资源或者个体，协调一致

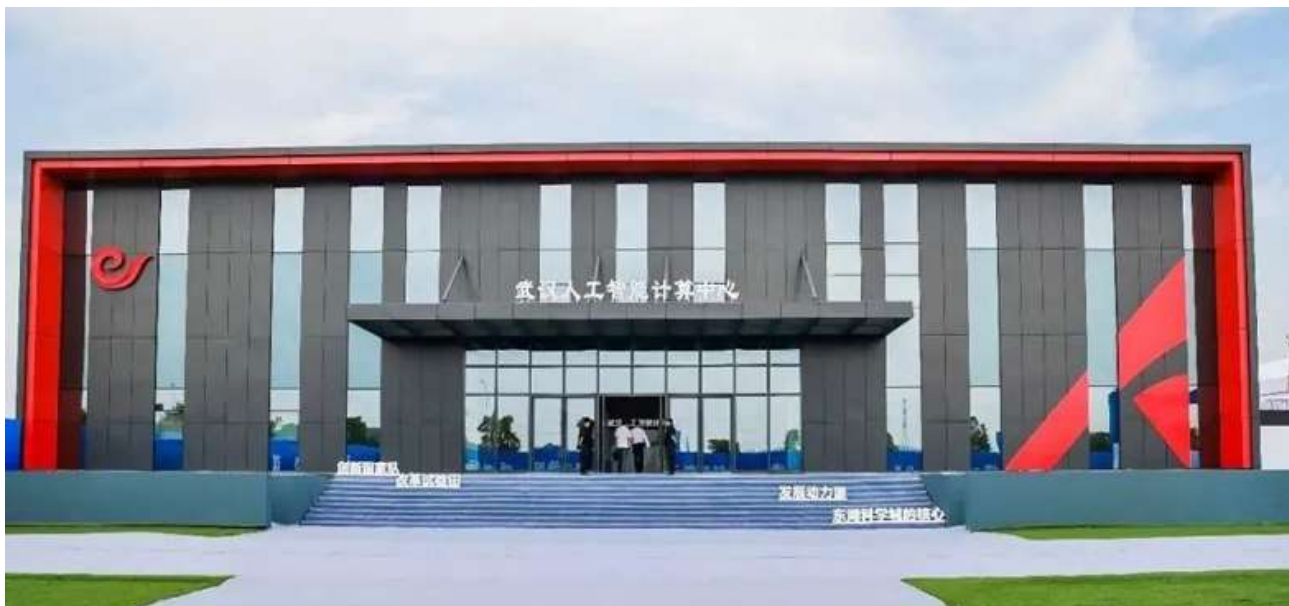


图 3-11 武汉人工智能计算中心 来源 华为技术有限公司《下一代数据中心白皮书》

地完成某一目标的过程或能力。在以分布式能源构建的系统中，在需求侧不仅可以将各种分布式能源协调起来，而且可将供给侧和需求侧协调呼应起来。让需求响应供给，而不是供给侧单方面应对需求侧的波动变化。结合分布式储能，共同实现资源的协同优化配置。能源互联网就是通过信息系统实现有效的需求响应，解决供需互动协调配置。

### 3.3.2 市内交通

根据世界资源研究所（WRI）《解码中国省级交通领域 2012—2019 年二氧化碳排放》数据显示，中国交通碳排在能源活动产生的排放中的占比约 9.2%。在经济发达或第三产业占比较大的省份，如北京市、上海市和海南省，2019 年交通碳排在能源活动相关排放中的占比则超过 20%。

随着中国城市化进程的不断加快，城市规模越来越大，市内交通效率逐年降低、拥堵路段增多，极大阻碍了城市交通领域净零碳化进程，传统的交通管理方式已经无法满足日益增长的交通需求，而智能交通系统通过运用现代信息技术和智能化手段，可以有效地改善交通流通率、提高交通韧性、优化道路资源利用，在“碳达峰”阶段发挥重要的价值；结合创新电气化公交系统，实现市内交通的净零碳化，将持续推动城市交通领域实现“碳中和”。

**01 优化交通管理：**交通信号灯通过颜色的变换明确告知驾驶人路权分配情况，对交叉路口进行自动控制和管理，对冲突的交通流实现自动分配和控制，减少了交通事故的发生。其带来安全性的同时，也对城市交通通行效率产生较大的负面影响，如：延长了低交通量交叉路口的通行延误时间，降低通行效率。因此通过对道路车流向、流量、峰谷时段等多维数据进行采集分析，以按区域为单位联动实施动态信号配时，可充分发挥交通信号灯的交通流量控制特性，在保障路口通行安全的同时，提高道路交通效率，缓解城市交通拥堵，有效降低城市交通整体碳排放水平。

北方工业大学在北京市实施的智能交通信号控制系统，通过集成接入和集成包括西门子、Telvent、海信、Actra 和 SCOOT 等厂商的交通信号机和信号系统，实现北京市的异构信号控制系统，实现在同一平台集成高清视频检测与控制系统，达到包括长安街的绿波带在内的交通流量统一协同控制，提高了长安街及其延长线的通行效率，有效降低该区域的交通碳排放量。



图 3-12 北京二环路交通信号控制系统界面  
来源 北方工业大学城市道路交通智能控制技术北京市重点实验室供图

**02 加速公交系统电气化：**COP26 是自 2015 年巴黎峰会（COP21）以来最重要的气候会议，在 COP26 会议上，世界各国领导人一直将关注点放在电动汽车投资上，但会议声明减少柴油车和汽油车的使用不是唯一降低碳排放量的方法，政府还需要增加公共交通的使用，该会议声明表示：“公共交通的改善、扩建和低碳化是我们削减温室气体排放的最直接、最有力的手段之一。”C40 城市气候领导联盟和国际运输工人联合会（ITWF）在会议上表示，“如果不在 2030 年之前将公共交通的投资量增加一倍或将出行方式过渡到零排放公共交通，各国将不可能实现在未来十年内将排放量减半并将全球气温上升限制在 1.5 摄氏度以内的紧迫目标上。”

比亚迪推出的电气化、无接触轨的云巴系统，全线轨道梁均采用工厂预制、现场安装的方式，工程周期短，社会影响小，降低施工阶段碳排放；全线采用可再生钢材，可实现回收循环利用；云巴采用刀片电池驱动，全线采用无电气接触轨设计，安全系统高，



稳定性好。通过智慧能源管理系统，以及先进的节能技术处理，云巴单编组每公里能耗仅为 0.5-0.6kwh，仅为轨道行业平均水平的 13%，提升城市公交效率，助力公交系统净零碳化。



图 3-13 比亚迪云巴系统 来源 作者实拍

### 3.3.3 建筑

根据中国建筑节能协会《2022 建筑能耗与碳排放研究报告》数据显示，2020 年全国全国城碳排放总量为 50.8 亿 tCO<sub>2</sub>e，占全国碳排放的比重为 50.9%。其中，建材生产阶段碳排放 28.2 亿 tCO<sub>2</sub>e，占全国碳排放总量的比重为 28.2%；建筑施工阶段碳排放 1 亿 tCO<sub>2</sub>e，占全国碳排放总量的比重为 1%；建筑运行阶段碳排放 21.6 亿 tCO<sub>2</sub>e，占全国碳排放总量的比重为 21.7%；

因此，在“双碳”目标的大背景下，建筑智慧化管理、绿色化发展必将成为我国碳达峰、碳中和进程的重要工作之一。

在建筑的规划和设计阶段，可通过数字孪生等信息化技术，落实建筑全生命周期碳排放评价和管理，对新增建筑的规划与设计提早开展节能环保设计，将建筑运行期碳排放的预期关口前移，实现建筑碳排放监管前置；通过针对公共建筑能耗和碳排放评价和监管，建立相应的低碳、净零碳建筑评价体系，透明化建筑碳排放量，健全公共建筑领域绿色低碳监管体系，培养社会自主节能减碳意识；在建筑物的运行阶段，鼓励采用多种主动式、被动式节能降碳技术等，对建筑冷暖、照明、动力等用能领域的重点用能设

备进行节能降碳改造和升级，提高设备能源效率，推进建筑绿色化；开展新能源替代，发展 BIPV、BAPV 等形式光伏建筑，推进电气化及光、储、直、柔技术普及，降低建筑综合碳排放；通过数字技术，如物联网、5G、人工智能等技术，完善建筑能源分项计量，加强建筑综合能源精细化管理，实现建筑用能需求侧效率优化。

**01 落实建筑全生命周期碳排放评价和管理：**建立建筑物全生命周期（建材生产、建设期、运行期和拆除期）碳排放评价方法、工具及标准，在建筑设计阶段，考虑建筑全生命周期碳排放评价边界范围确定的原则和方法，建立评价模型。实现在方案阶段就能进行各项技术措施的全生命周期碳减排效果优化比选，定量计算不同技术方案的单位面积碳减排成本，将新建建筑的碳排放管理和评估关口前置。

北京清华同衡规划设计研究院为中瑞鼎峰集团所开发的面向住宅的建筑全生命周期碳排放评价和管理系统，在项目规划设计阶段，帮助中瑞鼎峰集团实现了建筑项目全生命周期碳排放计算和评估，包括：建材隐含碳排放核算、建设方案（不同使用工况下）运行期的能耗和碳排放评估等核心功能，帮助企业在建筑设计阶段，对建筑的隐含碳排放进行精准核算，同时，在规划设计阶段，实现对建筑建成后的运行期能耗和碳排放进行有效评估和管控。

**02 开展公共建筑能耗和碳排放监测：**中国中共中央办公厅、国务院办公厅在《关于推动城乡建设绿色发展的意见》中明确提出“实施绿色建筑统一标识制度，建立城市建筑用水、用电、用气、用热等数据共享机制，提升建筑能耗监测能力。”中国住房与城乡建设部在历年城市体检工作要求中，均将建筑能耗、建筑能耗强度等指标列入城市体检指标体系。

公共建筑运行期碳排放 8.3 亿 tCO<sub>2</sub>e，占比整体建筑运行期碳排放量的 38%。针对公共建筑的节能降碳，可依托大数据 + 人工智能技术，建立涵盖经济、生态、生活和安全的综合建筑绿色发展评价体系，以问题导



向、目标导向、结果导向设定建筑节能减碳的评价方法，在常态化数据监测和综合评价基础上，碳排放项目实施，要做到“精准施治，一楼一策”，创新合同能源管理等集约化能

源管理模式，最大化建筑节能项目投资回报率，激发建筑物管理人自身的节能降碳意愿，撬动社会资本参与公共建筑节能降碳项目投资。

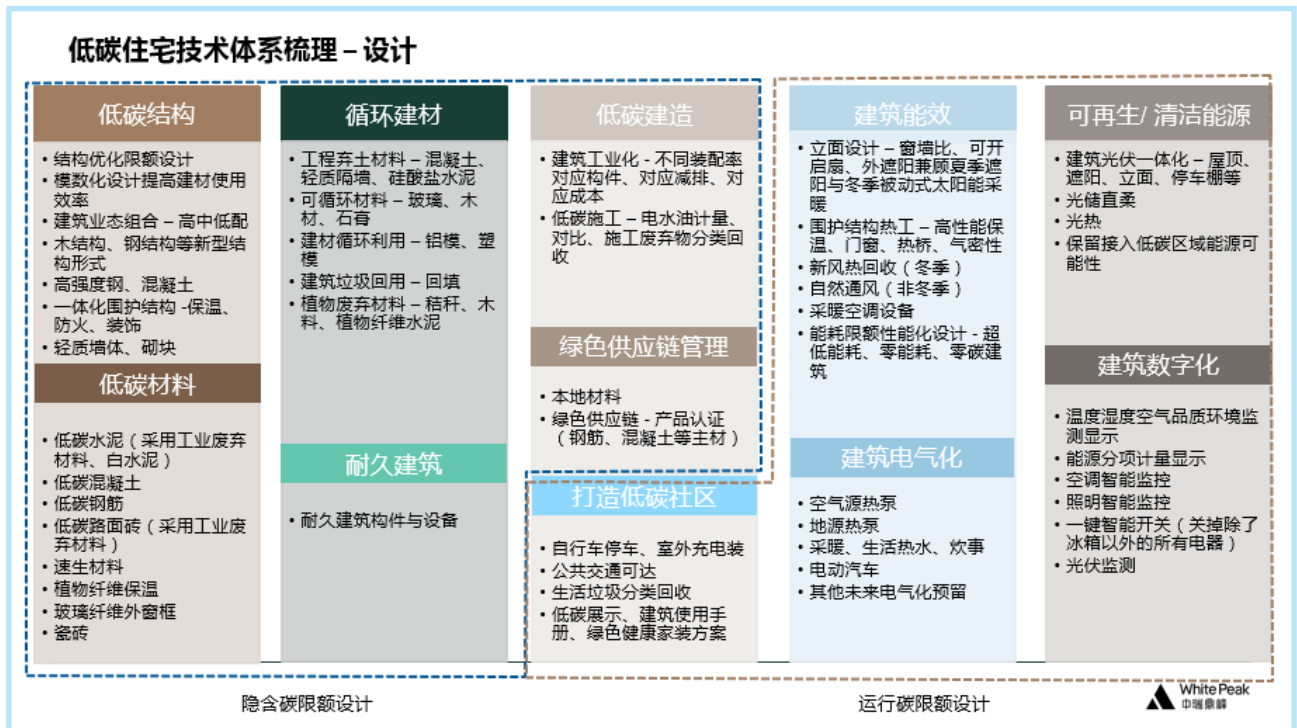


图 3-14 建筑全生命周期碳排管理 来源 北京清华同衡规划设计研究院供图

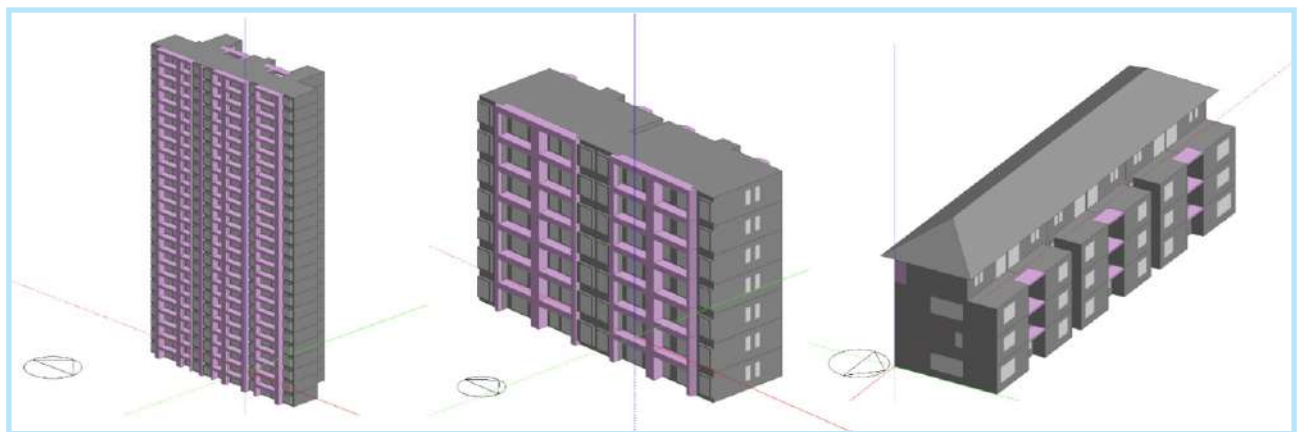


图 3-15 建筑全生命周期碳排放管理 来源 北京清华同衡规划设计研究院供图



图 3-16 公共建筑能耗和碳排放监管系统界面 来源 软通智慧供图

**03 加速重点用能设备节能降碳改造：**在公共建筑运行期碳排放中，用于采暖、通风、空调的能耗产生的排放是建筑碳排放的主要来源，在中国，它要占到建筑物总能耗和碳排放量的约 50% 以上。因此应加速对这些能源重点用能设备的节能降碳改造，可采用高效多联机等技术和产品实施升级改造。如：建筑给排水和空调设备作为重要的设备使用频率较高，建议采用变频技术提高给排水和空调系统运行效率，降低资源消耗，同时，做好空调系统的余热的回收。

建筑另一部分主要能耗为机电系统，电梯是高层建筑中必不可少的机电设备，为保障居民正常出行，优化乘坐体验感，在设计电梯部分的电气系统时，可使用碳纤维引绳来提升电梯运行效率。同时，针对电梯系统通过信息技术进行联动，在非联动设置下，居民按下电梯按键时，同楼层的两部电梯会响应并停在居民所在楼层，通过多部电梯实施联动设置，按下按键，两部电梯中距离居民最近的一部电梯会响应并停在该楼层，从而减少电梯空载率，有效降低电梯能耗和碳排放量。

美的楼宇科技通过对上海花旗集团大厦的能源系统进行重点用能设备更新升级、机房综合改造、负荷模拟、施工仿真模拟和装配式施工等措施，将现场施工周期缩短至 3 月内，综合节能收益提升超 35%，整体投资回收期缩短至 3 年内。

**04 推进建筑新能源替换：**建筑新能源替换，是建筑实现净零碳化的必由之路。针对建筑新能源替换，可针对建筑类型和建设阶段，采用 BIPV（Building Integrated Photovoltaic）和 BAPV（Building Attached Photovoltaic）模式进行建筑新能源替换。两者属于分布式光伏的一个分支，BAPV 主要应用于屋顶，通过支架等将普通光伏组件固定在彩钢瓦或者水泥屋顶上，BIPV 是光伏建筑一体化，就是将光伏发电装置融入建筑，合二为一，成为一个有机的整体，兼具建筑和发电功能，除了屋顶，BIPV 还可以将光伏设备作为光伏幕墙、光伏遮阳、光伏温室等建筑部件，应用场景更多。

由于我国建筑屋顶资源非常丰富，且分布广泛，开发建设屋顶分布式光伏潜力巨大，在存量建筑改造领域 BAPV 适用性和成本效



益上较高；而在工商业厂房、公共建筑、停车棚、充电站顶棚等类型建筑，则适用 BIPV 的可能性较高，带来更高的性价比和更加的外观效果。在新增建筑领域，BIPV 的适用性要远高于 BAPV，因此综合长期来看，BIPV 优势更明显。

在进行建筑分布式光伏规划中，从城市系统性考虑可通过信息化技术，综合地理、气候等光照条件，结合建筑外形和屋顶卫片，

最好统筹安装和规划，对发电量和收益在规划前期获得有效的预期。

华为数字能源公司建设的北京大兴机场智慧光伏系统，位于机场货运区、东跑道、公务机区的屋顶分布式光伏发电项目，建设规模 5.61MW<sub>p</sub>，并网运营后，每年可向电网提供 610 万千瓦时的绿色电力，相当于每年节约 1900 吨标准煤，减排 966 吨二氧化碳，减少排放 14.5 吨二氧化硫。



图 3-17 高效用能设备 来源 美的楼宇科技供图

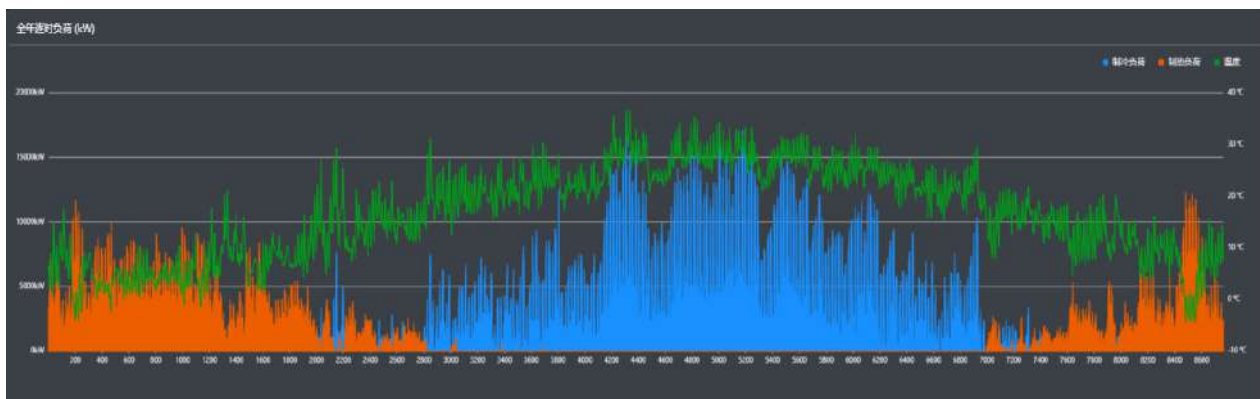


图 3-18 用能设备负荷模拟示意 来源 美的楼宇科技供图



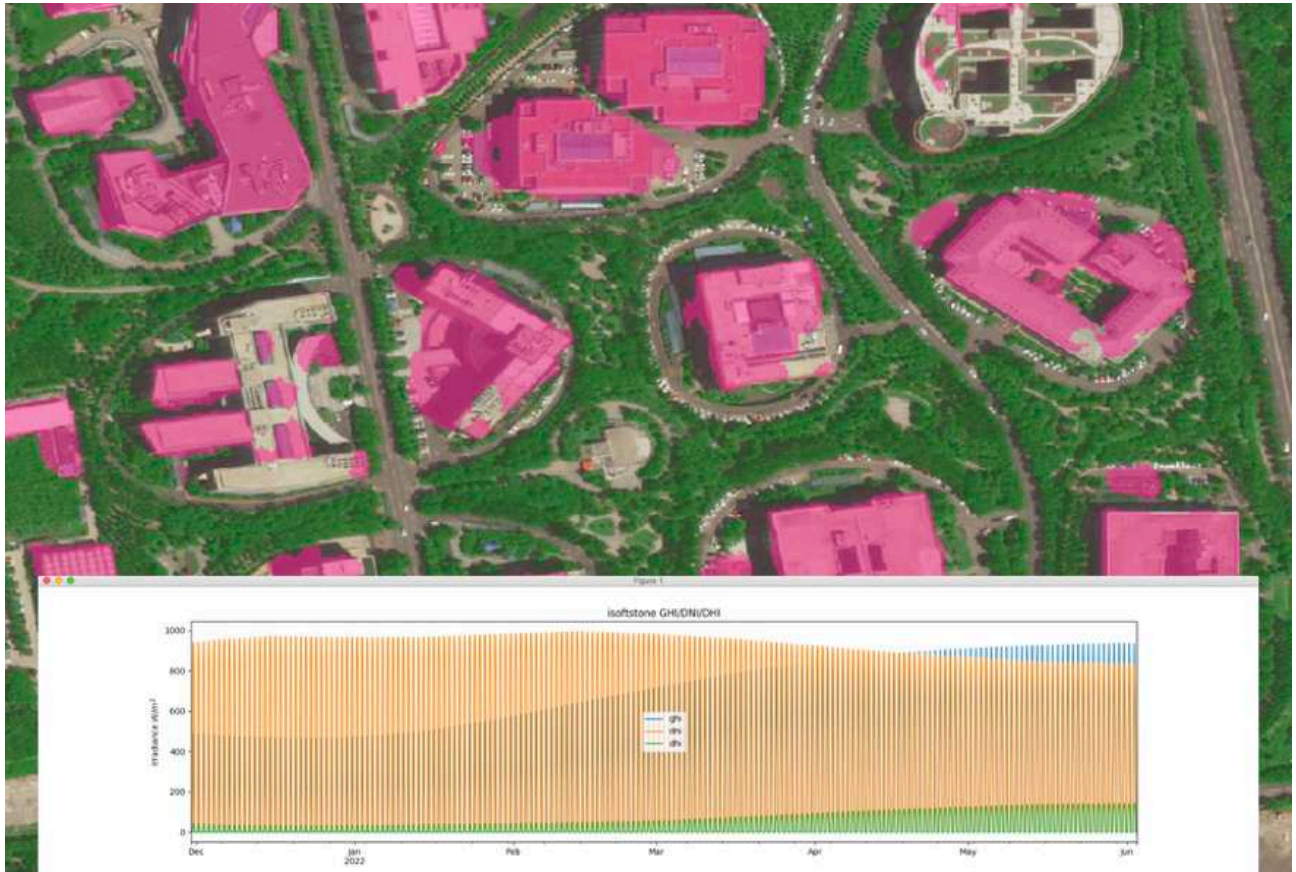


图 3-19 AI 屋顶面积和光伏收益测算系统 来源 软通智慧供图

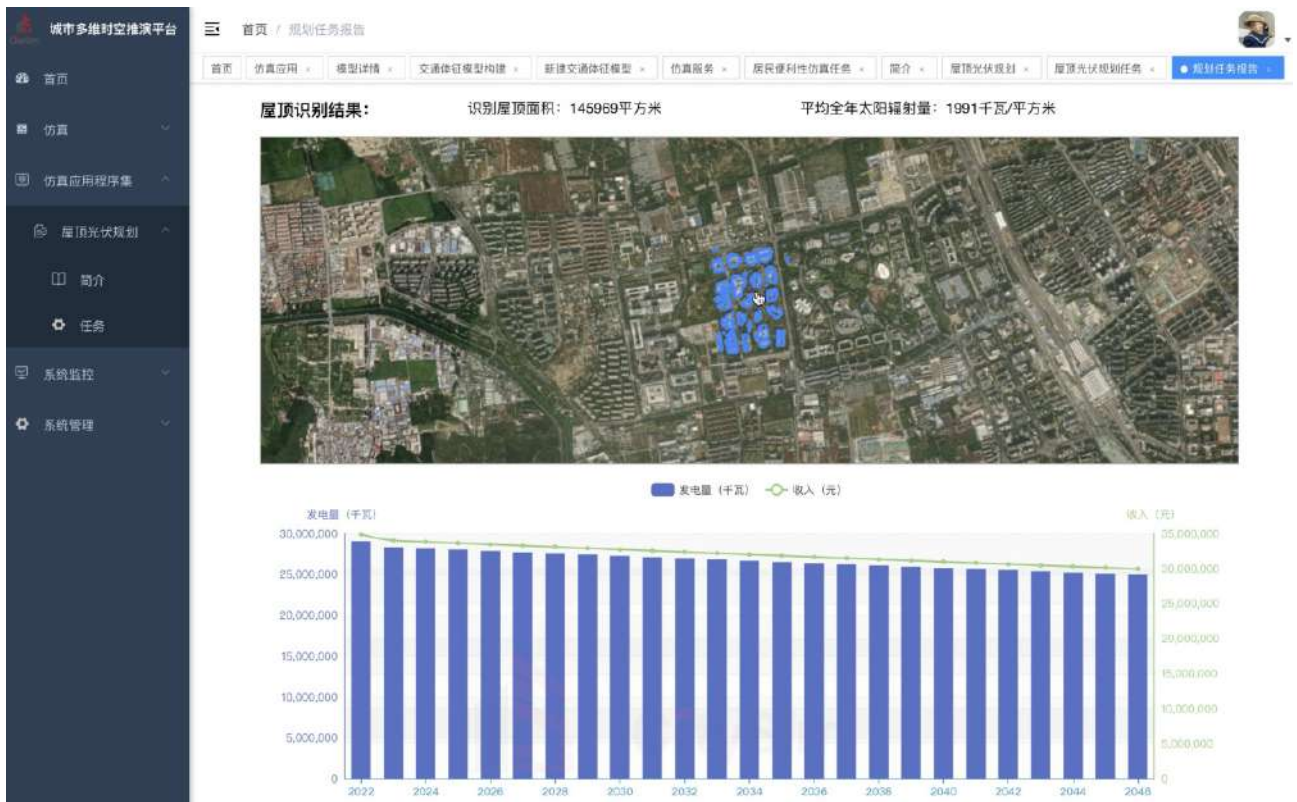


图 3-20 AI 屋顶面积和光伏收益测算系统 来源 软通智慧供图

05 加强数字化能源管理系统 (EMS)

**建设:**从楼宇系统节能减碳上,可针对公共建筑打造商用光、储、直、柔解决方案,通过建设楼宇能源数字化管理系统(EMS),将建筑物光伏、储能、蓄冷、直流充电桩以及用电设备负荷等设备数据实时采集上云,实现能源系统、碳管理系统、智慧建筑运营管理中心协同控制,通过柔性控制算法实现源荷互动,精细化管理:实施动态调节储能

系统的充放电策略,提升系统的整体效率;通过储能策略,移峰填谷,节约用能成本。

美的楼宇科技在美的集团总部大厦,通过自研诊断算法,对用能设备进行动态性能数据监测和评价,对设备能耗和碳排放进行实时诊断分析,并进行优化、协同控制,通过精细化管理达到系统效率提升和节能降碳的目的。

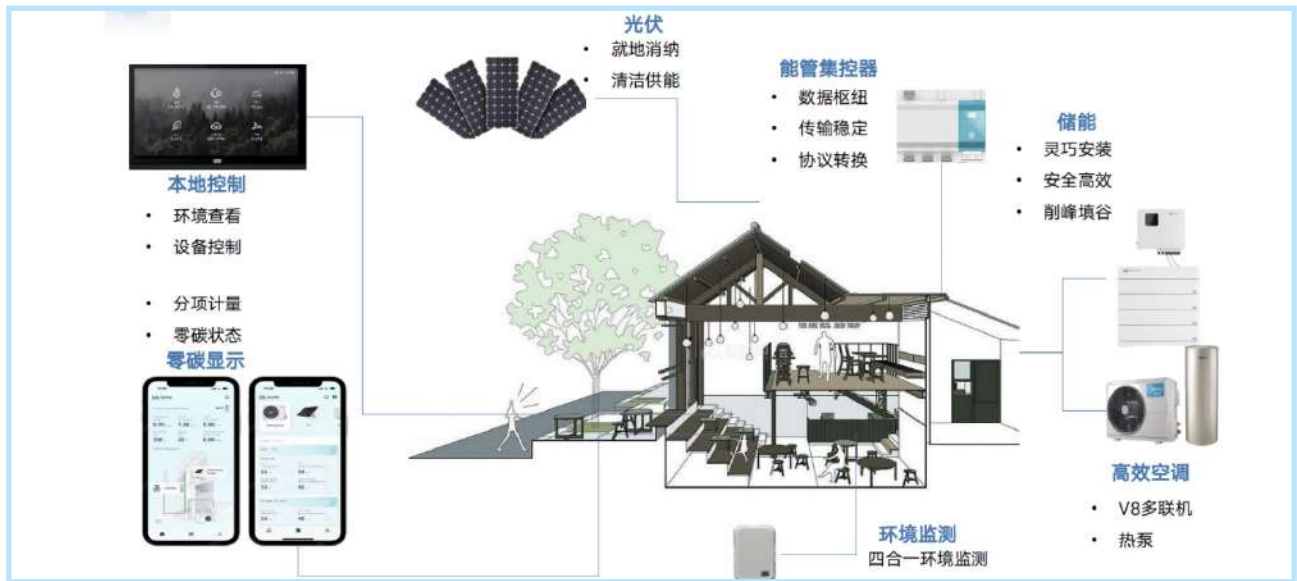


图 3-21 建筑数字化能耗碳排放管理系统 来源 美的楼宇科技供图



图 3-22 建筑数字化能耗碳排放管理系统 来源 美的楼宇科技供图

### 3.4 小结

数字技术在城市净零碳化进程中，一方面可以作为城市系统减碳策略规划的工具，掌握城市碳平衡点和“碳达峰、碳中和”进度，另一方面，也在面向能源、交通、建筑等碳排放城市碳排放重点领域整体运行效率提升和节能减碳方面，起到重要作用。本章，通过提出掌握碳数据 - 制定碳策略 - 精明碳行动三步走，对城市净零碳化路线图进行了详细阐述。

#### 1 掌握碳数据

本节，通过描述对城市碳数据底座的构建。借助大数据、物联网技术推动碳排放数据实时采集，精准核算及溯源，并选择科学合理的碳核算视角和碳排放采集方式，对城市各基础碳排放单元及其跨边界的碳足迹进行准确核算，有助于厘清城市的碳排放在全国乃至全球供应链上的责任分配。同时，在数据的支撑下，打造“双碳”大脑，利用 AI 技术对排放数据进行建模，能够帮助城市相关决策者进行及时高效的城市碳排放管理策略制定，提高城市各领域运行的系统性效率。

#### 2 制定碳策略

本节，在寻求指定最佳的城市碳策略时，应当寻求能源 - 环境 - 经济 - 社会的动态平衡，推动社会长期可持续发展。以数字技术为依托，构建以能源、产业、发展模式、污染控制、居民健康保障和社会民生等多方面关系协调发展为目标的城市碳管理正向反馈闭环管理机制和模型，对城市净零碳化具有重要决策支持意义；同时，因我国幅员辽阔，产业链完整，分布广泛，各地产业结构和自然资源禀赋差异较大，这决定了“双碳”目标的行动方案应差异化、个性化，因此，在“双碳”发展政策上，也不应当搞“一刀切”、“一窝蜂”，“双碳”目标实现应该全国统筹，形成系统降碳的合力；最后，为应对“碳达峰、碳中和”目标的复杂性、系统性特征，要把系统观念贯穿“双碳”全过程，注重处理好发展和减排、整体和局部、长期和短期、政府和市场这四对关系。

#### 3 精明碳行动

最后，通过数字技术赋能的能源、建筑、交通领域精明碳行动，落实城市的减碳、新能源替代和固碳目标，是城市净零碳路线图的重要环节，最终实现城市净零碳化。



案例研究

04

## 第四章

### 4.1 城市案例

#### 4.1.1 上海真如副中心真如境项目与海纳工程院项目：数字创新赋能楼宇净零碳

##### 1. 方案背景

真如副中心位于上海市普陀区，规划用地 6.16 平方公里，旨在建设多功能、多元文化、生态创新的城市会客厅，朝着符合联合国可持续发展目标的方向建设。在低碳建设方面，真如副中心通过完善组织机构和推进机制，逐步夯实低碳基础能力和管理工作，于 2023 年 7 月荣获上海低碳发展示范区称号。真如境项目和海纳工程院项目在数字化赋能低碳零碳发展方面具有丰富经验，成为数字化驱动的低碳示范项目。

##### 2. 真如境项目

秉持“近零碳”的建筑设计目标，真如境项目采用工业化建造，集成化智能内装等措施，以绿色可持续的生态设计，低碳可持续的机电设备和智慧可持续的管理系统等方面来实现该项目的生态建设。

##### 项目目标

实现“近零碳”建筑，通过工业化建造和智能内装等手段，实现绿色可持续的生态设计、低碳可持续的机电设备和智慧可持续的管理系统。

**01 绿色生态设计：**结合真如港和绿廊，通过下凹绿地、屋顶绿化、雨水调蓄等措施，提高场地径流系数和年径流污染控制率，创造安全韧性的海绵基底，改善微气候。

**02 低碳机电设备：**采用先进的 VAV 变风量中央空调系统、小容量冷水机组等，实现空调能耗降低 20% 以上，采用高效节能设备，提高冷水机组能效和锅炉效率。

**03 智能管理系统：**应用智慧地图、室内定位导航、客流管理系统等，实现用户导航、统计分析以及能源管理平台，降低建筑空调能耗、围护结构负荷，年节约用电量 8% 以上，年低碳排放量同比下降 16%。



图 4-1 真如建筑智能化综合管理平台  
来源 上海真如城市副中心

##### 3. 海纳工程院项目

##### 项目特色

作为上海城市数字化转型标志性项目，以“低碳化 + 数字化”引导创新型解决方案，实现建筑内部资源能源最优利用。

**01 光伏系统：**采用 BAPV 与 BIPV 相结合的建筑太阳能光伏系统，总面积占整个屋面面积的 30% 以上，年发电量超过 13 万 kWh，可覆盖全年照明与动力电量需求。

**02 低碳目标：**借助“光储直柔”核心技术，实现“碳中和建筑”目标，降低建筑能耗强度 20% 以上，年可再生能源碳减排 50 吨以上。

**03 数字化应用：**利用传感器、物联网技术实时监测能源消耗，建立数字化碳排放数据平台，通过智能电网技术调节能源利用方案。绿色智慧楼宇自控系统实现建筑内部空间使用情况的自动控制，提供最佳的电力供应方案，延长设备寿命，大幅节约能源和人

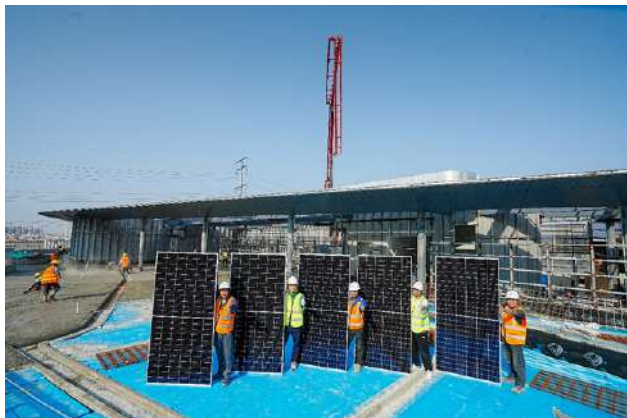


图 4-2 海纳工程院正在安装光伏系统  
来源 上海真如城市副中心

力资源成本。

这两个项目共同展示了数字化创新对楼宇净零碳的赋能效果，为低碳发展提供了有益经验。

### 4.1.2 武汉：城市通风降温低碳实践

#### 1. 方案背景

武汉开展城市风环境研究这项跨学科高难度的课题，主要基于政策导向和现实诉求两个因素。中国提出了打造生态文明，建设美丽中国的宏观战略举措，中国气象局在其颁布的《第 18 号令：气候可行性管理方法》中明确提出在城乡规划、重点领域或者区域发展建设规划中应进行气候可行性论证。城市风环境研究将是未来规划设计研究的重点区域。于此同时，武汉市的热岛问题也日趋严重，全市夏季的平均温度上升了 2 摄氏度，超过 35 度的高温日达到了 22 天，雾霾天数则达到了 99 天。加强数字化城市风环境研究对降低热岛效应、促进大气污染物扩散、改善公共空间微气候等方面具有显著作用。

本次研究旨在摸清武汉市现状风环境特征的基础上，以武汉市主城区三环线内风环境作为研究对象，以市气象局提供的全市 117 个气象站的历史观测数据以及市规划局的地形及建筑三维模型为数据基础，采取 CFD（计算机模拟）量化分析方法，依托 SWIFT 模型，以精确到米级分辨率的模拟网

格单位对城市风环境开展分析模拟，利用多学科交叉的视角与量化研究技术方法对武汉市已划定的二级风道体系进行验证，同时提出改善微观街区尺度风环境的相关规划引导与优化措施。

#### 2. 基本内容

##### 研究的主要内容则包含以下 5 项内容

**01 数据获取：**通过与气象局合作，获取了全市 116 个站点的气象数据，开创性的搭建了空间化的全市气象数据库，借鉴巴黎经验，形成武汉风环境 CFD 模拟模型。

**02 专项规划：**研究基于风环境最优的空间规划方案设计引导策略。

**03 软件开发：**完成风环境影响评估相关系统（软件）开发和标准建立。

**04 地块模拟：**对接规划管理工作需求，模拟重点地区待出让地块的风环境指数，提出规划设计相关要求。

**05 评估建议：**针对已有规划设计方案区域进行模拟评估，并提出基于风环境最优的方案改进要求和建议，辅助规划局方案审批决策。

##### 本次研究共形成 6 大创新

**01 搭建数据库：**形成武汉市风环境基础数据库，通过与气象局合作，获取了全市 116 个站点的气象数据，开创性的搭建了空间化的全市气象数据库。

**02 总结风机制：**明确现状风机制，日照评估以全年大寒日作为标准，风环境的评估同样需要典型时间点及参考标准，本次研究通过对风环境基础数据库的分析明确了 12 个风机制，并总结提炼了三个全年占比超过 3 分之一的典型风机制。

**03 风环境模拟：**利用 SWIFT 数学模型进行主城区风环境的 CFD 量化模拟，将气



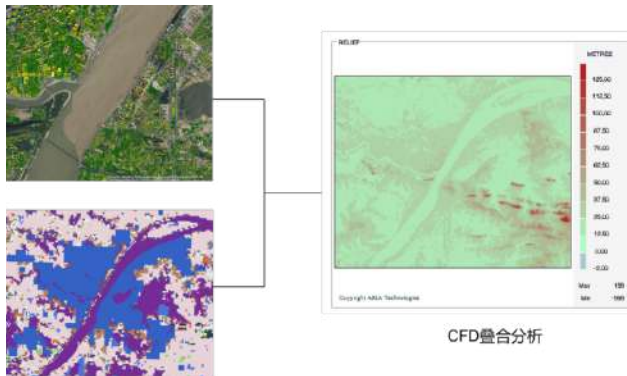


图 4-3 武汉市风环境模拟模型示意图  
来源 WPDI

象数据、地形数据、现状城市建设数据进行 CFD 叠加分析，得出全市高精度模拟结果，借助超级计算机，模拟结果可以达到 4m 乘 4m 的精度，为将来进行微观街区乃至建筑尺度的分析做好了铺垫。

**04 分析验证：**针对主城区内已有风道体系进行量化分析校核，将前期定性研究的一级和二级风道进行量化分析验证，重点规划优化提升了二级风道，并提出了相应的规划管控措施。

**05 指标分析：**明确城市风环境优化提升的影响指标，通过线性回归分析，明确了舒适度，局地气候，空气扩散等气象指数与容积率、建筑密度等规划指标的明显正相关关系，并将其作为规划设计方案调整的依据与参考。

**06 规划升级：**实现微观街区尺度规划方案的优化调整，以具体规划方案为例，在调整前，不管是近地面还是 22M 的高空都有大量令人不适的高速风和静稳风，但是通过采用增加开放空间、绿地空间、调整建筑间距、体量、高度及平面组合等规划优化策略后，从 24 小时的不间断模拟图可知，无论是在近地面还是高空，风环境的体验都在改善。

### 3. 整个方案和可持续目标相关性

本方案主要对应的是联合国可持续发展目标 11：建设包容、安全、有韧性和可持续的城市及人类住区；和联合国可持续发展

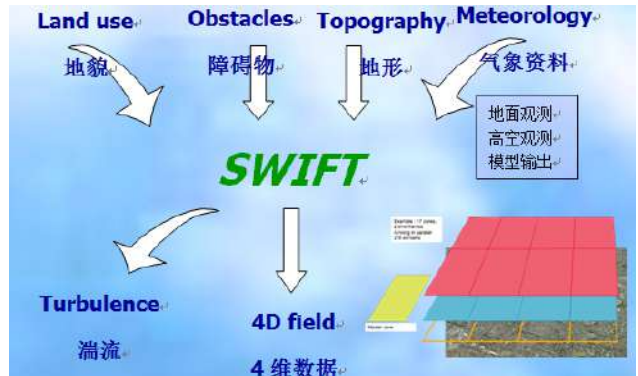


图 4-4 模型分析图  
来源 WPDI

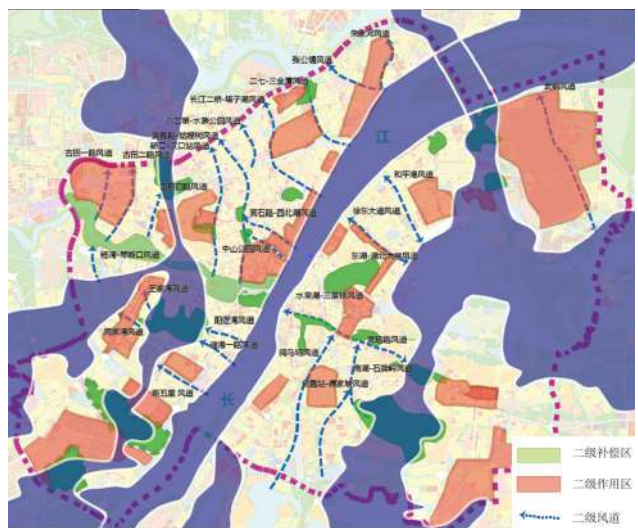


图 4-5 武汉市二级风道布局图（2012 年）  
来源 WPDI

目标 13：采取紧急行动应对气候变化及其影响。通过应对气候变化已成为实现可持续发展的棘手问题。拿出负担得起、可升级的气候变化解决方案，将确保过去几十年的取得的进展不会因气候变化而停滞，并确保经济的健康和复原力。

### 4. 小结与反思

本次研究的相关成果不仅应用在武汉市敏感地区的规划方案优化及微气候改善的具体实践中，形成了全市通风降温行动计划，还在数据支撑规划设计，科学合理开展规划管理的路上又开拓了新的方向，成果的内容还获得了首届“中欧绿色与智慧城市技术创新奖”，旨在评选绿色和智慧城市方面具有创新意义的项目。









等减碳措施。方案结合数字智能和社区碳排放源头，精准展示了能源消耗和需求，制定了数字化管控路径和居民参与的减碳、固碳路径。

### 3. 整个方案和可持续目标相关性

该数字创新方案能有效地为盐田区社区降碳提供动态监测数据，明确碳排放的主要源头，并结合主要源头提供相应的实施路径。双碳大脑等创新数字技术的实施对加强生态环境保护和管理，推广低碳技术、促进消费者和企业的环保意识、推广生态农业，推广城市绿色和低碳发展方面具有显著成效，与联合国 SDG12：负责任的消费和生产；SDG11：可持续城市和社区；SDG13：气候行动；SDG15：陆地生物目标相一致。

#### 受益人群

该数字创新方案的实施，提升了盐田区能源使用的生态效益和固碳量，改善了居民的生活和工作环境，其产生的效益惠及了盐田区全体居民以及大梅沙万科中心碳中和实验园区的工作人员，同时随着数字创新方案的持续应用及升级推广，社区生态环境质量进一步提升，其产生的效益也将惠及到前来大梅沙社区游客，约每年 600 余万人次。

### 4. 小结与反思

该数字创新方案在促进社区经济发展转型、推动技术创新、减少环境污染、增强可持续发展能力、推动全球气候治理等方面效果明显。今后在推动社区绿色能源应用、促进可持续发展、降低环境影响、保护物种、促进生态系统健康提供生物资源和促进旅游和经济发展等方面具有重要意义，此外还能促进社区和城市的生态服务功能，减少城市热岛效应等。为社区和城市提供可持续的环境和生态服务，有助于积累海滨社区回应气候挑战的有效行动经验。

### 4.1.4 成都高新区：超大城市降碳减污协同增效管理方案

#### 1. 方案背景

成都高新区在致力“双碳”目标的发展过程中，发觉到其区域自身碳监测体系尚不完善，生态数据缺乏，企业缺乏碳排放策略指导等问题，这些问题极大地影响了其绿色低碳市区的建设。

为了解决这些问题，成都高新区通过“降碳减污协同增效”方案，联手学术单位，打造全国首个示范区，助力企业绿色转型，推动高质量发展，实现“双碳”智达、“三污”数治、协同创新。

#### 2. 基本内容

成都高新区超大城市降碳减污协同增效管理方案以感知层作为基础，联合相关学术权威单位，上级权威单位，创建降碳减污协同监测体系，降碳减污协同治理体系和降碳减污协同监管体系，以助力低碳城市建设。

**01 降碳减污协同监测体系：**降碳减污协同监测体系数据采集设计将由点到线再到线进行展开，通过定性、定量分析等不同维度构成高新区立体的碳排污排数据感知采集监测网络。通过布设小型站、标准站等固定监测站，结合移动走航监测、手持设备监测、卫星遥感监测与物联网平台对接等，建立区域“空-天-地”一体化立体监测网络，全面构建高新区降碳减污协同监测体系。

**02 降碳减污协同治理体系：**围绕碳达峰、碳中和目标，通过数字手段全面获取降碳减污数据，科学掌握主要领域和经济运行数据。建立全区层面的降碳减污排放基础数据库，通过模型化、抽象化、算法化提炼高价值数据资产。结合新制度构架，构建降碳减污的统计监测体系，挖掘数据应用功能和价值链。为科学评估成效、系统推进提供数据支持，驱动治理方式重构，协同推进环境质量改善，实现碳达峰、碳中和与经济发展的精准管理。



图 4-10&4-11 建筑领域碳排放监测与管理系统 来源 成都高新愿景数字科技有限公司

**03 降碳减污协同监管体系：**降碳减污协同监管体系是在成都高新区各部门、各行业、各重点企业能源、碳排放等相关活动水平数据采集基础上，构建多维分析预测模型，涵盖能耗及碳排放核算模型、碳汇核算模型、减排量及减排潜力分析模型、碳达峰测算模型及碳中和跟踪模型等。

### 3. 整个方案和可持续目标相关性

成都高新区超大城市降碳减污协同增效管理方案令城市企业和个体都获益，助推区域环境的改善，进一步实现碳达峰碳中和，帮助生态环境相关部门和人员更高效的进行

工作和管理。此外，成都高新区超大城市降碳减污协同增效管理方案更以其一体化综合碳监测网络，数字化常态化的协同管理体系，跨部门跨领域的数据融合和业务协同，节能减排技术方法的深入研究，分类指导的降碳减污政策体系，致力于联合国人居署可持续发展目标 SDG7：确保人人获得可负担、可靠和可持续的现代能源；SDG8：促进持久、包容、可持续的经济增长，实现充分和生产性就业，确保人人有体面工作；SDG11：建设包容、安全、有韧性和可持续的城市及人类住区；和 SDG13：采取紧急行动应对气候变化，及其影响的达成。



### 4. 小结与反思

成都高新区降碳减污管理方案建立一体化碳监测网络，采用反演方法，创建一套规范流程，实现实时温室气体监测和数字管理。联合国家生态环境部及成都市环境科学研究院，优化技术路径，协同减排控制，形成分类指导的减排政策及绿色产业发展体系。通过数据整合、标准目标和产业策略，企业服务平台推动企业绿色转型。

#### 4.1.5 威海：数字赋能红色物业发展

##### 1. 方案背景

**01 国家战略要求：**响应国家坚决控制能源消费、实施节能优先方针的战略和碳达峰行动方案，推动我市物业管理行业在工作中应用和推广节能降碳。

**02 创新科技引领：**数字智能技术蓬勃发展，城市居民对数字化体验的需求不断增长，因此，通过智慧化、数字化推动小区绿色治理成为实现城市“双碳”发展的必然选择。

**03 解决现实问题：**以“精致城市”建设为总要求，威海市住房和城乡建设局将智慧化降碳减排融入物业管理服务，旨在提升业主的幸福感和满意度，擦亮威海精致城市的“新名片”。

##### 2. 基本内容

**01 打造红色物业：**以红色物业为核心，威海市住房和城乡建设局通过小区智能化建设，努力实现“居家安全、生活便捷、环境舒适”目标，推动小区运营服务向绿色低碳转型，符合联合国“可持续城市与社区”、“气候行动”目标。

**02 数字化赋能威海红色物业 App：**利用威海红色物业 App，实现线上服务标准统一、数据规范、设施设备安全可控。

##### 03 威海威高花园小区示范：

- **共管共治：**社区党委、物业公司、

业主委员会和居民广泛参与，共同治理小区低碳议题。

- **数字化赋能：**通过 2021 年的智慧改造，威高花园小区以智慧化为目标，整合大数据、物联网、人工智能等技术，确保小区低碳运营的可实施。

- **智慧物业：**借助红色物业 App，将服务标准、品质核查从线下转移到线上，解决管理中的痛点和难点问题，实现数据查询和可追溯，提高业主满意度。

- **智慧通行：**引入人脸识别门禁系统，提高业主进出的便利性，同时增强小区管理的安全性。

- **智慧安防：**通过智慧物业平台整合车牌识别、高空监控、占道报警等设备，提升全面安防风险防范。

- **智慧节能：**

- 1) 电力节能：采用智慧照明系统，根据时间和空间调节照明亮度，实现分时段、分空间的节能。

- 2) 用水节能：智能计量水表监控用水，绿化采用滴灌、喷灌技术减少水资源浪费。

- 3) 废物利用：引入“互联网+”垃圾智能回收站，激发居民垃圾分类积极性。

- 4) 耗材节约：物联感知技术监测设备，按需更换，延长设备寿命。

##### 3. 成果

**01 低碳化成果，人人共享，可持续理念深入人心：**威海市出台《关于推进智慧住宅小区建设的指导意见》，新建小区要求智慧化建设，老旧小区纳入智慧改造计划。共有 607 个小区接入智慧物业平台，入选山东省新型智慧城市“惠民”领域优秀案例榜单。

**02 新技术导入，持续赋能，人文化关怀不断补位：**未来是以 AI 人工智能为代表的智慧物业管理 3.0 时代，面对新科技的挑战，





图 4-12&4-13 智慧通行系统 来源 威海市住建局

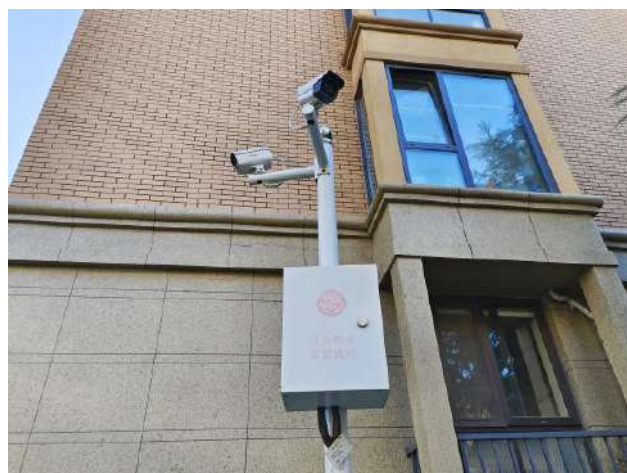


图 4-14&4-15 智慧安防 来源 威海市住建局

**01.设备智控平台**

柏清能源可管控设备2000余种，包括：热水器、锅炉、开水器、换热站、空压站、风机、泵房、智能照明、供热、风机盘管、新风空调机组、分体空调、多联机、风冷热泵、净化空调、中央空调

**03.碳排放管理平台**

包括能耗监测、用能设备跟踪管理、碳排放管理、通知及预警等系统；

**02.用能安全平台**

包括供暖、供水管网综合监控，变频电智能监测，燃气安全监管，预警报警等管理系统；

**04.空气健康平台**

包括温湿度监测、颗粒物监测、空气净化及消毒，保证环境体验；

图 4-16 智慧能源管理平台 来源 威海市住建局

面对科技挑战，强调人文和关怀，将智慧物业作为对物业管理的有益赋能和补充。

### 4.2 企业案例

#### 4.2.1 新潮传媒：低碳电梯智慧屏在城市预警信息发布中的应用

##### 1. 方案背景

依据《上海市实施〈中华人民共和国突发事件应对法〉办法》和《上海市突发事件预警信息发布管理办法》，需利用信息发布平台发布突发事件预警，以保障城市安全、减轻事件影响，并符合国家、上海市的节能低碳政策。

电梯是城市居民的必经之地，通过现有电梯智慧屏，对应急信息做到分类管理、分级预警、平台共享。通过电梯智慧屏，实现对突发事件预警信息的分类、分级、平台共享。预警发布中心与新潮传媒集团运行总控室通过接口数据对接，将预警信息生成加密数据文件并推送至新潮传媒集团。总控室核对信息后完成信息播发。上线后，各类恶劣天气预警信息在新潮传媒智慧屏上正常播出。

电梯智慧屏采用 BOE 生产的低能耗屏，使得上海市区的近 60000 台电梯每年减少 2500 吨二氧化碳排放，能耗降低 25%。

##### 2. 基本内容

###### 联合相关部门

**01 市应急管理局：**协调各部门进行预警发布工作。

**02 各预警管理单位：**根据事件可能发展态势，按照预警级别制作相应预警信息。

**03 市突发事件预警信息发布中心：**在 5 分钟内通过系统将预警信息发送至新潮传媒集团。

**04 新潮传媒集团：**根据发布需求，协助建立“绿色渠道”确保第一时间向公众发布预警信息。

###### 发布程序

**01 发布通气：**市预警发布中心提前致电新潮传媒集团运行总控制室值班人员进行早通气，尤其在发布非气象突发事件预警时。

**02 预警制作：**各预警管理单位按相关标准制作预警信息，通过系统、电话传真、电子邮件发送至预警发布中心，包括信息升级或更新。

**03 滚动字幕需求：**市预警发布中心根据要求填写《突发事件信息新潮传媒发布需求单》，经批准后发送至新潮传媒集团运行总控室，要求通过滚动字幕或图标向公众传播预警信息。

**04 播发：**新潮传媒集团运行总控室接收预警信息后，按需求单要求及时通过滚动字幕或图标向公众传播预警信息。

**05 预警解除：**预警管理单位发送解除内容至市预警发布中心，中心发布解除信息，新潮传媒集团运行总控室按需求单发布解除信息或停止滚动字幕（图标）。

**06 信息传输：**市预警发布中心与新潮传媒集团运行总控室通过接口数据对接，有预警时生成加密数据文件推送至总控室，核对后完成信息播发。

**07 信息反馈：**新潮传媒集团发布后向市预警发布中心通过数据文件反馈信息发布点位、数量、发布用时、发布视频或截图等。

**08 监控：**市预警发布中心监控岗负责监控新潮传媒集团预警信息发布情况，及时沟通处置发布中出现的问题。

##### 3. 小结与反思

突发事件预警信息包括文字和图标两部分，图标执行双方商定或行业标准，未增加市民学习成本。其他城市应急管理部门正在对接，通过电梯智慧屏技术，对城市恶劣天气预警和减灾起到了示范作用，未增加碳排放。市预警发布中心监控新潮传媒集团发布





图 4-17 智能预警 来源 新潮传媒集团

情况，及时沟通处理问题。

此案例启发了新潮传媒，计划发起城市净零碳转型公益宣传，支持全国净零碳领域知名品牌。还计划构建全国屏能耗监控系统，并与中国电梯行业协会共同制定电梯显示器技术要求标准，包含能耗标准。

#### 4.2.2 京东方科技集团股份有限公司：智慧视窗在城市降碳中的应用

##### 1. 方案背景

随着全球变暖，目前城市中空调的使用能耗占建筑总能耗的比例逐渐增大，空调产生的碳排放逐渐增多，城市热岛响应越来越明显。为有效减缓气候变化速率，减少城市碳排放量，以人为中心的建筑材料与技术智能节能上的升级是当前城市向净零碳转型的必然选择。

##### 2. 基本内容

京东方智能视窗数字创新方案通过优化自然光利用，减少空调使用能耗，从而降低能源消耗和碳排放并提高建筑的能效。智慧视窗数字创新方案从生产到应用都是采用减碳模式，在产品生产端使用的是绿色工厂使用再生水循环制造，工厂采用光伏发电；在应用端通过控制液晶偏转来调节窗户的光线透过率，使得建筑物在需要时可以最大程度地利用自然光，而在不需要时则可以减少光线进入。这种智能调节的方式可以通过建筑

外围结构的动态调控实现，也可以通过更为先进的数字化控制系统实现。京东方智慧视窗数字创新方案从自然遮阳、建筑节能、隐私保护和智能物联四大方面为公共建筑，办公场所和商场的使用人员提供服务：

**01 自然遮阳：**智慧视窗可以通过调节玻璃的透过率，有效地阻挡阳光的直接照射，防止阳光对眼睛的刺激，减少强光的眩光效应。

**02 建筑节能：**智慧视窗通过调节玻璃的透过率来控制阳光照入建筑中的热能，从而减少空调的使用，实现节能效果。建筑安装上它能够阻挡约 70% 的太阳光，有效地降低室内温度，减少能源消耗。同时它还可以通过自身的节能设计，如低驱动电压、低功耗等，进一步降低能源消耗。

**03 隐私保护：**智慧视窗可以无极调节玻璃的透过率，使得玻璃在需要时可以变得透明，而在不需要时则可以变成长黑状态。这种智能调节方式有效地保护了室内空间的隐私。同时还有像百叶窗一样的分区调光模式，为业主提供更加智能方便的调光方式。

**04 智能物联：**智慧视窗还可以与物联网技术相结合，实现与其他智能设备或传感器的联动。例如，当室内温度过高时，智慧视窗可以自动调节玻璃的透过率，以降低室内温度。当室内光线不足时，系统可以自动调节玻璃的透过率，以提供足够的室内光线。此外，智慧视窗还可以通过手机 APP 进行远程控制，方便用户进行操作。

##### 3. 整个方案和可持续目标相关性

京东方智能视窗数字创新方案不仅应用于建筑领域，也还应用于乘用车侧窗、天幕和轨道交通领域，极大降低了城市建筑和轨道交通的能耗，让城市中的工作者拥有更舒适智能的工作环境，这也有助于有助于联合国可持续发展目标 SDG12 确保采用可持续的消费和生产模式，SDG9.2 促进具有包容性的可持续工业化和 SDG11 建设包容、安全、韧性和可持续的城市和人类住区等目标的实现。





图 4-18 智慧视窗在第二届联合国人居署大会上展示  
来源 BOE

## 4.2.3 比亚迪股份有限公司：新型中低运量轨道交通系统在城市降碳中的应用

### 1. 方案背景

全球城镇化不断上升，2021 年达 56%，预计到 2050 年将上升至 68%。这导致交通拥堵加剧，2022 年底全球汽车达 14.46 亿辆。在 30 个最拥堵城市中，人们每天平均浪费 45% 的时间在交通堵塞中。机动车等移动源污染已成为城市大气污染的主要来源，每年导致全球约 700 万人过早死亡。尽管多样化绿色出行成为全球共识，但高昂的地铁建设成本和沉重的运营负担对大运量轨道交通发展构成巨大障碍。以中国为例，地铁单公里造价 8-10 亿，全生命周期运营成本是建设投资的 2-3 倍，平均运营收支比仅为 53.38%。

### 2. 基本内容

比亚迪云轨云巴是比亚迪历时多年研发的新型中低运量轨道交通系统，秉持着科学规划，技术创新，高度集成，环境友好和智能智慧的原则，构建环境友好、安全便捷、舒适人文、经济适用的立体交通解决方案。

**01 科学规划：**服务“最后一公里”，高架独立路权，胶轮走行，零距离乘坐，最大坡度 12%，最小转弯半径 15m，深入社区，最大程度便捷乘客。

**02 技术创新：**汽车与轨道交通跨界融合，刀片电池、永磁同步电机、智能电控等新能

源汽车核心技术应用，领先的车桥耦合技术、智慧供电管理系统、全自动运行系统。

**03 高度集成：**“公交上做加法”设计理念。小型化、轻量化，装配式车站，深度集成、接口统一，设备房面积减少 93%，控制中心仅需 3 人即可完成全线调度，建造成本仅为地铁的 1/10，运营成本为有轨电车的一半。

**04 环境友好：**绿色低碳节能，采用可再生钢材，刀片电池驱动，全过程 0 污染排放，胶轮走行噪声低于 68dB，智慧能源管理系统降低运营能耗成本。

**05 智能智慧：**无人化少人化运营管理，全自动无人驾驶，智慧调度、智能运维、人性化乘客服务系统，重庆璧山运营仅需 2 人/km，节省 90% 以上的人力成本

### 3. 整个方案和可持续目标相关性

比亚迪中低运量轨道交通以技术创新为基础，紧扣联合国“可持续城市和社区”、“负责任的消费和生产”、“工业创新和基础设施建设”、“可负担能源”、“气候行动”等可持续发展目标，为提升城市居民绿色出行品质、保障沿线福祉、服务弱势群体，实现了短期经济效益、外部正效应和社会认可。长期影响方面，推动行业创新、促进高效城市交通、引导低碳生活方式。

### 4. 成果

目前比亚迪中低运量解决方案已在宁夏银川，重庆璧山、深圳坪山，长沙大王山、西安高新区、贵阳、巴西圣保罗等地获得应用，直接投资额超 100 亿元，其安全性、可靠性、经济型在已运营线路上获得充分验证。

#### 长期成果

**01 促进行业创新发展：**比亚迪中低运量轨道交通全新的技术体系、设计理念和运营模式，为城轨行业注入了新鲜血液，助推城轨行业制式创新、百花齐放，为城市公共出行带来了新的选择。

**02 促进城市经济及产业链发展：**比亚迪中低运量轨道交通系统的修建有利于引导周边用地发展，促进沿线区域的合理布局 and 空间利用；此外，其也有利于推进包括设计研发、装备制造、建筑工程、运营管理等产业发展。

**03 助推高效城市交通体系建设：**比亚迪中低运量轨道交通高架独立路权、小巧轻量、灵活高效，可与大运量地铁形成互补，构建大中小协同发展的轨道交通体系，提高城市轨道网运营效能，助推高效城市交通体系建设。

**04 引导全新低碳生活方式：**比亚迪倡导构建绿色大交通体系，用电动车治污，用云巴治堵的。中低运量轨道交通充分与城市融合，利用桥下空间衍生慢行系统，打造人与大自然和谐共处的公共休闲空间，实现通勤、工作、生活、娱乐，优化出行结构，提升生活品质，形成一种全新的绿色生活方式。



图 4-19 深圳坪山云巴 来源 比亚迪集团

#### 4.2.4 滴滴出行：数字出行平台助力城市交通净零碳转型

##### 1. 方案背景

据国际能源署统计，全球交通行业的二氧化碳排量逐年增加，交通碳排放是全球第二大排放部门，占 25%。其中道路运输又是交通行业碳排放的重要源头（占比达到 75%）；在中国，交通运输领域当前的碳排

放量在全国碳排放总量中占比超过 10%，其中道路交通占比约 80%，且仍处于不断增长阶段。概括而言，城市交通出行零碳转型节能降碳潜力大、带动影响范围广，是做好“双碳”工作的主战场之一。

##### 2. 基本内容

滴滴出行数字出行平台创新方案致力于推动城市交通电动化、资源高效利用、低碳出行结构、绿色电力来源、智能交通体系，助力城市交通净零碳转型：

**01 科学核算：**滴滴出行通过“长青”碳管理工具，动态核算平台出行生态的碳排放，关注绿色指标，识别减排机会，夯实低碳发展的基础。

**02 全生命周期管理：**滴青桔致力于共享两轮车全生命周期的低排放、低消耗、高效率发展，推动产业链共同绿色发展，实施“两轮产业链碳中和行动倡议”。

**03 碳普惠推动：**过数字化手段，滴滴推出碳元气产品，激励乘客选择低碳出行方式，同时推出拼车环保激励计划奖励司机绿色里程。在能源侧，通过“低碳家园”产品引导用户错峰充电，助力电网“削峰填谷”。

**04 综合战略：**滴滴提出数字出行助力碳中和的“1+3”模式，以数字平台优势推动更大范围的节能降碳，延展零碳转型外溢效应：

**反向定制交通工具：**与比亚迪合作，通过定制网约车 D1 等交通工具，实现双向促进，提升电耗效率。

**共建共享基础设施：**利用“小桔能源”平台，通过智能技术优化城市充电基础设施布局，提高设施利用率，推动城市新能源汽车的发展与普及。

**科技赋能绿色交通体系：**滴滴研发“智慧信控系统”利用数据分析协调信号系统，降低路口拥堵延误时长，有效减少二氧化碳





图 4-20 滴滴数字碳普惠行动 来源 滴滴出行



图 4-21 滴滴助力巴西数字化与绿色发展 来源 滴滴出行

排放。

**05 全球可持续交通影响：**滴滴自 2018 年启动国际化战略，覆盖 14 个国家，为当地市场提供多样服务，赢得广泛好评。在巴西，滴滴领导“巴西可持续出行联盟”，通过与巴西企业合作，推动新能源车普及和网约车电动化。计划在 2025 年将新能源汽车渗透率从 2% 提升至 10%，新建 1 万个公共充电站。滴滴将引入全球首款定制网约电动车——滴滴 D1，同时提供安全的线上支付服务，促进移动支付在巴西的普及。

### 3. 小结与反思

滴滴出行数字出行平台创新方案以高效资源利用为基础，利用大数据和智能算法提高城市交通运营效率和数字服务能力。通过模式创新引领低碳出行，带动上下游共同推进绿色净零碳转型，形成减碳“外溢效应”；

在城市交通零碳转型中发挥了引领和带动作用。2022 年，滴滴通过提供绿色出行服务，共助力中国城市交通减少二氧化碳排放 338 万吨。未来，将以“长青”为数据底座，以“1+3”模式为方向指引，扩展碳普惠行动，开发更多绿色出行产品，将节能降碳内化为企业发展动力，与中国碳达峰碳中和战略路径协同发展。

在运营中，遇到了科学量化挑战，持续探索城市出行及共享交通生态的碳排放核算，与交通运输部科学研究院合作共同开发碳管理工具。同时，面对城市差异和业务线特性，通过“长青”工具实现对不同城市、省份和业务线指标的动态核算，为碳普惠产品的执行提供了底层数据和逻辑支撑。



#### 4.2.5 美的楼宇科技：全链路多维分级降碳综合治理方案在园区数字化转型中的应用

##### 1. 方案背景

产业园区是城市社会经济发展不可或缺的核心组成部分，是新型城镇化和制造强国战略的关键载体。然而，产业园区的碳排放占全国总量的31%，成为实现“双碳”目标和碳减排的重要目标。随着未来产业园区对能源需求的增长，如何在经济发展中实现“双碳”目标，使碳中和园区成为园区升级的必要选择和终极目标。

在面对园区碳管理中的核算、规划、实施、运维和履约等五大难题时，美的楼宇科技基于iBUILDING全面数字化底层能力，借助云边协同的物联网平台，通过数字孪生、AI能源优化和知识图谱，提供全链路碳管理的综合解决服务方案。从时间、技术和客户三个维度出发，分级分层实施降碳措施，为客户提供全生命周期的绿色低碳服务。

##### 2. 基本内容

在技术创新方面，美的楼宇科技采取了碳核算、碳分析、碳评估、碳减排的步骤，全面推进节能降碳实施。在时间维度上，园区建筑从规划设计到废弃，实施阶段性的节能降碳工作，包括主动设备选型、可再生能源替代、绿色施工管理、精益管理、预测性维护等。鉴于不同业态园区的差异，如生产制造型、商用办公型、综合型，因此提出了差异化的碳看板、碳咨询、组织碳、产品碳、碳积分等应对措施，以支持园区碳管理的数字化转型。

##### 方案的创新性

**01 一个平台覆盖多用户、全场景、全周期的绿色低碳需求。**

**02 虚实结合的数字孪生智能：**以数据和领域知识相结合，通过数据驱动能源合理配置，算法驱动能源优化管理。

**03 实现全过程数字化：**通过软件模块化解决不同园区业态的降碳问题。

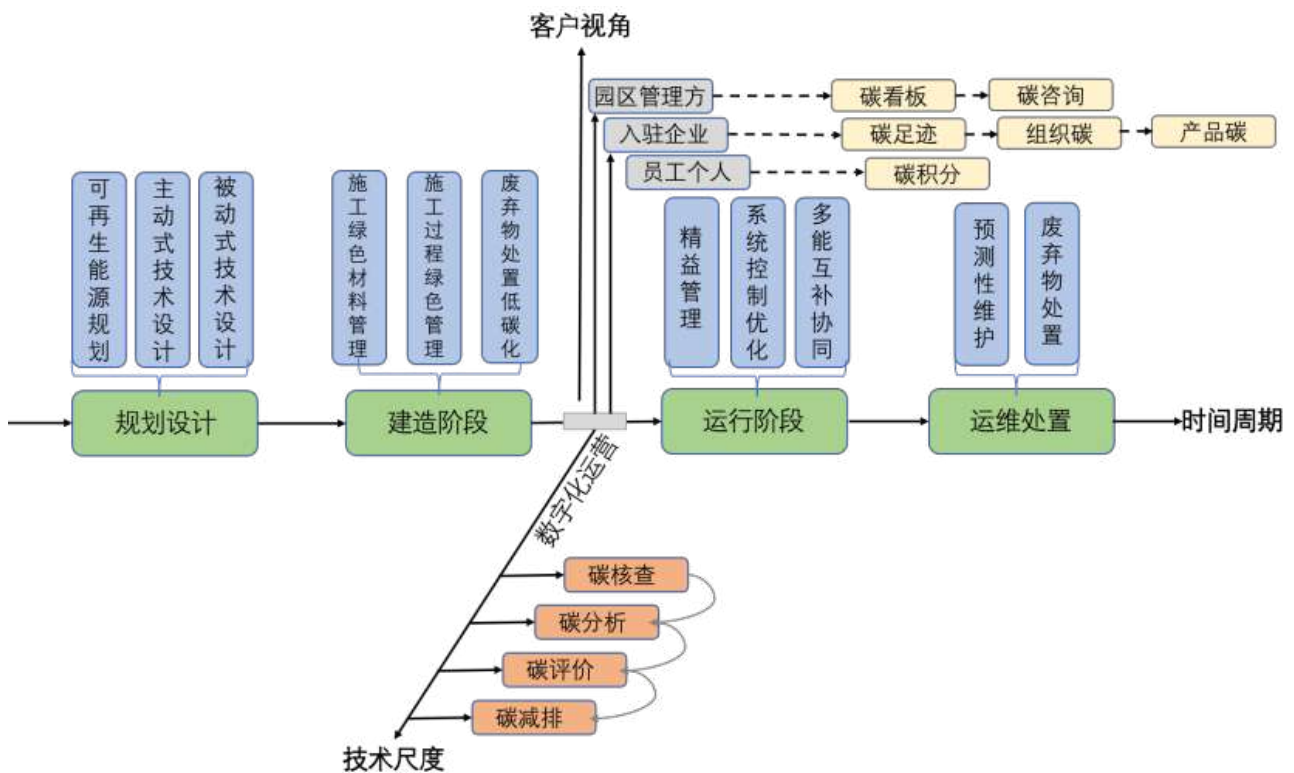


图 4-22 全链路多维分级降碳综合治理方案图 来源 美的楼宇科技



图 4-23 美的工业城碳排量 IOC 来源 美的楼宇科技

### 3. 整个方案和可持续目标相关性

美的全链路多维分级降碳综合治理方案与联合国可持续发展目标密切相关，包括 SDG7（推广清洁能源）、SDG9（促进工业化和创新）、SDG11（可持续城市和社区）、SDG12（促进可持续消费和生产）、SDG13（应对气候变化）。该数字创新方案可助力自持园区企业更有效管理能源结构，提高系统效率，降低碳交易难度；支持生产制造业提升工艺自动化水平，优化能源使用效率；协助租赁商办企业了解能源趋势，减少碳排放；提升园区物业的精细管理能力，降低运维难度；通过碳积分小程序激发员工采取低碳和减碳的生活和工作方式。

### 4. 小结与反思

美的全链路多维分级降碳综合治理方案产生环境、经济和社会效益。在环境方面，通过数字创新降低碳排放和电力支出。在经济层面，提高能源利用效率，推动碳交易收益。从长期社会效益看，方案可向更多供应链环节扩展，对不同应用场景的复制推广有实践借鉴意义。

后续措施和监督评估主要关注碳计算与碳管理，包括：

01 在数字平台上强化碳足迹盘查能力，支持产品碳、活动碳的计算与认证；

02 提高碳账户监控准确率，建立持续的跟踪和治理机制，确保改进任务的目标、时间、考核明确可监督。

在研发与运维中，遇到的挑战包括业态多样化和系统数据源的追溯。挑战一是处理不同业态园区多样需求的差异性，需要系统平台具备配置灵活度以覆盖不同的定制化要求。挑战二是数据源打通和追溯，需要管理数据质量，确保数据的实时匹配和准确性。

# 建议

本章节将分别从“应对气候变化的全球行动刻不容缓”、“致力发展数字科技推动城市净零碳转型”、“中国城市行动与全球协作”以及“全球城市数字化净零碳行动倡议”四个子章节来对整篇报告进行总结。

# 05



## 第五章

### 纲要

2023年9月，联合国秘书长安东尼奥·古特雷斯在大会高级别周期间召开气候雄心峰会，他呼吁各国政府、企业、城市与地区、民间社会和金融界领袖贡献“可靠、认真和全新的气候行动以及基于自然的解决方案，加快行动应对紧迫的气候危机。”本次峰会是一个重要的政治里程碑，表明全球有共同的意愿加快、扩大公正转型，向更公平、使用可再生能源、具有气候韧性的全球经济进发。安东尼奥·古特雷斯强调到：“现在就是必须设立雄心勃勃的目标并采取行动的时刻。全世界都在关注，地球不能再等了。”

气候变化作为三大全球危机之一，在生态环境、社会经济、健康安全等方面对全球产生了深远影响，中国做为世界最大的发展中国家，同样受气候变化影响巨大，应对气候变化的全球行动刻不容缓。中国政府也于2020年提出了“双碳”的目标：2030年前碳达峰，2060年前实现碳中和，并采取多领域政策推动实施，并与全球协作积极应对净零碳挑战。

全球数字科技也正在迅速发展，给各行各业发展带来新的机遇。而数字科技在环境治理相关领域的应用更需要受到全球性的重视，因为数字科技正在帮助加速城市净零碳转型，并发挥着越来越重要的作用。实现城市净零碳转型需要从包括建筑与住房、用水、交通、垃圾循环、能源以及碳管理在内的多个面向着手行动，而数字科技的发展得以让这些城市运作的各个维度变得智能且高效。以物联网、大数据、云计算和人工智能为代表的数字创新技术，便成为了实现城市净零碳目标的关键路径，通过“掌握碳数据 - 制定碳策略 - 精明碳行动”三步走模式，可以构建城市碳管理正向反馈闭环，推动城市数字化、绿色化、可持续发展。同时，数字技术的应用仍然具有很大的发展空间与潜力，仍然值得环境治理相关领域继续进行深入探讨。

中国积极响应全球减碳目标，也正结合数字化手段，积极采取一系列减碳举措，并在政策、财政、工业和科技等多领域制定了更为具体和高效的实施路径。中国城市也将和全球城市一起，推进城市净零碳转型目标，推动城市朝着更可持续、低碳的未来迈进。

## 5.1 应对气候变化的全球行动刻不容缓

气候变化正逐渐加大加深全球人居环境的冲击，目前，地球气温已经比 19 世纪末高出约  $1.1^{\circ}\text{C}$ ，排放量还在继续上升，已经导致了海平面上升、海洋变暖、地球淡水储备流失、水土资源破坏并引发病虫害及农粮危机、人口迁徙与区域冲突、自然灾害的增加和扩大等多方面威胁人类生存的重大影响。例如，水城威尼斯越来越频繁出现的高水位在最坏的情况下可能最早让威尼斯在 2100 年消失于海平面之下，非洲肯尼亚等干旱肆虐的地区由于气候导致的粮食减产让许多人失去了生计、食物和收入来源，苏丹地区甚至由于荒漠化和干旱引起的战乱让大批当地民众流离失所。

如果气候变化继续加重，将造成难以逆转的环境破坏、经济衰退、社会失序，甚至是人类文明的消失。联合国气候变化专门委员会 (IPCC) 于 2018 年已发出重磅警告：

“全球升温幅度需控制在 1.5 摄氏度，否则地球在 2030 年之后会迎来毁灭性气候”。应对气候变化，已经成为实现联合国可持续发展目标进程中最大、最紧迫的挑战。

在联合国 2015 年通过的《2030 年可持续发展议程》及其相关目标中，提出建设包容、安全、有抵御灾害能力和可持续的城市和人类住区 (目标 11)，采取紧急行动应对气候变化及其影响 (目标 13)，并加强执行手段，重振可持续发展全球伙伴关系 (目标 17)。这些目标都指出了全球城市对于气候变化的重要性。

2016 年联合国发布的《新城市议程》也关注到城市中心与气候变化的关系，指出世界各地的城市中心，特别是发展中国家的城市中心往往使它们及其居民特别容易受到气候变化不利影响。

2022 年在《联合国气候变化框架公约》第二十七次缔约方会议 (COP27) 上，举行了第一次城市化和气候变化部长级会议，



图 5-1 2023 联合国气候雄心峰会 来源 DownToEarth.org





图 5-2 联合国气候行动：通往“净零排放”之路

来源 [https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/2021/12/cutting\\_emissions.jpeg.jpg](https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/2021/12/cutting_emissions.jpeg.jpg)

COP27 也发起了“为下一代打造可持续的城市韧性”（SURGe）倡议，其愿景是建立有效的多层次治理，将城市转变为健康、可持续、公正、包容和有韧性的城市。

2023 年 3 月，政府间气候变化专门委员会（IPCC）发布的《AR6 综合报告：气候变化 2023》指出，在城市地区，观测到的气候变化对人类健康、生计和关键基础设施造成了不利影响，城市极端高温加剧。

2023 年 6 月，第二届联合国人居大会在内罗毕召开，推动实现联合国可持续发展目标，会中明确了五个关键行动领域，包括充足住房的普及、城市气候行动与环境保护、城市从危机中恢复、联合国可持续发展目标的本地化和多层级治理、繁荣与财政等，呼吁所有各方形成积极行动，为实施联合国可持续发展目标和《新城市议程》做出贡献。大会通过了题为“加强城市化与气候变化之间的联系”的决议草案，进一步突出了可持续城市发展对于气候变化的重要性。

着至关重要的作用，因为它们不仅是温室气体排放的主要来源，还是应对气候变化的关键领域。联合国及其相关组织一直强调城市可持续发展和减缓气候变化的紧迫性，而全球城市投入在应对气候变化的努力远远滞后于它带来的影响，应对气候变化的全球行动刻不容缓。

综上所述，城市在气候变化应对中发挥





图 5-3 《AR6 综合报告：气候变化 2023》来源 IPCC



图 5-4 第二届联合国人居大会 来源 Chinadaily.com

## 5.2 发挥数字科技在城市净零碳转型的重要作用

城市集聚了全球绝大多数的人口，是人类活动及碳排放的集中地区，但同时也是创新技术发展及应用的高地。然而，尽管数字技术的进步与应用对城市化与各行各业的发展起到了巨大的推动作用，数字技术着力发展的主赛道却还未完全覆盖到全球环境治理相关领域。因此，开拓数字科技的创新赛道，引导数字科技去发展足以有效应对气候变化的诸多挑战，是当下全球城市在应对过程中所遭遇的碎片化行动、缺乏全球性协调、数

字鸿沟与数据安全隐私、数字基础设施自身高碳排等关键问题的可能方案，甚至是必然的选择。所以，重点行动的规划、跨境投资与合作、完善政策支持、调动社会与技术资源、可持续性数字系统的考虑，都将成为发挥数字科技在城市净零碳转型中的重点议题。

实现城市净零碳转型涉及到建筑与住房、能源、用水、交通、垃圾循环、碳管理等多方面关键行动，因此更高效的城市规划就变得尤为重要。高效的城市规划不仅能在城市管理、基础设施、土地使用和社区发展等城市的各个维度推动减少碳排、提高城市的可

持续性，更可以帮助城市掌握碳数据、制定碳策略、精明碳行动。

虽然净零碳转型的过程意味着不可避免的额外成本，但通过数字技术的应用和数字化管理手段，可以最大程度地降低转型成本或通过可持续的获利来合理化转型过程的投入，同时开创可持续经济增长的投资机遇。数字化转型开始在各行业深入发展，技术也相对成熟，只是现阶段在环境相关领域与城市净零碳转型相关应用还相对有限。如何将数字科技发展的成果更广泛深入的应用到城市净零碳全过程生产体系，将是城市净零碳转型需求转化为可持续的城市经济增长机遇的关键。

综上所述，数字科技是实现城市净零碳目标的关键路径，为城市发展的各方面提供了有力的净零碳工具，促进了城市的可持续发展，但数字系统自身的碳足迹也需要被重视并有效管理。数字技术的不断创新和整合

将继续推动城市朝着更清洁、更智能、更可持续的未来迈进。

### 5.2.1 实现城市净零碳转型是关键行动

实现城市净零碳转型是一个复杂的任务，涵盖了多个城市维度，需要从城市运作的各个面向着手行动，包括建筑与住房、城市用水、城市交通、城市垃圾与循环利用、城市能源以及城市碳管理。因此，统筹协调城市发展各个维度的城市规划则成为综合管理多个城市转型重点的必要手段。精细高效的城市规划需要综合考虑城市净零碳的多个面向，平衡经济、社会与环境效益，并使用数字创新技术来提高城市规划本身的效率，助力城市净零碳转型。



图 5-5 数字化城市解决方案 来源 AECOM





建筑与住房方面，大数据与人工智能、BIM、智能传感器与数字孪生等技术能够分别赋能建筑的设计、施工、运营阶段的能源管理场景。而物联网与数据处理可以赋能建筑的智能供暖及制冷供应。



城市用水方面，数字孪生、传感器、物联网、大数据、人工智能、算法等技术可以被应用在优化水资源利用总体规划、水流监测、预测用水量、优化水库运行等水资源分配场景。深度神经网络、GIS、传感器等技术则有助于供水网管的运营和维护。



城市交通方面，传感器、无线通信、大数据、AI 算法等技术帮助智能交通管理，提高运输效率。遥感、GIS、射频识别无线通信等技术则帮助智能充电设施实现充电设施定位、充电状态优化、车辆到电网 V2G 等场景。



城市垃圾与循环利用方面，数据共享、数据库和物联网技术帮助废物回收建立激励机制，人工智能算法、智能传感器、物联网等技术帮助垃圾分类实现现场废物分类和优化废物收集路线。



城市能源方面，利用人工智能、物联网、大数据、云计算等技术建立并维护智能电网，利用智能控制器、网络技术、区块链、算法等技术建立能源互联网，并用优化能源结构。



城市碳管理方面，无人机、区块链、数据分析、深度学习等技术可用于碳核算、碳交易和碳融资，帮助实现全面的碳管理体系。

综上所述，城市净零碳转型是一项多维度的任务，需要城市规划及各个城市维度的数字创新技术支持。从建筑、用水、交通、垃圾管理、能源到碳管理，各领域都可以借助大数据、人工智能、物联网、传感器等技术来提高效率，减少碳排放，实现更可持续和环保的城市。同时，通过城市规划本身的数字化转型升级来调动更加复杂多元的技术资源也是不可忽略的行动重点。这些技术的综合应用将有助于实现城市的净零碳目标，创造更宜居的城市环境。

### 5.2.2 数字科技是实现城市净零碳目标的关键路径

城市净零碳化及其路线图，是一个复杂的系统工程，也是一个不断变化的动态方案。以物联网、大数据、云计算和人工智能为代表的数字创新技术，是实现城市净零碳目标的关键路径，通过“掌握碳数据-制定碳策略-精明碳行动”三步走模式，构建城市碳管理正向反馈闭环，推动城市数字化、绿色化、可持续发展。

**01 掌握碳数据：**城市作为气候变化应对的主要参与者，碳排放数据采集和核算具特殊性。市场经济下，城市需求导致碳排放分散，城市碳足迹采集需数字化机制，同时厘清生产端和消费端碳足迹。系统效率提升可通过 AI 技术、多目标优化、贪婪算法、遗传算法等优化用能策略，实现节能减碳。这一步骤可以从建立数据底座，构建城市“双碳”大脑，并建设更绿色的数据中心三个方面着手。

**02 制定碳策略：**中国要把系统观念贯穿“双碳”工作全过程，建立系统应对气候变化的战略和政策。数字技术支持城市碳模型，反馈闭环管理，对净零碳化策略制定有决策意义。首先要构建“规划、实施、核算、分析”的碳管理正反馈闭环，其次要因地制宜，量体裁“碳”，全国统筹形成系统降碳的合力，第三，需要平衡发展和减排、整体和局部、长期和短期、政府和市场这四对关系。

**03 精明碳行动：**数据可以提升城市效率，



通过供给侧、近需求侧、需求侧、供需协同四种模式优化能源效率，并通过优化交通管理和电气化公交系统来提升市内交通效率。同时，数据可以通过帮助能源安全、交通韧性、建筑应对气候变化韧性、水系统韧性四方面增强城市韧性。

综上所述，城市净零碳转型是一项多维度的任务，需要城市规划及各个城市维度的

数字创新技术的支持。从建筑、用水、交通、垃圾管理、能源到碳管理，各领域都可以借助大数据、人工智能、物联网、传感器等技术来提高效率，减少碳排放，实现更可持续和环保的城市。同时，通过城市规划本身的数字化转型升级来调动更加复杂多元的技术资源也是不可忽略的行动重点。这些技术的综合应用将有助于实现城市的净零碳目标，创造更宜居的城市环境。

### BIM for MEFP Designers



图 5-6 BIM 建筑信息模型技术 来源 BIM



图 5-7 深圳的“双碳大脑”：全国首个建筑领域碳排放监测与管理系统 来源 sz.gov.cn

### 5.2.3 数字科技助力行业产业形成减碳工具

数字科技在助力各行业实现净零碳目标方面发挥着重要作用，主要通过数字化信息、数字化流程和数字化产品三个方面来实现：

#### 01 数字化信息

- **数据收集和分析：**数字科技可以帮助城市收集大规模的环境数据，包括能源使用、交通流量、污染水平等。这些数据可以用于精确分析城市的碳排放源，帮助制定精确的减碳策略。

- **智能传感器和监测系统：**数字科技使得城市能够部署智能传感器和监测系统，实时监测能源消耗、空气质量和交通流量等。这些信息可以用于实时调整城市设备和资源的使用，从而降低碳排放。

- **模拟和预测分析：**数字技术允许城市建立模型和进行模拟，以预测不同减碳措施的效果。这有助于城市规划者选择最有效的策略，以最小化碳排放。

#### 02 数字化流程

- **智能城市规划：**数字科技可以协助城市规划师设计出更加低碳高效的城市布局，包括减少通勤距离、提供绿色空间和公共交通系统的优化。

- **能源效率：**数字化流程可以帮助城市管理者优化能源使用，包括建筑物的节能、照明系统的自动调整、智能供电网络的管理等。

- **供应链优化：**数字化流程可以改善供应链的可持续性，减少运输和仓储中的能源浪费，减少碳足迹。

#### 03 数字化产品

- **可再生能源：**数字科技有助于提高可再生能源的效率和生产，例如太阳能和风能。数字监控系统可以确保这些资源的最大

利用率，降低碳排放。

- **智能建筑：**数字化产品包括智能建筑技术，如智能照明、智能暖通空调系统和能源管理系统，它们可以显著减少建筑物的能源消耗。

- **电动交通工具：**数字科技推动了电动汽车和交通工具的发展，这些车辆的使用可以大幅降低碳排放，特别是当这些车辆通过可再生能源充电时。

通过数字化信息的数据分析，数字化流程的优化和数字化产品的应用，城市可以更有效地监测和减少碳排放。为更好的应对气候变化，城市净零碳转型势在必行，然而数字化转型牵涉到的信息、流程、和产品的可支付性问题则需要获得务实且充分的考虑。首先数字化转型的效益于成本需要合理平衡并且是可负担的，这样方有利于数字化转型方案的发展、推广与应用。其次，从长远的角度看，数字化转型必须是能带来长期的经济与社会效益，通过数字化技术网络加速加大要素的流动与交换，例如数字化碳汇市场的建立与碳交易体系，将可进一步换取未来效益对当下投入的支持。总的来说，数字科技正在各个方面帮助各行业产业形成具有可支付性的减碳工具，促使更广泛的城市减少碳排放，从而实现更可持续的城市和社会发展。

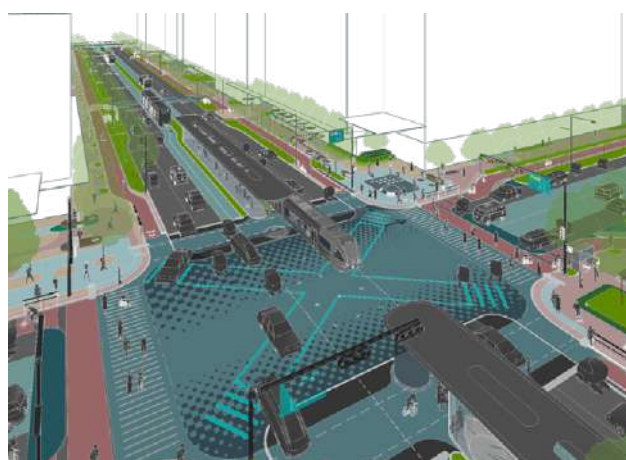


图 5-8 更加智能的城市规划  
来源 AECOM



### 5.2.4 数字科技助力行业产业形成减碳工具

在人工智能技术飞速发展的背景下，城市智能算力基础设施的能源需求也愈发强烈，数据中心的耗电量也急剧增加。据估计，全球数据中心温室气体排放总量约占 2%，这与整个航空业大致相同，疫情期间这一数字甚至增加到全球碳排的 5-7%。中国信息通信研究院的数据也显示，2021 年中国全国数据中心总耗电量达 2166 亿度，碳排放量达 1.35 亿吨，占全国二氧化碳排放量的

1.14% 左右，已成为全国“碳达峰、碳中和”目标的重要影响因素之一。

为了改善数字系统自身碳足迹，可以从资源高效利用，AI 赋能运营效率，资源循环利用三方面着手：

**01 资源高效利用**，包括使用更清洁的能源供电、减少清洁水资源的消耗、更集约化的建设土地利用、更大程度利用自然气候冷源。

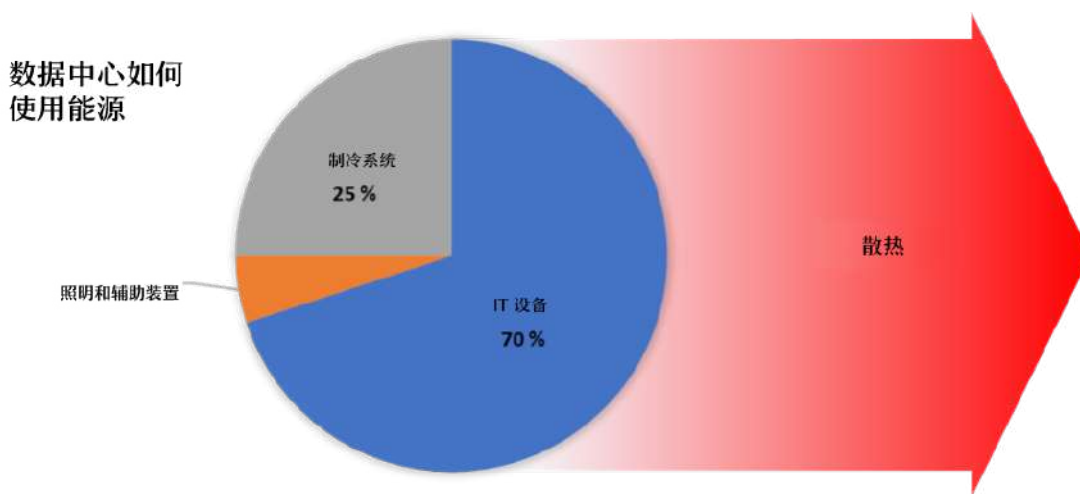


图 5-9 数据中心的能源使用构成 来源 Hashnode.com



图 5-10 谷歌在欧洲建立的绿色数据中心 来源 Sustainableitdecoded withgoogle.com



**02 AI 赋能运营效率**，包括利用 AI 技术更加智能地优化数据中心制冷效率、提高 IT 设备的运营效率、更灵活高效地调度能源利用。

**03 资源循环回收**，一方面是指数据中心余热的回收利用，用于数据中心的自身、周边配套及并入市政热管网的供暖与加热，另一方面是指数据中心设备和设施材料的回收利用。

同时，配合数据的压缩去重、数据中心的定期评估等措施，可以降低数字系统的碳足迹，减少数字基础设施的碳排放，有助于保护环境，同时降低能源成本和提高系统效率。

## 5.3 中国城市行动与全球协作

作为全球最大的发展中国家，中国在追求经济增长的同时，积极采取了一系列减碳举措，并在政策、财政、工业和科技等多领域制定了更为具体和高效的实施路径。基于 2020 年提出的“双碳”目标，为积极完成 2030 年前实现碳排放的峰值以及 2060 年前实现碳中和的任务，中国各城市已经在多

个层面上进行深入探索，以应对气候变化所带来的紧迫性和全球影响。在这一背景下，中国的城市发挥着至关重要的作用。中国需要积极分享减碳实践经验，特别是在数字化技术路径和产品开发、数字化城市规划、建设、运营管理方面，以应对挑战，实现减排目标。这些行动不仅是中国减排努力的一部分，也是全球气候变化应对的关键参与者。通过创新城市规划经验分享、深化数字技术应用、参与国际合作，中国城市将在推动气候行动和实现减排目标方面发挥关键作用，为可持续未来的建设做出贡献。

### 5.3.1 中国推动净零碳转型的城市实践经验

积极应对气候变化是中国实现可持续发展的内在要求，也是推动构建人类命运共同体的责任担当。2023 年 8 月，全国生态日主场活动生态文明重要成果发表会上，国家发改委发布了中国碳达峰碳中和重大宣示三周年重要成果，包括了 8 大维度成果：

**01 完善治理体系**：中国党中央领导层将碳达峰和碳中和纳入综合生态文明建设和经济社会发展计划，通过政策文件和实施方案明确推进“双碳”工作，确保政策体系的构



图 5-11 2023 全国生态日主场活动生态文明重要成果发表会 来源 cpnn.com

建和落实。

**02 推动能源转型：**中国致力于减少煤炭使用，提高煤电机组的效率，同时加速新能源和清洁能源的发展，确保能源供应多元化，提高能源安全。

**03 优化产业结构：**通过供给侧结构性改革，中国减少粗钢产量，发展战略性新兴产业，例如太阳能电池、锂电池和电动汽车，同时引导产业更新改造，强化节能和减碳措施。

**04 绿色低碳发展：**中国积极发展绿色建筑，提高节能建筑面积比例，改善交通运输结构，增加新能源汽车产销，推动低碳交通。

**05 提升碳汇能力：**通过生态系统保护和修复，国土绿化行动，以及提高森林覆盖率，中国增强了碳汇能力。

**06 绿色低碳政策：**中国实施节能政策，加强能源消耗和碳排放双控，通过财政资源配置和税费优惠政策支持绿色低碳发展，推出碳减排支持工具。

**07 双碳基础设施：**中国建立了统一的碳排放统计核算体系，加强标准化，科技创新，以及专业人才培养，以支持“双碳”目标。

**08 全球气候治理：**中国积极参与全球气候治理，支持国际合作，促进公平合理和合作共赢的全球环境治理，同时支持发展中国家的绿色低碳发展，增强其应对气候变化的能力。

同时中国在能源、工业、建筑、交通、金融等领域都开展了丰富的低碳试点示范工作，鼓励各城市因地制宜探索绿色低碳发展路径，自 2010 年以来，我国已分三批开展了 81 个低碳城市试点，涵盖了不同地区、不同发展水平、不同资源禀赋和工作基础的城市（区、县），试点城市围绕编制低碳发展规划、制定促进低碳产业发展的政策、建立温室气体排放数据统计和管理体系、建立控制温室气体排放目标责任制、倡导绿色低碳生活方式和消费模式等五个方面扎实落实

试点任务，并取得积极成效，为地方绿色低碳发展积累了宝贵经验。

综上所述，中国在推动净零碳转型的城市实践中，积极减缓气候变化，主动适应气候变化，完善政策支撑并且积极参与应对气候变化的全球治理。分享中国应对气候变化、推动净零碳转型的城市实践经验，并继续加深全球合作，是中国下一阶段的重要举措。

### 5.3.2 加大加深国际交流与合作

中国高度重视应对气候变化国际合作，坚定维护多边主义，坚定不移支持应对气候变化多边进程，在气候变化国际谈判中发挥建设性作用，与各方开展对话交流和务实合作，积极推动气候变化南南合作和绿色“一带一路”建设，支持推动全球行动共识与倡议，为构建公平合理、合作共赢的全球气候治理体系发挥重要作用。

**01 深化应对气候变化交流：**应对气候变化成为领导人外交亮点。习近平主席多次在国际场合发表重要讲话，提出全球气候治理的中国方案，支持全球气候治理取得重要进展。习近平主席还与联合国秘书长、美国总统、英国首相等国际领导人举行多次通话和视频会议，积极推动国际气候合作。中法德三国也就气候变化等议题达成重要共识。

推动高层对话交流，凝聚政治共识。2021 年，中美气候特使及磋商团队进行 30 余次密集磋商。2022 年，中国持续推进“中欧碳排放交易政策对话”等双边气候变化对话，不断强化碳市场、低碳城市等领域中欧合作。首次主办金砖国家应对气候变化高级别会议、参与二十国集团气候和能源联合部长会议，推动 G20 恢复设立可持续金融研究小组。

**02 推动多双边气候变化谈判：**全面深入参与《公约》及其《巴黎协定》等主渠道国际谈判进程。秉持人类命运共同体理念，统筹对外合作与斗争，推动《公约》缔约方会议达成《沙姆沙伊赫实施计划》，着力构建公平合理、合作共赢的全球环境治理体系。



中国代表团出席 COP26、COP27，全面参与大会各议题谈判磋商，积极主动与各方对话协调，发挥积极建设性作用。

积极参与《公约》外渠道谈判，协同推进气候多边进程。坚持公平、共同但有区别的责任和各自能力原则，坚持“自下而上”国家自主贡献机制安排，坚定维护《公约》主渠道地位。积极参与国际海事组织（IMO）、亚太经济合作组织、世界贸易组织（WTO）、国际民航组织等多渠道下气候变化相关对话磋商，介绍中方气候变化国际谈判关键议题的立场主张，引导各方弥合分歧、相向而行。

**03 强化应对气候变化务实合作：深化气候领域双多边合作机制。**推动共建基于自然的解决方案亚洲中心，推进与欧盟、德国、东盟、英国、芬兰、丹麦、日本、韩国、新西兰、新加坡、南非、乌拉圭等国家与组织的交流合作。推动世界银行、亚洲开发银行、亚洲基础设施投资银行、金砖国家新开发银行等国际金融机构加大资金动员力度，以平衡支持发展中国家的气候项目。同时，积极向国际组织输送人才，加强国际化人才培养。

南南合作取得新进展。中国为发展中国家提供气候资金支持，并开展培训活动。截至 2022 年 7 月，中国已累计安排超过 12 亿元人民币用于开展气候变化南南合作，与 38 个发展中国家签署 43 份气候变化合作文件，与老挝、柬埔寨、塞舌尔合作建设低碳示范区，与埃塞俄比亚、巴基斯坦、萨摩亚、智利、古巴、埃及等三十余个发展中国家开展 40 个减缓和适应气候变化项目。

携手打造“绿色丝绸之路”。2021 年，中国与 28 个国家共同发起“一带一路”绿色发展伙伴关系倡议，并不断完善“一带一路”绿色发展国际联盟（简称联盟）建设。并且以“一带一路”生态环保大数据服务平台为依托，开发对外投资环境风险评估工具和编写“一带一路”生态环保大数据报告，指导企业贯彻绿色发展理念，开展绿色投资合作，推动建设绿色“一带一路”。



图 5-12 《生物多样性公约》第十五次缔约方大会在云南昆明开幕 来源 Chinadaily.com



图 5-13 第 26 届联合国气候变化大会 来源 News.yale.edu



图 5-14 南南合作示意图 来源 Idea.org



### 5.4 全球城市数字化净零碳行动倡议

随着气候变化日益加剧，全球各国必须立即采取行动，力图稳定地球温度、减轻气候变化的影响。其中，实现净零排放是关键目标，数字创新是实现这个目标的有效路径。因此，为积极引导数字技术向永续人居环境发展，营造科技与人文、城市与自然融合共生的核心价值，通过此报告的发布，提出以下五大倡议：

1

#### 以数字理念升维城市管理，全面贯彻落实减碳行动

- **数字赋能碳策略制定：**城市的领导层、政策制定者和公众需要认识到，数字化和净零碳是不可分割的。通过数字技术，建立一条反馈通路，形成基层对上层的反馈机制，实现末端对始端的影响和作用，以构建碳中和的动态平衡状态，形成“规划-实施-核算-分析”的碳管理正反馈闭环。

- **加强数字化教育传导：**建立广泛的宣传机制，向市民传递数字化净零碳的好处。这包括解释如何通过数字技术减少能源浪费、降低碳排放、改善空气质量以及提高城市居民的生活质量。学校、社区和媒体可以扮演关键角色，宣传可持续城市的利益。

- **数字化全流程监测与反馈：**使用数字化工具创建定期的碳排放报告，将减碳行动的成果和努力向内部和外部利益相关者传达，确保透明度和合规性。同时通过追踪关键绩效指标，以确保减碳计划的成功实施。

2

#### 以数字技术促进能源转型，有效降低温室气体排放

- **智能能源管理系统：**开发智能电网系统，通过物联网、大数据、区块链、云计算等技术，实时监测、分析和管理城市能源使用，以减少浪费和提高效率。

- **可再生能源互联整合：**利用数字技术协调太阳能、风能、生物能源等可再生能源的生产和分配，形成能源互联网，进一步

优化能源结构，确保城市能够最大程度地使用清洁能源，减少依赖化石燃料。此外，政府可以提供激励措施，鼓励居民和企业投资可再生能源。

- **智能城市规划打造零碳城市系统：**引入物联网、大数据、人工智能、云计算等技术，整合城市规划数字化工具，应用于城市建筑与住房、城市用水、城市交通管理、城市垃圾循环利用等方面，以优化各个环节的碳排及能源效率。建立碳数字底座与“双碳”大脑，将更精确的能源供需数据辅助城市规划决策。

3

#### 以数字平台加强国际合作，共同应对全球气候变化

- **数字平台和数据共享：**建立数字平台，促进跨城市、跨国界的碳排放数据共享机制，以在全球范围内推动减排政策协作。

- **开放数据标准和协议：**制定全球标准，实现不同城市之间的碳排放数据相互操作性，同时鼓励透明度和可追溯性。

- **支持城市合作伙伴关系：**推动跨国界的数字净零碳城市伙伴或联盟关系的发展，例如 C40 CITEIS，团结一致应对气候危机。同时可以建立数字化国际合作资金，以支持城市之间的数字解决方案开发和实施，从而促进更广泛的合作。

4

#### 以数字文化带动公众参与，孵育发展绿色人文价值

- **个人碳足迹与碳账户：**通过制定数字化碳足迹应用程序，使个人能够追踪其衣、食、住、行活动的碳排放量，以及绿色低碳行为进行量化评价，建立以个人为主体的碳排放账户，将个人碳排放账户水平与各类生活应用场景挂钩，并获得建议来减少排放。

- **数据可视与线上社区：**建立线上社区，通过数据可视化技术展示城市的碳排放情况、能源使用和环境状况，同时开发在线平台，以便公众能够积极参与碳中和城市的规划和决策过程，并建立气候变化讨论社区，以促

进公众参与、信息共享和互助行动。

- **绿色数字文化公共活动：**举办绿色数字文化主题的展览、讲座与创意竞赛等公共活动，结合虚拟现实和增强现实等数字技术，鼓励艺术家、制片人和创作者以数字形式表达关于气候变化和可持续发展的信息。

5

## 以数字金融推动绿色消费，带动创新低碳经济发展

- **建立多方参与的碳市场：**发展各种形式数字碳市场，促进碳排放权的交易，鼓励企业、社区和个人采用减排措施并鼓励碳中和投资。

- **创新绿色消费商业模式：**发展数字科技驱动的创新商业模式，如共享经济、电动交通和智能城市解决方案等行业，为城市提供了新的低碳替代方案。同时数字科技可以帮助跟踪和验证绿色产品的环保性能，从而鼓励消费者购买更环保的商品和服务。

- **投资创新与就业机会：**政府和企业应增加对数字化和绿色技术的研发和投资。这将促进新的经济增长，同时将创造新的就业机会，涉及到可再生能源的安装和维护、智能城市技术的开发和维护，以及绿色建筑行业的增长。政府和企业应积极培训和吸纳劳动力，以满足这些新兴领域的需求。





图：风能  
来源：Pexels.com



## 参考文献

- [1] 气候变化专门委员会 (2018), 《特别报道: 全球升温 1.5°C》
- [2] 美国国家海洋和大气管理局 (2022), 《目前二氧化碳排放量比工业化前水平高出 50% 以上》,  
<https://www.noaa.gov/news-release/carbon-dioxide-now-more-than-50-higher-than-pre-industrial-levels>
- [3] 美国航空航天局 (2023), 地球气候数据: 理解地球造福人类,  
<https://climate.nasa.gov/>
- [4] 国际自然基金会 (2023), 《跨时代和物种的气候未来》
- [5] 全球气象组织 (2021), 《天气、气候和水极端事件造成的死亡人数和经济损失图集 (1970-2019)》
- [6] 澎湃新闻 (2022), 《上海今夏极端酷热天数占近 150 年来总数三分之一》,  
[https://www.thepaper.cn/newsDetail\\_forward\\_19525404](https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_19525404)
- [7] 气候变化专门委员会 (2023), 《AR6 综合报告: 气候变化 2023》
- [8] 国际能源机构 (2020), 《2020 年全球能源报告》,  
<https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>
- [9] 国际能源机构 (2023), 《2022 年二氧化碳排放报告》,  
<https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>
- [10] 中国生态环境部 (2022), 《中国应对气候变化的政策与行动 2022 年度报告》
- [11] 中国生态环境部 (2023), 《国家低碳城市试点工作进展评估报告》
- [12] 中国国家发改委 (2023), 《国家发展改革委发布碳达峰碳中和重大宣示三周年重要成果》,  
[https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/wld/zcx/lddt/202308/t20230817\\_1359896.html](https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/wld/zcx/lddt/202308/t20230817_1359896.html)
- [13] 阿里研究院、智谱 AI (2023), 《2023 全球数字科技技术发展研究报告》
- [14] 联合国 (2015), 《变革我们的世界: 2030 年可持续发展议程》
- [15] 联合国 (2016), 《新城市议程》
- [16] Elizaveta Pashkovskaia, Maria Lucini. A New Initiative Fostering Climate Action at Local and Urban Levels[EB/OL].  
<https://www.climate-chance.org/en/comprehend/blog-observatory-global/surge-a->

new-initiative-fostering-climate-action-at-local-and-urban-levels/, March 2023.

[17] Johnson Controls, Accenture. Johnson Controls and Accenture Join Forces on New AI-enabled OpenBlue Innovation Centers[J]. M2 Presswire, 2022.

[18] 李从越. 行舟绿水前物业与资产双碳管理必修课 [R]. 上海: 仲量联行. 2023

[19] Anon. Why everyone is talking about embodied carbon. [EB/OL]. <https://vca-arch.com/why-everyone-is-talking-about-embodied-carbon/>, April 16, 2021

[20] 全国信标委智慧城市标准工作组. 零碳智慧园区白皮书 (2022 版) [R]. 北京. 2022

[21] Rafaela B, Raul R, Hamidreza A, et al. Digital Twins' Applications for Building Energy Efficiency: A Review[J]. Energies, 2022, 15(19).

[22] Mah D, Manrique D J, Yu H, et al. House construction CO<sub>2</sub> footprint quantification: a BIM approach[J]. Construction Innovation, 2011, 11(2).

[23] 王兴. 基于 BIM 技术在低碳建筑中的节能应用与优化 [J]. 中小企业管理与科技, 2022(04):178-180.

[24] 陈立征, 孙景文, 彭伟. 智慧建筑低碳运行应用案例分析 [J]. 电力需求侧管理, 2023, 25(01):80-85.

[25] Nick Sacke. Energy-saving technology in smart buildings and cities [N]. Open Access News, May 19, 2021.

[26] 陶飞, 张辰源, 戚庆林, 等. 数字孪生成熟度模型 [J]. 计算机集成制造系统, 2022, 28(5):1267-1281.

[27] Moreno V M, beda B, Skarmeta F A, et al. How can We Tackle Energy Efficiency in IoT Based Smart Buildings? [J]. Sensors, 2014, 14(6).

[28] Rothausen A S G S, Conway D. Greenhouse-gas emissions from energy use in the water sector [J]. Nature Climate Change, 2011, 1.

[29] 刘晴靓, 王如菲, 马军. 碳中和愿景下城市供水面临的挑战、安全保障对策与技术研究进展 [J]. 给水排水, 2022, 58(01):1-12. DOI:10.13789/j.cnki.wwe1964.2022.01.001.

[30] 国际水协会, 百度公司. 人工智能赋能数字水务白皮书 [R]. 北京. 2022

[31] 中国移动. 中国移动新型智慧城市白皮书智慧水利分册 (2022 版) [R]. 北京. 2022

[32] 郑轶丽, 马军, 魏婷等. 城市水务系统碳排放测算及减碳对策分析: 以成都市为例 [J]. 环境工程学报, 2023, 17(06):1778-1787.

- [33] 西门子 . 西门子数字化水务白皮书 [R]. 北京 .2021
- [34] 50 升水家庭节水联盟 . 城市水资源回用与水系统转型白皮书 [R].2021
- [35] Mahashreveta Choudhary.What is Intelligent Transport System and how it works?.[EB/QL].  
<https://www.geospatialworld.net/blogs/what-is-intelligent-transport-system-and-how-it-works/>,January 15,2019
- [36] Xing Qiang, Yang Qiming, Fan Juntai, et al. Electric vehicle fast charging demand prediction model based on data-driven mode and behavior decision-making [J]. Power Grid Technology, 2020,44 (7): 2439-2448, middle plug 2-middle plug 6.
- [37] Greenhouse gas emissions from waste. [EB/QL].  
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20200123-1>.  
January 23,2020
- [38] David Burrows,The carbon cure: how to cut our waste emissions[J]. The IET,2022,17(6).
- [39] Vyas Shaili,Dhakar Kusum,Varjani Sunita,Singhania Reeta Rani,Bhargava Preeti Chaturvedi,Sindhu Raveendran,Binod Parameswaran,Wong Jonathan W.C.,Bui Xuan-Thanh,Solid waste management powered by in-silico approaches with a special focus on municipal solid waste management: Research trends and challenges[J].Science of The Total Environment,2023(891)
- [40] Zhou, J.Y., Jiang, P., Yang, J. and Liu, X. (Mar 2021). Designing a smart incentive-based recycling system for household recyclable waste[J]. Waste Management, 123, pp. 142-153
- [41] Tonni Agustiono Kurniawan, Christia Meidiana, Mohd Hafiz Dzarfan Othman, Hui Hwang Goh, Kit Wayne Chew,Strengthening waste recycling industry in Malang (Indonesia): Lessons from waste management in the era of Industry 4.0[J].Journal of Cleaner Production,2023,382(135296).
- [42] 德勤（中国），华为公司 . 全球能源转型及零碳发展白皮书 [R]. 线上 .2021
- [43] 余贻鑫，栾文鹏 . 智能电网 [J]. 电网与清洁能源 ,2009,25(01):7-11.
- [44] Smart Grids.[EB/QL].<https://www.iea.org/energy-system/electricity/smart-grids>
- [45] 中国信息通信研究院 . 数字碳中和白皮书 [R]. 北京： 2021
- [46] Cao, J., Yang, M.. "Energy Internet -- Towards Smart Grid 2.0," 2013 Fourth International Conference on Networking and Distributed Computing, Los Angeles, CA,



USA, 2013, pp. 105-110, doi: 10.1109/ICNDC.2013.10.

[47] 阿里云创新中心, 前瞻产业研究院. 低碳科技白皮书 [R]. 北京 .2022

[48] 上海市科学技术委员会、上海市发展和改革委员会、上海市经济和信息化委员会、上海市生态环境局、上海市住房和城乡建设管理委员会、上海市交通委员会.《上海市科技支撑碳达峰碳中和实施方案》[R]. 上海 .2022

[49] 刘启雷, 赵威, 苏锦旗等. 基于数智化转型的制造业“双碳”发展: 逻辑、路径与政策 [J]. 科学管理研究, 2023, 41(03): 79-88.

[50] 中国信息通信研究院.《中国金融科技生态白皮书(2019年)》[R]. 北京 .2019

[51] CO2 Emissions in 2022:  
<https://www.tx3060.com/wp-content/uploads/2023/03/CO2-Emissions-in-2022.pdf>

[52]《生命周期视角下城市碳足迹核算及实现碳中和的路径建议——以深圳市为例》; 孟凡鑫等 北京师范大学环境学院

[53]《Handbook of IMED Model Framework》; 戴翰程等 北京大学环境科学与工程学院

[54]《下一代数据中心白皮书》华为技术有限公司

[55]《综合能耗计算通则》(GB/T 2589-2020)

[56] ISO14064-1《第一部分: 在组织层面温室气体排放和移除的量化和报告指南》

[57] 世界资源研究所(WRI)《解码中国省级交通领域 2012—2019 年二氧化碳排放》

[58] 中国建筑节能协会《2022 建筑能耗与碳排放研究报告 H》

[59]《Uptime 全球数据中心报告 2021》

[60]《企业温室气体排放核算方法与报告指南 - 发电设施》  
<https://www.mee.gov.cn/xxgk/2018/xxgk/xxgk05/202103/W020210330581117072208.pdf>

[61] 中共中央政治局就努力实现碳达峰碳中和目标进行第三十六次集体学习

[62] 国家发展改革委 国家能源局《关于推进多能互补集成优化示范工程建设的实施意见》

[63] 中共中央办公厅 国务院办公厅《关于推动城乡建设绿色发展的意见》



# 未来城市顾问展望2023

## 数字创新赋能城市净零碳转型



联合国人居署

联合国人居署中国办公室  
中国北京朝阳区秀水街1号建国门外外交公寓6-1-83  
[www.unhabitat.org](http://www.unhabitat.org)

