

# “双碳”背景下城市区域碳排放评价及绿色低碳发展策略

罗丽婵

(深圳市汉字环境科技有限公司, 广东 深圳 518000)

**摘要** 在“双碳”目标驱动下, 准确量化城市片区的碳排放并据此制定可操作的低碳路径尤为关键。本文以某一典型城区为例, 梳理其基础信息, 再将排放源拆分为能源活动、工业生产过程、农业活动等环节, 逐一核算碳排放量。在此基础上构建预测模型, 对未来排放情景进行模拟与综合评估, 形成影响评价结论。最后, 结合评估结果提出针对性减碳方案, 以期在城市尺度低碳转型提供决策参考。

**关键词** “双碳”目标; 城市区域; 碳排放评价; 能源结构优化; 产业结构调整

**中图分类号**: X82

**文献标志码**: A

**DOI**: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.32.025

## 0 引言

气候变暖日益紧迫, 削减碳排放已成为各国无法回避的议题。我国主动提出“碳达峰、碳中和”目标, 显示出在应对气候变化上的坚定立场和责任担当。城市是各类人类活动的高密度集聚区, 也是碳排放的主要来源, 因此, 对城市碳排放进行科学评估并据此制定可行的低碳发展路径, 对我国实现“双碳”目标至关重要。

## 1 区域碳排放源分类

依据《广东省市县(区)级温室气体清单编制指南(试行)》的排放分类与算法, 排放源分为五个板块。第一板块为能源活动: 涵盖电力调入调出 CO<sub>2</sub> 间接排放, 煤炭、石油、天然气等化石能源的直接燃烧, 生物质燃料燃烧, 以及油气系统逃逸。第二板块为工业过程: 水泥煅烧、钢铁还原、电力设备制造等化学反应与物理变化均释放温室气体。第三板块为农业: 水稻种植、畜禽养殖等农事活动排放 CH<sub>4</sub> 与 N<sub>2</sub>O。第四板块为土地利用变化和林业: 森林采伐或毁林排放的 CO<sub>2</sub>。第五板块为废弃物处理: 生活垃圾与工业固废在填埋、焚烧及废水处理环节均产生碳排放<sup>[1]</sup>。对评价区内的排放源逐项识别, 结果指向几类主要排放包括: 外调电力的间接 CO<sub>2</sub>、天然气燃烧 CO<sub>2</sub>、油气系统逃逸 CH<sub>4</sub>、半导体工艺含氟气体, 以及农用地 N<sub>2</sub>O。

## 2 区域碳排放量核算

### 2.1 电能利用情况及碳排放量

2021-2023 年 M 区用电情况统计见表 1。供电局口径将全社会用电量拆为四类: 第一产业、第二产业、

第三产业及城乡居民生活用电。从结构上看, 制造业主导的工业用电仍占 56%, 凸显 M 区“制造立区”的定位; 现代服务业、商业与金融业合计的第三产业用电占 27%, 且随生产性服务业扩张, 该比重仍在温和抬升。

表 1 2021-2023 年 M 区用电情况统计

年份	第一产业用电量	第二产业用电量	第三产业用电量	城乡居民用电量	全社会用电量
2021	0.12%	59.02%	25.14%	15.72%	100.00%
2022	0.03%	56.38%	26.42%	17.17%	100.00%
2023	0.02%	52.46%	30.05%	17.46%	100.00%

2023 年 M 区总用电量约为 142 275.14 万 kW·h, 相应的由电力调入导致的 CO<sub>2</sub> 间接排放量计算如表 2 所示。

表 2 电力调入 CO<sub>2</sub> 间接排放计算参数及结果一览表

电力调入量 (万 kW·h)	电网供电排放因子 (kg CO <sub>2</sub> /kW·h)	CO <sub>2</sub> 间接排放量 (t)
142 275.14	0.4 512	641 945.42

### 2.2 天然气利用情况及碳排放量

2021-2023 年, M 区天然气消费年均增速 6.38%, 居民用气更以 15.27% 的年均增幅领跑, 增量主要来自“十四五”以来持续铺开的城中村及老旧住宅管道天然气入户工程; 商业用气年均扩张 24.43%, 则与近年商业综合体、餐饮规模扩大以及“瓶改管”有序推进密切相关。工业端在 2021 年完成锅炉清洁能源和低氮燃烧改造后一度攀至峰值, 随后两年受市场波动影响, 用气量小幅回落。近三年 M 区的居民与商业天然气账户同步扩张, 印证了“天然气入户”和“瓶改管”的

推进力度。管网迅速延伸，让居民和商户获得更安全、经济的燃料，同时其生产与燃烧环节的碳排放强度更低，也为区域绿色转型和“双碳”目标提供了支撑（见表 3）<sup>[2]</sup>。

表 3 2021-2023 年 M 区用气量情况统计

年份	商业用 气量	公福用 气量	工业用 气量	学校用 气量	居民用 气量	总用 气量
2021	13.95%	3.61%	42.80%	1.34%	38.29%	100.00%
2022	14.46%	3.29%	35.28%	1.18%	45.80%	100.00%
2023	19.09%	3.01%	31.53%	1.40%	44.96%	100.00%

2023 年 M 区总用气量约为 18 613 656 m<sup>3</sup>，相应的由天然气燃烧导致的 CO<sub>2</sub> 排放量计算如表 4 所示。

表 4 天然气燃烧 CO<sub>2</sub> 排放计算参数及结果一览表

天然气用 量（万 Nm <sup>3</sup> ）	低位发热 量（MJ/ 万 Nm <sup>3</sup> ）	单位热值 含碳量 （gC/MJ）	碳氧 转化 率	转化 系数	CO <sub>2</sub> 排放 量（t）
1 861.37	389 310	15.32	0.99	44/12 40	298.85

2.3 石油和天然气系统逃逸的碳排放量

在石油与天然气的开采、运输和储存环节，少量温室气体会逸散至大气。鉴于柴油挥发性极低，本次核算以汽油储运量替代原油储运量；M 区由此测算的石油系统逃逸碳排放列于表 5。

表 5 石油和天然气系统逃逸的碳排放计算参数及结果一览表

逃逸环节	CH <sub>4</sub> 排放因子	核算量	CH <sub>4</sub> 排放（t）
石油储运	753（t/ 亿 t）	25 150（t）	0.19
天然气消费	133（t/ 亿 m <sup>3</sup> ）	1 861.37（万 m <sup>3</sup> ）	24.76

2.4 农用地碳排放量

M 区的种植业均为蔬菜种植，不涉及谷物种植，因此不涉及由稻田种植以及秸秆还田导致的温室气体排放。同时，M 区种植业大多使用复合肥料进行种植，不涉及粪肥的使用，故本节主要计算 M 区的农用地由于复合肥料的施用所导致的 N<sub>2</sub>O 的直接和间接排放<sup>[3]</sup>。

据统计，2023 年 M 区种植业共播种蔬菜 3 554 亩，产量 4 476 t。根据《广东省市县（区）级温室气体清单编制指南》中给出的推荐值，选取复合肥含氮比例为 25%，直接排放因子为 0.0178 kgN<sub>2</sub>O-N/kg 氮输入量，大气氮沉降引起的间接排放因子为 0.01 kgN<sub>2</sub>O-N/kg 氮输入量，淋溶径流引起的间接排放因子为 0.0 075 kgN<sub>2</sub>O-N/kg 氮输入量；同时，根据化肥减量增效的原则，每亩地施用 50 公斤的化肥是一个常见的推荐值，由此

计算得到 M 区农用地 N<sub>2</sub>O 排放情况如表 6 所示。

表 6 M 区农用地 N<sub>2</sub>O 排放计算参数及结果一览表

播种面积 （亩）	平均施用 量（kg/ 亩）	复合肥纯 量含氮 比例	农用地 N <sub>2</sub> O 直接排放 量（kg）	农用地 N <sub>2</sub> O 间接排放 量（kg）
3 554	50	25%	790.77	777.44

2.5 半导体生产过程的碳排放量

半导体制造环节能耗高、化学品用量大，碳排放随之产生。依据企业运行数据，对照行业核算规范，可量化这一过程的排放。污染源排查显示，M 区一家光刻掩膜版厂在干法蚀刻基材时使用含四氟化碳的混合气，年耗该气体约 40 kg。按《广东省市县（区）级温室气体清单编制指南》给出的排放系数 43.56% 计，四氟化碳排放量折合 17.42 kg。

3 区域碳排放评价

M 区 2023 年的碳排放总量达到 683 464.08tCO<sub>2</sub>（见表 7），其中的绝大部分来自电力的使用，占比高达 93.93%，因此后续仍需要进一步推进区域内的节能降碳进程来助力“双碳”目标的最终实现。

表 7 M 区碳排放情况一览表

排放来源	排放量	二氧化 碳当量	转化后的排放 量（t CO <sub>2</sub> ）	占比 （%）
电力调入	641 945.42 （t CO <sub>2</sub> ）	1	641 945.42	93.93
天然气燃烧	40 298.85 （t CO <sub>2</sub> ）	1	40 298.85	5.90
石油和天然 气系统逃逸	24.95 （t CH <sub>4</sub> ）	25	623.75	0.09
工业生产 过程	17.42 （kg CF <sub>4</sub> ）	7 390	128.73	0.02
农业活动	1 568.21 （kg N <sub>2</sub> O）	298	467.33	0.07
土地利用 变化和林业	0	/	0	0.00
废弃物处理	0	/	0	0.00
合计			683 464.08	100.00

本研究汇总了按相关方法测算的评价区域近三年用电及对应碳排放。第一、二、三产业和城乡居民用电碳排放的年均增速依次为 -16.90%、-3.66%、17.78% 和 4.53%，其中一、二产业已剔除 2021 年疫情异常值。按此趋势，2027 年四类用电碳排放将分别达到 767.32 t、402 529.80 t、77 571.01 t 和 206 617.34 t CO<sub>2</sub>。参照《M 区节能降碳行动计划》提出的“十四五”期间单

位 GDP 能耗下降 15% 目标,本报告将同期降幅同样设定为 15%。在持续节能降碳措施作用下,2027 年区域用电碳排放预计为  $(767.32+402\ 529.80+77\ 571.01) \times 0.85+206\ 617.34=687\ 485.47\ \text{tCO}_2^{[4]}$ 。

依据相关数据与算法,可梳理出评价区近三年天然气利用及其对应的碳排放走势。商业、工业、公共福利、学校及居民五类用户的燃烧排放年均增速依次为 24.40%、-8.68%、-2.86%、8.79% 和 15.25%。按此趋势,2027 年末商业、工业、公福、学校、居民对应的排放量将分别达到 19 034.58 t、8 203.89 t、1 116.55 t、818.18 t 和 33 020.17 tCO<sub>2</sub>。若评价期内 GDP 能耗降幅目标定为 15%,则当年天然气燃烧碳排放总量按“商业+工业”部分扣减 15% 后,再与“公福+学校+居民”部分相加,结果为  $(19\ 034.58+8\ 203.89) \times 0.85+(1\ 116.55+818.18+33\ 020.17) = 58\ 107.60\ \text{tCO}_2$ 。

区域碳排放变化主要源于经济社会发展导致的电能利用和天然气燃烧增加,但“3060 目标”推进下,区域内商业、工业主体从燃烧生物质/汽柴油转为用电用气,燃油车换电车、居民燃气从液化气改天然气。这些降碳措施虽使电、气相关碳排放增加,但增量远小于其带来的减排量,区域实际碳排放总量呈下降趋势。

## 4 绿色低碳发展策略

### 4.1 能源结构优化策略

1. 提高清洁能源占比,需要加快太阳能、风能和水电的开发,同步推进屋顶分布式光伏与海上风电场建设,从而在能源消费结构中赋予绿色电力更大权重。

2. 在工业园区和大型企业中部署能源梯级利用项目,把高温蒸汽先用于发电,再将低温蒸汽引入供暖或工艺加热环节,可进一步提升能源的综合利用率。

3. 严格执行能源消耗总量与强度双控,严禁“两高”项目新增产能,并将减污降碳指标纳入考核。

### 4.2 产业结构调整策略

1. 通过税收优惠、用地倾斜等激励措施,引导资本与要素向高新技术和现代服务等低碳产业集中,并建设半导体绿色示范区,推广低排放工艺与技术。

2. 坚决执行国家产业政策,关停并升级高耗能、高污染落后装置,引导传统产业向绿色、智能方向转型<sup>[5]</sup>。

### 4.3 农业低碳发展策略

1. 在农田里推广精准施肥、节水灌溉和绿色防控,减少化肥农药使用,降低面源污染。

2. 推广循环农业、有机农业等生态模式,把秸秆、畜禽粪污等废弃物转化为肥料或能源,既能减少排放,又能增强农田碳汇。

### 4.4 交通领域低碳策略

1. 优先发展公共交通与绿色出行:持续增加财政投入,动态优化线网与站点,使公交准点率和可达性同步提升;同步完善步行和自行车通道,构建连续、安全的慢行系统,引导居民把短途出行自然转向绿色方式。

2. 推广新能源汽车:出台分阶段推广方案,同步建设充电网络,对购车给予补贴和税费减免,逐步提高新能源车占机动车总量的比重。

### 4.5 政策支持与保障策略

1. 区域应建立覆盖监测、报告与核查的完整碳排放管理体系,强化对企业的排放监管,确保数据真实可靠。

2. 融入全国碳市场建设,同步在区域层面试点碳交易,用价格信号撬动企业减排。

3. 丰富宣传方式,通过多元渠道普及低碳理念,让公众在参与中增强环保自觉,形成人人关心、共同践行的社会氛围。

## 5 结束语

在“双碳”目标下,对城市片区开展碳排放评估并设计绿色低碳路径,已成为可持续发展的刚性需求。本研究先按源分类核算该区域的碳排量,再预测并评价其走势,由此锁定症结与短板。据此形成的策略覆盖能源、产业、农业、交通及政策诸环节,指向明确且便于落地。若按方案推进,片区有望稳定碳增量并完成绿色转型,为国家目标贡献增量样本,还可为同类城区提供参照。后续仍需动态跟踪排放变化,滚动修正策略,以应对外部条件的持续变动。

## 参考文献:

- [1] 刘涛.化石能源领域碳减排研究综述[J].西南石油大学学报(社会科学版),2022,24(05):1-10.
- [2] 匡舒雅,曹颖.在环境影响评价中考虑温室气体排放的可行性分析[J].环境影响评价,2021,43(05):9-14,22.
- [3] 吴艺楠,赵芳,唐微.“双碳”目标下温室气体排放环境影响评价的实践与挑战[J].环境保护,2023,51(14):29-33.
- [4] 王涵,李慧,王淑兰,等.我国减污降碳与地区经济发展水平差异研究[J].环境工程技术学报,2022,12(05):1584-1592.
- [5] 周嘉欣,曹媛,王灿.将气候变化纳入环境评价的国际实践比较与启示[J].环境影响评价,2023,45(05):34-40.