



国家气候协同的“十四五”大气污染防治策略

(二期) 执行摘要

Executive Summary on the Strategies for Air Pollution Prevention
and Control in Efforts to Co-Address GHGs Control during the
14th Five-year Plan Period (Phase II Project)

生态环境部环境规划院

2021.12.23

Chinese Academy of Environmental Planning

December 24, 2021

A solid blue horizontal bar at the bottom of the page.

报告编写人员：

宁 淼 生态环境部环境规划院，研究员

冯悦怡 生态环境部环境规划院，助理研究员

曹丽斌 生态环境部环境规划院，助理研究员

王彦超 生态环境部环境规划院，助理研究员

郑 伟 生态环境部环境规划院，副研究员

执行摘要

《大气污染防治行动计划》和《打赢蓝天保卫战三年行动计划》实施以来，我国大气污染防治领域实现了一系列历史性变革，以环境空气质量改善为核心的大气环境管理体系基本建立，在推进产业、能源、运输和用地结构优化调整，实施重大污染减排工程等方面进展显著，大气污染防治工作取得积极成效。2020年，全国337个地级及以上城市（以下简称337城市）二氧化硫（SO₂）、二氧化氮（NO₂）、可吸入颗粒物（PM₁₀）、细颗粒物（PM_{2.5}）年均浓度较2015年分别下降56.3%、10.6%、29.3%和29.1%，达到10微克/立方米、24微克/立方米、56微克/立方米和33微克/立方米，一氧化碳（CO）日均浓度的第95百分位数平均浓度为1.0毫克/立方米，较2015年下降33.3%，主要大气污染物浓度持续下降，6项指标首次全面达标。从337城市达标数量来看，主要污染物达标城市比例均有显著增加，337个城市全部实现SO₂和CO浓度达标，标志着燃煤污染防治取得阶段性成就；NO₂、PM₁₀达标比例分别为98.2%、76.9%，PM_{2.5}达标城市数量由2015年的106个提高至2020年的212个，污染程度改善明显。

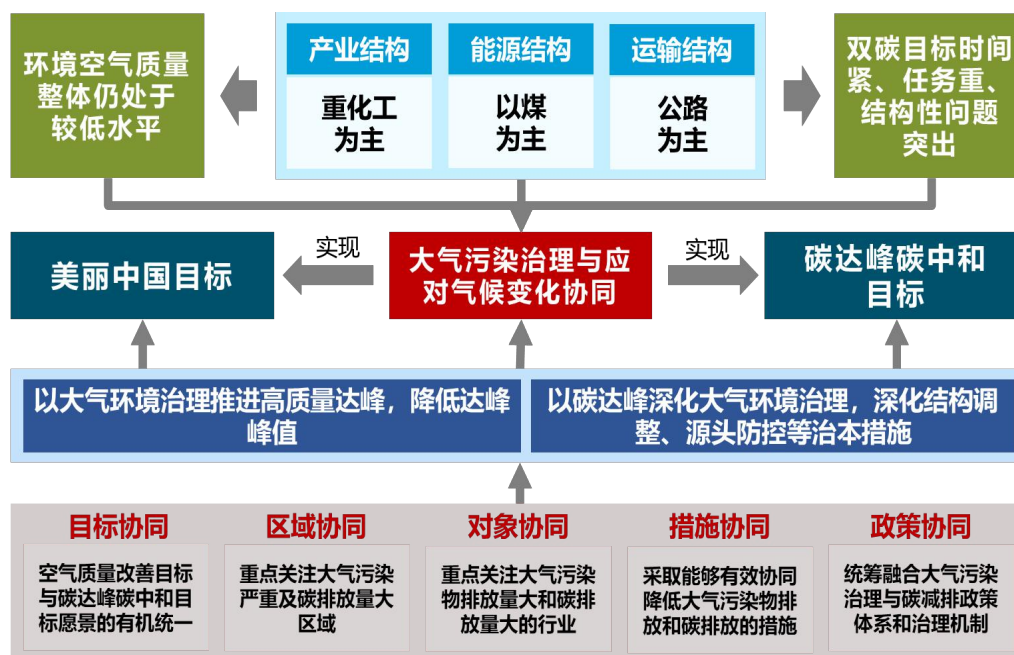
尽管“十三五”以来全国环境空气质量改善明显，但大气环境形势总体依然严峻。一是PM_{2.5}污染依然严峻，PM_{2.5}仍是超标城市数量最多的污染物，2020年337个城市中仍有37.1%的城市超标，其中24个城市超标50%以上，44%的人口暴露在PM_{2.5}浓度超标城市；现

阶段污染水平与发达国家水平及世界卫生组织（WHO）要求差距显著，大致是欧美当前水平（欧洲 15 微克/立方米，美国 8 微克/立方米）的 2.2-4.1 倍，是 WHO 基于健康影响的指导值（5 微克/立方米）的 6.6 倍。二是臭氧（O₃）污染逐渐凸显，O₃ 浓度呈现波动缓慢上升态势，是环境空气质量评价六参数中唯一持续上升的污染物，2020 年 337 城市 O₃ 日最大 8 小时浓度第 90 百分位数的平均值为 138 微克/立方米，比 2015 年上升 12.6%，京津冀及周边地区、长三角、汾渭平原区域三大重点区域分别上升 24.5%、18.0%和 32.1%；超标范围越来越广，337 城市中有 56 个城市 O₃ 浓度超标，比 2015 年增加 37 个；对优良天数比例的影响日益明显，全国 337 个地级及以上城市超标天中 O₃ 为首要污染物占比从 2015 年的 12.5%增加到 2020 年的 37.1%，仅次于 PM_{2.5} 占比（51.0%）。三是区域重污染天气依然频发，京津冀及周边地区、汾渭平原、东北地区、天山北坡城市群重污染天数比率分别为 3.1%、1.9%、1.2%和 11.9%；约 77%的重度及以上污染由 PM_{2.5} 引起，且主要发生在秋冬季。

与此同时，我国二氧化碳排放水平仍呈逐年递增的趋势，全国的二氧化碳排放排放量从 2005 年的 59.4 亿吨增长到 2020 年的 98.2 亿吨，占全世界排放量的 30%左右，仍有 16 个省份碳排放量处于增长趋势。实现 2030 年碳达峰目标和 2060 年碳中和愿景面临巨大的压力和挑战。常规大气污染物与 CO₂ 排放同根同源，化石能源消费、工业生产、交通运输等均是大气污染物与温室气体排放的主要来源，CO₂ 排放源排放的 SO₂、NO_x、VOCs 和一次 PM_{2.5} 分别约占各项污染物排

放总量（不含扬尘源）的 99%、98%、47%和 67%，我国当前以煤为主的能源结构、以重化工为主的产业结构、以公路为主的运输结构是实现空气质量持续改善及碳达峰碳中和目标的共同挑战。因此，亟待推进大气污染与应对气候变化协同控制，实现减污降碳协同增效。

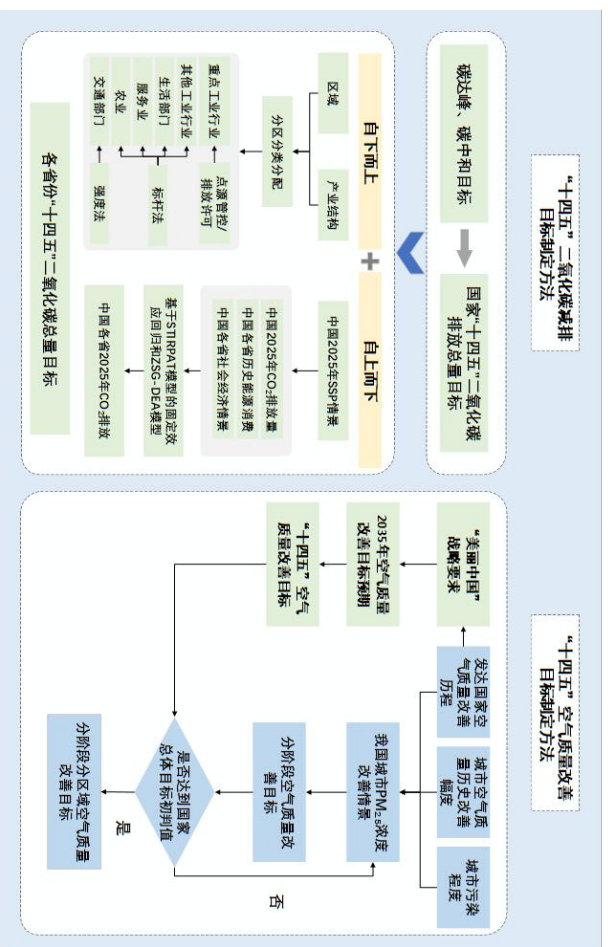
本研究基于我国大气环境与温室气体排放的形势与问题分析，研究提出气候协同的大气污染防治策略的内涵与研究思路。大气污染防治和应对气候变化协同包含两层内涵，一是以大气环境治理推进高质量达峰，降低达峰峰值；二是以碳达峰深化大气污染防治，深化结构调整、源头防控等治本措施。基于大气污染物与 CO₂ 的同根同源性，提出目标、区域、对象、措施和政策五大协同。目标指标方面，空气质量改善目标与碳达峰碳中和目标愿景要进行有机统一和充分衔接；管控区域方面，由于大气污染与碳排在空间分布上具有较高的一致性，要优先关注大气污染和 CO₂ 排放量均较高的“双高”区域；控制对象方面，要重点关注大气污染和 CO₂ 排放量均较高的“双高”行业；任务措施方面，采取能够有效协同降低大气污染物排放和碳排放的措施，强化源头控制，优先选择协同率高的治理技术；政策工具方面，要统筹融合大气污染防治与碳减排政策体系和治理机制，构建减污降碳协同政策体系。



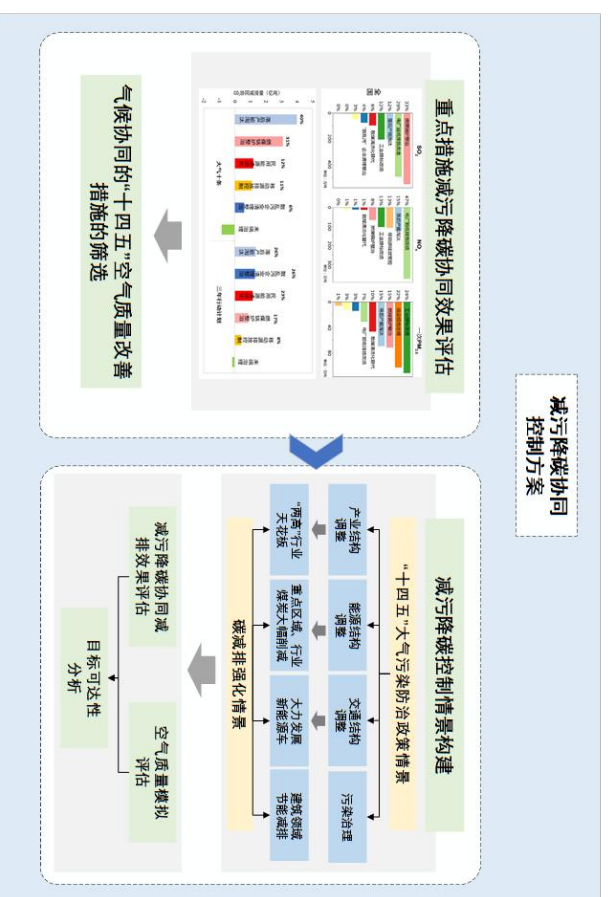
摘要图 1 气候协同的大气污染防治策略的内涵与研究思路

基于此，提出“十四五”大气污染物与温室气体协同控制的思路和技术方法。首先，确定“十四五”空气质量改善以及碳排放协同控制目标。其次，在对以往大气污染防治重点措施减污降碳协同效果评估的基础上，筛选减污降碳协同增效的控制措施，构建不同情景方案，评估大气污染物减排潜力和碳减排潜力，分析空气质量目标和碳排放控制目标的可达性，不断优化调整减污降碳控制情景，最终实现空气质量改善目标和碳排放控制目标的双向可达。最后，研究提出减污降碳协同管理的配套政策。

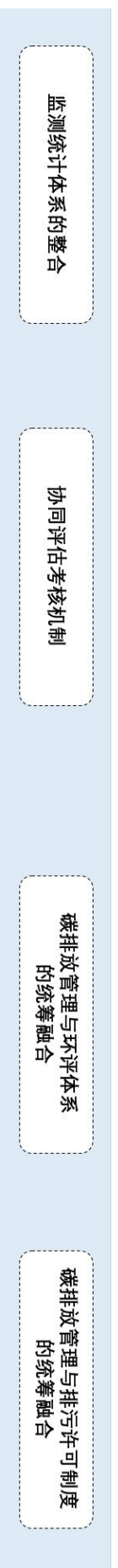
目标制定



协同控制措施



配套政策



摘要图 2 大气污染物与温室气体协同控制的思路和技术方法

“十四五”大气污染物与温室气体协同控制目标制定

基于“2035年基本建成美丽中国”和环境空气质量改善的国家总体战略要求，结合欧美国家空气质量改善历程的对标分析、《大气十条》实施以来我国不同城市空气质量改善幅度的分析，按照持续改善、分类指导、重点强化的原则设计PM_{2.5}浓度改善情景，采用自下而上的计算方法，以地级及以上城市为基本单元，按城市上一年PM_{2.5}污染程度分类确定PM_{2.5}年均浓度下降比例，逐年计算城市PM_{2.5}浓度目标，得到全国及重点区域2025、2030年和2035年PM_{2.5}年均浓度改善目标。

我国中长期空气质量改善预期主要是结合“2035年基本建成美丽中国”、“碳达峰、碳中和目标”等国家总体战略要求，通过与欧美等发达国家经济发展与空气质量改善历程的对标分析，对2035年我国空气质量目标进行预判。至2035年我国迈入中等发达国家行列时，宜以25微克/立方米作为全国PM_{2.5}浓度目标，达到欧盟现行PM_{2.5}浓度标准和WHO过渡时期第二阶段目标；全国O₃年评价指标预期下降10%，达到129微克/立方米左右。

基于2035年“美丽中国”目标下的PM_{2.5}浓度展望，在未来三个五年计划中，全国PM_{2.5}年均浓度在每一阶段下降10%左右，即可完成预期目标。据此计算得到“十四五”末期全国PM_{2.5}平均浓度预期为30微克/立方米左右。基于PM_{2.5}浓度改善情景采用自下而上的计

算方法计算 2025 年全国 PM_{2.5} 平均浓度,得到全国及重点区域空气质量改善目标。

基于 IPCC 的共享社会经济路径 (SSPs) 情景预测, 2025 年高中低二氧化碳排放情景下 2025 年碳排放强度较 2020 年下降目标如下表。

摘要表 1 不同情景下 2025 年 CO₂ 排放强度

2025 年 GDP (基于 2005 年不变价)	二氧化碳排放总量 (亿吨)	碳排放强度较 2020 年下降率 (%)	备注
78	109	14%	高排放情景: 2030 年比 2005 年减排 60%-65%
82		18%	
80		16%	
78	103	19%	中排放情景: 基于全球 2 度目标, 采用 SSP1-26 情景
82		22%	
80		21%	
78	90	29%	低排放情景: 基于全球 1.5 度目标, 采用 SSP1-19 情景

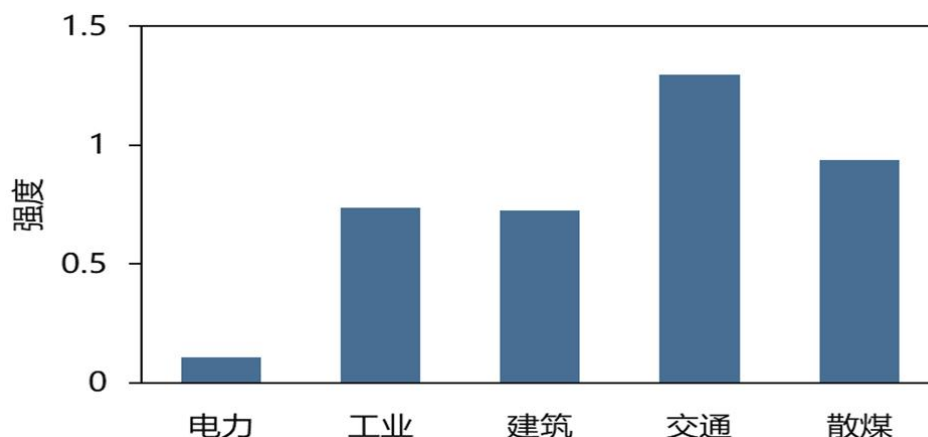
综合 Cox-Stuart 趋势检验结果、中国各省市基准碳排放发展趋势及各省市脱钩系数变化等条件分析,综合考虑各省经济发展阶段,“十四五”期间采用三种管控模式,分别是存量控制型、增量控制型和弹性增量控制型。存量控制型采用 CO₂ 绝对总量控制;增量控制型采用 CO₂ 绝对总量和排放强度双重控制;弹性增量控制型继续采用“十三五”期间 CO₂ 排放强度控制方式。

大气污染防治重点措施的二氧化碳协同减排效果评估

依据中国工程院对《大气十条》和《三年行动计划》终期评估的结果，分解各项减排措施对大气污染物减排量的贡献。研究发现，与《大气十条》阶段相比，《三年行动计划》执行期间虽然强化了黄标车老旧车淘汰、运输结构调整及清洁采暖措施，但工业企业提标改造、电厂超低排放改造、燃煤锅炉治理等末端治理措施对污染物减排贡献仍然较大。

分别对《大气十条》、《三年行动计划》重点任务措施的温室气体协同减排量进行测算评估。《大气十条》实施期间，全国累计 CO₂ 协同减排 9.2 亿吨，其中各类结构调整措施累计减少碳排放 10 亿吨，末端治理措施累计增加碳排放 8500 万吨。《三年行动计划》实施期间，全国累计 CO₂ 协同减排 4.9 亿吨，其中各类结构调整措施累计减少碳排放 5.1 亿吨，末端治理措施累计增加碳排放 1600 万吨。与《大气十条》阶段相比，《三年行动计划》执行期间落后产能淘汰、燃煤锅炉整治和移动源排放管控等措施的 CO₂ 协同减排幅度明显收窄；散乱污企业清理整治的协同减排贡献显著提高。

基于协同度（即单位碳排放的大气污染物排放强度）对重点部门的 CO₂ 协同减排效果进行评估，结果显示，交通和散煤消费部门的单位 CO₂ 排放的大气污染物排放强度明显高于工业和电力部门，推动交通结构调整和散煤替代等源头替代措施，能够产生很好的协同减排效益。电力部门 CO₂ 排放虽然很大，但是其 CO₂ 排放的污染物排放量强度仅为交通部门和散煤的约 1/10；推动电力部门 CO₂ 减排整体对协同减排的效益有限。



摘要图 3 单位 CO₂ 排放的污染物排放量强度(吨污染物/百吨 CO₂)

综合来看，落后产能淘汰、散乱污企业清理整治等产业结构调整措施，清洁采暖、燃煤锅炉整治等能源结构调整措施，以及老旧车淘汰、公转铁等运输结构调整措施的 CO₂ 协同减排效果明显。考虑到工业污染治理中的超低排放、提标改造等末端治理措施会增加 CO₂ 排放，不具备协同减排效果，且末端治理的减排空间正在逐步压缩，减排难度日益增加，因此，需要谨慎选择、合理组合污染控制措施，将末端治理发挥最大的效用。

气候协同的“十四五”空气质量改善措施研究

基于《大气十条》和《三年行动计划》大气污染防治重点措施的二氧化碳协同减排效果评估结果，明确协同减排的重点领域和措施，在此基础上设定大气污染防治政策情景、减污降碳协同增效情景两种情景。

大气污染防治政策情景以“十四五”空气质量改善行动计划主要任务措施为基础，综合考虑产业结构优化、能源结构调整、交通结构

调整和末端治理措施。产业结构优化重点强调严控“两高”项目、实施产能置换，加快落后产能淘汰，发展电炉钢、实施以钢定焦等；能源结构调整重点强调降低煤炭消费比重、严控重点区域煤炭消费总量，燃煤锅炉的关停和工业炉窑的清洁能源替代，以及推进北方地区清洁取暖。交通结构调整重点强调轨道化、新能源化和清洁化，包括提高铁路和水路货运量，提高新能源车比例，淘汰国3及以下柴油和燃气货车。末端治理强化VOCs和氮氧化物等多污染物的协同治理。

大气污染防治政策情景下，2025年全国SO₂、NO_x、PM和VOCs排放量分别比基准年2020年降低6.5%、13.2%、9.0%和14%。结构调整措施对SO₂、NO_x的减排潜力贡献大于末端治理措施，而一次PM和VOCs的减排仍主要依赖末端治理措施。基于WRF-CMAQ空气质量模型进行模拟，计算得到2025年PM_{2.5}浓度下降10%，O₃日最大8h第90百分位数下降2.6%，可实现全国空气质量改善目标。对大气污染防治政策情景下到2025年的CO₂减排潜力进行评估。与“十四五”高污染高耗能项目不加限制的基准情景相比，大气污染防治政策情景下的重点措施可协同减排二氧化碳21亿吨，碳排放总量净增5亿吨左右，在一定程度上压低了达峰峰值，碳排放强度较2020年下降19.7%，可完成“十四五”碳排放强度控制目标。因此，“十四五”大气污染防治政策措施可支撑“十四五”碳排放强度控制目标的完成，实现空气质量改善目标和碳减排目标的相互促进与支撑。

“双碳”背景下进一步强化源头控制，设置减污降碳协同增效情景，产业结构上严控“两高”行业产能“天花板”，能源结构上重点

区域、行业煤炭消费大幅削减，交通结构上进一步强化新能源汽车发展，并针对建筑领域增加了节能减排的强化措施。该情景下，到 2025 年全国 SO₂、NO_x、PM 和 VOCs 排放量分别比基准年 2020 年降低 19.5%、20.6%、21.4%和 20.0%。基于 WRF-CMAQ 空气质量模型进行模拟，计算得到 2025 年 PM_{2.5} 浓度下降 20%，O₃ 日最大 8h 第 90 百分位数下降 5.3%，空气质量改善效果更为显著。CO₂ 在政策情景基础上进一步减排 1.5 亿吨，碳强度下降 20.8%，2027 年左右碳排放基本达到峰值，因此，为促进碳排放尽早达峰并降低峰值水平，应采取更为严格的源头控制措施，实现减污降碳协同增效。

减污降碳协同管理的制度研究

加强减污降碳协同管理的政策保障，充分利用现有制度，以“减污降碳协同增效”为原则，以环评体系为核心抓手，推动建成以“三线一单”为绿色空间管控、以规划环评为低碳宏观引领、以项目环评为高碳准入关口，以排放许可为精细化过程管理的固定源协同管理体系。

以“三线一单”引导行业准入，促进产业绿色转型。在“三线一单”地市方案细化落地和动态更新管理工作中，突出减污降碳协同管控思路，全面落实碳达峰方案等工作要求，将国家对电力、石化、化工、钢铁、建材、有色等重点领域的碳减排政策，充分落实到生态环境分区管控方案和生态环境准入清单编制过程中，引导重点地区、重点领域绿色低碳清洁化发展。探索构建省级“三线一单”碳排放上线

管控，纳入资源利用上线，实施相对独立管理的技术模式和落地应用模式，研究建立由碳排放总量和强度构成的碳排放上线目标，划定碳源、碳汇管理兼顾的碳排放分区分类格局。

以规划环评推动落实碳排放控制要求，坚决防止高碳行业盲目扩张。将碳排放纳入规划环评，从决策源头严把高碳产业准入；推动重点区域、重点行业规划锚定绿色低碳转型及高质量发展战略目标，推动能源结构优化、行业绿色低碳发展等目标和路径融入规划决策。

借助项目环评准入门槛，提升建设项目清洁低碳水平。在项目环评中引入碳排放影响评价，充分结合地区碳达峰目标，评估建设项目碳排放水平、明确资源能源利用要求、强化清洁生产标准，根据行业碳达峰行动路径与各地区工作安排，结合“三线一单”、规划环评中的碳排放管控要求，从原燃料清洁替代、节能降耗技术、余热余能利用、清洁运输方式等方面提出针对性的降碳措施与控制要求，最大限度降低新增项目碳排放强度，推动提升行业清洁低碳水平。严格高碳过剩行业建设项目环评审批，落实清洁能源替代、区域等量或减量替代、产能置换等要求。

推动碳排放管理与排污许可制度的统筹融合，将二氧化碳排放控制指标纳入排污许可制度，实施综合、一体化、协同的管理战略。组织开展重点行业综合排放许可管理试点，以电力、石化、化工、建材、钢铁、有色等行业为重点，重点地区率先将二氧化碳纳入许可证实施同步管理，逐步扩展非二指标、非重点行业。明确纳入排污许可的碳排放固定源范围，以现有的《排污许可分类管理名录》为基础，考虑

碳排放的行业特征，全面梳理并分析二氧化碳产生和排放情况，按照行业分别进行由大到小排序，将总产生量和总排放量约占 80% 的行业筛选出来，作为重点污染源纳入到许可管理体系，对《固定污染源排污许可管理名录》进行优化调整。建设固定源环境信息平台，实现全国环境影响评价管理信息系统、全国排污许可证管理信息平台、固定源温室气体排放数据报送系统的集成统一。