

海南省十四五大气污染控制对策研究项目

执行摘要



海南省环境科学研究院

中国科学院大气物理研究所

2022年3月

项 目 名 称：海南省十四五大气污染控制对策研究项目

委 托 单 位：能源基金会

承 担 单 位：海南省环境科学研究院、中国科学院大气物理
研究所、海南省生态环境监测中心

项 目 负 责 人：徐文帅

报 告 编 写 人：

海南省环境科学研究院：谢文晶、谢荣富、胡珊瑚、冼爱丹、杨
朝晖、魏雅、曹小聪、邬乐雅、张丽佳、胡斐、陈宗柏、吴晓晨

中国科学院大气物理研究所：晏平仲、皮冬勤

海南省生态环境监测中心：邢宝钗、李晨、盛慧、林尤静

1 海南省环境空气质量时空变化特点

1.1 大气污染物时间变化特征

1.1.1 环境空气质量现状

2020 年，全省空气质量总体优良，优良天数比例为 99.5%。其中优级天数比例为 86.0%，良级天数比例为 13.5%，轻度污染天数比例为 0.5%，无中度、重度和严重污染天。全省二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)、可吸入颗粒物(PM₁₀)、细颗粒物(PM_{2.5})年平均浓度分别为 5、7、25、13 μg/m³，臭氧(O₃)第 90 百分位数浓度为 105 μg/m³，一氧化碳(CO)第 95 百分位数浓度为 0.8 mg/m³。全省各项污染物指标均达标，且远优于国家二级标准；其中 SO₂、NO₂、CO 处于极低浓度水平，SO₂、NO₂、CO、PM₁₀ 和 PM_{2.5} 五项指标均符合国家一级标准，O₃ 接近国家一级标准。2020 年海南省圆满完成了十三五规划和国家打赢蓝天保卫战的空气质量指标任务。

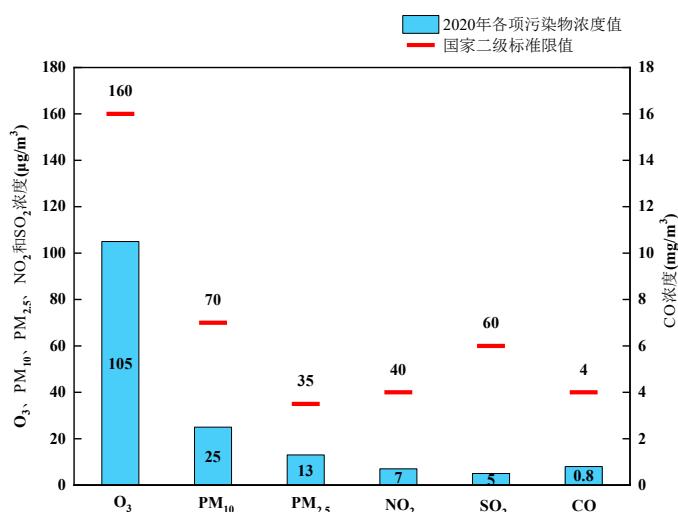


图 1-1 2020 年海南省各项污染物浓度

与 2019 年相比，全省环境空气质量优良率同比上升 2.0%，其中优级天数比例上升 4.0%。主要污染物 PM_{2.5}、NO₂、O₃ 和 PM₁₀ 浓度均有所下降，分别同比下降 18.8%、12.5%、11.0% 和 10.7%；SO₂ 和 CO 浓度同比持平。

表 1-1 2019 年和 2020 年各项污染物浓度情况表

污染物	SO ₂	NO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO	O ₃
	年均值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	年均值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	年均值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	年均值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	第 95 百分位数(mg/m^3)	第 90 百分位数($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2020 年浓度值	5	7	25	13	0.8	105
2019 年浓度值	5	8	28	16	0.8	118
同比 (%)	0.0	-12.5	-10.7	-18.8	0.0	-11.0
国家二级标准	60	40	70	35	4	160
国家一级标准	20	40	40	15	4	100

1.1.2 年变化特征

2013 年以来，全省 PM₁₀ 年均浓度整体处于下降趋势，PM₁₀ 年均浓度由 2013 年 $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 下降至 2020 年 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，下降 35.9%。全省 NO₂ 浓度总体处于极低浓度水平，同时表现出略有下降趋势，2020 年下降至 $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。全省 SO₂ 浓度维持在 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，同样处于极低浓度水平。

海南省自 2015 年全面开展 PM_{2.5}、O₃ 和 CO 监测以来，全省 PM_{2.5} 年均浓度和 CO 第 95 百分位数浓度总体保持下降趋势，PM_{2.5} 年均浓度由 2015 年 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 下降至 2020 年的 $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，下降 35.0%。CO 第 95 百分位数浓度由 2015 年 $1.1 \text{ mg}/\text{m}^3$ 下降至 2020 年的 $0.8 \text{ mg}/\text{m}^3$ ，

下降 27.3%。 O_3 第 90 百分位数浓度稳定在 $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右波动，接近国家一级标准。

1.1.3 季节变化特征

为研究重点城市常规污染物的季节变化特征，将分析时段（2020 年 1 月 1 日~2020 年 12 月 31 日）按照 1 月、12 月为冬季，2-3 月为春季，4-9 月为夏季，10-11 月为秋季进行划分。

分析时段内，海口市颗粒物浓度季节变化特征为冬>秋>春>夏； O_3 浓度季节变化特征为秋>冬>春>夏。三亚市 $PM_{2.5}$ 浓度季节变化特征为秋>冬>春>夏； PM_{10} 浓度季节变化特征为冬>秋>春>夏； O_3 浓度变化与海口市相同，在秋季浓度最高，夏季浓度最低。海口市和三亚市的常规污染物浓度总体变化趋势为秋冬季较高，春季次之，夏季最低。冬季海口市重点关注颗粒物和 CO，三亚市重点关注 PM_{10} 和 CO；秋季海口市重点关注 O_3 和 SO_2 ，三亚市重点关注 $PM_{2.5}$ 、 O_3 和 NO_2 。

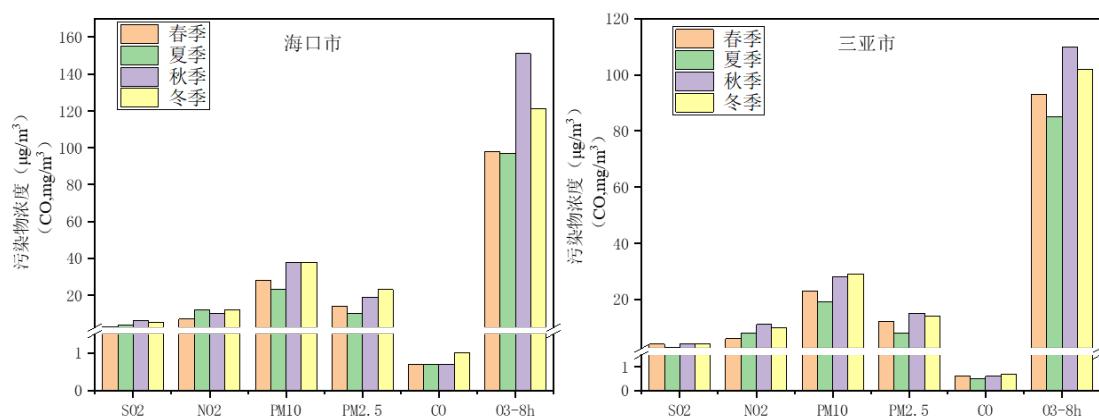


图 1-2 重点城市（海口、三亚）六项常规污染物浓度季节变化特征

1.2 空间分布特征

如图所示，我省 O_3 和 $PM_{2.5}$ 浓度中部和南部地区空气质量较好，污染物浓度较低；北部和西部空气质量略差，这与我省西部地区工业企业分布较多以及北部地区易受外来输送影响有关。

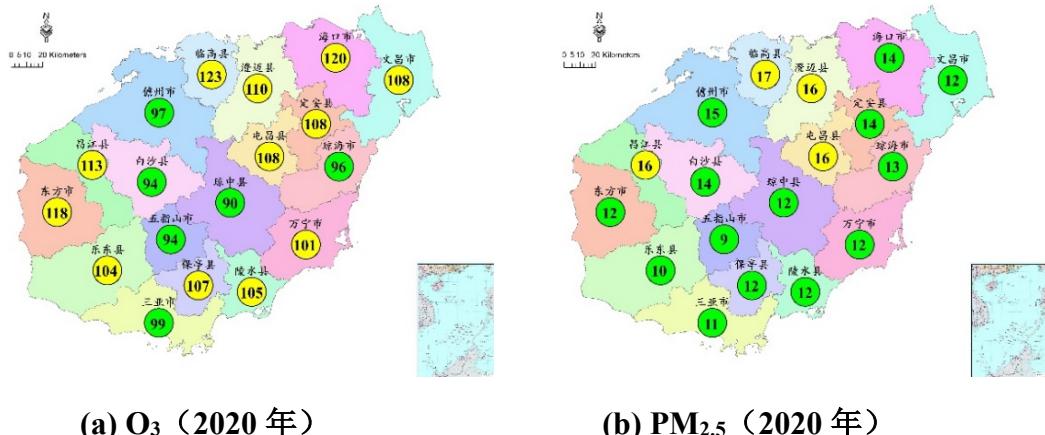


图 1-3 重点城市（海口、三亚）六项常规污染物浓度季节变化特征

五指山、乐东、三亚、保亭、陵水、琼中、万宁、文昌、东方、琼海、白沙、儋州、定安、海口等 14 个市县 $PM_{2.5}$ 浓度均达到国家一级标准，临高、澄迈、昌江和屯昌接近国家一级标准，符合国家二级标准。

2 海南省主要污染源情况

2.1 机动车源

根据机动车保有量、不同车型进行计算，海南省汽车污染物排放量占比均集中在国三、国四排放阶段。其中 CO 和 HC 排放主要集中在国四阶段汽油车，排放占比分别为 31.6% 和 30.6%。PM 和 NO_x 排放主要集中在国三、四阶段柴油车，其中 PM 国三阶段占比较大 52.6%，其次为国四 28.6%，NO_x 国四排放阶段占比较大 32.0%，其次为国三 28.6%。

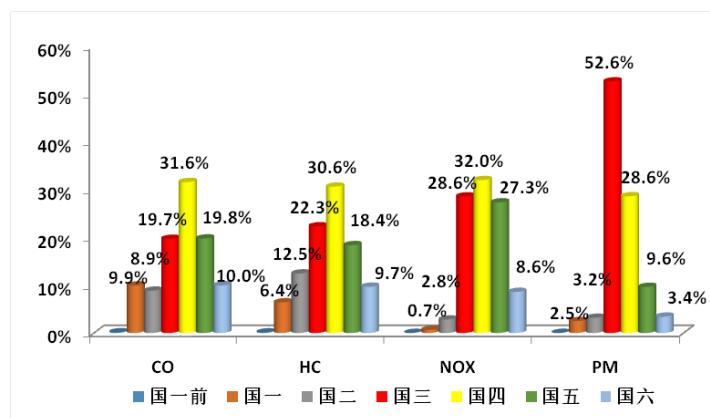


图 2-1 汽车不同排放阶段各项污染物排放量占比

2.2 工业源情况

经统计，洋浦、澄迈、昌江和东方四个城市工业污染物排放较大。洋浦工业企业排放较大主要是由于石化企业和造纸企业；澄迈工业企业排放较大主要是由于老城经济开发区；昌江工业企业排放较大主要是由于水泥制造企业；东方工业企业排放主要是由于有石化园区。

2.3 扬尘源情况

海南省扬尘源 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 以施工扬尘和道路扬尘排放为主。海南省各类扬尘源大气污染物排放量情况，详见图 2-2。

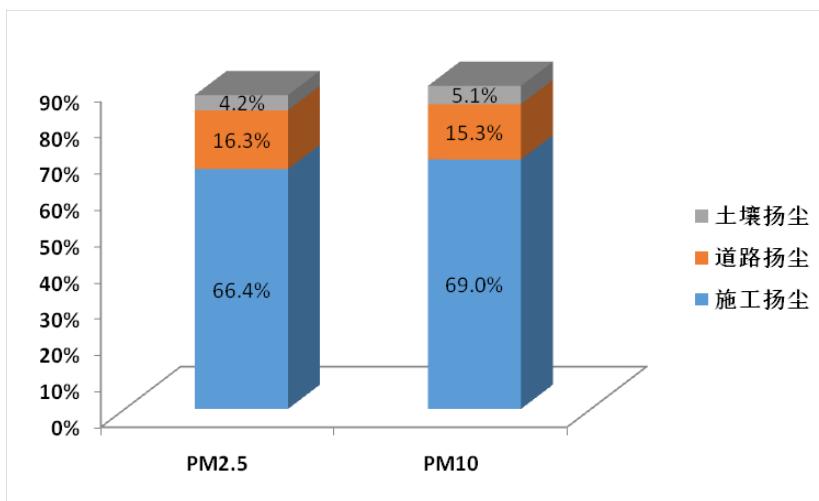


图 2-2 海南省各类扬尘源排放量占比

2.4 生活源

按照餐饮油烟、生活燃气锅炉、商业溶剂等纳入生活排放源。总体而言，餐饮油烟是海南省颗粒物和 VOCs 的重要来源，生活或商业溶剂也是 VOCs 的主要来源之一。

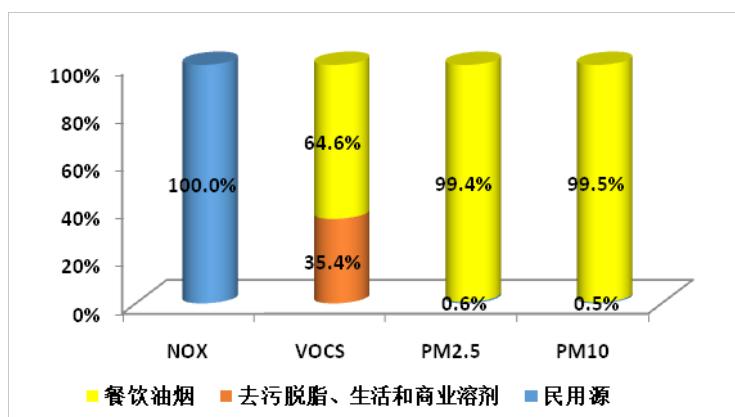


图 2-3 海南省各类型生活源排放量占比

3 十四五期间自由贸易港建设对空气质量影响研究

3.1 模拟方案设置

3.1.1 WRF 模式

本项目采用 WRF-CMAQ 模式开展海南省空气质量数值模拟。模拟所用的 WRF 版本为 WRFV3.9.1，模拟区域采用三层嵌套设置。

3.1.2 模式排放源

区域排放源采用的是清华大学 MEIC 人为源排放清单，空间分辨率为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ (<http://www.meicmodel.org>)。排放源数据总共分为 5 个行业，分别是工业源、电厂源、民用源及其他源等。

本地排放清单采用本地计算获得的工业源、机动车源、扬尘源、民用源等更新。

3.1.3 数值试验设计

模拟了 2019 年基准情景下 1、4、7、10 月各污染物的浓度值，并利用观测数据对海南省的模拟结果进行评估验证。并在此基础上，设计了常规减排、加强减排与超强减排，共三组减排情景，开展模拟计算评估。

3.2 减排情景模拟结果统计

3.2.1 常规减排情景

采取常规减排措施后，海南省 $\text{PM}_{2.5}$ 的下降率约为 9.5%，浓度量值可减少 $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右，预估减排后的浓度值为 $14.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，距离十四五规划的 $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 还存在一定差距； PM_{10} 的平均下降率约在 7.1% 左右； NO_2 和 SO_2 的浓度降低率均在 11% 左右；当前方案，对 O_3 污染改善效果一般，降低率在 3% 左右。

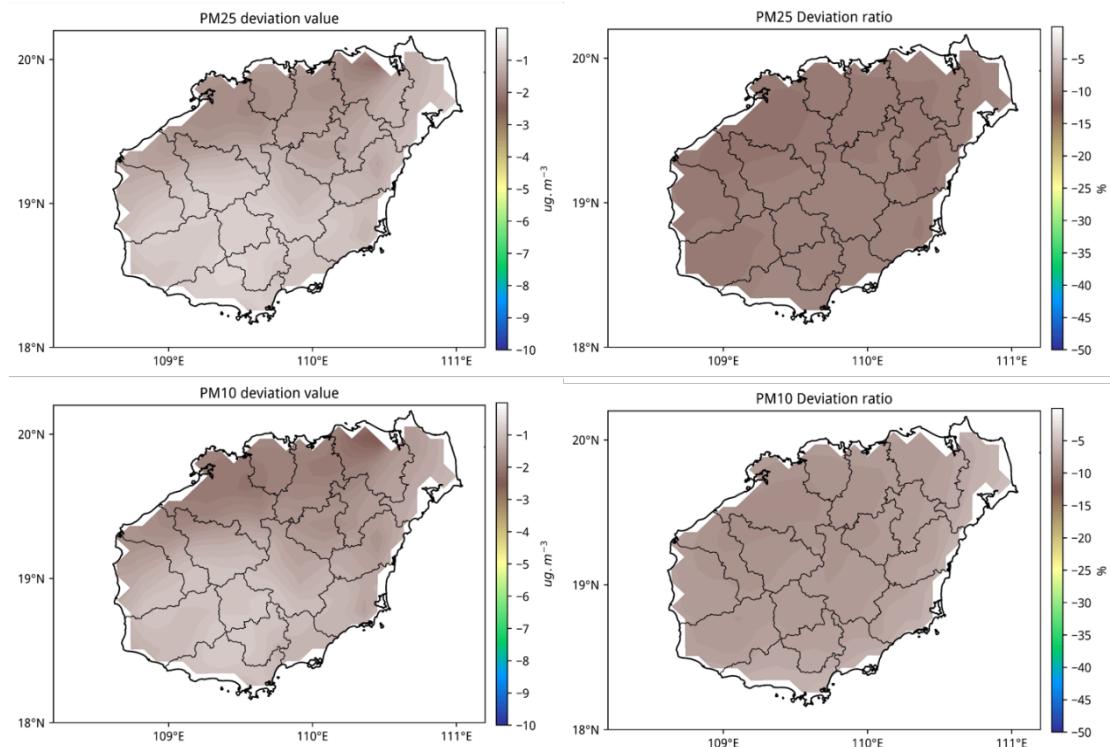


图 3-1 常规减排情景颗粒物减排量 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 及变化率 (%) 空间分布

3.2.2 强化减排情景

采取强化管控措施后，海南省 $\text{PM}_{2.5}$ 的下降率约为 22.9%，浓度量值可减少 $3.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右，预估减排后的浓度值为 $12.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，距离

十四五规划的 $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 已较为接近； PM_{10} 的平均下降率约在 17.3% 左右，预估浓度值可减少 $5.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，预估减排后的浓度值为 $28.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ； NO_2 和 SO_2 的浓度降低率均在 28% 左右；对 O_3 浓度降低率为 9.5%。

3.2.3 超强减排情景

采取超强管控措施后，海南省 $\text{PM}_{2.5}$ 的下降率约为 34.3%，浓度量值可减少 $5.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右，预估减排后的浓度值为 $10.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，满足十四五规划 ($11 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 要求； PM_{10} 的平均下降率约在 25.4% 左右，预估浓度值可减少 $8.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，预估减排后的浓度值为 $25.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ； NO_2 和 SO_2 的浓度降低率均在 40% 左右；对 O_3 浓度降低率为 14%。

3.3 主要评估总结与讨论

3.3.1 主要研究结论

采取常规减排措施后，海南省 $\text{PM}_{2.5}$ 的下降率约为 9.5%，浓度量值可减少 $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右，预估减排后的浓度值为 $14.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；采取加强管控措施后，海南省 $\text{PM}_{2.5}$ 的下降率约为 22.9%，浓度量值可减少 $3.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右，预估减排后的浓度值为 $12.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；采取超强管控措施后，海南省 $\text{PM}_{2.5}$ 的下降率约为 34.3%，浓度量值可减少 $5.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右，预估减排后的浓度值为 $10.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，满足十四五规划 ($11 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 要求；各管控措施，其它污染物浓度水平均有不同程度降低。

3.3.2 不确定性分析

1) 气象条件影响

上述分析结论中仍存在较多的不确定性。气象气候条件是短时间空气污染持续或改善的重要不确定性因素。如 2020 年气象条件相较于 2019 年有利，PM_{2.5} 浓度值下降明显 ($13 \mu\text{g}/\text{m}^3$)，而 2021 年受不利气象条件影响，海南省 PM_{2.5} 的浓度反弹上升 ($13.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$)。因此未来的气象条件的变化会给海南省空气质量达标带来一定的不确定性，预计导致 PM_{2.5} 年均浓度变化量约 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的浮动。

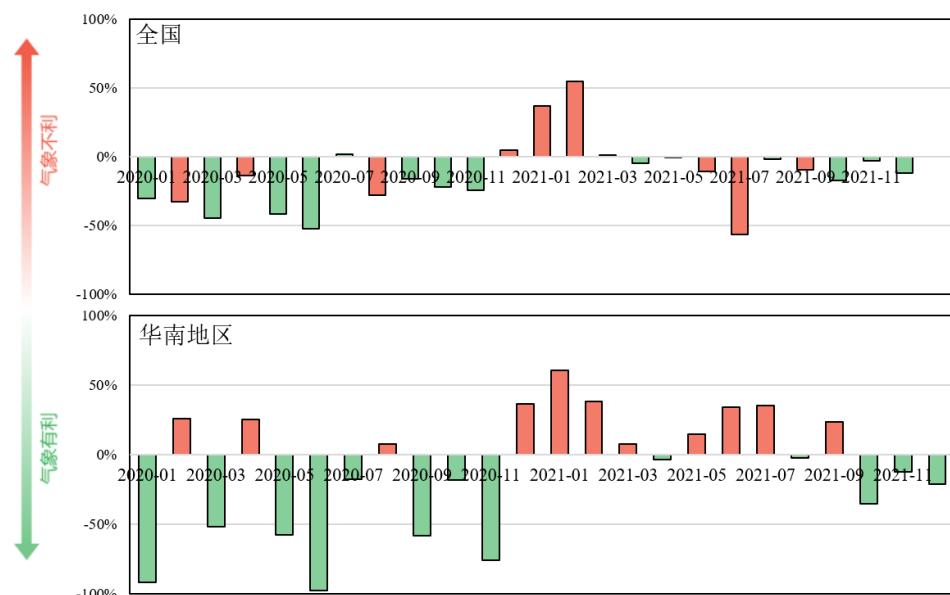


图 3-2 2020 年 1 月-2021 年 12 月尺度气象条件变化对污染物浓度同比贡献率

2) 外来传输影响

根据已有研究可知，海南省空气质量污染一定程度上受外部传输影响，而外部削减力度存在较大的不确定性。在模拟的减排情景中，除海南省本地削减外，要求外围地区也需按照对应比例削减。

4 海南省十四五期间大气污染控制对策研究

海南省十四五期间大气污染控制对策共 10 条任务措施，主要分为四个部分。

（一）第一部分

提出总体要求。包括指导思想、目标指标，明确了“十四五”大气污染防治的目标指标体系。到 2025 年，海南省环境空气质量继续保持全国领先水平，全省 PM_{2.5} 平均浓度力争达到 11 微克/立方米。

（二）第二部分

围绕与空气质量紧密相关的产业、能源、运输结构提出重点工作任务。在优化产业结构方面，严格环境准入要求，坚决遏制高耗能、高排放项目盲目发展，加快现有产能升级改造与布局调整，推进园区升级改造，积极推进含 VOCs 原辅材料和产品源头替代等措施。在优化能源结构方面，加快推进能源结构优化，有序提高清洁能源比重；实施煤炭总量控制，逐步减少工业燃煤；开展工业炉窑深度治理，加快清洁能源替代。在优化交通结构方面，加快推动货物运输绿色转型，大力推广新能源车船，积极推动车船结构升级，全面保障油品质量。

（三）第三部分

聚焦主要污染物明确减排措施要求。一是针对臭氧污染问题，强化臭氧前体物 VOCs 和氮氧化物减排。包括实施 VOCs 全过程综合整治，开展非电行业超低排放，加强车油联合管控，深入推进非道路移动源污染防治，强化船舶港口及机场污染防治。二是结合我省实际，

对污染突出的大气面源全面加严管控。包括实施扬尘精细化管控，提高农业秸秆综合利用，有效控制氨排放，严格管控烟花爆竹燃放，严厉打击槟榔土法熏烤，严格控制餐饮业油烟污染。三是对有毒有害气体、消耗臭氧层物质、大气污染物和温室气体，实施多污染物协同控制。

（四）第四部分

提出能力建设和保障措施要求。一是增强基础能力建设，推进治理能力现代化。包括持续优化空气质量监测网络，加强精细化管理能力，提升污染天气应对预测预报能力，增强污染源监控能力。二是健全污染应对机制，推进治理体系现代化。包括建立大气污染防治精细化管理体系，构建国际化的监测评价制度，建立空间差异化的目标考核体系，推进区域大气污染联防联控，强化省内市县间协作联动，完善执法监管机制。三是落实各方责任，开展社会全民行动。包括加强组织领导，完善法规标准，加大政策激励，严格监督考核，强化科技支撑，推进信息公开，实施全民行动。

5 可达性分析及建议

各情景模拟结果表明十四五期间海南省 NO₂、SO₂、CO 均可略有下降，NO₂、SO₂、CO 浓度可以保持在世界卫生组织最新准则值范围内，PM₁₀ 浓度也相对较低，可以达到国家一级标准。因此，主要针对 PM_{2.5} 和臭氧的可达性进行分析。

5.1 PM_{2.5} 可达性分析及建议

根据基准减排情景，海南省 PM_{2.5} 下降 9.5%，为 14.5 微克/立方米；强化减排情景下，下降 22.9%，PM_{2.5} 可达 12.3 微克/立方米；超强减排情景下，PM_{2.5} 下降 34.3%，PM_{2.5} 预计可达 10.5 微克/立方米。表明要完成十四五期间 PM_{2.5} 浓度达到 11 微克/立方米，本地和区域减排须接近超强减排情景。在区域影响层面，选取海南上游的上海、广东、福建、湖南等省市 PM_{2.5} 浓度较 2017 年（区域清单基准年）幅度在 22.2%-30.8% 之间，即区域减排 2021 年已达到强化减排和超强减排比例。在 2022 年-2025 年，期望区域排放强度进一步下降 5% 左右。

表 5-1 上游典型省市 PM_{2.5} 浓度变化图

	2017 年	2019 年	2021 年	下降幅度
上海市	39	35	27	-30.8%
广东省	33	27	22	-33.3%
福建省	27	24	21	-22.2%
湖南省	46	42	35	-23.9%

在本地排放方面。按照海南省国民经济发展和社会发展十四五规划，十四五期间在自由贸易港建设快速建设背景下，海南省人口增加 18%；GDP 由 5500 亿增加值 1 万亿元，增长约 100%，其中产业发展投资年均增速 12.7%，必将带来机动车尾气、餐饮油烟、工地扬尘等排放规模增加。

按照海南省大气环境普通管理强度，在国三柴油货车淘汰、重点行业大气污染物排放标准执行的条件下，仅能完成基准减排情景。须至少完成强化减排力度，工地扬尘管控“六个 100%”全面从严执行，同时加密重点区域洒水降尘频次，加大禁止露天秸秆焚烧实施力度，加快砖瓦、水泥、木材燃料锅炉的淘汰力度，扎实推进装配式建筑比例，加快推广新能源汽车，压减燃油汽车配售数量。

5.2 臭氧目标可达性分析及建议

根据不同减排情景分析，臭氧整体保持稳定，在气象条件正常情况下也可以达到 120 微克/立方米，但是气象条件不利时，在常规减排情景下，存在未完成目标风险。

海南省臭氧高值时段集中在 10 月前后的冬春季，4-8 月绝大多数日期均低于 120 微克/立方米，且臭氧考核以全年第 90 百分位数为主。因此，与 PM_{2.5} 策略略有不同，海南省臭氧在十四五期间，除了常规时段压减燃油汽车配售指标外，在重点时段实施强化措施，以 NO_x 和 VOCs 强化协同减排为基础，加快低挥发性有机物涂料或溶剂使用，同时在高值天停止露天粉刷、汽车喷涂等作业；加快石化行业等

VOCs 重点排放行业回收治理力度，以有效降低高值时段臭氧浓度，确保臭氧顺利完成十四五目标任务。