

美国 臭氧区域控制 政策演进

亚洲清洁空气中心

序言

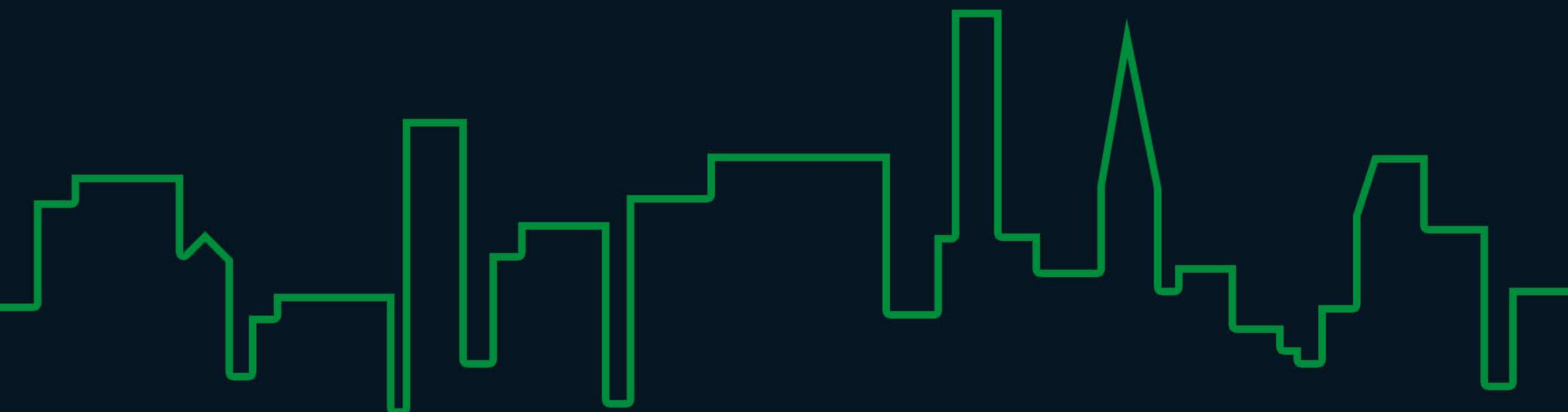


《空气质量管理发展历程》系列报告是亚洲清洁空气中心开发的国家和城市空气质量管理经验分享专题材料之一。

《空气质量管理发展历程之美国臭氧区域控制政策演进》是亚洲清洁空气中心在亚洲开发银行项目下开发的材料，由亚洲清洁空气中心万薇博士编写。

亚洲清洁空气中心作为亚洲领先的空气质量管理网络，已经编制和分享了众多大气污染防治领域的国际经验中文材料，如日本川崎市的大气污染治理、新加坡灰霾应急管理、美国加州湾区臭氧管控专题等。请登录亚洲清洁空气中心搭建的在线清洁空气知识分享平台“空气知库”获取：

<http://www.allaboutair.cn>。



关于亚洲清洁空气中心

亚洲清洁空气中心是一家国际性非营利组织，2001年由亚洲开发银行、世界银行和美国国际开发署共同发起建立，旨在减少亚洲国家空气污染和温室气体排放，为建设宜居城市不断努力。亚洲清洁空气中心倡导改变，并于全球合作伙伴一起，通过科研、政策、信息和能力建设减少污染排放。

2007年，亚洲清洁空气中心成为联合国认可的合作伙伴机构，拥有来自全国261个合作伙伴。亚洲清洁空气中心的七个国家网络包括印度尼西亚、马来西亚、尼泊尔、巴基斯坦、菲律宾、斯里兰卡和越南。中心总部位于菲律宾马尼拉，在北京和德里设有办公室。

亚洲清洁空气中心中国办公室与中国国际民间组织合作促进会建立合作，已在中国开展工作逾十载，通过促进绿色交通、提升中国空气质量管理能力，推动中国空气质量改善。2005年，亚洲清洁空气中心与环境保护部环境保护对外合作中心合作，在中国建立了城市空气质量管理网络。截止2016年，亚洲清洁空气中心已举办了12届年度研讨会，共计超过100多个城市参加。此外，针对不同参与者和主题，亚洲清洁空气中心组织了25次空气质量管理培训和13次交通研讨会。这些活动将环保部、地方环保局、地方环保支持机构、国内外专家齐聚一堂，城市可以学习彼此及国际的先进经验、提升空气质量管理水平，并为国家政策制定提供建议。

亚洲清洁空气中心中国办公室

北京市朝阳区秀水街1号建国门外外交公寓11-152, 100600

电话 / 传真: +86 10 8532 6172

Email: china@cleanairasia.org

网站: www.cleanairasia.cn

微博: @ 亚洲清洁空气中心

微信: cleanairasia

01

受区域传输影响，东部各州臭氧达标难

东部各州的臭氧达标问题在美国的环境治理历程中一直是个难题。美国在上世纪 50 年代已经认清近地面臭氧浓度超高（洛杉矶烟雾事件）是由氮氧化物（NO_x）、挥发性有机污染物（VOCs）过度排放共同引起的光化学污染问题，非常重视臭氧污染治理，并一直把大城市作为管理的核心。并且，治理措施主要是 VOCs 减排，并严格管理机动车排放（重要 VOCs 及 NO_x 排放源），这一控制思路在西海岸的洛杉矶城市群取得了较好的效果。

但直到上世纪 90 年代，尽管美国已经在 VOCs 的减排方面做出了极大努力，仍有许多区域无法臭氧达标，特别是东部各州的城市。其中一个重要原因是臭氧的区域传输影响，一个州排放的前体物（特别是 NO_x，主要由固定高架源排放）能传输到其他州。早在 1977 年，就有研究（Wolff 等，1977）发现中西部的污染传输导致了东北州的臭氧严重超标。又如，1998 年美国环保局的一项评估结果显示，宾夕法尼亚州的臭氧超标 65% 是由区域传输造成，而新泽西、纽约、康涅狄格州和马萨诸塞州的臭氧不达标问题受周边影响高达 85-88%。所以大城市为核心，控制 VOCs 排放为主的管理思路在东北各州不能行之有效。





从本地污染控制的角度来说，应当优先控制 VOCs 还是 NO_x 并没有一个简单的答案（不同地区各异，即使同一个地区的不同时间点也不一样，根据当时的气象条件、传输反应机理、污染特征差异而定），但基本的研究共识认为 VOCs 控制（或辅以 NO_x 控制）对于缓解城市区域的局地臭氧污染很有帮助，但是区域臭氧污染控制的**最佳策略是减少高架源的 NO_x 排放（NARSTO, 2000）。

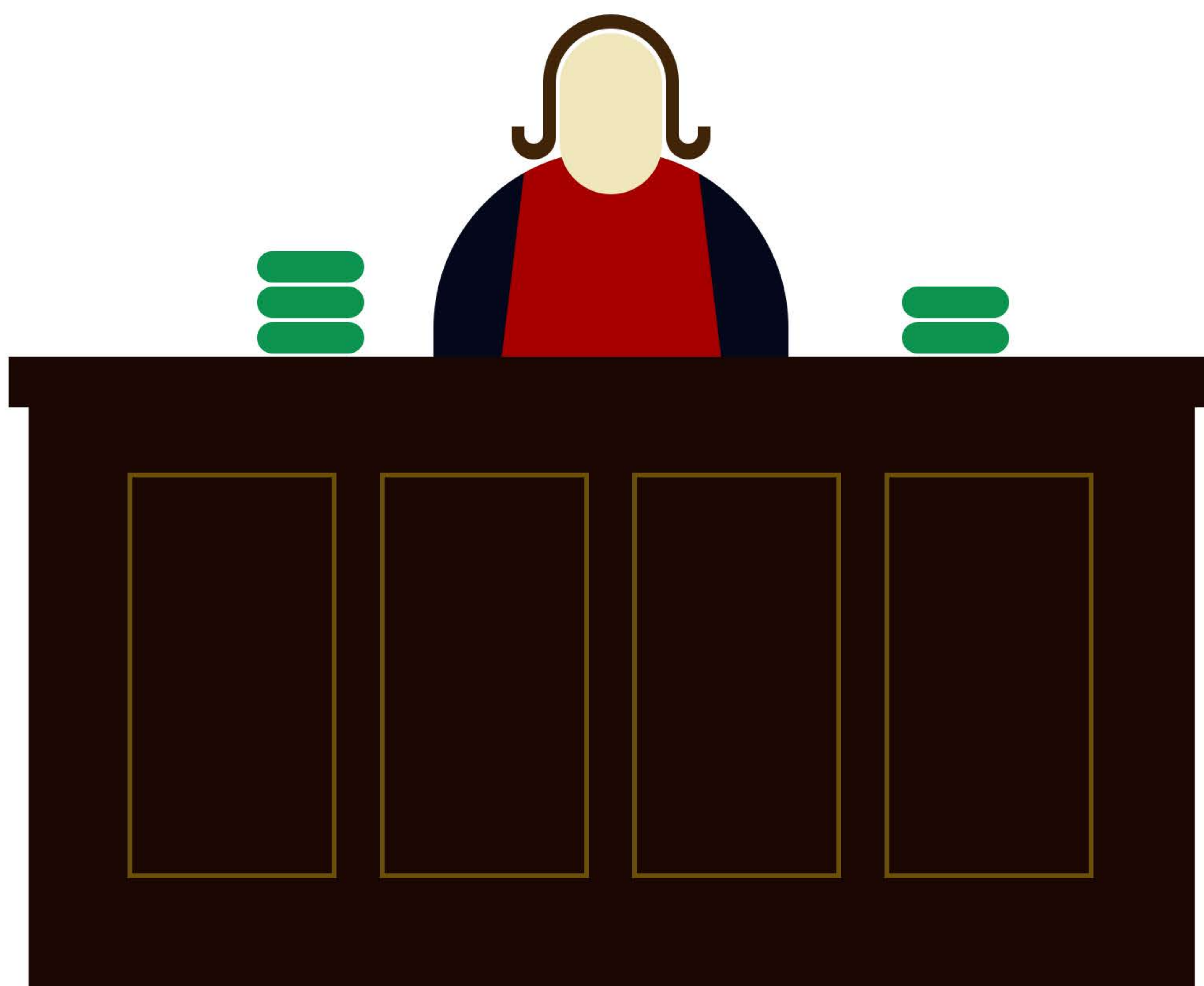
科学家基于低层大气中的臭氧传输与复合污染研究，建议美国环保署施行更广范围的区域化臭氧管理策略，并将重点放在 NO_x 控制上。因此，在 1990 年《清洁空气法案》大修过程中，国会希望通过新的措施来解决区域不达标问题。

注 * 区域臭氧控制政策列表见附 1

02

划定臭氧传输区域，建立区域管理机构

1990 年修订的《清洁空气法案》第 184 条提出划定臭氧传输区域（Ozone Transport Region, OTR），并授权在臭氧污染严重的东北部 11 个州和华盛顿特区建立了管理机构——臭氧传输协会（Ozone Transport Commission, OTC），它由各州代表以及 EPA 成员组成，协调制定区域 NO_x、VOCs 减排策略并督促实施。



从 1991 年召开第一次会议并把马里兰州环境委员选为主席开始，美国东北各州正式实施区域臭氧控制策略。OCT 的议事成员为各州的环境委员，此外，EPA 也作为一个没有投票权的成员方参加，形成了一个联邦政府与各州共同议事的机制。OTC 的职责主要有三个方面：

01

风险评估和模型研究—资助科学研究，保持对环境污染或可选控制措施可能存在的健康风险和科学不确定性最新研究成果的了解（主要研究项目详见附 2）；

移动源的管理—例如 1991 年各州独立进行的燃油改革以及 1994 年实施的低排放车辆计划（更多机动车政策详见附 3）；

02

03

固定源的管理—1992 年，OTC 明确指出为了达到臭氧标准，需要进行必要的区域电厂和大工业点源控制（因固定源 NO_x 排放为区域臭氧控制策略重点，该项内容为本文介绍重点）。

1994 年，OTR 范围内除了弗吉尼亚之外的所有州都就控制策略达成了共识并签订谅解备忘录，要求控制 250 mmBTU/ 小时（百万英制热单位）以上工业排放源及 15 MW 以上的电厂，并设置区域排放控制总量，给各州分配排污许可量，并允许排放源之间进行交易，在 5-9 月臭氧高浓度季节期间所有排放源都需要持有 NO_x 排污许可证才能生产并排放。

中央政府的参与以及法律强制在区域机构建立中发挥了至关重要的作用。此前，长期不能达标的东北各州（包括纽约、马萨诸塞、新泽西、缅因、新罕布什尔、佛蒙特、罗德岛、康涅狄格）的空气污染管理者就已经尝试由下至上进行协商，建立了 NESCAUM（Northeast states for coordinated air use management）。但是这些协商并没有改变各州的行动策略，环境政策的制定仍然是建立在本州利益基础上，而非区域性策略。OTC 的建立从根本性改变了这一局面，形成了以州为主导，联邦政府和各州共同议事和协调的区域性合作机制。

该机制提供了区域影响 EPA 决策的途径。清洁大气法案的 184c 条规定，OTC 可向 EPA 提出政策建议，EPA 有义务进行考虑，可以同意或者拒绝，如果拒绝一定要给出合理的解释和达到同样目标的其方案建议。需要注意的是，区域内部意见达成一致方能统一提出建议。总的来说，OTC 各成员州在各个阶段都具备基本共识和一致性，但仍然会在臭氧传输问题上产生争议（其后成立了专门的科学评估小组来解决传输影响问题的认知争端），或受到私营部门游说的影响（特别是在汽车工业、煤炭行业为重点行业的州），或环境部门的换届选举导致的环境委员党派或人员的变更带来的立场偏差或工作效率损失。



03

电力市场开放， 推动区域政策延至中西部各州

然而，美国联邦能源管理委员会放开电力市场使得区域臭氧控制策略面临挑战。电力市场开放意味着OTR区域州的电力供应不必从本地发电企业购买，可以从发电成本更低的中西部州购买，OTR电厂可能因面临严格的NO_x控制无法竞争，另一方面中西部各州也会因此排放更多污染物影响到处于下风向的、原本就不能达标的东部各州。

为了应对这一难题，在 OTC 之外，EPA 和各州的环境委员会于 1995 年组建了臭氧传输评估组（Ozone Transport Assessment Group，OTAG），由EPA与东部37州共同组成。该工作组的最初目的是评估臭氧传输问题并制定美国东部地区的臭氧污染削减对策，OTAG经过研究认为中西部的NO_x减排将有助于东部各州臭氧达标。1996年8月，7个东北部州都向EPA呈文请愿，要求EPA介入控制上风向州的NO_x排放。





EPA 在 OTAG 的工作基础上于1997年发布了法规（62 Fed. Reg. 60319），并于1998年发布了补充法规（63 Fed. Reg. 25902），意在让上风向各州修改他们的州实施计划（State Implementation Plan, SIP），并推行OTR的排污交易模式，该计划通常被称为 NO_x SIP Call。而对于未按时提交SIP的州，EPA会介入令其实施联邦执行计划（Federal Implementation Plan，FIP）。该计划 实施范围包括美国东部22个州和哥伦比亚地区，因为这些州和地区本身臭氧不达标，或者对其他州的臭氧不达标问题有显著贡献。

NO_x SIP Call计划要求受控州和地区自 2003 年起削减 NO_x 排放。和 OTC 计划一样，该计划的实施时间也是每年的 5 月至 9 月。该计划要求受控州和地区修正他们的州执行计划并限制本地区的氮氧化物排放。但 NO_x SIP Call 并不要求受控源必须全部减少排放或规定具体措施，而是为每个州设定了一个预算，即夏季排放总量上限。对于每个州应如何达到控制目标没有规定，各州有选择达标对策的空间。为了帮助各州在更高的费用有效水平上达到控制目标，EPA 将 OTC NO_x 预算计划（NO_x Budget Program, NBP）引入 NO_x SIP Call，形成排污许可交易制度。OTC 计划成员州自 2003 年起改实施 NO_x SIP Call，各州都必须通过参与 NBP 来达到政策目标。但这两个政策之间的削减目标差不多是一致的，此外两个政策的许多特征也是一致的，从而保证政策之间的衔接。NO_x SIP Call 相比 OTC 的范围更广，涵盖了更大地域(见图1)，并基于预测情景（截至 2007 年）为所有的 NO_x 排放源设置总量控制上限，有助于实现更大范围内的臭氧达标。

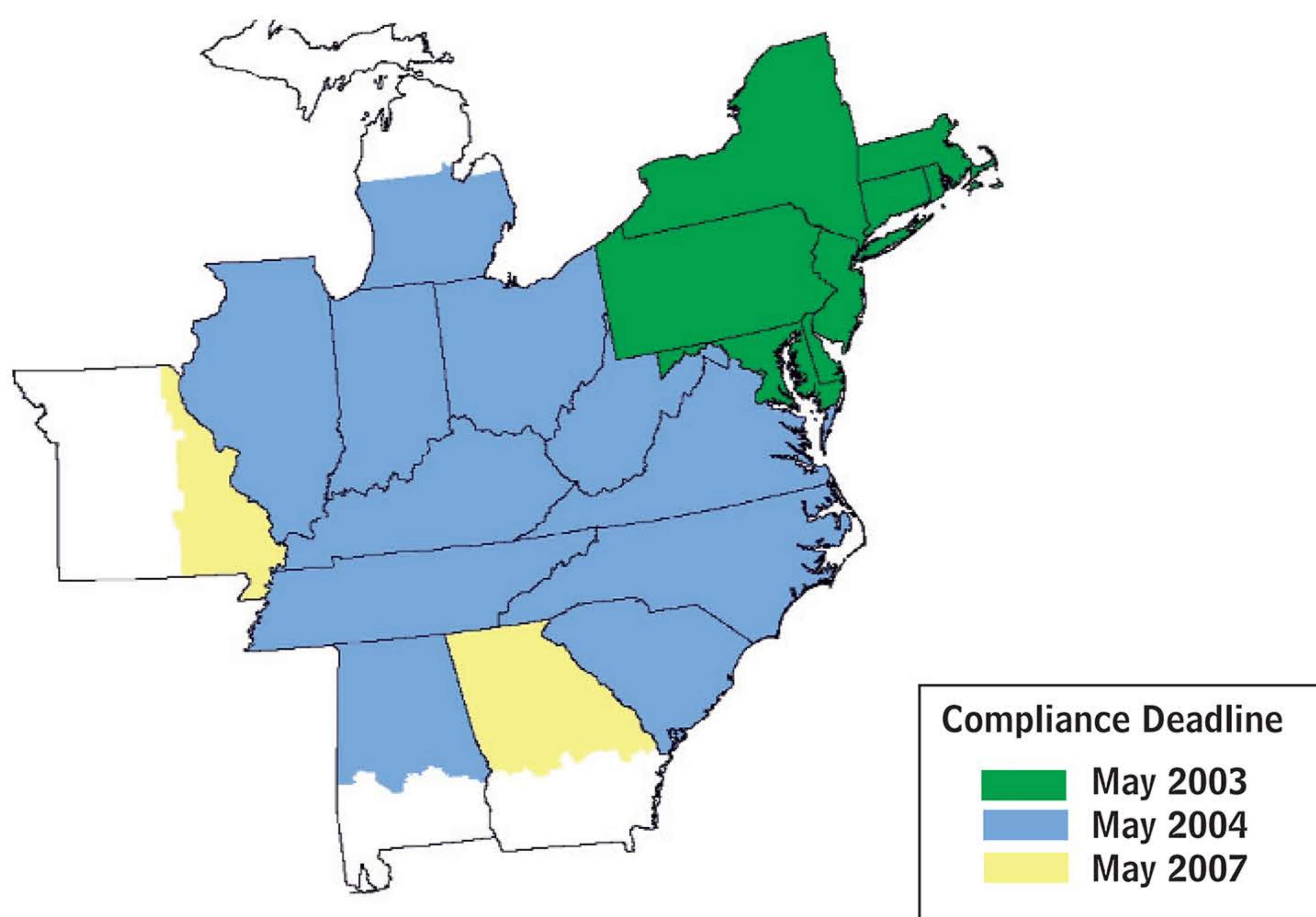


图 1: NO_x SIP Call 分步骤实施区域 来源: EPA, 2004

04

控制策略显效，臭氧浓度显著下降

1990后实施的臭氧控制措施众多，包括移动源、工业生产与电力行业，其中针对电力行业的两大主要控制策略即为区域性政策（见图2）

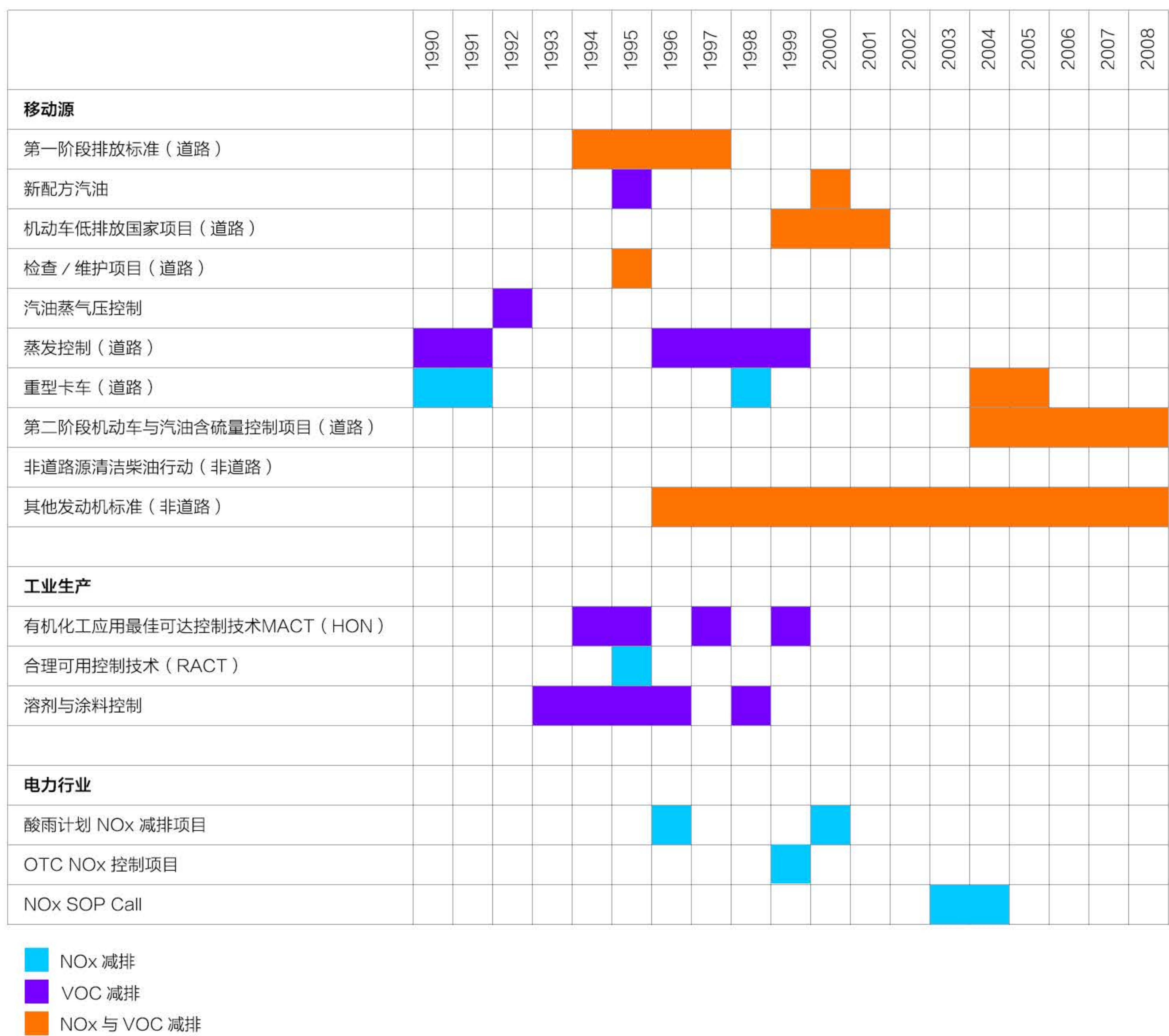


图 2：美国臭氧控制措施汇总 来源：EPA，2004

相应的在NO_x SIP Call覆盖区域，电力行业排放量下降显著，也带来了更大幅度的臭氧浓度降低（见图4，颜色越深则下降幅度越大）。

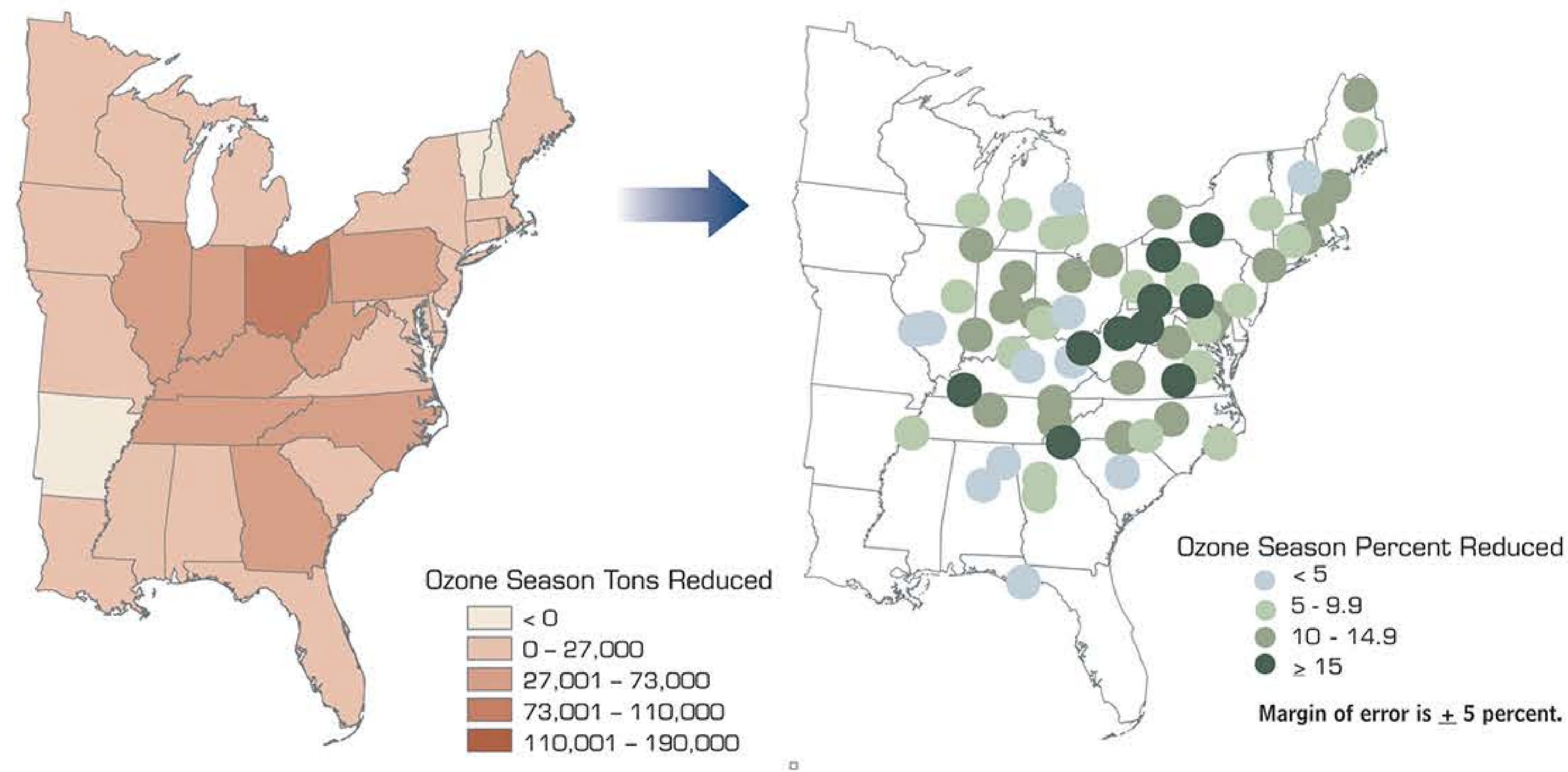


图 4：臭氧季（5-9 月）电力行业氮氧化物减排与臭氧浓度变化 来源：EPA，2004
（注：氮氧化物减排量单位为百万吨；臭氧浓度变化已做排除气象因素的调整）

这些措施整体取得了很好的效果，特别是在90年代中期后排放下降趋势显著，自1997年到2004年，氮氧化物排放减少了25%，VOCs排放减少了21%（如图3）。

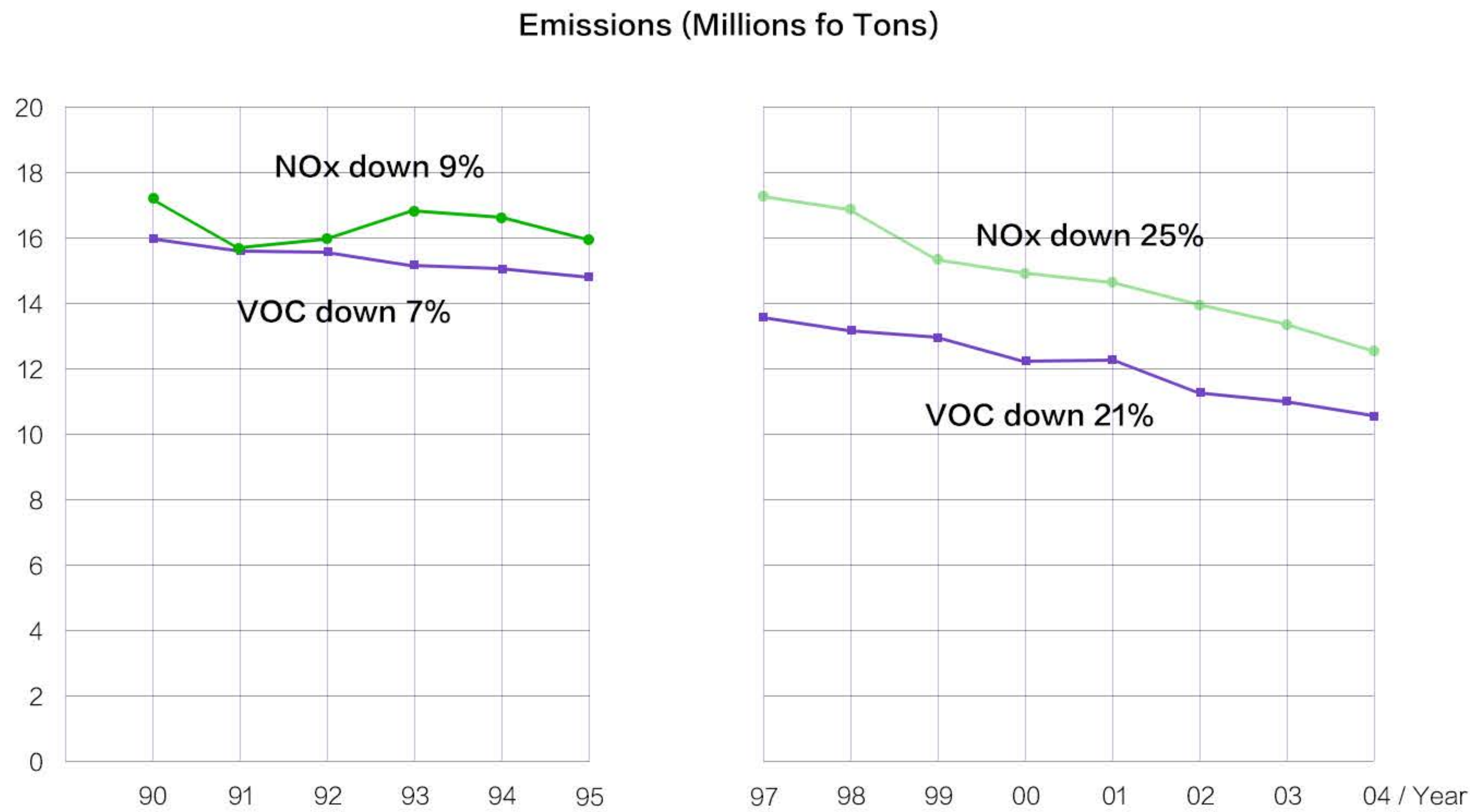


图 3：NO_x 与 VOCs 排放趋势 来源：EPA，2004

05

仍难达全面到新标准，臭氧控制政策持续升级

1997 年 7 月 18 日，EPA 修订了《国家环境空气质量标准》(62 Fed. Reg. 38856)，将臭氧标准从 1 小时浓度标准 1.20 ppm 变为 8 小时浓度标准 0.8ppm。新标准在 2000 年生效，当时就有很多地区都达不到新标准，到了 2004 年，东北各州达标情况仍然不乐观（见下图 5）。

为了实现臭氧进一步达标（目标是从 108 个臭氧非达标区减少至 16 个臭氧非达标区），EPA 在 2005 年 10 月发布了《清洁空气州际法规》(Clean Air Interstate Rule, CAIR)，旨在对 25 个东部州与华盛顿特区的电力行业 NO_x 排放（也包括 SO₂）进行大幅度总量削减—到 2015 年，CAIR 与 NO_x SIP Call 的措施叠加带来电力行业 50% 的 NO_x 排放量（相比基准年 2003，见图 6）。

2012 年，EPA 预测到仍不能全面达标，并且上风向各州的排放对东部各州的影响仍然存在（见图 7，蓝色箭头为臭氧上下风向影响关系；红色和绿色为 PM_{2.5} 上下风向影响关系，其中红色为年均浓度、绿色为日均浓度）。

2015 年，EPA 又用《跨州空气污染法规》(Cross-State Air Pollution Rule , CSAPR) 替代了 CAIR。新法规仍然针对电厂（因为电厂减排的费用有效性更高），覆盖了美国东部 27 州，旨在尽快帮助下风向各州实现空气质量达标，包括臭氧。

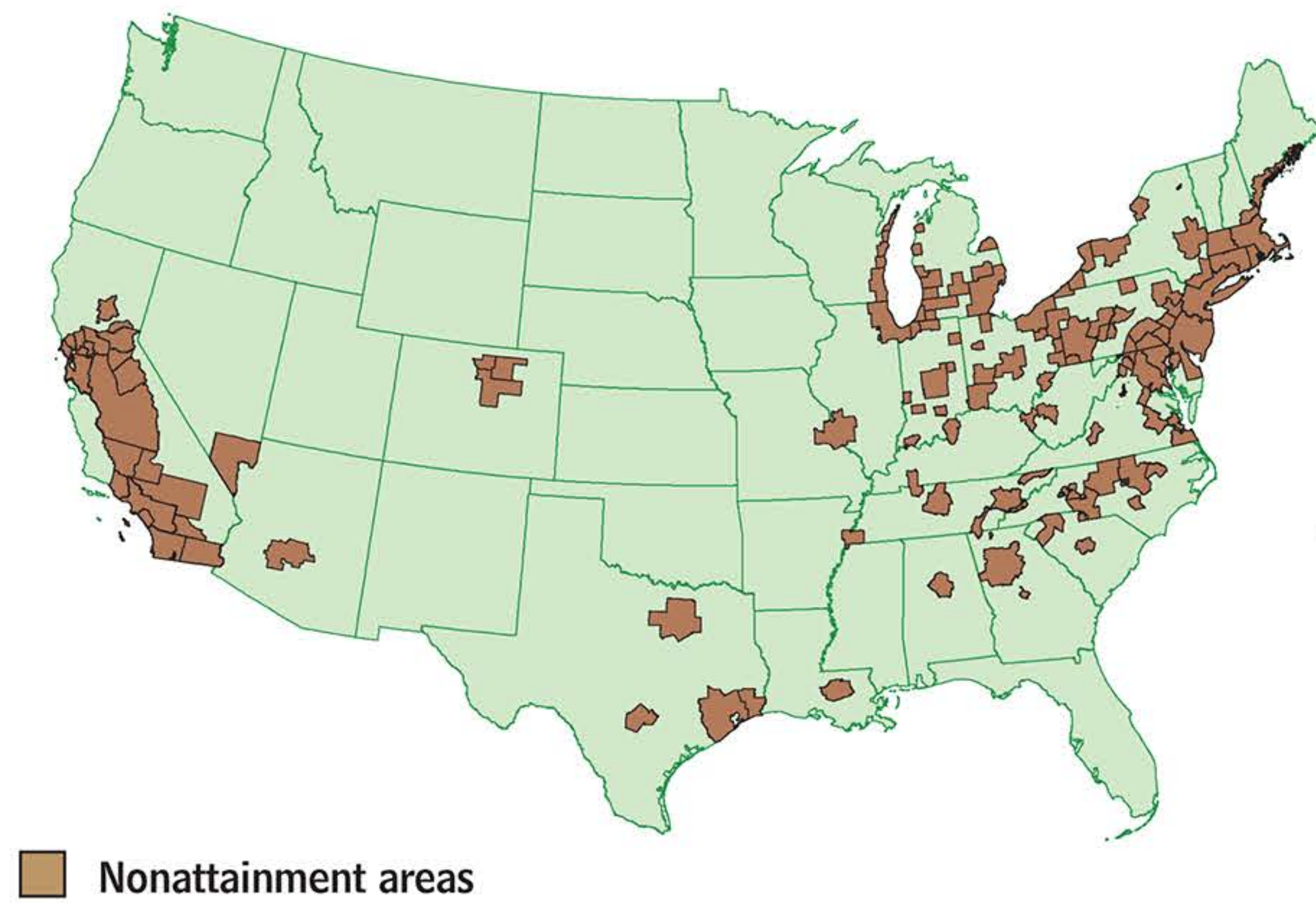


图 5: 臭氧非达标区域 来源: EPA, 2004

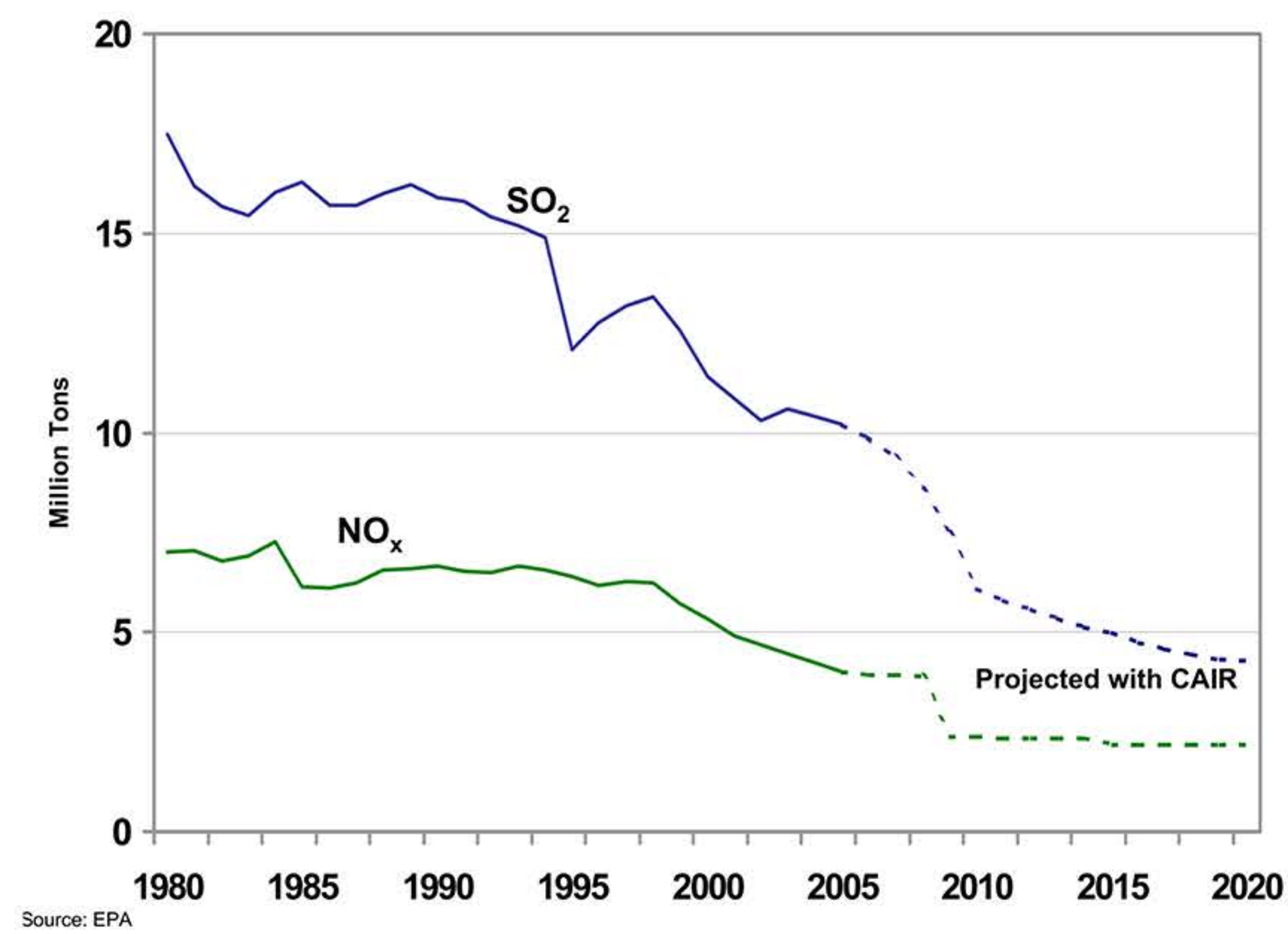


图 6: CAIR 措施的减排趋势估算 (百万吨) 来源: EPA 网站

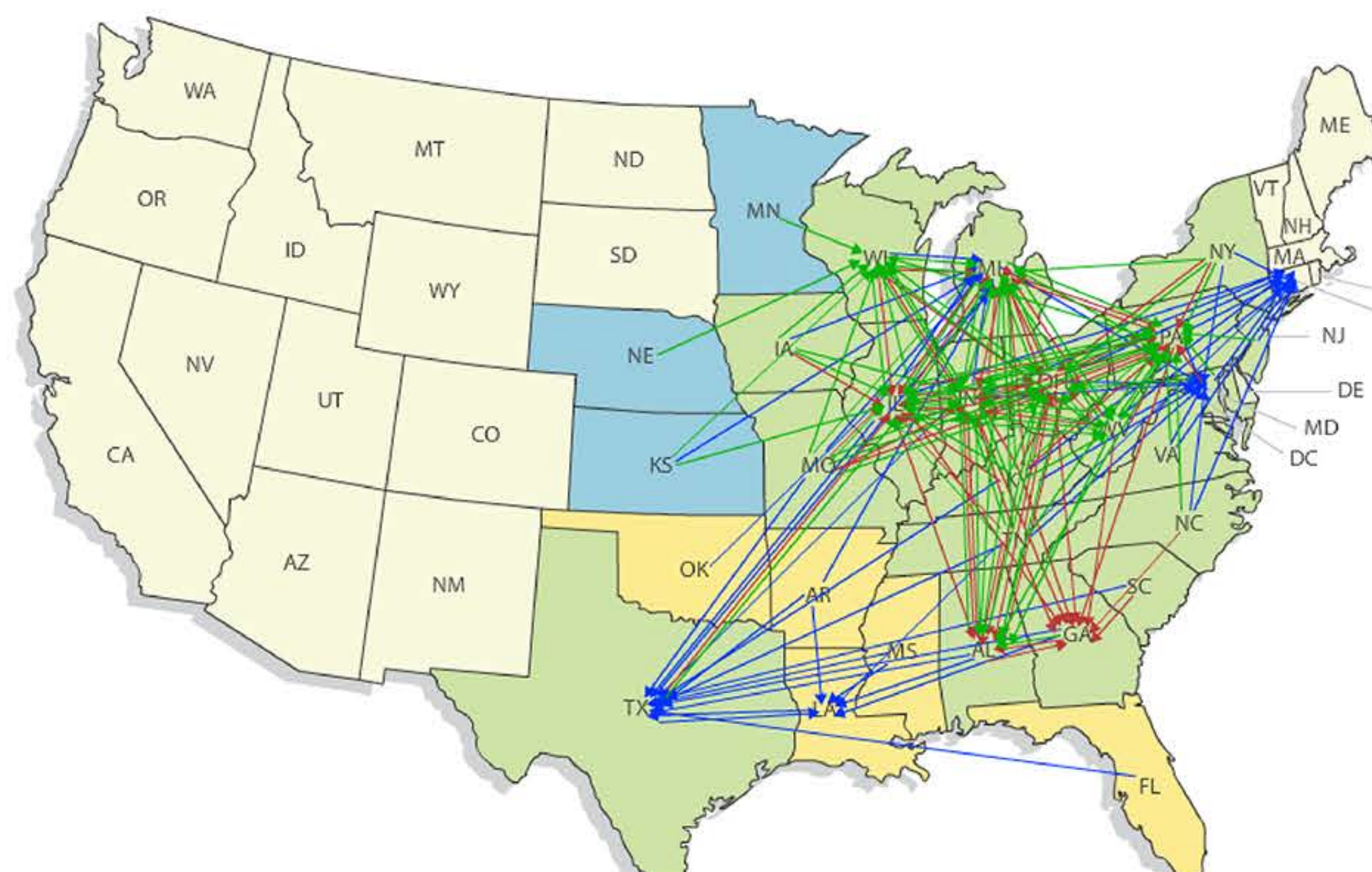


图 7: 上下风向影响关系 来源: EPA 网站

附1: 美国臭氧区域控制政策时间表

1989年末，美国国家研究委员会开始研究评估臭氧污染问题，1991年发布报告指出NO_x排放是造成臭氧不达标的关键原因。

1990年11月，《清洁空气法修正案》授权划定臭氧传输区域，并要求未达标区域污染源应用合理可得控制技术（RACT）。并建立臭氧传输委员会(OTC) 协调东北部和太平洋中部各州的控制计划。

1994年，OTC各州就NO_x控制签订了谅解备忘录。

1995年，成立臭氧传输评估组(OTAG)，包括37个东部州成员，旨在识别臭氧区域传输影响，并形成区域控制策略。

1997年，OTAG基于研究指出控制电厂NO_x排放是解决臭氧污染传输问题的最佳路径。

1997年7月，国家环境空气质量标准修订，臭氧从1小时浓度标准1.20 ppm变为8小时浓度标准0.8ppm。

1997年，东北各州向EPA请愿呈文，建议控制电厂与大型工业燃烧源的NO_x排放。

1997年10月，EPA提出区域NO_x控制法规。

1998年9月，EPA发布SIP Call。

1999年5月，合理可得控制技术应用的第二阶段计划开始，施行总量控制与排污权交易制度。

2005年10月，EPA发布《清洁空气州际法规》（CAIR），旨在将25个东部州与华盛顿特区的电力行业NO_x排放控制到2003年的一半。

2015年，EPA用《跨州空气污染法规》(CSAPR)替代了CAIR。新法规仍然针对电厂，并将范围增至美国东部27州。

附2: 美国臭氧污染传输研究重要项目列表

Northeast Oxidant and Particle Study (NE-OPS),1998-2002

NARSTO (formerly known as the North American Research Strategy for Tropospheric Ozone),2000

New England Air Quality Study: 2002-2004

Regional Atmospheric Measurement, Modeling, and Prediction Program (RAMMPP) 2003

附3: OTC移动源控制主要措施文件列表

1991年7月16日, 加强机动车检测与维护 (I/M) 决议案。

1991年10月29日, 臭氧传输区推行新配方汽油。

1992年3月10日, 加快指导机动车检测与维护决议案。

1993年1月8日, 支持加强I/M项目的机动车排放控制维持技术相关决议案。

1993年1月8日, 支持制定非道路源臭氧前体物排放控制法规的决议案。

1994年9月27日, 向EPA提交OTC低排放机动车项目建议。

1995年6月13日, 支持EPA控制柴油发动机排放措施。

1995年2月28日, 支持联邦清洁汽车提案与实施额外的机动车排放控制项目。

1998年5月22日, 呼吁EPA在OTC低排放机动车项目后建立标准, 继续实施低排放项目。

1999年6月16日, 关于EPA机动车排放与燃油含硫量标准的决议。

1999年6月16日, 柴油卡车与汽车跨州执法检查合作决议。

2000年6月1日, 关于支持EPA柴油发动机与燃油法规的决议。

2004年7月9日, 关于机场与航空排放的决议案。

参考文献

MACTEC Federal Programs, Inc., Identification and Evaluation of Candidate Control Measures

Final Technical Support Document, 2007.

NARSTO, An Assessment of Tropospheric Ozone Pollution – A North American Perspective, 2000.

NRC (National Research Council). Rethinking the ozone problem in urban and regional

air pollution. National Academy Press. Washington, DC, pp. 105–106, 1991.

OTC, Overview of Major OTC Mobile Emission Reduction Effort, 2014

OTC, Pollution Control Strategies in the Northeast and Mid-Atlantic States to Clean Up Ground Level Ozone: Progress to Date and A Look Towards the Future, 1998.

OTC, Recommended Five-Year Priorities for the Ozone Transport Commission, 2002.

Pennsylvania Department of Environmental Protection, A Short History of Ozone Transport Issues

Robert J. Yarbrough, Ozone Non-attainment and the Problem of Long-range Transport

USEPA, Evaluating Ozone Control Programs in the Eastern United States: Focus on the NO

x Budget Trading Program, 2004.

USEPA, The Cross-State Air Pollution Rule: Reducing the Interstate Transport of Fine Particulate Matter and Ozone, 2011.

Wolff, G.T., P.J. Liroy, R.E. Meyers, R.T. Cederwall, G.D. Wight, R.E. Pasceri, and R.S. Taylor. "Anatomy of Two Ozone Transport Episodes in the Washington, D.C., to Boston, Mass., Corridor." *Environ. Sci. Technol.* 11, 506–510, 1977.