

城市蓝天保卫战行动协同控制局地大气污染物和温室气体效果评估

——以唐山市为例

邢有凯^{1,2}, 毛显强^{1*}, 冯相昭³, 高玉冰¹, 何峰^{1,4}, 余红^{5,6}, 赵梦雪³

(1. 北京师范大学环境学院, 北京 100875; 2. 北京中地泓科环境科技有限公司, 北京 100011; 3. 生态环境部环境与经济政策研究中心, 北京 100029; 4. 北京亚太展望环境发展咨询中心, 北京 100191; 5. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 6. 北京师范大学水科学研究院, 北京 100875)

【摘要】 为满足在城市层面开展蓝天保卫战行动、协同控制局地大气污染物和温室气体效果评估的管理需求, 本文构建了评估方法体系, 明确了评估流程, 并梳理了评估参数获取途径。本文所推荐的协同减排量核算方法和协同控制效果评估方法包括: 采用排放因子法计算各措施的单项大气污染物和单项温室气体减排量, 计算各措施的局地大气污染物当量 (LAPeq) 和二氧化碳当量 (CO₂-eq) 减排效果, 进而采用协同控制效应坐标系分析和协同控制交叉弹性分析开展协同控制效果评估。本文以唐山市2018年蓝天保卫战行动为案例, 选择12项子措施开展试点评估, 结果显示: 这12项子措施在减排LAPeq 13 840.89 t/a的同时, 可协同减排温室气体1 009.43万t CO₂-eq/a; 所评估的措施均位于协同控制效应坐标系第一象限; 协同控制交叉弹性Els_{CO₂-eq/LAPeq}为6.66, 即每减排1个百分点的LAPeq, 可协同减排6.66个百分点的温室气体。研究表明, 本文所提出的评估方法体系具有较好的适用性, 可推广应用于城市蓝天保卫战行动协同控制局地大气污染物和温室气体评估工作中。

【关键词】 城市; 蓝天保卫战行动; 协同控制; 局地大气污染物; 温室气体; 效果评估

【中图分类号】 X51

【文章编号】 1674-6252 (2020) 04-0020-09

【文献标识码】 A

【DOI】 10.16868/j.cnki.1674-6252.2020.04.020

引言

为改善空气质量, 2013年和2018年国务院先后出台了《大气污染防治行动计划》和《打赢蓝天保卫战三年行动计划》。随后, 各级政府也出台了地方的“大气污染防治行动计划”和“打赢蓝天保卫战行动计划”。

由于大气污染物和温室气体排放之间存在广泛的同源性, 为有效利用二者目标的“协同性”, 达到事半功倍的效果, 协同控制大气污染物和温室气体的理念应运而生, 并已得到广泛认同, 且被明确写入2015年修订的《中华人民共和国大气污染防治法》。2018年国务院机构改革将“应对气候变化和减排职责”纳入新组建的生态环境部, 以往管理部门职能分割造成的协同管控制度障碍已基本消除。2018年国务院印发

的《打赢蓝天保卫战三年行动计划》在目标指标中也明确要求“协同减少温室气体排放”^[1]。评估蓝天保卫战行动协同控制温室气体的效果成为环境管理工作的必要环节, 亟需一套可量化、可操作、可推广的评估方法体系支撑。

1 大气污染防治效果评估与协调控制研究进展

1.1 《大气污染防治行动计划》和《打赢蓝天保卫战行动计划》执行效果评估

2016年和2018年, 中国工程院和生态环境部(原环境保护部)分别对《大气污染防治行动计划》进行了中期评估^[2]和终期考核^[3], 主要侧重于是否完成既定的工作任务、是否实现空气质量改善目标等方面。

一些学者对执行《大气污染防治行动计划》所产

资助项目: 生态环境部部门预算项目“应对气候变化工作专项”(2110108); 能源基金会项目“城市大气污染物与温室气体协同控制核算方法指南研究及其应用: 固定排放源和生活排放源”(G-1906-29792)。

作者简介: 邢有凯(1981—), 男, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向为局地大气污染物和温室气体协同控制、环境影响评价等, E-mail: xingyoukai@163.com。

*** 责任作者:** 毛显强(1970—), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 主要研究方向为局地大气污染物和温室气体协同控制、环境经济政策与管理、环境评价与规划、贸易与环境问题等, E-mail: maoxq@bnu.edu.cn。

生的温室气体协同控制效应开展了评估,例如,张扬等^[4]核算了黑龙江省实施大气污染治理产生的温室气体减排量;冯相昭、毛显强^[5]从《重庆市贯彻落实大气污染防治行动计划的实施意见》中筛选相关减排措施,对其大气污染物和温室气体协同控制效果进行了量化评估;毛显强等^①对重庆市、深圳市、厦门市、保定市发布的地方《大气污染防治行动计划》进行协同减排效应评估,探索城市层面如何实现大气污染物和温室气体的协同控制。

目前,国家和地方层面关于《打赢蓝天保卫战三年行动计划》的相关评估、考核和研究成果尚未发布。一些城市,如唐山市等,对年度大气污染综合治理重点任务完成情况进行了评价打分。

1.2 协同控制研究进展

Ayres 和 Walter^[6]最早提出伴生效益(ancillary benefits)的概念,用以描述温室气体减排措施能够同时减少其他污染物造成的损害。IPCC^[7]第三次评估报告首次明确提出了协同效益/协同效应(co-benefits)的概念,即温室气体减排政策的非气候效益。USEPA^[8]发起的 ICAP 项目首次提出并系统开展协同控制(co-control)策略研究。

在中国,胡涛等^②最早给出了协同控制的定义,即同时获取减排空气污染物和温室气体以及其他方面的效益,使净效益最大化。胡涛、毛显强提出^③,协同控制是由工程技术、战略规划、政策手段、管理体制等要件构成的完整体系,协同控制措施是指具有物理协同效果和经济可行性的控制措施。

国内外学者在协同控制领域开展了大量的理论研究、方法构建和实际应用,提高了协同控制理念的认可度,推动了相关要求写入法律条文,促进了协同控制工作的有序开展。根据已有的文献,协同控制的主要研究方法包括能源预测—排放估计—大气质量模拟—健康效益估算模式^[9]、协同效应系数^[10,11]、CIMS 模型^[12]、协同控制效应坐标系分析、污染物减排量交叉弹性、协同减排当量指标、单位污染物减排成本、边际减排成本曲线(MAC)^[13,14]等。协同控制评估对象既可以设定在政策层面(如中国能源政策^[9]、交通税费政策^[12]等),也可以设定在城市层面(如攀枝花

花市^[10]、湘潭市^[11]、乌鲁木齐^[15]、重庆市、深圳市、厦门市、保定市^①等)和行业层面(如电力^[16,17]、钢铁^[18-20]、交通^[21-23]等)。另外,学者们对于协同控制评估方法的认识尚未统一,以往的工作多侧重于单项减排指标的对比,而缺乏整体效果评估,对于相关管理工作支撑不足。

本文在以往研究的基础上,针对城市蓝天保卫战行动协同控制局地大气污染物和温室气体效果评估的具体情况和要求,提出评估流程和方法框架体系。

城市层面蓝天保卫战行动计划是在国家行动计划的基础上结合本地实际情况的细化和延伸,具有较高的相似性。本文以唐山市城市蓝天保卫战行动为案例,对本文所提出的局地大气污染物和温室气体协同控制效果评估流程和方法框架体系进行实践应用,旨在为其他城市开展类似工作提供经验和参考,为编制“十四五”生态环境保护规划提供支持。

2 协同控制评估框架、方法与数据

2.1 评估流程

(1) 措施筛选。基于城市蓝天保卫战行动方案逐条列举减排措施,依据对象措施是否具体、活动水平数据是否可获取、影响因子是否明确等条件,筛选和区分可定量评估、可半定量评估、仅能定性评估的措施清单。其中,措施活动水平数据的可获取性是决定能否开展定量评估的最关键要素。

(2) 减排量核算。根据各措施实施的具体情况,识别其大气污染物和温室气体影响因子。通过部门访谈、数据资料收集整理,确定相应的核算方法,并核算各措施的单项大气污染物、局地大气污染物当量(Local Air Pollutant equivalent, LAPEq)和单项温室气体、二氧化碳当量(CO₂-eq)减排量。

(3) 协同控制效果评估。采用协同控制效应坐标系分析、协同控制交叉弹性分析等方法对各措施的协同控制效果进行比较分析。

(4) 提出促进城市协同控制局地大气污染物和温室气体的对策建议。根据协同减排量核算和协同控制效果评估,借鉴国内外其他城市的协同控制成功经验,结合未来城市各协同控制措施的推广潜力,提出促进城市协同控制局地大气污染物和温室气体的对策

① 参见毛显强,冯相昭,邢有凯,等.我国城市常规大气污染物与温室气体协同控制决策支持研究[R].北京:北京师范大学,生态环境部环境与经济政策研究中心,2018.

② 参见HU T. Co-control of Air Pollution and GHGs: Policy Recommendations for China, USEPA IES Program Phase IV Report[R]. 2002.

③ 参见胡涛,毛显强,等.大气污染与温室气体协同控制方法论研究[R].北京师范大学环境学院,2011.

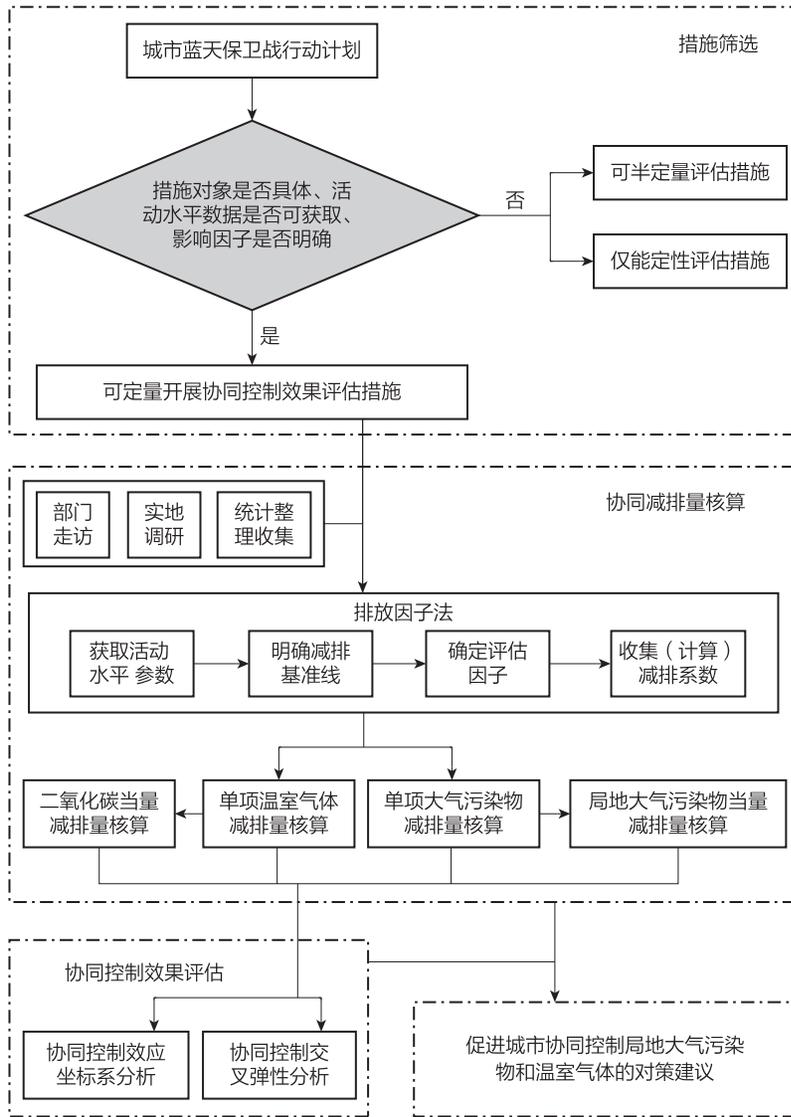


图1 典型城市蓝天保卫战行动协同控制局地大气污染物和温室气体效果评估流程

建议。

典型城市蓝天保卫战行动计划协同控制局地大气污染物和温室气体效果评估流程见图1。

2.2 协同减排量核算方法

2.2.1 排放因子法

即针对每项措施收集其相关活动水平数据，及其影响因子和排放系数，根据该措施对相关活动水平及排放系数的影响，估算减排效果。计算公式如下：

$$E_{i,j} = A_{i0} \times C_{i,j_0} - A_{i1} \times C_{i,j1} \quad (1)$$

式中： $E_{i,j}$ 表示*i*措施对*j*局地大气污染物和温室气体的减排效果； A_{i0} 表示*i*措施实施前生产或消费的活动水平（减排基准线）； A_{i1} 表示*i*措施实施后生产或消费的活动水平； C_{i,j_0} 表示*i*措施实施前的*j*局地大气污

染物和温室气体排放系数（减排基准线）； $C_{i,j1}$ 表示*i*措施实施后的*j*局地大气污染物和温室气体排放系数。

2.2.2 局地大气污染物当量核算

本文参考《中华人民共和国环境保护税法》对污染当量的定义及相关规定，结合案例评估中所涉及的大气污染因子，采取下式计算局地大气污染物污染当量值：

$$\begin{aligned} \text{LAPeq}_i &= \sum e_j \cdot Q_{\text{LAP}_{i,j}} \\ &= \alpha Q_{\text{SO}_2} + \beta Q_{\text{NO}_x} \\ &\quad + \gamma Q_{\text{PM}_{10}} + \delta Q_{\text{CO}} + \\ &\quad \varepsilon Q_{\text{VOCs}} + \epsilon Q_{\text{NH}_3} + \dots \end{aligned} \quad (2)$$

式中： LAPeq_i 表示*i*措施减排的局地大气污染物当量值，单位为kg LAPeq或t LAPeq； e_j 表示*j*大气污染物折算局地大气污染物当量值的系数，根据局地大气污染当量数=大气污染物排放量/污染当量值，故相应折算系数取污染当量值的倒数，详见表1； $Q_{\text{LAP}_{i,j}}$ 表示*i*措施减排*j*局地大气污染物量，单位为kg或t。

以往研究大多侧重于考察单项大气污染物减排和温室气体减排的协同情况，本文通过强调LAPeq核算，力图从总体上反映局地大气污染物减排效果和温室气体减排效果的协同情况，全面展示两类污染物的协同控制

表1 大气污染物折算局地大气污染物当量值系数

大气污染物	折算系数	折算系数值
SO ₂	α	1/0.95
NO _x	β	1/0.95
PM ₁₀ ^①	γ	1/2.18
CO	δ	1/16.7
VOCs	ε	1/0.95
NH ₃	ϵ	1/9.09

数据来源：《中华人民共和国环境保护税法》附表2 应税污染物和当量值表；2015年6月18日，财政部、国家发展改革委、原环境保护部联合印发的《挥发性有机物排污收费试点办法》（财税〔2015〕71号），VOCs的污染当量值取0.95

注：①PM₁₀按“烟尘”污染当量值计算；PM_{2.5}来源较为复杂，既包括一次排放，也包括二次生成，同时为避免LAPeq的重复计算，本文仅对PM₁₀进行评估分析

效果。

若某项措施对其他大气污染物存在减排（或增排）效果，可在公式（2）中增减所考虑的大气污染因子，进而计算该措施的 LAPeq 减排（或增排）效果。

2.2.3 二氧化碳当量核算

二氧化碳排放当量是比较不同温室气体排放量时的一个通用尺度，用某种温室气体排放量乘以其全球增暖潜势（GWP）就可以计算二氧化碳排放当量^[24]，计算公式如下：

$$CO_2\text{-ep}_i = \sum GWP_j \cdot Q_{GHG_{s_i,j}} = \theta Q_{CO_2} + \rho Q_{CH_4} + \mu Q_{N_2O} + \rho Q_{HFCs_i} + \sigma Q_{PFCs_i} + \tau Q_{SF_6_i} \quad (3)$$

式中： $CO_2\text{-ep}_i$ 表示 i 措施减排的二氧化碳当量值，单位为 $kg\ CO_2\text{-eq}$ 或 $t\ CO_2\text{-eq}$ ； GWP_j 表示 j 温室气体折算二氧化碳当量值的系数，详见表 2； $Q_{GHG_{s_i,j}}$ 表示 i 措施减排 j 温室气体量，单位为 kg 或 t 。

表 2 温室气体折算二氧化碳当量值系数

温室气体	折算系数	$GWP_{100}^{\text{①}}$
CO_2	θ	1
CH_4	ρ	21
N_2O	μ	310
HFCs	ρ	140(HFC-152a)~11 700(HFC-23) 根据具体温室气体种类，选取相应的系数值
PFCs	σ	6 500(CF_4)~9 200(C_2F_6) 根据具体温室气体种类，选取相应的系数值
SF_6	τ	23 900

数据来源：2018 年 12 月，《中华人民共和国气候变化第三次国家信息通报》

注：①GWP 取 100 年时间尺度下的全球增温潜势；GWP 取值可以根据 IPCC 最新发布的评价报告予以更新调整

若某项措施对某一种或几种温室气体具有减排（或增排）作用，可在公式（3）中选择增减相应的温室气体因子，进而计算该措施的 $CO_2\text{-eq}$ 减排（或增排）效果。

2.3 协同控制效果评估方法

2.3.1 协同控制效应坐标系分析

在二维坐标系中（图 2），横坐标表示某措施对某种局地大气污染物的减排效果，纵坐标表示该措施对温室气体的减排效果。坐标系中的每个点分别对应一

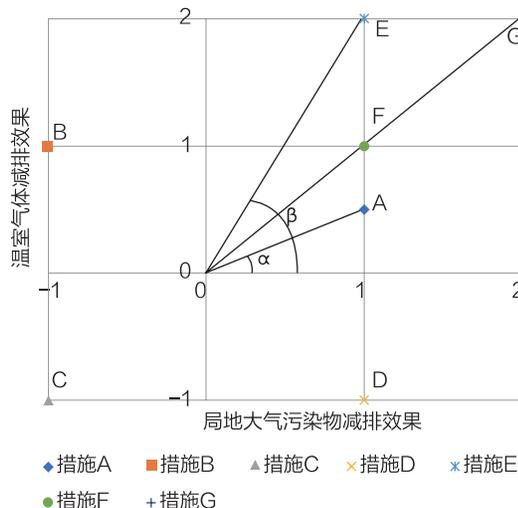


图 2 减排措施协同控制效应坐标系示意图

项措施，其所在的位置可直观地表达该措施对局地大气污染物和温室气体的减排效果，见表 3。

表 3 减排措施代表点位分布的含义

位置	含义
第一象限	可同时减排局地大气污染物和温室气体
第二象限	减排温室气体但增排局地大气污染物
第三象限	同时增排局地大气污染物和温室气体
第四象限	减排局地大气污染物但增排温室气体
原点	对局地大气污染物和温室气体均无影响
横坐标正半轴	减排局地大气污染物，对温室气体排放无影响
横坐标负半轴	增排局地大气污染物，对温室气体排放无影响
纵坐标正半轴	减排温室气体，对局地大气污染物排放无影响
纵坐标负半轴	增排温室气体，对局地大气污染物排放无影响

2.3.2 协同控制交叉弹性分析

计算某措施对于局地大气污染物和温室气体减排率的比值，记为 $Els_{a/b}$ ，计算公式如下：

$$Els_{CO_2\text{-eq}/LAP} = \frac{\Delta CO_2\text{-eq} / CO_2\text{-eq}}{\Delta LAP / LAP} \quad (3)$$

式中： $Els_{a/b}$ 表示协同控制交叉弹性， a 、 b 分别代表温室气体和局地大气污染物，交叉弹性值的含义见表 4； $\Delta CO_2\text{-eq} / CO_2\text{-eq}$ 表示 $CO_2\text{-eq}$ 减排率； $\Delta LAP / LAP$ 表示局地大气污染物减排率，如 SO_2 、 NO_x 、 PM_{10} 、 CO 、 $VOCs$ 、 NH_3 等单项大气污染物以及局地大气污染物当量 LAPeq。

需要特别指出的是，当 CO 和 CO_2 排放均来源于化石燃料中碳元素的氧化时，二者数量之间存在此消彼长的关系，故 $Els_{CO_2\text{-eq}/CO}$ 指标不适用于评估提高燃烧效率（以及具有相似效果）措施。

表4 协同控制交叉弹性值的含义

Els _{a/b} 计算值	含义
Els _{a/b} > 0 (且分子、分母均为正值)	对 a、b 均有减排作用, 具有协同控制效应
Els _{a/b} ≤ 0	对一种污染物有减排作用而对另外一种污染物没有减排作用
Els _{a/b} = 1	对 a、b 两种污染物的减排程度相同
0 < Els _{a/b} < 1	对 b 的减排程度高于 a
Els _{a/b} > 1	对 a 的减排程度高于 b
Els _{a/b} 分子、分母均为负值时	同时增排两类污染物, 为“反协同”措施

2.4 评估参数获取

开展某城市蓝天保卫战行动大气污染物和温室气体协同控制评估的参数需求及可能获取途径见表5。

表5 评估参数及可能获取途径

评估参数	可能获取途径	数据来源
活动水平	各项行动措施执行总结报告	不同措施的牵头负责部门、生态环境部门
局地大气污染物减排系数	排放清单编制技术指南、行业污染物排放量计算方法、污普产排污系数	生态环境部门
	相关研究成果	经同行评议、公开发表的学术期刊文章等文献资料
温室气体减排系数	行业企业温室气体排放核算方法与报告指南	发展改革部门、生态环境部门
	IPCC 国家温室气体清单指南	IPCC
	相关研究成果	经同行评议、公开发表的学术期刊文章等文献资料

注: 根据减排系数的单位, 部分措施的活动水平需通过自主计算得到

此外, 为确保评估结果的科学性和准确性, 取得并利用各项参数的优先顺序如下: 城市平均值—本省(自治区、直辖市)类似城市平均值或经验值—国家、行业、其他省(自治区、直辖市)类似城市平均值或经验值—世界其他国家和地区经验值或平均值。

3 案例应用

3.1 唐山市大气污染防治和温室气体减排概况

2019年, 唐山市在全国168个重点城市空气质量排名位列倒数第6^[25]。目前唐山市尚未发布城市温室气体排放核算数据。根据《中国城市温室气体排放数

据集(2015)》^[26], 2015年, 唐山市温室气体排放量在所统计的294个地级及以上城市中排名仅次于上海市和重庆市, 位列第三。由此可知, 唐山市面临严峻的环境空气质量改善和温室气体减排双重压力。

3.2 大气污染物和温室气体协同控制效果评估^①

3.2.1 减排措施识别和筛选

根据所收集的唐山市相关数据资料, 受各类参数可获取性限制, 尤其措施活动水平的获取情况, 从《唐山市中央环境保护督察“回头看”及大气污染问题专项督察反馈意见整改暨空气质量“退出后十”工作方案》所提出的2018年各项任务中筛选出四大类8项措施共12项子措施进行协同控制效果评估(表6), 结合唐山市实际情况确定各项措施的活动水平和减排基准线, 参考不同来源(唐山市、河北省、国家)的统计数据、排放清单编制指南、学术研究成果等资料, 明确各措施的局地大气污染物和温室气体减排系数。

3.2.2 协同减排量核算

本文核算了12项子措施的单项大气污染物、局地大气污染物当量(LAPeq)和单项温室气体、二氧化碳当量(CO₂-eq)减排量, 见表7。

从表7可以看出:

(1) 除“推广应用新能源汽车”因增加电力消耗导致SO₂间接增排外, 其余措施均可实现单项大气污染物和温室气体的协同减排。

(2) 在减排局地大气污染物当量LAPeq 13 840.89 t/a (占2018年唐山市局地大气污染物总排放当量值的1.19%)的同时, 可实现协同减排温室气体1 009.43万t CO₂-eq/a (占2018年唐山市温室气体总排放量的7.30%), 表明该12项子措施较好地实现了局地大气污染物和温室气体协同减排。

(3) 在数据可得的情况下, 可将唐山市在2018年已经开展的分类整治“散乱污”企业、加快重点污染工业企业退城、加快调整交通运输结构、做好取暖季错峰生产、严格实行错峰运输等措施纳入评估, 则唐山市蓝天保卫战行动的协同控制效果会更加显著。

3.2.3 协同控制效果评估

3.2.3.1 协同控制效应坐标系分析

12项子措施的协同控制效应坐标系分析见图3。

从图3可以看出: 从LAPeq与温室气体(CO₂-eq)的坐标系分布来看, 所有措施的点均位于第一象

① 受篇幅所限, 在此仅展示案例研究的部分成果, 读者如需详细研究内容可与作者联系。

表6 2018年唐山市蓝天保卫战行动部分措施清单

措施			减排基准线	影响影子识别								
				大气污染物						温室气体		
				SO ₂	NO _x	PM ₁₀	CO	VOCs	NH ₃	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
能源结构改善	积极推 进清洁 取暖	气代煤	散煤供暖 (按“型煤”计算)	√	√	√	—	—	—	√	—	—
		电代煤		√	√	√	—	—	—	√	—	—
		光伏+光热		√	√	√	—	—	—	√	—	—
	取缔 35 蒸吨/h 以下 燃煤锅炉		不取缔	√	√	√	—	—	—	√	—	—
	其他消减燃煤措施		不消减	√	√	√	—	—	—	√	—	—
产业结构优化	化解过 剩产能	钢铁行业	过剩产能正常生产时的产量 (通过产能利用率计算)	√	√	√	—	—	—	√	—	—
		煤炭行业		√	√	√	—	—	—	√	—	—
		平板玻璃 行业		√	√	√	—	—	—	√	—	—
运输结构调整	淘汰老旧车辆		假设 2018 年淘汰的车辆均为国 II 小 型汽油车 ^① , 淘汰后置换为国 V 及以 上汽油车	—	√	√	√	√	—	—	—	—
	推广应用新能源汽车		假设以国 II 小型汽油车为减排基线	√	√	√	√	√	—	√	—	—
用地结构调整 (扬尘和面源污 染防治)	城乡裸露地面复绿控 尘工程(造林工程)		地面裸露(无造林)	√	√	√	—	—	—	√	—	—
	管控秸秆焚烧		减少露天焚烧 ^②	√	√	√	√	√	√	—	√	√

注: ①根据唐山市 2017 年和 2018 年机动车构成, 2018 年唐山市淘汰车型以国 II 小型汽油车为主; ②减少露天焚烧量 = (理论资源量 - 已利用量) × 焚烧比例

表7 2018年唐山市蓝天保卫战行动 12 项子措施对大气污染物和温室气体协同减排量核算汇总

措施			大气污染物减排量 / (t/a)							温室气体减排量 / (万 t/a)			
			SO ₂	NO _x	PM ₁₀	CO	VOCs	NH ₃	LAPeq	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	折合 CO ₂ -eq
能源结构改善	积极推 进清洁 取暖	气代煤	912.45	103.87	246.14	—	—	—	1 182.72	23.01	—	—	23.01
		电代煤	264.55	33.29	72.71	—	—	—	346.87	3.64	—	—	3.64
		光伏+光热	2.00	0.39	0.54	—	—	—	2.76	0.09	—	—	0.09
		小计	1 179.01	137.54	319.38	—	—	—	1 532.35	26.75	—	—	26.75
	取缔 35 蒸吨/h 以下 燃煤锅炉		994.30	194.96	268.07	—	—	—	1 374.82	47.18	—	—	47.18
	其他消减燃煤措施		5 555.83	1 089.38	1 497.89	—	—	—	7 682.06	263.62	—	—	263.62
小计			7 729.13	1 421.88	2 085.35	—	—	—	10 589.22	337.55	—	—	337.55
产业结构优化	化解过 剩产能	钢铁行业	343.37	409.70	316.06	—	—	—	937.69	604.41	—	—	604.41
		煤炭行业	4.19	1.69	14.11	—	—	—	12.65	28.02	—	—	28.02
		平板玻璃 行业	36.05	73.48	7.71	—	—	—	118.83	8.78	—	—	8.78
		小计	383.61	484.87	337.87	—	—	—	1 069.17	641.21	—	—	641.21
运输结构调整	淘汰老旧车辆		—	25.12	0.74	168.53	21.11	—	59.08	0.45	—	—	0.45
	推广应用新能源汽车		-1.32	17.96	0.43	149.64	18.65	—	46.30	0.59	—	—	0.59
	小计		-1.32	43.08	1.17	318.17	39.75	—	105.39	1.04	—	—	1.04
用地结构调整 (扬尘和面源污 染防治)	城乡裸露地面复绿控 尘工程(造林工程)		0.19	0.01	31.45	—	—	—	14.63	28.41	—	—	28.41
	管控秸秆焚烧		58.29	321.17	762.22	5 488.45	929.41	58.29	2,062.46	/	0.05	0.000 7	1.22
	小计		58.48	321.18	793.68	5 488.45	929.41	58.29	2077.10	28.41	0.05	0.000 7	29.63
合计			8 169.90	2 271.00	3 218.07	5 806.62	969.16	58.29	13 840.89	1 008.21	0.05	0.000 7	1 009.43
占 2018 年唐山市排放量比例 ^①			6.42%	0.97%	0.76%	0.08%	0.59%	0.12%	1.19%	7.94%	0.01%	0.000 1%	7.30%

注: ① 2018 年唐山市大气污染物和温室气体排放量尚未公布, 在此参考中国环境科学研究院编制的“唐山市大气污染源排放清单”研究成果进行计算; 中国环境科学研究院编制的“唐山市大气污染源排放清单”研究成果中包括了 CO₂ 排放量, 但未涉及 CH₄、N₂O 及总温室气体排放量, 本文参考《中国城市温室气体排放数据集(2015)》中 2015 年唐山市温室气体排放构成情况, 按同比例计算出 2018 年唐山市 CH₄、N₂O 和总温室气体排放量, 进而计算出 12 项措施的 CH₄、N₂O 和总温室气体减排占比

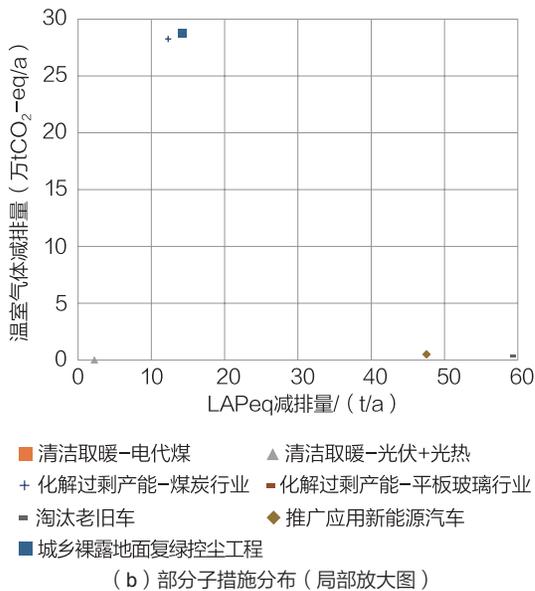
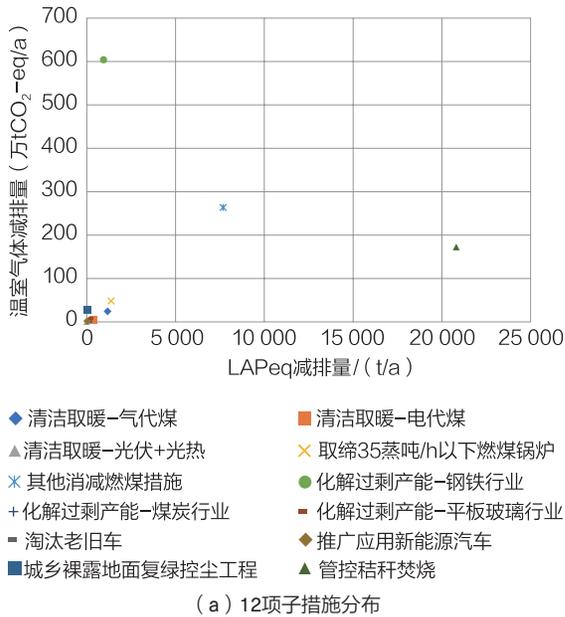


图3 2018年唐山市蓝天保卫战行动12项子措施协同控制LAPeq与温室气体效应坐标系

限,表明所有措施均具有协同控制局地大气污染物和温室气体的效果。其中,化解过剩产能—钢铁行业和其他消减燃煤两项措施的代表点距离原点较远,表明这两项措施的实施力度较大(措施的活动水平较高),协同减排效果较好。

3.2.3.2 协同控制交叉弹性分析

12项子措施协同控制交叉弹性分析结果见表8。从表8可以看出:

①除了推广应用新能源汽车措施的 Els_{CO_2-eq/so_2} 为负值外,该措施的其他 $Els_{a/b}$ 值以及其余措施的所有 $Els_{a/b}$ 指标均为正值,表明本研究所评估的12项子措施具有较好的协同控制大气污染物和温室气体效果。

②12项措施总体上的各项 $Els_{a/b}$ 指标数值均 > 1 ,表明在减排大气污染物的同时可以实现较好的温室气体减排效果,其中, $Els_{CO_2-eq/LAPeq}$ 为6.66,即每减排一个百分点的LAPeq可协同减排6.66个百分点的温室气体。③从12项措施 $Els_{CO_2-eq/LAPeq}$ 指标值可以看出,化解煤炭、钢铁、平板玻璃行业过剩产能,清洁取暖、取缔小型燃煤锅炉及其他消减散煤、推广应用新能源汽车、城乡裸露地面复绿控尘工程(造林工程)等措施具有较好的协同控制效果,在城市蓝天保卫战中应予优先采用。

3.2.4 促进协同控制的对策建议

本文所评估的12项子措施均可实现局地大气污染物和温室气体的协同控制,其中化解过剩产能、清洁取暖、淘汰老旧车辆、推广应用新能源汽车等措施仍具有较大的协同控制潜力,应优先采用。

唐山市工业发达,应采取生产工艺升级改造、燃料和原辅材料替代、精细化和智能化管理等措施,通过强化源头控制,提高治理措施的协同控制效果。

在唐山市的“十四五”生态环境及相关规划制定过程中,应将大气污染防治和温室气体减排工作统筹考虑,优选具有协同控制效果的、费效比更佳的减排措施,为科学规划提供支撑。

4 结论与建议

(1)本研究提出的城市蓝天保卫战行动协同控制局地大气污染物和温室气体评估方法具有良好的可操作性。2020年是《打赢蓝天保卫战三年行动计划》的收官之年,“协同减排温室气体”是其关键考核指标之一,亟待开展评估方法、案例应用等前期研究。本文提出了城市蓝天保卫战行动协同控制局地大气污染物和温室气体评估方法体系,明确了评估流程,以及协同控制效果评估方法,梳理了评估参数获取途径。本文推荐采用简便易行的排放因子法进行协同减排效果核算,并结合国内、国际通行的法规、标准,如《中华人民共和国环境保护税法》中的税率规定和《中华人民共和国气候变化第三次国家信息通报》等文件,对不同大气污染物和温室气体的当量计算方法和权重参数进行更新;在单项大气污染物减排和温室气体减排协同性分析的基础上,增加了LAPeq与CO₂-eq之间的协同性分析,以更好地展示局地大气污染物和温室气体的协同控制效果,对协同控制效应坐标系分析和协同控制交叉弹性分析方法进行完善和扩展。从案例应用来看,这套评估框架设计合理,数据可得性较

表8 2018年唐山市蓝天保卫战行动12项子措施协同控制交叉弹性分析结果

措施		Els _{CO₂-eq/SO₂}	Els _{CO₂-eq/NO_x}	Els _{CO₂-eq/PM₁₀}	Els _{CO₂-eq/CO}	Els _{CO₂-eq/VOCs}	Els _{CO₂-eq/NH₃}	Els _{CO₂-eq/LAPeq}	
能源结构改善	积极推 进清洁 取暖	气代煤	0.25	4.09	3.10	—	—	1.78	
		电代煤	0.14	2.02	1.66	—	—	0.96	
		光伏+光热	0.48	4.46	5.84	—	—	3.14	
		取缔35蒸吨/h以下燃煤锅炉	0.48	4.46	5.84	—	—	3.14	
		其他消减燃煤措施	0.48	4.46	5.84	—	—	3.14	
产业结构优化	化解过 剩产能	钢铁行业	17.64	27.21	63.42	—	—	58.89	
		煤炭行业	67.06	306.52	65.85	—	—	202.29	
		平板玻璃行业	2.44	2.20	37.78	—	—	6.75	
运输结构调整		淘汰老旧车辆	—	0.33	20.39	1.44	0.28	0.70	
		推广应用新能源汽车	-4.48	0.61	45.21	2.12	0.41	1.16	
用地结构调整 (扬尘和面源污 染综合防治)		城乡裸露地面复绿控尘工程 (造林工程)	1 536.47	47 361.58	29.96	—	—	177.39	
		管控秸秆焚烧	0.21	0.07	0.05	0.12	0.02	0.08	0.05
12项子措施总体交叉弹性			1.24	8.20	10.40	93.50	13.40	68.94	6.66

好, 评估方法具有较强的科学性和可操作性, 为开展城市蓝天保卫战行动协同控制温室气体效果量化评估提供了可行的方法框架。

(2) 应通过构建大数据平台解决评估数据缺失问题。案例研究表明, 2018年唐山市蓝天保卫战行动的12项子措施在减排局地大气污染物当量(LAPeq) 13 840.89 t/a的同时, 可减排温室气体1 009.43万t CO₂-eq/a; 大部分措施都具有良好的协同控制效果。但由于蓝天保卫战行动由多部门共同执行, 相关的数据资料分散, 管理体制等方面的障碍使得部分数据暂未可得, 如“散乱污”企业整治、重点污染工业企业退城、交通运输结构调整、取暖季错峰生产、错峰运输等措施暂未纳入评估范围。如数据资料完整, 则蓝天保卫战行动的协同控制效果应更加显著。未来应在汇总各部门的蓝天保卫战行动相关措施执行情况的基础上, 依托现行的环境管理数据(包括环境统计、污染源普查、污染源在线监测、环境税等)和温室气体管理数据(包括企业温室气体排放核算、碳排放权交易等), 通过多源数据整合, 为开展协同控制效果评估、制定协同控制规划提供数据支撑。

(3) 将协同控制指标目标纳入相关规划和行动计划。我国正面临继续改善空气质量和实现碳达峰的双重压力。2015年协同控制被明确写入《中华人民共和国大气污染防治法》, 2018年国务院机构改革也为协同控制工作的深入开展提供了体制机制保障。目前正处于“十四五”生态环境保护规划编制阶段, 在制定大气污染物和温室气体减排目标的同时应将二者协同考虑, 提出明确要求, 以更好地指导“十四五”阶段

乃至今后协同控制工作的开展。

参考文献

- [1] 国务院. 国务院关于印发打赢蓝天保卫战三年行动计划的通知 [EB/OL]. (2018-07-03)[2020-02-07]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2018-07/03/content_5303158.htm.
- [2] 张楠. 《大气十条》中期评估报告发布 [EB/OL]. (2016-07-06). http://www.gov.cn/xinwen/2016-07/06/content_5088798.htm.
- [3] 生态环境部. 关于《大气污染防治行动计划》实施情况终期考核结果的通报 [EB/OL]. (2018-05-17)[2020-02-07]. http://www.mee.gov.cn/gkml/sthjbgw/stbgth/201806/t20180601_442262.htm.
- [4] 张扬, 付凌波, 李薇, 等. 基于黑龙江省大气污染防治行动计划的温室气体减排核算 [J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(S2): 333-336.
- [5] 冯相昭, 毛显强. 我国城市大气污染防治政策协同减排温室气体效果评价——以重庆为案例 [M]// 谢伏瞻, 刘雅鸣. 气候变化绿皮书应对气候变化报告(2018). 北京: 社会科学文献出版社, 2018: 181-191.
- [6] AYRES R U, WALTER J. The greenhouse effect: damages, costs and abatement [J]. Environmental and resource economics, 1991, 1(3): 237-270.
- [7] IPCC. Climate Change 2001-Mitigation [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [8] GREENC. Developing Country Case-Studies: Integrated Strategies for Air Pollution and Greenhouse Gas Mitigation [R]. U.S. EPA, 2000. <https://www.nrel.gov/docs/fy01osti/29651.pdf>.
- [9] HE K, LEI Y, PAN X, et al. Co-benefits from energy policies in China [J]. Energy, 2010, 35(11): 4265-4272.
- [10] 李丽平, 周国梅, 季浩宇. 污染减排的协同效应评价研究——以攀枝花市为例 [J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(S2): 91-95.
- [11] 李丽平, 姜莘红, 李雨青, 等. 湘潭市“十一五”总量减排措

- 施对温室气体减排协同效应评价研究[J]. 环境与可持续发展, 2012, 37(1): 36-40.
- [12] MAO X Q, YANG S Q, LIU Q, et al. Achieving CO₂ emission reduction and the co-benefits of local air pollution abatement in the transportation sector of China[J]. Environmental science & policy, 2012, 21: 1-13.
- [13] 毛显强, 曾桢, 胡涛, 等. 技术减排措施协同控制效应评价研究[J]. 中国人口·资源与环境. 2011, 21(12): 1-7.
- [14] ZENG A, MAO X Q, HU T, et al. Regional co-control plan for local air pollutants and CO₂ reduction: Method and practice[J]. Journal of cleaner production, 2017, 140(3): 1226-1235.
- [15] 胡涛, 毛显强, 钱翌, 等. 协同控制空气污染物与温室气体——以乌鲁木齐市为案例[M]. 北京: 中国环境出版社, 2016:11-11.
- [16] 毛显强, 邢有凯, 胡涛, 等. 中国电力行业硫、氮、碳协同减排的环境经济路径分析[J]. 中国环境科学, 2012, 32(4): 748-756.
- [17] MAO X Q, ZENG A, HU T, et al. Co-control of local air pollutants and CO₂ from the Chinese coal-fired power industry[J]. Journal of cleaner production, 2014, 67: 220-227.
- [18] 刘胜强, 毛显强, 胡涛, 等. 中国钢铁行业大气污染与温室气体协同控制路径研究[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(7): 168-174.
- [19] MAO X Q, ZENG A, HU T, et al. Co-control of local air pollutants and CO₂ in the Chinese iron and steel industry[J]. Environmental science & technology, 2013, 47(21): 12002-12010.
- [20] 马丁, 陈文颖. 中国钢铁行业技术减排的协同效益分析[J]. 中国环境科学, 2015, 35(1): 298-303.
- [21] 高玉冰, 毛显强, CORSETTIG, 等. 城市交通大气污染物与温室气体协同控制效应评价——以乌鲁木齐市为例[J]. 中国环境科学, 2014, 34(11): 2985-2992.
- [22] 许光清, 温敏露, 冯相昭, 等. 城市道路车辆排放控制的协同效应评价[J]. 北京社会科学, 2014(7): 82-90.
- [23] 唐伟, 郑思伟, 何平, 等. 基于情景分析的杭州市机动车尾气排放控制协同效应研究[J]. 环境科学学报, 2019, 39(6): 2033-2042.
- [24] 政府间气候变化专门委员会(IPCC).《气候变化2014综合报告》[R]. 2014. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_zh.pdf
- [25] 生态环境部公布2019年全国地表水、环境空气质量状况[EB/OL]. (2020-01-23)[2020-02-07]. http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk15/202001/t20200123_760936.html.
- [26] 中国城市温室气体工作组. 中国城市温室气体排放数据集(2015)[M]. 北京: 中国环境出版社, 2019.

An Effectiveness Evaluation of Co-controlling Local Air Pollutants and GHGs by Implementing Blue Sky Defense Action at City Level —A Case Study of Tangshan City

XING Youkai^{1,2}, MAO Xianqiang^{1*}, FENG Xiangzhao³, GAO Yubing¹, HE Feng^{1,4}, YU Hong^{5,6}, ZHAO Mengxue³

(1. School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Beijing Z.D.H.K Environmental Science & Technology Co., Ltd, Beijing 100011, China; 3. Policy Research Center for Environment and Economy, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100011, China; 4. Asia-Pacific Consulting Center for Environment and Development, Beijing 100191, China; 5. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 10012; 6. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: In order to evaluate the effectiveness of co-control of local air pollutants and GHGs emission in implementing Blue Sky Defense Action Plan at city level, we proposed an evaluation methodology, clarified the assessment process, and combed the ways to acquire necessary data. The methods proposed for accounting emission co-reductions and evaluating the effectiveness of co-control include: the emission and reduction accounting for air pollutants and GHGs based on emission factors method, local air pollutant equivalent (LAPeq) and CO₂ equivalent (CO₂-eq) accounting, co-control effectiveness evaluating through co-control effects coordinate system, and co-control cross-elasticity analysis. Taking the action of Tangshan City in 2018 as a case, the selected 12 measures reduced 13 840.89 t/a of LAPeq and simultaneously reduced 10 094.30 Kt CO₂-eq /a of GHGs emission. All the evaluated measures were located in the first quadrant of the co-control effects coordinate system. The cross-elasticity of $E_{IsCO_2\text{-eq}/LAPeq}$ amounted to 6.66, meaning that 1 percent of LAPeq emission reduction synergistically led to 6.66 percent of GHGs emission reduction. The results showed that the proposed evaluation methodology has robustness, and can be well applied to assess the co-control effectiveness of implementing the Blue Sky Defense Action at city level.

Keywords: city; Blue Sky Defense Action; co-control; local air pollutants; greenhouse gas; effectiveness evaluation