

城市温室气体清单的不确定性分析

张晓梅 庄贵阳 刘 杰*

摘要:不确定性分析是一个完整城市温室气体清单的重要基本组成之一。本文应用《城市温室气体核算工具指南》计算了2010年吉林市温室气体排放清单,并以其为例利用误差传递方法和蒙特卡洛方法开展区域层面上城市尺度的温室气体排放清单的不确定性分析。研究结果表明,误差传递方法与蒙特卡洛模拟不确定性分析结果存在显著差异性,蒙特卡洛模拟结果中烟煤排放因子和烟煤活动水平数据对总的温室气体排放不确定性相对贡献最大。为了促进城市温室气体清单在减排活动中发挥更大的作用,减少城市温室气体清单不确定性需要注意以下几个方面:加强完善城市温室气体清单不确定性分析标准及评价研究;发挥信息技术支撑基础作用,提高城市能源及温室气体排放数据统计工作质量;在城市尺度上将地面测量、卫星遥感观测数据和大气模拟分析模型相结合,在更广泛的系统里对温室气体数据进行衡量和互相验证,提高不确定性分析水平。

关键词:城市温室气体清单;不确定性;误差传递方法;蒙特卡洛方法

一、引言

随着人口的不断增加和城市规模的不断增长,城市成为世界范围内能源消耗和温室气体排放的重点区域。根据联合国经济和社会事务部2014年的最新数据,当今世界超过50%的人口居住在城镇地区,到2050年城镇人口将再增加25亿(United Nations, 2014)。城市为人类居住提供各种服务的同时也排放了对环境影响巨大的温室气体。城市消耗了67%~76%的能源,排放了71%~76%温室气体(IPCC, 2013)。在应对气候变化和发展低碳经济的问题上,低

*张晓梅,山西大学经济与管理学院,山西大学绿色发展研究中心,邮政编码:030006,电子信箱:zxiao-mei@sxu.edu.cn;庄贵阳,中国社会科学院城市发展与环境研究所,邮政编码:100028,电子信箱:zhuang_gy@aliyun.com;刘杰,陕西师范大学国际商学院,邮政编码:710062,电子信箱:liujie_sc@foxmail.com。

本文系国家自然科学基金重大项目“我国低碳城市建设评价指标体系研究”(15ZDA055)的阶段性成果。感谢匿名审稿人的宝贵意见,文责自负。

碳城市成为世界各国降低资源能源消耗、转变传统发展模式、谋求城市新兴竞争力的着力点。科学准确评估城市排放是识别排放源、科学有效开展城市低碳工作的基础和前提,也是制定有效的城市可持续发展方案的重要基础和依据。在国家低碳发展的政策背景下,中国越来越多的城市已经开展了清单编制工作。第三批国家低碳试点的全部81个城市已经完成或正在编制城市温室气体清单,其他一些非试点地区也在积极探索清单编制工作。虽然城市温室气体清单编制在实践层面上已经广泛展开,但是城市温室气体清单仍然存在较大的不确定性,清单结果还不能对低碳发展的具体行动和措施提供有效支撑和保障。

不确定性分析是一个完整温室气体清单的基本组成之一。虽然“京都议定书”和IPCC系列指南提供了清单核算以及不确定性分析的基本方法和参数、明确了温室气体核算评估中不确定性分析的重要性并尽可能地降低不确定性,但是只有少数国家提交了全面的不确定性分析报告。国际应用系统分析研究所(IIASA)联合其他研究机构先后于2004年9月在波兰华沙、2007年9月在奥地利拉克森堡、2010年在乌克兰、2015年在波兰克拉科夫举行了四次以温室气体核算不确定性为主题的研讨会,讨论了温室气体清单不确定性分析的重要性、主要难点以及关键问题。城市是复杂开放的系统,对于城市温室气体清单进行不确定性分析的研究和实践尚未充分展开,本文采用《城市温室气体核算工具 2.0》(WRI, 2015)城市清单编制方法,计算2010年吉林市温室气体清单,采用误差传递方法和蒙特卡洛方法对清单的不确定性进行分析。通过分析温室气体清单和不确定性的结果,讨论了温室气体清单不确定性分析的趋势以及对于改进温室气体清单编制的借鉴意义。

二、温室气体清单估算方法

城市发展带来了繁荣,同时也消耗了大量的能源和资源,已经成为重要的温室气体排放源。虽然国际气候谈判进展缓慢,但是城市之间以某种代替国家之间正式谈判的区域性减排行动近年来不断发展,在全球应对气候变化行动中发挥了越来越重要的作用。这些城市区域的减排活动极大地推动了城市温室气体核算工作的进展。城市温室气体清单核算最早采用国家清单方法,后来逐渐使用针对城市特点开发的工具。同宏观水平相比,城市层面上的统计数据更加不完善,所以城市温室气体核算多数采用适合城市特点的温室气体清单编制方法体系(陈操操等,2010;蔡博峰,2011;袁晓辉、顾朝林,2011;蔡博峰,2012;白卫国等,2013)。城市温室气体核算可以采用自下而上地从地面测量获得清单编制统计数据和使用大气或遥感监测自上而下获得清单编制数据两种方式。自下而上核算有利于追溯确定排放源主体的排放责任,但清单结果及其在减排活动中的应用受不同城市能源及温室气体基础数据差异情况影响较大。使用遥感监测自上而下的方法可以获得更广泛范围的温室气体排放数据,但目前仍然缺乏详细阐述的理论和实践标准准则,难以进行可靠和全面的不确定性评估。虽然随

着科学技术的不断发展,使用遥感监测获得空间清单有了很大进展,但是通过自下而上的清单核算框架下有利于追溯确定排放源主体的排放责任,仍然是城市温室气体清单编制的主要方式。

目前国际上城市自上而下温室气体清单编制方法标准体系主要包括 C40 城市气候领导联盟、国际地方环境理事会、世界资源研究所(GPC, 2014),以及联合国环境规划署、联合国人居署及世界银行(UNEP, 2010)、英国标准协会(BSI, 2013)等国际机构联合发布的城市温室气体排放测算国际标准等。同国家相比,城市以外运入的主要物质跨边界活动及相关间接排放较多,关于如何划分和界定这部分排放有很多种分类,其中以 WRI(世界资源研究院)的分类界定最被广泛认同。WRI 将城市层次上的温室气体排放分为范围 1、范围 2 和范围 3 排放。范围 1 是排放源位于城市行政辖区内的排放,范围 2 是城市内部使用电力、热力、蒸汽或制冷能源而导致的间接排放。范围 3 是由城市内部其他活动导致的间接排放,其中范围 3 的核算最为复杂且缺乏统一的标准。温室气体核算的基本计算公式:

$$E_i = \sum_{i=1}^n A_i \times F_i \quad (1)$$

活动水平数据 A_i 与排放因子 F_i 是计算温室气体排放的两大要素。活动水平数据可以分为统计数据、部门数据、调研数据和估算数据。按照反映当地排放特点的准确程度由高到低划分,排放因子优先顺序依次为区域排放因子、国家排放因子和 IPCC 排放因子。

2010 年吉林市温室气体清单边界按照城市行政管辖区界定,城市行政管辖区责、权、利较为清晰,有利于按照省级下达“十二五”控制温室气体排放目标完成减排任务。从数据可得性和方法可操作角度出发,按照 WRI、中国社会科学院城市发展与环境研究所(IUE)、世界自然基金会(WWF)和可持续发展社区协会(ISC)共同针对中国城市开发的《城市温室气体核算工具指南》(WRI 等, 2015)清单编制方法对吉林市范围 1 和范围 2 温室气体排放进行核算。

三、不确定性量化方法

虽然不同尺度上温室气体核算工具和方法研究取得了很大进展,但目前尚缺乏城市等区域尺度上的温室气体清单不确定性分析指南或标准。2014 年由 WRI、C40、ICLEI(国际地方环境行动理事会)共同发布的最新城市温室气体排放核算和报告通用标准《城市温室气体核算国际标准》中仍然采用 IPCC 系列指南推荐的方法评估城市温室气体清单不确定性(GPC, 2014)。由于数据质量和评估方法的不完整、不清晰或有错误,清单编制会产生不确定性。温室气体清单核算过程中的不确定性,包括由于排放源和排放因子引起的不确定性,以及影响清单结果的其它因素(IPCC, 2017; Penman et al., 2003)。这些不确定性产生的重要原因包括现有科学认知的不足造成定义和分类以及简化估计模型的错误、核算系统的复杂性造成时间

及空间范围要求下的可用数据不足、数据测量的精度不够、样本点选取错误以及其他原因(Shvidenko et al., 2010)。IPCC发布的一系列清单指南为各国提供了标准化的温室气体编制、不确定性分析方法和格式,同时也提供了尽可能降低不确定性的优良作法指南列表时间(IPCC, 1996; IPCC, 2001; IPCC, 2007)。《国家温室气体清单优良作法指南和不确定性管理》(IPCC, 2001)以及《2006年IPCC国家温室气体清单指南》(IPCC, 2007)介绍了量化不确定性的方法,包括数据和信息来源、量化不确定的技术和合并不确定性的方法。按部门划分的清单方法学也给出了各大类部门的不确定性分析指南。不同类别的活动水平数据、排放因子根据量化不确定的技术分析以后,可以合并以提供清单总排放的不确定性估算以及总清单随时间变化的不确定性。合并清单不确定的方法主要包括误差传递方法(方法1)和蒙特卡洛模拟(方法2)两种。

误差传递方法合并清单不确定性主要应用加减运算和乘除运算两个误差传递公式:

(1)当某一估计值为 n 个估计值之和或差,不确定量由加法或减法公式合并时,总和的不确定性即标准偏差为各个相加量的标准偏差的平方之和的平方根,其中标准偏差均以绝对值表示。

$$U_c = \frac{\sqrt{(U_{s1} \cdot \mu_{s1})^2 + (U_{s2} \cdot \mu_{s2})^2 + \dots + (U_{sn} \cdot \mu_{sn})^2}}{|\mu_{s1} + \mu_{s2} + \dots + \mu_{sn}|} \quad (2)$$

上式中: $U_c, U_{s1}, \dots, U_{sn}$ 为不同估计值的不确定性, $\mu_{s1}, \dots, \mu_{sn}$ 为 n 个相加减的估计值。

(2)当某一估计值为 n 个估计值之积,不确定量由乘法公式合并时,总和的不确定性即标准偏差是相加量的标准偏差的平方之和的平方根,其中标准偏差均以变量系数(即标准偏差和合适的均值的比率)表示。

$$U_c = \sqrt{U_{s1}^2 + U_{s2}^2 + \dots + U_{sn}^2} \quad (3)$$

上式中: $U_c, U_{s1}, \dots, U_{sn}$ 为不同估计值的不确定性。

根据蒙特卡洛模拟方法合并清单不确定性的主要计算原理和步骤为:(1)确定不同部门活动水平、排放因子和其他估算参数的概率分布;(2)根据清单计算方法计算各类别相应的排放值;(3)重复模拟获得不同类别或整个清单排放量的概率分布,从而获得相应不确定性分析统计值。

误差传递方法操作简单,但蒙特卡洛模拟分析可以处理的不确定性的范围更广,该方法可以将不确定性与任何概率分布范围相结合(Winiwarter & Muik, 2010)。早期的国家温室气体清单主要使用误差传递方法来计算合并不确定性。随着计算机技术的发展,蒙特卡洛模拟方法的操作逐渐简单可行,很多研究和实践开始同时使用两种方法进行计算(Winiwarter & Rypdal, 2001; Monni et al., 2004)。2014年国际地方环境行动理事会(ICLEI)等机构共同发布

了最新城市温室气体排放核算和报告通用标准,《城市温室气体核算国际标准》中仍然采用IPCC系列指南推荐的方法评估城市温室气体清单不确定性。本文采用误差传递方法和蒙特卡洛模拟两种方法对2010年吉林市温室气体清单进行分析和比较。

四、案例分析

(一)数据来源

2012年吉林市被确定为第二批国家低碳试点城市之一,编制温室气体清单是开展低碳试点的重要基础性工作。活动水平数据和排放因子数据来源:《城市温室气体核算工具指南》(WRI等,2015)、《中国温室气体清单研究》(国家气候变化对策协调小组办公室、国家发展和改革委员会能源研究所,2007)、《中国能源统计年鉴》《吉林统计年鉴2011》《吉林市社会经济统计年鉴2011》《吉林省2010年省级温室气体清单报告》等相关统计资料、政府规划文件和各行业统计年鉴、行业专家咨询及相关调研数据等。各部门中排放因子相关参数都优先选取东北地区特定参数。

不确定性参数及概率分布来源:活动水平数据中来自年鉴的统计数据不确定性取5%,来自部门调研数据不确定性取10%,来自专家估算的数据不确定性取15%。活动水平数据和排放因子的不确定性参数值确定主要参考《IPCC国家温室气体清单优良作法指南和不确定性管理》(IPCC,2000)、《低碳发展及省级温室气体清单培训教材》(国家应对气候变化战略研究和国际合作中心,2013)方法、行业专家咨询及相关文献调研数据等。不确定性参数的概率分布主要来自文献调研(Winiwarter & Rypdal,2001; Monni et al.,2004; Ramírez et al.,2008),通常情况下不确定性范围小于 $\pm 60\%$ 通常认为是正态分布,如能源活动部门中的化石燃料燃烧部分。在高水平不确定性的情况下,分布可以是对数正态分布、伽玛分布或者三角分布等。对数正态分布是指对数为正态分布的任意随机变量的概率分布,如能源活动部门中生物质燃烧部分。伽马分布是指多个独立且相同分布指数的分布变量和的分布。三角分布适用于随机变量可能的结果及取值区间已知但概率分布未知的情况,如农业活动中的农用地排放部分,具体见表1。

(二)结果与分析

1.温室气体清单

根据活动水平与排放因子数据计算得出吉林市2010年温室气体清单能源活动、工业生产过程、农业活动、土地利用变化、林业和废弃物处理五个重点领域排放量,见表2。吉林市2010年不包括土地利用变化与林业的温室气体排放总量为4979.77万吨CO₂e,其中能源活动占排放量最高,其次是工业生产过程和农业活动,废弃物部门排放量最低。这种差异与吉林

表 1 排放关键参数不确定度及概率分布

活动部门	温室气体	相关参数	不确定度	概率分布
能源活动	CO ₂	1. 化石燃料燃烧 固体燃料	0.07	正态分布
		液体燃料	0.05	正态分布
		气体燃料	0.05	正态分布
	CH ₄ N ₂ O CH ₄ N ₂ O	2. 生物质燃烧	2	对数正态分布
		秸秆燃烧 甲烷排放	2.75	对数正态分布
		薪柴燃烧 甲烷排放	2	对数正态分布
		薪柴燃烧 氧化亚氮排放	2.75	对数正态分布
CH ₄	3. 煤炭开采逃逸 地方国有 乡镇(含个体)	0.6002 0.7501	对数正态分布 对数正态分布	
	4. 油气系统逃逸 天然气系统	0.08	正态分布	
工业生产 过程	CO ₂	1. 水泥生产过程	0.02	正态分布
	CO ₂	2. 石灰生产过程	0.142	正态分布
	CO ₂	3. 钢铁生产过程		
		石灰石消耗	0.225	正态分布
		白云石消耗	0.225	正态分布
		生铁含碳量	0.05	正态分布
	N ₂ O	粗钢含碳量	0.05	正态分布
4. 硝酸生产过程 常压法		0.1	正态分布	
PFCs HFCs SF ₆	5. 半导体生产过程			
	四氟化碳使用	0.02	正态分布	
	三氟甲烷使用	0.012	正态分布	
	六氟化硫使用	0.01	正态分布	
农业活动	CH ₄	1. 稻田排放	0.35	正态分布
	N ₂ O	2. 农用地 直接排放	最大值~最小值 0.0258~0.0021	三角分布
		间接排放	0.01~0.002	三角分布
	CH ₄	3. 动物肠道发酵	0.3	正态分布
	CH ₄ N ₂ O	4. 动物粪便管理系统 甲烷排放	0.3	正态分布
氧化亚氮排放		0.3	正态分布	
土地 利用变化 与林业	CO ₂	1. 森林和其他木质生物质碳储量变化		
		本省区活立木蓄积量年增长率	0.1251	正态分布
		本省区乔木林 BEF 加权平均值	0.106	正态分布
		经济林(或灌木林)平均单位面积生物量	0.1251	正态分布
		本省区乔木林 SVD 加权平均值	0.106	正态分布
活立木消耗率	0.1251	正态分布		
废弃物处 理	CH ₄	1. 固体废弃物 固体废弃物填埋处理		
		DOC(指可降解有机碳)	0.2	正态分布
		DOCF(指可分解的 DOC 比例)	0.2	正态分布
		F(指垃圾填埋气体中的甲烷比例)	0.05	正态分布
	CO ₂	废弃物焚烧处理		
		废弃物中的碳含量比例	0.13	正态分布
		废弃物中的矿物碳在碳总量中比例	0.1	正态分布
	CH ₄	废弃物中焚烧炉的燃烧效率	0.05	正态分布
		2. 生活废水处理甲烷排放		
		甲烷修正因子	0.05	正态分布
CH ₄	排放因子	0.05	正态分布	
	甲烷最大产生能力	0.3	正态分布	
CH ₄	3. 工业废水处理甲烷排放			
	甲烷最大产生能力	0.3	正态分布	
N ₂ O	甲烷修正因子	0.15	正态分布	
	4. 废水处理氧化亚氮排放 蛋白质含氮量	0.3	正态分布	

市的工业结构紧密对应,作为典型的东北老工业基地,第二产业比重高是影响区域能源活动排放量的重要因素。2010年吉林市国内生产总值为1800.64亿元,人口434万人(年底),不包括土地利用变化与林业,单位GDP二氧化碳排放为2.77吨CO₂e/万元,人均温室气体排放为11.47吨CO₂e/人,见表3。

表 2 2010年吉林市温室气体排放总量 (单位:万吨CO₂e)

部门	包括土地利用变化与林业	不包括土地利用变化与林业
能源活动	4118.33	4118.33
工业生产过程	415.16	415.16
农业活动	412.12	412.12
土地利用变化与林业	-357.02	
废弃物处理	34.16	34.16
温室气体排放总计	4622.75	4979.77

表 3 关键性温室气体指标

指标	包括土地利用变化与林业	不包括土地利用变化与林业
单位GDP二氧化碳排放(吨CO ₂ e/万元)	2.57	2.77
人均温室气体排放(吨CO ₂ e/人)	10.65	11.47

2.温室气体清单不确定性分析

不同部门的排放量均存在一定不确定性,根据误差传递方法的不确定性分析结果见表4,蒙特卡洛模拟方法的不确定性分析结果见表5、表6和图1。土地利用变化和林业活动同能源活动、工业生产过程等部门产生的碳排放的过程和机理有显著的差异,温室气体核算结果不确定性水平高。因此本文重点分析不包括土地利用变化与林业的温室气体排放及其不确定性。蒙特卡洛模拟根据表1提供的不确定性参数范围及分布使用蒙特卡洛分析(5000次重复)进行计算。通常选择置信区间范围在95%~99.73%之间,本文选取95%的置信区间的下限和上限范围。总体上看,不包括土地利用变化与林业排放的情况下,误差传递方法的不确定性分析结果为11.21%,蒙特卡洛模拟不确定性分析结果4.59%。采用蒙特卡洛模拟分析国家清单的不确定性结果芬兰为-5%~6%(Monni et al., 2004)、奥地利为±8.9%(Winiwarte & Rypda, 2001)、荷兰在4.1%~5.4%(Ramírez et al., 2008)。城市尺度与国家尺度清单不确定性范围具有一定可比性。主要原因是国家和城市温室气体计量框架、不确定性分析框架与使用的统计数据口径获取方式较为统一。两种方法中存在较大不确定性的部门如农业活动、废弃物处理和土地利用变化与林业由于排放量相对较小,影响了其对总体排放量不确定性的贡献。

表 4 误差传递方法不确定性分析结果

	包括土地利用变化与林业		不包括土地利用变化与林业
	不确定性(%)	引入总排放的不确定性(%)	引入总排放的不确定性(%)
能源活动	13.01	10.04	10.76
工业生产过程	4.63	0.36	0.39
农业活动	37.86	2.92	3.13
土地利用变化与林业	11.67	0.78	
废弃物处理	19.18	0.12	0.13
合计值		10.49	11.21

表 5 蒙特卡洛模拟方法不确定性分析结果 (单位:%)

	包括土地利用变化与林业	不包括土地利用变化与林业
能源活动	5.33	5.29
工业生产过程	4.66	4.65
农业活动	14.77	15.24
土地利用变化与林业	-37.54	
废弃物处理	20.76	20.65
温室气体总排放	5.69	4.59

表 6 蒙特卡洛模拟分析方法描述性统计结果

统计值	能源活动	工业生产过程	农业	土地利用变化与林业	废弃物处理	总计
平均值	4115.21	415.13	453.53	-357.01	34.25	4661.11
标准偏差	220.27	19.47	68.83	134.88	7.19	267.99
偏斜度	0.05	0.00	0.17	-0.19	0.05	0.00
峰度	2.80	2.89	3.00	3.12	2.96	2.99
变异系数	0.05	0.05	0.15	-0.38	0.21	0.06
最小值	3335.64	353.71	195.50	-919.57	11.22	3648.45
最大值	4841.17	478.58	715.38	168.08	60.35	5615.94

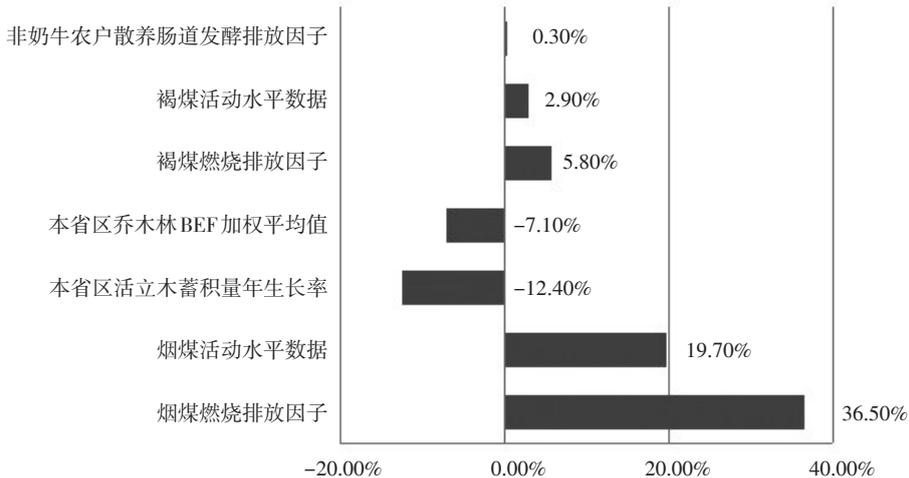


图 1 不同排放关键参数对不确定性的相对贡献

分部门看,能源活动部门中化石燃料燃烧的燃料数量为该品种能源终端消费量加上能源加工转换环节中的火力发电和供热环节的消耗量减去工业生产中用作原料和材料的部分,包括电力调出的化石燃料燃烧引起的排放,吉林市温室气体清单核算边界为范围1与范围2;能源活动两种方法中不确定性分别为10.76%、5.29%。其中能源活动部门化石燃料燃烧不确定估计按燃料类型划分而非按部门划分,因为按燃料类型划分的不确定性参数水平小于按部门划分的水平(Monni et al., 2004)。生物质属于非商品能源,活动水平统计难度较大,相对于矿物燃料活动水平来说生物质燃料活动水平数据不确定性也较大;工业生产过程数据中水泥、钢铁、硝

酸、半导体行业企业数据根据统计年鉴和部门调研数据核算的是规模以上企业,规模以下的中小型企业可能产生零散的排放,石灰主要由小规模企业生产且活动水平数据不确定性高,因而难以统计,但工业生产过程不确定性总体小于能源活动;农业活动、土地利用与变化、废弃物处理三个部门两种方法的不确定性均较高。敏感性分析结果(图1)表明烟煤排放因子和烟煤活动水平数据对总的温室气体排放相对贡献最大,分别达到36.5%和19.7%,其他对总排放影响较为显著的参数还包括本省区活立木蓄积量年生长率(-12.4%)、本省区乔木林BEF加权平均值(-7.1%)、褐煤燃烧排放因子(5.8%)和褐煤活动水平数据(2.9%)。敏感性分析结果说明,提高能源活动部门烟煤排放因子、烟煤活动水平数据、褐煤燃烧排放因子和褐煤活动水平数据、土地利用与林业部门的关键参数的精度能够显著降低总体温室气体排放水平的不确定性。

(三)不确定特征分析

本文根据《城市温室气体核算工具指南》《国家温室气体清单优良作法指南和不确定性管理》《2006年IPCC国家温室气体清单指南》等方法学指南估算了吉林市2010年温室气体排放及不确定性。2010年不包括土地利用变化与林业的吉林市温室气体排放总量为4979.77万吨CO₂e。其中能源活动占排放量最高,第二产业比重是影响区域能源活动排放量的重要因素。

采用不同的不确定性合并技术方法会得到不同的不确定评估结果(Uvarova et al., 2014)。不包括土地利用变化与林业排放的情况下,误差传递方法的不确定性分析结果为11.21%,蒙特卡洛模拟不确定性分析结果4.59%。两种合并不确定性方法结果中,能源部门不确定性较大,工业生产过程不确定性较为接近,农业活动、废弃物处理部门的不确定性都相对较高,但由于占总排放量有限对总体不确定性结果影响有限。烟煤燃烧排放因子和烟煤活动水平数据对总的温室气体排放相对贡献最大。

两种合并不确定性方法的输入数据要求不同,合并不确定性的误差传递方法要求不同的排放源排放因子和活动水平统计数据在参数上独立且不相互依赖,适用范围小。蒙特卡洛模拟分析方法除了需要输入参数的最可能取值以外,还需要描述该参数的概率分布形状的数据信息。蒙特卡洛模拟方法要求的样本数据条件在清单编制过程中不容易满足,但蒙特卡洛模拟方法可以提供包括统计描述和敏感性分析等更丰富的分析结果。

五、结论及建议

高质量的温室气体排放数据是各项碳减排工作的基础,数据质量是构建促进有效碳减排目标实现政策体系的关键,准确核算和报告温室气体排放量将成为低碳发展的一项重点工作,合理的不确定性分析和处理划分决定了最终减排目标实现的可行性。为了促进城市温室气体清单在减排活动中发挥更大的作用,减少城市温室气体清单不确定性需要在以下几个方面寻求改善:

(1)完善城市温室气体清单不确定性分析标准。目前尚缺乏城市等区域尺度上的温室气体清单不确定性分析指南或标准。国家和城市温室气体计量框架、不确定性分析框架与使用的统计数据口径较为相似:一方面有利于温室气体清单结果和不确定性分析结果的比较,另一方面说明城市温室气体清单不确定性评价研究相对不足。

(2)加强城市温室气体排放数据统计工作。同国家和省级城市相比,中国城市能源及排放数据来源差异更大。需要构建国家、省份、城市、企业多尺度管理层级控制能源及温室气体排放数据质量。城市主体的温室气体统计核算工作一方面要尽量同现有统计工作体系相结合,另一方面要完善直报系统,发挥信息技术支撑作用,采用统一数据采集和处理平台制定不同目标用途的温室气体核算报告。

(3)改善核算方法,制定合理的温室气体监测计划。未来需要在城市尺度上根据城市的一般性和差异性特点,灵活和有针对性地改善核算内容和核算方法,提高温室气体统计核算数据质量。可以在观测数据上将地面测量、卫星遥感观测数据和大气模拟分析模型相结合,在更广泛的系统里对温室气体数据进行衡量和互相验证。

参考文献:

- [1] 白卫国,庄贵阳,朱守先. 中国城市温室气体清单研究进展与展望[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(1):63-68.
- [2] 蔡博峰. 城市温室气体清单研究[J]. 气候变化研究进展, 2011, 7(1): 23-28.
- [3] 蔡博峰. 中国城市温室气体清单研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(1):21-27.
- [4] 陈操操,刘春兰,田刚,王海华,李铮. 城市温室气体清单评价研究[J]. 环境科学, 2010, 31(11): 2780-2787.
- [5] 国家气候变化对策协调小组办公室,国家发展和改革委员会能源研究所. 中国温室气体清单研究[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2007
- [6] 国家应对气候变化战略研究和国际合作中心. 低碳发展及省级温室气体清单培训教材[R]. 2013.
- [7] WRI, IUE, WWF. 城市温室气体核算工具 2.0[EB/OL]. (2015-4-12)[2017-8-10]. <http://www.wri.org.cn/node/41204>, 2015.
- [8] 袁晓辉,顾朝林. 北京城市温室气体排放清单基础研究[J]. 城市环境与城市生态, 2011, 24(1): 5-8.
- [9] BSI. Application of PAS 2070 – London, UnitedKingdom[R]. 2013.
- [10] GPC, Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories[EB/OL]. (2014-08-12)[2017-09-06]. http://www.iclei.org/fileadmin/user_upload/ICLEI_WS/Documents/Climate/GPC_12-8-14_1_.pdf.
- [11] IPCC. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[EB/OL]. (2003-09-18)[2017-09-06]. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.html>.
- [12] IPCC. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories[EB/OL]. (2001-01-15)[2017-09-06]. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>.
- [13] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[EB/OL]. (2007-04-15)[2017-09-06]. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>.
- [14] IPCC, Climate Change 2014: Synthesis Report. [R]. 2014.

- [15] Monni, S, S. Syri, and I.Savolainen Uncertainties in the Finnish Greenhouse Gas Emission Inventory[J]. *Environmental Science & Policy*, 2004, 7(2): 87–98.
- [16] Penman, J., M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, and R. Pipatti. Good Practice Guidance for Land Use, Land–use Change and Forestry[J]. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2003, 35(5), 103–105.
- [17] Ramírez, A., C. D. Keizer, J. P. V. D. Sluijs, J. Olivier, and L. Brandes, Monte Carlo Analysis of Uncertainties in the Netherlands Greenhouse Gas Emission Inventory for 1990–2004[J]. *Atmospheric Environment*, 2008, 42(35): 8263–8272.
- [18] Shvidenko, A., D.Schepaschenko, I. Mccallum, and S. Nilsson, Can the Uncertainty of Full Carbon Accounting of Forest Ecosystems be Made Acceptable to Policymakers?[J]. *Climatic Change*, 2010, 103(1–2): 137.
- [19] UNEP. Draft International Standard for Determining Greenhouse Gas Emissions for Cities. United Nations Environment Programme[EB/OL]. (2010–09–15) [2017–09–20]. <http://siteresources.worldbank.org/INTUWM/Resources/GreenhouseGasStandard.pdf>.
- [20] United Nations. World Urbanization Prospects, the 2014 Revision. UN Department of Economic and Social Affairs, Population Division[EB/OL]. (2014–5–10)[2017–8–10]. <https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-highlights.pdf>.
- [21] Uvarova, N. E, V. V. Kuzovkin, S. G. Paramonov, and M. L. Gytarsky. The Improvement of Greenhouse Gas Inventory as a Tool for Reduction Emission Uncertainties for Operations with Oil in the Russian Federation[J]. *Climatic Change*, 2014, 124(3): 535–544.
- [22] Winiwarter, W. and B. Muik. Statistical Dependence in Input Data of National Greenhouse Gas Inventories: Effects on the Overall Inventory Uncertainty[J]. *Climatic Change*, 2010, 103(1/2): 19–36.
- [23] Winiwarter, W. and K. Rypdal . Assessing the Uncertainty Associated with National Greenhouse Gas Emission Inventories: A Case Study for Austria[J]. *Atmospheric Environment*, 2001, 35(32): 5425–5440.

Uncertainty Analysis of Urban Greenhouse Gas Inventories

Zhang Xiaomei^{a,b}, Zhuang Guiyang^c and Liu Jie^d

(a: College of Economics and Management, Shanxi University; b: Green Development Research Center, Shanxi University; c: Institute for Urban and Environmental Studies, CASS; d:International Business School of Shaanxi Normal University)

Abstract: Uncertainty analysis is one of the most fundamental components of a complete urban GHG inventory. In this paper, we calculate the greenhouse gas emission inventory of Jilin City in 2010 by using the Guideline of Urban Greenhouse Gas Accounting Tool. Then through the error transfer method and Monte–Carlo method to study the urban–scale greenhouse gas emission inventory uncertainty at the regional level. The results show that there is a significant difference between the error transfer method and the Monte Carlo simulation uncertainty analysis. The results of Monte Carlo simulation result show that the bituminous coal emission factor and bituminous coal activity level data have the largest relative contribution to the total GHG emission uncertainty. In order to promote the urban GHG inventory to play a greater role in reducing emissions, we need to pay attention to the following aspects: Strengthen the analysis of urban greenhouse gas (GHG) inventory uncertainty and evaluation studies; Play a fundamental role of in–

(下转第 149 页)

[10] WCED. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future[R].1978.

Constructing Sustainable Trade under the Background of A Community of Shared Future for Mankind: Promoting UN SDGs by Sustainable Trade

Hu Tao and Yang Di

(WWF-US, Washington, D. C.)

Abstract: Sustainable development was proposed as a critical development strategy in response to global economic, social and environmental issues. The United Nations has reached a worldwide consensus on the Sustainable Development Goals (SDGs) in 2015. The achievement of this consensus has clarified the direction that all countries strive for in development on a global scale, but more importantly, it deepens the understanding further on the fact that we human society is a community of shared future for mankind. However, there is no content directly related to the sustainable trade in such an important and influential agreement. As a crucial component of macroeconomic activities, trade plays an irreplaceable role to its both upstream (production) and downstream (consumption), which both entail the environmental impact and then established linkage between the economic practices and trade. After all, could Sustainable Development Goals (SDGs) be complementary and implementable without incorporating sustainable trade? As a conclusion, this paper proposes to promote UN SDGs by introducing sustainable trade. Both sovereign countries and international community should actively formulate the trade policies and regional trade agreements from the perspective of sustainability.

Keywords: United Nations; Sustainable Development Goals(SDGs); Sustainable Trade; Community of Shared Future for Mankind

JEL Classification: F18

(责任编辑:卢玲)

(上接第18页)

formation technology support to improve the quality of statistical work on urban energy and greenhouse gas emissions data; Combining surface measurements, satellite remote sensing observations and atmospheric simulation models on city scale to measure and cross-check greenhouse gas data across a wider range of systems to improve the level of uncertainty analysis.

Keywords: City Greenhouse Inventory; Uncertainty; Error Propagation Methods; Monte Carlo Simulation

JEL Classification: Q58

(责任编辑:卢玲)