

中国2020年二氧化碳排放情景分析

佟贺丰¹ 屈慰双²

(1. 中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

(2. 美国千年研究所, 弗吉尼亚 22201)

摘要: 本文利用中国科学技术信息研究所和美国千年研究所开发的中国可持续发展模型, 对我国2020年的CO₂排放情景进行定量分析, 来模拟与验证如何达到2020年单位GDP二氧化碳排放比2005年下降40%~45%的减排目标。报告设定了技术进步、生活方式改变、价格调整、产业结构调整等几个情景。分析发现, 如果要降低CO₂排放总量, 最好的途径就是加快技术进步、加大可再生能源和核电的比例。要实现二氧化碳排放强度的目标, 最好的途径就是实现产业结构调整。

关键词: CO₂排放, 哥本哈根协议; 可持续发展, 系统动力学模型; 城市化进程

中图分类号: C94 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2010.07.006

在哥本哈根召开的联合国气候大会上, 各国达成《哥本哈根协议》(Copenhagen Accord)(下称《协议》)。虽然《协议》没有任何法律约束力, 但CO₂减排已成为各国共识, 并将在未来主导世界经济社会发展格局。各国激烈争夺气候变化问题的全球话语权, 实质上是在争夺自身发展权和全球竞争主导权。中国政府承诺, 到2020年我国单位国内生产总值CO₂排放比2005年下降40%~45%。这个清晰的CO₂排放强度“量化指标”受到国际社会的高度评价。在此, 我们使用中国科学技术信息研究所和美国千年研究所联合开发的中国可持续发展模型^[1-7], 比较模型的基准情景与其他几个情景, 来模拟与验证如何达到国家的减排目标。

一、中国可持续发展模型简介

中国可持续发展模型以系统动力学为理论基础, 在综合其他优秀模型的基础上, 将经济、社会以及环境三大系统整合到一个框架之内。模型主要用于分析宏观层面的中长期发展问题。模型的基准情景可以展望一个国家/地区将来可能遇到的主要发

展问题。在模型中可以改变某个或某几个关键政策变量, 让决策者了解不同政策选择或外部条件的变化会对将来产生什么样的影响。例如: 水资源的缺乏会影响粮食产量, 从而影响国民的健康状况和生产力发展, 进而影响到财政收入、家庭消费和储蓄以及国际贸易。模型的结构、假设、公式和数据要求都很透明, 因此能够让用户参与, 以达成共识, 讨论政策。

现有的中国可持续发展模型共包括超过1500个公式、约100个节点和几千条反馈环路。它的59个模块被分为经济、社会和环境三大部分。在环境部分, 包括了传统化石能源(煤、石油、天然气)、可再生能源(水电、风能、太阳能)和核电生产与需求模块, 以及水泥和钢铁这两个主要能源消耗与CO₂排放工业部门的单独模块。这样, 就可以快速地计算来自能源消费的CO₂排放, 同时结合人口、经济等模块做综合分析。

模型的模拟时间段为1990~2030年。这样, 可以有1990~2008年共19年的历史数据与模型模拟数据进行比较, 又可以展望未来20年的发展情况。

作者简介: 佟贺丰 (1977-), 男, 中国科学技术信息研究所 助理研究员; 研究方向: 系统动力学模型, 科技政策。

收稿日期: 2010年6月13日

本文将把 2020 年的相关指标做重点分析。模型的意义不在于预测未来发展，而是分析不同的政策取向对未来可能造成的影响。下面就选取一些不同的政策取向，分析其对我国减排目标的影响。

二、几种主要情景的分析

在中国可持续发展模型中，每一个政策或变量的改变，都可以做一次单独的模拟，几秒钟即可完成模拟，形成一个情景。为了对未来的有清晰的认识，我们选取几种对未来的 CO₂ 减排有积极影响并且可能发生的情景，作为对未来的政策的评估。

(一) 基准情景

模型的基准情景是基于现有的发展趋势考虑未来发展的场景。2005~2020 年，我国的 GDP 将从 18.37 万亿元（2005 年不变价，以下提到经济指标除非特殊说明均为 2005 年不变价）增加到 54.86 万亿元，增长了 198%，年均增长 7.56%。2020 年的人均 GDP 是 2000 年的 4.04 倍。2005~2020 年 CO₂ 排放量（这里的 CO₂ 排放指来自能源消耗的排放，下同）从 49.89 亿吨增加到 95.23 亿吨，增长了 90.89%，年均增长 4.40%，明显低于经济增长速度。2005~2020 年，万元 GDP 的 CO₂ 排放从 2.71 吨下降到 1.74 吨，降低 36.06%。也就是说，按照“十一五”期间“单位国内生产总值能耗降低 20%”的节能目标以及我国的《可再生能源中长期发展规划》及其他相关发展规划，就可以将单位国内生产总值 CO₂ 排放下降 36.06%，距离 40% 的下限目标并不遥远。万元 GDP 能耗从 1.17 吨标准煤下降到 0.78 吨标准煤，降低 33.22%；万元 GDP 电耗从 1350 千瓦时下降到 1286 千瓦时，降低 4.71%。

从图 1 可以看出，在基准情景中，2000~2015 年

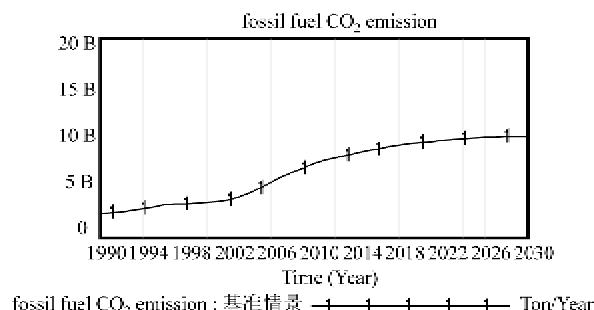


图 1 基准情景下 1990~2030 年我国 CO₂ 排放情况
(单位:吨)

是我国 CO₂ 排放上升比较快的时期，2015 年之后排放量增长速度则相对放缓。

电力部门是我国最大的 CO₂ 排放部门，其占全国排放总量的比例已从 1990 年的 23.4% 上升到 2008 年的 45.4%。CO₂ 排放最主要的来源是火力发电，特别是煤电的生产。每千瓦时的煤电生产大约释放 1 公斤的 CO₂，这个数字随着火电厂供电煤耗而变化。2005 年，我国电力生产量是 2.67 万亿千瓦时（包括了线损电量），其中燃煤发电量为 2.2 万亿千瓦时，占全部发电量的 82.41%。所以，如果将来要减少 CO₂ 的排放，降低供电煤耗和输电线损率是重要的影响因素。1990 年，我国火电厂供电煤耗平均为 427 千克标准煤每千瓦时，2000 年达到 392 千克标准煤每千瓦时，2005 年则下降到 374 千克标准煤每千瓦时。2005 年世界先进水平供电煤耗为 312 千克标准煤每千瓦时（日本）。可见我国与世界先进水平差距并不是很大，这就造成未来的减排有一定难度。

另一方面可再生能源发电和核电不产生任何 CO₂，非常有利于 CO₂ 的减排。我国政府已经制定了《可再生能源中长期发展规划》，提出了 2020 年可再生能源发展的目标：到 2020 年可再生能源在能源结构中的比例争取达到 15%。考虑到近年的可再生能源发展趋势，届时，全国水电装机容量将达到 3.2 亿千瓦、风电 7000 万千瓦、太阳能发电 600 万千瓦、核电 6000 万千瓦。

在基准情景中，2020 年的电力生产量是 7.54 万亿千瓦（图 2），但来自燃煤发电的比例已经下降到 74.50%，可再生能源发电和核电则占 23.90%，其他为燃气和燃油发电。随着供电煤耗的下降，到

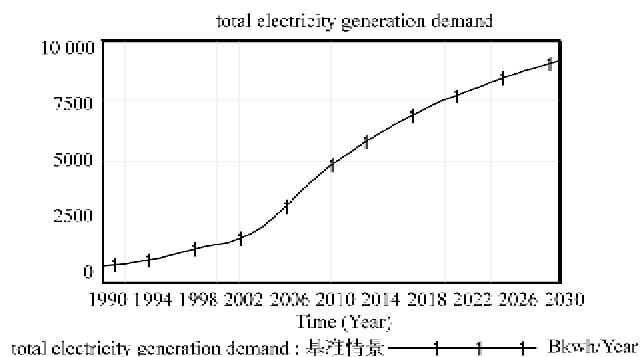


图 2 基准情景下 1990~2030 年我国电力生产情况
(单位:十亿千瓦时)

2020 年可以达到每千瓦时 310 克标准煤左右,每千瓦时电量的 CO₂ 排放也会下降 10% 左右。

水泥和钢铁也都是能源消耗和 CO₂ 排放的主要部门,在模型的基准情景中,我国水泥生产量将在 2012 年左右进入增长的平台期,保持在 15.5 亿吨左右,到 2017 年开始缓慢下降(见图 3,图中长线 1 为模型模拟数据,短线 2 为年鉴历史数据,下同);粗钢产量将在 2017 年左右进入增长的平台期,保持在 7 亿吨左右,到 2021 年开始缓慢下降(图 4)。水泥和钢铁产量的下降,有助于我国整体的减排工作。

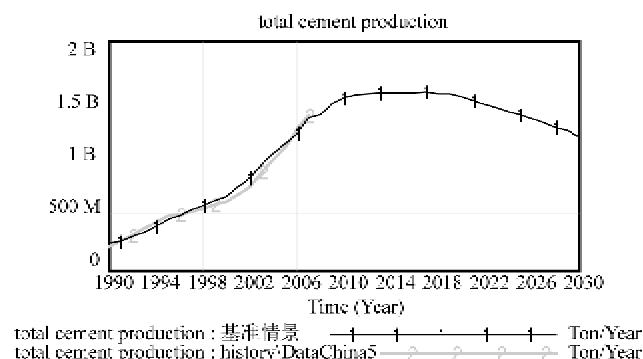


图 3 水泥产量基准情景与历史数据的比较(单位:吨)



图 4 钢铁产量基准情景与历史数据的比较(单位:吨)

在模型的基准情景中,2020 年我国单位国内生产总值 CO₂ 排放比 2005 年下降 36.06%,如果我们进一步采取措施,实现减排目标是有把握的。下面就分析几种进一步减排的情景。

(二) 技术进步情景

在此情景中,我们假设提高可再生能源和核电比例(风能、太阳能和核电的发电量都比基准值高 50%,水电因为受限于水资源情况,很难再有大的提

升);每升汽油可以支持车辆行走更远的距离(2030 年从 9 公里提升到 15 公里);更快的水泥和钢铁行业节能技术进步率(都从年均 1% 提高到 1.5%)。

在此情景中,2020 年的燃煤发电量从基准情景中的 5.62 万亿千瓦时下降到 5.21 万亿千瓦时,可再生能源和核电的比例则提高到 28.26%。2020 年石油的消费量从基准情景的 8.06 亿吨下降到 6.94 亿吨。水泥和钢铁行业的能源消耗也都有所下降。这些技术的进步,导致 CO₂ 的排放进一步降低,2020 年 CO₂ 排放量从基准情景的 95.23 亿吨下降到 87.72 亿吨,2010~2020 年累计减排 41 亿吨。假设此情景下 2020 的 GDP 与基准情景保持一致,则万元 GDP 的 CO₂ 排放为 1.59 吨,比 2005 年下降 41.10%。

在技术进步情景中,因为风能、太阳能和核电比例的提高,需要比原来更多的可再生能源投资,2010~2020 年,风能需要在原有基础上增加投资 3977 亿元,太阳能需要在原有基础上增加投资 2491 亿元,核电需要在原有基础上增加投资 5389 亿元,三项合计需增加投资 1.18 万亿元。当然,如果在将来可再生能源技术有了突破性发展,会使相关投入下降的更快,需要的投资会相应减少。

(三) 生活方式情景

从 1990~2008 年,我国城镇人均住宅建筑面积从 13.6 平方米增长到 29 平方米,翻了一倍还多。农村人均住房面积则从 17.8 平方米增长到 32.4 平方米,增长将近一倍。在基准情景中,根据过去的发展趋势,将 2030 年城市和农村住宅面积都设为 50 平方米。在生活方式情景中,则将 2030 年城市和农村住宅面积都设为 40 平方米。也就是说在未来人们不再一味追求更大的住房。

因为众多的人口、有限的土地和森林资源,中国城镇中大部分都是中高层的住宅,每平方米钢筋混凝土的建筑消耗大概 300~400 公斤的水泥以及 70~100 公斤的钢材。水泥和钢材都是高能耗产品。同时,越大的住房越需要更多的能源来取暖、空调制冷和照明,也会消耗更多的土地资源。发展过多地依赖房地产经济,也不利于中国经济的健康发展。政府可以通过政策宣传和税收政策(如房产税)等方式来鼓励和引导公众追求更加可持续的居住

方式。

在此情景中,2020年的水泥需求量为11.6亿吨,比基准情景下降22.94%;钢铁需求量为5.91亿吨,比基准情景下降16.54%;居民生活用电量为6967亿千瓦时,比基准情景下降9.54%。生活方式的改变,导致CO₂的排放进一步降低,2020年CO₂排放量从基准情景的95.23亿吨下降到92.02亿吨,2010~2020年累计减排32.96亿吨。假设此情景下2020的GDP与基准情景保持一致,则万元GDP的CO₂排放为1.70吨,比2005年下降37.44%。

(四)价格调整情景

能源价格的调整会对能源消费产生影响,一般来说价格一高需求就会降低。在价格调整情景中,对于电价采取累进制电价,电价比基准情景中提高50%,2030年的电价由2元(2000年不变价)调整到3元(2000年不变价);将来油价也将包括更多的税费,油价比基准情景中提高一倍,2030年的油价由每桶150美元,提升到每桶300美元。

在此情景中,2020年的石油需求量为7.41亿吨,比基准情景下降8.09%;石油对外依存度由77.36%下降到72.96%;电力需求为6.75万亿千瓦时,比基准情景下降4.26%。高油价和电价,导致CO₂的排放进一步降低,2020年CO₂排放量从基准情景的95.23亿吨下降到90.29亿吨,2010~2020年累计减排27.20亿吨。假设此情景下2020的GDP与基准情景保持一致,则万元GDP的CO₂排放为1.67吨,比2005年下降38.97%。

(五)产业结构调整情景

产业结构调整是我国经济发展长期的重点。产业结构又与能源消耗和CO₂排放密切相关。在我国,以工业为主的第二产业能源强度是第三产业能源强度的4.5倍左右,是第一产业能源强度的5倍左右。2005年我国第一产业能源强度为0.356吨标煤/万元增加值,第二产业能源强度为1.86吨标煤/万元增加值,第三产业能源强度为0.422吨标煤/万元增加值。相应的,第二产业的CO₂排放强度也远高于第一产业和第三产业。

虽然调结构是我国经济发展的长期政策取向,但受限于发展阶段和国际产业分工,我国的第二产业占GDP比例一直居高不下。在模型的基准情景

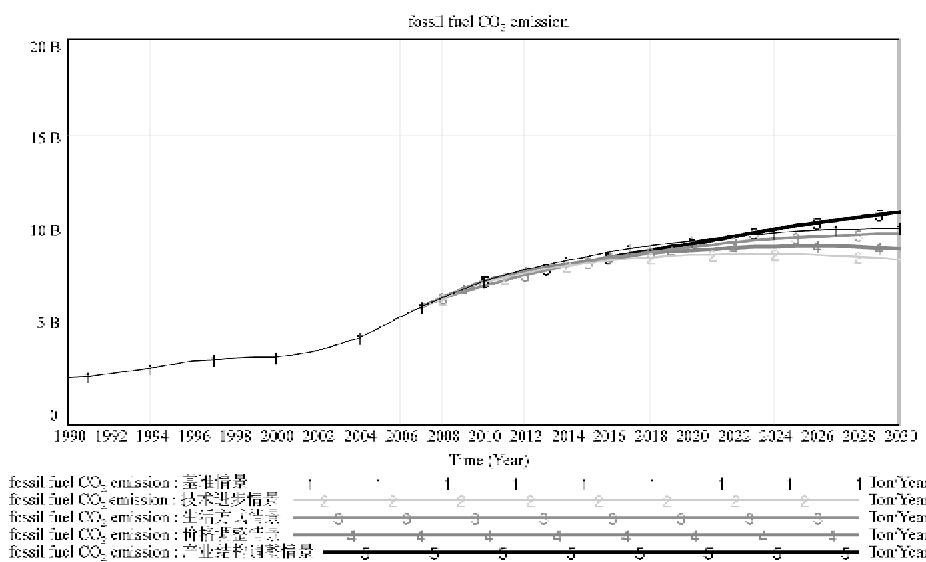
中,这种趋势仍然在继续,到2020年,第一产业比例为4.91%,第二产业为56.45%,第三产业为38.63%。基准情景假定三次产业的投资比例是按照产业结构分配的。产业结构调整情景则设定未来的投资更加倾向于第三产业,到2030年第一产业投资占全部投资的比例为3%,第二产业为40%,第三产业为57%,这种调整从2010年开始。这样,到2020年第一产业占GDP的比例为4.19%,第二产业为44.02%,第三产业为51.79%。

在此情景中,经济增长速度更快,2020年的GDP达到64.08万亿元,比基准情景增长16.81%,2010~2020年GDP年均增长8.41%。但因为第三产业所占比例较大,虽然GDP增加了,但2020年的CO₂排放量为93.81万吨,比基准情景下降了1.49%。2010~2020年累计减排18.85亿吨。此情景下由于第三产业比重提高以及GDP总量的增加,所以CO₂排放强度下降更快。2020年万元GDP的CO₂排放为1.46吨,比2005年下降46.08%。可见,产业结构调整是我国能否实现减排目标的重中之重。

三、对几种情景的分析

国际社会除了关注中国的减排目标,对中国CO₂排放峰值年的出现也非常关注。在以上几种情景中,基准情景在2030年左右开始出现CO₂排放的平台期,2029年为101.44亿吨,2030年为101.46亿吨,应该说进入了缓慢增长期,可能很快就会出现下降。在技术进步情景中,因为可再生能源和核电的比例更高,在2023年就达到了排放峰值,为88.34亿吨。在生活方式情景中,也在2030年左右开始出现CO₂排放的平台期,2029年为98.64亿吨,2030年为98.72亿吨。在价格调整情景中,因为高油价和电价限制了能源消费,在2026年达到排放峰值,为92.52亿吨。在结构调整情景中,因为过高的经济增长速度(从2020~2030年保持6.88%的年均增长率),CO₂排放量在2030年为109.99亿吨,超过了基准情景,并且还处于缓慢上升的势头。

从以上分析可以看出,相对基准情景,其他几种情景都更加有利于实现减排目标。但以上几种情景也都有一些缺点,我们在前面是假定技术进步情景、生活方式情景和价格调整情景在2020年的

图 5 5 种情景的 CO₂ 排放量对比(单位:吨)

GDP 与基准情景相同。但在模型的模拟中,以上几种情景的 GDP 均略小于基准情景(表 1)。因为更多的投资于新能源产业会降低其他部门的投资额,可能会造成 GDP 略微下降;更少的住房消费可能会拉低 GDP 的增长速度;过高的油价和电价会限制生产部门的经济增长。而产业结构调整情景又会因为过快的经济增长速度延缓 CO₂ 排放峰值年的到来。

通过图 5 可以看出,如果要降低 CO₂ 排放总量,最好的途径就是加快技术进步、加大可再生能源和核电的使用比例。如果要实现 CO₂ 排放强度的目标,最好的途径就是实现产业结构调整。所以,如果想取得较好的减排效果,必须采取一些政策组合,做到既实现 CO₂ 排放强度目标,又尽快让排放峰值年出现。比如:将产业结构调整情景与价格调整情景进行组合,则 2020 年万元 GDP 的 CO₂ 排放为 1.48 吨,比 2005 年降低 45.36%,刚好实现了我国减排目标的上限值。同时,2020 年 GDP 为 59.97 万亿元,比基准情景高出 9.31%。

四、人口因素的影响分析

人口问题与气候变化密切相关。我国通过计划生育政策有效控制了人口的过快增

长。2005 年我国人均 CO₂ 排放 3.8 吨,在基准情景中 2020 年人均排放为 6.76 吨。人口的影响在模型中主要表现为三个方面:一是如果计划生育政策有所调整,会对人口及 CO₂ 排放产生什么样的影响;二是老龄化社会的到来;三是我国城市化的进程加速。如果我国将现在的“双

表 1 5 种情景主要指标的比较

	单位	2015 年	2020 年	2030 年
GDP				
基准情景	亿元*	410 228	548 645	846 062
技术进步情景		407 244	538 126	805 701
生活方式情景		410 200	548 603	846 004
价格调整情景		397 884	514 368	740 230
产业结构调整情景		432 634	640 847	1 246 209
人口				
基准情景	亿人	13.81	14.08	14.27
技术进步情景		13.81	14.08	14.25
生活方式情景		13.81	14.08	14.27
价格调整情景		13.81	14.07	14.22
产业结构调整情景		13.81	14.10	14.37
一次能源需求量				
基准情景	亿吨标准煤	38.58	42.83	47.23
技术进步情景		37.12	39.89	41.28
生活方式情景		37.36	41.55	46.15
价格调整情景		37.53	40.68	42.86
产业结构调整情景		37.50	42.26	50.97
CO₂ 排放				
基准情景	亿吨	87.14	95.23	101.46
技术进步情景		83.61	87.72	85.65
生活方式情景		84.06	92.02	98.73
价格调整情景		84.74	90.29	91.46
产业结构调整情景		84.53	93.81	109.99
CO₂ 排放强度				
基准情景	吨/万元*	2.12	1.74	1.20
技术进步情景		2.05	1.63	1.06
生活方式情景		2.05	1.68	1.17
价格调整情景		2.13	1.76	1.24
产业结构调整情景		1.95	1.46	0.88

*注:此处价格均为 2005 年不变价人民币

独”政策在 2015 年调整为完全放开二胎,2020 年的人口总数将从基准情景的 14.08 亿增加到 14.33 亿, 增长 1.79%, 从 2015~2020 年累计增加人口 6926 万人。这一情景下,2020 年的 CO₂ 排放量将从 95.23 亿吨增加到 96.15 亿吨,2015~2020 年累计增加 3.2 亿吨。一个国家 60 岁以上的人口超过 10%便被称为“老年型”国家,1998 年我国 60 岁以上人口比例即开始超过 10%。2010~2020 年,我国 60 岁以上人口比例将从 13.09%上升到 17.94%, 并且这段时间内我国老龄化的速度在加快。老龄化社会的到来,对于 CO₂ 排放会有什么样的影响,还需要进一步的研究。从统计数据看,农村人均能源消费仅为城市的 1/3 强。近年来我国的城市化进程基本以每年 1% 的速度推进,2008 年我国城市人口比例已达到 45.68%。模型的基准情景将 2020 年的城市化率设定为 55%,如果将这一比例降低到 53%,则 2020 年 CO₂ 排放量为 95.05 亿吨, 比基准情景下降

0.19%,2010~2020 年累计减少排放 5 亿吨。■

参考文献:

- [1] 佟贺丰,屈慰双.系统动力学仿真模型在决策支持中的作用——以中国可持续发展模型在 CO₂ 排放决策中的应用为例[J].数字图书馆论坛,2009,10:35~41.
- [2] 黄振中,王艳,李思一,丁凡,吴叶君.中国可持续发展系统动力学仿真模型[J].计算机仿真,1997,14(4):3~7.
- [3] 王艳,李思一,吴叶君,丁凡,黄振中.中国可持续发展系统动力学仿真模型——社会部分[J].计算机仿真,1998,15(1):5~7.
- [4] 丁凡,王艳,李思一,吴叶君,喻顺祥,黄振中.中国可持续发展系统动力学仿真模型——环境部分[J].计算机仿真,1998,15(1):8~10.
- [5] 吴叶君,王艳,黄振中,李思一,丁凡.中国可持续发展系统动力学仿真模型——能源部分[J].计算机仿真,1998,15(1):11~13.

Scenario Analysis of China's 2020 CO₂ Emissions

TONG Hefeng¹, QU Weishuang²

(1. Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038)
(2. Millennium Institute, Arlington VA 22201, USA 22201)

Abstract: This article makes a quantitative analysis of China's 2020 CO₂ emissions based on Sustainable Development Model made by Institute of Scientific and Technical Information of China and Millennium Institute to simulate and verify how to reach the target of 40%~45% below 2005 levels by the year 2020. The article also sets up scenarios of technological progress, life style change, price adjustments and industrial restructuring. The analysis reveals that the best way to reduce CO₂ emissions is speed up the technological progress, promote the ratio of renewable energy and nuclear power.

Key words: CO₂ emissions; Copenhagen agreement; Sustainable development; system dynamics model; Urbanization