

香港温室气体排放及驱动因素分析

赵亚兰^{1,2}, 匡耀求¹, 黄宁生¹

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所 可持续发展研究中心, 广州 510640; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 研究并总结香港温室气体排放特征和气候行动的有益经验, 可为全国其他地区的减排行动提供科学依据。利用脱钩指数和 LMDI 因素分解模型分析了 1992—2015 年香港温室气体排放变化特征、结构特征和主要影响因素。结果表明: (1) 研究期内香港温室气体排放和能源消费已初步实现达峰, 峰值均出现在 2014 年; 2015 年碳强度比 2005 年降低了 40.82%, 已实现 2030 年目标; (2) 香港碳排放与经济发展为非常理想的强脱钩状态; (3) 能源消费碳排放对香港碳排放总量起的是减排作用, 非能源消费碳排放起的是增排作用; 能源强度、能源消费碳排放系数和碳强度这 3 个驱动因素的累积影响对香港起了积极的减排作用, 能源强度因素贡献最大; 人均 GDP、人口、能源结构和碳排放结构因素的累积影响对香港一直起增排作用, 人均 GDP 和人口因素的累积增排贡献最大, 高耗能的发电行业能源消费比例和碳排放比例居高不下是能源结构和碳排放结构因素起增排作用的重要原因。清洁发电、节约用电是未来香港气候行动的工作重点。

关键词: 温室气体排放; LMDI 模型; 脱钩指数; 香港

中图分类号: X24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)01-0252-08

Decomposition Analysis of Greenhouse Gas Emission in Hong Kong, China

ZHAO Yalan^{1,2}, KUANG Yaoqiu¹, HUANG Ningsheng¹

(1. Sustainability Research Center, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: To research Hong Kong's greenhouse gas emissions and climate actions is the good ways to summary scientific basis for reducing emissions in other areas of China. We used the decoupling index and the LMDI model to analyze the characteristics, structural characteristics and main influencing factors of greenhouse gas emissions in Hong Kong from 1992 to 2015. The results showed that: (1) the greenhouse gas emission in Hong Kong had reached the peak in the research period and the peak appeared in 2014; the carbon intensity in 2015 was 40.82% lower than that in 2005 which had achieved its goal of 2030; (2) Hong Kong's carbon emissions and economic development were strong decoupling; (3) carbon emissions from energy consumption contributed the reductive effect to Hong Kong, not energy-related emissions contributed the cumulative effect; among all driving forces, energy intensity, energy-related carbon emission coefficient and carbon intensity had contributed to the reduction of Hong Kong, other factors played the negative roles in reducing carbon emissions in Hong Kong. Cleaner electricity industry and use of less electricity will be the main tasks for Hong Kong's climate action in the future.

Keywords: greenhouse gas emissions; LMDI; decoupling model; Hong Kong

为了应对全球气候变化, 世界各国都在努力提高能源使用效率、减少温室气体排放 (Greenhouse Gas Emissions, GE)。自 2016 年 11 月 4 日《巴黎协定》生效后, 全球排放总量尽快达到峰值成为控制升温

2℃以内这一“硬指标”的主要目标, 各国的环境保护与治理责任变得更加清晰。中国政府提出的 2030 年国家自主行动目标包括“二氧化碳排放达峰并争取尽早实现”、“单位国内生产总值 (GDP) 碳排放比 2005

年下降 60%~65%”和“非化石能源占比达 20%左右”等^[1],这不仅显示了中国承担国际责任的勇气,也发出了全国向绿色低碳社会转型的强有力信号。中国为了实现 GE 达峰,必须学习已达峰国家和地区的经验,并尽早制定国内各省和地区的碳排放分解目标计划,鼓励各省市尽早达峰。香港作为中国最发达的地区之一,在气候行动方面也十分积极并富有成效。如今,香港 2014 年的温室气体排放量已达到历史最大值,并在《香港气候行动蓝图 2030+》^[2]中订立了更进取的目标:2030 年碳强度(单位地区生产总值的碳排放量)降至 2005 年的 65%~70%,人均排放量(单位人口的碳排放量)减至 3.3~3.8 t。研究并总结香港碳排放特征和气候行动的有益经验,可为全国其他地区的减排行动提供科学依据。因此,本文以香港 1992—2015 年的温室气体排放量为研究对象,先利用脱钩弹性值评估香港碳排放与经济发展的协调程度,再结合 kaya 恒等式^[3]和 LMDI 模型分解分析各驱动因素的贡献量。

1 研究方法和数据来源

1.1 脱钩指数

根据环境库兹涅茨曲线(EKC)假说,经济增长一般带来环境压力和资源消耗的增大,但当采取有效政策和先进技术时,可能会以较低的环境压力和资源消耗换来同样甚至更加快速的经济增长,这个过程被称为脱钩。由于 LMDI 模型只能解释变量、却无法解释存量^[4],因此,本文将先使用脱钩指数^[5]分析香港温室气体排放和经济发展的协调程度,侧面解释存量的情况。第 t 年的脱钩弹性值 ϵ_t 可用公式(1)进行计算,并根据 Tapio 的判定标准^[6]进行脱钩状态判断:

$$\epsilon_t = \frac{\% \Delta GE}{\% \Delta GDP} = \frac{\Delta GE / GE^t}{\Delta GDP / GDP^t} \quad (1)$$

式中: ϵ 代表脱钩弹性值,下标或上标 t 代表所指年份;GE 是温室气体排放量;GDP 是香港的区域生产总值。

1.2 温室气体排放驱动因素分解模型

为了分析影响香港温室气体排放的因素,可用扩展的 Kaya 恒等式^[3]将其表示为公式(2)中的形式:

$$\begin{aligned} GE &= \sum_i GEE_i + \sum_j GEN_j \\ &= \sum_i \frac{GE_i}{E_i} \cdot \frac{E_i}{E} \cdot \frac{E}{GDP} \cdot \frac{GDP}{P} \cdot P + \sum_j \frac{GE_j}{GE} \cdot \frac{GE}{GDP} \cdot \frac{GDP}{P} \cdot P \\ &= \sum_i f_i \cdot ES_i \cdot EI \cdot G_1 \cdot P_1 + \sum_j GS_j \cdot GI \cdot G_2 \cdot P_2 \quad (2) \end{aligned}$$

式中:GEE 代表能源消费带来的温室气体排放(Energy-related GHG Emissions),包括发电(GE_1)、运输(GE_2)和其他燃料耗用(GE_3)3 类排放源,用下标 i 区分种类;GEN(Not Energy-related GHG Emissions)代表非能源消

费带来的温室气体排放,包括废弃物(GE_4)、工业过程及产品使用(GE_5),和农业、林业及其他土地利用(GE_6)3 类排放源,用下标 j 区分。GEE 和 GEN 相加便可得到香港温室气体排放总量 GE。 E 代表能源消费量;GDP 代表地区生产总值; P 代表人口;GEE 可表示为能源消费碳排放系数(f)、能源结构(ES)、能源强度(EI)、人均 GDP(G_1)和人口(P_1)5 个因素的函数;GEN 可表示为温室气体排放结构(GS)、温室气体排放强度(GI)、人均 GDP(G_2)和人口(P_2)4 个因素的函数。考虑到 GEE 和 GEN 的分解因素都含有 G 和 P ,分别添加后缀 1,2 以区分。

LMDI 分解方法^[7-9]具有计算简便有效、应用广泛、分解后无残留项的优点,常被用于分析区域温室气体排放的影响因素,本文亦采纳此方法。结合公式(1)和 LMDI 模型,可将香港 GE 的变化量分解为公式(3),各影响因素的变化量计算方法见公式(4)^[7]:

$$\begin{aligned} \Delta GE &= GE^t - GE^0 = \sum_i GEE^t + \sum_j GEN^t - (\sum_i GEE^0 + \sum_j GEN^0) \\ &= \sum_i GEE^t - \sum_i GEE^0 + (\sum_j GEN^t - \sum_j GEN^0) \\ &= (\Delta GE_f + \Delta GE_{ES} + \Delta GE_{EI} + \Delta GE_{G_1} + \Delta GE_{P_1}) \\ &\quad + (\Delta GE_{GS} + \Delta GE_{GI} + \Delta GE_{G_2} + \Delta GE_{P_2}) \quad (3) \end{aligned}$$

$$\Delta GE_f = \sum_i w_i \cdot \ln(f_i^t / f_i^0)$$

$$\Delta GE_{ES} = \sum_i w_i \cdot \ln(ES_i^t / ES_i^0)$$

$$\Delta GE_{EI} = \sum_i w_i \cdot \ln(EI^t / EI^0)$$

$$\Delta GE_{G_1} = \sum_i w_i \cdot \ln(G_1^t / G_1^0)$$

$$\Delta GE_{P_1} = \sum_i w_i \cdot \ln(P_1^t / P_1^0) \quad (4)$$

$$\Delta GE_{GS} = \sum_j w_j \cdot \ln(GS_j^t / GS_j^0)$$

$$\Delta GE_{GI} = \sum_j w_j \cdot \ln(GI^t / GI^0)$$

$$\Delta GE_{G_2} = \sum_j w_j \cdot \ln(G_2^t / G_2^0)$$

$$\Delta GE_{P_2} = \sum_j w_j \cdot \ln(P_2^t / P_2^0)$$

式中:上标 0 和 t 代表初始年份和目标年份。为了更详细解释 GE 的变化,本文将结合使用“初始基年”(上标 0=1992 年)和“相对基年”(上标 0= $t-1$)两个视角来共同考察 GE 及其影响因素^[4]。 ΔGE 代表目标年 t 和初始年 0 之间的 GE 变化量,可表示为 9 个影响因素变化量之和。而各影响因素的变化量,便是其对 ΔGE 的贡献量。另外,影响因素不同种类排放源的权重系数 w_i 和 w_j 计算公式分别为

$$w_i = (GE_i^t - GE_i^0) / (\ln GE_i^t - \ln GE_i^0)$$

$$w_j = (GE_j^t - GE_j^0) / (\ln GE_j^t - \ln GE_j^0)$$

1.3 数据来源和处理

本文基于 1995—2015 年香港经济、社会和温室气体排放数据开展研究。根据《联合国气候变化框架

公约》，温室气体排放量的计算是将 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 、 HFC_s 、 PFC_s 和 SF_6 这 6 种主要温室气体的排放量乘以各自温室效益指数(Global warming potential, GWP)后的总和,单位是二氧化碳当量($\text{CO}_2\text{-e}$),因此也常将温室气体排放笼统称为碳排放^[10],这两种说法本文中都会使用。为避免重复计算,国际航运、海运的碳排放没有计入其中。香港温室气体排放数据来源于《香港的温室气体排放量》^[11],将碳排放分为 6 类;能源消费量数据来源于《香港能源最终用途数据》^[12],单位是太焦耳。GDP、人口数据来源于《中国统计年鉴》^[13]和《香港统计年刊》^[14],各年份 GDP 已换算为 2015 年可比价;人口指标选用年中人口。

2 结果与分析

2.1 香港温室气体排放特征

如图 1 所示,1992—2015 年,香港温室气体排放总量在 32 914~44 951 kt $\text{CO}_2\text{-e}$,经历了先降低后增长又逐渐回落的过程,2015 年较 1992 年降低了 1 151 kt $\text{CO}_2\text{-e}$,年变化率起伏很大,但年均变化率只有 0.04%。通过 GE 变化率曲线可以看到,碳排在增长了一两年后,便立刻回落,没有出现连续多年持续快速增长的情况,说明香港一直在积极推进碳减排措施,使得该区域保持着较低的排放水平,只有在大型工程兴建的时候才会稍有短暂的碳排放增长。碳排放最低值出现在 1999 年,最高值出现在 2014 年,极值变化率为 26.78%,2015 年较 2014 年回落 7.41%。90% 以上的香港碳排放来自能源消费,在此期间,香港能源消费总量却波动很小,从 1992 年的 249 626 TJ 增长至 2015 年的 287 986 TJ(为了数据可视化效果,图 1 中能源消费量的单位是 10 TJ),最大值也出现在 2014 年,比 2015 年稍高,为 289 338 TJ。

可以看到,香港的碳排放已十分接近 2030 年达峰目标,但这并不意味着 2014 年就是 2030 年以内的碳排放峰值,根据《香港气候行动蓝图 2030+》的判断,随着人口增长和经济发展,“近年来香港碳排放维持在 40 000~45 000 kt $\text{CO}_2\text{-e}$,将于 2020 年前达峰”^[2],并不能保证 2014 年为峰值,减排行动还需继续推进。

国际上通常用“脱钩”来表征经济增长与物质消耗投入和生态环境保护之间的压力关系,许多研究碳排放驱动因素的文章发现,除了经济发展,人口增加也是促使区域碳排放增加的主要原因。如图 2 所示,香港人口从 1992 年的 5 783.78 千人稳步增长至 2015 年的 7 291 千人,增长了 1 507.22 千人,年均变化率为 1.02%。香港地区 GDP 在经历了 1998 年和 2008 年两次经济危机出现明显波动以外,总体保持了持续增长

态势,由 1992 年的 8 766.48 亿港币逐渐增加到 2015 年的 23 984 亿港币,增长了 15 217.52 亿港币,年均变化率为 4.63%。在人口和经济都增长的情况下,人均碳排放和碳强度却在波动中逐渐回落。人均排放从 7.39 t 降低至 5.71 t,比 2005 年减少了 5.61%(2030 年目标是 3.3~3.8 t)。碳强度从 0.048 8 kg $\text{CO}_2\text{-e}/\text{HKD}$ 降低至 0.017 4 kg $\text{CO}_2\text{-e}/\text{HKD}$,根据《中国能源统计年鉴》^[15],也大大低于 OECD 国家,比 2005 年减少了 40.82%(2030 年目标为比 2005 年减少 30%~35%),已顺利实现目标。综上不难判断,香港的碳排放和经济发展、人口增长已脱钩,即香港的经济增长与物质消耗投入对生态环境的压力(本文用碳排放来表征)关联较小,已走上低碳经济、清洁发展的轨道,其经验非常值得中国内地借鉴学习。但目前人均排放水平距既定的 2030 年目标仍有差距,需要进一步推进减排措施。

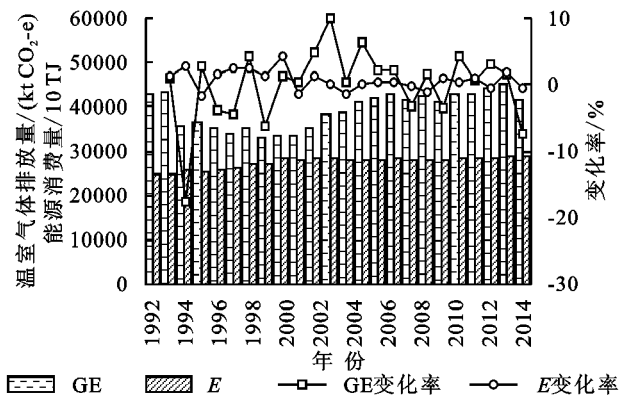


图 1 1992—2015 年香港温室气体排放、能源消费及其年变化率

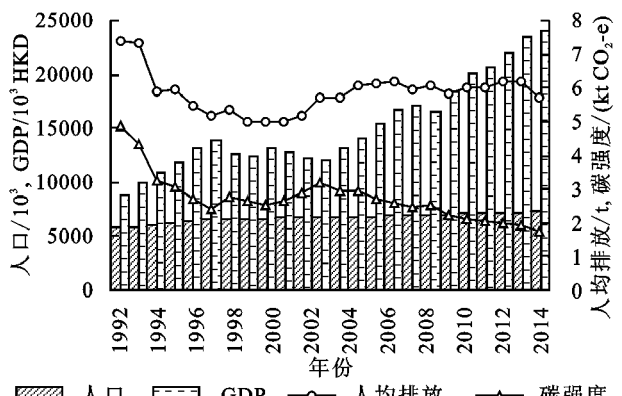


图 2 1992—2015 年香港人口、地区生产总值、人均碳排放和碳强度

2.2 分排放源的香港温室气体排放

1992—2015 年香港碳排放结构和能源消费碳排放系数见图 3,由图可知,90% 以上的碳排放来自能源消费,其中发电排放平均占区域碳排放的 66.31%,紧随其后的是运输和其他燃料耗用,年平均占比分别只有 19.19%和 6.57%。非能源排放平均占比不足 10%,其中最多的是废弃物排放,平均占比 4.92%;其后是工业过程及产品使用排放,平均占比 2.84%;农业、林业

及其他土地利用导致的碳排放微乎其微,只占0.16%。这与香港的经济结构有关,其农业规模非常小,因此,香港的减排措施,应侧重于发电、运输等能源消费行为方面。而作为非能源消费领域排放最多的废弃物,合理处置对香港碳减排也有较大潜力,因其碳排放因子低于煤炭、石油等化石燃料,可通过提高废弃物回收再利用和废弃物发电的比例,来节约资源和化石能源,优化能源结构。

为了考察能源消费行为的碳排放强度,计算了各行为的碳排放系数,即使用单位能源消费产生的二氧化碳当量,可以大致衡量能源结构、能源相关碳排放系数。从图3可以看到,香港所有能源相关碳排放系数 f 总体呈波动中缓慢下降的趋势,年平均值为0.14,经历了从1992年的0.17先降低至1999年的0.12这一最小值、之后缓慢波动升高到2015年的0.14的过程。交通运输和其他燃料耗用的碳排放系数变化很小, f_2 稳定在0.7~0.8, f_3 在0.4~0.6波动。相比之下,发电领域碳排放系数 f_1 却一直高于 f ,年平均值为0.20。可以看到 f_1 经历了从1992年的0.31迅速降低到1999年0.16这一最低水平,之后便一直在0.16~0.20波动,2015年降低至0.18。说明1992—2001年香港发电产业的清洁生产措施效果十分明显,但之后发电技术和发电能源结构手段趋于成熟和稳定,持续减排遇到技术瓶颈,导致 f_1 只能在一个相对较低的区间波动,而不能再有持续明显的降低。显而易见,发电产业是香港碳减排问题最大的领域,也是潜力最大的领域,只有当发电产业迎来革命性的技术变更,或出现更加清洁的能源结构,才能实现香港2030年的减排承诺。清洁发电,势在必行。

视角里,脱钩状态总体来说达到了脱钩状态,且大多数时间为强脱钩,5个时间段计算结果中都达到强脱钩水平,这与前文中分析经济增长与碳强度变化时的预判一致,说明香港经济发展对碳排放的压力已经不大,香港已实现低碳经济。

相对基年的视角下,脱钩状态变化非常剧烈,有助于我们更加直观了解逐年的变化情况。时间段计算结果中,除了2001—2005年是扩张负脱钩状态,1992—1995年、1996—2000年、2006—2010年和2011—2015年都是强脱钩状态,呈现出先强脱钩、后短暂恶化、最后改善至强脱钩状态并得以保持的过程。2001—2005年,彼时香港正受外围周期性衰退和内部结构性调整的双重夹击,经济在2001年下半年陷入衰退,而2003年上半年遭受“非典”疫情的冲击,如同雪上加霜,将香港经济推入谷底,这些持续的打击使香港经济不如遇到单纯的金融危机时恢复得快,导致这一时间段经济增长缓慢,而碳排放持续增长,呈扩张负脱钩状态。但结合现在强有力的减排行动,除非再次发生大型金融危机,相信强脱钩状态可以继续保持。从每一年的数据可以看到,1992—2015年香港碳排放和经济增长初期为弱脱钩或强脱钩状态,经历了五次强负脱钩到弱脱钩的波动后,从2010年起又恢复到弱脱钩或强脱钩的状态。五次强负脱钩都出现在经济衰退时期,其中两次分别是因为1998年和2008年的金融危机(持续影响到后一年),此外2001—2003年GDP增速也连续下降三年,碳排放却保持增长,使得这三年都是强负脱钩状态。观察“非典”后至2015年的数据可知,除了2008—2009年金融危机对经济的破坏,香港的碳排放总体稳定在弱脱钩或强脱钩状态,是比较理想的状态。

总体来说,目前香港的碳排放和经济发展已实现基本脱钩,而此时中国正从扩张性脱钩向弱脱钩状态过渡,未来应以香港的气候行动为研究对象,总结和学习香港地区碳排放和经济增长脱钩后的减排和发展经验。

2.4 香港温室气体排放的因素分解分析

将香港碳排放分解为能源消费碳排放系数(f)、能源结构(ES)、能源强度(EI)、碳排放结构(GS)、碳强度(GI)、人均GDP(G_1 和 G_2)和人口(P_1 和 P_2)这9个驱动因素,它们的年贡献量和累积贡献量分别见表2和表3。从表中可知,1992—2015年,能源消费碳排放对香港碳排放总量GE的年贡献量 ΔGEE 平均值和累积贡献量都是负数,为-2 930 kt CO₂-e,即起的是减排作用;相反,非能源消费碳排放 ΔGEN 起的是增排作用,为1 779 kt CO₂-e。且 ΔGEE 的绝对值大大超过

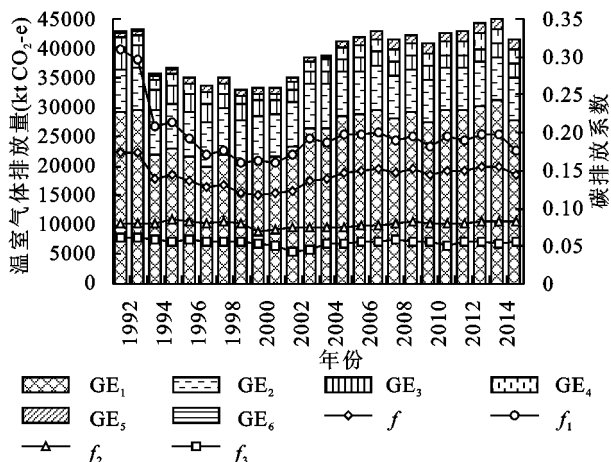


图3 1992—2015年香港碳排放结构和能源消费碳排放系数

2.3 香港温室气体排放的脱钩分析

香港温室气体排放与GDP的脱钩弹性值计算结果和脱钩状态见表1。在与1992年对比的初始基年

Δ GEN,使得 2015 年香港累积 GE 与 1992 年相比降低了 1 151 kt CO₂-e,不过 Δ GEE 每年正负波动较

大,说明香港能源消费总体比较清洁,但还需进一步的优化,才能稳定地帮助香港实现碳减排目标。

表 1 香港温室气体排放和经济发展的脱钩弹性值

	初始基年					相对基年						
	0	t	Δ GE	Δ GDP	ϵ	脱钩状态	0	t	Δ GE	Δ GDP	ϵ	脱钩状态
一年	1992	1993	380	1135.41	0.08	弱脱钩	1992	1993	380	1135.41	0.08	弱脱钩
	1992	1994	-7194	2161.26	-1.02	强脱钩	1993	1994	-7574	1025.85	-2.27	强脱钩
	1992	1995	-6161	3077.24	-0.65	强脱钩	1994	1995	1033	915.99	0.36	弱脱钩
	1992	1996	-7583	4298.22	-0.66	强脱钩	1995	1996	-1422	1220.98	-0.43	强脱钩
	1992	1997	-9116	5134.69	-0.73	强脱钩	1996	1997	-1533	836.47	-0.76	强脱钩
	1992	1998	-7714	3778.89	-0.73	强脱钩	1997	1998	1402	-1355.80	-0.37	强负脱钩
	1992	1999	-9857	3652.28	-1.02	强脱钩	1998	1999	-2143	-126.61	6.39	衰退脱钩
	1992	2000	-9476	4365.73	-0.86	强脱钩	1999	2000	381	713.45	0.21	弱脱钩
	1992	2001	-9374	3989.67	-0.90	强脱钩	2000	2001	102	-376.06	-0.10	强负脱钩
	1992	2002	-7706	3422.66	-0.78	强脱钩	2001	2002	1668	-567.01	-1.02	强负脱钩
	1992	2003	-4244	3348.52	-0.40	强脱钩	2002	2003	3462	-74.14	-14.68	强负脱钩
	1992	2004	-4098	4381.57	-0.32	强脱钩	2003	2004	146	1033.05	0.05	弱脱钩
	1992	2005	-1570	5283.99	-0.10	强脱钩	2004	2005	2528	902.42	0.96	扩张联结
	1992	2006	-717	6733.99	-0.04	强脱钩	2005	2006	853	1450.00	0.22	弱脱钩
	1992	2007	151	7957.32	0.01	弱脱钩	2006	2007	868	1223.33	0.28	弱脱钩
	1992	2008	-1191	8250.96	-0.06	强脱钩	2007	2008	-1342	293.64	-1.87	强脱钩
	1992	2009	-476	7865.54	-0.02	强脱钩	2008	2009	715	-385.41	-0.73	强负脱钩
	1992	2010	-1918	9691.54	-0.09	强脱钩	2009	2010	-1442	1825.99	-0.36	强脱钩
	1992	2011	-139	11264.00	-0.01	强脱钩	2010	2011	1779	1572.47	0.53	弱脱钩
	1992	2012	179	11973.58	0.01	弱脱钩	2011	2012	318	709.58	0.22	弱脱钩
1992	2013	1501	13217.96	0.06	弱脱钩	2012	2013	1322	1244.38	0.53	弱脱钩	
1992	2014	2180	14655.40	0.08	弱脱钩	2013	2014	679	1437.44	0.25	弱脱钩	
1992	2015	-1151	15217.52	-0.04	强脱钩	2014	2015	-3331	562.13	-3.41	强脱钩	
时间段	1992	1995	-6161	3077.24	-0.65	强脱钩	1992	1995	-6161	3077.24	-0.65	强脱钩
	1992	2000	-9476	4365.73	-0.86	强脱钩	1996	2000	-1893	67.51	-11.06	强脱钩
	1992	2005	-1570	5283.99	-0.10	强脱钩	2001	2005	7804	1294.32	2.06	扩张负脱钩
	1992	2010	-1918	9691.54	-0.09	强脱钩	2006	2010	-1201	2957.55	-0.18	强脱钩
	1992	2015	-1151	15217.52	-0.04	强脱钩	2011	2015	-1012	3953.52	-0.15	强脱钩

只有能源强度 EI、能源消费碳排放系数 f 和碳强度 GI 这 3 个因素的累积贡献量为负值,且累积量在 1992—2015 年期间一直保持负值,这说明它们对香港碳排放都起了抑制作用,在它们的共同作用下,香港碳排在研究期内显著下降。EI 的累积贡献最明显,达 -33 025.09 kt CO₂-e, f 和 GI 分别为 -16 392.49 kt CO₂-e 和 -3 290.83 kt CO₂-e。但它们每年的贡献量却并不总是负值。其中 EI 和 GI 与 GDP 的变化保持一致,都只在上文所提的三次经济萧条时期表现失常,增加了香港的碳排放。毋庸置疑,能源强度和碳强度与经济发展直接挂钩,因此其变化趋势也与 GDP 变化方向保持一致。香港经济高度发达,经济支柱以金融行业等服务业为主,已达到绿色经济的水平,因此正常年份 EI

和 GI 都表现良好,对香港起了显著的减排作用,尤其是 EI 的作用最为明显。但在金融风暴时经济倒退,而金融行业和服务行业的不景气对能源消费和碳排放影响不大,同时,高碳排放和高能源消耗的制造业、建筑业、运输业等行业以及商业用电和居民用电领域却不会止步不前,它们的能源消费和碳排放下降有限,导致 EI 和 GI 的数据相应恶化。当经济回暖时又有所好转,经济发展、能源强度和碳强度都恢复为良好的水平。碳排放系数 f 的变化则非如此规律,由于它同时受能源碳含量、能源结构、技术标准等多种因素共同影响,作用机制非常复杂,任何一个因素的变动都会对其产生影响,所以它每年的贡献值波动很大,并不完全与 GDP 变化率吻合。虽然它的累积效应对香港碳减排

起了积极作用,但也有 11 个年份起增排作用,且在香
港气候行动考察的 2005—2015 年时间段, f 的贡献
只有 $-2\,748.00\text{ kt CO}_2\text{-e}$ 。因此,香港能源消费碳排
放系数 f 还有进一步优化的空间。

能源结构 ES、排放结构 GS、人均 GDP($G_1 + G_2$)和
人口($P_1 + P_2$)因素的累积效应一直对香港碳排放起增
排作用,人均 GDP 和人口因素的累积贡献最大,分别为
 $32\,531.99\text{ kt CO}_2\text{-e}$ 和 $9\,722.73\text{ kt CO}_2\text{-e}$ 。这是比较正
常的现象,在许多地区的碳排放 LMDI 分解结果中这两
个因素的贡献率都最高,因为它们指示了居民对资源和
能源的需求,人口越多,对能源的消费需求相应扩大,无
法避免;人均 GDP 越高,经济活动对能源的消费需求就
更高,如更多数量和种类的生活家电和商用电器、运
输业中持续增长的高耗能的私人汽车和航空工具使用
等,且它们的增排作用最为显著,是未来的重点改进目
标。为了降低这两个因素的贡献率,绝不是简单粗暴地
以控制人口和经济发展为手段,而应进一步优化经济结
构和能源结构(尤其是发电领域),让金融业、服务业等
低碳经济行业得到更大的发展,扩大清洁能源所占比
重;同时要引导居民低碳生活,才能中和高碳行业的

碳排放,降低全香港的碳强度。2015 年 $\Delta\text{GE}_{\text{ES}}$ 累
积量为 $7\,436.85\text{ kt CO}_2\text{-e}$, $\Delta\text{GE}_{\text{GS}}$ 累积量为 $1\,865.84$
 $\text{kt CO}_2\text{-e}$,虽然它们一个由能源消费结构计算得出,
一个以非能源消费的排放得出,变化方向相反,但它
们累积贡献量都是正值,对香港碳排放都起增排作
用,证明计算方法相对合理,说明香港能源结构和排
放结构都不够理想。能源消费领域里,发电业对应的
碳排放系数 f_1 虽然有所改善,但一直高于所有行业
的能源消费的碳排放系数 f ,同时,其能源消费比例
从 38% 稳步增长至 55%,其他能源消费领域的 E_2 ,
 E_3 比例和 GE_2 , GE_3 比例都逐年下降,这必然导致发
电业的碳排放 GE_1 比例居高不下(约占总碳排放的
67%)。虽然计算公式里只用到了非能源消费领域碳
排放 GEN 的 3 类排放源数据来计算 GS,但也可以
侧面反映能源消费碳排放 GEE 的变化情况,它的变
化方向基本与能源消费碳排放所占的比例变化方向
一致,说明降低 GS 和 ES 增排作用的措施思路一致,
都应提高能源效率,通过技术变革和能源结构优化来
降低碳排放结构的消极影响,尤其是降低发电行业的
碳排放,更是未来工作的重点。

表 2 香港温室气体排放的驱动因素年贡献量

kt CO₂-e

时间	ΔGE	ΔGEE	ΔGE_f	$\Delta\text{GE}_{\text{ES}}$	$\Delta\text{GE}_{\text{EI}}$	$\Delta\text{GE}_{\text{G1}}$	$\Delta\text{GE}_{\text{P1}}$	ΔGEN	$\Delta\text{GE}_{\text{GS}}$	$\Delta\text{GE}_{\text{G1}}$	$\Delta\text{GE}_{\text{G2}}$	$\Delta\text{GE}_{\text{P2}}$
1993	380	230	-1379.32	1109.49	-4429.16	4095.67	833.32	150	128.02	-280.65	251.46	51.16
1994	-7574	-7690	-9165.58	442.53	-2569.54	2807.92	794.66	116	621.23	-763.27	201.13	56.92
1995	1033	750	774.69	594.50	-3297.12	2011.42	666.50	283	202.40	-146.08	170.26	56.42
1996	-1422	-1400	-2580.99	675.01	-2726.35	1766.98	1465.34	-22	94.82	-406.16	158.17	131.17
1997	-1533	-1730	-2501.45	1.92	-1177.34	1689.59	257.28	197	332.19	-323.54	163.46	24.89
1998	1402	1940	503.53	709.60	3956.42	-3495.16	265.62	-538	-654.56	409.63	-317.18	24.10
1999	-2143	-1760	-2050.98	-139.72	750.86	-622.58	302.41	-383	-232.06	-126.67	-47.20	22.93
2000	381	420	-975.21	68.82	-399.71	1456.03	270.08	-39	-64.25	-97.32	103.39	19.18
2001	102	70	9.47	470.76	494.91	-1184.34	279.20	32	25.31	70.28	-83.19	19.61
2002	1668	1800	1257.86	135.08	1865.23	-1752.48	294.31	-132	-235.41	199.88	-115.94	19.47
2003	3462	3120	2869.53	190.82	270.26	75.40	-286.01	342	131.02	224.66	4.89	-18.57
2004	146	-140	-267.89	674.10	-3495.33	2671.76	277.35	286	276.33	-199.56	189.56	19.68
2005	2528	2060	1670.32	336.65	-2402.13	2291.95	163.22	468	282.54	-8.97	181.50	12.93
2006	853	410	276.94	42.27	-3664.23	3508.90	246.12	443	373.89	-262.12	309.52	21.71
2007	868	900	568.04	161.41	-2783.45	2564.65	389.36	-32	-105.49	-199.77	237.24	36.02
2008	-1342	-1540	-1500.89	58.08	-768.39	493.44	177.76	198	314.79	-180.79	47.05	16.95
2009	715	880	863.86	415.87	476.19	-958.26	82.34	-165	-228.00	147.64	-92.60	7.96
2010	-1442	-1660	-2028.02	-27.59	-3546.25	3666.10	275.76	218	347.08	-516.70	360.51	27.12
2011	1779	1900	1739.96	3.95	-2946.92	2844.53	258.49	-121	-281.67	-147.50	282.50	25.67
2012	318	-20	-662.09	210.14	-922.53	927.68	426.79	338	309.19	-106.13	92.42	42.52
2013	1322	1080	1414.36	-105.25	-2527.05	2138.30	159.63	242	115.59	-116.55	226.08	16.88
2014	679	770	-178.39	252.32	-1860.31	2270.65	285.72	-91	-155.63	-204.31	238.88	30.06
2015	-3331	-3320	-3241.76	104.68	-1109.17	598.12	328.13	-11	311.98	-422.46	64.24	35.24
平均值	-50	-127	-634.09	277.63	-1426.57	1298.53	357.10	77	83.01	-150.28	114.18	30.44

表 3 香港温室气体排放的驱动因素累计贡献量

kt CO₂-e

时间	ΔGE	ΔGEE	ΔGE _f	ΔGE _{ES}	ΔGE _{EI}	ΔGE _{C1}	ΔGE _{P1}	ΔGEN	ΔGE _{GS}	ΔGE _{G1}	ΔGE _{G2}	ΔGE _{P2}
1993	380	230	-1379.32	1109.49	-4429.16	4095.67	833.32	150	128.02	-280.65	251.46	51.16
1994	-7194	-7460	-10306.66	1366.30	-6551.22	6488.63	1542.95	266	733.64	-1027.22	452.08	107.50
1995	-6161	-6710	-9690.07	2168.82	-10279.98	8792.01	2299.22	549	964.77	-1220.01	637.52	166.72
1996	-7583	-8110	-12338.33	2879.44	-13054.44	10546.02	3857.30	527	1046.53	-1581.65	777.68	284.44
1997	-9116	-9840	-14704.33	2690.69	-14017.30	12150.55	4040.39	724	1383.31	-1927.43	951.66	316.45
1998	-7714	-7900	-14806.10	3829.85	-9896.52	8503.07	4469.70	186	681.52	-1388.51	585.31	307.67
1999	-9857	-9660	-16503.93	3371.70	-8787.70	7575.53	4684.40	-197	400.30	-1391.40	490.68	303.42
2000	-9476	-9240	-17813.06	3553.05	-9311.23	9302.35	5028.90	-236	331.00	-1481.91	593.86	321.05
2001	-9374	-9170	-17985.24	4256.32	-8759.14	7964.46	5353.59	-204	363.69	-1428.38	514.71	345.98
2002	-7706	-7370	-17273.70	4761.65	-6870.97	6183.42	5829.60	-336	108.59	-1182.26	379.70	357.97
2003	-4244	-4250	-14965.12	5274.79	-6883.36	6546.16	5777.52	6	257.93	-1031.83	414.27	365.63
2004	-4098	-4390	-15138.00	5894.69	-10556.83	9351.54	6058.60	292	548.89	-1290.75	627.39	406.47
2005	-1570	-2330	-13939.95	6566.29	-13386.57	12031.52	6398.71	760	863.64	-1410.87	853.38	453.85
2006	-717	-1920	-13663.64	6576.34	-17233.98	15711.10	6690.17	1203	1252.97	-1734.51	1181.45	503.09
2007	151	-1020	-13296.74	6876.42	-20274.97	18511.14	7164.16	1171	1160.64	-1888.58	1369.08	529.86
2008	-1191	-2560	-14410.59	6651.39	-20665.87	18657.59	7207.48	1369	1453.97	-2080.66	1439.58	556.11
2009	-476	-1680	-13831.70	7307.65	-20401.46	17874.14	7371.38	1204	1236.97	-1919.76	1335.87	550.92
2010	-1918	-3340	-15456.37	6970.50	-23590.11	21238.06	7497.92	1422	1561.16	-2397.50	1669.08	589.25
2011	-139	-1440	-14309.25	7435.95	-27231.77	24716.01	7949.05	1301	1310.74	-2482.59	1871.08	601.77
2012	179	-1460	-14861.73	7527.40	-28179.53	25668.07	8385.78	1639	1625.95	-2677.86	2028.27	662.64
2013	1501	-380	-13667.94	7566.21	-31133.30	28192.37	8662.66	1881	1769.63	-2857.24	2270.85	697.76
2014	2180	390	-14082.86	8001.42	-33281.22	30724.76	9027.90	1790	1631.22	-2979.95	2425.92	712.81
2015	-1151	-2930	-16392.49	7436.85	-33025.09	30065.23	8985.50	1779	1865.84	-3290.83	2466.75	737.23

3 结论与建议

利用脱钩模型和 LMDI 因素分解模型分析了 1992—2015 年香港温室气体排放变化特征、结构特征和主要影响因素,得到以下主要结论:(1) 1992—2015 年香港温室气体排放峰值为 2014 年的 44 951 kt CO₂-e,能源消费峰值为 2014 年的 289 338 TJ,均已初步实现达峰;人均碳排放从 7.39 t 降低至 5.71 t (2030 年目标是 3.3~3.8 t);碳强度比 2005 年降低了 40.82%,已基本实现 2030 年目标,且低于 OECD 国家水平。(2) 香港碳排放与经济发展为非常理想的强脱钩状态。(3) 研究期内,能源消费碳排放对香港碳排放总量起的是减排作用(-2 930 kt CO₂-e),非能源消费碳排放起的是增排作用(1 779 kt CO₂-e),且减排作用大大超过增排作用,使得 2015 年香港碳排放比 1992 年降低了 1 151 kt CO₂-e。(4) 能源强度、能源消费碳排放系数和碳强度这 3 个驱动

因素的累积影响对香港起了积极的减排作用(分别为 -33 025.09, -16 392.49 和 -3 290.83 kt CO₂-e),能源强度因素贡献最大,能源强度和碳强度因素的变化与经济发展变化直接挂钩,能源消费碳排放系数年变化率更复杂,波动更剧烈。(5) 人均 GDP、人口、能源结构和碳排放结构因素的累积影响对香港一直起增排作用(分别为 32 531.99, 9 722.73, 7 436.85 和 1 865.84 kt CO₂-e),人均 GDP 和人口因素的累积贡献最大,能源结构和碳排放结构因素起增排作用的重要原因高耗能的发电行业能源消费比例和碳排放比例居高不下。根据上述计算和分析,对香港未来的气候行动提出以下建议:

(1) 优化能源结构。减少一次能源使用,提高清洁能源的比例,如减少油品、煤气等一次能源的消费,大力鼓励发展和使用天然气、光伏发电、风电、核电、生物质能源、废弃物焚烧等相对清洁的能源,在最大程度上挖掘清洁能源的减排潜力。

(2) 重点关注发电领域的减排。从供应角度看,一方面,优化本地电厂能源结构,减少一次能源使用,提高清洁能源比例,推进发电行业的技术和能源革命;另一方面,由于香港约 25% 的电力从大陆进口,这一部分的碳排放由内地发电水平决定,因此香港还应与大陆电力公司取得合作,共享低碳发电的技术方法和管理措施,共同为实现清洁发电努力。

(3) 倡导低碳商业和低碳生活。2015 年,香港商业和住宅分别消费了电力的 60.66% 和 30.04%,煤气的 41.60% 和 52.60%,远远大于工业和运输领域消费量,说明商业和生活是能源的主要消费主体,政府应通过进一步提高低碳建筑标准、推行商业阶梯用电价格、鼓励天然气等清洁能源代替煤气等一次能源、在校园内开展绿色节能教育、宣传倡导低碳生活理念等行政手段、经济手段和宣传手段,减少全香港的商业和生活能源消费量,进而减少全香港的碳排放量。

总体来说,香港碳排放和能源消费已初步达峰,且表现出与经济发展十分理想的强脱钩关系,超前于刚刚实现弱脱钩状态的中国内地。中国内地应通过分析香港“初达峰时代”和“后脱钩时代”的核心矛盾,思考解决措施,借鉴香港气候行动的有益经验,结合内地实际情况,早日实现全国 2030 年减排承诺。

参考文献:

- [1] 马丁,陈文颖. 中国 2030 年碳排放峰值水平及达峰路径研究[J]. 中国人口·资源与环境,2016(S):1-4.
- [2] 香港特别行政区环境局. 香港气候行动蓝图 2030 + [EB/OL]. <https://www.climate-ready.gov.hk/>.
- [3] Kaya Y. Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth: interpretation of proposed scenarios[R]. Intergovernmental Panel on Climate Change/Response Strategies Working Group, 1989.
- [4] Zhao Y, Kuang Y, Huang N. Decomposition Analysis in Decoupling Transport Output from Carbon Emissions in Guangdong Province, China[J]. Energies, 2016, 9

(4):1-23.

- [5] 钟太洋,黄贤金,韩立,等. 资源环境领域脱钩分析研究进展[J]. 自然资源学报,2010,25(8):1400-1412.
- [6] Tapio P. Towards a theory of decoupling: Degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001 [J]. Transport Policy, 2005,12(2):137-151.
- [7] Ang B W. The LMDI approach to decomposition analysis: A practical guide [J]. Energy Policy, 2005,33(7): 867-871.
- [8] Liu L C, Fan Y, Wu G, et al. Using LMDI method to analyze the change of China's industrial CO₂ emissions from final fuel use: An empirical analysis [J]. Energy Policy, 2007,35(11):5892-5900.
- [9] Papagiannaki K, Diakoulaki D. Decomposition analysis of CO₂ emissions from passenger cars: The cases of Greece and Denmark [J]. Energy Policy, 2009,37(8): 3259-3267.
- [10] 香港特别行政区环境局. 香港气候变化报告 2015 [EB/OL]. 2015 [2018/3/14]. <https://www.climate-ready.gov.hk/>.
- [11] 香港特别行政区环境局. 香港的温室气体排放量 [EB/OL]. 2016 [2018/3/14]. <https://www.climate-ready.gov.hk/page.php?id=23>.
- [12] 香港特别行政区机电工程署. 香港能源最终用途数据 [EB/OL]. 2017 [2018/3/14]. https://www.emsd.gov.hk/sc/energy_efficiency/energy_end_use_data_and_consumption_indicators/hong_kong_energy_end_use_data/data/index.html.
- [13] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- [14] 香港特别行政区政府统计处. 香港统计年刊 [EB/OL]. 2017 [2018/3/14]. http://www.censtatd.gov.hk/hkstat/sub/sp140_tc.jsp?productCode=B1010003.
- [15] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.