



# 控温：从“软约束”到“硬约束”

## ——基于浙江省温室气体清单的总量控制制度初探

STUDY ON IMPLEMENTING A GREENHOUSE GAS EMISSIONS CAP IN ZHEJIANG PROVINCE BASED ON GREENHOUSE GAS INVENTORIES

蔡和 黄炜 魏丹青 王诚 蒋小谦 房伟权 著

### 执行摘要

中国在《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》(以下简称“十三五”规划纲要)中已明确提出了“碳排放总量得到有效控制”，“支持优化开发区域率先实现碳排放达到峰值”。从“软性约束”的强度控制向“硬性约束”的总量控制过渡是控制温室气体排放的必然趋势，如何进行合理的总量目标制定和区域分解是总量控制制度的核心问题。

浙江省是东部沿海地区经济大省，具备扎实的温室气体清单数据基础，是全国第一个全面推行省—市—县三级温室气体清单编制常态化的省级行政区，也已经将碳强度下降目标分解到了各个地市并实施了试评价考核。本研究基于浙江省温室气体清单，建立包括能源活动、工业生产过程、农业活动、土地利用变化和林业、废弃物处理等各领域的全社会温室气体排放总量预测和分析模型，提出温室气体排放总量目标制定方法。此外，兼顾公平和效率原则，建立综合分解指标体系，探索采用责任—能力双视角下的分解模型将温室气体排放总量合理分解到城市层级。同时，以浙江省为例进行实证分析，模拟了全省11个设区市不同领域的温室气体排放空间分配结果，为将来实际进行目标区域分解提供了重要参考。

基于上述研究，针对浙江省提出如下建议：

- 率先探索温室气体排放总量控制制度，同时考虑总量目标和强度目标，为温室气体总量控制制度实施完善相关配套支撑；
- 温室气体总量目标制定和分解时考虑全行业五大领域的温室气体排放；

### 目录

执行摘要 .....	1
Executive Summary .....	2
背景 .....	2
浙江省温室气体排放总量目标制定方法 .....	3
浙江省温室气体排放总量区域分解方法 .....	6
实证分析 .....	12
附录：温室气体排放总量制定和分解方法研究综述 .....	17
参考文献 .....	22
注释 .....	22

“工作论文”包括初步的研究、分析、结果和意见。“工作论文”用于促进讨论，征求反馈，对新事物的争论施加影响。工作论文最终可能以其他形式进行发表，内容可能会修改。

**引用建议：**蔡和、黄炜、魏丹青、王诚、蒋小谦、房伟权著. 控温：从“软约束”到“硬约束”——基于浙江省温室气体清单的总量控制制度初探. 2017. 工作报告，北京：世界资源研究所. [http://www.wri.org.cn/Zhejiang\\_Cap\\_Study\\_CN](http://www.wri.org.cn/Zhejiang_Cap_Study_CN).

- 分阶段调整总量目标分配模式，在“十三五”期间，建议实施“增量分配”方案；
- 选择有条件的设区市，探索推进温室气体排放总量和强度“双控”试点。

## EXECUTIVE SUMMARY

China's 13th Five Year Plan has clearly established the goals of effectively controlling total carbon emissions, and supporting early peaking of emissions from the developed zones. It is highly likely that carbon emission management will move from intensity controls to cap controls. The key questions are how to set a target cap and establish a reasonable allocation model for cities.

Zhejiang is a developed province in the eastern coastal area of China. Its GDP in 2016 was RMB 4,648.5 billion, ranking fourth in the nation. Zhejiang was the first province to institutionalize greenhouse gas (GHG) emissions inventories at province, city, and county level and therefore has a solid foundation for GHG emissions data. It also has implemented an emissions intensity goal, and established an allocation and performance appraisal mechanism for cities. Based on the GHG emissions inventories, this paper establishes a comprehensive model to set a volume-based GHG cap goal for the province that covers all emissions from the energy, industrial processes, agriculture, forestry, and waste sectors. This paper also establishes an allocation methodology for cities that takes into account both equity and efficiency. It develops an indicator system to measure the responsibility and capability of cities. Finally, this paper simulates a plan for Zhejiang's 11 cities, and provides an important reference for future policymaking and implementation.

Based on the analysis, this paper proposes four actions for Zhejiang province:

- Regulate both the intensity and the volume of emissions at province and city level to champion the idea of implementing the carbon cap, and provide institutional support.
- Consider all sectors and all GHGs rather than only carbon dioxide emissions from the energy sector.
- Phase in the emission allocations, by allocating the “incremental emissions” in the 13<sup>th</sup> five-year period, “incremental plus historic emissions” in the medium term, and the whole cap in the long term.
- Pilot the use of the intensity and cap controls in cities that are sufficiently prepared for implementation.

## 背景

### 1.1 研究意义

所谓温室气体排放的总量控制，是指依据有关法律和规定，设定一个国家、地区或行业某一时段的温室气体排放总量目标，将所有排放源实际的温室气体排放总量控制在设定的目标之内。《京都议定书》明确了针对七种温室气体进行削减，包括二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、甲烷（CH<sub>4</sub>）、氧化亚氮（N<sub>2</sub>O）、氢氟碳化物（HFCs）、全氟碳化物（PFCs）、六氟化硫（SF<sub>6</sub>）和三氟化氮（NF<sub>3</sub>），其中二氧化碳对全球升温的贡献百分比最大。国际能源署（IEA）的数据表明，从1971年到2014年的40余年时间，世界范围内二氧化碳排放总量增长了两倍多，其中我国的排放增长幅度最为显著，已经成为全球最大的二氧化碳排放国家，2014年我国能源消费产生的二氧化碳排放总量约为91.35亿吨，占世界排放总量的28.2%<sup>1</sup>。目前国际社会均在关注中国的温室气体控排政策与行动，控制温室气体排放总量是中国积极应对全球气候变化的重要任务，也是实现低碳发展的迫切需求。

中国在“十三五”规划纲要中已明确提出了“碳排放总量得到有效控制”，“支持优化开发区域率先实现碳排放达到峰值”。在经济保持中高速增长的前提下，建立温室气体排放总量控制制度，于2030年左右使二氧化碳排放达到峰值，实现2030年单位国内生产总值（GDP）二氧化碳排放比2005年下降60%~65%，对于中国加快转变经济发展方式、促进经济社会可持续发展、推进新的产业革命具有重要意义。

浙江省作为东部沿海地区经济大省，能源利用效率位于全国前列，2015年单位GDP能耗为0.48吨标准煤/万元（按2010年价格计算）<sup>2</sup>。经核算，2015年全省单位GDP碳排放年度下降率为6.08%，比2010年下降24.68%，超额完成“十二五”全省碳强度下降目标。浙江省通过控制温室气体排放来积极应对气候变化，既是国家对应气候变化工作的要求，也是浙江省推进经济转型、优化产业结构、全面提升产业竞争力、推进供给侧结构性改革的重大机遇。因此，准确核算浙江省温室气体排放总量，分析重点地区、重点领域、重点行业的温室气体排放情况，制定并分解落实浙江省重点地区及重点行业温室气体排放总量控制目标，研究制定合理有效的温室气体总量下降指标分解方案，对于确保完成国家下达的碳强度乃至碳总量指标要求，真正将控制温室气体排放实施方案确定的各项任务落到实处具有重大意义，也是为全国及全球实现控温目标进行的有益探索。

### 1.2 研究背景

2006年9月国务院印发了《“十一五”期间各地区单位生产总能耗降低指标计划》（国函〔2006〕94号），综合考虑各地经济发展水平和产业结构的差异，对各地“十一五”能耗强度下降指标进行了分解。2011年8月国务院印发了《“十二五”节能减排综

合性工作方案》(国发〔2011〕26号)，该分解方案采用了先对地区分类、再分解指标的思路，建立反映不同地区特点的综合评价指标体系并打分，采用统计聚类分析方法将全国31个地区分为五类，再确定不同地区类别的能耗强度下降指标，从而将全国的指标分解到各地区。2010年10月，十七届五中全会提出“合理控制能源消费总量”决定。其后，国内能源研究机构开始进行专题研究。

在能源双控的基础上，中国在“十二五”期间开始探索温室气体排放控制，正式将二氧化碳减排作为约束性指标纳入经济社会发展中长期规划，2011年12月国务院印发了《“十二五”控制温室气体排放工作方案》(国发〔2011〕41号)，在《“十二五”节能减排综合性工作方案》的基础上，在各地能耗强度下降指标的基础上加上一个调整量，得到各地区的碳强度下降指标，从而明确规定了各地到2015年单位地区生产总值二氧化碳排放下降指标，并提出要加强对“十二五”碳强度下降指标完成情况的评估和考核。

我国目前实行的省级碳强度考核实质是一种相对量控制方法，是温室气体排放总量控制的一种“软性约束”，碳强度指标下降并不一定会使温室气体排放总量降低，当经济增长快于温室气体排放总量增长时，即使碳强度是降低的，温室气体排放总量仍然是上升的，碳强度指标下降并不能从根本上减少温室气体排放，仅仅是在保持经济增长速度下的一种折中方案。而温室气体总量控制方法的出发点是有效控制总量过快增长，尤其是在经济高速增长的背景下，设定了温室气体排放限值，目标是真正实现温室气体排放总量的减少。碳强度目标控制是向总量目标控制的过渡阶段，给予经济充分调整的时间，从强度控制的“软约束”到总量控制的“硬约束”将是必然趋势。国家应鼓励和支持低碳发展先进地区率先实施温室气体排放总量控制制度，探索尽快实现温室气体排放峰值的路径及机制。

### 1.3 工作基础

浙江省具备扎实的温室气体清单数据基础。浙江省应对气候变化工作起步较早，且基础扎实，目前是全国第一个全面推行省—市—县三级温室气体清单编制常态化的省级行政区，截至2015年底，已编制完成省级2005—2014年度温室气体清单、11个设区市和50%以上县(市、区)2010—2014年度温室气体清单。

浙江省具备碳强度指标分解考核工作基础。2013年11月，浙江省人民政府办公厅印发《浙江省控制温室气体排放实施方案》(浙政办发〔2013〕144号)，要求完成国家下达的2015年全省单位生产总值二氧化碳排放比2010年下降19%的目标，同时借鉴《“十二五”控制温室气体排放工作方案》的分解思路，将19%的下降指标分解落实到11个设区市。2014年12月，为贯彻国家发展和改革委员会《单位国内生产总值二氧化碳排放强度降低目标责任考核评估办法》(发改气候〔2014〕1828号)关于对所辖地市进行碳强度目标分解和考核的要求，加快推进省委省政府关于建立地市碳排放强度下降目标责任考核的生态文明体制改革重点

任务，浙江省发展和改革委员会组织省级有关部门和相关领域专家，对11个设区市进行2013年度单位生产总值二氧化碳降低目标试评价考核。其中“单位生产总值二氧化碳排放年度降低目标”和“‘十二五’单位生产总值二氧化碳排放累计进度目标”这两个指标占50分，其余10个指标共占50分，主要考核任务与措施、基础工作与能力建设等内容。各设区市根据2010—2013年度温室气体清单编制过程中收集的能源品种化石燃料消费量数据，以及电力调入调出排放数据填报数据核查表，完成考核指标的核算。因此，浙江省开展基于温室气体清单的总量控制制度相关研究和探索具有先行优势。

## 浙江省温室气体排放总量目标制定方法

目前，国外温室气体总量目标研究一般是全经济范畴，包括所有领域的温室气体排放，而国内主要集中在能源消费领域的二氧化碳排放总量预测核算。本研究基于浙江省的温室气体排放清单相关研究工作，核算范围包含全社会的主要排放源与排放活动，即能源活动、工业生产过程、农业活动、土地利用变化和林业、废弃物处理。

根据浙江省温室气体清单，能源生产和消费活动确实是温室气体重要排放源，其排放量约占全省排放总量的75%，但仍有约25%的排放量来自于其他领域。首先，工业生产过程的温室气体排放量占总量的较大份额，不可忽视。浙江省工业总产值较高，位列全国第五名，行业分类较多。近年来，水泥、钢铁、化工等行业的工业生产过程温室气体排放量约占排放总量的15%~20%，同样是控制温室气体排放的重点领域。其次，随着城市化进程加快，城镇常住人口增多，城市生活垃圾等固体废弃物以及生活污水排放量随之增大，废弃物处理过程中的温室气体排放量在10年来增长了约60%，需要考虑在内。最后，由于森林的碳吸收功能，且是唯一的碳汇，对林业碳汇进行总量目标的设定，引导和鼓励全省和各设区市增加森林碳汇，对控制温室气体排放具有重要意义。

考虑到经济发展水平、工业化水平、城镇化水平、能源消费水平等因素对温室气体排放总量的影响，本研究选择Kaya恒等式作为基础模型来进行因素分解模型的构建，从时间序列上对浙江省温室气体排放量变化的影响因素进行分解分析，分别预测能源活动、工业生产过程、农业活动、土地利用变化和林业(碳汇)、废弃物处理等五大领域温室气体排放量，最后加总预测温室气体排放总量。

根据浙江省“五年”规划中的经济发展目标，“煤炭消费减量替代目标”等能源相关计划和政策中规定的各种环境能源约束目标，以及逐步强化的大气污染防治目标，浙江省实际已经形成了一个“隐形的”温室气体总量约束，例如到2020年，全省能源

消费总量控制在2.2亿吨标准煤以内，煤炭占一次能源消费比重降至42.8%，天然气和非化石能源消费比重分别达到10%和20%<sup>3</sup>。为制定温室气体排放总量目标，可设定不同的发展情景，不同的情景下对经济发展水平、工业化水平、城镇化水平、能源消费水平等因素进行设置，从而获得不同情景下的温室气体排放总量目标，做好和能源消费总量控制、能耗强度、可再生能源占比、碳强度目标等已有政策的衔接。不同情景预测会有一些前提条件和不确定性，需要我们行动得力和成本适当，制定相对应的配套政策措施，保障总量目标的实现。

## 2.1 分领域计算模型<sup>4</sup>

### 2.1.1 能源活动领域

能源活动是温室气体排放最主要的排放源，包括化石燃料燃烧活动产生的二氧化碳、甲烷和氧化亚氮排放，生物质燃料燃烧活动产生的甲烷和氧化亚氮排放，煤矿和矿后活动产生的甲烷逃逸排放，以及石油和天然气系统产生的甲烷逃逸排放。由于浙江省化石燃料燃烧活动产生的二氧化碳排在能源活动中的占比已达到99.8%，此处主要考量的是化石燃料燃烧活动的二氧化碳排放。

Kaya模型表达式：

$$CO_2 = \frac{CO_2}{PE} \cdot \frac{PE}{GDP} \cdot \frac{GDP}{POP} \cdot POP$$

其中，CO<sub>2</sub>（记为“C”）表示二氧化碳排放量；PE表示一次能源消费总量；GDP表示国内生产总值；POP表示省内人口总量（记为“P”）； $\frac{GDP}{POP}$ （记为“GP”）即人均GDP； $\frac{EP}{GDP}$ （记为“PG”）表示能源强度，即生产单位GDP所需的能源消费，主要与技术及能源效率有关； $\frac{CO_2}{EP}$ （记为“CP”）表示能源综合碳排放系数，即单位能源消耗所产生的二氧化碳排放，主要与能源结构有关。

采用因素分析法，即研究主体目标受到若干因素影响时，在同一假设条件下，依次对每个因素单独变化产生的结果予以确定。对于Kaya模型，碳排放总量的变化可以分解为人均GDP、能源强度、人口数量，以及能源的综合碳排放系数等4个因素引起的增量变化之和，即：

$$\Delta C = C_t - C_o = \Delta CP + \Delta PG + \Delta GP + \Delta P$$

其中：

$$\Delta CP = (CP_t - CP_o) \cdot PG_o \cdot GP_o \cdot P_o$$

$$\Delta PG = CP_t \cdot (PG_t - PG_o) \cdot GP_o \cdot P_o$$

$$\Delta GP = CP_t \cdot PG_t \cdot (GP_t - GP_o) \cdot P_o$$

$$\Delta P = CP_t \cdot PG_t \cdot GP_t \cdot (P_t - P_o)$$

式中，下标o表示基准年；下标t表示预测年份。

### 2.1.2 工业生产领域

工业生产领域温室气体排放是指工业生产活动中能源活动以外的其他化学反应过程或物理变化过程的温室气体排放，主要包括水泥、石灰生产过程，化学工业生产过程，钢铁、有色金属生产过程，以及电力设备、半导体生产过程等。将分行业的单位工业增加值温室气体排放量作为影响该行业温室气体排放总量的主要因素，基于Kaya模型可以得到：

$$E_3 = \sum_i M_{industry_{t,i}} \times \beta_{t,i} = \sum_i M_{industry_{o,i}} \times (1 + r_{2,i})^t \times \beta_{o,i} \times (1 - \alpha_{2,i})$$

其中，E<sub>3</sub>表示工业生产过程中的温室气体排放量；下标i表示工业中的不同行业；M<sub>industry<sub>t,i</sub></sub>、M<sub>industry<sub>o,i</sub></sub>分别表示第i个工业行业的t年和基准年的工业增加值；β<sub>t,i</sub>、β<sub>o,i</sub>分别表示t年和基准年的单位工业增加值工业生产温室气体排放量（tCO<sub>2</sub>/万元）；r<sub>2</sub>表示工业增加值年增长速度；α<sub>2</sub>表示排放强度控制目标。

### 2.1.3 农业活动领域

农业是中国的第一大基础性产业。农业温室气体排放包括四个部分，一是动物肠道发酵甲烷排放，二是动物粪便管理甲烷和氧化亚氮排放，三是稻田甲烷排放，四是农用地氧化亚氮排放。

将单位农林牧渔业增加值温室气体排放量作为影响排放总量的主要因素，基于Kaya模型可以得到：

$$E_3 = M_{agriculture_t} \times \gamma_t = M_{agriculture_o} \times (1 + r_3)^t \times \gamma_o \times (1 - \alpha_3)$$

其中，E<sub>3</sub>表示农业活动过程中的温室气体排放量；M<sub>agriculture<sub>t</sub></sub>、M<sub>agriculture<sub>o</sub></sub>分别表示t年和基准年的农林牧渔业增加值（万元）；γ<sub>t</sub>、γ<sub>o</sub>分别表示t年和基准年的单位农林牧渔业增加值温室气体排放量（tCO<sub>2</sub>/万元）；r<sub>3</sub>表示农业年增长速度；α<sub>3</sub>表示排放强度控制目标。

### 2.1.4 土地利用变化和林业领域

森林系统是全球最主要的碳汇，其每年吸收大量二氧化碳等温室气体，担负着维持地球大气圈气体平衡的重要责任。考虑到森林的碳汇功能，将单位森林面积的温室气体排放量作为影响排放总量的主要因素（负值即表示温室气体净吸收），基于Kaya模型可以得到：

$$E_4 = M_{forest_t} \times \rho = M_{forest_o} \times (1 + r_4)^t \times \rho$$

其中，E<sub>4</sub>表示土地利用变化和林业的温室气体吸收量；M<sub>forest<sub>t</sub></sub>、M<sub>forest<sub>o</sub></sub>分别表示t年和基准年的全省森林面积（公顷），ρ表示单位森林面积的温室气体排放量（tCO<sub>2</sub>/公顷），为常数；r<sub>4</sub>表示全省森林面积的年增长速度。

### 2.1.5 废弃物处理领域

城市固体废弃物和生活污水及工业废水处理，可以排放甲

烷、二氧化碳和氧化亚氮气体，是温室气体的重要来源。废弃物处理温室气体排放清单包括城市固体废弃物（主要是指城市生活垃圾<sup>5</sup>）填埋处理产生的甲烷排放量，生活污水和工业废水处理产生的甲烷和氧化亚氮排放量，以及固体废弃物焚烧处理产生的二氧化碳排放量。

将人均（废弃物处理）温室气体排放量作为影响废弃物处理过程排放总量的主要因素，基于Kaya模型可以得到：

$$E_5 = POP_t \times \mu_t = POP_t \times (1 + r_5)^t \times \mu_0 \times (1 - \alpha_5)$$

其中， $E_5$ 表示废弃物处理过程的温室气体排放量； $POP_t$ 、 $POP_0$ 分别表示 $t$ 年和基准年的全省城镇常住人口总数； $\mu_t$ 、 $\mu_0$ 分别表示 $t$ 年和基准年的人均（废弃物处理）温室气体排放量（ $tCO_2$ /人年）； $r_5$ 表示城镇常住人口数的年增长速度； $\alpha_5$ 表示排放强度控制目标。需要注意的是，本部分计算涉及的人口数量指的是城镇常住人口。

## 2.2 数据来源说明

### 1. 基准年的温室气体排放量

计算依据为《省级温室气体清单编制指南（试行）》和《浙江省市县温室气体清单编制指南（修订版）》，主要包括能源活动、工业生产过程、农业活动、土地利用变化和林业，以及废弃物处理等五个领域的温室气体排放，通过排放源界定、估算方法确定、活动水平数据收集、排放因子确定等，最终核算温室气体排放总量。

### 2. 国内生产总值（GDP）

全省和地方各市的GDP数据可根据《浙江统计年鉴》确定。

### 3. 人口数量（POP）

全省和地方各市的人口数量可根据《浙江统计年鉴》确定。

### 4. 一次能源消费总量（PE）

全省的一次能源消费总量数据可根据《浙江统计年鉴》和浙江省能源平衡表确定。

5. 能源综合碳排放系数（ $\frac{CO_2}{PE}$ ，记为CP），即单位能源消耗所生产的二氧化碳排放

能源综合碳排放系数主要与能源结构有关。根据煤炭、石油、天然气及可再生能源在一次能源消费中的占比，分别乘以它们的排放因子。排放因子采用浙江省特征值，根据基准年能源活动温室气体清单中，各化石燃料品种折标量和二氧化碳排放量推算煤、油、气综合排放因子。由于温室气体清单中分部门、分品种、分设备的化石燃料热值含碳量、碳氧化率等排放因子不同，根据温室气体清单推算出的浙江省地方特征值与国家平均值<sup>6</sup>将有较显著的差异。

### 6. 能源综合碳排放系数（CP）变化引起的增量

$$\Delta CP = (CP_t - CP_0) \cdot PG_0 \cdot GP_0 \cdot P_0$$

其中， $CP_t$ 可以通过浙江省能源规划中对于煤炭、石油、天然气及可再生能源在一次能源消费中的占比变化及排放因子进行计算，其余数据为基准年数据，可以根据《浙江统计年鉴》确定。

### 7. 能源强度变化引起的增量

$$\Delta PG = CP_t \cdot (PG_t - PG_0) \cdot GP_0 \cdot P_0$$

其中， $PG_t$ 可以根据浙江省能源规划及相关要求确定能源强度下降值，主要与产业结构、能源技术与能源效率有关。

### 8. 人均GDP变化引起的增量

$$\Delta GP = CP_t \cdot PG_t \cdot (GP_t - GP_0) \cdot P_0$$

其中， $GP_t$ 可以根据浙江省相关发展规划及相关要求确定人均GDP（不变价）的预期发展，这主要与经济发展有关。

### 9. 人口数量POP变化引起的增量

$$\Delta P = CP_t \cdot PG_t \cdot GP_t \cdot (P_t - P_0)$$

其中， $P_t$ 可以根据浙江省相关发展规划及相关要求确定人口总数POP的预期变化。

### 10. 基准年的工业行业增加值 $M_{industry_0}$ （万元）

可以由浙江省统计局提供；行业增加值年增长速度 $r_2$ 可以根据浙江省相关发展规划及相关要求确定；基准年的单位工业增加值工业生产过程温室气体排放量 $\beta_0$ 可以根据基准年的温室气体清单相关数据计算获得；排放强度控制目标 $\alpha_2$ 可以根据工业发展规划及温室气体控制目标进行合理假定。

### 11. 基准年的农林牧渔业增加值 $M_{agriculture_0}$ （万元）

可以根据《浙江统计年鉴》确定；农业增加值年增长速度 $r_3$ 可以根据浙江省相关发展规划及相关要求确定；基准年的单位农林牧渔增加值温室气体排放量 $\gamma_0$ 可以根据基准年的温室气体清单相关数据计算获得；排放总量控制目标 $\alpha_3$ 可以根据农业发展规划及温室气体控制目标进行合理假定。

### 12. 基准年的全省森林面积（公顷）

可以根据《浙江统计年鉴》确定；森林面积年增长速度 $r_4$ 可以根据浙江省相关发展规划及相关要求确定；单位森林面积的温室气体排放量 $\rho$ 是一常数，可以根据温室气体清单相关数据计算获得。

### 13. 基准年的全省城镇常住人口总数POP。

可以根据《浙江统计年鉴》确定；城镇常住人口数的年增长

速度 $r_5$ 可以根据浙江省相关发展规划及相关要求确定；基准年的人均（废弃物处理）温室气体排放量 $\mu_0$ 可以根据基准年的温室气体清单相关数据计算获得；排放总量控制目标 $\alpha_4$ 可以根据城镇发展规划及废弃物处理温室气体控制目标进行合理假定。

## 浙江省温室气体排放总量区域分解方法

浙江省拥有杭州、宁波、温州、嘉兴、金华、衢州六个国家低碳试点城市，是国家低碳城市试点最多的省级行政区之一，在低碳经济、低碳交通、低碳建筑、低碳能源、低碳金融等环节也各有亮点，各项条件相对成熟，可在“十三五”期间率先探索实施温室气体排放强度控制和总量控制的“双控”制度，将温室气体排放总量目标分解落实到各设区市。

本研究拟将温室气体排放总量控制目标作为“十三五”约束性指标，并结合地区和行业发展特点进行分解，实施总量和强度目标“双控”。根据“十二五”碳强度目标分配实施的经验和国家经济转型战略，研究先确定主要行业、部门温室气体排放总量控制目标，再根据地区产业结构特点和发展阶段，确定行政区划内温室气体排放总量控制目标。由于温室气体排放量下降主要

与发展阶段相关，因此在考虑下降的潜力和分解时不应“鞭打快牛”，即对先进地区设置更严格的目标。总量目标分解除考虑发展阶段，更要考虑主体功能区的特点。针对生态脆弱和发展落后的地区，控温目标应重点控制增量，并与碳汇等目标一并考虑，同时还应建立基于碳收支的生态补偿机制和绿色低碳转型资金机制。

### 3.1 分解思路

温室气体排放总量区域分解是指在预测浙江省全省温室气体排放总量控制目标的基础上，按照公平、效率的原则，将全省的排放总量目标分解到11个设区市的过程，即不同设区市承担不同的温室气体排放量分目标，各设区市分目标之和等于全省的温室气体排放总量控制目标，如图3.1所示。首先，研究运用层次分析模型<sup>7</sup>，以实现公平和效率原则要求为目标，全面考虑与温室气体排放总量控制目标分解相关的所有因素，包括减排责任、减排能力等，研究确立指标分解体系，并对指标赋予相应的权重系数。其次，在此基础上将温室气体排放总量控制目标按照指标体系中的各个指标及相应权重系数进行分解。每一个指标对应一个温室气体排放总量子目标，子目标的大小由其权重系数和温室气体排放总量控制目标共同决定，并且所有子目标的总和与温室气体排放总量控制目标一致。第三，将每个子目标按照一定的方法分解

图 3.1 | 温室气体排放总量控制目标分解模型示意图

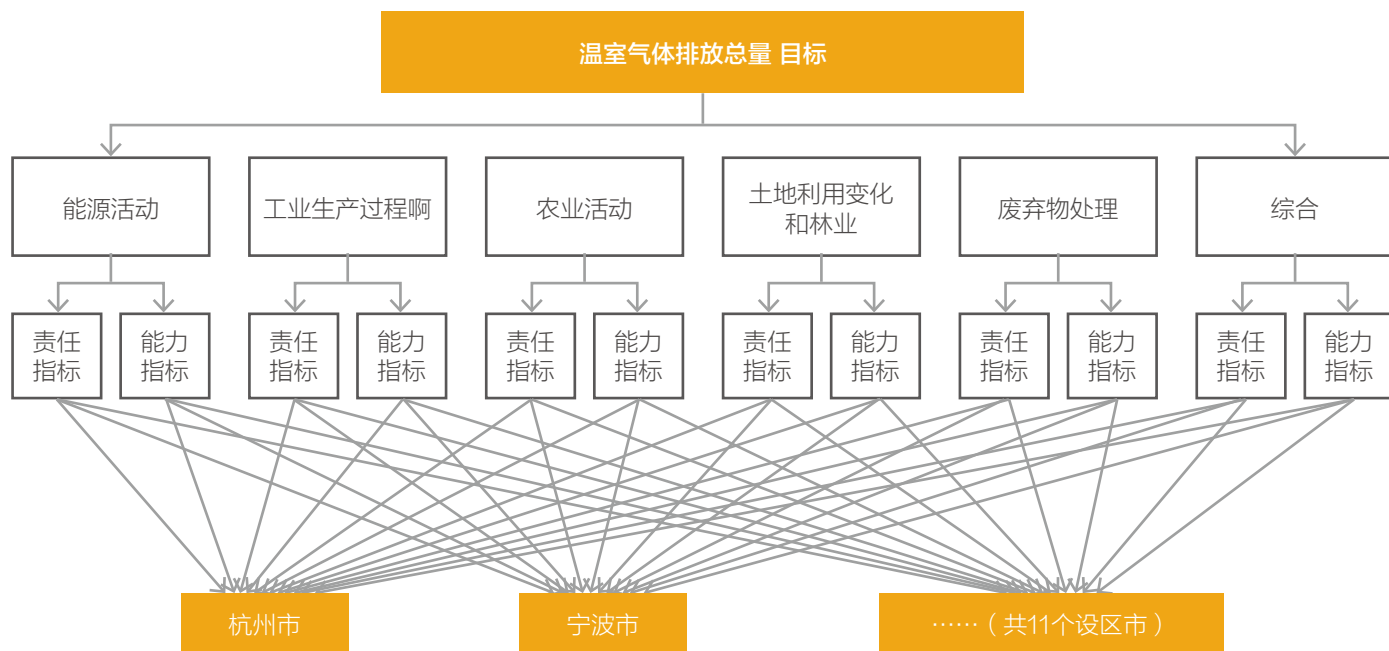


表 3.1 | 浙江省总量目标分解的三种形式

分解形式	分解对象	优点	缺点	试用阶段
增量分配模式	温室气体排放增量空间	注重效率，数据易获取，阻力较小，更易被接受	增量值如果较小，也难以带动总量调整，即控制力弱化	近期
增量+部分存量分配模式	温室气体排放增量空间和部分历史存量	兼顾公平和效率，阻力较小	控制力稍弱	中长期
总量分配模式	温室气体排放总量	注重公平，控制力强	可能会造成分配结果与实际排放空间出入较大，短期内推行难度较大	远期

到浙江全省11个设区市，分解方法需要考虑各市的人口数量和发展差异，保证其公平合理性。最后，将每个设区市的所有指标对应的温室气体排放量加总，即可得到各设区市分解的温室气体排放量控制目标。

### 3.2 分解对象

总量控制分解目标主要有以下三种形式（见表3.1）：一是“增量分配”模式。这种方案以近年来较为准确的增量数据为基础，且面临的政治阻力相对较小，更易被接受。但缺点是增量值如果较小，会难以带动总量调整，即控制力弱化。二是“增量+部分存量”分配模式，即选择某年的全省实际温室气体排放量（即存量）的一部分与全省温室气体排放增量控制目标进行分解，则各地方温室气体排放总量控制目标将等于“各地调整后的存量+增量分解值”。这种方案同时兼顾了总量分配与增量分配的优点，相对公平合理，且借鉴“增量拉动存量”调整的改革思路。三是“总量分配”模式。这种方案相对公平合理，但是由于各地区的数据准备不足，可能会造成分配结果与实际排放空间出入较大，短期内推行难度较大。

### 3.3 指标体系

指标体系基于“公平”和“效率”原则选择确定。“公平”原则包括人际公平和发展阶段公平。首先，确保全省人口享受平等的温室气体排放权利，即人际公平；其次，考虑浙江省内各设区市经济发展水平、产业结构等差距较大，发展中的地区需要更多的温室气体排放总量空间，较为发达的地区分配空间相对较少，即发展阶段公平。“效率”原则是指在相同的温室气体排放总量控制目标下，各设区市的分配方案使得浙江全省的经济产出达

到最大化，引导温室气体排放资源流向利用效率更高的区域，一定程度上体现政府机构的政策导向。

本研究主要基于浙江省温室气体排放清单的相关工作，指标体系包括全社会的五大领域活动，即能源活动、工业生产过程、农业活动、土地利用变化和林业、废弃物处理；考虑到各个领域的温室气体排放量在全省温室气体排放总量中的占比不同，需要对不同的活动领域指标赋予不同的权重值。同时，考虑到省内预留排放空间用作调节温室气体排放总量控制目标，设置综合指标项：按地区分温室气体排放结构指数、温室气体排放生产弹性系数。其中，按地区分温室气体排放结构指数=各地区温室气体排放量/全省温室气体排放总量，温室气体排放生产弹性系数=温室气体排放量年平均增长速度/国民生产总值年平均增长速度。具体指标参见表3.2。

#### 3.3.1 能源活动领域

能源消费活动主要是在固定源设备和移动源设备中进行化石燃料燃烧，其他的逸散排放及二氧化碳运输、注入与地质储存等产生的温室气体排放难以监测和估算，不符合指标体系建立的可操作性原则，暂不对其设置统计指标。对于浙江省而言，排放量较少的排放源如生物质燃烧、油气逃逸（占比小于0.1%）等暂不考虑；且省内没有化石燃料开采，因此主要考量的是固定源和移动源化石燃料燃烧温室气体排放。

固定源化石燃料燃烧过程广泛地存在于各行业、各部门生产及居民生活中，各行业（工业、建筑业、第三产业等）单位增加值所排放的温室气体指标可直接反映该行业的碳排放强度和碳生产能力，将其设定为责任指标，能源结构决定了温室气体控排的空间，选取电力间接排放占比和单位能源消费的二氧化碳排放作

为能源结构指标，也设定为责任指标；能力指标是指该领域节能减排的潜力，主要包括经济性指标、技术性指标等。

移动源化石燃料燃烧主要存在于公路、铁路、管道运输、水运和航运等移动源燃烧设备。据省级温室气体清单数据的推算，浙江省能源消耗产生的温室气体排放量中约有10%是来源于交通部门，且近年来占比在不断上升。交通领域中，公路温室气体排放占比最大，但铁路和管道运输温室气体排放量增长最快。货物（旅客）周转量是运输业生产的总成果，也是编制和检查运输生产计划、计算运输效率和劳动生产率，以及核算运输单位成本的主要基础资料。考虑单位货物（旅客）周转量温室气体排放指标的设置，能反映单位运输成果带来的环境增温效率，具有其他指标无法替代的基础性指示作用，也为政府决策部门鼓励发展高效或新型能源机动车提供有力证据。根据国家统计局数据中已有的各种运输方式的行驶里程、货物（旅客）周转量等数据可计算单位货物（旅客）周转量温室气体排放、不同运输方式温室气体排放系数、运输温室气体排放占能源活动总排放的比重等指标。

### 3.3.2 工业生产过程、农业活动、土地利用变化和林业，以及废弃物处理领域

考虑到单位工业增加值的温室气体排放量指标能较为全面地反映工业行业的总体排放强度，将其设定为主要责任指标。考虑到各地区的工业行业结构特点不同，产品产量结构不同，设定单位产品产量温室气体排放量、各工业行业的温室气体排放结构指数为责

任指标。各设区市的区域发展战略导向和产业结构调整方向会直接影响未来各工业产品产量，从而影响温室气体排放总量。

考虑到农业的温室气体排放量占全省温室气体排放总量的比例相对较小，因此简化考虑其指标，选取单位增加值温室气体排放量和单位播种面积农用地温室气体排放量作为责任指标，农业扶持强度作为能力指标。对于土地利用变化和林业碳汇而言，将单位森林面积的温室气体吸收量作为责任指标，森林培育扶持力度和碳汇增长指数为其能力指标项。对于废弃物处理领域，选择人均废弃物处理温室气体排放量、单位工业废水处理温室气体排放量作为责任指标，城镇常住人口比例作为能力指标项。

## 3.4 分解方法

### 3.4.1 指标归一化处理

综合指标体系主要包括温室气体排放、能源消费、经济、政策导向等多个方面，并且同时包含定量指标和定性指标，而定量指标也有绝对值和相对指标之分；而且不同的指标大小对于结果的影响大小也不尽相同。因此，需要通过对指标数据进行归一化处理，解决各项指标的取向和定值问题。

归一化处理的原则是首先确定正向和负向指标。指标定向之后，对其数据进行标准化处理。即针对某项指标 $X_i$  (其中下标 $i$ 代表省内某设区市)，首先在全省各设区市取值中，找出最大值 $X_{max}$ 和

表 3.2 | 基于温室气体排放清单的综合指标体系

	责任	能力
能源活动	①单位工业增加值能源活动温室气体排放量； ②单位建筑业增加值能源活动温室气体排放量； ③单位第三产业增加值能源活动温室气体排放量； ④电力间接排放的温室气体排放量占比； ⑤单位货物（旅客）周转量温室气体排放量； ⑥单位能源消费二氧化碳排放量	①人均能源生产量； ②地区预期经济发展速度； ③人均 GDP； ④第三产业比重
工业生产过程	①单位工业增加值温室气体排放量； ②单位产品产量温室气体排放量； ③各行业温室气体排放结构指数	①区域发展战略导向； ②产业结构调整方向
农业活动	①单位农林牧渔业增加值温室气体排放量； ②单位播种面积农用地温室气体排放量	农业扶持强度
土地利用变化和林业	单位森林面积温室气体吸收量	①森林培育扶持力度； ②碳汇增长指数
废弃物处理	①人均废弃物处理温室气体排放量； ②单位工业废水处理温室气体排放量	城镇常住人口
综合	按地区分温室气体排放结构指数	温室气体排放生产弹性系数



最小值 $X_{min}$ ，然后根据该指标的取向进行归一化处理。

对于正向指标，其归一化处理之后的取值为：

$$\delta_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

对于负向指标，其归一化处理之后的取值为：

$$\delta_i = \frac{X_{max} - X_i}{X_{max} - X_{min}}$$

### 3.4.2 确定权重

权重是反映各个指标在综合指标体系中的差异程度和对其他

指标影响程度的变量。合理的权重分配要从整体优化目标出发，客观反映各个指标重要程度的不同。同时，权重也能发挥导向性作用。通过不同的赋权来体现政策取向，引导地方政府行为。

本研究主要基于浙江省温室气体清单的相关数据，采取主观赋权专家打分的方法。主观赋权能够将复杂问题简单化，充分体现各领域专家长期积累的知识经验，并根据实际情况和环境变化迅速调整，灵活性和针对性较强。参考浙江省不同领域的温室气体排放量在全省温室气体排放总量中的占比情况，分别对能源活动、工业生产过程、农业活动、土地利用变化和林业，以及废弃物处理赋予权重值0.70、0.15、0.05、0.05、0.05；在每一个领域之内，通过咨询五大领域的专家意见，综合打分评价，合理确定每个指标项的权重值，从而为之后的分解工作打下基础，具体参见表3.3。

表 3.3 | 指标体系的权重赋值

	指标	强调责任 0.6:0.4	强调能力 0.4:0.6
能源活动 (0.70)	单位工业增加值能源活动温室气体排放量	0.14	0.0875
	单位建筑业增加值能源活动温室气体排放量	0.07	0.0525
	单位第三产业增加值能源活动温室气体排放量	0.07	0.0525
	电力间接排放的温室气体排放量占比	0.035	0.0175
	单位货物(旅客)周转量温室气体排放量	0.035	0.0175
	单位能源消费二氧化碳排放量	0.07	0.0525
	第三产业比重	0.07	0.105
	人均能源生产量	0.07	0.105
	地区预期经济发展速度	0.07	0.105
	人均 GDP	0.07	0.105
工业生产过程 (0.15)	单位工业增加值温室气体排放量	0.03	0.03
	单位产品产量温室气体排放量	0.03	0.015
	各行业温室气体排放结构指数	0.03	0.015
	区域发展战略导向	0.03	0.045
	工业结构调整方向	0.03	0.045
农业活动 (0.05)	单位农林牧渔业增加值温室气体排放量	0.015	0.01
	单位播种面积农用地温室气体排放量	0.015	0.01
	农业扶持强度	0.02	0.03
土地利用变化和林业 (0.05)	单位森林面积温室气体吸收量	0.03	0.02
	森林培育扶持力度	0.01	0.015
	碳汇增长指数	0.01	0.015
废弃物处理(0.05)	人均废弃物处理温室气体排放量	0.015	0.01
	单位工业废水处理温室气体排放量	0.015	0.01
	城镇常住人口	0.02	0.03

表 3.4 | 指标说明

指标项	说明	数据来源
单位工业增加值能源活动温室气体排放量	工业部门能源活动温室气体排放量 / 工业增加值	温室气体排放清单 / 统计年鉴
单位建筑业增加值能源活动温室气体排放量	建筑业能源活动温室气体排放量 / 建筑业增加值	温室气体排放清单 / 统计年鉴
单位第三产业增加值能源活动温室气体排放量	第三产业能源活动温室气体排放量 / 第三产业增加值	温室气体排放清单 / 统计年鉴
电力间接排放的温室气体排放量占比	电力间接排放的温室气体排放量占能源活动温室气体核算总量的比重	温室气体排放清单
单位货物（旅客）周转量温室气体排放量	交通运输能源活动温室气体排放量 / 货物（旅客）周转量	温室气体排放清单 / 统计年鉴
单位能源消费二氧化碳排放量	能源活动温室气体排放量 / 一次能源消费量	温室气体排放清单 / 统计年鉴
人均能源生产量	能源生产量 / 常住人口数	温室气体排放清单 / 统计年鉴
地区预期经济发展速度	根据各地区经济发展情况进行预判	专家打分
人均 GDP	国内生产总值 / 常住人口数	统计年鉴
第三产业比重	第三产业增加值 / 国内生产总值	统计年鉴
单位工业增加值温室气体排放量	工业领域温室气体排放量 / 工业增加值	温室气体排放清单 / 统计年鉴
单位产品产量温室气体排放量	各重点工业行业温室气体排放量 / 产品产量	温室气体排放清单 / 统计年鉴
各行业温室气体排放结构指数	各重点工业行业温室气体排放量 / 工业领域温室气体排放总量	温室气体排放清单 / 统计年鉴
区域发展战略导向	根据各区域发展规划及产业政策导向进行预判	专家打分
工业结构调整方向	根据各区域产业政策导向进行预判	专家打分
单位农林牧渔业增加值温室气体排放量	农业领域温室气体排放量 / 农林牧渔业增加值	温室气体排放清单 / 统计年鉴
单位播种面积农用地温室气体排放量	农业领域温室气体排放量 / 播种面积	温室气体排放清单 / 统计年鉴
农业扶持强度	根据各区域农业发展情况进行预判	专家打分
单位森林面积温室气体吸收量	碳汇温室气体吸收量 / 森林面积（或蓄积量）	温室气体排放清单
森林培育扶持力度	根据各区域林业发展情况进行预判	温室气体排放清单 / 统计年鉴
碳汇增长指数	当年度温室气体吸收量 / 基年温室气体吸收量	温室气体排放清单
人均废弃物处理温室气体排放量	废弃物处理温室气体排放量 / 城镇常住人口	温室气体排放清单 / 统计年鉴
单位工业废水处理温室气体排放量	废弃物处理温室气体排放量 / 工业废水处理量	温室气体排放清单
城镇常住人口	城镇常住人口	统计年鉴
按地区分温室气体排放结构指数	各地区温室气体排放量 / 全省温室气体排放总量	温室气体排放清单
温室气体排放生产弹性系数	温室气体排放年均增长速度 / GDP 年均增长速度	温室气体排放清单 / 统计年鉴

### 3.4.3 确定各市的总量目标

在预测的全省温室气体排放总量控制目标的前提下，首先根据综合指标，确定用于省级调整的预留分配空间；其次，确定不同指标项的分解子目标，进而将各子目标根据人际公平和发展阶段公平分解到全省11个设区市；对于每一个设区市而言，将各子目标的分解量加总，即可得到本市的温室气体排放控制目标。

## 3.5 数据说明

### 3.5.1 指标说明

对于本研究涉及的各项指标项，具体计算公式及数据来源详见表3.4。

### 3.5.2 指标正负性说明

对于本研究的指标体系而言，除各行业温室气体排放结构指数和碳汇指标为正向指标外，各领域的责任指标均被认作负向指标，即单位增加值（人口）的温室气体排放量越大，得到的排放空间越小。各行业温室气体排放结构指数为正向指标，即某工业行业的温室气体排放量占比越大，得到的排放空间越大。

对于能源活动领域的指标而言，第三产业比重指标为正向指标，这是由于第三产业的碳强度值相对第一、二产业来说相对较低，则同样的地方生产总值情况下，第三产业比重越大，温室气体排放量越低，则该设区市获得的排放空间越大。人均能源生产量、地区预期经济发展速度、人均GDP均为负向指标，这是由于能源生产量越高、经济发展越快、人均GDP越高，分配的温室气体排放空间就越小。对于工业生产过程、农业活动、土地利用变化和林业领域，政府的经济政策导向可被认作正向指标，即政府的扶持力度加大，可分配的排放空间随之增加。对于废弃物处理领域而言，城镇常住人口为正向指标，人口越多的地区分配得到的排放空间越大。在这些指标项中，地区预期经济发展速度以及政府的经济政策导向为相对值指标，可以通过赋值来确定其程度差距（见表3.5）。

表 3.5 | 相对指标赋值情况说明

	4	3	2	1	0
地区预期经济发展速度	高速	中高速	中速	中低速	低速
区域发展战略导向	重大项目	较大项目	中等项目	较小项目	无
农业扶持强度	高	中高	中等	中低	低
森林培育扶持力度	高	中高	中等	中低	低

### 3.5.3 权重赋值

对于综合指标体系来说（表3.2），指标项较多也较为复杂，因此可以采用层次赋值方法。首先，根据不同领域的温室气体排放量在全社会排放总量的占比情况，分别对各领域进行赋值；在此基础上，对于每一领域的各个指标项，综合考虑定量值大小及专家意见，根据其影响力大小，逐个进行赋值。

(1) 不同领域的指标权重  $\varepsilon_k$

$$E = \sum_{k=1}^5 E_k = \sum_{k=1}^5 E \times \varepsilon_k$$

$$\sum_{k=1}^5 \varepsilon_k = 1$$

其中： $E$ 表示全省的温室气体排放总量控制目标； $k$ 表示领域的数量（共5个，即能源活动、工业生产过程、农业活动、土地利用变化和林业、废弃物处理）； $E_k$ 表示不同领域的温室气体排放总量控制目标。

(2) 单个领域内的指标权重  $\eta_{j,k}$

$$E_{j,k} = E_k \times \eta_{j,k}$$

$$\sum_j E_{j,k} = E_k$$

$$\sum_{j,k} \eta_{j,k} = 1$$

其中， $E_{j,k}$ 表示第 $k$ 个领域内第 $j$ 项指标的温室气体排放控制子目标； $\eta_{j,k}$ 表示第 $k$ 个领域内第 $j$ 个指标在全省温室气体排放总量控制目标中所占的权重。

(3) 各设区市的分配权重  $\varphi_{i,j,k}$

$$E_{i,j,k} = \varphi_{i,j,k} \times \eta_{j,k} \times \varepsilon_k \times E$$

其中， $E_{i,j,k}$ 表示分解到某个设区市 $i$ 的第 $k$ 个活动领域的第 $j$ 个指标部分的温室气体排放量控制目标。

(4) 各设区市的温室气体排放控制目标分解结果  $E_i$

$$E_i = \sum_{j,k} E_{i,j,k}$$

### 3.5.4 数据闭合性处理

根据《浙江统计年鉴》，全省的人口总数等于11个设区市的人口数之和，说明该数据项是闭合的。对于GDP来说，11个设区市的GDP之和与全省的GDP略有出入，因此需要进一步修正，即：

$$\tau_{GDP} = \frac{GDP_i}{\sum_i GDP_i}$$

对于温室气体排放量而言，11个设区市的温室气体排放量与全省的温室气体排放总量不等，因此也需要进行闭合处理，即进行温室气体清单数据省市联调：

$$\tau_{CO_2} = \frac{E_i}{\sum_i E_i}$$

## 实证分析

本部分研究基于浙江省省级温室气体清单和11个设区市温室气体清单结果，对全社会的温室气体排放量进行全要素分析，建立综合分解指标体系，探索采用上文区域分解方案的增量分配模式将“十三五”时期温室气体排放增量合理分解到下一地方层级，模拟浙江省11个设区市不同领域的温室气体排放空间分配结果，为将来实际区域分解提供重要参考。

### 4.1 模拟分解方案

由于增量分配模式最符合近期需求，因此本研究根据增量分配模式，在预测全省温室气体排放增量目标的基础上，将全省的排放增量分解到11个设区市，由不同设区市承担各自的温室气体排放增量分目标，并保证各设区市分目标之和等于全省的温室气体排放增量控制目标。运用层次分析模型，综合考虑与温室气体排放增量控制目标分解相关的所有因素，包括减排责任、减排能力等，研究制定指标体系，并对各项指标赋予相应的权重系数。将温室气体排放增量控制目标自上而下地按照指标体系中的各个指标及相应权重系数进行分解，最后将每个区域的所有指标对应的温室气体排放量加总，即可得到各设区市分解的温室气体排放增量控制目标。

分解指标的选取和权重赋值的科学合理性，会直接影响最终温室气体排放量分解模型的计算结果。指标体系采用表3.2中所列的指标，包括能源活动领域9项指标、工业生产领域5项指标，以及农业活动、土地利用变化和林业、废弃物处理领域各3项指标。根据上文中指标归一化的方法，对指标体系中各项指标进行取向和定值，并考虑不同领域的温室气体排放量在温室气体排放总量中的占比情况，对各领域的指标进行权重赋值，采用表3.3中的指标权重，对能源活动、工业生产领域、农业活动、土地利用变化和林业，以及废弃物处理赋予权重值，分别为0.70、0.15、0.05、0.05和0.05。

### 4.2 模拟数据来源

模拟数据中的温室气体排放量数据来源为浙江省11个设区市，即杭州、宁波、温州、嘉兴、湖州、绍兴、金华、衢州、舟山、台州和丽水的2014年度温室气体清单总报告和五大领域分报告，经济数据来源为11个设区市2015年统计年鉴。各个相对指标项主要根据涉及的区域资源禀赋、发展预期及区域发展政策等因素，由专家打分确定。

### 4.3 模拟分解结果

从全省11个设区市不同领域的温室气体排放空间分配结果看，负向指标越大的地区，其分解结果占比越小，正向指标越大的地区，其分解结果占比越大，符合人际公平原则和行业调节导向。同时，强度指标（单位增加值温室气体排放量）较大的地区，所获得的分解空间较小；而不同领域政府扶持力度、城镇化率较高的地区，所获温室气体排放空间则较大。

强调责任和强调能力的分配量排名大体近似。强调责任的分解方案侧重于减排责任，通过收紧温室气体排放空间倒逼各地经济低碳转型及低碳技术发展；强调能力的分解方案侧重于减排潜力，主要考虑各地政策扶持力度不同，对温室气体排放空间形成差异化的分配。

全省11个设区市五大领域温室气体排放增量目标和总增量目标区域分解结果如图4.1~图4.6所示，其中纵轴数据代表占比。

由图4.1可知，能源活动领域，强调责任和强调能力的结果大体一致。其中，负向指标越大的地区，其分解结果占比越小。比如，衢州市的单位工业增加值、单位建筑业生产总值、单位第三产业增加值的能源活动温室气体排放量在11个地市中均为最大值，导致基于责任视角下分配到的温室气体排放空间最小。正向指标越大的地区，其分解结果占比越大，符合人际公平原则以及行业调节导向。比如，杭州市的第三产业比重指标值在11个设区市中最大，因此分配到的排放空间相对较大。

图4.2中，随着单位工业增加值温室气体排放量（负向指标）的增加，地区分解结果占比减小。比如，衢州市的单位工业增加值温室气体排放量在该指标项中为最大值，在强调责任的视角下分解结果占比较小。考虑到重大项目的影和排放空间，区域发展战略导向（正向指标）相对值越高的地区，分解结果占比越大。比如，宁波市的区域发展战略导向在全省赋值为最大，导致排放空间最大，体现了政策导向作用。

图4.3中，随着单位农林牧渔增加值温室气体排放量（负向指标）的增加，地区分解结果占比减小。比如，衢州市该指标值最大，分配空间相对最小。同时，结合考虑农业扶持强度（正向指标），扶持力度越大的地区，分解结果占比越大。由于第一产业在全省GDP中占比较小，全省各设区市（舟山除外）设置相同的扶

图 4.1 | “十三五”期间浙江省11个设区市能源活动领域温室气体排放增量目标分解结果

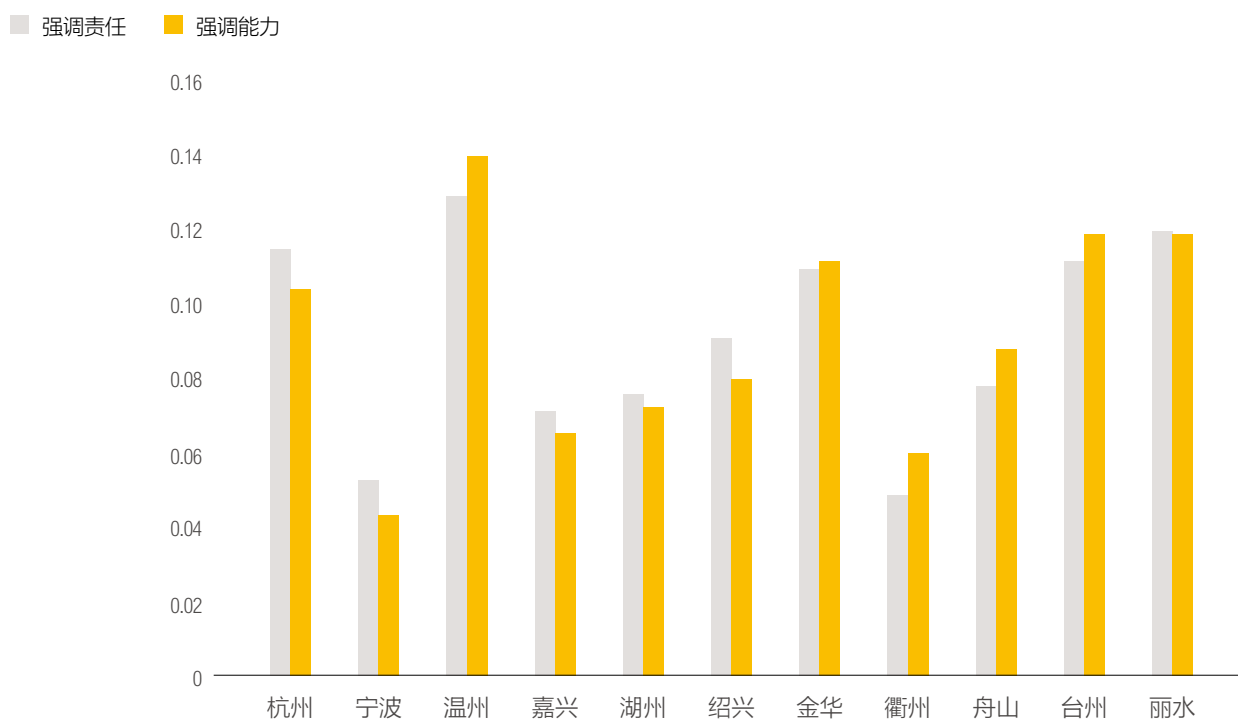


图 4.2 | “十三五”期间浙江省11个设区市工业生产过程领域温室气体排放增量目标分解结果

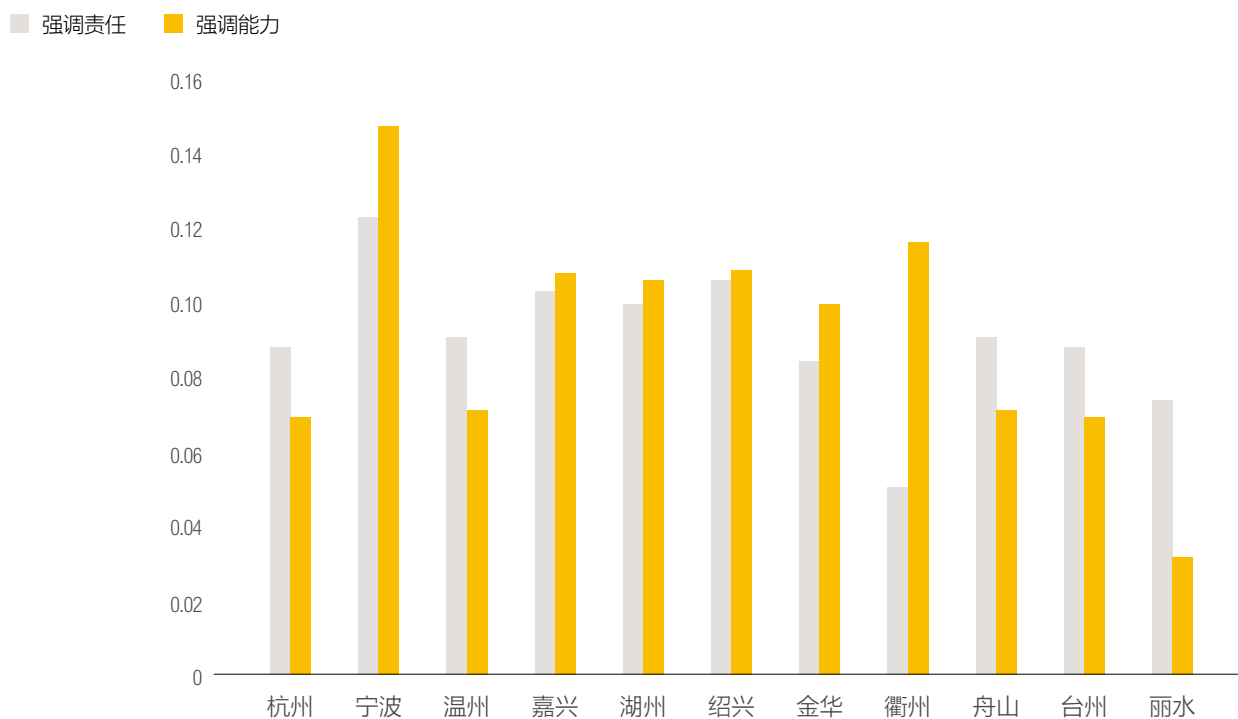


图 4.3 | “十三五”期间浙江省11个设区市农业活动领域温室气体排放增量目标分解结果

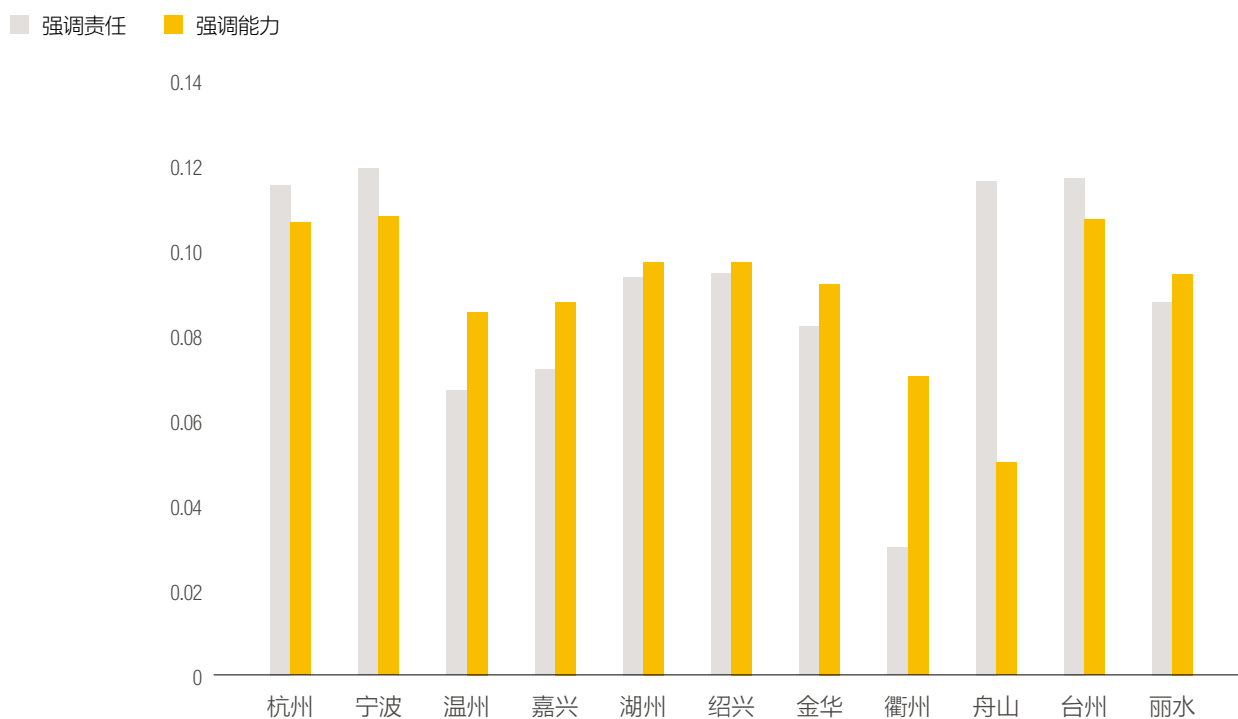
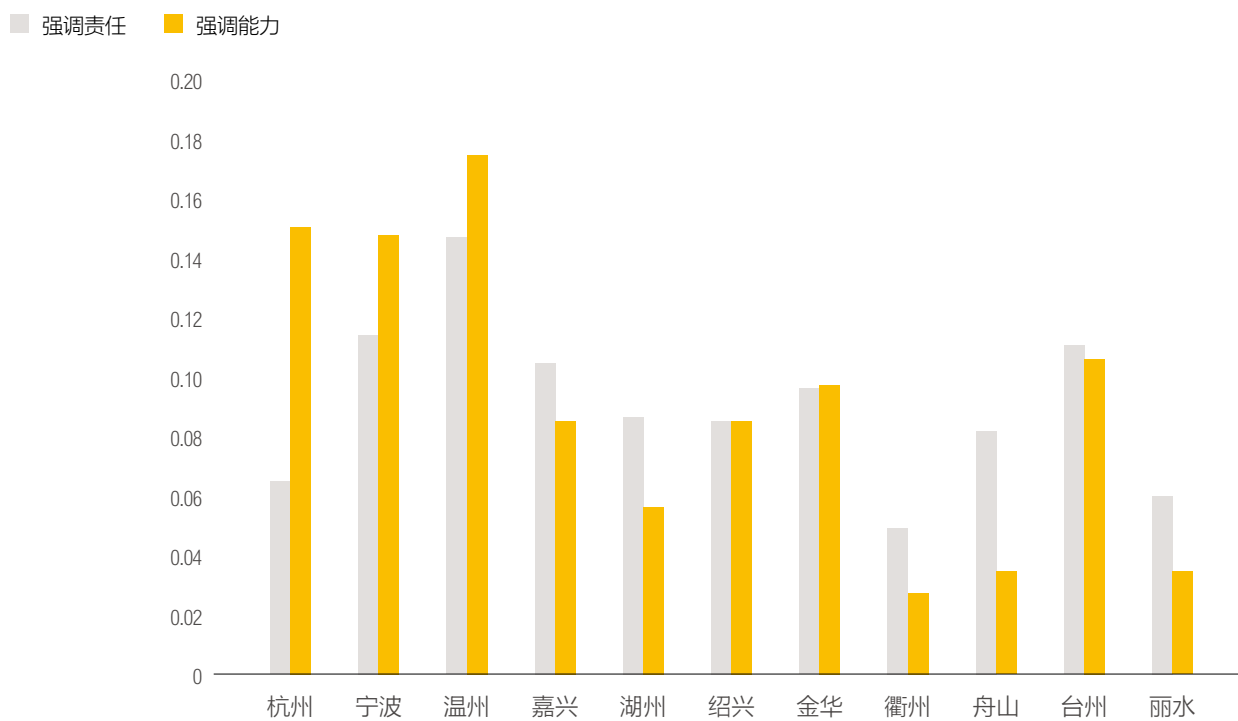


图 4.4 | “十三五”期间浙江省11个设区市废弃物处理领域温室气体排放增量目标分解结果



持强度，设置舟山市为最小值，因此强调能力视角下舟山市分配到的排放空间相对较小。

图4.4中，随着人均废弃物处理温室气体排放量（负向指标）的增加，地区分解结果占比减小。考虑到人际公平，城镇常住人口（正向指标）越多的地区，分解结果占比越大。比如，杭州市人均废弃物处理温室气体排放量、城镇常住人口均为全省最大值，因此在强调能力视角下，分配到的排放空间更大。

图4.5中，活立木蓄积量（正向指标）越小的地区，地区分解结果占比随之减小。比如，舟山市的活立木蓄积量在全省最低，因此分配空间最小。森林培育扶持力度（正向指标）越大的地区，分解结果占比越大。

图4.6中，将上述11个设区市五大领域的分解结果进行汇总，得到浙江省11个设区市“十三五”温室气体排放总增量目标分解结果。

图 4.5 | “十三五”期间浙江省11个设区市土地利用变化和林业领域温室气体排放增量目标分解结果

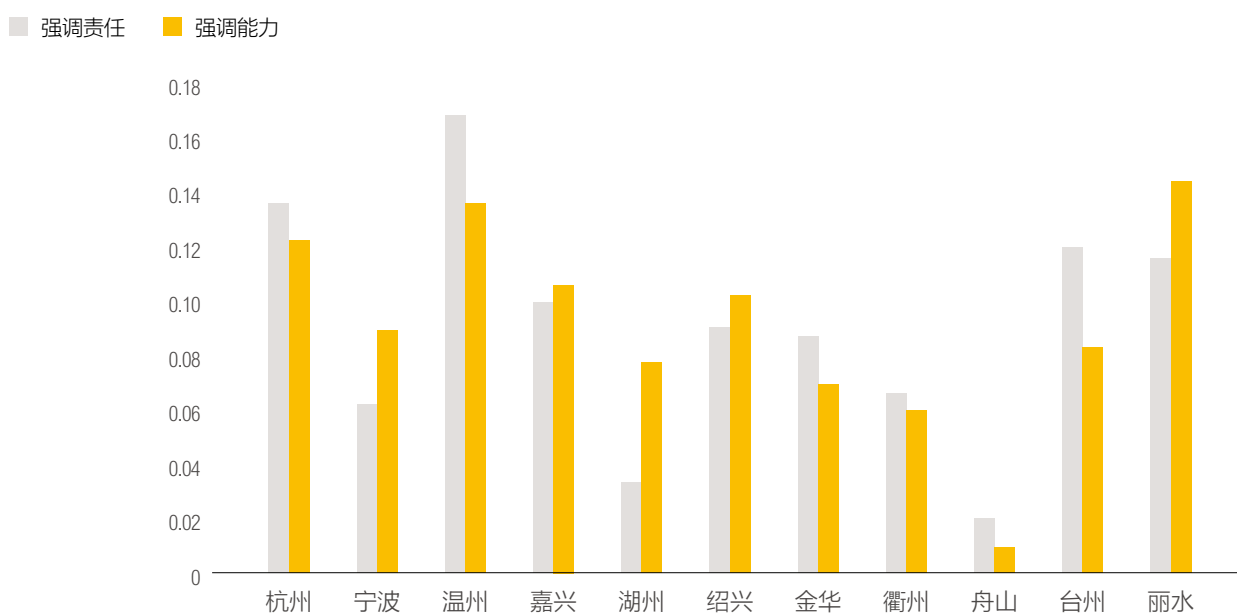
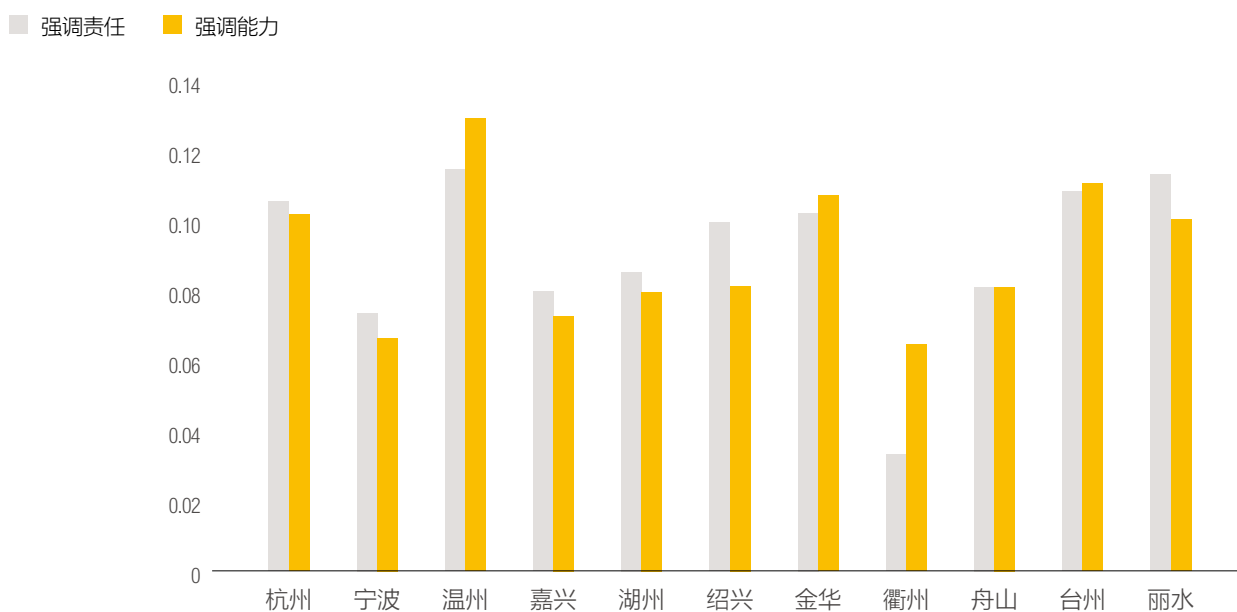


图 4.6 | “十三五”期间浙江省11个设区市温室气体排放总增量目标分解结果



## 总结与建议

目前，中国在应对气候变化国家自主贡献文件中已经明确提出了到2030年的行动目标是二氧化碳排放2030年左右达到峰值并争取早日达峰。该目标设定了排放达到峰值的年份，但达峰时的排放量并不体现在目标中。要实现峰值目标，总量控制目标是前提。如果要制定分阶段、分地区的总量控制目标，应提前在国家法律层面给予考虑，在法律制度设计方面进行充分准备，并尽快开展温室气体排放总量的相关政策研究。“十三五”期间是中国完成减排承诺的关键时期，国际社会对中国温室气体排放何时能达峰也极为关注，浙江省作为低碳发展先进地区，工作基础扎实，可率先探索实施温室气体排放总量控制制度，确定分阶段控制目标，分解各地区和各行业温室气体排放总量控制目标，探索尽快实现温室气体排放峰值的路径及机制。

本研究基于浙江省温室气体清单编制工作基础，提出了涵盖全社会主要排放源与排放活动的温室气体排放总量目标预测方法，即能源活动、工业生产过程、农业活动、土地利用变化和林业、废弃物处理五大领域的温室气体排放控制。同时结合浙江省实际情况，提出根据不同的发展阶段调整总量目标分解对象。通过建立涵盖各领域的综合指标体系，建立基于责任—能力双视角的分解模型，并以浙江省作为案例进行分析。该分解模型兼顾了“公平”和“效率”原则，但指标体系的赋值主要依据专家打分，具有一定的主观性及片面性，模型的适用范围有待进一步探索。

基于上述研究，针对浙江省提出如下建议：

**完善相关配套支撑。**在“十三五”期间，浙江省仍处于工业化、城镇化发展的关键时期，科技水平和经济增长方式都有待进一步提高，进行温室气体排放总量控制可能面临的挑战较大，需要进一步完善体制机制建设，以保障相关制度的实施。首先，完善顶层设计，为实施总量控制提供法律保障和政策保障。其次，浙江在温室气体统计核算体系方面已经有相当扎实的基础，但还需继续完善基础统计，建立温室气体排放基础数据统计监测和核查制度，为制定科学的总量控制目标提供基础。再次，研究制定总量控制的配套考核体系。

**考虑全领域温室气体排放。**浙江省实证案例证明了将能源活动、工业生产过程、农业活动、土地利用变化和林业及废弃物处理等领域所有温室气体纳入到目标制定、分解和考核中的可行性。能源活动仅占浙江省全部排放的75%左右，还有四分之一的排放也值得纳入到目标约束中来。

**分阶段调整总量目标分配模式。**存量模式实际是考虑了公平原则，而增量模式实际是考虑了效率原则。在“十三五”期间，建议实施“增量分配”方案。这是由于现阶段统计体系不健全，难以获得准确的温室气体排放总量历史数据，采用增量控制数据更准确完成，在推行阶段各方阻力较小，更易接受。在中长期规划中，建议实施“增量+部分存量”的分配模式。在更为长远的未

来，随着统计体系的不断健全和减排工作的不断推进，建议采用“总量分配”模式。

**探索推进“双控”试点。**浙江省近年来省—市—县三级温室气体清单编制和设区市碳强度考核的经验，为“十三五”时期温室气体排放总量和强度“双控”试点创造了很好的条件。未来，可选择有条件的设区市，从全领域范畴设定温室气体排放“双控”目标，从区域、部门等层次分解落实“双控”指标。同时，明确各级各部门工作责任，对温室气体排放“双控”工作进行实操演练，为浙江省乃至全国提供先行先试的经验。



## 附录 温室气体排放总量制定和分解方法研究综述

近年来，针对温室气体总量控制制度中的总量目标制定和分解方法研究已取得初步进展，但尚未形成系统、权威的理论，国内在实践操作及政策实施层面也没有形成统一的做法。以下为国内外方法研究总结。

### 1 温室气体排放总量目标制定

#### 1.1 总量控制目标的种类

根据现有国内外实践，可以将总量控制目标分为三类，分别是“绝对量下降或增幅限制目标”、“相比BAU情景下降目标”和“峰值目标”。

##### ■ 绝对量下降或者增幅限制目标

这类目标是总量控制目标中最常见的形式，首先需要设定基准年和目标年，然后设定目标年排放在基准年排放的基础上下降的数量（见附图1.1左），或者在基准年排放的基础上增量的限制（见附图1.1右）。

此类目标的典型代表中，国家层面的案例是《京都议定书》各

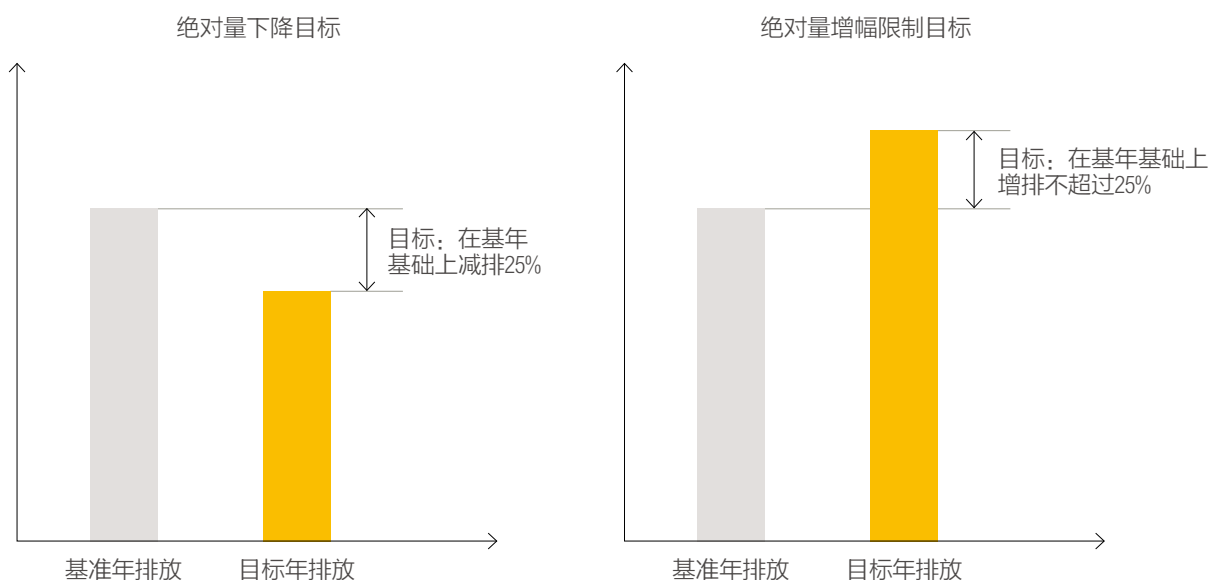
缔约方的国家目标，例如，德国的目标是在基年基础上减排21%，瑞典的目标则是在基年基础上增排不能超过4%。此外，一些城市如伦敦、惠灵顿等也采用这一目标，伦敦的目标是2025年在1990年的基础上减排60%，惠灵顿的目标是2010年、2012年、2020年和2050年分别在2000年的基础上减排0%、3%、30%和80%。

##### ■ 相比BAU情景下降目标

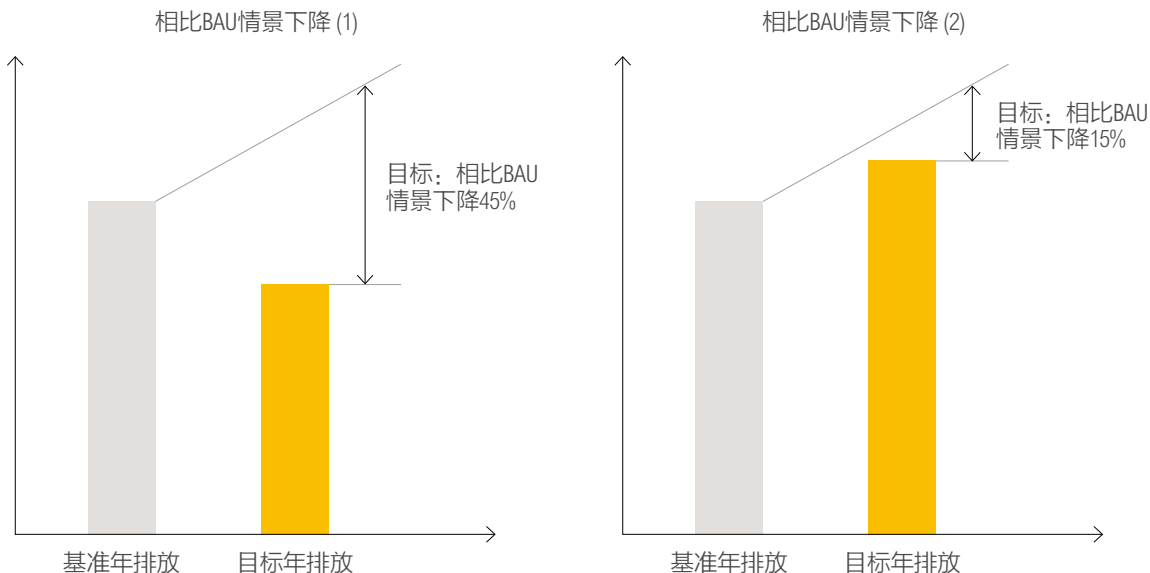
此类目标的特点是需要根据基准年排放首先推算出目标年的趋势照常情景（BAU）排放，以此为依据制定目标年排放。根据下降目标的幅度，目标年排放可能低于基准年排放（见附图1.2左），也可能高于基准年排放（见附图1.2右）。这种目标的主要不确定性在于，如何确定BAU情景排放对减排目标是否达成影响较大。

采用这一目标形式的国家或城市较少，国家案例主要有巴西，城市案例有里约热内卢。巴西的目标是2020年在BAU情景基础上减排36%~39%<sup>8</sup>，里约热内卢的目标是2012年、2016年和2020年相比BAU情景需要实现一定数量的减排量，减排额分别为2005年排放量的8%、16%和20%。

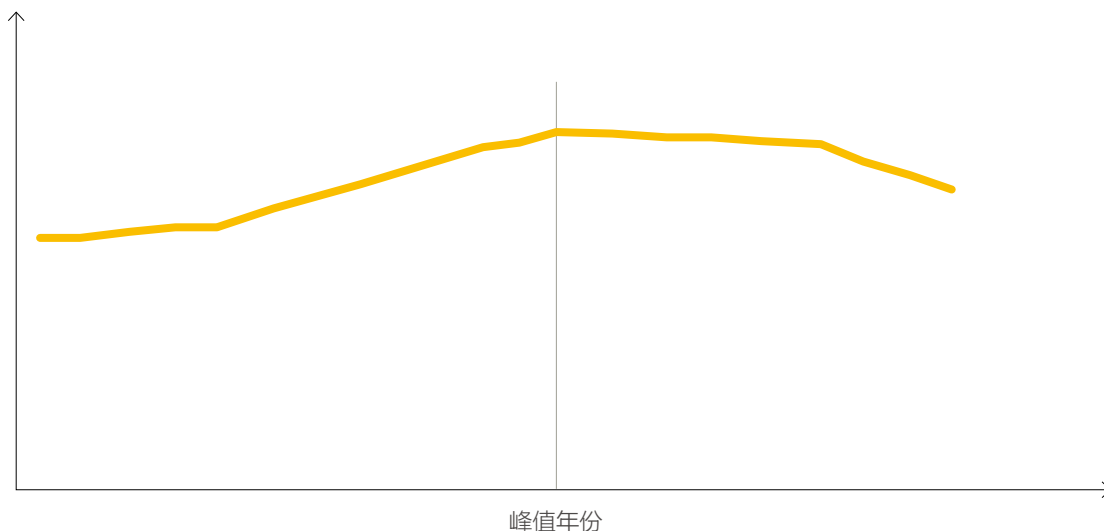
附图 1.1 | 绝对量下降或绝对量增幅限制目标



附图 1.2 | 相比BAU情景下降目标



附图 1.3 | 峰值目标



### ■ 峰值目标

此类目标的定义是设定排放达到峰值的年份，但达峰时的排放量并不体现在目标中，如附图1.3所示。此类目标和前两种目标的区别还在于目标中也不需要规定基准年。

目前采用这一目标形式的主要是中国。2015年6月，中国向《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC) 秘书处提交了应对气候变化国家自主贡献文件《强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献》，其中提到2030年的行动目标是二氧化碳排放2030年左

右达到峰值并争取早日达峰。一些城市也制定了峰值目标，如宁波是全国首个明确二氧化碳峰值预期时间的城市，预计将在2020年以前实现峰值。

### 1.2 国内研究进展

目前国内学术界对温室气体排放总量控制方面的研究，主要通过对其总量预测的角度，并且主要集中在能源消费的温室气体排放量峰值预测方面，研究方法较多运用LEAP模型、MARKAL-MACRO模型、STIRPAT模型和环境库兹涅茨(EKC)曲线。

LEAP模型是基于情景分析的自底向上的能源—环境分析模型。在LEAP模型中，能源方案整体由能源需求、能源加工转化、资源供应能力、环境影响评价和成本等五部分组成。能源需求模块是根据给出需求部门的活动水平（如行业增加值）和各种相关活动相对应的能源消费品种和能源强度，计算出该部门对各种能源的需求量；能源加工转化模块使用终端能源需求量预测数据作为基础，从源头即一次能源出发，模拟其加工转化过程；资源供应能力模块主要分析资金、生物质等外部资源的供应能力限制；环境影响评价模块让用户对所给出的能源供应选择方案的环境影响进行预测；成本分析模块让用户从经济费用的角度出发评价其形成的能源方案，帮助用户判定哪一个能源方案更适合当前情境下未来经济的发展。国家发展和改革委员会能源研究所（2003）利用LEAP模型建立覆盖中国所有能源消费部门，以及包括商品能源和消费商品能源等所有能源消费品种的能源需求模型，得到了中国在可持续发展目标下，到2020年各时段全社会能源需求的不同情景。

MARKAL-MACRO模型是一个非线性动态规划模型，耦合了MACRO模型与MARKAL模型。MACRO模型是宏观经济模型，该模型中集成了新古典主义宏观经济学的增长理论，其生产函数是以“柯布—道格拉斯函数”为基础建立的。周伟等（2010）利用MARKAL-MACRO模型为基础，从工程技术角度与经济角度建立中国能源消费的模型，对中国未来（2010—2050年）能源消费产生的二氧化碳进行预测。基准方案中，能源消费而排放的二氧化碳持续增加，在2036年达到峰值107亿吨，并在2050年下降到93亿吨；优化方案中，人口、宏观经济与基准方案中的相同，二氧化碳排放峰值出现在2029年，为95.27亿吨。

早在1971年，美国生态学家Ehrlich和Holden就建立了反映人口规模对环境压力影响的模型，即 $I=PAT$ 方程，分析出碳排放主要受人口规模、经济发展水平和科技进步所驱动。在IPAT模型和Kaya恒等式的研究基础上，Dietz等（1994）建立了随机模型——STIRPAT模型，引入指数来分析人口因素对环境的非比例影响。在碳排放趋势预测方面，渠慎宁等（2010）利用STIRPAT模型，利用中国30个省市的面板数据，分析中国碳排放趋势，预测中国碳排放峰值。燕华等（2010）以上海市为研究对象，利用STIRPAT模型，定量分析碳排放与人口、人均GDP、城市化水平和能源效率之间的关系；使用岭回归拟合得到的回归方程，以上海市为例，通过设置10种不同的发展情景，分别预测2010年、2015年和2020年的碳排放量。最合理的情景模式为BTU：经济与人口保持中速增长，同时城市化进程有所减缓，技术取得较大进步，既能满足上海市发展的需求，又有利于减少二氧化碳的排放，也较符合上海市的发展模式，此时上海市2010年、2015年和2020年二氧化碳排放量分别为17053.57万吨、19286.64万吨和20885.69万吨。

EKC曲线是美国经济学家G.Grossman和A.Kureger（1991）提出的，经济增长和环境污染之间呈倒U形的关系，即环境质量随着经济增长的积累呈先恶化后改善的趋势。继G.Grossman和A.Kureger之后，出现了大量关于环境污染与经济增长的研究，但

多数集中于对二氧化硫、氮氧化物等研究，而选择二氧化碳作为环境指标的研究相对较少，结果差异也较大。林伯强等（2009）利用传统的环境库兹涅茨模型模拟与在二氧化碳排放预测的基础上的预测两种方法，对中国的二氧化碳库兹涅茨曲线做了对比研究和预测，结果存在较大差异：简单的环境库兹涅茨模型模拟计算，在37170元处达到人均二氧化碳排放的最大值，是中国二氧化碳排放的理论拐点，依据中国经济发展趋势，拐点出现在2020年左右；从能源需求角度分析中国二氧化碳的库兹涅茨曲线，到2040年还没有出现拐点，如果温室气体的减排被动等待库兹涅茨拐点的到来，将无法应对日益增加的环境压力。

## 2 温室气体排放总量目标分解

### 2.1 国外研究进展

国外的研究主要与欧盟温室气体减排目标的分解有关。1997年欧盟承诺以1990年的温室气体排放量为基准，其15个成员国在2008年~2012年间减少8%的温室气体排放量。1998年欧盟率先将减排目标分解到了15个成员国，并形成了一整套方法体系和原则。

欧盟的分解方法称为三部门法（Triptique Approach或Triptych Approach）。该方法是目前极少数在实践中得到应用的碳减排目标分解方法。整体框架由挪威政府提出，具体方法和内容由荷兰乌得勒支大学（Utrecht University）的Blok等人完成。三部门法实质上是一种自下而上的部门方法，它将一国的碳排放来源划分为三大部门：电力生产部门、高耗能工业部门和其他部门（以居民生活和交通为主），分别计算三个部门的碳排放限额。计算时不同国家的参数存在差异。

早期的三部门法，电力侧重考虑能源结构，工业侧重考虑能源利用效率，其他行业主要和生活福利相关，所以侧重考虑人均GDP和人均二氧化碳排放。三部门各自的减排量相加，构成国家减排量。三部门法是欧盟各国总量分配的核心方法。欧盟作为一个完整的组织机构在《京都议定书》中承担削减8%温室气体排放量的责任。20世纪90年代末，欧盟各国经济发展、生活水平、气候条件等差异很大，这一方案能被各国接受，其优势是明显的。

此后，三部门法得到了很大发展，考虑因素也日趋复杂。方法应用方面，Groenenberg等对48个国家承诺的二氧化碳减排目标进行了评估和分析，扩大了该方法的应用范围。方法扩展方面，den Elzen等人在分解发展中国家的目标时增加了时间因素，Torvanger和Ringius对三大部门做了细化。

### 2.2 国内研究进展

中国分别自“十一五”和“十二五”期间开展了能耗强度、碳强度的目标分解，积累了一些经验方法，对温室气体总量分解方面仍处于研究探索阶段，一些研究人员提出了分解方案。

## ■ “十一五”能耗强度下降指标分解方案中的分解方法

2006年9月国务院印发了《“十一五”期间各地区单位生产总值能源消耗降低指标计划》(国函〔2006〕94号)。不过,在实际操作过程中,综合考虑各地经济发展水平和产业结构的差异,对各地“十一五”期间能耗强度下降指标进行了调整。

总体而言,“十一五”能耗强度下降指标的分解采取了“一刀切”与“协商”相结合的方式,缺少有效的科学支撑。一些经济水平发展较高并有一定减排潜力的地区却承担着相对较少的任务,而另一些地区却由于负担过重,导致减排积极性不高、减排效率不理想。这反映出指标的分解缺乏科学支撑会影响总体减排目标的有效完成。

## ■ “十二五”能耗强度下降指标分解方案中的分解方法

2011年8月国务院印发了《“十二五”节能减排综合性工作方案》(国发〔2011〕26号)。该分解方案采用了先对地区分类,再分解指标的思路。首先,建立反映不同地区特点的综合评价指标体系并打分,采用统计聚类分析方法将全国31个地区分为五类;其次,确定不同地区类别的能耗强度下降指标,从而将全国的指标分解到各地区。该方法全面考虑了与能耗强度下降指标分解有关的各个因素,包括节能责任、潜力、能力、难度和意愿等,体现了“相似地区承担相近节能目标,不同类型地区有所区别”的分解目标。

## ■ “十二五”碳强度下降指标分解方案中的分解方法

2011年12月国务院印发了《“十二五”控制温室气体排放工作方案》(国发〔2011〕41号)。该分解方案在《“十二五”节能减排综合性工作方案》的基础上调整而来。总体思路也是先对地区分类,再分解指标。首先将全国31个地区分为三类,然后在各地区能耗强度下降指标的基础上加上一个调整量,得到各地区的碳强度下降指标。调整量与各地区所处的分类有关,有0%、1%和1.5%三档。

## ■ “十二五”能源消费总量控制目标分解方法

采用“核定基数、分解增量”的基本方法,兼顾“公平”和“效率”的原则,参考专家意见,得到能源消费总量地区分解评价指标体系。利用该指标体系对各地区进行评价,对结果进行排序,排序靠前意味着将得到严格的能源消费控制指标,反之意味着得到较宽松的能源消费控制指标。

## ■ 国内研究学者提出的分解方法

### (1) 以地区差异为基础直接分解碳强度指标的方法

Yi等人以人均GDP、累积化石燃料碳排放及单位工业增加值能耗三个因素为基础构建了分解模型。结果显示,各因素权重的变化会对结果产生较大影响。如果在中国建立碳交易市场,那么

可使各地区在减排过程中受益。张亚雄等人将各省经济社会发展水平、资源禀赋和技术水平的差异等需要考虑的因素有机结合起来,基于实现目标的成本最小化原则建立了经济分析模型。结果显示,不同地区的碳强度下降指标存在很大差异,且欠发达地区需要通过额外减排努力完成的减排额度较大。不过,上述两项研究提出的分解方案因对所有地区差别对待,故在实践中极可能遇到交易和执行成本高、操作可行性差的障碍。

### (2) 先对地区分类、再分解碳强度指标的方法

为了解决上述研究中的问题,杨源等人借鉴了《“十二五”节能减排综合性工作方案》的思路对2020年碳强度下降指标做了分解。该研究先采用聚类分析法将各地区按照经济能力、排放水平、减排潜力的相似程度进行分类,再按照公平或效率原则分解碳强度下降指标。不过,该研究忽略了碳强度下降指标与能耗强度下降指标的关联性,在实践中可能出现两个指标相差过大的问题,不利于节能减碳工作的推进。国家发展和改革委员会能源研究所考虑与碳强度控制目标分解相关的所有因素,包括减排责任、权利和能力,建立指标分解参考评价体系,结合不同权重体现政策侧重和指标重要性,通过计算不同地区综合评价得分,实现碳强度控制指标科学分解。

### (3) 碳总量区域分解的方法

国内外低碳发展形势要求控制碳排放逐步由强度控制过渡到总量控制,因此国家发展和改革委员会能源研究所探索了碳总量的区域分解,围绕“公平”和“效率”选择4项指标——人口指标、人均GDP指标、碳生产力指标和国家战略指标,并对各个指标赋予相应的权重系数,再将碳排放总量控制目标按照指标体系的各个指标及相应权重系数分解到各个区域,将每个区域所有指标对应的碳排放量加总,计算得到区域碳排放总量目标。

## 3 温室气体清单应用

1992年《联合国气候变化框架公约》(以下简称“公约”)要求所有国家都提交国家信息通报,其中包括温室气体排放清单,目前所有公约附件一缔约方均提交了1990—2011年的《国家温室气体清单报告》,部分发达国家提交了2012年的《国家温室气体清单报告》。中国已于《中华人民共和国气候变化初始国家信息通报》、《中华人民共和国气候变化第二次国家信息通报》和《中华人民共和国气候变化第一次两年更新报告》中公布了1994年、2005年和2012年度国家温室气体清单,并要求2016年底前全国所有省(自治区、直辖市)编制完成2012年和2014年度省级温室气体清单。中国在温室气体清单领域的研究和实践主要集中在完善统计体系和方法学等基础工作上,而国外在分析和应用温室气体清单结果方面的实践相对较多,主要的支持碳排放目标的制定、追踪目标完成情况、识别减排潜力和碳资产,以及碳交易规则制定等方面。

### 3.1 国外研究进展

温室气体清单在总量控制制度研究中的应用主要是总量目标的制定和追踪目标完成情况。2007年，东京宣布“东京气候变化战略”，规定整体减排目标是2020年在2000年基础上减排25%，并利用温室气体清单信息为工业、商业建筑、住宅建筑和交通四个领域分别制定了行业减排目标。2007年，纽约市立法提出到2030年比2005年减少30%温室气体排放的战略目标，基于温室气体排放数据收集、整理、分析体系，追踪纽约市在住房、公共区域建设、能源应用、空气质量、气候变化和固体废弃物六个方面的10个不同的变量，监测结果和纽约市的长期目标结合起来。2011年，里约热内卢通过《气候变化法》，制定了温室气体减排目标，即在2012年、2016年和2020年相比BAU情景需要实现一定数量的减排量（ERs），同时规定每四年编制一次温室气体清单，并依据温室气体清单，通过自上而下和自下而上两种方法对目标进行考核。自上而下方法是使用温室气体清单中的数据和BAU情景中的数据相减，自下而上方法是计算单个减排活动的减排量并进行加总。

### 3.2 国内研究进展

目前中国对于温室气体清单的应用实践较少，开展碳强度目标考核是基于化石燃料燃烧直接二氧化碳排放和电力间接二氧化碳排放，未考虑其他领域和气体等。浙江省对温室气体清单结果的应用起步较早，在浙江省发展和改革委员会对11个设区市进行的2013年度单位生产总值二氧化碳降低目标责任试评价考核中，各设区市根据2010—2013年度能源领域温室气体清单结果追踪目标的完成情况。浙江省衢州市根据温室气体清单，对重点排放行业进行了识别，明确衢州市重点排放行业主要有钢铁、化工、建材、电力热力生产、交通运输和造纸等，并针对行业谋划了区域热电联产、建筑建材节能、余热余压利用、工业锅炉节能减碳改造、农业农村节能减碳、商业与民用节能减碳、公共机构节能减碳等7大重点减碳工程和一个新能源推广计划。浙江省杭州市根据温室气体清单结果判断出二氧化碳排放的主要影响因素，选取经济活动水平和能源强度等重点指标项，搭建预测模型，分别预测了基准情景和低碳情景下二氧化碳排放的峰值及实现时间，并提出了提早实现峰值的路径和举措。

## 参考文献

1. IEA, 2016 Key World Energy Statistics 2016
2. WRI, C40, ICLEI, 2015, Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emissions Inventory
3. 国家发展和改革委员会, 2016, 国家发展改革委办公厅关于开展“十二五”单位国内生产总值二氧化碳排放降低目标责任考核评估的通知(发改办气候[2016]1238号)
4. 浙江省经济和信息化委员会, 浙江省统计局, 2016, 2015年浙江省能源与利用状况(白皮书)
5. 浙江省人民政府办公厅, 2016, 浙江省能源发展“十三五”规划
6. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要

## 注释

1. Key World Energy Statistics 2016, IEA
2. 《2015年浙江省能源与利用状况》(白皮书)
3. 《浙江省能源发展“十三五”规划》
4. 每个领域模型中涉及的指标, 均为编制温室气体清单时采用的主要活动水平数据指标。
5. 固体废弃物主要包括城市生活垃圾、工业废弃物、医疗废弃物、建筑废弃物等。由于废弃物处理温室气体清单主要指城市生活垃圾相关的排放, 因此这里也只针对这一部分排放设定指标开展研究。
6. 《国家发展改革委办公厅关于开展“十二五”单位国内生产总值二氧化碳排放降低目标责任考核评估的通知(发改办气候[2016]1238号)》二氧化碳排放核算方法中, 煤炭排放因子为2.64吨CO<sub>2</sub>/吨标准煤; 石油排放因子为2.08吨CO<sub>2</sub>/吨标准煤; 天然气排放因子为1.63吨CO<sub>2</sub>/吨标准煤
7. 层次分析法, 是指将一个复杂的多目标决策问题作为一个系统, 将目标分解为多个目标或准则, 进而分解为多指标(或准则、约束)的若干层次, 通过定性指标模糊量化方法算出层次单排序(权数)和总排序, 以作为目标(多指标)、多方案优化决策的系统方法。
8. <http://www.ecopolity.com/2009/11/14/brazil-commits-to-a-target-to-reduce-future-carbon-emissions-by-2020/>

## 致谢

作者由衷感谢以下人士，在本工作论文编写过程中，对工作给予了大力支持并提供了很多宝贵的意见。

感谢浙江省应对气候变化和低碳发展合作中心的领导和同事：胡晓娟、郭江江、王金晓；世界资源研究所的领导和同事：李来来、徐嘉忆、温华、朱晶晶、叶菲和Emily Matthews。

感谢外部专家徐华清（国家应对气候变化战略研究和国际合作中心）、苏明山（国家应对气候变化战略研究和国际合作中心）和黄东风（浙江省能源与核技术应用研究院）。

还要感谢编辑谢亮、宋欣珂、梁迪隽对文字的校对和张焯对文章进行排版设计。

最后，感谢Ministry of Foreign Affairs of the Netherlands对此工作提供的资金支持。

## 关于作者

**蔡和**是浙江省应对气候变化和低碳发展合作中心副总工程师兼处长。电子邮箱：[ch@zei.gov.cn](mailto:ch@zei.gov.cn)

**黄炜**是浙江省应对气候变化和低碳发展合作中心副处长。电子邮箱：[huangwei@zgb.com.cn](mailto:huangwei@zgb.com.cn)

**魏丹青**是浙江省应对气候变化和低碳发展合作中心助理研究员。电子邮箱：[wdq@zei.gov.cn](mailto:wdq@zei.gov.cn)

**王诚**是浙江省应对气候变化和低碳发展合作中心助理研究员。电子邮箱：[wangc@zgb.com.cn](mailto:wangc@zgb.com.cn)

**蒋小谦**是世界资源研究所中国气候项目研究员。电子邮箱：[xqjiang@wri.org](mailto:xqjiang@wri.org)

**房伟权**是世界资源研究所中国气候项目主任。电子邮箱：[wfong@wri.org](mailto:wfong@wri.org)

## 关于世界资源研究所

世界资源研究所中国办公室是一家独立的研究机构，其研究工作致力于寻求保护环境、发展经济和改善民生的实际解决方案。

### 我们的挑战

自然资源构成了经济机遇和人类福祉的基础。但如今，人类正以不可持续的速度消耗着地球的资源，对经济和人类生活构成了威胁。人类的生存离不开清洁的水、丰饶的土地、健康的森林和安全的气候。宜居的城市和清洁的能源对于建设一个可持续的地球至关重要。我们必须在未来十年中应对这些紧迫的全球挑战。

### 我们的愿景

我们的愿景是通过对自然资源的良好管理以建设公平和繁荣的地球。我们希望推动政府、企业和民众联合开展行动，消除贫困并为全人类维护自然环境。

### 我们的工作方法

#### 量化

我们从数据入手，进行独立研究，并利用最新技术提出新的观点和建议。我们通过严谨的分析、识别风险，发现机遇，促进明智决策。我们重点研究影响力较强的经济体和新兴经济体，因为它们对可持续发展的未来具有决定意义。

#### 变革

我们利用研究成果影响政府决策、企业战略和民间社会行动。我们在社区、企业和政府部门进行项目测试，以建立有力的证据基础。我们与合作伙伴努力促成改变，减少贫困，加强社会建设，并尽力争取卓越而长久的成果。

#### 推广

我们志向远大。一旦方法经过测试，我们就与合作伙伴共同采纳，并在区域或全球范围进行推广。我们通过与决策者交流，实施想法并提升影响力。我们衡量成功的标准是，政府和企业的行动能否改善人们的生活，维护健康的环境。

支持机构



Ministry of Foreign Affairs of the  
Netherlands



Copyright 2017 World Resources Institute. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License.  
To view a copy of the license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>