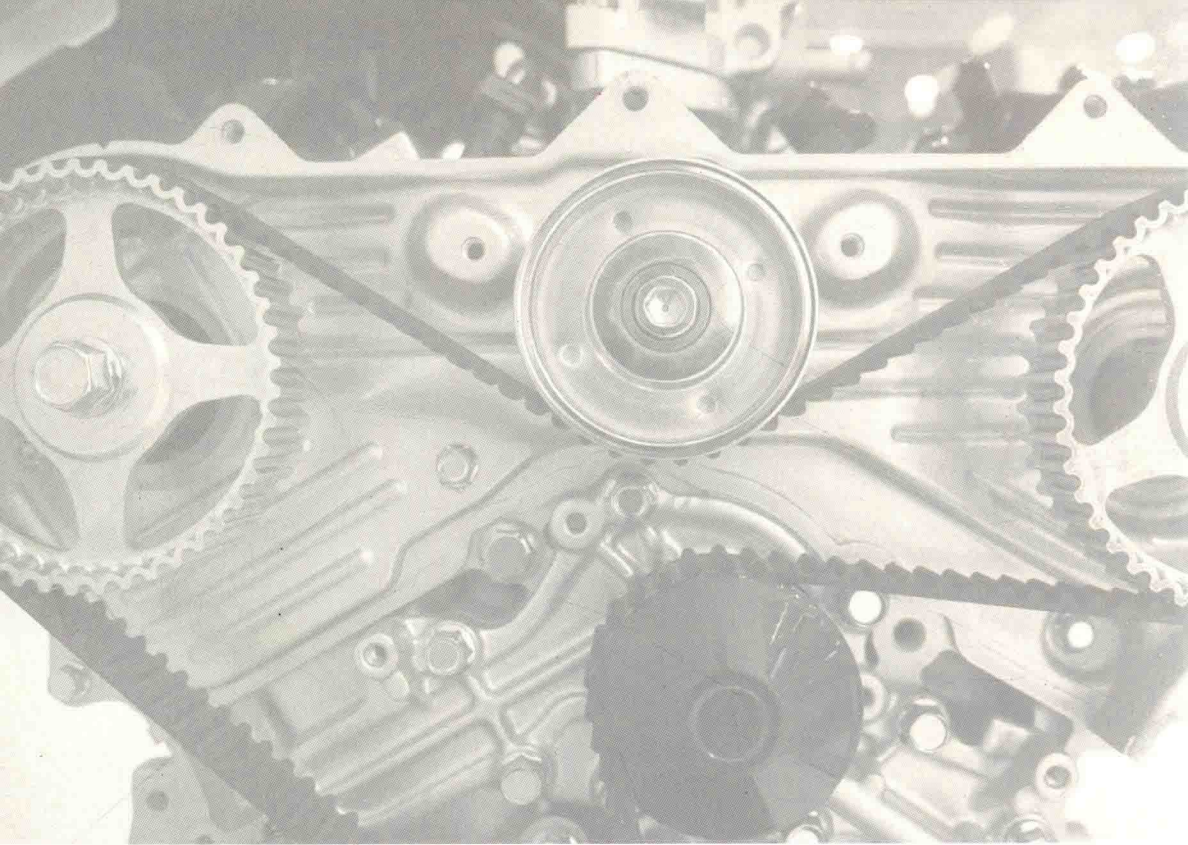




# 中国汽车二氧化碳减排路径

全球气候变化的挑战

杨 晶 ◎著

韩维建◎主编



机械工业出版社  
China Machine Press

汽车工程专业系列丛书

# 中国汽车二氧化碳减排路径

## 全球气候变化的挑战

杨 晶 ◎著  
韩维建◎主编



机械工业出版社  
China Machine Press

## 图书在版编目 (CIP) 数据

中国汽车二氧化碳减排路径: 全球气候变化的挑战 / 杨晶著; 韩维建主编. —北京: 机械工业出版社, 2017.8  
(汽车工程专业系列丛书)

ISBN 978-7-111-57744-7

I. 中… II. ①杨… ②韩… III. 汽车排气—二氧化碳—减量化—研究—中国 IV. X734.201

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 192942 号

# 中国汽车二氧化碳减排路径 全球气候变化的挑战

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 袁 银

责任校对: 殷 虹

印 刷: 北京瑞德印刷有限公司

版 次: 2017 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 170mm×242mm 1/16

印 张: 13

书 号: ISBN 978-7-111-57744-7

定 价: 50.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 68995261 88361066

投稿热线: (010) 88379007

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjg@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光/邹晓东

## 丛书总序

中国的汽车产业发展迅速,已经成为我国国民经济的支柱产业之一。随着家庭平均汽车保有量的迅速增长,汽车给整个社会带来的能源、环境、交通和安全的压力日益加大。尽管汽车在轻量化、电动化、排放控制技术和安全技术方面已经有了长足的进步,尤其是近几年互联网和通信技术在汽车的独立驾驶和智能化方向提供了极大的发展和创新的空间,但诸多的发展给汽车产业带来无限的挑战和机遇。因此,行业的快速变化急需培养一大批不仅懂专业技术,更熟悉跨界知识的创新型人才。

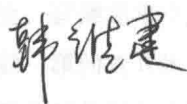
重庆大学汽车协同创新中心认识到人才培养的迫切需求,组织我们为新成立的汽车学院编写一套教材。参与这套教材编写的所有作者都身在汽车行业的科研和技术开发的第一线,其中大部分作者是近年海归的年轻博士。教材的选题经过专家在传统学科和新兴学科中反复地论证和研讨,遴选了汽车行业面临紧迫挑战性的技术和话题。第一批教材有八本,包括《汽车材料及轻量化趋势》《汽车设计的耐久性分析》《汽车动力总成现代技术》《汽车安全的仿真与优化设计》《汽车尾气排放处理技术》《汽车系统控制及其智能化》《中国汽车二氧化碳减排路径》和《汽车制造系统和质量控制》。

这套教材的一个共同特点就是与国际发展同步、内容新颖。编著者对于比较传统的学科,在编写过程中尽可能地把最新的技术和理念包括进去,比如在编写《汽车材料及轻量化趋势》的过程中,不仅介绍了各种轻量化材料的特点和动向,而且强调了轻量化材料的应用必须系统地考虑材料的性能、部件的加工方法和成本。有些选题针对汽车行业发展的新的技术动向,比如《汽车安全的仿真与优化

设计》主要介绍汽车安全仿真的模型验证和优化，这是汽车产品开发采用电子认证的必经之路；而《汽车系统控制及其智能化》概括了汽车的主要系统及其控制，以及智能化技术在各个系统中的应用，这些都是汽车自动驾驶的基础。

这套教材的另一个突出的特点是实用，比如一般汽车设计要求非磨损件的寿命是 24 万公里。《汽车设计的耐久性分析》着重介绍了汽车行业用于耐久性分析的主要工具和方法，以及这些方法的理论基础。这是进行汽车整车和零部件寿命耐久性正向设计的基础。随着环境保护的法规日益严格，汽车排放控制技术也在不断发展提高。汽车动力技术已经形成化石燃料到其他燃料的多元化发展，《汽车尾气排放处理技术》和《中国汽车二氧化碳减排路径》介绍了排放控制技术的进程和法规实施的协调，以及达到法规要求的不同技术路线。汽车质量一直是热门话题，也是一个汽车企业长期生存的关键问题之一。《汽车制造系统和质量控制》介绍了现代汽车制造系统与质量控制的基本概念和实践。

本套丛书不仅对汽车专业的学生大有裨益，也可以作为汽车从业人员和所有对汽车技术感兴趣者的参考读物。由于时间有限，选题的范围还不全面。每本书的内容也会反映出作者的知识和经验的局限性。在此，真诚地希望广大读者提出意见，供我们不断修改和完善。



2016 年 8 月 5 日

## 推荐序一

随着我国汽车工业的快速发展，先进的汽车设计理论和技术在车身开发中越来越受到重视。同时，汽车发展遇到了环保、能源、交通等各个方面的诸多问题，在这种新形势下，从业者掌握和熟练运用核心设计技术显得尤为重要。

汽车的设计与制造是一个非常复杂的系统工程，需要考虑零件、子系统、系统，乃至整车等各个层面，综合运用材料科学、能源科学、信息科学和制造科学的相关知识、理论和方法。本套“汽车工程专业系列丛书”涵盖了汽车制造系统和质量、汽车动力总成、汽车材料及轻量化、车身耐久性、汽车安全仿真与优化、汽车系统控制及其智能化、汽车尾气排放处理与二氧化碳减排等多个方面的内容，涉及汽车轻量化、安全、环保、电子控制等关键技术。

本套丛书的作者既有在汽车相关领域工作多年、有丰富经验的专家，也有学成回国、已崭露头角的后起之秀；内容安排上既有适合初学者学习的大量基础理论知识，也融入了编著者在相关领域多年来的研究体会和经验，从中我们能充分体会到现代汽车技术节能、环保和智能化的发展趋势。丛书结合大量实例，取材丰富、图文并茂。

本套丛书可作为汽车设计的参考工具，也可作为车辆工程、机械工程、环境工程等专业研究生的专门教材及学习参考书。相信该书对于汽车行业相关领域的研究生、企业研发人员和科研工作者会产生重要的启发作用，特作序推荐。

陈宝康

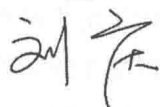
上海交通大学

## 推荐序二

作为《中国制造 2025》战略部署的主要支点之一，汽车业的持续、快速、健康发展将为中国制造业强国目标奠定坚实的基础。面对中国汽车产业大而不强的现状，自主品牌汽车产业的发展壮大时不我待。重庆自主品牌汽车协同创新中心，立足于重庆地区汽车产业，依托国家“2011 计划”，以我国自主品牌汽车发展重大需求为牵引，以体制机制创新为手段，探索我国汽车自主品牌的发展模式。中心面向国内自主品牌汽车产业，重点开展培养高端人才，汇聚优秀团队，研发核心技术，推广产业应用，整合优势资源，搭建交流平台等工作。重庆自主品牌汽车协同创新中心瞄准“节能环保、安全可靠、智能舒适”的国际汽车三大发展趋势，凝练学科发展方向，汇聚创新资源和汽车及相关领域的优势学科群，建立了全面涵盖汽车行业研究领域的创新团队。本套丛书由汽车中心特别顾问、福特汽车亚太区技术总监韩维建博士积极推动。丛书主编韩维建博士基于数十年国际一流汽车工程经验以及独到全面的行业技术趋势把握，整合及组建了编著团队进行丛书各个书籍的编著。编著团队的成员主要由具有多年国际汽车公司工作经验，并且在高校及企业科研一线工作的归国人员组成。丛书内容拥有立足成熟技术、紧跟国际前沿、把握领域创新的特点及优势，丛书的成功出版将为国内汽车行业及学科提供全面而翔实的参考材料。

书籍是知识传播的介质，也是人才培养及创新意识传承的基础。正如重庆大学建校宣言“人类之文野，国家之理乱，悉以人才为其主要之因”所阐释的，本套丛书秉承重庆自主品牌汽车协同创新中心人才培养方针，主要面向高校汽车相

关学科本科及研究生的教学，同时也可为汽车行业工程人员参考。相信本套丛书会对我国汽车领域学科及行业产生积极良好的推动作用。



江苏省产业技术研究院



## 前言

2016年11月4日正式生效的《巴黎协定》提出,将21世纪内全球平均升温控制在工业化前水平 $2^{\circ}\text{C}$ 以内,并努力追求 $1.5^{\circ}\text{C}$ 以内的目标。这标志着全球气候治理已经走出低谷,再次回到国际政治舞台的前端。作为世界上二氧化碳排放最大的国家,中国积极参与减排行动,提出二氧化碳排放将在2030年左右达到峰值并争取尽早达到峰值等一系列量化目标。

以汽车为代表的交通部门,是我国重要的二氧化碳排放来源。作为移动排放源,汽车的二氧化碳排放控制比固定排放源(如电厂)更加困难,目前几乎没有有效的控制措施。加之我国私人汽车正处在快速普及阶段,2040年以前汽车保有量将持续大规模增长,并带来汽车排放的二氧化碳数量成倍增加。这对我国而言,不仅将带来能源资源、环境生态、能源安全等多方面的问题,而且意味着一项重要的政治挑战,关乎我国在全球气候治理中的承诺是否能够如期兑现,并影响我国在全球政治格局中的领导力和大国形象。因此,我国汽车部门控制二氧化碳排放的任务非常重要且艰巨,探索未来的汽车二氧化碳减排路径成为一项重要的研究命题,也成为汽车、能源、环境、气候变化、管理等学科交叉领域培养研究生的重要内容。

不同于系统介绍成熟理论和方法的传统教材,本书试图为读者展现的是当前热门研究领域的方法学及其应用。第一章从气候变化的科学背景开始介绍,展现了全球气候治理的发展历程和最新进展,并进行了研究意义上的评述。同时,引出我国交通部门在应对气候变化过程中所面临的挑战。第二章主要介绍交通用能和二氧化碳排放的研究思路、研究方法、典型模型及重要研究成果。第三章是第

第二章方法学的应用实例，对我国交通部门的二氧化碳的直接排放和生命周期排放进行了估算，并介绍了交通部门排放在全国排放中的贡献率。第四章和第五章是本书的核心内容，介绍了一种将全球排放目标与某个部门的减排路径相结合的研究方法，并展示了该方法在我国轻型车部门的实际应用。这种将从上至下的目标与从下至上的技术路径相结合的研究方法可扩展到电力、建筑等其他主要用能和排放部门。第六章以重型货车为重点，介绍了其他类型车辆的二氧化碳减排潜力。第七章对除道路以外的其他交通部门的二氧化碳减排潜力进行了阐述。

本书是基于作者的博士论文撰写而成的。在成书过程中，作者尽最大努力将自己在汽车用能和二氧化碳减排领域的理解与经验融入其中。作者感谢韩维建博士、张阿玲教授、David P. Chock 博士、Joseph M. Norbeck 教授对方法学 and 内容的悉心指导，以及申威博士、柴沁虎博士、黄诗尧博士等在交流和讨论中提供的有益参考，同时感谢家人和朋友的理解、支持与陪伴。由于时间仓促和作者阅历所限，本书中的疏漏和不妥之处在所难免，欢迎读者提出批评和修改意见。

杨晶

2017 年 6 月于北京

# 目 录

丛书总序

推荐序一

推荐序二

前言

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第一章 绪论 .....                | 1  |
| 第一节 全球气候治理的进程 .....         | 1  |
| 一、科学背景 .....                | 1  |
| 二、《联合国气候变化框架公约》 .....       | 6  |
| 三、《京都议定书》 .....             | 8  |
| 四、“后京都”时代 .....             | 9  |
| 第二节 新的里程碑：《巴黎协定》 .....      | 10 |
| 一、开启全球气候治理新篇章 .....         | 10 |
| 二、《巴黎协定》的局限性 .....          | 12 |
| 第三节 中国交通部门面临全球气候变化的挑战 ..... | 13 |
| 一、中国交通部门处于快速成长期 .....       | 14 |
| 二、中国交通部门面临多重挑战 .....        | 18 |

|                                             |           |
|---------------------------------------------|-----------|
| 三、急需寻求同一框架下的综合解决方案 .....                    | 22        |
| 参考文献 .....                                  | 23        |
| <b>第二章 交通用能和排放研究方法学 .....</b>               | <b>25</b> |
| 第一节 研究方法概述 .....                            | 26        |
| 一、按照建模思路划分 .....                            | 26        |
| 二、按照研究内容划分 .....                            | 28        |
| 第二节 部门活动水平分析法 .....                         | 30        |
| 第三节 IEA/SMP 模型 .....                        | 31        |
| 第四节 碳排放估算方法 .....                           | 34        |
| 一、IPCC 排放清单法 .....                          | 34        |
| 二、部门排放估算法 .....                             | 35        |
| 第五节 WTW 分析法和 GREET 模型 .....                 | 36        |
| 第六节 CO <sub>2</sub> 浓度稳定廓线 .....            | 38        |
| 第七节 排放权分配方法 .....                           | 40        |
| 参考文献 .....                                  | 43        |
| <b>第三章 中国交通部门 CO<sub>2</sub> 排放状况 .....</b> | <b>48</b> |
| 第一节 交通部门分类和范围界定 .....                       | 49        |
| 第二节 中国交通部门 CO <sub>2</sub> 排放量估算 .....      | 54        |
| 一、单个交通部门 CO <sub>2</sub> 直接排放量估算 .....      | 55        |
| 二、单个交通部门 CO <sub>2</sub> 生命周期排放量估算 .....    | 62        |
| 第三节 交通部门 CO <sub>2</sub> 排放份额的计算与国际比较 ..... | 65        |
| 一、交通部门 CO <sub>2</sub> 排放份额计算 .....         | 65        |
| 二、交通部门 CO <sub>2</sub> 排放份额国际比较 .....       | 69        |
| 参考文献 .....                                  | 70        |

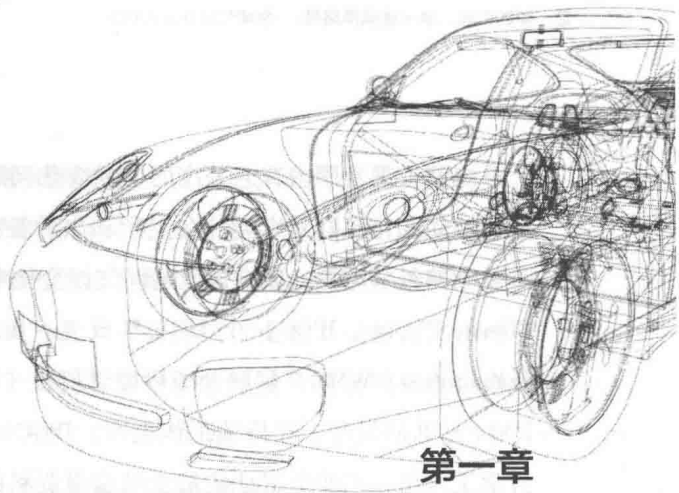
|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| <b>第四章 “2°C” 温升目标下中国轻型车的减排目标</b>  | 73  |
| <b>第一节 汽车保有量模型预测</b>              | 75  |
| 一、模型设定                            | 76  |
| 二、参数选择                            | 78  |
| 三、求解模型                            | 79  |
| 四、模型预测                            | 80  |
| 五、结果分析                            | 83  |
| <b>第二节 CO<sub>2</sub>浓度稳定目标分解</b> | 86  |
| 一、CO <sub>2</sub> 浓度稳定目标的生成       | 86  |
| 二、WRE_SMP 模型的建立                   | 89  |
| 三、WRE_SMP 模型的数据                   | 90  |
| 四、浓度稳定目标分解原则和方法                   | 102 |
| <b>参考文献</b>                       | 110 |
| <b>第五章 “2°C” 温升目标下中国轻型车的减排情景</b>  | 113 |
| <b>第一节 基线情景</b>                   | 115 |
| 一、情景假设                            | 116 |
| 二、CHINABAU 结果分析                   | 116 |
| <b>第二节 传统汽、柴油车进步情景</b>            | 117 |
| 一、550I 稳定情景                       | 118 |
| 二、450I 稳定情景                       | 120 |
| <b>第三节 生物质液体燃料替代情景</b>            | 122 |
| 一、燃料乙醇发展现状                        | 123 |
| 二、燃料乙醇资源潜力和产量预测                   | 125 |
| 三、B 减排情景                          | 131 |
| 四、550BI 稳定情景                      | 132 |
| 五、450BI 稳定情景                      | 136 |

|                                            |         |
|--------------------------------------------|---------|
| 第四节 插入式混合电动车替代情景 .....                     | 139     |
| 一、E 减排情景 .....                             | 141     |
| 二、EC 减排情景 .....                            | 143     |
| 三、E 和 EC 情景比较 .....                        | 145     |
| 四、550EI 稳定情景 .....                         | 146     |
| 五、550ECI 稳定情景 .....                        | 148     |
| 六、450EI 稳定情景 .....                         | 151     |
| 七、450ECI 稳定情景 .....                        | 152     |
| 八、550EI 和 450EI、550ECI 和 450ECI 情景比较 ..... | 155     |
| 第五节 限制发展政策情景 .....                         | 156     |
| 一、R0 减排情景 .....                            | 157     |
| 二、550RI0、450RI0 稳定情景 .....                 | 158     |
| 三、R1 减排情景 .....                            | 160     |
| 四、450RI1 稳定情景 .....                        | 161     |
| 五、R0 和 R1 情景比较 .....                       | 162     |
| 六、550I 和 550RI0 情景比较 .....                 | 163     |
| 七、450I、450RI0 和 450RI1 情景比较 .....          | 164     |
| 八、450R1IB 稳定情景 .....                       | 165     |
| 本章小结 .....                                 | 166     |
| 参考文献 .....                                 | 168     |
| <br>第六章 中国其他车辆减排潜力分析 .....                 | <br>170 |
| 第一节 其他车辆增长趋势与未来 CO <sub>2</sub> 减排重点 ..... | 171     |
| 第二节 重型货车的减排潜力分析 .....                      | 176     |
| 一、保有量预测 .....                              | 176     |
| 二、行驶里程 .....                               | 178     |
| 三、燃料经济性 .....                              | 179     |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 四、替代燃料 .....                 | 179 |
| 五、CO <sub>2</sub> 减排潜力 ..... | 181 |
| 参考文献 .....                   | 184 |

## 第七章 其他交通部门减排潜力分析 .....

|                |     |
|----------------|-----|
| 第一节 技术进步 ..... | 186 |
| 一、铁路运输 .....   | 186 |
| 二、民用航空运输 ..... | 188 |
| 三、水路运输 .....   | 188 |
| 四、管道运输 .....   | 188 |
| 第二节 结构优化 ..... | 189 |
| 第三节 管理创新 ..... | 193 |
| 参考文献 .....     | 194 |



## 第一章

# 绪 论

## 第一节 全球气候治理的进程

### 一、科学背景

气候变化 (Climate Change) 是指气候在一段时间内的波动和变化。《环境科学大辞典》对气候变化词条的解释是, 气候变化又称为气候变迁, 泛指各种时间尺度的气候演变。变化的时间长度从最长的几十亿年至最短的年际变化, 差别很大。按变化的时间尺度及性质可分为三类: ①地质时期气候变化, 其变化时间在万年以上, 主要是由地球大陆漂移、造山运动、地球轨道变化造成。②历史时期气候变化, 指冰河后期, 即一万年以来, 主要是近 5 000 年时段的气候变化, 其形成原因被认为与太阳活动和火山爆发有关。③近代气候变化, 指近百年特别是 20 世纪以来全球气候的变化。一些研究认为其产生的原因除太阳活动和火山爆发外还应考虑海气相互作用及人类活动的影响。<sup>[1]</sup>





当前世界范围内普遍关注的气候变化问题主要是指由于人类活动而引起的气候的波动变化及其对人类社会生产和生活各方面产生的不利影响。为深入研究这一重大的科学问题，联合国政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）于1988年成立，由世界气象组织（World Meteorological Organization, WMO）和联合国环境规划署（United Nations Environment Programme, UNEP）共同发起，并持续工作至今。IPCC由三个工作组组成：第一工作组称为科学工作组，主要负责评估基于可获得资料的气候变化的科学信息；第二工作组称为影响工作组，主要负责评估气候变化产生的环境 and 经济影响；第三工作组称为响应对策工作组，主要负责研究制定关于处理气候变化问题的响应策略<sup>①</sup>。三个工作组在IPCC的指导下分别独立进行工作，主要目标是获取关于气候变化、气候变化的影响、减缓与适应气候变化的措施等方面的科学和社会经济信息，从而进行综合、客观、开放和透明的科学评估，最终根据需要为《联合国气候变化框架公约》（United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC，简称《公约》）的缔约方会议（Conference of the Parties, COP）提供科学、技术和社会经济方面的决策参考与政策建议。IPCC是一个建立在政府间合作基础上的科学技术研究机构，所有联合国的成员方和世界气象组织的会员国家或地区都是IPCC的成员，都可以参加IPCC及其工作组的各种活动和会议。目前，IPCC集聚了150个国家和地区的2500多名科学家，形成了一个气候变化研究领域的全球智囊网络。IPCC自身不开展相关研究，而是对每年发表的数千份科学论文进行总结和评估，向决策者提供有关气候变化的最新认识，既包括科学界在哪些方面已达成共识，又呈现出存在意见分歧的领域以及需要进一步研究的命题。

从1990年发布第一次评估报告（First Assessment Report, FAR）至今，IPCC已经陆续出版了一系列研究成果，包括评估报告（Assessment Report）、特别报告（Special Report）、技术文章（Technical Paper）、指南和方法论（Guideline and Methodology）四种类型，这些成果对气候变化领域的科学研究和政府间应对气候变化的合作都产生了重要影响（见表1-1），IPCC系列报告已经成为气候变化领域

① 第二、第三工作组的职责后来进行了调整，分别负责评估气候变化的影响与对策、气候变化的社会经济方面的影响。