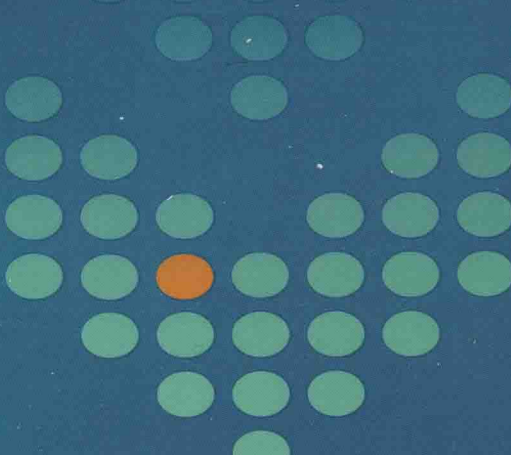
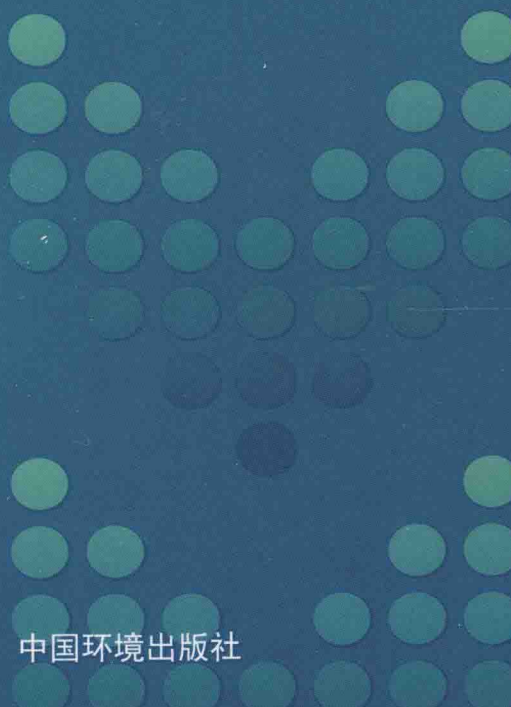




原白云 / 著

碳减排背景下的 企业运营优化及供应链协调

Enterprise's Operation Optimization and Supply Chain
Coordination Based on Carbon Emission Reduction



中国环境出版社

碳减排背景下的企业运营优化及 供应链协调

原白云 著

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

碳减排背景下的企业运营优化及供应链协调/原白云著.
—北京: 中国环境出版社, 2015.8
ISBN 978-7-5111-2468-5

I. ①碳… II. ①原… III. ①二氧化碳—减量化—排
气—影响—企业管理—供应链管理—研究 IV. ①X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 158794 号

出 版 人 王新程
责任编辑 孔 锦
助理编辑 高 艳
责任校对 尹 芳
封面设计 岳 帅

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67187041 (图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2015 年 8 月第 1 版
印 次 2015 年 8 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 10.75
字 数 204 千字
定 价 59.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

随着全球气候问题日趋严重, 各界人士已经形成共识, 温室气体排放是导致全球气候变化以及极端气候出现的主要原因, 而人类在经济活动中产生的碳排放是温室气体的主要来源。国际社会越来越重视温室气体排放问题, 出现了以减少温室气体排放为出发点的“低碳经济”发展模式, 这一模式迅速成为了各国应对全球气候变化的经济发展新模式。随着“低碳时代”的到来, 政府、企业及学者也纷纷关注和研究节能减排的相关问题。笔者在天津大学攻读博士学位期间, 已经开始对碳减排背景下的企业运营及供应链协调的相关问题展开了研究, 之后到河南理工大学经济与管理学院任教, 仍一直从事低碳供应链管理相关的研究, 并取得了一些有意义的研究成果, 本书的主要内容是作者近年来的部分研究成果。

本书以运营管理、供应链管理、资源经济学、博弈论及最优控制理论等为基础, 主要采用了优化模型、Stackelberg 博弈及微分博弈模型, 借助数学建模方法和 Matlab 等数学软件工具, 分别对单个企业减排与定价决策、两级供应链单周期合作减排决策以及两级供应链长期合作减排决策进行了深入的探讨, 尝试探究碳减排背景下企业的生产运营优化及供应链协调方面的决策问题, 旨在从企业微观层面探讨碳减排对企业运营优化及供应链协调产生的影响, 为低碳环境下企业的运营优化和供应链协调提供了相关的理论依据。

本书的第 1 章是绪论部分, 从“低碳时代”的到来、相关碳减排政策的出台以及消费者低碳意识的形成三个方面交代了本书的研究背景; 从减排对企业运营及供应链协调的影响两个方面介绍了本书的研究初衷; 并在此基础上, 提出了本书的主要研究内容及章节构成; 最后指出了本书所采用的研究方法。第 2 章简要阐述了企业运营优化及供应链协调的相关理论, 并结合国内外相关文献叙述了该

领域的当前研究现状。

本书在第3章中研究了企业低碳产品的减排与定价决策问题。在碳排放总量限制和排放交易政策下,提出了企业低碳产品的减排与定价模型,设计了产品减排量和加价额的组合定价策略,以使得企业利润最大化。通过对模型的求解,得到了低碳产品线每类产品的最佳单位减排量及其零售价格的最佳加价额;并通过案例验证了该最优定价组合策略可以使消费者根据自身的需求进行自主选择,实现了对市场的有效分割和对消费者的有利区分。

本书从第4章开始转向了碳减排背景下供应链协调的研究,首先探讨的是两级供应链下企业间单周期合作减排决策的问题,第4章研究了考虑产品碳排放约束的供应链收益共享契约设计问题,在碳排放总量限制和排放交易政策下,研究了由单个制造商和单个零售商组成的两级供应链中合作减排机制设计问题。假定产品市场需求受减排率影响,设计了由零售商驱动的收益共享契约进行合作减排,建立了以零售商为主方、制造商为从方的 Stackelberg 主从博弈模型,得到了制造商的最优减排率和零售商的最优利润分享比例;并与零售商不提供契约时对比,发现收益共享契约能激励制造商提高产品的减排率,增加供应链双方的利润,实现了 Pareto 改进。第5章研究了碳排放约束下考虑制造商竞争并与供应链联合减排机制设计问题,在碳排放总量限制和排放交易政策下,分析了由两个制造商和一个占主导地位的零售商组成的两级供应链中联合减排问题。考虑产品需求受减排率和低碳推广影响且两产品间存在部分替代性,借助有同时选择的两阶段动态博弈模型,研究了制造商减排与零售商低碳推广相结合的联合减排模式,得到了联合减排模式下两制造商各自的最优减排率和零售商的最优低碳推广程度;并与制造商单独减排模式对比,发现当零售商销售两产品的边际利润比满足一定条件时,零售商有动机为制造商提供不同程度的低碳推广并参与联合减排,在联合减排模式下制造商的减排率有所增加,供应链参与使企业的利润有所增加。

随后,本书在第6章研究了低碳环境下供应链纵向合作减排的动态优化决策问题,在低碳环境下,考虑企业减排效果的跨阶段性和低碳产品需求的特征,借助微分博弈研究了由单个供应商和单个制造商组成的两级供应链中,纵向合作减

排的动态优化问题。构建了以制造商占主导而供应商跟随的 Stackelberg 微分博弈模型,分别得到了制造商和供应商的最优反馈均衡策略及各自的利润最优值函数,推导出产品碳排放量随时间变化的最优轨迹;并通过数值计算,分析了制造商和供应商的长期合作减排策略对产品碳排放量的影响,为供应链上下游企业开展长期减排合作提供了理论依据。第 7 章探讨了低碳环境下供应链纵向合作减排的动态协调策略问题,基于微分博弈研究了由单个供应商和单个制造商组成的两级供应链中长期合作减排的动态协调机制设计问题。假设需求是产品减排量的线性函数,分别分析了制造商占主导而供应商跟随的 Stackelberg 博弈情形及制造商与供应商纵向一体合作减排的情形,构建了两种情形下的动态博弈模型,得到了各自相应的反馈均衡策略及产品碳减排量随时间变化的最优轨迹;并比较这两种反馈均衡策略,发现纵向一体合作减排策略能提高产品的减排量,供应商和制造商以及整个供应链的利润比非合作减排时有所提高,达到了 Pareto 最优,实现了供应链的协调。

本书第 8 章对全书所开展的研究工作进行了总结,概括了各章得到的研究成果;进一步展望了低碳环境下企业运营优化与供应链协调的未来发展趋势。碳减排背景下,企业运营及供应链成员间的协调都面临着诸多由于碳减排而引发的与以往完全不同的新问题,笔者希望通过自己的这些研究,抛砖引玉,促进该领域相关理论框架的进一步完善,由于笔者个人水平有限,对于书中出现的错误和不足之处,真心希望读者能提出批评意见,并及时反馈给我。

本书的特色之处主要体现在以下三点:

1. 在 Cap & Trade 机制下,量化了碳排放权对企业成本和利润的影响

在碳排放权总量限制和交易(Cap & Trade)政策下,加入减排和碳排放权交易后企业的运营优化及供应链协调与以往有所不同,“三维交易”模式下,碳排放权的可交易性使得企业的减排行为会改变企业的成本构成,减排后带来的排放权结余也会改变企业的盈利模式。本书首先量化了企业可交易的碳排放权对其运营成本和利润的影响,为探究低碳环境下企业运营优化及供应链协调研究提供了定量基础。

2. 设计了供应链上下游企业联合减排的协调机制

供应链中各企业在产品减排中所处的地位不同,而且各企业的减排潜力也存

在差异,要降低产品的碳排放,不仅要制造商加大减排投入,也需要供应商提供低碳化的原材料,需要零售商进行适当的低碳宣传和推广等,因此考虑到供应链各企业减排能力的不同,本书设计了供应链企业间联合减排契约,以更好地实现供应链整体低碳化。

3. 从动态的视角研究了供应链企业间长期合作减排问题

企业减排投资具有跨阶段效应,前期由于设备一次性投资成本较高,可能会遭遇低利润的情况,但减排项目的后续盈利能力是巨大的,这需要企业建立长远的发展规划,供应链企业间的减排合作也需要长期保持。本书利用最优控制理论和微分博弈模型,从动态的视角探究了供应链企业间长期合作减排问题,为供应链企业间长期合作减排寻找一些新的途径。

本书在研究、写作和出版过程中得到了许多人的指导和帮助。本书的研究得到了国家自然科学基金委的资助,具体包括“基于供应链低碳化的企业行为与运营优化决策研究”(71072155)和青年基金“碳交易机制下企业多周期运营优化及供应链动态协调研究”(71502050)主要研究成果是在天津大学攻读博士学位期间,在赵道致教授领导的学术团队中完成的。感谢我的博士生导师赵道致教授对我的指导和帮助,感谢国家自然科学基金的资助,感谢天津大学学术团队的友谊和同学们的支持。

本书的最终出版得到了河南理工大学经济与管理学院的资助,感谢河南理工大学经济与管理学院各位领导及老师的大力支持,感谢中国环境出版集团有限公司学术著作(国际)图书出版中心主任孔锦女士及诸位编辑工作人员的辛勤付出。

最后还要特别感谢我的家人,没有他们对我生活无微不至的关怀,这样的研究成果也很难顺利完成。

原白云

河南理工大学经管学院能源经济研究中心

2015年4月16日

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 “碳减排”背景的形成.....	1
1.2 “碳减排”对企业运营及供应链的影响.....	13
1.3 本书的研究内容	16
1.4 小结	17
第 2 章 企业运营管理及供应链协调理论概述	19
2.1 企业运营管理理论概述.....	19
2.2 碳减排背景下企业运营优化相关研究现状.....	25
2.3 供应链管理理论概述.....	27
2.4 低碳环境下供应链管理的相关研究现状.....	37
2.5 低碳环境下企业运营及供应链协调的研究现状分析	42
2.6 小结	43
第 3 章 企业低碳产品线的减排与定价策略研究.....	45
3.1 问题描述	45
3.2 符号说明及基本假设.....	46
3.3 模型的建立及求解.....	47
3.4 数值分析	53
3.5 小结	55
第 4 章 考虑产品碳排放约束的供应链协调机制研究.....	56
4.1 问题描述	56
4.2 基本假设及符号说明.....	56
4.3 模型的建立及求解.....	58
4.4 算例分析	65
4.5 小结	73

第 5 章 碳排放约束下考虑制造商竞争的供应链联合减排机制	74
5.1 问题描述	74
5.2 符号说明及基本假设	75
5.3 模型的建立及求解	76
5.4 算例分析	82
5.5 小结	86
第 6 章 低碳供应链纵向减排合作的动态优化研究	87
6.1 问题描述	87
6.2 符号说明及基本假设	88
6.3 模型的建立及求解	89
6.4 算例分析	97
6.5 小结	99
第 7 章 低碳环境下供应链纵向减排合作的动态协调策略研究	100
7.1 问题描述	100
7.2 符号说明及相关假设	100
7.3 模型的建立及求解	102
7.4 算例分析	111
7.5 小结	115
第 8 章 总结与展望	117
8.1 全书总结	117
8.2 研究展望	118
附录 A 《联合国气候变化框架公约》京都议定书	121
附录 B 对《京都议定书》的多哈修正	138
附录 C 碳排放权交易管理暂行办法	144
附录 D 第 6 章的部分证明	150
参考文献	153

第1章 绪论

1.1 “碳减排”背景的形成

1.1.1 “低碳时代”的到来

研究表明,近年来最引人注意的全球气候变暖现象,主要是由于人类活动使大气中温室气体的浓度急剧上升所导致的。美国环境保护局(United States Environmental Protection Agency, USEPA)在关于温室气体的报告中指出,人类大规模的温室气体排放,一定程度上会引发全球变暖等气候变化问题^[1]。长期以来,人类经济活动中对碳基能源的依赖,导致了二氧化碳等温室气体的过度排放,对全球的生态环境及社会经济产生了巨大影响。人类近代历史上的温室效应,与过去相比更显著,之所以如此,是由于工业革命以来,人类燃烧化石燃料使二氧化碳含量急剧增加,有研究表明,自从工业革命起人类燃烧化石燃料导致大气层内二氧化碳浓度由 280×10^{-6} (质量比,下同) 上升至 390×10^{-6} ; 其次是甲烷,从饲养牲畜的粪便发酵、污水泄漏及稻田粪肥发酵等产生的;还有许多人类合成的,自然界原本不存在的气体,如氟利昂。温室气体的增加,加强了温室效应,是造成全球暖化的主要原因,已成为世界各国的共识。

所谓“温室气体”(Greenhouse Gases, GHGs)或称温室效应气体,是指大气中促成温室效应的气体成分。温室气体的共同点,就在于它们能够吸收红外线。由于太阳辐射以可见光居多,这些可见光可直接穿透大气层,到达并加热地面。而加热后的地面会发射红外线从而释放热量,但这些红外线不能穿透大气层,因此热量就保留在地面附近的大气中,从而造成温室效应。

自然温室气体包括水蒸气(H_2O),水汽所产生的温室效应占整体温室效应的60%~70%,其次是二氧化碳(CO_2)大约占26%,其他还有臭氧(O_3)、甲烷(CH_4)、氧化亚氮(又称笑气, N_2O),以及人造温室气体氯氟碳化物(CFCs)、全氟碳化物(PFCs)、氢氟碳化物(HFCs, 含氯氟烃 HCFCs 及六氟化硫 SF_6)等^[2]。水蒸气是

最主要的温室气体，但与二氧化碳不同，水蒸气可以凝结成水。因此大气中的水蒸气含量基本稳定，不会出现其他温室气体的累积现象。因此现在讨论温室气体时并不考虑水蒸气。大气中的二氧化碳（ CO_2 ）是植物光合作用合成碳水化合物的原料，它的增加可以增加光合产物，无疑对农业生产有利。同时，它又是具有温室效应的气体，对地球热量平衡有重要影响，因此它的增加又通过影响气候变化而影响农业。后三类气体（臭氧、甲烷、氧化亚氮）造成温室效应的能力最强，但对全球升温的贡献百分比来说，二氧化碳由于含量较多，所占的比例也最大，约为 55%。

二氧化碳浓度有逐年增加的趋势，20 世纪 50 年代其质量分数年平均值约 315×10^{-6} ，到 70 年代初已增加至 325×10^{-6} ，平均每年增加 $1.0 \sim 1.2 \times 10^{-6}$ ，或每年约以 0.3% 的速度增长。综合多数测定结果，在工业革命以前的二氧化碳质量分数为 275×10^{-6} 。大气中二氧化碳浓度增加的主要原因是工业化以后大量开采使用矿物燃料。1860 年以来，由燃烧矿物质燃料排放的二氧化碳，平均每年增长率为 4.22%，而近些年各种燃料的总排放量每年达到 50 亿 t 左右。

大气中二氧化碳增加的另一个主要原因是采伐树木作燃料。森林原是大气碳循环中的一个主要的“库”，每平方米面积的森林可以同化 $1 \sim 2 \text{ kg}$ 的二氧化碳。砍伐森林则把原本是二氧化碳的“库”变成了又一个向大气排放二氧化碳的“源”。据世界粮农组织（FAO，1982）估计，20 世纪 70 年代末期每年约采伐木材 24 亿 m^3 ，其中约有一半作为燃柴烧掉，由此造成的二氧化碳质量分数增加量每年可达 0.4×10^{-6} 左右。

近 200 年来，另一个主要的温室气体——甲烷的增加也十分迅速。人和草食动物的肠道、粪便、沼泽地，稻田等都是产生甲烷的“源”。此外，人类在开采天然气和煤炭时，也向大气中排放甲烷。在工业化以前，大气中的甲烷的质量分数只有 0.7×10^{-6} ，目前已接近 1.9×10^{-6} ，预计到 2030 年可达到 2.34×10^{-6} 。氯氟烃是近些年工业污染的结果，20 世纪 70 年代初首次检测到大气中的氯氟烃。由于氯氟烃可以破坏大气臭氧层而且本身又具有温室效应，因而已受到各国重视。

2011 年 11 月 21 日，世界气象组织在日内瓦发布年度《温室气体公报》称，2010 年地球大气温室气体含量创工业化时代以来的新高。其中，大气中二氧化碳的浓度较 2009 年上升了 2.3×10^{-6} （质量分数），达 389×10^{-6} ，增幅高于近 10 年 2.0×10^{-6} 的年均增长水平和 20 世纪 90 年代 1.5×10^{-6} 的年均增长水平。

根据以上综合分析，如果按现二氧化碳等温室气体浓度的增加幅度，到 21 世纪 30 年代，二氧化碳和其他温室气体增加的总效应将相当于工业化前二氧化碳

浓度加倍的水平,可引起全球气温上升 $1.5\sim 4.5^{\circ}\text{C}$,超过人类历史上发生过的升温幅度。由于气温升高,两极冰盖可能缩小,融化的雪水可使海平面上升 $20\sim 140\text{ cm}$,对海岸城市会有严重的直接影响。

联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)早在 2007 年的第四次评估报告中就指出国际社会应当尽快大幅减少温室气体排放。否则,全球气温升高将导致海平面上升、水资源短缺、粮食减产、传染病增加、濒危物种灭绝等严重后果,将会对自然生态系统和人类社会产生不利的影响^[3]。IPCC 在 2011 年的第五次评估结果中也表明:全球气候正在变暖,而导致其变暖的主要原因是人类燃烧化石能源和毁林开荒等行为向大气中排放了大量的温室气体,使得大气温室气体浓度升高,加剧了温室效应^[4]。因此,全球各国必须积极行动起来,应对气候变暖。

“碳减排(carbon emissions reduction)”是一条解决因温室效应而引起的气候及环境问题的根本途径,也是人类发展的必由之路^[5]。所谓“碳减排”,就是减少二氧化碳的排放量。随着全球气候变暖,二氧化碳的排放量必须减少,从而缓解人类的气候危机。近些年,全球化的“低碳革命”正在兴起,在此背景下,“碳足迹(carbon footprint)”“低碳经济(low-carbon economy)”“低碳生活(low-carbon life)”“低碳技术(low-carbon technology)”“低碳城市(low-carbon city)”及“低碳交通(low-carbon transportation)”等一系列概念应运而生^[6-8]。能源与经济以至价值观实行大变革的结果,可能会摒弃 20 世纪的传统粗放地增长模式,应用新的创新技术,通过低碳经济模式与低碳生活方式,实现可持续发展,这也预示着一个全新的低碳时代的来临,人类也将因此进入“低碳时代(low-carbon era)”,即以“低能耗、低污染、低排放”为基础的全新时代^[9]。

1.1.2 碳减排相关政策的出台

目前,各国都意识到能源紧缺和温室气体排放的危害,发展低碳经济、实现节能减排已成为国际社会持续发展的大趋势。国际联合组织及各国政府都纷纷出台相关的政策法规,制订各国的碳减排目标,积极有效地抑制碳排放,承担相应地二氧化碳减排任务,碳减排相关的政策的出台经历了以下几个阶段。

(1) 《联合国气候变化框架公约》的签订

气候变化是人类面临的严峻挑战,各国必须共同应对。为了促使各国共同应对气候变暖,联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)于 1992 年在纽约联合国总部通过了《联合国气候变化框架公约》(United Nations Framework Convention on Climate Change)^[10](以下简称《公约》),并于 1992 年 6 月在巴西里约热内卢

召开的有世界各国政府首脑参加的联合国环境与发展会议期间开放签署。1994年3月21日,该公约生效。《公约》是世界上第一个为全面控制二氧化碳等温室气体排放、应对全球气候变暖给人类经济社会带来不利影响的国际公约,奠定了应对气候变化国际合作的法律基础,是具有权威性、普遍性、全面性的国际框架,也是国际社会在应对全球气候变化问题上进行国际合作的一个基本框架。自1995年起,该公约缔约方每年召开缔约方会议(Conferences of the Parties, COP)以评估应对气候变化的进展。

《公约》为应对未来数十年的气候变化设定了减排进程,建立了一个长效机制,使政府间报告各自的温室气体排放和气候变化情况。此信息将定期检讨以追踪公约的执行进度。此外,发达国家同意推动资金和技术转让,帮助发展中国家应对气候变化。《公约》第二条规定,“本公约以及缔约方会议可能通过的任何相关法律文书的最终目标是减少温室气体排放,减少人为活动对气候系统的危害,减缓气候变化,增强生态系统对气候变化的适应性,确保粮食生产和经济可持续发展。”该公约没有对个别缔约方规定具体需承担的义务,也未规定实施机制。从这个意义上说,该公约缺少法律上的约束力。但是,该公约规定可在后续从属的议定书中设定强制排放限制。

为实现上述目标,公约确立了五个基本原则:①“共同但有区别的责任”的原则,要求发达国家应率先采取措施,应对气候变化;②要考虑发展中国家的具体需要和国情;③各缔约国方应当采取必要措施,预测、防止和减少引起气候变化的因素;④尊重各缔约方的可持续发展权;⑤加强国际合作,应对气候变化的措施不能成为国际贸易的壁垒。

(2)《京都议定书》的签署

《公约》签订之后,各国围绕应对气候变化又进行了一系列谈判,1997年12月在日本京都由联合国气候变化框架公约参加国三次会议制定并通过了《联合国气候变化框架公约的京都议定书》(以下简称《京都议定书》(Kyoto Protocol))^[1],是《公约》的补充条款。《京都议定书》(全文详见附录A)于1998年3月16日至1999年3月15日间开放签字,共有84国签署,条约于2005年2月16日开始强制生效,《京都议定书》的签署是为了人类免受气候变暖的威胁。发达国家从2005年开始承担减少碳排放量的义务,而发展中国家则从2012年开始承担减排义务。

《京都议定书》需要在占全球温室气体排放量55%以上的至少55个国家批准,才能成为具有法律约束力的国际公约。中国于1998年5月签署并于2002年8月核准了该议定书。欧盟及其成员国于2002年5月31日正式批准了《京都议定书》。

2004年11月5日,俄罗斯总统普京在《京都议定书》上签字,使其正式成为俄罗斯的法律文本。美国人口仅占全球人口的3%~4%,而排放的二氧化碳却占全球排放量的25%以上,为全球温室气体排放量最大的国家。美国曾于1998年签署了《京都议定书》。但2001年3月,小布什政府以“减少温室气体排放将会影响美国经济发展”和“发展中国家也应该承担减排和限排温室气体的义务”为借口,宣布拒绝批准《京都议定书》。到2009年2月,一共有183个国家通过了该条约(超过全球排放量的61%),2011年12月,加拿大宣布退出《京都议定书》,继美国之后第二个签署但后又退出的国家。

《京都议定书》的目标是“将大气中的温室气体含量稳定在一个适当的水平,进而防止剧烈的气候改变对人类造成伤害”,具体目标是在2008—2012年,将主要工业发达国家的二氧化碳等6种温室气体排放量在1990年的基础上平均减少5.2%。减排的温室气体包括二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)、氧化亚氮(N_2O)、氢氟碳化物(HFCs)、全氟化碳(PFCs)、六氟化硫(SF_6)。其中,欧盟削减8%、日本削减6%、美国削减7%、加拿大削减6%、东欧各国削减5%~8%。新西兰、俄罗斯和乌克兰可将排放量稳定在1990年水平上。议定书同时允许澳大利亚、爱尔兰和挪威的排放量比1990年分别增加8%、10%和1%。而议定书对包括中国在内的发展中国家并没有规定具体的减排义务。

为了促使发达国家完成减排目标,《京都议定书》还建立了三种旨在减少温室气体排放的合作机制——国际排放贸易机制(Emissions Trade, ET)、联合履行机制(Joint Implementation, JI)和清洁发展机制(Clean Development Mechanism, CDM)。允许采取四种减排方式:①对于某国总排放量的核算,应以“净排放量”计算温室气体排放量,即从本国实际排放量中扣除森林所吸收的二氧化碳的数量;②为实现《京都议定书》规定的目标,多国之间可以采用“集团方式”,如欧盟内部的许多国家可视为一个整体,采取有的国家削减、有的国家增加的方法,在总体上完成减排任务;③另外,两个发达国家之间可以在“国际排放贸易机制”或“联合履行机制”下,进行排放额度买卖的“排放权交易”,即难以完成削减任务的国家,可以花钱从超额完成任务的国家买进超出的额度;④此外,发达国家还可以通过“清洁发展机制”,联合发展中国家,采用绿色开发机制,促使发达国家和发展中国家共同减排温室气体。

(3)《京都议定书》多哈修订案的通过

截至2012年年底,《京都议定书》第一承诺期已终止,为了延续《京都议定书》的减排模式,实现了第一承诺期和第二承诺期法律上的无缝链接,《联合国气候变化框架公约》缔约方在多次气候大会中商讨《京都议定书》第二承诺期的问

题, 2012 年 11 月在多哈召开的《联合国气候变化框架公约》(以下简称《公约》) 第 18 次缔约方会议暨《京都议定书》第 8 次缔约方会议, 最终就 2013 年起执行《京都议定书》第二承诺期达成了一致, 并通过了《京都议定书》多哈修订案(以下简称《修订案》, 全文详见附录 B)。《修订案》指出《京都议定书》第二承诺期将于 2013 年 1 月 1 日开始, 并决定其于 2020 年 12 月 31 日结束, 为《公约》附件一所列缔约方规定了量化减排指标, 使其整体在 2013—2020 年承诺期内将温室气体的全部排放量从 1990 年水平至少减少 18%。大会还通过了有关长期气候资金、《公约》长期合作工作组成果、德班平台以及损失损害补偿机制等方面的多项决议。在资金问题上, 大会决议重申发达国家须为发展中国家应对气候变化提供资金支持, 并在 2020 年前实现“绿色气候基金”每年入款 1 000 亿美元的目标, 德国、英国、瑞典、丹麦等 6 个欧洲国家已经为此编列预算。

2009 年上半年, 日本和澳大利亚等提出新的“全球协议”文本, 公开表示不会接受议定书的“简单延续”; 俄罗斯也声称如果无法达成“全球协议”, 将不得不考虑退出议定书。在 2012 年多哈会议上, 日本、俄罗斯和新西兰最终决定不接受第二承诺期, 而澳大利亚选择了接受。而且在处理第一承诺期的碳排放余额的问题上, 仅有澳大利亚、列支敦士登、摩纳哥、挪威、瑞士和日本六国表示, 不会使用或购买一期排放余额来扩充二期碳排放额度。中国政府于 2014 年 6 月 2 日向联合国秘书长交存了《京都议定书》多哈修正案的接受书。中国希望发达国家尽快接受《修正案》, 确保其尽早生效。

多哈会议从法律上确定了《京都议定书》第二承诺期, 达成了为推进《公约》实施的长期合作行动全面成果, 坚持了“共同但有区别的责任”原则, 维护了《公约》和《京都议定书》的基本制度框架, 这是多哈会议最重要的成果。这标志着在《公约》体系下, 附件一缔约方根据议定书规定承担具有国际法律约束力的量化减排承诺, 非附件一缔约方在公约下开展国家适当减缓行动的模式得到了再度确认。

(4) 欧盟排放交易体系的建立

为了帮助其成员国履行减排承诺, 2005 年年初欧盟建立了碳排放交易体系(European Union Emission Trading Scheme, EU ETS)^[12]并试运行, 2008 年年初开始正式运行。欧盟排放交易体系是世界上第一个多国参与的排放交易体系, 它将《京都议定书》下的减排目标分配给各成员国, 参与 EU ETS 之各国, 必须符合欧盟温室气体排放交易指令的规定, 并以履行京都减量承诺, 以及减量分担协议作为目标, 执行各国所辖排放源温室气体排放量核配之规划工作; 再由各成员国根据国家分配计划分配给各企业, 以实现 2008—2012 年温室气体排放量较 1990 年

减少 8% 的目标。各企业通过技术升级、改造等手段,达到了减少二氧化碳排放的要求,可以将用不完的排放权卖给其他未完成减少排放目标的企业。整体 EU ETS 所覆盖范围包括 12 000 多座电站、工厂及其他工业设施,几乎占欧盟二氧化碳排放总量的一半,欧盟排放交易体系目前是全球最大的碳排放总量控制与交易体系。

欧盟排放交易体系属于“总量限制和交易”机制(Cap & Trade)。所谓“总量限制和交易”,是指在一定区域内,在污染物排放总量不超过允许排放量或逐年降低的前提下,限制温室气体排放总量,内部各排放源之间通过货币交换的方式相互调剂排放量,通过买卖行政许可的方式来进行排放,实现减少排放量、保护环境的目的^[13]。欧盟排放交易体系的具体做法是,欧盟各成员国根据欧盟委员会颁布的规则,为本国设置一个排放量的上限,确定纳入排放交易体系的产业和企业,并向这些企业分配一定数量的排放许可量(allowance)——欧洲排放单位(EU Allowance, EUA),如果企业能够使其实际排放量小于分配到的排放许可量,那么它就可以将剩余的排放权放到排放市场上出售,获取利润;反之,它就必须到市场上购买排放权,否则,将会受到重罚^[14]。所谓排放许可量,是指于指定期间内的排放二氧化碳当量(tonne of carbon dioxide equivalent),该当量可依据规定而转让。

在欧盟碳排放交易体系下,欧盟会员国政府须同意由 ETS 同意的国家排放总量上限。这表示,在整体系统内,所有的工厂、发电厂和其他设施的总温室气体排放量将会被限制在一定额度内。在此上限内,各公司将有其分配到的排放量,他们可以出售或购买额外的需要额度,以确保整体排放量在特定的额度内。每家公司必须在每年年底交出在排放许可量限制内的排放量,否则将会受到罚款。如果一家公司降低其排放量,它可以保留排放许可量以提供未来的需求,或者出售给别的公司。

欧盟委员会规定,在试运行阶段,企业每超额排放 1 t 二氧化碳,将被处罚 40 欧元,在正式运行阶段,罚款额提高至每吨 100 欧元,并且还要从次年的企业排放许可权中扣除该超额排放量。由此,欧盟排放交易体系创造出一种激励机制,它激发企业最大可能地追求以成本最低方法实现减排^[15]。欧盟试图通过这种市场化机制,确保以最经济的方式履行《京都议定书》,把温室气体排放限制在社会所希望的水平上。

(5) 中国碳排放权交易试点的启动

中国高度重视应对气候变化工作,将其作为建设生态文明和美丽中国的重要组成部分,列入国家发展规划,开展了大量适应和自主减缓行动。2009 年,在

哥本哈根联合国气候变化大会即将举行之际,中国第一次以约束性指标的方式宣布:到2020年,中国单位GDP二氧化碳排放将比2005年下降40%~45%^[16]。这样的一个减碳目标作为约束性指标,已纳入我国国民经济和社会发展的中长期规划。国家发改委国家应对气候变化战略中心战略规划部副主任柴麒敏也曾指出,我国目前正好处在工业化基本完成的阶段,正面临着很多矛盾,如雾霾等环境污染,而雾霾问题又是与二氧化碳排放“同根同源”,因为无论是温室气体,还是大气污染物,都来自化石能源。因此,减少二氧化碳排放跟减排污染物有着协同效益。这意味着,高耗能、高排放、高污染和产能严重过剩的现象,需要调整;长期以来主要依靠物质投入、外延扩张的传统经济发展方式,也需要变革。

随后的几年内,中国采取相关措施,积极落实上述减排目标。2011年10月,国家发改委下发通知,批准北京、上海、深圳等7省市开展碳交易试点工作^[17],并指出我国要在2013年启动碳交易试点,2015年基本形成碳交易市场雏形,“十三五”期间在全国全面开展交易。2013年6月深圳碳交易平台上线交易,成为中国首个正式启动的碳排放交易市场^[18]。同年11月上海启动了中国第二个碳交易试点平台。将近200家本地公司签约加入上海环境能源交易所(Shanghai Environment and Energy Exchange)。首日成交的三笔交易总额为9500t碳排放额度,价格为25~27元/t人民币^[19]。北京环境交易所发布消息称,从2013年11月28日北京碳排放权交易试点开市,到2014年3月7日已满百天。截至3月7日收市,北京市碳排放权交易平台达成交易77笔,总成交量64217t,成交额3258187元^[20]。重庆市也在2014年6月19日启动了碳排放交易。这7个试点地区既有东部,也有中部,也有西部,旨在不同发展地区探索我国进行碳交易的制度和机制,为建立全国碳市场做准备。2014年9月19日,国家发改委印发了《国家应对气候变化规划(2014—2020年)》(以下简称《规划》)的通知,这是中国应对气候变化领域的首个国家专项规划。该规划中强调了将会继续深化碳排放权交易试点,并加快建立全国碳排放权交易市场。

《规划》提出在总结温室气体自愿减排交易和碳排放交易试点的经验基础上,研究全国碳排放总量控制目标的地区分解落实机制,制订碳排放交易总体方案,明确全国碳排放交易市场建设的战略目标、工作思路、实施步骤和配套措施。此前,在2014年8月底召开的“2014年中国低碳发展战略高级别研讨会”上,国家发改委应对气候变化司副司长孙翠华透露,全国统一碳排放权交易市场计划于2016年试运行。2014年12月12日,国家发改委应对气候变化司发布《碳排放权交易管理暂行办法》(全文详见附录C),在7个地方碳交易