第 3 章

中国国家及区域碳排放核算理论与实践

本章导读：构建科学、统一的碳排放核算体系是推动我国实现碳达峰碳中和目标的重要基础性工作。本章聚焦中国国家及区域(省份与城市)层面的碳排放核算，系统介绍其理论基础、方法路径与实践应用，通过多层级的比较与实证分析，揭示当前核算工作所面临的主要挑战。通过本章学习，读者将全面理解我国碳排放核算体系在不同空间尺度下的构建逻辑与实际应用，为后续开展相关研究或政策制定奠定坚实基础。

3.1 中国国家及区域碳排放核算的背景及意义

3.1.1 背景和意义

随着全球变暖影响的日益加剧，各国间的集体减排行动已成为应对气候变化的迫切需求。作为全球碳排放大国，中国在国际气候治理中肩负着重要责任[1-2]。国际能源机构(IEA)的数据显示，2022 年中国因化石燃料燃烧产生的二氧化碳排放量高达 106.1 亿 t 二氧化碳当量，占全球总排放量的 31.1% [3]。面对这一挑战，中国高度重视应对气候变化，积极履行《联合国气候变化框架公约》规定的义务与责任。2020 年，中国提出了“力争于 2030 年前实现二氧化碳排放峰值，并努力在 2060 年前实现碳中和”的目标，并于 2021 年正式更新了国家自主贡献计划[4-8]。这一目标的实现，离不开科学、系统的碳排放核算体系，为制定精准、有效的减排政策提供数据支持[9-11]。

建立符合中国国情的科学、规范、准确的“国家—省级—市级”多层次碳排放核算体系，是实现碳达峰和碳中和目标的基础性工作。该核算体系不仅有助于全面摸清各层级的碳排放现状，明确不同地区和行业的碳排放结构，还为科学制定和实施减排政策提供了必要的数据支撑[12-13]。通过分层核算，相关人员可以清晰了解国家、省、市等不同层面的排放量、主要来源及变化趋势，从而使政策更具针对性和有效性。这一体系的建立不仅有助于推动中国的低碳经济转型和生态文明建设，还能促进可持续发展目标的实现，为经济、社会和环境协调发展奠定基础。此外，准确、规范的碳排放清单数据是中国参与国际气候合作和履行国际减排承诺的重要前提。国际气候谈判中，完善的数据体系不仅是衡量减排效果的重要依据，也直

接影响国家在国际气候治理中的话语权和影响力。通过加强多尺度碳排放核算工作，中国能够在全球气候治理中展现负责任的大国形象，同时增强在国际气候事务中的主导地位。因此，建立一个科学严谨、数据可靠的碳排放核算体系，不仅是实现国家减排目标的必然要求，更是中国在全球气候治理中发挥关键作用的重要保障[14]。

3.1.2 中国国家及区域碳排放核算的现状

中国高度重视碳排放核算工作，并在国家层面的温室气体核算方面取得了显著进展。截至2024年年底，中国政府已提交了四次国家信息通报和三次两年更新报告，全面阐述了中国应对气候变化的主要政策与行动及相关信息，并遵循国际公认的核算方法和标准，建立了较为完整的碳排放核算体系和标准。根据《联合国气候变化框架公约》的相关决定[15]，清单遵循《2006年IPCC国家温室气体清单指南》[16]《2006年IPCC国家温室气体清单指南2019修订版》[17]《IPCC国家温室气体清单优良作法指南和不确定性管理指南》及《IPCC土地利用、土地利用变化和林业优良做法指南》。截至目前，官方已报告了1994年、2005年、2010年、2014年、2017年、2018年、2020年、2021年国家层面的温室气体清单①。清单编制和报告范围涵盖了能源活动，工业过程和产品使用，农业活动，土地利用、土地利用变化和林业，废弃物处理共五个领域，具体包括二氧化碳（CO_2）、甲烷（CH_4）、氧化亚氮（N_2O）、氢氟碳化物（HFCs）、全氟化碳（PFCs）和六氟化硫（SF_6）的排放与吸收。活动水平数据主要源于官方统计资料，排放因子优先采用本国参数，其次采用IPCC指南中的缺省值。表3.1展示了2020年中国温室气体总量清单。

表3.1 2020年中国温室气体总量 单位：亿 tCO_2e

来源	CO_2	非CO_2温室气体					合计
		CH_4	N_2O	HFCs	PFCs	SF_6	
能源活动	96.61	7.82	1.17				105.60
工业过程和产品使用	15.32	0.00	1.30	2.73	0.22	0.93	20.50
农业活动		6.64	2.51				9.15
土地利用、土地利用变化和林业	−13.43	0.39	0.00				−13.03

① 中国政府于2004年、2012年、2018年、2023年分别提交了《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》《中华人民共和国气候变化第三次国家信息通报》《中华人民共和国气候变化第四次国家信息通报》，并先后于2016年、2018年、2023年、2024年完成了《中华人民共和国气候变化第一次两年更新报告》《中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告》《中华人民共和国气候变化第三次两年更新报告》《中华人民共和国气候变化第四次两年更新报告》《中华人民共和国气候变化第一次双年透明度报告》。

续表

来源	CO_2	非 CO_2 温室气体					合计
		CH_4	N_2O	HFCs	PFCs	SF_6	
废弃物处理	0.09	2.07	0.27				2.43
总量(不包括 LULUCF)	112.02	16.53	5.24	2.73	0.22	0.93	137.66
总量(包括 LULUCF)	98.59	16.92	5.24	2.73	0.22	0.93	124.63

资料来源：2024 年 12 月发布的《中华人民共和国气候变化第四次两年更新报告》。

注：(1) 空白部分不需填写；

(2) 0.00 表示计算结果小于 5×10^6 tCO_2e；

(3) 此表中部分数据因四舍五入，可能存在总计与分项合计不等的情况。

除国家层面的碳排放核算外，中国还逐步推进了省级和地方层面的温室气体清单编制工作，以更精确地掌握各省的排放情况，促进地方政府采取有效的减排措施[18-19]。为此，中国国家发展和改革委员会(NDRC)于 2011 年发布了《省级温室气体清单编制指南(试行)》[20]①。该指南为省级和地方层面温室气体清单核算工作提供了统一标准，加强了省级清单编制的科学性、规范性和可操作性，为编制方法科学、数据透明、格式一致、结果可比的省级温室气体清单提供了重要的技术指导和方法依据。省级清单主要涵盖能源活动，工业过程和产品使用，农业、土地利用变化和林业，废弃物处理共五大类排放源。考虑电力生产和消费存在区域性的差异，基于区域间公平的思考，省级清单指南中特别增加了与电力调入调出有关的二氧化碳排放量计算方法。各省市积极开展温室气体清单编制工作。例如，广东省、北京市和江苏省等地，已根据该指南编制并提交了省级温室气体清单。这些清单不仅为各省市自治区制定本地化的减排政策提供了科学依据，也为国家层面的碳排放核算和政策制定提供了重要支持[21]。

城市层面，中国国家发展和改革委员会于 2010 年启动了低碳地区试点，并于 2012 年和 2017 年扩大试点，涵盖了 80 多个不同地区、不同发展水平、不同资源禀赋和工作基础的城市(区、县)。试点城市围绕编制低碳发展规划、制定促进低碳产业发展的政策、建立温室气体排放数据统计和管理体系、建立控制温室气体排放目标责任制、倡导绿色低碳生活方式和消费模式共五个方面扎实落实试点任务[22-26]。2023 年的初步综合进展评估显示，南京、镇江等 33 个城市构建起常态化清单编制机制，温州、杭州、宁波、金华已经实现市辖区(含区县级)温室气体清单的常态化编制(见图 3.1)。杭州、厦门、苏州、温州等 15 个城市编制温室气体清单已累计达 10 年(含)以上，其中 12 个城市已经编制连续 10 年(含)以上，厦门、杭州、苏州、温州

① 2026 年 1 月，生态环境部以该指南为基础，编制形成《省级温室气体清单编制指南(2025 年版)》。

和株洲连续编制了 2005—2006 年共 16 年的清单。广东省于 2020 年发布《广东省市县(区)级温室气体清单编制指南(试行)》。宁波市人民政府办公厅于 2015 年印发《各县(市)区温室气体清单编制工作方案》,建立县(市)区温室气体清单编制常态化工作机制,并且在地市级、区(县、市)级层面均已完成 2010—2020 年温室气体清单报告编制工作。上海研究形成了区级温室气体清单编制技术指引和能源、工业过程等领域技术规范"1+5"文件体系,2023 年全面建立逐年更新的区级温室气体清单编制工作机制。

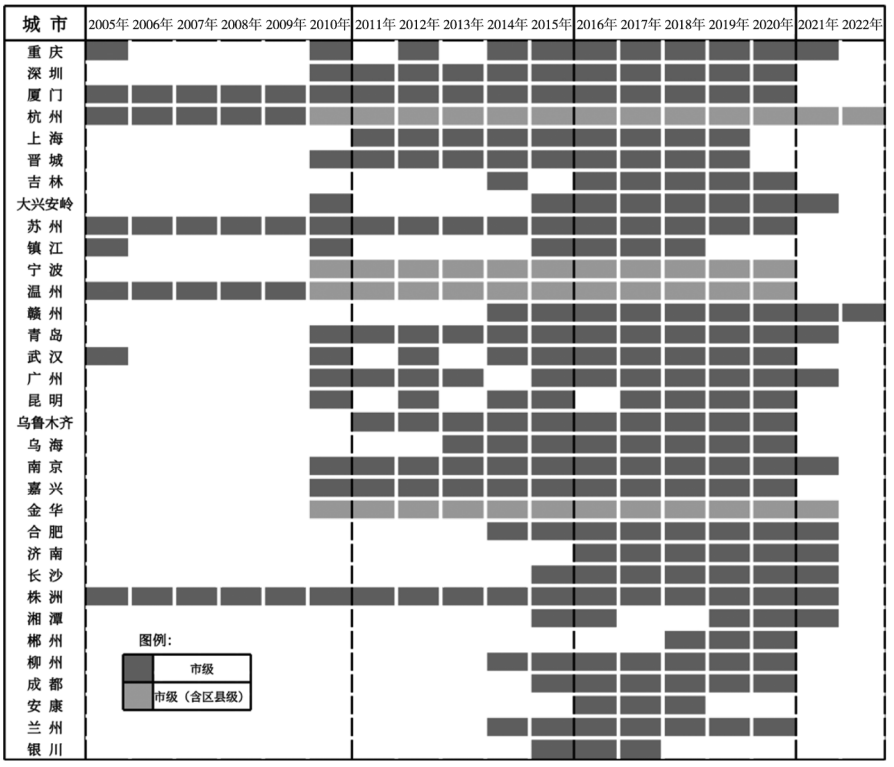


图 3.1　低碳试点常态化温室气体清单编制情况

资料来源:《国家低碳城市试点工作进展评估报告》。

3.2　国家碳排放核算理论与实践

3.2.1　核算理论与方法

根据《中华人民共和国气候变化第四次两年更新报告》的数据,2020 年中国的温室气体总排放量(不包括土地利用、土地利用变化与林业)达到 137.66 亿 tCO_2e。

其中，能源活动是主要排放来源，排放量达 105.60 亿 tCO_2e，占总排放量的 76.7%；工业过程和产品使用的排放量为 20.49 亿 tCO_2e，占比 14.9%。鉴于能源活动及工业过程和产品使用在温室气体排放中的核心地位，本节将围绕这两个领域展开重点分析，同时结合第 2 章介绍的排放因子法及部门核算方法，系统核算并深入探讨中国领土端二氧化碳排放情况，为后续的政策制定提供科学依据。

3.2.2　基础核算数据清单构建

构建基础核算数据清单是碳排放核算的重要基础环节。数据清单主要包括分部门的化石燃料消费量、工业产品产量及相应的排放因子，如图 3.2 所示。

中国国家层面的化石燃料消费数据主要源于能源平衡表和工业分行业的能源消费数据，这些数据可在历年的《中国能源统计年鉴》和《中国统计年鉴》中查阅。工业产品的产量数据同样可在《中国统计年鉴》中获取。系统整理和整合这些基础数据能够为碳排放核算提供科学依据，确保计算结果的准确性和可比性。

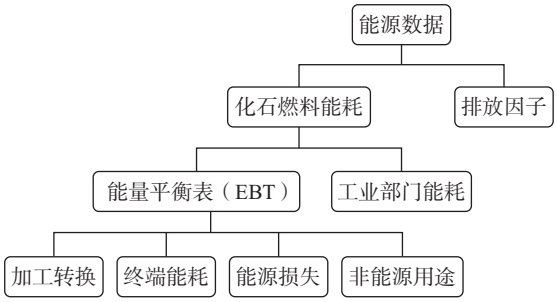


图 3.2　中国国家层面碳排放核算的数据基础

中国国家能源平衡表收录于《中国能源统计年鉴》，系统记录了特定时间内一个国家或地区的能源资源来源、使用及流向。该表采用矩阵形式呈现各种能源资源的流动及其相互关系，为能源分析及能源政策和规划的制定提供了重要支撑。

能源平衡表涵盖能源的来源、利用及去向。其中，能源来源包括一次能源和二次能源的生产、进口及库存，能源利用涉及最终能源消费及能源加工转换过程中产生的损耗，能源去向包括最终用途和能源加工转换过程中形成的产出。

能源平衡表既包括单项能源平衡表，也包括综合能源平衡表，并可采用实物量单位或标准量单位进行编制。碳排放核算通常使用综合实物量形式的能源平衡表。综合实物量能源平衡表按照能源的原始计量单位进行编制，例如，煤炭以 t 计量，天然气和煤气以 m^3 计量，热力和电力分别以 J 和 kW·h 计量。这种编制方式能够更真实地反映能源的实际使用情况，从而提高碳排放核算的精度。

本节以我国现行的综合能源平衡表格式为例，对该表及其主要指标进行说明，

见表 3.2。

（1）**可供本地区消费的能源量**：指报告期内本地区实际拥有的能源资源总量，包括 6 个主要指标：一次能源生产总量、进出口量、调入调出量及期初期末（通常指年初和年末）库存量。各数据项前标注有正、负号，正号表示本地区内可用的能源量，负号则表示能源的调出或出口。其平衡关系式为

可供本地区消费的能源量＝一次能源生产量＋进口量（调入量）－出口量（调出量）＋年初与年末库存量差额 （3.1）

（2）**一次能源生产总量**：指一定时期内全国（或地区）一次能源生产量的总和，是衡量全国（或地区）能源生产水平、规模、构成及发展速度的重要总量指标。其范围包括原煤、原油、天然气、水电、核电及其他动力能源（如风能、地热能等）所产生的发电量。但需注意，该指标不包括低热值燃料的生产量，以及由一次能源加工转换而成的二次能源产量。

（3）**进口量、出口量**：进口量指本地区在报告期内实际从国外购进并运达口岸或国境的各种能源数量；出口量指本地区在报告期内实际销往国外并已离开我国口岸或国境的各种能源数量。这两项指标包括经外贸、商业及其他部门完成的所有进出口能源量，但不包括转口贸易的数量。此外，我国境内飞机和轮船在境外加油的数量统计为进口量，境外飞机和轮船在我国境内加油的数量则统计为出口量。

（4）**调入量、调出量**：调入量指报告期内本地区由能源主管部门、能源销售部门及能源生产和消费单位从辖区外直接调入的各种能源数量；调出量指从本地区辖区内直接调出的各种能源数量。

（5）**库存量差额**：指报告期内本地区年初与年末实际结存的各种能源数量的差额。年初库存量指上一年 12 月 31 日的库存量，年末库存量指本年度最后一天的库存量。

（6）**加工转换投入量与产出量**：加工转换投入量指报告期内本地区投入加工转换的各种能源数量；产出量指报告期内通过加工转换产生的各种能源产品、石油制品及其他焦化产品。根据能量守恒定律，加工转换的投入能量应等于产出能量与加工转换损失量之和。

（7）**损失量**：指报告期内本地区能源在生产、输送和储存过程中因经营管理问题或自然灾害等客观原因造成的损失。不包括各种气体能源的放空、放散量及加工转换过程中的损失量。典型的损失量包括煤矿的原煤损失量和油田的原油损失量等。

（8）**终端消费量**：指报告期内本地区物质生产部门、非物质生产部门及生活消费使用的各种能源数量。不包括用于加工转换的投入量、加工转换损失量和其他损失量。物质生产部门包括农、林、牧、渔业，工业，建筑业，交通运输和邮电通信业，商业，公共饮食业，物资供销和仓储业；非物质生产部门包括公用事业、卫生、体

育、教育、文化、科研等领域。

(9) **能源消费总量**：指一定地域(国家或地区)内国民经济各行业和居民家庭在一定时期内消费的各种能源总和。能源消费总量分为三部分，即终端能源消费量、能源加工转换损失量和能源损失量。

(10) **平衡差额**：指各种能源资源与消费之间平衡后的差额，其平衡关系式为

$$\text{平衡差额} = \text{可供本地区消费的能源量} + \text{加工转换投入}(-)\ \text{产出}(+) - \text{损失量} - \text{终端消费量} \tag{3.2}$$

表 3.2 是中国 2020 年全国能源平衡表的节选，源自《中国能源统计年鉴 2021》，展示了原煤、汽油和天然气的相关数据。表 3.2 以综合实物量形式编制，全面反映了原煤在当年全国范围内的生产、消费、进口、出口及其他相关流向。

表 3.2　2020 年中国能源平衡表节选(实物量)

项目	原煤/t	汽油/t	天然气/万 m^3
一、可供本地区消费的能源量	415 805.42	−1427.66	2350.63
1. 一次能源生产量	390 157.71		1924.95
水电			
核电			
风电			
2. 进口量	30 361.09	48.05	476.53
3. 境内飞机和轮船在境外的加油量			
4. 出口量(−)	316.78	1600	50.85
5. 境外飞机和轮船在境内的加油量(−)			
6. 库存增(−)、减(+)量	−4396.61	124.29	
二、加工转换投入(−)产出(+)量	−349 916.36	14 233.1	−755.92
1. 火力发电	−206 845.78		−411.37
2. 供热	−35 434.18		−169.66
3. 煤炭洗选	−90 163.69		
4. 炼焦	−10 960.01		
5. 炼油及煤制油	−2914.28	14 256.69	−31.42
＃油品再投入量(−)		−23.59	
6. 制气	−3150.59		69.94
＃焦炭再投入量(−)			−15.17

续表

项目	原煤/t	汽油/t	天然气/万 m^3
7. 天然气液化			−198.25
8. 煤制品加工	−447.82		
9. 回收能			
三、损失量			26.13
四、终端消费量	57 206.52	12 743.57	1568.8
1.农、林、牧、渔业	2172.28	257.35	1.28
2.工业	44 258.69	160.38	614.97
#用作原料、材料	11 477.5	2.47	87.44
3.建筑业	597.02	508.39	2.64
4.交通运输、仓储和邮政业	224.31	5573.57	272.25
5.批发和零售业、住宿和餐饮业	1926.62	273.23	62.14
6.其他	2488.06	2253.09	55.55
7.居民生活	5539.54	3717.56	559.97
城镇	482.44	2510.98	553.67
乡村	5057.1	1206.59	6.3
五、平衡差额	8682.54	61.87	−0.22
六、消费量合计	407 122.88	12 767.16	2236.86

分工业部门、分能源品种的能源消费数据可从历年的《中国统计年鉴》中获取，如表 3.3 所示。能源统计体系采用的部门分类标准与中国国民经济核算中使用的部门分类标准保持一致[①]，以确保能源消费统计数据与经济统计数据的可比性和一致性，为能源利用分析和碳排放核算提供可靠的数据支撑。

表 3.3　2020 年中国工业分行业能源消费节选（实物量）

工业部门	原煤/t	汽油/t	天然气/万 m^3
煤炭开采和洗选业	1115.16	3.22	8.66
石油和天然气开采业	65.59	5.65	126.49
黑色金属矿采选业工业	150.61	0.60	0.05

① 《国民经济行业分类》GB/T 4754—2002。

续表

工业部门	原煤/t	汽油/t	天然气/万 m^3
有色金属矿采选业	74.75	1.07	0.83
非金属矿采选业	246.51	0.77	0.84
其他采矿业工业	11.62	2.59	2.97
农副食品加工业	700.34	4.85	4.20
食品制造业工业	837.51	3.69	13.87
饮料制造业	397.26	1.82	9.97
烟草制品业	4.07	0.08	1.14
纺织业	231.19	3.27	15.90
纺织服装、鞋、帽制造业	28.28	2.89	1.01
皮革、毛皮、羽毛(绒)及其制品业	15.69	1.56	0.11
木材加工及木、竹、藤、棕、草制品业	33.47	1.27	2.81
家具制造业	1.66	1.63	1.37
造纸及纸制品业	512.11	1.63	5.11
印刷业和记录媒介的复制	12.14	2.83	3.57
文教体育用品制造业	9.91	2.06	3.24
石油加工、炼焦及核燃料加工业	1138.29	1.19	27.44
化学原料及化学制品制造业	11 855.34	8.79	186.67
医药制造业	398.55	2.98	7.99
化学纤维制造业	358.56	0.37	2.27
橡胶制品业	99.65	2.96	4.14
塑料制品业	99.65	2.96	4.14
非金属矿物制品业	14 089.42	12.92	42.44
黑色金属冶炼及压延加工业	8804.84	2.50	48.30
有色金属冶炼及压延加工业	2019.58	2.48	21.89
金属制品业	189.96	8.24	13.52
通用设备制造业	12.55	10.88	10.43
专用设备制造业	4.08	8.30	5.28
交通运输设备制造业	30.70	16.33	11.87

续表

工业部门	原煤/t	汽油/t	天然气/万 m^3
电气机械及器材制造业	10.44	10.26	3.44
通信设备、计算机及其他电子设备制造业	14.94	6.29	12.48
仪器仪表及文化、办公用机械制造业	2.06	2.65	0.52
工艺品及其他制造业	4.02	0.87	0.28
废弃资源和废旧材料回收加工业	77.46	0.24	2.91
电力、热力的生产和供应业	411.87	13.60	2.57
燃气生产和供应业	185.16	2.28	3.78
水的生产和供应业	3.68	1.79	0.47

在获取分行业、分能源品种的终端能源消费数据后，我们需要对数据进行进一步处理，以剔除因非能源用途和能源转换可能导致的重复计算部分。在能源平衡表中，工业终端消费指工业部门消耗的能源总量，包括生产过程中各种形式的能源使用。而用作原料、材料这一分类则特指能源作为生产某种产品的物理成分或化学反应原料的用途。这部分能源并非通过燃烧产生能量，而是直接转化为产品的一部分。因此，为准确反映其非能源用途，应从传统的能源统计中剔除这部分消耗量。

本节接下来将重点分析几个涉及能源用作原料和材料的工业部门。这些部门包括：化学原料及化学制品制造业、医药制造业、化学纤维制造业、橡胶制品业及塑料制造业。对这些行业在能源平衡表中非能源用途进行详细分析，可以帮助我们更全面地理解能源在现代工业生产中的多样化作用。

化学原料及化学制品制造业利用石油和天然气等能源作为生产多种化学产品（如塑料和合成橡胶）的原料。这些能源在生产过程中通过化学反应转化为最终产品的一部分，体现了从能源到产品的转化机制。

医药制造业在药物制造过程中使用的能源物质（如某些特定的有机溶剂）不仅直接参与化学合成反应，还最终成为药品的组成部分，显示出能源在产品结构中的关键性作用。

化学纤维制造业中，石油是生产聚酯、尼龙等合成纤维的主要原料。在生产过程中，这些石油衍生物通过聚合反应转化为纤维，用于制造服装及其他纺织产品，展现了能源作为工业材料所扮演的重要角色。

橡胶制品业主要使用合成橡胶和天然橡胶作为材料，用于生产车辆轮胎、工业密封件等非能源产品。在这些应用中，橡胶作为结构和功能性材料被加工和使用，而非用作能源消耗。