

第1章

碳排放与气候变化

学 前 提 示

气候变化关系着人类的生存与发展，气候变化是人类需要共同面对的问题，而碳排放是影响气候变化的重要因素。因此，要想应对气候变化问题，首先要妥善解决碳排放的问题。





1.1 碳排放概述

二氧化碳是温室气体中最主要的一种，因此人们便用碳来代表温室气体。虽然这个说法不是很准确，但是这样能够让大家更加便于理解。因此，碳排放其实指的便是温室气体的排放，也可以理解为二氧化碳的排放。

一般来说，人类的生活时时刻刻都在产生碳排放，例如我们平时开车会造成碳排放、做饭时会造成碳排放等。本节我们就针对碳排放做具体介绍。

1.1.1 碳及温室效应

因为碳的过度排放造成了温室效应，因此在了解碳排放之前，我们先了解碳和温室效应。

1. 碳

碳是一种不溶于水的非金属元素，也是一种常见的元素，其英文为 Carbon，化学符号是 C。碳在很早以前便已经被发现并使用了，而人类最早使用碳的形式是炭黑和煤。此外，碳还是生铁、熟铁以及钢的成分之一。

下面我们来了解碳循环以及碳的贮藏形式。

1) 碳循环

和水一样，碳元素也可以在自然界中循环，称为碳循环。碳循环是指碳在地球系统中的循环过程，包括从大气中吸收二氧化碳（ CO_2 ）到植物和海洋中，再通过呼吸、分解和燃烧等过程释放回大气中的过程。碳循环还包括由岩石和土壤中的有机物质长时间地储存碳，以及通过化石燃料的开采和使用等人为因素加速的碳排放。

图 1-1 所示为碳循环。从图 1-1 中可以看出，二氧化碳会在残落物 / 尸体 / 粪便、植物、动物以及煤 / 石油等化石燃料之间循环。

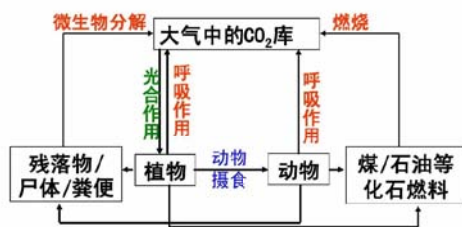


图 1-1 碳循环

2) 贮藏形式

碳既可以以游离元素的形式存在，也可以以化合物的形式存在。值得注意的

是，虽然以二氧化碳形式存在的碳在大气中是少量的，但它却是大气非常重要的组成部分。

以游离元素的形式存在的碳有金刚石、石墨等。金刚石是钻石的原石，也是到目前为止在地球上发现的天然存在物中最坚硬的，因此它可用作工艺品或切割工具，如金刚石刀具，如图 1-2 所示。

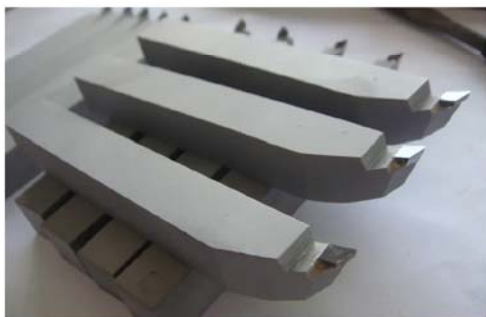


图 1-2 金刚石刀具

石墨又可称为石黛、画眉石等，广泛分布于全世界，其主要用途有制作铅笔、电极、润滑剂等。图 1-3 所示为石墨电极。而以化合物形式存在的碳主要存在于碳酸盐中。



图 1-3 石墨电极

2. 温室效应

温室效应最早于 19 世纪 20 年代由法国学者让·巴普蒂斯·约瑟夫·傅立叶 (Jean-Baptiste Joseph Fourier) 提出。自工业革命之后，温室气体排放量逐年增加，温室效应也逐渐明显，已经引起全世界的关注。值得注意的是，各



类温室气体中，二氧化碳占比最大，对全球气候变暖、温室效应的影响也最大，如图 1-4 所示。

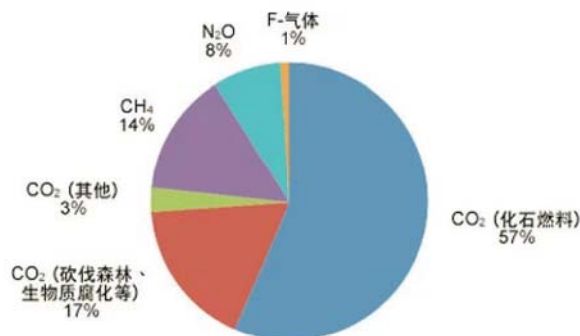


图 1-4 温室气体占比图（数据来源：科普南昌）

温室效应形成的原因主要是，人类活动中的工业生产、交通、农业生产、建筑等领域排放了大量能够加重温室效应的气体，尤其是二氧化碳。表 1-1 所示为部分温室气体排放加重全球变暖的潜在趋势。

表 1-1 部分温室气体排放加重全球变暖的潜在趋势

种类	大气寿命	GWP(时间尺度)		
	(a)	20a	100a	500a
CO ₂	可变	1	1	1
CH ₄	12±3	56	21	6.5
N ₂ O	120	280	310	170
CHF ₃	264	9100	11700	9800
HFC-152a	1.5	460	140	42
HFC-143a	48.3	5000	3800	1400
SF ₆	3200	16300	23900	3490



专家提醒

GWP 是温室气体全球增温潜势（Global Warming Potential）的缩写，是一种用于比较不同温室气体对全球气候变化的影响的指标。在 GWP 计算中，使用了一个时间尺度因子，通常表示为 a。该因子代表温室气体在大气中停留的时间与二氧化碳相比的比值，通常取 20 年、100 年或 500 年等不同的时间尺度。

二氧化碳经排放后进入大气层，由于其具有隔热、吸热的功能，吸收了大量太阳辐射到地球的热量并将地面的红外线反射回去，造成地球表面气温上升的情况。图 1-5 所示为温室效应原理图。

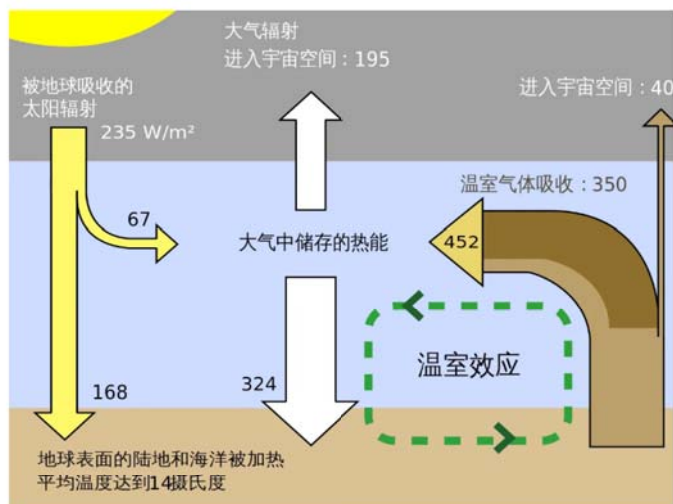


图 1-5 温室效应原理图

由此可以看出，温室效应造成的温室有两大特点：温度高、不散热。在日常生活中，有些建筑便是利用了这种原理以及特点来培育蔬菜和花卉，比如温室大棚和玻璃育花房。图 1-6 所示为温室大棚。



图 1-6 温室大棚



1.1.2 碳排放的来源及影响

碳的排放是造成温室效应最重要的影响因素之一，因此在了解了碳以及温室效应后，我们还要看一下日常生活中碳排放的来源以及碳排放的影响，帮助减少碳的排放，从而早日实现碳达峰、碳中和。

1. 碳排放来源

人类的许多行为活动都会排放二氧化碳，例如冰箱、空调、汽车、船只等的使用。可以说，碳排放来源与人类的生活息息相关。

值得注意的是，化石燃料的燃烧是碳排放的主要来源。化石燃料主要包括石油、天然气等，化石燃料是烃及其衍生物的混合物。化石燃料在燃烧时，碳经过充分燃烧与氧结合，便转化成了二氧化碳从而排入大气，其化学方程式如图 1-7 所示。



图 1-7 碳燃烧化学方程式

此外，虽然化石燃料的燃烧是碳排放的主要来源，但是人口的增长、经济的发展也会在一定程度上增加碳排放。

21 世纪以来，我国的碳排放量一直在增加。2011 年至 2020 年这 10 年间，二氧化碳总体排放量由 88.23 亿吨增长到了 98.94 亿吨，碳排放总量与世界总排放量之比由原来的 13.8% 升高到 29.4%，如图 1-8 所示。

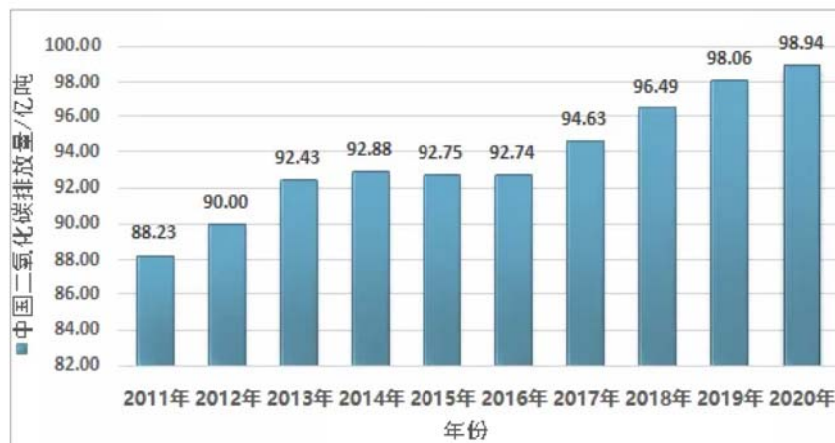


图 1-8 2011—2020 年中国二氧化碳排放量（数据来源：BP、智研咨询）

因此，为了更好地减少碳排放量，我国提出了“双碳”目标，即二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取于 2060 年前实现碳中和。

图 1-9 所示为世界二氧化碳排放总量。可以看出，2020 年世界二氧化碳排放量达到了 300 亿吨以上，但是相比 2018 年下降了 5.8%，而这也是近年来下降幅度最大的一次。



图 1-9 世界二氧化碳排放总量（数据来源：国际能源署）

2. 碳排放的影响

碳排放过多会造成多方面的影响，不仅会造成全球变暖，还会威胁人类的生存和居住环境。另外，全球变暖同时还会造成冰川和冻土消融、海平面上升等影响。

1) 全球变暖

二氧化碳有着吸热以及隔热这两种功能。如果地球上的二氧化碳过多便会形成温室效应，从而导致全球变暖。

图 1-10 所示为 1850—2020 年全球平均温度距平，即 1850—2020 年每年的气温与平均值的差。从图 1-11 中可以看出，2020 年中国陆地表面平均气温比常年值（本报告使用 1981—2010 年气候基准期）偏高 1.06℃，是 20 世纪初以来的最暖年份。

在亚洲地区，中国是受全球气候变化影响比较明显的国家。图 1-11 所示为 1901—2020 年中国地表年平均气温。从图 1-11 中可以看出，中国的地表年平均气温从 1950 年以来呈现很明显的上升趋势，特别是进入 21 世纪后气温距平一直都在 0℃以上。

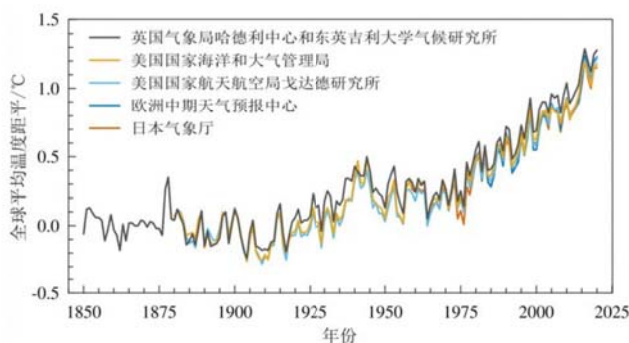


图 1-10 1850—2020 年全球平均温度距平（数据来源：《中国气候变化蓝皮书（2021）》）

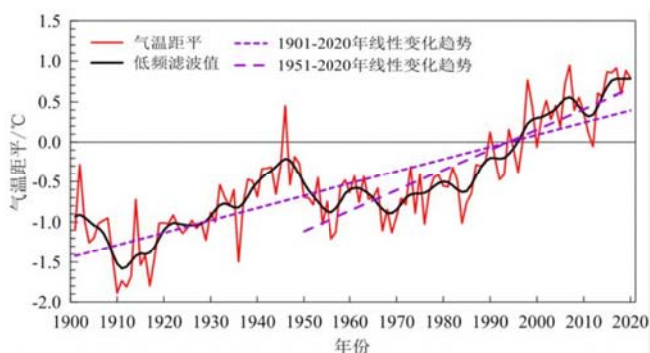


图 1-11 1901—2020 年中国地表年平均气温（数据来源：《中国气候变化蓝皮书（2021）》）

2) 冰川和冻土消融

随着全球变暖，各地的冰川会逐渐消融，但是冰川并不会完全消融，地球自有其一定的反馈系统。图 1-12 所示为天山乌鲁木齐河源 1 号冰川变化情况。从图 1-12 中可以看出，从 1962 年到 2021 年，该冰川在不断消融。



图 1-12 天山乌鲁木齐河源 1 号冰川

冰川的消融会造成水资源短缺的情况。冰川的消融导致固体水资源变少，而一些依赖于冰川水源补给的地方将会面临干旱的情况，例如中国的南疆地区、河西走廊等。

此外，有科研人员曾在极地发现古老病毒，而且这些病毒经过了几千年的时间仍然存活。因此，科研人员认为，极地是古老病毒的最大库存地。当冰川消融后，这些古老病毒就会全部释放出来，将严重威胁人类的生命财产安全。

3) 威胁人类的食物供应和居住环境

气温和水是影响农作物生长的重要因素。而碳排放的增加，导致全球气温升高以及地下水位下降，从而严重影响农作物的生长。而农作物歉收，将严重影响人类食物的供应。

另外，碳排放过多，还会导致气候反常、海洋风暴增多、土地干旱、沙漠化面积增大等问题，影响人类的生存与生活。

值得注意的是，气候变化以及碳排放过多容易引起空气污染、饥荒、呼吸道疾病，世界上每年有大约 500 万人因此而死亡。如果不采取相应的措施减少碳排放，到 2030 年因此而死亡的人数将达到 600 万，而这些死亡的人中有 90% 是在发展中国家。

4) 海平面上升

海平面会随着海洋盆地的容积以及海洋中的海水体积的变化而变化。二氧化碳碳排放过多造成冰川消融，大量的冰川融化后的水流入海洋中，从而导致海平面的上升。海平面的上升对沿海地区经济、生态系统都有着重大影响。

图 1-13 所示为 1980—2020 年中国沿海海平面距平变化。可以看出，近年来，中国沿海海平面呈现上升趋势。

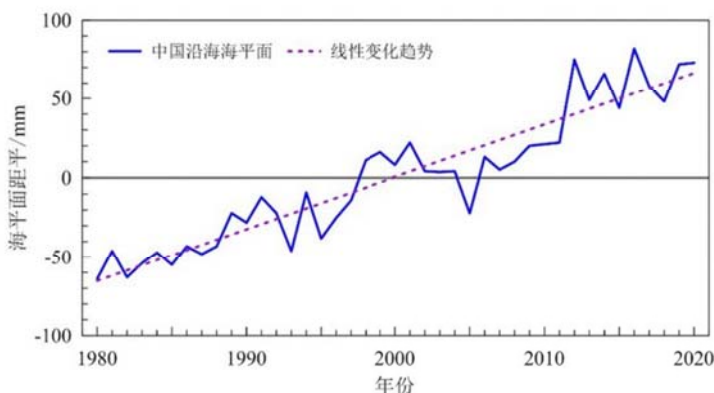


图 1-13 1980—2020 年中国沿海海平面距平变化 (数据来源:《中国气候变化蓝皮书(2021)》)

此外，全球海洋的热含量也在逐年增加。从 1995 年开始，全球海洋热含量



就已经达到了 $0/10^{22}$ 焦耳以上，如图 1-14 所示。

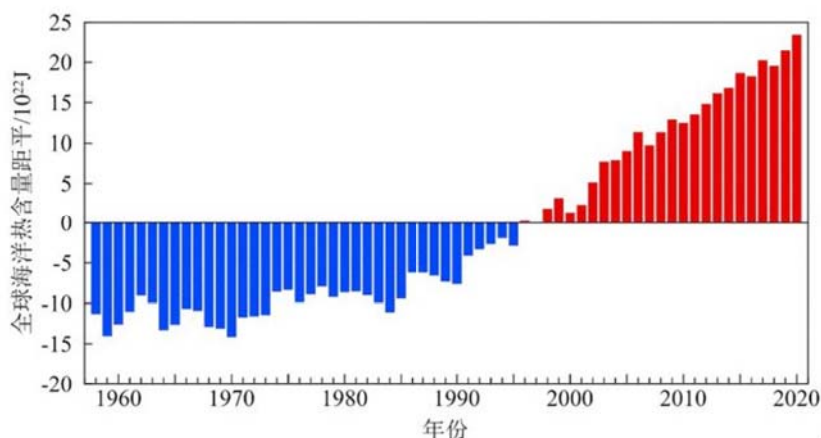


图 1-14 1958—2020 年全球海洋热含量（数据来源：《中国气候变化蓝皮书 2021》）

那么，海平面上升有哪些危害呢？一般来说，海平面上升有以下 8 种危害，如图 1-15 所示。

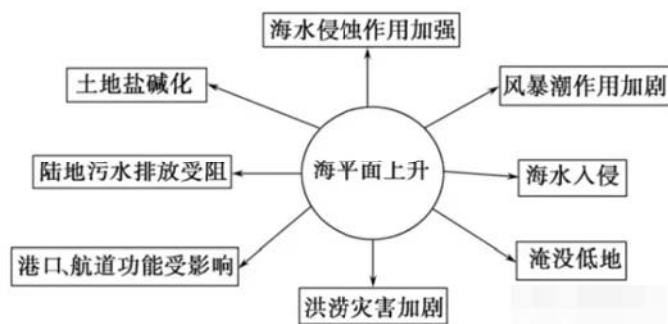


图 1-15 海平面上升的危害

1.1.3 碳排放的计算

随着 2019 年哥本哈根气候变化大会的召开，“低碳”一词便开始在全球受到瞩目。低碳生活、低碳经济已经成为人们共同努力的目标，现在许多国家都开始实行低碳计划，号召大家低碳生活。图 1-16 所示为“低碳生活”倡议书。

碳排放与人们的生活息息相关，因此大家开始关注碳排放量的多少，想要知道怎么计算碳排放量。现在国际上公认的碳排放的计算公式是活动水平乘以排放系数之积，如图 1-17 所示。



图 1-16 “低碳生活”倡议书



图 1-17 国际普遍使用的碳排放计算公式

但是，因为数据来源尺度的不同以及可靠性的不统一，这个公式里面存在很多不确定性。例如，每个国家或地区的计算尺度不同，那么他们所得出的数据也是不一样的。

此外，这个计算公式是需要国家统计好数据才能进行计算的。也就是说，这种计算方式存在一定的滞后性，得出的数据往往是两年前或是一年前的，这不足以满足碳达峰、碳中和需要快速统计的要求。

因此，清华大学地球系统科学系为了能够满足碳达峰和碳中和的要求，对这一公式做了延伸，如图 1-18 所示。

该方法利用多种数据源计算活动水平，并利用技术进步、区域差异、规模效应来把握排放因子，最后通过多部门整合来实现碳排放的准确计算。

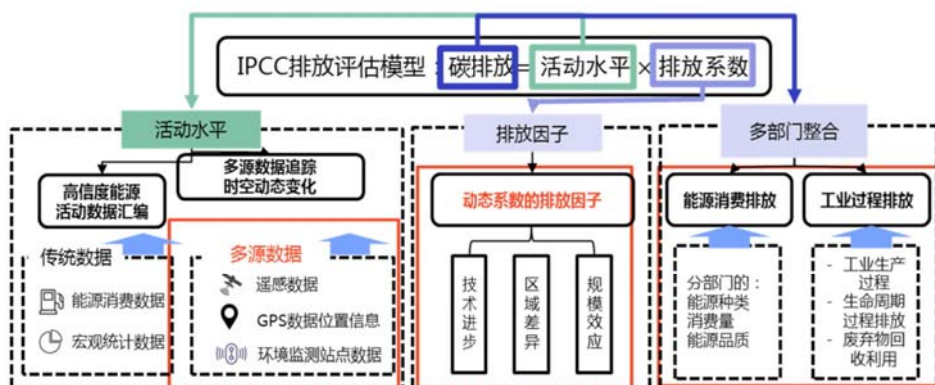


图 1-18 清华大学地球系统科学系碳排放计算公式的延伸

1.1.4 碳排放的应对措施

相对于其他污染物来说，减少碳排放是相对困难的，一方面碳排放与人们生活息息相关，另一方面相关的技术手段不足。目前，主要有五种方式应对碳排放过多的情况，如图 1-19 所示。

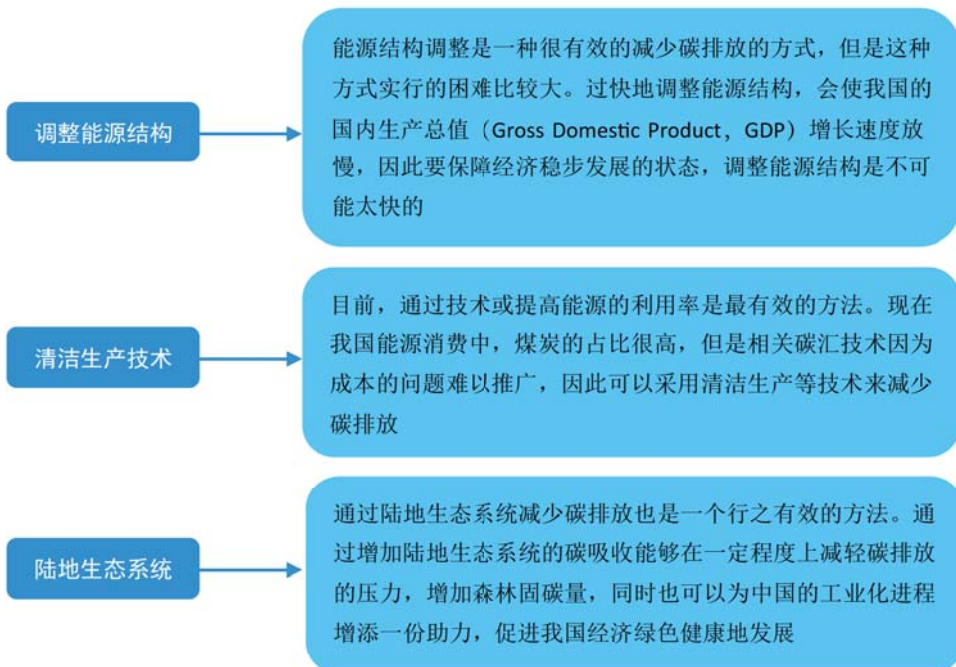


图 1-19 碳排放的应对措施

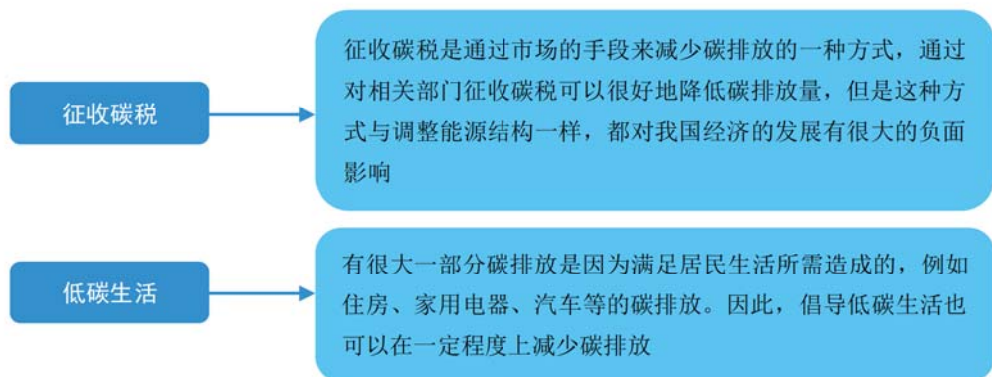


图 1-19 碳排放的应对措施（续）



专家提醒

碳汇技术是通过碳捕捉的技术将空气中的二氧化碳分离出来，然后采用一定的技术将碳存储起来，并封存在与大气相隔绝的地方。目前，碳捕捉技术相对成熟，但是碳存储技术比较薄弱。

1.2 气候变化概述

气候变化指的是在一段时间内气候的变化，当然这个时间并不是短短的一天、一个月，而是长期的，最长可以是几十亿年前到现在。一般来说，气候变化主要是通过不同时期的气温和降水来反映的。本节我们便来了解一下气候变化的基本情况。

1.2.1 气候变化的定义

气候变化的英文为 Climate change，它不仅是指长期的全球或地区气候模式的变化，还包括变率的变化。

值得注意的是，气候变化有着不同的用法。在政府间气候变化专门委员会（IPCC）中，气候变化只考虑时间因素，也就是说，不管造成气候变化的原因是自然因素还是人为因素，IPCC 中所说的气候变化指的是随着时间的变化而形成的任何变化。

而在 1992 年 5 月通过的《联合国气候变化框架公约》中，在给气候变化下定义时既考虑了自然因素，也考虑了人为因素。在该公约中，气候变化指的是在一段时间内，经由自然因素、人为因素而改变全球大气组成所导致的气候变化。



此外，在《联合国气候变化框架公约》中还将由人类活动而造成的气候变化与自然原因造成的气候变化区分开来，并且将气候变化的主要表现分为以下三个方面。

1. 全球气候变暖

全球气候变暖前面已经介绍过了，这里便不再赘述。但是，相较于酸雨、臭氧层破坏，全球气候变暖是当前更迫切的问题。

2. 臭氧层被破坏

臭氧由德国博士先贝因（Schanbein）于 150 多年前提出并命名。在距地面 20 ~ 50 千米的大气中的臭氧浓度最大，我们称此范围为臭氧层，它可以保障氧气与臭氧之间转换的动态平衡。

臭氧层主要有 3 个作用。

一是保护作用。臭氧层能够吸收一些对人体有害的紫外线，而对人体危害较小的紫外线则能够辐射到地面，因此臭氧层像是保护伞一样保护着人类。

由于气候的变化，臭氧层被破坏，出现了臭氧层空洞，那些对人体危害较大的紫外线便穿过臭氧层直接辐射到了地面，进而对地球上的动植物造成一定的影响，如图 1-20 所示。

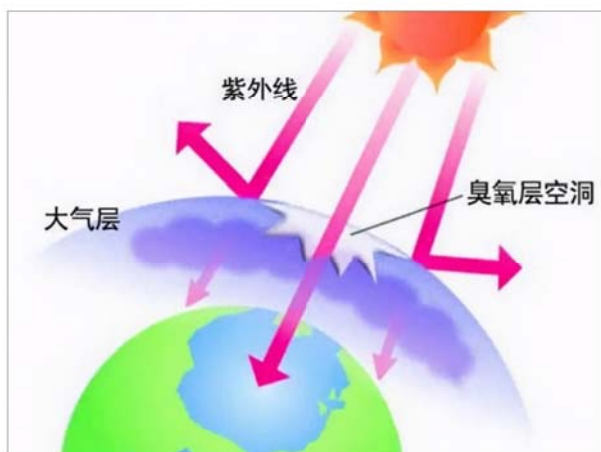


图 1-20 臭氧层空洞

二是加热作用。臭氧层可以将吸收的紫外线转换成热能进而为大气加热，而大气的温度对大气的循环有着重要影响。

三是温室气体的作用。大气结构分为对流层、平流层、高层大气，如图 1-21 所示。由图 1-21 可以看出，在对流层的上部、平流层的底部的气温是

相对较低的，而在这一高度，臭氧便起了温室气体的作用。如果这一高度的臭氧减少，地面气温就会下降，这是由于缺少臭氧层无法有效吸收紫外线照射地面所致。

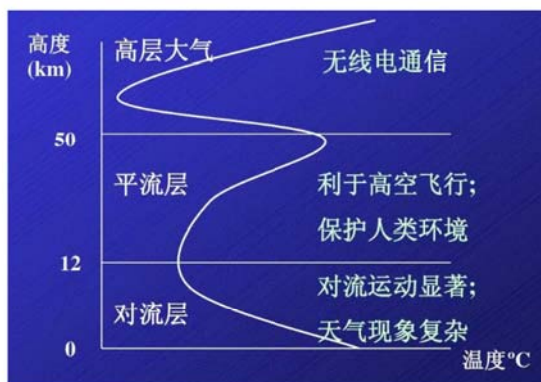


图 1-21 大气结构

了解了臭氧层的作用后，我们便可以知道臭氧层被破坏的危害了。臭氧层被破坏的危害主要包括以下几点，如图 1-22 所示。

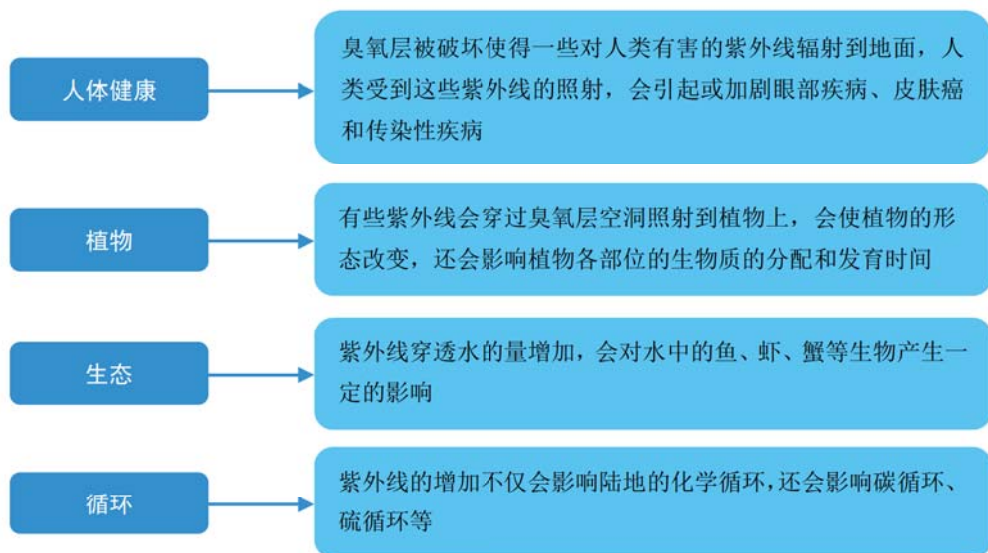


图 1-22 臭氧层被破坏的危害

3. 酸雨

酸雨即酸性沉降，指的是 pH (Pondus Hydrogenii, 氢离子浓度指数) 值



小于 5.6 的大气降水，包括雨、雪、雾、雹等，主要分为湿沉降、干沉降两类，如图 1-23 所示。下面来看一下酸雨的形成及其危害。

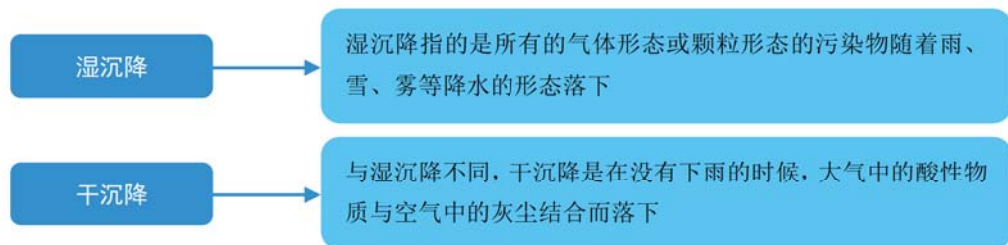


图 1-23 酸雨分类

1) 酸雨的形成

酸雨主要是二氧化硫、氮氧化物和碳氧化物在空气中与水进行了一定的化学反应而形成的，如图 1-24 所示。

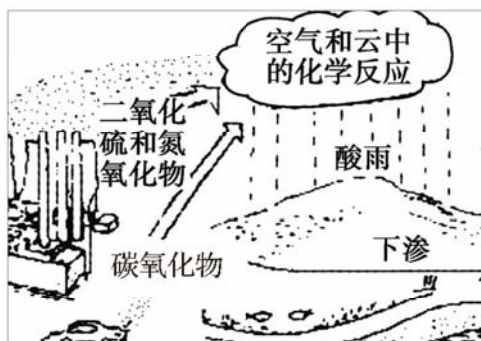


图 1-24 酸雨的形成

形成酸雨的气体主要有两种来源：一种是天然排放；另一种是人工排放，如图 1-25 所示。

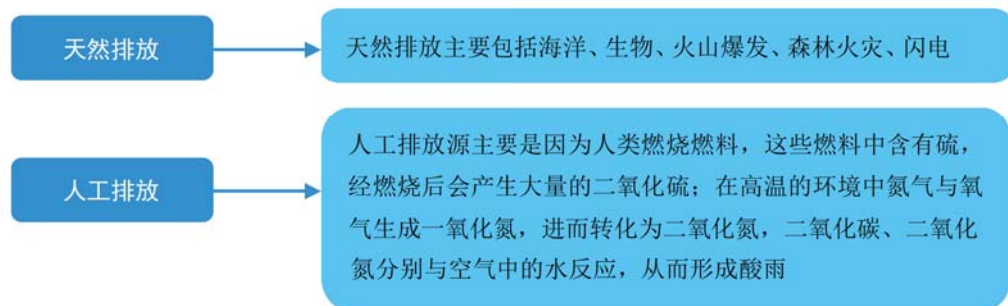


图 1-25 酸雨形成的来源

2) 酸雨的危害

酸雨又被称作空中死神，可见其危害之大。图 1-26 所示为下过酸雨后的树林。



图 1-26 下过酸雨的树林

此外，酸雨的危害是多方面的，主要包括人体健康、生态系统、建筑设施等，如图 1-27 所示。

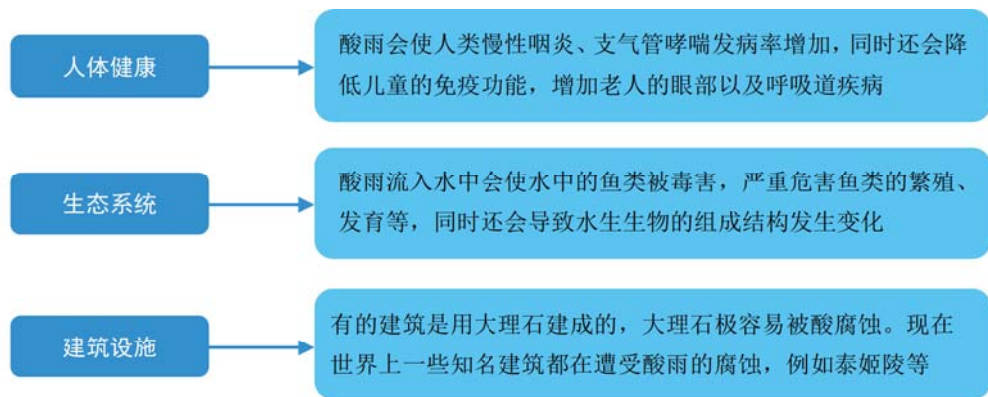


图 1-27 酸雨的危害

1.2.2 气候变化的原因

气候变化主要是由两个方面的因素引起的，一方面是自然因素，另一方面是



人为因素，如图 1-28 所示。

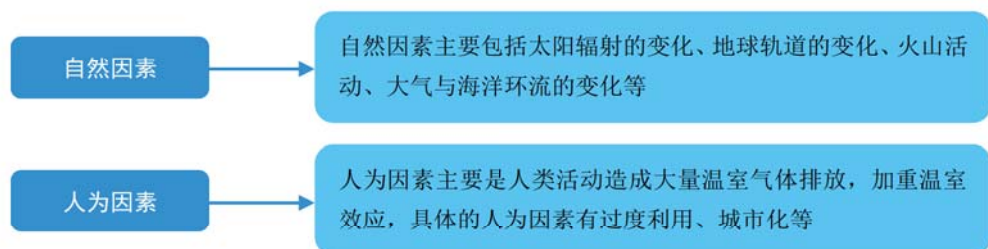


图 1-28 引起气候变化的因素

1.2.3 气候变化的应对

气候不是一成不变的。迄今为止，气候出现了三种不同的变化。在距今 22 亿年至 1 万年前的地质时期，气候出现了冰期与温暖期交替；在近 1 万年前的历史时期出现了温暖期与寒冷期交替；而在近现代时期，全球的气候变化以全球变暖为主，如图 1-29 所示。

为了有效地阻止全球气候变暖，控制气候变化带来的危害，早在 1979 年，世界各国便在瑞士日内瓦召开了第一次世界气候大会。此次大会使得人们开始重视气候变化。



图 1-29 三种气候变化

在 1992 年的联合国大会上，人们开始重视温室气体排放问题。本次大会通过了《联合国气候变化框架公约》，在 1997 年日本京都召开的第二次缔约国大会上通过了《京都议定书》。《京都议定书》是《联合国气候变化框架公约》的补充条款。

2015 年 12 月，世界各国在法国巴黎发布了《巴黎协定》。该协定与《京都协议

书》并行，是在《联合国气候变化框架公约》的基础上更新的一个关于气候变化的协议。

从1992年至今，温室气体排放问题一直被世界各国所重视。图1-30所示为气候变化协议发展图。



图 1-30 各国对于温室气体的排放问题应对政策

第 2 章

碳达峰与碳中和

学 前 提 示

碳排放过多会导致温室效应、冰川消融等多种问题。而我国是全球碳排放量最大的国家，为了减少碳排放，我国在 2020 年 9 月提出了碳达峰与碳中和的目标。本章我们就了解一下碳达峰与碳中和。





2.1 什么是碳达峰、碳中和

什么是碳达峰、碳中和呢？两者的关系又是怎样的？提出碳中和的意义有哪些？怎样实现碳中和？本节就为大家介绍其具体内容，帮助大家更快地了解碳达峰、碳中和。

2.1.1 碳达峰与碳中和的概念

我国很早就开始关注节能减排的问题，在 2005 年的“十一五”规划纲要中就已经提出了节能减排的相关要求。

而碳达峰与碳中和则是我国为了进一步减少碳排放，在 2020 年 9 月的第 75 届联合国大会一般性辩论上提出的目标，即在 2030 年实现碳达峰，在 2060 年实现碳中和，具体内容如下。

1. 碳达峰

碳达峰指的是在 2030 年温室气体的排放量达到历史最高值，然后开始逐渐回落，如图 2-1 所示。

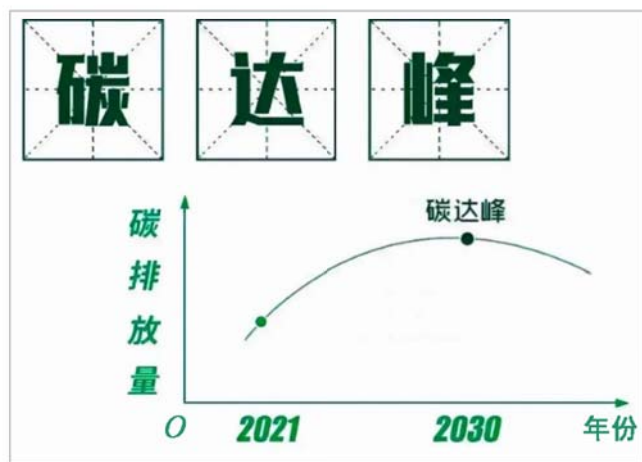


图 2-1 碳达峰示意图

2. 碳中和

碳中和是指通过植树造林、节能减排等形式来抵消二氧化碳或温室气体的排放量，实现正负抵消，最终达到碳的相对“零”排放。简单来说，碳中和就是指碳的排放和吸收达到平衡，两者在水平秤上平衡，如图 2-2 所示。



图 2-2 碳中和示意图

2.1.2 碳达峰与碳中和的关系

了解了碳达峰和碳中和之后，我们来看一下这两者的关系，主要有以下三点，如图 2-3 所示。



图 2-3 碳达峰与碳中和的关系

2.1.3 碳中和的意义

碳排放量过多，将会导致一系列气候、环境、生态问题，其中以温室效应最直接且严重。

为了能够将全球的气温上升幅度控制住，全球对碳的使用量做了一个预算，而早在 2011 年，全球就已经用掉了 52% 的预算额度。如果不加以限制，碳的排放量会在 2045 年面临超支的情况，温室效应会更加明显，如图 2-4 所示。

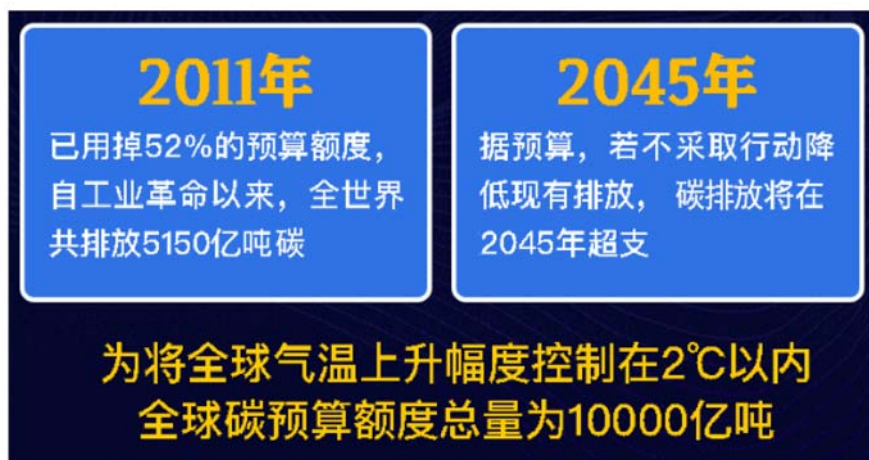


图 2-4 全球碳排放预算

因此，提出碳达峰、碳中和目标，控制碳排放量对全球的经济发展、人类的生存有着长远且重要的意义。

2.1.4 实现碳中和的三个阶段

实现碳中和的发展路径主要分为三个阶段，如图 2-5 所示。下面针对这三个阶段进行详细介绍。

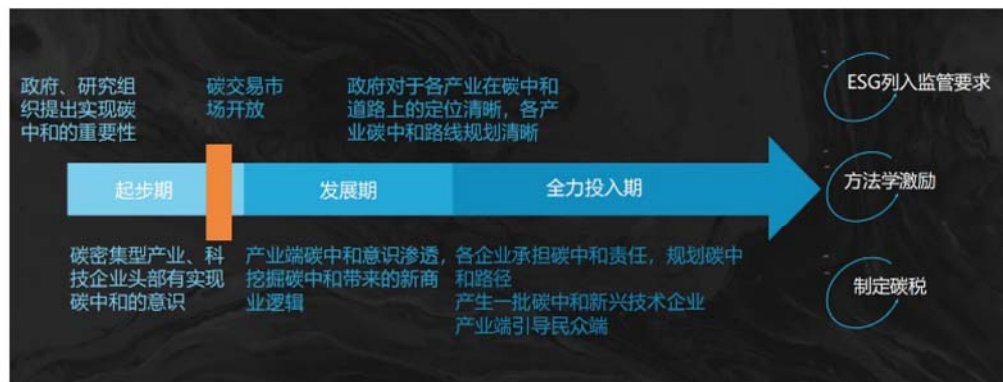


图 2-5 实现碳中和的三个阶段

1. 第一阶段（2020—2030 年）

第一阶段属于起步期，目前我国正处于这个阶段。在这一阶段的主要目标是实现了碳达峰。那么，这一阶段的主要任务有哪些呢？具体内容如图 2-6 所示。

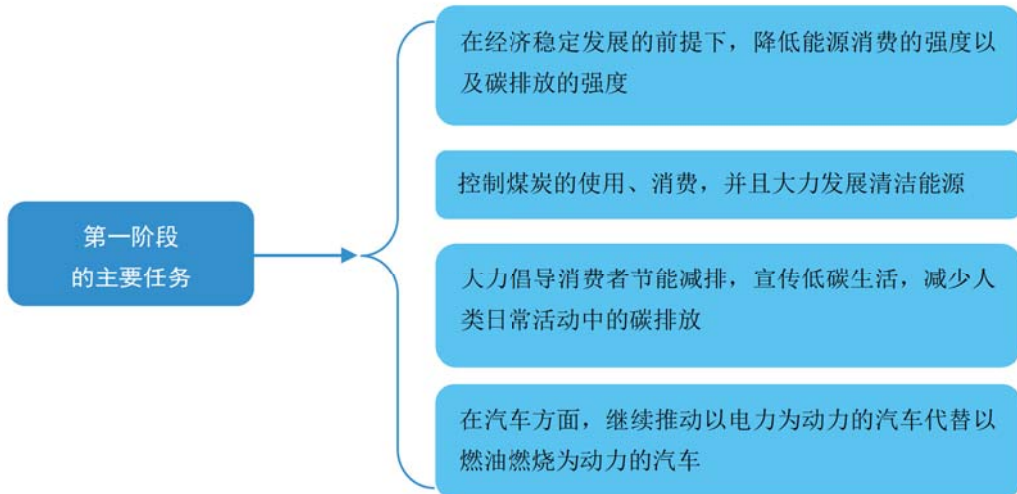


图 2-6 我国第一阶段的主要任务

2. 第二阶段（2030—2045 年）

第二阶段属于发展期，这一阶段的主要目标是为了快速降低我国的碳排放。这一阶段主要通过两个途径来实现目标，具体内容如图 2-7 所示。

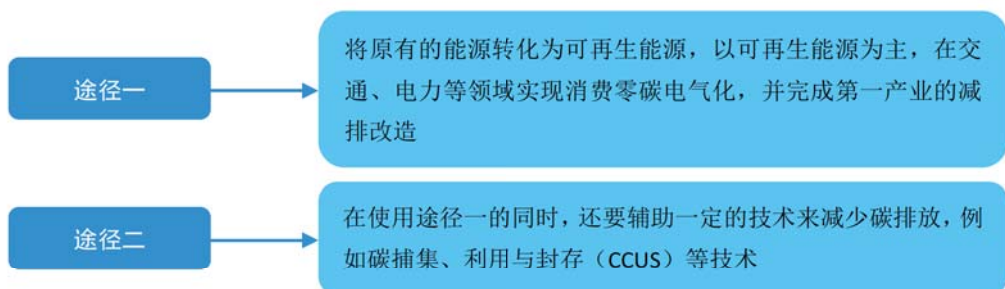


图 2-7 我国第二阶段的减排途径



专家提醒

CCUS(carbon capture, utilization and storage)，是碳捕获、利用与封存的简称。该技术不仅是封存，还是为了实现碳的循环再利用。目前，该技术已经是全球应对气候变化的关键技术之一，受到各国高度重视。



3. 第三阶段（2045—2060 年）

第三阶段属于全力投入期，主要目标是为了完成碳中和，实现碳排放与碳吸收的平衡。除此之外，在这一阶段还要完成深度脱碳、参与碳汇的目标。而在深度脱碳到完成碳中和期间，工业、发电端、交通以及居民侧的高效、清洁能源利用潜力已基本开发完毕。



专家提醒

碳汇（carbon sink）出自《联合国气候变化框架公约》，主要指的是森林吸引并储存二氧化碳的能力，可以分为森林碳汇、草地碳汇等，其功能主要是为了减少温室气体在大气中的浓度，缓解全球气候变暖的困境。

2.2 实现碳中和的原则

在实现碳中和和碳达峰的过程中，一定要坚持一定的原则，如把握好降碳与发展的关系、把握好碳达峰与碳中和的节奏、把握好不同行业的降碳路径、把握好公平与效率的关系、把握好国内发展与国际合作的关系，本节针对这些原则作简要介绍。

2.2.1 把握好降碳与发展的关系

在实现碳中和、碳达峰目标的同时，也不要忘记把握好降碳与发展的关系。两者都要兼顾，既要注重降碳，也要注重发展，这样才能更好地实现建设美丽中国和实现中华民族伟大复兴的目标。

在全国降低碳排放以及世界经济“绿色复苏”的背景下，我国应该选择一个对发展影响小且最具有可持续性的低碳发展方向，同时还要探索并建立碳排放的预留机制，从而在必要的时期能够有一定的预留容量，避免丧失发展的机遇。

2.2.2 把握好碳达峰与碳中和的节奏

在实现“双碳”目标的过程中还要把握好节奏。碳达峰是碳中和的前提，当我国提前并实现高质量碳达峰时，就能够很好地帮助我国尽快实现碳中和。在实现高质量碳达峰的过程中，不能够脱离我国的国情而过分地追求提前完成碳达峰。这样不仅会增加实现“双碳”目标的成本，还会给我国的经济发展带来负面影响。

政府在充分考虑了我国的具体国情后，在“十四五”规划的纲要草案中明确指出，在实现“双碳”目标的过程中，应该实施以控制碳排放的强度为主，以控制碳排放的总量为辅的制度。

在我国实现“双碳”目标的过程中，以“30·60”的目标为基础，一些条件比较成熟的地区可以提前实现碳达峰，但是也不能过于贪早，从而打乱实现“双碳”目标的节奏。

2.2.3 把握好不同行业的降碳路径

不同行业中碳的使用情况、技术路线、产品性质、用能方式的差异，导致不同行业的碳排放不尽相同，发挥的作用也不相同。所以在实现“双碳”目标的过程中，要根据不同行业中实现“双碳”目标的难易程度、减排影响程度以及相关的成本情况，然后制定最好、最经济的降碳路径。

根据2020年碳排放的比率来看，电力部门的排放量最大，占比为37%；其次为工业部门，占比为34%，工业过程中排放量占比为12%；最后建筑部门和交通部门的排放量相对较少，占了总量的9%。

在这些行业部门中，以电力部门和建筑部门的减碳基础较好，要尽快推进这两个部门实现碳达峰。而在工业部门中，要推动冶金、炼油等高能耗行业快速实现碳达峰。值得注意的是，在未来的碳中和阶段，电力、工业、交通这三个部门仍然是减排的主力。

2.2.4 把握好公平与效率的关系

在实现“双碳”目标的时候，还应该把握好公平和效率的关系。一般来说，促进“双碳”目标实施，通常会采用市场手段和行政手段相结合的方式。只有当两者相结合时，才能更好地提高实现“双碳”目标的效率。

不同行业存在着一定的差异性，在实现“双碳”目标的过程中不能“一刀切”。不同行业还有着多种企业类型，如私营企业、国有企业、外资企业；在实施相应计划时应该一视同仁，在同一标准和尺度下展开工作，不可厚此薄彼。

2.2.5 把握好国内发展与国际合作的关系

值得注意的是，全球各个国家组成了一个整体。随着经济全球化的发展，各个国家的联系越来越紧密。因碳排放过多而造成的气候环境变化不仅会影响本国的发展，还会对全球各个国家的发展都产生影响。

在实现“双碳”目标的时候，不仅要关注本国的发展情况，还要把握好国内发展与国际合作的关系，顺应全球低碳经济的发展趋势，建设性地参与和引领应



对气候变化的国际合作。

另外，为能够更快、更好地实现碳达峰与碳中和，还需要坚持以下几点原则，如图 2-8 所示。

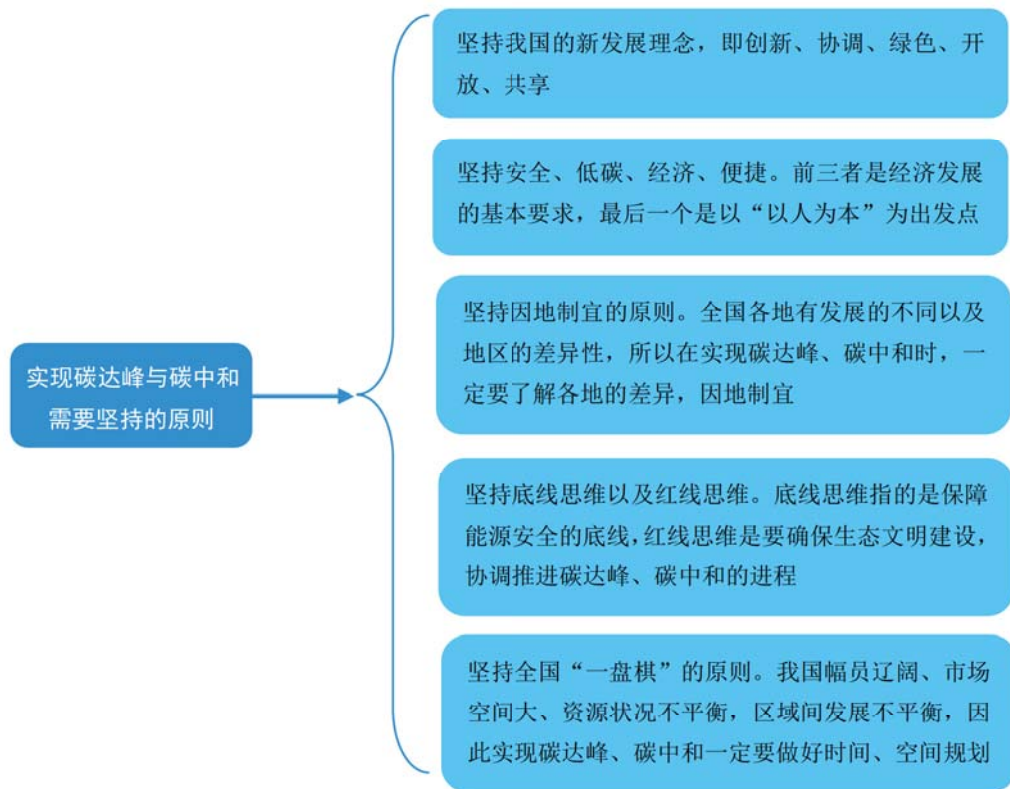


图 2-8 实现碳达峰与碳中和需要坚持的原则（资料来源：能源研究俱乐部发布的《碳中和目标下中国电力转型战略思考》一文）

2.3 实现碳中和的关键要素

全球气候变暖所带来的危害，我们每一个人都逃不了，但是国家、企业、个人要发展和生活，都会造成碳排放，那么我们应该在不影响国家、企业发展以及个人生活的情况下怎么降低碳的排放呢？那便是实现碳中和，而要早日实现碳中和，还需要把握好技术可行、成本可控、政策引导这三个关键要素。

2.3.1 技术可行

技术不仅是推动国家企业发展的关键要素，也是帮助国家、企业实现碳中和

的关键要素。

技术对于实现碳中和是非常重要的，为什么这么说呢？一方面，我国的碳排放目前是比较高的国家之一，因此与其他国家相比，我国实现碳中和的目标距离还是很远的。

另一方面，在我国的能源结构中，煤、石油等传统化石燃料的比重非常大，可再生能源、清洁能源等比重较小，而且这些能源的应用与我国的经济发展联系紧密。所以，要想早日实现碳中和，且在不影响国家经济发展的情况下，相关的技术发展是非常重要的。

目前，在我国经济发展中，一些高能耗、高排放的行业尤为重要，这就要求这些高能耗、高排放的企业在保持稳步发展的情况下，将先进减碳技术作为依托，才能更快、更好地实现碳中和。

相关的低碳技术主要有 CCUS 技术、可再生能源技术、电气化技术、信息技术等。另外，这些技术将在未来的碳排放上发挥重要作用。

前面已经讲过 CCUS 技术是全球应对气候变化的关键技术之一，下面我们便来了解一下这项技术。

CCUS 技术分为四步，分别是二氧化碳来源识别、二氧化碳捕集和分离、二氧化碳压缩和运输、二氧化碳利用，如图 2-9 所示。

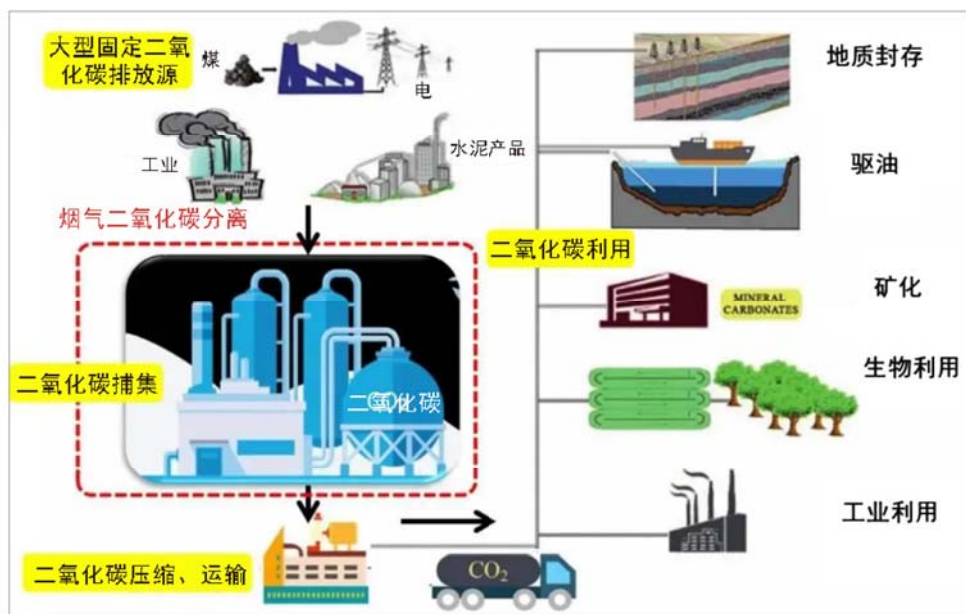


图 2-9 CCUS 技术流程

CCUS 技术还分为以下三种，如图 2-10 所示。



图 2-10 CCUS 技术类型

1. 碳捕获技术

碳捕获技术主要包括三项, 分别是点源 CCUS 技术 (CCUS from Point Sources)、生物能碳捕获与封存技术 (BECCS, bioenergy with carbon capture and storage) 和直接空气碳捕获与封存技术 (carbon capture and storage, CCS)。图 2-11 所示为点源碳捕获途径。

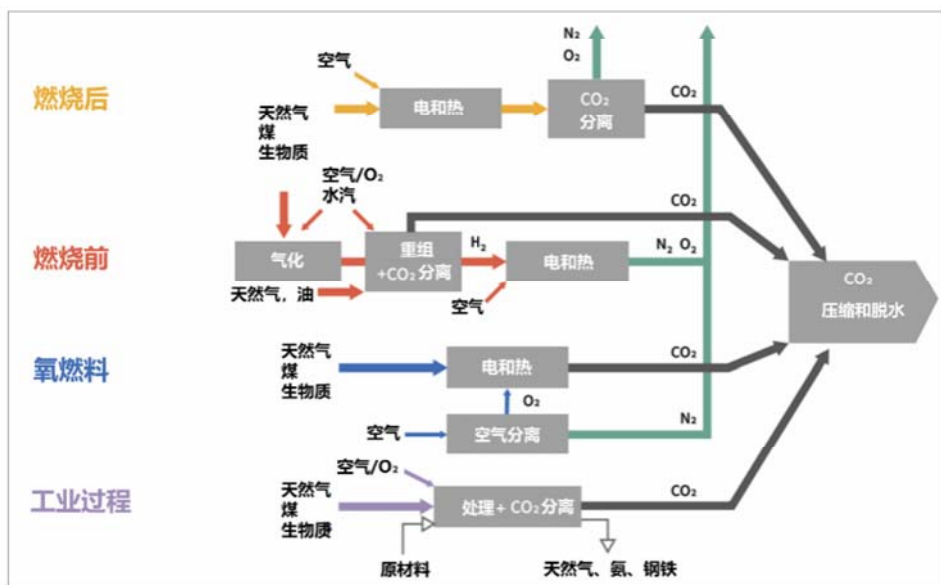


图 2-11 点源碳捕获途径

2. 碳封存技术

碳封存技术主要包括利用含水层封存 CO₂、强化采油技术 (enhanced oil recovery, EOR) 两种。其中, 强化采油技术是提高油气采收的一系列技术, 如图 2-12 所示。

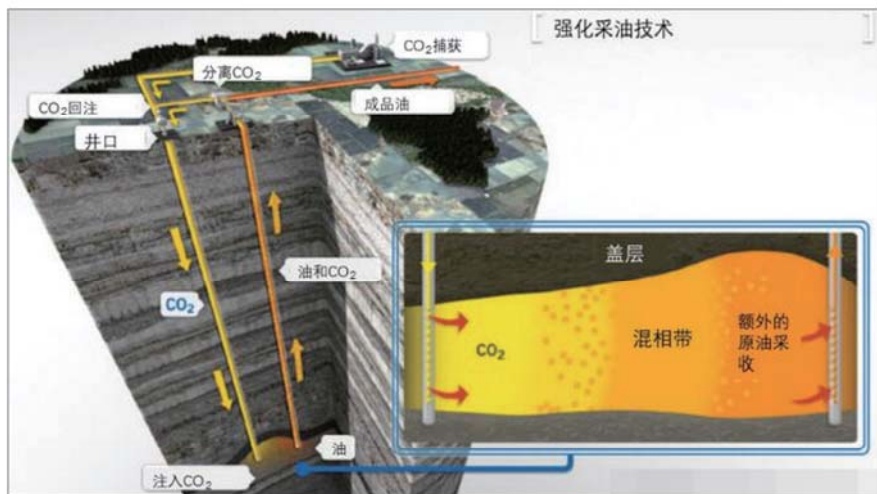


图 2-12 强化采油技术



专家提醒

凡透水性能好、空隙大的岩石以及卵石、粗砂、疏松的沉积物、富有裂隙的岩石、岩溶发育的岩石均可为含水层。

3. 碳利用技术

碳可以用于三个领域，分别是化学、生物、矿化。其创造的产品包括灭火器、制冷干冰、碳酸饮料等，如图 2-13 所示。由图 2-13 中可以看出，碳主要的利用领域为化学，生物方面的运用最少。

目前，碳利用还有着很大的市场以及潜在的需求，其产品包括骨料、混凝土、甲醇、乙醇、碳酸钠、碳酸钙、聚合物，其中骨料、混凝土的需求量最大，如表 2-1 所示。

值得注意的是，表 2-1 中带有 * 的产品，对于二氧化碳的利用只有在它取代石油化工产品时才能带来净效益。

通过对 CCUS 技术的介绍，可以看出，该技术能够很好地帮助一些高能耗企业提高资源的利用率，减少碳的排放量。

可再生技术以及电气化技术的发展能够帮助国家淘汰掉传统的化石燃料，并推动可再生能源、清洁能源的使用，调整国家的能源结构。此外，大数据、物联网、人工智能等信息技术也能够帮助各国在节能减排上出一份力。

因为我国相关技术研究起步较晚，所以技术还不够成熟，大部分技术处于前



期研究的阶段，对于节能减排的贡献还比较小。

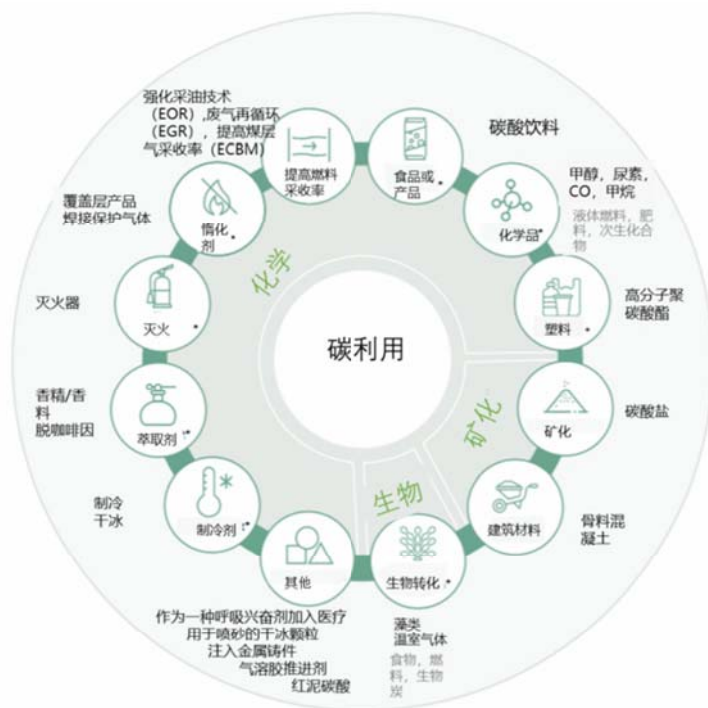


图 2-13 碳利用技术

表 2-1 碳利用产品（全球性地区数据）

产品	价格 /(\$/t)	需求 /(Mt/ 年)	CO ₂ 利用 /(tCO ₂ /t)
骨料	10	55000	0.25
混凝土	100	20000	0.025
甲醇	350	140	1.37
乙醇	475	100	1.91
碳酸钠	150	60	0.42
碳酸钙	200	10	0.44
聚合物 *	1900	24	0.08

（来源：联合国欧盟经济委员会（UNECE）发布的《碳捕获、利用与封存（CCUS）》报告）

2.3.2 成本可控

相关低碳技术的发展能够在很大程度上推动我国技术的发展和低碳生活的进

程，但是这个技术的发展和研究成本需要企业来承担。而这会加大企业生产的成本，从而导致产品丧失市场竞争力。

技术的应用不仅会增加产业链各个环节的成本，还会增加最终产品的成本，因此在降低碳排放、经济稳步发展的基础上以及技术可行的前提下，做到成本可控才能更好地实现碳达峰、碳中和。

未来，零碳经济的实现将会彻底重构产业链，这也就意味着价值链的全面转型，但是绿色低碳转型会大幅提高相关成本。下面从几大高能耗、高排放的控排行业来看转型的成本问题。

1. 钢铁行业

在钢铁行业中，燃料是与碳排放关联最大的一个方面，燃料的成本也是与节能减排关系最大的成本之一。因此，燃料成本的降低是国家在钢铁行业推动节能减排时需关注的重点。

在钢铁行业中，相关技术方法的研发和应用使得该行业的成本加大，例如废钢电弧炉炼钢法、CCUS 技术等，这些技术加大了企业的电力、回收废钢、技术的研发和应用等成本，而成本的增加势必影响产品的价格。图 2-14 所示为废钢电弧炉炼钢法。

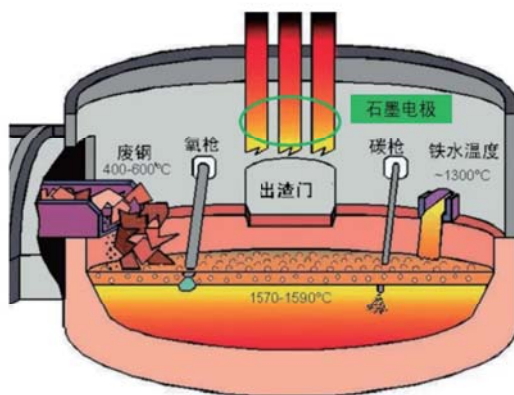


图 2-14 废钢电弧炉炼钢法

相关低碳技术的应用虽然会增加成本，但是这也是短时间的。从长远来看，这些技术所带来的经济效益一定还会抵消其自身的成本，甚至在此基础上还会产生一定的净收益。

2. 电力行业

在电力行业，其市场主要包括火电、风力、核电、水电、地热、太阳能等，



如图 2-15 所示。

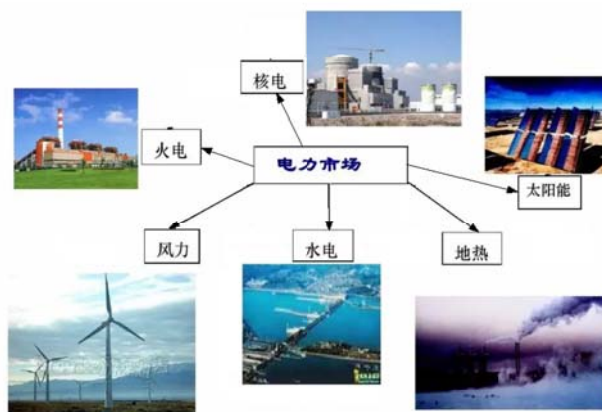


图 2-15 电力市场

在电力行业中，煤炭的成本更具有优势，但是其碳排放的数量是最大的。因此，虽然煤炭具有价格优势，但是从长远来看是不可取的。未来风能、太阳能可以使电力行业中的边际减排成本降到 0 甚至是负值。

值得注意的是，不同的减排技术，成本不一样，如图 2-16 所示。由图 2-16 可以看出，天然碳汇的成本是最低的。

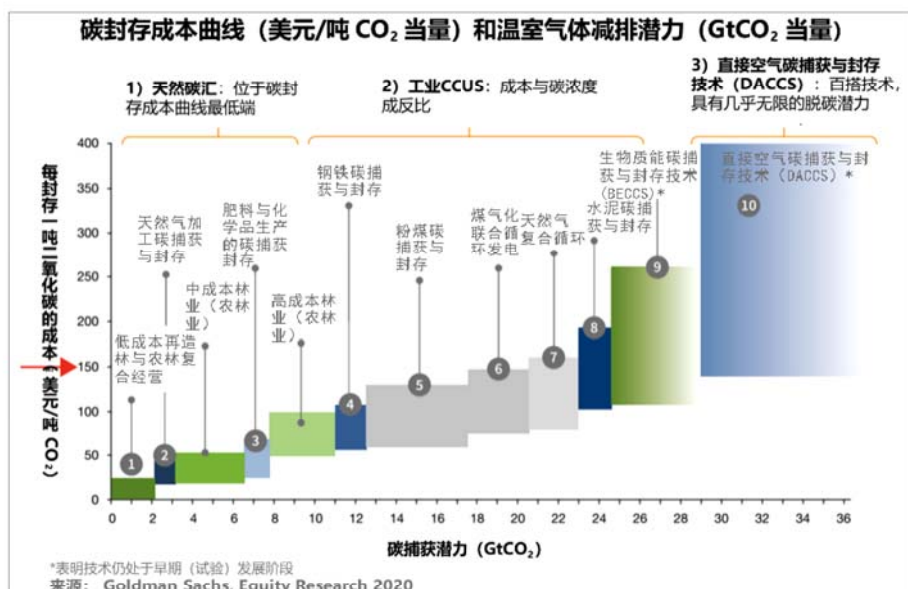


图 2-16 不同减排技术的成本对比

2.3.3 政策引导

由于时间紧、任务重，因此在实现“双碳”目标时一定要政策的引导。碳中和目标的提出意味着碳排放的标准会越来越严格，当企业面对严格的标准时，往往难以积极主动地去参与到实现碳中和的目标中来。

再加上低碳技术项目由于建设周期长、经济效益不确定等问题，在市场中很难受到投资者的青睐。因此，需要政府不断地完善相关的法律法规政策，给积极参与的企业、机构一些补贴，并充分发挥政府部门的“指挥棒”作用，才能更好地约束全社会都投身到实现“双碳”目标的计划中来。

目前，很多省市都出台了政策措施进行引导，如云南省的《关于2022年稳增长的若干政策措施》，具体内容如下。

(二十) 支持重点园区优化提升。力争发行不低于200亿元地方政府专项债券，用于标准化现代产业园区建设。对列入园区循环化改造清单的项目，优先争取中央预算内资金支持。选取5个园区开展清洁生产改造先进技术应用示范，每个示范点给予200万元奖励。对成功创建为国家绿色低碳示范园区、循环化改造示范园区、绿色低碳工业园区、生态工业示范园区的，给予一次性500万元奖励。对新增工业产值超1000亿元、超500亿元的园区，分别给予一次性1000万元、500万元奖励和新增建设用地计划指标激励。对园区内符合条件的重大技术改造项目给予贷款贴息、担保费补助或股权投资支持。(牵头单位：省发展改革委、省工业和信息化厅、省科技厅、省财政厅、省自然资源厅、省生态环境厅、省商务厅)

又如，上海徐家汇区发布的《徐汇区节能减排降碳专项资金管理办法》，其具体内容如图2-17所示。

此外，我国的相关部门还针对节能减排方面出台了多项政策，如生态环境部出台的《企业温室气体排放报告核查指南(试行)》等。表2-2所示为我国节能减排部分相关政策。

值得注意的是，针对不同的行业，不同的部门和地区也出台了相关政策，如国家能源局在2020年出台了《关于加强储能标准化工作的实施方案》《绿色建筑创建行动方案》。表2-3所示为能源行业相关政策。



(一) 鼓励产业节能减排降碳

1. 企业实施节能技改及产品应用项目, 并实现明显的节能减排降碳效果的, 按项目实现的年节能量给予每吨标准煤1200元的扶持, 或按项目投资额中用于实现节能减排降碳功能部分给予20%的扶持。以上扶持最高不超过300万元。

2. 企业获市级节能技改、清洁生产、循环经济项目扶持的, 根据企业对本区节能减排降碳的贡献, 最高按1:1比例给予最高不超过300万元的区级资金匹配。

(二) 鼓励建筑节能减排降碳

1. 企业在本区范围内实施建筑节能项目, 且被列入上海市绿色建筑、整体装配式住宅建筑、既有建筑节能改造、超低能耗建筑、可再生能源与建筑一体化示范项目等建筑节能和绿色建筑示范项目的, 根据项目对本区节能减排降碳的贡献, 最高按1:0.5比例给予区级资金匹配。单个示范项目最高不超过300万元。

2. 企业在本区范围内实施既有大型公共建筑节能改造, 单位建筑面积能耗下降不低于10% (按标准煤折算), 经认定的, 按受益面积每平方米不超过10元标准给予补贴; 或实现年节能量30吨标准煤以上, 经认定的, 按实现的年节能量给予最高每吨标准煤1200元的补贴。单个项目最高按项目投资总额的30%, 给予最高不超过200万元的扶持。

3. 采用调适、用能托管等建筑节能创新模式的楼宇节能低碳项目, 单位建筑面积能耗下降不低于10% (按标准煤折算), 经认定的, 按受益面积每平方米不超过7.5元的标准给予补贴, 单个项目最高不超过100万元。

4. 申请以上建筑领域节能减排降碳补贴的大型公共建筑, 原则上应实施建筑用能分项计量, 并与本区(市)国家机关办公建筑和大型公共建筑能耗监测平台数据联网且数据交互情况良好。

5. 单个建筑项目同一年度只能享受其中一项补贴。

(三) 鼓励合同能源管理模式

1. 企业在本区采用合同能源管理模式, 投资实施节能技改、节能产品应用项目, 并实现明显的节能减排降碳效果的, 按项目实现的年节能量给予每吨标准煤1200元的扶持, 或按项目投资额中用于实现节能减排降碳功能部分的20%。以上扶持最高不超过100万元。两家及以上企业共同出资实施合同能源管理项目的, 投资额在申报企业实际投入范围内认定, 同一项目限一家企业申报本项补贴。

2. 对符合上述合同能源管理项目补贴扶持条件的企业, 根据项目规模, 对项目前期诊断费用投入给予一次性补贴, 按节能量200元/吨标准煤给予节能服务公司补贴, 单个项目补贴金额最高不超过6万元。

(四) 鼓励可再生能源和新能源发展

1. 对本区范围内新建并网的分布式光伏项目, 按项目并网验收规模给予1000元/千瓦的扶持, 或按项目实际投资额给予20%的扶持。以上扶持最高不超过200万元。对于新建项目可在项目正式开工后和完成并网验收两阶段, 按照3:7比例给予扶持。如项目停止建设, 根据具体情况, 由主管部门负责收回已拨付的资金。

2. 对获得市级一次性补贴, 并制定小区新能源汽车共享充电管理制度的共享充电桩示范小区, 给予不超过1:0.5的一次性区级资金匹配, 用于补充小区公共收益。

(五) 鼓励试点示范项目创建

1. 对成功创建国家节约型公共机构、国家绿色商场、国家或市级低碳社区、国家或市级低碳发展实践区、国家或市级绿色生态城区等节能降碳试点示范项目的单位, 经认定, 按创建费用的实际支出金额, 给予最高不超过20万元的补贴。

2. 旅游饭店业企业成功创建金叶级、银叶级绿色饭店的, 分别给予20万元、10万元奖励。

图 2-17 《徐汇区节能减排降碳专项资金管理办法》

3. 鼓励重点用能单位创建能效“领跑者”，对获得市级能效“领跑者”称号的企业，给予最高不超过20万元的一次性奖励。

4. 对成功创建国家级或市级的绿色工厂、绿色园区、绿色供应链、绿色产品设计的企业，按项目总投资的20%，给予最高不超过20万元的补贴。

(六) 加强节能管理能力建设

1. 对企业首次获得节能产品、能源管理体系等认证的，给予最高不超过10万元奖励；对实施能源计量器具配置项目并通过能源计量审查的重点用能企业，给予最高不超过10万元的奖励。

2. 对重点用能单位、产业园区管理机构建立能源管理中心，经市经济信息化委组织验收通过的，经认定，按市级有关规定，给予配套补贴，单个项目最高不超过50万元。

3. 重点用能企业接入市级重点用能企业监测平台并获市级资金补贴，给予最高1:1的区级资金匹配，单个项目补贴金额最高不超过20万元。

4. 继续开展国家机关办公建筑和大型公共建筑能耗监测系统平台系统软件升级、深度开发及运维项目。对达到建筑综合能耗指标先进值的，且其建筑分项计量与本市能耗监测平台数据联网的本区公共建筑，给予20万元的一次性奖励。

5. 大型节能公益宣传活动类项目、节能先进产品推广惠民类项目，经认定，可对实际投入给予适当补贴，按实际支出金额的50%，给予最高不超过20万元的补贴。

(七) 其他

对本区分项计量和能耗监测平台建设及运维、节能减排降碳宣传培训、节能减排降碳课题研究等基础能力提升等项目，按实际发生费用予以支持。用于国家和上海市明确要求区财政给予政策支持的节能减排降碳事项，以及区政府确定的其他用途。

图 2-17 《徐汇区节能减排降碳专项资金管理办法》（续）

表 2-2 我国部分节能减排相关政策

部门	时间	政策	内容
生态环境部	2021 年 3 月	《企业温室气体排放报告核查指南(试行)》	确定了省级重点排放单位温室气体检查的原则、工作方式和要点
生态环境部	2021 年 3 月	《关于加强企业温室气体排放报告管理相关工作的通知》	明确了温室气体排放报告的规范：具体行业、企业的排放配额
发改委等六部门	2020 年 5 月	《关于营造更好发展环境支持民营节能环保企业健康发展的实施意见》	围绕营造公平开放的市场环境、完善稳定普惠的产业支持政策、推动提升企业经营水平、畅通信息沟通反馈机制四个方面，提出了十二条支持民营节能环保企业健康发展的政策措施
发改委等七部门	2019 年 3 月	《绿色产业指导目录(2019 年版)》	将有限的政策和资金引导到对推动绿色发展最重要、最关键、最紧迫的产业，包括节能环保、清洁生产、清洁能源、生态环境产业、基础设施绿色升级和绿色服务六大类



续表

部门	时间	政策	内容
发改委	2019 年 11 月	《产业结构调整指导目录 (2019 年本)》	目录分为鼓励类 (增加 60 项)、限制类 (减少 8 项) 和淘汰类 (增加 17 项): 以供给侧结构性改革为主线, 以构建现代产业体系为目标, 以制造业高质量发展为重点
发改委、司法部	2020 年 3 月	《关于加快建立绿色生产和消费法规政策体系的意见》	到 2025 年, 绿色生产和消费相关的法规、标准、政策进一步健全, 激励约束到位的制度框架基本建立, 绿色生产和消费方式在重点领域、重点行业、重点环节全面推行, 我国绿色发展水平实现总体提升
科技部	2021 年 2 月	《国家高新区绿色发展专项行动实施方案》	在国家高新区率先实现联合国 2030 年可持续发展议程、工业废水近零排放、碳达峰、园区绿色发展治理能力现代化等目标, 部分高新区率先实现碳中和

表 2-3 我国部分能源行业相关政策

部门 / 地区	时间	政策名称	内容
国家能源局	2020 年 1 月	《关于加强储能标准化工作的实施方案》	“十四五”期间, 形成较为科学、完善的储能技术标准体系, 积极参与储能标准化国际活动, 提高国际影响力和话语权
国家能源局、国家标准化管理委员会	2020 年 9 月	《关于加快能源领域新型标准体系建设的指导意见》	解决各级政府推荐性标准界限不清, 行业标准聚焦支撑能源主管部门履行行政管理、提供公共服务的公益属性不够突出, 团体标准的发展空间和活力有待进一步释放等问题
国家能源局	2021 年 3 月	《清洁能源消纳情况综合监管工作方案》	坚持问题导向和目标导向, 督促有关地区和企业严格落实国家清洁能源政策, 监督检查清洁能源消纳目标任务和可再生能源电力消纳责任权重完成情况: 及时发现清洁能源发展过程中存在的突出问题, 进一步促进清洁能源消纳, 推动清洁能源行业高质量发展

续表

部门/地区	时间	政策名称	内容
山西	2021 年 1 月	《政府工作报告》	推动煤矿绿色智能开采，推进煤炭分质分级梯级利用，抓好煤炭消费减量等量替代；开展能源互联网建设试点；光伏产业加快提升新型高效电池核心技术水平，构建“多晶硅-硅片-电池片-电池组件-应用系统”产业链
山西	2020 年 12 月	《山西省风电装备制造业发展三年行动计划(2020—2022 年)》	大力发展风电装备制造业，积极参与风电基地建设，促进我省风电装备制造业与风电产业同步发展。到 2022 年年底，省内制造的风电整机装机总容量达到 600 万千瓦，实现翻一番的目标，带动省内发电机、法兰、塔筒、制动器等配套零部件生产企业的发展；拉动产值 100 亿元以上

2.4 碳达峰与碳中和的理论基础

为了更快更好地实现我国的“双碳”目标，需要为“双碳”行动提供坚实的理论基础。有了理论基础为指导，才能制定行之有效的政策，助推我国“双碳”工作。本节我们来看一下碳达峰与碳中和的理论基础。

2.4.1 思想基础

碳达峰与碳中和的思想基础可以用一句话来概括，那便是“绿水青山就是金山银山”，同时，该思想内容经过理论和实践的深化和升华，有力地促进了生态文明建设的进程。

“既要绿水青山，也要金山银山。宁要绿水青山，不要金山银山，而且绿水青山就是金山银山。”从这个理念中可以看出，在建设生态文明时，要把握好环境与发展、生态与财富的关系。

“绿水青山就是金山银山”理念有三大内涵，如图 2-18 所示。

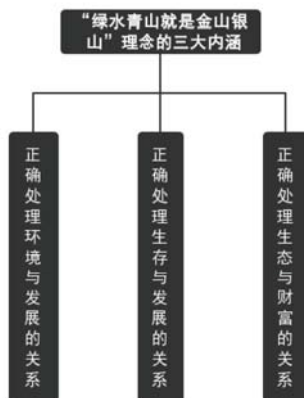


图 2-18 “绿水青山就是金山银山”理念的三大内涵

2.4.2 绿色发展政策依据

绿色发展的政策依据主要是《生态文明建设标准体系发展行动指南（2018—2020 年）》，该行动指南架构了我国生态文明建设标准体系。此外，还提出了生态文明建设标准体系的发展目标，具体内容如下。

（三）发展目标

到 2020 年，生态文明建设标准体系基本建立，制（修）订核心标准 100 项左右，生态文明建设领域国家技术标准创新基地达到 3～5 个；生态文明建设领域重点标准实施进一步强化，开展生态文明建设领域相关标准化试点示范 80 个以上，形成一批标准化支撑生态文明建设的优良实践案例；开展生态文明建设领域标准外文版翻译 50 项以上，与“一带一路”沿线国家生态文明建设标准化交流与合作进一步深化。

生态文明建设标准体系框架包括国土空间布局、生态经济、生态环境、生态文化四个标准子体系，如图 2-19 所示。

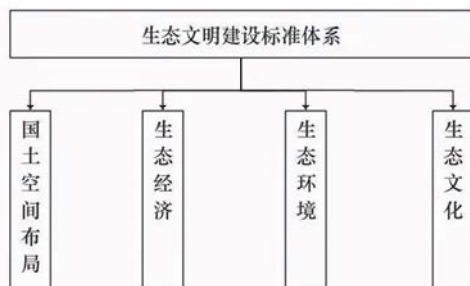


图 2-19 生态文明建设标准体系框架