

# 贵州省能源领域碳达峰碳中和实现路径及策略研究分析

吴升进, 钱卫华

中国电建集团贵州电力设计研究院有限公司, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年10月16日; 录用日期: 2023年11月17日; 发布日期: 2023年11月29日

## 摘要

全球气候问题是当前全球经济社会发展面临的重大议题, 二氧化碳是全球变暖的主要因素, 减少二氧化碳排放是解决全球气候问题最直接有效的途径。我国能源领域碳排放是全社会的主体, 而煤炭作为我国能源生产消费核心, 煤炭大省实现“双碳”战略是我国碳减排的难点。本文针对我国南方区域煤炭生产主要省份, 从能源发展、二氧化碳排放特点出发, 以按期实现完成碳达峰碳中和, 结合地区经济发展情况和区域能源资源条件, 制定了更加积极的新能源发展目标, 加快推进抽水蓄能、新型储能等调节性电源建设, 推动电网智慧化升级, 提出了延伸煤炭产业链、构建二氧化碳循环工业体系的经济高质量发展路径, 并构建以新型电力系统为核心、天然气为过渡的能源转型发展方向。

## 关键词

碳减排, 碳达峰, 碳中和, 新型电力系统

# Research and Analysis on the Realization Path and Strategy of Carbon Peak Carbon Neutralization in the Energy Field of Guizhou Province

Shengjin Wu, Weihua Qian

China Electric Construction Group Guizhou Electric Power Design Research Institute Co. Ltd., Guiyang Guizhou

Received: Oct. 16<sup>th</sup>, 2023; accepted: Nov. 17<sup>th</sup>, 2023; published: Nov. 29<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Global climate problem is a major issue facing the current global economic and social development. Carbon dioxide is the main factor of global warming, and reducing carbon dioxide emissions is the most direct and effective way to solve global climate problems. Carbon emission in China's energy field is the main body of the whole society, and coal is the core of China's energy production and consumption, so it is difficult for China to realize the "double carbon" strategy in a large coal province. Based on the characteristics of energy development and carbon dioxide emission in the major coal-producing provinces in southern China, in order to achieve carbon neutrality in peak carbon dioxide emissions on schedule, combined with regional economic development and regional energy resources conditions, this paper has formulated more active new energy development goals, accelerated the construction of regulated power sources such as pumped storage and new energy storage, and promoted the intelligent upgrading of power grids. It has put forward an economic high-quality development path to extend the coal industry chain and build a carbon dioxide recycling industrial system, and constructed an energy transformation development direction with new-type power systems as the core and natural gas as the transition.

## Keywords

Carbon Emission Reduction, Carbon Neutral, Carbon Peak, New-Type Power System

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 研究背景

随着全球气候问题持续加剧, 世界各国加快发展低碳能源, 严控甚至减少化石能源消费, 积极推进碳达峰碳中和。2020年9月, 习近平总书记在第七十五届联合国大会上提出我国二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值, 努力争取2060年前实现碳中和; 12月, 总书记在气候雄心峰会上再次重申我国“碳达峰、碳中和”承诺; 2021年3月总书记在中央财经委员会第九次会议上强调“要把碳达峰、碳中和纳入生态文明建设整体布局”, 我国二氧化碳排放控制进入新发展阶段。我国能源消费二氧化碳排放占全社会碳排放87%左右[1], 践行“双碳”战略目标, 能源是主战场, 能源消费碳减排效果对实现“双碳”目标至关重要。

本文针对我国南方区域煤炭生产主要省份贵州省, 从能源发展、二氧化碳排放现状出发, 从能源发展、二氧化碳排放特点出发, 以按期实现完成碳达峰碳中和, 结合地区经济发展情况和区域能源资源条件, 制定了更加积极的新能源发展目标, 加快推进抽水蓄能、新型储能等调节性电源建设, 推动电网智慧化升级, 提出了延伸煤炭产业链、构建二氧化碳循环工业体系的经济高质量发展路径, 并构建以新型电力系统为核心、天然气为过渡的能源转型发展方向。

## 2. “碳达峰、碳中和”本质要求和总体思路

### 2.1. 研究现状

为实现“双碳”目标, 我国能源生产和消费加速转型, 电力系统作为未来能源枢纽, 将起到关键作

用[2] [3] [4]。普遍认为加快推进能源生产清洁替代、能源消费电能替代是实现我国碳达峰、碳中和的根本途径, 构建以新能源为主体的新型电力系统是重要手段; 提出加快综合能源服务, 利用天然气作为过渡能源形式, 注重氢能等新型新能源的利用, 努力实现 CCUS 等技术的突破[5] [6] [7]。目前煤电作为我国主力电源, 是电力系统碳减排的关键, 使用煤电燃烧后碳捕集和存储技术能够使煤电二氧化碳排放由 838.6 g/(kW·h) 下降到 144 g/(kW·h) [8], 有效促使煤电清洁低碳化利用。工业化水平因素对碳排放有较大影响, 会导致国家碳排放加剧, 且国民经济的最终会污染环境[9], 实现“双碳”目标更是需要巨额投资, 迫切需要加快推进绿色金融和全国碳排放交易市场建设完善, 引导资源合理配置, 撬动资源向绿色低碳项目倾斜, 推动经济社会绿色低碳发展[10]。

## 2.2. 本质要求

能源领域碳达峰碳中和是顺应能源产业高质量发展趋势、推动高质量发展进程的内在要求。各地区实现碳达峰碳中和, 需立足地区基本情况、遵循能源发展规律, 以能源生产清洁化、能源消费电气化为发展方向, 大力优化能源结构、提高能源效率、严控化石能源总量, 构建清洁主导、电为中心的现代能源体系。

## 2.3. 总体思路

### 2.3.1. 着力推动能源绿色低碳转型

我国各省市在实现“双碳”目标的思路和举措中均紧抓“能源绿色低碳转型”这个总基调, 制定更加积极的新能源发展目标, 推进风电、光伏规模化发展; 因地制宜开发水电; 在安全的前提下, 积极有序发展核电; 加快推进抽水蓄能、新型储能等调节性电源建设, 推动电网智慧化升级, 大力提升新能源消纳能力, 提高电力系统灵活调节水平。

### 2.3.2. 着力升级能源消费方式

我国各省市均注重坚持和完善能耗“双控”制度; 强化全社会节能, 加快推进低碳技术应用, 提高重点行业和领域能源利用效率; 推进工业、建筑、交通等重点部门和行业电能替代, 提升全社会电气化水平。

### 2.3.3. 着力出台推动“双碳”战略相关政策

我国推动“双碳”目标的政策措施主要围绕以下几个方面: 一是注重通过立法来确保节能减排政策的法律地位; 二是将提高能效作为节能减排的重要政策抓手; 三是注重通过财政和市场等多种手段推动绿色低碳发展。

### 2.3.4. 尊重发展规律、科学把握节奏

贵州省属于经济社会相对落后且煤炭消费比重大的地区, 发展任务艰巨, 在制定“双碳”战略目标时, 应尊重发展规律、科学把握节奏。“碳达峰”阶段, 可借鉴山西、内蒙古的经验, 注重传统基础能源产业煤炭、煤电的清洁高效化发展, 工业产业高端化、智能化、绿色化发展; 在实现碳达峰后, 可借鉴北京、上海、广东等先进发达地区的“碳中和”经验, 突出碳排放强度和总量“双控”, 增加森林和生态系统碳汇, 参与全国碳排放交易市场建设, 探索绿色金融创新, 积极推进碳捕集利用与封存技术等。

## 3. 碳达峰碳中和实现路径和方法

### 3.1. 测算方法

IPCC 排放因子法是目前公认的最具权威的一种基于国家(地区)的碳排放核算方法。能源消费产生的

二氧化碳排放量的计算公式如下:

$$C_t = \sum E_{jt} \times n_j$$

其中,  $C_t$  表示为第  $t$  年的碳排放量,  $E_{jt}$  表示第  $t$  年的第  $j$  中能源的消费总量,  $n_j$  表示第  $j$  中能源的碳排放系数。

### 3.2. 计算边界

能源领域实现碳达峰碳中和, 需满足地区社会经济发展需要。贵州省社会经济发展方面, 按到 2035 年我国基本实现社会主义现代化, 到本世纪中叶把我国建成富强民主文明和谐美丽的社会主义现代化强国, 预测 2035 年贵州省人均 GDP 基本达到全国平均水平, 2060 年略超全国平均水平。本文采用对数函数模型拟合预测贵州省能源消费强度, 依此测算贵州能源需求总量, 预测结果如图 1 所示, 贵州省 2025 年、2030 年、2035 年、2050 年、2060 年贵州能源需求总量分别达到 1.32 亿吨标煤、1.56 亿吨标煤、1.8 亿吨标煤、2.37 亿吨标煤、2.75 亿吨标煤。

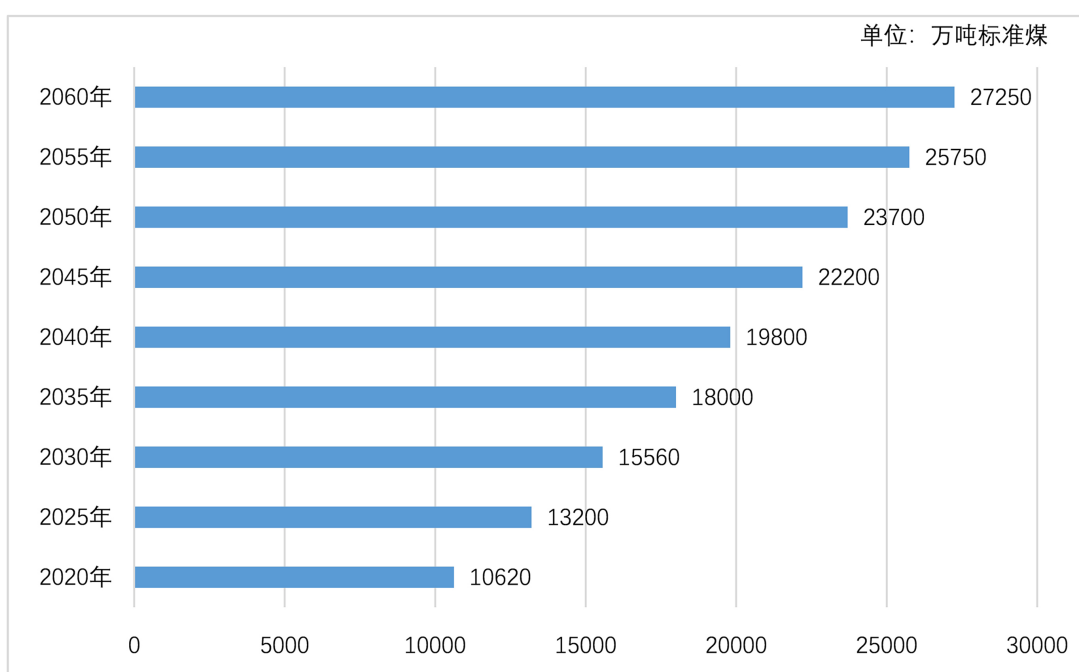


Figure 1. Forecast of total medium and long-term energy demand in Guizhou Province

图 1. 贵州省中长期能源需求总量预测

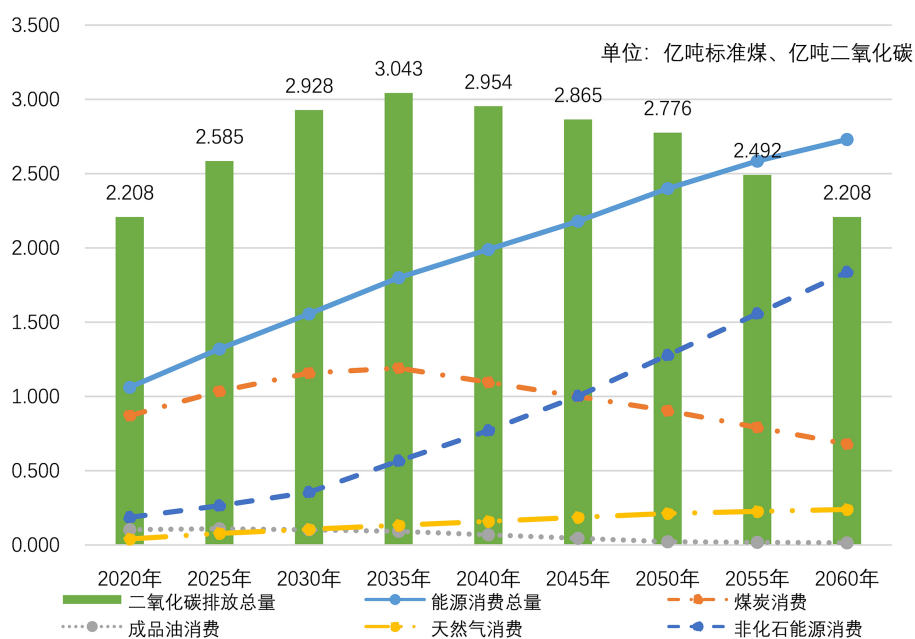
### 3.3. 计算场景

#### 1) 传统场景

传统情景下, 贵州省碳排放总量和能源消费预测结果如图 2 所示, 各品类能源情况如表 1 所示。贵州省立足省内煤炭、非常规天然气资源丰富优势, 充分依靠、发展并利用煤炭煤电, 大力开发省内非常规天然气, 满足省内能源快速增长的需求。贵州省能源消费碳排放体现为“碳排快速增长、缓慢下降”特征, 2020~2035 年碳排放总量快速增长达峰值, 2035 年碳排放峰值约 3.04 亿吨, 2035~2060 年碳排放总量缓慢下降, 碳中和周期较长, 2060 年碳排放总量约 2.21 亿吨, 考虑配合大规模碳捕捉利用技术和省内生态碳汇能力, 贵州省能源领域也无法按时完成碳中和。

**Table 1.** Energy situation of various categories in Guizhou Province under the traditional scenario  
**表 1.** 传统情景下贵州省各品类能源情况

能源品类/阶段	2020年	2025年	2030年	2035年	2050年	2060年
煤炭(万吨)	11,913	15,200	17,400	18,000	15,000	12,000
成品油(万吨)	683	750	700	630	150	100
天然气(亿立方米)	31	59	80	100	160	130
电力总装机(万千瓦)	7478	11,187	13,700	15,970	20,800	24,820
煤电(万千瓦)	3469	4615	5000	6000	6000	6000
水电(万千瓦)	2281	2281	2300	2300	2300	2300
风电 + 光伏(万千瓦)	1637	4000	5500	6300	10,200	12,600
生物质(万千瓦)	35	85	100	120	200	220
气电(万千瓦)	56	106	200	300	600	800
抽蓄 + 储能(万千瓦)		100	600	700	1000	2400
核电(万千瓦)				250	500	500
地热能(亿平方米)	0.06	0.25	0.8	1.2	3	8
氢能(万吨)		0	40	150	500	600



**Figure 2.** Total carbon emissions and energy consumption forecast of Guizhou Province under traditional scenarios

**图 2.** 传统情景下贵州省碳排放总量和能源消费预测

2) 基础情景

基础情景下, 贵州省碳排放总量和能源消费预测结果如图 3 所示, 各品类能源情况如表 2 所示。贵州加快风电、光伏发电开发进度, 增加抽蓄、储能等建设规模; 更加积极发展氢能、地热能替代煤炭消费; 保留适度规模清洁煤电、煤炭兜底保供。

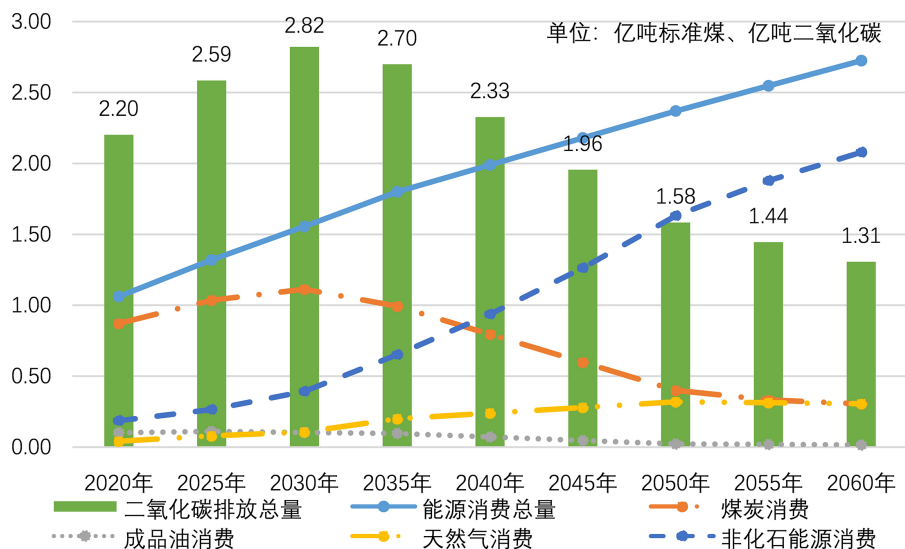
基础情景下, 贵州省能源消费碳排放体现为“碳达峰加速、较快下降实现中和”特征。2020~2030

年碳排放总量快速增长达峰值, 2030 年碳排放峰值约 2.82 亿吨; 2030~2050 年碳排放总量较快速下降, 2050 年碳排放总量为峰值 55% 左右; 2050~2060 年深度碳减排, 2060 年碳排放总量约 1.31 亿吨, 需要配合大规模碳捕捉利用技术应用, 贵州省能源领域可以按时完成碳中和目标。

**Table 2.** Energy situation of various categories in Guizhou Province under the basic scenario

**表 2.** 基础情景下贵州省各品类能源情况

能源品类/阶段	2020 年	2025 年	2030 年	2035 年	2050 年	2060 年
煤炭(万吨)	11,913	15,200	16,500	14,600	6400	5000
成品油(万吨)	683	750	700	650	150	100
天然气(亿立方米)	31	59	80	150	240	230
电力总装机(万千瓦)	7478	11,187	16,000	19,350	23,750	25,200
煤电(万千瓦)	3469	4615	5000	5000	3000	2500
水电(万千瓦)	2281	2281	2300	2500	3300	3300
风电 + 光伏(万千瓦)	1637	4000	7600	10,000	13,000	13,000
生物质(万千瓦)	35.4	85	100	150	350	400
气电(万千瓦)	56	106	200	300	2000	2000
抽蓄 + 储能(万千瓦)	0	100	800	900	1600	3500
核电(万千瓦)	0	0	0	500	500	500
地热能(亿平方米)	0.06	0.25	0.8	1.2	5	11
氢能(万吨)	0	0	10	170	1500	2000



**Figure 3.** Prediction of total carbon emissions and energy consumption in Guizhou Province under basic scenarios

**图 3.** 基础情景下贵州省碳排放总量和能源消费预测

### 3) 低碳情景

低碳情景下, 贵州省碳排放总量和能源消费预测结果如图 4 所示, 各品类能源情况如表 3 所示。更加积极发展氢能等替代煤炭消费; 碳达峰之后, 煤电、煤炭快速削减直至全部退出, 引入较大规模外来

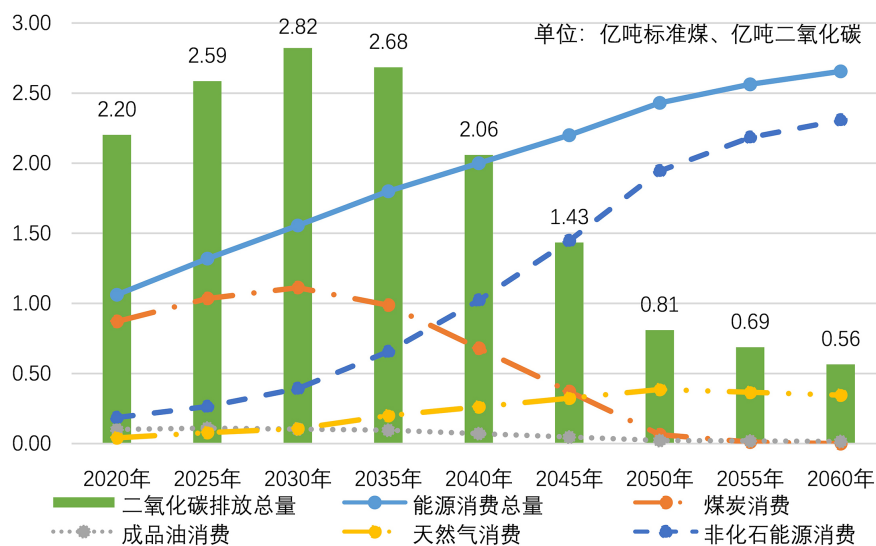
清洁电力或者氢能等清洁能源, 以保障贵州能源需求。

低碳情景下, 贵州省能源消费碳排放体现为“碳达峰加速、快速下降实现中和”特征。2030年贵州省碳排放峰值约 2.82 亿吨; 2030~2050 年碳排放总量快速下降, 2050 年碳排放总量为峰值 30% 左右; 2050~2060 年深度碳减排, 2060 年碳排放总量约 0.56 亿吨, 充分利用省内生态碳汇能力, 能源领域按时完成碳中和目标。

**Table 3.** Energy situation of various categories in Guizhou Province under low-carbon scenarios

**表 3.** 低碳情景下贵州省各品类能源情况

能源品类/阶段	2020 年	2025 年	2030 年	2035 年	2050 年	2060 年
煤炭(万吨)	11,913	15,200	16,500	14,500	800	0
成品油(万吨)	683	750	700	650	150	100
天然气(亿立方米)	31	59	80	150	290	260
电力总装机(万千瓦)	7478	11,187	16,000	19,050	23,150	26,800
煤电(万千瓦)	3469	4615	5000	4500	1000	0
水电(万千瓦)	2281	2281	2300	2500	3300	3300
风电 + 光伏(万千瓦)	1637	4000	7600	10,000	14,000	16,000
生物质(万千瓦)	35.4	85	100	150	350	500
气电(万千瓦)	56	106	200	400	2000	2500
抽蓄 + 储能(万千瓦)	0	100	800	1000	1900	3800
核电(万千瓦)	0	0	0	500	500	500
地热能(亿平方米)	0.06	0.25	0.8	1.2	7	12
氢能(万吨)	0	0	10	180	2000	2500



**Figure 4.** Forecast of total carbon emissions and energy consumption in Guizhou Province under low-carbon scenarios

**图 4.** 低碳情景下贵州省碳排放总量和能源消费预测

#### 4) 各情景对比分析

传统情景下, 贵州充分依靠省内煤炭和非常规天然气资源, 新能源大规模开发、新型电力系统、氢

能等新技术要求较低, 依托较为成熟的煤炭煤电易于实现能源保障; 但是传统情境贵州碳排放峰值高, 在 CCUS 等技术没有取得重大突破的情况下, 无法实现碳中和目标; 基础情景下, 贵州大力发展新能源, 积极构建新型电力系统, 适度引入外来电, 新技术新业态要求较高; 碳中和阶段保留一定规模煤炭和煤电, 传统能源兜底保供作用较明显, 碳排放峰值适中, 需要加快 CCUS 技术突破、大力发展生态碳汇, 以实现碳中和目标。低碳情景下, 贵州现有煤炭煤电产业将加快退出, 充分依托开发省内新能源的同时, 更加积极发展氢能、引入外来电等清洁能源替代煤炭消费, 构建以新型电力系统为核心的新型能源体系, 技术要求高, 能源发展业态变化大, 仅需利用省内生态碳汇即可实现碳中和。

#### 4. 转型发展策略研究

贵州省能源领域力争基本与全国同步 2030 年前实现碳达峰, 努力争取 2060 年前实现碳中和, 战略目标可划分为碳达峰期、碳减排期和碳中和期三个阶段, 如图 5 所示。

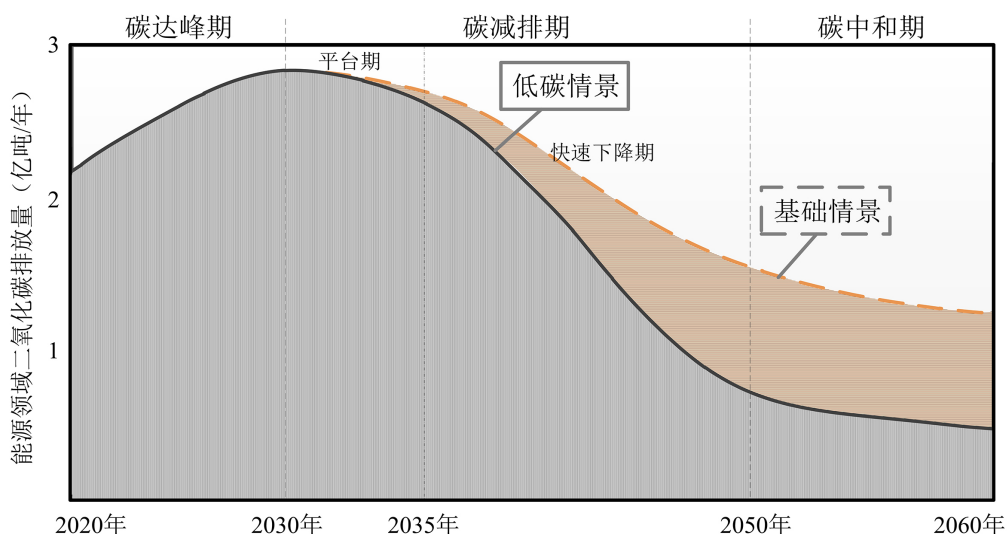


Figure 5. Guizhou Province's strategic goal of "carbon peaking and carbon neutrality" in the energy sector  
图 5. 贵州省能源领域“碳达峰、碳中和”战略目标规划图

各发展阶段贵州能源利用和转型演变趋势如表 4 所示, 具体目标发展如下:

1) 碳达峰期(2023~2030 年)——多措并举科学实现碳达峰目标。

生产侧: 大力发展新能源, 积极促进新能源消纳, 加速煤炭绿色开采转型, 全力推进煤电清洁高效提质, 绿色低碳发展全面提速。电力系统: 新增电力装机以新能源为主, 新能源逐步成为第一大电源, 加快电网数字化转型, 推动坚强主网架和柔性配网构建, 基本建成以新能源为主体的新型电力系统。消费侧: 电能和天然气利用基础设施全面深化, 电能终端利用率快速提升, 天然气消费量快速提高, 电气化水平全面提速。重点领域: 重点对四大高耗能行业实施节能改造、电能替代, 重点领域高质量发展取得明显成效; 加快形成简约适度、绿色低碳的生活方式, 建立健全绿色低碳循环发展的经济体系, 高质量发展深刻转变, 科学实现碳达峰目标。

碳达峰期, 预测贵州省能源消费增量 4940 万吨标准煤, 能耗强度下降 30%左右。能源领域二氧化碳排放增加 6200 万吨, 2030 年前碳排放达到峰值, 峰值约 2.82 亿吨, 2030 年煤炭消费占比由 69.1%下降到 61.3%, 非化石能源消费占比由 17.6%提升到 25.3%。

2) 碳减排期(2031~2050 年)——碳排放迈过平台期后快速下降。

生产侧: 挖掘新能源多种利用形式, 深度开发新能源资源, 推进内陆核电建设, 并适当受入外来清



洁能源, 有序推进煤矿产能削减, 非化石能源生产快速替代化石能源。电力系统: 推进落后煤电有序退出运行, 常规电源逐步转变为调节性和保障性电源, 全面建成新型电力系统。消费侧: 电动汽车全面替代燃油汽车, 氢能、地热能等成为重要的能源组成部分, 贵州省进入高度电气化时代。重点领域: 重点耗能领域全面实现电能、氢能等清洁替代, 能源利用效率大幅提升, 单位产值能耗大幅下降; 碳汇集、碳捕捉、碳利用形成规模化应用, 基本建成绿色低碳可持续发展的经济体系, 高质量发展成效显著, 碳排放总量快速下降。

碳减排期, 贵州省能源消费增量 8140 万吨标准煤, 能耗强度下降 40% 左右。基础情景下, 贵州省能源领域二氧化碳排放减少 1.24 亿吨, 2050 年二氧化碳排放约 1.58 亿吨, 2050 年煤炭消费占比由 61.3% 下降到 16.9%, 非化石能源消费占比由 25.3% 提升到 68.8%, 天然气消费占比由 6.8% 提升到 13.5%; 低碳情景下, 贵州省能源领域二氧化碳排放减少 2.01 亿吨, 2050 年二氧化碳排放约 8100 万吨, 2050 年贵州省煤炭消费占比由 61.3% 快速下降到 2.7%, 非化石能源消费占比由 25.3% 提升到 80.4%, 天然气消费占比由 6.8% 提升到 16.1%。

### 3) 碳中和期(2051~2060 年)——深度脱碳全面实现碳中和。

生产侧: 碳减排进入深水区, 化石能源利用量继续下降, 形成非化石能源为主体的现代能源供应体系。电力系统: 新型电力系统充分优化配置省内能源资源。消费侧: 能源终端消费全面实现电气化, 天然气利用逐步减量, 氢能、地热能等成为仅次于电能的重要能源。重点领域: 全面建成高效能、低能耗为主体的新型工业体系, 充分开发利用省内森林碳汇、喀斯特地貌等碳汇能力, 人民群众主动推行简约适度、绿色低碳的生活方式, 深度脱碳措施持续推进, 全面按时实现碳中和目标。

**Table 4.** Evolution of energy utilization transformation in Guizhou at each stage

**表 4.** 各阶段贵州能源利用转型演变表

情景	项目	碳达峰期	碳减排期	碳中和期
基础情景	风、光等新能源	大量开发	深度挖掘	高质量利用
	煤炭和煤电	适当发展	有序减量	托底保供
	成品油	保持平稳	逐步替代	高质量利用
	天然气	快速增长	能源重要组成	逐步减量
	地热、氢、核能等	试点示范	稳步发展	能源重要组成
	新型电力系统	初步建成	全面建成	高级化
	碳捕捉利用技术	试点应用	快速发展	大规模应用
低碳情景	风、光等新能源	大量开发	深度挖掘	技术突破
	煤炭和煤电	适当发展	快速减量	基本退出
	成品油	保持平稳	逐步替代	高质量利用
	天然气	快速增长	能源重要组成	逐步减量
	地热、氢、核能等	试点示范	快速发展	能源重要组成
	新型电力系统	初步建成	全面建成	高级化
	碳捕捉利用技术	试点应用	适度发展	高质量应用

碳中和期, 贵州省能源消费增量 3550 万吨标准煤, 能耗强度下降 8% 左右。基础情景下, 贵州省能源领域二氧化碳排放减少 2800 万吨, 2060 年二氧化碳排放约 1.31 亿吨, 2060 年煤炭消费占比由 16.9% 下降到 11.2%, 非化石能源消费占比由 68.8% 提升到 76.3%, 天然气消费占比由 13.5% 下降到 11.2%, 充

分发展碳汇能力, 贵州省能源领域实现碳中和; 低碳情景下, 贵州省能源领域二氧化碳排放减少 2500 万吨, 2060 年二氧化碳排放约 5600 万吨, 2060 年贵州省仅保留以天然气为主的少量化石能源, 非化石能源消费占比由 80.4% 提升到 86.9%, 天然气消费占比由 16.1% 下降到 12.7%, 依靠生态碳汇, 贵州省能源领域实现碳中和。

## 5. 主要结论

实现“双碳”目标并非一蹴而就, 需要立足不同区域条件, 有规划、分步骤地制定实现路径, 从而取得经济社会发展与“双碳”战略实现双赢。

贵州是我国西部落后山区, 能源资源以煤为主, 新能源资源条件差, 碳排放总量大, 实现“双碳”战略异常困难, 碳达峰阶段需要牢牢把握发展机遇期, 将煤炭煤电资源优势转化为经济优势, 提前谋划储备新技术, 在碳中和阶段大力布局绿色能源, 助力经济社会腾飞, 力争后发赶超。

## 参考文献

- [1] 全球能源互联网发展合作组织. 中国 2030 年前碳达峰研究[C]. 中国碳达峰碳中和成果发布暨研讨会, 2021.
- [2] 李晖, 刘栋, 姚丹阳. 面向碳达峰碳中和目标的我国电力系统发展研判[J]. 中国电机工程学报, 2021, 41(18): 6245-6258.
- [3] 李政, 张东杰, 潘玲颖, 李天泉, 高俊伟. “双碳”目标下我国能源低碳转型路径及建议[J]. 动力工程学报, 2021, 41(11): 905-909, 971.
- [4] 张金平, 周强, 王定美, 李津, 刘丽娟, 张彦琪, 王晟. “双碳”目标下新型电力系统发展路径研究[J]. 华电技术, 2021, 43(12): 46-51.
- [5] 丁仲礼. 中国碳中和框架路线图研究[J]. 中国工业和信息化, 2021(8): 54-61.
- [6] 鲜军, 周新苗. 全要素生产率提升对碳达峰、碳中和贡献的定量分析——来自中国县级市层面的证据[J]. 价格理论与实践, 2021(6): 76-79.
- [7] 童光毅. 基于双碳目标的智慧能源体系构建[J]. 智慧电力, 2021, 49(5): 1-6.
- [8] 王彦哲, 周胜, 姚子麟, 等. 中国煤电生命周期二氧化碳和大气污染物排放相互影响建模分析[J]. 中国电力, 2021, 54(8): 130-137.
- [9] 张志新, 黄海, 蓉林立. 贸易开放、经济增长与碳排放关系分析——基于“一带一路”沿线国家的实证研究[J]. 2021, 35(10): 44-48.
- [10] 张中祥. 碳达峰、碳中和目标下的中国与世界——绿色低碳转型、绿色金融、碳市场与碳边境调节机制[J]. 人民论坛·学术前沿, 2021(14): 69-79.