

# 基于全口径碳汇监测的中国森林碳中和能力分析

王 兵,牛香,宋庆丰

(中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所)

**编者按:**目前,碳中和成为政府和社会大众关注的热点。在实现碳中和的过程中,除了提升工业碳减排能力外,增强生态系统碳汇功能也是主要的手段之一,森林作为陆地生态系统的主体必将担任重要的角色。但是,由于碳汇方法学上的缺陷,我国森林生态系统碳汇能力被低估。该文提出了森林全口径碳汇,即森林全口径碳汇=森林资源碳汇(乔木林+竹林+特灌林)+疏林地碳汇+未成林造林地碳汇+非特灌林灌木林碳汇+苗圃地碳汇+荒山灌丛碳汇+城区和乡村绿化散生林木碳汇。第三期中国森林资源核算得出,我国森林全口径碳汇每年达4.34亿t碳当量,相当于中和了2018年工业碳排放量的15.91%,且近40年来我国森林全口径碳汇量相当于中和了1978-2018年全国工业碳排放量的21.55%。因此,建议通过以生态系统保护与修复为手段的生态环境保护,提升全国森林全口径碳汇能力,提升林业在碳达峰、碳中和工作中的贡献,打造具有中国特色的碳中和之路。该文于2021年8月发表在《环境保护》上。

碳中和已成为网络高频热词,百度搜索结果约1亿次!与其密切相关的森林碳汇也成为热词,搜索结果超过1200万次。最近的两组数据显示,我国森林面积和森林蓄积量持续增长将有效助力实现碳中和目标。第一组数据:2020年10月28日,国际知名学术期刊《自然》发表的多国科学家最新研究成果显示,2010-2016年我国陆地生态系统年均吸收约11.1亿碳,吸收了同时期人为碳排放量的45%。该数据表明,此前中国陆地生态系统碳汇能力被严重低估;第二组数据:2021年3月12日,国家林业和草原局新闻发布会介绍,我国森林资源中幼龄林面积占森林面积的60.94%。中幼龄林处于高生长阶段,伴随森林质量不断提升,具有较高的固碳速率和较大的碳汇增长潜力,这对我国碳达峰、碳中和具有重要作用。

我国森林生态系统碳汇能力之所以被低估,主要原因是碳汇方法学存在缺陷,即推算森林碳汇量采用的材积源生物量法是通过森林蓄积量增量进行计算的,而一些

森林碳汇资源并未被统计其中。因此,本文将从森林碳汇资源和森林全口径碳汇入手,分析40年来中国森林全口径碳汇的变化趋势和累积成效,进一步明确林业在实现碳达峰与碳中和过程中的重要作用。

## 一、森林全口径碳汇的提出

在了解陆地生态系统特别是森林对实现碳中和的作用之前,需要明确两个概念,即森林碳汇与林业碳汇。森林碳汇是森林植被通过光合作用固定二氧化碳,将大气中的二氧化碳捕获、封存、固定在木质生物量中,从而减少空气中二氧化碳浓度。林业碳汇是通过造林、再造林或者提升森林经营技术增加的森林碳汇,可以进行交易。

目前推算森林碳汇量采用的材积源生物量法存在明显的缺陷,导致我国森林碳汇能力被低估。其缺陷主要体现在以下三方面。

其一,森林蓄积量没有统计特灌林和竹林,只体现了乔木林的蓄积量,而仅通过乔木林的蓄积量增量来推算森林碳汇量,忽略了特灌林和竹林的碳汇功能。表1为历次全国森林资源清查期间我国有林地及分量(乔木林、经济林和竹林)面积的统计数据。我国有林地面积近40年增长了10292.31万 $\text{hm}^2$ ,增长幅度为89.28%。有林地面积的增长主要来源于造林。图1显示了历次全国森林资源清查期间的全国造林面积,造林面积均保持在2000万 $\text{hm}^2/5\text{a}$ 之上。ChiChen等的研究也证明了造林是我国增绿量居于世界前列的最主要原因。竹林是森林资源中固碳能力最强的植物,在固碳机制上,属于碳四(C4)植物,乔木林属于碳三(C3)植物。虽然没有灌木林蓄积量的统计数据,但我国特灌林面积广袤,也具有显著的碳中和能力。近40年来,我国竹林面积处于持续的增长趋势,增长量为309.81万 $\text{hm}^2$ ,增长幅度为93.49%;灌木林地(特灌林+非特灌林灌木林)面积亦处于不断增长的过程中,近40年其面积增长了5倍(见图2)。

第九次全国森林资源清查结果显示,我国竹林面积641.16万 $\text{hm}^2$ 、特灌林面积3192.04万 $\text{hm}^2$ 。竹林是世界公认的生长最快的植物之一,具有爆发式可再生生长特性,蕴含着巨大的碳汇潜力,是林业应对气候变化不可或缺的重要战略资源。研究表明,毛竹年固碳量为5.09 $\text{t}/\text{hm}^2$ ,是杉木林的1.46倍,是热带雨林的1.33倍,同时每年还有大量的竹林碳转移到竹材产品碳库中长期保存。灌木是森林和灌丛生态系统的重要组成部分,地上枝再生能力强,地下根系庞大,具有耐寒、耐热、耐贫瘠、易繁殖、生长快的生物学特性。尤其是在干旱、半干旱地区,生长灌木林的区域是重要的生态系统碳库,对减少大气中二氧化碳含量具有重要作用。

其二,疏林地、未成林造林地、非特灌林灌木林、苗圃地、荒山灌丛、城区和乡村绿化散生林木也没在森林蓄积量的统计范围之内,它们的碳汇能力也被忽略了。图3展示了我国近40年来疏林地、未成林造林地和苗圃地面积的变化趋势。第九次全国森林资源清查结果显示,我国疏林地面积为342.18万hm<sup>2</sup>、未成林造林地面积为699.14万hm<sup>2</sup>、非特灌林灌木林面积为1869.66万hm<sup>2</sup>、苗圃地面积为71.98万hm<sup>2</sup>、城区和乡村绿化散生林木株数为109.19亿株(因散生林木具有较高的固碳速率,可以相当于2000万hm<sup>2</sup>森林资源的碳中和能力)。疏林地是指附着有乔木树种,郁闭度在0.1~0.19的林地,可以有效增加森林资源、扩大森林面积、改善生态环境。其郁闭度过低的特点,恰恰说明其活立木种间和种内竞争比较微弱,其生长速度较快的事实,又体现了其较强的碳汇能力。未成林造林地是指人工造林后,苗木分布均匀,尚未郁闭但有成林希望或补植后有成林希望的林地,是提升森林覆盖率的重要潜力资源之一,其处于造林的初始阶段,也是林木生长的高峰期,碳汇能力较强。苗圃地是繁殖和培育苗木的基地,由于其种植密度较大,碳密度必然较高。有研究表明,苗圃地碳密度明显高于未成林造林地和四旁树,其固碳能力不容忽视。城区和乡村绿化散生林木几乎不存在生长限制因子,生长速度更接近于生产力的极限,也意味着其固碳能力十分强大。

其三,森林土壤碳库是全球土壤碳库的重要组成部分,也是森林生态系统中最大的碳库。森林土壤碳含量占全球土壤碳含量的73%,森林土壤碳含量是森林生物量的2~3倍,它们的碳汇能力同样被忽略了。土壤中的碳最初来源于植物通过光合作用固定的二氧化碳,在形成有机质后通过根系分泌物、死根系或者枯枝落叶的形式进入土壤层,并在土壤中动物、微生物和酶的作用下,转变为土壤有机质存储在土壤中,形成土壤碳汇。但是,森林土壤年碳汇量大部分集中在表层土壤(0~20cm),不同深度的森林土壤在年固碳量上存在差别,表层土壤(0~20cm)年碳汇约比深层土壤(20~40cm)高出30%,深层土壤中的碳属于持久性封存的碳,在短时间内保持稳定的状态,且有研究表明成熟森林土壤可发挥持续的碳汇功能,土壤表层20cm有机碳浓度呈上升趋势。

表1 历次全国森林资源清查期间全国有林地面积 单位:万hm<sup>2</sup>

清查期	年份	有林地			
		合计	乔木林	经济林	竹林
第二次	1977—1981年	11527.74	10068.35	1128.04	331.35
第三次	1984—1988年	12465.28	10724.88	1374.38	366.02

续表

清查期	年份	有林地			
		合计	乔木林	经济林	竹林
第四次	1989—1993年	13370.35	11370	1609.88	390.47
第五次	1994—1998年	15894.09	13435.57	2022.21	436.31
第六次	1999—2003年	16901.93	14278.67	2139	484.26
第七次	2004—2008年	18138.09	15558.99	2041	538.1
第八次	2009—2013年	19117.5	16460.35	2056.52	600.63
第九次	2014—2018年	21820.05	17988.85	3190.04	641.16

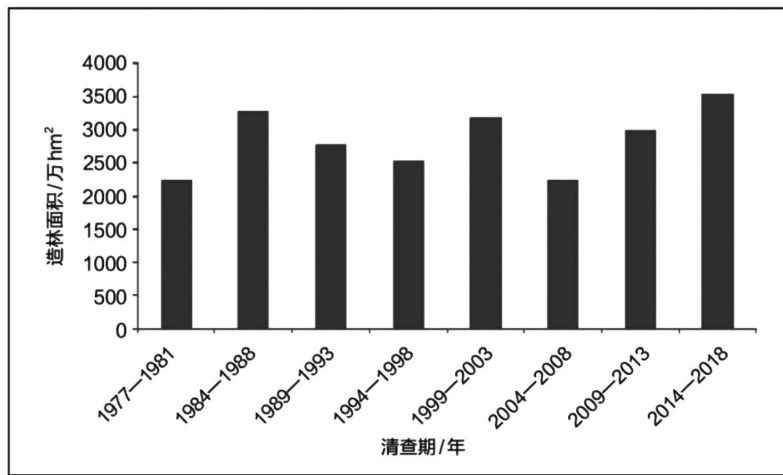


图1 历次全国森林资源清查期间全国造林面积

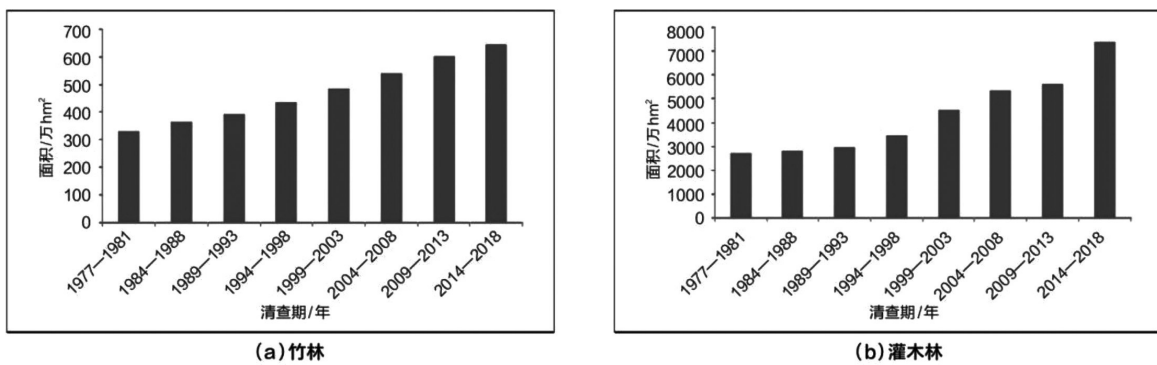


图2 近40年我国竹林和灌木林面积变化

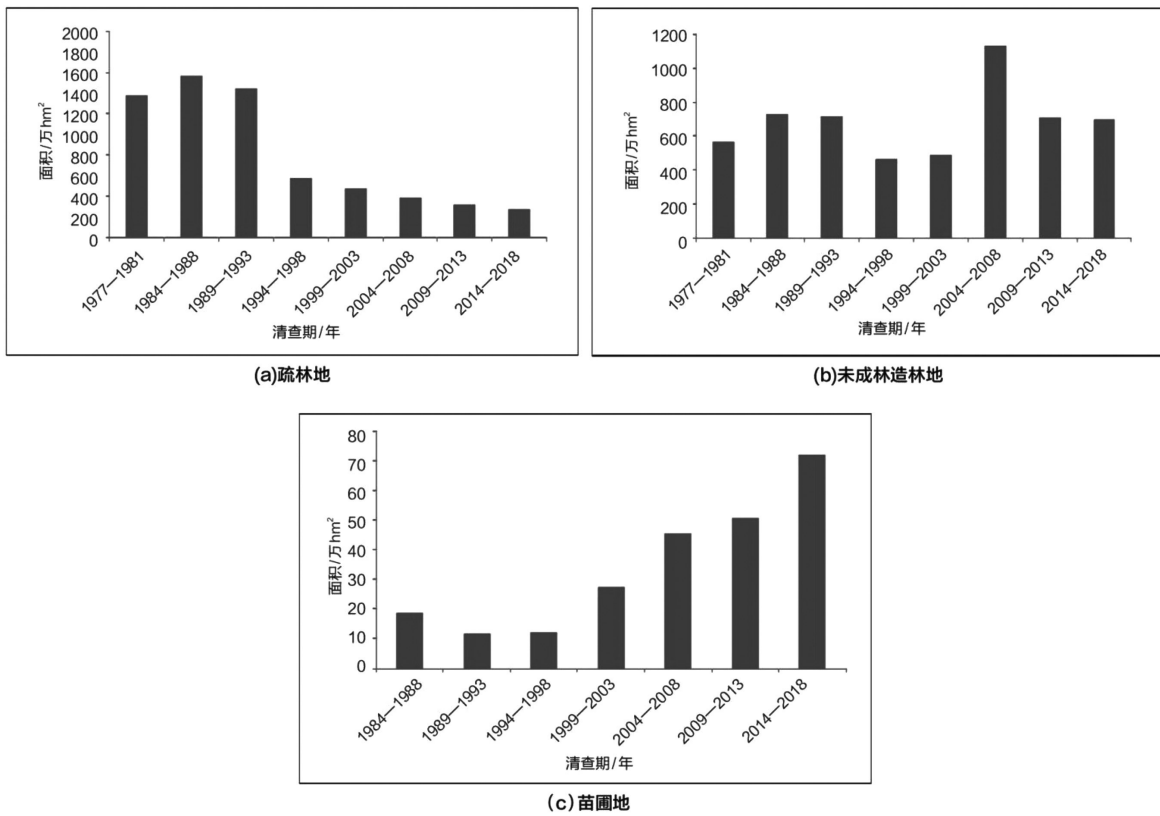


图3 近40年我国疏林地、未成林造林地、苗圃地面积变化

基于以上分析和中国森林资源核算项目一期、二期、三期研究成果,本文提出了森林碳汇资源和森林全口径碳汇新理念。森林全口径碳汇能更全面地评估我国的森林碳汇资源,避免我国森林生态系统碳汇能力被低估,同时还能彰显出我国林业在碳中和中的重要地位。森林碳汇资源为能够提供碳汇功能的森林资源,包括乔木林、竹林、特灌林、疏林地、未成林造林地、非特灌林灌木林、苗圃地、荒山灌丛、城区和乡村绿化散生林木等。森林植被全口径碳汇=森林资源碳汇(乔木林碳汇+竹林碳汇+特灌林碳汇)+疏林地碳汇+未成林造林地碳汇+非特灌林灌木林碳汇+苗圃地碳汇+荒山灌丛碳汇+城区和乡村绿化散生林木碳汇,其中,含2.2亿hm<sup>2</sup>森林生态系统土壤年碳汇增量。基于第九次全国森林资源清查数据,核算出我国森林全口径碳中和量为4.34亿t,其中,乔木林植被层碳汇2.81亿t、森林土壤碳汇0.51亿t、其他森林植被层碳汇1.02亿t(非乔木林)。

## 二、当前我国森林全口径碳汇在碳中和所发挥的作用

中国森林资源核算第三期研究结果显示,我国森林全口径碳汇每年达4.34亿碳



当量。其中,龙江、云南、广西、内蒙古和四川的森林全口径碳汇量居全国前列,占全国森林全口径碳汇量的43.88%。

在2021年1月9日召开的中国森林资源核算研究项目专家咨询论证会上,中国科学院院士蒋有绪、中国工程院院士尹伟伦肯定了森林全口径碳汇这一理念,对森林生态服务价值核算的理论方法和技术体系给予高度评价。尹伟伦表示,生态价值评估方法和理论,推动了生态文明时代森林资源管理多功能利用的基础理论工作和评价指标体系的发展。蒋有绪表示,固碳功能的评估很好地证明了中国森林生态系统在碳减排方面的重要作用,希望中国森林生态系统在碳中和任务中担当重要角色。

2020年3月15日,习近平总书记主持召开的中央财经委员会第九次会议强调,2030年前实现碳达峰,2060年前实现碳中和,是党中央经过深思熟虑作出的重大战略决策,事关中华民族永续发展和构建人类命运共同体。如果按照全国森林全口径碳汇4.34亿t碳当量折合15.91亿t二氧化碳量计算,森林可以起到显著的固碳作用,对于生态文明建设整体布局具有重大的推进作用。

2020年9月27日,生态环境部举行的“积极应对气候变化政策吹风会”介绍,2019年我国单位国内生产总值二氧化碳排放量比2015年和2005年分别下降约18.2%和48.1%,2018年森林面积和森林蓄积量分别比2005年增加4509万 $\text{hm}^2$ 和51.04亿 $\text{m}^3$ ,成为同期全球森林资源增长最多的国家。通过不断努力,我国已成为全球温室气体排放增速放缓的重要力量。目前,我国人工林面积达7954.29万 $\text{hm}^2$ ,为世界上人工林面积最大的国家,其约占天然林面积的57.36%,但单位面积蓄积生长量为天然林的1.52倍,这说明我国人工林在森林碳汇方面起到了非常重要的作用。另外,我国森林资源中幼龄林面积占森林面积的60.94%,中幼龄林处于高生长阶段,具有较高的固碳速率和较大的碳汇增长潜力。由此可见,森林全口径碳汇将对我国碳达峰、碳中和起到重要作用。

### 三、40年以来我国森林全口径碳汇的变化趋势和累积成效

近40年来,我国森林全口径碳汇能力不断增强。在历次森林资源清查期,我国森林生态系统全口径碳汇量分别为1.75亿t/a(第二次:1977-1981年)、1.99亿t/a(第三次:1984-1988年)、2.00亿t/a(第四次:1989-1993年)、2.64亿t/a(第五次:1994-1998年)、3.19亿t/a(第六次:1999-2003年)、3.59亿t/a(第七次:2004-2008年)、4.03亿t/a(第八次:2009-2013年)、4.34亿t/a(第九次:2014-2018年)(见图4)。从第二次森

林资源清查开始, 历次清查期间森林生态系统全口径碳汇能力提升幅度分别为 13.71%、0.50%、32.00%、20.83%、12.54%、12.26%、7.69%。第九次森林资源清查期间, 我国森林生态系统全口径碳汇能力较第二次森林资源清查期间增长了 259 亿 t/a, 增长幅度为 148.00%。从图 1-图 3 中可以看出, 乔木林、经济林、竹林和灌木林面积的增长对于我国森林全口径碳汇能力提升的作用明显, 苗圃地面积和未成林造林地面积的增长对于我国森林全口径碳汇能力的作用同样重要。同时, 疏林地面积处于不断减少的过程中, 表明了疏林地经过科学合理的经营管理后, 林地郁闭度得以提升, 达到了森林郁闭度的标准, 同样为我国森林全口径碳汇能力的增强贡献了物质基础。

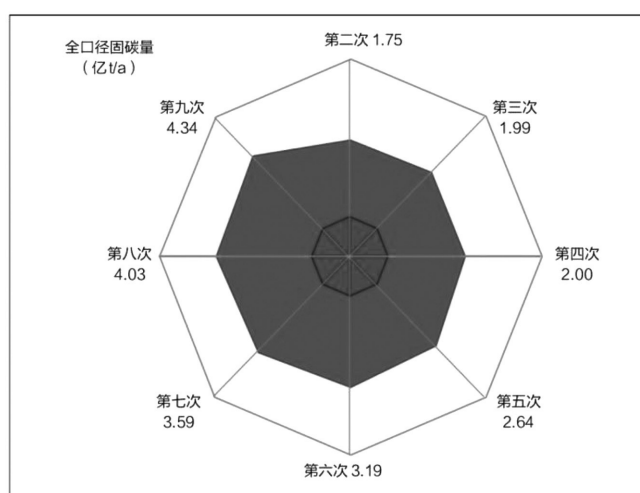


图 4 近 40 年我国森林全口径碳汇量变化

根据以上核算结果进行统计, 计算得出近 40 年我国森林生态系统全口径碳汇总量为 117.70 亿 t 碳当量, 合 431.57 亿 t 二氧化碳。根据中国统计年鉴统计数据, 1978-2018 年, 我国能源消耗总量折合成消费标准煤为 726.31 亿 t, 利用碳排放转换系数可知我国近 40 年工业二氧化碳排放总量为 2002.36 亿 t。经对比得出, 近 40 年我国森林生态系统全口径碳汇总量约占工业二氧化碳排放总量的 21.55%, 也就意味着中和了 21.55% 的工业二氧化碳排放量。

#### 四、结语

森林植被全口径碳汇包括森林资源碳汇(乔木林碳汇、竹林碳汇、特灌林碳汇)、疏林地碳汇、未成林造林地碳汇、非特灌林灌木林碳汇、苗圃地碳汇、荒山灌丛碳汇和城区和乡村绿化散生林木碳汇, 能够避免采用材积源生物量法推算森林碳汇存在的

明显缺陷,有利于彰显林业在碳中和中的重要作用。基于第九次全国森林资源清查数据,核算出我国森林全口径碳中和量为4.34亿t,其中,乔木林植被层碳汇2.81亿t、森林土壤碳汇0.51亿t、其他森林植被层碳汇1.02亿(非乔木林)。

森林植被的碳汇能力对于我国实现碳中和目标尤为重要。在实现碳达峰、碳中和过程中,除了大力推动经济结构、能源结构、产业结构转型升级外,还应进一步加强以完善森林生态系统结构与功能为主线的生态系统修复和保护措施。通过完善森林经营方式,加强对疏林地和未成林造林地的管理,使其快速地达到森林认定标准(郁闭度大于0.2)。增强以森林生态系统为主体的森林全口径碳汇功能,加强绿色减排能力,提升林业在碳达峰与碳中和过程中的贡献,打造具有中国特色的碳中和之路。



# 碳中和的生态学透视

方精云

(1 北京大学城市与环境学院; 2 云南大学, 昆明 呈贡 650500)

**编者按:**该文在简述碳中和概念的基础上,重点对碳中和的实现途径及生态系统碳汇的重要性进行了评述,认为碳减排和碳增汇是实现“碳中和”的两个决定因素;碳减排的核心是节能、调结构、增效和发展清洁能源,碳增汇的核心是生态保护、建设和管理。由于植被自然生长和生态建设等因素,我国陆地生态系统发挥了、并将在未来继续发挥着重要的碳汇作用。为增强生态系统的固碳能力,作者提出“三优”生态建设和管理原则,即“最优的生态系统布局、最优的物种配置、最优的生态系统管理”。此外,文章还对“后碳中和”时代可能出现的问题和挑战进行了展望,认为碳中和后,由于气候变化,特别是大气CO<sub>2</sub>浓度增速减缓甚至下降等因素,可能导致全球性的植被生产力下降,对此可能带来的新的环境问题需要我们提前谋划和应对。

## 1 “碳中和”概念与产生背景

按照联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)最新的评估,从19世纪后半叶(1850–1900年)到21世纪10年代(2011–2020年)的140余年间,大气CO<sub>2</sub>浓度由285 ppmv增加至2020年的414 ppmv,全球平均温度增加了1.09 °C(IPCC, 2021)。温度上升被认为主要是由化石燃料使用和热带毁林等人为活动引起的,以CO<sub>2</sub>为主的温室气体浓度急剧升高所致(IPCC, 2021)。为了减缓由温室气体浓度增加导致的全球温暖化,过去30年间国际社会做出了巨大努力,先后制定了《联合国气候变化框架公约》(1992)、《京都议定书》(1997)、《哥本哈根协定》(2009)、《巴黎协定》(2015),以及最近刚刚在英国格拉斯哥举行的第26届联合国气候变化大会(COP26)上通过的《格拉斯哥气候协议》(2021)等或多或少具有法律约束效力的国际公约。特别是近年来,作为碳减排的全球性重大行动,世界主要经济体先后公布了“双碳”(碳达峰、碳中和)自主减排目标。

“碳达峰”是指化石燃料使用导致的CO<sub>2</sub>排放量达到峰值。欧美国家于多年前已经实现了“碳达峰”，比如欧盟在1980年前后达到峰值，美国在2005年前后达到峰值(Friedlingstein *et al.*, 2020)。我国政府于2015年向世界承诺，于2030年或这之前达到峰值(中国国家发展和改革委员会应对气候变化司, 2015)。我们前期的一项研究也表明，按照6种情景预测，中国“碳达峰”的年份在2023–2030年之间(Zheng *et al.*, 2016)。而从现实情况来看，近几年我国的人为碳排放已基本处于平稳阶段(约27亿t C·a<sup>-1</sup>)；因为新冠肺炎疫情的原因，2020年我国化石燃料的CO<sub>2</sub>排放量还比2019年减少了约0.9%。

“碳中和”是指化石燃料使用及土地利用变化导致的碳排放量，与陆海生态系统吸收及其他技术方式固存的碳量之间达到平衡，即CO<sub>2</sub>净排放为0(公式(1))。一些机构和专家把“碳中和”概念延用到其他的主要温室气体(例如甲烷、氧化亚氮等)，并进而提出“温室气体净零排放”(net zero GHGs emission)或“气候中和”(climate neutrality)等概念(IPCC, 2018)。这些概念与“碳中和”虽然在内涵上有所不同，但彼此关联，在公众认知中往往有所混杂。考虑到这些温室气体排放涉及更复杂的问题，包括排放源与排放机制、检测手段、温室气体效应等，具有很大的不确定性，因此，笔者认为将“碳中和”仅限定于CO<sub>2</sub>为宜。

“碳中和”方程式如下：

$$\text{碳中和} = \text{人为碳排放} - (\text{海陆碳汇} + \text{CCUS}) = 0 \quad (1)$$

式中，人为碳排放=化石燃料使用排放+土地利用排放；CCUS(carbon capture, utility, and storage)是指通过物理、化学和生物学的方法进行CO<sub>2</sub>捕集、封存与利用。目前看来，其实现大规模的实际应用存在很大困难，短期内不会成为碳固存的主要方式。

中国是“碳中和”行动的积极推进者。2020年9月中国政府宣布，中国将争取在2060年前实现“碳中和”。至目前为止，世界上已有多个国家公布了实现“碳中和”目标的年份，如欧、美、日等国家宣布2050年前实现“碳中和”，而有些发展中国家，如不丹等由于现代化程度低、使用的化石能源少，已经处于“碳中和”状态。但对一些国家，特别是像我国这样一个正处在实现工业化和现代化进程中，且“碳达峰”(2030年)与“碳中和”(2060年)之间仅有30年间隔的国家，必然面临着技术升级和产业转型的巨大挑战。

## 2 “碳中和”的实现途径及生态系统碳汇的决定作用

实现“碳中和”的路径如何？从“碳中和”的定义可以看出，实现“碳中和”的两个

决定因素是碳减排和碳增汇。虽然 CCUS 也会有所贡献,但考虑到其在较长一段时间内作用有限,因此实现“碳中和”的一切努力都依赖于碳减排和碳增汇这两个因素。

碳减排的核心是节能、调结构、增效和发展清洁能源,具体简述如下:

(1) **节能**。碳排放主要来自于能源的使用,因此减少人类生产、生活过程中所消耗的能源显然将减少碳排放。

(2) **调整能源结构**。煤炭、石油、天然气和水泥生产是碳排放的重要来源,其中煤炭尤其是排放大户,因此,能源结构与碳排放有着直接关系。近年来,我国能源结构进行了有效调整。初步核算,2019年我国煤炭消费量占能源消费总量的比重为57.7%,天然气、水电、核电、风电等清洁能源消费量占能源消费总量的比重为23.4%,非化石能源消费量占能源消费总量的比重为15.3%(中华人民共和国国务院办公厅,2020)。

(3) **提高能源利用效率**。能源利用效率反映一个国家技术水平和低碳能源占比的程度。截至2019年底,我国单位GDP的碳排放较2005年降低约48.1%,能效得到显著提高(中华人民共和国国务院办公厅,2020)。

(4) **发展低碳和清洁能源**。水能、风能、太阳能、核能等清洁能源是实现碳中和的关键因素。如上所述,过去10多年,我国清洁能源的比重显著提升。另外,有人认为生物质能源在我国能源结构中可以占据重要位置。但生物质能源的生产需要消耗大量的水土资源,还会与粮食生产发生冲突,况且我国土地资源匮乏、生态脆弱,又是人口大国,因此笔者认为生物质能源在我国能源结构中的作用十分有限。

碳增汇的核心是生态保护、建设和管理。陆地和海洋生态系统通过光合作用和碳循环过程,将大气中的CO<sub>2</sub>固定下来,成为大气CO<sub>2</sub>的重要之汇(称“生态系统碳汇”)。一般来说,化石燃料和土地利用排放的CO<sub>2</sub>有3个主要去向(储存库或汇)。从全球尺度看,在过去的10年间(2010–2019年),这些人为排放的CO<sub>2</sub>(总量约为110亿t C·a<sup>-1</sup>),约46%(51亿t C·a<sup>-1</sup>)留存在大气中(即大气CO<sub>2</sub>浓度增加的部分),31%(约34亿t C·a<sup>-1</sup>)被陆地生态系统吸收固定(称为陆地生态系统碳汇,或简称“陆地碳汇”),23%(约25亿t C·a<sup>-1</sup>)被海洋生态系统吸收固定(称为海洋生态系统碳汇,或简称“海洋碳汇”)。需要说明的是,以热带毁林为代表的土地利用变化导致了每年约16亿t的碳释放,因此全球陆地生态系统的净碳汇实际上只有约18亿t·a<sup>-1</sup>。不过,对于我国而言,热带毁林等导致的碳排放可忽略不计。另外,考虑到海洋绝大部分是全球公共资源,世界各国应该平等地获取这部分碳汇资源。假定全球海洋碳汇按各国人口占世界总

人口的比例进行均等的分配,那么,我国碳中和平衡式可以近似地用公式(2)表示。

$$\text{碳中和} = \text{化石燃料排放} - (\text{陆地碳汇} + \text{全球海洋碳汇} \times 14/75 + \text{CCUS}) = 0 \quad (2)$$

式中,14和75分别为中国和全球的总人口(亿)。

按照最近的预测,未来40年(2021–2060年),我国陆地生态系统的碳汇潜力为2.97–3.60亿 $\text{t C} \cdot \text{a}^{-1}$ ,其中生态建设增汇0.54–0.68亿 $\text{t C} \cdot \text{a}^{-1}$ 。在实现“碳中和”目标的2060年,我国陆地碳汇潜力为3.6亿 $\text{t C} \cdot \text{a}^{-1}$ (其中生态建设增汇0.68亿 $\text{t C} \cdot \text{a}^{-1}$ );如果考虑海洋碳汇,按照公式(2),我国可获得4.67亿 $\text{t C} \cdot \text{a}^{-1}$ 的海洋碳汇配额。那么,“碳中和”目标实现后,我国化石燃料排放的 $\text{CO}_2$ 量应为8.27亿 $\text{t C} \cdot \text{a}^{-1}$ ,相当于我国目前化石燃料总排放(27亿 $\text{t C} \cdot \text{a}^{-1}$ )的30%左右。可见,保护生态系统,实施生态建设和管理对于“碳中和”至关重要。

为了有效地增强生态系统的固碳能力,笔者提出“三优”生态建设和管理原则(增汇原则),即“最优的生态系统布局、最优的物种配置、最优的生态系统管理”,以实现“宜林(草)则林(草)、适地适树(草)、最优管理”的碳汇最大化目的。也就是说,为实现碳汇最大化,我们可系统性地开展3个层面的工作:首先对全国生态系统进行生态地理区划,确定各个区域适宜于建设的潜在生态系统类型(森林、灌丛或草地等);在此基础上,确定各地适宜种植的植物种类(适地适种),建设最适宜的植被类型;然后对这些植被类型进行科学合理的管理。

### 3 “后碳中和”时代的可能挑战

在推进“碳中和”目标实现的同时,我们必须考虑“后碳中和”时代人类可能面临的新的问题和挑战:如果没有 $\text{CO}_2$ 排放或者随着大气 $\text{CO}_2$ 浓度的减少,自然和社会系统将发生什么样的变化?一个可能的情景是:大气 $\text{CO}_2$ 浓度将有所降低,随之带来地球降温、变旱、土地生产力下降、粮食减产等问题。从这个意义上讲,上文提到的陆地和海洋碳汇潜力的预测值应该偏大。对这些“后碳中和”时代的问题,我们从现在起就需要有前瞻性的考量。

另外,一个必须注意的问题是,“碳中和”涉及方方面面、各行各业,错综复杂,影响久远。因此,推进“碳中和”,必须在国家的统一规划和指导下,进行统筹规划和布局。“碳中和”除了减排问题,还有增汇问题,而这一问题更为复杂。我们决不可以有“人有多大胆,地有多高产”的冒进思想和不科学行为,杜绝不科学的人工增汇计划,如在不适合种树的旱区进行造林等违背科学规律的做法,因为不科学的造林绿化和

生产活动会导致生态系统的破坏甚至崩溃。

“碳中和”的核心目标是试图解决地球变暖问题。英国科学家在 21 世纪初就提出了地球工程(Geoengineering)设想,试图通过人为措施,向大气层释放致冷颗粒,使地球快速降温。虽然这个设想具有很大的生态风险,但却向人们传递出一个重要信号:人类有智慧解决因自己的原因导致的地球环境问题,地球不会因人类自己的生产活动而毁灭。这是我们人类应该有的自信、能力和底气。



# 提升林草碳汇潜力,助力碳达峰碳中和目标实现

刘世荣

(中国林业科学研究院)

编者按:2020年9月,中国正式向世界宣布了作为大国的担当和责任,2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和的目标。这不仅是我国积极应对气候变化的国策,也是基于科学论证的国家战略,既是从现实出发的行动目标,也是高瞻远瞩的长期发展战略。该文从推进碳达峰碳中和的重大意义出发,分析了林草领域推进碳达峰碳中和面临的形势和目标任务,最后提出林草领域推进碳达峰碳中和工作要从以下5个方面着手:(1)扩大林草面积,巩固提升碳汇能力;(2)提升林草质量,提高碳汇增量;(3)全面加强资源保护,减少碳库损失;(4)大力发展生物质能源和木竹替代,实现生物减排固碳;(5)做好服务保障措施,助力碳汇能力持续巩固提升。该文于2021年11月发表在《经济管理文摘》上。

近日,中共中央、国务院印发《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》,国务院印发《2030年前碳达峰行动方案》(以下简称《方案》),明确提出持续巩固提升碳汇能力的重大任务,部署“碳汇能力巩固提升行动”,对新时期深化生态系统保护修复,巩固生态系统固碳作用,提升生态系统碳汇增量等工作提出新的更高要求。

## 一、推进碳达峰碳中和的重大意义

目前,全球每年向大气排放约510亿吨的温室气体,全球升温趋势日益凸显,减少温室气体排放、减缓气候变暖进程已成为国际社会广泛共识。《巴黎协定》要求《联合国气候变化框架公约》缔约方明确国家自主贡献目标,推动碳排放尽早达到峰值并实现中和,在本世纪末将全球温升控制在2℃以内。目前,多数发达国家已明确了碳中和时间表,其中芬兰为2035年,瑞典、奥地利、冰岛等国提出于2045年实现净零排放,欧、英国、挪威、加拿大、日本等国拟于2050年实现碳中和。



改革开放以来,中国经济加速发展,目前已成为全球第二大经济体,全球影响力不断扩大。进入“十四五”时期,我国转向高质量发展阶段,推动经济社会发展全面绿色转型成为解决当今社会主要矛盾、构建人与自然生命共同体的内在需求。去年9月22日,习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上提出,中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,充分展现了我国全力推进绿色低碳转型和经济高质量发展的巨大勇气和坚定信心,为全球应对气候变化注入一剂“强心针”。

碳达峰碳中和目标是我国基于推动构建人类命运共同体的责任担当和实现可持续发展的内在要求而作出的重大战略决策,展示了我国为应对全球气候变化做出的新努力和新贡献,体现了对应对气候变化多边主义的坚定支持,为国际社会全面有效落实《巴黎协定》注入强大动力,重振了全球气候行动的信心与希望,彰显了中国积极应对气候变化、走绿色低碳发展道路、推动全人类共同发展的坚定决心。习近平总书记系列重大宣示向全世界展示了应对气候变化的中国雄心和大国担当,是我国从应对气候变化的积极参与者、努力贡献者,逐步成为重要引领者的关键一步。

## 二、林草领域推进碳达峰碳中和面临的形势和目标任务

近年来,我国积极推进生态系统保护修复工作,森林草原面积和质量得到显著提升。“十三五”期间,全国累计完成造林5.45亿亩,建设国家储备林4805万亩,落实草原禁牧12亿亩、草畜平衡26亿亩,天然草原综合植被盖度达到56.1%,天然草原鲜草总产量突破11亿吨,湿地保护率超过50%,累计治理沙化和石漠化土地1.8亿亩。根据第九次(2014-2018年)全国森林资源清查结果,森林覆被率22.96%,全国森林蓄积量175.6亿立方米,全国森林植被碳储量91.86亿吨。其中,天然林蓄积量136.7亿立方米(占80%),人工林蓄积量33.9亿立方米(占20%)。年均林木蓄积量净生长量7.76亿立方米,年均采伐量3.85亿立方米(占净生长量的50%)。西藏、云南、四川、黑龙江、内蒙古、吉林等6省(自治区)共105亿立方米,占全国森林蓄积量的62%。全国乔木林每公顷蓄积量94.83立方米,每公顷年均生长量4.73立方米。与第八次(2009-2013年)森林资源清查结果相比,全国森林蓄积量净增22.79亿立方米,人工林蓄积量占比提高了3个百分点。

与此同时,我们要清醒认识到,我国总体上仍然是一个缺林少绿、生态脆弱的国家,生态产品供给不足与人民日益增长的美好生活需要之间的矛盾还相当突出。此

次《意见》提出到2030年森林覆盖率达到25%左右,森林蓄积量达到190亿立方米的主要目标,较此前20~25%的森林覆盖率指标显著提升,对林草领域工作提出了新的更高要求,拓展绿色空间、改善生态环境任重而道远。

**一是增加森林面积难度加大。**全国宜林地面积4998万公顷,质量“好”的仅占12%,质量“差”的超过50%,且2/3集中分布在青海、甘肃、内蒙古等西北地区,造林、管护难度越来越大、成本越来越高。

**二是森林质量亟待提高。**我国森林中人工林占比显著偏高,树种单一、病虫害高发。每公顷森林蓄积只有世界平均水平的72.4%,仅为巴西的一半,不足德国的1/3。

**三是森林资源保护压力大。**违法违规占用林地和毁林开垦现象依然存在,在一些地方乱砍滥伐、乱采乱挖等破坏森林资源的问题还比较突出,森林资源保护管理仍然面临较大压力。

**四是林产品供需矛盾仍然突出。**我国现有用材林面积6803万公顷、蓄积54.15亿立方米,但可采资源面积仅占14.0%、蓄积仅占23.3%,木材供需结构性矛盾十分突出。木本粮油、森林食品等非木质林产品供给能力与日益增长的消费需求之间的差距也很大。

### 三、林草领域推进碳达峰碳中和工作的重点举措

#### (一)扩大林草面积,巩固提升碳汇能力

科学推进大规模国土绿化。按照统筹山水林田湖草沙系统治理要求,认真落实《全国重要生态系统生态保护和修复重大工程总体规划(2021-2035年)》和《“十四五”林业草原保护发展规划纲要》确定的国土绿化目标任务,科学布局和组织实施青藏高原生态屏障区、黄河重点生态区(含黄土高原生态屏障)、长江重点生态区(含川滇生态屏障)、东北森林带、北方防沙带、南方丘陵山地带、海岸带生态保护和修复重大工程,加快构建以国家公园为主体的自然保护地体系建设。积极开展国家储备林建设,深入开展全民义务植树,拓展全民义务植树新载体,创新义务植树管理机制,积极推进森林城市建设、乡村绿化美化,注重城乡绿化一体化,多形式推动身边增绿增汇。

#### (二)提升林草质量,提高碳汇增量

实施森林质量精准提升工程,科学编制森林经营方案,建立健全森林经营方案制度体系,实施森林经营增汇措施。调整优化林分根本结构,增加混交林比例,适当延长轮伐期,推行以增强碳汇能力为目的的森林经营模式。加强中幼林抚育和退化林

修复,加大人工林改造力度,倡导多功能森林经营,持续提高森林生态系统质量和稳定性以及对气候变化的抗性及恢复力。科学谋划草原生态保护修复工程布局,建立健全草原资源管理制度体系,改善草原生态整体状况,提升草原牧区可持续发展能力,扭转草原退化和荒漠化趋势。科学实施湿地保护修复工程,恢复湿地生态功能,增强湿地碳汇能力。在充分做好气候变化动态评估预测的基础上保护和恢复荒漠植被,努力增加旱区植被碳汇增量。通过林草质量提升工程,加强抚育经营管理,持续提升林草系统气候适应性和韧性。

### **(三)全面加强资源保护,减少碳库损失**

制定全国自然保护地体系规划,明确气候变化背景下自然保护地体系的建设布局和发展目标。深入开展自然保护地整合优化,推动实施国家公园等自然保护地建设重大工程,全面构建以国家公园为主体,自然保护区为基础,自然公园为补充的自然保护地体系,分类施策,确保重要自然生态系统、自然遗迹、自然景观和生物多样性得到系统性保护,提升自然保护地的固碳能力。

全面落实天然林保护制度,继续停止天然林商业性采伐。严格执行林地使用定额管理制度,依法依规审核审批建设项目使用林地,确保林地保有量不减少。切实加强森林采伐管理,继续执行采伐限额和凭证采伐管理制度。科学落实禁牧休牧和草畜平衡制度,遏制超载过牧行为。建立重要湿地监测体系,严格湿地用途监管,稳步提升湿地保护率。健全沙化土地封禁保护修复制度,进一步加大荒漠植被保护力度。结合林长制督查,严厉打击毁林毁草毁湿等各类违法犯罪行为,严禁擅自改变林地、草地、湿地用途和性质,减少不合理土地利用、土地破坏等活动导致的碳排放。

严格落实防火责任,实行网格化管理,提高监测、预警和应急处置能力,加强野外用火管控,强化早期火情处理和专业队伍建设,提升重点区域综合防控水平,保护林草资源安全,减少林草火灾导致的碳损失。提高沙尘暴灾害应急处置能力,减少因沙尘暴灾害破坏林草资源导致的碳损失。加强林草有害生物防控和预测预警,全力遏制林草外来有害生物扩散蔓延态势,减少因病虫害破坏林草资源造成的碳排放。

### **(四)大力发展生物质能源和木竹替代,实现生物减排固碳。**

因地制宜开展能源林培育,加强现有低产低效能源林改造,稳步提高能源林建设规模和质量。培育扶持龙头骨干企业,逐步推进林业生物质能源分布式、基地型、园区集约化发展。加强生物质热化学转化及多联产技术科技攻关,打造综合利用发展模式,推进林业生物质能源梯级利用。

推进优质木竹资源定向培育与利用,提高生物固碳效率。强化木竹精深加工,推广清洁生产技术和环保设备,加快产业绿色转型。支持在有条件的地区优先推广使用木结构和木竹建材,积极拓展木竹材料在建筑、装饰、管道、包装、运输等领域的应用。鼓励地方建立健全木竹产品回收利用机制。开展关键技术攻关,提升木竹材料质量和稳定性,延长使用寿命和储碳时间。加强木竹产品标准体系建设和宣传推广,提升公众接受度。

#### **(五)做好服务保障措施,助力碳汇能力持续巩固提升。**

加强组织领导,健全管理制度,建立工作机制,把应对气候变化工作纳入各级林草主管部门的重要日程,压实责任,确保如期实现《意见》和《方案》提出的目标和重点任务。

持续完善林草生态保护修复政策,健全生态产品价值实现的支持政策。积极探索政策创新,建立林草碳汇行动激励机制。推进建立林草生态产品价值核算评估体系,丰富林草碳汇等绿色生态金融产品。在不新增隐性债务的前提下,鼓励金融机构创新金融产品和服务方式,支持社会资本依法依规参与林草碳汇行动,调动政府、社会、企业、组织和个人参与林草碳汇行动的积极性,为林草碳汇行动建立多元化的投入机制。

优化林草碳汇计量监测体系建设,开展增汇理论与关键技术研发。加强林草碳汇领域高层次人才培养和引进,发挥科研院所、大专院校人才优势,成立林草碳汇咨询专家委员会,发挥专家咨询作用。强化地方林草碳汇人才队伍建设,围绕林草碳汇重点工作需求和短板,组织开展形式多样的林草碳汇专题培训,建立健全培训制度,实现培训工作常态化。

充分运用新闻、科普、专题报道、新媒体等宣传形式和手段,积极宣传林草碳汇科普知识,阐释林草碳汇方面的工作和实践,做好林草碳汇行动知识普及和政策解读。组织专业培训,提升从业人员的专业素养,提高全民参与应对气候变化、生态保护修复、生物多样性保护等方面的意识和行动力。大力宣传我国生态建设成就,充分展现我国林草应对气候变化的贡献和成效;选树先进典型,营造良好舆论氛围,激励社会各界积极投身林草碳汇行动。



# 宁夏“三山”碳储量时空分布特征

胡 杨,李学斌

(宁夏大学生态环境学院/宁夏大学西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地)

**编者按:**在中国“双碳”政策背景下,如何科学有效的评估不同生态系统的碳储量及固碳潜力变得尤为重要。本文基于InVEST模型碳储量计算模块和遥感地类变化数据集,分别估算了宁夏“三山”1990年、2000年、2010年、2018年的碳储量时空分布特征。研究表明:贺兰山总碳储量最大,1990年-2018年的总碳储量分别为5237066.80 Mg,5236056.90 Mg,5580992.12 Mg,5849066.10 Mg;六盘山次之,1990年-2018年的总碳储量分别为708441.80 Mg,694975.28 Mg,958448.90 Mg,735971.26 Mg;罗山的总碳储量最小,分别是519443.93Mg、558862.93Mg、612467.44Mg、624885.42Mg。总体上,宁夏“三山”的碳储量从1990年-2018年呈逐年增长趋势,这表明宁夏“三山”生态系统在过去近30年的时间内具有很好的固碳能力。

森林碳储量的估算方法主要有微气象测定二氧化碳通量法、生物量估算和遥感模型法。测定二氧化碳通量获得的碳储量数据最准确,但由于成本较高,适用于较小尺度;大尺度范围的计量一般采用基于生物量的方法,不过需要进行大量的地面调查以及花费较长时间整理汇总数据。这两种方法都无法对森林植被及碳储量的空间分布进行计算。近年来,模型方法架起了科学理论与现实世界之间的桥梁,被广泛地应用于各项科学研究,并且已经产生了巨大的经济和社会效益。InVEST模型能与遥感数据结合,对森林生态系统服务功能进行多尺度估测和评价。在碳储量生态服务功能上,能够对陆地的某一区域内的某一时段的碳储量和固碳价值进行较为科学的评估,结果以地图的形式显示,使评估结果动态化、空间化。

## 1 碳密度估测参数的确定

碳密度是进行碳储量估测的前提。本研究中,通过文献查阅的方法,最终基于程积民等发表的文章《宁夏森林植被及土壤碳密度分布特征》,高阳等发表的文章《黄土

高原地区林草生态系统碳密度和碳储量研究》、董林林等发表的《宁夏引黄灌区土壤有机碳密度时空变化特征》以及模型所附带的碳密度表确定宁夏地区不同时期各地类的碳密度。本研究中,具体每座山不同时期的碳储量估测参数如下所示:

由表1所示,对比同一年份不同土地利用类型下的碳密度得出,有林地和其他林地的各部位碳密度均明显高于其他土地利用类型下的碳密度,河渠、工交建设用地和裸地各部位碳密度均为0。对比同一土地利用类型下各部位的碳密度可以发现,碳密度整体呈现土壤碳密度>地上碳密度>地下碳密度>凋落物碳密度。1990-2018年间除有林地、其他林地和草地外,其他土地利用类型的地上、地下、土壤和凋落物碳密度并未表现出年际间的动态变化,有林地、其他林地和草地的各部分碳密度均随时间延长表现出递增趋势,其中,有林地和其他林地在2018年的地上、地下、土壤和凋落物碳密度分别为82.21、14.05、194.8和14.04Mg·hm<sup>-2</sup>。

表1 1990-2018年贺兰山不同土地利用类型各部分碳密度(Mg·hm<sup>-2</sup>)

年份	土地利用类型	地上碳密度	地下碳密度	土壤碳密度	凋落物碳密度
1990	水田	2	1	10	0
	旱地	3	2	10	0
	有林地	53.3	9.11	185.76	9.1
	灌木林地	0.01	0.01	0.03	0.004
	疏林地	1	1	10	0
	其他林地	53.3	9.11	185.76	9.1
	草地	0.08	0.08	0.266	0.027
	河渠	0	0	0	0
	滩地	10	5	20	0
	农村居民点	0	0	50	0
	工交建设用地	0	0	0	0
	裸地	0	0	0	0
2000	水田	2	1	10	0
	旱地	3	2	10	0
	有林地	62.22	10.63	188.94	10.62
	灌木林地	0.01	0.01	0.03	0.004
	疏林地	1	1	10	0
	其他林地	62.22	10.63	188.94	10.62



续表

年份	土地利用类型	地上碳密度	地下碳密度	土壤碳密度	凋落物碳密度
2000	草地	0.1	0.1	0.3325	0.03375
	河渠	0	0	0	0
	滩地	10	5	20	0
	农民居住点	0	0	50	0
	工交建设用地	0	0	0	0
	裸地	0	0	0	0
2010	水田	2	1	10	0
	旱地	3	2	10	0
	有林地	72.64	12.41	192.18	12.4
	灌木林地	0.01	0.01	0.31	0.038
	疏林地	1	1	10	0
	其他林地	72.64	12.41	192.18	12.4
	草地	0.11	0.11	0.37	0.037
	河渠	0	0	0	0
	滩地	10	5	20	0
	农村居民点	0	0	50	0
	工交建设用地	0	0	0	0
	裸地	0	0	0	0
2018	水田	2	1	10	0
	旱地	3	2	10	0
	有林地	82.21	14.05	194.8	14.04
	灌木林地	0.01	0.01	0.31	0.038
	疏林地	1	1	10	0
	其它林地	82.21	14.05	194.8	14.04
	草地	0.13	0.13	0.44	0.044
	河渠	0	0	0	0
	滩地	10	5	20	0
	农村居民点	0	0	50	0
	工交建设用地	0	0	0	0
	裸地	0	0	0	0

由表2所示,1990–2018年间罗山地区不同土地类型的碳密度存在差异,将1990年、2000年、2010年和2018年四个年份总碳密度大小排序发现,都是有林地>旱田>疏林地>草地>灌木林地>农村居民点=裸地=工交建设用地(2018年),其中有林地、草地及灌木林地的地上碳密度、地下碳密度、土壤碳密度和凋落物碳密度,即总碳密度呈逐年增加趋势,其中灌木林地和草地碳密度增长趋势较为缓慢;四个年份的疏林地碳密度不变,分别都为 $1\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $1\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $10\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $0\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ;四个年份的旱田碳密度不变,分别都为 $3\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $2\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $10\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $0\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ;四个年份的裸地、农村居民点和工交建设用地(2018)碳密度不变,都为 $0\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ;2010年与2018年有其他林地类型与有林地类型的地上碳密度、地下碳密度、土壤碳密度和凋落物碳密度大小相同,分别为 $86.72\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $11.4\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $275.78\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $15.69\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $98.15\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $12.91\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $279.56\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $17.76\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

表2 1990–2018年罗山不同土地类型各部分碳密度( $\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )

年份	土地利用类型	地上碳密度	地下碳密度	土壤碳密度	凋落物碳密度
1990	旱田	3	2	10	0
	有林地	63.63	8.37	266.57	11.51
	灌木林地	0.04	0.04	0.125	0.015
	疏林地	1	1	10	0
	草地	0.24	0.24	0.8	0.08
	农村居民点	0	0	50	0
	裸地	0	0	0	0
2000	旱田	3	2	10	0
	有林地	74.28	9.77	271.14	13.44
	灌木林地	0.05	0.05	0.156	0.019
	疏林地	1	1	10	0
	草地	0.28	0.28	0.93	0.093
	农村居民点	0	0	50	0
	裸地	0	0	0	0
2010	旱地	3	2	10	0
	有林地	86.72	11.4	275.78	15.69
	灌木林地	0.06	0.06	0.187	0.02
	裸地	1	1	10	0

续表

年份	土地利用类型	地上碳密度	地下碳密度	土壤碳密度	凋落物碳密度
2010	其他林地	86.72	11.4	275.78	15.69
	草地	0.32	0.32	1.06	0.11
	农村居民点	0	0	50	0
	裸地	0	0	0	0
2018	旱地	3	2	10	0
	有林地	98.15	12.91	279.56	17.76
	灌木林地	0.07	0.07	0.22	0.03
	疏林地	1	1	10	0
	其他林地	98.15	12.91	279.56	17.76
	草地	0.36	0.36	1.2	0.12
	农村居民点	0	0	50	0
	工交建设用地	0	0	0	0
裸地	0	0	0	0	

由表3可知,在1990年六盘山不同土地类型各部分的碳密度是不同的,从土地利用类型来看,碳密度最大的是有林地,为 $267.94\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,其次是滩地和旱田,河渠、居民点和裸地的碳密度都为0。2000年有林地的碳密度仍然是最大的为 $278.96\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,并且呈增加趋势,增速为4.11%,旱田、疏林地碳密度则保持稳定没有发生变化,灌木林地和草地有小的增加,但变化幅度较小,其他的依然为0。到2010年有林地的碳密度继续增加增速为4.40%,其余的增速都相对较缓或依然没有发生变化为0。2018年有林地的碳密度相比1990年增加了12.76%,并且出现了新的土地利用类型工交建设用地但没有碳密度。从各组成部分看碳密度最大的是土壤碳密度,其次是地上碳密度和地下碳密度,最低的是凋落物碳密度,且各种土地利用类型都相同。

表3 1990-2018年六盘山不同土地类型各部分碳密度( $\text{Mg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )

年份	土地利用类型	地上碳密度	地下碳密度	土壤碳密度	凋落物碳密度
1990	旱田	3	2	10	0
	有林地	35.06	4.93	225.15	2.8
	灌木林地	0.35	0.35	1.09	0.13
	疏林地	1	1	10	0
	草地	0.22	0.22	0.73	0.073

续表

年份	土地利用类型	地上碳密度	地下碳密度	土壤碳密度	凋落物碳密度
1990	河渠	0	0	0	0
	滩地	10	5	20	0
	农村居民点	0	0	50	0
	裸地	0	0	0	0
2000	旱田	3	2	10	0
	有林地	40.93	5.75	229.01	3.27
	灌木林地	0.4	0.4	1.25	3.27
	疏林地	1	1	10	0
	草地	0.26	0.26	0.87	0.087
	河渠	0	0	0	0
	滩地	10	5	20	0
	农村居民点	0	0	50	0
2010	旱地	3	2	10	0
	有林地	47.78	6.71	232.93	3.82
	灌木林地	0.47	0.47	1.47	0.18
	疏林地	1	1	10	0
	草地	0.3	0.3	1	0.1
	河渠	0	0	0	0
	滩地	10	5	20	0
	农村居民点	0	0	50	0
2018	旱地	3	2	10	0
	有林地	54.08	7.6	236.12	4.32
	灌木林地	0.53	0.53	1.66	0.2
	疏林地	1	1	10	0
	草地	0.34	0.34	1.13	0.11
	河渠	0	0	0	0
	滩地	10	5	20	0
	农村居民点	0	0	50	0
	工交建设用地	0	0	0	0
裸地	0	0	0	0	

## 2 遥感分类数据

本研究所使用的遥感数据集来源于中国科学院资源环境科学数据中心,数据名称为中国多时相土地利用/土地覆盖遥感监测数据。该数据集的生产是为了恢复和重建我国土地利用变化的现代过程,更好地预测、预报土地利用变化趋势,以美国陆地卫星 Landsat 遥感影像数据作为主信息源,通过人工目视解译,建立得国家尺度多时期土地利用/土地覆盖遥感监测数据库。在本研究中,为了准确反映宁夏“三山”近 30 年的碳储量动态变化,共选择了 1990 年、2000 年、2010 年和 2018 年四期的土地利用/土地覆盖遥感数据集。

## 3 贺兰山不同时空尺度碳储量变化格局

### 3.1 贺兰山 1990-2018 年各土地利用类型总碳储量分布变化

由表所示,不同土地利用类型总碳储量存在差异,对比同一年份间的总碳储量发现,林地的总碳储量显著高于其他土地类型,其最低总碳储量为 4899921.55Mg,远高于其他土地利用类型下的总碳储量;未利用土地的总碳储量处于较低水平,仅在 2069.93-2778.42Mg 范围内。贺兰山 1990-2018 年间总碳储量变化明显,耕地、建设用地和未利用土地的总碳储量随时间变化先增后减,林地的总碳储量呈现先减后增的变化趋势,此外草地总碳储量随时间呈递增趋势,水域呈递减趋势。其中贺兰山 2018 年未利用用地总碳储量最少,为 2069.93Mg;2018 年的林地总碳储量最高,为 5489207.59Mg。1990-2018 年间的总碳储量分别为 5248879.34、5245465.88、5592984.63 和 5857333.51Mg,总碳储量随时间变化表现为先减后增,2000 年总碳储量最低。从固碳量来看,1990-2018 年间共产生 608454.17Mg 的固碳量,其中 2000-2010 年间的总固碳量最高,为 347518.76Mg。由图可知,1990-2018 年贺兰山总碳储量集中于贺兰山西南方向。

表 4 贺兰山 1990-2018 年各土地利用类型总碳储量分布变化(Mg)

土地利用类型	碳储量				固碳量			
	1990	2000	2010	2018	1990-2000	2000-2010	2010-2018	1990-2018
耕地	14847.56	20024.78	14742.16	11714.11	5177.23	-5282.62	-3028.05	-3133.44
林地	4899921.55	4874468.05	5220715.68	5489207.59	-25453.50	346247.64	268491.91	589286.05
草地	131027.61	147688.90	155383.06	171883.05	16661.29	7694.17	16499.98	40855.44

续表

土地利用类型	碳储量				固碳量			
	1990	2000	2010	2018	1990-2000	2000-2010	2010-2018	1990-2018
水域	192199.26	192151.64	190113.15	174902.80	-47.62	-2038.49	-15210.34	-17296.45
建设用地	8603.34	8776.50	9252.16	7556.02	173.16	475.66	-1696.14	-1047.32
未利用土地	2280.03	2356.01	2778.42	2069.93	75.98	422.40	-708.48	-210.10
合计	5248879.34	5245465.88	5592984.63	5857333.51	-3413.46	347518.76	264348.87	608454.17

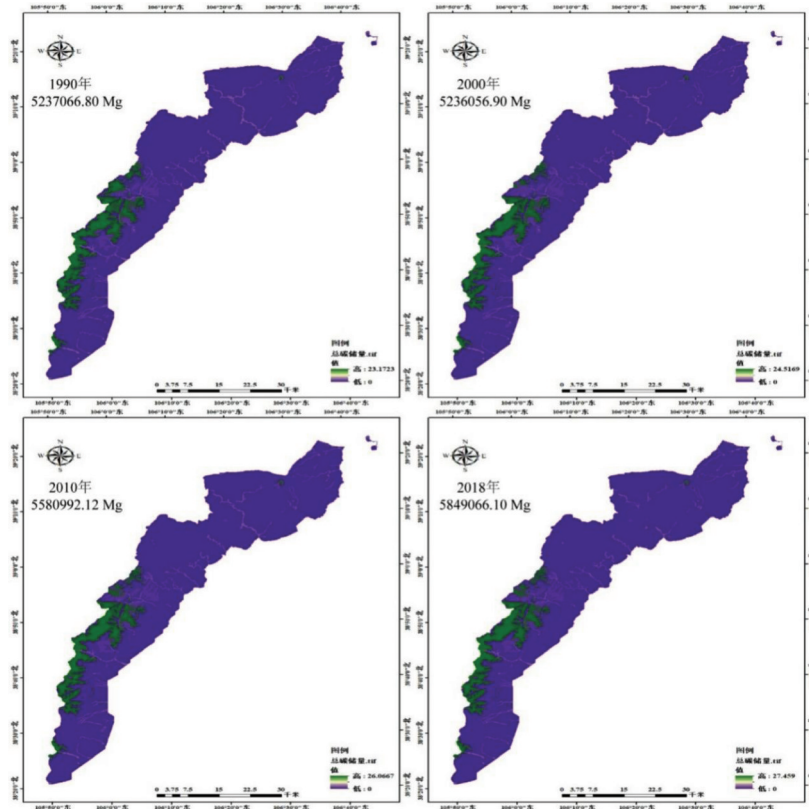


图 1 1990-2018 贺兰山总碳储量空间分布

### 3.2 贺兰山 1990-2018 年各碳库构成分布变化

由表和图 2 所示,不同模块的碳储量存在差异,对比同一年份间不同部位的碳储量可以发现,1990-2018 年间各部位的碳储量均表现为:总碳储量>土壤碳储量>地上碳储量>地下碳储量>凋落物碳储量。各模块的碳储量随时间变化也有所差异,总碳储量、地上、地下和凋落物碳储量在 1990-2018 年间整体表现出递增趋势,在 2018 年的碳储量最高,分别为 5849066.10Mg、1551414.08Mg、303335.55Mg 和 258061.19Mg。1990 年的土壤碳储量最高,为 3751361.48Mg。



表5 贺兰山 1990-2018年各部分碳储量变化统计(Mg)

年份	总碳储量	地上碳储量	地下碳储量	凋落物碳储量	土壤碳储量
1990	5237066.80	1088590.10	220553.00	176561.96	3751361.48
2000	5236056.90	1189260.54	241321.75	193819.94	3611654.98
2010	5580992.12	1383255.77	274078.19	228023.95	3695634.57
2018	5849066.10	1551414.08	303335.55	258061.19	3736255.29

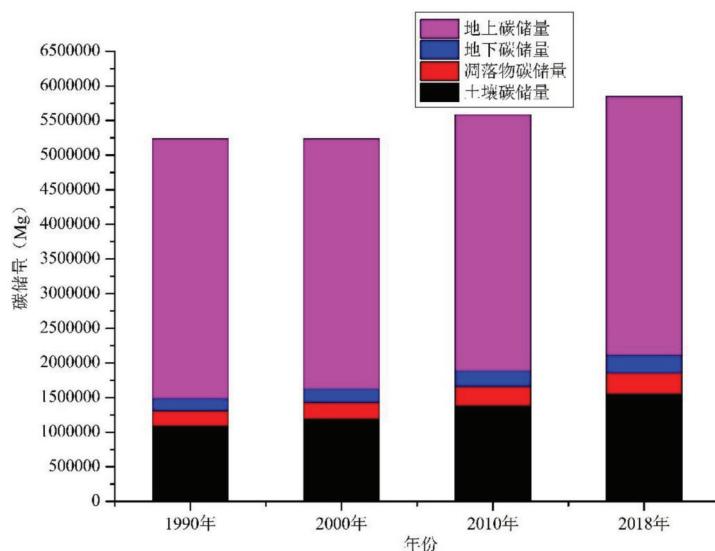


图2 贺兰山 1990-2018年各部分碳储量变化统计

#### 4 罗山不同时空尺度有机碳储量变化格局

##### 4.1 罗山 1990-2018年各土地利用类型总碳储量分布变化

由表所示,不同土地利用类型总碳储量存在差异,其中林地碳储量最高为2018年的489941.61Mg,未利用土地碳储量最低为2018年的5.16Mg;1990-2018年间林地固碳量最高为100618.80Mg,草地固碳量最低为-3012.98Mg。1990-2018年间罗山土壤碳储量呈逐步增加趋势,1990年为518529.33Mg、2000年为556776.11Mg、2010年为610406.93Mg、2018年为624023.17Mg,1990-2018年间总固碳量为105493.84Mg。由图3所示,因为总碳储量的增加,2010年和2018年罗山总碳储量空间分布图相较于1990年和2000年罗山总碳储量空间分布图增加了西北绿色区域;图中西部独立出的罗山山体区域从2000年到2018年碳储量有较明显增加;因为总碳储量的增加,2018年罗山总碳储量空间分布图中东部区域相较于前三幅图增加了白色区域。

表6 罗山 1990-2018 年各土地利用类型总碳储量分布变化(Mg)

土地利用类型	碳储量				固碳量			
	1990	2000	2010	2018	1990-2000	2000-2010	2010-2018	1990-2018
耕地	90339.78	104557.74	98851.22	97812.78	14217.95	-5706.51	-1038.44	7473.00
林地	389322.81	409851.82	464280.76	489941.61	20529.01	54428.94	25660.85	100618.80
草地	34813.91	38311.64	43278.08	31800.93	3497.72	4966.44	-11477.14	-3012.98
水域	--	--	--	--	--	--	--	--
建设用地	4039.61	4039.75	3988.63	4462.69	0.14	-51.12	474.06	423.08
未利用土地	13.22	15.17	8.24	5.16	1.95	-6.93	-3.08	-8.06
合计	518529.33	556776.11	610406.93	624023.17	38246.78	53630.82	13616.24	105493.84

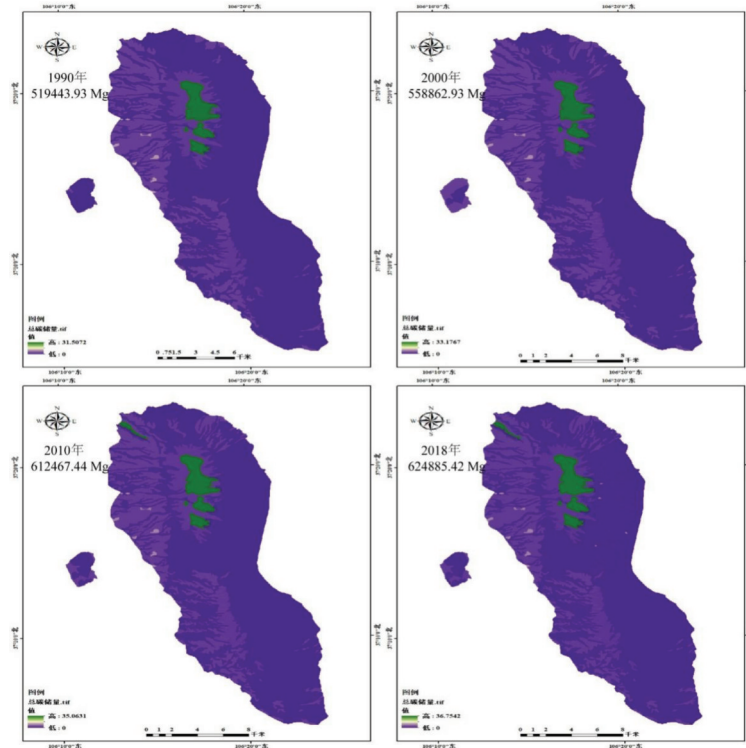


图3 1990-2018 罗山总碳储量空间分布

#### 4.2 罗山 1990-2018 年各碳库构成分布变化

由表和图所示,不同模块的碳储量存在差异,对比同一年份间不同部位的碳储量可以发现,1990-2018年间各部位的碳储量均表现为:总碳储量>土壤碳储量>地上碳储量>地下碳储量>凋落物碳储量。各模块的碳储量随时间变化也有所差异,在1990-2018年间整体表现出递增趋势,2010年土壤碳储量最高为429344.09Mg,2018年总碳

储量、地上碳储量、地下碳储量和凋落物碳储量最高,分别为 624885.42Mg、138155.60Mg、36181.00Mg 和 21862.70Mg。

表7 罗山1990-2018年各部分碳储量变化统计(Mg)

年份	总碳储量	地上碳储量	地下碳储量	凋落物碳储量	土壤碳储量
1990	519443.93	92398.63	29005.07	13805.09	384235.14
2000	558862.93	107165.37	33203.23	16006.19	402488.14
2010	612467.44	127022.99	36055.82	20044.51	429344.09
2018	624885.42	138155.60	36181.00	21862.70	428686.12

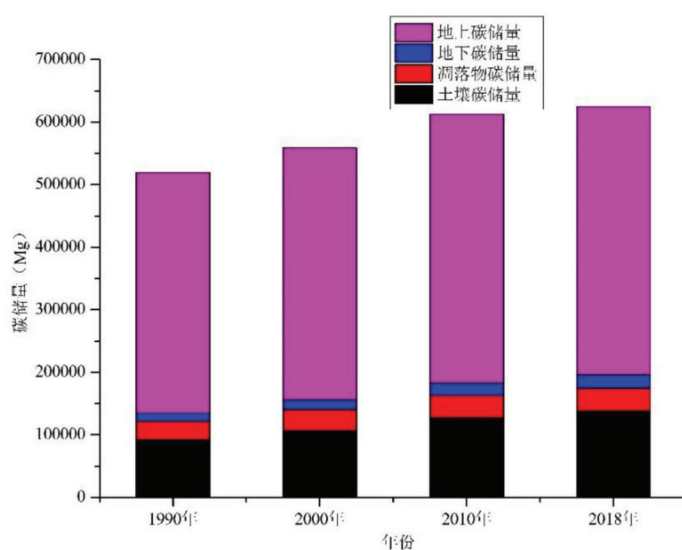


图4 罗山1990-2018年各部分碳储量变化统计

## 5 六盘山不同时空尺度有机碳储量变化格局

### 5.1 六盘山1990-2018年各土地利用类型总碳储量分布变化

由表可以看出,1990年林地的碳储量最大为 553463.56Mg,其次是耕地、草地、建设用地和水域,未利用地的碳储量最低;在2000年,耕地和草地的碳储量增加,林地的总的碳储量在降低,其他用地类型的碳储量基本不变,保持在一个较低的水平;2010年,林地、草地和建设用地的碳储量在增加,而耕地和水域的碳储量在降低,固碳量也随之降低;在2018年,只有草地的碳储量在增加,其余的都在降低。在1990-2018年间,耕地、水域、建设用地和未利用地的固碳量都为负值,而林地和草地的固碳量则为正,说明林地和草地是固碳量最为重要的组成部分。

表 8 六盘山 1990-2018 年各土地利用类型总碳储量分布变化(Mg)

土地利用类型	碳储量				固碳量			
	1990	2000	2010	2018	1990-2000	2000-2010	2010-2018	1990-2018
耕地	82711.98	93823.65	80866.35	77318.67	11111.67	-12957.30	-3547.68	-5393.31
林地	553463.56	523799.22	784756.96	562872.91	-29664.35	260957.74	-221884.05	9409.35
草地	55868.67	73559.33	91855.49	93361.25	17690.66	18296.16	1505.75	37492.57
水域	2394.78	2395.04	2138.15	1705.33	0.27	-256.89	-432.82	-689.44
建设用地	5384.06	5387.53	5439.45	5362.74	3.47	51.93	-76.71	-21.32
未利用土地	1.08	1.08	1.08	0.70	0.00	0.00	-0.38	-0.38
合计	699824.13	698965.85	965057.49	740621.60	-858.28	266091.64	-224435.88	40797.47

由图表可以看出,1990年的土壤碳储量的最大值为24.1146Mg,主要分布在北部、中部和南部,中部的分布面积最大;2000年的分布区与1990年相比,变化不大,只是中部的分布减少,最大值也基本保持不变,最大值为25.1064Mg;2010与之前相比,南部的碳储量增加较快,最大值为26.2116Mg,其他基本保持不变;2018年土壤碳空间的分布又发生变化,中部和南部的在减少,北部的在增加。

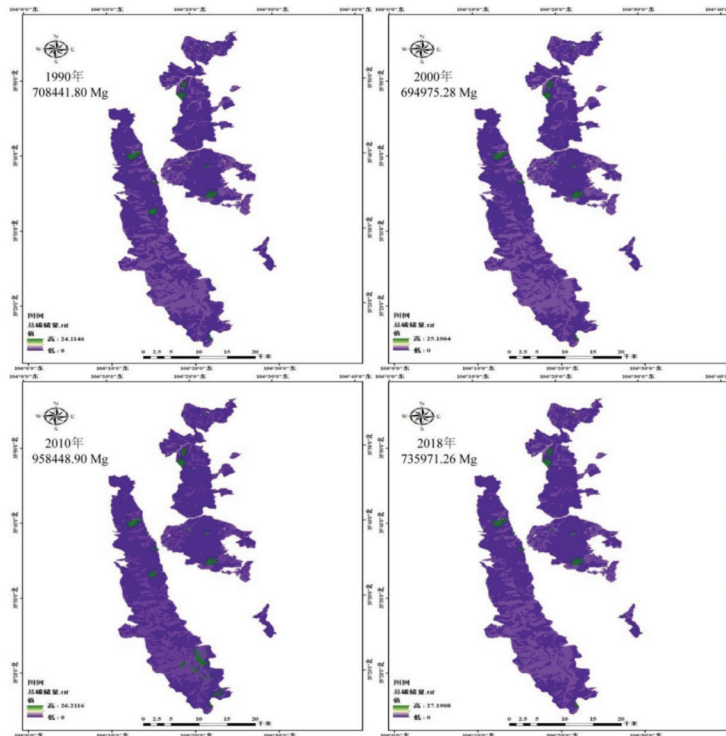


图 5 1990-2018 六盘山总碳储量空间分布

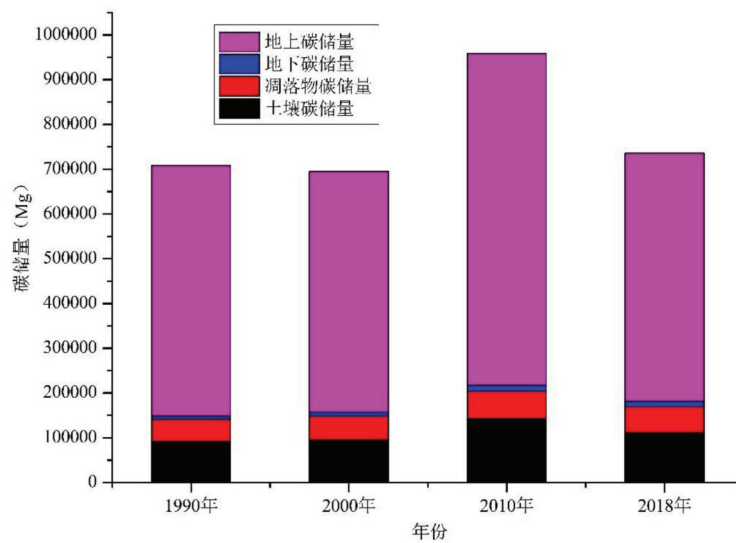
## 5.2 六盘山 1990-2018 年各碳库构成分布变化

由表和图 6 可以看出,在 1992-2018 年间,总的碳储量基本呈现先增加后降低的趋势,2010 年的总碳储量最大为 958448.90Mg,最小是 1990 年,为 708441.80Mg。具体来看,土壤碳储量所占比例最大,其次是地上碳储量、地下碳储量,最低的是凋落物碳储量,这与实际情况相符合,土壤是最大的碳库,植物地上部分所占的比例要大于地下部分,而凋落物的部分,就会更少。

表 9 六盘山 1990-2018 年各部分碳储量变化统计(Mg)

年份	总碳储量	地上碳储量	地下碳储量	凋落物碳储量	土壤碳储量
1990	708441.80	91277.45	49888.29	8007.25	559268.83
2000	694975.28	95045.29	53155.60	8825.62	537948.78
2010	958448.90	143251.86	60455.65	13680.08	741061.31
2018	735971.26	111060.88	58525.11	11603.86	554781.43

图 6 六盘山 1990-2018 年各部分碳储量变化统计



## 6 总结

本文主要是基于 InVEST 模型和遥感地类变化数据进行宁夏“三山”的碳储量估测,分别估算了宁夏“三山”1990 年、2000 年、2010 年、2018 年的碳储量时空分布特征。估测结果表明:贺兰山总碳储量最大,1990 年-2018 年的总碳储量分别为 5237066.80 Mg, 5236056.90 Mg, 5580992.12 Mg, 5849066.10 Mg;六盘山次之,1990 年-2018 年的总

碳储量分别为 708441.80 Mg, 694975.28 Mg, 958448.90 Mg, 735971.26 Mg; 罗山的总碳储量最小, 分别是 519443.93 Mg、558862.93 Mg、612467.44 Mg、624885.42 Mg。截至到 2018 年, 宁夏“三山”的总碳储量达到 7209922.78 Mg。总体上, 宁夏“三山”的碳储量从 1990 年-2018 年呈逐年增长趋势, 这表明宁夏“三山”生态系统在过去近 30 年的时间内具有很好的固碳能力。然而, 鉴于目前的数据集有限, 以上的估测结果只能作为一个参考。在基于本文使用估测方法的基础上, 如果未来能基于宁夏“三山”的不同地类进行碳密度测算以及更高分辨率的遥感分类数据集, 将会进一步提高宁夏“三山”碳储量的估测精度, 这也是我们未来将要进行的一项研究工作。



# 新能源发展与消纳助力城市碳排放达峰研究

——以吴忠市为例

程志<sup>1</sup>,杨晓明<sup>2</sup>,严清宁<sup>2</sup>,康立锋<sup>2</sup>

(1.宁夏CDM环保服务中心;2.吴忠市生态环境局)

2014年中美联合发布《中美气候变化联合声明》，中国政府首次承诺碳排放在2030年左右达峰并争取尽早达峰。2015年12月，巴黎气候大会上中国重申了这一承诺，彰显了中国政府对碳减排的高度重视和坚定决心，受到国际社会的高度评价。作为世界上最大的发展中国家，中国面临发展经济、消除贫困、改善民生、保护环境等多重挑战，实现2030年二氧化碳达峰目标任务艰巨。2020年9月份，习近平主席在联合国75届大会一般性辩论上，提出中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力地政策和措施，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。习主席于2020年气候雄心峰会上又进一步承诺：到2030年，中国单位国内生产总值二氧化碳排放将比2005年下降65%以上，非化石能源占一次能源消费比重将达到25%左右，森林蓄积量将比2005年增加60亿立方米，风电、太阳能发电总装机容量将达到12亿千瓦以上。

吴忠市委市政府高度重视应对气候变化工作，吴忠市生态环境局于2020年7月启动了碳排放达峰目标及实施路径研究工作，以期通过对吴忠市经济社会发展、产业结构、能源结构研究，结合资源环境禀赋、产业布局和发展阶段明确吴忠市碳排放达峰时间、碳排放峰值量。通过发挥峰值目标倒逼作用，提出各重点耗能部门的具体实施路径与重点工程。通过设置不同发展情景与各种减排措施对比发现：吴忠市新能源的发展对于实现碳排放达峰将发挥重要作用。

## 一、吴忠市概况

### 1. 基本概况

吴忠市位于宁夏中部地区，地处宁夏中部，坐落在中华民族的“母亲河”——黄河之滨，是宁夏引黄灌区的菁华之地，自古享有“塞上江南·鱼米之乡”的美誉。现辖5个

县(市、区),总面积2.14万平方公里,常住人口141.54万,全市实现地区生产总值621.77亿元,第一产业增加值为85.10亿元,第二产业增加值为273.02亿元,第三产业增加值263.65亿元。

2015年,吴忠市获批为宁夏回族自治区第一个低碳城市试点,填补了宁夏低碳城市的空白。2016年,吴忠市根据国家级第三批低碳城市试点申报通知,积极开展了国家第三批低碳城市试点申报工作。2017年1月份,吴忠市顺利获批为国家级第三批低碳城市试点。在低碳城市创建期,吴忠市通过积极调整产业结构,开展工业节能专项活动、大力发展新能源、推动建筑节能和绿色发展、加快建设低碳交通运输体系、创建低碳社区、低碳学校等低碳发展试点、鼓励居民形成低碳生活方式等措施,取得了显著的成效。

## 2. 新能源发展的条件

宁夏拥有丰富的“风”、“光”资源,各地年平均风速为2.0~7.0米/秒,贺兰山、六盘山是风速最大的两个中心,其次为麻黄山,大武口、平罗一线及西吉。2012年宁夏获批成为我国第一个新能源综合示范区,新能源发电成为了宁夏经济发展的新增长极。吴忠位于宁夏中部干旱带地区,拥有丰富的太阳能、风能资源,红寺堡区、盐池县、同心县、太阳山等山区年平均日照大于3000小时,地处宁夏香山-罗山-麻黄山风能资源丰富带,平均风速3.5米/秒以上。吴忠市为宁夏行政区域内面积最大的地级市,适于建设大型新能源项目的山地、沙漠等地貌类型约占总面积的30%以上,是发展风电、水电、光热光伏发电等新能源产业最具潜能的地区,也是宁夏新能源基地的重要区域之一。

## 3. 新能源发展情况

“十二五”末,吴忠市风光新能源建成并网装机规模为398万千瓦。“十三五”期间,紧紧围绕国家级新能源综合示范区和全国“屋顶能源计划”示范基地两大目标,吴忠市坚持集中开发与分布式开发相结合,加快建设青铜峡牛首山、红寺堡红墩子、盐池麻黄山、太阳山、利通区五里坡等风电、太阳能光伏发电为重点的新能源项目。通过着力推广建筑一体化、光伏种养殖立体大棚及屋顶分布式光伏发电、太阳能与燃气联合发电示范工程,吴忠市打造了太阳山、盐池、同心、红寺堡区四个风电光伏“双百万”基地。截至到2020年底,全市新能源建成并网1232.73万千瓦,占全市电力装机规模的70%,其中水电32.7万千瓦、生物质发电1万千瓦、光电352.7万千瓦、风电846.33万千瓦。

截止到2021年1月,宁夏电网新能源装机目前已达到2573万千瓦,2020年新能源发电量322亿kWh,成为我国首个新能源发电出力超过本地电网用电的省区。2016年申报第三批国家低碳城市时,吴忠市已作出预测:“十三五”期间吴忠市新能源发电

量将超过全社会用电量,2020年底力争新能源装机容量达到1500万千瓦以上。这一预测在2019年得到验证。2019年吴忠市新能源发电量为169.07亿kWh,其中太阳能光伏发电36.5亿kWh、风力发电116.7亿kWh、水电15.9亿kWh,全社会终端用电量为162.06亿kWh。2020年全市电力较2019年下降2.04亿kWh,但是新能源装机仍在增加,装机容量增加653.5MW。更为突出的是吴忠市红寺堡区,从2014年开始其新能源发电量已超过红寺堡区全年用电量。2014年,红寺堡区扣除全社会用电量,表现为净输出4亿kWh新能源电力,到2020年红寺堡区净输出30亿kWh新能源电力。按照现有地方碳排放有关考核方法,红寺堡区是宁夏最早实现碳中和的县区。从吴忠市国民经济和社会发展“十四五”规划来看,新能源产业仍是未来发展的重点产业,可以预测吴忠市新能源发电量超出全社会用电量将成为常态。

## 二、吴忠市碳排放达峰情况及新能源贡献

### 1. 吴忠市碳排放达峰情况

吴忠市碳排放达峰研究主要利用LEAP-GREAT模型,以2018年作为基准年,结合吴忠市实际情况进行二次开发,模拟了吴忠市2018~2035年的能源消耗带来的碳排放趋势。研究通过自下而上的模型搭建方式,利用定性与定量相结合的方法,系统分析了吴忠市碳排放达峰的可行性,并提出了具体的实施路径。通过历史数据计算显示,吴忠市2018年度排放1326万吨二氧化碳,其中工业排放1092万吨,占吴忠市总排放的82%;居民生活碳排放67.9万吨,占吴忠市总排放的5.1%;商业和公共建筑碳排放49万吨,占吴忠市总排放的3.7%;交通部门碳排放47.2万吨,占吴忠市总排放的3.6%;农业用能28.8万吨,占吴忠市总排放的2.8%;建筑业14.4万吨,占吴忠市总排放的1.4%;输电损失1.1万吨,占吴忠市总排放的0.1%。

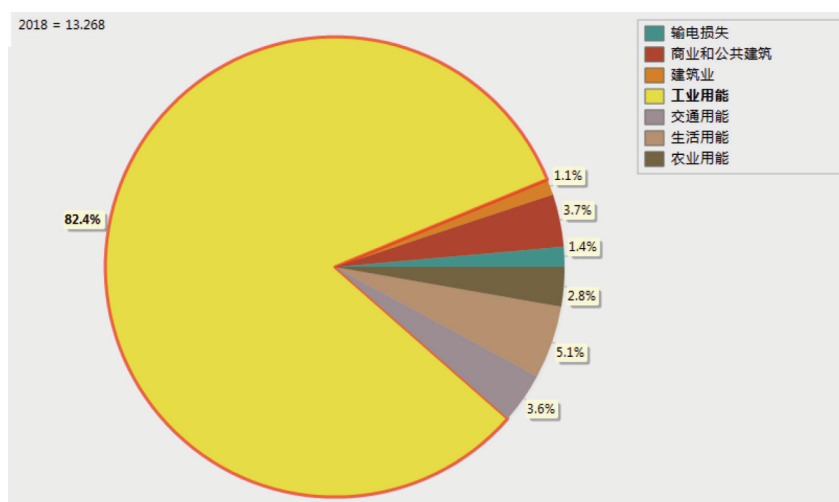


图1 2018年吴忠市不同部门碳排放占比

在预测吴忠市碳排放达峰时,研究共设置了四种发展情景,基准情景、节能情景、达峰情景、理想情景,根据不同参数设置得到不同情景下的碳排放情况。

基准情景特征,持续推动落实“十三五”期间已有的节能减排相关政策,包括工业节能诊断、监察措施,推动电解铝、水泥、铁合金、化工等重点行业的持续节能减排。在建筑方面落实加大装配式建筑相关政策,按照既有水平对商用、公共建筑、居民建筑进行改造,落实既有绿色建筑相关政策。在新能源发展方面,考虑到从2021年开始国家取消补贴,在待建项目建成后,从2025年开始,每年新增50MW光伏发电,以缓慢的增速发展。

节能情景特征,在基准情景基础上,强化工业节能。主要以调整工业产业结构措施为主,其次对传统高耗能产品进行对标对表,通过技术逐步更新使电解铝、镁冶炼、水泥、铁合金、化工等产品能耗限额逐步达到行业先进值,推动吴忠市工业能耗强度持续降低。

达峰情景特征,在节能情景基础上,进一步挖掘民生领域的减排潜力和新能源的贡献。在商业、公共建筑方面,到2035年既有建筑的改造率达到80%,绿色建筑占新建建筑比例达到100%。在交通方面,到2035年推动现有公交车全部替代为新能源汽车,出租车2030年全部替换为新能源汽车。在新能源发展方面,在待建项目建成后,从2025年开始,每年新增200MW光伏发电。

理想情景特征,在达峰情景的基础上,随着新能源装机规模增加,火力发电小时会出现减少,假设吴忠市火力发电厂从2021年开始平均每年减少100h。

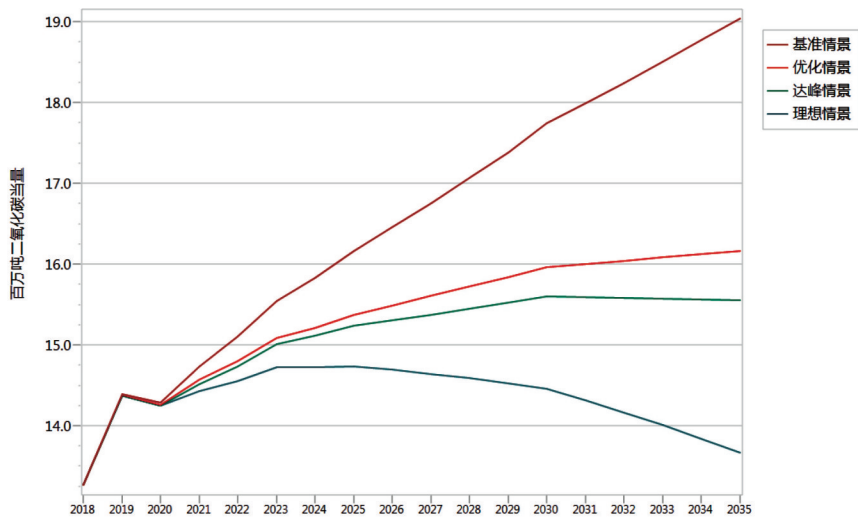


图2 不同情景下吴忠市碳排放趋势

不同情景之间的区别主要为,节能情景在基准情景上进一步考虑工业节能、建筑、交通、居民生活、农业等部门的节能措施,达峰情景为在节能情景的基础上,进一步考虑新能源发展措施,理想情景为在达峰情景的基础上,进一步考虑降低火力发电负荷的影响。

## 2. 新能源对吴忠市碳排放达峰的贡献

通过对比不同情景减排措施减排量,得到在达峰情景及理想情景中新能源发展的减排贡献,见图3-4。

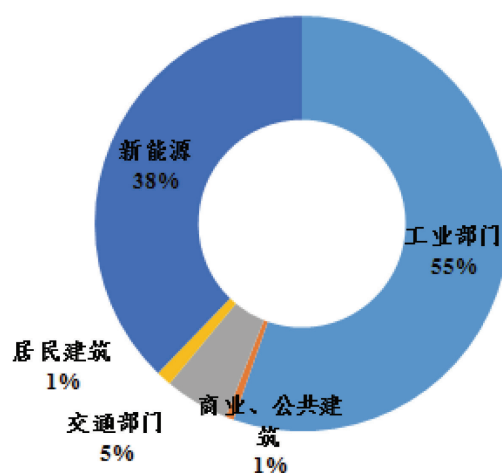
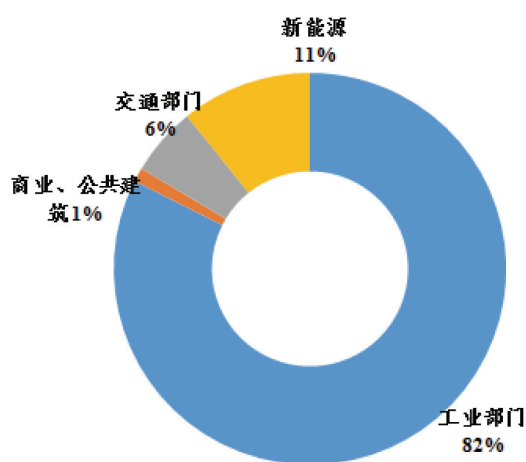


图3 吴忠市达峰情景各部门减排贡献 图4 吴忠市理想情景各部门减排贡献

在达峰情景下,工业部门减排对吴忠市碳排放的达峰的贡献为82%,新能源发展所带来的减排量对吴忠市碳排放达峰的贡献为11%,其次为交通部门、商业和公共建筑等部门。

在理想情景下,工业部门减排对吴忠市实现达峰的贡献为55%,新能源发展所带来的减排量对吴忠市实现达峰的贡献为38%,主要原因为在新能源发展的同时火电每年减少100h的发电负荷,对降低吴忠市综合电网排放因子具有显著影响。

## 三、吴忠市新能源消纳的经验

由于风力发电、光伏发电的间歇性不稳定等问题,在“十二五”期间新疆、甘肃等地有大量的新能源发电无法消纳而白白浪费。宁夏前期也存在新能源消纳问题,主要原因是电网配套基础设施不完善,但是后期宁夏主要采取了强化基础设施建设、多种调峰方式、电力交易、先进控制系统等措施,以确保宁夏新能源发电的消纳保持在相对较高的利用水平,位居全国前列,具体措施如下:



### 1. 坚强电网基础设施的建设

作为国家“西电东送”战略最早的重要送端,宁夏电网呈现“强电网、大送端”的特点,目前已形成以750千伏环网为骨架、各级电网协调发展的坚强电网。截至2020年底,宁夏电网统调220千伏及以上变电站97座,容量7455万千伏安。220千伏及以上电压等级交流线路共计296条,其中750千伏线路37条、330千伏线路117条、220千伏线路142条。直流线路2回,其中±660千伏银东直流1回、±800千伏灵绍直流1回。“十三五”期间宁夏投运新建10座330千伏变电站,新接入新能源线路40条和新能源电厂40座,通过强化电网改造、优化新能源接入方式、加工并网工程投资力度等措施,大大提升新能源优化配置能力。坚强电网建设为宁夏、吴忠市新能源电力的上网消纳提供了基础条件。

### 2. 多种调峰方式加强调度运行管理

宁夏电网调控中心按照火电机组最小技术出力进行调峰控制,充分利用断面输电能力,减少新能源断面受阻,积极优化火电机组开机和上旋转备用安排,通过减少火电开机,确保新能源消纳最大化。吴忠市通过建设总容量为30万千瓦电极锅炉,增加终端用电负荷,以提高供热电厂运行灵活性、缓解供热期机组热电矛盾、促进新能源消纳。另外,吴忠市正在建设青铜峡100万千瓦抽水蓄能项目,作为系统保安电源,解决风电、光电等新能源丰富地区大规模开发而引发的电力系统安全稳定运行问题,起到削峰填谷、稳定电网的作用,提高风电、太阳能的利用率和质量,促进新能源的消纳。

### 3. 利用电力交易市场手段

宁夏与西北各省区进行电力互济,根据新能源功率预测情况,开展日内实时双边、置换、跨省辅助调峰及现货交易。另外,利用三大直流通道灵活交易策略,以跨省区外送、发电权交易、清洁自备替代等多种手段实现多品种交易,创新开展风火打捆参与区内自备机组、在役机组替代交易,通过双边、竞价、挂牌等多种交易形式,为市场主体提供交易策略选择权,提升交易积极性和灵活性,增加新能源区内消纳电量18.37亿千瓦时。宁夏电力公司率先在西北组织开展可调节负荷交易,即通过调节峰平谷电价时间,以平价电价方式鼓励重点用能企业在白天进行生产,以消纳新能源。2020年已在6家企业进行了示范应用,取得了较好的效果。目前,宁夏正在对工业进行调研,计划全面推广可调节负荷交易,提升新能源的消纳能力。

### 4. 技术创新与智能化管理

在国内率先联合区地两级调度,同期建成火风光有功协调控制、实时平衡能力监



视、新能源超短期预测系统,该系统运行时能实时监视火电备用容量,并在备用容量不足时按市场交易类型自动对新能源场站进行分级控制,对新能源市场化电量进行分级控制。不仅解决了新能源在当前市场环境下的三公调度问题,而且实现了与常规火电有功控制系统的协调控制,使电网按照火电零备用的原则进行调峰,充分释放电网新能源接纳空间,缓解了调度运行压力,实现新能源出力“一键式”控制,得到了新能源企业的普遍认可。

#### 四、吴忠市发展新能源产业的建议

对比吴忠市国民经济和社会发展规划“十四五”关于新能源发展规模的论述,吴忠市碳排放达峰研究中对于新能源发展规模的预测相对保守,因此可以预测,未来新能源产业的发展将加速吴忠市实现碳达峰的步伐。为保障吴忠市新能源产业健康有序发展,高质量促进吴忠市早日实现碳达峰目标,提出如下建议:

##### 1. 优化新能源产业投资营商环境

严格落实《自治区发展改革委关于进一步优化新能源项目投资建设营商环境的通知》(宁发改能源[2021]724号)有关要求,降低新能源投资项目开发建设的门槛,不得强制要求开发商配套其他产业项目;加大与电网、生态环境、自然资源等部门的协调,为新能源投资项目开发建设创造有利条件;帮助企业完善土地使用、环境影响评价、水土保持等项目审批手续,推进项目合法合规建设,为新能源项目在吴忠落地建设营造优质营商环境。

##### 2. 延长本地新能源产业链

吴忠市风电、光伏装机规模占全区清洁能源电力装机规模的48%,但是相关制造业企业只有3家且产品单一。建成和在建项目所安装的光伏组件、风机整机等设备大都是购买和使用外地产品,导致吴忠市新能源电力产业化带动能力明显不足。建议引进国内新能源关键组件、设备的生产商,完善本地新能源产业链。利用国内清洁能源发展大会、能源转型有关论坛等,积极邀请行业内上下游企业来吴开展招商交流活动,推动一批清洁能源项目落户,协调招商落地项目与吴忠市上下游企业配套合作。

##### 3. 加大新能源本地消纳能力

考虑到吴忠市2019年新能源发电量已超出全社会用电量,由于新能源发电的特性限制及吴忠市用电负荷等因素,大部分新能源电力都未在吴忠市本市消费,而是通过电网进行了外送。《国家发展改革委关于印发〈完善能源消费强度和总量双控制度

方案》的通知》在鼓励地方增加可再生能源消费内容中提出“对超额完成激励性可再生能源电力消纳责任权重的地区,超出最低可再生能源电力消纳责任权重的消纳量不纳入该地区年度和五年规划当期能源消费总量考核”。为适应我区新能源大规模发展,服务以新能源为主体的新型电力系统建设,自治区发改委印发了《关于进一步完善峰谷分时电价机制的通知》(宁发改价格〔2021〕602号),通过调整峰平谷电价时段,鼓励铁合金、碳化硅、水泥、煤炭开采等重点耗能行业在白天生产,进一步加大新能源本地消纳力度。

在自治区发改委政策的基础上,建议吴忠市与宁夏电网开展更深层次合作,通过优化整合本地电源侧、电网侧、负荷侧资源,以先进技术突破和体制机制创新为支撑,多措并举促进新能源电力的本地消纳,助力实现碳达峰目标的同时,为宁夏完成节能减排指标做出积极贡献。