

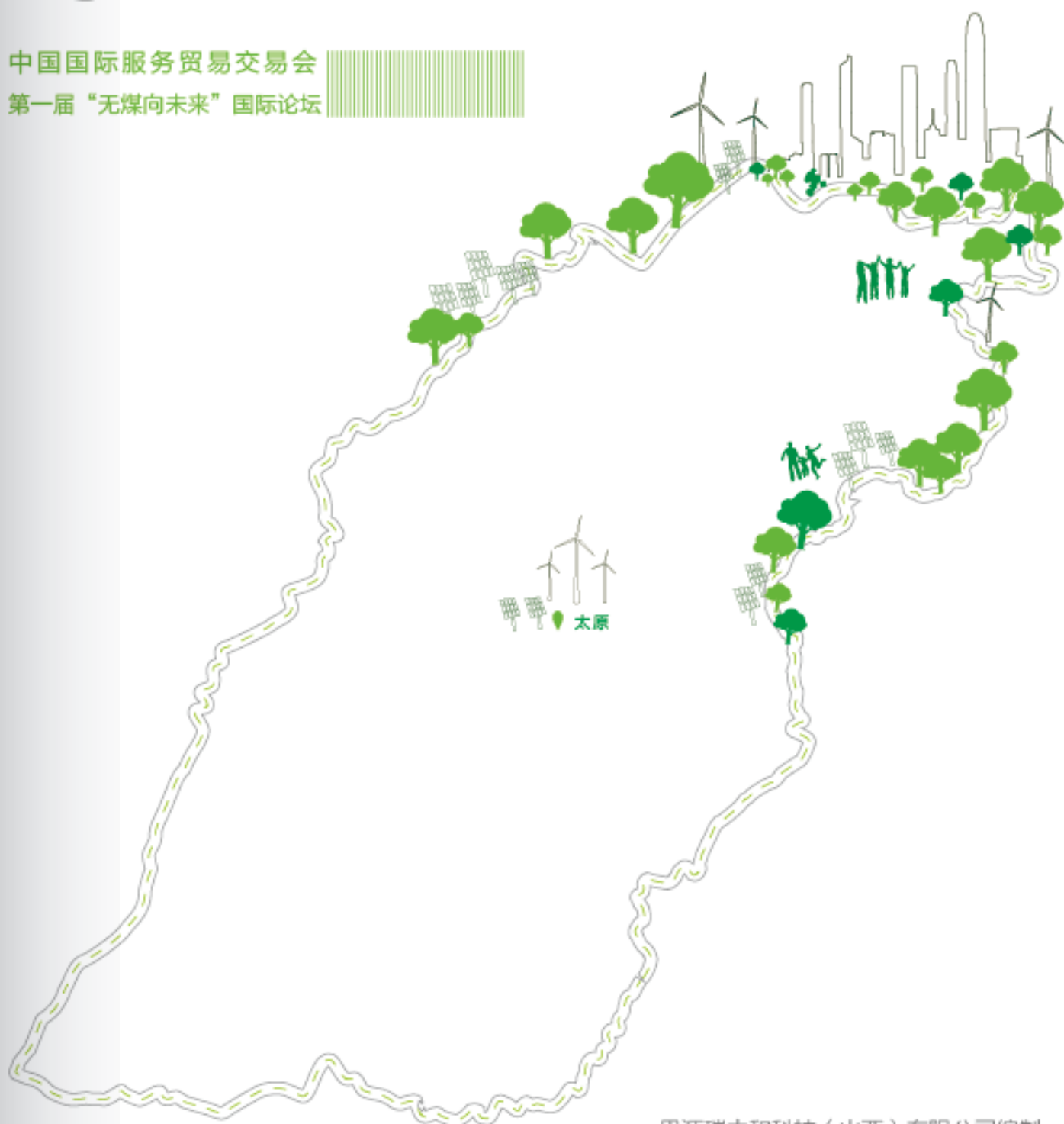
# 碳达峰碳中和下 山西“无煤低碳未来”

路径探索

2022

中国国际服务贸易交易会

第一届“无煤向未来”国际论坛

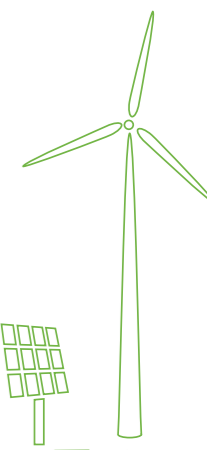
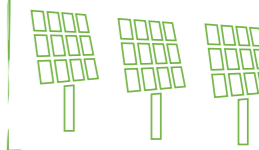
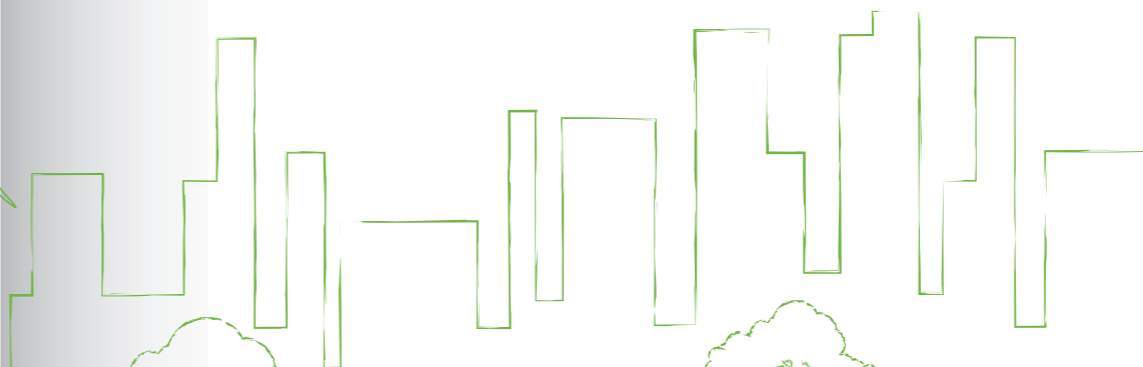
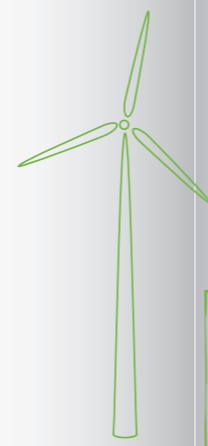
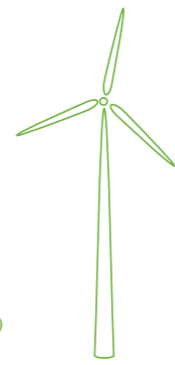
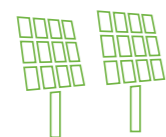


# 碳达峰碳中和下 山西“无煤低碳未来”

路径探索

2022

中国国际服务贸易交易会  
第一届“无煤向未来”国际论坛





## 报告概要

煤炭能源是人类文明进步的重要物质基础，但也是造成气候危机的温室气体的主要排放源。在这一共识下，全球正在加快清洁能源对煤炭等化石能源的替代。中国政府宣布，将在2030年前达峰二氧化碳排放，2060年前实现碳中和。在“双碳”目标的历史趋势下，煤炭大省山西的减煤行动时不我待，步伐更不容懈怠，否则将陷入被动。

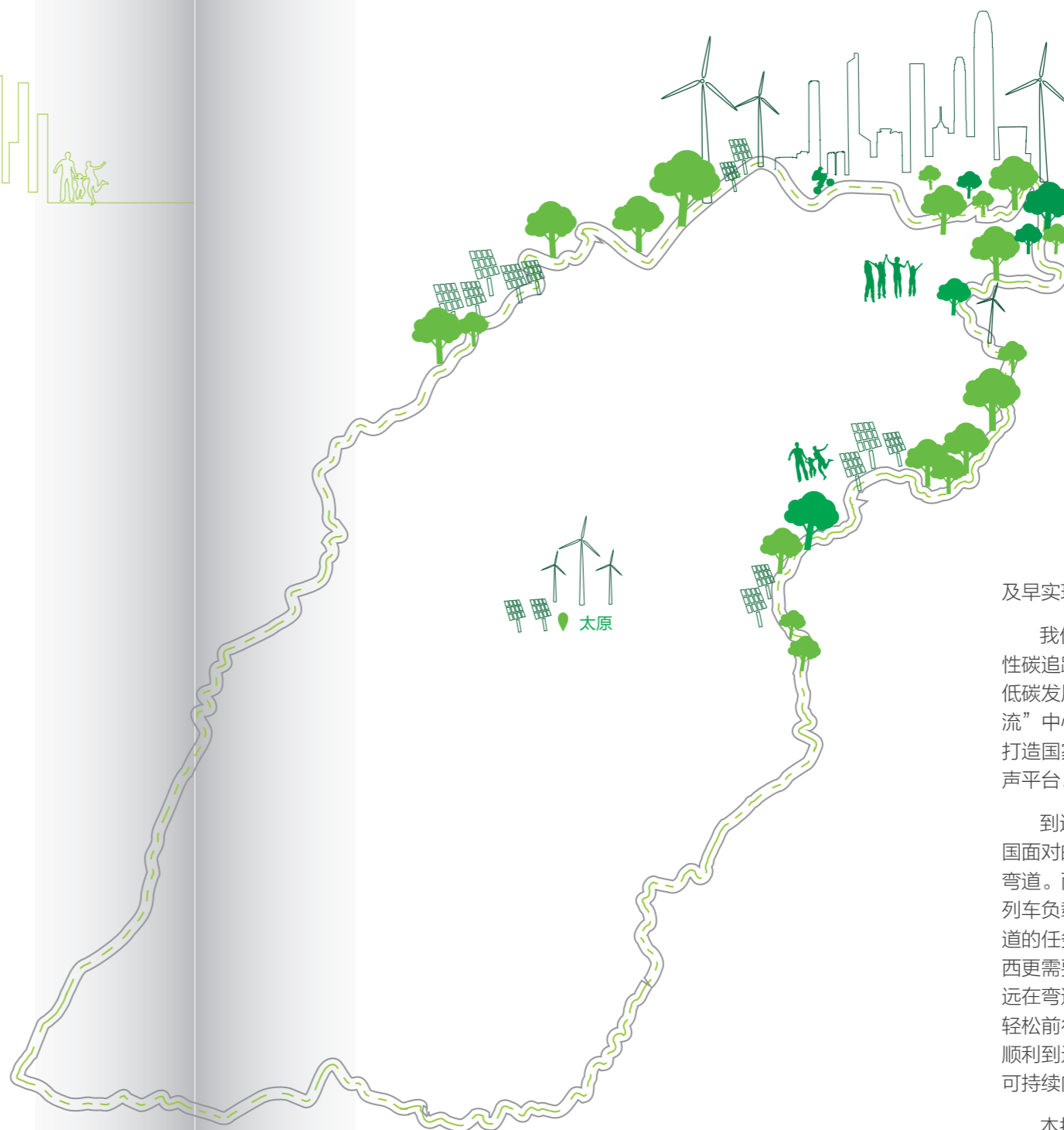
“双碳”目标将强力助推山西减煤、低碳、无煤。综合考虑，我们在报告中设置了山西不同的“无煤向未来”的碳达峰情景。在不同责任下，山西存在三个不同的碳排放值、碳达峰值，由此要有三个不同的减煤测算。结合山西省煤炭消费，全省2025年煤炭消费总量应控制在3.2亿~3.4亿吨。若按照3.4亿吨的目标，山西省“十四五”期间需累计压减煤炭消费约2000万吨，降幅约5.56%。而到2030年煤炭消费应控制在2.9~3.2亿吨。

山西的减煤无煤路径需要以低碳、零碳发展为引领，加快产业调整力度及深度，尤其要首先着力于煤电、焦化、钢铁冶金等三个支柱产业。同

时，作为国家能源革命排头兵，山西的减煤零碳努力也是纵深推进资源型转型试点的综合改革。这些努力要三管齐下，既要加快光伏、风电、水电等清洁能源和新能源的发展，推动能源供给由单一向多元、由黑色向绿色转变；也要推进能源技术革命，变革煤炭开采方式，加快煤矿智能化和绿色开采；更要培育和推动新兴零碳产业和企业，从根本上实现“一煤独大”到“八柱擎天”的转变。

同时，我们也必须认识到，制定双碳战略，实现双碳目标，各省也无法选择单打独斗。

作为能源大省，山西既要保障国家能源供应、能源安全，又要担起减碳降耗的重压，面临巨大挑战，既有积重难返的尴尬，又有任务压顶的焦虑，以及办法不足的无奈。因此，山西低碳零碳向未来，需要全国“一盘棋”，全盘从供给和需求两端推进能源转型，同时明确碳排放的计算、分配和交易规则，以政策、资金、技术支持，协调各省市，共同激励并协助山西走好走稳低碳零碳的“无煤向未来”之路，才能最终科学有序地实现全国碳达峰、碳中和的“双碳”目标，



及早实现无煤的清洁安全未来。

我们期待立足山西，通过“全国性碳追踪和交易中心”和以太原能源低碳发展论坛为基石的国际“零碳交流”中心，积极开展国际合作，努力打造国家“碳达峰、碳中和”权威发声平台。

到达“双碳”目标的过程，是中国面对的一条能源和经济双重转型的弯道。而长久以来，山西经济的这趟列车负载着沉重的煤炭，驶过转型弯道的任务也尤其艰巨，也正因此，山西更需要比其他省市提早做好准备，远在弯道之前就改换动力，卸掉煤炭轻松前行，才能安稳拐过“碳达峰”顺利到达“碳中和”的下一站，继续可持续向前。

本报告的撰写获得了菲律宾“亚洲气候行动者”组织的大力支持和指导，特此感谢！

主执笔人：山西省能源研究会理事长程章，2022.9.5

## 一、碳达峰碳中和形势下，山西减煤的迫切现实

- (一) 中国实现“碳达峰、碳中和”目标离不开山西减煤。
- (二) 山西煤炭主要客户省市的经济低碳化迫使山西减煤。
- (三) 政策强力助推以工业为主的各领域减煤、低碳、无碳，要求山西减煤。
- (四) 兴于煤也困于煤，山西减排压力更大，减煤努力须及早。

16

15

14

12

## 二、碳达峰碳中和目标情景下，山西煤炭的转型

- (一) 山西煤炭生产与消费的基本判断
- (二) 山西煤炭的低碳零碳转型路径选择

20

27

## 三、山西无碳向未来，需要全国“一盘棋”统筹，共同低碳零碳向未来。

- (一) 深化煤炭国内区域协作发展。
- (二) 兄弟省市消费测配套改革助力山西低碳零碳向未来。
- (三) 以“无煤向未来”作指引，将山西打造为“双碳中心”。

36

35

34

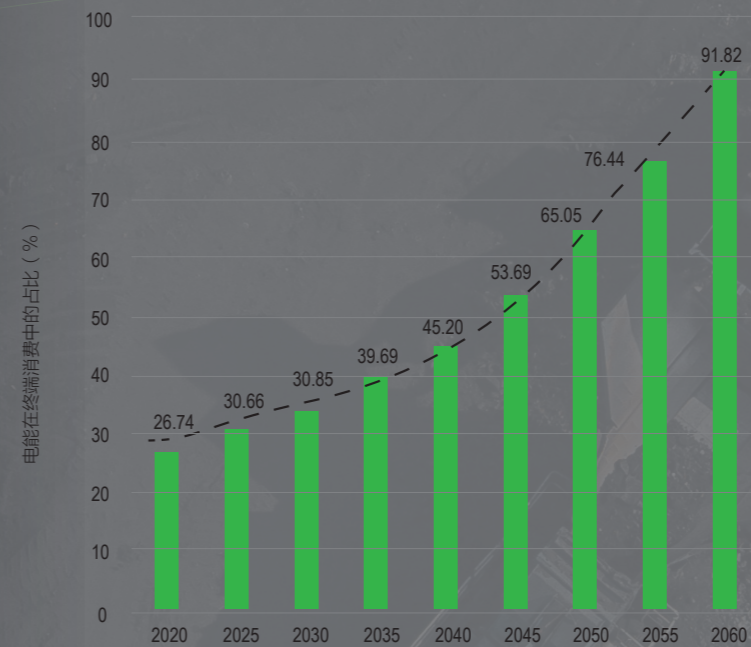
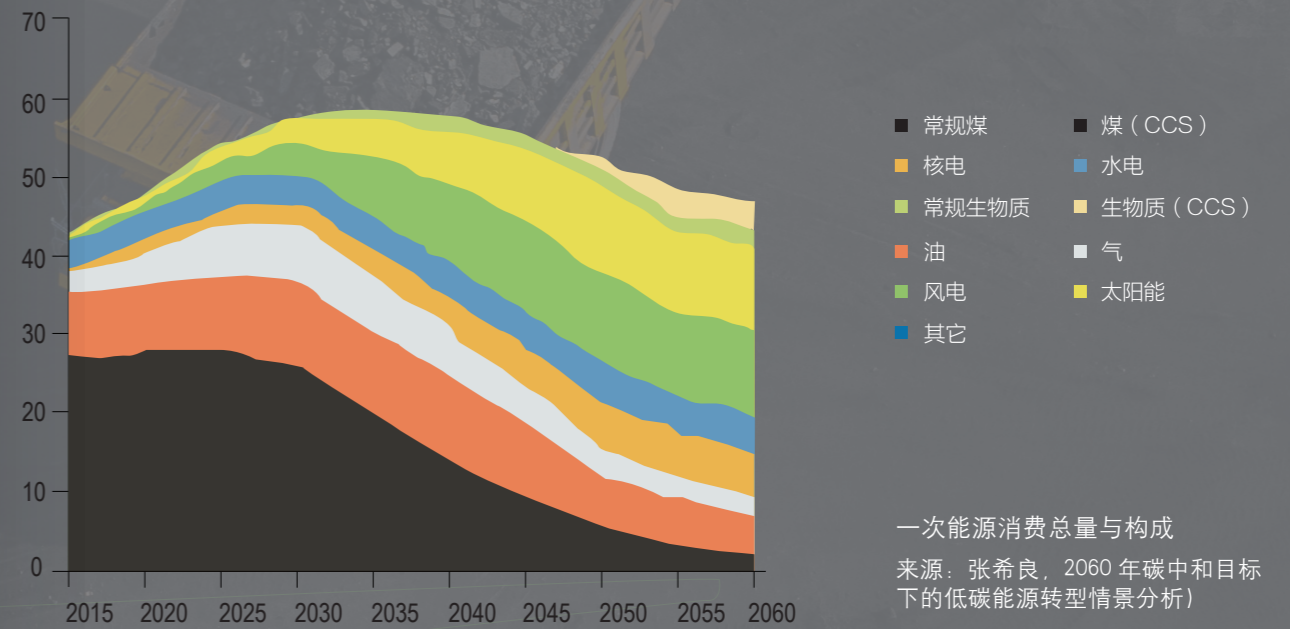


煤炭能源是人类文明进步的重要物质基础，攸关国计民生和能源安全。本世纪以来，全球能源结构加快调整，煤炭等化石能源加快清洁替代，低碳零碳时代已经到来。

中国政府宣布：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。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。国家《“十四五”现代能源体系规划》进一步明确提出，到2025年，国内能源年综合生产能力达到46亿吨标准煤以上，非化石能源消费比重提高到20%左右，非化石能源发电量比重达到39%左右。基本建成现代能源体系，非化石能源消费比重在2030年达到25%的基础上进一步提高，可再生能源发电成为主体电源，新型电力系统建设取得实质性成效，碳排放总量达峰后稳中有降。

## “双碳”目标下的能源场景

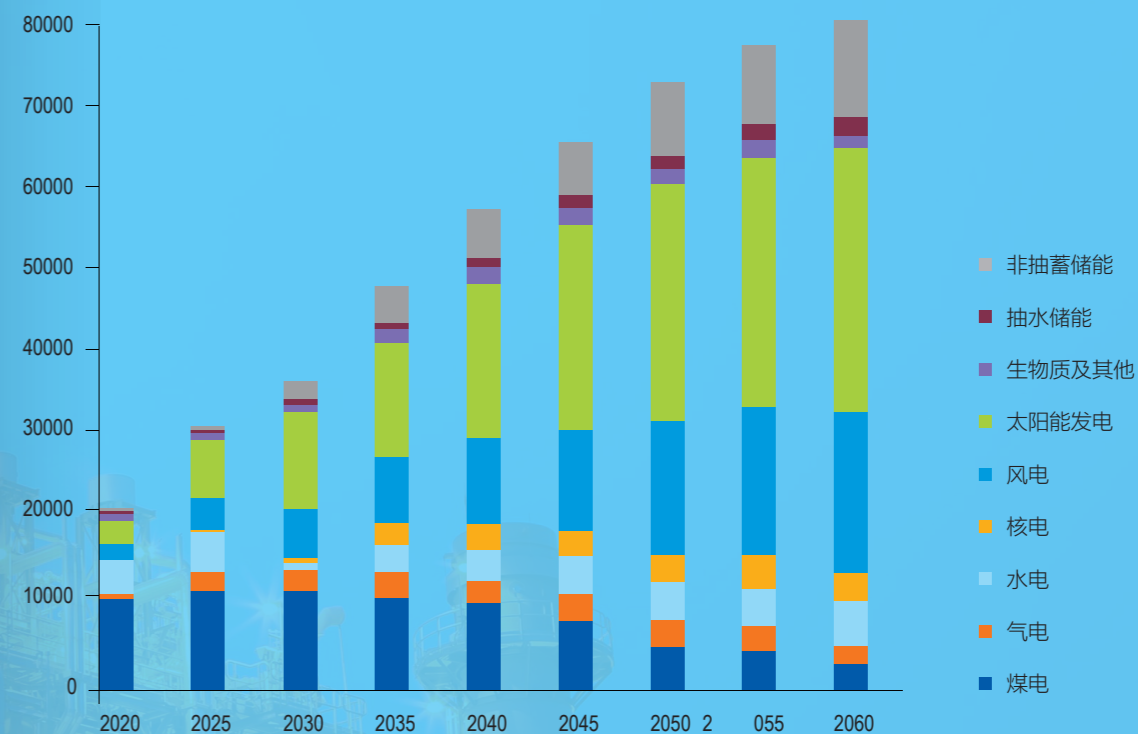
据预测，2060年我国一次能源消费总量约为46亿吨标煤，其中非化石能源占比将达到80%以上，风、光成为主要能源，且主要转换成电能进行利用；2060年电力占终端能源消费比例将达到79%-92%。





## “双碳”目标下的电力场景

据国网能源院预测，2060年我国全社会用电量约为15万亿千瓦时，电源总装机将达到80亿千瓦。其中，新能源装机规模将达到50亿千瓦，装机占比超过60%，电量占比超过55%，成为电力电量供应主体；水电、核电、火电等同步发电机组装机占比约为23%，电量占比低于40%，仍有较大比重。



数据来源：1、国网能源院，《碳达峰、碳中和条件下电力行业和国家电网面临的形势、任务、挑战及实现路径》；  
2、中电联2020年公报。

年份	2020年	2030年	2060年
总装机 (亿千瓦)	22	36-41	78-82
火电装机占比 (%)	49.1	31-36	4
常规机组装机占比 (%)	76	约 59	约 23
非化石能源装机占比 (%)	44.8	52-59	88-89
非化石能源电量占比 (%)	33.9	39-45	86-87

整体电力结构发展展望

# 一、碳达峰碳中和形势下，山西减煤的迫切现实





煤炭生产企业都面临加速退出和平稳退出的时代选择和巨大挑战。

## (一) 中国实现“碳达峰、碳中和”目标离不开山西减煤。

在 2021 年格拉斯哥第 26 次全球气候大会上，197 个国家谈判确定“逐步减少”煤炭使用。从根本上，定调了碳达峰碳中和，能源发展特别是煤炭发展的问题。根据 IEA（国际能源署）数据库显示，从能源结构看，全球二氧化碳的排放中，煤炭的燃烧和使用贡献了约 44% 的二氧化碳排放。与全球能源结构不同，中国的能源消费更依赖于煤炭，中国有 80% 的二氧化碳排放来自于煤炭。

碳达峰时的煤炭能源消费占比分别为 32.2%（英国，1990）、41%（德国，1991）、26%（美国，2007）、25.6%（日本，2012）、8.3%（巴西，2014），中国同口径煤炭能源消费占比在 63% 左右（2019 年），远超上述各国碳达峰时期的煤炭占比和世界平均水平的 27%，能源结构调整压力大。煤炭生产地区、煤炭生产企业都面临加速退出和平稳退出的时代选择和巨大挑战。

对标国际案例看，五个国家实现

承诺目标情景下，中国不同燃料的一次能源需求（艾焦）

	2020	2030	2060
煤炭	87	86	16
石油	26	32	11
天然气	12	15	7
核能	4	7	19
可再生能源	18	32	76
水力	5	5	7
现代生物能源和废弃物	4	11	16
生物质的传统使用	3	0	0
太阳能	3	10	33
风能	5	4	16
其他可再生能源	1	1	3
<b>总计</b>	<b>147</b>	<b>173</b>	<b>129</b>
非化石燃料的比重*	15%	23%	74%
非化石燃料的比重**（部分替代法）	16%	26%	80%
<b>能源体系净排放（吉吨二氧化碳）</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>0</b>

\* 使用国际能源署的方法基于物理能源含量计算。\*\* 使用中国国家统计局的方法按部分替代法（PS）计算。  
注：能源体系净排放包括来自化石燃料燃烧以及工业过程的排放量。



近十年，减煤、低碳、零碳发展成为能源结构调整主要方向，截至 2021 年底，我国煤炭消费占比下降至 56%，能源供给保障能力不断增强，形成了煤、油、气、电、核、新能源和可再生能源多轮驱动的新型能源生产体系，水电、风电、光伏发电装机容量均超 3 亿千瓦，位居世界首位。我国抽水蓄能电站装机容量跃居世界第一。全球最大煤炭清洁利用体系基本成型，建成为全球输电距离最远、能源资源配置能力最强的电网。截至 2022 年 6 月底，我国可再生能源发电装机达 11.18 亿千瓦。“十四五”期间，计划投入电网投资 2.4 万亿元，大力推进新能源供给消纳体系建设，2030 年达到 3.7 亿千瓦，输送电量中清洁能源电量占比达到 50% 以上。

截至 2022 年 6 月底，我国可再生能源发电装机达 11.18 亿千瓦。



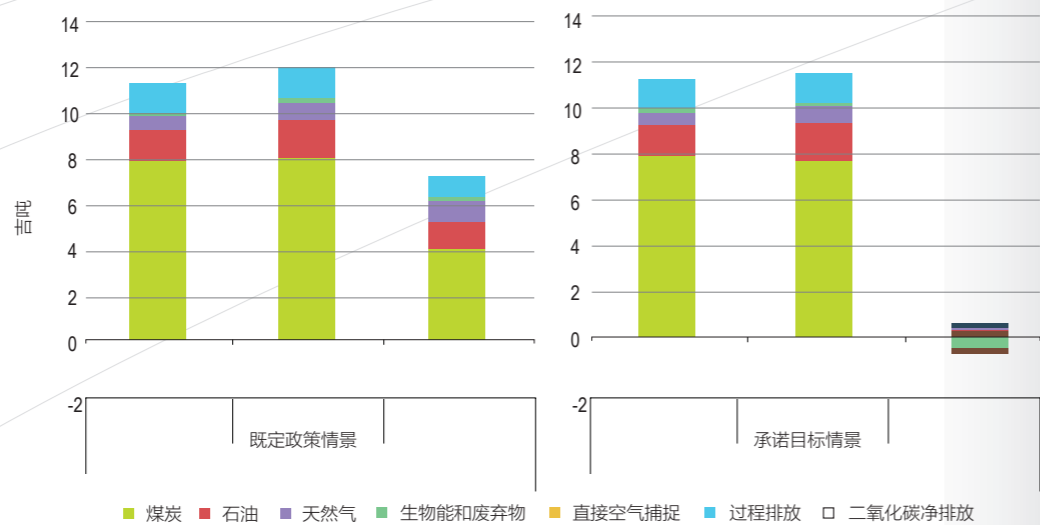
“十四五”期间，计划投入电网投资 2.4 万亿元，大力推进新能源供给消纳体系建设。



2030 年达到 3.7 亿千瓦，输送电量中清洁能源电量占比达到 50% 以上。







双碳目标情景下，中国能源行业不同燃料和技术的二氧化碳排放量  
国际能源署，2021

“十四五”国家能源领域碳达峰方案提出：清洁低碳能源从现在到2030年，预计非化石能源消费比重将按平均每年1个百分点的速度持续增长，占一次能源消费比重将从2020年的16%提升至25%，到2060年更将达到80%。围绕新能源开发、多能转换、先进储能、碳捕集

利用与封存、能源系统控制等领域的新技术、新装备不断涌现，能源产业生态将加速跨越升级。

在全国能源转型的大形势下，山西必须更早减煤转型，做好“无煤向未来”的准备。

## （二）山西煤炭主要客户省市的经济低碳化迫使山西减煤。

从山西煤炭主要需求区域发展看，京津冀、长三角和粤港澳等发达区域正在发生深度变革，山西减煤已经时不我待。

国家正在鼓励京津冀、长三角和粤港澳三个国家发展重点区域，在

“十四五”期间提前实现碳达峰。这些区域，是山西煤炭长期保供省市，煤炭长期销售客户。今年1月，国务院更在《“十四五”节能减排综合工作方案》中部署：在“十四五”时期，京津冀及周边地区、长三角地区煤炭



消费量分别下降10%、5%左右。如若山西看不到这些区域无煤向未来的深度需求变化，将措手不及。

权威机构研究发现，若加大绿色投入，长三角地区有望在“十四五”末期达峰，为18亿吨二氧化碳当量，并在“十五五”期间开始下降。京津冀协同发展、粤港澳大湾区建设、长三角一体化发展等国家战略，将强力助推绿色低碳零碳发展。搭建长三角绿色经济发展模型，模拟绿色发展前景，长三角地区在“十四五”末期碳

达峰，并通过增加新能源利用比例、提升能源效率，减少煤炭使用，就可以实现长三角地区强劲增长。大数据模型分析，2025年起，绿色低碳每年将为长三角地区平均多创造近380万个工作岗位，创造173万亿元的名义GDP，实现财政收入较2020年增长6倍，达到38.1万亿元。基于劳动力与GDP增长正向关系，越来越多的劳动者会在绿色岗位中获得更多收入，而不是依靠煤炭等传统能源支撑的若干产业。

## （三）政策强力助推以工业为主的各领域减煤、低碳、无碳，要求山西减煤。

除了国家出台的1+N碳达峰、碳中和政策，通过助推减煤、低碳、无碳，实现碳达峰。仅从工业领域的减煤、减碳看，工业和信息化部、国家发展改革委、生态环境部联合印发的《工业领域碳达峰实施方案》，就要求加快推进工业绿色低碳转型，源头把控，坚决遏制高耗能高排放低水平项目盲目发展，把减碳、节能、提

效作为满足能源消费增长的最优选择，打造绿色零碳工厂、零碳工业园区、零碳供应链，通过资源高效循环利用降低工业对煤炭的依赖，降低工业领域碳排放，大力减少煤炭利用。

这也直接推动煤炭市场的进一步萎缩，是山西采取及时坚毅的减煤行动的客观要求。



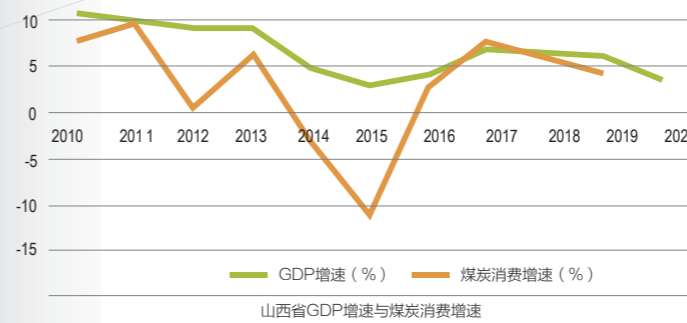
## （四）兴于煤也困于煤，山西减排压力更大，减煤努力须及早。

山西“因煤而兴”，也“因煤而困”。山西能源结构以煤为主，2020年，山西煤炭消费占一次能源消费量的比重高达80%，远超全国平均值56.8%，也超过世界占比最高的南非的71.0%和波兰的70.0%，为世界之最。煤炭资源90%分布在生态环境脆弱地区，开采生态成本高。尽管单位GDP能耗持续下降，但整体能耗降幅仍处于全国中等偏下水平。金融资源逐步退出对高污染高耗能行业的支持，山西省煤炭、钢铁行业各类融资余额分别较年初减少33.5亿元。2020年，我国煤炭开采和洗选业债券净融资额-260.34亿元。

2021年中国原煤产量TOP10省市（单位：亿吨，%）

省市	原煤产量（亿吨）	占全国的比重（%）
山西省	11.93	29.31%
内蒙古自治区	10.39	25.53%
陕西省	7.00	17.20%
新疆维吾尔自治区	3.20	7.86%
贵州省	1.31	3.22%
安徽省	1.27	3.12%
河南省	0.93	2.29%
山东省	0.93	2.29%
宁夏回族自治区	0.86	2.11%
黑龙江省	0.60	1.47%

资料来源：国家统计局 前瞻产业研究院 @前瞻经济学人 APP

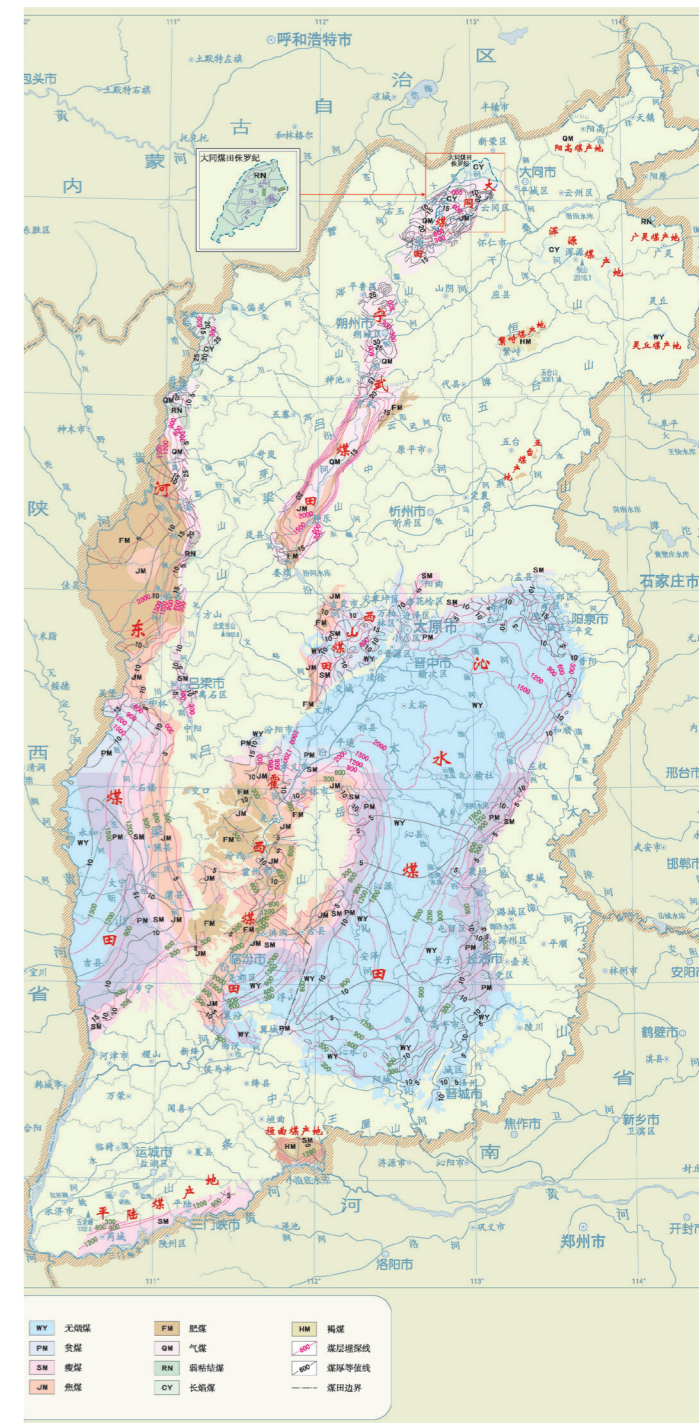


数据来源：山西统计年鉴，山西省国民经济和社会发展统计公报

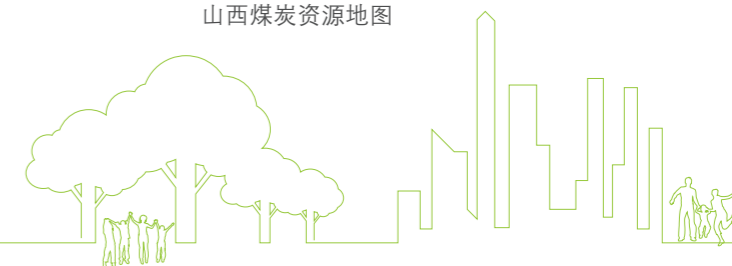


山西省自身高耗能、高碳排放的突出特点，使得山西省在实现“碳达峰、碳中和”目标时，面临更为巨大的生态成本和节能减排压力。

因此，山西越早开始规划自己的减煤行动，才能越平稳顺利地进入过渡期，开启能源和经济的双重艰巨转型。



山西煤炭资源地图



## 二、双碳目标情景下，山西煤炭的低碳零碳转型

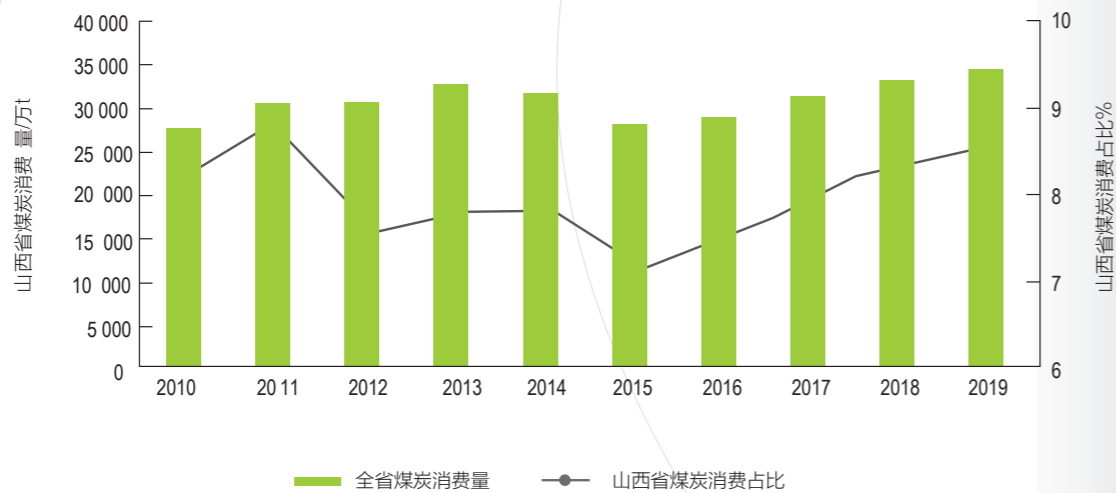


## (一) 山西煤炭生产与消费的基本判断

山西是煤炭生产大省，煤炭资源的地位长期居全国第一。山西含煤面积 6.2 万平方公里，占全省总面积的 39.6%，全省 2000 米以浅煤炭预测资源储量 6552 亿吨，占全国煤炭资源总量的 11.8%。煤炭产业是山西支柱产业，2020 年，煤炭行业增加值占工业部门的 52.6%，煤炭及相关行业贡献全省 45% 的财政收入，就业岗位 100 万。“十三五”期间，全省共减少煤矿数量 188 座，净减少产能 1.58 亿吨/年，但截至 2020 年底，全省仍有煤矿 890 座，总产

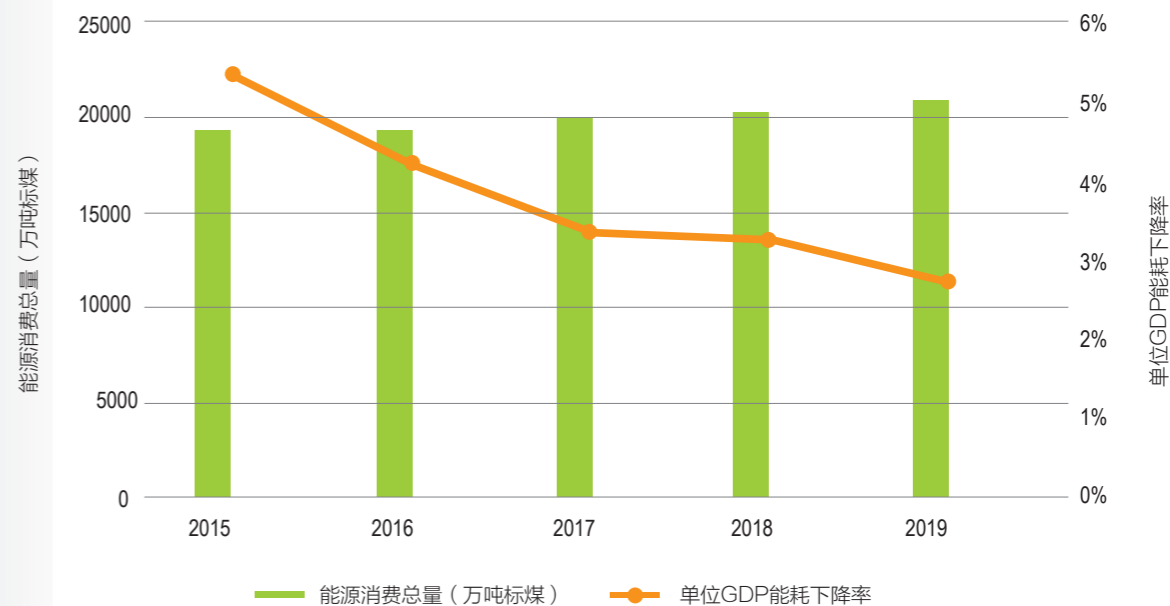
能 13.57 亿吨/年。

山西也是煤炭消费大省，除了保供兄弟省市煤炭，山西自身作为京津冀地区和“晋电下江南”火电供应大省，煤炭消费也在全国排名前三。2015-2019 年，山西省煤炭消费量涨幅达 22.5%；占全国煤炭消费总量的比重由 7.18% 增长至 8.90%，呈现“总量、比重齐增”特征。在 2020 年，山西省煤炭消费量 3.6 亿，其中电力行业耗煤占比 56.7%。



“十三五”以来，国家煤炭消费总量控制要求逐步趋严，山西省 11 市中有 8 个被先后纳入全国煤炭消费总量控制重点地区。“十四五”期间我国将更加严控煤炭消费增长，“十五五”时期逐年减少。

**控制并减少煤炭消费总量，成为山西“碳达峰、碳中和”目标指引下的必然选择。**



山西省“十三五”能源消费总量、单位 GDP 能耗变化情况

数据来源：山西省统计年鉴 2016—2020

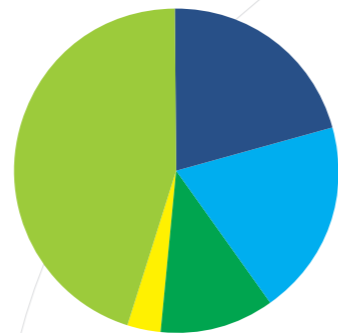


能源大省既要保障国家能源供应、能源安全，又要担起减碳降耗的重压，面临巨大挑战，既有积重难返的尴尬，又有任务压顶的焦虑，以及办法不足的无奈。

2022 年全年煤炭市场预计将增长 5.5% 左右，达到 43 亿吨左右。山西在能源安全、经济复苏回暖形势下，煤炭保供 16 个省市，减煤、低碳压力巨大。能源大省既要保障国家能源供应、能源安全，又要担起减碳

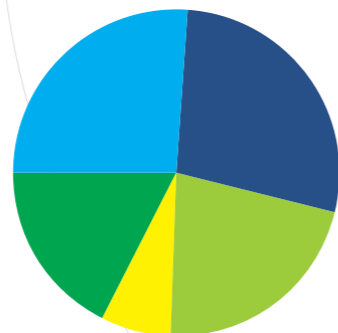
降耗的重压，面临巨大挑战，既有积重难返的尴尬，又有任务压顶的焦虑，以及办法不足的无奈。减碳降耗双重压力，短期内急速降低单位 GDP 能耗也直接影响当地经济增长，带来“撕裂”之痛。

■ 其他56.11%  
■ 山西25.80%  
■ 内蒙古24.29%  
■ 陕西14.04%  
■ 新疆4.06%



2015年全国重点省份煤炭生产情况

■ 其他21.71%  
■ 山西27.65%  
■ 内蒙古26.29%  
■ 陕西17.43%  
■ 新疆6.92%



2020年全国重点省份煤炭生产情况

综合考虑山西煤炭产业到 2030 年和 2060 年双碳目标实现转型的情景。山西省以煤为主的产业结构、能源消费结构、经济发展刚性需求和全国能源供应安全保障支撑定位，设置不同的无煤向未来达峰情景。

一是以山西省能源发展“十三五”规划为基础，按照现有的发展速度和方式，趋势外推，2030 年前不考虑达峰。

二是产业结构相对低煤化，非化

石能源、天然气消费比例较快上升，煤炭消费增长幅度逐年下降，争取 2028 年左右实现碳达峰。

三是能源供应快速清洁化，能源利用效率大幅提升，煤炭消费逐年递减，争取 2025 年左右实现碳达峰。

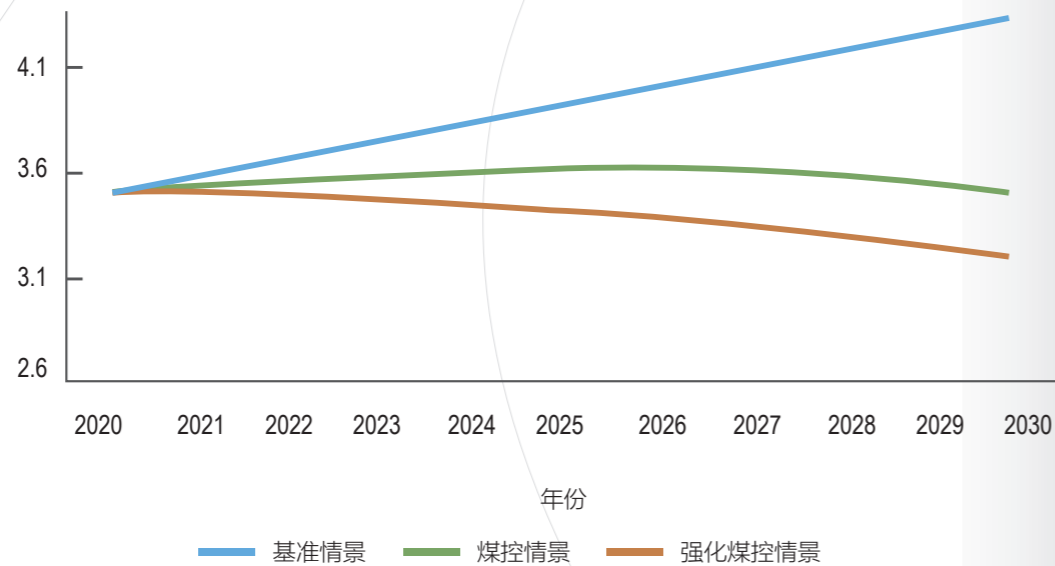
分析预测碳排放约束下“十四五”期间山西省煤炭消费变动情况，如图所示。

年份	情景	经济增速 /%	煤炭占比 /%	石油占比 /%	天然气占比 /%	非化石能源占比 /%	能耗强度 (t 标准煤 / 万元)
2020 年	基准情景	3.00	82	6.0	5.0	7.0	1.10
	煤控情景	3.00	82	6.0	5.0	7.0	1.10
	强化煤控情景	3.00	82	6.0	5.0	7.0	1.10
2021 年	基准情景	5.50 ~ 6.30	78	5.5	6.0	10.5	0.97
	煤控情景	5.50 ~ 6.00	75	5.0	6.5	13.5	0.95
2025 年	强化煤控情景	5.50 ~ 5.80	71	5.0	7.0	17.0	0.95
2026 年	基准情景	6.00 ~ 6.24	73	5.0	7.0	15.0	0.85
	煤控情景	5.80 ~ 5.96	65	4.5	8.5	22.0	0.80
2030 年	强化煤控情景	5.50 ~ 5.74	60	4.5	8.5	27.0	0.79



据统计，全省电力、焦化和煤炭生产除满足山西省需求外，部分用于输出。2019 年全省煤炭外调占比约 58%，焦炭约 79%，电力约 30%；与 2015 年相比，外调量分别增长 2%、30%、38%。“十三五”期间每年约有三分之一的煤炭消费用于外输电力和焦炭生产，外送需求的增加进一步加大全省减煤压力。2020 年，山西省调出电力总计 1053 亿 kW·h，按发电煤耗 300g 标准煤/(kW·h) 估算，消耗煤炭 3159 万吨，产生二氧化碳排放 0.84 亿吨。

依据山西省现有外送电通道能力



和规划情况，考虑新增外送电通道新能源电量占比不低于 50% 的要求，预计 2025 年山西外送煤电量将达到 1500 亿 kW·h，按照发电煤耗 290g 标准煤/(kW·h) 估算，消耗煤炭 4350 万吨。若“十五五”新增外送电量由新能源提供，采取煤控措施，2028 年碳排放峰值将为 6.2 亿吨；如进一步强化煤控，碳排放峰值约为 5.8 亿吨。按照三个碳排放峰值控制倒推，2025 年煤炭消费量分别为 3.9 亿吨、3.6 亿吨、和 3.4 亿吨。如图所示。

站在山西角度思考，我们还要清晰认识到：山西存在三个不同的碳排放值，由此也要有三个不同的减煤测算。

一个是执行国家计划，作为全国能源基地和许多省份煤炭保供者形成的碳排放值、碳达峰值，由此形成的煤炭生产设计与减煤设计；

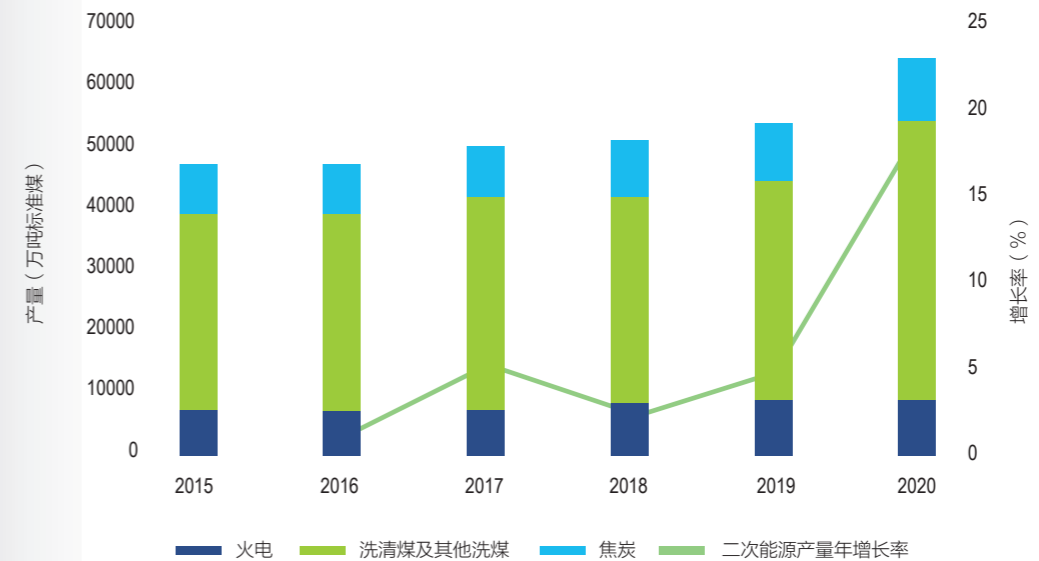
第二个碳排放值、碳达峰值，包含支持兄弟省份煤炭、电力供应产生的碳排放峰值，以及由此形成的煤炭生产与减煤指标，这是应统计在兄弟省份；

第三个碳达峰峰值，仅是拉动山西 GDP 增长，产生的碳排放峰值与刚性减煤指标，这是山西自身合理统

计的碳排放值、碳达峰值。

因此，在山西确定减碳、零碳目标，需要“全国一盘棋”思维，理清与各省市的能源供应关系，方能确定山西碳达峰碳中和时间表、路线图。

山西省在《山西省国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》中提出了“十四五”减煤路径及建议主要目标，要求基本形成绿色能源供应体系，煤炭绿色智能安全开采和高效清洁深度利用居于全国领先水平，控制能源消费总量，提高清洁能源和可再生能源消费比重，开展煤炭消费减量等量替代，稳步推进煤炭消费总量负增长。



山西二次能源生产情况



我们建议山西省 2025 年的煤炭消费总量目标在此基础上进行严格控制，并进一步逐步递减，到 2030 年煤炭消费控制在 2.9 亿—3.2 亿吨。

以煤炭消费总量控制，倒逼产业结构调整、能效水平提升和能源结构优化，实现山西早日碳达峰，依靠自己的努力，迈出“无煤向未来”的关键一步。

根据山西省提出“十四五”时期，煤炭绿色开发利用基地初具规模，煤炭供应能力稳定，大型煤炭基地、大型骨干企业集团、大型现代化煤矿主体地位更加突出，煤矿数量少至 850 座以内，平均单井规模提升至 180 万吨/年以上的大框架，判断山西省的煤炭生产总规模应该在 10 亿吨左右，结合山西煤炭消费现状，综合考虑碳达峰和环境空气质量改善需求，2025 年煤炭消费量约为 3.2 亿—3.4 亿吨。相较于 2019 年全省 3.5 亿吨的煤炭消费量，2020-2025 年，全省需压减 1000-3000 万吨左右。我们建议山西省 2025 年的煤炭消费总量目标在此基础上进行严格控制，并进一步逐步递减，到 2030 年煤炭消费控制在 2.9 亿—3.2 亿吨。

从公平角度来看，煤炭消费总量高、煤炭消费强度大、贡献占比高的地区和城市应该承担更多的减煤责任，把山西 11 个市的减煤责任、潜力和能力指标按照一定原理进行归类：

- 朔州、忻州，经济总量相对较小，煤炭消费占比不高，是全省煤电和可再生能源发展集中区域。

- 太原作为省会城市，GDP 总量大、增速高，煤炭消费总量处于中等水平，环境空气质量位于全省倒数，改善压力大。阳泉重工业产品产量占比小，但环境空气质量水平在全省位于中等靠后，环境空气质量均需改善。

- 长治、运城、吕梁、晋中、临汾、晋城为全省焦炭主产区；煤炭消费占全省三分之二，其中吕梁、临汾、长治三市煤炭消费处于全省前三位，建议实施区域差异化管控，提高煤炭减量替代精准性和有效性。

“十四五”时期山西减煤路径，应以煤炭消费总量控制为核心，重点控制特定时段内、特定区域内煤炭减碳无碳，调整以煤炭为主的能源消费结构，特别是降低燃煤的污染物排放量，从源头上实现污染物综合控制与节能减碳。以煤炭消费总量控制，倒逼产业结构调整、能效水平提升和能源结构优化，实现山西早日碳达峰，依靠自己的努力，迈出“无煤向未来”的关键一步。

## (二) 山西煤炭的低碳零碳转型路径选择

首先，山西减煤低碳零碳路径，必须从以煤炭为主的能源及主要相关产业结构进行调整。共从三个角度分析：

第一个角度，山西减煤低碳零碳路径，是产业调整力度及深度的加速。

转变发展方式、优化经济结构、转换增长动能是山西产业发展面临的三大难题，应聚焦“转型出雏型”目标，加强区域融合，促进结构性减煤。加快煤炭和煤电一体化、煤电和新能源一体化、煤炭和煤化工一体化、煤炭产业和数字经济一体化，积极探索转型路径。大力发展煤电一体化产业链，形成布局科学、配套合理的煤电一体化发展格局。坚持输煤输电并举，积极推进煤电一体化发展，依托晋北、晋中、晋东三大煤炭基地和大集团公司，在现有基础上，推进千万千瓦级电力外送基地建设，推动产业结构优化升级。新建煤矿、电厂要按照“煤电联运、一体运行、有机结合”的煤电一体化模式开发建设，改变传统煤电一体化项目简单叠加。

- 通过提升能效开辟山西减煤无煤路径，需要紧抓基础行业绿色转型，争取“十四五”期间山西省非电用煤达峰。

- 通过能源结构优化实现山西减煤无煤路径，即促进能源生产系统性变革，发挥山西煤层气优势，突破非常规天然气开发技术瓶颈和解决市场消纳问题，统筹规划全省工业余热余气资源利用，加大氢能制储技术创新，扶持发展氢能产业。

- 通过统筹民生和环境约束来推进山西减煤无煤路径，要持续推进散煤治理，加强工业园区能源替代利用和资源共享，积极推广集中供气供热或建设清洁低碳能源中心，替代工业炉窑燃料用煤，创新清洁取暖商业模式，培育清洁供暖产业。

第二个角度，山西减煤低碳零碳路径，是煤电、焦化、钢铁三个高耗煤行业的必行和先行。

1、煤电行业。煤电行业作为山西省煤炭消费和碳排放的首要部门，在碳达峰碳中和愿景下，需加快促进煤电由主体电源逐步向提供调峰服务的基础电源转型。“十三五”期间，山西退出煤炭过剩产能 1.57 亿吨，关停煤电机组 425.6 万千瓦。2020 年全省发电装机容量突破 1 亿千瓦，其中火电装机占全省装机容量的 66.2%；全省发电量约 3395 亿千



瓦时，其中燃煤发电占比约 82%。建议慎重把握煤电发展政策，以服务可再生能源消纳为约束，兼顾在建机组产能消化，严控煤电新增产能。“十四五”期间建议山西省 2025 年煤电装机控制在 7000 万千瓦左右。充分发挥低能耗先进煤电机组节能减煤优势，持续开展能效对标，对 30 万千瓦及以上燃煤发电机组实施综合性提效改造。“十四五”期间，促进山西省供电煤耗累计下降 8-10 克标准煤 / 千瓦时。探讨煤电退出机制，对于提前退役的机组，设定合理的关停补偿标准。

**2、焦化行业。**山西省焦化行业仍处于产能高位，产能利用率、装备水平仍然低于全国平均水平，影响焦化行业煤炭消费的主要因素为焦炭产量和吨焦煤耗。“十三五”期间，压减焦化等落后过剩产能，2020 年全省焦炭总产量的 22%。建议严格控制焦化产能，实施以煤定产，总产能压减至 14768 万吨以内，争取 2025 年产能控制在 1.1 亿吨以内。按照原有焦炉关停、产能整体取缔退出、不再用于焦化项目建设及产能置换的压减完成标准，压减焦化产能。推动关键技术创新，降低煤焦比。以焦炉煤气制氢为基础，加大氢能制储技术创新力度，以可再生能源制氢为导向，逐步发展氢能产业。

**3、钢铁行业。**我国钢铁产业碳

排放量占全国碳排放总量的 15%，是碳排放最高的制造业。在当前技术条件下，钢铁行业碳减排初期减排成本较低，随减排幅度增加成本会迅速上升。“十三五”期间，山西煤电、钢铁、氧化铝等行业单位产品能耗均高于全国平均水平。“十四五”时期是山西钢铁行业转型的重要阶段，以能效提升为重点，紧抓基础行业绿色低碳转型。建议引入循环经济生产模式，加大对传统产业的全面改造，实现节能提效，确保钢铁、水泥、化工、建材等行业率先实现煤炭消费和能源消费碳排放达峰。

**第三个角度，山西减煤低碳零碳路径，是培育新兴低碳、零碳产业，走上多元发展的机遇之路。**

要从根本上摒弃高碳粗放型发展模式，山西就要从“一煤独大”向“八柱擎天”转变，从煤、焦、冶、电等传统产业加速向智能化、绿色化转变，从零到一、从一到多，成为山西低碳转型、零碳发展的新标识。要实施绿色制造工程，在当前确定的 62 户绿色工厂，5 个绿色园区，43 个绿色设计产品跻身工信部绿色制造“国家队”基础上，在“十四五”、“十五五”时期，全面承接新兴产业布局和转移，扎实推进能源革命综合改革试点，推行“链长制”，建链补链强链，增强低碳零碳产业链稳定性和竞争力重大战略部署。

同时，山西必须依托自然条件和历史文化优势，结合乡村振兴战略，大力发展文化旅游农业林业等零碳产业，培育壮大信息数字光电光伏等新兴产业，创新性地挖掘潜在的就业机会，以多元低碳产业的快速稳健壮大为煤炭产业的顺利退减提供强有力的支撑。

**其次，贯穿能源生产和消费，使减煤无煤路径成为山西资源型转型试点综合改革的指引。**

国家能源革命排头兵是国家赋予山西的历史责任、国家责任、改革责任，山西要按照习近平总书记提出的能源革命的“四个革命一个合作”，减煤低碳零碳，绿色发展，强力推进

能源革命。这里同样从三个不同的角度进行探索：

**第一个角度是：山西减煤低碳零碳路径也是能源供给的革命，要加快光伏、风电、水电等清洁能源和新能源的发展，推动能源供给由单一向多元、由黑色向绿色转变。**

每天阳光照射到地球上的能量相当于 4300 多亿吨煤的能量，平均一秒钟照到地球上的能量就相当于 500 万吨煤的能量。山西减煤低碳零碳，就是要大力发展风光新能源，把实施碳达峰碳中和“山西行动”统筹起来，将“绿色能源供应体系基本形成”作为主要目标之一，形成绿色多元能源供应体系。



到 2025 年，全省可再生能源发电装机达到 8300 万千瓦以上。其中：

风电 3000 万千瓦左右、



光伏 5000 万千瓦左右、



水电（含抽蓄）224 万千瓦以上、



生物质能发电 100 万千瓦以上、



新型储能装机达到 600 万千瓦左右、



地热能供暖面积 2000 万平方米左右。实现新能源和清洁能源装机容量占比达到 50% 的目标。

到 2030 年，全省新能源和清洁能源装机容量占比达到 60% 以上。

围绕上述目标，建议重点推动风电和光伏发电基地规模化开发。





**第二个角度是：在加快光伏、风电、水电等清洁能源和新能源发展基础上，从能源技术革命上，实施“源网荷储一体化”。**

源是电源建设，网是电网建设，荷是负荷消纳，储是储能建设。在这个方面，山西可以：

- 依托“十四五”期间开工建设的外送输电通道，重点建设晋北风光火储一体化外送基地；
- 依托采煤沉陷区、盐碱地、荒山荒坡等区域，重点建设忻朔多能互补综合能源基地、晋西沿黄百里风光基地；
- 依托区域电网消纳能力提升，创新开发利用方式，重点建设晋东“新能源+”融合发展基地、晋南源

网荷储一体化示范基地；

- 推动光伏在新能源汽车充电桩、铁路沿线设施、高速公路服务区及沿线等交通领域应用，因地制宜开展光伏廊道示范；
- 积极推进整县（区）屋顶分布式光伏开发。加快新技术应用推广，积极推动老旧光伏电站技改升级，提升发电效益。

配合风电和光伏发电基地化规模化开发，持续推进储能建设布局，加大“新能源+储能”配套和支持力度。未来十年我国抽水蓄能投资空间接近万亿。在新能源装机占比高、系统调峰运行压力大的地区，积极引导新能源电站以市场化方式配署新型储能。建议国家支持山西抽水蓄能调整纳规，国家能源局将山西省的项目调

整为“十四五”重点实施项目，并在“十五五”继续实施。

**第三个角度是：从能源消费端的低碳化和零碳化开始，引导绿色消费成为时尚，并倒逼行业的低碳升级。**

在“住、行”的低碳零碳化方面，山西可以走得更快。近期，山西省发改委、山西省工信厅等6部门联合制定了《促进绿色消费实施方案》，释放利好绿色消费，绿色交通信号。快速城镇化的山西各市也必须将建筑节能、绿色建筑与能源生产与消费革命相结合，实现低碳零碳化。在绿色建筑和高能效建筑方面，以窑洞为传统民居的山西有着得天独厚的历史文化优势。

与此同时，“双碳”目标下的低

碳零碳战略，也为解决目前仍旧依赖散煤的农村能源问题带来了新启发和新途径。构建以新能源为主体的新型电力系统，光伏发电、风电等项目开发最需要空间资源，农村地区恰恰有着特别大的优势。因此，建设农村新型能源系统，替代散煤、柴油等化石能源，是山西“无煤向未来”的必经途径。

实现“无煤未来”的过程更离不开企事业单位、工业园区、生活社区等的全面零碳化。通过工艺升级、能源替代、碳排放权交易等技术手段，实现工作生活全方位碳排放的削减与中和，接近近零碳状态。

**步减煤”过程也必须全面照顾到煤炭开采和加工转化的低碳化、零碳化。**

在合理控制煤炭开发规模，原煤产量稳定在10亿吨左右的同时，山西需要促进煤矿智能化发展，用科技手段实现煤矿本质安全和减员增效，加快绿色开采，从生产供给环节降低能耗，实现低碳、零碳。山西的煤化工产业要坚持走“高端化、市场化、差异化、环境友好型”的发展路子，实现以新带旧，以先进产能驱动产业升级。

**最后，山西“无煤向未来”的“逐**



三、山西低碳零碳  
需要全国“一盘棋”，  
合力无煤向未来。





新中国成立以来，山西累计生产原煤 217 亿吨，外调 140 多亿吨，供应了全国 28 个省区市用煤。如果用这些煤炭修筑成截面为 49 平方米的长城城墙，工程量相当于修筑 35 条万里长城。

科学有序推进实现碳达峰、碳中和目标， 需要坚持全国一盘棋，明确碳排放的计算、分配和交易规则，促进新能源占比大幅提高，共同实施新能源、可再生能源替代行动，合力推动产业和能源供给的无煤化和新能源化。同时，在营造低碳发展的大环境之外，以政策、资金、技术支持，同时协调各省市彼此配合，激励并协助山西走好走稳低碳零碳的“无煤向未来”之路。

## （一）深化煤炭生产方 国内国际协作发展。

在能源与经济转型的路上，所有的煤炭生产大省都是在探索阶段，并没有先行者。因此，山西有必要积极率先横向与国内外的其他煤炭生产大省展开对话和交流，共同探索“无煤向未来”的路径。诚然，他们之间存在着巨大的省别国别差异，但在与消费区域的协调与配合，在去煤过程中的政策、金融、技术、人才培养、社会管理等方面，他们又有更多相同的挑战可以分担，相似经验可以分享。

在国内，山西有必要加强与友好省市、领军企业、知名高校的对接交流，在技术资金、人才培养、信息数据、政策研究等方面开展深入合作，为山西省的经济多元化和低碳化做好储备。山西需要有关部门积极牵线搭桥，

提供协调支持，把省校合作科研机构定位为新型研发机构，并精准对接知名高校研究成果，紧密围绕山西经济社会发展需求，突出关键共性技术、前沿技术、现代工程技术和颠覆性技术创新，引领和带动相关领域科技进步，用科技推动助力绿色低碳发展。

这也将帮助山西提高对高端人才团队的吸引力，留下来创新创业，培养和造就一流科学家、科技领军人才和创新人才；推动科技成果在山西转移转化，开展技术服务和成果示范应用，孵化科技型企业。

这才是从根本上提高并加强了山西在低碳化零碳化经济过程中的核心竞争力。

## （二）兄弟省市消费测配套改革 助力山西低碳零碳向未来。

新中国成立以来，山西累计生产原煤 217 亿吨，外调 140 多亿吨，供应了全国 28 个省区市用煤。如果用这些煤炭修筑成截面为 49 平方米的长城城墙，工程量相当于修筑 35 条万里长城。改革开放 40 多年，全省煤炭产量、调出量和出口量，分别占到全国总量的 25%、75% 和 70% 以上。过去 10 年，山西累计产煤近 100 亿吨，约占全国的 1/4 以上。到 2025 年，山西的外送电力将达到 5000—6000 万千瓦。

目标情况下，全国许多省纷纷出台了各省市的碳达峰方案，提出就地发展绿色能源，多能互补，减煤降碳，重构本地电能保障体系，通过开发转化本地能源资源，加速从传统火电为主向节能提效、分布式能源、可再生能源、智慧能源等综合多元方向转型。这种转型都会不同程度、从多方面影响山西等煤电输出省和输入省的能源生产和利用方式、价值转化方式，将从能源消费侧助力煤炭供应侧的改革和转型发展，助力山西低碳无碳向未来。

目前，在压煤减碳和实现“双碳”

到 2025 年，



山东：煤炭消费比重下降到 60% 以内。



浙江：全部依靠清洁能源满足。



清洁能源将成为湖北能源消费增量的主体。



上海：煤炭消费总量占一次能源消费比重下降到 30% 左右。



### 电能输入省份也有责任 对由其跨区跨省受入电 量所产生的二氧化碳排 放进行抵消或中和。

双碳战略各省单打独斗不是出路。

电能输入省份在其“双碳”战略中提出，减少本地煤电装机，提高跨省跨区来电规模，减少本地碳排放强度和总量，不能将其跨省跨区来电所产生的二氧化碳排放责任转嫁给其他地方，电能输入省份也有责任对由其

跨区跨省受入电量所产生的二氧化碳排放进行抵消或中和。要坚持“全国一盘棋”，能源外送地与受入地协同发力，国家统筹计算碳达峰碳中和相关数据，一致行动在能源供给与需求两端同时发力，无煤向未来。

## （三）以“无煤向未来”作指引， 将山西打造为“双碳中心”。

山西有潜力也有必要被培育为中国的“碳追踪中心”与全球的“零碳信息中心”。

我国目前碳排放总量超过 100 亿吨/年，山西作为煤炭大省，2021 山西原煤产量占到了全国的三分之一，省际间调出量占到 4/5，及京津冀 1/3 的电力供应。一定意义上说，全国的碳排放权交易，有较大比例是山西生产的煤炭产生的碳排放的交易。我们建议在山西设立碳追踪中心，从煤炭生产的开采起始环节到运输、销售、使用等各个环节标注原始信息，有利于更完整准确地跟踪、评估煤炭链各环节的碳排放，实现信息共享，厘清各主体、各环节碳排放责任，为碳交易动态定价提供有效依据，并提高碳交易的真实性、准确性和效率，降低碳交易成本。

经国务院批准，山西省政府与外交部、国家发改委、科技部、环境保护部、自然资源部、商务部、国家能源局，共同主办了国家级、国际性、专业化的太原能源低碳发展论坛。经过六年的发展，这一论坛已经成为了国际能源领域的政府高端对话平台、科技成果发布平台和国际合作对接平台。我们期待在中央政府的支持与指导下，将论坛进一步打造为国家的碳达峰碳中和权威发声平台，以及国际“零碳信息”交流平台。论坛将继续围绕习近平总书记提出的能源革命中“一个合作”的重要指示，紧扣碳达峰、碳中和的国家战略目标，以能源、气候、环境为主题，与能源转型和经济转型中的各国一起，共同探索低碳发展路径，实现无煤低碳、安全气候的可持续未来。

## 参考文献：

- [1] 山西省统计局. 山西统计年鉴 [M]. 北京：中国统计出版社，2011-2020.
- [2] 国家统计局. 中国统计年鉴 [M]. 北京：中国统计出版社，2011-2020.
- [3] 清华大学. 典型城市空气质量达标及碳排放达峰路径研究报告 [R]. 北京：能源基金会，2020.
- [4] 王灿，邓红梅，郭凯迪，等. 温室气体和空气污染物协同治理研究展望 [J]. 中国环境管理，2020,12(4):5-12.
- [5] 徐国政. 碳约束下中国能源消费结构优化研究 [D]. 北京：中国矿业大学（北京），2016.
- [6] 曲剑午. 碳排放约束下的中国煤炭总量控制目标研究 [D]. 北京：中国矿业大学（北京），2012.



