

陕西新能源产业高质量发展的 现状、问题及对策研究^{*}

王育宝 甄俊杰 胡芳肖^{**}

摘 要： 依靠科技创新促进陕西省新能源产业高质量发展，对保障陕西省能源安全、提高人民生活质量具有重要意义。陕西省新能源产业高质量发展势头良好，但依然存在新能源产量占比低，化石燃料依赖性强；新能源布局增速缓慢，市场需求与新能源增速不匹配；区域创新能力差距较大，核心技术支撑不足；创新型人才储备不足，企业创新能力差距等问题，也面临能源发展定位不明确、煤炭产业比重过大、能源化工产业承载较多社会责任、智能化程度低等的挑战。建议通过全面统筹行业、区域优势，营造新能源产业发展环境，突破核心技术，打造陕北产业转移示范区，建立健全用能权交易和碳排放权交易市场，吸引创新型人才队伍等，实现新能源产业高质量发展。

关键词： 新能源产业 高质量发展 科技创新 陕西

^{*} 本文为国家社会科学基金重点项目“双碳目标下西部地区综合能源系统协同发展利益分配机制与补偿机制研究”（22AJY006）的阶段性成果。

^{**} 王育宝，西安交通大学经济与金融学院教授、博士生导师，陕西（高校）哲学社会科学重点研究基地“陕西经济研究中心”常务副主任，研究方向为能源与气候变化经济、区域经济；甄俊杰，西安交通大学经济与金融学院应用经济学专业博士研究生，研究方向为能源与气候变化经济、区域经济；胡芳肖，西安交通大学公共政策与管理学院教授，硕士生导师，陕西（高校）哲学社会科学重点研究基地“陕西经济研究中心”研究员，研究方向为公共政策与管理、资源环境经济。



能源是经济社会发展的基础和动力源泉，对国家繁荣发展、人民生活改善和社会长治久安至关重要。随着碳达峰碳中和战略（“双碳”战略）的实施，通过科技创新减碳降耗减排、促进能源产业特别是新能源产业在经济社会持续稳定发展中的战略地位日益凸显。科技创新可有效促进新能源开发和利用成本不断下降，为能源结构的优化、碳减排提供巨大支撑。根据国家能源局数据，截至 2022 年底，中国清洁能源发电装机总规模达到 25.64 亿千瓦，其中清洁能源发电装机容量为 12.32 亿千瓦，占到总装机容量的 48%。以风电、光伏、水电、核能为代表的清洁能源比例大幅提高，主要是新能源技术和材料技术的进步促进了成本的大幅降低。

近十年来通过科技创新，风电、光伏逐步进入平价时代，陆上风电项目发电单位千瓦平均造价下降 30% 左右，光伏组件、光伏系统成本分别从 30 元/瓦和 50 元/瓦下降到目前的 1.8 元/瓦和 4.5 元/瓦，均下降 90% 以上。因此，通过科技创新支撑能够不断优化传统能源结构，降低能耗及污染物排放浓度，从而促进陕西各行各业绿色健康发展。

作为能源大省，陕西始终牢记国之大者，立足省情，大力发展光伏、风能、生物质等可再生能源，加快陕北至湖北、神府、渭南三大新能源基地项目建设，推进蓄水抽能电站、氢能示范项目实施，陕西新能源产业发展已初步迈入了高速发展的“快车道”。

一 陕西新能源产业发展资源和技术基础

（一）资源基础

1. 太阳能

陕西省日照条件良好。据陕西省能源局数据，省内太阳能资源丰富区全年日照时数 2600~2900h，日照百分率达 60%~64%，全省年平均太阳总辐射为 4100~5600 兆焦/米²，年峰值日照时数 1150~1550h，年平均日照时数 1270~2900h，日照百分率在 28%~64%，属 II 类地区。光伏条件仅次于宁



夏、甘肃、新疆、内蒙古、青海和西藏，为年辐照量很丰富区，具有大力发展太阳能光伏应用资源基础。尤其是在春、夏、秋季节，阳光充足，日照时间较长，这为太阳能收集和利用提供了良好基础。

从资源分布情况看，陕西省太阳能资源分布较为均匀，整个省区都有太阳能的利用潜力。根据对太阳能资源的评估，陕北（府谷、神木、榆阳、横山、靖边、定边、佳县、米脂、吴堡）和渭北东部（韩城、澄城、合阳、蒲城）属太阳能资源最丰富区域，资源总储量占全省的 23%，具有建设大型光伏电站的资源条件。其中，位于毛乌苏沙漠南缘过渡地带陕北北路是太阳能光伏电场建设优选区域。南部地区，如西安市、咸阳市等地，太阳能资源也相对较为充沛。

2. 风能

陕西地处我国冷空气入侵主通道之一的西北路（中路）地带，冷空气过境伴随的大风是陕西主导风向的主要来源。陕西省有效风能密度在 $50\text{W}/\text{m}^2$ 以下，全年中风速大于和等于 $3\text{m}/\text{s}$ 的时数在 2000h 以下，全年中风速大于和等于 $6\text{m}/\text{s}$ 的时数在 150h 以下， 70m 高度平均风速在 $2.0\sim 8.0\text{m}/\text{s}$ ，在全国处第三梯队。陕西省风能资源总储量为 3808 万 kw 。陕西省风能分布地域差异较为明显。全省大部分地区属于风能 1 级区，陕北长城沿线的定边中部、靖边中部，黄河沿线的部分地区及宝鸡凤县小部分地区属风能资源 2 级区。陕西省风能可开发容量最高的地区位于陕西省的北区区域，主要包括榆林市的北部，延安市与庆阳市交接处的山区，宝鸡市东南部、西安市南部、渭南市南部的秦岭山脉一线。

3. 水能资源

陕西地跨黄河、长江两大流域，水能资源较为丰富。全省流域面积在 100km^2 以上河流理论蕴藏量约 1365 万千瓦，居全国第十三位。水能资源经济可开发量 650 万千瓦以上，技术可开发量 820 万千瓦以上，其中汉江水系水能资源技术可开发量 303 万千瓦（干流为 210 万千瓦），黄河北干流水能资源技术可开发量 440 万千瓦（与山西省各 50% ）。

4. 氢能

氢能产业是陕西省近年来着力发展新能源产业之一。氢气资源方面，全



省化工副产氢超 200 万吨/年，高品质副产氢约 20 万吨/年，两百公里内终端用氢成本低于 35 元/公斤。预计至“十四五”末，全省绿氢潜在产能约 8 万吨/年，可为氢能产业发展提供丰富资源保障。产业配套方面，陕西具有动力电池系统生产能力、电驱系统、燃料电池汽车研发和生产能力、绿氢制备及储氢装备研发应用场景等方面独特优势。科教实力方面，全省拥有近百所高校，近千家科研院所，在光催化制氢、电解水制氢、先进储氢材料、固态储氢领域等具有较强研发实力。

5. 地热能

地热能按其赋存条件分为浅层地热能、中深层地热能和干热岩型地热能。中深层地热根据取热的方式不同，分为水热型和地埋管换热型，目前陕西这两种取热形式都有采用。据省地质调查院最新调查研究成果，西安、宝鸡、咸阳、渭南、铜川和杨凌示范区城区浅层地热能热容量为 1.2×10^{15} 千焦/摄氏度，可供暖（制冷）面积为 10.1 亿平方米。目前陕西共有开发利用工程 300 多处，全省中深层地热水供暖年开采量为 4487 万立方米，供暖面积 903.68 万平方米，供暖规模位居全国前列。

6. 生物质能

生物质能源主要指农业废弃物、林木薪柴、加工业废弃物、城镇生活垃圾、动物粪便等几个方面。陕西省生物质能资源较为丰富，资源总量折合标煤约 3829 万吨/a，常年可利用总量约折合 2071 万吨标煤。其中，秸秆、林业废弃物占 57.3%，约折合 1187 万吨标煤；畜禽粪便和城镇垃圾占 35.2%，约折合 729 万吨标煤；薯类、果渣和木本油料占 7.5%，约折合 155 万吨标煤。从地域分布来看，农作物秸秆、城市垃圾主要分布在关中地区；林业废弃物、木本油料能源林主要分布在陕南地区；果木枝条、薯类作物主要分布在陕北地区。

（二）技术基础

1. 太阳能：光伏电池、组件制造

陕西省在太阳能光伏电池以及组件制造领域已经取得了一些技术优势，



具体看，省内西安交通大学、陕煤集团化工研究院等科研机构积极参与光伏技术研发，推动了太阳能电池和组件技术的改进和创新，光伏电池与组件制造研发与创新都具有较强实力。在包括多晶硅、单晶硅和薄膜太阳能电池等不同类型的太阳能电池技术研发和制造能力方面，研究提高光伏电池效率和稳定性核心技术、太阳能光伏系统集成技术（光伏系统的设计、安装和维护方面）、太阳能电站的布局和电气系统的设计、太阳能热能技术用于太阳能热水系统和太阳能热发电系统应用等方面有一定技术优势，有效确保系统高效运行。

2. 风能：风能技术和风电装备制造

陕西省内高校和研究机构主要致力于风力涡轮机技术改进、风电场规划和管理系统的研究和高端风电装备制造，以提高风电系统效率和可靠性。陕西省在风机制造技术特别是风力涡轮机技术、发电机技术、电控系统技术等上具有一定优势，在风力涡轮机制造、风力涡轮机叶片制造、变流器和发电机制造等方面有一定实力，在风电装备制造包括风机叶片设计、发电机设计、齿轮箱设计等方面，基础也比较雄厚。

3. 水能：水力发电技术和水电站建设

鉴于省内河流和山地地形特点，如秦岭山脉和多条河流，为省内多样化的水电站建设提供了适宜的地理条件。再加上陕西省在水力发电技术方面进行了长期的研究和创新，在包括水轮机的设计和制造、水电站的建设和管理、水电站自动化控制系统、调度运行技术以及与水电相关的设备和工程建设、水电高效节能、水电系统智能化控制和管理等核心技术的研发和应用方面取得了显著进展，建成了包括大、小、中型水电站和泵发式蓄能电站等多个，保证了水电系统整体稳定性和可靠性。

4. 生物质能：生物质颗粒、生物质液化燃料和气体化

生物质能源领域涵盖生物质颗粒、生物质液化燃料、生物质气体化等多个领域。陕西已经建立了相对完整的包括生物质能源的种植、采集、预处理、转化和利用等环节的生物质能源产业链，开展了系列工作，在生物质颗粒、生物质液化燃料、生物质气体化等的技术研发和产业化上去的一定成



果,产生了良好经济和社会环境效益,有力减少了废弃物对环境的负面影响。

二 陕西省新能源产业发展现状及特点

(一) 发展现状

1. 太阳能光伏产业

2016 年全省规上工业光伏发电量 10.8 亿千瓦时,2020 年达到 67.34 亿千瓦时,占规上工业总发电量的 2.9%,在全国排第 7 位。2016 年装机容量占全国的 4.3%。2020 年占全国的 4.7%在全国排第 12 位。2021 年前三季度,陕西省太阳能光伏发电累计装机达 1183.5 万千瓦,其中集中式光伏发电累计装机 1045 万千瓦,分布式光伏发电累计装机 138.5 万千瓦。

2. 风能产业

陕西风能资源丰富。“十三五”期间,全省风电装机规模年均增长 28.1%。截至 2020 年底,陕西可再生能源电力装机规模较“十二五”末增长 3.2 倍,其中光伏发电装机规模达 1089 万千瓦,风、光合计占全省可再生能源电力装机规模的 80%以上。截至 2022 年 10 月底,陕西省风电装机规模为 1405 万千瓦,较 10 年前增长 17 倍。尤其是 2022 年 10 月 19 日,全省风电日发电量达 1.34 亿千瓦时,创历史新高。2022 年 11 月 24 日,陕西省能源局公示了《2022 年风电、光伏发电项目保障性并网规模竞争性配置结果》,共确定 82 个项目 8.01GW 纳入 2022 年陕西省风电、光伏发电项目保障性并网规模,其中风电 2.76GW。

3. 氢能产业

从总体层面看,陕西省氢能产业处于发展初期,虽然具有基础资源和应用场景等优势,但相比国际国内先进水平还存在一定差距,机遇和挑战并存。一是氢能产业链仍不健全,在储运、加注、燃料电池等环节急需补链、强链;二是基础设施建设滞后,缺乏基础设施总体规划和管理政策;三是发



展氢能的市场活力不强，以企业为主体的发展模式有待建立。

根据《陕西省氢能产业发展三年行动方案（2022—2024年）》要求，到2024年，产业链基本补齐短板，初步实现本地配套，绿氢装备产业跃居全国第一阵营；氢能基础设施满足应用需求，一批加氢站建成投运；氢能运力平台初具规模，力争推广示范燃料电池汽车累计超5000辆；全省氢能部分领域商业模式基本成形，氢能产业生态雏形显现，产业规模突破500亿元。

4. 地热资源开发

陕西省浅层地热资源开发利用始于2005年，截至2016年底，全省共有开发利用工程183处，其中关中地区122处，陕南地区55处，陕北地区6处，总供热/制冷面积约1304万 m^2 。2017年，关中地区5市和陕北地区3市的浅层地热资源供暖面积占集中供暖面积的4.9%，地热供暖未来市场潜力巨大。

目前，陕西省有地热井490眼，受热储条件和经济发展水平的影响，主要集中在关中地区的西安市、咸阳市及其周边地区。开采深度从早期的1500m向5000m延伸，在地域范围上由关中向陕西全省拓展。2016年开采量为10548万 m^3 ，供暖面积为1053.5万 m^2 。

5. 新能源汽车产业发展

从新能源产业规模来看，全省汽车产量从2016年的42万辆上升至2021年80.1万辆。尤其是2021年，陕西省汽车产量同比增长27.5%，高于行业24个百分点，其中，新能源汽车产销27.41万辆，增长360.6%，高于全国201个百分点，在全国汽车产量排名从2018年19位跃升到13位，创历史新高。总体发展态势良好，产业规模持续扩大。

汽车行业增长态势良好，1~7月累计生产67.9万辆、增长71.3%，高于全国68个百分点，增加值增速10%，其中新能源汽车保持高速增长，产量达43.3万辆，增长4.3倍，占全省汽车产量近70%，占全国新能源汽车产量的13.2%，产量排名进入全国第九，增速领跑全国，全年产量预计突破110万辆，冲刺120万辆，增速50%左右，增长态势强劲。“十四五”期间，陕西汽车产业将继续保持高速增长，是全国最具增长活力的省份之一。



（二）发展特点

1. 资源丰富，政策引导

陕西省拥有丰富的太阳能和风能资源，是新能源产业的理想地区。截至2023年6月，陕西新能源累计发电185.54亿千瓦时，同比增长16.3%。除此之外，有关部门出台了一系列支持新能源产业发展的政策和措施，包括财政补贴、税收激励和土地政策等，以鼓励新能源项目的投资和建设。

2. 产业集聚效应突出

陕西省新能源产业呈现出逐渐形成的集聚效应，一些新能源企业和研发机构在我省集中发展，促进了新能源产业链的形成和完善。以新能源汽车产业为例，2022年陕西汽车产业迎来全新质变，汽车产量首次突破百万量级，达到133.8万辆，增长67%，增速中国第一，产量排名由第13位跃升至第8位，连续超过辽宁、北京、河北、浙江、山东等五个省市。到2026年，西安将着力打造成中国重要的汽车产业基地和中国一流的新能源汽车产业基地。

3. 有较强科研实力

陕西拥有多所高校和研究机构，这些机构在新能源技术研发方面具有较强的实力。就光伏产业而言，据国家知识产权局的最新数据，陕西省辖10个地级市，西安市是省会城市，光伏产业专利申请量高达6934件，是陕西省太阳能光伏产业专利申请的主要来源，占到陕西省申请总量的85.6%。科研成果的不断涌现有助于推动新能源产业的创新发展。

4. 基础设施建设与生态环境保护并举

近年来，陕西在新能源产业基础设施建设方面取得了显著进展，以电能保障基础设施为例，根据《陕西省电动汽车充电基础设施“十四五”发展规划》指出，“十四五”期间，陕西将对省内充电设施建设及配套电网建设投资共计约108.5亿元。整个“十四五”期间，陕西省计划建设各类充电桩35.54万根，其中共建设充换电站2691座、个人及单位自用充电桩29.45万根、乡村公用充电桩0.22万根，满足省内电动汽车充电需求。此外，在重视新能源产业发展的同时，还注重新能源产业与生态环境保护的协调发



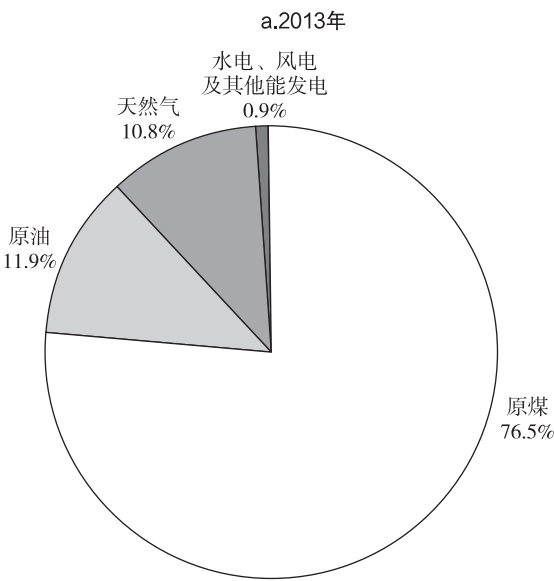
展，强调生产过程中的环境友好性，以确保新能源的发展不会对环境造成严重影响。

三 “双碳”目标下陕西新能源产业高质量发展面临的问题及挑战

（一）存在问题

1. 新能源产量占比较低，能源结构仍有优化空间

陕西能源体系本质是一个高碳、高煤系统。依据近年能源生产数据，可观察到陕西能源生产结构变化情况。陕西省能源生产仍然以煤、油等化石燃料为主。2021 年原煤、原油生产占比约为 91.5%，天然气、水电、风电及其他非化石能源发电仅占 8.5%。总的来看，陕西省新能源的生产、开发占比较低，能源结构依旧以煤、油等化石燃料为主，新能源的开发利用仍有较大发展空间。



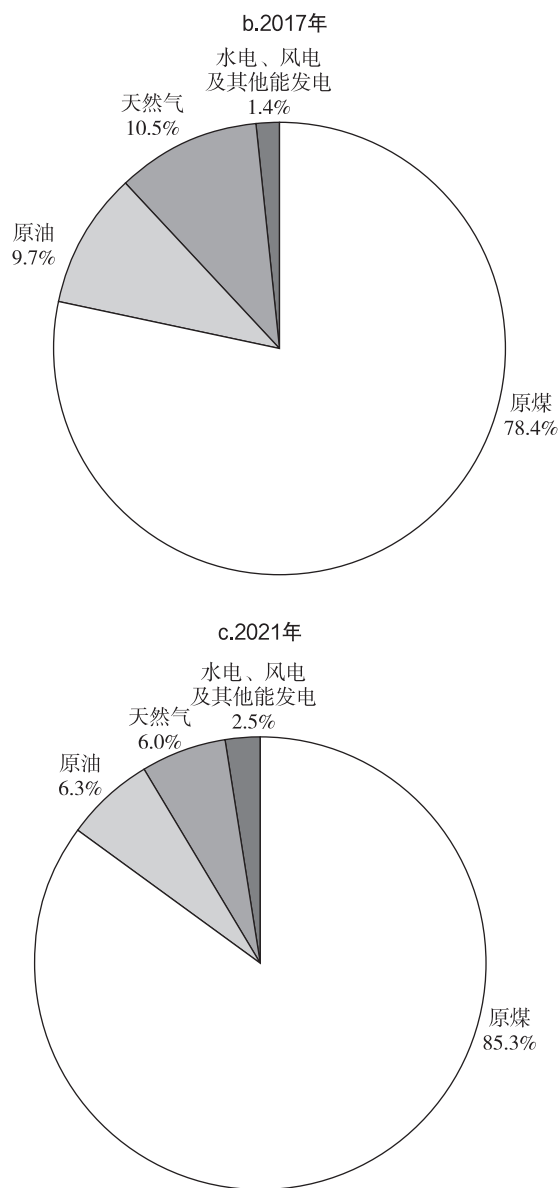


图1 陕西能源生产构成

资料来源：陕西省统计局《陕西统计年鉴》
(2014, 2018, 2022)，中国统计出版社。



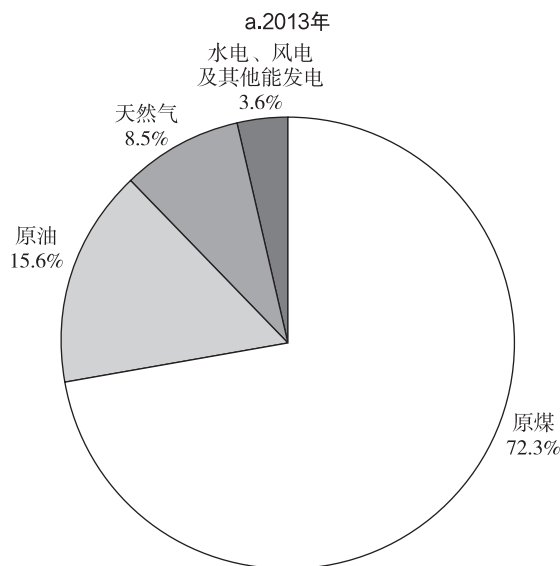
2. 化石燃料依赖性强, 清洁能源利用率低

陕西省对化石燃料的消费量大。2021 年煤品占能源总消费的 73.7%, 油品占 6.0%, 天然气占 10.4%, 水电、风电及其他能发电的非化石能源占 9.9%。化石能源合计占 79.7%, 占能源总消费的绝大部分, 以新能源为代表的清洁能源利用率较低。从时间角度来看, 2013~2021 年煤品占能源总消费比重基本不变, 能源消费变化主要体现在水电、风电等的非化石能源上, 新能源已逐渐开始替代传统能源, 在能源消费结构中的影响力不断增大。2013~2021 年陕西省能源消费整体构成如图 2 所示。

3. 新能源布局增速缓慢, 市场需求与新能源增速不匹配

根据陕西省太阳能、风能发电的最新数据, 本文对陕西太阳能、风能的发电情况进行了对比。

由图 3~4 不难发现, 2013~2021 年陕西太阳能、风能发电量占比均维持在 4%~5% 左右, 且占比并未有明显增长, 这表明陕西省新能源布局并未有明显改变。2013~2021 年陕西总发电量有明显提升, 但新能源占比总体没有发生变化, 总发电量的提升并不是由新能源产业的驱动带来的。因此, 与增长的用电市场相比, 陕西新能源产业的布局与增速明显落后。



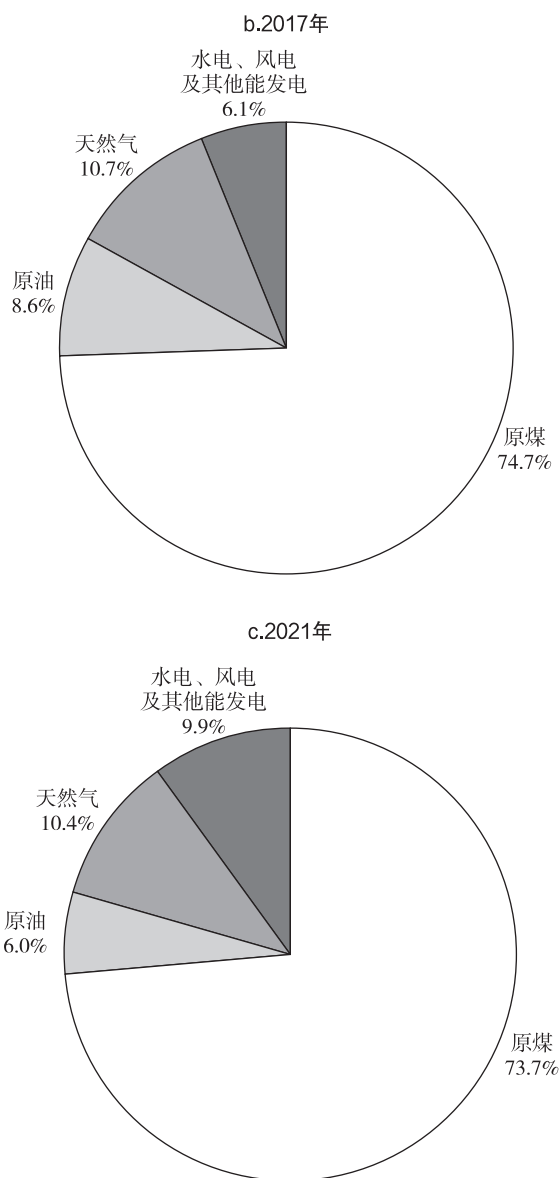


图2 陕西能源消费构成

资料来源：陕西省统计局《陕西统计年鉴》（2014，2018，2022），中国统计出版社。

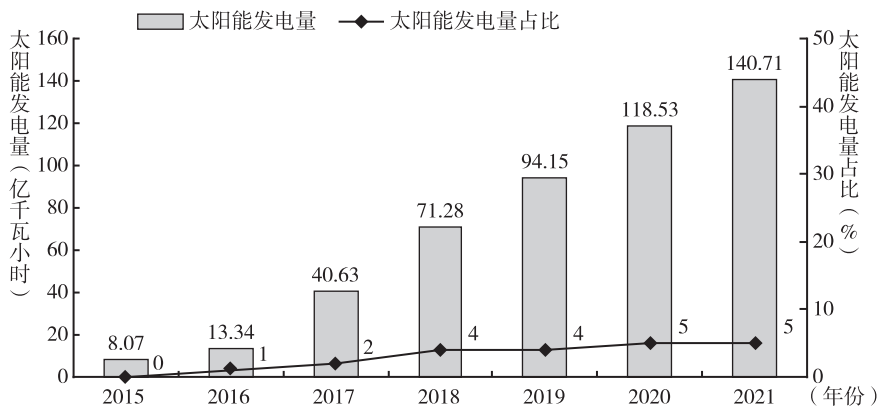


图3 陕西省太阳能发电量占比

资料来源：中国电力年鉴编辑委员会《中国电力年鉴（2016~2022年）》，中国统计出版社。

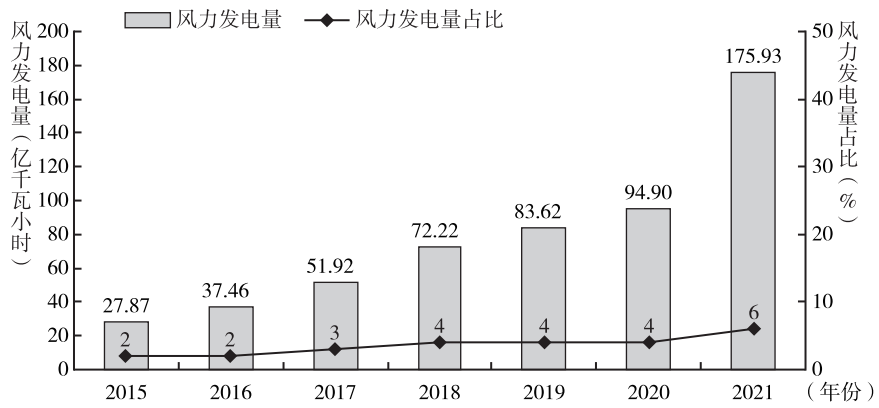


图4 陕西省风能发电量占比

资料来源：中国电力年鉴编辑委员会《中国电力年鉴（2016~2022年）》，中国统计出版社。

4. 区域创新能力差距较大，核心技术支撑不足

陕西新能源产业创新能力具有明显的地区差距，以太阳能光伏产业为例，根据国家知识产权局的最新数据，本文统计出陕西省各地市截至2021年太阳能光伏产业专利的产出数据，具体如图5所示。

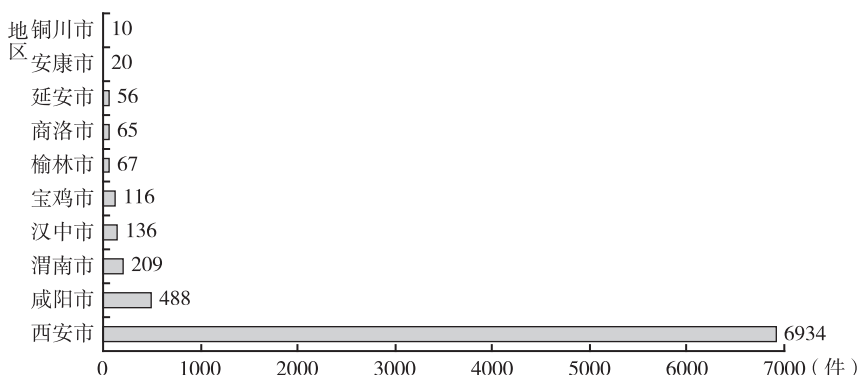


图 5 陕西省各地市太阳能光伏产业专利产出情况

资料来源：陕西省知识产权局《陕西省太阳能光伏产业专利导航报告》，https://snipa.shaanxi.gov.cn/newstyle/pub_newschannel.asp?Page=1&chid=100428。

陕西省辖 10 个地级市，西安市是省会城市，光伏产业专利申请量高达 6934 件，占到陕西省申请总量的 85.6%；其次是咸阳市，专利申请 488 件。不难发现，陕西省太阳能光伏产业创新能力具有明显的地区差距，经济条件与科研实力的较大差距是桎梏各地区新能源产业健康发展的主要原因。

表 1 陕西省太阳能光伏产业核心领域创新能力对比

单位：件，%

| 技术领域 | | 指标 | 全球 | 中国 | 日本 | 美国 | 陕西省 | 江苏省 | 山东省 | 浙江省 |
|--------------------|-------|------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (上游) 光伏材料 制备 | 硅系材料 | 申请量 | 68042 | 32450 | 14001 | 9433 | 990 | 7905 | 1003 | 3160 |
| | | 产业占比 | 47.90 | 57.20 | 39.70 | 49.40 | 48.90 | 60.70 | 25.10 | 60.70 |
| | 多元化合物 | 申请量 | 33764 | 10905 | 7237 | 6147 | 686 | 1622 | 1319 | 548 |
| | | 产业占比 | 23.70 | 19.20 | 20.50 | 32.40 | 33.90 | 12.50 | 33.00 | 10.50 |
| | 银浆 | 申请量 | 9610 | 4482 | 2133 | 922 | 205 | 1160 | 616 | 391 |
| | | 产业占比 | 6.80 | 7.90 | 60.00 | 4.90 | 10.10 | 8.90 | 15.40 | 7.50 |
| | 聚合物隔膜 | 申请量 | 30579 | 8552 | 12148 | 2512 | 142 | 2112 | 1053 | 1039 |
| | | 产业占比 | 21.50 | 151.00 | 34.40 | 13.20 | 7.00 | 16.20 | 26.30 | 20.00 |



续表

| 技术领域 | | 指标 | 全球 | 中国 | 日本 | 美国 | 陕西省 | 江苏省 | 山东省 | 浙江省 |
|-----------------|---------|------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (中游) 光伏电池及组件 | 光伏玻璃 | 申请量 | 6516 | 26681 | 532 | 660 | 128 | 768 | 299 | 281 |
| | | 产业占比 | 2.90 | 2.90 | 1.50 | 2.10 | 5.90 | 3.00 | 3.80 | 3.10 |
| | EVA 胶膜 | 申请金 | 2953 | 1279 | 765 | 335 | 15 | 561 | 97 | 242 |
| | | 产业占比 | 1.30 | 1.40 | 2.10 | 1.10 | 0.70 | 2.20 | 1.20 | 2.70 |
| | 光伏电池 | 申请量 | 13838 | 6979 | 1764 | 2443 | 99 | 2900 | 430 | 848 |
| | | 产业占比 | 6.30 | 7.50 | 4.80 | 7.70 | 4.60 | 11.30 | 5.50 | 9.40 |
| | | 申请量 | 185826 | 72830 | 34905 | 26228 | 1691 | 18543 | 6456 | 6718 |
| | | 产业占比 | 84.00 | 78.50 | 95.70 | 82.70 | 78.40 | 72.50 | 83.10 | 74.30 |
| (下游) 光伏发电系统 | 逆变器 | 申请量 | 21423 | 16646 | 1210 | 1214 | 502 | 3238 | 2284 | 1319 |
| | | 产业占比 | 15.00 | 16.70 | 11.60 | 11.80 | 16.40 | 16.90 | 20.00 | 13.80 |
| | 蓄电池 | 申请量 | 6290 | 3085 | 1325 | 769 | 50 | 472 | 510 | 272 |
| | | 产业占比 | 4.40 | 3.10 | 12.70 | 7.50 | 1.60 | 2.50 | 4.50 | 2.90 |
| | 控制器 | 申请量 | 46908 | 32349 | 3801 | 3695 | 1115 | 5521 | 4005 | 2840 |
| | | 产业占比 | 32.90 | 32.40 | 36.50 | 35.80 | 36.50 | 28.80 | 35.10 | 29.80 |
| | 支架 | 申请量 | 41135 | 32608 | 1233 | 2344 | 803 | 7558 | 3268 | 3461 |
| | | 产业占比 | 28.90 | 32.60 | 118.00 | 22.70 | 26.30 | 39.40 | 28.60 | 36.30 |
| 光伏应用 | 光伏建筑一体化 | 申请量 | 27397 | 16368 | 3575 | 2127 | 508 | 2534 | 1700 | 1796 |
| | | 产业占比 | 24.60 | 29.10 | 19.40 | 16.50 | 30.90 | 28.20 | 20.90 | 27.80 |
| | LED 应用 | 申请量 | 85294 | 40502 | 15100 | 10894 | 1146 | 6524 | 6530 | 4715 |
| | | 产业占比 | 76.50 | 71.90 | 81.90 | 84.30 | 69.80 | 72.60 | 80.10 | 73.10 |

资料来源：陕西省知识产权局《陕西省太阳能光伏产业专利导航报告》，https://snipa.shaanxi.gov.cn/newstyle/pub_newschannel.asp?Page=1&chid=100428。

进一步分析光伏产业核心技术领域各主要国家、省份技术布局结构，其中，在（上游）光伏材料制备领域，技术布局的重点基本都在硅系材料，从省份来看，江苏省、浙江省硅系材料产业达到 60.7%，陕西省占比 48.9%，与头部省份差距明显。

5. 创新型人才储备不足，企业创新能力差距明显

根据陕西省知识产权局的最新数据，本文对陕西省太阳能光伏产业发明人储备情况进行了整理，具体见图 6 所示。

与全国其他省份相比，陕西省在光伏产业的人才数量全国排名第九

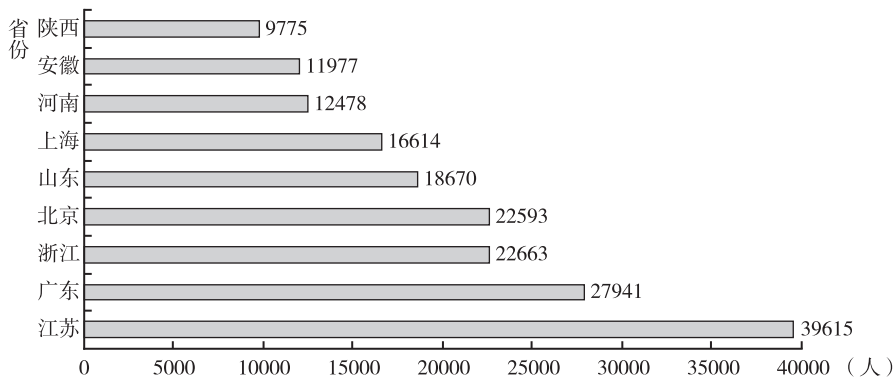


图6 陕西省太阳能光伏产业发明人储备情况

资料来源：陕西省知识产权局《陕西省太阳能光伏产业专利导航报告》，https://snipa.shaanxi.gov.cn/newstyle/pub_newschannel.asp?Page=1&chid=100428。

位，发明人数量 9775 人，排名第一的是江苏省，发明人数量 39615 人，是陕西省的 4 倍，人才数量超过 2 万人的省份还包括广东省、浙江省、北京市。整体看，陕西省光伏产业人才储备量位于全国中上游，中国西部前茅，但与江苏省、广东省、浙江省、北京市相比，依旧存在一定的差距。

表2 陕西省太阳能光伏产业企业创新能力排名

单位：件

| 光伏产业 | | （上游） 光伏材料制备 | | （中游） 光伏电池及组件 | | （下游） 光伏发电系统 | | 光伏应用 | |
|-------|--------|----------------|--------|-----------------|--------|----------------|--------|-------|--------|
| 省/直辖市 | 专利产出数量 | 省/直辖市 | 专利产出数量 | 省/直辖市 | 专利产出数量 | 省/直辖市 | 专利产出数量 | 省/直辖市 | 专利产出数量 |
| 江苏省 | 49099 | 江苏省 | 11339 | 江苏省 | 22419 | 江苏省 | 115126 | 江苏省 | 7011 |
| 广东省 | 20509 | 浙江省 | 4169 | 浙江省 | 7236 | 广东省 | 8599 | 广东省 | 5834 |
| 浙江省 | 19170 | 上海市 | 2923 | 广东省 | 5587 | 浙江省 | 6402 | 浙江省 | 3861 |
| 北京市 | 11082 | 广东省 | 2873 | 北京市 | 3703 | 北京市 | 5218 | 北京市 | 1900 |
| 上海市 | 9693 | 北京市 | 1861 | 安徽省 | 3336 | 安徽省 | 4307 | 福建省 | 1798 |
| 安徽省 | 9665 | 山东省 | 1702 | 上海市 | 3279 | 山东省 | 3321 | 安徽省 | 1701 |
| 山东省 | 7516 | 安徽省 | 1633 | 河北省 | 2361 | 上海市 | 3203 | 山东省 | 1575 |



续表

| 光伏产业 | | （上游） 光伏材料制备 | | （中游） 光伏电池及组件 | | （下游） 光伏发电系统 | | 光伏应用 | |
|-------------|--------|----------------|--------|-----------------|--------|----------------|--------|-------------|--------|
| 省/直辖市 | 专利产出数量 | 省/直辖市 | 专利产出数量 | 省/直辖市 | 专利产出数量 | 省/直辖市 | 专利产出数量 | 省/直辖市 | 专利产出数量 |
| 四川省 | 6145 | 河北省 | 1465 | 四川省 | 1935 | 天津市 | 2451 | 上海市 | 1330 |
| 天津市 | 5261 | 四川省 | 1350 | 山东省 | 1768 | 四川省 | 2318 | 四川省 | 1267 |
| 陕西省 (12) | 5023 | 陕西省 (11) | 1096 | 陕西省 (10) | 1474 | 陕西省 (11) | 2039 | 陕西省 (11) | 1011 |

资料来源：陕西省知识产权局《陕西省太阳能光伏产业专利导航报告》，https://snipa.shaanxi.gov.cn/newstyle/pub_newschannel.asp?Page=1&chid=100428。

截至 2021 年 11 月，陕西省企业专利申请量共计 5023 件，占陕西省专利总量的 62%，在光伏产业四个领域企业申请量及企业占比分别为：上游 1096 件，占比 54.1%；中游 1474 件，占比 68.3%；下游 2039 件，占比 66.8%；光伏应用 1011 件，占比 61.6%。总体来看，陕西光伏企业创新能力低于全国平均水平。

（二）发展挑战

1. 国家能源战略需要、区域经济发展要求、地区生态承受能力弱的现实，导致难以形成科学准确的能源发展定位

神东煤炭生产基地、榆林能源化工基地作为陕西煤炭传统矿区开发的重点区域，正处于产业快速发展期，面临我国能源消费增速放缓，煤炭产能过剩、碳排放压力的多重困境，使得陕西能源产业面临较大转型升级压力。

2. 煤炭产业比重过大与国内消费结构调整形成矛盾，提质增效、调整结构、促进新旧产能转换任务艰巨

陕西不仅是能源生产大省，同时也是消费大省，非化石能源消费比重不到 10%，与国内平均水平有一定差距，陕西省能源生产结构以煤为主，煤炭产能极高，天然气外输比例高，煤炭对其他能源有较大的挤出效应，限制了清洁能源的发展和应用。



3. 能源化工产业距离达到能源高效、安全、绿色发展的新要求仍有一定差距

陕西能源发展承载相当多的社会责任。既要承担去产能的压力，又要保障区域经济一定的经济增长速度，还要为农村扶贫、城镇就业创造渠道。既要承担向东部地区输送清洁能源、缓解大气污染防治压力的任务，又必须有效降低煤炭在能源消费结构中的比重，切实推进煤炭清洁利用，确保区内大气环境质量相对稳定。

4. 我国经济和社会发展快速转型，信息技术革命对陕西能源发展提出更大挑战

信息技术的快速发展将改变经济社会发展模式，与东部地区相比，陕西信息化建设尚处于提升阶段，更多地着眼于信息基础设施建设方面。尤其是能源企业普遍信息化水平不高，不仅能源信息不完善，而且标准不统一，区内不同能源企业之间短时间内很难建立可供共享的数据资源，影响能源产业的内涵提升。

四 新能源产业发展的技术路径

（一）建设国家级新能源基地

大力推广光伏、风电、储氢等新能源技术应用，适度超前布局氢能产业，着力推动风光一体、风光储氢一体等新能源综合利用，加快陕北风光储氢多能融合示范基地和绿色氢能循环经济产业园建设。到 2025 年，建成千万千瓦级新能源基地，基本形成风光储氢多能融合示范雏形。

（二）优化能源结构，提高能源效率

以煤炭为主是陕西能源消费结构的现状，每单位煤炭要比石油和天然气要多排放 29% 和 80% 的二氧化碳。因此，传统化石能源的清洁化和相关替代能源和可再生能源的开发和利用是优化陕西能源结构的难点和重点。在建设大型煤炭基地的同时，必须要提高水电、石油和天然气的生产和消费比



重，这就要求陕西加大对煤炭产业的整合和改造力度并加强石油和天然气的开发力度。

（三）加快新能源汽车产业发展

重视新能源汽车产业发展，积极研究引进特斯拉、比亚迪等新能源汽车行业龙头企业，支持新能源汽车配套产业发展，鼓励研发充电设施、推进与智能电网相融合的新能源汽车能量转换、检测维护技术与设备的研发与产业化，同时对新能源汽车继续免征车辆购置税，鼓励新能源汽车消费。

（四）加快建设新型电力系统

构建新能源占比逐渐提高的新型电力系统，推动清洁电力资源大范围优化配置。大力提升电力系统综合调节能力，加快灵活调节电源建设，引导自备电厂、传统高载能工业负荷、工商业可中断负荷、电动汽车充电网络、虚拟电厂等参与系统调节，建设坚强智能电网，提升电网安全保障水平。积极发展分布式光伏、“新能源+储能”、源网荷储一体化和多能互补，支持分布式新能源合理配置储能系统。

（五）加快研发高端装备制造技术

重点开展智能输变电装备、先进储电装备、风力发电系统等新型电力（新能源）装备制造及其状态监测与智能运维的技术研发，以及油气领域高端装备、智能机器人技术研发与工程应用。深度融合 5G、网络技术、云技术和人工智能技术，开发和应用推广生产设备在线诊断、关键零部件寿命预测等新一代工业智能制造系统。

五 对策建议

（一）全面统筹行业、区域优势，营造产业发展良好环境

充分发挥政府的政策引导作用，鼓励民间力量参与到新能源产业当中，



加强地方与中央之间的合作。此外，应构建有地区特色的新能源产业格局。例如，西安市作为省会城市，在新能源领域具有较高的科技创新和研发能力。可在太阳能光伏、风能等方面发挥产业基础保障和技术优势。咸阳拥有丰富的太阳能资源和农村面积，具备发展农村分布式光伏发电潜力。发挥地区新能源特色，基于资源禀赋优势，有序实现碳达峰。

坚持“市场主导，政策引导”原则，明确用户侧多能互补项目的市场主体地位，为用户侧新能源产业发展创造适宜的环境。加强政策引导，出台相关优惠政策，提供更为宽松环境，进一步明确新能源在能源转型中的发展定位。加大财政支持、税收支持、补贴支持，对项目建设，尤其是多能互补示范项目的建设投入一定的补贴，并考虑返还部分增值税。

（二）突破核心技术，促进新能源技术及应用上新台阶

在新能源电力方面，加快突破 10MW 及以上风电机组、高效硅基光伏电池和高效薄膜太阳能电池的关键技术，全面实现风能发电技术装备的大型化、智能化，实力成为新增电力的主流，争取 2035 年构建形成新能源和传统能源的深度融合的能源体系，2050 年构建形成高比例新能源的新型能源体系。

在电力存储方面，应加强锂离子电池、全钒液流电池等先进化学储能和压缩空气、飞轮储能等先进物理储能的关键技术及其应用示范，突破 GW 级复合储能系统、智能化储能系统的关键技术和示范应用的关键问题。争取 2025 年储能技术装备广泛应用在发电侧、电网侧和用户侧，储能产业达到国际先进水平；以电力存储为核心技术构建的“源-网-荷-储”新型电力系统实现高比例新能源电力消纳。

（三）打造陕北产业转移示范区，培育陕西能源新增长极

促进平衡发展，注重陕西北部传统的煤炭产区发展。实施优质稀缺煤炭资源保护性开采，运用高新技术，将煤炭资源就地转化，变传统的燃料为新型炭基产品。加快建设承接产业转移示范区，因地制宜发展煤矿机械、火电



和化工设备、风电装备制造、新能源储能材料、半导体照明、太阳能光热利用装备、化纤纺织、新材料等产业。

加强特色发展，突出陕西多能并存的资源优势，加快调整能源发展重点。推进新能源规模化发展，大力推进风能、太阳能发电基地建设，利用沙地、荒山，建设不同地型、不同规模的集中发电示范基地。促进新能源综合开发，建设风光互补、一体化建设示范基地，提高新能源集约化开发水平；推广农光互补，打造农光互补示范区；利用西气东输工程，建设太阳能热与燃气联合发电示范工程；把新能源开发与地区扶贫相结合，建设新能源扶贫开发示范工程。

（四）建立健全用能权交易和碳排放权交易市场

实际企业开展管理工作涉及燃料管理、生产运行、煤质检测、计划经营、资金结算等多个方面，并需要协调不同的管理部门，因此十分有必要引导企业建立内部管理体系，包括规章制度、组织机构、工作机制等，保证用能权及碳排放管理工作有序进行。

进一步完善用能权有偿使用和交易制度，积极融入全国用能权交易市场建设，推动能源向我省优质项目、企业、产业及产业发展条件好的地区流动和集聚。充分利用金融、市场等优势推动企业进行清洁技术升级投入，同时降低企业二氧化碳减排成本，提高企业减排效果。给予率先实现碳达峰的企业一定的市场竞争优势，形成绿色低碳转型的激励机制。

（五）培养新能源产业集群，吸引创新型人才队伍

新能源行业发展日新月异，对高校人才培养提出更高要求。高校可根据办学条件，开设相关专业，定向培养专业人才，优化学科知识结构。强化跨学科交流，鼓励新能源专业学生选修信息通信、计算机科学、新材料等不同领域课程，实现知识融合。

与此同时，坚持“高精尖缺”导向，依托重大科技项目实施、关键领域核心技术攻关或采取短期工作、项目合作等柔性引才政策，面向国内外引



进高层次科技人才。进一步优化外国尖端人来陕工作许可制度，为外国优秀人才入陕就业创业提供便利，扩大国外青年科学家来陕工作规模。

参考文献

国家能源局：《国家能源局发布 2022 年全国电力工业统计数据》，https://www.nea.gov.cn/2023-01/18/c_1310691509.htm，最后检索时间：2023 年 11 月 13 日。

刘仁厚、王革、黄宁等：《中国科技创新支撑碳达峰、碳中和的路径研究》，《广西社会科学》2021 年第 8 期。

陕西省能源局：《陕西省能源概况》，<http://sxsnyj.shaanxi.gov.cn/INSTITUTIONAL/nygk/eMjQru.htm>，最后检索时间：2023 年 11 月 13 日。

申宽育、吉超盈、牛子曦：《陕西省风能资源与风力发电》，《西北水电》2011 年第 2 期。

陕西水文水资源信息网：《二〇一二年陕西省水资源状况》，<http://www.shxsw.com.cn/detail/1534fD6sh8>，最后检索时间：2023 年 11 月 13 日。

陕西省发展和改革委员会印发《陕西省“十四五”氢能产业发展规划》《陕西省氢能产业发展三年行动方案（2022-2024 年）》《陕西省促进氢能产业发展的若干政策措施》的通知，<https://sndrc.shaanxi.gov.cn/fgwj/2022nwj/jY32Qz.htm>，最后检索时间：2023 年 11 月 13 日。

金光：《陕西省浅层地热能开发利用现状及对策探析》，《地下水》2017 年第 3 期。

王秉琦：《陕西地热发展报告（现状·资源区划篇）》，西安交通大学出版社，2023。

徒向东：《陕西省生物质能开发利用的前景和对策分析》，《陕西师范大学学报（自然科学版）》2008 年第 S1 期。

陕西省发展和改革委员会印发《陕西省生物质能开发利用规划》的通知，<https://sndrc.shaanxi.gov.cn/mobile/fgwj/fgwjContent. chtml? id=1015468ZzEBba>，最后检索时间：2023 年 11 月 13 日。

周明、赵晨、穆骋：《追风逐日 陕西加速布局新能源产业版图》，《陕西日报》2023 年 2 月 13 日。

陕西省人民政府研究室：《做大做强陕西电力 助推经济追赶超越》，http://zys.shaanxi.gov.cn/sxjjyj/wzll/201905/t20190524_2117127.html，最后检索时间：2023 年 11 月 13 日。

国家能源局：《2021 年前三季度全国光伏发电建设运行情况》，https://www.nea.gov.cn/2021-10/25/c_1310267679.htm，最后检索时间：2023 年 11 月 13 日。

陕西省发展和改革委员会：《我省可再生能源装机超过 2400 万千瓦，全省超 1/3 电力装机 1/5 用电量来自可再生能源》，<https://sndrc.shaanxi.gov.cn/fgyw/wngzdt/luqIBb.htm>，最后检索时间：2023 年 11 月 13 日。

陕西省发展与改革委员会：《陕西新能源发电连创新高》，<https://sndrc.shaanxi.gov.cn/fgyw/wngzdt/miMjAr.htm>，最后检索时间：2023 年 11 月 13 日。

陕西省能源局：《关于陕西省 2022 年风电光伏发电保障性并网项目竞争性配置结果的公示》，<http://sxsnyj.shaanxi.gov.cn/POLICY/cxwj/JZzYNv.htm>，最后检索时间：2023 年 11 月 13 日。

陕西省发展和改革委员会印发《陕西省“十四五”氢能产业发展规划》《陕西省氢能产业发展三年行动方案（2022-2024 年）》《陕西省促进氢能产业发展的若干政策措施》的通知，<https://sndrc.shaanxi.gov.cn/fgwj/2022nwj/jY32Qz.htm>，最后检索时间：2023 年 11 月 13 日。

彭冰、郭伟龙、郝皓旒等：《对陕西省地热资源开发的几点建议》，《中国国土资源经济》2020 年第 7 期。

陕西省住房和城乡建设厅：《关于印发《关于发展地热能供热的实施意见》的通知》，<https://js.shaanxi.gov.cn/zixun/2018/1/102763.shtml>，最后检索时间：2023 年 11 月 13 日。

史俊斌：《产业冲向万亿 陕西新能源汽车加速“跑”起来》，《科技日报》2022 年 8 月 05 日，第 8 版。

新能源汽车报：《陕西新能源汽车产业增长态势强劲》，<https://mp.weixin.qq.com/s/fzoOFMioBph9Rj-7CAYncQ>，最后检索时间：2023 年 11 月 13 日。

国网陕西融媒体中心：《陕西光伏发电再创新高》，https://mp.weixin.qq.com/s/7IkZCgS8db_MPlpvQCRu3Q，最后检索时间：2023 年 11 月 13 日。

沈谦：《前 8 月陕西汽车产量同比增幅高于全国 28.4 个百分点》，《陕西日报》2023 年 9 月 27 日。

陕西省知识产权局：《陕西省太阳能光伏产业专利导航报告》，https://snipa.shaanxi.gov.cn/newstyle/pub_newschannel.asp?Page=1&chid=100428，最后检索时间：2023 年 11 月 13 日。

陕西省发展与改革委员会：《关于印发《陕西省电动汽车充电基础设施“十四五”发展规划》的通知》，<https://sndrc.shaanxi.gov.cn/fgwj/2021nwj/7VJvya.htm>，最后检索时间：2023 年 11 月 13 日。