

碳中和目标下黄河流域产业结构对生态环境的影响及展望

张春晖¹, 吴盟盟², 张益臻²

(1. 中国矿业大学(北京)全过程污染控制与循环经济研究所, 北京 100083;

2. 中关村至臻环保股份有限公司, 北京 100070)

【摘要】黄河流域生态环境本底脆弱, 长期以来面临着水资源短缺、土地荒漠化、水土流失等诸多严峻的生态环境问题。黄河流域以矿业、能源和重化工业粗放式开发为主的低端产业结构, 对水资源消耗巨大, 产生的污染较为严重, 对流域生态环境影响大。在碳中和战略目标下, 进行产业结构低碳转型和产业升级、加强水资源保护和合理利用、调整农业农村发展模式、平衡区域发展差距已成为黄河流域产业结构调整的重要方向, 也是实现黄河流域生态保护和高质量发展战略的必由之路。

【关键词】黄河流域; 生态环境; 产业结构; 碳中和

中图分类号: X22 文献标识码: A 文章编号: 1673-288X(2021)02-0050-06 DOI: 10.19758/j.cnki.issn1673-288x.202102050

黄河发源于青藏高原, 流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南及山东 9 个省区, 流经了我国三级阶梯最后注入渤海, 干流河长约 5687km, 流域集水面积约为 $81.3 \times 10^4 \text{km}^2$ ^[1]。黄河流域是我国重要的农牧业生产基地、重要能源及基础工业基地, 在我国经济社会发展和国土空间格局中具有战略性、全局性地位^[2]。同时, 作为我国重要的生态功能区域和华北、西北地区重要的生态屏障, 黄河流域生态环境质量的好坏, 直接关系到国家中长期生态安全和环境质量的演变趋势。但受区位条件、自然地理环境等因素制约, 该地区以能源重化工为主的产业结构加重了地区生态环境负担, 严重威胁到流域安全、国家生态安全、粮食安全和人居环境安全^[3]。

继我国卓有成效地开展了“2+26”城市联防联控打赢蓝天保卫战、2018 年启动长江大保护工作后, 2019 年 9 月, 习近平总书记对黄河流域生态环境和经济发展情况进行了考察, 对黄河流域的生态环境保护工作做出重要指示, 要求坚持“绿水青山就是金山银山”的理念, 坚持生态优

先、绿色发展, 着力加强生态保护治理、保障黄河长治久安、促进全流域高质量发展^[4]。由此, 黄河流域生态保护和高质量发展上升为国家重大战略。2020 年 9 月 22 日, 习近平总书记在第 75 届联合国大会一般性辩论上宣布将提高《巴黎协定》下国家自主贡献力度, 承诺力争 2030 年前碳排放达峰, 努力争取 2060 年前实现碳中和。这意味着中国将在未来十年全面实现能源、经济领域的深度低碳转型。因此, 要完成我国的碳中和目标, 黄河流域除继续做好生态环境保护工作外, 还要实现产业结构向着清洁低碳、安全高效的方向深度转型。本文将着重从黄河流域产业结构现状及其对生态环境的影响、碳中和目标下黄河流域产业结构调整方向等方面进行论述。

1 黄河流域产业结构现状及其对生态环境的影响

1.1 黄河流域产业结构现状

黄河流域的产业结构以第二产业为主体, 其中初级加工业占比较高, 能源矿业资源采掘业特

色突出,第三产业比重低于全国平均水平,并显著低于沿海地区;第一产业占比高于全国平均水平,中游草原牧业特色鲜明,流域内部发展差距较大。改革开放 40 年来,黄河流域经济社会发展取得了重大成就,40 年间流域内的地区生产总值增加了 53.2 倍,年均增长率为 10.76%。但流域内经济增长效率的提升非常有限,40 年间仅增长了约 2 倍,年均增长率不到 2%,加之生态环境脆弱、资源枯竭等问题的日趋凸显,已成为当下黄河流域经济绿色高质量发展的主要制约因素^[5]。

多年来,黄河流域内形成了以矿业、能源和重化工业粗放式开发为主的低端产业结构。黄河流域能矿资源丰富,煤炭、天然气储量分别占到全国基础储量的 75% 和 61%,青海的钾盐储量占全国的 90% 以上;中上游地区风能和光伏能源丰富。但是由于地区自身消纳能力、水资源和技术等因素所限,当地主要以资源开采和初级加工为主,产业链短^[3]。比如,我国的煤炭产能主要集中在黄河流域中上游地区。据 2019 年中国能源统计年鉴,2017 年黄河流域中上游地区煤炭产量约 28 亿吨,占全国煤炭产量的 78%。我国 14 个亿吨级大型煤炭基地,有 7 个分布在黄河流域中上游;9 个千万千瓦大型煤电基地,有 6 个分布在黄河流域中上游;2015 年 12 月《现代煤化工建设项目环境准入条件(试行)》发布以来,生态环境部(原环境保护部)共批复 14 个现代煤化工项目,其中 10 个项目位于黄河流域中上游^[6]。此外,黄河流域中上游还是下游工业能源和原料供给的集中地,以煤电和煤化工产业为主。鄂尔多斯、晋北、晋中、晋东、陕北、宁东等几大煤电基地均坐落于黄河流域中上游;对于现代煤化工产业,现有 100% 的煤制油、85% 的煤制烯烃、50% 的甲醇制烯烃项目,均位于黄河流域中上游。

黄河流域还是国家粮食安全重要保障区,流域耕地面积占全国总量的 35% 左右,粮食产量占全国总量的 34.42%,是国家重要的粮、棉、油生产基地和经济作物的重要产区。但是随着工业化与城市化的发展,黄河流域粮食安全面临农田面积萎缩和质量降低,农业用水保障难度增大和面源污染加重等挑战^[3]。

1.2 黄河流域生态环境问题

近年来,在区域气候变化和人类社会经济活动的双重影响下,黄河流域生态系统的脆弱性和敏感性在增强,生态环境问题突出,生态安全面临严峻挑战,主要体现在以下几个方面。一是黄河源区即青藏高原及其周边地区的主体冰川消融加速,面积显著退缩,进而引起了大范围的湖泊扩张和径流增加,可能导致冰湖溃决、洪水泛滥等灾害,影响下游地区人类的生存环境。二是黄河源区多年冻土呈现区域性退化趋势,活动层厚度不断增加,由片状分布逐渐变为岛状、斑状分布,多年冻土层变薄,冻土面积缩小,融区范围扩大,进而削弱了冻土的生态环境地质功能,引起黄河源区生态环境恶化。三是黄河流域水资源短缺问题严重,总体径流量呈显著下降趋势,经济发展和人口增长带动的用水量不断增长,造成河流生态环境用水被严重挤占,黄河入海水量大幅减少,严重影响了黄河河口湿地生态系统,破坏了生物多样性。四是黄河上中游内蒙古自治区南部、陕西省北部及宁夏回族自治区东北部等地区荒漠化问题十分突出,受到全球气候变化以及亚洲季风系统的影响,生态环境十分脆弱,干旱化趋势难以逆转。五是黄土高原水土流失严重,流入黄河的泥沙量多年平均在 16 亿吨,其中超过 80% 的泥沙来自黄土高原地区,致使黄河下游河道年均升高 5cm~10cm,使黄河成为地上悬河,增大了洪水灾害的发生概率。六是黄河流域干旱、暴雨洪涝、强降水及其引发的地质灾害比较严重,尤其受到气候变化影响,极端降水与干旱现象近年频发。七是黄河流域水污染排放量巨大,虽然相比第一次全国污染源普查结果排放总量近年有所下降,但黄河流域下降幅度要小于其他流域,且单位地表水资源化学需氧量排放强度增加了 10%。八是流域部分地区生物多样性显著减少,导致自然生态系统功能和稳定性下降,并威胁到国家的生态安全和社会的可持续发展^[7-9]。

1.3 黄河流域产业结构对生态环境的影响

黄河流域生态环境本底脆弱,生态环境问题突出,关键性水土资源匹配条件差。黄河源区地处青藏高原高寒气候带,植被覆盖有限,生态系统

脆弱;上游的甘肃、宁夏等地气候多干旱少雨,荒漠化问题严重;中游黄土高原地区水土侵蚀严重;下游地区人多地少,人地关系紧张^[3]。受自然要素成本、社会经济基础、资源配置效率等多重因素影响,当前阶段的黄河流域产业空间布局非均衡现象较为突出,高度集聚在水土光热匹配度高的河流谷地和平原地区,生态承载能力较佳,但由于粗放型的开发和加工模式,导致生态脆弱性增强,地表植被遭受大肆破坏,水土流失严重^[10]。

黄河源区人口分布稀疏,人类社会经济活动较少,整体上生态环境状况主要受气候变化影响,但部分地区存在煤矿产业的大规模开采活动,给脆弱的高原草甸生态系统带来了不可忽视的影响,也一定程度上加剧了冻土层的退化,提高了黄河源区高原生态系统的脆弱性,并可能对下游人类生产生活产生潜在的影响^[11]。

黄河流域分布有多个重要的能源重化工基地与煤炭消费基地,以能源基础性原材料为主的工业结构和以煤炭为主的能源消费,导致人口密集区的灰尘、颗粒物污染严重,大气质量较差,城市水体、湖泊和内陆河水污染较重,局部地区重金属累积性风险加重,尤其在黄河中上游地区部分河段已经完全丧失生态功能,资源环境承载力已经处于严重过载状态。在以煤炭为主的产业链条生产运营中,相关企业的技术装备落后,导致二氧化硫的浓度严重超标,且焦炭炼化中还会伴随有大量的乙烯、苯乙烯、二甲苯等气体产生,加剧了大气环境恶化。与此同时,煤炭开采中,可能会产生大量的废弃物堆积,导致地表剥离,并在干旱、少雨等自然环境影响下,产生新的沙尘源^[10]。

黄河流域的水资源短缺,产业发展中的可利用水资源多为黄河过境水,需求量远超生态环境的承载能力。沿边重化工企业污染,更是进一步缩减了可利用水资源总量,区域环境污染问题严重。水资源是支撑煤炭资源开发和生态环境协调发展的基础资源,也是当前黄河流域经济发展和生态环境保护之间最为突出的矛盾。以煤炭采掘行业为例,煤矿是富存在地下沉积岩类的矿产资源,含煤层、含水层、隔水层共生。因此,煤矿开采不可避免地地下水含水层造成破坏,并会产生

矿井水。大体上,每采掘1吨煤炭约产生2吨矿井水。按照煤炭年产量28亿吨计算,开发所消耗的水资源超过56亿吨。大规模煤炭开采导致矿区地下水位大范围、大幅度疏降。煤电和煤化工产业用水量同样很大。目前黄河流域现代煤化工行业用水量总量约5.3亿立方米/年。尤其宁夏、陕西、内蒙古等省份用水量偏高,占黄河工业用水的比例达9%~18%;煤电产业用水量更大,约占黄河工业用水总量的25%^[6]。另外,黄河流域中上游年蒸发量约是降雨量的6倍。以上现象都会加速当地的荒漠化进程。

黄河中下游地区自古以来就是我国农业产业发展的核心区域之一,经过上万年人类活动对黄河中下游地区地表覆被的不断干扰,特别是西汉以来的大规模垦殖,其自然植被今已基本荡然无存。至公元纪年初,黄河中下游地区就已被开发为一个垦殖范围与今相近的农业区^[1]。近年来,黄河中下游地区的生态环境状况主要受到农业面源污染以及人类生活源污染排放的影响。研究表明,黄河流域农业源水污染物排放主要来自中游地区,中游水污染物排放量和畜禽养殖量均占黄河流域总量的40%左右。生活源水污染排放主要来自流域中下游省份,河南省、陕西省、山西省、山东省的排放占整个流域城镇生活污水排放的74.86%^[9]。

总体上,黄河流域面临冰川消融、冻土退化、水资源短缺、土地荒漠化、地表采矿塌陷、水土流失、洪水旱灾威胁等诸多生态和水文水资源难题,也存在发展整体滞后、区域差距大、产业低端等诸多经济社会发展问题。黄河流域产业结构对生态环境的影响,以水环境影响和生态破坏为主。

2 碳中和目标下黄河流域产业结构调整的方向

习近平总书记于2020年9月提出的“碳中和”和“碳达峰”的宏大战略目标为我国能源行业发展和生态文明建设行动指明了重要的发展方向。黄河流域作为我国主要的能源产业聚集区域和生态功能保障区域,必然在未来数十年内的能源产业结构调整 and 生态文明建设过程中承担起不可替代的重要历史使命。在碳中和的目标指引

下,黄河流域的产业结构调整将围绕着供给侧低碳转型和产业升级这一核心任务,同步推进需求侧节能降耗和水资源优化,并一以贯之地推进退耕还林还草、山水林田湖草综合整治、生态防护林建设等重大生态恢复战略工程,切实提高区域内碳捕集和碳吸收能力。

2.1 产业结构低碳转型和产业升级

2020年,煤炭在我国一次能源消费结构中的占比约为56.7%,火电发电量在发电量中的占比约为67.8%。过高的化石能源占比是实现碳中和目标的主要挑战。而黄河流域要通过产业结构调整的方式实现低碳转型和产业升级,则面临着更多现实条件的困扰和利益关系的纠葛。产业结构调整的关键在于提升可再生能源在一次能源消费结构中的占比,为了达成这一目标,应该加快构建适应高比例可再生能源发展的新型电力系统,积极推动经济绿色低碳转型和可持续发展。持续推进能源体系清洁低碳发展,稳步推进水电发展,安全发展核电,加快光伏和风电发展,加快构建适应高比例可再生能源发展的新型电力系统,完善清洁能源消纳长效机制,推动低碳能源替代高碳能源、可再生能源替代化石能源。黄河流域中上游丰富的风能和太阳能资源为上述措施的推行提供了基本的保障条件。对于煤炭开采产业,其开发布局必须以不威胁流域生态环境安全格局稳定为原则,必须首要保证国家重点生态功能区的功能稳定和持续效力发挥。例如,黄河上游青海地区生态环境脆弱,煤炭资源少且赋存条件差,建议国家在保障企业转型发展条件下,让煤企逐渐退出,以生态恢复为主。

此外,人工智能、5G技术、互联网+区块链技术的快速发展也为黄河流域产业升级提供了契机,通过信息化促进区域产业组织与生产方式的转型,加快产业结构调整。近日,国内某知名通信技术与山西省联合打造的智能矿山创新实验室,旨在利用工业无线控制网络、云计算等信息通信技术,助力山西实现煤矿提质增效、提高煤矿本质安全的目标,促进山西企业的数字化转型和信息化发展,为黄河流域产业升级提供了新的切入点。

2.2 区域水资源保护

如何采取措施保护区域水资源,是黄河流域实现和谐发展的最基本条件。在源头保护上,可根据不同区域的环境与生态现状进行规划与实施。在黄河中游煤炭资源富集区开采强度大,可采取“保水采煤”技术,在防治采场突水、保障安全的前提下,从源头上对水资源进行有意识的保护,使煤炭开采对矿区水文环境的扰动量小于区域水文环境容量。其次,在煤炭开采的全过程(采前—采中—采后—稳定期),做好节水和保护地下水工作,做到煤—水协调开发。最后,要做好矿井水的处理与资源化高效利用工作。目前,矿井水处理利用技术趋于成熟,完全可以满足煤矿规模化发展需要。但在黄河流域中上游,很多煤矿由于矿井水处理设施投资和运行费用高、回用水量有限等问题,仍无法实现矿井水的充分回用。鉴于生态环境主管部门要求煤炭生产企业矿井水排水实现零排放或达到国家地表水质量Ⅲ类标准外排,大部分煤炭企业经处理后的矿井水除部分回用外,大部分矿井水经深度处理达到地表水Ⅲ类标准后外排至地表外环境。目前,对于黄河中上游大型煤炭企业,外排矿井水基本上可以达到地表水Ⅲ类质量标准,但绝大部分矿井水排水中硫酸根离子和氟离子超标。针对大水量的排水,对于去除水中硫酸根离子和氟离子,目前尚没有高效、经济的处理方法,这是矿井水科研工作者必须尽快努力解决的课题。

此外,统筹黄河流域中上游有限的水资源并做到煤电、煤化工产业全过程节水运行,对黄河流域水资源保护也至关重要。首先需要加大气力开辟新的水源。相比过去全部取用黄河水,现已有部分煤电和煤化工项目改用经处理后的煤矿矿井水,可大大降低黄河取水需求。例如中煤集团下属榆林煤化工企业拟投资10亿元,对煤炭开采产生的矿井水进行处理后,回用作为下游煤化工产业用水水源。对于煤电和煤化工企业自身所产工业废水,还需要加大处理和回用力度,从而提高煤电、煤化工企业自身废水回用率。当前,对于煤电和煤化工废水的处理,主要问题集中在“零排放”工艺深度处理阶段。因废水中含盐量高,煤电和

煤化工废水深度处理阶段普遍采用反渗透或纳滤膜处理。膜处理过程中产生的浓盐水目前以蒸发浓缩工艺为主。但蒸发浓缩工艺运行成本较高,需警惕企业偷排造成的环境风险。另外,蒸发浓缩产生的盐类以硫酸钠和氯化钠为主,由于现有分盐工艺很难使硫酸钠和氯化钠达到一级工业品纯度要求,蒸发浓缩分盐产生的硫酸钠和氯化钠产品一般被界定为危废,成为固态二次污染物。因此,对于煤电和煤化工企业所产废水,如何提升废水蒸发浓缩技术水平,使所产盐类副产品能够物尽其用,是广大科研工作者和企业今后亟须解决的难题。建议国家有关部门加大研发资金投入,集中优势力量攻克煤电和煤化工所产浓盐水深度处理难题。同时,对于无法二次利用且被界定为危废的工业杂盐,建议当地政府统筹建设刚性危废填埋场,对上述工业杂盐进行填埋无害化处置。

2.3 生态保护与区域协调发展

生态保护和高质量发展相互依存、密不可分。黄河流域重要生态区和深度贫困区重叠面大,且以农村地区为主,一些地区对能矿资源短期效益的过度追求,阻碍了农村生态环境的正常恢复,也破坏了原有的农业生产系统。针对黄河中上游重要生态区、深度贫困区等自身发展能力严重缺失的地区,实施一批重大生态移民—城镇化建设工程,按照“迁得出、能进城、会致富、留得住”的思路,进一步推进重点生态功能区和深度贫困区生态建设,促进区域协调发展,从根本上解决长期存在的生态贫困和农民发展问题。

加快完善生态补偿政策。根据降水和水资源时空分布特点,调整农业种植结构,压缩冬小麦种植规模,扩大饲草种植面积,缓减春旱缺水难题,减少宁南、河套等引黄灌区灌溉面积。黄土高原大致以 500mm 多年平均年雨量线为界,以南扩展梯田、以北扩大淤地坝等旱作基本农田建设,进一步扩大坡耕地退耕还林还草的规模。退耕区、退牧区在确保退耕还林还草成果基础上,提出生态恢复保护国家补偿退出路径和机制。针对黄河下游洪水威胁重要河段和城镇岸段,巩固和提高岸

堤防洪标准。整治河道岸滩,依托黄河岸堤、沿岸保护利用水系、湿地、林地、草地等自然资源,建设黄河沿岸生态景观风貌带。结合山水林田湖草工程的实施,推进农村生态环境的综合治理。针对山西及陕北、渭北、宁东等能矿资源开采区,采取地面居民搬迁安置、地下爆破或回填等工程措施,分类分批解决能矿资源采空区历史遗留问题。管控城镇、工业园区、矿区生活生产空间污染物源头排放,提出农村污水集中式、分散式治理新模式,加强汾河、渭河等黄河支流水环境污染综合治理^[12]。

3 结论与展望

黄河流域生态环境本底脆弱,长期以来面临着水资源短缺、土地荒漠化、水土流失等诸多生态和水文水资源难题,也存在着发展整体滞后、区域差距大、产业低端等诸多经济社会发展问题。

在全球气候变暖和工业产业快速发展的宏观大背景下,黄河流域脆弱的生态环境本底已越来越难以支撑区域内长期以来以矿业、能源和重化工业粗放式开发为主的低端产业结构。尤其是在习近平总书记提出 2060 年实现碳中和的宏大战略目标后,进行产业结构低碳转型和产业升级、加强水资源保护和合理利用、调整农业农村发展模式、平衡区域发展差距已成为黄河流域产业结构调整的重要方向,也是实现黄河流域生态保护和高质量发展战略的必由之路。

展望未来,随着黄河流域生态保护和高质量发展战略的扎实推进,以及碳达峰和碳中和目标的有序实现,一幅山川秀美、万民安乐的新时代生态文明画卷将徐徐铺展开来,黄河流域的跨越发展也将会在产业结构合理调整和区域经济平衡发展的进程中得以实现。

参考文献:

- [1] 郑景云,文彦君,方修琦.过去 2000 年黄河中下游气候与土地覆被变化的若干特征[J].资源科学,2020,42(01):3-19.
- [2] 白露,孙园园,赵学涛,等.黄河流域水污染排放特征及污染集聚格局分析[J].环境科学研究,2020,33(12):2683-2694.

- [3] 金凤君,马丽,许堞.黄河流域产业发展对生态环境的胁迫诊断与优化路径识别[J].资源科学,2020,42(01):127-136.
- [4] 习近平.在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上的讲话[J].求是,2019(20):1-5.
- [5] 孟望生,邵芳琴.黄河流域环境规制和产业结构对绿色经济增长效率的影响[J].水资源保护,2020,36(06):24-30.
- [6] 彭苏萍,毕银丽.黄河流域煤矿区生态环境修复关键技术与战略思考[J].煤炭学报,2020,45(04):1211-1221.
- [7] 肖风劲,徐雨晴,黄大鹏,等.气候变化对黄河流域生态安全影响及适应对策[J].人民黄河,2021,43(01):10-14.
- [8] 叶培龙,张强,王莺,等.1980—2018年黄河上游气候变化及其对生态植被和径流量的影响[J].大气科学学报,2020,43(06):967-979.
- [9] 白露,孙园园,赵学涛,等.黄河流域水污染排放特征及污染集聚格局分析[J].环境科学研究,2020,33(12):2683-2694.
- [10] 张娜.浅谈黄河流域产业发展对生态环境的影响[J].上海商业,2020(07):35-37.
- [11] 钱大文,颜长珍,修丽娜.青藏高原木里矿区及其周边土地覆被变化及景观格局脆弱性响应[J].冰川冻土,2020,42(4):1334-1343.
- [12] 徐勇,王传盛.黄河流域生态保护和高质量发展:框架、路径与对策.中国科学院院刊,2020,35(07):875-883.

Impact and prospect of industrial structure on ecology and environment in the Yellow River Basin under carbon neutrality target

ZHANG Chunhui¹, WU Mengmeng², ZHANG Yizhen²

(1.China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China;

2.Zhongguancun Summit Enviro-Protection Co., Ltd., Beijing 100070, China)

Abstract: The ecology and environment of the Yellow River Basin is fragile. For a long time, it has been faced with many serious ecological and environmental problems, such as the shortage of water resources, land desertification, soil erosion and so on. The low-end industrial structure of the Yellow River Basin, which is based on extensive and predatory development of mining, energy and heavy chemical industries, consumes a lot of water resources, produces serious pollution and has a huge impact on the ecology and environment of the basin. Under the grand strategic goal of carbon neutrality, low-carbon transformation and industrial upgrading of industrial structure, strengthening the protection and rational utilization of water resources, adjusting agricultural and rural development mode, and balancing regional development gap have become the important direction of industrial structure adjustment in the Yellow River Basin, and the only way to realize ecological protection and high-quality development strategy in the Yellow River Basin.

Keywords: Yellow River Basin; ecology and environment; industrial structure; carbon neutralization