

【三农问题聚焦】

黄河流域“水-能源-粮食”相互作用关系及其优化路径^{*}

彭俊杰

摘要:水、能源和粮食作为维持社会稳定发展的生存资源,存在着相互关联、相互依存、相互制约的纽带关系,任意基于单一资源的战略都将会产生严重的不可预期的后果。当前,黄河流域“水-能源-粮食”协同发展面临着资源要素空间分布不匹配、水资源短缺、城市关联复杂、部门管理不协调等多重困境。推动黄河流域生态保护和高质量发展,需要在把握“水-能源-粮食”之间“传导—耦合—协同”的复杂关系和作用机制基础上,突出系统思维、刚性约束、安全韧性、全域统筹,构建多元主体共治格局,强化各参与主体利益与目标的匹配性、一致性和协调性,实现全流域粮食生产、能源开发与水资源调配的协同优化共赢。

关键词:水-能源-粮食;黄河流域;作用机制;优化路径

中图分类号:F062.2

文献标识码:A

文章编号:1003-0751(2021)08-0048-07

一、引言

黄河流域是我国重要的粮食生产核心区和重要的能源基地,水资源短缺已经成为制约能源和粮食发展的关键因素。在气候变化和人类活动的双重影响下,保障国家能源安全和粮食安全驱动黄河流域用水需求进一步增长,水资源先天不足、水生态系统脆弱、全流域水量均衡配置潜力有限、供需矛盾突出等问题进一步凸显。在黄河流域生态保护和高质量发展上升为重大国家战略的背景下,科学认知水、能源、粮食在经济发展、资源利用、空间分布和形成演化等方面的复杂关联和作用机制,分析当前黄河流域“水-能源-粮食”的相互作用关系,科学提出黄河流域粮食生产、能源开发与水资源调配的协同优化路径,对于全面贯彻落实习近平总书记重要讲话精神,共同抓好大保护,协同推进大治理,促进全流域高质量发展具有重要意义。

当前,国内在“水-能源-粮食”三者之间关系的理论研究中,主要围绕“水-能源”“水-粮食”和“能

源-粮食”的两两关联来展开。关于“水-能源”关系的研究,侧重于阐释“水-能源”的关联效应与空间分异。从部门层面上来看,能源消费和能耗水呈现部门差异性,水消费和水耗能呈现部门趋同性,产业结构高级化有助于降低区域整体的能耗和水耗。^①从全国层面上来看,能源资源丰度与水资源丰度呈现南北两极分化格局,二者重心移动方向相反,分布上的差异逐渐增加。^②关于“水-粮食”关系的研究,更多地关注以水资源利用为导向的粮食安全问题。研究表明,粮食主产区的粮食产量与农业用水量正相关,在其他影响因子不变的情况下,粮食主产区水资源投入每增加1%,粮食产量增加1.96%。^③而对于水资源禀赋较少的北方地区来说,对粮食灌溉水需求持续增加,加上水资源开发的有限,以及农业产业内外部用水的竞争,造成粮食灌溉水供给增加及保持稳定的困难进一步增加。^④关于“能源-粮食”关系的研究,主要围绕能源与粮食投入产出、能源与粮食相互转化来展开。不断增长的耕地、化肥、灌溉、资本和技术进步等粮食生产性要素投入造成

收稿日期:2021-05-20

^{*} 基金项目:国家社会科学基金青年项目“黄河流域‘水-能源-粮食’纽带系统互馈作用机制与协同优化研究”(20CGL033); 2020年度中原青年拔尖人才支持工程“黄河流域水-能源-粮食的系统演化与可持续发展研究”。

作者简介:彭俊杰,男,河南省社会科学院城市与环境研究所副研究员(郑州 450002)。

大量的生产性资源急剧消耗,不仅加剧了能源、资源等生产性要素的投入成本,还严重破坏了农业长期赖以生存和发展的资源支撑和环境基础。^⑤能源与粮食可以发生相互转化,能源-粮食的转化效率和利用水平总体上随着粮食作物播种面积比例、农村居民人均纯收入、农村人均用电量和农村能源财政投入的上升而上升。^⑥而把水、能源和粮食三者纳入同一框架内研究的较少,最早可追溯到2010年,直到2016年国内学者才开始提出水、能源和粮食的纽带关系。例如,李桂君等基于北京市“水-能源-粮食”可持续发展系统动力学模型构建与仿真,提出能源系统是现阶段提升北京水、能源和粮食纽带系统综合可持续发展能力的突破口,相比于单一资源政策,基于非资源系统的决策行为影响效果将更为深广。^⑦现阶段关于黄河流域“水-能源-粮食”的研究也主要集中于黄河流域“水-能源”关系、“水-粮食”关系和流域协同治理等方面。^⑧而对于“水-能源-粮食”三者之间的研究多侧重于从自然科学角度构建“水-能源-粮食”纽带系统的质量评价体系,运用耦合协调度模型对黄河流域“水-能源-粮食”系统的耦合协调关系进行定量评价和协同优化。

综上,笔者认为,“水-能源-粮食”系统具有的边界模糊性、动态性和开放性决定了系统研究的复杂性。黄河流域是集资源型缺水和季节性缺水并存的敏感区域,能源资源与粮食资源相互转化、相互支撑,能源开发、粮食生产加剧了黄河流域的水资源短缺,它们之间具备复杂的非线性响应特征。研究黄河流域需要同时强调水、能源和粮食三者之间的相互作用关系,并系统分析其与气候变化、人类活动、经济发展、资源管理的权衡取舍与潜在冲突,这些将成为未来黄河流域研究的重点和热点。

二、黄河流域“水-能源-粮食”的相互作用关系

习近平总书记在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上指出,要牢固树立“一盘棋”思想,更加注重保护和治理的系统性、整体性、协同性,共同抓好大保护,协同推进大治理,促进全流域高质量发展。这为研究黄河流域“水-能源-粮食”的相互作用关系指明了方向。黄河流域“水-能源-粮食”三者之间不是简单的两两关系,而是一个“传导—耦合—协同”的复杂关系。系统推进黄河流域生态保护和高质量发展,迫切需要弄清楚黄河流域“水-能

源-粮食”的相互作用关系,围绕黄河流域的地域特性和时间效度来阐释“水-能源-粮食”的复杂关联和动态特征。在这里,我们将黄河流域水、能源和粮食的相互作用关系理解为一种基于“过程论”的系统观点,即为实现黄河流域“水-能源-粮食”协同优化配置而链接市场、政府等不同利益相关者共同推动纽带系统抵御自然灾害能力、生态承载能力、综合生产能力、市场竞争能力、环境风险预警与防控能力的行动的一个过程,是水资源、能源资源和粮食资源的权衡取舍与潜在冲突的集中反映,集中体现在传导机制、耦合机制、协同机制三个方面。

1. 传导机制

水、能源和粮食作为黄河流域的资源产品属性,其中,水资源是核心要素,能源资源是动力支撑,粮食资源是基本保障,三者在生产、消费、转化过程中相互交织、相互依赖、相互传导。在生产端,粮食生产从农作物生长、成熟,收获到食品加工需要消耗大量水资源,能源生产特别是煤炭、石油等矿产资源的开采、加工、冷却等也是以水资源的消耗为基本前提的;粮食既可以为保障黄河流域经济社会发展提供基础物质资料,又为能源生产提供生物质原材料。在消费端,水和粮食是能源的消费者,水的生产、输配以及污水处理、再生利用(例如外调水、地下水采补、原水提取及输送等)需要消耗大量的能源资源,粮食的生产特别是粮食的加工、储存、流通等环节也需要消耗大量的能源。在转化端,气候变化使得水、能源、粮食的纽带关系变得更加紧密,并且加剧了黄河流域“水-能源-粮食”系统安全的脆弱性。气候变化已经影响到了大气降水的时空分布,引发洪水、干旱等极端天气频繁发生。这些变化将影响可利用水资源量,并直接或间接地影响粮食生产、能源生产和电力供应。

2. 耦合机制

黄河流域“水-能源-粮食”的耦合机制可以从系统安全、资源权衡、功能适应、学科交融四个层面来阐释。在系统安全方面,黄河流域“水-能源-粮食”的协同是一种高效获得水、能源、粮食资源的新型治理模式,并且这种协同不能以牺牲子系统的发展为代价来换取其他系统的发展,能够确保水、能源和粮食的供给安全和供需适配。在资源权衡方面,强调要在资源管理中纳入与资源利用相关的利益相关者,推动系统在有限资源下持续保持其功能的能

力,更多地体现在公平获取水资源、能源资源和粮食资源的权利和途径,以实现黄河流域反贫困和可持续发展的目标。在功能适应方面,强调黄河流域“水-能源-粮食”协同能够实现从取水、用水、治水到节水全过程的生命周期管理,推动形成以水资源节约集约利用为核心的“水-能源-粮食”调适路径。在学科交融方面,加快建立集环境科学、土木工程、安全管理、经济社会等多学科群体共同研究水、能源、粮食之间的协同、平衡管理以及与自然环境、政治变迁等外部联系的模式,推动黄河流域研究从“树”状线性研究模式向“网”状多学科交叉研究模式转变。

3. 协同机制

哈肯认为,协同就是系统中诸多子系统相互协调的、合作的或同步的联合作用、集体行为,是系统

整体性、相关性的内在表现。黄河流域“水-能源-粮食”的协同机制主要体现在耦合协调和管理协同两个方面。在耦合协调方面,水资源、能源资源和粮食资源是共同支撑黄河流域健康发展的“慢变量”,三者之间的演化需要先后经历“失调衰退—勉强协调—耦合协调”三个发展阶段,最终实现水、能源和粮食利用效率最大化以及能源资源生态环境容量最大化,进而推动实现黄河流域可持续发展。在管理协同方面,通过建立政府机构、流域组织、企业、研究性机构、非政府组织、农民等不同主体利益相关者的沟通对话、信息共享、生态补偿等机制,打破行政区划界限,制定实施更有针对性的区域政策和绩效考核评价体系,着力增强黄河流域“水-能源-粮食”的系统韧性,进而实现帕累托最优状态。

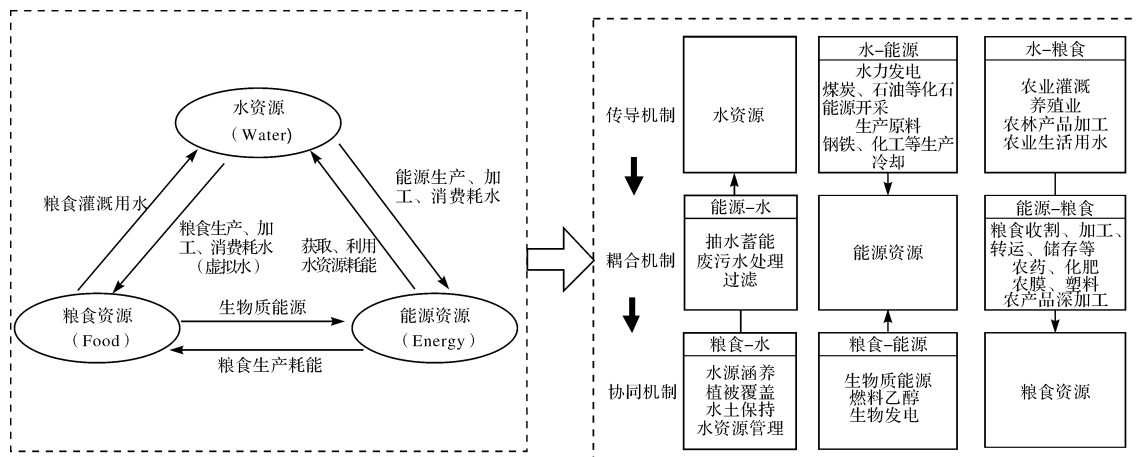


图 1 黄河流域“水-能源-粮食”相互作用关系

三、黄河流域“水-能源-粮食”相互作用关系的现状及存在问题

黄河流域是我国重要的水资源分布区、能源富集区和粮食生产核心区,在我国经济社会发展和生态安全方面居于重要地位。但是,就目前情况来看,黄河流域水、能源、粮食分属于不同部门,水、能源和粮食时空分布不均衡、不匹配,加上传统的政府“单资源”管理模式,极大地阻碍了“水-能源-粮食”资源流动和转化效率,加剧了黄河流域优势资源供需不平衡、不充分的矛盾,从而对黄河流域生态保护和高质量发展战略实施带来了更大挑战。

1. 黄河流域“水-能源-粮食”相互作用关系的现状

在水资源方面,黄河流域是我国重要的水资源

分布区。2019 年黄河流域水资源总量达到 5142 亿立方米,占全国水资源总量的 17.7%;黄河流域也是我国用水量相对集中的区域,2019 年黄河流域用水量达到 1281.1 亿立方米,占全国用水总量的 21.3%。从用水结构来看,农业用水比重最大,占全流域用水总量的 63.9%;其次是生活用水,占全流域用水总量的 15.0%。从人均水资源拥有量和人均用水量来看,除青海省和四川省以外,其余省份人均水资源占有量均低于全国平均水平,河南省、山东省不足全国平均水平的 1/10,人均用水量不足全国平均水平的 1/5,属于严重资源型缺水地区。

在能源资源方面,黄河流域是我国重要的能源富集区,也是典型的“能源流域”。2019 年能源生产总量达到 248173.7 万吨,能源消费总量达到 154451.0 万吨,分别占全国的 62.51% 和 31.78%。

并且,煤炭消费占比最高,达到 57.85%,平均能源自给率为 1.73,是全国的 2 倍多;从人均能源消费来看,黄河流域人均能源消费达到 5.07 吨,高于全国平均水平 1.6 吨;从能源消耗强度和能源消费系数来看,万元 GDP 能耗达到 0.95,约是全国的 2 倍;能源消费系数达到 0.69,高于全国平均水平,能源驱动经济增长的现象十分明显。

在粮食资源方面,黄河流域是我国重要的粮食生产核心区,2019 年粮食总产量达到 23438.4 万吨,占全国粮食总产量的 35.3%;农作物播种面积达到 5738.2 万公顷,占全国的 49.4%。人均粮食产量达到 537 千克,也高于全国平均水平。从粮食生产产生的能源、资源消耗来看,2019 年黄河流域农业机械总动力和农用化肥施用量分别达到 36725 万千瓦和 1963.8 万吨,分别占全国的 35.74% 和 36.34%。由于历史、自然条件等原因,黄河流域城乡收入不平衡现象相对明显,城乡收入倍差高于全国平均水平。

从黄河流域水资源、能源资源、粮食资源的发展现状来看,其正处于从相对独立、相互支撑向协调共生方向演变,是中水平耦合协调发展阶段,“水-能源-粮食”三者之间的关联效应和作用机制还没有得到充分发挥。因此,需要加快构建更加有效的资源配置机制和协同治理机制,促进黄河流域“水-能源-粮食”内部相互关联、外部协同响应,进而带动整个复合系统进入良性循环与和谐共生,达到整体高水平协调的效果。

2. 黄河流域“水-能源-粮食”相互作用关系存在的问题

第一,水、能源、粮食资源要素空间分布不匹配。一是水资源布局与能源、粮食分布不匹配。水资源总量分布呈现“上游—中游—下游”逐级递减态势,但是能源生产总量呈现“中游—上游—下游”、粮食产量呈现“下游—上游—中游”递减格局。例如,位于黄河中下游的河南省,2019 年粮食总产量占全国的 10.09%,能源生产总量只占全国的 2.6%,水资源总量仅占全国的 0.58%。二是水资源需求与能源、粮食分布不匹配。以工业用水为例,上游水资源丰富,工业用水总量为 68.4 亿立方米,能源消费量为 61479 万吨标煤;下游水资源短缺,工业用水总量高达 77.1 亿立方米,能源消费量高达 62020 万吨标煤。三是水资源利用与能源、粮食分布不匹配。万元 GDP 水耗总体上呈现“上游—中游—下游”逐级

更优的方向分布,这与水资源总量、能源生产和粮食生产总量空间分布不匹配。例如,黄河流域上游万元 GDP 水耗高达 4482.2 立方米,中游为 803 立方米,下游只有 174 立方米。

第二,水资源短缺与保障能源安全、粮食安全、生态安全之间的矛盾突出。一是水资源短缺与保障能源安全的矛盾突出。新中国成立以来,依托丰富的煤炭、电力、石油和天然气等能源资源及有色金属矿产资源,黄河流域形成了一批国家级能源和重化工基地、钢铁生产基地、机械制造和冶金工业基地。而且,这些能源重化工业多集中于中上游区域,该区域集水面积占全流域的 47.6%,水资源量仅占全流域的 24.6%,人均水资源量不足黄河流域人均水资源量的 1/2,亩均水资源量不足流域亩均水资源量的 1/3。随着经济社会发展对能源需求的不断增加,水资源短缺已成为黄河流域能源产业发展的主要限制因素。二是水资源短缺与保障粮食安全的矛盾突出。2003—2019 年,黄河流域平均农业用水量基本保持在 805 亿—860 亿立方米。据此测算,在其他粮食生产基础条件不变的前提下,按照 2019 年黄河流域的农业用水效率和农业供水强度,到 2030 年黄河流域农业缺水量将达到 127.1 亿—409.4 亿立方米。三是水资源短缺与保障生态安全的矛盾突出。黄河流域不仅承担着保障国家能源安全和粮食安全的重要使命,同时也是国家生态安全的重要屏障。2019 年,黄河流域生态用水达到 96.8 亿立方米,占全国生态用水总量的 38.8%。随着工农业用水的进一步增加,受用水总量的刚性约束,其不仅对居民安全饮水造成严重威胁,还将进一步挤占地下生态用水和河道补水并引发次生生态问题。例如,由于受到工农业用水的挤占,沿黄分布的银川、咸阳、太原、安阳、濮阳等城市已形成地下水漏斗区。其中河南境内的武陟—温县—孟州地下水漏斗区、安阳—鹤壁—濮阳地下水漏斗区的面积还在继续扩大。

第三,黄河流域城市“水-能源-粮食”之间利益冲突更加复杂。水、能源和粮食是城市生态系统的重要消耗品,是保障城市健康可持续发展的生命线。对于黄河流域而言,人类活动集中分布在国家中心城市、城市群和都市圈等重要区域内,是水、能源、粮食等资源消费的主阵地。“水-能源-粮食”的供需平衡、协同管理与城市可持续发展的利益冲突在城

市生态系统中表现得更加激烈和复杂,主要体现在以下三个方面:一是人口流动与能源、资源分布不同步。改革开放以来,产业和就业人口不断向黄河中下游城市群、都市圈以及国家中心城市集中,市场消费地、粮食主产地与资源富集区空间错位,造成能源资源的长距离调运和产品、劳动力大规模跨地区流动,经济运行成本、社会稳定和生态环境风险加大。部分城市承载能力减弱,水土资源和能源不足,环境污染等问题凸显。二是城市水、能源、粮食空间结构不均衡。2019 年黄河流域城镇化率为 57.19%,低于全国 3.41 个百分点,城镇化发展潜力较大。随着城镇化的快速推进,大规模的能源矿产资源开发,城乡建设用地不断扩张,城市供水资源约束趋紧,农业和生态用地空间受到挤压,优质耕地分布、水资源短缺与城镇化发达地区高度重叠,耕地保护压力持续增大,城市发展引发“能-粮争地、能-粮争水”现象。三是能源资源枯竭与城市收缩并存。目前黄河流域分布着全国超过 50% 的资源型城市和老工业城市,其中被列入全国资源枯竭城市名单的就有 17 个,占全国比重达到 1/4。特别是在我国经济由高速增长向高质量发展的转变过程中,经济增速呈现整体性放缓、资源型城市面临资源枯竭、产业衰退的负向效应日益凸显,经济和人口的“局部收缩”将成为黄河流域经济社会发展的新特征、新趋势。城市收缩通过降低技术创新能力和城市紧凑度来降低“水-能源-粮食”的利用效率,城市收缩面临人口流失、“水-能源-粮食”利用效率下降的双重压力。

第四,水、能源、粮食资源要素部门管理不协调。黄河流域在水、能源、粮食等各方面体现出来的问题,根本上还是思想认识问题、机制问题和政策法规问题,迫切需要从部门管理协同的角度出发,以改革破解体制机制瓶颈制约。在思想认识方面,由于水、能源、粮食分属于不同的研究领域,在同一框架内对三种资源的交互关系与反馈机制还没有阐释清楚。以往关于黄河流域的研究,人们更多关注粮食安全视角下的流域水效率、流域水管理机制、流域水生态文明,流域产业发展对生态环境本底、大气环境、水资源与水环境、生态功能的胁迫响应,以及能源综合效率的时空演变与驱动因素等“水-能源”“水-粮食”的单一方面,没有从系统性、复杂性、协同性思维对黄河流域“水-能源-粮食”的协同治理问题进行统筹考虑。在发展机制方面,管理体制不健全。

由于水、能源、粮食分属于不同的管理部门,目前跨部门、跨地域管理和全社会参与的多目标协同治理体制机制尚不健全,在黄河流域资源管理中普遍存在着碎片化管理、多头管理、政府单一主体管理等问题,各个部门往往各自为政、各自施策,缺失顶层设计的统筹规划。三是在政策法规方面,从中央到地方层面涉及水、能源和粮食的政策较多,这些政策存在目标因果关系不明确、论证不充分、上下级目标衔接不畅等问题。例如,当前黄河流域用水分配权转换的政策实施过程中没有前瞻性考虑经济社会发展、能源需求、粮食生产需要以及后续生态环境影响等因素,造成目前大量用水指标闲置的现象。农业用水补贴存在不合理现象,部分地区甚至因过度补贴成为零费用用水,与农业节水推广目标相冲突。尤其是综合性立法缺乏,既难以对各区域、领域和利益相关方进行有效协调,也缺乏必要的问责、监督、激励和惩处机制。

四、黄河流域“水-能源-粮食”的协同优化路径

深入实施黄河流域生态保护和高质量发展战略,需要突出系统思维、刚性约束、安全韧性、全域统筹,重新审视“水-能源-粮食”的复杂关联、作用机制和突出问题,加快构建多元主体共治格局,实现全流域粮食生产、能源开发与水资源调配协同优化共赢,为推进以水定城、以水定地、以水定人、以水定产提供决策参考。

1. 突出系统思维,加快建立黄河流域“水-能源-粮食”纽带关系的认知机制

基于“水-能源-粮食”自身的系统性、复杂性和协同性,推动黄河流域生态保护和高质量发展,实现黄河流域“水-能源-粮食”的耦合协调要坚持系统性思维,充分发挥系统作为整体的功能优势,形成水、能源和粮食各个要素间协同配合的内部关系,构建协同发力的组织结构。一是科学把握黄河流域“水-能源-粮食”的纽带关系。在 2011 年波恩会议上,科学家们首次提出了开展“水-能源-粮食”纽带系统的研究范式,并提出水、能源和粮食三种资源无论在生产、消费还是管理过程中都存在复杂的非线性关系,强调三者作为一个系统整体,呈现多中心发展过程,通过三种资源的整体研究有助于提高可持续发展决策的有效性。黄河流域是“水-能源-粮食”矛盾突出且集中的典型区域,水资源约束导致

流域能源安全脆弱性、生态环境脆弱性、粮食生产脆弱性的风险增加,要科学认知黄河流域“水-能源-粮食”纽带关系的作用机制,建立以纽带安全为目标的协同治理机制,推动上下游、左右岸、干支流的协同安全。二是科学把握黄河流域“水-能源-粮食”的整体认知。实现黄河流域“水-能源-粮食”协同安全不仅是一个技术层面上的问题,而且是一个涉及纵向传导、横向联结、跨部门协调的复杂系统的经济问题,意味着在产业结构、能源结构、粮食生产与消费结构以及政策、管理等方面全方位的变革,彰显黄河流域经济社会发展的统一性、全局性、全面性。实现黄河流域“水-能源-粮食”纽带系统协同安全,就需要全面掌握黄河流域生产性行业、消费型行业“水-能源-粮食”的作用关系,积极引导它们通过技术变革和生产生活消费方式变革来推进整个系统内部层层传递叠加产生乘数效应,从更深层次、更高水平上统筹实现“水-能源-粮食”系统的经济价值、社会价值和生态价值。

2. 突出刚性约束,加快建立以水资源节约集约利用为核心的黄河流域高质量发展机制

黄河流域“水-能源-粮食”协调不优的最主要问题是水资源分布不均衡与水资源短缺并存,这同时也是制约黄河流域高质量发展的最大刚性约束。要加快建立水资源刚性约束制度,严格用水总量控制,统筹生活用水、生产用水、生态用水,推进农业、工业、城镇等领域节水。一是严格用水总量控制。科学框定水资源利用总量,严格实行区域流域用水总量和强度控制,健全覆盖流域和省、市、县三级行政区域用水总量、用水强度控制指标体系,探索实施水资源超载地区的用水总量削减计划。二是推进“三生”用水结构优化。稳定增加生活用水供给,适应人民生活水平提高和新型城镇化快速发展的必然趋势,不断满足城乡居民生活用水需求的增长。大幅降低生产用水特别是农业用水比重,建立覆盖主要粮食作物、能源产品和生活服务业的先进用水定额体系,为生活用水和生态用水腾挪出用水空间。合理扩大生态用水,通过调水引流、生态调度等措施,保障重要河湖湿地及河口生态需水、枯水期生态基流。三是实施农业、工业、城镇等领域深度节水控水行动。加强农业节水增效,结合高标准农田建设,加快耐旱农作物新品种的选育、推广,优化调整作物种植结构,积极发展智慧灌溉系统,建设一批特色农

业规模化节水灌溉增效示范区。推进工业节水减排,鼓励能源资源密集型产业和企业应用高效冷却、洗涤、循环用水、废污水再生利用、高耗水生产工艺替代等节水工艺和技术,促进企业间串联用水、分质用水,一水多用、循环利用和梯级利用。推进城镇节水降损,严格落实国家节水行动,以节水型城市建设为引领,重点推进海绵城市建设、供水管网改造、公共领域节水等,构建城镇高效用水系统。

3. 突出安全韧性,加快建立黄河流域中心城市、都市圈、城市群“水-能源-粮食”的关联机制

城市作为黄河流域重要的人类住所,具有高度的社会异质性、流动性、复杂性、开放性、集聚性等特征,决定着其比一般区域面临着更严峻的风险挑战和安全压力。树立安全韧性理念,加快建立黄河流域中心城市、城市群、都市圈“水-能源-粮食”的关联机制,有助于提高城市应对各种安全风险的抵御力、适应力、恢复力。一是提高城市基础设施的安全韧性程度。城市快速发展所需要的“水-能源-粮食”资源,其生产过程大多发生在城市之外的其他区域,依靠城市基础设施的互联互通来与城市内部、都市圈、城市群发生交互联系。要加强城市绿色基础设施建设,实施对城市供排水、废污水处理、中水回收利用、供气系统、通信系统和电力系统等存量生命线工程系统的补短板强弱项行动,建立“水-能源-粮食”资源流动通道,增强城市“水-能源-粮食”的供给弹性,大幅提升城市“水-能源-粮食”资源的可达性和可获得性。二是提高城市绿色低碳水平。围绕碳达峰、碳中和“双碳目标”,以控制温室气体排放、实现城市资源高效利用为目标,以调整产业结构、优化能源结构、提高能源利用效率、增强碳汇能力为重点,全面推行清洁生产,提高低碳能源比重,积极推广绿色建筑和城市“屋顶绿化”。以黄河流域中心城市、都市圈、城市群“水-能源-粮食”的耦合协调推动城镇发展集约化、产业结构高端化、资源利用高效化、污染排放减量化、生产生活方式绿色化,实现温室气体减少排放、经济社会发展与生态环境保护双赢。三是提高城市智慧应用水平。随着实时成像、智能传感、万物互联等先进技术广泛应用,相比较建立模型而言,利用实测数据更能真实揭示城市“水-能源-粮食”演化的时空规律。加快构建“城市大脑、运算中心”,更好发挥对城市部件、事件的动态感知、监测和预警功能,运用数据挖掘、人工

智能、系统动力学等方式建立从源头到城市中心的水、能源、粮食的流动机制、交换机制以及城市居民行为响应机制,对城市运行状态的全周期、全时段、全生命过程的健康进行安全体检,为城市可持续发展决策提供强有力的信息支撑。

4. 突出全域统筹,加快建立上下游、干支流、左右岸跨区域、跨部门协调发展机制

实现黄河流域“水-能源-粮食”高水平耦合协调是一项涉及多领域、多部门、多行动主体、多利益相关者的全方位集体合作和全周期管理行动,更是对市场一体化、区域合作、利益补偿和政策调控等领域的系统性改革创新。在推动市场一体化方面,建立健全用水权、排污权、碳排放权、用能权初始分配与交易制度,选择“水-能源-粮食”耦合协调度高的地区建设区域性用水权、排污权、碳排放权等交易市场,促进要素资源流动和优化配置。在区域合作方面,深化沿黄省份在规划衔接、跨省重大基础设施建设、水资源集约节约利用、生态环境联防联控、能源利用结构布局调整等方面合作,打破部门、地域壁垒,探索建立跨部门、跨流域统一规划、统一管理、合作共建、利益共享的合作新机制。在利益补偿方面,以持续改善流域生态环境质量和推进水资源节约集约利用为核心,鼓励供水区与受水区、生态受益区与生态保护区、资源输出地与输入地、下游地区与上游地区通过资金补偿、水生态产品价值实现、粮食产销合作、产业转移、共建能源示范基地等方式建立横向

生态补偿机制。在政策调控方面,积极探索差异化的“水-能源-粮食”耦合协调区域政策。针对水-能源-粮食耦合协调度较低的地区,综合运用财政、产业、土地、环保、人才等精准性政策,加快农业节水增效和工业节能降耗并举,提升制造业、现代农业发展水平,以此来不断缩小“水-能源-粮食”耦合协调度的空间差异,提高空间集聚程度。

注释

- ①张俊、林卿、王江泉:《省域经济系统能源与水关联及协同发展研究——基于投入产出和生态网络分析的福建省实证》,《北京航空航天大学学报》(社会科学版)2020年第6期。②关伟、赵湘宁、邹薪韵:《中国能源-水资源的空间格局与重心演变》,《辽宁师范大学学报》(自然科学版)2020年第1期。③罗海平、黄晓玲:《我国粮食主产区粮食生产中的水资源利用及影响研究》,《农业经济》2020年第2期。④杨鑫、穆月英:《中国粮食生产与水资源的时空匹配格局》,《华南农业大学学报》(社会科学版)2019年第4期。⑤彭俊杰:《产业链视角下我国粮食安全战略再认识》,《中州学刊》2017年第4期。⑥王明新、叶倩、王迪:《中国秸秆优质化能源开发利用特征及影响因素》,《资源科学》2019年第10期。⑦李桂君、黄道涵、李玉龙:《水-能源-粮食关联关系:区域可持续发展研究的新视角》,《中央财经大学学报》2016年第12期。⑧赵康杰、刘星辰:《黄河流域水-能源复合生态效率评价及影响因素研究——兼与长江经济带的比较》,《煤炭经济研究》2020年第8期;赵银亮、宋华力、毛艳艳:《黄河流域粮食安全及水资源保障对策研究》,《人民黄河》2011年第11期;黄燕芬、张志开、杨宜勇:《协同治理视域下黄河流域生态保护和高质量发展——欧洲莱茵河流域治理的经验和启示》,《中州学刊》2020年第2期。

责任编辑:澍文

"Water-Energy-Food" Interaction Relationship and Its Optimization Path in the Yellow River Basin

Peng junjie

Abstract: Water, energy and food, as the survival resources to maintain the social stability and development, are interrelated, interdependent, and mutual restrictive. Any strategy based on a single resource will have serious unpredictable consequences. At present, the coordinated development of "water, energy and food" in the Yellow River Basin is facing multiple difficulties, such as mismatched spatial distribution of resource elements, shortage of water resources, complex urban linkages, and uncoordinated departmental management. To promote the ecological conservation and high-quality development of the Yellow River Basin, it is necessary to explore the complex relationship and mechanism of "conduction coupling coordination" between "water-energy-food", highlight systematic thinking, rigid constraints, security toughness and overall planning, build a pattern of multi-subject co-governance, and strengthen the matching, consistency and coordination of the interests and objectives of all participants, so as to realize the coordinated optimization and win-win of grain production, energy development and water resources allocation in the whole basin.

Key words: water-energy-food; the Yellow River Basin; mechanism of action; optimization path