

极端天气下特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险研究

张长征^{1,2,3}, 沈 婷^{1,2}, 徐慎晖⁴, 于 杰^{1,2}

(1. 河海大学商学院, 江苏 南京 211100; 2. 河海大学产业经济研究所, 江苏 南京 211100;
3. “世界水谷”与水生态文明协同创新中心, 江苏 南京 211100;
4. 中国长城资产管理股份有限公司江苏省分公司, 江苏 南京 210001)

摘要:以国内外特大型城市的极端天气事件和“水资源-能源-粮食”纽带关系的理论与实践为指导,分析极端天气下特大型城市外部水资源、能源、粮食压力突出问题,得出极端天气下特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险具有复杂性、安全系统具有脆弱性的特征;极端天气短期内激发了特大型城市资源需求,加剧了资源供应中断的风险,从而影响特大型城市资源安全。指出应通过“硬件”治理(韧性基础设施建设)和“软件”治理(“点-线-面”多主体协同治理)两个方面的安全风险韧性治理路径,应对当前极端天气下特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险治理的挑战。

关键词:极端天气;特大型城市;“水资源-能源-粮食”;安全风险;韧性治理

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-9511(2023)01-0055-07

水资源、能源、粮食是维系人类生存发展的基础战略资源和最重要的消耗品^[1],淡水资源匮乏、化石能源枯竭以及粮食危机等全球性问题日益成为制约现代社会发展的“短板”。近 10 年来,极端天气灾害发生的频率和严重性明显增加,极端天气会对全球水资源造成巨大威胁,同时也会对粮食生产、能源供应造成显著影响,水资源、能源、粮食的安全问题应将极端天气因素考虑在内。特大型城市人口、产业、居住及配套服务设施、交通基础设施高度密集,是全球资源要素汇聚与消费的中心,也是人类水资源、能源、粮食大循环结构中的重要节点,其水资源、能源、粮食“消费在内、供给在外”的“外包”特征明显,极易遭遇高度饱和资源的挑战^[2]。特大型城市在自然、社会 and 人为因素复杂交互扰动下,成为一个规模庞大的承灾体,更容易遭受高温热浪、强降水、雾霾等极端天气的冲击。常态下,多样的资源来源渠道、成熟的运输与贸易网络保障特大型城市资源的供给,一旦极端天气发生,便会造成资源运输通道受阻、居民恐慌性抢购粮食等问题,引发蝴蝶效应,带来巨大的损失。因此,需关注极端天气对特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险的冲击。

本文依据“水资源-能源-粮食”纽带关系,界定极端天气下特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险内涵并分析其特征;结合极端天气变化规律,分析极端天气对特大型城市水资源、能源、粮食的影响;从韧性视角出发,提出了极端天气下特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险治理路径。

1 极端天气下特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险的内涵及特征

本文的研究对象是极端天气下特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险,在对其内涵及特征进行界定之前,有必要先厘清特大型城市以及极端天气的内涵。通常将城区常住人口在 500 万~1 000 万人之间的城市称为特大城市,在 1 000 万人以上的称为超大城市,截至 2020 年底,我国共有 7 座超大城市,14 座特大城市(本文所指特大型城市包括超大城市和特大城市)。21 座特大型城市的建成区面积占全国国土面积的 0.18%,人口占全国人口的 14.4%,GDP 总额占全国的 32.9%。特大型城市是现代经济活动的主阵地,是区域人口、产业和资源的聚集地和发展的“火车头”,是国家发展的动力之源,其水资源、能源、

基金项目:国家社会科学基金重大项目(19ZDA084)
作者简介:张长征(1984—),男,副教授,博士,主要从事水经济与金融、“水资源-能源-粮食”纽带关系研究。E-mail: hhu2007@126.com
通信作者:沈婷(1997—),女,硕士研究生,主要从事“水资源-能源-粮食”纽带关系研究。E-mail: 1264467354@qq.com

粮食的安全问题是国家安全战略的重要组成部分。极端天气是指一定时间空间内发生的小概率气象事件,其本质是天气的状态严重偏离其平均态,具有不确定性高、破坏性大等特点。极端天气灾害反映了人类面对全球气候变化的严峻挑战,以及城市人口集中压力带来的资源供应链脆弱性的风险。

1.1 “水资源-能源-粮食”的纽带关系

水资源、能源、粮食相互依存,任一资源的变化将会导致其他两种资源实质性的变化。水资源是粮食生产的基础,粮食生产对区域水资源产生影响。能源开采、生产、输送、使用等过程需要在水的清洗、冷却、传导等作用下完成,水资源的提取、净化加工、配给调度、使用回收处理等过程中也需要消耗能源。粮食生产和输送需要消耗能源,粮食的生物质能可以转化为能源。基于水资源、能源、粮食之间相互依存的关联关系,传统的单向研究和单资源纵向管理模式已经不能满足水资源、能源、粮食发展的需要。从纽带关系的角度开展水资源、能源、粮食系统性与综合性的集成研究,才能深刻了解单一资源问题形成的原因和趋势以及问题解决的方向,目前国际上针对三者之间的纽带关系已形成共识。

关于“水资源-能源-粮食”纽带关系具体内涵,目前尚未形成明确统一的定义,2009年,国际原子能机构提出了CLEW分析框架,首次将气候、土地、能源和水资源纳入一个系统,构建了系统结构网络进行综合分析。2011年,波恩会议将水资源安全、能源安全和粮食安全三者的联系概括成“水资源-能源-粮食”纽带关系(water-energy-food nexus),即复杂的关联关系,可以利用这种纽带关系帮助人类解决全球资源挑战,获得社会、环境和经济效益。斯德哥尔摩国际环境研究院提出将气候变化等因素纳入考量,拓宽了纽带关系的研究内涵。气候变化、快速的城市化进程等外部因素均会对纽带关系产生影响,应从经济和环境目标衡量水资源、能源、粮食之间的关联关系^[3]。“水资源-能源-粮食”纽带关系可以理解为水资源、能源和粮食三者之间复杂的、非线性的相互作用关系,及其作为一个整体与外部社会、自然环境之间的互馈关联关系。特大型城市与城市外部地区之间存在水资源、能源、粮食的贸易与交换,而这种贸易与交换建立在资源流通的基础之上,在极端天气冲击下资源流通中断的风险增加,影响特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险,应将极端天气这一要素与特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险联系在一起^[4]。

1.2 “水资源-能源-粮食”安全风险的内涵及特征

水资源、能源、粮食在生产、消耗与管理过程中相互影响、相互制约,形成一个复杂系统。“水资源-

能源-粮食”安全风险是指在一定的时空条件下,以纽带关系为基础,由系统内外部不确定因素导致的资源不安全状态。“水资源-能源-粮食”安全风险特征由纽带关系及其内外部因素共同决定,包括:

a. 风险的传导性。一方面,水资源、能源、粮食间存在关联传导机制,往往某一资源变化将对其他资源的使用产生影响,由一个突发事件累积成一系列具有潜在连锁反应的关联性风险,且这种风险会不断积累,最终演变成“水资源-能源-粮食”系统风险。例如,水资源要素的变化会对能源、农业部门生产活动产生影响^[5],水资源短缺将进一步影响城市能源、粮食体系的供给弹性,加剧了水坝建设的需求,产生了电力生产和农业生产之间的用水竞争^[6]。另一方面,“水资源-能源-粮食”系统安全取决于与周围环境互动的结果,外部环境要素的风险会通过自然环境系统和人类社会系统对“水资源-能源-粮食”系统进行动态反馈和调控。

b. 风险源的多维性。“水资源-能源-粮食”安全风险的来源是多维的。从社会经济角度而言,疫情、城镇化等因素影响资源的供应方式、使用效率以及回收利用手段,如新冠疫情下封城、停运、停工、停产等疫情防控措施导致城市资源流转受挫;从自然环境角度而言,极端天气影响水资源的总量以及粮食和能源的生产运输效率^[7],资源供应商、销售商以及消费者等不同主体之间形成网链组织,资源在供应、加工生产、流通销售等不同环节存在极端天气的潜在危害,如2021年的山西省域洪涝灾害中,一度出现城乡应急资源供应不及时的问题。

特大型城市体量大、人口结构复杂、人员流动性高、经济活动频繁、资源需求量大,导致城市资源紧张,系统内部资源无法满足城市发展的需求。城市水资源主要依靠跨区域调配,能源、粮食生产过程大多发生在城市之外地区。特大型城市资源生产与消费相分离、资源需求与供给矛盾相伴随,其“水资源-能源-粮食”安全建立在资源流通体系中的复杂耦合系统之上,对供应链的依赖程度较高。而供应链容易受极端天气冲击产生流通壁垒,“堵链”“抢链”风险也因此增加。特大型城市“水资源-能源-粮食”是一个复杂的巨系统,参与主体多,子系统间联系复杂,面临的影响因素众多,使得特大型城市资源安全容易受外部极端天气冲击而引发系统失稳、风险传染和扩散,其安全风险既包括系统内部与系统间关联引发的风险,也包括系统外部极端天气等因素冲击引发的风险,是一个综合、集成的概念。极端天气下特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险具有如下特征:

a. 安全风险的复杂性。各子系统之间本身的

联系复杂,一种灾害的发生往往带来几种灾害的潜在风险。资源贸易流通及消耗过程中单资源决策通常会引起“次最优”问题的产生,导致系统内物质、能量及信息交互失衡^[8]。极端天气下特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险涉及对象既包括极端天气事件、资源消费中心、资源基地,也包括“水资源-能源-粮食”纽带关系流,以及“中心城市-外围城市-城市外地区”资源流。极端天气下特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险更为复杂以及演化的冲突更为激烈和棘手。

b. 安全系统的脆弱性。一方面是系统内部的脆弱性。特大型城市水资源、能源、粮食依赖外部供给,生态弹性空间小,资源微循环结构管理难度高,一旦外部资源供给不足,一种资源的过度消耗往往会造成城市内部资源短缺^[9]。另一方面是极端天气与特大型城市“水资源-能源-粮食”系统内部的复杂互动关系。极端天气阻碍资源的运输渠道,中断资源的日常供给,影响城市正常的运行。极端天气下的特大型城市,瞬间会出现交通全部瘫痪停运、通信中断、全线停水停电、超市抢购一空等安全问题。特大型城市“水资源-能源-粮食”安全极为脆弱,经不起一场雨水、一场停电、一场菜价波动。

2 极端天气对特大型城市“水资源-能源-粮食”安全的影响

极端天气正成为全球面临的一个日益普遍的挑战,其潜在影响包括洪水、干旱、公共卫生、水质和水的可用性、粮食供应、生物多样性和旅游业的变化等。

《2022 年全球风险报告》指出,当前及未来 10 年内全球范围内面临最严重的十大风险依次为:气候应对变化行动失败、极端天气事件、生物多样性丧失、社会凝聚力削弱、陷入生存危机人群的增加、传染病、人类环境破坏、自然资源短缺、债务危机和地缘经济对抗,其中天气因素风险居前列,并对全球水资源、能源、粮食发展提出了新挑战^[10]。当前全球地表较工业化前平均升温约 1℃^[11],到 2100 年,现行政策下全球气温约升高 2.4℃,高于《巴黎气候协定》目标的 1.5℃。20 世纪以来全球洪水发生的频率及造成的经济损失都呈上升趋势(表 1)。IPCC 第六次评估报告评估了极端温度变化、极端降水与洪涝事件、臭氧与污染天气 3 个方面城市极端天气变化:在全球变暖背景下,全世界绝大部分地区极端高温日数和高温热浪事件显著增加,城市地区由于受到全球气候变化和“城市化”效应的双重影响,极端高温和热浪事件发生更为频繁;在气候变化的背景下,城市区域更容易遭受洪水灾害,沿海城市受到

热带气旋引起的风暴潮和极端强降水等共同影响,更容易引发海平面上升,造成洪水灾害^[12];气候变暖容易导致污染地区地表臭氧含量增加,加上城市建筑物的遮挡作用,使得污染天气增加。

表 1 1990—2019 全球洪水灾害历史年均损失与 2020 年对比

时间	年均灾害频次/次	年均直接经济损失/亿美元
1990—1999 年	87	333
2000—2009 年	173	220
2010—2019 年	145	420
2020 年	193	515

2.1 极端天气对特大型城市水资源安全的影响

水资源在城市资源消耗总量中占比较大,是城市可持续发展的基本支撑条件,对城市发展具有约束与限制作用。随着人口增加、经济发展,特大型城市生活生产用水的不断增加以及水污染问题的逐步加剧,对外部水资源的依赖增加,水资源安全问题开始向社会、经济等各方面逐渐延展。极端天气对特大型城市水资源安全的主要影响表现为:

a. 洪水破坏城市基础设施,加剧水资源供应中断的风险。在 2020 年全球自然灾害中,洪水灾害最为频繁,造成的直接经济损失也较高。城市排水管网系统建设力度低、道路硬化面积大、湖泊数量少,导致城市排水防涝难度大,加上我国的降雨具有短历时、强度高的特征,降雨时长、雨量、雨强、移动方向等因素的不确定性增加了城市防洪的难度^[13]。以“7·20”郑州特大暴雨为例,郑州作为一个特大型城市,人口、活动、产业等要素高度聚集,城市正常运转的各类资源保障与外部空间显著关联。突发极端暴雨的袭击使特大型城市脆弱性迅速暴露,引发的大规模洪涝灾害导致城市水库、管道网络等基础设施一度瘫痪,摧毁供水系统,影响水资源的使用及运输。

b. 高温干旱天气放大了特大型城市水资源的供需矛盾。干旱天气下,居民生活用水增加,加上特大型城市三维几何结构、人为热量排放带来的城市热污染,城市对水资源的需求量持续增加。极端干旱天气影响降水、径流、水温和水资源蒸发等水文要素,进而影响特大型城市水资源总体存量,增加了水资源短缺风险。

2.2 极端天气对特大型城市能源安全的影响

能源是现代工业社会的血液,是经济社会发展的重要物质基础保障。特大型城市是能源消费的中心,城市居民的日常生活离不开能源,随着人民生活水平的提高,特大型城市居民生活及交通能源需求呈逐渐增加的态势。特大型城市能源资源禀赋较差,能源需求主要依赖外部输入,外部资源供应风

险影响城市的能源供需结构以及安全水平。极端天气对特大型城市能源安全风险的主要影响表现为:

a. 增加能源需求。高温天气下居民耗电量增加,电力负荷激增,突然恶化的运行条件会造成输电线等关键设施故障率升高,甚至导致发电厂无法发电和关键用电设施损毁,影响特大型城市电力系统的安全稳定运行^[14]。

b. 增加能源供应中断风险。受进口依赖度高、来源地集中等因素影响,能源的输送路线途经地多、管道距离长,其运输、加工、分销等环节往往面临跨部门跨区域协同问题。极端天气频发破坏了资源的供应链,能源从生产基地到加工场所再到特大型城市各个用户的运输皆受到不同程度的影响,如持续干旱天气会使水电站停止供电,威胁水电资源的安全。一旦出现能源减供、断供风险,将影响居民、企业、机关、高校等消费环节的基本能源需求。为加强能源资源节约和生态环境保护,现阶段能源的供应结构也面临由传统煤炭发电逐步向可再生能源发电转型的阵痛,后者因其自身的技术经济特性,更容易受到极端天气的冲击,能源的正常转型受到极端天气的扰乱。

c. 导致能源市场调节机制失灵。在发电厂机组发电能力客观受限、居民用电需求刚性的情况下,极端天气发生可能造成能源负荷高峰与供应不足的矛盾,价格信号作用丧失,市场机制失灵,会引发居民不满和城市动荡。能源和水资源、粮食之间存在经济关联,三者间的价格管理具有一定的协同效益,能源价格调整会引起水资源输送成本、粮食生产成本的波动,成本驱动效应影响水资源和粮食的供给^[15]。

2.3 极端天气对特大型城市粮食安全的影响

粮食安全事关政治稳定和社会经济发展,国家将其列在“粮食、能源资源、金融安全”三大安全战略的首位。特大型城市由于耕地面积的限制,无法进行大规模粮食生产,粮食供给主要依赖周边地区、部分粮食主产区以及国际贸易,城市内部粮食供应面临诸多挑战。极端天气对特大型城市粮食安全的主要影响表现为:

a. 影响城市周边地区粮食生产。农业是最易遭受极端天气影响的产业之一,极端天气对粮食生产造成的直接破坏,以及带来的土壤肥力下降、病虫害增加都会影响城市周边地区粮食产量,同时随着农业投入物的用量持续增加,其产生的环境影响累计到一定程度,会限制农业应对极端天气的能力。

b. 增加粮食供应短缺风险。我国粮食流通方式以铁路和水路为主,由于极端天气等不可抗力因素的影响,粮食流通在实际运行过程中存在着一定的风险和隐患。如极端天气影响粮食基地向特大型

城市输送粮食的效率,增加了粮食在运输、储藏、销售等环节的损耗。一旦外部供给不充分、不及时,将造成城市粮食短缺,威胁城市粮食安全^[16]。

c. 短期内激发粮食需求。极端事件发生后,生存焦虑和恐慌心理往往引发城市居民囤积性购买等过度反应,粮食消费暴增,面对粮食供应缺口,短时间内需通过多种渠道调度粮食投放到市场,影响城市内部粮食配置。

3 极端天气下特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险的治理路径

3.1 “水资源-能源-粮食”安全风险治理的当下困境

极端天气冲击与放大了特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险。极端天气切入特大型城市“水资源-能源-粮食”关系网络、流动网络和互动网络,不断冲击着资源生产、流动以及消费的正常运行,引发产业链、供应链中断等风险。且单一资源风险沿着资源系统网络进行传导扩散,其中任何一个节点中断,都会引发资源短缺风险,扰乱整个“水资源-能源-粮食”资源循环,使其安全风险出现演化、转变、变异。极端天气放大了特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险的影响范围和界限^[17]。特大型城市作为各类要素密集的地理空间单位,极端天气灾害在特大型城市地理空间的暴发会形成连锁效应,对经济、社会和公众心理等产生一系列严重影响。且“水资源-能源-粮食”安全风险产生的影响往往会延伸至特大型城市边界以外,例如城市粮食供应中断会对郊区农业产生影响,带来城市内部粮食总量得不到保证与城市外部粮食商品滞销并存的问题。极端天气会使整个特大型城市水资源、能源、粮食出现供需不及时、流通不顺畅、结构不合理、价格不稳定等问题,针对这些问题,特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险治理目前存在以下几点缺陷:

a. 治理部门分离。极端天气往往会带来停水停电、停产停业、传染病传播等一系列社会经济问题。现阶段政府在极端天气灾害治理中起主导作用,但各部门整体上延续分散化、条块化的部门管理体制,犹如一个个分散的、独立的“岛屿”,且相关企业、科研机构、非盈利组织以及公众等主体共同参与配合度往往较低。政府不同部门之间数据资源系统相互封闭、各自独立,缺乏有效的信息沟通、共享与集成,相关部门难以掌握灾情实时信息及时制定应急抢险措施,带来应急层面的混乱无序和资源配给压力,导致特大型城市“水资源-能源-粮食”治理过程中部门间信息传递“碎片化”。

b. 流通不顺畅。特大型城市水资源、能源、粮食供应依赖外部,加上资源不易被携带的特点,需要通过资源流通体系连接城市外部地区资源生产和城市内部资源消费,而现阶段水资源、能源的流通主要依赖于管道运输,粮食流通主要依赖于交通运输。管道系统、交通网络等基础设施因自身的工程技术特性,容易遭到雷电、暴雨的破坏。极端天气会阻碍特大型城市资源流通渠道,提高资源运输成本,引发城市“水资源-能源-粮食”安全风险。

c. 治理模式局部化。我国的高温天气、暴雨等极端天气呈季节性集中的特点,造成夏季用水量、用电量激增,粮食产量下降,短期内激化了特大型城市与城市外部地区的水资源、能源、粮食供需矛盾,引发资源供应中断风险。外部地区一旦自身资源供应不及时,也会影响特大型城市的资源安全。现阶段特大型城市“水资源-能源-粮食”安全治理往往依托于城市内部治理,特大型城市与周边地区的联系不够紧密,大中小城市一体化的空间治理模式尚未完全建立。

单一、割裂的治理方式无法达到资源高效利用与可持续发展的目的,应从“水资源-能源-粮食”系统内外部彼此间联结性强的事实出发,协同跨部门、跨地区目标和利益,加强极端天气下特大型城市“水资源-能源-粮食”安全治理的外部环境适应韧性。

3.2 “水资源-能源-粮食”安全风险治理的可行路径

近年来,城市防灾减灾建设的思路从海绵城市(针对城市对洪水的应对能力)、气候适应型城市(强调气候变化引发的灾害风险)转变为韧性城市,以求推动城市的可持续发展。Holling^[18]首次提出“生态韧性”概念,强调生态系统在变化与冲击下自我恢复和重组的能力。韧性是复杂系统的固有属性,城市作为复杂的社会生态系统,韧性概念也适用于城市。随着城市韧性理念的发展与实践探索,许多学者组织建立了以韧性为理论支撑的韧性城市建设的框架和设计工具,如韧性成熟度模型(RMM)^[19]、欧洲韧性管理指南(ERMG)^[20]、韧性绩效记分卡(RPS)^[21]、城市恢复力诊断模型^[22]等。

本文通过对特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险特征以及极端天气对水资源、能源、粮食安全影响的分析,认为极端天气下特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险韧性治理是指:在极端天气的冲击下,通过协同特大型城市内外部诸多子系统的联合作用、集体行为,维持特大型城市“水资源-能源-粮食”安全状态,增强其对极端天气的适应能力。特大型城市通过总结、反思与学习,具有水资源、能源、粮食安全风险的早期检测能力、容错设计能力、

可塑性和灾后可恢复能力,在极端天气冲击下能维持稳定,吸收扰动降低损失,并迅速恢复常态,使系统适应极端气候频发的新环境,保障城市资源配置效率。安全风险韧性治理的具体模式除了“硬件”治理外,关键在于“软件”治理^[23]。“硬件”治理主要是指韧性基础设施建设,“软件”治理主要是指“点-线-面”多主体协同治理的体制机制^[24]。图1为极端天气下特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险的韧性治理路径。

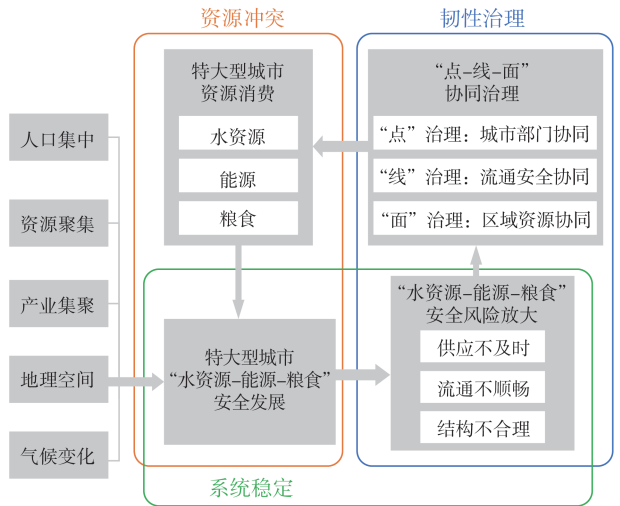


图1 极端天气下特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险的韧性治理路径

“硬件”治理在城市资源韧性建设中发挥重要作用:加强城市数字基础设施建设,运用物联网对城市极端天气风险进行全天候、全方位的风险感知和监测,推动极端天气预警体系智慧升级;针对台风灾害构建多元化资源运输体系,如将城市部分轨道交通地下化,保障受灾时城市资源的正常运输;以分散化的水管理设施代替集中的水处理与分配,开展城市雨水调蓄空间规划,建设智能化排水运管平台,增强城市空间抗洪韧性;开发高效的供电、供能技术,增加资源供给弹性,有利于干旱天气下城市居民生产生活的稳定。

城市韧性的提升关键在于“软件”治理,具体包括以下3个方面:

a. “点”治理是指建立特大型城市不同部门间的安全调控协同治理机制。将“分门别类、各负其责”的部门协调融入极端天气下特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险的韧性治理中,细化各部门职责清单与合作机制,与同等级的部门和其他级别的部门间保持持续贯通的沟通合作关系;建立政府、社会组织、市场、公众之间优势互补和资源渗透的协作、协调机制,打破政府“单兵作战”的不利局面;通过现代信息技术手段实现不同部门之间数据标准化处理,建设互联互通的数据共享平台,加强资源信息

耦合,从而保证资源信息在政府部门纵、横向之间的快速分享,精确整合城市基础资源在各部门之间的协同性,增强城市资源关联体系的韧性。

b. “线”治理是指建立特大型城市“水资源-能源-粮食”流通安全协同治理机制。发挥城市流通体系的整体性作用,特大型城市资源流通体系涉及领域多,应统筹市场、商贸、物流、交通等领域系统发展,畅通资源运输渠道,整体系统地保障与提升城市资源供给安全。构建现代化管道运输基础设施网络,应合理编制城市管道系统综合规划,包括建设标准、网络体系、规划布局与管控规定等,对城市内外部管道配送设施物进行联网应用和智能化改造,确保运输管道系统完备、智能绿色、安全可靠;拓展物流服务新领域新模式,开展高铁多样式、大批量资源运输试点,推广集约智慧绿色物流发展模式,普及新能源运输工具的使用;根据不同粮食作物的特点,研发防潮防漏专业化包装技术,减少资源流通过程中的损耗。

c. “面”治理是指建立“中心城市-外围城市-城市外地区”的区域“水资源-能源-粮食”资源协同治理机制。以城市群建设为载体,构建资源系统中中心城市政府与城郊政府、中心城市部门与外围城市部门、中心城市政府与城市外农产品企业等区域多元主体协同管治模式,保障区域整体韧性效益的发挥。打通特大型城市与周边城市的多重壁垒,增强区域间空间和产业关联,走区域协调发展道路;通过不同区域治理主体间的平等合作、沟通协调,建立资源供应的跨区域协同机制,如开发城郊型农业模式;在法律上明确空间韧性规划,将对极端天气的区域间联合防御和空间管治纳入到各级空间规划体系之中。

4 结 论

a. “水资源-能源-粮食”安全风险是以水资源、能源、粮食纽带关系为基础,由系统内外部不确定因素导致的资源不安全状态。“水资源-能源-粮食”安全风险具有传导性以及风险源具有多维性的特征,极端天气下特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险具有复杂性以及安全系统具有脆弱性的特征。

b. 特大型城市水资源、能源、粮食三者安全本身容易受到极端天气的影响:洪水加剧水资源供应中断的风险,高温干旱天气放大水资源供需矛盾;极端天气短期内激化能源需求,加剧能源供应短缺风险,造成能源市场调节机制失灵;极端天气影响城市外区域的粮食生产以及城市内粮食的供应和消费。

c. 极端天气下特大型城市“水资源-能源-粮食”安全风险化解中面临治理部门分离、流通不顺畅、治理模式局部化问题。应将韧性治理运用到特大型城市“水

资源-能源-粮食”安全治理布局中,从适应和防范的角度建立韧性治理路径,包括韧性基础设施建设和建立“点-线-面”多主体协同体制机制两个方面。

参考文献:

[1] 孙虹,于杰,赵又霖. 水资源-能源-粮食纽带关系研究的文献计量分析[J]. 水利经济,2021,39(5):24-29.

[2] 李心晴,张力小,张鹏鹏,等. 城市食物-能源-水资源系统关联性研究:以北京市为例[J]. 中国人口·资源与环境,2021,31(5):174-184.

[3] NÚÑEZ-LÓPEZ J M, RUBIO-CASTRO E, PONCE-ORTEGA J M. Involving resilience in optimizing the water-energy-food nexus at macroscopic level[J]. Process Safety and Environmental Protection, 2021,147(9):259-273.

[4] 林志慧,刘宪锋,陈瑛,等. 水-粮食-能源纽带关系研究进展与展望[J]. 地理学报,2021,76(7):1591-1604.

[5] 李良,毕军,周元春,等. 基于粮食-能源-水关联关系的风险管控研究进展[J]. 中国人口·资源与环境,2018,28(7):85-92.

[6] BAZZANA D, GILIOLI G, ZAITCHIK B. Impact of hydropower development on rural livelihood: an agent-based exploration [J]. Journal of Cleaner Production, 2020,275(12):1-15.

[7] HOWARTH C, MONASTEROLO I. Understanding barriers to decision making in the UK energy-food-water nexus: the added value of interdisciplinary approaches [J]. Environmental Science & Policy,2016,61(3):53-60.

[8] SERRANO-TOVAR T, SUAREZ B P, MUSICKI A, et al. Structuring an integrated water-energy-food nexus assessment of a local wind energy desalination system for irrigation[J]. Science of The Total Environment,2019,689(11):945-957.

[9] 王红瑞,赵伟静,邓彩云,等. 水-能源-粮食纽带关系若干问题解析[J]. 自然资源学报,2022,37(2):307-319.

[10] MCLENNA M. Global risks report 2022[R/OL]. (2022-01-11). https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2022.pdf.

[11] TILOKA D S, SILVANA T. Presidential address 2021: climate-change pledges, actions, and outcomes [J]. Journal of the European Economic Association, 2021, 19(6):2958-2991.

[12] BEVACQUA E, VOUSDOKAS M I, ZAPPA G, et al. More meteorological events that drive compound coastal flooding are projected under climate change [J]. Communications Earth & Environment, 2020, 1(1):s43247.

[13] MU D, LUO P, LYU J, et al. Impact of temporal rainfall patterns on flash floods in Hue City, Vietnam[J]. Journal of Flood Risk Management,2020,14(1):1-15.

[14] MOGHADAM S T, DELMASTRO C, CORGNATI S P, et

al. Urban energy planning procedure for sustainable development in the built environment: a review of available spatial approaches [J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 165(11): 811-827.

[15] KIRIKKALELI D, DARBAZ I. The causal linkage between energy price and food price[J]. Energies, 2021, 14(14): 4182-4182.

[16] YILDIZ I. Review of climate change issues: a forcing function perspective in agricultural and energy innovation [J]. International Journal of Energy Research, 2019, 43(6): 2200-2215.

[17] SCHAEFER T, UDENIO M, QUINN S, et al. Water risk assessment in supply chains [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 208(10): 636-648.

[18] HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973, 4(1): 1-23.

[19] LABAKA L, MARAÑA P, GIMÉNEZ R, et al. Defining the roadmap towards city resilience [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2019, 146(9): 281-296.

[20] MARANA P, EDEN C, ERIKSSON H, et al. Towards a resilience management guideline: cities as a starting point for societal resilience[J]. Sustainable Cities and Society, 2019, 48(7): 101531.

[21] KHAZAI B, ANHORN J, BURTON C G. Resilience performance scorecard: measuring urban disaster resilience at multiple levels of geography with case study application to Lalitpur, Nepal[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2018, 31(10): 604-616.

[22] WARDEKKER A, WILK B, BROWN V, et al. A diagnostic tool for supporting policymaking on urban resilience[J]. Cities, 2020, 101(6): 102691.

[23] SHARIFI A. Trade-offs and conflicts between urban climate change mitigation and adaptation measures: a literature review[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 276(12): 1-14.

[24] 吕悦风, 项铭涛, 王梦婧, 等. 从安全防灾到韧性建设: 国土空间治理背景下韧性规划的探索与展望[J]. 自然资源学报, 2021, 36(9): 2281-2293.

(收稿日期: 2022-02-17 编辑: 熊水斌)

(上接第 9 页)

[23] GONZÁLEZ-VAL R, LANASPA L. Patterns in US urban growth, 1790—2000 [J]. Regional Studies, 2016(2): 289-309.

[24] LANOIE P, LAURENT-LUCCHETTI J, JOHNSTONE N, et al. Environmental policy, innovation and performance: new insights on the porter hypothesis [J]. Journal of Economics & Management Strategy, 2007, 20(3): 803-842.

[25] 赵敏, 赵骏. 索罗模型视角下城市创新对经济增长的效应测度: 以中国 35 个大中城市为例[J]. 科技管理研究, 2019, 39(22): 78-83.

[26] 贾学秀, 严岩, 朱春雁, 等. 区域水资源压力分析评价方法综述[J]. 自然资源学报, 2016, 31(10): 1783-1791.

[27] 孙才志, 陈栓, 赵良仕. 基于 ESDA 的中国省际水足迹强度的空间关联格局分析[J]. 自然资源学报, 2013, 28(4): 571-582.

[28] 孙克, 徐中民. 基于地理加权回归的中国灰水足迹人文驱动因素分析[J]. 地理研究, 2016, 35(1): 37-48.

[29] 王曦, 陈中飞. 中国城镇化水平的决定因素: 基于国际经验[J]. 世界经济, 2015, 38(6): 167-192.

[30] 黄磊, 吴传清. 长江经济带城市工业绿色发展效率及其空间驱动机制研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(8): 40-49.

[31] 王雨飞, 倪鹏飞. 高速铁路影响下的经济增长溢出与区域空间优化[J]. 中国工业经济, 2016(2): 21-36.

[32] 朱平芳, 徐伟民. 政府的科技激励政策对大中型工业企业 R&D 投入及其专利产出的影响: 上海市的实证研究[J]. 经济研究, 2003(6): 45-53.

[33] 高辉, 石寅斌, 张陈俊. 中国城镇化影响因素的阶段差异研究: 基于诺瑟姆理论[J]. 管理现代化, 2019, 39(1): 58-61.

[34] 宋敏, 陈益鑫. 城市群综合交通运输效率对经济增长的影响: 基于长三角与粤港澳大湾区的比较研究[J]. 城市问题, 2019(9): 45-53.

[35] 鲍超. 中国城镇化与经济增长及用水变化的时空耦合关系[J]. 地理学报, 2014, 69(12): 1799-1809.

(收稿日期: 2022-06-30 编辑: 陈玉国)

(上接第 54 页)

[23] LI Hao, ZHAO Yuhuan, LIN Jiang. A review of the energy-carbon-water nexus: concepts, research focuses, mechanisms, and methodologies [J]. Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment, 2020, 9(1): 1-18.

[24] GUO Shan, ZHENG Shupeng, HU Yunhao, et al. Embodied energy use in the global construction industry [J]. Applied Energy, 2019, 256: 113838.

[25] 曹涛, 王赛鸽, 陈彬. 基于多区域投入产出分析的京津冀地区虚拟水核算[J]. 生态学报, 2018, 38(3): 788-99.

[26] 国家统计局, 生态环境部. 中国环境统计年鉴(2018) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.

[27] SHAN Yuli, ZHENG Heran, GUAN Dabo, et al. Energy consumption and CO2 emissions in Tibet and its cities in 2014 [J]. Earth's Future, 2017, 5(8): 854-64.

(收稿日期: 2022-03-19 编辑: 陈玉国)