

# 水 - 能源 - 粮食纽带(WEF-Nexus)关系: 生态文明建设新视角

张佳晗\*, 田鑫怡, 苗议艺, 李甜甜, 齐 伟#

山东农业大学, 资源与环境学院, 山东 泰安  
Email: 609349333@qq.com, #qiwei@sdau.edu.cn

收稿日期: 2021年4月3日; 录用日期: 2021年5月5日; 发布日期: 2021年5月12日

## 摘 要

水、能源、粮食是人类生存发展的三项基本要素, 二十一世纪以来, 逐渐成为各国研究热点。在全球气候变化、生态环境恶化背景下, 三者形成相互影响、深度耦合的具有敏感性、脆弱性特征的纽带关系。本文从“纽带关系”理论的形成与深化入手, 结合研究方法的演变, 引入“耦合魔方”理论, 为我国构建以水 - 能源 - 粮食纽带(WEF-Nexus)关系安全协同框架为基础的“三位一体”的生态安全格局, 为基于可持续发展理念的人类命运共同体建设与生态文明建设提供建议。

## 关键词

水 - 能源 - 粮食纽带, 关系, 可持续发展, 生态文明

# The Relationship between Water-Energy-Food (WEF-Nexus): A New Perspective on the Construction of Ecological Civilization

Jiahao Zhang\*, Xinyi Tian, Yiyi Miao, Tianian Li, Wei Qi#

School of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Tai'an Shandong  
Email: 609349333@qq.com, #qiwei@sdau.edu.cn

Received: Apr. 3<sup>rd</sup>, 2021; accepted: May 5<sup>th</sup>, 2021; published: May 12<sup>th</sup>, 2021

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 张佳晗, 田鑫怡, 苗议艺, 李甜甜, 齐伟. 水-能源-粮食纽带(WEF-Nexus)关系: 生态文明建设新视角[J]. 世界生态学, 2021, 10(2): 212-217. DOI: 10.12677/ije.2021.102023

## Abstract

Water, energy, and food are the three basic elements of human survival and development. Since the 21st century, they have gradually become research hotspots in various countries. In the context of global climate change and the deterioration of the ecological environment, they have formed a bond that influences each other and is deeply coupled with the characteristics of sensitivity and vulnerability. This article starts with the formation and deepening of the theory of “tether relationship”, combined with the evolution of research methods, introduces the theory of “coupling Rubik’s Cube”, and builds a “trinity” based on the water-energy-food nexus (WEF-Nexus) relationship security framework. “The pattern of ecological security” promotes the construction of a community with a shared future for mankind based on the concept of sustainable development and provides suggestions for the construction of ecological civilization.

## Keywords

WEF-Nexus, Bond, Sustainable Development, Ecological Civilization

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

日益稀缺的淡水资源、日益提升的粮食需求与日益消耗的能源供给，逐渐成为影响世界各国发展与格局演变的重要因素。对于水、能源、粮食单边产生的影响，诸多国家已设立相关纲领进行风险管控[1]，而关于多边影响及三者形成的系统影响的研究还处于起步阶段。什么是水 - 能源 - 粮食纽带 (Water-Energy-Food Nexus) 关系？为何要处理好水、能源、粮食三者之间的纽带关系？在 2011 年德国 Bonn 会议中，将三者之间的关系定义为“纽带关系”，跨越以往的鸿沟，用融合视角解决综合问题。水、能源、粮食作为人类生存与发展的基础要素，是促进可持续发展的“慢变量” [2]，长久深远地影响生态系统平衡与稳定；另外，三者之间具有传导性[3]，往往“牵一发而动全身”，形成“蝴蝶效应”，处理不当便会构成安全威胁；同时，先前单边研究与水 - 粮食、能源 - 粮食等两两结合的研究已经不能满足当今统筹推进动态、系统和多元的资源治理体系[3]，若不系统化研究，则有决策失误的可能，全面融合水 - 能源 - 粮食纽带关系是推进人类命运共同体建设的必要之举。

水、能源、粮食三者本身具有脆弱性，是实现可持续发展过程中的“短板因素”，受外界环境的物理冲击与社会冲击[4]，例如气候变化产生极端天气，导致水资源短缺或出现洪涝灾害，使能源系统遭受破坏降低粮食生产率；政策调节[4]、经济发展[5]、科技进步[6]对缓解能源危机、调节水资源利用及维系粮食安全有重要意义，同时使三者之间的关联更为紧密。面对各类冲击与挑战，需要将关联思维融入到资源管理行为中，即从最初的分离向整合转变，再由整合向协同转变，形成“Nexus”。习近平总书记在中共十九大[7]中提出“像对待生命一样对待生态环境”、“推进绿色发展”、“加快水污染防治工作，构建清洁低碳、安全高效的能源体系，粮食安全靠自己”等核心思想，因此，妥善处理水 - 能源 - 粮食 (WEF-Nexus) 纽带关系具有必要性和迫切性，正确认识、把握、处理好“纽带关系”，对可持续发展道路与生态文明建设都有重要意义。本文站在前人的肩膀上，从“纽带关系”的提出与发展、研究方法演变与存在的问题以及今后在新时代生态文明建设中该针对哪方面研究面对怎样的挑战做讨论和总结。

## 2. “水 - 能源 - 粮食纽带(WEF-Nexus)关系”的提出与发展

“水 - 能源 - 粮食纽带(WEF-Nexus)关系”问题的研究在生态环境问题、能源吃紧问题、粮食安全问题亟待解决的大环境下,有了长足的发展与进步。

### 2.1. “纽带关系”的提出与发展

“纽带关系”的前身在印度 Hyderabad 举行的专题研讨会提出,当时是为解决电力政策导致印度农田地下水渐趋枯竭形成的水 - 能源矛盾问题[8]。自 2006 年之后的几年内,对于“纽带关系”的研究似乎销声匿迹,直到五年后,在 2011 年 Bonn 会议中才被正式提出,虽然不同组织对此有不同定义,但归纳来看都承认水、能源、粮食之间存在相互影响、相互制约的关系,外部自然环境变化及社会发展导致的改变对其会产生剧烈影响,对于“纽带关系”的理解在不同尺度中意义也不同[9]。从国际尺度来看,在 Bonn 会议开发“水、能源和粮食安全联盟 - 绿色经济解决方案”后,欧洲在 2012 年 11 月出台《保护欧洲水资源的蓝图》等政策文件,基于“纽带关系”思想,用“连结思想”与“联系观点”,重点关注农业生产用水、能源生产和消费实践所产生的相互关联的压力,开发度量标准,以使这些交互作用和“权衡”可见且可测量[10];联合国亚太经济社会理事会(UNESCAP)在 2013 年发布《亚太地区水 - 粮食 - 能源纽带关系报告》,指出纽带关系在时空上具有紧密联系,认为气候变化、能源 - 粮食 - 金融危机、快速的城市化进程、过度消费等外部影响因素均会对“纽带关系”产生影响[11];联合国粮食与农业组织(FAO)在 2014 年从保障粮食安全角度提出解决“纽带关系”的框架,以与利益相关者对话为内核管理纽带关系,实现经济、社会、生态目标效益,促进农业可持续发展[12];从国家尺度来看,中国在 2017 年设立的 47 个重点研发专项中,开始开发“纽带关系”分析模拟模型,并尝试开发具有自主知识产权的 WEF-Nexus 协同安全评价软件,将“纽带关系”显示出的评价结果与评估风险作为未来资源优化配置的理论基础[13];美国情报委员会在 2019 年以全局角度理解“纽带关系”,将 WEF-Nexus 的整体管理确定为四大趋势之一,认为到 2030 年可能会导致重大的和变革性的全球转变[14];从国家内部的区域尺度来看,菲律宾通过对拉古纳湖丹帕利特分水岭内水 - 能源 - 粮食相互联系关系的研究,调节水资源、粮食资源政策,减少高地农民与下游农民间的矛盾冲突[15];英国也将“纽带关系”作为一种评估方式,规避贸易风险,他们通过评估英格兰西南部 Tamar 集水区上游的虚拟水和食品消费中的隐含能源,找到食品生产周期中的水和能源需求热点,挖掘潜在的 FEW 风险,对贸易进行权衡[16]。

由此可见,处理好“纽带关系”是在统筹协调水、能源、粮食相互关系的基础上,为自然资源配置、社会政策制定等决策做铺垫。如何处理好“纽带关系”已经成为国际的研究热点,国外已构建并完善了三者的理论框架,最为经典的是以水资源为框架核心,包含利益相关者,并对经济、社会、环境提出了要求的于 2011 年 Bonn 会议中 Hoff 提出了 Nexus 系统框架图[17],随后在 2015 年 Conway [18]又做了补充,将影响三者关系的直接因素(自然因素)与非直接因素(社会因素)加入其中,结合案例分析,呈现出更加适宜区域性的理论框架。然而,对于适宜我国“水、能源、粮食纽带关系”的理论框架仍不完善,系统研究三者关系的近几年才开始兴起,因此在前人构建的系统框架[17]基础上,根据中国国情进行改良与创新,构建新的理论体系并为今后的政策编写、规划编制作为理论基础是当务之急。

### 2.2. “水 - 能源”、“水 - 粮食”、“粮食 - 能源”纽带关系提出与发展

水与能源的相互关系具体体现在水资源是能源利用的不可或缺的要害,而水的生产、运输等离不开能源调配和支持,两者相辅相成,因此对于两者关系的研究较为丰富。截止 2019 年底,在 Science Direct 数据库中检索关键词“water-energy nexus”,文献数量达 17,612 篇之多,时间可追溯至 1996 年,可见“水 - 能源”纽带关系在 20 世纪末已被提出并进行研究。国际方面,联合国将 2014 年世界水日主题定为“水

与能源”，开展可持续发展计划并组织绿色可持续产业发展计划；亚非国家注重于农村地区的水与能源协调问题，结合当地实际，完成减贫目标；美国能源部则成立了“能源与水”产学研联盟[19]，并发布了《水资源 - 能源关系：机遇与挑战》报告，提出未来水 - 能源面临的机遇与挑战。国内方面，王春燕[20]等开发了一种基于多目标优化的水 - 能源 - 排放关系(WEEN)概念的，能够筛选可行技术集的定量方法，用于评估“超低法规”；Lin [21]等在 2019 年利用多区域投入产出模型来研究中国各省能源产业的虚拟水，识别能源和水资源之间内部关系，并进一步研究了减少与能源有关的用水的措施，优化了能源产业结构等。关于两者关系的研究集中于一个重点：城市水系统中的水 - 能源关联。减少用水耗能、实现低碳发展是处理好水 - 能源关系的主要目标。在今后我国对内在处理“水 - 能源”关系上，不仅需要重视制水、配水源输送、污水处理等能耗成本；同时要减少能源消耗过剩而造成水资源匮乏；对外要抓好国际之间能源流动的水资源利益，利用好能源隐含水[22]。

相对于“水 - 能源”纽带关系的研究，“水 - 粮食”、“粮食 - 能源”纽带关系的研究并未很系统，国内通常以政策调控为主要手段来调节另外两组关系。在“水 - 粮食”关系中，粮食安全面临水资源短缺的挑战，因此必须树立于“水即粮，粮即水”思想，不仅局限于传统意义上的“蓝水”资源，被森林、农田等生态系统利用的“绿水”资源也应在粮食生产中得到合理利用，通过政策颁布与技术支持，调整种植理念与种植结构。在“粮食 - 能源”关系中，21 世纪经济报道中写道：中国社科院农村发展研究所所在其发布的中国农村发展报告中预测，到“十四五”(2021~2025 年)期末，中国可能缺粮 1.3 亿吨左右。”解决粮食安全问题刻不容缓。在确保耕地红线的基础上，不断调整优化粮食与能源的供给与需求结构。着重提升粮食生产的科技性、合理分配人力要素、适当调节政策投入，发展现代化农业。政府在融资与收购等方面提供一定支持，真正实现“中国人的饭碗任何时候都要牢牢端在自己手上”的目标。

### 3. “水 - 能源 - 粮食”纽带关系研究方法进展

对于“水 - 能源 - 粮食”三者纽带关系的研究方法，在初始阶段，两两结合关系量化的方法较多，但存在局限性，已经不适宜现在的要求，将三者统筹研究的方法日益增多，主要有系统分析、构建模型等方法。就国外来看，在处理湖泊[23]、盆地[24]、河流[25]等区域水 - 能源 - 粮食关系上采取的方法主要为系统动力学模型或是运用 GIS 进行网络分析；我国也已有不少专家对不同区域的三者之间的联系通过耦合协调模型判断三者的耦合协调度是否适宜可持续发展[26]，利用 GWR (地理加权回归)模型分析 W-E-F 链条承受的压力及影响因素[27]，运用 PSR (压力、状态、响应)模型及 SD (系统动力学)模型[28]描述三者之间的互动，并创造性地提出了 WEF 协同安全框架。这些方法有利于我们寻找三者之间的内在关系，找清处理方式，是提高水资源自给率还是需要调水或进口水，是否需要改善粮食种植结构，调整后对水环境有利还是有弊，若水资源用量调整、粮食种植结构调整，对能源流动有怎样的影响，能否提高能源自给率，能否最终实现三者的协同优化，通过研究三者纽带关系在决策时给出合理建议，改善区域生态环境，实现绿色发展。

然而，对于之前的研究方法，基本都处于平面维度(研究对象为资源、社会系统)、空间维度(近程与远程)、时间维度(近期与远期)，基于前人的研究方法，关于“水 - 能源 - 粮食(WEF)纽带关系”的研究我们可以引入“耦合魔方(CHNC)” [29]理论(如图二所示)，不局限于时空，而是也关注其表象维度(显性与隐性)、组织维度(组内和组间)。在此，表象维度中的显性耦合指各要素相互之间的直接影响，如：水资源不合理利用造成的水资源短缺影响粮食生产，使能源流动不稳定。隐性耦合则是通过介质传导产生的间接影响，在水 - 能源 - 粮食的链条中，存在诸多隐性关系，形成因果链，如人类生产活动所需的粮食、能源等在生产过程中都包含虚拟水，这些物资保障了城市居民的美好生活，但同时影响了产地的水资源安全。组织维度中，组内耦合在此可以表示为同一组织内部水 - 能源 - 粮食的交互影响，比如，对

于环境保护部门重点从如何使其更好的促进生态系统良性循环入手，而企业可能会从如何节省成本，提高能源利用效率入手；组间耦合则是处于不同组织之间或者面对不同的利益主体时，在处理三者关系时协调好着力点、处理好各方面利益权衡。通过在四个维度分析三者的近远程、近远期、显隐性、组内外耦合关系，形成协调、协同的发展关系，构成纵向到底、横向到边，内部协调、外部和谐的水-能源-粮食系统，维护好生态环境，构成水资源优质、粮食资源安全、能源良性循环“三位一体”的生态安全格局，最终受益的是人类本身。

#### 4. 总结与展望

以上对水-能源-粮食研究，解释了“水-能源-粮食(WEF-Nexus)纽带关系”的概念、提出与发展、方法研究进展，回答了“什么是纽带关系和为什么是水-能源-粮食三者之间的纽带关系”等问题。从不同的视角，为进一步探究纽带关系提供了理论依据和案例借鉴。但是作为促进生态文明建设的基础，目前三者之间研究的理论基础和理论体系并未实现系统完整的构建，对于我国来说需要在研究维度和方法等方面继续开发、继续探索。

首先需要夯实理论基础，尤其在我国，需要深入了解新时代习近平总书记的生态文明思想，在其理念的大前提下，对水-能源-粮食纽带关系进行协调。另外在研究时，拓宽研究维度。从时间、空间、表象、组织四个维度共同考虑。时间上可以通过评估对未来做预测；空间可以不局限在大区域，小区域比如城市、乡镇、村庄都可以进行协同优化；表象可以多关注间接影响因素，防患于未然；组织则可以协调各级之间的利益矛盾，减少利益纷争，有利于政策颁布和实行。

在研究方法上，除去借助系统动力学、网络分析等系统科学领域的分析工具，系统科学领域分析工具的应用外，可以利用定性研究工具与定量建模相结合。现有研究已为 WEF-Nexus 后续研究的开展积累了丰富的实践经验，且经过上述讨论更进一步明确了未来努力的方向，WEF 系统作为一个开放的、不确定性的系统需要我们不断拓款诊断工具，检查现状和历史趋势，未来我们需要将三者关系的研究作为政策制定的评判依据，为建设生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路做贡献。

#### 参考文献

- [1] 郑人瑞, 唐金荣, 金玺. 水-能源-粮食纽带关系: 地球科学的认知与解决方案[J]. 中国矿业, 2018, 27(10): 39-44.
- [2] 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[J]. 中央财经大学学报, 2016(12): 78-92.
- [3] 张清俐. 加强国际能源、粮食和水资源协同治理[N]. 中国社会科学报, 2017-05-08.
- [4] Sarkodie, S.A. and Owusu, P.A. (2019) Bibliometric Analysis of Water-Energy-Food Nexus: Sustainability Assessment of Renewable Energy. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, **13**, 29-34. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.10.008>
- [5] Del Borghi, A. and Moreschi, L. (2019) Circular Economy Approach to Reduce Water-Energy-Food Nexus. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, **13**, 23-28. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.10.002>
- [6] Yan, X.C., Fang, L. and Mu, L. (2019) How Does the Water-Energy-Food Nexus Work in Developing Countries? An Empirical Study of China. *Science of the Total Environment*, **716**, Article ID: 134791.
- [7] 习近平. 决胜全面建成小康社会, 夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利[R]. 北京: 人民出版社, 2017: 50-51.
- [8] Sharma, B.R., Villholth, K.G. and Sharma, K.D. (2006) Groundwater Research and Management: Integrating Science into Management Decisions. International Water Management Institute, Colombo, 242-257.
- [9] 张同, 谭倩. 水、能源和食品纽带关系研究现状与热点分析[J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(9): 114-126.
- [10] Voelker, T. and Blackstock, K. (2019) The Role of Metrics in the Governance of the Water-Energy-Food Nexus within the European Commission. *Journal of Rural Studies*. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.08.001>
- [11] UNESCAP (2013) The Status of the Water-Food-Energy Security Nexus in Asia and the Pacific region.

- [12] Bank, A.D. (2013) Thinking about Water Differently: Managing the Water-Food-Energy Nexus. Adb Reports.
- [13] “水资源高效开发利用”重点专项 2017 年度项目申报指南建议[R]. 中国政府网, 2016-08-04.
- [14] Olawuyi, D. (2020) Sustainable Development and the Water-Energy-Food Nexus: Legal Challenges and Emerging Solutions. *Environmental Science and Policy*, **103**, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.10.009>
- [15] Spiegelberg, M. (2017) Unfolding Livelihood Aspects of the Water-Energy-Food Nexus in the Dampalit Watershed, Philippines. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, **11**, 53-68. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.10.009>
- [16] Salmorala, G. and Yan, X.Y. (2018) Food-Energy-Water Nexus: A Life Cycle Analysis on Virtual Water and Embodied Energy in Food Consumption in the Tamar Catchment, UK. *Resources, Conservation & Recycling*, **133**, 320-330. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.018>
- [17] Hoff, H. (2011) Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn 2011 Conference: The Water Energy and Food Security Nexus, Stockholm Environment Institute, Stockholm.
- [18] Conway, D., Van Garderen, E.A., Deryng, D., Dorling, S., *et al.* (2015) Climate and Southern Africa's Water-Energy-Food Nexus. *Nature Climate Change*, **5**, 837-846. <https://doi.org/10.1038/nclimate2735>
- [19] 鲍淑君, 贾仰文, 高学睿. 水资源与能源纽带关系国际动态及启示[J]. 中国水利, 2015(11): 6-9.
- [20] Wang, C.Y. and Olsson, G. (2018) Coal-Fired Power Industry Water-Energy-Emission Nexus: A Multiobjective Optimization. *Journal of Cleaner Production*, **203**, 367-375. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.264>
- [21] Lin, L. and Chen, Y.Q. (2019) Provincial Virtual Energy-Water Use and Its Flows within China: A Multiregional Input-Output Approach. *Resources, Conservation & Recycling*, **151**, Article ID: 104486. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104486>
- [22] 钟锐, 赵鹏, 张宏伟. 国际能源贸易中的能源隐含水流动及其对各国水资源影响[J]. 资源科学, 2014, 36(1): 103-109.
- [23] Bakhshianlamouki, E., Masia, S. and Karimi, P. (2019) A System Dynamics Model to Quantify the Impacts of Restoration Measures on the Water-Energy-Food Nexus in the Urmia Lake Basin, Iran. *Science of the Total Environment*, **708**, Article ID: 134874. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134874>
- [24] Ravar, Z. and Zahraie, B. (2020) System Dynamics Modeling for Assessment of Water-Food-Energy Resources Security and Nexus in Gavkhuni Basin in Iran. *Ecological Indicators*, **108**, Article ID: 105682.
- [25] Shi, H.Y. (2020) Coupling the Water-Energy-Food-Ecology Nexus into a Bayesian Network for Water Resources Analysis and Management in the Syr Darya River Basin. *Journal of Hydrology*, **581**, Article ID: 124387. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124387>
- [26] 邓鹏, 陈菁, 等. 区域水-能源-粮食耦合协调演化特征研究——以江苏省为例[J]. 水资源与水工程学报, 2017, 12(6): 232-238.
- [27] 白景锋, 张海军. 中国水能源粮食压力时空变动及驱动力分析[J]. 地理科学, 2018, 38(10): 1653-1660.
- [28] 王慧敏, 刘钢. “水-能源-粮食”纽带关系下区域绿色发展政策仿真研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(6): 74-84.
- [29] 刘海猛, 方创琳, 李咏红. 城镇化与生态环境“耦合魔方”的基本概念及框架[J]. 地理学报, 2019, 74(8): 1489-1507.