

“一带一路”沿线国家跨境电力贸易格局与建设时序研究

王蓓蓓^{1*}, 陈中瑶², 顾欣³, 刘贞瑶⁴

(1. 东南大学电气工程学院, 江苏省 南京市 210096;

2. 东南大学网络空间安全学院, 江苏省 南京市 211189;

3. 东南大学经济管理学院, 江苏省 南京市 211189;

4. 国网江苏省电力有限公司检修分公司运维检修部, 江苏省 南京市 211102)

Cross-border Electricity Trade Landscape and Development Sequence of Countries Along the Belt and Road

WANG Beibei^{1*}, CHEN Zhongyao², GU Xin³, LIU Zhenyao⁴

(1. School of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, Jiangsu Province, China;

2. School of Cyber Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, Jiangsu Province, China;

3. School of Economics and Management, Southeast University, Nanjing 211189, Jiangsu Province, China;

4. Department of Operation and Maintenance, State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd, Nanjing 211102, Jiangsu Province, China)

Abstract: With the increasing demand for electricity from countries within the “Belt and Road” region, cross-border electricity trade between Belt and Road countries become a trend. Cross-border electricity trade will undoubtedly support the sustainable development of economy and the cultivation of consumer demand. In order to solve the problem of how to develop cross-border electricity trade under the “Belt and Road” concept, this study first determined the key issues in the “Belt and Road” cross-border electricity trade environment, and designed a research framework for carrying out the “Belt and Road” cross-border electricity trade. Second, the power supply and demand situation of countries along the “Belt and Road” and the cross-border trade cooperation model were analyzed. The total cost composition of cross-border electricity trade was summarized, and the process for determining the factors affecting the price of cross-border electricity trade was developed. Finally, an economic effect evaluation model was developed to determine the timing of the development of the “Belt and Road” interconnection platform and trade center using a risk assessment method.

Keywords: Belt and Road; cross-border electricity trade; supply and demand situation; risk assessment

摘要: 随着“一带一路”区域范围内国家对于电力需求的不断增长, 带路沿线国家间的跨境电力贸易成为一个趋势, 跨境电力贸易将为经济的可持续发展和消费需求的培育开辟新的空间。为解决“一带一路”背景下如何开展跨境电力贸易的问题, 首先梳理了“一带一路”跨境电力贸易环境中的关键问题, 设计出开展“一带一路”跨境电力贸易的研究框架; 其次, 分析了“一带一路”沿线国家电力供需情况及跨境贸易合作模式, 总结了跨境电力贸易的总成本构成, 并阐述了如何找出跨境电力贸易价格影响因素的流程; 最后, 描述了如何构建经济效应评估模型确定“一带一路”互联平台和贸易中心的建设时序, 给出风险评估方法。

关键词: 一带一路; 跨境电力贸易; 供需格局; 风险评估

0 引言

自2013年习近平提出建设“新丝绸之路经济带”和“21世纪海上丝绸之路”的合作倡议以来, “一带一路”区域互联互通便成为加强与沿线国家的合作重点^[1-2]。“一带一路”沿线地区存在极大的电力能源不均情况, 以东盟国家为例^[3], 预计仅中南半岛五国在未来的20年里, 电力供应缺口就有52.68 GW, 而印度尼西亚却是世界第九大能源国。在能源合作的前期, 各地区的电力及油气基础设施建设将是重点, 随之而来的是资源的开发利用, 人流、物流、资金流、信息流等贸易服务的往来^[4]。中国电力工业要在“一带一

基金项目: 国家电网公司总部科技项目 (“一带一路”背景下我国跨境电力贸易格局与建设时序研究); 国家自然科学基金面上项目 (71873029)。

Science and Technology Foundation of SGCC (Research on China's Cross-border Electricity Trade Pattern and Construction Sequence Under the ‘Belt and Road’ Initiative); National Natural Science Foundation of China (71873029).

路”的倡议中寻找发展的机遇,在考虑推进电网互联技术经济可行性的同时,还需考虑如何建立电力交易平台,使得电力资源得到合理配置,实现各地区电力供需平衡。如何开展跨境电力贸易以及推进跨境电力贸易中涉及到的诸多问题值得深入研究,该研究不仅有利于中国与“一带一路”沿线国家跨境电力贸易的实施,也能为全球能源互联网及其子网络建设提供借鉴。

在“一带一路”倡议的指导下,中国持续加强与周边国家的合作关系,促进丝绸之路沿线国家之间的跨境能源贸易^[5]。推动跨境电力贸易和跨境互联电网的建设能够解决区域电力供给不足和低可再生能源资源禀赋国家碳排放量日益加剧的问题,填补因产能过剩或产能不足导致的社会福利损失^[6-7]。从全球范围内来看,欧洲作为建立跨境跨区域统一市场的先行者,通过竞价分区原则和区域价格耦合(price coupling of regions, PCR)破除市场壁垒。目前已成立多个跨国能源交易中心,上百家市场成员在统一化市场交易所进行电力现货交易^[8-9]。文献[10]指出在构建全球能源互联网时,需分析各洲各地区能源分布特点和供需格局,论证跨区域电网互联项目实施的可行性,提出跨洲电网互联的构想。文献[11]通过分析欧洲互联电力市场的发展“僵局”,从经济和政治两方面探讨了跨境互联电力市场的建设困境,并认为政治和社会治理的差异是现阶段欧洲统一电力市场发展缓慢的主要原因。文献[12]采用动态线性规划方法寻找东盟国家跨境电力贸易建设的最佳发展路径,提出建设“东盟电网”是降低区域电力成本的一个解决方案,大力鼓励可再生能源参与跨境电力贸易,以解决东盟各国能源资源分配不均的问题。文献[13]阐述了南亚地区的能源资源分布和电力供需特征,设计了该地区考虑跨境电力交易的统一市场模型和架构,通过算例分析外来发电商参与市场竞争给本地市场的影响,指出境外发电商加入市场竞争有利于引导价格发现,减少本地市场形成垄断的可能性。文献[14]根据现有的南方电网与周边东南亚国家的交易现状,提出两阶段的南方区域与东南亚地区跨国电力交易模式设计,并阐述了该模式下价格与结算的衔接机制。当下“一带一路”沿线国家和地区的电需求持续上升,推动跨国电力合作项目的落地发展,是促进“一带一路”沿线经济建设的重要动力^[15-16]。

本文在广义层面对“一带一路”沿线跨境电力贸易进行深入研究,不仅涉及狭义的电力贸易(通过铺

设输电线路实现电能跨境交易),也包括技术资金支持和产品输出等不涉及地缘政治的其他跨境电力相关服务业务。当前开展“一带一路”沿线跨境电力贸易亟待解决以下2个关键问题。

1) 推动“一带一路”沿线国家开展跨境电力贸易必须有的放矢,沿线各国电力基础设施和经济社会发展情况存在巨大差异,评估各国的电力供需格局是确定跨境电力贸易发展时序的首要。因此,在电力供需格局构成中存在哪些影响因素,如何量化不同维度的因素成为有待研究的问题。

2) 跨境电力贸易的发展是由点及面再到贸易网络逐步覆盖沿线各国的进程,“一带一路”沿线国家跨境电力贸易项目的开展受到国家间差异性和贸易复杂性的考验。区域电力互联平台和贸易中心的建设在各国间存在着时序问题,是否每个“一带一路”国家都能通过相互间的跨境电力贸易得到经济收益?如何确定“一带一路”电力规划的建设时序?

1 “一带一路”跨境电力贸易研究框架

本文基于如何推进“一带一路”沿线国家跨境电力贸易这一问题,将贸易格局与电力市场实际运行依据相结合,提出了一种“一带一路”沿线国家跨境电力贸易的研究框架,如图1所示。

第一步,“一带一路”跨境电力贸易理论依据和市场实际运行依据分析。一方面,考虑跨境电力贸易的复杂性,分析供需格局和历史贸易网络的形成机制是必不可少的,也是本文研究的关键问题之一;另一方面,对贸易项目开展的经济评估需要以市场实际效益为基础。

第二步,跨境电力贸易经济效应评估。在跨境电力贸易的理论依据和市场实际运行依据的基础上,找出影响跨境电力贸易的关键作用因素,从定性和定量两方面评估“一带一路”沿线国家间开展跨境电力贸易的经济效应。

第三步,开展跨境电力贸易项目的风险评估。基于区域电力互联平台和贸易中心建设路径,对该路径下的跨境电力贸易进行风险评估,并为项目开展提出相应避险措施。

以上步骤构成了“一带一路”跨境电力贸易项目开展的标准架构,以下将重点关注供需格局分析和如何确定建设时序这2个关键问题,为“一带一路”沿线跨境电力贸易提供标准化研究方案。

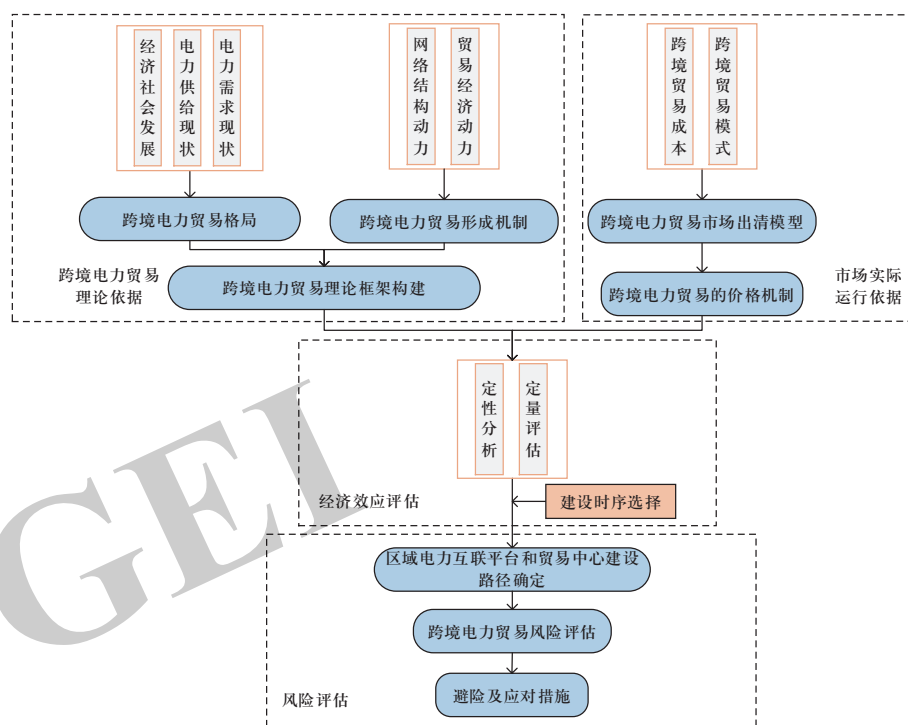


图1 “一带一路”跨境电力贸易研究框架

Fig. 1 Research frame of cross-border electricity trade along the Belt and Road

2 “一带一路”沿线国家电力供需格局

“一带一路”沿线各国的资源禀赋、电源结构和负荷特性不尽相同。跨境电力贸易的主要目的是充分利用电力资源的余额互补和发电成本差异，有效降低整个区域的供电成本，实现国家间的互惠互利^[17-19]。“一带一路”沿线囊括的众多国家间，经济发展与电力基础设施建设的现状差异较大，导致不同国家之间的电力供给与电力需求也存在较大差异。选择跨境电力互联贸易的建设路径必须基于各个国家的电力供需现状，为构建跨境电力贸易理论框架提供事实基础。

大量文献证明了电力消费及电力供给能力与国家自身经济水平息息相关。一方面，从经济学角度应衡量目前“一带一路”沿线各国的整体发展水平；另一方面，从国际贸易的角度，一国的社会发展水平与经济发展水平都是影响贸易中供给与需求的关键因素。分析“一带一路”沿线国家电力供需格局的主要影响因素应主要包括经济及社会发展、电力供给与电力需求3个方面，如图2所示。经济与社会发展从社会发展水平与经济发展指标两个角度衡量，社会发展水平一般采用人类发展指数（human development index）来衡量，对于经济发展水平，许多经济变量都可以用来评估一国的经济规模，如国内生产总值（GDP）、人

均GDP、国民收入、投资、消费、人口总量、人口密度、城市化率等。电力供给方面利用该国电力工业的实际建设情况进行分析，包括发电量、装机容量、电力生产结构及生产能源储备等。电力需求方面则由该国电力消费总量、人均电力消费和电力需求潜力等角度考虑^[20-22]。电力供给能力和区域电力需求表征了电力贸易的潜力，是对供需格局构成的客观描述。

通过对比各国的电力供给、电力需求以及经济及社会发展水平和世界平均水平的关系，可以发现其所处的位置，以期得到未来“一带一路”电力贸易网络

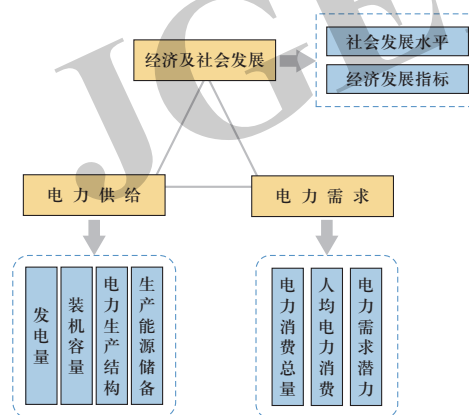


图2 “一带一路”沿线国家电力供需分析

Fig. 2 Analysis of power supply and demand of countries along the Belt and Road

平台建成后可产生的经济效益。通过上述方法，本文依据联合国开发计划署及世界银行WDI数据库2016年的数据分析了“一带一路”沿线各国经济社会发展状况，并对各国电力供需指标进行统计后发现以下规律：

- 1) 从供给层面看，“一带一路”区域供电水平分布不均匀。亚太地区发电量年增长处于世界领先水平，部分国家发电能力较强，年发电量达到了较高水平。
- 2) 从需求层面看，大部分“一带一路”沿线国家未达到世界平均电力消费水平，有较高的电力需求增长潜力。
- 3) “一带一路”沿线国家电力供给与需求存在错配，电力贸易将是可行的解决方式。

3 “一带一路”跨境电力贸易的价格机制分析及构建

“一带一路”沿线国家供需格局分析是“一带一路”跨境电力贸易实施的定性分析基础。定量研究跨境电力贸易带来的经济效应，需探究跨境贸易合作模式，分析电力贸易价格构成，从贸易价格模型找出价格形成的影响因素，归纳出跨境电力贸易的价格形成机制，为选取区域电力互联平台和贸易中心合作国家提供实践依据，价格机制构建流程如图3所示。

3.1 跨境电力合作模式

从生产到消费的电能产业链中，各个环节涵盖众多不同的企业主体。在国际分工的基础上，跨国合作的双边或者多边国家产业通过产品间贸易、直接或间接投资、建立跨国公司等方式进行产业转移及产业链建设^[23]。对电力工业而言，常见的跨境合作模式有对

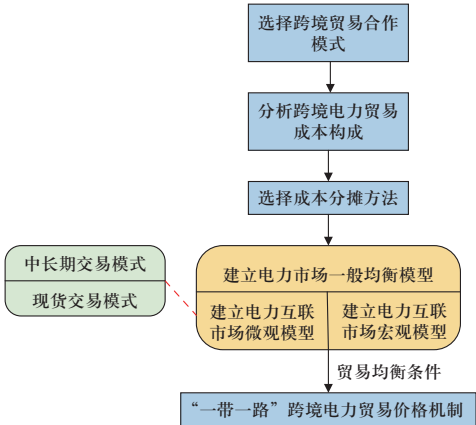


图 3 “一带一路”跨境电力贸易的价格机制构建
Fig. 3 Price mechanism for cross-border electricity trade along the Belt and Road

外贸易方式、契约方式和直接投资方式。近年来，直接投资方式中的PPP（public-private-partnership）模式已广泛应用于全球跨国电力项目建设中，在其核心概念下延伸出BOT（build-operate-transfer）模式、BOOT（build-own-operate-transfer）模式和TOT（transfer-operate-transfer）模式等多种项目投融资模式^[24-27]。各种合作模式在产业不同环节的实施中均有其利弊，项目开展时应当根据具体情况进行模式选择，确保合作的可持续性，尽量避免跨境合作的潜在障碍。本文给出了各种合作方式的特点及电力行业中的典型案例，如表1列所示。

在经济下行压力下，中国各级地方政府的债务负担日益加重，以PPP模式为主的“政府+社会资本”模式，鼓励民营资本参与公共基础设施建设，不仅能拉动社会投资，也降低了公共设施建设成本，助力民生改善^[28-29]。电力企业建设周期长的特点与PPP模式相契合，两者的结合将更有利于促进跨区域项目达成。

表 1 跨境电力项目合作模式
Table 1 Cross-border power project cooperation model

合作方式		优点	缺点	典型案例
对外贸易	间接贸易	合作简单、成本及风险小，具有较大灵活	长期业务发展具有局限性，受电力出口国或第三方影响较大	北欧电力市场
	直接贸易			
契约方式	技术授权	与直接投资相比，该模式风险小、投资较少	本国对电站控制程度低，电力供应长期性和稳定性较差；需要大量跨国经营的专业人才	欧洲联合电网
	交钥匙工程 管理合同			
直接投资	PPP模式	政府和社会资本合作，共同承担责任及融资风险	私营机构融资成本高；可能导致垄断；周期更长	中国-越南电力合作项目
	BOT模式			
	BOOT模式			
	TOT模式			

3.2 “一带一路”跨境电力贸易成本分析

“一带一路”跨境电力贸易的建设时序选择时，总成本是决定性因素之一。通过成本分析和成本分摊刻画“一带一路”沿线跨境电力贸易的成本函数，是构建市场模型的基础^[30-32]。下文重点对跨境电力贸易成本分析中的关键因素进行总结。

电力商品不同于普通商品，由于其商品性质的特殊性，跨境电力贸易的达成往往涉及两国或多国间的政治意愿及国家安全因素等，这也是跨境电力交易与国内跨省电力贸易成本构成的不同之处。如图4所示，“一带一路”跨境电力贸易的总成本主要包括了跨境贸易成本和基本电力成本。其中，跨境贸易成本是指除了生产商品的成本之外，为进行跨境贸易所必须支付的所有成本，如搜寻成本、议价成本、履约成本、汇率成本、政策壁垒成本（关税和非关税壁垒）、法律法规成本等。基本电力成本指电力生产和传输过程中涉及的相关成本，主要包含电力生产成本、跨境区域电力运输成本、跨境电力贸易辅助服务成本等。

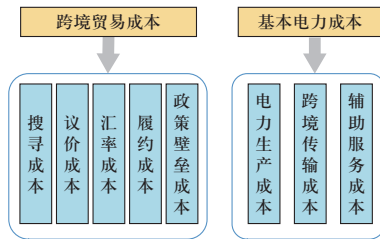


图4 “一带一路”跨境电力贸易成本构成

Fig. 4 Cost composition of cross-border electricity trade along the Belt and Road

另外，跨境电力贸易中的费用分摊影响各国参与建设的意愿，净受电越多的国家，分担的费用应该越多，跨境互联电网的成本分摊问题也是重点。其中又可以分为输配电费用的分摊和辅助服务费的分摊，分摊方法通常采用边际成本法和综合成本法^[33-34]。

3.3 “一带一路”跨境电力贸易的价格模型

3.3.1 微观层面价格模型

根据微观经济学原理，开放竞争的市场中电价由供需情况决定。在跨境电力市场交易的微观层面以个体发电商利润最大化为目标，考虑电网物理约束，针对不同时间跨度的市场构建出清交易模型^[35-38]。目前全球电力市场中，现货市场和中长期市场分别以集中交易模式和双边交易模式为主。跨境电力市场出清模型的目标函数与约束条件与区域内出清模型一致，

本文不再赘述。在微观模型的基础上，针对性地分析现货交易和中长期交易两种不同交易模式下电价波动的影响因素，对“一带一路”部分沿线国家进行成本优势比较，为建设区域电力互联平台和贸易中心合作国家选取提供实践依据。

3.3.2 宏观层面价格模型

宏观层面的价格模型主要用于计及贸易成本的基础上，跨境电力互联平台和贸易中心建成后会给电能跨境交易的买卖双方带来如何的价格效益。其模型是考虑国家总体福利最大化，利润最大化函数如式（1）所示^[39]。利用贸易均衡条件，即供给与需求的均衡，讨论影响电力价格的宏观变量（如总供给、总需求和贸易成本）及其影响程度，为“一带一路”区域电力互联平台和贸易中心建设提供宏观发展策略建议。

$$\max \pi^x = px - \left[\beta + \eta \left(v + \frac{x}{2} \right) \right] x - k \frac{|x|}{2} \quad (1)$$

式中： x 为贸易电量； p 为贸易电价； v 为一国电力总需求； k 为贸易成本； β 和 η 为边际成本系数。其中， $k|x| = \lambda kx$ ，当贸易方向为出口，即 $x > 0$ 时， $\lambda = 1$ ；反之 $\lambda = -1$ 。

上述构建式通过模型推导给出潜在影响电力价格与电力贸易因素的理论判断，实际经验数据是否支持该判断，需要进一步实证检验来解答。在计量经济学中可选取式（2）模型进行实证检验，以定量评估总供给、总需求和贸易成本等关键因素对于价格的影响程度。

$$\ln \left(\frac{X_{ijt}}{G_{jt}} \right) = \theta_0 + \theta_1 \ln \left(\frac{\bar{v}_{jt}}{G_{jt}} \right) + \theta_2 \ln \left(\frac{\bar{v}_{it}}{G_{it}} \right) + \theta_3 \ln (k_{ij}) + \theta_4 \ln \left[\sqrt{\left(\frac{s_{jt}}{G_{jt}} \right)^2 - 2\rho_{ijt} \frac{s_{jt}s_{it}}{G_{jt}G_{it}} + \left(\frac{s_{it}}{G_{it}} \right)^2} \right] + \varepsilon_{ijt} \quad (2)$$

式中： X_{ijt} 表示 i 国出口到 j 国的电力贸易量； k_{ij} 表示双边电力贸易的运输成本； $\frac{\bar{v}_{jt}}{G_{jt}}$ 和 $\frac{\bar{v}_{it}}{G_{it}}$ 分别表示 j 国的电力需求产能之比和 i 国的电力需求产能之比；

$\sqrt{\left(\frac{s_{jt}}{G_{jt}} \right)^2 - 2\rho_{ijt} \frac{s_{jt}s_{it}}{G_{jt}G_{it}} + \left(\frac{s_{it}}{G_{it}} \right)^2}$ 为双边贸易国间的需求

差异，由国内需求波动 s_{it} 、 s_{jt} 和国家间需求相关系数 ρ_{ijt} 计算所得； G_{it} 和 G_{jt} 分别表示 i 国和 j 国的电力供给能力， G_{ijt} 为双边电力供给能力的调和平均值； θ_0 为常数项，一定程度可以捕捉不同国家间的比较优势特征，但方向不确定； ε_{ijt} 表示误差项。

基于成本分析和“一带一路”跨境电力贸易的价格模型构建,能够找出影响跨境电力贸易价格的关键因素,分析影响电力价格的宏观变量,为建设区域电力互联平台和贸易中心合作国家选取提供实践依据。

4 “一带一路”跨境电力贸易建设时序的确定及风险评估

在“一带一路”跨境电力贸易潜力评价和价格影响因素分析的基础上,系统评估“一带一路”沿线国家电力贸易的经济收益,确定电力互联平台和贸易中心建设时序,并进行跨境电力贸易开展的风险评估,这一流程对跨境电力贸易的最终实施起到保障性作用。

4.1 “一带一路”跨境电力贸易建设时序的确定

针对“一带一路”跨境电力贸易中存在的区域电力互联平台和贸易中心建设这一时序问题,本文给出的解决方案如图5所示。

第一步,选取贸易效用影响因素指标。根据跨境电力贸易的潜力评价和电力价格影响因素,结合统计学或经济计量学的科学方法,选取跨境电力贸易效用影响指标。

第二步,建立经济效应评价模型。从定量角度剥离出“一带一路”倡议的实际影响力,客观地考察沿线国家因“一带一路”跨境电力贸易而获得的经济收益,这一阶段可采用政策效应评估方法中最为常用的双重差分(difference in difference, DID)模型进行计量分析^[40-41]。

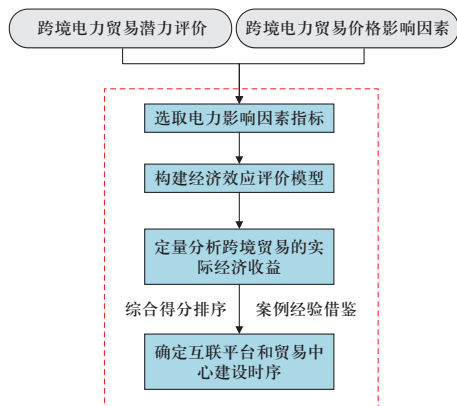


图5 “一带一路”电力互联平台和贸易中心建设路径选择流程

Fig. 5 Path selection process for the construction of power interconnection platform and trade center along the Belt and Road

第三步,确定互联平台和贸易中心建设时序。通过指标权重计算进行综合得分排序,结合国内外互联平台和贸易中心建设的实际情况,确定“一带一路”沿线部分国家参与的互联平台和贸易中心建设时序^[42]。

4.2 “一带一路”跨境电力贸易风险评估

由于“一带一路”沿线各国涉及不同国家的政治体制、经济体制、法律法规、社会环境、文化背景冲突等问题^[43-44],使得跨境电力贸易建设面临着很多难以避免的风险。对风险进行系统地分类、评估,并提出相应的应对措施,是规避风险必不可少的手段之一,且有利于顺利实现电力市场互联互通的最终目标^[45-47]。

如图6所示,“一带一路”跨境电力贸易风险评估首先通过分析中国与“一带一路”沿线国家跨境电力互联的总体状况,识别出构成跨境电力互联风险要素并进行风险分类,然后选取跨境电力贸易相关风险指标,可从制度环境、经济表现、金融与商务环境、电力因素等不同维度构建风险评估指标体系^[48-49],确定体系中各指标的权重,计算综合风险得分,以此进行跨境电力贸易风险的定量分析,在此基础上可从国家政策和企业行为两个方面提出相应避险措施。

在验证“一带一路”贸易的可行性、影响收益结果的具体因素、提出“一带一路”跨境电力贸易的具体格局规划后,对跨境电力贸易进行风险评估,提出避险措施,进一步保障电力资源的优化配置,确保贸易合作机制可持续发展。

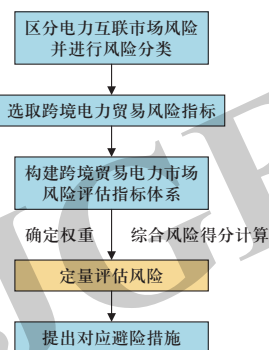


图6 “一带一路”跨境电力贸易风险评估流程

Fig. 6 Risk assessment process of cross-border electricity trade along the Belt and Road

5 结论

跨境电力贸易是全球能源互联网发展过程中的重要环节,是电力行业推动能源革命、服务“一带一路”建设的重要任务和实践。目前,中国与周边国家

电力市场化改革相对迟缓,远不能满足提升各国电力市场效率的需要,也无法为跨国电力市场建设提供有效的市场协调和合作机制。“一带一路”建设是重要的区域合作探索,能为发展程度存在差异的各国提供很好的区域合作样本。在此背景下,探索中国“一带一路”沿线国家跨境电力贸易的市场格局与建设时序具有显著的现实意义。本文旨在提出一种开展“一带一路”跨境电力贸易的标准执行方法及研究框架,重点进行了以下4项工作:

1) 为了确定“一带一路”区域电力互联和贸易中心建设的建设路径,本文着眼于解决2个关键问题,设计了“一带一路”跨境电力贸易的标准框架。

2) 提出以电力供需格局出发,剖析“一带一路”沿线各国开展跨境电力贸易的潜力和必要性,可为跨境贸易经济效用评估的经济表现指标选取提供参考。

3) 对于跨境电力贸易效用评估中的电力因素,提出以建立不同交易模式的电力市场模型为基础,从微观和宏观两个不同层面探究实际运行的电力市场中潜在的价格影响因素。

4) 给出了“一带一路”沿线互联平台和贸易中心建设路径选择流程,及如何考虑多维度风险进行“一带一路”跨境电力贸易风险评估的流程。

参考文献

- [1] 刘振亚. 构建全球能源互联网 推动能源与环境协调发展[J]. 中国电力企业管理, 2014(23): 14-17.
- [2] 厉以宁. 构建全球能源互联网 推动世界能源经济环境协调发展[J]. 国家电网, 2016(4): 51-52.
- [3] 周密. 拓展“10+1”框架下的东盟基础设施建设市场[J]. 国际经济合作, 2010(3): 54-57.
- [4] 成思思. 能源互联互通: “一带一路”带动装备走出去[EB/OL]. [2014-11-27]. <http://jiangsu.okcis.cn/dzxww140812.html>.
- [5] 梁才, 高国伟, 杨树, 等. “一带一路”跨国电网互联发展趋势、挑战及推进策略研究[J]. 全球能源互联网, 2018, 1(增刊1): 228-233.
LIANG Cai, GAO Guowei, YANG Shu, et al. “The Belt and Road” Area Power Grid Interconnection Trend Analysis and Promotion Strategy[J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2018, 1(S1): 228-233(in Chinese).
- [6] LOPEZ N S A, BIONA J B M M, CHIU A S F. Electricity trading and its effects on global carbon emissions: a decomposition analysis study[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 195: 532-539.
- [7] 黄琨, 周原冰, 曲昊源, 等. 跨国跨洲电力交易机制研究[J]. 全球能源互联网, 2018, 1(增刊1): 234-241.
HUANG Kun, ZHOU Yuanbing, QU Haoyuan, et al. The Study on Cross-Border and Cross-Continent Electricity Trading Mechanisms[J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2018, 1(S1): 234-241(in Chinese).
- [8] 陈启鑫, 张维静, 滕飞, 等. 欧洲跨国电力市场的输电机制与耦合方式[J]. 全球能源互联网, 2020, 3(5): 421-429.
CHEN Qixin, ZHANG Weijing, TENG Fei, et al. Transmission Mechanisms and Coupling Approaches in European Transnational Electricity Markets [J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2020, 3(5): 421-429 (in Chinese).
- [9] 范松丽, 苑仁峰, 艾芊, 等. 欧洲超级电网计划及其对中国电网建设启示[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(10): 6-15.
FAN Songli, YUAN Renfeng, AI Qian, et al. European supergrid project and its enlightenment to China's power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(10): 6-15(in Chinese).
- [10] 刘振亚. 全球能源互联网跨国跨洲互联研究及展望[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(19): 5103-5110.
LIU Zhenya. Research of global clean energy resource and power grid interconnection[J]. Proceedings of the CSEE, 2016, 36(19): 5103-5110(in Chinese).
- [11] PUKA L, SZULECKI K. The politics and economics of cross-border electricity infrastructure: a framework for analysis[J]. Energy Research & Social Science, 2014, 4: 124-134.
- [12] CHANG Y, LI Y F. Power generation and cross-border grid planning for the integrated ASEAN electricity market: a dynamic linear programming model[J]. Energy Strategy Reviews, 2013, 2(2): 153-160.
- [13] SAROHA S, VERMA R. Cross-border power trading model for south Asian regional power pool[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2013, 44(1): 146-152.
- [14] 丁军策, 许喆, 陈玮, 等. 南方区域与东南亚国家的跨国电力交易模式设计[J]. 广东电力, 2020, 33(6): 20-27.
DING Junce, XU Zhe, CHEN Wei, et al. Design of cross-border power trading mode between southern region and Southeast Asia[J]. Guangdong Electric Power, 2020, 33(6): 20-27(in Chinese).
- [15] 柳建文. “一带一路”背景下我国国际次区域合作问题研究[J]. 国际论坛, 2017, 19(3): 1-7.
LIU Jianwen. The study of international sub-regional cooperation in China against the background of the belt and road[J]. International Forum, 2017, 19(3): 1-7(in Chinese).
- [16] 黄娜. 大湄公河次区域(GMS)电力互联互通合作状况及前景分析[J]. 现代经济信息, 2014(16): 456.
- [17] 杨迎春, 李琼源, 赵清卿. 加强我国与“一带一路”沿线国家电力领域合作研究[J]. 经济纵横, 2017(9): 99-104.
YANG Yingchun, LI Qiongyuan, ZHAO Qingqing. Strengthen the electric power cooperation between China and countries along “the belt and road” [J]. Economic Review, 2017(9): 99-104(in Chinese).
- [18] 王志轩. “一带一路”电力企业的机遇与挑战[J]. 中国能源,

- 2015, 37(10): 9-12.
- WANG Zhixun. Opportunities and challenges of the one belt and one road initiative to electric power enterprises[J]. Energy of China, 2015, 37(10): 9-12(in Chinese).
- [19] 曾鸣. “一带一路”战略下看中国与东南亚电力合作[J]. 中国电力企业管理, 2015(23): 75-77.
- [20] 夏清, 彭涛, 周安石, 等. 保证电力供需长期均衡的措施研究[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(6): 1-5.
- XIA Qing, PENG Tao, ZHOU Anshi, et al. Study on the measures for maintaining the electrical long-term equilibrium[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(6): 1-5(in Chinese).
- [21] 张传平, 周倩倩. 我国能源消费影响因素研究: 基于长期均衡和短期波动的协整分析[J]. 中国能源, 2013, 35(3): 35-38.
- ZHANG Chuanping, ZHOU Qianqian. Study on factors to influence China's energy consumption[J]. Energy of China, 2013, 35(3): 35-38(in Chinese).
- [22] 常虹. 智能电网背景下的电力供需分析与电价研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.
- [23] 韦倩青, 韦倩虹. 中国与东盟电力合作可行性及方式选择[J]. 对外经贸实务, 2009(9): 26-29.
- [24] 刘晓凯, 张明. 全球视角下的PPP: 内涵、模式、实践与问题[J]. 国际经济评论, 2015(4): 53-67.
- LIU Xiaokai, ZHANG Ming. PPP in the global perspective: implications, models, practice and problems[J]. International Economic Review, 2015(4): 53-67(in Chinese).
- [25] 李耀全, 安彬, 刘宝国. 国际电力合作方式的比较分析[J]. 国家电网, 2008(6): 57-58.
- [26] 中越电力合作永兴项目正式实施[J]. 电力安全技术, 2014, 16(1): 10.
- [27] 唐博文, 孙元章, 徐箭, 等. 售电公司参与下的工业园区局域电网建设项目新模式探讨[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(19): 185-197.
- TANG Bowen, SUN Yuanzhang, XU Jian, et al. Discussion on new mode of construction project for regional power grid in industrial park with participation of electricity retailers[J]. Automation of Electric Power Systems, 2020, 44(19): 185-197(in Chinese).
- [28] 李永刚. 地方政府债务规模影响因素及化解对策[J]. 中南财经政法大学学报, 2011(6): 3-6.
- LI Yonggang. Influencing factors of local government debt scale and solution strategies[J]. Journal of Zhongnan University of Economics and Law, 2011(6): 3-6(in Chinese).
- [29] 曲哲涵. 二季度PPP模式主要指标明显回升, 有望迎来发展拐点 [N/OL]. 人民日报, 2020-08-27 [2020-09-20]. http://paper.people.com.cn/rmrb/html/2020-08/27/nw.D110000renmrb_20200827_2-13.htm.
- [30] 游沛羽, 王晓辉, 张艳. 亚欧超远距离特高压输电经济性研究[J]. 电网技术, 2015, 39(8): 2087-2093.
- YOU Peiyu, WANG Xiaohui, ZHANG Yan. Economic research on Asia-Europe long-distance UHV power transmission[J]. Power System Technology, 2015, 39(8): 2087-2093(in Chinese).
- [31] GREENWOOD J. The third industrial revolution: technology, productivity and income inequality[J]. International Journal of Conflict Management, 1999, 10(2): 130-153.
- [32] 张彦涛, 张志强, 张玉红, 等. 应用特高压直流输电技术实现亚欧洲际输电方案的设想[J]. 电网技术, 2015, 39(8): 2069-2075.
- ZHANG Yantao, ZHANG Zhiqiang, ZHANG Yuhong, et al. Application research on UHVDC technology in Asia-Europe power transmission planning[J]. Power System Technology, 2015, 39(8): 2069-2075(in Chinese).
- [33] 代红才, 彭建春, 杨帮宇, 等. 基于边际成本和潮流追踪的无功定价[J]. 电网技术, 2007, 31(7): 59-63.
- DAI Hongcai, PENG Jianchun, YANG Bangyu, et al. Reactive power pricing based on marginal cost and power flow tracing[J]. Power System Technology, 2007, 31(7): 59-63(in Chinese).
- [34] 胡朝阳, 韩祯祥. 基于Shapley值的网损分摊新方法[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(7): 32-35.
- HU Zhaoyang, HAN Zhenxiang. A new shapley value based method for allocation of transmission losses[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(7): 32-35(in Chinese).
- [35] 谢畅, 王蓓蓓, 赵盛楠, 等. 基于双层粒子群算法求解电力市场均衡[J]. 电网技术, 2018, 42(4): 1170-1176.
- XIE Chang, WANG Beibei, ZHAO Shengnan, et al. Equilibrium solution for electricity market based on Bi-level particle swarm optimization algorithm[J]. Power System Technology, 2018, 42(4): 1170-1176(in Chinese).
- [36] 王蓓蓓, 仇知, 丛小涵, 等. 基于两阶段随机优化建模的新能源电网灵活性资源边际成本构成的机理分析[J/OL]. 中国电机工程学报. <https://doi.org/10.13334/j.0258-8013.pcsee.191885>.
- WANG Beibei, QIU Zhi, CONG Xiaohan, et al. Mechanism analysis of flexible resources' marginal price in new energy grid based on two-stage stochastic optimization modeling[J/OL]. Proceedings of the CSEE, <https://doi.org/10.13334/j.0258-8013.pcsee.191885>(in Chinese).
- [37] 黄永皓, 尚金成, 康重庆, 等. 电力中长期合约交易市场的运作机制及模型[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(4): 24-28.
- HUANG Yonghao, SHANG Jincheng, KANG Chongqing, et al. An operation mechanism and model of long and middle term contract market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(4): 24-28(in Chinese).
- [38] 张显, 王锡凡, 陈皓勇, 等. 电力市场中的双边合同[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(11): 77-86.
- ZHANG Xian, WANG Xifan, CHEN Haoyong, et al. Survey of bilateral contracts in power market[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(11): 77-86(in Chinese).
- [39] 周建中, 李清清, 李超顺, 等. 基于博弈论的发电侧竞

- 价市场均衡特性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(24): 82-87.
- ZHOU Jianzhong, LI Qingqing, LI Chaoshun, et al. Analysis on equilibrium characteristics of supply side bidding market based on game theory[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(24): 82-87(in Chinese).
- [40] 顾欣, 吴嘉贤, 王蓓蓓, 等. “一带一路”沿线国家间跨境电力贸易的主要影响因素研究[J]. 全球能源互联网, 2019, 2(4): 384-392.
- GU Xin, WU Jiaxian, WANG Beibei, et al. The determinants of cross-border electricity trade among countries along the Belt and Road area[J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2019, 2(4): 384-392(in Chinese).
- [41] 叶芳, 王燕. 双重差分模型介绍及其应用[J]. 中国卫生统计, 2013, 30(1): 131-134.
- [42] 陈虹, 刘纪媛. “一带一路”沿线国家基础设施建设对中国对外贸易的非线性影响: 基于面板门槛模型的研究[J]. 国际商务 (对外经济贸易大学学报), 2020(4): 48-63.
- CHEN Hong, LIU Jiyuan. The nonlinear impact of “the belt and road” countries infrastructure on China’s foreign trade: based on the panel threshold model[J]. International Business, 2020(4): 48-63(in Chinese).
- [43] 楼雯倩, 裴玲玲. “一带一路”沿线国家营商环境综合评价[J]. 统计与决策, 2020(14): 152-156.
- [44] 苗中泉, 毛吉康. 电能时代的能源地缘政治初探[J]. 全球能源互联网, 2020, 3(5): 518-525.
- MIAO Zhongquan, MAO Jikang. A study on the geopolitics of energy in the era of electric power [J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2020, 3(5): 518-525 (in Chinese).
- [45] 顾欣, 张玮强, 金杰, 等. “一带一路”倡议下电力互联市场的投资风险研究[J]. 东南大学学报 (哲学社会科学版), 2020, 22(3): 82-89.
- GU Xin, ZHANG Weiqiang, JIN Jie, et al. An investment risk analysis of the cross-border power interconnection market in countries along the Belt and Road[J]. Journal of Southeast University (Philosophy and Social Science), 2020, 22(3): 82-89(in Chinese).
- [46] DAGOUMAS A S, KOLTSAKLIS N E, PANAPAKIDIS I P. An integrated model for risk management in electricity trade[J]. Energy, 2017, 124: 350-363.
- [47] 翟绘景, 樊海荣, 耿庆申. 跨国直流输电工程经济评价及风险防范研究[J]. 华北电力大学学报 (社会科学版), 2016(2): 23-26.
- ZHAI Huijing, FAN Hairong, GENG Qingshen. Research on economic evaluation and risk prevention of transnational HVDC project[J]. Journal of North China Electric Power University (Social Sciences), 2016(2): 23-26(in Chinese).
- [48] 汪芹. 中国企业跨国经营存在的问题及对策[J]. 国际经济合作, 2002(2): 13-16.
- [49] 孙霞. 中亚能源地缘战略格局与多边能源合作[J]. 世界经济研究, 2008(5): 37-43.
- SUN Xia. Central asia’s geopolitics of energy and multilateral energy cooperation[J]. World Economy Study, 2008(5): 37-43(in Chinese).

收稿日期: 2020-09-02; 修回日期: 2020-12-28。



王蓓蓓

作者简介:

王蓓蓓 (1979), 女, 博士, 副教授, 研究方向为电力市场、电力优化调度、智能用电、新能源接入系统运行控制。通信作者, E-mail: wangbeibei@seu.edu.cn。

陈中瑶 (1995), 女, 硕士, 研究方向为电力市场, E-mail: 220194815@seu.edu.cn。

顾欣 (1982), 女, 博士, 副教授, 研究方向为宏观经济、发展经济学和国际经济学, E-mail: guxin@seu.edu.cn。

刘贞瑶 (1979), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为输电线路运检管理, E-mail: liuzhenyaolzy@163.com。

(责任编辑 张鹏)