

Research Progress of Wind Power Grid Risk Benefit Based on VaR

Qin Yu¹, Xiaobing Zha^{2*}

¹School of Economics and Management, North China Electric Power University (NCEPU), Beijing

²School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University (NCEPU), Beijing

Email: *875261882@qq.com

Received: Mar. 14th, 2018; accepted: Mar. 29th, 2018; published: Apr. 9th, 2018

Abstract

In recent years, with the rapid development of wind power, the wind power capacity connecting into network continues to increase. Clean wind energy is conducive to easing the energy crisis and managing the environment. However, the volatility and randomness of wind power have brought many problems to the power grid. How to scientifically assess the risk benefit of wind power grid operation has become a hot issue in current research. The proposition of the VaR provides an idea for this. The development of wind power is analyzed, and the basic concepts and basic model of VaR are described in this paper. The paper summarizes the current research progress of wind power grid risk based on VaR and prospects the research on wind power grid risk benefit based on VaR.

Keywords

Wind Power, Risk Value Model, Condition Risk Value Model, Risk Benefit

基于VaR的风电并网风险效益研究进展

余 琴¹, 查效兵^{2*}

¹华北电力大学经济与管理学院, 北京

²华北电力大学电气与电子工程学院, 北京

Email: *875261882@qq.com

收稿日期: 2018年3月14日; 录用日期: 2018年3月29日; 发布日期: 2018年4月9日

*通讯作者。

摘要

近年来风电发展十分迅速, 风电并网容量不断增大。清洁的风电能源有利于缓解能源危机、治理环境。但风电的波动性、随机性给电网带来了诸多的问题。如何科学的评估风电并网运行的风险效益已经成为当前研究的热点问题。风险价值模型的提出为此提供了思路。主要分析了风电发展状况, 阐述了VaR的基本概念和基本模型。总结了目前基于VaR的风电并网风险效益研究进展, 并对基于VaR的风电并网风险效益研究进行了展望。

关键词

风电, 风险价值模型, 条件风险价值模型, 风险效益

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

2017年上半年, 中国风电新增并网容量约600万千瓦, 截止到6月底累计并网容量达到1.54亿千瓦, 风电发展十分迅速[1]。大规模的清洁能源风电的并网, 一方面, 可在一定程度上缓解能源危机、有益于全球环境的治理。但另一方面, 风电的波动性、随机性给电网电压、功角、频率稳定、电能质量等方面带来了巨大的挑战, 这也严重制约了风电并网容量[2] [3] [4]。如何科学的评估风电并网运行的经济效益以平衡清洁能源的利用效率与风电并网带来的问题之间的矛盾亟待解决。

风险价值(Value at Risk, VaR)模型, 一种常用的经济学风险度量工具, 被广泛应用市场价值评估[5] [6] [7]。近年来, 许多学者将该模型应用于风电并网的风险价值评估以指导风电建设、风电并网控制、调度运行等。

本文主要分析了目前国内外的风电发展状况, 指出风电并网风险效益评估的必要性。阐述了VaR的基本概念和基本模型, 比较了VaR模型的主要计算方法之间的差别, 明确了各种方法适用的问题。介绍了目前基于VaR的风电并网风险效益研究进展, 总结了风电并网风险效益研究的研究思路, 并对基于VaR的风电并网风险效益研究进行了展望。

2. 风电发展现状

随着化石能源的逐渐枯竭、全球环境日益恶化, 清洁无污染、可再生的风能越来越受到各国的欢迎。各国对风电的重视使风电得到了飞速的发展。图1给出了2006年至2016年之间全球的风电发展状况。从2006年至2016年, 全球风电累计装机容量逐年增加, 全球风电新增装机容量也呈逐年增加的趋势, 2016年风电装机容量已经达到486,749 MW, 约为2006年的6.5倍。其中中国、美国、德国、印度是风电发展的主力军。2016年世界各国风电新增装机容量如图2所示。风电已成为部分国家新增电力供应的重要组成部分。2000年以来风电占欧洲新增装机的30%, 2007年以来风电占美国新增装机的33%。2015年, 风电在丹麦、西班牙和德国用电量中的占比分别达到42%、19%和13% [8] [9]。随着全球发展可再生能源的共识不断增强, 风电在未来能源电力系统中将发挥更加重要作用。风电开发利用的经济性显著

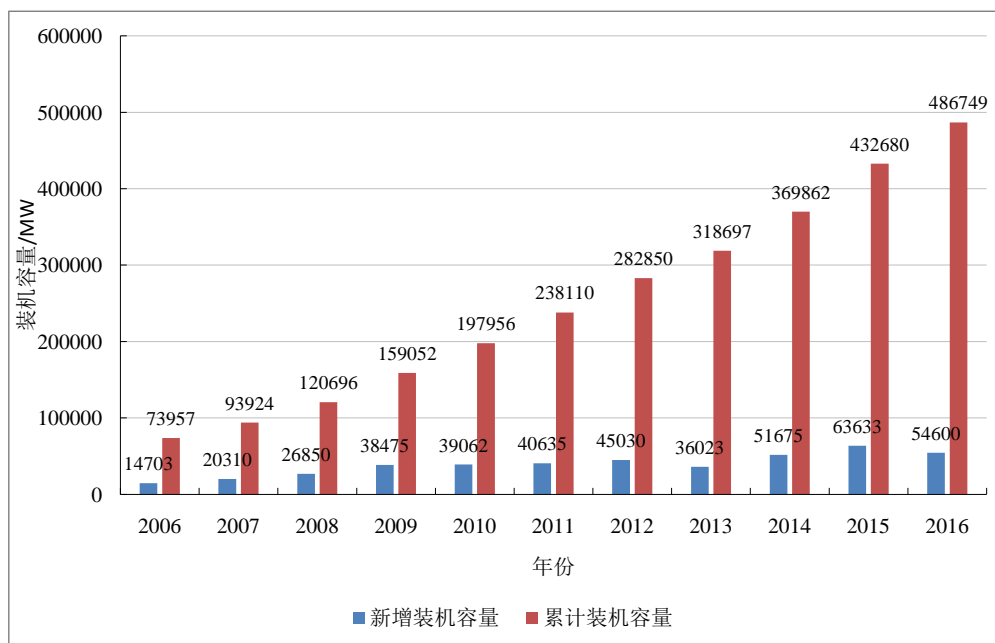


Figure 1. Global wind power development status from 2006 to 2016
图 1. 2006 年至 2016 年全球风电发展状况

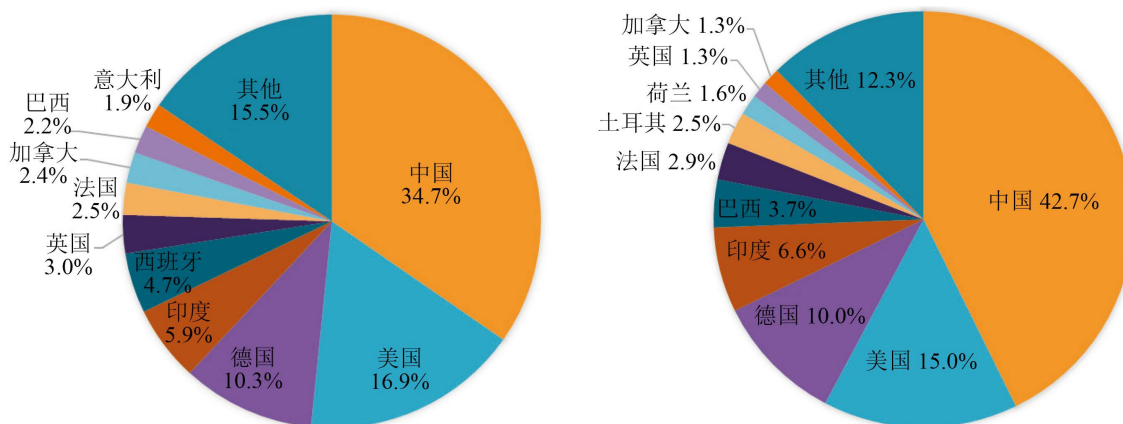


Figure 2. Proportion of wind power in all countries in 2016 (left for cumulative installed capacity and right for new installed capacity)
图 2. 2016 年全球各国风电所占比例(左为累计装机容量, 右为新增装机容量)

提升。随着全球范围内风电开发利用技术不断进步及应用规模持续扩大, 风电开发利用成本在过去五年下降了约 30%, 风电开始逐步显现出较强的经济性[10] [11]。

得益于国家的大力支持和技术人员的不懈努力, 中国风电事业发展最为迅速。从 2006 年至 2016 年, 我国风电累计风电装机容量不断增加。2014~2016 年的风电新增装机容量都超过了 2000 万千瓦。2016 年中国风电新增装机容量为 2337 万千瓦, 累计装机容量达到了 16,873 万千瓦, 如图 3 所示。

风力发电无污染, 有利于治理全球环境污染问题和解决全球能源危机。但由于风电的随机性及不可控性, 其并入电网后将会改变调度计划方案和增加系统旋转备用容量, 从而可能会增加电力系统的运行成本。风电并入电力系统后无疑会增加系统运行的不确定性, 故有必要研究风电并网的风险效益, 以制定合理的发电计划, 保证系统稳定、经济运行。

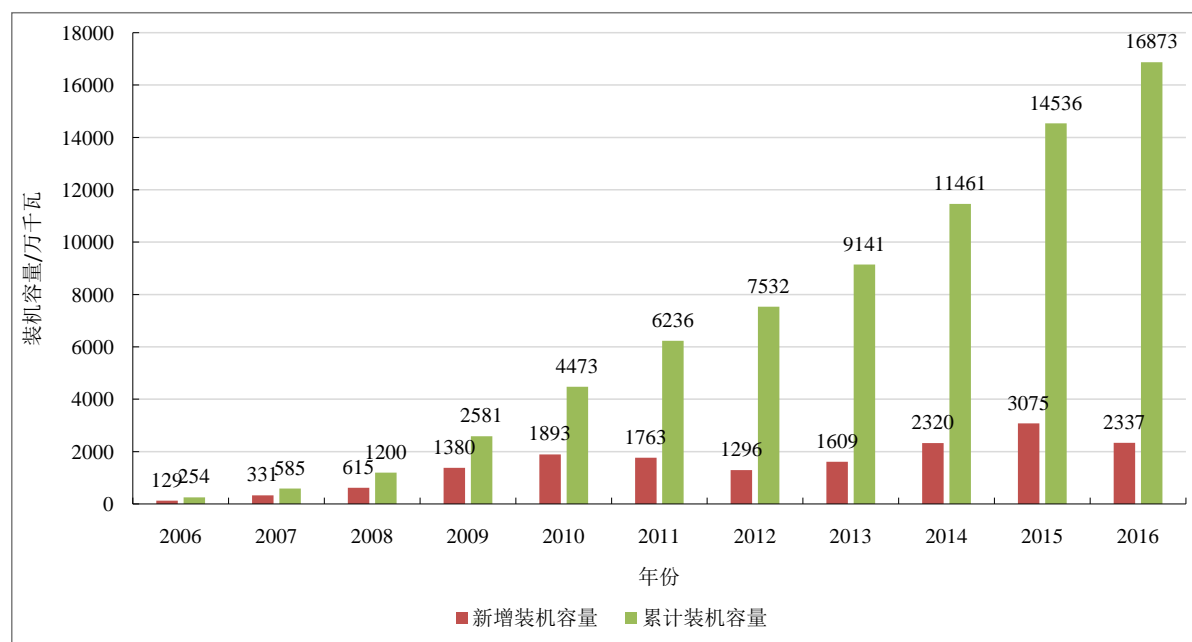


Figure 3. Wind power development in China from 2006 to 2016

图 3. 2006 年至 2016 年中国风电发展状况

3. VaR 方法

3.1. 基本概念

VaR, 即风险价值或在险价值(Value at Risk), 一种常用的风险度量工具, 权威定义由 Philippe Jorion (1996)给出: 即正常市场背景下, 在给定的置信度下和一定的持有期间内, 利率、股价、汇率和商品价格等市场风险因子发生变化时, 未来指定期间可能造成的某项金融资产或组合的最大潜在损失[12]。风险价值模型最初目的用于量化市场风险, 随着全面风险管理理念的发展、金融理论的深化和数理统计应用的结合, VaR 风险价值逐渐演变为可应用于各种风险量化管理的工具。风险价值定义的一般公式为:

$$Prob\{\Delta p(\Delta t, \Delta x) \leq -VaR\} = 1 - c \quad (1)$$

公式中, Δt 为持有期间, Δx 为风险要素(利率、汇率、股价和商品价格等市场等)的变动, c 是给定置信水平, $\Delta p(\Delta t, \Delta x) = p(t, x) - p(t_0, x_0)$ 是资产损益函数, 其中 $p(t_0, x_0)$, $p(t, x)$ 分别为期初价格和预测价格。

正常市场背景下, 置信度 c 时, 持有期为 Δt 的某一资产或组合风险价值即 VaR 值, 或者说该资产在 Δt 持有期, 因风险要素变化带来的最大潜在损失超过 VaR 值的可能性仅为 $1 - c$ 。以 95% 的置信区间为例, 资产的损益分布如图 4 所示。

VaR 模型具有以下优势: 高度总结性, 直观易懂; 具备综合可比性; 具备统计概率性; 具备适应宽广性; 具备检验可靠性。其也有以下不足: 存在一定使用前提和假设; 无法说明具体来源, 不能反映资产对价格波动的敏感性; 第三, 不能捕捉极端风险。

3.2. VaR 基本模型

为计算一般分布下的 VaR, 首先定义 W_0 为资产的初始金额, R 为投资收益率, 令 $W = W_0(1 + R)$ 为最后期末价格, 令 R 的均值和波动性分别为 μ 和 σ 。

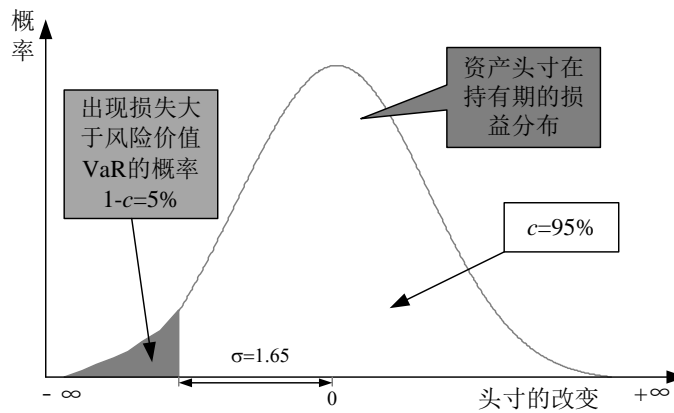


Figure 4. Asset profit distribution
图 4. 资产损益分布图

在一般分布下, VaR 分为相对损失与绝对损失, 其中绝对损失与平均值无关, 与期初价格有关, 公式为:

$$\text{VaR}(0) = W_0 - W^* = -W_0 R^* \quad (2)$$

相对损失则与初始投资额无关, 与平均值有关, 公式为:

$$\text{VaR}(\mu) = E(W) - W^* = E[W_0(1+R)] - W_0(1+R^*) = -W_0(R^* - \mu) \quad (3)$$

公式(2)和(3)说明, 求得一定置信水平下的最小价值 W^* 。或最低投资回报率 R^* , 就能够得到 VaR 值。一般条件下, 设 $f(W)$ 是资产预期值的概率密度函, 则 VaR 值可从概率分布函数求得。在置信度为 c 时, 可由下式求出最小价值 W^* :

$$c = \int_{W^*}^{\infty} f(W) dW \quad (4)$$

或表示为小于 W^* 的概率 $p = P(W \leq W^*)$ 为 $1-c$, 即

$$1-c = \int_{-\infty}^{W^*} f(W) dW = P(W \leq W^*) = p \quad (5)$$

即在置信度为 c 时, 求出最小价值 W^* , 使期末价值 W 低于 W^* 的概率为 $1-c$, W 高于 W^* 的概率为 c , 便得到了一般分布下的风险价值 VaR 模型。

为简化计算, 可假定标准正态分布函数 $N(W)$, 令:

$$N^{-1}(c) = \frac{\mu_w - R^*}{\sigma_w} \quad (6)$$

则 $a = N^{-1}(c)$, 当 $a > 0$ 时为标准正态分布分位数乘数因子 Z_a , 此时 VaR 公示可简化为:

$$\text{VaR} = W_0 Z_a \sigma_w \sqrt{\Delta t} \quad (7)$$

3.3. VaR 模型主要计算方法

目前, 计算 VaR 的主要计算方法有方差 - 协方差法、GARCH 模型法、历史模拟法、蒙特卡洛模拟法等[13]-[20]。方差 - 协方差法是最直观与常用的参数计算方法, 假定一定分布条件, 依据收益率历史数据, 根据序列的标准差和相关系数等参数值, 计算相应的 VaR 值。GARCH 模型方法由方差 - 协方差方

法进一步发展而来。GARCH 模型是在 ARCH 模型基础上, 延伸的一般自回归条件异方差模型。比较一般时序模型, GARCH 模型能够在金融资产收益率厚尾分布与时变方差出现时, 准确刻画收益率的特征, 在近年来快速发展。历史模拟法较直观易懂的非参数完全估值法, 该方法基于有关经验与历史数据, 不对风险因素分布做出任何假设, 根据定义直接计算 VaR 值, 即在制定水平下, 通过风险因素历史数据对资产组合未来收益模拟算得最大可能损失。蒙特卡洛模拟法也称为随机模拟方法, 通过运用计算机随机模拟资产价格走势, 以求近似解释该资产分布特征, 即对投资组合价值分布进行重塑。蒙特卡洛方法使用模拟资产组合的统计分布拟合未来收益并算出 VaR 值。该方法给各风险因素指定一个可能的分布, 利用过去数据估计分布参数, 再使用分布和参数随机产生千万种风险因素未来损失值, 重新估计资产组合价值, 再通过收益构造经验分布, 确定置信度下 VaR 风险价值。四大计算方法的具体流程见图 5 所示。

表 1 列出了四种风险价值模型的主要区别。在选择计算风险价值的方法时, 应考虑适用范围、时效性及所需系统资源、是否易于理解与分析、预测的准确性等因素。可参照表 1 中各种计算模型的特点选择合适的模型进行计算。

4. VaR 在风电并网风险效益中的应用

作为可再生能源中的主力军, 风电是目前全球各国关注的焦点。但空气密度、风速等气候条件对风电的影响很大, 在这些因素的共同作用下, 导致风电出力具有波动性、随机性、间歇性等特点, 给电网带来一定的风险。随着风电并网容量的不断增减, 电网外界环境、气候条件的影响越来越大, 不仅会对当前电网运行带来调峰、调频、调压等问题, 也给风力发电融入现代电力市场制造了难题。为提高风电并网运行的经济新, 迫切需要研究考虑风电并网的工程和金融风险评方法与模型。VaR 模型可简单明了地表示市场风险的大小, 可适用于评估风电并网运行的风险效益, 对于风电场的设计与规划、并网运行、调度控制具有重要的实际意义。近年来, 许多学者利用 VaR 模型对风电并网风电效益进行了研究。

考虑电力市场条件, 文献[21]在对动态稳定、暂态电压稳定、金融风险三大评估模型和方法的研究基础上, 采用金融期权实现风电商的风险规避, 与传统电价策略相比, 该策略具有更好的灵活性、自主性、市场导向性。针对投资风险问题, 文献[22]提出了在回收期外、内采用不同的定价方式, 并使用 VaR 评估模型描述了调峰所面临的弃风量不确定性风险, 在该模型的基础上分析了影响调峰的因素, 为热电厂主动参与风电调峰提供了主动性。

VaR 方法对于风电资源评估和风电场建设具有良好的指导作用。文献[23] [24]利用 VaR 评估风电场的风能资源, 估算了包含投资成本、风电资源等的风电场建设风险以确保风电场建设的经济性和合理性。风电的随机性是制约风电发展的根本原因, 随着风电并网容量的不断增加, 风电并网后电网运行的风险也越来越高, 这也是系统调度人员面临的一大难题。文献[25]根据某风电场的实际输出功率统计数据, 建立了含 AGC 运行约束的电力系统实时发电计划模型, 采用 VaR 方法评估了风电场出力瞬时波动造成的运营损失, 以此为参照提出相应的措施以减小风电波动给电网带来的风险。文献[26] [27]从系统运行水平层面考虑, 将风力发电的风险模型加入电力系统优化调度模型中, 以降低控制调度策略的风险、提高系统运行的可靠性。

因 VaR 方法对极端事件的发生缺乏预料与控制, 易产生尾部风险, 学者对 VaR 方法进行了改良, 提出了条件风险价值(Condition Value at Risk, CVaR) [28]。CVaR 指金融资产或投资组合非得损失大于某个给定的 VaR 值条件下的期望损失。与 VaR 相比, CVaR 具有更好的适应性, 且能够较好的控制尾部风险, 使 CVaR 在经济领域得到广泛研究和应用。VaR 与 CVaR 之间的比较如表 2 所示。

CVaR 的提出给风电风险价值评估的研究提供了一种新的思路。针对含风电系统经济调度问题, 文献[29]将 CVaR 作为一种对于含有随机变量问题及考虑其概率分布函数的求解方法用于优化调度模型。在

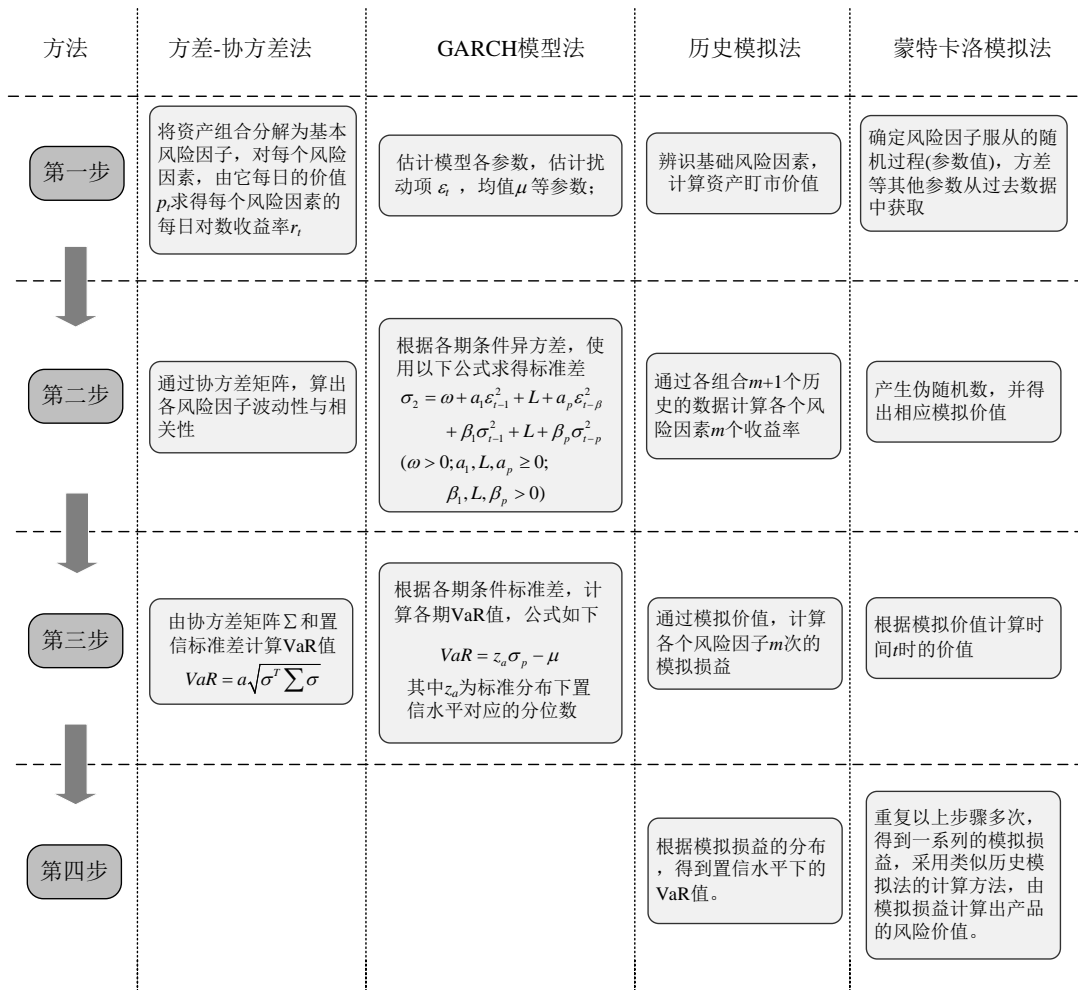


Figure 5. The specific calculation process of four calculation model

图 5. 四大计算模型的具体计算流程

Table 1. The main differences between the four VaR models

表 1. 四种风险价值模型的主要区别

维度	方差 - 协方差	GARCH 模型	历史模拟	蒙特卡洛模拟
适用范围	线性衍生品	线性衍生品	线性和非线性衍生品	线性和非线性衍生品
时效性与所需系统资源	运算时间较短, 系统资源配置低	运算时间较短, 系统资源配置低	运算时间较长, 系统资源配置较高	运算时间较长, 系统资源配置最高
易于理解程度	容易理解	需一定基础	难度居中	比较困难
预测准确度	返回检验结果较差	返回检验结果较好	置信水平高时返回检验好	返回检验在容忍程度内

Table 2. The comparison of VaR and CVaR

表 2. VaR 与 CVaR 的比较

方法	优点	缺点	适用情况
VaR	概念简单, 计算方便, 能够及时反映市场风险的不足	不满足次可加性, 很难反映投资组合具有分散风险的特点; 不满足凸性, 整体优化在数学上难以实现; 尾部损失测量不够充分	金融监管
CVaR	更好地控制了尾部风险; 适应性更强	计算相对复杂	投资组合优化

文献[29]的基础上, 文献[30]将风电计划出力费用和偏差成本计入目标函数, 构建了含风电出力偏差条件风险值的电网经济调度模型。仿真结果表明该方法可有效解决含风电系统经济调度问题。文献[31]把 CVaR 作为风险计量指标, 建立了风电场并网容量的模型和风电效益模型, 得到不同风速和风险下的并网容量及经济效益, 用于指导风电并网容量。文献[32]基于 CVaR 的概念以及组合优化的数学理论, 构建了系统旋转备用的最优化模型, 力求在确保系统安全运行的前提下, 实现机组有功出力与旋转备用的协调分配, 从而提高系统运行的整体效益。

文献[33] [34]考虑负荷、风速的不确定性, 同时采用 VaR 和 CVaR 理论建立了计及风险约束的短期经济调度模型, 既减小运行成本又降低了不确定因素对电网带来的风险。为定量评估风电并网的风险, 文献[35]提出了基于 VaR 和 CVaR 的风电出力特性评估指标风电出力峰谷差、同时率、变化率, 并采用统计方法分析了该三大指标, 以期用概率语言评估了风电对电网调峰、调频的影响, 为风电并网运行提供了可靠的依据。针对风电波动性, 文献[36]建立了含可控负荷、储能的配电网风险评估模型, 引入 VaR 及 CVaR 等方法量化分析了配电网的风险损失, 仿真结果验证了模型的正确性和有效性。

除了从技术角度来降低风电并网运行的风险, 有部分学者从经济政策的角度研究了风电价值风险。文献[37]从现状、趋势、经验等多方面分析了我国风电保险产业创新的必要性。文献[38]讨论了新能源可能产生的风险, 阐述了新能源风险价值研究的重要意义。

风电并网的经济效益评估的基本过程如图 6 所示。风电并网之后, 对风电并网运行经济效益评估, 不仅要考虑风速波动导致风机出力的波动, 负荷波动, 而且要考虑市场价格等风险源, 以全面科学地评估风电并网运行的经济效益。风险评估方法多是采用 VaR 价值评估方法、CVaR 方法或者二者结合的方法。然后根据不同的目标要求, 采用合适的计算模型和方法, 计算得到风电并网运行的经济收益。以得到的计算结果为参照, 指导风电场的规划建设, 风电场调度运行, 参与电网调频、调压、调峰等, 实现风电并网的经济运行。

5. 结论与展望

本文基于对风电发展现状、VaR 原理和模型、VaR 在风电并网风险效益中的应用的分析与总结, 得出以下结论和展望。

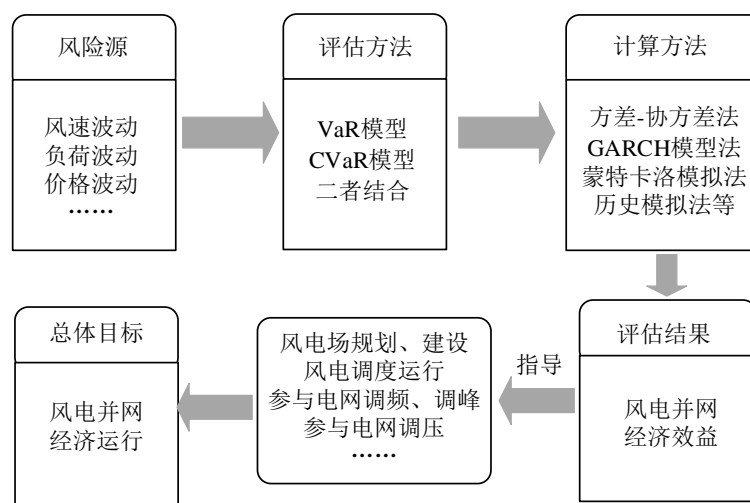


Figure 6. The basic process of wind power grid economic evaluation

图 6. 风电并网的经济效益评估基本过程

1) 风电并网风险源的模型研究。风电场的风速、系统的负荷、市场的价格等模型的建立都是基于一定的预测方法, 本身就存在一定的误差, 且依赖于模型的预测精度。只有先保证风险源模型预测的精度, 才能进行合理的风险价值评估。风电并网风险源的模型研究是风电并网风险效益研究的基础。

2) VaR 风险价值模型的优化。风电并网涉及的问题非常多, 影响因素复杂, 单一的模型不能完全反映实际的电网运行情况。需优化设计科学合理的 VaR 风险价值模型以充分评估实际风电运行的状况, 为风电运行提供参考依据。

3) 考虑调频调压、暂态稳定等的风电评估方法。随着电网运行控制技术的不断提高, 风电也常用于系统调频、调峰、调压等, 风电并网要考虑的因素更加的复杂化。为满足实际风电运行的需求, 考虑调频调压、暂态稳定等的风电评估方法的研究亟不可待。

参考文献

- [1] 徐涛. 2016 年全球风电装机统计[J]. 风能, 2017(2): 52-57.
- [2] 刘斯伟, 李庚银, 周明. 双馈风电机组对并网电力系统暂态稳定性的影响模式分析[J]. 电网技术, 2016, 40(2): 471-476.
- [3] Mele, F.M., Ortega, Á., Zárate-Miñano, R., *et al.* (2016) Impact of Variability, Uncertainty and Frequency Regulation on Power System Frequency Distribution. *Power Systems Computation Conference*, Genoa, 20-24 June 2016, 1-8. <https://doi.org/10.1109/PSCC.2016.7540970>
- [4] 赵嘉兴, 高伟, 上官明霞, 等. 风电参与电力系统调频综述[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(21): 157-169.
- [5] Ghaoui, L.E., Oks, M. and Oustry, F. (2017) Worst-Case Value-at-Risk and Robust Portfolio Optimization: A Conic Programming Approach. *Operations Research*, **51**, 543-556. <https://doi.org/10.1287/opre.51.4.543.16101>
- [6] Zhao, P. and Xiao, Q. (2016) Portfolio Selection Problem with Value-at-Risk Constraints under Non-Extensive Statistical Mechanics. *Journal of Computational & Applied Mathematics*, **298**, 64-71. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2015.12.008>
- [7] Gencer, H.G. and Demiralay, S. (2016.) Volatility Modeling and Value-at-Risk (VaR) Forecasting of Emerging Stock Markets in the Presence of Long Memory, Asymmetry, and Skewed Heavy Tails. *Emerging Markets Finance & Trade*, **52**, 1-19. <https://doi.org/10.1080/1540496X.2014.998557>
- [8] 张玥. 丹麦通过三种途径实现风电消纳[J]. 风能, 2016(2): 38-38.
- [9] 车明, 于小迪, 单维平, 等. 欧洲及丹麦能源转型对我国天然气发展的启示[J]. 中外能源, 2017, 22(9): 13-17.
- [10] 王露. 我国风电电价政策研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学, 2016.
- [11] 郝宇, 张宗勇, 廖华. 中国能源“新常态”: “十三五”及 2030 年能源经济展望[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2016, 18(2): 1-7.
- [12] Jorion, P. (1996) Risk 2: Measuring the Risk in Value at Risk. *Financial Analysts Journal*, **52**, 47-56. <https://doi.org/10.2469/faj.v52.n6.2039>
- [13] 马超群, 李红权, 张银旗. 风险价值方法在金融风险度量中的应用[J]. 预测, 2001, 20(2): 34-37.
- [14] 郑冲. VaR 计算方法的最新进展[J]. 战略决策研究, 2003, 2(1): 44-47.
- [15] 潘志斌, 田澎, 朱海霞. 一种新型的 VaR 计算方法: g-h VaR 法[J]. 系统管理学报, 2006, 15(3): 247-250.
- [16] 周孝华, 张燕. 一种新的风险价值(VaR)计算方法及其应用研究[J]. 管理学报, 2008, 5(6): 819.
- [17] 吴建刚. 基于 g-h 分布的极值分布拟合新方法[J]. 统计与决策, 2011(8): 9-13.
- [18] Dowd, K. (1998) Beyond Value at Risk the New Science of Risk Management. John Wiley & Sons, Hoboken.
- [19] Wang, Z.R., Chen, X.H., Jin, Y.B., *et al.* (2010) Estimating Risk of Foreign Exchange Portfolio: Using VaR and CVaR Based on GARCH-EVT-Copula Model. *Physica A Statistical Mechanics & Its Applications*, **389**, 4918-4928. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2010.07.012>
- [20] Chang, T.H., Su, H.M. and Chiu, C.L. (2011) Value-at-Risk Estimation with the Optimal Dynamic Biofuel Portfolio. *Energy Economics*, **33**, 264-272. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.11.002>
- [21] 赵珊珊. 电力市场条件下的工程和金融风险评评估及规避[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国电力科学研究院, 2010.
- [22] 李玲. 热电厂蓄热消纳风电的经济性与调峰定价研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2015.

- [23] 张洪涛. 基于风险价值法(VAR)评估大型风力发电场工程优化模型的研究[D]: [硕士学位论文]. 江苏: 东南大学, 2008.
- [24] Zhou, H., Hou, Y., Wu, Y., et al. (2007) Analytical Assessment of Wind Power Generation Asset in Restructured Electricity Industry. *Universities Power Engineering Conference*, Brighton, 4-6 September 2007, 1086-1092.
- [25] 杨旻宸, 刘恋, 蒋传文, 等. 电网超短期运营约束下风电随机波动风险评估及平抑措施[J]. 水电能源科学, 2013(5): 227-230.
- [26] 任博强, 蒋传文, 彭鸣鸿, 等. 基于改进遗传算法的含风电场的电力系统短期经济调度及其风险管理[J]. 现代电力, 2010, 27(1): 76-80.
- [27] 杨旻宸. 风电并网电力系统运营风险评估与风险管理方法研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2013.
- [28] 李平. 我国金融市场风险价值(VaR)与 CVaR 的理论研究及应用[D]: [硕士学位论文]. 广州: 暨南大学, 2007.
- [29] 周任军, 刘志勇, 闵雄帮, 等. 不确定性优化方法在电力系统研究中的应用[J]. 电力科学与技术学报, 2014, 29(2): 21-29.
- [30] 李莹莹, 刘照, 章杰, 等. 风电出力偏差成本及其条件风险方法的电力经济调度[J]. 电测与仪表, 2017, 54(1): 89-94.
- [31] 玉华, 周任军, 韩磊, 等. 基于 CVaR 的风电并网发电风险效益分析[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(4): 43-47.
- [32] 孔一茗. 考虑条件风险价值的风电并网系统可用输电能力评估[D]: [硕士学位论文]. 吉林: 东北电力大学, 2015.
- [33] 李啸虎. 考虑随机约束的电网优化运行及风险管理[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2010.
- [34] Li, X. and Jiang, C. (2011) Short-Term Operation Model and Risk Management for Wind Power Penetrated System in Electricity Market. *IEEE Transactions on Power Systems*, **26**, 932-939. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2010.2070882>
- [35] 夏德明, 于骏, 屈可丁. 基于 VaR 和 CVaR 指标的风电出力特性评估[C]//中国高等学校电力系统及其自动化专业学术年会, 2009.
- [36] 王颀, 金尧, 黄泽华, 等. 考虑间歇性电源不确定性的配电网经济效益风险评估[J]. 电器与能效管理技术, 2015(13): 14-18.
- [37] 陈洪伟. 风电保险产品创新浅析[C]//亚洲风能大会, 2008.
- [38] Mills, E. (2003) The Insurance and Risk Management Industries: New Players in the Delivery of Energy-Efficient and Renewable Energy Products and Services. *Energy Policy*, **31**, 1257-1272. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(02\)00186-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00186-6)

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2160-7540, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: sd@hanspub.org