

高比例风电并网系统线路过载问题研究

陈宇

河海大学 江苏南京

【摘要】以风电为代表的可再生能源电源会增加电力系统的不确定性。为了实现高比例可再生能源电力系统的状态估计和风险评估,提出一种基于典型场景聚类的高比例风电并网系统线路过载安全风险评估方法。利用 K -means 算法构建系统典型场景,结合风险理论对线路过载这一风险指标进行评估,表征线路潮流波动和系统状态的变化。IEEE39 节点系统验证了所提方法的有效性。结果表明,系统典型场景的变化直接影响到电力系统的运行情况和风险指标。其中,在风电水平较高和负荷水平较低的场景下,系统的风险指标较高。

【关键词】风电场;线路过载;风险评估;场景聚类

Research on line overload problem of high proportion wind power grid-connected system

Yu Chen

Henan University

【Abstract】Renewable energy connecting to the grid increases the uncertainty of power system. In order to realize the risk assessment of power system, a novel method of line overload safety risk assessment under typical operating scenarios for wind power grid-connected system is proposed in this paper. Firstly, K -means algorithm is used to construct typical system scenarios. Furthermore, the risk indicator of line overload is evaluated combined with risk theory, which characterizes the fluctuation of the line power flow and the change of the system state. Finally, a simulation is carried out to calculate the risk indicators under typical scenarios. The results show that the changes in typical system scenarios directly affect the operation of power system and risk indicators. Among them, in scenarios where the wind power level is higher and the load level is lower, the risk indicators are higher.

【Keywords】Wind farm; line overload; risk assessment; scenario clustering

大规模风电接入电网后,对电力系统风险评估和风险控制产生了新的挑战。大规模风电并网系统的风险评估虽然考虑了风电的不确定性和波动性,但是很少有研究关注和评估新能源电源-负荷场景不匹配性对风险指数的影响,并量化风电并网后电力系统中线路过载的可能性和严重程度。

线路过载问题与电力系统运行的安全性和经济性密切相关,属于系统静态安全评估范畴^[1-2]。传统的线路过载问题采用确定性的分析方法,通过进行 $N-1$ 准则检验,确保在最严重故障情况下系统仍能正常运行^[3]。但是传统的安全评估方法难以考虑电力系统的复杂性和随机性。因此本文将风险理论引入电力系统安全性评估中来,采用事故发生概率和后果的乘积表征系统的安全风险,抓住了系统运

行安全性和经济性这两个重要特征,并将二者的关系很好地协调起来。其次,利用基于风险理论的线路过载风险评估方法分析线路过载风险指标。最后基于南方某地区实际新能源和负荷历史数据在改进的 IEEE39 节点系统上进行电力系统线路过载风险指标计算。结果表明,该风险评估指标可以有效的反映系统典型场景的变化对电力系统运行风险的影响。

1 基于改进聚类方法的典型场景聚类

1.1 改进 K -means 算法

K -means 算法是一种经典的聚类算法,因其执行效率高而应用广泛。但是, K -means 算法需要预先得到聚类中心的数量,而多数情况下无法在聚类之前得知具体数量。如果聚类中心数量的取值不合

理,则会增大聚类结果的误差。对此,利用先对每个新能源电源进行指标计算。 K_{DBI} 指标是一种衡量聚类有效性的指标, K_{DBI} 值越小,说明聚类有效性越好。

K_{DBI} 指数描述如下:

$$\begin{cases} S_i = \left\{ \frac{1}{T_i} \sum_{j=1}^{T_i} |X_{ij} - A_i|^q \right\}^{\frac{1}{q}} \\ M_{ij} = \left\{ \sum_{k=1}^N |a_{ki} - a_{kj}|^p \right\}^{\frac{1}{p}} \\ R_{ij} = (S_i + S_j) / M_{ij} \\ K_{DBI} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i \end{cases} \quad (1)$$

式中, X_{ij} 代表第 i 个类别中的第 j 个数据点; A_i 代表第 i 个类别的中心; T_i 表示第 i 个类别的数据点数; 参数 q 和 p 用于衡量离散程度, $q=1$ 表示各点到中心距离的平均值, $q=2$ 表示各点到中心距离的标准差; a_{ki} 表示第 i 类中心点 A_i 的第 k 个属性值; M_{ij} 是第 i 类中心与第 j 类中心 p 范数之差; R_i 为 R_{ij} 的最大值, $j=1,2,3,\dots,N(j \neq i)$, 即第 i 类与其他类的相似度最大值。

计算每个类的最大相似度平均值,得到 K_{DBI} 指数。分类数量的不同会导致 K_{DBI} 的值不同。 K_{DBI} 值越小,分类效果越好。

1.2 新能源场景和负荷场景的聚类

对一年中新能源电源的历史出力曲线进行聚类,从而得到典型出力曲线。在聚类过程中,先对 n 个新能源电源的历史曲线进行粗聚类分析,计算 K_{DBI} 指标以得到最佳聚类数 k , 然后,将 k 作为下一步 K-means 聚类方法的输入参数,对新能源电源运行场景进行统一的场景聚类,得到电源的典型运行场景。同时,可以根据每种典型场景中包含的历史场景数量,得到每种典型场景的出现概率(P)。负荷典型场景的聚类过程与电源的聚类过程类似。

1.3 系统典型场景的生成

分别聚类得到新能源电源(假设 m 个典型场景)和负荷(假设 n_0 个典型场景)的聚类结果后,将新能源电源和负荷的典型场景两两组合,得到 $m \times n_0$ 种系统典型运行场景和每种系统典型运行场景的出现概率 $P_i \times P_j (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n_0)$ 。典型运行场景生成的过程如图 1 所示:

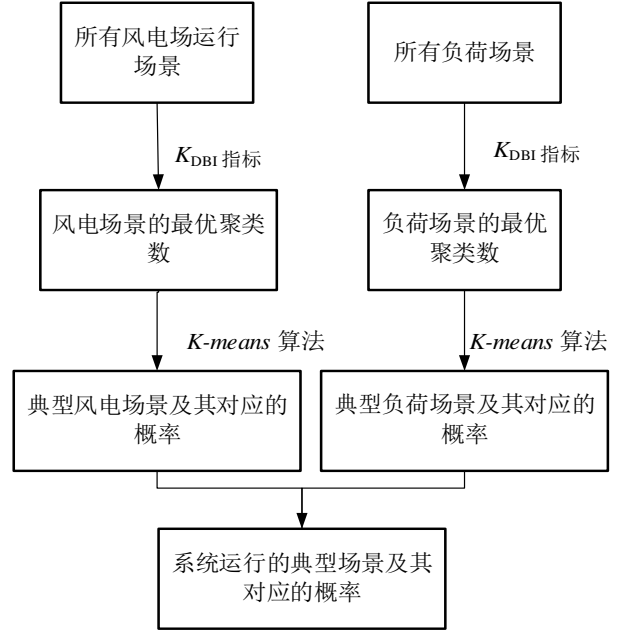


图 1 典型场景生成流程图

2 线路过载风险指标

2.1 风险的可能性

可能性指标是指当置信水平为 r 时,随机变量样本不满足安全阈值的累积分布函数,即:

$$Lik(Z_l) = P_\gamma(Z_l \in [Z_{lmin}, Z_{lmax}]) \quad (2)$$

式中: $Lik(Z_l)$ 为可能性指标; Z_l 为第 l 条线路支路潮流; Z_{lmin} 和 Z_{lmax} 分别为第 l 条支路线路潮流值的下限和上限值; γ 为置信水平,当随机变量的样本服从“ 3σ 原理”时,可表示为:

$$\gamma = P(|Z_l - E(Z_l)| < 3\sqrt{D(Z_l)}) \quad (3)$$

式中: $E(Z_l)$ 、 $D(Z_l)$ 分别表示 Z_l 的期望和方差。当样本足够大时,累积分布函数可以表述为:

$$P_\gamma(Z_l \in R) = \int_{Z_l \in [Z_{lmin}, Z_{lmax}]} f(Z_l) dZ_l \quad (4)$$

式中: $f(Z_l)$ 为线路过载的概率密度函数。

2.2 风险的严重性

为满足静态安全要求,线路正常运行时传输的有功功率不宜大于极限传输功率的 85%,为满足暂态安全要求,则不宜大于极限传输功率的 75%。在线路传输的有功功率大于极限传输功率的 85% 以上时,将潮流占比细化为 85%-100% 和 100%-120% 两种。根据以上指标,线路过载的严重度函数如图所示:

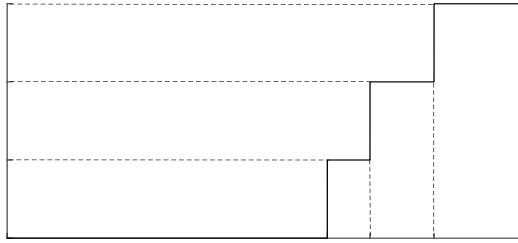


图2 线路过载的严重度函数

2.3 风险指标

基于风险理论和线路过载风险的定义，线路 l 的过载

风险指标 r_{isk} 为线路潮流波动的可能性 p_r 和严重度 s_e 的乘积，其计算公式为：

$$r_{isk}(Z_l) = \int_{-\infty}^{+\infty} p_r(Z_l) s_e(Z_l) dZ_l \quad (5)$$

式中： $p_r(Z_l)$ 、 $s_e(Z_l)$ 、 $r_{isk}(Z_l)$ 分别为线路 l 潮流波动的可能性、严重度和过载的风险。

根据累加性，全系统线路过载风险指标 r_{all} 为：

$$r_{all} = \sum_{l=1}^n r_{isk}(Z_l) \quad (6)$$

3 仿真分析

基于江苏省某地区风电场的实际风电历史出力曲线和该地区的负荷历史曲线进行源荷两端场景的聚类，生成典型场景曲线。将风电运行场景划分为源峰、源平和源谷；将负荷运行场景划分为荷峰、荷平和荷谷三种典型的负荷运行场景。将电源和负荷的典型场景进行两两组合，得到 9 种系统典型场景及其概率。如下表 1 所示：

表 1 系统典型场景概率

电源场景	概率	负荷场景	概率	系统场景	概率
场景 1(源峰)	0.35	场景 1(荷峰)	0.40	场景 1(源峰荷峰)	0.14
场景 2(源平)	0.28	场景 1(荷平)	0.32	场景 2(源峰荷平)	0.112
场景 3(源谷)	0.37	场景 1(荷谷)	0.28	场景 3(源峰荷谷)	0.098
				场景 4(源平荷峰)	0.112
				场景 5(源平荷平)	0.0896
				场景 6(源平荷谷)	0.0784
				场景 7(源谷荷峰)	0.148
				场景 8(源谷荷平)	0.1184
				场景 9(源谷荷谷)	0.1036

3.1 IEEE39 节点系统仿真

根据表 1 得到的系统典型场景，可以得到 9 种典型场景下的潮流计算结果，将 46 条线路的支路潮流分别记录下来，根据线路过载风险指标中的风险可能性，可以将每条线路的风险概率求出。部分线路的风险概率和系统场景 1 下部分线路的某一时刻的风险严重度和风险指标如下表所示：

表 2 系统场景 1 下部分线路风险指标

线路编号	风险概率	严重度	风险指标
1-2	0.2824	1	0.2824
3-18	0.2176	3	0.6528
4-14	0.1435	3	0.4306
14-15	0.1100	2	0.2200

根据系统典型场景，可以将每种系统典型场景下的线路过载风险值通过柱状图的形式直观的表

示。

和传统的高比例风电并网系统线路过载安全风险评估相比，本文充分考虑了新能源和负荷双侧不确定性对系统安全运行风险的影响。而传统的风险评估只考虑了新能源侧不同风电接入比例下系统安全运行的风险，未考虑负荷侧的波动对系统安全运行的风险。

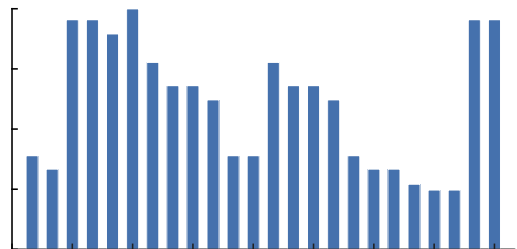


图 3 系统场景 1(源峰荷峰)风险指标

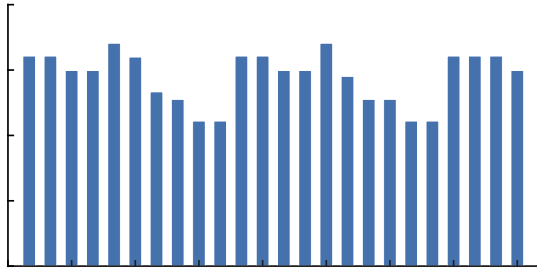


图 4 系统场景 2(源峰荷平)风险指标

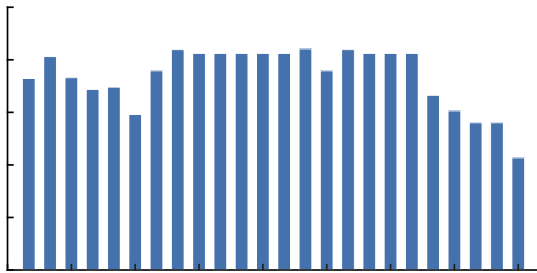


图 5 系统场景 3(源峰荷谷)风险指标

在风电渗透率比较高的场景下，即在新能源出力比较大的场景下，系统的整体风险指标都比较高。从量化的风险指标数据评估值进行观察，风险指标基本都高于 20。说明高比例风电接入电网后对电力系统的正常运行带来较大的风险。3 种系统的场景的风险指标的均值和方差如表 3 所示：在“源峰”场景下，负荷的接入场景也会对系统的运行带来不同程度的影响，从以上风险指标值进行观察，“荷谷”风险>“荷平”风险>“荷峰”风险。系统场景 1 下风险指标波动性较大，系统场景 2 和 3 风险指标波动性较小。

表 3 系统场景 1/2/3 下风险指标均值及方差

系统场景	风险指标均值	风险指标方差
源峰荷峰	21.4249	1.1037
源峰荷平	22.8993	0.1571
源峰荷谷	23.6866	0.3321

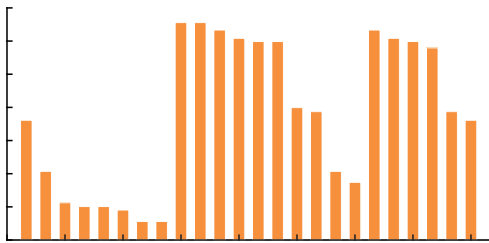


图 6 系统场景 4(源平荷峰)风险指标

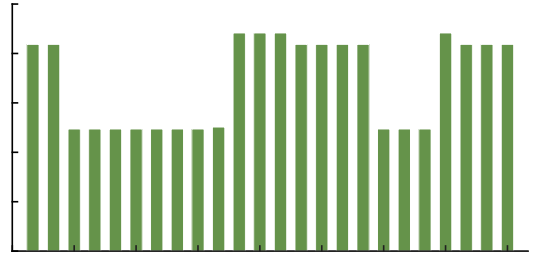


图 7 系统场景 7(源谷荷峰)风险指标

在“荷峰”场景下，对“源峰荷峰”、“源平荷峰”和“源谷荷峰”3 种系统场景进行风险指标的分析 and 评估。3 种系统场景的风险指标的均值和方差如表 4 所示。

表 4 系统场景 1/4/7 下风险指标均值及方差

系统场景	风险指标均值	风险指标方差
源峰荷峰	21.4249	1.1037
源平荷峰	17.8210	5.1833
源谷荷峰	13.4397	0.8268

在相同的负荷场景下，风电接入场景会严重影响系统的风险指标。根据风险指标的均值和方差，高渗透率下风电随机波动将导致风险指标的变化更剧烈，同时风险指标也会加大。

综上所述，在风电渗透率较高时，负荷水平较低时，系统场景的风险指标比较大。这说明“源荷”场景的不匹配性会严重影响系统运行风险。这和实际情况是吻合的，在风电出力较大而负荷水平较小的夜间，易发生潮流越限、功率倒送等一系列风险。电力调度人员需要重点关注“源端”出力大、“荷端”需求小的不匹配时段。

4 结论

在高比例风电接入电网的背景和趋势下，风电大规模出力，这对电力系统带来了新的挑战 and 风险。例如新能源电源和负荷之间的不匹配性严重影响了电网的正常运行，造成线路过载等风险，对高比例风电并网系统状态估计和风险评估提出了新的要求。因此，为了适应风险评估的需求，本文在风电大规模接入电网的背景下，利用 K -means 算法和 K_D 指标以及风险理论，研究和分析了系统典型运行场景对于线路过载所产生的风险。结果表明，风电的渗透率越高且负荷水平越低，线路过载的风险就越大。系统的风险指标随着风电渗透率的增加和负

荷水平的降低而提高。通过以上方法的提出，建立了一种考虑系统典型运行场景的高比例风电并网系统风险评估方法，保证电力系统更好应对高比例新能源的接入。

参考文献

- [1] 黎静华, 左俊军, 汪赛. 大规模风电并网电力系统运行风险评估与分析 [J]. 电网技术, 2016, 40 (11): 35 03-3513.
- [2] 游广增, 汤翔鹰, 胡炎, 郇能灵, 朱欣春, 李玲芳基于典型场景聚类的电力系统灵活性评估方法[J] 上海交通大学学报, 2016, 55 (7): 803-813.
- [3] 张毅明, 张忠会, 姚峰, 等. 基于风险理论的电力系统元件风险评估 [J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41 (2 3): 73-78.

收稿日期: 2022 年 9 月 14 日

出刊日期: 2022 年 10 月 25 日

引用本文: 陈宇, 高比例风电并网系统线路过载问题研究[J]. 电气工程与自动化, 2022, 1(3): 1-5
DOI: 10.12208/j.jeea.20220021

检索信息: RCCSE 权威核心学术期刊数据库、中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS