第 45 卷 第 17 期 2021 年 9 月 10 日

DOI：10. 7500/AEPS20200710003



Vol. 45 No. 17 Sept. 10，2021

输电线路动态增容技术研究及应用

# 侯 宇，王 伟，韦 徵，邓小君，姬秋华，王 彤

（南瑞集团有限公司（国网电力科学研究院有限公司），江苏省南京市 211106）

摘要： 输电线路动态增容技术可提高现有输电系统的传输效率和传输容量，以适应日益增长的电力需求和新能源整合需要。然而，电力系统安全稳定运行对输电线路动态增容结果的可靠性提出了极高的要求。针对线路增容可靠性问题，分析了输电线路数据采集技术的主要限制因素，分类比较了不同感知分析方法的优势和不足，对比了几种输电线路动态增容系统应用架构，并举例介绍了现阶段输电线路动态增容技术在实际工程中的应用情况。分别从数据采集技术、感知分析技术、系统应用架构和工程实践 4 个方面指出了现有输电线路动态增容技术的研究重点以及存在的局限性，并据此指出了未来的研究方向。

关键词：输电线路；动态增容；数据采集；感知分析；应用架构；工程实践

# 引言

输电线路是高效、快捷的能源输送通道，是电网安全运行的关键环节，截至 2017 年底，中国 110 kV 及以上的输电线路长度已达 9.87×105 km。随着用 电需求的急剧增加和可再生能源的大量接入，负荷 集中地区如长江三角洲、珠江三角洲以及新能源发 电集中送出地区电网“ 卡脖子”问题突出，提升输电 系统的传输能力已成为亟待解决的重要课题［1-3］。考虑到负荷曲线的波动性和可再生能源的间歇性，输电线路增容往往不需要全天候运行［4］，通过新建 输电线路来提升电网传输能力不仅周期长、投资大，而且会带来环境污染问题。输电线路动态增容技 术［5-7］可以在保证安全的前提下显著提高输电线路 的输送能力，整合可再生能源，有效解决局部电网 “卡脖子”问题，具有很好的应用前景。

输电线路动态增容技术通过实时采集或预测线路的环境和导线状态信息，在不突破现行技术规程的前提下，根据增容模型获取线路最大允许载流量，从而提升输电系统的传输效率和传输容量。目前，输电线路动态增容技术已获得广泛研究［8-9］，但增容结果的可靠性受传感器技术、通信方式、增容模型以及系统架构等诸多因素影响，难以保证动态增容过程中电网的安全稳定运行，在电网实际工程中尚未得到广泛应用。

针对上述问题，本文分别从输电线路数据采集

收稿日期：2020-07-10；修回日期：2020-11-14 。上网日期：2020-12-31。

技术、感知分析技术、系统应用架构和工程实践 4 个方面对国内外输电线路动态增容技术研究及应用进行了分析，归纳总结了现有输电线路动态增容技术研究的重点及局限性，最后指出了未来的研究方向。

# 输电线路数据采集技术

输电线路动态增容技术的实现依托于输电线路关键状态信息的采集，包括环境信息和导线状态信息，如环境温度、光照强度、风速风向、导线温度、导线弧垂等。通过在输电线路上安装各类状态监测装置来实时采集输电线路环境和导线状态信息，然后通过无线通信技术将采集的数据发送到数据中心进行处理和展示［10-11］。

现有的输电线路数据采集技术研究相对成熟，但仍存在诸多不足限制了输电线路数据采集的质量，主要概括为以下几个方面。

* 1. 传感设备

传感器作为应用最广泛的感知元件，具有安装方便、采集精度相对较高、使用方法简单等优点，被广泛应用于输电线路数据采集。但由于输电线路通常架设在室外，工作环境相对恶劣，同时高压输电线路周边存在强电磁干扰，严重影响了输电线路的数据采集和传输质量。现有输电线路安装的设备产品的在线运行效率低于 40%［12］，难以满足数据采集的可靠性需求。

传感器的原理和安装工艺也会带来一定的监测误差。以温度传感器为例，接触式测温传感器如光纤测温传感器［13］直接安装在线路表面，测温精度相

对较高，但其风险也相对较高，设备的电池等储能单元存在安全隐患，线路出现摆动时接触式传感器容易对线路绝缘产生磨损。非接触式传感器如红外测温传感器［14］不与输电导线直接接触，使用方便、安全，但其测量结果与导线表面清洁程度有关，易受到环境因素干扰，测温精度不高，只能对覆盖范围内的导线温度进行监测。通常输电线路温度传感器只能监测导体表面温度，而导线往往存在 4~10 ℃的径向温差，其对导线允许载流量的影响可达 10% 以上［15］，因此，可能导致线路动态增容结果存在较大的误差。

此外，传感器数据采集精度还受到采集对象、设备布局布点等因素的影响。例如：微气象信息通常难以测量，线路风速和风向变化较快，当风速小于 1 m/s 时风速和风向的测量结果通常会存在较大误差。日照强度也会受地形地貌以及障碍物遮挡影响，如云层移动可能会造成日照强度的快速变化。由于地形、线路走向和局部气象条件的差异，各段线路运行环境有很大区别，对线路局部状态的测量结果往往不能反映出输电线路的整体情况。

通常传感器功能单一，特定种类的传感器往往只能实现特定状态量的测量，因此需要通过安装新种类传感器和相应的后台软件来获取新类型的监测数据，但这会造成重复建设和投资，导致维护工作量增加、系统可靠性降低。不同厂家、不同设备之间的信息交换存在困难，兼容性差，会极大地限制数据采集系统的有效性［16］。

* 1. 通信方式

输电线路数据采集需要高可靠性的通信方式来

保证采集数据的实时性和准确性。根据传输介质的不同 ，输 电线路通信可分为有线通信和无线通信 2 种。

在有线通信中，电力线载波通过输电线路进行通信，具有良好的经济性，但易受电晕和电火花干扰，且其通信强烈依赖于输电线路，而线路故障会导致通信故障，故难以保证通信系统的可靠性。此外，受电网拓扑限制，载波通信组网困难。基于光纤的有线通信方式具有宽频带、传输速率高、信息传输损耗低、抗干扰能力强等优点，可以实现远距离、高速率的数据传输，但其存在传输功耗大、铺设成本高、维护难度大等问题。

在无线通信中，传统输电线路通信多采用无线公网，通信模式主要包括全球移动通信系统（global system for mobile communication，GMS）、通用分组无线服务（general packet radio service，GPRS）、码分多址（code division multiple access，CDMA）、3G 和 4G 等。无线公网通信技术较为成熟，且部署简单、建设成本低，但其覆盖范围有限，无法覆盖到高压输电线路的全程，且通信易受干扰，安全性和可靠性较低，通信系统故障时难以快速修复，无法保证采集数据的可靠传输。5G 通信技术的出现，将极大地提升公网通信的传输速率和传输容量，降低通信时延，但仍无法解决公网通信范围受限、安全和可靠性低等问题，同时也会造成租用公网的成本显著增加。

随着无线通信技术的发展，ZigBee、BlueTooth、 LoRa、NB-IoT 和微波通信等无线通信技术在输电线路通信中获得了一定的应用。通过实验对几种常用的无线通信技术进行了分析，结果如表 1 所示。

表 1 输电线路几种常见通信方式比较

Table 1 Comparison of several common communication modes in transmission lines

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 通信技术 | 传输距离 | 带宽 | 功耗 | 组网方式 | 成本 |
| ZigBee | <300 m | 理论 250 kbit/s | 低功耗 | 自组网 | 低 |
| BlueTooth | <100 m | 理论 1 Mbit/s~2 Mbit/s | 低功耗 | 自组网 | 低 |
| LoRa | 郊区 15 km，市区 1 km~2 km | 0.3 kbit/s~50 kbit/s | 低功耗 | 自组网 | 较低 |
| NB-IoT | 15 km | 理论 250 kbit/s | 低功耗 | 基于运营商蜂窝网络 | 较低 |
| 微波 | 5 km~20 km | 10 Mbit/s~100 Mbit/s | 高功耗 | 自组网 | 高 |

其中，ZigBee 和 BlueTooth 通信技术的通信距离受限，难以满足输电线路通信需求，LoRa 和 NB- IoT 可以实现输电线路小范围窄带宽通信，但是难以满足图像视频信息传输的实时性要求。NB-IoT组网需要基于运行商蜂窝网络，信号覆盖范围受限，需要建立基站。微波通信可以满足视频图像等宽带宽数据传输需求，但其通信功耗相对较高，对设备的可靠供电能力提出了很高的要求。此外，高压输电

线路的强电磁干扰也会对线路通信设备和无线通信质量产生不良影响。

* 1. 设备取能

输电线路数据采集装置和通信设备都需要稳定可靠的电源供应以保证系统的正常运行。但由于输电线路在线监测装置特殊的运行环境，线路设备供电可靠性受到极大的挑战。

在现有输电线路系统中，安装在杆塔上的监测

设备多采用太阳能与电池供电的方式，线路上的设备多采用高压互感器结合锂电 池［17］和 超级电容器［18］的供电方式。这些供电方式可以基本解决输电线路监测设备的供电问题，但受到外部环境的影响较大，在连续阴雨天、太阳能电池板污染、线路负载小或工作温度偏低等诸多情况下都会带来供电可靠性问题，进而影响数据采集和传输的质量。

受安装环境限制，安装在线路或杆塔顶端的输电线路采集和通信设备体积受限，不具备安全有效的供电方式。普通线路单级杆塔上安装的单块太阳能电池板尺寸不能超过 0.8 m×0.7 m，电源设备单体重量不应超过 35 kg，接触类导线监测设备重量应

小于 2.5 kg，因此通常只能采用小容量电池供电，极大地限制了数据采集和传输的带宽和频次。由于电池容量的限制，输电线路设备监测和通信设备通常只有 6~8 年的使用寿命 ，造 成设备更换和维护困难。

针对上述输电线路数据采集存在的问题，现有研究大多通过采用高精度数据采集设备、提高数据采集密度、提升线路通信能力等方法来提高数据采集的可靠性。例如：采用光纤光栅传感器［19-20］或声表面波传感器［21］来解决传统传感器取能不可靠、抗干扰能力弱的问题；通过优化输电线路传感器数量和布局布点来提高输电线路数据采集能力［22-23］；将各种无线通信技术，如 WiFi、Mesh、ZigBee、LoRa 等与光纤有线通信相结合组成混合通信网络［24-28］来提高输电线路通信能力，并趋向于建设专用网络来取代公共网络。这些方法可以在一定程度上提高数据采集质量，但往往会造成采集成本的显著增加。例如：提高输电线路传感器精度和数量可以降低局部测量带来的误差，但会增加采集设备成本和后期运维工作量，加重通信系统负担，同时也难以解决传感器在线率低和误报警等问题。

无限制地扩大规模和投资并不能真正解决输电

线路数据采集质量问题，而应针对设备取能、自组网通信以及设备在线率等关键问题进行研究，依托现有微功耗设备和主网通信系统，不断提高有效数据采集效率。

# 输电线路感知分析技术

输电线路感知分析技术首先需要对数据中心获取的环境和导线信息进行处理和辨识，以在采集数据不全面、质量不高的情况下，保证动态增容系统的正常运行，主要包括缺失数据补充、异常数据修正以及正常采样数据整合规约等。经过预处理的数据通过输电线路动态增容模型获取输电线路载流量、导线温度和导线弧垂等信息。

现有输电线路动态增容模型主要分为确定性模型和概率模型，如图 1 所示。

⋯

-

D\*3C

4@

')

4 (

# (

(

图 1 输电线路动态增容模型

Fig. 1 Dynamic rating models of transmission line

确定性模型输出由一组输入通过确定性关系得到，其中没有任何随机因素。在最终的确定性模型中，对于一组给定的输入，其输出总是相同的［29］。确定性模型根据分析方法的不同又可分为物理模型、统计学模型以及机器学习模型等。

物理模型的构建主要基于输电线路稳态和暂态热平衡方程［6，30-31］，典型的有 IEEE 模型［32］、CIGRE模型［33］、IEC 模型［34］以及有限元模型［35-37］等。物理模型原理简单，可以根据输入参数对线路限额进行实时的计算或预测，但是难以涵盖线路所有影响因素，如降雨对线路冷却效果的影响。物理模型中的某些参数难以准确获取，如导线表面辐射系数和吸热系数与导线新旧程度和表面污秽程度有关，其数值往往基于经验判断。改进物理模型的一种方法是通过在模型中考虑被忽略的影响因素进行补充，如考虑了降水冷却效果的扩展CIGRE 模型［3，38］。

在统计学模型中，偏最小二乘回归技术因其较好的预测能力通常被用于输电线路动态增容建模［39-40］。通常用偏最小二乘回归方法拟合输电线路导线温度与环境因素和导线电流的关系。在统计学模型中，可以根据物理关系对拟合函数进行优化，如导体温度更直接地与电流平方相关，而强迫对流的影响是风速和风向角正弦的乘积的函数［41］。统计学模型在一定程度上缓解了物理模型考虑因素不全面以及参数不准确的问题，但需要大量的停电实验数据进行拟合，同时拟合的关系只能用于线路特定的位置，其他线路则需要重新进行拟合分析。

机器学习模型同样需要大量实验数据进行模型训练，如人工神经网络模型。所有可用的数据将分为 3 组，即用于模型的培训、验证和测试。与统计学模型中的偏最小二乘方法不同，训练后的神经网络不再使用线性关系拟合，而是为每个输入参数生成权值，并将每个输入的所有响应收集到隐藏层中，然后产生模型输出。机器学习模型不依赖于系统特定参数，避免了被忽略因素的影响，但其模型的通用性需要线路来自多个采样点的大量训练数据的支撑，这样大量的实验训练数据在实际工程中通常难以

得到。

在夏季和冬季 2 种典型实验场景下，某输电线路导线温度实测值和 3 种确定性模型感知结果的比较［42］如附录 A 图 A1 所示。可以看出，人工神经网络模型和偏最小二乘回归模型可以更好地反映线路实际情况。

概率模型以概率函数为基础，其输入和输出不是一组特定的数值，而是一组数据分布，以此来提供关于环境和负荷条件更确切的信息［43-44］。概率模型中可以引入风险因子来表征每种情况下的潜在风险因素，从而为调度人员的决策提供参考［45-46］。基于概率的输电线路动态增容模型主要有 2 种类型：混合概率模型和绝对概率模型。混合概率模型结合了物理模型和概率模型的特点，其离散的输入和分布

函数是混合的，其风险系数往往不包括各种外部因素变化，因此只能代表相对风险。绝对概率模型则考虑了诸如雷击风险等外部因素，其风险系数通常代表绝对风险［29］。

表 2 给出了上述几类模型的比较。其中物理模型实现简单、通用性强，但其模型精度相对较低；统计学模型和机器学习模型输出精度较高，但都需要大量停电实验数据对模型进行拟合或训练，模型通用性受限；概率模型可以通过引入风险因子来表征每种情况的风险，但是需要大量统计数据支撑，且模型稳定性较差。因此，输电线路动态增容模型的可靠性需要综合考虑模型精度、适用性以及稳定性等因素影响。

表 2 输电线路动态增容模型比较

Table 2 Comparison of dynamic rating models of transmission line

模型种类

物理模型

统计学

模型特点

输出由输入通过

建模方法

基于输电线路热平衡特性

优势

物理意义清晰、实现简单、线路通用性强

避免物理模型考虑因素不全

不足

忽略某些热平衡影响因素；模型具体参数难以准确获取

仅适用于特定线路；需要

实例

IEEE 模型、CIGRE 模型、IEC 模型

确定性

模型

概率模型

模型

机器学习模型

混合概率模型

绝对概率模型

确定性关系得

到，没有任何的随机因素

输入和输出不是特定的数值，而是数据分布

基于数据拟合

基于模型训练

基于概率函数

面以及参数不准确问题

避免物理模型考虑因素不全面以及参数不准确问题

减小环境和线路信息不准确对输电线路动态限额的影 响；引入风险因子来表征每种情况下的潜在风险因素

大量停电数据进行拟合；

对异常数据敏感

仅适用于特定线路；需要大量停电数据进行模型训练；出现错误数据时需要重新训练模型

基于概率的预测需要大量的统计数据；建立和求解概率模型较为复杂；概率模型的稳定性较差

偏最小二乘回归模型

人工神经网络模型

概率模型结合蒙特卡洛分析方法

通过对输电线路实时数据采集和感知分析，可以获取输电线路实时动态限额。但仅根据线路实时动态限额对电网进行控制时，当系统运行或气候条件恶化时，不可避免地会出现线路过载的情况。因此，还需要对未来短期输电线路动态限额进行预测分析。通常，将动态增容模型与环境预测模型相结合来对未来短期输电线路动态限额进行预测［46］。现有输电线路环境预测主要采用时间序列分析［45］或数值天气预报［47-48］的方法。文献［45］将贝叶斯时间序列技术用于输电线路动态限额预测，但这种方法预测误差随预报时长的增加而增大，只适用于几个小时内的预测结果。文献［47］利用数值天气预报和机器学习提出了新的输电线路动态限额预报方法，可实现 1~2 d 的动态限额预测，但其庞大的计算量需要依托于大型计算机进行。此外，文献［49］采用分位数回归森林的方法实现对 2 d 内线路动态限额的精确预测；文献［50］提出了基于回波状态网络

的动态线路限额预测模型；文献［51］则在动态线路限额预测过程中引入了模糊分析方法。

# 输电线路动态增容应用架构

除了输电线路数据采集技术和感知分析技术外，输电线路动态增容技术应用架构设计的不足也会间接影响输电线路动态增容的可靠性。输电线路动态增容系统通常包括数据采集设备状态监测装置

（condition monitoring device，CMD）、状态监测代理

（condition monitoring agent，CMA）以 及主站系统等，根据数据采集技术、通信方式、系统功能以及具体实现方式的不同而存在多种应用架构［8，52-54］。

文献［52］针对输电线路动态增容技术进行研究，开发了基于无线温度传感器的输电线路动态增容系统，如附录 A 图 A2 所示。杆塔上的气象传感器和线路上的无线温度传感器定时/实时地采集线路和环境信息，通过 ZigBee 通信模块将采集数据发

送至杆塔上的汇聚节点进行打包后 ，采用 GSM/ GPRS/CDMA/3G/WiFi/光 纤 等 方 式 传 输 到 CMA，并 通过 CMA 发送至状态信息接入网关机

（condition information acquisition gateway，CAG），实现与主站控制系统的数据交互［53］。主站系统专家软件利用动态增容模型计算线路实时动态限额，结合数据采集与监 控（supervisory control and data acquisition，SCADA）系统数据和温度/弧垂安全判据指导线路动态增容。

文献［54］开发了基于 3G/GSM 的输电线路动态增容在线监测系统，如附录 A 图 A3 所示。采集终端将环境和导线信息通过GPRS/3G 通信网络实时发送给CMA，由 CMA 对采集终端数据协议进行转换，并发送给主站系统。主站系统调用增容计算模块获取线路实时动态限额，结合 SCADA 系统计算线路隐性容量，通过实时监测线路弧垂来保证增容系统的安全运行。目前，该系统已在哈密南— 郑州±800 kV 特高压直流输电工程中获得应用，运行效果良好。

上述输电线路动态增容系统针对单条输电线路进行分析，缺乏对增容过程中电网整体的调度规划，难以分析单条或多条线路增容对其他输电线路运行的影响。单条线路安全可靠的动态增容，可能会造成其他关联线路过载的情况。

针对电网调控的特点和需求，文献［8］从电网层面对动态增容技术进行分析，提出了考虑电网静态安全的动态增容系统，如附录 A 图 A4 所示。系统主要包括数据处理、实时计算、增容分析和图形可视化展示 4 个部分。数据处理模块对采集/预测的数据进行处理和辨识，在整合可用数据的同时识别并修正错误数据，提高数据准确性。实时计算模块利用线路热稳定方程计算输电线路载流量信息和动态功率限额，用于增容分析模块对增容过程电网静态安全进行评估。图形可视化展示模块对增容实时/预测结果进行展示，并将地调动态增容数据上传至省调系统，进行省地协调的动态增容协调控制。该系统已在南京地区D5000 系统中得到应用。

随着研究的不断深入，输电线路动态增容系统的应用架构不断完善，系统功能不断健全。已有学者对闭环动态增容系统进行了初步研究，通过引入自适应校正、模型预测控制等方式来校正模型输出结果，从而提高动态增容技术的可靠性［55-56］。此外，不少研究在系统应用架构设计时也综合考虑了动态增容对电网运行经济性和安全性的影响。

在电网经济运行方面，文献［57］将输电线路动态增容技术与考虑电力系统安全约束的机组组合问

题相结合，将交流最优潮流线性化并纳入机组组合问题中，提高了电力系统的整体安全性和技术经济性。文献［58］在动态增容和电热协调概念［59-61］基础上引入导线动态电热特征量作为线路安全约束，通过调节直流输送功率，调整机组有功功率以及切负荷等方式，实现了与时间关联的潮流动态优化控制。文献［62］提出了一种考虑输电线路动态增容的增强型安全约束最优潮流模型，利用输电线路的短时增容特性应对事故后的潮流越限风险，从而扩大电网安全运行范围，提升系统运行的经济性。

在电网安全性方面，一些学者对输电线路动态增容技术的风险评估方法进行了研究，以评估输送容量变化对电网运行可靠性的影响。例如：文献

［63］提出了一种日前线路限额预测模型，并开发了一种基于预测的突发事件后验风险评估方法；文献

［64-65］基于马尔可夫链蒙特卡洛方法对输电线路增容运行后的风险进行评估，并给出了线路增容运行的风险指标［64］；文献［66］提出了一种计及参数脉动特性的线路增容热路模型，并以概率形式对载流量进行有效估计，将增容风险控制在合理范围内。

在输电线路动态增容系统中，增容分析不应基于对采集数据的完全相信，应用也不应完全基于感知分析的结果，而应进行多次冗余和多维度容错判断，构建闭环的增容体系架构。增容过程中，需要从电网层面综合考虑发电计划、检修计划、负荷预测等多方面因素的影响，同时考虑整体电网安全对增容线路进行风险评估，从而保证输电线路动态增容结果的安全和可靠。

# 输电线路动态增容工程实践

近年来，由于输电走廊紧缺以及风电、光伏等新能源接入需求的增加，支撑输电线路高效运行的动态增容技术已在国内外获得了一定的工程应用。

英国 Areva T&D 公司在斯凯格内斯和波士顿之间的 132 kV 双回线路上应用动态增容技术，提高了电力系统运行的灵活性，增加了 20%~50% 的电网接入风力发电量［67］。美国 SRP 公司通过在 2 条输电线路上使用动态增容技术，在运行线路负荷高峰时期短时超出线路静态额定容量，从而缓建了输电线路，减少约 900 万美元投资成本［68］。意大利电力系统运营商在西西里岛使用耐热导线并应用动态增容系统，在增加电网传输容量的同时实现了输电线路维护和管理的优化［69］。国外机构统计结果显示：安装实时动态增容系统的输电线路在一年中有 90~120 d 可增加 10%~30% 的输送容量，具有极高的经济效益［70］。

中国的电力研究机构也开展了输电线路动态增

容系统的开发工作和工程试点应用。文献［71］提出由温度监测、气象监测和计算分析 3 个部分组成的输电线路动态增容监测分析系统，通过实时参数监测，提高了输电线路输送容量和线路运行的安全可靠性，避免了紧急情况下过度切负荷。文献［11］提出的输电线路动态增容系统，采用双无线通信模式采集环境信息和导线温度，利用摩尔根载流量计算公式获取输电线路隐性载流容量。文献［72］提出的基于导线张力和实时气象条件的输电线路输送容量监测系统，通过对气象条件的准确、实时监测，动态计算线路传输容量限额 ，在 国内多条 110 kV和 220 kV 线路上投入运行。

现有的输电线路动态增容技术主要应用于新能源发电并网、电网迎峰度夏，以及故障情况下线路输送能力提升等场景，在实际工程应用中具有良好的运行效果。

* 1. 在新能源发电并网应用方面，使用动态增容技术为光伏、风电等新能源的大量接入提供支撑，缓解了新能源集中送出通道的容量限制，促进了可再生能源的发展。

西班牙现有可再生风能总装机容量占系统总装机容量的 20% 以上，使得风力发电的并网、传输和分配都面临着巨大的挑战［73］。西班牙北部某输电线路利用动态增容技术，分析线路动态限额情况，并

对多种不同运行场景进行研究。附录A 图A5 给出

4633/4634 线的线路潮流及线路静态和动态限额情况，可以看出，虽然线路潮流部分时间超过了线路原限额和静态限额，但始终处在动态限额范围内，不会造成输电线路温度越限的情况。海中 4633/4634 线当日累计增容时间约 13.5 h，额 外 增 加 输 送 容 量 511 MW·h，在迎峰度夏时期有效保证了崇明三岛的正常电力供应。

3）在线路故障情况下，通过合理采用动态增容技术，可充分利用现有输电设备的输送能力，减少电网对用户的强迫停电率，缓解拉电和限电，提高供电可靠性。

中国现行技术规程根据设定的环境温度、风速、日照强度和导线的允许温度计算导线载流量限额，其中没有考虑导线温升的暂态过程［75］。而由于导线温升暂态过程的时间特性，即使在 *N-*1 故障情况下，导线达到其工作允许温度也需要较长的时间。安徽电网基于文献［9］提出的基于阻塞分析的输电线路动态增容系统，在线路故障情况下考虑输电线路暂态温升特性，以短时间内保证线路温度在安全范围内为边界条件进行动态限额的调整，从而在事故情况下进一步提高系统输电能力。以安徽宿州汇源区域电网为例，2015 年 4 月 17 日某时段，谷南单回线因关联线路故障存在过载情况。谷南线增容前长期允许载流量静态限额为 600 A，事故后允许载流量静态限额为 720 A。系统基于故障后 1 h

了 2015 年 2 月该线路的实际电流 *I*

PQA

、线路静态限

内的气象预测信息，获得线路长期允许载流量限额

额 *I*SR 以及线路动态限额 *I*DR 的比较［73］。由于该线路在记录时段内线路负荷较少，因此，线路在实际运行中只在短时间超出线路静态限额容量。但从全年运行情况来看，该线路在实际运行中有 424 h 以超出线 路 静 态 限 额 的 实 际 电 流 运 行 ，额 外 增 加 了

3.89 GW·h 的风电场发电送出容量，相当于增加了超过 24 万欧元的额外收入，同时减少了约 1 100 t 的 CO2 排放。

* 1. 在负荷高峰期间如迎峰度夏场景下，利用动态增容技术提升线路输送能力，提高输电线路的利用率和传输效率，降低电网企业运营成本，保证电力的可靠供应。

随着上海市崇明区负荷水平的增长，在夏季高峰时需要依靠本地电源和外来电源共同维持电力供求平衡，且当地有一定的负荷调节能力，具备增容运行的条件。崇明电力公司采用静态增容和动态增容相结合的方式，将 220 kV 输电线路的温度限额由 70 ℃提高到 80 ℃，并在静态增容的基础上采用动态增容技术，在海中 4633/4634 线投入实时动态增容系统［74］。附录 A 图A6 给出了 2009 年 7 月 20 日海中

为 890 A，30 min 时段内导线温度不超过 70 ℃的暂态载流量限额为 940 A。通过使谷南线短时以暂态载流量限额运行，并调整发电机组出力，极大地降低了线路故障对用户用电的影响。

目前，输电线路动态增容技术在国内外已经获得了一定的实际工程应用。但是国内输电线路动态增容技术尚处在系统运行效果评估及增容调度的安全性验证阶段。因此，输电线路负载能力的准确评估及预测、增容运行风险评估、调度辅助决策优化等技术将会成为未来输电线路动态增容技术的重点研究方向。

# 结语

随着社会用电需求和可再生能源渗透率的不断增加，输电线路动态增容技术作为一种有效提升输电线路输送能力和整合可再生能源的手段而受到国内外学者的广泛关注。

输电线路动态增容技术在数据采集和感知分析等方向的研究已经较为成熟，但仍存在数据采集精度不高、模型不精确、模型通用性受限等问题。在实时动态增容技术的基础上，通过将增容模型与环境

预测模型相结合可以实现对未来短期线路动态限额的预测，增加动态增容技术的实用性，但仍需进一步研究。动态增容系统架构研究开始从单条输电线路增容向电网层面的增容过渡，动态增容对电网运行经济性和安全性的影响也获得一定研究。在实际工程中，动态增容技术已在新能源发电并网、电网迎峰度夏以及故障情况下线路输送能力提升等场景下获得一定应用，但由于增容的诸多不确定性，尚未在电力系统中获得推广运行。

针对现有输电线路动态增容系统的局限性，未来的研究可能包括以下几个方面。

* 1. 提高有效数据采集效率。通过优化布局布点，可提高装置在线率、实现关键数据的有效采集、减少在线监测装置的种类和数量、降低对通信系统要求。依托现有的微功耗和主网通信系统，提高数据采集质量。
  2. 改进感知分析方法。完善输电线路数据处理与辨识方法，增强对质量不高的采集数据的处理能力；改进现有动态增容模型的不足，增强模型精度和适用性；构建输电线路载流量实时限额与预测限额相结合的分析方法，为调度系统实际操作提供参考依据。
  3. 构建闭环的动态增容系统架构。引入现代控制逻辑，构建闭环的增容系统架构。在分析计算模型中引入迭代校正环节，分析不完全依赖外部的参数，降低导线参数的时变特征对分析结果的影响。
  4. 考虑整体电网安全的输电线路动态增容风险评估。综合考虑负荷、发电检修计划，研究应用于整体电网调度规划的动态增容方法。结合动态增容技术和电网的在线安全稳定分析技术，在增容过程中考虑电网安全判据约束，对电网层面的输电线路动态增容风险进行评估。

# 本文得到国网电力科学研究院有限公司科技项目（524608200202）的资助，特此致谢！

附录见本刊网络版（**http**：**//**[**www.aeps-info.com/**](http://www.aeps-info.com/) **aeps/ch/index.aspx**），扫英文摘要后二维码可以阅读网络全文。

# 参 考 文 献

［1］RAHMAN M，ATCHISON F，CECCHI V. Grid integration of renewable energy sources：utilization of line thermal behavior

［C］// SoutheastCon 2019， April 11-14， 2019， Huntsville， USA：1-7.

［2］XU B，ULBIG A，ANDERSSON G. Impacts of dynamic line rating on power dispatch performance and grid integration of renewable energy sources ［C］// 2013 4th IEEE/PES Innovative Smart Grid Technologies Europe （ISGT

EUROPE），October 6-9，2013，Lyngby，Denmark：1-5.

［3］RACZ L， SZABO D， GOCSEI G， et al. Grid management technology for the integration of renewable energy sources into the transmission system ［C］// 2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications

（ICRERA），October 14-17，2018，Paris，France：612-617.

［4］MADADI S， MOHAMMADI-IVATLOO B， TOHIDI S.

Dynamic line rating forecasting based on integrated factorized Ornstein-Uhlenbeck processes［J］. IEEE Transactions on Power Delivery，2020，35（2）：851-860.

［5］DOUGLASS D A， EDRIS A A. Field studies of dynamic thermal rating methods for overhead lines［C］// 1999 IEEE Transmission and Distribution Conference，April 11-16，1999， New Orleans，USA：842-851.

［6］DOUGLASS D A， LAWRY D C， EDRIS A A， et al.

Dynamic thermal ratings realize circuit load limits［J］. IEEE Computer Applications in Power，2000，13（1）：38-44.

［7］DOUGLASS D A， EDRIS A A. Real-time monitoring and dynamic thermal rating of power transmission circuits［J］. IEEE Transactions on Power Delivery，1996，11（3）：1407-1418.

［8］王勇，苏大威，霍雪松，等 . 考虑电网静态安全的输电线路动态增容系统［J］. 电力自动化设备，2017，37（2）：199-204.

WANG Yong， SU Dawei， HUO Xuesong， et al. Dynamic transmission line capacity increase system with consideration of static power grid security ［J］. Electric Power Automation Equipment，2017，37（2）：199-204.

［9］徐伟，鲍颜红，周海锋，等 . 基于阻塞分析的输电线路动态增容

［J］. 电力系统保护与控制，2016，44（6）：15-22.

XU Wei，BAO Yanhong，ZHOU Haifeng，et al. Transmission line dynamic capacity-increase based on congestion analysis［J］. Power System Protection and Control，2016，44（6）：15-22.

［10］HUANG Xinbo， SUN Qindong， HAN Xiaoyan. An on-line monitoring system of temperature of conductors and fittings based on GSM SMS and Zigbee ［C］// 2008 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications，June 3- 5，2008，Singapore：1522-1527.

［11］XUN Gui， YAO Lan， LIU Zhigang， et al. General power transmission line on-line monitoring software system based on wireless public network［C］// 2008 7th World Congress on Intelligent Control and Automation， June 25-27， 2008， Chongqing，China：2777-2782.

［12］邢明伟. 输电线路状态在线监测系统的设计与实现［D］. 西安：西安理工大学，2017.

XING Mingwei. Design and implementation of on-line monitoring system for transmission line status［D］. Xi ’an ： Xi’an University of Technology，2017.

［13］XIE Kai， ZHAO Yanshuang， ZHANG Hongying， et al.

Practice of optical fiber sensing technologies in power transmission lines and towers ［C］// 2018 International Conference on Power System Technology （POWERCON）， November 6-8，2018，Guangzhou，China：3912-3918.

［14］YOO W J，CHO D H，JANG K W，et al. Infrared fiber-optic sensor for non-contact temperature measurements［C］// 2008 3rd International Conference on Sensing Technology， November 30-December 3，2008，Tainan，China：500-503.

［15］张猛，梁任，赵桂峰 . 架空导线径向温差及允许载流量研究［J］.

郑州大学学报（工学版），2020，41（1）：1-7.

ZHANG Meng，LIANG Ren，ZHAO Guifeng. Study on radial temperature distribution and maximum ampacity of overhead conductors［J］. Journal of Zhengzhou University （Engineering Science），2020，41（1）：1-7.

［16］Xi’ an Polytechnic University. Transmission lines aeolian vibration monitoring system：201020548021.4［P］. 2011-04-27.

［17］DU Lin，WANG Caisheng，LI Xianzhi，et al. A novel power supply of online monitoring systems for power transmission lines

［J］. IEEE Transactions on Industrial Electronics， 2010， 57

（8）：2889-2895.

［18］禇强，李刚，张建成 . 一种基于超级电容的输电线路在线监测系统电源设计［J］. 电力自动化设备，2013，33（3）：152-157.

CHU Qiang，LI Gang，ZHANG Jiancheng. Power supply of transmission line online monitoring system based on super- capacitor［J］. Electric Power Automation Equipment，2013，33

（3）：152-157.

［19］ZHAO Long，HUANG Xinbo. Integrated condition monitoring system of transmission lines based on fiber Bragg grating sensor

［C］// 2016 International Conference on Condition Monitoring & Diagnosis （CMD） ， September 25-28， 2016， Xi’an， China：667-670.

［20］DIVYA SHREE M， SANGEETHA A， KRISHNAN P.

Analysis and optimization of uniform FBG structure for sensing and communication applications ［J］. Photonic Network Communications，2020，39：223-231.

［21］GAL S A， OLTEAN M N， BRABETE L， et al. On-line

monitoring of OHL conductor temperature：live-line installation

［C］// 2011 IEEE 12th International Conference on Transmission and Distribution Construction， Operation and Live-Line Maintenance， May 16-19， 2011， Providence， USA：1-6.

［22］TALPUR S，LIE T T，ZAMORA R. Application of dynamic thermal rating：overhead line critical spans identification under weather dependent optimized sensor placement［J］. Electric Power Systems Research，2020，180：106125.

［23］TEH J， COTTON I. Critical span identification model for dynamic thermal rating system placement［J］. IET Generation， Transmission & Distribution，2015，9（16）：2644-2652.

［24］刘丽榕，王玉东，肖智宏，等 . 输电线路在线监测系统通信传输方式研究［J］. 电力系统通信，2011（4）：20-25.

LIU Lirong，WANG Yudong，XIAO Zhihong，et al. Study on the communication transmission mode of power transmission line monitoring system［J］. Telecommunications for Electric Power System，2011（4）：20-25.

［25］TRONCHONI A B，BRETAS A S，GAZZANA D S. Two-

dimensional transmission line modeling method：an algorithm considering non-homogeneous media and ionization［J］. Electric Power Systems Research，2019，173：220-229.

［26］MEKA S，FONSECA B. Improving route selections in ZigBee wireless sensor networks［J］. Sensors，2020，20（1）：164.

［27］孙宏彬，曹琪，刘明，等 . 一种基于无线 Mesh 的高压输电线路远程通信方法研究［J］. 信息系统工程，2019（9）：129-130.

SUN Hongbin， CAO Qi， LIU Ming， et al. Research on a remote communication method for high-voltage transmission lines based on wireless Mesh ［J］. Information System

Engineering，2019（9）：129-130.

［28］姚继明. 面向输电场景的分层混合通信系统研究［J］. 计算机科学，2016，43（增刊 2）：282-285.

YAO Jiming. Research on hierarchical hybrid communication system for transmission scenarios［J］. Computer Science，2016， 43（Supplement 2）：282-285.

［29］RACZ L. Dynamic line rating—investigation of dynamic line

rating based on black box modeling［D］. Budapest： Budapest University of Technology and Economics，2019.

［30］RINGELBAND T， LANGE M， DIETRICH M， et al.

Potential of improved wind integration by dynamic thermal rating of overhead lines ［C］// 2009 IEEE Bucharest PowerTech （POWERTECH） ， June 28-July 2， 2009， Bucharest，Romania：1-5.

［31］BERENDE M J C，SLOOTWEG J G，CLEMENS G J M B.

Incorporating weather statistics in determining overhead line ampacity ［C］// 2005 International Conference on Future Power Systems， November 18， 2005， Amsterdam， Netherlands：8p.

［32］IEEE T&D Committee. IEEE standard for calculating the current-temperature relationship of bare overhead conductors： IEEE Std 738—2012［S］. 2013.

［33］CIGRE Working Group. Thermal behaviour of overhead conductors：CIGRE 207［S］. 2002.

［34］IEC Working Group. Overhead electrical conductors— calculation methods for stranded bare conductors： IEC TR 61597［S］. 1985.

［35］CHEN Lihua，ZHENG Zhong，LIU Shaoyu，et al. Thermal grading around overhead transmission line under various environments and its influence to load capacity［C］// 2012 IEEE International Symposium on Electrical Insulation，June 10-13，2012，San Juan，USA：545-548.

［36］刘赟，俞集辉，程鹏 . 基于电磁-热耦合场的架空输电线路载流量分析与计算［J］. 电力系统保护与控制，2015，43（9）：28-34. LIU Yun，YU Jihui，CHENG Peng. Analysis and calculation on the ampacity of overhead transmission lines based on electromagnetic-thermal coupling fields ［J］. Power System Protection and Control，2015，43（9）：28-34.

［37］LIU Zhao， DENG Honglei， PENG Ruidong， et al. An equivalent heat transfer model instead of wind speed measuring for dynamic thermal rating of transmission lines［J］. Energies， 2020，13（18）：4679.

［38］SZABO D. Development of dynamic line rating system［D］. Budapest： Budapest University of Technology and Economics，2019.

［39］MORROW D J，FU J，ABDELKADER S M. Experimentally validated partial least squares model for dynamic line rating［J］. IET Renewable Power Generation，2014，8（3）：260-268.

［40］FU J，ABDELKADER S M，MORROW D J，et al. Partial least squares modelling for dynamic overhead line ratings［C］// 2011 IEEE PES PowerTech，June 19-23，2011，Trondheim， Norway：1-6.

［41］FU J， ABBOTT S， FOX B， et al. Wind cooling effect on dynamic overhead line ratings ［C］// 45th International Universities Power Engineering Conference （UPEC2010）， August 31-September 3，2010，Cardiff，UK：1-6.

［42］FU J，MORROW D J，ABDELKADER S M. Modelling and prediction techniques for dynamic overhead line rating［C］// 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting，July 22-26，2012，San Diego，USA：1-7.

［43］RACZ L， NEMETH B. Investigation of dynamic electricity line rating based on neural networks［J］. Energetika，2018，64

（2）：74-83.

［44］RACZ L， SZABO D， NEMETH B， et al. Application of Monte Carlo methods in probability-based dynamic line rating models ［C］// 10th Advanced Doctoral Conference on Computing， Electrical and Industrial Systems （DoCEIS 2019），May 8-10，2019，Caparica，Portugal：115-124.

［45］ZHANG Jun，PU Jian，MCCALLEY J D，et al. A Bayesian approach for short-term transmission line thermal overload risk assessment［J］. IEEE Transactions on Power Delivery，2002， 17（3）：770-778.

［46］RINGELBAND T，SCHAFER P，MOSER A. Probabilistic ampacity forecasting for overhead lines using weather forecast ensembles ［J］. Electrical Engineering： Archiv für Elektrotechnik，2013，95（2）：99.

［47］AZNARTE J L， SIEBERT N. Dynamic line rating using numerical weather predictions and machine learning： a case study［J］. IEEE Transactions on Power Delivery， 2017， 32

（1）：335-343.

［48］FERNANDEZ E，ALBIZU I，BUIGUES G，et al. Dynamic line rating forecasting based on numerical weather prediction

［C］// 2015 IEEE Eindhoven PowerTech， June 29-July 2， 2015，Eindhoven，Netherlands.

［49］MOLINAR G，FAN L T，STORK W. Ampacity forecasting： an approach using quantile regression forests［C］// 2019 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference （ISGT） ， February 18-21， 2019， Washington DC，USA：1-5.

［50］YI Yang， HARLEY R G， DIVAN D， et al. Thermal modeling and real time overload capacity prediction of overhead power lines［C］// 2009 IEEE International Symposium on Diagnostics for Electric Machines， August 1-7， 2009， Cargese，France：1-7.

［51］MADADI S， NAZARI-HERIS M， MOHAMMADI-

IVATLOO B. Application of fuzzy methods in power system problems ［M］// Handbook of Neural Computation. Amsterdam，Netherlands：Elsevier Inc，2017：551-570.

［52］黄新波. 输电线路在线监测与故障诊断［M］. 北京：中国电力出

版社，2014.

HUANG Xinbo. Online monitoring and fault diagnosis of transmission lines［M］. Beijing：China Electric Power Press， 2014.

［53］李鹏，黄新波，赵隆，等 . 智能输电线路状态监测代理的研究与设计［J］. 中国电机工程学报，2013，33（16）：153-161.

LI Peng，HUANG Xinbo，ZHAO Long，et al. Research and design of transmission line condition monitoring agent［J］. Proceedings of the CSEE，2013，33（16）：153-161.

［54］周赞东，苟晓侃，曾胜强 . 输电线路动态增容模块化计算技术研究［J］. 能源研究与管理，2017（2）：55-57.

ZHOU Zandong，GOU Xiaokan，ZENG Shengqiang. Modular calculate research on dynamic capacity-increase of transmission

lines［J］. Energy Research and Management，2017（2）：55-57.

［55］BERNINI R， MINARDO A， PERSIANO G V， et al.

Dynamic loading of overhead lines by adaptive learning techniques and distributed temperature sensing ［J］. IET Generation， Transmission & Distribution， 2007， 6 （1） ： 912-919.

［56］CARNEIRO J S A， FERRARINI L， Preventing thermal overloads in transmission circuits via model predictive control

［J］. IEEE Transactions on Control Systems Technology， 2010，18（6）：1406-1412.

［57］NICK M， ALIZADE-MOUSAVI O， CHERKAOUI R， et

al. Security constrained unit commitment with dynamic thermal line rating［J］. IEEE Transactions on Power Systems，2016， 31（3）：2014-2025.

［58］胡剑，王建，熊小伏，等 . 计及线路动态电热特性的交直流混联

电网过载控制策略［J］. 电力系统保护与控制，2020，48（7）：

66-75.

HU Jian，WANG Jian，XIONG Xiaofu，et al. An overload control strategy for AC/DC hybrid power grid considering dynamic electro-thermal characteristics of transmission lines［J］. Power System Protection and Control，2020，48（7）：66-75.

［59］BANAKAR H， ALGUACIL N， GALIANA F D.

Electrothermal coordination： Part Ⅰ theory and implementation schemes［J］. IEEE Transactions on Power Systems，2005，20（2）：798-805.

［60］ALGUACIL N， BANAKAR M H， GALIANA F D.

Electrothermal coordination： Part Ⅱ case studies［J］. IEEE Transactions on Power Systems，2005，20（4）：1738-1745.

［61］丁希亮，韩学山，张辉，等 . 电热协调潮流及输电线路温度的变化过程分析［J］. 中国电机工程学报，2008，28（19）：138-144.

DING Xiliang，HAN Xueshan，ZHANG Hui，et al. Analysis on electrothermal coordination power flow and transmission line temperature variation process［J］. Proceedings of the CSEE， 2008，28（19）：138-144.

［62］楼贤嗣，王橹裕，郭创新，等 . 考虑输电线路动态增容的增强型安全约束最优潮流［J］. 电力系统自动化，2019，43（18）：26-36. LOU Xiansi，WANG Luyu，GUO Chuangxin，et al. Enhanced security-constrained optimal power flow considering dynamic thermal rating of transmission lines［J］. Automation of Electric Power Systems，2019，43（18）：26-36.

［63］DUPIN R，KARINIOTAKIS G，MICHIORRI A. Overhead

lines dynamic line rating based on probabilistic day-ahead forecasting and risk assessment［J］. International Journal of Electrical Power and Energy Systems，2019，110：565-578.

［64］王孔森，盛戈皞，王葵，等 . 输电线路动态增容运行风险评估

［J］. 电力系统自动化，2011，35（23）：11-21.

WANG Kongsen， SHENG Gehao， WANG Kui， et al. Operation risk assessment of a transmission line dynamic line rating system［J］. Automation of Electric Power Systems， 2011，35（23）：11-21.

［65］WANG Kongsen， SHENG Gehao， JIANG Xiuchen. Risk assessment of transmission dynamic line rating based on Monte Carlo［C］// 2011 IEEE Power Engineering and Automation Conference，September 6-9，2011，Wuhan，China：398-402.

［66］应展烽，徐捷，张旭东，等 . 基于脉动参数热路模型的架空线路动态增容风险评估［J］. 电力系统自动化，2015，39（23）：89-95.

YING Zhanfeng， XU Jie， ZHANG Xudong， et al. Risk assessment of dynamic overhead lines rating based on thermal circuit model considering pulsating characteristic of parameters

［J］. Automation of Electric Power Systems，2015，39（23）： 89-95.

［67］YIP T， AN C， LLOYD G， et al. Dynamic line rating protection for wind farm connections［C］// 2009 CIGRE/IEEE PES Joint Symposium on Integration of Wide-scale Renewable Resources into the Power Delivery System， July 29-31，2009，Calgary，Canada：1-5.

［68］MOORE T. Dynamic ratings boost transmission margins［J］.

EPRI Journal，2000（1）：18-25.

［69］FILIPPONE G，IPPOLITO M，MASSARO F，et al. GIS

systems and LIDAR technology for the operation of HV lines： Sicilian transmission network applications ［C］// 2013 International Conference on Renewable Energy Research and Applications （ICRERA）， October 10-23， 2013， Madrid， Spain：868-872.

［70］张启平，钱之银 . 输电线路实时动态增容的可行性研究［J］. 电网技术，2005，29（19）：48-51.

ZHANG Qiping， QIAN Zhiyin. Study on real-time dynamic capacity-increase of transmission line ［J］. Power System Technology，2005，29（19）：48-51.

［71］盛戈皞，刘亚东 . 智能输电线路原理方法和关键技术［M］. 北京：科学出版社，2017.

SHENG Gehao，LIU Yadong. Principles and key technologies of intelligent transmission lines［M］. Beijing：Science Press， 2017.

［72］任丽佳，盛戈嗥，李力学，等 . 动态确定输电线路输送容量［J］.电力系统自动化，2006，30（17）：45-49.

REN Lijia， SHENG Gehao， LI Lixue， et al. Research of dynamic line rating system［J］. Automation of Electric Power Systems，2006，30（17）：45-49.

［73］ARROYO A， CASTRO P， MANANA M， et al. CO2

footprint reduction and efficiency increase using the dynamic rate in overhead power lines connected to wind farms［J］. Applied Thermal Engineering，2018，130：1156-1162.

［74］陈岗，陈建枫，吴荣，等 . 输电线路增容技术在崇明电网的实际

应用［J］. 华东电力，2009，37（8）：1364-1366.

CHEN Gang，CHEN Jianfeng，WU Rong，et al. Application of transmission lines capacity boosting technology in Chongming grid［J］. East China Electric Power，2009，37（8）：1364-1366.

［75］艾芊，杨曦，贺兴 . 提高电网输电能力技术概述与展望［J］. 中国

电机工程学报，2013，33（28）：34-40.

AI Qian，YANG Xi，HE Xing. Research on technologies for improving power grid transmission capacity［J］. Proceedings of the CSEE，2013，33（28）：34-40.

侯 宇(1995—)，男，硕士研究生，主要研究方向：电力系统及其自动化、 电线路状态感知。E-mail：hysucci@163. com

王 伟(1976—)，男，博士，研究员级高级工程师，硕士生导师，主要研究方向：新能源、微电网控制技术、 电线路状态感知。E-mail：[wangwei@sgepri.sgcc.com.cn](mailto:wangwei@sgepri.sgcc.com.cn)

韦 徵(1982—)，男，通信作者，博士，高级工程师，硕士生导师，主要研究方向：功率电子变换技术、新能源发电及其控制技术、 电线路状态感知。E-mail：weizheng2@sgepri. sgcc.com.cn

# （编辑 章黎）

Research and Application of Dynamic Rating Technology of Transmission Lines

*HOU Yu*，*WANG Wei*，*WEI Zheng*，*DENG Xiaojun*，*JI Qiuhua*，*WANG Tong*

(NARI Group Corporation (State Grid Electric Power Research Institute), Nanjing 211106, China)

Abstract: Dynamic rating technology of transmission lines can improve the transmission efficiency and transmission capacity of the existing transmission system to meet the increasing power demand and new energy integration needs. However, in order to ensure the safe and stable operation of the power system, extremely high requirements are put forward for the reliability of dynamic rating results of transmission lines. For the reliability problem of line rating, the main limiting factors of data acquisition technologies for transmission lines are analyzed, the advantages and disadvantages of different perception analysis methods are classified and compared, several application architectures of dynamic rating system are compared, and the cases are given to introduce the application of dynamic rating technology of transmission lines in actual projects at this stage. The research focus and limitations of the existing dynamic rating technology of transmission lines are pointed out from four aspects, i. e., data acquisition technology, perception analysis technology, system application architecture and engineering practice, and the future research areas are given accordingly.

Key words: transmission line; dynamic rating; data acquisition; perception analysis; application architecture; engineering practice

