

# The Dynamic Capacity-Increase System of the Transmission Line Design and Key Technologies

Jianwei Liang<sup>1</sup>, Jian Wang<sup>1</sup>, Wei Cai<sup>2</sup>, Xiaowei Liu<sup>2</sup>, Ding Tian<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Shanxi Electric Power Corporation, Taiyuan

<sup>2</sup>Wuhan Nari Limited Liability Company of State Grid Electric Power Research Institute, Wuhan  
Email: dianerliu@yahoo.com.cn

Received: May 3<sup>rd</sup>, 2013; revised: May 7<sup>th</sup>, 2013, accepted: May 20<sup>th</sup>, 2013

Copyright © 2013 Jianwei Liang et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Abstract:** A dynamic Capacity-Increase monitoring system of transmission lines is developed in allusion to the problem that the power energy transmitted through the lines is constrained by thermal stability level. The article outlines its basic principles, hardware and software design, and studies the problems that may arise by increasing the conductor allowable temperature. Finally, the conclusion is made that improving the existing line transmission capacity in a certain extent is feasible.

**Keywords:** Transmission line; On-Line Monitoring; Dynamic Capacity-Increase; Conductor Allowable Temperature

## 输电线路动态增容系统设计与关键技术

梁建伟<sup>1</sup>, 王 健<sup>1</sup>, 蔡 炜<sup>2</sup>, 刘晓伟<sup>2</sup>, 田 丁<sup>2</sup>

<sup>1</sup>山西省电力公司, 太原

<sup>2</sup>国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司, 武汉  
Email: sxsbdljw@sina.com

收稿日期: 2013年5月3日; 修回日期: 2013年5月7日; 录用日期: 2013年5月20日

**摘 要:** 针对输电线路输送能力受制于线路热稳定水平的问题, 研制了输电线路动态增容监测系统, 简述了其系统基本原理、硬件组成及软件设计等。并对提高导线允许温度可能出现的问题进行了研究, 最后得出在确保线路安全运行的情况下, 提高现行线路输送能力是可行的。

**关键词:** 输电线路; 在线监测; 动态增容; 导线允许温度

### 1. 引言

近年来, 随着电源建设步伐的加快及用电负荷的迅速增长, 电网规划建设滞后和输电能力不足的问题日益突出, 加剧了电网和电源、用户负荷发展的不协调矛盾, 带来了一系列问题。因此, 在确保系统稳定、设备安全的前提下, 对线路运行环境进行实时监测和分析, 及时对输电线路的热稳定限额进行调整, 可最大限度发挥输电线路的负载能力, 减少输电设备的投

资, 对满足社会积极快速增长有着积极的作用<sup>[1]</sup>。

目前, 提高现有输电线路输送容量的方法可分为二类: 一是突破现行技术规程的规定, 将导线的温度限额提高, 如由现行规定的 70℃ 提高到 80℃, 这样线路的输送容量可提高约 20%, 该方法可称为静态提温增容技术; 二是在输电线路上安装在线监测装置, 对导线状态(导线温度、张力、弧垂等)和气象条件(环境温度、日照、风速等)进行监测, 在不突破现行技术规

程的规定(导线温度限额 70℃)的前提下, 根据数学模型计算结果, 指导运行。根据现有的运行经验, 在现行技术规程的规定下, 现行规定的导线载流量可以提高 10%~30%左右, 该方法可称为动态监测增容技术<sup>[2]</sup>。

动态监测增容技术具有诸多优点, 不突破现行所有的技术规程, 包括线路的设计规程和线路的运行规程, 尤其对已投入运行的线路, 无需进行任何的改造工作, 达到提高线路的输送容量(潮流)的目的。

$$I_t = \left\{ \frac{9.92\theta(VD)^{0.485} + \pi\varepsilon SD \left[ (\theta + t_a + 273)^4 - (t_a + 273)^4 \right] - \alpha_s I_s D}{k_t R_{dt}} \right\}^{0.5}$$

式中:  $\theta$ : 导线的载流温升, °C;

$V$ : 风速, m/s;

$D$ : 导线外径, m;

$\varepsilon$ : 导线表面的辐射系数, 光亮新线为 0.23~0.46, 发黑旧线为 0.90~0.95;

$S$ :  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$ (斯蒂芬 - 包尔茨曼常数);

$t_a$ : 环境温度, °C;

$\alpha_s$ : 导线吸热系数, 光亮新线为 0.23~0.46, 发黑旧线为 0.90~0.95;

$K_t$ :  $t(= \theta + t_a)$ °C时的交直流电阻比;

$R_{dt}$ :  $t$ °C时直流电阻;

$I_s$ : 日光对导线的日照强度,  $\text{W/m}^2$ 。

环境参数选取方面各国标准差异很大, 本文采用国标边界值进行计算, 环境温度 40°C, 风速  $0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 日照强度  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ , 吸热系数 0.9, 辐射系数 0.9。

### 3. 动态增容系统的构成

主要有三项组成部分, 一是现场实时监测装置; 二是线路增容数学模型; 三是系统主站。见图 1。

#### 1) 现场实时监测装置

由导线温度检测装置和气象条件检测装置(小型气象站)构成, 对导线温度和影响导线限额的气象条件(环境温度、风速、光照)进行实时监测, 并通过无线网络, 将数据发至系统主站。

#### 2) 线路增容数学模型

这里不单只是导线电流限额模型, 更应建立能帮助和指导增容条件下的运行和规避线路增容后可能带来的风险的数学模型。

## 2. 导线载流量计算

对已知环境温度和给定的导体工作温度下的最大稳态电流即是导体的载流量。导线材料和几何截面确定后, 架空导线载流量的计算公式很多, 但其计算原理都是由导线的发热和散热的热平衡推导出来的, 其中英国摩尔根公式考虑影响载流的因素较多, 并有实验基础。本文采用摩尔根简化公式:

#### 3) 系统主站

接收和控制在线监测装置的数据和状态, 根据现

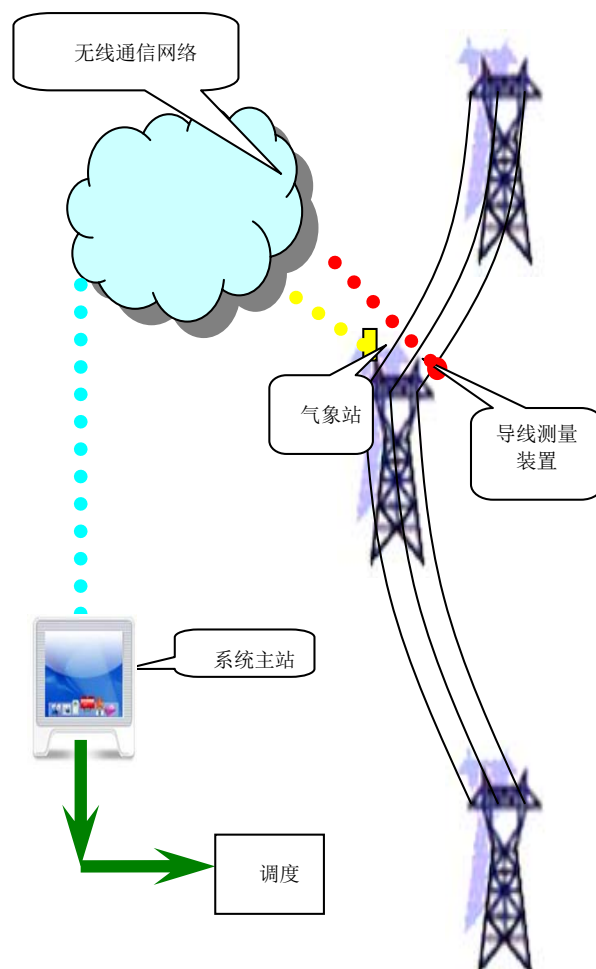


Figure 1. Configuration diagram of the dynamic capacity-increase monitoring system of transmission lines  
图 1. 输电线路动态增容系统的构成示意图

场实时监测装置采集的数据和数学模型，建立合适的应用系统，用于输电线路增容运行。

## 4. 应用平台研究和开发

本项目的最终目标是建立“输电线路实时输送限额计算管理系统”，采集相关现场数据，利用本项目的前述研究成果，经计算得到运行需要的安全电流限额、安全时间限额，为电网运行提供指导。

### 4.1. 系统架构

系统由数据采集通信层、数据存储管理层、应用服务层和数据表示层组成如图 2 所示。数据采集通信层是系统的数据入口，通过短信、GPRS/CDMA 与现场设备通信，获取导线温度、气象信息；通过系统接口从公司实时系统(实时系统从 EMS 取数)获取线路电流。系统与华东电网 500 kV 输电线路 GIS 管理系统接口，获取线路和导线信息。数据存储层主要是数据库，存储、管理系统数据。应用服务层包括数据归档、模型计算、WEB 服务等。数据表示层就是系统的用户界面。系统采用 B/S 结构，用户通过 IE 访问系统。

### 4.2. 数据采集

计算输电线路的实时输送限额，需要采集与线路输送限额相关的参数，包括导线温度、导线电流、环境温度、日照、风速。

由于线路分布在野外广阔区域，系统的测点高度分散，如果采用电力系统常用的通过系统内部专用网络(尤其是有线通道)进行数据传输的方式，工程浩大，显然很不经济。

目前，以移动、联通为代表的公共无线网络已非常发达，几乎覆盖每个角落，这就为借用他们的网络资源来构建我们的应用系统创造了条件。移动的无线平台可以提供短信、GPRS 网络通信两种方式，联通的无线平台可以提供短信、CDMA 网络通信两种方式。

通常情况下，导线温度由导线测温装置测得，用短信方式传送；气象信息由小型气象站提供，用 GPRS 或 CDMA 方式传送；线路电流由 SCADA 系统提供，通过系统接口获取。

根据本项目的前述研究成果，气象信息中风速可

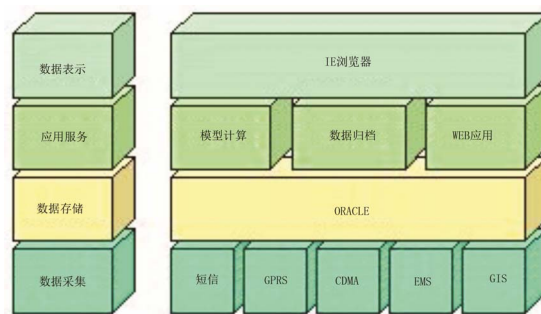


Figure 2. System architecture diagram  
图 2. 系统架构

以不测，这样导线温度、环境温度、日照就可以用一个装置采集，用短信或 GPRS/CDMA 方式通信。

#### 1) 短信通信

移动公司提供两种短信通信平台，一种是公众平台(业内称 500 平台，点对点通信)，用于个人用户短信业务。公众平台的短信传送存在延迟时间不确定(有时会是几个小时，甚至隔日)、有可能会丢失的问题，尤其在通信繁忙时段，矛盾更加突出。另一种是面向企业应用的短信特服平台(业内称 900 平台)。该平台具有以下优点：

短信特服平台通过短信行业网关连接短信中心，以有线网络传输短信数据，短信传输速度快，流量大，平台运行稳定、可靠。

短信收发只经过一次 GSM 网，短信收发稳定性高。

特服平台通过行业网关传输短信，而不是公众平台的普通短信网关，因此短信时延小，在公众平台流量高峰期(如节假日)不受短信堵塞影响。

短信资费便宜。与公众平台相比，短信特服平台的短信费用要便宜。

为保证与短信特服平台的可靠通信，可以在移动公司放置接入服务器。该接入服务器利用移动公司提供的专用接口，与短信特服平台通信，收发短信，接入服务器收到短信后在当地缓存。

接入服务器以 WEB 服务方式对外提供数据服务。中心系统定时(每分钟)通过 HTTP 从接入服务器调用数据，对现场设备的参数设置(如短信发送周期)也通过远程调用 WEB 服务实现。

#### 2) GPRS/CDMA 通信

GPRS、CDMA 都是公共网络的通信方式，GPRS 由移动提供，CDMA 由联通提供。在信号覆盖范围内，

CDMA 的通信质量要优于 GPRS。这是因为移动公司的网络是模拟网，GPRS 的数据业务与话音业务共享资源，在通信繁忙的情况下，GPRS 连接容易掉线，需重连。联通公司的网络是数据网，CDMA 的数据业务有独立带宽，其通信能够得到可靠保证。但是，移动公司的网络覆盖面比联通要好。

GPRS/CDMA 通信都是网络通信，可以使用 IP 协议和 UDP 协议，其 IP 地址动态获取。为了保持长连接，现场设备需要定时发送心跳信号。为保证通信成功率，并在短时间内收齐现场设备的信息，GPRS/CDMA 通信一般采用 IP 协议、主动上报方式。

作为公共通信资源，GPRS/CDMA 通信基于 INTERNET，其接入服务器需有 INTERNET 上的固定 IP 地址。为此可以利用位于移动公司的短信特服平台接入服务器作为 GPRS/CDMA 通信的接入服务器，与现场气象站进行通信。与短信通信一样，接入服务器将收到的数据缓存，并以 WEB 服务方式对外提供数据服务。

气象站的主动上报周期应可设置，其最小值是 1 分钟。由于系统需要的限额计算周期为 5 分钟，有足够的时间可靠获取气象信息。

### 4.3. 与 EMS 接口

虽然有些厂家提供的导线测温装置同时测导线电流，但其精度不高，不能用来计算。因此，系统中的导线电流宜从 EMS 获取。目前，位于三区的公司电网实时信息发布系统接收二区 EMS 系统经单向隔离装置送出的电网实时信息，这些信息在三区共享。变电站内有电流变送器的线路，直接取电流。变电站内没有电流变送器的线路，取其有功功率、无功功率和线电压，计算得到三相平均电流。考虑到 500kV 线路三相电流的不平衡度一般在 1% 左右，计算的电流减 1% 作为实际线路电流，把余度留给最终的安全限额。

由于同在公司内部网上，系统间的接口能够保证稳定、可靠运行。

## 5. 后台处理

### 1) 数据归档

数据归档包括四部分内容：数据整理、测点稳态限额归档、线路稳态限额归档、测点实时限额归档、

线路实时限额归档。来自不同途径的原始信息在系统中分开存放，后台的数据归档服务定时(一分钟，可调)对这些信息进行整理归档，以便后续应用处理。稳态限额计算、实时限额计算通过都调用限额计算模块实现。

各测点的稳态/实时限额独立计算、存储。数值最小的测点限额作为线路的限额存储、管理。

### 2) 限额计算

限额计算包括测点稳态限额计算、线路稳态限额计算、测点实时限额计算、线路实时限额计算，稳态限额就是稳态功率限额，实时限额有安全时间限额和安全有功限额两种。系统的限额计算模块应独立封装，供前后台调用。限额计算模型所需的各种参数均可修正、设置。

### 3) WEB 应用

为方便公司各部门用户的使用，系统宜采用 WEB 方式对外提供应用服务。系统的 WEB 应用应包括隔日稳态限额计算、稳态限额查询、稳态限额分析、实时限额跟踪、模拟计算、导线信息管理、装置管理等功能。

### 4) 稳态限额查询

稳态限额查询供分析统计使用，可以查询某一线路、任一天的稳态限额曲线。

### 5) 稳态限额分析

稳态限额分析供系统分析人员使用，可以对各测点、线路的稳态限额、导线温度、有功功率、气象信息等进行比对分析。

### 6) 实时安全电流限额监视

系统后台根据线路允许最高温度、需要的安全时间，计算线路的安全有功限额。前台以列表和曲线形式给出每 5 分钟计算的所需时间内的安全有功限额，同时显示线路当前有功功率和线路的潮流转移比，供调度参考。

### 7) 实时安全时间监视

系统后台根据线路允许最高温度、需要的输送功率，计算线路的安全时间。前台以列表形式给出每 5 分钟计算的所需输送功率内的安全时间，同时显示线路当前有功和线路的潮流转移比，供调度参考。

### 8) 温升跟踪

在电网发生 N-1 故障时，需要对动态增容运行的线路的温升过程进行跟踪监视。温升跟踪是导线实际

温升过程对计算温升曲线的跟踪, 由于计算温升曲线考虑了较大的安全余度, 实际温升曲线应在计算温升曲线的下方。

#### 9) 模拟计算

模拟计算供分析用, 包括稳态限额计算和实时限额计算。计算用的所有参数均可人工给定, 包括: 导线直径、导线表面辐射散热系数、导线表面吸热系数、导线在 20℃时的直流电阻、导线电阻温度系数、导线交直流电阻比、导线电流、导线温度、环境温度、日照、风速等。

#### 10) 隔日稳态限额计算

隔日稳态限额计算供运方使用, 根据人工给的环境温度、风速、天气, 计算各线路的稳态限额, 供运方人员编制隔日计划时作参考。

#### 11) 线路参数设置

线路参数设置供运方使用, 这些参数影响线路输送限额, 主要有线路允许最高工作温度、通流能力、潮流转移比、电压、功率因素。

#### 12) 线路限额设置

线路限额设置供调度使用, 由调度根据电网的实际需要设置, 包括线路需要的安全时间和需要的安全输送功率。

#### 13) 导线信息管理

导线信息包括导线所属、导线型号、直径、导线表面辐射散热系数、导线表面吸热系数、导线在 20℃时的直流电阻、导线交直流电阻比、导线电阻温度系数等。

导线信息管理包括导线信息的增加、删除、修改和导线信息的查询统计。

#### 14) 装置管理

装置信息包括装置编号、装置类型、装置型号、生产厂家、通信方式、SIM 卡号、线路运行编号、相别、塔杆运行编号、侧别、变电站、电厂、测点编号、导线温度补偿系数、导线温度补偿常数、位置描述。

装置管理包括装置信息的增加、删除、修改以及装置的查询统计。

#### 15) 装置状态分析

装置状态分析是通过对装置历史数据的分析, 判

断装置的运行状态, 为装置的检修、维护提供依据。

## 6. 结束语

1) 规程计算的导线载流量, 是没有考虑导线温升的暂态过程。实验室模拟试验结果表明, 在环境参数取规程规定的边界条件值, 通过导线的电流由载流量限额一半突变为全额(模拟 N-1 事故), 导线达到其工作允许温度有较长的时间。

在目前电网 N-1 运行方式下, 导线温升暂态过程的时间特性, 不仅为运行部门处理事故提供了相对充裕的时间, 同时, 在确保电网安全的前提下, 提高了输电线路的载流量。

2) 我们在现场实测到导线所处瞬时风速小于规程中规定 0.5 m/s 情况。在实测瞬时风速为 0、最高环温, 以及瞬时风速为 0、日照强度最大的两种工况下(尽管实测出现的次数较少), 与规程规定的边界条件: 环境温度为 40℃、风速为 0.5 m/s、日照强度为 1000 W/m<sup>2</sup> 计算结果相当。但若考虑导线温升暂态过程的时间常数后, 考虑在瞬时风速为 0 时刻前风速的作用, 计算的导线载流量可提高较多。

3) 本项目通过输电线路现场检测数据积累、统计和分析, 结合实验室试验研究, 提出了完全规避风险, 并可用运行调度实施的提高导线实时输送容量的方法, 依据摩尔根公式和导线温升时间常数  $\tau$ , 给出“电流限额下的安全时间”、“时间限额下的安全电流”以及“导线温度实时跟踪模式”等方法, 使得输电线路的实时增容运行更具有可操作性和安全性。一般可增容 5%~30%

4) 本项目提出了一个完整的动态监测增容系统实施方案和应用平台, 线路测点的选取、监测装置的配置、无线加网络方式传输数据、合适的数学模型、可靠的应用平台, 可使运行部门方便操作。

## 参考文献 (References)

- [1] 叶鸿声, 龚大卫, 黄伟中, 赵君虎等. 提高导线允许温度的可行性研究和工程实践[J]. 电力建设, 2004, 25(9): 1-7.
- [2] 杨国庆. 基于在线监测系统的输电线路动态增容研究[D]. 上海电力学院, 2012.