

# Research on Automatic Drawing Method and Application of Power Grid Galloping Region Distribution Map

Junjie Huang<sup>1</sup>, Ling Ruan<sup>1</sup>, Lili Ma<sup>2</sup>, Xiancai Fang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Electric Power Research Institute, Hubei Electric Power Company, Wuhan

<sup>2</sup>Kangpu Changqing Software Technology, Ltd., Wuhan

Email: [153758781@qq.com](mailto:153758781@qq.com), [mll1113@qq.com](mailto:mll1113@qq.com)

Received: Jan. 17<sup>th</sup>, 2014; revised: Jan. 20<sup>th</sup>, 2014; accepted: Jan. 27<sup>th</sup>, 2014

Copyright © 2014 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

---

## Abstract

In this study, based on the State Grid *Galloping Regional Grading Standards and Dancing Plotting Rule*, the galloping regional distribution map algorithm and the process are automatically implemented using calculate model, and the regional distribution of the specific application of anti-galloping design and renovation of dance in the guidance of transmission line insulator selection and differentiation are analyzed, providing the reference for the selection of transmission line insulator and playing an important role in guiding the anti-galloping design and transformation to realize differentiation.

## Keywords

Galloping Region Distribution Map; Automatic Drawing; Selection of the Insulator; Anti-Galloping Design and Modification

---

# 电网舞动区域分布图自动绘制方法与应用研究

黄俊杰<sup>1</sup>, 阮 羚<sup>1</sup>, 马黎莉<sup>2</sup>, 方贤才<sup>2</sup>

<sup>1</sup>湖北省电力公司电力科学研究院, 武汉

<sup>2</sup>武汉康普常青软件技术有限公司, 武汉

Email: [153758781@qq.com](mailto:153758781@qq.com), [mll1113@qq.com](mailto:mll1113@qq.com)

收稿日期：2014年1月17日；修回日期：2014年1月20日；录用日期：2014年1月27日

## 摘要

本研究以国家电网《舞动区域分级标准与舞动分布图绘制规则》为依据，将舞动区域分布图的绘制算法和流程采用计算建模来自动实现，并分析了舞动区域分布图在指导输电线路绝缘子选型和差异化防舞设计与改造中的具体应用，为输电线路绝缘子的选型提供参考依据，对实现差异化的防舞设计与改造具有重要的指导作用。

## 关键词

舞动区域分布图；自动绘制；绝缘子选型；差异化防舞设计与改造

## 1. 引言

舞动是由偏心覆冰导线在激励大风的影响下引起的一种低频、大幅激励的振动现象。舞动导线将向绝缘子串施加很大的动力荷载，以致绝缘子串激励振动。当输电塔两侧的线路参数(档距、高差角等)和舞动参数(幅值、半波数、频率等)不相同，舞动引起各档张力变化量不相等，使输电塔承受不平衡张力。这种不平衡张力引起的悬垂绝缘子串偏移，将有可能造成导线间、导线对横担的闪络事故[1]-[3]，严重威胁输电线路的安全运行。当前，舞动区域分布图的绘制是依据国家电网《舞动区域分级标准与舞动分布图绘制规则》，采用 GIS 软件进行计算机辅助绘制。这种方法需要大量的人工处理和操作，修订工作困难，并且无法实时更新，不能很好地指导电网防舞工作的开展实施，因此研究电网舞动区域分布图的自动绘制显得十分必要。

## 2. 自动算法及流程

本研究以国家电网《舞动区域分级标准与舞动分布图绘制规则》为依据，通过模块化的规则参数管理，将绘制过程中可变的属性和方法作为规则参数因子存入数据库，可供用户查看和调整，将绘制过程中固定不变流程化的方法采用计算机建模；并提供图形编辑功能进行舞动区域分布图的人工修订，以解决实际运行经验对舞动区域分布图的影响。

### 2.1. 规则参数管理

舞动区域分布图绘制过程中的可变属性包括主导风速、主导风向下日最大风速、日平均相对湿度、日最低气温等气象阈值[4]，插值缓冲参数、地形起伏度计算定值、DEM 格点精度、栅格精度等栅格数据属性，地形起伏度与 10 年舞动日数的拟合方程；可变方法包括舞动等级划分百分位及修正参数。将这些属性和方法参数化地存入 Postgresql 数据库，采用模块化管理，提供可视化界面供用户查看和调整(图 1)。

### 2.2. 地形起伏度修正算法

最小二乘法依据对某事件的大量观测而获得“最佳”结果或“最可能”的表现形式，是相关回归分析的基础理论。它利用样本数据估计回归方程，通过最小化误差的平方和寻找数据的最佳函数匹配，并使得这些求得的数据与实际数据之间误差的平方和为最小[5]。最小二乘法公式如下：

$$\frac{\partial \varphi}{\partial a_0} = -2 \sum (Y_i - a_0 - a_1 X_i) = 0 \quad (1)$$



Figure 1. The management of rules parameters of galloping region distribution map  
图 1. 舞动区域分布图规则参数管理

式中， $a_0$ ， $a_1$ 为任意实数， $X_i$ ， $Y_i$ 是一组样本观测数据。

本研究采用最小二乘法估算舞动区域分布图地形起伏度修正方程，将气象站台 10 年舞动日数和气象站台所在位置的地形起伏度值作为样本数据，样本数即为气象台站数，采用最小二乘法公式求取最佳匹配函数。具体方法如下：利用 ArcEngine 的 ExtractValuesToPoint 工具提取各气象站台所在位置的地形起伏度值，取地形起伏度值的对数值作为  $X_i$ ，将各气象站台 10 年舞动总日数作为  $Y_i$ ，利用公式(1)求取舞动总日数和地形起伏度的相关函数，即地形起伏度修正方程。

### 2.3. 自动成图算法

根据用户设置的气象阈值，统计分析研究区域冬春季逐日主导风向、主导风向下的日最大风速、日平均相对湿度、日最低温度等气象因子[4]，计算各气象站台舞动日总数；将各气象站台舞动日总数乘以 10 再除以气象数据跨越年数得到 10 年舞动日总数；采用 CreateFeatureClass 方法将各气象站台 10 年舞动日总数转换成 Shape 格式点图层；采 IDW 插值算法生成栅格舞动区域分布图；如果当前选择为自动计算地形起伏度方程模式，则采用邻域统计分析(Neighborhood Statistics)分别求取 DEM 最大、最小值，再采用栅格代数操作类求取 DEM 最大值和最小值之差，即为地形起伏度，采用 ExtractValuesToPoint 提取各气象站台地形起伏度值，采用最小二乘法进行回归分析得到地形起伏度方程；如果当前选择为人工输入地形起伏度方程模式，则从 Postgresql 数据库中读取地形起伏度方程；然后采用栅格代数操作类将地形起伏度大于 100 m 的区域内的舞动等级修正为地形起伏度方程计算出来的舞动等级；将修正后的栅格舞动区域分布图采用 Raster to Polygon 转换成矢量，并进行数据拓扑处理，保证其拓扑正确；将处理好的矢量舞动区域分布图进行分级配色即为电网舞动区域分布图(图 2)。

### 2.4. 自动绘制流程

如图 3。

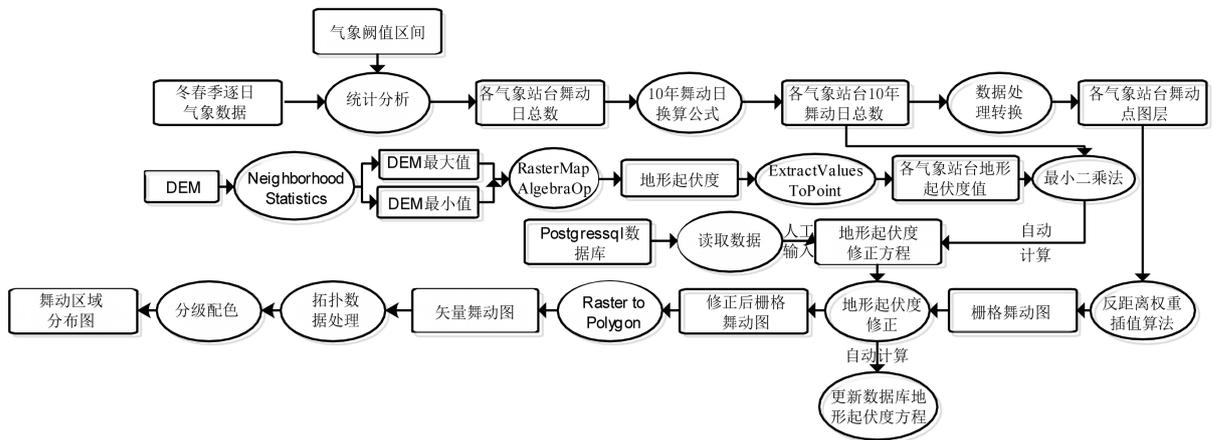


Figure 2. The model of auto-generating algorithm of galloping region distribution map  
图 2. 舞动区域分布图自动成图算法模型

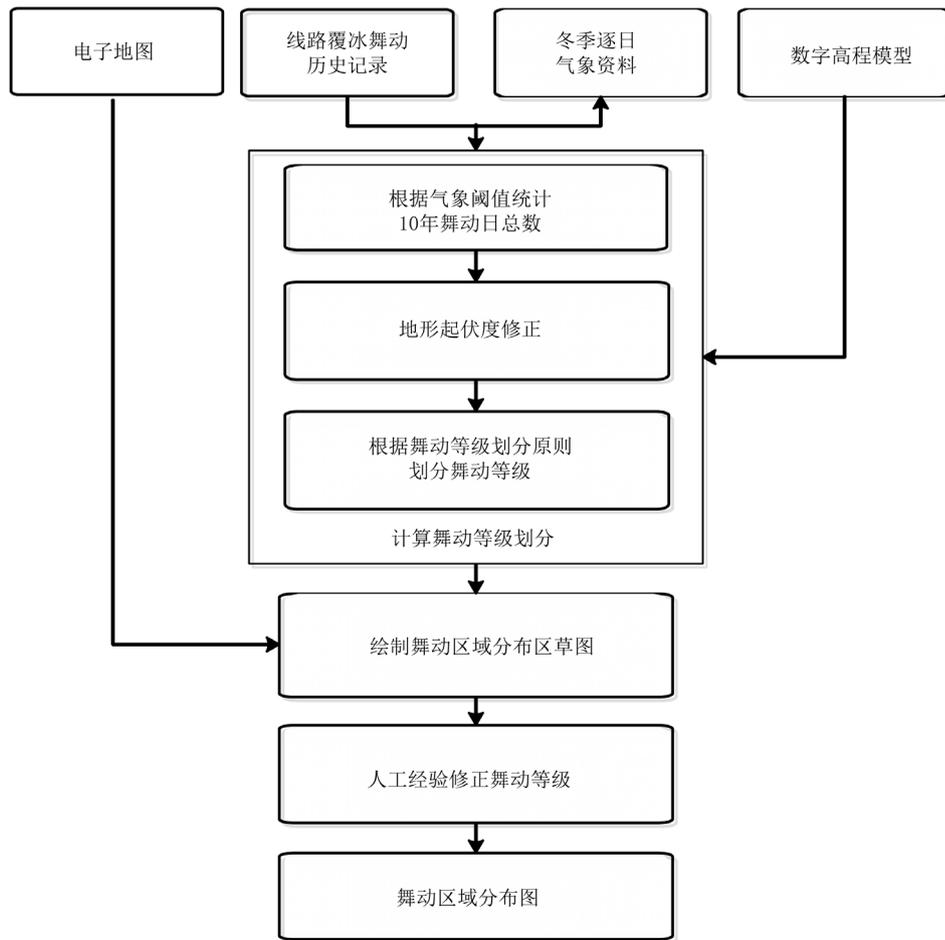


Figure 3. The flow of auto-drawing algorithm of galloping region distribution map  
图 3. 舞动区域分布图自动绘制算法流程

### 3. 应用研究

舞动区域分布图是对输电线路舞动发生情况的表面模拟并按舞动强弱进行了区域划分，能够从宏观

上准确把握导线发生舞动的强弱情况，对线路杆塔绝缘子的选型和差异化防舞设计与改造具有重大的指导意义[6]。

### 3.1. 绝缘子选型

目前电网中各电压等级输电线路的绝缘子主要有两大类：一类为盘形悬式绝缘子，按材料又分为瓷绝缘子和钢化玻璃绝缘子；另一类为棒形悬式绝缘子，按材料又分为瓷棒型绝缘子和复合绝缘子，它们各有特点，分别适用于不同的场合。

盘形悬式瓷绝缘子具有绝缘性能好、耐气候、耐热、组装灵活等优点，但它易被击穿，并随着运行时间的延长，其绝缘性能将逐渐降低。钢化玻璃绝缘子具有优良的机电性能，显著的特点是能零值自爆和机电性能长期稳定(即使用寿命长)，其抗拉强度是瓷绝缘子的 2.2 倍；耐电击穿能力是瓷绝缘子的 3.4~4.3 倍，抗振、耐疲劳、耐电弧烧伤和抗冷热冲击性能也优于瓷绝缘子。棒形悬式复合绝缘子强度高、重量轻、抗冲击、耐污性能好、清扫周期长甚至不需清扫、结构简单、也易于向大吨位发展、在相同串长下耐污能力较高，完全不受水、紫外线、电晕和臭氧的影响，但机械强度下降的现象均普遍存在。棒形悬式瓷绝缘子电气性能优良、不发生击穿、无线电干扰水平低、爬距大和耐污性能好。

针对不同种绝缘子的特性，参照电网舞动区域分布图，可为输电线路绝缘子选型提供指导依据。非舞动区域(0 级舞动分区)的线路可采用棒形悬式复合绝缘子；弱舞动区域(1 级舞动分区)的线路可采用棒形悬式瓷绝缘子；中舞动区域(2 级舞动分区)和强舞动区域(3 级舞动分区)可采用钢化玻璃绝缘子。强舞动区域的 110(66)~220 kV 输电线路大瓷或玻璃悬垂绝缘子串的联间距应不小于 450 mm，330~750 kV 输电线路大瓷或玻璃悬垂绝缘子串的联间距应不小于 500 mm，特高压线路大瓷或玻璃悬垂绝缘子串的联间距应不小于 600 mm。强舞动区域内的输电线路耐张绝缘子串宜采用双联及以上串形，并且以水平方式布置。

### 3.2. 差异化防舞设计与改造

在输电线路设计时，应尽量避免舞动的高发区，当不能避开舞动高发区时，就需要考虑防止导线舞动的措施，可根据舞动分区采取相应的防舞设计方案；而对于已建成的输电线路，应根据舞动分区，结合具体线路特点，按照差异化原则，因地制宜地开展防舞改造，确保各电压等级线路安全稳定运行。基于舞动区域分布图的差异化防舞设计与改造方案如下：

1) 弱舞动区域(1 级舞动分区)的输电线路一般只需要配备防舞装置。

2) 中舞动区域(2 级舞动分区)的输电线路除配备防舞装置外，还应应对走向和冬季主导风向夹角大于 45 度的特高压电网、500/750 kV 电网骨干网架的核心线路、大型水电送出线路、大型煤电送出线路、大型核电送出线路、跨国输电工程、跨区联网输电工程、一级、二级负荷及其他重要负荷供电线路的相应区段的耐张塔、紧邻耐张塔的直线塔和重要交叉跨越段铁塔的横担和主材连接部位宜采用双帽防松螺栓。

3) 强舞动区域(3 级舞动分区)内走向和冬季主导风向夹角大于 30 度的输电线路，在跨越主干铁路、高速公路等重要跨越物时，采用耐 - 直 - 直 - 耐的跨越方式，临近被跨越采用耐 - 直 - 直 - 耐的跨越方式，临近被跨越物的杆塔采用直线塔；500 kV 及以上线路重要交叉跨越段耐张塔采用钢管塔，耐张塔跳线金具、耐张线夹引流板宜采用加强型，4 分裂及以上跳线线夹可采用导线悬垂线夹，跳线间隔棒可采用导线阻尼式间隔棒；联接金具的安全系数应为 2.8~3.5。悬垂及耐张联塔金具宜采用联塔挂板；导线悬垂线夹宜加装预绞丝护线条，减小线夹对导线的磨损；导、地线防振锤宜采用防滑型防振锤；应对线路耐张塔、紧邻耐张塔的直线塔和重要交叉跨越段铁塔宜采用双帽防松螺栓，螺母宜采用镀后攻丝技术，减小螺栓和螺母间的配合间隙。

## 4. 结论

本研究依据《舞动区域分级标准与舞动分布图绘制规则》，将电网舞动区域分布图绘制过程中可变的属性和方法作为规则参数，可供用户修改调整，将绘制过程中固定不变流程化的方法采用 GIS、.NET、数据库等相关技术进行计算机建模，实现电网舞动区域分布图的自动绘制。在此基础之上，分析了舞动区域分布图在指导输电线路绝缘子选型和差异化防舞设计和改造中的实际应用，对电网输电线路防舞工作有实际的指导意义。

## 参考文献 (References)

- [1] 周振山 (1984) 高压架空送电线路机械计算. 水利电力出版社, 北京, 15-25.
- [2] 丁京玲, 党镇平, 王婷婷 (2010) 棒形悬式复合绝缘子伞形结构对覆冰闪络特性的影响. *电瓷避雷器*, **1**, 10-12.
- [3] 程登峰, 蒋兴良 (2009) 不同形式绝缘子串覆冰直流闪络特性的研究. *电瓷避雷器*, **4**, 5-8.
- [4] 湖北电科院 (2013) 舞动区域分级标准与舞动分布图绘制规则.
- [5] 石瑞平 (2009) 基于一元回归分析模型的研究. 硕士论文, 河北科技大学, 石家庄, 10-15.
- [6] 涂明, 张立春, 朱宽军, 等 (2011) 输电线路舞动区域划分方法. *电力建设*, **4**, 26-28.