

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2014.07.004

电网台风风险预警系统方案设计

熊小伏¹, 翁世杰¹, 王 建¹, 方 嵩², 彭 嵩², 胡华铿²

(1. 重庆大学 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400044;

2. 广东电网公司中山供电局, 广东 中山 528400)

摘 要: 为了提升电网抵御台风灾害的能力, 从运行角度出发提出一种电网台风风险预警方法。根据气象局提供的台风预测信息, 通过比较线路网格到台风中心的距离 s 与台风十级风圈大小, 确定危险线路集, 并计算危险线路集中线路的预测风速 v_y , 再由预警区域内线路的基础信息校正线路设计风速后作为判断风速 v_p , 比较预测风速与判断风速的大小, 得到预警结果, 并发布相应预警信息。同时, 考虑到人工设置的阈值主观性强, 设计了一种自动校正方法, 提高了预警的准确性和系统的可移植性。通过中山电网实际运行测试, 验证了所提方法的有效性。

关键词: 电网; 台风; 风险预警; 电气地理信息; 自动校正

中图分类号: TM732

文献标志码: A

文章编号: 1000-582X(2014)07-027-06

Research and application of typhoon risk early warning system for power grid

XIONG Xiaofu¹, WENG Shijie¹, WANG Jian¹, FANG Song², PENG Song², HU Huakeng²

(1. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Zhongshan Power Supply Bureau, Zhongshan, Guangdong 528400, China)

Abstract: In order to enhance the ability of power grid to withstand typhoon disaster, an early warning method for power transmission risk of typhoon is proposed in this paper from the perspective of operation. According to the typhoon forecast information provided by the meteorological administration, the risk set of line is determined by comparing the distance from grid center to typhoon center with the wind radius of level ten, and the corresponding forecasting wind speed is calculated, then the warning results is got through comparing calculated wind speed with judge wind speed which is corrected on the design wind speed of transmission line by basic information recorded in the early warning area, and appropriate warning information will be released in time. Moreover, an automatic correction method for the system is designed to improve accuracy of the early warning and portability of the system, as the subjectivity of warning threshold value set by people is strong. The real operation test of Zhongshan power grid is taken to verify the validity of the proposed method, and the result shows that the typhoon risk early warning method is effective.

Key words: power grid; typhoon; risk early warning; geographic information system; automatical correction

收稿日期: 2014-02-08

基金项目: 重庆市科技攻关(应用重点)项目(cstc2012gg-yyjsB90003)

作者简介: 熊小伏(1962-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事电力系统自动化、继电保护的研究, (E-mail) cquxxf@vip.sina.com。

输电线路,特别是架空输电线供电容量大,且分布点多、面广,长期暴露在户外,较易受自然灾害影响,一旦断电,不仅会给电力企业造成重大损失,并且直接影响国家的生产建设和人民的生活秩序^[1-2]。尤其是近年来,随着社会对用电需求的不断提高,输电网规模将快速建设发展和延伸,通过复杂地形及恶劣气候条件地区的输电线路也将日益增多,这将给电力运行部门带来极为严峻的挑战和考验。运行环境恶劣、线路增长幅度快等因素已成为输电线路运行工作面临的主要困难,如何有效预防台风等自然灾害对电网造成的影响,成功驾驭大规模的电网,确保其安全运行,是电网运行人员不断努力和探索的工作目标^[3-6]。

调查显示^[7-10],目前仅福建省电力有限公司建立了结合地理信息系统的台风信息采集和监视系统;华东电网调度中心将台风实况信息和预报信息接入广域监视与安全稳定防御系统,实现了台风信息与电网信息的一体化、可视化展示;部分电力公司运行人员结合台风预报信息和线路地理信息,根据经验调整运行方式以减小台风对电网的影响。

因此,掌握详尽的气象预测资料,建立科学的台风预警系统并推广应用势在必行^[11-12]。台风来临时若能警示电网运行人员受台风影响较大、具有故障风险的线路、杆塔,同时为电网防灾调度提供科学的技术支撑和信息化辅助决策平台,这对提高输电线路抵御台风灾害的能力,保障电力系统安全稳定运行以及提升电网适应日趋频繁的气象灾害的能力,都具有极其重要的意义。

电网台风风险预警系统根据气象台(站)雷达提供的台风气象的特征参数预测信息,秉承“提早预防、及早控制”的安全理念,通过建立台风预警分析模型,综合处理计算台风预报信息和输电线路的位置参数等相关数据,给出所在区域内输电线路的台风灾害风险分析和相应的预警等级。如图 1 所示,本系统主要包含台风实况信息、台风预报信息、电网台风风险预警、预警数据分析等功能模块,综合实现科学的电网台风灾害预警。

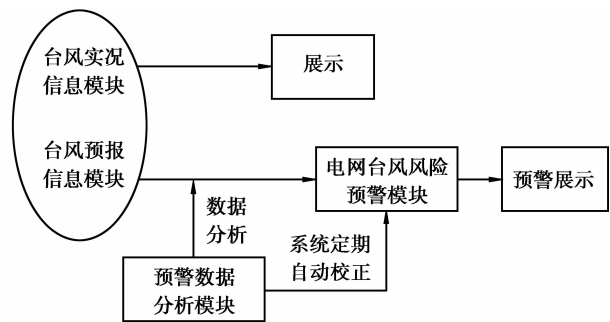


图 1 电网台风风险预警模块原理图

1 台风信息

可利用的台风信息主要有台风实况信息和预报信息。台风实况信息包括台风中心位置的经纬度坐标、中心风力、实测各风圈半径;台风预报信息包括 24、48、72 h 的台风预测路径、预测台风中心经纬度以及其 7 级和 10 级风圈预测半径^[13-14]。

台风信息模块具备信息展示功能,直观方便:对台风实况、台风预报信息,能以表格数据的形式展示,同时也具备基于 GIS 背景地图、辅以曲线图和弹出式文本框说明的可视化效果图显示功能。

该类信息模块对台风历史信息也提供了历史台风列表及其动态图形化查询展示功能。

2 电网台风风险预警

2.1 预警思路

电网台风风险预警系统的基本思路是:首先将所在区域划分为 $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ (约为 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$) 的网格,一方面,根据台风预测信息,通过计算比较含有线路杆塔的网格中心点至预测台风中心的距离 s 和该时刻台风十级风圈半径 R_{10} 。确定危险网格,再计算危险网格中心点的预测风速 v_p 并作为其内线路、杆塔的预测风速;另一方面,以线路设计风速 v_0 作为评判断线、倒塔风险的依据^[15],并利用区域电网的基础信息表修正线路的设计风速得到最终的判断风速 v_p ;最后根据预测风速和判断风速的大小判定得出是否预警及相应的预警等级。

预警的特征指标:预测风圈半径,预测台风中心经纬度,区域线路、杆塔特征调查数据等。

预警的计算指标:含线路杆塔的网格中心点至台风中心的距离,预测 t 时刻后台风十级风圈半径及危险网格中心点的预测风速。

预警的结果指标:无预警,Ⅰ级预警(较轻),Ⅱ级预警(一般),Ⅲ级预警(严重),Ⅳ级预警(较严重),Ⅴ级预警(特别严重)。

2.2 系统预警流程

系统的基本流程如图 2 所示。

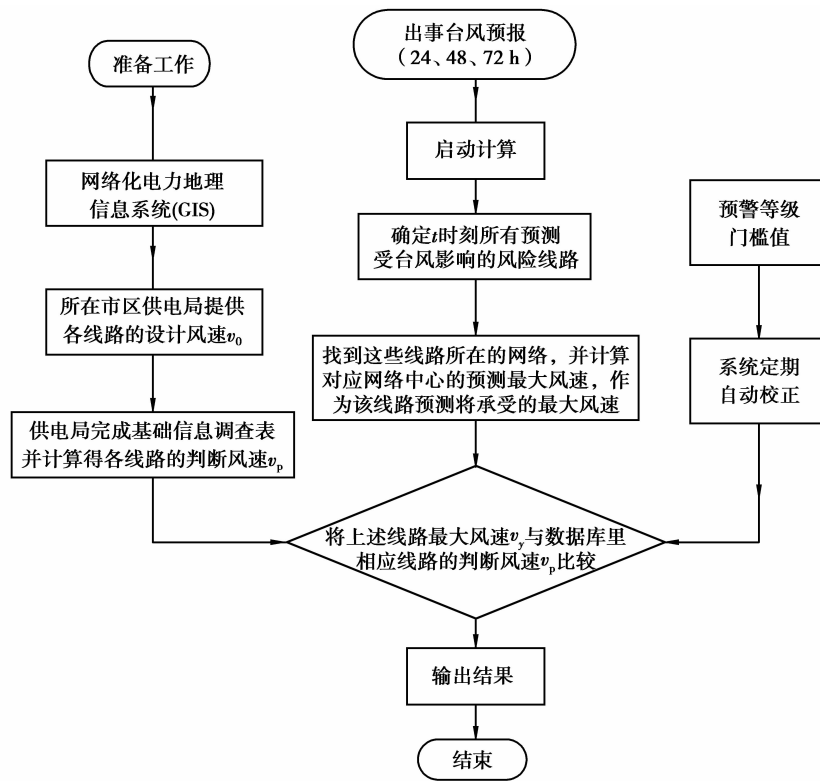


图 2 电网台风风险预警流程图

2.2.1 准备工作

用户需将所在区域划分为 $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ 的网格,并将网格的经纬度信息以及网格内包含的线路信息录入系统数据库。

当台风越过海洋 24 h 警戒线时,本系统开始工作。中心气象台观测站提供实况台风信息和预报台风信息,该数据每隔 3 h 更新校正一次。

2.2.2 风险线路集确定

对 24、48、72 h 的台风预测数据做如下处理,确定该区域间隔 t 时刻后受台风十级风圈影响的风险线路集 ($v_{10} \geq 24.5$ m/s,考虑规程规定 110 kV 及以上线路的最大设计风速须大于 25 m/s^[16])及其影响时间段。以 24 h 台风预测数据为例,48 h、72 h 同理可得。

为方便说明,对预测点(出现 24 h 台风预测的实际时刻点)的台风中心位置 O 以其十级风圈半径 R_{10} 作圆;对预测 24 h 后的台风中心位置 O_{24h} 以其预测的十级风圈半径 R_{10}^{24h} 作圆;最后作两圆的外公切线,如图 3 所示,则:

1) 根据 $O(x, y)$ 、 R_{10} 、 v 和 $O_{24h}(x_{24h}, y_{24h})$ 、 R_{10}^{24h} 、 v_{24h} 确定 t 时刻后(每间隔步长为 t_0)的台风中心位置 O_t 经纬度(x_t, y_t),并根据线性插值法确定 t 时刻的近似台风十级风圈半径 R_{10}^t 和台风风速 v_t ($t = nt_0$ ($n = 1, 2, \dots, m, mt_0 \leq 24$ h))^[17]:

$$\begin{cases} |OO_t| = \frac{|OO_{24h}|}{24}t, \\ y_t = y + \frac{|OO_t|}{|OO_{24h}|}(y_{24h} - y), \\ x_t = x + \frac{|OO_t|}{|OO_{24h}|} \frac{\cos y_{24h}}{\cos y_t}(x_{24h} - x); \end{cases} \quad (1)$$

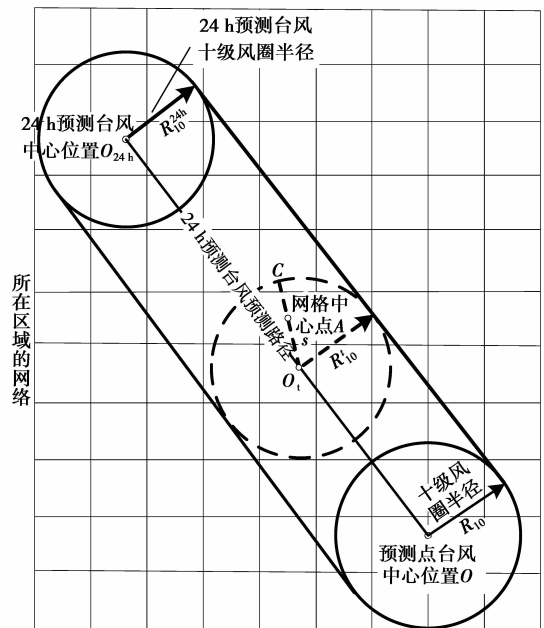


图 3 电网台风风险预警分析图

$$R_{10}^t = R_{10} + \frac{|OO_t|}{|OO_{24h}|} (R_{10}^{24h} - R_{10}), \quad (2)$$

$$v_t = v + \frac{v_{24h} - v}{24} t, \quad (3)$$

注: t_0 可根据需要整定, 考虑到实际情况, 目前 0~24 h 内间隔步长取值为 10 min、24~72 h 内间隔步长取值为 1 h。

2) 判断包含有线路的所有网格中心点到各台风中心点 O_t 的距离 s 与 R_{10}^t 间的大小关系: 若 s 大于 R_{10}^t , 则认为网格内的线路杆塔受台风影响较小, 不至发生事故; 若 s 小于等于 R_{10}^t , 则认为该网格内的线路在 t 时刻后受台风影响较大, 有断线风险, 即

$$\begin{cases} s > R_{10}^t, & \text{无故障风险;} \\ s \leq R_{10}^t, & \text{有故障风险。} \end{cases} \quad (4)$$

其中, s 表示 t 时刻内含线路的网格中心点到台风中心 O_t 的距离。

假设某网格在 $t_1 \sim t_2$ 时间段内为受影响网格, 且设预测点时刻为 T , 并考虑一个时间间隔裕度, 则该网格内的线路段受影响时间段即为

$$T + t_1 - t_0 \sim T + t_2 + t_0. \quad (5)$$

综上所述可以确定 72 h 内受台风影响的风险线路段集合即可由式(4)给出, 而同时也能根据式(5)计算预警的时间范围, 之后只需确定预警与否及预警的风险等级。

2.2.3 预测风速计算

由上一步得到对应各 t 时刻所有受影响的网格(线路)集合, 再采用线性插值法计算各 t 时刻对应的受影响网格中心处的预测风速, 并将之作为其内含线路预测 t 时刻后将承受的预测风速 v_y 。

设某一受影响网格, 其中心点为 A , 该网格中心点到台风中心 O_t 的距离为 s , 结合图 3, 显然有 $s = |AO_t|$, 并可以认为 A 点处的风速即为该网格内含的线路段 t 时刻后将承受的预测风速 v_y , 采用线性插值法得 A 点所承受的预测风速为

$$v_y = v_t - \frac{v_t - v_c}{R_{10}^t} |AO_t|, \quad (6)$$

其中, $v_c = v_{10} = 24.5 \text{ m/s}$ 。

联立式(3)、(4)和(6)即可得到各 t 时刻对应的受影响线路段所承受的预测最大风速 v_y 。

2.2.4 模型的基础信息校正

为提高预警的准确率, 系统利用预警区域内的电网基础信息调查表对设计风速进行有针对性的修正, 如表 1 所示。

表 1 台风风险预警基础信息调查表

线路名称	杆塔编号	杆塔型号	防风水平		运行情况	重要程度	
			水平挡距 D_1	防风措施 D_2	风偏跳闸次数 D_3	同塔回数 D_4	负荷级别 D_5
X	X	X	A.大	A.没有	A.3次及以上	A.3次及以上	A.一级
X	X	X	B.中	B.一般	B.1~2次	B.2次	B.二级
X	X	X	C.小	C.较好	C.没有	C.1次	C.三级

将线路的基础信息调查表录入系统数据库, 再根据以上信息按下原则计算判断风速值 v_p :

若为“A”, 则将设计风速值 v_0 减小 5% 作为判断风速 v_p ;

若为“B”, 保持设计风速值 v_0 不变作为判断风速 v_p ;

若为“C”, 则将设计风速值 v_0 增加 5% 作为判断风速 v_p 。

2.2.5 预警等级划分

经过以上处理后, 即可根据各线路段预测风速值 v_y 与该段线路的判断风速值 v_p 的比较结果, 确定各 t 时刻下对应受影响线路段的预警等级, 各等级门槛值具体划分如表 2 所示。

表 2 预警等级判定表

风速值	预警等级
$0.7v_p \leq v_y < 0.9v_p$	I 级预警
$0.9v_p \leq v_y < 1.1v_p$	II 级预警
$1.1v_p \leq v_y < 1.3v_p$	III 级预警
$1.3v_p \leq v_y < 1.5v_p$	IV 级预警
$v_y \geq 1.5v_p$	V 级预警

2.2.6 台风灾害预警信息展示

将上述计算结果均存入数据库,若所在区域存在Ⅲ级及以上的高风险线路,则将该输电线路的相关信息显示在台风预警列表页,并给出相应的预警等级,如表3所示。

表3 台风灾害预警输出信息表

预警编号	台风名	强度	预警线路名称	预警时间段	预警等级
例:12091101	三巴(SANBA)	强台风	XX区XX线XX段	15:10—16:00	Ⅲ级
				16:00—18:00	Ⅳ级

和台风实况及预报信息一样,台风灾害预警信息既能以表格数据显示,也能以基于GIS背景地图、辅以预警等级和图标说明的可视化效果图展示。表格数据形式更加具体方便,而效果图展示则更加直观形象,两种形式结合能满足广大用户的需求。

值得注意的是,上述过程随台风预测数据的更新而需要进行重新计算。因此,本预警系统的台风预测数据每隔3h更新一次,上述流程也将每隔3h计算运行一次。

3 预警数据分析

预警数据分析主要包括预警数据的分析和系统的定期自动校正。

1)数据分析:负责搜索、计算并提供电网台风风险预警模块所需的一些基础数据。

2)系统定期自动校正:负责将出现Ⅲ级及以上的高风险预警线路集与实际故障线路集比较,根据提出的“漏警率” p_1 和“虚警率” p_2 进行定期的系统参数自动校正:

$$\text{漏警率 } p_1 = \frac{\text{实际故障却未预警的线路个数}}{\text{实际发生故障线路个数}}, \quad (7)$$

$$\text{虚警率 } p_2 = \frac{\text{预警却未发生故障的线路个数}}{\text{高风险预警的线路个数}}。 \quad (8)$$

若 $p_1 \geq \alpha$,则将表2中各预警等级区间的门槛值均减少 $0.01v_p$;若 $p_2 \geq \beta$,则将表2中各预警等级区间的门槛值均提高 $0.01v_p$ 。其中, α 和 β 均可根据实际情况整定,建议暂取0.2。如此让预警越来越精确,使系统的可移植性和扩展性更高。

4 结语

笔者建立了电网台风风险预警系统,系统关注的是断线、倒塔风险,依据的是台风实况、预报信息,给出的是各地点(区域)未来一至数日甚至数小时内受台风影响的风险线路、杆塔信息以及相应的预警等级。本系统是融合了电网信息、地理信息和自然环境信息的一体化平台,已作为“中山电网气象灾害监测预警系统”的一部分,并达到了预期目标。

1)监测、预报中山地区的台风气象信息,进行电网信息和台风信息的一体化、可视化展示。

2)根据台风预测信息定量预估台风灾害对电力设备的影响,对有故障风险的线路给出相应的预警提示信息。

3)提供台风实况信息、预报信息和预警信息查询功能和友好的操作界面。

这一系统平台的建设和应用,可为电网运行提供科学的分析手段与决策支持,为电网的优质供电和抵御台风灾害提供了先进的技术保障。预警系统下一步的研发方向,正考虑对关键杆塔(特别是多回路同塔架设)加装基础在线监测装置,通过装置和台风实时气象数据的结合分析,进一步提高系统的实用化水平。

参考文献:

[1] 李顺利.架空输电线路运行维护中存在的问题及对策[J].中国电力教育,2010(Sup1):600-601.

LI Shunli.Problems and countermeasures in operating and maintenance of overhead transmission lines[J].China Electric

- Power Education, 2010(Sup1):600-601.
- [2] 张勇. 输电线路风灾防御的现状与对策[J]. 华东电力, 2006, 34(3):28-31.
ZHANG Yong. Status quo of wind hazard prevention for transmission lines and countermeasures[J]. East China Electric Power, 2006, 34(3):28-31.
- [3] 谢强, 李杰. 电力系统自然灾害的现状与对策[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(4):126-131.
XIE Qiang, LI Jie. Current situation of natural disaster in electric power system and countermeasures[J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(4):126-131.
- [4] 庞准, 李邦峰, 俞悦, 等. 海南电网台风期间运行方式研究[J]. 电网技术, 2007, 31(7):46-50.
PANG Zhun, LI Bangfeng, YU Yue, et al. Study on operating modes of Hainan power grid during typhoon periods[J]. Power System Technology, 2007, 31(7):46-50.
- [5] 王明, 叶青山, 王得道. 电力系统自然灾害应急系统评价研究[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(13):57-60, 81.
WANG Ming, YE Qingshan, WANG Dedao. The development of natural disaster response capacity for power system[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(13):57-60, 81.
- [6] 陈朝晖, 汤海涛. 台风极值风速的数值模拟及分布模型[J]. 重庆大学学报, 2008, 31(11):1285-1289.
CHEN Chaohui, TANG Haitao. Distribution models of extreme typhoon winds based on numerical simulation of wind data[J]. Journal of Chongqing University, 2008, 31(11):1285-1289.
- [7] 王昊昊, 罗建裕, 徐泰山, 等. 中国电网自然灾害防御技术现状调查与分析[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(23):5-10, 118.
WANG Haohao, LUO Jianyu, XU Taishan, et al. Questionnaire survey and analysis of natural disaster techniques of power grid in China[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(23):5-10, 118.
- [8] 薛禹胜, 吴勇军, 谢云云, 等. 停电防御框架向自然灾害预警的拓展[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(16):18-26.
XUE Yusheng, WU Yongjun, XIE Yunyun, et al. Extension of blackout defense scheme to natural disasters early-warning[J]. Automation of Electric Power System, 2013, 37(16):18-26.
- [9] 熊军, 林韩, 王庆华, 等. 基于 GIS 的区域电网风灾预警模型研究[J]. 华东电力, 2011, 39(8):1248-1252.
XIONG Jun, LIN Han, WANG Qinghua, et al. GIS-based model for regional power grid wind hazard precaution[J]. East China Electric Power, 2011, 39(8):1248-1252.
- [10] 张继芬, 张世钦, 胡永洪. 福建电网气象信息预警系统的设计与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(13):72-74.
ZHANG Jifen, ZHANG Shiqin, HU Yonghong. Design of the meteorological forewarning system for power grid[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(13):72-74.
- [11] 宋晓喆, 汪震, 甘德强, 等. 台风天气条件下的电网暂态稳定风险评估[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(24):1-8.
SONG Xiaozhe, WANG Zhen, GAN Deqiang, et al. Transient stability risk assessment of power grid under typhoon weather[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(24):1-8.
- [12] 薛禹胜, 肖世杰. 综合防御高风险的小概率事件—对日本相继天灾引发大停电及核泄漏事件的思考[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(8):1-11.
XUE Yusheng, XIAO Shijie. Comprehensive defending high risk events with low probability[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(8):1-11.
- [13] 海南省气象台. GB/T 21984—2008 短期天气预报[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [14] 端义宏, 陈联寿, 许映龙, 等. 我国台风监测预报预警体系的现状及建议[J]. 中国工程科学, 2012, 14(9):4-9.
DUAN Yihong, CHEN Lianshou, XU Yinglong, et al. The status and suggestions of the improvement in the typhoon observation, forecasting and warning systems in China[J]. Engineering Science, 2012, 14(9):4-9.
- [15] 郑旭, 赵文彬, 肖嵘, 等. 华东电网 500kV 输电线路气象环境风险预警研究及应用[J]. 华东电力, 2010, 38(8):1220-1225.
ZHENG Xu, ZHAO Wenbin, XIAO Rong, et al. Investigation and application of meteorological environmental risk early-warning for 500kV transmission lines in east China grid[J]. East China Electric Power, 2010, 38(8):1220-1225.
- [16] 国家电力公司华东电力设计院. DL/T 5092—1999 110~500 kV 架空送电线路设计技术规程[S]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [17] 卫宇. 考虑地球曲率情况下两点距离问题的求解[J]. 航空兵器, 2008(3):7-12.
WEI Yu. Solution of distance between two points considering curvature of the earth[J]. Aero Weaponry, 2008(3):7-12.