强风雨荷载冲击下的输电线路可靠性建模方法

杨 清[1],魏亚楠[2],赵 渊[2],熊小伏[2],王 建[2]
(1. 云南电网公司生产设备管理部,云南 昆明 650011;
2. 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)

摘要:强风雨荷载的冲击会对输电线路可靠性产生不利影响,有必要研究强风雨荷载下输电系统风险变化情况,建立该情况下输电线路的可靠性模型。基于结构可靠性原理,计算输电线路强度和荷载的随机特性及二者的联合概率密度函数,建立强风雨荷载冲击下输电线路时间相依的失效概率模型。利用 IEEE RTS-79 算例验证了失效概率模型的有效性,仿真结果表明,强风雨荷载的冲击严重影响系统和部分负荷节点的可靠性指标;在强风雨共同作用时,雨荷载的影响不可忽略。

关键词:强风雨荷载;输电;线路;结构可靠性;可靠性;风险;模型;风荷载;雨荷载
中图分类号:TM 72;TM 743 **文献标识码**:A DOI:10.16081/j.issn.1006-6047.2015.02.022

暴露在大气环境中的输电线路容易受到强风、暴雨的影响[1-3],如强台风登陆对沿海地区的电力设备造成巨大危害,强风雨荷载的冲击会导致断线、倒塔事故的发生[4-5]。有关强风雨荷载对输电线路可靠性影响的研究还很少,目前输电线路设计标准均以冰风荷载为主[6-9],忽略了雨荷载的影响,而强风雨荷载对高耸建筑尤其是输电线路造成的危害极大[10]。文献[11]在风洞试验下,研究了不同降雨强度对输电线垂向阻力系数的影响,但未做机理分析。文献[12]建立了输电杆塔的精细化有限元分析模型,研究了风雨共同作用下的输电塔体系的动力响应,但并未分析风雨荷载对输电线路可靠性的影响。

本文基于结构可靠性原理,计算输电线路强度和荷载的随机特性以及二者的联合概率密度函数,建立强风雨荷载冲击下的输电线路时间相依失效概率模型。分析了雨荷载对输电线路失效概率的影响,并以 IEEE RTS-79 系统为算例,分别计算了无环境荷载、只考虑强风荷载、综合考虑强风雨荷载的系统和部分负荷节点的可靠性指标。

1 输电线路承受的强风雨荷载

1.1 风荷载

根据 GB50545—2010《110 kV~750 kV 架空输电线路设计规范》[9],输电线路承受的风荷载为:

$$F_w(t)=\alpha\frac{v^2(t)}{1600}\mu_z\mu_{sc}\beta_c d l_h B\sin^2\theta \quad (1)$$

其中,α 为风压不均系数,与风速大小有关;$v(t)$为基准高度为 10 m 的风速;μ_z 为风压高度变化系数,与地表粗糙度和线路的海拔高度有关;μ_{sc} 为导线的体形系数,当线径小于 17 mm 或覆冰时取为 1.2,当线径大于或等于 17 mm 时取为 1.1;β_c 为风振系数,也称风荷载调整系数,可以把随机风荷载等效为静力荷载,根据标准规定,500 kV 和 750 kV 线路的风荷载调整系数为 1.25,其他电压等级为 1;d 为导线外径或覆冰时的计算外径,分裂导线取所有子导线外径总和;l_h 为杆塔的水平档距;B 为覆冰时风荷载增大系数,覆冰为 5 mm 时取 1.1,覆冰为 10 mm 时取 1.2,无冰区取 1;θ 为风向与导线夹角。

1.2 雨荷载

按降雨强度把降雨类型分为 7 级,见表 1[10]。

表 1 降雨的分类

Table 1 Classification of rain

等级	降水量/(mm·h^{-1})	等级	降水量/(mm·h^{-1})
小雨	2.5	大暴雨(弱)	64
中雨	8	大暴雨(中)	100
大雨	16	大暴雨(强)	200
暴雨	32		

由于小雨对输电线路的冲击较小[14],几乎可以忽略,本文以中雨为荷载基准。利用文献[12]给出的模型计算雨荷载:

$$F_r(t)=\frac{2}{9}\pi d_1^3 n b v_s^2 \quad (2)$$

其中,d_1 为雨滴直径;n 为单位体积内的雨滴个数;b 为元件迎雨面的面积;v_s 为雨滴的末速度。

观测数据表明,在单位体积内直径为 d_1 的雨滴个数可以表示为:

收稿日期:2014-02-20;**修回日期**:2014-12-19
基金项目:国家自然科学基金资助项目(50977094);重庆市自然科学基金资助项目(CSTC,2011BB6047);输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室自主研究项目(2007DA105127-11208);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(CDJZR111-50012)
Project supported by the National Natural Science Foundation of China(50977094),the Natural Science Foundation of Chongqing (CSTC,2011BB6047),the Independent Research Project of State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology(2007DA10512711208) and the Fundamental Research Funds for the Central Universities (CDJZR11150012)

$$n(d_1)=n_0\exp(-\Lambda d_1) \tag{3}$$

其中，系数 $n_0=8\times10^3$ 个/(m^3·mm)；Λ 为斜率因子，且 $\Lambda=4.1I^{-0.21}$，I 为降雨强度(mm/h)。

1.3 荷载的组合

荷载主要分为风荷载 $F_w(t)$、雨荷载 $F_r(t)$和固定荷载 G 3个部分。固定荷载又称永久荷载，主要是元件的自重，呈高斯分布；风荷载和雨荷载为可变荷载，是时间相依的函数，且在时间确定时风雨荷载为固定值。由概率分布函数的特征可知，若随机变量 x 服从高斯分布 $f(x)$，其均值和标准差分别为 μ 和 δ，则变量 $x+a$ 也同样服从高斯分布，且均值和标准差分别为 $\mu+a$ 和 δ，其中 a 为常数。

考虑较为严重的情况，即风雨荷载和永久荷载在同一方向上，即：

$$S(t)=G+Q(t)=G+F_w(t)+F_r(t) \tag{4}$$

其中，$S(t)$为输电线路承受的总荷载；G 为永久荷载；$Q(t)$为环境荷载，这里是风荷载 $F_w(t)$和雨荷载 $F_r(t)$之和。由IEC60826标准可知，永久荷载服从高斯分布，其均值和标准差分别为 μ_G 和 δ_G，由高斯分布函数的特征可知，总荷载在 t 时刻也服从高斯分布，其均值和标准差分别为 $\mu_G+F_w(t)+F_r(t)$ 和 δ_G。

2 可靠性建模

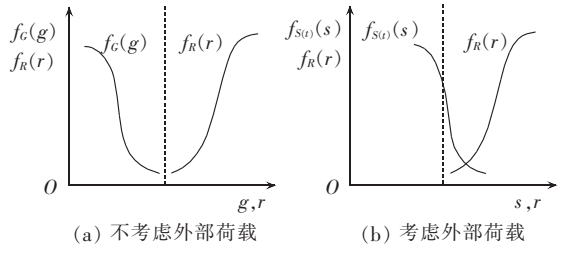
按照结构可靠性的相关理论[15]，建立输电线路在强风雨荷载下可靠性分析的解析模型。将输电线路结构状态功能函数随机过程表示为：

$$Z(t)=g(R,S(t))=R-S(t) \tag{5}$$

其中，R 为输电线路的设计强度，由IEC标准可知，R 为一个呈高斯分布的随机变量。当输电线路设计强度大于其所承受的荷载时，线路正常运行；反之，线路就会发生故障。

2.1 强风雨荷载冲击下输电线路的失效概率

输电线路强度概率密度 $f_R(r)$和永久荷载概率密度 $f_G(g)$的分布关系如图1所示，$f_{S(t)}(s)$为 t 时刻荷载的概率密度函数。



(a) 不考虑外部荷载　(b) 考虑外部荷载

图1 输电线路强度与荷载的概率密度曲线干涉区

Fig.1 Interferogram of strength and load probability density curves of transmission lines

图1(a)为不考虑外部荷载时输电线路强度概率密度函数和永久荷载概率密度函数之间的关系，正常运行时元件的设计强度大于永久荷载，在结构上是可靠的；图1(b)为考虑外部荷载时荷载的概率密度函数和线路强度概率密度之间的关系，图中2个概率密度函数有重叠，称重叠区域为干涉区[15]，这是因为环境荷载的增加导致输电线路所承受的荷载总和增加，使荷载的概率密度曲线向右平移，形成干涉区，干涉区的存在表明线路有发生故障的可能。

输电线路的失效概率 $P_f(t)$等于线路强度小于荷载的概率：

$$P_f(t)=P(Z(t)<0)=P(R-S(t)<0) \tag{6}$$

线路强度 R 和荷载 S 是相互独立的，二者的联合概率密度函数 f_Z 为：

$$f_Z=f_R(r)\cdot f_S(s) \tag{7}$$

式(6)可以用式(8)表示：

$$P_f(t)=P(R<S(t))=P(r<s)=\iint f_R(r)f_S(s)\mathrm{d}r\mathrm{d}s=\int_0^{+\infty}f_R(r)F_S(s)\mathrm{d}r \tag{8}$$

其中，$F_S(s)$表示 $f_S(s)$的累积分布函数。

由IEC60826标准[8]可知，输电线路强度服从高斯分布，强度和荷载的联合概率密度函数为：

$$f_Z=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_Z}\exp\left[-\frac{(z-\mu_Z)^2}{2\sigma_Z^2}\right] \tag{9}$$

其中，μ_Z、σ_Z^2 分别为联合概率密度函数的均值和方差，且 $\mu_Z=\mu_R-\mu_S$，$\sigma_Z^2=\sigma_R^2+\sigma_S^2$，$\mu_R$、$\mu_S$ 分别为强度和荷载概率密度函数的均值，σ_R^2、σ_S^2 分别为强度和荷载概率密度函数的方差。

式(8)可表示为：

$$P_f(t)=P(Z(t)<0)=\int_{-\infty}^{0}\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_Z}\exp\left[-\frac{(z-\mu_Z)^2}{2\sigma_Z^2}\right]\mathrm{d}z \tag{10}$$

令 $\alpha_1=(z-\mu_Z)/\sigma_Z$，将式(10)化为标准正态分布：

$$P_f(t)=P(Z(t)<0)=\int_{-\infty}^{-\frac{\mu_Z}{\sigma_Z}}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{\alpha_1^2}{2}\right)\mathrm{d}\alpha_1 \tag{11}$$

则输电线路的失效概率为：

$$P_f(t)=\phi\left(-\frac{\mu_Z}{\sigma_Z}\right) \tag{12}$$

上述计算的是一段线路失效概率，处在同一气象区域内的具有 n 个档距的整条输电线路的失效概率则相当于 n 段线路的串联，如图2所示，图中 $p_{f(i)}$为第 i 段线路的失效概率，$p_{f(n)}$为第 n 段线路的失效概率，$P_{f(n)}$为 n 段线路串联后的等效失效概率。

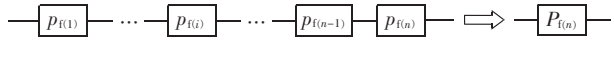


图2 输电线路的串联等效失效概率

Fig.2 Serial equivalent failure probability of transmission line

由串联网络的定义可得整条输电线路失效概率：

$$P_{f(n)}(t)=P_{f(n-1)}(t)+p_{f(n)}(t)-P_{f(n-1)}(t)p_{f(n)}(t) \tag{13}$$

其中，$n\geq2$；$P_{f(n)}(t)$为整条输电线路的串联等效失效

概率;$P_{f(n-1)}(t)$为前 $n-1$ 段线路的串联等效失效概率;$p_{f(n)}(t)$为第 n 段线路的失效概率。

2.2　强风雨荷载冲击下系统的短期可靠性评估

强风雨荷载冲击下发输电系统短期可靠性评估流程如下:

a. 获取短期的负荷预测数据和相应的短期机组组合方式;

b. 获取气象部门发布的预报信息,包括预报强风雨的风速、降雨强度以及发生的区域;

c. 用所建立的时间相依失效概率模型,求解强风雨发生区域相应输电线路时间相依失效概率;

d. 在进行可靠性评估前,各元件失效概率是根据预报的气象信息,利用元件解析模型计算求解,相对于元件的统计失效概率而言较为精确,且非序贯蒙特卡洛计算时间优于序贯蒙特卡洛,因此采用非序贯蒙特卡洛进行模拟分析;

e. 分析系统状态,利用最优切负荷模型计算负荷切除量;

f. 计算节点和系统可靠性指标。

用失负荷概率(LOLP)、电力不足期望值(EDNS)和电量不足期望值(EENS)表征系统的可靠性指标。

LOLP 表示给定时间内系统不能满足负荷需求的概率,即:

$$\mathrm{LOLP}=\sum_{s\in F}\frac{m(s)}{M} \tag{14}$$

其中,M 为系统状态抽样总数;$m(s)$为抽样中系统状态 s 出现的次数;F 为给定时间内不能满足负荷需求的系统状态集。

EDNS 表示给定时间内系统因发电容量不足或电网约束造成负荷削减的期望值(MW),即:

$$\mathrm{EDNS}=\sum_{s\in F}\frac{m(s)}{M}\times C(s) \tag{15}$$

其中,$C(s)$表示系统状态 s 的削负荷量。

EENS 表示给定时间内系统因发电容量不足或电网约束造成电量不足期望值(MW·h),即:

$$\mathrm{EENS}=\sum_{s\in F}\frac{m(s)}{M}\times C(s)\times t \tag{16}$$

其中,t 为给定的时间区间。

3　算例分析

3.1　算例简介

以 IEEE RTS-79 系统为例,按电压等级将系统分为区域 1 和区域 2,RTS 系统含 230 kV 和 138 kV 2 个电压等级,见图 3。为保守起见,算例中输电线路采用 LGJ-300/40 线型(外径 23.94 mm,计算拉断力 T_m=92.22 kN,安全系数 K=2.5,单位长度质量 G_0=1 133 kg/km),设计风速为 27 m/s,水平档距 l_h=350~820 m,垂直档距 l_v=450~1 200 m[16],垂直档距按经验

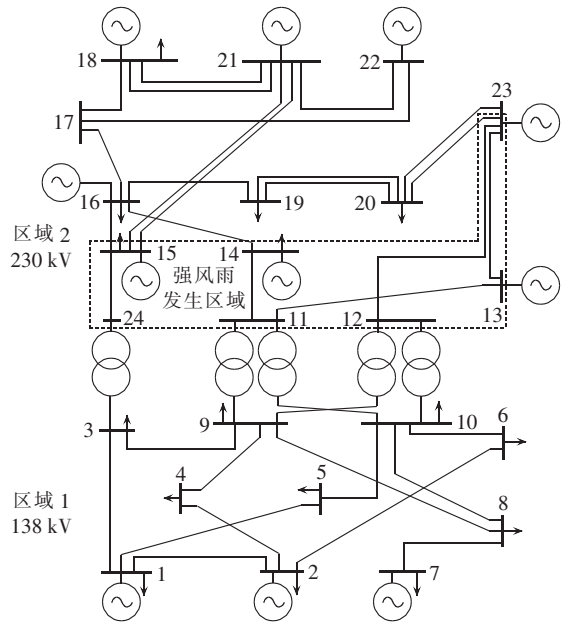


图 3 IEEE RTS-79 系统电气接线图

Fig.3 Electric diagram of IEEE RTS 79-bus system

可取为水平档距的 1.25~1.7 倍[17](本文取 1.5 倍),导线的永久荷载均值系数为 1.06,变异系数为 0.07,强度的均值系数为 1.0917,变异系数为 0.0915。

令线路 11-13(53 km)、线路 11-14(47 km)、线路 12-13(53 km)、线路 12-23(108 km)、线路 13-23(97 km)、线路 15-24(58 km)承受强风雨荷载。

3.2　强风雨荷载下输电线路的失效概率

设定一个标准的"三塔两跨"的结构模型,其档距分别为 l_1=400 m 和 l_2=600 m,则其水平档距和垂直档距分别为:

$$l_h=\frac{l_1+l_2}{2}=500\ \mathrm{m},\ \ l_v=1.5l_h=750\ \mathrm{m}$$

输电线路的自重为:

$$G_d=10\times G_0\cdot l_v=10\times 1\,133\times 0.75=8.5\ (\mathrm{kN})$$

其中,重力加速度取 10 m/s^2。

输电线路荷载的均值和方差分别为:

$$\mu_S=F_w(t)+F_r(t)+9.01,\ \ \sigma_S^2=0.3969$$

输电线路的最大使用张力 T_d 取为拉断张力 T_m 的百分数,本文取为 0.6[17],并考虑安全系数 K=2.5,使用张力 T_d 为:

$$T_d=0.6T_m/K=0.6\times 92.22/2.5=22.13\ (\mathrm{kN})$$

输电线路强度的均值和方差分别为:

$$\mu_R=24.16,\ \ \sigma_R^2=4.8841$$

已知强度和荷载的均值和方差,由式(12)可计算在该档距内输电线路承受强风雨荷载的失效概率。图 4 为不同风速和降雨等级下输电线路失效概率。

由图 4 可以得到以下结论:

a. 输电线路的失效概率会随风荷载增加而增大;

b. 雨荷载对输电线路失效概率有一定影响,且

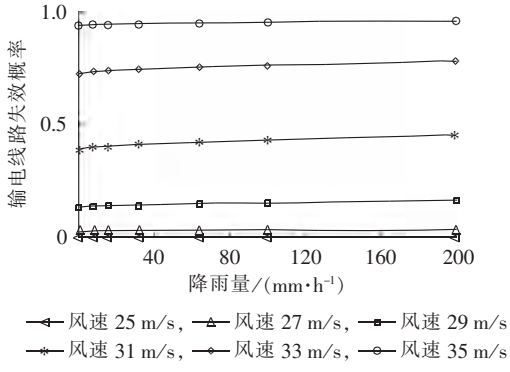


图 4 强风雨荷载下的输电线路失效概率

Fig.4 Failure probability of transmission line under strong wind and rain loads

风速较高时强降雨对输电线路失效概率影响较大。

表 2 是风速为设计风速(27 m/s)时,不同降雨强度对输电线路失效概率的影响程度。可以看出,不利情况下的雨荷载对输电线路失效概率的贡献比只考虑风荷载增加了 30.03%,因此工程实际应用中,雨荷载对输电线路失效概率的影响不可忽略。

表 2 不同等级的强降雨下输电线路失效概率

Table 2 Failure probability of transmission line for different rainfall intensities

荷载	失效概率	增大量/%	荷载	失效概率	增大量/%
风	0.0333	—	大暴雨(弱)	0.0377	13.21
中雨	0.0349	4.80	大暴雨(中)	0.0394	18.32
大雨	0.0355	6.61	大暴雨(强)	0.0433	30.03
暴雨	0.0364	9.31			

3.3 强风雨荷载冲击下系统的短期可靠性评估

为了验证强风雨荷载冲击对系统短期可靠性指标的影响,忽略短期内负荷变化和发电机组的投运变化,对 IEEE RTS-79 系统进行短期可靠性评估,比较不考虑环境荷载、只考虑强风荷载和综合考虑强风雨荷载 3 种情况下的可靠性评估结果。

图 5 所示为沿海某地台风来袭的 10 h 内风速和降雨强度变化曲线,第 10—18 小时为台风 10 级风圈穿越输电线路的时刻。图 6 给出了系统在上述 3 种情况下的 EENS 随时间变化曲线。由图 6 可以看出在考虑环境荷载时系统的可靠性大幅度降低;综合考虑风雨荷载时,在第 7 个小时,系统的 EENS 相

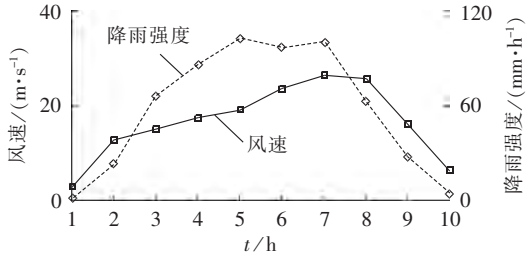


图 5 台风来袭 10 h 内的风速和降雨强度

Fig.5 Wind speed and rainfall intensity of typhoon for 10 hours

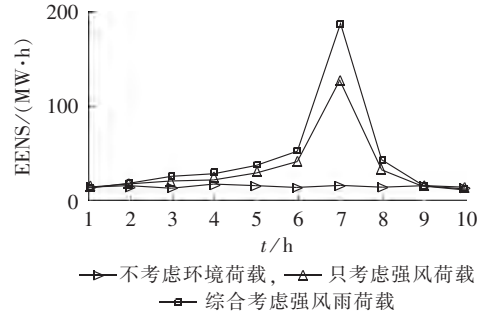


图 6 系统 EENS 随时间变化曲线

Fig.6 Curves of system EENS vs. time

对于只考虑风荷载增加了 31.72%。

图 7 所示为节点 3 和节点 19 的 EENS 随时间变化的可靠性指标。

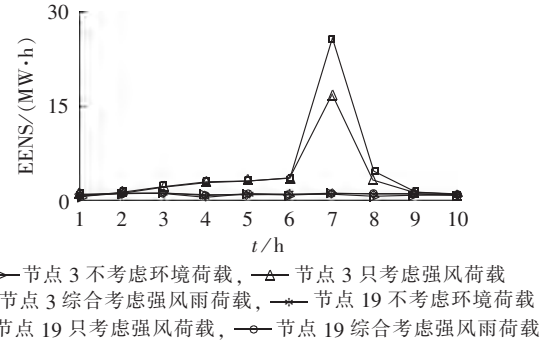


图 7 节点 3 和节点 19 EENS 随时间变化曲线

Fig.7 Curves of EENS vs. time for node 3 and node 19

由图 7 可见,强风雨荷载对负荷节点 3 的可靠性指标影响更为明显,而对节点 19 几乎没有影响,这是因为区域 2 通过联络线向区域 1 送电,当系统受到强风雨荷载的冲击时,联络线的失效概率较大,可能会导致系统解列,负荷节点 19 所处的区域 2 发电机容量大,电力供应充足,因此可靠性指标变化不大。由此可见,运用本文方法可分析强风雨气象条件对电网可靠性的影响,为及早采取应对措施找到方向。

4 结论

本文研究了强风雨荷载对输电线路的可靠性影响,建立了强风雨荷载冲击下输电线路的可靠性模型,并得出以下结论:

a. 强风雨荷载冲击下的输电线路失效概率模型不同于正常状态;

b. 当强风雨荷载共同作用于输电线路时,雨荷载对系统可靠性指标的影响不容忽视;

c. 利用预测的强风雨气象参数对输电系统进行短期可靠性评估,可以提前做好风险防控措施,提高电力系统抵御灾害天气的能力。

参考文献:

[1] 刘洋,周家启. 计及气候因素的大电力系统可靠性评估[J]. 电力

自动化设备,2003,23(9):60-62.
LIU Yang,ZHOU Jiaqi. Incorporating weather effect in bulk power system reliability evaluation[J]. Electric Power Automation Equipment,2003,23(9):60-62.
[2] 李银华,韩郡业,王婷. 架空电力线覆冰监测系统[J]. 电力自动化设备,2009,29(11):112-115.
LI Yinhua,HAN Junye,WANG Ting. Ice monitoring system of overhead electrical power lines[J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29(11):112-115.
[3] 李鹏,任震. 广州电网负荷特性分析及短期预测模型设计[J]. 电力自动化设备,2002,22(8):50-53.
LI Peng,REN Zhen. Guangzhou regional load analysis and short-term forecasting model design[J]. Electric Power Automation Equipment,2002,22(8):50-53.
[4] 唐斯庆,张弥,李建设,等. 海南电网"9·26"大面积停电事故的分析与总结[J]. 电力系统自动化,2006,30(1):1-7,16.
TANG Siqing,ZHANG Mi,LI Jianshe,et al. Review of blackout in Hainan on September 26th-cause and recommendations[J]. Automation of Electric Power Systems,2006,30(1):1-7,16.
[5] 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.
[6] 孙羽,王秀丽,王建学,等. 架空线路冰风荷载风险建模及模糊预测[J]. 中国电机工程学报,2011,31(7):21-28.
SUN Yu,WANG Xiuli,WANG Jianxue,et al. Wind and ice loading risk model and fuzzy forecast for overhead transmission lines[J]. Proceedings of the CSEE,2011,31(7):21-28.
[7] 王建学,张耀,吴思,等. 大规模冰灾对输电系统可靠性的影响分析[J]. 中国电机工程学报,2011,31(28):49-56.
WANG Jianxue,ZHANG Yao,WU Si,et al. Influence of large-scale ice disaster on transmission system reliability[J]. Proceedings of the CSEE,2011,31(28):49-56.
[8] IEC Technical Committee 11:Overhead Lines. IEC60826 Design criteria of overhead transmission lines[S]. Geneva,Switzerland:IEC,2003.
[9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50545—2010 110 kV~750 kV 架空输电线路设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2010.
[10] 谢强,张勇,李杰. 华东电网 500 kV 任上 5237 线飓线风致倒塔事故调查分析[J]. 电网技术,2006,30(10):59-63,89.
XIE Qiang,ZHANG Yong,LI Jie. Investigation on tower collapses of 500 kV Renshang 5237 transmission line caused by downburst[J]. Power System Technology,2006,30(10):59-63,89.
[11] EGUEHI Y,KIKUEHI N,KAWABATA K,et al. Drag reduetion mechanism and aerodynamic characteristics of a newly developed overhead electric wire[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics,2002,90(4/5):293-304.
[12] 白海峰,李宏男. 架空输电线路风雨致振动响应研究[J]. 电网技术,2009,33(2):36-40.
BAI Haifeng,LI Hongnan. Dynamic response of overhead transmission lines to oscillation caused by wind or rainfall loads[J]. Power System Technology,2009,33(2):36-40.
[13] 盛裴轩,毛节泰,李建国,等. 大气物理学[M]. 北京:北京大学出版社,2003.
[14] KIKUEHI N,MATSUZAKI Y,YUKINO T,et al. Aerodynamic drag of new-design electric power wire in a heavy rainfall and wind[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics,2003,91(1):41-51.
[15] 中国人民共和国建设部. GB50068—2001 建筑结构可靠度设计统一标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
[16] 国家电网公司基建部. 输电线路通用设计[EB/OL]. [2013-11-12]. http://tysj.sgcc.com.cn.
[17] 刘树堂. 输电杆塔结构及其基础设计[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.
[18] BILLINTON R,ALLAN R N. 工程系统可靠性评估原理和方法[M]. 周家启,任震,译. 重庆:科学技术文献出版社重庆分社,1988.
[19] 李文沅. 电力系统风险评估——模型、方法和应用[M]. 周家启,卢继平,胡小正,等,译. 北京:科学出版社,2006.

作者简介:

杨　清

杨　清(1969—),男,云南昆明人,高级工程师,硕士,主要从事电力生产管理工作;

魏亚楠(1989—),男,河南商丘人,硕士研究生,从事电力系统可靠性相关研究(**E-mail**:weiyanan1989@foxmail.com);

赵　渊(1974—),男,重庆人,教授,博士研究生导师,博士,从事电力系统规划与可靠性方面的研究;

熊小伏(1962—),男,重庆人,教授,博士研究生导师,博士,从事智能电网、电力系统保护与控制等相关研究;

王　建(1986—),男,四川广安人,博士研究生,从事电力系统风险预警相关研究。

Reliability model of transmission lines under impact of strong wind and rain

YANG Qing[1],WEI Yanan[2],ZHAO Yuan[2],XIONG Xiaofu[2],WANG Jian[2]
(1. Department of Production Equipment Management,Yunnan Power Grid Corporation,Kunming 650011,China;
2. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology,Chongqing University,Chongqing 400044,China)

Abstract: The impact of strong wind and rain adversely affects the reliability of transmission lines. A reliability model of transmission lines under strong wind and rain loads is established to study the risk variation of transmission system. Based on the principles of structural reliability,the stochastic properties of transmission line strength and load are researched,their joint probability density function is calculated and the time-dependent failure probability model of transmission line under the impact of strong wind and rain is established. The case study of IEEE RTS 79-bus system verifies the effectiveness of the failure probability model and the simulative results show that,the strong wind and rain loads seriously affect the reliability indices of system and some load nodes,and the rain load can't be ignored.

Key words: strong wind and rain load; electric power transmission; electric lines; structural reliability; reliability; risks; models; wind load; rain load