

# 基于脆弱性的电力应急体系灾害损失预评估

程正刚<sup>1</sup>, 房鑫炎<sup>1</sup>, 俞国勤<sup>2</sup>, 包海龙<sup>2</sup>

(1. 上海交通大学电气工程系, 上海 200240; 2. 上海电力公司, 上海 200122)

**摘要:** 介绍了基于时间维的灾害损失评估的几种评估方式, 针对其中的预评估在电力应急体系中的应用展开分析, 提出了在电力应急体系中进行灾害损失预评估计算方法。具体介绍了该计算方法中灾害损失数值和电力系统相关系数两个具体参数的确定方法, 针对国家和上海市中最严重的台风灾害损失, 根据已有的数据资料具体推导计算, 得到预估台风针对电力系统造成的灾害损失, 以根据预评估的数据安排电力应急体系的具体区域电力调度和保障物资的准备和发放, 为电力应急体系的应急管理提供参考与辅助。

**关键词:** 预评估; 灾害损失; 电力系统; 台风; 电力应急体系

## Vulnerability based disaster loss pre-evaluation of power emergency system

CHENG Zheng-gang<sup>1</sup>, FANG Xin-yan<sup>1</sup>, YU Guo-qin<sup>2</sup>, BAO Hai-long<sup>2</sup>

(1. Dept of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai JiaoTong University, Shanghai 200240, China;  
2. Shanghai Municipal Electirc Power Company, Shanghai 200122, China)

**Abstract:** The paper introduces some time dimension based evaluation methods in disaster loss evaluation, analyzes the application of disaster loss pre-evaluation in power emergency system and proposes the computational method in disaster loss pre-evaluation of power emergency system. The paper introduces the computation method of disaster loss and power system correlation coefficient in detail. At last, according to the most severe typhoon disaster in China and Shanghai, based on the materials and deduction, the paper obtains the disaster loss pre-evaluation of typhoon in power emergency system, then according to the data power emergency system it arranges the dispatch of power and prepares and distributes security materials. It provides references for the emergency management of power emergency system.

**Key words:** pre-evaluation; disaster loss; power system; typhoon; power emergency system

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)16-0068-05

## 0 引言

近年来大停电事件和我国2008年春节期间的冰雪灾害以及最近的莫拉克台风给我国的应急管理敲响了警钟<sup>[1-3]</sup>, 从而也大力地推进了电力应急管理的研究。文献 [4-8] 表明: 针对突发事件制定应急管理措施, 建立一个涵盖预警、应急反应、应急恢复和灾后总结等完整环节的高效的电力应急管理体系可以很好地降低突发事件带来的损失。灾害评估是在灾害学理论的指导下对灾害造成的自然生态和社会经济变异的一种价值判断, 它是以评估的理论和方法为出发点和支撑点, 并结合灾害评估实际情况建立评估直接需要的规则系统、指标系统和模型系统。灾害损失评估的结论用于防灾、救灾决策系统, 并通过防灾、救灾对策, 措施系统反馈回承灾系统,

构成一个闭合的信息反馈路径而形成灾害评估与防灾、救灾决策网络系统, 指导电力应急体系的建设<sup>[9]</sup>。

## 1 灾害损失评估

应急体系, 是具体规定突发事件应急管理工作的组织指挥体系与职责和突发事件的预防与预警机制、处置程序、应急保障措施以及事后恢复与重建措施等的系统, 核心可以归纳为“一案三制”。对于具体的电力应急体系, 其中的“一案”就是指电力系统所制定的分级分区的突发事件应急预案体系。

“三制”是指电力应急体系之中的组织体制、运行机制和法制基础。

灾害损失属于电力应急体系运行体制里面的决策评估部分。自然灾害评估是全面反映灾害, 确定

减灾目标, 优化防灾、抗灾、救灾措施, 评价减灾效益, 进行减灾施策的基础依据, 也是制定国土利用、开发计划和制定社会经济发展计划的重要参考资料。灾害损失评估要以系统工程的思想、方法为主导, 注重研究对象的整体化、层次化、评价方法和技术的综合化和信息利用多元化, 以灾害学、环境科学和社会科学等相关科学的理论与方法为基础, 丰富、完善和发展城市灾害损失评估的内容, 建立城市灾害损失评估体系, 以适应灾害损失评估的客观需要。

灾害评估从时间维度上可以分为灾前预评估、灾时跟踪评估和灾后评估三个阶段。灾前预评估又可分为中长期风险评估和短期预评估。灾害中长期风险评估, 是对一个地区或一个潜在的灾害事件的危险程度和可能造成的破坏损失程度及防治工程效益进行预测性评价。一般通过概率论和数理统计方法核算灾害的期望损失, 据此评价灾害的风险水平。通过防治工程效益评价, 分析灾害的可防治性和可能效益、提出防治灾害的最优方案。

灾中跟踪评估和灾后总结评估, 都是在灾害发生以后, 对已经出现的灾情进行调查、统计、分析, 其主要目的是为及时、有效地进行救灾、抗灾提供依据。灾后总结评估是指在灾害过程结束以后, 对灾害情况进行的全面评估<sup>[10]</sup>。

## 2 基于脆弱性的电力应急体系灾害损失预评估

### 2.1 损失评估框架介绍

脆弱性评价是风险评价的基础, 脆弱性评价由风险评价发展而来。典型的脆弱性评价模型—水司模型就是由美国EPA资助, 由美国Sandia国家实验室开发的一种后果驱动型方法, 主要采用传统的风险计算方法, 在美国应用最广。计算公式为:

$$R = P_a(1 - P_e) C \quad (1)$$

式中:  $P_a$ 是系统遭受攻击的概率;  $P_e$ 表示的是系统的有效性的概率;  $(1 - P_e)$ 表示的就是系统在灾害面前暴露出来的脆弱性;  $C$ 是风险可能产生的后果<sup>[11]</sup>。

在电力应急体系的功能构建中对灾害的损失预评估是一个很重要的内容, 结合实际的电力应急体系实际情况, 本文给出了采用水司模型为基础推导出的用于电力应急体系脆弱性预评估的公式。预评估针对的是已经发生的灾害, 因此 $P_a$ 的数值为1,  $(1 - P_e)$ 也就是表征系统的脆弱性数值,  $C$ 代表的是灾害对电力系统的灾害损失, 在预评估中一般采用整个经济损失作为计算, 为方便与应急大部制改

革的兼容, 本文计算采用具体灾害部门的预评估数据结合电力系统相关系数制定了具体的灾害损失预评估计算公式:

$$Loss = Dloss \times Ecor \times Evul \quad (2)$$

其中:  $Loss$ 就是我们所要取得的电力应急体系灾害损失预评估的数值;  $Dloss$ 是指具体的某一个灾害根据灾害强度评估得到的可能造成的灾害损失, 在计算这个参数的时候只考虑灾害能量所可能造成的伤害, 不考虑社会的不同灾害抵御能力;  $Ecor$ 是代表电力系统相关系数, 是表征在一种具体的灾害或者广义视野下电力系统与该灾害的联系紧密程度, 数值在0到1之间, 0表示完全没有联系, 1表示灾害造成的损失直接就是对应电力系统;  $Evul$ 表示的是电力系统的电力应急体系的脆弱性, 该参数的数值通过灾前评估获得。

### 2.2 $Dloss$ 参数的取值

$Dloss$ 表征的是具体一次灾害所蕴含的可能会对社会造成的最大损害。对于该参数的数值的获取需要采用具体灾害的特征数据, 以台风来说就是获得台风的最大风速, 中心压力和登陆区域等等信息, 然后通过历史气象灾害数据库进行拟合或者回归取得对该次灾害可能造成的损失进行一定精准度下的评估。

### 2.3 $Ecor$ 参数的取值

$Ecor$ 参数表现的是电力系统与相关灾害的关联程度, 在现代的大城市中以电力系统和其他一些生命线系统共同组成了维持城市正常运作的基本条件, 本文在评价该参数的具体数值时, 将其置于生命线系统内部考虑。

首先生命线系统在城市地域中发挥着不同的作用, 利用层次分析法确定各个生命线系统在城市防灾减灾工作和灾后城市功能的正常发挥上所起的相对单独的作用, 结果如表1。

表 1 生命线系统单独能力

Tab.1 Lifeline system independent capacity

系统名称	相对重要性数值
供电系统	0.336
通信系统	0.141
交通系统	0.141
供水系统	0.336
供气系统	0.044 5

其次生命线各系统之间的相互作用。生命线各系统产生相互影响的主要方式构造影响, 产生这种影响的主要原因是一些生命线近距离共存, 发生灾害的生命线设施及其构成因素使其他生命线设施或

构成因素受害；功能影响是指因为一些城市生命线之间的相互制约性而产生的交叉影响。特别是电力系统严重灾害不能供电，造成其他生命线系统无法运行或中枢机能瘫痪；恢复功能影响这种影响的主要表现形式是一种生命线发生震害后影响其他生命线灾后的恢复进程。

当一种生命线系统对另一种生命线系统产生构造影响、机能影响或是恢复影响时，取影响度为1。分析某系统对其他系统的构造、机能和恢复能力上是否有影响，对任何一个系统的任何一方面有影响，影响度加1。

$$Y_i = \sum_{j=1, i \neq j}^5 Y_{ij} \quad (3)$$

其中*i*和*j*取值为1, 2, 3, 4, 5分别代表交通、通信、供水、供电和供气。*Y<sub>ij</sub>*表示的是一个生命线系统对另外一个系统的影响度。最后我们得到电力是8，通信是6，给水是2，供气是1，采用公式(4)进行加和归一化。其中*d<sub>i</sub>*表示的是生命线系统中某系统对其他系统的影响力。

$$d_i = \frac{Y_i}{\sum_{i=1}^5 Y_i} \quad (4)$$

结果如表2。

表2 生命线系统互相影响

Tab.2 Lifeline system interaction

系统名称	交互重要性
供电系统	0.348
通信系统	0.261
交通系统	0.261
供水系统	0.087
供气系统	0.043

对各个系统的两种相关程度进行加和平均，其中*c<sub>i</sub>*为系统单独作用的能力，*Cor<sub>i</sub>*是某系统在生命线系统中的综合相关性。

$$Cor_i = 0.5d_i + 0.5c_i \quad (5)$$

得到每个系统和灾害在损失方面的相关程度：电力为0.35，通信为0.2，交通为0.2，供水系统为0.2，供气为0.05。在以后的进一步计算中我们就以0.35作为该参数的数值进行计算<sup>[12]</sup>。

### 2.4 Evul 参数的取值

*Evul*参数表征的是电力应急体系的脆弱性。对该参数的具体取值采用脆弱性计算中的综合指数法与层次分析法针对上海市电力应急体系进行具体赋值归算<sup>[13-14]</sup>。

在综合指数法中采用了大量可以量化或者半定量的指标以表征电力应急体系所处的具体状态。采用的第一指标如下：法律基础、组织结构、灾害预防及预警、灾害应急反应、物资保障、通信保障、应急指挥中心、灾后总结、信息发布。每个第一层指标下面是数量不一的具体的子指标。

最后根据管理学的定义对每个第一层指标的权重进行层次分析，一层指标以下第二层指标采用等权重分配，最后代入每个指标的具体数值，计算公式为：

$$Evul = \sum_{i=1}^n a_i u_i \quad (6)$$

其中：*a<sub>i</sub>*表示具体一个指标的权重数值；*u<sub>i</sub>*表示具体一个指标的赋值，对于该赋值要通过当前的电力技术的上下界限进行单项指标的脆弱性比值换算。在对上海市电力应急体系的脆弱性评估中，计算出来的数值为0.070 3，在下一步的深入计算中采用该值进行计算。

## 3 以台风为例的电力应急体系灾害损失预评估

### 3.1 台风灾害损失预评估

台风灾害居于各种自然灾害之首，而且单次灾害造成死亡人数和经济损失最多的也有台风，日前肆虐的“莫拉克”台风就重创海峡两岸的部分地区，也是对上海威胁较大的自然灾害。因此在电力应急体系的灾害损失预评估实际案例展开中，本文以台风为例。

关于台风预估方面，先后建立了福建、上海、江西、广东、浙江的台风灾害预估模式。在本文的计算中采用广东省可以给出具体参考损失的计算方法进行电力应急体系灾害损失预评估。

在文献[13]中对广东省采用层次分析法应用于热带气旋灾害影响评估模式中有详细的介绍，它采用了以下指标：中心最低气压、热带气旋登陆点、近陆后的移动路强风出现站日数、9级强风出现站日数、10级强风出现站日数、11级强风出现站日数、径、最大风速、极大风速、6级强风出现站日数、7级强风出现站日数、8级12级强风出现站日数、过程最大雨量、最大日雨、过程不小于100 mm站数、暴雨出现站日数、大暴雨出现站日数、特大暴雨出现站日数。并对每个指标权重进行分配，结果为  $I=[0.478\ 1, 0.023\ 144\ 24, 0.080\ 455\ 76, 0.008\ 414\ 88, 0.019\ 664\ 56, 0.012\ 831\ 2, 0.011\ 577\ 92, 0.019\ 664\ 56, 0.024\ 946\ 24, 0.043\ 566\ 4, 0.065\ 528\ 64, 0.092\ 265\ 28, 0.006\ 564, 0.019\ 548, 0.007\ 728, 0.011\ 52, 0.019\ 548,$

0.055 104]。

采用指标数值向量 $W$ 与上文中的具体指标权重行向量 $I$ 相加乘计算台风灾害影响评估模式的综合影响指数。公式为:

$$V = WI^T \quad (7)$$

计算出综合影响指数后, 根据历史上登陆上海的所有台风的参数, 分别计算出其综合影响指数后保于台风灾害影响数据库中。从广东省台风灾害影响数据库挑选出历史上综合影响指数相近或者登陆时间、地点和登陆后路径相似的台风, 通过当年的直接经济损失按照经济发展的速度和一定的基于综合影响指数的比例换算后计算当前年度台风登陆以后可能造成的台风灾害直接经济损失<sup>[15]</sup>。

对台风灾害直接经济损失采用比例换算可以计算台风期间对社会的整个经济损失; 然后根据数据库中整个社会当年的脆弱性水平估算出台风的灾害损失能量。这样计算出台风灾害损失以后根据公式

(1)即可以得到电力应急体系台风灾害损失的预评估数值<sup>[16]</sup>。

### 3.2 案例检验

本文采用的台风灾害损失预评估模式是国家气象局推荐的预评估模式之一, 在实际的案例仿真中, 本文根据国家气象局网站提供的试验中台风的参数和披露资料进行深入的电力应急体系台风灾害损失预评估。

2007年8月07日14时, 采用台风灾害损失预评估方法对当年的第七号台风“帕布台风进行预评估”, 根据综合影响度和登陆地点, 若在闽中南部沿海地区登陆, 直接经济损失12~25亿, 死亡6~12人, 历史上与其相似的台风记录如表3。

表3 相似台风资料

Tab.3 Data of similar typhoon

编号	8510	0604	0605
登陆点	EM	XX	XX
登陆时中心最低气压/百帕	998	984	975
登陆时最大风速/(m/s)	10	30	33
登陆后路径	N	SW	-
登陆或影响时间	1985-8-16	2006-7-13	2006-7-24
死人	95	114	5
伤人	305	-	-
倒房屋/万间	-	12.12	1.09
损房屋/万间	19.26	-	-
农作物受损面积/万公顷	4.8	30.9	97.47
直接经济损失(亿元折算到2007)	4.1	151.8	12.69
程度	中等	严重	较重

取中间数值20亿元为直接经济损失, 根据国内外事故直接经济损失与间接经济损失的比值, 本文数值为2, 也就是灾害造成的灾害经济损失应该是直接经济损失的2倍, 最后通过计算上海市的电力应急体系脆弱性为0.070 3, 考虑到每年因为应急体系的升级和训练安排, 大小肯定会有变化, 取0.070 3为当前台风登陆时电力应急体系, 由于参考的历史台风登陆时电力应急脆弱性数据的缺失, 不失一般性, 除去社会发展的因素本文取0.1。这样对于该次台风采用本文的方法所测算的台风灾害损失评估数值为:

$$Loss = (2 \times 20 / 0.1) \times 0.35 \times 0.070 3 = 9.842$$

单位为亿元。可以从计算中看出该数据考虑了台风本身对电力系统各类设备造成的损坏和由于停电等原因造成的各种社会政治和经济损失, 因此数据比单独的电力系统灾后公布的单项灾害损失偏大。但是该数据的及时计算出来, 可以为电力系统灾前的部门物资准备和电力调度以及灾中的实时人员物力调配规模和灾后的及时估算及统计提供很强的参考作用。在真正实现灾害动态评估前最大限度的发挥灾前所能掌握的信息数据的作用。

## 4 结束语

强健的电力应急体系可以减少突发事件对电力系统的损失。建立电力应急体系和完善电力应急体系的相关功能是当前和将来很长一段时期内电力工作者研究的内容。本文根据脆弱性评估理论中的水司模型, 推导并建立了结合电力应急体系的功能作用和国家气象部门的气象数据的基于脆弱性的电力应急体系灾害损失预评估方法, 并以台风为例进行了实际展开, 可以给电力应急体系中的调度和灾害损失评估部分提供参考。同时也要看到, 本文的计算中涉及到不少的参数计算, 有些参数的确定需要进行实际评估, 本文中这些参数的取值方法还稍显粗糙, 更精确的参数选取方法将是在建立电力应急体系相关功能时应该细化的内容, 通过电力应急体系灾害损失资料的积累和研究的深入, 这些参数将能很好地被确定以更好地反映电力应急体系中灾害损失的情况, 更好地服务于电力应急。

### 参考文献

- [1] 沈殿凤, 朱正磊. 电网安全管理现状及美加停电事件的启示[J]. 电力安全技术, 2005 (2): 8-9.  
SHEN Dian-feng, ZHU Zheng-lei. The status of the power system management and the inspiration of blackout in the united States and Canada. U. S.-Canada

- power system[J]. Electric Safety Technology, 2005 (2): 8-9.
- [2] 鲁周勋. 冰雪中的电网应急[J]. 劳动保护, 2008 (5): 34-37.  
LU Zhou-xun. Power emergency in heavy snow[J]. Safety Labour, 2008 (5): 34-37.
- [3] 殷平, 蔡志民, 梁文. 从冰灾看电网应急信息平台的建设[J]. 江西电力, 2008 (32): 11-13.  
YIN Ping, CAI Zhi-min, LIANG Wen. Construction of power grid information platform for emergency management from the ice hazard[J]. Jiangxi Electric Power, 2008 (32): 11-13.
- [4] 国家电网公司关于处置大面积停电事件应急预案[S]. 北京: 国家电网公司, 2006.  
State Grid Corporation's emergency plan in treating large area blackout incident[S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2006.
- [5] 发展改革委, 电监会. 关于加强电力系统抗灾能力建设的若干意见[S]. 2008.  
Development and Reform Commission, Electric Power Supervision. Some suggestions on enhancing power grid anti-disaster capability[S]. 2008.
- [6] David Watts. Security & vulnerability in electric power system[C]. //NAPS 2003.north American Power System Symposium.Rola(Missouri): 2003: 559-566.
- [7] Korolev S I, Guselnikov A V. About principles of situational management of power supplies in emergency operation[C]. //Actual Problems of Electronic Instrument Engineering Proceedings, APEIE. 2004:268-268.
- [8] Li Hao, Rosenwald G W, Jung J, et al. Strategic power infrastructure defense[J]. Proceedings of the IEEE, 2005, 93 (5) : 918-933.
- [9] 许飞琼. 灾害损失评估及其系统结构[J]. 灾害学, 1998 (13): 80-83.  
XU Fei-qiong. Disaster loss evaluation and structure of the system[J]. Journal of Catastrophology, 1998 (13): 80-83.
- [10] 孙峥. 城市自然灾害定量评估方法及应用[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.  
SUN Zheng. Quantitative methodology and application of urban natural disaster assessment[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008.
- [11] Huston P T. Applying security and vulnerability assessment to large water wholesaling agencies[J]. (ASCE DBD), Pipeline, 2003.
- [12] 张风华, 谢礼立, 等. 生命线系统对城市地震灾害损失评价研究[J]. 土木工程学报, 2003 (36): 99-105.  
ZHANG Feng-hua, XIE Li-li, et al. Study on estimation of earthquake disaster losses caused by disruption of lifeline service[J]. China Civil Engineering Journal, 2003 (36): 99-105.
- [13] Emrich C T. Social vulnerability in united states metropolitan areas: improvements in hazard vulnerability (Florida, south Carolina) [D]. University of South Carolina, 2005.
- [14] Bucle P, Marsh G, Smale S, et al. Assessing resilience&vulnerability : principles strategies & actions[M]. Emergency Management Australia, 2001.
- [15] 李春梅, 罗晓玲, 刘锦奎, 等. 层次分析法在热带气旋灾害影响评估模式中的应用[J]. 热带气象学报, 2006 (22): 223-228.  
LI Chun-mei, LUO Xiao-ling, LIU Jin-luan, et al. Application of analytical hierarchy process in the assessment model on tropical cyclone disaster's influence[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2006 (22): 223-228.
- [16] 王军, 许世远, 石纯, 等. 基于多源遥感摄像的台风灾情动态评估——研究进展[J]. 自然灾害学报, 2008 (17): 22-28.  
WANG Jun, XU Shi-yuan, SHI Chun, et al. Dynamic assessment of typhoon disaster condition based on multi-sources remote sensing imagery : research progress[J]. Journal of Natural Disasters, 2008 (17): 22-28.

---

收稿日期: 2009-09-15

作者简介:

程正刚(1984-), 男, 研究生, 从事电力系统应急以及继电保护装置方面的研究; E-mail: zcheng173@sjtu.edu.cn

房鑫炎(1963-), 男, 副教授, 博士, 从事电力系统继电保护及系统安全方面研究;

俞国勤(1962-), 男, 长期从事电力系统运行与管理工  
作。