

门永生, 朱朝阳, 于振, 等. 电网重要基础设施自然灾害脆弱性评价研究[J]. 灾害学, 2014, 29(4): 16–19, 88. [Men Yongsheng, Zhu Chaoyang, Yu Zhen, et al. Study on Natural Disaster Vulnerability Assessment of Grid Important Infrastructure [J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(4): 16–19, 88.]

电网重要基础设施自然灾害脆弱性评价研究^{*}

门永生^{1,2}, 朱朝阳¹, 于 振¹, 吴睦远³, 何真珍³

(1. 中国电力科学研究院, 北京 100192; 2. 北京科技大学, 北京 100083;
3. 国网上海市电力公司, 上海 200122)

摘 要: 电网重要基础设施对自然灾害表现出较为显著的脆弱性。针对典型自然灾害对电网重要设施影响的特征, 构建了基于 8 类典型自然灾害的电网重要基础设施脆弱性评价指标体系, 包括静态和动态 3 级共 40 个指标。针对静态指标提出了对电网重要基础设施进行评价的指数评价方法, 确定各指数的取值范围, 划分评价等级标准, 给出了评价流程及综合指数的计算规则。实例分析表明某电网重要基础设施——枢纽变电站自然灾害脆弱性综合指数为 155, 脆弱性等级为中等, 其中雷击脆弱性指数最高为 72。基于该评价方法不仅可用于同类电网重要基础设施自然灾害脆弱性对比排序, 并且还可通过评价找出电网重要基础设施的脆弱性环节, 从而采取有针对性预防措施, 切实提高电网重要基础设施的防灾减灾水平, 保障电网系统安全稳定运行。

关键词: 电网; 重要基础设施; 自然灾害; 脆弱性; 指数评价

中图分类号: X921; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2014)04–0016–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2014.04.003

随着经济的发展, 我国电力系统已经步入了大电网、大机组和高电压时代, 电网大规模互连实现了更大范围内资源的优化配置, 但同时也降低了系统的安全稳定程度。电网设施的物理组成部分——重要基础设施包括变电站、换流站、输电线路/杆塔等对电网系统的稳定运行发挥着关键作用, 但在典型自然灾害致灾因子的作用下, 电网基础设施本体受到损坏或出现故障会导致电网系统全部或部分功能丧失, 并造成损失。本研究将这种损失的可能性、程度及其恢复能力称之为电网重要基础设施自然灾害脆弱性。近年来, 通过对各类频繁发生的自然灾害对电网设施造成影响事故统计来看, 电力系统对突发事件尤其是自然灾害表现出极大的物理脆弱性, 表 1 所示为 2005 年以来我国部分典型自然灾害引发的电力系统损失及灾害特征。

对于自然灾害脆弱性及风险方面的研究, 谢今范等^[1]以暴雨灾害为例, 分析了对电网影响的典型要素, 建立相应的指标评价体系和模型, 进行了风险等级区划及评估研究; 陈磊等^[2]界定了自然灾害社会脆弱性内涵和构成, 以上海市为例,

在分析现有统计数据和脆弱性指标体系和区域差异的基础上, 阐述了自然灾害社会脆弱性的类型及特征; 商彦蕊^[3]介绍了自然灾害脆弱性的概念, 通过对比分析详细阐述了自然灾害脆弱性的典型模型; 游温娇等^[4]以洪水灾害为例, 研究了其社会脆弱性的影响, 分析提取了关键影响因子, 构建了较为合理的脆弱性评价指标体系; 刘毅等^[5]从灾害危险性、承灾体暴露性和灾害损失度三个方面建立了区域自然灾害系统的应用数据包络分析模型; 谭丽荣等^[6]在研究沿海脆弱性指数方法的基础上, 构建了风暴潮灾害脆弱性指数法。白丽明等^[7]在研究借鉴国内外脆弱性评价指标体系和模型研究的基础上, 建立了包括自然、经济、人口和环境设施的沿海城市自然灾害评价指标体系; 孙阿丽等^[8]在阐述脆弱性内涵基础上, 采用演绎法、相关分析法等方法分析了自然灾害脆弱性的社会因素, 并对沿海区域自然灾害脆弱性的特点、区域分布规律、产生原因进行了研究; 对于电力系统脆弱性的研究, El-Kady 等^[9]将脆弱性概念引入电力系统, 并对电力系统的动态安全进行分析和评估。Liu Chencheng 等^[10]分析了电力系

^{*} 收稿日期: 2014–03–07 修回日期: 2014–04–15

基金项目: 国家电网公司科技项目(JYYBGKJ[2013]133)

作者简介: 门永生(1981–), 男, 河北张家口人, 博士研究生, 工程师, 从事电力安全与应急等方面研究。

E-mail: menys1981@163.com

表 1 我国主要自然灾害引发的电力系统事故损失及灾害特征

灾害类型	时间	地点	电力系统损失	自然灾害破坏特征
地震	2008 年	四川汶川	停运 10 kV 及以上线路 314 条、变电站 296 座; 33 座统调电厂(装机容量 7 687 MW)与主网解列, 823 座电厂(装机容量 2 810 MW)与地方电网解列, 电网损失负荷达到 3 220 MW	几乎可以损毁电力系统所有设施, 引起的停电时间可长达数天甚至数月; 地震破坏程度随离震中距离的增加迅速减小; 随着输电电压的提高, 大型变电站设备规模增大, 其抗震能力降低
	2010 年	青海玉树	结古镇供电全部中断, 全县 2 条 35 kV 电路受损, 9 条 10 kV 线路全部受损, 400 V 配电线路几乎全部受损, 称多县部分 10 kV 设备受损	
雨雪冰冻	2007 年	辽宁	全省 10 kV 线路上万根线杆倾斜断裂, 66 kV 线路大范围跳闸, 20 多基 220 kV 铁塔倾倒, 500 kV 线路连续跳闸, 导致大连网与主网解列, 大连地区电网与主网连接的两条 500 kV 线路、三条 220 kV 线路陆续跳闸	冰雪灾害对电网运行设备影响大, 易导致变电设备支柱瓷瓶冰冻开裂, 变压器、开关等注油设备滴漏加重, 变电站内构架、导线、设备覆冰面广, 外绝缘放电严重; 电线积冰将增加导线的荷载, 扩大线路受风面积, 大风舞动使线路滑移、断线和瓷瓶撞碎, 覆冰闪络引起跳闸, 部分线路倒塔或杆塔倾斜等
	2008 年	南方多省市	500 kV 变电站全站停电 5 座, 220 kV 变电站全站停电 86 座, 500 kV 电力线路 119 条, 220 kV 线路 348 条, 500 kV 杆塔倒塔 678 基、受损 295 基, 220 kV 杆塔倒塔 1 432 基、受损 586 基	
台风	2005 年	福州龙王	配网 100 多座开闭所、配电室设备被淹, 抢修时间长达半个多月	导致杆塔倾斜、倒塌; 横担断裂和脱落; 导线拉断、接地或相间短路烧断导线等, 台风还会刮倒树木导致输配电线路短路故障。伴随台风而至的暴雨会冲刷杆塔基础, 引起杆塔倒塌或倾斜
	2007 年	福鼎韦帕	城区及周边 12 乡镇全部停电, 直接经济损失达到 2 300 万	

统脆弱性的影响因素, 划分为外部脆弱性和内部脆弱性两个方面。Wan Hua 等^[11]基于概率风险理论, 计算节点电压崩溃的风险指标及风险指标的变化率, 从系统的不确定性角度评估电压脆弱性; Song Hongbiao 等^[12]结合系统运行指标和拓扑方法, 通过定义网络贡献因子、发电机分布因子、负荷分布因子和最小切负荷值来确定系统存在脆弱性的部分。Tiwari 等^[13]提出一种新动态母线电压脆弱度指标, 并利用时域解耦方法对其进行筛选、排序和评估。王雪冬^[14]计算出全网各点故障下的极限切除时间(CCT), 通过对比 CCT 与保护的动作时间以判断系统的节点的脆弱性。Emric 等^[15]将终端节点连接到电源接地的百分比(即网络连通性水平)作为评估电网脆弱性的判据, 并对联络节点测试电网对随机故障和蓄意攻击的耐受性, 从而实现了对电网脆弱性评估。

综上所述可知, 当前对于自然灾害脆弱性评价研究, 主要是针对特定区域的某类自然灾害脆弱性评价, 而对于电力系统的评价主要集中在电网运行脆弱性等方面, 而对电网重要基础设施本体的物理脆弱性评价研究较少。本文针对电网重要基础设施自然灾害脆弱性开展评价研究, 提取关键指标, 构建脆弱性评价指标体系, 并提出指数评价方法。通过该研究不仅可以实现不同电网重要基础设施之间的脆弱度对比排序, 用于资源的优化配置, 并且可有针对性的基于评价结果采取有效管控措施预防因各类自然灾害脆弱性引发的各类电网基础设施事故, 减少事故造成的经济损失和不良影响, 提升电网基础设施的安全管理水平, 保障电网安全稳定运行。

1 电网重要基础设施自然灾害脆弱性评价指标体系构建

结合自然灾害对电网重要基础设施造成破坏的事故案例分析, 确定地震、风灾、雨雪冰冻、洪灾、滑坡/泥石流、森林火灾及污闪 8 种灾害类型为典型自然灾害研究对象。并依据“平灾结合”的原则, 针对每一种自然灾害均设置了静态指标和动态指标, 静态指标用于供灾前(平时)的脆弱性评价, 动态指标用于灾时脆弱性评价。考虑指标原始数据的易获取性及具体实施过程的可操作性, 减少人为主观因素环节, 构建了基于多灾种的电网重要基础设施自然灾害脆弱性评价指标体系如表 2 所示。

2 电网重要基础设施自然灾害脆弱性指数评价方法

基于建立的电网重要基础设施自然灾害脆弱性评价指标体系, 为更加科学、客观的进行脆弱性评价, 本研究采用指数评价方法, 需确定各指标的取值范围和评价等级标准, 给出评价流程及算法。由于动态指标需要实时监控数据, 因此本文只针对静态指标进行分析, 用于判定评价对象基本脆弱性指数。

2.1 自然灾害脆弱性评价指标取值范围及赋值依据

要得到自然灾害脆弱性综合指数值, 必须对每一个三级指标进行赋值, 结合其他行业指数赋

表 2 电网重要基础设施自然灾害脆弱性评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	一级指标	二级指标	三级指标
A 地震	A1 静态指标	A11 地理位置	E 滑坡、泥石流	E1 静态指标	E11 地理位置
		A12 抗震等级(设防烈度)			E12 地质环境条件复杂程度
	A2 动态指标	A21 地震等级		E2 动态指标	E21 灾害等级
		A22 地震烈度			E22 地形坡度
		A23 强震持续时间			E23 地表覆盖
B 风灾	B1 静态指标	B11 地理位置	F 雷击	F1 静态指标	F11 地理位置
		B12 抗风等级			F12 全年雷电日
	B2 动态指标	B21 风灾等级		F2 动态指标	F21 雷灾级别
		B22 最大风速			F22 雷电类型
		B23 持续时间			F23 雷闪频率
C 雨雪冰冻	C1 静态指标	C11 地理位置	G 森林火灾	G1 静态指标	G11 地理位置
		C12 抗冰能力			G12 年平均气温
	C2 动态指标	C21 雨雪冰冻灾害等级		G2 动态指标	G21 火灾等级
		C22 覆冰厚度			G22 火灾发生地的距离
		C23 低温雨雪冰冻持续时间			G23 燃烧持续时间
D 洪涝灾害	D1 静态指标	D11 地理位置	H 污闪	H1 静态指标	H11 污秽等级
		D12 防洪标准			H12 全年阴雨、高湿、有雾等潮湿天气日
	D2 动态指标	D21 洪灾等级		H2 动态指标	H21 污秽层厚度
		D22 到洪涝灾害源头的距离			H22 污闪频率
		D23 淹没深度			H23 污闪事故等级

表 3 电网重要基础设施自然灾害脆弱性指数取值范围及赋值依据

一级指标	二级指标	三级指标	指标级别	取值范围	赋值依据
A 地震	A1 静态指标	A11 地理位置	V 度	$0 \leq A11 < 2$	依据中国地震烈度区划图;地震等级分布图;确定待评价对象所处区域地震基本烈度等级,然后对应取值。
			VI 度	$2 \leq A11 < 4$	
			VII 度	$4 \leq A11 < 6$	
			VIII 度	$6 \leq A11 < 8$	
			IX 度	$8 \leq A11 \leq 10$	
		A12 抗震等级(设防烈度)	1 级(9 度)	$0 \leq A12 < 3$	依据《电力设施抗震设计规范(GB50260-96)》,抗震等级划分为四级,确定待评价对象所处区域抗震等级,然后对应取值。
			2 级(8 度)	$3 \leq A12 < 5$	
			3 级(7 度)	$5 \leq A12 < 8$	
			4 级(6 度)	$8 \leq A12 \leq 10$	

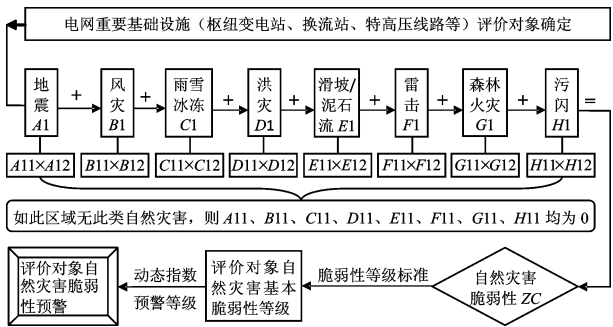


图 1 电网重要基础设施自然灾害脆弱性评价流程及计算规则

值标准及本研究对象特征,确定静态三级指标取值范围为 0~10。下面以地震灾害为例具体说明三级指标取值范围及赋值依据(表 3)。

其他自然灾害类型三级指标取值范围及赋值依据思路同地震灾害。

2.2 自然灾害脆弱性评价流程及评价等级划分

为了对同类电网重要基础设施进行评价,需要确定脆弱性等级。由上节可知,每个静态三级指数取值范围为 0~10,则两个指数相乘得到每类自然灾害脆弱性指数最大值为 100;为避免评价过程的主观因素,对每类自然灾害脆弱性指数相加得到电网重要基础设施脆弱性综合评价指数。评价流程及计算规则如图 1 所示。

表 4 灾前评价的自然灾害脆弱性等级划分

脆弱性指数	脆弱性等级
1~32	最轻
33~128	较轻
129~288	中等
289~512	较高
513~800	最高

表 5 某枢纽变电站自然灾害脆弱性评价结果

灾害类型	地震	风灾	雨雪冰冻	洪涝灾害	滑坡/泥石流	雷击	森林火灾	污闪
各灾害脆弱性指数	12	20	6	24	3	72	0	18
综合脆弱性指数	155							

本研究考虑 8 类自然灾害, 因此基于多灾种的自然灾害脆弱性综合指数最大值为 800, 并将脆弱性程度划分为 5 个等级, 如表 4 所示。

3 实例分析

3.1 评价对象

本文选取某 500 kV 枢纽变电站为例开展基于多灾种的电网重要基础设施自然灾害脆弱性评价, 该变电站对某市电力外送以及粤西电网的安全、稳定运行起着重要的作用。该枢纽变电站所在城市位于广东省西南部, 降雨季节长, 年降雨量 1 500 ~ 1 800 mm, 降雨日在 100 ~ 170 d 之间, 一年 12 个月均可能出现暴雨, 处于洪灾频发区。闪电密度平均值为 16.6 次/(km²/a), 居全国首位, 全年雷暴日平均值为 94.4(d/a), 居全国第四, 属于雷电活动剧烈的地区, 每年均有数百次雷击伤人畜、击穿建筑物、击毁用电设备等事故。年均风速 2.68 (m/s), 风速每秒大于 17 m 的大风年中偶有发生, 多在 7-9 月受热带气旋影响所致。该地区污染物排放总量超过了本地区环境承载能力, 地理气候条件不利于污染物的扩散, 容易导致急速积污, 使设备不能满足外绝缘清洁度要求, 从而发生污闪事故。另外, 该地区位于中国地震烈度区划图中的 VI 度区, 变电站抗震设计标准为 3 级。

3.2 评价结果及分析

依据该枢纽变电站基本资料, 通过现场勘查、分析、取值, 利用本研究提出的指数评价方法进行计算评价, 评价结果如表 5 所示。

由表 5 可知, 该枢纽变电站自然灾害综合脆弱性指数为 155, 依据表 4 可知脆弱性等级为中等。影响该枢纽变电站的自然灾害中, 雷击的脆弱性指数最高为 72, 其次为洪涝灾害、风灾和污闪, 脆弱性指数分别为 24、20 和 18, 由于该枢纽变电站所处区域没有森林, 所以森林火灾的脆弱性指数为 0。

4 结语

电网重要基础设施自然灾害脆弱性研究是一项复杂的系统工程, 目前该领域的研究尚处于起步阶段。本研究在自然灾害脆弱性评价方面开展了一些研究工作, 运用指数评价法, 构建了脆弱性评价指标, 并结合实际案例对模型方法加以验证。研究得到以下结论:

(1) 以往的电网脆弱性研究多是从系统自身的

角度考虑稳定性, 主要研究系统结构及运行方式, 本研究提出了一种新的针对电网重要基础设施自然灾害脆弱性的指数评价方法, 并且确定了其赋值标准及评价等级, 为了解电网重要基础设施自然灾害脆弱性及对比排序提供评价工具。

(2) 根据灾前评判, 可以得到对电网基础设施自然灾害脆弱性影响较大的因素, 为电网降低自身脆弱性提供途径。实际运用中还要结合对各类自然灾害的指标监控确定动态指数, 在和静态指标联合用于综合判断实时的电网重要基础设施自然灾害脆弱性程度, 并可为电网重要基础设施灾害预警提供数据支持。

参考文献:

- [1] 谢今范, 石大明, 胡铁鑫, 等. 吉林电网的暴雨灾害风险等级区划与评估研究[J]. 灾害学, 2013, 28(3): 48-53.
- [2] 陈磊, 徐伟, 周忻, 等. 自然灾害社会脆弱性评估研究—以上海市为例[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 98-100, 110.
- [3] 商彦蕊. 灾害脆弱性概念模型综述[J]. 灾害学, 2013, 18(1): 112-116.
- [4] 游温娇, 张永领. 洪灾社会脆弱性指标体系研究[J]. 灾害学, 2013, 28(3): 215-220.
- [5] 刘毅, 黄建毅, 马丽. 基于 DEA 模型的我国自然灾害区域脆弱性评价[J]. 地理研究, 2010, 29(7): 1153-1162.
- [6] 谭丽荣, 陈珂, 王军, 等. 近 20 年来沿海地区风暴潮灾害脆弱性评价[J]. 地理科学, 2011, 31(9): 1111-1117.
- [7] 白丽明, 白金生, 王庆国. 辽宁省沿海城市自然灾害脆弱性评价[J]. 环境科学与管理, 2012, 37(7): 170-174.
- [8] 孙阿丽, 石勇, 石纯, 等. 沿海区域自然灾害脆弱性特征及影响因素分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(5): 148-153.
- [9] El-Kady M A, Tang C K, Carvalho V F, et al. Dynamic security assessment utilizing the transient energy function method [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1984, 1(3): 284-291.
- [10] Liu Chencheng, Jung Juhwan, Gerald T, et al. The strategic power infrastructure defense (SPID) system. A conceptual design [J]. IEEE Control Systems Magazine. 2000(8): 40-52.
- [11] Wan Hua, McCalley J D, Vittal V. risk based voltage security assessment[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2000, 15(4): 1247-1254.
- [12] Song Hongbiao, Mladen K. A new analysis method for early detection and prevention of cascading events [J]. Electric Power Systems Research, 2006, 77(8): 1132-1142.
- [13] Tiwari A, Ajjarapu V. Contingency assessment for voltage dip and short term voltage stability analysis [C]//2007 IREP Symposium. Charleston, USA: [s. n], 2007: 1-8.
- [14] 王雪冬. 基于 EEAC 方法的电网脆弱性评价研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2004.
- [15] Emrich C T. Social vulnerability in United States metropolitan areas: improvements in hazard vulnerability [D]. Florida: University of South Carolina, 2005.
- [16] 中华人民共和国电力工业部. GB50260-96 电力设施抗震设计规范 [S]. 北京: 中国计划出版社, 1997.

(下转第 88 页)

下盘 14 m; 三类建筑物上盘 8 m, 下盘 6 m。

(4) 在强震作用下, 由于地裂缝带的地震放大效应, 建议适当放大避让距离, 可考虑取上盘 60 m, 下盘 30 m。

参考文献:

- [1] 王树丰. 渭河盆地地裂缝成因机理研究[D]. 西安: 长安大学, 2011: 28-36.
- [2] 陈红旗. 西安地裂缝地震动力效应研究[D]. 西安: 长安大学, 2002: 8-10.
- [3] 王景明, 常不兴. 汾渭地裂缝与地震活动[J]. 地震学报, 1989 年, 11(1): 57-67.
- [4] 刘聪, 彭建兵, 陈立伟, 等. 西安地裂缝场地地震效应分析[J]. 工程地质学报, 2012, 20(6): 979-985.
- [5] 范文, 卢全中, 邓龙胜, 等. 咸阳市地震小区划地震地质灾害评价报告[R]. 西安: 长安大学, 2010: 40-51.
- [6] 于国新. 咸阳地裂缝成因分析[J]. 安全与环境工程, 2006, 13(3): 1-4.
- [7] 彭建兵, 张勤, 黄强兵, 等. 西安地裂缝灾害[M]. 1 版. 北京: 科学出版社, 2012: 43.
- [8] 邓龙胜. 强震作用下黄土边坡的动力响应机理和动力稳定性研究[D]. 西安: 长安大学, 2010: 135.
- [9] 西安市规划局. DBJ61-6-2006 西安地裂缝场地勘察与工程设计规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005: 6.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB5011-2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

Study on Seismic Effect of Ground Fissure ——A Case Study on A Ground Fissure in Xianyang, Shaanxi

Fan Wen¹, Nie Zhongquan^{1,2}, Chen Dangmin³ and Deng Longsheng¹

(1. Geological Engineering and Surveying Engineering College, Chang'an University, Xi'an 710054, China;
2. Sichuan Traffic Vocational Technical College, Chengdu 611130, China; 3. Earthquake Administration of Shaanxi Province, Xi'an 710068, China)

Abstract: Due to the destruction of existed cracks to the continuity of site medium, reflection of seismic wave in fracture zone has amplification effect on the dynamic response of the site. A case study is done to a ground fissure in Xianyang, Shaanxi. Based on distribution characteristic and activity rule of the ground fissure, its genetic types are determined. Dynamic response of the ground fissure under random earthquake loading is numerical simulation, which fixed its dynamic response characteristics and the range of obvious amplification effect in upper 60 m to lower 30 m. Avoidance distance principles are determined according to the existing specification of ground fissure exploration. The avoidance distance should be in accordance with the specification requirements when land is sufficient. When land is limited, distances of the hanging wall and the footwall of One Class, Two Class and Three Class buildings are, 33 m and 18 m, 22 m and 14 m, 8 m and 6 m, respectively. Considering amplification effect of fracture zone in great earthquakes, avoidance distances are suggested to be appropriately enlarged as 60m and 30 m for instance for the hanging wall and the footwall.

Key words: ground fissure; activity rule; genesis; avoidance distance; seismic response effect; Xianyang in Shaanxi

(上接第 19 页)

Natural Disaster Vulnerability Assessment of Important Grid Infrastructure

Men Yongsheng^{1,2}, Zhu Chaoyang¹, Yu Zhen¹, Wu Muyuan³ and He Zhenzhen³

(1. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China;
2. University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;
3. State Grid Shanghai Municipal Electric Power Company, Shanghai 200122, China)

Abstract: Important grid infrastructures exhibit significant vulnerability in case of natural disasters. According to the characteristics of impact of typical natural disasters on the important grid facilities, a vulnerability evaluation index system, including 3 levels of static and dynamic and as a total of 40 index, is built for important grid infrastructure based on 8 kinds of typical natural disasters. Based on the static index, the index evaluation method is proposed, the value range of each index is determined, the evaluation grade standards are determined, and the evaluation process and calculation rules of the composite index are given. It is shown in example analysis that the natural disaster vulnerability index of a hub substation, an important infrastructure of a grid, is 155, of medium vulnerability grade, and the lightning vulnerability index is the highest as 72. The evaluation method not only can be used in comparative sequencing of natural disaster vulnerability of similar important grid infrastructures, and can also be find out the weak links of the infrastructures through the evaluation, therefore targeted preventive measures could be taken accordingly to improve the ability of disaster prevention and mitigation and guarantee safe operation of the grid system.

Key words: grid; important infrastructure; natural disaster; vulnerability; index assessment