

刘如山,闫路鹏,姜立新,等. 2023. 110kV 及以上变电站地震易损性研究. 中国地震, 39(2):290~298.

110kV 及以上变电站地震易损性研究

刘如山¹⁾ 闫路鹏¹⁾ 姜立新²⁾ 刘金龙¹⁾ 张俊杰¹⁾

1) 中国地震局工程力学研究所,中国地震局地震工程与工程振动重点实验室,哈尔滨 150080

2) 中国地震台网中心,北京 100045

摘要 本文提出了根据变电站内高压电气设备和房屋建筑的地震破坏状态计算变电站震害指数的方法,统计了 2008 年汶川 8.0 级大地震中成都、绵阳、德阳、广元、阿坝地区国家电网的 121 座 110kV 及以上变电站的震害情况,通过震害指数进行了震害等级评价。采用对数正态分布的累积函数,拟合了变电站基于峰值加速度的地震易损性曲线。计算结果表明:当地震烈度在Ⅶ度及以下时,变电站和输电线路只有基本完好和轻微破坏状态,不发生中等及以上等级的破坏;当地震烈度为Ⅷ度时,有变电站开始出现严重破坏状态;当烈度达到Ⅸ度时,有少量变电站发生严重破坏,多数为中等破坏;当烈度为Ⅹ度及以上时,多数变电站达到严重破坏和毁坏。

关键词: 变电站 汶川 8.0 级地震 震害指数 对数正态分布累积函数 地震易损性曲线
[文章编号] 1001-4683(2023)02-0290-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

变电站是电网中的重要节点,过去人们对变电站的地震易损性研究,往往是针对变电站内的某些具体设备、房屋建筑等,在构件层次上进行的研究。20 世纪 80 年代,美国太平洋地震工程中心(PEER)建立了美国加州变电站设备地震破坏数据库,并绘制了电气设备的易损性曲线,被广泛应用于电力系统灾后评估工作中。美国应用技术委员会(ATC)根据专家经验给出了各类生命线设备设施地震易损性曲线(ATC,1985),用于美国地震应急(FEM)地震风险分析系统 HAZAS(FEMA et al,1999)。中国学者近年来分别研究了变电站的高压变压器、母线、以及诸如避雷器、断路器、隔离开关、互感器等瓷柱型高压电气设备的地震易损性(孟敏婕等,2007;胡彧婧等,2010;贺海磊等,2011;刘振林等,2014;Liu et al,2021);有学者将变电站看作是一个整体系统,从系统可靠性角度对变电站的功能状态进行了地震易损性分析(郑山锁等,2020)。

对于地震灾害预测、经济损失评估或地震保险工作而言,人们更加关注的是变电站这种具有独立功能的单元总体的破坏和损失情况,而并不关心变电站单元内部哪个具体设备或设施构件发生了怎样的破坏和什么程度的破坏。从宏观层级进行变电站和输电线路综合性的地震易损性研究,同样是政府、社会、行业的重大需求。

[收稿日期] 2023-03-06 [修定日期] 2023-04-20

[项目类别] 中国地震局工程力学研究所基本科研业务费专项资金资助项目(2021EEEVL0315)、国家重点研发计划(2019YFC1509301)共同资助

[作者简介] 刘如山,男,1964 年生,研究员,主要从事地震工程研究。E-mail:liurushan@sina.com

对电力设施进行地震易损性研究的方法主要有三种,分别为计算机数值分析方法、实验法和地震震害统计分析法(文波等,2007)。数值分析方法与实验方法更侧重于承灾体的地震响应分析及破坏演化过程的模拟,是研究设备抗震能力、损伤机理和发展设备减震隔震技术强有力的方法和手段(Bellorini et al, 1998; Sadeghvaziri et al, 2004; 谢强等, 2011)。根据地震震害调查资料,通过统计分析,研究电力设施的地震易损性,除了用于设施的地震灾害风险分析,还能够为研究电力设施抗震能力、编制地震应急预案提供依据和参考。该方法需要足够多的震害样本,才能构成较为科学合理的统计。该方法的优点是易损性研究结果比较贴近实际。

2008年汶川8.0级大地震受灾面积大、波及范围广,在地震烈度VI~XI度区,广泛分布着大量国家电网的变电站,为研究电力设施的地震易损性提供了大量样本。本文根据汶川大地震中受灾最严重的四川境内的绵阳、德阳、广元、阿坝地区和成都部分地区的国家电网中110kV及以上变电站的震害数据,计算了震害指数,并进行变电站地震易损性统计分析,为电网设施抗震能力和地震风险评估提供参考。

1 变电站地震易损性的计算方法

本文首先构建变电站综合震害指数计算方法,然后将变电站作为一个整体单元,根据汶川大地震中震害资料计算变电站综合震害指数,最后通过统计获得四川电网110kV及以上变电站的地震易损性曲线。具体步骤为:①将变电站分为变压器、其他室外高压电气设备、房屋建筑(含室内设备)共三类设备设施,以每类设备设施所占经济价值比例作为权重系数,通过三类设备设施的震害指数及权重系数构造变电站综合震害指数表达式;②划分变电站震害等级,确定震害等级与变电站综合震害指数值的关系;③进行变电站地震易损性曲线拟合。根据汶川大地震变电站震害调查资料,通过变电站各组成部分震害指数来计算统计变电站的综合震害指数,与地震动强度进行回归统计,结合烈度与加速度峰值的关系,求得变电站基于地震动加速度峰值的地震易损性曲线。

2 变电站综合震害指数计算式的构建

震害指数是1970年中国科学家胡聿贤院士在通海地震后对房屋震害进行调查时,提出的衡量房屋震害大小的指标(薄景山等,2012),房屋震害指数的取值范围为闭区间 $[0, 1]$,代表房屋的震害程度从完好到倒塌的状态。地震实例证明,这一指标在统计意义上对震害的评定具有很好的合理性。

界定变电站震害程度,同样可以采用震害指数作为震害程度的判断指标。变电站主要由室外高压电气设备、主控室及室内监控设备组成。因此,变电站的震害指数应通过能够体现这些设备设施的破坏程度的参量来表达。由于变电站的震害指数是根据变电站的房屋和室内外设备等各组成部分的震害指数计算得出的,因此可将其称为变电站综合震害指数。

变电站的室外高压电气设备包括变压器和瓷柱型的断路器、隔离开关、电流互感器、电压互感器、避雷器等。变压器是变电站的核心设备,与其他瓷柱型高压电气设备相比,其在结构构造和抗震能力方面存在较明显的差异。室内设备主要为操控台、设备柜、监控屏、电池箱等,这些设备的破坏往往与建筑设施的破坏密切相关,为简单起见,将这些设备归并为

房屋建筑看待。因此,本文将变电站的构成划分为变压器、其他室外高压电气设备(含断路器、隔离开关、电流互感器、电压互感器、避雷器)、主控室(含室内各种监控设备)三类。

变电站综合震害指数取值范围为闭区间 $[0, 1]$,可以通过式(1)来计算

$$I_s = \sum_{m=1}^3 w_m d_m \tag{1}$$

式中, I_s 为变电站综合震害指数; w_m 为变电站第 m 类设施的权重系数, m 为变电站内部设施类别, m 取1、2、3时分别代表变压器、其他室外高压电气设备、变电站主控室(含室内监控设备); d_m 为变电站第 m 类设施的破坏比,当设施为主控室时,其代表建筑物的震害指数,当设施为变压器或其他室外高压电气设备时,其指的是破坏率。

根据对四川电网中变电站的统计,一般情况下,110kV及以上变电站的变压器、其他高压电气设备、主控室建筑(含室内设备)的造价权重系数为0.3、0.3、0.4,将该组数值作为式(1)中权重参数 w_m 的取值。

3 变电站破坏等级划分

评价变电站的破坏等级时,依据生命线工程地震破坏等级划分标准(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等,2009),考虑变电站的建筑设施和变压器、断路器、隔离开关、电流互感器、电压互感器、避雷器等六类高压电气设备的破坏情况,将变电站整体的破坏状态划分为:基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和毁坏。变电站各破坏等级对应的破坏状态描述如表1所示。参照建筑结构震害指数值与建筑结构破坏等级的关系,变电站震害指数值与震害等级的关系亦在表1中列出。

表1 变电站破坏等级分级表

破坏等级	破坏状态	综合震害指数(I_s)
I级:基本完好	设备基本完好,建筑物基本完好,功能基本正常	$0 \leq I_s < 0.05$
II级:轻微破坏	个别高压电气设备破坏,或建筑物轻微破坏,经检修可迅速恢复正常	$0.05 \leq I_s < 0.30$
III级:中等破坏	部分变压器、隔离开关、断路器受损,或建筑物中等破坏,功能基本丧失,需要一定时间检修才能恢复正常功能	$0.30 \leq I_s < 0.55$
IV级:严重破坏	多数变压器、隔离开关、断路器、互感器、和避雷器等设备严重破坏,或建筑物严重破坏,功能丧失,需要大修才能恢复正常功能	$0.55 \leq I_s < 0.80$
V级:毁坏	多数设备毁坏,建筑物毁坏,需重建	$0.80 \leq I_s \leq 1.00$

4 变电站地震易损性曲线拟合

汶川大地震中,四川省德阳、绵阳、广元、阿坝地区受灾最为严重。将上述地区全境和成都地区都江堰、彭州、崇州、温江、郫县的国家电网全部110kV及以上共计121个变电站作为统计分析样本,对变电站的地震易损性曲线进行拟合。这些变电站样本的名称、所在地区、电压等级以及所在位置的地震烈度如表2所示。

表 2 110kV 及以上变电站样本及地震烈度

地区	变电站名称	电压等级/kV	地震烈度	地区	变电站名称	电压等级/kV	地震烈度
德阳	谭家湾站	500	Ⅶ	成都	蜀州站	500	Ⅶ
德阳	孟家站	220	Ⅶ	成都	丹景站	500	Ⅶ
德阳	五里堆站	220	Ⅶ	成都	隆兴站	220	Ⅶ
德阳	古城站	220	Ⅶ	成都	回龙站	220	Ⅶ
德阳	万安站	220	Ⅶ	成都	鱼鳧站	220	Ⅶ
德阳	新市站	220	Ⅷ	成都	聚源站	220	Ⅷ
德阳	云西站	220	Ⅷ	成都	大田站	110	Ⅵ
德阳	城南站	110	Ⅶ	成都	崇州站	110	Ⅶ
德阳	德阳站	110	Ⅶ	成都	王场站	110	Ⅶ
德阳	风光站	110	Ⅶ	成都	永康站	110	Ⅶ
德阳	旌湖站	110	Ⅶ	成都	光明站	110	Ⅶ
德阳	清平站	110	Ⅶ	成都	太清站	110	Ⅶ
德阳	天元站	110	Ⅶ	成都	天彭站	110	Ⅶ
德阳	扬嘉站	110	Ⅶ	成都	林湾站	110	Ⅶ
德阳	炳灵官站	110	Ⅶ	成都	郫县站	110	Ⅶ
德阳	大塘站	110	Ⅶ	成都	公平站	110	Ⅶ
德阳	高新站	110	Ⅶ	成都	海科站	110	Ⅶ
德阳	广汉站	110	Ⅶ	成都	柳城站	110	Ⅶ
德阳	金兴站	110	Ⅶ	成都	灌县站	110	Ⅷ
德阳	连山站	110	Ⅶ	成都	金江站	110	Ⅷ
德阳	雒城站	110	Ⅶ	成都	胥家站	110	Ⅷ
德阳	三星站	110	Ⅶ	绵阳	谷丰站	220	Ⅶ
德阳	向阳站	110	Ⅶ	绵阳	佳桥站	220	Ⅶ
德阳	小汉站	110	Ⅶ	绵阳	永兴站	220	Ⅶ
德阳	斑竹站	110	Ⅶ	绵阳	大康站	220	Ⅷ
德阳	御营站	110	Ⅶ	绵阳	天明站	220	Ⅷ
德阳	民主站	110	Ⅶ	绵阳	百胜站	220	Ⅷ
德阳	元石站	110	Ⅶ	绵阳	安县站	220	Ⅸ
德阳	八角站	110	Ⅷ	绵阳	三元站	110	Ⅵ
德阳	孝泉站	110	Ⅷ	绵阳	高水站	110	Ⅶ
德阳	白庙站	110	Ⅷ	绵阳	绵阳站	110	Ⅶ
德阳	东北站	110	Ⅷ	绵阳	南塔站	110	Ⅶ
德阳	龙桥站	110	Ⅷ	绵阳	普明站	110	Ⅶ
德阳	绵竹站	110	Ⅷ	绵阳	三台站	110	Ⅶ
德阳	两路口站	110	Ⅷ	绵阳	石桥铺站	110	Ⅶ
德阳	双盛站	110	Ⅷ	绵阳	塘汛站	110	Ⅶ
德阳	土塘站	110	Ⅷ	绵阳	铁牛站	110	Ⅶ
德阳	万春站	110	Ⅷ	绵阳	新皂站	110	Ⅶ
德阳	永宁站	110	Ⅷ	绵阳	园艺站	110	Ⅶ

续表 2

地区	变电站名称	电压等级/kV	地震烈度	地区	变电站名称	电压等级/kV	地震烈度
德阳	香山站	110	IX	绵阳	宏仁站	110	VII
德阳	汉旺站	110	X	绵阳	长卿站	110	VII
德阳	穿心店站	110	XI	绵阳	魏城站	110	VII
广元	赤化站	220	VIII	绵阳	仙人桥站	110	VII
广元	洪江站	220	VII	绵阳	小观站	110	VII
广元	白石岩站	220	VIII	绵阳	游仙站	110	VII
广元	袁家坝站	220	VIII	绵阳	小亭站	110	VII
广元	陵江站	110	VI	绵阳	花菱站	110	VIII
广元	懒土坡站	110	VII	绵阳	界牌站	110	VIII
广元	城郊站	110	VII	绵阳	二郎庙站	110	VIII
广元	剑阁站	110	VII	绵阳	甘溪站	110	VIII
广元	沙溪坝站	110	VII	绵阳	马角坝站	110	VIII
广元	下寺站	110	VII	绵阳	三合站	110	VIII
广元	上西站	110	VII	绵阳	沙窝站	110	VIII
广元	松林坡站	110	VII	绵阳	太白站	110	VIII
广元	朝天站	110	VIII	绵阳	中坝站	110	VIII
广元	竹园站	110	VIII	绵阳	睢水站	110	IX
广元	三堆站	110	VIII	绵阳	晓坝站	110	IX
广元	沐浴站	110	IX	绵阳	永安站	110	IX
广元	乔庄站	110	IX	绵阳	辕门坝站	110	IX
阿坝	茂县站	500	IX	绵阳	擂鼓站	110	XI
阿坝	银杏站	220	XI				

每个变电站的震害调查资料包含主控室的震害等级,变压器、断路器、隔离开关、电流互感器、电压互感器、避雷器等各种高压电气设备的总数量以及其各自的破坏数量等信息。据此,可以确定变电主控室的震害指数,并得到每个变电站中变压器和其他高压电气设备的破坏率,从而通过式(1)计算表2中所列出的各个变电站的综合震害指数,样本变电站所在位置的烈度及样本变电站综合震害指数的分布如图1所示。由图1可以看出,在烈度VI度区,变电站基本没有地震破坏, VII度时开始有地震破坏, VIII度和IX度会迅速产生大量破坏, X度以上平均综合震害指数达到0.8以上。在VII~IX度的每个烈度区内,变电站地震破坏程度的离散性较大。

根据变电站综合震害指数值和表1即可确定所有变电站的震害等级。然后通过归一化处理,计算变电站在VI~XI度各个不同烈度下,发生不同震害等级的比率,形成地震易损性矩阵,计算结果如表3所示。表3同时列出了各破坏等级的变电站样本数量。

虽然地震烈度与地震动峰值加速度之间不能建立严格意义上的对应关系,但可在统计意义上建立一个大概的对应关系(表4)。中国的建筑抗震设计规范(GB 50011-2010)也是以该基本关系作为设防烈度与设防加速度的对应关系。本文利用此关系将基于地震烈度的变电站易损性矩阵转换为基于地震动峰值加速度的易损性矩阵,如表5所示。

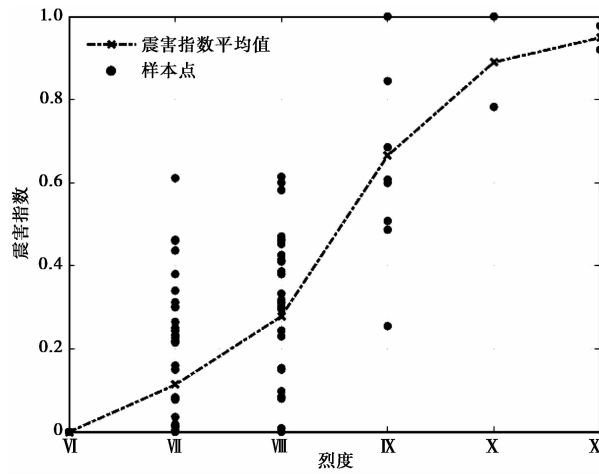


图 1 各烈度区变电站震害指数分布

表 3 变电站地震易损性矩阵

地震烈度	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏
VI	100.00%	0	0	0	0
VII	49.28%	36.23%	13.04%	1.45%	0
VIII	11.43%	34.29%	45.71%	8.57%	0
IX	0	11.11%	22.22%	33.33%	33.33%
X	0	0	0	20.00%	80.00%
XI	0	0	0	0	100.00%
样本数量 M	42	38	27	8	6

表 4 地震烈度和地震动峰值加速度基本对应关系

地震烈度	VI	VII	VIII	IX	X	XI
PGA/g	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80	1.60

表 5 基于地震动峰值加速度的原始变电站易损性矩阵

PGA/g	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏
0.05	100.00%	0	0	0	0
0.10	49.28%	36.23%	13.04%	1.45%	0
0.20	11.43%	34.29%	45.71%	8.57%	0
0.40	0	11.11%	22.22%	33.33%	33.33%
0.80	0	0	0	20.00%	80.00%
1.60	0	0	0	0	100.00%

本文采用对数正态概率分布函数作为描述地震易损性曲线的基本函数。假设承灾体达到或超越某一破坏状态服从对数正态分布,即

$$F_i(I) = \Phi \left[\frac{\ln\left(\frac{I}{\theta_i}\right)}{\beta_i} \right] \quad (2)$$

式中, $F_i(I)$ 为承灾体达到或超越第 i 损伤状态的概率; F 为正态分布累积函数; I 为承灾体达到第 i 损伤状态时的损伤指标; i 为承灾体损伤状态分级, i 从 5 至 1 分别代表基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和毁坏; θ_i 为承灾体达到第 i 损伤状态时损伤指标 I 的平均值; β_i 为相应的对数标准差。该表达式可以作为变电站和输电线路的易损性曲线函数。

对于表 5, 很容易通过累积的计算方法得出基于地震动峰值加速度的变电站各破坏等级的超越概率易损性矩阵, 采用最大似然估计法并根据式 (2) 求得的变电站地震易损性曲线如图 2 所示。

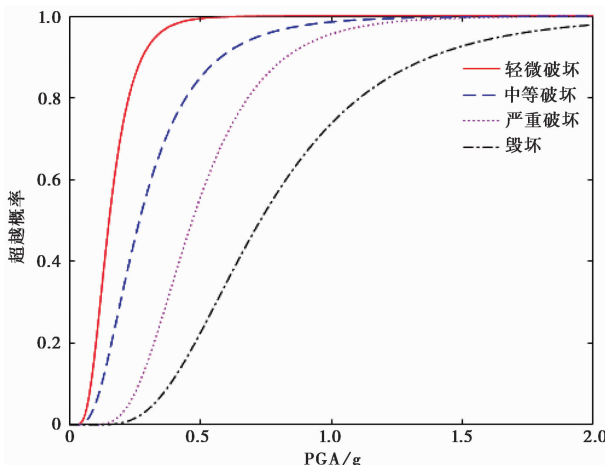


图 2 变电站地震易损性曲线

变电站处于第 i 损伤状态的概率 $P_i(I)$, 可以通过式 (3) ~ 式 (5) 计算得到

$$P_5(I) = 1 - F_4(I) \quad (3)$$

$$P_i(I) = F_i(I) - F_{i-1}(I) \quad (\text{当 } i = 2, 3, 4 \text{ 时}) \quad (4)$$

$$P_1(I) = F_1(I) \quad (5)$$

在 0~1.6g 峰值加速度区间, 以 0.1g 为间隔, 经计算得到的变电站地震易损性矩阵如表 6 所示。

从图 2 和表 6 可以看出, 地震动强度在烈度 VII 度 (PGA 往往对应于 0.1g 左右) 以下时, 变电站绝大多数处于基本完好状态, 少部分轻微破坏; 地震烈度为 VIII 度时, 对应的 PGA 达到 0.2g 左右, 此时变电站轻微破坏占大多数, 中等破坏达到将近三分之一, 个别变电站可能严重破坏; 当地震烈度为 IX 度时, 此时 PGA 在 0.4g 左右, 变电站破坏多为中等破坏、部分为严重破坏和轻微破坏, 少数发生毁坏; 当地震烈度为 X 度时, 对应的 PGA 在 0.8g 左右, 变电站大部分处于毁坏和严重破坏状态; 当地震烈度达 XI 度时, PGA 至少在 1.0g 以上, 变电站绝大部分处于毁坏状态。

表 6 统计回归的基于地震动峰值加速度的变电站易损性矩阵

PGA/g	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏
0.01	100.00%	0	0	0	0
0.10	81.28%	13.64%	5.06%	0.02%	0
0.20	28.27%	40.41%	28.64%	2.21%	0.47%
0.30	7.62%	35.00%	41.86%	11.80%	3.71%
0.40	2.08%	23.28%	38.88%	24.39%	11.37%
0.50	0.61%	14.47%	29.40%	33.12%	22.40%
0.60	0.19%	8.89%	20.01%	36.17%	34.74%
0.70	0.06%	5.51%	12.86%	34.85%	46.71%
0.80	0.02%	3.47%	8.01%	31.13%	57.37%
0.90	0.01%	2.22%	4.90%	26.51%	66.36%
1.00	0	1.45%	2.97%	21.89%	73.70%
1.10	0	0.96%	1.79%	17.71%	79.55%
1.20	0	0.65%	1.07%	14.14%	84.14%
1.30	0	0.44%	0.64%	11.20%	87.72%
1.40	0	0.31%	0.38%	8.82%	90.49%
1.50	0	0.21%	0.23%	6.93%	92.63%
1.60	0	0.15%	0.13%	5.44%	94.28%

5 结论

利用汶川 8.0 级大地震中受灾最严重的绵阳、德阳、广元和成都部分地区的 110kV 及以上变电站的震害资料,采用对数正态分布的累积函数进行统计回归,拟合了变电站基于地震动峰值加速度的易损性曲线。据此得到如下结论:当地震烈度在Ⅶ度及以下时,变电站基本不发生中等及以上的破坏;当地震烈度为Ⅷ度及以上时,开始有产生严重破坏的变电站;当地震烈度为Ⅹ度及以上时,变电站多数达到严重破坏和毁坏。

汶川大地震波及范围广,震害重。在低、中、高烈度区均取得了一些震害样本,为高压变电站的地震易损性曲线研究提供了宝贵的基础资料。实际上,易损性曲线的拟合,有待于将来通过积累更多的地震震害数据来丰富拟合易损性曲线的样本,特别是Ⅸ度及以上高烈度区的统计,需要更加丰富的样本数据来支持。另外,近年来日益发展的 GIS 变电站,其室内集成的模块化高压电气设备与普通变电站的高压电气设备的抗震性能有很大区别,因此本文的变电站易损性研究结果不适用于 GIS 变电站。

参考文献

- 薄景山,张建毅,孙平善,等. 2012. 震害指数及有关问题的讨论. 自然灾害学报, **21**(6):37~42.
- 贺海磊,郭剑波,谢强. 2011. 电气设备的地震灾害易损性分析. 电网技术, **35**(4):25~28.
- 胡彧婧,谢强. 2010. 管母线连接变电站电气设备的易损性分析. 电力建设, **31**(7):22~28.
- 刘振林,代泽兵,卢智成. 2014. 基于 Weibull 分布的电瓷型电气设备地震易损性分析. 电网技术, **38**(4):1076~1081.
- 孟敏婕,陈玲俐,叶志明. 2007. 油浸式高压变压器地震易损性分析. 世界地震工程, **23**(3):163~167.

- 文波,牛获涛,赵鹏. 2007. 电力系统抗震可靠性研究与分析综述. 灾害学, **22**(4):86~90,108.
- 谢强,朱瑞元. 2011. 大型变压器抗震性能研究现状与进展. 变压器, **48**(1):25~31.
- 郑山锁,汪靖,贺金川,等. 2020. 变电站主接线系统地震易损性分析. 华中科技大学学报(自然科学版), **48**(3):98~103.
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 2009. GB/T 24336-2009 生命线工程地震破坏等级划分. 北京:中国标准出版社.
- ATC. 1985. Earthquake damage evaluation data for California. Redwood City: Applied Technology Council.
- Bellorini S, Salvetti M, Bettinali F, et al. 1998. Seismic qualification of transformer high voltage bushings. IEEE Trans Power Delivery, **13**(4):1208~1213.
- FEMA, NIBS. 1999. Earthquake loss estimation methodology—HAZUS99. Washington: Federal Emergency Management Agency and National Institute of Buildings Sciences.
- Liu R S, Xiong M P, Tian D Y. 2021. Relationship between damage rate of high-voltage electrical equipment and instrumental seismic intensity. Adv Civ Eng, **2021**:5104214.
- Sadeghvaziri M A, Ashrafi A, Allaverdi N H, et al. 2004. Seismic response and rehabilitation of critical substation equipment. In: Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver: WCEE.

Study on Seismic Vulnerability of Substations with 110kV+

Liu Rushan¹⁾, Yan Lupeng¹⁾, Jiang Lixin²⁾, Liu Jinlong¹⁾, Zhang Junjie¹⁾

1) Key Laboratory of Earthquake Engineering and Engineering Vibration, Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, Harbin 150080, China

2) China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

Abstract A method to calculate the earthquake damage index of substation according to the damage states of high voltage electrical equipment and buildings in substation was proposed in this paper. The seismic damage state of 121 substations of 110kV or above in Chengdu, Mianyang, Deyang, Guangyuan and Aba area in Wenchuan earthquake were analyzed. The seismic damage grade was evaluated according to earthquake damage index. The seismic vulnerability curve of substation based on peak ground acceleration was fitted by using lognormal distribution cumulative function. The calculated results show that when the seismic intensity is below VII, the damage state of substation and transmission lines is only in basically intact or slightly damage state, and no moderate damage or above damage grades occurs. While the seismic intensity increased to VIII substation begins to suffer severe damage. When the intensity reaches IX, a small number of stats to show severe damage, and many substations are in moderate damage state. At intensity X or above, most substations are severely damaged or even completely damaged.

Keywords: Substations; The Wenchuan M8.0 earthquake; Earthquake damage index; Lognormal distribution accumulation function; Seismic vulnerability curve