

我国电力系统地震灾害损失基本特征分析*

陈惠云¹, 冯志泽^{1*}, 傅辉², 徐秀杰¹

(1. 山东省地震局, 山东 济南 250014; 2. 邹城市地震局, 山东 邹城 273500)

摘要: 基于1997—2017年中国大陆247次地震灾害资料, 统计了电力系统在97次地震中遭受的灾害损失情况, 并分析了其不同震级地震中的灾害经济损失情况及特点。结果表明: ①电力系统平均每年遭受4.6次地震灾害; ②灾害性地震造成电力系统成灾占比随震级增高而增大, $M < 5.0$ 、 $5.0 \leq M < 5.9$ 、 $6.0 \leq M < 6.9$ 、 $M \geq 7.0$ 地震成灾占比分别为13.6%、38.9%、56.2%和62.5%, 平均为38.5%; ③电力系统地震灾害损失随地震震级增大而增大, 但二者之间并非简单的线性关系; ④电力系统地震灾害主要分布在我国云南、四川、新疆、甘肃等中国西部地区。

关键词: 电力系统; 地震灾害损失; 分布特征

中图分类号: P315.943

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2019)02-0179-08

0 引言

中国是世界上遭受地震灾害最为深重的国家之一, 地震具有频度高、强度大、分布广的特点, 地震灾害严重威胁着人民财产安全, 同时也制约着经济建设和社会发展。1990—2017年, 中国大陆共遭受灾害性地震340次^{①②} (中国地震局监测预报司, 2000; 中国地震局震灾应急救援司, 2010, 2015; 郑通彦, 郑毅, 2015; 郑通彦等, 2015; 陈通, 郑通彦, 2016), 造成74 288人死亡 (不包括汶川8.0级地震造成的失踪人员17 923人), 477 485人受伤, 直接经济损失高达1.1万亿元。

电力系统是现代社会的生命线工程系统, 一旦因地震灾害而遭到破坏甚至失效时, 将严重影响其他生命线系统的功能, 可能导致整个社会生活系统陷入瘫痪, 也会很大程度上制约其他系统震后的恢复时间, 阻滞国民经济和社会生活的正常运行。国内外历次大地震的统计结果表明: 电力系统的地震易损性较高, 尽管其修复费用只占全部震后重建费用的一小部分, 但电力系统失效造成的间接损失却是巨大的。

电力系统地震灾害损失分析对于电力系统地震灾害风险分析, 防灾对策的制定具有一定意义。基于此, 本文对1997—2017年中国大陆地震灾害损失和电力系统地震灾害损失进行了统计, 总结了电力系统震害损失特点, 初步分析了电力系统经济损失的主要原因。

1 资料选取

1989年山西大同一阳高地震后, 中国开始进行地震灾害损失评估工作, 为抗震救灾和恢复重建提供了依据。国家地震局1993年制定了《地震灾害预测和评估工作手册》, 1997年发布了《地震灾害损失评估规定 (试行)》(国家地震局, 1997), 1998年颁布实施《地震现场工作大纲和技术指南》(中国地震局, 1998), 从地震灾害损失评估的原则、方法、工作程序等方面进行了规定, 使地震灾害损失评估工作更加科学、规范。1997年以前地震灾害损失评估主要注重房屋结构破坏损失, 电力系统的灾害损失一般被包含到生命线系统灾害损失中进行评估, 没有单独列出。所以本文选用1997—2017年的地震灾害损失评估结果, 对中国大陆电力系统在地震中的

* 收稿日期: 2018-07-16.

基金项目: 山东省地震重点实验室和山东省地震局合同制项目 (17Y29) 联合资助.

✉ 通讯作者: 冯志泽 (1970-), 高级工程师, 主要从事地震灾害研究和应急管理. E-mail: 875521049@qq.com.

① 中国地震局. 2017. 2016年全国和中国地震活动及灾害.

② 中国地震局. 2018. 2017年全国和中国地震活动及灾害.

灾害损失特征进行分析（表1）。

1997—2017 年地震灾害损失和电力系统地震灾害损失数据主要来源于中国大陆历次地震灾害损失评估报告^{①②}（中国地震局监测预报司，2000；中国地震局震灾应急救援司，2010，2015；郑通彦，郑毅，2015；郑通彦等，2015；陈通，郑通彦，2016）。在统计电力系统地震灾害损失次数时，按照中国大陆历次地震灾害损失评估报告资料，对于发震地点、时间相近的多次地震以及难于详细区分不同地震的震害，只能给出一个综合评估结果，以高震级作为发震震级统计；对于在邻国发生、波及中国的地震，只考虑中国的地震灾害损失。

在对不同地震震级造成电力系统经济损失进行的统计中，剔除了在邻国发生、波及中国、且造成电力系统经济损失的 3 个地震震例，包括 2011 年 3 月 24 日缅甸 7.2 级地震、2011 年 9 月 18 日印度锡金邦 6.8 级地震和 2015 年 4 月 25 日尼泊尔 8.1 级地震。在地震震级与电力系统经济损失分析中，剔除了将群震或强余震灾害损失统计在一起的 5 个震例，包括 1998 年 10 月 2 日云南宁蒗 5.3 级地震、2000 年 1 月 15 日云南姚安 6.5 级地震、2006 年 8 月 25 日云南盐津 5.1 级地震、2012 年 9 月 7 日云南彝良 5.7 级地震和 2014 年 12 月 6 日云南景谷 5.9 级地震；考虑到汶川地震的特殊性，也予以剔除。

表 1 1997—2017 年中国大陆电力系统地震灾害损失表

Tab. 1 List of power system Losses caused by earthquake disasters in mainland China from 1997 to 2017

序号	地震名称	发震日期	震级	直接经济损失/万元	
				电力系统损失	总损失
1	新疆伽师 6.0 级地震	1997-03-01	6.0	30	9 019.48
2	福建永安 5.2 级地震	1997-05-31	5.2	140.44	7 354.2
3	重庆荣昌 5.3 级地震	1997-08-13	5.3	5	6 387.71
4	广东三水 4.2 级地震	1997-09-26	4.2	50	7 071.5
5	河北张北 6.2 级地震	1998-01-10	6.2	2 800	84 187.9
6	西藏谢通门 6.1 级地震	1998-07-20	6.1	207.89	976.3
7	云南宁蒗 5.3、5.2 级地震	1998-10-02	5.3	455	9 098
8	云南宁蒗 6.2 级地震	1998-11-19	6.2	4 319	49 825
9	云南宣威 5.1 级地震	1998-12-01	5.1	110	10 210
10	甘肃文县—武都 4.7 级地震*	1999-04-15	4.7	30	627.1
11	四川绵竹 5.0 级地震*	1999-09-14	5.0	20	458
12	云南姚安 5.9、6.5 级地震	2000-01-15	6.5	1 496	106 621
13	云南丘北—弥勒 5.5 级地震	2000-01-27	5.5	299	10 374
14	青海杂多 5.3 级地震	2000-04-15	5.3	0.9	324.1
15	甘肃景泰 5.9 级地震	2000-06-06	5.9	288	7 198.23
16	四川雅江—康定 6.0 级地震	2001-02-23	6.0	2 254	18 822
17	云南澜沧 5.0 级地震	2001-03-12	5.0	29.5	5 575
18	云南施甸 5.9 级地震	2001-04-10	5.9	1 190	50 490
19	云南宁蒗至四川盐源 5.8 级地震	2001-05-24	5.8	878	14 934
20	云南永胜 6.0 级地震	2001-10-27	6.0	410	41 050
21	四川新龙 5.3 级地震	2002-08-08	5.3	110	3 034
22	甘肃玉门 5.9 级地震	2002-12-14	5.9	53	7 020.17
23	新疆乌恰 5.7 级地震	2002-12-25	5.7	50.4	3 045.85
24	新疆巴楚—伽师 6.8 级地震	2003-02-14	6.8	558.8	139 792
25	云南大姚 6.2 级地震	2003-07-21	6.2	2 400	59 190
26	内蒙古巴林左旗—阿鲁克沁旗 5.9 级地震	2003-08-16	5.9	769	80 649.25
27	西藏波密南 5.7 级地震	2003-08-18	5.7	301.2	4 341.84
28	云南大姚 6.1 级地震	2003-10-16	6.1	1 310	41 560

① 中国地震局. 2017. 2016 年全国和中国地震活动及灾害.

② 中国地震局. 2018. 2017 年全国和中国地震活动及灾害.

续表 1

序号	地震名称	发震日期	震级	直接经济损失/万元	
				电力系统损失	总损失
29	甘肃民乐—山丹 6.1 级地震	2003 - 10 - 25	6.1	956.4	54 218
30	甘肃岷县—临潭—卓尼 5.2 级地震	2003 - 11 - 13	5.2	93	8 791.98
31	云南鲁甸 5.1 级地震	2003 - 11 - 15	5.1	240	19 190
32	云南鲁甸 5.0 级地震	2003 - 11 - 26	5.0	130	9 300
33	新疆昭苏 6.1 级地震	2003 - 12 - 01	6.1	250	18 026
34	内蒙古东乌珠穆沁旗 5.9 级地震	2004 - 03 - 24	5.9	32.5	20 272
35	云南鲁甸 5.6 级地震	2004 - 08 - 10	5.6	150	33 226
36	甘肃岷县—卓尼 5.0 级地震	2004 - 09 - 07	5.0	80.5	6 579.39
37	云南双柏 5.0 级地震	2004 - 12 - 26	5.0	90	4 070
38	云南思茅 5.0 级地震	2005 - 01 - 26	5.0	180	5 280
39	西藏仲巴 6.5 级地震	2005 - 04 - 08	6.5	158.3	1 034.2
40	云南会泽—四川会东 5.3 级地震	2005 - 08 - 05	5.3	431	16 998
41	江西九江—瑞昌 5.7 级地震	2005 - 11 - 26	5.7	114	203 759.4
42	甘肃文县 5.0 级地震	2006 - 06 - 21	5.0	174.67	7 335.15
43	云南盐津 5.1 级地震	2006 - 07 - 22	5.1	290	23 900
44	云南盐津 5.1, 4.7 级地震	2006 - 08 - 25	5.1	140	20 270
45	云南宁洱 6.4 级地震	2007 - 06 - 03	6.4	4 140	189 860
46	新疆于田—策勒 7.3 级地震	2008 - 03 - 21	7.3	41	19 479.9
47	云南盈江 5.0 级地震	2008 - 03 - 21	5.0	10	6480
48	四川汶川 8.0 级地震	2008 - 05 - 12	8.0	1 066 200	85 230 900
49	云南盈江 5.9 级地震	2008 - 08 - 20	5.9	2 750	130 800
50	四川攀枝花—会理 6.1 级地震	2008 - 08 - 30	6.1	1 173	328 317
51	西藏当雄 6.6 级地震	2008 - 10 - 06	6.6	100	41 137
52	湖北秭归 4.1 级地震	2008 - 11 - 22	4.1	3	445.1
53	云南姚安 6.0 级地震	2009 - 07 - 09	6.0	3 860	215 410
54	重庆荣昌 4.0 级地震 *	2009 - 08 - 08	4.0	5	2 273
55	云南宾川 5.0 级地震	2009 - 11 - 02	5.0	240	24 530
56	四川遂宁与重庆交界 5.0 级地震 *	2010 - 01 - 31	5.0	80	29 405
57	云南禄丰—元谋 5.1 级地震	2010 - 02 - 25	5.1	430	35 440
58	青海玉树 7.1 级地震	2010 - 04 - 14	7.1	25 000	2 284 741
59	云南盈江 5.8 级地震	2011 - 03 - 10	5.8	12 110	238 480
60	缅甸 7.2 级地震	2011 - 03 - 24	7.2	10	33 760
61	四川炉霍 5.3 级地震	2011 - 04 - 10	5.3	815	17 858
62	印度锡金邦 6.8 级地震	2011 - 09 - 18	6.8	1 439	133 365
63	云南宁蒗与四川盐源交界 5.7 级地震	2012 - 06 - 24	5.7	3 263	77 154
64	新疆新源与和静交界 6.6 级地震	2012 - 06 - 30	6.6	222	199 032.1
65	云南彝良 5.7, 5.6 级地震	2012 - 09 - 07	5.7	9 620	477 104
66	四川白玉 5.4 级地震	2013 - 01 - 18	5.4	156	12 099
67	云南洱源 5.5 级地震	2013 - 03 - 03	5.5	1 110	70 800
68	云南洱源 5.0 级地震	2013 - 04 - 17	5.0	190	20 878
69	四川芦山 7.0 级地震	2013 - 04 - 20	7.0	62 000	6 651 370
70	甘肃岷县彰县 6.6 级地震	2013 - 07 - 22	6.6	3 300	2 441 600
71	云南香格里拉、德钦与四川得荣交界 5.9 级地震	2013 - 08 - 31	5.9	3 350	196 670
72	湖北巴东 5.1 级地震	2013 - 12 - 16	5.1	132.7	6 753.5
73	云南盈江 6.1 级地震	2014 - 05 - 30	6.1	1 260	180 060
74	云南鲁甸 6.5 级地震	2014 - 08 - 03	6.5	33 034	1 984 900
75	云南永善 5.3 级地震	2014 - 04 - 05	5.3	380	44 510
76	云南永善 5.0 级地震	2014 - 08 - 17	5.0	110	30 250
77	四川康定 6.3 级地震	2014 - 11 - 22	6.3	29 838	423 177
78	云南景谷 6.6 级地震	2014 - 10 - 07	6.6	3 340	511 020

续表 1

序号	地震名称	发震日期	震级	直接经济损失/万元	
				电力系统损失	总损失
79	云南景谷 5.8, 5.9 级地震	2014-12-06	5.9	120	237 660
80	四川乐山金口河 5.0 级地震	2015-01-14	5.0	97	18 996
81	新疆沙湾 5.0 级地震*	2015-02-22	5.0	40	5 013.48
82	云南沧源 5.5 级地震	2015-03-01	5.5	1 180	83 760
83	贵州剑河 5.5 级地震	2015-03-30	5.5	370	51 704
84	尼泊尔 8.1 级 (西藏灾区)	2015-04-25	8.1	7 590	1 030 200
85	新疆皮山 6.5 级地震	2015-07-03	6.5	100	543 364
86	云南昌宁 5.1 级地震	2015-10-30	5.1	130	24 200
87	青海门源 6.4 级地震	2016-01-21	6.4	870	88 475
88	新疆新源 5.0 级地震	2016-02-11	5.0	10	3 860
89	广西苍梧 5.4 级地震	2016-07-31	5.4	33.79	9 922
90	新疆阿克陶 6.7 级地震	2016-11-25	6.7	52	46 334.6
91	新疆呼图壁 6.2 级地震	2016-12-08	6.2	140	274 281
92	新疆且末 5.8 级地震	2016-12-20	5.8	3	9 895
93	重庆荣昌 4.8 级地震	2016-12-27	4.8	530	4 810
94	新疆塔什库尔干 5.5 级地震	2017-05-11	5.5	635	200 524
95	湖北秭归 4.3 级地震	2017-06-16	4.3	2	1 389
96	四川九寨沟 7.0 级地震	2017-08-08	7.0	20 087	804 300
97	新疆精河 6.6 级地震	2017-08-09	6.6	2 989	429 964

注: * 表示该次地震的电力系统经济损失是根据灾害描述估算.

2 电力系统地震灾害损失分析

2.1 电力系统地震灾害损失统计

1997—2017 年中国大陆共遭受 247 次地震灾害事件, 直接经济损失 1.09 万亿元 (表 2, 图 1), 电力系统遭受地震灾害 97 次, 直接经济损失 132.88 亿元 (表 2, 图 2), 占总损失的 1.22%。

从电力系统遭受地震灾害的频率来看, 1997—2017 年中国大陆平均每年发生 4.6 次电力系统地震灾害。从电力系统地震灾害损失来看, 1997—2017 年中国大陆平均每年直接经济损失 6.33 亿元 (除 2008 年外, 平均每年直接经济损失 1.31 亿元)。地震造成电力系统成灾的, 平均每次直接经济损失 0.27 亿元 (2008 年汶川地震除外)。

从电力系统地震灾害成灾特点来看 (表 3), 震级越高, 电力系统成灾可能性越大, 每次地震直接经济损失越高。

在 $M < 5.0$ 地震中, 共发生 44 次地震灾害, 电力系统成灾 6 次, 平均每次直接经济损失 103.33 万元, 成灾概率较低。

在 $5.0 \leq M < 5.5$ 地震中, 共发生 96 次地震灾害, 电力系统成灾 34 次, 平均每次直接经济损失 163.96 万元。

表 2 1997—2017 年中国大陆电力系统地震灾害损失汇总

Tab. 2 Summary of power system earthquake disaster Losses in mainland China from 1997 to 2017

年份	地震灾害次数			地震直接经济损失		
	总次数	电力系统灾害次数	占比 (%)	总损失/万元	电力系统损失/万元	占比 (%)
1997	10	4	40	125 209.1	225.44	0.18
1998	15	5	30	184 151.56	7 891.89	4.28
1999	15	2	13.67	47 837.7	50	0.10
2000	10	4	25	146 788.2	2 083.9	1.42
2001	12	5	41.67	148 449.42	4 761.5	3.21
2002	5	3	60	14 774.4	2 13.4	1.44
2003	21	10	47.62	466 040.96	7 008.4	1.5
2004	11	4	36.36	94 862.27	353	0.37
2005	11	4	36.36	262 810.8	883.3	0.34
2006	10	3	30	79 961.7	604.67	0.75
2007	3	1	33.33	201 922.06	4 140	2.05
2008	17	7	41.17	85 831 724.51	1 070 277	1.25
2009	8	3	37.5	273 792.05	4 105	1.49
2010	10	3	30	2 356 738.12	25 510	1.08
2011	15	4	26.67	601 090.09	14 374	2.39
2012	11	3	27.27	828 756.92	13 105	1.58
2013	14	7	50	9 788 961.45	70 238.7	0.72
2014	10	7	70	3 556 381	68 082	1.91
2015	12	7	58.33	1 800 465.08	9 507	0.53
2016	16	7	43.75	635 911	1 638.79	0.26
2017	11	4	36.36	1 475 863.55	23 713	1.60
合计	247	97	39.27	108 922 491.9	1 328 766	1.22

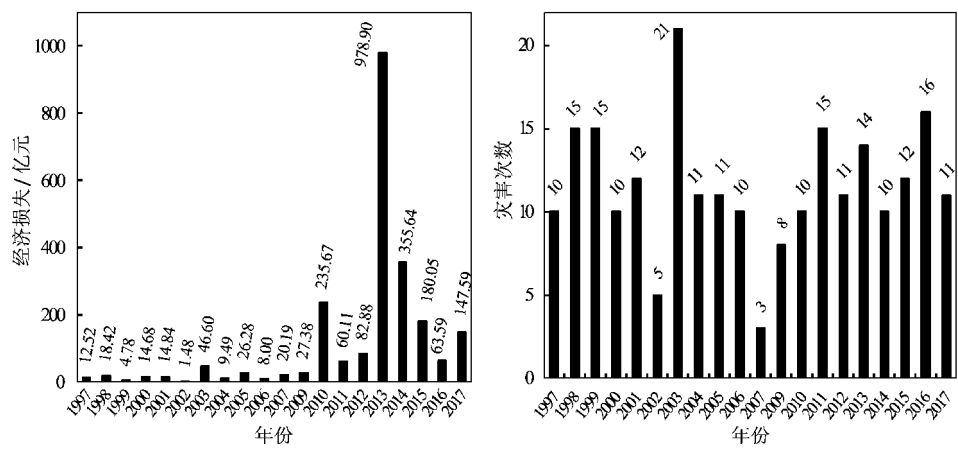


图 1 1997—2017 年中国大陆地震直接经济损失 (a) 与灾害次数 (b) (2008 年除外)

Fig. 1 Economic losses (a) and frequency (b) of earthquake disasters in China from 1997 to 2017 (except for 2008)

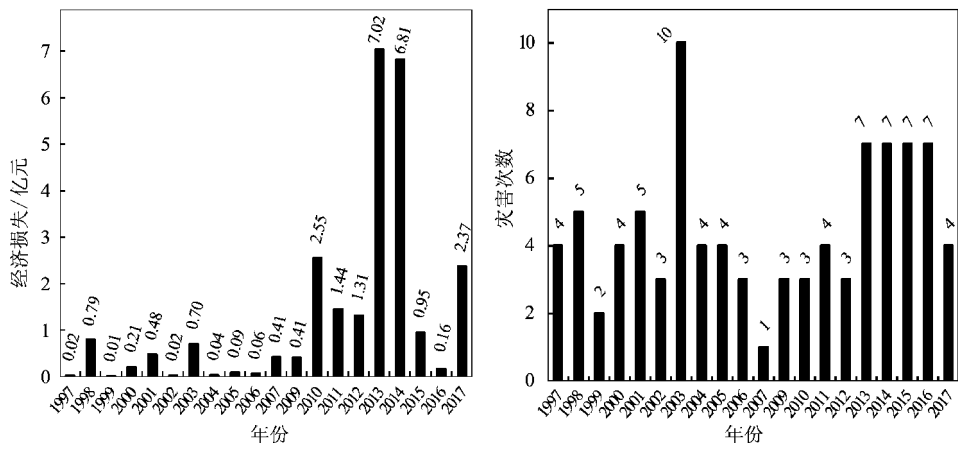


图 2 1997—2017 年中国大陆电力系统地震直接经济损失 (a) 与灾害次数 (b) (2008 年除外)

Fig. 2 Economic loss (a) and frequency (b) of China's power system caused by earthquake disasters 1997 to 2017 (except for 2008)

表 3 不同震级地震电力系统地震灾害损失统计

Tab. 3 Statistics of earthquake disaster loss of power systems caused by earthquakes in different magnitude

震级	地震灾害次数			地震直接经济损失			
	总次数	电力系统灾害次数	占比 (%)	总损失/万元	电力系统损失/万元	占比 (%)	电力系统平均损失/万元
$M < 5.0$	44	6	13.63	121 512.39	620	0.51	103.33
$5.0 \leq M < 5.5$	96	34	35.42	816 645.12	5 574.5	0.68	163.96
$5.5 \leq M < 6.0$	48	22	45.83	2 521 776.27	38 636.1	1.53	1 756.18
$6.0 \leq M < 7.0$	48	27	56.25	9 154 348.4	101 568.4	1.11	3 761.79
$M \geq 7.0$	8	5	62.5	95 110 884.67	1 073 328	1.13	214 665.6
合计	244	94	38.52	107 725 166.9	1 219 727	1.13	—

注：舍弃 3 次国外地震造成我国电力系统损失的震例。

在 $5.5 \leq M < 6.0$ 地震中，共发生 48 次地震灾害，电力系统成灾 22 次，平均每次直接经济损失 1 756.18 万元。

在 $6.0 \leq M < 7.0$ 地震中，共发生 48 次地震灾害，电力系统成灾 27 次，平均每次直接经济损失 3 761.79 万元。

在 $M \geq 7.0$ 地震中, 共发生 8 次地震灾害, 电力系统成灾 5 次, 平均每次直接经济损失 214 665.60 万元。

2.2 震级与电力系统直接经济损失关系

考虑到 8.0 级以上地震案例较少, 根据表 1 地震的电力系统直接经济损失数据, 剔除群震或强余震灾害损失统计在一起的震例, 在邻国发生、波及中国的地震震例和汶川地震震例, 最后共选用 88 个震例, 拟合了震级和电力系统直接经济损失关系, 二者成指数关系 (图 3), 关系式为:

$$L = 0.1836e^{1.611M} \quad (1)$$

式中: L 为电力系统直接经济损失 (单位: 万元); M 为地震震级。

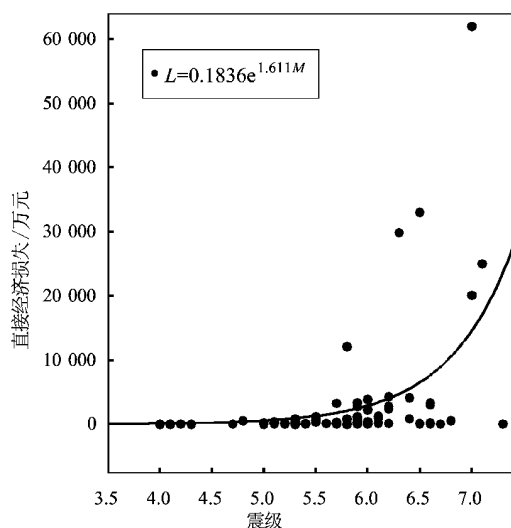


图 3 震级与电力系统直接经济损失关系

Fig. 3 Relationship between earthquake magnitude and power system direct economic loss

3 电力系统地震直接经济损失原因初步分析

电力系统一般由发电厂 (包括建筑物、发电设备以及水电站和水渠等)、变 (配) 电站 (包括建筑物以及隔离开关、断路器、变压器、避雷针等设备)、输电线路 (包括塔架、线杆、线路等)

等几部分组成, 地震造成的直接经济损失也主要由上述几部分破坏所导致。根据表 1 中 97 个电力系统直接经济损失震例, 本文初步分析了电力系统直接经济损失的主要原因。

(1) $M < 5.0$ 地震造成电力系统成灾可能性很小, 仅有 13.63% 灾害性地震造成电力系统直接经济损失, 经济损失数值不高, 损失原因主要是输电线路破坏。如 1999 年 4 月 15 日甘肃文献—武都 4.7 级地震 (中国地震局监测预报司, 2000), 震中烈度为 VI 度, 有 VII 度异常点, 地震滑坡及滚落山石砸断电线杆 8 根; 2008 年 11 月 22 日湖北省秭归 4.1 级地震 (中国地震局震灾应急救援司, 2015), 震中烈度为 VI 度, 秭归县屈原镇天龙村 2# 台区 14# 至 19# 电线杆倒杆断线, 损坏线路全长 1.08 km, 造成部分地区停电, 直接经济损失约 3 万元; 2016 年 12 月 27 日重庆荣昌 4.8 级地震^①, 电力线路受损 5 处, 直接经济损失 530 万。

(2) $5.0 \leq M < 5.9$ 地震造成电力系统直接经济损失的主要原因是建筑物破坏、变 (配) 电站破坏和输电线路破坏, 个别发电厂 (电站) 发电设备和水渠破坏。主要破坏现象为杆塔倾斜、折断, 输配电设施损坏, 变电及配变设施受损。如 2011 年 3 月 10 日云南盈江 5.8 级地震^②, 极震区烈度 VIII 度, 地震造成盈江县电力公司办公大楼、各乡镇供电所业务用房出现不同程度破坏; 盈江县高压线塔、水泥线杆、农用电网及电力设施设备等出现一定破坏, 220, 110, 35 kV 及 400 V 以下变电站、变压器、高压分支器、开关柜、中控设备等损坏, 直接经济损失约 11 670 万元。2003 年 8 月 8 日西藏波密南 5.7 级地震 (中国地震局震灾应急救援司, 2010) 造成墨脱县水电站被毁、电站引水渠破坏, 直接经济损失 301.2 万元。

(3) $M \geq 6.0$ 强震造成电力系统直接经济损失的主要原因是建筑物破坏、变 (配) 电站破坏和输电线路破坏, 高烈度区发电厂 (电站) 破坏严重。如 2017 年 8 月 9 日新疆精河 6.6 级地震^③, 极震区烈度达 VIII 度, 造成精河县 110 kV 戈洲变电站围墙坍塌 110 m、移位 31 m, 35 kV 和 10 kV 高压室墙面损

① 重庆市地震局. 2016. 2016 年 12 月 27 日重庆荣昌 4.8 级地震灾害直接损失评估报告.

② 云南省地震局. 2011. 2011 年 3 月 10 日盈江 5.8 级地震灾害直接经济损失评估报告.

③ 新疆维吾尔自治区地震局. 2017. 新疆精河 6.6 级地震灾害损失评估报告.

坏540 m, 110 kV 红杞变高压室墙面出现裂缝, 35 kV 托里变直流电源发生移位, 110 kV 皇古牵线多处基础及山区段巡视索道损坏; 第五师蘑菇滩供电所、沙山子供电所、布恩混图供电所、塔格特供电所、35 kV 异地变电工区、3个热力站地面变形、控制设备损坏, 设备基础变形、变电设备损坏, 围墙开裂; 水电站渡槽、挡土墙变形, 渠道撕裂变形; 110 kV 中心供电所出现户内高压真空断路器、电流互感器、直流屏、高压柜、10 kV 母排烧毁等设备损坏; 110 kV 阿卡尔变电站出现主变, 35 kV 线路所有显示屏、2号主变电缆、35 kV 高压柜烧毁; 110 kV 塔斯尔海变电站变压器烧毁; 100 km 10 kV 线路、80 km 35 kV 线路、50 km 110 kV 线路发生倾斜等破坏; 直接经济损失2 989万元。2008年5月12日汶川8.0级地震(张大长等, 2009)造成国家电网所属四川、甘肃、陕西、重庆4个省级电网受到影响, 累计停运35 kV及以上变电站245座、10 kV及以上输电线路3 322条; 岷江流域6座水电站受到严重损坏; 23个市(地)、110个县的供电受到影响。地震造成四川省电力公司35 kV及以上变电站停运171座, 10 kV及以上线路停运2 769条, 累计造成405.07万用电客户停电, 负荷损失约400万kW, 500 kV 茂县变电站停运, 220 kV 变电站停运12座, 川西地区江油电厂、金堂电厂、宝珠寺电厂、茂县水电群等系统解列。

电力系统地震灾害分布与地震灾害分布一致, 1997—2017年中国大陆破坏性地震主要分布于中国西部, 所以电力系统地震灾害也主要分布在云南、四川、新疆、甘肃等中国西部地区。

4 结论

1997—2017年中国大陆发生247次地震灾害, 电力系统共遭受97次地震灾害, 平均每年发生4.6次电力系统地震灾害, 直接经济损失132.88亿元, 占总损失的1.22%。灾害性地震造成电力系统成灾占比不高, 平均为38.5%, 但占比随震级增高而显著增大, 小于5级地震成灾占比为13.6%, 成灾概率较低, 5~5.9级地震成灾占比为38.9%, 6~6.9

级地震成灾占比为56.2%, 7级以上地震成灾占比为62.5%。电力系统地震灾害损失随震级增大而增大, 但二者之间并非简单的线性关系, 小于5级地震灾害, 平均损失约100万元, 5~5.5级地震灾害, 平均损失约160万元, 5.5~6级地震灾害, 平均损失约1 700万元, 6~6.9级地震灾害, 平均损失约3 700万元, 7级以上地震灾害, 平均损失约21亿元。电力系统地震灾害主要分布在云南、四川、新疆、甘肃等中国西部地区, 这与我国地震灾害分布是一致的。电力系统地震灾害经济损失受地震特点、抗震设防情况、地理地质条件、电力设施设备分布等多重条件影响, 本文进行统计分析的是一般规律。

由于资料所限, 本文仅仅给出了不同震级地震系统经济损失情况, 未给出不同地震烈度下电力系统破坏情况分析, 这有待今后加强大震考察, 以丰富资料、加强研究。

本文写作过程中得到了中国地震局工程力学研究所林均岐研究员、刘如山研究员的指导, 得到了中国地震台网中心郑通彦高工和中国地震搜救中心张涛博士的帮助, 在此一并表示感谢。

参考文献:

- 陈通, 郑通彦. 2016. 2015年中国大陆地震灾害损失述评[J]. 灾害学, 31(3):133-137.
- 国家地震局. 1997. 地震灾害损失评估规定(试行)[M]. 北京:国家地震局.
- 张大长, 赵文伯, 刘明源. 2009. 5·12汶川地震中电力设施震害情况及其成因分析[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 31(1):44-48.
- 郑通彦, 冯蔚, 郑毅. 2015. 2014年中国大陆地震灾害损失述评[J]. 世界地震工程, 31(2):202-208.
- 郑通彦, 郑毅. 2015. 2013年中国大陆地震灾害损失述评[J]. 自然灾害学报, 24(1):239-246.
- 中国地震局. 1998. 地震现场工作大纲和技术指南[M]. 北京:地震出版社.
- 中国地震局监测预报司. 2000. 中国大陆地震灾害损失评估汇编(1996—2000)[M]. 北京:地震出版社.
- 中国地震局震灾应急救援司. 2010. 2001—2005年中国大陆地震灾害损失评估汇编[M]. 北京:地震出版社.
- 中国地震局震灾应急救援司. 2015. 2006—2010年中国大陆地震灾害损失评估汇编[M]. 北京:地震出版社.

Preliminary Analysis of Basic Characteristics of Earthquake Disaster Loss in China Power System

CHEN Huiyun¹, FENG Zhize¹, FU Hui², XU Xiujie¹

(1. Shandong Earthquake Agency, Jinan 250014, Shandong, China)

(2. Zoucheng Earthquake Agency, Zoucheng 273500, Shandong, China)

Abstract

Based on the data of 247 earthquake disasters in mainland China from 1997 to 2017, we statistic the loss of power system in 97 earthquakes, and analyze the economic losses and its characteristic of the power system in earthquakes with different magnitude. The results show that: ①The power system suffers an average of 4.6 earthquake disasters per year; ②The ratio of power system disasters caused by earthquakes increases with the increase of magnitude, and the disaster rates of $M < 5.0$, $5.0 \leq M < 5.9$, $6.0 \leq M < 6.9$, $M \geq 7.0$ earthquakes are 13.6%, 38.9%, 56.2% and 62.5% respectively, and 38.5% on average. ③The economic losses of power system caused by earthquake increase with magnitude, but the relationship between them is nonlinear. ④Power system disasters caused by earthquakes mainly occurred in western provinces of China, such as Yunnan, Sichuan, Xinjiang, and Gansu.

Keywords: power system; earthquake disaster loss; distribution characteristics