

# 高烈度地震触发山区输电线路震害发育分布规律

刘翔云, 黄 兴, 廖邢军, 宋玲林

(西南电力设计院有限公司, 四川 成都 610021)

**摘要:**“5·12”汶川地震和“4·20”芦山地震均具有震级大、烈度高、破坏性强等特点,给地震灾区域内的电网工程造成了极大的破坏。通过芦山地震震后对康崇线 500 kV 输电线路震害的现场调查结果,利用统计方法对输电线路震害的分布与地震烈度、陡坡坡度、地形地貌、杆塔基础外露比及基础嵌固比等因素的关系进行分析,得出了高烈度地震区输电线路地震灾害发育分布规律。在此基础上,根据各震害类型特点将输电线路塔场地基基础的损坏分为场地破坏和地基基础破坏,便于有针对性地对输电线路进行防震设计。

**关键词:**高烈度地震;山区输电线路;震害;发育分布规律

中图分类号:TM752 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2020)05-0011-03

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2020.05.003

## Research on Development and Distribution Rules of Earthquake Damage for Transmission Line Induced by High Intensity Earthquake in Mountain Area

Liu Xiangyun, Huang Xing, Liao Xingjun, Song Linglin

(CPECC Southwest Electric Power Design Institute Co., Ltd., Chengdu 610021, Sichuan, China)

**Abstract:** As Wenchuan earthquake and Lushan earthquake were of high magnitude and high intensity, it caused a considerable damage to power grid project in disaster area. Field investigations are carried out for KangChong 500 kV transmission lines in Lushan earthquake area after the earthquake, and the general distribution situation of the transmission line damage is obtained. Then the relationship between the earthquake intensity, the seismogenic fault distance, the slope steepness, the topography and the foundation type of tower is investigated statistically. And an overall view of the development and distribution rules of earthquake damage for transmission lines in high intensity earthquake zone is obtained. On this basis, transmission line damage is mainly due to the fault of observation tower site and foundation failure.

**Key words:** high intensity earthquake; transmission line in mountain area; earthquake damage; development and distribution rules

## 0 引 言

中国西部地区受到印度板块和欧亚板块的碰撞影响,青藏高原强烈变形,高原内部及其边缘的活断层面上经常发生强烈地震,是世界大陆内部活跃的强烈地震区之一。中国西南地区水电资源丰富,输电线路很多从高烈度地震区穿过,大多在崇山峻岭中走线,塔位所在处地形陡峭,地质构造复杂。

“5·12”汶川地震震中烈度为Ⅺ度,“4·20”芦山地震震中烈度为Ⅸ度。这两次地震均为高烈度地震,波及范围广,给该区域内的电网工程造成了极大

的破坏。据不完全统计,在汶川地震中输电线路受损数达到 1643 条,其中 500 kV 的线路受损 4 条,220 kV ~ 330 kV 的线路受损 64 条。

已有调查结果表明线路受损情况与变压器、断路器、隔离开关、电压互感器、电流互感器等震害相比较轻<sup>[1-3]</sup>。但在地震中倒塌、破坏仍较多,主要是地基不均匀沉降、山体滑坡、泥石流等造成的塔体倾斜、倾倒、构件损坏等<sup>[4-5]</sup>。而实际上由于地形陡峭、岩体风化破碎等,强烈地震时,地震诱发的灾害,特别是在山岳地区,其危害比地震直接造成的还要大<sup>[6-10]</sup>。

“4·20”芦山地震发生后,西南电力设计院有

限公司等单位迅速组织了相关人员进行系统的震害排查,迅速掌握了芦山地震后在建和已建典型输电线路(康崇线 500 kV 输电线路)塔位、塔基出现明显破坏或失稳资料。下面通过这些资料分析,以 500 kV 康崇输电线路为对象,对震害塔位从场地烈度、地形坡度、地形地貌、基础形式等方面进行分析和研究,从而获得高地震烈度区陡坡地形带塔位和塔基的震害类型、分布特点。

## 1 芦山地震震害及分析

### 1.1 与地震烈度的关系

统计康崇线塔基在不同烈度区损坏数,结果见表 1。

表 1 康崇线塔位不同烈度区震害统计

烈度区	总基数/基	震害基数/基	损坏比例/%
VI度以下地区	172	5	2.9
VI度区	153	24	16.3
VII度区	36	6	16.7
VIII度区	92	17	18.2

从表 1 可以看出,随地震烈度增加,震害也在逐渐增大。VI度以下地区输电线路损坏比例仅为 2.9%,到 VI度区后,损坏比例显著增高。从输电线路塔基损坏统计结果看,VI度损坏比例急剧上升,并且接近 VII度,甚至 VIII度区。进一步分析,VI度区塔基的破坏特点,其破坏程度还是较 VII度、VIII度区轻,震害类型主要有滚石砸坏等由地震地质灾害引起的损坏。输电线路一般地震烈度 VII度及以上才考虑抗震设防是合理的,在 VI度区走线时,地质灾害对塔基的不良影响可采取适当的防护措施。

### 1.2 与地形坡度的关系

将塔基所处的地形坡度分成: <10°、10°~<15°、15°~<20°、20°~<25°、25°~<30°、30°~<35°、35°~<40°以及 ≥40°共 8 档,对 52 个震害塔基的地形坡度进行统计分析,同时与全线路塔基地形坡度进行对比,获得不同坡度条件下塔基的损坏比例,结果见图 1。从图 1 可以看出,坡度越陡,发生震害的比例越大,其中坡度为 30°~<40°时震害比例较大。

将震害从表象和宏观特征将其分为堡坎开裂、滚石砸坏、下方山体塌方、基础周边土体裂缝、上方山体滑坡 5 种破坏方式。为了探讨塔基破坏方式与塔基

侧坡度的关联性,将塔基侧坡度分为: 15°~<20°、20°~<25°、25°~<30°、30°~<35°、35°~<40°、40°~<45°共 7 档,对不同的震害类型在不同坡度的分布情况进行统计,结果见图 2。

从图 2 总体可以看出塔基破坏类型中滚石砸坏、周边土体裂缝分布的坡度范围较大,堡坎开裂、下方土体塌方分布在坡度较陡段。

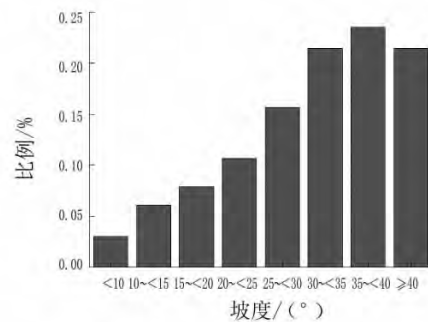


图 1 震害随陡坡自然坡度分布情况

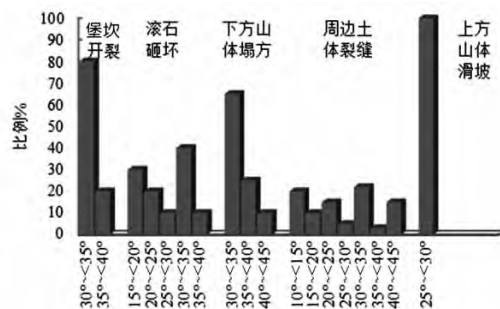


图 2 各个震害类型随基侧坡度分布情况

不同震害破坏方式发育的地形地貌、地形坡度统计如图 3 所示。

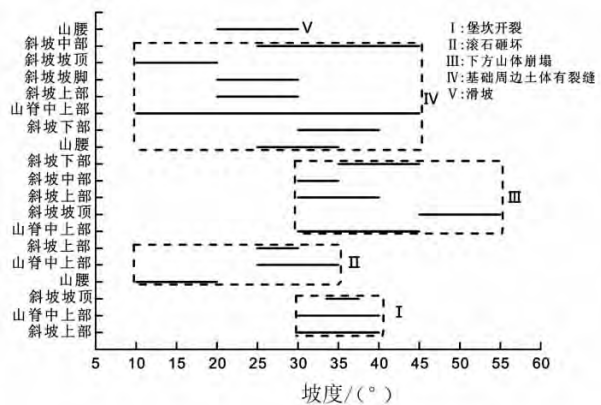


图 3 震害整体统计结果

堡坎开裂主要发生在坡体中上部靠近坡顶的部位,表现为施工自建平台外堡坎出现裂缝。这类损坏主要发生在塔基处坡度 30°~40°内;滚石砸坏发生在坡体中上部靠近坡腰的位置,随坡高增高,发生震害坡体坡度也随之变大,中低山斜坡震害主要发生在 10°~20°坡段内,而高山斜坡震害则发生在

25°~40°坡段内;下方山体塌方发生在斜坡(坡脊)中上部,并且基侧坡度较陡,一般约30°~45°坡段内;基础周边土体有裂缝出现该类损坏的地形地貌无集中表现,即各类地貌中均有发育。出现的地形坡度亦从相对较缓至陡坡,发生范围较广。

总之,大部分的震害分布在地形坡度为20°~45°的坡段内,现场调查同时发现,震害产生的具体部位还与微地貌形态有密切关系。

## 2 震害特征

对堡坎开裂、滚石砸坏、下方山体塌方、基础周边土体裂缝、上方山体滑坡5种塔基破坏方式进一步分析其震害特征。

堡坎开裂是桩基施工挖土堆砌于塔基周围形成的堡坎在地震作用下产生裂缝,外在表现为堡坎开裂,实质上是地震作用下地基基础的损坏。主要发生在坡体中上部,塔基处坡度30°~<40°。

滚石砸坏则是塔基被处于其上方的山体崩塌落石砸中而损坏,是受地震地质灾害的影响而损坏。发育坡度几乎涵盖所设的7个档,随机性较大。

下方山体塌方是指地震作用下桩侧坡土体出现变形、甚至塌方。陡坡场地上的桩基础一般会有一侧或多侧外边坡,外边坡的土体实质上构成桩周土体,因此外侧(下侧)坡失稳破坏实质上是桩周部分土体发生比裂缝更严重的变形破坏,因此,其表象虽为滑塌地质灾害,实质上是桩周土体失稳,因而可归为地基基础损坏。

基础周边土体裂缝则是桩基础在地震力作用下桩周土出现裂缝,一般认为桩基础的破坏包括桩本身破坏以及桩周土体破坏等,因此该种破坏实质上是地震作用下地基基础的损坏。

上方山体滑坡是塔基被处于其上方的山体滑坡的滑动、堆积作用而损坏,是受地震地质灾害的影响而损坏。上方山体滑坡主要发生在25°~<30°坡段,因为一般覆盖层边坡坡度在25°~<40°左右,而基岩边坡坡度则可能更陡,超过35°后坡积层就很难停积。

因此,根据震害特征将堡坎开裂、下方山体塌方、基础周边土体裂缝的震害类型归为地震致地基基础损坏,而将上方山体滑坡、滚石砸坏的震害归为地震地质灾害致地基基础损坏。

将前述的5类塔基破坏方式按其震害类型重新统计,结果见表2。

表2 不同震害类型桩基损坏数量

震害类型	震害桩基 /个	震害桩基 总数/个	比例/%
地震致地基基础损坏	92	106	86.7
地震地质灾害致地基基础损坏	14	106	13.3

输电线塔场地地基基础的损坏包括场地破坏和地基基础破坏。场地破坏主要表现在场地岩土体的滑坡、崩塌等失稳破坏,场地破坏可能会对地基基础造成不良影响。地震致地基基础损坏主要为塔基周边土体破坏,因线路荷载与地震力共同作用下引起,直接影响线路基础稳定,此类为线路设计时主要防治对象。地震致地基基础损坏数量较大,占86.7%,而地震地质灾害致地基基础损坏也占有一定比例,为13.3%。

通过上面统计分析数据,山区线路优先选取地势起伏较小的斜坡走线,当陡坡坡度大于30°以上地区,不宜修筑堡坎,山区线路基础优先考虑埋置深的原状土基础,受浅层土体变形影响小,同时不宜在塔基周围弃土。

## 3 结 语

通过研究,对高烈度地震触发的输电线路震害发育分布可以得到以下基本结论:

1) 随地震烈度增加,震害也在逐渐增大。到Ⅵ度区后,损坏比例显著增高。进一步分析Ⅵ度区塔基的破坏特点,可以看出其破坏程度还是较Ⅶ度、Ⅷ度区轻,输电线路一般地震烈度Ⅶ度及以上才考虑抗震设防是合理的,在Ⅵ度区走线时,地质灾害对塔基的不良影响可采取适当的防护措施。

2) 坡度越陡,发生震害的比例越大,其中坡度为30°~40°时震害比例较大。同时,塔基破坏方式与塔基侧坡度的关联性得出塔基破坏类型中滚石砸坏、周边土体裂缝分布的坡度范围较大,堡坎开裂、下方土体塌方分布在坡度较陡段。

3) 绝大部分的地震灾害点都分布在20°~50°的坡段内,地震灾害产生的具体部位与微地貌形态还有密切的关系。通常发生在斜坡或坡脊的中上部。

(下转第64页)

4) 机房采用 GPX67111 型光配 800 芯,将不再用 ODF 单元分散安装,满足多条通信光缆和保护专用光缆的安装要求。

### 3 结 语

通过对站内引入光缆方案的优化与改进,全面解决了多个间隔 OPGW 引入光缆对电缆沟、防火墙、防鼠墙通信机房的重复施工放缆问题,实现了 OPGW 多点接地,避免 OPGW 光缆与引入普缆混盘现象的出现,同时解决了接续盒安装至构架杆从而影响再次作业人员登杆等诸多安全问题。站内引入光缆方案直接关系着电力通信网络的施工速度和运行水平,对于新型站内引入光缆方案的研究与分析,有利于全面提高光缆的施工工艺和运维水平,为电力系统通信网络的健康运行提供保障,为智能电网的安全稳定发展奠定基础<sup>[7]</sup>。

#### 参考文献

[1] 魏勇,张合明,戴雪娇,等. 变电站站内引入光缆双路由优化设计分析[J]. 河北电力技术,2017,36(5):41-43.

(上接第13页)

4) 输电线塔位塔基震害调查中,将震害从表象和宏观特征将其分为堡坎开裂、滚石砸坏、下方山体塌方、基础周边土体裂缝、上方山体滑坡5种破坏方式,并根据各震害类型特点将输电线塔场地地基基础的损坏分为场地破坏和地基基础破坏。

5) 山区线路优先考虑选取地势起伏较小的斜坡走线,当陡坡坡度大于30°以上地区,不宜修筑堡坎,线路基础优先选用原状土基础,不宜在塔基周围弃土。

#### 参考文献

[1] 张大长,赵文伯,刘明源. 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),2009,31(1):44-48.  
[2] 张美晶. 电力设施震害及其危害性快速评估方法研究[D]. 哈尔滨:中国地震局工程力学研究所,2009.  
[3] Tian Li, Li Hongnan, Liu Guohuan. Seismic Response of Power Transmission Tower-line System under Multi-component Multi-support Excitations[J]. Journal of Earthquake and Tsunami, 2012, 6(4): 1250025.  
[4] 于永清,李光范,李鹏,等. 四川电网汶川地震电力设

[2] 沈晓华,沈洪芬,詹学龙,等. 浅析蝶形引入光缆生产中出现的断纤原因及改善方案[J]. 现代传输,2016(6):73-76.  
[3] 黄俊华,张建明. 光通信中继站引入光缆和非开挖埋方案[J]. 电力系统通信,2014(5):15-18.  
[4] 周本文. 光缆线路常见故障分析[J]. 技术与市场,2020(1):156-157.  
[5] 程路明,杨鸿珍,郑伟军,等. 电力通信光缆运行维护标准化技术研究[J]. 电力信息与通信技术,2019,17(12):67-72.  
[6] 国家能源局. 电力通信光缆安装技术要求:DL/T 1733—2017[S]. 北京:中国电力出版社,2017.  
[7] 中国电机工程学会. 电力通信光缆运行维护规程:T/CSEE 0085—2018[S]. 北京:中国电力出版社,2019.

#### 作者简介:

冯平(1984),女,硕士,高级工程师,研究方向为电力信息通信;

袁亮(1980),男,硕士,工程师,研究方向为信息通信;

钟于(1990),男,本科,工程师,研究方向为电力通信;

吴成锋(1970),男,本科,技师,研究方向为电力通信。

(收稿日期:2020-07-08)

施受灾调研分析[J]. 电网技术,2008,32(11):5-10.

[5] 姚令侃,陈强. “5·12”汶川地震对线路工程抗震技术提出的新课题[J]. 四川大学学报(工程科学版),2009,41(3):43-50.  
[6] 黄润秋,李为乐. “5·12”汶川大地震触发地质灾害的发育分布规律研究[J]. 岩石力学与工程学报,2008,27(12):2585-2592.  
[7] Huang R Q. Some Catastrophic Landslides since the 20th Century in the Southwest of China[J]. Landslides, 2009, 6(1): 69-82.  
[8] 祁生文,许强,刘春玲. 汶川地震极重灾区地质背景及次生斜坡灾害空间发育规律[J]. 工程地质学报,2009,17(1):39-49.  
[9] 刘如山,张美晶,邬玉斌,等. 汶川地震四川电网震害及功能失效研究[J]. 应用基础与工程科学学报,2010,18(S1):200-211.  
[10] 地震地质灾害对架空输电线路影响的调查与分析[R]. 成都:中国电力工程顾问集团西南电力设计院,2009.

#### 作者简介:

刘翔云(1978),女,学士,高级工程师,从事输电线路结构设计工作。

(收稿日期:2020-08-24)