

# 强台风下某铁塔受损案例分析

朱辉良<sup>1</sup>, 袁杨<sup>2</sup>, 方水平<sup>2</sup>, 郭琳<sup>1</sup>

(1. 广东电网有限责任公司 惠州供电局, 惠州 516001; 2. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** 介绍了某铁塔在强台风作用下发生损坏的事故, 包括横担翻折、导线断线、金具损坏等。分析了事故发生的原因, 提出了事故线路改造的建议, 可为类似工程的建设提供参考。

**关键词:** 强台风; 横担损坏; 金具损坏; 分析建议

**中图分类号:** TM752<sup>+</sup>.5

**文献标志码:** A

**文章编号:** 2095-8676(2015)03-0136-04

## Damage Analysis of Transmission Tower Under Typhoon

ZHU Huiliang<sup>1</sup>, YUAN Yang<sup>2</sup>, FANG Shuiping<sup>2</sup>, GUO Lin<sup>1</sup>

(1. Huizhou Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Co., Ltd., Huizhou 516001, China;

2. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** The damage of transmission tower under typhoon attack is introduced, including cross-arm breaking, line breaking and link fitting failure, etc. The type and the feature of the damage are studied. The research can provide reference for the construction of similar projects.

**Key words:** typhoon; cross-arm breaking; fitting damage; analysis and suggestions

500 kV 惠茅乙线#237 塔在台风“天兔”袭击下导线横担向小号侧水平翻折, 三相导线全部断线并从悬垂线夹中脱出, 导线断线且重锤片磨损。该塔为惠汕地区在此次台风事故中唯一受损的 500 kV 铁塔, 见图 1。

速是导致事故的主要原因。大风荷载下由于导线断线而产生的不均匀张力是导致事故的直接原因。

本文根据现场调研的实际情况, 全面分析了此次事故发生的原因, 主要包括重锤片磨损分析、导线断口分析、横担翻折分析等。本文还提出了事故段线路的改造建议, 可为类似工程的设计及建设提供参考。

### 1 事故简介

台风“天兔”导致 500 kV 惠茅乙线#237 塔受损严重。该塔左侧导线横担向小号侧水平翻折; 三相导线全部断线, 并全部从悬垂线夹中脱出; 地线正常悬空, 左侧的普通地线悬垂线夹处有严重的脱股磨损现象; 三相导线悬垂串仍挂在塔上, 除导线悬垂线夹外其他金具和复合绝缘子均没受破坏; 导线悬垂线夹船体内有明显的导线滑动磨痕, 船体端部导线出口处有明显的导线压磨痕迹; 两个边相悬垂串左下角悬垂线夹的船体都掉落一半; 左边相的悬垂线夹上还残留部分铝股; 中相右下角悬垂线夹的船体全部掉落; 部分与悬垂线夹联接的 U 型挂板变



图 1 #237 塔横担损坏

Fig. 1 Cross-arm Breaking Accident of #237 Tower

事故分析报告指出, 现场实际风速远超设计风

形严重; 三相导线悬垂串所挂重锤边缘均有与导线摩擦的刮痕。#236 ~ #237 档掉落的导线被往南吹离线行约 160 m, 掉落的导线还砸在其底下的 110 kV 桂尖线和 220 kV 桂海线上。该档内 220 kV 桂海线靠#236 塔侧地线掉落, 左侧 110 kV 桂尖线#61 塔倒塔。#237 ~ #238 档掉落的导线被往南吹离线行约 130 m, 掉落的导线还砸在其底下的 220 kV 东桂线和 220 kV 桂星线上。

## 2 事故原因分析

### 2.1 风速影响分析

500 kV 惠茅乙线事故段原属 500 kV 惠汕 II 回线路中的一部分, 按《110 ~ 500 kV 架空送电线路设计技术规程》(DL/T 5092) 设计<sup>[1]</sup>, 最大设计风速取用重现期为 30 年, 离地面 20 m 高的 10 min 平均最大值。事故段最大设计风速为 35.8 m/s (折算到 20 m 高时为 40 m/s), 覆冰设计值为 0 mm。强台风“天兔”影响期间, 汕尾市录得最大风速 46.6 m/s (15 级)、极大风速 60.7 m/s (17 级), 是有记录以来登陆汕尾市的最强台风, 事故段台风最大风速 40 m/s, 是该段线路最大设计风速的 1.12 倍, 台风风压达到设计风压的 1.25 倍, 风速超出设计标准是造成这次事故的主要原因<sup>[2-8]</sup>。

### 2.2 档距影响分析

惠茅乙线#237 塔立于金锡水库坝边, 前侧有一小山头, 后侧跨越水库, 受地形限制, 该塔前、后侧档距分别为 376 m 和 802 m, 不均匀度较大。当风速较大时, 小号侧由于档距较大, 导线受到的水平风力要远大于大号侧, 从而造成小号侧导线张力大于大号侧导线张力, #237 塔悬垂线夹处的导线由于张力差, 悬垂串往小号侧摆动。由于#237 塔垂直档距较小, 水平档距较大, 垂直荷载与水平荷载的比值较小, 悬垂串横向摆动的角度较大。#237 号在台风强劲的风力下, 悬垂串出现大角度、不定向地剧烈摆动。导线悬垂线夹由于前、后侧所受横向风不一样, 悬垂线夹受扭, 与悬垂线夹相连的 U 型挂板也受扭变形(图 2)。

另外, #237 塔前、后侧导线受到来自北边的侧向风作用, 由于后侧档距较大, 所受侧向力也较前侧大, #237 塔线夹处导线有向小号侧移动的趋势, 导线悬垂线夹发生侧向扭动, 导线在悬垂线夹船体侧面边缘产生应力集中, 使导线发生磨损, 由



图 2 #237 塔 U 型挂板变形

Fig. 2 Shackle Deformation of #237 Tower

图 3 中悬垂线夹船体侧面残留的痕迹可见该处的导线损伤也较为厉害。甚至有部分悬垂线夹船体在端部受压后承受不住, 出现本体断裂, 如图 4。



图 3 #237 塔导线悬垂线夹磨损

Fig. 3 Suspension Clamp Wear of #237 Tower



图 4 #237 塔导线悬垂线夹断裂

Fig. 4 Suspension Clamp Fracture of #237 Tower

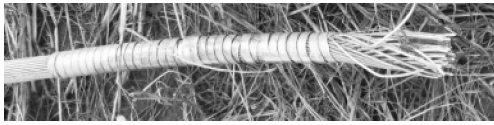
### 2.3 重锤磨损分析

由于受地形限制, #237 塔的水平档距较大, 垂直档距较小, 该塔的 Kv 值(垂直档距/水平档距)较小, 在风的作用下, 悬垂串往塔身摆动的角度较大, 容易出现大风情况下悬垂串往塔身摆动, 当距离较小时导线对塔身放电。为了改善这种情况, 该塔设计采用悬垂串加重锤的方法以减少悬垂串的摆动角度。在非事故情况下, 导线不会与重锤片发生摩擦。

从#237 ~ 238 档内中相和右边相导线断口附近残留的铝包带可以看出(图 5), 上述两个子导线的铝包带均裹得较紧, 在导线上应该没有滑移。



(a) 档内中相(上)导线断口



(b) 档内右边相(下)导线断口

图5 档内中相和右边相导线断口

Fig. 5 Fracture Surfaces of Middle Phase and Right Side Phase

由于导线断口均位于铝包带靠小号侧,可以推断中相和右边相导线均在#237塔靠小号侧断裂。而重锤片的磨损痕迹均在大号侧重锤片的上端,可见是由于小号侧导线断线后,大号侧导线向前滑出,前侧导线弧垂变大很多,使得重锤片上方子导线坠下与重锤片产生摩擦。如果是由于重锤与导线摩擦导致导线断裂,由于四个子导线均断裂,那么重锤片上应该有四处磨损痕迹,而实际上重锤片上只有靠大号侧第一片重锤右上角有磨痕。据上分析,重锤片与导线的摩擦为该相导线断线后产生的次生损害。重锤片的磨损痕迹见图6。



图6 #237塔重锤磨损

Fig. 6 Counter Weight Wear of #237 Tower

## 2.4 断线分析

根据现场情况分析,导线的断口应该在#237塔悬垂线夹出口或附近。由于导线在台风中剧烈地前后来回摆动,悬垂线夹边缘的导线不断受到磨损,使部分铝股折断,导线抗拉强度降低,最终导致断裂。

导线断口部分呈扁形,部分呈锥形(图7)。锥形断口为导线受张力过大的情况下拉断形成的。扁形断口可能是导线在发生滑移动受挤压,首先发生变形,而后在张力作用下拉断,或受往复弯折作用下折断。



图7 导线断口形状

Fig. 7 Fracture Shape of The Wire

## 2.5 横担翻折分析

#237塔左边相导线向小号侧翻折,左边相导线悬垂线夹中残留导线铝丝。如图8及图9所示。

据上分析,应为#237塔左边相导线首先在大号侧发生了断线,造成导线受到小号侧单侧张力,快速向后抽动,当左边相悬垂串向后拉至水平状态时,导线试图进一步从悬垂线夹后侧中滑出,但由于悬垂线夹前侧导线断口处线股发生严重的散脱,在导线滑动过程中卡在悬垂线夹中,造成左侧导线横担受到一个极大的单侧张力,而按规范规定,该横担设计时仅考虑25%的最大使用张力作为断线荷载,因此这种情况已经远远超出横担的承载能力,使之发生形变向后翻折。



图8 #237塔横担扭曲

Fig. 8 Cross-arm Breaking Distortion of #237 Tower



图9 断裂的悬垂线夹

Fig. 9 Suspension Clamp Fracture

## 3 结论

以上一系列的分析表明,在远超设计风速的大

风作用下,由于#237塔前、后侧档导线剧烈摆动,使导线与线夹船体边缘不断发生摩擦,首先导致北侧的左边相在#237塔靠大号侧断线发生故障,断线后由于导线卡在悬垂线夹处无法脱落,张力差将左侧横担往小号侧扭曲。其他相导线也在左边相断线后相继断线。由于台风的没有规律性,#237塔悬垂串的摆动也没有规律,造成不同相导线断线位置不同。

针对以上分析的原因,为了提高该段线路的抗风能力,避免再次发生事故,建议按以下原则进行改造:

1) 为了减少或避免线路发生事故后对高速公路的影响,建议在跨越高速公路的区段改造为独立耐张段。

2) 为了减少由于前、后侧档距不均造成的影响,建议在#237塔小号侧约467m处增立1基耐张塔以减少#237塔小号侧档距。

3) 为了降低大风时导线悬垂线夹与导线之间的磨损,建议将悬垂线夹处保护导线的铝包带更换为预绞丝护线条,同时将上述地线悬垂线夹更换为防磨型或耐磨型线夹。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50545-2010, 110 kV~750 kV 架空输电线路设计规范[S]. 北京:中国计划出版社, 2010.
- [2] 张勇. 输电线路风灾防御的现状与对策[J]. 华东电力, 2006(3): 28-31.
- ZHANG Yong, Status Quo of Wind Hazard Prevention for

Transmission Lines and Counter Measures. [J]. East China Electric Power. 2006(3): 28-31.

- [3] 彭向阳. 配电网台风受损原因及风灾防御措施分析[J]. 南方电网技术, 2010(4): 100-102.
- PENG Xiangyang. Analysis on the Cause of Distribution Line's Damage During Typhoon and Counteract Measures. [J], Southern Power System Technology, 2010(4): 100-102.
- [4] 张锋, 吴秋晗, 李继红. 台风“云娜”对浙江电网造成的危害与防范措施[J]. 中国电力, 2005, 38(5): 39-42.
- ZHANG Feng, WU Qiuhan, LI Jihong. Hazards of Typhoon Rananim to Zhejiang Power Grid and Its Preventive Measures [J]. Electric Power, 2005, 38(5): 39-42.
- [5] XU Y L, ZHAN S. Field measurements of Diwang tower during Typhoon York [J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2001(89): 73-93.
- [6] 谢强, 李杰. 电力系统自然灾害的现状与对策[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(4): 126-131.
- XIE Qiang, LI Jie. Current Situation of Natural Disaster in Electric Power System and Countermeasure [J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(4): 126-131.
- [7] 杨太华. 基于模糊故障树的电网倒塔事故安全风险分析[J]. 上海电力学报, 2009, 25(6): 589-592.
- YANG Taihua. Safety Risk Analysis of Tower Collapses in Electric Transmission Line Based on Fuzzy Fault Tree Method [J]. Journal of Shanghai University of Electric Power, 2009, 25(6): 589-592.
- [8] 瞿伟廉, 梁政平, 等. 下击暴流的特征及其对输电线路塔风致倒塌的影响 [J]. 地震工程与工程振动, 2010, 30(6): 120-125.
- ZHAI Weilian, LIANG Zhengping, et al. Downburst's Characteristics and Its Effect on Wind-induced Collapse of Transmission Tower [J]. Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2010, 30(6): 120-125.

(责任编辑 林希平)

(上接第130页 Continued from Page 130)

#### 参考文献:

- [1] 谭越, 杨光, 王建文, 等. 老平台新增井槽技术的应用与发展 [J]. 海洋石油, 2012, 32(2): 106-110.
- TAN Yue, YANG Guang, WANG Jianwen, et al. Application and Development of the Old Platform New Well Tank [J]. Offshore Oil, 2012, 32(2): 106-110.
- [2] 田红星, 邢厚宽, 朱绍华. 独腿平台安装工艺 [J]. 中国海洋平台, 2009, 24(4): 53-56.
- TIAN Hongxing, XING Houkuan, ZHU Shaohua. One-legged Platform Installation Technology [J]. China Offshore Platform, 2009, 24(4): 53-56.
- [3] 聂宝栋, 刘巍, 夏美玉. 海上平台外挂井槽技术在绥中36-1油田的研究及应用 [C]. 第十五届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集(下), 2011: 1638-1643.

- [4] 李大全, 罗振钦, 胡辉, 等. 加挂井槽技术的研究与应用 [J]. 中国工程科学, 2011, 13(5): 88-92.
- LI Daquan, LUO Zhenqing, HU Hui, et al. Hanging a Study on Well Completion Technique and Application [J]. Chinese Academy of Engineering Sciences, 2011, 13(5): 88-92.
- [5] 张晓频, 张建勇, 穆项, 等. 渤海油田外挂井槽结构设计与施工特点分析 [J]. 船海工程, 2013, 42(5): 182-184.
- ZHANG Xiaopin, ZHANG Jianyong, MU Qing, et al. Plug Wells in Bohai Oilfield Slot Structure Design and Construction Features [J]. Boat Works, 2013, 42(5): 182-184.
- [6] 罗晓明, 张付喜. 论FPSO建造中船体结构的质量控制 [C]. 2012年度海洋工程学术会议论文集, 2011: 171-175.
- [7] 石磊, 高国鑫, 张博, 等. 外延平台海上安装技术分析 [C]. 第十五届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集(上), 2011: 238-241.

(责任编辑 林希平)