

Research on the Influence of Rod Damage on Running Tower Structure

Yuan Wang Zhizhong Liu Guangsheng Li

Hubei Electric Power Planning and Design Institute Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430072, China

Abstract

The transmission tower is exposed to the atmospheric environment for a long time, and its rods are prone to corrosion or fatigue damage. The damage conditions include local and overall. The decrease of the structural bearing capacity of local and overall damaged rods under different sections and pit diameter is studied, and the results are as follows: first, the weakening proportion of the ultimate bearing capacity of local damaged rods usually increases with the increase of length and length ratio, but when the center of the pit is close to the back of the corner steel limb and the pit is shallow, it is basically stable. Second, the weakening ratio of the ultimate bearing capacity of the overall damage rod decreases slightly when the original length-to-length ratio of the rod increases, and is generally stable. Third, the bearing capacity of the overall damage rod is far more than the local damage components. Fourth, in practical application, for only small pit local damage components can continue to be used, without replacement or reinforcement; and for the overall damage components, need to be replaced or strengthened.

Keywords

rod damage; running tower; bearing capacity; injury warning

杆件损伤对运行铁塔结构受力性能影响研究

王远 刘治中 李广生

湖北省电力规划设计院有限公司, 中国·湖北 武汉 430072

摘要

输电铁塔长期暴露于大气环境,其杆件易出现腐蚀或疲劳损伤,损伤状况包括局部和整体两种。对不同截面、坑洞直径下局部与整体损伤杆件的结构承载力下降情况展开研究,结果如下:一是局部损伤杆件极限承载力削弱比例通常随长细比增大而增大,不过当坑洞中心距角钢肢背近且坑洞浅时,基本稳定。二是整体损伤杆件极限承载力削弱比例在杆件原始长细比增大时略有下降,大体呈稳定状。三是整体损伤杆件承载力下降幅度远超过局部损伤构件。四是实际应用中,对于仅有小坑洞局部损伤的构件可继续使用,无需更换或加固;而对于整体损伤构件,则需进行更换或加固处理。

关键词

杆件损伤;运行铁塔;承载力;损伤预警

1 引言

在现代电力工程领域,铁塔作为输电线路的关键支撑结构,其承载性能对于电力系统的安全稳定运行至关重要。电铁塔长期暴露于自然环境,受大气、雨雪、覆冰等因素影响,其结构可能出现构件腐蚀破损或疲劳损伤,损伤状况主要分为局部和整体两种。局部损伤是铁塔局部镀锌层有漏镀、麻点、伤痕等缺陷,使薄弱部位抗腐蚀能力差;整体损伤是构件大部分镀锌层完全腐蚀、基体钢材锈蚀严重。

输电铁塔杆件损伤会削弱构件截面,大幅降低力学性能,损伤螺栓还会使连接节点松动和滑移,导致构件计算长度与荷载偏心距增大。运行铁塔极限承载能力低于新铁塔,

且运行时间越长,能力下降越多。因杆件腐蚀成因和部位影响因素多,锈蚀情况评判复杂。研究输电铁塔杆件承载力下降程度,对评定其运行状况、计算剩余运行年限和结构补强意义重大。

2 铁塔杆件损伤研究原理

当输电铁塔构件受环境影响发生锈蚀,会出现杆件损伤、截面削弱等情况,导致输电铁塔力学性能大幅度降低,主要表现在削弱受荷截面、降低截面刚度、改变截面回转半径、影响杆件整体稳定承载力等。

输电铁塔杆件大多是角钢构件,在计算其极限承载力时,运用轴心受压构件的整体稳定计算公式。

$$\frac{N}{\varphi A} \leq f \quad (1)$$

【作者简介】王远(1986-),男,硕士,从事输电铁塔结构稳定及导线风偏等研究。

$$\varphi = \frac{\sigma_{cr}}{f_y} = \frac{1}{2} \left\{ \left[1 + (1 + \varepsilon_0) \frac{\sigma_E}{f_y} \right] - \sqrt{\left[1 + (1 + \varepsilon_0) \frac{\sigma_E}{f_y} \right]^2 - 4 \frac{\sigma_E}{f_y}} \right\} \quad (2)$$

式中， φ 为轴心受压构件的整体稳定系数，整体稳定系数数值可以拟合成柏利公式的形式来表达：此时， φ 值按最大强度理论确定出杆的极限承载力后再反算出 ε_0 值，式中 ε_0 值实质为考虑初弯曲、残余应力等综合影响的等效初弯率。本项目所研究的构件为角钢，根据轴心受压构件的截面分类为b类截面， ε_0 按下式计算：

$$\varepsilon_0 = 0.300\lambda - 0.035 \quad (3)$$

极限承载力按下式计算：

$$F_U = \varphi Af \quad (4)$$

铁塔构件锈蚀削弱了截面极限承载力，可依据截面削弱情况计算几何特性，得出削弱后的极限承载力，则：

$$F_{U1} = \varphi_1 Af \quad (5)$$

根据已经计算所得原截面极限承载力及构件削弱后极限承载力，可以得到构件极限承载力下降程度：

$$\eta = F_u / F_{U1} - 1 \quad (6)$$

3 杆件损伤受力性能研究

3.1 局部损伤受力性能研究

对于局部损伤，损坏直径、深度、位置和杆件长细比都会直接影响其承载力与稳定性。因输电铁塔构件多为细长

构件，截面受杆件稳定性控制，所以论文以构件稳定性为控制指标展开研究。

角钢局部和整体损伤见图1和图2。

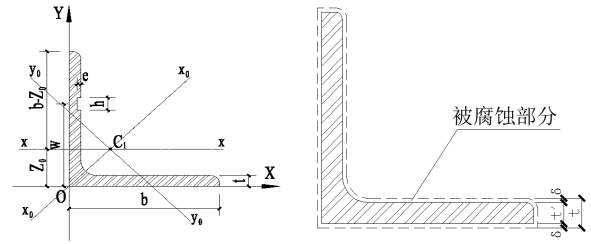
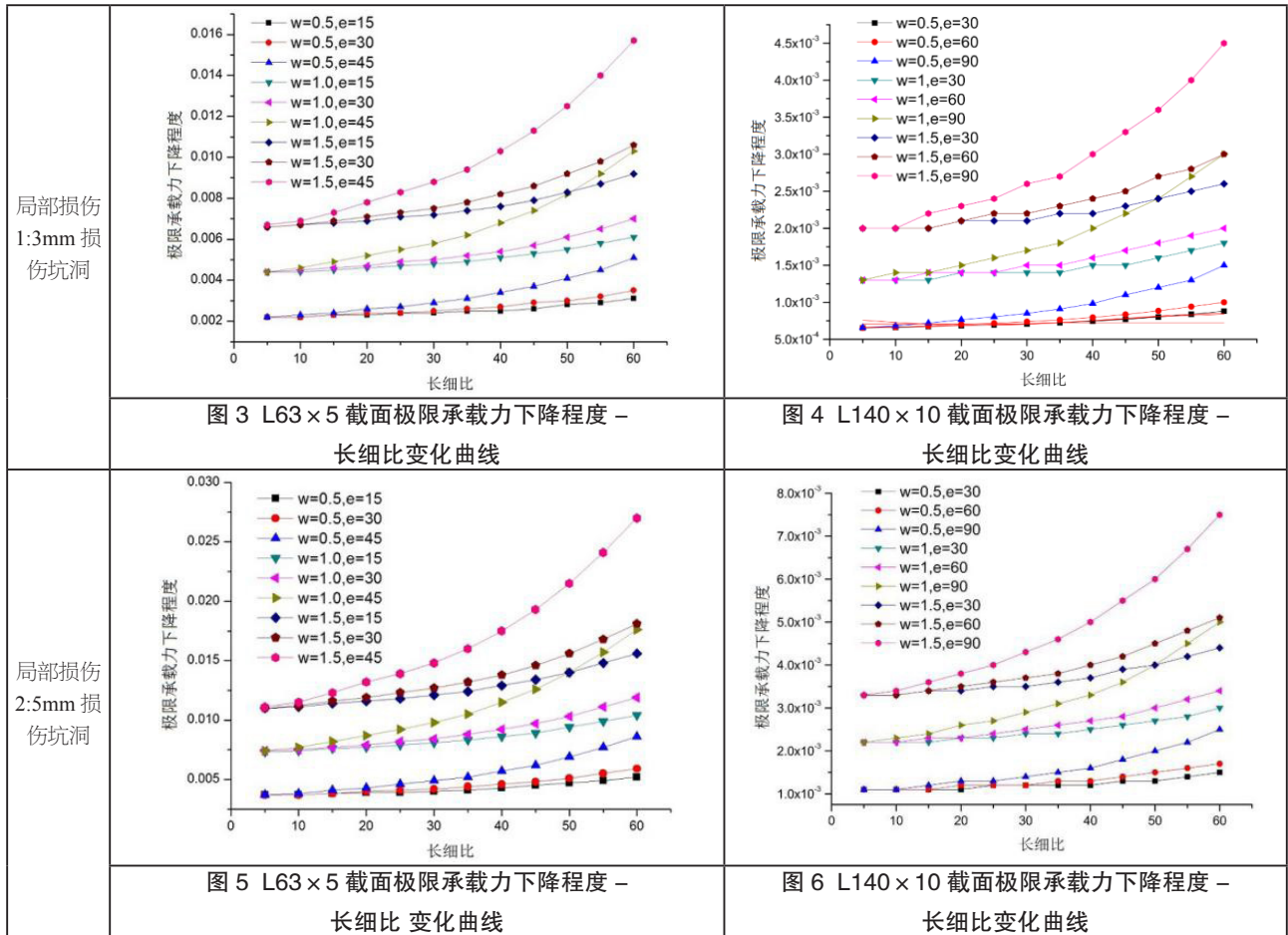


图1 角钢局部损伤示意图 图2 角钢整体损伤示意图

论文以某一省网220kV工程角钢塔为例，采用常用的两种角钢规格：L63×5和L140×10截面进行分析。局部损伤考虑单个坑洞对整体稳定极限承载力的削弱作用，结合工程实际情况，现定坑洞直径高度为3mm、5mm、8mm，坑洞深度w为0.5mm、1.0mm、1.5mm，坑洞中心位于角钢单肢1/4、2/4、3/4的位置，长细比控制在5~60的范围，各参数指标见图1。

通过采用公式(2)到(5)分别计算L63×5和L140×10角钢截面极限承载力，以及不同损伤工况下削弱后的极限承载力，采用公式(6)计算出构件极限承载力下降程度，结果如下图3~图6所示。



结合三种直径的坑洞，坑洞直径改变时，其对杆件极限承载力削弱比例在随坑洞深度、坑洞中心距角钢背距离和杆件长细比的变化趋势方面影响较小，但具体削弱值差异明显，坑洞直径越大，杆件极限承载力削弱比例越大。从前面分析可知，坑洞直径增大时，杆件极限承载力削弱比例受坑洞中心距角钢背距离的影响也增大，即坑洞直径大且距钢背远时，杆件极限承载力会受到更严重的削弱。

对于存在局部损伤的角钢构件，其剩余承载力的特点主要表现为：角钢杆件的极限承载力削弱比例受多种因素影响：一般随长细比增大而增大，但坑洞中心距角钢背近且深度浅时，该比例随长细比变化不明显，而中心距增大或深度加深会加快其增大速度；坑洞直径改变对承载力削弱比例的变化趋势影响较小；截面尺寸大时，坑洞对其承载力削弱程度低；坑洞直径变大，承载力削弱比例受坑洞中心距角钢背距离的影响增大，在分析角钢构件剩余承载力时需重点关注，为输电铁塔安全评估等提供依据。

3.2 整体损伤受力性能研究

在杆件损伤中，杆件平均损伤厚度 δ 和构件长细比是影响其承载力与稳定性的主要因素（截面腐蚀示意图见图2）。当杆件整体锈蚀时，原始截面被削弱，导致截面惯性矩和回

转半径减小，进而使杆件长细比增大，极限承载力降低。

我们选取 L63X5 和 L140×10 这两种角钢截面形式开展研究。分别计算在不同原始长细比的条件下，杆件原始截面的极限承载力，以及在整体腐蚀厚度 δ 为 0.25mm、0.5mm、0.75mm 时截面的极限承载力情况，以此来分析杆件损伤对其性能的影响，为后续相关研究和实践中的评估、决策等提供数据支持。

由图7和图8可知，L63X5 和 L140×10 截面的角钢杆件在整体锈蚀时，其杆件极限承载力会被大幅削弱。杆件极限承载力削弱比例在杆件原始长细比增大时仅略有下降，大体保持稳定，也就是说，原始长细比对杆件极限承载力下降程度的影响不大。相较于 L63X5 截面的角钢杆件，L140×10 截面的角钢杆件因锈蚀导致的截面削弱程度更小，所以其杆件极限承载力下降程度也相对较低。

对于出现整体损伤的角钢杆件，可得出以下结论：一是杆件整体损伤时，其极限承载力会大幅下降；二是杆件极限承载力削弱比例随原始长细比增大只是略有降低且基本稳定，即原始长细比对极限承载力下降程度影响较小；三是因整体损伤对大尺寸截面的削弱程度小，所以杆件极限承载力下降程度也较小。

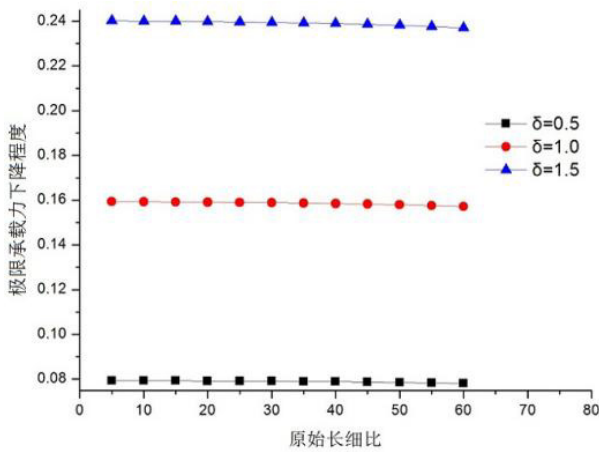


图7 L63×5 截面极限承载力下降程度 - 长细比变化曲线

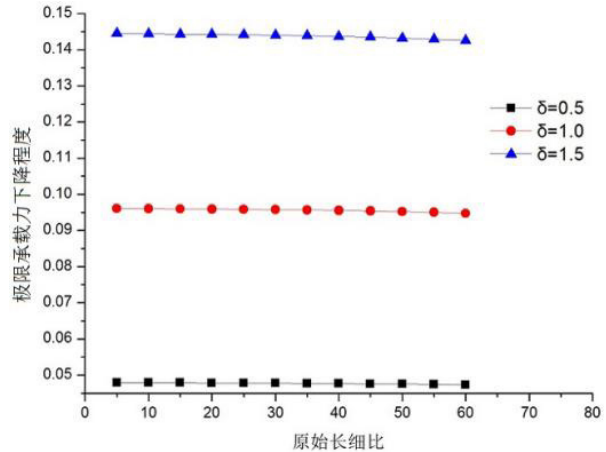


图8 L140×10 截面极限承载力下降程度 - 长细比变化曲线

4 结论

通过上述分析能够了解到，不管杆件是局部损伤还是整体损伤，由于截面受损、刚度降低等因素，其受压稳定承载力都会在一定程度上被削弱。不过，下降程度会因损伤类型、坑洞大小、坑洞位置的不同而有显著差别。

角钢杆件损伤对受压承载力影响显著。整体损伤的角钢杆件，受压稳定承载力下降幅度远超局部损伤构件。局部损伤的角钢构件，受压承载力下降最高至 4.55%（坑洞直径 8 毫米、深度 1.5 毫米时），实际中此大坑洞罕见，承载力下降不到 5%，有小坑洞的杆件可继续使用。而整体损伤的角钢构件，锈蚀厚度 0.75 毫米时，承载力下降极值达

24.01%，即便实际中杆件锈蚀厚度多不超 0.25 毫米，其承载力下降也在 4.72% - 7.93%，因此整体损伤构件需更换或加固。此外，整体损伤角钢构件受压承载力下降程度与截面面积削弱程度趋势相近，这对评估输电铁塔角钢构件损伤及指导维修决策意义重大。

参考文献

- [1] 刘春城,徐健,黄金花,等.基于神经网络的大型输电铁塔损伤识别研究[J].华东电力,2009,37(2):256-260.
- [2] 罗银权.输电铁塔主材螺栓松动损伤识别方法研究[D].上海:华北电力大学,2022.
- [3] 徐成.输电铁塔螺栓连接节点及杆件多次反复拉压力学行为研究[D].北京:中国矿业大学,2023.