

南通地区输电线路风灾倒塔分析与防范对策

陈国建

(南通供电公司,江苏南通 226006)

摘要:回顾南通地区输电线路风灾倒塔事故,从自然气象、技术装备等不同角度诊断分析风灾倒塔原因,针对现行技术研究和设计标准,深入剖析产生风灾倒塔的几种可能性,最后从优化铁塔结构、差异化设计、综合管理等方面提出风灾倒塔的有限防范对策和具体措施,可供应用参考。

关键词:输电线路;风灾倒塔;防范对策

中图分类号: TM755

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2012)02-0018-04

随着地方社会经济的不断发展,南通电网建设投资逐年加大,技术装备水平也在不断提升,承担着电能输送的输电线路所占的地位尤为重要,它直接影响着电网的安全运行和用户的可靠供电。输电线路遍布繁华城市和农村田野,具有分散性、不确定性,它时刻面临地域自然环境、多变自然现象、人为外力破坏的侵袭。近年来,突发性风灾倒塔事故接连发生,给公司和用户造成了经济损失,也给政府和企业带来一定的社会影响。

1 南通地区输电线路风灾倒塔事故

1.1 风灾倒塔事故回顾

据统计,自2011年7月以来,南通地区发生过两起输电线路风灾倒塔事故,事发当天,气象部门证实事故地区曾发生因强对流天气引发飓风或龙卷风,飓风或龙卷风致使倒塔。

(1) 2011年7月27日18:00时,110 kV 园江线41号(ZS3A-27)、42号(ZS3A-24)塔倒塔,事故现场23基低压电杆连根拔起,1台50 kV·A的变压器被刮倒,周边数十间农房被刮倒,风灾倒塔致使江海桥变备用电源失电,数十条10 kV线路断电,如图1所示。



图1 110 kV 园江线风灾倒塔现场

(2) 2011年8月17日05:25时,110 kV 江山线,9号、10号(EZST1-36)塔倒塔,事故附近工厂区内的职工宿舍刮倒,钢结构的活动板房被掀翻,风

灾倒塔致江山股份公司110 kV变电所失电,如图2所示。



图2 110 kV 江山线风灾倒塔现场

1.2 风灾倒塔事故现场诊断分析

根据现场的风灾倒塔事故特征,查阅相关的数据资料,两起倒塔事故特征如表1所示。

表1 风灾倒塔事故分析信息

发生时间	地点	倒塔塔型	工程使用和事故现场描述	铁塔设计标准条件
2011-07-27	如皋市 丁堰镇	ZS3A-27 (35) ZS4A-24 (32)	地势平坦、周边空旷、单回LGJ-240、线路南北走向、水平档距296 m,横担以下8 m处发生折断。	单回 LGJ-240、 风速 30 m/s、 水平(垂直)档距 400(500) m。
2011-08-17	南通 开发区	EZST1-36 (47)	距离江边较近、周边无遮掩、双回LGJ-300、线路南北走向、水平档距410 m,地面12 m以上折断。	双回 LGJ-240、 风速 27 m/s、 水平(垂直)档距 450(600) m。

由表1分析可知,此次风灾倒塔的为直线塔,工程设计使用条件控制在允许范围之内。双回路EZST1-36铁塔系南通电力设计院有限公司1996年开发设计塔型,工程累计使用已达四十余基;单回路ZS3A-27,ZS4A-24铁塔系国标77系列塔型,工程累计使用已达数百余基,以上两塔型自投产以来运行良好。

从EZST1-36倒塔特征来看,横向线路、拦腰截

断部位极其相似,为地面以上约 12 m 处。分析存在 2 种可能:一是龙卷风的风力对铁塔的破坏力存在共同之处,巨大的拉扭力沿塔身向下传递,在某主材节点或横隔断面应力集中处出现应力超标时,发生初次破坏,由初次破坏附加应力产生恶性循环,致使铁塔失稳,直至倒塔;二是龙卷风强大的正面风力对铁塔、导线产生巨大冲击力,而当塔身某主材节点或横隔断面超越其稳定极限值时,致使铁塔失稳,直至倒塔。

ZS3A-27, ZS4A-27 风灾倒塔特征为下横担以下 8 m 处发生折断,亦与上述有相似之处。

2 风灾倒塔事故原因的技术分析

2.1 自然突发性气候及恶劣气象引起的倒塔

南通地区地处平原,临江靠海,属亚热带季风气候,据相关资料介绍,飓风或龙卷风在江苏并不少见,平均每年江苏地区会有二十多次的风灾事件^[1],南通地区为飓风或龙卷风灾害的高风险区和高易损区^[1]。通过到南通气象局了解获悉,南通地区每年夏季 7~9 月,由于强烈的冷暖激烈的对流,在空旷平坦地区(如农田、湖泊、江海)极易形成飓风或龙卷风,且强风的形成演变很复杂。

飓风与普通的近地风不同,前者呈现出中间大、两头小的葫芦状分布^[2],如图 3 所示。飓风风速沿高度分布;龙卷风是一种向中心方向运动的气流,在其所造成的破坏现象中可以看到非常明显的中心旋转的迹象^[3],如图 4 所示。龙卷风产生的涡流旋转力也是巨大的,所经地段破坏极大,依目前研究水平和技术手段无法做详尽的解释和预警播报,只能凭借事后现场破坏等级和痕迹诊断判断。飓风和龙卷风在铁塔 40~60 m 处风速最大、破坏力最强,据资料介绍,一般飓风或龙卷风的最大瞬时风速超过 50 m/s,风速极易超过线路设计标准,输电铁塔一旦正面遭受飓风和龙卷风侵袭,风灾倒塔事故在所难免。

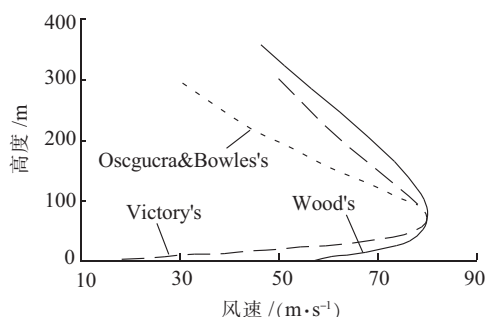


图 3 飓风风速沿高度的分布

2.2 技术研究和设计标准带来风灾倒塔的可能性

(1) 目前,我国现行输电铁塔抗风设计技术规程中,导线与输电塔结构通常是分开进行设计验算



图 4 漏斗状强风涡流龙卷风现象

的,导线的荷载当作外力加在输电塔上,并没有充分考虑到塔线之间的耦合作用。据资料查阅,“输电塔—线”体系是一种复杂的空间耦联体系,这种耦合效应使得输电铁塔的动力特性和风振响应十分复杂,日本对“输电塔—线”体系的动力特性和风振响应进行了研究,其研究成果已反映到日本输电铁塔抗风设计技术规程中^[4]。我国没有类似仿真模拟试验和设计模型的研究,研究滞后和数据缺乏则给实际应用带来了很大局限性和不完整性,造成了抗风灾技术理论与设计应用存在不对称性的被动局面,所以国内有关技术研究的局限性也是风灾倒塔原因之一。

(2) 2008 年初,南方冰灾倒塔,国网公司组织专家针对性地开展了专题研究,在最新的设计规程中,补充设计气象工况组合,提高了设计标准数值,这在最新的铁塔标准化设计中得到验证,反映到工程应用设计中,特别在“三跨”标准应用上效果尤为明显。

基于气象设计风速的重现期和风速基准高度,对输电铁塔抗风设计影响极大。我国设计规程一直受东欧等国技术标准的影响,考虑目前我国经济技术政策要求,在重现期和风速基准高度的设定上相对邻国(如日本)偏低,基于概率统计计算出的基本平均风速也偏小,相应铁塔抗风设计能力较弱。国内外输电线路设计风速基准值的设定比较如表 2 所示。可以看出,我国最新 2010 年版规程的设计抗风基本平均风速均较日本低:110~330 kV 低 70%、500~750 kV 低 48%。所以输电铁塔抗风设防基准偏低也是风灾倒塔原因之一。

表 2 中国与日本设计风速选定条件对照表

类别	电压/kV	重现期/a	基准高度/m	测定时间/min	基本平均风速/(m·s ⁻¹)
中国	110~330	30	15	10	≥23.5
	500~750	50	20	10	≥27
日本	110~750	50	15	10	≥40

3 风灾倒塔有限防范对策的研究

3.1 采用先进设计技术

(1) 自 2007 年起, 国网、省网典设铁塔的内力分析采用以概率理论为基础的极限状态设计方法(分析软件 TTA), 替代系统原普遍采用的满应力计算程序, 对杆件优化更全面、更合理。通过优化主材节间长度、坡度、平行轴、最小轴等多种布置方案, 使铁塔受力、传力、抗力最佳, 从而减小材料规格, 降低风荷载, 控制耗钢量。

① 改变塔身主材布置方式和斜材排列, 减少塔材受力挡风面, 最大限度降低塔身风载, 提高抵御能力, 如图 5 所示。

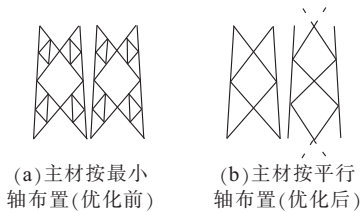


图 5 优化结构(一)

② 根据不同塔形、隔面大小, 确定不同形式的断面, 优化铁塔的传力路线, 提高塔身抗扭力, 如图 6 所示。

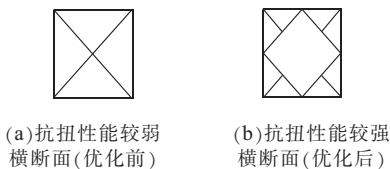


图 6 优化结构(二)

③ 调整隔面设置的位置, 减小隔面构件的规格, 同时避免了塔身斜材同时受压的发生; 在截面回转半径相同的条件下, 尽量选择使用薄壁角钢, 以减小构件重量。

④ 节点连接优化。避免相互连接杆件夹角过小, 减小负端距; 节点连接要紧凑、刚度强; 尽量减小杆件偏心连接和节点板受弯, 避免应力集中; 避开对孔布置, 减小杆件断面损失; 加长杆件构造长度, 减少包角铁连接数量。

(2) 采用高强钢材, 其强度和承载能力都有较大提高, Q420 与 Q345 相比较强度提高 23%, 承载力提高 18%。高强钢的使用, 可有效避免组合截面的出现, 简化了结构构造, 减少了构件元素数量, 可有效提高铁塔结构的先进性和安全可靠度。

由于铁塔上构件多数为受压失稳控制, 而同样长细比 λ 下高强钢材受压稳定系数要比普通钢材低, 同时, 兼顾考虑到铁塔构件间的刚度匹配, 所以只有在一定的条件下使用高强钢材才有技术优势。以 Q420 角钢为例, 经计算对比见表 3, 重荷载塔身主材以及多数长细比 λ 小于 80 材料均可推广使用高强钢材, 因高强钢材而减小塔材规格型号和铁塔

自重, 对抗风灾极为有利。

表 3 不同钢质和长细比下承载力差异表

构件长细比 λ	$\lambda < 40$	$40 \leq \lambda < 80$	$80 \leq \lambda$
控制条件	强度控制	稳定控制	稳定控制
Q345 钢质	承载力基准设为 100%		
Q420 钢质	承载力增到 120%	承载力增到 110%~117%	承载力增到 100%~110%
结论意见	效果明显、宜采用 Q420	效果一般、可采用 Q420	效果不明显、不宜采用 Q420

(3) 钢管塔与角钢塔相比, 钢管塔构件风压小、刚度大、结构简洁、传力清晰, 能够充分发挥材料的承载性能, 适合在荷载较大的铁塔中采用^[5]。其优点为: ① 可以减小塔身风压(构件体形系数, 圆管比角钢几乎小一倍); ② 在截面面积相等的情况下, 圆管的回转半径比角钢大 20% 左右; ③ 提高结构承载能力, 一般来讲, 钢管塔比角钢塔用量降低 10%~20%; ④ 可减少杆件数量, 缩短建塔周期, 易于结构多样化。因此, 针对设计荷载较大的工程, 合理推广使用钢管塔, 也不失为提高铁塔抗风灾能力的技术手段。

3.2 应用差异化设计

(1) 优化线路路径走向, 避免在极易产生强怪风、疾风的高大建筑物间和狭窄的通道处架线; 针对特殊区域、特殊地段和重要线路, 合理规划铁塔呼高和档距, 控制塔形的使用条件, 适当预留设计裕度, 提高塔形的抗风设计标准; 城市输电线路可推广采用钢管杆, 提高自然抗风能力。

(2) 根据地形、地物等条件合理地确定独立耐张段方案, 可采用“耐一直一直一耐”、“耐一直一耐”、“耐一直一直一直一耐”或“耐一耐”方案, 且直线塔不应超过 3 基, 有效释放相邻耐张段风灾倒塔事故的不平衡力, 减小风灾倒塔的影响范围; 对于运行抢修特别困难的局部区段线路, 采取适当的加强措施。

(3) 输电线路设计重现期由 30 年一遇提高到 50 年一遇, 风速值提高约 5%, 风压值提高了 11% 左右, 线路对杆塔的抗风能力提高了很多, 但不会造成工程量较大的增加^[5], 因此通过差异化设计, 提高线路抗风灾能力, 必要时还可按稀有风速条件进行验算。

3.3 加强综合管理

(1) 铁塔原材料的采购、制造工艺、加工质量等对铁塔抗击风灾的作用不可忽视。增加材质分析测试样本数, 监控塔材材质化学、物理分析测试参数达标; 按照国网招标要求, 将塔材负公差严格控制在国标的 50% 以内, 同时提高塔材加工精度标准, 严控塔材防腐工艺和热镀锌质量。

(2) 加强现场施工技术质量管理,加大对加工监造、出厂验收和现场验货的技术管控;施工中极力避免人为造成的塔材变形,以及因紧固不到位引起的塔形超标;加强铁塔组立整体挠度,以及结点处弯曲度的检查,确保铁塔整体受力均匀,减少因人为产生铁塔附加荷载。

(3) 加强运行维护管理,有效开展常规巡视和季节性特殊巡视工作,及时消除铁塔安全隐患。由于输电线路直线塔承受导线和塔身的风载,在所受风力大小和方向不定所产生震动的情况下,铁塔难免出现共振,经过一段时间运行,出现螺栓松动现象,如不及时复紧,直接影响铁塔的抗风抵御能力,因此,开展周期性螺栓紧固和复检,以及台风来临前的铁塔临时补强显得极其重要。

3.4 构建合作机制

(1) 密切关注有关“输电塔—线”耦联体系前沿技术的研究,跟踪收集国内外先进技术应用成果,加强与电力建设研究机构、区域电力设计单位的学习交流,不断提高输电铁塔抗风灾技术理论和经验方法的积累。

(2) 加强与地方气象部门合作,科学应用有关恶劣气象(如飓风、龙卷风)的研究成果,采用先进可靠的新技术和新装备,不断提高输电线路风灾防御能力;完善极端气候灾害后的快速恢复和重建机制,加大对线路倒塔灾后恢复重建的技术研究,提高与电力用户、政府的协调处置能力,为快速恢复供电提

供支撑。

4 结束语

因自然恶劣气象固有的突发性和不确定性,强怪风和龙卷风出现的频率不断增加,输电线路一旦遭受其正面侵袭,风灾倒塔无法避免。面对新问题、新考验,积极主动加大对输电线路风灾倒塔技术的研究,通过科技攻关,不断探索与创新,结合实际,因地制宜,不断提高设计、建造、运行的技术应用水平,在一定范围内有效抵御风灾倒塔的发生,尽力降低风灾倒塔带来的损失,为构建安全可靠和谐的供用电环境提供保障。

参考文献:

- [1] 许遐祯,潘文卓,缪启龙. 江苏省龙卷风灾害易损性分析[J]. 气象科学,2010,30(2):208-213.
- [2] 谢强,张勇,李杰. 华东电网500 kV任上5237线飚线风致倒塔事故调查分析[J]. 电网技术,2006,30(10):59-63,89.
- [3] 魏文秀,赵亚民. 中国龙卷风的若干特征[J]. 气象,1995(5):36-40.
- [4] 张勇. 输电线路风灾防御的现状与对策[J]. 华东电力,2006,34(3):28-31.
- [5] 孙竹森,程永锋,张强,等. 输电线路钢管塔的推广与应用[J]. 电网技术,2010,34(6):186-192.

作者简介:

陈国建(1965),男,江苏南通人,高级工程师,从事输电线路设计、运行技术的研究工作。

Analysis and Countermeasures of Nantong Area Electric Transmission Line and Tower Falling Caused by Wind Damage

CHEN Guo-jian

(Nantong Power Supply Company, Nantong 226006, China)

Abstract: Review on Nantong area electric transmission line and tower falling incident caused by wind damage, and diagnostic analysis on the cause of tower falling from different points of view of natural calamities and technical equipment, etc., and aiming at the current technology research and design standards, this document further analyzes several possibilities resulting in the tower falling caused by wind damage. Finally it proposes the limited countermeasures and specific measures of the tower falling caused by wind damage, from optimizing the iron tower structure, differentiated designs, comprehensive management and other aspects. It is provided for application reference.

Key words: electric transmission line; tower falling caused by wind damage; countermeasures

广告索引

江苏徐塘发电有限责任公司	封面	南瑞科技股份有限公司	前插 1
《江苏电机工程》协办单位	前插 4、5	江苏南瑞帕威尔电气有限公司	封三
十佳论文表彰	封二	《江苏电机工程》协办单位	前插 2、3
扬州浩晨电力设计有限公司	(黑白)文前 1	南京南瑞集团有限公司	封底