

浅谈交叉斜材设计缺陷与倒塔事故的原因

张金忠

中都工程设计有限公司 650000

摘要：输电线路杆塔作为重要的电力传输构件，是为千家万户提供充足电力能源的重要中间介质，而杆塔的安全稳定性与电力能源的安全传输有着密切关联。近年来，受到恶劣气候条件的影响，输电线路杆塔的倒塔事故频频见于各个媒体端，究其原因与杆塔的风荷载计算方法、设计标准息息相关，其中最为关键的影响因素是塔身交叉斜材的设计缺陷。因此，本文将着眼于交叉斜材设计缺陷与倒塔事故原因分析展开论述。

关键词：输电线路杆塔；交叉斜材；设计缺陷；倒塔原因

Abstract: as an important power transmission component, transmission line tower is an important intermediate medium to provide sufficient power for thousands of households, and the safety and stability of tower is closely related to the safe transmission of power energy. In recent years, due to the influence of severe weather conditions, tower collapse accidents of transmission lines are frequently seen in various media ends. The reason is closely related to the calculation method and design standard of wind load of tower, among which the most critical factor is the design defect of tower cross diagonal. Therefore, this paper will focus on the design defects of cross diagonal and the analysis of the causes of tower collapse accidents.

Key words: transmission line tower; cross inclined material; design defect; reason of tower collapse

引言

交叉斜材承载着输电线路杆塔塔身的重量，是杆塔的重要力学支撑结构，在设计交叉斜材时，一般为一拉一压的设计形式，这一设计理念使交叉斜材能够同时受压，且所受压力值相同。但是，如果塔身处于 90° 大风对称荷载的工况下，塔身左侧面前后两主材同时受到拉应力，而右侧面同时受到主体结构施加的压力，在这种情况下，就超出了交叉斜材的最小承载力范围，导致主材的支撑功能丧失，而发生倒塔事故。因此，本文将通过倒塔事故实例，针对交叉斜材的设计缺陷与倒塔原因予以分析。

一、交叉斜材的国内电力行业设计标准

国家《钢结构设计标准》(GB 50017-2017)中明确规定：当确定交叉点相互连接的桁架交叉腹杆的长细比时，桁架平面内的计算长度应当取节点中心到交叉点间的距离，如果在桁架平面外的计算长度，则按照压杆的相关规定：即相交另一杆受压，两杆截面相同

并在交叉点均不中断，计算式为 $L_0 = L \sqrt{\frac{1}{2\lambda_1 + \lambda_2}}$ 。式中 L 为桁架节点中心间距离，N 杆的内力， N_0 为相交另一杆的内力，当两杆均受压时，取 $N_0 < N$ ，计算时均为绝对值^[1]。

现行国内电力行业规范中规定，钢结构受压材长细比为 200，辅助材为 250，而杆塔辅助材在支撑点所提供的支撑力不得低于主材内力的 2%、斜材内力的 5%。在计算交叉斜材的长度时，一拉一压的两根斜材，拉杆内力应当小于 20% 的压杆内力，当斜材同时受

到主体结构的压力时，长度计算式为 $L_0 = KL_0$ ，其中 K 为修正系数，

由 $K = \sqrt{\frac{0.5Y_1 + \sqrt{Y_1^2 + Y_2^2}}{N}}$ 的计算式求解。而交叉斜材不仅要外部荷载产生的剪力及时排除，而且对主材也起到重要的支撑作用，因此，交叉斜材的最小承载力应当按 2.5% 主材内力计算的荷载值来确定。

二、倒塔事故实例分析交叉斜材的设计缺陷与倒塔原因

下面以广东省某沿海城市输电线路杆塔的倒塔事故为例，对倒塔原因进行全面分析，该铁塔属于 220KV 的双回路悬垂直线塔，在 2016 年发生台风时，突然倒塌，当时，铁塔在 90° 大风工况下，塔腿以上部分完全倾覆。

(一) 交叉斜材的原始设计数据

从此次倒塔事故中可以看出，由于在设计本区段的输电线路时，针对该地区的防台风导则并未公布，因此，仍然按照 2002 年的设计规程进行设计施工，这就埋下安全事故隐患。通过对倒塔事故现场的数据分析，90° 大风工况下塔身的被破坏部分的交叉斜材在向主材提供支撑力时，出现同时受压的现象，使得斜材对主材的支撑作用丧失，导致整个塔身发生倒塌事故。该工程的设计基本风速如果换算成 10m 高的基本风速为 32.8m/s，对现场倒塌部位的数据提取过程，可以补充计算 90° 大风工况下交叉斜材的杆件内力。交叉斜杆内力计算参数如表 1 所示。

表 1: 交叉斜杆内力计算参数

杆件名称	规格	计算长度 L_0 /mm	回转半径 /mm	杆件压力/KN		
				90° 大风	60° 大风	0° 大风
塔身主材	L125 × 10	1317	最小轴: 24.8	518.7	578.2	
正面交叉斜材	L70 × 5	4674	平行轴: 21.6	18.42		约为 0
侧面交叉斜材				约为 0		19.9

从表 1 中可以看出，当塔身主材在大风工况为 0°、60°、90° 时，杆件承受的压力值也有所不同，当塔身正面交叉斜材的拉压内

力为 18.42 kN 时，侧面两根前后对称交叉斜材的内力值约等于 0，小于 0° 大风工况的 19.9 kN，当正侧面交叉斜材的统一规格为

Q235L70×5时,可以计算出控制工况应力为164.9KN,由此可以得出该双回路悬垂直铁塔的设计结果。

(二)塔身破坏部位的主、斜材受力分析

双回路悬垂直铁塔的结构完全对称,当工况为90°大风时,前后所受荷载一致,结合交叉斜材一拉一压的设计理念,可以判断出该铁塔破坏部位的左侧前后主材受到拉应力,而右侧的两根主材受到主体结构施加的压力。选取的交叉斜材规格为Q235L70×5与参照标准相符,在90°大风工况下,塔身左右侧面的交叉斜材内力近似等于0。而此时,如果将2.5%的主材内力作用在斜材平面内,并垂直于主材轴线节点上,支撑点提供的2.5%主材内力的支撑力也是相等的,即交叉斜材同时受压,且压力值相等。

如果按照国内电力行业设计标准要求,输电线路杆塔辅材在其支撑点所提供的支撑力不得低于所支撑主材内力的2%,那么结合该铁塔,当塔身与交叉斜材之间的夹角为67°时,可以计算出交叉斜材的内力值为11.27KN,再根据修正系数K=1.0,计算出长细比为369,因为长细比大于250,可以通过这一数值计算出压屈稳定系数为0.059,而交叉斜材侧面压屈应力为258,这一数值大于设计标准215,并且超限20%。

(三)线路杆塔破坏段侧面交叉斜材受弯与压弯稳定性

发生倾倒的铁塔交叉斜材的角钢规格为L70×5,破坏段的高段为15m,风速取35m/s,塔架背风面荷载降低系数为0.968,则该交叉斜材的均布线荷载值为0.0944KN/m,跨中弯矩为752000N·mm,根据交叉斜材长细比 $\lambda=369>250$, $\phi=0.0635$,可以计算出内应力386.8,该值远远大于设计标准中215的数值,而

且超限达到80%,由此可以确定,在15m高度处35m/s风速设计荷载下,塔身侧面的交叉斜材,如果选用规格为L70×5,已经对塔身的主体结构失去支撑作用,进而确定了造成倒塔事故的原因^[2]。

三、交叉斜材角钢材料的最佳规格

如果将交叉斜材的角钢规格由L70×5提升至L90×7,在体型系数1.3 η 、分项系数1.4的相同条件下,均布线荷载为0.1214KN/m,跨中弯矩为967000N·mm,则内应力数值为156.76,远远小于215,有效利用率达到73%,因此,选用L90×7规格的角钢材料,交叉斜材的强度大幅提升,同时,也能够满足塔身对斜材支撑力的标准要求。

结束语:

通过对输电线路杆塔倒塔事故实例的分析、计算,可以得出以下结论:塔身交叉斜材全长平行轴的长细比应当小于350,否则必须考虑风的均布线荷载产生的杆件弯矩,并按压弯稳定予以验算。如果交叉斜材同时受压,全长平行轴最大允许长细比则应小于300。在设计交叉斜材时,如果遵循这一设计标准,交叉斜材对塔身的支撑力也能达到最大值,这样,就降低了输电线路杆塔的倒塔几率,进而为电力能源的安全高效传输保驾护航。

参考文献:

[1]肖立群,蔡钧,左元龙.交叉斜材设计缺陷导致倒塔事故的原因探究[J].电力勘测设计,2019(11):28-33.

[2]拜建仁.西北220kV线路典型倒塔事故分析及强化输电铁塔抗风灾技术措施探讨[J].中国科技纵横,2019(3):169-170.