

可控转动复合横担在输电铁塔中的应用研究

鄢秀庆 黄兴 杨洋 廖邢军 冯勇

(西南电力设计院有限公司 四川成都 610021)

摘要:复合横担通常布置成完全约束型或自由转动型,前者造价较高,后者则由于横担转动无规律造成运维困难。为消除传统方案的弊端,提出了“V”串可控转动方案,既能完全约束正常运行时的转动,部分约束不均匀覆冰工况下的转动,又能完全释放断线时的张力差,集中了完全约束型和自由转动型的优点,且造价与传统方案相当。通过对传统方案的改进,确定了新型“V”串可控转动方案的结构布置、工作方式和荷载取值原则,为该方案的实施提供简便可行的操作建议。

关键词:复合材料横担;可控转动“V”串方案

中图分类号:TM753 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2019)06-0061-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.06.013

Study on Application of Controllable Rotating Composite Cross Arm in Transmission Tower

Yan Xiuqing, Huang Xing, Yang Yang, Liao Xingjun, Feng Yong

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

Abstract: Composite cross arm is usually arranged into a fully constrained or free rotating type, the former is very expensive, while the latter results in the difficulties of operation and maintenance due to irregular rotation of the cross arm. In order to eliminate the shortcomings of the traditional design, the controllable rotating "V" series scheme is put forward, that is, while all of the cross arms can be constrained in normal operation, some of the cross arms can be constrained in non-uniform ice conditions, and all of them can freely rotate in wire breakage situation. With similar cost, the "V" series scheme includes all the advantages of fully constrained scheme and freely rotating scheme. Through the improvement of the traditional schemes, the structure arrangement, the working mode and the load value principle of the new type "V" series controllable rotating scheme are determined, which can provide a simple and feasible operation suggestion for the proposed scheme.

Key words: composite cross arm; controllable rotating "V" series scheme

0 引言

一般复合材料横担与塔身通常设计成自由转动型或完全约束型。自由转动型通过横担转动释放张力,经济性较好,但其一旦受到不平衡张力就开始随机转动,增加了施工及运维难度。完全约束型刚度较好,但在导线发生纵向不平衡张力时(如事故断线、不均匀覆冰等),由于不平衡张力无法释放,导致横担及塔身受力较大,使复合材料及钢材用量增加^[1-4]。

下面通过对横担及塔身连接的优化,提出了可控转动“V”串方案,即通过赋予横担转动启动阈值

来控制横担的转动。当张力差小于阈值时,横担不转动;当张力差大于阈值时,启动转动。既可避免横担的随机转动,又可以有效降低杆塔荷载。可控转动方案集中了完全约束型和自由转动型的优点,为使该方案能够简便可行地在工程中实现,对其结构布置、工作原理、荷载取值进行了分析,提出了可供参考的设计方法。

1 传统方案

1.1 自由转动方案

自由转动方案中横担采用平面结构,受压支柱与塔身铰接,当横担受到不平衡力(包括0°大风、不

均匀冰、断线)时开始转动,当相邻档通过档距变化达到张力平衡后,则横担停止转动。自由转动原理及支座如图1所示。

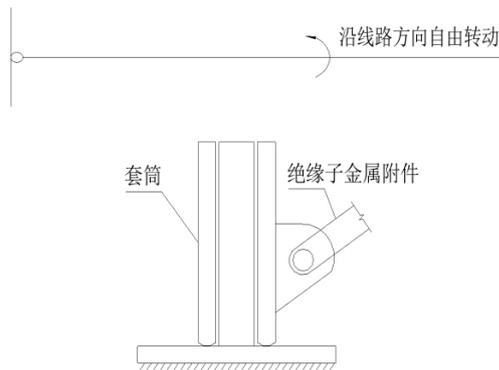


图1 自由转动方案

采用自由转动方案时,通过复合横担的转动,可释放纵向张力,降低复合材料及钢材用量,因此能有效降低投资,但其在使用时仍存在以下弊端:

1) 根据灵州—绍兴±800 kV特高压直流线路工程经验,由于自由转动横担无最小转动阈值,一旦存在不平衡张力,横担即启动转动,由于这种转动毫无规律,给运维带来一定的困扰。

2) 横担转动后,依靠档距变化来平衡张力。对于档距减少的档,弧垂将增加;档距增大的档,弧垂将减小。根据电气计算结果,对于连续七档模型,在各工况下由于档距变化会造成弧垂增加约1.0~2.0 m,因此采用转动横担时,对地距离应留有适当裕度。

3) 采用复合横担架设导线时,需要设置临时拉线,不然横担容易转动,不易确定弧垂高度。临时拉线需在塔身设置挂点,施工后必须及时拆除,临时拉线的夹角也要精确计算,不然将影响横担受力或产生变形,在一定程度上增加了施工难度。

1.2 完全约束方案

完全约束方案中由于不能通过悬垂串转动和横担转动来释放纵向张力,横担要承受较大的纵向张力。而采用平面结构时,受压绝缘支柱同时受双向压弯作用,会导致选择支柱截面变大,费用增加约120%,且加工困难。所以完全约束方案一般采用空间结构,如图2所示。

该方案在新疆与西北主网联网750 kV第二通道输变电工程成功应用。以某750 kV线路工程三型直线塔为例,选材结果及与自由转动方案造价对比见表1、表2^[5-6]。

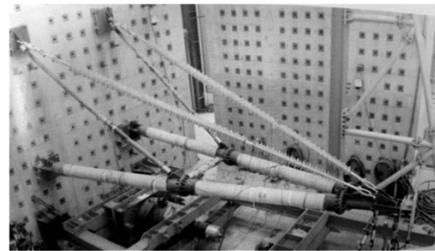


图2 完全约束方案

表1 受压绝缘支柱选材对比

工况	自由转动方案			
	内力/kN	直径/mm	壁厚/mm	数量
大风	281	320	10	1
覆冰	331	320	10	1
不均匀覆冰	289	320	10	1
断线	296	320	10	1
工况	完全约束方案			
	内力/kN	直径/mm	壁厚/mm	数量
大风	310	320	12	2
覆冰	365	320	12	2
不均匀覆冰	318	320	12	2
断线	326	320	12	2

表2 完全约束方案与自由转动方案的经济性对比

项 目	自由转动	完全约束
受压绝缘支柱重量/t	1.01	2.41
杆塔重量/t	24.9	25.9
基础混凝土/m ³	49.8	54.4
总费用/万元	32.2	38.9
费用比例	1	1.21

注:1) 完全约束方案的张力均按照规范取值;

2) 自由转动方案已考虑横担转动时弧垂降低的影响。

由表1可知,采用完全约束方案时,由于绝缘支柱水平放置,其内力在原有垂直荷载、风荷载的基础上,需要叠加断线张力,其内力远大于自由转动方案。

由表2可知,与自由转动方案相比,完全约束方案的塔重增加约4%,受压支柱重量是自由方案的2.4倍,综合投资较自由转动方案增加21%。

此外,由于绝缘子串长变短,相同排位情况下,由不均匀覆冰或断线产生的不平衡张力较常规串长时要大。以档距500 m、无高差、七档连续耐张段为

研究对象,分别计算不均匀覆冰下的不平衡张力。结果表明:不均匀覆冰时,最大不平衡张力为最大使用张力的17%,断线张力为最大使用张力的50%,远远大于常规钢制横担不均匀覆冰时不大于10%和断线时不大于20%的要求。因此,考虑绝缘子串长因素后,完全约束方案投资还将大幅增加。

2 可控转动“V”串方案

为避免较小不平衡张力带来的无序转动以及完全约束时选材过大、造价较高的弊端,可采用可控转动方案,即给复合横担设定一定的转动阈值,当纵向张力小于该值时,横担不转动,靠自身传递张力;当纵向张力大于该值时,横担启动转动,直到两侧张力达到平衡。

《架空输电线路杆塔结构设计技术规定》中第3.3.6条对转动横担启动值进行了要求:转动横担或变形横担的启动力,应满足运行和施工的安全要求。一般110 kV线路采用标准值2~3 kN;220 kV线路采用标准值5~6 kN^[5]。而对500 kV及以上交流输电线路没有规定,下面将重点探讨可控转动的实施方案及转动阈值的取值问题。

2.1 方案布置及工作方式

方案布置及三维效果图见图3、图4。上平面绝缘子采用“V”型布置,且每串绝缘子采用两根以上的独立复合绝缘子,并通过铰点连接。“V”串夹角可根据需要修改,“V”串只承受拉力,一旦受压即退出工作,并能通过铰点使两根独立复合串弯折来实现横担转动。下平面采用单肢受压绝缘子串,可承受压力,并通过与塔身铰接来实现转动。垂直荷载G、水平力H在“V”串平面内形成合力 T_v ,使上平面绝缘子串受拉。当不平衡力 T 与 T_v 的合力 T_c 的反向延伸线在“V”串夹角范围内时,两串同时受力;当延伸线在夹角范围外时,一串受压退出工作(图3,AC线),另一串受拉(AB线),则与下平面受压支柱一起开始绕OB轴转动,此时受力同自由转动方案。在某一工况下,垂直荷载和水平荷载的合力是一定的,随着不平衡张力的增加,合力的方向在不断调整,当合力的延长线与某一串重合时,则此串受拉,另一串受力为0,定义此时的不平衡张力为转动阈值;当不平衡力继续增大时,横担转动,其平衡则由两侧档距变化控制。

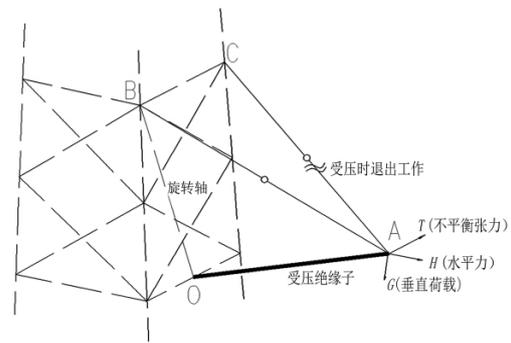


图3 “V”串方案布置

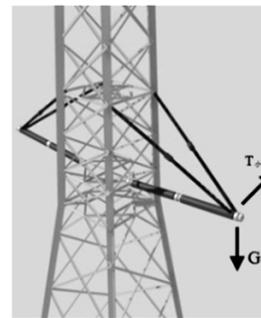


图4 “V”串三维效果

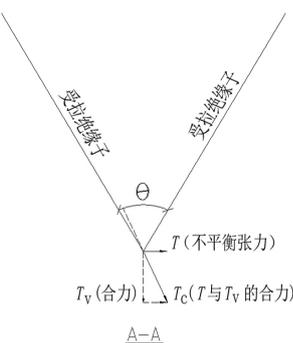
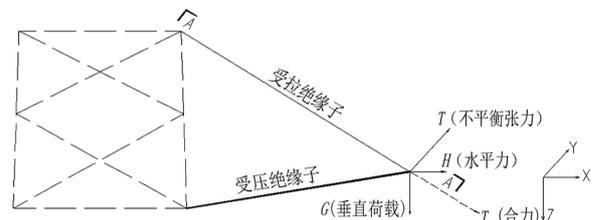


图5 “V”串方案工作原理

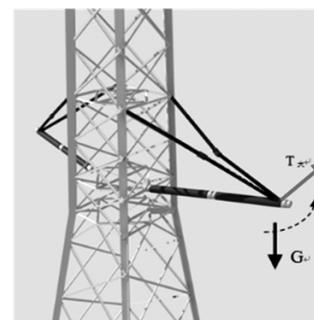


图6 “V”串方案工作原理三维图

表3 V串夹角与转动阈值关系

工况	垂直荷载 /kN	水平荷载 /kN	根据规范计算的最大纵向张力差 /kN	V串夹角 /($^{\circ}$)	左侧转动阈值 /kN	左侧转动阈值与最大使用张力比值 /%	右侧转动阈值 /kN	右侧转动阈值与最大使用张力比值 /%
0°大风	100.62	0.00	14.20	30	11.39	4.4	11.39	4.4
				40	15.48	6.0	15.48	6.0
				50	19.83	7.6	19.83	7.6
不均匀冰	141.55	±22.76	25.99	30	10.50	4.0	21.56	8.3
				40	14.27	5.5	29.28	11.3
				50	18.28	7.0	37.51	14.4
断线	166.53	0.00	51.99	30	18.86	7.3	18.86	7.3
				40	25.62	9.9	25.62	9.9
				50	32.82	12.6	32.82	12.6

2.2 实例计算及技经比较

以某750kV线路工程三型直线塔为例,求得在不同工况下,不同的V串夹角时的转动阈值,并与最大使用张力进行比较,结果如表3所示。

由于90°大风及覆冰时无纵向张力,因此计算转动阈值时不考虑该工况,仅计算有纵向张力的0°大风、不均匀覆冰以及断线工况。由于上下导线高度差不多,因此,可近似认为0°大风时顺线路方向风荷载相等,复合横担上平面与水平面的夹角均按25°计算。从计算结果来看,主要有以下结论:

1) 随着V串夹角的增大,转动阈值增大;

2) 为实现0°大风时横担不转动,不均匀覆冰时尽量不转动,断线时可自由转动,通过比较不同V串夹角的转动阈值,可选取40°作为最优V串夹角。

可控转动“V”串方案与自由转动及完全约束方案相比,工程投资对比如表4所示。

表4 横担结构方案比较

比较项目	自由转动方案	完全约束方案	可控转动V串方案
受压绝缘支柱/t	1.01	2.41	1.01
杆塔重量/t	24.9	25.9	25.0
基础混凝土/m ³	49.8	54.4	50.0
总费用/万元	32.2	38.9	32.3
投资比例	1	1.21	1.003
运行效果	转动无规律,运行效果一般。	良好	良好
施工难度	需增加辅助拉线,施工后拆除。	操作简单易行	操作简单易行

表5 各横担不均匀覆冰时的转动阈值

项目	左侧				右侧			
	拉杆与水平面夹角/($^{\circ}$)	V串夹角/($^{\circ}$)	转动阈值/kN	与最大使用张力比值/%	拉杆与水平面夹角/($^{\circ}$)	V串夹角/($^{\circ}$)	转动阈值/kN	与最大使用张力比值/%
横担	25	40	14.27	5.5	25	40	29.28	11.3

从表4可知,采用完全约束方案虽然运行及施工操作简单,但投资增幅较大,不推荐采用;采用可控转动方案,既能控制大风时不转动、不均匀覆冰时部分横担转动,也能释放断线时的张力差,集中了自由转动方案及完全约束方案的优点,而投资只在自由转动方案的基础上增加约0.3%,且施工操作简便,可实施性强。因此,采用可控转动V串方案是可行的。

2.3 荷载取值

采用可控转动复合横担后,风荷载及垂直荷载计算与常规钢结构横担一致,区别在于纵向张力。复合横担承受的最大纵向张力为转动阈值对应的张力,不同的“V”串夹角对应的张力不同,不同工况下对应的张力也不同,可根据转动阈值计算不同张力差下的塔重情况,以求得可控转动方案对于不均匀覆冰时的适用情况。

计算的主要工况如下所示:

1) 工况1:90°大风,纵向张力为0。

2) 工况2:0°大风,有纵向张力,横担不转动。

3) 工况3:覆冰,纵向张力为0。

4) 工况4:不均匀覆冰,纵向张力分别为最大使用张力的5%、10%、15%、20%。

5) 工况5:断线,横担转动直至张力平衡,横担承受部分张力。

各横担在不均匀覆冰时的转动阈值如表5所示。

不同张力差下横担的受力情况如表 6 所示。不同张力下的塔重比较如表 7 所示。

表 6 计算工况列表

(不平衡张力/最大 使用张力) /%	左横担受力 /kN	右横担受力 /kN
5	12.9	12.9
10	0	25.9
15	0	0
20	0	0

注: 不平衡张力为 0 时, 代表横担已转动。

表 7 不同张力下的塔重比较

(不平衡张力/最大 使用张力) /%	对应 V 串夹角 / (°)	塔重 /t
5	40	24.9
10	40	25.3
15	40	25.6
20	40	25.9

从表 7 可以看出, 随着不平衡张力增加, 塔重在逐渐增大, 但是变化幅度较小。因此, 建议在设置转动阈值时, 应尽量增大 V 串夹角, 使得转动阈值增大, 从而在不均匀覆冰工况下横担不转动或较少转动。但由于过大的 V 串夹角, 将使得隔面支架伸长较多, 一方面增加塔重, 另一方面构造也较困难。因此, 针对此三型直线塔, 可取最大使用张力的 10% 作为最优转动阈值, 对应的 V 串夹角为 40°。

(上接第 3 页)

[2] 周凯, 李康乐, 杨明亮, 等. 由异常水树形态洞察力学取向对水树生长的影响[J]. 中国电机工程学报, 2016, 36(19): 5373-5381.

[3] 李康乐, 周凯, 黄明, 等. XLPE 在电场作用下的取向对温度变化条件下水树生长的促进作用机理[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(3): 956-964.

[4] 周凯, 陶文彪, 赵威, 等. 以分子取向理论理解交联聚乙烯中水树在不同温度下的生长特性[J]. 高电压技术, 2014, 40(12): 3665-3673.

[5] J. J. De Bellet, G. Matey, L. Rose, et al. Some Aspects of the Relationship between Water Treeing, Morphology and Microstructure of Polymers[J]. IEEE Transactions on Electric Insulation, 1987, 22: 211-217.

[6] 黄明, 周凯, 黄科荣, 等. 基于 PDC 法的绝缘老化电缆低频损耗特性分析[J]. 高电压技术, 2019, 45(3): 959-967.

3 结 论

前面分析了传统复合材料横担的优缺点, 并提出了可控转动方案, 在投资金额基本相当的情况下, 可有效克服传统复合横担运维困难或造价高的问题。同时对可控转动方案的布置及运行方式进行了研究, 并提供了简单可行的操作方法。通过对可控转动方案荷载取值的研究, 得出了转动阈值的取值建议, 为新型可控转动复合横担的推广提供了一定的理论依据。

参考文献

[1] 左玉玺, 薛更新, 等. 750 kV 输电线路复合横担设计研究[J]. 电网与清洁能源, 2013, 29(1): 1-8.

[2] 王虎长, 赵雪灵. 复合材料(FRP)格构塔应用研究报告[R]. 西安: 西北电力设计院, 2010.

[3] 赵雪灵, 谭浩文. 免横担组合绝缘子塔应用研究[R]. 西安: 西北电力设计院, 2013.

[4] 徐维, 敖翔, 李冬. 500 kV 线路悬垂绝缘子串金具碰撞塔材原因分析及对策[J]. 云南电力技术, 2019, 47(6): 74-76.

[5] 架空输电线路复合材料杆塔结构设计导则(报批稿): Q/DG 2-T02-2011[S], 2011.

[6] 750 kV 架空输电线路杆塔复合横担技术规定: Q/GDW 11124.5-2014[S], 2014.

作者简介:

鄢秀庆(1984), 硕士, 高级工程师, 从事输电线路结构设计工作。(收稿日期: 2019-10-12)

[7] 蔡钢, 刘曦, 濮峻嵩, 等. 基于 PDC 法的水树老化电缆绝缘诊断[J]. 绝缘材料, 2016, 49(7): 61-64.

[8] 陈井锐, 赵威, 赵荣普, 等. 极化-去极化电流法诊断电缆绝缘[J]. 绝缘材料, 2018, 51(2): 57-61.

[9] 张福忠, 周凯, 谢敏, 等. XLPE 水树老化电缆介电响应下非线性研究[J]. 绝缘材料, 2018, 51(2): 51-56.

[10] 周凯, 黄科荣, 黄明, 等. 交联聚乙烯电缆绝缘中的水树生长特性[J]. 高电压技术, 2018, 45(10): 3207-3213.

[11] K. A. Rubinson, J. F. Rubinson. Contemporary Instrumental Analysis (1st edition) [M]. Beijing: Science Press, 2003.

作者简介:

李康乐(1990), 在读博士生, 研究方向为固体绝缘介质老化及电缆修复。

(收稿日期: 2019-10-17)