

# ±800 kV 特高压直流线路跳线上绕耐张塔研究

吴庆华 刘文勋 李 健 赵远涛 徐维毅 朱 焰

(中国电力工程顾问集团中南电力设计院 湖北 武汉 430071)

**摘要:** 目前中国 ±800 kV 直流线路耐张塔均采用下引跳线型式,即两极导线通过挂在横担下的跳线进行接续。在山区下引跳线高度成为耐张塔高度的决定性因素,通常使得耐张塔呼高设计较高,甚至可能导致砍伐树木及对地开方。综合考虑塔型结构、跳线串型、跳线型式、空气间隙及地线起晕场强等因素,研究 ±800 kV 特高压直流线路上绕耐张塔,并对其经济效益和社会效益进行分析,达到保护环境及节能减排的目的,为后续 ±800 kV 特高压直流线路的耐张塔设计提供参考。

**关键词:** ±800 kV 直流线路;耐张塔;上绕跳线;经济效益

**Abstract:** At present, ±800 kV UHVDC tension towers in China all adopt the down jumper, that is, the bipolar lines are connected with the jumper hanging under the cross-arm in this situation. The down jumper in mountain area may let its height become the crucial factor for the height of tension tower, which leads to the raise of the height of tension tower and even cause the timber cutting and excavation of ground to be inevitable. Considering the tower structure, jumper string type, jumper type, air gap, critical corona field of ground wire and other factors, a new design of upper jumper is proposed for ±800 kV UHVDC tension tower. With its economic and social benefits, the upper jumper can provide a reference for the design of the following ±800 kV UHVDC tension towers.

**Key words:** ±800 kV UHVDC transmission line; tension tower; upper jumper; economic benefits

中图分类号: TM75 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2017)01-0047-04

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.01.010

## 0 引言

目前国内 ±800 kV 直流单回路耐张塔主要采用干字型铁塔,两极导线通过挂在横担下的跳线(以下称下引跳线)进行接续。这种类型耐张塔在中国 ±800 kV 直流输电线路中已经有成熟的设计经验。

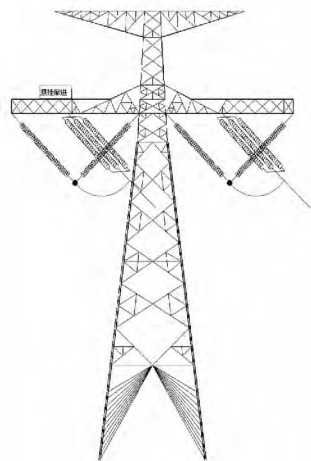


图1 下引跳线耐张塔

但下引跳线由于受到跳线串长、跳线弧垂、耐张串倾斜角等的影响,其带电部分最低点比耐张塔导

线横担低大约 9 m,可能会造成因跳线对地距离不够而对地开方或升高耐张塔,尤其是在山区耐张塔高边坡上侧的跳线对地间隙的矛盾更加突出,如图 1 所示的下引跳线耐张塔。

为解决耐张塔下引跳线对地间隙矛盾,以溪洛渡—浙西 ±800 kV 直流输电工程为例,研究上绕跳线耐张塔,达到节约投资、减少树木砍伐和土石开方及提高线路运行可靠性的目的,给后续 ±800 kV 特高压直流线路耐张塔设计提供参考。

## 1 跳线上绕布置

跳线上绕布置的原则是:将耐张塔的极导线从横担上方引流,使跳线不成为耐张塔塔高的控制因素,从而避免因跳线对地距离不够而升高杆塔、砍伐树木或对地开方。具体布置方法为:参考交流线路中相绕跳的方式,在地线横担的外侧,仿照交流线路中相绕跳架,安装极跳线架;上绕跳线借助该跳线架上悬垂绝缘子串的支持,自小号侧耐张线夹引流至大号侧耐张线夹。根据工程条件和要求,可采用双极跳线上绕和单极跳线上绕两种型式。图 2 所示为

双极跳线上绕耐张塔,可应用于林区;图3所示为单极跳线上绕耐张塔,可应用于单侧高边坡地形。

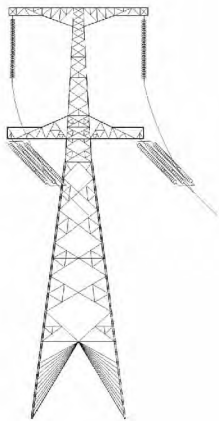


图2 双极跳线上绕耐张塔示意图

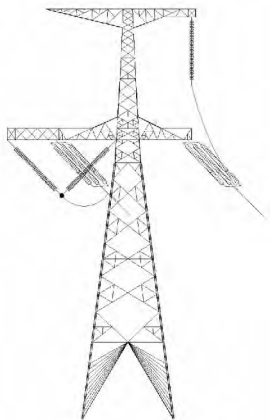


图3 单极跳线上绕耐张塔示意图

## 2 跳线上绕耐张塔塔头设计

### 1) 导线横担长度选取

横担长度的确定以导线耐张线夹出口对塔身间隙、跳线对塔身间隙及电磁环境要求的双极导线距离为控制条件,对于 $0^\circ \sim 20^\circ$ 转角耐张塔,耐张塔内、外侧极导线横担长度可分别取9 m、10 m。

### 2) 上绕跳线横担长度选取

上绕跳线横担长度为跳线串离塔中心的水平距离,其设计原则是保证跳线在大风、操作过电压下对塔身的间隙满足要求,需综合考虑耐张串位置、耐张串下倾角、转角度数等因素的影响。跳线横担长度太长,增加了塔重;跳线横担太短,上绕跳线对塔身的间隙紧张。

### 3) 上绕跳线支架长度选取

跳线支架的主要作用是给上绕跳线绝缘子串提供悬挂支撑,同时使得耐张线夹出口-跳线线夹1档

跳线远离塔身。跳线支架过长,会导致上绕跳线中间档的跨距及弧垂较大,造成跳线对导线横担上平面的间隙紧张;跳线支架过短,会使得耐张线夹出口-跳线线夹档的跳线靠近导线横担,造成间隙紧张。

### 4) 上绕跳线支架高度选取

上绕跳线支架高度是指上绕跳线支架到导线横担下平面的垂直距离,上绕跳线支架高度需综合考虑跳线串长、跳线弧垂及跳线对导线横担间隙的影响。

## 3 上绕跳线方案选择

上绕跳线可以采用V型和I型绝缘子串悬挂。采用V型绝缘子跳线串时,跳线横担长约18 m,相比于采用I型绝缘子跳线串10 m左右的跳线横担长度,大大增加了跳线支架本体费用;且跳线支架结构复杂,不利于施工及运行维护;因此,上绕跳线推荐采用I型绝缘子串方案。

采用I型绝缘子串的跳线方案主要有双I型绝缘子串+软跳线、三I型绝缘子串+软跳线和双I型绝缘子串+硬跳线3种型式,分别如图4(a)、(b)、(c)所示。

结合以上3种跳线方案的风偏计算、间隙校核,以 $0^\circ \sim 20^\circ$ 转角耐张塔(呼高39 m)为例,进行塔头设计及技术经济比较,耐张塔内角侧的跳线方案比较如表1所示。

从表1中可以得出:

1) 双串+硬跳线的风偏摆动最小,因此,其要求的跳线横担长度最短,分别比双串+软跳线和三串+软跳线的横担长度短1.5 m和0.8 m;

2) 双串+硬跳线的弧垂最小,因此,其要求的跳线横担高度最低,分别比双串+软跳线和三串+软跳线的横担高度低1.3 m和0.3 m;

3) 在跳线本体费用比较上,双串+硬跳线最高,双串+软跳线最低,三串+软跳线适中;

4) 在杆塔本体费用比较上,双串+硬跳线最低,双串+软跳线最高,三串+软跳线适中;

5) 综合跳线本体费用及杆塔本体费用,三串+软跳线的费用占优。

通过以上对 $0^\circ \sim 20^\circ$ 上绕跳线耐张塔内角侧进行的塔头设计及技术经济比较,推荐采用三I型跳线串+软跳线方案,跳线横担长度约为10 m,跳线横担高度约为61.5 m,跳线支架长度约为12 m。

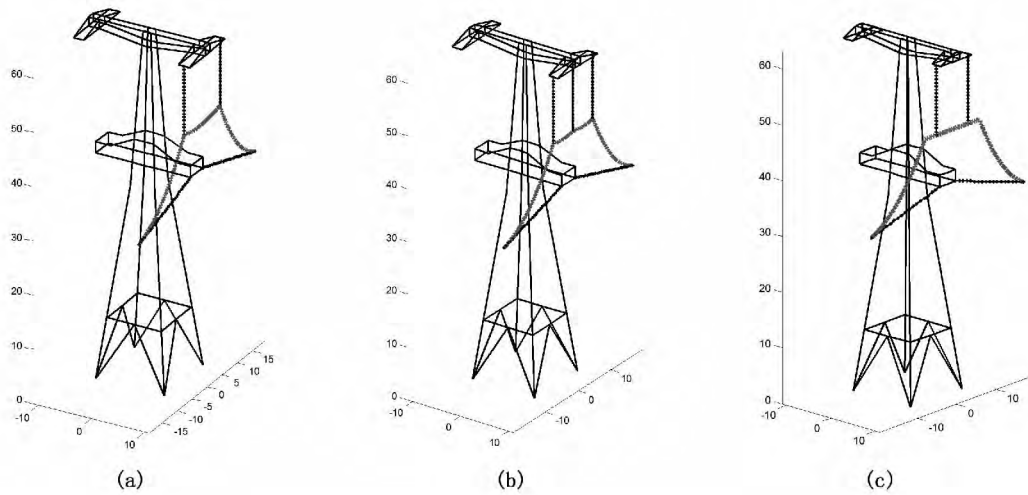


图4 不同上绕跳线方案示意图

表1 上绕跳线0°~20°转角耐张塔内角侧的跳线方案技术经济比较

项 目	I 型绝缘子串			
	双跳线串 + 软跳	三跳线串 + 软跳	双跳线串 + 硬跳	
大风工况	跳线风偏角/(°)	55	55	55
	跳线串风偏角/(°)	28	25	22
	对塔身间隙/m	2.3	2.3	2.3
操作过电压	跳线风偏角/(°)	23	23	23
	跳线串风偏角/(°)	8	7	6
	对塔身间隙/m	7.05	6.26	5.7
	跳线横担长度/m	11.5	10	9.2
	跳线横担高度/m	62.5	61.5	61.2
	跳线支架长度/m	12	12	8
	跳线串费用差额/元	-265 74	-180 29	0
	杆塔本体费用差额/元	208 42	114 92	0
	总费用差额/元	-573 2	-653 7	0

同样,对0°~20°上绕跳线耐张塔外角侧进行塔头设计及技术经济比较,结论与内角侧一致,也推荐采用三I型跳线串+软跳线方案。

表2 上绕跳线耐张塔与下引跳线耐张塔的钢材指标比较

呼高/m	下引跳线耐张塔 JC27151A 的塔重/t	上绕跳线耐张塔 JC27151B 的塔重/t
33	82.31	85.98(等效42 m)
36	85.54	89.20(等效45 m)
39	89.01	92.68(等效48 m)
42	94.33	98.00(等效51 m)
45	98.51	102.17
48	103.14	106.80
51	107.29	110.96

注:表中括号内“等效\* m”指的是上绕跳线耐张塔所等效使用的下引耐张塔呼高

#### 4 上绕跳线方案的经济性分析

从耐张塔受力荷载角度来看采用跳线上绕布置后,上绕跳线耐张塔与同呼高的常规型下引耐张塔相比,导线垂直、水平、纵向负荷没有变化,仅仅地线支架多出了上绕跳线和3串跳线串的负荷,对耐张塔负荷几乎没有显著影响。

根据计算列出两种型式耐张塔最终塔材指标情况,如表2所示。表中JC27151A为跳线下引耐张塔,JC27151B为双极跳线上绕布置耐张塔。

从相同呼高耐张塔的钢材指标比较来看,上绕跳线耐张塔比下引跳线耐张塔平均增加3.67 t钢材,但是考虑到下引跳线耐张塔的“V”型跳线绝缘

子串等效串长约9 m,呼高为39 m的上绕跳线耐张塔JC27151-39B可等效于呼高为48 m的下引跳线耐张塔JC27151-48A,塔材将节省10.36 t。

结合跳线自身的比较,将跳线下引耐张塔与相同呼高的跳线上绕耐张塔、等效呼高的跳线上绕耐张塔进行技术经济比较,见表3。

表3 上绕跳线耐张塔与下引跳线耐张塔的技术经济比较

项 目	下引跳线方案(现有方案)	相同呼高的上绕跳线方案	等效呼高的上绕跳线方案
耐张塔塔型	JC27151-48A	JC27151-48B	JC27151-39B
跳线方案	双V型硬跳线	三I型软跳线	三I型软跳线
呼高差额/m	0	0	-9
地线支架高度差额/m	0	9	9
塔材费用差额/元	0	24 956	-70 448
跳线费用差额/元	0	-45 766	-45 766
总费用差额/元	0	-20 810	-116 214

从表3中可以得出:1)相同呼高的跳线上绕耐张塔与跳线下引耐张塔相比,虽然塔重有所增加,但跳线费用节约较大,在总费用上可节约2.08万元;同时由于提升了跳线对地高度约9m,在工程应用中,可大量减少树木砍伐和土石开方。

2)等效呼高的跳线上绕耐张塔与跳线下引耐张塔相比,杆塔可节省投资约11.62万元。

综上所述,上绕跳线耐张塔既能避免砍伐树木和对地开土方,满足环保要求,也能避免大代价升高杆塔,节省线路造价,对环境保护及降低工程造价有重要意义。

## 5 地线起晕场强校核和防雷性能研究

跳线上绕后,跳线与地线之间的垂直距离较近,约为14m,有可能产生地线起晕的情况,因此有必要对地线表面场强进行计算。根据计算结果,表面最大标称场强 $E_0$ 为13.82kV/m, $E_0/E_m=0.68$ ,满足限制起晕要求。根据中国电力科学研究院对向家坝—上海±800kV直流线路华东地区的F型杆塔的电晕测量结果,当导、地线距离为14m时,导、地线无明显电晕现象。

跳线上绕后,避免了耐张塔高边坡侧跳线过于靠近地面,增加了地面屏蔽效果,降低了线路绕击范围,提高了线路运行可靠性,同时地线对导线保护角满足规程要求。

因此可以认为,跳线上绕后的导、地线距离满足限制起晕要求;地线保护角满足规程要求,防雷性能有所改善。

## 6 总 结

针对现有±800kV直流线路耐张塔跳线可能存在对地距离的问题,结合工程实例,研究上绕跳线布置,设计耐张塔塔头结构,比较选择上绕跳线方案,计算校核跳线上绕后导地线电晕以及分析跳线

上绕后带来的经济性,结论如下:

1)跳线上绕后,±800kV直流线路耐张塔可大幅度提升跳线高度,从而达到降低塔高或减小树木砍伐及跳线对地开方的目的。

2)结合不同上绕跳线方案的风偏计算、对塔身的间隙校核,对0°~20°转角耐张塔JC27151B-39进行塔头设计及技术经济比较,推荐采用三I型跳线串+软跳线。

3)上绕三I型跳线串+软跳线耐张塔JC27151B-39的跳线横担长度约为10m,跳线横担高度约为61.5m,跳线支架长度约为12m。

4)跳线上绕后的导、地线距离约为14m,满足限制导、地线起晕的要求;地线保护角满足规程要求,防雷性能有所改善。

5)相同呼高、等效呼高的跳线上绕耐张塔与跳线下引耐张塔相比,分别可节省投资约2.08万元、11.62万元,跳线上绕对降低工程投资、环境保护及节能减排具有重要意义。

### 参考文献

- [1] 张殿生. 电力工程高压送电线路设计手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [2] 刘振亚. 特高压直流输电技术研究成果专辑: 2008年[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [3] 万启发. 二十一世纪我国的特高压输电[J]. 高电压技术, 2000, 26(6): 12-13.
- [4] 吴庆华, 李健, 万志方, 等. 500kV单回路耐张塔边相跳线直跳上绕布置[J]. 电力建设, 2009, 32(12): 14-17.
- [5] 邵天晓. 架空送电线路的电动力学计算[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [6] 邹广平, 孙刚, 任方. 考虑弯曲刚度影响的跳线长度计算[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2005, 26(4): 482-486.
- [7] 韩巨海. 高压输电线路耐张塔中相绕引跳线设计[J]. 宁夏电力, 2000(4): 30-36.

作者简介:

吴庆华(1962), 教授级高工, 从事输电线路设计。

(收稿日期: 2016-10-08)