

绞合型碳纤维复合芯软型铝绞线在线路增容工程中的应用

朱文卫¹, 郭金根¹, 梁爱武¹, 陈锬¹, 王清明²

(1. 广东电网公司电网规划研究中心, 广州 510080; 2. 佛冈鑫源恒业电缆科技有限公司, 清远 511600)

摘要: [目的]为解决某 220 kV 线路增容问题, 在工程设计阶段, 对常规导线和多种耐热导线进行综合比选。[方法]分析了要求输送容量下各型导线的最高运行温度; 对比了机械荷载和导线弧垂变化对杆塔基础的影响; 计算了不同导线的电能损耗; 分析对比了施工运维和建设难度; 从一次性投资和年费用上进行经济分析。[结果]结果显示: 在满足输送容量和导线允许温度的情况下, 常规导线方案需全线拆除并新建杆塔和基础; 各型耐热导线弧垂和荷载均满足原线路设计条件; 常规导线和绞合型碳纤维复合芯软型铝绞线的年费用较低, 运维相对便利。[结论]绞合型碳纤维复合芯软型铝绞线综合性能较优, 适用于利用已有线路杆塔实现线路增容的场合, 尤其是在城区或近郊等新建杆塔较为困难的地方。

关键词: 绞合型碳纤维导线; 线路增容; 耐热导线; 架空线路; 工程应用

中图分类号: TM72; TM244.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2020)01-0124-04

Application of Aluminum Conductor Multi-strand Carbon Fiber Core in Transmission Capacity Improvement Project

ZHU Wenwei¹, GUO Jingen¹, LIANG Aiwu¹, CHEN Kun¹, WANG Qingming²

(1. Grid Planning & Research Center, Guangdong Power Grid Corporation, CSG, Guangzhou, 510080, China;

2. Fogang Xinyuan Hengye Cables Technology Co., Ltd, Qingyuan, 511600, China)

Abstract: [Introduction] In order to increase the capacity of a 220 kV transmission line, conventional conductor and various heat-resistant conductors are selected to make comprehensive comparison. [Method] This article calculated the maximum operating temperature and power loss, compared effects of mechanical load and wire sag variation on tower foundation, analyzed difficulty of construction and maintenance, and calculated investment and annual cost. [Result] The results show that all selected conductors can meet the need of increasing capacity and maximum operating temperature; towers and foundations need rebuilding if using conventional conductor; mechanical load and wire sag of heat-resistant conductors meet the design conditions of original transmission line; conventional conductor and Aluminum Conductor Multi-strand Carbon Fiber Core (ACMCC Conductor) have lower annual costs and more convenience for maintenance. [Conclusion] Our work shows that ACMCC Conductor has excellent comprehensive performance and is suitable for enhancing transmission capability of transmission lines in operation without rebuilding, especially in urban or suburban areas where it is difficult to build new towers.

Key words: aluminum conductor multi-strand carbon fiber core; transmission capacity expansion; heat-resisting wire; over-head line; engineering application

随着电力负荷的增长, 大量运行中的架空线路面临输送能力不足的问题。“拆旧建新”的方法, 除了一次性投资大之外, 还面临着规划审批、拆迁青赔等难题。目前在城市及近郊, 开辟新的架空线路走廊已非常困难。通过利用现有杆塔更换增容导

线, 提高导线的运行温度来实现线路增容, 可最大限度利用线路走廊资源, 一次性投资较小, 工期较短^[1-8]。

在广东电网某 220 kV 输变电工程中, 需要对某长约 33 km 的现有 220 kV 线路进行增容。旧有线路主要位于城区及近郊, 沿线工厂民房等建筑密集。经过对铝包钢芯铝绞线、殷钢芯耐热铝合金绞线、间隙型特强钢芯耐热铝合金绞线、绞合型碳纤维复合芯软型铝绞线进行综合比选, 最终在工程设计阶段确定采用绞合型碳纤维复合芯软型铝绞线。

收稿日期: 2019-06-24 修回日期: 2019-10-22

基金项目: 广东电网公司科技项目“高压电缆系统可靠性评估及智能巡检技术研究—课题 2: 基于多状态量的高压电缆系统绝缘状况评估”(GDKJXM20172797)

1 工程概况

待增容的线路现状为1根LGJQ-400型钢芯铝绞线,原设计输送容量不超过262 MVA,不满足电网N-1运行要求。根据系统需要,将该线路最大输送容量提升至约 $2 \times 300 \text{ mm}^2$ 导线水平,最大输送容量不小于470 MVA,最大输送电流不小于1 233 A。系统最大利用小时数5 000 h,系统功率因数0.95,经济输送容量195 MW,经济输送电流512 A。

相关计算的环境条件为:风速取0.5 m/s,日照强度取 1 kW/m^2 ,导线表面的辐射散热系数取0.9,导线表面的吸热系数取0.9,计算全年电能损耗时环境温度取 $25 \text{ }^\circ\text{C}$,其余环境温度取 $35 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

2 参与比选的导线

选择普通导线和耐热增容导线两类进行比选,其中普通导线选取JL/LB1A-300/40铝包钢芯铝绞线,耐热增容导线选取JNRLH1/LBY10-330/55股钢芯耐热铝合金绞线、JNRLH1S/G5A-400/50间隙型特强钢芯耐热铝合金绞线、JLRX1/JF1B-400/40绞合型碳纤维复合芯软型铝绞线。

各型导线参数如表1所示。表中铝包钢芯铝绞线数据来自参考文献[9],各耐热导线参数来自制造厂商。

表1 导线主要参数

Tab. 1 Parameters of conductors

名称	铝包钢芯铝绞线	股钢芯导线	间隙型导线	绞合型碳纤维导线
型号	JL/LB1A-300/40	JNRLH1/LBY10-330/55	JNRLH1S/G5A-400/50	JLRX1/JF1B-400/40
分裂数	2	1	1	1
允许长期运行温度/ $^\circ\text{C}$	80	150	150	150
系统要求最大载流量/kA	1.233	1.233	1.233	1.233
最大运行温度/ $^\circ\text{C}$	73	146	126	127
计算拉断力/kN	94.69	105.3	143	107.21
线膨胀系数/ $(10^6 \text{ }^\circ\text{C}^{-1})$	20.6	16.4 ^① 3.7 ^②	11.5	15.4 ^① 1.0 ^②
导线外径/mm	23.94	25.3	27.2	24.9
单位质量/ $(\text{kg} \cdot \text{km}^{-1})$	1 085.5	1 302.5	1 510	1 167.6
20 $^\circ\text{C}$ 直流电阻/ $(\Omega \cdot \text{km}^{-1})$	0.092 11	0.086 7	0.073 6	0.069 8

注:①为拐点前;②为拐点后。

3 导线比选

针对上述导线,从最高运行温度、机械荷载、弧垂特性、电能损耗、施工及运行维护、建设难度、一次性投资和年费用等方面进行综合比选。

3.1 导线最高运行温度

导线最高允许运行温度是影响导线输送容量的重要因素,该温度主要由导线经过长期运行后的强度损失和连接金具的发热而定。导线的强度损失与导线温度、运行时间正相关。在系统要求的输送容量下,各型导线的设计最大运行温度均在允许长期运行温度范围以内。

3.2 机械荷载

更换导线后,如果线路荷载增大较多,则需要拆除并新建杆塔和基础。线路的荷载由垂直荷载、水平荷载和纵向荷载组成,其中垂直荷载主要包括导线自重和覆冰荷载,水平荷载主要由导线外径、覆冰厚度及风速决定,纵向荷载主要是导线的拉力。该线路无覆冰,导线平均高度最大风速取 35 m/s 。各型导线的荷载参数如表2所示。

表2 各型导线荷载

Tab. 2 Loads of various types of conductors

名称	原导线	铝包钢芯铝绞线	股钢芯导线	间隙型导线	绞合型碳纤维导线
型号	LGJQ-400	JL/LB1A-300/40	JNRLH1/LBY10-330/55	JNRLH1S/G5A-400/50	JLRX1/JF1B-400/40
分裂数	1	2	1	1	1
导线外径/mm	27.36	23.94	25.3	27.2	24.9
单位质量/ $(\text{kg} \cdot \text{km}^{-1})$	1 487	1 085.5	1 302.5	1 510	1 167.6
设计拉断力/kN	105.1	2×90.0	100.0	135.9	101.8
最大使用张力/kN	42.0	2×36	40	42	40.7
垂直荷载/ $(\text{N} \cdot \text{m}^{-1})$	14.57	2×10.64	12.76	14.80	11.44
最大水平荷载/ $(\text{N} \cdot \text{m}^{-1})$	16.33	2×14.28	15.10	16.23	14.86
综合荷载/ $(\text{N} \cdot \text{m}^{-1})$	21.88	2×17.81	19.77	21.96	18.75

注:设计拉断力=计算拉断力 $\times 0.95$ 。

经验算,采用铝包钢芯铝绞线时需全部更换旧线路杆塔和基础。采用其他耐热导线时,只需更换导线和相应金具,除个别过于老旧的门型杆需进行改造外,无需大量改造旧线杆塔和基础。

3.3 弧垂特性

更换导线后,如果导线弧垂增大较多,超过了原线路的弧垂设计裕度,则需要更换杆塔。导线弧垂与其拉重比、线膨胀系数、运行温度等特性有关。

铝包钢芯铝绞线在最高允许运行温度以内无拐点温度,不同耐热导线的拐点温度不同,拐点后弧垂特性也不一致^[10-12]。

各型导线在设计运行温度下的弧垂如表3所示,其中代表档距取300 m。

表3 各型导线弧垂特性

Tab. 3 Sag characters of various types of conductors

名称	原线路导线	殷钢芯导线	间隙型导线	绞合型碳纤维导线
设计运行温度/℃	80	146	126	127
运行温度下弧垂/m	8.67	8.66	7.36	7.55

各耐热导线的弧垂满足改造要求,无需因弧垂而升高杆塔。间隙型导线和绞合型碳纤维导线弧垂性能较为优异。

3.4 电能损耗

导线电能损耗包括电晕损耗和电阻损耗。500 kV及以下线路电晕损耗一般不超过导线电阻损耗的5%,且截面积和分裂数相同的线路电晕损耗十分接近。因此,在220 kV线路导线损耗中,电阻的热量损失占据绝对主导地位,故估算线损时可忽略电晕损耗,仅考虑线路电阻损耗^[13-14]。

电能损耗按照系统正常运行时的经济输送容量计算,环境温度取25℃。根据系统条件,年最大负荷利用小时数为5 000 h,功率因数为0.95,对应年最大负荷损耗小时数为3 200 h。各型导线的电能损耗如表4所示。

表4 各型导线的电能损耗

Tab. 4 Power loss of various conductors

名称	铝包钢芯铝绞线	殷钢芯导线	间隙型导线	绞合型碳纤维导线
型号	300/40	330/55	400/50	400/40
正常运行导线温度/℃	43	54	51	51
交流电阻/($\Omega \cdot \text{km}^{-1}$)	0.101(单根)	0.098 8	0.083 1	0.078 6
年电能损耗/($\text{MWh} \cdot \text{km}^{-1}$)	127	249	209	198

常规的铝包钢芯铝绞线由于采用双分裂形式,电能损耗最低。绞合型碳纤维导线采用了63%IACS的高导电性软铝,导电性优于其他两型耐热导线,且加强芯为非磁性物质,无磁滞涡流损耗,在耐热导线中其电能损耗最低。

3.5 施工及运行维护

铝包钢芯铝绞线施工工艺及运行维护最为成熟和简单。

从施工工艺来讲,殷钢芯导线、绞合碳纤维导线施工工艺与普通铝包钢芯铝绞线基本相同,采用张力放线方法;间隙型导线与其他导线相比最为复杂^[15],需要按耐张段配盘并采用张力放线方法。

从长期运行维护来看,殷钢芯导线、绞合型碳纤维导线运行维护与铝包钢芯铝绞线基本相同,较为方便,而且导线损伤时可以比较容易检测,能够很大程度上避免导线断线断股现象的发生^[16-19]。间隙型导线的钢芯和铝线层之间存在一定的间隙,在间隙中填充有间隙润滑油,该种导线因结构比较特殊,到目前为止,导线发生损伤时没有成熟的技术手段可以检测到;一旦出现断线等问题,修复起来非常困难,现在日本已基本不用间隙型导线。三种耐热导线需使用特殊金具,均需由导线厂家提供备品备件。

3.6 建设难度

铝包钢芯铝绞线需拆除全线旧杆塔和基础并新建,考虑到原线行下建筑物密集,大量拆除并新建杆塔及基础会非常难以实施,塔基占地、施工临时用地、线行清理和青苗补偿费用会很高,且极易引发民事纠纷,阻滞工程建设。

三种耐热导线只需更换导线和相应金具,除个别门型杆需进行改造外,无需大量改造旧线杆塔和基础,占用地和清理补偿费用较小,建设难度较小。

3.7 经济性分析

3.7.1 一次性投资

输电线路的一次性投资主要包括电气部分(导线、绝缘子及金具、接地材料)、结构部分(铁塔及基础)和施工安装等。对于线路增容工程,若采用大截面常规导线,导线投资相对较小,但杆塔和基础一般需拆除并重建,新建杆塔和基础的费用较高,施工周期较长;若采用耐热导线,导线价格相对较高,根据导线不同可能需要更换部分杆塔,一次性投资相对较小。

采用不同型号导线的投资如表5所示。

表5 采用不同导线的投资对比

Tab. 5 Investment comparison

万元

名称	铝包钢芯铝绞线	殷钢芯导线	间隙型导线	绞合型碳纤维导线
总投资	4 108	3 793	2 895	2 728
差值	0	-315	-1 213	-1 380

由于需要更换全线路杆塔和基础,采用铝包钢芯铝绞线的方案投资最大。殷钢芯导线材料价格最高,其投资在三种耐热导线中最大。

3.7.2 年费用

年费用法是评价投资经济效益的一种方法,是将多个方案的初始投资和运行成本折算成等额年费用进行比较,年费用越低,经济上越优。年费用主要包含初始投资年费用、年运行维护费用、电能损耗,并考虑资金的时间价值。

由于线路长度较短,为便于计算,四种方案均考虑1年建成,一次性投资发生于建成年末。铝包钢芯铝绞线方案为全线新建线路,线路使用期限按30年计;其他耐热增容导线线路为改造线路,线路使用期限按20年计。

其他计算条件:线路长度33 km,设备运行维护费1.4%,投资回报率8%,上网电价0.45元/kWh,贷款比例80%,贷款利息5%。

各种方案的年费用如表6所示。

表6 采用不同导线方案的年费用

Tab.6 Annual costs comparison using different conductors

名称	铝包钢芯 铝绞线	殷钢芯 导线	间隙型 导线	绞合型碳 纤维导线
年费用/万元	660	877	697	659

绞合型碳纤维导线方案,一次性投资与电能损耗较为平衡,年费用最低。

4 结论

综合各方面比选情况,绞合型碳纤维复合芯软铝绞线最优,在该线路增容工程中推荐采用。该型导线高温弧垂性能优异;导线质量轻,拉重比大,无需大量改造旧杆塔基础,占用地和清理补偿费用较小,建设难度较小;绞合型的承力结构,与已有的钢芯铝绞线接近,施工和运维较为便利;一次性投资最小,电能损耗在耐热导线中最小,一次性投资与电能损耗较为平衡。适用于利用已有线路杆塔实现线路增容的场合,尤其是在城区或近郊等新建杆塔较为困难的地方。建议试点使用,积累运行经验。

参考文献:

[1] 麻闯政,潘春平.绞合型碳纤维复合芯导线在新建线路中的应用研究[J].南方能源建设,2017,4(4):82-87.

- [2] 林浩,胡全,王婷婷.老旧输电线路增容工程中耐热导线的选择应用[J].中国电业(技术版),2016(3):65-67.
- [3] 刘俊勇,罗文.用于架空输电线的不同耐热导线的比较分析[J].电网与清洁能源,2011,27(3):29-33.
- [4] 王明,杨玉群,王新,等.运用新型耐热导线提高线路输送容量[J].陕西电力,2009,37(3):19-22.
- [5] ALBIZU I, MAZON A J, VALVERDE V, et al. Aspects to take into account in the application of mechanical calculation to high-temperature low-sag conductors [J]. Generation, Transmission & Distribution, IET, 2010, 4(5): 631-640.
- [6] 潘裕新,尤志魏,马庆强.铝基陶瓷纤维(ACCR)复合芯导线在上海电网的应用[J].华东电力,2009,37(8):1279-1283.
- [7] 顾俊杰,袁奇,戈晴天.铝包殷钢芯耐热导线的技术特性及应用[J].电力与能源,2014,35(5):594-596.
- [8] 戚柏林.超耐热间隙型导线在220 kV输电线路中应用与实践[J].电力建设,2010,31(8):46-49.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.圆线同心绞架空导线:GB/T 1179—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [10] 李斌,王国利,刘磊,等.输电线路增容导线弧垂特性真型试验研究[J].南方电网技术,2017,11(6):35-41.
- [11] 张颖璐.倍容量导线的张力弧垂特性分析计算[J].电力建设,2006,27(9):7-9.
- [12] 李名珍.增容导线的迁移点温度与弧垂的简便计算方法[J].光纤与电缆及其应用技术,2016(3):43-46.
- [13] 彭向阳,王锐,毛先胤,等.输电线路架空地线电能损耗特性测量及仿真[J].广东电力,2016,29(3):120-126.
- [14] 张博,田旭,谢艳丽.耐热导线电气参数计算与经济效益分析[J].青海电力,2014,33(增刊1):1-3.
- [15] 朱凤一,季鑫.耐热导线施工技术[J].山西电力,2012,(增刊2):30-32.
- [16] 王清明,朱砚,周政敏,等.绞合型复合材料芯架空导线及配套金具的研究[C]//佚名.第三届中国国际复合材料科技大会论文集,杭州,2017-10.杭州:出版社不详,2017:625-638.
- [17] 刘纯,陈红冬,欧阳克俭,等.碳纤维复合芯导线耐张线夹断裂分析[J].中国电力,2015,48(10):97-100+106.
- [18] 吴雄文,陈创,陈泽师,等.绞合型碳纤维芯导线的性能及施工工艺研究[J].中国电业(技术版),2014(4):58-61.
- [19] 钟飞,黄丰,张春雷,等.碳纤维复合芯导线损伤检测[J].广东电力,2011,24(12):67-69.

作者简介:



朱文卫

朱文卫(通信作者)

1985-,男,山东单县人,高级工程师,工学硕士,主要从事主网线路工程技术工作(e-mail)wenwei_zhu@163.com。

(责任编辑 郑文案)