

特高强度钢芯高强度耐热铝合金绞线在大跨越增容改造工程中的应用

齐敦金, 王克银, 许彦

(国网经济技术研究院有限公司徐州勘测设计中心, 江苏 徐州 221005)

摘要: 围绕夹江大跨越工程增容目标, 依据原线路的设计条件, 考虑跨越夹江弧垂和线路防雷导地线间距要求等因素, 结合国内一些大跨越工程导线选型情况, 对 JNRLH2/G5A-360/80 特强钢芯高强耐热铝合金绞线、JNRLH2/G4A-360/100 特强钢芯高强耐热铝合金绞线、JLRX/T-400/65 碳纤维复合芯铝绞线等 3 种导线进行比选论证。推荐 JNRLH2/G4A-360/100 特强钢芯高强耐热铝合金绞线用于夹江大跨越工程增容改造, 可节省大量工程投资, 缩短停电时间, 方案经济合理。同时, 为做好导线微风振动防治工作, 进行了导线自阻尼试验和防振锤功率特性试验分析, 为夹江大跨越工程的跨越档、锚线档提供了合理的防振方案。

关键词: 大跨越; 增容改造; 特强钢芯高强耐热铝合金绞线; 防振方案

文章编号: 1007-1881(2021)06-0071-05

DOI: 10.19585/j.zjdl.202106011

中图分类号: TM752

文献标志码: B

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Application of a High-strength Heat Resistant Aluminum Alloy Stranded Conductor with Ultrahigh-strength Steel Core in Long-span Capacity Expansion Projects

QI Dunjin, WANG Keyin, XU Yan

(Xuzhou Survey & Design Centre of State Grid Economic and Technological Power Research Institute Co., Ltd., Xuzhou Jiangsu 221005, China)

Abstract: Centered on capacity increase of Jiajiang long-span project, the paper, in view of design conditions of the original lines, sags of the long span and wire clearance requirements of lightning protection grounding and conductor selection for long span projects in China, compares and demonstrates JNRLH2/G5A-360/80 ultrahigh-strength heat resistant aluminum alloy stranded conductor, JNRLH2/G4A-360/100 ultrahigh-strength heat resistant aluminum alloy stranded conductor and JLRX/T-400/65 carbon-fiber composite core aluminum stranded conductor. The JNRLH2/G4A-360/100 ultrahigh-strength heat resistant aluminum alloy stranded conductor is recommended to Jiajiang long-span capacity expansion project. The scheme is economical and rational on account of saving massive project investment and curtailing outage duration. For prevention and treatment of aeolian vibration of conductors, an internal damping test and vibration damper power performance test were conducted to present a rational vibration prevention scheme for crossing spans and anchor line spans.

Keywords: long span; capacity expansion; ultrahigh-strength core heat resistant aluminum alloy conductor; vibration prevention scheme

0 引言

依据电网发展规划, 为满足地区负荷增长需

求, 优化和加强 220 kV 电网结构, 提高电网输送容量, 需对永胜—绍隆、普庆—绍隆 220 kV 线路夹江大跨越段的 LHBJ-400/95 钢芯铝合金芯导线进行增容改造。

该工程位于扬中市夹江江边, 已运行 15 年, 采用“耐—直—耐”布置, 跨越档距 999 m, 南侧

基金项目: 国家自然科学基金项目(52077215); 国网江苏电力公司科技项目(J2020047)

锚塔距离跨越塔 359 m, 北侧锚塔距离跨越塔 323 m, 均位于平地。耐张段全长 1 681 m, 为同塔双回路架设。夹江跨越塔均为直立双回柔性拉条钢管塔, 全高 113 m, 呼高 90 m; 导线为单根 LHBJ-400/95 加强钢芯铝合金绞线, 架空地线为 OPGW(光纤复合架空地线)复合光缆。

经核算, 若将该耐张段整体新建, 动态投资约需 4 000 万, 且夹江跨越段附近机场对新建线路的限高要求, 水利管理部门对新建跨江线路的审核要求, 均会制约工程建设。为节约工程投资, 考虑利用原线路铁塔、基础进行增容导线更换。

基于工程改造需求, 本文调查了国内一些大跨越工程和增容工程导线选型情况。根据我国几十年来的大跨越输电设计经验, 目前广泛应用于大跨越输电工程的导线主要有钢芯铝合金绞线、高强钢芯(耐热)铝合金绞线、特强钢芯(耐热)铝合金绞线、特强钢芯高强铝合金绞线以及铝包钢绞线等^[1]。用于大跨越增容改造工程的导线主要有: 葛沪±500 kV 直流输电线路吉阳大跨越采用的 2×KTACSR/EST-630/360 特强钢芯高强耐热铝合金导线^[2]; 葛洲坝—白家冲 220 kV 大跨越采用的 ACCC-300/60 碳纤维复合芯导线^[3]; 江都—晋陵 500 kV 线路镇江大跨越采用的 NRLH5/G5A-360/150 特高强度钢芯高强度耐热铝合金绞线; 钟山—东渡 220 kV 跨海通道增容改造用的 KTACSR/UGS-407 超强钢芯高强耐热铝合金绞线^[4]等。

结合大跨越工程案例和原线路的设计条件, 本文规划设计特强钢芯高强耐热铝合金绞线 JN-RLH2/G5A-360/80、特强钢芯高强耐热铝合金绞线 JNRLH2/G4A-360/100、碳纤维复合芯铝绞线 JLRX/T-400/65 等 3 种导线用于 220 kV 大跨越工程增容改造。基于本工程增容需求、原线路杆塔设计条件、跨越夹江弧垂和线路防雷导地线间距要求等因素, 经比选论证, 推荐 JNRLH2/G4A-360/100 特强钢芯高强耐热铝合金绞线用于本工程夹江大跨越。为确保大跨越导线安全运行, 做好其微风振动防治工作, 进行了导线自阻尼试验和防振锤功率特性试验分析, 为夹江大跨越工程的跨越档、锚线档提供了合理的防振方案。经核算, 本工程大跨越段增容改造动态投资约 200 万, 相较于新建整个耐张段, 节约工程投资约 3 800

万。而且减小了施工难度和政策处理难度, 大大减少了停电时间, 极大方便了工程顺利投运。

1 增容导线选型边界条件

本工程利用原线路铁塔和基础, 仅更换导线, 避雷线保持不变。因此, 本工程主要原则是按照原线路设计条件执行, 考虑本工程增容目标, 归纳增容导线选型边界如下:

(1) 根据最新国网江苏电力公司潮流分布数据, 至 2030 年, $N-1$ 状态下系统要求本线路最大输送容量在 320~340 MVA, 考虑负荷预测计算误差, 推荐按照每回输送容量达到 420 MVA 进行导线选型。

(2) 根据原江苏海事局批文中夹江通航要求, 导线弧垂最低点 56 年黄海标高不低于 26.68 m。

(3) 根据 DL/T 5485-2013《110~750 kV 架空输电线路大跨越设计技术规程》^[5] 有关规定, 校验气温 +15℃ 且无风、无冰时档距中央导线与地线的最小距离大于 12 m。

(4) 根据原线路杆塔设计条件和上述边界条件, 要求新规划导线机械特性和电气特性满足表 1 要求。

表 1 新规划导线主要技术要求

项目	技术要求	备注
导线外径/mm	≤29.14	校核杆塔水平荷载
单位质量/(kg·km ⁻¹)	≤1 857.4	校核杆塔垂直荷载
拉断力/kN	≤226.1	校核杆塔受力
拉力重量比/km	≥12.42	校验导线弧垂, 且弧垂不宜太小
输送容量/MVA	≥420	系统输送容量要求

2 增容导线特性分析与比选

依据原线路设计文件、国内一些大跨越工程导线选型情况、相关技术标准^[6-7]、导线厂家技术资料, 对 JNRLH2/G5A-360/80 特强钢芯高强耐热铝合金绞线、JNRLH2/G4A-360/100 特强钢芯高强耐热铝合金绞线、JLRX/T-400/65 碳纤维复合芯铝绞线等 3 种导线进行比选。

2.1 特强钢芯高强耐热铝合金绞线

特强钢芯高强耐热铝合金绞线具有强度高、拉重比大、弧垂特性好的特点^[8]。本文推荐的导线采用 4 级和 5 级强度镀锌钢线, 绞前抗拉强度分别大于 1 820 MPa 和 1 910 MPa, 1% 伸长应力

大于1 550 MPa, A级镀锌层,保证了绞线的拉重比。高强度耐热铝合金是耐热性能好,具有高强度双重特性的电工用铝合金导体材料,该铝合金制成的导线具有使用温度高、耐热性好、载流量大的特点^[1]。本文推荐的导线采用NRLH2等级的高强耐热铝合金绞线,抗拉强度大于238 MPa,伸长率最小值为1.8%,最小导电率55%IACS(国际退火铜标准),允许连续运行温度为150℃^[8]。因此,特强钢芯高强耐热铝合金绞线适合于大跨越及其增容改造线路工程。

2.2 碳纤维复合芯铝绞线

碳纤维复合芯铝导线具有强度大,耐热性能好,高温时温度线膨胀系数小、高温弧垂小、载流量大、相同铝截面单重小等优点^[9-10]。本文推荐的导线采用碳纤维复合材料芯作为主要承力部件,额定抗拉强度大于2 100 MPa,绞线的拉重比大;外层导体采用软铝型线绞线,额定抗拉强度为60~90 MPa,最小导电率63%IACS,允许连续运行温度为160℃。碳纤维复合芯导线已在一

些220 kV和500 kV线路工程上累积了数年应用经验^[11],且有大跨越增容改造工程案例^[3,12],因此本工程也将其作为比选导线。

2.3 增容导线比选

本文给出了原线路导线和3种比选导线详细技术参数(见表2),从技术参数上看,它们的导线机械特性均能够满足技术要求。计算得到各种导线载流量见表3,按照载流量分析,3种导线电气特性也能够满足工程增容目标。

表3 导线载流量计算

导线型号	载流量/A	温度/℃
JNRLH2/G5A-360/80	1 132	130
JNRLH2/G4A-360/100	1 147	130
JLRX/T-400/65	1 158	120

注:导线载流量的计算条件均为环境温度40℃、风速0.6 m/s、日照强度1 000 W/m²、辐射系数0.9、吸热系数0.9。

根据原线路技术条件,原导线设计最高运行温度为90℃。新规划导线最高运行温度均不低于150℃,在满足输送容量要求情况下,几种导线

表2 导线技术参数

基本性能参数	原导线	增容导线1	增容导线2	增容导线3
	LHBCJ-400/95	JNRLH2/G5A-360/80	JNRLH2/G4A-360/100	JLRX/T-400/65
铝线	根数/根	30	30	32
	直径/mm	4.16	3.92	3.8
	截面/mm ²	407.75	362.06	360.30
钢线	根数/根	19	19	19
	直径/mm	2.5	2.35	2.5
	截面/mm ²	93.27	82.41	93.30
复合芯	根数/根	—	—	—
	直径/mm	—	—	—
	截面/mm ²	—	—	—
总截面/mm ²	501.02	444.47	456.2	464.60
外径/mm	29.14	27.43	27.7	25.10
单重/(kg·km ⁻¹)	1 857.4	1 646.6	1 734	1 232.8
20℃直流电阻/(Ω·km ⁻¹)	0.082 28	0.088 5	0.086 74	0.069 6
弹性模量/Gpa	78	80.03	82.60	62
热膨胀系数/℃	18×10 ⁻⁶	17.94×10 ⁻⁶	17.60×10 ⁻⁶	17.60×10 ⁻⁶
额定抗拉力/kN	226.01	225.4	226.1	175.8
安全系数	2.500	2.5	2.5	2.5
最大使用张力/kN	85.883	85.652	85.884	66.804
最大使用应力/MPa	171.42	192.71	188.27	143.79
平均占比/%	20.5	20.5	20.5	19
平均运行张力/kN	44.015	43.896	44.015	31.73
平均运行应力/MPa	87.849	98.76	96.48	68
拉重比/km	12.42	13.97	13.31	14.55

弧垂情况见表4。从表4可以看出,新规划导线弧垂均不超过原线路弧垂。

表4 导线最大弧垂对比(档距999 m)

导线型号	弧垂/m	温度/°C
LHBGJ-400/95	58.5	90
JNRLH2/G5A-360/80	58.0	130
JNRLH2/G4A-360/100	58.5	130
JLRX/T-400/65	57.0	120

从电气特性分析,推荐的3种导线均满足本工程使用要求。根据中华人民共和国电力行业标准DL/T 5485—2013^[5]有关规定,校验气温+15°C且无风、无冰时档距中央导线与地线的距离。

表5给出了几种导线年平均运行条件下的弧垂。经计算,JLRX/T-400/65在当前计算条件下不满足要求,可通过放松导线、增大弧垂来满足导线间距离要求,但碳纤维导线施工缺陷不易发现且后果严重^[12],且现役线路中发生过碳纤维导线断线情况,考虑大跨越工程的重要性,故不推荐使用。

表5 年平均运行条件下导线弧垂对比(档距999 m)

导线型号	弧垂/m	温度/°C
LHBGJ-400/95	51.8	15
JNRLH2/G5A-360/80	47.9	15
JNRLH2/G4A-360/100	48.4	15
JLRX/T-400/65	46.2	15
OPGW-110	49.2	15

参照国内大跨越工程案例,绝大多数采用钢芯铝合金(耐热铝合金)绞线,钢芯主要采用G3A及EST强度等级的镀锌钢线^[8]。本工程所选用的特强钢芯高强耐热铝合金绞线JNRLH2/G5A-360/80和JNRLH2/G4A-360/100虽然都满足技术要求,但考虑到JNRLH2/G4A-360/100输送容量略有优势,单价稍低,故推荐特强钢芯高强耐热铝合金绞线JNRLH2/G4A-360/100用于本工程。

3 防振方案设计与试验分析

大跨越工程的导线防振装置一般是通过逐个试验研究确定的,由于存在下列多个因素,本工程大跨越档增加了导线防振工作的困难。

(1)本工程跨越档距长,导线弧垂较大,达

到58.5 m。由于是原线路增容改造,为控制导线弧垂,张力与原线路持平,年平均运行张力为20.5%,张力大、单导线这2个因素将会导致导线自阻尼降低,从而加大导线的微风振动。

(2)本工程跨越夹江,所处位置地形开阔,障碍物少,容易形成稳定层流,致使导线容易形成稳定的振动并且持续时间也增加。本工程较陆上段风速增加10%,为30 m/s。

根据本文所选定的增容导线,参照现有大跨越工程案例,本次防振方案采用防振锤加阻尼线的联合防振措施。对阻尼线进行剥层处理,以降低阻尼线夹处导线的动弯应变值,同时改变阻尼线夹的响应频率,改善防振方案的频响特性。在悬垂线夹出口处安装防振锤以加强防振方案低频防振效果,通过防振锤和阻尼线的联合使用可使整个防振方案性能达到最佳。具体防振方案见表6和表7。

表6 跨越档防振方案

防振方案	方案1	方案2
阻尼线型号	JL/G1A-400/50	JL/G1A-400/50
阻尼线长度/m	25.9	19.3
阻尼线不剥层长度/m	17.4	10.8
阻尼线剥一层长度/m	5.4	4.2
阻尼线剥二层长度/m	3.1	4.3
阻尼线夹型号	FZY-30/17, FZY-30/23, FZY-30/29	

表7 锚线档防振方案

防振方案	方案1	方案2
阻尼线型号	JL/G1A-400/50	JL/G1A-400/50
阻尼线长度/m	9.6	8.5
阻尼线不剥层长度/m	5.9	5.9
阻尼线剥一层长度/m	2.6	2.6
阻尼线剥二层长度/m	1.1	0
阻尼线夹型号	FZY-30/17, FZY-30/23, FZY-30/29	

针对本工程防振方案设计,需进行试验验证。根据Q/GDW 245—2010《输电线路微风振动检测装置技术规范》^[13]附录A,导线各夹固点的最大动弯应变小于120 $\mu\epsilon$ 。试验过程中,分别设计了2种防振方案进行试验比选,阻尼线线夹出口试验结果见表8和表9。通过对试验结果数据整理分析,绘制防振方案频响特性曲线见图1、图2。

由表8可知:方案2悬垂线夹出口处最大动弯应变出现在频率14.31 Hz处,为61 $\mu\epsilon$;阻尼

表8 跨越档防振试验数据汇总

方案1		方案2	
频率/Hz	最大动弯应变/ $\mu\epsilon$	频率/Hz	最大动弯应变/ $\mu\epsilon$
14.82	32	14.31	29
21.02	42	20.70	60
25.52	106	25.10	66
31.99	78	31.54	96
35.86	105	36.44	91
41.92	96	41.99	96
45.29	77	44.43	86
48.49	88	51.43	94
55.29	86	55.33	103
59.19	108	60.84	112
62.09	109	66.35	102
65.47	108	72.27	91
68.85	106		
72.43	102		

表9 锚线档防振试验数据汇总

方案1		方案2	
频率/Hz	最大动弯应变/ $\mu\epsilon$	频率/Hz	最大动弯应变/ $\mu\epsilon$
16.81	16	15.55	15
22.07	28	22.75	31
25.53	28	27.00	40
30.80	59	30.10	55
35.75	53	30.41	65
40.80	67	35.13	54
46.21	73	40.44	60
50.27	83	46.23	79
56.35	88	50.09	78
60.28	84	56.19	65
66.99	61	60.28	53
69.02	57	64.27	41
		71.24	45

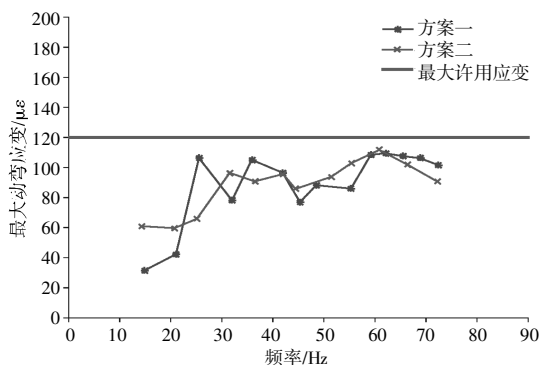


图1 导线跨越档频响特性曲线

线夹出口处最大动弯应变出现在频率 60.84 Hz 处,为 112 $\mu\epsilon$ 。从图 1 频响特性曲线看,跨越档

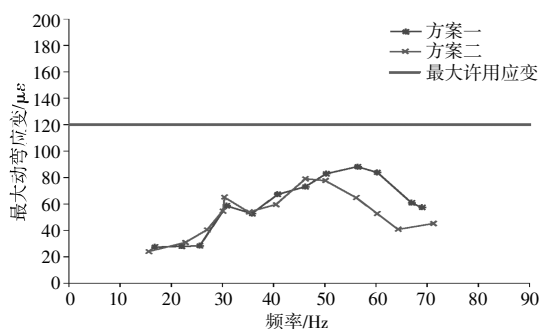


图2 导线锚线档频响特性曲线

所设计导线防振方案均能满足设计防振要求,方案 2 整体较优,推荐采用。

由表 9 可知:方案 2 耐张/悬垂线夹出口处最大动弯应变出现在频率 30.101 Hz 处,为 46 $\mu\epsilon$;阻尼线线夹出口处最大动弯应变出现在频率 46.23 Hz 处,为 79 $\mu\epsilon$ 。从图 2 频响特性曲线看,所设计导线防振方案均能满足设计防振要求,方案 2 整体较优,推荐采用。

4 结语

本文结合原线路设计条件,围绕工程增容目标,参考国内一些大跨越工程导线选型情况,对 JNRLH2/G5A-360/80 特强钢芯高强耐热铝合金绞线、JNRLH2/G4A-360/100 特强钢芯高强耐热铝合金绞线、JLRX/T-400/65 碳纤维复合芯铝绞线等 3 种导线进行比选,推荐 JNRLH2/G4A-360/100 特强钢芯高强耐热铝合金绞线用于本工程增容改造,可节省大量工程投资,缩短停电时间,提供更加经济合理的解决方案。

大跨越工程本身导线选型难度大,增容改造更加困难,在满足对下方江面跨越距离和上方地线防雷距离的严苛要求下,选择增容改造用导线则面临诸多的技术难题。目前,国内已有的此类工程案例大多所选导线容量增加 30%~60%^[2-3],本文所采用的 JNRLH2/G4A-360/100 特强钢芯高强耐热铝合金绞线增容近 70%,具有推广应用价值。

参考文献:

收稿日期:2021-01-27

- [1] 谢荣坤,潘春平,桂重.特强钢芯高强耐热铝合金绞线在大跨越输电工程中的应用[J].电力建设,2012,33(1):46-49.

- [2] 鲁景星,王钢,李健,等. ± 500 kV 吉阳大跨越输电线路增容改造导线选择[J].电力建设,2009,30(2):33-36.
- [3] 杜雪松,隋高山,牛雪松.碳纤维复合芯导线在大跨越输电线路增容改造工程中的应用[J].电工材料,2014(4):43-46.
- [4] 李聚聪,郅啸,陈静殊.新型导线在厦门 220 kV 跨海通道增容改造中的应用[J].青海电力,2008,27(增刊 1):69-73.
- [5] 电力规划设计总院.110 kV~750 kV 架空输电线路大跨越设计技术规程:DL/T 5485—2013[S].北京:中国计划出版社,2013.
- [6] 国家电网公司.特高强度钢芯铝合金绞线:Q/GDW 11275—2014[S].北京:国家电网公司,2014.
- [7] 国家电网公司.碳纤维复合材料芯架空导线:Q/GDW 10851—2016[S].北京:国家电网公司,2016.
- [8] 万建成,刘龙,刘臻.特高强度钢芯铝合金绞线标准解读[J].智能电网,2015,3(5):463-466.
- [9] 杜威,王大朋.碳纤维复合芯导线在高压架空输电线路中的应用[J].高电压技术,2015,41(增刊):3-5.
- [10] 耿江海,周松松,岂小梅.碳纤维复合芯导线与钢芯铝绞线的起晕特性对比试验[J].中国电力,2015,48(1):76-80.
- [11] 韩国聚,许绍良,刘广增.JRLX/T 型碳纤维复合芯导线的特性及工程应用[J].电力建设,2012,33(2):75-78.
- [12] 高媛.碳纤维复合芯导线在大跨越增容工程中的应用[J].电力勘测设计,2019(5):31-34.
- [13] 国家电网公司.输电线路微风振动监测装置技术规范:Q/GDW 245—2010[S].北京:中国电力出版社,2010.

作者简介:齐敦金(1984),男,高级工程师,从事输电线路设计工作。

(本文编辑:方明霞)