

铝包殷钢芯高导电率超耐热 导线在增容线路中的应用

杨立军¹, 杨开龙¹, 吴志明², 蔺亚强¹, 孙乐雨¹,
黎汉林¹, 金 榕¹, 侯 岩¹

(1.江苏亨通电力特种导线有限公司,江苏 苏州 215234; 2.中国能源
建设集团江苏省电力设计院有限公司,江苏 南京 211102)

摘要:介绍了一种铝包殷钢芯高导电率超耐热导线的结构特点与性能优势,以某一增容改造线路为例,探讨铝包殷钢芯高导电率超耐热导线应用的可行性。

关键词:铝包殷钢;增容;弧垂;高导电率;耐热

中图分类号:TM244. 2

文献标识码:A

文章编号:1672-6901(2020)05-0015-04

Application of High Conductivity Super Thermal-Resistant Aluminum Alloy Conductors Reinforced by Aluminum Clad Invar Steel in the Transmission Lines for Capacity Increasing

YANG Lijun¹, YANG Kailong¹, WU Zhiming², LIN Yaqiang¹,
SUN Leyu¹, LI Hanlin¹, JIN Rong¹, HOU Yan¹

(1.Jiangsu Hengtong Electric Power Special Wire Co., Ltd., Suzhou 215234, China; 2.China Energy Engineering
Group Jiangsu Power Design Institute Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: The paper introduced the structural characteristics and performance advantages of high conductivity super thermal-resistant aluminum alloy conductors, aluminum clad invar steel reinforced. And the paper analyzed the feasibility of this kind of conductors in the capacity-increasing reconstruction project as an example.

Key words: aluminum clad invar steel; capacity-increasing; sag; high conductivity; thermal-resistant

0 引 言

随着国民经济的高速发展,人们对电力的需求越来越大,已建输电线路因使用导线截面限制,导致输送容量上限固定。为了节约线路投资、缩短施工周期,常常选择利用原线路杆塔资源,使用铝包殷钢芯超耐热铝合金绞线直接替换旧线,实现线路增容改造。虽然传统的铝包殷钢芯超耐热铝合金绞线具有增容低弧垂应用特性,但是作为主要导电单元的超耐热铝合金线,其导电率仅为 60% IACS,使得线路高温运行损耗居高不下。随着电网用户对架空输电线路节能、环保等要求的不断提高,一种具有低热膨胀系数的铝包殷钢芯高导电率超耐热铝合金绞线应运而生。本文将某增容改造工程为例,探讨该新型导线在使用周期内应用的可行性。

1 原线路背景

原线路使用的导线型号规格为 JL/G1AF-300/25,其技术参数见表 1,结构见图 1。

表 1 导线技术参数

根数/外径	铝	48/2. 85 mm
	钢芯	7/2. 22 mm
计算截面	333. 31 mm ²	
外径	23. 76 mm	
弹性模量	66 000 MPa	
热膨胀系数	20. 3×10 ⁻⁶ /℃	
20 ℃时直流电阻	0. 094 4 Ω/km	
单位长度质量	1 107. 7 kg/km	
额定拉断力	83 758 N	
最大使用张力	31 828 N	
平均运行张力	19 893 N	
安全系数	2. 5	

在环境温度 35 ℃、日照强度 1000 W/m²、风速 0. 5 m/s、系统频率 50 Hz、辐射系数与吸热系数均为

收稿日期:2020-01-21

作者简介:杨立军(1985—),男,工程师.

作者地址:江苏苏州市吴江区七都镇亨通大道 88 号
[215234].

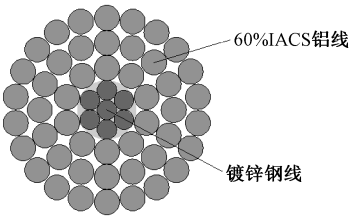


图 1 涂油钢芯铝绞线结构示意图

0.9 的条件下,原线路的载流量为 564 A,输送容量 204 MVA。

表 2 为现场勘测的气象条件,据悉该地区年均雷电日为 45 天。

表 2 现场气象条件

项目	气温/℃	风速/(m·s ⁻¹)	覆冰厚度/mm
最高气温	40	0	0
最低气温	-20	0	0
安装情况	0	10	0
雷电过电压	15	10	0
操作过电压	15	15	0
最大风速	0	30	0
最大覆冰	-5	10	5
年平均气温	15	0	0

2 增容导线结构

此项目设计输送容量增加至 400 MVA,线路额定电压 220 kV,单回路单根导线架设,线路全长 9.415 km,输送容量达到目标要求后,线路弧垂、杆塔承受荷载相比原导线基本不增加或增加可控。

增容改造线路一般选用铝包钢芯超耐热导线,本工程选用了铝包钢芯高导电率超耐热导线。

2.1 铝包钢芯超耐热导线

该导线由铝包钢芯与超耐热铝合金线同心绞合而成,其结构如图 2 所示。

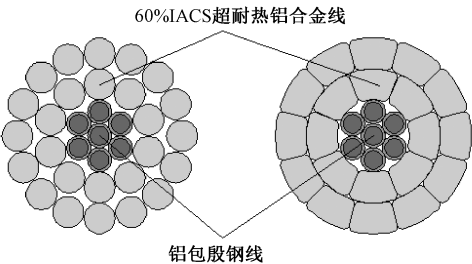


图 2 铝包钢芯超耐热导线结构示意图

导线利用铝包钢芯的低热膨胀系数特性及超耐热铝合金线的耐高温特性保证了线路达到增容目

标后,仍然具有可控的弧垂。导线长期允许使用温度达到 210 ℃,允许短期(400 h)工作温度达到 240 ℃。由于超耐热铝合金的热膨胀比铝包钢芯快,且铝包钢芯与超耐热铝合金线的热膨胀系数差别很大,当运行温度升高至某一值时,导线的张力全为铝包钢芯承受,此温度称为张力迁移点温度。铝包钢芯超耐热导线的张力迁移点温度一般为 60~100 ℃左右(与档距和初始张力有关)^[1]。迁移点后的导线弧垂由铝包钢芯来决定,因铝包钢芯热膨胀系数较小,因此可以在增加输送容量时基本不增加导线的弧垂。

2.2 铝包钢芯高导电率超耐热导线

铝包钢芯高导电率超耐热导线结构如图 3 所示。

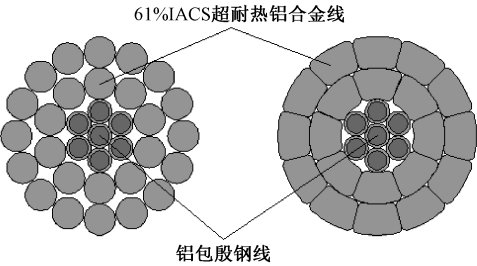


图 3 铝包钢芯高导电率超耐热导线结构示意图

铝包钢芯高导电率超耐热导线相比普通超耐热导线在制造环节考虑的工艺优化如下:(1)通过对超耐热铝合金材料中铝锭纯度的严格控制来重点管控敏感杂质元素;(2)优化超耐热铝合金杆热处理工艺(降低保温温度,增加保温时间);(3)实现超耐热铝合金线导电率提升至 61% IACS,使导线具有更优异的电性能,而机械性能也将有所提升。

3 电气与机械性能

铝包钢芯超耐热导线和铝包钢芯高导电率超耐热导线与原导线在导线技术参数、杆塔荷载、线路弧垂等的对比分析如下。

3.1 导线技术参数

表 3 为钢芯铝绞线、铝包钢芯超耐热导线和铝包钢芯高导电率超耐热导线的技术参数对照表。

3.2 杆塔荷载

(1)水平风荷载

铝包钢芯超耐热导线、铝包钢芯高导电率超耐热导线的外径均小于原导线外径,因此换线后杆塔承受的水平风荷载小于原线路^[3]。

表 3 三种导线技术参数表^[2]

型 号		JL/G1AF-300/25	JNRLH3/LBY14-255/40	JNRLH3(61%IACS)/LBY14-255/40
根数/外径/mm	铝部分	48/2.85	26/3.54	26/3.54
	钢部分	7/2.22	7/2.75	7/2.75
计算截面/mm ²	铝部分	306.21	255.90	255.90
	钢部分	27.10	41.58	41.58
	合计	333.31	297.48	297.48
外径/mm		23.76	22.41	22.41
弹性模量/MPa	拐点温度以下	66 000	68 600	68 600
	拐点温度以上	—	152 000	152 000
热膨胀系数/(×10 ⁻⁶ /℃)	拐点温度以下	20.3	17.0	16.8
	拐点温度以上	—	3.7	3.0
20℃时直流电阻/(Ω·km ⁻¹)		0.094 4	0.110 5	0.108 7
单位长度质量/(kg·km ⁻¹)		1 107.7	1 003.1	1 003.1
额定拉断力/N		83 758	82 831	82 831
最大使用张力/N		31 828	31 476	31 476
平均运行张力/N		19 893	19 672	19 672
安全系数		2.5	2.5	2.5

(2)垂直荷载

铝包殷钢芯超耐热导线、铝包殷钢芯高导电率超耐热导线的单位长度质量均小于原导线,铁塔垂直荷载的初步校验情况见表 4(仅考虑导线自荷载,由于覆冰荷载均小于原导线,因此覆冰时综合比载无需对比)。

表 4 三种导线的垂直荷载对照表 (单位:N)

型号规格		JL/G1AF-300/25	JNRLH3/LBY14-255/40	JNRLH3(61%IACS)/LBY14-255/40
典型档距/m	300	3 259	2 951	2 951
	400	4 345	3 935	3 935
	500	5 431	4 919	4 919
	550	5 975	5 410	5 410
	600	6 518	5 902	5 902
	650	7 061	6 394	6 394

根据表 4 可知,铝包殷钢芯超耐热导线、铝包殷钢芯高导电率超耐热导线的垂直荷载均小于原导线。原线路 ZB、ZTS 型直线塔设计垂直档距分别为 600 m、650 m,而线路实际使用最大垂直档距为 500 m,因此原线路直线塔的垂直荷载还有一定的裕度。

3.3 导线载流量

铝包殷钢芯超耐热导线、铝包殷钢芯高导电率

超耐热导线满足本工程载流量 1104 A、输送容量 400 MVA 时的运行温度,见表 5。

表 5 三种导线的运行温度 (单位:℃)

型号规格	JL/G1AF-300/25	JNRLH3/LBY14-255/40	JNRLH3(61%IACS)/LBY14-255/40
导线运行温度	141	158	156
长期允许温度	70	210	210

3.4 导线弧垂

原线路的设计定位温度按照 40 ℃取值,校验温度按照 70 ℃取值。原线路 70 ℃的弧垂与铝包殷钢芯超耐热导线、铝包殷钢芯高导电率超耐热导线的弧垂^[3]对比见表 6。

由表 6 可以看出,铝包殷钢芯超耐热导线、铝包殷钢芯高导电率超耐热导线在达到增容目标时的弧垂较原导线 70 ℃弧垂的增加量可控,铝包殷钢芯高导电率超耐热导线的弧垂优势更加明显。

4 线路综合成本

线路综合成本计算条件:(1)最大损耗小时数 3 200 h;(2)电力工程回收率 8%;(3)设备运行维护费用率 1.4%;(4)电价 0.5 元/度;(5)经济使用年限 30 年(仅用于计算年费用)。两种增容导线的增量投资回收年限计算见表 7。

表 6 三种导线的弧垂对照表

(单位:m)

型号规格		JL/G1AF-300/25	JNRLH3/LBY14-255/40		JNRLH3(61%IACS)/LBY14-255/40	
线温/℃		70	158		156	
			弧垂	差值	弧垂	差值
代表档距/m	203	4. 47	4. 98	0. 51	4. 87	0. 40
	224	5. 19	5. 78	0. 59	5. 67	0. 48
	276	7. 19	7. 95	0. 76	7. 83	0. 64
	307	8. 54	9. 39	0. 85	9. 26	0. 72
	324	9. 33	10. 22	0. 89	10. 08	0. 75
	335	9. 86	10. 77	0. 91	10. 62	0. 76
	342	10. 20	11. 12	0. 92	10. 98	0. 78
	369	11. 59	12. 55	0. 96	12. 41	0. 82
	424	14. 69	15. 70	1. 01	15. 54	0. 85

表 7 两种导线每公里运行费用

相分裂导线型号	1×JNRLH3/ LBY14-255/40	1×JNRLH3(61%IACS)/ LBY14-255/40
导线投资/万元	23. 70	26. 55
导线投资增量/万元	0. 00	2. 85
维修费用/万元	0. 33	0. 37
电阻损耗/kW	628. 18	613. 92
年电阻损耗/(kW·h)	201. 02	196. 45
能耗费用/万元	100. 51	98. 23
年费用/万元	102. 95	100. 96

从表 7 可以看出,铝包殷钢芯高导电率超耐热导线每公里线路增加投资为 2. 85 万元,每公里线路节约电能损耗 2. 28 万元。在金具及附件等费用一致的情况下,依据导线年费用计算方法^[4]进行测算,选用铝包殷钢芯高导电率超耐热导线替换旧线进行线路增容,导线本体投资增量仅需 1. 37 年便可实现回收,因此本工程选用铝包殷钢芯高导电率超

耐热导线的经济效益十分可观。

5 结束语

铝包殷钢芯高导电率超耐热导线是一种新型增容导线,具备高温运行时低线路损耗的特点,相比传统铝包殷钢芯超耐热导线,单价略高。因此在实际使用时,需综合考虑线路长度、使用年限等条件,才能为用户提供一种合理的线路增容选择方案。

参考文献:

[1] 张颖璐.增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.

[2] 中国电力科学研究院.同心绞铝包殷钢芯耐热铝合金绞线: Q/GDW 11139—2013[S].北京:中国电力出版社,2014.

[3] 孟遂民,孙伟,唐波.架空输电线路设计(第二版)[M].北京:中国电力出版社,2018;59-129.

[4] 杨锦云. 导线经济电流密度[J].煤炭科学技术,1994,22(6): 34-37.

[14] 张猛,张玉莹,赵桂峰,等.考虑温度场的架空钢芯铝绞线线股应力研究[J].郑州大学学报(工学版),2018,39(4):7-11.

[15] RANJITH KUMAR, S.KUMAR, G.PAL. High-ampacity over-head power lines with carbon nanostructure-epoxy composite[J]. Journal of Engineering Materials and Technology, 2016, 138(10):1-9.

[16] 刘刚,李炀,陈垣,等.基于电磁-热耦合模型的架空导线温度分布和径向温差的计算与实验验证[J].电力系统保护与控制,2018,46(7):7-13.

(上接第 6 页)

[11] SEBASTIEN LALONDE, RAYNALD GUILBAULT, SEBASTIEN LANGLOIS. Numerical analysis of ACSR conductor-clamp systems undergoing wind-induced cyclic loads[J].IEEE Transactions On Power Delivery, 2018,33(4):1518-1526.

[12] 肖凯,刘永斗,李鹏云,等.架空导线径向温度场的数值模拟[J].武汉理工大学学报,2015,37(4):65-70.

[13] 周象贤,温典,王少华,等.高压架空输电线路分裂导线温度场仿真分析[J].电工电气,2017(3):20-22.