

Analysis of Application Characteristics of Energy Saving Conductor in AC Transmission Line

Jie Chen, Zhanyuan Tang, Jian Gao, Zhihuan An

Economic Research Institute, State Grid Qinghai Electric Power Company, Xining Qinghai
Email: chenjie0311@yeah.net

Received: Jul. 14th, 2020; accepted: Jul. 27th, 2020; published: Aug. 3rd, 2020

Abstract

By comparing the technical characteristics, sag characteristics and energy-saving effects of three kinds of energy-saving conductors, the application scenarios of each type of conductors are summarized and proposed, which is conducive to the promotion and application in practical projects in the future.

Keywords

Energy Saving Conductor, Electric Energy Loss, Mechanical Performance, Annual Fee Usage

节能导线在交流线路工程中应用特点分析

陈 杰, 唐占元, 高 健, 安之焕

国网青海省电力公司经济技术研究院, 青海 西宁
Email: chenjie0311@yeah.net

收稿日期: 2020年7月14日; 录用日期: 2020年7月27日; 发布日期: 2020年8月3日

摘 要

本文通过比较三种节能导线的技术特点, 弧垂特性, 节能效果, 总结提出每种导线的应用场景, 有利于今后在实际工程中的推广应用。

关键词

节能导线, 电能损耗, 机械性能, 年费用法



1. 引言

导线是输电网中传输电能的主要元件,其输电损耗是整个电网损耗的主要构成部分。选择合适的导线,对输电线路的输送容量、传输性能、电磁环境和技术经济指标都有很大的影响。近年来,随着铝(合金)的冶炼和加工技术的不断成熟,高导电率硬铝和铝合金导线制造技术不断成熟,价格也越来越接近普通导线,此类导线在国外已经有较多的应用经验。开展节能导线在交流输电线路中的应用研究,推广节能技术,是十分有意义的一项工作。

2. 节能导线的种类

本文中的节能类导线是指与普通钢芯铝绞线相比在等外径(等总截面)应用条件下,通过减小导线电阻,降低输电损耗,达到节能效果。目前,具备普及推广应用的节能类导线主要有:钢芯高导电率硬铝绞线、铝合金芯铝绞线和中强度全铝合金绞线三种。除此之外节能导线还有采用软铝材料、成型绞线等形式,但因为其技术成熟度、造价等原因,目前还不具备大面积推广应用的条件,在本文中不进行讨论。

本文讨论的导线主要采用下图所示的两种结构,均符合国家标准《圆线同心绞架空导线》(GB/T1179-2008)中规定的形式,一种是采用两种金属材质绞合形式(图1),芯线的强度较高,承担主要的拉力,外层导线的电阻率低,主要承担导电作用。普通钢芯铝绞线,高导电率钢芯铝绞线,铝合金芯铝绞线属于此种结构。二是采用单一材质金属绞合而成(图2),既承担拉力又作为导电载体,中强度全铝合金绞线属于此类结构形式。

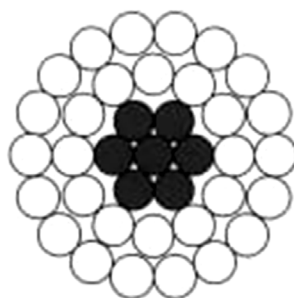


Figure 1. Two kinds of metal stranding forms

图1. 两种金属材质绞合形式

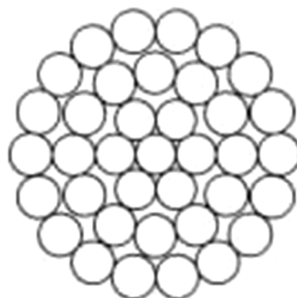


Figure 2. Single material stranded form

图2. 单一材质绞合形式

高导电率钢芯铝绞线同普通钢芯铝绞线结构相同, 通过提高外层硬铝的导电率来降低整个导线的电阻。铝合金芯铝绞线同普通钢芯铝绞线相比, 将钢芯用铝合金替代并适当增大截面以保证足够的拉断力, 外层采用硬铝材料, 铝合金和硬铝同时承担导电作用, 从而降低导线整体的电阻。中强度全铝合金绞线全部采用导电率为 58.5% 的中强度铝合金线绞合而成, 中强度铝合金线导电率介于高强度铝合金线和硬铝线之间, 相对普通导线, 不含有钢芯, 增大了导电截面, 也从整体上降低了电阻[1]。

3. 三种节能导线的技术性能分析

为了比较这三种节能导线的特点, 本文选取了与普通钢芯铝绞线 240/40, 630/45, 800/55 三种结构相对应的节能导线型号进行分析, 从截面和铝钢比的变化上说明每种节能导线的应用特点和优缺点。

1) 普通导线和三种节能导线的基本参数, 见表 1~3

Table 1. Comparison of performance parameters of energy-saving conductor corresponding to ACSR 240/40

表 1. 与 JL/G1A-240/40 钢芯铝绞线对应的节能型导线性能参数对比

导线名称	单位	钢芯铝绞线	高导电率钢芯铝绞线	铝合金芯铝绞线	中强度铝合金绞线
型号		JL/G1A	JL (GD)/G1A	JL/LHA1	JLHA3
规格		240/40	240/40	135/145	280
单位长度质量	kg/km	963.5	963.5	765.9	769.4
额定抗拉力	kN	83.76	83.76	66.26	67.02
直流电阻 20℃	Ω/km	0.1209	0.1171	0.1121	0.1077

Table 2. Comparison of performance parameters of energy-saving conductor corresponding to ACSR 630/45

表 2. 与 JL/G1A-630/45 钢芯铝绞线对应的节能型导线性能参数对比

导线名称	单位	钢芯铝绞线	高导电率钢芯铝绞线	铝合金芯铝绞线	中强度铝合金绞线
型号		JL/G1A	JL (GD)/G1A	JL/LHA1	JLHA3
规格		630/45	630/45	465/210	675
单位长度质量	kg/km	2078.4	2078.4	1858.9	1861.0
额定抗拉力	kN	150.19	150.19	137.02	161.69
直流电阻 20℃	Ω/km	0.04591	0.0445	0.0447	0.0447

Table 3. Comparison of performance parameters of energy-saving conductor corresponding to ACSR 800/55

表 3. 与 JL/G1A-800/55 钢芯铝绞线对应的节能型导线性能参数对比

导线名称	单位	钢芯铝绞线	高导电率钢芯铝绞线	铝合金芯铝绞线	中强度铝合金绞线
型号		JL/G1A	JL (GD)/G1A	JL/LHA1	JLHA3
规格		800/55	800/55	600/275	870
单位长度质量	kg/km	2690	2690	2408	2413
额定抗拉力	kN	191.5	191.5	177.48	209.65
直流电阻 20℃	Ω/km	0.03547	0.0343	0.0347	0.0346

其中: 高导电率钢芯铝绞线硬铝部分导电率为 63.0% IACS; 铝合金芯铝绞线硬铝部分导电率为 61% IACS, 铝合金部分导电率为 53.0% IACS; 中强度铝合金导电率为 58.5% IACS。

可以看出三种节能导线相对与普通钢芯铝绞线直流电阻都有一定程度的减少,这对于减少输电线路损耗是有利的;额定抗拉力方面高导电率钢芯铝绞线和普通导线一致,铝合金芯铝绞线略低,中强度铝合金绞线在大截面占优;单位长度质量方面高导电率钢芯铝绞线和普通导线一致,铝合金芯铝绞线和中强度铝合金绞线较轻,可以预见弧垂会相对减少。

2) 电能损耗特点分析

以环境温度为 15 度,经济电流密度 0.9 为条件,采用摩尔根公式计算温升,日本电线与电缆制作协会标准《裸线载流量计算方法》(JCS 0374: 2003)中推荐的方法计算交流电阻。计算结果见表 4~6。

Table 4. Comparison of energy saving conductor loss corresponding to ACSR 240/40

表 4. 与 JL/G1A-240/40 钢芯铝绞线对应的节能型导线损耗对比

导线名称	单位	钢芯铝绞线	高导电率钢芯铝绞线	铝合金芯铝绞线	中强度铝合金绞线
型号		JL/G1A	JL (GD)/G1A	JL/LHA1	JLHA3
规格		240/40	240/40	135/145	280
导线交流电阻	Ω/km	0.1270	0.1232	0.1167	0.1133
单位长度线路损耗	kw/km	35.5519	34.4881	32.6685	31.7167
损耗比例	%	100.0	97.0	91.9	89.2

Table 5. Comparison of energy saving conductor loss corresponding to ACSR 630/45

表 5. 与 JL/G1A-630/45 钢芯铝绞线对应的节能型导线损耗对比

导线名称	单位	钢芯铝绞线	高导电率钢芯铝绞线	铝合金芯铝绞线	中强度铝合金绞线
型号		JL/G1A	JL (GD)/G1A	JL/LHA1	JLHA3
规格		630/45	630/45	465/210	675
导线交流电阻	Ω/km	0.05160	0.05010	0.04963	0.04956
单位长度线路损耗	kw/km	99.5388	96.6473	95.7330	95.5961
损耗比例	%	100.0	97.1	96.2	96.0

Table 6. Comparison of energy saving conductor loss corresponding to ACSR 800/55

表 6. 与 JL/G1A-800/55 钢芯铝绞线对应的节能型导线损耗对比

导线名称	单位	钢芯铝绞线	高导电率钢芯铝绞线	铝合金芯铝绞线	中强度铝合金绞线
型号		JL/G1A	JL (GD)/G1A	JL/LHA1	JLHA3
规格		800/55	800/55	600/270	870
导线交流电阻	Ω/km	0.04066	0.03937	0.03971	0.03951
单位长度线路损耗	kw/km	252.937	244.913	247.03	245.78
损耗比例	%	100	96.8	97.66	95.92

高导电率钢芯铝绞线比普通导线大约能节约 3%左右的损耗。铝合金芯铝绞线,中强度铝合金绞线采取将普通导线的钢芯部分替换成铝材料,增加总导电面积,所以相对于总截面小、铝钢比小的普通导线,能显著降低电阻,减少损耗;但随着导线截面、铝钢比的不断增加,其优势不断减少;导线截面超过 630 以后,高导电率钢芯铝绞线的直流电阻更小。

3) 机械性能分析

主要对比三种节能导线的弧垂，覆冰过载能力，摇摆角三个方面的差别。见图 3~5。

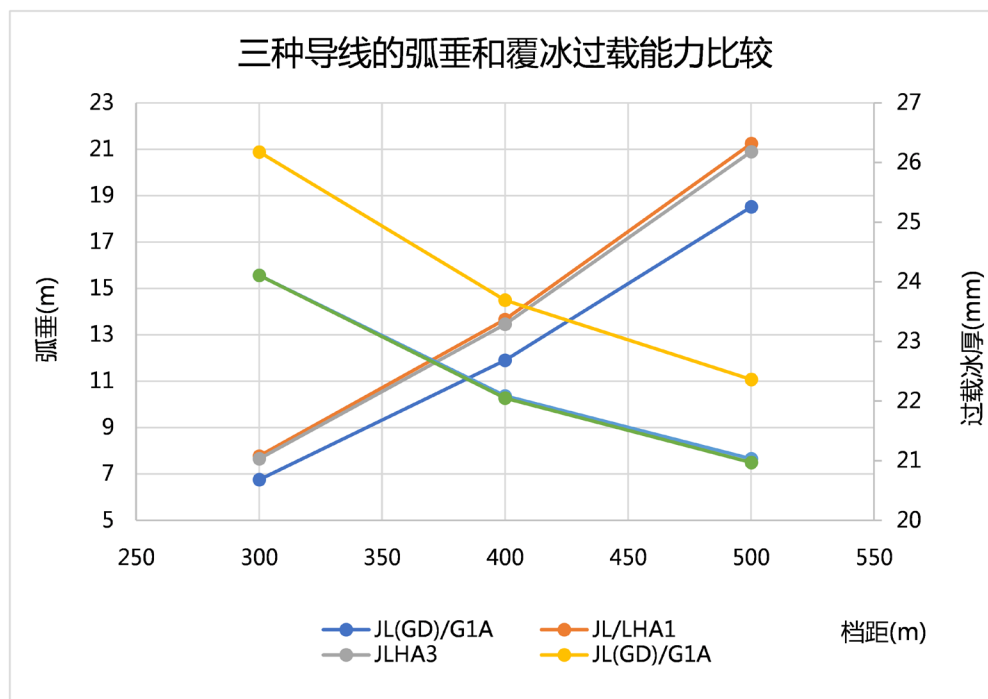


Figure 3. Comparison of sag and icing overload capacity of three kinds of energy-saving conductors with 240 specifications
图 3. 240 规格的三种节能导线的弧垂和覆冰过载能力比较

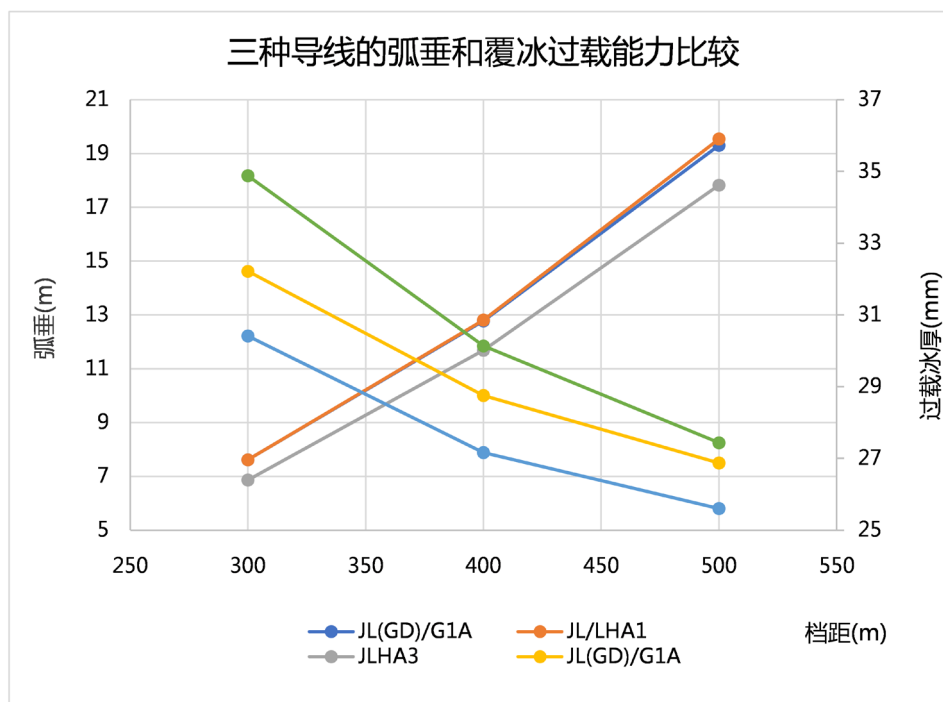


Figure 4. Comparison of sag and icing overload capacity of three kinds of energy-saving conductors with 630 specifications
图 4. 630 规格的三种节能导线的弧垂和覆冰过载能力比较

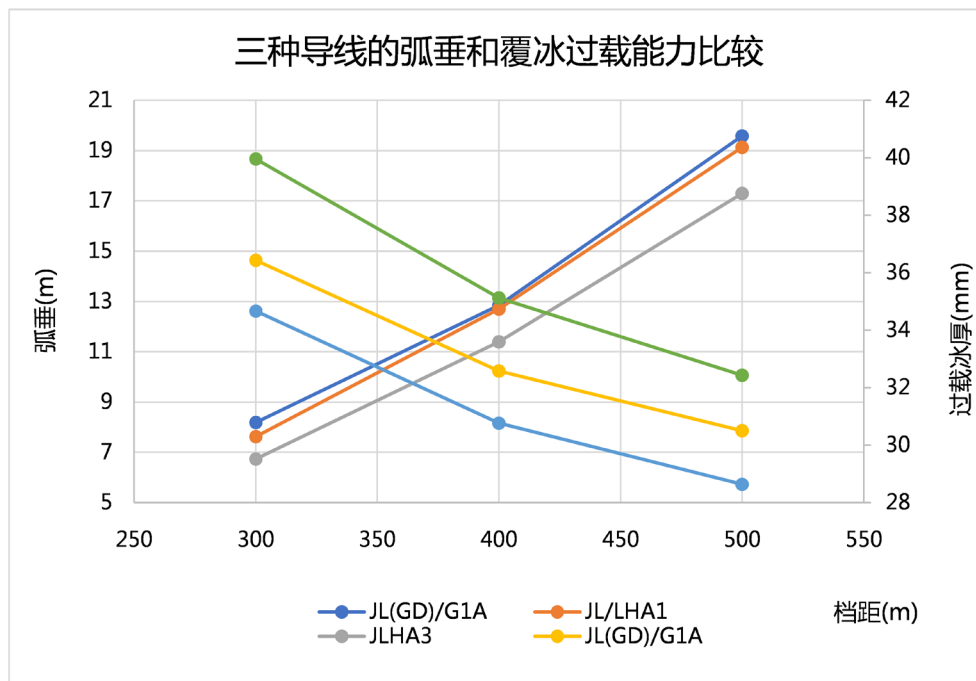


Figure 5. Comparison of sag and icing overload capacity of three kinds of energy-saving conductors with 800 specifications
图 5. 800 规格的三种节能导线的弧垂和覆冰过载能力比较

高导电率钢芯铝绞线和普通导线弧垂特性完全一致，可以直接替换普通导线使用，弧垂特性可以用拉重比反映，拉重比越大的弧垂越小。中强度铝合金绞线由单一材质构成，拉重比在不同截面下变化不大，在 400 mm² 截面以上绞普通导线弧垂小。铝合金芯铝绞线通过铝合金和硬铝的截面配比调整，可以获得比普通导线略小的弧垂效果。

覆冰过载能力上，三种导线基本相同，都能满足一般工程的需要。

大风工况下水平荷载与垂直荷载的比值，反映了导线的摇摆角大小，数值越大代表摇摆角越大。由于铝合金芯铝绞线，中强度铝合金绞线本身的质量小，相同风速情况下，摇摆角较大，较普通钢芯铝绞线增加 3~5 度，对铁塔的使用会造成一定的影响，尤其是在风速较大的区段使用时，应注意检查电气间隙。

4. 经济性分析

采用年费用法分析对比不同节能导线的经济性，具体边界条件如下[2] [3]:

- 1) 只考虑导线的变化，杆塔均采用国家电网公司通用设计杆塔，除导线外其他部分的投资相同。
- 2) 输送容量均按照经济电流密度为 0.9 计算所得，功率因数取 0.95。
- 3) 上网电价分别按 0.2 元/kw·h、0.3 元/kw·h、0.4 元/kw·h、0.5 元/kw·h。
- 4) 经济使用年限取 30 年，施工期按两年计算，第一年投资 60%，第二年投资 40%；内部收益率取 10%；年维护费用取静态投资的 1.4%。
- 5) 导线最大负荷损耗小时数按 3000 小时计，及最大负荷利用小时数为 5000 小时。
- 6) 普通钢芯铝绞线价格取 1.68 万元/吨，高导电率钢芯铝绞线价格取 1.9 万元/吨，铝合金芯铝绞线价格取 2.0 万元/吨，中强度铝合金绞线价格取 2.1 万元/吨。
- 7) 典型工程条件：
 - 240/40 系列导线按照 110 kV 电压等级，单回路，每相双分裂；
 - 630/45 系列导线按照 500 kV 电压等级，双回路，每相四分裂；

800/45 系列导线按照 500 kV 电压等级，双回路，每相四分裂。
年费用法分析比较结果见表 7~9。

Table 7. Comparison of annual cost of energy-saving conductor corresponding to JL/G1A-240/40 ACSR
表 7. 与 JL/G1A-240/40 钢芯铝绞线对应的节能型导线年费用对比

导线名称	单位	钢芯铝绞线	高导电率钢芯铝绞线	铝合金芯铝绞线	中强度铝合金绞线
型号		JL/G1A	JL (GD)/G1A	JL/LHA1	JLHA3
规格		240/40	240/40	135/145	280
本体投资	万元/km	69.71	70.98	69.19	69.69
单位长度 年费用	0.20 元/kw-h	13.49	13.54	13.1	13.07
	0.30 元/kw-h	14.56	14.57	14.08	14.02
	0.40 元/kw-h	15.62	15.6	15.06	14.97
	0.50 元/kw-h	16.69	16.64	16.04	15.92

Table 8. Comparison of annual cost of energy-saving conductor corresponding to JL/G1A-630/45 ACSR
表 8. 与 JL/G1A-630/45 钢芯铝绞线对应的节能型导线年费用对比

导线名称	单位	钢芯铝绞线	高导电率钢芯铝绞线	铝合金芯铝绞线	中强度铝合金绞线
型号		JL/G1A	JL (GD)/G1A	JL/LHA1	JLHA3
规格		630/45	630/45	465/210	675
本体投资	万元/km	383.8	394.8	389.2	393.8
单位长度 年费用	0.20 元/kw-h	96.44	96.68	95.51	96.09
	0.30 元/kw-h	108.38	108.28	106.99	107.56
	0.40 元/kw-h	120.33	119.88	118.48	119.03
	0.50 元/kw-h	132.28	131.48	129.97	130.5

Table 9. Comparison of annual cost of energy-saving conductor corresponding to JL/G1A-800/50 ACSR
表 9. 与 JL/G1A-800/55 钢芯铝绞线对应的节能型导线年费用对比

导线名称	单位	钢芯铝绞线	高导电率钢芯铝绞线	铝合金芯铝绞线	中强度铝合金绞线
型号		JL/G1A	JL (GD)/G1A	JL/LHA1	JLHA3
规格		800/55	800/55	600/270	870
本体投资	万元/km	458.46	472.66	468.35	472.77
单位长度 年费用	0.20 元/kw-h	118.5	118.7	118.66	118.91
	0.30 元/kw-h	133.68	133.4	133.50	133.66
	0.40 元/kw-h	148.86	148.09	148.35	148.4
	0.50 元/kw-h	164.03	162.79	163.19	163.15

可以看出对应于 240 mm² 截面中强度铝合金绞线的年费用最少，铝合金芯铝绞线次之，高导电率钢芯铝绞线相对较高。对应于 630 mm² 截面上，铝合金芯铝绞线的年费用最少，中强度铝合金绞线次之，高导电率钢芯铝绞线相对较高。对应于 800 mm² 截面上，高导电率钢芯铝绞线的年费用最少，铝合金芯铝绞线次之，中强度铝合金绞线相对较高。

5. 总结

三种节能导线都有明显的节能效果,但各自的特点不同。

高导电率钢芯铝绞线的结构和机械性能和普通导线完全一致,可以直接替代普通导线,应用最为方便,尤其是在大截面导线应用上具有优势,若应用在直流线路上,因为没有磁滞损耗的问题,其优势会更加明显。中强度铝合金绞线和铝合金芯铝绞线均采用铝材料构成,没有两种金属间的电化学腐蚀情况,抗腐蚀性能好,预期寿命长。不含有铁磁材料,没有磁滞损耗,在交流线路应用中更具优势。缺点是本身重量较轻,相对普通导线的风偏角较大,在风速较高的地区会限制铁塔的使用,在一定程度上抵消了弧垂小优势[4][5]。

从年费用的计算结果来看,在目前的造价水平下,中强度铝合金导线在替代 400 mm^2 及以下截面的导线时,由于节能效果明显,年费用最低,综合最优;铝合金芯铝绞线在替代 $500\sim 600\text{ mm}^2$ 截面的导线时,综合最优;高导电率钢芯铝绞线在替代 700 mm^2 及以上大截面导线时,综合最优。上述结论是在本文的假设条件下得出的,具体工程还应该按照实际的输送容量和电价水平进行计算,确定适合自己工程特点的节能导线。

从发展趋势看,随着制造工艺的不断提高,成本降低,运行经验的积累,节能导线将在工程中越来越广泛的应用。更多品种的节能导线,如高强钢芯软铝绞线、等径增大截面的各种成型绞线,也会随着技术的成熟在工程中逐步应用。

论文方向

架空送电线路设计专业。

参考文献

- [1] 顾伟. 节能导线在高压输电线路设计中的应用[J]. 集成电路应用, 2020(5): 102-103.
- [2] 张端. 电力输配电线路中节能导线对工程造价的影响[J]. 科技风, 2019(35): 111.
- [3] 李宇. 节能导线在输电线路中的应用探讨[J]. 科技风, 2017(19): 179
- [4] 范辉, 冯砚厅, 耿江海, 闫志恒. 节能导线电能损耗特性分析及节能效果对比研究[J]. 电工材料, 2016(3): 20-24.
- [5] 孙杨. 节能导线在输电线路中的节能效果分析[J]. 建材与装饰, 2016(48): 234-235.