

3 种节能导线的交流电阻特性和影响因素分析

赵 强, 姚 虹

(无锡市广盈电力设计有限公司, 江苏 无锡 214000)

摘 要: 以往在高压输电线路领域常用的导线是钢芯铝绞线, 近年来, 国家大力倡行节能减排, 输电线路的节能降耗成为新的关注点。目前在工程上具备可推广条件的主要有三种节能导线, 但由于 3 种导线的结构形式和材质各不相同, 直接决定了不同导线的最终交流电阻各不相同。本文通过对这 3 种新型节能导线与钢芯铝绞线的结构对比, 计算不同负荷电流下的交流电阻, 得出他们实际的节能指标, 并分析造成交流电阻差距的各种因素。

关键词: 新型节能导线; 交流电阻; 影响因素

1 导线现状

我国架空导线的导体材料绝大部分是电工铝。1983 年, 我国《铝绞线及钢芯铝绞线》GB1179-83 规定硬铝导电率不低于 61%IACS,

因此 80 年代以来我国新建线路采用的架空导线的电阻率一直维持在 61%IACS 的水平。

直到进入 21 世纪以来, 国家大力倡行节能减排, 国网公司也强调转变电网发展方式, 积极应用“新技术、新工艺和新材料”, 实现环境友好和资源节约, 输电线路的节能降耗成为新的关注点。

2 适合新建线路推广的节能导线

在国家电网公司基建部的大力推动和指导下, 经过相关科研、制造和设计单位的共同努力, 目前已具备在新建线路中推广条件的节能导线主要有以下三种:

(1) 钢芯高导电率铝绞线

钢芯高导电率硬铝绞线采用 63%IACS 高导电率铝线替代普通钢芯铝绞线中的 61%IACS 铝线, 与铝截面相同的普通钢芯铝绞线相比, 由于铝线导电率的提高, 可使导线整体直流电阻值降低, 电能损耗减少, 且其他机械电气性能与普通钢芯铝绞线完全相同。

(2) 铝合金芯铝绞线

铝合金芯铝绞线采用 53%IACS 高强度铝合金芯替代普通钢芯铝绞线中的钢芯和部分铝线, 导线外部铝线与普通钢芯铝绞线铝线相同。在等总截面应用条件下, 由于基本无导电能力的 9%IACS 钢芯

被铝合金芯替代, 所以铝合金芯铝绞线的直流电阻比普通钢芯铝绞线更小, 因此提高了导电能力

(3) 中强度全铝合金绞线:

中强度全铝合金绞线全部采用 58.5%IACS 中强度铝合金材料, 与等总截面的普通钢芯铝绞线相比, 同样由于铝合金材料替代了钢芯, 相当于增大了导线的导电截面, 使导线的整体直流电阻值降低, 提高了导电能力

3 交流电阻计算原理

(1) 一般情况下, 厂家提供的都是 20℃ 直流电阻 R_{20DC} , 实际的导线温度不只 20℃, 会随负荷电流和环境变化, 因此直流电阻 R_{DC} 和 20℃ 直流电阻 R_{20DC} 有区别。

$$R_{DC} = R_{20}(1 + \alpha(T - 20));$$

式中 α 为导线的电阻温度系数, 和导线的材质有关, 一般导电率越大, 电阻温度系数 α 也越大。

(2) 真正决定输电线路导线损耗的是导线运行温度下的交流电阻 R_{AC} , 而非直流电阻 R_{DC} 。

$$R_{AC} = k * R_{DC} = k_1 * k_2 * R_{DC};$$

式中, k 为交直流电阻比 (交流系数)。 k_1 和 k_2 两个系数分别为集肤效应系数和铁芯损耗系数。 k_1 不仅与导线结构形式有关, 同时还与导线的直流电阻 R_{DC} 有关。 k_2 一般要根据导线结构判断是否存在铁芯损耗, 对于确实需要计入铁芯损耗的, 其大小与通过的电流和导线导电截面有关。集肤效应系数和铁芯损耗系数一般采用日本电线与电缆制作者协会颁布的 JCS 0374-2003“裸线载流量计算方法”中

提供的公式。

4 交流电阻计算

根据第三节所述,在相同环境,相同负荷(I)下,导线的交流电阻与以下因素有关,20℃直流电阻 R_{20DC} 、电阻温度系数 α ,交直流电阻比(即交流系数 k),

以 JL/G1A-300/25 截面导线(70 度载流量 564A)为例;设定环境温度 35℃,以 $I=564A$ 为 100%,按 10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100%分不同电流 10 次计算交流电阻。

按以下几个不同导线计算:常规导线 JL/G1A-300/25、3 种节能导线 JL(GD-63)/G1A-300/25、JHA3-335、JL/LHA1-165/170 等四种导线实际交流电阻数值如图 1 所示。

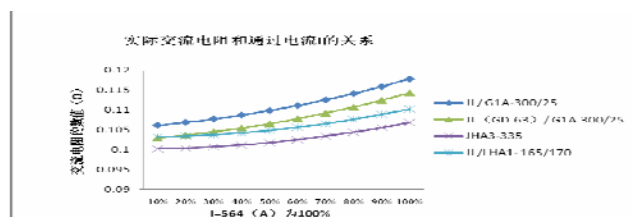


图 1 实际交流电阻和通过电流的关系

由图 1 可看出,4 种导线的交流电阻均随电流在增大而增大,但 JHA3-335、JL/LHA1-165/170 增加比较缓慢,且数值较小。

由于节能导线的节能都是相对于常规钢芯铝绞线而言,为便于分析,需要进行数据处理,以 RAC% 比值(节能导线 RAC-钢芯铝绞线 RAC/钢芯铝绞线 RAC,数值一般为负值,数值越远离 0 值表示交流电阻越小,节能效果就越好)来表征这一特性,各种导线实际交流电阻的 RAC% 比值如图 2 所示。

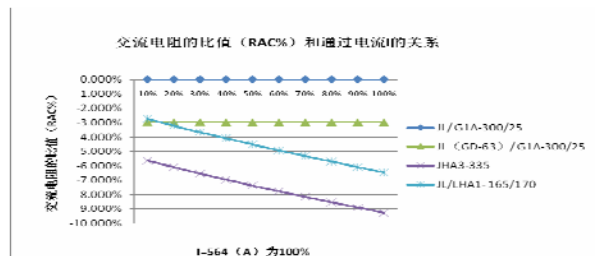


图 2 交流电阻的比值和通过电流的关系

从图 2 可看出, JL(GD-63)/G1A-300/25 的交流电阻相比常规导线虽然较小,但优势一直维持在 3% 左右,节能效果不明显。JHA3-335、

JL/LHA1-165/170 的优势就很明显,并且随电流变大而变大,JHA3-335 在满负荷时达到 9%以上,JL/LHA1-165/170 在满负荷时达到 6%以上。即负荷越大,铝合金芯导线和全铝合金导线的节能优势越明显。远非 20℃直流电阻这一参数所能体现。

以上分析了各种导线的最终节能效果,以下再分析造成交流电阻差异的各种组成因素。

影响因素一: 20℃直流电阻 R_{20DC}

表 1 常规导线和 3 种节能导线的直流电阻

直流电阻	JL/G1A-300/25	JL(GD-63)/G1A-300/25	JHA3-335	JL/LHA1-165/170
R_{20}	0.09433	0.0912	0.08952	0.09256
$R_{20}(\%)$	0.00%	-3.32%	-5.10%	-1.87%

20℃直流电阻由材料的电阻率和导线结构决定。对于钢芯高导电率铝绞线,这一参数几乎直接反应在最终交流电阻上,决定了最终节能效果。对于另外两个节能导线则不同。

影响因素二: 电阻温度系数 α 的差异,造成实际直流电阻 R_{DC} 的差异。

电阻温度系数 α 是由组成导线的材质决定的。一般来讲,材质的导电率越高,电阻温度系数也越大,换句话说,低温状态下的导电率差异在高温状态下就变小了。

在实际运行中,运行温度 T 不再是 20 度,电阻温度系数 α 的不同将使实际直流电阻 R_{DC} 随电流 I (即运行温度 T)的变化趋势不再一致。 α 越大,实际直流电阻变化越快,曲线约陡。

根据 $R_{DC}=R_{20}(1+\alpha(T-20))$, $kt=R_{DC}/R_{20}=(1+\alpha(T-20))$,先计算各种导线的 kt ,再以 JL/G1A-300/25 的 kt 为基准,计算各种导线的 $kt(\%)$,并画出曲线如图 3 所示。

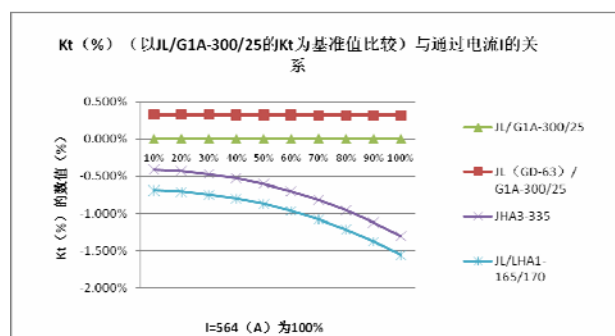


图 3 $kt(\%)$ 与通过电流的关系

从图 3 可看出, JL/LHA1-165/170 的 $kt(\%)$

最小，直流电阻随 I 的变化最慢。并且 I 越大，速度越慢，优势越明显。JHA3-335 也有相同特性。JL (GD-63) / G1A-300/25 的变化速度不变。

这是由于 JL/LHA1-165/170 和 JHA3-335 的材质的电阻温度系数 α 相对较小，使得温度上升后，直流电阻上升较慢，相对常规导线更具优势。

影响因素三：集肤效应系数。

根据计算所得，各种导线在不同负荷 I 下的 k_1 ，再以 JL/ G1A-300/25 的 k_1 为基准，计算各种导线的 k_1 (%)，并画出曲线如图 4 所示。

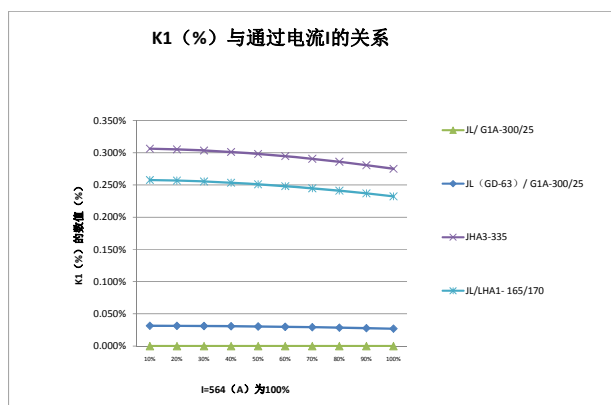


图4 k_1 (%)与通过电流的关系

从图4可看出，集肤效应系数四者均相差不大，相差不超过0.5%，且随 I 缓慢下降。因此，此因素可以忽略。

影响因素四：铁心损耗效应系数 K_2

由于 JL/G1A-300/25, JL(GD-63)/ G1A-300/25 含有铁芯，铁心损耗系数大于1, JHA3-335 和 JL/LHA1-165/170 的 K_2 为1，再以 JL/G1A-300/25 的 K_2 为基准，计算各种导线的 K_2 (%)，并画出曲线图5所示。

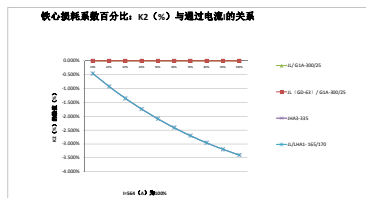


图5 铁心损耗系数百分比 K_2 (%)与通过电流的关系

由于 JHA3-335、JL/LHA1- 165/170 没有钢芯结构，没有铁心损耗，故两者重合。

JL/ G1A-300/25 和 JL (GD-63) / G1A-300/25

具有铁心结构，在相同结构（导电截面）、相同电流 I 下，铁心损耗系数完全一致（重合）。

5 结论

5.1 新型导线降低交流电阻（仅从电阻角度，不考虑其它特性）措施

(1) 选用无铁心结构，使铁心损耗系数为1或者外层铝线的层数为偶数，使铁心损耗系数近似为1。

(2) 仅仅提高材质的导电率效果不明显，因为高导电率材质的温度电阻系数较大，温度上升后，高导电率优势将不明显，且负荷越大，优势越不明显。

(3) 由于集肤效应系数差别很小，在相同截面下，增大导电截面，降低20度直流电阻，（在相同20度直流电阻情况下，尽量采取较低温度电阻系数的材质）效果会更好一点。

5.2 导线实际节能效果比较

(1) 铝合金绞线和铝合金芯铝绞线由于无铁芯结构，所用材质电阻温度系数小，实际导电面积大，节能效果很好，且远非20度直流电阻这一参数体现。

(2) 钢芯高导电率铝绞线由于和普通导线结构无差异，尽管外层导电率得到提升，但受制于存在铁芯结构，且所用材质电阻温度系数大，故最终节能效果一般。

参考文献：

- [1] 国家电网公司.(国家电网基建[2013]99号)国家电网公司关于加强输电线路节能导线推广应用工作的通知(含附件1《国家电网公司输电线路节能导线应用技术导则》)[Z].北京: 国家电网公司,2013.

作者简介：

赵 强（1981-）男，江苏无锡人，大学学历，工程师，从事35kV及以上高压输电线路设计，E-mail: zq0009@163.com;

姚 虹（1972-）男，江苏无锡人，大学学历，工程师，从事35kV及以上高压输电线路设计。