

Properties and Applications of Aluminum Conductor Composite Core

ZENG Ding-wen¹, HAN Guo-ju², ZHAO Gong-zhan¹, WANG Zong-yuan¹, QI Wen-can¹

(Pingdingshan Power Supply Company, Pingdingshan 476000, Henan Province, China; 2. Pingdingshan Electric Power Design Institute, Pingdingshan 476001, Henan Province, China)

Email: hgjps@163.com

Abstract: Aluminum Conductor Composite Core (ACCC) has different material and structure from general aluminum cable steel reinforced, so it has better low arcsag, large capacity, low loss of such obvious superiority. Combined with the engineering practice, the calculated data by thousands of further expounds arcsag low carbon fiber composite core wires, and analyzes its causes. The basic phase and aluminum section than carbon wire core al stranding wire light weight, Through introducing the carbon fiber composite core wires allow high operating temperature, large capacity, Through the analysis on the wires of the reconstruction project capacity, expounds the application of practical and economical wires.

Keywords: Aluminum; Conductor Composite Core; Features; Knee; ACCC/TW; ACSR

碳纤维导线的特性及应用

曾定文¹, 韩国聚², 赵功展¹, 王宗元¹, 齐文灿¹

(1. 河南平顶山供电公司; 河南平顶山市, 467001 2. 平顶山电力设计院; 河南平顶山市, 467001)

Email: hgjps@163.com

【摘要】碳纤维复合芯导线因其材料和结构与一般钢芯铝绞线不同, 因而具有更好的低弧垂、大输送容量、低损耗等明显的优越性。本文结合工程实践, 通过上万个计算数据进一步阐述了碳纤维复合芯导线低弧垂特性, 并分析了其产生的原因; 通过实例介绍了铝截面基本相同时碳纤维导线比钢芯铝绞线重量轻的特点; 通过实例介绍了碳纤维复合芯导线允许工作温度高、载流量大的特点; 通过实例分析了该导线在增容改造工程中的应用, 阐明该导线的实用性和经济性。

【关键词】 碳纤维导线; 特性; 拐点; ACCC / TW; ACSR

1. 引言

随着我国电力需求的不断增长, 许多电力线路面临增容的压力。线路增容最经济的办法之一是利用原有杆塔只更换导线。而利用原有杆塔的前提条件是, 更换的导线荷载不能超过原有杆塔的设计条件。为此, 新更换的导线一般不能采用普通的钢芯铝绞线 ACSR (Aluminum Conductor Steel Reinforced), 而是采用新型的增容导线。这种新型导线一般具备这样三个特点: 一是弧垂随温度的变化小; 二是质量轻、外径小; 三是具有输送大电流的能力。而碳纤维复合芯软铝绞线 (以下简称碳纤维导线) ACCC / TW (Aluminum Conductor Composite Core / Trapezoidal Wire) 是典型的品质优良的增容导线品种之一。

2. 碳纤维导线的结构

碳纤维导线 ACCC / TW 的结构独特, 内部是一根

由碳纤维为中心层和玻璃纤维包覆制成的复合芯, 外层由一系列呈梯形截面的软铝线绞合而成。碳纤维复合芯承担导线总的力学性能, 具有强度高、密度小、膨胀系数小、耐腐蚀等特点。外层软铝具有导电率高、电阻小、自阻尼性能强的特点。碳纤维复合芯与软铝线绞制而成的导线, 便具有优良的性能: 导线重量轻, 电阻小, 表面光滑不易舞动, 拉力质量比大, 弧垂随温度的变化幅度小等特点^[1]。因此, 可作为电力部门老旧线路改造、电力增容导线使用。其结构如图 1 所示。

3. 碳纤维导线的特性

3.1 抗拉强度高

目前各设计院广泛采用的钢芯铝绞线基本上仍为 GB1197-83 标准中的型式, 该标准导线中使用的钢芯绞合后强度为 1244 N/mm², 而碳纤维导线 ACCC / TW

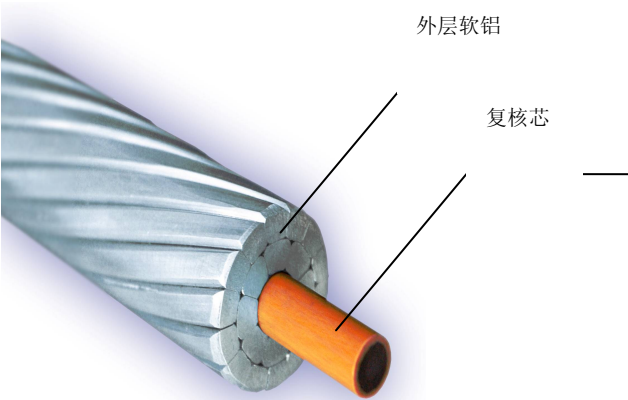


Figure 1 ACCC wire structure
图 1 碳纤维导线结构图

的复合芯抗拉强度最小值可以达到 2150 N/mm^2 ，为前者的 1.73 倍。例如，直径 9.53 mm 的复合芯抗拉强度达到 2414 N/mm^2 ，是钢芯铝绞线中钢芯强度的 1.94 倍。

3.2 拐点以后弧垂随温度的变化量小

根据试验，当温度达到 80°C 附近，碳纤维导线的线膨胀系数 α 和弹性模量 E 出现拐点， 80°C 及以下 $\alpha = 12.5 \sim 14 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ， $E = 64000 \sim 68000 \text{ N/mm}^2$ ；在 80°C 以上 $\alpha = 1.6 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ， $E = 117000 \text{ N/mm}^2$ 。由于碳纤维导线具有的这样的特点，因此在同样档距下弧垂随温度的变化比钢芯铝绞线要小。例如我们原设计的 220 千伏线路尊平线路改造工程中，比较了碳纤维导线 JRLX / T - 310 / 40 和钢芯铝绞线 2XLGJ - 300 / 40 两种方案，并把碳纤维导线与钢芯铝绞线档距 400 米下的弧垂进行了比较。计算条件及结果分别见表 1、2、3。

由上表可知，400 米档距时温度由 20°C 升高到 80°C ，钢芯铝绞线 LGJ-300/40，弧垂增大 2.451 米；碳纤维导线 JRLX/T-310/40，弧垂增大 1.955 米，碳纤维导线弧垂变化量小于钢芯铝绞线。但是当温度由 80°C 升高到 160°C ，碳纤维导线 JRLX/T-310/40，弧垂仅再增大 0.337 米。

另外，我们通过对常用的钢芯铝绞线，如

LGJ-240/30、LGJ-300/25、LGJ-300/40、LGJ-400/35、LGJ-500/45 与碳纤维导线 JRLX/T-218/28、JRLX/T-310/40、JRLX/T-413/52、JRLX/T-517/71、JRLX/T-600/71，在安全系数 2.5、3.0，覆冰厚度 10 毫米、15 毫米、20 毫米等条件下应力弧垂特性进行了计算和分析，形成了上万个数据，并对数据进行了归纳总结，发现碳纤维导线在弧垂特性方面存在以下特点：

外径、截面基本相同、安全系数和气象条件一样的条件下，温度 80°C 及以下时，碳纤维导线的弧垂随温度升高而产生的变化量小于钢芯铝绞线。产生这一结果的原因是，碳纤维导线设计水平张力比钢芯铝绞线大，而质量又相对轻，拉力质量比大。由弧垂公式我们知道，对于同一档距内两根导线弧垂之比 $\frac{f_1}{f_2} = \frac{m_01}{T_01} / \frac{m_02}{T_02}$ (m_01 、 m_02 ——导线质量， T_01 、 T_02 导线水平拉力)，由该公式不难理解这样的结果。

Table 1. Meteorological conditions for engineering design
表 1 工程设计气象条件

计算条件	气温 ($^\circ\text{C}$)	风速 (m/s)	覆冰 (mm)
最高气温	+40	0	0
最低气温	-20	0	0
最大风速	-5	30	0
最大覆冰	-5	10	10
安装情况	-10	10	0
年平均气温	+15	0	0
外过电压	+15	10	0
内过电压	+15	15	0

Table 2. Parameters of ACCC and ACSR
表 2 碳纤维导线和普通钢芯铝绞线参数表

导线型号	碳纤维导线	钢芯铝绞
总截面 mm^2	349.5	338.99
铝截面 mm^2	309.5	300.09
直径 (mm)	21.78	23.94
保证计算拉断力	97850	87600
弹性系数 (N/mm^2)	拐点前 65000, 拐点后 117000	73000
膨胀系数 ($10^{-6}/^\circ\text{C}$)	拐点前 13.0, 拐点后 1.6	19.6
单位重量 (kg/m)	0.927	1.133
安全系数	2.5	2.5

Table 3. Arc sag of ACCC and ACSR when the span 400 Units: m
表 3 400 米档距时碳纤维导线和普通钢芯铝绞线弧垂表 单位: m

导线型号 \ 温度 $^\circ\text{C}$	20	40	60	80	100	120	140	160
LGJ-300/40	11.486	12.337	13.153	13.937				
JRLX/T-310/40	7.928	8.590	9.243	9.883	9.968	10.053	10.137	10.220

拐点前（80℃及以下）碳纤维导线弧垂随温度的变化比较大，拐点后（80℃以上）碳纤维导线弧垂随温度的变化比较小。产生这一结果的原因是，在拐点处碳纤维导线弹性系数增大，线膨胀系数减小（实际上根据物体热胀冷缩的性质，导线弧垂不可能在拐点处发生突变，而是一个渐变的过程，本文理论计算时不考虑渐变）。

3.3 重量轻

碳纤维复合芯材料的密度小（1.9 g/cm³），约为普通钢芯密度（7.8 g/cm³）的 1/4。在铝截面基本相同的情况下，碳纤维导线单位长度重量约为常规 ACSR 导线的 80% 左右。根据文献[2]对照钢芯铝绞线标准 GB1179-83，将两种导线铝截面基本相同的情况进行比较，结果如表 4。

但是两种导线外径完全相同时，ACCC 碳纤维导线并不一定比钢芯铝绞线轻，这是因为 ACCC 碳纤维导线铝和碳纤维复合芯截面比例变化引起的。两种导线外径完全相同的情况比较结果，如表 5。

3.4 允许工作温度高、载流量大

电力线路上碳纤维导线设计运行温度 165℃，钢芯铝绞线设计运行温度 80℃。在相同的载流量时，碳纤维导线 ACCC/TW 比钢芯铝绞线 ACSR 温度低、弧垂小，因此可以承载更大的电流；在相同的运行温度时，其载流量比 ACSR 大^[1]。例如我院原设计的 220 千伏线路尊平线路改造中，比较了碳纤维导线

Table 4. Aluminum section with the same basic ACCC and ACSR weight comparison

表 4 铝截面基本相同时碳纤维导线与钢芯铝绞线重量比较表

导线型号	铝截面 (mm ²)	总截面 (mm ²)	单位重量 (kg/km)	重量比 (ACCC/ACSR)
LGJ-150/25	148.86	173.11	601.0	77.54
JRLX/T-150/28	150.00	178.00	466.0	
LGJ-185/25	187.04	211.29	706.1	79.73
JRLX/T-185/28	185.00	213.00	563.0	
LGJ-240/30	244.29	275.96	922.2	75.92
JRLX/T-240/28	240.00	268.00	700.0	
LGJ-300/55	814.3	870.60	2690.0	85.87
JRLX/T-300/60	796.40	856.70	2310.0	

Table 5. With the same diameter ACCC and ACSR weight comparison

表 5 外径相同时碳纤维导线与钢芯铝绞线重量比较表

导线型号	导线外径 (mm)	单位重量 (kg/km)	重量比 %ACCC/ACSR
LGJ-150/25 JRLX/T-185/28	17.10	601.0 563	93.68
LGJ-210/10 JRLX/T-240/28	19.00	650.70 700.00	107.58
LGJ-300/15 JRLX/T-350/40	23.00	939.8 1018	108.32

Tab.6 Compared with ACCC and ACSR Current carrying^{[1][3]}

表 6 碳纤维导线与钢芯铝绞线载流量比较^{[1][3]}

温度℃	60	80	100	120	140	160
导线型号						
JRLX/T-310/40	507	731	892	1022	1134	1235
LGJ-300/40	550	730				

注 1：表 6 计算条件：环境温度 30℃、风速 0.5m/s、辐射系数 0.9、日照强度 1000W/m²。

JRLX/T-310/40 和钢芯铝绞线 2XLGJ-300/40 两种导线的载流量，结果见表 6。

从上表可知，碳纤维导线 JRLX/T-310/40 和钢芯铝绞线 LGJ-300/40 截面基本相同，碳纤维导线我们拟选运行温度 160℃下的载流量，比钢芯铝绞线允许温度 80℃时大 1.69 倍。

4. 工程应用

对于现有老线路增容改造，只需把原线路上的钢芯铝绞线更换成铝截面基本相同的碳纤维导线，即可达到增容 60—100% 的目的。一般老线路改造换线施工期 15—20 天，建设周期比新建线路大大缩短。我院原设计的 220 千伏线路尊平线路改造工程，线路处于市区，线路重建难度很大，原导线为 LGJ-300/40，安全系数 2.5，增容设计推荐将原导线更换为碳纤维导线 JRLX/T-310/40，安全系数 2.72，经校验原线路杆塔强度、导线弧垂均满足要求，输送容量提高 61%，比导线更换为钢芯铝绞线 2XLGJ-300/40，杆塔拆除重建方案，节约造价 45%。所以碳纤维导线用于老线路增容改造的优势是十分明显的。

从 2006 年第一条碳纤维复合芯导线挂网运行以来，全国已经有近 50 条 110~220kV 碳纤维复合芯导线线路投入运行，积累了一定施工、运行经验。目前制约其推广的一个重要原因是碳纤维复合芯依赖进口、价格比较高。随着使用范围的扩大，价格也会相应降低。总之碳纤维导线在老线路改造工程中的应用前景

还是很好的。

References (参考文献)

- [1] DongGuoLun, GongJianGang, YuHongYun, et al, ACCC design construction operation and maintenance [M], Beijing, China Electric Power Press, September 2009.
董国伦, 龚坚刚, 余虹云, 等, 碳纤维复合芯软铝绞线设计施工运行与检修[M], 北京, 中国电力出版社, 2009 年 9 月。
- [2] JRLX / T(ACCC)Wire products, Far East Holding Composite Technology Co., Ltd[z],2009.
JRLX/T(ACCC)碳纤维导线产品样本, 远东复合技术有限公司 [z], 2009。
- [3] MaGuoDong, cable ampacities [M], Beijing, China Electric Power Press, October 2003.
马国栋编著, 电线电缆载流量[M], 北京, 中国电力出版社, 2003 年 10 月。