

# Research of Using ACCC in Transmission Line of Clean Energy

Aosen Li<sup>1</sup>, Xianxin Li<sup>1</sup>, Chunlei Li<sup>2</sup>, Ziyin Zhang<sup>1</sup>, Wei An<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State Power Economic Research Institute, Beijing

<sup>2</sup>Henan Electric Power Survey and Design Institute, Zhengzhou Henan

Email: zhangziyin@chinasperi.sgcc.com.cn

Received: Sep. 2<sup>nd</sup>, 2016; accepted: Sep. 18<sup>th</sup>, 2016; published: Sep. 21<sup>st</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Under the background of the adjustment of energy structure, clean energy industry development prospects are bright, and investment and new power capacity are both on the rise. How to maximize the benefits of clean energy is a problem that cannot be ignored. This paper introduces the project of ACCC application in transmission line of clean energy, and by analyzing the mechanical performance and economic performance, proposes the application suggestion of ACCC in Transmission Line of Clean Energy.

## Keywords

Clean Energy, ACCC, Mechanical Properties, Economy, Application

---

# 碳纤维复合芯导线在清洁能源送出工程中的应用

李奥森<sup>1</sup>, 李显鑫<sup>1</sup>, 李春雷<sup>2</sup>, 张子引<sup>1</sup>, 安巍<sup>2</sup>

<sup>1</sup>国网北京经济技术研究院, 北京

<sup>2</sup>河南省电力勘测设计院, 河南 郑州

Email: zhangziyin@chinasperi.sgcc.com.cn

收稿日期: 2016年9月2日; 录用日期: 2016年9月18日; 发布日期: 2016年9月21日

**文章引用:** 李奥森, 李显鑫, 李春雷, 张子引, 安巍. 碳纤维复合芯导线在清洁能源送出工程中的应用[J]. 输配电工程与技术, 2016, 5(3): 33-40. <http://dx.doi.org/10.12677/tDET.2016.53005>

## 摘要

在调整能源结构的大背景下，清洁能源行业发展前景明朗，投资和新增装机容量均呈增长趋势。如何以最大效益将清洁能源送出是一个不可忽视的问题。本文介绍了碳纤维复合芯导线在清洁能源送出中的应用方案，通过对各类输电导线材质的机械性能和经济性比选和分析，提出碳纤维复合芯导线在清洁能源送出工程中的应用建议。

## 关键词

清洁能源，碳纤维复合芯导线，机械性能，经济性，应用

## 1. 引言

我国一次能源基地和用电负荷中心呈“逆向分布”：76%的煤炭资源在北部和西北部，80%的陆地风能主要集中在西北、东北和华北北部，太阳能年日照超过 3000 小时地区主要在西藏、青海、甘肃、宁夏、新疆等西部省区[1]；而 75%以上能源需求在东中部[2]，距离一般在 800~3000 km。这就迫切要求电力实现经济高效的大规模送出和大范围消纳。但大量位于西部地区的清洁能源电网薄弱，接网资源匮乏，需要充分利用现有资源。而核电等能源虽然距离负荷中心较近，但输电通道受限，需要在有限的通道内尽量提高利用率。因此研究应用契合清洁能源输送需求特征的新型导线具有重要意义。

## 2. 清洁能源发展形势

统筹全球能源资源开发、配置和利用，构建包括洲内互联、洲际互联和全球互联的能源互联网，有两个重要前提：其一是清洁替代和电能替代两个替代的实现；其二是全球能源观的形成[3]。中国在可再生能源电力新增和累计装机容量以及可再生能源发电总量均领先全球。在光伏发电和风力发电领域，风电装机规模全球第一，截止 2014 年底，风电并网装机容量达到 9581 万 kW；光伏发电增长速度全球最快，装机容量位居世界第二，截止 2014 年底，全国光伏发电并网容量达到 2652 万 kW [4]。

## 3. 碳纤维复合芯导线方案

碳纤维复合芯导线(图 1)是采用高强度复合材料芯替代传统钢芯制成的新型输电导线。其承力部分主要为高强度复合材料芯棒，是由外层玻璃纤维、内层碳纤维及树脂复合而成的棒状材料；载流部分为外层包覆的多层铝或铝合金绞线[5]。

目前，我国已成为世界上使用碳纤维复合芯导线最多的国家，全国已有超过 300 多条 ACCC 导线输电线路运行，主要以增容改造或扩建为主，电压等级覆盖 35 kV 到 500 kV。并且已批准实施的相关标准体系基本包含了产品及施工的相关内容，能够较好地满足碳纤维复合芯导线工程施工需要。截至 2015 年，JLRX1/F2B-800/80 及以下截面碳纤维导线已通过有关鉴定，相应型式试验也基本完成。

碳纤维复合芯是非铁磁性材料，不会产生磁损和涡流损耗。与相同外径的常规钢芯铝绞线相比，碳纤维复合芯型线软铝导线的铝线截面积可以提升超过 28%，同时可以将工作温度提高到 150℃。因此碳纤维复合芯型线软铝导线在相同温度下输送能力更大，在高温条件下更具备成倍提高输送能力特点[6]。针对风电、光伏等新能源送出利用小时数低的特点，可以采用小截面或更少分裂根数的碳纤维复合芯导线以减小初投资[7]。针对核能送出容量大，负荷小时数高的特点，可以采用等直径增大载流截面，降低运行损耗的方案。

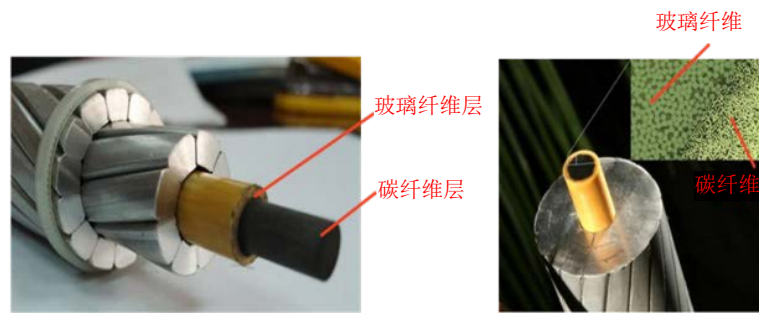


Figure 1. The structural diagram of ACCC  
图 1. 碳纤维复合芯导线结构示意图

针对核能、风能和光伏的发电特点，分别选择不同型号的碳纤维复合芯导线进行对比分析研究。

### 3.1. 核能送出线路

目前国内核电厂送出多采用 500 kV 交流输电线路。年最大负荷利用小时数高、对线路损耗较为敏感是核电送出线路工程的主要特点。结合碳纤维复合芯导线截面大时，损耗小，而且核电的利用小时数过高的特点[8]，确定与常规钢芯铝绞线导线 4×JL/G1A-630/45 按照综合年费用法进行经济性能分析比较，寻找出年费用较优的碳纤维复合芯导线类型。

### 3.2. 风电、光伏送出线路

对于年负荷利用小时数相对火电设备较低的风电和光伏送出线路工程，接入电网电压等级以 110~220 kV 为主、对输电线路储备容量要求较高，结合线路负荷波动大、损耗小时数小的特点[9]，确定与常规 JL/G1A-300/40 导线按等输送容量的方法选取相应截面的碳纤维复合芯导线，以降低本体投资，寻找两者在全寿命周期内年费用的平衡点。最终给出碳纤维复合芯导线在风电和光伏 220 kV 送出工程的应用场合建议。

## 4. 机械性能分析

碳纤维复合芯导线采用软铝型线作为载流单元，相同截面的型线与圆线相比，直径小，水平荷载小，可降低塔材指标[12]。硬铝的导电率低于软铝，且不能耐受高温，与碳纤维复合材料芯的组合不能使后者的强度充分发挥作用，而软铝的导电率最高，可充分体现节能降耗的作用，强度低，可以耐受高温，软铝型线与碳纤维复合材料芯的组合可以在高温下运行，使后者的强度充分发挥作用。另外，耐热铝合金可以耐受高温，但导电率较低，与碳纤维复合材料芯的组合不能使后者的强度充分发挥作用，且损耗较大[13]。碳纤维复合芯导线的共同特点是重量轻、热膨胀系数小，与常规钢芯铝绞线导线相比，在相同标称面积时碳纤维复合芯导线重量较轻，覆冰过载能力更好；在相同重量时碳纤维复合芯导线标称截面积更大[14]。

### 4.1. 弧垂特性

$$\text{弧垂计算公式: } f_c = \frac{\gamma l^2}{8\sigma \cos \beta}$$

$f_c$ —电弧线垂(两悬挂点连线上各点到电线上的垂直距离)

$l$ —档距(两悬挂点间的水平距离)

$\gamma$ —电线比载

$\sigma$ —电线各点的水平应力

$\beta$ —高差角

根据各导线的机械参数(表 1), 计算其弧垂, 结果见表 2。

由表 2 可知, 碳纤维复合芯导线与钢芯铝绞线相比, 导线弧垂特性具有明显优势。在 350 m 档距下, 弧垂减少 1.16 m~3 m, 并随档距变大而弧垂优势更为明显。

## 4.2. 荷载特性

为比较各种相分裂导线对铁塔荷载的影响情况, 现将 220 kV 线路各种相导线分裂方式的荷载情况列入下表中。

根据上表(表 3)数值反映, 表中各类碳纤维复合芯导线组合的导线荷载和线条张力均小于 2×JL1/G1A-300/40 导线, 从小至大的排列顺序为: 1×JLRX/F1B-300/40、1×JLRX/F1B-400/50、2×JLRX/F1B-150/30、2×JLRX/F1B-185/30、2×JLRX/F1B-240/30。但总体而言, 2×JLRX/F1B-150/30、2×JLRX/F1B-185/30、2×JLRX/F1B-240/30 三种导线组合的机械荷载相差不大。

Table 1. The conductor type and main parameters

表 1. 导线型式及主要参数[10][11]

导线型号	ACSR 导线 JL1/G1A -300/40	ACSR 导线 JL/G1A-630 /45	ACCC 导线 JLRX/F1B- 150/30	ACCC 导线 JLRX/F1B- 185/30	ACCC 导线 JLRX/F1B- 240/30	ACCC 导线 JLRX/F1B- 300/40	ACCC 导线 JLRX/F1B- 400/50	ACCC 导线 JLRX/F1B- 710/70
综合线膨胀系数(1/°C)	$19.6 \times 10^{-6}$	$14.5 \times 10^{-6}$	$17.1 \times 10^{-6}$	$17.1 \times 10^{-6}$	$17.1 \times 10^{-6}$	$17.1 \times 10^{-6}$	$17.1 \times 10^{-6}$	$14.5 \times 10^{-6}$
导体截面/mm <sup>2</sup>	300.09	674	151.4	187.3	240.1	301.8	402.4	779.18
直径/mm	23.9	33.8	15.6	17.1	19.1	21.5	24.8	32.4
导线重量 (kg/km)	1131.0	2079.2	469.4	568.0	713.6	902.4	1201.3	2094.6
20°C直流电阻 (Ω/km)	0.0961	0.0459	0.1843	0.1491	0.1163	0.0925	0.0619	0.0396
导线计算拉断力/kN	92.36	150450	68.092	70.155	73.201	98.192	131.508	189.9

Table 2. The conductor sag characteristics

表 2. 各导线方案弧垂特性

导线型号	JL1/G1A -300/40	JLRX/F1B-150/ 30	JLRX/F1B-185/ 30	JLRX/F1B-240/ 30	JLRX/F1B-400/ 50
设计安全系数	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
最大弧垂 m (10 mm 冰区)	Lp = 300	7.85	5.43	6.29	7.46
	Lp = 350	10.35	7.35	8.39	6.92
	Lp = 400	13.19	9.56	10.81	6.6
过载能力(70% Tp) mm	Lp = 300	26.66	27.03	26.23	32.73
	Lp = 350	25.25	25.19	24.56	29.96
	Lp = 400	24.24	23.81	23.33	28.08

**Table 3.** Load comparison of conductor  
**表 3.** 导线的荷载比较

导线结构	JL1/G1A-300/40	JLRX/F1B-150/ 30	JLRX/F1B-185/ 30	JLRX/F1B-240/ 30	JLRX/F1B-400/ 50	
分裂根数	2	2	2	2	1	
导线安全系数	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
相导线最大张力 kN/相 (lp = 350 m)	70.08	51.74	53.32	55.64	48.91	
相导线最大水平荷载(N/m) (lh = 100 m)	2178	1548	1556	1738	1188	
相导线最大垂直荷载(N/m) (lv = 100 m)	4104	2340	2616	3014	2179	
覆冰垂直	100	73.83	76.08	79.39	69.79	
最大荷载 百分数(%)	大风水平	100	71.07	71.44	79.80	54.55
	最大纵向张力	100	57.02	63.74	73.44	53.09

注：表中荷载百分比选以 2×JL1/G1A -300/40 为基准比较(100%)。

## 5. 经济性分析

导线方案初始投资的差异主要表现在导线价格、铁塔和基础耗量等几个方面。

按电力工业部(82)电计字第 44 号文《颁发“电力工程经济分析暂行条例”的通知》第十五条经济计算一年费用最小法。线路工程简化计算公式为：

折算到工程投运年的总投资：

$$NF = Z \cdot \left[ \frac{r_0 \cdot (1+r_0)^n}{(1+r_0)^n - 1} \right] + \mu$$

$NF$ —年平均费用(万元) (平均分布在  $m+1$  到  $m+n$  期间的  $n$  年内)；

$n$ —工程的经济使用年限；

$Z$ —折算后的工程总投资(万元)；

$\mu$ —折算年运行费用(万元)；

$$Z = \sum_{t=1}^m Z_t \cdot (1+r_0)^{m+1-t}$$

$t$ —从开工这一年起至计算年的年数；

$m$ —工程施工年数；

$Z_t$ —第  $t$  年的建设投资(万元)；

$r_0$ —电力工业投资回收率；

$$u = \frac{r_0 (1+r_0)^n}{(1+r_0)^n - 1} \times \left[ \sum_{t=t_0}^{t=m} u_t (1+r_0)^{m-t} + \sum_{t=m+1}^{t=m+n} u_t \frac{1}{(1+r_0)^{t-m}} \right]$$

$t_0$ —工程部分投产的年份；

$u_t$ —运行费用(万元) [15]。

### 5.1. 核电送出线路的导线经济性能

采用综合年费用较优的 4×JLRX/F1B-710/70 方案。在电价为 0.3 元/度，与 JL/G1A-630/45 导线等长价格比低于 1.67 时，其年费用较优；电价为 0.4 元/度时，价格比低于 1.88 时，其年费用较优；电价为 0.5 元/度时，价格比低于 2.08 时，其年费用较优。在与等外径的常规导线比较下优势较大，本报告推荐采用综合年费用较优的等外径方式选择碳纤维导线(图 2)。

### 5.2. 风电、光伏送出线路的导线经济性能

#### 1) 风电 220 kV 送出线路导线经济性能

以 2×JL1/G1A-300/40 钢芯铝绞线为基准，按照相同极限输送功率(载流量)的要求，分别选择碳纤维复合芯导线方案 1×JLRX/F1B-400/50、2×JLRX/F1B-185/30、2×JLRX/F1B-240/30、2×JLRX/F1B-300/40 进行比选。并将以上 5 种导线方案分别在初始投资、年损耗费用以及综合年费用方面分别比较。

采用 2×JLRX/F1B-300/40 方案，在电价为 0.5 元/度，与 JL1/G1A-300/40 导线等长价格比低于 1.58 时，其年费用较优，且输送容量储备还有 60%以上(图 3)。

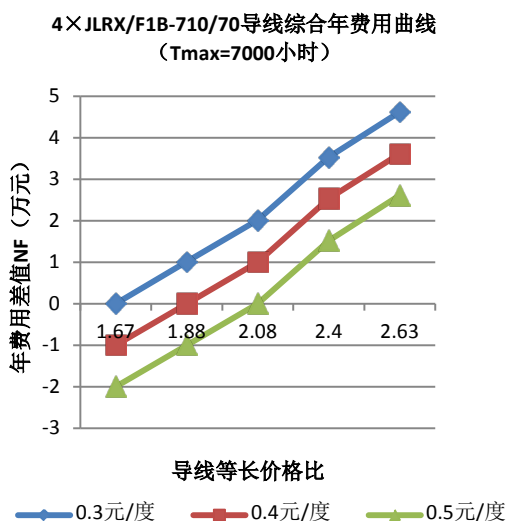
#### 2) 光伏 220 kV 送出线路导线经济性能

在等输送容量情况下对钢芯铝绞线导线方案 2×JL/G1A-300/40 与碳纤维复合芯导线方案 1×JLRX/F1B-400/50、2×JLRX/F1B-150/30、2×JLRX/F1B-185/30、2×JLRX/F1B-240/30 进行比选。将以上 5 种导线方案分别在初始投资、年损耗费用以及综合年费用方面分别比较。

采用 1×JLRX/F1B-400/50 方案，在电价为 0.3 元/度、0.4 元/度，与 JL1/G1A-300/40 导线等长价格比分别低于 2.1 倍、1.4 时，其年费用较优，且输送容量储备还有 12%以上(图 4)。

## 6. 结论

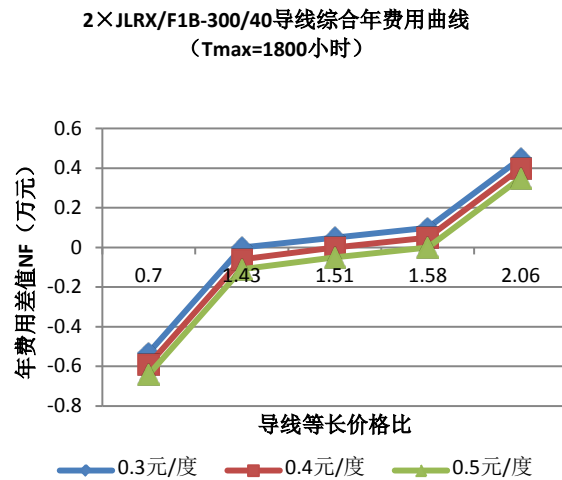
1) 清洁能源送出工程应用中，所比选的各截面碳纤维导线组合，均能满足工程对导线机械性能的要求。



注：上图(图 2)中年费用差值降至 0 以下时，表明碳纤维导线具有年费用优势。

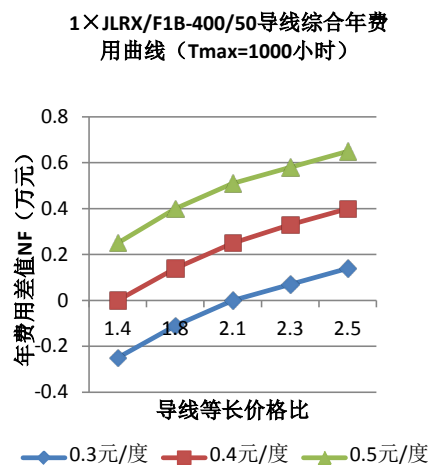
**Figure 2.** The variation curve of annual cost difference along with the change of wire price ratio between 4×JLRX/F1B-710/70 wire and 4×JL/G1A-630/45 wire

**图 2.** 4×JLRX/F1B-710/70 导线与 4×JL/G1A-630/45 方案年费用差值随导线等长价格比变化曲线



**Figure 3.** The variation curve of annual cost difference along with the change of wire price ratio between 2×JLRX/F1B-300/40 wire and 2×JL/G1A-300/40 wire

**图 3.** 2×JLRX/F1B-300/40 导线与 2×JL/G1A-300/40 方案年费用差值随导线等长价格比变化曲线



**Figure 4.** The variation curve of annual cost difference along with the change of wire price ratio between JLRX/F1B-400/50 wire and 2×JL/G1A-300/40 wire

**图 4.** JLRX/F1B-400/50 导线与 2×JL/G1A-300/40 方案年费用差值随导线等长价格比变化曲线

2) 对于核电 500 kV 送出线路, 结合其利用小时数较高的特点, 可根据等导线外径的方式选择碳纤维复合芯导线。按等外径相比, 碳纤维复合芯导线本体投资费用较高但年损耗费用较低。在等长价格比由目前的 2.63 倍降至 2.08 倍以下时, 其年费用逐渐具有优势。

3) 对于风电送出 220 kV 线路, 推荐碳纤维导线选择与常规钢芯铝绞线采用等截面替代。

4) 对于光伏送出 220 kV 线路, 推荐碳纤维分裂导线截面较常规钢芯铝绞线导线降低 2 个梯次或减少分裂数。

## 参考文献 (References)

- [1] 刘振亚. 全球能源互联网[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- [2] 张伟波, 潘宇超, 崔志强, 等. 我国新能源发电发展思路探析[J]. 中国能源, 2012, 34(4): 26-28.

- [3] 曾鸣, 王世成. 全球能源互联推动能源社会可持续发展[J]. 中国电力企业管理, 2015(7): 14-17.
- [4] 李琼慧. “十三五”新能源及电网发展展望[J]. 电气时代, 2015(1): 42-46.
- [5] 余虹云, 王梁, 李瑞, 等. 架空导线用碳纤维复合芯棒拉伸破坏形式分析[J]. 中国电力, 2014, 47(1): 49-52.
- [6] 梁旭明, 余军, 尤传永. 新型复合材料合成芯导线技术综述[J]. 电网技术, 2006, 30(19): 1-6.
- [7] 赵庆国, 严国莉. 碳纤维复合芯导线崭露锋芒创新性新材料应用凸显机遇[J]. 冶金经济与管理, 2013(5): 16-18.
- [8] 张栋. 世界核电发展及对我国的启示[J]. 能源技术经济, 2010, 22(12): 5-10.
- [9] 舒畅. 关于我国清洁能源发展相关问题的探讨[J]. 能源技术经济, 2011, 23(9): 20-23.
- [10] Q/GDW 1851-2012, 碳纤维复合材料芯架空导线(S).
- [11] 东北电力设计院. 电力工程高压送电线路设计手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2013: 769-771.
- [12] 盛尊华, 王炜, 刘哲. 碳纤维导线在 500 kV 双回输电线路中的应用研究[J]. 河北电力技术, 2014(10): 17-19.
- [13] 李磊, 陈伟, 万建成, 等. 碳纤维复合材料芯导线在国内推广应用的技术经济分析[J]. 电力建设, 2012, 33(9): 79-82.
- [14] 鞠彦忠, 李秋晨, 孟亚男. 碳纤维复合芯导线与传统导线的比较研究[J]. 华东电力, 2011, 39(7): 174-177.
- [15] 杨长龙, 田超凯, 王志伟, 等. 碳纤维复合芯导线全寿命周期年费用法的选型研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2015(11): 59-63.

**期刊投稿者将享受如下服务:**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [tdet@hanspub.org](mailto:tdet@hanspub.org)