

經濟部幕僚單位及行政機關人員從事兩岸交流活動報告書

研習碳纖維導線之特性及應用以提高送電容量

研提人單位：台灣電力公司

職稱：電機工程師

姓名：曾以能

參訪期間：102年12月15日至12月21日

報告日期：103年1月15日

(本報告請檢送1式4份)

出國報告審核表

出國報告名稱：研習碳纖維導線之特性及應用以提高送電容量		
出國人姓名(2 人以上，以 1 人為代表)	職稱	服務單位
曾以能	電機工程師	台灣電力公司高屏供電區營運處
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他_____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽)	
出國期間：102 年 12 月 15 日至 102 年 12 月 21 日		報告繳交日期：103 年 1 月 15 日
出國人員 自我審核	計畫主辦 機關審核	審核項目
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1. 依限繳交出國報告
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2. 格式完整 (本文必須具備「目地」、「過程」、「心得及建議事項」)
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3. 無抄襲相關資料
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4. 內容充實完備.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5. . 建議具參考價值
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6. . 送本機關參考或研辦
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7. . 送上級機關參考
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8. . 退回補正，原因：
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 不符原核定出國計畫
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(4) 抄襲相關資料之全部或部分內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(5) 引用相關資料未註明資料來源
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(6) 電子檔案未依格式辦理
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(7) 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9. . 本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表：
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(1) 辦理本機關出國報告座談會 (說明會)，與同仁進行知識分享。
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(2) 於本機關業務會報提出報告
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(3) . 其他
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10. 其他處理意見及方式：

報告人： _____ 單位： _____ 主管處： _____ 總經理： _____
 主管： _____ 主管： _____ 副總經理： _____

說明：

- 一、 各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、 審核作業應於報告提出後二個月內完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「公務報告資訊網為原則」。

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱： 研習碳纖維導線之特性及應用以提高送電容量

頁數 37 附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

台灣電力公司/陳德隆/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

曾以能/台灣電力公司高屏供電區營運處/電機工程師

/07-3214110-363

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間： 102.12.15~102.12.21 出國地區：大陸

報告日期：103.1.15

分類號/目

關鍵字：碳纖維複合芯鋁導線(ACCC, Aluminum Conductor Composite Core)、線路增容、低弛度。

內容摘要：(二百至三百字)

隨著國內電力需求不斷增長，許多老舊輸電線路面臨增加送電容量的壓力，近年國外廠商開發新型的碳纖維導線具有弛度變化小、重量輕、耐高溫及強度高等優點，在不改建桿塔及利用原有桿塔的張力設計條件下更換碳纖維導線，是提高送電容量增容線路最經濟的辦法

之一。

碳纖維導線的結構特殊，內部是由一根碳纖維為中心層和玻璃纖維包覆製成的複合芯，外層由一系列梯形截面的軟鋁線絞合而成。碳纖維複合芯與軟鋁線絞製而成的導線，具有強度高、導線重量輕、線損低、允許工作溫度高、耐腐蝕、使用壽命長、載流量大及弛度隨溫度變化小等優良性能。因此，可作為老舊線路改造、電力增容導線使用。

本計畫赴 CTC GLOBAL 大陸北京分公司及國家電網下之機構中國電力科學研究院及中國電力規劃設計總院，瞭解碳纖維導線的結構特性設計、成本分析及施工安裝等，吸取新型導線材料新知，期可取代傳統鋼芯鋁絞線，增加輸電線路傳輸容量。從大陸及國外電業應用碳纖維導線之實績及成本等，將來作為本公司發展智慧電網中提升輸電線路送電容量之方案參考。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網

(<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

目 錄

壹、出國目的與行程	6
貳、增容導線之新型碳纖維複合芯軟鋁導線 ACCC	10
一、ACCC 簡介.....	13
二、ACCC 技術特點：	14
三、ACCC 導線的製造流程：	20
四、ACCC 導線應用在世界及大陸情況	21
五、經濟效益分析.....	24
六、ACCC 附屬鐵配件.....	25
參、心得與建議	28
肆、參考文獻.....	31
附錄:導線施工和安裝的特殊工法	32

壹、出國目的與行程

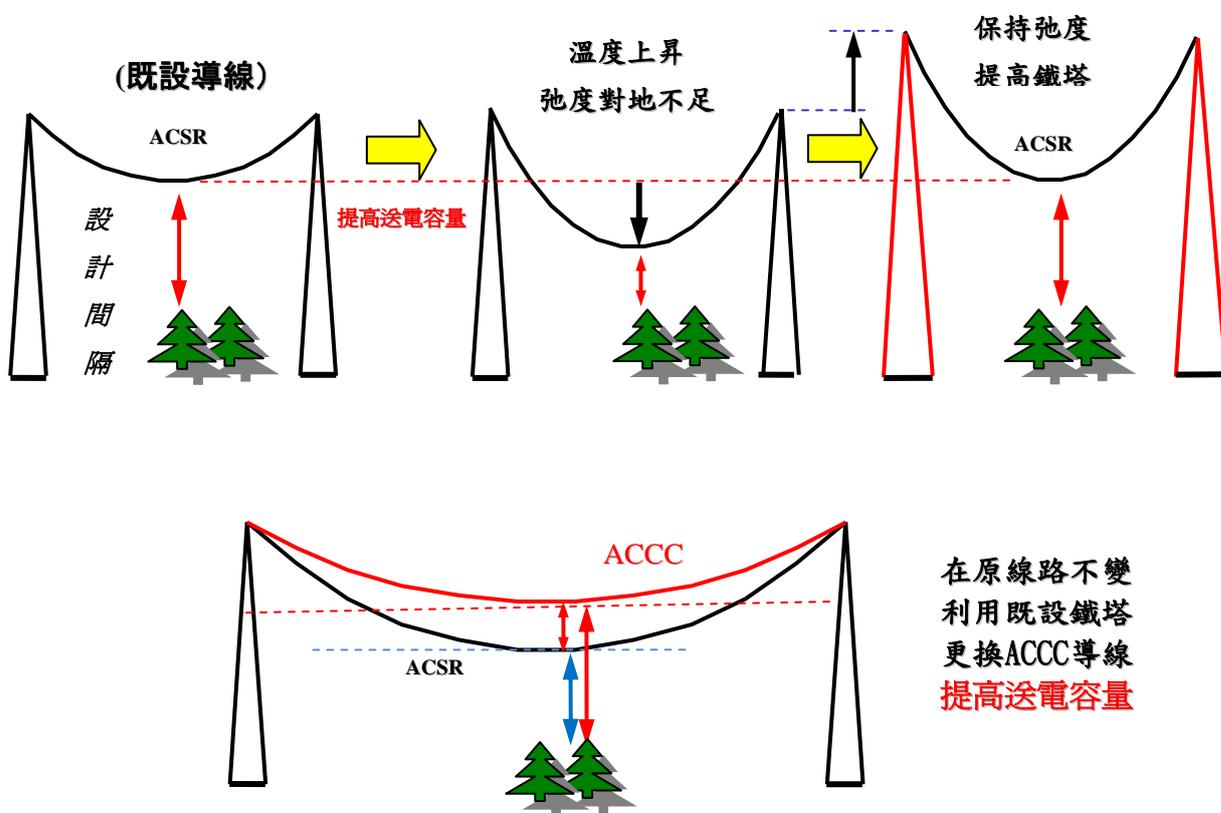
隨著台灣本島都市發展人口密集，及各科學園區、工業區快速發展，電力需求不斷增長，部分地區用電負載量需求與日俱增，目前供電系統已不敷使用，過負載使用下造成輸電線路常發生故障或維修等問題，其主要原因係既設輸電線路採用傳統的鋼芯鋁絞線在提高送電容量受到極大的限制，為了解決供輸不足問題，需提高系統增加容量方法。目前系統增加容量方式，各國電力公司作法不外乎有：一、新建線路增加送電量；二、對原有線路進行改建，或增大導線截面積以增加送電量；三、不改變原輸電線路路徑，不增加或改造鐵塔，利用舊有線路更換容量較大導線增加送電量等作法。若採取新建線路常受民眾不斷抗爭且塔基取得不易，故採取新建線路已面臨極大困難且窒礙難行。若改善導線截面積增大送電容量，提升送電容量，但導線就會發熱，因此除了必須考量導線之連續運轉溫度要提昇外，還必須考慮導線弛度增加後將造成與地上高度安全距離不足，所以需考慮重建鐵塔提高導線高度，本公司改建鐵塔仍需面臨民眾抗爭及塔地取得等問題，因考量面對民眾抗爭因素是不可預知且多變，常造成工期不如預期，對改善系統供電不足緩不濟急。

雖然本公司僅部分線路更換超耐熱鋼芯鋁絞線 ZTACIR 或特別耐

熱鋼芯鋁絞線 XTACIR，藉以提高送電容量，但仍然有導線鋼芯與鋁線間所產生電位腐蝕、損耗大及價格貴等問題，導致使用率不高。現今國外廠商新技術和新材料的不斷發展，新型的碳纖維複合芯導線可提高送電容量，其特性重量輕、耐高溫及弛度變化小等特性，是國外汰換既設老舊既設導線以提高增容及解決目前系統供電不足最有效方法之一。

本次出國研習係本公司 102 年度出國計畫第 215 號，透過代理商隆翔國際有限公司，安排前往 CTC GLOBAL 大陸北京分公司及國家電網(中國電力科學研究院及中國電力規劃設計總院)，進行「研習碳纖維導線之特性及應用以提高送電容量」，行程為期共 7 天，參訪過程進行順利，希望本次研習吸取其新產品導線技術知識，增加送電量及低弛度，能提供公司改善供輸及線下對地距離不足等問題，有助於系統穩定的供電及電力的調度。

ACSR 與 ACCC 導線增容後弛度之比較示意圖



參訪行程：

日期	起訖地點	工作紀要
102.12.15	台北-北京	啟程
102.12.16	北京	參訪 CTC GLOBAL ^{註1} 泛美斯特斯碳纖維技術(北京)有限公司
102.12.17~18	北京	參訪中國電力科學研究院 ^{註3}
102.12.19~20	北京	參訪中國電力規劃設計總院 ^{註3}
102.12.21	北京-台北	返程

註1:CTC GLOBAL:美國 Composite Technology Corporation (CTC, Irvine, CA) 研製開發的碳纖維複合材料芯軟鋁導線 (Aluminum Conductor Composite Core, ACCC)公司。



國家電網：

經國務院同意進行國家授權投資的機構和國家控股公司的試點單位。公司作為關係國家能源安全和國民經濟命脈的國有重要骨幹企業，以投資建設運營電網為核心業務，為經濟社會發展提供堅強的電力保障。經營區域覆蓋 26 個省、自治區、直轄市，覆蓋國土面積的 88% 以上，用工總量超過 186 萬人。

註 2: 中國電力科學研究院

1951 年到 2001 年存在於中國北京市的一所科研機構。曾擁有 11 個研究所、一個國家級工程研究中心、一個部級質量檢測中心和研究生部及博士後流動站。2011 年轉製為國家電網公司全資科技型企業，繼續從事科研開發、承擔重大工程和人才培養等方面工作。

註 3: 中國電力規劃設計總院

位於北京市，成立於 1982 年。是中國電力工程顧問集團公司所屬事

業單位。主要承擔政府部門、金融機構、投資方、發展商和項目法人等委托的電力發展規劃編制、電力工程項目評審、評估、咨詢、項目融資、建設管理等業務。承擔了近千項電力工程項目的評審、評估和咨詢工作。該院在電力勘測設計的科研、標準化、信息工作中發揮着主導作用。發展了多項電力新技術研究和引進技術的消化、創新工作。

貳、增容導線之新型碳纖維複合芯軟鋁導線 ACCC

增容導線係指架空輸電線路使用特殊導線，在相同導體截面積的情況下，相對於傳統鋼芯鋁線 ACSR 能傳送更多送電容量，及耐受更高溫度之總稱。目前增容耐熱型導線類型可分三類：耐熱鋁合金導線，鋼芯軟鋁導線及複合材料導線。目前公司僅部分線路採用耐熱鋁合金導線型式(TACSR、ZTACIR、XTACIR)提高導線耐受溫度達到增容目的，惟同樣產生電位腐蝕、損耗大及價格貴等問題，普遍使用不多，這類型號較多，其相關導線溫度、抗拉強度特性如下表：

導線類型		連續允許 工作溫度 (°C)	短時允許工 作溫度 (°C)	抗拉 強度 (MPa)
鋼芯耐熱鋁合金導線 TACSR		150	180	158~183
鋼芯超耐熱鋁合金 導線	UTACSR	200	230	158~183
	ZTACSR	210	240	158~183
鋼芯高強度耐熱鋁合金導線 KTACSR		150	180	218~262
般鋼超耐熱鋁合金 ZTACIR、		210	240	158~183
般鋼特耐熱鋁合金 XTACIR、		230	310	158~183
間隙鋼芯耐熱鋁鋁合金 GTACSR		150	180	158~183

採用這類耐熱鋁合金線製作成導線時便能在 150°C 及以下安全使用，但由於導電率較低(58~60% IACS)在線路送電時會增加了耗能，不符預期。當它與鋼芯組合成導線時，其弧垂特性與相同規格的鋼芯鋁絞線相同。當導線提高溫升，增大輸送容量時，弧垂量往往超出允許範圍而無法提高較大的溫升應用。為改善其弧垂特性，將採用殷鋼 (INVAR) 芯代替普通的鋼線，殷鋼超耐熱鋁合金 ZTACIR 導線的拐點溫度在在 110°C 左右，小於拐點溫度，導線線膨脹係數在 $15.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 左右，達到拐點溫度後，導線的張力遷移到了芯線，殷鋼的線膨脹係數是 $3.7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ，遠小於普通鋼芯的線膨脹係數 $11.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ，可以限制弧垂，但殷鋼含鎳 (高達 36%-40%)，由於受限電位腐蝕、損耗大、抗張強度及價格貴等限制，公司運用情形不高。

線種	鋁素線		鋼素線	
	E(Kgf/mm ²)	$\alpha (*10^{-6}/^\circ\text{C})$	E(Kgf/mm ²)	$\alpha(*10^{-6}/^\circ\text{C})$
ACSR	7030	23	20400	11.5
ACSR/AW	7030	23	16500	13
TACSR	6300	23	21000	11.5
TACSR/AW	6300	23	16500	13
ZTACIR/AS	6300	23	15500	Up to 230°C 3.7 Over 230°C 10.8
XTACIR	6300	23	15500	Up to 230°C 3.7 Over 230°C 10.8

電線彈性係數與溫度線性膨脹係數表

新型之碳纖維複合材料芯導線日本與美國都有開發製造，日本製造開發 ACFR (碳纖維芯鋁絞線) 的低弛度導線，主要也是用於解決既有架空輸電線路導線增容運行及高溫下造成弧垂過大、對地淨距不足的

問題。其基本設計是用相同直徑的碳纖維複合材料（Carbon Fiber Reinforced Polymer, CFRP）代替一般鋼芯鋁絞線（ACSR）中的鋼芯，結構和外觀如下圖所示。複合材料芯的品質是常規鋼芯的約 1/5，線膨脹係數約為 1/12。試驗證明，這種新型複合材料芯導線的抗拉強度遠遠超過了 ACSR，在常溫下的應力—伸長特性呈現彈性體，沒有塑性變性，斷裂時的伸長量比鋼絞線小，約為 1.6%。耐熱性基本與 ACSR 相同。ACFR 在提高導線強度、降低導線重量和弛度方面具有突出的優點，其遷移點溫度約為 70°C，運行溫度達 150°C，重量比相同直徑的 ACSR 導線輕 30%。當導電體採用耐熱鋁時，可以得到耐熱性能更好的 TACFR 導線，在降低導線弛度的同時，提高導線的載流量。ACFR 是 ACSR 一對一的材料替換，導線外形、結構構造形式和尺寸與傳統導線完全一樣。



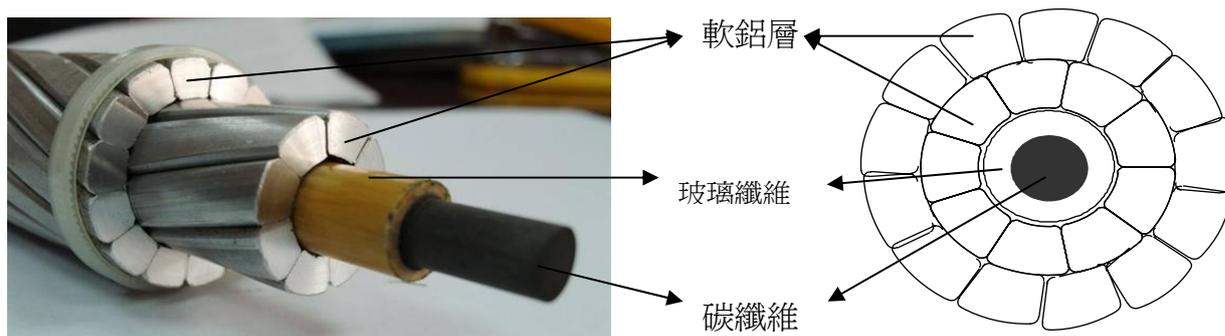
日本的ACFR導線

該類型導線日本大多使用在新建線路，惟日本的新建線路極少，原有舊有線路大多採用耐熱鋁合金導線汰換，碳纖維複合材料芯導線沒有得到大規模應用。

這次赴研習是在大陸所屬國家電網下之機構，大陸電網目前所採用碳纖維複合芯導線屬美國開發的產品，故本文則以美國 CTC 公司所研發的碳纖維複合芯鋁線 ACCC 特性及運用情形作一概述探討：

一、ACCC 簡介

新型碳纖維複合芯軟鋁導線 ACCC(Aluminum Conductor Composite Core)是美國 Composite Technology Corporation (CTC, Irvine, CA) 研製開發，於在 2005 年開始商業運行，碳纖維複合芯軟鋁導線的主要核心技術其芯線是由航空航太級的高強度碳纖維，工業玻璃纖維，及專有的樹脂混合物組成，並通過加熱在專有的擠拉過程中成型。芯棒外層再絞繞梯形截面的軟鋁型線，構成碳纖維複合芯導線。具有高強度、高韌性、重量輕、線膨脹係數小、低弧垂、耐腐蝕及耐高溫等特點。

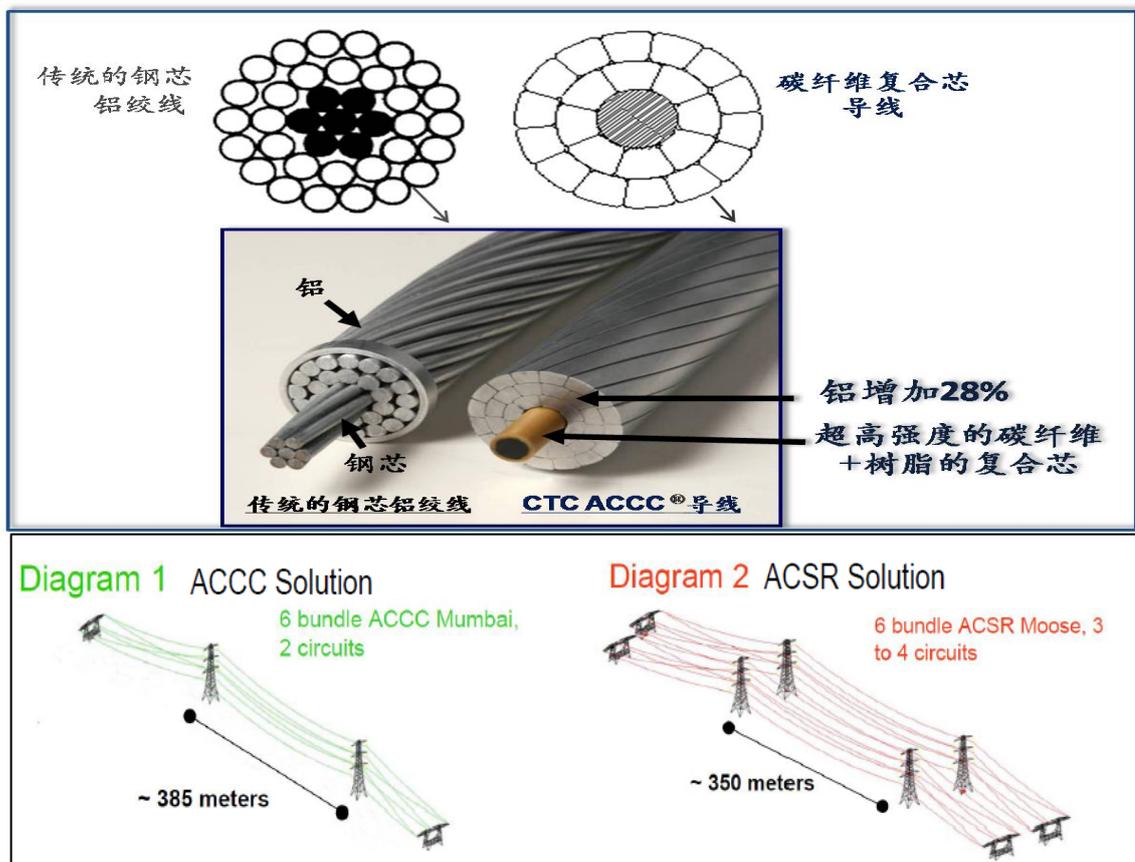


碳纖維複合芯軟鋁導線 ACCC/TW 結構

二、ACCC 技術特點：

以碳纖維芯作為導線加強芯，與傳統的鋼芯鋁絞線相比，ACCC 導線機械性及電氣性能具有以下優點：

- (1) 強度高：碳纖維複合芯替代傳統的鋼芯，複合材料的抗拉強度可達 1654Mpa，一般鋼絲僅為 1240Mpa，高強度鋼絲為 1410Mpa 以上。經 CTC 公司的試驗資料，ACCC 導線的破壞力要比傳統 ACSR(DRAKE)增加 30%，ACCC 導線的抗拉強度可達 2400Mpa，是一般普通鋼絲抗拉強度的 2 倍。由於抗拉強度的明顯提高，可允許增加桿塔之間的跨距，因此能降低工程建設成本。



- (2) 重量輕：ACCC 比一般 ACSR 導線重量輕約 10%~25%，複合材料芯比重僅傳統鋼的 1/4。以 795MCM(26/7)ACSR[DRAKE] 為例，導線單位重量 1.628kg/m，在相同外徑(D=28.143mm)規格下，ACCC 導線單位重量 1.217kg/m，導線荷重減輕約 25%，因此承載能力可增加約 20%。由於導線減輕以及良好的低弛度特性，可使降低鐵塔高度，並使減輕鐵塔結構強度、縮小塔基面積、縮短施工工期，及節省線路綜合工程費用。
- (3) 線膨脹係數小&弛度小：普通鋼芯鋁絞線 ACSR 之鋁線的膨脹係數為 $23.0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ，鋼線的膨脹係數為 $11.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ，就一般而言，普通鋼芯鋁絞線的膨脹係數為 $20.0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 左右。碳纖維複合芯線最大的優點就是膨脹係數特別小，膨脹係數為 $1.6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ，僅為鋼的 1/7。由於複合芯外層軟鋁線採用全退火鋁形式，屈服點非常低，再者複合芯的膨脹係數比外層軟鋁線的線膨脹係數小的多，在即拐點溫度(80°C)以上，導線的所有機械張力都將由碳纖維複合芯來承受，此溫度時鋁導體部分的應力變為零。鋁線由於熱膨脹伸長量很大，基本不承受拉力，所以整個導線的熱膨脹很小，線長變化很小，隨著溫度的上升，弛度增加得很小。經研究試驗證明在高溫下 ACCC 導線弛度不到普通鋼芯鋁絞線的 1/2，能有效減少架空線

對地安全距離，提高導線運行的安全可靠。依下列 CTC 測試 ACSR 與 ACCC 弛度相關紀錄表得知:ACSR 導線 30°C 至 90°C，弛度從約 49.5M 增加到 52.3M，弛度約下垂增加 2.8M；使用 ACCC 導線 30°C 至 175°C，弛度約 34.1M 增加到 34.4M，約增加 0.3M。由以上數據得知 ACCC 比 ACSR 隨著溫度的上升，弛度增加得很小。

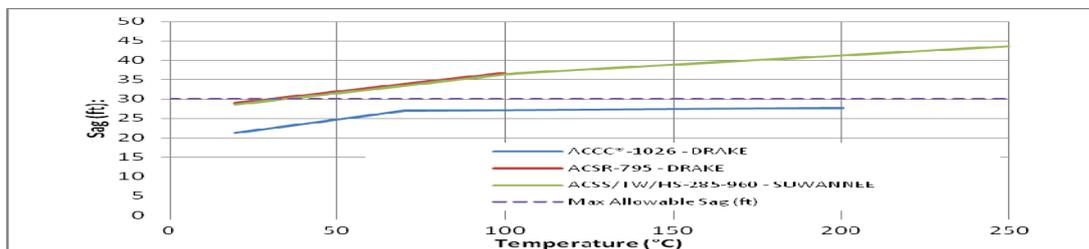
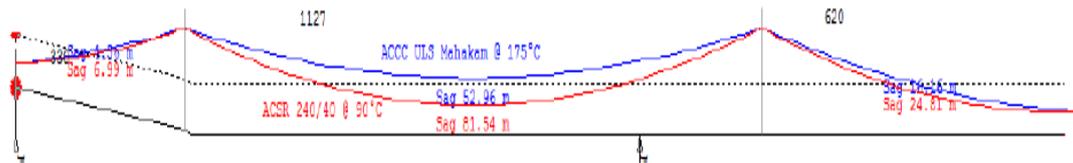


Figure 2 Structure and sag characteristics of the conductors have been planned by C&I. Above conductors are located at 30°C unless stated otherwise.

Mahakam River Crossing - FLS-CADD Diagram



Sag/Tension Analysis @Ruling Span 903.6 m (Max RS Sag = 35 m)		
	ACSR Hawk (similar to ACSR 240/40)	ACCC ULS Mahakam
Aluminum Cross-section (mm ²)	2x240 = 480	545
Weight (kg/km)	2x976 = 1952	1675
Rated Strength (kN)	87	219
Conductor Tension/bundle @Max-Wind (40m/sec @32°C) (Newton)	47,300	88,300
Total Conductor Tension @Max-Wind (40m/sec @32°C) (Newton)	2x47,300=94,600	1x88,300=88,300
Corresponding RTS @Max-Wind (40m/sec @32°C) (%)	55%	34%
Conductor Tension/bundle @ EDS (@30°C) (Newton)	21,700	56,400
Total Conductor Tension @ EDS (@30°C) (Newton)	2x21,700=43,3400	1x56,400=56400
Corresponding RTS @EDS(@30°C) (%)	25%	22%
Sag @Max-Wind (40m/sec @32°C) (meter)	52.9	38.9
Sag @Temp. 30°C EDS (25%RTS @initial) (meter)	49.50	34.1
Sag @Temp. 40°C (meter)	51.5 (198 A)	34.1
Sag @Temp. 75°C (meter)	51.8 (1218 A)	34.1 (980 A)
Sag @Temp. 90°C (meter)	52.3 (1426 A)	34.2 (1154 A)
Sag @Temp. 115°C (meter)	53.60	34.2 (1382 A)
Sag @Temp. 175°C (meter)	55.70	34.4 (1777 A)

Notes:
 **Ruling Span calculated and modeled based on FLS-CAD software are from Deadend to Deadend
 ** Use ACSR-Hawk for Sag/Tension Analysis very similar to ACSR 240/40.

- (4) 低損耗:線路的電能損耗可用公式 I^2R 表示， I 為線路輸送電流，這個電流是線路所要求的， R 為線路電阻，它與導線的結構有關。作為導電部分的鋁，主要取決於導電率，ACCC 使用軟鋁 IACS 63%的導電率比 ACSR 硬鋁線(IACS 61%)相比較導電率提高約 3%；且相同外徑 ACCC 導線的鋁材截面積比普通鋼芯鋁絞線多 28%；及 ACCC 芯棒不存在鋼絲材料，當通過交流電流時不會引起的磁損和渦流損所產生損失，且在相同截面積可降低交流電阻 6%，相比傳統線路減少約 6%線損。因此，採用碳纖維複合芯鋁絞線的架空輸電線路與採用普通鋼芯鋁絞線的線路相比，碳纖維複合芯鋁絞線輸送容量更大，更節能。
- (5) 載流量大:相同外徑 ACCC 導線的鋁材截面積比普通鋼芯鋁絞線多 28%，能傳輸更多電能，且 ACCC 外層導線為全退火軟鋁，在 200°C 下能有效運轉，由於鋁截面積增大和提高導線工作溫度，ACCC 導線綜合載流量理論上可提高至鋼芯鋁絞線的 2 倍。在不改造桿塔情形下可將老舊線路重新架設新設，不但可以實現倍容，與其他高溫增容導線相比，ACCC 導線還增加 30~40% 輸電效率。
- (6) 耐腐蝕:由於 ACCC 導線芯外表面是玻璃纖維絕緣層，芯棒與鋁線之間不存在電位差腐蝕，能保護鋁線不受電腐蝕。另外，複

合材料本身具有良好的耐腐蝕性，所以 ACCC 導線不存在鋼芯環境腐蝕問題，可用於高腐蝕環境。

- (7) 優越的防覆冰特性。ACCC 導線的外層梯形鋁表面比普通鋼芯鋁絞線表面光滑，內部結構更緊密，不利於積水覆冰；且由於 ACCC 導線的高強度，在有覆冰情況下，也能保證線路安全運行。ACCC 碳纖維芯棒不產生塑性變形，所以去除覆冰後，導線弛度可恢復到覆冰前的程度。



- (8) 良好的自阻尼特性:ACCC 導線微風振動疲勞試驗，通過幾根試樣分別經過 3×10^7 次連續振動疲勞試驗後，對懸垂線夾處的導線進行拆股觀察，未見有任何開裂斷股現象。因此線路的振動疲勞性能良好，能有效防止導線風舞動。
- (9) 高可靠性:ACCC 導線 已有近 9 年的實際使用案例，運轉中導線目前使用無明顯異狀，這些使用證明了其高可靠性。

(10)鋼芯鋁線與耐熱型導線的綜合性能比較如下表

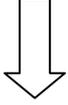
導線類別	常規導線	耐熱性導線		
性能	鋼芯鋁導線 ACSR	耐熱鋁合金 TACSR	般鋼芯 INVAR	碳纖維芯 ACCC
結構特色	常用的鋼芯鋁導線	鋼芯耐熱鋁合金導線	般鋼芯超耐熱鋁合金導線	碳纖維芯軟鋁型線導線
導電性能	硬鋁線，導電率 61%IACS	耐熱鋁合金線，導電率 58%IACS 或 60%IACS	耐熱鋁合金線，導電率 63%IACS	軟鋁型線，導電率 63%IACS
允許使用溫度 (°C)	70, 80	210	210	150 以上
弧垂特性	在允許溫度下設計線路弧垂	使用至 90°C 時弧垂超過要求值	可使用至 150°C，弧垂能滿足要求	可使用至 150°C 及以上，弧垂仍能滿足要求
能耗，線損和載流量	正常能耗和載流量	正常送電時，能耗和線損均增加。可允許增加約 20%-25% 載流量	正常送電時，能耗和線損均增加。可允許增加約 100% 載流量	正常送電時，能耗和線損均減少。可允許增加約 100% 以上的載流量
導線的外徑與單重	作為常規使用的標準導線外徑與單重	與相同規格的導線外徑和單重相同	與相同規格的導線外徑和單重相同	與相同規格的導線比，外徑更小，單重也輕，約減少 15%-18%
性能	鋼芯鋁導線	耐熱鋁合金	般鋼芯	碳纖維芯
導線拉斷力	標準使用值	與標準相同	略小些	略大些
鐵配件	正常使用鐵配件	需能耐 150°C 鐵配件	需能耐 150°C 鐵配件	需能耐 150°C 鐵配件，結構複雜
施工架設	正常施工架設	與常規導線相同	與常規導線相同	放線、鐵配件施工有特殊要求
壽命	30-50 年	30-50 年	30-50 年	未獲得可靠恰切壽命年限 (約 40 年)
價格	100% 計 (按品質計)	約 120%-125%	約 500% 左右 (現狀)	約 600% 左右 (現狀)
應用領域	各種線路 (除需增容的線路外)	只用于某些特定的增容線路，不適合用作主線路	只用于某些特定的增容線路，無法用於主線路	用於增容線路，也可用於重要線路
綜合評價	常規導線，性能穩定，大量使用	能耗，線損大，不宜推廣應用	雖弧垂特性較優，但能耗線損大，	雖弧垂特性優，但能耗線損大，價格高昂，應慎重選用

新型 ACCC 導線與其他耐熱導線或鋼心鋁線相比較下，ACCC 運行溫度高，重量輕、高強度、弛度小、低線損及耐腐蝕性等特點遠優於耐熱導線或鋼心鋁線，雖然價格比 ACSR 貴許多倍，依長遠成本經濟考量，將既設線路在不改桿塔情形下，改裝設 ACCC 導線是最好改善系統供輸或線下高度不足等問題的辦法之一。

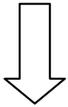
三、ACCC 導線的製造流程：

碳纖維+玄武岩+玻璃纖維

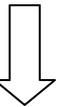
+ 高溫環氧樹脂



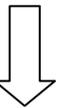
拉擠固化



軟鋁絞合

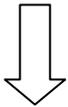


成品檢驗

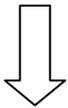


入庫

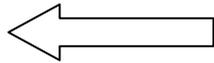
鋁錠



連鑄連軋



擠壓型線



複合芯產線



鎔鋁



鋁線絞合



成品檢驗

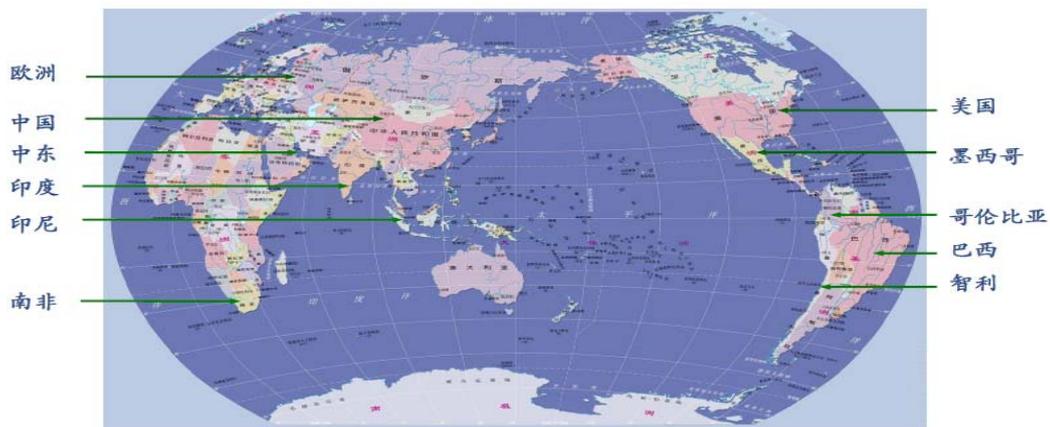


成品入庫



四、ACCC 導線應用在世界及大陸情況

2005 年 ACCC 導線開始在美國投入商業應用，截止到 2012 年，全球已在五大洲共使用 ACCC 導線長度約 22000 公里，200 多條輸電走廊安裝運行，其中美國工程用量約 4000 公里，大陸地區用量約 11000 公里，其他國家和地區約 5000 公里。電壓等級覆蓋 13kV~500kV。包括中國，美國，歐洲，印尼，印度，巴西，智利，南非等。全球工程分佈見圖。



ACCC 導線在大陸應用現狀

CTC ACCC®產品自 2005 年 12 月開始進入中國市場，在中國安裝了逾 130 條線路，6000 公里。電壓等級覆蓋 110~400 千伏。



案例介绍:

(1) 增容案例 1-

福建省电力公司 - 超远档距

项目名称: 福建龙岩
地点: 中国
目标: 增加容量 / 减少弧垂 / 利用现有铁塔
项目参数: 2.9 英里 / 220 kV / 10 个铁塔 / 档距为1,800到2,600英尺不等
制约因素: 极大档距 / 37条施工线路 / 山区热带条件

解决方案: ACCC® Drake

结果: 增容 85%
减少弧垂 / 未升级铁塔
线路经受了两次台风, 表现优异



CTC Global Corporation Ltd. Copyright 2013

21

CTC GLOBAL

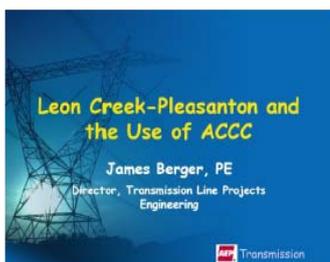
(2) 增容案例 2-

America Electric Power (AEP) - 增加传输容量

项目名称: Leon Creek到Pleasanton
地点: 得克萨斯, 美国
目标: 增加容量 / 减少线损 / 利用现有铁塔
项目参数: 15.7 英里 / 138 kV / 139 目前铁塔类型 - circa 1954
制约因素: 成本 / 断电时间有限 / 需要增容

解决方案: ACCC® Drake

结果: 增容 100%
减少0.9 兆瓦损耗 (整个系统减少1.1 兆瓦)
最少的铁塔改造 (保留了139个现有铁塔)



CTC Global Corporation Ltd. Copyright 2013

24

CTC GLOBAL

(3) 大跨越案例

工程地點：智利 salto

工程目標：增加容量/利用現有鐵塔

工程參數：28 公里/110kV

工程竣工：2009 年



(4) 重腐蝕區案例

工程地點：墨西哥海灣跨海工程

工程目標：增加容量/減小弧垂/防腐蝕

工程參數：32 公里/230kV

工程竣工：2009 年



五、經濟效益分析

1. ACCC 導線重量輕，載流量大，線膨脹係數小，在滿足線路增容需求時，弛度可滿足線對地安全距離，不用更換桿塔這是其一特點。其二應用加入在新建線路上更可縮小鐵塔用地面積與加大鐵塔間跨距等優點，施工時間縮短，線損減少等因素，在增容改造線路，使用 ACCC 導線經濟效益更加顯著，這也是各國現有工程中採用 ACCC 導線的主要原因。
2. 因 ACCC 輸電流量是 ACSR 一倍以上，故輸電線路投入一條線路建設可獲二條線路的運轉價值，而且能減少新建線路一半的土地佔用面積，節約可觀的土地資源。
3. ACCC 的導電率達到 63.7% IACS, 而 ACSR 導電率為 61~62IACS%。相比而言，ACCC 能提高 3%的導電率，就 ACCC 在輸變電線路上應用，僅此項就最少能降低電能損耗 3%左右，如果在輸電線路中大量使用 ACCC，節約電能就相當可觀，因此應用複合導線對節約電能、改善環境有著非常重要的意義。
4. ACCC 的核心技術是芯棒研發和製造技術，基本由 CTC 公司壟斷供應大陸電網，鋁線委託大陸國內纜線企業進行絞線，製造導線成品和銷售的方式。在 2010 年之前，當時導線價格高達鋼芯鋁絞線的 5~6 倍。2013 年初 CTC 已與國網電科院下屬的江蘇南瑞斯特斯 (NARI-CTC) 複合材料有限公司已在江蘇登記註冊並開始建設。是在中國境內唯一取得 CTC GLOBAL 公司授權的碳纖維複合芯棒及相關

產品的全部智慧財產權的企業。合資公司以碳纖維複合芯棒的產銷為主營業務，不涉及碳纖維複合架空導線製造業務。ACCC 比 ACSR 成本已不在那麼多，預計中國國產化後會價格更低，據 CTC 在北京同仁表示目前的產品價格在傳統 ACSR 的 2~3 倍左右，實際具體價格是取決於購貨量(需採購 500km 以上)，若在 2 倍價格時，工程投資增加部分回收年限約為 2 年。在 3 倍價格時，工程投資增加部分回收年限約為 5 年。

5. ACCC 與 ACSR 的架線方式都採用張力放、緊線，長度相同，因此，兩種導線的架線安裝工程費用相同。另對於 ACCC 的鐵配件，僅有懸垂線夾和耐張線夾不同於 ACSR 裝置，其餘如制震器、預型保護條及間隔器等鐵配附件皆同。據估大陸目前 ACCC 附件已國產化其單價及施工費用是 ACSR 約 1.67 倍。

六、ACCC 附屬鐵配件

ACCC 在高溫運轉下，必須開發配套的耐熱鐵配件，避免使導線與鐵配件或接頭的接觸面而燒壞導線或鐵配件，同時導線的熱量容易通過鐵配件向絕緣礙子傳導，使絕緣礙子片受熱不均。故耐熱耐張線夾及接續管之壓接工法需滿足其機械張力和電氣連接的作用，保持對導線的握力，同時鋁管的設計超過導線截面，可增大導線的散熱面積，保

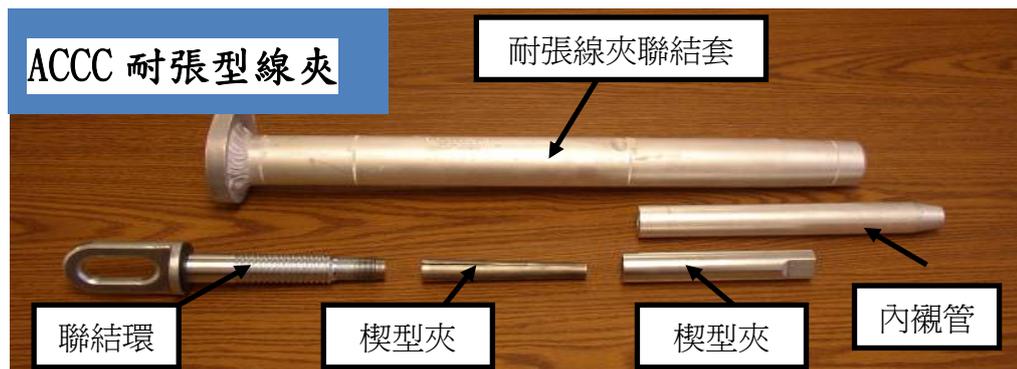
護絕緣礙子不致受熱加速老化。

由下表可知 ACCC 之耐張線夾與一般 ACSR 鐵配件大致相同，惟耐張線夾、懸垂掛線夾板、接續管及防振錘內部尺寸不同，以下針對使用 ACCC 時較特殊鐵配件部分作一概略介紹：

導線名稱	鋼芯鋁絞線	增容耐熱導線	
耐張線夾	壓接型	耐熱材料，壓接型(稍長)	特殊材料、特殊設計、
接續管	標準件	耐熱材料，壓接型(大尺寸)	特殊尺寸、特殊壓接工藝
懸垂掛線夾	標準螺栓型	標準螺栓型	含耐熱護線條
防振錘	標準件	標準件	含耐熱護線條

1. ACCC 耐張型線夾：

碳纖維複合芯導線由於其結構具有特殊性，一般 ACSR 常用耐張線夾和接續管不宜使用，而是為專用配套的耐張型線夾，內層不銹鋼，外層鋁合金，見下圖。



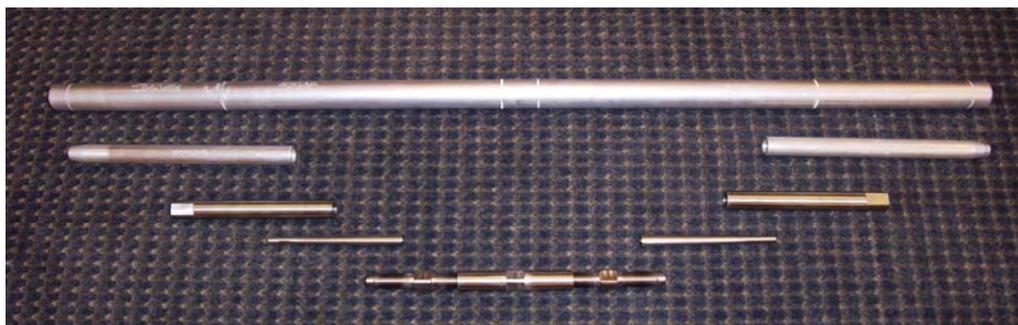
耐張線夾組件



線夾剖視

2. ACCC 接續管

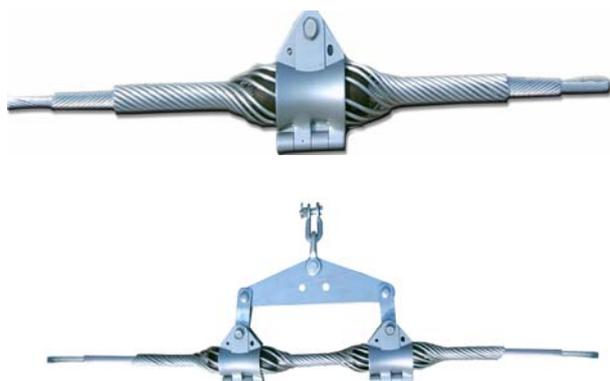
確認導線接續位置，壓接現場導線不得接觸地面。應採用臨時錨線的方式進行壓接。接續管包括如下配件：外壓接管、內襯管、楔型夾座、楔型夾、連接器。



接續管組件

3. ACCC 懸垂型掛線線夾：

傳統懸垂線夾的線夾本體和蓋板可能引起內層絞線變形和輕度的齒狀壓痕，雖然正常的變形和壓痕對導線性能不會帶來影響，特別是導體若採用軟鋁，軟鋁強度低、易擦傷，因此懸垂線夾採用有預絞絲保護導線，耐熱橡膠襯墊的結構。採用目前在導線上廣泛使用的單支點或雙支點預絞式懸垂線夾，可避免不必要的變形和壓痕。大跨越工程需結合工程實際情況一般採用雙支點預絞式懸垂線夾。



預絞式懸垂線夾



以上鐵配件經熱迴圈試驗後，在 ACCC 於高溫下運轉，鐵配件溫升大大低於導線本體溫度，而且經過 100~1000 次不等的熱迴圈試驗後，鐵配件兩端電阻值變化符合標準要求，握力測試耐張和接續鐵配件均未出現滑移現象。

4. 補修措施：

由於 ACCC 外層鋁採用的是經退火後的軟鋁型線，其強度低（80MPa），在延放導線過程中會出現以下幾種缺陷採取補修措施：

導線損傷情況	外層鋁毛刺	外層鋁損傷截面不超過鋁層總截面的 7%	外層鋁斷股：8 股及以上斷 1 股；12 股及以上斷 2 股；16 股及以上斷 3 股。	最內層鋁斷股或外層鋁斷 3 股以上。
處理措施	用 0# 細砂紙打磨	護線預絞絲保護	補修預絞絲補修	開斷接續

以上護線預絞絲、補修預絞絲均為耐高溫材料製作，適配於碳纖維複合芯導線各規格外徑。

參、心得與建議

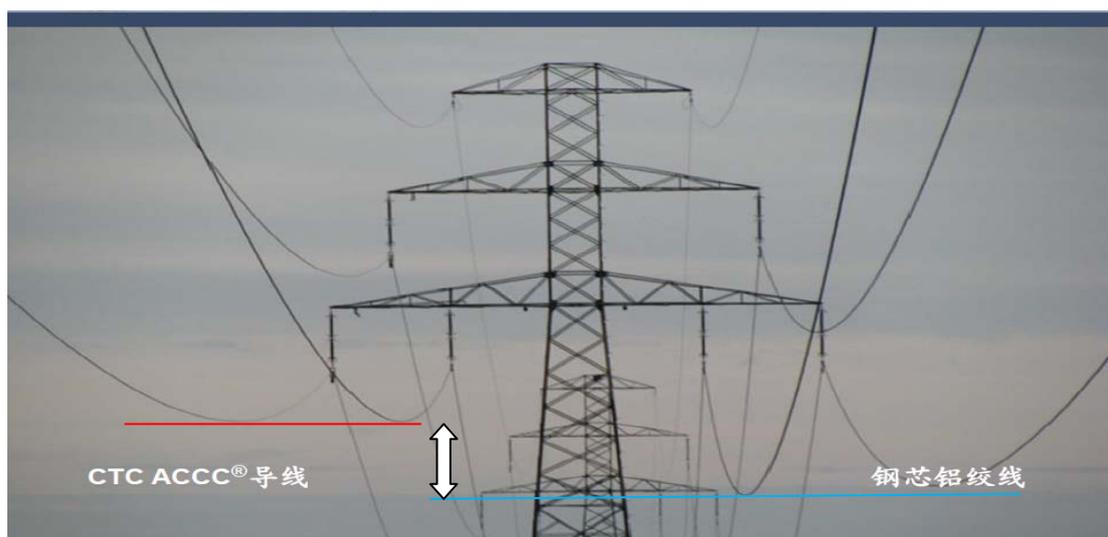
1. 目前公司輸電系統於運轉中經常面臨瓶頸線路，在系統停電困難下，對於使用 ACSR 導線共架線路通常只能 1 回線停線維修，無法 2 回線同時停電，如此常造成在現場施工或維護時困擾，其一停電回線施工另 1 回線則需增大送電量，弛度就會明顯增大，若此時線下對地高度不足時，就容易造成線路跳脫。其二停電回線

施工時會有感應電壓存在，恐影響工作安全。若輸電線路能採用更大容量導線架設，使供電系統有靈活電力調度，逕而轉供線路瓶頸線路，不論對電力系統運轉或現場維護工作進行將有很大助益。

2. 碳纖維合成芯導線是一種性能良好的導線，與目前公司鋼芯鋁線導線相比，具有重量輕、強度大、熱膨脹係數小、導電率高、線損低、載流量大及耐腐蝕性能好等優點。碳纖維合成芯導線比鋼芯鋁絞線有更大的輸送電能的能力，相同直徑的碳纖維合成芯導線輸送電流的達常規鋼芯鋁絞線的 2 倍甚至以上，導線弛度減少 90% 以上，可應用在老舊輸電線路的改造增容，利用現有杆塔不需改造，增大傳輸容量；或應用在新建線路上更可縮小鐵塔用地面積與加大鐵塔間跨距等優點，以節省線下路徑土地使用、線材投資與線損減少，是值得公司參考運用。
3. 針對 ACCC 的核心技術是芯棒的研發和製造技術，基本上由 CTC 公司生產再結合大陸國內電纜線公司進行絞線和銷售方式，目前在大陸使用 ACCC 的價格是 ACSR 的 2~3 倍，附屬鐵配件如耐張線夾、接續夾及懸垂線夾，因大陸已有廠商自行研發製造，單價約 ACSR 的 1.6 倍。未來公司若引進 ACCC 架設於輸電鐵塔運轉，且在國內各纜線公司及鐵配件製造商有意願投資生產鋁絞線及鐵

配件使之國產化下，ACCC 及附屬配件價格就會相對降低便宜，以減少對既設線路改造或新建線工程的投資成本。

4. ACCC 在輸電線路中應用時間至今約 9 年，雖有相關增容案例或置於高污染嚴霧害區域，但還需要不斷累積經驗證明 ACCC 在高溫下的強度變化、或安裝中的耐磨損及耐腐蝕能力等等是否還有其他問題，以確保在運轉當中供電安全無虞。可建議公司評估在非重要線路(除科學園區、工業區等)，或線下不易維護區域，且送電容量滿載達 80%以上線路作一試辦，如超一路或其他線路。



CTC Global Corporation Ltd. Copyright 2013

35

CTC GLOBAL

肆、參考文獻

- [1] 超高壓輸電公司物資中心，新型架空導線在輸電線路中應用研究，2010 年
- [2] 黃禮平，碳纖維複合芯導線的應用研究，江蘇省電力公司，2008 年
- [3] 貴州電力設計院，貴州電網增容導線應用研究，2009 年 5 月
- [4] CTC GLOBAL 公司，ACCC® Conductor Installation Guidelines
- [5] 陳世傑，探討碳纖維鋁線提昇導線送電容量之特性比較分析，台電工程月刊
- [6] 超高壓輸電公司物資中心，新型架空導線在輸電線路中應用研究，2010 年 10 月
- [7] 碳纖維複合芯導線調研報告，2013 年 6 月

附錄:導線施工和安裝的特殊工法

伍、導線壓接工藝

液壓前，避雷線的線頭清洗、剝線、穿管及壓接等執行《架空送電線路導線及避雷線液壓施工工藝規程》(SDJ226-87)。本工程導線採用的導線為美國 CTC 公司生產的碳纖維複合芯導線 (ACCC/TW Linnet431)。耐張線夾安裝、壓接時按 ACCC 導線壓接工藝進行施工。

5.1 耐張線夾的最後切割

用鋼鋸進行最後的切割，要保證線芯與夾頭的裝配。



導線切割

5.2 耐張線夾內套

切割完成後，將導線插入耐張線夾外套和內套。內襯的錐形端和線夾外套的另一端，要儘量將導線向內拉。



耐張線夾內套

5.3 導線鋁線的切除

用夾頭座作的長度作為參考尺寸，將導線的外表兩層鋁線切除，暴露出線芯。做標記後，鋁線股要用卡環、細線或膠布綁緊。然後，用線剪、卡環或手鋸將線芯上面的兩層鋁線股切除。注意，不要再線芯表面做標記。（鋁線股很容易掰斷）



鋁線切除

5.4 線芯清潔

用幹布將線芯的表面擦乾淨，用細砂紙輕輕打磨，然後再用幹布將粉末擦乾淨（注意：不要造成劃痕）。



線芯清潔

5.5 錐形鑲套及其套管安裝

將線芯插入楔型夾座，然後將楔型夾的細端先夾註線芯，再插在楔夾座內。然後，整體滑進，楔型夾的端頭與鋁線截面留出 6.35mm

的距離。



套管安裝

5.6 耐張線夾聯結環安裝

將聯結環擰入楔型夾頭座內，用兩個大扳子擰緊。一個扳子擰聯結環，另一個扳子擰夾頭座。這樣，就可以使夾頭緊緊夾註線芯。



聯結環安裝

5.7 耐張線夾的擰緊

當板手擰緊耐張線夾和楔型夾座後，理想的結果是：在靠近導線一端，應該有 1 英寸（25.4mm）左右的線芯暴露出來，楔型夾應該從夾頭座端向外拉出大約 1/8 英寸（3.2mm）左右。



線夾的擰緊

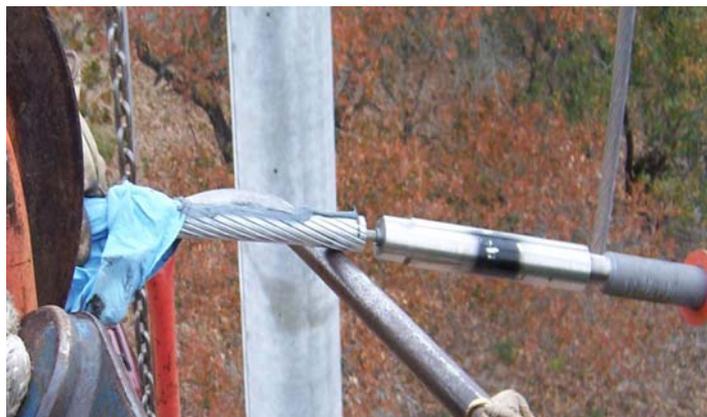
5.8 清潔導線表面用—鐵刷清潔導線表面。



清潔導線表面

5.9 在導線上塗抹絕緣油膏

將耐高溫絕緣油膏塗抹在導線表面，用鐵刷子將油膏刷均勻。



導線塗抹絕緣油膏

5.10 在內套上塗抹絕緣油膏

將導線插到耐張線夾本體內，直到頂到聯結環為止。將絕緣油膏塗抹到內套上，然後，將耐張線夾本體頂緊。



內套塗抹絕緣油膏

5.11 壓接耐張線夾

用一個 60 噸的液壓壓力機來壓接耐張線夾。前兩個壓接靠近聯結環。然後再到靠近導線端進行同樣的壓接操作。



壓接耐張線夾

5.12 耐張線夾的壓緊

靠近聯結環一端的兩個壓接。



線夾的壓緊

6 ACCC 安裝注意事項

由於 ACCC 應用的是軟鋁，所以要著重說明的是，儲運和吊裝過程中，導線的表面絕對要避免接觸地面。可以在地面上鋪上紙，或者其他材料來避免鋁線著地。雖然碳纖維芯強度很高，但是也要強調，ACCC/TW 導線牽引角度不能超過 30 度。



導線牽引角度

導線表面不能被磕損，導線應該能夠通暢地從滑輪槽通過。在安裝過程中，如果由於牽引角度過大，或者其他原因對導線造成了損壞，而這段導線還要承受拉力，則其損壞部分必須截斷，採用直線接續管進行連接；(牽引角度過大，線芯就會受到損傷，強度將受到影響)。由於 ACCC 導線外層鋁絞線為右向的，在張力機和線盤的放線過程中，導線要從張力機的左邊纏入，從右邊放出，聯接到第一個放線輪上。張力機的選擇必須與導線的鋁線右旋設計相匹配；張力機的主輪應是導線直徑的 40 倍。安裝總體設備佈置，放線盤、張力機主輪和第一個放線輪儘量保持直線距離。放線過程中，滑輪槽應該用橡膠條襯好，在安裝過程中保護導線表面。滑輪的直徑，應該保持在導線直徑的 20 倍以上(尺寸要從滑輪槽底測量)。網套和斷線鉗：用尺寸合適的網套，網套一端配有卡具，能保證拉繩過程中，導線不會旋轉；在網套與導線聯結一端，用兩個金屬夾片夾住導線，然後用膠帶纏住夾片，確保防線導輪輪槽內的橡膠不會被損壞。