

輸變電設施氣候變遷風險評估案例研究

羅慧瑋^{1*} 徐玉杜² 蘇衍綾³

摘要

我國輸電鐵塔多位於山區等地質敏感區域，如何降低能源供給設施在極端氣候與暖化效應下的負面衝擊，當屬目前的重要課題。本文參考ISO 31000風險管理指引及英國氣候變遷風險評估方法，建立我國能源產業氣候變遷風險評估架構，據以輔導台電花東供電區營運處轄區下的5所變電所與345 kV~161 kV的線路進行設施與區位盤查、關鍵氣候衝擊風險辨識及災害潛勢分析，並針對各項設施進行危害度評估、脆弱度評估及交叉風險分析，以掌握各項輸變電設施之主要氣候變遷風險，作為研擬近未來(2020~2039年)氣候變遷調適措施之參考。

關鍵詞：氣候變遷、調適、危害度、脆弱度、風險評估

1. 前言

2014年以來，國際上陸續因為極端氣候事件造成重大災情，例如暴風雨使英國泰晤士河上游決堤且水位達到200年重現期距、北極渦旋造成美國中部大風雪和零下50°C的超低溫天氣、美國加州也遭遇500年來最嚴重的乾旱而嚴重影響水力發電廠的運轉、而澳洲南部則因46°C的高溫熱浪，不僅電力供應受限，還引發了森林大火。

隨著全球暖化與氣候變遷議題漸成顯學，各國政府也愈來愈重視能源供給設施是否足以因應未來規模更大或更為頻繁發生的極端氣候型態。為因應全球氣候變遷造成的衝擊，由行政院經建會(現已改為國發會)主導並召集各部會與專家學者研擬之「國家氣候變遷調適政策綱領」已於2012年6月25日核定(行政院經建會，2012)，其中經濟部能源局為「能源供給

及產業」領域調適方案與行動計畫之推動與總彙整單位。為通盤瞭解國內能源供給設施之氣候變遷風險與衝擊，工業技術研究院接受經濟部能源局委託，自2010年開始進行能源產業氣候變遷風險評估方法與工具之先期研究，並自2011年起，依北、中、南、東及離島等地理區位特性與能源類別，以Bottom-up方式逐年推動能源供給設施風險評估與調適能力強化等輔導工作，並藉由每年輔導過程精進各項評估工具，期望在未來氣候情境假設條件下，得以規劃能力所及與成本有效之因應措施，並增強能源供給設施之耐災力與回復力。

本文為花東供電區營運處(簡稱營運處)氣候變遷風險評估輔導案例(工研院，2013)，主要藉由分析鄉鎮區位過去歷史氣候衝擊指標與統計資料，進而以Bottom-up方式檢視轄區內各項設施在遭遇極端氣候事件時可能面臨之風險狀況。過去營運處曾因天災造成設施損害的案

¹ 工業技術研究院綠能與環境研究所 工程師

² 工業技術研究院綠能與環境研究所 資深研究員

³ 工業技術研究院綠能與環境研究所 副研究員

*通訊作者, 電話: 03-5918530, E-mail: weilo@itri.org.tw

收到日期: 2014年07月22日

修正日期: 2014年09月19日

接受日期: 2014年10月07日

例包括：室外變電所因強風導致附近招牌或鐵皮飛入轄區、鹽害造成礙子閃絡而短路、鐵塔塔基邊坡土石遭洪水侵蝕，以及雷擊造成礙子瞬間跳脫等事故。

2. 研究方法

本研究方法參考ISO 31000風險管理指引(ISO, 2009)及英國氣候變遷風險評估方法(HR Wallingford, 2009)，據以建立國內能源產業氣候變遷風險評估架構(如圖1)，並協助營運處建立氣候風險管理推行環境，同時透過基礎資料建置、氣候衝擊分析及風險辨識，逐項評估所盤查各項設施之危害度與脆弱度，最後進行交叉風險分析，以掌握氣候變遷衝擊對各輸變電設施之主要風險，作為未來強化調適措施之參考，輔導流程如圖2所示。

2.1 風險評估範疇與計算準則

本研究之氣候風險評估範疇乃以降低能源供給能力之損失為主，包括降低供電量之規模或時間(即為脆弱度評估)，未來可依需求再納入資產損失、經濟損失、民生衝擊或人員傷亡等項目之權重。

風險評估計算方式係參考國家災害防救科技中心(簡稱NCDR)的計算：風險(Risk) = 危害度(Hazard) × 脆弱度(Vulnerability)。

依據NCDR定義之危害度指造成物理性損壞之潛在事件、現象或人為活動，包括：供給能力損失、人員傷亡、財物損失、社會與經濟面之崩潰，或環境退化等(陳禹銘等，2009)；而脆弱度係當危害發生時，損壞增加或未能處理之程度，其程度取決于物理性、社會性、經濟性、環境性等因素(郭彥廉等，2009)。

本研究整合NCDR、水利署、氣象局、交通部運研所臺灣技術研究中心及台電公司等政府部會或組織公開的鄉鎮區位災害潛勢指標或研究資訊，以5分級法直接引用或加值運用於各區位災害潛勢評估，其中各等級對應之機率與重現期對照如表1所示。

所謂災害潛勢，依內政部定義是指特定地區受自然環境等因素影響所潛藏易致災害之機率或規模(內政部營建署，2009)，而NCDR則指在氣象、水文等的外在條件下，分析模擬區域內各處發生災害的機率或規模，劃分成不同等級，如高、中、低潛勢等，再利用地理空間方式呈現模擬地區的潛勢分布(謝龍生等，2007)。本研究參考NCDR定義，並以各鄉鎮區

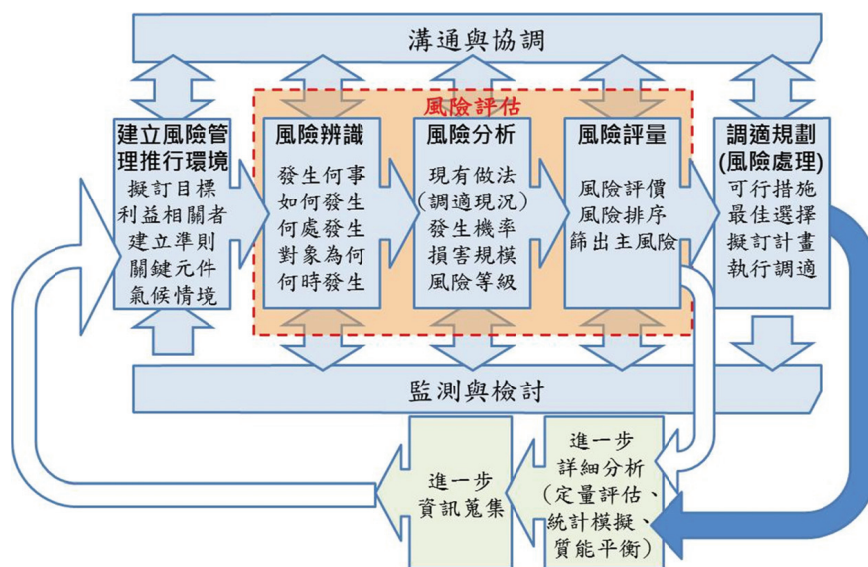


圖1 能源產業氣候變遷風險評估架構
資料來源：本研究整合繪製，2012

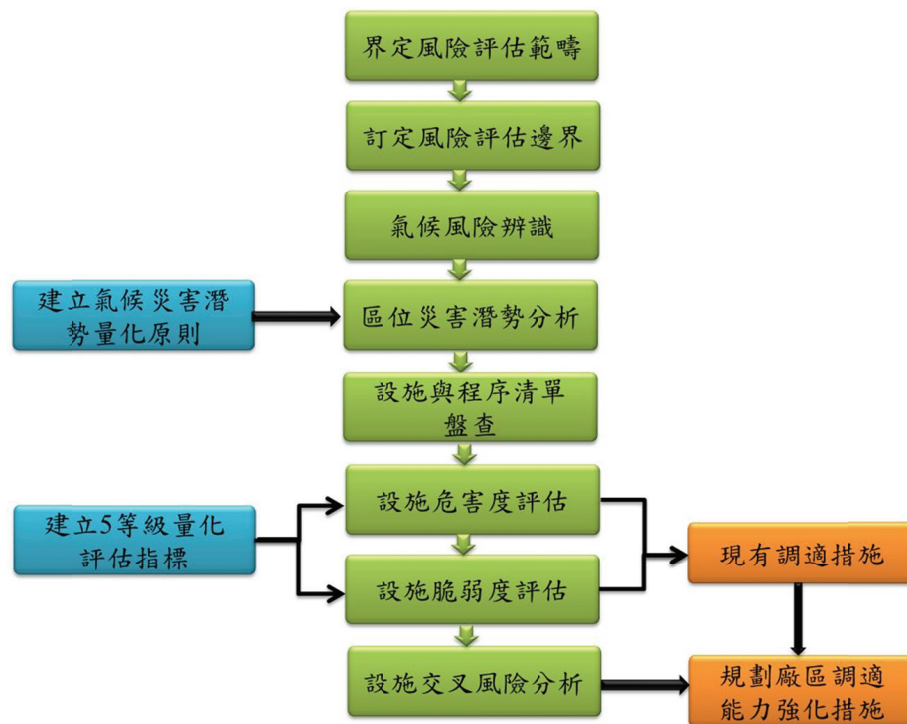


圖2 能源產業氣候變遷風險評估輔導流程
資料來源：本研究繪製，2013

表1 災害潛勢、危害度評估等級對照表

等級	1	2	3	4	5
機率	≤10%	10%~33%	33%~67%	67%~90%	>90%
重現期(年)	>100	100~25	25~10	10~5	≤5
敘述	絕少	偶而	可能	經常	幾乎確定
	非常低	低	中	高	非常高
	Very Low	Low	Moderate	High	Very High
代號	VL	L	M	H	VH

設備運轉 時間n(年)	重現期T(年)							
	1000	200	100	25	10	5	2.5	2
	運轉時間內至少發生1次機率 $P = (1 - (1 - 1/T)^n)$							
1	0.1%	0.5%	1.0%	4.0%	10.0%	20.0%	40.0%	50.0%
10	1.0%	4.9%	9.6%	33.5%	65.1%	89.3%	99.4%	99.9%
20	2.0%	9.5%	18.2%	55.8%	87.8%	98.8%	100.0%	100.0%
30	3.0%	14.0%	26.0%	70.6%	95.8%	99.9%	100.0%	100.0%
40	3.9%	18.2%	33.1%	80.5%	98.5%	100.0%	100.0%	100.0%

資料來源：本研究整合製作，2011

位災害潛勢等級為基礎資料，再進行轄區內各項設施的危害度評估。為使能源業者瞭解評估方式，本研究所稱危害度泛指設施因氣候變遷

衝擊造成危害事件發生的相對可能性，評估時先參考區位災害潛勢等級，再考量設施既有調適措施或改善方法以調整危害度。影響危害度

的條件分為：

- (1) 設備因子：材質、強度提高或前處理工法等。
- (2) 管理因子：定期更換重要元件、維護保養頻率等措施。

至於設施危害度級距係以設備運轉10年至至少發生1次的機率，對照重現期訂出5等級區間，如表1所示。

另外，本研究脆弱度評估係依設施恢復供應能力的時間或發生異常影響的規模區分5等級，其對照表如表2所示。影響脆弱度的條件分為：

- (1) 設備因子：設備本身發生異常時，恢復供給能力所需時間。
- (2) 管理因子：透過備品調度、人員訓練等加速復原。

氣候風險計算由危害度×脆弱度，以 5×5 二維矩陣方式呈現。本研究風險等級參考台電風險評估方法分為低度風險到極高風險，並針

對最高脆弱度與最高危害度的設施保留提升風險等級的彈性，請參考圖3。

由於氣候變遷風險乃參考NCDR、水利署及中央地調所等單位以過去氣象、淹水、坡地災害及地層下陷等歷史資料製作的風險地圖為基礎，進行設施的危害度評估。針對未來氣候變遷預測與推估，在目前資料不足的情況下仍存在高度不確定性，且目前辨識的氣候衝擊因子在近未來(2020~2039年)是否仍為關鍵的衝擊因子，尚須持續監測氣候變遷的影響與衝擊方能確定。因此，一旦未來國際或國內發布更詳細的預測資訊時，建議本案例應同步修正相關評估結果。

2.2 建立氣候變遷調適推動小組與盤查邊界

營運處位於花蓮縣新城鄉，供電轄區涵蓋花蓮縣市與臺東縣市，轄區內共有15所變電所和花蓮線務段轄下的花蓮分隊與臺東分隊等輸

表2 脆弱度評估等級對照表

脆弱度等級		1	2	3	4	5
恢復供應能力時間 (World Bank, 2009)		1小時以下	1~3小時	3~12小時	12小時~3天	3天以上
發生異常影響規模	%	≤ 10	10~33	33~67	67~90	> 90

資料來源：本研究整合製作，2011



圖3 風險等級說明

資料來源：台灣電力公司，2011

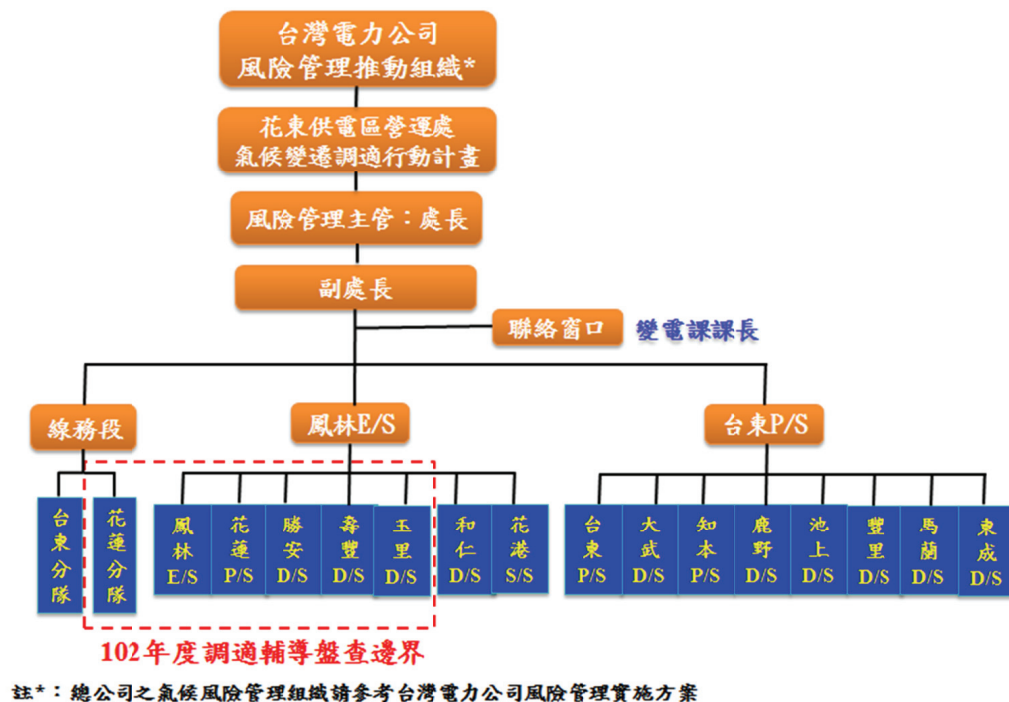


圖4 花東供電區營運處氣候變遷調適推動小組與盤查邊界
資料來源：本研究繪製，2013

電線路。本輔導案協助營運處建立氣候變遷調適推動小組，其組織架構如圖4所示。由於營運處轄區南北總長355公里，境內多高山峻嶺且為人煙罕至之地，涵蓋的區位較廣泛，因此在起始會議決議本案調適輔導盤查邊界以花蓮縣市之鳳林E/S、花蓮P/S、勝安D/S、玉里D/S、壽豐D/S等5所變電所及花蓮分隊位於吉安鄉、壽豐鄉、鳳林鎮、萬榮鄉、光復鄉、瑞穗鄉及玉里鎮等7個鄉鎮區位的345 kV~161 kV相關設施為主，其餘轄區變電所與輸電線路暫不納入盤查。

3. 研究結果

3.1 氣候風險辨識

氣候變遷衝擊項目主要涵蓋IPCC第4次評估報告(2007)列出之溫度上升、降雨量變化、極端氣候及海平面上升等4大項，再加上行政院經建會(現已改為國發會)國家氣候變遷調適政策綱領及調適行動方案之顧問專家所建議的其

他項目進行辨識。至於臺灣較為頻繁發生的地震，因國際間對於地震與氣候變遷的關連性尚未明確，本研究暫不探討。

於風險辨識之初，本研究首先廣泛蒐集國內外氣候變遷相關研究與花蓮縣市災害潛勢資料，並分析營運處歷史事件及該氣候事件發生之影響範圍等資訊，從19項氣候衝擊項目中篩選出8項，如表3所示。

3.2 區位災害潛勢分析

本研究盤查的邊界包括花蓮縣的吉安鄉、壽豐鄉、鳳林鎮、萬榮鄉、光復鄉、瑞穗鄉及玉里鎮等7個區位。依2.1節所蒐集與建立之氣候衝擊災害潛勢分析準則，參考各部會公開之風險地圖或統計觀測資料，進行各區位災害潛勢分析如表4。

根據分析結果，鳳林E/S轄下變電所涵蓋區位災害潛勢等級3級以上的衝擊項目包括平均氣溫上升結合鹽害造成設備短路、暴雨沖毀、暴雨淹水、強風吹毀結合樹林效應、海平面上升結合沿海地層下陷與海岸侵蝕等5項；而花蓮分

表3 鳳林E/S轄下變電所與花蓮分隊之氣候變遷風險辨識說明

氣候衝擊項目	閾值	風險辨識結果*	評估說明
平均氣溫上升結合鹽害造成設備短路		√	• 累積性風險，關鍵元件礙子因鹽害造成閃絡，參考交通部運研所港灣技術中心網站氯鹽沈積速率與台電架空線路維護週期原則評估(交通部運研所港灣技術研究中心網站，2013)。
平均氣溫上升結合鹽害造成設備腐蝕		✕	• 輸電設備主要為礙子因鹽害造成閃絡而短路，非設備腐蝕問題，暫先排除。
海溫上升造成效能下降		✕	• 未使用海水冷卻之設備，暫先排除。
平均降雨量變化		✕	• 輸電設備和降雨量變化較無相關，暫先排除。
最高氣溫上升	40°C	✕	• 參考NCDR提供的1980~1999年歷史資料，以迴歸公式計算花蓮地區發生氣溫高於40°C的重現期皆大於200年，因對花蓮地區的影響較不明顯，暫先排除。
最高氣溫上升結合能源用戶需求上升	40°C	✕	• 最高氣溫上升對花蓮地區的影響較不明顯，暫先排除。
最低氣溫下降		✕	• 斷路器內絕緣氣體SF ₆ 昇華溫度為-63.7°C，故不予評估。 • 位於深山區線路的耐冰雪設計為-10°C，由氣象局1960~2009年資料顯示鄰近座標最低溫為-7.53°C，高於設計值；另依2011年臺灣氣候變遷科學評估報告顯示，1985年後極端低溫的寒潮事件明顯偏少，暫先排除。
暴雨沖毀		√	• 參考NCDR製作之全國鄉鎮市區氣象風險指數(盧鏡臣等，2010)，並考量設施是否臨河川或位於河床。
暴雨結合水質異常(含漂流木、樹葉)		✕	• 輸電設備並無使用水冷卻之設備，和原水濁度過高較無相關性，予以排除。
坡地災害		√	• 參考NCDR製作之臺灣各地區坡地災害風險分級圖(林又青等，2011)，輔以中央地調所建置之集水區地形及地質資料庫。
暴雨淹水	600 mm/日	√	• 參考NCDR製作之全國淹水現況指標圖(盧鏡臣等，2010)，輔以水利署淹水潛勢200年重現期及颱風歷史紀錄進行評估。
乾旱		✕	• 對花蓮地區的影響較不明顯，暫先排除。
強風吹毀	70 m/s	√	• 僅線務段需考量此衝擊。 • 參考花蓮氣象站過去百年風速紀錄，計算不同重現期的瞬間最大陣風值進行評估。
強風吹毀結合樹林效應(閾值降為1/3)	23 m/s	√	• 因強陣風吹斷樹枝，樹枝打到輸電設施而造成線路跳脫或損壞。參考氣象局花蓮測站百年紀錄，計算各重現期的瞬間最大陣風值。
強風停機	25 m/s	✕	• 與風力發電和氣冷式發電較有關，暫先排除。
海平面上升結合沿海地層下陷與海岸侵蝕		√	• 僅變電所需考量此衝擊。 • 屬於長期效應，參考NCDR製作的地層下陷指數與臺灣沿海脆弱度地圖(簡連貴等，2010)，以臨海岸堤防3公里內(新桃供電區營運處，2011)的設施為評估對象。
閃電雷擊		√	• 以台電1989年~2011年對地落雷次數，依各鄉鎮市區面積換算落雷密度。
日照變化		✕	• 與太陽光電發電設施有關，暫先排除。
風場改變	25 m/s	✕	• 與風力發電和氣冷式發電較有關，暫先排除。

*：風險辨識結果：√ 表示有此項風險，✕ 為排除之風險。

資料來源：本研究製作，2013

表4 鳳林E/S轄下變電所與相關線路之氣候衝擊災害潛勢分析結果

變電所各區位氣候衝擊災害潛勢清單					
氣候衝擊項目	災害潛勢等級				備註
	吉安鄉	壽豐鄉	鳳林鎮	玉里鎮	
平均氣溫上升結合鹽害造成設備短路	2	3	1	1	
暴雨沖毀	5	5	4	5	是否臨河川？
坡地災害	1	1	1	2	
暴雨淹水(600 mm/日)	2	2	3	2	
強風吹毀結合樹林效應(閾值降為23 m/s)	5	5	5	5	
海平面上升結合沿海地層下陷與海岸侵蝕	3	3	-	-	
閃電雷擊	1	1	1	1	

花蓮分隊各區位氣候衝擊災害潛勢清單								
氣候衝擊項目	災害潛勢等級							備註
	吉安鄉	壽豐鄉	鳳林鎮	萬榮鄉	光復鄉	瑞穗鄉	玉里鎮	
平均氣溫上升結合鹽害造成設備短路	2	2	1	1	1	1	1	參考台電架空線路維護週期。
暴雨沖毀	5	5	4	4	3	3	5	是否臨河川？
坡地災害	1	1	1	2	2	1	2	依中央地調所資料顯示部分線路位於地質敏感區域，仍應注意坡地災害潛在風險。
暴雨淹水(600 mm/日)	2	2	3	1	1	1	2	
強風吹毀(70 m/s以上)	1	1	1	1	1	1	1	
強風吹毀結合樹林效應(閾值降為23 m/s)	5	5	5	5	5	5	5	
閃電雷擊	1	1	1	1	1	1	1	

資料來源：本研究製作，2013

隊各區位災害潛勢等級3級以上的衝擊項目包括暴雨沖毀、暴雨淹水及強風吹毀結合樹林效應等3項。另依經濟部中央地調所集水區地形及地質資料庫(2013)來看，位於萬榮鄉、鳳林鎮、

壽豐鄉、吉安鄉及光復鄉等區域的線路，有部分鐵塔座落於中高風險的土石流潛勢區域或是岩屑崩滑潛勢區域，因此坡地災害對線路的潛在風險不容忽視。

3.3 設施盤查清單

變電所的設施主要為自耦變壓器、配電變壓器、主變壓器、所內變壓器、不同電壓的斷路器及公用設施(如資訊末端設備、保護電纜)等，而花蓮分隊的設施包括架空線路與地下電纜等。另外，本研究亦蒐集整理架空線路之鐵塔數、座標、回線長度、鐵塔高度及地下電纜台架高度等資訊，作為後續評估危害度之參考。

本研究對5所變電所共盤查197項設施，但其中有55項屬於調節無效電力、調整系統電壓、用於新設電力或作為其他台的備品等不影響供電者，暫時不予評估，經刪減後計有142項設施。而花蓮分隊盤查的線路設施共有26項。

3.4 設施危害度與脆弱度評估

本研究針對3.3節盤查之各項設施，透過營運處氣候變遷調適推動小組與相關權責人員之歷史經驗、設施維護保養狀況及設計規範或準則等資訊等進行危害度與脆弱度之評估。

以下將針對3.2節災害潛勢分析結果，僅聚焦在大於3級的衝擊項目以及顯著衝擊線路段的坡地災害進行重點說明。

3.4.1 變電所

(1) 平均氣溫上升結合鹽害造成設備短路

- 室外變電所於每年10月至次年3月鹽霧害期間，利用每週量測礙子的方式來降低危害度，當礙子鹽分附著量接近標準即進行礙掃，目前未曾因氯鹽沈積而發生事故。
- 345 kV變壓器可由其他線路轉供，而345 kV斷路器可靠度設計準則為N-2，可在系統正常運轉中修復本設備，其他電壓的變壓器與斷路器亦藉由轉供或二回線設計，可降低脆弱度。

(2) 暴雨沖毀

- 僅鳳林E/S靠近萬里溪附近，參考交通部公路總局安全臺灣平台(2013)資訊，查詢水

利署河川(支流)與河川(河道)的圖資，初步分析並無沖毀之潛在衝擊。

(3) 暴雨淹水

- 參考交通部公路總局安全臺灣平台(2013)資訊，由NCDR日雨量300-350 mm、450 mm、600 mm及水利署200年重現期淹水潛勢得到5所變電所皆無淹水潛勢，故可降低危害度。
- 一般變壓器無備料，經採購並更換受污染的絕緣油，再經加壓測試才送電，約需3天(包含路程)；而一般斷路器亦無備料，經採購並更換受污染的絕緣油，約12小時內修復，依回復時間量化脆弱度等級。

(4) 強風吹毀結合樹林效應(閾值降為1/3)

- 一室外變電所附近有住家，需考慮招牌、鐵皮等雜物飛入的潛在衝擊，其危害度同災害潛勢。
- 若變壓器外部結構損害，需經加壓測試才能送電，12小時內修復；若斷路器套管被打斷或被扯斷，更換備品可立即送電，約3小時內修復，且備品可拆解臨時備用線支援，依回復時間量化脆弱度等級。

(5) 海平面上升結合沿海地層下陷

- 位於吉安鄉與壽豐鄉的變電所皆距離海岸3公里以上，暫不評估。

3.4.2 花蓮分隊相關線路

(1) 暴雨沖毀

- 參考交通部公路總局安全臺灣平台(2013)資訊，查詢水利署河川(支流)與河川(河道)的圖資，倘若鐵塔較無被沖毀的可能性，即先排除此衝擊。
- 位於壽豐鄉的鐵塔座落於木瓜溪岸與壽豐溪附近，已有沈箱基礎設計，建議後續再蒐集資料以評估危害度調降的原則。
- 位於吉安鄉的鐵塔座落於小山丘，因木瓜溪河床高低落差至少100公尺，較無沖毀的可能性，危害度可降低。
- 鐵塔一旦被暴雨沖毀，搭建緊急臨時塔約

需3天以上，正式塔至少3個月(二回線共架鐵塔，無替代性)，依回復時間量化脆弱度等級。

(2) 暴雨淹水

- 地下電纜台架高約3公尺，淹水風險較低，可降低危害度。
- 由於以往地下電纜不曾有淹水記錄，修復時間改以可能發生的蟻害事件來推估。若絕緣破壞修復，更換新電纜，零件調度，且無備品狀況之下，約3天內修復，依回復時間量化脆弱度等級。

(3) 坡地災害

- 危害度同區位災害潛勢數值。另參考經濟部中央地調所逐年建置之集水區地形及地質資料庫，以花蓮溪流域的圖資來看，位於萬榮鄉的部分鐵塔座落於中度或高度土石流潛勢區域、岩屑崩滑潛勢區域或重大崩塌範圍內，而位於鳳林鎮、壽豐鄉、吉安鄉及光復鄉等部分鐵塔亦有上述地質災害潛勢的衝擊，這些鐵塔未來面對極端降雨造成大型崩塌的風險可能會提高，建議後續應持續關注。
- 位於深山區的鐵塔，若地基崩塌或倒塌，依緊急應變計畫16天內完成臨時線路，但搭建正式塔至少需3個月(有些線路為共架鐵塔，無替代性)；而非深山區的鐵塔一旦地基崩塌或倒塌，臨時線路約可3天內完成，正式塔至少3個月(二回線共架鐵塔，無替代性)，依回復時間量化脆弱度等級。

(4) 強風吹毀結合樹林效應(閾值降為1/3)

- 每年4月颱風季節前事先砍伐可能恐危急鐵塔的樹木，以此管理方式降低危害度。
- 深山區的鐵塔因外物碰觸使導線跳脫，變電所操作人員會先試送；若試送不成功，採人為巡檢，包含路程(最遠約5天)與障礙排除約6天內復電，但一般情況下試送都會成功(最常發生)，可降低脆弱度。而非深山區的鐵塔因外物碰觸使導線跳脫，變電所操作人員仍會先試送；若試送不成功，

以人為巡檢與障礙排除約1天內復電。一般試送都會成功(最常發生)，且二回線有替代性，可降低其脆弱度。

4. 風險評估

本研究以各區位氣候衝擊災害潛勢乘以各設施脆弱度作為設施之潛在風險，並與現況風險(在現有調適措施下之風險，以設施危害度乘以設施脆弱度)進行交叉風險分析。風險矩陣內之數字為設施編號，以下僅將該設施列為中度風險以上的氣候衝擊項目列出。

對於變電所而言，在現況風險中僅有室外變電所花蓮P/S的相關設施列為中度風險以上，主要是遭受強風吹毀結合樹林效應(閾值降為1/3)的潛在風險較高；而潛在風險中將設施列於中度風險以上的衝擊項目包括暴雨淹水、坡地災害及強風吹毀結合樹林效應等3項(如圖5)。至於臺灣較常發生的坡地災害與暴雨淹水等，在變電所選址階段即已避開地質敏感脆弱區或地勢低窪地區，而使現況風險降低，但仍要留意未來極端氣候造成短延時強降雨或24小時延時強降雨事件的頻率與強度都增加後可能造成的災害，例如依中央地調所研究資料(2013)顯示花蓮流域延時24小時200年重現期降雨量介於600毫米~1,000毫米(如圖6)，未來須考量變電所排水設計是否足以負荷；另參考臺灣地區區域降雨總量及極端降雨與乾旱之變遷特性研究報告(王婕妤，2012)顯示花蓮地區以1961~1990年200年重現期單日最大降雨量對應1991~2010年的重現期縮減至54年(如圖6)，未來隨著溫度上升將使淹水事件重現期距縮短的影響與衝擊，仍需加以重視。

至於花蓮分隊相關設施，現況風險中有設施列於中度風險以上的氣候衝擊包括暴雨沖毀與坡地災害兩項，主要影響臨近河川/河道的鐵塔與位於深山區的線路，如鳳林~花蓮一二路、鳳林~玉里一二路、大觀~鳳林線及明潭~鳳林線等，至於強風吹毀結合樹林效應，雖有

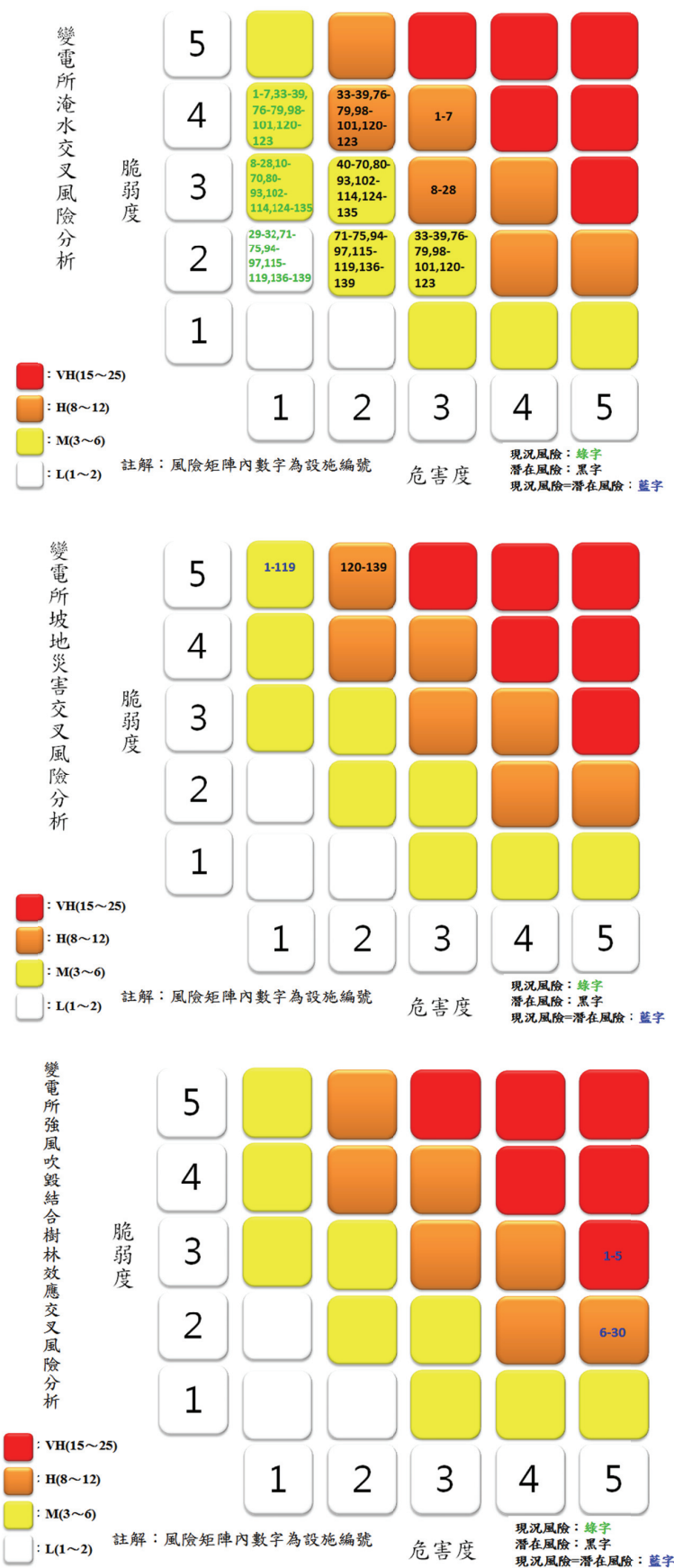
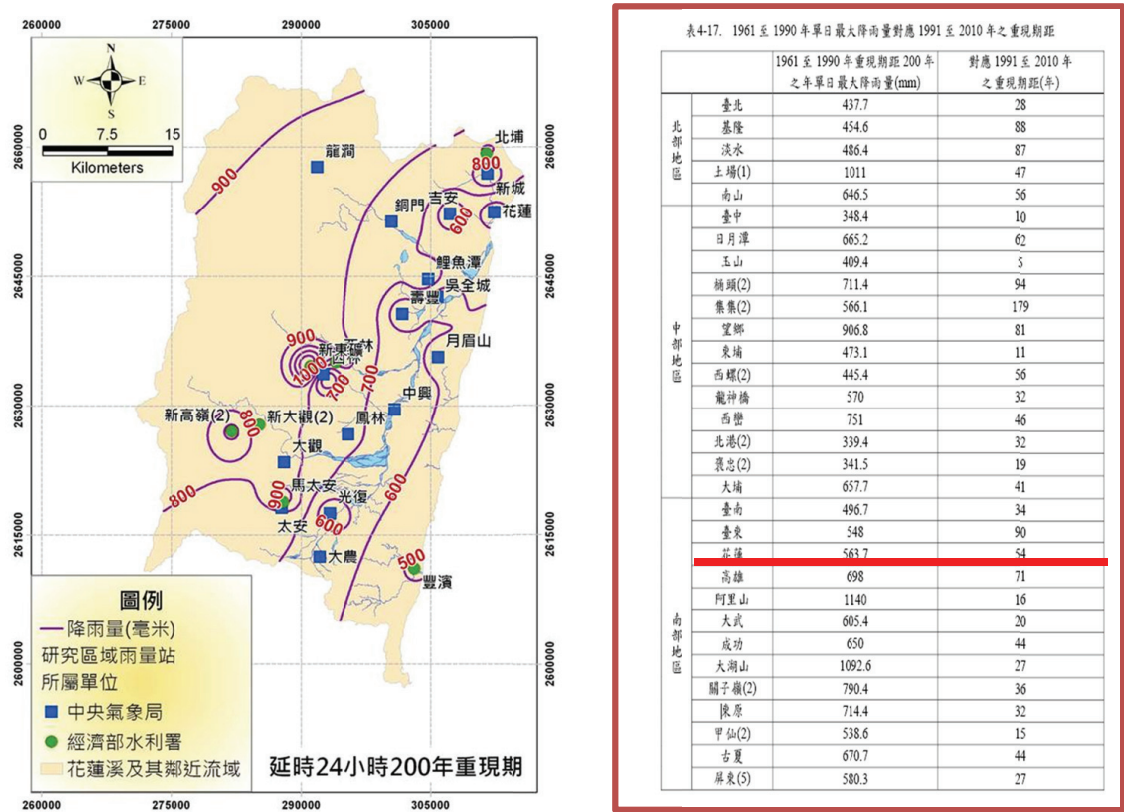


圖5 變電所氣候衝擊交叉風險分析
資料來源：本研究繪製，2013



資料來源：中央地調所網站，2013

資料來源：王婕妤，2012

圖6 花蓮地區24小時200年重現期降雨量與重現期距變化特性

最高的災害潛勢使潛在風險變高，但因在每年颱風季節前事先砍伐樹木，以此調適措施降低危害度(如圖7)。

另外，需特別注意的是位於山區的鐵塔，依據經濟部中央地調所發布之地質常用圖資來看，很多線路的鐵塔都位於地質災害潛勢區域內(參見圖8)，這些鐵塔未來面對極端降雨造成大型崩塌的風險可能會提高。

5. 結論與建議

本研究從大範圍的區位災害潛勢分析開始，再縮小至各項設施的危害度與脆弱度評估，初步掌握氣候變遷風險評估結果，其中變電所設施列於中度風險以上的氣候衝擊為強風吹毀結合樹林效應(閾值降為1/3)，而花蓮分隊設施列於中度風險以上的氣候衝擊為暴雨沖毀及坡地災害等。

有關強風吹毀結合樹林效應(閾值降為1/3)，主要因為室外變電所附近有住家，需考慮招牌、鐵皮等雜物因強風而飛入變電所的潛在衝擊。

而暴雨沖毀部分，由於部分位於河川/河道的鐵塔已有沈箱基礎設計，可抗5 m/sec的水流強度(一般鐵塔對急流的耐受值為1~2 m/sec)，建議後續蒐集鐵塔座落所在溪流的逕流量資料與評估準則，再依沈箱設計值重新檢討其危害度等級。另外，隨著極端降雨頻率增加，山洪爆發或土石沖刷所引發的河川潰堤或沖毀等，亦不容掉以輕心。

針對坡地災害，應特別注意位於山區的鐵塔。依據經濟部中央地調所發布之地質常用圖資來看，很多線路的鐵塔都位於地質災害潛勢區域內，這些鐵塔未來面對極端降雨造成大型崩塌的風險可能會提高，建議後續可召集相關會議討論危害度之評估與分級方法後，重新檢

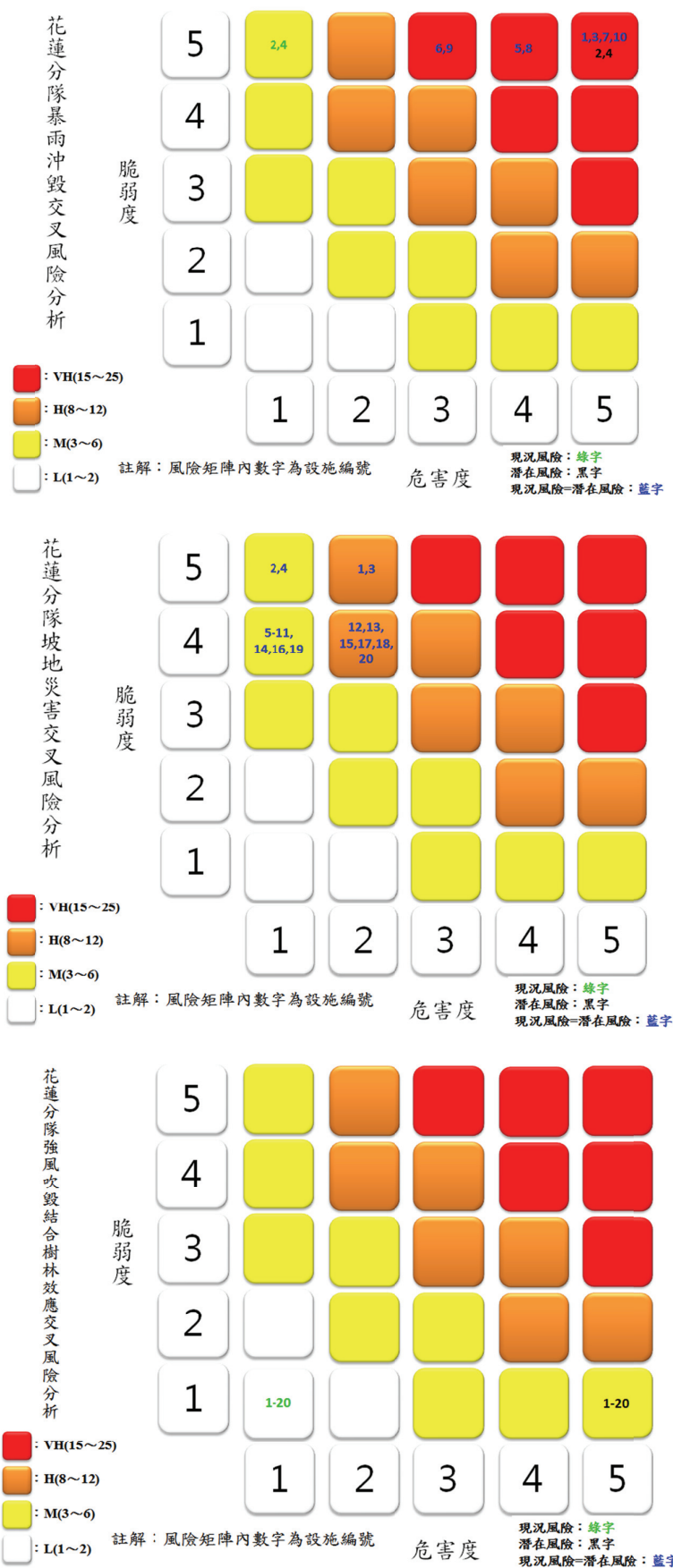
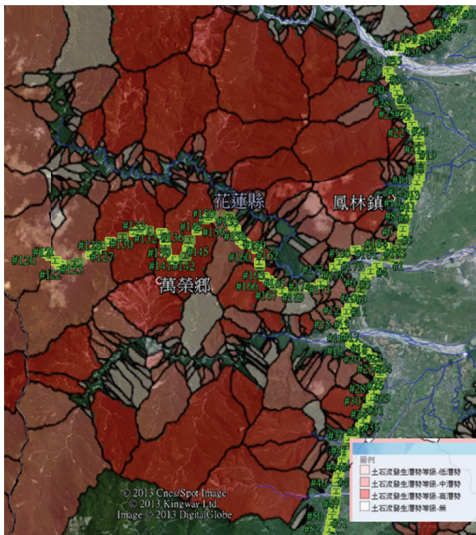
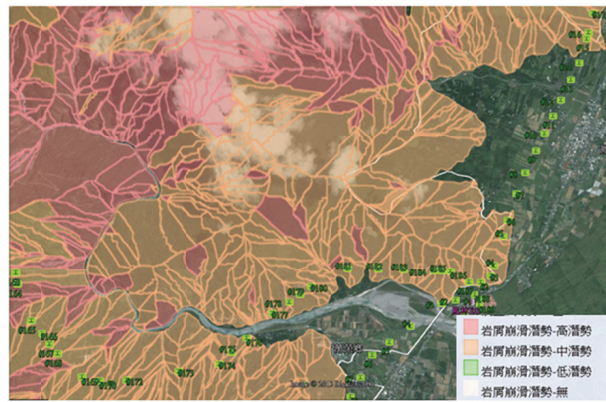


圖7 花蓮分隊氣候衝擊交叉风险分析
資料來源：本研究繪製，2013



資料來源：中央地調所網站「子集水區發生土石流潛勢圖」，2013，本研究套疊應用



資料來源：中央地調所網站「岩屑崩滑潛勢區」，2013，本研究套疊應用

圖8 花蓮分隊部分線路位於地質災害潛勢區域

討危害度等級。再者，依據中央地調所之200年重現期24小時累積雨量降雨促崩潛勢圖資來看，目前盤查的邊界有很多鐵塔都位於高潛勢地區，隨著全球溫度持續上升將使重現期距縮短，亦即降雨促崩發生的頻率將隨之增加，仍需加以重視。

另外，由於變電所在選址階段即已避開地勢低窪地區，雖然目前沒有列於暴雨淹水中度以上風險的設施，但建議仍要持續關注未來極端氣候造成短延時強降雨或24小時延時強降雨事件的頻率與強度都增加後可能造成的災害。

而隨著未來研究資料的更新與完整，建議仍應持續修正風險評估報告，並對近未來(2020年~2039年)的氣候變遷風險進行更細緻的評估，以降低極端氣候可能造成的潛在衝擊。

6. 誌 謝

本研究承蒙經濟部能源局之經費補助(計畫編號：102-A0205)，謹致謝忱，並感謝台電花東供電區營運處、環保處及供電處等單位之協助。

參考文獻

- 行政院經濟建設委員會，2012，「國家氣候變遷調適政策綱領」。
- 工業技術研究院，2013，「能源產業因應氣候變遷調適輔導計畫」執行報告，經濟部能源局，第6-39、86-103頁。
- 陳禹銘、蘇昭郎、黃詩倩，2009，「災害風險評估研究之探討」，災害防救電子報第48期。
- 郭彥廉、蕭代基、林彥伶、謝雯惠、張銘城，2009，「天然災害脆弱性與社經脆弱性因子之回顧」，災害防救電子報第42期。
- 內政部營建署「風災震災火災及爆炸災害潛勢資料公開辦法」，2009，http://www.cpami.gov.tw/chinese/index.php?option=com_content&view=article&id=10745&Itemid=57
- 謝龍生、陳聯光、蘇昭郎、葉森海，2007，「災害潛勢資料」，科學發展月刊，第410期。
- 台灣電力公司，2011，風險管理實施方案修訂2版。
- 交通部運研所港灣技術研究中心大氣腐蝕環境分類系統網站，2013，<http://163.29.73.11>:

- 8080/index.asp
- 盧鏡臣、陳永明、張志新、郭彥廉，2010，「臺灣在氣候及環境變遷下之淹水風險評估—鄉鎮層級的評估」，國家災害防救科技中心。
- 林又青、張志新、陳韻如、李香潔、陳永明、黃柏誠，2011，「國家坡地災害風險地圖製作與應用(一) (NCDR 99-T38)」，國家災害防救科技中心。
- 簡連貴、邱淑宜、張志新、馮宗盛、張書瑋，2010，「臺灣本土性海岸脆弱度指標之建立與應用」，第32屆海洋工程研討會論文集。
- 新桃供電區營運處，2011，「輸變電設備因應海嘯來襲應變計劃_複合型災害應變計畫」，台電公司。
- 經濟部中央地質調查所集水區地形及地質資料庫流域調查成果入口網，2013，<http://gwh.moeacgs.gov.tw/mp/Portal/wms.cfm>
- 交通部公路總局安全臺灣平台，2013，<http://www.safetaiwan.tw/web2/main.php>
- 王婕妤，2012，臺灣地區區域降雨總量及極端降雨與乾旱之變遷特性，中央大學。
- HR Wallingford, 2009, Method for undertaking the CCRA Part II – Detailed Method for Stage 3: Assess Risk.
- IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007, 2007, http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html
- ISO, 2009, ISO 31000:2009 Risk Management – Principles and guidelines.
- World Bank, 2009, Climate Vulnerability Assessment, Final Report No. 53331-ALB. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/3171/533310REPLACEM1arch0100FINAL0TO0IDU.pdf?sequence=1>

Climate Change Risk Assessment Case Study on Transmission and Transformation Facilities

Huei-Wei Lo^{1*} Yu-Du Hsu² Yen-Ling Su³

ABSTRACT

The transmission towers are mostly located in unsteady areas where landslide disaster frequently occurred. It's an important issue to reduce the negative impact on energy supply facilities which caused by extreme climate events and warming effects. This study is referred to the climate change risk assessment method of UK and ISO 31000, and establish climate change risk assessment framework for energy industries in Taiwan. The counselling project covered 5 substations and 345 kV~161 kV facilities of Hua Tung power supply branch of Taiwan Power Company has inventoried energy infrastructures, identified the key impact of climate change, assessed the hazard, vulnerability and crossed risk analysis. The result will be taken as reference of making climate change adaptation measures in the near future.

Keywords: climate change, adaptation, hazard, vulnerability, risk assessment

¹Engineer, Green Energy and Environment Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute

²Senior Researcher, GEL/ITRI

³Associate Researcher, GEL/ITRI

* Corresponding Author, Phone: 886-3-5918530, E-mail: weilo@itri.org.tw

Received Date: July 22, 2014

Revised Date: September 19, 2014

Accepted Date: October 7, 2014