

# 變電所設備配置之安全距離及其維護空間再探討

台電公司輸變電工程處 徐仁正

## 摘要

近代由於避雷器技術之精進（氧化鋅避雷器 ZnO 等）及變電所內廣泛應用於保護或降低變電設備之絕緣耐壓需求，使得變電所規劃設計-設備配置空間考量更能彈性運用。本文將從舊式屋外式變電所設計原則（維護觀念）出發，重新審視-絕緣基準（B.I.L）之選擇與設備之關係，進而探討絕緣間隔（Clearance）之推導程序與人員、設備維護安全空間考量。

## 壹、前言

一個變電所通常由變壓器、輸電線、開關設備、電容器、電抗器等相關設備組成，其中每一檔位包括有匯流排部份，斷路器線路引接設備與相關之隔離開關及計器用變比器等。變電所之配置設計即是將上述設備以其功用及空間相互之間距關係，依預先擬定之匯流排系統適當地將各種開關設備以電的方式連結起來而成為完整之變電所。設計者的主要工作就是將相關連之設備，以最符合效益、成本、安全維護等原則，利用有限空間作妥適之規劃。

變電所設備配置空間，一直受到設計及維護者所關切；如何在變電所有限空間內，規劃合理而符合維護需求之配置，係當前重要的課題之一，過去經常因立場及觀點之差異，而發生爭執，本文即針對上述課題，自過去以維護之設計原則出發，考量及選定妥匯流排配置方式，進而檢討配置變電所設備間之相互位置後，從其空間的分隔、區域間距(section clearance)及安全距離等三方面著手探討設備維護所需之安全距離及維護空間。

## 貳、變電所設備之安全距離及維護空間基本考量

### 一、空間的分隔

#### （一）對地間距（Earth Clearance）

活線與接地構架、牆壁、柵網或大地之間應保持之最小距離。

#### （二）相間間距（Phase Clearance）

不同相之活線間應保持之最小間距。

#### （三）隔離距離（Isolating Distance）

隔離開關之端子與端子間之距離，或斷路器端子與端子間之距離。

#### （四）地面間距（Ground Clearance）

1. 允許一個人在活線下面自由走動時，在每一個礙子之最低點至地面間應保持之安全距離，以確保人員進入電壓強度範圍內不致受到侵害。

2. 考量維護人員身高及手持工具的手臂伸展後長度，兩者的長度總和，台電公司 69kV 電壓等級屋外變電所承載設備的台架高度訂為 2.5m（即一般設備台架之高度設定值）。

### 二、區域間距(Section Clearance)或安全距離(Safety Clearance)

活線與允許工作區域（Work Section）或維護區域（Maintenance Zone）間之間距。允許工作區域之界限是從一個人站在地面上或工作台上工作時能夠保證安全之範圍。

### 三、維護區域 (Maintenance Zone)

機器設備均應留有適當的範圍以供維護工作便於進行，這個範圍稱為維護區域。

### 四、匯流排區的安全設計原則 (適用於屋外式變電所)

- (一) 匯流排各相間避免交叉穿越配置。
- (二) 線路的連接切勿跨過匯流排。
- (三) 儘量少用礙子。
- (四) 導線的連接點儘可能的減少。
- (五) 瞭解各種設備之維護步驟。
- (六) 有良好的監視裝備以便監視各種設備。
- (七) 儘可能的將比壓器、比流器、避雷器以及接地開關等摒除在匯流排區外。

### 五、屋內變電所機器配置的設計規劃、維護空間及運搬路徑規劃原則

機器設備均設置屋內，故與建築物關係密切。如何構思建物內有效空間作最佳配置，以達最高經濟效益，因此，設備配置須有周詳的規劃檢討，考量原則如下：

- (一) 土地有效之有效利用及合理的機器配置，使建築物之面積及容積儘量縮小。
- (二) 配置需考量安裝、測試、運轉維護之空間、工作時能安全、確實且迅速。
- (三) 配置時應考慮變電所由初期容量至最終容量分期施工容易度。
- (四) 機器組裝用之吊孔以及機器搬運道路設置於適當位置，並與屋外道路銜接。

(五) 電力及控制管線與附屬設施，應於施工容易及最短連絡位置上設置。

(六) 冷卻、空調、進、排氣管道及防災設備之配置，需不影響主要機器之運轉維護。

(七) 機器設置位置應有利人員巡視並能防止誤操作之可能。

(八) 電纜涵洞或者管路之銜接，須注意其施工容易性及最短距離。

(九) 各主要設備配置原則如下：

#### 1. 主要機器設備 (TR、GIS)

- (1) 應設置於近搬運通道旁，使之進出容易施工方便。
- (2) 維護動線及方向考量，含變壓器及氣體絕緣開關設備配置方向及編號原則。
- (3) 高、低壓側電力電纜及控制電纜進/出配置及開孔。

#### 2. 各設備室

- (1) 各設備、器組應設置於不同房間使相互隔離。
- (2) 設備之運搬道路及組裝試驗空間應確保，便於施工維護。
- (3) 各設備室之孔道，應有防火、防水設施，防止災害蔓延。
- (4) 考慮防火區劃及逃生路徑。

#### 3. 總結

- (1) 首要考量為安全。
- (2) 減少容積以降低工程費用。
- (3) 安裝、測試、運轉維護之容易性。

## 參、探討絕緣基準與絕緣間距兩者之間關係

### 一、絕緣基準與設備之關係：

- (一) 電力系統之絕緣，包含空氣隙 (Air Gap) 在內，所能承受之電壓強度包括正常頻率之電壓，及由雷擊與開關突波所引起之暫態突波電壓。絕緣之破壞電壓由波形及時間決定。而絕緣協調通常用遮蔽方法藉避雷器或放電間隙 (Arcing Gap) 將過電壓迫降至衝擊絕緣基準 (Basic Impulse Insulation Level 簡稱 B.I.L) 的 80% 以下，以保護機器設備之絕緣可靠性。
- (二) 變電所主要設備之 B.I.L 值，可以在高壓實驗室做全波試驗 (Full - Wave Test)，因此，設備之外部絕緣 (帶電體對地或外殼) 可經由計算及試驗得知，但對於機器設備間互相連接之導體、端子、夾板等帶電之機器配件，無法將整套 (組) 機器設備連帶移至高壓實驗室做試驗，但仍須考量設備及配件相互之間協調，並且與之保持一定的間距，進一步驗證設備間所需維持適當絕緣間距，以確認其安全裕度的可靠性，並確保設備及人員安全。
- (三) 然而實際進行變電所設計，必須有以上述導體相連接。故必須訂定相關基準--空間的分隔、區域間距 (Section Clearance) 及安全距離等以供從事變電所設計人員設計時應用。

### 二、絕緣基準的選擇及影響：

- (一) 設計高壓變電所依據國際工業 (NEMA) 或公用標準 (IEEE、ANSI) 等規範訂定之絕緣間隔及 B.I.L 值。通常在決定這些數值時都忽略絕緣協調細部研究，而超高壓變電所之設計 (絕緣間隔) 依據 NEMA 及 ANSI 標準，其提供超高壓 (>242kV) 的設備絕緣基準有多種不同電壓的選擇 (系統可能存在多種絕緣強度，視裝設位置及設備而定)，此系統的電壓等級以關關過電壓為首要考量，低於 242kV 電壓等級只有單一選擇，如表 1 所列。

備註：

1. 表 1 資料引自 NEMA STD.for HV. Pub. No. HV. 1-1973
  2. 對地之絕緣間隔於 362kV 以上系統電壓等級之絕緣選擇係由開關突波為首要考量。
  3. 同樣系統可能存在多種絕緣強度，視裝設位置、設備而定。
- (二) 變電所設計所需之設備空間需求及設備的 B.I.L 值，通常由最大過電壓 (Maximum overvoltage) 決定，而非系統電壓。在避雷器的保護區間內，最大過電壓被避雷器所限制影響，因此，運用避雷器的保護特性並於適當的設備部位設置 (如變壓器一、二次側引接端)，可降低設備的絕緣基準 (強度) 及最小絕緣間隔 (minimum Clearance)。詳如表 1。

屋外式變電所-基本特性											
↩	額定耐壓↩			帶電體相間↩ 最小距離↩	帶電體對地間距↩		帶電體相間間距↩			所內人體安全之建議最小架空線對地間距↩	絕緣耐壓 Crest kV↩
↩	系統 標稱 電壓↩ (kV)	全波耐 壓 1.2x50 μs kV Crest↩	10 秒鐘 溫試 60 Hz kV rms ↩	Inch (mm) ↩	建議值↩ Inch (mm) ↩	最小值↩ Inch (mm)	弧角開關和 快速熔斷 型↩ Inch (mm)	水平開關 斷距離↩ Inch (mm) ↩	匯流排支持 台架，固定 導體，垂直 開關斷距離 非快速熔 斷型↩ Inch (mm)	ft (mm) ↩	↩
1↩	72.5↩	350↩	145↩	31 (787) ↩	29 (737) ↩	25 (635) ↩	84 (2,134)	72 (1,828) ↩	60 (1,524)	11 (3,353)	↩
2↩	121↩	550↩	230↩	53 (1,346) ↩	47 (1,194) ↩	42 (1,067)	120 (3,048)	108 (2,743)	84 (2,134)	12 (3,658)	↩
3↩	145↩	550↩	275↩	63 (1,600) ↩	52-1/2 (1,334)	50 (1,270)	144 (3,658)	132 (3,353)	96 (2,438)	13 (3,962)	↩
4↩	169↩	650↩	315↩	72 (1,828) ↩	61-1/2 (1,562)	58 (1,473)	168 (4,267)	156 (3,962)	108 (2,743)	14 (4,267)	↩
5↩	242↩	750↩	385↩	89 (2,261) ↩	76 (1,930) ↩	71 (1,803)	192 (4,877)	192 (4,877)	132 (3,353)	15 (4,572)	↩
6↩	242↩	900↩	455↩	105 (2,667) ↩	90-1/2 (2,299)	83 (2,108)	216 (5,486)	216 (5,486)	156 (3,962)	16 (4,877)	↩
7↩	362↩	1050↩	455↩	119 (3,023) ↩	106 (2,692) ↩	84 (2,134)	240 (6,960)	↩	192 (4,877)	18 (5,486)	650↩
8↩	362↩	1050↩	525↩	↩	↩	104 (2,642)	↩	↩	↩	↩	759↩
9↩	550↩	1300↩	620↩	↩	↩	124 (3,150)	↩	↩	↩	↩	808↩
10↩	550↩	1800↩	710↩	↩	↩	144 (3,658)	↩	↩	300 (7,620)↩	↩	898↩
11↩	800↩	2050↩	830↩	↩	↩	166 (4,216)	↩	↩	↩	↩	982↩

表 1↩

(三) 舉例說明：115kV 級變電所其設備 B.I.L 值為 550kV，230kV 級變電所其設備 B.I.L 值為 900kV 由於避雷器適當配置於變電所可將隔離人、物及隔離器之對地間距 (Clearance to Ground) 降至 B.I.L 值為 550kV 之絕緣間隔要求。

(四) 另外考量變電所設置的位置，如果該所環境位於高海拔或重污染地區，其對地間距值亦必須向上作修正。如 115kV 級變電所其設備 B.I.L 值為 550kV，倘若變電所位於 6000 呎高海拔地區，原設備絕緣等級，如為 115kV 級變電所設備之額定值及 B.I.L (550kV) 值須向上提升至 230kV 級 (900kV)。以上數值可依據 IEC-694 標準 Page-19 所列之計算公式 ( $Ka=em (H-1000) / 8150$ ) 及其圖表對照得知。

(五) 目前台電公司於各級變電所廣

泛裝設避雷器 (落雷頻繁的 69 及 161kV 輸電線路、345kV 輸電線路，變壓器一、二次側引接端)，以維持變電所設計時的安全裕度，並保護電力設備的安全運轉。

(六) 69 及 161kV 電壓等級的變電所裝設避雷器，其主要目的在於保護人員及設備的安全，但對於降低耐壓絕緣等級則不甚明顯。

(七) 345kV 超高壓變電所，由於避雷器的裝設，原採用設備的絕緣等級可以毋須採用全級絕緣 (Full Insulation)，而仍能得到安全的保護。另 345kV 的變壓器採用降級絕緣 (Reduced Insulation)。至於 345kV 變壓器究竟可採用降幾級之絕緣，視保護避雷器的特性而定，而避雷器的選用則視系統接地情形 (接地係數及保護裕度) 而異。

(八) 避雷器的保護裕度規定，依 ANSI

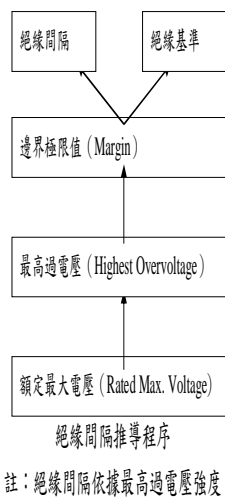


標準係採 15% 之雷擊突波及開關突波安全裕度，IEC 標準則採 20% 之雷擊突波及開關突波安全裕度。

- (九) 這些標準提供並建議最大額定過電壓 ( Rated Maximum Voltage) 其相對應之 B.I.L 與範圍供設計者參考選擇，以對應 B.I.L 關係如下說明。
- (十) 每一個 B.I.L 值與最小標準間隔之間對應以表 2B 表示。

### 三、絕緣基準 (B.I.L) 與絕緣間距關係

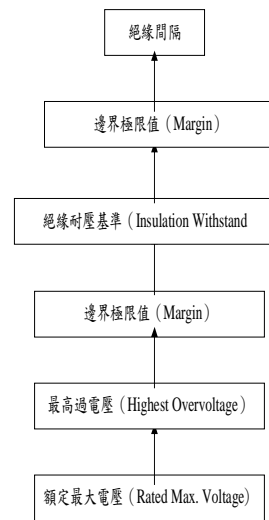
- (一) 設備絕緣基準及絕緣間隔均由相同之最大過電壓 ( the same maximum overvoltage) 決定。然而兩者大致上不相關聯，絕緣基準 (B.I.L) 只有對設備之測試具意義，而絕緣間隔則需由帶電體與設備的組裝間之關係加以制定。要敘述兩者關係，可由下列設計 ( 規劃) 程序說明，此程序可提供變電設計員更寬廣設計概念及選擇。



- (二) 目前現行運用絕緣間隔及推導方式係根據絕緣耐壓基準來考量、

檢討進行，而實際應用 ( 設計值+安全裕度) 與邊界極限值間 (Margin) 存在著 15-20% 裕度，因此，如何從最大過電壓及 B.I.L 值中取得最佳平衡點，需加多方考量，諸如大氣條件 ( 溫、濕度、空氣密度、雨量)、環境條件 ( 污染) 等。

- (三) 有關對於活線作業中，對於建立一個安全的工作環境、區域與維護工具、方法，可參考 IEEE Guide for Maintenance Methods on Energized Lines，其對於人體影響及環境、工具之使用與絕緣間隔最小化，有再進一步探討、研究及更精細之理論計算推導。



絕緣間隔推導程序  
絕緣間隔依據絕緣耐壓基準 ( Existing U.S Practice)

- (四) 線對線之最小絕緣間隔 ( Line to Line Minimum Clearance) 表示變電所設備之『兩相』帶電導體之間的最小距離，這個距離不包含維護人員或物體，且不包括一些偶發事件 ( 動物進出、露出物、強風等)，前述因素同一時間發

生之機率極小，故不予考慮。

- (五) 這些標準提供並建議最大額定過電壓 ( Rated Maximum Voltage) 其相對應之 B.I.L 與範圍供設計者參考選擇，以對應 B.I.L 關係如下說明。

最大額定過電壓 (kV r. m. s)	對應 B. I. L (kV Crest)
72.5	350-250
121	550-450-350
145	650-550-450-350
169	750-650-550-450
242	1050-900-750-650-550

- (六) 每一個 B.I.L 值與最小標準間隔之間對應以下說明。

B. I. L (kV Crest)	最小對地間距 Inch (mm)
250	17 (432)
350	25 (635)
550	42 (1,067)
650	50 (1,270)
750	58 (1,473)
900	71 (1,803)
1050	83 (2,108)

備註：1.以上資料引自 NEMA SG6。

2.上述為操作者或者電氣之絕緣間隔距離，而非安全間隔距離。

## 肆、人員安全、維護空間與絕緣間距之設計實務

### 一、人員與設備間 (帶電體) 之安全間距與絕緣間距說明

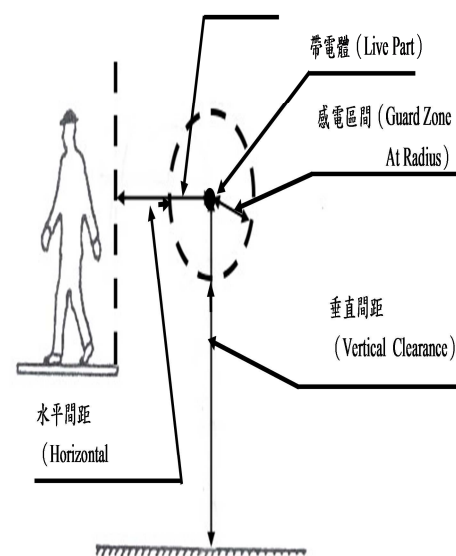
- (一) 變電所設計人員檢討配置設備空間時需考量下列事項，檢討之空間，以附圖 1 詳加說明：

#### 1. 帶電體 (Live Part) 之保護區間之

絕緣間距 (半徑 R 區域) 即電氣之絕緣間距 (Electrical Clearance)。

- 帶電體之感電區間至地面間距 (Ground Clearance)。即維護人員在活線下工作，應保持之安全距離，以確保人員不致侵進電壓強度範圍內，台電訂為 2.5m (即一般台架之高度設定值)。
- 與帶電體之保護區間處同一水平面之安全維護空間。即維護人員站在地面上或工作台架上工作時能夠保證安全之範圍 (人員工作最小空間)。

- (二) 由上圖知：上述事項可整理區分水平間距及垂直間距兩項說明：



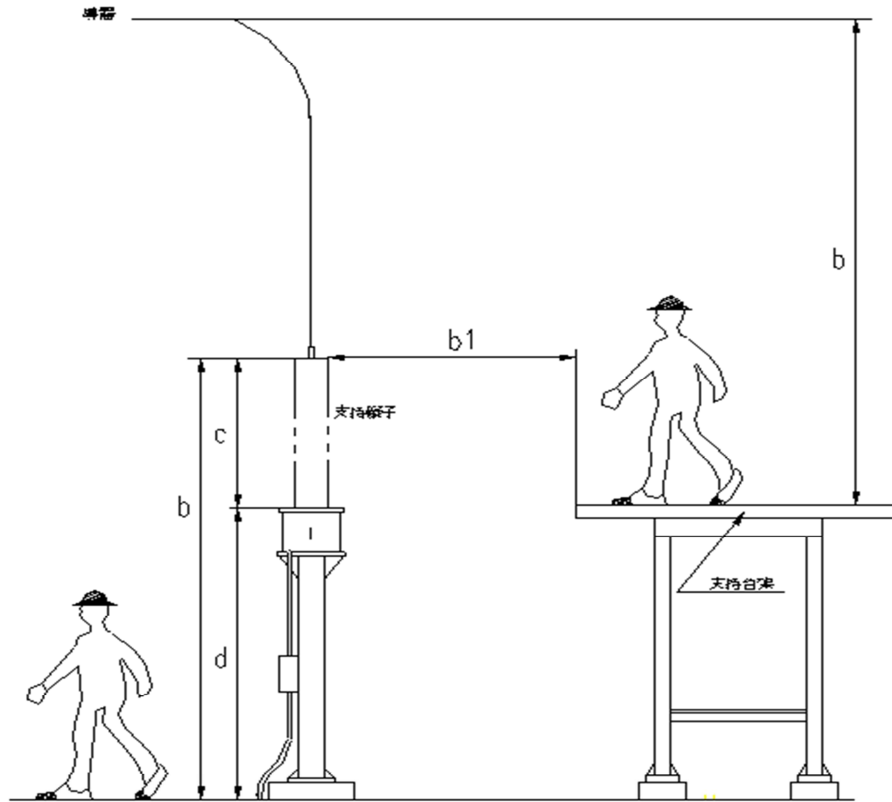
附圖 1

- 水平間距=帶電體之絕緣間距+ 人員工作最小空間。
- 垂直間距=帶電體之絕緣間距+ 台架之高度。

- 二、實務解說:1--垂直安全間距-設定 8 呎 6 吋距離的考量

(一) 變電所巡視及維護人員，其安全間隔和前述電氣最小絕緣間隔考量方式不同，於變電所內必須同時考量電氣之閃絡（同人員接近帶電（活）體作業時）及雷擊過電壓同一時間發生的狀況，以確

保變電所巡視及維護人員安全。依據美國電工法規的安全間距的定義為維護人員從帶電體至任何設備支持台架的表面，說明詳如附圖 2



附圖 2 維護作業與安全間距之關係圖

資料引自—IEEE Transactions on Power Delivery –1992-Paper

(二) 電氣安全距離的表示式子如下：

$$b = 8'6'' + c$$

$$b1 = 3'6'' + c$$

c = 電氣之絕緣間距 (Electrical Clearance)。

b = 垂直間距 (Vertical Distance from a grounded to support surface for worker to a live part)。

d = 台架之高度 (Vertical Distance from the grounded to the porcelain base on a insulator)。

b1 = 水平間距 (Horizontal Distance from a

ground to support surface for worker to a live part)。

(三) 帶電體之感電區間至地面間距 (Ground Clearance) 由表 3A 知垂直安全間距 (Vertical Safety Clearance) 為 (欄位 2) - (欄位 4) = 8 呎 6 吋 = 259cm (3B 亦同)。台電 69kV 電壓等級設備支持台架高度訂為 2.5m (即一般台架之高度設定值)。在屋外超高壓變電所考量與巡視車高度間之關係，其開關場設備支持台架之高度設定為 3.5m。

表 3 A

帶電體最小間距							
高壓 (考量雷擊突波)							
相關電壓	最小垂直間距 (非帶電體防護 範圍)		最小水平間距 (非帶電體防護 範圍)		最小間距 (帶 電體感電範圍) (欄位 4)		垂直安全間距 (欄位 2) - (欄位 4)
1	2		3		4		
	呎	吋	呎	吋	呎	吋	
301-600	8	8	3	4		2	8 呎 6 吋
2,400	8	9	3	4		3	8 呎 6 吋
7,200	8	10	3	4		4	8 呎 6 吋
13,800	9	0	3	6		6	8 呎 6 吋
23,000	9	3	3	9		9	8 呎 6 吋
34,500	9	6	4	0	1	0	8 呎 6 吋
46,000	9	10	4	4	1	4	8 呎 6 吋
69,000	10	5	4	11	1	11	8 呎 6 吋
115,000	11	7	6	18	3	1	8 呎 6 吋
138,000	12	2	6	0	3	8	8 呎 6 吋
161,000	13	4	7	10	4	10	8 呎 6 吋
230,000	14	0	8	6	5	6	8 呎 6 吋

表 3 B

帶電體最小間距-續								
超高壓 (考量開關突波)								
相關電壓	開關突波 浪涌係數	開關突波 相對地電 壓 (kV)	最小垂直間距 (非帶電體防護 範圍)		最小水平間距 (非帶電體防護 範圍)		最小間距 (帶電體感 電範圍)	垂直安全間距 (2) - (4)
345,000+	2.2 and below	650	呎	吋	呎	吋	呎	吋
	2.3	680	15	6	10	0	7	6
	2.4	709	16	6	11	0	8	0
	2.5	739	17	2	11	8	8	8
	2.6	768	17	9	12	3	9	3
	2.7	798	18	4	12	10	9	10
	2.8	828	18	11	13	5	10	5
	2.9	857	19	7	14	1	11	1
	3.0	887	20	2	14	8	11	8
500,000+	1.8 and below	808	18	10	13	4	10	4
	1.9	853	19	6	14	0	11	0
	2.0	898	20	6	15	0	12	0
	2.1	943	21	6	16	0	13	0
	2.2	988	22	6	17	0	14	0
	2.3	1033	23	7	18	1	15	1
	2.4	1078	24	8	19	2	16	2
	2.5	1123	25	10	20	4	17	4
	2.6	1167	27	0	21	6	18	6
	2.7	1212	28	4	22	10	19	10

備註：附圖 1 及表 3A、3B 資料引自 NEMA Protective Arrangements of Equipment page 47-49。

(四) 另美國電工法規 (National Electrical Safety Code ANSI C2 Section) 亦可得知同樣結果，詳如表 4 示。所得欄位 4 值分別由不同之欄位 2-3 值，皆小於 8 呎 6 吋，這意味遵循電工法規規範值 (8 呎 6 吋) 可安全運用於設計與維護。

### 三、實務解說:2—設定水平安全間距 3 呎 6 吋距離的考量

表 4

垂直間距						
美國電工法規 ANSI C2 Section 12	NEMA · SG6 ANSI C37 表 1 接地間距		垂直安全間距			
1	2		3		4 (2-3)	
電壓等級 (kV)	呎	吋	呎	吋	呎	吋
69	10	5	2	1	8	4
115	11	7	3	6	8	1
138	12	2	4	2	8	0
161	12	10	4	10	8	0
230	14	10	5	11	8	11

表 5

水平間距						
美國電工法規 ANSI C2 Section 12	NEMA · SG6 ANSI C37 表 1 接地間距		水平安全間距			
1	2		3		4 (2-3)	
電壓等級 (kV)	呎	吋	呎	吋	呎	吋
69	4	11	2	1	2	10
115	6	1	3	6	2	7
138	6	8	4	2	2	6
161	7	4	4	10	2	6
230	9	4	5	11	3	5

1. 美國電工法規 (National Electrical Safety Code ANSI C2 Section) 於水平安全間距有詳細說明，但是，對於避雷器的運用使的水平安全間距如何修正，缺乏指示。
2. 由表 5 可知水平安全間距(欄位 4) 約為 3 呎 6 吋是一個合理的選擇。此間距相當於手臂長 = (90CM) + 身體寬度 (15CM) = 105CM。

表 6A

標稱電壓 (kV)	區別	屋 外 (mm)		屋 內 (mm)	
		導體相互間	導體與大地間	導體相互間	導體與大地間
3.3	標準	500	250	250	120
	最小	300	150	150	70
6.6	標準	500	250	250	120
	最小	300	150	150	70
11.95	標準	600	300	300	160
	最小	400	200	200	110
23.9	標準	700	400	400	250
	最小	500	300	300	215
34.5	標準	900	500	500	350
	最小	400	400	400	300
69	標準	1,700	1,100	1,100	700
	最小	1,300	800	800	650
161	標準	3,000	1,900	-	-
	最小	2,100	1,500	-	-
345	標準	5,200	3,050	-	-
	最小	4,300	2,650	-	-

備註：表 6A 資料引自輸變電工程處之變電工程作業手冊及屋內配線裝置規則。

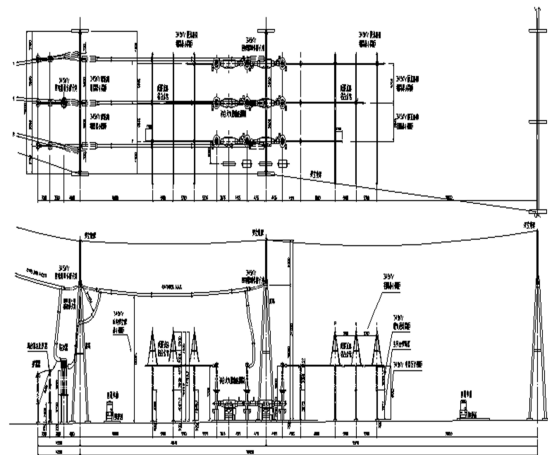
表 7B

額定標稱電壓 (kV) (1)	耐衝擊電壓等級 (B.I.L.) (kV) (2)	保證所內人體安全之最小架空線對地間距 Feet (mm) (6)	所內導線對地之最小間距 Feet (mm) (7)
7.2	95	8 (2038)	20 (6096)
14.4	110	9 (2743)	20 (6096)
23	150	10 (3048)	22 (6706)
34.5	200	10 (3048)	22 (6706)
46	250	10 (3048)	22 (6706)
69	350	11 (3353)	23 (7010)
138	650	13 (3962)	25 (7620)
161	750	14 (4267)	26 (7925)
230	1050	16 (4877)	28 (8534)
345	1300	18 (5486)	-

備註：1. 本表 7A, 7B 資料引自 AIEE Committee Report Paper 54-80。

表 7A

額定標稱電壓 (kV) (1)	耐衝擊電壓等級 (B.I.L.) (kV) (2)	帶電體對地間距 Inch (mm) (3)		帶電體間最小距離 Inch (mm) (5)
		Inch (mm)		
		建議值 (3)	最小值 (4)	
7.2	95	7-1/2 (191)	6 (152)	7 (178)
14.4	110	10 (254)	7 (178)	12 (305)
23	150	12 (305)	10 (254)	15 (381)
34.5	200	15 (381)	13 (330)	18 (457)
46	250	18 (457)	17 (432)	21 (533)
69	350	29 (737)	25 (635)	31 (787)
138	650	52-1/2 (1334)	50 (1270)	63 (1600)
161	750	61-1/2 (1562)	58 (1473)	72 (1829)
230	1050	90-1/2 (2299)	83 (2108)	105 (2667)
345	1300	105 (2667.0)	104 (2642)	119 (3023)



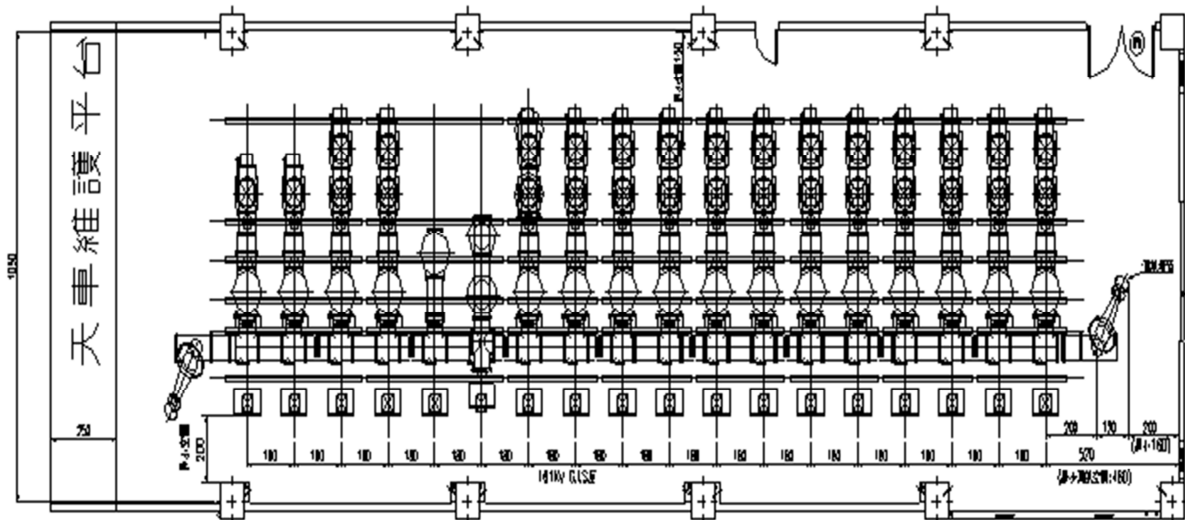
設計實例--(一)屋外式超高壓變電所

## 伍、目前台電公司變電所之電氣安全距離設計標準

### 一、台電公司採用匯流排間隔標準

變電所匯流排所需要之間隔，以在空氣中不發生閃絡 (Flash Over) 為主要條

件，其他氣象條件，因風而引起之擺動，事故時短路電流所引起之距離變化，以及維護作業上必要的安全距離亦必須考量。目前本公司採用之匯流排間隔標準，詳如表 6A。



一次配電變電所 161kv 氣體絕緣開關設備配置詳圖

## 二、屋外式變電所電氣安全間距

以前變電所多為屋外式設計，使用的空間頗大，由於用電量劇增，新建變電所因受到抗爭受阻，往往須於舊式屋外變電所狹窄空間擴增機組因應，因此需檢討變電所設備配置之空間需求，目前依循標準，詳如表 7A。

### 三、變電所變電設備規劃配置說明-以 161kV 氣體絕緣開關設備為例：

- (1) 設備運搬路徑的考量：
 

大項器材裝箱載運、運輸車輛進出迴轉半徑、搬運道的寬度、地錨使用、設備室大門大小、吊裝平台、電梯符合運搬及施工需求。
- (2) 大項器材安裝的考量：
  1. 天車維護平台設置、設備吊裝空間、設備安裝及巡視路徑、維修空間需求。
  2. 空間規劃以各型設備俯視圖、控制箱門及打開尺寸、操作及試驗尺寸、維修抽出及四周運轉維護空間。
  3. 取最大面積及高度作為標準。
- (3) 設備測試空間的考量（詳設計實例附圖）：
  1. 161kV 氣體絕緣開關設備進行低頻耐壓測試之空間需求。
  2. 161kV 氣體絕緣開關設備，與其銜接電力電纜進行直流耐壓測試之空間需求。
- (4) 電力電纜及控制電纜通道之相關引接設備電纜進/出的考量。

## 陸、結論與建議

本文完整探討變電所變電設備之規劃設計考量，由設備維護觀念出發，檢討設備間配置相互關係（從其空間的分隔、區

域間距及安全距離等三方面探討），再進一步考量避雷器之設計技術精進及於變電所內廣泛被應用，降低變電設備之絕緣耐壓需求。且由於變電所變電設備的構造越來越緊湊密實，節省縮小變電所的空間，使得變電所規劃設計-設備配置空間考量更能彈性運用。筆者研讀關於變電所安全空間之主張及 IEEE 及 NEMA 相關標準及論文，並予探討及撰文列表整理成完整報告，提供從事變電所規劃設計之電機從業人員參考。有關帶電體與設備及人員間隔之安全距離更可作為維護人員巡視維修設備依循之標準，相信對增進變電所安全性之認識具有相當的幫助。

此外，在變電所內空間受限（土地、建物量體），為減少設備之間之安全間距，可考慮之方法包含採取導體被覆（熱縮或模鑄）、包封容器、加絕緣材料等，於變電所適當應用，以解決設備於侷限空間內規劃配置問題。

## 參考文獻

- [1] 超高壓輸電系統計畫研究報告，1969.06
- [2] 變電工程標準作業手冊，台灣電力公司，輸變電工程處，1979.06。
- [3] 屋內配線裝置規則，2011.9。
- [4] 超高壓變電所設計原理
- [5] 超高壓交流輸電原理，1983.11
- [6] NEMA STD.for HV. Pub. No. HV. 1-1973，
- [7] IEEE Transactions on Power Delivery -1992-Paper
- [8] NEMA Protective Arrangements of Equipment page 47-49
- [9] AIEE Committee Report Paper 54-80，1979.9
- [10] IEEE Transactions on Power Delivery- Safety Aspects in Substation Voltage Upgrading，1984.9



# 因應再生能源併網之低頻卸載優化參考方案

台電公司供電處 張宥嫻

## 摘要

隨著系統再生能源占比逐年增加的趨勢，再生能源的間歇性及不易預測等特性，將對電力系統的供電穩定度及運轉規劃方式產生衝擊與影響，對系統頻率保護能力及低頻卸載規劃方案而言，同樣也面臨著相同的挑戰。當系統再生能源占比愈高，系統整體的慣性將受到影響，系統的動態頻率特性亦將隨之改變甚至惡化，導致系統頻率的穩定性下降，若系統發生低頻事故時，系統頻率的衰減將會變得較快；另外，扮演著電力系統中削峰填谷角色的抽蓄機組，其運轉模式亦會隨著再生能源占比增加而漸趨改變，目前抽蓄機組的運轉模式為白天發電、晚上抽水，未來大量再生能源併網後，抽蓄機組將會隨著改變為白天抽水、晚上發電的運轉模式，此時因晚上(離峰)時段系統總負載較低，當發生大型機組跳機時，系統頻率下降幅度將較白天(尖峰)時段更大，屆時若無抽蓄機組可優先跳脫，將增加一般用戶負載低頻卸載之機會。

為因應再生能源併網後對系統頻率保護之衝擊，本文對台電系統現行之低頻卸載方案提出兩種優化參考方案預為因應，以抑制低頻事故發生時系統頻率的最初下降率，同時在維持系統穩定前提下，儘量減少受影響之停電用戶數，並藉由模擬分析結果驗證本文提出之優化方案確實可達到預期效益。

## 壹、前言

依民國 108 年 5 月 22 日修正之電業

法第 8 條：「輸配電業應負責執行電力調度業務，於確保電力系統安全穩定下，應優先併網、調度再生能源。」及民國 108 年 5 月 1 日修正之再生能源發展條例第 6 條：「另規劃一百十四年再生能源發電設備推廣目標總量達二千七百萬瓩以上。」，再生能源於台電電網系統之占比將逐年提高，然而，再生能源的間歇性及不易預測等特性，將對電力系統的供電穩定度及運轉規劃方式產生衝擊與影響，對系統頻率保護能力及低頻卸載規劃方案而言，同樣也面臨著相同的挑戰。隨著再生能源占比在電網中比例提高，系統整體的慣性將受到影響，系統的動態頻率特性亦將隨之改變甚至惡化，導致系統頻率的穩定性下降，若系統發生低頻事故時，系統頻率的衰減將會變得較快。

當系統發生嚴重低頻事故導致頻率大幅度下降時，需要控制和保護動作以使系統儘速恢復至正常狀態，因此快速和有效性非常重要。目前常利用緊急增加系統內機組的發電量或低頻卸載等措施以挽救系統頻率，然而增加機組發電量受到系統備轉容量和調頻機組升降載速率的限制，且存在時間延時，而對電力事業公司而言，低頻卸載一般用戶負載亦應考量在確保系統穩定前提下，儘量減少影響用戶數，以降低頻率控制的代價及減少社會成本。而藉由跳脫抽蓄機組負載將可快速並有效地抑制低頻事故中最初的頻率下降速率，有輔助頻率恢復的功能，同時亦能減少一般用戶的低頻卸載量；另一方面，利用儲能系統或負載需求反應機制提供部分備轉容量，亦能增加系統整體之調速響應及避免低頻卸載事件發生。



因此，為因應再生能源併網後對系統頻率保護之衝擊，本文對台電系統現行之低頻卸載方案提出兩種優化參考方案預為因應，分別為調整抽蓄機組低頻卸載方案及導入快速反應輔助服務，以抑制低頻事故發生時系統頻率的最初下降率，同時在維持系統穩定前提下，儘量減少受影響之停電用戶數，並藉由模擬分析結果驗證本文提出之優化方案確實可達到預期效益。

## 貳、低頻卸載方案

### 一、目的

當電力系統中大型發電機組或輸電線路因故跳脫而造成電源不足，導致電力供需嚴重失衡時，系統頻率會瞬間快速下降，為維持電力系統穩定和防止系統頻率崩潰，若系統頻率低於發電機組允許之最低連續運轉頻率(59.5Hz)時，低頻卸載即成為穩定系統運轉最後一道防線中的重要組成部分，藉由計畫性低頻卸載方案，使頻率電驛自系統中卸除適量之負載，以使系統頻率能迅速止跌回升恢復電力供需平衡，避免電網負荷過大，進而惡化發生系統崩潰造成更大規模停電。

### 二、台電系統低頻卸載方案

台電系統低頻卸載方案共分為 13 個頻段，第 1 頻段至第 4 頻段跳脫抽蓄機組負載，第 5 頻段至第 13 頻段則是卸載一般用戶(含特高壓用戶)負載。當低頻事故發生時，若抽蓄電廠的機組在抽水運轉中，將優先跳脫抽蓄機組負載，以減少卸載一般用戶負載之機會。台電系統 108 年度各段低頻卸載規劃量如表 1 所示。

#### (一) 台電系統抽蓄機組低頻卸載方案

台電系統抽蓄機組低頻卸載規劃量為 2560MW，頻率範圍為 59.5 Hz ~59.24Hz，分配至第 1~4 段：第 1 段 59.5Hz 規劃瞬時

跳脫大觀二廠一部抽水機組(250MW)及明潭一部抽水機組(260MW)，合計 510MW；第 2 段 59.35Hz 規劃瞬時跳脫大觀二廠一部抽水機組(250MW)及明潭一部抽水機組(260MW)，合計 510MW；第 3 段 59.24Hz 規劃瞬時跳脫大觀二廠一部抽水機組(250MW)；第 4 段 59.25Hz 規劃延時 3 秒跳脫大觀二廠一部抽水機組(250MW)；第 4A~4D 段則是分別規劃為 59.5Hz 延時 15 秒、30 秒、45 秒及 60 秒各跳脫明潭一部抽水機組(260MW)。

#### (二) 台電系統一般用戶低頻卸載方案

台電系統 108 年度之一般用戶低頻卸載規劃量占系統總負載百分比為 32.81%，瞬時卸載段之頻率設定值由 59.2Hz 至 58.3Hz，延時卸載段為第 11A 段及第 11B 段，其頻率設定值為 59.5Hz 分別延時 50 秒及 60 秒。

表 1 台電系統 108 年度各段低頻卸載規劃量

段數	動作頻率	延時時間	大觀二廠 (MW)	明潭 (MW)
1	59.5Hz	P/P 瞬時	250	260
2	59.35Hz	P/P 瞬時	250	260
3	59.24Hz	P/P 瞬時	250	0
4	59.25Hz	P/P 3 秒	250	0
4A	59.5Hz	P/P 15 秒	0	260
4B	59.5Hz	P/P 30 秒	0	260
4C	59.5Hz	P/P 45 秒	0	260
4D	59.5Hz	P/P 60 秒	0	260
P/P：電廠運轉於抽蓄模式 (Pumping Power Plant)			規劃量(%) (占系統總負載量百分比)	
5	59.2Hz	瞬時	4.6	
6	59.0Hz	瞬時	5.5	
7	58.8Hz	瞬時	4.4	
8	58.7Hz	瞬時	4	
9	58.6Hz	瞬時	3.6	
10	58.5Hz	瞬時	3.3	
11A	59.5Hz	50 秒	2.8	
11B	59.5Hz	60 秒	1.2	
12	58.4Hz	瞬時	0.6	
13	58.3Hz	瞬時	2.8	
合計			32.81	

## 參、低頻卸載優化方案

台電系統現行之低頻卸載方案雖已有「815 停電事故」等近年來低頻事故成功挽救系統頻率之實績驗證，但隨著系統再生能源占比逐年增加的趨勢，高再生能源占比併網造成電力系統運轉之安全性及穩定性問題將日益浮現，對系統頻率保護能力及低頻卸載規劃而言亦勢必造成影響。因此，為保護電網安全及因應再生能源併網後對系統頻率保護之衝擊，本章節將提出兩種低頻卸載優化方案預為因應，分別為調整抽蓄機組低頻卸載方案及導入快速反應輔助服務，以有效抑制低頻事故發生時系統頻率的最初下降率，並在維持系統穩定前提下，儘量減少受影響之停電用戶數。

### 一、調整抽蓄機組低頻卸載方案

抽蓄機組低頻卸載為低頻卸載方案中重要組成部分，當系統發生嚴重低頻事故時，優先跳脫抽蓄機組可有效控制頻率惡化，抑制系統瞬間大量發電量減少後最初頻率下降速率過快，有利減少後續低頻卸載一般用戶之負載量，同時使系統快速達到供需平衡狀態。此外，抽蓄機組能進行靈活的發電和負載調整，進一步增加了經濟優勢。

因此，為提升抽蓄機組幫助系統頻率回升之效益，本文提出抽蓄機組低頻卸載優化方案，以降低頻率控制的代價及減少社會成本。本文經由多種情境模擬結果可得藉由提高頻率設定值及增加抽蓄機組瞬時卸載段，將可有效抑制頻率最初下降率及提高系統下降最低頻率(減少一般用戶低頻卸載機會)，同時取得與一般用戶低頻卸載方案更佳之協調。

當系統發生低頻事故時，為使優先跳脫抽蓄機組負載以幫助系統頻率回升的效

益發揮最大化，本文參考相關文獻及國外抽蓄機組低頻卸載方案，並依台電系統 2020 年及 2025 年預估之抽蓄機組運轉模式(觀二至多 2 台抽水、明潭至多 6 台抽水，且以觀二廠優先轉抽水運轉模式)，經各種事故情境模擬分析後，提出兩種抽蓄機組低頻卸載優化方案，分別如表 2 及表 3 所示。

表 2 抽蓄機組低頻卸載優化方案一

段數	動作頻率 (Hz)	延時時間 (sec)	觀二 (MW)	明潭 (MW)	小計 (MW)
1	59.5	瞬時	250	260	510
2	59.4	瞬時	250	260	510
3	59.35	瞬時	0	260	260
4	59.25	瞬時	0	260	260
1A	59.5	15	0	260*2	520
1B	59.5	30	250	0	250
1C	59.5	40	250	0	250
合計			1000	1560	2560

表 3 抽蓄機組低頻卸載優化方案二

段數	動作頻率 (Hz)	延時時間 (sec)	觀二 (MW)	明潭 (MW)	小計 (MW)
<b>1</b>	<b>59.7</b>	<b>瞬時</b>	<b>250</b>	<b>0</b>	<b>250</b>
2	59.5	瞬時	250	260	510
3	59.4	瞬時	0	260*2	520
4	59.35	瞬時	0	260	260
2A	59.5	15	0	260*2	520
2B	59.5	30	250	0	250
2C	59.5	40	250	0	250
合計			1000	1560	2560

### (一)抽蓄機組低頻卸載優化方案一

為有效抑制最初頻率下降速率使頻率迅速止跌回升，將現有方案中第 2 段頻率設定值由 59.35Hz 調高至 59.4Hz，第 3 段

頻率設定值由 59.24Hz 調高至 59.35Hz，第 4 段頻率設定值由 59.25Hz(延時 3 秒)改為瞬時卸載段，延時卸載段則僅保留 59.5Hz 延時 15 秒、30 秒及 40 秒，以和一般用戶負載之低頻卸載段協調。

### (二)抽蓄機組低頻卸載優化方案二

為更有效抑制最初頻率下降速率，考量將 1 台抽蓄機組做為扮演自動需量反映的角色，將第 1 段頻率設定值由 59.5Hz 提高至 59.7Hz(跳脫 1 部抽蓄機組)，以下並依序提高：第 2 段頻率設定值為 59.5Hz，第 3 段頻率設定值為 59.4Hz，第 4 段頻率

設定值為 59.35Hz，延時卸載段仍同優化方案一僅保留 59.5Hz 延時 15 秒、30 秒及 40 秒，以和一般用戶負載之低頻卸載段協調。

### (三)抽蓄機組卸載優化方案模擬比較分析

為比較各抽蓄機組低頻卸載方案(原方案、優化方案一及優化方案二)之低頻卸載效果，本文假設所有抽蓄機組皆為抽蓄運轉模式情境下，分別以各方案進行瞬間缺少發電量占比 1%~15% 之低頻事故模擬，各方案模擬結果分別如表 4~表 6 所示。

表 4 台電系統原抽蓄機組低頻卸載方案之低頻卸載模擬結果(m=0.58)

瞬間缺少發電量占比(%)	F <sub>min</sub> (Hz)	F <sub>final</sub> (Hz)	動作段數										平均 頻率下降率			
1	59.820	59.820														0.014
2	59.650	59.660														0.073
3	59.498	59.718	1													0.135
4	59.483	59.527	1													0.174
5	59.350	59.601	1	2												0.306
6	59.335	59.543	1	2	4A											0.296
7	59.239	59.603	1	2	3	4A	4B									0.406
8	59.197	60.045	1	2	3	5										0.436
9	59.181	59.859	1	2	3	5										0.400
10	59.164	59.666	1	2	3	5										0.507
11	59.146	59.607	1	2	3	5	4A									0.610
12	59.128	59.557	1	2	3	5	4	4A								0.709
13	59.098	59.634	1	2	3	5	4	4A	4B	4C						0.821
14	58.990	60.003	1	2	3	5	4	6	4A	4B	4C	11A				0.545
15	58.980	59.890	1	2	3	5	4	6	4A	4B	4C	11A				0.664
平均下降率																0.406

表 5 抽蓄機組低頻卸載優化方案一之低頻卸載模擬結果(m=0.58)

瞬間缺少發電量占比(%)	F <sub>min</sub> (Hz)	F <sub>final</sub> (Hz)	動作段數										平均 頻率下降率			
1	59.820	59.820														0.014
2	59.650	59.660														0.073
3	59.498	59.718	1													0.135
4	59.483	59.537	1													0.174
5	59.396	59.585	1	2												0.284
6	59.381	59.667	1	2	1A											0.276
7	59.340	59.600	1	2	3	1A										0.321
8	59.243	59.541	1	2	3	4	1A									0.323
9	59.192	59.997	1	2	3	4	5									0.285
10	59.176	59.819	1	2	3	4	5									0.436
11	59.160	59.630	1	2	3	4	5									0.550
12	59.141	59.689	1	2	3	4	5		1A							0.659
13	59.123	59.506	1	2	3	4	5		1A							0.764
14	59.035	59.578	1	2	3	4	5		1A	1B	1C					0.062
15	58.990	59.958	1	2	3	4	5	6	1A	1B	1C	11A				0.481
平均下降率																0.322

表 6 抽蓄機組低頻卸載優化方案二之低頻卸載模擬結果(m=0.58)

瞬間缺少發電量占比(%)	F <sub>min</sub> (Hz)	F <sub>final</sub> (Hz)	動作段數										平均 頻率下降率		
1	59.820	59.820													0.014
2	59.696	59.756	1												0.063
3	59.581	59.581	1												0.033
4	59.492	59.652	1	2											0.122
5	59.468	59.721	1	2	2A										0.050
6	59.390	59.538	1	2	3										0.203
7	59.350	59.721	1	2	3	4	2A								0.060
8	59.285	59.538	1	2	3	4	2A								0.044
9	59.192	59.994	1	2	3	4	5								0.229
10	59.176	59.815	1	2	3	4	5								0.382
11	59.160	59.612	1	2	3	4	5								0.503
12	59.144	59.685	1	2	3	4	5		2A						0.612
13	59.128	59.619	1	2	3	4	5		2A	2B					0.716
14	59.031	59.575	1	2	3	4	5		2A	2B	2C				0.121
15	58.990	59.955	1	2	3	4	5	6	2A	2B	2C	11A			0.453
平均下降率													0.240		

由表4~表6之低頻卸載模擬結果可知，若所有抽蓄機組皆運轉於抽蓄模式時，採用優化方案一及方案二時，當瞬間缺少發電量占比達 9%時始會觸發到一般用戶負載低頻卸載段(原方案於瞬間缺少發電量占比達 8%時即會觸發一般用戶負載低頻卸載段)；而瞬間缺少發電量占比達 15%時，才會開始觸發延時卸載段第 11A 段(原方案於瞬間缺少發電量占比達 14%時即會觸發延時卸載段)。因此，採用優化方案一及

方案二可較原方案減少約 5%~7%之卸載量，其中一般用戶負載卸載量約可減少 13%。此外，優化方案中將抽蓄機組低頻卸載之瞬時卸載段頻率設定值提高，亦確實可有效抑致頻率最初下降速率並使頻率儘速止跌回升，優化方案一及方案二之平均頻率下降率分別可較原方案減少約 20.6%及 40.8%。低頻事故發生時，各方案之系統下降最低頻率比較圖如圖 1 所示，各方案之頻率下降率比較圖如圖 2 所示。

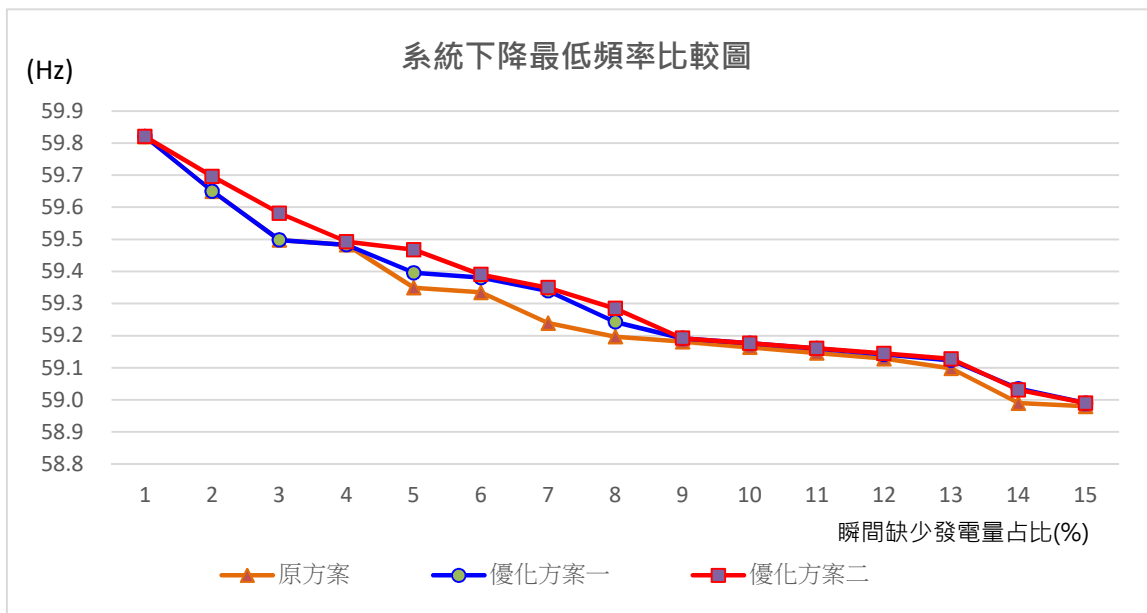


圖 1 各方案之系統下降最低頻率比較圖

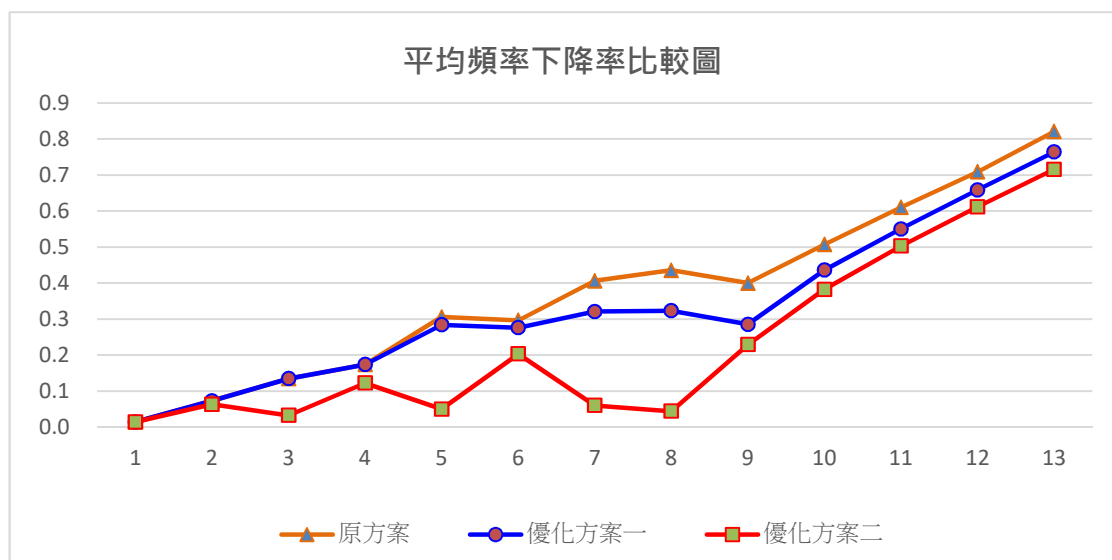


圖 2 各方案之頻率下降率比較圖

## 二、導入快速反應輔助服務

隨著系統再生能源占比增加，扮演著電力系統中削峰填谷角色的抽蓄機組，為調節負載尖峰及離峰用電達到系統供需平衡，其運轉模式將會由目前白天發電、晚上抽水的模式漸漸改變為白天抽水、晚上發電，此時因晚上(離峰)時段系統總負載較低，當發生大型機組跳機時，系統頻率下降幅度將較白天(尖峰)時段更大，屆時若無抽蓄機組可優先跳脫，將增加一般用戶負載低頻卸載之機會。因此，本文將目前台電規劃採購之快速反應負載資源(FRR)及儲能電池自動頻率控制(AFC)兩項快速反應輔助服務導入台電系統低頻卸載方案中，以在維持系統穩定前提下儘量減少低頻卸載一般用戶負載之機會。

為避免系統於非尖峰時段且無抽蓄機組為抽蓄運轉模式時，發生全系統最大一部機跳機即觸發一般用戶低頻瞬時卸載段(59.2Hz)，本文依該兩項快速反應輔助服

務之規範要求(表 7)及「台電系統 2020 年夏、冬二季發電情境預估資料」進行低頻模擬分析，若以 2020 年台電系統預估之無抽水機組時最低負載 20096MW 及全系統最大一部機為核二一部機 985MW 考量，模擬結果 2020 年採購之快速反應負載資源(59.70Hz)需達 105MW、儲能電池自動頻率控制(59.50Hz)需達 100MW，方能避免全系統最大一部機跳機時即觸發一般用戶低頻瞬時卸載段(59.2Hz)，此係以系統頻率變化係數(m 值)範圍介於 0.5~0.7(%/0.1Hz)情境下考量。

若以導入系統之快速反應輔助服務量 FRR 為 105MW 及 AFC 為 100MW 進行一般用戶負載低頻卸載量之規劃，模擬分析結果在達到相同頻率保護效果下，系統導入上述快速反應輔助服務量後，一般用戶低頻卸載規劃量將可由原 32.81%降為 31.3%(減少 1.51%)，表 8 為含快速反應輔助服務之一般用戶低頻卸載規劃表。

表 7 台電快速反應輔助服務之規範要求

	啟動/反應頻率	動作時間
快速反應負載資源輔助服務(FRR)	59.70 Hz	≤ 1.0 sec
儲能電池自動頻率控制輔助服務(AFC)	59.50 Hz (全輸出反應頻率)	≤ 1.0 sec

表 8 含快速反應輔助服務之一般用戶低頻卸載規劃表

段數	動作頻率 (Hz)	延時時間 (sec)	卸載量占總負載量之百分比(%)	
			含快速反應輔助服務	原規劃量
F(FRR)	59.7	≤1.0	100 MW	-
A(AFC)	59.5	≤1.0	60 MW	
5	59.2	瞬時	4	4.6
6	59.0	瞬時	5	5.5
7	58.8	瞬時	4	4.4
8	58.7	瞬時	4.01	4
9	58.6	瞬時	3.59	3.6
10	58.5	瞬時	3.3	3.3
11A	59.5	50	2.8	2.8
11B	59.5	60	1.2	1.2
12	58.4	瞬時	0.57	0.6
13	58.3	瞬時	2.85	2.8
合計			31.3	32.81

## 三、模擬與驗證

參考 WECC 之低頻卸載方案規劃方針，系統之低頻卸載方案至少應能因應 25% 發電與負載不平衡率 (Load Imbalances) 之事故情境，且因系統之發電與負載綜合頻率係數(m 值)為影響頻率響應及系統下降最低頻率之重要參數，因此本文分別以 m 值為 0.5 及 0.7(%/0.1Hz) 進

行 1%~25% 發電與負載不平衡率之低頻模擬掃描，以驗證該優化方案確實可因應各種低頻事故使系統迅速回穩。由模擬結果表 9 及表 10 可得，系統頻率經表 8 之卸載方案低頻卸載後均可回復至 59.5Hz 以上，顯示該低頻卸載方案確實可因應 1%~25% 發電與負載不平衡率之所有低頻事故，同時可減少一般用戶負載之低頻卸載量。

表 9 1%~25% 發電與負載不平衡率之低頻模擬結果(m 值：0.5 %/0.1Hz)

發電與負載 不平衡率 (%)	F <sub>min</sub> (Hz)	F <sub>min</sub> (Hz)	動作段數									
1	59.79	59.79										
2	59.69	59.69	F									
3	59.50	59.61	F	A								
4	59.39	59.99	F	A	11A							
5	59.20	60.04	F	A	5							
6	59.18	59.84	F	A	5							
7	59.17	59.63	F	A	5							
8	59.15	60.03	F	A	5	11A						
9	59.14	59.82	F	A	5	11A						
10	59.00	60.11	F	A	5	6						
11	58.98	59.89	F	A	5	6						
12	58.97	59.65	F	A	5	6						
13	58.95	60.08	F	A	5	6	11A					
14	58.94	59.86	F	A	5	6	11A					
15	58.92	59.64	F	A	5	6	11A					
16	58.80	59.72	F	A	5	6	7					
17	58.78	60.17	F	A	5	6	7	11A				
18	58.76	59.93	F	A	5	6	7	11A				
19	58.75	59.69	F	A	5	6	7	11A				
20	58.73	59.77	F	A	5	6	7	11A	11B			
21	58.69	59.53	F	A	5	6	7	8				
22	58.66	60.01	F	A	5	6	7	8	11A			
23	58.63	59.76	F	A	5	6	7	8	11A			
24	58.60	59.52	F	A	5	6	7	8	11A			
25	58.57	60.25	F	A	5	6	7	8	9	11A		

表 10 1%~25%發電與負載不平衡率之低頻模擬結果(m 值：0.7%/0.1Hz)

發電與負載 不平衡率 (%)	F <sub>min</sub> (Hz)	F <sub>final</sub> (Hz)	動作段數						
1	59.85	59.85							
2	59.71	59.71							
3	59.64	59.65	F						
4	59.50	59.58	F	A					
5	59.42	59.86	F	A	11A				
6	59.26	59.69	F	A	11A				
7	59.19	59.73	F	A	5				
8	59.18	59.58	F	A	5				
9	59.16	59.87	F	A	5	11A			
10	59.15	59.72	F	A	5	11A			
11	59.11	59.56	F	A	5	11A			
12	59.00	59.79	F	A	5	6			
13	58.98	59.62	F	A	5	6			
14	58.96	59.95	F	A	5	6	11A		
15	58.95	59.77	F	A	5	6	11A		
16	58.93	59.61	F	A	5	6	11A		
17	58.92	59.66	F	A	5	6	11A	11B	
18	58.80	59.51	F	A	5	6	7		
19	58.78	59.84	F	A	5	6	7	11A	
20	58.77	59.68	F	A	5	6	7	11A	
21	58.75	59.71	F	A	5	6	7	11A	11B
22	58.73	59.56	F	A	5	6	7	11A	11B
23	58.69	59.90	F	A	5	6	7	8	11A
24	58.66	59.73	F	A	5	6	7	8	11A
25	58.63	59.55	F	A	5	6	7	8	11A

## 肆、結論

為推廣再生能源應用以增進能源多元化、改善環境品質，政府近年來積極地推動再生能源發展，其中在民國 108 年 5 月 1 日修正之再生能源發展條例中亦設定了 2025 年再生能源發電設備總量達二千七百萬瓩以上之推廣目標。然而，高占比再生能源併網勢必對電力系統造成衝擊而增加電網運轉風險，系統之穩定性及安全性問題將日益顯現，其中系統的動態頻率特性將隨大量再生能源併網改變甚至惡化，使得系統頻率的穩定性下降，而系統頻率控制問題則是電網穩定運轉之關鍵問題之一。

為因應大量再生能源併網後，系統發

生嚴重低頻事故導致頻率大幅度下降時之頻率保護問題，本文對台電系統現行之低頻卸載方案提出優化參考方案預為因應，利用台電系統現有之抽蓄機組，並配合快速反應之儲能電池及推動快速反應負載資源輔助機制，作為系統瞬間頻率變動之調節及保護工作，可使系統迅速恢復供需平衡，同時亦能增加系統整體之調速響應及減少低頻卸載事件發生。而經由模擬分析驗證，調整抽蓄機組低頻卸載方案及導入快速反應輔助服務後，確實可抑制低頻事故發生時系統頻率的最初下降率，同時在維持系統穩定前提下，亦能降低一般用戶低頻卸載之機會及減少受影響之停電用戶數，可供未來進行低頻卸載方案規劃時參考。



## 伍、參考文獻

- [1] IEEE Std. C37. 117-2007, “IEEE Guide for the Application of Protective Relays Used for Abnormal Frequency Load Shedding and Restoration,” 2007.
- [2] WECC, “Underfrequency Load Shedding Program Assessment Report,” 2015.
- [3] 盧恆究、陳竑廷、黃永福，我國高佔比再生能源網之因應參考策略：以日本大型改善設備系統技術分析為例，台灣能源期刊，第四卷，第四期，第445-463頁，2017年。
- [4] 李琳，適用於頻率安全穩定的低頻切泵及減載協調優化方法，電力系統自動化，第36卷，第13期，2012年。
- [5] 宋運中、孟景，電力系統中抽水蓄能機組低頻切泵優化策略，測控技術，第36卷，第12期，2017年。

# 利用 Ingeteam EF LD 線路保護電驛實現 50+2 過載保護功能

台北供電區營運處 黃顯順

## 壹、前言

因近年來經濟持續成長發展，台灣本島用電量亦隨著經濟發展持續增加，也因此，本公司各大火力電廠逐步擴建機組增加發電量，負載較重之變電所亦需採取新增變電設備甚至新建變電所以減輕輸電負擔及增加電網穩定度。惟現今台灣電力建設常因嫌惡設施遭遇抗爭，用地取得相當不易，致使電網規劃及電力設備建設皆遭遇重重困難，因此為在既有的輸電設備上輸送出最大容量之電力，並兼顧電力系統安全穩定運轉及保護設備之原則，過載保護設備（以下簡稱50+2）的需求便因應而生。

目前台電輸電系統中上線之50+2皆採用SEL製之線路保護電驛，惟本公司往年採購之SEL製線路保護電驛已近用罄，而近兩年採購得標之線路保護電驛皆為西班牙Ingeteam製之EF LD系列電驛，故本文主要分享如何利用前述電驛實現50+2保護功能。

## 貳、50+2過載保護功能原理

系統50+2過載保護是使用過電流元件(50)加上延時元件(2)組合而成，其目的為利用過流元件偵測設備過載條件是否成立，若過載條件成立則再利用延時元件進行延時計時，當所設定之延時時間亦成立，即輸出信號進行跳脫本地端斷路器、遙跳遠端斷路器或遙送跳機信號予電廠發電機組，其輸出信號給予對象視系統保護目的予以設立。

50+2主要分為本地端跳脫(Local Trip)及遙跳(Remote Trip)兩種設計方式，兩者之邏輯設計差異在於遙跳方式需額外使用

光纖通信介面才能傳遞輸出信號予遠端之跳脫目標，藉以完成過載保護功能，其邏輯概念分別如圖1及圖2所示。

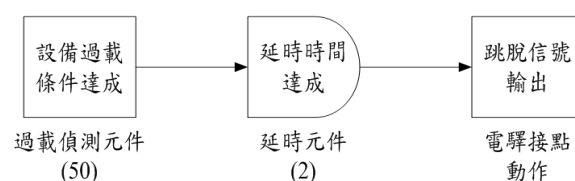


圖1 本地端跳脫(Local Trip)動作邏輯

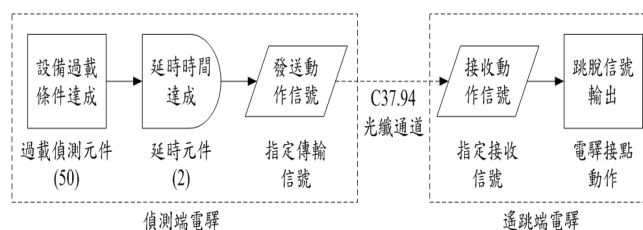


圖2 遠端遙跳(Remote Trip)動作邏輯

## 參、50+2 Local Trip邏輯設定

本文以下所述之邏輯內容須使用Ingeteam電驛之專用連線軟體pacFactory進行邏輯及標置設定。

50+2邏輯可使用既有差流電驛標準檔進行編輯，利用第1組50元件(IOC Phase 50) U1)作為過流偵測元件，其延時元件可採該組50元件之Delay time(ms)直接設定，故為達成前述功能，需另於原差流標準檔中新增logic 28設計50+2邏輯。另為直接採用原差流功能之Use/Lock function作為50+2 Use/Lock function，亦須於logic 28加入該邏輯功能，並將50元件中的Trip Blocking Input設定為Protection logic 28[0]，如下表1及圖3所示。

Enabled	YES
Operation type	Trip
Start value(A)	6 (依過載電流條件設定)
Delay time(ms)	10000 (依過載允許時間設定(ms))
Trip Blocking Input	Protection logic 28[0]
General Trip	YES

表1 IOC Phase U1 Local Trip標置設定

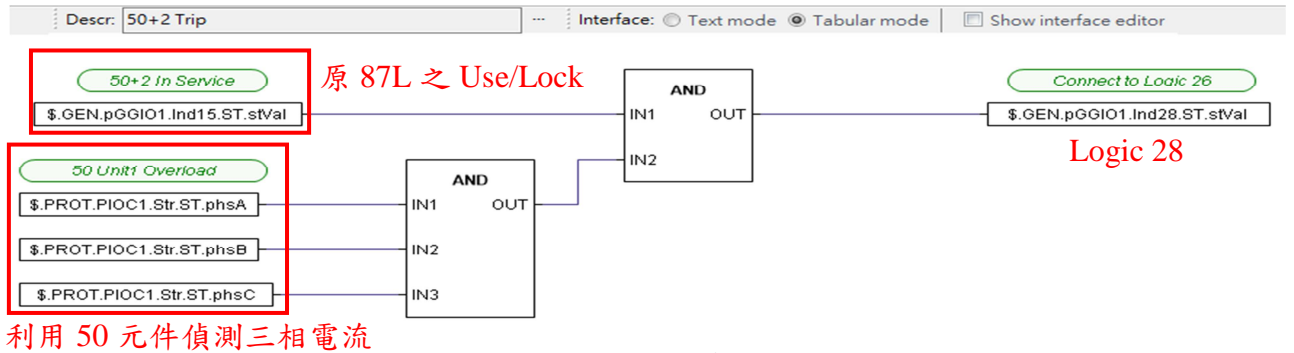


圖3 新增Logic 28之邏輯內容

於Logic 26新增Logic 28動作信號(50+2動作接點採用原87L動作接點)，如下圖4所示，完成後即可利用該款電驛作50+2 Local Trip跳脫。

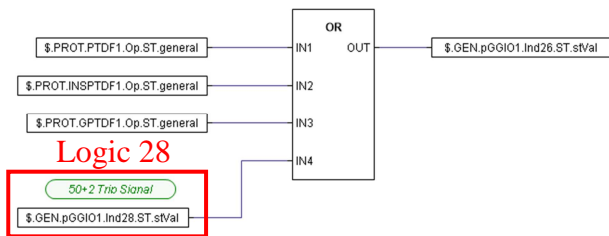


圖4 既有Logic 26邏輯新增Logic 28信號

### 肆、50+2 Remote Trip邏輯設定

Remote Trip模式分為A(偵測)端及B(接收)端，故其標置及邏輯設計較Local Trip複雜。A端需啟用1組50元件(IOC Phase (50) U1)作為過流偵測元件，其標置設定可參考表2內容，惟需特別注意的是表2中的Operation type改設定為Start(僅作觸發信號)，避免A端元件動作，B端則不需啟用50元件。

Enabled	YES
Operation type	Start
Start value(A)	6 (依過載電流條件設定)
Delay time(ms)	10000 (依過載允許時間設定(ms))
Trip Blocking Input	Protection logic 28[0]
General Trip	YES

表2 IOC Phase U1 Remote Trip標置設定  
在通信標置設定方面，A端及B端需分

別進行下表3設定。

	A 端	B 端
Local end	End A	End B
Local ID	0	1
Connection type	Master	Master
Port 1	COM 3	COM 3
Remote end 1	End B	End A
Remote ID 1	1	0
Channel 1 Data->Signal 2	Protection logic 28	-

表3 Line Differential通信標置設定

因A端需指定50+2之光纖通信要傳輸的跳脫信號源，故需於標置中Channel 1 Data功能之Signal 2欄位新增光纖通信所要傳輸之信號，在此指定Protection Logic 28為50+2跳脫信號源，即可透過光纖輸出50+2遙跳信號至B端。

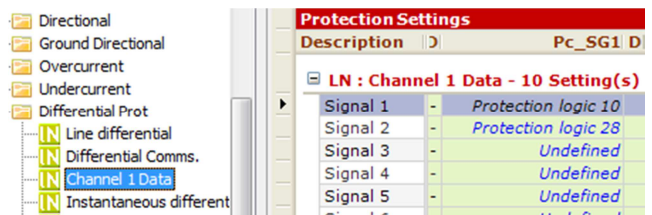


圖5 Channel 1 Data指定50+2之動作信號源

最後有關邏輯設定部分，首先於A端新增Logic 28建立50+2偵測邏輯(50+2 Transmission Logic)，參考圖6內容，當過載條件滿足後，即透過Logic 28輸出50+2動作信號，需注意的是經過實際測試，在此要特別將Delay time(ms)元件額外再拉出來作延時，才可達成延時訊號作動，並

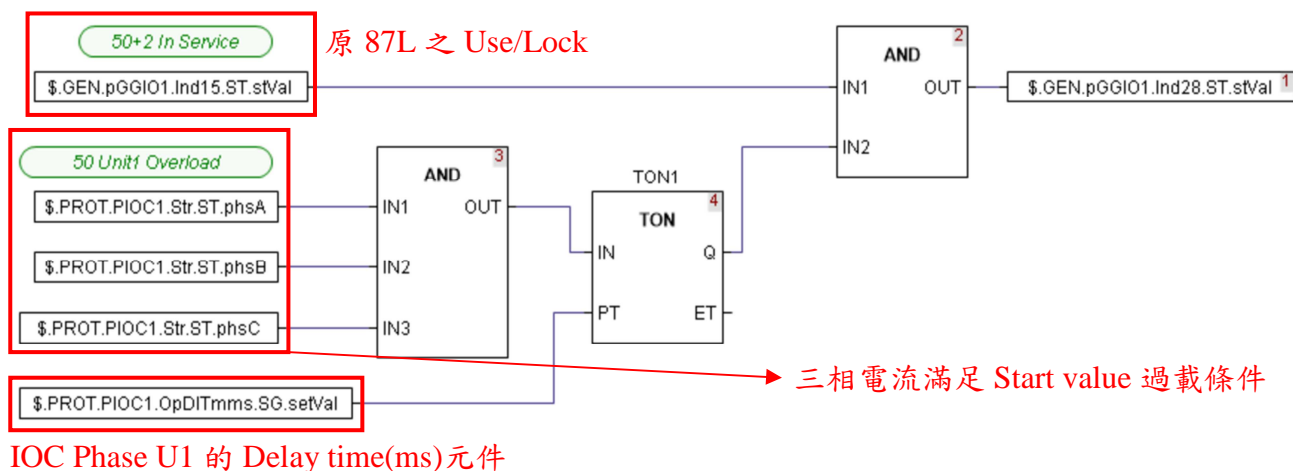


圖6 A端新增Logic 28建立50+2信號傳輸邏輯內容

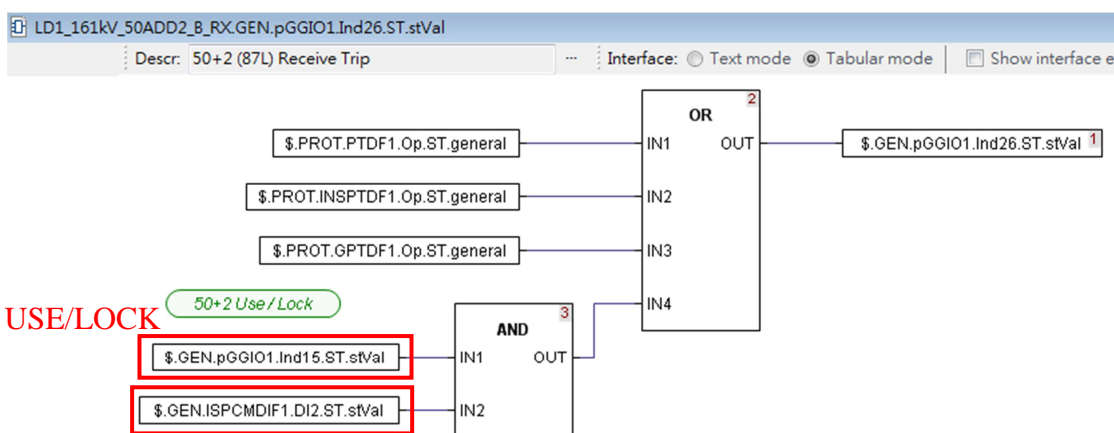


圖7 B端修改Logic 26增建50+2信號接收邏輯內容

配合前述圖5之設定，即可將Logic 28信號透過光纖送出。另B端部分，參考圖7所示，於既設的Logic 26增建50+2信號之接收來源，指定Channel 1 Rx signal 2為50+2信號接收來源，並指定USE/LOCK信號加入，當B端50+2電驛為USE狀態且接收到A端50+2動作信號時，才會輸出動作50+2接點。

### 伍、50+2邏輯驗證測試方法與結果

#### 一、試驗場所及測試裝置

本次試驗場地為借用新桃供電區營運處之電驛試驗訓練場，該試驗場已設立1盤(2具) Ingeteam EF-LD1電驛，電驛測試環境如圖8所示。



圖8 電驛試驗訓練場50+2電驛測試環境



本次測試使用之儀器為Megger SMRT36三相電驛測試裝置，如圖9所示，Megger SMRT36可穩定輸出三相電流達60A，藉由此測試裝置從電驛盤面下方PK-2灌入電流，以此方式模擬CT二次側所流入之過載電流，驗證電驛50+2邏輯是否可如預期作動。



圖9 Megger SMRT36三相電驛測試裝置

## 二、測試前工安注意事項

於測試工作前，若工作場所之所內有自動消防設施時，務必先將自動消防設施切換為手動模式以維人身安全，並於進入工作場所前配戴安全帽及穿具包覆性之絕緣鞋再開始工作。由於本次測試地點為電驛試驗訓練場，因此電驛盤僅引接DC電源，其他相關跳脫、控制及警報迴路皆未引接，因此僅需注意DC不可短路且Megger SMRT36測試裝置需接地，如圖10，以防止感電、漏電之危害。



圖10 Megger SMRT36電驛測試裝置接地

## 三、測試架構及步驟說明

50+2 Local Trip及Remote Trip測試架構如圖11所示，需注意的是，不論是何種跳脫方式，50+2跳脫動作之三要件(即三相過載電流、過載時間及電驛使用狀態，參考圖11)都必須符合才可作動，其餘條件皆不可作動，其主要測試步驟如下：

- (一) 於電驛試驗訓練場將電驛、測試裝置輸出電源線(電流輸出)、動作訊號線及裝置接地線等先行接妥。另為測試Remote Trip遙跳功能，上下兩個電驛(A及B)之光纖接頭需採對接(RX-TX)方式，用以模擬測試A端動作訊號傳遞至B端，光纖對接方式如圖12。
- (二) 將所編輯好之電驛邏輯、標置上傳至電驛，並重新檢視電驛標置內容確保上傳成功。
- (三) Local Trip過載時間標置設為10s(10000ms)，Remote Trip過載時間標置設為5s(5000ms)，以利區別及驗證不同過載時間設定時，電驛是否皆可準確作動。
- (四) 利用Megger SMRT36輸出模擬CT二次側過載電流之上下緣，例如過載電流門檻值設為6A，則輸出大於及小於6A之值(在此設定測試裝置6.1A及5.1A輸出)測試其動作時間及是否如預期作動，同時亦須測試電驛在Lock狀況下是否有成功閉鎖跳脫信號。
- (五) 若前述第(四)點測試結果不如預期動作，則須檢討電驛邏輯及標置是否有瑕疵，修正後回到上述第(二)點再重新上傳標置，重複驗證測試直到符合預期動作結果。
- (六) 若前述第(四)點測試符合預期動作結果，則該項Case測試結束。

依上述測試步驟之說明，分別針對Local Trip及Remote Trip兩種邏輯進行驗證，其測試方案及結果分別如下節四、五說明。

## 50+2過載保護邏輯驗證程序圖

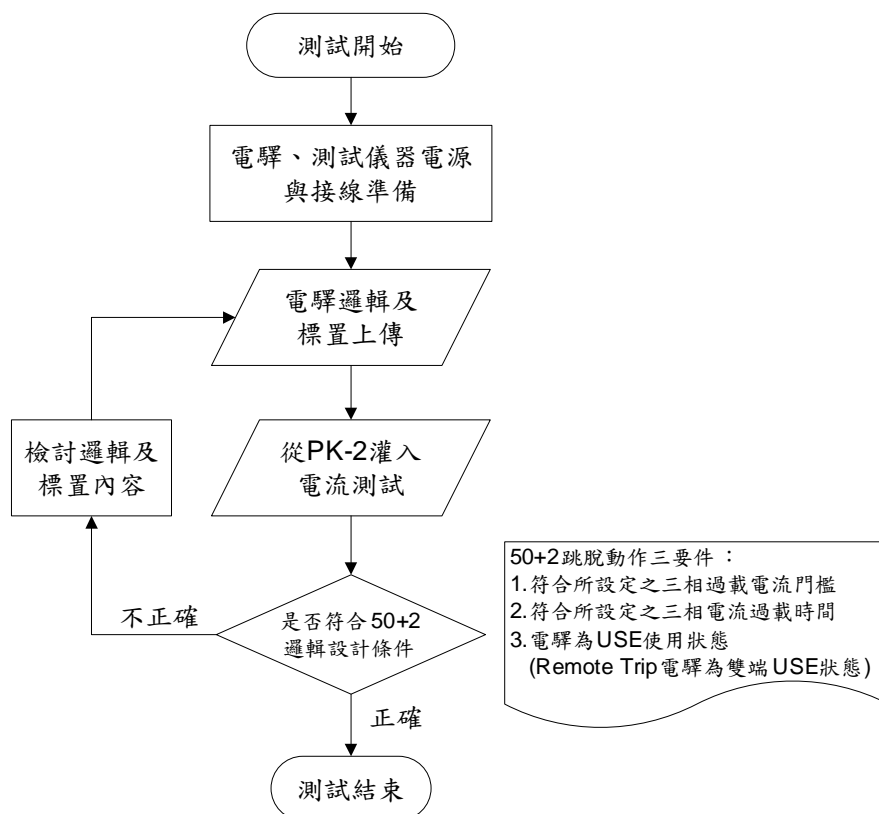


圖11 50+2過載保護邏輯驗證程序圖



圖12 上下兩具電驛光纖TX-RX對接

#### 四、50+2 Local Trip測試方案與結果

50+2 Local Trip測試方案主要為5個Case，如下表4，分別依據電驛是否為使用狀態(Use/Lock)、CT二次側電流值3相(或2

相)超過門檻值(6A)，以及是否在預設過載時間(10s)作動，並根據附錄一測試報告之實際電驛動作結果紀錄於表4中。

從表4中可得知，僅Case 3符合50+2跳脫動作三要件，經實際測試結果亦只有Case 3使50+2電驛確實動作，其動作時間10.02s亦於±5%誤差範圍內，可驗證本案規劃之50+2 Local Trip邏輯及標置可行。

#### 五、50+2 Remote Trip測試方案與結果

50+2 Remote Trip測試方案主要為8個Case，如表5所示，分別依據電驛是否為使用狀態(Use/Lock)、CT二次側電流值3相(或2相)超過門檻值(6A)，以及是否在預設過載時間(5s)作動，電驛動作結果紀錄於表5中。

從表5中可得知，僅Case 4符合50+2跳脫動作三要件，經實際測試結果只有Case 4使50+2電驛確實動作，其動作時間

5.054s亦於±5%誤差範圍內，可驗證本案規劃之50+2 Remote Trip邏輯及標置可行。

表 4 50+2 Local Trip 測試方案

Case	電驛 Use/Lock	輸入 3 相電流 (門檻值 6A)	過載時間(10s) 是否該作動	實測動作結果
Case 1	Use	5.1 (<6A)	否	NOP
Case 2	Lock	5.1 (<6A)	否	NOP
Case 3	Use	6.1 (>6A)	是	10.02s
Case 4	Use	2 相 6.1 (>6A) 1 相 0.0 (<6A)	否	NOP
Case 5	Lock	6.1 (>6A)	否	NOP

表 5 50+2 Remote Trip 測試方案

Case	電驛 Use/Lock	輸入 3 相電流 (門檻值 6A)	過載時間(5s) 是否該作動	實測動作結果
Case 1	A: Use	5.1 (<6A)	否	NOP
	B: Use			
Case 2	A: Lock	5.1 (<6A)	否	NOP
	B: Use			
Case 3	A: Use	5.1 (<6A)	否	NOP
	B: Lock			
Case 4	A: Use	6.1 (>6A)	是	5.054s
	B: Use			
Case 5	A: Use	2 相 6.1 (>6A) 1 相 0.0 (<6A)	否	NOP
	B: Use			
Case 6	A: Lock	6.1 (>6A)	否	NOP
	B: Use			
Case 7	A: Use	6.1 (>6A)	否	NOP
	B: Lock			
Case 8	A: Lock	6.1 (>6A)	否	NOP
	B: Lock			

## 陸、結論

綜上所述之標置及邏輯設定內容，經職設計完成後，前往新桃供電區營運處之電驛試驗訓練場驗證，並經反覆測試過載條件後驗證本文內容可行，可於日後本公司系統有新設50+2電驛需求時，供各供電區營運處採行參考使用。惟需特別注意的是，若50+2電驛裝置涉及遙跳發電機機組時(如林口、大林電廠)，50+2邏輯需額外加入動作接點輸出時間(Off-delay logic)延

長至300ms，以確保機組控制系統能正確接收動作信號。

## 柒、參考資料

1. Ingeteam Power Technology, Inc., LINE DIFFERENTIAL PROTECTION INGEPAC EF-LD User Manual, Rev. E, 2018.



# 自行開發 161kV 輸電線路保護電驛標置 自動核對軟體交由電腦核對電驛標置

台電台中供電區營運處 陳銘宗

## 摘要

本公司 161kV 輸電線路之保護電驛已全數更換為數位式電驛，且依 161kV 輸電線路停電或復電之供電系統狀況重新計算線路數位式電驛之電驛標置並交由維護人員更改及核對，以確保線路發生事故時線路保護電驛能正常動作並正確隔離線路事故點，避免停電範圍擴大。

目前 161kV 輸電線路之線路保護電驛已使用本公司 SDH 網路及網路設備建構電驛乙太網路系統並成為本公司智慧電網之一，但該電驛標置卻仍由「人」進行核對的傳統方法，電驛標置多且繁雜，由人核對電驛標置既沒有效率且容易出錯，若能將全部 161kV 線路電驛標置核對工作交給「電腦」處理，自行開發且不需加裝任何的硬體方式節省公司預算，交由電腦核對電驛標置可避免因電驛標置錯誤而造成線路事故發生時停電範圍擴大之潛在問題，提高線路保護電驛動作的正確性及供電可靠度。

## 壹、前言

當 161kV 輸電線路有部份線路必須停電工作或完工後復電時，為使系統變更後送電中的線路保護電驛能夠發揮正確的保護功能，而必須依保護協調原則重新計算線路保護電驛的標置，電驛維護人員再依計算後的電驛標置對運轉中的電驛做標置變更及核對，當線路有經常性的停電、復電，此時線路電驛就會經常性標置

變更及核對的工作，而線路電驛標置變更後，目前是由『人』去核對標置是否設定正確。

電驛標置若設定正確，於線路發生事故時電驛將準確的動作並迅速隔離事故點，反之若設定不正確將使電驛無法正確隔離事故點而導致停電範圍擴大，因此電驛標置是否正確，直接影響到線路發生事故時的停電範圍。

有鑑於此，本處使用 Python 程式語言自行開發 161kV 輸電線路保護電驛標置自動核對軟體(以下簡稱為標置自動核對軟體)交由電腦核對電驛標置，此軟體將本處所轄 161kV 線路電驛的標置設定值與供電處每月在電驛標置組網頁所公佈最新「161kV 輸電線路保護電驛標置.txt」檔案(以下簡稱為標置檔案)內的標置值進行核對，完成核對後將核對結果以報表方式另存檔案提供電驛人員確認及修正，完成開發後，電驛標置除了由『人』核對外，還可以交由『電腦』再次核對，以確保電驛的標置正確。

## 貳、標置自動核對軟體

目前 161kV 輸電線路保護電驛使用多種廠牌數位電驛，並使用網路線、網路交換器(Switch)及本公司 SDH 組成電驛乙太網路系統，而數位電驛的標置變更及核對，電驛維護人員都可以從遠端透過電驛乙太網路系統來進行。

### 一、目前 161kV 線路電驛標置核對的方式

電驛乙太網路系統中每個線路電驛

都有各自的 IP 位址，當線路電驛需要變更標置設定及核對時，電驛維護人員依線路電驛的 IP 位址透過電驛乙太網路系統由遠端對每個需變更電驛標置的電驛進行標置變更及核對(如圖 1)。

電驛標置變更後除了由更改者自行核對外，會再交由第二人再次核對電驛的標置是否更改正確，但核對的範圍僅限於本次電驛標置變更通知單內所列出的電驛標置，而電驛定檢也是使用相同方式核對電驛標置，但也僅限於部份已達定檢週期的 161kV 線路電驛，因此目前電驛標置核對的方式，是由『人』依電驛的 IP 位址透過電驛乙太網路系統去核對部份電驛的標置是否正確，並無全面性對所有的 161kV 線路電驛做標置核對。

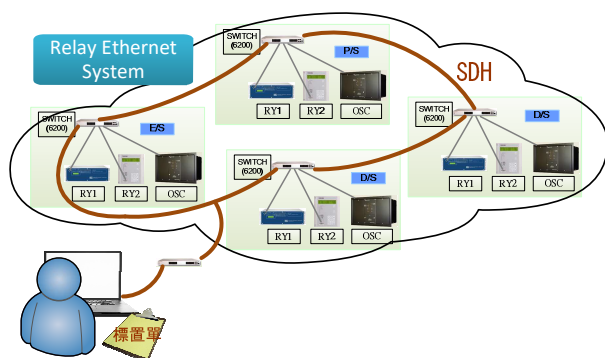


圖 1 目前電驛標置由『人』核對

## 二、標置自動核對軟體架構

因 161kV 線路時常會有停電、復電而變動電力潮流，使得線路電驛要經常性做標置變更及核對的工作，且核對的範圍僅限於電驛標置變更通知單內所列出的電驛標置，長時間下來，變更過的電驛標置數據資料則會愈來愈多，依目前的方式，僅能靠每三年及六年一次的電驛一、二級定檢對部份已達定檢週期的電驛再次核對及確認電驛標置，若能將大數據且單調的全面性電驛標置核對工作交由電腦處

理，除了可以減少人力及時間在大量電驛標置核對的工作外，也可以確保電驛標置的正確。

Python 程式語言 (Python Programming Language) 是 1990 年代初期，由荷蘭工程師 Guido Van Rossum 所開發，目前 Python 程式語言有分成 Python 2 及 Python 3 兩大版本，而本次是使用 Python 3 版本程式語言來開發標置自動核對軟體<sup>[1]</sup>，其軟體架構如圖 2，當電驛維護人員啟動標置自動核對軟體，由軟體對所有 161kV 線路電驛進行標置自動核對，讓電腦處理大數據且單調的全面性電驛標置核對工作。

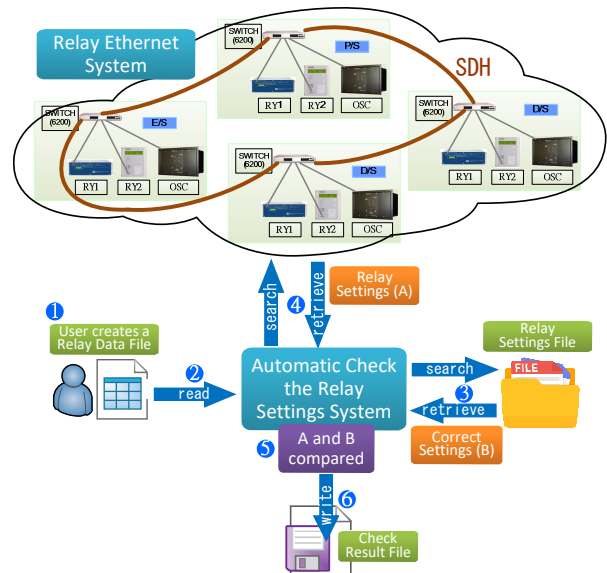


圖 2 標置自動核對軟體架構

如圖 2，完成電驛資料建立後(圖 2 中①，如第貳之三章節說明)，才可以執行標置自動核對軟體進行標置核對，標置自動核對軟體會自動讀取電驛資料內電驛 IP 位址、變電所名稱及斷路器編號後(圖 2 中②)，首先依變電所名稱及斷路器編號在標置檔案內找出及取出需核對標置的電驛標置值(圖 2 中③)，依電驛 IP 位址在電驛乙太網路系統中找到需核對標置的電驛，並將該電驛內標置設定值取出(圖 2 中④)，再將需核對標置的電驛標

置設定值與標置檔案中標置值進行核對(圖 2 中⑤),最後將核對結果輸出表單檔案(圖 2 中⑥)提供電驛人員確認及修正,而圖 2 標置自動核對軟體中的②③④⑤⑥五個處理程序,將使用 Python 程式語言自行編寫程式執行,其中③④⑤⑥四個 Python 程式處理程序如下說明。

(一) 取出標置檔案內標置值之 Python 程式程序：

圖 2 中③程序取出標置檔案內標置值的 Python 程式程序如圖 3,先從供電處電驛標置組網頁下載最新的標置檔案作為標置自動核對軟體核對電驛標置的標準值(圖 3 中①,如第貳之四章節說明)。

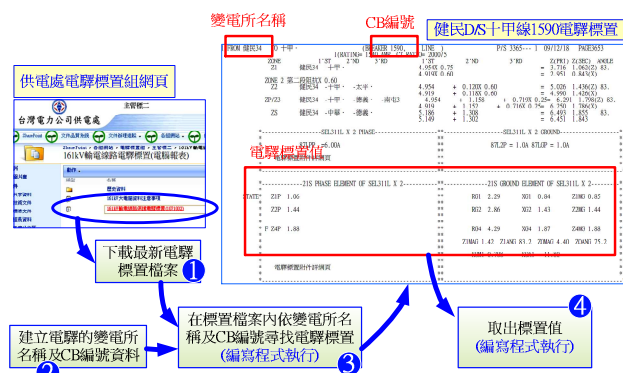


圖 3 取出標置檔案內標置值 Python 程式程序

161kV 系統每一個輸電線路保護電驛的標置會依變電所名稱、CB 編號分別紀錄在標置檔案內(如圖 3 右上方健民 D/S 1590 電驛標置為標置檔案內其中一個),利用標置檔案記錄各個電驛標置的特性,將需核對標置的電驛建立變電所名稱及 CB 編號資料(圖 3 中②,建立方式請參考第貳之三章節說明),編寫 Python 程式利用這兩個資料在標置檔案眾多電驛標置資料中搜尋及取得需要的電驛標置(圖 3 中③),如利

用「健民 34」及「1590,」兩個資料在標置檔案內找到及取得健民 D/S 1590 的電驛標置。

而取得的電驛標置並非所有的資料都需要拿來做核對,僅需取出圖 3 中紅框的電驛標置值,因此編寫 Python 程式先將取得的電驛標置中不需要的資料刪除,再以空格作為每一個標置值資料的分隔,最後逐一將紅框中需要的電驛標置值取出(圖 3 中④)。

(二) 取出電驛內標置設定值之 Python 程式程序：

圖 2 中④程序取出需核對標置的電驛標置設定值的 Python 程式程序如圖 4,目前電驛乙太網路系統中每一個數位電驛皆有設定獨自的 IP 位址,使用者可以由遠端利用電驛乙太網路系統及電驛 IP 位址對指定的數位電驛連線,讓使用者從遠端對指定的電驛作標置核對,標置自動核對軟體使用相同的方法,首先將需核對標置的電驛建立 IP 位址資料(圖 4 中①,建立方式請參考第貳之三章節說明),編寫 Python 程式利用電驛 IP 位址資料在電驛乙太網路眾多的電驛中搜尋到指定的電驛(圖 4 中②),並取出該電驛的標置(圖 4 中③)。

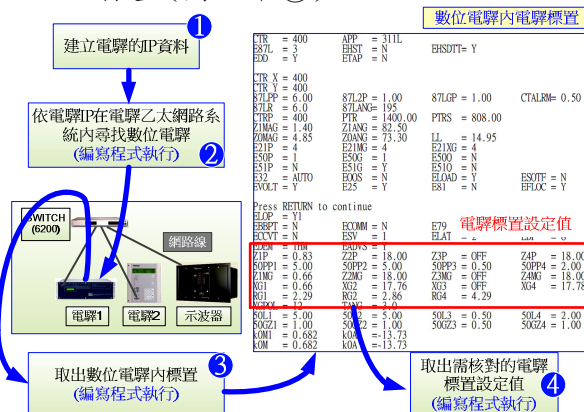


圖 4 取出電驛內標置設定值 Python 程式程序



取出該電驛的標置並非所有的資料都需要拿來做核對，僅需取出圖 4 中紅框的電驛標置設定值，但每一種型式的電驛都有各自不同標示標置設定值的方式，使得取出標置設定值的方式也都不相同，如 SEL-311L 需先以空格區分每一個標置設定值的資料後，才能將標置設定值取出，而 GRL-100 及 D60 電驛則可以直接指定標置設定值來取出，因此依不同型式電驛去編寫不同的 Python 程式分別取出電驛標置設定值，讓不同型式電驛都能將需要的標置設定值取出(圖 4 中④)。

### (三) 標置核對及核對結果輸出表單檔案之 Python 程式程序：

圖 2 中⑤⑥程序將標置進行核對及核對結果輸出表單檔案的 Python 程式程序如圖 5，編寫 Python 程式將取出的需核對標置的電驛之標置設定值及標置檔案內標置值逐一核對(圖 5 中①)，若標置核對為正確，會在表單內標示為 OK，若核對為不正確，則會將電驛內標置設定值與標置檔案內標置值都標示在表單內(圖 5 中②)，讓電驛維護人員更清楚且容易確認標置不正確的地方。

需核對標置的電驛之標置核對完成後會將變電所名稱、CB 編號、核對數量、錯誤數量、核對時間及日期、核對結果等資料先暫存在暫存器內，然後將已取出的標置檔案內標置值(圖 3 中④)及電驛內標置設定值(圖 4 中④)全數刪除而不儲存在資料庫內，因此不會有電驛標置設定值外洩

的問題，接著再對下一個需核對標置的電驛執行上述標置核對程序及將核對結果資料儲存在暫存器內。

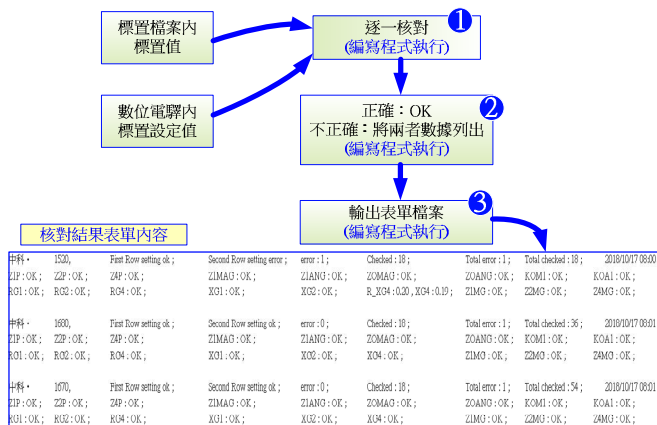


圖 5 標置核對及結果輸出表單檔案 Python 程式程序

當標置核對軟體將所有需核對標置的電驛完成核對後，暫存器內紀錄的每一筆電驛標置核對結果資料會以電驛型式區分用不同的檔案名稱分別儲存成 CSV(Comma-Separated Values)檔案(圖 5 中③)，並將暫存器內紀錄刪除，CSV 檔案的內容是使用純文字方式表示的表格資料，其中每一行是表格的一列，每一個欄位是使用「，」逗號來作區分，如圖 5 下方為使用 Excel 軟體開啟核對結果 CSV 檔案的內容<sup>[1]</sup>。

### 三、電驛資料建立

在執行標置自動核對軟體前，需先建立好需核對標置的電驛之變電所名稱、CB 編號資料及電驛 IP 位址資料(圖 2 中①)，並依目前 161kV 線路電驛的型式：D60、GRL-100 713P、SEL-311L(網路直接)、SEL-311L(2890 連接)，及使用 Excel 軟體分別建立四個需核對標置的電驛資料檔案，其資料檔案內容如表 1，執行標

置自動核對軟體後會主動在電驛資料檔案內讀取資料(圖 2 中②),依讀取後的資料分別於標置檔案及電驛乙太網路系統中搜尋需核對標置的電驛之標置。

表 1 建立需核對標置的電驛資料

	A	B	C	D
1	變電所	CB編號	2端/3端	電驛IP
2	健民34	1590,		2 http://172.3.183.59/
3	健民34	1590,		2 http://172.3.183.9/
4	健民34	1620,		2 http://172.3.183.62/
5	健民34	1620,		2 http://172.3.183.12/
6	健民34	1570,		2 http://172.3.183.7/
7	健民34	1570,		2 http://172.3.183.57/
8	健民34	1580,		2 http://172.3.183.8/
9	健民34	1580,		2 http://172.3.183.58/

在表 1 中變電所及 CB 編號的欄位資料,如需核對健民 D/S 1590 電驛標置,查詢標置檔案內變電所名稱標示為「健民 34」,CB 編號為「1590,」,因此需將「健民 34」及「1590,」分別輸入在表 1 中變電所及 CB 編號的欄位上,另外再將健民 D/S 1590 之線路為 2 端或 3 端線路資料輸入在 2 端/3 端的欄位上,當標置自動核對軟體啟動後會自動擷取「健民 34」及「1590,」資料,並依擷取後的資料在標置檔案內搜尋及取得健民 D/S 1590 電驛的標置,目前已用 Python 程式語言另編寫程式,可將標置檔案內所有的變電所名稱及 CB 編號之資料全部自動擷取並另存檔案,將 2 端/3 端及電驛 IP 欄位的資料輸入,即可省下逐一查詢標置檔案內變電所名稱及 CB 編號資料再輸入標置檔案的時間。

另外將需核對標置的電驛於電驛乙太網路系統之電驛網頁的電驛 IP 資料輸入表 1 中電驛 IP 欄位上,完成表 1 各欄位的資料輸入後,依不同型式的電驛作分類,分別儲存成不同的檔案名稱,如為 D60 電驛,請將表 1 的資料儲存為「D60 data input.csv」檔案,GRL-100 713P

電驛儲存為「GRL data input.csv」檔案,SEL-311L(網路直接)電驛儲存為「SEL data input.csv」檔案,SEL-311L(2890 連接)電驛儲存為「SEL 2890 data input.csv」檔案等共 4 個檔案,各個檔案內的需核對標置的電驛資料可依使用者的需求,數量可為一筆或多筆,如表一共輸入了 8 筆資料。

#### 四、下載最新標置檔案並另存新檔

圖 3 中①「供電處網頁下載最新標置檔案」,為供電處電驛標置組網頁每個月會有公佈最新 161kV 線路電驛標置檔案,於該網頁中下載最新「161kV 輸電線路保護電驛標置.txt」檔案,檔案開啟後將該檔案另存新檔,將檔案名稱輸入為「Line Relay setting.txt」及選擇「UTF-8」編碼,儲存後檔案即為標置自動核對軟體使用的標置檔案(如圖 6)。

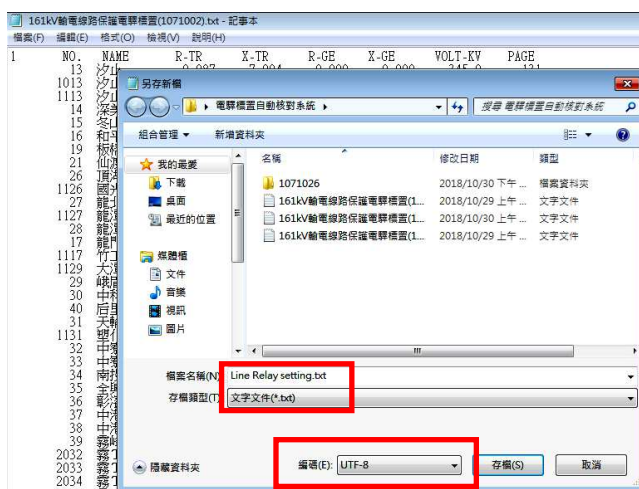


圖 6 最新標置檔案另存新檔

#### 參、實際使用標置自動核對軟體

使用 Python 程式語言完成標置自動核對軟體,目前該軟體可以核對的電驛型式有:D60、GRL-100 713P、SEL-311L(網路直接及 2890 連接)電驛,並依上述說明建立 4 個不同型式的電驛資料檔案。

將建立好 4 個電驛資料檔案、儲存後

標置檔案，及本次自行開發的標置自動核對軟體檔案，共 6 個檔案全部放在同一個資料夾內，資料夾的名稱及路徑都可以自訂，以下說明軟體的實際使用方式及核對後成果。

### 一、執行標置自動核對軟體

使用者執行資料夾內標置自動核對軟體後，進入標置自動核對軟體的開始畫面(如圖 7)，該畫面中，有歡迎使用標置自動核對軟體及台中供電區營運處自行開發的字樣。

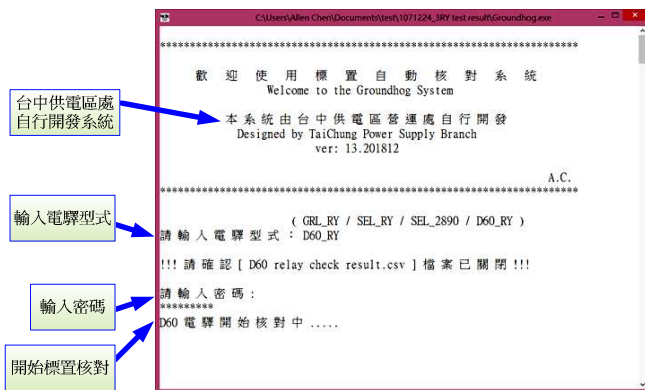


圖 7 執行標置自動核對軟體開始畫面

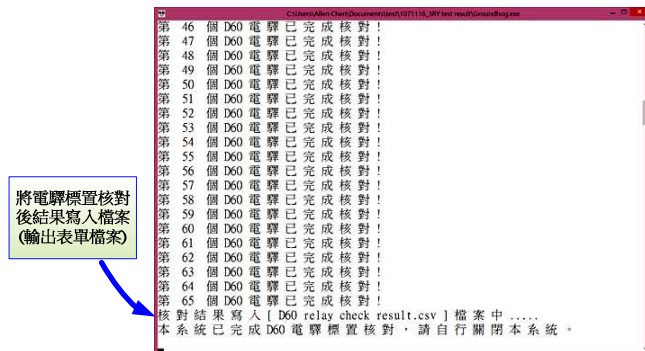


圖 8 完成標置自動核對軟體後畫面

在標置自動核對軟體進行電驛標置核對前，需先輸入需核對標置的電驛型式，若為核對 GRL-100 713P 電驛請輸入 GRL\_RY，SEL-311L(網路直接) 電驛請輸入 SEL\_RY，SEL-311L(2890 連接)電驛請輸入 SEL\_2890，D60 電驛請輸入 D60\_RY，

再輸入正確的密碼後，標置自動核對軟體就會開始依電驛資料檔案及儲存後標置檔案逐一對電驛做標置核對工作。

同一型式的電驛可以輸入一筆或多筆電驛資料到電驛資料檔案內(如表 1 為多筆)，目前將所有的 161kV 線路電驛資料全部輸入，讓軟體逐一核對所有電驛的標置，當軟體完成標置核對後，會顯示「核對結果寫入 [ \*\*\* relay check result.csv ] 檔案中」(如圖 8)，依不同型式的電驛將標置核對結果資料分別儲存至不同檔案，如 D60 電驛完成標置核對後會顯示「核對結果寫入 [D60 relay check result.csv] 檔案中」，完成儲存後資料夾內會新增一個「D60 relay check result.csv」檔案，標置自動核對軟體完成檔案儲存後，畫面接著顯示「本系統已完成\*\*\*電驛標置核對，請自行離開本系統」，即完成本軟體的電驛標置核對工作。

### 二、核對結果表單的內容

利用 Excel 打開資料夾內新增的核對結果表單 csv 檔案(如打開 D60 relay check result.csv 檔案)，打開後如表 2 所示，若在電驛資料檔案內共輸入 100 個電驛資料，完成標置核對後表單內則會顯示 100 個電驛的標置核對結果，本報告以顯示 5 個電驛的標置核對結果作說明，表單中每一個電驛核對結果各有 3 行的陳述，每一個電驛核對結果的陳述方式都相同，其內容陳述方式如下說明：

(一) 表 2 中①：變電所名稱(中科 E/S)。

(二) 表 2 中②：CB 編號(1520)。



表 2 核對結果表單內容

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
第一個電驛核對結果	中科· 1520 ZIP:OK; Z2P:OK; RG1:OK; RG2:OK;	1520, Z1P:OK; Z2P:OK; RG1:OK; RG2:OK;	First Row setting ok; Z4P:OK; RG4:OK;	Second Row setting error; Z1MAG:OK; XG1:OK;	error:1; Z1ANG:OK; XG2:OK;	Checked:18; R_XG4:0.20,XG4:0.19; R_XG4:電驛XG4設定值 XG4:標置檔案XG4標置值	Total error:1; ZOANG:OK; Z1MG:OK;	Total checked:18; KOM1:OK; Z2MG:OK;	2018/10/17 08:00 KOAI:OK; Z4MG:OK;			
第二個電驛核對結果	中科· 1680, ZIP:OK; Z2P:OK; RG1:OK; RG2:OK;	1680, Z1P:OK; Z2P:OK; RG1:OK; RG2:OK;	First Row setting ok; Z4P:OK; RG4:OK;	Second Row setting ok; Z1MAG:OK; XG1:OK;	error:0; Z1ANG:OK; XG2:OK;	Checked:18; R_XG4:電驛XG4設定值 XG4:標置檔案XG4標置值	Total error:1; ZOANG:OK; Z1MG:OK;	Total checked:36; KOM1:OK; Z2MG:OK;	2018/10/17 08:01 KOAI:OK; Z4MG:OK;			
第三個電驛核對結果	中科· 1670, ZIP:OK; Z2P:OK; RG1:OK; RG2:OK;	1670, Z1P:OK; Z2P:OK; RG1:OK; RG2:OK;	First Row setting ok; Z4P:OK; RG4:OK;	Second Row setting ok; Z1MAG:OK; XG1:OK;	error:0; Z1ANG:OK; XG2:OK;	Checked:18; ZOMAG:OK; XG4:OK;	Total error:1; ZOANG:OK; Z1MG:OK;	Total checked:54; KOM1:OK; Z2MG:OK;	2018/10/17 08:01 KOAI:OK; Z4MG:OK;			
電驛無法連線不會核對	Http請求錯誤: HTTPConnectionPool(host='172.3.211.117', port=80): Read timed out. (read timeout=10) Http請求錯誤: HTTPConnectionPool(host='172.3.211.117', port=80): Read timed out. (read timeout=10)											
第四個電驛核對結果	十甲· 1530, ZIP:OK; Z2P:OK; RG1:OK; RG2:OK;	1530, Z1P:OK; Z2P:OK; RG1:OK; RG2:OK;	First Row setting ok; Z4P:OK; RG4:OK;	Second Row setting ok; Z1MAG:OK; XG1:OK;	error:0; Z1ANG:OK; XG2:OK;	Checked:18; ZOMAG:OK; XG4:OK;	Total error:1; ZOANG:OK; Z1MG:OK;	Total checked:72; KOM1:OK; Z2MG:OK;	2018/10/17 08:01 KOAI:OK; Z4MG:OK;			

(三) 表 2 中③：表示「第一列」的全部標置核對結果，若全部都正確會顯示「First Row setting ok」，若其中有一個錯誤則會顯示「First Row setting error」。

(四) 表 2 中④：表示「第二列」的全部標置核對結果，若全部都正確會顯示「Second Row setting ok」，若其中有一個錯誤則會顯示「Second Row setting error」。

(五) 表 2 中⑤：表示該只電驛標置核對後標置總錯誤數，即「第一列」標置錯誤數加上「第二列」標置錯誤數，如表 2 中⑤為「error:1」的數據 1 表示該只電驛共有 1 個標置錯誤，而該錯誤處是在第二列⑦的地方，用來統計該只電驛總共有多少個標置錯誤。

(六) 表 2 中⑥：表示該只電驛標置被核對數，如表 2 中⑥為「Checked:18」的數據 18 為該只電驛總共被核對了 18 個標置，用來統計該電驛總共被核

對了多少個標置。

(七) 表 2 中⑦：標置自動核對軟體檢查出電驛有標置錯誤時，則會將該電驛的標置設定值與標置檔案的標置值標示出來，如表 2 中⑦的「R\_XG4:0.20」表示電驛的 XG4 標置設定值是 0.20，另一個「XG4:0.19」為標置檔案的 XG4 標置值為 0.19，因兩者 XG4 標置值經軟體核對後為不一樣，所以會將這兩者的標置值分別標示出來。

(八) 表 2 中⑧：標置自動核對軟體核對標置兩者都相同時，則會將該標置標示為 OK，如表 2 中⑧的「Z4P:OK」表示電驛的 Z4P 標置設定值與標置檔案的 Z4P 標置值相同。

(九) 表 2 中⑨：若標置自動核對軟體無法連線到電驛，則會標示出無法連線的問題，並且不會將該只電驛做標置核對及統計核對錯誤數、核對數。目前標置自動核對軟體可以判斷出電驛無法連線的問題有<sup>[1]</sup>：



1. HTTP 請求錯誤。
2. HTTP 回應錯誤。
3. 網路連線錯誤。
4. 連線逾時(Timeout)。

(十) 表 2 中⑩：表示所有需核對標置的電驛完成標置核對後所有電驛總核對標置錯誤數，如共有 3 個電驛進行標置核對，假如這 3 個電驛標置核對結果分別有 1、2、3 個錯誤（即每一個電驛的⑤的數據分別為 1、2、3），則第一個電驛⑩為「Total error：1」，第二個電驛累加第一個電驛的數據使得⑩為「Total error：3」，第三個電驛累加第二個電驛的數據使得⑩為「Total error：6」，而表 2 中⑩為「Total error：1」數據 1 表示 5 個電驛經核對後總共只有 1 個標置錯誤，用來統計標置自動核對軟體於本次電驛標置核對過程中總共檢查出多少個標置錯誤。

(十一) 表 2 中⑪：表示所有需核對標置的電驛完成標置核對後所有電驛總核對標置數，如共有 5 個電驛進行標置核對，軟體對每一個電驛都核對 18 個設定值(如表 2 中⑥)，如順利完成 5 個電驛標置核對後，則表 2 中⑪的數據會顯示為 90，但因表 2 中有一只電驛軟體無法連線，故無法進行標置核對，因此不會統計該只電驛的核對錯誤數、核對數，所以表 2 中⑪的數據顯示為 72，用來統計標置自動核對軟體於本次

核對過程總共核對多少個標置。

(十二) 表 2 中⑫：標置自動核對軟體核對該只電驛標置的時間，可作為該電驛下次進行標置核對排程的參考。

### 三、使用標置自動核對軟體之核對成果

使用標置自動核對軟體核對 161kV 輸電線路保護電驛進行標置核對，其核對成果如表 3。

標置自動核對軟體共花費 160 分鐘對 161kV 輸電線路 366 只電驛共 8080 個電驛標置進行核對，核對後再確認電驛標置，共發現 58 個電驛標置錯誤，經再次確認標置後已立即全部更改錯誤的電驛標置。

表 3 標置自動核對軟體之核對成效

電驛型式	核對電驛數量(只)	核對電驛標置數(個)	標置錯誤數(個)	核對時間(分)
D60型	133	3990	34	50
GRL-100 713P型	52	832	0	10
SEL-311L(網路直接)型	36	648	6	10
SEL-311L(2890連接)型	145	2610	18	90
總計	366	8080	58	160

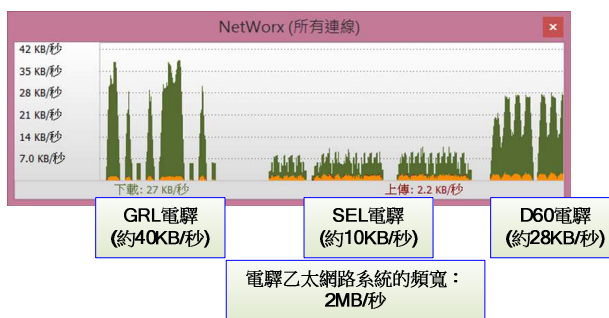


圖 9 核對各型電驛標置時的網路流量<sup>[2]</sup>

### 四、使用標置自動核對軟體時網路流量

標置自動核對軟體在逐一核對電驛標置時並不會大量佔用電驛乙太網路系統的網路流量，目前電驛乙太網路系統的最大頻寬為 2MB/秒，使用網路監視軟體量測標置標置自動核對軟體在核對電驛標置時網路即時流量為：核對 GRL-100

713P 電驛標置時流量約 40KB/秒，核對 SEL-311L 電驛標置時流量約 10KB/秒，核對 D60 電驛標置時流量約 28KB/秒(如圖 9) [2]。

## 五、標置自動核對軟體的特色

使用 Python 程式語言自行開發的標置自動核對軟體，目前針對 161kV 輸電線路保護電驛核對電驛標置，該軟體有以下特色：

- (一) 自動找出有問題的電驛標置。
- (二) 核對後有錯誤的電驛標置會將電驛的標置設定值與標置檔案的標置值標示於表單內。
- (三) 可統計電驛標置錯誤數、總核對電驛標置錯誤數、電驛標置核對數及總核對電驛標置數。
- (四) 可在電驛資料檔案內建立「多筆」電驛資料，交由標置自動核對軟體「逐一」核對電驛標置。
- (五) 標置自動核對軟體可用在 GRL-100 713P、SEL-311L(網路直接)、SEL-311L(2890 連接)、D60 電驛不同廠牌型式的電驛。
- (六) 核對結果表單內會標示每一個電驛核對的日期與時間，可作為電驛下次進行標置核對排程的參考。
- (七) 不同型式的電驛使用不同的密碼，密碼錯誤將無法執行軟體。
- (八) 當軟體無法連線到電驛時將不會執行標置核對，並將無法連線的問題顯示在表單內。
- (九) 取出的電驛標置設定值不會儲存在資料庫內，標置完成核對後會立即將取出的標置設定值

刪除。

- (十) 標置自動核對軟體在逐一核對電驛標置時不會佔用電驛乙太網路系統的大量網路流量。
- (十一) 標置檔案內電驛標置不存在或電驛資料檔案有錯誤時，本軟體會在表單內將該只電驛列出「Please check the setting page !!」及「Please check the [ \*\*\* data input.csv ] file !!」(\*\*\* 為電驛型式)的功能，此時需檢查該兩個檔案是否有錯誤的資料。
- (十二) 標置自動核對軟體若能連線到電驛，但無法將電驛內標置設定值取出時，軟體會在表單內將該只電驛列出「This relay can not show the settings.」及「Please check this relay !!」的功能，此時需檢查該只電驛是否有問題。
- (十三) 標置自動核對軟體為使用 Python 程式語言自行開發的軟體，不需另外加裝任何的硬體，也不需支出任何的費用，節省公司預算。

## 肆、結論

在大數據資料處理的時代，若仍用人工進行資料整理及核對，將花費大量的人力及時間，並讓工作變得沒有效率，若能編寫程式交由電腦執行單調無聊且為大數據資料的整理及核對工作，將會為公司節省大量的人力、時間及金錢，並且能提高工作效率。

大數據且單調的電驛標置除了由『人』核對外，本次使用 Python 程式語言自行開發標置自動核對軟體，讓電驛標置可以交由『電腦』再次核對，核對後結果輸出表單檔案交由電驛人員再次確認及修正，以提高電驛標置的正確性，降低因電驛標置錯誤而造成停電範圍擴大的發生率，本次軟體花費 160 分鐘共檢查 366 只電驛，共核對 8080 個電驛標置，核對後再與電驛標置組確認電驛標置，共發現 58 個電驛標置錯誤，經確認後已立即全部更改錯誤的電驛標置。

標置自動核軟體為使用 Python 程式語言自行開發的軟體，不需另外加裝任何的硬體，公司也不需支出任何的費用，節省公司預算，本案軟體開發已順利使用在 161kV 輸電線路保護電驛上，未來將持續開發 345kV 輸電線路保護電驛標置自動核對軟體，以避免有電驛標置錯誤的潛在問題。

## 伍、參考文獻

- [1] 陳允傑，Python 資料科學與人工智慧應用實務，初版，台北市：旗標科技股份有限公司，2018 年 6 月。
- [2] SoftPerfect Pty Ltd. “NetWorx User Manual”，Commodities Now Sep. 2018, [Online]. Available: <https://www.softperfect.com/products/networx/manual/graph.htm>

# 台電變電所儲能系統規範編訂規劃實務

台電輸工處 蔡耀鎧

## 摘要

台電公司配合政府能源政策，再生能源在 2025 年 PV 裝置容量將達 20GW、風力發電達 7GW，當這類間歇性能源的滲透率偏高時，電力系統需採取必要的措施來維持系統慣量以穩定供電。儲能系統是利用各種電能、磁能、機械能及化學能等能量儲存技術，將所儲放之能量依需求即時供應。儲能系統具削峰填谷、再生能源輸出平滑化、時間電價套利與調頻輔助服務等應用，各項應用又與儲能系統規劃配置息息相關，因此對特定目的而設置的儲能系統，需有相對最佳的配置規劃，如成本、裝置容量、用地面積使用率等考量。

本文內容主要分享訂定本公司變電所儲能系統設備規範實務經驗，其中包含相關設定之合理性及可操作性論述。

## 壹、前言

儲能技術包含熱儲能、電化學儲能(電池)、抽蓄儲能、超導儲能及超級電容等相關儲能材料及技術，依其不同的功率規模、反應時間、壽命及效率適用於不同的需求應用。台電公司發展儲能系統藍圖為優先建置穩定系統用儲能系統，亦即應用功能著眼於調頻輔助服務，未來發展削峰填谷用電池來改善鴨子曲線。因此儲能系統採用適合前述應用模式之鋰離子電池儲能系統，並依此制定相關設備規範。

台電公司規劃於變電所自建鋰離子電池儲能系統(後稱 ESS, Energy Storage System)主要提供調頻輔助服務，為此訂定相關規定及採用相關國際標準認證，另為使各自建案場設備一致，採用設備標準材

規編篆，對個別案場依其併網層級、用地大小、裝置容量等需求，定訂特別說明來規範應辦事宜。

本次台電自建 ESS 推動進程規劃如下：

- 一、參考台電儲能系統研究建置案規範。
- 二、搜集國內外 ESS 廠家設備規格。
- 三、編訂變電所儲能系統規範。
- 四、訂定個別案場建置特別說明。
- 五、辦理招標。
- 六、設備交貨及現場安裝。
- 七、系統測試、驗收及加入系統運轉。

## 貳、設備規範設定

大部分儲能系統所含重要組件如電芯、電池模組、電池櫃、電力轉換設備(PCS)、儲能管理系統(ESMS)非由同一設備製造商一條龍式生產完成，而是經由系統整合過程，採用不同供應商設備，依需求規劃配置而成。因此設備規範須以符合設置 ESS 的目的及功能需求而定，以下對幾點規範設定說明。

### 一、儲能系統電池充放電率(C-rate)

電池充電及放電的速率是由充放電率(C-rate)決定，電池的額定容量一般是指在 1C-rate 充放電率下該電池可提供的電量，例如 1Ah 額定電量(capacity)的電池應可以 1 安培(A)放電 1 小時(h)。高功率需求設計的電池是指該電池能以 1C-rate 以上充放電並持續一段時間。

電池的充放電率(C-rate)可以理解為該電池安全可連續充或放電的倍率，如 2C-rate 表示該電池可在 2 倍額定電流下充放電而安全無虞。C 值計算方式如下：

$C=A/Ah=VA/VAh=W/Wh$ ，其中 h 為 1 小時。

電池在放電時其開路電壓會隨著放電時間而下降，當電池開路電壓下降至截止電壓時停止放電，因此在負載固定功率需求下，其放電電流會隨之增加。由此可知電池在充放電過程中 C-rate 並非一固定值，亦非設定值。

儲能系統在功能需求描述一般為在多少的額定功率下持續多少時間，並規定充放電斜率（Charging/Discharging Ramp Rate）與反應時間。在此一描述下，電池可符合要求的 C-rate 並非唯一。儲能系統電池額定容量(capacity)為在前述功率與持續時間之乘積 Wh 數。例如 10MW 額定功率持續 30 分鐘，此時儲能系統電池額定容量為  $10MW*0.5h=5MWh$ ，此容量即為滿足額定功率及持續時間下之最小電量，若 ESS 僅採最低限度容量配置，此時選用電池組充放電率須至少為  $10MW/5MWh=2C-rate$ 。

以相同功率能量比需求，投標廠商如採 High C-rate 電池組規劃，相較於採低 C-rate 電池組而言，其電池數量僅需滿足最低儲電量需求即可，以低 C-rate 電池組規劃，則需視其充放電率倍數提升儲電量以滿足功率需求，如前例若採用 1C-rate 電池組時，最低電量就不得低於 10MWh。另一方面，C-rate 高電池組在深充電及深放電時(AFC 功能多為短時間輸出/輸入高功率)衰減情形比低 C-rate 電池組嚴重，若為符合保固條件 5 年 SOH(Status of Health)規定，投標廠商就得多建置電池組提高儲電量(即 ESS 標稱電量)以符合保固規定。高 C-rate 電池組預備電量比率將比低 C-rate 電池組多。因此承商採何種 C-rate 電池組配置需從電池配置數及價格差異性等參考指標規劃。

變電所儲能系統設備規範不限定承商

須提供何種 C-rate 的電池，因為 C-rate 的高低並不表示於電池的良莠，而是說明其適用之安全運行情境。High C-rate 的電池價格成本較高，其為配合高充放電率衍生的安全設計相對亦比較複雜，因其高功率充放電下其衰減程度高壽命相對較短，但優勢為在相同額定功率及持續時間需求條件下，其設置面積需求較小。

台電儲能系統建置所需之功能現階段著重於自動頻率控制(AFC)，相對於削峰填谷的能量型應用，其儲電量僅要求於規定時間內提供規定功率的輔助服務。以東林 P/S 儲能系統需求 10MW/5MWh 為例，需設置至少可以 10MW 功率充電 5 分鐘及放電 15 分鐘電量儲放量之電池系統，就採購而言，承商若提供 10MWh 的電池儲量，可以認為已優於 5MWh 電池儲量規定，且以 1C-rate 充放電亦可達成 AFC 反應時間及持續時間需求，故此項是可以接受。

台電儲能系統購置以財務最有利標辦理採購，投標廠家自行規劃儲能系統之規格與配置。因儲能系統係以 2:1 之功率電量比來評估在變電所有限的面積內，可設置之最大裝置量，所以辦理評選時將以設置面積使用率視為重要的評選指標。面積使用率越低的規劃，對後續因應台電電力系統需擴建儲能系統時越有利。

電池價格隨著技術成熟及產能提升，可以預見的是其價格將隨時間推延而降低，以 2:1 功率能量規劃電池購置量，以時間換取建置成本，對未來建置削峰填谷之能量型應用 ESS，在總購置成本可降低。

綜上，以東林 P/S 建置 10MW/5MWh ESS 為例，投標廠商至少應提供 5MWh 以上的電池組並能配置於指定的場域內，且其面積使用率越低者越佳。



## 二、儲能系統安全標準規定

因目前 CNS 尚未有儲能系統相關安全規定，故規範以 IEC 或 UL 認證來確立儲能系統之電芯、電池模組、電池管理系統、電池櫃、電力轉換系統及電池貨櫃符合安全需求(如圖 1)。另儲能系統整體安全性部分，現階段僅 UL9540 具相關規定且可進行第三方驗證作業，因此得標廠家需完成 UL9540 現地驗證，以證明符合安全需求，俟 IEC 63056 公佈後且有第三方實驗室可進行認證時，規範將修訂增列相關規定。

儲能系統有關係統安全驗證目前採 UL9540 規定，驗證相關應辦事項由得標廠商於得標後自行接洽相關實驗室(目前有 UL 台灣公司可提供驗證)。因廠商於投標時於服務建議書所提有關儲能系統重要組件如電芯等安規，只須提供符合規範規定之國際標準相關佐證資料即可接受，惟於進行 UL9540 驗證時，對於非具備 UL 安規認證之重要組件，由 UL 公司進行安規差異性評估。因此若於現場安裝完成後始進行 UL9540 驗證事宜恐需 6~7 個月的時間，故 UL 公司建議廠家得標後即可接洽 UL 公司，提供相關儲能系統重要組件相關資料進行前期評估其差異性及需補證事項，如此亦可避免在安裝完成現地驗證時發現不可逆的情形致無法驗收。

變電所技術規範預定採用之儲能設備及系統安全標準

電芯(CELL) :	電池模組(Battery Module) :	電池櫃(Battery Pack / Rack) :	電力轉換系統(Power Converter System) :	儲能系統(Energy Storage System) :
UL 1642	UL 1973	UL 1973	UL 1741	UL 9540
IEC 62619	IEC 62619	IEC 62619	IEC 62109	IEC 63056(發展中、預定 2020年公布)
			IEEE 1547	

電池管理系統(BMS) :
UL 991 & UL 1998
IEC 61508 & IEC 60730


當電池進行航空、水上、公路或鐵路運輸時，另須通過聯合國危險貨物運輸專家委員會編寫的《試驗和標準手冊》(Manual of Tests and Criteria) 中國於鋰電池檢測第38.3節各項安全測試，以確保運輸安全。

圖 1 ESS 採用相關國際標準

## 三、儲能管理系統需符合 IEC 61850 標準

台電為推動智慧變電所，新建變電所皆以 IEC 61850 監控架構規劃監控系統，既設運轉中變電所亦逐步將 RTU 及 LOCAL SCADA 監控架構汰換升級。變電所儲能系統為利於爾後變電所監控架構汰換後可直接介接交換資訊，因此規定儲能管理系統(ESMS)需符合本公司 IEC 61850 監控架構，而相關設備規範及建置設計皆須依變電所 IEC 61850 監控架構規範相關規定如 PRP 備援設計等辦理，另亦需配合通過台電 IEC 61850 系統及 IED 實體驗證之廠商及供應商建置相關設備。另於調度中心尚未升級 IEC 61850 監控架構前，需設置 Gateway 將相關監控資料以 DNP 3.0 標準傳送。

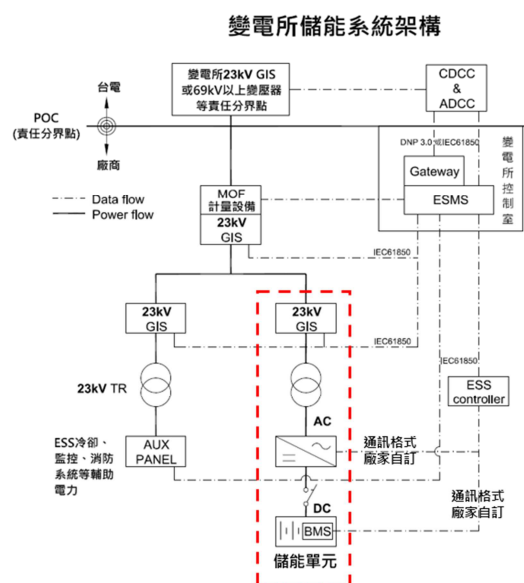


圖 2 變電所儲能系統架構圖

## 四、AFC 功能參數設定

電力系統運轉原則是發電根據負載變化調整出力，發電端可能因為機組突然故障解聯或再生能源因其間歇性等因素，導致供需兩端不可預測的不匹配，使得發電出力瞬間或多或少於負載需求。

同步發電機是以轉子產生旋轉磁場，定子切割磁場來發電，頻率是與轉子速率

一致。當發電瞬間出力多於負載時(如負載被切離)，系統會把多餘的能量對發電機組轉動勢能累加，導致發電機轉速突然增加此時系統突升；當發電瞬間出力少於負載時(如機組跳機)，系統會從發電機組轉動勢能中汲取能量導致其轉子轉速下降，此時頻率突降。

負載端一般不會因應電力系統頻率去改變用電行為，風力發電及太陽光電等電力能源又不具系統慣量，而當這些不提供系統慣量的再生能源突然失去時，同步發電機以其勢能支撐系統頻率的條件更加嚴峻。因此，台電必需採取除 AGC 外其他的手段如 FRR 及 AFC 來保護系統頻率不致崩潰。

台電對低頻保護設下幾道防線，分別為 59.7Hz FRR 需量反應動作、59.5Hz AFC 全功率放電以保護最後防線 59.2Hz 低頻電驛動作。當事故發生 30 秒內有止住頹勢頻率不再下降時，利用調頻備轉輔助服務(含 AGC 升載)於 3 分鐘內協助頻率緩步回升。

儲能系統 AFC 功能在前述防衛線扮演重要的角色，除此之外亦規劃額外電量來協助補充系統頻率返回 60Hz 基準所需電能，以下就充放電時間及不動帶設定說明：

#### (一)、充放電時間

台電設置儲能系統提供調頻輔助服務，具快速反應備轉及調頻備轉輔助，在短時間抑制快速變動後將具持續放電，至少放電時間 15 分鐘以上；另為因應發電量大於負載需求造成頻率陡升，ESS 需具備可充電空間，規範設定全功率可充電持續 5 分鐘以上，因此轉儲能系統平時儲電水平需維持在 SOC(Status Of Charge)75%，如圖 3。

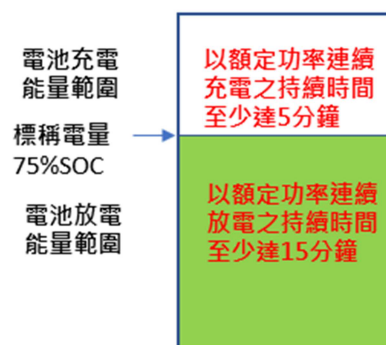


圖 3 充放電時間

#### (二)、AFC 頻率與功率設定

依據頻率保護維持策略，儲能系統不動帶及反應頻率設定如下(詳圖 4)。

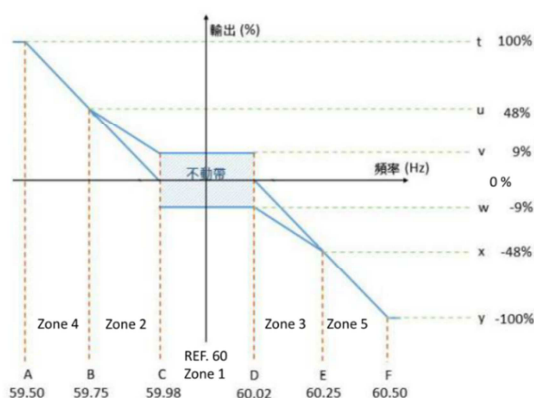


圖 4 AFC 頻率與功率設定

##### (1) Zone1 不動帶

系統頻率介於 59.98Hz~60.02Hz 間時，儲能系統可依需要逕行充電/放電至設定 SOC 初始值 75%，惟充電/放電功率不超過不動帶操作功率，即此區域操作功率為-9%~+9%間隨 ESS 儲電情況浮動調整。

##### (2) Zone2 第一段反應放電頻率

當系統頻率低於 59.98Hz 時，無論前一刻 ESS 是處於充電或放電模式，立即啟動放電功能，並需在頻率降至 59.75Hz 時其放電功率需達額定功率之 48%，亦即此段放電速率為

- 1.696%~2.087% per 0.01Hz。
- (3) Zone3 第一段反應充電頻率  
當系統頻率高於 60.02Hz 時，無論前一刻 ESS 是處於充電或放電模式，立即啟動充電功能，並需在頻率升至 60.25Hz 時其充電功率需達額定功率之 48%，亦即此段充電速率為 1.696%~2.087% per 0.01Hz。
- (4) Zone4 全輸出反應頻率  
當系統頻率越過 59.75Hz 並持續降低時，ESS 放電功率在系統頻率降至 59.5 Hz 時需達 100% 額定功率。此區域放電速率為 2.08% per 0.01Hz。
- (5) Zone5 全輸入反應頻率  
當系統頻率越過 60.25Hz 並持續上升時，ESS 充電功率在系統頻率上升至 60.5 Hz 時需達 100% 額定功率。此區域充電速率為 2.08% per 0.01Hz。

## 參、結語

- 一、單電池其電池容量以 Ah 為計算單位，當其組成電池組時，電池容量應考慮為電池組可容納的功，即功率與時間的乘積，以 Wh 為計量單位。儲能系統與一般手機電池、行動電源等電量考量並不同，對系統提供明確服務而言，電池的充放電率(C-rate)在電池壽命條件允許下，並非屬可限定的條件，因不同的電量(Wh)及充電率的組合，皆可達到需求的功率及反應時間。差異在限定最低電量設定後，採用充放電率較低的電池組設計時，將設置較多數量的電池，其用地面積需求較大，且當電池價格與 C-rate 非線性正比時，C-rate 較低的

電池組儲能系統配置成本並不一定具優勢。

- 二、儲能管理系統導入 IEC 61850 監控架構，除與台電公司目前建置智慧變電所推動方向接軌，將來在資料介接、大數據分析及 AI 導入等應用提供良好的基礎。
- 三、目前電池成本於儲能系統建置中佔比極高，利用時間換取建置總成本降低，以現階段急迫需求設計規劃儲能系統，可取得較佳的性價比，將來削峰填谷應用之能量型儲能系統建置時應較現階段更具可行性。

## 肆、參考文獻

- [1] 李清吟譯，電力系統分析，東華書局，2001 年。
- [2] 台電公司系統規劃處，台電儲能系統規劃簡報，2019 年。
- [3] 黃志高，儲能原理與技術，第 1-17 頁，2018 年。
- [4] 行政院經濟部能源局，「智慧電網總體規劃方案核定本」，2012 年 9 月 3 日。
- [5] IEC 61850-1, “Communication networks and systems for power utility automation – Part 1: Introduction and overview,” 2013.
- [6] IEC 61850-5, “Communication networks and systems for power utility automation – Part 5: Communication requirements for functions and device models,” 2013.
- [7] D. Von Dollen, “Implementing the IEC 61850 Substation Automation Standard,” Electric Power Research Institute technical update report, USA, August 2015.

# 應用深度學習開發變電所工程最佳排程及 施工管控系統平台

台電公司輸變電工程處南區施工處 林正義

## 摘要

為了提升電力品質可靠性及提高備轉容量重要性，台電公司將陸續啟動再生能源加強電力網、區域電網、變電所整所改建計畫及電力設備汰換工程等，惟考量每一類型工程不盡相同，再加上工程面規劃複雜，而導致相關配合工作增多及施工工期延長，無法使工程如質如期加入系統，必須研擬因應對策改善工程延宕之課題，因此導入人工智慧深度學習之演算法，首先收集歷史工程資料，再利用大數據資料進行訓練，經訓練學習後產生深度類神經網路模型，計算出不同類型工程之最佳排程，將該模型納入由 Visual Basic 軟體開發人機介面系統中，並結合 Google 地圖服務之功能，以智慧搜尋變電所施工位置及周遭環境，以及該變電所施工圖面、工程內容、工程進度、接收單位等介面資料加以彙整連結，整合一套多功能系統平台架構，能夠快速查詢及管控不同階段工作項目及自動更新工程資料庫，爰此，對變電所工程相關作業項目提出一種新的創新管控方法，改革目前作法，藉此提升公司工程品質及施工效率。

## 一、前言

台電公司推動「第七輸變電計畫」之新、擴建變電所之相關工程已逐年減少，預計 110 年該計畫將結束，進而取代的是考量變電所電力設備年限已到，陸續啟動之專案計畫，如變電所整所改

建、區域電網，中壓 MCSG 汰換工程，以及配合政府非核家園政策，本公司積極推動再生能源加強電力網，再加上更新各發電廠輸電線，需興建變電所開關設備擴充設備工程。因此工程量增多，且配合廠家需求期限內趕辦工程，惟人力無法及時補充，除了想辦法縮短規劃設計、工務發包需求人日外，最後還必須壓縮施工階段人日，因此為避免趕工而造成工安事件，必須有效管控施工步驟來縮短作業時程，以解決工程問題，讓工程如質如期加入系統。

由於目前變電所施工流程，依照工程不同類型，其施工流程不盡相同，除了參考台電公司自訂相關施工準則[1]外，需參閱變電所相關設計圖面，再配合其他技術文件，以及連繫維護單位辦理驗收、會勘等作業流程，雖然大部分作業流程均已建立 SOP 制度，一旦遇到突發狀況會導致工程延宕加入，因此著手建置即時工程進度管控平台就成為當前很重要課題。

首先規劃新擴建工程，利用新技術深度學習演算法求得最佳工程排程，再將上述問題使用 Visual Basic 軟體開發人機介面系統平台，並納入 Google Maps 地圖服務之功能，有效解決施工上需配合現場勘查相關作業之困擾，該系統不但能顯示各變電所工程設計地圖，並藉由智慧搜尋功能到資料庫內選取相關技術文件，以供工務段檢驗員參考及會勘，解決施工的問題，並縮短施工時間，同時整合設計人員與現場檢驗員之間介

面，達到提升施工的品質。

另外，為了自動更新資料庫，加入網路雲端平台，將該系統整合一套多功能架構(包含 Google Maps、工程內容、工程進度、工程採購發包案、技術文件、聯絡單位及相關圖面等資料)，達到管控變電所工程施工作業，爰此，對變電所工程監控管理作業提出一種新的創意方法，改革目前作法，提升施工品質及效率。

## 二、現況檢討

目前台電公司之變電所工程類型可分為專案計畫、一般建築及設備計畫(NPC)、再生能源、電力設備汰換及電驛盤汰換等工程，並依照工程類型進行規劃設計、工務及施工之流程，因此第一階段設計規劃完成後，經交辦給工務部門來辦理第二階段之編製工作單及發包圖說稿完成後，再進行第三階段將相關圖面及工作單移給工務段辦理開工事宜，後續再依照工程進度開之器材用料單，由於變電所工程內容規模皆不盡相同，因此依照該工程加入系統時程來管控大項設備進場安裝時程，惟大項電力設備進場施工過程中所需人日皆不同，為利工程順利進行，需藉由整合變電所相關工程資訊來提升施工效率，讓變電所工程能夠如質如期加入系統，因此需思考如何有效管理工程內容、工程進度、採購發包、器材安裝過程等作業，為目前檢討課題，故依序整理出變電所工程施工中須配合工作項目如下所示：

- (一) 依照不同類型變電所新擴建工程，首先掌握工程內容，如需增設幾台主變及擴充幾檔線路檔位，以及後續規劃設計及辦理工務事宜。
- (二) 管理變電所工程進度之排程，包含規劃設計圖面、大項設備籌購時

程，工作單編制、發包圖說稿圖面、開用料單、設備進場安裝及加入系統等時程。

- (三) 隨時掌握工務段施工畫面，俾利有效監控工程進行各階段項目，即時管控施工步驟是否與圖面規劃一致。
- (四) 整合變電所相關工程之設計圖面及文件，以便提供工務段施工依據，以及事先準備該變電所工程所需器材及電纜數量，避免施工過程中缺少器材數量，延宕變電所加入時程。
- (五) 變電所工程完工後，需要聯繫維護單位進行會勘及驗收工作，協商彼此間加入系統分工介面，讓變電所工程如質如期加入系統，因此與維護單位之間聯繫顯得非常重要。

## 三、深度學習

深度學習為目前人工智慧技術中，成長最為快速的領域，它為機器學習之分支，並使用多層結構與多重非線性轉換，以對大量資料進行數據特徵吸收，因而加以訓練學習產生有效的深度學習模型。目前常見的架構包括多層感知器(Multilayer Perceptron)、深度神經網路(Deep Neural Network, CNN)、卷積神經網路(Convolutional Neural Network, CNN)。在深度學習過程中，其即經由多層之隱藏層佈建及倒傳遞演算法加以組織，並輔以激發函數之助，因而產生最佳深度學習網路架構，可適用於數據分類及最佳化之工業應用，而本文即將此技術嘗試導入變電所工程設計及施工項目之排程規劃，期望能提供另一作業思維，並有助於加速完工而如期加入系統。



(一)循環神經網路(Recurrent Neural Network, RNN)

神經網路中針對時間序列問題探討時，常係依賴前一筆資料計算進行下一筆資料的模型建立，而循環神經網路(Recurrent Neural Network, RNN)即常被採用作為工具輔助。此技術係將序列中的每一單元進行共享權重之操作計算，因此具有時變之記憶功能，惟當多層網路進行學習時，其倒傳遞方法在進行多層誤差傳播時，可能產生梯度發散問題，推論謬誤情形仍可加以改善。圖 1 為神經網路示意圖，神經網路為 S 通過讀取某個時間(狀態)的輸入  $X_t$ ，然後輸出一個值  $O_t$ ，循環可以使得信息從當前時間步驟傳遞至下一步時間步驟。這些循環使著 RNN 可以被看做同一網路在不同時間步驟地多次循環，每個神經元會把更新的結果傳遞給下一個時間。

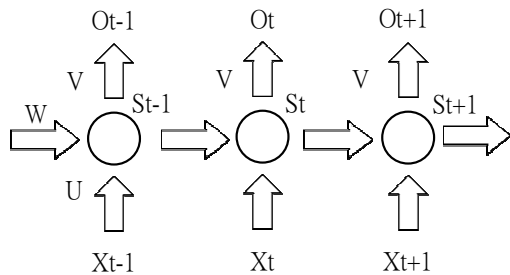


圖 1 循環神經網路示意圖

- X：神經網路的輸入
- O：神經網路的輸出
- U、V、W：神經網路之參數
- S：隱藏狀態，代表神經網路的記憶

(二)延長型短期記憶神經網路

延長型短期記憶神經網路(Long short-term memory, LSTM) 是一種循環神經網路，適合處理數據分類以及時間數據預測問題，並成功應用於手寫辨識、語音辨識、圖像翻譯，而在電力系統研究上，亦已在負載預測上獲得良好佐證。

此方法與循環神經網路不同之處，乃在於延長型短期記憶神經網路加入了三個控制閘門(gate)機制，用於控制神經元(neuron)狀態，以及增刪神經元內之蘊含資訊，因而可用來記憶先前資料內容，如圖 2 所示，此三個閘控機制分別為輸入閘、遺忘閘與輸出閘。經由此三個閘控機制之輔助，可將資料重要特徵加以保留，確使特徵資料在多層神經元計算時不會流失，因而可增加網路訓練後之強健性。

本文在評估變電所工程作業排程上，採用人工智慧深度學習演算法協助規劃。深度學習過程乃經由多層隱藏層佈建及倒傳遞演算法加以組織，並輔以激發函數之助，可過濾掉不適合之資料，因此適用於數據分類應用，而本文即將此技術嘗試導入以預測各工程之工期最佳化，期望提供另一工程管控之應用思維。本文在深度學習探討中[6]-[8]，將應用延長型短期記憶神經網路模型，茲將此方法敘述如下：此神經網路之神經元狀態主要利用三個閘控機制進行控制，分別為輸入閘、過濾閘及輸出閘，而藉由此控制架構，神經網路在傳遞神經元資料的過程中，得以將更早之前的預測數據加以保留，並將不重要資訊予於刪除，以強化整體學習效果。

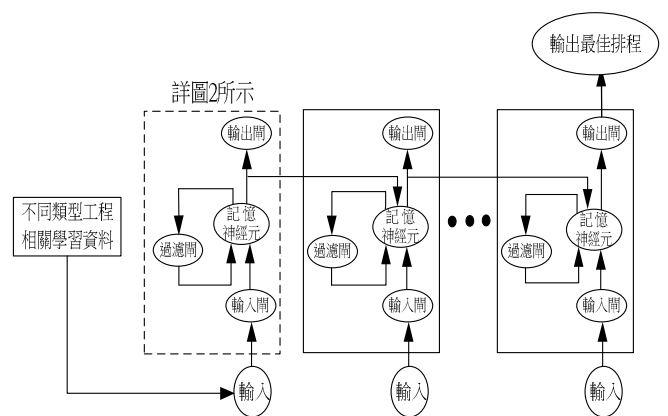


圖 2 延長型短期記憶神經網路示意圖

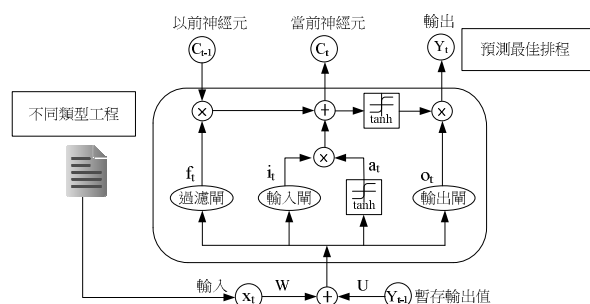


圖 3 延長型短期記憶神經網路個體模型

圖 3 為圖 2 之某一個神經網路個體示意圖，由圖 2 可知，此延長型短期記憶神經網路之輸入閘  $i_t$  乃用於決定目前資料是否加入內部神經元，而過濾閘  $f_t$  之運算則是用來決定是否刪除神經元中較不相關的訊息，輸入閘及過濾閘之輸出分別列式如下：

$$i_t = \tanh(W_i x_t + U_i Y_{t-1} + b_i) \quad (1)$$

$$f_t = \tanh(W_f x_t + U_f Y_{t-1} + b_f) \quad (2)$$

上式之  $x_t$  為在時間  $t$  時之輸入神經元值，在本研究中，此即為當前輸電系統併入再生能源裝置容量資料， $Y_{t-1}$  為暫存神經網路輸出， $W_i$ 、 $W_f$  及  $U_i$ 、 $U_f$  皆為權重，其中輸入閘及過濾閘常加上大小為 0.1 的偏移量  $b_i$  及  $b_f$ ，以避免計算過程發散，至於各輸入與輸出值相乘權重相加後，經由非線性激發函數進行傳輸，於是獲得輸入閘及過濾閘之輸出如下：

$$o_t = \tanh(W_o x_t + U_o Y_{t-1} + b_o) \quad (3)$$

上式為輸出閘使用  $Y_{t-1}$  及  $x_t$  作為輸入值，在輸入值相乘  $W_o$  及  $U_o$  權重後，加入大小 0.1 的偏移量  $b_o$ ，再經由非線性激發函數決定輸出值為 0 或 1。當輸出值為 0 時，代表不輸出任何神經元，而輸出為 1 時，則代表輸出全部神經元。

此外，圖 2 之  $a_t$  為暫存神經元，主要在於將輸入值  $x_t$  與前一層之輸入值  $Y_{t-1}$  暫存，並透過輸入閘將所有的資料輸入至當前的神經元狀態，而  $C_t$  則代表當前神經元

狀態，該值為原本神經元狀態經過過濾閘後加上暫存神經元  $a_t$  通過輸入閘所得，最後輸出值  $Y_t$  計算如下：

$$Y_t = o_t * \tanh(C_t) \quad (4)$$

上式之輸出值  $Y_t$ ，在本文代表神經網路推論之變電所新擴建工程之最佳排程。換言之，本文神經網路乃利用閘控機制及配合輸入資料與權重計算之後，完成延長型短期記憶神經網路模式之建立，亦即將可行資料設法留在神經網路內，並將不適用之資料經由過濾閘加以刪除，因此達成延長型短期記憶神經網路之計算再生能源加強電力網、區域電網及變電所整所改建等複雜工程面，評估出最佳工期以配合台電公司指定期限加入系統之決策參考。

#### 四、開發系統平台

首先針對變電所工程種類分為 6 類，如年度工程、專案工程、NPC 工程、再生能源、代辦工程及電驛盤汰換工程等型式，而且變電所位置皆分布於不同供電轄區，每個變電所工程內容、工程進度、工程採購發包案、施工畫面等資料及維護部門皆不同，為提升經辦人員管控能力，需彙整出變電所相關之圖面、維護單位聯繫管道及設計準則等資料，而建立相關資料庫，以供使用者查詢。依照目前檢討狀況，分別找出解決方式並開發其系統，其步驟如下所示：

##### (一) 建置資料庫

考量變電所工程數量繁多，初步規劃系統平台架構分為年度、專案、NPC、再生能源、代辦、電驛盤等工程類型，並利用微軟套裝軟體 OFFICE 之 EXCEL 表格彙整出不同變電所工程相關資訊，

包含各轄區變電所經緯度、變電所地址、維護單位、連絡市話及微波、工程內容、工程進度、工程採購發包案及施工畫面等資料，並分門別類建置資料庫，詳圖4~9。

年度	變電所	緯度	經度	地址	維護單位	市話	微波
108年	大龍山	23.45153	120.3135	嘉義縣太僕市新里橋子頭20號	嘉義供電區管運處-安南維護課	(05)9713300	96-75322
	二甲北	22.93665	120.2775	台南市歸仁區中正路二段	嘉義供電區管運處-總務維護課	(06)9332263	97-72323
	新化北	23.05669	120.2915	台南市新市區永興路永新街50號	嘉義供電區管運處-台南維護課	(06)5987834	97-72323
	小北	23.00029	120.2201	台南市北區海安路三段122號	嘉義供電區管運處-台南維護課	(06)5287112	96-26310
109年	南港	23.00366	120.2226	台南市北區仁愛里12鄰東豐路25巷11號	台南區管運處-變電課	(06)216-011轉231	96-84233
	口寮	22.99071	120.7411	雲林縣口寮鄉	雲林區管運處-變電課	(06)7597934	97-72791
	新化北	23.05669	120.2915	台南市新市區永興路永新街50號	嘉義供電區管運處-台南維護課	(06)5987834	97-72323
	小北	23.00029	120.2201	台南市北區海安路三段122號	嘉義供電區管運處-台南維護課	(06)5287112	96-26310
110年	五甲北	22.5919	120.3312	高雄市長岡區大寮街110號	高屏供電區管運處-五甲北維護課	(07)8212796	97-04262
	嘉義北	23.35324	120.4886	嘉義縣新港鄉三興村陳厝寮50號	嘉義供電區管運處-嘉義北維護課	(05)272-0060	96-71322

圖 4 建立年度變電所工程相關資訊

年度	專案	緯度	經度	地址	維護單位	市話	微波	工程內容
108年	大龍山	23.45153	120.3135	嘉義縣太僕市新里橋子頭20號	嘉義供電區管運處-安南維護課	(05)9713300	96-75322	1. 設備、機具及材料檢查 2. 設備、機具、材料、作業之安全 3. 設備、機具、材料、作業之安全 4. 設備、機具、材料、作業之安全
109年	南港	23.00366	120.2226	台南市北區仁愛里12鄰東豐路25巷11號	台南區管運處-變電課	(06)216-011轉231	96-84233	1. 設備、機具及材料檢查 2. 設備、機具、材料、作業之安全 3. 設備、機具、材料、作業之安全 4. 設備、機具、材料、作業之安全
110年	五甲北	22.5919	120.3312	高雄市長岡區大寮街110號	高屏供電區管運處-五甲北維護課	(07)8212796	97-04262	1. 設備、機具及材料檢查 2. 設備、機具、材料、作業之安全 3. 設備、機具、材料、作業之安全 4. 設備、機具、材料、作業之安全

圖 5 建立專案變電所工程相關資訊

年度	專案	緯度	經度	地址	維護單位	市話	微波	工程內容
108年	大龍山	23.45153	120.3135	嘉義縣太僕市新里橋子頭20號	嘉義供電區管運處-安南維護課	(05)9713300	96-75322	1. 設備、機具及材料檢查 2. 設備、機具、材料、作業之安全 3. 設備、機具、材料、作業之安全 4. 設備、機具、材料、作業之安全
109年	南港	23.00366	120.2226	台南市北區仁愛里12鄰東豐路25巷11號	台南區管運處-變電課	(06)216-011轉231	96-84233	1. 設備、機具及材料檢查 2. 設備、機具、材料、作業之安全 3. 設備、機具、材料、作業之安全 4. 設備、機具、材料、作業之安全
110年	五甲北	22.5919	120.3312	高雄市長岡區大寮街110號	高屏供電區管運處-五甲北維護課	(07)8212796	97-04262	1. 設備、機具及材料檢查 2. 設備、機具、材料、作業之安全 3. 設備、機具、材料、作業之安全 4. 設備、機具、材料、作業之安全

圖 6 建立 NPC 變電所工程相關資訊

年度	專案	緯度	經度	地址	維護單位	市話	微波	工程內容
108年	大龍山	23.45153	120.3135	嘉義縣太僕市新里橋子頭20號	嘉義供電區管運處-安南維護課	(05)9713300	96-75322	1. 設備、機具及材料檢查 2. 設備、機具、材料、作業之安全 3. 設備、機具、材料、作業之安全 4. 設備、機具、材料、作業之安全
109年	南港	23.00366	120.2226	台南市北區仁愛里12鄰東豐路25巷11號	台南區管運處-變電課	(06)216-011轉231	96-84233	1. 設備、機具及材料檢查 2. 設備、機具、材料、作業之安全 3. 設備、機具、材料、作業之安全 4. 設備、機具、材料、作業之安全
110年	五甲北	22.5919	120.3312	高雄市長岡區大寮街110號	高屏供電區管運處-五甲北維護課	(07)8212796	97-04262	1. 設備、機具及材料檢查 2. 設備、機具、材料、作業之安全 3. 設備、機具、材料、作業之安全 4. 設備、機具、材料、作業之安全

圖 7 建立再生能源變電所工程相關資訊

年度	專案	緯度	經度	地址	維護單位	市話	微波	工程內容
108年	大龍山	23.45153	120.3135	嘉義縣太僕市新里橋子頭20號	嘉義供電區管運處-安南維護課	(05)9713300	96-75322	1. 設備、機具及材料檢查 2. 設備、機具、材料、作業之安全 3. 設備、機具、材料、作業之安全 4. 設備、機具、材料、作業之安全
109年	南港	23.00366	120.2226	台南市北區仁愛里12鄰東豐路25巷11號	台南區管運處-變電課	(06)216-011轉231	96-84233	1. 設備、機具及材料檢查 2. 設備、機具、材料、作業之安全 3. 設備、機具、材料、作業之安全 4. 設備、機具、材料、作業之安全
110年	五甲北	22.5919	120.3312	高雄市長岡區大寮街110號	高屏供電區管運處-五甲北維護課	(07)8212796	97-04262	1. 設備、機具及材料檢查 2. 設備、機具、材料、作業之安全 3. 設備、機具、材料、作業之安全 4. 設備、機具、材料、作業之安全

圖 8 建立代辦變電所工程相關資訊

年度	專案	緯度	經度	地址	維護單位	市話	微波	工程內容
108年	大龍山	23.45153	120.3135	嘉義縣太僕市新里橋子頭20號	嘉義供電區管運處-安南維護課	(05)9713300	96-75322	1. 設備、機具及材料檢查 2. 設備、機具、材料、作業之安全 3. 設備、機具、材料、作業之安全 4. 設備、機具、材料、作業之安全
109年	南港	23.00366	120.2226	台南市北區仁愛里12鄰東豐路25巷11號	台南區管運處-變電課	(06)216-011轉231	96-84233	1. 設備、機具及材料檢查 2. 設備、機具、材料、作業之安全 3. 設備、機具、材料、作業之安全 4. 設備、機具、材料、作業之安全
110年	五甲北	22.5919	120.3312	高雄市長岡區大寮街110號	高屏供電區管運處-五甲北維護課	(07)8212796	97-04262	1. 設備、機具及材料檢查 2. 設備、機具、材料、作業之安全 3. 設備、機具、材料、作業之安全 4. 設備、機具、材料、作業之安全

圖 9 建立變電所電驛盤汰換工程相關資訊

### (二) 利用 Visual Basic 套裝軟體

使用 Microsoft Visual Basic 6.0 套裝軟體，開發一套整合系統，主要分成六個選項(年度工程、專案工程、NPC 工程、再生能源工程、代辦工程、電驛盤工程)，並利用 VB 之內建功能下拉式選單，呈現不同變電所清單，並規劃點選某個變電所時，該系統能夠連結相對應資料庫，並將資料庫之變電所經緯度轉換為 Google Maps 的地標，透過 Google Maps 地圖服務之內建功能添加可移動的地標，以定位變電所之位置，方便經辦人員快速查詢那一所變電所工程資料，而大幅減少查詢時間，俾利了解變電所之周遭環境。

### 1. Visual Basic 6.0 軟體介紹[2-3]

Microsoft Visual Basic，它是開發 Microsoft Windows 應用程式的最快方

法，不論是對 Microsoft Windows 應用程式的專業開發者或初學者來說，Visual Basic 都是一套不可多得的快速開發應用程式。

何謂 Visual Basic？Visual 指的是開發圖形使用者介面 (GUI) 的方法。您不需撰寫大量程式碼來描述介面元件的外觀和配置，而只要把預先建立的物件添加到螢幕上的某一點即可。

Visual Basic 以原來的 BASIC 語言為基礎，做了更進一步的發展，至今包含了數百個陳述式、函數及關鍵字，其中有很多都和 Windows GUI 有直接關係。專業人員可以使用 Visual Basic 製作出任何其它 Windows 程式語言所能做到的功能，而初學者則只要掌握幾個基本要領，就可以建立實用的應用程式了。

Visual Basic 程式語言不僅只能用於 Visual Basic，包含在 Microsoft Excel、Word、Microsoft Access 及許多其它的 Windows 應用程式中的 Visual Basic Applications(VBA)，也使用了與 Visual Basic 同樣的語言。Visual Basic ScriptingEdition (VBScript) 是一廣泛使用的 scripting 語言，而它也是 Visual Basic 語言的子集合。所以學會 Visual Basic 之後，還可以應用到其它不同的領域中！

## 2.VB 規劃資通安全管控機制

為符合本公司資通安全之法規，將制定變電所工程監控圖資管理系統作業程序書供使用者操作，為避免台電公司資訊洩漏，事先依程序書步驟來申請使用者或維護者帳號，經管理員經審核通過後將申請人資料登錄資料庫(EXCEL 檔)才能使用本系統。因此規劃新視窗供使用者輸入帳號及密碼，

經由系統驗證後才能使用該系統，詳圖 10 所示。



圖 10 顯示輸入帳號及密碼視窗圖

## 3.VB 規劃變電所地理圖資系統表單

配合目前執行變電所工程，分成六個選項(年度工程、專案工程、NPC 工程、再生能源、代辦工程、電驛盤工程)，並利用 VB 之環境表單設計程式，使用下拉式選單物件[4]，呈現不同變電所工程清單，並規劃該系統點選各項工程類型，該系統能夠自動抓取資料庫(EXCEL)之相關資訊，且整合 Google Maps 地圖功能，開啟顯示該系統平台操作畫面，詳圖 11 所示。

## 4.VB 物件建構各級變電所清單

利用系統抓取已建置完成資料庫(EXCEL)之年度工程、專案工程、NPC 工程、再生能源、代辦工程、電驛盤工程等六類變電所工程清單，並於年度工程選項建置 108~110 年相關工程，且包含於其他 5 種之工程清單，透過下拉式選單供使用者選擇查看哪一所變電所工程資訊，詳圖 12~13 所示。





圖 11 VB 軟體建置變電所工程最佳排程及施工管控系統



圖 12 選取「年度工程」清單



圖 13 選取「NPC 工程」清單

### (三) Google Maps 地圖服務

Google Maps 地圖搜尋服務，係因 Google 公司在 2006 年推出一款可以在網頁瀏覽器上搜尋、瀏覽地圖的服務軟體，它可以提供局部詳細的衛星照片，以及提供路線規劃的功能。Google Maps 採用非同步傳輸和無刷新技術，順暢解決資料的傳輸及網頁更新的問題，將用戶交互體驗提升到一個新境界。

Google Maps 提供了三種有彈性的地圖視圖，一為傳統之地圖提供行政區和交通以及商業信息，二是不同解析度的衛星照片(俯視圖或 45°視圖影像)，三是地形圖，可

以用顯示地形和等高線。這些功能強大且獨有的特性，讓 Google 在電子地圖的領域中始終保持領先，無可取代的地位。

#### 1. Google Maps 應用 [4-5]

學習 Google Google Static Maps API(靜態地圖)，首先了解 Google 提供了一個簡易的作法，透過一串 http 的語法就可以將我們想要地標示出來，可以說是簡易版的 API。這個 API 的提供，讓我們容易將 Google Maps 放入我們的網頁中，完全不需 JavaScript 語法或任何動態網頁來載入。

Google Static Map 根據透過標準 HTTP 要求傳送的網址參數建立建立所規劃的地圖，並傳回該並可嵌入至利用系統 VB 所建置的系統中。

利用 Google Static Maps API 來製作圖

，略顯單調且無變化，畢竟只是靜態的效果，考慮試著利用 Google Maps API v3 的語法，來搜尋變電所之位置，並顯示所屬住址及電話及裝置容量等資訊。



## 2. 撰寫 Google Maps 語法

將存取使用 Google Map API 該地圖服務，其網頁程式將採用 HTML 及 JavaScript 語法編寫地圖服務狀態，HTML 是一種標記語言，配合 Internet 網頁，則網頁瀏覽器由 HTML 加入自己元素和標示，如微軟 IE。JavaScript 就是在 HTML 網頁加入 Google Maps 內建代碼，來驅動不同事件，並通過網頁之元素，引發一系列動作。

使用 Google Maps API 將 Google 地圖嵌入至件至變電所地理圖資系統內，由於第 3 版的 API 須要申請 Google Maps API key 才能使用，並且宣告 HTML5 HTML 格式，如：<!DOCTYPE html>。

最新的瀏覽器會將使用此 DOCTYPE 宣告的內容以「標準模式」呈現，定義 CSS 之<style> 宣告，用來表示地圖容器<div>應使用 HTML 主體的 100% 高度，並載入 Google Maps API 格式，宣告一個 div 區塊用來擺放地圖，以設定地圖中心、縮放等級及地圖模式，在 Google Maps API 中我們對於地標的設定是採用 google.maps.Marker 結構函式，並用一個 Marker options 物件來指定地標的起始內容。

撰寫該功能程式碼，為能搜尋多個變電所之資料，並將所建置把每個變電所的經緯度，再編入一 locations 的陣列中，最後使用迴圈方式存取多個變電所地標，並建立每各地標之 marker，接下來處理的是 click 滑鼠按下的事件，事件發生後要使用函數之動作為打開地圖上該 marker 地標，將呈現文字內容視窗。

## 3. 學習 Google.Maps 策略選項指令

Google.Maps 策略選項指令提供多

種參數，供更改圖層上線條樣式，包含粗細、顏色深淺、拖曳及增加資訊等，讓使用者能夠更自由的設定喜好參數，詳細參數，詳圖 14 所示。

Properties	
clickable	Type: boolean Indicates whether this Polyline handles mouse events. Defaults to true.
draggable	Type: boolean If set to true, the user can drag this shape over the map. The geodesic property defines the mode of dragging. Defaults to false.
editable	Type: boolean If set to true, the user can edit this shape by dragging the control points shown at the vertices and on each segment. Defaults to false.
geodesic	Type: boolean When true, edges of the polygon are interpreted as geodesic and will follow the curvature of the Earth. When false, edges of the polygon are rendered as straight lines in screen space. Note that the shape of a geodesic polygon may appear to change when dragged, as the dimensions are maintained relative to the surface of the earth. Defaults to false.
icons	Type: Array<IconSequence> The icons to be rendered along the polyline.
map	Type: Map Map on which to display Polyline.
path	Type: MVCArray<LatLng> Array<LatLng LatLngLiteral> The ordered sequence of coordinates of the Polyline. This path may be specified using either a simple array of LatLngs, or an MVCArray of LatLngs. Note that if you pass a simple array, it will be converted to an MVCArray. Inserting or removing LatLngs in the MVCArray will automatically update the polyline on the map.

圖 14 Google.Maps 策略選項指令

## 4. 建置 Google Map 程式碼

使用 Google Maps API 應用程式都需要申請一組金鑰才能使用，每個 API 都是唯一，但可搭配數個服務或網站使用，或是登入 Google Developers Console 網站依步驟取得 API 金鑰後，進行開發。

接下來依上述各項 JavaScript 語法之設定撰寫成網頁格式，並載入資料庫變電所經緯度，設定該變電所之地標，API 提供數種公用程式，透過各種服務操控地圖，就如同網頁一樣，並為選取地圖標示，顯示新增之內容，進而整合於系統中，能開啟所建置網頁，其程式碼，詳圖 15 所示。

```

<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<meta name="viewport"content="initial-scale=1.0,
user-scalable=no" />
<style type="text/css">
html { height: 100% }
body { height: 100%; margin: 0; padding: 0 }
#map_canvas { height: 100% }
</style>

<script type="text/javascript"
src="http://maps.google.com/maps/api/js?key=AlzaSyCxDT
7bHBvKTul9tMPqnhFKwuKlj5hXCK8&sensor=SET_TO_TRUE
_OR_FALSE">
</script>
<script type="text/javascript">
function initialize()
{
var myLatLng = new google.maps.LatLng
(22.591903, 120.331235);
var mapOptions = {
center: myLatLng,
zoom: 15,
mapTypeId: google.maps.MapTypeId.ROADMAP
};
map = new google.maps.Map
(document.getElementById("map_canvas"),
mapOptions);
var image = 'K:/變電所地理圖資系統/sub.png';
var marker = new google.maps.Marker({
map: map,
icon: image ,
position: map.getCenter() });
.
.
.
}
</script>
</head>
</body>
</html>

```

圖 15 建構各級變電所 JavaScript 程式碼

#### (四)整合 VB 及 Google Maps 系統

將 Google Maps 整合於 VB 人機介面中，再利用 JavaScript 語法撰寫成相關變電所工程網頁，而建置於 VB 所規劃系統的表單上，讓表單顯示 Google Maps 地圖之變電所位置地標，點選該變電所之地標，則出現提示框視窗，其內容呈現訊息該變電所地址、連絡電話、維護單位、工程內容、工程進度、工程採購發包案、施工畫面、設計準則及相關設計圖檔等，讓使用者更快速管控變電所工程相對應資訊。

##### 1.呈現變電所工程地理標示

利用 VB 所建置下拉式選單的功能，選取變電所工程六個清單其中之一，導入 Google Maps 內建標示，顯示該變電所地理環境之地圖，詳圖 16 所示。



圖 16 點選「NPC 工程」之道爺 D/S，顯示 Google maps 地圖

##### 2.內建各變電所資訊

將建置完成各變電所之地址、電話、維護單位、工程內容、工程進度、工程採購發包案、施工畫面、設計準則及相關圖檔等相關資訊，利用 JavaScript 程

式碼呼叫各變電所工程資料庫，並載入在 Google Maps 上，點選黃色箭頭標示，就會出現視窗框，此視窗就顯示該變電所相關資訊，詳圖 17 所示。



圖 17 選「道爺 D/S」標示，呈現提示框訊息

### 3. 建置提示框視窗

將先前建檔之不同變電所工程清單，利用 JavaScript 程式碼撰寫開啟提示框，點選提示框內之「工程內容」、「工程進度」及「工程採購發包案」標示並顯示該變電所工程之增設幾台變壓器或幾檔開關設備等相關內容、進場施工進度及發包案決標資訊，詳圖 18~20 所示。



圖 18 點選「工程內容」標示，呈現該所工程資訊

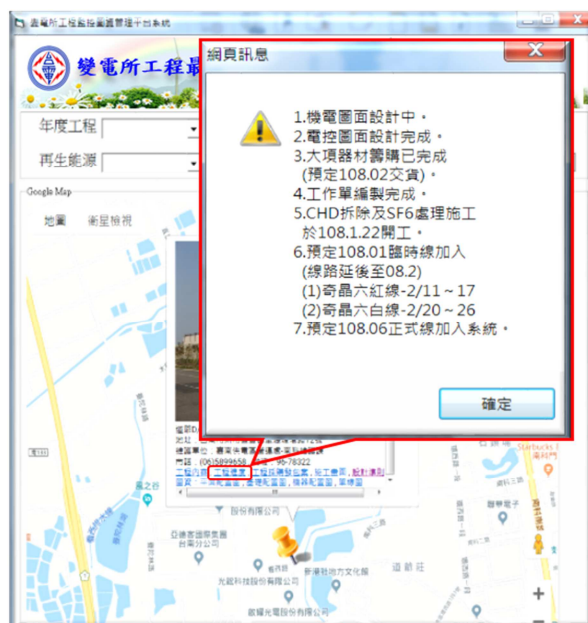


圖 19 點選「工程進度」標示，呈現該所工程安裝進度



圖 20 點選「工程採購發包案」標示，呈現該所工程發包決標資訊

### 4. 開啟施工畫面

當點選該工程提示框之「施工畫面」標示，透過程式連結資料庫而開啟該變電所工程之施工畫面，該選項能夠即時管控工程目前進度，詳圖 21 所示。



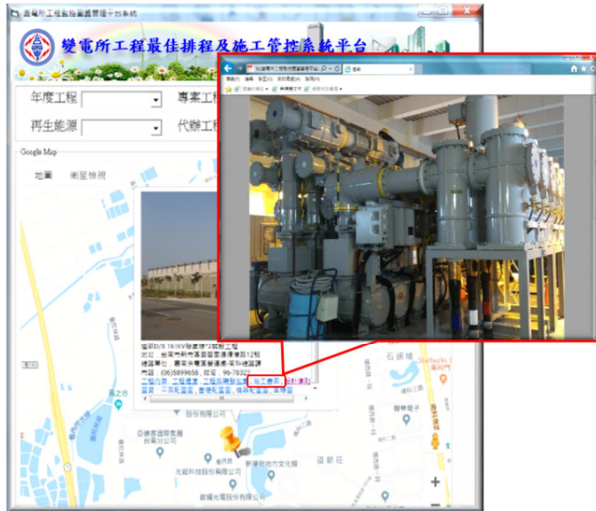


圖 21 點選「施工畫面」標示，呈現該所工程施工狀況



圖 23 點選「平面規劃圖」標示，開啟平面規劃圖面

### 5.開啟設計準則網頁

透過程式碼開啟本單位設計準則網頁，讓使用員點選「設計準則」標示，則開啟該網頁查詢變電所相關圖面之設計準則，詳圖 22 所示。

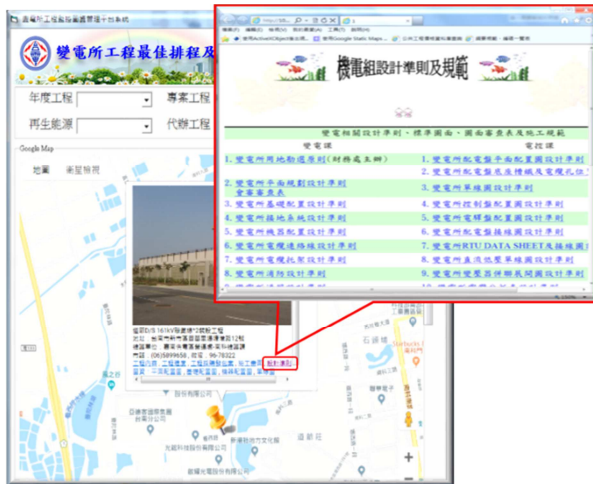


圖 22 點選「設計準則」標示，呈現設計準則網頁

### 6.開啟相關圖檔

為配合即時查詢各變電所工程之平面規劃圖、基礎配置圖、機器配置圖、單線圖等相關圖面，因此規劃查詢設計圖面之選項，以供工程施工之參考，詳圖 23 所示。

### (五)導入深度學習評估最佳排程

首先蒐集最近 5 年已加入系統變電所工程相關施工人日進行彙整，接著建立 Python 3.5 Anaconda 虛擬環境安裝 Google 開放公共授權原始碼程式 TensorFlow[9]，規劃建立輸入層為 12 個神經元，隱藏層(120 個神經元)2 層、輸出層神經元為 1 個，以供深度學習訓練及達成延長型短期記憶神經網路初步建模，然後經由模擬測試及交叉驗證，計算各類型工程最佳排程，演算流程詳圖 24 所示。因此本訓練步驟中，將之前所加入系統變電所工程之排程規劃結果作為深度學習之訓練資料庫，同時將最佳施工排程作為目標輸出，然後經由過濾閘及輸入閘控制神經元保留資料特徵或刪除不相關資訊，俟訓練過程逐步收斂後，即可完成延長型短期記憶神經網路之訓練。

測試完成後，此延長型短期記憶神經網路可作為面臨不同輸入資料時，即由神經網路模型運算推論出不同類型工程最佳施工排程，將結果建置為資料庫 (EXCEL)，再導入所規劃人機介面管理

系統平台中，規劃「最佳排程」之選項供使用者點選，則出現變電工程種類清單視窗，詳圖 25 所示，接下來利用下拉式選單選擇該視窗之工程類型，則系統自動抓取建置完成深度學習演算法之資料庫，並輸入各項工程作業之工期數據於所設定 EXCEL 檔欄位，進而開啟該工程最佳排程甘特圖(EXCEL)來作為管控該工程之依據，詳圖 26 所示。

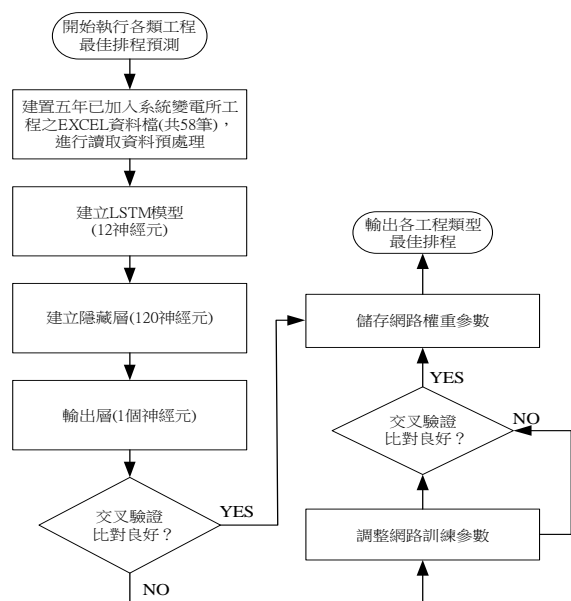


圖 24 深度學習流程圖



圖 25 點選「最佳排程」按鈕，呈現變電所工程種類清單視窗

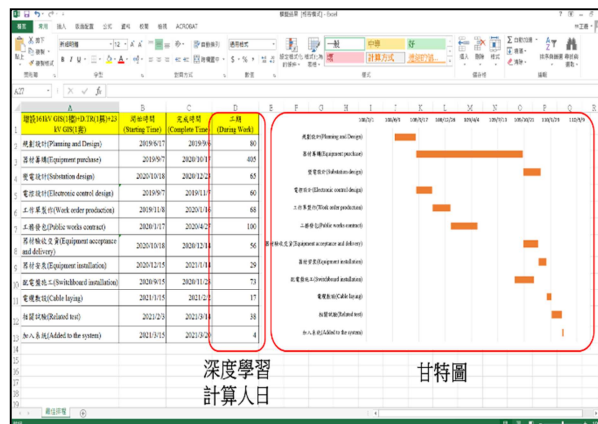


圖 26 顯示變電所最佳排程(甘特圖)

### 五、建置系統雲端平台

為了提供分享台電其他單位使用，利用台電南施處網路伺服器建置雲端服務平台，其系統平台開發步驟如圖 27 所示，此平台具有更新資料庫功能，也提供使用者容易使用 Google Maps 地圖服務，更方便搜尋到工程相關資訊，提升整體工程施工的效率，其雲端平台示意圖詳圖 28 所示。

本系統資料庫儲存於南施處之伺服器，且設定為 K 槽，並將資料庫之變電所相關工程資訊(EXCEL 檔案)及變電所的圖資(JavaScript 程式碼)放入 K 槽，惟可依開發者自行規劃伺服器名稱，再藉由變電所工程最佳排程及施工管控系統連接南施處單位雲端網路伺服器，查詢某個變電所相關工程資訊，開啟所指定變電所工程相關圖面，最終將該系統轉換成執行檔(EXE)，以供不同相關人員使用，達到資源分享，提升變電同仁管控水準，系統流程詳圖 29 所示。

#### (一)系統開發步驟

開發步驟分為 5 個步驟，包含①建置各類型變電所相關工程訊息，②導入本單位伺服器，③開發 VB 系統與撰寫深度學習演算法，④撰寫 JavaScript 程式碼開啟 Google Maps，⑤導入雲端服務平台。





圖 27 系統開發步驟圖

(二) 建置雲端平台

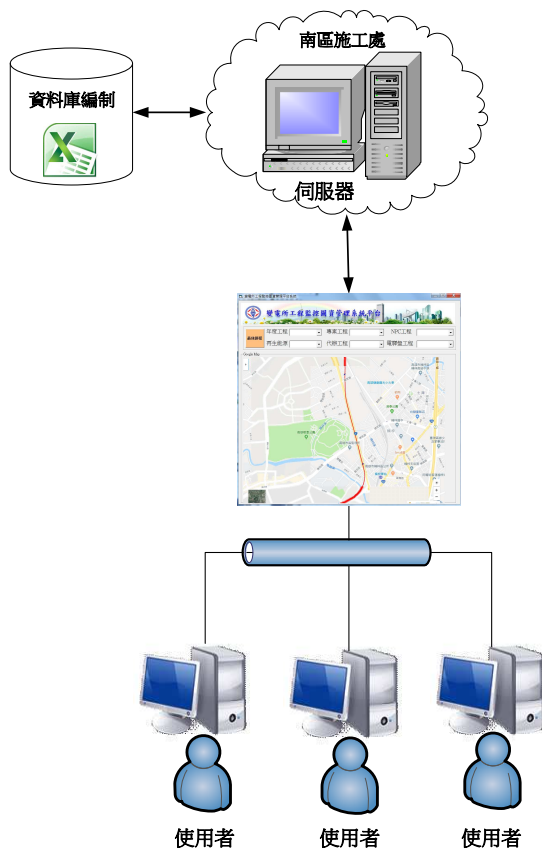


圖 28 雲端平台示意圖

(三) 系統架構流程圖

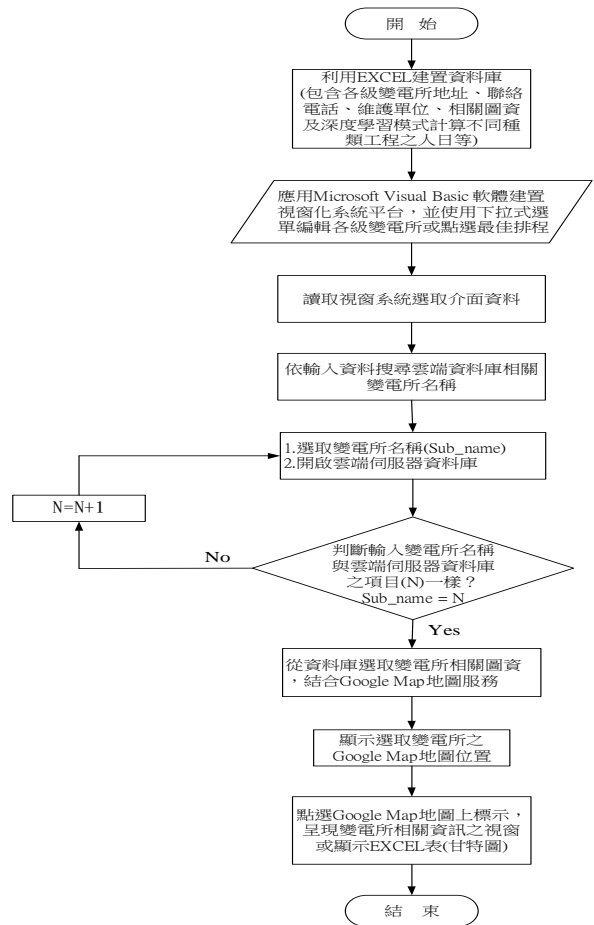


圖 29 系統架構流程圖

六、結論

由於台電公司將陸續啟動再生能源加強網、區域電網及變電所整所改建計畫，尤其再生能源加強電力網需配合廠家時程需求，需壓縮台電公司相關作業時程，如縮短設計規劃、器材籌購、工程發包、進場施工等時程，為了讓再生能源廠家工程如期併入台電電網，因此台電公司除了提升自升設計效率外，也需配合工程預定進度即時管控器材驗收、交貨、進場時程，再配合土建基礎完工進度開立相關用料單給工務段領料安裝大項設備，避免某個階段工作延宕時，將會影響工程加入時程。

為解決上述問題，藉由人工智慧深度學習演算法來學習訓練大數據資料計算不同種類工程最佳排程，以及運用 VB 系統整合深度學習之模擬結果，則透過 EXCEL 呈現工程項目之流程，並結合 Google 地圖更準確顯示顯示變電所工程周遭環境、交通，以及整合規劃工程內容、工程進度、設計圖面及聯繫維護單位等功能，達到更快速搜尋查詢相關變電所工程資訊，以及管控工程進度之準確性及施工效率。

本系統所開發人機介面操作平台，不但大幅縮短查詢時間，而且有效管控各階段作業進度，達到改善工程施工流程，而且透過雲端平台使本系統有自動更新之功能，以及分享台電公司其他單位使用，使相關同仁學習管控變電所工程之創新的工具，相信有助於變電所工程品質提升與縮短施工時程，讓變電所工程如期如質加入系統。

## 七、參考文獻

- [1] 台電公司輸變電工程處，變電所相關設計準則、標準圖面、圖面審查表及施工規範，2014 年 1 月。
- [2] 志佳工作室，Visual Basic 6.0 程式教學手冊，第二版，台北市：博碩文化股份有限公司，2004 年 2 月，第 2-2-10-57 頁。
- [3] 杜仕斌，Visual Basic 6.0 範例腳本，第二版，台北市：學貫行銷股份有限公司，2004 年 6 月，第 318-320 頁。
- [4] 馬謙、飛思科技產品研發中心監製，Google 地圖核心開發揭密，初版，台北市：松崗電腦圖書資料股份有限公司，2011 年 3 月，第 4-4-4-165 頁。
- [5] 洪維恩，「Java 2 教學手冊」，博碩文化股份有限公司，2003 年 11 月。
- [6] Valentino Zocca、Gianmario Spacagna、Daniel Slater、Peter Roelants 著，劉立民、吳建華、陳開輝譯，「Python 深度學習」，博碩文化股份有限公司，2017 年 12 月，第 164-190 頁。
- [7] 林大貴，「TensorFlow+Keras 深度學習人工智慧實務應用」，博碩文化股份有限公司，2017 年 5 月。
- [8] 齊藤康毅著，吳佳芳譯，「Deep Learning 用 Python 進行深度學習的基礎理論實作」，基峯資訊股份有限公司，2017 年 8 月，第 76-109 頁。
- [9] Google Tensorflow 系統平台[Online] available: <https://www.tensorflow.org/>.