

如何預測並緩和地下管線的交流電壓

林文安譯

一、前言：

由於電力傳輸線路和地下埋設管線，使用相同路徑敷設，而使地下管線受到交流電壓感應的影響。

美國電力研究會及美國氣體協會管線研究委員會（AGA）曾共同撥款，以供（ERRI）規劃發展關於「預測地下管線感應電壓與電流」的新技術。這種新技術，已經由實驗證實，可應用於電力及管線工程上，來解決由於兩者共存關係所引起的干涉問題。

II T業已發展出一套關於地下埋設管線，感應電壓的預測方法。預測步驟，係應用電力傳輸理論，藉小型程式計算器（如德州儀器公司，TI-59型計算器）來計算出有關管線上所感應的峯值電壓大小與位置。較為複雜的交流電路特性，諸如複迴路、遮蔽線、相位移置等，都可以使用系統化的方法予以模式化。這些發展出來的步驟，在現場測試時，證實較原有的方法來得精確。而且，可應用於實際的電力傳輸線路及管線上。

上述用於預測地下管線感應電壓的分析方法將留待下節中詳述。

往昔所使用的技術，已被證明為錯誤。本文將敘述新技術基本的步驟。將這種新技術，使用於靠近交流電力輸電線路的地下管線時，對於平行、不平行、及與不連續電力線路的組合等等情況，都極為精確。

至於緩和地下管線交流感應電壓的方法，II T亦已發展完成。步驟之一，即應用電力輸電線路理論，定出管線上峯值電壓的大小及位置，然後再決定裝設具有不同效果

的接地系統。這種方法，業於現場試驗中予以驗證有效，可實驗使用於地下管線——交流電力輸電線路的廊道上。

二、耦合（Coupling）感應的影響：

埋設於地下或地面上的管線，因為和附近交流電力輸電線路所產生的磁場耦合，而產生感應電壓及電流。由於這種現象，對管線與人員具有下述的危險：

- 1.由於電化學效應，感應交流電壓會加速保護管線的腐蝕現象。

- 2.較強的感應電壓，會干預陰極防蝕設施，通訊設備，以及監視管線動態的其他電子裝備。

- 3.人員與管線如有接觸，由於感應電流藉人體傳導通至大地，若電流量夠大，則人員有遭受電擊的危險，其結果非傷即亡。

因此，對於交流感應的嚴重程度具有預測能力，並提供予以緩和減輕的設計方法，事屬必要。

三、往昔的預測技術：

以前，只考慮到架空高壓交流電力輸電線路對周圍通訊線路所產生的影響，並使用卡松氏（Carson）方程式來計算電力線路與受影響通訊線路間的互感值，並藉以計算單相及三相的電力線路，在地面的單位長度導線所誘引產生的感應電壓。

至於地下埋設管的情形，則將之直接予以引用計算如次：

$$V_{\max} = f(I, d) \cdot L$$

式中， V_{\max} ：預期最大感應電壓

$f(I, d)$: I 及 d 的函數

I : 電力輸電線路中的電流

d : 電力輸電線路與受干涉管線的間距

L : 管線長度

以上述方法計算所得的感應電壓值與實際相比較，約為10倍以上之值，差誤極大。

I I T 研究過許多案例，證實地面上實用的方程式確無法應用於地下的埋設管線。事實上，地下管線和架空線路的電的特性本不相同。

地下管線，無論是未加以任何包覆的裸線，亦或是具有電的絕緣包覆層保護，在它所經過的土壤的全部長度中，其對大地之電阻只是有限的；至於架空線，則是經過很長的一段間隔才有一點接地。要了解埋設管線與環境土壤間的情況，就需要把管徑、包覆層電導率、土壤電阻係數、管埋設深度、管體阻抗及電感等因素，全部予以考慮。

預測的步驟，係首先擬出對於埋設管線的電感耦合模式，然後把埋設的管線當做上面有由於電磁感應所引起散佈電壓源，而在地中容易消失的電力輸電線的性能來看。應用這種方式所預測的交流感應電壓，準確性可達到百分之十至二十誤差範圍內。

四、研究問題：

預測管線感應電壓的兩個步驟如下：

1. 依交流輸電線路參數及相互作用的幾何關係，計算在管線位置的縱向電場。

2. 將管線當做一條有散佈參數的輸電線，依其所改變之分散的激勵縱向電場來計算管線感應電壓及電流。縱向電場（沿線方向）的計算可依埋設狀況下的應用與解釋予以修正卡松氏方程式來用。

除了短程管線，計算的結果將顯示感應電壓和管線長度並非呈線性正比例。因此，

長途管線上將求得極高的電壓值。

某些特定的管線——電力線相互作用關係，已經發展出適用於掌上型計算器的程式，使計算問題簡化。程式中的輸入資料，係典型的路線參數；諸如電力線上的電流，電力線與管線的間隔距離，土壤電阻係數，管包覆層阻抗，管徑等。利用程式演算，可大略定出沿管線所有的感應交流電壓與電流的輪廓。

五、重大成效：

埋設管線的峯值感應電壓，只存在於某些位置，其間各點的電壓都很小——基本上呈指數形式減衰，因此，對於逐步計算各點的感應電壓值，實無必要。通常，只要計算出峯值發生位置的電壓，管線電位的大致輪廓即已明瞭。

管線上峯值電壓的位置，都存在於電場變化的點上。電力輸電線路的電力中斷，諸如相位移置或實體中斷，或管線與電力輸電線路的方向角或距離改變等情形，都會發生電場的變化。

檢視附圖，電力——管線路線圖，以之為例，說明峯值電壓的位置。

在下述位置，都可預期地下埋設管具有峯值感應電壓存在。

1. 在長/失平行段(Long/Lossy section) 及長/失非平行段的交會點 (M_1) 。

2. 在兩個長/失平行段，與輸配電力線路具有不同間距的交會點 (M_2 及 M_3) 。

3. 靠近電力輸配線路改變相位移置，或以其他方法改變線路相位的變電所 (M_4) 。

4. 在電氣特性不同的兩個長/失線段間交會點。例如在高土壤電阻係數及低土壤電阻係數間 (M_5) 。

5. 長/失線段的阻抗端體（絕緣碍子或地床） (M_6 及 M_7) 。

圖示的 M_1, M_2, M_3, M_4 等點，為管線傾向性及終止情形， M_4 為電場終止， M_5 為管線電氣特性不連續。這些位置中，任何一點的峯值電壓，都可使用已完成的程式計出。

應用這些步驟的好處，係在於可經由調查，就能夠事先瞭解埋設管線在感應電壓方面具有潛在問題的位置。

六、緩和技術：

把由地面上及地下所組成的管線系統，受 60Hz 交流感應的電壓予以減緩的方法有好幾種。以下特別提到兩種方法：

1. 設計管線／電力線接合路線，以使耦合感應最輕微。

2. 管線接地法。

第一種技術，係前節所述，已發展出的預測理論的成果。在接合點通道完成以前，也就是在設計階段時，公用設備的位置及特性，尚有某些彈性可以利用，這時易於應用這種技術。

第二種技術，較適用於高土壤電阻係數區域。本討論中，只限於使用水平電極將管線予以接地處理。

七、經由聯合路權移開電力或將系統予以間斷：

如前述，地下管線由於感應耦合所產生的峯值電壓，係分別呈見於管線上具有電氣性或實質上較大空間的中斷，以及管線上縱向驅動電場有突然變化的位置上。

管線上的不連續，包括絕緣體連接；長途管線在土壤電阻係數高、低間的轉換；長途管線在管包覆層阻抗高、低間的轉換等。

電場的不連續，包括有基於管線與電力線間，在較長行程中任一間隔有改變，致使電場的大小與相位發生變化，或由於電力線路相位移轉；或由於在接合通道上有新增的

電力線路等。

總括而言，為防止管線發生峯值電壓，個別公用設施的共用路權，應儘可能設計為，在電氣特性及內部的幾何結構上，具有持久性。

在路權上，可以總結為以下六點設計目標，藉以獲得最小耦合感應的最佳共用路權電磁設計：

1. 避免個別設施間的時間距離有任何變化。

2. 避免使用管線絕緣接頭或連結器。如絕緣接頭實屬必要，應跨接一個具有低交流阻抗電池。

3. 長途管線，避免改變包覆層材質。同樣，也避免在單程管線中，將埋設段與較長的地面段連接。

4. 避免電力線路的相位移置或於變電所改變相位。同樣，也避免避雷線及相位傳導線改變形狀。

5. 避免在原有路權中，引引入新的公用設備。

6. 使用具有最低縱向驅動電場的電力線相位序列。

以上所全力推展的，最終極設計目標，在於減少路權內的電場。

八、管線接地：

最有效的管線接地位置，為感應電壓最大的地方。於該位置予以良好接地，可使局部的指數型分布電壓歸零。但是，若接地設施距離峯值電壓位置在八至十公里以上，則緩和效果極微。（正確的距離為管線特性的函數），所以，接地需於每一感應電壓最大的地點施行。

欲求有效的減輕管線上的交流感應電壓，需要具有很低的接地阻抗。通常為一至二歐姆或更小。於高阻抗土壤中，要得到這麼

低的阻抗，過去曾研究過使用水平接地線法。

依所發展出來的設計方法，南加州天然氣公司，於其所屬地區Needles地區Mojave Desert Line 235 管線上，裝設各種不同類型的接地線予以實驗驗證。

試驗中，對於南加州天然氣公司在人員與裝備方面提供的支援與合作，謹申謝意。

九、成效：

適當設計的水平接地措施，對管線上感應電壓的緩和，具有優良的成效。以下係主要結論：

1. 緩和程度在五〇%或以下者，可使用較短的接地線，使用的設計程序，以有效的直流公式即可。

2. 需要緩和程度達到七五至八五%時，就需要較為嚴格的設計程序，將接地線視同交流傳輸網路的輸配電線路。通常使用的直流公式已不適用。接地線本身在路權方面的限制及與電力線平行等，均需較為複雜的設計技術。事實上，需要體認到，在接地線上將呈見感應電壓。其具專有相位及管線電壓

實所必然。

3. 將緩合程度提高到九五%以上，此時的接地設施不能視為被動阻抗元件。如前所述，設計時應先完成線感應電壓的專有相位及管線電壓核計程序。這一點，可借助如接地線感應負載及於特殊相位和電力線路的電場耦合，沿循特殊路徑的裝設等技巧完成之。

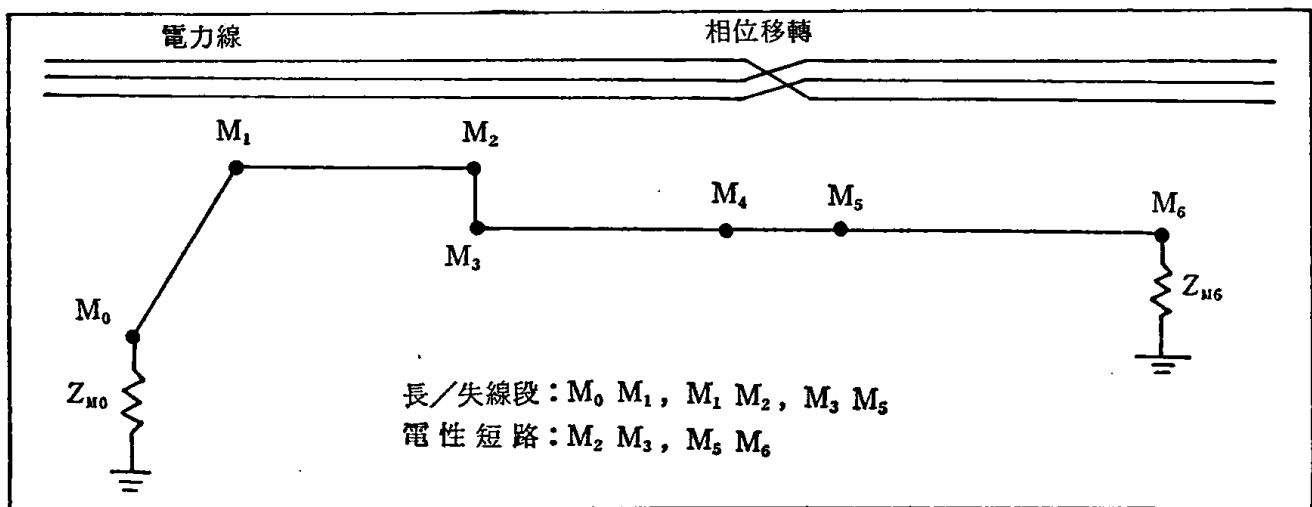
十、結論：

一種新的方法已經可以應用到埋設管線上，這種方法，可精確預測交流感應電壓，也可以迅速的鑑定出沿管線各峯值電壓的位置。

一種為共同使用公用設備廊道的設計及水平接地線裝置，用以緩和交流感應電壓的方法論亦已完成。將交流電力輸電線，管線及接地設施，當做互相耦合的網路，發展出一套設計程序，可應用於把管線感應電壓減緩到需求的水準。

本文選譯自：Pipeline & Gas Journal, March 1979, P. 19221 By Dr. John Dabkowski IIT 研究所，芝加哥，伊利諾州

譯者：林文汝現就任工量公司



電力—地下管線路徑關係圖

備註：1. Long/Lossy Section: 埋設的地下管線，在很長的一段距離後改變路徑方向，則該段管線為一個長/失段，如附圖示之 M₀M₁及M₁M₂。或與管線平行的輸電線路，在很長一段距離後，輸電線路方向改變或有相位移置情況，則在該點以前的一長段地下管線，亦為一個長/失段如附圖所示之M₃M₅。
2. Right of Way: 地下埋設管線（水管、電纜、輸油、氣管等）所通過路徑的使用權。