

# 捷運高架段避雷與綜合接地探討

新北市政府捷運工程局 科長/電機技師 林逸羣  
台灣世曦工程顧問股份有限公司 副理 于新源

## 摘要

鑒於三鶯線統包工程全線採高架方式興建，因高架橋抬升了軌道本身的高度，使得收集雷擊的寬度增大，增加遭受雷擊的機率及三峽地區屬落雷頻繁區域，在受到雷電過電壓影響時，容易引起線路跳脫或者機電設備毀損，不但會造成巨幅的經濟損失，也容易因交通癱瘓進而影響營運，本文將針對國內、外相關規範與捷運經驗，對於避雷之防護方式以及參考國外對於捷運/地鐵車站各系統之接地透過接地體、接地引出裝置、鎧裝電纜，將強、弱電接地匯流排以及各系統接地端子排，連接成一體形成一個高低壓相容，強、弱電合一的綜合接地系統作一探討，研析綜整可行之捷運高架段避雷防護及場站相關接地措施建議方案。

## 1、避雷系統

### 1.1 雷電成因

閃電(Lightning)一般最常發生於雷雲之中，雷雲即一般所稱的積雨雲，它的內部帶有不同性質的電荷，典型之雷雲上半部帶正電荷，下半部帶負電荷。

由雷雲產生的閃電有四種型態：

- (1) 雲層內部的放電現象，佔所有閃電的絕大部分；
- (2) 雲對地面的閃電，它們對人類的生命財產有極大的威脅性；
- (3) 雲與雲間的閃電；
- (4) 雲對周圍空氣的放電現象，通常發生在雲頂。

閃電是雷雲體內各部分之間或雲體與地面之間，因帶電性質不同形成很強的電場放電現象。由於閃電通道狹窄而通過的電流太多，這就使閃電通道中的空氣柱被燒得白熱發光，並使周圍空氣受熱而突然膨脹，其中雲滴也會因高熱而突然汽化膨脹，從而發出巨大的聲響—雷鳴。在雲體內部與雲體之間產生的雷為高空雷；在雲對地面的閃電中產生的雷為“落地雷”。

落地雷所形成的巨大電流、熾熱的高溫和電磁輻射以及伴隨的衝擊波等，都具有很大的破壞力，足以使人體傷亡，建築物及設備破壞。台灣地處亞熱帶，為落雷頻繁地區，因此有必要針對建築物及設備做必要的保護，以避免建築物及設備直接或間接遭雷電破壞的情形發生。

雷電對設備產生的影響途徑可分為兩種：

- (1) 直接雷，直接雷擊通常發生在建築物或戶外的設備，例如高層建築物、無線電天線鐵塔、閉路電視系統之攝影機、有線電視之強波器等電子設備，或是直接擊中輸電設備及線路（高、低電壓線路或

訊號線)。

(2) 間接影響(感應雷)，也就是雷雲放電產生的電磁場所造成的影響。

## 1.2 避雷保護方式

完整的避雷系統必須考慮到直接雷和感應雷之防護，必須採取六大綜合防護技術措施進行設計：

- (1) 直擊雷防護技術。
- (2) 等電位連接技術。
- (3) 遮蔽技術。
- (4) 合理佈線技術。
- (5) 共用接地技術。
- (6) 設計安裝突波保護器(SPD)的技術。

採用六大防護技術進行設計才能有效地防止雷擊事故，減少建築物及其內部之人員、機電、通信、電腦、儀器等精密電子設備受到雷擊災害，確保護建築物、設備和人身安全。

## 1.3 直接雷擊保護

為保護高層建築物或危險品倉庫遭受雷擊，凡建築物高度在二十公尺以上者或建築物高度在三公尺以上並作為危險品倉庫使用者(如火藥庫、可燃性液體倉庫、可燃性瓦斯倉庫等)，按照「建築技術規則設備篇第五節—避雷設備」之規定均須裝設避雷設備。

避雷保護系統包括安裝在屋頂的銅導體及所需的避雷針、下引線、接地地網等組成，缺一不可。所有在屋頂層的金屬突出物均須和避雷針網路相連接。

有關避雷針之保護範圍，依照我國建築技術規則規定，採用圓錐體保護，保護角之計算係採用 $60^\circ$ (一般建築物)或 $45^\circ$ (危險品倉庫)。最普遍的避雷方法：突針(富蘭克林式避雷針)和水準導體(法拉第籠式)保護或兩者併用，已廣被採用。

除了採用有效之避雷針將雷電予以攔截外，避雷系統必須將雷電放電電流，安全地傳送至大地，才不致發生建築物感電之危險。依我國建築技術規則規定：

- (1) 當建築物高度在三十公尺以下時，應採用截面積為三十平方公釐以上之銅導線；
- (2) 當建築物高度在三十公尺以上，但未達三十五公尺時，應採用截面積為六十平方公釐以上之銅導線。
- (3) 當建築物高度在三十五公尺以上時，應採用截面積為一百平方公釐以上之銅導線。
- (4) 有關下導體之數量，除煙囪和鐵塔等面積甚小得僅設置一條外，其餘至少應設置二條以上，如建築物之外周長超過一百公尺，每超過五十公尺應增設一條，其超過部份不足五十公尺者得不計，並應使各接地導線間之距離儘量平均。
- (5) 至於下導體轉彎時，其彎曲半徑必須在二十公分以上。
- (6) 避雷系統之接地電極，依我國建築技術規則之規定，可採用1.4公釐厚，0.35平方公尺以上之銅板，或採用直徑19公釐，2.4公尺長之鋼芯包銅棒兩支以上構成，其總接地電阻值應在 $10\Omega$ 以下，埋設於地面下三公尺以上或地下水位以下。

## 1.4 感應雷擊之保護

間接影響(感應雷擊)可分為三種，即電阻性、電感性、電容性三種影響。

- (1) 電阻性偶合效應：若雷擊至某地或遠端設備，藉由傳輸線或大地，將雷突波傳導至其他設備；引起電阻性耦合的主要原因，是兩相鄰之地間有電位差產生。

- (2) 電感性耦合效應：設備（傳輸線、訊號線或電子設備）經由電感耦合到雷電流。
- (3) 電容性耦合效應：與地隔絕之長距離傳輸線有可能經由電容效應感應到雷雲電場，而得到靜電高電壓，若末端設備絕緣無法承受此電壓，則設備將損害。

雷電脈衝可能經由直接雷擊或近處雷擊之電阻性耦合、電磁感應和電容耦合方式進入電力線或信號線，在電力線或信號線進入建築物之入口處加裝有效的避雷設備，主要是用來減少因過電壓突波和暫態所造成之設備破壞、運作損失和商業損失。

突波吸收器(可分為串聯、並聯及串並聯型)之設計，是要將經由電源線或訊號線等途徑所傳導的雷突波，經由此設備而將其消耗或導引至接地系統，以避免破壞通訊設備。原則上由戶外進入室內，或將連接至戶外之電纜線（電源線或訊號線）都需安裝。

### 1.5 接地引線的要求

就避雷針而言，因都是裝在較高處，接地線長度通常都很長，其阻抗值的高低，配置的正確與否，以及與被保護物件的相關關係，避免造成電場(靜電)、磁場(電磁)感應的耦合，都恐要比接地電極的接地電阻多少歐姆還要重要。

因接地引線除長度與阻抗有直接的關係外，其架設的方式亦會影阻抗，如何降低阻抗以避免由於雷電流在接地引線所產生的電壓側擊(side stroke)是一頗重要的課題。通常接地引線之類的導體自感量約略是  $1.6\mu\text{H}/\text{m}$ ，假定有一雷擊電流，其波高值是  $100\text{kA}$ ，波頭時間是  $10\mu\text{sec}$  的標準電流波時， $60\text{m}$  長的接地引線就會引起  $1,000\text{ kV}$  的電壓降，因比需要有多條接地引線並聯以降低自感，降低電壓降。

### 1.6 絕緣協調及雷電保護圈

充分瞭解相關設施之引雷範圍與雷電活動參數，是確定設施防護等級的先決條件，相關電力設備應做好絕緣協調，協調必須考慮電力系統運轉電壓、可能發生的過電壓及以各種保護裝置的特性為基礎，合理的把電力系統各部份設備的絕緣程度做一協調，以避雷器抑制電力系統內各處所發生的異常高電壓至適當電壓水準，另外器材的絕緣程度亦應根據其重要性，按基準絕緣水準(BIL, basic insulation level)做適當的分級。

對位在屋內的各種電機、電氣、電子設備可分為如圖 1 所示的雷電保護圈(LPZ)，分別加以不同程度的避雷保護措施。（資料來源：顏世雄，避雷工程，2007，(5)，P7）

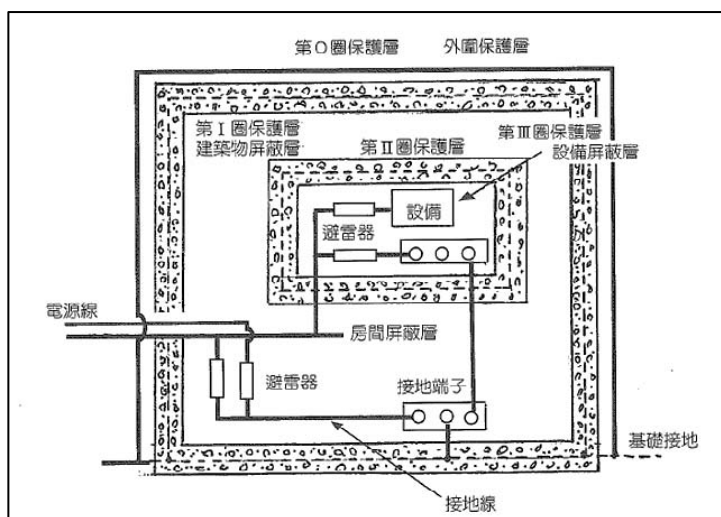


圖 1 雷電保護圈

## 2、接地系統

將電力系統或電氣設備的某一部分經接地線連接到接地極，稱為“接地”。接地的目的是為了在正常、事故或雷擊的情況下，將大地作為接地電流回路的一個元件，保證電力系統和電氣設備的正常運行和人身安全，捷運/地鐵車站有多種系統需要接地，有牽引變電所及降壓變電所的工作接地，有保護人身安全和設備安全的保護接地，還有通信系統、信號系統等弱電設備的接地，以及地上車站的防雷接地。

接地的主要目的是保障人員安全、保護設備安全及降低雜訊，而接地系統依所連接之設備可分為以上所述之接地系統。避雷系統的接地是爲了提供雷擊電流洩放的電路，而電力系統接地則是爲了系統的安全及保護人身以避免感電；弱電(靜)接地一般並非爲了安全，而是爲了取得共同的參考電位，此與電力系統接地（安全接地）並不一致。

本國捷運之接地系統主要可分為電力系統(設備)接地、靜(信號)接地、電信系統接地及避雷接地等。各接地系統其接地電阻值如下：

電力系統接地  $\leq 1\Omega$  (亦供設備接地用)

靜接地  $\leq 4\Omega$  (供信號接地用)

避雷接地  $\leq 10\Omega$

電信接地  $\leq 25\Omega$  (須符合建築物屋內外電信設備工程技術規範之規定)

## 2.1 捷運/地鐵系統接地方式

捷運/地鐵幾乎覆蓋了電力、電子、通信以及控制系統等領域的各種設備，這些電氣設備對接地提出了多樣和複雜化的要求。受捷運/地鐵中自然電場和人工電場的影響，設備接地處的電位通常不爲零，當有短路電流通過接地體流入大地時，設備接地處的電位就會相當高，接地電位有可能達到 2,000V 以上，產生的接觸電壓、跨步電壓超過人體、設備承受值，造成人身傷害或設備的絕緣受損，爲了保障人身安全和設備的可靠性，有必要對捷運/地鐵之接地設計進行探討。

捷運/地鐵與地面大型公共建築的唯一差別，就是捷運/地鐵爲直流牽引供電系統，採用 750V 或 1500V 的直流供電方式，透過饋電線送至架空線（或接觸軌），最後以回流線路的走行軌將電流引回至牽引變電所。由於鋼軌與大地之間無法做到完全絕緣，因此由鋼軌回流至牽引變電所的電流有一部分是經大地流回牽引變電所，這部分電流稱爲雜散電流，雜散電流會對地下的金屬構件產生侵蝕破壞作用，基於這種原因，捷運/地鐵的接地設計與一般建築的接地設計有所區別。

至於是否需將所有的接地系統連結在一起，是一個相當令人困擾的問題，有些國家法規建議，應將避雷接地、電力系統接地、弱電系統接地等全部連結在一起(稱爲綜合接地或共同接地)，以避免電阻性耦合所產生的步間和接觸電位(step and touch potentials)，危害人體及破壞設備，然而卻有些專家主張，不同目的的接地應分開設置，以避免互相影響，產生不必要的雜訊干擾。

目前國內捷運之接地設計係採用分離接地系統方式，如圖 2 所示，而非單一接地系統，針對不同系統之需求，接地系統分爲電力系統接地、弱電接地、避雷接地等，當雷擊或其它暫態電壓發生時，各分離的接地系統間產生電位差是不可避免的，爲避免不同的接地系統所產生的瞬間步間和接觸電位，造成人身觸電及設備之破壞，可在各系統接地間安裝過電壓保護器或電位箝制器 (Potential Equalization Clamp) 如圖 3 所示。此過電壓保護設備通常呈開路狀態，若察覺兩接地間之電位差超過某一設定值時，則設備啓動呈短路狀態，提供一低電阻路徑，使兩接地系統相連成同一電位。

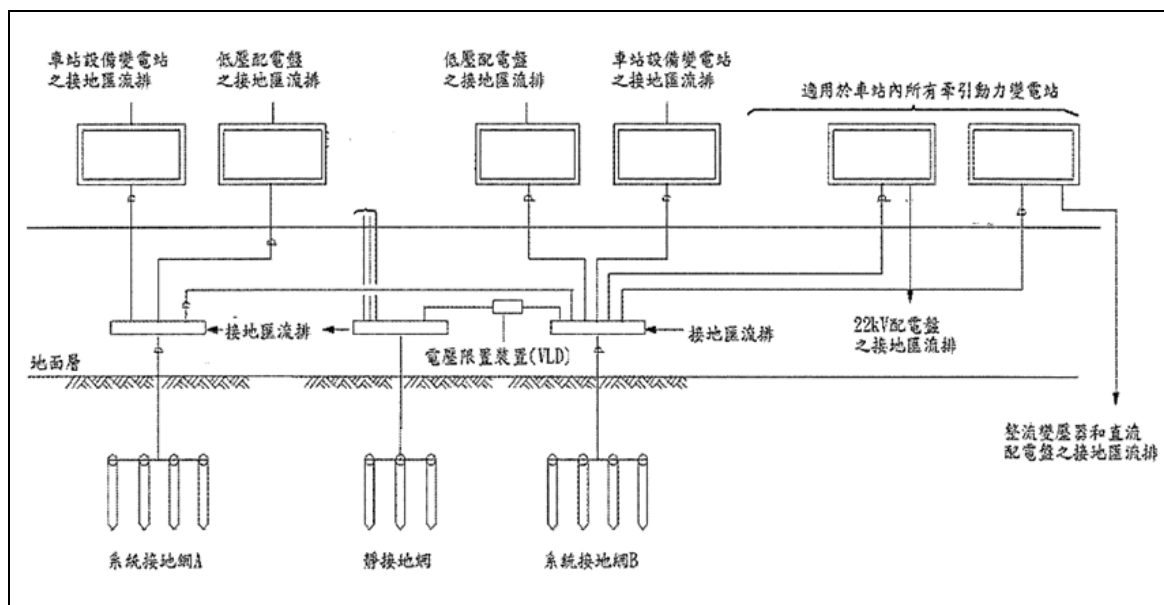


圖 2 台北捷運局接地系統架構圖

(資料來源:捷運三鶯線業主需求書,捷運系統接地、連接和防蝕實作規定)

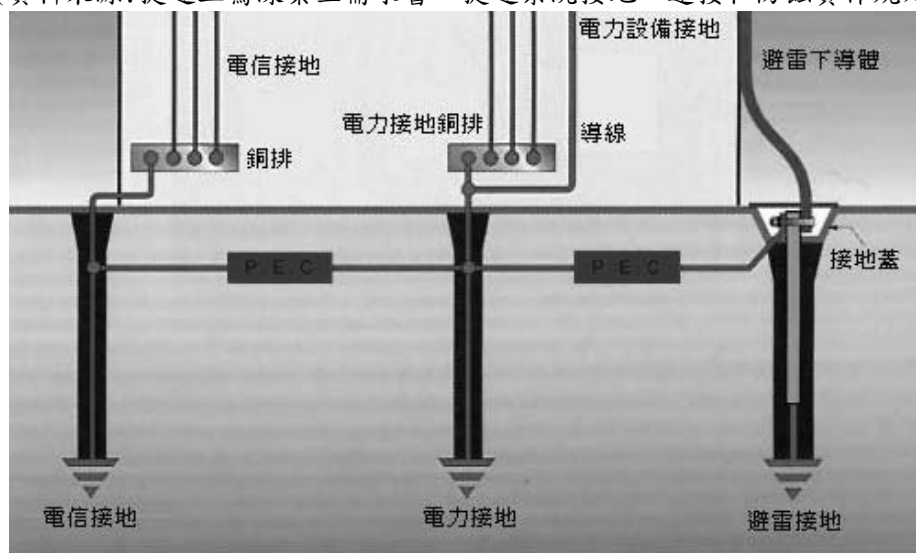


圖 3 電位箝制器(PEC)架構示意圖

(資料來源: <http://www.lightning.com.tw/product4.htm>)

## 2.2 綜合接地系統概述

綜合接地系統是指供電系統和需要接地的其他設備系統的各種接地採用共同接地極的方式，囿於捷運/地鐵車站空間狹小、機電設備種類繁多及數目龐大，對於車站之接地與安全設計，主要包括牽引變電所及降壓變電所供電系統的工作接地，為保證人身安全和設備安全的保護接地，通信、信號等弱電系統的設備接地。

因此，一個車站內要求接地的系統和設備很多，從接地裝置的要求上，可以共用接地裝置，也可以分設，但分設接地裝置時強電和弱電接地裝置需要相距 20 m 以上。在分開設置不同的接地裝置時，若距離不能滿足要求，將導致由於接地裝置電位不同所帶來的不安全因素，不同接地導體之間的耦合影響也難以避免會引起相互干擾，因此，目前國外之城市軌道交通工程多採用綜合接地系統，各系統接地通過

接地體、接地引出裝置、鎧裝電纜、強/弱電接地匯流排以及各系統接地端子排連接成一體，形成一個高低壓相容，強、弱電合一的綜合接地系統，又稱之為綜合接地裝置。

### 2.2.1 綜合接地系統架構

綜合接地系統是指供電系統和需要接地的其他設備系統的系統接地、保護接地、電磁兼容接地和防雷接地等採用共同的接地裝置，並實施等電位聯結措施。各類接地可以採用單獨的接地線，但接地極和“等電位面”是共用的，不存在不同接地系統接地導體之間的耦合問題，也避免了採用不同接地導體時產生的電位不同問題。綜合接地裝置的接地電阻值按照接入設備的要求和人身安全防護的要求等方面綜合確定，其接地電阻值必須不大於接入設備所要求的最小接地電阻值。

綜合接地系統一般由共用接地極引出兩個接地匯流排，即一個強電接地匯流排，一個弱電接地匯流排，分別用於供電系統和通信等弱電系統的各類接地，為了保證各種設備的安全運行，在接地的設計中，通常將接地線連接成環網結構，如圖 4 所示。在各系統房間設置接地匯流排，各接地匯流排透過電纜連接成環網，保證即使某點出現故障，其餘各處不會受到影響。另外，電纜架、進出車站的金屬管路也透過車站設備接地匯流排與強電匯流排連接；綜合接地系統概念如圖 5 所示。

多年的工程實踐可以清楚地意識到，接地電阻值的達到並不是目的，而是要保證人身和設備安全。保證人身安全的關鍵是限制接觸電壓和跨步電壓，保證設備安全則可以採用絕緣和等電位等方法。對於弱電設備，不存在大的接地電流造成的高電位危害，主要應做好等電位或隔離工作，必要時可在設備中採取措施防止過電壓侵害，以保證設備的正常運行。

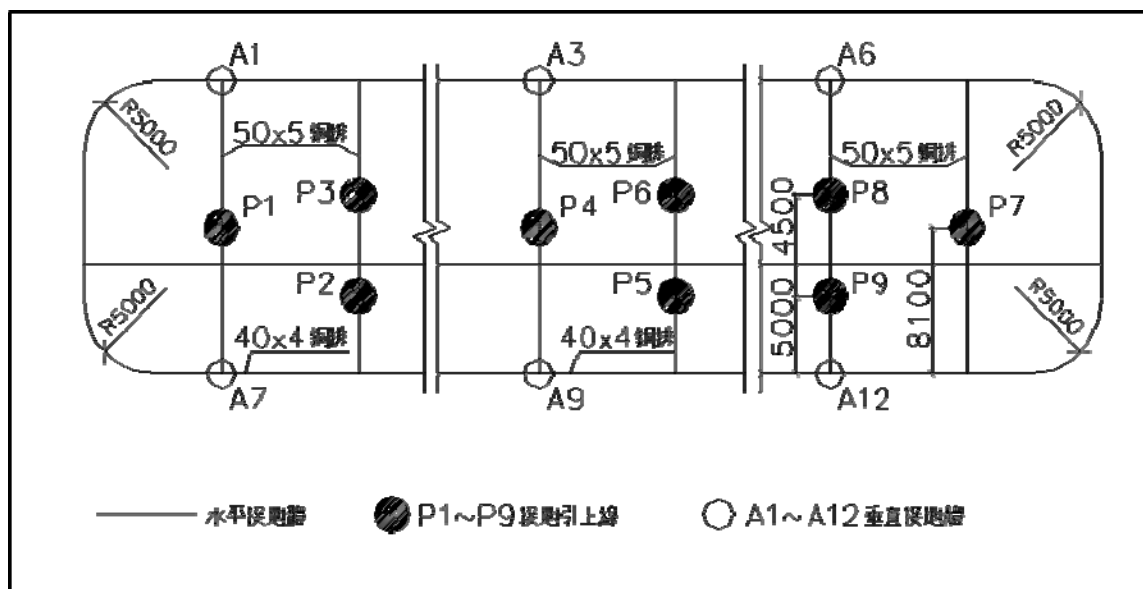


圖 4 地鐵車站接地網平面布置圖

(資料來源:周超, 曹明淑, 劉強, 地鐵車站接地設計探討, 都市快軌交通, 2009(10), P2)

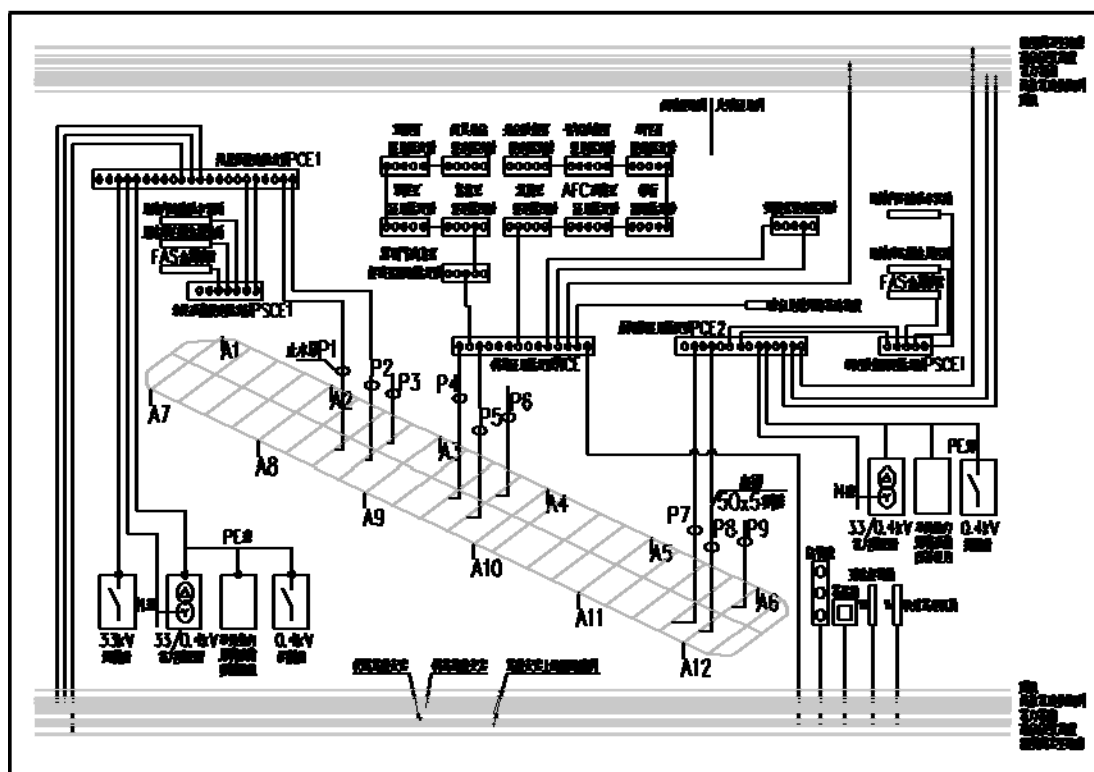


圖 5 地鐵綜合接地系統概念圖

(資料來源:周超,曹明淑,劉強,地鐵車站接地設計探討,都市軌軌交通,2009(10),P3)

### 2.2.2 等電位聯結

在電氣裝置間或某一空間內,將金屬可導電部分包括電氣裝置外露可導電部分和電氣裝置外部可導電部分,以恰當的方式互相聯結,使其電位相等或相近,此類連接稱為等電位聯結。對設備和人身安全造成危害的電氣問題,都不是因為電位的高或低引起的,人身遭受電擊、電氣火災的發生和電子設備的損壞,主要原因是由電位差引起放電造成的。消除或減少電位差,是消除此類電氣災害的有效措施。採用等電位聯結可以有效消除或減小各部分之間的電位差,有效防止人身遭受電擊、電氣火災等事故的發生。

等電位聯結可分為總等電位聯結、輔助等電位聯結和局部等電位聯結;總等電位聯結是將下列可導電部分包括總保護導體、總接地導體或總接地端子,建築物內的金屬管道(通風、空調、水管等)和可利用的建築物金屬部分進行連接,以降低車站、建築物內間接之接觸電壓和不同金屬部件間的電位差,並消除自建建築物外經電氣線路和各種金屬管道引入危險故障電壓的危害。

輔助等電位聯結,是將可同時觸及的兩個或幾個可導電部分,進行電氣連通,使他們之間的故障接觸電壓小於接觸電壓安全限值;局部等電位聯結,是在某一個局部電氣裝置範圍內,通過局部等電位聯結板,將該範圍內電氣設備外露可導電部分和外部可導電部分等進行電氣連通,使該局部範圍內,故障接觸電壓小於接觸電壓安全限值。

等電位聯結是安全接地的重要內容,是間接接觸防護的主要措施,它不是強調與地的聯結,而是要要求人身所能同時接觸到的,電氣系統正常運行不帶電,而異常時可能帶電的設備外露可導電部分(金屬外殼)和設備外部可導電部分相互之間的電氣連接,從而避免或減小兩者或多者之間的電位差,防止人身發生觸電危險。

總等電位和局部等電位聯結能夠避免從接觸的可導電物體外部引入的異常電位造成的接觸電壓危害，如雷擊、中壓系統接地故障引起的異常高電位的危害。輔助等電位聯結能夠避免被接觸可導電物本身如低壓設備外殼所在系統產生漏電帶來異常電位的危害，等電位聯結示意如圖 6 所示。

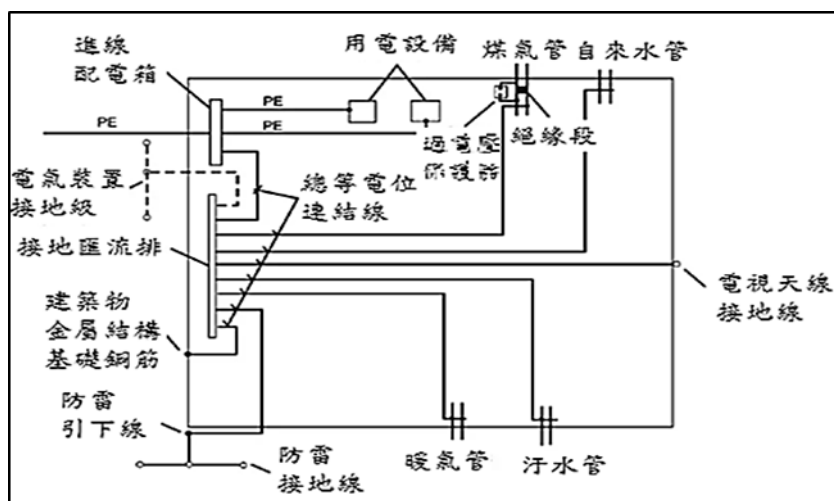


圖 6 等電位連結示意圖

(資料來源: <http://mooc1.chaoxing.com/course>)

### 2.2.3 綜合接地設計功能要求

- (1) 保護營運人員及乘客安全，防止電擊；滿足沿線因接觸導線和饋電線斷線可能碰觸到設備的安全接地要求；滿足變電所設備工作接地與安全接地要求；滿足各類通信、信號、電腦等弱電設備的工作接地和安全接地要求；滿足車站其它設備工作接地和安全接地要求；滿足架空線系統工作接地和車輛機場防雷接地要求。
- (2) 車站共用接地裝置由接地網及用來連接強、弱電設備、金屬管線、架構和接地網的接地線構成。接地網由多個垂直接地體和水平連接導體構成，通過接地引出線連接到強、弱電接地匯流排，並透過強、弱電接地匯流排連接至車站系統機房接地端子箱。
- (3) 接地網設計要結合各車站的結構形式，其接地電阻應不大於  $1\Omega$ ，跨步電壓與接觸電壓應滿足安全標準。由於捷運運營設備需要，所設置的接地系統是否可靠，直接關係到供電系統以及其它各設備系統穩定的穩定與安全運行。

## 2.3 捷運綜合接地之相關準則

### 2.3.1 國外捷運綜合接地之相關準則

- (1) 美國 UL — UL96A：Standard for Installation Requirements for Lightning Protection Systems

8.10 所有接地系統需連接再一起。所有系統指離被保護結構體 7.6 公尺以內的電力、電話及天線系統接地。進入被保護結構體的地下金屬管系統，包括水、瓦斯、地下管線、液化瓦斯管等以及類似地都須接再一起。

8.11 電力、電話或其他與金屬水管接地在一起，只要有一點連接達到導通的目的就可以。如管子含



有絕緣部份時必須搭接導通。

(2) 美國 NFPA — NFPA 780：Standard for the Installation of Lightning Protection Systems

3-22 共同接地。所有接地物體，包括避雷設施設備、電力、電話及天線的系統接地及進入建築物的地下金屬管線都需接在一起。所謂地下管線是指避雷措施用、自來水管、處於被保護建築物 7.6 公尺內的內的井壁、瓦斯管線、地下電線電纜槽、地下液化石油氣管線等。

3-22.1 如果電力、電話或其他系統接在水管以此為接地時，只要有一點連接就可以。

3-23.3 (a)如果對避雷系統或其他獨立系統發生側擊之慮時才需要搭接。

(3) 英國標準規範—BS 6651： Code of practice for protection of structures against lightning

12.5 規定電視、廣播用架空器材支架及電纜屏蔽層須與避雷系統連接，並建議參考 BS 6330。

16.3 建議避雷系統與其他所有設施(services)共用接地系統。但必須同時適合其他個別設施的要求。接地電阻亦是須根據各別設施的最低需求值。

(4) 澳洲標準規範—AS 1768： Lightning Protection

3.11.3.1 如條件容許應用電位均勻技術時可以採用為避雷系統與其他設施的共同接地電極(common earth electrode)。電話系統另在 3.11.2.3 裡有所規定。但另在註提到，於 AS 3000 雖然容許電力系統與避雷系統接地線可以搭接，惟電力系統與避雷系統不可以共用接地系統。

3.11.3.2 住宅、小房屋保護電話系統的接地必須另做接地。

2.3.2 大陸地鐵綜合防雷措施

根據雷電防護理論，雷擊的危害形式主要是直接雷擊與感應雷擊。地鐵系統容易遭受直接雷擊的部分主要有進出口站棚、運營控制中心（OCC）主體大樓、車輛段綜合基地大樓及配套建築、變電所、室外牽引供電網、露天運行區間等。當其遭受直接雷擊時，將會引起建（構）築物的損壞，造成人員接觸電壓或跨步電壓傷害，伴隨直擊雷產生的感應雷還極有可能導致建（構）築物內部的電源與信號系統失效，造成供電系統中斷、車輛控制信號紊亂以及電子設備被擊穿等。為了保障地鐵系統的安全運行，地鐵系統必須採取綜合防雷措施，如圖 7 所示。

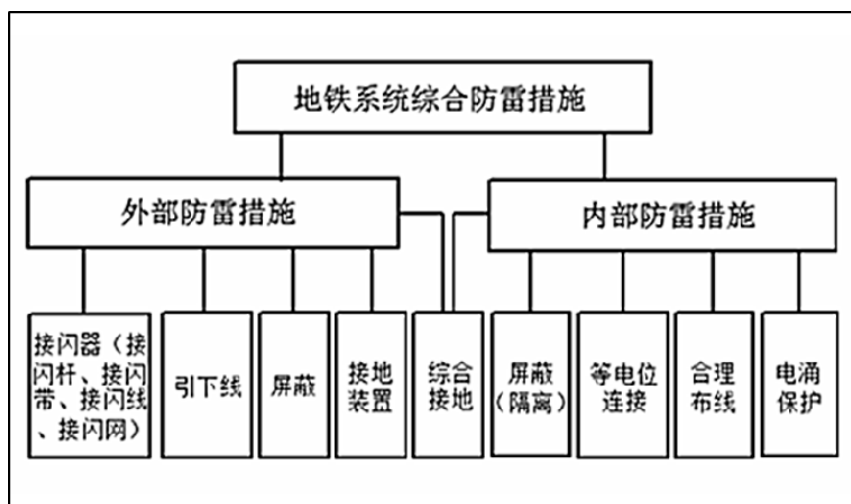


圖 7 地鐵系統防雷裝置設置

(資料來源:巫俊威，田琨，葛俊偉，李一丁，地鐵系統雷電防護的綜合研究，P4)

### 2.3.3 大陸地鐵綜合接地的設計準則與標準

#### (1) 主要設計依據及參考標準

- A. 客運專線綜合接地技術實施辦法（暫行）（鐵集成【2006】220號）
- B. 鐵路防雷及接地工程技術規範（TB 10180-2016）
- C. 鐵路綜合接地系統通號（2009）9301
- D. 民用建築電氣設計規範 JGJ16（2008）

#### (2) 綜合接地系統定義

綜合接地系統是將鐵路沿線的牽引供電回流系統、電力供電系統、號誌系統、通訊及其他電子資訊系統、建築物、道床、月臺、橋樑、隧道、隔音牆等需接地的裝置通過貫通地線連成一體的接地系統。

#### (3) 綜合接地主要設計原則

- A. 綜合接地系統以沿線兩側敷設的貫通地線為主幹，充分利用沿線橋樑、隧道、路基地段構築物設施內的接地裝置作為接地體，形成低阻等電位綜合接地平臺。
- B. 距架空線帶電體 5m 範圍以內的金屬構件和需要接地的設施、設備應接入綜合接地系統。
- C. 距線路兩側 20m 範圍以內的鐵路設備房屋的接地裝置應接入綜合接地系統。
- D. 不便與鐵路綜合接地系統等電位連接的協力廠商設施必須採取可靠的隔離或絕緣等措施。
- E. 在綜合接地系統中，建築物、構築物及設備在貫通地線接入處的接地電阻不應大於  $1\Omega$ 。
- F. 綜合接地網接地電阻值不大於  $0.5\Omega$ ，困難情況下不大於  $1\Omega$ 。

#### (4) 綜合接地總體技術要求

- A. 接地端子設置應便於設備、設施就近接入綜合接地系統和工程實施。
- B. 橋樑、隧道、架空線支柱基礎等結構物內的接地裝置應優先利用結構物中的非預應力結構鋼筋作為自然接地體。
- C. 為防止對預應力鋼筋的影響，預應力鋼筋不應接入綜合接地系統。
- D. 接地裝置應透過結構物內預埋的接地端子與貫通地線可靠連接。接地端子應直接澆築在混凝土結構內，表面與結構面齊平。
- E. 構築物內兼有接地功能（含連接）的結構鋼筋和專用接地鋼筋應滿足：架空線短路電流大於 25KA 時，鋼筋截面不應小於  $200\text{mm}^2$ （或直徑不小於 16mm）。當結構鋼筋的截面不滿足要求時，可將相鄰的二根鋼筋併接使用（無需改變鋼筋的間距）或局部更換直徑為 16mm 的鋼筋。

#### (5) 車站接地裝置的布置

一般情況下，車站內的變電所和主要的弱電系統均佈置在車站設備機房比較集中的一端，而在另一端往往也需設置跟隨變電所和其他一些弱電設備機房。因此，車站兩端都需要接地引出線。這樣，可以在車站兩端各做一個接地網，中間通過均壓帶把它們聯結起來形成一個較大的接地網。如圖 8。對於比較特殊的換乘車站來說，例如“十”字型換乘。車站兩端的接地網被下穿的路線截斷，無法在地下聯結成一個整體的接地網，可在兩端接地網之間較近的地方分別引出兩根接地引出線，並在車站月臺板下採用電纜連接，使之成爲一個完整的接地網。如圖 9。

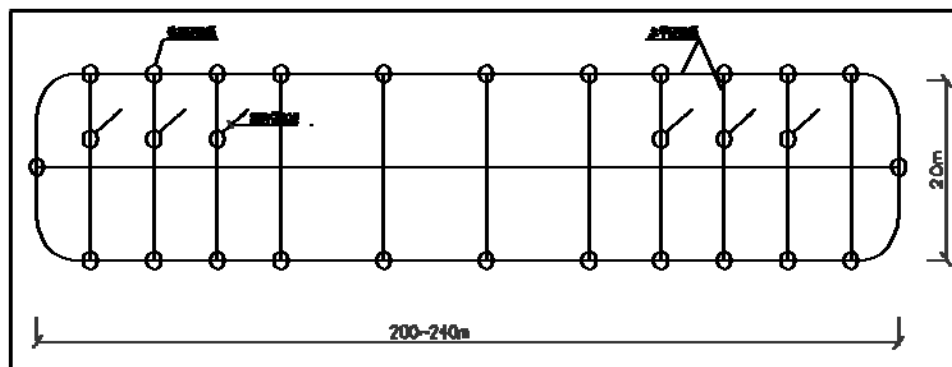


圖 8 車站接地網佈置形式之一

(資料來源:蔡明忠,劉昌林,地鐵車站接地與安全設計中綜合接地裝置的應用,P2)

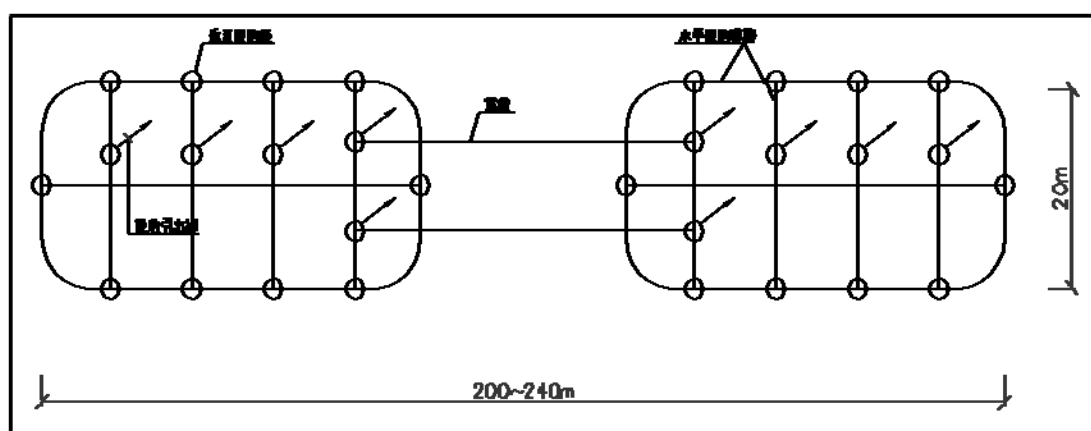


圖 9 車站接地網佈置形式之二

(資料來源:蔡明忠,劉昌林,地鐵車站接地與安全設計中綜合接地裝置的應用,P2)

關於接地網佈置的規模，除了與各車站本身的佈局和功能有關外，主要考慮的還是接地網埋設區域的土壤電阻率。根據《交流電氣裝置的接地》[3] (DL/T621—1997) 附錄 A 中複合式接地網接地電阻的簡單演算法： $R = 0.5 \rho / S^{1/2}$  ( $\rho$  表示土壤電阻率； $S$  表示接地網的有效面積) 可知，在滿足接地網接地電阻值不大於 1 歐姆的同等條件下，土壤電阻率高的車站接地網規模要大一些，反之亦然。這樣，就可以根據各車站土壤電阻率做到接地網規模的最優化設計，以節省設備材料和施工工作量。另外，透過計算可知道同等面積的接地網越接近於正方形佈置其周長越短。雖然在捷運/地鐵車站中做不到接地網的正方形佈置，但盡可能在基坑開挖範圍內把接地網做的寬一些，這對於節約工料和降低電阻也是非常有利的。

#### 2.3.4 大陸地鐵橋樑綜合接地設計

##### (1) 橋樑綜合接地設計原則

橋樑地段貫通地線鋪設在兩側的信號電纜槽內，每側一根貫通地線；接地裝置充分利用橋墩基礎設置，以滿足接地電阻值的要求，接地裝置應與貫通地線可靠連接；樑體及橋墩內的接地鋼筋充分利用非預應力結構鋼筋，原則上不再增加專用的接地鋼筋；並在結構物內預埋外聯接地端子。

##### (2) 橋樑綜合接地技術要求

- A. 貫通地線敷設於通信信號電纜槽中。
- B. 無道碴軌道橋樑接地設置要求：應在樑體上表層（或保護層）設縱向接地鋼筋，分別設於兩側防護牆下部及上、下行無道碴軌道底座板間的 1/3 和 2/3 處，並縱向貫通整片樑；軌道底座板間的縱

向接地鋼筋距混凝土表面的距離應小於 100mm。縱向接地鋼筋與樑端的橫向結構鋼筋連接，實現兩側貫通地線的橫連。

- C. 有道碴軌道橋樑接地設置要求：應利用樑端的橫向結構鋼筋作為接地鋼筋並與樑底的接地端子連接，道砟厚度小於 0.3m 的樑體上表面適當位置處應設縱向接地鋼筋。
- D. 樁基礎橋墩接地設置：在每根樁中應有一根接地鋼筋，樁中的接地鋼筋在承台中應環接，橋墩中應有二根接地鋼筋，一端與承台中的環接鋼筋相連，另一端與墩帽處的接地端子相連。
- E. 明挖基礎橋墩接地設置：  
 在基底底面設一層鋼筋網做為水準接地極，水準接地極應布滿基底底面；鋼筋網格間距宜按照 1m×1m 設置，中部"十字"交叉的兩根鋼筋上的網格節點應施以"L"形焊接，週邊鋼筋應閉合焊接，其他節點綁紮；水準接地極鋼筋網格的外緣距承台混凝土底面不大於 70mm。  
 橋墩中應有二根接地鋼筋，一端與基底水準接地極（鋼筋網）中的鋼筋相連，另一端與墩帽處的接地端子相連，以上接地鋼筋均可用基底、橋墩中的結構鋼筋代替。
- F. 橋樑地段隔音牆接地設置：橋上由導電材料製成的隔音牆及支架應在其結構內預留接地端子，就近與橋上預留的接地端子連接。
- G. 橋臺接地設置：墩體內設置接地鋼筋，橋臺面接地鋼筋參照橋樑體的接地設置要求實施。
- H. 跨線橋（及其他建築物）接地設置：在墩內及樑體內設縱、橫向接地鋼筋，通過橋墩下部的接地端子與線路兩側綜合接地系統預留的接地端子連接。
- I. 框架橋、涵接地設置：框架橋樑、涵頂面填土高度小於 100mm 時需採取接地措施，就近接入綜合接地系統；下部側牆結構鋼筋可不接入綜合接地系統。
- J. 每座橋樑的每個橋墩均應按照本通用參考圖 10-1~3 要求設置接地裝置，並接入綜合接地系統。

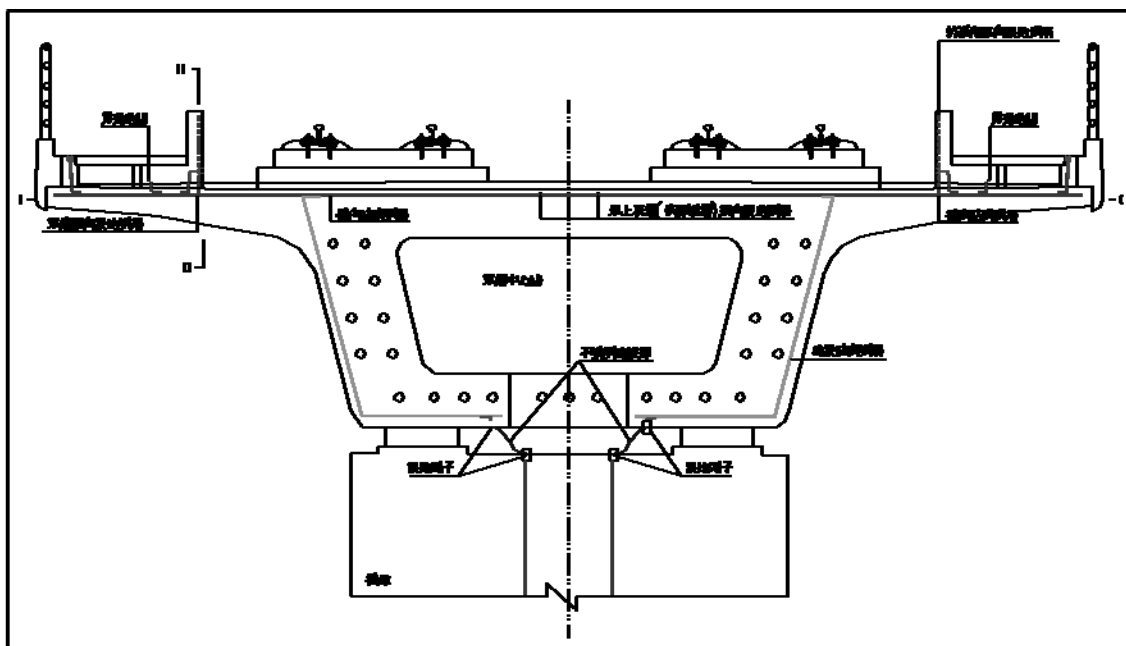


圖 10-1 橋樑綜合接地實施方案圖

(資料來源:中國中鐵二院、鐵路綜合接地工程設計, 2009(8), P9)

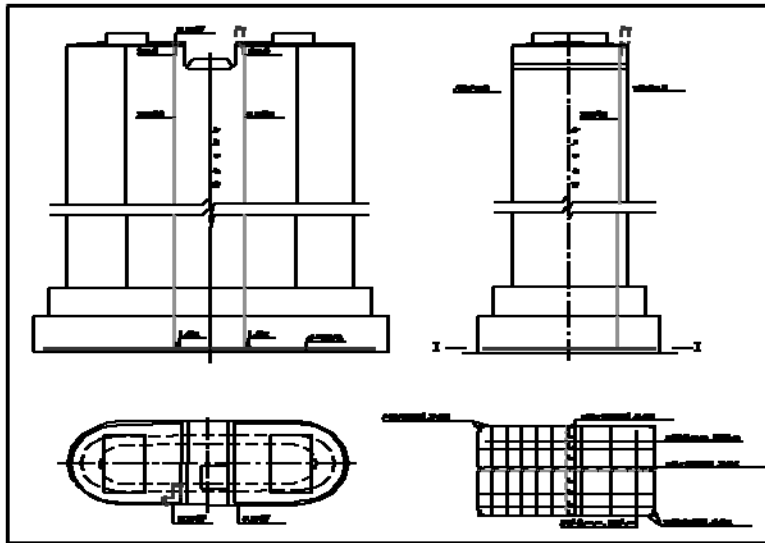


圖 10-2 明挖擴大基礎橋墩綜合接地實施方案圖

(資料來源:中國中鐵二院、鐵路綜合接地工程設計, 2009(8), P10)

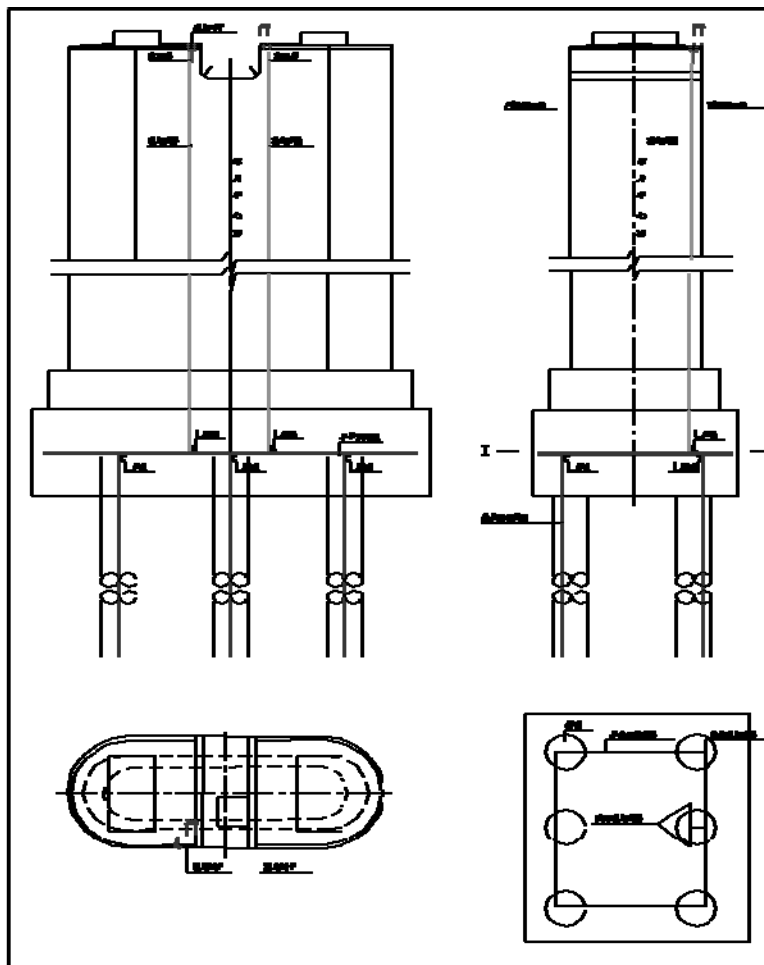


圖 10-3 基礎、橋墩綜合接地實施方案圖

(資料來源:中國中鐵二院、鐵路綜合接地工程設計, 2009(8), P11)

### 3、綜合接地與分離接地二者之探討及未來之趨勢

#### 3.1 分離接地系統方式

分離接地系統方式，針對不同系統之需求，將電力系統接地、弱電接地、避雷接地等不同目的的接地分開設置，以避免互相影響，產生不必要的雜訊干擾。台北捷運、高雄捷運、台中捷運及機場捷運，均採此種做法，且依國家通訊傳播委員會建築物屋內外電信設備工程技術規範 14.1.2 電信保安接地設備不得與避雷針或電力接地設備共用，並應分別與該等接地棒(板)分別間隔 5m 及 2m 以上。

但當雷擊或其它暫態電壓發生時，各分離的接地系統間產生電位差是不可避免的，因不同的接地系統所產生的瞬間步間和接觸電位，可能造成人身觸電及設備之破壞，此為其缺點。

#### 3.2 各國接地差異的影響

電子設備用電來自低電壓配線，通常是由帶電壓（台灣習見電壓是 110 V）的習稱為『火線』與習稱為『地線』的『中性線(neutral)』兩線所成。兩線都是經過變壓器過來，雖其中的『地線』的確有接地，惟台灣與美國的配電系統是採用三相四線（ $3\phi 4W$ ）中性線接地之 Y 接線，用戶接地線與配電變壓器一次側接地線相連，如圖 11 所示，用戶的配電系統亦是採用此配電系統為多，電力公司、高電壓用戶，為保護變壓器避免由於雷電流的損害，通常在變壓器的一次側都裝有避雷器(lightning arrester)，來自變壓器一次側的雷突波電流，經裝在一次側的電力用避雷器洩放大地，但由於配電變壓器二次側接地線與一次側的第四線，亦就是與習稱為『地線』的『中性線(neutral)』連接，以致變壓器接地線將因雷電流而發生的大地電壓湧昇（GPR, ground potential rise）直接傳導至連接電子設備的變壓器二次側電源線的『地線』，由於雷電流的上昇電位，雷電流的一極少部份經電子設備分流，造成電子設備受損，因此對電子設備而言，雷電流是由『地線』冒出來的。

日本是  $3\phi 3W$  系統沒有中性線，大陸雖為  $3\phi 4W$  其中性點並無接地，於三相三線式配電系統因變壓器一次側的接地線與二次側接地線是分開的，因此一次側之大地電位湧升不會直接傳導至二次側，此點對保護電子設備的措施有很大差異。

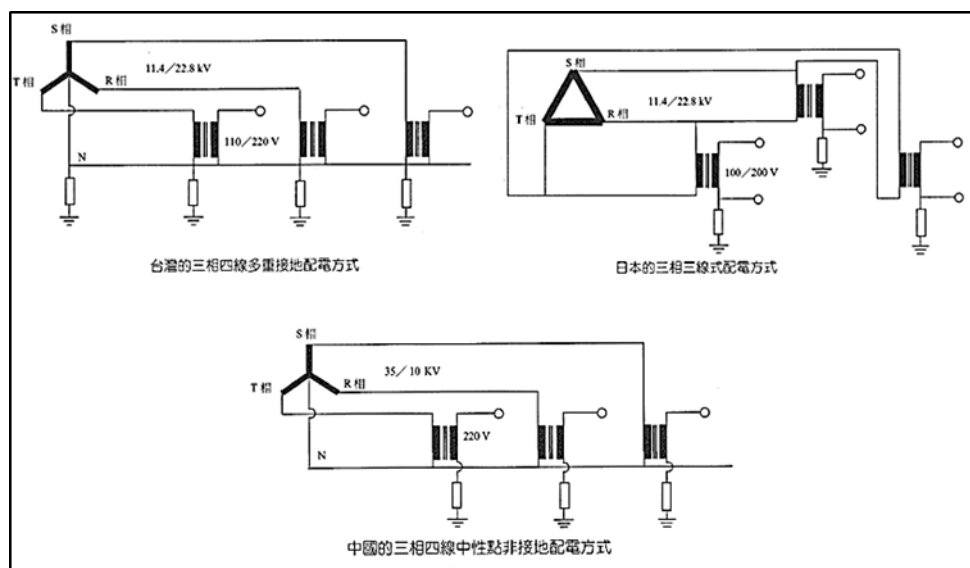


圖 11 不同之配電方式

(資料來源:顏世雄, 接地工程, 2015(11), P58)

### 3.2.1 低電壓側的避雷

#### (1) 中性線上的避雷措施

因三相四線式配電方式雷突波會出現在中性線上，因此中性線對地的避雷措施(避雷器、突波吸收器等)是必須的，然而往往因為下列理由而忽略。

- (a) 習慣上把中性線誤認為是地線，而誤認為接地就是安全。
- (b) 在台灣許多參考資料來自日本，惟日本的配電系統並無中性線。

中性線上會出現雷突波，卻因為誤認中性線就是接地線，而沒有做好避雷措施，故遭雷擊破壞是在所難免，至於中性線避雷元件接線範例如圖 11 所示。

#### (2) 線間的避雷措施

因為感應出現在兩線間的突波電壓，如果沒有互助抵消，則線間會出現極性相反的突波電壓，造成對電子設備的雜訊干擾，為消除此雜訊干擾，兩線間可裝吸收元件。

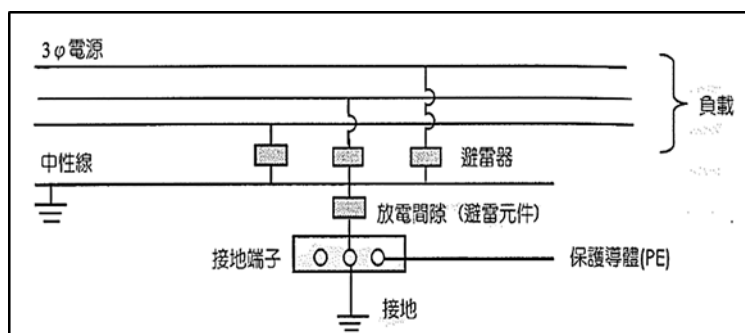


圖 12 中性線避雷器接線範例

(資料來源:顏世雄, 避雷工程, 2007, (5), P77)

### 3.3 綜合接地系統方式

對於捷運系統而言，接地設計主要包括主變電站、牽引動力變電站及設施變電站供電系統的工作接地，為保證人身安全和設備安全的保護接地，通訊、號誌等弱電系統的設備接地及地上建築物與設備之避雷接地。各系統接地透過接地體、接地引出裝置、鎧裝電纜、強／弱電接地匯流排以及各系統接地端子排連接成一體，形成一個高低壓相容、強弱電合一的綜合接地系統。

每座車站設置一個綜合接地裝置，接地電阻按接入設備中要求的最小值確定，一般不大於  $0.5\ \Omega$ ，確實有困難的車站，可適當提高接地電阻值，但應滿足弱電系統的接地要求，原則上不大於  $1\ \Omega$ ，同時滿足接觸電壓和步間電壓的要求。因車站只需提供一處接地，不需提供多種系統之上引線，且在施工現場土壤電阻係數不佳之情況下，一處接地可用面積較大，確實較容易達成接地電阻值，此為其優點。

該接地方式與國內捷運以往的接地做法不同，目前國外除了大陸杭州地鐵一號線、深圳地鐵三號線、深圳地鐵五號線、深圳地鐵十一號線、北京地鐵九號線等採共同接地，卡達(Qadar)首都杜哈(Doha)捷運亦採用共同接地設計，如圖 13 所示。

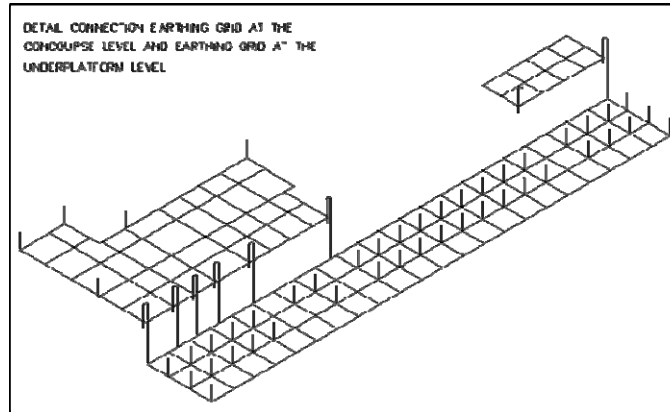


圖 13 杜哈捷運共同接地設計示意圖  
(資料來源:台灣世曦杜哈捷運細部設計圖)

### 3.4 國內針對接地方式之法規修訂情形

前述國家通訊傳播委員會建築物屋內外電信設備工程技術規範「14.1.2 電信保安接地設備不得與避雷針或電力接地設備共用，並應分別與該等接地棒(板)分別間隔 5m 及 2m 以上。」乙項，據查國家通訊傳播委員會於 105 年 4 月 8 日公告「建築物屋內外電信設備工程技術規範」之修正預告，為配合前述光纖入戶政策規畫，爰參考國際技術標準及建築物屋內外電信設備相關設置空間設計、施作之實務而為修正。修正重點包括：電信保安接地除單獨設置接地系統，並參考國際標準可採用等電位共同接地系統，增訂相關規範及圖例。(修正規定第 14 點)。大規模建築之等電位共同搭接如圖 14。目前電工法規屋內配線規則共同接地相關部分已在修訂，預計將於 105 年底公告最新規定。

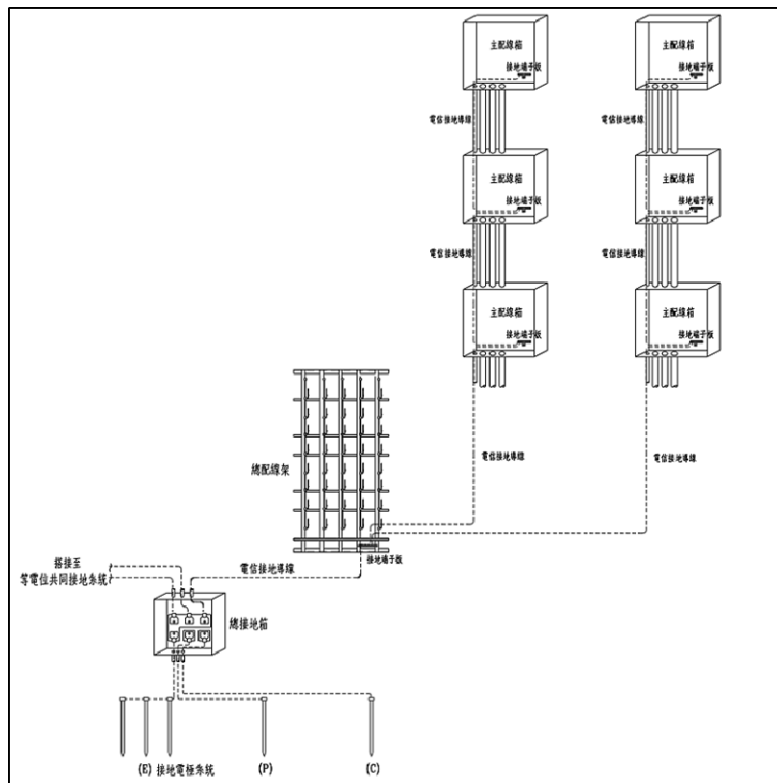


圖 13 大規模建築之等電位共同搭接示意圖  
(資料來源:建築物屋內外電信設備工程技術規範，P90)



### 3.5 未來之趨勢

在地坪面積有限的情況下，常因各別接地形成電位干涉而無法滿足接地的要求，及隨著高速鐵路的發展，鐵路的牽引負荷隨之增大，牽引變電所的回流電流也隨之增大。牽引變電所接地系統面臨兩個嚴重的問題，第一個問題是回流電流造成地網電位不相等，這種情況一方面會對人身以及設備的安全造成威脅，另一方面將對保護、測量、信號裝置造成影響，並有可能引發保護裝置的誤動或拒動。第二個問題是車輛運行時起動、制動等操作造成匯流排電流波動增大，這種波動產生的電磁信號將對變電所中信號與通信回路造成干擾，也將對保護裝置的測量信號造成干擾，並影響調度中心與變電所之間的通訊，而一般的接地系統不能滿足對電磁信號遮蔽的要求。由於傳統接地系統存在這些問題，隨著牽引變電所綜合自動化系統的發展，這些問題顯得更加嚴重，以往分散的接地方式已不能適應高速鐵路發展的需要，因此發展綜合接地系統成爲一種必然的趨勢。

針對高速鐵路的特點，大陸之相關研究機構，經過對國內外接地技術的研究和試驗驗證，提出高速鐵路綜合接總體技術方案，建立系統標準體系，並已在京津城際、武廣、鄭西、合寧、合武等高速鐵路中應用並取得成效，同時在 2010 年最新頒布的鐵路行業標準《高速鐵路設計規範》(2015 年 2 月實施)中，將綜合接地作爲獨立篇章重點描述，並將其確定爲大陸高速鐵路的重要系統之一。

由上述可知，參考國際標準採用等電位共同接地系統，已是未來修正之方向，而綜合接地系統單純簡潔，依資料顯示在大陸地區已成標準，近來，國內亦對此議題有所研討，雖尚未有定論，但建議未來可考量場地之實際狀況，經縝密之分析與計算後可試行採綜合接地系統，並經確實驗收與追蹤，以利形成未來之捷運之接地趨勢。

## 4、國內捷運系統高架橋接地及避雷保護之規定

### 4.1 臺北/台中都會區大眾捷運系統

目前均依據「臺北捷運系統接地、連接和防蝕實作規定」及「機廠、車站與軌道水電工程設計指南」、「環狀線(第一階段)及台中烏日文心北屯線機電系統工程(車輛、號誌、供電、通訊、機廠)特別技術規範(PTS)」進行設計，相關雷擊及突波之保護特定要求如下：

- (1) 避雷保護須涵蓋所有臺北捷運系統位於地面上、車站以及機廠內之建築物。
- (2) 所有建築結構中之避雷導線不得與建築結構中之任何金屬部分相連接，而須與專屬之接地電極連接，此接地電極直接形成單獨之接地或與系統接地連接。
- (3) 裝設於外部電氣設備(External Electrical Equipment)之突波轉向器(Surge Diverters)的基座須與該設備外殼、支架或承載設備之結構保持絕緣。該轉向器之接地須以絕緣電纜方式連接之專屬接地電極，此接地電極不可與任何建築結構之任一部位接觸。
- (4) 所有地面建築物必須有避雷系統加以保護，此避雷系統的設計必須遵照中華民國建築技術規則”建築設備篇”第 19 到 25 條之規定。
- (5) 避雷保護系統包括安裝在屋頂的銅導帶及所需的避雷針，所有在屋頂層的金屬突出物均須和避雷針網路相連接。
- (6) 每條引下導體須在地面層上裝置一個接地測試線夾。所有的引下導體均須取最直接的路徑到地面層，且不允許引下導體造成下降又上升的迴路。
- (7) 每條引下導體須與接地極連接，接地極的位置儘可能的靠近引下導體，整體避雷系統的接地電阻不能

大於 10 歐姆。

- (8) CBTC 系統（信號需能含蓋主線及機廠全區）如有採用天線設備，須考量防止雷擊及強風等因素，且必須就天線設備及安裝與接地方式提送工程司審查核可。
- (9) 廠商應針對系統異常過電壓形式(雷擊突波、開關突波及商用頻率過電壓)提出電腦模擬評估報告，以確認各級電壓準位是否應安裝避雷裝置或突波保護裝置。
- (10) 為因應雷擊、故障等因素而致正、負電導電軌上可能產生暫態突波，高架段與平面段之 PPSS/GBSS，均應於適當位置裝設突波保護裝置，以保護 PPSS/GBSS 內之供電設備。
- (11) 車站、機廠、附屬建築物等之電話線路須配置在配線架上。配線架須設置突波保護器(surge protectors)，以避免湧浪電流電壓傷害人員及破壞設備。在平面與高架段須安裝避雷保護裝置。

文湖線於土建工程高於 20 公尺之高架橋設避雷系統保護，並於高架橋之各橋墩設道旁接地網供機電系統設備接地用，環狀線於土建工程高於 20 公尺之高架橋設避雷系統保護，如圖 15，並於各車站端之橋墩設道旁接地網供機電系統設備接地用。

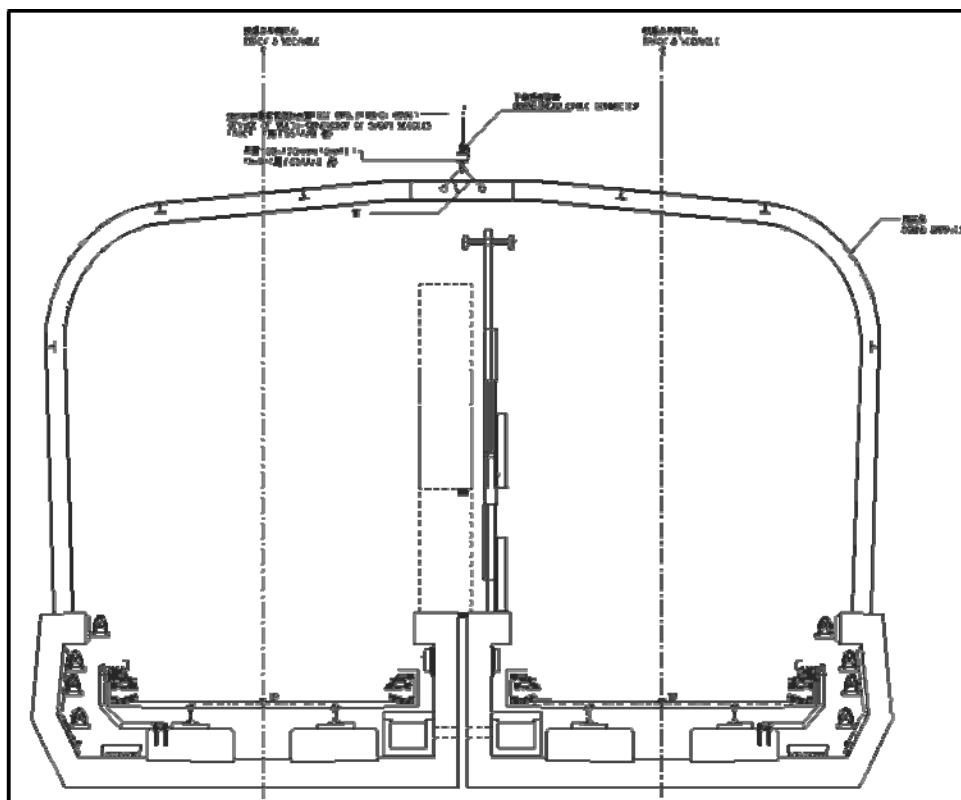


圖 15 環狀線高架橋隔音牆避雷示意圖  
(資料來源:環狀線高架橋隔音牆細部設計圖)

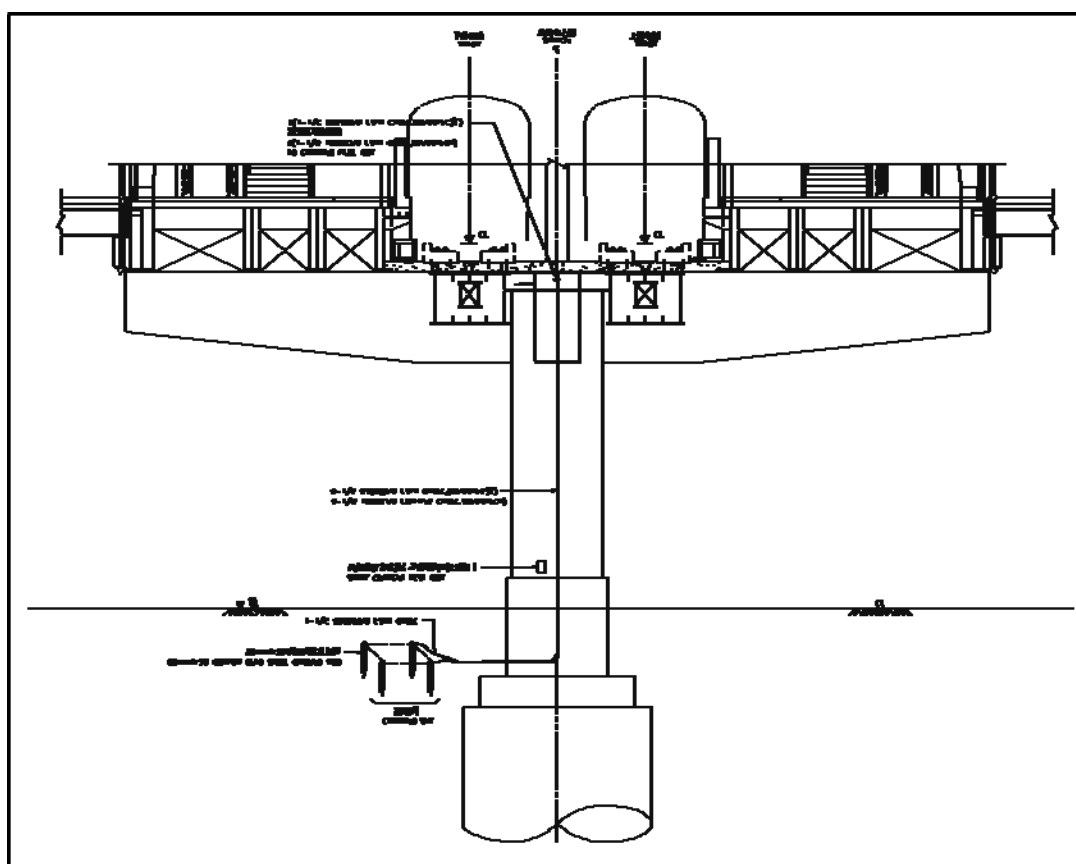


圖 16 台中捷運系統高架橋接地網及雜散電流測試箱安裝示意圖  
 (資料來源:台中捷運系統高架橋接地網及雜散電流細部設計圖)

## 4.2 高雄都會區大眾捷運系統

係依據高雄捷運技術規範「土建及車站工程設計規範」第五篇「電氣與機械」進行設計，相關雷擊及突波之保護特定要求如下：

- (1) 須符合建築技術規則建築設備篇第一章第五節避雷設備或 NFPA78 之規定，如本地法規或主管機關另有規定者則優先適用。避雷接地網與其他接地網距離至少 20 公尺。
- (2) 所有導線均須為銅質且線徑不低於 50mm<sup>2</sup>；接地網至避雷突針及至避雷接地測試箱之主接地引下導線線徑皆至少為兩條 50mm<sup>2</sup> 銅導線。避雷針須經相關主管機關審核認可。
- (3) 避雷保護裝置須連接專用的避雷接地棒，其接地電阻須小於等於 10 歐姆。
- (4) 高架車站及機廠空曠區高桿燈應設避雷保護系統；另捷運關聯建物高度高於 10 米(含)亦需加設避雷保護系統。

## 4.3 桃園國際機場聯外捷運系統

桃園機場聯外捷運系統係依據「業主需求(VIII)－接地準則」、「接地搭接及雷擊保護實作規定」、「土建、車站及其他機電設備設計規範第六篇其他機電設備」進行設計，相關雷擊及突波之保護特定要求如下：

- (1) 本章包括其他之金屬結構，包含隧道水泥內襯、水泥結構之加強物、其他設施之管線，及建築物和車站內之固定物和裝配等之接地，亦包括結構體及建築物之雷擊保護。
- (2) 所有外露結構鋼構必須搭接最近的接地系統，其搭接方式必須以裸銅線或其他核可的導體，且/或結

構鋼構本身提供電氣連續或與搭接導體橋接的接頭。

- (3) 本捷運系統個別建築物之雷擊保護需求，必須依據建築技術規則或 IEC 61024-1 評估，確有需要的地點，依據此規範提供雷擊保護。所有鋼構或鋼筋混凝土之建築物，其結構的每一樑柱必須搭接至機廠底板之結構接地。金屬屋頂必須多重搭接至建築物結構之金屬部份。避雷導體必須橋接任一非金屬屋頂並以最有效之方式連接至鋼結構。尚未與就地接地系統適當搭接之金屬被覆電纜及其它進入建築物之金屬設施，必須於進入點搭接至建物及雷擊保護的任一接地電極。
- (4) 所有接地金屬結構物之任一部分與主線軌道、搭接軌道之任何金屬結構、或列車靜態包絡線之距離，不得小於 2 公尺。
- (5) 軌邊設備接地係表示遠離車站之道旁設備、配電箱體、控制箱外殼及支撐座等，如軌邊隔離開關，軌邊號誌箱、軌邊轉轍器等。這些設備散落在軌道全線，因其設備體積不大，一般皆低於軌道胸牆，直接受雷擊之機會不大，故可不作外部雷擊保護，例如裝置避雷針。但為防止雷打到胸牆，電流經由大地接地電阻產生對地電位昇(GPR)，再經由電源線或信號線產生之誘導雷擊，各子系統應各自安裝突波吸收器(TVSS)，各突波吸收器由各子系統自行設計及安裝。

桃園國際機場聯外捷運系統於土建工程高於 20 公尺之高架橋之胸牆設避雷系統保護，如圖 17 所示。

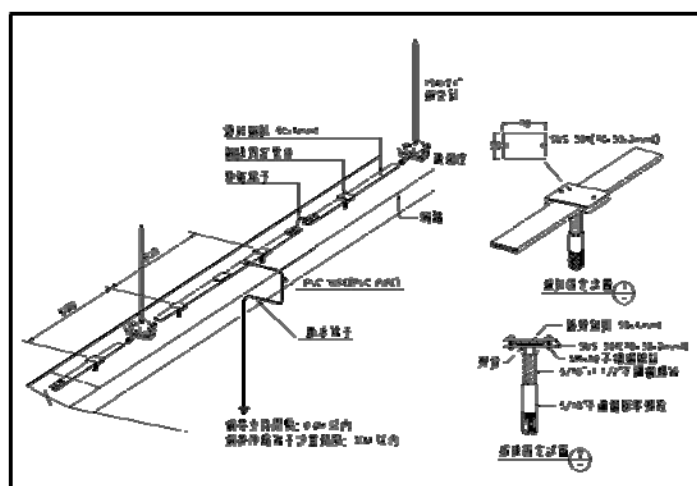


圖 17 桃園國際機場聯外捷運系統—胸牆避雷示意圖  
(資料來源：桃園國際機場聯外捷運系統胸牆細部設計圖)

## 5、國外捷運系統高架接地及避雷保護之設計案例

### 5.1 廣州地鐵四號線高架防雷設計(中國城市軌道交通年鑑)

#### (1) 高架區間

高架區間構築物按三類防雷設計。當雷擊發生時，由於乘客集中在車輛法拉第籠的保護範圍內部，沒有雷擊危險，所以高架區間的防雷，主要是保護高架區間、區間設備和區間維修人員的安全，相關如圖 18-1~3 所示。

#### (2) 避雷帶

間隔 30m 將橋護欄頂上的避雷帶與另一側護欄上設置的避雷帶用熱鍍鋅扁鋼連接，用絕緣膨脹螺栓將避雷帶固定在樑端部，熱鍍鋅扁鋼連接帶的規格與避雷帶的規格相同。

## (3) 接閃器(避雷針)

利用疏散平臺角鋼橫樑作避雷接閃器。

## (4) 引下線

A. 高架區間利用橋墩結構鋼筋作引下線，要求每個橋墩都做引下。

B. 每個橋墩處，熱鍍鋅扁鋼沿樑縫引下，與橋墩處預留的防雷接地端子焊接。

C. 接地電阻小於  $10\Omega$ 。

## (5) 電氣連接

A. 將一條熱鍍鋅扁鋼設置在疏散平臺底座板處，此熱鍍鋅扁鋼只起電氣連接的作用。

B. 疏散平臺下熱鍍鋅扁鋼與底板螺栓連接處，固定螺栓需緊固，以保證接地電阻的要求。

C. 疏散平臺底座板處的熱鍍鋅扁鋼與樑端部兩護欄間的熱鍍鋅扁鋼連接帶相連。

## (6) 焊接要求

疏散平臺角鋼橫樑、鋼立柱、底座板三者需可靠焊接;底座板與底座板處熱鍍鋅扁鋼用螺栓固定，做防銹處理，並保持良好的電氣通路。

## (7) 熱鍍鋅扁鋼的防銹處理

高架橋樑上熱鍍鋅扁鋼的防銹處理方法如下：

A. 安裝的扁鋼需全部採用熱鍍鋅方式，鍍鋅層重量不小於  $550\text{g}/\text{m}^2$ ，即鍍鋅厚度大於等於  $100\mu\text{m}$ ；安裝孔需先開孔後，再進行熱鍍鋅處理，螺栓固定處、焊接處採用與下文中相同的工藝。

B. 防銹工藝：每年熱鍍鋅扁鋼銹蝕的部分採用鋼絲刷刷淨鏽跡，除鏽後刷鐵紅防銹漆兩道，每道漆膜厚度不小於  $40\mu\text{m}$ ；然後再刷銀粉面漆兩道，每道漆膜厚度不小於  $40\mu\text{m}$ 。

## (8) 防雷計算

採用滾球法進行防雷範圍計算。由於高架橋的對稱結構，僅對高架橋左側的防雷範圍進行計算。左側橋翼避雷帶和中間疏散平臺角鋼橫樑可以等效為兩個不等高避雷針的保護範圍。經校核，高架橋面及其橋面設施均處於兩避雷針的保護範圍之內。打雷時，維修人員應不去區間進行維修。如已在區間，又無法迅速到達車站或地面時，可躲在疏散平臺下，並應設法儘早離開。

## (9) 遮罩設計

弱電設備機房內磁場幹擾強度不能滿足不大於  $800\text{A}/\text{m}$  的要求時，需採用一定規格的遮罩網格對設備機房內空間進行遮罩。遮罩網格暗敷於設備機房牆體內，採用  $25\text{mm}\times 4\text{mm}$  紫銅帶或直徑不小於 10 的圓鋼。計算磁場幹擾強度的公式為： $Hl=i/(2\pi Sa)(\text{A}/\text{m})$ 。其中  $i$  為引下線中的分雷電流強度(A); $Sa$  為所考慮點至引下線的水準距離(m)。

## (10) 等電位聯結

應根據弱電系統的工作方式、工作頻率及接地要求，分別選擇 S 型、M 型或其組合型等電位聯結網路，將系統內的金屬部件等電位聯結，並良好接地。

## (11) 防雷電波侵入與電湧保護器 SPD 設計

為防止雷電波侵入，凡進入車站主體建築的鎧裝電纜金屬外皮、金屬線槽和金屬管道應就近與防雷接地裝置連接並接地;距離車站 100m 內的架空金屬管道，應每隔 25m 左右接地一次，其衝擊接地電阻不大於  $10\Omega$ ；變壓器高、低壓側各相分別裝設適配的突波保護器(SPD)。

低壓系統安裝三級 SPD，通流量分別為 100kA、50kA、15kA(8/20  $\mu\text{s}$ )。各級 SPD 的電壓保護水準應

滿足設備最低耐壓水準要求，且留有 20% 裕量。為確保安全，第一級為開關型，其餘兩級為限壓型。

(12) 合理佈線

為了避免在線路敷設過程中產生較大的環路，導致因環路感應產生較高的過電壓、過電流而損壞設備，應採用合理的佈線方式。

車站內敷設的各種電力電纜、通信、信號電纜、控制電纜等敷設時宜避開防雷引下線等雷擊電磁脈衝強的區域，無法避開時，應採用遮罩措施。為避免干擾，電力電纜與通信、信號電纜、控制電纜等應分開敷設。



圖 18-1 廣州地鐵四號線黃閣北站鳥瞰圖

(資料來源：向東，建築電氣，「廣州地鐵四號線高架防雷設計」，2007，P1)

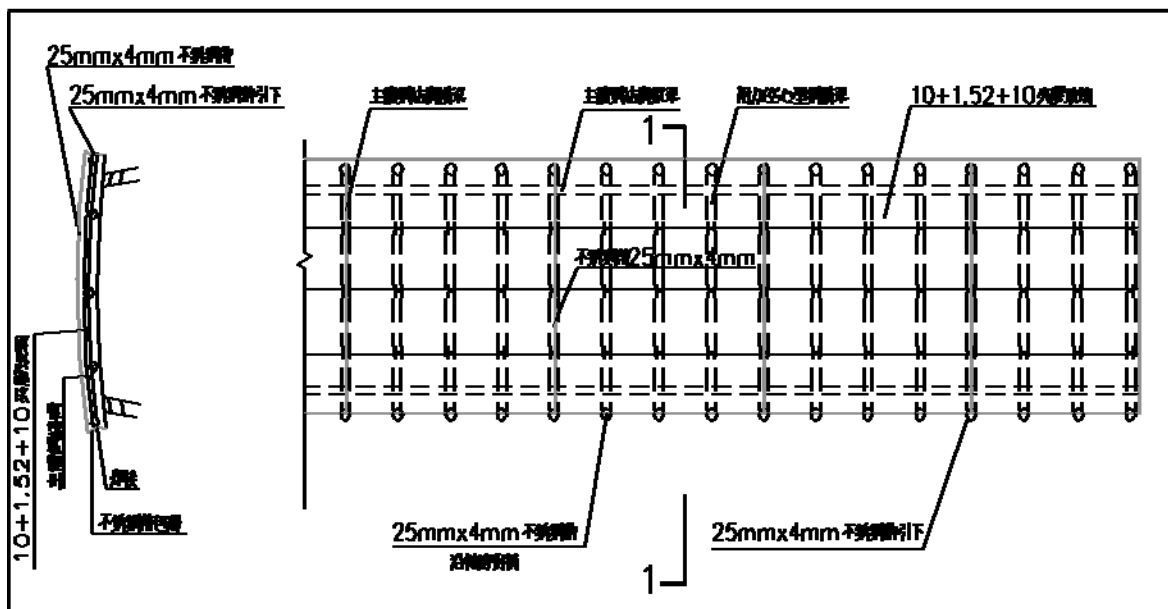


圖 18-2 廣州地鐵四號線車站屋頂避雷平面圖

(資料來源：向東，建築電氣，「廣州地鐵四號線高架防雷設計」，2007，P2)

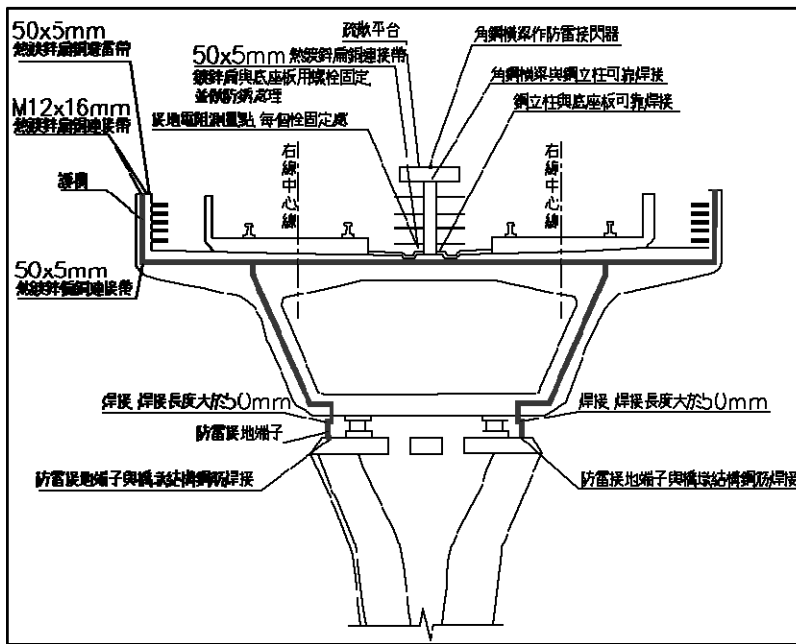


圖 18-3 廣州地鐵四號線高架段(橋墩處)避雷剖面圖

(資料來源:向東, 建築電氣, 「廣州地鐵四號線高架防雷設計」, 2007, P2)

## 6、結論與建議

捷運交通系統具有設備分佈範圍廣、電子資訊類儀器眾多、系統自動化程度高等特點，導致其一旦受雷擊影響，將危及捷運的營運，甚至造成重大的人員傷亡及經濟損失，所以加強對捷運系統的雷電防護是相當重要的課題，由表 1 得知，三峽地區屬落雷頻繁區域，三峽地區沿線應裝設避雷系統，本文綜合上述之研討對於高架橋及相關場站之避雷及接地措施，有以下幾點建議：

- (1) 應充分瞭解相關設施之引雷範圍與雷電活動參數是確定設施防護等級的先決條件，相關電力設備做好絕緣協調，對系統異常過電壓形式(雷擊突波、開關突波及商用頻率過電壓)審慎評估，以確認各級電壓準位是否應安裝避雷裝置或突波保護裝置。
- (2) 因台灣配電系統是採用三相四線(3φ4W)中性線接地之 Y 接線，用戶接地線與配電變壓器一次側接地線相連，雷突波會出現在中性線上，因此中性線對地的避雷措施(避雷器、突波吸收器等)是必須的，防止低電壓設備受到過壓干擾和直接雷的破壞，該部分需確實評估。
- (3) 室內應形成均壓等電位的結構，減少由雷電流引起的電位差。所有由被保護空間引人和引出的電源和通信線路或其它導體，須和雷電防護等電位搭接，使雷電流導人大地。另根據防雷區域的劃分，並將抗干擾能力較弱的電子設備放置於雷電保護圈之 LPZ2 區和 LPZ3 區，內部防護可採用遮蔽、均壓和防閃絡措施。
- (4) 對於高架結構安裝避雷器是防雷的重要措施，確定避雷器的安裝密度、安裝位置、技術參數、防護範圍、分流情況和失效條件制定合適之防雷措施。
- (5) 考量綜合接地系統以下的優勢
  - A. 綜合接地充分利用沿線設施，可有效降低鋼軌電位，保證人身和設備安全，降低鐵路各子系統單獨接地所需的工程投資。

B. 對於場地面積條件有限或高土壤電阻率地區，採用綜合接地優勢特別突出，尤其是橋樑、隧道地段。

C. 各子系統接地納入綜合接地系統後，不僅大大的降低各子系統獨立進行接地處理的實施的難度，同時可有效克服各系統設備之間的電位差。

未來可因應場地現況經縝密之分析與計算後可試行採綜合接地系統，據過去工程實務經驗，如捷運新店線工程 GO1 新店站施工時，因該站屬岩盤地質，接地電阻依一般作法無法達到規定值，故將地網延伸至明挖覆蓋隧道部分，藉以達到要求。若未來遇到類似狀況，可視狀況考慮採共同接地型式施作接地系統，為解決方案選擇之一。

表 1 台灣各縣市行政區每季落雷次數統計表

台灣各縣市行政區每季落雷次數統計						
統計時間：103年10月1日至104年9月30日						
縣市	鄉鎮市區	103年第4季	104年第1季	104年第2季	104年第3季	合計
台北市	大同區					0
台北市	中正區			1	3	4
台北市	萬華區			2	4	6
台北市	松山區			2		2
台北市	信義區			6		6
台北市	大安區			2	2	4
台北市	中山區			1	7	8
台北市	南港區			19		19
台北市	文山區			24	17	41
台北市	內湖區			9		9
台北市	北投區			1	13	14
台北市	士林區			2	10	12
台北市合計		0	0	69	56	125
新北市	永和區			3	1	4
新北市	蘆洲區				1	1
新北市	三重區				5	5
新北市	泰山區			3	6	9
新北市	新莊區				4	4
新北市	中和區			6	9	15
新北市	深坑區			15	6	21
新北市	鶯歌區			4	4	8
新北市	板橋區			1	7	8
新北市	土城區			12	23	35
新北市	樹林區			2	13	15
新北市	五股區			1	4	5
新北市	八里區				4	4
新北市	金山區					0
新北市	石門區					0
新北市	林口區			3	4	7
新北市	萬里區			1	3	4
新北市	三芝區			1	4	5
新北市	淡水區				7	7
新北市	瑞芳區				1	1
新北市	汐止區			9	9	18
新北市	平溪區			9	19	28
新北市	貢寮區			3	4	7
新北市	新店區			83	130	213
新北市	石碇區			75	99	174
新北市	雙溪區			7	9	16
新北市	坪林區			33	47	80
新北市	三峽區			78	162	240

(資料來源：<http://www.taipower.com.tw/>台灣各縣市行政區 104 年第 2 季落雷次數統計)



## 7、參考文獻

- [1] 新北市政府捷運工程局－三鶯線捷運系統計畫統包工程：  
業主需求書(一)－「整體服務需求及規定」。  
業主需求書(二)－「機電系統功能規範」。  
業主需求書(四)－「土建工程及其他機電設施設計規範」。
- [2] 臺北市政府捷運工程局  
「機廠、車站與軌道水電工程設計指南」。  
「環狀線(第一階段)機電系統工程(車輛、號誌、供電、通訊、機廠)特別技術規範(PTS)」。  
「烏日文心北屯線機電系統工程(車輛、號誌、供電、通訊、機廠)特別技術規範(PTS)」。
- [3] 高雄捷運股份有限公司－「土建及車站工程設計規範」。
- [4] 交通部高速鐵路工程局(桃園國際機場聯外捷運系統建設計畫)  
「接地搭接及雷擊保護實作規定」、業主需求(Ⅷ)－「接地準則」。
- [5] 台中都會區大眾捷運系統烏日文心北屯線建設計畫－「其他機電設備設計規範」。
- [6] 顏世雄，避雷工程，2007，(5)。
- [7] 顏世雄，接地工程，2015(11)。
- [8] 蘇奕肇，接地系統入門，2001(12)。
- [9] 成功大學物理系(吳璧如)，「細說閃電」。
- [10] 電機技師雙月刊(陳榮章)，「完整避雷系統介紹」。
- [11] 向東，建築電氣，「廣州地鐵四號線高架防雷設計」，2007。
- [12] 大連鐵道學院學報(劉永謙)，「地鐵專案綜合防雷設計的探討」。
- [13] 學匯樂(陳明)，「地鐵直流牽引供電系統的接地保護」。
- [14] 劉錫良，地鐵車站綜合接地設計方案研究，電力科技，2016。
- [15] 徐志新，關於地鐵車站綜合接地網幾點思考，2015(12)。
- [16] 呂雪冬，地鐵綜合接地系統工程施工，隧道建設，2015(12)。
- [17] 孫鑫，李楨，鐵路信號室內綜合防雷，電子設計工程，2013(5)。
- [18] 中國中鐵二院工程集團有限責任公司，鐵路綜合接地系統工程設計，2009(8)。
- [19] 周超，曹明淑，劉強，地鐵車站接地設計探討，都市快軌交通，2009(10)。
- [20] 蔡明忠，劉昌林，地鐵車站接地與安全設計中綜合接地裝置的應用，2009(2)。
- [21] 魏海洋，關於地鐵車站綜合接地網問題的探討，2010。
- [22] 巫俊威，田琨，葛俊偉，李一丁，地鐵系統雷電防護的綜合研究，(四川省防雷中心，成都，610072)。
- [23] 高磊，地鐵車站綜合接地系統的研究與分析，2008。
- [24] 楊崗，客運專線綜合接地系統方案研究，2006(10)。