

第八章 指向性噪音計量測方法

8.1 量測前調查與案件理解

指向性噪音計的量測，不應從架設儀器開始，而應從案件理解開始。依 ISO 1996-2 的精神，環境噪音量測的目的，是取得可作為環境噪音限制判讀、情境比較或空間研究基礎之聲壓位準，因此量測前必須先釐清案件究竟是在處理法規符合性、改善前後比較、民眾暴露說明，還是複合性音源分離；若前端目的不明，後端再精密的量測也可能失去代表性。[1] FHWA 《Noise Measurement Field Guide》則進一步要求，現地量測前應先掌握量測目標、場址條件、周邊可能干擾源、交通狀況、測點幾何與安全限制，這說明案件理解本身就是量測程序的一部分，而不是附帶行政作業。[4] 在指向性量測情境下，量測者尤其應先瞭解場址是否同時存在道路、高架橋、鐵道、匝道、橋下反射空間、局部設備噪音或建築立面放大效應，因為這些因素會直接改變後續樣態分類、測點設計與資料解讀方式。[4][7][8]

案件理解的第二層，是建立可追溯的背景資料。這包括地形圖、道路與軌道配置、車流或班次資訊、路型或橋型、建築高度與立面位置、既有噪音陳情資料、是否曾設置隔音設施，以及量測當日是否存在施工、節慶活動、氣象異常或交通事故等特殊條件。[4][11] 指向性設備之所以不同於一般全向性聲級計，正是因為它試圖把聲場拆解為方向與來源資訊；因此，若沒有前期背景資料，量測者往往只能看到熱圖，卻無法把熱圖與實際交通系統、反射界面或干擾事件正確對應。[7][8] 對複合性音源案件而言，前期調查越完整，後續把指向性資料與行政結論連結的可靠度就越高。[4][8][10]

8.2 量測目標設定與工作假設建立

在完成案件理解後，下一步不是立刻決定儀器品牌，而是先設定量測目標與建立工作假設。ISO 1996-2 明確指出，環境噪音位準的決定可透過直接量測，也可透過量測與計算的結合來完成，這代表量測本身必須服務於特定問題，而非僅止於收集數字。[1] 對指向性量測而言，常見的目標可概括為四類：一是辨識主導來向與主要音源區；二是比較不同系統或不同路段的相對貢獻；三是說明受體端暴露樣態；四是驗證特定改善措施是否改變聲場結構。[1][4][7] 目標不同，假設就不同。若目標是辨識高架與平面道路哪一者主導，工作假設便可能是兩者在時間與方向上可部分分離；若目標是橋下吸音改善驗證，工作假設則可能是改善後橋底反射熱點與橋下面積平均位準將下降。[4][7]

建立工作假設的價值，在於它能把量測從被動記錄轉化為可驗證設計。Maijala 等研究指出，若環境噪音監測能先將聲場視為由不同來源組成，再透過分類與判讀方法分配量測能量，則對主要來源的識別能力會提高。[9] 同理，指向性噪音計若在量測前先假設「特定時段高架車流為主導」、「特定角度熱點可能來自立面

反射」、「特定事件屬局部近場干擾」，則後續更容易以同步量測、事件標記與多測點交叉驗證這些假設，而不是事後從大量影像中任意挑選符合直覺的畫面。[7][8][9] 這種「先有假設、再做驗證」的程序，正是讓指向性量測從展示性技術走向科學化程序的關鍵。[7][9][10]

8.3 儀器選型與等級要求

環境噪音的基本量測儀器，仍應以符合 IEC 61672-1 性能要求之聲級計為核心。IEC 61672-1 規定聲級計分為第 1 類與第 2 類兩種性能等級，其中第 1 類允收範圍較嚴格，較適合高精度與法規或專業用途；第 2 類的允收範圍較寬，通常用於較一般化應用。[2] 對本章所討論的指向性噪音量測方法而言，若目標涉及環境噪音判讀、改善成效驗證、跨期比較或爭議案件佐證，原則上應以第 1 類聲級計作為同步基準量測儀器，因為它提供的是後續所有指向性分析都必須回扣的總量基準。[2][4] 此外，現地前後校正所使用之音響校正器，亦應符合 IEC 60942；該標準規定音響校正器分為實驗室標準、1 級與 2 級，其中 1 級與 2 級可用於現地，且 1 級主要供第 1 類聲級計使用。[3]

至於指向性設備本身，現階段國際標準並未像聲級計那樣建立單一統一的「指向性噪音計等級」制度，因此量測設計不宜把陣列設備當成取代聲級計的單一法定儀器，而應把它視為提供方向性、熱點影像與源別輔助判讀的高階設備。[7][8][10] 實務上，儀器選型應考慮麥克風數量、陣列孔徑、可辨識頻帶、資料儲存能力、同步輸出能力、時間對時能力、是否能同步錄製音訊與影像，以及是否支援後處理分析。[7][8] 若研究目標偏向局部設備或近場熱點，可採較小孔徑與較近距配置；若目標偏向道路、高架或鐵道等較大尺度交通源，則宜採較大孔徑、較穩定的時間同步與較長時段連續擷取能力。[7] 換言之，指向性設備的選型，不是「越新越好」，而是必須與案件尺度、樣態分類與工作假設一致。[7][8]

8.4 現地勘查、架設條件與安全管理

現地勘查是把紙上方案轉換為實際可執行量測的關鍵步驟。FHWA 現地量測指引明確要求在到場後確認測點位置、可能干擾源、反射面、交通狀況、天候、設備架設條件與作業安全；同時也提醒量測前應確認量測路徑或麥克風附近沒有足以影響結果的不當反射面，並應注意場址周邊的交通與人員安全。[4] 對指向性噪音量測而言，現地勘查還必須確認陣列視線是否被路樹、路燈、護欄、橋柱、招牌或行人流遮擋，以及是否存在可能讓熱圖產生鏡像誤導的玻璃、金屬或橋底硬面。[4][7] 這些條件若不先處理，後續所得的方向圖與音場影像很可能只是場址幾何失真，而非真實主音源分布。[7][8]

安全管理在本章中不是附帶議題，而是量測方法的一部分。FHWA 及相關交通噪音實務簡報均強調，量測前須檢查交通流型態、施工或異常車流、天候與現場進出安全，並在車道、高架側緣、橋下空間或夜間量測時採取適當防護與布設規

劃。[4][12] 對於需要長時段連續架設的 24 小時量測，還應考量防雨、防風、防破壞、防誤觸、電源與資料儲存續航等問題。[4][11] 在都市高密度區，陣列設備通常較醒目，因此架設位置除須兼顧聲學視角外，還需兼顧治安、通行、設備固定與公共安全；若無法兼顧，則寧可調整量測設計，也不宜冒險把儀器放在高風險點位。[4][11]

8.5 全向性聲級計與指向性設備同步量測

在方法學上，全向性聲級計與指向性設備的同步量測，應被視為指向性噪音量測的基本原則，而非可有可無的附加選項。其原因很直接：聲級計提供經標準化定義的總量指標，如 $L_{Aeq,T}$ 、最大音壓位準或分段統計值；指向性設備則提供來源方向、熱點空間分布、事件可視化與部分源別資訊。兩者結合後，才有可能回答「在某一時段某一熱點所對應的總體音量是多少、該熱點是否真的主導該段 L_{Aeq} ，以及不同來源在總量中可能占何種相對位置」。[1][4][7] 若只有指向性影像而沒有標準化總量基準，熱圖雖然直觀，卻難以與傳統法規、長期監測資料或改善前後比較接軌。[1][2][4]

同步的關鍵不只是同時開機，而是時間基準一致、測點幾何關係清楚且資料後處理可以對時。Murovec 等人指出，麥克風陣列在環境噪音監測中的價值之一，正是可藉由形成較高訊噪比與方向性資訊來提升對主要來源的辨識，但這類系統若要用於實務評估，仍需與標準化聲級資料結合。[8][10] 因此，在本章方法架構下，建議以全向性第 1 類聲級計作為主要法規與總量基準，以指向性設備作為空間—來源輔助系統，兩者至少應在起訖時間、分段時間戳、校正狀態與事件標記上完全同步。[2][3][8] 若再加上同步影像或交通事件記錄，則可進一步建立「熱點—事件—總量」三者之間的對照關係，這對複合性音源分離尤其重要。[8][10]

8.6 量測時段、時長與事件選取

量測時段與量測時長，應依案件目的與噪音時間結構共同決定。WHO 與歐洲環境噪音制度均以日、昏、夜等時間區段或 24 小時平均概念作為暴露指標的基礎，顯示時間本身就是評估構造的一部分，而不是單純的取樣容器。[5][12] 若案件目標偏向長期暴露或居民生活影響，則不宜僅以單一短時段代表全貌；若目標偏向特定異常事件，如夜間超速車流、尖峰匝道急加速、列車通過或橋下異常反射，則應加強特定時段與事件窗口的量測密度。[4][5] 也就是說，時段選取應與工作假設相呼應，而非僅依作業方便安排。[4][12]

事件選取則是指向性量測相較於傳統全向量測更需要嚴謹處理的部分。Maijala 等與 Murovec 等研究顯示，若能結合來源分類或自動事件判別，環境噪音監測可以更有效將聲級變化分配到不同來源與事件類型。[9][10] 在實務上，量測者應明確區分連續交通背景、代表性通過事件、非代表性干擾事件與需剔除事件。例如同一場址中的機車急催油門、救護車警報、工地瞬時敲擊、強風撞擊麥克風

護罩等，都不應與穩定車流或常態列車通過混為一談。[4][9][10] 指向性設備的優勢，不只是看見熱點，更在於它能幫助量測者為事件建立可重現的分群與標記規則；但前提仍是量測前已設定清楚的事件篩選準則。[9][10]

8.7 連續 24 小時量測與代表時段量測

連續 24 小時量測與代表時段量測，分別對應兩種不同的證據需求。前者適合用於掌握完整晝夜變化、估算長時段代表值、辨識尖峰與離峰差異，以及觀察夜間敏感時段是否存在特殊事件；後者則適合在資源有限、案件目標明確或已知干擾時段高度集中的情況下，集中量測最有意義的時窗。[5][12] WHO 對 LAeq,24h 的定義與歐洲對 Lday、Levening、Lnight 的制度化處理，都顯示長時段暴露評估在政策上具有重要性；但 CNOSSOS-EU 同時也允許以較短但條件穩定的參考時段作為長期結果的基礎，只要方法與假設清楚。[5][12] 換言之，24 小時量測不是永遠必須，但在暴露型與爭議型案件中常有明顯優勢。[5]

然而，對指向性設備而言，連續 24 小時量測會帶來資料量、電力、儲存與後處理壓力，因此更需要明確設計擷取策略。較務實的方法，是以全向性聲級計執行長時段連續監測，以指向性設備在代表時段或疑義時段高密度同步擷取；若設備條件足夠，則可在 24 小時內採事件觸發或分段擷取模式，以避免產生大量缺乏分析價值的靜態資料。[4][8][10] 此外，代表時段量測不可憑主觀直覺指定，應以交通資料、陳情時段、先導量測或既有監測資料為依據；否則所謂「代表」往往只是作業上的方便，而非聲學上的代表。[4][11]

8.8 指向性音場影像與頻譜資料同步擷取

指向性噪音計最有特色的輸出，不是單一分貝值，而是音場影像、方向資訊與頻譜資料的同步呈現。Chiariotti 等對聲學波束成形的回顧指出，波束成形技術的核心優勢之一，在於可於空間上定位聲源，並與頻率資訊結合，從而辨識不同來源或構件在不同頻帶上的主導性。[7] 這意味著指向性量測不應只保存彩色熱圖畫面，而應同步保存原始或可回算的頻譜、時間戳與必要的原始聲學訊號，因為真正的分析往往發生在後處理階段，而不是現場看圖判斷的瞬間。[7][8] 對交通噪音而言，不同來源在頻帶上常具有差異，例如輪胎—路面、輪軌接觸、排氣或橋梁反射可能在不同頻帶出現主導特徵；若只保留整體熱圖而無頻譜資訊，後續便難以進行更細緻的來源辨識。[7][8]

同步擷取的另一個目的，是建立影像、頻譜與總量之間的可追溯關係。實務上，建議每一筆指向性資料至少具備對應的時間碼、量測段識別碼、頻帶設定、設備姿態資訊與對應的全向性聲級資料段。[4][8] 若場址存在多個疑似來源，還應在必要時同步錄製可供事件回放的環境影像或交通紀錄，以利把熱點移動軌跡與實際車流、列車通過或局部干擾對應。[4][8][10] 這種資料結構化設計，看似繁瑣，

實則是未來進行複合性音源分離、訓練自動分類模型與建立制度化證據鏈的基礎。
[9][10]

8.9 背景音量量測方式

背景音量量測的目的，不是證明主音源不存在，而是界定在主要目標源不主導時，場址仍存在的殘餘聲環境。ISO 1996-2 明確包含殘餘聲或背景條件的處理，並提供以統計位準或其他方法表徵殘餘聲的框架；其核心精神是，在環境噪音評估中，量測者應能區分目標源、殘餘聲與特殊干擾事件。[1] 對指向性量測而言，背景量測的重要性更高，因為若不先掌握背景結構，某些遠端車流、空調設備、風切聲、昆蟲鳴叫或局部社區活動便可能在熱圖上被誤判為目標交通源的一部分。
[1][4][10]

背景音量可透過三種方式取得。第一種，是於目標事件稀少或暫停的時段量測相同測點之殘餘聲；第二種，是於相同街廓但不直接面向主要音源的背景測點建立基線；第三種，則是在長時段資料中透過統計位準與事件篩選方法，分離常態背景與事件聲。[1][9][10] 對連續交通音而言，背景量測往往不可能得到完全「無交通」的聲場，因此更合理的做法是界定「無目標主導事件」或「低交通貢獻」狀態，而不是追求絕對安靜。[1][4] 若案件涉及夜間敏感時段，背景量測還應特別注意風速、昆蟲、犬吠、空調與其他社區環境聲是否在夜間轉為主導來源。[4][11]

8.10 校正、前測、後測與品質保證

任何環境噪音量測若缺少校正與品質保證，都不具備可辯護性。IEC 60942 對音響校正器的性能要求說明，其設計目的即在於產生已知聲壓位準與頻率，以供檢查或調整測量系統靈敏度；IEC 61672-1 則對聲級計性能等級作出規範。[2][3] 在實務上，現地量測應至少執行前測校正與後測校正，並記錄校正值、時間、儀器序號、環境條件與是否超出可接受偏差。[3][4] 對指向性設備而言，即使其本身不直接作為法規基準聲級計，仍應建立內部檢核程序，例如陣列通道檢查、時鐘一致性、錄音功能、影像對時與必要的試錄測試，否則後續很可能出現熱圖正常但時間碼錯亂、頻譜遺失或個別通道異常的情形。[4][8]

品質保證還包括量測前測與現地試量。FHWA 的作法強調在正式量測前進行設備與程序檢查，確認資料表、測點位置、環境觀察與設備狀態皆已就緒。[4] 對本章方法而言，前測的重點是確認目標源是否確實可見於指向性影像、全向性聲級是否穩定紀錄、同步系統是否正常對時，以及所選時段是否真的能反映案件關心的事件結構。[4][8] 若前測已顯示場址過度反射、視線嚴重遮蔽或局部干擾主導，則應即時調整測點或量測設計，而非勉強進入正式量測。[4][7] 品質保證的本質，不是量完再補救，而是在量測前、中、後各階段把可預見的失真降到最低。
[4][8]

8.11 量測資料整理、分段與時序標記

指向性量測資料之所以容易失去價值，往往不是因為量得不夠多，而是因為整理得不夠結構化。環境噪音監測研究已反覆顯示，若資料未依時間段、事件類型、來源假設與品質標記整理，則自動分類、來源識別與人工審查都會變得低效甚至不可靠。[8][9][10] 因此，本章建議將所有量測資料依「測點—日期—時段—事件—設備」五層結構整理，並至少保留開始時間、結束時間、事件類型、是否代表性事件、是否受干擾、對應全向性指標、對應熱點圖檔名與備註欄。[8][10] 這種做法雖然看似接近資料工程，但對於未來複合性音源分離而言，正是必要的基礎建設。[9][10]

分段與時序標記尤其重要，因為交通噪音常同時包含連續背景與短時事件。若沒有一致的分段規則，後續比較容易陷入「哪一段算同一事件、哪一段應剔除」的主觀爭議。[4][9] 較好的方法，是在量測前即決定分段單位，例如固定 1 分鐘、5 分鐘或與單一交通事件對齊，再於後處理階段以代表性標記補充說明。[4] 若案件重點在特定異常事件，則應另立事件索引，記錄該事件的方向、頻譜特徵、對應全向性峰值與現地觀察備註。[8][10] 如此一來，報告中的每一個圖、每一段聲級與每一個判讀，都能回溯到原始時間軸，而不是停留在主觀截圖層次。[8][10]

8.12 指向性資料與合成音量之整合分析

指向性資料若要真正對環境噪音治理有用，最終必須回到與合成音量的整合分析。所謂合成音量，指的是全向性聲級計所量得之整體聲壓位準，如 $L_{Aeq,T}$ 或其他時間統計指標；而指向性資料則提供在同一時間窗內，哪些方向、哪些熱點或哪些事件最可能構成該整體音量的重要部分。[1][7] 整合分析的目的，不是將熱圖直接轉換成法規值，而是建立「總量—方向—來源」之間的邏輯鏈。例如某一時段 L_{Aeq} 顯著上升，若同步熱圖顯示橋面方向能量同步擴大，且背景點與橋外點皆有一致表現，則較可推定橋面車流為該時段主導來源；反之，若總量上升但熱圖集中於測點近旁設備或立面鏡像，則解釋就必須更謹慎。[1][4][7]

Murovec 等研究之所以重要，在於它們示範了環境噪音陣列資料不應孤立解讀，而應結合聲級、來源分類與後處理規則來提升可用性。[8][10] 在本章架構下，整合分析至少應包含四個步驟：先以全向性資料選出具代表性的高暴露時段或事件，再用指向性影像判讀主導來向與熱點，再以頻譜與背景資訊檢查是否存在反射或非目標干擾，最後才進入來源相對貢獻的敘述。[7][8][10] 需要強調的是，現階段多數指向性設備所給出的仍是空間相對分布與方向性資訊，而非直接法律意義上的來源分項聲級，因此整合分析應採「相對主導性」與「證據一致性」的語言，而非過度宣稱絕對精確的來源分貝值。[7][8] 這種保守但嚴謹的分析方式，更符合環境噪音實務與未來制度化發展方向。[7][10]

8.13 誤差檢核與重測判斷

任何量測都存在不確定性，關鍵不在於消除所有誤差，而在於辨識誤差來源、檢核其影響，並在必要時果斷重測。ISO 1996-2 本身即以環境噪音位準的決定為核心，隱含的前提就是量測條件與程序必須足以支撐所聲稱的結果。[1] 對指向性噪音量測而言，常見誤差來源包括設備對時偏差、前後校正差異過大、風或降雨影響、測點被非代表性局部事件支配、熱圖受強反射誤導、全向性與指向性設備幾何不一致，以及代表時段其實不具代表性等。[4][7][11] 若這些問題在後處理中已明顯足以改變結論，就不應勉強維持原結果，而應進入重測評估。[4][11]

重測判斷的原則可概括為三類。第一類是技術性重測，也就是校正異常、設備故障、資料缺漏、時鐘不同步或檔案損毀。第二類是代表性重測，也就是量測期間出現事故、臨時施工、異常天候、特殊節慶或交通管制，使資料明顯不代表常態情境。第三類是解釋性重測，也就是原設計無法區分主要來源、反射與真實主源高度混淆，或多測點結果彼此矛盾而無法合理整合。[4][8][11] 在環境噪音案件中，「不確定」本身並不是失敗，但若量測者明知條件不足仍強行下定論，才是真正的方法失敗。成熟的量測制度應允許在證據不足時重測，因為可重測，才表示程序真正重視可驗證性。[4][8]

8.14 量測成果圖表化與報告撰寫格式

指向性噪音量測的成果報告，不能只附幾張彩色熱圖與幾個分貝數字，而必須把量測背景、程序、設備、測點、品質保證、事件選取與整合分析完整呈現。ACT《Noise Measurement Manual》與多項官方量測指引都要求報告應記錄量測位置、時間、設備、環境條件、觀察事項與結果說明，這顯示「報告格式」本身就是環境噪音證據的一部分。[4][11] 本章建議，正式報告至少應包括：案件背景與目標、場址與樣態分類、測點配置圖、設備與校正資料、量測時段與事件選取原則、全向性聲級統計結果、指向性影像與頻譜摘要、背景音量結果、整合分析、誤差檢核、不確定性說明與結論建議。[4][8][11] 若涉及改善前後比較，則應以相同格式並列呈現，以確保可比性。[1][4]

圖表化的重點，則在於讓不同層次的資訊彼此對應。較理想的呈現方式，是以時間軸圖呈現全向性 L_{Aeq} 或分段位準變化，再對應代表性時段的指向性影像、頻譜圖與事件說明；若為多測點案件，則應把各測點時間軸、熱點方向與代表事件對齊展示。[7][8] 這樣的圖表格式，才能讓讀者理解「哪一段總量升高、是哪個方向主導、是否屬代表事件、與背景差多少、是否可能受反射影響」。[7][8][10] 最後在文字撰寫上，應盡量採用「依據何種資料、在何種時段、於何測點、觀察到何種一致性」的科學敘述，而避免直接以單張熱圖做過度延伸推論。[7][10] 對未來複合性音源分離制度而言，這種結構化報告格式特別重要，因為只有資料、圖像與文字三者能互相回溯，指向性噪音計才可能真正從技術展示走向制度工具。[8][10]

文獻資料

- [1] International Organization for Standardization. (2017). *ISO 1996-2:2017 Acoustics—Description, measurement and assessment of environmental noise—Part 2: Determination of sound pressure levels*. ISO.
- [2] International Electrotechnical Commission. (2013). *IEC 61672-1:2013 Electroacoustics—Sound level meters—Part 1: Specifications*. IEC.
- [3] International Electrotechnical Commission. (2017). *IEC 60942:2017 Electroacoustics—Sound calibrators*. IEC.
- [4] Federal Highway Administration. (2018). *Noise Measurement Field Guide (FHWA-HEP-18-066)*. U.S. Department of Transportation.
- [5] European Commission. (2015). *Commission Directive (EU) 2015/996 establishing common noise assessment methods according to Directive 2002/49/EC*. Official Journal of the European Union.
- [6] International Organization for Standardization. (2022). *ISO/PAS 1996-3:2022 Acoustics—Description, measurement and assessment of environmental noise—Part 3: Objective method for the measurement of prominence of impulsive sounds and for adjustment of LAeq*. ISO.
- [7] Chiariotti, P., Martarelli, M., & Castellini, P. (2019). Acoustic beamforming for noise source localization: Reviews, methodology and applications. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 120, 422–448.
- [8] Murovec, J., Prezelj, J., & Batistič, L. (2018). Microphone array based automated environmental noise measurement system. *Applied Acoustics*, 140, 287–296.
- [9] Maijala, P., Zhao, S., Heittola, T., & Virtanen, T. (2018). Environmental noise monitoring using source classification in sensors. *Applied Acoustics*, 129, 258–267.
- [10] Murovec, J., Batistič, L., & Prezelj, J. (2023). Automated identification and assessment of environmental noise sources. *Heliyon*, 9(2), e13181.
- [11] ACT Government. (2024). *Environment Protection Noise Measurement Manual 2024*. ACT Parliamentary Counsel.

[12] World Health Organization Regional Office for Europe. (2018/2022). *Environmental Noise Guidelines for the European Region; WHO Compendium of Health and Environment, Chapter 11: Environmental noise*. WHO.