

# 聲強與陣列於複合性音源分離、方向判定與法定量測之技術分工與制度定位

## 一、摘要

在陸上運輸系統噪音治理中，真正困難的問題通常不只是「噪音有多大」，而是「同一時間有哪些噪音來源共同存在、各自分布於何處、誰是主導來源，以及哪些資料可以作為正式管制依據」。

隨複合音場案件增加，國際技術發展已逐步分化為兩條主要路徑，其一為以聲強（Sound Intensity）為核心的方向性量測設備，其二為以麥克風陣列與波束形成（Beamforming）為核心的聲源定位與聲學成像設備。前者長於主導事件之方向判定與能量流向辨識，後者長於多來源同時存在下的空間分布重建與聲學影像圖建立。從官方產品定義與學術文獻來看，這兩條技術路徑雖均可處理「噪音從哪裡來」的一部分問題，但其能力邊界、應用深度與制度功能並不相同。

NTi Audio NL1 官方明確將其定義為「3D outdoor sound intensity sensor」，強調其用途在於於多方向噪音情境下增加 directional intelligence，並辨識 dominant noise source 的 direction of arrival。相對地，HBK 對 beamforming 的官方定義則是以麥克風陣列建立 acoustical map of noise sources，亦即利用多麥克風直接將多個來源的空間分布可視化。SVANTEK SV 200A 則明確定位為 Class 1 噪音監測站，並以附加麥克風提供 advanced noise directivity detection，用於 dominant noise sources 的方向判讀與不需要事件之過濾。這三者的官方說明，恰可構成一個清楚的國際技術分工：聲強法偏向主導方向辨識，陣列法偏向多來源空間分離，Class 1 監測設備則偏向法定量測與長時監測。

結論是：

- (一) 若目的在於複合性音源分離，也就是要回答「同一時間有哪些噪音來源共同存在並各自分布於何處」，國際上最成熟且最適合的主流技術仍是麥克風陣列與波束形成。
- (二) 若目的在於主導事件方向判定、背景事件排除、長時監測的方向標記或現場快速驗證，則 3D 聲強感測器如 NL1 類設備具有明顯價值。
- (三) 若目的在於正式法定量測與裁處基礎，則仍應回歸符合 IEC 61672-1 Class 1 的聲級計或監測站，例如 SV 200A。

換言之，國際技術發展並非走向單一設備統包，而是日益朝向「法定量測、複合分離、方向輔助」三層分工。

## 二、背景與問題

現行陸上運輸系統噪音治理制度，多以受體點整體音量為判定核心。這種制度在單一來源或音場相對單純的情境下，具有高度明確性與可操作性；然而，當道路與道路、道路與鐵路、高架與平面、場站與聯外道路、工地與車流同時作用於受體點時，單一總量值往往只能說明「人民確實受到噪音影響」，卻難以回答「何者為主導來源」與「應由何者優先改善」。這正是你前述兩份文件一再強調的制度痛點，也是本文必須處理的技術與法制交界問題。

國際市場中的噪音源識別技術，表面上都在回答「噪音從哪裡來」，但若深入檢視，至少可分成三個層次：

- (一) 第一個層次是法定聲級量測，也就是回答「量測值是多少」。
- (二) 第二個層次是主導方向判定，也就是回答「主要聲音大致從哪個方向來」。
- (三) 第三個層次是多來源空間分離，也就是回答「有哪些來源同時存在、各自位於何處、相對強度為何」。

若未把這三個層次切開，則很容易把方向輔助設備誤當成完整分離設備，或把法定量測設備誤當成來源分離主體。這種混淆不僅會造成技術誤用，也會直接衝擊行政處分、責任分析與法規修正的正當性。

因此，聲強與陣列不是互斥關係，而是不同技術層級的互補工具；真正的制度關鍵在於正確定位，不在於宣稱單一技術可以包辦所有任務。目的不是簡化為二選一，而是透過國際技術證據說明何者應作主體、何者應作輔助、何者應維持法定核心。

## 三、聲強法技術現況

聲強 (Sound Intensity) 在聲學上屬於向量量，描述聲音能量流的方向與大小。與單純聲壓量不同，聲強法的理論吸引力在於它可以回答「能量正往哪一個方向流動」，因此特別適合用於方向辨識、聲功率測定與困難聲學環境中的局部判定。Norsonic 對 sound intensity 的官方應用說明就明確指出，聲強法在高背景噪音或不理想聲學環境中，對聲功率量測特別有利，因為它測的是能量流向而不只是聲壓值。這也說明了聲強法在理論上適合從「量」跨向「方向」。

然而，傳統聲強探頭(probe)大多是雙麥克風探頭，主要用於近場掃描式聲功率測定，並非原生設計給戶外複合音場長期監測。ISO 9614 系列標準所建立的聲強

量測傳統，也主要是服務於聲功率決定與工業設備評估，而不是城市複合音場下的多來源並列分離。換言之，聲強法的理論很成熟，但其大規模戶外 3D 商品化設備其實極少。這也是為何國際市場上真正明確宣稱自己是「3D outdoor sound intensity sensor」的產品幾乎寥寥可數。

在目前可直接查證的國際官方產品中，NTi Audio NL1 幾乎是最明確、最典型的戶外 3D 聲強方向設備。官方頁面載明它是「3D outdoor sound intensity sensor」，可直接裝在量測麥克風下方，連接 XL3 聲級計後，識別 dominant noise source 的 direction of arrival。NTi 進一步說明其採 8 支 MEMS 麥克風形成 12 組聲強探頭架構，提供 azimuth 與 elevation，同步記錄 level 與 direction data，目的在於讓多方向噪音情境下的監測具有方向 intelligence。這些措辭都相當一致地指向一件事：NL1 的國際產品定位是 3D 戶外方向感測器，核心在 dominant source direction，而不是 acoustic imaging。

這也意味著，若從國際技術分類來看，聲強法設備的強項在於主導事件方向辨識與方向資料同步記錄。它特別適合長時監測、陳情現場快速驗證、**背景來源排除**與方向扇區判讀。但當問題變成「同一時間有哪些來源共同存在並各自分布於何處」，聲強法設備在單點部署下通常會傾向給出主導向量，而不是完整多來源聲學地圖。這不是聲強法沒有價值，而是它的技術輸出與多來源成像任務之間本來就存在邊界限制。

#### 四、陣列法技術現況

與聲強法相比，麥克風陣列與波束形成的國際發展路徑更加成熟且完整。HBK 官方對 beamforming 的定義十分直接：它利用麥克風陣列偵測聲音到達方向，並建立 noise sources 的 acoustical map。這種 acoustical map 並不是抽象數值，而是可以把多個聲源在空間中的位置與相對強度可視化的結果。HBK 進一步指出，beamforming 適用於中距到長距離噪音源定位，並可對靜態與移動物體進行 real-time noise source location and mapping。從技術語言上看，這已經明確對應到「同一時間有哪些來源共同存在並分布於何處」的需求。

學術文獻對此亦有高度一致的支持。Chiariotti、Martarelli 與 Castellini 於 *Mechanical Systems and Signal Processing* 發表的綜述文獻，系統性回顧了 acoustic beamforming 用於 noise source localization 的方法、發展與應用，並將其定位為噪音源定位的重要成熟方法。這篇文獻之所以關鍵，不在於它只是回顧一種演算法，而在於它確認了 beamforming 的方法論核心：即以空間取樣與訊

號處理重建來源位置與分布，而非僅判定主導方向。這正是陣列法與聲強法在複合音場任務上的根本差異。

此外，國際市場上真正用於「同時看多個來源」的商業設備，也幾乎都屬於 acoustic camera 或 microphone array 類型，而不是純聲強型。HBK Acoustic Camera、gfai acoustic camera、CAE Systems / Acoem 的 acoustic camera 解決方案，乃至固定式 acoustic monitor 類產品，其共同特徵都是透過多支麥克風與波束形成或相關陣列演算法，建立聲學影像圖、彩色聲壓圖或空間分布圖。這些產品的語言中反覆出現的是 localization、mapping、visualization，而不是單純 direction of arrival。這也說明在國際工程應用上，只要目標是多來源並列分布可視化，主流解法依然是陣列。

當然，**陣列法並非沒有侷限**。學術文獻與官方技術說明均指出，陣列的空間解析度受陣列孔徑、工作頻率、來源距離、反射條件與演算法影響顯著。若來源為長距離連續線音源、頻率過低、反射強烈或來源高度相干，則聲學影像圖可能模糊化、旁瓣增強，甚至需進一步使用去卷積或進階方法補強。但需要強調的是，這些都屬於解析度與條件邊界問題，並不改變其方法論本質仍然是空間分離與成像。從制度角度看，這使陣列法非常適合擔任複合性音源分離的主體技術。

### 五、英國 SV 200A 與「準方向設備」的制度位置

若聲強法偏向方向輔助、陣列法偏向空間分離，那麼 英國 SVANTEK SV 200A 這類設備則位於另一個明確層次，也就是法定量測與長時監測主體。SVANTEK 官方將 SV 200A 定義為 premium all-in-one noise monitoring station，強調其 Class 1 身分與內建麥克風的 advanced noise directivity detection。英國頁面更進一步說明，它使用四支整合式麥克風來 pinpoint dominant noise sources in both vertical and horizontal directions，以支援 regulatory compliance 與 urban planning。這代表它的方向功能主要用來協助事件辨識、方向過濾與主導來源定位，但其主體身份仍然是 Class 1 噪音監測站。

這類設備的重要性，在於它提醒我們：方向功能與法定量測功能可以整合在同一設備中，但這不等於該設備就自動成為完整複合分離主體。SV 200A 可以非常有效地回答「法定音量是多少」與「主導來源大致從哪個方向來」，但官方並未把它定義為 acoustic camera，也未以多來源聲學地圖作為主要賣點。也就是說，它強於法定監測與主導方向輔助，而不是「同時顯示多個來源各自分布」。這一點與 NL1 一樣，都說明了方向辨識不等於多來源分離。

從制度設計角度，SV 200A 類設備最適合放在第一層，即法定量測與長期監測層；其 **directivity detection** 可放在第三層，即方向輔助與背景事件排除層。這與你先前文件中提出的「Class 1 解決是否合法、聲強計解決聲音從哪裡來、陣列解決多音源如何分布」的邏輯完全一致，也最符合國際產品的官方自我定位。

## 六、國際市場真正能回答「同一時間有哪些來源共同存在並各自分布於何處」的是什麼？

若把問題收斂到最核心的一句話：國際上真正能處理「同一時間有哪些噪音來源共同存在並各自分布於何處」的主流設備，是各種 **microphone array / acoustic camera** 類設備，而不是純聲強設備。這個結論不是來自主觀偏好，而是來自官方技術定義與產品語言的系統比較。凡是以 **acoustical map、location and mapping、visualization of sound sources** 為核心賣點的，多屬陣列法；凡是以 **dominant source direction、azimuth、elevation、directivity detection** 為核心賣點的，多屬聲強法或準方向法。

這也正是國際市場結構的結果。由於聲強法在戶外環境中對風、反射、相位穩定與間距設計極為敏感，因此真正商品化、且明確宣稱自己是戶外 **3D sound intensity sensor** 的設備並不多。相對地，陣列法因較容易透過增加通道數、調整幾何配置與後處理演算法來提升可視化與多來源處理能力，因此形成了更完整的產品鏈、應用案例與技術生態。換言之，不是聲強法不重要，而是其最適用的位置，從國際經驗來看，通常不是複合性音源分離的第一主體。

## 七、技術比較：聲強 vs 陣列

若以「同步辨識、空間定位、即時性、法定量測、適用場景與限制」六個面向來比較，兩者差異就非常清楚。聲強法在即時性與主導方向判定上非常突出，尤其適合長時監測、背景事件過濾與現場快速指向；但在多來源同時並列與空間分布可視化方面，其能力通常受限於單點架構與主導向量特性。陣列法則在多來源同步辨識與空間定位上具有明顯優勢，尤其能以聲學影像圖方式呈現來源分布；但在設備成本、資料處理、解析度條件與現場操作複雜度上，通常高於聲強法。從國際實務看，這不是誰取代誰，而是任務不同。

換句話說，若問題是「哪一個方向最吵」，聲強法往往更直接；若問題是「這裡同時有幾個來源，分別在什麼位置」，陣列法才是自然的答案。若問題是「這個點位是否超標」，則二者都不應取代 **Class 1** 法定量測設備。這種三分法，正是本文最想建立的國際技術基線。

## 八、對我國制度的直接啟示

現行制度的主要問題不在於量不到噪音，而在於複合音場下的來源歸因、背景處理與責任釐清不足。從國際技術比較來看，我國若要把複合音源分離納入制度，最合理的方向不是把聲強設備或陣列設備硬塞進法定裁處主體，而是建立清楚的三層制度鏈。

- (一) 第一層仍以 Class 1 設備維持法定量測主體，
- (二) 第二層以麥克風陣列作為複合音源分離主體，
- (三) 第三層以 NL1 或具方向功能之 Class 1 設備作為方向輔助與背景排除工具。

對法制作業而言，最重要的不是宣稱某一設備「很先進」，而是明確說明它在證據鏈中扮演什麼角色。國際官方產品頁面已給了非常清楚的答案：NL1 是 3D outdoor sound intensity sensor，用於 dominant source direction；HBK beamforming 是 acoustical map，用於 source localization and mapping；SV 200A 是 Class 1 monitoring station，用於法定監測與主導方向 detection。這三種語言本身就構成了制度定位的最佳證據。

## 九、政策建議

本文建議中央主管機關未來如修訂相關技術指引或測定方法，可明文建立以下原則。

- 正式標準比對與裁處，仍以 Class 1 噪音計或符合規格之固定式監測站為主。
- 複合性音源分離，如欲回答多來源並列分布，應以麥克風陣列為主體技術。
- 聲強設備如 NL1，應明定為方向輔助、事件分類、背景來源辨識與長時方向監測工具。
- 具方向功能之 Class 1 設備，如 SV 200A，可兼具法定量測與方向輔助，但不應被誤認為完整多來源成像系統。

這種分工不僅在技術上合理，也最能避免未來行政爭議。

## 十、結論

本文最核心的結論可以濃縮為一句話：聲強法擅長回答「主要聲音從哪裡來」，陣列法擅長回答「同一時間有哪些來源共同存在並各自分布於何處」，Class 1 法定設備則負責回答「是否符合法定量測要求」。這三者不應相互取代，而應在制度上各司其職。

如果以國際發展趨勢來看，真正的複合音源治理不是走向單一萬能設備，而是走向法定量測、複合分離、方向輔助三層整合。麥克風陣列應是複合性音源分離主體；NL1 之類 3D 戶外聲強感測器應是方向輔助主體；SV 200A 之類 Class 1 監測站則應維持法定量測主體。這樣的制度安排，既符合國際設備官方定位，也能與我國未來修法、技術指引與現場稽查流程形成一致的證據鏈與執行架構。

本文技術判斷主要依據如下：NTi Audio NL1 官方產品說明與預購公告，用以確認其 3D outdoor sound intensity sensor 與 dominant source direction 的產品定位；HBK 官方 beamforming 與 acoustic camera 技術頁面，用以確認 microphone array 聲學地圖與 source localization and mapping 的方法論定位；SVANTEK SV 200A 官方頁面與手冊，用以確認其 Class 1 monitoring station 與 advanced directivity detection 的法定量測 + 方向輔助定位；以及 Chiariotti 等人之 beamforming 綜述文獻，用以補充學術層面的噪音源定位方法論。