

Martin Logan

最美的靜電喇叭

文／劉漢盛

PRIMEAV



聽心



Martin Logan是一家以靜電喇叭著稱的喇叭廠，他們並非第一家靜電喇叭廠，在它前面已經有很多靜電喇叭廠存在過，但他們可以說是非常成功的靜電喇叭廠。說到靜電喇叭，就不得不從1920年代美國Bell實驗室說起，當年Bell指派Chester W. Rice 與 Edward W. Kellogg二位年輕研究員全力研究喇叭，他們研究範圍很廣，也成功的研究出Plasma喇叭、錐盆喇叭與靜電喇叭，其中靜電喇叭的振膜是使用豬腸子繃張出來的薄膜、上面再加上金箔導電體而成。不過後來貝爾實驗室放棄靜電喇叭，因為他們發現靜電喇叭必須擁有很大片的振膜才能發出理想的頻寬，何況當年製造振膜的材料實在太不實際了，因此斷定這種喇叭不可能商業化。

靜電喇叭的發展

1930年代美國經歷了經濟大蕭條，音響的研究幾乎停止，1940年代全世界陷於二次大戰，所有的民間研發幾乎都為軍需服務，這段期間雖然沒有消費需求，但軍中卻孕育了音響技術進步的種子。二次戰後，在1947年，一位年輕的美國海軍工程師Arthur Janszen開啟了現代靜電喇叭的新頁，當時他受海

軍之託，研發陣列麥克風，而這種麥克風需要更精準的測試器材，其中包括再生聲音的喇叭。Arthur Janszen發現傳統錐盆喇叭無法滿足測試精度的要求，轉而研發靜電喇叭，最終研發出以Plastic（塑膠）製成的薄膜鍍上導電材料，做出現代靜電喇叭的第一片振膜。Arthur Janszen的靜電振膜就從那個時代一直被沿用到今天。

1952年，Arthur Janszen利用公餘時間研發出靜電高音，此時的靜電喇叭已經採用後來所謂的Stator（電磁應用中固定的一方，例如馬達裡面繞著線圈的外圍就是Stator，裡面有轉動的軸心。在靜電喇叭中運動的是夾在二片金屬片中的振膜，所以這前後二片金屬片也稱為Stator，中文通常譯為定子或定片），他所設計的振膜與Stator就成為靜電喇叭的標準作法，一直到今天都沒有改變。

1955年，英國人Peter Walker在英國Wireless World Magazine發表三篇有關靜電喇叭設計的文章，並於1956開始嘗試把他的靜電喇叭理論商品化，1957（或1958年）年推出著名的Quad ESL-57靜電喇叭，這是第一對能發出全頻段的靜電喇叭，不過以今天的觀點而言，頻域與音量仍然受到極大限制。1960年



Martin Logan Neolith

Martin Logan最頂級的旗艦Neolith，採用靜電和錐盆低音單體的混血設計。

Martin Logan CLX Art

代，Arthur Janszen與KLH合作，推出巨大的KLH 9，這對靜電喇叭由於尺寸大，可以發出足夠的音壓與低頻，可說是真正的第一對全音域靜電喇叭。

靜電喇叭的祖師爺

雖然靜電喇叭是貝爾實驗室所發明，但真正讓靜電喇叭商業化的卻是Arthur Janszen，而且他等於是美國靜電喇叭的祖師，深遠影響了美國靜電喇叭的發展。除了與KLH合作推出KLH-9之外，他還與Koss合作推出Model One，此外還與Acoustech、Dennesen合作。他的副手Roger West出去成立Sound Lab，專門生產靜電喇叭。Janszen的研發中心後來賣掉，被RTR買下一半的生產工具，生產靜電振膜，RTR的靜電振膜被Infinity拿去設計著名的靜電混血喇叭Servostatic。繼之而起的還有Acoustat、Audiostatic、Beveridge、Dayton Wright與Stax等。您看，Arthur Janszen真的可說是靜電喇叭的祖師爺。

Martin Logan誕生

一開始就說了半天靜電喇叭的演進史，為的就是要介紹Martin Logan出場，因為這個品牌就是受到靜電喇叭演進史的影響而成立的。Martin Logan的品牌名字來自二位創辦人的名字組合：Gayle Martin Sanders 與 Ron Logan Sutherland，為何取二人的「中間名」而不取姓氏？因為他們覺得這樣比較好聽也好聽。Sanders在1975年時開始對靜電喇叭產生興趣，當時他在Kansas州的一個小城市Lawrence經營一家音響店，於是在經營音響店空閒之餘，跑到堪薩斯大學圖書館去研讀有關靜電喇叭的知識。Sanders與Sutherland二人在1970年代末期認識，Sutherland是電子專才，Sanders專精建築與廣告，二人志趣相投，一拍即合，於是合組公司，致力於靜電喇叭研發。1982年夏季CES（在芝加哥），他們拿著照片去參加，介紹靜電喇叭給大家認識。1983年他們的第一對靜電喇叭Monolith在CES音響展中露臉，獲得大家注目，於是開始生產。當時公司只有一位全職人員與一位兼差人員，他們做出10對Monolith，可是有三對在運送途中損壞，這給予他們很大的教訓，從此非常注意包裝的安全性，一直到今天都是如此。Monolith雖然是他家第一對靜電喇叭，但工廠竟然沒有留下一對，一直到2009年有用家送回來修，他們才情商用家留下做為紀念，目前這對Monolith就留在堪薩斯州Lawrence小鎮的工廠內。

1985年，生意開始有起色，不過此時合夥人Sutherland卻離開了，自己去創業，也就是後來的Sutherland擴大機品牌。Sanders獨撐大局，喇叭越賣越好，並且推出許多讓人側目



Martin Logan CLX Art，該廠唯一的全靜電設計喇叭。



Martin Logan

EFX

的型號，例如1997年推出的Statement E2就重達2000磅，這對旗艦靜電喇叭到現在都還為人所津津樂道。Martin Logan持續發展，一直到2005年被美國ShoreView Industries買下，這是一家財務投資公司，資本額9億美元，他們也投資Paradigm，於是Martin Logan的生產就移到加拿大多倫多附近的Paradigm工廠迄今，而美國堪薩斯州 Lawrence仍然保留原來的工廠，研發團隊也還在那裡。

跨入新世代

納入Paradigm體系之後，Martin Logan的產品線大幅擴張，除了靜電喇叭之外，還開發了氣動式高音單體，不過他家稱為Folded Motion Tweeter，利用這種氣動式高音與錐盆中、低音單體的組合，發展出新的喇叭系列。Martin Logan目前產品分為Reserve ESL系列、ESL系列、Electro Motion系列、Motion系列、Wireless系列、Headphone、Subwoofer、Architectural系列、Installer系列等。其中Reserve ESL為頂級靜電喇叭系列，ESL為第二級靜電喇叭系列，Electro Motion為靜電與氣動高音單體混血系列，Motion為氣動高音與錐盆單體混血系列，耳機與超低音就不必說明了，Architectural 與Installer系列是專為規劃案設計的鑲牆吸頂等喇叭，這二系列有用到氣動式高音，但都沒有靜電振膜。

其實，Martin Logan最為人熟知的當屬靜電喇叭，其他氣動高音與錐盆混血喇叭都是後來因應市場需求而推出的。在靜電喇叭中，最頂級的Neolith是錐盆低音單體混血，反而第二頂級的CLX Art才是唯一全靜電喇叭，其他靜電喇叭都是錐盆低音單體混血設計。

採用錐盆混血設計

為何包括最頂級的旗艦Neolith都要採用錐盆低音單體混血設計，而CLX Art卻是唯一採用全靜電設計的喇叭呢？原因很簡單，一般靜電喇叭的低頻量感是不夠的，如果想要獲得足夠的低頻量感與向下延伸能力，必須將靜電振膜尺寸做得很大，至少也要有門板那麼大，如此一來在使用上就變得有限制了，最簡單增加低頻量感的方式就是採用錐盆單體混血。

既然如此，為何CLX Art能夠採用全靜電設計？因為它用了二片靜電振膜，也就是高、中音一片、低音一片。而且，一般靜電振膜只有一片發聲，而CLX Art的低音靜電振膜是二片，利用前後二片振膜來提升低頻量感與下沉能力。加上高、中音與低音靜電振膜都長達57吋，如此一來低頻量感就比較夠了。即令如此，CLX Art的頻寬也僅有56Hz-23,000Hz +/-3dB。Martin Logan真的有夠誠實，老老實實的把這樣的規格標出，就像有些經典古



一般靜電振膜是平面的，而Martin Logan則做成弧形，弧形有什麼好處呢？聲波擴散角度比較大，聆聽好聲區比較廣。

Martin Logan多數靜喇叭搭配錐盆單體，以增加低頻量感。

懂喇叭，明明用的是15吋低音單體，但頻率響應低端也僅標示到50Hz左右。50Hz夠聽音樂嗎？如果是電子音樂肯定不夠，但如果是自然樂器所演奏的音樂，勉強也夠了。

透明的導電PET

Martin Logan的靜電喇叭有幾個特點，第一就是透明，不僅靜電振膜透明，前後二片Stator（他家稱為MicroPerf）也是網狀的，視線不僅可以透過靜電喇叭，還讓靜電振膜的「透聲率、開口」達到其他靜電喇叭的二倍左右。

第二個特點就是CLS（Curvilinear Line Source），所謂Line Source大家都知道是線音源，線音源與點音源最大的不同處是音壓隨著距離衰減的幅度不同。線音源距離每增加一倍，音壓衰減3dB，點音源距離每增加一倍，音壓衰減6dB，所以理論上搭配點音源喇叭的擴大機輸出功率要比線音源還大才適當。而Curvilinear則是弧形振膜，一般靜電振膜是平面的，而Martin Logan則做成弧形，弧形有什麼好處呢？聲波擴散角度比較大，聆聽好聲區比較廣。

至於錐盆低音單體與靜電振膜的混血結合嚴格說來並非特點，那是不得已之下的補償作法。好處是可以補足靜電振膜低頻量感不足、向下延伸能力不夠的缺點，不過由於靜電振膜的速



度反應遠快於錐盆單體，還有二種發聲元件的聲音特性會有差異，所以在搭配擴大機與線材時要多費點心。

Martin Logan所用的透明振膜看起來雖然跟廚房的保鮮膜類似，但實際上卻大大不同。一般廚房保鮮膜的材料大概是PVDC（聚偏氯乙烯，耐熱溫度可達 140 度）、PVC（聚氯乙烯，耐熱溫度可達 130 度）或PE（聚乙烯，耐熱溫度可達 110 度），而Martin Logan採用的材料稱為PET (polyethylene Terathylate)。不過只有PET是無法當作靜電振膜的，因為材料本身不導電，必須在這片振膜上打入導電離子之後，才能拿來製造靜電振膜。這片透明PET厚度只有0.00048英吋，也就是12 Micron。而廚房的保鮮膜厚度呢？大約11-15 Micron，人類頭髮呢？大約100 Micron。這麼薄的振膜幾乎是沒有重量的，因此可



Martin Logan EM-ESL



以非常靈活的前後運動，再生出非常細微的聲音細節，這是其他形式的喇叭單體所無法達到的。

為何不是主流喇叭？

或許您會問：既然靜電喇叭振膜那麼靈敏，為何始終不是主流？問得好，靜電喇叭的主要問題有以下幾個：第一是動態範圍受限，第二是Bass低音量感受限，第三是高頻的指向性太強（也就是擴散性太低），第四是怕灰塵，第五是怕潮濕。動態範圍受限使得我們無法大聲聽音樂，為何動態範圍會受限？因為振膜與Stator之間間隙太小，或者不敢提供高電壓，怕容易擊穿振膜。為何Bass量感不夠？因為振膜前後移動範圍很小，發出的低頻能量不足，除非靜電振膜要比門板還大。為何高頻指向性太強？擴散性差？因為高頻域的波長很短，而靜電喇叭的面寬通常很寬，如此一來就降低了高頻域的輻射角度。為何怕灰塵？因為振膜是高電壓（靜止電荷），就好像集塵器。為何怕潮濕？一旦潮濕，Stator的絕緣層容易被破壞，與振膜之間產生導電現象，如此一來振膜就容易被擊穿了。

說來說去，靜電喇叭好像只有反應非常靈敏的好處，其他都是壞處？如果是做得不夠到位的靜電喇叭的確如此，但Martin

Logan不是這樣。他們採用大片振膜來提升動態範圍，並且以錐盆低音單體混血方式來增加低頻量感，用他家獨有的CLS弧形技術來提升高頻段的擴散角度，用更好的技術來做絕緣。因此，Martin Logan的靜電喇叭不怕灰塵、不怕潮濕、用手掌去用力拍打也不會損壞，靜電振膜壽命長（已經有用家用了二、三十年還沒損壞），而且漂亮（透光，氣氛好）。

唯一要注意的就是搭配的擴大機。因為它是混血設計，低音單體有內建擴大機驅動（除了入門級產品是被動式低音），而且靜電振膜速度反應超快，如果沒有適當的擴大機搭配，400Hz以上的靜電振膜與以下的錐盆低音單體聽起來可能會讓人不習慣。這種不習慣並不是所有用家的感受，而是有些挑剔音響迷的感受。

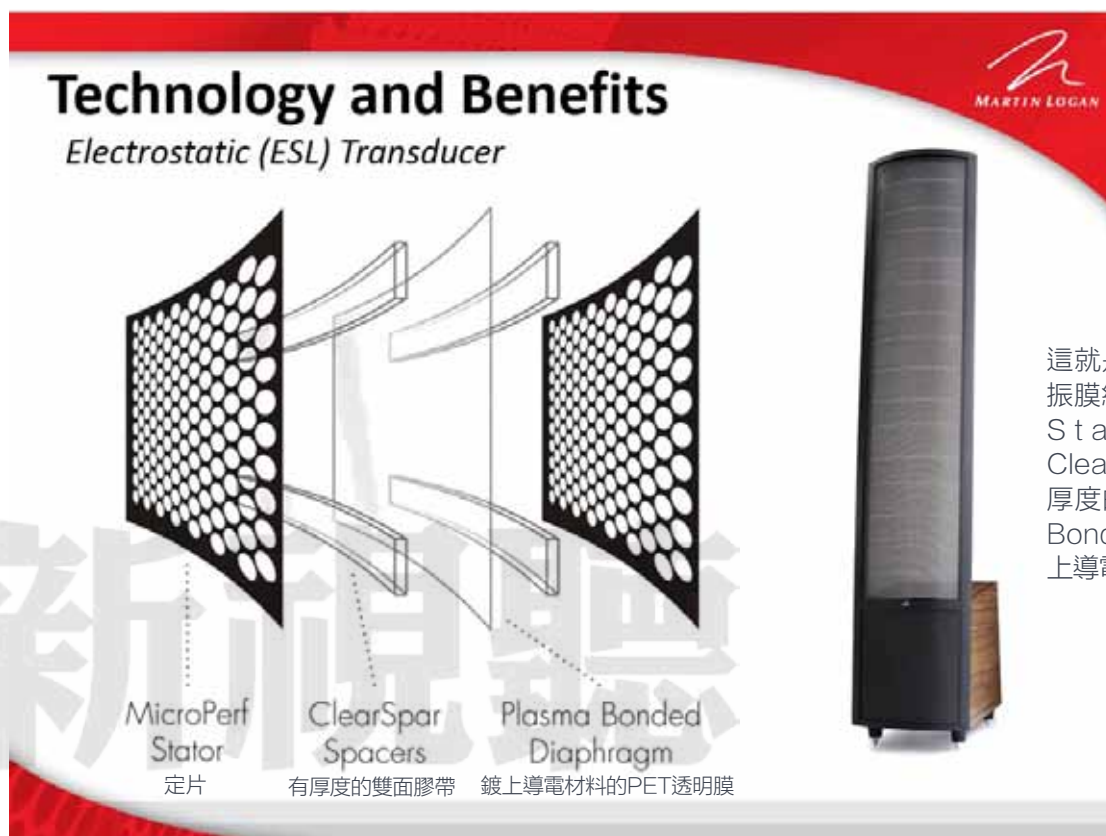
到底要用什麼擴大機來搭配Martin Logan靜電喇叭呢？我問過廠方，他們的回答是他們見過很多的擴大機搭配，也都能夠發出好聲，所以他們也沒有特別發現哪種擴大機最適合搭配。不過，在北美由於主力經銷商Best Buy同時經銷Martin Logan喇叭與McIntosh擴大機，所以他們習慣這樣搭配。這樣搭配好嗎？能說不好嗎？因為Best Buy的銷售量大約佔了Martin Logan總銷售量的三分之一，那麼多人都這樣用了，或許您也可以嘗試看看。



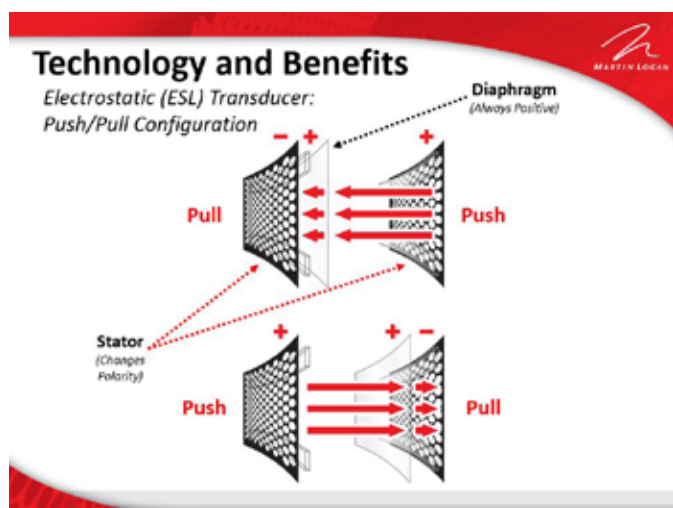
Martin Logan Summit X



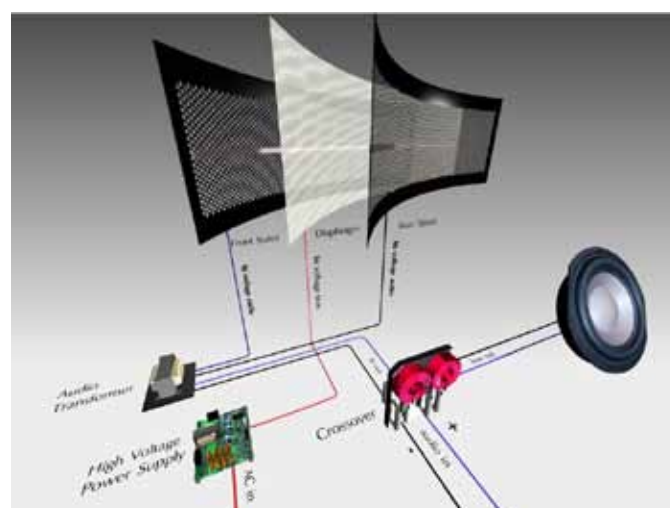
靜電喇叭的製造原理



這就是Martin Logan的靜電振膜結構，圖中的MicroPerf Stator就是「定片」、ClearSpar Spacers就是「有厚度的雙面膠帶」、Plasma Bonded Diaphragm就是「鍍上導電材料的PET透明膜」。



透過異性相吸原理，當前後Stator改變正負極性時，振膜會被吸附作前後運動。



音樂訊號與二片Stator連接，中間的振膜維持恆定正電壓，振膜與Stator的電壓維持2000V，由於相互絕緣，沒有電流通過，所以稱為「靜電」喇叭。

身歷其境 靜電喇叭的製造

這次探訪工廠的重頭戲當然就是參觀工廠內部，第一個要看的就是如何製造Martin Logan靜電喇叭。接下來看自動插鍍零件、線路板製作、箱體的製造、喇叭單體的製造、模具製造等等。您知道嗎？Paradigm不僅是自己製造振膜、懸邊、音圈、分音器等等，甚至連製造振膜的模具也是自己做的，這種徹頭徹尾自己賺的公司還真是少見。也因為可以看的東西太多了，所以安排今天整天就是在工廠內走動。

進入工廠前先發一副眼鏡，在工廠時所有的人都要帶著這副透明眼鏡保護眼睛。我們首先要看的是靜電喇叭的製造，由副廠長Greg Salt帶領我們參觀。Martin Logan靜電喇叭的製造過程可以在YouTube上看到，不過跟我們在現場所看到的還是有很大的差距，這次我們所看到的製程是完全沒有藏私的，任何細節都看到，甚至還安排一位團員實際跟著做做看，可說是身歷其境。

弧形的Stator

製造靜電喇叭的第一步驟就是要把平面的Stator壓成弧形。什麼是Stator？就是靜電振膜前後二片打洞的金屬板，這二片金屬板表面塗佈了絕緣塗料，避免高壓洩出。當靜電喇叭唱歌時，這前後二片金屬網Stator是與音樂訊號接通的，並且隨著音樂訊號（音樂訊號是交流電）改變正負極性。這二片承載音樂訊號的Stator有多高的電壓？利用升壓器，把電壓升高到大約2,000V。

光是有前後二片Stator是不會發聲的，因為發聲體不是這二片金屬網，而是夾在金屬網之間的透明導電PET材料，外觀看起來就好像大捲的保鮮膜，但是表面塗佈有導電物質，而且韌性也比保鮮膜強太多，這是杜邦的產品。這片導電的透明薄膜在唱歌時是隨時保持著2,000V的「正電壓」。當振膜前方的Stator音樂訊號轉為負時，這片恆定正電壓的振膜就會被吸往前面；反之，當振膜後面那片Stator的音樂訊號轉為負時，振膜又被往後吸。就這樣振膜被前後吸附之間，就因為快速振動而產生推動空氣的能量，進而產生聲波，唱出音樂。

以上是靜電喇叭唱歌的原理。原理很簡單，但是前後二片Stator要如何保持絕緣能力呢？振膜又要如何保持繃緊不起皺紋呢？還有，振膜與Stator之間要如何保持一個固定的「間隙」，避免振膜跟前後Stator接觸呢？此外，前後二片金屬網狀的Stator在振膜振動時，難免會引起共振，一旦共振，勢必發出雜音，所以要如何避免Stator共振呢？這一切疑問都在這次參觀Martin Logan

靜電喇叭時得到答案：

雙面膠帶地位重要

原來，一切都是特殊3M膠布（原廠稱為ClearSpar）的功勞。工作人員先把一片平整的Stator（表面已經塗佈絕緣材料）放進機器裡面壓成弧形，壓成弧形之後要用量規量看是否尺寸都是一致。沒問題之後就要開始在這片弧形Stator內側每隔一定的距離橫貼一條類似有厚度的ClearSpar雙面膠帶，這些雙面膠帶相互之間的間隔不是規律的，而是不規律的，藉此來消除整片Stator共振的可能。接著還要在Stator四周邊緣貼上有厚度的ClearSpar雙面膠帶，雙面膠帶的厚度其實就是用來維持振膜與Stator之間的空隙，避免振膜在前後運動時碰觸到Stator。

接下來要在這片已經貼上不同雙面膠帶的Stator上覆蓋透明振膜，這層透明振膜一大捲放在紙盒裡，就好像大型保鮮膜一般，工作人員把振膜拉出來，長長的覆蓋在三片Stator上（工作台上一次要做三片Stator），先把前後端固定，再把工作台底部升起，讓振膜下方的Stator升起，緊緊頂住振膜。頂住振膜之後，工作人員就要開始把振膜用力繃緊，一段一段用手繃緊，還用器具輔助。請記住，振膜必須完全繃緊，不能有一點皺紋，這個製程就需要熟練的技巧了。完全繃緊之後，工作人員要拿一種灰色泡棉狀物質去刷振膜表面，這塊黑色泡棉狀物質要先沾上一種液體。刷過之後還要擦乾淨。當這些工作完成之後，要由二個人小心翼翼的把另外一片Stator覆蓋在振膜上面，完全對齊壓緊。再來就是把伸出外面多餘的振膜用刀片小心割除，此時也要把三片振膜割開，變成三片完整的靜電發聲體。

真空壓實

製成完整的靜電發聲體之後還未結束，這些靜電發聲體還要放在一個真空壓力箱中，藉著抽成真空的壓力把靜電發聲體壓緊壓實（不忘了這片發聲體的Stator是用雙面膠黏合的）。用真空壓實之後就要把靜電發聲體接上導線，此時的靜電發聲體才算完成。

接下來是下一個工序：把靜電發聲體裝上鋁製框架。裝上鋁製框架之後，再把整個鋁製框架跟底下的低音箱體結合。低音箱體中早已裝好錐盆單體、分音器、內建擴大機、升壓器等，工作人員把導線一一接好之後，就可以送到測試站，到此一對靜電喇叭大功告成。📍



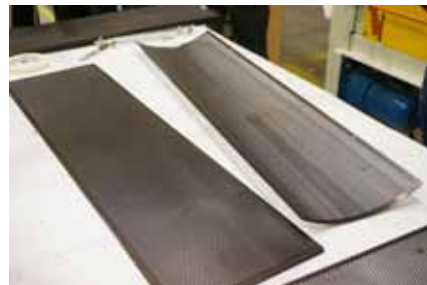
步驟 1

這片金屬網罩就是Stator，由美國加工廠送達加拿大，整片是平整的。Stator本身是導電的，但是表面鍍上一層絕緣體，避免跟導電的振膜之間產生電弧（高電壓）而擊穿薄薄的振膜。



步驟 2

平整的Stator必須加工成弧形，才是Martin Logan所謂的CLS。加工的機器很簡單，就是把平整的Stator放入一個簡單的碾壓機中，馬上就碾成弧形了。



步驟 3

碾壓成弧形的Stator與尚未碾壓的平整Stator做比較。



步驟 4

Stator碾壓成弧形之後，工作人員要拿量規來量量看是否符合所要求的弧度。



步驟 5

接下來要在弧形Stator上面貼雙面膠帶，這種雙面膠帶是3M特別定做的，可以絕緣。雙面膠帶要貼在Stator邊緣四周，以及裡面。請注意看，貼在裡面的雙面膠帶間隔距離並非規律性的，而是略有不同。間隔距離略有不同的理由是要降低Stator共振的可能性。此外，由於二片Stator一片在上一片在下夾住，所以其中一片Stator的雙面膠帶要貼在凹處，另一片則要貼在凸處。



步驟 6

這就是貼Stator裡面的雙面膠帶。



步驟 7

上下二片Stator都貼好雙面膠帶了，請注意看雙面膠帶的間隔是不同的。



步驟 8

工作人員開始把雙面膠帶的面紙撕掉，方便最後二片Stator黏合之用。請注意，只有要複蓋在上方的Stator雙面膠帶面紙要撕掉，底下那片Stator的面紙不撕掉，這樣才不會讓PET振膜黏在雙面膠帶上，無法拉平整。



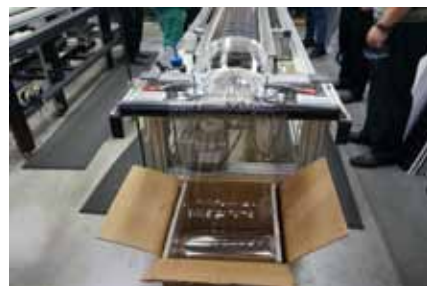
步驟 9

接下來要把透明的PET張在工作台上，先固定一端，再往前拉。



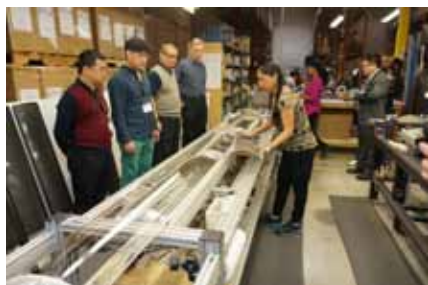
步驟 10

拉到足夠長度之後，另一端也固定起來。請注意，此時工作台上還沒有放入剛剛貼好雙面膠帶的Stator。



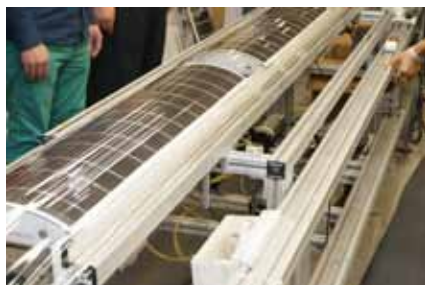
步驟 11

看到沒，紙箱裡裝的就是整捆的PET。



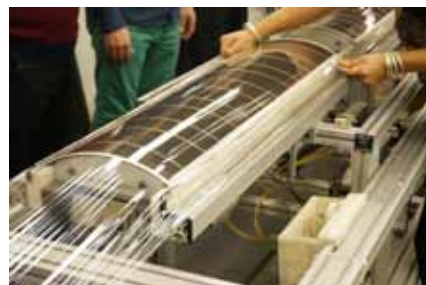
步驟 12

固定好PET之後，就要把三片Stator放在PET透明振膜底下。



步驟 13

三片Stator都放置好之後，工作人員啟動開關，此時放置Stator的工作台會整個往上升起，頂住PET透明振膜。



步驟 14

當Stator頂住PET透明振膜之後，開始要用手把振膜拉平。



步驟 15

一邊用手拉平，一邊還要拿小滾輪把PET振膜完全壓平，不能有一絲皺紋，這道工序需要熟練的技巧才能做好。



步驟 16

接著要用這種薄膠帶順著有貼雙面膠的地方把PET薄膜貼牢。



步驟 17

工作人員正在貼薄膠帶，為何要貼薄膠帶呢？雖然PET薄膜是整片的，但真正發聲時，卻是一小塊一小塊分別發聲的，貼薄膠帶就是要分區。為何不讓PET整片發聲？整片發聲時PET無法繃緊，很快就會失真了。



步驟 18

貼薄膠帶時，要用刮鬍刀片把薄膠帶整齊割斷，不能隨便撕斷，因為接下來要貼邊緣的薄膠帶，如果橫的切口不整齊，會妨礙邊緣貼膠帶的平整度。



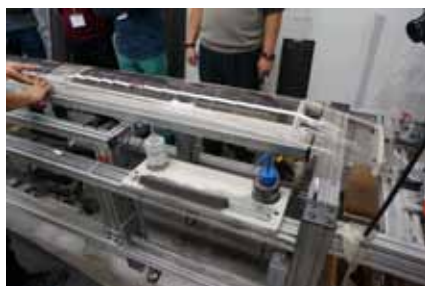
步驟 19

橫貼的薄膠帶貼好之後，還要貼直的邊緣。



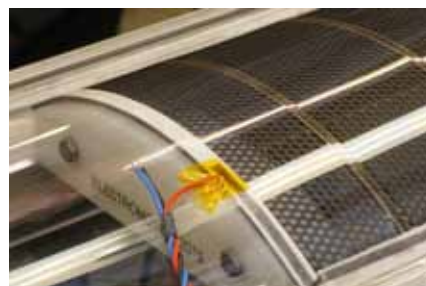
步驟 20

薄膠帶貼好之後，要用一塊灰色泡棉沾一種液體，把PET薄膜從頭到尾擦過一遍。為何要有這道工序？對不起忘了問，我猜是要讓PET薄膜碰上液體之後繃得更緊吧？



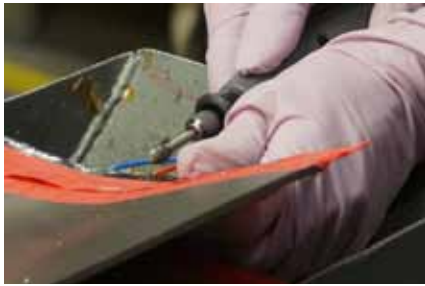
步驟 21

就是用這種液體來擦拭PET薄膜。



步驟 22

擦拭過液體之後，要把PET薄膜的導線黏上去，請注意，PET薄膜要通上2,000V的正電荷。



步驟 23

接下來要把另外一片Stator覆蓋上去，不過這片Stator要先銲上導線。由於Stator表面已經絕緣，所以必須先用小磨機把要銲接之處的絕緣層磨乾淨，才能銲接。銲接時要先用一塊橡膠布蓋住，以免不小心損及Stator。



步驟 24

工作人員小心翼翼的在銲接導線。這二條導線分別連接二片Stator，就是要導通音樂訊號之用。



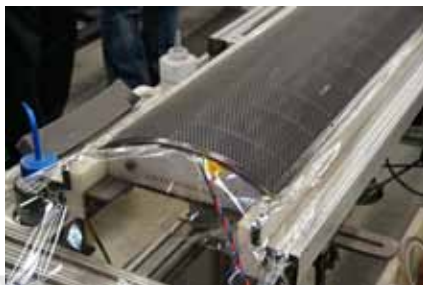
步驟 25

把銲過導線的Stator由二位工作人員拿著，小心翼翼地對齊覆蓋到PET薄膜上。



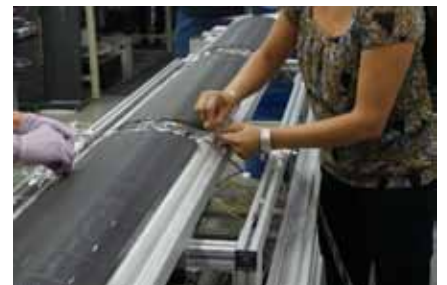
步驟 26

為何要小心翼翼對齊呢？因為覆蓋在上面的這塊Stator雙面膠帶已經撕掉面紙，如果沒有覆蓋準確，膠帶黏上PET薄膜還要撕下來很麻煩。



步驟 27

把上面那塊Stator精準覆蓋上去之後，二片Stator與中間那片PET薄膜就已經完全就定位了。



步驟 28

此時開始把多餘的PET薄膜割除乾淨，同時也把三組Stator分割開來。



步驟 29

分割好的每組Stator還要送入真空壓合箱裡，利用真空的壓力把剛才用雙面膠黏合的Stator、PET薄膜緊緊壓實，這樣才不會因為使用久了而鬆動或脫落。先把剛才做好的靜電發聲體放在金屬模子上。



步驟 30

再於靜電發聲體上面蓋金屬模子，這樣才能壓實。



步驟 31

接著要把大片塑膠布蓋上，把塑膠布裡的空氣抽掉，讓金屬模子把靜電發聲體壓實。這個真空壓合箱一次可以處理五組靜電發聲體。



步驟 32

啟動開關，抽掉空氣。4505



步驟 33

從真空壓合箱拿出來的靜電發聲體，此時已經完成，接下來就要為靜電發聲體裝上框架。



步驟 34

在裝上邊框之前，靜電發聲體必須先經過測試，確定沒有問題才裝上邊框，此處就是測試靜電發聲體之處。



步驟 35

靜電發聲體必須裝上堅固的金屬邊框，才能跟底下的低音箱體結合。這個工作台上已經先夾好一邊的邊框，待會靜電發聲體就要塞進邊框的縫隙中。



步驟 36

先把邊框的底框裝上。



步驟 37

工作人員先檢查靜電發聲體的導線是否確實接好。



步驟 38

工作人員準備把靜電發聲體塞入邊框中。



步驟 39

把靜電發聲體塞入邊框，並且與底框結合，這個底框的功能是用來與底下的低音箱體結合鎖緊之用。



步驟 40

接著再裝上另一邊的邊框。



步驟 41

底框與邊框要用螺絲固定，鎖螺絲時要先把螺絲塗膠，避免螺絲日久鬆動。



步驟 42

鎖過螺絲之後，還要把超低音箱的鐵網面板裝上，下一個工序就是送去裝上底下的低音箱體。



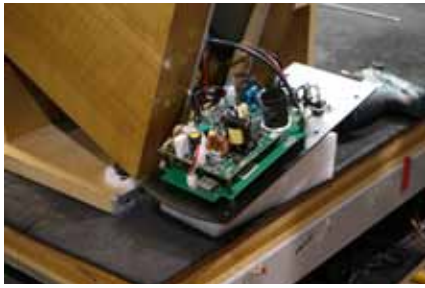
步驟 43

這個就是低音單體。



步驟 44

已經裝上低音單體的箱體，單體上面那一塊凸沿就是要跟靜電發聲體底框鎖定結合之處。



步驟 45

這是低音箱體內部的線路，包括內建功率擴大機、分音器、升壓器等。



步驟 46

工作人員正在把低音箱體的背板鎖好，準備要跟靜電發聲體結合。



步驟 47

工作人員把靜電發聲體拿過來，準備與低音箱體結合。



步驟 48

工作人員正在鎖上靜電發聲體。



步驟 49

把靜電發聲體與低音箱體結合之後，還要用相位測試器量看靜電發聲體的相位有沒有接反。



步驟 50

組裝完成的靜電喇叭等待做最後的測試。



步驟 51

這就是測試室，我們到時正在測試的是Martin Logan目前唯一的全靜電喇叭CLX ART。



步驟 52

每一對靜電喇叭都要經過這樣的測試，符合規格要求之後才能裝箱。



步驟 53

完成測試的靜電喇叭套上布套與塑膠套、泡棉保護，準備裝入紙箱。



步驟 54

裝上紙箱之後，這對靜電喇叭全部完成。



步驟 55

打包好之後的靜電喇叭放在棧板上，準備運走。