

破解循軌誤差的迷思，逼近理論值完美的軸承設計

Vertere Reference唱臂

文 | 陶忠豪



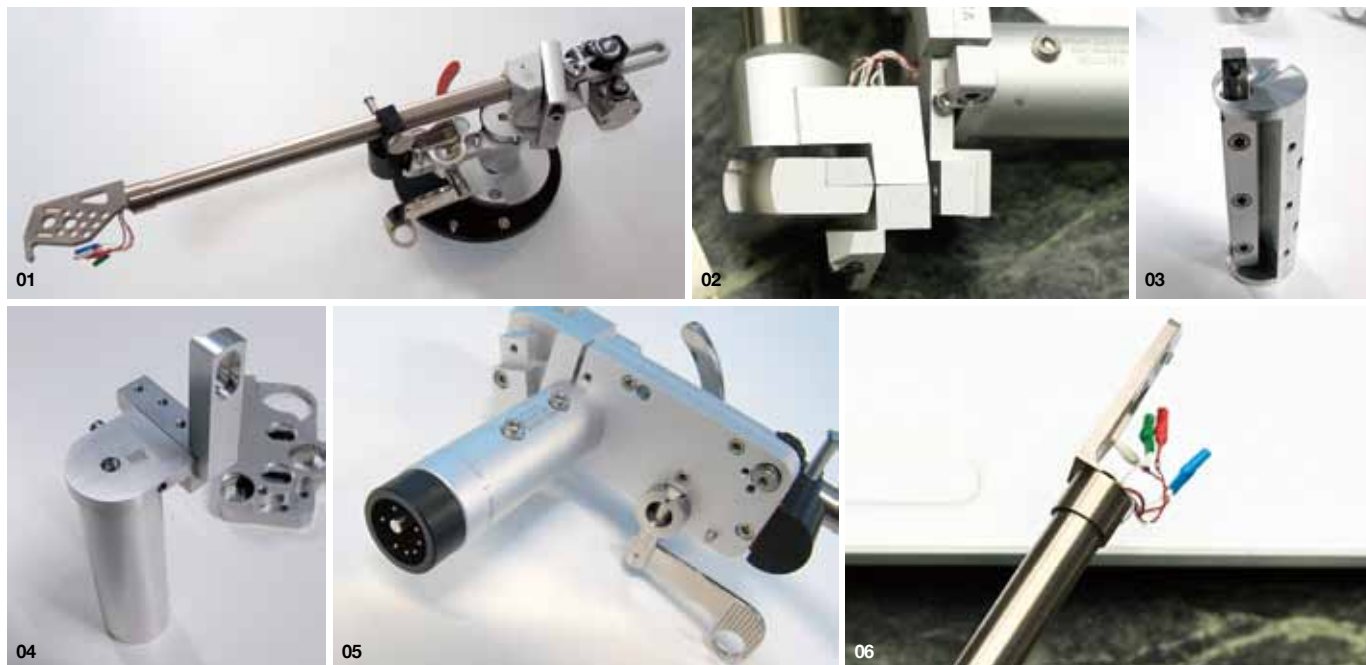
本刊在297期曾經介紹過Vertere的Reference唱臂，那時原廠提供的資料極其有限，直到設計者Touraj Moghaddam博士在去年九月及十二月兩度來訪，深入剖析了這支唱臂的設計特點，這支號稱史上最昂貴唱臂的設計理念才終於完全解密。我曾在302期的人物專訪中介紹過這支唱臂，但是那時篇幅有限，只能簡述概念，這次則將完整論述Touraj的獨創理念，並且剖析這套系統的設計祕辛。為什麼要前後三次介紹這款Reference唱臂呢？因為它的設計完全打破了傳統窠臼，代表著黑膠重播的重大技術突破。更重要的是，Touraj的設計理念同時也解答

了業界與音響迷一直以來對唱臂設計的種種迷思與誤解。一旦理解了這支唱臂的理論概念，眾人對唱臂運作的原理也將會有另一番全新體認。如此重要的唱臂，當然值得再一次深入探討。

史上最貴唱臂

Touraj離開由他一手創立的Roksan之後，在七年前開始思考如何改良音響系統中最弱的環節，他的第一個目標是線材，他發現導線是音響系統首先必須改良的最弱環節，如果能夠提升導線的性能，勢必能夠大幅提升整套音響系統的表現，所以他創立的Vertere品牌後第一個推出的產品就是

線材。那時許多黑膠迷看到專精於設計唱盤、唱臂的機械專家Touraj轉投線材領域，相信都覺得錯愕。沒想到其實Touraj並沒有忘情黑膠，隨後他要解決的就是黑膠重播系統的最弱環節，也就是連接唱頭與唱盤的唱臂。這款名為Reference的唱臂以史上最昂貴價格，一舉引起音響迷的關注與好奇。到底這款唱臂為什麼這麼貴？深入了解過這款唱臂之後，我可以告訴大家，光是Touraj打破一切傳統的獨創設計思維，就足以讓這款史無前例的唱臂名列千金難買的收藏經典。它的頂級用料、高難度手工與先進製造技術，也完全與昂貴的身價相符。



- 01. Reference唱臂是十吋支點軸承架構，包括VTA、Azimuth方位角等所有項目都可調整。
- 02. 這是垂直軸承結構，臂管結構以吊掛方式運作，薄片軸承兩端分別被唱臂架與底座支架夾住，兩個支架非常靠近，但是沒有接觸，僅靠薄片相連，藉由薄片彎折進行小幅度轉動。
- 03. 水平軸承的薄片面積較大，薄片的一半被立方柱夾住，一半被大圓柱夾住，藉由立方柱進行水平轉動。
- 04. 水平軸承裝上唱臂底座支架的結構。
- 05. 組裝完成的唱臂底座，連看不到的地方，加工品質都極其精緻。
- 06. 利用鈦合金自我接合特性組裝的唱頭蓋與臂管結構，必須依賴熟練的手工進行組裝。

循軌角度失真不是關鍵

先從Reference唱臂的設計理念開始探討，雖然Touraj已經是設計唱臂的老手，但是這次他依然不改科學家本色，從唱臂的本質與問題的源頭開始研究。綜觀唱臂的種類，不外乎支點與正切兩種設計，支點臂又有九吋、十二吋等各種長度可以選擇，所有這些區分，都為了解決同一個問題，那就是唱片的內圈失真。唱片內圈的循軌角度誤差最大，所以失真也最高，這是所有人都深信不疑的觀點。但是這個被所有唱臂奉為圭臬的設計起點真的正確嗎？Touraj提出了爆炸性的論點，他告訴大家「唱片外圈的循軌角度誤差其實比內圈還大！」，這個與主流觀點背道而馳的說法，絕非為了譁眾取寵，而是可以用簡單幾何數學驗證的事實，唱片外圈的循軌誤差大約是內圈的兩倍，這個不可否認的鐵證，一舉推翻了眾人長期信奉的真理。

既然如此，為何唱片內圈的失真更大呢？答案其實很簡單，造成唱片內圈失真另有他因，循軌角度誤差根本不是兇手，對重播的影響也不如想像中巨大（否則外圈失真應該更明顯可聞才對），大家以往全都搞錯方向、問錯問題了！

那麼造成內圈失真的元兇到底是誰？答案在於唱片的溝紋之中，唱片內圈的距離較短，在相同距離下，內圈的訊息量要比外圈大上許多，唱頭針桿在內圈的移動量大約是外圈的2.5倍，如果唱臂的循軌能力不夠好，唱針在內圈劇烈運動下，就極容易產生失真。唯有深入理解唱片溝紋的構造本質，我們才有辦法鎖定正確的問題，並且提出解決之道。

唱臂是「動態系統」

Touraj該如何解決真正的內圈失真呢？他認為理想的唱臂應該是「動態

系統」，在音樂重播頻域內，唱臂質量應該要逼近無限大，如此一來，不管唱針如何運動，唱臂都不動如山，這樣才能將唱針從溝紋中拾取的所有震動，全部透過唱頭線圈轉換為感應電流。另一方面，當唱針在遭逢音樂頻域以下的極低頻（也就是唱針循軌失控的大幅度擺動）時，理想的唱臂質量又應該要逼近於零，在這種狀況下，唱針一動，唱臂就跟著移動，唱針拾取的極低頻震動完全沒有機會讓唱頭線圈感應到，失真也就不會轉換為聲音訊號。以上兩種狀態的分界點大約是8Hz附近，也就是說，當重播頻率低於8Hz，唱臂質量要逼近於零，高於8Hz，唱臂質量則要逼近於無限大。

這種隨著重播頻率改變質量的唱臂該如何設計呢？Touraj再一次回到唱片溝紋的微觀世界中找答案。在重播一般音樂訊號時，唱針在溝槽中的運動狀態，其實接近於上下擺動。但

是在遭逢低頻訊號時，唱針的運動方式主要是左右擺動。根據這個運動狀態，理想的唱臂一方面要很輕易的左右擺動（不捨取極低頻訊號），一方面又要在唱針上下擺動時維持穩定不動（讓所有唱針震動轉化為聲音訊號）。根據這個發現，Touraj終於找到解決方案，他的辦法是將唱臂的垂直與水平軸承分離，以8Hz分界點計算，兩者的距離被設定在23mm。水平軸承比較靠近唱針，根據槓桿原理，唱臂左右運動較為輕鬆，垂直軸承離唱針較遠，運動比較費力。依照Touraj的邏輯，Reference唱臂將是史上第一款徹底解決唱臂內圈失真的產品。

附帶一提，依照這個方向，Touraj認為正切臂並不是最理想的設計，這種唱臂是以解決循軌角度誤差為目標而設計的產物，唱臂雖然正切於唱片溝紋，但是安裝唱頭時卻很難真正與唱臂保持直線，以唱片溝紋的微小標準檢視，只要唱頭角度稍有偏差，循軌失真就無法消除。另一方面，為了讓唱臂穩定而滑順的直線運行，正切臂的臂管不能太長，而且軸承必定存有縫隙，容易產生碰撞噪音，在唱針遭逢內圈劇烈運動時，這種設計並不是最理想的作法。這是Touraj之所以採用支點唱臂的原因。

零摩擦力軸承

接下來，唱臂軸承的摩擦噪音也是史上無數唱臂亟欲解決的難題。Touraj認為軸承的摩擦噪音其實並不是最大的問題，軸承設計的真正關鍵，在於只要有摩擦力存在，唱針就必須用兩倍的力量，才能讓唱臂從靜止狀態開始運動，當唱臂不斷進行反覆移動時，唱針的拖動唱臂的力量也就必須不斷起伏變化，這種情況在唱片內圈時尤其嚴重，對針桿阻尼造成莫大負擔。可想而知，唱針在這種狀況下，哪還有辦法專注在循軌工作上？要解

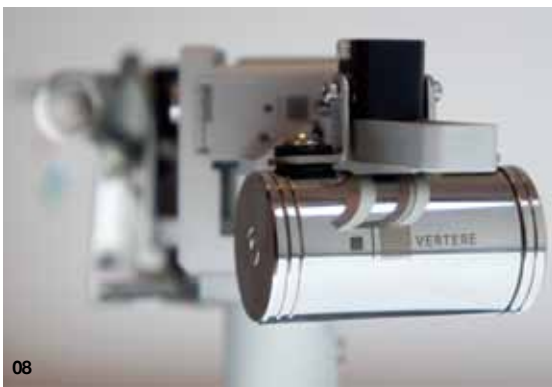
決這個問題，那麼消除摩擦力，就成了唱臂軸承設計的終極目標。這有可能嗎？只要是會轉動的軸承，就必定存在摩擦力，即使最精密的軸承亦然。難道這個世界上有不會轉動的軸承嗎？Touraj一樣從唱臂軸承的本質開始思考，其實唱臂轉動的幅度極其有限，如果我們可以找到一種讓唱臂小幅度轉動、卻不會產生摩擦力的機械結構，問題就將迎刃而解。結果Touraj真的找到了！他用鈦膜與膠片合成的薄片，當做唱臂的「軸」，靠著薄片彎曲，讓唱臂小幅度轉動，這種軸在轉動時，不會與任何組件接觸摩擦，當然不會產生摩擦力。軸承的摩擦力一旦消失，唱臂就可以輕而易舉，毫不費力的運動。唱臂軸承有史以來無解的難題，就這麼被Touraj給破解了！

自我結合技術

內圈失真與軸承摩擦這兩大千古難題都被Touraj給破解了，接下來他要做的是細部的優化工作，讓這款唱臂真正達到完美境界。讓我們從臂管、重錘、抗滑與臂管線這四大部分，欣賞這款精緻工藝的極品。先看臂管，Touraj從Roksan時代就堅持唱臂的組件必須越少越好，盡量減少組裝接縫的存在，以降低撞擊噪音的產生，所以他之前設計的Artemiz唱臂採用唱頭蓋與臂管一體成形結構。不過之前使用的鋁合金材質太重，不適合新型軸承，所以這次他改採重量更輕的鈦合金製造。問題是鈦合金的加工難度太高，不可能用一體成形方式製造，這該怎麼解決呢？不用擔心，原來鈦合金有一種自我結合的特性，在不用任何焊接或黏合的狀態下，只要將唱頭



07



08



09



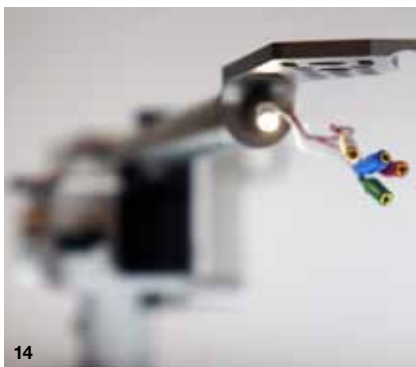
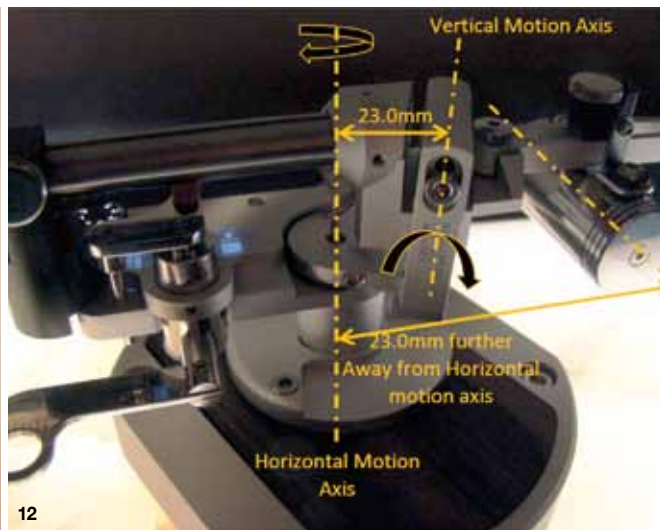
10

07. 重錘分解結構，可以加掛不鏽鋼圓片調整重量。

08. 可以前後擺動的動態平衡重錘，會依照唱臂的上下擺動，自動補償針壓。

09. 唱臂的燈光亮度可調，採用電池供電。

10. 除了圖中的小燈之外，唱頭也有小燈打光，方便家在昏暗光線中進行調整。



11. 為了推廣獨創唱臂的設計理念，Touraj近來奔走各國，短短三個月內就來台兩次，圖為12月音響展時，Touraj親自坐鎮播放唱片時留影。
12. 垂直軸承與水平軸承分離獨立，兩者相距23mm，利用槓桿原理解決內圈失真問題。
13. Reference唱臂的造價昂貴，產量肯定不高，但是Touraj卻連接線端子都自行打造，不計成本追求完美的態度可見一斑。
14. 臂管線採用手工製造的Vertere Pulse導線，線身極其柔軟。

蓋與臂管套在一起，就會形成一個緊密結合的整體，用任何方式都無法拆開。唯一的前提是，唱頭蓋與臂管的口徑必須極度精密，才能達到自我結合的狀態。除此之外，這個組裝工作只能依賴手工，而且就算手工技術純熟，組裝失敗率依然極高，如果套到一半卡住，因為無法拆開不能重來，所以整個唱頭蓋與臂管只能報廢，這是Reference唱臂造價高昂的原因之一。為了減輕重量，Touraj在取得鈦合金臂管後，還必須再進行一道加工，將管壁厚度車到僅剩0.4mm厚。唱頭蓋則是由實心鈦板車削而成，這些加工都必須付出昂貴成本。

適用任何唱頭的動態平衡重錘

再看重錘設計，Reference唱臂的重錘延續Artemiz唱臂的設計，重錘可以前後擺動，自動補償唱針遭逢彎圈唱

片時，上下起伏所造成的針壓變化。新版重錘的擺動軸承更為精密，讓軸承的擺動更穩定，阻尼特性更好。此外，因應不同的唱頭重量，Reference唱臂還有兩種重錘可以選擇，搭配一般唱頭時用不鏽鋼重錘，搭配重頭時則用不鏽鋼內包碳化鎢重錘，兩者都可加掛不鏽鋼片調整重量，搭配任何唱頭都不成問題，可說是Artemiz重錘的完全進化版，設計極其精巧。

抗滑部分，Touraj沒有採用傳統作法，而是在醫療領域找到一種超薄矽膠，它是一種彈性物質，剛好適合用來調整抗滑，而且材質特性極度穩定，不受溫度、濕度或油脂的影響而變質，幾乎永保不壞。唯一的缺點是厚度只有三千分之一吋，必須靠手工組裝，可想而知，又是一項省不下來的製造成本。

最後看到Reference唱臂使用的配

線，這是Touraj自行開發的Vertere Pulse導線，導體是比頭髮還細好幾倍的銅鍍銀材質，必須靠手工絞繞製造，外覆Teflon屏蔽，導線極其柔軟，剛好適合用作臂管導線。Touraj的產品都很有學問，有關Vertere線材的理論，恐怕要另寫一篇專文探討，日後有機會再向大家介紹。

名留青史之作

Vertere Reference是史上第一款解決內圈失真與軸承摩擦問題的唱臂，只要理解Touraj的理念，相信你會對這款唱臂的劃時代成就佩服不已。它的每一處設計都是極致工藝與先進科技的結晶，也是凝聚Touraj畢生知識的巔峰之作。請別再說這款唱臂太貴，因為它的革命性設計與成就無法用金錢衡量，終有一天將在音響史上留名。▲