

鎖固用的孔洞

文 / Peter Standring

孔洞也是要花錢的！好吧，那句話不像愛因斯坦的相對論方程式 $E = mc^2$ 那麼有衝擊性，但不管怎麼說也是一句很根本的實話。不論是去買、製造、或形成一個孔洞，都有可能很花錢或造成困擾。

我聯想到和這個問題有關的兩則故事，其中一則是在某處讀到的，另一則是別人跟我講的。很多人走美國66號國道穿越亞利桑那州的溫斯洛市時，都會經過巴林傑隕石坑。此坑在約5萬年前被小行星撞擊而成，它被美國太空總署用來訓練將前往月球的太空人，當時被媒體大肆報導。在那之前，費城某位律師用了大半的夏天和金錢，在隕石坑的底部鑽孔，想要找出撞擊地表的隕石。他去世時幾乎傾家蕩產，付出的努力無所彰顯。他妻子寫信詢問亞利桑那州長願不願意買下這個隕石坑，州長婉拒她的邀請，說自己已經擁有更大的坑，叫做大峽谷國家公園。

另一個故事牽涉到的坑就比較小，是我的朋友開一間公司專門翻修鍛壓機等等產品，他投資50萬英鎊在自己的廠內建造一個很深的凹坑。完工時，他才得知當地的稅務員不允許他把自己的投資設為資本支出，這讓他非常擔憂。邀這位稅務員來看凹坑時，我朋友得知稅務員認為該坑不可視為投資，所以不可作為可扣除的資本支出，讓他非常沮喪。

我朋友跟稅務員說：「好吧。那我就把這坑贈與給你，不付稅金總可以吧。」

這兩則故事聽在外人耳裡雖然蠻有趣，卻隱含了某個訊息。在亞利桑那州的隕石坑無法作為放牧、農作或買賣之用，現在是由那律師的家族繼續持有，而且是遊客的觀光景點。不幸的是，我朋友沒和稅務員喬成功，最後只能在報表上劃掉那個坑，變成資產上的損失。

這故事告訴我們，重要的是坑洞的位置和你放進坑裡的内容物。如果孔洞的位置錯了而且洞裡空無一物，那它就只是個幾乎沒有價值的孔洞。

遠古時代的孔洞

人類第一個最根本重要的發明，是能夠將兩個不同物件，透過第三個物件接合起來。編織的草皮和藤蔓可用來把石塊綁在棍子上，利用削尖的棍子來戳洞，藉此製作衣物和遮身之地，這個發現的重要性就和人類發現了火一樣重要。

隨著時間推移，經歷過許多實驗，遠古的人類學會如何在木材、骨頭、甲殼和石塊等等更硬的材料上鑽孔。這些孔洞的用意是協助鎖固作業。

從動物皮製船艇演變成木條製的船艇，讓人類可以走水路運輸和貿易。輪子從最初的實心輪，透過鑽出一致的孔洞，變成有輻條的輪子。透過金屬鑄造，利用型芯(凸模)來製孔，以及後來的脫蠟技術，都讓孔洞成為先進科技的核心。

然而，有能力製出金、銅合金以及後來的鐵製金屬片之後，卻帶來一個重大的瓶頸：該如何、在哪個位置製孔用來鎖固住金屬片？由於擁有技術發展的每個人類族群是有分地域的，且需要其他性質類似的族群來提供保護，因此他們

會採用防守性質的生存策略，而他們的首領會走向軍國主義。這意味著他們之中，負責在難以加工的產品(通常是金屬產品)上鑽孔的人，會製造戰鬥用的物件。

棉梭織布上的孔洞必須被綑綁才能避免被扯壞。同樣地，在板金上打孔會產生板金撕裂、變薄，邊緣變尖銳，產生毛邊。用來鎖固盔甲或螺旋狀首飾的孔洞無法允許發生那種缺陷。所以金屬加工技師很快就發現需要對金屬的邊緣做保護。

古時候在難加工的材料上製孔的做法很有趣。在新石器時代，像英國巨石陣那種石碑的工人，會打出盲孔(凹樁)，讓立石頂端的凸樁插入盲孔，形成知名的三石結構。目前已知德國橡木在早期也有應用實例。世界知名的原尺寸埃及太陽船被埋在地下來乘載法老王橫渡夜空，太陽船也是利用凹凸樁和貫通洞來把物件綁在一起。埃及古物學者等等人士仍在爭論長達十幾公分、寬50公厘的孔洞是怎麼在花崗岩石棺裡打出來的。檢視內孔的表面後，發現了趨近同心的環狀結構。也找到了型芯(凸模)，顯示孔洞是透過銅管做出來的。考古學家質疑了，這是在潮濕或乾燥的條件下，使用硬質鬆弛的碾磨媒介，或像鑽石切割工具一樣使用會被銅吸收的媒介，才完成的嗎？這些盲孔的用途是固定住木樁，木樁是用來抬起數噸重的物體。

若把這種同心環單純看作一個製程，筆者認為這種同心環是在沒有有效的切割面時，透過快速汰換銅製治具才成型出來。每個有能耐的工人會做的第一件事是學著怎麼讓工作更簡易。此外，假如法老王當時花費一點津貼，讓他永眠的居所能在他逝世前完工的話，那麼工人就不需要用統計製程管制表(SPC)來決定何時替換磨損的治具了！當然，睿智的法老接下來會導入「時間與效率」的計劃，雇用鑽研時間與動作的專員，讓他們變成人體工學家吧？

如果我們的後工業時代社會像古埃及一樣延續超過三千年的話，或許我們的生活就真的像古埃及一樣一成不變了。

扣件用的孔洞

從青銅時代進入到鐵器時代，更高精密鑽孔的需求增加了。關鍵不在於怎麼鑽孔，而是鑽孔的用途，所有的孔洞都是



如此。簡單來說，所有的作為，動機都在於「功能性」，否則就不會鑽孔了。

孔洞可能用來讓某些東西穿透，包括流體、個別或連續性的元素、繩子、鍊條等等。讓兩個以上的孔洞並列，就能透過鎖固裝置把孔洞接合起來。另一個作法是把非貫通的孔洞改造去容納一個單面的個體元素，這樣也可以鎖固。不論何種狀況，材質會決定孔洞的性質，以及能與之鎖固的對象物。

「各向異性」是用來定義各種荷載方向的材料強度。例如圖1，沿著木材紋理方向上的屬性，會比橫跨木材紋理方向上的屬性表現還要好。繩索的盤繞狀纖維只要減少橫向的拉斷，就能增加屬性表現。這種扭轉、折疊、鍛接和再度扭轉，是許久以前刀劍製造商能產出堅硬刀鋒的秘密。在任何有各向異性的材質上鑽出鎖固用的孔洞，是需要仔細考量的。板金在深抽的過程中出現的「耳狀」結構代表著板金的各向異性。

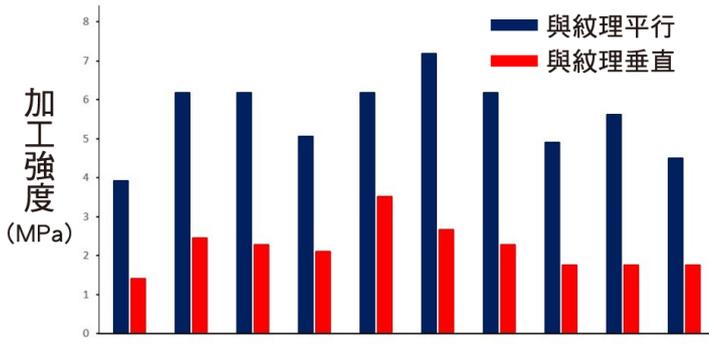


圖1. 一般建築等級乾木材的壓縮

同樣地，某些現代的合成材料擁有各向同性的(統一的)屬性。例如黏合木片製的木板、積木和電路板等等，這些材料搭配使用扣件時需要慎選。

木工所使用的設計可能無意外是由早期的金屬工人再製的。最早的槍枝和大砲是以槍管技術製成。大砲的側耳軸以前是用來抬高仰角的。木工用的接合件外型從長方形變成圓形，以被裝入錠子和插銷，讓輪子可以轉。車盤、腳踏板、後車箱、前車蓋已從木馬車直接移轉到汽車上。但鋼與鐵製品帶來的好處很快地帶來鎖固用裝置的發展，這使鐵金屬的強度和耐用度高過木材。大量生產的螺絲為那些透過定位銷和釘子鎖固的木材帶來應用的新次元。金屬螺絲、螺絲、螺帽、墊片和鉚釘被大量在全球、各地區被有使用需求的公司生產出來。

縱使有爆炸性的需求和研發能量，除非有兩個以上的零件是被夾在一起的，否則每一支扣件都需要一個孔洞才能放進去。此外，多數的孔洞不是由扣件製造商提供的。所以為了讓扣件能依循其設計發揮功用，有必要讓扣件所搭配的孔洞符合使用目的。

不只是普通的孔洞

可替換式零件的需求造就了大量生產。標準零件的生產創造了標準零件製造機的需求。這促成了在任何地方大量製造高品質產品的能力。有了這開端，我們走過了產品的標準化，企業的合理化改革讓我們蛻變出今日的樣貌。

在製造機的極盛時期，許多鐵製的建築用元件是透過沙鑄技術生產出來的。這是一種省成本的製程，能產出有熱安定性的產品，其減振效果和抗疲勞屬性都很好。但有個明顯的缺點，

就是會產生冷卻硬化的不均勻表面。在鑄鐵上鑽孔時，若其表面與鄰近的孔洞彼此垂直的話，也需要用到「局部整平」技術。假設這無法實現的話，就會需要一個特殊用途的墊片，作為不理想的零件表面，和其與孔洞軸向排列，這兩者的中間介面。

在薄板金或片狀金屬材料上打孔，需要用合適的治具和壓具來施加必要的力道。這兩種材料的打孔都很貴，需要足夠的需求才能應付成本。產出的孔洞品質取決於壓具是否合適，以及治具的設計、製造、條件和裝設，還有被加工材料的條件。軟質材料比較容易弄髒，高強度鋼材可能釋放大量的能量，衝擊到治具。這是為何在經過熱成形且已在模具中冷卻的硼鋼製汽車零件上雷射修整出物件(1900 MPa以下)，是唯一合理的作法。

產品內的盲孔就相當於車軸或孔洞內的溝槽。它可以用來容納簧環或墊片，以預防旋轉元件沿著車軸位移。這就像把活塞銷鎖入活塞中，防止活塞在使用過程中的熱膨脹現象引發問題。它也可做為一種卡口接頭。

在許多工程應用中，為了讓使用的鎖固裝置發揮其功用，孔洞的品質至關重要。其中一例是航太產業的應用，在機身或機翼內打出的一定數量的孔洞後必須要再用新的碳化鎢鑽頭。儘管現在已過了21世紀的前五分之一，旋轉鑽入的作法仍是千禧年後的基本鑽孔方式，這件事還是令人訝異，縱使那樣的做法很沒效率又浪費。或許這是使用自沖鉚釘的另一個好處？

使用膨脹錨栓來固定住盲孔，就不需要改造盲孔而可直接使用。或者也可搭配有鎖固效果的螺紋或螺紋護套來改造孔洞後使用。此時，孔洞外形與其使用對象物的長寬比就很重要了。因此，孔洞的材質和用途也會是其設計過程中的重要環節。

我們會在鋼架建築或任何受損的組裝物上看到不對齊的孔洞，若只是求快，把指定的螺栓拿來硬鑽入孔內，必定會破壞螺栓的螺紋並毀了原初的設計用意。許多保固索賠的案例都證實，扣件的錯誤組裝會導致財務和聲譽方面的傷害，經歷不必要的早期失敗。

結論

有一句充滿睿智的諺語說「三思而後行」。在美國家庭牆內打洞前必須檢查數次。還有，時常會發生打洞時鑽到暗管或電纜。此外，在許多現代家庭中，必須要知道用來鑽孔的材料是哪一種，才能使用正確的工具、設置和切割的技巧與參數設定。這同時需要考量到功能性，若是用來鎖固物件，就必須使用正確種類的扣件。

工友腦海裡的思考流程，無異於使用產業級扣件的作業所需的流程。無論何時，安全都是第一，其次才是功能性與實務。把事做對就不會有人去注意，一旦把事做錯了，就要面對潛藏的災難。

那位稅務員對我朋友說：「孔洞裡面就是空的。沒有的東西，怎麼能用來申請減稅？」

對於那句話，以下我的辯解可能很哲學：為什麼很多扣件就可以成功鎖固住孔洞這種稅務員所謂的空物呢？ ■

