

軸承的應用與潤滑

陳鐵君·黃普霖 編著

軸承的應用與潤滑

陳鐵君·黃普霖 編著

香港 五育圖書文具公司 出版

本書敘述各種軸承的基本應用知識、設計、構造、負荷計算方法，以及潤滑設備等，範圍廣泛，通俗易懂。可供一般與機械設備有關的技術工作人員及機械專業教師、學生等作為研習之用。

軸承的應用與潤滑

陳鐵君·黃普霖 編著

定價 港幣五元五角

出版發行：**正育圖書文具公司**

香港九龍彌敦道五七三號A

San Yu Stationery & Publishing Co.

573A, Nathan Road Kowloon Hongkong

印刷：**大千印刷公司**

香港北角英皇道657-659號

一九六六年四月版

25K

版權所有 * 翻印必究

前 言

軸承在機械零件裏的應用是極其廣泛的，凡是能够運動的機械設備就永遠離不開軸承來支持運動部件的工作。如果說，原動力是機械運動的靈魂，那麼可以說，軸承就是機械相對運動的關節。從軸承產生磨擦的現象開始以至軸承的設計、構造和使用，人們往往要考慮到以一定機械效率為基礎的全面問題。無論它們是日常所見的，或者從微觀世界裏才能觀察到的感性知識和按一定的科學條件而覺察到的理性知識，舉凡跟機器設備打交道的人都會加以慎重的考慮。

爲了要克服相對運動機械部件的阻抗，使設備的有效利用率充分提高，設計者有時幻想用些什麼方法來代替軸承，可惜的是這幻想實際上根本辦不到。但他可以在機械部件組成的許可強度範圍內，或變更機械的設計而減少軸承的使用，甚至用一些特殊構造使直接接觸的磨擦面減少，必要時還可以設法降低接觸面之間的磨擦阻抗。凡此種種，都是人們要消除機械運動部件內在矛盾的正確途徑。明白了這點道理，我們在實際工作當中就不致是盲目的，或知其然而不知其所以然的。目光遠大的科學技術工作者，現在正以革新性的精神來研究軸承與潤滑。這些範圍包括能減磨損甚而能消除磨損的空氣軸承，在超聲速工作條件下以熔化的金屬及鎢

融的玻璃來作為潤滑劑的可能性等等。先進的國家都有專門的研究中心來領導和研究軸承與潤滑的全面技術工作。原來人類在速度的概念上頭已經進入了以高速為主的時代，人類已在實驗中創造出第二宇宙速度，進而脫離地球引力而進行星際旅行；在這種速度要求之下，沒有完善的軸承與潤滑是不能想像的。

我們寫作這本書的目的，是試圖根據這些原則，敘述有關軸承、潤滑設備和軸承材料等基本概念和實際事物，貢獻給從事技術工作的讀者，工業專門學校機械工程系的教師、學生等，作為一般研究參考或教材的輔助讀物。

陳鐵君·黃普霖

一九六六年一月

内 部 交 流

F148/84

轴承的应用与润滑

(中 3-7/6)

C-00130

目次

一、從磨擦的概念談起.....	1
剛體表面的物理特性——乾磨擦——界限的磨擦——液 體磨擦——滾動磨擦——磨擦爲人類服務——軸承的作 用——軸承的分類——滾動軸承——滑動軸承	
二、滾動軸承.....	23
滾動軸承的工作特性——滾動軸承的持久能力及其影響 因素——滾動軸承的各種負荷和來源——滾動軸承的間 隙檢查——滾動軸承的配合——滾動軸承的選擇——滾 動軸承的裝卸——輻射式止推軸承和止推式滾動軸承的 調整——滾動軸承的應用	
三、滾動軸承負荷的計算.....	91
簡單正齒輪的傳動——正齒輪系的傳動——內擺線齒輪 系的傳動——行星齒輪系的軸承負荷——斜齒輪的傳 動——平齒及螺旋齒、圓錐式齒輪的傳動——內擺齒輪 的傳動——蝸輪的傳動	
四、滾動軸承的潤滑	120
五、製造滾動軸承的基本知識	123
軸圈的製造——滾珠的製造——滾柱的製造——夾珠圈 的製造——滾動軸承的裝配	

六、滑動軸承	128
滑動軸承的構造——金屬軸承的材料——半金屬的燒結 軸承——非金屬軸承材料——多片合成的軸承襯——推 力軸承——液體磨擦軸承——關於軸承的潤滑——滑動 軸承的基本計算	
七、潤滑的意義和設備	166
個體的潤滑——集中潤滑——潤滑系統的組織——潤滑 站的組成——轉動部件的給油——油膏的潤滑和設備	
八、潤滑油脂	203
機油——油膏——油料的代用品	
九、附錄 中英文名詞對照表	223

一 從磨擦的概念談起

磨擦是各種機械構造和機器甚至可以更廣泛的說是工程技術上不能避免的現象，在許多地方它是非存在不可的。然而，這種現象在工業方面却需要限制其存在，最低限度也要求將磨擦作用降至最低，使動力的消耗減少，從而增加機械部件的使用期間。

物體之所以能够固定下來根本上就是由於磨擦力的原故，這是比較容易理解的，只要設想一個人穿上了一對「冰鞋」，在冰上想站下來的困難情形就可以明白。當兩物體的接觸面在平面互相移動時就會產生一種阻抗，例如將一塊東西沿桌面推動，推動的力總要被另一個與運動方向相反的力所對抗着，這個與推動的力相反而且是伴隨而生的作用力稱為磨擦力。按物體相對移動距離大小並根據力的作用方式，我們可將磨擦歸納為三種情形，那就是運動磨擦、不完全靜止的和完全靜止的磨擦，最後一種通常就稱為靜止的磨擦。不完全靜止磨擦介於運動磨擦和靜止磨擦之間，其實可近似的認為物體是在靜止狀態的，這樣的磨擦力大小，乃決定於作用力的位置及該力由零增到某一最大值的變化過程；這過程來得急促的時候，物體動的趨勢增加。

運動磨擦相當於不可逆的最大位移，即是它基於某一物

體對別一物體的移動距離而產生，且在任何時候都是不可逆行的。這移動距離隨作用的時間而向前增加，但推動的力量僅是物體由靜止開始運動，物體能够移動的距離就直接決定於磨擦性質的改變，物體一從移動開始，磨擦性質就改變了。在均等運動情形之下，例如火車開動後以一定的速度行駛時，所需要的動力就和剛起動時不一樣，其時恰能抵消運動的磨擦；如果作用力減小，運動磨擦又逐漸抬頭，終於使物體靜止。

運動磨擦只當物體運動時才存在，所謂不可逆的最大位移是說明作用力比磨擦力大至足使物體運動的方向不改變，而且隨着力的作用而移動相當的距離，最大值是與初動時的最小位移比較來說的。在後者的情形下，位移量是存在的，不過它是那樣的小，以致不能用普通眼力來看而須用特殊的顯微鏡來觀察。這種位移，當作用力稍為大於磨擦力的時候是往復進行而終於像是完全靜止的那樣，但當作用力與磨擦力互相平衡則物體遂趨於完全靜止（指物體在靜止狀態時的作用力而言）。

不完全靜止的磨擦相當於最小的可以逆行的位移，物體這樣的移動稱為物體的初動，這說起來好像很抽象的，因為它只是瞬間的而且只能藉測微器來測量，並不能以普通視力來觀察。所以，這樣的移動距離當然是很小的，但它與作用力成正比，即作用力越大，移動距離也越大，終於使物體移動；不過要是作用力不繼續時，這移動就要恢復原狀的，當

使物體初動的作用力和上述不完全靜止的磨擦力相平衡的時候，我們就可認為物體是處於靜止狀態了。

根據運動學的特徵，物體依其作用力的大小而移動某一距離的時候，有兩種磨擦型式：其一，兩物體表面互相接觸運動時，如果其中一物體的若干點連續通過另一物體上的某一點，這就稱為滑動磨擦；其二，如果一物體與另一物體的接觸情形不是面的，而是連續的點或線，同時，前一物體沿着後一物體的表面旋轉，且在某一瞬間內的旋轉中心通過兩物體相切的一點，即當一個圓的東西在另一個物體表面上滾動時，無論後者是圓的或平的都叫做滾動磨擦。可是真正的物體無論怎樣剛硬，在外力作用之下多少都會變形，因此物體的接觸其實有一定的區域範圍，而不是如所理想的那樣點之接觸；又在實際應用上有時也不只一種的磨擦而係混合的磨擦，例如既有滑動也滾動，或者採用其他變態形式如液體磨擦等等。

按接觸物體的表面潤滑狀況為特徵，磨擦情形又有下面幾種不同情況：

一、純粹的磨擦——這樣互相磨擦的物體表面完全沒有液體和從空氣中吸附的氣體如氧化物等雜質，換言之，即單純只有物體與物體本身之接觸，但這只有在真空中工作才有可能，事實上也做不到。

二、乾磨擦——這也有時稱為表面不潤滑的磨擦，即在接觸面上沒有採用任何液體作為潤滑物質，但這樣會使得磨

擦產生的熱量難於散失，所以，除了只能在機器起動和停止的瞬間可以發生或在負荷極輕，利用石墨作滑劑時可以容許應用外，實際上是很少應用的。

三、界限的磨擦——這樣的磨擦表面上勻佈着一層很薄的潤滑液體，其厚度約為 0.1μ ，即萬分之一公厘，故已接近於乾磨擦的境界，它具有一些特殊性質，按滑油黏附在磨擦表面的情形，磨擦表面的自然條件，以及加工狀態等而異。這種磨擦現象很難從學理上解釋，但據顯微鏡的觀察，我們知道油膜具有分層的構造，其中隣接金屬的液體和分子較為活動，並在金屬的表面上構成絨毛的形態。凡經過緊配合的軸承，相當時期的使用後就會出現這種磨擦性質，同樣的，在自動潤滑的半金屬軸承上也可以發現類此的磨擦情況。

四、液體磨擦——這種磨擦的特點是物體相互之間並不直接接觸，而係在兩物體之間勻佈有潤滑油膜，使運動部份實際上浮在機油上工作。運動部分和固定部分之間具有特殊的楔狀間隙，轉動部分能將機油壓入楔形的狹部，從而繼續吸附於轉動部分的表面，兩物體之間產生的壓力將為運動中的膠性油膜所吸收，這是最理想而且實際上也最好的磨擦情形，機件不容易磨損，可是用途也有一定的限制。

五、半乾磨擦——這是乾磨擦和界限磨擦同時存在的情形，其時界限磨擦的油膜已有破壞。

六、半液體磨擦——這是液體磨擦和界限磨擦同時存在

的情形，即是說，液體磨擦開始失效，並將進一步過渡到半乾磨擦和乾磨擦去。

剛體表面的物理性

各種固體物質都是由許多各種微小的晶體所凝聚而成，而且每一種物質的晶格構造也是相同的，因此，晶格相互綜錯結合的結果就構成固體物質，物體表面的粗糙不平就是物質構成的微觀現象。無論我們用什麼方式把固體物質的表層變為像液體表面一樣光滑是不可能的。通常，無論怎樣不容易氧化的金屬物體表面，只要放在空氣裏一個極短時間之後（約 $1/100$ 秒），就要產生一層極薄的氧化膜，這層東西對於磨擦系數的影響很小，但却是十分強固的與金屬相結合，而且還要隨着時間的增加而改變物體表面的機械性質，通常就是降低金屬的硬度（只有鋁例外）。凡經過硬化，磨擦，或損蝕等機械方法都可以改變金屬的表層硬度，從實際經驗裏可知金屬在經過最後一次機械加工時，硬層都能深入至小 $0.003 \sim 0.004$ 公厘，又在機械零件的磨損過程中，也可知金屬的硬度常會深入發展的。

剛體物質的最外面一層，無論是自由狀態或在加工之後都具有各種特殊的物理性質有如上述，這一層的性質就是我們現在所要談到的。明白了這一點，我們就可以知道冰為什麼是滑的，而普通的地板是不滑的。現代科學對於這一層的研究與及粗視的（即人眼可以直接看見的）和微觀的兩種方

法，粗視的觀察可以從整個物體上拿出一部分來看，或者也可以從大段表面裏抽取一部分如浪形表面及平面等來顯示物體表面形狀的特徵；微觀的觀察是從物體上要研究的極小面積出發，在顯微鏡下觀察，根據材料組成的均勻性來推知其全部表面的狀況，當然，科學研究的根據就是微觀的觀察。

現代測定微觀表面區域是以小於 1^2 公厘的面積為基礎的。因此，這種方法照例只能限於研究製造那些非常微小的零件，例如直徑僅為 75μ 或即 0.075 公厘的彈珠，通常測定某一物體表面狀況的儀器。這兩種方法都是在檢視過程中把要測定的平面凹凸地方放大許多倍，對於機械製造工業來說是很重要的一種檢驗過程，根據機件要求的條件而按表面精

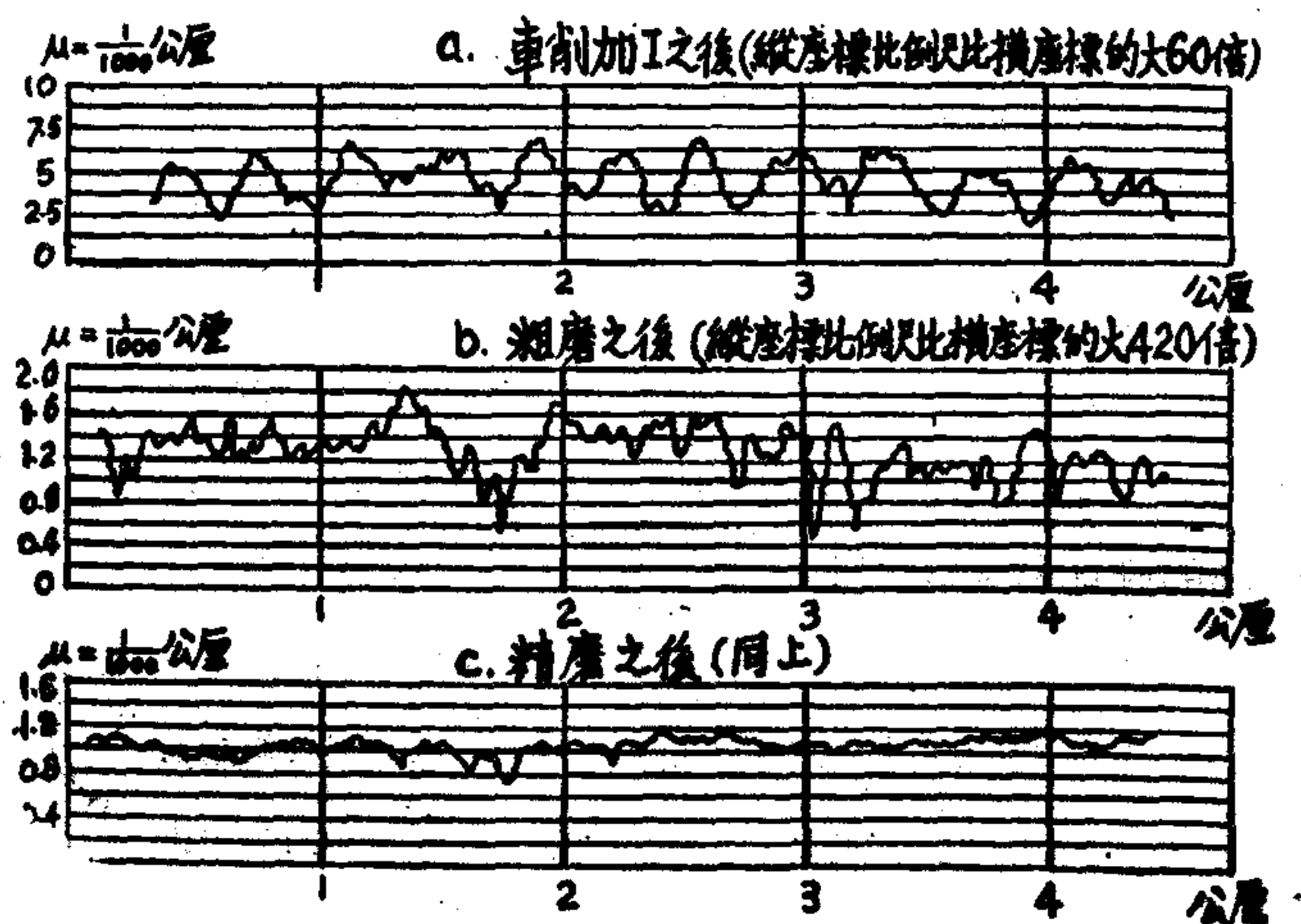


圖1. 金屬面加工後的微觀比較

度進行加工，這標準裏就包括微觀形狀、精度、分類和符號。

經過車削加工以後，金屬表面上的粗視凹凸情形減少了許多，如圖 1a 中所看到的樣子；經過磨光後，凹凸的相差會更為減少，如圖 1b 所示；如果經過精密加工或研磨，則物體表面上的粗糙程度就將大為降低，如圖 1c 所示。這樣每次加工都可以減少物體的粗糙程度，從表面測定儀裏很清楚的看出來。對於某些機械來說，光滑的表面不單是磨擦作用減少所必需，而更重要的却爲了使這一類機械零件能夠具有更長的使用期限。例如內燃機的活塞梢子或火車活塞桿所以必須經過精細加工或研磨，就由於它們經常處於反復衝擊壓力之下，如果表面留存有加工的痕跡，那就容易使機件的疲勞極限降低許多。換言之，它們在經過反復若干次週期性的衝擊以後，說不定從那些痕跡開始發展爲表面的裂紋，由此而引致機件折斷。

乾 磨 擦

除非將一個物體固定於另一物體，例如永久性結合的機件等之外，在機器構造裏乾磨擦的情形是很少的（石墨潤滑軸承只限於極輕微的負荷）。粗看起來似乎是極端光滑的表面，實際上是佈滿起伏形狀的，經過加工後，凹的地方暫時被一些壓碎了的微末所填塞，所以，即使看來是極光滑的表面，也會在互相磨擦之時此起彼伏的互相綜錯咬合着。排除這起伏部分的相錯也就使物體的移動困難，因而要費去相當

的功量。又在負荷的影響下，如果兩種接觸的物體具有不同的硬度也會增加表面的互相咬合情形，硬的嵌入軟的表面裏頭，可是一經移動，硬的金屬很快就把軟的起伏磨平，而另外又對軟金屬造成新的起伏狀態，如是繼續進行就使得軟的金屬磨損得較快。要避免這種影響滑動的情形只有在兩表面之間加入一種液體或什麼潤滑物質，使凹凸之間都變成填充狀態，兩物體之間隔着一層油膜。所以乾磨擦的存在足以使兩磨擦物體之間移動困難，並將引起熱量的產生，如屬嚴重的話，兩接觸物體之間就會被磨擦所發生的高熱所熔化，開始是表層過熱，然後波及相連接的部件。

通常可以產生乾磨擦的情形是機件由靜止狀態開始運動或忽然停止的瞬間，如前所談到的，這就是物體的初動時期，往往視乎機件停止期間的長短而須消耗極大的動力。所以，爲了要避免機件在乾磨擦的情形下損壞，起動速度要盡可能降低；這時候，任何滑動軸承都很難保持接觸面間正常潤滑的。這時軸承之間的表面雖然填充着機油等物質，並慢慢的互相滑動，可是機械傳動系統的彈性作用也就開始發生，運動成爲跳躍的狀態，實際上還不能得到全浮狀的滑動，而且伴之而來的除了發熱外還有一種特殊的音響。這樣跳躍式的磨擦顯然是對機器有傷害性的，其性質之嚴重與否，往往決定於兩物體固定接觸時間的長短，其結果是金屬表面易於磨壞，互相咬緊的地方產生一些無光澤的暗斑。

以上所談到的可知乾磨擦是磨擦的基本情形，它顯然是

基於兩種因素而發生的，一方面克服機械接觸表面起伏部分的咬合，另一方面由於接觸的物體之間具有一定的吸引力，即所謂分子引力。克服磨擦抵抗的力量，一般來說是與磨擦系數和磨擦面之間所存在的壓力成正比例的關係。磨擦系數根據物質的各種性質而定，常表現為這一物體與另一物體互相接觸時的關係，所以要把受有很大壓力的物體移動就必須相應的用很大的力量；移動物體所用的力量和這物體對另一物體的壓力的比例就是磨擦系數。或者我們還可以這樣想：磨擦系數越大的東西就更難於從另一物體上移動。以下是能影響於磨擦系數的條件：

(1) 互相磨擦的物質自然狀態主要的是硬度：當兩物體中有一個比其他一個軟的時候，越是軟的，磨擦系數越大；但如果兩種物體材質相同，那麼磨擦系數就要比不同材質的要大些。所以，為了保證主要部件在滑動磨擦的情形下長久應用就必須用硬的軸頸和軟的軸承襯；因此，易於磨損的只是容易更換的軸承襯。

(2) 物體表面的雜質層厚度：這厚度對於磨擦系數的影響是並不確定的，在各種情形之下相差可以很大。如果表面極光滑而且負荷不大，磨擦系數就會顯著地因雜質層的存在而減少；但如果表面未經過精磨，且又在重負荷之下，雜質層對於降低磨擦系數的關係却不大。

(3) 表面的粗糙程度：粗糙程度較大的表面，在靜止磨擦時具有較小的磨擦系數，但在滑動磨擦的條件下磨擦系