



机床设计制造中的主要问题

上海市科学技术编译馆

机床设计制造中的主要问题

上海市科学技术编译馆编

*

上海市科学技术编译馆出版

(上海南昌路59号)

商务印书馆上海厂印刷 新华书店上海发行所发行

*

开本 850×1156 毫米 1/32 印张 4 8/32 字数 130,000

1966年2月第1版 1966年2月第1次印刷

印数 1—10,000

编号 15·361 定价(科七) 0.75 元

前 言

近年来,随着科学技术的突飞猛进,对工件的加工精度要求日益提高。金属切削机床的是否精密,对决定工件的质量与精度有着举足轻重的影响,对工程技术的发展亦起着保证作用。因此机床的加工精度、精度的保持及机床的寿命问题,目前已成为机床设计制造中极为重要的课题。同时,为了不断改善操作人员生理和心理方面的劳动卫生条件,保障工厂周围的环境安静,提高劳动生产率及产品质量,也对机床的设计制造提出了减小机床噪声的迫切要求。

为此,本书收集了苏联、民主德国、美国、英国、日本、波兰等国家的有关专论,介绍了精密机床和普通机床设计制造中应当注意的一些问题,例如,机床结构构件设计,主轴部件的精度,液压卸荷导轨的研究与计算,消除导轨的爬行,机床的刚度与振动,机床噪声的研究、测量、减小等;还介绍了检验机床几何精度的测量装置误差。虽然本书不能包括机床的全部问题,但对一些主要问题均有所涉及。由于编辑水平所限,难免有许多缺点和不当之处,敬希广大读者提出宝贵的意见。

本书可供机床厂、机床研究所的设计、制造、检验人员和高等院校机械制造系及有关机械方面专业的教师、学生等参考。

上海市科学技术翻译馆

1966年1月

目 录

1. 精密机床主軸部件的精度[苏联].....(1)
2. 机床的主軸系統及其精度[日本].....(11)
3. 机床构件一些設計細节的比較[英国].....(20)
4. 液压卸荷导軌的研究与計算[苏联].....(35)
5. 消除机床导軌中的“爬行現象”[美国].....(50)
6. 机床的剛度与振动[英国].....(54)
7. 精密机床的隔振[苏联].....(62)
8. 車削中顫动的分析[日本].....(80)
9. 机床噪声的研究[民主德国](94)
10. 金属切削机床噪声的减小[苏联].....(110)
11. 机床噪声的研究和測量[苏联].....(116)
12. 檢驗机床几何精度的測量装置誤差[波兰].....(121)

精密机床主軸部件的精度

[苏联] А. М. Фигатнер

《Станки и инструмент》1964, 7, p. 24~27

本文討論影响金属切削机床主軸旋轉精度的各种因素，研究旋轉精度与工件形状的精度之間的关系，提出关于选择金属切削机床滚动軸承精度和主軸旋轉精度檢驗方法的建議。

精密机床的現有精度标准是拟定机床各个部件和零件的技术条件时的原始資料。解决这些問題时，需要考虑机床零件和部件的誤差对工件精度的影响特性。

主軸的旋轉精度是主軸部件最重要的特性，此特性在很大程度上决定着机床上加工的工件的精度。在具有滚动軸承的主軸部件中，此精度决定于軸承和与之相配零件的制造精度。

下面引用苏联金属切削机床实验科学研究所对具有滚动軸承的精密主軸部件所作的实验研究的方法和成果，以及由于作此研究而定出的滚动軸承和与之相配零件的精度要求。

主軸旋轉軸綫跳動量的測定

在苏联金属切削机床实验科学研究所的指导性資料中表明，主軸的旋轉精度决定于两个基本指标：其定心肩角的徑向跳動和旋轉軸的徑向跳動*。定心肩角的徑向跳動根据 ГОСТ 42-56 所指明的来确定。至今尚未拟定主軸旋轉軸綫跳動量的統一測量方法，以及測量結果的統一分析方法。

主軸的軸綫(直綫)是通过代替軸承內圈滾道中間截面实际輪廓的两个圓的圓心的，而作圓时使內圈滾道实际輪廓的平均算术誤差达到最小。

实际上，主軸和工件不是相对于主軸軸綫旋轉，而是相对于瞬时旋轉軸綫旋轉的，瞬时旋轉軸綫的位置可借助于装在調节心軸上的測量球(或圓柱)来

* 本文中不研究主軸的軸向跳動——原注

使其具体化。球心的运动轨迹可足够精确地表征主轴瞬时旋转轴线位置的变化。球的形状误差应当大大小于被测量的跳动量。在这种情形下，靠在該球面上的测量仪端头的位移(或者是不接触的测量方法时間隙的变化)可足够精确地表征球心的运动。以后为了簡略起见，将主轴的瞬时旋转轴线簡称为主轴旋转轴线。

測量技术

为了測量主轴旋转轴线的跳动量，在其圆锥孔内安装特殊的心轴(图1)，以便使测量球的中心与主轴的旋转轴线重合。测量球(或圆柱心轴)按圆度和表面光洁度来加以鉴定。对于 II 級精度的机床，球(或圆柱心轴)的不圆度不得超过 0.5 微米，对于 B 級精度的机床，不圆度不得超过 0.3 微米，对于 A 級和 C 級精度的机床，不圆度不得超过 0.2 微米。对于 II 級和 B 級精度的机床，球(心轴)的表面光洁度应当不低于 11 級，而对于 A 級和 C 級精度的机床，表面光洁度应当不低于 12 級。

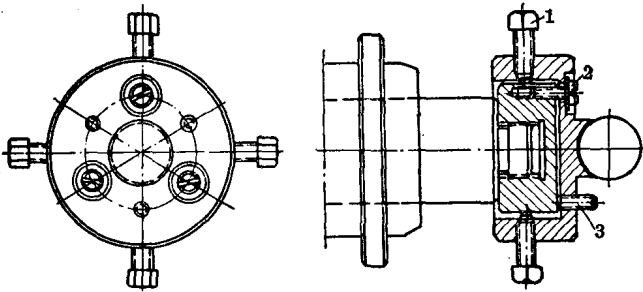


图 1 測量主轴旋转轴线跳动量用的心轴

跳动量是在主轴平稳而緩慢地旋轉($n=10\sim 20$ 轉/分)时利用与記錄裝置相連的接触感应式綫位移传感器来測量的(图2)。測量过程如下。装在机床主轴上的球轴是利用調节螺钉 1、2 和 3 来調整的(图1)，調整到指示跳动量的仪表上的指針偏差达到最小为止。然后，在主轴緩慢地旋轉时开动記錄裝置。

測量結果是根据跳动量曲綫的分析来进行評价的。

在具有滚动轴承的主轴部件中，旋轉精度直接决定于轴承零件的误差。轴承各种参数的偏差对主轴旋轉精度的影响是不同的。主轴跳动的主要来源是：轴承內圈孔相对于滚道的偏心(图3, a)、內圈滚道的不圆度(图3, c)、

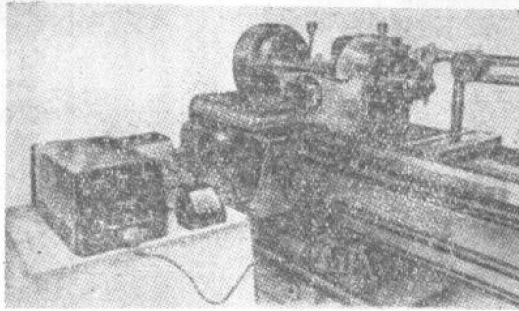


图2 测量主轴旋转轴綫跳动量的装置

內圈滾道的波紋度(图 3, θ)、滚动体的尺寸差和不圓度(图 3, ν)。

軸承和主軸的各种参数的偏差对主軸旋轉軸綫徑向跳动的影响是不同的。

1. 当滾道的不圓度和波紋度以及滚动体尺寸差大大小于測量表面相对于旋轉軸綫的偏心距时,跳动的記錄具有周期曲綫的形状(接近于正弦曲綫),其周期等于主軸一轉的时间。这种形状的曲綫是在記錄用作卡盘的主軸定心肩角的跳动时获得的(图 4, a)。

調节球的位置,实际上可以完全消除主軸跳动記錄中的偏心距影响。这时获得的曲綫的特性急剧改变。从用作卡盘的主軸定心肩角的跳动曲綫(图 4, a)与測量球的跳动曲綫(图 4, b)的对比看出,在幅度减小的同时,頻率也在改变(减小一半)。定心肩角的跳动与球的跳动是同时进行記錄的。

如果在利用可調球軸来測量时,跳动曲綫的节距与主軸一轉的时间相当,那末这就表明測量球安置得不够精确,因此必須重新調节它的位置。

2. 当軸承內圈滾道为椭圆形,而軸承和主軸的所有其他偏差都接近于零时,軸綫跳动的記錄好象正弦曲綫,其幅度等于椭圆半軸之差,其节距符合于主軸半轉的时间。一般滾道的不圓度不同于正規椭圆的形状,从而与正弦曲綫有偏差(图 5)。

3. 滾道的波紋度(棱圆度)和各滚动体尺寸差都会引起跳动,跳动的周期

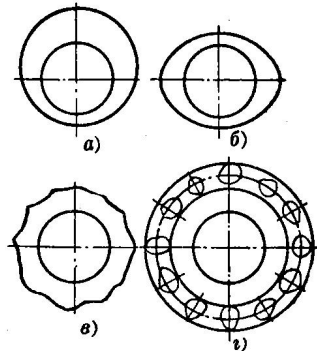


图3 主軸旋轉軸綫跳动的的主要原因

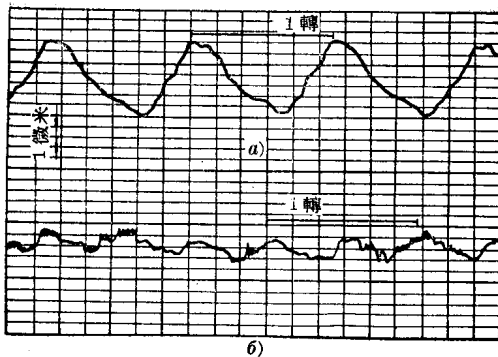


图4 车床主軸的跳动($n=11$ 轉/分)

要比主軸一轉的時間小得多(是主軸一轉時間的幾分之一),但幅度較小。這些誤差都會使主軸軸綫跳動的正弦曲綫失真。

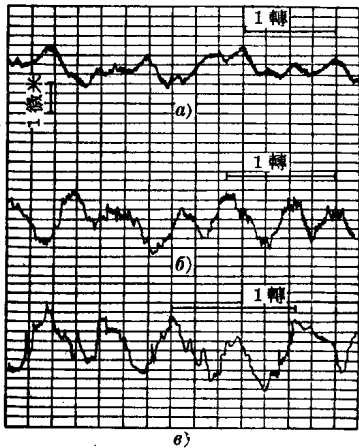


图5 三种型式车床主軸旋轉軸綫的徑向跳动

a) $n=14$ 轉/分; b) $n=12.5$ 轉/分;
c) $n=11$ 轉/分

對於成形精度取決於主軸旋轉軸綫在兩個相互垂直方向的偏移的機床(鐘床、坐標鐘床等),旋轉精度應當用兩個成 90° 角的傳感器來測量。在生產中,II級和B級機床的主軸旋轉精度可以用較簡單的工具來檢驗。對於II級機床,用測讀精度為0.5微米的測微計來測量,對於B級機床,則用測讀精度為0.2微米的測微計來測量。

跳动是在主軸的8~10轉內用手將主軸依次轉過 $30\sim 45^\circ$ 時記錄的;跳动曲綫是沿各點繪出的(图6)。在生產中,A級和C級機床的主軸部件

應當用放大倍數不小於5000倍的記錄儀來檢驗。

按照上述方法確定了一系列車床的精度。在图5上示出三種不同型式車床的主軸旋轉軸的跳动記錄。从圖中看出,在所有三種情形下,跳动周期都等於主軸半轉的時間。這時,隨着幅度的減小(图5, a),第二個(中間的)尖峰好現象消失一樣。這是因為,在此機床上由於主軸軸頸和軸承內圈的製造精度很

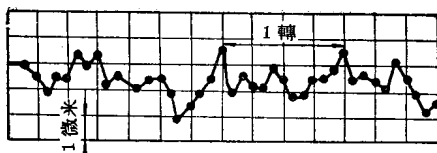


图 6 自动车床主轴旋轉軸綫的徑向跳动

高, 滾道的不圓度和滾動體尺寸差具有同一數量級。

在另一機床上, 幅度的增長 (圖 5, e) 與它所表示得鮮明得多的不穩定性和正弦曲綫高頻率振動的顯著增大相適應。這表明, 不但該機床軸承滾道的橢圓度大於上述機床, 而且總體中各滾動體的尺寸差、滾道的波紋度和軸承滾動體的不圓度也大於上述機床。

因此, 裝有球軸的主軸的跳動記錄, 除了確定主軸旋轉軸綫的跳動量外, 還可以查明正是軸承的那些誤差對主軸軸綫的運動起着主要的作用。

所述的軸承部分誤差對主軸軸綫旋轉的影響特性可用下述的測量來加以証實。這種研究係採用兩個雙列向心圓柱滾子軸承 (A 3182114 系列), 這兩個軸承被依次裝在車床前支座中的同一主軸上。主軸的軸頸經過精磨; 兩個軸承都滿足 TOCT 520-55 的要求, 但是從後面可以得知, 作為主軸支座, 它們不是同等的。

將軸承裝到主軸上之前, 測量了軸承內圈的跳動。裝好以後, 測量主軸軸綫的跳動 (按照球); 然後將軸承拆下。滾子是在光學測長儀上按照滾子裝在軸承分離環中依次測量的。滾子直徑取為在相互垂直截面內的兩次測量的平均值。

按照測量結果繪制綫圖 (圖 7; 通過位於滾道理想圓周上的滾子頂點, 按照滾子裝在分離環中的次序作包絡綫)。包絡綫的形狀 (軸承 I 和 II) 可用來估量滾子尺寸差對主軸旋轉精度的影響程度。包絡綫的不圓度可看作是包絡綫本身的特性。

同時, 還在專用儀表上測定了滾道的不圓度和內圈 (沿滾道) 的壁厚差。對滾子形狀進行了有選擇的測量, 因而查明了下列情況: 1) 軸承內圈的徑向跳動取決於沿滾道測量的壁厚差。這個人所共知的事實由於壁厚差對滾動軸承的質量有特殊影響而表現出來; 2) 旋轉精度不但與滾子精度有關, 而且還與滾子在分離環中的分布有關, 也就是與包絡綫的形狀有關 (圖 7); 3) 滾子尺寸差和滾道不圓度之和大於主軸軸綫的徑向跳動量。

分析著作 [8] 中的實驗數據可得同樣的結果。上述現象可用滾子和軸承

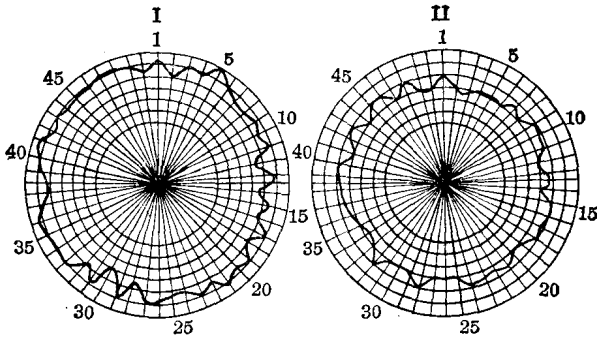


图7 A 3182114 系列轴承 I 和 II 的滚子包絡綫

套圈形状和尺寸偏差的运动和彈性的混勻过程来加以說明。图7上包絡綫的图形表征混勻过程的要素之一（按照图7上綫图的滚子包絡綫的不圓度小于总体中各滚子的尺寸差），但是不能說明整个过程的本质。显而易见，苏联研究者^[4]和其他国家研究者^[7,8]的著作中所提到的、用預紧法安装轴承时徑向跳动的减小明显地反映了彈性变形的混勻作用。

旋轉軸綫的跳动对加工精度的影响

为了明确对高精度主軸上滚动轴承的要求，必須估量主軸跳动对工件形状的影响。为此，在測量了主軸軸綫跳动的那些車床上用金剛石車刀对試件进行車削。

經車削的試件是在檢驗圓形的仪表上測量的。按照工件形状的輪廓图估量了在最有利条件（卡盘上）下的最佳切削用量（考虑到精度）下以及在主軸的最高轉速下加工时所达到的加工精度。在后一种情形中，最大程度地出現机床不平衡傳动元件的扰动作用和主軸部件动力剛度的影响。

已經查明，主軸軸綫的跳动量接近于在该机床上所达到的最小不圓度。主軸在最高轉数时，工件不圓度与主軸跳动之差增大。这些量之間的关系随着轉数的提高而改变，对不同的机床有不同的改变，这是因为傳动装置动力作用的强度不同和主軸部件的动力剛度不同之故。

因此，根据所进行的实验可以作出下列結論：1) 車削时所达到的工件形状的最高精度（最小不圓度）取决于机床主軸上无靜載荷和动力作用下产生的主軸旋轉軸綫的跳动幅度；2) 对工件形状的誤差（不圓度）起决定性影响的是

裝在主軸上的軸承內圈滾道的不圓度，以及滾動體的尺寸差和不圓度。

高精度机床主軸部件中軸承的選擇

測量的結果可用來規定對精密机床主軸上滾動軸承精度的要求。目前，滾動軸承的精度是由ГОСТ 520-55規定的。針對所研究的过程(主軸的徑向跳動)這個ГОСТ標準只取定於一個參數——內圈的徑向跳動。

但是，按照實驗數據，內圈的徑向跳動不能充分表征軸承的旋轉精度，因為它的產生可能是由於：1) 內圈滾道相對於孔的偏心，因而對工件的形狀沒有直接影響(在一定程度上甚至可以在主軸部件的裝配過程中得到補償)；2) 滾道的不圓度和各滾動體尺寸差；徑向跳動是被加工零件形狀誤差的直接根源。

因此，在選擇高精度机床主軸部件的滾動軸承時，除了軸承內圈的徑向跳動外，還應當考慮軸承的一些參數，如滾動體的不圓度和總體中各滾動體的尺寸差、軸承內圈的不圓度和壁厚差等。

在根據所獲得的關於軸承零件誤差、旋轉軸綫跳動和工件形狀精度之間關係的數據來編制的表中，提出了關於選擇精密机床主軸部件中滾動軸承精度的建議。A級和C級精度(根據ГОСТ 520-55)軸承的參數是根據蘇聯軸承工業中現行的技術條件來取定的。

表 推薦裝在精密机床主軸部件中的軸承精度

机床精度等級 ^[2]	軸承精度等級(根據ГОСТ 520-55)	
	前支座	后支座
II	C或A	A
B	C	C
A	精度高於C級	C
C	精度高於C級	精度高於C級

精度高於C級的軸承基本參數的公差根據對A級和C級机床主軸部件的精度要求來規定(確定這些公差用的原始數據是由蘇聯金屬切削机床實驗科學研究所所擬定的)。

前支座和后支座軸承的相互作用按已知關係式^[5]來計算。

对主轴部件中与轴承相配零件的精度要求

与轴承相配零件的精度对精密机床主轴旋转精度和主轴部件刚度的影响,不比采用高精度轴承时为小。

滚动轴承套圈的刚度是不大的。这一点特别适合于特轻系列轴承的套圈(其中有机床主轴部件中最常用的 3182100 系列轴承的套圈)。

以前已经估量了在 3182100 系列轴承的安装过程中产生的滚道截面的畸变^[6]。为了要明显地显示出轴承装在主轴上时套圈滚道形状(圆形)的改变随后进行了实验。

在仪表上测量了 A 级 A 3182114 系列轴承内圈滚道和孔的圆(图 8, a); 用同样方法鉴定了具有锥形轴颈的心轴(图 8, b)。为了较为明显起见,使心轴变形,因此其不圆度表现得相当鲜明。然后,将轴承套圈安装在支持端面经过精磨的心轴上。将套圈装配在心轴上后,滚道形状如图 8, c 所示。将这个

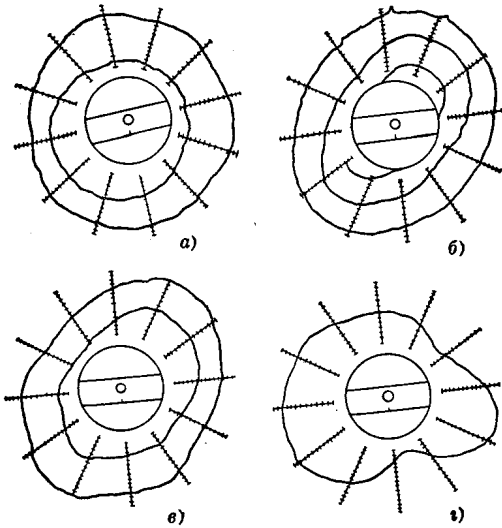


图 8 A 3182114 系列轴承装在主轴(心轴)上时内圈滚道的变形

a—轴承装配在心轴上以前内圈孔和滚道的形状; b—具有锥形轴颈的心轴的横截面形状; c—内圈装在心轴上(过盈为 12 微米)以后滚道的形状; d—装配在具有偏斜的心轴上时滚道形状的改变

套圈裝在人为地产生偏斜(端面跳动)的心軸上;这时得到的滾道形状如图8, 9所示。

所得的数据表明軸承套圈对配合面形状偏差有高的灵敏度。主軸軸頸形状的誤差几乎完全轉移到滾道上。这同样会引起主軸軸綫跳动的增大。根据这些結果,以及計算和实验的研究資料^[6],可取下面所述作为对精密主軸部件中与軸承相配零件的基本要求。

主軸部件中与軸承相配的零件表面的尺寸和形状偏差不得超过对与該零件相配的这个軸承部分所規定的容許偏差。这就是說,主軸軸頸和机壳中配合孔的不圓度不得超过軸承套圈壁厚差的公差,主軸軸頸錐度偏差不得超过內圈孔傾斜角的公差,基准端面的不平行度和不垂直度不得超过軸承端面对滾道母綫的不平行度和不垂直度的公差。

在此基础上考虑对机床軸承精度的要求,苏联金属切削机床实验科学研究所拟定了高精度的主軸部件中与軸承相配零件形状的不精确性的公差。

結 論

1. 在具有滾动軸承的主軸部件中,主軸旋轉精度达到規定程度的必要前提是軸承精度与对主軸部件精度的要求相适应。表中推荐了关于选择裝在精密机床主軸部件中的軸承精度的資料。

2. 軸承內圈的徑向跳动不能唯一决定这种軸承适合于裝在高精度机床的主軸部件中。选择高精度机床用的軸承时,除了內圈徑向跳动的公差外,还应当制定对这些軸承各个零件形状的精度要求。

3. 只有当主軸部件中零件的誤差不超过軸承相应配合部分的公差时,才能保持裝在精密机床主軸部件中的軸承精度。

4. 主軸旋轉軸綫的跳动可以利用可調节的球軸和能自动記錄測量結果的測量装置来精确(精度很高)地測量。分析了用这种方法得到的曲綫,可以查明主軸旋轉軸綫跳动的基本根源。

参 考 文 献

- [1] Станки металлообрабатывающие. Нормы точности. М., Стандартгиз, 1961.
- [2] Станки металлообрабатывающие. Нормы точности. Руководящий материал Н70-11. ЭНИМС, 1962.
- [3] Попович Б. Г. Роликоподшипники для быстроходных и точных металлоре-

жуших станков. М., Машгиз, 1956.

- [4] Решетов Д. Н. Сравнительные испытания подшипников качения под предварительным натягом для шпинделей быстроходных станков. В кн. «Новое в станкостроении». Вып. № 3, 4. М. — Л., Машгиз, 1940.
- [5] Трейер В. Н. Шарико- и роликоподшипники в металлорежущих станках. Машгиз, НКТП СССР. 1940.
- [6] Фигалнер А. М. Деформация, Шпиндельных подшипников качения в процессе монтажа и регулировки. — «Станки и инструмент», 1962, № 7.
- [7] Honrat K. Werkzeugmaschinen spindeln und deren Lagerungen. — «Industrie Anzeiger», 1957, №. 80.
- [8] Weigand K. Spindellagerungen für Werkzeugmaschinen mit Wälzlageren. — «Industrie Anzeiger», 1962, №. 44.

(蔣榮伯譯)

机床的主軸系統及其精度

[日本] 安井 武司

《機械設計》 1965, 3, p. 46~50

机床中的主軸和主軸承以及安裝主軸座，無論與主軸系以外的軸及其軸承比較，或與一般傳動軸進行比較，它不僅需要更高的精度，而且其好壞往往會影響机床的性能，因而它是具有影響机床價值的重要因素。說得誇大一些，机床的其他各部分都是為了使主軸充分發揮其性能而設的。

因此机床製造者，即從設計階段開始，一直到加工、安裝、調整切削試驗過程中，儘可能運用其豐富的經驗和新的知識。例如日本目前即使一般通用机床的安裝，也都在恆溫室或防塵室中進行。

戰前机床主軸承只用平面滑動軸承。因為當時對能夠作為机床主軸承使用而精度比較高的滾珠軸承還不能製造，換句話說，即當時還沒有能製造這種高精度軸承的機械。

但是現在，即使所要求的精度十分高的滾動軸承，也能大量生產，而且在机床主軸系的各種要求中，除精度有特殊要求者外，滾珠軸承的優點一般比滑動軸承為多，所以隨着滾動軸承精度的提高，凡是根據机床種類和等級已達到必要的精度者，都逐漸將滑動軸承換成滾動軸承。

但是，即使在目前最高級的主軸，仍然使用滑動軸承，至於將來，從上述意義上來看，滑動軸承仍將繼續占有主要地位。因為滑動軸承有滑動軸承的優點，因而滑動軸承的研究和發展勢將一如既往繼續下去。

但是，由於現在机床上的主軸系所用的軸承几乎都是滾動軸承，因而本文僅討論使用滾動軸承的主軸系統。

一、主 軸 承

1. 主軸承的基本方針

在机床的主軸承中採用滾動軸承的真實意義，無非是利用這種高精度的轉動體（滾珠和滾柱）及其轉動面而已，此種轉動體是在特別良好的條件下制

成,并經严格挑选而得。

例如主軸承的內圓,在圓的部分如有些失圓的話,那么軸承內圓的轉動面也产生与主軸相同的偏差。当然其旋轉精度也就变坏,从整个軸系考虑,在刚性方面出现了不同的方向性,此外無論內圓的裝入部分的真圓度如何好,其內圓的制動螺旋的凸起部分和螺帽的端面,如果不与主軸的中心綫成直角,則即使軸承基本上是导向主軸的圓筒部分。由于在其端面被偏斜地制住,因而,轉動面也随着歪斜并使旋轉精度恶化。因而,对于主軸承,必須在使用时不損坏其轉動体和轉動面的形状和精度。

根据上述理由,主軸和其軸套的形状和尺寸的精度至少要与所使用的軸承相同。此外,实际安裝时,如要获得理想的主軸,应十分謹慎小心作适当選擇和要有高度的技术与丰富的經驗。

在目前,主軸的旋轉精度中,軸承精度以外的精度所占比例相当高,因此,即使使用相同的軸承,常常也会引起旋轉精度、切削性能的巨大差別。

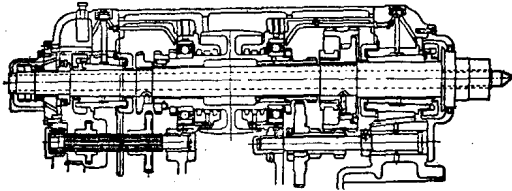


图1 开尔額車床的主軸結構

2. 主軸所用軸承

(1) 錐形滾柱軸承

这种軸承能同时承受徑向力和推力方向来的力,內外圓又有各种各样的形式,可自由選擇組合,因而是极为重要的一种軸承。但是这种滾柱軸承虽然也是滚动軸承,而其推力的大部分是由內圓前端处滑动面所承受,因此,与其他軸承相比,发热最大;特别是要連續进行高速旋轉的主軸,或者需要避免这种发热現象的主軸,就不宜采用。

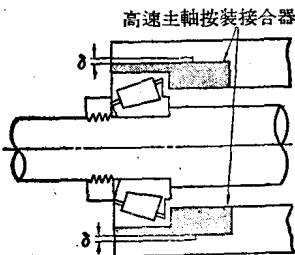


图2 錐形滾柱軸承用的高速接合器

为减少这种缺点,提出图2所示的高速主軸安裝接合器(adapter)的方案。这种接合器是当高速主軸由2个錐形滾柱軸承支持

时,用于其后侧的轴承者务使发热时的徑向膨脹的預压增加量不及軸向伸长所引起的預压增加量大,尽可能防止高温。

(2) 双列滾柱軸承

这种轴承不会象錐形滾柱轴承一样发热很厉害,把直徑較小的双列圆柱形滾柱作錯开排列,由于单位面积內的滾柱增加,而使一定外形尺寸情况下的載荷能力增加。又如图 3 所示,为了調整間隙,使內圓的內徑做成 1:2 的斜勢。

如将这种轴承装入主軸而加以固定的話,則內圓的轉动面膨脹而調整間隙。所以必要时可消除間隙 δ , 或反之还可以造成相当的公盈。这种轴承在主軸的前轴承方面应用較广。

(3) 圓柱形滾柱軸承

这种轴承用于主軸的后轴承和中间轴承,虽然不能調整間隙,向来是用于使用深槽形的滾珠轴承部分上。其剛性高出滾珠轴承的事实受到普遍欢迎,故有逐漸取前者而代之的趋势。

(4) 推力滾珠軸承

双列滾柱轴承及其組合是一种能承受較大推力荷载的良好轴承。但在高速时,滾珠由于离心力而向外移动,所以在高速性方面不如斜面接触滾珠轴承。对于此种推力轴承最近日本已能生产精度頗高的优良产品。此外,为适应高速性还生产了斜面推力轴承。

(5) 斜面接触滾珠軸承

这种轴承也能同时承受徑向荷载和推力荷载,因为轉动体是滾珠,其載荷

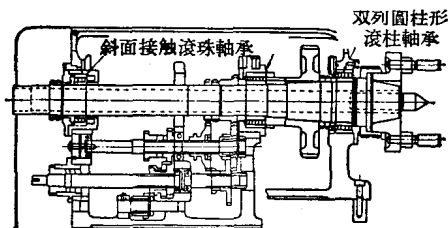


图 3 双列圆柱形滾柱轴承用的主軸

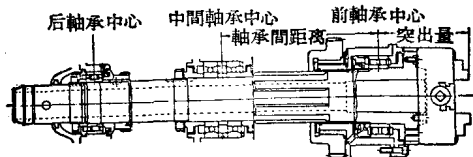


图 4 大隈 IS 車床主軸結構