

高速及精密 金属切削机床 滚柱轴承

波波维奇著



机械工业出版社

高速及精密金屬切削 4160356271

滾柱軸承

波波維奇著

高澤生、姜錫珍譯



机械工业出版社

1958

出版者的話

本書中介紹了 3182100 系列錐孔雙列徑向滾柱軸承的構造、技術特性及其優點，此種軸承是各種用途的高速及高精度金屬切削機床主軸部件中的基本徑向支承。

書中敘述了金屬切削機床主軸軸承的選擇、軸承支承的配置與設計、主軸軸承部件的安裝與調整諸問題。

還介紹了裝用 3182100 系列軸承的機床主軸之典型構造。

本書供機床製造工業和機器製造工業的設計師、研究金屬切削機床製造及操作問題的機械師以及科學工作者們參考。

蘇聯 Б. Г. Попович 著 ‘Роликовые подшипники для бы-
строходных и точных металлорежущих станков’ (Машгиз
1956 年第一版)

*

*

*

NO. 1681

1958 年 5 月第一版 1958 年 5 月第一版第一次印刷

850×1168 $\frac{1}{32}$ 字數 89 千字 印張 3 $\frac{8}{16}$ 0,001— 2,500 冊

機械工業出版社(北京東交民巷 27 號)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 號 定價(10) 0.70 元

目 次

前言	4
緒論	5
I 3182100 系列滾柱軸承的結構及技術特性	7
II 3182100 系列滾柱軸承的優點	10
1 軸承的精度	11
2 軸承的剛性	13
3 滾柱軸承中徑向間隙的變化與軸承軸向移動數值的關係	23
4 軸向力的確定和扭緊調節螺母所須之力矩	27
III 軸承的選擇及主軸支承的標準簡圖	28
IV 主軸軸承部件的設計	34
1 軸向固定	35
2 支承的配置	37
3 軸承精度等級的選擇	43
4 軸承的配合	45
5 軸承部件諸零件的製造精度	47
6 軸承的潤滑及密封裝置	52
V 主軸部件支承的典型結構	58
1 車床	66
2 六角車床	75
3 多軸自動車床	77
4 銑床	80
5 立式車床	84
6 鏜床	85
7 金剛石鏜床	88
8 磨床	89
VI 軸承的安裝和調整	93
參考文獻	106
附錄	
1 3182100 系列滾柱軸承的外形尺寸、工作能力系數和極限轉數	107
2 KΠ 環形量規的尺寸	109
3 36100 及 46100 特輕系列徑向推力滾珠軸承的外形尺寸與極限轉數	110
4 8100 特輕系列單列推力滾珠軸承的外形尺寸、工作能力系數和極限轉數	112

前 言

由于我国机器制造业广阔的发展，要求建立强大的金属加工基础，金属切削机床就是这种基础的主导环节。必须注意到，约半数的制造机器零件的劳动，还必须化费在金属切削加工上。

为提高高速与大进刀量的金属加工用量而进行的斗争，给机床制造工作者们提出了一项任务：即试制出高精度及高抗震性的高生产率、高速和强力的机床。

大家也知道，近几年来钢加工的切削速度已提高了2~9倍，铸铁加工——提高了2~4倍，这时切削力增加了25~40%。

许多机器制造厂的实践证明，高速及强力的金属切削，使机床工的劳动生产率提高了80~90%和加工成本降低了35~45%。

主轴装置是能够建成高速及强有力机床的主要部件。

机床主轴装置的支承上所采用的普通滚动轴承及滑动轴承，是不能保证现代对高速金属切削机床所提出的新要求的。因此，我国轴承工业，特为金属切削机床主轴生产了3182100系列特殊构造的双列径向滚柱轴承。

这种类型的轴承，在500多种各种用途的新型金属切削机床（车床、铣床、立式车床、镗床、磨床、制齿机及其他等）主轴上的异常迅速与普遍推广以及对其使用质量的很高评价，确证了3182100系列轴承完全符合现代机床制造的要求。

本类型轴承也在许多外国机床的主轴支承中被广泛地采用。

使用经验证明，各种类型的金属切削机床的主轴部件，采用3182100系列轴承工作数年，仍不丧失其原有之精度。

但是，这里必须指出，本轴承之特殊的耐用性，是取决于制造之高级质量、正确地设计轴承部件的构造及其装配的精确性。

本书所阐述的问题，包括有正确地选择与设计主轴支承、轴承部件的配置、同轴承相接合的零件的制造精度和3182100系列轴承的安装及调整。

本书还简单地叙述了有关运用新构造轴承的研究和实验工作，此项工作由作者在轴承工业中央设计局，同金属切削机床实验科学研究所共同完成的。

书中所述金属切削机床主轴部件构造的绝大部分，已为我国许多机床制造厂所掌握。

作者希望，本书对机床制造设计师和机器制造厂机械科(ORM)的工作者们，在建造和使用高速及精密金属切削机床中能够有重要的帮助。

緒 論

大家知道，主軸裝置是机床的主要部件，任何一种金屬切削机床的正常工作，終归都要決定于此部件。因此对机床主軸部件的要求特別高。要实现这些要求須作到：1) 在改变工作狀況时旋轉始終准确；2) 具有高剛性与高抗震性；3) 在不用附加調整的条件下，具有在广闊的速度範圍内工作的性能；4) 在各种狀況下工作时，溫度無显著变化；5) 支承处摩擦損失最小；6) 主軸支承無磨損，因而在不复杂的保养下具有很大的寿命。

通常金屬切削机床的主軸支承上，皆采用滚动軸承——徑向、徑向推力及推力滾珠軸承和徑向及徑向推力滾柱軸承。

徑向滾珠軸承和徑向推力滾珠軸承，由于其載荷能力不很高，故通常用在切削力不太大的主軸部件中。

而滾柱軸承，特別是滾錐軸承，具有相当大的載荷能力，但不能在高轉速下工作和不能保証机床的高級精度。

滑动軸承有如下的主要缺点，这些缺点限制了它們在机床主軸上的应用：a) 較大而不允許的摩擦損失；b) 在軸襯与配合处之間有原始間隙，这間隙是作为在此間隙範圍内形成油楔所必須的先决条件；主軸中心綫可能沿徑向移动；B) 在由于主軸变形和工作表面制造上的不精确所引起的高度边界压力下，不能造成液体摩擦的条件；r) 軸承制造勞作量大和大量耗費有色金屬，特別在大量及成批生产的条件下更是不許可的。

高速及強力金屬切削加工方法的广泛發展以及采用硬質合金和金屬粉末冶金法来制造金屬切削加工用的刀具，都要求急驟地提高金屬切削机床主軸的轉速和支承的剛性。

例如，对于新出产的机床，主軸轉速应比現有的机床轉速提高1~2倍，并要相应地增加傳動的功率。同时，应大大地提高主

軸部件的精度和剛性，並保證机床工作無震動。

从前采用的作为徑向支承的滚动軸承，其結構如圖 1 所示，它們不能保證对現代新机床提出的高度要求。在提高的加工用量下工作时，这些軸承或者完全不中用（發高热），或者不能保證加工零件的精度和質量，需要經常按轉数进行調整，且不能保證有足够的抗震性。

为了解决机床制造和我国軸承工業所提出的新問題，根据作者的建議和在其直接参与下，曾拟定和在成批生产中掌握了特种結構的軸承——3182100 系列短圓柱形滾柱、圓錐形內孔的双列徑向滾柱軸承。

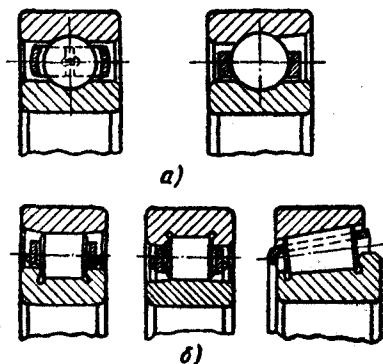


圖 1 主軸主支承用的滚动軸承之主要結構：
a—滾珠軸承；б—滾柱軸承。

在滿足对現代金屬切削机床主軸支承所提出的要求方面來說，3182100 系列双列滾柱軸承，在質量上，已大大地超过目前所有已知的徑向滚动軸承的結構，更不用說对于滑动軸承了。

1 3182100 系列滾柱軸承的 結構及技術特性

圖 2 中所示的 3182100 系列滾柱軸承，是由兩個圈——內圈 2 與外圈 1、圓柱形滾柱 4 和隔離圈 3 組成的。

軸承內圈具有標準錐度為 1:12 的錐形內孔，有這個圓錐形的孔，就能使軸承安裝在主軸的圓錐形軸頸上。圈外表面上的兩邊凸緣與中間凸緣，形成兩條滾動道，以供圓柱形短滾柱精確導向之用。

兩列滾柱借助於帶槽的整體隔離圈 (сепаратор) 3 保持在內圈上，不致脫出，隔離圈每側的槽是這樣配置的，使得一列滾柱對於另一列滾柱錯開半個滾柱距，如圖 3 所示。滾柱的直徑，等於滾柱的長度 $d = l$ 。由於滾柱的數量很多和它們的配置是錯列式的，兩個相鄰滾柱之間的中心角比其他型的軸承要小些，中心角為 $6^\circ \sim 7^\circ$ 。因此，滾柱的接觸數量增加了，並且保證了外載荷在滾柱之間得到最好的分布。

孔徑在 100 公厘以上的軸承內圈，在其一邊的凸緣上制有一個溝，以使滾柱能容易裝入。在尺寸較小的軸承中沒有這種溝，而是利用隔離圈的彈性變形將滾柱裝入的。

外圈制成不帶凸緣的，有兩列滾柱共用的圓筒形滾動道。在這滾動道的兩邊緣上，磨成 $11^\circ 20'$ 的斜邊，離端面的距離為 2~7 公厘，這根據軸承的尺寸大小決定。斜邊是為了便於裝配軸承和將軸承安裝在機床部件中用的。軸承在高速下的工作能力，是依靠採用了結實精巧的（交錯格子形狀的）隔離圈而達到的，隔離

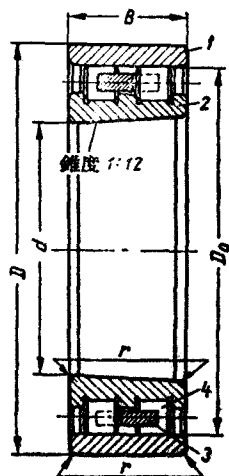


圖 2 3182100 系列圓錐形內孔及列徑向滾柱軸承的結構。

圈上帶有鑄成的供滾柱用的端槽，滾柱的數量在本結構軸承中為 50~60 個。

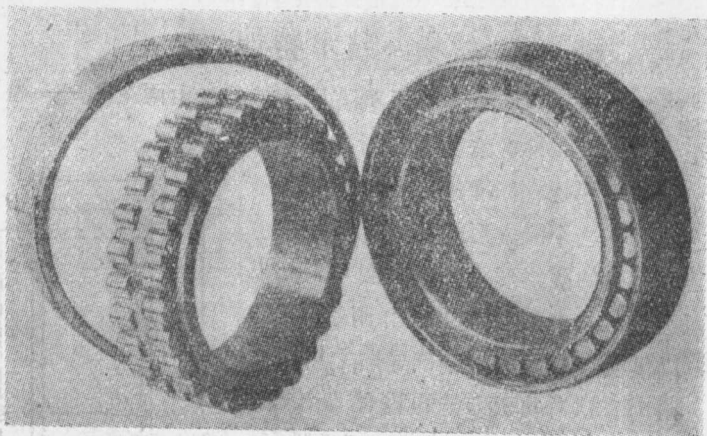


圖 3 3182100 系列滾柱軸承的外形和零件。

圈的材料用 ШХ15 號軸承鉻鋼，而滾柱的材料用 ШХ6、ШХ9 或 ШХ15 (ГОСТ 801-47) 號鋼，這根據滾柱尺寸決定。

圈和滾柱熱處理到硬度 $R_c 61 \sim 65$ 的範圍內。隔離圈用 ЛС 59-1 牌號黃銅製造。

軸承的標準外形尺寸符合 ГОСТ 3478-54；直徑和尺寸屬於特輕 [直徑系列 1]，而寬度尺寸屬於 [特寬系列 3]。3182100 系列滾柱軸承的主要尺寸，由 ГОСТ 7634-55 規定。

這些軸承結構的最主要特征，是能夠調整軸承內的徑向間隙的大小，因為內圈上具有圓錐形的內孔，並且這裡的原始徑向間隙值，比軸承工業出產的所有其他徑向滾柱軸承的徑向間隙要小得多。

3182100 系列滾柱軸承的工作能力係數 C 按下式決定

$$C = 120z^{0.7}d_p^1,$$

式中 z —— 軸承內一系列的滾柱數；

d_p —— 滾柱直徑 (公厘)；

表1 成批生产的 3182100 系列滾柱軸承的尺寸及
技術特性 (尺寸以公厘計)

軸承規定 符 號	軸承外形尺寸				外 滾 道 直 徑 D_0	滾柱數及 尺 寸				每 分 鐘 極 限 轉 數 (公厘)	工作能 力系數 C	允許徑 向靜載 荷 Q (公斤)	近似 重量 (公斤)
	d	D	b	r		d_p	l	z					
3182109	45	75	23	1.5	67.5	7	7	42	9000	49000	3000	0.42	
3182110	50	80	23	1.5	72.5	7	7	44	8000	51000	3400	0.46	
3182112	60	95	26	2	86	8	8	48	6000	71000	4800	0.72	
3182114	70	110	30	2	100	9	9	50	5000	92000	6400	1.1	
3182115	75	115	30	2	105	9	9	52	5000	95000	6800	1.16	
3182116	80	125	34	2	113	10	10	52	4500	118000	8300	1.6	
3182118	90	140	37	2.5	127	11	11	54	4000	145000	10000	2.2	
3182120	100	150	37	2.5	137	11	11	60	4000	157000	12000	2.4	
3182122	110	170	45	3	155	14	14	52	3500	220000	17000	3.9	
3182124	120	180	46	3	165	15	15	50	3000	256000	18000	4.2	
3182126	130	200	52	3	182	16	16	52	3000	300000	21000	6.1	
3182128	140	210	53	3	192	16	16	56	2500	316000	23000	6.6	
3182132	160	240	60	3.5	219	18	18	52	2500	380000	27000	9.8	
3182134	170	260	67	3.5	236	20	20	54	2000	480000	36000	13.2	
3182136	180	280	74	3.5	255	23	23	52	2000	620000	45000	17.4	
3182140	200	310	82	3.5	282	26	26	50	2000	770000	56000	23.4	
3182148	240	360	92	4	330	32	32	54	1500	1240000	68000	32.7	
3182156	280	420	106	5	384	32	32	56	1200	1270000	94000	50	

l ——滾柱工作長度 (倒棱除外) (公厘)。

表1中所列举的是成批生产的3182100系列轴承的基本技术特性的数据, 也就是●:

1. 外形尺寸。这是决定軸上和座体中配合处的直徑和長度的尺寸。

2. 外圈 (可卸的)滚动道直徑尺寸 D_0 。这是在設計与軸承配合的零件和軸承部件安裝时所必須的尺寸。

3. 工作能力系數 C 。如果已知作用在軸承上的載荷和轉數, 按这个系數可算出軸承的計算寿命 (使用工作期限)。

4. 允許靜載荷。在該載荷作用下, 軸承可在不动狀態中停留若干時間或以每分鐘不超过一轉的極慢速度旋轉。这时, 認為軸

承內之接觸變形為最小或完全沒有，因而當軸承在較小的載荷下繼續工作的過程中，這個剩餘變形對軸承旋轉的平穩性就無重大影響。

對於一般用途的軸承，滾動體（滾珠和滾柱）和軸承圈的剩餘接觸變形，在滾動體直徑為 0.0001 範圍以內是被允許的。在載荷瞬時作用下，靜載荷的定額，大約可增加 0.5 倍。

5. 軸承的允許極限轉數。超過此轉數，則不能保證軸承的計算壽命。

應當指出，目前對 3182100 系列滾柱軸承，還沒有充分完整與經過考驗的，關於允許極限轉數及其所能經受的載荷的數據。

但是，根據個別試驗的結果，也能求出本系列軸承的容許極限轉數、工作能力系數和靜載荷量的大概計算數據。

6. 軸承內滾柱的數量和尺寸。這對載荷量、壽命及彈性接觸變形的檢查計算是必須的尺寸。

7. 表內還載有軸承的近似重量。

II 3182100 系列滾柱軸承的優點

3182100 系列滾柱軸承製造的精度高，軸承中具有能調整（縮小）徑向間隙的錐形內孔以及滾柱數較多和它們的布置是錯列式的，這就保證了此型軸承的高度運轉質量。

金屬加工機床上採用 3182100 系列滾柱軸承，可達到下列的經濟技術效果：

1. 提高機床主軸轉數 1~2 倍。
2. 保證主軸旋轉的高度精確性在幾公忽的範圍以內和制件加工的光潔度高，無震動。
3. 主軸部件在不增大直徑的條件下，剛性提高 2 倍以上。
4. 在所有速度範圍內使用高速及強力切削用量，可保證機床

長时期的稳定工作，在这种情况下 3182100 滾柱轴承的最長使用期限，实际上可超过 8 年[●]。

5. 使徑向支承具有最小的摩擦系数和最小的磨損。在这种支承上，轴承的摩擦系数較滾錐轴承的摩擦系数約小一倍，这就能大大地减小机床的傳动功率。3182100 滾柱轴承很少进行調整：每 1.5~2 年不超过一次。

6. 获得了極輕巧的軸承部件，这对多軸自动車床与半自动車床尤为重要。

7. 节约有色金属，即每采用一个孔徑为 140 公厘的 3182100 型軸承，来替代一个滑动軸承，即可节省約 7 公斤稀缺的錫青銅。

8. 保証現有全部机床进行广泛改裝的条件，因为 3182100 滾柱轴承的構造及較小的直徑尺寸，可使在不大的改造和花費下，取代滑动摩擦軸承。此外，这种軸承的造价，不超过相应规格和相应精度級的滾珠軸承及滾錐軸承的造价。

下面我們比較詳細地闡述一下关于这种滾柱轴承的精度与剛性的問題。

1 軸承的精度

由于具有圓柱形表面，并且零件的几何形狀比較簡單，因而 3182100 系列滾柱轴承可制成高的精度，其內圈上的兩条滾动道，用專門的工艺方法由一道工序磨成，錐孔的加工与內外圈工作表面的修刮是在大批生产的条件下完成的。

薄壁的内圈与外圈的热处理，在專門的冲模内进行。

滾柱加工精度也非常高，在同一軸承內，滾柱的直徑尺寸差不得超过 1 公忽，而兩端面对滾柱母綫的不垂直度，每公厘滾柱半徑不得超过 0.5 公忽。

所出产的 3182100 系列滾柱轴承的高級精度 A、AB 与 B，

● 此資料是預計的，需要確定。

在ГОСТ 520-55 技术条件中有規定。

由于轴承是配合在錐形軸頸上的，所以錐孔內徑的公差范围，可向下限方面增大一倍。例如，B級精度的3182114 轴承，在其內徑等于70公厘时，極限偏差規定为負30公忽；然而根据ГОСТ 520-55，对于同一类型但內孔是圓柱形的轴承，其極限偏差則不应超过負15公忽。

表2 3182100系列滾柱轴承內的原始徑向間隙值

轴承內徑 d (公厘)		徑向間隙 e_H (公忽)		轴承內徑 d (公厘)		徑向間隙 e_H (公忽)	
起	止	最 小	最 大	起	止	最 小	最 大
14	20	10	20	140	160	35	70
20	30	15	25	160	180	35	75
30	40	15	30	180	200	40	80
40	50	15	30	200	225	45	90
50	65	15	35	225	250	50	100
65	80	20	40	250	280	55	110
80	100	25	45	280	315	60	120
100	120	25	50	315	355	65	135
120	140	30	60	355	400	75	150

表2中所載，系3182100系列滾柱轴承原始徑向間隙的数值。

轴承內孔的圓錐角拟为 $2^{\circ}23'10''$ ，这与1:12的标准圓錐度相符。

內圈全寬上 $2\alpha^{\circ}$ 的公差，規定在極严格的限度之內，按轴承的尺寸不同，可为 $\pm 2 \sim \pm 7$ 公忽。主軸支承处采用3182100系列滾柱轴承，可保証主軸旋轉时徑向的極高精度。这种轴承在精密机床主軸部件上的应用方法如下。

將滾柱轴承裝置在主軸支承上与一推力滾珠轴承組合使用，能使支承得到很好的配置，这时轴承的徑向摆动差与側摆动差相互間將不發生关系，因此可根据它們各自的精度決定，这样就得到既在徑向也在軸向皆具有極高旋轉精度的主軸部件。

在高轉數情況下，主軸支承處採用滾柱軸承與徑向推力滾珠軸承組合使用，這裡滾珠軸承僅用以承受軸向載荷，因此其側擺動差對主軸的徑向擺動差即無影響。

再度精磨軸承圈滾動道及圓滾柱的表面，以保證它們的表面具有高光潔度。

實際上，使用 3182100 系列滾柱軸承，可使各種用途的機床主軸達到約為幾公忽的旋轉精度。

滾柱軸承裝置在主軸錐形軸頸上，能使在部件裝配時和在機床操作過程中，通過軸承內圈在軸（主軸）圓錐部分上的軸向移動，調整軸承中的徑向間隙。因而這比採用內圈具有圓柱形孔的其他型軸承，能在更長的時間內提高主軸的旋轉精度。

此外，調整徑向間隙，使之縮小，能相對增大滾柱載荷工作區域的角度，且使作用於軸承上的外載荷，在滾柱之間的分布更加均勻。因此，3182100 系列軸承內每一滾柱的單位載荷，較其他類型及結構的滾動軸承要小得多。

由於滾柱數較多（每一軸承中達 50~60）和它們的布置是錯列式的，所以這種型的軸承具有一種轉動平穩、均衡、且無震動的特殊能力。

2 軸承的剛性

除要求高度的旋轉精度外，主軸的剛性對機床的正常工作，有很大的意義。

若主軸——零件——刀具系統的剛性不足時，那麼工作時這系統的中心綫將在空間內發生位移，因而使被加工零件的幾何形狀與尺寸得不到需要的精度。

因為主軸與整個機床的剛性，不可能用計算的方法來決定，且沒有一定的剛性標準，所以在實踐中每一新造的、翻新的或修好的機床之主要部件（主軸、刀架等），通常均須經受「剛性」或「受壓性能」的試驗。這種情況表明，機床試驗時得出的剛性特性，

能够用来判断机床主要部件的质量状态。

在这种场合下，一物体或一体系的刚性，是指它们在附加载荷的作用下，反抗弹性移动的能力。

在其他条件相同情况下，移动量愈小，刚性就愈高。

刚性系数 K ，为力 P 与在此力作用方向的弹性移动量 δ 的比： $K = \frac{P}{\delta}$ （公斤/公厘）。

部件各构件的弹性移动，通常基本上是由接触变形引起的，此变形的大小，决定于锯齿形（在显微镜下观察出的突纹）接触表面的受压情况（因为锯齿形表面接触不均所致）。因此承受外力的，将不是全部表面，而只是在显微镜下观察出的锯齿形突纹的一部分。

接合零件表面的起初状态（加载荷之前），是刚性的最重要准则之一。例如，机床的许多零件，起初是属于点接触（滚珠轴承的滚动件）或线接触（滚柱轴承的滚动件）。

所以主轴部件的支承（即主轴在它上面旋转用的滚珠和滚柱轴承），对主轴部件的刚性特性有直接的影响。

内圈、外圈和滚动体的总接触变形，轴承中的径向间隙与轴向游隙的大小，滚动道的半径，轴承在轴上及座体中的配合性质（带公差或带间隙），所有这一切，对支承的刚性和整个主轴部件的刚性都有重大的影响。

各种轴承的相对计算刚性，可根据别利亚耶夫—丁尼克弹性体接合关系（зависимость Беляева—Динника）决定：

$$\frac{j_1}{j_2} = \frac{z_1^{2/3}}{z_2^{2/3}} \cdot \frac{d_1^{1/3}}{d_2^{1/3}}$$

式中 z_1 与 z_2 ——不同轴承中的滚珠数，而 d_1 与 d_2 ——滚珠直径；
 j_1 与 j_2 ——分别为轴承的刚性。

从上面的比例关系看出，轴承的刚性取决于轴承的内部结构，即取决于轴承内滚动体的数目与尺寸，并且可以看出，若增加滚

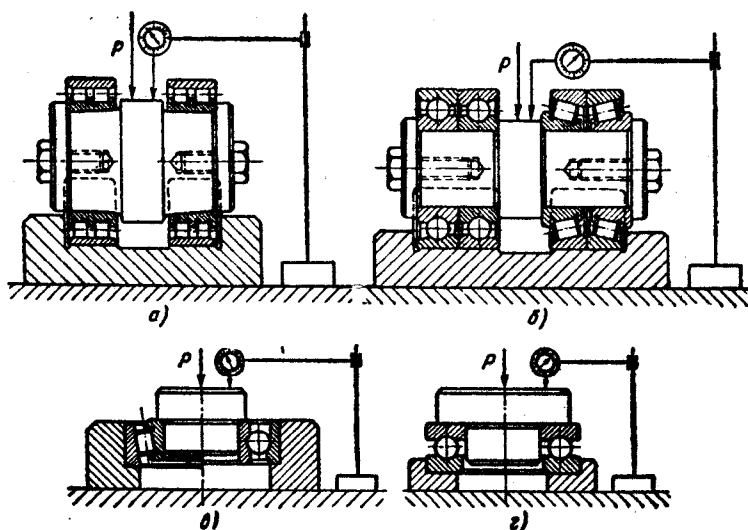


圖 4 各型軸承徑向剛性和軸向剛性的度量圖。

動體的數目，就能顯著地提高軸承的剛性。

軸承的剛性，隨軸承中徑向間隙的增加而降低，但這種關係在這裡用不着討論，因為對於旋轉精確和剛性高的重要部件，在安裝軸承時都力求將間隙調整至最小的容許限度，而以取成零，甚至是不大的負間隙為最好。

按軸承受載荷的性質，剛性可分為兩種：徑向剛性與軸向剛性。而在推力軸承中，僅討論軸向剛性。

軸承的剛性，同機床的其他部件的剛性一樣，借助於不複雜的夾具用實驗的方法決定。各型軸承用之夾具的原理圖，如圖 4，a、b、c 和 d 所示。

使軸承受以載荷 P ，用一刻度值為 0.001 公厘的千分表，指出軸承中所產生的彈性變形（彈性移動）。

將載荷 P 增加至一定的量，例如增加至 200 或 500 公斤，並分別度量其變形的大小，就可以根據這些數據，劃出不同軸承各自的剛性特性比較曲線。

刚性高的轴承（推力滚珠轴承与径向滚柱轴承）的接触变形曲线，与横坐标轴成不大角度的直线近似。

至于其他型制造正确的轴承，其刚性曲线是抛物线形，这表明继续增加载荷，变形量的增长速度很缓慢。

圖 5 所示，为 36200 系列径向推力滚珠轴承和 3182100 系列锥孔双列径向滚柱轴承，在径向载荷下所诱起的弹性变形曲线图。此曲线图表明了这些轴承的径向刚性，并说明 3182100 系列轴承的径向刚性，比 36200 系列〔主轴〕径向推力滚珠轴承的径向刚性高许多倍。例如，孔径为 120 公厘的 3182124 滚柱轴承，在载荷为 1500 公斤下的径向变形大小，只有 0.0057 公厘，而当载荷增加到 3000 公斤时，此变形增加到 0.01 公厘。

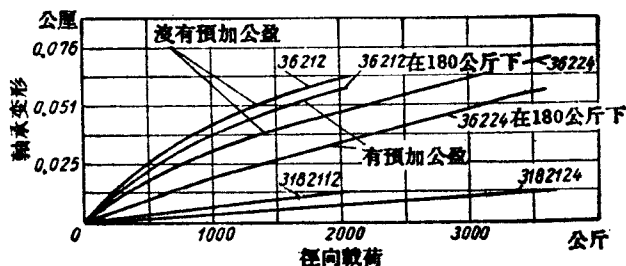


圖 5 轴承在径向载荷下的弹性变形图。

与此类似，孔径为 60 公厘规格较小的 3182112 轴承，在载荷为 500 公斤下的径向变形等于 0.0035 公厘，而在载荷为 1500 公斤时等于 0.009 公厘。

这些数据属于没有预加公盈的轴承，而在有预加公盈的同一轴承上，接触变形还要小些。

孔径为 120 公厘没有预加公盈的 36224 型径向推力滚珠轴承，在 1500 公斤载荷下的径向变形等于 0.04 公厘，即比 3182124 滚柱轴承在同样载荷下的径向变形大 6 倍。

36224 型轴承，在 3000 公斤载荷下的径向变形等于 0.061 公厘，即比 3182134 轴承的径向变形大 5 倍。