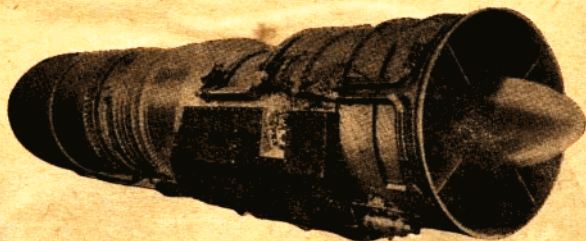


航空发动机 設計參考資料

奧倫達 (Orenda) 10 型
渦輪噴氣發動機

北京航空學院發動機資料編輯室編



國防工業出版社

內容簡介

奧倫達(Orenda)噴氣發動機是加拿大的中等推力渦輪噴氣發動機。該機具有十級軸向式壓縮機，6個分管燃燒室及一級渦輪。其方案設計的特点是結構簡單，重量輕，工作可靠性強。如在發動機轉子上採用大鼓輪軸；縮短壓縮機支承點來提高轉子剛性，渦輪導向葉片採用了空心結構以減少熱衝擊。

在燃燒室頭部與燃氣收集器（後期者）上，廣泛採用鋁料結構，這給工藝及生產率方面帶來很多有利條件。

本書對該發動機性能，結構作了介紹與分析，書末並附有模擬的等比例縱、橫剖面圖。本書對實際設計工作有參考價值，也可供生產人員及航空院、校師生參考。

本書為航空噴氣發動機設計參考資料中方案設計之第四卷。

北京航空學院資料編輯室編

*

國防工業出版社

北京市書刊出版業營業許可証出字第074號
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

850×1168¹/₃₂ 印張1⁴/₁₆ 19千字

1959年6月第一版

1959年6月第一次印刷

印數：0,001—2,350冊 定價：(11) 0.23元

NO. 2981 統一書號：15034·359

編者的話

自我国社会主义建設大跃进以来，随着工、农业的空前發展，科学技术各个領域飞跃前进，在我国航空科学方面，在党的领导下，各有关部門間开展了共产主义大协作，作出了一定的成績。

为了有助于航空發動机的設計与教学工作，我室师生着手彙編一套有关發動机設計的參考資料。目前只選擇一些資本主义国家的航空發動机，作了分析研究，并依据資料繪出等比例的縱、橫剖面圖。由于資料不足，水平有限，某些結構又屬揣測而得，圖中尺寸亦多出於估計，故仅供作參考。書中某些問題分析敘述亦有不够透徹或錯誤之處，請讀者指正。

書中所述各機種的基本資料均选自英、美等国杂志，因而其技术性能和构造形式的介紹，定有虛夸与失实之處，其設計主导思想亦多由最大限度地追求利潤及侵略战争出發，与我們社会主义国家設計思想根本不同。在編写过程中，我們虽尽力用批判态度，选其精华，弃其糟粕，仍希讀者在参考本書时，注意批判接受。

参加本書資料搜集，研究和整理工作的有本院有关教研室教師，及58年畢業生。

在本書編輯中，蒙国际航空杂志編輯部，提供了許多資料，国防工业出版社對本書出版給予大力支持，我們謹致以衷心感謝。

北京航空学院發動机資料編輯室

1959年4月

目 录

編者的話	1
第一章 总論	3
§1 發展概況	3
§2 發动机概述	3
第二章 支承方案与承力系統	4
第三章 构造分析	8
§1 进气机匣	8
§2 壓縮机	9
1 通道形式	9
2 轉子构造	10
3 轉子扭矩的傳遞	13
4 靜子构造	14
5 轉子支承	15
6 扩压器	16
§3 燃燒室	16
1 概述	16
2 燃燒室构造	17
§4 渦輪	18
1 轉子	18
2 联軸器	21
3 靜子	21
4 原噴筒	23
第四章 附件系統	24
§1 起動系統	24
§2 潤滑系統	24
§3 冷却系統	24
§4 燃油系統	25
参考資料	26

第一章 总 論

§1 發展概況

奧倫達 (Orenda) 10型渦輪噴氣發動機是加拿大奧倫達發動機公司的產品。1946年9月該公司開始奧倫達的原型設計，經過三年時間，在1949年2月完成了奧倫達1型的試車，次年10月用它裝在北美 F86A 佩刀式攔擊機上。

1952年2月，該公司生產了奧倫達2型供給加拿大空軍使用。迨至1953年1月，奧倫達號機經歷了多次的方案更改，最後獲得奧倫達8型及奧倫達10型，通過定型試驗；其地面靜推力約為2950公斤，分別用於CF-100和佩刀式飛機上。

1953年4月奧倫達9型制成。1954年又出現了具有二級渦輪，地面靜推力達3000~4000公斤的奧倫達11型並通過了定型試驗。同年9月，裝有輕型加力燃燒室，推力達8000~11300公斤的奧倫達14型亦試車成功。55年3月該機被安裝於飛行M數為2的Avro C-105三角機翼飛機上。

§2 發動機概述

奧倫達10型渦輪噴氣發動機具有十級軸向式壓縮機，其最大空氣耗量為48公斤/秒，增壓比5.5:1。壓縮後的空氣經擴壓器，進入六個分管式燃燒室。燃燒室排出的燃氣流推動一個單級渦輪，並在經過不可調節式的尾噴管中繼續膨脹，以一定的流速噴出，產生推力。

在壓縮機進氣機匣的前端，裝有起動電動機，其下部安裝增壓泵及回油泵。另外在壓縮機機匣上部裝有兩個燃油泵，一個轉速表發電機，及液壓泵，下部裝有油量分配器。

發動機的主要安裝節安置在擴壓機匣上（兩個安裝座），輔助安裝節則在燃氣收集器機匣下方。

發動機主要數據如下：

尺寸：

直徑：42吋（106.7公分），

長度（包括噴管在內）：121.5吋（308.6公分），

迎風面積：9.6平方呎（0.892平方公尺）。

重量：

淨重：2515磅（1,141公斤）。

性能：

起飛時推力 6355 磅（2883 公斤），轉速 7800 轉/分，燃料消耗率 $1.12 \frac{\text{磅}}{\text{磅推力} \cdot \text{小時}}$ $\left(1.12 \frac{\text{公斤}}{\text{公斤推力} \cdot \text{小時}}\right)$ ，最大排氣溫度 720°C 。

額定推力（可用 30 分鐘）5870 磅（2663 公斤），轉速 7600 轉/分，燃料消耗率 $1.10 \frac{\text{磅}}{\text{磅推力} \cdot \text{小時}}$ $\left(1.10 \frac{\text{公斤}}{\text{公斤推力} \cdot \text{小時}}\right)$ ，排氣溫度 690°C 。

正常巡航推力 5020 磅（2277 公斤），轉速 7250 轉/分，燃料消耗率 $1.09 \frac{\text{磅}}{\text{磅推力} \cdot \text{小時}}$ $\left(1.09 \frac{\text{公斤}}{\text{公斤推力} \cdot \text{小時}}\right)$ ，排氣溫度 645°C 。

地面慢車轉速 2750 ± 100 轉/分。

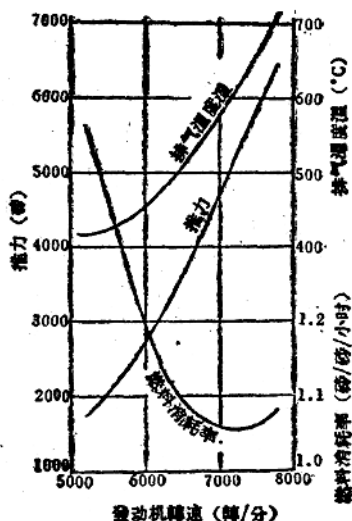


圖3 發動機轉速特性曲線

第二章 支承方案與承力系統

由於發動機採用了單級渦輪，其總體支承設計可以採用1—2—0的支承方案。由圖4中可以看出，壓縮機轉子裝在二個滾動軸

原书缺页

原书缺页

承的支点上。前轴承 1 是滚棒轴承，亦是支承轴承，它承受径向负荷。中轴承 2 是由二个滚珠轴承组成的轴承组，也是支承推力轴承；它承受整个发动机转子的轴向力及较小的径向负荷。后轴承 3 是滚棒轴承，它承受较大的径向负荷，涡轮转子后端即支承在它上面。

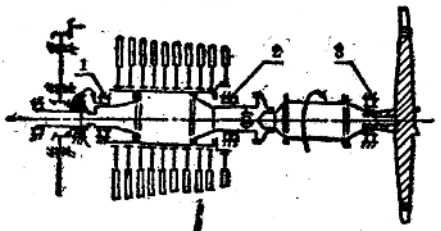


圖 4 轉子支承与傳动簡圖
1—前轴承；2—中轴承；3—后轴承。

至于附件传动轴的支承点由位于最前面的一滚棒轴承和后面的承轴向负荷的滚珠轴承组所组成。

涡轮转子的全部扭矩是通过中间联轴器传到压缩机转子上的。

在发动机转子的支承方案中，压缩机装配了大鼓轮轴，并尽量缩短了前、中二轴承的距离。涡轮轴亦被设计成大鼓轮轴，所有这一些构造设计，都是为了增大转子的刚性。

奥伦达号发动机的承力系统如图 5 所示；其主要承力零件计有：进气机匣 1，压缩机机匣 2，扩压机匣 3，中机匣 4，燃气收集器 5，涡轮外环 6 及尾喷管壳体 7 等。

由于发动机采用了分管式燃烧室，承力系统便必需具备有内承力结构的特点。由尾锥 8 和尾喷管壳体 7 产生的轴向力，经涡轮外环 6，燃气收集器 5，中机匣 4，传至扩压机匣 3，而后传至主安装节。

涡轮导向器叶片的轴向力是经导向器内环，然后同样地由燃气收集器 5，中机匣 4，传到扩压机匣 3 上的主安装节。

至于附件传动与压缩机导向叶片的轴向力，则经进气机匣 1 和压缩机匣 2，递与扩压机匣 3 上的主安装节。

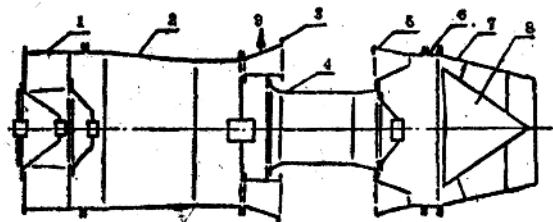


圖 5 奧倫達 10 型發動機的承力機匣

1—進氣機匣；2—壓縮機機匣；3—擴壓機匣；4—中機匣；5—燃氣收集器；6—渦輪外環；7—尾噴管壳体；8—尾錐；9—主安裝節。

發動機轉子工作時，作用于軸承上的徑向與軸向負荷是由各軸承機匣傳遞給安裝節的。應該特別注意：當飛機作機動特技飛行時，轉子上便產生巨大的慣性徑向力并同樣地作用于軸承上。此時，中機匣 4 與壓縮機機匣 2 要承受等于轉子重量乘過載系數的力所引起的彎曲及陀螺力矩所引起的彎曲。

渦輪導向器的反作用力矩通過中機匣 4 作用于擴壓機匣 3 上，與壓縮機導向葉片的反作用力矩相平衡。

將發動機固定于飛機上的主要安裝節是設在擴壓機匣上的，因為擴壓機匣有足夠厚的壁與較大的剛性，其壁所受的溫度也遠較渦輪機匣為小，并且整個發動機的重心也在其附近。

在這種內承力的結構方案中，中機匣直徑較小，剛性弱，而且裝配着很笨重的燃氣收集器鑄件作為承力的零件，也增大了發動機的重量。在帶有軸向式壓縮機的發動機中，採用內承力的結構方案已較為落后了。

第三章 構造分析

§1 進氣機匣

壓縮機進氣機匣是用鎂鋁輕合金 2RE1 鑄成，其進口處有四

个整流支柱。垂直的上支柱内，装有传动轴以带动燃料泵、转速表发电机及液压泵；下支柱内，有传动增压泵及回油泵的传动轴。进气机匣中的匣座内有前滚棒轴承及发动机附件中央传动盒。在进气机匣的前端装有环形叶栅状的防尘网，而在其后面有一列用铝精铸成的导流叶片，这些叶片分别嵌在外环的燕尾槽和内环的槽中。

§2 压缩机

1. 通道形式 该发动机的通道形状是很特殊的，它综合了三种通道的形式，即在第一级上采用等外径形式；从第二级起到第六级为等内径的；最后由第七级到最末一级却采用等平均直径的通道形式（见图6）。

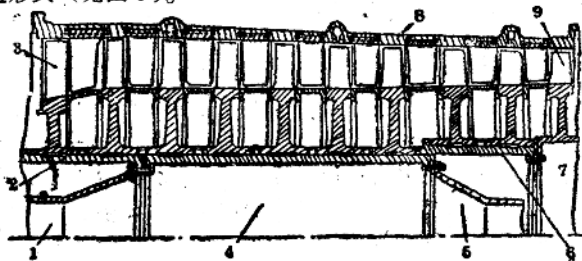


图6 压缩机

1—压缩机前轴；2—压缩机前段鼓筒；3—第一级叶轮；4—压缩机中段鼓筒轴；5—压缩机后轴；6—压缩机后段鼓筒；7—第十级叶轮钢轮盘；8—压缩机匣；9—第十级叶轮。

这种综合的通道形式有以下优点：

如在整个压缩机各级都采用等内径或等平均的直径，那么第一级用等内径势必使外径尺寸增大，导致迎风面积增加。图7示出了第一级用等外径或等内径的比较方案。目前第一级叶轮的直径较小，切线速度低，离心力小，改善了叶片及盘的工作条件。另外叶轮平均直径小了，进口相对 M 数就不易达到临界值，以免降低压缩机效率。



圖7 第一級用等內徑或等外徑的比較方案

等內徑的通道的优点在于輪盤的尺寸大小相同，其零件制造可以采用相同大的毛坯，进行鍛造及机械加工，因而降低产品成本。从重量上来看，压缩机的重量可以近似的表为外徑 D 和第一級叶片長度 L 的函数关系，即 $G \approx f(D^2, L)$ 。因此等內徑的重量較輕，同时它又便于安装附件，这样就促使奧倫达号压缩机采用以等內徑为主的通道形式。最后几級的等平均直徑通道可使該几級的叶片不致过短，因而减少了二次損失。

綜合通道設計方案虽有以上的优点，但是却給机匣加工造成不便。輪盤尺寸形状各异，施工复杂。气流通道不像單一式通道那样平滑，气流損失較大，会因此降低压缩机的效率。

2. 轉子构造 压缩机轉子軸是由三段鋁制的鼓筒組成，用螺栓連接（見圖6）。九个鋁質輪盤用压配合装在鼓筒上。第十級是鋼輪盤，用螺栓固定到后段鼓筒軸上。輪緣之間又压配着定距圈，形成混合式构造的轉子，增强了轉子的剛度，并保存了內盤式构造所具备的强度高的优点。

所采用的大鼓輪軸結構使前、后两半軸及其軸承有可能退入鼓輪軸腔內，不仅縮短了軸承間的距离使結構紧凑，更賦予轉子兼有大的剛度（相对于重量而言），这是發动机轉子設計的獨特优点。

但是这种构造方案也有一些缺点，它大量采用了压配合，必然会使装拆不便，而且前、后几級輪盤都是悬挂式固定的，会减弱剛性。另外采用的三段分开的鼓輪軸，使用大量螺栓来連接，必然会增加很多額外的重量。

在圖8 压缩机前段鼓筒軸与中段鼓筒連接中，前、中段鼓筒6、2和盘4、3之間，夹有墊片5，其作用是保証輪緣与定距圈

在軸向上頂緊，以組成一混合式轉子。為保證裝配之頂緊，墊片 5 須要選擇裝配。在圖 9 壓縮機後段鼓筒軸與第十級輪盤的連接中，墊片 2 起着與上述的墊片相同的作用。

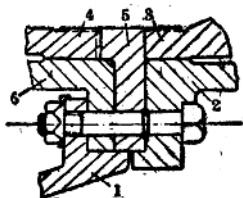


圖 8 壓縮機前段鼓筒軸與中段鼓筒軸的連接

1—壓縮機前軸；2—壓縮機中段鼓筒軸；3—壓縮機第三級輪盤；4—壓縮機第二級輪盤；5—墊片；6—壓縮機前段鼓筒軸。

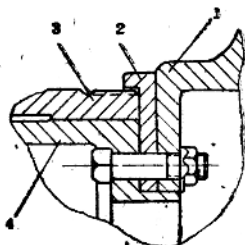


圖 9 壓縮機後段鼓筒軸與第十級輪盤的連接

1—壓縮機第十級輪盤；2—墊片；3—壓縮機第九級輪盤；4—壓縮機後段鼓筒軸。

壓縮機轉子的平衡是在轉子裝配好了以後，在平衡機上做動平衡試驗。可在第一級和第十級輪盤上，修刮材料，以達到平衡。

壓縮機在不大的增壓比下工作，却用了十級葉輪。所採用低壓頭的設計，級數多，重量大，但其特性較比平穩。

圖 10 中示出了壓縮機轉子的外形。

為使壓縮機轉子前三級的工作葉片經得起冰塊與沙石的沖擊，採用不銹鋼製成。前三級葉片較長，考慮到其根部與盤連結處的連結強度，採用了樅樹形樺頭的結合，如圖 11 所示。中間六級是鋸葉片與盤的連結處採用了燕尾形樺頭，如圖 12 所示。在末一級，由於溫度較高，亦採用了不銹鋼的葉片。但其葉片短，根部負荷小，故採用了前面各級葉片與盤連結的相同的方案，即燕尾形樺頭的固定法。

除第一級和第十級葉片是採用鎖圈作軸向定位外，其餘葉片的軸向定位均靠定距圈。

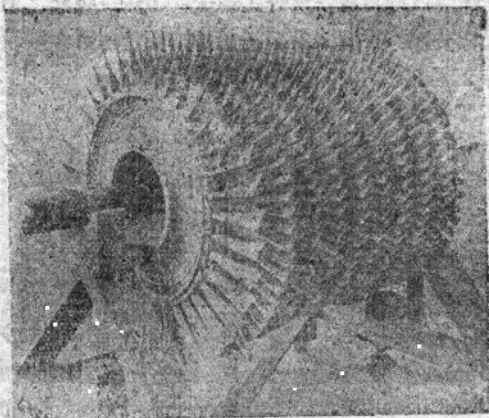


圖10 壓縮機轉子外形

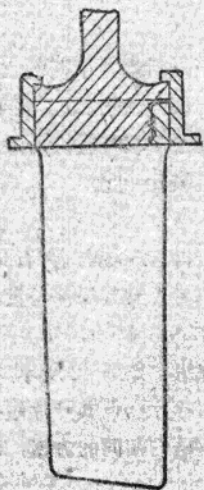


圖11 叶片利用榫頭形榫頭的固定

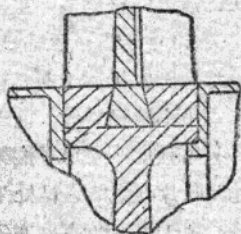


圖12 叶片利用燕尾形榫頭的固定

3. 轉子扭矩的傳遞 如圖 6, 13, 14 所示, 扭矩是借前、中、后三段鼓所組成的鼓輪軸傳遞的, 其上各有突塊, 將扭矩從鼓筒軸傳到盤上, 而盤與盤之間則靠端面齒傳扭。

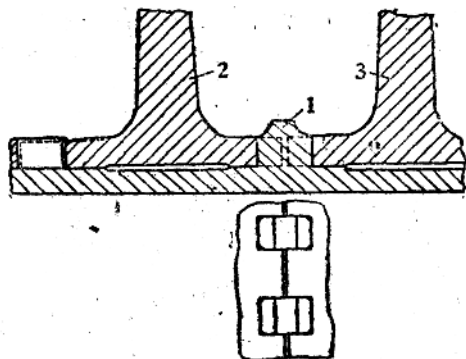


圖13 壓縮機中段鼓筒與盤的傳扭

1—具有突塊的壓縮機中段鼓筒; 2—壓縮機第四級輪盤; 3—壓縮機第五級輪盤。

像這種矩形齒槽傳遞扭矩的形式, 其優點為:

(1) 利用了三列突塊將扭矩分開傳遞, 因而各段鼓筒軸與輪盤所傳遞的負荷就小。

(2) 突塊傳扭較之摩擦傳扭安全可靠, 重量輕。

(3) 與螺栓剪切傳扭比較, 具有較輕重量的優點。

(4) 用端面齒交錯嚙合, 轉子結構較緊湊。

缺點:

(1) 在矩形端面齒施工時, 不

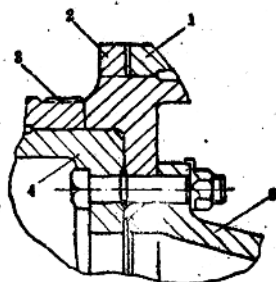


圖14 壓縮機后段鼓筒與盤的傳扭

1—壓縮機第八級輪盤; 2—具有突塊的壓縮機后段鼓筒; 3—壓縮機第七級輪盤; 4—具有突塊的壓縮機中段鼓筒; 5—壓縮機后軸。

易保證其精確度。

(2) 盤與鼓是壓配合，造成裝卸的困難。

(3) 較之銷釘傳扭形式，結構較重，並且工藝複雜。

4. 靜子構造 壓縮機機匣是由水平分開式的兩個半壳体組成，為鎂鋁合金鑄件（圖15）。

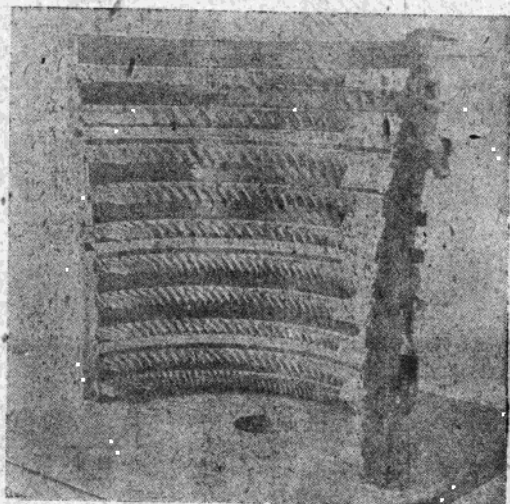


圖15 壓縮機機匣

在機匣內有“T”形槽，以便安裝鋁合金作成的半環，這種半環上開有燕尾槽用來安裝導向葉片。半環被銷釘固定在機匣上，不使其轉動（見圖16）。這種固定導向葉片的結構，使導向葉片的裝配變得簡單，因此機匣加工所要求的精度可以降低。但由於葉片系用懸臂式固定，剛性差，尤其是前面幾級葉片較長，容易引起振動，並且葉片下部的間隙，可以造成漏氣，使損失增大。

分開式的機匣是當前軸向式壓縮機機匣設計的最普遍形式，因它較整體機匣有很大的優點：它安裝方便，工藝簡單，且可以讓轉子完全平衡好了以後，再進行壓縮機的裝配。此外分開面在水

平位置又可使装配更加方便。但該發動机除二水平安装边外，缺少像圖 17 所示的縱向肋条，这样使机匣在周向上的剛性不够均匀，容易引起变形。

5. 轉子支承 压缩机轉子的前軸安装在一个滾棒軸承上，軸承与襯筒一起安装在前軸承机匣上承受徑向力，如圖 18 所示。

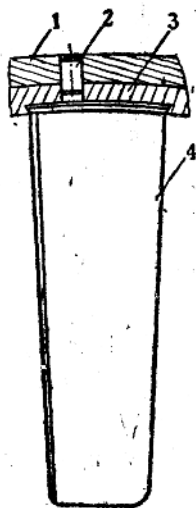


圖16 压缩机导向叶片的固定

1—压缩机匣；2—銷釘；
3—鋁合金作成的半环；
4—导向叶片。

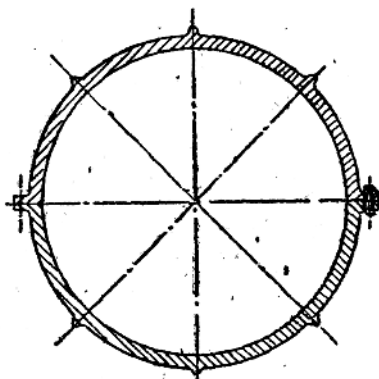


圖17 为奧倫达号压缩机匣所缺少的、具有縱向肋条分开式的压缩机匣

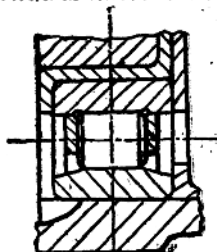


圖18 压缩机前軸承

軸承托圈是按外环定位的，这可使托圈的不平衡力随着發動机的工作而逐漸减小。

轉子的后軸安装在由两列滾珠軸承所組成的中軸承上，而这两列滾珠軸承之間，装有一个精确研磨的定距环，以保証两軸承