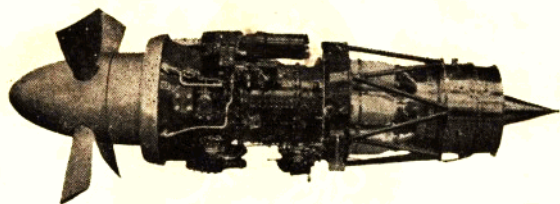


航空发动机 設計參考資料

意兰得(Eland) NE1 型

渦輪螺槳發動機

北京航空學院發動機資料編輯室編



國防工業出版社

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。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，且作出了一定的成績。

为了有助于航空发动机的設計与教学工作，我室师生着手彙編一套有关发动机設計的参考資料。目前只選擇一些資本主义国家之航空发动机，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，故仅供作参考，書中某些問題分析叙述亦有不够透澈或錯誤之处，請讀者指正。

書中所述各机种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，定有虛夸与失实之处，其設計主导思想亦多从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师，及 1958 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，国防工业出版社对本書出版給予大力支持，我們謹致以衷心感謝。

北京航空学院发动机資料編輯室

1959 年 1 月

目 录

第一章 总論	3
§ 1 發展簡史	3
§ 2 基本構造	5
§ 3 承力系統	7
§ 4 傳動系統	8
第二章 發動機構造分析	10
§ 5 減速器	10
§ 6 壓氣機	25
§ 7 燃燒室	40
§ 8 渦 輪	43
§ 9 尾噴管	51
§ 10 滑油系統	54
總評	56
附表: N. E1. 3發動機主要零件材料表	58
參考資料	58

第一章 总 論

§ 1 發展簡史

意兰得(Eland)渦輪螺桨發動机是英国那派尔(Napier)公司試制成功的一种功率为3~4千匹馬力的發動机。

此發動机于1950年末开始設計，結束于1951年9月，代号为E. 141。設計要求是气动力效率高，燃油消耗率低和重量小。E. 141的試制于1951年末开始，1952年9月进行初次試車。最初，意兰得由那派尔公司自行試制，后来和供应部签订了合同，并于1952年通过了验收運轉，后又經過1250小时的長期台架試驗，最后于1954年6月通过了25小时的飞行特殊許可試驗。除此以外，此發動机还作过下述一系列試驗和試車：載荷運轉試驗500小时；1954年12月进行了150小时的定型試車；此后，用逆流噴射火焰筒作運轉試驗173小时；叶片耐疲劳試驗150小时；在起動、高溫、不同轉速等各种状态下保持正常運轉的試驗共計381小时。

按照慣例，英国發動机在定型試車之前，一般需要用3年多的時間，經過約4000小时的運轉，但意兰得只作了不到2000小时的運轉。自从1952年初次試車以来，發動机的性能已提高33%，相繼出現了N. El. 1, 2, 3, 4, 5, 6和7等型別。

意兰得曾在該公司的实验飞机“瓦塞提”(Varsity)上进行了飞行試驗，在發展过程中还出現了直升飞机上用的意兰得，这就是N. El. 3和N. El. 6，这两种發動机主要构造与其它型別的一样，只是在尾噴管后安装一个輔助空气壓縮机。

N. El. 1拟用于美国康維尔340中程客机上，以代替原来使用的P&WR-2800活塞式發動机。N. El. 3拟用于英国威斯敏

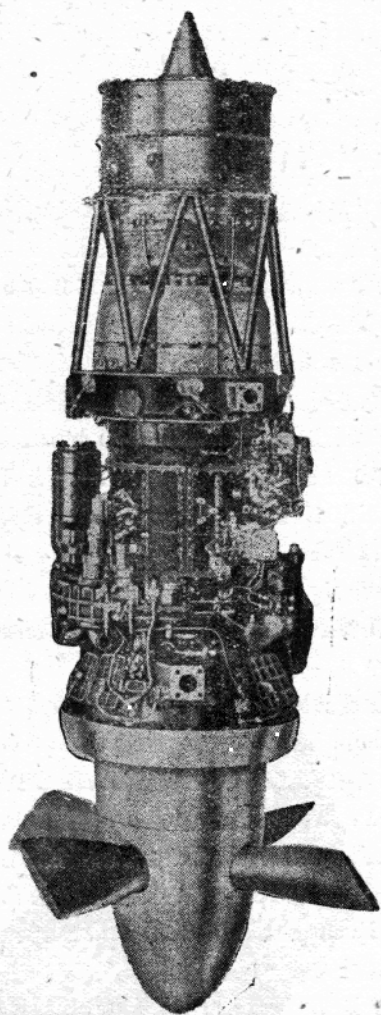


图 1

斯特直升飞机上。N. El. 6 拟用于英国罗托因直升飞机上。

翻修周期，在低温部分为2000小时，高温部分为1000小时。
该公司还计划设计双意兰得。

§2 基本构造

发动机的基本构造可见图2。

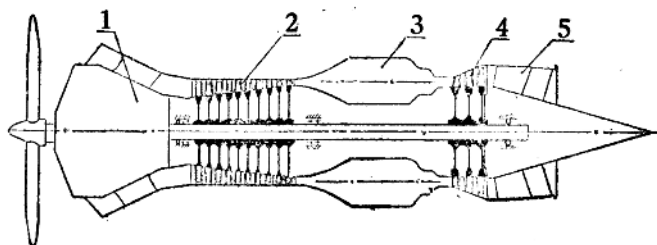


图2 意兰得构造简图

发动机以减速器1、压气机2、燃烧室3、涡轮4和尾喷筒5等五个主要部件所组成。

为了减小发动机的迎风面积，发动机附件大部分放在减速机匣的靠后部分。

在减速机匣的上部安装有下列附件：起动机（发电机）、飞机附件（可传递250匹轴马力）、燃油泵、螺旋桨控制器、转速表和离心式油气分离器等。

在减速机匣下部有增压油泵、回油泵、测扭机构增压泵、油滤等附件。

此外，在压气机机匣下部有进口导流叶片的控制装置；在扩散机匣下部有燃油控制装置。

减速器采用双重游星齿轮传动，此种传动方案比简单传动方案外壳尺寸小，重量轻，而且因通道平缓使流阻损失小。与双级游星传动比较，唯外壳尺寸较大，但重量较轻，构造简单。

压气机为轴流式的，共十级，压力比为7，外廓尺寸与轴向

長度都較小，耗量31磅/秒。

燃燒室為分管式的，共6個。由於採用了逆流噴油，使燃燒室的長度得到縮短。

渦輪採用三級軸流式、雙層外環和等內徑氣流通道。

尾噴口採用錐角等於 $32^{\circ}40'$ 的整流錐體，並用三個整流支板和不可調節的噴口。

壓氣機和渦輪轉子採用1-1-1三支點形式。壓氣機前和渦輪後都是滾珠軸承，中間是滾棒軸承。由於採用了減荷盤減小軸向力的方法，因此渦輪軸和壓氣機軸的連接沒有採用球頭。

燃油的供應工作由柱塞式油泵擔任。

各部分冷卻潤滑所需要的滑油是由一個增壓油泵供給的，回油借二個回油泵將滑油抽回滑油箱。螺旋變距機構與測扭機構各有其單獨的供油泵。

發動機由一個電起動機起動，當發動機轉子轉速達慢車轉速時，傳動軸上的爪式離合器就脫開。

發動機的主安裝節在擴壓機匣上，輔助安裝節則在減速器機匣上。

發動機的主要數據：直徑916毫米；長度3040毫米；迎風面積 0.66米^2 ；不包括噴管時淨重為715公斤；包括螺旋控制器和起動機時重754公斤。

發動機的主要性能數據如下(地面靜止狀態)：

參數	轉速 (轉/分)	軸馬力	推力 (公斤)	當量馬力	耗油率 (公斤/當量馬力小時)
最大起飛	12500	2690	374.5	3007	0.28
最大續航	12500	2070	317.8	2340	0.29
最大巡航	11500	1665	265.6	1890	0.31
滑油消耗量	1.1升/小時				
著陸慢車轉速	9000				
地面慢車轉速	6000				

§3 承力系統

1 發動機的主要承力件 減速機匣1、前軸承機匣2、壓氣機機匣3、擴散機匣4、燃燒室外套5、傳力框架6、渦輪前機匣7、中機匣8、後機匣9、外噴管10、內噴管11、軸承支持管12、渦輪後軸承機匣13、發動機主安裝節14。

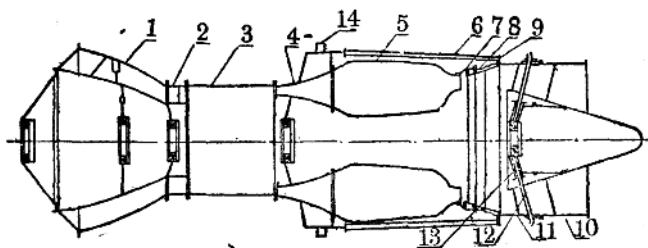


圖3 承力系統簡圖

2 傳力路線 發動機的主要安裝節位於擴散機匣上，來自發動機各部分的力和力矩均由此處傳給安裝在飛機上的發動機架上。在擴散機匣的前部支持着壓氣機，後面支持着燃燒室，此外還借一組焊接的傳力框架來支持渦輪及尾噴管。輔助安裝節在前軸承機匣上。

導向葉片的軸向力、扭矩和彎矩即由外環傳給壓氣機機匣，最後傳至擴散機匣上的主安裝節。

作用於燃燒室火焰筒內的氣體力，通過火焰筒定位銷的固定螺釘傳給外套，然後又通過固定燃燒室外套的固定螺樁傳給擴散機匣，最後傳至主安裝節。

作用於渦輪後軸承機匣的軸向力與徑向力，通過置於尾噴管的整流支板內的軸承支持管傳給外噴管。作用於整流錐體上的軸向力通過支板傳給內噴管，並與作用在內噴管上的其他力一起傳給外噴管，由外噴管用螺栓傳給渦輪機匣，再傳給傳力框架，最

后傳給主安裝節。作用在渦輪導向葉片的力和力矩借螺釘通過靜子外環傳給機匣，最後一起傳給渦輪前機匣，再由傳力框架向前傳給主安裝節。

作用于壓氣機後軸承上的徑向力通過擴散機匣上的軸承安裝座和支板直接傳給主安裝節。

作用于壓氣機前軸承和附件傳動軸承上的力由軸承襯套傳給前軸承機匣，再傳給擴散機匣的主安裝節和前軸承機匣上的輔助安裝節。

螺旋槳的拉力通過螺旋槳軸、游星架、滾珠軸承傳給減速機匣，再向後傳給前軸承機匣、壓氣機機匣、擴散機匣，最後傳至主安裝節。螺旋槳的反扭矩通過槳軸、游星齒輪軸、太陽齒輪和減速機匣進氣通道內的六個徑向支柱傳給減速機匣，最後也傳到擴散機匣的主安裝節上。螺旋槳前軸承的徑向力由前蓋傳給減速機匣而至輔助安裝節，螺旋槳後軸承的徑向力通過減速機匣內的支板傳出至前軸承機匣再傳給輔助安裝節。

§4 傳動系統

發動機傳動部分由渦輪轉子、套齒聯軸器、壓縮機轉子和減速器轉子四部分組成。

三級渦輪將通過聯軸器帶動壓氣機軸，再經過減速器以減速比14:1帶動螺旋槳（圖4）。

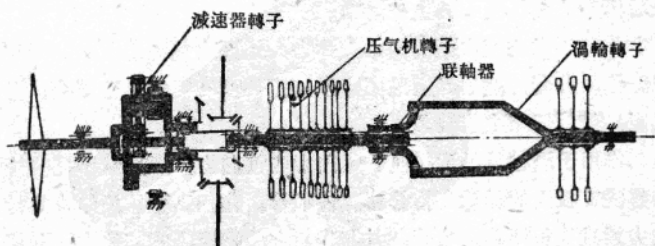


圖4 發動機傳動系統

压气机轉子通过套齿联轴器与渦輪轉子連接一起。压气机轉子和渦輪轉子支承在前、中、后三支点上。前支点有二个軸承，一个滾珠軸承固定压气机轉子軸向位置并承受軸向力，一个滾棒軸承則承受徑向力。中支点为滾棒軸承，仅承受徑向力，后軸承为滾珠軸承用以固定渦輪之軸向位置并承受軸向力与徑向力。

三級渦輪盘借套齿与渦輪軸相連接，渦輪軸后端有軸頸用以安装后軸承，渦輪軸前部制有漸开綫齿槽与套齿联轴器之外套齿相配合，而套齿联轴器之內套齿則与压气机后部之外套齿相配合，在压气机后部套齿上尚配合有套齿軸套，套齿軸套之外圓表面安装于中軸承內，它的內圓表面則与压气机后部外圓表面滑配合。压气机軸間接支持在中軸承上(參看圖5)。

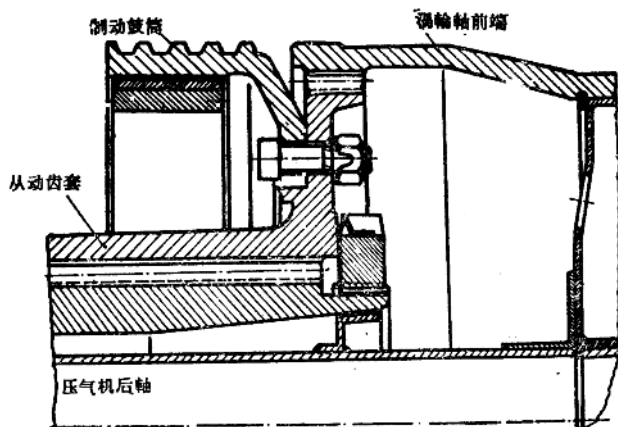


圖5 联轴器結構

第二章 發動機構造分析

§5 減速器

1 概述 減速器為渦輪螺槳發動機重要組成部分之一，位於發動機的最前端，根據發動機轉子的轉速為12500轉/分，本發動機減速比有四種：0.0714，0.0838，0.0912，0.0972，可以按所用螺槳之不同適當轉換。

在減速器機匣上有壓氣機的環形進氣道，後部尚有附件傳動部分。

減速系統為一單級重游星系統，如簡圖6所示。游星齒輪有三個。為了在更換減速比時無須改變機匣的外廓尺寸，所以齒輪的節徑是標準的。

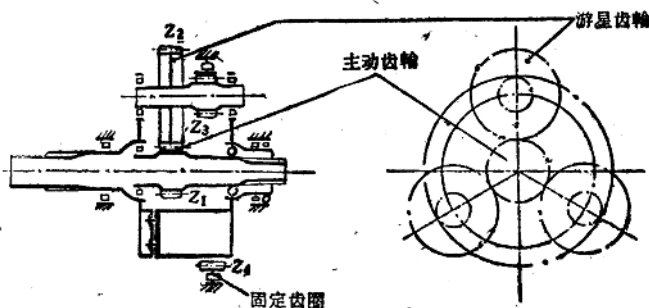


圖6 減速系統簡圖

齒輪的齒數安排，當 $i = 0.0714$ 情況下，主動齒輪 $z_1 = 24$ ，大游星齒輪 $z_2 = 65$ ，小游星齒輪 $z_3 = 20$ ，固定齒圈外有液壓式齒圈型扭矩測量機構。

2 套齒聯軸器 套齒聯軸器是用來將壓氣機轉子的功率傳給減速器的零件，其兩端有漸開綫內套齒，用以與壓氣機轉子及

減速器主動齒輪軸相連，並自由支持於其上。因為壓氣機套齒軸及主動齒輪軸並不在同一機匣內，故難以保證高的同心度，但自由支持的聯軸器就能夠消除同心度不高的缺點。

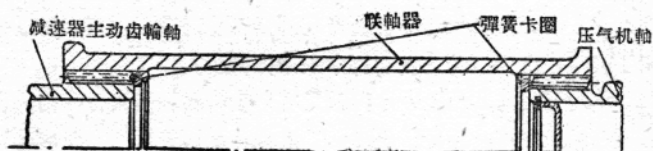


圖 7

聯軸器略具彈性，其目的在於減輕由於減速齒輪工作之不穩定性所引起發動機之扭轉振動，和壓氣機轉子與渦輪轉子的扭轉振動對減速齒輪工作的不利影響，尤其是意蘭得採用的是直齒輪系，因此其意義就更大，另外，當發動機負荷突然改變時，聯軸器還有緩沖作用。

聯軸器的軸向位置借彈簧卡圈來限制。

3 減速系 減速系為單級重游星齒輪系統。它由主動齒輪軸、三個帶軸的大游星齒輪、小游星齒輪、固定齒圈和槳軸——

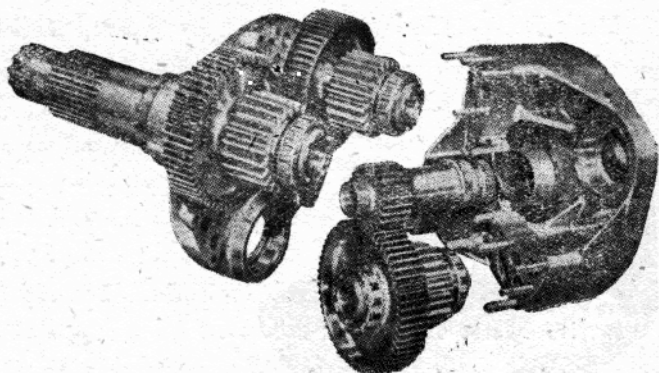


圖 8

游星架所組成。其構造可見圖8。

減速系統中的齒輪全是直齒的。直齒的嚙合係數小，但使齒牙的負荷變化很大，因而造成旋轉角速度的不均勻，易于產生扭轉振動。然而，直齒在施工上比起斜齒和人字齒來易于保證高精度，而且，測扭機構和彈性套齒聯軸器都能起減振作用，所以採用了直齒。直齒在英國發動機中採用得較少。

主動齒輪與其軸是一體，軸尾有套齒與聯軸器結合。軸前後各有一軸承支持，為便于裝配，把滾珠軸承置于後面，而滾棒軸承置于前面。主動齒輪軸的支承情況如圖9所示。

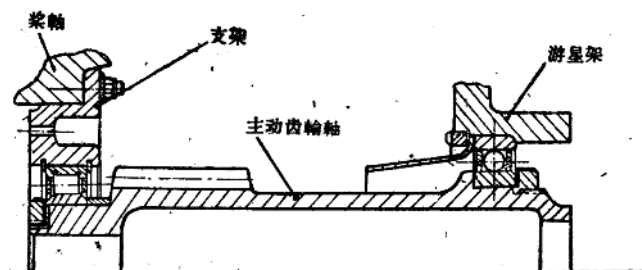


圖9 主動齒輪構造

滾柱軸承裝在與槳軸連在一起的支架孔內，借彈性卡圈限制軸承外環的軸向位置。為防止滑油積在軸內，在支架腹板上開有小孔，小孔的作用是在工作時靠離心力將軸內滑油甩出來。

小游星齒輪借六個軸向銷釘與游星軸相連，并用圓柱面定位。採用銷釘連接其優點是構造簡單；銷釘孔的位置可任意以保證大小游星齒輪相對位置的精度和足夠的強度。但是加工銷釘孔需要一套專門的夾具，翻修時拆卸不方便。

把大游星齒輪與游星軸作成一體，而不是把小游星齒輪與軸作成一體，其目的可能是為減小軸承間的距離，使重量減輕；另外大游星齒輪與軸為一體，這樣就使其剛性較分開的為好，但是缺點亦頗多：

- (1) 毛坯較大;
- (2) 軸的前支点等在輪磨時不方便;
- (3) 軸一般用滲碳鋼, 而大齒輪 (超過 200 毫米) 用氮化鋼, 故在使用材料方面是不合理的。

游星軸支持在兩個滾柱軸承上, 為了避免游星軸帶動滾柱與內環一起軸向竄動, 估計軸承外環是單靠邊的, 如圖10所示。軸承外環借卡環固定于游星架上。

太陽齒輪與測扭機構可動部分作成一體, 並自由地支持在測扭機構的前後擋板的孔內 (圖13), 因而具有自動調整的作用, 這種作用保證了三對游星齒輪輪齒的負荷均勻, 並減少噪音。

在漿軸前軸承的後面是分油襯筒, 它安裝在減速器前蓋的孔中, 由螺釘作徑向與軸向固定, 襯筒內有四條油槽, 分別與前蓋

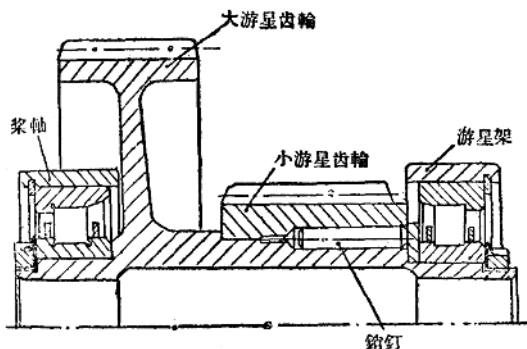


圖10 游星齒輪構造

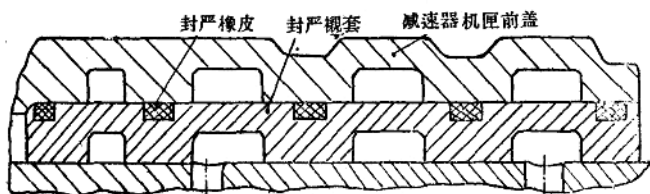


圖 11

凸緣上相应的四条油槽有油孔相通，槽与槽之間有封严橡皮（圖 11）隔开。由前向后数第一道油槽为螺旋桨前轴承的潤滑油供油槽，第二、第三道油槽为变矩油路，第四道油槽是减速齿輪与軸承的潤滑油路。

游星架上有三个支柱借 12 个螺樁与桨軸的凸盘相連接（參看圖 8），并借摩擦进行傳扭（估計桨軸与游星架是依靠銷釘来定位的，或者初步将螺樁螺帽擰紧以測量来决定）。游星架的支柱呈三角形，鑽有油孔，与桨軸凸盘上相应油孔相通，經此孔引滑油以潤滑游星齿輪及其后軸承。桨軸凸盘与后游星架联接后形成游星齿輪座，游星軸及主动齿輪軸則支持在其上。游星架后带一短軸，为桨軸与游星架之后支点。該处用一滾珠軸承与滾棒軸承支持，两軸承間有一小噴咀环，引滑油进行潤滑，两軸承装于一个軸承襯套上，用螺帽固定其軸向位置。

軸承襯套則用螺樁固定在减速机匣腹板上，螺旋桨拉力通过此处向外傳出（見圖 12）。

为保証桨軸与后游星架之間有足够高的准确度，一般采用装配后再进行組合加工的方法来保証。

因构造上的限制，測扭机构需随同减速系統一起装配，然后再固定到机匣上去，这給測扭机构装配带来很大困难，因为測扭

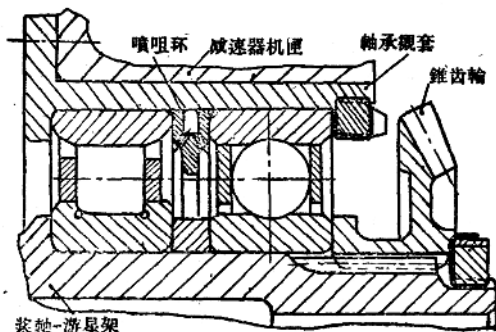


圖 12

机构是在高压油条件下工作，装配时保证封严比较困难，装配工作不方便，这将是构造上的一个缺点。

4 测扭机构 飞机在各种不同飞行状态下，需要随时了解发动机的功率，由于发动机转速已从转速表测得，故只需测出发动机的扭矩就可知道发动机的功率。

意兰得发动机的测扭机构为液压齿圈式。发动机扭矩的变化是通过液压变化传到驾驶室仪表上，从仪表上表示出来。

测扭机构由扭矩环、太阳齿轮、前后挡板、密封挡片及其弹簧、拉紧螺栓和封严胶圈等所组成。扭矩环内侧和太阳齿轮外侧各有30个齿形隔板相间排列，隔板与前后挡板一起形成30个高压油腔和30个低压油腔。太阳齿轮的齿形隔板顶部有一轴向槽，槽内镶有带弹簧的密封挡片（图14），弹簧将密封挡片紧密地压向扭矩环以起到密封作用，通过密封挡片便将高低压腔截然地分开来。密

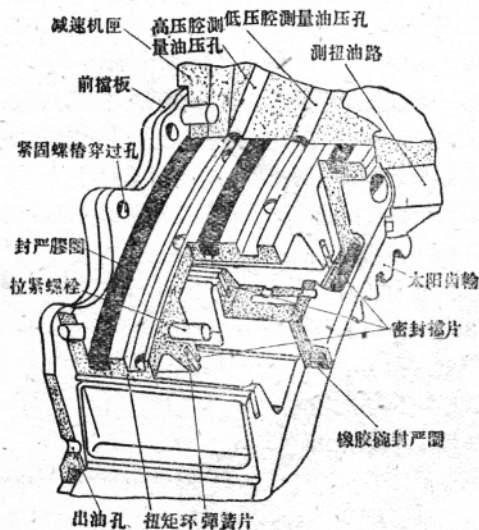


图13 扭矩测量机构

封擋片沿軸向與齒形隔板一樣長。在隔板上有10個“L”形油路，測正扭矩時五個通往高壓腔，另外5個便不通往低壓腔；測反扭矩時，把在測正扭矩時的高壓腔變為低壓腔，低壓腔變為高壓腔，并由另外的五個“L”形油路通入增壓了的滑油。

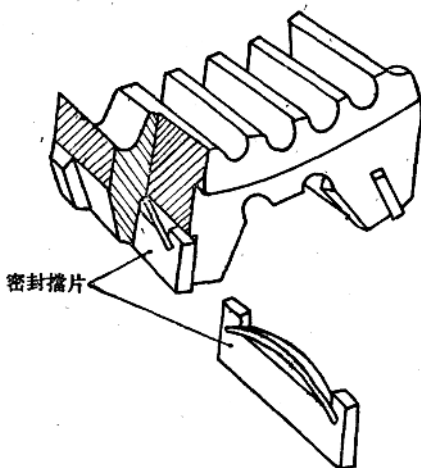


圖14 帶彈簧片的密封擋片

扭矩環借前面向外的翻邊定位在減速機匣上，翻邊上有30個緊固螺栓孔和十個傳扭銷釘孔，在扭矩環外側有四條環槽，由前數第一，第三兩條裝封嚴膠圈；第二，第四環槽分別通過徑向孔與高低壓油腔相通，扭矩環內齒形隔板上各有一拉緊螺栓穿過孔，齒形隔板頂部與太陽齒輪的一樣也有密封擋片。

前擋板為油腔室前壁，板上有30個拉緊螺栓孔，板之內圓表面上有一環槽，特制的橡膠碗封嚴圈鑲入其內（圖15），板外側有30個緊固螺栓孔和10個傳扭銷釘孔（與扭矩環的孔相對應），孔與孔之間的金屬為減輕重量而削去，故使板呈花邊形。

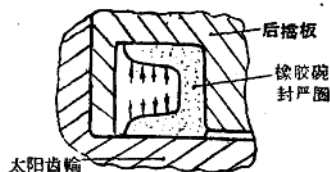


圖15 測扭機構端面封油裝置

后擋板為油腔后壁，板的中部有一環槽，由機匣進油孔引入之高壓與此槽相通，槽內有10個貫穿孔，孔之位置與太陽齒輪隔