

燃气渦輪发动机的 燃料泵和噴咀

A. Г. 希烏柯夫著

內部資料 注意保存



國防工業出版社

燃气渦輪发动机的燃料泵和噴咀

A. Г. 希烏柯夫著

內部資料 注意保存

江苏工业学院图书馆
藏书章



國防工業出版社

內容簡介

本书是对燃料系统的附件—柱塞式及齿輪式油泵—的运动学及动力学問題作系統叙述的教材。此外，其中还叙述了燃料噴咀的基本原理及主要构件。

书中給出的材料，对了解所指附件的构造及工作是足够的，而且还給予了学生完成設計任务的可能性。

作成可靠工作的具有小的外廓尺寸及重量的供油系統的附件，是在設計及制造燃气渦輪发动机时必需解决的重要問題之一。

本书是預定作为航空发动机构造課的教材，也可作課程設計及畢業設計的参考。它还可供航空工厂的构造家及空軍組織部門的工程技术人员在研究航空发动机供油系統附件的构造时参考。

本书中所叙述的材料的絕大部分是作者参加教研室工作时独立鑽研工作的成果。

苏联 A. Г. Шиуков 著 “Топливные насосы и форсунки
газотурбинных двигателей” (Издание ввва 1955 年第一版)

*

國防工業出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

机械工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092¹/₂₅ 印張 5²³/₂₅ 117 千字

1960 年 2 月第一版

1960 年 2 月第一次印刷

印数：0,001— 3,500 册 定价：(11) 0.95 元

NO. 內 284

目 录

緒論	5
第一章 柱塞式燃料泵	9
§ 1 柱塞式燃料泵的工作原理	9
§ 2 柱塞的运动学	11
§ 3 柱塞式油泵的动力学	31
§ 4 确定作用在斜盘上和斜盘操纵机构上的力和力矩	39
§ 5 柱塞式油泵元件的强度计算	51
§ 6 油泵供油量, 供油容积系数, 供油的不均匀性	56
§ 7 柱塞式油泵的设计计算	62
§ 8 柱塞式燃料泵元件的构造	69
第二章 齿輪式燃料泵	77
§ 9 齿輪式燃料泵的工作原理。理論供油量的計算	77
§ 10 齿輪式油泵的供油容积系数	83
§ 11 油流的脉动	89
§ 12 作用在油泵軸承上的負荷。卸荷裝置	91
§ 13 齿輪式燃料泵的设计计算	93
§ 14 齿輪式油泵的构造元件	101
第三章 燃料噴咀	108
§ 15 概述	108
§ 16 对于理想流体的离心式噴咀的理論	110
§ 17 对于粘性流体的离心式噴咀的理論	121
§ 18 調節式离心噴咀	129
§ 19 离心式噴咀的设计计算	141
§ 20 噴咀的构造元件	144
参考文献	148

燃气渦輪发动机的燃料泵和噴咀

A. Г. 希烏柯夫著

內部資料 注意保存



國防工業出版社

目 录

緒論	5
第一章 柱塞式燃料泵	9
§ 1 柱塞式燃料泵的工作原理	9
§ 2 柱塞的运动学	11
§ 3 柱塞式油泵的动力学	31
§ 4 确定作用在斜盘上和斜盘操纵机构上的力和力矩	39
§ 5 柱塞式油泵元件的强度计算	51
§ 6 油泵供油量, 供油容积系数, 供油的不均匀性	56
§ 7 柱塞式油泵的设计计算	62
§ 8 柱塞式燃料泵元件的构造	69
第二章 齿輪式燃料泵	77
§ 9 齿輪式燃料泵的工作原理。理論供油量的計算	77
§ 10 齿輪式油泵的供油容积系数	83
§ 11 油流的脉动	89
§ 12 作用在油泵軸承上的負荷。卸荷裝置	91
§ 13 齿輪式燃料泵的设计计算	93
§ 14 齿輪式油泵的构造元件	101
第三章 燃料噴咀	108
§ 15 概述	108
§ 16 对于理想流体的离心式噴咀的理論	110
§ 17 对于粘性流体的离心式噴咀的理論	121
§ 18 調节式离心噴咀	129
§ 19 离心式噴咀的设计计算	141
§ 20 噴咀的构造元件	144
参考文献	148

內 容 簡 介

本书是对燃料系统的附件——柱塞式及齿輪式油泵——的运动学及动力学問題作系統叙述的教材。此外，其中还叙述了燃料噴咀的基本原理及主要构件。

书中給出的材料，对了解所指附件的构造及工作是足够的，而且还給予了学生完成設計任务的可能性。

作成可靠工作的具有小的外廓尺寸及重量的供油系統的附件，是在設計及制造燃气渦輪发动机时必需解决的重要問題之一。

本书是預定作为航空发动机构造課的教材，也可作課程設計及畢業設計的参考。它还可供航空工厂的构造家及空軍組織部門的工程技术人员在研究航空发动机供油系統附件的构造时参考。

本书中所叙述的材料的絕大部分是作者参加教研室工作时独立鑽研工作的成果。

苏联 А. Г. Шиуков 著 “Топливные насосы и форсунки
газотурбинных двигателей” (Издание ввва 1955 年第一版)

*

國防工業出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

机械工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092¹/₂₅ 印張 5²³/₂₅ 117 千字

1960 年 2 月第一版

1960 年 2 月第一次印刷

印数：0,001— 3,500 册 定价：(11) 0.95 元

NO. 內 284

緒 論

航空燃气渦輪发动机的广泛发展，对制造供油系統方面提出了一系列复杂的問題。大的小时燃料消耗量，在現代发动机中达6,000~10,000公斤/小时，使得飞机的燃料系統复杂化。

在图1及图2上所示为供油系統的原理簡图。燃料从油箱1被抽油泵2抽出，通过油滤3流向高压油泵4。在图1上表示了具有可变供油量的柱塞式油泵的供油系統。

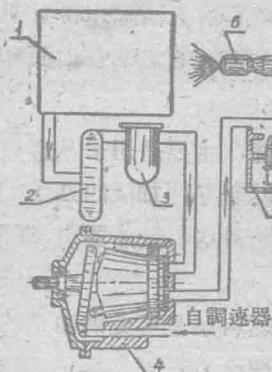


图1 具有柱塞式燃料泵及可調节式噴咀的供油系統簡图。

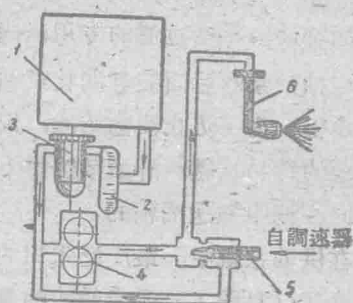


图2 具有齒輪式燃料泵及不可調节式噴咀的供油系統簡图。

在图2上表示着具有齒輪式燃料泵的供油系統，它与回油系統的附件5共同地工作着。燃料借噴咀6引入燃燒室中。在图1上表示的供油系統，具有可調节式噴咀及燃料分配器5，后者保証噴咀的級連續打开，調节多級可調节式噴咀中的供油。在图2上表示着具有不可調节式噴咀的供油系統。

現在我們来研究燃气渦輪发动机供油系統的某些特点。

在高速飞机上采用厚度很小的机翼，这就必須將油箱主要地

安排在机身上，或者装上悬挂的、在飞行中可扔掉的副油箱。保持重心不变的条件，要求油箱按一定的次序供油，供油次序应该是自动的。很长的供油线迫使采用装在油箱中的电动的专用抽油泵。采用抽油泵能增大燃料系统的高空性。抽油泵可以是齿轮式的或离心式的。抽油泵具有高的供油量并能保证主油泵前的燃料压力在 $1.0 \sim 1.1$ 公斤/厘米² 左右。

对于燃气涡轮发动机的供油，主要采用的是具有高的吸水性的特种航空煤油。煤油中含有水分，特别当煤油中有硫化物时，其腐蚀性能更显著增大。在供油系统的自动调节器中，及在喷嘴中都采用了很小的定油孔及喷嘴，这样就要求将燃料特别精密的过滤。因此，在供油系统中广泛地采用燃料滤来清除水份及机械杂质。除了对整个系统的共用油滤外，在精密的定油孔前面和喷嘴前面都装有精密过滤的专用油滤。

在抽油泵的后面装有网状或毡质油滤，主要是用来从燃料中清除水份。为了防止油滤结冰，采用对燃料专门加温的办法，将油滤前的燃料在燃料滑油散热器中或在燃料空气散热器中加温，也有向油滤中输送酒精的。

在供油系统中，最广泛采用的高压燃料泵是可变供油量的柱塞式油泵（见图1）或齿轮式油泵（见图2）。

柱塞式油泵的广泛采用，首先是由于在燃料高压约 $80 \sim 100$ 公斤/厘米² 时它能可靠的工作，上述压力是发动机喷嘴对燃料雾化质量所要求的。柱塞式油泵的优点在于当油泵转子的旋转速度不变时，借着改变斜盘（图1）的位置便可改变其供油量，斜盘位置的改变是由特别调速器来实现的。柱塞式油泵在同样的供油量下在外廓尺寸及重量方面大于齿轮式油泵。单转子柱塞式油泵的最大供油量，正如构造实践所证明的，在 $6,000 \sim 8,000$ 公斤/小时的范围内。这样便导致在大功率发动机上必须装置两个油泵或者是双转子油泵，因而使燃料系统的设备加重和复杂。柱塞式油泵比齿轮式油泵的优势由于下列情况而有所削弱：精密对的技术制

造的复杂性，具有大量的摩擦表面，当燃料中含有水份时柱塞有阻滞的趋向，以及在燃料中的硫化物的影响下的锈蚀的敏感性。后一种情况引起了对燃料品种的限制。

所需燃料消耗量的增长，制造简便的要求，所用燃料品种的广泛性，可能使得继续采用柱塞式油泵成为不合理。

齿轮式燃料泵采用的合理性，主要由于与柱塞式相比其构造简单，因而重量轻、外廓尺寸小。最广泛流行的是具有外啮合齿轮的齿轮式油泵。

通过端面间隙和径向间隙大量漏油是齿轮式油泵的固有特性，当油泵产生的压力升高时漏油特别增大。这就降低了油泵装置的供油容积系数，而且在某些情况下会使得在系统的增压油路中的压力受到限制。低的供油容积系数迫使提高油泵的理论供油量，因而引起油泵装置的重量增大，这样便降低了齿轮式油泵与其它型式油泵相比的一个主要优点。齿轮式油泵的缺点之一是当发动机转子的转速不变时其供油量不变。因此在具有齿轮式油泵的供油系统中，采用特种装置以便从增压油路中向吸油的一面回油，类似于在图2上所表示的。回油系统的附件是由调速器操纵的。回油系统的出现引起了重量的增大。当发动机工作在小的燃料消耗量的状态时，由于必需大量的回油引起了油泵消耗的功率过多。

所讨论的齿轮式油泵的缺点，并不降低采用它的一定的适宜性，特别是在具有小的推力及功率的发动机上，在比较不高的燃料压力下能满意地工作着，或者对于一次使用的发动机。

燃料通常以液相状态引入燃烧室中。燃料以蒸汽相状态引入燃烧室中未曾广泛采用，因为燃料在喷嘴中的蒸发过程涉及到燃料的分解，蒸发装置的积炭等等的可能性。当完全燃烧系数不低于0.97~0.95时，喷嘴应该保证发动机在所有状态下能可靠的工作。在燃气涡轮发动机中，从高空起动状态到低空最大推力状态间燃料消耗量的变化范围很广，便使得难于作成在所有工作状态

下能保證有滿意的霧化質量的噴咀。因此，在許多情況下由不可調節的噴咀（見圖 2）改用可調節的噴咀（見圖 1）。

裝有能開關的加力燃燒室的發動機，通常都有加力裝置的專用供油系統——目前採用產生壓力為 $110 \sim 120$ 公斤/厘米² 的燃料泵和不可調節的噴咀。

以工作可靠和使用簡便為特點的燃氣渦輪噴氣發動機在蘇聯的高度發展，在很大的程度上是由蘇聯航空設計局，工廠及研究機構的大量設計家及科學研究者的工作根據理論研究和高质量的供油系統的附件的創造所促使成的。

在這本著作中，我們要研究目前主要採用的幾種高壓燃料泵（柱塞式及齒輪式）及離心式可調節的和不可調節的噴咀的構造和計算問題。

第一章 柱塞式燃料泵

§1 柱塞式燃料泵的工作原理

現在我們來研究可變供油量的柱塞式燃料泵的工作原理，它的簡圖表示在圖 3 上。

在由發動機通過尾軸 2 帶動旋轉的油泵轉子 1 中，沿圓周均勻地分布着柱塞孔 3，其軸綫與油泵轉子軸綫成傾斜角 θ ，因而位於一錐形面上。通常 θ 角為 $14\sim 15^\circ$ 。在柱塞孔內裝有柱塞 4 及柱塞彈簧 5，有時還裝有彈簧的專用導向筒 6。

彈簧將呈球形的柱塞頭緊壓在斜盤 7 的表面上。通常斜盤通過軸承 8 而支承在斜盤壳体 9 上。斜盤壳體內有軸承銷 10，穿入油泵壳体 11 的軸承中。

隨動活塞 12，用連結耳軸 13 與斜盤壳体連在一起，以實現斜盤的轉動和固定其位置。

油泵轉子的下端壓着分油盤 14，分油盤上有吸油槽 15 和增壓油槽 16，它們與相應的油路相通。油泵轉子在軸承 17 及 18 內旋轉。

以下我們議定將通過斜盤旋轉軸綫和油泵轉子軸綫的平面稱為斜盤軸綫平面。通過轉子軸綫而垂直於斜盤軸綫的平面稱為對稱平面。通過轉子軸綫和所研究的柱塞軸綫而與轉子一起旋轉的平面稱為柱塞平面。

如把斜盤裝在這樣的位置上，即當其對稱軸綫和轉子的軸綫重合時，則當油泵轉子旋轉時，柱塞將與轉子一起旋轉，而柱塞頭便沿着斜盤表面滑動。顯然，當斜盤在這樣的位置時，柱塞僅參與和轉子一起的牽連運動，而在自己的平面內沒有相對運動。柱塞孔 3 的容積未變，因而沒有供油。上述的斜盤位置對應於油泵的零點供油量。

現在我們來研究當油泵轉子旋轉時柱塞的運動，那時斜盤總是傾斜成角度 φ （圖3）。我們規定轉子的旋轉是這樣進行的，即柱塞由對稱平面內最低位置，下死點（HMT），向吸油槽15的一邊運動。

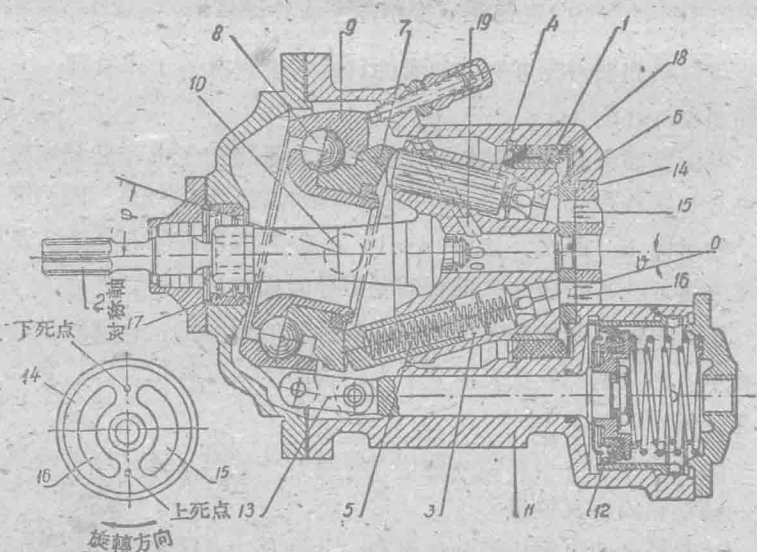


圖3 柱塞式燃料泵簡圖。

彈簧5將柱塞的球形頭緊壓在斜盤的平面上。當油泵轉子旋轉時，從柱塞的旋轉錐體頂點O到斜盤的距離發生變化，因此柱塞參與轉子一起的牽連運動，並在柱塞的平面內，沿着自己的軸線作相對運動。

柱塞相對運動的出現引起了柱塞孔容積的改變。當柱塞的平面在對稱平面內由我們所研究的原始位置旋轉 180° 時，柱塞孔的容積由最小變到最大，而再旋轉 180° 轉在增壓油槽的上面時，其容積的改變是由最大到最小。

當柱塞在吸油槽上面通過時，在裝在油箱出口處的抽油泵的壓力下，燃料充入柱塞孔直到柱塞至上死點（BMT）時為止。當柱塞在增壓口上通過時，即當其運動从上死點向下移動時，燃料

从柱塞孔中排入增压油路。

显然，当柱塞孔为理想充填量时，柱塞每一行程的或轉子每轉的供油量等于柱塞由下死点向上死点运动时柱塞孔容积的变化量。換句話說，供油量与柱塞在其相对运动时的行程成正比。当斜盘的安裝角增大时，每一轉所有柱塞的总供油量——油泵的供油量——也增大。斜盘最大的安裝角一般不超过 15° 。当柱塞的数目增加时供油量也增大。一般采用具有五个，七个和九个柱塞的燃料泵。要求一个油泵附件的供油量进一步增加时，可能导致制作具有十一个或更多的柱塞的油泵。

油泵供油量随着油泵行程数目的增加而增大，即随着轉子轉数的增加而增大。然而牽連运动中軸承的圓周速度和柱塞离心力的增加限制着旋轉速度增大的范围。可以証明，柱塞直徑的增大超过 $15\sim 20$ 毫米是不适宜的，因为这样会限制供油量增加的范围。

如上所述，通常柱塞的錐角为 $14\sim 15^\circ$ 。这个角度的大小可决定如下。为了使柱塞由下死点移向上死点必須克服摩擦力。这是由柱塞彈簧和吸油路中抽油泵所产生的压力来完成的。为了减少彈簧方面的受力，以免在增压行程时彈簧因承受斜盘机构可能过载，柱塞的錐角这样来选择，以便使柱塞在牽連运动时产生的离心力的、在沿柱塞軸綫方向的分力，大于摩擦力。

§2 柱塞的运动学

为了計算柱塞式燃料泵的供油量，确定供油的脉动情况，和确定斜盘操纵机构随动装置所需的力，便必須了解柱塞的运动学，即在斜盘不同的安裝角时柱塞的运动規律。

柱塞的运动学实质上决定于斜盘表面的形状。目前采用的斜盘有平的，錐形的和球形的表面。

具有平面斜盘的燃料泵的运动簡图繪在图 4 上。运动簡图，正如所看見的，是柱塞的截面和以对称平面傾斜的斜盘的截面。

斜盤旋轉軸綫通過的點，從圖4中可見，可能高於斜盤平面，低於斜盤平面，或者，在特殊情況下，位於斜盤平面上。斜盤軸綫

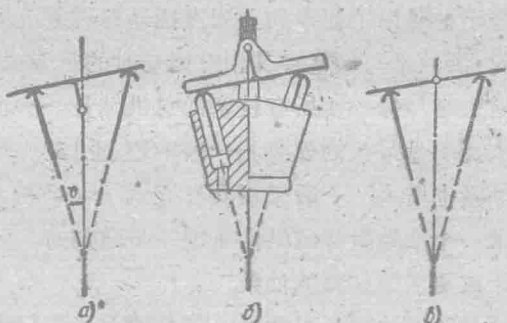


圖4 平面斜盤的柱塞式油泵的運動簡圖。

位置的選擇，決定於從柱塞方面作用在斜盤上的力矩值。

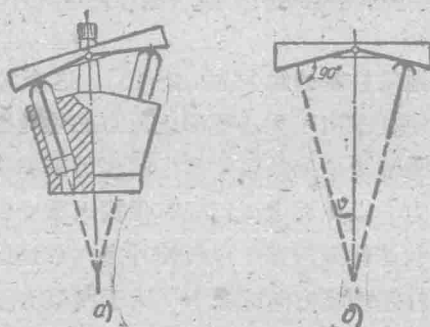


圖5 ПН型油泵運動簡圖。

有些油泵，例如廣泛採用的ПН-1及ПН-2油泵，是帶有錐形表面的斜盤。ПН型油泵運動簡圖給在圖5上。斜盤的旋轉軸綫通過斜盤錐體的頂點。從圖5中可見，在給定的特殊情況下，在斜盤錐體頂點的角應選成這樣，即在油泵的供油量為零時，斜盤錐體的母綫垂直於柱塞軸綫錐體的母綫。

斜盤具有球形表面的油泵的運動簡圖繪在圖6上。正如所看見的，這種型式的油泵的一些可能的布置方案，它們的區別在於

斜盘球面中心，柱塞
錐體頂點及斜盤旋轉
軸綫的相互位置不
同。

現在我們來分別
討論具有平面斜盤的
運動學，和帶有錐面
及球面斜盤的油泵的
運動學，因為將後兩
種型式的油泵結合在
一起研究的方法是可
能的。

A. 平面斜盤的油 泵柱塞的運動學

當研究柱塞的運
動學時，我們將座標
軸的方向規定如下
(見圖 7)。

座標的原點位於
柱塞錐體的頂點。ZZ
軸沿着油泵轉子軸綫
向上。平面 XOZ 與對
稱平面重合，因此下
死點投影在 XX 軸的
正方向上。平面 YOZ
與斜盤旋轉軸綫的平
面重合，因此 YY 軸
的正方向位於吸油方

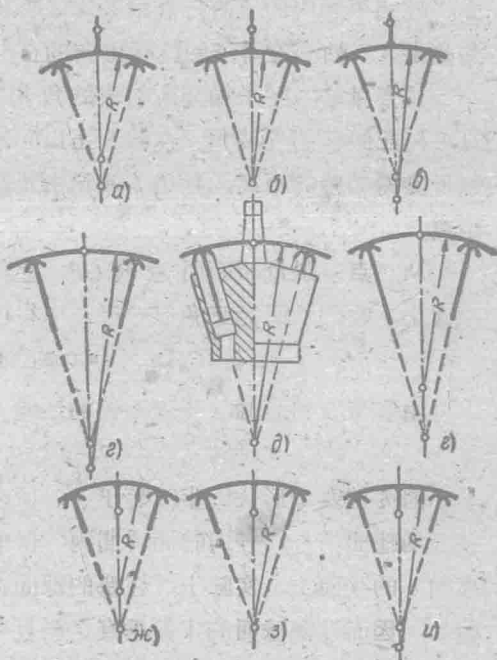


圖 6 球面斜盤的油泵的運動簡圖。

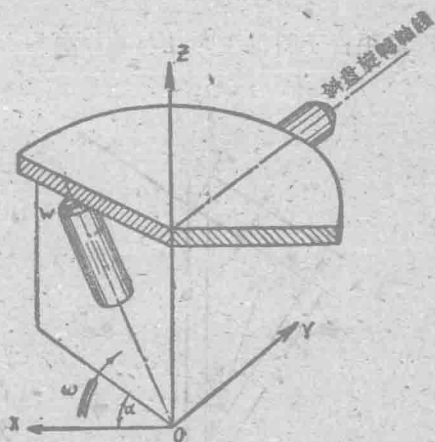


圖 7 研究柱塞式油泵的運動學時的座標簡圖。