

210137

国外三角活塞旋转式 发动机



上海科学技术情报研究所

国外三角活塞旋转式发动机

交通部交通运输科学技术情报研究所
八机部内燃机研究所编
上海科学技术情报研究所

*

上海科学技术情报研究所出版

新华书店上海发行所发行

上海东方红印刷厂印刷

*

1970年9月出版

代号: 1634003 定价: 1.00元

(内部发行)

毛主席语录

独立自主、自力更生。

备战、备荒、为人民。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

坚持政治挂帅，加强党的领导，大搞群众运动，实行两参一政三结合，大搞技术革新和技术革命。

打破洋框框，走自己工业发展道路。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

洋为中用。

对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

目 录

编者的话

综 述

国外旋转式发动机的发展概要·····	1
--------------------	---

基本原理与结构

一、三角活塞旋转式发动机的基本原理·····	9
(一)三角活塞旋转式发动机的几个几何关系·····	9
(二)三角活塞旋转式发动机几个几何量和物理量的计算·····	19
(三)三角活塞旋转式发动机主要参数的选择·····	35
二、三角活塞旋转式发动机的基本结构·····	39

试验与研究

一、西德 NSU 公司近年来 (1963~1968 年) 对三角活塞旋转式发动机的 试验和分析·····	57
二、美帝莱特公司试制三角活塞旋转式发动机的概况 (1959~1967 年) ·····	84
三、西德萨克斯公司对小型风冷三角活塞旋转式发动机的研究 ·····	113
四、三角活塞旋转式发动机的燃烧 ·····	122
五、三角活塞旋转式发动机中火焰传播与爆震的关系 ·····	139
六、三角活塞旋转式发动机内部现象的测试方法和测试实例 ·····	147
七、日本东洋工业公司对 10A 型三角活塞旋转式发动机的耐久性试验·····	153

产品和试验样机介绍

定型产品:

一、西德 NSU 公司的 KKM 502 型单缸水冷机 ·····	159
二、西德 NSU 公司的 KKM 612 型双缸水冷机 ·····	167
三、日本东洋工业公司的 10A 型双缸水冷机·····	180
四、日本东洋工业公司的 13A 型双缸水冷机·····	196
五、西德萨克斯公司的 KM 系列风冷机·····	203

试验样机:

六、西德 NSU 公司的各种水冷试验样机	212
七、西德 NSU 公司的各种风冷试验样机	223
八、日本东洋工业公司的试验样机	230
九、西德戴姆勒-本茨公司的 M950 型汽油直接喷射式试验样机	232
十、捷克斯洛伐克汽车研究所的 W414 型试验样机	236
十一、西德格劳伯纳公司的航空模型用三角活塞旋转式发动机	238

工艺与材料

一、西德 NSU 公司生产三角活塞旋转式发动机的工艺措施简介	241
二、日本东洋工业公司 10A 型三角活塞旋转式发动机所用的材料和表面处理	251

附: 本资料采用的有关三角活塞旋转式发动机的技术名称及说明	256
--	-----

综 述

毛主席语录

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

国外旋转式发动机的发展概要

伟大领袖毛主席教导我们说：“对立统一规律是宇宙的根本规律。这个规律，不论在自然界、人类社会和人们的思想中，都是普遍存在的。矛盾着的对立面又统一，又斗争，由此推动事物的运动和变化。”

内燃机的发展是完全遵循这一规律的。它的出现已有近百年的历史，长期以来，它所普遍采用的是往复式。实践证明，往复式的最大优点是，热效率高而工作可靠，因而在工业、农业和交通运输业中一直被广泛使用，并已发展成比较成熟的产品。但是，在它不断改进并获得一系列优点的同时，并没有摆脱在它的运动机构中的一个固有的缺点：由于活塞组的往复运动而造成的往复惯性力；而且，由于这个惯性力是按转速平方增长的，因此随着发动机的不断向高速化发展，这个原来并不突出的缺点就愈来愈明显了。例如，在提高转速的情况下，作用在轴承上的惯性负荷显著增加，气阀机构变得不可靠，由于不平衡而引起强烈振动等等，从而就构成了发动机进一步提高比功率、降低比重量（和体积）的严重障碍。这对于某些重量和体积具有特别重要意义的使用领域，例如航空发动机来说，影响尤为明显，以致成为它发展中的一个主要矛盾。因此，自本世纪五十年代以来，往复式发动机首先在大功率航空发动机方面逐渐为燃气轮机所取代。汽车动力也有某种摆脱往复式的倾向，例如在国外曾有燃气轮机用于大功率汽车的报道。某些轻型移动（或携带式）动力装置，例如小型电机组、链式锯、舷外机等等，以及所有这些以重量轻、体积小为特点的使用领域，往复式也愈来愈显得不能适应，而要求以一种更利于高速化的机型来代替。旋转式发动机就是针对这种要求兴起的。

（一）旋转式发动机的发展过程

所谓旋转式发动机，实际上是仅指“旋转活塞”而言的，它区别于往复式的基本特点是，承受气缸压力并使输出轴产生扭矩的活塞，完全不作往复运动而只作单方向的旋转运动。而气缸内的工作过程，尽管在某些局部环节上有它自己的特点，但本质上并不改变原来往复式的工作循环。因此它一方面由于摆脱了往复惯性力而利于高速化，另一方面又能在一定程度上保持往复式内燃机的经济性。因此它的出现是内燃机在结构上的重大技术变革。

多年来, 环绕这样的旋转机构, 曾提出过各种各样的方案。最初的设想可追溯到十八世纪——即往复式蒸汽机产生的同时。当时曾作过旋转式蒸汽机样机, 以后又试图用于内燃机。形式之多, 累以千计。目前除三角活塞一种外, 都没有成为正式产品。先后出现过的主要方案, 按其运动形式, 大致可分为以下三种类型:

1. 匀速型: 旋转活塞绕固定的中心以一定的角速度旋转。刮片式即为其中最常见的一种(图 1)。

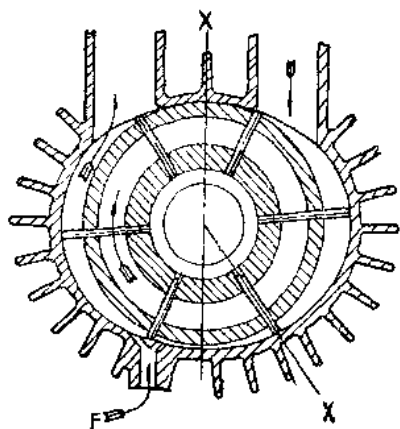


图 1 匀速型(刮片式)发动机

此种型式出现最早, 一般来说, 这种发动机径向密封都有问题, 而且位于活塞槽内的刮片在承受压力的同时尚有较强的相对滑动, 在活塞外部又处于悬臂状态, 因此它的润滑、磨损与刮片的强度都有困难。

2. 差速型: 旋转活塞围绕其轴心以变动的角速度旋转。此种发动机, 在一个圆形气缸中依靠二个同轴旋转、角速度不等的活塞所作之相对运动而获得容积变化。由于这二个活塞的相对运动“追追离离”, 因而又称之“猫捉老鼠”型。这种相对运动借特定的齿轮机构、连杆机构或凸轮机构取得。

可以举出图 2 的实例: 其中一个为动力活塞, 与动力输出轴相连, 以一定角速度作单方向旋转。另一个是差动活塞, 装在与输出轴同心的空心轴上, 该活塞借助于动力活塞的转动通过曲柄使行星齿轮转动, 再经由连杆机构而获得不等速运动。

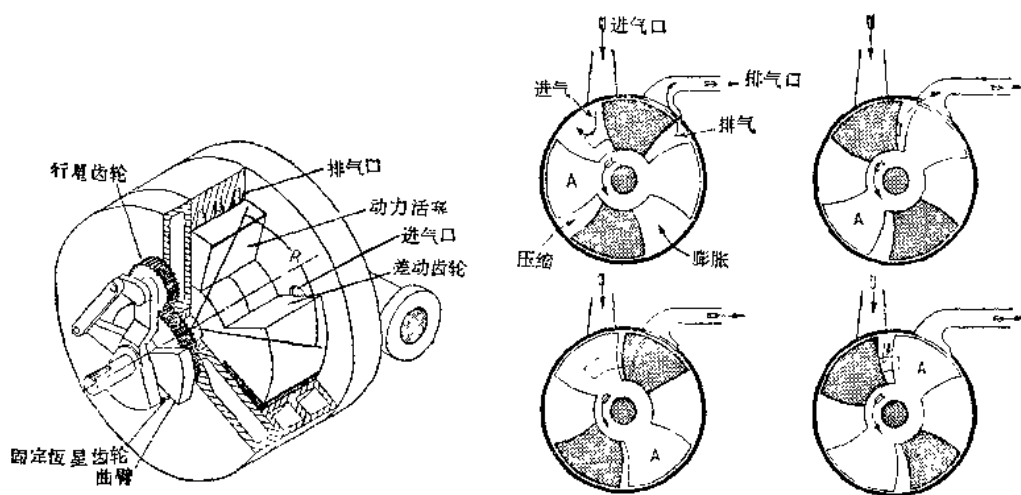


图 2 差速型发动机

(图中差动齿轮应为差动活塞)

既是不等速, 当然要产生旋转惯性力, 此惯性力与气体压力产生的扭矩都通过齿轮与连杆机构。因此, 这部分的强度与噪音是一个问题, 转速也不能太高。从密封来看, 无论径向与端面均可用多道密封, 这是优点, 但是二个活塞间结合部分的气封尚未解决。

3. 行星型: 造成气缸容积变化的方法是活塞的行星运动, 即旋转活塞在固定缸体内不

但绕固定的轴心公转, 还绕其自身的中心自转。为着使活塞在连续运动时, 不受缸体的干扰并始终保持活塞与缸壁间的接触, 以造成不间断的密封, 这就需要特殊型线的缸体和活塞以及连接二者之间的特定速比的齿轮机构。

可以用来作为缸体和活塞型线的有: 内外旋轮线及其内外包络线。这两种型线可按不同齿轮比组成多种组合(如图3), 并在活塞与缸体的接触点上配置密封片, 因而在活塞作行星运动时就可能构成一个容积变化的密封空间。

这种类型最初出现于十九世纪初。现举二个实例说明。

一种是梅花形。齿轮比为 3:4。以三弧外旋轮线作活塞, 四弧外旋轮线作缸体, 按二冲程工作, 在四个工作腔内各装一个火花塞, 其功率输出轴转一周, 活塞转 1/3 周, 各工作腔容积依次由最大到最小变化一次(如图4)。此种发动机的优点是: 燃烧室紧凑, 燃烧情况与往复式相近; 可达到较高的压缩比; 四个腔都进行燃烧, 缸壁受热均匀, 对防止热变形有利; 径向密封片装在固定缸壁上, 不受离心力, 有利密封。但活塞端面密封和扫气较为困难。

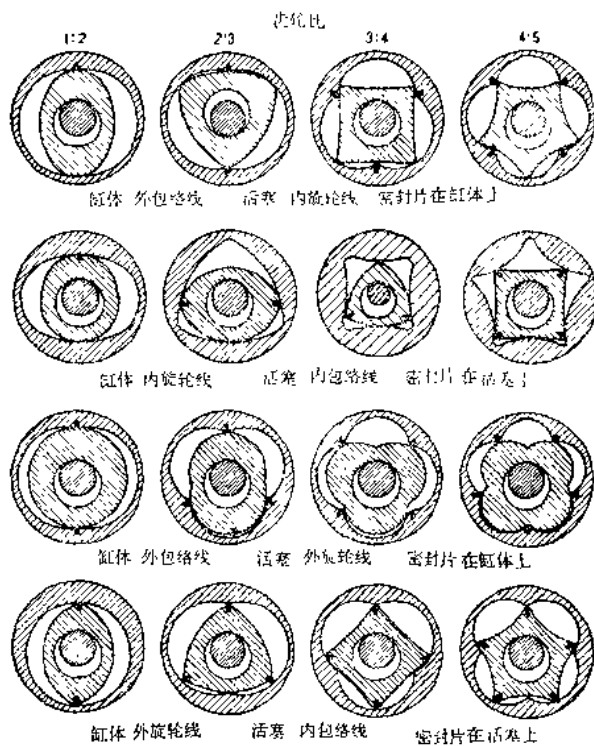


图3 旋轮线及其与包络线的组合

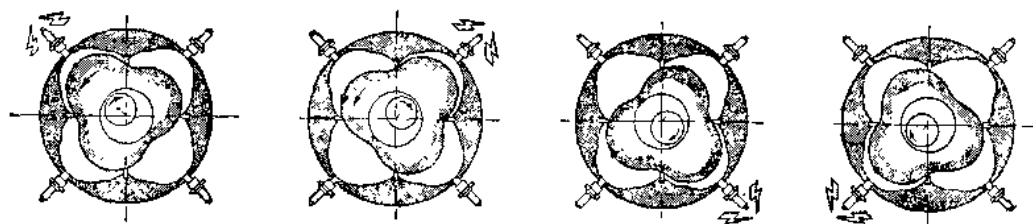


图4 梅花形发动机

另一种是目前已试制成功的“三角活塞”。它用 2:3 的齿轮比, 以双弧外旋轮线为缸体、三弧内包络线为活塞。活塞装在输出轴(即主轴)的偏心轴颈上, 并绕该轴颈中心自转, 偏心轴颈绕主轴中心公转。活塞三个顶端装密封片与缸壁相接触; 二端面每弧用密封条与缸盖相接触。缸体一侧开有进、排气口, 其对侧装有火花塞。当活塞运动时, 三个分隔的工作腔容积发生周期变化, 形成四冲程循环, 如图5所示。每当主轴旋转三周, 活塞自转一周, 火花塞着火三次, 三个工作腔联合完成三次四冲程循环。

这种结构最初出现于 40 年代, 到 60 年代作为火花点燃的汽油机, 正式成为产品。

此外, 还有一些其它的类型, 它们都经历了一段实践过程, 并各有其优缺点。而“三角活塞”之所以最先成为产品, 主要是因为人们找到了一种简单可行的密封结构, 基本上解决了

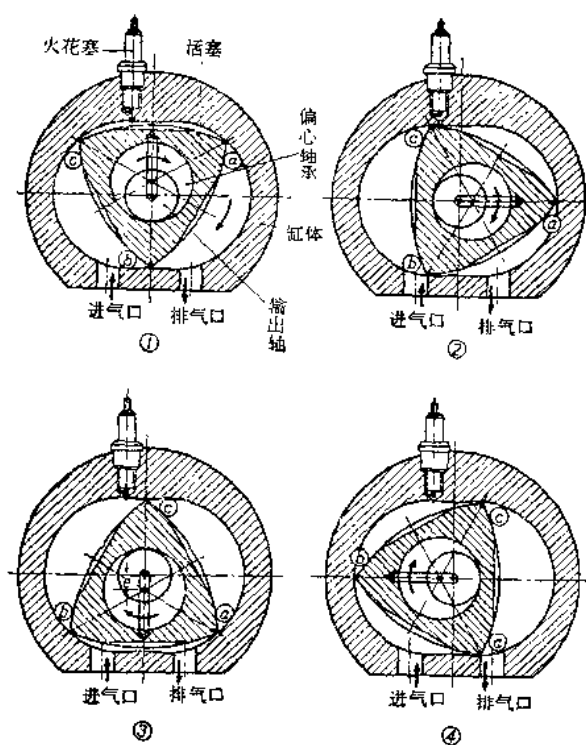


图5 三角活塞旋转式发动机的工作循环

- ① ②④腔排气，⑤⑥腔吸气，④⑥腔压缩上止点（空间最小）并着火；
 ② ②④腔继续排气，⑤⑥腔吸气下止点（空间最大），④⑥腔膨胀；
 ③ ④⑥腔排气上止点，进排气重叠，⑤⑥腔压缩，④⑥腔膨胀；
 ④ ②④腔吸气，⑤⑥腔压缩，②⑥腔膨胀下止点。

马克思主义的认识论，就是辩证唯物论的认识论。”旋转式发动机就是按照这样的实践、认识过程发展起来的。因此，“三角活塞”的试制成功决不是个别“权威”“专家”的天才发明，而是广大劳动人民长期实践的产物。

毫无疑问，目前三角活塞旋转式发动机决不是唯一的、最理想的结构。在已经出现的一些其他结构的样机中也有一些具有实际意义的，某些方面的优点也是突出的，虽然由于种种原因暂时尚未成熟，但是毛主席教导我们说：“人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。停止的论点，悲观的论点，无所作为和骄傲自满的论点，都是错误的。”可以预计，随着科学实验的进一步深入，必将出现比目前三角活塞更实用、更可靠而适应性更好的结构。

（二）国外三角活塞旋转式发动机的研制过程及其现状

国外三角活塞旋转式发动机的研制过程大致经过三个阶段：1954年以前，大都处于寻找一种简易、可靠的基本结构和密封装置；在1954~1962年主要是对实现这种结构及密封装置的可能性、特点及可能达到的指标，在一系列试验样机上进行基础试验，主要有结构参

密封的缘故。

旋转式发动机的发展历史表明，在创制各种新结构时，除了必须满足一般内燃机的许多基本要求外，要特别注意密封问题，这是决定旋转式发动机在技术上能否实现并付诸实用的一个主要矛盾。由于密封的地方很多（密封线长度一般也比往复式长），如何使这些独立的密封件结构简单而又能相互衔接，构成尽可能连续的密封线，并在各种工况下始终保持良好的密封性能，显得十分重要。对于这个问题的重要性及其解决途径，开始并不为人们所认识，只有当人们通过了反复实践，经过失败，积累了足够的经验以后，才被逐步发现。例如，以旋轮线为缸体的行星型结构，实际上就是吸收了刮片式的经验演变过来的，而这个演变对解决刮片密封及强度问题提供了较好的条件。正如伟大领袖毛主席教导我们的“一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。这就是马

数的选择、密封性、燃烧、进排气、冷却与润滑等等；1962~1965年主要进行有关细节结构的对比和改进，并进一步着重研究耐久性问题（主要是缸体与密封片的耐磨性），1965年进入实用阶段，开始作产品定型工作。前后达20年之久。由此可见，这种新产品在资本主义社会里由于资本主义生产关系对科学技术发展的束缚，进展是很缓慢的。

这种发动机初步试制成功后，首先由西德NSU公司控制了专利权，并竭力向小轿车方向发展，片面地追求高速性能，目的是企图利用此种发动机高速、轻量的特点迎合资产阶级狂热地追求车速快的畸形心理，并以此作为同业竞争的手段。1959年美国莱特公司向NSU公司买得专利，开始研制这种发动机，主要对象是排量和功率较大的风冷直升飞机动力，供作军用，完全是为美帝国主义侵略政策服务的。为了能燃用多种燃料（从汽油到柴油）以适应美帝在世界各地发动侵略战争时简化燃料供应的需要，莱特公司还热衷于搞直接喷射的研究。1960年日本东洋工业公司也向NSU公司买得专利，和NSU类似，主要也是作为小轿车动力。它们互相竞争又互相勾结，妄图垄断这一新技术，并对我进行技术封锁。

目前向NSU公司购得专利的还有英国泼金斯(Perkins)、西德本茨(Benz)、英国罗尔斯·罗伊斯(Rolls Royce)、日本洋马(Yanmar)等15家，但正式成为产品的仅有NSU公司、东洋工业公司(小轿车为主)及西德萨克斯(Sachs)(小型风冷)三家，共7种机型(4种水冷，3种小型风冷，均汽油机)，其指标、投产时间及批量见本资料《产品和试验样机》部分。接近实用阶段的尚有莱特公司的大型风冷航空发动机。日本洋马公司于1969年7月开始销售型号为R220(20马力)与R450(45马力)的三角活塞旋转式发动机艇用舷外机。

从目前研制情况来看，它们与同类型往复式汽油机相比，大致有如下几个优点：

1. 比重量小，升功率高，体积小。以小轿车发动机为例，比重量可达0.8~1.2公斤/马力，相当于往复式的50~60%；升功率一般比往复式大60%以上；外形尺寸小，就双缸来说，比往复式更有利于安装布置。

2. 由于无往复运动件及气阀机构，因此结构简单，零件少，与同等功率的往复式相比，总零件数可减少40%，运动件减少60%左右，摩擦损失相应减少；可达到完全平衡，不存在高速振动问题。

3. 由于工作冲程长(占主轴转角 270°)，作用在主轴上的扭矩均匀性较往复式好，因此运转平稳，例如双缸可与四冲程往复式6缸相当；3缸则比往复式V形8缸更好。

4. 不需特殊贵重材料，例如往复式排气阀所需的耐热合金钢等。

5. 在有专用设备的情况下，工艺并不复杂。

6. 发动机装拆方便，维修简易。

7. 相同压缩比下可用辛烷值较低的汽油。

这些都是十分有实用价值的优点。我们必须予以充分利用，使之为我国社会主义革命和社会主义建设服务。

但是，旋转式发动机的出现，并不表明它可以完全代替往复式了，如同我们分析往复式发动机一样，对待旋转式也必须用一分为二的观点。它在摆脱了往复式惯性力以后，不可避免地也会出现一些新的矛盾。这些矛盾在一定条件下也将是不可忽视的，应予认真分析，以求改进。根据现有国外资料，初步归纳如下：

1. 从国外旋转式发动机的现有特性来看，它基本上属于高速型发动机。它较多地依靠提高发动机的转速来获得较高的功率，而扭矩则相应偏低；它的大部分工作条件（例如密封、

燃烧、热损失、进排气)都有利于作高速运行。因此,低速性能较差(低速扭矩偏低、低速油耗偏高)是目前国外产品中比较普遍存在的缺点,它们一般还只宜在高速、中低扭矩的工况下工作。这就给旋转式发动机的使用范围带来了一定的局限性。例如,对于经常要求以低速、高扭矩工作的动力,其适应性,目前离往复式还有相当距离;对于某些耐久性和经济性指标比重量和体积更重要的使用场合,往复式仍较有利,等等。但是,旋转式发动机目前的这种局限性是必然会被突破的。因为它在密封及工作过程等方面有不少改进的余地(例如,在日本,由于对进排气系统作了一些改进,低速扭矩有所提高),还有很大的未知领域有待探索。因此,在攻克发动机性能指标的同时,按照我国生产和国防建设的需要,有重点地努力去开拓这种发动机的新的使用领域,也是我们今后研制工作中的重要赶超任务之一。

2. 关于耐久性,据国外资料介绍,小轿车已达 10 万公里,美国莱特的 RC1-60 曾作过 1,500 小时耐久试验并声称已达到往复式的水平了。但是,应该指出,它们所达到的耐久性仅限于较好的行驶和试验室条件。在更加严酷的工作条件下,耐久性是否能过关,还是问题。据透露,影响耐久性的关键问题——缸体震纹,目前国外并未彻底解决,所谓震纹是指出现在缸壁上的一种波状磨痕(带有周期性、间距很密,如洗衣板状)。此种磨痕一旦出现,密封即被破坏,轻者,发动机性能下降,重者,无法工作。对于产生震纹的原因,国外迄今也只提供了某种可能性的解释,实际上所采取的措施也并不是从消除震纹的角度出发而仅仅用较耐磨的摩擦付材料作为弥补,使震纹出现较晚。因此,解决此种特殊形态的磨损问题尚须作深入仔细的研究。

3. 关于燃用柴油的研制,国外大都采用低压缩比、直接喷射火花点燃,这对燃用多种燃料(从汽油到柴油)是有利的,并取得了一定的进展。关于高压缩比、柴油压燃,国外曾作过尝试,进展较慢,估计遇到了如下的问题:现有的径向密封不能充分适应高压缩比及延续时间较长的高燃烧压力;现有的燃烧室形状不能完全满足通常的混合气形成及压缩燃烧的要求;主轴强度显得不足,等等。因此,在研制柴油压燃的机型时,看来须要在这些方面加强试验,并对现有的结构作必要的改革。

4. 此外,还有一些次要的问题。例如排气噪音较大,燃烧不完全,机油耗偏高,在小型风冷汽油机中要求质量较高的机油,火花塞寿命较短等,这些大都是一般新机型发展中常见的问题,今后当能逐步解决。

造成以上这些问题的原因,一方面来自旋转式发动机这种新结构所固有的特性,另一方面则是因为人们对这种发动机的许多特殊规律还不认识,特别在资本主义国家里,由于出发点、服务对象、使用条件不同以致在研制过程中的片面性所造成。对于我们来说,必须也必然能避免这种片面性,使这种新机型更迅速地成长。

(三) 对三角活塞旋转式发动机今后发展的几点看法

三角活塞旋转式发动机的应用迄今才 5 年,要全面预测其今后发展,无疑是有困难的。以下仅就有关问题根据目前了解的若干国外情况,试作一初步分析。由于了解情况不多,尤其对国内生产实际缺乏调查研究,实践经验更少又限于水平,所提的看法显然是很不成熟的,仅供有关同志参考。

1. 作为汽车动力,旋转式发动机是一种很有前途的新机型,它的出现将会给汽车工业

以较大的推进。因为它在一定程度上兼有燃气轮机和往复机的优点，而这正符合汽车工业当前发展的需要。但是，国外以发展小轿车为重点，显然，这不是我们的方向。对于我们来说，重要的是载重汽车。毫无疑问，加速载重车的发展不但对我国交通事业的建设，特别对贯彻毛主席提出的“备战、备荒、为人民”的战略方针，加速社会主义建设具有十分重大的现实意义。

载重车的某些使用要求无疑比小轿车高，国外到目前为止，除个别试验样机外，并没有用于载重车的正式产品，而这正是我们需要赶超的所在。着重需要赶超的，看来有二方面：

(1) 进一步提高低速性能。目前国外产品的扭矩特性通常随转速的下降而下降较多，因而不易适应在载重及越野情况下行驶、爬坡、牵引等多种要求。这方面固然可通过传动系统的改进来获得部分补偿，但主要地应对发动机性能予以必要改善（例如改进低速条件下的燃烧、进排气和密封等）。此外，对低速油耗和低速运转稳定性应予必要的注意。

(2) 耐久性需进一步提高。作为载重车，在山地、多尘、风沙、泥泞等地区的行驶条件，显然比城市小轿车严酷得多，发动机如何适应这些条件而获得足够的寿命是一个值得重视的问题。

是否可以这样认为：即使暂时降低若干高速、高功率指标，而力求达到更好的扭矩特性和耐久性，对我们发展载重车用旋转式发动机来说，将更有实用意义。

2. 旋转式发动机采用柴油压燃，目前在世界上还是空白，对于更新内燃机工业产品来说，这是一个很重要的方面。填补这个空白是我们今后必须力争的努力方向。众所周知，采用柴油压燃可达到最高的燃油经济性，良好的扭矩适应性，加上旋转式本身所固有的轻量、体小的特点，无疑将构成一种比火花点燃汽油机更有实用价值的机型，由此可以大大开发旋转式发动机的使用领域，例如可用于拖拉机、船机、钻探、矿山、农机等遍及工业、农业、交通运输、国防工业等许多重要方面。这对贯彻毛主席“备战、备荒、为人民”的伟大战略方针具有重大意义。这是一项创造性工作。西方资产阶级有的，东方无产阶级要有；西方资产阶级没有的，东方无产阶级也要有。我们应当有这种敢想、敢说、敢做的大无畏创造精神。除了在目前三角活塞结构上加强试验外，我们还应当去开辟新的途径，敢于走前人没有走过的路。同时，这也是一场攻坚战。我们必须认真分析并集中力量解决例如密封、燃烧、强度等方面的技术关键，并准备用百折不回的毅力，有计划地克服所有的困难，从我们自己的科学实验中开辟自己的道路。

3. 对于小功率高速轻型移动式装置，采用风冷的旋转式发动机能充分发挥它的优点，看来也很有前途。这类动力，以往不少用二冲程汽油机，而旋转式发动机无论从重量、体积、油耗、振动都比二冲程往复式好。

发展这种机型对我国国防建设和农业机械化有重要意义，例如可用于摩托车、小型发电机组、某些植保机械、链式锯等。显然，在研制这种机型时，还必须充分考虑到我国实际使用、维护乃至气候条件，因为它们流动性很大，有的可能在僻远地区作业。

4. 至于航空发动机则应与燃气轮机相比，根据莱特公司的资料分析，功率在 300~500 马力以下，如飞行速度不要求很高（如直升飞机、农业植保用飞机）而燃油经济性与制造成本是重要因素的话，看来采用旋转式是有利的，并有可能进一步向高速发展。对于功率更大的航空发动机，目前尚难测度。因为，这里涉及一个单缸排量的极限问题，目前国外作为正式产品的最大单缸排量为 655 厘米³，作为试验样机的 RC2-90 最大单缸排量为 1,500 厘米³。

莱特公司在早期曾按其系列中的基本型 RC1-60 (单缸, 1,000 厘米³) 按照比例将排量放大 32 倍, 试制过一台单缸 32 升的 RC1-1790, 未达预定指标即发生了爆震, 原因不明。看来, 单缸排量最大应达到多少最合理, 尚须从我们的实践中探索。

5. 旋转式发动机有发展多缸的可能。2、3、4 缸可迭加构成, 同系列的通用件也比往复式多, 有利于组织大量生产。目前最多缸数为 4 缸, 继续增加缸数将会发生什么困难或不利条件, 尚须在今后的实践中研究。

6. 为了充分揭示这种发动机的许多特殊规律, 为我所用, 根据研制过程中出现的问题有重点地、有目的地进行某些基础试验是十分重要的。毛主席教导我们说: “不但要有革命热忱而且要有实际精神。” 通过这种基础试验有利于我们从外部现象找到其中的内在联系, 认识其规律性, 使我们的产品设计建筑在科学实验的基础上。仅就上述解决震纹、改善扭矩、研究柴油压燃而言, 需要进行试验的项目就很多, 例如: 不同密封片的振动特性对磨损的影响; 不同摩擦付材料的耐磨性; 零件加工尺寸对磨损的影响; 不同燃烧室形状、点火及喷油条件、进排气方案的对比等等。

做好这一类工作, 对这种发动机的长远发展将是有益的。

* * *

伟大领袖毛主席教导我们说: “我们不能走世界各国技术发展的老路, 跟在别人后面一步一步地爬行。”

旋转式发动机发展历史和现状表明, 为着使这种新产品在我国迅速获得应用和发展, 必须“打破洋框框, 走自己工业发展道路”, 边试验, 边生产, 边使用, 边提高, 创制符合我国实际生产和使用要求的产品。

无产阶级文化大革命以来, 我国工人阶级在毛主席“抓革命, 促生产”的伟大号召下, 大搞群众运动, 奋发图强, 自力更生, 克服重重困难, 我国旋转式发动机的研制工作取得了很大的进展。我们相信, 用战无不胜的毛泽东思想武装起来的、有着无限积极性和创造力的我国工人阶级和广大革命群众, 一定能克服前进中的一切困难, 从胜利走向新的胜利。

“中国人民有志气, 有能力, 一定要在不远的将来, 赶上和超过世界先进水平。”毛主席的这一伟大号召, 一定会在我国科学技术领域里得到完全的实现! 一种崭新的、具有我国自己特点的、超过世界先进水平的旋转式发动机一定会在不远的将来在我国内燃机工业中出现!

基本原理与结构

一、三角活塞旋转式发动机的基本原理

编者按：本文根据几年来日本《内燃機関》、西德《MTZ》等杂志上刊载的有关三角活塞旋转式发动机几何原理及运动学方面的文章，予以摘录汇编而成。为了便于阅读，我们还参考了国内有关同志所作的计算，尽量用图线予以阐明。

应当强调指出，这些资料只能作为读者在了解三角活塞旋转式发动机几何关系及运动学方面的入门，作为设计依据是不够的，特别是有关参数的选择，国外未见系统报道，仅有的大都流于学究式的纸面分析。关于这方面的资料，必须通过我们自己实践中的积累，不断予以系统化。正如毛主席教导我们：“**理论的基础是实践，又反过来为实践服务。**”希望同志们在今后的研制过程中注意总结经验，继而上升为理论，使之逐渐丰富，不断推进三角活塞旋转式发动机的研制工作。

(一) 三角活塞旋转式发动机的几个几何关系

1. 缸体的理论型线

三角活塞旋转式发动机(以下简称旋转式发动机)缸体的理论型线几何上称为“双弧长短幅外旋轮线”，它的创成方法一般有两种：

(1) 固定圆与滚动圆内切的情况

图1所示为圆(R)沿着与它内切的固定圆(K)滚动的情况。当其半径 r 大于固定圆(K)的半径 k 时，与圆(R)一起滚动的某一点P所形成的运动轨迹都称为外旋轮线，其形式很多，

若 $\frac{k}{r} = \frac{m-1}{m}$ ，而 m 为整数，则所形成的外旋轮线便是一群头尾相接的封闭曲线；其中 $m=3$ （即 $\frac{k}{r} = \frac{2}{3}$ ）所属的一部分封闭曲线便是双弧长短幅圆外旋轮线。三角活塞旋转式发动机所用的缸体型线就是这一种。

图1中， R 称为创成半径($R > r$)。由于圆(R)是沿固定圆(K)滚动的，因此除了它本身绕其圆心 O_R 自转外，还绕固定圆圆心 O_K 公转，所以创成半径上的P点，对于固定圆来说，实际上并不是绕圆心 O_R 旋转的，而是绕二个圆的切点(即图上I点)旋转；由于该切点本身的位置也在变，因此它只是P点在当时瞬间的旋转中心，称为瞬时旋转中心； $\overline{IP}$ 则称为P点的瞬时旋转半径，也是外旋轮线在P点上的法线。

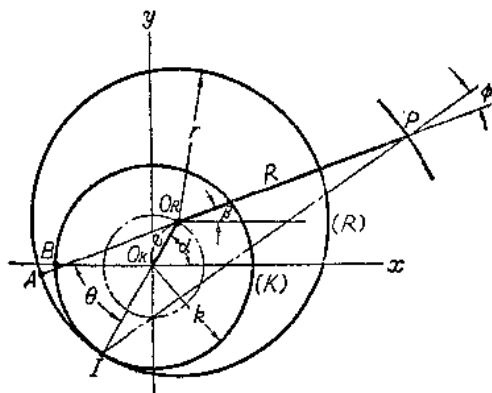


图1 外旋轮线的一种创成法

作成半径 R 与瞬时旋转半径 $\overline{IP}$ 所成的角 ϕ 称为外旋轮线在 P 点的摆动角, 毫无疑问, 这个摆动角的大小是随着 P 点位置的变化而改变的。

从图 1 可见, $\widehat{AI} = \widehat{BI}$, $r\theta = k\alpha$

$$\text{即 } \frac{\theta}{\alpha} = \frac{k}{r} = \frac{m-1}{m}, \quad m\theta = (m-1)\alpha$$

$$\theta + \beta = \alpha \quad \therefore \alpha = m\beta$$

$\alpha = m\beta$ 表明, 圆 (R) 的公转速度为其自转速度的 m 倍。由此可见, $m=3$ 的三角活塞旋转式发动机的偏心轴(输出轴)与活塞转速之比为 3:1。

随着偏心轴转角 α 的变动, P 点在 x, y 轴上的坐标变化为:

$$\left. \begin{aligned} x &= e \cos \alpha + R \cos \frac{\alpha}{m} \\ y &= e \sin \alpha + R \sin \frac{\alpha}{m} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$e = r - k$ 称为偏心距。

三角活塞发动机的 $m=3$, 故 (1) 式为:

$$\left. \begin{aligned} x &= e \cos \alpha + R \cos \frac{\alpha}{3} \\ y &= e \sin \alpha + R \sin \frac{\alpha}{3} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

由方程可见, 当 $\alpha = 0$

$$x = R + e = \rho_{\text{最大}}, \quad y = 0$$

此时 P 点在 x 轴上, 离缸体型线中心的距离 ρ 最大,

$2\rho_{\text{最大}} = 2(e + R)$ 称为型线长轴长度(见图 2),

同样, 当 $\alpha = \frac{3}{2}\pi$ (活塞转角为 $\frac{\pi}{2}$),

$$x = 0, \quad y = R - e = \rho_{\text{最小}}$$

此时 P 点在 y 轴上, 离型线中心的距离 ρ 最小,

$2\rho_{\text{最小}} = 2(R - e)$ 称为型线短轴长度(见图 2)。

由式 (2) 可知,

$$\left. \begin{aligned} \frac{x}{e} &= \cos \alpha + \frac{R}{e} \cos \frac{\alpha}{3} \\ \frac{y}{e} &= \sin \alpha + \frac{R}{e} \sin \frac{\alpha}{3} \end{aligned} \right\}$$

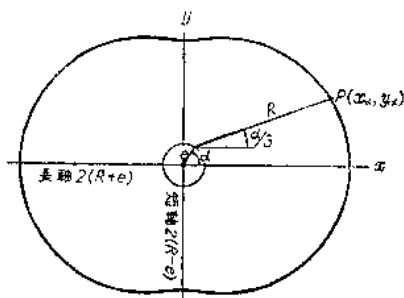


图 2 缸体的理论型线

$\frac{R}{e} = K$ 称为型线的形状系数。这是一个很重要的几何参数。由上列方程可见, 只要 K

值相等, 所得的一组外旋轮线便是完全几何相似的。

(2) 固定圆与滚动圆外切的情况

图 3 所示是半径为 r 的圆 (R) 沿着与它外切的半径为 k 的固定圆 (K) 滚动的情况。当 $r < k$, 与圆 (R) 一起滚动的某一点 P 所形成的运动轨迹也是外旋轮线。若 $\frac{k}{r} = m$ 而 m 为整数时, P 的轨迹也呈封闭曲线。

在图 3 中, $O_R P = e$ (偏心距), 而 $k\alpha = r\theta$, $\theta = m\alpha$ 。

P 点在 x 、 y 轴上的座标各为:

$$\left. \begin{aligned} x &= (k+r) \cos \alpha + e \cos (m+1) \alpha \\ y &= (k+r) \sin \alpha + e \sin (m+1) \alpha \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

设 $k+r=R$, $m=2, 3\alpha = \psi$, 则

$$\left. \begin{aligned} x &= -e \cos \psi + R \cos \frac{\psi}{3} \\ y &= e \sin \psi + R \sin \frac{\psi}{3} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

对比式(4)及(2)可知, P 点座标的变化规律完全一致, 也就是说, 用 $m=3$ 、固定圆与滚动圆内切和用 $m=2$ 、固定圆与滚动圆外切这两种方法所创成的外旋轮线是完全一样的(见图4)。

对比这两种创成方法可见, “外切法”就其所需的齿轮机构来说, 在日前研制的三角活塞旋转式发动机上是不实用的, 但在加工和检验缸体型线时可有所参考。

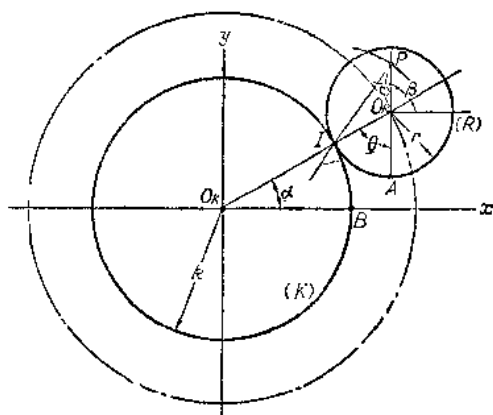


图3 外旋轮线的另一种创成法

2. 缸体理论型线的曲率半径

所谓“曲率半径”是就曲线外形的变化在某一点的弯曲程度而言的。如果在曲线上的某一点, 曲线的弯曲程度与某一圆弧相等, 那末, 该圆弧的半径就等于曲线在该点的曲率半径。因此, 除了圆和直线外, 所有曲线的曲率半径都是随曲线上所在点的位置而变的。弯曲程度愈大, 曲率半径愈小; 反之, 也对。曲率半径大于零, 表示曲线形状向外凸; 小于零, 表示曲线向内凹。直线的曲率半径为 ∞ 。

对于缸体型线来说, 根据方程(2)可推导出型线上各点的曲率半径 q 随偏心轴转角 α 的变化规律为:

$$q = \frac{\left(R^2 + 9e^2 + 6Re \cos \frac{2}{3} \alpha \right)^{\frac{3}{2}}}{R^2 + 27e^2 + 12Re \cos \frac{2}{3} \alpha} = \frac{e \left(K^2 + 9 + 6K \cos \frac{2}{3} \alpha \right)^{\frac{3}{2}}}{K^2 + 27 + 12K \cos \frac{2}{3} \alpha} \quad (5)$$

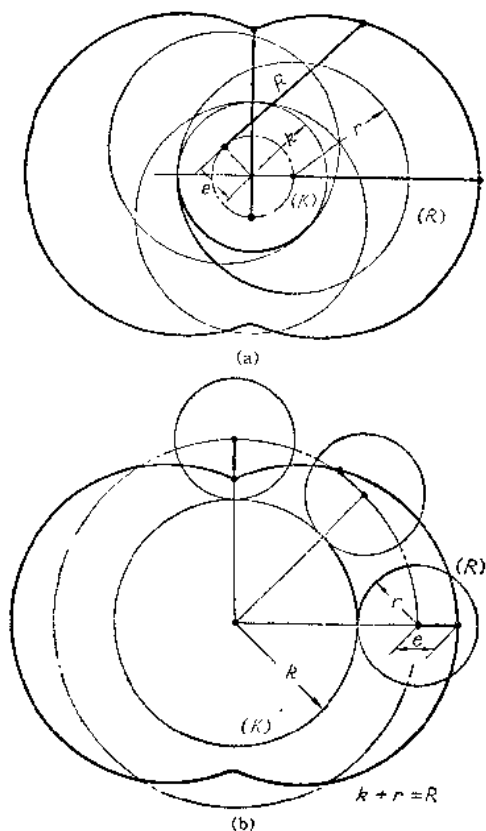


图4 外旋轮线两种创成方法的对比

1) 当 $\alpha = 0$, 即在型线长轴位置,

$$q = \frac{(R+3e)^3}{R^2+27e^2+12Re} = \frac{(R+3e)^2}{(R+9e)} = \frac{e(K+3)^2}{K+9} \quad (6)$$

此时, 恒有 $q > 0$, 说明在长轴方向, 曲线总是外凸的。

2) 当 $\alpha = \frac{3}{2}\pi$, 即在型线短轴位置,

$$q = \frac{(R-3e)^3}{R^2+27e^2-12Re}, \text{ 在 } K \neq 3 \text{ 时, 可写作 } \frac{e(K-3)^2}{K-9} \quad (7)$$

若令分母 $R^2+27e^2-12Re=0$,

$$\text{解得 } K = \frac{R}{e} = 9, \frac{R}{e} = 3。$$

因此, 当 $K=9$ 或 3 时, 为型线形状在短轴方向变化的二个临界 K 值, 其变化规律可按图 5 分析如下:

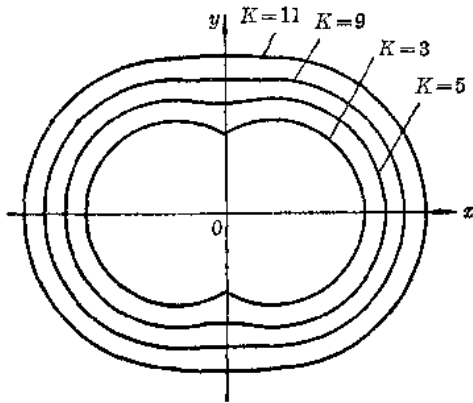


图 5 型线形状随 K 值的变化

当 $K=9$, $q \rightarrow \infty$, 在短轴方向, 型线呈一直线;

当 $K>9$, $q>0$, 在短轴方向, 型线向外凸;

当 $K \rightarrow \infty$, $q \rightarrow R$, 曲线接近于圆;

当 $3<K<9$, $q<0$, 在短轴方向型线向内凹;

当 $K=3$, q 为不定值, 在短轴方向, 型线向内凹呈一尖点;

当 $K<3$, 曲线已不属此类型。

为了使内齿轮的运动局限在缸体型线的范围内, 还必须满足如下条件:

$$\text{即 } \rho_{\text{最小}} \geq r+e, \text{ 而 } r=3e, \rho_{\text{最小}} = R-e$$

$$\therefore \rho_{\text{最小}} \geq 4e \quad K \geq 5$$

因此, 在实用上, 只有 $K \geq 5$ 时才有实际意义。

按式(5)可绘出型线各点曲率半径的变化规律, 如图 6。

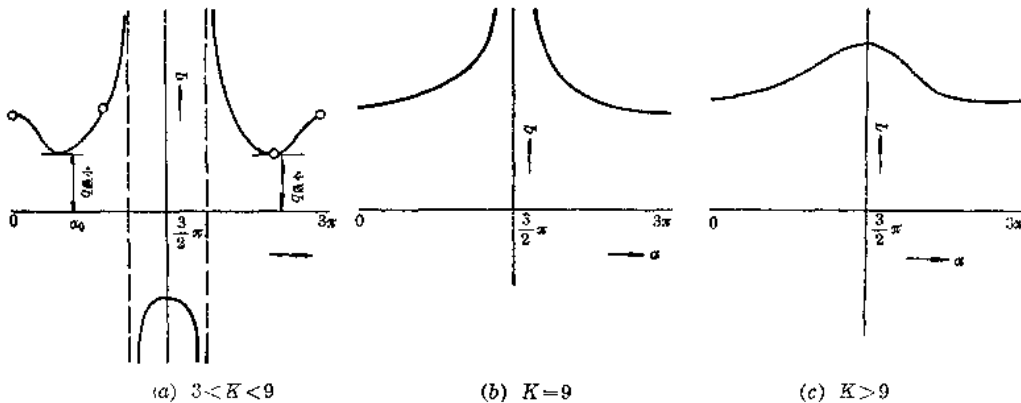


图 6 缸体型线上各点曲率半径的变化

由图 6 可见, q 的变化规律与 K 值有关。

1) 当 $3<K<9$ 时, q 有一个极小值, 从式(5)可推导出该极小值 $q_{\text{最小}}$ 出现在 $\alpha=\alpha_0$ 时,

$$\cos \frac{2}{3}\alpha_0 = \frac{K^2-45}{12K}, \text{ 即 } \alpha_0 = \frac{3}{2} \cos^{-1} \frac{K^2-45}{12K}, \quad q_{\text{最小}} = e \sqrt{\frac{27}{32} (K^2-9)} \quad (8)$$

2) 当 $K \geq 9$ 时, 最小曲率半径出现在长轴上 ($\alpha=0, 3\pi$), 其值为式(6)所示。