

柱塞式燃油泵的等效试验研究

西安远东机械制造公司 邹丕先 薛建华 何秀德

一、等效试车的基本设想

柱塞式燃油泵构造复杂、精密、功能繁多,但归根到底它是一个机械装置。机械构件本身的失效一般都是由于磨损、疲劳引起的,因此等效要研究的问题就是磨损和疲劳。

燃油泵按原规程试车 t 小时,说明油泵在 t 小时内保证了规定条件下的正常工作,此时油泵本身也遭受到一定程度的损伤 ϵ ;若采用加大载荷工作 t' 小时,说明油泵 t' 小时内保证了加大应力条件下的工作,油泵本身同时受到的损伤为 ϵ' 。对于具体型号产品,应按使用中出现的磨损和疲劳情况分析研究确定主要失效模式是磨损或是疲劳,再按理论公式写出能表达损伤程度的数学式,以造成相等的损伤($\epsilon = \epsilon'$)作目标,即可推导出等效公式。

二、柱塞泵的受力情况

柱塞式燃油泵的关键薄弱环节是转子、柱塞、斜盘等零部件,应研究这些零部件的受力情况。

在常见的柱塞泵中,由于柱塞、斜盘的结构和工作原理不同,可区分为两种类型:(1)整体式柱塞,(2)流体静压支承柱塞。

整体式柱塞是点接触,应力高,容易发生疲劳损伤,属疲劳类型;流体静压支承柱塞是面接触,应力低,不会发生疲劳损坏,主要是磨损问题,属磨损类型。

柱塞在工作时轴线方向受力之和为 $P_z = P_j + P_{ca} + P_p + P_u$,式中 P_j 是惯性力, P_{ca} 是离心力的轴向分力, P_p 是弹簧力, P_u 是燃油力。诸力中以 P_u 为主,故可简化为用 P_T 是燃油压力、 d_z 是柱塞直径和 K_1 是综合系数。表示的下式

$$P_z = K_1 P_T (\pi d_z^2 / 4) \quad (1)$$

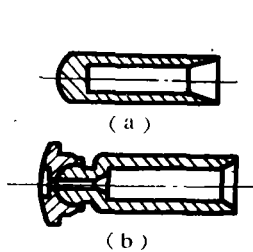


图1 (a)整体式柱塞
(b)流体静压支承式柱塞

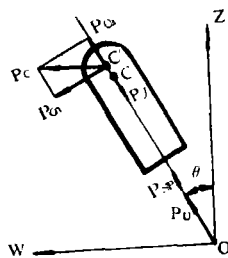


图2 柱塞受力简图

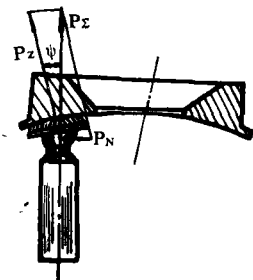


图3 柱塞总轴向力分解图

对于流体静压支承柱塞在球形铰链的球体中心, 对于整体式柱塞在端头球面的中心 C 点, 将总轴向力 P_z 分解成两个分力 P_z 和 P_N (见图 4)。

$$P_z = P_z / \cos \psi, \quad P_N = P_z \tan \psi \quad (2)$$

P_z 沿法线方向作用到斜盘上, P_N 对转子孔壁形成弯矩, ψ 是力 P_z 与柱塞轴线在空间所构成的夹角。

柱塞与转子孔间单位长度的最大载荷为

$$q_{\max} = (Q + 6M/l)l$$

而最大的单位压力为

$$p_{\max} = (Q + 6M/l)/d_z l$$

可将 $p_{\max}$ 近似地化简为

$$p = K_2 P_N / A \quad (3)$$

式中 K_2 是系数, 由构造参数决定; A 是承受挤压力的面积。

分力 P_z 引起整体式柱塞端头球面的挤压, 在接触处因材料弹性变形, 而产生接触应力:

$$\sigma = 0.388 \sqrt[3]{P_z E^2 ((1/R) - (1/r))^2} \quad (4)$$

三、柱塞泵等效公式的推导

(1) 磨损型柱塞泵的等效公式 稳定磨损阶段的磨损率是 深度/单位时间 = KpV 式中 p 是单位面积上的载荷, V 是相对运动的速度, K 是磨损系数。使原长试规程中某一工作状态所造成的磨损深度与等效试车中对应工作状态所造成的磨损深度相等, 可得

$$pVt = p'V't' \quad (5)$$

将公式 (1)、(2) 代入 (3) 得 p , 又由流量公式可得柱塞的平均速度 V , 最后将 p 、 V 代入 (5), 化简可得

$$t' = (P_T/p_T')(Q/Q')^2(n'/n)t \quad (6)$$

公式 (6) 是应用在柱塞式燃油泵具体情况下的磨损型等效公式, 式中 P_T 是燃油压力, Q 是燃油流量, n 是油泵转速。

(2) 疲劳型柱塞泵的等效公式 整体式柱塞和斜盘都有自己的疲劳曲线, 这是客观存在的。而接触疲劳曲线服从下列关系式:

$$N = C\sigma^{-m} \quad (7)$$

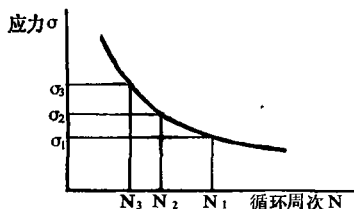


图 5 柱塞的疲劳曲线

由图 6 知, 对应于 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 一直到损坏的循环次数分别为 N_1 、 N_2 、 N_3 , 于是每循环一次, 对柱塞造成的损伤程度依次为 $1/N_1$ 、 $1/N_2$ 、 $1/N_3$ 。

在长期试车的一个阶段中, 某工作状态 i 的转速为 n_i , 持续时间 t_i 分钟, 这个状态的循环次数为 $(n_i t_i)$ 次。在这个状态的接触应力为 σ_i , 疲劳曲线上有对应的 N_i 。于是在 σ_i 作用下, 一个阶段对柱塞造成的疲劳损伤为 $n_i t_i / N_i$ 。若将 σ_i 提高为 σ'_i , 疲劳曲线上会有 N'_i 与之对应。又将 n_i 改为 n'_i , t_i 改为 t'_i , 则更改后的工作状态造成的疲劳损伤为 $n'_i t'_i / N'_i$ 。

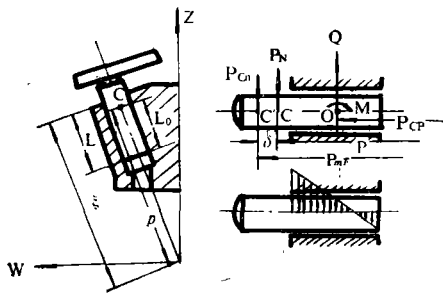


图 4 柱塞施加给转子孔壁的负荷简图

等效试车将造成相等的损伤程度, 即令 $n_1 t_1 / N_1 = n'_1 t'_1 / N'_1$ 于是

$t'_1 = t_1 (n_1 / n'_1) (N'_1 / N_1)$ 。将(8)、(4)、(2)、(1)代入上式得:

$$t'_1 = t_1 (n_1 / n'_1) (P_T / P'_T)^{m/3}$$

在没有现成的柱塞疲劳曲线情况下, 由于高强度材料的机械性能相接近, 可参照文献[2]给出的轴承钢疲劳曲线和数据, 对柱塞取 $m = 9$, 上式化为:

$$t' = t (n / n') (P_T / P'_T)^3 \quad (8)$$

公式(8)即为疲劳型柱塞泵的等效公式。

四、等效试车规程的编制与验证

等效试车规程以原长期试车规程为基础, 从原规定的状态持续时间 t 中留出 t_0 作为进行变换的必要时间, 变换的项目和次数均按原来规定; 而将非变换的稳态工作时间 $(t - t_0)$ 按等效公式改变为等效状态的持续时间 t' 。

燃油调节器一般与燃油泵组装在一起成为一个附件, 也有分开单独构成一个附件的。调节器等效试车主要是将原规定的变换项目和次数全面保留下来; 而在稳态工作时, 调节器上的零组件基本上都处在静止状态, 仅承受静载荷, 不会引起任何损伤。

以某发动机的柱塞泵 ZB-36E 和燃油调节器 RT-9E 为例, 简述规程编制于后。ZB-36E 是流体静压支承式柱塞, 属磨损类型, 按公式(6)将非交换的稳态工作时间逐一转换为等效工作时间, 然后加以合并圆整。结果得出等效试车规程 1 个阶段为 2 小时, 相当原长试规程 10 小时; 等效试车 200 小时, 相当原长试 1000 小时。

对柱塞式燃油泵 ZB-36E、调节器 RT-9E 等效试车进行了三次验证试验。一是组织了两次验证, 皆以 200 小时等效试车代替原规定的 1000 小时长期试车。试车后进行对比的结果: 等效试车使零件造成的磨损与按原规程试车基本相近; 等效试车后附件性能的变化情况、各零组件的外观状况皆与在飞机上使用到期的情况和以往按原规程长试的结果均相仿。因此, 认为验证结果圆满成功, 达到了预期的目标和效果。二是在该两型附件的批次交付长期试车上试用了等效规程, 也取得了圆满结论。连续经过三次验证, 结果都很满意, 证明了所研究的等效公式和等效规程符合客观实际, 是可行的。

参 考 文 献

- [1] A.Γ.希乌柯夫, “燃气涡轮发动机的燃料泵和喷嘴”, 国防工业出版社, 1960。
- [2] “机械工程手册”, 机械工业出版社, 1982。

rotary blades is investigated with error analysis and illustrated by a numerical example.

DYNAMIC FLEXIBILITY COEFFICIENT MATRIX AND ITS MEASUREMENT FOR AEROENGINE SUPPORTING SYSTEM

Li Zhiwei and Yang Shenji

(Northwestern polytechnical University)

Abstract

This paper deals with the concept of the dynamic flexibility coefficient matrix and the measurement of the coefficients. As an example, the method of the coefficient measurement and the results of the coefficient matrix calculation are given for the supporting system of a twin-spool jet engine. The method and results will be useful for practice.

EQUIVALENT TEST OF PLUNGER FUEL PUMP

Zou Pixian, Xue Jianhua, He Xiude

(Far East Machinery Company)

Abstract

The equivalent test presented in this paper is a technique developed to accelerate the life test. It is achieved by increasing the testing load whereas reducing the test time to make the sample product being tested have approximately the same degree of damage as compared with the main failure mode. The equivalent formula for this purpose has been deduced from analysis and calculation, and the equivalent test specifications can be thus compiled on the basis of the equivalent formula.

MEASUREMENT OF RESIDENCE TIME DISTRIBUTION FUNCTIONS OF FUEL IN COMBUSTOR

Lu Xinli and Chen Jie

(Northwestern Polytechnical University)

Abstract

An experimental equipment for measuring the residence time distribution functions of fuel in combustor has been made, based on the absorption of radiation from a line source at 253.7nm generated by mercury vapour. The residence time distribution functions of fuel both in a main combustor and a model afterburner under cool conditions have been measured by means of this equipment and have been analyzed.