

## HS125 型水力测功器进排水阀门故障研究

温会云 刘祥平

中国航发湖南动力机械研究所, 湖南 株洲 412002

**[摘要]** Froude HS125 型水力测功器是测量涡轴发动机输出功率的关键设备。本篇文章介绍了水力测功器工作原理、测功器进排水阀门的工作方式、测功器吸功能力的调节方式。鉴于水力测功器的工作环境, 本篇文章分析了水力测功器进排水阀门容易出现故障及其解决方法, 并在试验中得到了验证。这对水力测功器的使用和维护具有一定的指导作用。

**[关键词]** 水力测功器; 进排水阀门; 故障及其解决方法

DOI: 10.33142/aem.v3i3.3904

中图分类号: V23

文献标识码: A

### Study on Failure of Inlet and Outlet Values for Hydraulic Dynamometer HS125

WEN Huiyun, LIU Xiangping

AECC Hunan Aviation Powerplant Research Institute, Zhuzhou, Hunan, 412002, China

**Abstract:** Froude HS125 hydraulic dynamometer is the key equipment to measure the output power of turboshaft engine. This paper introduces the working principle of the hydraulic dynamometer, the working mode of the inlet and outlet valves of the dynamometer and the adjustment mode of the power absorption capacity of the dynamometer. In view of the working environment of the hydraulic dynamometer, this paper analyzes the faults of the inlet and outlet valves of the hydraulic dynamometer and their solutions, which have been verified in the test. This has a certain guiding role for the use and maintenance of hydraulic dynamometer.

**Keywords:** hydraulic dynamometer; inlet and outlet values; faults and solutions

随着我国涡轴发动机的发展, 对涡轴发动机测试设备的要求也越来越高。目前各发动机研究所和制造厂对发动机输出轴功率的测量, 主要使用各类电涡流测功器和水力测功器。电涡流测功器随着吸收功率增大, 其设备体积急剧增大。一般轴功率 500kW 以上的均使用水力测功器进行测量。

水力测功器实时准确地测量出发动机不同工作状态下的输出轴功率, 对发动机试验至关重要。HS125 型水力测功器是一款英国进口的高速水力测功器, 最大吸收功率 1860kW, 功率测量精度  $\pm 0.25\%$ , 最大允许转速 25000r/min。发动机工作状态在 0.5s 内急剧加减速时, 水力测功器负载也能及时地跟随变化。

### 1 水力测功器简介

#### 1.1 水力测功器吸功原理

水力测功器是由发动机输出轴带动水力测功器转子转动。水力测功器转子叶片对水的搅拌在测功器的工作腔内形成水涡流, 将发动机的输出扭矩传递到测功器静止组件上。通过拉压传感器测量出静止组件上的扭矩, 通过转速传感器测量转子转速, 按照已有的计算公式可以计算出发动机的输出功率。

水力测功器的工作过程中, 水压和水量是最重要的两个参数。国外使用可靠性高、反应灵敏的加压泵来保证进水压力的稳定。我们使用高位水塔来确保水压的稳定。水量则是通过进排水电液伺服阀来快速精确调节进水阀门的开度和排水阀门的关度, 从而实现测功器工作腔中水量的增减。

水力测功器主体部分剖面图见图 1。其中 A 为水力测功器工作腔单向进气口。水力测功器从低状态快速变换为高状态时, 工作腔内水过度被排出会产生空腔效应。该单向进气口可以往工作腔中补气, 从而消除空腔效应对水力测功器测量精度的影响。B 为水力测功器进水口, 进水口前端有进水阀组件。C 为水力测功器主轴, 一端与发动机输出轴连接, 另一端与模拟直升机旋翼转动惯量的飞轮相连。D 为水力测功器工作腔。水力测功器主轴上的叶片在工作腔内通过对水的搅动将轴功率转换成水的热能, 升温后的水经过散热装置冷却后, 再由水泵房抽送回高位水塔循环使用。E 为水力测功器排水阀。F 为水力测功器轴端密封系统泄水管。HS125 型水力测功器轴端密封采用的 W 封严环和压缩空气密封。由压缩空气充入 W 封严环, 分开工作腔中的水和经过主轴轴承的液压油, 水力测功器工作时, 允许轴端密封位置有微小渗漏, 为此专门给水路设计了泄水管、油路设计了漏油管和集油瓶。

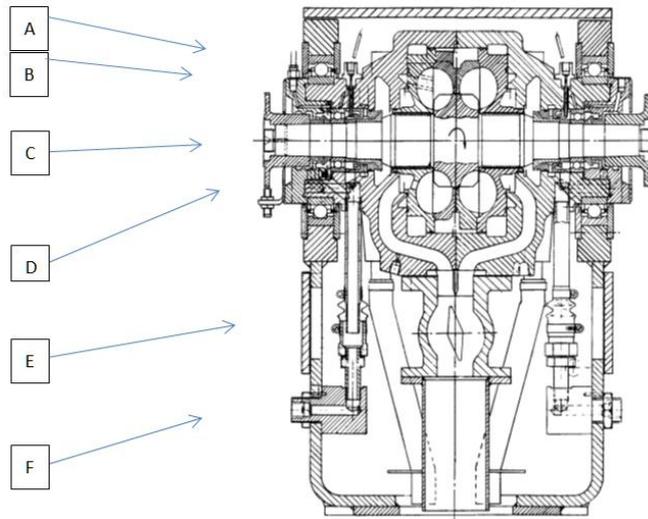


图1 水力测功器主体部分剖面图

### 1.2 水力测功器进排水阀门工作原理

水力测功器进排水阀门使用的是电液伺服阀。电液伺服阀在航空、航天和军工等要求高精度和快速控制的领域普遍使用，在机床、轧钢机、车辆等各种工业设备的开环或闭环的电液控制系统，特别是高的动态响应、大的输出功率的场合也广泛应用。电液伺服阀主要功能是根据测功器控制器发出的指令为水力测功器水腔提供相应的进水量，同时将阀门的位置信息反馈到测功器控制器，从而实现测功器进水量的闭环控制。

进排水电液伺服阀由测功器控制器输出动作指令，经过辅助控制盒将动作指令传给阀门液压伺服阀，电液伺服阀按照指令做出相应动作。

测功器油站给测功器主轴轴承提供润滑油用于润滑和冷却，同时也给电液伺服阀提供液压动力油。测功器油站上的变压器将380V电源变压后为辅助控制盒提供110V电源。110V电源在辅助控制盒中由一路输入变成两路输出，分别供给进水阀门和排水阀门的锁定电磁阀。其中任意环节故障，测功器进排水阀门锁止阀均会自动锁死阀门，输出紧急停车报警信号。

### 1.3 水力测功器吸功能力的调节

水力测功器通过调节进水阀的开度来调节进水量的大小，通过调节排水阀的开度来调节水在测功器工作腔中水压的大小，从而达到调节测功器吸收功率的大小。

进水阀开度增大则水力测功器吸收的功率增大。进水阀控制分手动控制和自动控制两种模式。手动控制由操作者视情转动控制器上的旋钮控制进水阀的开度。自动控制时，进水阀按照设定的曲线从初始开度（一般设置为发动机最小功率所需的开度20%）逐步增大至某一位置（一般设置为70%）后则不再增加。测功器进水阀开度和吸功能力曲线见图2。

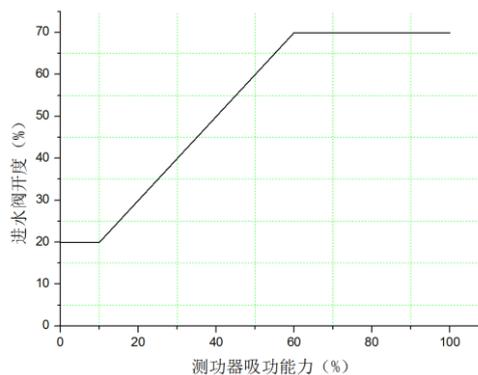


图2 测功器进水阀开度和吸功能力曲线

排水阀关度增大则水力测功器吸收的功率增大。排水阀控制分手动控制和自动控制两种模式。手动控制由操作者视情转动控制器上的旋钮控制排水阀的关度。自动控制时,排水阀按照给定的目标值自动调节排水阀的关度使反馈值接近给定值。排水阀自动控制一般分三种工作模式:转速模式、扭矩模式、远程扭矩控制模式。

## 2 测功器容易出现的问题

### 2.1 油雾导致线路接口接触电阻过大

水力测功器的吸功原理是将发动机输出的轴功率转化成水的热能,随着水的循环将热能带走。因而在测功器工作腔中,水的温度通常维持在 $40^{\circ}\text{C}\sim 65^{\circ}\text{C}$ 之间。从图一中可以发现水力测功器设计时就包含有水力测功器工作腔单向进气口(A)和密封系统泄水管(F)。这就造成工作腔中产生高温水蒸气可以通过泄水管散发到测功器附近。而测功器使用的是循环工业水,实际上水中含有少量的油,经年累月这种含油水蒸气就会对测功器上电气设备造成负面影响。

测功器轴承润滑油和测功器工作腔中的水是依靠测功器封严环中压缩空气进行隔离,这种动态密封形式,油气泄漏是难免的。这部分泄漏的油气进入电气控制盒后会接线口产生油膜,导致接线口的接触电阻过大,出现接触不良。解决方法是清洗油迹或者重新接线。

在某涡轴发动机试验中,突然出现测功器排水阀门110V电源报警,发动机自动保护停车。

鉴于以往出现过供电故障后又自动恢复的情况,先点击测功器复位按钮,无法复位,确认排水阀门的110V电源有问题。

拆开测功器辅助控制盒,拆出两个保险管目视检查均正常,用万能表测量辅助控制盒输入端电压为110V,两路输出端均为110V。按照以往的方法拆掉输出端的线,清洗接线端子后再接到控制盒的输出端,仍然显示排水阀门110V报警。

将辅助控制盒中输出端进水阀门接线和排水阀门接线对调,110V报警由之前的排水阀门报警变成进水阀门报警。从而确认两路输出端的电压没问题,输出端之后的传输也没问题,问题在输出端接线处。判断应该是排水阀门输出端口处接触电阻过大,导致此处产生过大的压降,进而导致测功器110V报警。

拆出排水阀门输出端的线鼻子,可以明显感觉到线鼻子上有油膜,线鼻子与线鼻子内的线缆之间有间隙,间隙中也有油迹。剪掉线鼻子,重新剥线安装新的线鼻子,连接到输出端,显示供电正常,故障排除。

### 2.2 虚焊导致信号传输中断

水力测功器自动保护系统内置了进排水阀门给定位置与反馈位置相差10%则会判断异常,输出保护停车信号。

给定位置是由操作员通过测功器控制器给定。控制器位于有除湿器和空调的操作间,目前为止,给定位置从未出过问题。

反馈位置由进排水阀门通过联轴器带动电反馈计输出反馈位置的信号给控制器。

水力测功器进排水阀门需要频繁、精确、快速动作,因而采用的是电液伺服阀。电液伺服阀常用的反馈方式有电反馈、机械反馈。和机械反馈相比,电反馈频响高价格也高一些。水力测功器要求进排水阀门快速动作,使用的是电反馈方式。

阀门动作通过联轴器传给电反馈计。阀门动作由液压伺服阀驱动,如果出现故障很明显能检查出来。联轴器传动一般不会出现。电反馈计采用了密封设计,本身不会出现。电反馈计传输信号给控制器的线缆是点焊在电反馈计触点上,而且用来保护电反馈计的外壳未做密封设计。将两根细小的线缆分别点焊在一个九十度的拐角边上,容易出现虚焊的情况。而且未做密封设计的保护壳,致使含油的水蒸气轻易进入保护壳内,对电反馈计焊点产生负面影响,进而导致信号传输中断。解决方法是熔化焊点,重新焊接。

在某涡轴发动机试验过程中,试验状态往上推时,测功器进水阀门应该按既定程序加大阀门开度,而实际上反馈的进水阀门开度未动,测功器报警系统输出紧急停车指令,导致发动机自动停车。

在水力测功器控制器输入密码进入测功器管理员模式,取消测功器阀门动作的最低转速限制。手动调节进水阀门开度,同时请人在进水阀门处观察阀门的实际开度,发现给定进水阀门开度变化时,进水阀门与电反馈计连接的传动轴有动作,而控制器界面显示进水阀门反馈位置不动作。从而判断是电反馈计未能将信号传输给控制器。

拆开进水阀门反馈电位计保护壳,检查线路目测正常。拆除反馈电位计固定螺栓,手动转动反馈电位计,未发现卡滞或者异响等明显的故障。鉴于该反馈电位计很难买到合适的替代产品,不便更换。先假设反馈电位计本身没有

问题, 尝试检查线路是否有问题。线路上只有连接线和反馈电位计连接处的焊点最可能有问题, 使用电烙铁将焊点熔化后, 再用锡线补焊。

手动将进水阀门转至零位置, 同时通过转动反馈电位计本身, 使反馈电位计反馈给控制器的阀门位置也是零位置。拧紧反馈电位计的固定螺栓。

通过控制器调节进水阀门位置, 同时派人在进水阀处观察, 发现进水阀跟随指令动作, 且实际位置、反馈给控制器的位置和给定位置相符, 故障排除。

### 2.3 循环水中的杂质导致阀门卡滞

蝶阀结构简单、体积小、重量轻、可快速启闭, 同时具有良好的流量控制特性。阀门完全开启时, 流体通过阀门的流阻很小。所以水力测功器进排水阀门本体均选用蝶阀。

蝶阀的密封方式分为弹性密封和金属密封。弹性密封受温度限制, 但是能做到完全密封。金属密封能适应较高的工作温度, 寿命长, 但是很难做到完全密封。水力测功器工作温度在 65℃ 以下, 要求完全密封, 选用的是弹性密封。

测功器中的工作介质是工业级循环水。虽然测功器进水口安装了水滤, 在循环使用中, 还是难免有铁锈泥沙等异物进入循环水中, 这些异物就极有可能导致阀门开关不到位。解决方法是拆开阀门, 清理异物, 并按吋清理水滤。

在某次试验过程中, 同样的慢车状态, 水力测功器进水阀门位置有时显示开度 20%, 有时显示开度 30%。虽然不直接影响试验安全, 但是进水阀门显示开度 20% 和 30% 时, 发动机功率区别很大, 影响发动机变换状态时的起点, 对发动机加减速试验影响尤其明显。鉴于阀门动作均正常。判断应该是阀门零位置卡滞导致阀门回位时无法到达同一位置。

试验停车后, 拆开进水阀, 发现进水阀的蝶板以及蝶板密封圈周围有很多铁锈状污泥。手动转动蝶板有时能完全关闭阀门, 有时会明显卡滞导致关不到位, 与试验中出现的情况相符。判断是铁锈状污泥导致蝶阀卡滞。

使用工具清理掉铁锈状污泥, 喷涂 WD-40 防锈剂后, 再手动转动蝶阀, 每次均能关到位。后续试验中阀门未再出现类似情况, 故障排除。

## 3 结论

(1) 水力测功器是涡轴发动机研制中最重要的试验设备。国内缺乏高速水力测功器, 购买国外的又时而受限, 加强对水力测功器的维修应用研究, 对涡轴发动机的研制有重要意义。

(2) 本文通过对测功器使用环境的分析, 提出了测功器容易出现的问题和解决方法, 并在试验中得到验证, 对测功器的日常维护使用具有指导意义。

### [参考文献]

- [1] 袁先圣. HS125 水力测功器负载特性研究[J]. 南华动力, 2018(3): 251-254.
  - [2] 王毅波. HS125 型水力测功器在涡轴发动机高空模拟试验中工作特性分析[J]. 燃气涡轮试验与研究社, 2007(2): 151.
- 作者简介: 温会云 (1989.12-), 男, 中国航空研究院, 航空推进理论与工程, 中国航发湖南动力机械研究所, 主管设计师, 工程师; 刘祥平 (1987.10-), 男, 南京航空航天大学, 飞行器动力工程, 中国航发湖南动力机械研究所, 主管设计师, 工程师。