

关于空气压力调节关断阀修理开发的探索

张光帆 罗 备 赵隐权

凌云科技集团有限责任公司 湖北武汉 430000

摘 要：空气压力调节关断阀是典型的民用航空器环控系统控制阀门，因此，对其进行的修理开发的探索能够代表大部分低流量环控系统控制阀的修理思路 and 开发路径。在修理过程中针对阀门的主要故障表现，我们可以通过直接换件或者分解清洁后重新测试等手段来消除故障现象，恢复阀门性能。

关键词：空气压力调节关断阀；测试；常见故障表现

一、概述

1. 配平空气压力调节关断阀的工作背景介绍

配平空气压力调节关断阀 (TRIM PRESSURE REGULATING AND SHUTOFF VALVE) 是民用航空器各大系统中的环境控制系统 (ECS) 的一部分。干线洲际型的航空器上一般会配置两台这样的阀门。阀门在环控系统中向下游阀门提供热空气源，以保证航空器多达 16 个区域的温度调节控制，例如向客舱，驾驶舱以及货舱提供合适温度的空气。因此，该阀门在航空器的环控系统中有着重要的作用，由于每架航空器仅有 2 台这样的部件进行配平和压力调节，因此该部件的工作负载比较高，发生故障的情况也时有发生。

本文通过分析该部件的构造特性、系统组成、工作原理以及易发故障从而探索可靠的修理方案为提高配平空气压力调节关断阀以及其他同类型阀门的修理可靠性提供思路。

2. 结构及系统介绍

配平空气压力调节关断阀由作动器总成和蝶形阀门及管道组成 (见图 1)。

(1) 结构介绍

①作动器总成包括：作动器壳体，力矩马达，推动电磁阀，手动扳手，锁定曲柄，锁定螺钉和气滤堵头。

②气动作动器包括：作动活塞，活塞导向，导向环，活塞环，膜片，连杆保持器，连接杆，蝶形阀门板。连接杆连接到连杆保持器和阀门轴上的执行机构曲柄上。作动器的各个零件同步作动，将蝶形阀门板从全关位置旋转 90° 到全开位置。阀门的目视位置由锁定曲柄对应的作动壳体上 OP 和 CL 的标记进行指示。

③推动电磁阀，通过阀座、一个球体、两个弹簧和一个阀体进行操作。

④蝶阀连接到作动器外壳上。阀壳具有锁定曲柄、作动器曲柄、阀轴、蝶盘、挡板和密封圈。锁定曲柄、作动机构曲柄、阀轴、蝶盘是一套配套装置。

⑤阀门通过其法兰安装在管道上。

(2) 系统介绍

产品的系统工作原理如图 2 所示，电路图如图 3 所示。

①力矩马达是控制流经配平空气压力调节关断阀门的空气流量。

②操作阀门所需的作动空气通过一根延伸到阀体内的小管输送。

③空气进入管道向上通过气滤到达作动器的活塞的小面积侧。同样的空气通过电磁阀继续上升到力矩马达，然后到达作动器的活塞的大面积侧。

④当力矩马达和电磁阀没有通电时，进入阀门的空气只作用在活塞的小面积侧，使活塞走到关闭位置。连

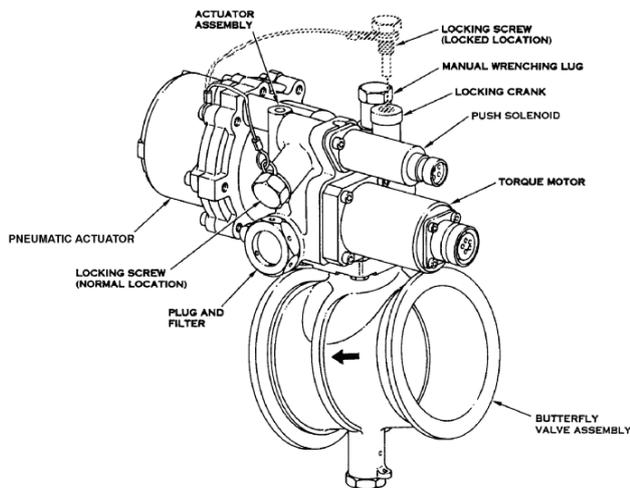


图 1

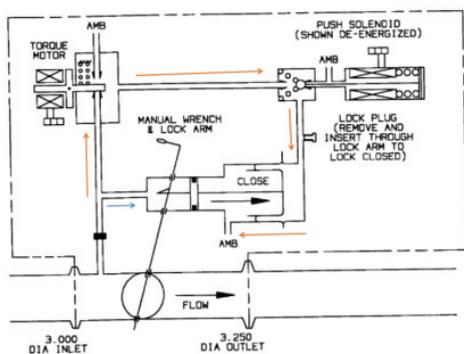


Figure 2. Trim Air Pressure Regulating and Shutoff Valve-Functional Schematic

图2

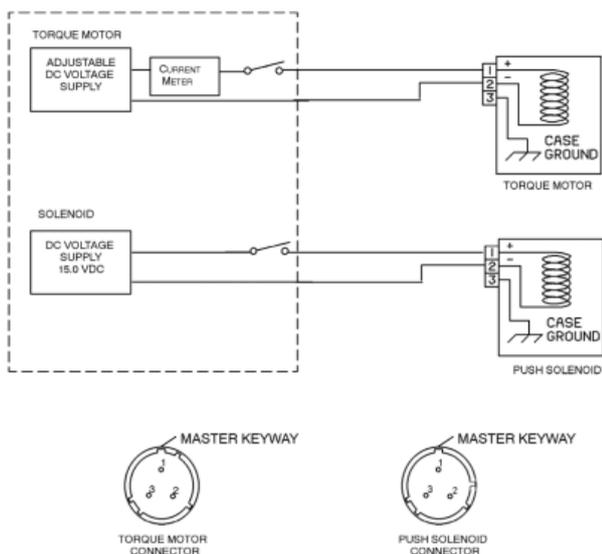


图3

接连杆将阀门推到关闭位置，关闭蝶板。

⑤当电流施加到力矩马达上时，力矩马达作动打开，让空气流向作动机构的大面积侧。

⑥当作动器大面积侧（打开）侧的气压足够高时，阀门开始打开。一旦阀门开始打开，它就会在座舱温度控制器（CTC）提供的力矩马达电流下继续打开。连接连杆将阀门推到开启位置，开启蝶板。

⑦该阀还有一个关断装置，当推动电磁阀通电时，该装置就会运行。当推动电磁阀通电时，作动机构的空气压力被移除。这种情况使空气压力从活塞的隔膜一侧排出。施加在活塞小面积侧（关闭）侧的空气压力使活塞到达关闭位置。连接连杆将阀门推到关闭位置，关闭蝶板。

⑧如果阀门在飞机上不工作，有一个小的扳手和锁定装置将阀门锁定关闭。执行以下步骤锁定阀门：

- 从作动机构上拆卸锁定螺钉。

- 将手动扳手旋至关闭位置。扭矩不超过20英尺磅（27牛顿米）来关闭阀门。

- 将锁定螺钉插入锁紧曲柄的孔中。

二、阀门常见故障及排故思路

1. 阀门不打开

力矩马达和空气滤芯的故障是导致阀门不打开的常见原因，空气中的腐蚀性气体和灰尘在长时间的工作下很容易对力矩马达的气路造成堵塞、阀门板损伤等故障，同时空气滤芯也会发生堵塞的情况，因此在装配和测试之前，需要对这两个零件进行检查。

滤芯的检查是通过选用合适的扳手将其拆卸后进行清洁和气动检查的测试，确保其性能符合技术的要求。

力矩马达共有三个气孔，分别为进气口，排气口以及控制气口，进气口和控制气口位于底部，排气口位于侧面。通过调整力矩马达的电信号来准确定位伺服阀门，当力矩马达的信号改变时，伺服阀门的位置也跟着改变并允许气流流过力矩马达伺服阀门。当空气通过供气口进入力矩马达伺服阀门后，要么从排气口排出到大气中，要么通过控制口排出用于控制其他部件。力矩马达伺服阀的位置可以按比例移动，也就是说它可以在任何位置停止，允许空气通过排气口和控制口，这使力矩马达伺服阀门具有调节的能力，可以非常精准的控制他们下游组件的位置、速度、和加速度。伺服阀的调制与发送给力矩马达的电信号成正比。

力矩马达的性能测试则是向力矩马达伺服阀门提供 $10 \pm 0.1 \text{psig}$ & $20 \pm 0.2 \text{psig}$ 的压力气源，并同时给力矩马达提供直流电源，测量不同电流的情况下，对应控制口的出口压力值，确保符合阀门技术要求的范围。

2. 活门板不关闭

推动电磁阀柱塞未连接或者电磁阀功能失效会导致阀门无法在既定的信号下完成关闭动作，因此电磁阀的顶针行程也有一定的测量要求。同时在推动电磁阀的测量检查和装配的过程中需反复确认操作的正确性。

除以上情况外电磁阀顶针磨损、钢球磨损、弹簧性能下降；作动活塞连接杆失效无法将机械信号传递至蝶门板；蝶形阀门板由于密封环，老化损坏导致的卡滞的情况也同样会导致阀门无法正常关闭。

三、功能测试总结

阀门的功能测试构型共分为三种：分别为定压不定流、定流不定压、定流定压，通过这三种构型并结合工作的时间，阀门开关的状态来综合判断阀门、力矩马达

以及电磁阀的工作性能是否满足技术的要求。

(1) 压力给定后, 检查在不同的电流值范围下力矩马达的工作性能是否满足技术给定的标准。

Step1 进气口给到指定气压 (0.379MPa)

气路1通过节流孔(稳定气路气压, 减小载荷高峰)首先作用在气腔的左侧, 使气腔的作动面保持在右侧, 联动的蝶形阀门板保持在关位。

气路2进入力矩马达的进气口, 力矩马达在不通电的情况下, 移动门板由弹簧自动保持在关位, 气压从0增加到55psi (0.379Mpa), 气压会克服部分弹簧的弹力, 进入力矩马达的内部气路, 大部分的气流通过力矩马达与大气之间的通气口排出, 测试过程中可以在力矩马达的排气口感受到气流, 同时还有少部分的气流会沿着气路2继续在内部流动, 通过电磁阀的部分, 由于电磁阀不通电, 钢珠由弹簧保持在右侧为, 气路打开, 气流会在 LOCK PLUG 的位置产生少量的压力, 压力大小不会超过3psi (0.021Mpa), 由于气压小到几乎可以忽略不计, 因此无法产生足够驱动气腔向左移动的, 蝶形阀门不会转动, 依旧保持在开位。

Step2 向力矩马达提供电流 (76 ± 36mA) (145 ± 5mA)

(76 ± 36mA) 当电流从0增加到 (76 ± 36mA) 的范围时, 力矩马达开始工作, 力矩马达内部阀门板克服弹簧力成一定幅度打开, 同时, 力矩马达内部与大气之间的通气口成一定幅度的关闭, 测试过程中可以在力矩马达的排气口感受到气流变化, 大部分的气流在气路2中继续向电磁铁方向流动, 通过电磁阀的部分, 由于电磁阀不通电, 钢珠由弹簧保持在右侧为, 气路打开, 气流不受影响, 继续流动到作动气腔的右侧, 由于右侧的受力面积大于左侧, 气腔作动板会因为压差克服弹簧的力, 从而向左移动, 在移动的过程中, 联杆带动蝶形阀门打开。

流动到 LOCK PLUG 的位置产生一定的压力, 该压力值不应超过36psi (0.248Mpa), (145 ± 5mA) 电流增加到 (145 ± 5mA) 的范围时, 力矩马达在之前的开位的基础之上, 继续工作, 内部阀门板打开到最大, 力矩马达内部与大气之间的通气口完全关闭, 测试过程中可以在力矩马达的排气口感受到气流变化, 全部气流在气路2中继续向电磁铁方向流动, 通过电磁阀的部分, 由于电磁阀不通电, 钢珠由弹簧保持在右侧为, 气路打开, 气流不受影响, 继续流动到作动气腔的右侧, 由于右侧的受力面积大于左侧, 气腔作动板会因为压差克服

弹簧的力, 从而向左移动, 在移动的过程中, 联杆带动蝶形阀门打开。

同时 LOCK PLUG 的位置产生一定的压力, 理论上该处的压力与进气口压力相等, 因此该压力值不应低于49psi (0.338Mpa)。

(2) 电流给定后, 检查在不同进气气压范围下力矩马达的工作性能是否满足技术给定的标准。

Step1 向力矩马达提供电流 (145 ± 5mA)

当电流从0增加到 (145 ± 5mA) 的范围, 力矩马达内部阀门板全部打开, 封闭与大气之间的排气口, 此时将进气口压力逐渐增加, 但不超过10psi, 气密性良好的力矩马达, 不会将该气压泄漏至大气排气口, 而是会让气流沿着气路2继续向电磁铁方向流动, 通过电磁阀的部分, 由于电磁阀不通电, 钢珠由弹簧保持在右侧为, 气路打开, 气流不受影响, 继续流动到作动气腔的右侧, 由于右侧的受力面积大于左侧, 气腔作动板会因为压差克服弹簧的力, 从而向左移动, 在移动的过程中, 联杆带动蝶形阀门打开。

Step2 进气口压力增加至55psi (0.379Mpa)

此时整个气路2仍然是通路, 状态为力矩马达内部阀门板全部打开, 封闭与大气之间的排气口, 气流沿着气路2继续向电磁铁方向流动, 通过电磁阀的部分, 由于电磁阀不通电, 钢珠由弹簧保持在右侧为, 气路打开, 气流不受影响, 继续流动到作动气腔的右侧, 由于右侧的受力面积大于左侧, 气腔作动板会保持在全开位置, 联杆带动的蝶形阀门也会保持在全开位置。

Step3 力矩马达断电

力矩马达内部阀门板全部关闭, 封闭了气路2, 作动气腔的右侧气压没有气流, 压力将为0, 弹簧将气腔作动板推回到最右侧, 联杆带动的蝶形阀门也会保持在全关位置。以上的作动时间根据技术标准不能超过2S。

Step4 力矩马达通电 (145 ± 5mA)

状态为力矩马达内部阀门板全部打开, 封闭与大气之间的排气口, 气流沿着气路2继续向电磁铁方向流动, 通过电磁阀的部分, 由于电磁阀不通电, 钢珠由弹簧保持在右侧为, 气路打开, 气流不受影响, 继续流动到作动气腔的右侧, 由于右侧的受力面积大于左侧, 气腔作动板会保持在全开位置, 联杆带动的蝶形阀门也会保持在全开位置。

以上的作动时间根据技术标准不能超过2S。

(3) 气压给定, 电流给定, 电压给定后, 检查电磁

阀通断电的情况下，对应阀门的状态以及响应的时间是否满足技术给定的标准。

Step1 进气口压力增加到 152psi (1.048Mpa)

Step2 力矩马达通电流 (145 ± 5mA)

力矩马达内部阀门板打开到最大，力矩马达内部与大气之间的通气口完全关闭，测试过程中可以在力矩马达的排气口感受到气流变化，全部气流在气路2中继续向电磁铁方向流动，通过电磁阀的部分，由于电磁阀不通电，钢珠由弹簧保持在右侧为，气路打开，气流不受影响，继续流动到作动气腔的右侧，由于右侧的受力面积大于左侧，气腔作动板会因为压差克服弹簧的力，从而向左移动，在移动的过程中，联杆带动蝶形阀门打开。

Step3 电磁铁通电压 15VDC

气路2中，电磁铁的顶针通电，克服弹簧力将钢珠推向左侧，关闭了气路2，下游的作动气腔的右侧气压没有气流，压力将为0，弹簧将气腔作动板推回到最右侧，联杆带动的蝶形阀门也会保持在全关位置。

以上的作动时间根据技术标准不能超过0.5S。

Step4 电磁铁断电

全部气流在气路2中继续流动到作动气腔的右侧，

由于右侧的受力面积大于左侧，气腔作动板会因为压差克服弹簧的力，从而向左移动，在移动的过程中，联杆带动蝶形阀门打开。

以上的作动时间根据技术标准不能超过2S。

结论

本文通过研究民用航空器配平空气压力调节关断阀的结构特性、工作原理，常见故障，和关键的测试要点，总结了该类产品的基本修理方向和思路，为之后相同和类似的气动阀门产品的维修奠定了扎实的基础，也使后续同类型产品的维修质量的安全性和稳定性得到了进一步加强。

参考文献

- [1]任仁良. 维修基本技能 (ME, AV) [M]. 北京. 清华大学出版社, 2010
- [2]ATA Specification 2200. Information Standards for Aviation Maintenance[s].ATA/A4A,2012
- [3]Crane, Dale. Aviation Mechanic Handbook, American, 2017