关于论文《航空发动机磨损故障多目标融合诊断》的

修改说明

尊敬的《航空动力学报》编辑：

作者针对专家评审意见，对论文进行了详细的修改，现将修改内容说明如下：

1、第一审稿人一审（送审稿人）意见：

论文的实质是基于油液品质，分析航空发动机磨损故障，通过对多数据的处理，评估磨损在神经网络中的定性、定位和组成磨损的原因；论文通过油液的光谱、颗粒计数和铁谱等数据分析，采用神经网络方法，基于深度学习的滚动轴承故障部位识别模型，以能谱分析原始数据作为模型输入，达到了航空发动机磨损部位的识别。但就学术论文而言，在内容的研究背景、研究成果有效性及其应用参考方面，存在不足，需要进一步完善后重新评阅。  
论文的不足及其建议修改的参考意见：

问题1：论文研究主题“航空发动机磨损故障多目标融合诊断”，是处于怎样的应用需求？是发动机检修时的测试吗？论文没有给出如何获得数据源，即如何得到经过发动机润滑等等处理后的“液体”？这些液体是混合的，还是按照不同管路不同的？（这可能对专门从事航空发动机开发的，是常识，但就论文而言，需要有说明）；

答复：

1. 发动机润滑油监测（含有油品质量、固体颗粒）内容是作为发动机维护大修手册的重要内容之一（目前 CFM、GE、RR、PW 发动机大修手册中均有该部分内容），用于指导客户对滑油系统进行健康管理，中国航发商用航空发动机有限责任公司正处于发动机试验研制的关键阶段，对滑油摩擦磨损颗粒的准确测定尤为重要，因此，本研究是针对自主研发发动机滑油系统磨损故障诊断技术展开，因此具有重要的研究意义和应用需求。
2. 航空发动机磨损故障多目标融合诊断技术可以用于发动机日常定检，以及出现故障后的故障定位、定性和定因诊断；
3. 为了检测出润滑油中航空发动机主轴承和附件机匣中的齿轮和轴承部件的磨损颗粒，需要在各个轴承腔、发附机匣和飞附机匣的回油路上采集油样进行分析。论文针对轴承试验器的取油方式进行了相关描述和补充，具体修改部分可见新增加的5.1节试验数据获取。

问题2：论文的逻辑思路理论上是可行的，但就实际情况而言，存在一些值得商榷的问题：第一，不同类型发动机，会有不同类型的“油液”，就可能对应不同类型的磨损特征，论文仅仅是一种方法的概念性描述，其实，谈不上有实质性值得参考的贡献；第二，严格地说，发动机的磨损，尤其是航空发动机的磨损，有多个零部件，例如叶片与轮缘、轴承、气道等等，论文的广义“磨损”并未针对发动机的特点；第三，任何发动机在运行后都会有磨损，论文仅仅是在神经网络的结构上评估了磨损程度，与评估发动机磨损后对品质的影响并未直接关联，并未给出对发动机零部件磨损特征的有效评估；

答复：

1. 对于不同类型的发动机，论文研究的磨损故障多目标融合诊断技术均实用，正好表明本文方法具有推广性，至于不同的发动机，其材质和故障模式有差别，诊断规则和知识会不一样，这些均需要通过机器学习来实现，同时也表明专家系统的建立是需要不断积累才能丰富完善。
2. 本文研究的磨损故障是针对过油部件，比如发动机的主轴承和附件传动中的齿轮和轴承等等，而不是气路中的叶片和机匣的摩擦磨损等；
3. 论文研究的是磨损故障的定位、定性和定因诊断，其中定性诊断的目的就是评估零部件的磨损程度，因此，本文研究工作实质上对发动机零部件磨损特征进行了有效评估。
4. 具体修改部分可见论文5.1节中第二段内容、5.2节故障诊断实例第四段内容以及结论部分。

问题3：论文事实上仅仅是理由了发动机“油液”，应用神经网络方法建立了算法流程，但整体上结合“航空发动机磨损”的应用背景和成果有效性缺失，针对性偏弱，如果不是“航空发动机”的油液，换上其他例如“汽轮机油液”，似乎也看不出区别，这样，论文的价值就失去了。所以，建议进一步完善后重新评阅。  
答复：

（1）论文的研究工作结合了中国航发商用航空发动机有限责任公司自主研发航空发动机磨损故障诊断专家系统的实际需求，针对性很强，其油液分析方法均是目前商发公司具有且日常使用的检测手段。当然，其他类型的发动机也具有相同的诊断问题需要解决，论文的研究方法也同样适用，这正好表明了本文方法的推广性和应用价值。

（2）增加了对航空发动机磨损背景的说明，具体可见引言部分第一段以及5.1节中的第二段对航空发动机磨损类故障的说明。

1. 第二审稿人一审（送审稿人）意见：

稿件针对多种油液分析数据的特点，建立了一种航空发动机磨损故障融合诊断方法。该方法包括磨损故障定性分析、定位分析和定因分析。定性分析基于D-S证据理论，以光谱、铁谱和颗粒计数原始分析数据为输入；定位分析基于深度学习，以能谱分析原始数据作为模型输入；最后，建立了基于if-then的知识规则，找出发动机磨损故障原因。实际油液监测数据分析结果验证了该方法的有效性。稿件分析深入，层次清楚，图表规范，研究工作对航空发动机磨损故障诊断有较大应用价值。

答复：无。

最后衷心感谢各位专家和编辑部对论文提出的宝贵意见！

作者：马佳丽

2022年6月6日