

文章编号: 1000-8055(2003)04-0534-04

某型航空发动机高原使用 起动供油量调整研究

乔洪信^{1,2}, 夏爱国², 杨立²

(1 西北工业大学 航空动力与热力工程系, 陕西 西安 710072;

2 北京航空工程技术研究中心, 北京 100076)

摘要: 为保证某型发动机在高原地区能安全可靠地起动, 在该型发动机进驻高原机场使用前, 通过地面台架试车得到地面起动供油量调整变化规律, 并应用人工神经网络, 采用 trainbr 训练算法估算高原起动供油量调整规律, 研究确定了该型发动机在高原使用条件下, 起动供油量调整旋钮、起动放气嘴直径、起动补油量调整螺钉的匹配调整方法。经高原使用实践证明, 该调整方法可保证一次调整成功, 使该型发动机高原起动快速、安全、可靠, 为飞机的快速出动创造了有利条件。

关键词: 航空、航天推进系统; 起动供油量; 调整; 神经网络; 航空发动机

中图分类号: V 233.7

文献标识码: A

Study of Adjusting Aeroengine Starting Fuel Supply in the Plateau Area

QIAO Hong-xin^{1,2}, XIA Aiguo², YANG Li²

(1 Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2 Beijing Aeronautical Engineering Technical Research Center, Beijing 100076, China)

Abstract: It is very difficult to estimate adjusting discipline of aeroengine starting fuel supply in plateau area. A new method is presented to resolve it in the paper. This method applies TRA NBR training arithmetic of artificial neural net to estimation for adjusting discipline of aeroengine starting fuel supply in plateau area, based on adjusting discipline of starting fuel supply obtained by testing in ground test bed. Through further research, matching and practical adjusting methods for fuel supplement valve adjusting screw, starting automatic adjusting screw and airbleed orifice are suggested. As the experiments have showed, the benefit acquired by this adjusting method is prominent. It makes certain that aeroengine can be not only started safely and reliably but also adjusted rapidly in plateau area.

Key words: aerospace propulsion system; starting fuel supply; adjustment; neural networks; aeroengine

高原地区使用航空发动机, 主要问题之一就是发动机能否顺利起动成功。对于用起动发电机

进行起动的航空发动机来说, 地面起动高度虽然不象用燃气涡轮起动机起动那样受到严格地限

收稿日期: 2003-01-10; 修订日期: 2003-04-28

作者简介: 乔洪信(1956-), 男, 安徽怀远人, 北京航空工程技术研究中心高级工程师, 西北工业大学博士生, 主要从事航空发动机控制研究

制,但起动供油量若调整不当,仍然会造成在高原地区起动不起来,或起动温度过高的现象,为了使航空发动机在高原地区能安全可靠地起动,在进行某型航空发动机高原起动试验前,我们通过地面试车和计算,总结了一套起动供油量调整方法。实践证明,该调整方法可保证一次调整成功,使该型发动机高原起动快速、安全、可靠,为飞机的快速出动创造了有利条件。

1 摸索平原地区地面台架试车起动供油量调整规律

根据发动机起动供油量调整原理可知,可以调整起动供油量的部位主要是:起动供油量调整旋钮,起动放气嘴孔径,起动补油量调整螺钉^[1,2]。摸索起动供油量调整规律,就是要摸清在不同调整量的情况下,这 3 个部位怎样影响起动供油量。由于在起动过程中,起动供油量是始终在变化的,为了便于比较,我们选择了起动供油曲线上出现第一个拐点处的副油道压力 p_{f1} (见图 1) 及相应于 p_{f1} 时的起动供油量 G_{f1} 作为测量参数。试验表明 p_{f1} 和 G_{f1} 的大小,对于起动温度和起动时间有着较大的影响,对于估算高原起动供油量的调整量也有一定的帮助。

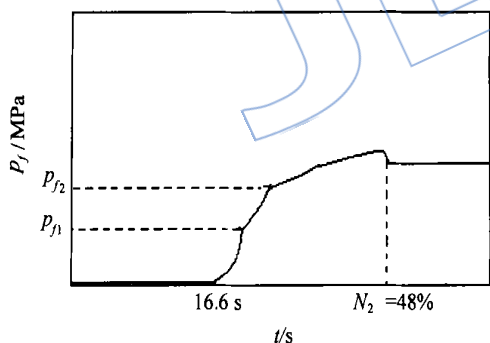


图 1 发动机起动过程 p_f 变化典型曲线

Fig 1 p_f Typical trendline in the process of starting

通过试验和理论分析可以看出,顺拧起动调整旋钮, p_{f1} 和 G_{f1} 均增大,起动时间缩短,起动温度向升高方向发展。反拧起动补油量调整螺钉和顺拧起动调整旋钮对参数的影响趋势相同,但影响程度有差别。换小放气嘴, p_{f1} 和 G_{f1} 均增加,起动时间缩短,起动温度变化不大。

2 应用人工神经网络估算起动供油量调整效果

各调整点对起动供油量的影响可以通过试车

方法得到,但要得到所有调整量的影响则比较困难,而且非常耗油费时。为了全面估计和掌握相关调整部位的调整效果,我们应用了人工神经网络方法,利用台架试车数据,计算非试验点调整量与起动供油量关系。由于人工神经网络具有很强的非线性拟合能力,采用此种方法是一种快速、有效、经济的办法。

2.1 设计人工神经网络

2.1.1 样本选择

根据仿真计算任务选择起动调整旋钮,起动补油量调整螺钉和起动放气嘴等部位的调整量作为输入层的输入参数,选择第一拐点处的油压 p_{f1} 和供油量 G_{f1} 作为输出层的输出参数。地面台架试车所获得的以上 3 个调整部位调整量值以及与其相对应 p_{f1} 值和 G_{f1} 值作为人工神经网络样本。

2.1.2 网络结构设计^[3~5]

由于此处的仿真计算任务就是要找出非试验点的输入、输出间的映射关系,实际上是一种非线性拟合。因此,确定采用二层 BP 神经网络结构。输入的单元数与可供调整的调整点数相一致,即取为 3; 输出层的单元数与输出的物理量数相一致,即取为 2; 输出层的计算函数取为线性函数。隐含层的单元数根据经验和试算取为 7, 并取正切 S 形函数为隐含层的计算函数。网络结构如图 2 所示。

2.1.3 选择网络训练算法^[6,7]

常规 BP 训练算法或快速 BP 训练算法虽然可能保证对训练样本的较高的匹配效果,但对于未经过训练的输入矢量却可能出现与目标矢量较大误差的输出。为了提高非试验点的输出量仿真计算准确度,现采用贝叶斯正则化方法对网络性能函数进行改进,在 MATLAB 工具箱中,设置了 trainbr 函数来实现贝叶斯正则化方法。因此,本文采用 trainbr 网络训练算法。

2.2 训练结果分析

由训练仿真数据与试验数据对比分析可知,除个别样本数据吻合度较差之外,大部分点的误差均较小(相对误差远远小于 5%)。考虑到试验中,个别数据点出现跳跃性变化,可能与测量误差或其它因素有关,可以认为人工神经网络仿真精度较高,网络对学习数据有较好的掌握能力。根据对测试数据的仿真结果分析,网络也具有较好的预估能力,可用于仿真计算。因此,我们用上述训

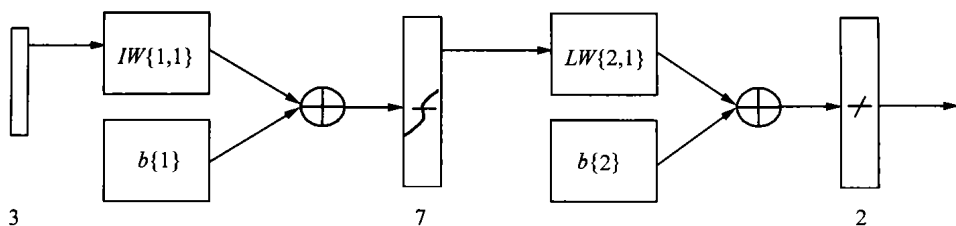


图 2 人工神经网络结构示意图

Fig 2 Artificial neural net structure diagram

练好的人工神经网络估算三个起动相关调整部位与起动时第一拐点处的油压 p_{f1} 及供油量 G_{f1} 间的关系。

2.3 仿真计算

根据高原地区可能遇到的调整情况, 3 个起动相关调整部位的调整范围分别取为: 起动调整螺钉反拧 1 圈 210° ~ 反拧 3 圈 210° (从顺拧到底再反拧算起), 补油螺钉伸出量 7 ~ 11.5 mm。起动放气嘴直径取为 1.3 mm。经仿真计算, 可以得出 3 个调整部位在不同的调整组合情况下, 起动压力和起动供油量在第一拐点处的数值。

3 高原地区发动机起动供油量调整方案设计

3.1 高原地区起动需油量分析

与平原地区相比, 高原地区大气压力低, 比如海拔高度为 2800 m 时, 大气压力为 0.0713 MPa; 当海拔高度为 3500 m 时, 大气压力仅为 0.0653 MPa, 因此, 在高原地区, 发动机起动时, 需油量较少。其值可由相似公式计算^[8,9], 即:

$$G_{\text{燃料试}} = G_{\text{燃料标}} \cdot \frac{p_{0\text{试}}}{p_{0\text{标}}} \cdot \sqrt{\frac{T_{0\text{标}}}{T_{0\text{试}}}}$$

$$p_{\text{燃料试}} = p_{\text{燃料标}} \cdot \frac{p_{0\text{试}}}{p_{0\text{标}}} \cdot \frac{T_{0\text{标}}}{T_{0\text{试}}}$$

式中: $p_{0\text{标}}$ 和 $T_{0\text{标}}$ 分别为海平面标准大气压力和大气温度。

$p_{0\text{试}}$ 和 $T_{0\text{试}}$ 分别为发动机试车时的大气压力和大气温度。

$G_{\text{燃料标}}$ 和 $p_{\text{燃料标}}$ 分别为换算到海平面标准大气条件下发动机供油量和副油道的燃油压力。

$G_{\text{燃料试}}$ 和 $p_{\text{燃料试}}$ 分别为发动机试车时的实际供油量和副油道的燃油压力。

发动机在 2800 m 高原地区试验时, 大气温

度为 27°C, 大气压力为 0.0713 MPa, 按以上相似公式计算可得:

$$G_{\text{燃料试}} = 0.72 \cdot G_{\text{燃料标}}$$

$$p_{\text{燃料试}} = 0.516 \cdot p_{\text{燃料标}}$$

3.2 发动机起动供油量分析

由试验可知在地面试车台架上, 发动机起动时, 在第一拐点的供油量变化从 0.0595 kg/s 至 0.1067 kg/s, 压力变化从 0.6958 MPa 至 1.1795 MPa, 发动机均能顺利起动起来。起动温度和起动时间均在规定范围内, 这说明, 发动机起动适应性能较好。在保证不超温、不喘振、不熄火的前提下, 发动机起动供油量越多, 起动时间越短, 起动性能也越好。此外, 根据试验, 供油曲线产生第一拐点处的时机基本上和发动机点火时机相同。第一拐点处的油压 p_{f1} 高些, 对起动点火可能更有利。因此, 为了保证高原地区发动机能顺利点火和起动, 我们选择地面试验时, 能保证发动机顺利起动的第一拐点处的最高供油量来作为计算高原地区发动机起动供油量的依据。利用供油量和供油压力相似公式, 可以计算得:

$$G_{\text{燃料试}} = 0.72 \cdot 0.1067 = 0.0768 \text{ kg/s}$$

$$p_{\text{燃料试}} = 0.516 \cdot 1.1795 = 0.6086 \text{ MPa}$$

其中, 供油量是影响起动的主要因素, 供油压力不要过低即可。因此, 高原起动, 以保证起动供油量为主。

3.3 高原地区起动供油量调整方案

如前所述, 3 个调整部位均可影响发动机起动供油量, 但不同调整部位对起动的不同阶段的起动供油量的影响是不一样的。起动调整旋钮主要影响小转速时的起动供油量, 放气嘴主要影响大转速时的起动供油量, 补油调整螺钉则影响起动全过程的供油量。出现第一拐点的时机是在小转速, 因此, 调整第一拐点处的起动供油量和起动

压力以调整起动调整旋钮和补油调整螺钉为主。由于起动调整旋钮和补油调整螺钉的调整弹簧力与大气压力无关, 因此, 在地面调整这两个调整部位对第一拐点处起动供油量的影响和在高原地区时的调整影响基本相同。这样, 就可参照地面试验的调整数据和仿真计算数据确定高原地区的调整量。

为了满足海拔高度 2800 m 时起动供油量的要求, 通过仿真计算可知, 当保持放气嘴孔径不变时, 起动调整旋钮和补油调整螺钉的调整量有几种不同的组合, 我们选择的一种组合是起动调整旋钮反拧至 3 圈 210° ; 补油调整螺钉顺调至 8.5 mm。这样可以保证起动供油量的要求。

事实上, 放气嘴孔径不变, 由于大气压力降低, 虽然使起动过程大转速时的供油量降低得多些, 同时也会使小转速时的实际起动供油量有所降低。考虑到不同发动机调整时的影响差异, 为谨慎和统一起见, 最终确定的调整方案是: (1) 起动调整旋钮从现有位置上反拧 1 圈。(2) 起动补油调整螺钉顺调至 8.5 mm 左右。经高原试验证明, 以上调整方案是正确的。若海拔高度继续增高, 则要更多考虑大气压力的降低对大转速起动供油量的影响。此时, 虽然起动需油量是随着大气压力的降低而减少的, 但在放气嘴孔径不变的情况下, 起动回油活门开度将增大, 造成起动供油量下降的更多, 此时应适当换小放气嘴或适当反调补油螺钉。

4 结 论

本文对某型航空发动机高原起动供油量调整

进行了研究, 经地面试车和应用人工神经网络仿真计算, 给出了调整方法。经高原起动试验证明, 该调整方法科学合理, 可保证高原起动一次调整成功。由于此次研究是以海拔高度 2800 m 为例进行研究的, 若海拔高度再增高, 除按此方法确定调整量外, 还应考虑起动大转速时, 因气压进一步降低引起的起动供油量下降的影响, 适当换小孔径的放气嘴或适当反拧起动补油调整螺钉。

参考文献

- [1] 于树藩 航空发动机自动调节[M]. 西安: 空军工程学院, 1984
- [2] 陈汉雄, 江和甫, 廖海防, 等. 某型发动机技术说明书[Z]. 贵阳: 黎阳公司, 1987.
- [3] 袁曾任 人工神经网络及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999
- [4] Hecht-Nielsen R. Counterpropagation Networks[J]. Applied Optics, 1987, 26: 4979- 4984
- [5] Kung S Y, Hu Yu Hen A. Frobenius Approximation Reduction (FARM) for Determining Optimal Number of Hidden Units[J]. IEEE, 1991, II: 163- 168
- [6] 许东, 吴铮. 基于 MATLAB 6.x 的系统分析与设计[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002
- [7] 闻新, 周露, 王丹力, 等. MATLAB 神经网络应用设计[M]. 北京: 科学出版社, 2000
- [8] 刘万学, 景寿清. 航空燃气涡轮发动机原理[M]. 西安: 空军工程学院, 1981.
- [9] 彭泽琰, 刘刚. 航空燃气轮机原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000