

V26-53
02

试车环境对发动机性能的影响及修正方法

刘大响 主编

航空工业出版社

V26-53
02

本书主要编写人员

主编：刘大响

主审：陈大光 尚义

编委：杜鹤龄 王智忠 姚学敏

顾华芳，张珠阁 庄廷科

编者的话

推力、燃油消耗量、空气流量等是航空发动机的重要性能参数。在海平面试车台和高空试车台试车中,均要求准确地测定这些参数,以评价发动机的使用性能。但是,由于受到外界环境和设备条件等许多因素的影响,试验中往往很难准确地直接测得这些数据;故必须对试车中所测得的数据加以适当的修正。五十年代以来,美、苏、英、法等国在航空发动机试车中,相继开展了试车性能修正工作,如试车间动量修正、大气湿度修正、大气温度修正、进气道冷凝修正、进气损失修正、燃油低热值修正、几何尺寸因素修正、高空台试验数据漂移(即所谓“舱效应”)修正等等,并大都以曲线或数据表格的形式加以规定,但公开发表的资料不多,只在一些教科书修改版中有一些零星论述。

本书是编写我国军用标准《航空涡喷、涡扇发动机试车性能修正规范》的论文集,包括六篇已被批准发布的国家军用规范及其编写说明和九篇论文,主要论述发动机试车性能修正的重要性、修正的内容及修正的方法,供从事航空发动机设计、研究、试车、试飞部门,使用部队及民航部门,修理部门的有关科技人员参考,也希望能对航空院校有关专业的师生有所裨益。据我们了解,目前国外还没有一本专门论述这方面问题的书籍出版。

在本书编辑出版过程中,得到了厉鼎铭、肖为国、段兰芳等同志的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平与能力有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

1988年10月

目 录

- 一、 GJB722 涡喷、涡扇发动机试车性能修正规范, 编写说明 (1)
- 二、 GJB359-87 涡喷、涡扇发动机性能的湿度修正规范, 编写说明 (11)
- 三、 GJB378-87 涡喷、涡扇发动机性能的温度修正规范, 编写说明 (33)
- 四、 GJB721 涡喷、涡扇发动机试车台校准规范, 编写说明 (47)
- 五、 GJB723 涡喷、涡扇发动机性能的燃油热值修正规范, 编写说明 (67)
- 六、 HB6213-89 涡喷、涡扇发动机高空模拟试验性能修正规范, 编写说明 (85)
- 七、 大气湿度对发动机性能的影响及其修正方法
..... (102)
- 八、 大气温度和大气湿度对“斯贝”MK202发动机试车性能的影响 (127)
- 九、 工质为湿空气的涡喷发动机热力循环计算分析
..... (150)
- 十、 涡喷发动机性能湿度修正系数的循环计算法
..... (170)
- 十一、 高空模拟试验中发动机的性能漂移及其修正

方法	(183)
十二、发动机性能换算所用的相似参数及其修正	
问题	(197)
十三、航空燃气涡轮发动机试车参数的比热修正	
.....	(220)
十四、涡喷发动机性能换算的误差及修正系数的验证	
.....	(240)
十五、室内试车台性能修正的试验研究.....	(253)

—
中华人民共和国国家军用标准
GJB722

**涡喷、涡扇发动机试车
性能修正规范**

Engines, Turbojet and Turbo-
fan, Performance Correction
of Test, Specification for

1989-08-24 发布 1989-12-13 实施

国防科学技术工业委员会 批准

涡喷、涡扇发动机试车 性能修正规范

在地面台架试车中,发动机性能参数受到当时、当地的大气条件及设备、环境等因素的影响,实测的性能数据不能反映发动机在规定条件下的真实性能。为此,必须将实测的发动机性能数据,换算为标准大气海平面静止条件下基准燃油低热值时的性能数据,并对各影响因素进行修正,以便与验收标准进行比较。

1. 主题内容与适用范围

本规范规定了地面台架试车中发动机性能的修正方法。

本规范适用于涡喷、涡扇发动机地面台架试车性能数据修正。

2. 引用标准

GJB241	航空涡轮喷气和涡轮风扇发动机通用规范
GB1920	标准大气(30km以下部分)
GJB721	涡喷、涡扇发动机试车台校准规范
GJB378	涡喷、涡扇发动机性能的温度修正规范
GJB359	涡喷、涡扇发动机性能的湿度修正规范
GJB723	涡喷、涡扇发动机性能的燃油热值修正规范

3. 符号及单位

F	发动机推力	N或 daN
-----	-------	--------

δ	发动机进口绝对总压/海平面标准大气压力	
θ	发动机进口绝对总温/海平面标准大气总温	
CF	试车台修正系数, 见GJB721	
CT	大气温度修正系数, 见 GJB378	
CH	大气湿度修正系数, 见 GJB359	
CC	进气冷凝修正系数, 暂取 $CC=1.0$	
CQ	燃油热值修正系数, 见GJB723	
q_{m_f}	燃油质量流量	kg/h
C_R	单位燃油消耗量(或耗油率)	kg/daN·h
q_{m_a}	发动机空气质量流量	kg/s
n	发动机转子转速	r/min, %
T^*	涡轮进口或出口燃气总温	K

注脚符号

hs	换算
cl	测量
f	推力
q_{m_f}	燃油质量流量
q_{m_a}	空气质量流量
n	转速
t	温度

4. 修正方法

本规范规定的发动机性能修正方法, 是在传统的压力、温度换算的基础上, 再进行大气条件和环境等各影响因素的修正。修正方法如下:

4.1 发动机推力

$$F_{hs} = F_{cl} \times \frac{1}{\delta} \times CF \times CT_f \times CH_f \times CC_f$$

4.2 发动机燃油质量流量

$$q_{mry.hs} = q_{mry.cl} \times \frac{1}{\delta} \times \frac{1}{\theta^{0.5}} \times CT_{qmr} \\ \times CH_{qmr} \times CC_{qmr} \times CQ$$

4.3 发动机单位燃油消耗量

$$C_{Rhs} = q_{mry.hs} / F_{hs}$$

4.4 发动机转子转速

$$n_{hs} = n_{cl} \times \frac{1}{\theta^{0.5}} \times CT_n \times CH_n \times CC_n$$

4.5 发动机空气质量流量

$$q_{mk.hs} = q_{mk.cl} \times \frac{1}{\delta} \times \theta^{0.5} \times CH_{qm} \times CC_{qm}$$

4.6 涡轮进口或出口温度

$$T_{hs}^* = T_{cl}^* \times \frac{1}{\theta} \times CT_t \times CH_t \times CC_t$$

附加说明

本规范由航空航天工业部三〇一研究所提出。

本规范由航空航天工业部六二四研究所负责起草。

本规范起草人：刘大响、庄廷科。

《涡喷、涡扇发动机试车 性能修正规范》 编写说明

航空发动机试车性能修正规范编写组
1988年7月

1. 编写本规范的目的

1.1 本规范概括地说明地面台架试车中发动机性能数据的影响因素及其修正方法。

1.2 本规范是 GJB723, GJB378-87, GJB359-87 和 GJB721 等规范的总规范, 说明如何应用这些规范来修正发动机的各性能参数。

2. 名词及术语说明

2.1 所谓标准大气海平面静止条件是指: 按 GB1920 给定的标准气温和气压值, 相对湿度(或含湿量)等于零, 位势高度等于零, 飞行速度等于零。

2.2 修正系数说明

2.2.1 试车台修正系数 CF

CF 是发动机基准试车的总推力与校准试车的总推力之比。该系数用来修正发动机室内地面台架试车时总推力的动量损失, 见GJB721。

基准试车: 被确定用来作为标准传递的发动机在标准试车台上进行标定性能的试车叫做基准试车。通过基准试车的发动机称为校准发动机。

校准试车: 使用校准发动机在被校准试车台上进行的试车叫做校准试车。

2.2.2 大气温度修正系数 CT

CT 是用来修正大气温度变化对发动机性能影响的修正系数, 见GJB378-87。

2.2.3 大气湿度修正系数 CH

CH 是指干空气条件下发动机某些性能参数的换算值与湿空气条件下相应值之比。用来修正大气湿度变化对发动机性能的影响。见GJB359-87。

2.2.4 燃油热值修正系数 CQ

CQ 是指基准燃油低热值下的换算燃油质量流量与使用非基准燃油低热值的燃油试车时获得的换算燃油质量流量之比。用来修正燃油热值变化对发动机燃油消耗量的影响。见GJB723。

当进气中一部分气体冷凝变为液态时, 释放出冷凝潜热, 使气体的总温升高, 结果降低了发动机性能, 主要是使燃油消耗量增加。例如, JT9D发动机在典型的夏季条件下, 发动机在起飞推力状态下, 由于进气冷凝, 使进气总温增加 $3.9^{\circ}\text{C}(7^{\circ}\text{F})$, 估算的燃油消耗率增加约 $0.3\sim 0.4\%$, 在极湿度条件下可达 0.7% [2]。很显然, 进气冷凝对发动机性能的影响是一个相当重要的因素。所以, 在地面台架试车时,

应考虑进气冷凝对发动机性能影响的修正。

但是，目前还没有一本规范说明如何确定进气冷凝修正系数。故在本规范中，只是提出了进气冷凝修正问题，并暂取进气冷凝修正系数 $CC=1.0$ 。对于具体发动机的进气冷凝修正系数，有待今后试验确定。

3. 修正方法

本规范规定的发动机性能修正方法、与GJB723, GJB378-87、GJB359-87、GJB721四本规范规定的单项修正是一致的。先将实测的发动机性能数据进行传统的压力、温度换算，并以换算后的性能数据为基数，再进行各影响因素的修正，修正后的性能为发动机在标准大气海平面静止条件下基准燃油低热值时的性能数据。其具体修正方法有两种：一种方法是将各修正系数与基数连乘，获得修正的性能数据。另一种方法是将各修正系数分别与基数相乘，然后将各修正量与基数相加，得到修正的性能数据。这两种方法的修正结果差别不大。现以推力为例来说明这两种修正方法的差别。

假设测量推力 $F_{o_i}=4903.3\text{daN}(5000\text{kg})$

试车时 $\delta=0.9340$

试车台修正系数 $CF=1.02$

大气温度修正系数 $CT_f=1.006$ 或 (0.995)

大气湿度修正系数 $CH_f=1.008$

冷凝修正系数 $CC_f=1.0$

用公式 $F_{h_s}=F_{o_i} \times \frac{1}{\delta} \times CF \times CT_f \times CH_f \times CC_f$ 进行

修正，则修正的推力为 $F_{h_s}=5430.0$ (或 5370.68)daN

用公式 $F_{hs} = F_{ci} \times \frac{1}{\delta} [1 + (CF - 1) + (CT_f - 1) + (CH_f - 1) + (CC_f - 1)]$ 进行修正, 则修正的推力为 $F_{hs} = 5428.3$ (或 5370.58) daN

从这个例子可以看出, 当修正系数均大于 1.0 时, 用第一种方法修正的结果比用第二种方法修正的结果大 17N。若温度修正系数小于 1.0 (如为 0.995), 而其它修正系数保持原来数值不变, 则两种方法修正的结果基本上是一致的。

从大气条件对发动机性能影响的修正概念来讲, 在考虑任何一个影响因素的修正时, 都认为其他所有因素是标准的。如对推力进行大气温度修正时, 认为大气湿度是标准的 ($d=0$); 进行大气湿度修正时, 则认为温度是标准的大气温度 ($t=288.15\text{K}$)。从这个意义上讲, 修正系数应该是连乘, 即第一种修正方法。

综上所述, 并参考 CFM56-2 发动机海平面静态性能修正方法, 我们认为发动机性能修正公式, 还是采用修正系数连乘的方法为好。

4. 本规范是在 GJB723, GJB378-87, GJB359-87 和 GJB721 等规范的基础上, 参考 CFM56-2 发动机海平面静态性能修正方法编写而成, 有待于在实践中不断修改完善。

参考文献

- [1] 《CFM56-2 发动机海平面静态性能修正》, (美)CF M 国际公司编, 钱笃元译, 第六二四研究所

- [2] 《JT9D 涡扇发动机喇叭进气道中水蒸汽冷凝的影响》,(AIAA 75-1325),
孙学志译,第六二四研究所
- [3] 《大气条件对燃气涡轮发动机性能换算的影响》,陈大光编译,北京航空航天大学

二

中华人民共和国国家军用标准

GJB359-87

涡喷、涡扇发动机性能的 湿度修正规范

Engines, Turbojet and Turbo-
fan, Humidity Correction of
Performance, Specification for

1987—05—23发布 1988—01—01实施

国防科学技术工业委员会 批准

• 11 •