



M5.3.5 发动机指示系统

修订批准页:

1

版次	修订时间	编写/改版	修订说明	审核/时间	审批/时间
R0	2020.06.14	谈海军	新编课件	谈海军 2020.08.07	张玉 2020.08.11

目的与要求:

目的	通过本次课程的学习，掌握主要参数，辅助参数，典型发动机指示系统维护介绍
要求	<ol style="list-style-type: none">1. 转速指示系统2. 温度指示系统3. EPR 指示系统4. 燃油流量指示系统5. 振动指示系统6. 滑油指示系统7. 典型发动机指示系统常见维护及安全注意事项

课程安排:

序号	内容	等级	课时
1	总体介绍		1H
2	主要参数		1H
4	辅助参数		1H
3	典型发动机指示系统维护介绍		1H

A faint, light-colored silhouette of a commercial airplane is visible in the background, centered horizontally and extending across most of the width of the slide.

5.3.5.1 总体介绍

5.3.5.2 主要参数

5.3.5.3 辅助参数

5.3.5.4 典型发动机指示系统维护介绍



1. 总体介绍

1 总体介绍

a 定义和作用

发动机的参数需要被测量，从而被用于控制计算和状态监视

发动机指示系统

- ◆ 显示发动机工作状态的所有参数
- ◆ 告知驾驶员发动机各系统的工作是否正常
- ◆ 发出报警指示任何可能发生的故障

b 指示分类

◆ 性能指示, 主要指示

监视发动机性能和参数限制

◆ 系统指示, 次要指示

监视发动机各系统的工作, 探测故障

◆ 第3组指示 发动机状态的趋势监控

不在驾驶舱显示, 地面进行, 分析和探测
发动机的问题, ACMS自动记录参数

c 指示参数分类

◆ 主要指示参数：EPR、EGT、N1、N2

◆ 辅助指示参数：

◆ FF

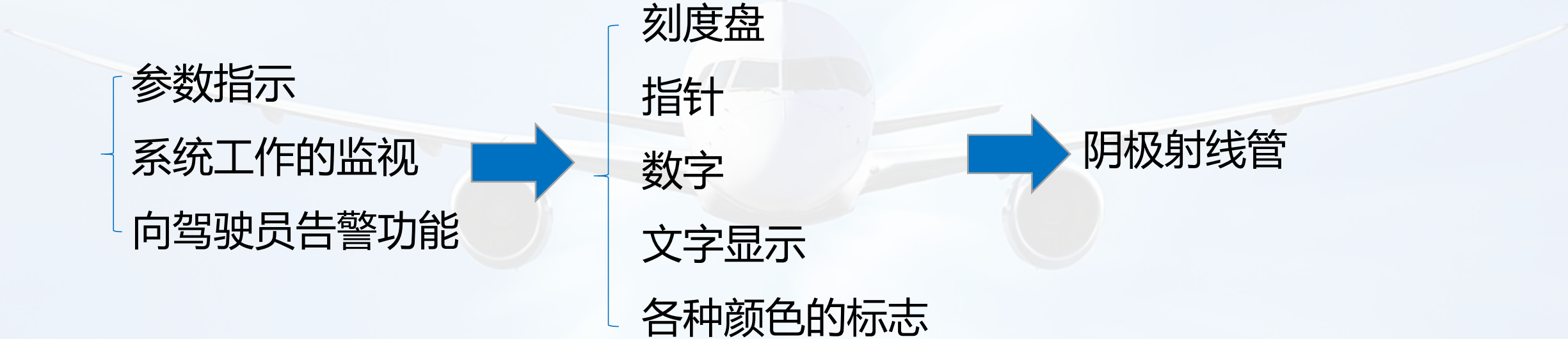
◆ VIB 旋转部件发生的任何不平衡情况

◆ 滑油系统指示参数 滑油量，滑油压力，温度

d 指示形式


- ◆ 直读仪表已由远距指示的电子仪表所取代
- ◆ 机械式仪表正在被数字电子式的仪表所取代
- ◆ 模拟式仪表以指针和表盘的形式给出发动机参数的模拟值
- ◆ 数字式仪表传感器信息转换成电信号给计算机，再给指示器，由液晶或发光二极管显示数字，以离散的数字，不以指针的位置指示

d 发展趋势



波音 EICAS(Engine Indication and Crew Alerting System)

空客 ECAM(Electronic Centralized Aircraft Monitoring)

A faint, light-colored silhouette of a commercial airplane is centered in the background, showing the fuselage, wings, and engines.

3.5.2 主要参数指示

2.1 推力/功率测量及指示

总是在指示系统最上端显示，发动机的推力在试车台上由推力计精确测量。在飞机上，推力需要由其他参数表征

- ◆ 发动机压力比 EPR
- ◆ 风扇转速 N1

a 高涵道比涡扇发动机 EPR

- ◆ 内涵EPR 涡轮出口总压与压气机进口总压之比
- ◆ 外涵EPR 风扇出口气体总压与风扇进口气体总压之比

测量类型

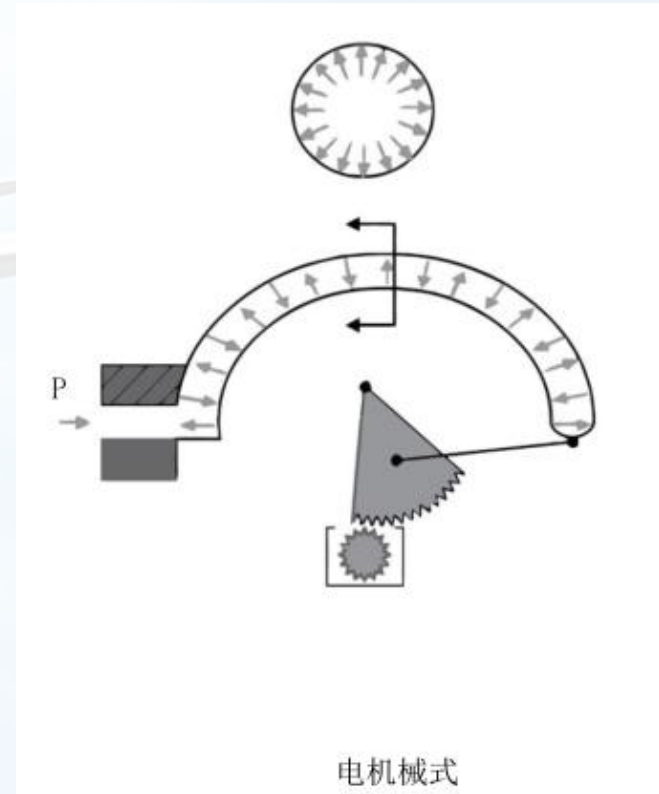
- a) 电机械式
- b) 电子式传感器

a) 电机械式

传感器膜盒
线性可变差动变压器

转换压力信号
成电信号

伺服马达的控制绕组

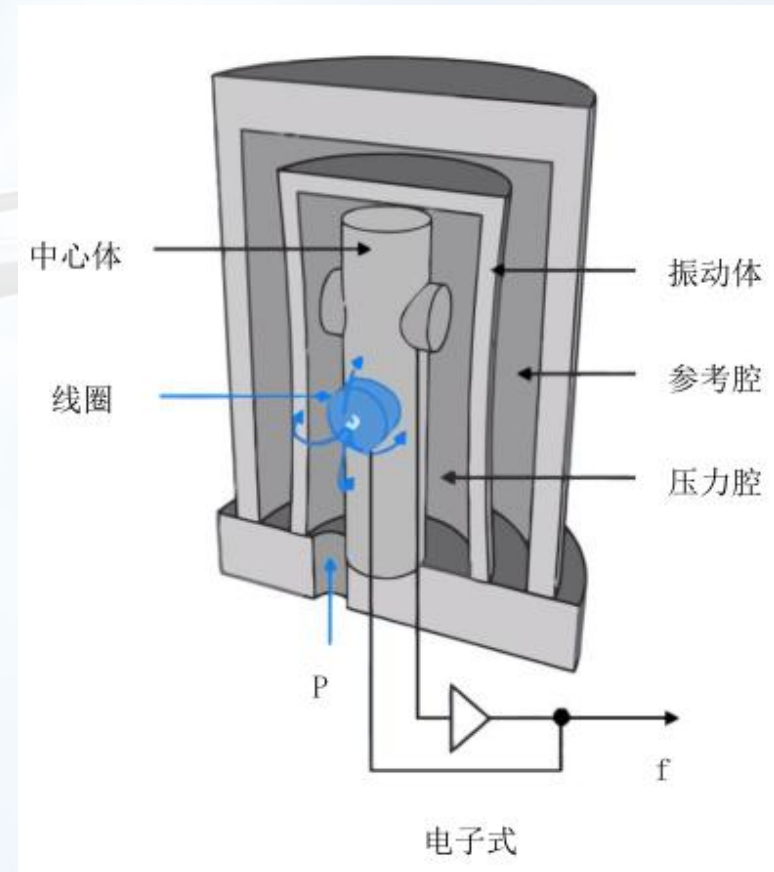


b) 电子式传感器

两个压力传感器

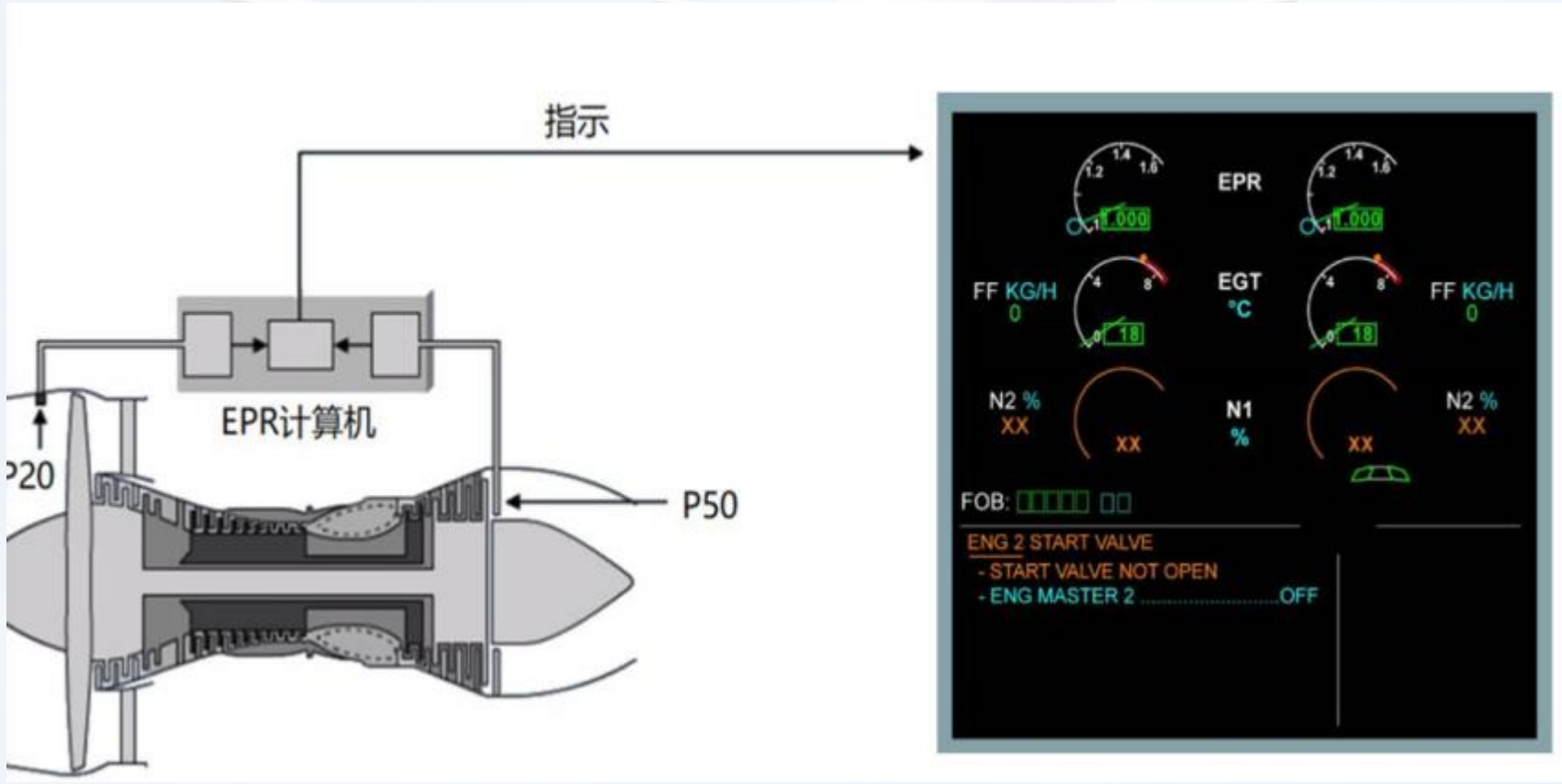
振动的
频率

输入压力比表
电子式发动机控制系统



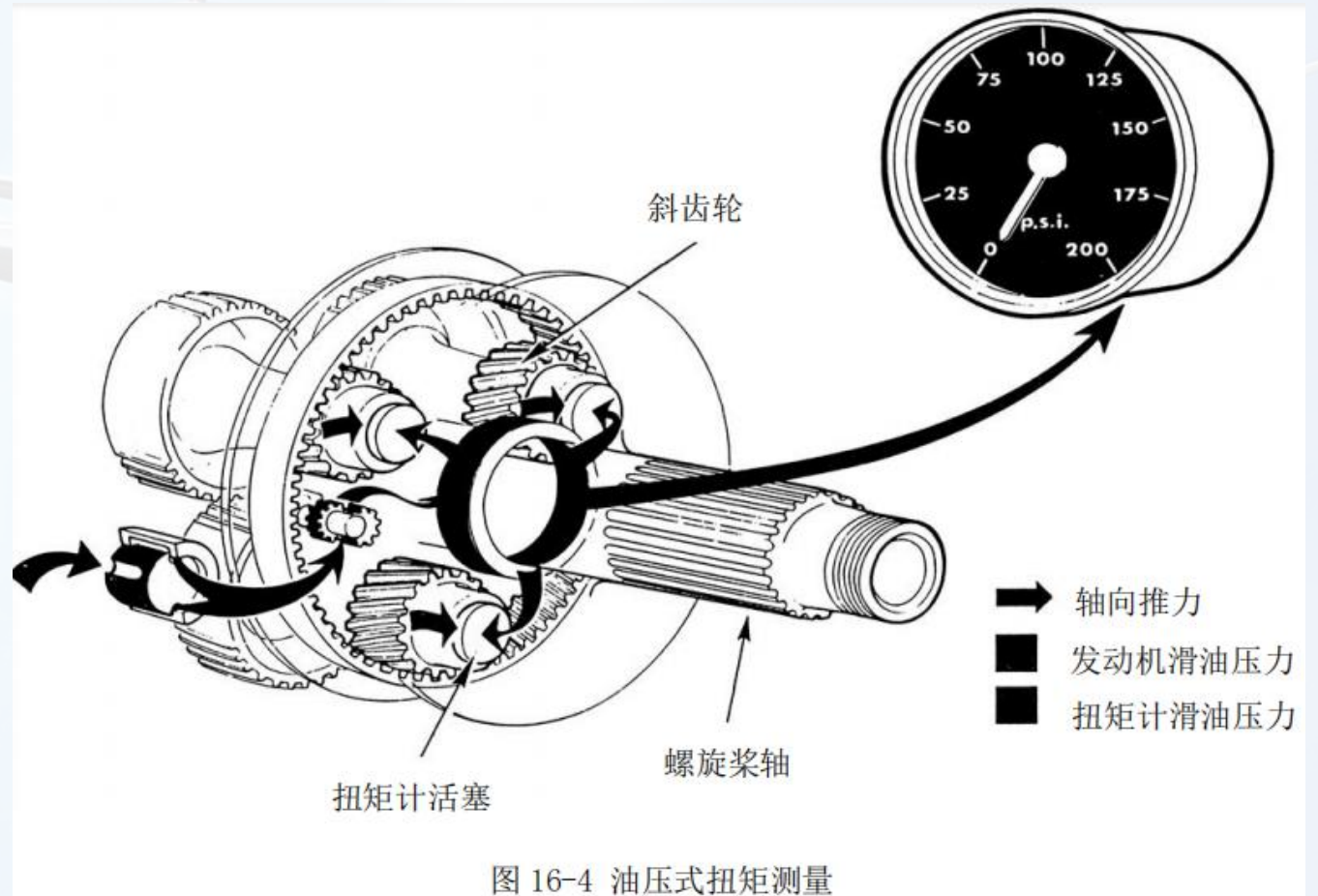
d) 新型发动机 EPR

FADEC 计算机，电子式比机械式传感器**更可靠和精确**



b 涡轮螺旋桨和涡轮轴发动机

- ◆ 指示器称为扭矩计
- ◆ 扭矩和输出马力成正比，由减速器传递
- ◆ 扭矩测量测扭泵的压力或测轴扭转变形指示



2.2 转速测量及指示

转子转速指示3个部分:

- ◆ 转速传感器
- ◆ 数据传输
- ◆ 参数指示

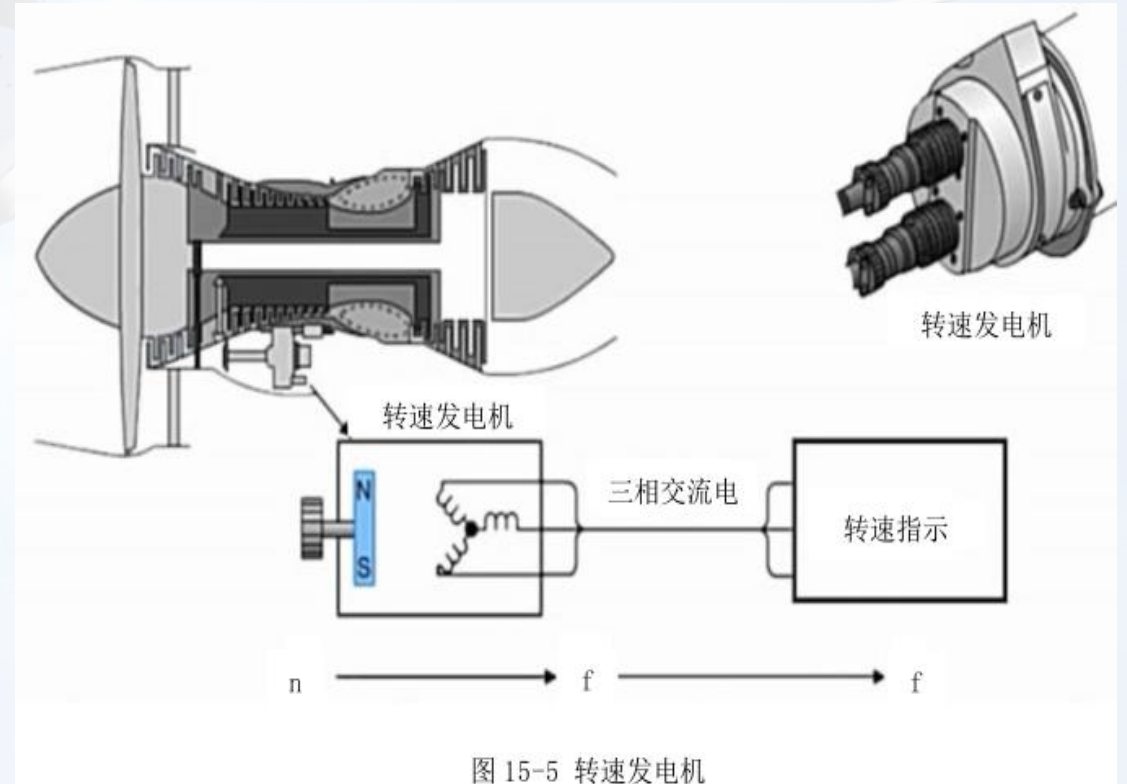
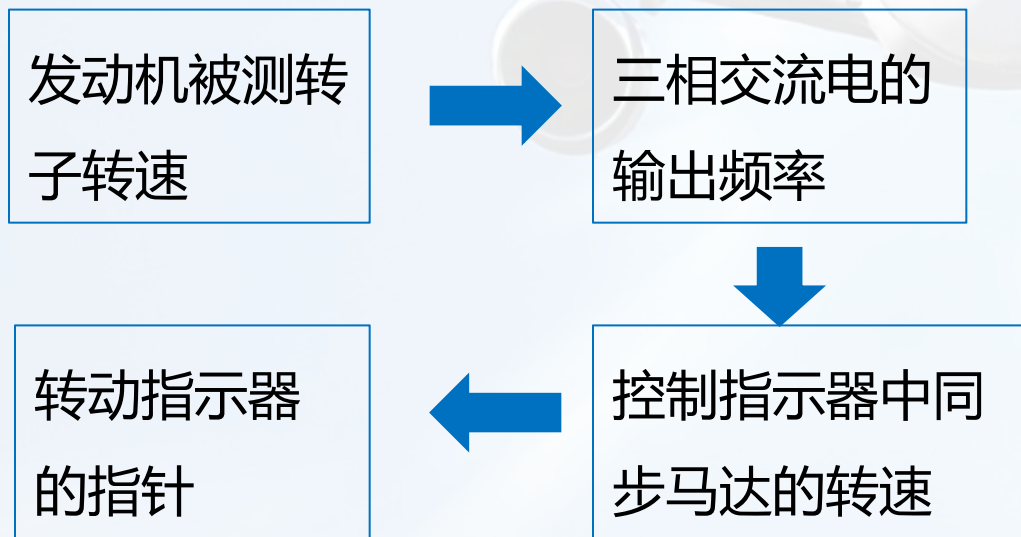
测量方式

- a. 转速发电机转速测量
- b. 变磁阻式转速

a 转速发电机转速测量

a) 转速发电机工作原理

发动机驱动小型发电机，也称 N2 转速发电机



转速指示器指示当前转速占**最大转速的百分比**

b) 专用交流发电机



CFM56-3 发动机的 N2 转速传感器就是转速发电机式的转速传感器，它给功率管理控制器 PMC 提供电源

b 变磁阻式转速测量

a) 转速测量

音轮相对，产生感应电流，放大送入指示器，测量脉冲的频率，脉冲频率与发动机转速成正比，得转子转速

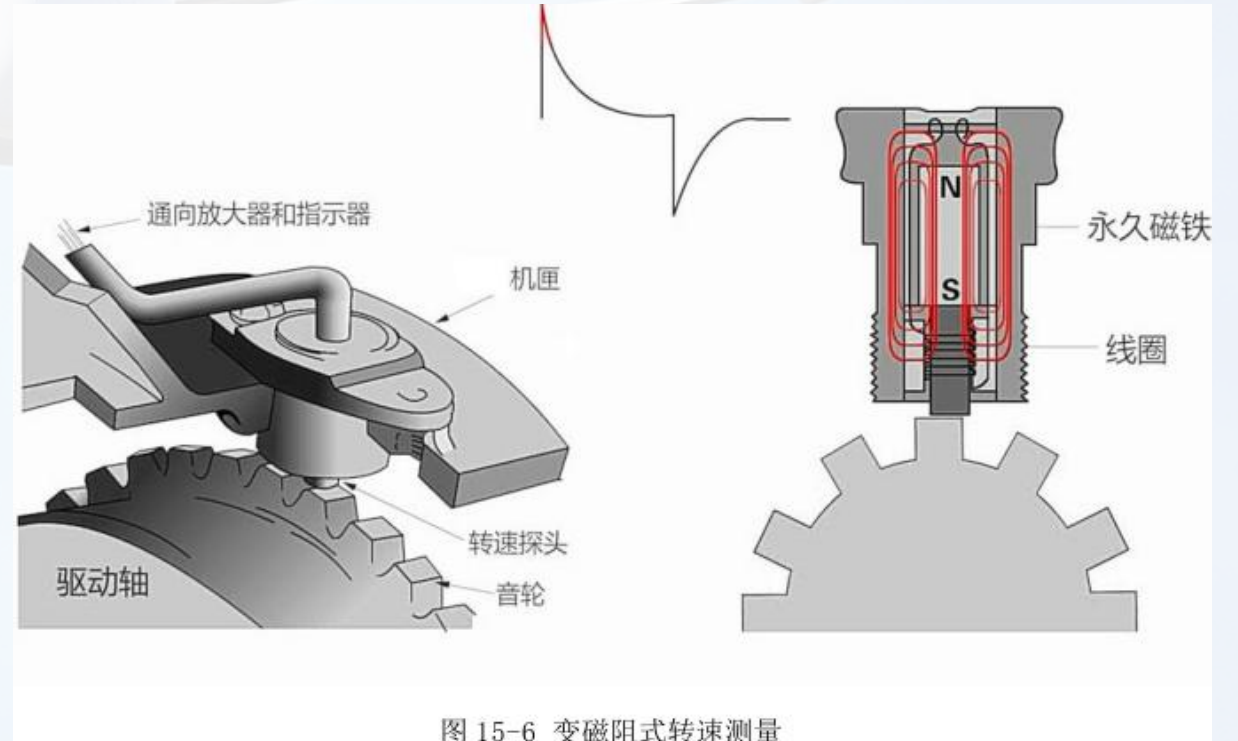


图 15-6 变磁阻式转速测量

b) 转速探头

- ◆ 位于机匣的固定器中，与被测轴上的音轮对齐
- ◆ 音轮掠过探头一次，改变探头中线圈磁通量，一股电流或发出脉冲
- ◆ 脉冲与发动机转速直接相关，脉冲频率与发动机转速成正比。

c) 音轮

- ◆ 风扇叶片可用来代替音轮改变传感器磁场
- ◆ 附件齿轮箱的齿轮起音轮的作用（CFM56-7B N2 转速传感器）

无论何种情况都是利用传感器脉冲信号计算转速。

d) 转速信号附加功能

一些发动机中，转速信号也是发动机机械振动系统的输入信号，
用于发动机振动信号的解耦和确定振动相对信息

2.3 温度测量及指示

原理分类

- a. 热电偶式
- b. 热电阻式
- c. 充填式温度传感器
- d. 双金属式温度补偿元件

a 热电偶式

a) 测量位置

涡轮前燃气温度是关键参数

温度太高

温度场分布不均匀



下降趋势按已知的方式变化

◆ 测量并限制排气温度

◆ 测量并限制涡轮中间级温度

CFM56 系列的发动机 EGT 传感器位于低压涡轮第二级进口导向叶片处

EGT 裕度 排气温度与允许的极限值之间的差值 **衡量发动机性能衰退**

b) 热电偶材料

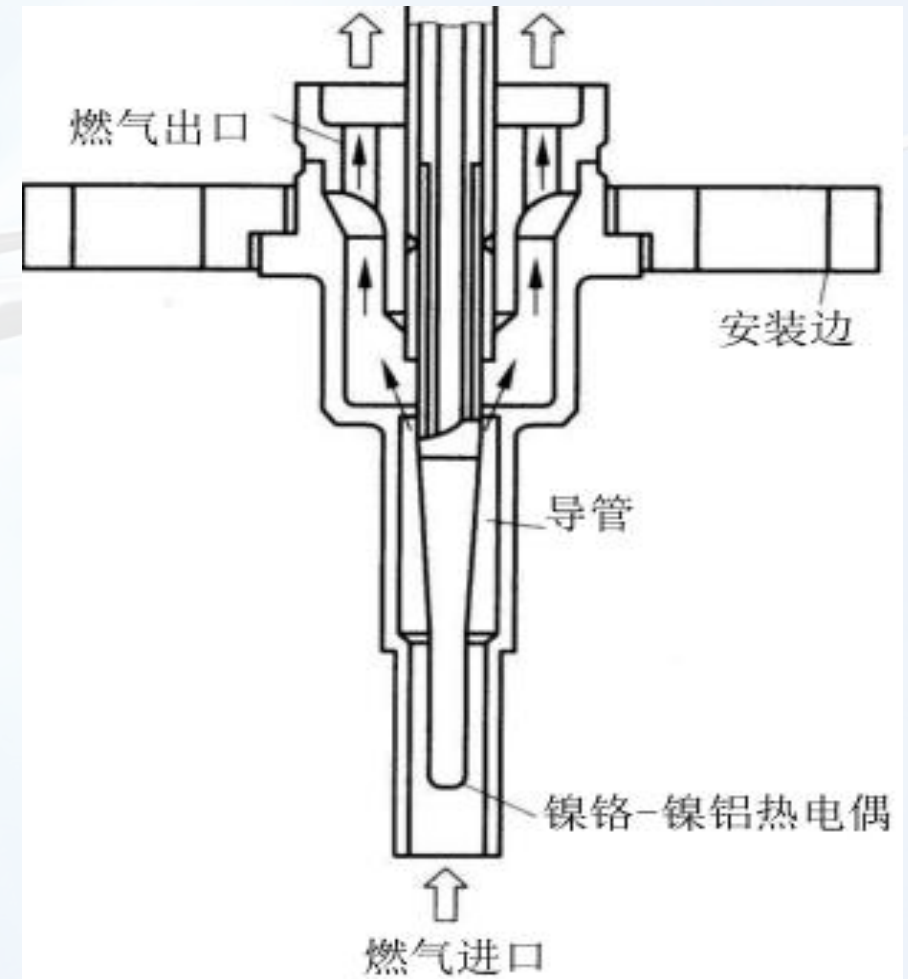
热电偶测量较高温度，常用材料是镍铬-镍铝丝

c) 热电偶安装特点

- ◆ 发动机上各个热电偶的信号汇总在主接线盒，再给飞机或FADEC 系统，FADEC 计算机是冷端节点
- ◆ 多个热电偶并联连接，探头探入气流的长度不同
- ◆ 最终测量结果为有效的平均温度值

d) 热电偶工作原理

- ◆ 两种不同的金属端点相连，排气流中为热端，指示器内为冷端，冷端补偿到零度，电路内有自动温度补偿器
- ◆ 热端高温，热电偶中产生热电势，热电势大小与热电偶两端的温度差成正比
- ◆ 热电势大小还取决于回路中的电阻，不能随意剪短导线

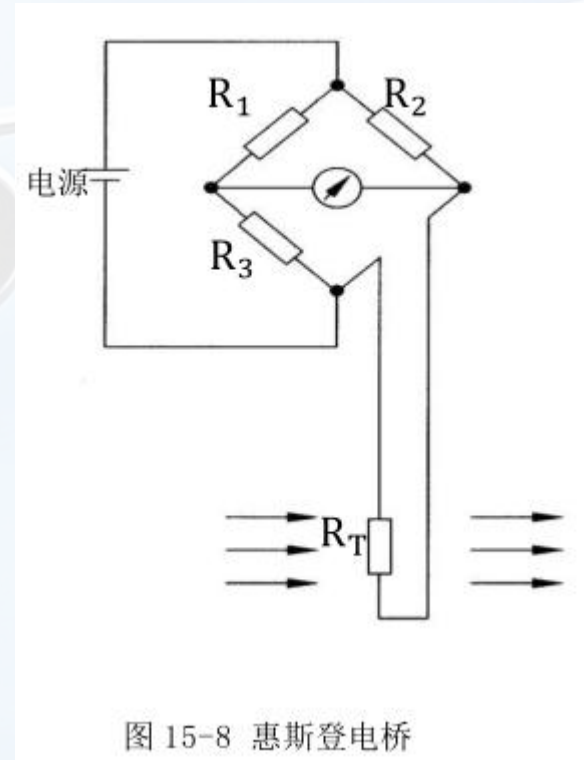


b 热电阻式

- ◆ 介质中的温度测量元件，用于滑油和燃油温度测量
 - ◆ 纯金属的电阻值随温度增加而增加，温度变化导致测量金属电阻值变化，改变指示器的电流
 - ◆ 测温球的电阻接在**比值表型温度计电路中或者惠斯登电桥**的一个桥臂上，指示器的指针按照温度变化的幅度偏转
- $R_x = (R_3/R_2)R_1$

a) 热电阻式

b) 热敏电阻式



a) 热电阻式

温度的升高，电阻值逐渐增大

优点

- ◆ 化学性能稳定
- ◆ 热容量小
- ◆ 线性度高
- ◆ 价格便宜
- ◆ 容易制造

常用材料 铂、铜、镍

热电阻式用途常用于滑油和燃油的温度测量

b) 热敏电阻式

- ◆ 低温，近于绝缘体，高到一定程度，随着温度升高，电阻值下降
- ◆ 常用材料 半导体制成感温元件，氧化锰，氧化铜等金属氧化物
- ◆ 热敏电阻式用途远距离测量和快速测量。

c 充填式

元件中易挥发的液体或蒸汽或气体，在介质中，温度变化引起的位移或压力变化，反映温度的高低

充填氮气的传感器

- ◆ CFM56-3 FIT(Fan Inlet Temperature)
- ◆ CIT(Compressor Inlet Temperature)

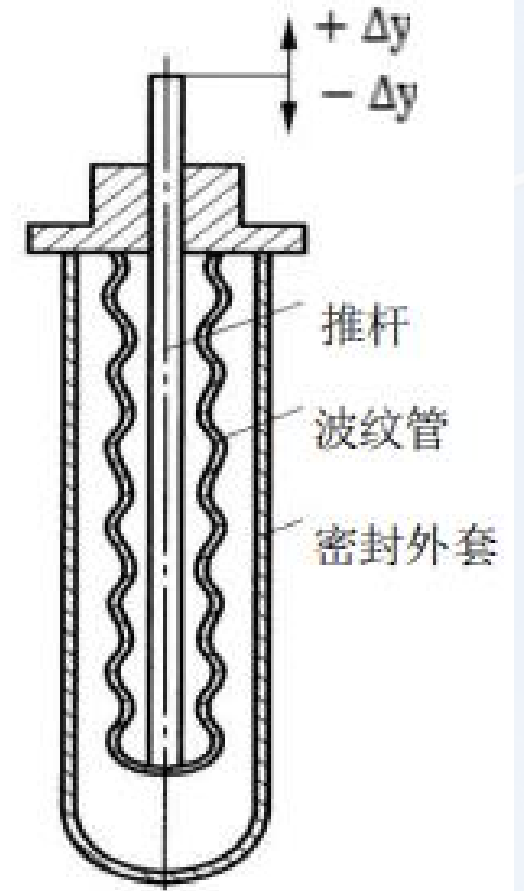


图 16-9 充填式温度传感器

d 双金属式

- ◆ 常做温度补偿元件，利用两种金属线膨胀系数的不同，受热后变形，补偿温度变化
- ◆ 液压机械式燃油控制器中压力调节活门弹簧下面的双金属片，补偿油温变化对弹簧力的影响



3.5.3 辅助参数指示

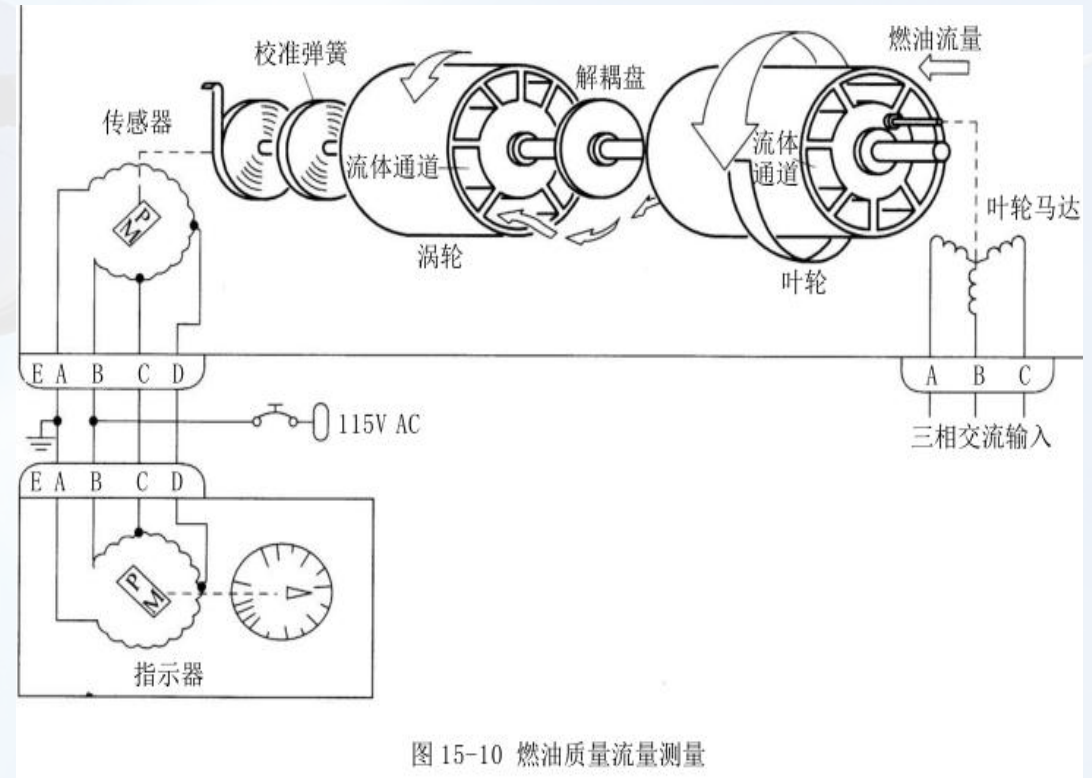


1 辅助参数指示

3.1 燃油流量测量及 指示

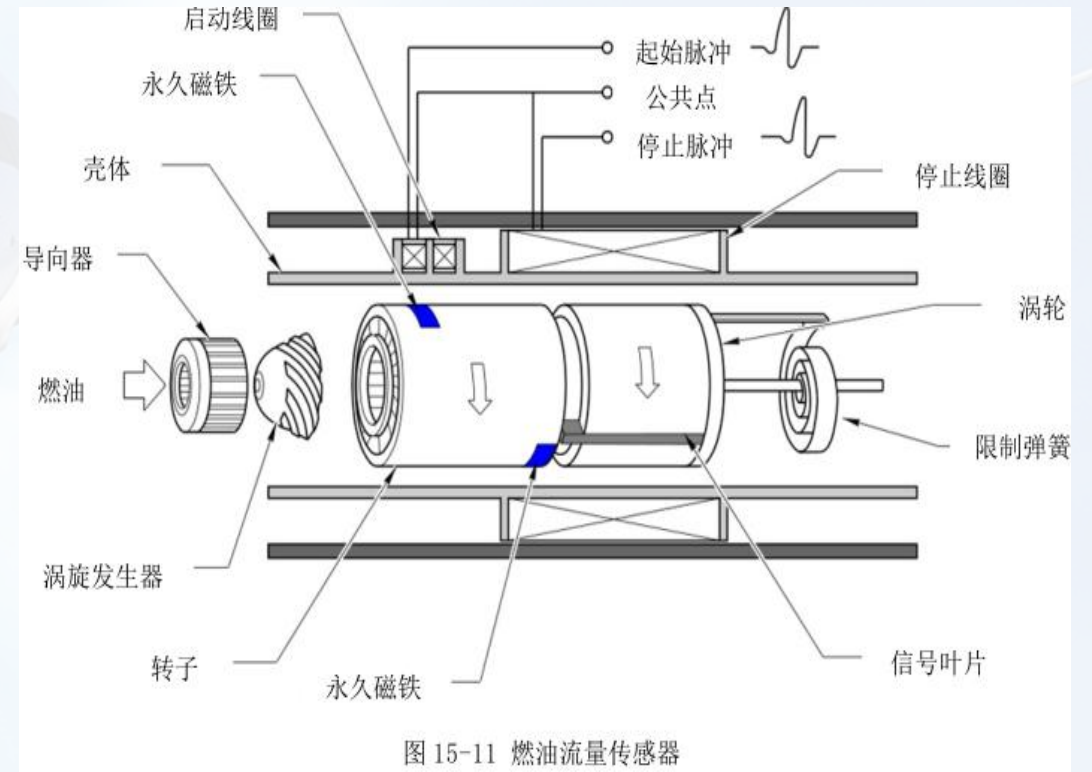
a 三相马达式

- ◆ 叶轮由三相交流马达恒速转动
- ◆ 从叶轮出来的旋转燃油再通过传感器涡轮，燃油的冲击作用试图使涡轮旋转涡轮有校准弹簧限制，只偏一个角度
- ◆ 涡轮偏转带磁铁偏转，改线圈中的磁场
- ◆ 指示器对应的线圈是电连接，指示器磁场改变，永久磁铁偏转，同传感器中永久磁铁的偏转同步
- ◆ 偏转的角度由单位时间内流过的燃油容积和密度共同决定，通过指示器的指针显示流量大小



b 新型脉冲式 包括涡旋发生器、转子、涡轮、壳体

- ◆ 经导向器进入涡旋发生器，旋转
- ◆ 旋转燃油→转子→涡轮，涡轮旋转
- ◆ 弹簧约束涡轮，角度大小取决于涡轮叶片的动量。
- ◆ 转子前部和后部各有磁铁。对应前部磁铁的壳体起始线圈，产生起始脉冲。
- ◆ 涡轮上信号叶片和涡轮启动，外部壳体停止线圈，产生停止脉冲。
- ◆ 没有燃油流动，起始脉冲和停止脉冲同时发生。
当有燃油流过，停止脉冲晚于起始脉冲
- ◆ 起始脉冲和停止脉冲的时间间隔大小和燃油质量流量多少成正比。



3.2 振动测量及指示

是径向加速度，压气机和涡轮装有振动传感器，监视振动水平

振动信号 → 机载振动监视器 → 振动值到驾驶舱

两种类型 {

电磁式	线圈在磁场运动产生交流电压
压电晶体式	有作用力时产生电压

电压与加速值成比例，频率等于振动频率

a 电磁式

电磁式传感器上永久磁铁被两个弹簧保持在中心，圈定线圈围绕在磁铁上。当存在振动时，线圈同传感器壳体一起上下移动，磁铁由于惯性力几乎总是静止的，线圈和磁场之间的不同运动在线圈中导致交流电压，如同发电机一样

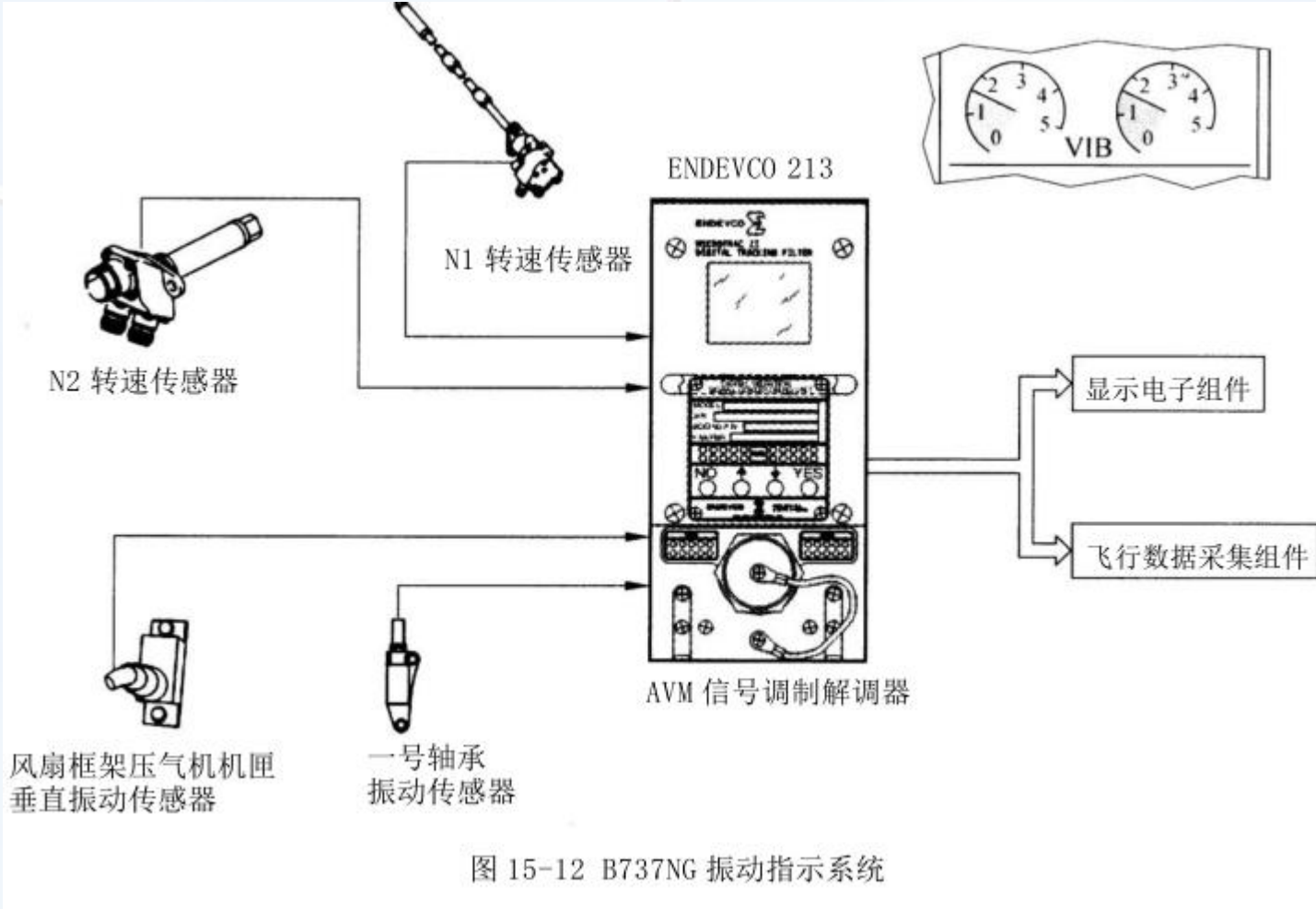
b 压电晶体式

当对晶体有作用力时产生电压。传感器感受加速时，作用压电晶体到底板的惯性质量在传感器上产生力，振动传感器给出信号到监视组件，其电压与加速值成比例，频率等于振动频率。

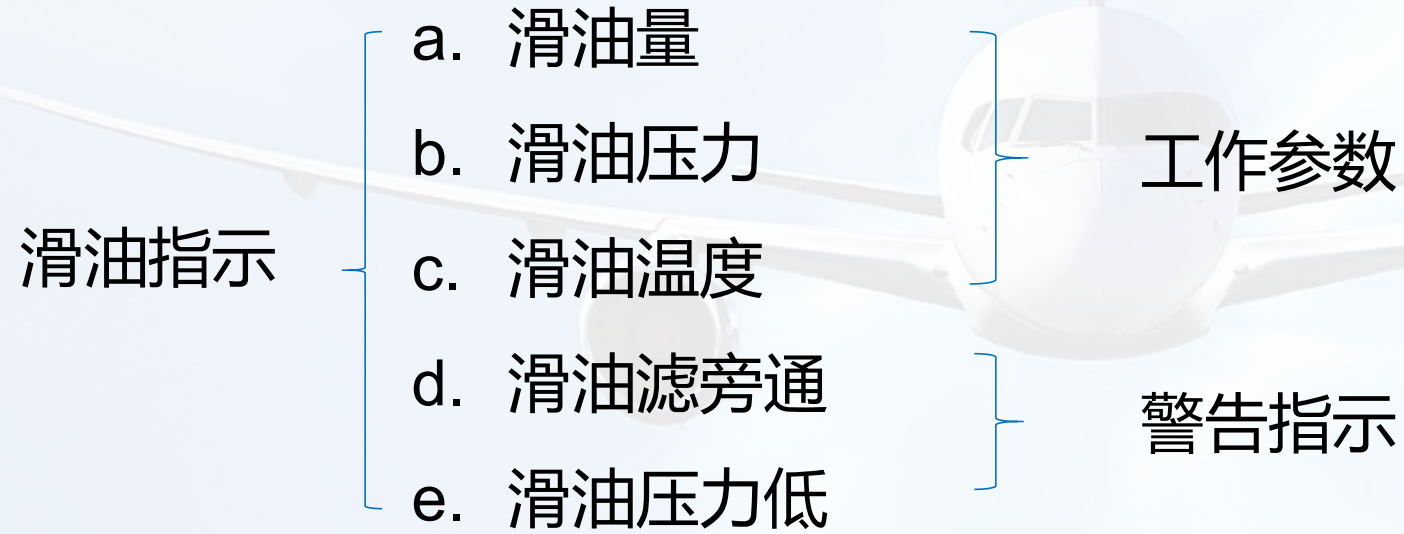
c 振动信号的调制分析

有的机载振动监视器(AVM), 有的发动机振动监视组件(EVMU), 依据转速传感器和振动传感器的信号计算低压压气机、高压压气机、低压涡轮、高压涡轮的振动值, 最高的振动值在驾驶舱显示, 并送到飞行数据采集组件(FDAU), 提供配平平衡建议, 监视振动趋势, 信息送 EICAS/ECAM, 从 EICAS 维护页或从 ACMS 上发现。波音 B737NG 飞机的 CFM56-7B 发动机的振动指示系统如图 16-12 所示。

B737NG发动机CFM56-7B 振动指示系统



3.3 滑油参数测量及指示



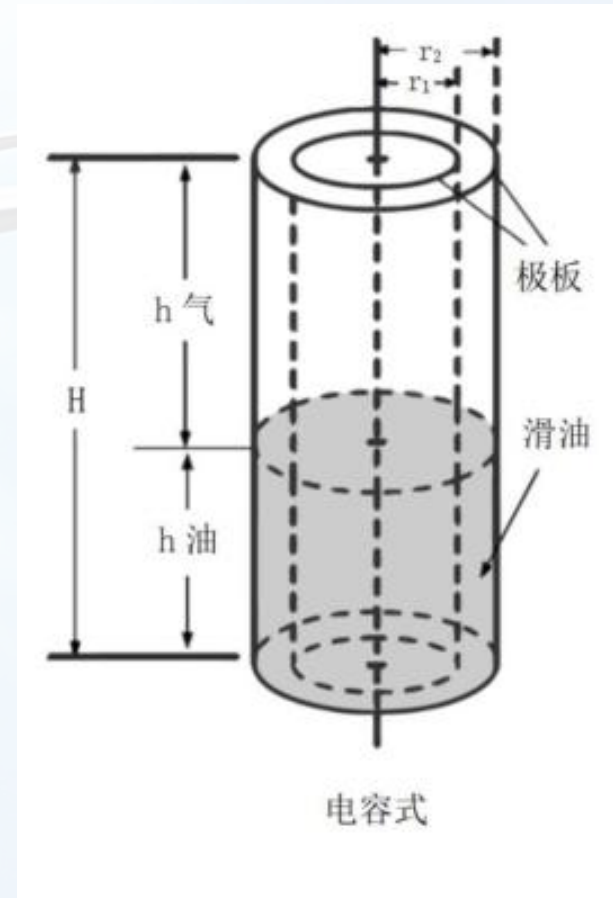
a 滑油量传感器

位置：滑油量传感器装在滑油箱

类型 {
a) 电容式
b) 浮子式

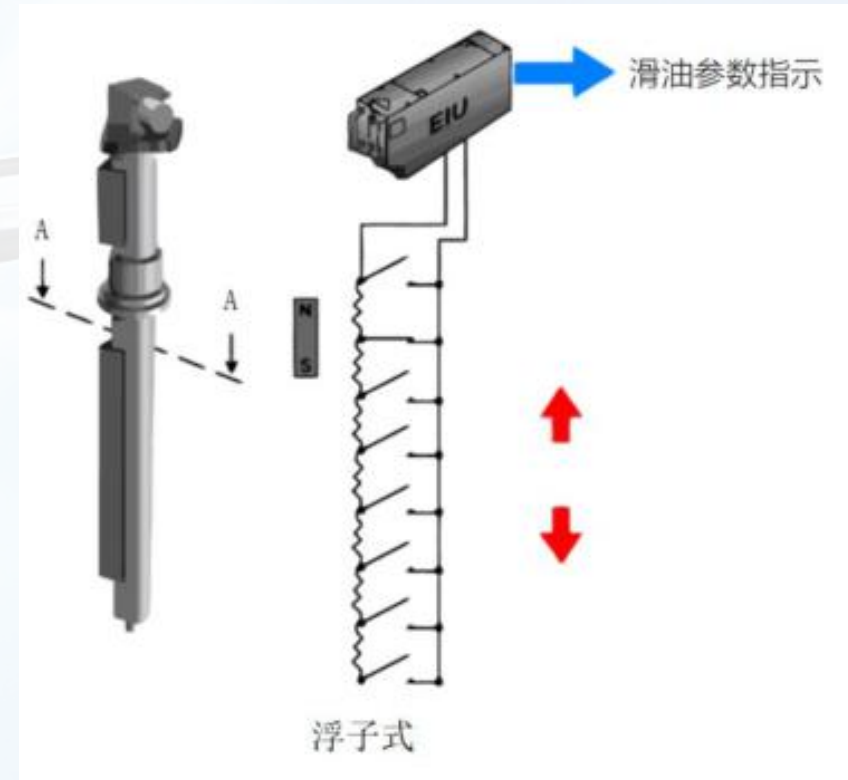
a) 电容式

两个同心管作两个极板，浸在滑油箱中，利用滑油和空气的介电常数不同，测量滑油量



b) 浮子式

浮子组件内有永久磁铁，滑油箱滑油的高度变化，浮子上下运动，使接近它的电门闭合，引起电路电阻改变，传感器输出相应的电压



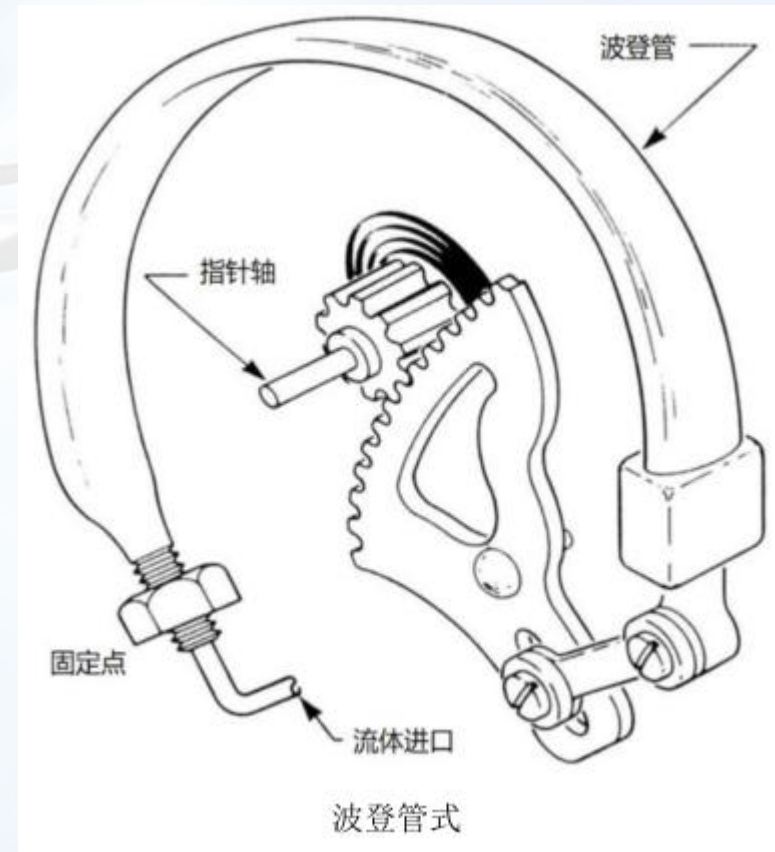
b 滑油压力传感器

滑油压力传感器和滑油温度传感器通常在滑油系统中

- a) 波登管式
- b) 应力表式

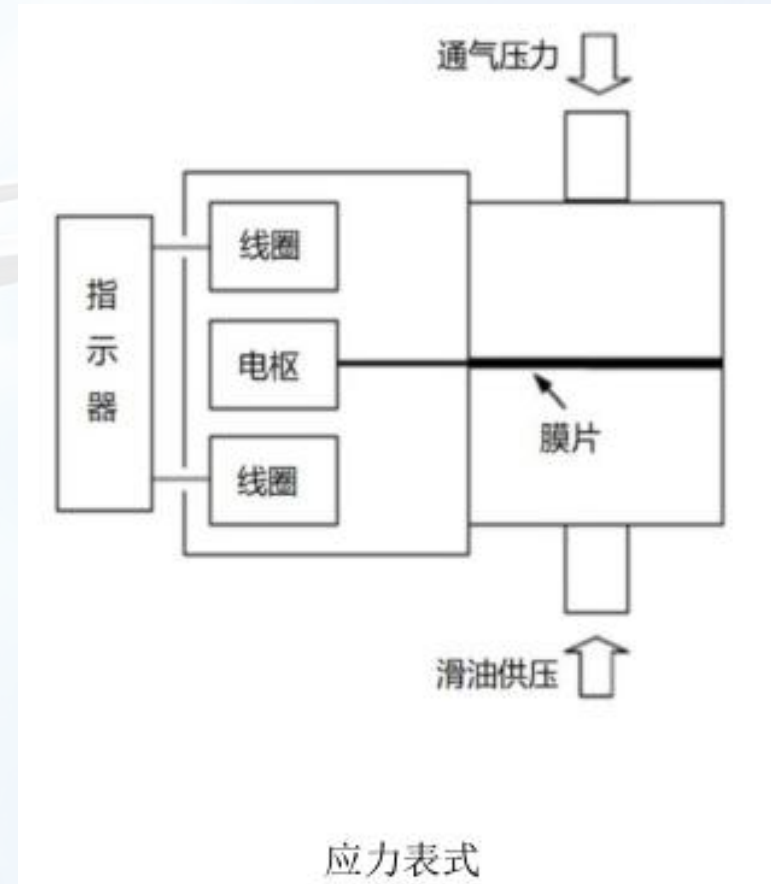
a) 波登管式

滑油从一端进入，当管内流体压力发生变化，波登管变形，曲率变化，即伸直或弯曲，连接到另一端的指针摆动，指示波登管内的滑油压力



b) 应力表式

膜片感受前油槽供压管路与转换齿轮箱通气腔之间的压力差，作动电枢，改变电磁感应线圈的磁阻，传送到指示器指示滑油压力



c 滑油温度传感器

安装位置取决于发动机类型。有在回油系统中，有供油系统中

热电偶


热电阻

d 滑油低压警告

通往发动机的滑油压力过低时，将接通滑油低压警告电门，给出低滑油压力警告，应该立即停车进行检查和维修工作，以保证发动机的正常工作

e 油滤压差电门

电门感受油滤进出口压差，当因油滤堵塞而使压差达到设定值时，电门接通，给出旁通警告

A faint, light-colored silhouette of a commercial airplane is centered in the background, facing forward. The aircraft's wings, tail, and engines are clearly visible.

2 警告系统和指示组件

4.1 警告系统

a 警告系统目的和形式

目的： 可能出现故障或存在危险情况的指示，以便采取措施保护发动机和飞机

- ◆ 火警探测系统外，还可能安装许多其他的声响和目视警告系统。
- ◆ 当低滑润压力，低燃油压力，振动过高或过热的情况时，这些系统可以发出警告。
- ◆ 指示形式：告警灯、警铃或喇叭声

c 指示形式分类

- ◆ 绿色弧段表示正常范围
- ◆ 琥珀色弧段表示警戒范围
- ◆ 红色径向线表示不能超越的最大或最小允许值

例如：EGT 表上红线是 允许的最大值；琥珀色最大连续推力的 EGT 值

d 新型显示组件

- ◆ 白色指针表示参数的变化
- ◆ 灰色阴影区域表示进程
- ◆ 琥珀色表示警戒区域
- ◆ 红色是超限警告
- ◆ 绿色代表目标值

例如

- ◆ EGT 介于最大连续限制值和 EGT 红线值，指针、读数、阴影区域琥珀色
- ◆ ECT 超出红线值，指针、读数、阴影区域红色

4.2 指示组件

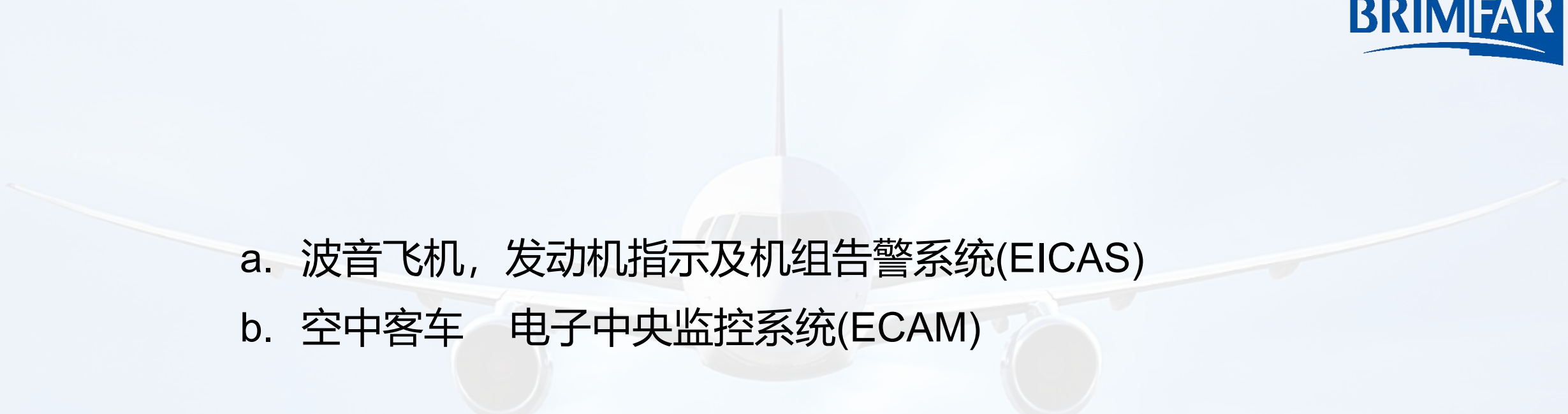
- ◆ 发动机的指示
- ◆ 系统的监视
- ◆ 驾驶员告警的功能
- ◆ 参数以刻度盘形式显示在屏幕上
- ◆ 数字式读数、警告、注意事项和建议信息则以文本方式显示

阴极射线管

参数 3 种类型

- 表盘指针型
- 移动的垂直条型
- 经典的电机机械

各指示器有参数的限制值，有颜色标记

- 
- a. 波音飞机, 发动机指示及机组告警系统(EICAS)
 - b. 空中客车 电子中央监控系统(ECAM)

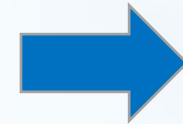
a 波音飞机 发动机指示及机组告警系统(EICAS)

两个阴极射线管显示参数和状态，并辅助以灯光、音响，有的还与发动机备用指示器(SEI)相配合

EICAS以及
与飞机、发
动机接口的
装置一起将



- ◆ 推力管理
- ◆ 发动机控制
- ◆ 状态监视
- ◆ 故障诊断
- ◆ 信息显示
- ◆ 事件存储



综合在一起

EICAS 允许选择不同的页面，检查飞机及其系统的工作状态。

b 空中客车 电子中央监控系统 (ECAM)

用来监视飞机和发动机上各主要系统的工作，自动处理各系统输入的有关信息，通过两个阴极射线管显示信息、图形和有关数据。

- ◆ 发动机参数 / 警告信息显示 (E/W显示)
 - ◆ 系统 / 状态信息显示 (S显示) 部分
-
- ◆ 正常工作时，ECAM 提供临时使用的系统和经常工作的系统的工作情况。
 - ◆ 起飞到着陆共分 12 个阶段，各阶段都有相应的页面。
 - ◆ 如果出现不正常或紧急情况，一个显示器显示警告页面，上面有故障分析和应采取的操作措施，另一个显示器出现故障系统的页面（若有的话）

c EEC BITE

通过



CDU(Control Display Unit)

MCDU (Multifunction Control Display Unit)



- ◆ 地面测试
- ◆ 查找最近故障和历史故障
- ◆ 超限数据
- ◆ 各个系统、控制网路、各个部件的控制指令值、反馈值、偏差值,
- ◆ 其他相关数据

d 发动机自检

- ◆ 功能可从主菜单页面进行，它包括：当前故障、故障历史、识别 / 构形、地面测试和输入监视。
- ◆ 它给出发动机故障的签派级别。
- ◆ 地面测试包括 EEC 测试、反推杆互锁测试、作动器测试和电嘴测试。
- ◆ 输入监视页面用于监视发动机参数，它又分为：控制回路、控制压力、控制温度、燃油系统、滑油系统和转速，每一子项又有很多内容。

A faint, light-colored silhouette of a commercial airplane is centered in the background of the slide.

3.5.4 典型发动机指示系统维护介绍

5.1 典型发动机指示系统的部件识别



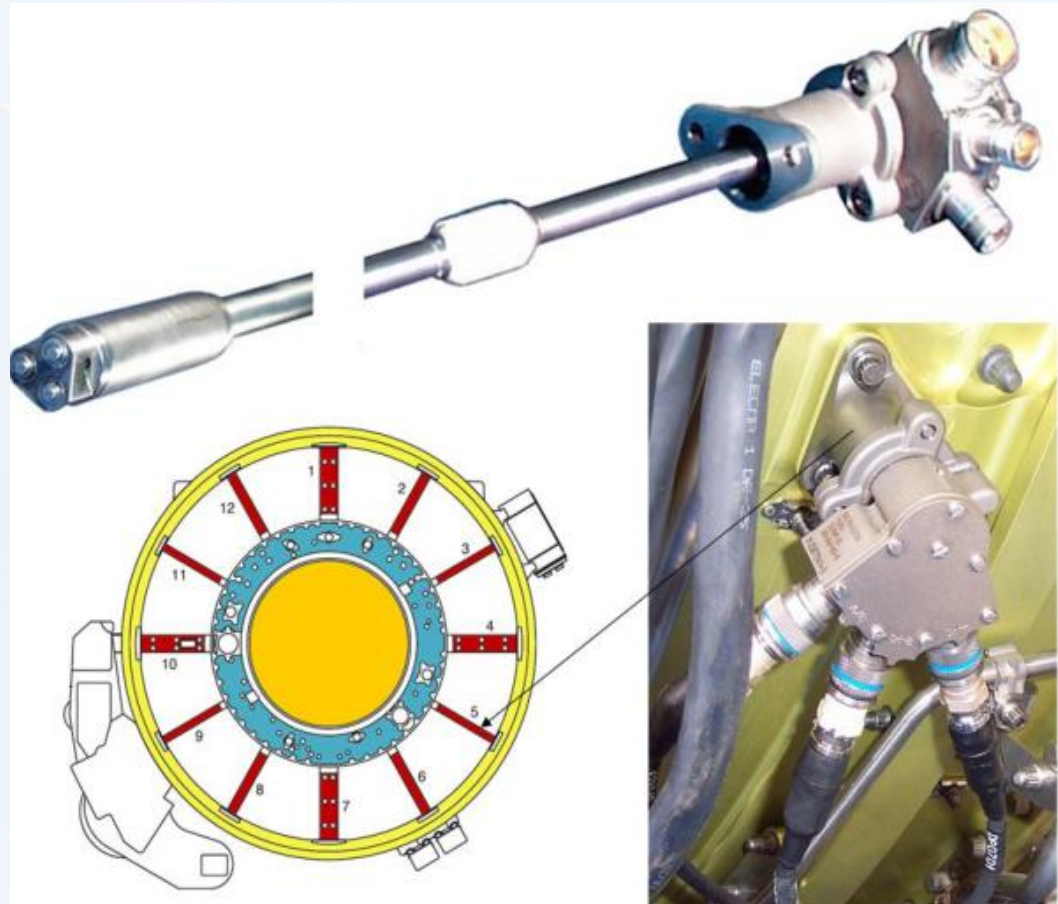


图 15-19 N1 转速传感器



图 15-20 N2 转速传感器



N2 转速传感器



图 15-21 振动传感器

5.2 典型发动机指示系统的常见维护及安全注意事项

发动机指示系统常见的维护工作

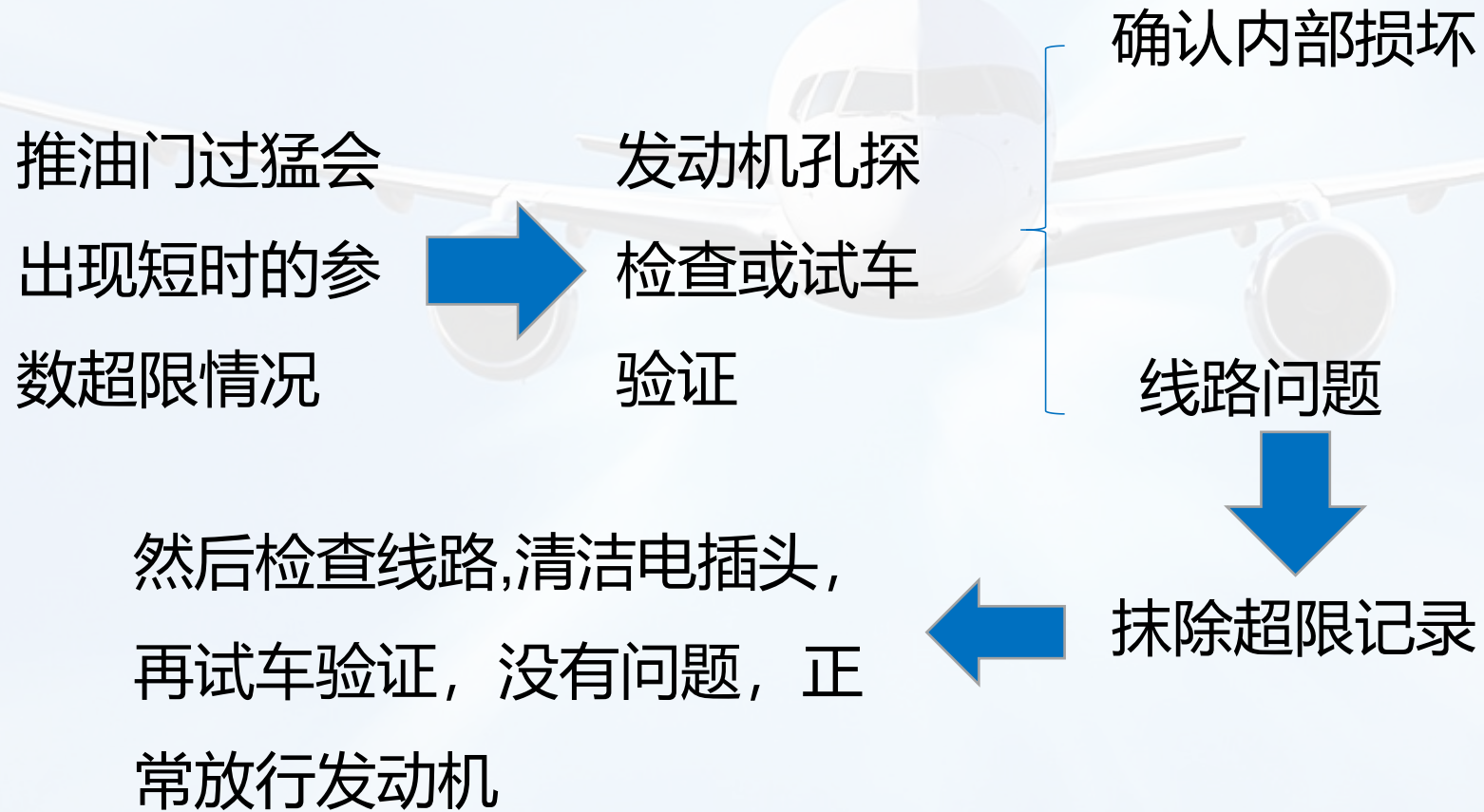
- a. 参数超限后的记录抹除
- b. EGT 插头检查
- c. 发动机振动配平

a. 参数超限后的记录抹除

a) 发动机转速限制

- ◆ 超过一定转速，发动机会关断燃油，从而使发动机关车。
- ◆ 发动机起动和工作时，EGT 温度有限制，不能超温。
- ◆ 在某些发动机上，由于 EGT 导线接头接触不良，EGT 温度会显示为 XX。

b) 推油门过猛短时参数超限处理流程



b EGT 插头检查

- ◆ 检查转速传感器有无损伤，是否松动。
- ◆ 检查电气连接导线及插头是否松动，有无损伤。
- ◆ 可以对 EGT 传感器进行测试。

c 发动机振动配平

发动机振动问题则可以直接在相关计算机上进行自检，通过故障信息来判定是假信号还是真实振动超限。

- ◆ 发动机振动还是AVM 系统故障。
- ◆ 故障原因，发动机振动，AVM 系统故障。
- ◆ 排故步骤，按维护手册进行：
 - 读取 AVM 历史振动数据，确认振动来源。
 - 振动高在风扇（FAN）和高压压气机（HPC），高压涡轮（HPT）和低压涡轮（LPT），振动与发动机转速无关。按照 AVM 系统故障排故。
 - AVM 历史数据显示发动机真实振动，按照发动机振动排故。

小结:

序号	内容
1	总体介绍
2	主要参数
4	辅助参数
3	典型发动机指示系统维护介绍



感谢聆听，欢迎指正