



M5.5.2.6 转子支承和附件传动

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 2020.08.06	张玉 2020.08.11

目的与要求:

目的	通过本次课程的学习，掌握发动机转子支承，附件传动，典型发动机附件传动维护介绍
要求	<ol style="list-style-type: none">1. 内部传动和外部传动装置、附件齿轮箱上的主要附件；人工驱动发动机转子的方式2. 典型发动机附件传动部件识别（例如：附件齿轮箱、附件传3. 典型发动机附件传动常见维护及

课程安排:


序号	内容	等级	课时
1	发动机转子支承		1H
2	附件传动		1H
3	典型发动机附件传动维护介绍		1H

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

5.2.6.1 发动机转子支承

5.2.6.2 附件传动

5.2.6.3 典型发动机附件传动维护介绍



5.2.6.1 发动机转子支承

1.1 转子支承方案

a 概念及表示方法

a) 概念

发动机转子由压气机转子（或风扇）、涡轮转子和连接转子的零件所组成

单转子

双转子（高压和低压转子）

三转子（高、中以及低压转子）

各种负荷，轴向力、重力、惯性力及惯性力矩由支点承受，并经机匣传递到发动机的安装节

b) 方法

转子采用几个支承结构（支点），安排于何处，称为**转子支承方案**

根据平衡一根转轴至少要在两处有轴承支承（2 个支点）发动机转子比较长时，支点的个数可能会更多

有轴向载荷的两个支点 { 一处装滚棒轴承,允许转子轴向自由移动
一处装滚珠轴承,限制转子轴向移动,

单个转子只在一处设置滚珠轴承，其他各处都是滚棒轴承，保证转子即可轴向定位，又能轴向自由移动

c) 表示

转子支承方案要求

保证转子的横向刚性和可靠地承受转子的负荷，
发动机的结构轻巧，拆装方便

表示方法

转子支点的位置与数目，两条前后排列的横线分别代表压气机转子和涡轮转子，两条横线前、后及中间的数字表示相应位置的支点数目

例如 1-3-0，压气机转子前有 1 个支点，涡轮转子后无支点，压气机与涡轮转子间有 3 个支点，整个转子共支承于 4 个支点上

b 单转子支承方案

a) 支承方案

大多数单转子，用1-2-0 三支点支承



涡轮轴前端通过联轴器与压气机连接。

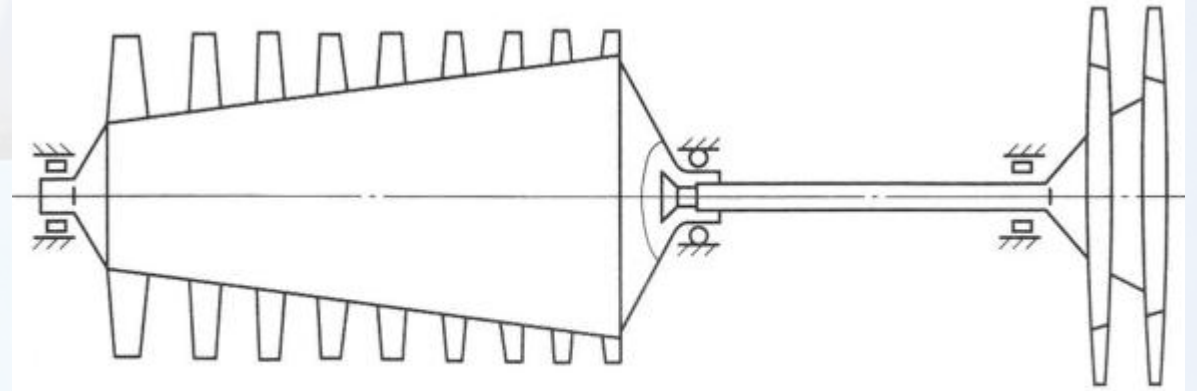


图 8-1 1-2-0 三支点支承方案

b) 联轴器作用

联轴器作用

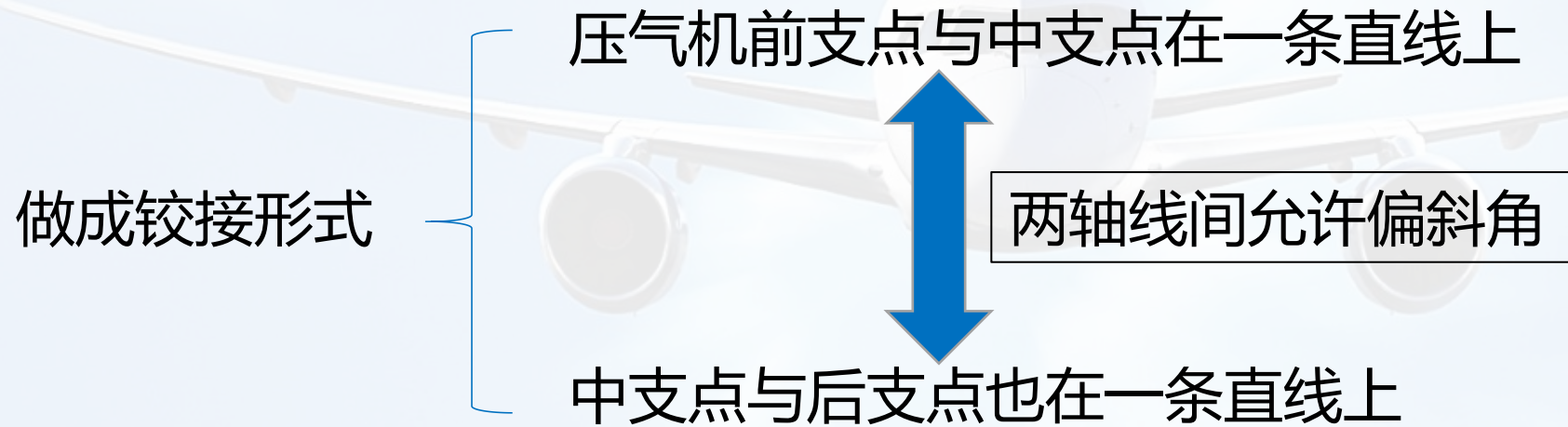
传递扭矩

轴向力

作为涡轮转子的前支点

涡轮转子与压气机转子不共轴，通过联轴器正常地工作

c) 不共轴铰接形式



- 优点
- 一个承受轴向负荷的支点，支点所承受的轴向负荷也很小
 - 每个转子均支承于两个支点上，相对刚性较好

c. 双转子和三转子支承方案

a) 优缺点

缺点

转子数目多

支承数目多

低压转子轴要从高压转子轴中心穿过，结构复杂

优点:各转子分割开来，每个转子按单转子分别分析

b) 中介支点

多转子发动机有些支点不直接安装在承力机匣上，而是装在另外一个转子上，通过另一转子的支点将负荷外传。由于这个支点是介于两个转子之间的，所以称为中介支点（或称轴间支点）。中介支点的轴承，则称中介轴承或轴间轴承

中介支点（或称轴间支点）和中介轴承或轴间轴承



优点

发动机长度缩小
承力机匣数减少



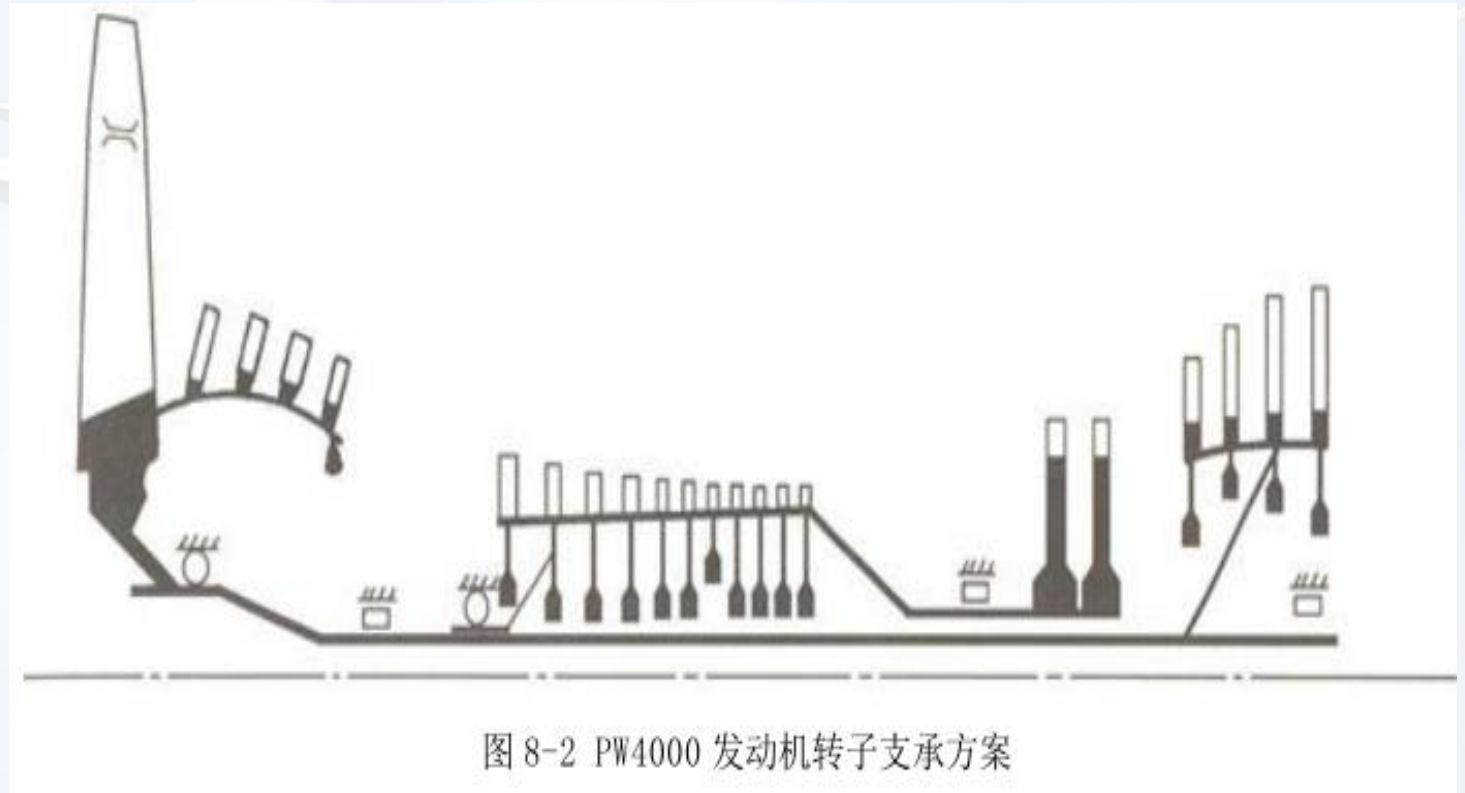
缺点

润滑、冷却和封严复杂
轴承的工作条件差，
滚珠轴承，装拆困难

c) PW4000发动机支承方案

A 方案

低压转子为 0-2-1 方案，
高压转子为 1-1-0， 5 个
支点支承于 3 个承力机
匣上，无中介支点



B 特点

0-2-1方案，高压转子为1-1-0

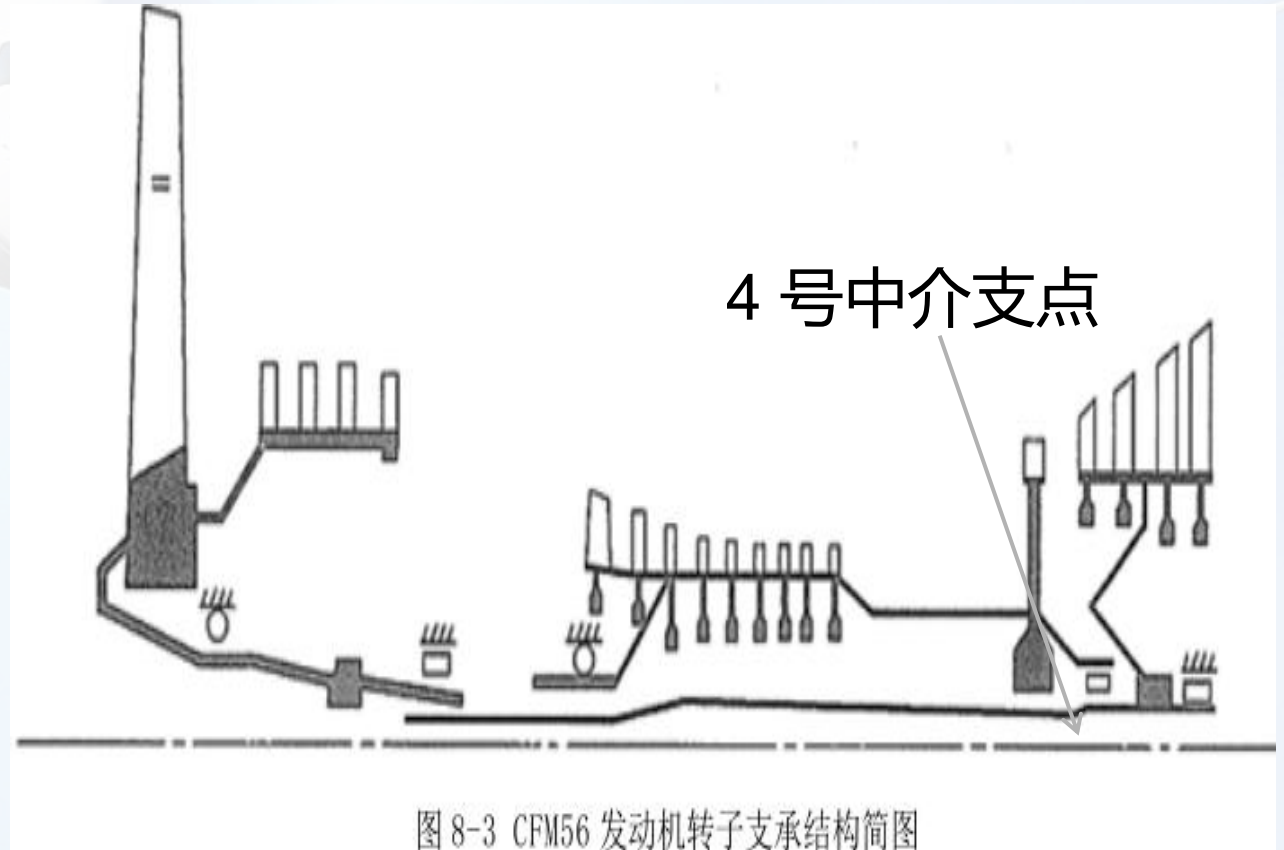
特点

- ◆ 在风扇主轴承后面，增加一个滚棒轴承，解决低压转子刚度不足
- ◆ 高压转子采用的二支点支承方案将涡轮后支点放在涡轮，缩短了高压轴的长度，利于控制轴的变形，好的振动特性
- ◆ 低压转子提供了一定的设计裕度
- ◆ 轴承径向尺寸的限制，涡轮轴刚性较小

d) CFM56 发动机的支承方案

两个承力构件将轴承负荷外传，
低压转子为 0-2-1， 高压转子
为 1-0-1

高压涡轮后轴通过 4 号中介支
点支承于低压涡轮轴上高压转
子支承于低压转子的结构，能
够取消高压涡轮前后的承力结
构，使发动机结构简单，重量
轻



e) RB211发动机三转子的支承方案

A 支承方案

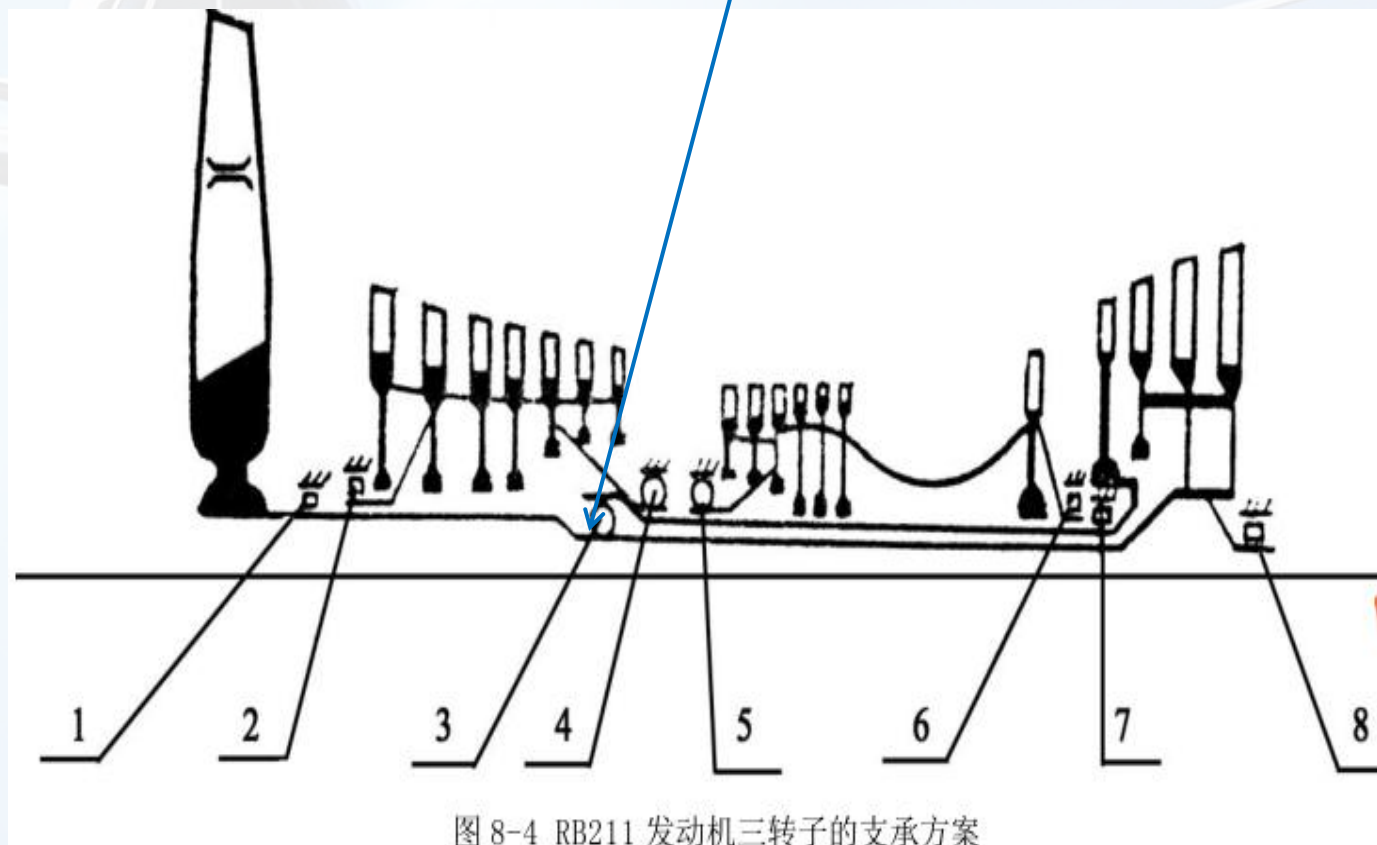
3个转子 8个支点, 4个承力构件外传。低压 0-2-1, 中压 1-2-0, 高压 1-0-1

0-2-1 , 2指1,3轴承, 1指8号

1-2-0 1指2号, 2指4,7号

1-0-1 前1指5号, 后1指6号

止推支点 (即 3 号止推轴承)
为中介支点



B 布局特点

- ◆ 在整体布局中，将 3 个转子的止推支点集中在一个承力机匣上，使传力路线好。
- ◆ 转子数目多，在涡轮中采用了涡轮级间（高压与中压级间）的承力构件，支承 6 号和 7 号轴承。使发动机长度加大，也影响涡轮效率

1.2 联轴器

将压气机转子和涡轮转子连成一体的组合件

力传递类型

- ◆ 仅传递扭矩
- ◆ 传递扭矩和轴向力
- ◆ 传递扭矩、轴向力和径向力

类型

- a) 刚性联轴器
- b) 柔性联轴器

设计要求

- ◆ 传递负荷
- ◆ 在不共轴条件可靠工作
- ◆ 拆装方便

a 刚性联轴器

将涡轮轴和压气机轴刚性地连成一体，传递扭矩、轴向力

常见形式

- ◆ 套齿式 PW4000 CFM56发动机低压转子的低压联轴器
- ◆ 短螺栓 RB211、CFM56高压转子圆柱面定心

a) 套齿式

PW4000 发动机低压转子采用的是三支点支承方案

- 联轴器由A、B两个圆柱面定心，套齿传递扭矩，
- 大螺母轴向拉紧传递涡轮轴与风扇轴的轴向力

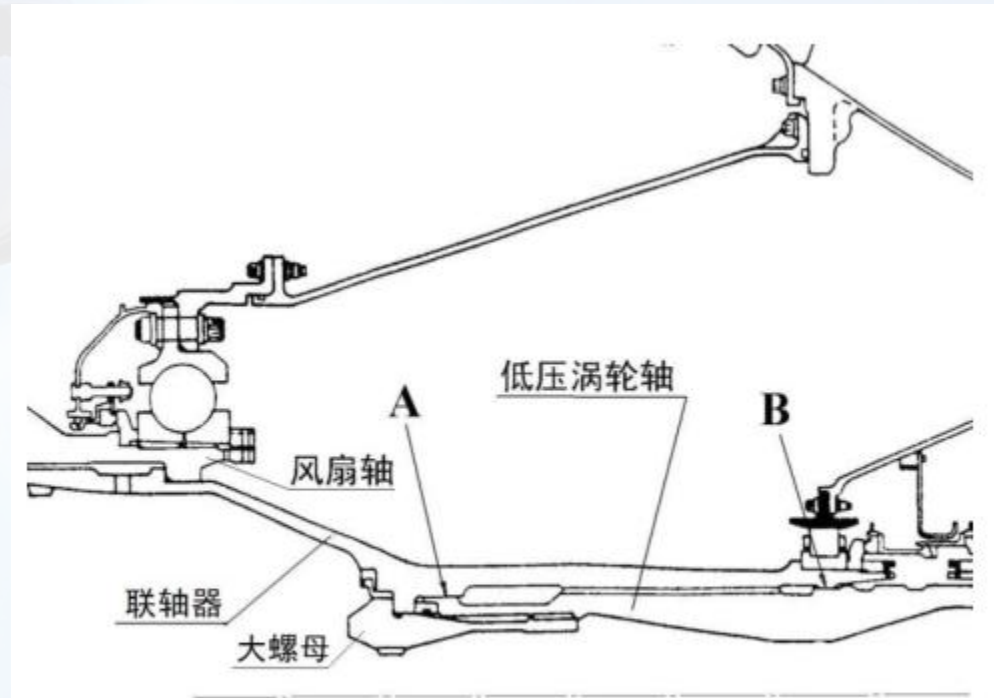


图 8-5 PW4000 低压转子联轴器

b) 短螺栓连接 CFM56等发动机的高压转子

- 压气机后轴与涡轮轴分别与封严盘的前后端面接触，以轴的外圆柱面与封严盘的凸缘配合定心，三者之间用短螺栓连接。
- 螺栓先固定于压气机后轴上，当涡轮转子装上后，由涡轮盘孔心处用工具将自锁螺母拧紧到各螺栓上即可。

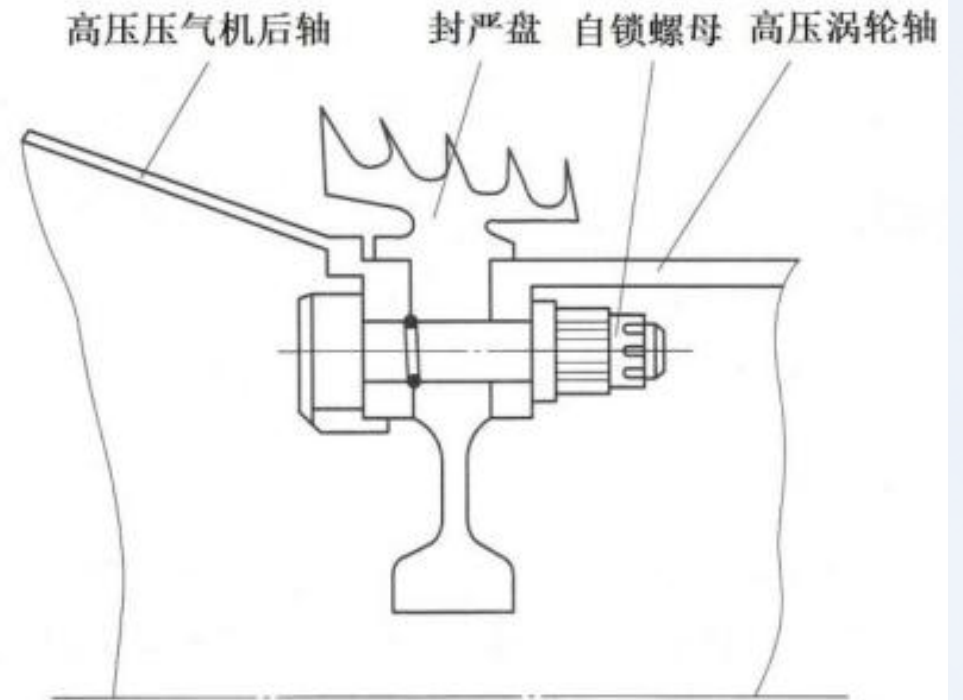


图 8-6 CFM56 发动机高压转子的刚性联轴器

b 柔性联轴器

传递扭矩、轴向力和径向力，轴线不同心时良好工作

类型

- ◆ 球形接头的套齿联轴器
- ◆ 半球形接头的套齿联轴器
- ◆ 浮动套齿联轴器
- ◆ 浮动球形垫圈的套齿联轴器

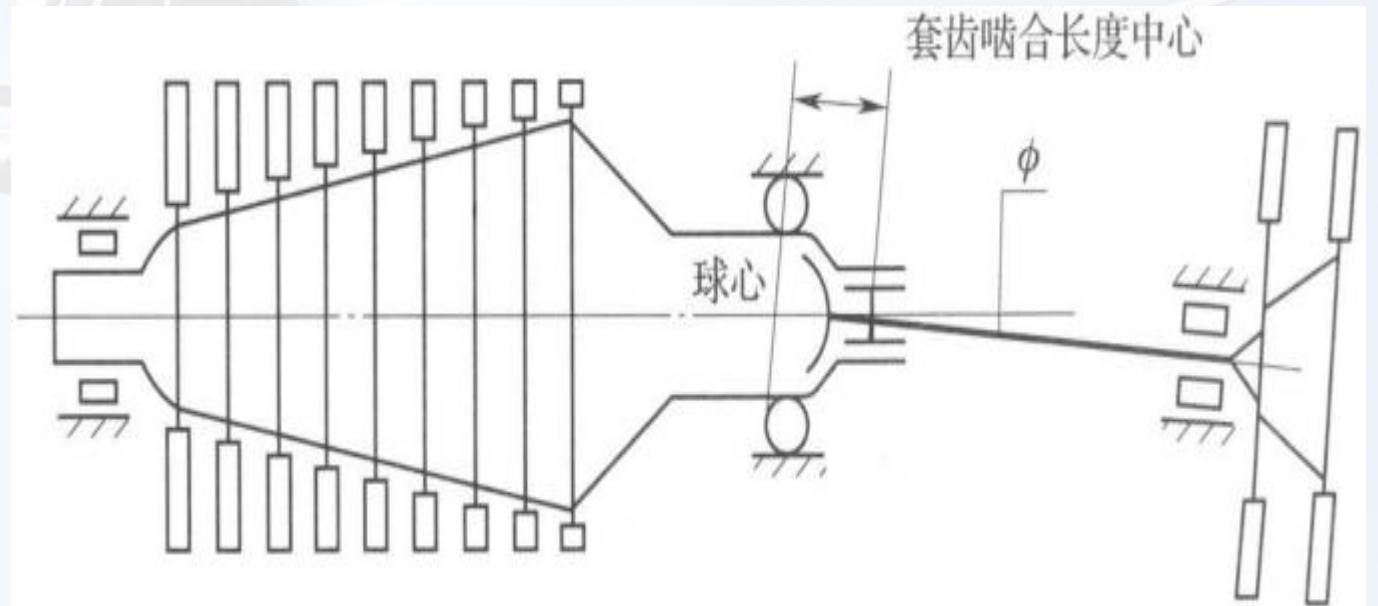


图 8-7 发动机柔性联轴器

1.3 发动机主轴承

a. 轴承的类型

a.) 轴承的类型



- ◆ 摩擦系数小
- ◆ 轴向尺寸小
- ◆ 用的滑油量小
- ◆ 低温下易于启动
- ◆ 短时间无滑油工作,



图 8-8 各种轴承

b) 滚动轴承

滚动轴承是基于滚动接触原理而设计

- 滚动轴承组成
- ◆ 内圈 装在轴上与轴紧配合，并与轴一起旋转，供滚珠的沟槽，称内沟或内滚道
 - ◆ 外圈 与轴承座孔成过渡配合，起支撑滚珠和滚棒的作用
 - ◆ 滚动体（滚珠或滚棒）大小和数量决定着轴承的承载力
 - ◆ 保持架 { 滚动体均匀相互隔开，
滚动体均匀和轮流地承受相等的载荷

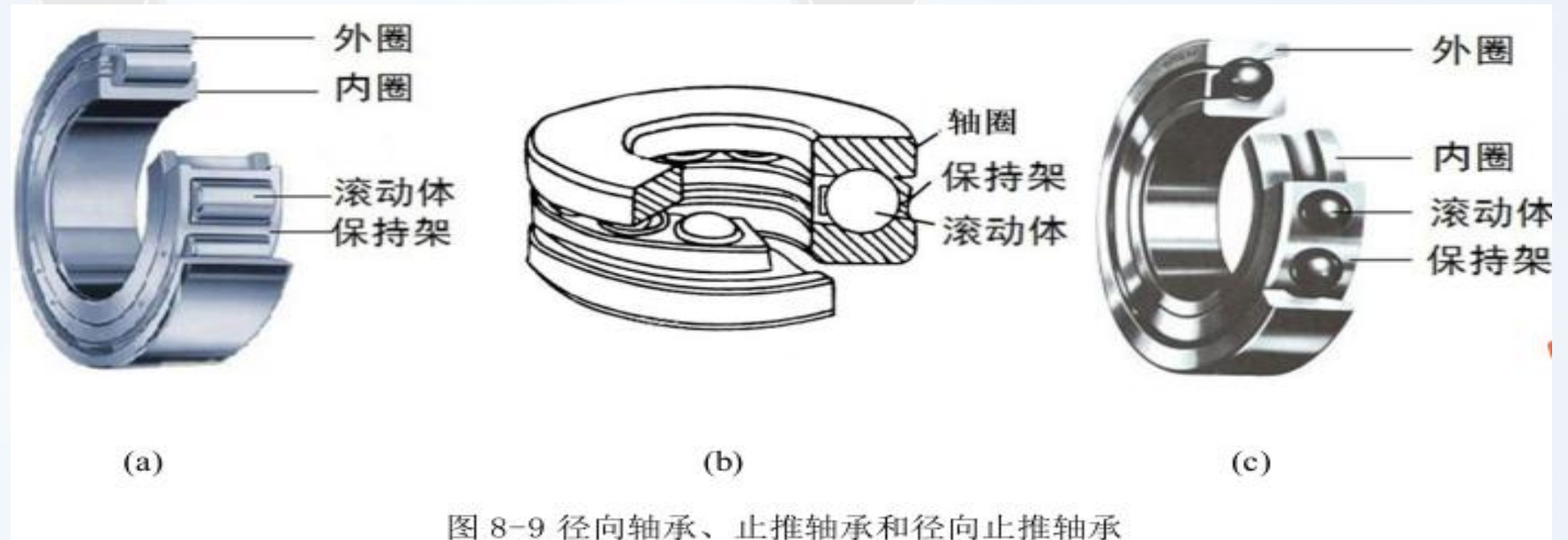
有些轴承是外圈旋转，内圈固定起支撑作用。外圈内表面上也有供滚珠或滚棒滚动的沟槽，称外沟或外滚道

c) 承受载荷分类

承受载荷的方向

- ◆ 径向轴承 向心轴承, 承受径向载荷
- ◆ 止推轴承 推力轴承, 承受轴向载荷;
- ◆ 径向止推轴承 向心推力轴承, 径向载荷和轴向载荷

发动机主轴承采用**径向轴承**（滚棒轴承）与**径向止推的滚珠轴承**



b 轴承的润滑

滑油带走热量，轴承高温下工作。供入的滑油也对轴承进行润滑，防止轴承表面的摩擦磨损与锈蚀

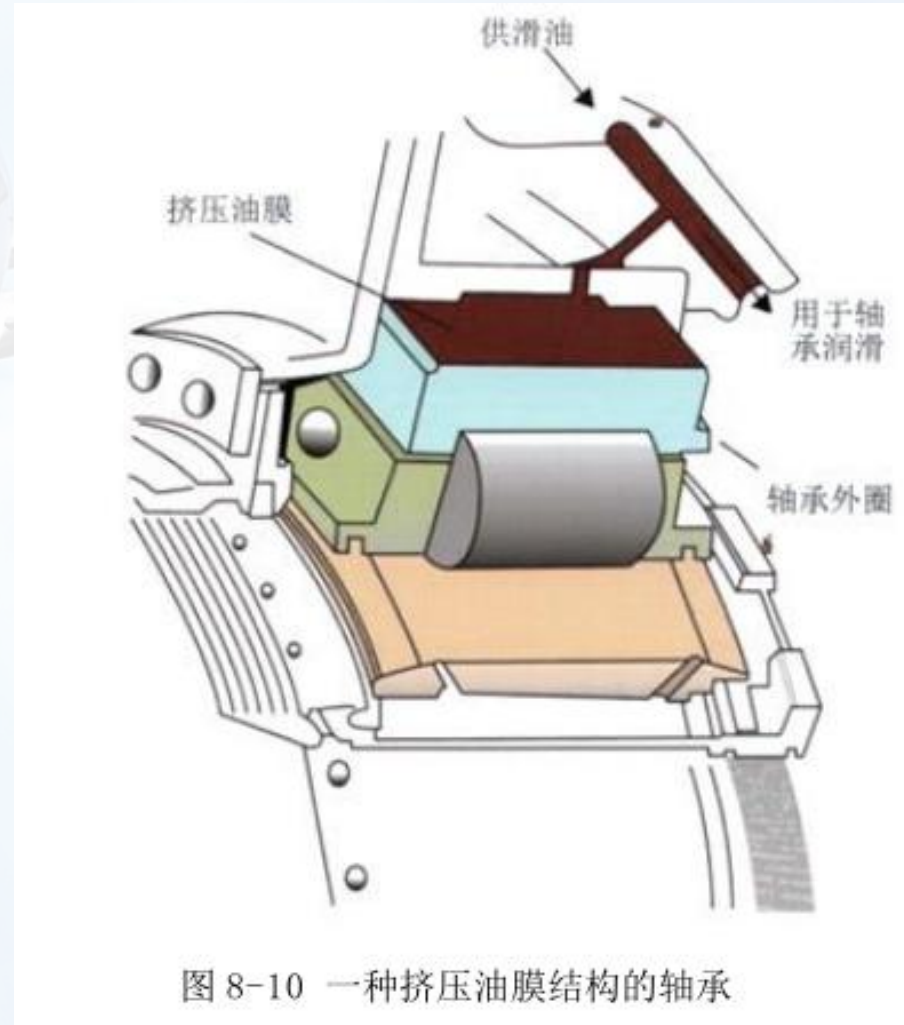
- ◆ 直接润滑法 一个标定孔供应一定温度和压力的滑油
- ◆ 间接润滑法 滚道下润滑方法，滑油喷内壁，离心力滑油滞留在壁上，壁上，孔向外流动，在保持架离开轴承，带走较多热量

回油泵抽回油箱，冷却、过滤后再供给轴承

c 挤压油膜轴承

减少从旋转组件传向轴承座的动力负荷的影响，采用了“挤压油膜”结构

滑油在轴承外圈和轴承座之间小的间隙，油膜阻尼了旋转组件的径向运动及传向轴承座的动力载荷，减振及疲劳损坏



1.4 轴承腔的封严

a. 轴承腔的封严结构

a) 封严结构

- 作用 {
- ◆ 防止滑油漏入气流通道。
 - ◆ 高温燃气不能向轴承腔泄漏

轴承腔或油槽：封严装置与外界气流通道隔开的轴承工作腔，一个或多个轴承

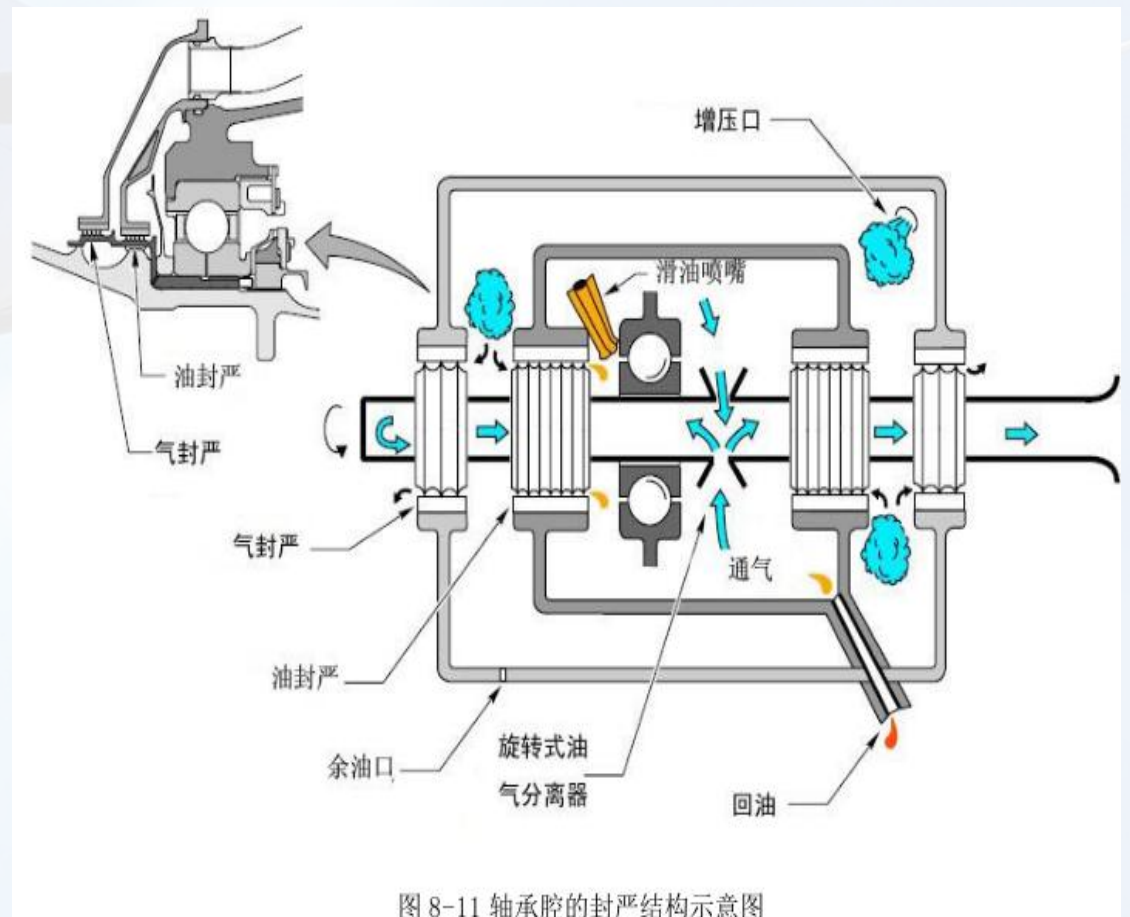


图 8-11 轴承腔的封严结构示意图

b) 轴承腔工作

轴承腔是一个封闭的增压空间



增压有利于轴承腔回油腔内压力太高，就会影响轴承腔的供油

- ◆ 供油
- ◆ 回油
- ◆ 通风管路 保持轴承腔内外有一定的压差

- 足够的封严空气进入轴承腔，保证封严效果
- 尽可能少的封严空气，减少发动机性能的影响

通风系统气体有滑油油气分离后，排到发动机机体外

b. 封严装置

作用

- ◆ 防止滑油从发动机轴承腔漏出,
- ◆ 控制冷却气流
- ◆ 防止主气流的燃气进入封严腔

类型

- ◆ 篦齿式
- ◆ 涨圈式
- ◆ 浮动环式
- ◆ 液压式
- ◆ 石墨式(碳封严)
- ◆ 刷式

取决于

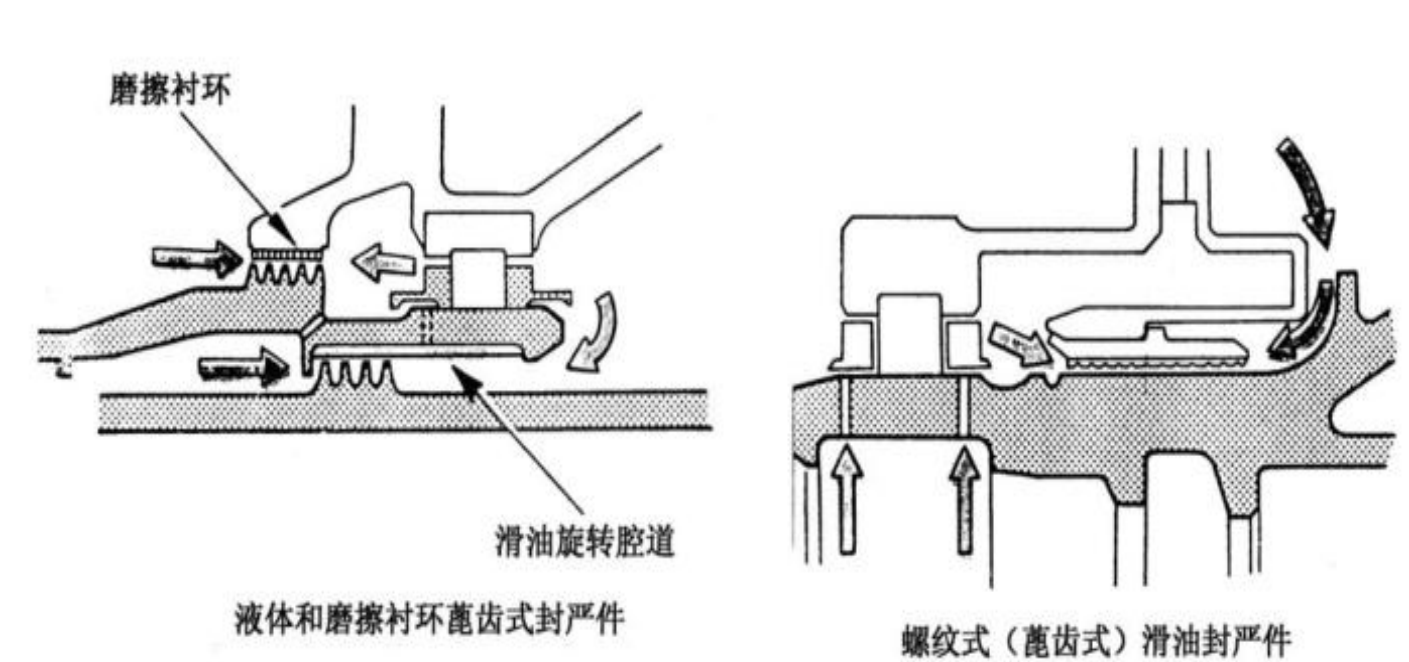
- 周围的温度和压力
- 可磨蚀性
- 发热量
- 重量
- 可用的空间
- 易于制造、
- 安装及拆卸

a) 篦齿式

篦齿封严件非接触式的封严装置

作用

- ◆ 挡住轴承腔中的滑油
- ◆ 控制内部空气流的限流装置



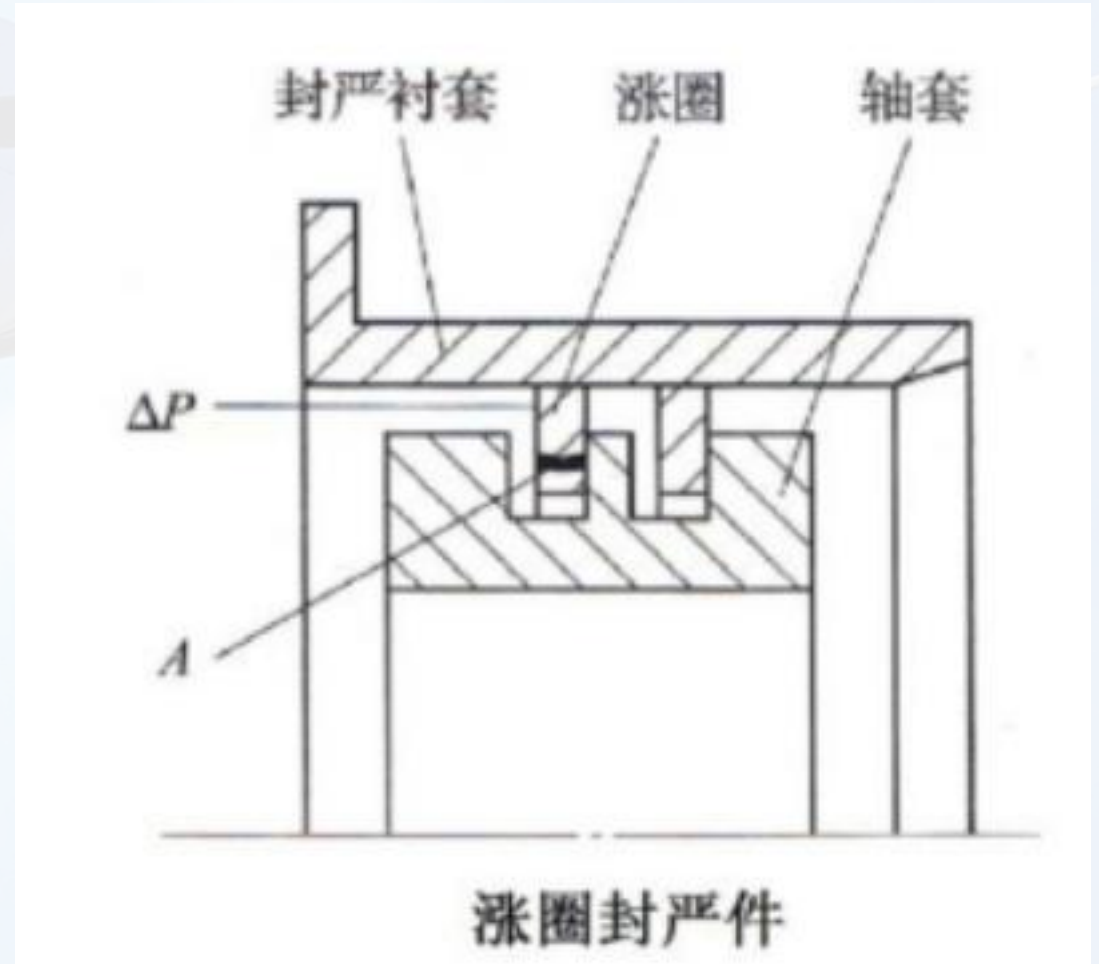
篦齿封严件

一个静止的座孔
带篦齿的旋转件,

座孔嵌衬有一层柔软的可磨材料衬带或耐高温的蜂窝结构

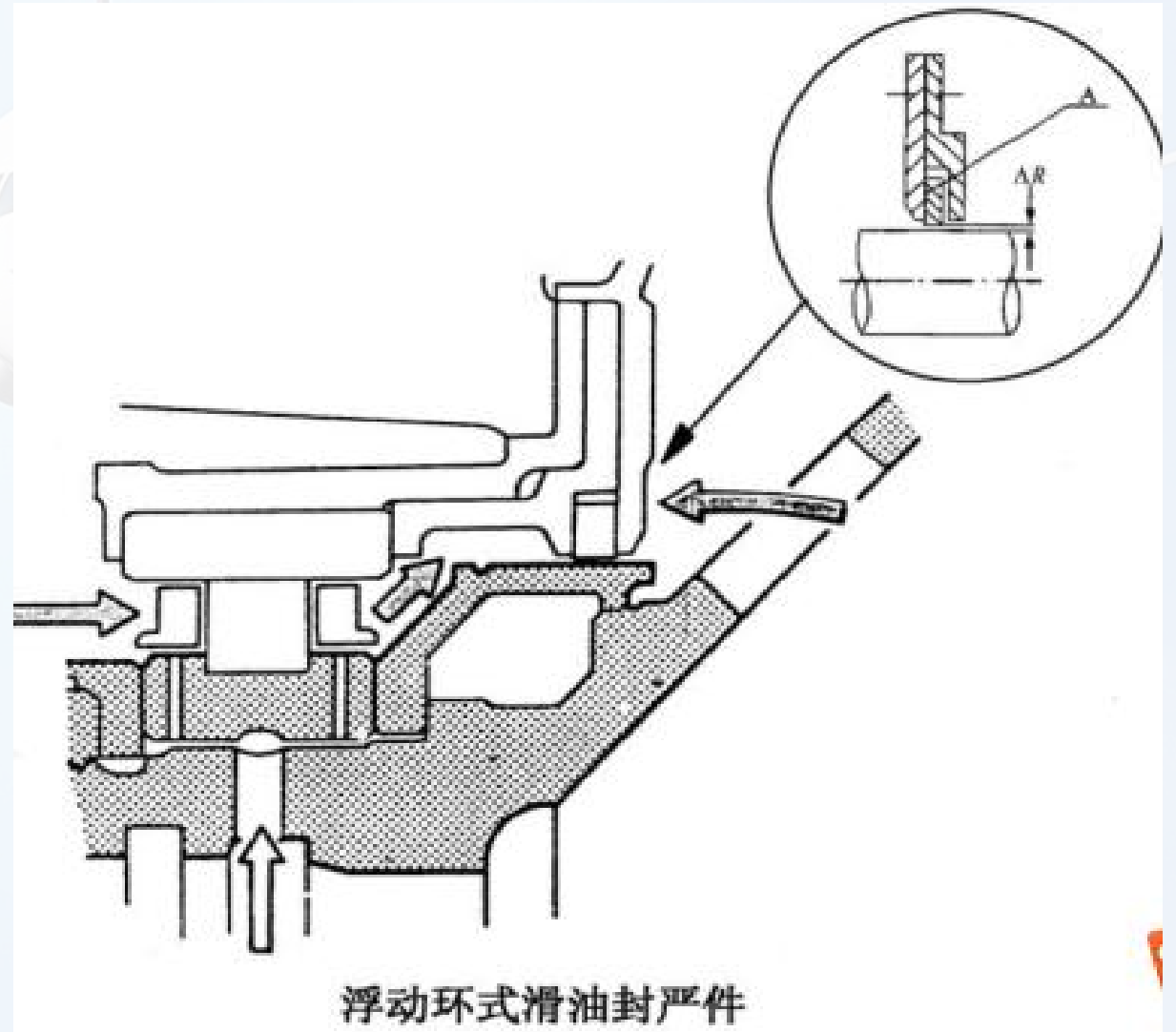
b) 涨圈式封严装置,

- ◆ 接触式封严特点
- ◆ 封严效果比篦齿式的要好
- ◆ 轴向尺寸短
- ◆ 过高的温度与切向速度会使金属涨圈丧失弹力, 磨损过快, 影响封严效果



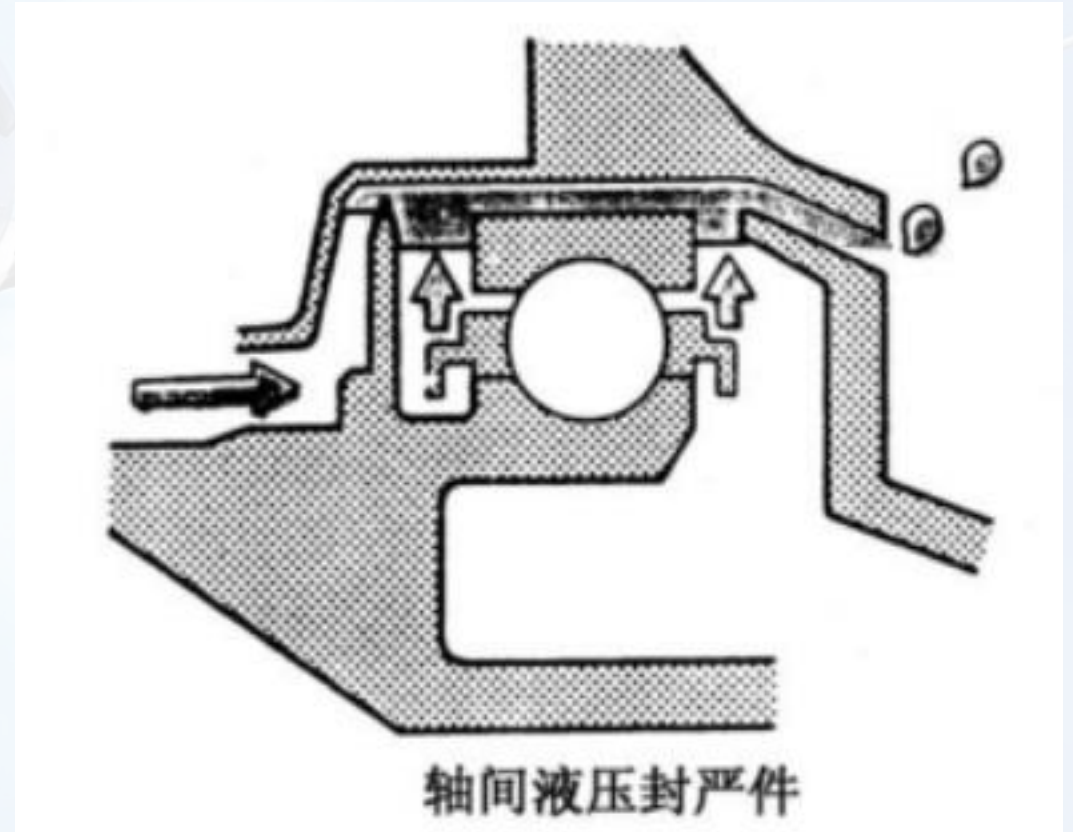
c) 浮动环封严装置特点

- ◆ 径向间隙式和端面接触式的混合封严
- ◆ 该环和旋转轴之间的间隙比篦齿式封严件间隙要小
- ◆ 环形封严件不适用于高温区，高温滑油结焦，环形件卡在机匣中



d) 液压封严件，两个旋转件之间来封严轴承腔

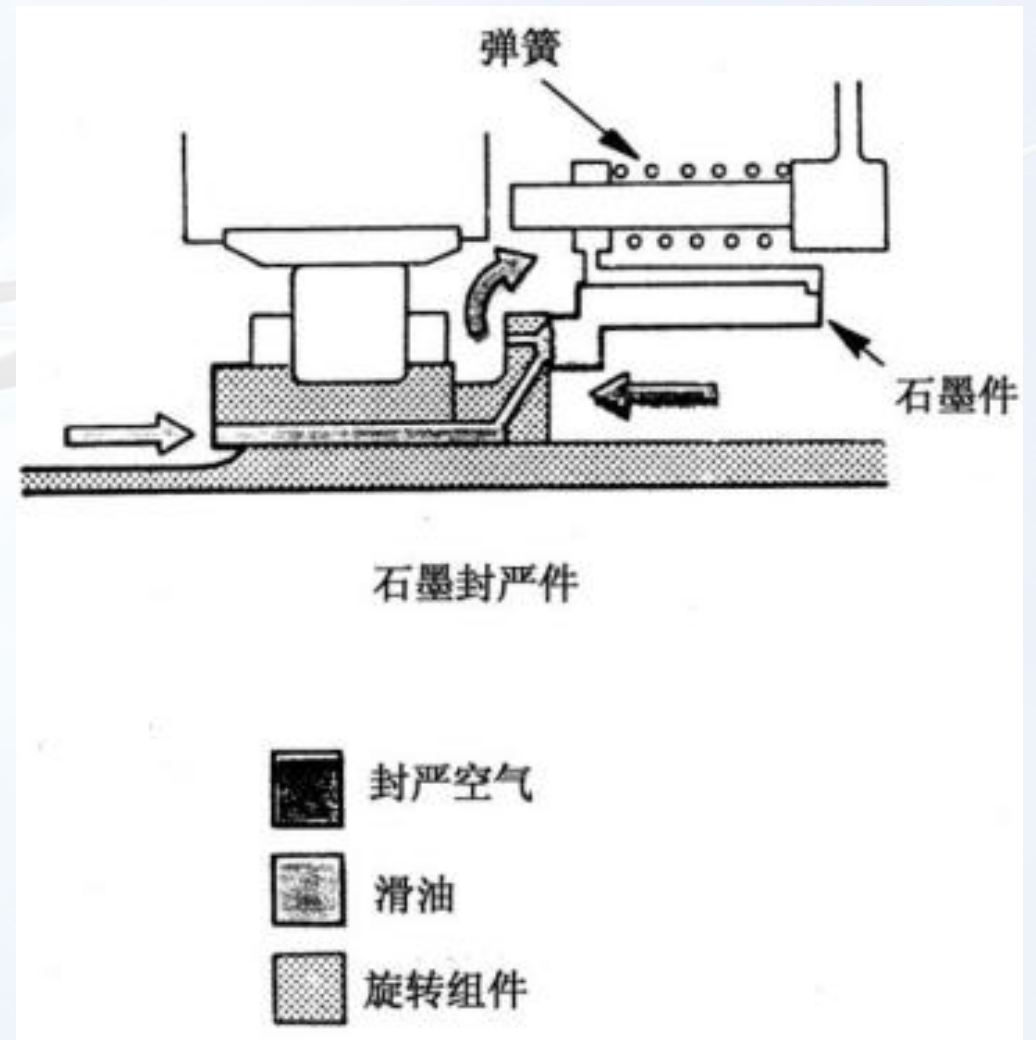
- ◆ 与**篦齿式或环形封严件（有间隙）**不同在于不允许受控的空气流穿过封严件
- ◆ 液压封严件由一个封严齿浸在一个滑油环带中形成，这个滑油环带是由离心力造成的
- ◆ 轴承腔内外的任何空气压差由齿两侧的滑油油面差补偿。



e) 石墨封严件：有一个静止的石墨环构件

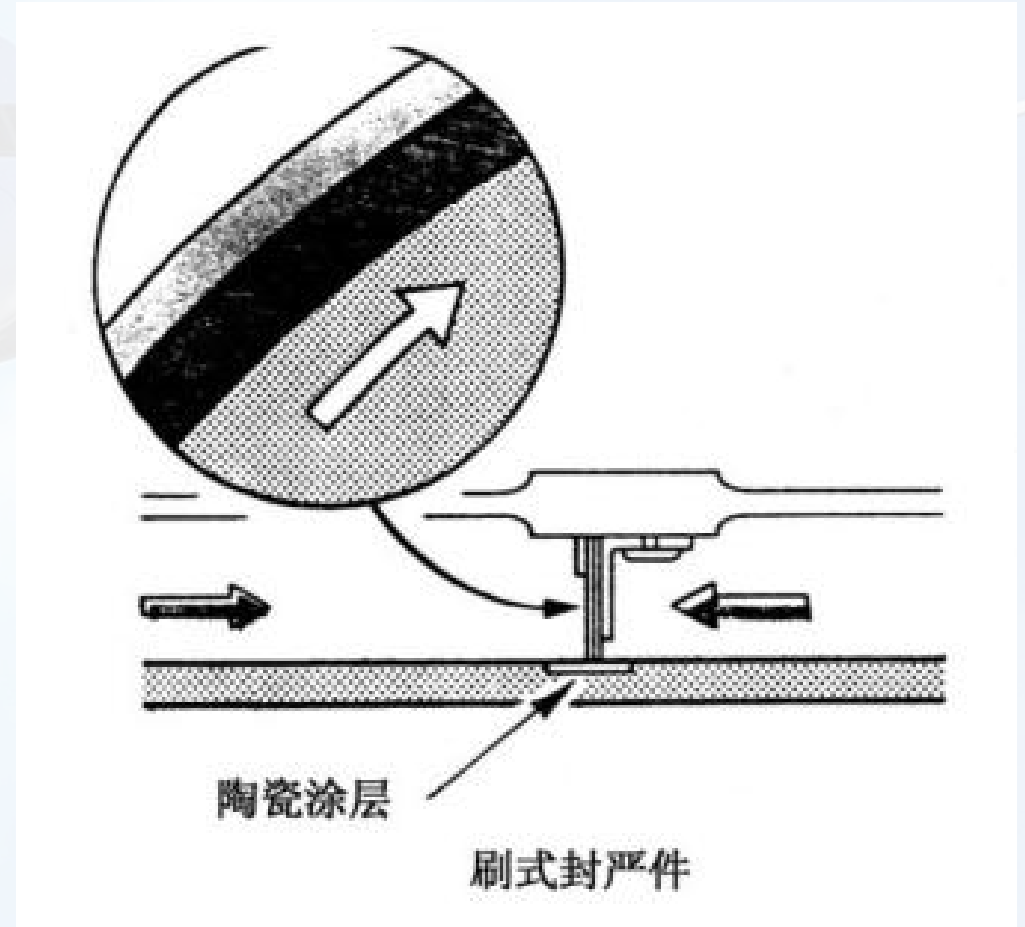
- ◆ 石墨环构件，与旋转轴的套环相摩擦，利用弹簧的弹力或者磁铁的磁力使石墨与套环保持接触
- ◆ 接触的良好程度，不允许任何滑油或空气漏过

CFM附件齿轮箱封严



f) 刷式封严件

1. 有一个由许多细钢丝制成的刷组成的静止环，不断与旋转轴相接触，与硬的陶瓷涂层相摩擦
2. 优点是可以承受径向摩擦而不增加渗漏



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

5.2.6.2 附件传动装置

2.1 附件传动装置的组成与工作

a 作用与组成

发动机附件 保证发动机正常工作的附件 滑油泵、燃油泵

飞机附件 向飞机提供动力的装置， 液压泵、发电机

附件传动装置：发动机转子的功率、转速传输到附件并驱动附件以一定的转速和转向工作的齿轮轮系及传动轴的组合物

附件传动装置

- 内部传动装置
- 外部传动装置
 - 附件齿轮箱
 - 转换齿轮箱（角齿轮箱）

b 传动关系与安装

a) 关系与安装

发动机转子 8



伞齿轮 1 和 2



驱动轴 5



伞齿轮 3 和 4



水平传动轴 6



附件齿轮箱 7

转动转换为与转子轴垂直或成一定角度

转换齿轮箱起中介作用, 负责改变径向轴

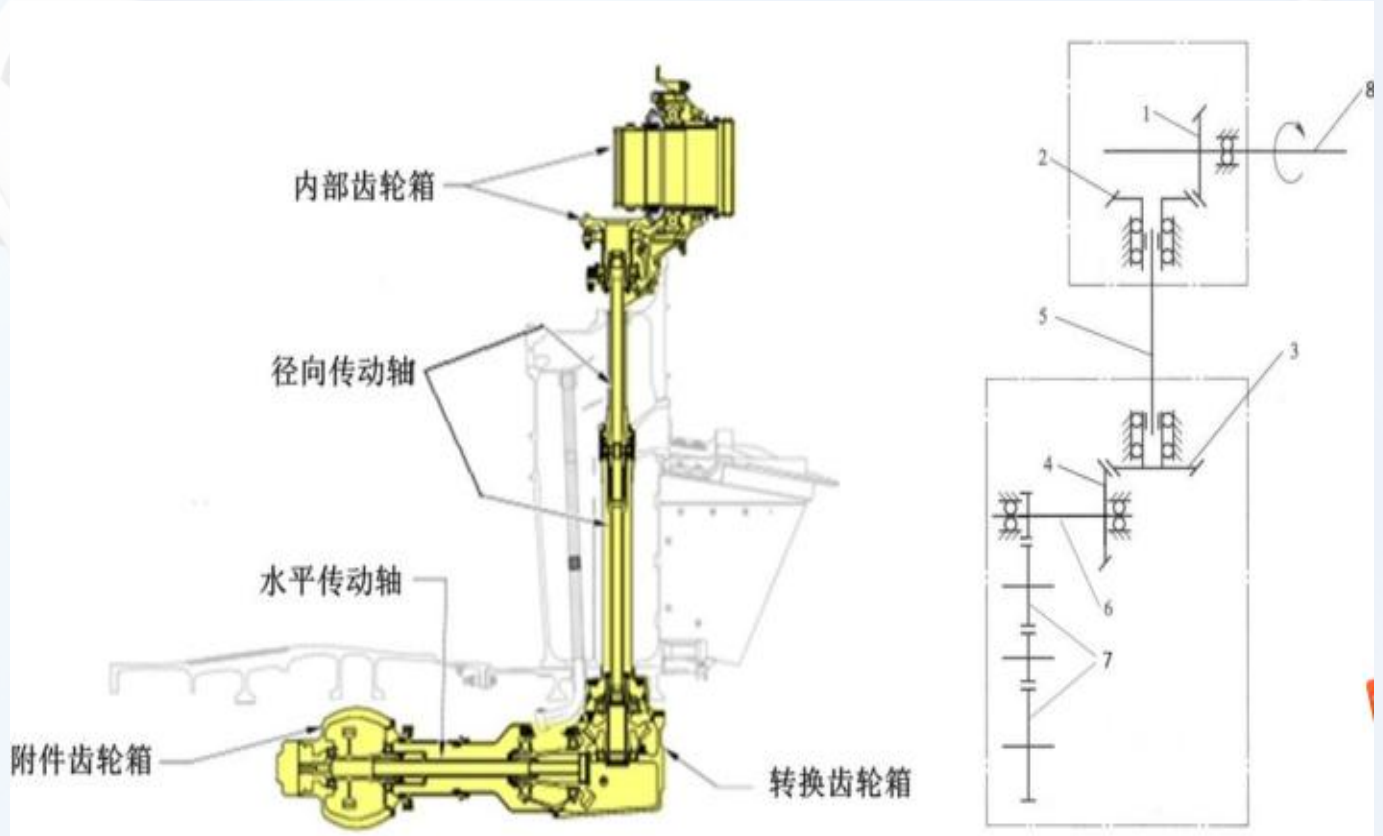


图 8-13 附件传动装置

b) 传动方式

- ◆ 单转子发动机，附件传动由压气机轴驱动
- ◆ 多转子发动机上，取决于发动机是否易于启动。高压压气机与内部齿轮箱相连接。
- ◆ 有的发动机上有两个齿轮箱，改善起动能力，但增加了重量，不常使用

前部传动
后部传动

高速齿轮箱连高压
低速齿轮箱连低压

c) 附件传动装置的安装位置

- ◆ 考虑环境温度，不在高温区
- ◆ 还应方便接近，好的可达性

发动机轴线风扇机匣：在 CFM56
外廓尺寸有所增大

CF6-80C2，装在核心机部位较
高温度的环境，隔热防护套，并
冷却空气进行冷却

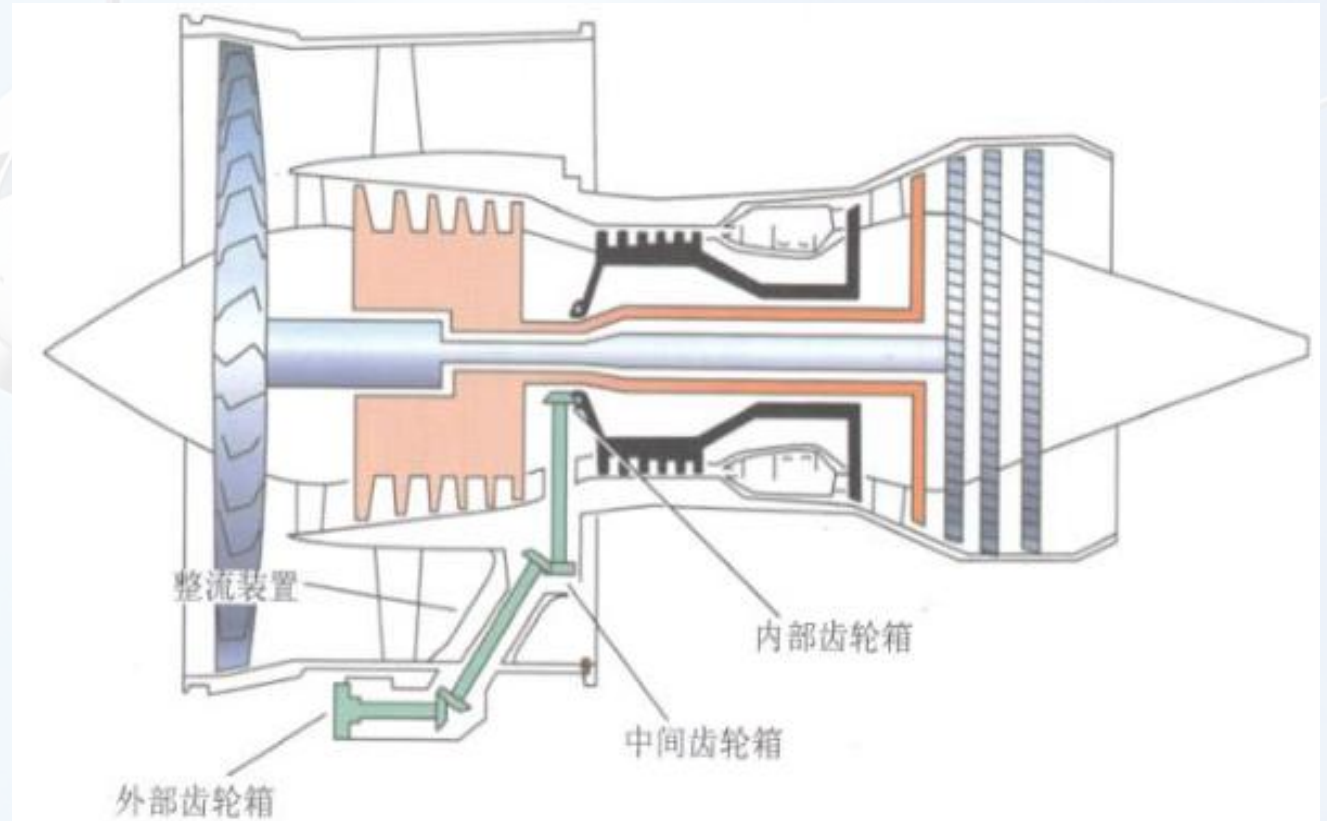


图 8-14 RB211-535E4 发动机附件传动装置布局

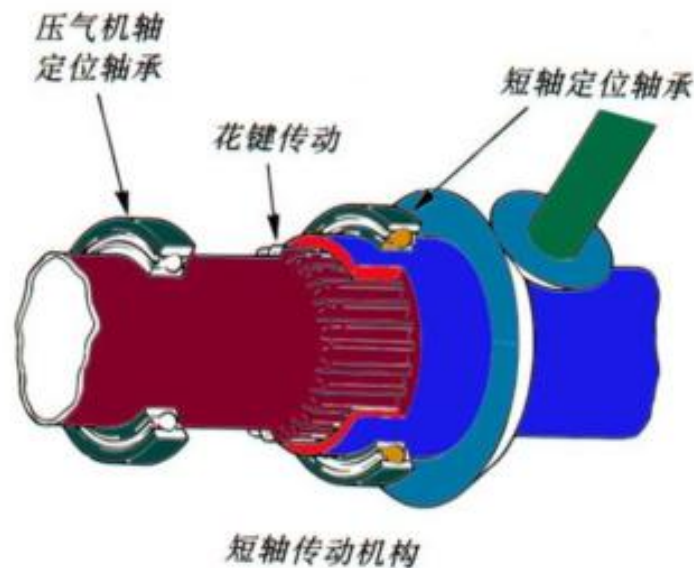
2.2 齿轮箱结构

a. 内部齿轮箱

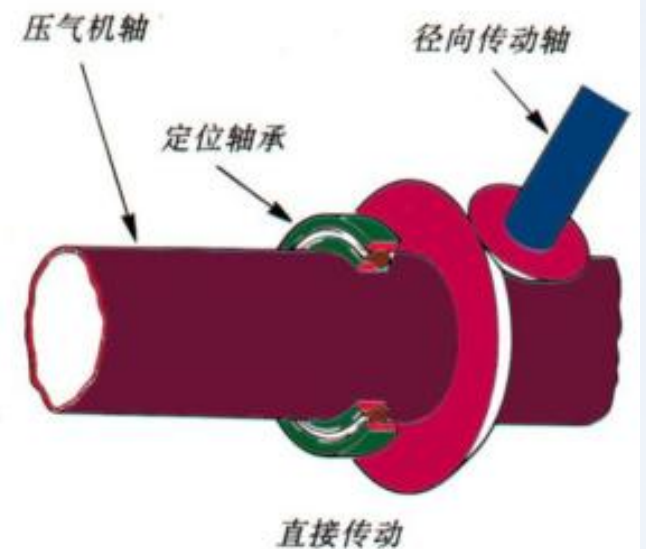
功用把发动机转子的转动传给径向驱动轴 **水平转垂直**

一定考虑发动机工作时，**转子会发生轴向移动**，影响内部齿轮箱的传动

- ◆ 短轴传动
- ◆ 直接传动



(a) 短轴传动



(b) 直接传动

图 8-15 内部齿轮箱的传动方案

b. 外部齿轮箱

转速进行调整



转换齿轮箱 连接内部和附件齿轮箱

径向驱动轴传给附件齿轮箱，
附件转动传给内部齿轮箱（孔探）

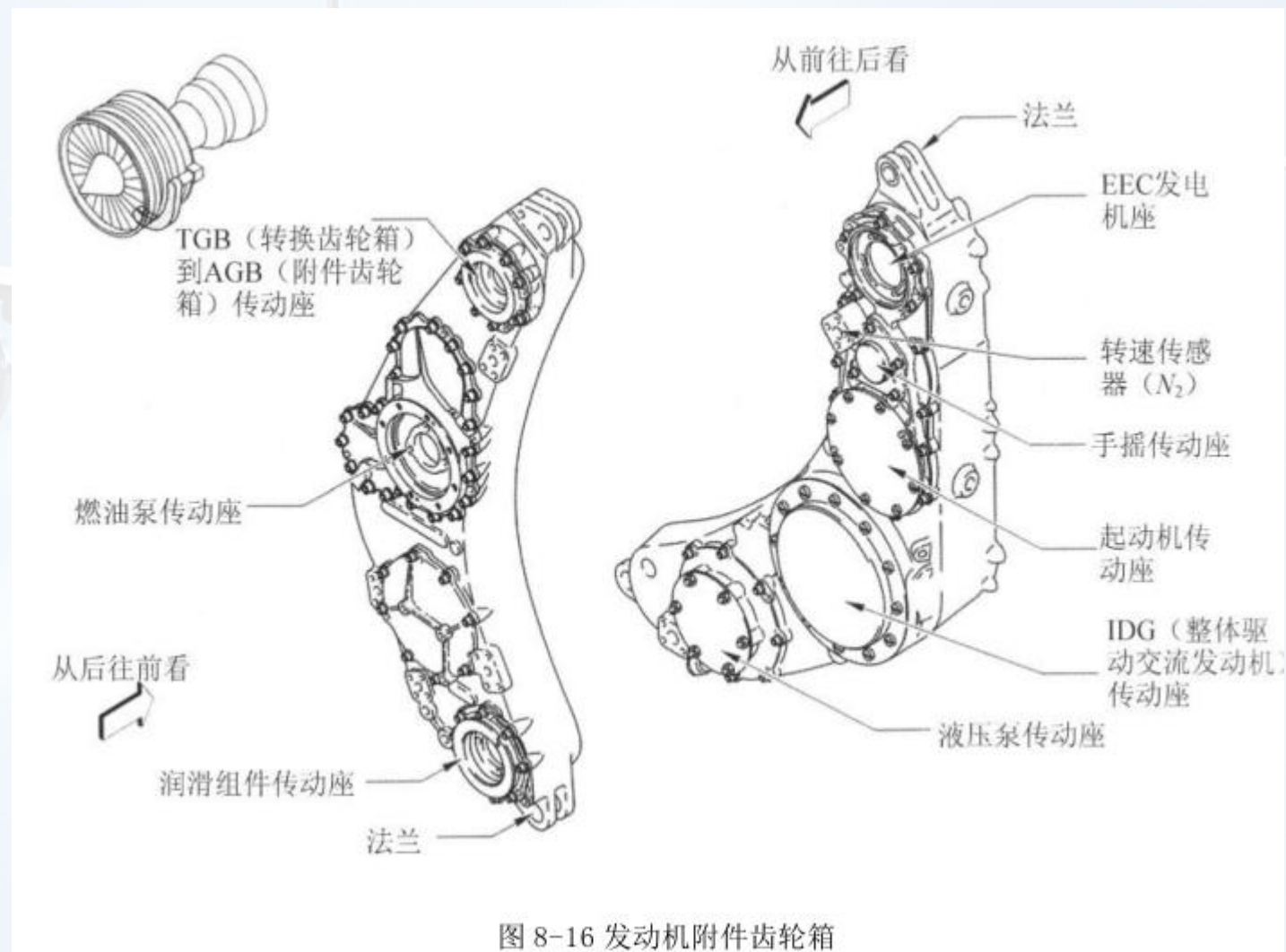
附件齿轮箱


- 燃油泵
- 滑油泵
- 液压泵
- 起动机
- 整体驱动交流发电机 (IDG)
- 专用发电机(ECU)
- 孔探手摇传动座

c 附件安装方式

1. 用螺栓连接
2. V型夹连接
3. 快卸环 (QAD)

V型夹和快卸环可方便、快速拆卸和安装附件



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

5.2.6.3 典型发动机附件传动维护介绍

3.1 典型发动机附件传动部件识别

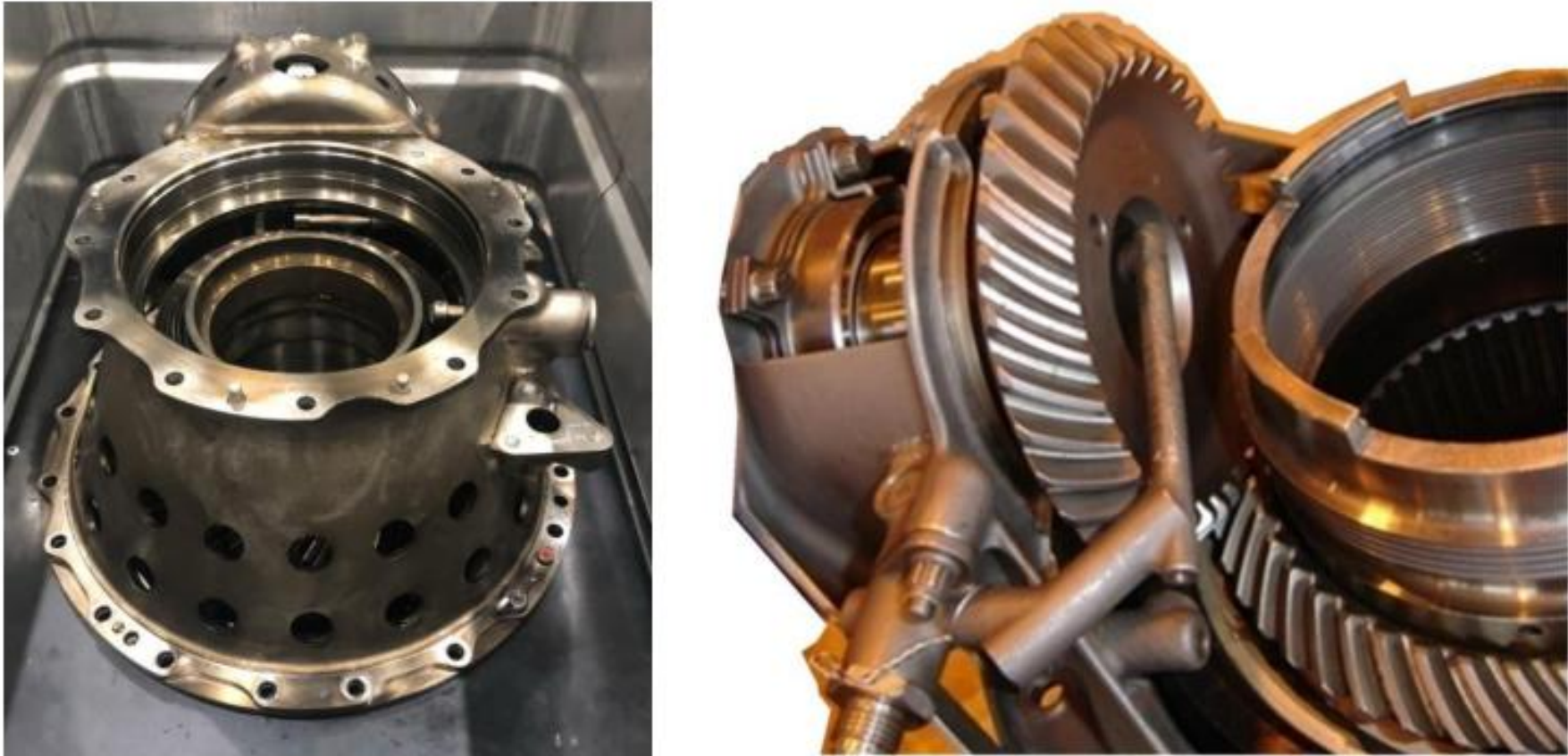


图 8-17 内部齿轮箱

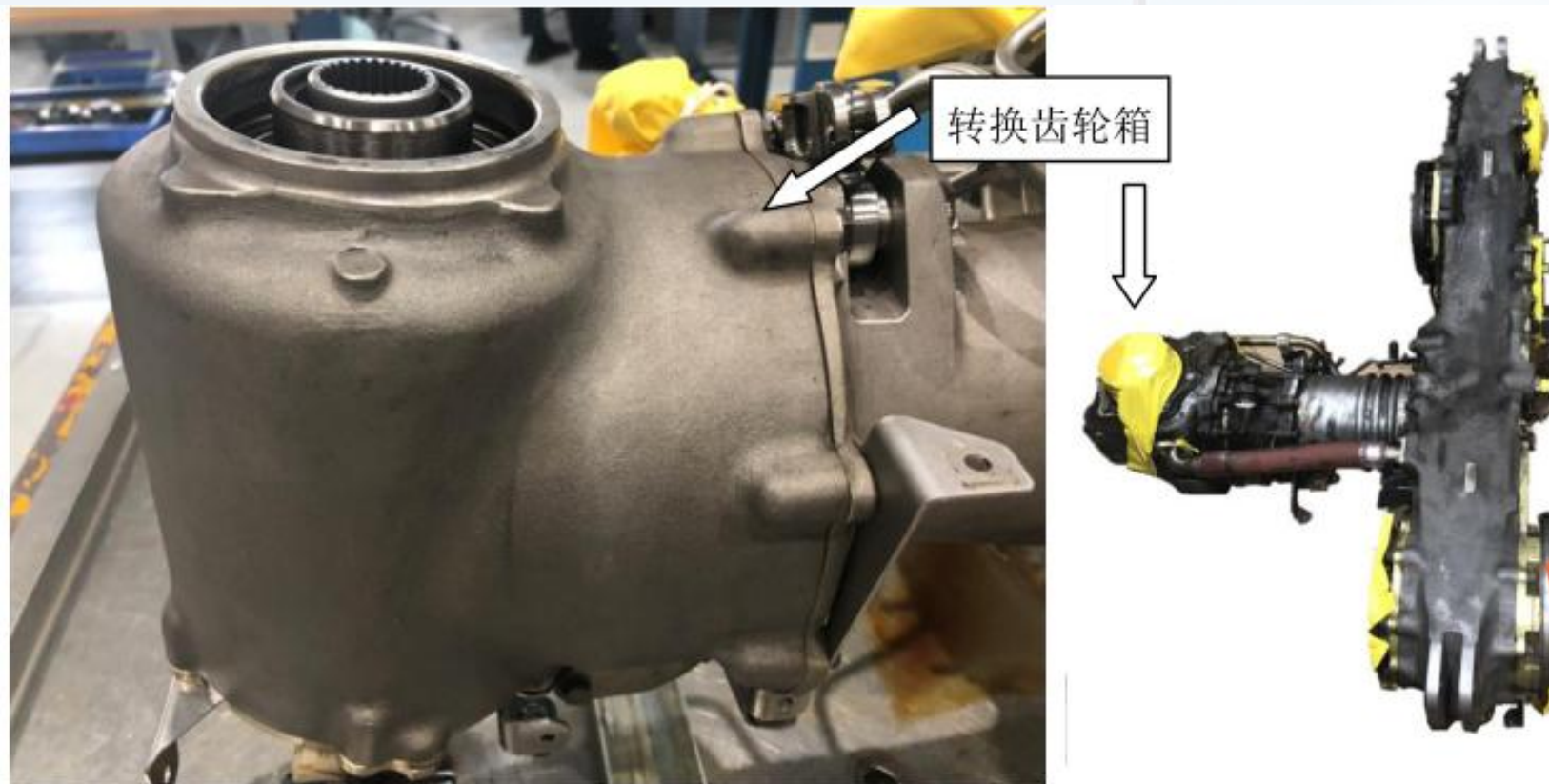


图 8-18 转换齿轮箱

图 8-19 径向传动轴





图 8-20 附件齿轮箱

3.2 附件传动常见维护及安全注意事项

a. 金属屑 的的 检查与附件安装

关键部件的轴承齿轮材料碎屑

安装到位，碳封严安装良好，避免滑油渗漏事件

b. 人工驱动发动机转子操作

手摇曲柄传动座的功用是转动发动机高压转子

安全注意事项

- ◆ 手摇曲柄和高压转子转动圈数关系，保证高压转子全覆盖，
- ◆ 完成检查工作后，更换密封圈，安装手摇曲柄传动座堵盖
- ◆ 按需试车渗漏检查，确保没有滑油渗漏。

小结:

序号	思考题
1	发动机转子支承
2	附件传动
3	维护



感谢聆听，欢迎指正