

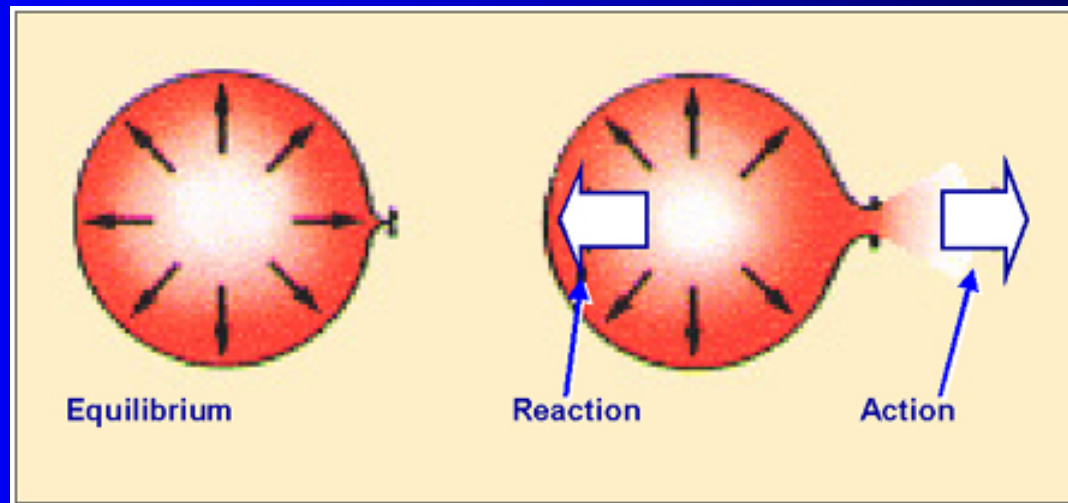
噴射引擎介紹

黃柏文 副教授

逢甲大學航太與系統工程學系

噴射引擎之原理

- 噴射引擎之理論基礎
 - 牛頓第三運動定律：作用力＝反作用力

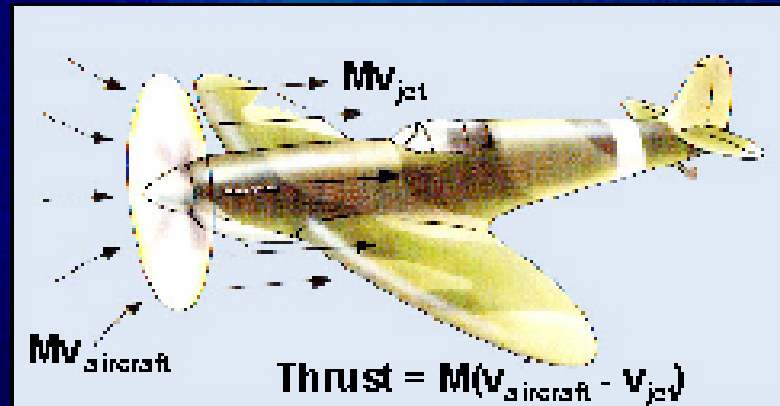


- 推力＝質量流率(M)×速度(V)

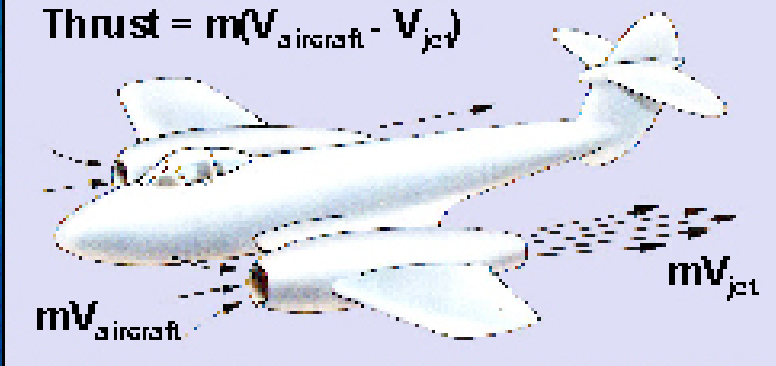
- 螺旋槳與噴射推進之比較：推力 = $M \times (V_{\text{aircraft}} - V_{\text{jet}})$

Propeller versus Jet Propulsion

Propeller - moves
LARGE MASS of
air at low velocity



$$\text{Thrust} = m(V_{\text{aircraft}} - V_{\text{jet}})$$



Jet - moves small
mass of gas at HIGH
VELOCITY



Rolls-Royce

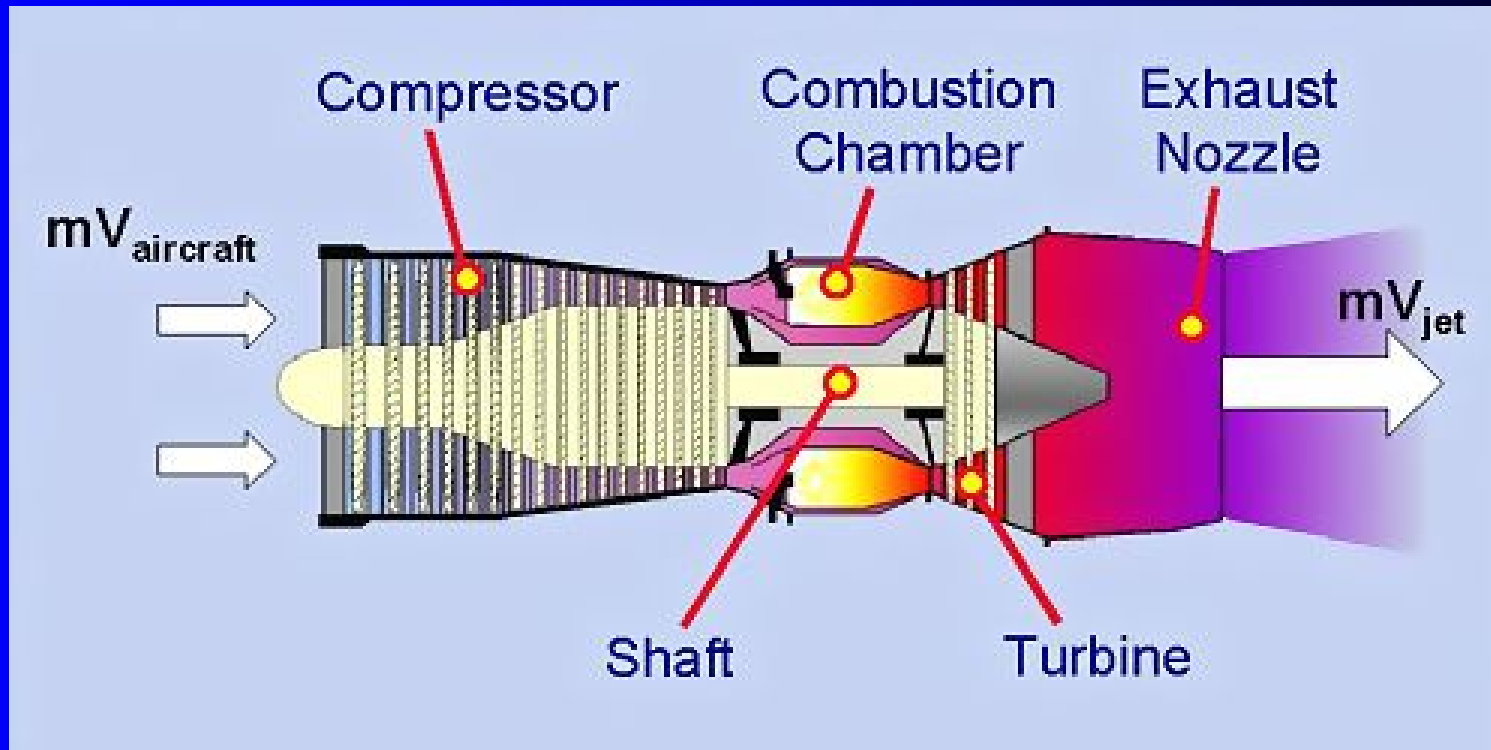
螺旋槳引擎：空氣流速低但流率大

- 僅適合低速飛行：低次音速 ($M_a < 0.5$)
 - 馬赫數(M_a)=飛行速度/音速
 - 飛行速度過高：螺旋槳翼尖會產生震波(shock)，因而產生噪音，並降低引擎效率。
 - 角速度=半徑×轉速

噴射引擎：空氣流速高但流率小

- 可用於高速飛行：高次音速($0.5 < M_a < 0.85$ ，民航機)、超音速($M_a > 1$ ，戰鬥機)
 - 飛行速度的提升即生產力的提升：在同一時段內，同一架飛機能執行更多的任務或運送更多的旅客。

噴射引擎之架構

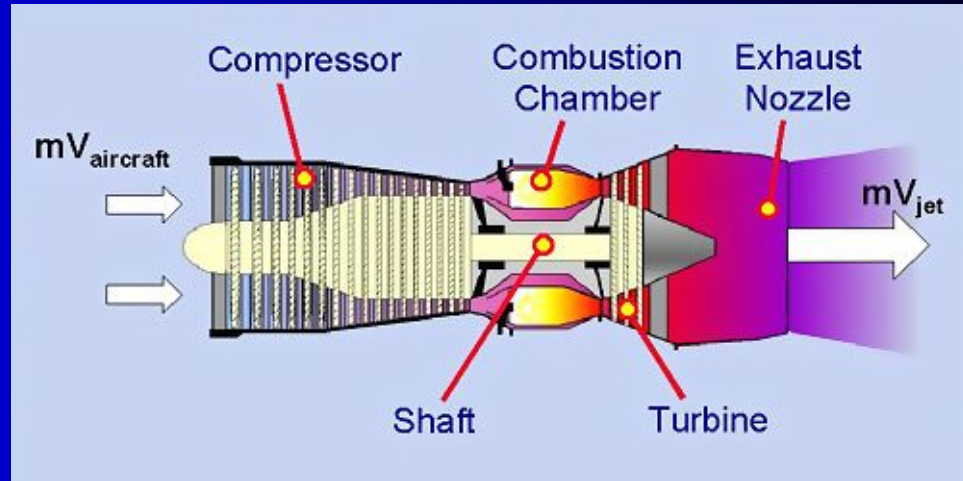
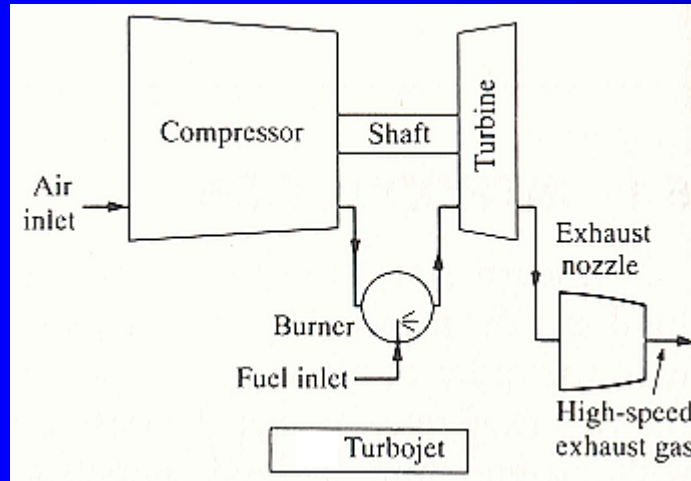


- 空氣經壓縮機增壓後進入燃燒室與燃料混合燃燒，受熱膨脹之燃氣推動渦輪機提供壓縮機動力，最後經排氣噴嘴噴出產生推力。

噴射引擎之分類

- 渦輪噴射引擎(turbojet engine)
- 渦輪導扇引擎(turbofan engine)
- 渦輪螺旋槳引擎(turboprop engine)
- 渦輪軸引擎(turboshaft engine)
- 海事燃氣渦輪機(marine gas turbine)
- 工業引擎(industrial engine)

渦輪噴射引擎



- 所有的空氣經過壓縮機、燃燒室及渦輪機
- 動力大、噪音高、高燃油比(SFC=油耗/推力)
- 適合需大動力之高速飛行(戰鬥機)

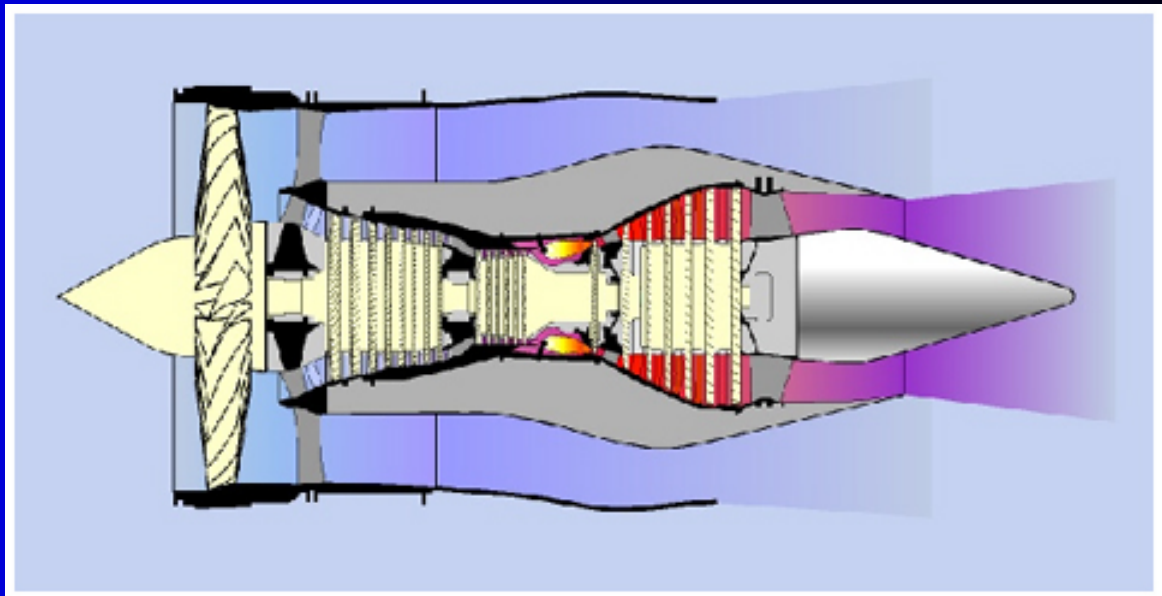
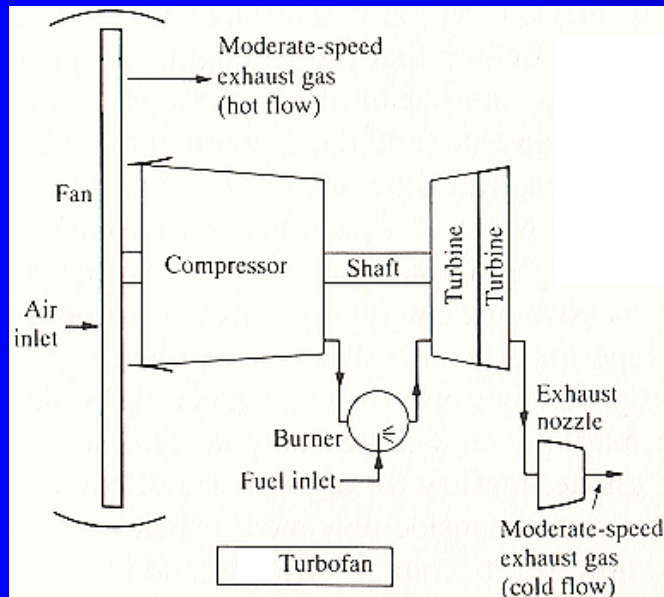


Viper

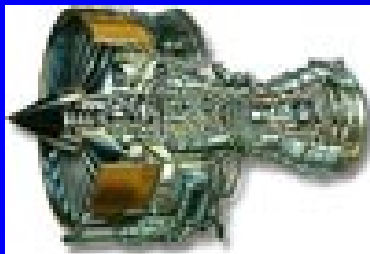
Aermacchi
MB339



渦輪導扇引擎



- 部分的空氣經過壓縮機、燃燒室及渦輪機
- 旁通比 β (旁通氣流/吸入引擎主體之氣流) 可高達9
- 噪音小、低燃油比
- 適合考慮經濟效益之飛行(民航機)

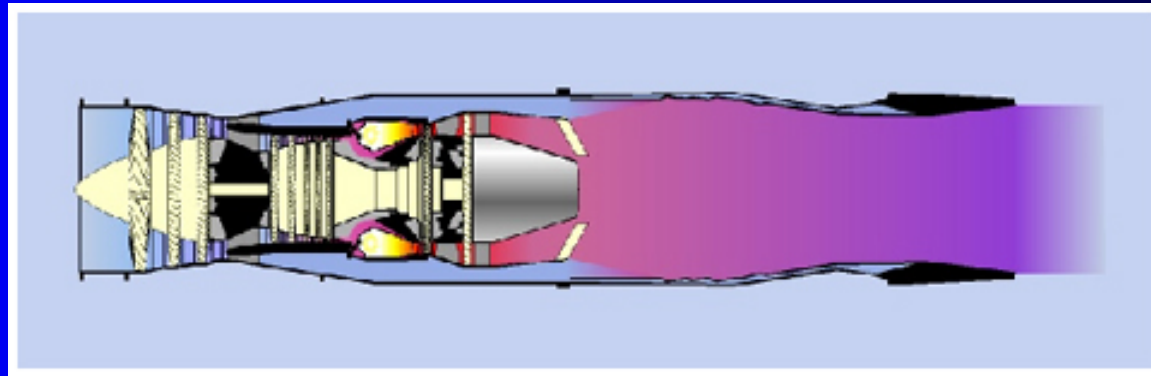


Trent 700

Airbus A330



渦輪導扇引擎



- 現代軍事用飛機亦有採用渦輪導扇引擎作為動力者，但其旁通比較低。
- 為增強其推力，於引擎後段可加入後燃器之設計，以EJ200引擎為例，使用後燃器後其推力可從13000lbf增為20000lbf，但SFC幾乎變為兩倍，因此僅於起飛及戰鬥時使用。



EJ200

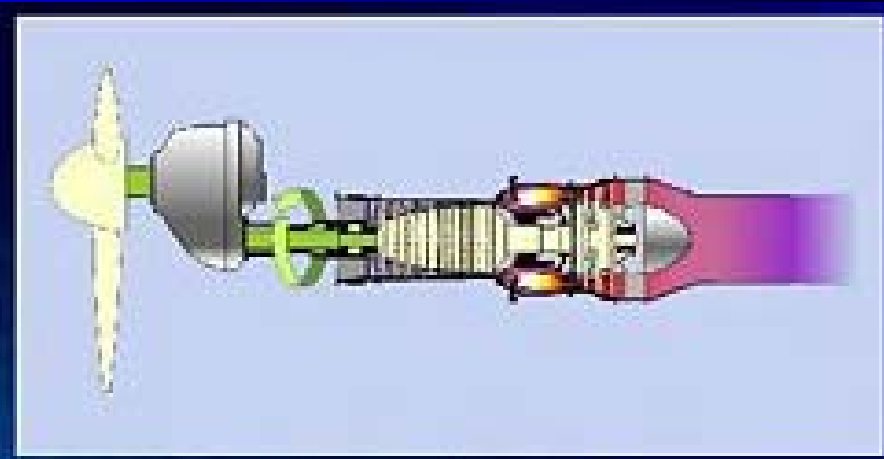
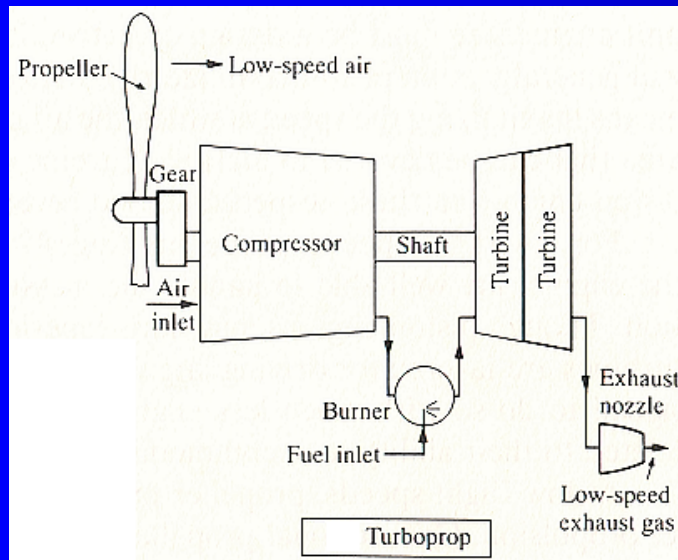
Eurofighter

$\beta=0.4$

Typhoon



渦輪螺旋槳引擎

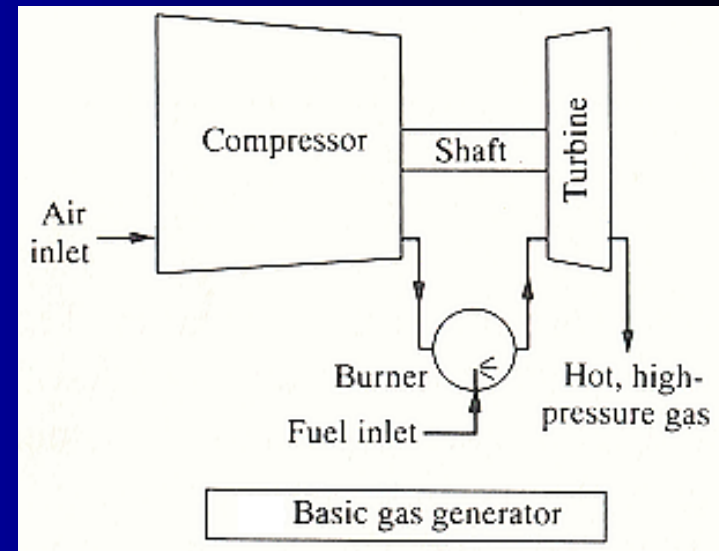


Turboprop - AE 2100

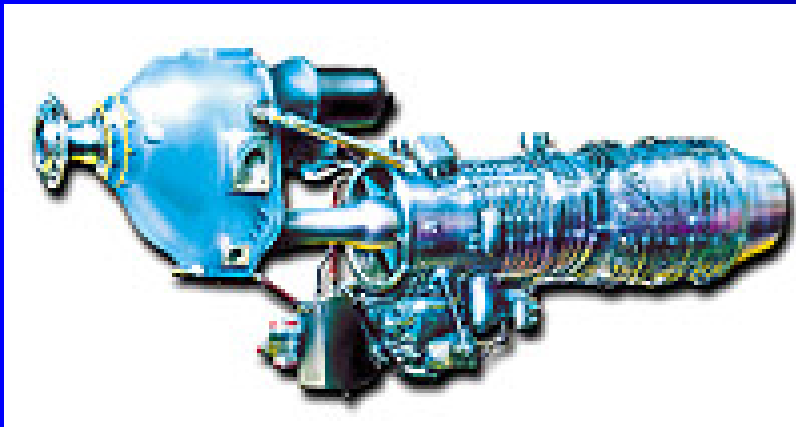
- 噴射引擎亦可用來產生機械動力，其作法為將渦輪機的級數增加，從而自燃氣中吸收更多的能量。類似的應用除渦輪螺旋槳引擎外，尚有渦輪軸引擎、供海事及陸地使用之工業引擎。
- 在現代之設計上，增設之渦輪機可與原渦輪機不同軸而以自訂之轉速運轉，稱之為自由動力渦輪機 (free power turbine)，其設計目的是提供燃氣適當之環境來驅動動力渦輪機。

渦輪螺旋槳引擎

- 扣除增設之渦輪機，其餘之裝置統稱為**燃氣產生器** (gas generator)。理論上，燃氣產生器與動力渦輪機可分別獨立設置，再以管路相連，但在實際設計上，均將動力渦輪機直接置於燃氣產生器之後。



- 中油公司之天然氣輸送系統有採用此設計技術。

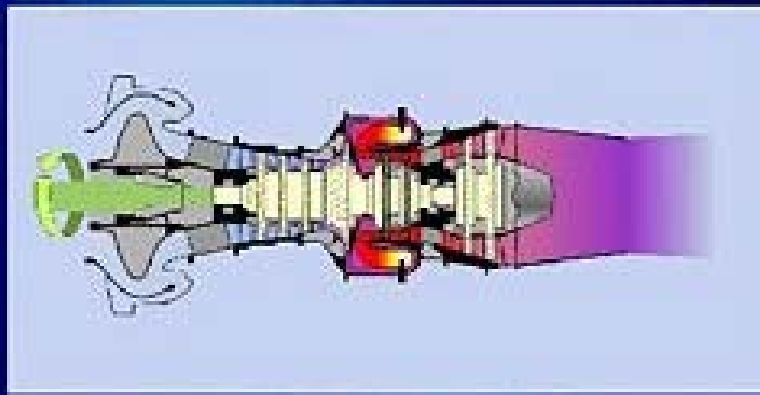


AE 2100



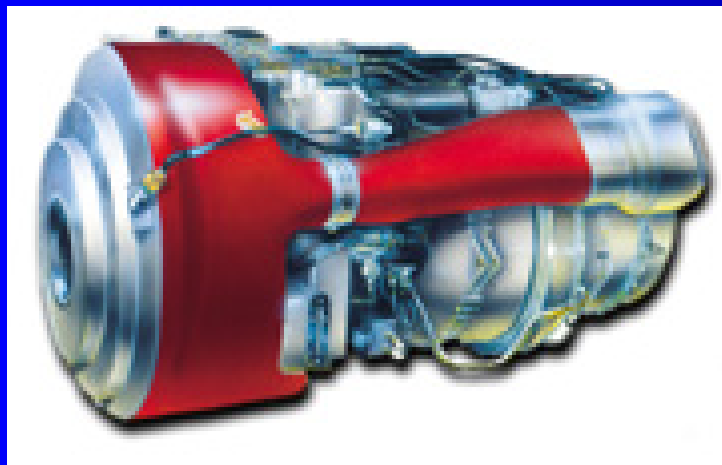
Lockheed C-130J

渦輪軸引擎



Turboshaft - RTM322

- 與渦輪螺旋槳引擎之設計類似，但其排氣之壓力更小，藉以提供更大的軸動力及降低排氣速度。

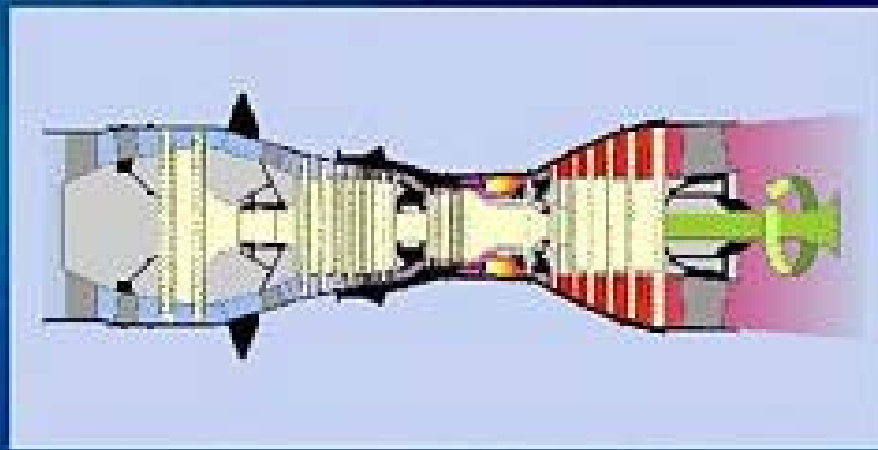


RTM322



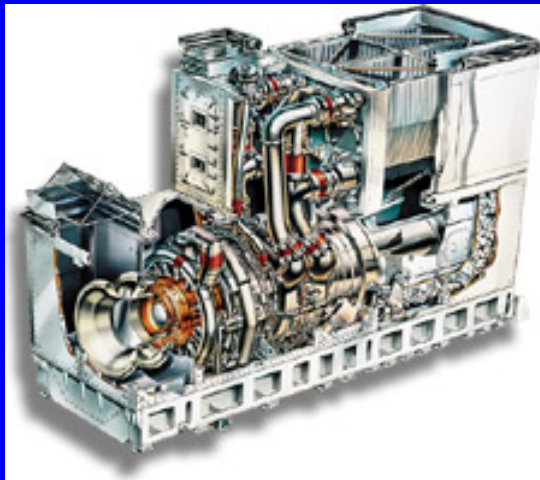
NH90

海事燃氣渦輪機

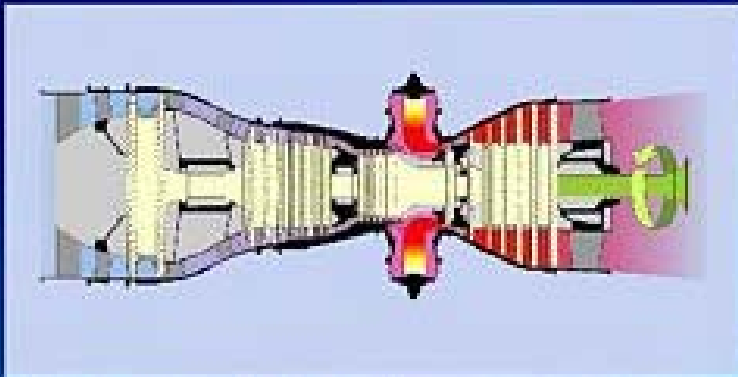


Marine Trent

- 用以驅動船舶推進系統，如螺旋槳。

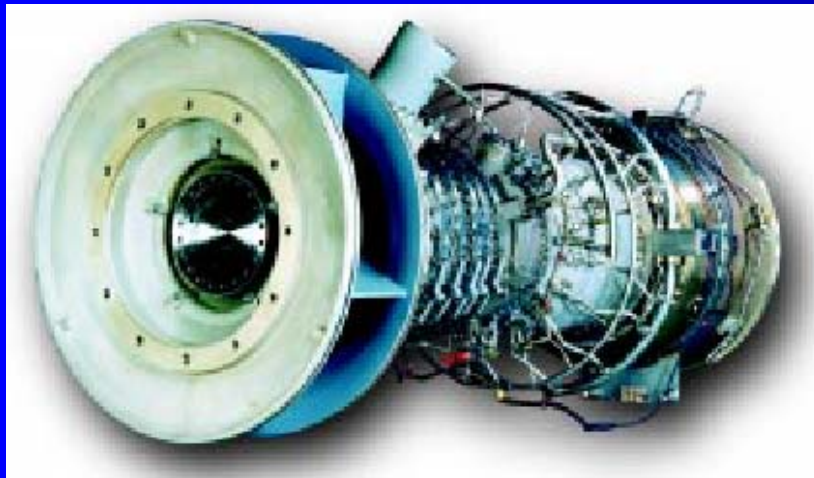


工業引擎



Industrial Trent

- 用以驅動發電機或壓縮機來輸送油料或天然氣
- 相較於其他的應用，此類引擎需有更先進之燃燒室設計，以符合環保法規。

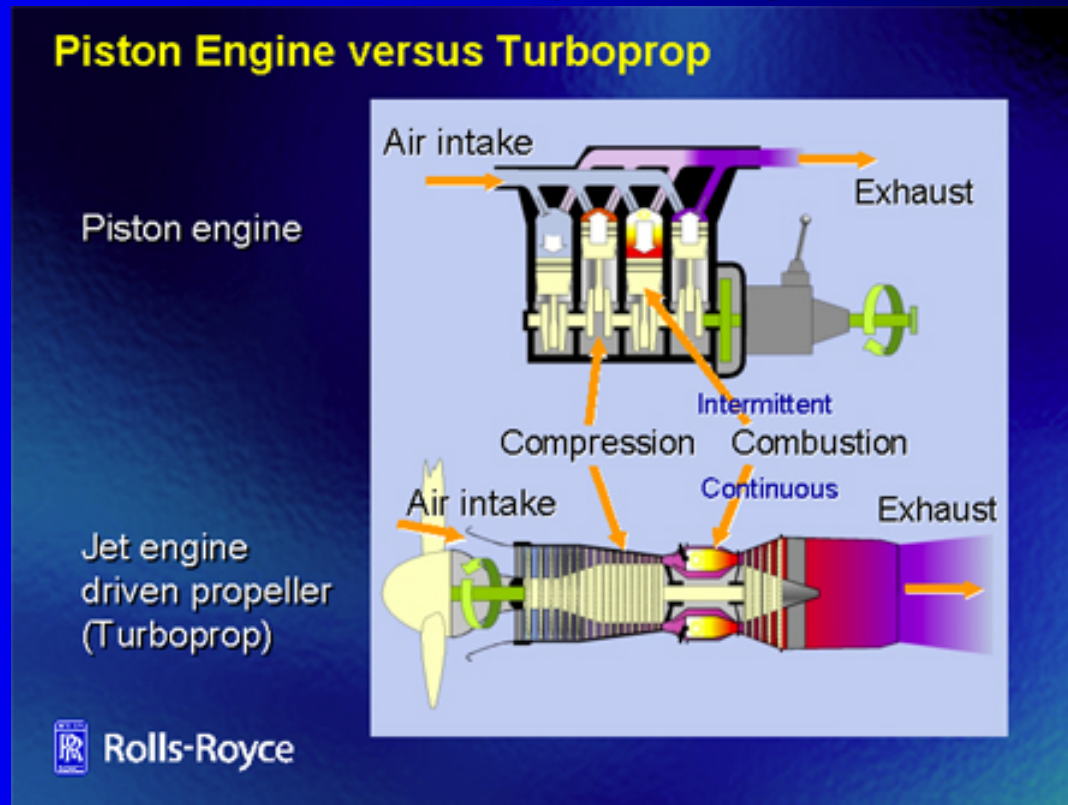


Allison 501



Villarreal, Spain

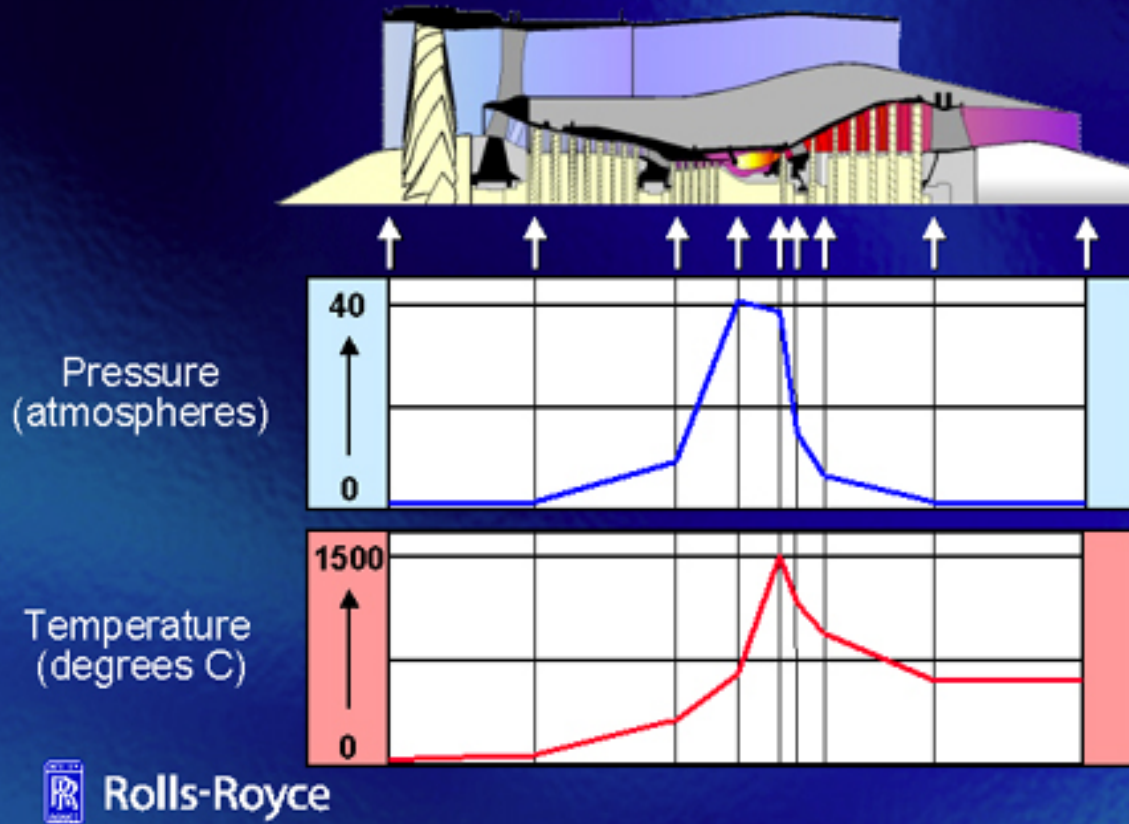
活塞引擎及渦輪螺旋槳引擎之比較



- 兩者之循環過程類似：進氣⇒壓縮⇒燃燒⇒膨脹，但其氣體動力循環並不相同。
- 主要差異在於①渦輪引擎之燃料持續地加入且燃燒從未間斷②進氣量大。
- 基於上述差異，在相同的引擎重量下，渦輪引擎能燃燒更多的燃料從而提供更大的動力源(約為活塞引擎的10倍動力)。

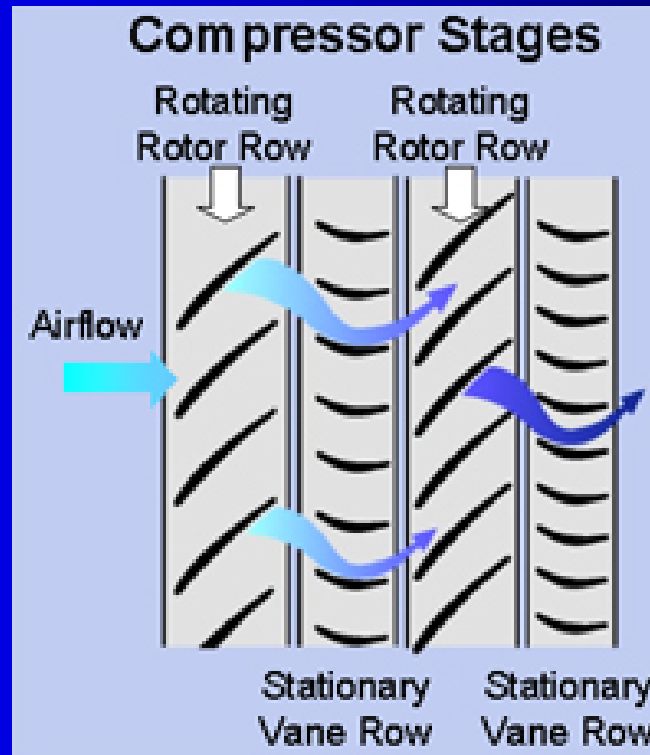
渦輪引擎內之壓力及溫度分佈

Pressure and Temperature



- 由 Brayton 動力循環分析得知，渦輪機之效率取決於操作壓力及溫度能否提升。
- 因此提升壓縮機之氣動力特性、燃燒室之燃燒效率、渦輪葉片之冷卻技術及耐熱材料之研發，有助於整體效率之提升及重量之降低。

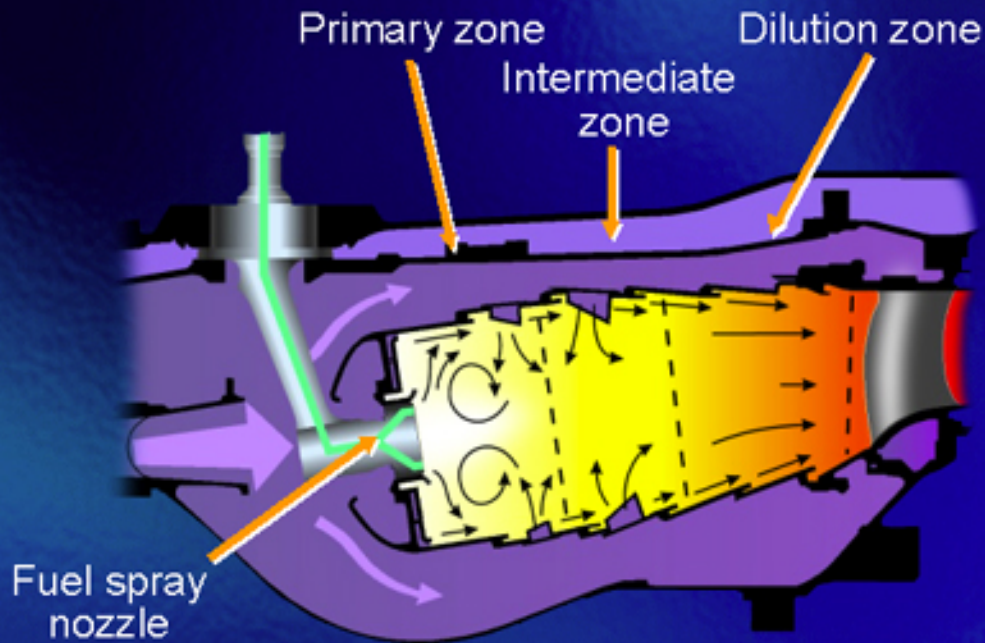
軸向壓縮機之作動



- 渦輪機驅動轉子葉片而將流體加速導入定子葉片，使得流體之動能轉變為壓力能。
- 葉片外型氣動力特性之改良能提升其效率。

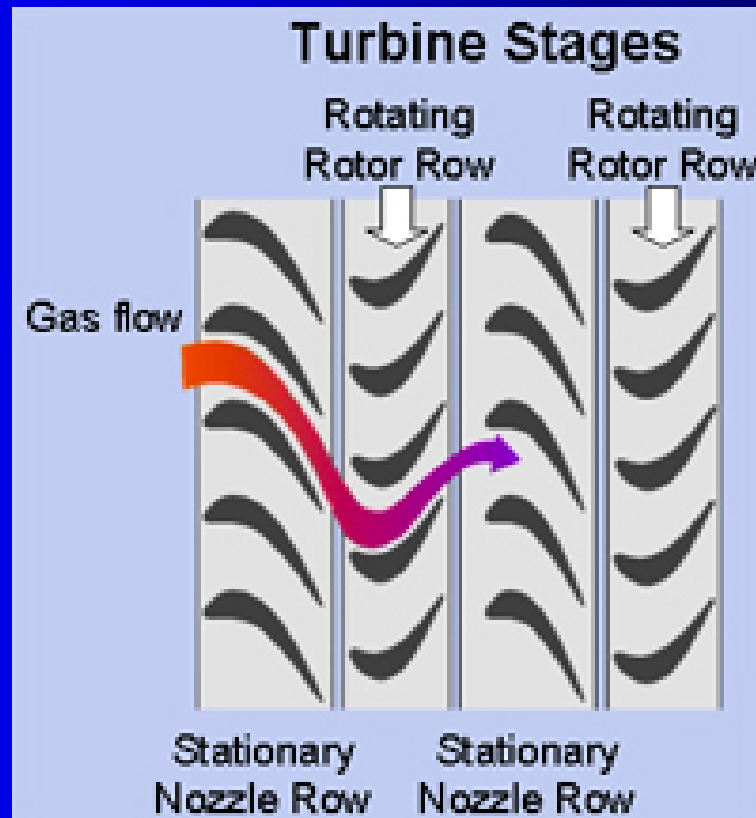
燃燒室之作動

Combustor Operation



- 主燃區：形成迴流區以穩定火焰，避免吹熄，此區為富油燃燒。
- 中間區：引入空氣淡化油氣，在此區結束前大部分燃燒過程結束。
- 稀釋區：注入之空氣於燃燒室壁面形成保護膜，隔絕高溫燃氣之侵害，並調整進入渦輪機之燃氣溫度。

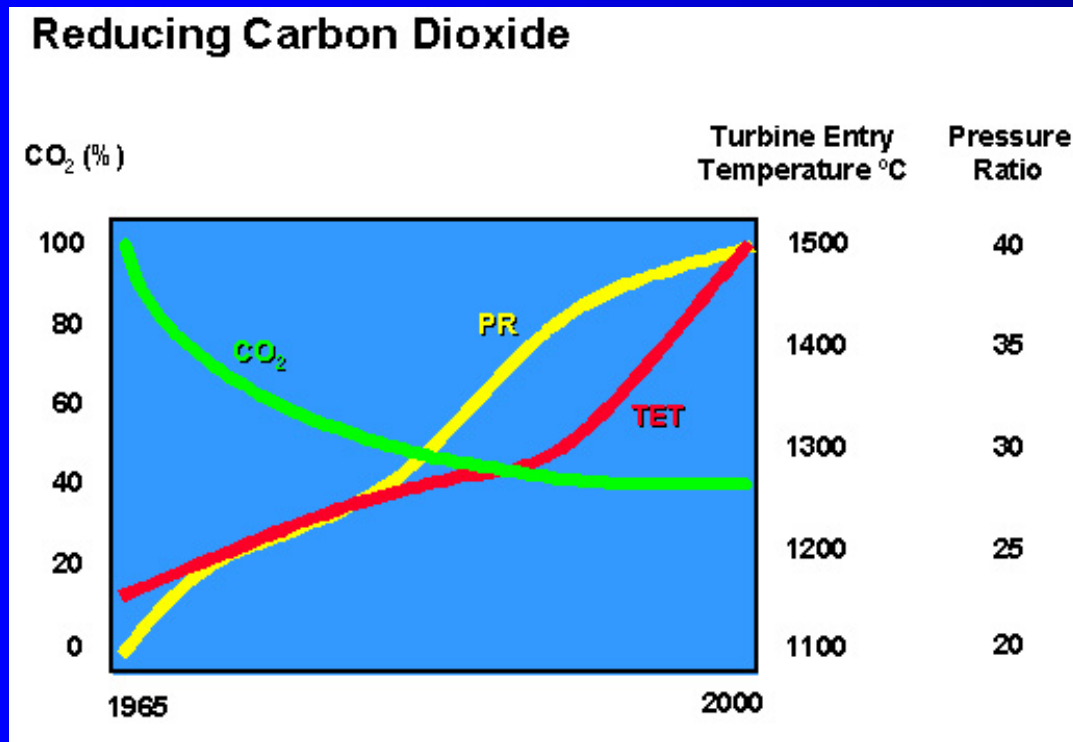
渦輪機之作動



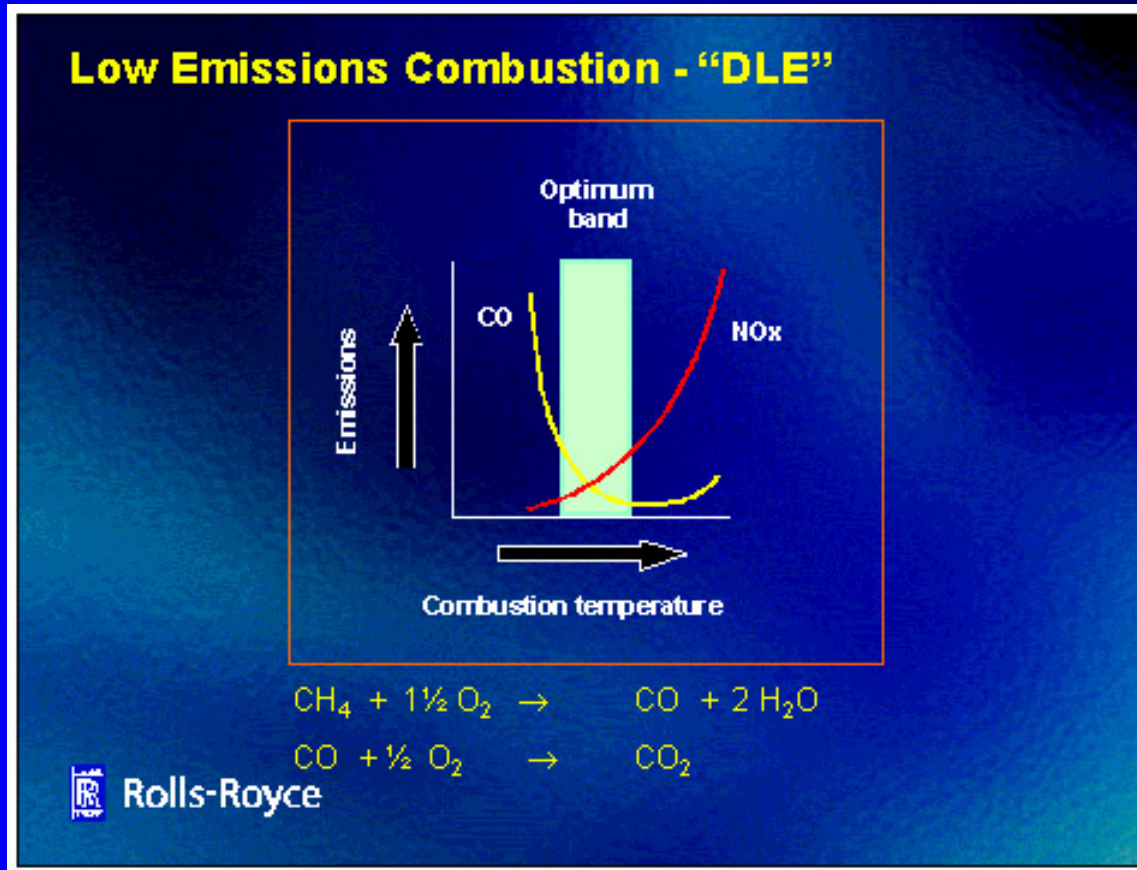
- 在定子葉片中，流體之壓力能被轉變成動能，藉以推動轉子葉片，提供壓縮機驅動力。
- 葉片外型氣動力特性之改良能提升其效率。

空氣污染-CO₂

- 二氧化碳含量增加，促使大氣的溫室效應加強導致全球的溫度上升。這種氣候變化會對人類造成何種影響？據預測兩極氣溫的增高，會導致格陵蘭與南極冰帽融化，海平面可能上升0.2到1.4公尺，陸地將變成茫茫大海，許多城市將被淹沒，居住在海岸線60公里以內的居民占世界1/3的人口，將蒙受其害。

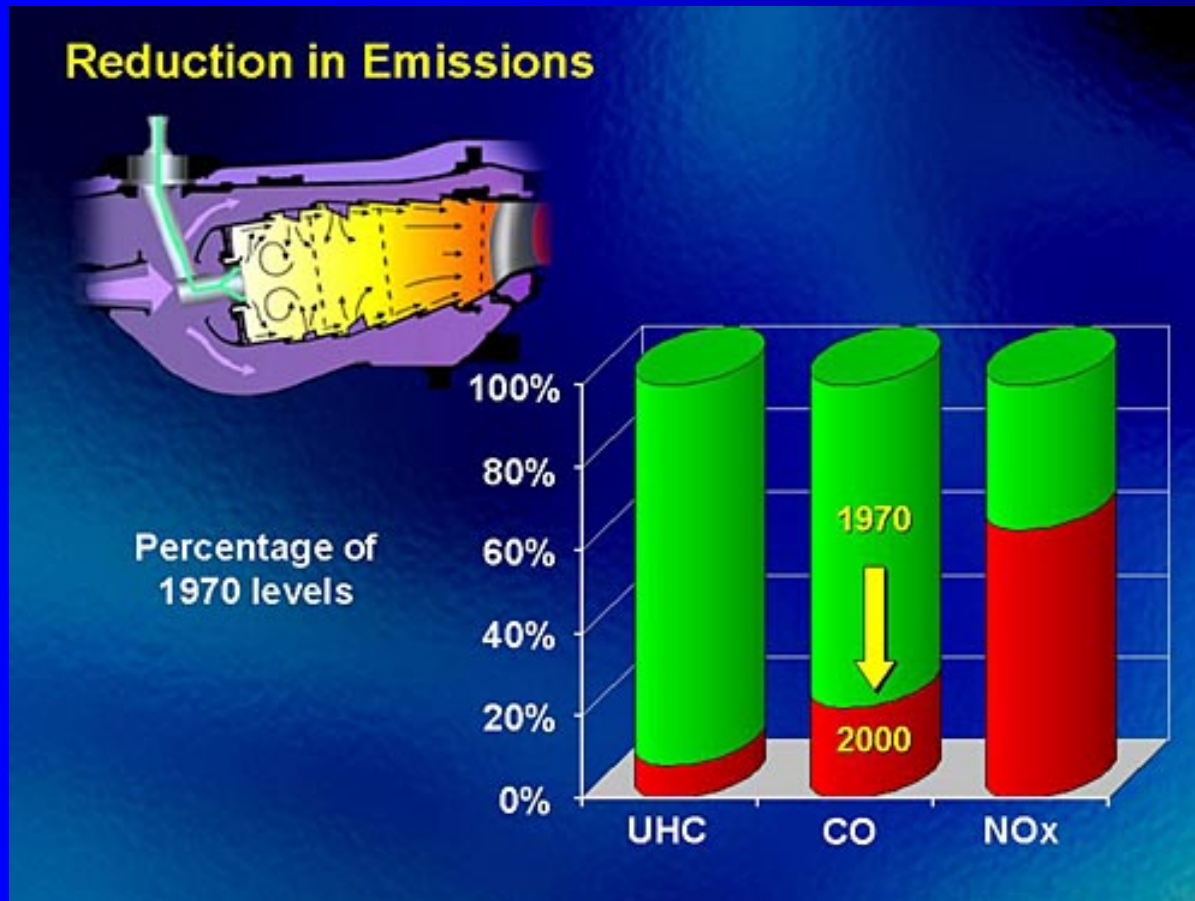


空氣污染- NO_x 、CO



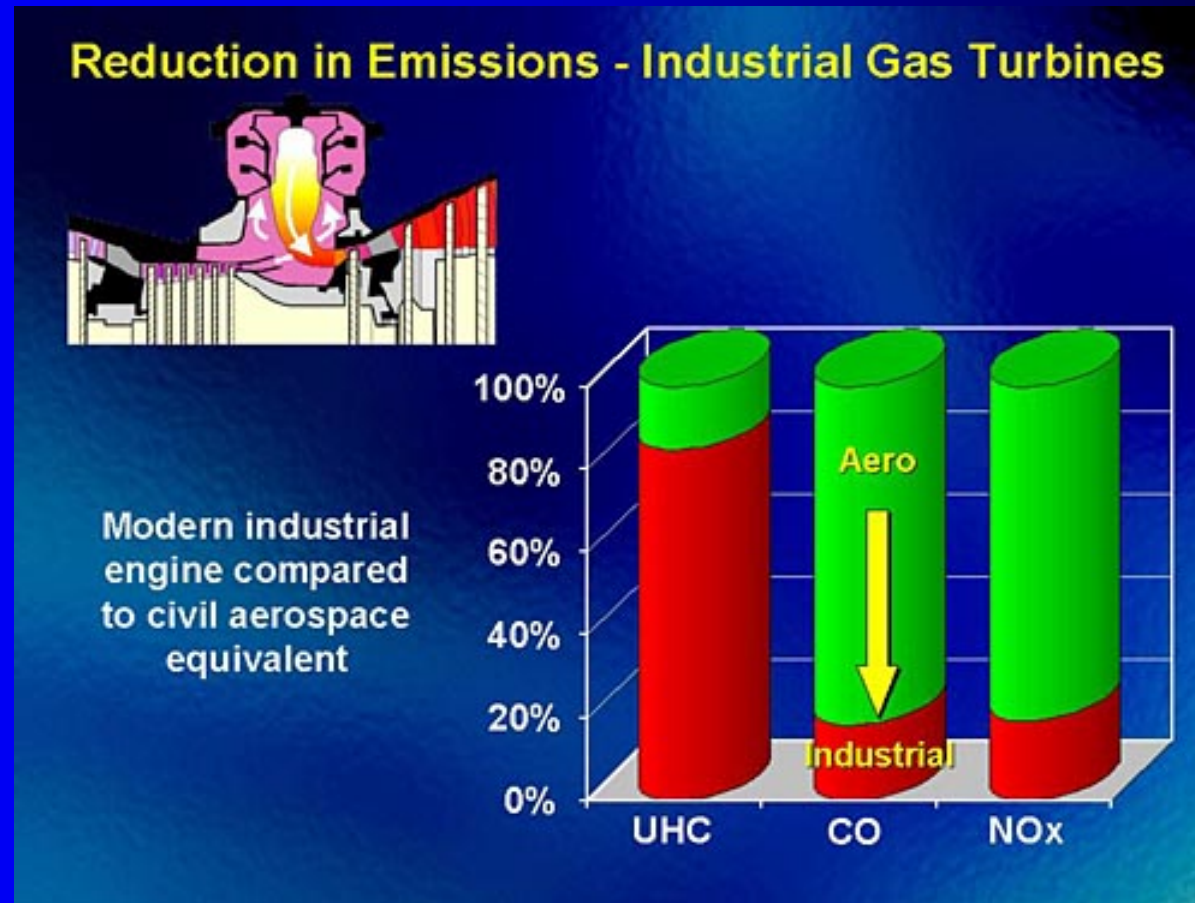
- NO_x 會傷害人體紅血球、肝、腎、神經及智力。
- CO會破壞人體血液中紅血球攜氧功能，並造成溫室效應。

空氣污染防治-航空引擎



- 提升引擎效率
降低SFC
 - 葉片外型設計
 - 空氣/燃料混合增益，以期完全燃燒
- 多級燃燒技術
 - 維持燃燒溫度平穩

空氣污染防治-工業引擎



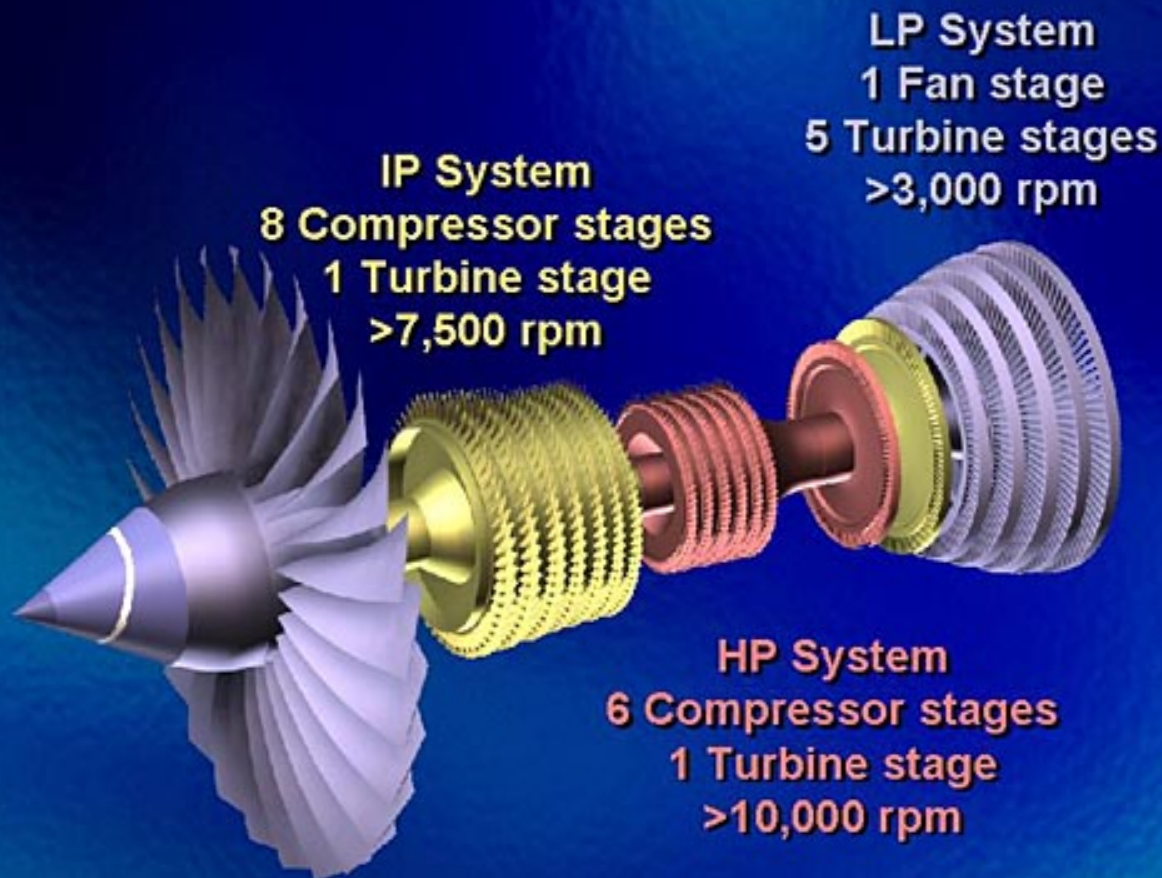
- 為因應環保法規，對於工業引擎之污染管制較航空引擎來得嚴苛。

現代渦輪引擎之污染防治技術

- 多軸設計
- 多級燃燒技術
- 渦輪葉片冷卻技術

多軸(multiple shafts)設計

Multiple Shafts - Trent 95,000 lbs Thrust



- 大部分現代渦輪引擎採用多軸設計，以因應各部不同之操作情況(負載、轉速)。
- 造就更輕、更短、更強之渦輪引擎。

多級燃燒技術

Fuel Staging for Low Emissions

Single stage premix



- Design for low NO_x at full power only
- Weak mixture at part power causing:
 - High CO
 - Poor flame stability

Three stage premix

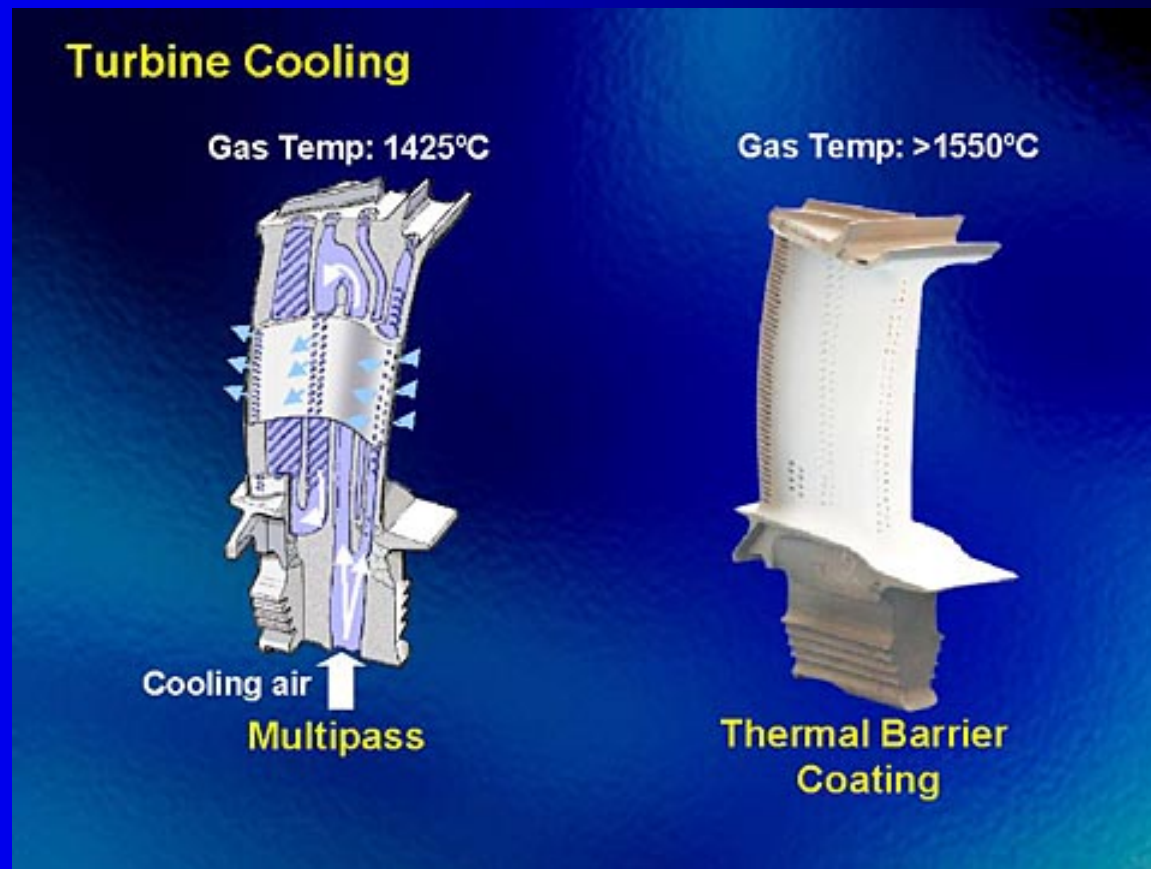


- Primary stage at top on permanently
- Secondary then Tertiary stages used at increasing power settings
- Stages operate over small fuel / air mixture variation
- Low NO_x and CO over wide power range
- Good flame stability

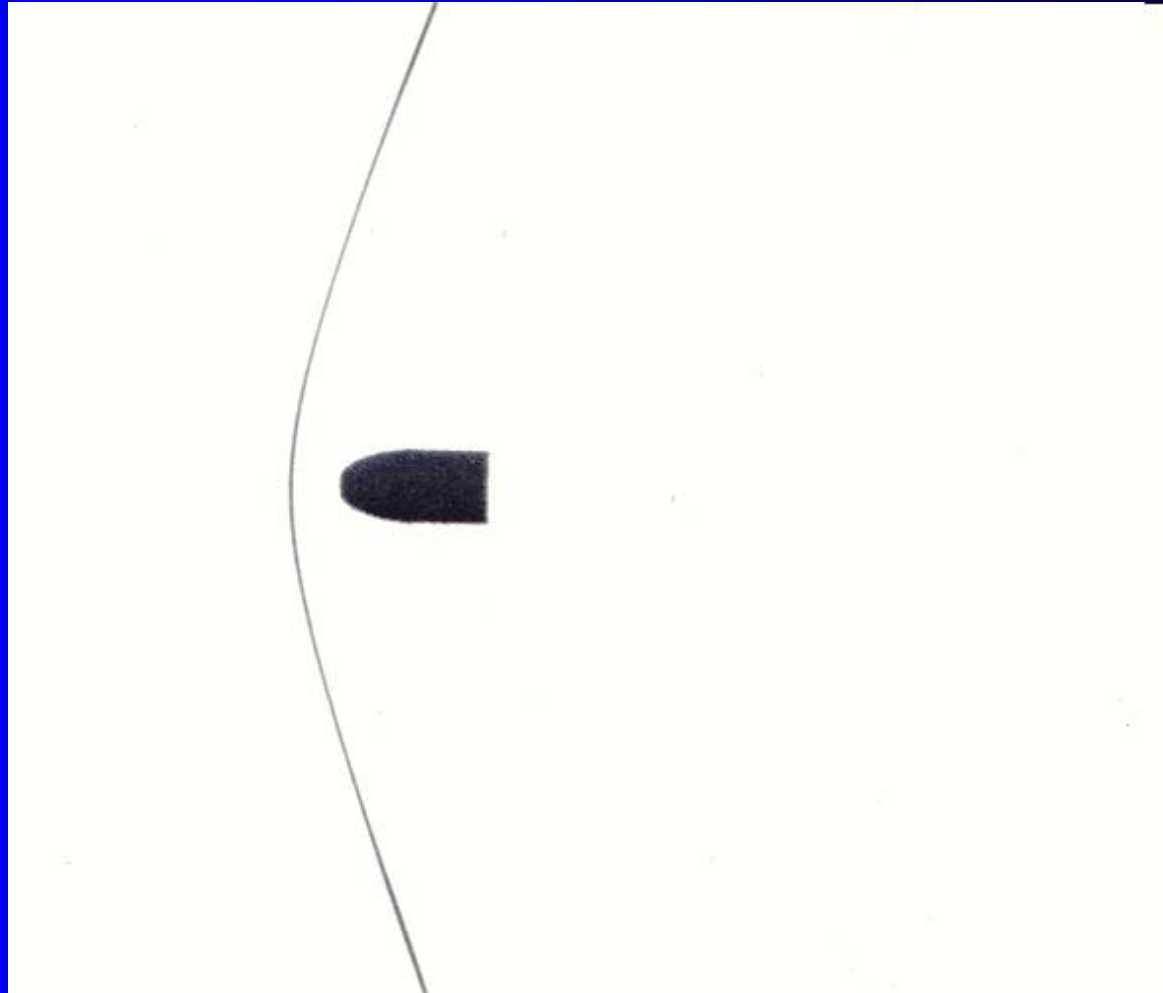
- 燃燒前預混空氣/燃料，藉以消除燃燒時可能發生之局部高溫，因而減少NO_x之產生
- 為因應負載之變化，宜採用多級燃燒以降低空氣污染。

渦輪葉片冷卻技術

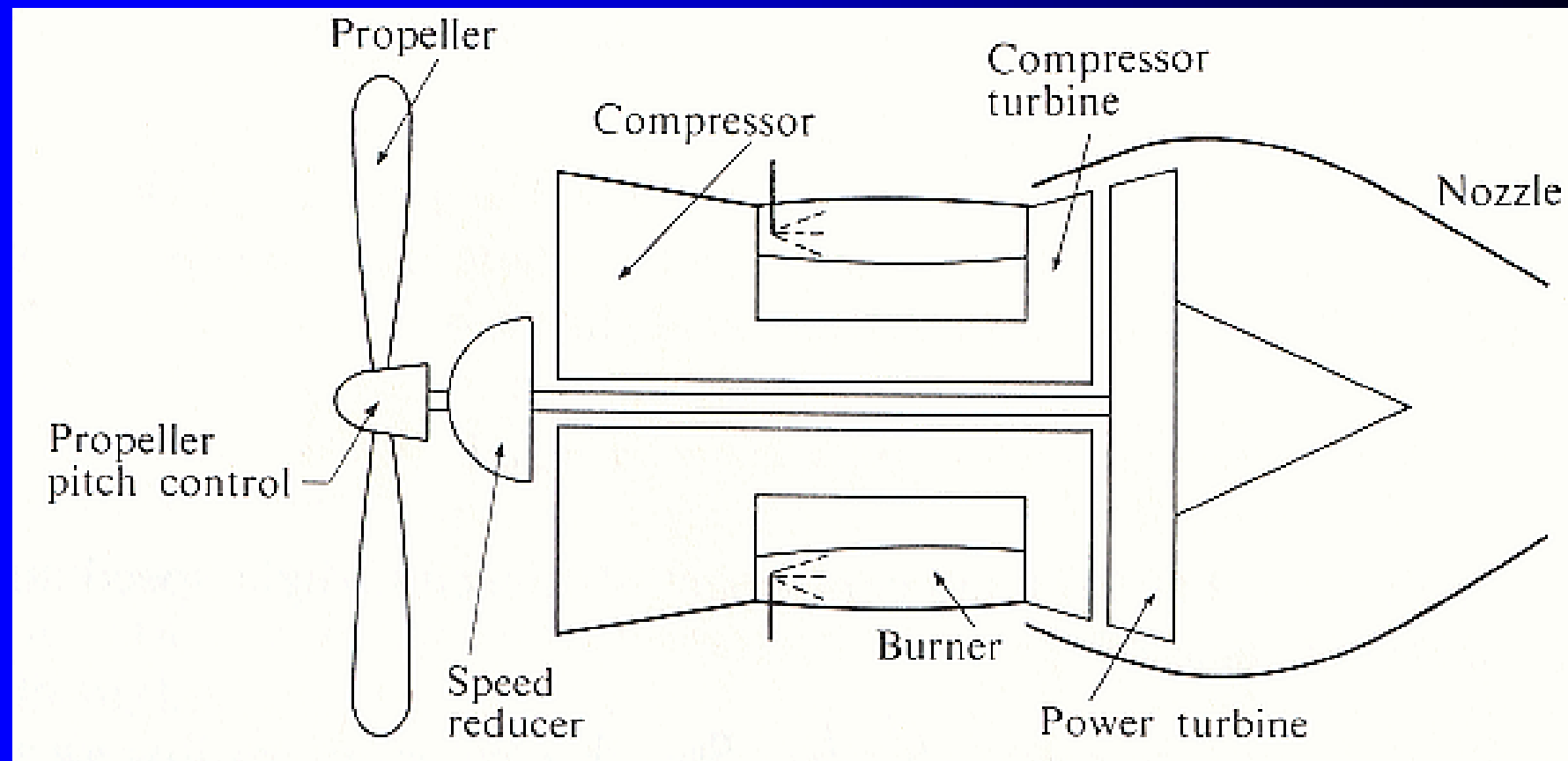
- 於渦輪葉片中設置冷卻通道，導入加壓之冷卻空氣，(約600°C)並於葉片表面鑽孔，讓冷卻空氣噴出形成保護膜，藉以阻斷高溫氣體之傷害。
- 直接於葉片表面加上一陶瓷材料塗層，以提高其耐熱能力。



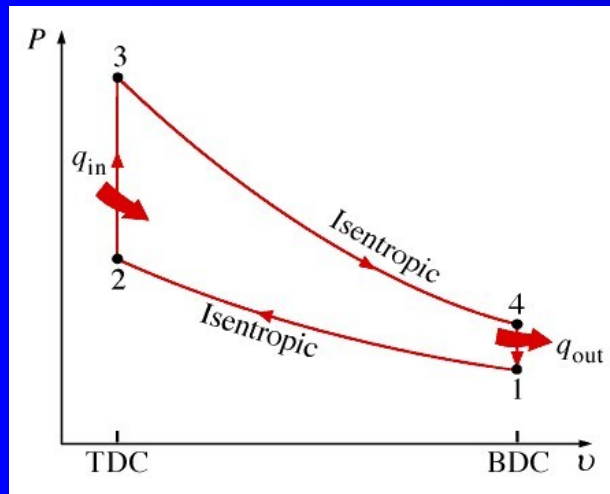
震波：來福槍子彈($M_a=1.1$)



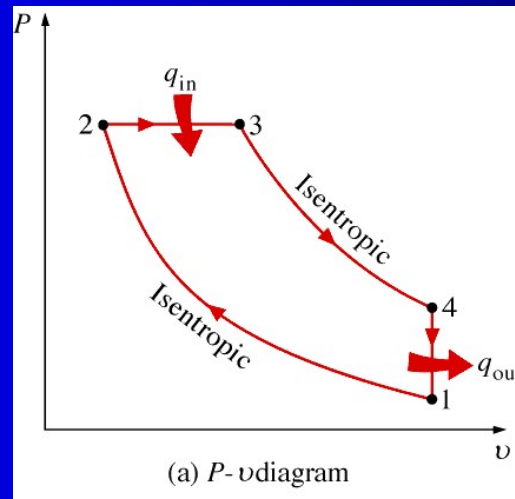
自由動力渦輪機(free power turbine)與燃氣產生器(gas generator)不同軸



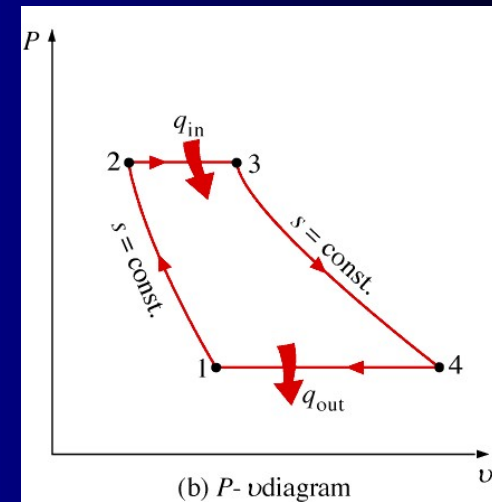
氣體動力循環(gas power cycle)



- 理想Otto循環
- 汽油引擎
- 等熵壓縮
- 等容加熱
- 等熵膨脹
- 等容排熱



- 理想Diesel循環
- 柴油引擎
- 等熵壓縮
- 等壓加熱
- 等熵膨脹
- 等容排熱

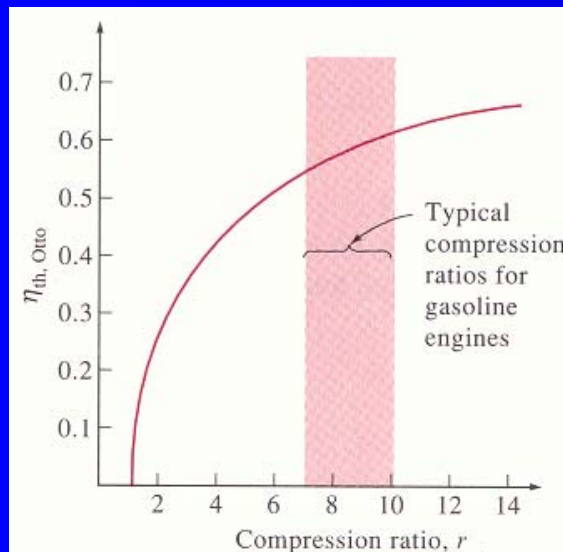


- 理想Brayton循環
- 渦輪引擎
- 等熵壓縮
- 等壓加熱
- 等熵膨脹
- 等壓排熱

各循環之熱效率(η_{th})

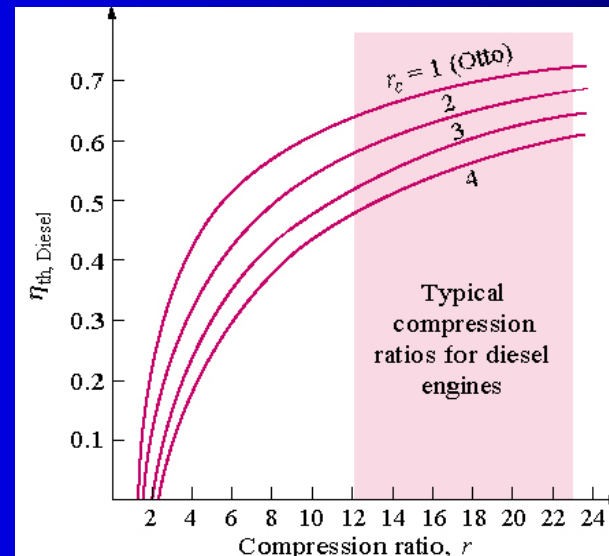
● Otto循環

$$\eta_{th, Otto} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}$$



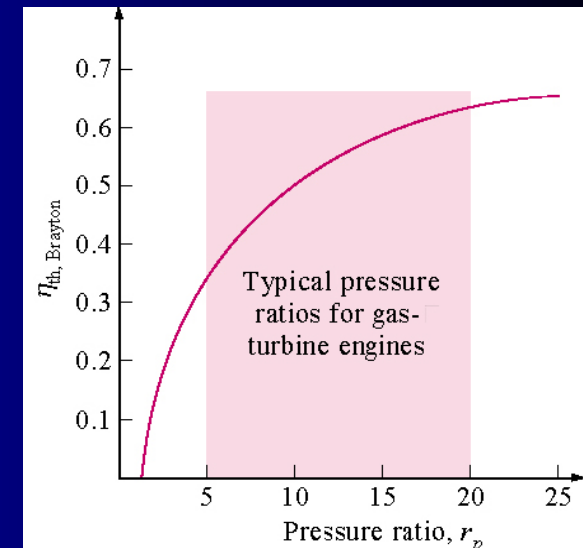
● Diesel循環

$$\eta_{th, Diesel} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \left[\frac{r_c^k - 1}{k(r_c - 1)} \right]$$



● Brayton循環

$$\eta_{th, Brayton} = 1 - \frac{1}{r_p^{(k-1)/k}}$$



r =壓縮比= V_1/V_2 ; k :氣體常數; r_c =切斷比= V_3/V_2

r_p =壓力比= P_2/P_1

