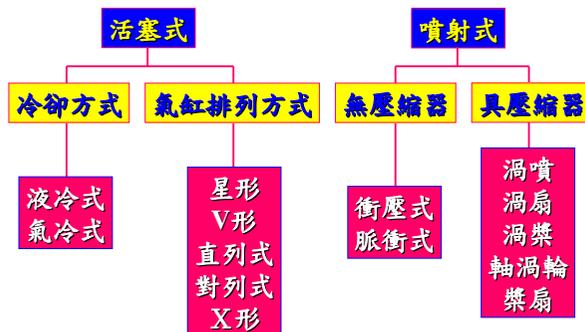


航空發動機



Cut-away diagram of the RB211-535 fitted to a Boeing 757

航空發動機分類



劉大响、陳光,“航空發動機-飛機的心臟”,航空工業出版社,2003.12

飛行肇始-動力的需求

- 早在1810年,被譽為「空氣動力學之父」的英國科學家喬治·凱利爵士就指出:所謂機械飛行就是對一塊平板提供動力,使它能在空中支持一定的重量。
- 19世紀中葉,透過觀察鳥類飛行、風箏飛升、模型風洞試驗與滑翔機體驗,基本上已經掌握了飛機的飛行原理,同時由於船用螺旋槳的發明和廣泛應用,也有了合適的推進裝置(螺旋槳)。
- 但跟不上來的是動力裝置,喬治·凱利在1850年已洞著先機的說:我的發明(飛機)惟一無法解決的就是動力問題。

飛行肇始-動力的需求

- 要達成飛行的夢想,動力需求為何?文獻的計算是以一名駕駛員和一架飛機為例,在當時(19世紀後半葉)要實現可操縱飛行,發動機的功率和重量之比(簡稱功重比)應大於0.125-0.2馬力/公斤,即每一公斤的發動機重量應至少發出0.125-0.2馬力的功率,同時還要求發動機工作穩定可靠、結構簡單、尺寸(迎風面積)小。

蒸汽機不堪重負

- 19世紀中葉,蒸汽機是工業革命的火車頭。並廣泛的應用在火車、輪船和工業生產上,自然在當時也是飛行推進上不得不的唯一選擇。



- 1803年,英國煤礦工程師理查·崔威斯克 Richard Trevithick製成世界第一輛蒸汽機車,行駛於煤礦工場之電車軌道上。後經改良於1825年首次載客。

1712 蒸汽引擎



- 紐科門(Newcomen, Thomas)是英國工程師,他發明的常壓蒸汽機是瓦特蒸汽機的前身。

- 1705年取得“冷凝進入活塞下部的蒸汽和把活塞與連杆連接以產生運動”的專利權。
- 1712年首次製成可供實用的大氣式蒸汽機,被稱為紐科門蒸汽機。這台蒸汽機的汽缸活塞直徑為30.48釐米,每分鐘往復12次,功率為5.5馬力。但熱效率低,燃料消耗量大,僅適用於煤礦等燃料充足的地方。紐科門的機器多年用於礦井排水,也用來提水以推動水車。

1778 瓦特蒸汽引擎



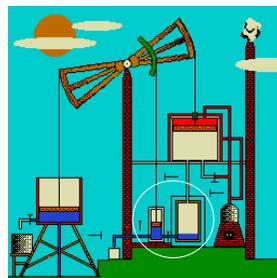
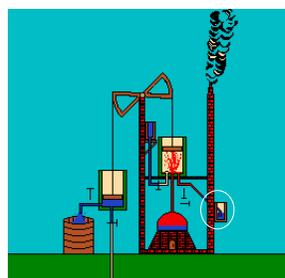
- 詹姆士·瓦特(James Watt, 1736-1819)是英國著名發明家。瓦特發明的蒸汽機對引發“第一次工業革命”

- 1763格拉斯戈大學教授John請技師瓦特修理紐科門的氣壓式引擎的模型,一年後終於找到大量消耗蒸汽的答案,紐科門的引擎必須輸入大量的冷水到汽缸內加熱到攝氏100度時即開始下降。1765瓦特將在汽缸內壓縮的蒸汽,改在新設計的壓縮容器裡壓縮後,再抽到汽缸裡。可以節省燃料75%,熱效率提高到3%,研製出世界上第一台實用的蒸汽發動機

蒸汽引擎

Newcomon engine 1712

Watt engine 1778

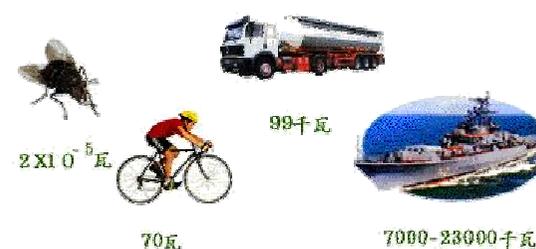


紐科門須輸入大量的冷水,瓦特改良為循環水,可以用於運輸載具

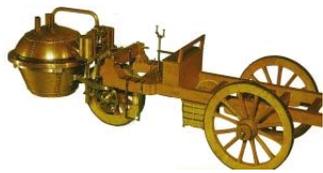
空氣
冷
凝
器

馬力與瓦特

- 1瓦特=每秒鐘作出1焦耳的功,即焦耳/秒。
- 1焦耳相當於1牛頓的力使物體在力的方向上移動1米時所做的功。即1焦耳=1牛頓·米。

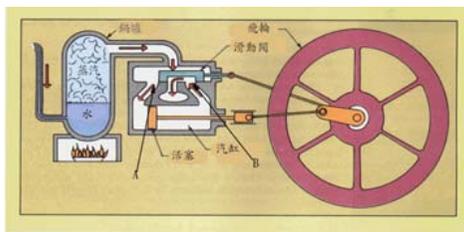


蒸汽引擎



- 1784年 法國工程師尼古拉·居紐(Nicolas Cugnot)製造了一輛蒸汽機驅動的三輪車，雖然時速只有4公里，而且控制系統和作業系統並不完善，但一般咸認這是世界上第一輛汽車。
- 此車突顯體型與重量均大且易爆炸的鍋爐，一開始就注定蒸汽機不可能成為飛機的發動機。

蒸汽引擎-外燃機



- 由外面燃燒燃料加熱鍋爐中的水，以產生蒸汽推動活塞(蒸汽機)或渦輪(汽輪機)運動。
- 除了鍋爐、引擎還需冷凝器(水循環使用)

1842 英國 空中蒸汽車

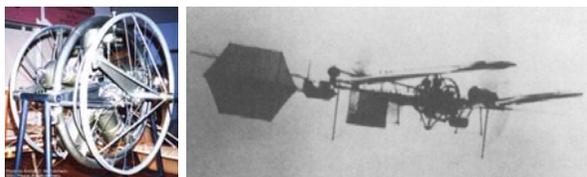
- 英國人亨森與斯特林費羅(William Henson & John Stringfellow)於1842年設計空中蒸汽車(Aerial Steam Carriage)，並獲得史上第一個飛機專利。



- 但是1948年完成的小型蒸汽機，只能推動小型模型機沿著拉線滑行。



馬克沁的巨型飛機



Langley subscale gasoline-powered aerodrome

- 進入廿世紀蒸汽機都經過不斷的改進，結構重量已經減輕了許多，但其中最好的蒸汽機(蘭利博士的飛機模型所使用的、以汽油為燃料的蒸汽機)功重比也未超過0.1馬力/公斤，要完成載人飛行自然是不可能的任務。

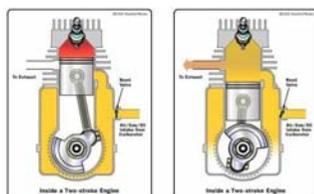
飛機動力的需求

- 19世紀的後半葉，蒸汽機的發展已漸趨成熟。但是要將蒸汽機裝到飛機上，馬力要比地面上大數十倍，而且重量還要非常輕，質量功率比需降到4-5公斤/馬力的水準，以那時的工業能力是完全不可行的。
- 因此基本上必須等到質量功率比蒸汽機小上2.5-3倍的內燃機問世後，飛機的動力問題才有初步的解決。

內燃機

- 蒸汽機即一般所謂的外燃機，燃料在氣缸外燃燒，然後將產生的蒸汽導入氣缸做功；內燃機的燃料直接在氣缸中燃燒，產生的氣體推動活塞或轉子，將熱能轉化為機械功。
- 內燃機的概念實際上比活塞式蒸汽機的概念出現得還要早。17世紀70年代至80年代，惠更斯就已經設想了真空活瓣式火藥內燃機。1869年法國發明家李諾爾(E. Lenoir, 1821-1900)製成了第一台實用內燃機，為二衝程、無壓縮、電點火煤氣機，熱效率僅4%。

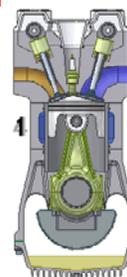
二衝程內燃機



- 衝程則是指活塞每上或下一次在汽缸內的動作
- 二衝程引擎燃燒不完全(不環保)、效率差，但構造簡單，造價低廉，而且輸出功率較同樣大小的四衝程引擎為大。

內燃機的演進

- 1876年德國工程師奧托(Otto, 1832-1891)研製成功了第一台四衝程往復式活塞內燃機。熱效率達14%。不斷改進，1894年達20%以上。
- 大多數汽車引擎都是採用奧圖引擎。由於奧圖引擎的燃料幾乎全部採用汽油，因此，奧圖引擎又名為汽油引擎(gasoline engine)，以別於後世的柴油引擎。



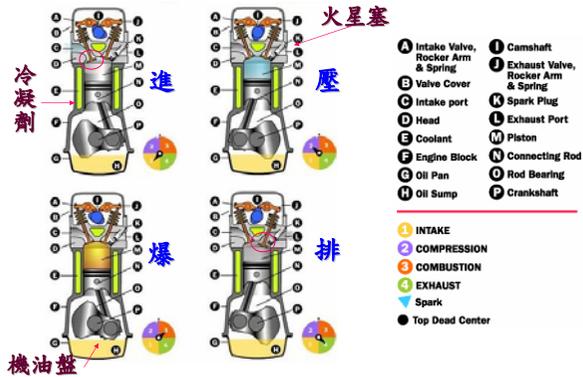
1. intake
2. compression
3. power
4. exhaust

內燃機的演進

- 19世紀末，石油工業蓬勃發展，用石油取代煤氣作燃料成為趨勢。1883年，戴姆勒(G. Daimler, 1834-1900)製成了第一台四衝程往復式汽油機，由以往的不超過200r/min一躍提高到800~1000r/min。
- 汽油機具有馬力大，重量輕、體積小，效率高的特點，適合於做交通工具上的動力。1886年德國人戴姆勒及賓士發明了第一部汽車。



汽油機(四衝程)的構造

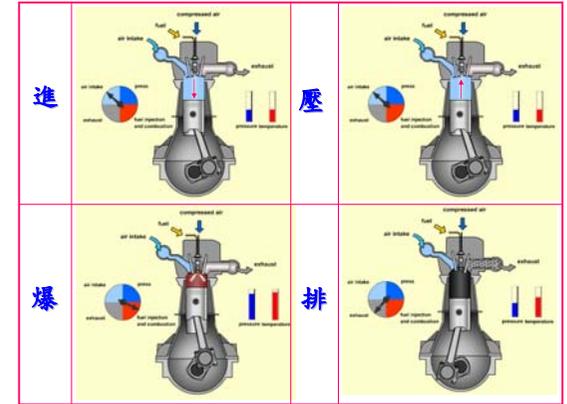


柴油機的構造

- 1892年德國工程師狄塞爾(R. Diesel, 1858-1913)發明了柴油機。柴油機結構簡單，燃料更便宜、熱效率更高。只是由於壓縮比大，所以較汽油機笨重。成為重型動輪工具的動力機。



柴油機循環

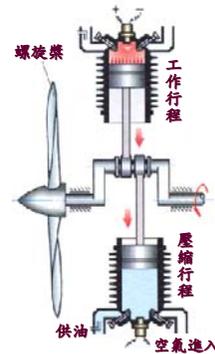


與蒸汽機相比內燃機的優點

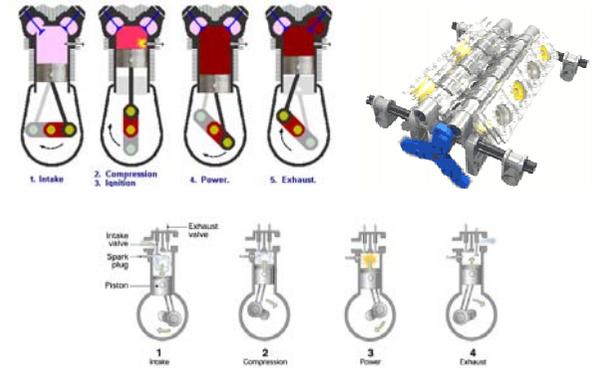
- (1) 作功的工質和燃燒所需的氧化劑都直接取自大氣，無需攜帶另外的工質(水)
- (2) 作功後的工質直接排向大氣，無需額外的冷凝器，結構尺寸小，重量輕
- (3) 工質加熱(燃燒)前已經過壓縮，壓縮比為5-9倍，燃燒溫度高(2000℃左右)，熱效率高(20%-25%)
- (4) 轉速高(一般超過1000轉/分)，有利於提高螺旋槳效率
- (5) 可採用多缸聯合運行的方式，使發動機輸出功率大大提高

航空活塞式發動機

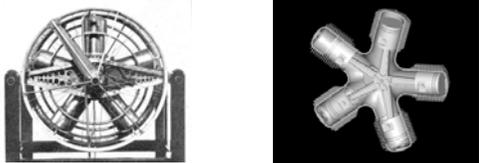
- 航空活塞式發動機是依靠活塞在氣缸中的往復運動使氣體工質完成熱力循環，將燃料的化學能轉化為機械能的熱力機械，與一般汽車用的活塞式發動機在結構與工作原理上基本相同，都是由曲軸、連杆、活塞、氣缸、進氣閥、排氣閥等組成。右圖對置的雙缸活塞式發動機的示意圖。



航空四衝程活塞式發動機

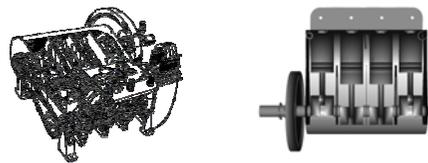


航空用內燃機



- 1887~1896年間，蘭利(Langley)做了一系列的試驗，發現航空用的內燃機必須要重量輕。
- 1901年，蘭利的第一號助手曼萊(C.M. Manley)發展出一種五缸水冷星型引擎(radial engine)，每缸缸徑5吋，衝程5又1/2吋，總重184.47磅，在每分鐘950轉的速度下可以10小時連續不斷地發出52.4匹馬力，成為當時內燃引擎的佼佼者。

活塞式發動機



- 1903年萊特兄弟製造出第一架裝用兩個推進式螺旋槳的雙翼飛機，由自製功率約為9千瓦(12馬力)的活塞式發動機推動。
- 活塞式發動機具有低油耗、低成本、工作可靠等優點，在噴射式發動機發明之前的近半個世紀內，是惟一可用的航空飛行器的動力。

活塞式發動機

- 活塞式發動機按衝程可分為四衝程和兩衝程。
- 按氣缸頭的冷卻方式可分為液(水)冷式與氣(空氣)冷式。
- 按供油方式可分為汽化器式和直接注射式。
- 按氣缸排列的方式不同，又可分為直列式、對列式、V形式、X形式與星形式。
- 通常，V形式、直列式多為液冷式的，星形式多為氣冷式；星形式可分為單排、雙排和四排，每排的氣缸數少者有5缸，多的可達9缸。

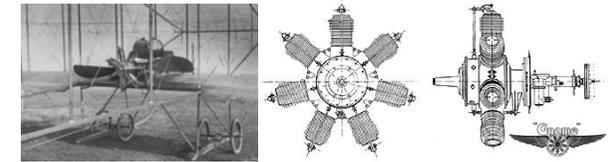
汽缸冷卻

- 航空活塞發動機一般都以汽油為燃料，汽油機的運轉速度很高，其汽缸內的燃燒頻率達到每秒幾十次，燃氣溫度達到2000°C。高溫高壓的工作條件使汽缸壁面溫度很高，以至汽油噴入後，活塞還未完成行程，汽油就被高溫壁面加熱形成自燃，出現爆震(所謂的敲缸)。不但使發動機有效輸出功率下降、零件(如活塞、閥門等)壽命縮短，還會使潤滑油裂解，破壞汽缸的潤滑性能，降低汽缸壽命。而解決此問題的方法就是對發動機汽缸進行冷卻。

汽缸冷卻

- 冷卻發動機最傳統和直接的方法就是在汽缸外壁面加水套，用外部循環水進行冷卻，稱為液體冷卻(簡稱液冷)。從1903年泰勒為萊特兄弟設計的發動機開始，最早的航空發動機幾乎都採用液冷方式，而現在仍普遍應用在汽車、輪船上。液冷方式雖然簡單有效，但必須設置一個循環冷卻系統，包括水箱、水泵、空氣散熱器和相應的管路系統。對斤斤計較的飛機設計師而言，當然是棄之而後快。
- 因此在萊特之前的蘭利早就考慮到氣冷方式，利用隨時迎面而來的強烈氣流冷卻發動機。

旋轉汽缸式(Rotary Engine)



- 1909.08.22法國蘭斯舉行了歷史上首次世界航空博覽會，法國洛倫·塞(G·Seguin)兄弟發明的土地神(Gnome)旋轉汽缸式發動機大出風頭。

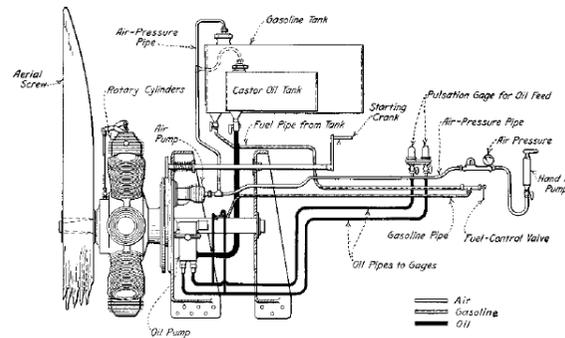
旋轉汽缸式(Rotary Engine)

BEACHEY-EATON MONOPLANE & BIPLANE (1915)



- 其功率達50馬力，功重比達到0.69。是當時液冷式所望塵莫及的。其最大特點是取消了飛輪和液冷裝置，尤其曲軸固定而讓汽缸與螺旋一起轉動。使發動機無論在飛行中還是地面慢車狀態，都可以讓汽缸得到有效的冷卻，不但較輕且溫車啟動快，而汽缸外壁選用大量薄壁散熱片。特別適合戰鬥機的需求。

旋轉汽缸式(Rotary Engine)



旋轉汽缸式(Rotary Engine)



紐堡(Nieuport)17型
(法國首架同步機槍)

Le Rhone 110hp

- 一次大戰旋轉氣冷式發動機為戰機主流。著名的英國駱駝、德國福克E1、E3、Dr1(三翼)戰機均是氣冷式。



駱駝F.1



福克Dr.1

旋轉氣冷發動機的問題

- 壽期太短，一般不到50小時
- 油耗大
- 汽缸數目不能太多，限制了發動機功率的增加，最大功率一般不超過270馬力(200千瓦)
- 汽缸質量大，旋轉時會產生嚴重的陀螺效應，影響了飛機的操縱性能。
- 旋轉汽缸發動機的潤滑油易濺出，引入轉動汽缸的油管易失火
- 隨著新型星型氣冷發動機的出現，旋轉汽缸發動機在第一次大戰後逐漸淘汰。

旋轉氣冷發動機的問題

- 旋轉的氣缸相當於一具陀螺，在飛行中產生明顯的陀螺進動效應。以駱駝戰鬥機為例，其右旋螺旋槳(依飛行員在座艙內的視角而定)，當飛機左轉彎時，機頭會自動上仰；右轉彎時，機頭會自動下俯。飛行員如不及時蹬舵修正，飛機就有可能失速進入螺旋或陷入急盤旋下降，甚至墜落失事。不過有經驗的飛行員常利用此特點，使飛機迅速改變飛行方向(右轉彎)，佔據有利的進攻位置或擺脫敵機的追擊。

活塞發動機的進步



- 一戰前，在萊特兄弟飛機上天後的10年中，活塞式航空發動機的功率由12千瓦(16馬力)逐步提高到120千瓦(163馬力)，飛機飛行速度超過200公里/小時。而一次大戰間的短短4年中航空發動機功率已達到300千瓦(410馬力)，出現了旋缸、液冷、氣冷等多種形式。

法國發動機的飛躍



Clerget (Type 1), Sopwith Camel
旋轉式 9缸, 130 hp

Hispano-Suiza 8Be, 1917 SPAD XII
直列式 8缸, 220 hp

- 一般而言，德國在發動機的馬力競賽中輸給英、法，因為德國始終只能在180匹馬力上下打轉，而英、法則紛紛跨越200匹馬力的門檻。

多缸發動機



- 在30-40年代(二戰前)的活塞發動機發展的黃金時代。為了提高飛機速度必須提高發動機的輸出功率。其最簡單而直接的辦法就是增大汽缸數，從而提高發動機**排量**。萊特飛行者I號的發動機只有4缸，法國土地神則發展到5缸、7缸、9缸和14缸，B-29的大黃蜂星型氣冷活塞發動機發展到18缸(2,200 ~ 3,700 hp)。

多缸發動機-星型

- 星形發動機一般採用氣冷方式，但與旋轉汽缸發動機不同，汽缸並不旋轉，而是利用外界空氣冷卻發動機，其主要優點是無須外帶冷卻系統和冷卻液，結構簡單，重量輕，維護方便。
- 多汽缸數目達成大功率。一排有5缸、7缸、9缸等，並可沿軸線布置多排(最多4排bank)，最多可以佈置28個汽缸(7缸x4排)。



多缸發動機-星型

- 由於迎風面積大，隨著飛行速度的提高，汽缸的形阻也越來越大。為了減小飛行阻力，最早是採用減阻環，後來又發明了圓形整流罩，既減小了空氣阻力，又保持了較好的冷卻性能。
- 星形氣冷發動機由於功率大，非常適用於起飛重量較大、速度要求不太高的運輸機和轟炸機使用。



Wright R-3350 發動機



B-29

- R-3350-13 : 2,200 hp
- R-3350-23 : 2,200 hp
- R-3350-24W : 2,500 hp
- R-3350-32W : 3,700 hp
- R-3350-53 : 2,700 hp
- R-3350-85 : 2,500 hp



DC-7



星座



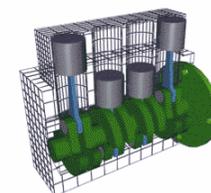
直列式發動機



德國信天翁DVa

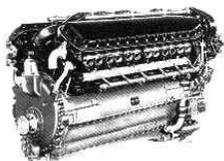
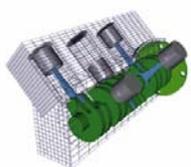


- 直列式發動機汽缸沿機匣前後成行排列，有對缸、工字型、V型等排列形式，V型用得較多。

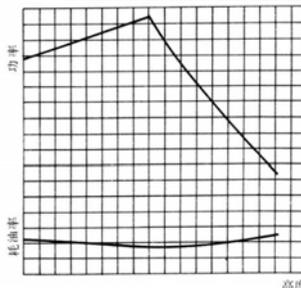


多缸發動機-V形排列方式

- 沿軸線分布的V形排列方式，每一列有6、8、10、12缸不等，4列則形成X形排列方式。
- V型發動機一般採用**液冷**方式，與星形發動機相比，V形發動機的外型更加流線，外部阻力更小，特別適用於追求高速度的戰鬥機使用。



活塞式航空發動機高度特性曲線



發動機轉速不變時，功率和耗油率隨飛行高度的變化關係稱為高度特性。

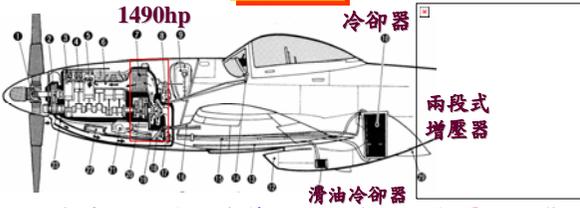
由於有增壓器對吸入空氣增壓，在某一高度以下可保持進氣壓力恆定，而大氣溫度又隨高度增加而下降，所以在此高度以下發動機的功率仍隨高度增加而略有增加。這個高度稱額定高度。在額定高度以上發動機功率隨高度增加而下降。

提高發動機功率的方法

- 從燃料入手，提高汽油燃燒時的抗爆性(即辛烷值)，從而提高汽缸油氣混合物的燃燒前壓縮比，提高熱效率和輸出功率。由於可降低油耗，目前汽車引擎仍廣泛使用。通過提高汽油辛烷值，可以將壓縮比從2-3逐步提高到8-9，熱效率從15%-20%逐步提高到25%-30%。
- 其次是採用加力技術，向汽缸內噴射水和甲醇的混合液，使發動機功率在短時期內獲得大幅提高，功率提升量可以達到30%以上。在當時的戰鬥機發動機上，曾廣泛採用這項技術。

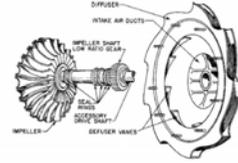
馬林液冷V型12缸
1490hp

增壓器



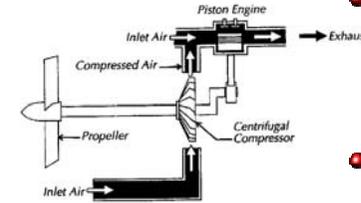
- 活塞式航空發動機藉以**增加汽缸進氣壓力**的裝置。進入發動機汽缸前的空氣先經增壓器壓縮以提高空氣的密度，使更多的空氣充填到汽缸裡，從而增大發動機功率。裝有增壓器的發動機除能輸出較大的起飛功率外，還可改善發動機的高度特性。

增壓器



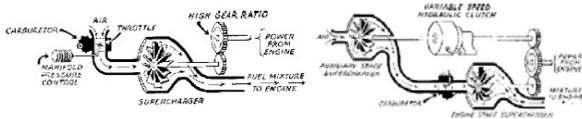
- 活塞式航空發動機一般採用曲軸傳動的單級離心式增壓器，這種增壓器是一個小型離心式壓縮器，由機匣、葉輪和擴壓器組成。離心葉輪轉速高達數萬轉/每分，在曲軸和離心葉輪間必須有一套齒輪傳動機構。

機械增壓(Supercharger)



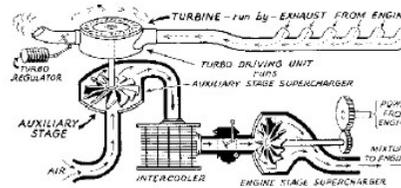
- 運作原理：利用傳動裝置，由引擎曲軸的動力帶動壓縮器葉片旋轉，增加進氣壓力，達到增壓效果。
- 傳動裝置包括皮帶，齒輪變速箱或者是液態變速箱等。
- 優點：不會有遲滯現象，動力輸出較容易控制。
- 缺點：會耗用引擎輸出功率，尤其是使用在飛機上面於高空飛行時，消耗掉的馬力比例相當高，效率較差。

機械增壓(Supercharger)



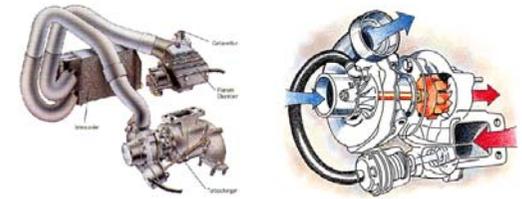
- 傳動機構按傳動比分為單速傳動和雙速傳動。
- 用於較低飛行高度的發動機大多採用單速傳動，用於高空飛行的發動機則採用雙速傳動，在低空工作時用低速擋工作，以減少不必要的功率消耗，當飛機超過某一高度後增壓器自動轉入高速擋工作。

渦輪增壓(Turbocharger)



- 運作原理：將引擎排氣導引到渦輪機，渦輪機葉片由廢氣推動旋轉，帶動另一邊位於進氣段的壓縮葉片跟著旋轉，而增加進氣壓力，達到增壓效果。

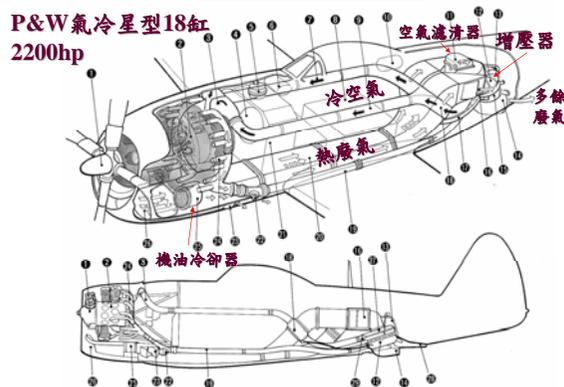
渦輪增壓(Turbocharger)



- 優點：不耗用引擎輸出功率，效率較高。
- 缺點：因為利用引擎排氣，會有渦輪遲滯(turbo lag)的現象，從二次世界大戰時期以來一直是發展上的一大瓶頸。且葉片直接接觸高溫的廢氣，使用的材料必須能夠在高轉速與高溫下持續工作。

P-47 渦輪增壓

P&W氣冷星型18缸
2200hp



高山飛行



- 中國-印度-緬甸戰場上的「駝峰」(Himalayas, hump)航線，需飛越海拔3~6千公尺、冰雪覆蓋的崇山峻嶺，是世界航空史和軍事空運史上飛行高度大、氣候條件惡劣、最為艱險的空運線。
- 從1942年5月~1945年9月，3年4個月中美共墜毀飛機609架，平均每月15架，犧牲和失蹤飛行員1500多名。

飛機動力



- DC-3原裝用P&W R-1830-92空冷14缸星型引擎，採用單級增壓器，起飛 1,200 hp、2,290 m高度 1,050 hp。C-47B換裝 R-1830-90C，增壓器為兩級，起飛增為 1,200 hp，4,420 m仍有 1,000 hp，可以滿足駝峰之需求。

汽油機與柴油機

- 汽油機的優點在於其體積小、重量輕、價格便宜；啟動性好，最大功率時的轉速高；工作中振動及噪聲小，提速和速度優於柴油機。但與柴油機相比，汽油機最大劣勢是耗油較高，同等排量每百公里大約相差2-3升左右。
- 柴油發動機以低油耗、強動力、低溫氣體排放、耐久性等優點。

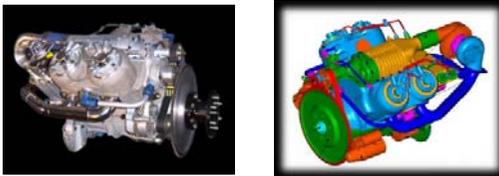
汽油機與柴油機

- 柴油引擎屬於壓縮點火(CI)，將汽缸內的純空氣壓縮成原體積的1/18~26，此時被壓縮的空氣處在高溫高壓狀態，再將柴油噴入，柴油遇到高溫的空氣即產生爆炸，推動活塞。
- 汽油引擎則屬於火花點火(SI)，即利用火星塞產生電火花，點燃汽缸內的汽油和空氣的混合氣，產生爆炸，推動活塞。

柴油引擎

- 柴油引擎因為可靠度高並適於長時間運行是卡車的首選，自然也是飛機發動機的考量之一。雖然從1930年代就有嘗試，但是較差的「推力-重量比」，使柴油引擎很難成為飛機的發動機。在柴油引擎技術提昇到達到飛行標準時，渦槳發動機已經相當成熟，柴油引擎再次失去市場。最近，柴油引擎低耗油、低污染的優點開始搶佔輪旅車，在重量減輕的條件下，對小型飛機已具吸引力。

Delta Diesel Engines Australasia



- 低燃性燃油符合未來EPA (環境保護局) 標準。
- 制動油耗率(BSFC)0.37低於一般汽油機的0.59
- 低油價-約低20~30%
- 消除電磁噪音-無點火造成之通信導航干擾
- 操作簡易-無油氣混合控制

汽油機與柴油機

	一般柴油引擎		一般汽油引擎	
結構	簡	單	複	雜
重量	較	重	較	輕
造價	較	高	較	低
耐用性	較	高	較	低
轉速	較	低	較	高
馬力	較	小	較	大
扭力	較	大	較	小

活塞式發動機/螺旋槳的限制

- 到40年代末，活塞發動機達到了發展的頂峰，單台發動機功率從12馬力(9千瓦)增加到3800馬力(2800千瓦)，功重比從0.15馬力/公斤發展到2.5馬力/公斤，巡航耗油率從0.34-0.35公斤/(馬力·小時)，降低到0.19-0.20公斤/(馬力·小時)，壽命從數小時發展到上千小時。年產量達數十萬台，裝備了上百萬架飛機。單從生產數量上看，沒有一種航空發動機比得上活塞發動機的生產數量。

活塞式發動機/螺旋槳的限制

- 當飛行速度超過700公里/小時，與活塞式發動機匹配組成推進動力系統的空氣螺旋槳之工作效率就會急遽下降。因為螺旋槳的轉速高達1000轉/分，隨著飛行速度的增加，螺旋槳葉尖與空氣的相對速度首先達到音速，並產生震波，使其工作效率大大下降並有機毀人亡之危險。在30年代後期，這類事故屢見不鮮。

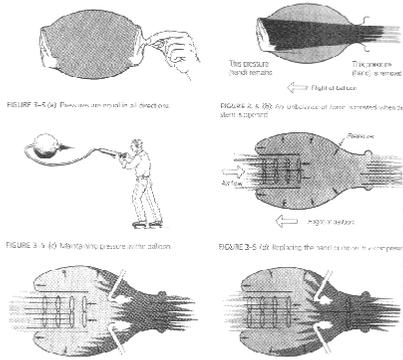
活塞式發動機/螺旋槳的限制

- 飛機所需的推進功率與其飛行速度的3次方成正比增加，當飛行速度接近音速時需用功率的增長更快。活塞式發動機由於技術上的限制，根本不可能提供體積小、重量輕、功率大的推進動力。例如，若要使一架重量為5000公斤的飛機達到1000公里/小時的飛行速度，必須配置功率為7000千瓦的發動機，而這種活塞式發動機自身之重已有6000公斤。

活塞式發動機的現代應用

- 當各種類型的燃氣渦輪發動機和噴氣發動機在40年代末至50年代末相繼出現後，活塞式發動機逐漸退出了航空業的主戰場。但由於活塞發動機具有油耗低、結構簡單、價格便宜等優點，在功率小於270馬力(200千瓦)的小型發動機上仍有一定的優勢。目前在初級教練機、超輕型飛機、小型直升機、小型無人駕駛的靶機以及農、林用小型飛機上仍廣泛採用活塞發動機。

噴射發動機



Irwin E. Treager, Aircraft Gas Turbine Engine Technology, 1997

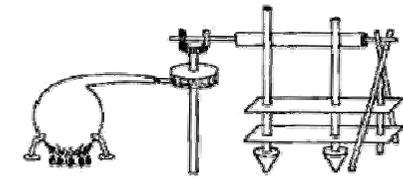
汽輪機(aeolipile)

- 約西元100年埃及的希羅(Hero)發明汽輪機(aeolipile)。汽轉球裝有一個空心球，大鍋產生的蒸氣通過一對空心管，由球內的兩根彎管噴出，使球轉動。
- 汽轉球是已知最早的把蒸氣變為轉動的裝置。據說希羅想以此設計打開神廟的門。不過，汽轉球最只能算一新奇的玩物，從來未曾實際應用。



大英百科線上

布朗卡(噴射渦輪)

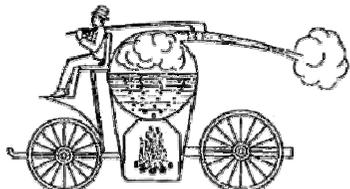


Branca's Jet Turbine

- 1629 義大利工程師喬凡尼·布朗卡發明世界第一個噴氣渦輪。以蒸氣推動渦輪驅動搗杵磨坊。噴氣噴嘴將蒸氣噴向水平支撐的渦輪，並透過齒輪操作磨坊。

<http://www.aircav.com/histturb.html>

蒸氣馬車

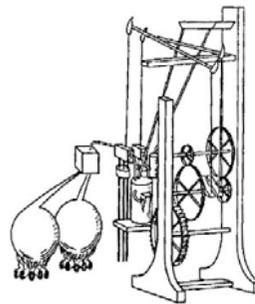


Newton's Steam Wagon

- 1687 牛頓試圖以其導出的運動定律試驗蒸氣馬車。不過為單純，不符熱力循環，完全無實用性。

<http://www.aircav.com/histturb.html>

蒸氣馬車

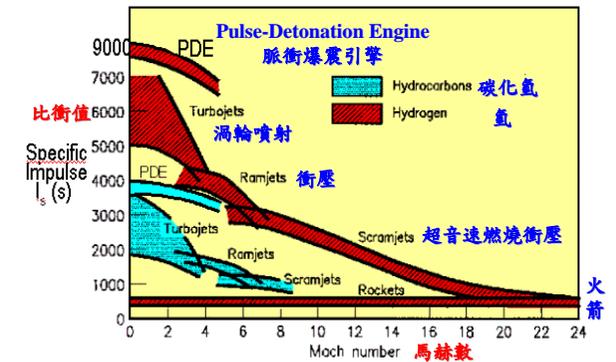


Barber's British Patent - 1791

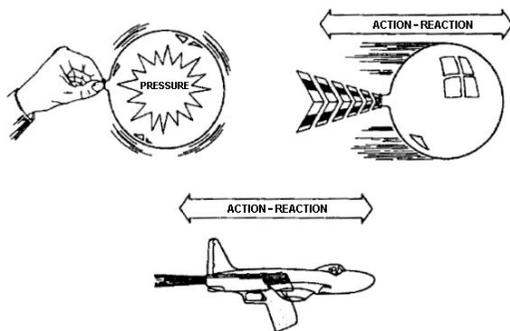
- 1791年英國人約翰·巴博(John Barber)是第一個設計出具備熱力循環的氣渦輪機。其設計包含壓縮器、燃燒室與渦輪；不過，其壓縮器是往復式的。其目的也是作為動力馬車之用。

<http://www.aircav.com/histturb.html>

各式噴射引擎性能比較

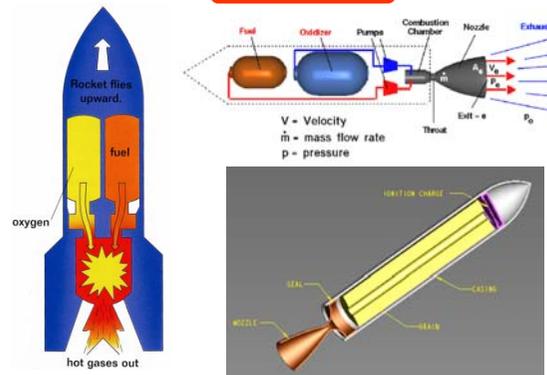


噴射發動機原理



The Jet Propulsion Principle (Newton's Third Law of Motion)

火箭發動機



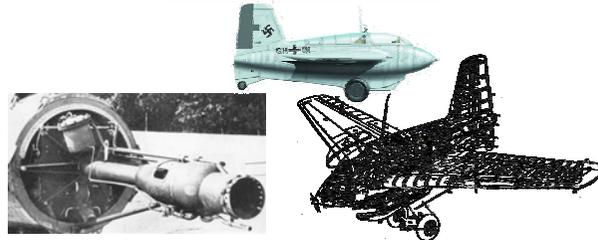
Me 163火箭戰鬥機



Me 163火箭戰鬥機

- 1934年，DFS(德國滑翔機研究所)在柏林成立，其研究的專案小到火箭大到運輸機無所不包。
- 1940年初，曾為歐寶設計了一系列以火箭動力滑翔機與汽車的亞裏克山大·利佩什博士(Alexander Lippisch)在梅塞施密特公司的幫助下，為DFS設計能對付九千公尺高空敵機的截擊機，選擇了He 176使用的Walter RI203火箭發動機，飛行試驗顯示最高速度達到了550km/h(He 176只有350 km/h)，並展現出了令人驚異的爬升性能。Me 163誕生了。

Me 163火箭戰鬥機



- 1941年春，原型機V1達到了855 km/h的高速。10月V4打破1,000.4 km/h (M= 0.84)，之後就因為音障的出現而產生震顫，不得不放棄向音速的衝擊。但這已經比當時最快的飛機飛行記錄快了250 km/h。總產量369架。

Me 163火箭戰鬥機



- Me 163的飛行性能和操縱性能都十分出色，但由於使用了火箭發動機，起飛靠滑車與降落靠滑橇，受風向與地面狀況影響很大(造成損失的80%)。Me 163在起飛之後能以大於70度角爬升，只用2分鐘就可以達到攻擊高度，在這個階段護航戰鬥機的攔截成功率很小(P-51的最大速度和爬升率分別是Me 163的65%和10%)。

Me 163火箭戰鬥機



- 由於燃料很快用光，Me 163幾乎只有一擊的機會，結果由於作戰時間太短，很難將敵機擊落，反過來，敵機也很難將它擊落。Me 163燃料用盡後，在無動力的狀況下，要靠500 km/h的俯衝速度以超低空飛回基地，防範敵機的偷襲。
- Me 163的戰果計P-51(3)、B-17(2)等共9架飛機。

吸氣式噴射發動機

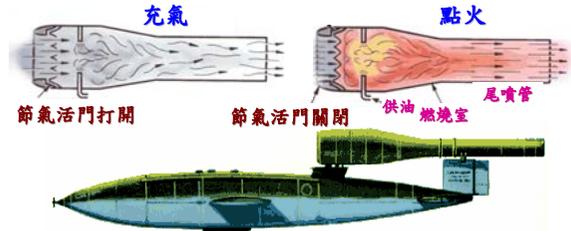
- 吸氣式噴射發動機中，經過壓縮的空氣與燃料(通常為航空煤油)的混合物燃燒後產生高溫、高壓燃氣，在發動機的尾噴管中膨脹，以高速噴出，從而產生反作用推力。
- 流進發動機的空氣可以由專門的壓縮器使其受到壓縮，也可以利用進氣口形狀將高速流進入發動機的空氣遲滯下來而產生高壓來達到。
- 因此，吸氣式噴射發動機可分為無壓縮器與有壓縮器兩類。

無壓縮器吸氣式噴射發動機

- 無壓縮器的空氣噴氣發動機可分為脈衝式與衝壓式兩類。
- 此兩型發動機基本上只運用於無人載具及飛彈。

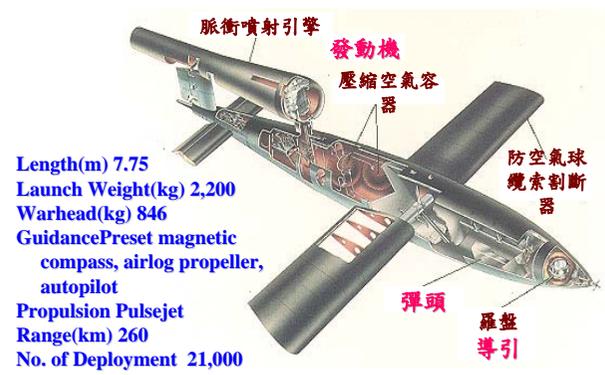


脈衝噴射發動機 Pulse Jet Engine



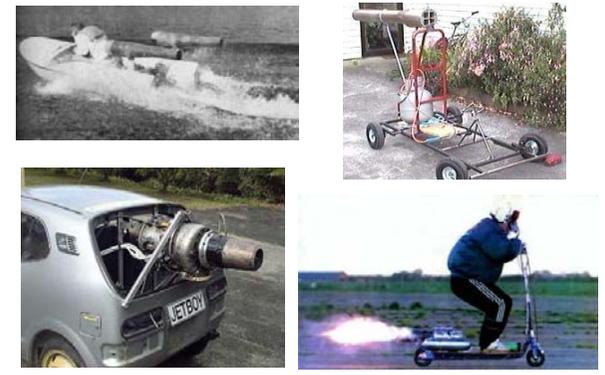
脈衝噴射發動機在原地可以起動，構造簡單，重量輕，造價便宜。進氣到燃燒、排氣的循環過程，一秒鐘可達40~50次。但只適於低速飛行(速度極限約為每小時640~800公里)，飛行高度有限，劇烈振動，極大噪音，燃油消耗率亦大。

Fi-103 V-1 FZG 76



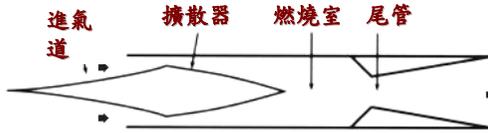
Length(m) 7.75
Launch Weight(kg) 2,200
Warhead(kg) 846
GuidancePreset magnetic compass, airlog propeller, autopilot
Propulsion Pulsejet
Range(km) 260
No. of Deployment 21,000

車庫自製的引擎



衝壓噴射發動機的原理

- 衝壓噴射發動機的核心在於「衝壓」兩字。
- 衝壓發動機由進氣道、擴散器、燃燒室、尾管四部組成，比渦輪噴射發動機簡單得多。衝壓是利用迎面氣流進入發動機後減速、提高靜壓的過程。由於不需要高速旋轉的複雜的壓縮器，是衝壓噴射發動機最大的優勢所在。



衝壓噴射發動機的原理

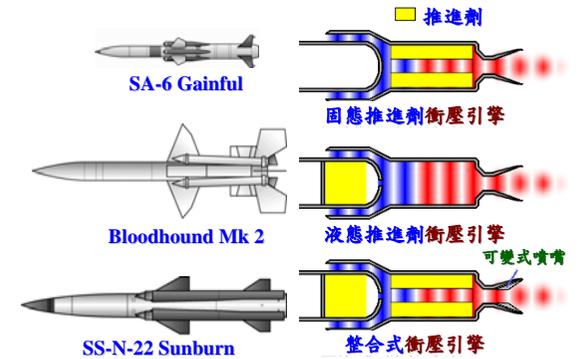
- 缺點是不能在地面靜止情況下啟動，並不適合作為普通飛機的動力裝置。即使飛彈亦必須加裝(火箭助推器)，或以飛機外掛到達定速後發射，方能啟動衝壓發動機。



中共C-301反艦飛彈

歐洲流星(Meteor)
長程空空飛彈

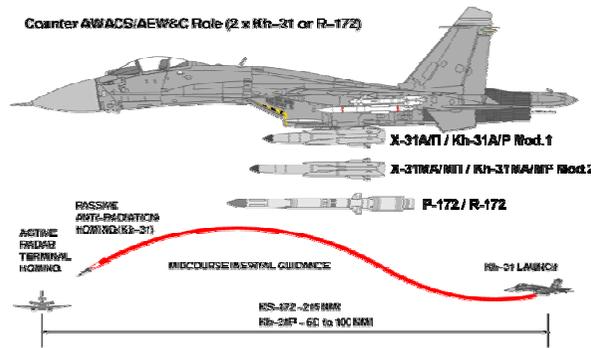
衝壓引擎



中共計劃購進之巡弋飛彈

型式	AS-17 (KH-31P)	SS-N-X-26 (3K55)	SS-N-22 (3M80)
圖示			
側圖			
載具	殲八II	Kilo	現代
任務	反輻射(預警機)	反艦	反艦
馬赫	3	2.5	2.5
射程	200	300	150
引擎	固態衝壓引擎	固態衝壓引擎	液態衝壓引擎

Kh-31P反輻射飛彈

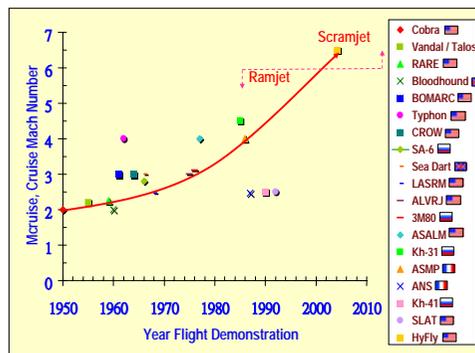


Kh-31P

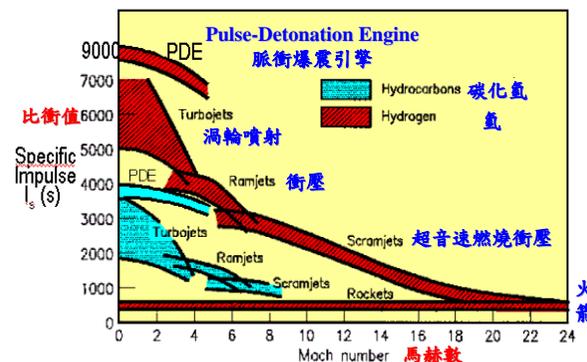


Cruise Speed	3,586 kph	Mach 3
Diameter/Caliber	360mm	14.17-in
Length	5.3 m	17-ft
Max Range	110 km	59 nm
Max Speed	5,400 kph	Mach 4.52
Max Weight	600 kg	1,323-lb
Span	.8 m	3-ft
Warhead Weight	90 kg	198-lb

各型衝壓引擎性能



各式引擎性能比較



超音速燃燒衝壓-Scramjet

- 美國海軍研究部(ONR)與美國國防先進研究計劃局(DARPA)於2002年5月進行以液態碳氫化合物為燃料的超音速巡航飛彈(HyFly)衝壓引擎地面試驗，驗證條件為高度9萬英尺、6.5馬赫數。

