

柴油引擎與燃氣渦輪引擎之比較

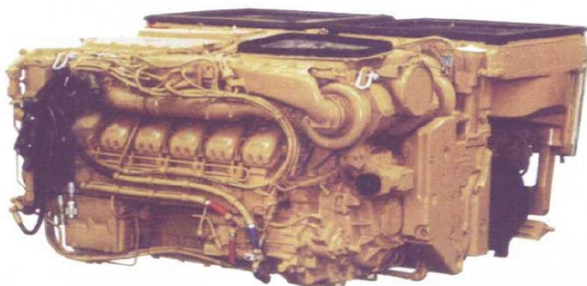
提要：

現今世界各先進國家，對於在新式戰車上使用燃氣渦輪引擎或者柴油引擎可說是各有見解，目前使用燃氣渦輪引擎的代表為美軍 M1 主力戰車，而使用柴油引擎則為德國豹式以及中共 99 式主力戰車性能較為強大。究竟柴油引擎與燃氣渦輪引擎兩者之間有何差異，本文將就其發展演進、工作原理、優劣比較等方面論述。

關鍵詞：柴油引擎、燃氣渦輪

壹、前言

就目前國軍主要戰甲車而言，大多為採用柴油引擎為動力來源，少部分使用汽油引擎。而綜觀世界各國主力戰車之設計，其動力機的設計已有部分採用燃氣渦輪引擎，如美國陸軍的 M1 艾布蘭戰車即是使用燃氣渦輪引擎。究竟柴油引擎與燃氣渦輪引擎兩者之間有何差異，以下就發展演進、工作原理、優劣比較等方面論述。



德國 MTU MT883 KA-500 柴油發動機

資料來源：圖片摘自：

<http://zh.wikipedia.org/wiki/燃氣渦輪發動機>

貳、本文

一、引擎發展史：

(一) 柴油引擎發展史：

現在一般人稱柴油引擎叫做笛賽爾(Diesel)，按笛賽爾一詞，實乃柴油引擎發明人德國工程師笛賽爾博士之姓，其所以成為一個普通

名詞，是後人為了紀念他對柴油引擎之偉大貢獻¹。笛賽爾尚在慕尼黑攻讀時，鑑於當時最好的蒸汽機也要消耗所產生能量的百分之九十，此設計係機械原理上之一種錯誤，因而產生了將能量做直接利用之想法。西元 1893 年 8 月笛賽爾完成了第一具試驗引擎，以極細的煤粉做為燃料，結果得到之動力超過預期計算之數字，因而發生爆炸遭致失敗。後來，笛賽爾照自己的理論又經數次之試驗，1897 年成功地完成第一具效能令人驚訝的二十匹馬力之柴油引擎，受舉世矚目。美國 Cummins 公司在西元 1924 年時，將噴射泵應用於柴油引擎上，解決了當時狄塞爾以高壓空氣供油方式的不穩定運轉，並首度將柴油引擎裝於卡車上，奠定了車輛使用柴油引擎的基礎。隨著國際原油價格不斷高漲，熱效率較高（較省油）且燃油花費較低的柴油引擎在現今的汽車市場中，已漸漸成為一股新崛起的主流勢力。由於新世代柴油引擎大量使用各種電腦控制及柴油濾煙器等新科技與技術，使以往

¹ .http://www.nmvttc.gov.tw/uploadimg/0990420_1.pdf 柴油引擎

柴油引擎車輛最為人所詬病的空氣污染問題，已獲得大幅度的改善；而震動及噪音的問題也因為使用電腦來精確控制而使柴油引擎的運轉精緻度趨近於汽油引擎表現水準；且柴油引擎特有的強大扭力，為同排氣量汽油引擎所難以望其項背的優勢所在。此外，柴油引擎經久耐用的使用壽命，也是不可不提的重點之一。結合各種優勢，在在都讓柴油引擎車輛能更加容易貼近現代人。其中，由電腦控制的柴油共軌直噴技術更是使柴油引擎大幅進化的最大功臣。

（二）燃氣渦輪引擎發展史：

渦輪是一種使用流體產生功率的旋轉裝置。典型的流體計有：空氣、水、蒸氣、風力等。水力發電也是使用渦輪去推動一個電氣發電機核心，用以產生電力供應工業及住家使用。

在動力裝置演進過程當中，燃氣渦輪引擎的出現算是相當新穎。燃氣渦輪使用是由英國Hans.P所提出，在 1930 年代法國人首先製造燃氣渦輪引擎飛機，在 1939 年首次使用燃氣渦輪產生電力，德國則在 1939 年舉行第一架使用燃氣渦輪為動力的飛機試飛²。

「燃氣渦輪」這個名詞容易讓人誤解，是因為人們常誤以為它是使用瓦斯為燃料的渦輪引擎。事實上燃氣渦輪引擎是經由一個壓縮機去吸引並壓縮大氣；經由燃燒室裡加入的燃

料燃燒來加熱壓縮空氣，而渦輪則由燃燒產生的熱氣流推動取得動力。燃氣渦輪是一種持續不斷燃燒的內燃機，這不同於間歇性燃燒的柴油內燃機。

於 1939 年，燃氣渦輪同時在電力及航空的領域擁有各種不同的名稱。在電力產生及航海應用也廣泛的稱為燃氣渦輪，也有叫燃燒渦輪、渦輪軸引擎，有時亦稱為燃氣渦輪引擎。



通用公司 J85 燃氣渦輪機

資料來源：圖片摘自：

<http://zh.wikipedia.org/wiki/燃氣渦輪發動機>

燃氣渦輪引擎於航空運用方面則已通稱為噴射引擎，並且有好幾個不同的名稱是取決於特殊的引擎結構或應用。如：噴射渦輪引擎、扇渦輪、渦輪風扇引擎及渦輪螺旋槳發動機等。燃氣輪機可以是一個廣泛的稱呼，基本原理大同小異，包括渦輪噴射引擎等等都包含在內。而一般所指的燃氣渦輪引擎，通常是指用於船舶（以軍用作戰艦艇為主）、車輛（通常是體積龐大可以容納得下燃氣渦輪機的車種，例如坦克、工程車輛等）、發電機組等的。與推進用的渦輪

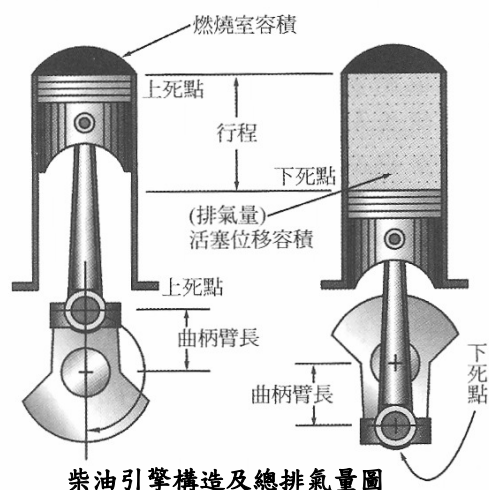
²<http://zh.wikipedia.org/wiki/燃氣渦輪發動機>

發動機不同之處，在於其渦輪機除了要帶動壓縮機外，還會另外帶動傳動軸，傳動軸再連上車輛的傳動系統、船舶的螺旋槳或發電機等。

二、引擎基本構造：

（一）柴油引擎基本構造：

柴油引擎的構造，大致與其他往復式引擎類似，主要構件包括汽缸、汽缸套、活塞、連桿及曲軸等，也是將活塞在汽缸內的往復運動，經由連桿的傳遞，使曲軸作旋轉運動。活塞在汽缸內上行所能達到之最高點，稱此點為”上死點”。活塞下行所能達到之最低點，稱為”下死點”，活塞自下死點上行至上死點，所移動的距離稱為行程或衝程，此行程間汽缸內的容積，謂之引擎的排氣量，亦即是汽缸斷面積和行程的乘積，若再乘汽缸數目所得之值，即為引擎的總排氣量。（如下圖）



資料來源：圖片摘自：

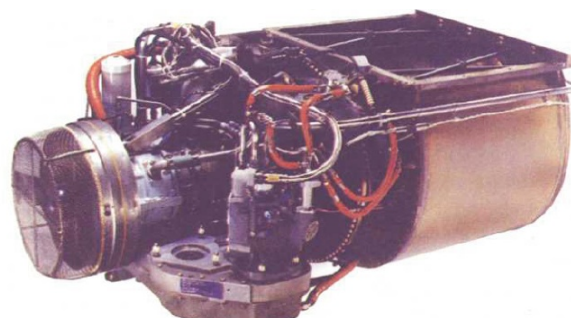
<http://www.tyai.tyc.edu.tw/am/mtkao/file/car/d/car-d1.pdf> 柴油引擎原理

活塞上行到上死點時的壓縮餘隙，即是燃燒室容積。燃燒室容積加活塞位移容積，與燃燒室容積之比，

是為壓縮比，一般柴油引擎的壓縮比約為 14 ~ 24 : 1。

（二）燃氣渦輪基本構造：

燃氣渦輪機主要由壓縮機 (compressor)、燃燒室 (combustion chamber)、渦輪 (turbine) 等部份構成。新鮮空氣由進氣道進入燃氣輪機後，首先由壓縮機加壓成高壓氣體，接著由噴油嘴噴出燃油與空氣混合後在燃燒室進行燃燒成為高溫高壓氣體，然後進入渦輪段推動渦輪，將熱能轉換成機械能輸出，最後的廢氣由排氣管排出³。而由渦輪輸出的機械能中，一部份會用來驅動壓縮機，另一部份則經由傳動軸輸出，用以驅動我們希望驅動的機構如發電機、傳動系統等。



美國 AGT-1500 燃氣渦輪機

資料來源：圖片摘自：

<http://zh.wikipedia.org/wiki/維基百科-燃氣渦輪發動機>

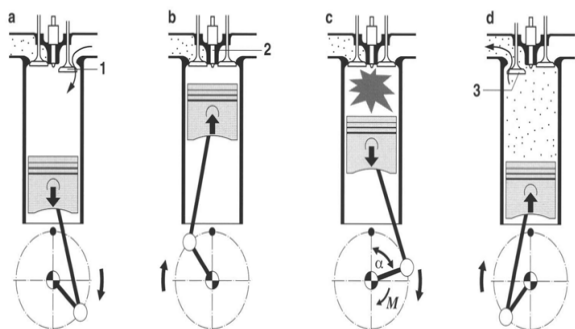
三、引擎工作原理：

（一）柴油引擎工作原理：（四行程柴油引擎）

四行程柴油引擎是引擎曲軸旋轉兩轉（720°），而活塞在汽缸內往復各兩次；以進行進氣、壓縮、動力及排氣四個行程，而完成一個工作

³<http://zh.wikipedia.org/wiki/維基百科-燃氣渦輪發動機>

循環，如此週而復始的運轉，如圖所示。



四行程柴油引擎工作原理

資料來源：圖片摘自：

<http://www.tyai.tyc.edu.tw/am/mtkao/file/car/d/car-d1.pdf> 柴油引擎原理

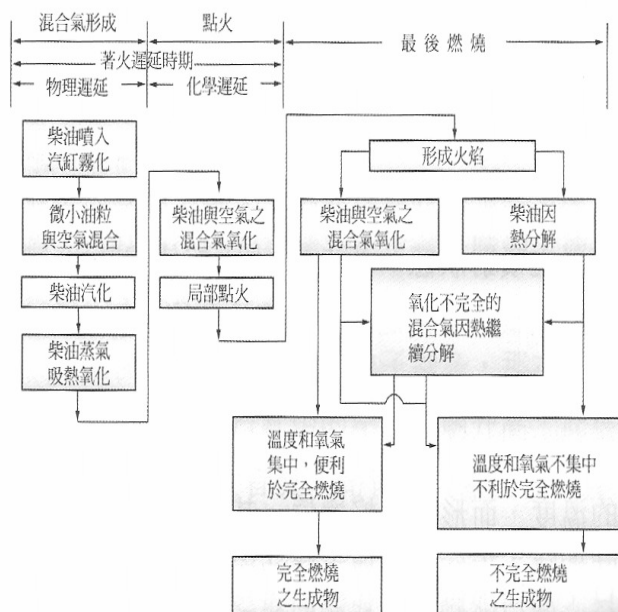
1、進氣行程 (intake stroke)：

進氣行程開始時，進氣門開啟，排氣門關閉，活塞自上死點下行，汽缸內容積增大，產生部分真空，純淨的新鮮空氣，在大氣壓力下衝入汽缸內；此時汽缸內所吸入的空氣量，雖說是不受引擎負荷大小，轉速高低等因素的影響而大致不變，但實際確有部分影響，故實際進氣效率只有 92%~95 %。

2、壓縮行程 (compression stroke)：

活塞過下死點後上行，進、排氣門俱關閉，將汽缸內的純淨空氣壓縮至汽缸容積的 14~24 分之 1，因此空氣的壓力升達 30~55 bar。由於進氣道的特殊設計，故進氣時空氣是以旋轉狀態進入汽缸內，再因燃燒室的特殊形狀，致使空氣在壓縮過中

產生極為強烈渦流。此渦流在引擎慢車時可達 50 m/s 的流速，在全負荷高速時則達 150 m/s。因此種高速的空氣渦流，使得空氣分子相互擠壓摩擦而產生高溫，雖有部分溫度被汽缸壁、汽缸蓋及活塞吸收，但仍能高達 700~900°C。



柴油在汽缸內燃燒之過程

資料來源：圖片摘自：

http://ngchk.com/web/car_engine_learning/diesel.htm 汽車構造學

3、動力行程 (power stroke)：

壓縮行程將近終了時，柴油以霧狀噴入燃燒室內，與高溫及高速渦流的空氣接觸，吸足熱量後著火自燃，燃燒使溫度及壓力急速上升，活塞下行，但噴油仍持續一短時間，燃燒亦繼續一段時間，雖汽缸容積因活塞下行而增大，但壓力卻繼續在增高，形成壓力幾乎是維持定

壓的狀態，迫使活塞加速下行，汽缸內的燃燒最高壓力可高達 30 ~ 55 bar，噴油停止後，燃燒氣體膨脹將活塞繼續推向下行，至完成動力行程。

4、排氣行程（exhaust stroke）：

活塞下行到達下死點前，排氣門開啟，燃燒的廢氣在膨脹壓力下，經排氣門以音速的流速衝出汽缸外，動力行程結束。活塞行至下死點時，汽缸內的壓力亦降至接近或低於大氣壓力，如此可減少機械功的損失。活塞自下死點上行，繼續將汽缸內的廢氣驅除，過上死點後，排氣門關閉而完成此四行程循環。柴油引擎熱效率高，故排氣溫度較低約 500 °C。

（二）燃氣渦輪引擎工作原理：

基本上燃氣渦輪的工作原理就如同一般的汽車引擎一樣，汽車引擎的工作原理是先吸入空氣→壓縮混和氣→點火→燃氣推動活塞（產生動力）→排氣。但是還是有些許的不同，渦輪噴射發動機的工作過程是，壓縮空氣→高壓空氣進入燃燒室→噴油→點火→燃氣排出→推動自由渦輪（帶動壓縮機）→進入後燃段→燃氣自噴嘴噴出。從中我們可以發現其中的差別在於活塞式引擎需先將活塞的往復運動轉變為轉動能再輸出動力，而渦輪則是直接產生轉動的動力帶動壓縮機，

再以剩餘的燃氣產生推力。由此可知因為噴射發動機是直接產生推力因此效率也比活塞引擎好的多。一般而言，噴射發動機內部產生的動力約有 3/4 是用在帶動壓縮機。其餘的 1/4 才是產生推進飛行器的推力。

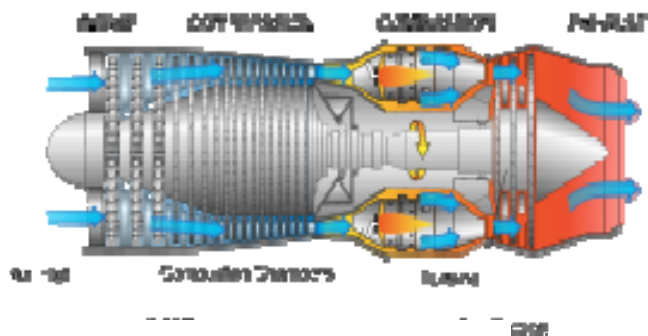
1、壓縮機：

壓縮機的功用是對氣流做功，以提高氣流的壓力。一般燃氣輪機的壓縮機通常有軸流式和離心式兩種。軸流式壓縮機會有許多的葉片，形狀類似螺旋槳葉片，但是分為「靜子」與「轉子」兩種。轉子就像螺旋槳一般地旋轉，在旋轉的過程中將氣流向後推，這時氣流的壓力就會提高，溫度也會升高。靜子的功用是將因為轉子的作用而產生旋轉的氣流導引回軸向，以正確的角度進入下一組轉子。通常是一組轉子和一組靜子交互配置，而一組轉子和靜子就稱為一級。離心式壓縮機則是利用葉輪旋轉時產生的離心力將氣流向外推，而產生加壓的效果。一級的離心式壓縮機就能有數級軸流式壓縮機的壓縮比，對於較小型的燃氣輪機來就是不錯的選擇，但是由於氣流是向外輻射，必須以大幅彎曲的通道折回內部，故能量的耗損也較大。壓縮比是壓縮機的主要性能指標，指的是氣流壓力在加

壓後與加壓前的比，通常壓縮比較高的燃氣輪機，效率也較高，但是氣流在壓縮過程中溫度會上昇，考慮到渦輪所能承受的溫度有一定的限度，壓縮比太高反而不好。

2、燃燒室：

自壓氣機中壓縮的空氣，在此與燃料混合，並在近乎等壓的情況下燃燒，藉此釋放燃料的化學能，轉化為燃氣的熱能，以便推動後段的透平渦輪做功。燃燒室通常包含擴壓斷、噴嘴、點火器、火焰筒和外殼等組成，當然還包括必要的支撐件及儀錶。基於燃料、任務和技術發展方向的不同，燃燒室的類型包括圓筒型、分管型、環管型和環型等。



燃氣渦輪噴射引擎工作原理

資料來源：圖片摘自：

http://content.edu.tw/junior/life_tech/ks_dz/content/area4/005/index.htm 噴射發動機教學

3、渦輪：

燃氣輪機通常使用軸流式渦輪，構造上與軸流式壓縮機相似，同樣是一組定子與一組轉子合稱為一級。渦輪葉片與螺旋槳及飛機機翼相似，氣流流過時產生作用力，對轉子葉片做功而使其轉動，而能將氣流的能量轉換成機械能輸出，因此氣流在通過渦輪後，溫度與壓力都會下降。與壓縮機不同的是，渦輪的目的是將氣流的能量轉換為機械，因此葉片的形狀與壓縮機會稍有不同，重視的是氣流通過時能產生的作用，與飛機機翼希望升力大而阻力小的要求類似。渦輪葉片直接受到高溫高壓氣流的衝擊，為了提高燃燒溫度以提昇燃氣輪機的效率，渦輪葉片必須使用耐高溫、在高溫下仍保有高強度及壽命的耐熱材料製成。葉片結構上也常使用一些特殊設計，例如常見的作法是將葉片設計為中空，然後將冷空氣或冷卻液導入內部，在葉片內部流動時可以產生冷卻效果，還有在表面設計許多小孔噴出冷空氣，隨著空氣流動而覆蓋整個葉片，阻隔以避免高溫空氣直接衝擊葉片，以達到保護的效果。



M1 戰車使用 AGT-1500 燃氣輪機作為發動機

資料來源：圖片摘自：[http://zh.wikipedia.org/wiki/ 維基百科](http://zh.wikipedia.org/wiki/維基百科)

四、引擎優劣比較：

(一)柴油引擎優缺點：

因為柴油引擎使用時間已經非常久，也非常普遍，因此在製造及維修成本都很低(比燃氣渦輪引擎低很多，主因是構造較簡單)、使用燃料成本較低、各方面技術較成熟... 等等優點；加速性能較差、低溫環境啟動速度慢⁴(這是燃氣渦輪引擎比柴油引擎強非常多的地方)。

(二)燃氣渦輪引擎優缺點：

具有輸出馬力比大(以輸出馬力/引擎重量比值為評估標準，柴油引擎本來技術上也不會差多少，但需要犧牲較多空間與重量在冷卻系統上)、運作時噪音較低(其實也很吵，但至少比柴油類好很多)、加速性能強大... 等等優點，但維修成本高耗油量大等令人望之卻步的高成本高風險缺點，讓現今全世界只有美國人在 M-1 系列戰車上及瑞典的 Strv-103(即 S 形，使用 Boeing-553

燃氣渦輪引擎與 Rolls Royce K-60 多燃料引擎並用的複合動力系統，但瑞典 Boeing-553 燃氣渦輪引擎是使用柴油當燃料，而非 M-1 所用的汽油。



AGT1500 發動機耗油量過大，波灣戰爭中，幾乎每行走 3 小時就要加油一次

資料來源：圖片摘自：[http://zh.wikipedia.org/wiki/ 維基百科](http://zh.wikipedia.org/wiki/維基百科)



豹 2 使用 MTU MB 873 型 1,500 匹馬力柴油發動機

資料來源：圖片摘自：

http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_gwtk200903009.aspx 柴油機坦克與燃氣輪機坦克優劣剖析

(國外坦克)郭正祥 2009 年 3 月

下表為目前各先進國家主力戰車所使用引擎較具代表之美國 M1(燃氣渦輪引擎)與德國豹式(渦輪增壓柴油引擎)動力系統數據比較表

⁴

http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_gwtk200903009.aspx 柴油機坦克與燃氣輪機坦克優劣剖析(國外坦克)郭正祥 2009 年 3 月

型號	美國 M1A2 (燃氣渦輪)	德國豹二 A6 (柴油引擎)
戰鬥重量	63.05T	62T
發動機/ 馬力	AGT-1500 燃氣渦輪 /1500 匹	MTU MB 873 柴油引擎 /1500 匹
推重比 (HP/T)	27.5	24.2
最大路速 (KM/HR)	72.4	68
續航力 (KM)	460	550
耗油量 (L/KM)	4	2.19
加速度	由 0 加速至 32 公里約需 5 秒	由 0 加速至 32 公里約需 7 秒

資料來源：此表為筆者自行整理製作

參、結論

現今世界各先進國家，對於在新式戰車上使用燃氣渦輪引擎或者柴油引擎可說是各有見解，因為燃氣渦輪引擎的構造複雜、技術成熟度低、耗油量大等的高成本高風險缺點令人望之卻步；美軍在近年的戰爭中為了維持使用燃氣渦輪 M-1 的優良形象，花費不少當初設計規劃時未設想到的金錢及人力成本，雖然在未來引擎模組化技術應該能解決這項缺點，但是現在能負擔如此重大花費的國家畢竟是少數；然而目前有許多針對柴油引擎缺點所研發出來的技術，如：加速性能較

差(多能以機械式渦輪增壓解決)、低溫環境啟動速度慢(現，中共的數款新型戰車、裝甲車雖然是使用柴油多燃料引擎，但已經能在低溫環境啟動的速度上跟燃氣渦輪引擎相提並論)，因此，目前大部分國家仍然採用柴油引擎搭配機械式渦輪增壓之型式。目前使用燃氣渦輪引擎的代表為美軍 M1 主力戰車，而使用柴油引擎則為德國豹式以及中共 99 式主力戰車性能較為強大。



中共 99A2 使用 1500 匹渦輪增壓中冷式柴油引擎

資料來源：圖片摘自：

http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_gwtk200903009.aspx 柴油機坦克與燃氣輪機坦克優劣剖析 (國外坦克)郭正祥 2009 年 3 月

燃氣渦輪引擎以及柴油引擎則各有優缺點，要如何在這兩者之間尋求平衡點，或者使用更為先進的技術讓這兩者的優勢更上層樓，則端賴世界上先進國家做更深入之研究；然而，對於台灣來說，目前使用燃氣渦輪引擎之戰車維修成本過高、油耗量過大等，仍然是必須考量的地方；因此，綜合考量上述優缺點，對於目前的台灣而言，使用柴油引擎之戰車才是划算而聰明的選擇。

肆、參考依據

1. <http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1005011701744>
2. http://ngchk.com/web/car_engine_learning/diesel.htm 汽車構造學
3. <http://www.tyai.tyc.edu.tw/am/mtkao/file/car/d/car-d1.pdf> 柴油引擎原理
4. http://www.nmvttc.gov.tw/uploadimg/0990420_1.pdf 柴油引擎
5. <http://zh.wikipedia.org/wiki/> 維基百科-燃氣渦輪發動機
6. http://www.acewings.com/cobrachen/forum/topic.asp?TOPIC_ID=4495𞵖 軍武狂人夢第二論壇
7. <http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1105041406261>
8. http://content.edu.tw/junior/life_tech/ks_dz/content/area4/005/index.htm 噴射發動機教學
9. http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_gwtk200903009.aspx
柴油機坦克與燃氣輪機坦克優劣剖析
(國外坦克)郭正祥 2009 年 3 月

作	者	簡	介
	王俊祥上尉，陸軍官校 92 年班曾任排長、副連長，現任職於裝甲兵學校車輛組教官		