

汽車工程原理

原著 / Wilfried Staudt

譯者 / 屈求真 胡寧

校訂 / 林筱增

專業篇



職業培訓的目標在於培養學生的各種行為能力，即專業能力、規劃能力、學習能力以及社會合作能力。因此，這就給課堂引導及課堂組織提出了特別的要求，本書內容力圖幫助教師與學生能夠完成上述要求。

本書在內容的編排上，除承接上一冊《汽車工程原理——基礎篇》既結合職業的特點，又不忽視基礎教育知識範圍的拓寬。進而考慮到如何去不斷提高受訓人員對職業培訓的興趣，以便使他們在汽車領域從事各種技術工作的熱情大大提高。

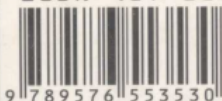
專業篇

電腦編號：04191

ISBN 957-655-353-9

00500

科技圖書



9 789576 553530

良如數位工坊 封面設計·內頁排版 郭佳慈

精選德國職業教育系列教材

汽車工程原理

專業篇

〔德〕維爾弗里德·施陶特 著

屈求真 胡寧 譯

林筱增 校訂

本書提供各種插圖超過1300幅

科技圖書 出版

國家圖書館出版品預行編目資料

汽車工程原理—專業篇/Wilfried Staudt 著,
屈求真、胡寧譯, -初版。- 臺北市: 科技圖書,
2002【民 91】

冊: 公分

ISBN 957-655-353-9 (平裝)

1. 汽車工程 2. 汽車工程 - 問題集

417.1

91018760

版權所有·翻印必究

汽車工程原理

—專業篇—

原 著 / Wilfried Staudt

譯 者 / 屈求真、胡寧

出版者 / 科技圖書股份有限公司

發行人 / 張秉中

登記證 / 局版台業字第 1123 號

地 址 / 台北市忠孝西路一段 50 號 17 樓之 35 室

電話: (02)23707080 · 傳真: (02)23706160

網址: <http://www.techbook.com.tw/>

電子郵件: books@techbook.com.tw

郵撥帳號: 0015697-3

發行所 / 成陽出版社

地址: 台北縣樹林市佳園路三段 219 巷 37-3 號

電話: (02)26688242 · 傳真: (02)26688743

印 刷 / 海王印刷廠

地址: 台北縣中和市中正路 800 號 11 樓之 2

初 版 / 2002 年 10 月

定 價 / 新台幣 500 元

I S B N / 957-655-353-9

本書如有破損、裝訂錯誤, 請寄回調換



科技圖書—Since 1969

序言

「雙軌制」職業教育是當前世界上最成功的職業教育模式之一，被德國譽為戰後經濟起飛的秘密武器，受到了世界各國的普遍重視。

所謂「雙軌制」職業教育，簡言之，就是將在企業裡進行的實際技能的培訓與在職業學校裡進行的專業理論知識的培訓以及普通文化知識的傳授緊密結合培養職業人才的一種職業教育制度。

「雙軌制」職業教育在教學組織方面最顯著的特徵是，企業教學與職業學校教學的密切配合，強調企業教學的主體性；實踐教學與理論教學的相互協調，強調實踐教學的主導性。

「雙軌制」職業教育在教學過程方面最顯著的特徵是，職業分析與課程開發的緊密聯繫，強調專業內容適應職業需求的針對性；能力教育與技能培訓同步進步，強調能力本位的素質培養的重要性。

在這一總體思想的指導下，「雙軌制」職業教育的教材，作為進一步提高教學效果的工具，在編寫中始終遵循「接近職業實踐，符合教學計畫，有利學生學習」的原則。

接近職業實踐，指的是在內容上要注重職業的實際要求和生產過程，將專業知識與獨立制訂、實施和評估計畫的培養目標緊密結合，注重培養學生嚴謹、穩妥和合理的工作態度，注重樹立學生的能源概念、安全概念、環保概念、質量概念等現代生產概念，注重現實職業實踐中適用的技術標準。

符合教學計畫，指的是在結構上要及時根據最新頒布的教學計畫改編或重新編寫教材，將職業基礎培訓和職業培訓的通用要求編為基礎教程，將職業專長培訓的特殊要求編為專業教程，隨時有意識地從教學論的角度加入有利於訓練學生學習新方法、掌握新規

律、解決新問題的遷移能力的內容，既要適合課堂教學，也要便於自學。

有利學生學習，指的是形式上要多樣化，要適合青少年的心理特點，文字和插圖要相互配合，綜合運用表格、曲線、圖片、色彩來表達重要的概念、定律、規則、原理、規範、使大腦邏輯思維活動的拓展與色彩視覺的刺激相輔相成，從邏輯思維和形象思維兩方面來提高學生的學習能力，發掘學生的學習潛力，從而推動學生的學習積極性。

教材在知識涵蓋的廣度上，把傳統教材中的多門學科有機地綜合在一起；在知識的實際應用方面，注重圍繞職業活動對內容加以取捨，應用分析篇幅詳盡，純理論表達則很簡潔；在教材結構上，按照由簡單到複雜、由現象到本質、由特殊到一般的規律，層層推進，螺旋上升。所有涉及入門知識的章節都以生活或職業實踐中常見的現象或事例開始，以激發學生的學習興趣；所有涉及深度知識的章節則盡量避免深奧難懂的枯燥論述，而是注意引導、注重啟發、強調實用，充分啟動學生個人的主動性、積極性、創造性。定性的敘述、定量的分析、生動的實例、形象的圖示和精選的例題，環環相扣。行文流暢，再配以精緻的插圖，並有意地選擇不同的色彩來表示教材的重點或困難點，使人耳目一新。

《德國職業教育教材系列叢書》前言

職業培訓的目標在於培養學生的各種行為能力，即專業能力、規劃能力、學習能力以及社會合作能力。因此，這就給課堂引導及課堂組織提出了特別的要求，本教程力圖幫助教師與學生能夠完成上述要求。

我仍對本教程的第二版進行全面的修訂，將原來的基礎教程與專業教程合而為一^①。這樣便於學生能夠從頭至尾使用同一本培訓教材。本教程的基礎部分著重將職業技術基礎教育作為目標。在內容的編排上，既結合職業的特點，又不忽視基礎教育知識範圍的擴充。

本教程考慮到如何去不斷提高受訓人員對職業培訓的興趣，以便使他們在汽車領域從事各種技術工作的熱情大大提高。

專業部分的內容經修訂後更實際增加了一些單元；

- 柴油引擎電子調節；
- 廢氣回收；
- 表面處理；
- 車身維修；
- 全電子高壓分電點火系統。

本教材對前一版的各章節進行重新編排。取出了思考與練習、工藝編製、汽車測量技術等內容，並將其合併在教科書「汽車技術教材工藝篇」中。

為便於複習，本教材增加了共約600個問答題。

標題標誌有利於各部分內容的劃分和材料的尋找。

章節結構	
資訊部分	作業部分
<p>問題的提出</p> <p>每一章均由日常工作中遇到的實際問題著手，透過提出問題，可向學生表明講述內容的範圍，並激起學生解決問題的興趣。</p> <p>學生們可根據他們的經驗，自由發表其觀點。收集這些觀點，待該章學完後再對其進行評判。</p> <p>專業知識</p> <p>這部分與所提出的問題緊密相關，應該能夠幫助學生獲取問題的解答。專業知識以一定的結構形式進行講述。豐富的插圖、清晰緊湊的內容可促使學生對專業知識的領會掌握，透過結構元件，結構總成以及系統的對照，便於同學的理解和記憶，同時有助於準確地認識各種特性。</p> <p>此外，還必須注意插圖中包含了大量的資訊，應該加以充分利用。</p>	<p>問題的解答</p> <p>每章的最後都對提出的問題進行詳細的解答。</p> <p>透過作業部分可使學生具有：</p> <ul style="list-style-type: none">● 獨立解決問題的能力(規定能力)；● 獨立獲得知識的能力(學習能力)；● 合作解決問題的能力(社會能力)。 <p>在每大章的結尾繪出了具附圖的工作任務(分析)及複習題。</p> <p>分析</p> <p>分析部分包含有學生可以利用的技術資料、圖解、資料、工作參數等，學生應將所學的知識運用到新的或類似的結構元件、結構總成或系統之中。該部分明確提出了學生應解答的問題，因此也就給學生們提供了一條結合圖示獨立解決問題的思考方向。</p> <p>複習題</p> <p>每章的結尾附有40至60個問答題，可用於考察學生對所學知識的理解程度。</p>

① 中文版仍分為《汽車工程原理基礎篇》和《汽車工程原理專業篇》兩冊出版，唯本書採用原著新版的內容。






本教材涉及的知識範圍和具體的內容符合文化部(KMK)制定教學大綱的要求，同時也滿足各州所制定的教學大綱。發行人、作

者及出版社衷心感謝在圖片資料蒐集過程中給予熱情幫助的所有公司。

維爾弗里德·施陶特

目 錄

引擎

	1 四行程汽油引擎2	1.3.5.1 基本化油器.....41
	1.1 四行程工作原理2	1.3.5.2 下吸式化油器.....43
	1.1.1 單缸引擎2	1.3.5.3 電子控制化油器.....47
	1.1.2 多缸引擎7	1.3.6 汽油噴射48
	1.2 引擎機件8	1.3.6.1 概述.....48
	1.2.1 引擎本體8	1.3.6.2 間歇多點噴射.....50
	1.2.1.1 汽缸蓋.....9	1.3.6.3 間歇式中心噴射.....58
	1.2.1.2 引擎的密封.....10	1.3.6.4 連續型多點噴射.....61
	1.2.1.3 汽缸.....11	1.4 排氣裝置67
	1.2.1.4 曲軸箱.....14	1.4.1 消音裝置67
	1.2.2 曲軸傳動15	1.4.2 廢氣淨化裝置69
	1.2.2.1 活塞.....16	1.4.2.1 催化的二次燃燒.....69
	1.2.2.2 活塞環.....21	1.4.2.2 廢氣回流.....72
	1.2.2.3 活塞銷.....22	混合氣形成系統複習題73
	1.2.2.4 連桿.....23	1.5 引擎潤滑75
	1.2.2.5 曲軸.....24	1.5.1 引擎機油75
	1.2.2.6 連桿軸承和曲軸軸承.....25	1.5.2 引擎中的摩擦75
	1.2.3 四行程引擎的進排氣26	1.5.3 潤滑系統76
	1.2.3.1 引擎進排氣機構.....26	1.5.3.1 壓力循環潤滑.....77
	1.2.3.2 進排氣相位圖.....27	1.5.3.2 引擎潤滑裝置.....78
	1.2.3.3 凸輪軸的位置.....28	1.6 引擎冷卻80
	1.2.3.4 引擎進排氣元件.....29	1.6.1 外冷卻與內冷卻80
	1.2.3.5 凸輪軸和凸輪軸驅動裝置30	1.6.2 水冷卻80
	1.2.3.6 氣門間隙.....31	1.6.2.1 熱循環冷卻.....80
	引擎構造複習題33	1.6.2.2 泵循環冷卻.....81
	1.3 汽油引擎混合氣形成36	1.6.2.3 冷卻裝置的元件.....81
	1.3.1 混合比36	1.6.2.4 具閉環的泵循環冷卻.....84
	1.3.2 燃料37	1.6.3 空氣冷卻85
	1.3.3 燃油系統37	潤滑系統、引擎冷卻複習題86
	1.3.3.1 燃油供給系統.....37	
	1.3.3.2 燃油回流系統.....38	
	1.3.3.3 燃油蒸發裝置.....39	
	1.3.4 空氣濾清器40	
	1.3.5 化油器41	
		2 二行程引擎87
		2.1 二行程工作過程88
		2.2 二行程引擎的波動系統89
		2.3 掃氣工作過程90



2.4	不依賴活塞的進氣控制	90
2.5	二行程引擎元件	91
2.6	四行程引擎與二行程引擎的比較	92



3 柴油引擎93

3.1	柴油引擎工作方式	93
3.2	混合氣形成過程	94
3.2.1	直接噴射	94
3.2.2	間接噴射	95
3.2.3	廢氣淨化	95
3.3	柴油引擎元件	96
3.4	汽油引擎與柴油引擎比較	97
3.5	柴油噴射裝置	99
3.5.1	燃油輸油泵	100
3.5.2	燃油濾清器	100
3.5.3	列式噴油泵	101
3.5.3.1	泵單元體	101
3.5.3.2	調節器	103

3.5.3.3	噴射調整器	105
3.5.4	多燃料引擎的泵	105
3.5.5	具電子調節的直列式噴射泵	106
3.5.6	具電子調節的凸輪盤式列式噴油泵	108
3.5.7	分配式噴油泵	109
3.5.7.1	透過分配器柱塞的燃油分配	110
3.5.7.2	分配泵的機械式調整	110
3.5.8	分配式噴油泵的電子柴油調整	111
3.5.9	噴油器和噴嘴	113
3.5.10	柴油引擎的廢氣淨化系統	114

4 特種引擎115

4.1	汪克爾引擎——轉子引擎	115
4.2	增壓引擎	117
	二行程引擎、柴油引擎、增壓引擎複習題	120



傳動系統



1 離合器124

1.1	摩擦式離合器	124
1.1.1	單片乾式離合器	124
1.1.1.1	離合器從動盤	126
1.1.1.2	離合器工作間隙	126
1.1.2	扭力轉換器——換檔離合器系統	127



2 變速箱128

2.1	變速箱的應用使引擎特性適合於汽車行駛工作狀況	128
2.2	變速箱工作原理	128
2.2.1	單級齒輪傳動	129
2.2.2	雙級齒輪傳動	129

2.2.3	汽車變速箱的基本結構	129
-------	------------	-----

2.3 變速驅動器130

2.3.1	直齒滑動齒輪變速驅動器	130
2.3.2	接合套換檔變速驅動器	130
2.3.3	同步器變速驅動器	131
2.3.3.1	鎖定式同步變速驅動器 (ZF B)	131
2.3.3.2	鎖定式同步器(波爾舍)	133

2.4 自動變速箱134

2.4.1	液力扭力轉換器	134
2.4.2	行星齒輪變速箱	136
2.4.2.1	單排行星齒輪傳動原理	136
2.4.2.2	複合式的行星齒輪變速箱	138
2.4.2.3	機械傳力元件	139



2.4.3	液壓控制裝置	140
2.4.4	變速箱控制	141
2.4.5	變速箱電子控制	145
2.4.6	無段自動變速箱	145



3	傳動軸與萬向接頭	147
3.1	萬向接頭傳動軸	148
3.2	半軸	150
3.2.1	球籠式萬向接頭	150
3.2.2	雙聯式萬向接頭傳動軸	150

4	驅動軸，全輪驅動	151
4.1	主減速器	151
4.2	錐齒輪差速器	152
4.3	鎖定式差速器	154
4.3.1	強制鎖定式差速器	154
4.3.2	自鎖式差速器	154
4.4	全輪驅動	155
4.4.1	自動換檔四輪驅動(4MATIC)	157
	傳動系統複習題	158



底盤元件



1	懸架系統	162
1.1	轉彎行駛性能	162
1.2	懸吊類型	163
1.3	前輪定位	164
1.4	獨立懸吊	165
1.5	整體式車軸	167

3.2.3	油氣彈簧	180
-------	------	-----



2	車輪與輪胎	168
2.1	車輪	168
2.2	輪胎	170
2.2.1	水浮現象	171
2.2.2	輪胎規格	172
2.2.3	輪胎壽命	173
2.2.4	不平衡	173

4	阻尼避震	181
4.1	避震器	181
4.2	避震器與其他零附件的組合	184
4.2.1	麥弗遜式懸架的避震支柱	184
4.2.2	高度調整式避震器	184




3	彈簧	174
3.1	基礎知識	174
3.1.1	振動	175
3.1.2	彈簧剛度曲線	175
3.2	汽車彈簧	176
3.2.1	鋼製彈簧	177
3.2.2	空氣彈簧	179

5	轉向	185
5.1	前軸幾何學	185
5.2	轉向接頭轉向	186
5.2.1	轉向梯形	187
5.2.2	轉向機構避震器	188
5.2.3	轉向器	188
5.3	動力轉向	190
5.4	安全轉向	192
5.5	轉向特性	192
	複習題	193




6	車架與車身	200
6.1	車架	200
6.2	車身	201



6.3 安全汽車	202	7.3.4 輪胎與路面之間的作用力	236
6.4 轎車車身的製造	203	7.4 車輪煞車	237
6.5 表面處理	204	7.4.1 鼓式煞車	237
6.5.1 腐蝕	204	7.4.2 碟式煞車	240
6.5.2 防腐蝕	204	7.4.3 停車煞車	242
6.5.3 轎車車身的塗漆	206	7.4.4 鼓式煞車與碟式煞車的比較	243
6.6 安裝玻璃	208	7.5 液壓煞車裝置	244
6.7 通風與空調	209	7.5.1 液壓煞車裝置的工作原理	244
6.8 冷氣	210	7.5.2 煞車油	245
6.9 車身維修	212	7.5.3 液壓煞車裝置的零件	245
6.9.1 法規	212	7.5.4 液壓煞車系統中的專用裝置	250
6.9.2 損傷分析	212	7.5.5 煞車防鎖死系統(ABS)	253
6.9.3 變形修理技術	215	7.5.6 驅動防滑系統(ASR)	255
6.9.4 切斷與接合修理技術	218	7.6 氣壓煞車裝置	257
6.9.5 補漆	225	7.6.1 壓縮空氣供給裝置	260
6.9.6 空腔封閉	227	7.6.2 行車煞車裝置	262
6.9.7 車身底板防護	227	7.6.3 停車煞車裝置	264
6.9.8 防止事故的措施	228	7.6.4 掛車煞車裝置(附有機械式的 停車煞車裝置)	266
複習題	228	7.7 輔助煞車裝置(第三煞車)	268
 7 制動	231	7.7.1 引擎排氣煞車	268
7.1 制動裝置的分類	231	7.7.2 電磁減速器(渦電流煞車)	270
7.2 法規	232	7.7.3 液力減速器(液流煞車， 液壓下坡緩行器)	270
7.3 制動過程	234	複習題	271
7.3.1 制動過程中的各階段	234		
7.3.2 車輪上的受力	235		
7.3.3 鼓式煞車的助力	235		



電工學、電子學、控制及調節技術

 1 汽車電氣與電子技術	278	1.2 汽車電氣設備	281
1.1 電工基礎	278	1.2.1 照明裝置	281
1.1.1 基本的直流電路	278	1.2.2 訊號裝置	285
1.1.2 直流電路中的定律	279	1.2.3 報警閃光訊號裝置	286
1.1.3 汽車上的直流電路	279	1.2.4 汽車馬達	287
1.1.4 線路符號與電路圖	280	1.3 汽車電子技術基礎	290



1.3.1	半導體元件	290
1.3.2	電阻與電容	292
1.3.3	汽車電子設備的基本電路	293
汽車電氣與電子學複習題		296
1.4	電瓶點火系統	297
1.4.1	高壓電的產生	298
1.4.2	高壓分電及電火花的形成	302
1.4.3	接點閉合角的電子控制與調節	303
1.4.4	點火提前角的調節	305
1.4.5	全電子高壓分電點火系統	308
1.4.6	各類電瓶點火系統的比較	309
1.4.7	磁電機點火系統	310
1.4.8	柴油引擎的預熱塞	311
電瓶點火系統複習題		312



2 電流供給系統314

2.1	三相交流發電機	315
2.1.1	電工基礎	315
2.1.2	爪狀磁極發電機	316
2.1.3	三相交流發電機的電壓調節器	318
2.1.4	交流發電機與直流發電機的比較	319



2.2	起動用電瓶	320
-----	-------	-----



3 起動裝置322

3.1	電工基礎	322
-----	------	-----



3.2	滑動—螺旋接合式起動馬達	323
電流供給系統與起動裝置複習題		325

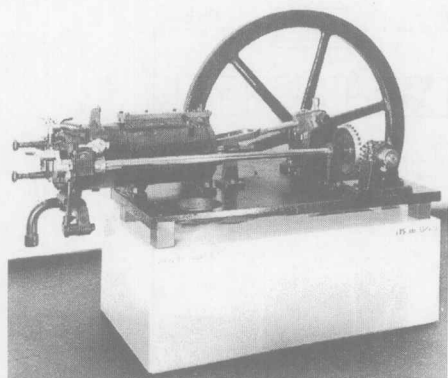
4 汽車的電子控制與調節系統327

4.1	控制與調節技術基礎	328
4.1.1	控制系統	328
4.1.2	調節系統	329
4.2	控制與調節系統中的訊號處理及執行元件	330
4.2.1	對運行資料的採集	330
4.2.2	執行機構（執行元件）	332
4.2.3	微電腦數據處理	333
4.3	點火與混合氣形成的複合系統	334
4.3.1	電子汽油噴射與點火系統（Motronic）	334
4.3.2	Multec型集中汽油噴射（單點噴射）系統	338
4.3.3	增壓引擎爆燃調節原理框圖	341
4.4	駕駛電子資訊系統	342
4.4.1	數位式儀表板	342
4.4.2	檢測監視系統	342
4.4.3	車用電腦	342
4.5	電子安全系統：安全氣囊與安全帶	343
4.6	舒適性電子系統：車速調節裝置	344
4.7	汽車電子系統數據總線CAN	345
電子控制與調節系統複習題		347



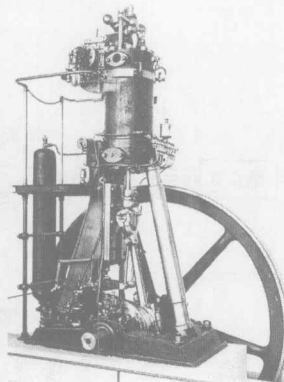
第一台四行程汽油引擎(1876)

汽缸數	1
汽缸工作容積	6.1 L
汽缸直徑	161 mm
活塞行程	300 mm
功率	3 PS(2.2 kW)
對應轉速	180 r/min



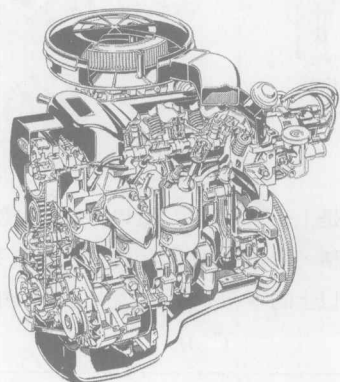
第一台柴油引擎(1897)

汽缸數	1
汽缸工作容積	20 L
汽缸直徑	250 mm
活塞行程	400 mm
功率	20 PS(14.7 kW)
對應轉速	172 r/min



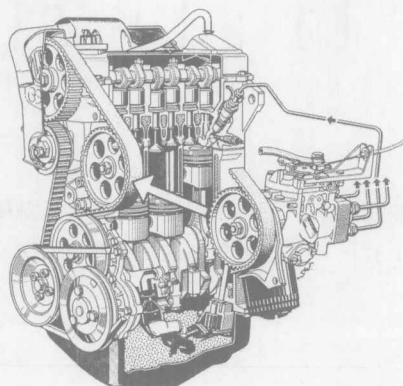
現代直列式汽油引擎(1980)

汽缸數	4
汽缸工作容積	1.6 L
汽缸直徑	79.96 mm
活塞行程	79.52 mm
功率	79 PS(58 kW)
對應轉速	5800 r/min



現代轎車用柴油引擎(1980)

汽缸數	4
汽缸工作容積	1.47 L
汽缸直徑	76.4 mm
活塞行程	80 mm
功率	50 PS(37 kW)
對應轉速	5000 r/min
壓縮比	23.5





引擎

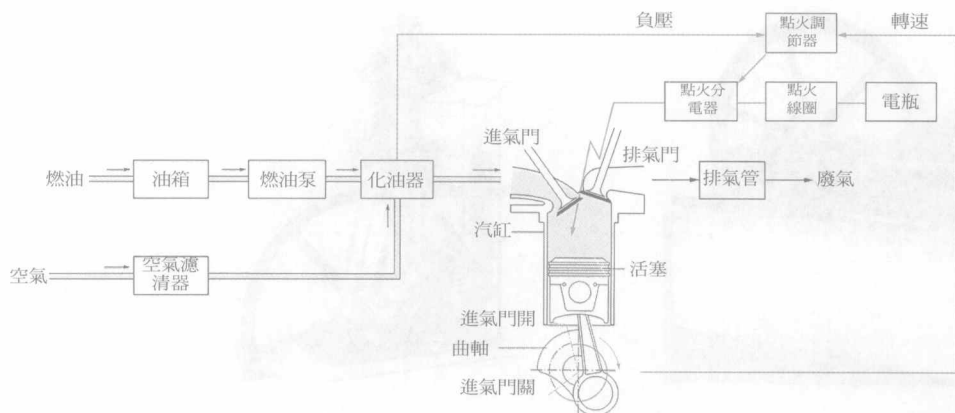
1 四行程汽油引擎

1.1 四行程工作原理

1.1.1 單缸引擎

活塞在汽缸內上下運動，連桿和曲軸將活塞的往復運動變為旋轉運動。

燃油和空氣化油器中以適當的比例混合，混合比為14.7:1，也就是說，燃燒1kg燃油需要14.7kg空氣。氣門控制混合氣的供給，廢氣由排氣門排出，曲軸透過鏈條或齒輪傳動機構驅動凸輪軸，進而控制氣門，點火裝置用火星塞上的電火花及時地將混合氣點燃。



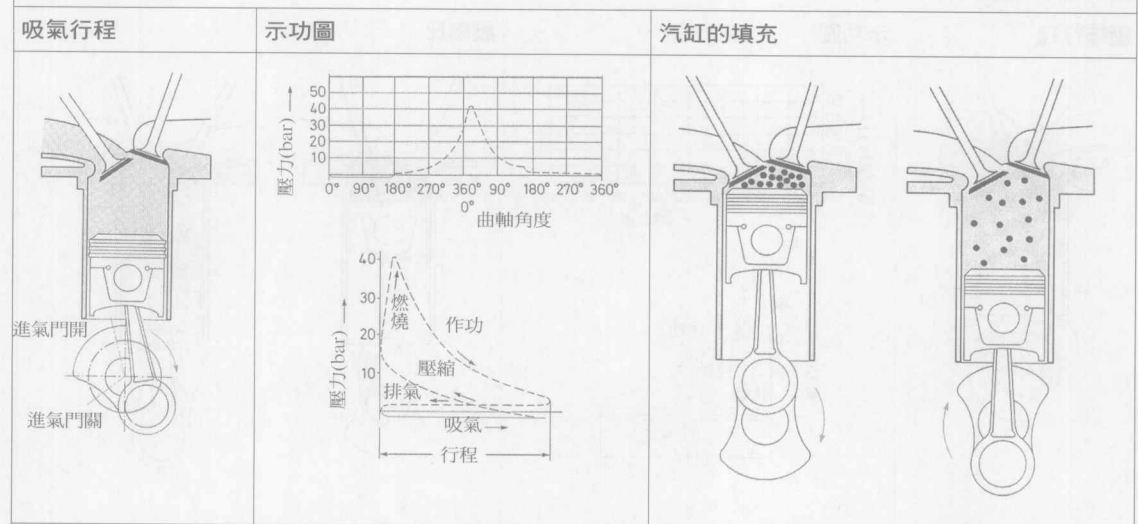
為說明引擎的功能，汽車技師有必要瞭解一系列引擎的技術概念。

引擎技術概念

死點	行程	汽缸工作容積 壓縮容積	曲軸角度
<p>死點是活塞的折返點：上死點 (OT)，下死點 (UT)。</p>	<p>行程是活塞在上死點和下死點之間運動的距離。</p>	<p>汽缸工作容積V_1是上死點和下死點間的容積，壓縮容積V_2是上死點以上的容積。</p>	<p>曲軸角度以「度」描述曲軸軸頸相對上死點和下死點的位置 (曲軸角度$^\circ$)。</p>



第1行程：吸氣



活塞由上死點向下死點運動，進氣門打開，排氣門關閉。由於活塞下行，容積變大，產生0.1~0.2bar的負壓，由此，在化油器中形成空氣和燃油的混合氣(新鮮氣)，並被吸入汽缸。

吸氣過程中，因為汽缸內的負壓大致維持固定，所以，引擎示功圖上的負壓為一條直線。

引擎功率取決於汽缸內新鮮氣的填充量。當引擎高速運轉時，讓新鮮氣在氣門短暫開啟時中完全充滿汽缸是根本不可能的，汽缸內總存有廢氣。汽油引擎的填充量最大可達80%，也就是說，新鮮氣只能充滿汽缸的80%。

以下措施可改善汽缸填充：

- 延長氣門開啟時間

進氣門在上死點前 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 開啟，此時，排氣門仍然開著，流出的氣體在汽缸內產生負壓，它使活塞下行前新鮮氣在進氣道內流動，排氣門在上死點後 $5^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 關閉。從上死點到下死點進氣門完全打開。吸氣行程中汽缸容積內形成負壓，新鮮氣以100m/s的速度流動，進氣門在下死點後 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 關閉，雖然活塞又向上運動，由於慣性作用，新鮮氣通過仍開啟的進氣門繼續流入汽缸，直至升高的壓力使運動停止，且

進氣門關閉。因此，進氣門最大可開啟 270° (上死點前 $30^{\circ} + 180^{\circ} +$ 下死點後 60°)，而比吸氣行程更長。

- 減少吸氣行程的流動阻力

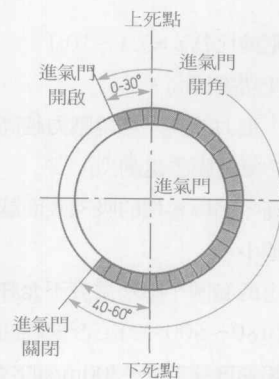
進氣道必須儘可能地平滑、短且少彎曲，進氣門和進氣道斷面必須儘可能地大。

- 汽缸壁冷卻良好

新鮮氣在汽缸壁上受熱、膨脹，其空氣密度減小，吸進的氣體量下降。

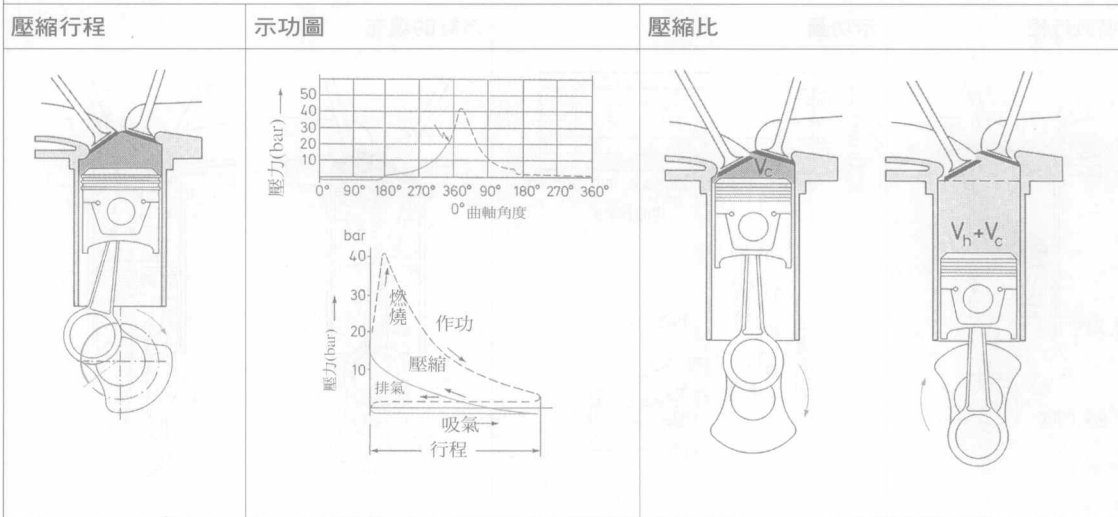
- 減小壓縮容積

- 採用渦輪增壓裝置增壓





第2行程：壓縮



活塞由下死點向上死點運動；進氣門和排氣門關閉，活塞將混合氣壓縮成容積 V_c ，壓力升高到10~15 bar，溫度達400~500 °C，燃油和空氣粒子在高壓下緊密地聚集在一起，高溫促使燃油完全汽化。此外，壓縮促進了混合氣渦流，進而促進了燃油與空氣的混合。壓縮程度以壓縮比 ϵ 描述：

$$\text{壓縮比} = \frac{\text{汽缸工作容積} + \text{壓縮容積}}{\text{壓縮容積}}$$

$$\epsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$

四行程引擎的壓縮比為 $\epsilon = 7:1 \sim 10:1$ 。

增加壓縮比可使功率提高。

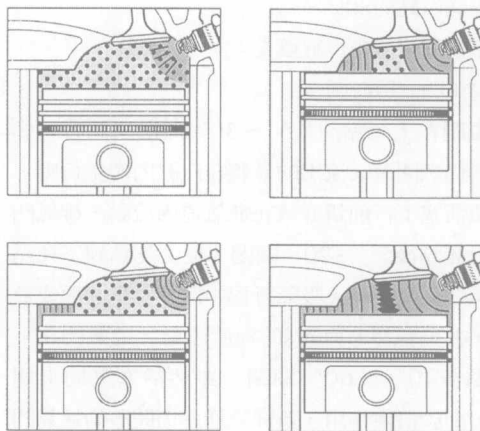
- 壓縮終了時，壓力越高，燃燒壓力越高，在作功行程中燃燒的氣體膨脹越劇烈。
- 壓縮壓力越高，燃燒容積的吸熱表面越小，冷卻的熱能損失越小。

壓縮比有一定的範圍，壓縮溫度不允許超過燃料的自燃溫度(480~500 °C)，否則燃油會自燃，進而導致火焰速度達250~300m/s的爆燃，相對

應的壓力波在對汽缸壁和活塞形成撞擊時產生敲擊雜訊，稱之為爆燃。

爆燃會導致：

- 引擎迅速變熱
- 軸承受載加劇
- 燃油消耗增加
- 由於所產生的壓力波在上死點前傳至活塞上，阻礙其運動，故引擎功率將會下降。



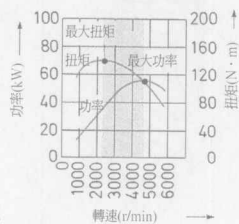
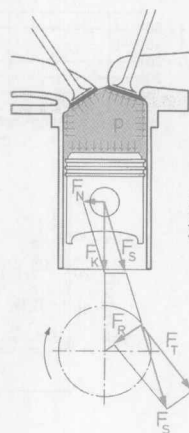
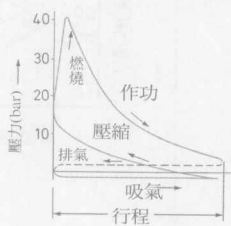
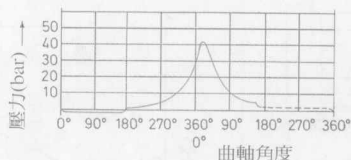
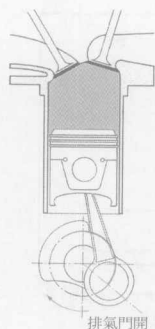


第3行程：作功

作功行程

示功圖

引擎扭矩



在作功行程中進氣門和排氣門關閉，火星塞點燃壓縮的混合氣，達到完全燃燒需要的時間約2/1000秒。因此混合氣必須在上死點前點燃，以便使燃燒最高壓力在上死點後不久便達到40~60bar，溫度上升到2000~2500℃。正常燃燒情況下，火焰前緣以15~30 m/s的速度在燃燒室內傳播。

燃燒過程中燃料成分(碳和氫)與空氣中的氧結合。

- 完全燃燒，即存在有足夠的氧氣：



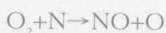
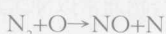
- 不完全燃燒，即氧不足：



- 燃油中的氫與空氣中的氧結合成水：



- 隨空氣一起吸入燃燒室的氮在燃燒室的高溫下與空氣中的氧反應生成氮氧化合物NO_x。可能發生如下反應：



燃燒產生的氣體壓力 p 作用在活塞表面 A_k 上，產生活塞推力 F_k ：

活塞推力=氣體壓力×活塞面積

$$F_k = p \times A_k$$

活塞推力 F_k 可分解為側向力 F_N 和連桿力 F_s 。

- 垂直活塞銷作用的側向力 F_N 將活塞壓向汽缸壁，活塞上的這一面稱為受壓面。
- 連桿力 F_s 作用在曲軸軸頸上，可分解成沿軸頸作用的軸承力 F_R 和垂直軸頸作用的旋轉力(切線力) F_T 。 F_T 在曲柄半徑上產生扭矩 M ：

引擎扭矩=旋轉力×曲柄半徑

$$M = F_T \times r$$

引擎特性在試驗台架上測定，此時，節氣閥全開的經過預熱的引擎靠水渦流或電渦流制動器載入。在整個轉速範圍內各種不同載荷作用下獲得的測量值可以確定扭矩和功率特性曲線(外特性)，從特性曲線中可看到最大扭矩和最大功率，以及相對應的轉速，在最大功率和最大扭矩間為引擎的適應區。