

汽車設計原理

張西 譯
耿耿 耀耀

龍門聯合書局印行

汽車設計原理

張耀西 編譯
耿耿

龍門聯合書局印行

莊 序

任何機器的製造，須經過一個重要步驟，即該項機器各部份的設計工作。如此則對於材料的應用，尺寸的大小，以及應力強度的計算與機器效率的高低等，均有精密的估計，而不致於遭受依樣仿造，缺乏創造性的失敗。

在工業先進國家裏，機器的設計工作，是在各種機器工廠中進行的。而工作人員對於設計的學習以及設計的經驗，也均在工廠中交換吸收與改進。我國工業落後，各種機器工廠，除努力仿製外來機器，爭取完成任務外，很少進行設計工作。仿製的精密程度，已可與外來機器相媲美，但當需要改變尺寸或更改部份機構時，即感覺到設計工作的重要。一個工廠如果缺乏設計工作的工程室，則對於改進品質，發展事業的進行必遇到很大困難。

我國工程教育，一方面因時間的限制，另一方面亦因國家工業化的發展尚未達到自行設計與製造的階段，故對於機器設計方面的課程，迄未能臻於完善。而設計方面的課本，亦甚少參考資料。

現在政府重點發展工業，以鋼鐵及機器工業為主要目標，而機器工業中，尤重視汽車工業，擬於數年內設廠大量製造，並專設汽車製造工程系，造就此項迫切需要之人才。“汽車設計原理”實為瞭解汽車構造與進行設計製造的基本學識。耿耀張及耿耀西二先生有鑒於此，已於十餘年前編譯此書，並已出版問世，不幸抗日戰起，上海淪陷，該書悉遭焚燬，茲再整理付印，爰誌數語，附於書末。

三 版 序

本書原名“汽車之基本設計”，於一九三六年出版後，銷行頗廣。一九三七年夏抗日戰起，上海淪為“孤島”，其時本書曾在滬發行增訂再版。不意出書未久，而“孤島”淪陷，於是此再版新書，悉遭焚燬。時光荏苒，忽已十年。茲政府大力提倡汽車工業，並擬議設廠製造，大量生產。故今後之汽車設計工作，將日益重要。鑒於目前此項論著之缺乏，因就原書之再版藍本，重校付刊，以資應用。取作教本，亦至簡明合用。書中內容，以前後軸輪及制動器等三章修改較多。譯名插圖，均經詳慎整理。唯錯誤之處，仍所難免，尚希讀者指正！三版修正時，多賴馮海均君之助力，得早付印，並承莊前鼎先生於百忙中作序，願誌謝焉。

耿耀張 耿耀西

一九五〇年十月一日燕京大學

初 版 序

我國汽車學書籍，類皆着重於各種汽車機構之說明，或汽車之駕駛修理，專論汽車製造之設計者，尚付闕如。茲鑒於我國汽車事業之發達，暨各校工院及各地汽車工廠之亟需此項研究材料，爰草譯而成此書。至希海內明達，不吝賜教。

二十五年五月一日耿耀張序於南京

目 次

第一章	汽車之功用及其製造	1
第二章	製造汽車所需之材料	7
第三章	熱力學與鄂圖循環	15
第四章	馬力與效率	35
第五章	牽引力與工率	48
第六章	汽油引擎之各部	66
第七章	汽塞之啓閉及歪輪側面圖	98
第八章	化汽作用與發火裝置	123
第九章	接合器	136
第十章	齒輪	159
第十一章	齒輪箱	198
第十二章	推進軸與萬向接頭	216
第十三章	後軸與後輪	227
第十四章	前軸與前輪	247
第十五章	駕駛機械	258
第十六章	駕駛機箱	281
第十七章	制動器	296

第十八章	車架與彈簧	315
第十九章	散熱器與唧筒	343
附錄一	測量單位	349
附錄二	汽車各種材料之強度	352
附錄三	亞克門氏駕駛機械之數學分析	353
附錄四	例證參考表	356
附錄五	答案	357
附錄六	符號及簡寫字	360
附錄七	英漢名詞對照表	361

汽車設計原理

第一章 汽車之功用及其製造

機械之設計者，對於機械之功用及其運用之環境，須有徹底之了解，並對製造方法及所需材料，亦須有相當之研究；故欲從事汽車之設計，對於此項問題，必須首先注意之。

汽車之功用(The Duty of The Car)——汽車或用以運輸貨物，或用以乘坐旅客，均包含有消費及速度之二問題，而汽車之重量與馬力，即依此二問題以決定之。如車主欲依車之運行，博得利益，則須使車之載重量加大，消費量減小，至其速度強大，及乘坐舒適，則無關十分重要。倘車主為利用汽車使個人之行動便利，或為消遣計，則須汽車之速度強大，乘坐舒適，而其載重量及消費量，似不多關重要也。總之，因汽車之功用不同，對於設計上之要求自異，惟關於安全及可靠之二要素，則無論何種功用之汽車，均須具有也。

茲先就商用汽車言之，此項汽車之優劣，係以汽車之價值及其行駛消費之和，與行駛收入之比而判定之。汽車行駛消費之大部，係以消耗之油量為估計，而行駛收入，則又以汽車之載重及行駛之里數為依歸。但汽車油量之消耗及行車速度，依其馬力與載重而更易，故欲汽車之行駛收入加多，可由減輕汽車本身之重量，用以加大其載重量為之。但汽車本身之強度，須不因之減小。故一般之商用汽車，恆以每

加倫之噸里數表示其優劣，即汽車總載重 (Gross Weight) (汽車重與載重之和) 之噸數，與行駛里數相乘之積，復以消耗汽油之加倫數除得之商數也。

一般私人用之汽車，則以乘坐舒適速度強大為準則，而油量之消耗，則無關十分重要。故此項汽車，恆裝置有較大馬力之引擎，用以增大其速度，並以攀登坡度時，仍可用齒輪箱之頂速行駛。設計此項汽車時，對於車身之重量，亦有設法減輕之必要；因車身愈輕，其速度可愈大也。

總之，無論設計何種汽車，均須力求避免車行時所發生之聲響；故設計者，對於廢汽之排出，及相銜接之各轉動齒輪，均應特加注意，並對汽車之易於損壞各部，須使於修換時，不感裝卸之困難為要。

運用之環境 (Operating Conditions)——汽車運用之環境，以汽油之供給與行駛之路面，關係較為重要，如在汽車行駛之區域內，無供給汽油之設備時，則汽車須負載充分之汽油，因之增多汽車本身之重量。反之，如汽車行駛之區域內，有完善之供給汽油設備時，則汽車僅須負載 100 至 200 哩行程用之汽油足矣，而汽車本身之重量，自可因之減輕。再就路面言之，如汽車在良好之道路行駛時，其受路面影響所發生之摩擦力及震動力，均甚微小；但當汽車行駛於崎嶇傾斜之地面時，其由路面響影所發生之摩擦力及震動力均甚大，故使用四輪推進 (普通汽車，均係二輪推進) 或用鏈轉 (Caterpillar Drive) 之汽車，均為適合於行駛不良之道路也。

汽車由路面所發生之震動力，至關重要，設計者有隨時顧慮之必要；故與此項震動力有關之汽車各部，當設計時，須使有充分之安全因數 (Factor of Safety) 始可；並其影響於車架上之輕微震動，亦須慎為顧慮，俾其相銜接之各轉動輪軸，可不因此輕微震動而失其固有之位置也。

材料 (Materials)——因汽車之進步，影響材料之改良；而材料之改良，更促進汽車之進步。如因鋼質之改良，而汽車之鋼質各部，重量既可減輕，強度並不減小。滾珠軸承 (Ball Bearing) 之發明，使汽車由摩擦所失之機械效率減少。製齒機器之精確，使製就之齒輪，當工作之下，既可增大效率，復能減輕聲響。就蝸齒輪 (Worm Gear) 而論，在過去均認為係齒輪中效率之最小者，但因製齒機器改良，刻下製就之蝸齒輪，竟與斜齒輪 (Bevel Gear) 具有相同之效率。他如汽車上各附件之材料，均因汽車之進步，各有相當之改良；或由此相當之改良，以促進汽車之進步也。

製造廠 (Manufactures)——普通之汽車製造廠，均取一種或二種汽車用作標準。此種標準汽車，僅其軸距 (Wheel Base)，齒輪比，及車輪之大小，可以隨時更易，用以適合各種不同之需要；至其他各部，則在新標準汽車未設計完成前，恆不輕易更變。由此標準汽車之規定，形成製造廠之分工而得大量生產，用以減低製造之消費。並因特殊工作機械及工作器具之使用，復可減少廠內高等工匠及技師數量，此製造廠之所以能製就大批車輛，以廉價銷售於市場也。唯實行此種制度之各廠，其伸縮性甚小，且需大量之資本。至各種之賽跑車，因社會上之需要甚少，並製造時之消費亦大，故不能取作製造廠之標準汽車。

構造 (Construction)——若干之載重車，有裝置蒸汽引擎者，但其數量不若裝置汽油引擎者為多。此種裝置蒸汽引擎之載重車，亦有其若干之優點，惟同馬力之引擎，蒸汽者恆較汽油者為重，且蒸汽車尚需鍋爐之裝備，為其最大缺點。此汽油引擎之所以珍重也。

汽車因有上下坡度及行經平路之更變，故其速度自不能永遠一致，而引擎之負重，自亦隨之有所不同。故汽車當開動或攀登坡度時，其車輪在路面上之旋動力，恆較汽車行經平路時為大。又汽車行駛之速

度，以引擎馬力及車輪上旋動力之大小決定之，而車輪上旋動力之大小，則又與曲柄軸之扭力成比例。但曲柄軸扭力之大小，係根據引擎之馬力與速度而更易，故當馬力不變時，其扭力愈大，則速度愈小；反之，其扭力愈小，則速度愈大。一般引擎之馬力，速度及扭力均為變數，惟扭力如能保持不變時，在應用上頗有伸縮之餘地，得在各種不同情形之下，均能操縱裕如。

蒸汽引擎之蒸汽，在每衝程內均發生相當之工能。故引擎一經開動，隨即發生有效扭力；良以此項扭力，係隨汽缸內之蒸汽壓力而正變故也。並此種引擎，無論其速度如何更變，而其扭力則恆屬不變。至汽油引擎或其他一般之內燃引擎，其工能係由汽缸內混合物之爆發而發生，而每汽缸混合物之爆發，僅於引擎之四衝程中舉行一次，（指普通之四衝程引擎而言）。故當引擎開動或依低速度旋轉時，其所發生之扭力，或竟不足作移動汽車之用，此汽車於開行之先，或依低速度行駛時，其引擎仍須以高速度旋轉也。因有此項特殊之情況，故汽車之曲柄軸與車輪間，須有斷接其連繫之設備；否則汽車之開動，將難實現。使用汽油引擎之汽車，恆有二種設備為使用蒸汽引擎之汽車所無者，一係曲柄軸與車輪間之斷接連繫設備，一係車行速度之變換使不影響引擎速度之設備；換言之，即接合器 (Clutch) 與齒輪箱 (Gear Box) 是也。

普通之齒輪箱，均設有二種三種或四種不同之速度，而此每種速度，各給曲柄軸與車輪以不同之速度比。每二種不同速度之間，復設有中立 (Neutral) 位置，用以斷絕曲柄軸與車輪之連繫關係。故當汽車未開行前，齒輪箱之各齒輪，恆在中立位置，因之引擎之旋轉，可不影響汽車之停止。當汽車開動時，齒輪箱內之低速齒輪，始行銜接，而汽車遂依低速前進矣。當汽車攀登坡度時，其車行之速度雖低，而引擎之旋轉則速；但當汽車行經平坦道路時，車行之速度可以增大，而引擎之旋轉

則仍與攀登坡度時相同，皆齒輪箱之作用使然也。普通齒輪箱之頂速，均係以直接傳動法行之（詳齒輪箱章中）。

接合器者，斷接曲柄軸與車輪之連繫關係之另一設備也。一切之汽車，均有接合器之設備。茲假定汽車之頂速比為一對一（直接傳動），其低速比為二對一，則當汽車以頂速行駛時，曲柄軸與齒輪箱之旋轉軸，將依同速度旋轉；此時倘駛車者欲使汽車變為低速行駛，則因齒輪箱之旋轉軸有強大之旋轉力與惰性力之關係，勢難實現。汽車有接合器之設備，即所以減小此項旋轉力與惰性力，俾其行駛速度，得隨意變換也。

又當汽車開動之先，其引擎須具有相當之旋轉動力，以作開動汽車之用；倘將引擎之此項旋轉動力，突然施於車輪之上，其汽車將發生突然移動之現象，或竟使引擎之旋轉動作停止；故接合器除具有上述功用外，並可使引擎之旋轉動力，得依和緩之方式逐漸傳達於車輪也。

齒輪箱內旋轉軸之旋轉力，係經推進軸而達於後軸；復由後軸減速齒輪(Speed Reduction Gear)之作用，形成直角式之動力傳達。至此減速之大小，則依汽車以頂速行駛時之引擎速度與車輪之速度而決定之。汽車之前後軸，均設有彈簧使與車架相連接。當汽車行駛時，因彈簧之彈動作用，可減少車架或裝設於車架上其他各部之震動。但車軸與車架間，恆有無法避免之震動發生，故推進軸之兩端，均用萬向接頭(Universal Joint)，以與其他之傳動軸相連接。

汽車之車架，因其體質較輕，恆含有柔性之成分；倘位置於車架之上引擎及齒輪箱等，其各支撐點超過三點時，每易使引擎或齒輪箱之位置由震動而發生偏差；並因車架本身具有柔性之關係，故各傳動軸（如接合器軸等）與其他傳動軸間，均須採用柔性接合(Flexible Coupling)或萬向接頭。

駕駛機械(Steering Gear)與制動器(Brake)之設計，須能適合駛

車者在預期時間內之運用。汽車之速度愈大，而駕駛機械之動作須愈靈活。又汽車之制動力恆被車輪與路面間之摩擦力所限制，故高速度之汽車，務須使用四輪制動，而制動摩擦面之選用，亦須十分有效。

關於前述各點，均將分論於本書各章中，設計者務須詳慎研究，方不致在製造及運用上發生困難。至關設計上一般之需要，復可概述如次：

汽油之消耗，及汽車之保管修理，均須經濟。運用須簡易，並須可靠。引擎轉動，須不發生聲響。各部之重量須小，而強度須大。對於車行所發生之震動，須有充分之預防設備。在不絕對需要堅硬性之汽車各部，須選用相當之柔性。汽車之各部，須適合於預定之製造方法。易於損壞之部分，須使其易於修換。汽車之所有各部，均須製造簡單。

第二章 製造汽車所需之材料

1. 概述

汽車之任何部分，或因外力之施加，或受鄰部之影響，甚或僅因其本身之重量與惰性力等關係，均各形成該部之負重 (Load)。此項負重，有時或甚輕微，無關重要；但在汽車之實際任務上研究之，則任何之一部，均須具有最低限度之強度，用以應付其最高限度之負重。關於汽車各部負重之分析，將佔本書之大半篇幅，至本章所論，僅物質由外力所發生於物質本身之反動力 (Reaction) 已耳。此項反動力之發生於物質內部者，謂之應力 (Stress)，其表現之程度，恆甚微小，至其表現於外者，謂之變形 (Strain)。

2. 應力與變形 (Stress and Strain)

簡單之應力，計有三種，即伸張 (Tension) 壓縮 (Compression) 與分剪 (Shear) 是也。此類應力，有時相偕發生而形成混合應力；如物質當彎折時，一部伸張而他部則係壓縮是也。又每一簡單之應力，即發生相當之變形。伸張應力，係由拉力或撕力而發生，其所形成之變形，係拉開或延長式。壓縮應力，係由推力或壓力而發生，其所形成之變形，係縮短或壓平式。分剪應力，係由切力或扭轉力而發生，其所形成之側面偏差，即其變形之方式也。又各物體強度之大小，係由各物體分別試驗而得者，在此項試驗中，復以伸張試驗為最普遍，茲述之如次：

3. 伸張試驗 (Tensile Test)

設取柔鋼一塊，鑿二點於其上，使此二點均在鋼塊之軸線位置。二點之距離，設為二吋（一般之汽車材料，均依此法試驗），此二點經試驗後之距離，與其原來距離之比，即係柔鋼之變形。在起始試驗時，其施於柔鋼之重量愈大，而其伸張量亦愈長；及所施之重量逐漸減輕，而柔鋼遂逐漸縮短；在此種狀況下之伸張，謂之彈性伸張 (Elastic Extension)。倘將所施重量繼續增加，則此試驗之柔鋼，必達突然伸張之一點，過此點後，則柔鋼由其所受增加之重量，其伸張率將較前為大；此時若將重量再事減輕，柔鋼即無縮短之可能。使柔鋼達此突然伸張點所施之重量，謂之臨界負重 (Critical Load)，而此柔鋼之突然伸張點，謂之彈性限 (Elastic Limit) 或降服點 (Yield Point)。當所施重量超過臨界負重時，柔鋼之中部，即被拉成腰狀之短距離；若將重量繼續增加，而柔鋼即在此縮小之腰部斷折之。若將斷折之柔鋼使之符合，則所鑿之二點間，增加有半吋之長度。故由此試驗，可知柔鋼之延長率 (Elongation) 為 25%。復由其斷折處之直徑，可求得其縮小之面積。此縮小之面積與其原來面積之比之百分數，即柔鋼面積縮小之百分數 (Percentage Reduction of Area)。由此延長率與縮小面積之二值，即可計算其彈性限回力 (Resilience)。柔鋼之最大強度 (Ultimate Strength)，即係當未斷折前所施之最大重量。關於製造汽車所需之各種材料，其彈性限，延長率，最大強度，及縮小面積等，均詳本書附錄中，此彈性限與最大強度，恆由每方吋應力之磅數 (或噸數) 表之。

4. 應力與變形之量 (Intensity of Stress and Strain)

應力與變形，恆用應力量與變形量述之。物體之應力量，即物體

每單位斷面面積上之應力，普通以每方吋之磅數或噸數表之。

$$\text{應力量} = \frac{\text{施於物體上之重量(磅或噸)}}{\text{物體之斷面面積(方吋)}} \dots\dots\dots (1)$$

例：設以 1000 磅之重量，施於 a, b, c 之三金屬條上，如 a 條之斷面為 1 方吋，b 條之斷面為 $1\frac{1}{2}$ 吋 \times $\frac{1}{4}$ 吋，c 條之直徑為 $\frac{1}{2}$ 吋，試求其應力量。

$$a \text{ 條上之應力量} = \frac{\text{重量}}{\text{面積}} = \frac{1000}{1} = 1000 \text{ 磅(每方吋)}.$$

$$b \text{ 條上之應力量} = \frac{\text{重量}}{\text{面積}} = \frac{1000}{1.5 \times 0.25} = 2667 \text{ 磅(每方吋)}.$$

$$c \text{ 條上之應力量} = \frac{\text{重量}}{\text{面積}} = \frac{1000}{\frac{\pi}{4} \times 0.5^2} = 5093 \text{ 磅(每方吋)}.$$

物體之變形量，即係物體變形之長，以其原來之長除得之商數。

$$\text{變形量} = \frac{\text{物體伸張或壓縮(吋)}}{\text{物體原來之長(吋)}} \dots\dots\dots (2)$$

例：設以若干重量，施於 10 吋長之金屬條上，使此金屬條延長千分之 $7\frac{1}{2}$ 吋，其變形量為何。

$$\text{變形量} = \frac{0.0075}{10} = 0.00075.$$

5. 彈性率，剛性率與容變率 (Moduli of Elasticity, Rigidity, and Bulk)

依照胡克氏 (Hooke) 定律，物體在未過其彈性限時，其應力與變形成正比例；故應力與變形之比，係一恆數 (Constant)。此比當物體伸張時，謂之彈性率 (E) 或楊氏率 (Youngs Modulus)。當物體壓縮時，謂之容變率 (K)。當物體分剪時，謂之剛性率 (C)。此三種率普通恆用 (E) (K) (C) 之三符號分別記之；復用每方吋之磅數或噸數以表示其重量之大小。此各種率之值均甚高，切勿與物體之強度混合

視之。

$$\left. \begin{array}{l} \text{彈性率 (E) 伸張} \\ \text{容變率 (K) 壓縮} \\ \text{剛性率 (C) 分剪} \end{array} \right\} = \frac{\text{應力量}}{\text{變形量}}$$

(E), (K 或 C) 每方吋之磅數或噸數

$$= \frac{\text{所施重量} \times \text{物體原來之長}}{\text{物體斷面面積} \times \text{伸張等}} \dots\dots\dots (3)$$

此 (3) 式係 (1) (2) 二式之混合式。

例：設一金屬條之直徑為 1 吋，長為 8 吋，若施以 22400 磅之重量，則此金屬條延長 0.0076 吋，試計算其彈性率 E。

$$E = \frac{\text{重量} \times \text{長}}{\text{面積} \times \text{伸長}} = \frac{22400 \times 8}{0.7854 \times 0.0076} = 30000000 \text{ 磅(每方吋)}.$$

例：設鋼之彈性率為 30 00000 磅(每方吋)，如有 20 呎長 $\frac{1}{2}$ 吋直徑之鋼條施以一噸之重量，其伸張為何。

$$\text{將 (3) 式移項： 伸張} = \frac{\text{重量} \times \text{長}}{\text{面積} \times E} = \frac{2240 \times 20 \times 12}{0.196 \times 30000000} = 0.09136 \text{ 吋}.$$

6. 安全因數 (Factor of Safety)

為預防汽車各部發生意外之損壞計，其每部之強度，務使有負擔學理上之二倍負重之可能。普通汽車之各部強度，均約當其學理上負重之三倍或四倍。此三倍或四倍額外之強度，謂之安全因數。

$$\text{安全因數} = \frac{\text{斷折負重}}{\text{工作負重(學理)}} = \frac{\text{物體之最大應力}}{\text{由計算所得之工作應力}} \dots\dots\dots (4)$$

例如一塊鋼之最大應力，每方吋為 28 噸，使其担任由計算所得每方吋 7 噸之應力，則其安全因數為 $28 \div 7 = 4$ 。

設計上之實際安全因數，須依負重之性質（如負重之狀況係和緩，突然，往復移動或繼續反轉等），與設計者假定負重之環境決定之。設

計者對於負重之環境，須根據平常負重與特殊情況時負重，作二種之計算。故由此算得之安全因數，當以平常負重時為大，特殊情況負重時為小。突然負重之安全因數，恆須二倍於和緩負重。至往復移動與繼續反轉等負重，每引起材料內部之疲倦 (Fatigue)。磨損之部其形狀減小，因之其原有之強度，即被減低。故在計算安全因數之過程中，關於上述各點，均須詳為考慮之。

7. 材料 (Material)

關於一切材料之組成及其性質之研究，範圍頗廣，分析亦繁，非本書所可備載；茲僅將汽車材料之主要性質，略述如次：

鑄造 (Casting)——鑄造或又謂之翻砂，係將金屬用高溫度鎔化後，倒入砂箱之內，使成各種形狀。而砂箱之形狀，則可用金屬或木質之模型製成之。此種方法，幾可鑄成一切之預期形狀；惟在強度上，則不如用煅造法(詳後)者為優；因鑄造之件，恆因氣體之進入，發生砂眼，此其缺點也。

煅造 (Forging)——此項煅法，係將金屬燒成赤熱，置於金屬製之模型內，用機械力打擊成之。由此法煅成之件，不特無砂眼之弊，且因在赤熱時打擊之關係，更可增加金屬固有之強度。並由此項煅法煅就之件，因散熱需時，復可減小煅物之內部應力及其各處不一致之硬度。惟此項煅法，其可由煅成之形狀有限，是其缺憾。故設計者，務在可能範圍內，設法簡化汽車各部之形狀，俾其易於行使煅造也。

條狀金屬 (Bar Material)——條狀金屬，普通均由優良之鋼，炮鋼或各種合金鋼等，製成圓形，方形，或六面等形。汽車之零星各部，使用此項條狀金屬者頗多，如各種釘，軸，小齒輪，制動桿，及各種繫釘，螺絲釘等是。此項條狀金屬，普通均由各製鋼廠供給之。