

航空機械

吳家鑄



研究發明創造

第五卷·第八期

CENTRAL LIBRARY

航空機械月刊

第五卷 第八期

目 錄

殼式機身圓環之應力分析	鄭葆源	1
德國空軍之發動機	全 譯	11
關於‘直接注入式’發動機的幾點	金祖年	14
飛機構造料材	張鳳譯	20

殼式機身圓環之應力分析

鄭葆源

殼式機身為近代大小型飛機常多採用，因其式樣美觀，結構亦極堅固，然一般設計工程師對於該式骨幹之應力之計算，確有研究之價值，本文係敘述殼式機身圓環應力之分析方法，為使讀者易於了解起見，特分為兩段，第一段係應用方法之解釋，第二段係一計算例題，表明實際之應用，亦可作為參攷之材料也。

1. 方法之解釋

當計算一殼式機身圓環之應力時，其均衡力係以機身外皮所生之力，此是尋常設計之情形，普通殼式機身之結構，其圓環有兩種，第一種係用作助力環，以支撐外皮，故其所受之力係環之板重，第二種除上述情形外，尚有負載重，尾翼及起落架等之反應力，故其所受之力有集中外力及力矩等。然此環亦有負載集中內力，如操縱繩之接連件及機身內附件等所生之力。茲篇祇論第二種之圓環，蓋此種圓環，在殼式機身上為最常有者。計算此式圓環在任何點之設計彎曲力矩，剪斷力及軸向載重，須用最小工作之分析法。在一大型飛機，尋常此力繞一圓環，其變動範圍頗大，故須計算在圓環上數點，方得有效之設計結果。

凡計算一圓環受有集中外力載重時，須將此載重分為多數之基本載重。當求出在任何點之每基本載重合力後，總計此合力，即得此點之實際力。然用作計算一圓環在任何點之力矩，剪斷力及軸向載重等之係數，可用密勒及伍德爾氏(Roy A. Miller & Karl D. Wood)之公式求之，係數 M/WR ， S/W ， P/W 皆以 x 為 x 軸坐標，繪成曲線如圖3, 4, 5, 及 7, 8, 9, 等。圖中 W 係所施之載重， R 係圓環之半徑。由此曲線，則彎曲力矩，剪斷力及軸向載重在任何點，及各種之載重情形皆可求出。本文祇給兩種之載重情形圖2, 及圖6, 作為計算例題之用，然其他載重情形之相似曲線亦可按此算出。圖1. 係示彎曲力矩，剪斷力，軸向載重之正方向。

2. 計算例題

設一機身圓環負載翼之反應力在橫直徑上，其機身剖面如圖10所示。現計算彎曲力矩繞於圓環上在每 15° 之間隔點。按上述之方法，求出在各點之剪斷力及軸向載重。各係數之曲線雖已製便，然以篇幅地位有限，故將計算數表省去不錄。

為求計算簡單起見，將機身之幾何及彈性兩中性軸假定為符合，換言之，即機身之外皮在抗張邊及壓縮邊均假定為同等有效。設外皮厚為 $0.025''$ ，有效寬為三十倍外皮之厚，并假定受縱桁 (Stringer) 之壓縮，如此，則外皮之面積係 $30 \times 0.025 \times 0.025 = 0.019$ 方英寸，再與縱桁之面積 0.181 方英寸相加，即得一有效面積 0.200 方英寸。機身橫剖面之性質可計算如表1。

在機身任何點，其連續剪斷力在曲線外皮上係與 VQ/I 成比例，計算外皮由中性軸至 β 角之一點，則剪斷力之直分力在外皮上可用 $U = S \cos \beta = Vq \cos \beta / I$ 求出，倘外集中載重係垂直於抗張邊，則附近圓環之外皮所負載之剪斷力亦按 Vq/I 之分佈情形。設連續應力在附近圓環之外皮分作一連續之集中載重 ds 如圖11，則 $dV = vde = Vq \cos \beta de / I$ 然在任何點尚有橫分力 $dH = dV \tan \beta$ 。表2係示 dV 及 dH 在各 β 角之值 (表內 $\Delta y = \cos \beta de$)

本例題所示各項之力祇計算四分之一圓環，其方向如圖12所示，彎曲力矩在圓環之左邊半向係計算如表3，圓環之外徑為 $25''$ ，設深作 $3''c$ ，則計算彎曲力矩之半徑 (對稱圓環剖面) 為 $23.5''$ 。直力之係數可用圖3算出，而橫力則用圖7。然後將各部份之彎曲力矩相加，即得設計之彎曲力矩在每機身之剖面。若將全部之彎曲力矩，剪斷力，軸向載重繞一圓環按此方法求出，可得一有效機身圓環之設計。

閱表3，我們即知所計算之彎曲力矩係與橫直徑對稱，然此種情形，不大正確。實際上，外皮在壓縮邊祇一部份有效，故所有外皮在抗張邊可計為最有效者。如此，則彈性中性軸可向抗張邊移動，同時發生較大外皮之反應力，即是增加圓環之力也。

參攷：

Roy A. Miller and Karl D. Wood, *Torsulas for the Stress Analysis of Circular Rings in a Monocoque Fuselage* N.A.C.A. Technical note no 462, 1933.

Roy A. Miller, *A Solution of the Circular Ring Airway age*, May 9, 1931.

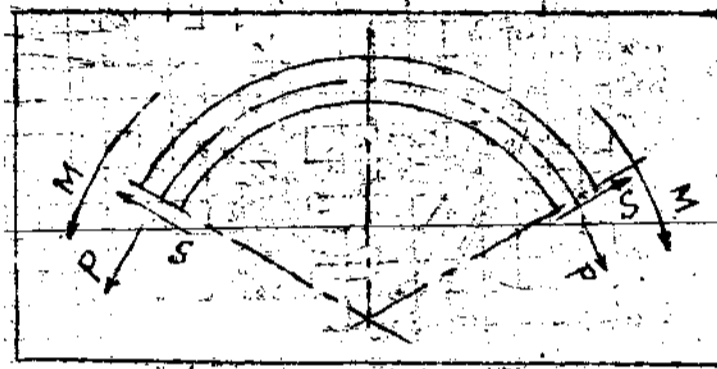


圖 1. 力矩, 剪斷力及軸向載重之方向
(均假定為正方向)

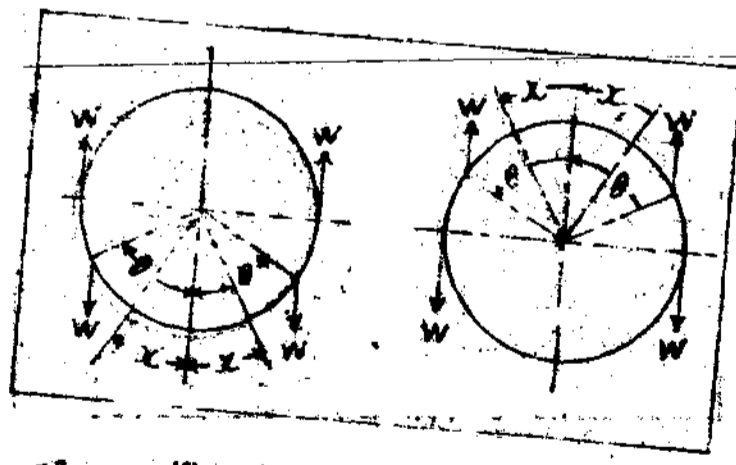


圖 2. 載重情形 1. X 及 θ 均指正方向

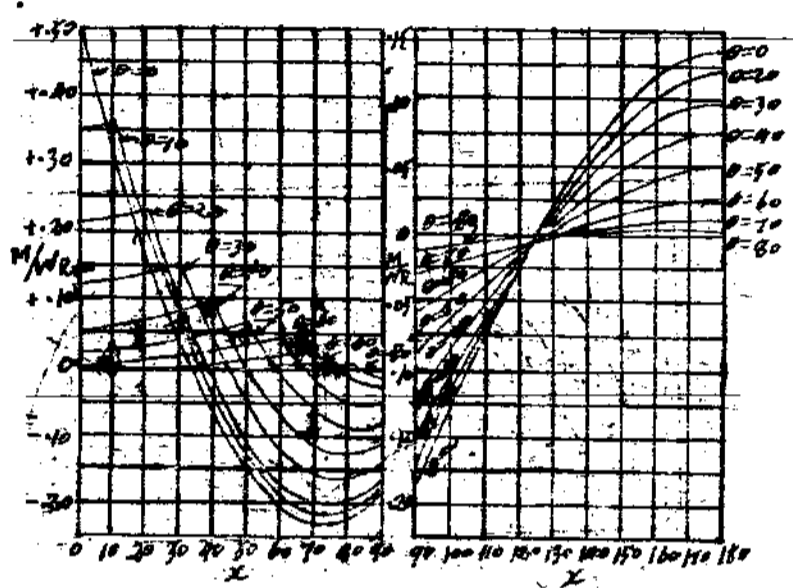


圖 3A 及 3b. 載重情形 1. 彎曲力矩係數

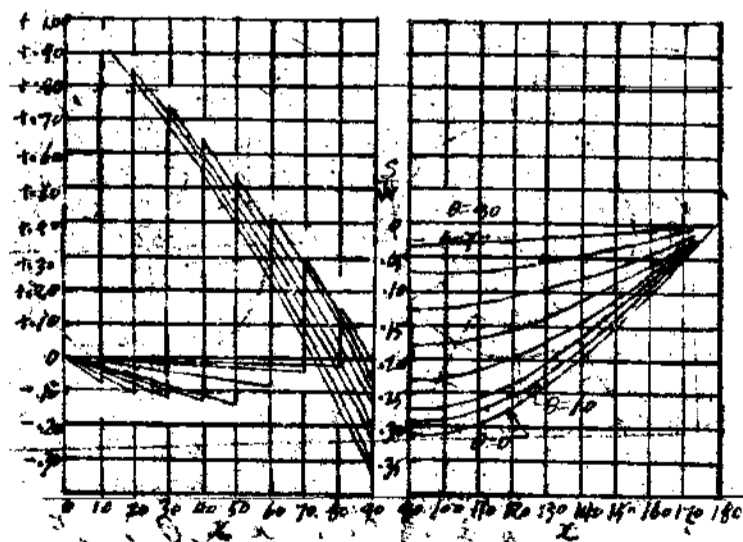


圖 4A 及 4b. 載重情形 1. 剪斷力係數

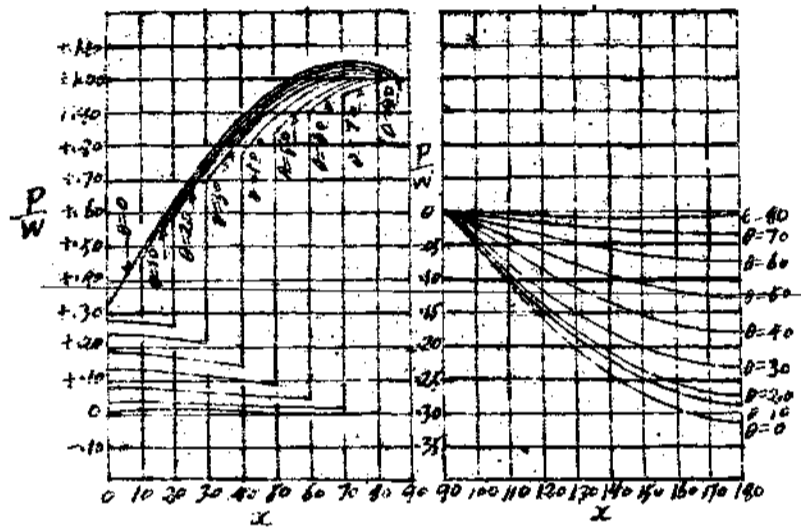


圖 5a 及 5b 載重情形 1. 軸向載重係數

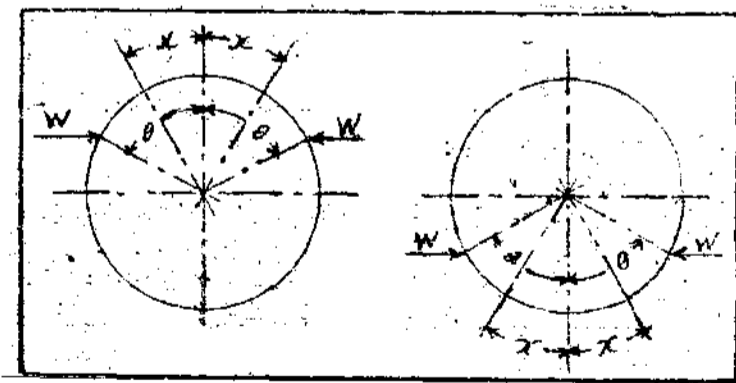


圖 6. 載重情形 2. x 及 θ 均指正方向

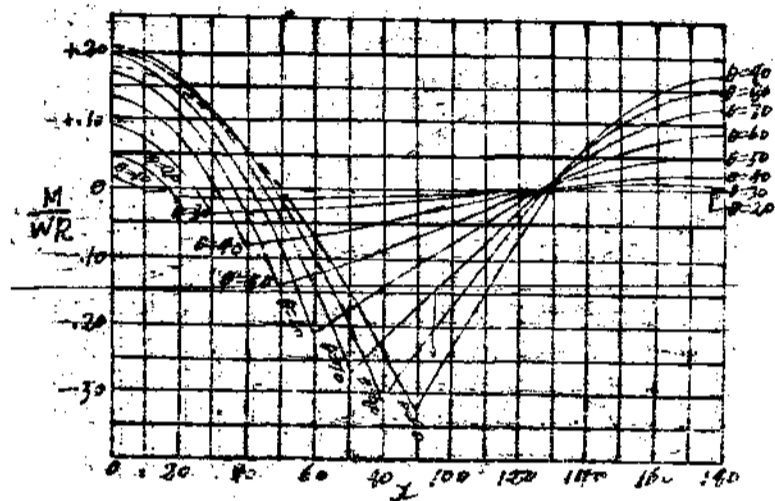


圖7 載重情形之彎曲力矩係數

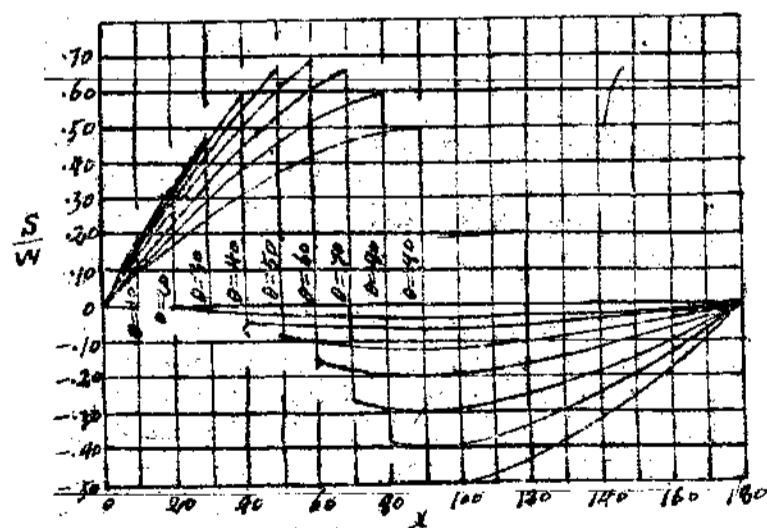


圖8 載重情形之剪斷力係數

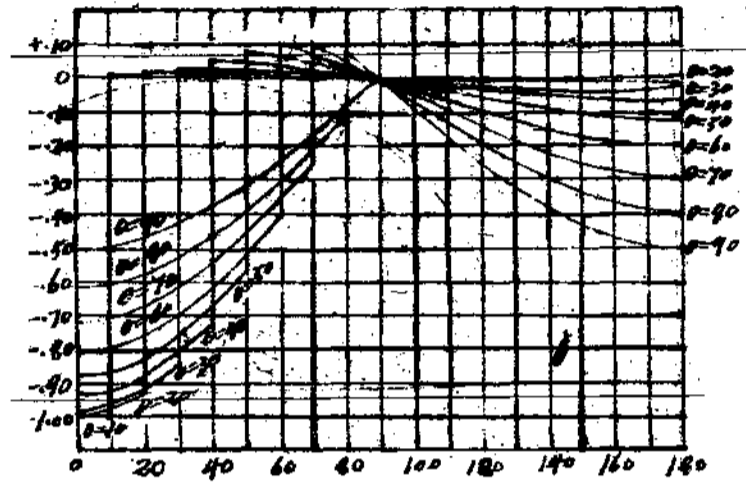


圖 9. 載重情形 2. 軸向載重係數

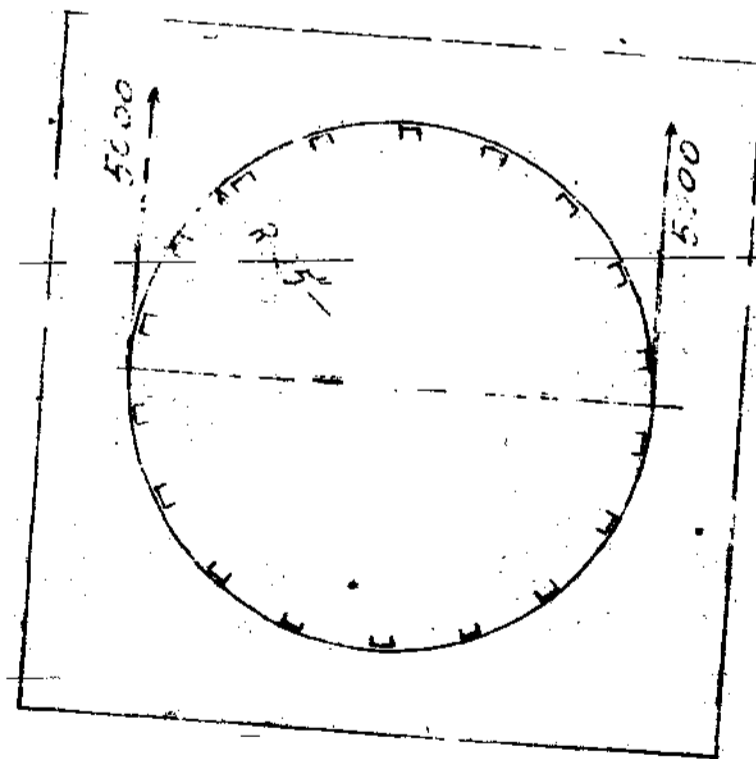


圖 10. 機身橫剖面及載重

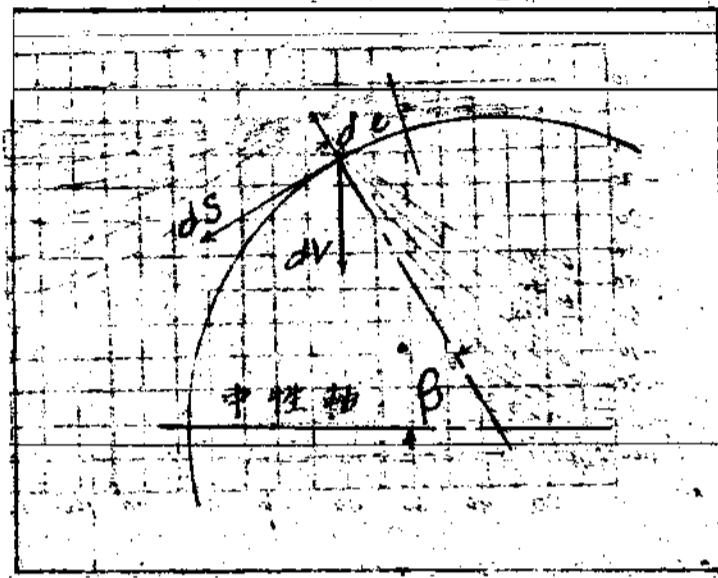


圖11. 圓環之外皮載重

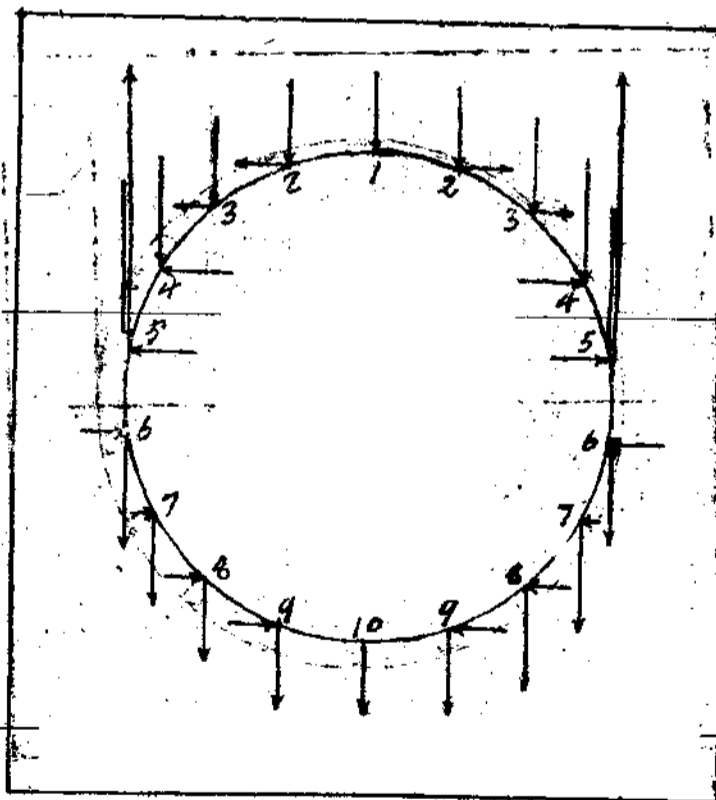


圖12. 圓環之分力

空軍學術思想文藝綜合刊物

是： { 鐵血的結晶！
 研究的心得！
 經驗的貢獻！
 全國青年的集體怒吼！
 笕橋健兒的共鳴中心！

笕橋月刊

內容豐富	第8期將出版每冊定價二元四角（半價出售） 全國各大書局均有代售
材料新穎	

出版處——笕橋月刊社

通訊處——昆明武字92號信箱

歡迎：訂閱，投稿，批評，介紹

表 3 彎 曲 力 矩 之 計 算

載 重	數 量	WR.	上 向		45°		一 邊 一 向		45°		下 向	
			係 數	力 矩	係 數	力 矩	係 數	力 矩	係 數	力 矩	係 數	力 矩
V ₁	- 16	- 376	+ .500	- 188	- .113	+ 42	- .182	+ 68	+ .044	- 16	+ .137	- 52
V ₂	- 156	- 3666	+ .214	- 785	- .070	+ 256	- .169	+ 599	+ .026	- 132	- .118	- 432
V ₃	- 465	- 10928	+ .057	- 693	+ .045	- 492	- .113	+ 1235	+ .019	- 208	+ .074	- 809
V ₄	- 817	- 19200	+ .002	- 38	+ .029	- 499	- .052	+ 998	+ .004	- 76	+ .027	- 518
V ₅	- 1046	- 24581	- .001	+ 24	+ .001	- 24	- .015	+ 368	.000	0	+ .002	- 19
V ₆	+ 1046	+ 24581	+ .002	+ 49	.000	0	- .015	- 368	+ .001	+ 24	- .001	- 24
V ₇	+ 817	+ 19200	+ .027	+ 518	+ .004	+ 76	- .052	- 998	+ .026	+ 499	+ .002	+ 38
V ₈	+ 465	+ 10928	+ .074	+ 809	+ .019	+ 203	- .113	- 1235	+ .045	+ 492	+ .057	+ 693
V ₉	+ 156	+ 3666	+ .118	+ 432	+ .036	+ 132	- .169	- 594	- .070	- 256	+ .214	+ 785
V ₁₀	+ 16	+ 376	+ .137	+ 52	+ .044	+ 16	- .182	- 68	- .113	- 42	+ .500	+ 188
H ₂	- 429	- 10081	+ .047	- 474	- .011	+ 111	- .004	+ 40	+ .002	- 20	+ .004	- 40
H ₃	- 554	- 13019	+ .134	- 1744	- .081	+ 1055	- .034	+ 443	+ .012	- 156	+ .031	- 403
H ₄	- 471	- 11068	+ .196	- 951	- .040	+ 443	- .009	+ 1206	+ .029	- 321	+ .086	- 951
H ₅	- 184	- 4324	+ .200	- 864	+ .021	- 91	- .237	+ 1024	+ .039	- 169	+ .153	- 661
H ₆	+ 184	+ 4324	+ .188	+ 661	+ .039	+ 169	- .237	- 1024	+ .021	+ 91	+ .200	+ 864
H ₇	+ 471	+ 11068	+ .086	+ 951	+ .029	+ 321	- .109	- 1206	- .040	- 443	+ .196	+ 951
H ₈	+ 554	+ 13019	+ .031	+ 403	+ .012	+ 156	- .034	- 443	- .081	- 1055	+ .134	+ 1744
H ₉	+ 429	+ 10081	+ .004	+ 40	+ .002	+ 20	- .004	- 40	- .011	- 111	+ .047	+ 474
總計				- 2945		+ 1899		0		- 1899		+ 2945

德國空軍的發動機

全譯

容克 Ju87 俯衝轟炸機之發動機——容克“幽默211”

(Aviation Sept 1940 by Paul H. Wilkiwou)

目前德國空軍機種，自然要推司脫各 (Stuka) 俯衝轟炸機 (容克 Ju87) 了，現在，讓我們來看看牠所配備的發動機罷！

容克幽默 211 發動機，也有用在容克 Ju88 高速轟炸機上；也有用在海因克 (Heinkel) 轟炸機和戰鬥機上；不過，總以裝在司脫各俯衝轟炸機上為最適宜。

幽默 211 發動機設計的着重點是：

- (1.) 在地面和空中均能發出大的馬力；
- (2.) 輕巧而結實；
- (3.) 能節省汽油消耗；並且
- (4.) 安全可靠；

一個發動機能夠滿足這麼許多條件，確是一件頂大的成功，幽默 211 就根據上述諸點從一種水冷式容克發動機逐步改進而成功的！

因為要大的馬力，就用兩速增壓器；(Two-speed Supercharger)

因為要輕巧，就在設計時設計得很精密；

因為要結實，就把氣缸排列成倒 V 型；

因為要節省汽油消耗，就採用汽油直接注射法；

因為要安全可靠，就在製造程序中加以嚴密之檢驗。

當 1938 年幽默 211 才作大量生產時，其額定馬力在 5600 呎高空時為 1025 匹，在 13800 呎高空祇 975 匹，其起飛馬力祇 1000 匹。到了現在，已經進步到額定馬力在 5600 呎高空為 1200 匹，在 16100 呎高空為 1000 匹，而起飛馬力亦進步到 1200 匹。其總重量為 1250 磅即每匹馬力相當於 1.07 磅，至其所用之汽油為 37 奧克坦數者。

汽缸的構造：汽缸十二隻，列為兩排，成 60° 夾角，與曲軸室連成一塊，而用鉛合金鑄成。曲軸有十二彎程，裝置在七個軸承上，在曲軸的前端是一個用插

箱的正齒輪，由此齒輪轉動螺旋槳上之正齒輪，而其減速比為1.55:1。在曲軸後端；有一個尾軸，由此尾軸轉動在曲軸室上之增壓器及發電機；還有一個正齒輪接著許多齒輪到兩個導輪軸，一個連着滑油唧筒，一個連着水唧筒及其他零件。

汽門的動作是由一個沿氣缸頭上的導輪軸管制着，每一個氣缸存兩個吸氣門一個排氣門，活塞的構造是有三個壓力圈在活塞銷上部，一個刮油圈在下部，連桿是I型，由鋼鍛造後再經車鈎而成的，其軸承部位，則較其他部位面積大些，螺旋槳軸是空心的，因為要裝小鋼砲的原故，並且軸上有一個很大的鋸齒狀凸緣，有八個螺釘洞以備將螺旋槳裝上，螺旋槳減速輪的效力是98—99%。

關於汽化方面，普通很好的飛機發動機，是用汽化器的，而幽默 211 則用十二個高壓注射唧筒，在吸氣衝程中，將汽油直接注射入每個氣缸；在氣缸中與曾經增壓器之空氣混合，成為正確混合燃料，汽油直接注射法，在德國軍用機上是常用的，他的長處是在強力俯衝轟炸情況下，或者在特殊技術飛行表演時，不致有引擎發生毛病。並且因此祇有很小的油量變動，而且可以採用比較差一點的汽油。

兩速增壓器的裝置，是將葉輪軸裝得同發動機軸垂直，而不像普通的裝置平行。葉輪是高速閉式，其吸入空氣經過葉板而在很高的速度下放出，其高空控制是用一個帽形物，此物會因空氣的壓力變化而膨脹或縮小，用此原理即可傳至一個液壓輔助控制器，來開關增壓器之節氣門，例如，在高空中，氣壓低則帽形物膨脹，因此節氣門開大，至於該機汽油之消耗量，如以 900 匹的巡航馬力計之，其消耗量約每馬力每小時 0.45 磅。

潤滑系統，包括有一個壓力給油，兩個轉動齒輪式排油唧筒，滑油壓力大概是每方吋 60—90 磅，水是用來作冷却材的，在引擎前端有一個圓形水槽而用一個離心力唧筒供使循環，此發動機用水作冷却材而不用乙基甘油者 (Eltuylere glyeel) 乃在修理時之補充容易耳，還有一部分動力供給一個發電機，一個空氣壓力機，或者一個真空唧筒，一個轉動軸，一個電力轉數表，還有兩個機關槍協調器。

當作者在德國容克飛機廠參觀他們大量生產幽默 211 飛機發動機時，特別使我們注意的，是他們每一部分的嚴密檢驗，即雖是曲軸室也必須用透物光來檢查，看是否很合用？並且照下像片來，藉供他日之參考，許多細小精密部分的檢驗，是在通風室中舉行，而用最新式的電學儀器同光學儀器的。自成一套的部分：如唧筒，增壓器，是先經過特殊機器的試驗和校準，然後裝到發動機上；此式發動機之各機件，可以互換，其工作之考究確稱上乘。

在德國，許多高性能的軍用飛機，均採用倒V型的排列，與美國諸廠以及英國羅爾廠 (Rollo Royce Merliu) 之採用正V型，却是一個很確當的對比。德國人說倒V型的裝置，對於單發動機飛機是有很好的視界的，並且還容易製造及修理，英美諸國正在準備製造大量飛機，如果用水冷V型究竟是用倒V呢？還是仍用正V呢？這一點是很值得仔細研究的。

幽默 211 飛機發動機說明書：

型式	12氣缸，水冷式，V-60°倒V式，齒輪推動，四程循環。
內徑同衝程	5.9×6.5吋
排氣量	2136立方吋
長同面積	69吋×6.9方呎
額定動力	在6,500呎是1200馬力 在16400呎是1000馬力 在起飛時是1200馬力
總重量(淨)	1290磅
汽油消耗量	每馬力每小時0.45磅
滑油0.020,
壓縮比	6.5:1

——完——

關於“直接注入式”發動機的幾點

金 祖 年

近來在各航空雜誌上，常見關於“直接注油式”(Petrol injection)發動機的文章，然而多側重於構造一方面，本文先將其優點一一作明瞭的分析，再述其製造上的困難，最後以其特別性能預測其前程。

歐戰開始以來，德國的空軍，曾給與世人一種特殊的印象，究竟他們的飛機怎樣的得到高的速度呢？一方面是因為飛機機身構造的改進，但是最大的原因還是因為所配備的大馬力發動機。

德國現在在空中戰場上所用的發動機，最多的有四種，一種是“容克”廠(Junkers)製造的 Jumo 211，液體冷却式十二缸倒置 V 式汽油機，一種是“本子”(Daimler Benz)製造的 DB 601，也是液體冷却十二缸倒置 V 式汽油機，一種是“拜耳發動機製造廠”(Bayrische Motor Werk)的 BMW 132H 是九缸氣冷星形汽油機，還有容克廠出的 Jumo 205，液體冷却式六缸單排對活塞式柴油機，除去 Jumo 205 以外，其他三種都是用“直接注油式”裝置，所謂“直接注油式”就是發動機不裝置汽化器，在進汽衝程時，僅將空氣吸進氣缸，然後將氣油再直接注入汽缸裏，在壓縮衝程後，再用電火花燃點，這種與“的塞爾”(Diesel)的區別，即在“的塞爾”式注入汽缸內的柴油，因汽缸內溫度甚高，故與空氣混合後自行燃點，“直接注油式”所注入汽缸內的氣油，並不立即燃燒，待火花燃點時才開始燃燒。

以上所說到的四種發動機除 Jumo 205 外，其所以能使其馬力有顯著的改進，其最主要原因即是將汽化器，改換“直接注油式”裝置，下面將這種裝置的優點一一的說明。

(1.) 增大“容積效率”(Volumetric Efficiency)

普通的發動機，排汽門及進汽門開關時間雖然有所重疊 (Valve Overlap)，但是總是有一部份燃燒過的廢氣存在汽缸裏面，如果要使所有的廢汽被新汽吹出則汽門重疊一定要大，然而也總不會達到正好廢汽完全被排出，而沒有新汽連同排出的毛病，為恐損失燃料，所以一般的發動機，都因為不使新汽被排出而剩餘一部份的廢汽在汽缸裏面，直接注入式發動機在吸氣衝程所吸進去的汽體僅是空氣，並無燃料混合其中，因此可以將汽門重疊時間加大，使有充分時間使由進汽門入內的空氣將廢氣全體排出，當然也有一部份新氣也隨廢汽逸出，但是僅是空氣，並不損失燃料，空氣取之於大汽，只損失增壓的馬力 (Power for Supercharge)，因氣缸裏無廢氣，所以新氣增多，這是“容積效率”變大的一最大原因。又所進到汽缸裏的空氣溫度，較廢氣為低，同時其由進氣門進入而從排氣門排出的新氣，將氣缸內壁冷卻，所以氣缸裏的溫度較低於普通汽化器，蓋溫度低，則新氣之密度較大，這也是“容積效率”變大的一種原因。再者注入汽油時，汽油汽化，能變更混合氣體之溫度，而注油時又在吸氣衝程的尾端，所以能夠提高混合汽體的濃度，而增加其燃燒時之力量。

(2.) 增大“熱效率”(Thermal Efficiency)

發動機的熱效率與其壓縮比 (Compression Ratio) 成正比，發動機因汽油之特性，僅能在一定限定內之壓縮比工作，此種壓縮比之高低，須視發動機之構造而定，壓縮溫度愈高，則壓縮比愈小，直接注入式之發動機，乃汽油注入汽缸後，始行氣化，由於此種氣化作用，而使汽缸內之混合氣體之溫度降低甚大，除此外，氣缸因受充分新氣的洗滌，也使氣缸內較普通為低，因降低溫度之故，可以將發動機的壓縮比增高，而得到較大的“熱效率”因此馬力也就增大。

(3.) 減少“汽油消耗量”(Fuel Consumption)

普通的發動機，汽油由汽化器而達氣缸，途徑頗長，而途中又多彎曲部份，所以尚未汽化的液體汽油，因離心力關係，往往觸在管壁上而附着，慢慢流往他處，此種汽油，有時就白白消耗。且多數汽缸全賴一個汽化器供給混合氣體，此混合氣體，雖與汽油的混合比，合乎不濃 (Rich) 不淡 (Lean) 的條件，然而因為各汽缸與汽化器的距離及彎曲不同，往往分配不均，一部份汽缸內的汽體過淡，另一部份汽缸的汽體則過厚，此種現象，在“直排”發動機 (in Line)，特別顯著，得到淡混合汽的汽缸，發生較小的馬力，得到濃厚混合氣體的汽缸，乃因過濃而不能將

汽油完全燒燃，其未燃的汽油，即隨廢氣而排出，這是發動機最大的消耗，這種現象，不僅使消耗量增大，也使發動機轉動不均，發生振動。]有時出氣門與排氣門重疊時，不免有一部份新進入的混合汽體，逸出於排氣門，這也是份外消耗的一種。

在直接注油式的發動機，俟排氣門關閉後，再將汽油入於氣缸之內，所以決不致流往他處，並且可以使每個汽缸內所注的油量相同，因之，消耗量減少，並且每汽缸所發生的力量相等，使發動機不發生燃燒不均的振動，又因為在(2)項所講的熱效率增高的關係，也使其消耗量減少甚多。

(4.) 無結冰危險 (Iceing of carburator)

普通汽化器在冷候飛行時，如空氣濕度稍大，則噴油嘴常開始結冰，發動機的馬力漸漸減小，甚至於凍閉而停車，因要免除此種危險，所以發動機常有空氣加溫裝置，這並不是絕對保險裝置，間或有因為天氣惡劣或操縱不當而失事者，直接注油式決不會發生結冰現象，因為其注油嘴在汽缸裏，溫度很高，當然更不須空氣加溫裝置。

(5.) 加速如意。

普通的汽化器，雖然有加速裝置，然而究竟是一種補救設備，往往不能按照飛行員的意志行動，直接注入式，則操縱甚為如意，因為他主要的操縱，是汽油而不是空氣，同時油與空氣，都是直接受人工操縱的。

(6.) 與飛機飛行位置無關。

一般航空用汽化器，雖然有倒飛裝置，然而並不能真正飛時工作同樣合於理想，汽化器在倒飛時，他的浮子已經失去作用，浮子室只留有一個一定大小不能操縱的小油門與進油管連接，所以倒飛時不能與正飛時具有同樣的如意操縱，這種現象，在飛機傾斜時也會發生，直接注入式，因為沒有浮子裝置，在任何位置時，其作用皆相同，所以在飛機作任何動作時，發動機操縱不受任何限制。

(7.) 故障減少：

普通的汽化器，因為主噴油嘴，有時不能按照要求而供給空氣和汽油的混合汽體，比如在發動低轉數時，混合氣體太淡，而在加速時又不能充分供給汽油，所以一個完備的汽化器，常有許多附屬設備在上面，如低轉數油路，和加速唧筒倒飛油路等等是也。因為組織複雜，所以時常失常，凡作過幾年發動機實際工作的人，都知道這種現象，至於發動機的燃燒故障發生，除去少數例外外，一半是因為電火，一半是因為汽化器

，在直接注油式的注油泵上，只有一個油路，及與這個油路協合作用的進氣管壓力調整設備，其注油多少，只操縱油泵就夠了，不用其他設備，所以可以減少發動機的故障。

關於注油泵及噴油嘴，及汽缸的構造，已經有許多雜誌發表過，現在不再多述。

“直接注油式”發動機，既然有上列所說各種優點，何以其他各發動機廠不加仿造？據美國最近某雜誌著論說：德國所以用直接注油式，是因為德國的汽化器製造，不如美國完美，依作者的意見，以為德國的汽化器或許不如英國的完美，但是德國採用“直接注油式”的原因，是因為他有比較汽化器更好的性能，不然，為什麼世界各國都在研究他，而世界最著名的內燃機家，英國“里卡豆”（Harry R. Ricardo）也在努力作關於這方面的研究，而美國的 N. A. C. A. 在 1932 已經開始作關於這方面的試驗了。

然而究竟“直接注油式”製作上有何困難？其困難不在油泵及噴油嘴各種零件的精確，而是在“汽油在汽缸內的混合問題”耳，在普通的汽化器的機器上，空氣與汽油的混合體，離開汽化器，經過導管到氣缸，又經過吸氣及壓縮兩衝程後，才開始燃燒，他們有一個比較很長的時間，使汽油汽化，遂空氣平均混合，但“直接注油式”在壓縮衝程開始前的瞬間，才將汽油注入氣缸裏，他有很少的時間來與空氣混合，在此短的時間中，要他混合很勻，並且完全汽化，確是一件困難的事。因為這個原因，英國與美國正在研究不將汽油注進汽缸內，而使之注入進氣導管裏，以延長汽油與空氣混合的時間。

若要將汽油注入汽缸裏而又混合良好，須要氣缸內空氣轉動甚大，所以不但要汽油的注油泵良好，同時發動機本身也要適合要求，至於注油泵及噴油嘴當然是最重要，他的要求是按照規定時間噴出，按時停止，在每一個時間中，皆按照規定的數量噴出，噴油嘴須要將油噴射散開，以便與空氣接觸，然而又不能噴到氣缸壁上，或活塞上，否則附着在上面而不汽化了，又在不噴油的時候，須使油嘴沒有汽油滴出。以上各種要求，並非熟練工人及精確機械所能作到，而完全是工程師的紙上設計而達到的。這種設計，又是由許多實驗及研究物理現象和利用數學而計算出來的，所以他的奧妙，不在東西上而在紙上，現在舉出他設計上的幾件實際例子：爲要達到以上所述各種要求，第一、油泵偏心軸的偏心曲線要有一定，並非一段圓弧就行的；第二、連接油泵及噴油嘴的管子，當受有壓力時而膨脹，所有油泵打出的汽油，並未完全進入汽缸內而有一部份補進油管膨脹的地位，在噴嘴口將閉時，壓力漸變低，尚有一部份噴進氣缸，這種現象，是因為噴油口頂口針的關係，開口時較閉口時受壓力面積較大，所以頂口針啓開時較閉合時

的壓力較大，開口時有一部分汽油漲在管子裏，而閉合時壓力減小，使漲在管子裏的汽油噴入汽缸。這種變化在設計時也要計算在裏面；第三、壓力由油泵傳達至噴油口，除去由液體汽油本身以外，尚有以汽油為媒介的‘壓力波浪’(Compression Wave)，此種波浪到達噴油嘴時，又反射向後傳達，與第二第三等波浪發生更複雜的變化，因而影響噴油開始的時間，和單位時間所噴出的油量了，就以上三項，已經看出了設計的關鍵了。可知設計的精確，較製作技術的精確，困難了許多。德國能將‘直接注油式’發動機實際應用，也並非一二年的努力就成功的，‘容克’廠研究了十二年才得到了現在的效果，德國所以能最先成功，大部要歸功於德對於‘的塞爾’機研究的努力，因為‘直接注油式’大部份‘以的塞爾’為根基。

的確，‘直接注油式’是很有前程的，將來或許整個的代替了汽化器，他對於‘二衝程式排氣渦輪增壓式’(Two stroke engine with turbo supercharge)為最理想化的發動機，作者相信在不久的將來，定有這種型別的航空發動機出現，他的理由在下面：

發動機在航空上面主要的兩個條件：一個是單位重量及單位體積馬力的增。第二要在高空中發揮較大的馬力。(或者說在很高的地方還能保持相當的馬力)，現在世界各國都在對於這兩方面努力研究，比如汽冷式加大散熱片而加大他的馬力，或用兩套加速齒輪以連接於增壓器，以適合不同的高度。然而這種進步，祇像火車頭的工業，雖說是改進，但是並沒有什麼大的變化，和很大的效果，若用二衝程式發動機，則同樣大小之氣缸可較四衝程式的多10%的馬力，而其他部份所加的重量，也很有限，僅是大軸及其他由大軸傳力部份須要加強，而大部機件僅將其每秒鐘所受力的次數增加一倍而已。現在汽化器發動機，其不能採用二衝程的原因，是因為汽缸內廢氣沖刷(Scavenging)問題，當洗刷廢氣時，總有許多汽油和空氣混合體，隨排氣而排出，使汽油消耗量過大，如果二衝程用在‘直接注油式’上面，因為沖刷汽缸廢氣時，祇是空氣，所以並沒有汽油逸出。然而發動機馬力則增加了70%左右。

普通增壓器消耗發動機馬力甚大，在規定高度，大約是發動機全馬力10%，所以有利用廢氣壓力轉動渦輪(Turbine)，以帶動增壓器，如此可以使發動機本身馬力減少消耗，飛行愈高則外界壓力愈低，因而渦輪的馬力愈大，所以此種發動機能在更高空保持馬力。但是這種渦輪，有一個最大困難，即是渦輪葉不能承受排氣過高的溫度，其補救辦法有兩種：一是把渦輪葉作成空心的，用流體來冷卻，這種裝置太複雜了。其他辦法即是將廢氣裏加以外界冷空氣相混合，使其溫度變低，此種辦法正適合於‘直接注油式’裝置。因汽缸裏當排氣門關閉以後，

方才注油，所以可以在排氣口開時，多使空氣由排氣門排出，如此則第一可以把氣缸裏廢氣洗淨，第二可以冷卻汽缸，第三即是排出的新空氣與廢氣混合後，廢汽溫度降低而可以在氣渦輪裏工作，由排氣管排出之空氣，雖會由增壓器消耗馬力而壓進汽缸，然而此壓力又可在渦輪上發生工作，所失去的馬力，僅僅是渦輪的效率，因此在高空上，發動機馬力未減，並沒有消耗於增壓器的身上，而發動機也就可以在很大的高度保持馬力了。

三十年一月二十八日

機聲月刊第一卷第八期目錄

希特拉的外交

培育中的蘇聯國防力

向無冕王們說幾句話

美國海空軍東征準備

空軍汛論

日本空軍史話

記女飛行家歐爾哈爾

孫復齋

王守偉

王浩

在湄譯

葉萍譯

余心芹

亦禾

飛機構造材料

H. J. Gough 著

張鳳儀節譯

目 錄

緒論

第一章：萊特發動機及飛機

第二章：一九三八年飛機之特色

第三章：飛機材料在技術上之檢討

甲、金屬及合金

(一)鋼

(二)輕金屬之合金

A 鋁合金

一 熟鋁合金

(1)可熱處理與含銅及鎂之合金

(2)可熱處理但不含銅之合金

(3)可熱處理之鑄合金

二 鑄鋁合金

(1)銅及銅鋅合金

(2)矽合金

(3)可熱處理之鑄合金

B 鎂合金

(1)鑄合金

(2)熟合金

(三)特種合金

- 乙、木材
- 丙、橡皮
 - 1. 天然橡皮
 - 2. 合成橡皮
 - 3. 夾金屬橡皮
 - 4. 澎漲橡皮
- 丁、塑膠
- 戊、表皮保護法

緒 論

本文節譯自英國皇家航空月刊，一九三八年十一月號，原文為第二十六次威爾柏，萊特 (Wilbur Wright) 紀念會上之演說辭，著者高美 (H. J. Gough) 為英國材料學之權威，全文凡五章，茲僅節譯前三章如下，第一章討論一九〇三年之萊特飛機，第二章討論一九三八年飛機之特色及三十年來所用材料之變遷，第三章為各種材料在技術上之檢討，我國正謀自造自給自足，欲求自造自給自足，首要解決材料問題，本文對飛機材料有深切之指示，可供愛好材料學者之參考。

第 一 章

萊特發動機及飛機

一九〇三年十二月十七日，萊特兄弟作第一次飛行，該日曾飛行四次。最優之成績，飛行時間五十九秒，飛行距離八百五十二呎，該日之地面風力，每小時二十哩，飛機迎風起飛。

一九〇三年萊特發動機可能之結構材料如下列之第一表。

第 一 表

萊特發動機可能之結構材料

名	稱	可能之結構材料及其近似成分	近似之抗張強度 (噸/方吋)
曲	軸	鍛造工具鋼 (炭 0.9/1.0%)	55/65
聯	桿	無縫鋼管 (炭 0.4%)	40
凸	輪 軸	鋼 (炭 0.15/0.25%)	28

定時齒輪	} 炭鋼 (炭 0.4%)	40
鍵		
鏈條傳動螺旋槳	硬皮鋼 (炭 0.4%)	45
汽瓣桿	炭鋼 (炭 0.4%)	40
汽瓣彈簧	炭鋼 (炭 0.5/0.7%)	70/80
油槽	} 鍍錫鋼板 (炭 0.25% 錫 0.6%)	26
感應室		
散熱器		
點火室蓋		
汽缸襯	} 灰色生鐵：細紋狀	17½
活瓣頭		
汽缸飛輪		
汽缸座匣	鋁合金 (鋁 2% 鋼 3%)	10
連桿頭軸承	磷銅 (銅 90% 錫 10% 磷 0.25%) 無裏襯	18
軸承	烏金 (錫 88% 銅 4% 錳 3%)	

此發動機為萊特所造，馬力約十二匹，重量約一八〇磅，水涼式直列四汽缸。內徑及衝程皆為四吋。

機身結構之材料為木，布及抗張鋼絲，所用之木料為美國東部之銀樅 (Silver spruce) 及樺木 (ash)。銀樅之順紋抗張強度及抗壓強度約為 8 及 2½ 噸 1 方呎。兩螺旋槳均用樺木，其推動效率為 66%，張線鋼絲之截面為圓形，為普通鋼琴線所造，大約為普通之炭鋼，含炭 0.6—0.8%，其抗張強度在 30 至 120 噸 1 方呎之間。

翼面積約五一〇方呎，載重七五〇磅。翼負荷略少於 1½ 磅 1 方呎，靜止空氣中之速度為每小時三一哩。

上面追述一九〇三年萊特飛機之結構材料，現討論一九三八年飛機之特色。

第二章

一九三八年飛機之特色

一九三八年飛機之構造大部份為輕合金，新式民航機用兩座或四座發動機者

其材料重量之分配如下：動力部份22%，結構重量5至10%，其他重量為燃料，滑油，儀器，駛駕及酬載，茲將英國各種飛機及發動機分述如下：

(1) de Havilland "Albatross" air liner:—

長度七十一呎六吋，翼展一〇五呎，自載重 (tare Weight) 九·五噸，在一一〇〇〇〇呎稀混合汽巡航動力時，速度每小時二〇哩。此機用木料結構，機身為硬殼結構，用內外兩層三層板，主要為柏木 (Cedar)，中夾一層筏木 (balsa)，約厚一吋，筏木之作用，使三層板受壓後不致變曲，有兩盒形翼樑，翼助膠於翼樑上，上下皆蓋銀樅，對外面再蓋上柏木三層板，乾酪 (Casein) 及合成膠 (Synthetic glue) 均為所用。

(2) Short Empire Flying Boat:—

著名之子母機，曾試飛成功，其母機與肅將皇家水上機 (Short Empire Flying Boat) 完全相似，此機除少數不銹鋼接頭外，全為輕合金所造成，其詳細數據如下：——四座發動機張臂式水上機，翼展一一四呎，長度八八呎，空重一〇·九噸，在五五〇〇呎高度時，其最高速度每小時二百哩，結構部份全用高抗張強度鋁合金層片及 RR56 合金之壓造片，機翼與機身之接頭為不銹鋼，除活動部份，如副翼，昇降舵，方向舵及其他，皆張蒙布外，飛機全部皆盡包鋁層片 (Alclad sheet)。

(3) Fairey "Battle"

此機用輕合金及鋼之混合結構，長度四十二呎二吋，翼展五呎，自重三噸，在 15000呎高度時，其速度每小時 257 哩，機身後段為半硬殼式，前段螺旋槳至座艙後，用鋼管樑，主要橫樑為 $\angle 10$ 式之壓造截面，機架為壓造之 Z 截面，機翼用兩樑結構及 Z 截面之長桁，翼樑及長桁均為 $\angle 40$ 式之壓造截面，機翼及腹板 (Spar Web) 皆用硬鋁。

茲將英國之發動機分述如下：——

(1) Bristol "Hercules He-IM" 為 14—汽缸雙排輻射型筒式汽機發動機，在 21000 呎及每分鐘 2750 轉時，最大馬力 1375 匹，乾重 1640 磅。

(2) Bristol "Pegasus XX" 九汽缸菌形汽機發動機，在 10000 呎每分鐘 2600 轉時，最大馬力 925 匹。

(3) Rolls-Royce "Merlin II" 為 12—汽缸 60° V 式水涼發動機，在 16250 呎每分鐘 3000 轉時，最大馬力 1030 匹，乾重 1340 磅。

(4) Napier-Halford "Oggrove" 為 21—汽缸 H 式發動機，在 5000 呎每分鐘 4000 轉時最大馬力 805 匹，乾重 1210 磅。

茲將近代三類發動機應用之材料列表如下：

第二表

總類	分 類	發動機A (輻射型,汽涼)			發動機B (直列型,水涼)			發動機C (直列型,汽涼)		
		材料 數目	重 量 (磅)	發動機 總重之 百分數	材料 數目	重 量 (磅)	發動機 總重之 百分數	材料 數目	重 量 (磅)	發動機 總重之 百分數
鐵 金 屬	鑄 鐵	2	5	.5	—	—	—	2	2	.1
	炭 鋼	9	30	3.0	3	114.5	9.6	20	212	18.2
	低合金鋼									
	a. 鎳	1	60	29.0	3	185	35.6	2	14	27.4
	b. 鎳鈔	5	180		2	123.5		6	308	
	c. 鎳	—	—		1	9				
	d. 鎳—鉍	1	50		1	92.5				
	e. 鎳鈦	—	—		1	13				
	高合金鋼									
	a. 鎳	3	5	9.5	2	9	2.8	10	10	2.2
	b. 鎳鎳	1	90		2	24.5		2	15	
	非 鐵 金 屬	鉛合金								
鑄 造		3	200	50.3	1	410	47	4	921	33.7
鍛 造		6	303		5	114.5		6	172	
鎂合金										
a. 鑄造		3	31	3.2	—	—	—	1	163	14.6
b. 鍛造		1	1		—	—		—	1	
銅		1	3	3	1	9	7	2	1	
黃 銅	4	7	7	1	4.5	3	10	7	3.4	

飛機構造材料

	青銅	4	30	3.0	3	44	3.7	12	32	
非金屬	皮革木電及其他	—	5	.5	—	3	.3	8	8	.2
總計		44	1000	100	27	1186	100	96	1167	100

縮小至更簡單之表式如下：

	A	B	C
鐵金屬	42%	48%	48.1%
非鐵金屬(輕)	53.5%	47%	48.3%
非鐵金屬(重)	4%	4.7%	3.4%
非金屬	0.5%	.3%	.2%

三十多年來發動機材料經過不少變化，茲將其主要者摘錄如下：

第三表

發動機中之四重要部份三十年來所用材料之變遷：

部份	材料名稱	典型成分	近代抗張強度
曲軸	—	0.45炭, 0.6錳	35—49
	—	0.7炭, 0.3錳	45—60
	KE805	鎳鉻鋼	60—70
	BSS11	0.3炭, 3.0鎳, 0.75鉻	55—65
	DTD228	0.3炭, 1.0鉻, 1.0銅(氮化)	55—65
	DTD306	0.95炭, 3.0鉻, 0.5銅(氮化)	60—70
聯桿	—	0.45炭, 0.6錳	35—40
	—	0.7炭, 0.3錳	45—55
	KE805	鎳鉻鋼	60—70
	BSS65	6.25炭, 3.0鎳, 1.2鉻	65—70
	BND	0.3炭, 4.0鎳, 1.25鉻	105(最小)
汽瓣	—	展性鑄鐵	—
	混合	鑄鐵瓣頭及3%鎳鋼瓣桿	—
	鎳—鉻	3.0鎳, 0.5鉻, 0.35炭	5.2
	5%鎳	5.0鎳, 0.3鉻, 0.12炭	5.5
	高速鋼	14.7錳, 3.4鉻, 0.55炭, 0.5鉻	8.7 在800°C
	不銹鋼	13鉻, 0.3炭	6.0

鋁鎳 砂鎳 DTD49B	13鎳, 1.0鎳 5.0鈷, 1.5炭	10.0	
	9鎳, 4砂 0.45炭	7.0	
	13鎳, 13鎳 2.5 0.4炭 砂1.0	20.0	
齒輪	表皮硬安化MS	0.15炭0.6錳	35—45
	KE805	鎳鉻鋼	80—90
	3% 鎳硬皮鋼	3鎳0.12炭	45—60
	5% 鎳硬皮鋼	5鎳0.12炭	70—85
	鎳鉻硬皮鋼	4.25鎳1.3鉻0.12炭	85—95

溫度高時，其抗蝕力強度增高

第 三 章

飛機材料在技術上之檢討

(甲)金屬與合金

觀察一九三八年飛機上所用之金屬及合金後，可作將來研究及發展之參考，純金屬在飛機上並無重要作用，但其物理性質為冶金學初步之基礎，合金組合問題之研究非常繁雜，列如 37 種金屬或鹼金屬組合起來，可得 660 種雙合金 (binary)，7770 種三合金 (ternary) 及 66095 種四合金 (Quaternary) 通常之商用合金，包含四種以上之金屬，研究合鋼，最好之參考書為合鋼研究委員會之第一報告 (First Report of the Alloy Steel Research Committee) 未討論合金制度之前，應先定其均衡圖 (Equilibrium Diagram) 以奠立冶金學之基礎，通常之方法，紀錄各種定率下之加熱 (heating) 及冷卻 (Cooling) 曲線；然後察看其顯微結構，最近採用 X 光，為測驗合金之迅速方法，及趨向採用相位之全晶體結構 (Complete Crystal structure of a Phase) 之試驗，此種試驗平常 X 光照像方法更為麻煩，相位 (Phase) 找出後，凡有同樣之原子排列者，其性質可望相同，但所有之方法皆麻煩而費時，‘變數法 (Hit and Miss Method)’ 普通認為不甚科學化，但有時能迅速找出合金之物理性質，事實上，在各種科學方法未發明之前，金屬合金皆用此法發現。如斯陀達 (Stoddart) 及花拉第 (Faraday) 在 1821 年既開始合鋼工作，1857 年慕雪氏 (Musets) 發現 7—13% 之鎢工具鋼，最初之鎢鋼在 1890 年為彪雅 (Beuer) 所製，1882 年赫德浮 (Hadfield) 發現 12% 之錳鋼，1889 年馬彪氏 (Marbeau) 發現 3—5% 之鎳鋼，大約在 1890 年發現鎳鉻鋼，1899 年前在奧大利發現鈦鋼，同樣，輕與重非鐵金屬皆既早有新奇之發現。

除基本新合金將來有發現之可能外，無數發展皆從既有合金之改良所得，略改組合之分子，採用適宜之熱處理及改良製造之方法，皆能得到良好之結果，以合鋼為例，其強度及其他性質，大半靠相合元素在鐵及炭間之分佈情形，及炭炭粒之排列狀況，加入少許其他元素，能改良脆性及內結晶之攻擊 (Inter-crystalline Attack)。

冶金學將有一大革命，即用粉粒沉澱法 (Sintering of Powders) 以製造合金，炭化切刀工具及軸承金屬，曾用此法製造，此法可得細紋結構，合格之性質及不致離解 (Segregation)，所得之合金，極適用於發動機之裏襯，因其既有軸承性質，又易連接。

(一)鋼：

飛機上應用之鋼，除炭——變鐵為鋼之主要元素——外，尚有九種重要元素，即鎳 (Nickel)，鉻 (Chromium)，鉬 (Molybdenum)，鈦 (Vanadium)，錳 (Manganese)，鈦 (Titanium)，鈷 (Cobalt) 及矽 (Silicon)，前六種特別重要，著述本文時，飛機上採用之合鋼不下九十種，為摘要起見，依其組合成份，大概可分為三大類十七組，茲列舉如下。

炭 鋼 軟鋼 (炭 $< 0.35\%$)

中炭鋼 (炭 $0.35-0.45\%$)

高炭鋼 (炭 $0.4-1.0\%$)

低合金鋼 錳鋼 (錳 $1\frac{1}{2}\%$)

鎳鋼 (鎳 $3-5\%$)

鎳鉻鋼 (鎳 $3.5-3.5\%$ 鉻 $1.1-1.5\%$)

鉻鋼 (鉻 $0.5-3.5\%$ 鉬 $0.15-1.5\%$)

鉻鈦鋼 (鉻 $1.0-1.5\%$ 鈦 $< 0.25\%$)

鈷錳鋼 (鈷 $1.6-2.1\%$ 錳 $0.8-1.3\%$)

鉻鎢鋼 (鉻 $1.4-1.8\%$ 鎢 $0.9-1.3\%$)

高合金鋼 特種合金鋼 (鎳 $> 1.0\%$ 鉻 $2\frac{1}{2}/14\%$ 鈦 $> 1.0\%$ 鋼 $1-1.6\%$ 錳 14% 鈦 $3-5\%$)

錳鋼 (錳 $11+\%$)

高鉻低炭鋼 (鉻 $12+$ 炭 $0-0.15\%$)

高鉻中炭鋼 (鉻 $12\%+$ 炭 $0.15-0.35\%$)

高鉻低鎳鋼 (鉻 $16-20\%$ 鎳 $1-3\%$)

固溶鉻鎳鋼 (鉻 $12\%+$ 鎳 $6\%+$)

固溶鉻錳鋼 (鉻 $12\%+$ 鎳 $0\%+$ 錳 $0-6\%$)

含炭 0.05—0.85% 之炭鋼至今尚被採用，低炭鋼既易焊接，又易造成模形，甚適用於輕力部份。

如需高疲乏強度 (fatigue strength) 及堅強延性 (ductility) 時，可加特種元素，使沾火容易，並可用回火方法，使組織均勻，低合金鋼，含 3% 或 5% 之鎳，或有 1½% 之鉻，或加其他元素如鉬，釩，或錫，高抗張強度之鋼，含鎳 3%，鉻 1%，鉬 0.5% 及釩 0.2%，各種元素對鋼之作用如下：鎳及鉻使沾火容易，鉬使回桿 (Notched bar) 之碰撞值 (Imbart Value) 增加，釩使組織幼細，此種典型合金鋼，經過沾火及回火之手續，其 0.1% Proof stress 每方吋有 6 噸，極限抗張強度每方吋有 75 噸，延性良好 (16% 以上) 及回桿值增高，許多部分之表皮需要硬化，此可用表皮硬化法，氮素硬化法或空氣硬化法，需要表皮硬化者如極心 (core)，內含鎳 5%，有或無鉻，需要空氣硬化者如齒輪，內含 4% 以上之鎳及 1½% 之鉻，最適宜之炭量為 0.3%。

高抗張強度之低合金鋼，如上所述，可告一段落，尚有一點可補充者，即炭鋼之含錳量，最近高至 1½—2%。

滾珠軸承 (ball bearing) 之滾珠 (ball) 及珠槽 (race) 採用鉻鋼，此含鉻 1.5% 及高炭素 9—1.0% 彈簧鋼，含鉻或錳，或有鉍及矽，施沾火及回火手續，具有需要之硬性及高抗疲力 (fatigue resistance)。

加特種元素及施熱處理後，鋼之強度可以增加，如再經冷作 (Cold-Working) 手續，則完美無疵矣。鋼片或鋼絲施冷作手續後，切面縮小，而硬度及強度增加，此種性質，非利用其他方法所能得到。炭鋼彈簧絲，流線形之切面及合鋼條片，均用受範形變法 (Plastic deformation) 以得到最後切面之形式，根據最近之研究，新式理論完全注重此法。

現在討論高合金鋼，並特別注意幾種特殊材料，高鉻及鉻鎳鋼有極高之抗蝕力 (Resistance to corrosion) 故其使用之範圍甚廣，著名之不銹鋼含鉻 12—14%，炭從 0.1%——低抗張強度——至 0.3—0.4% 施用沾火及回火手續後，其抗張強度增高，採用固溶 (austenite) 材料後，不銹鋼之用途，更形重要。合鋼中之含鎳 8—10% 及鉻 17—20% 者，加上少許其他分子如鈦，鉬及其他，可免除內結晶之攻擊，排汽瓣所用之鋼，加高鉻—鎳外，再加以錳，其性質改良及含炭量增加，此鋼之氧化及鱗剝 (Scaling) 之抵抗力甚高，在高工作溫度下，其強度增高，此種抗熱鋼 (heat resisting steel) 異常新穎，現正大量製造及續謀改良。

施氮素硬化法，可得極硬之表皮，鋼置於氮內，加熱至 500°C，所得之鋼稱為氮化鋼，其組織成分頗為複雜，表面如需極硬時，普通含鉻 1—1½% 及鉻 1%

左右，如硬度較低但仍相當高時，則含鎳2—3及鉍或鈳。

汽機桿之膨脹係數應與鋁之膨脹係數相等，研究結果，得含鎳12%，鎳3—4%及錳5%之鋼，有膨脹係數 1.000022 ，此鋼甚合需要之條件，最近所造之鋼，膨脹係數高至 0.000029 ，含錳12%之合金鋼，既無磁性又有抗磨性。

航空發動機之聯桿需要每方吋152噸之抗張強度，此鋼既於最近發現，內含鎳—鎳—鉍—鈳，及採用沾火及回火法，其機械性質如下：極限抗張強度每方吋149—153噸，伸長率9—10%。

根據上面之觀察，可知鋼之性質，經熱處理及加其他金屬後，大為改變，冶金學可解決一切問題，有磁性或無磁性，抗蝕性及高硬性，均可設法控制，鋼將來能否與其他金屬競爭，而適用於飛機上，全靠其性質之發展而定，惟過去之成績，可預料其將來必有偉大之進展。

(二)輕金屬之合金

輕金屬之合金，甚合飛機構造之條件，但除鋁鎂及鈹 (Beryllium) 三種金屬外，太易起化學作用，不宜於構造之目的，三種合金之密度如下：鋁2.7，錳1.74，及鈹1.83，經過許多研究，工業上之鈹合金，只限定於富銅及富鎳之鈹合金，此僅合鎂3%，故不屬輕合金之列，茲僅討論鋁合金與錳合金。

純鋁之應用，為時既久，極純之鋁有高抗蝕力，因純鋁暴露於空氣後，即生氧化膜 (Oxide film)，此為保護膜，使鋁不致繼續氧化，雖經冷滾 (Cold rolling) 後，純鋁之機械強度仍屬甚低，在飛機上可用以製造混合層片，最早之鋁合金為硬鋁 (Duralumin)，此於1908年為威爾 (Wilm) 所發現，主要之元素為鋁，內含銅，鎂及少量之錳，用特別之熱理法後，其性質與鋼不相上下，此種合金，最初採用歷時硬化法 (age-hardening)，其性質可用不同之熱處理法，而得到很大之範圍，其他鋁合金雖新繼發現，但硬鋁被認為冶金學中最主要之一，1920年培斯 (Paz) 發現改良之鑄鋁合金，內含矽13%及少量之鈉，鈉使結構由粗變細。

各種鋁合金如下：

- 鋁—銅 (銅多至9%)
- 鋁—銅—鎂 (銅4%，鎂多至2%)
- 鋁—銅—鎂 (4%，鎂2%，矽1.5%)
- 鋁—銅—鎳 (銅5—10% 4%，鎳2%，另加鎂及矽)
- 鋁—鎂 (鎂5—10%另加錳)
- 鋁—錳 (錳多至2%)
- 鋁—矽 (矽3—14%，加鎂，錳式鈣)

鎂之性質太軟，在非合金之情形中，不宜應用，能與鎂混合而產生強合金之金屬，為數亦可。鎂合金在 1908—1970 年間，最初為德國發現，其主要成分為鋁及鋅，可能之混合元素，正在極力研究中，茲將各種鎂合金分列為下：

鎂—錳(錳最多 2½%)

鎂—鋁(鋁 8—12%)

鎂—錳(錳 10%，加或不加鈷及鎳)

鎂—鋁—銀(鋁 8½—8½%，銀 ½—3%，加鋅錳及鈷)

鎂—鋁—鋅(鋁多至 11%，鋅多至 ½%)

鎂—鋁—鎳(鋁 8%，鎳 ½%)

鎂—鎳(鎳多至 20%)

鎂—鎳—鋅(鎳 1%，鋅 1%)

鎂合金之製造程序，甚為困難，需用特種之製造法，易燃燒及低抗蝕力，二者皆為鋁之短處，亦即其發展遲慢之緣因，採用厚切面可避免失火問題，抗蝕問題，直至現在尚未發現有適當之金屬，可與其混合而阻止生銹，現在採用之抗蝕法，為外塗保護層，及正極保護法(anodic protection)。

A 鋁合金

自愛爾夫列特，威爾發現熱處理之原理後，輕合金之製造大見進步，在室內溫度及升高溫度時，溶解分子之沉澱，使多數鋁合金硬化，在威爾時，除硬鋁外，尚有不少鋁合金，計可分為三類：(1) 可熱處理與含銅及鎂之合金，(2) 可熱處理但不含銅之合金，(3) 不可熱處理之合金，內分兩組，熱合金及鑄合金。

熱處理對合金之組織有很大之影響，熱合金較鑄合金易起作用，故鑄合金之熱處理需時較長，根據上面之分類，分別詳論如下：

一、熱鋁合金

(1) 可熱處理與含銅及鎂之合金

(a) 此類合金屬硬鋁合金，其典型組成成分如下：

銅 4.2%，錳 0.6%，鐵 0.4%，矽 0.4%

用冷水沾火，溫度自 480。至 500°C，在室內溫度施壓時手續，此類合金可造成薄片，條片，管，桿，壓造切面，絲，鉚釘，鍛造物及壓造物等，其最低之機械性質如下：——0.1% Proof stress 每方吋 15 噸，極限抗張強度每方吋 25 噸，伸長率 25%。

(b) 硬鋁之種類甚多，其最要者為含鎂性片 1½% 之鋁合金，此合金之處理法與普通硬鋁相同，但其強度較高，用途與硬鋁相同，其最低性質如下：——0.1

% proof stress 每方吋 17.5 噸。極限抗張強度每方吋 28 噸伸長率 15%。

此類合金可製造厚壁管 (thick-walled tube)，及其他尺寸之管，熱處理後再加冷作，其性質如下：—— 0.1% proof stress 每方吋 22 噸，極限抗張強度每方吋 29 噸，伸長率 10%。

(c) 進一步之發展為超硬鋁 (Super-duralumin)，此合金內含矽約 1%，其他成分與普通硬鋁相同，其鍛造程序如下：先用溶液處理，再加沉澱熱處理，在溫度 520°C 沾火後，在 135°C 中施歷時手續，其組成分如下：—— 銅 3.5%，鐵 1.75%，矽 1%，錳 0.75%，鎂 0.75%。

其最低性質如下：—— 0.1% proof stress 每方吋 24 噸，極限抗張強度每方吋 30 噸，伸長率 8%。

此種合金可製壓造面截。

(d) RR 合金，熱合金中以 RR55 為最普通，其組成分如下：——

銅 1.5—2.5%，鎳 0.5—1.5%，鎂 0.6—1.2%，鐵 0.8—1.5%，矽 1%，鈦 0.2%。

此種合金可製各種形式，如薄片及條片等，但易生銹，從 530°C 沾火後，在 175°C 中施歷時手續，將其性質如下：——

0.1% proof stress 每方吋 21 噸，極限抗張強度每方吋 27 噸，伸長率 10%。

最近製造一種新合金，可歸入此種，其機械性質頗為鋁合金中之表表者，其比重為 2.8，及化成分如下：——

銅 1.5—3.5%，鐵 0.6%，鎂 2—4%，鋅 4—6%，鎳 1%，矽 0.6%，鈦 0.3%。

在 460°C 施溶液熱處理後，隨即在 130°C 中施歷時手續，其機械性質如下：——

0.1% proof stress 每方吋 33—33 噸，極限抗張強度每方吋 33—38 噸，伸長率 10—18%，胡拉疲乏範圍 (Wohler fatigue range) 每方吋土 12.5 噸。

(e) Y 合金之成分如下：——

銅 4%，鎳 2%，鎂 1.5%，矽 1.6%，鐵 0.6%。

此合金在 520°C 用熱水沾火，其後或在室內溫度歷時或在 100—200°C 用沉澱熱處理法，溫度增高時其性質亦增高，在室內溫度時其最低性質如下：——

0.1% Proof stress 每方吋 14 噸，極限抗張強度每方吋 24 噸，伸長率 15%。

此合金可製鍛造物或車造之零件。

(2) 可熱處理但不含銅之合金

此類合金之組成成分如下：——矽 1%，鎂 0.6%，錳 0.75%（可有可無）。

在 520°C 沾火後，繼之在室內溫度施壓時手續，得最低機械性質如下：——
0.1% proof stress 每方吋 10 噸，極限抗張強度每方吋 17 噸，伸長率 20%。

此種合金如用沉澱熱處理，則在 520°C 沾火後，繼之在 165°C 鍛鍊，依其沉澱處理之時間及溫度，可得下列機械性質之範圍：——

0.1% proof stress 每方吋 15—19 噸，極限抗張強度每方吋 20—23 噸，伸長率 10—16%。

此合金可製各種熟鍊物，固不甚堅強，故常用於次要結構上，亦可製外皮及壓造零件，如整流罩及其他流線蓋。

經熱處理之熟合金，其抗蝕性如下：在室內溫度施壓時手續者，其抗張蝕力甚高，但為亦得最佳之抗張強度而在較高之溫度施壓時手續者，則易起內結晶銹蝕（intercrystalline Corrosion），此類不含銅之合金，其抗蝕力甚高，極合用於飛機之製造。

(3) 不可熱處理之合金

此種合金之主要者為鋁—鎂類合金，其抗蝕力甚高，即在海水中亦不致生銹，其中一部份合金之強度頗高，能與可熱處理之熟合金相比美，在結構上應用者，有下列之組成成分：——

錳 7%，錳 0.25%。

其最低之機械性質如下：——

0.1% proof stress 每方吋 10 噸，極限抗張強度每方吋 20 噸，伸長率 2%（熱火）。

0.1% proof stress 每方吋 15 噸，極限抗張強度每方吋 25 噸，伸長率 15%（冷作）。

此種合金可製成各種形狀，且可製鉚釘，凡能用硬鐵製造者，亦可採用此種合金，德國多採用此種合金，製造鉚釘時，於鋁中加 5% 之鎂，最為適宜，如製成絲，其抗張強度每方吋有 16 噸，如用做鉚釘，可隨時打頭，不如硬鋁，於沾火後，即需打頭，故減少許多困難。

另一合金含錳 21% 及錳 0.95%。錳有高抗蝕力，此種合金極易工作，經熱火手續後，其極限抗張強度每方吋 12.5 噸，伸長率 20%。此種合金適宜製造層片，因所需之強度不高，同時可製汽油及滑油軟管。

合金加鎂後，可增加蝕抗力，用於製造及型造之合金，內含鎂1.5—3%及鎢0.1—0.35%，其抗張強度大約每方吋12噸，伸長率20%，及抗蝕力甚高。

夾層 clad 材料非常重要，此材料用純鎂之塗層 coating 蓋於普通或改良之硬鋁屑片或條片之兩面，如是可使重量減輕，強度增加，並有極高之蝕抗力。不特塗層遮蓋處得到保護，即不遮蓋之地，受電解作用，亦得到保護。但其表皮柔軟，在構造及使用時，頗有妨礙。

鋁合金之抗蝕問題，普通用正極養化法可以解決，如再加上適宜之塗漆 (Paint) 及假漆 (Varnish)，則非常完滿。

二、鑄鋁合金：

(1) 銅及銅鋅合金

銅及鋅為鑄鋁合金之硬化劑 (Hardener)，單純之鋅合金現既極少採用，因於鑄造時易於碎裂，如加少許銅後，其性質大為改良，普通約含鋅13½%及銅2%，此種合金之機械性質如下：——

砂鑄：—0.1% Proof stress 每方吋3½—4噸，極限抗張強度每方吋9—11噸，伸長率2—4%。

冷鑄：—0.1% Proof stress 每方吋3½—4噸，極限抗張強度每方吋11—14噸，伸長率3—8%。

此合金有相當缺點，易於熱脆 (hot short)，在高溫度時強度甚低，其比重高於他種合金，鑄造後之數月內即有自裂 (spontaneous cracking) 之趨向。

金屬型鑄物，用單純銅合金較為適宜，此合金普通含銅3—8%，其機械性質如下：

砂鑄：—0.1% Proof stress 每方吋4½—5噸，極限抗張強度每方吋7½—9噸，伸長率1½—2½%。

冷鑄：—0.1% Proof stress 每方吋3½—4噸，極限抗張強度每方吋9—11噸，伸長率3—5.5%。

增加銅之成分，可增加材料之硬性，但減少延性，此種合金原來用做塞活塞，雖然現在不用，但仍有其他用途，含銅12%其性質如下：——

砂鑄：—0.1% proof stress 每方吋4½—5噸，極限抗張強度每方吋7—8噸，伸長率0—1%。

冷鑄：—0.1% proof stress 每方吋4½—5噸，極限抗張強度每方吋9—11噸，伸長率0.1—1.5%。

(2) 砂合金

砂合金在今日有廣潤之用途，內含砂13%，施改良法後，可使結構變細及性

質增優，改良深著，即在鑄造之前，須加金屬鎳或鹽於溶液內，此種合金之機械強度，伸長率及抗蝕力均甚高，但其彈性限度 (elastic limit) 較普通鑄合金為低，因其抗蝕力甚高，故適用於造船及化學零件，因其為極薄液體形及凝固時不至縮小，故易於鑄造，可用於鑄造極薄之切面，改良後此種合金之機械性質如下：

砂鑄：— 0.1% Proof stress 每方吋 $3\frac{1}{2}$ —4 噸，極限抗張強度每方吋 $10\frac{1}{2}$ —11 噸，伸長率 5—8%。

冷鑄：— 0.1% Proof stress 每方吋 4— $4\frac{1}{2}$ 噸，極限抗張強度每方吋 13—14 噸，伸率 8—15%。

砂合金加少量之鎳後，則可以熱處理，有兩種不同之熱處理情形，一為 Silumin Beta (Alpax Beta)，一為 Silumin Gamma (Alpax Gamma)。前者表示鑄造物只有沉澱處理法，時間 16—20 小時，溫度 150° — 170° C，後者表示在 520° C 至 535° C，施溶液處理，繼用冷水沾火及用於 Beta 鑄造時之沉澱處理法。

Beta：— 0.1% proof stress 每方吋 4—5 噸，極限抗強度每方吋 12—13 噸，伸長率 4—8%。

Gamma：— 0.1% proof stress 每方吋 6—8 噸，極限抗強邊每方吋 15—16 噸，伸長率 2—6%。

(3) 可熱處理之鋁合金

可熱處理之鋁合金，其最著名者應為“Y”合金，內含銅 4% 鎳 2% 及錳 1% 在鑄造情形中，其性質平凡，經熱處理後，強度大增，熱處理之程序如下：先用溶液處理，溫度為 500° — 520° C，時間約六小時，繼之用沸水沾火，及在室內溫度施壓時手續，或提高溫度，以加速壓時手續，在 100° C 中施壓時手續，只須兩小時，“Y”合金不易鑄造，但其熱處理後之強度甚高，鑄造及熱處理後之機械性質如下：

砂鑄：— 0.1% proof stress 每方吋 13—14 噸，極限抗張強度每方吋 14—15 噸伸長率 0—1%。

冷鑄：— 0.1% proof stress 每方吋 $14\frac{1}{2}$ — $15\frac{1}{2}$ 噸，極限抗張強度每方吋 18—20 噸，伸長率 2—4%。

單銅合金可以熱處理，含銅 6% 之鋁合金，施熱處理後，抗張強度與“Y”合金不相上下，其伸長率較大，但彈性限度較低，熱處理之溫度 500° C，時間約 12 小時，機械性質如下：

砂鑄：— 0.1% proof stress 每方吋 $7\frac{1}{2}$ — $8\frac{1}{2}$ 噸，極限抗張強度每方吋 14— $15\frac{1}{2}$ 噸，伸長率 3—3%。

—，冷鑄：其0.1% proof stress 每方吋 3—8 噸，極限抗張強度每方吋 19—21 噸，伸長率 3—13%。

此類合金之用途甚廣。

最主要之鋁鎂合金為 RR 類，數年前在飛機上已經採用，全類成分之範圍如下：—銅 0.5—5%，鎳 0.2—1.5%，錳 0.1—5%，鐵 0.6—1.5%，鈦 0.5% 及鈾 0.2—5%，此類合金之用途甚廣，大部份之飛機鑄造物皆用之，共分兩大類，RR 53 及 RR 50，其成份之百分數如下：

	銅	鎳	錳	鐵	鈦	鈾
RR 53	1.5—2.5	0.5—2	1.4—1.8	1.2—1.5	0.2—1.2	3—9
RR 50	0.9—2	1—1.75	0.05—3	0.8—1.4	0.02—0.2	2—8

RR 53 用雙熱處理法：—溶液處理，在 510—535°C 加熱，經 2—4 小時，繼之在水中沾火；及沉澱熱處理，在 155—175°C 加熱，經 20 小時，繼之在水中沾火，RR 50 則無溶液處理：—從模型中冷卻後，即施沉澱處理，溫度 155—175°C，時間 8—12 小時，繼之在水中沾火，兩類合金之最低機械性質如下：

	0.1% proof stress 噸/方吋	極限抗張強度 噸/方吋	伸長率 %	B.H.N
RR 50	19	20	1	106—140
RR 53	3	13	4	59—80

上面之分類僅依不同之主要化學成分，而商業上之分類更多，加上少許元素後，商業上之名稱又不相同，加上少許元素後，可以改良材料之性質，使合金之組織幼細，所加之元素，如鎳，鈦，鈷 (Columbium) 或鉍。

B 鎂合金

鎂之化合性甚高，始初製造時，使人非常失望，但經改進之新式鎂合金，不獨鑄造之困難減少，且極純之鎂合金鑄造物，亦有廣大之用途。

(1) 鑄合金：

大而複雜之砂型鑄造物，用鎂合金較佳，同樣之鑄造物，如用鋁合金則較為困難，重力壓鑄 (gravity die casting) 既製造成功，但如用鋁合金製造，則需加改良，壓力壓鑄 (Pressure die casting) 多用鋁合金，並既大量出產，鎂合金之優點如下：—(1) 比鋁可減少 40% 之重量，(2) 使用時不易碎脆，(3) 無針孔 (Pin hole)，(4) 減少心孔 (cored hole)，使計設簡單，但重量增加有限及 (5) 輕而堅固，鎂合金之種類甚多，其成分及性質之範圍亦甚廣，其成分之範圍如下：鎂 0.2—13 (極限)，鋅 0.2—3.5 (極限)，錳 0.5—2.5 (極限)，處理之方法有二：—為溶液熱處理，通常在 420°C 加熱 24 小時，處理時用三養化硫

氣 (So₂ atmosphere) 或重鉻酸鹽池 (dichromate salt bath) 以保護金屬，一為沉澱硬化理 (precipitation hardening treatment)，在 150—200°C 中經 12—48 小時，此類合金，成分不同時，其性質亦不相同，為簡便起見，可分為兩大類，第一類之最高成分如下：—鋁 8.5%，鋅 3.5% 及錳 0.5%，此種合金成份如下：—鋁 0.2%，鋅 0.2% 及錳 2.5%，兩類之機械性質如下：—

	0.1% proof stress 噸/方吋	極限抗張強度 噸/方吋	伸長率 %
1 砂鑄	4½—5½	9—11	3—5
砂鑄及溶液處理	4½—5½	14—16	6—14
2 砂鑄	1½	6—7	3—5

第一類為鎂合金之典型製造物，第二類可造輕應力零件，且易焊接。

鎂合金之比重甚低 (1.81—1.83)，此為其特長，在飛機上用做機匣，機蓋，滑起輪，發動機及機身之各種零件。

(2) 鋁合金

壓造，熱滾及鍛造時，如用此種合金，可免嚴重之困難，各種大小之形式，如能用鋁合金製造者，亦可用鎂合金，但鎂合金不宜冷作。

鎂—錳合金易於焊接及鍛鍊，且有高抗蝕力，製成層片合金，可做汽油及滑油箱之包裹及其他，其最高成分如下：—錳 2.5%，及少量之鋁 (0.2%) 及鋅 (0.2%)，性質：— 0.1% proof stress 每方吋 6—8 噸，極限抗張強度每方吋 12—15 噸，伸長率 7—10%

鎂—鋁合金可造結構及受力零件，壓造截面，層片及鍛造物，普通成分之最高限度：—鋁 7.5—11%，鋅 1.5—2% 及錳 1%，茲將三種典型合金 A、B 及 C 之性質列舉如下。A 用做層片，B 用做桿及壓造物，C 用做匣及鍛造之螺旋槳。

	0.1% proof stress			極限抗張強度	伸長率
	鋁(極限)	鋅(極限)	錳(極限)	噸/方吋	%
A	9	1.5	1.0	7	10
B	11	1.5	1.0	9—11	5—10
C	11	2.0	1.0	10—19	5

鋁合金工作時，在某方面有某種困難，茲分釋如下：—彎曲成形及抽絲時，不宜合作，但在 300°C 左右，較易工作，施用扭歪手續，特別是抽絲時，速度愈慢結果愈佳，焊劑之銹蝕力甚強，熱合金及鑄造物如用焊條焊劑及氧乙炔 (oxy-acetylene) 焊接時，接焊處應小心洗刷及鍍路，車切時應用高速度，尖利之切刃及重切 (heavy cut)，碎片厚，可減少起火之危險，切割不粗及工具尖銳，

致局部熱度體溫點以上，而產生起火之危險，鎂合金之抵抗蝕力為一天每處，曝露部份不大深用，路邊度一為油漆及鐵漆等基礎一共有兩種，一為重路後塗，短時間內浸入，起一層金黃色腐蝕膜，因此鎂合金，在某種情形下，不甚適宜：一為“BAE 4th”需時間六時三十分，塗在漢呂丹金上，起黑色，塗在鎂合金上起褐色層，此後一耗蝕力甚低，上述之塗層產常應用，但實之用於鋁合金之正極養化法，則相差多矣，現尚未發現有可靠之抗蝕處理，使鎂合金抗禦海水。

金屬為飛機製造中之主要材料，各種形式在本節章內既詳細討論，第二表說明發動機所用之材料，各種鋼佔發動機總重之49%與13%之間，輕合金約佔總重之53%至17%之間，最主要之鑄造物為上等測火或熱處理之鋁或鎂合金，主要之受力鍛造物，全用熱處理之鋁合金，機架大部份用輕合金，管多用硬鋁，外皮趨向採用夾層鋁容登，內結構通常用硬鋁，鎂合金通常用於次要之結構及減輕重量之利期鍛造物或鑄造之大切面，以代替鑄造之小件，為結構製造之趨向，鑄造物或應用並不廣闊，凡能鍛造者，皆用鍛造物，以整個飛機而論，不指任何特別儀器，各種形式所用之材料如下：一層片材料，大約50%為平常硬鋁，40%為夾層材料，大約10-20%之壓造物及悍製之零件為平常硬鋁，其餘為改良鋁合金如 B 運 30，結構上所用之鍛造物，大約50%為平常硬鋁，其他為高強度之合金，約有 10%之管為平常硬鋁，其餘為高抗張強度之合金。

三種特殊合金

彈簧及螺絲等應用之合金，通常以輕為目的，但曲軸及變齒螺旋槳之均衡重量，則一需密度高及體積小，普通工程上應用之金屬及合金一類，黃銅，青銅，銅及銀一一之比重在7與9之間，鉛之比重為11.4，但其用途不廣，因其抗張強度甚低，唯少數合金而體積甚小者，有下列之比重：鈾 (antimony) 16.6，金19.3，銻19.3，白金21.5，鈹 (beryllium) 23.4，銻 (osmium) 22.5，但其價錢高昂及製造困難，不宜製造均衡重量，最近有一新合金，稱為重合金 (heavy alloy)，此為電機製造廠製造白熾燈絲 (Inca descent lamp filament) 時所得，此種材料飛機上現既採用，內含鎢90%，銅4%及鎳6%，純鎢之抗張強度每方吋高於100噸，彈性係數亦極高，但熔點太高—3400°C—，使製造發生困難，奇異電力公司之研究室 (Research Laboratory of General Electric Company) 既解決此問題，在鎢內加入小部份低熔點之金屬粉，可在中等溫度得到液體狀態，使所用之液體完全混雜，液體後所得之合金，既無小孔，取得理想中之密度，以5%之鎳及銅之液體粉，加入鎢粉內，裝入模中，用熱至1450°C經熱處理後，材料將變為細化之鎢粉，變為鎢珠，外包銅—鎳—鎢之固體溶液，茲將重合金

之物理性質摘要如下：

第四表

鎳合金之物理性質

抗張強度，噸/方吋	40
屈服點，噸/方吋	37
伸長率，% (1吋長試)	34
楊氏係數，磅/方吋	32×10^4
巴利尼氏 (Brinell) 硬度	250—290
比重	16.3—17
膨脹係數	5.5×10^{-6}
導熱係數 (C.G.S. 單位)	25
電阻係數 (歐姆/立方公分)	1.16×10^{-8}

此合金在大氣及海水中，完全不發生銹，需要時可夾各種金屬板，如錫、銀或鉻板，可用銅焊或鎢焊接合於其他金屬上，但不可用軟焊，最好用特別之電鍍

黃銅與銅及其他，雖很重要，但在飛機之用途有限，其性質非普通，此處不作詳談，高鎳—銅合金，含鎳65—70%及銅26—30%，另有鐵、錳、矽及炭，如加4%之鋁，可用沉澱熱硬化法，先用冷作，後用熱硬化法，可得抗張強度7噸/方吋，此種材料稱為‘K-Monel’，全無磁性，適用於蒙羅羅盤之受力部份，另一合金稱為‘Inconel’，含鎳80%，鉻13%及鐵7%，可鍍鍍其使硬化，但不可熱處理，工作硬化法 (Work-hardening) 可提高其抗張強度從35—50噸/方吋至最高限度8噸/方吋，其抗熱氧化力 (resistance to heat-oxidation) 甚高，故適用於減聲器及排氣管，20—26鎳—鉻合金可用做發動機之汽缸頭蓋，鋁—銅為發動機軸承環之主要材料。

木材

對於飛機之結構材料，如不提木材，尚未完全，天然木仍甚重要，化學家與製造工程師既合作將天然木改造，改良木之製造，最初之目的非為飛機工業，乃為電器工業，現既為飛機設計師所注意，並做各種實驗，將有廣大之用途，天然木之短處如下：含水份量 (moisture content) 依溫度而改變，使尺寸及形狀不能固定，其順紋之抗張強度雖高，但順紋之抗壓強度太低。

合成松香有良好之粘性及抗溫性，松香之製造，用尿素甲醛，此膠無乾酪膠之短處，即不受細菌及水之攻擊，為實用之方便，平常三層板之製造既經革新，故用酚甲醛松香 (Phenol formaldehyde resin)，可以濕用，亦可以乾用，乾

用時製成紙張形式，先浸於松香內，然後曬乾，浸染之膠紙，普通約厚 0.1 公厘，夾於薄板中，在三層板壓床內將其壓好，溫度加至 140°C，此種膠粘手續，非常清潔，而膠成之材料性質亦甚佳，利用此膠後，則三層板之接頭不再為弱點之來源，而反對採用分片木之理亦可取消矣。如各種木材混合利用，及各種紋絡縱橫排列，可得強度優良之層板。

改良木之製造法甚多，大略可分為兩大類：第一法，先用合成松香做薄板之黏合劑，後加壓力及熱，木材未加浸染，此法之松香成分較第二法為少，故其抗強及抗剪之強度係數較佳，及黏着性亦較強，第二法，合成松香用作木材之填充材料，在未加壓力之前，吸收一層很厚之松香，松香之含量及壓力，二者均可控制，變更壓力及松香含量，可使材料之比重亦隨之變更，通常之變更範圍為 0.65 至 1.40，層板之膠合，可採用各種不同之木材及各種不同紋路之排列，所製之木條，沿其長度可有固定之密度及物理性質，利用各種不同之層板，變更層板之數目及壓力之大小，可使木條之強度及密度，沿其長度連續變化，或可使其由一形狀變為他一形狀，前者用做縱樑或翼樑凸緣，後者用做螺旋槳，層板間夾布或其他材料，可得其他可能之變化。

第五表為六種分片樺木及一種分片杉木之物理性質，實樺木用以比較。

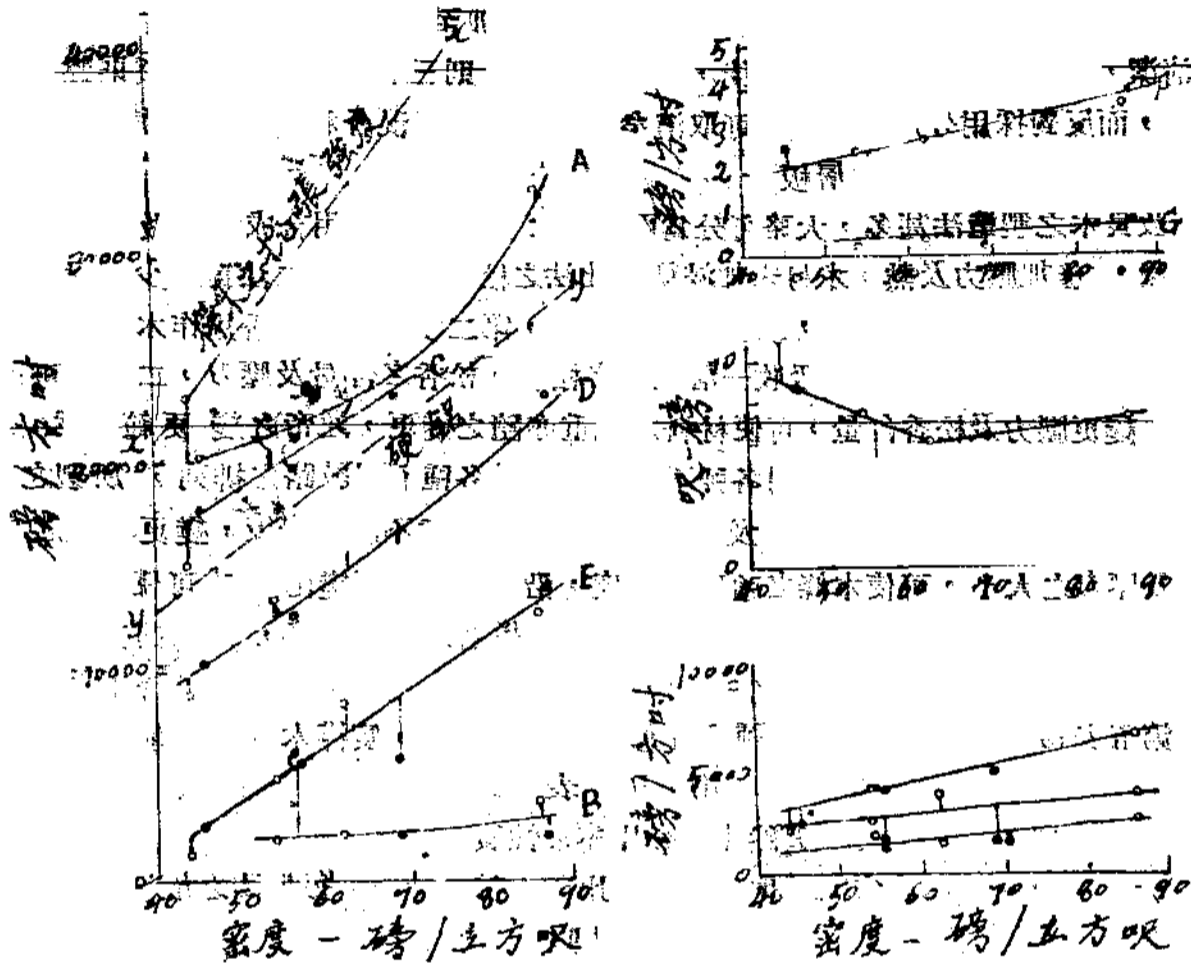
第五表

天然木及分片木之性質

木 類	密 度	比 重	每時間之層板數
		磅/立方呎	
實樺木	4	0.71	1
分片樺木	45.9	0.73	13
”	54.3	0.87	50
”	56.4	0.90	49+
”	62.9	1.00	20*
”	69	1.10	34
”	86	1.38	81
分片杉木	86.9	1.39	12

* 層板用液體松香處理。其他中央乾松香。每第入層板用橫紋。其他用直紋。

紋。



圖一

- A 極限抗張強度：縱向
- B 極限抗張強度：橫向
- C 彎折係數
- D 抗壓強度：縱向
- E 楊氏係數(E)：縱向
- F 楊氏係數(E)：橫向

- G 抗壓強度：橫向
- H 凹桿撞值
- J 抗剪強度：縱向，與分片平行
- K 抗剪強度：縱向，橫過分片
- L 抗剪強度：橫向，行分片平行

圖十八之曲線用圖表方法表示數據，以各種密度為根基，從原點出發之直線，表示比強（即強度於密度）常數線，XX線為實樺木之抗強強度，用以比和圖中之分片木料比較，為再理思見，將Yy線加入圖中，yy線代表有35噸/方呎抗張強度之硬鋁。

圖十八表示密度與機械性質之普通關係，採用適宜之層板及適宜之排列法，調整浸染之程度及壓力之大小，可得適宜之改良木，此種加布及浸染木料，可用膠水嵌接，也可製本手續工作，浸染及加壓之胡桃木 (hickory) 之密度為 95.7 磅/立方呎，其性質如下：——抗張強度 36500 磅/方吋，抗壓強度 23000 磅/方吋，抗剪強度 46000 磅/方吋，楊氏係數 6.9×10^6 磅/方吋，不浸染而加重壓之樺木有下列之據數：——密度 86 磅/立方呎，抗張強度 42000—54500 磅/方吋，抗壓強度 24700—27900 磅/方吋，抗剪強度 6450—8300 磅/方吋，楊氏係數 $4.1—4.6 \times 10^6$ 磅/方吋，為某種目的之特別需要，可犧牲抗張強度，而很需要之物理性質，此乃表示高抗張強度非最重要之性質，例如抗承強度 (bearing strength) 在螺釘附近則非常重要，此種負荷，如用普通木材，易生順紋破裂，如用分片木或加壓材料，則大為改良，層板間夾木，其抗力更大，試驗銀梳之結果，分片木之強度比普通木高 2.4 至 4.4 倍，層板間夾木可高至 6.4 倍，更有一新進展為局部加強 (locally reinforce)，使材料能抵抗剪力。

分片及浸染木之疲乏性質，與金屬及普通木相似，胡拉實驗 (Wohler test)，試驗抗張強度 30000 磅/方吋及密度 70 磅/立方呎之材料，得胡拉忍耐限度 (Wohler endurance limit) 土 8300 磅。

丙、橡皮

無論如何簡單，橡皮之討論，應分兩大類：一為天然橡皮，一為合成橡皮 (synthetic rubber)。另有兩種橡皮，為包金屬橡皮 (bonded rubber) 及膨脹橡皮 (expanded rubber)。

1. 天然橡皮

近年來橡皮之製造及技術管理長既改良，如發明加強性質之氣灰 (gas black)，與利用有機催硬劑 (organic accelerator of vulcanisation) 之抗氧化劑 (anti-oxidant) 及抗熱素 (heatresisting ingredient)，使性質改良不少，尤其是抗張強度及抗磨力 (wear resistance) 大見增加，氣灰由自然氣之不完全燃燒所得，此灰燒動物油所得之燈灰 (Lamp black)，更為幼細，因其幼細，使橡皮之性質，韌性及抗扯及抗割力改良不少。

天然橡皮最特別之發展為電導 (Conducting) 橡皮，此種橡皮有特殊及適宜之用途，飛機着地時，電路立即接地 (earth)，不然靜電荷 (electric static charge) 因空氣磨擦而集蓄，或在雷雨交作時，放電而發生火花，可能傷人及有引火之危險，橡皮加各電導成分後，可使其導電，但其成分需要很高，結果橡皮硬而易碎，同時其電導性不能永久，現在製造之電導橡皮，非常完美，並不犧牲橡皮之其他典型性質，普通橡皮及絕緣體，茲列比較表如下：

	近似電阻係數 歐姆
銅	1×10^{-6}
標準輪胎橡皮	1×10^9
純橡皮	1×10^{16}

實際試驗，滑走輪之電阻，由輪殼至輪底，有下列之結果：

	電阻，歐姆
電導輪胎	$5-10 \times 10^3$
標準輪胎	2×10^{10}

滑走輪之輪緣噴鋁，使胎邊及輪殼間之接觸完全，飛機用電導橡皮後，可自動接地，最大之飛機，亦只需百分之一秒，使靜電荷接地，普通輪胎最少需時10—20分鐘，在實驗室情形之下，放電時約需兩小時以上。

2. 合成橡皮

橡皮工業隨合成染料工業而產生，但天然橡皮並不失其地位，合成橡皮有其特殊性質，其抗陽光性 (resistance to sunlight)，抗熱性及抗油性甚高，合成橡皮共分兩種，一含 butadiene "baek bone" Neoprene，為 chlorinated ene 之同質異重法 (Polymerisation) 所製，一為 Buna N 為 butadiene 及 acrylic nitrile 之內同質異重體 (inter-polymer)，另有一種 Plastic Thiokol，為加多硫化鈉 (Sodium polysulfide) 於氯酸乙稀 (chlorinated ethylenes) 內所得，此類橡皮之性質，較天然橡皮尤勝一籌，對於油，油膏，熱，陽光及臭氣之抗禦力亦較天然橡皮為優，且有其他特性：例如 Neoprene 之抗陷性 flame-resisting property 甚高及易包於金屬上，Buna 對於低溫度之抗禦力甚高，而 Thiokol 對於芳香族溶劑 (aromatic solvent) 抗禦力甚高。

所以合成橡皮用以做汽油管，滑油管，壓力油膏管，可縮起落架之熱圈，發動機架之軟墊，及其他與油接觸之各部件，及用以點火電索，散熱管；及用以水上機之金屬浮簾之保護蓋，螺帽，螺絲及螺旋槳；及用以製造膨脹橡皮，做座位及地板。尚有正在究研者，為將其做汽艇之外皮，因其不易透氣。

合成橡皮為一新材料，不特為橡皮之代用品，且有特別之性質，誠為天然橡皮之所不及。

4. 包金屬橡皮

普通橡皮只能用以給收能量 (energy) 及過濾，包金屬橡皮不特可以抗壓，且可抗張及抗彎，既不致扭歪，又不致縮小容量，故包金屬橡皮適宜製造發動機殼，接頭及其他，因可使其有共振頻率 (resonant frequency)，橡皮之硬度可

於製造時控制之，而硬度與韌強性及固有頻率 (natural frequency) 有連帶關係，用包金屬橡皮製造機件有高阻尼容量 (damping capacity)，現在完全用天然橡皮，既甚適宜，且較便宜，合成橡皮有特別用途，因其有較高之抗壓時性，抗熱性及抗油性，雖然橡皮只可包鋼及生鐵，現在可包鋁及鎂合金，電木及玻璃，包鋼時，先將鋼製成鋼板，然後加熱及壓力將橡皮包上。

包金屬橡皮之重要特色如下：—— (1) 切線應力下，橡皮可受很大之扭歪，(2) 破裂在包接處，而在橡本身，(3) 利用控制混合法，可得各種硬度及韌強性。

4. 膨脹橡皮

此為鈍氣 (Inert gas) 所膨脹之橡皮化合物，在顯微鏡下，其結構呈一閉合細胞 (closed cells)，外包橡皮化合物薄膜，其密度可隨意變化，從3磅至7磅/立方呎，此種材料之密度不及軟木 (Cork) 之一半，因有真細胞結構，所以其吸水份性甚低，放在水中235小時僅吸其重量0.6%之水。在飛機構造上既有幾種用途，現正試驗將其用作三層水之隔離板。

丁、塑膠

塑膠為非晶體質物體之普通名稱，外觀甚似天然松香，化學性質似有機物，加熱變軟者，並不清楚之熔點，大概可分為兩類：—— (1) 熱塑膠 (Thermoplastic)，加熱後變軟，冷後變硬，(2) 熱硬膠 (Thermo-hardening)，受熱之影響，變為不溶化及不溶解之形式，化學上而種塑膠不同之地方為其分子之形式，第二種為通常所用，製造熱壓模型物，可使結構材料，第一種可以代替玻璃及其他。

飛機上既用及正在試用塑膠者，有下列四主要部份。

1. 結構部份，螺旋槳及其他

此用熱硬松香 (Phenolic thermo hardening resin)，此材料，在合成松香中加抗張布或線以加強其強度，結果其機械性質大為改良。

2. 窗，風擋，儀器蓋及其他

此用透明之熱塑膠，此膠可代替醋酸纖維素 (cellulose acetate) 及分片玻璃，此材料有不變之折射率1.50，厚度直至 $\frac{1}{4}$ "，其透光性質與最好之光鏡 (optical glass) 無異，較厚之截面，製造時較為複雜，稜鏡之製造尚未成功，其大小異常穩定，且不為水浸蝕，其硬度雖高於透明松香一倍，但不易損傷及有較低之軟化點，此材料之抗張強度7200—8700磅/方吋，比重1.19，熱脹係數 $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ ，可用作風屏，轉台窗，航行燈蓋及民航機之坐艙蓋，其他窗蓋可用合成材料，風屏及視屏在光學上需很正確，故用分片“安全”玻璃，中夾醋酸纖維素或其他透明

膠，透明膠之發展需注意下列各點：——便宜，優良抗碰強度，高軟化點，優良之抗扯性，表皮硬度及抗水份性。

3. 膠料

此含各種不同之松香：酚料為普通成分，最近採用尿素松香，非常成功，可用以製造改良木。

4. 塗層

有幾種合成松香用作各式各樣之塗層，無色松香，如稀基 (Vinyl)，烷基 (Alkyl) 及氯酸橡皮，既被利用，此種材料耐久而且不致變黃。

近代塑膠之歷史，從1864年柏克斯 (Parkes) 發現假象皮 (celluloid) 開始，1908年發現酚塑膠後，乃大量生產，其製造法如下，在酚松香內加夾布料，後置於模型內，加熱及壓力，得到不銷化不銷解之出品，其機械強度很高，密度亦高，易脆及低楊氏係數。

酚入易製造故用尿素甲醯塑膠代替之，尿素用易得之二氧化炭及氮，在高壓下組合，尿素或氮塑膠之性質，與酚料相似，但價錢便宜。

合成松香為真塑膠材料，在張力下甚脆，其抗壓強度視乎加壓之時間而定，其近似抗張強度為5000—6000磅/方吋，短時間壓力試驗，此材料差不多在21000—24000磅/方吋時，忽然碎裂，加粉粒充填劑 (Powdered filler) 於松香內，可改良抗張強度。

用連續加強劑 (Continuous reinforcement)，使抗張強度大量增加，此材料各方向之性質均有特色，幾種加強材料既被採用，主要者為布或繩索，不同方向之強度，可從很高之數目而至松香本身之強度，用麻繩加強之松香，其與繩同方向之各種最大強度如下：——抗張，抗壓及抗剪強度為69400—30200及2000磅/方吋，楊氏係數 7.4×10^6 磅/方吋，比重1.45，各種強度有彼此相帶之關係，可犧牲抗張強度以增加抗壓強度，或減少抗壓強度以增加抗張強度及楊氏係數，上列之抗剪強度太低，僅2000磅/方吋，抗張強度較低之材料，其抗剪強度為6000至10000磅/方吋，材料之機械性質也靠加強劑之整齊疊法，松香過多，抗張及抗剪強度較低，而且易脆，從上面之討論，可知塑膠之應用，需知其詳細數據後，方無危險發生，從各方面所得之結果，列表如下：

第 六 表

加強合成松香之機械性質

種 類	加 強 法	張 力			壓 力	剪 力	N
		密 度	極限應力	E	極限應力	極限應力	
		磅/立方	磅/方吋	磅/方吋 ×10 ⁻⁶	磅/方吋	磅/方吋	磅/方吋 ×10 ⁻⁶
A	布加強，方格 織法	84.4	10900	1.07	26600	6500	0.35
		83.9	10300	0.77	25030	8150	—
		85.5	12080	1.21	27570	10600	—
		84.0	16900	1.43	—	10500	0.36
		85.1	18000	1.53	23000	6500	—
		85.3	26350	1.80	—	—	0.39
		85.5	23600	1.81	—	10600	0.45
	繩 加 強	86.9	23000	5.90	15200	3680	—
		84.4	27500	1.81	27000	6500	0.30
		84.4	35000	6.90	25000	5000	—
	布及繩加強	85.6	28600	1.80	—	7960	—
	包夾紙(紙張 平面:縱方向) (紙張平面: 橫方向)	84.7	12150	1.25	—	—	—
84.7		23000	2.40	—	—	—	
B	繩 加 強	84.0	35000	3.50	25000	6000	—
		88.0	37000	5.20	18000	5000	—
		90.6	55000	5.80	23550	—	—
		87.3	69100	7.50	—	2000	—
C	加插纖維素絨 毛	86.9	24000	2.10	22500	1000	—

此片為一特殊之材料，即纖維素絨毛加插於鋼板內，所造之材料為板層片

，可在壓力2噸/方吋溫度15°C之下，壓成需要之形式，最近試驗之結果：——抗張強度20,000磅/方吋，抗壓強度22500磅/方吋，抗剪強度7000磅/方吋，E為 1.97×10^6 磅/方吋，0.1% proof stress 12500磅/方吋，比重1.39，在英國試驗將其製造型造之機翼，機身及尾翼。

另一型造材料，在酚松香內加棉花，紙漿布 (paper pulp fibre) 及布，用做無應力之飛機零件，此材料與分片材料之強度及抗擊性 (shock resisting property) 相差不多，平均試驗數據如下：——抗張強度15000—22500磅/方吋，抗壓強度25000—45000磅/方吋，楊氏係數 $1.0—1.5/10^6$ 磅/方吋，比重1.34—1.38，此種材料可做操縱索，支索之隔線核，操縱滑輪及其他，調齒螺旋槳之殼襯套，用此材料最為適宜，套得嚴緊，可阻止槳葉與殼之磨擦，此種材料之加強劑用埃及之細麻布。

各種塑膠之代表機械性質，既列於第六表中，A類為商業材料，普通用於電氣或其他工業，但亦用於飛機上之無應力零件B類之四種材料，用於試驗中之螺旋槳，不能在商業上得到，C類之材料，曾經討論，為試驗製造型造飛機之用，本為電器工業所用，現在商業上尚未用以製造飛機結構。

此處應提醒注意者，為塑膠之機械強度與吸水份最有密切之關係，減少松香成分，可以提高抗張強度及楊氏係數，但大大減少抗吸水性，結果材料變形，當加負荷時，甚至崩解。

塑膠材料，如金屬及木材，有疲乏性質，例如加布強化松香 fabric reinforced resin 密度82.5磅/立方呎，抗張強度(縱方向)14600磅/方吋，胡拉忍耐限度±5800磅/方吋，阻尼 damping 性質不佳，吸水量低，抗銹力強，而韌性亦強，但其抗來復碰撞力 (repeated impact) 及扭轉剛性 (Torsional rigidity) 較為遜色。

將來或可將塑膠製造飛機之承應力部份，現正在努力研究，最後或可製造型造之機身及機翼。

戊、表皮保護法 (Method of surface protection) :

發動機及結構機件皆應用表皮保護法，以防磨擦蝕及銹蝕，此處僅將近日採用之方法，分述如下：

——抗磨蝕，最好採用氯化鋼，處理方法如下：置鋼於氯中，加熱至500°C，氯即分解，氯乃與鋼之表皮化合，成氯化物，並產生極高之硬度，曲軸及汽瓣，需要高硬度及高抗磨力，故用此鋼，鋼經氯化後，其彎曲及扭轉之抗疲性，大見增加，實驗之結果：普通曲軸之彎曲疲乏範圍，為±32噸/方吋，氯化曲軸可

增加士47噸/方吋，即增加45%，當鑽油孔 (radial oil hole) 後，普通曲軸之疲乏範圍跌至士14 $\frac{3}{4}$ ，即原數之45%，同樣有油孔之曲軸，如加氮化表面，疲乏範圍為士26 $\frac{1}{2}$ ，氮化之結果，增加78%，此結果可解釋如下：無孔及氮化曲軸之疲乏損壞 (fatigue failure) 及在軸心 (Core) 與氮化層之中間開始，普通，普通曲軸鑽油孔後，受應力集中之影響，其抗疲力減少 2.2 倍，氮化曲軸鑽油孔後，應力集中於硬皮上者，一定大於 2.2 倍，但氮化鋼之內抗疲力仍甚高，而曲軸之疲乏損壞仍在中間層開始，故鑽孔曲軸之抗疲力仍甚高，增加抗疲力，即即長曲軸之壽命，故在航空發動機上氮化表皮之用途甚廣，氮化曲軸與鉛銅軸承合作，結果非常完滿。

老式表皮硬化法 (case-hardening) 仍有廣大之用途，此法既大改良，鍍鉻法 Chromium plating 亦被採用，可用以減少磨蝕及銹蝕，如銹蝕及磨蝕之情形非常嚴重時可用 80—20 鎳—鉻表皮及 Stelliteing。

飛機零件抗蝕之保護法，範圍甚廣，現仍進行研究，近數年來研究之結果，趨向採用氧化及氫氧化薄層，不可見之氧化膜，可做某種非鐵金屬之保護層，使其在污濁空氣中不致生銹，同時也是不銹鋼之保護層，研究保護之方法，重要者為重量分析法 (gravimetric)，其他方法如偏極化光法 (Polarised light)，光電法 (Photo-electrical)，電法 (electrical)，化學法 (Chemical)，及電子繞射法 (electron diffraction)，研究結果對於銹蝕現象之主要部份，了解不少，金屬之保護層，平常使化合物之薄膜，迅速產生，如用以鋁合金之正極氧化法。

除銹蝕外另有別種損壞，如內結晶貫穿 (inter crystallin penetration) 及碎裂，有兩種常用之材料，即硬鋁及固溶不銹鋼 (austenitic stainless steel)，在某種情形下，致受此種損壞，例如用不適宜之沾火法後，使硬鋁有此趨向，同時將固溶不銹鋼曝露於某溫度範圍內，亦有同樣之結果。

電鍍鎳使下列各部份有滿意之抗蝕性：——鋼汽缸筒，輕合金汽缸頭，流線形鋼絲及其他，鋅塗層，用電鍍法或熱擴散法 (hot diffusion) 為保護鋼管及接頭之普通方法，鍍鎳法，噴鋁法 (aluminum spraying) 及浸鋁法 (aluminum dipping)，可保護鋼在高溫度時不致氧化，結構上所用之鋁合金，採用包鋁層片，此法，仍在合金上加一純鋁塗層，鎳合金之保護層，常用鉻處理法，如情形較為嚴重，可加油及纖維素磁漆，鎂合金採用正極氧化法，現正在發展中，尙未有廣闊之用途，輕合金打磨之完美，大半靠金屬之預一處理 (pre-treatment)，表面現準備施用正極法或鉻處理法後，先加油或合成底漆，再用適宜之氮纖維素磁漆。

全國唯一航空書店

鐵風出版社

發行航空新書

發行八大航空雜誌

歡迎定閱

中國的空軍

航空雜誌

大眾航空

青年空軍

航空機械

空訊

鐵風畫刊

機聲

歡迎推銷

本社特聘請名

畫家梁又銘氏

設計雕塑各種

空軍石膏模型

及皮質保險傘

陸軍勇士抗戰

壁報等價廉美

觀為送禮無上

珍品各大書局

均有代售

備有書目

函索即寄

地址：成都東勝街十二號

歡迎直接向本社訂閱

以一角以下之郵票代洋十足通用
零售每册二角

訂戶如有更改地址等情，請寫明訂單號碼，原址及新址，通知本社。

關於投稿事宜，請寄本刊編輯部；訂閱，廣告及一般詢問事宜，請函本社發行部。

航空機械月刊

編輯者 航空機械月刊社

總發行及總訂售處：

航空機械月刊社成都外南上桑里一號

印刷者：成都協美印刷局

代售處：成都鐵風出版社

訂閱辦法：

全年定費：二元

空軍同志直接訂閱：一元

郵費國內免收國外照加

修正航空機械月刊徵稿簡章

- 一、本刊宗旨在介紹航空機械之知識及鼓勵前後方之機務同志。(一)航空時事短評。(二)中國空軍及一般航空問題。(三)一切與航空有關之學術論文及報告。(四)現役機械人員之工作經驗，研究心得，生活記實及作戰報告。(五)一、致編者信，二、問答欄(本項文責自負，無酬金)。(六)國內外航空界通訊。(七)世界航空論文摘要及書報介紹。(八)雜錦(包括人物介紹，文藝小品，插畫等等)。
上列八項均歡迎投稿，最好請投稿人書明簡單履歷，以便登稿時酌予介紹。
- 二、來稿請用格紙橫行繕寫清楚，付郵之前，猶請細心讀校一次，並加標點。紙只可寫一面，若有附圖，請另用連史紙黑墨水繪製清楚。
- 三、來稿文字務求清順，凡有引用定理公式，因篇幅關係不能詳為說明者，務請註明適當參考書誌之名稱及頁數，以便編者及讀者之查閱。四千字以上之文，并請自寫二百字以下之提要一段，附於篇首。
- 四、翻譯、摘譯、編譯、介紹等類文字，請附寄原書，或詳示原書書名，著者，出版年月，出版書局之名稱及地址。如係雜誌，并請詳示其卷期數。
- 五、對於投寄之稿，本刊有刪改之權。
- 六、來稿一經登載，即不退還。未登之稿欲退還者，請先聲明并附還稿郵票。
- 七、投稿經登載後，一律以現金致酬，酬例為本刊每面(約一千三百字)六元至十元，圖表在內，有特殊價值者例外。却酬者請先聲明。除稿費外，並贈該期本刊一册稿費按期結清毫無積壓，投稿人將本社寄上之稿費單填蓋後，寄還本社，本社當即按開來地址，奉寄稿費。
- 八、已載之稿，其著作權即歸本刊所有，非經允許，不得在他處發表。
- 九、本刊非但歡迎投稿，凡對本刊之一切關心詢問及建議函件，均所歡迎。本刊當分別專函奉復，或在本刊上公開發表。
- 十、投稿請寄成都外南上桑里一號航空機械月刊社收。值茲戰時，來稿最好以航空或掛號寄下。本社對此等投稿人之稿費，亦用航空奉寄，以示優待。