

航空機用蒸氣タービン

(“Die Dampfturbine im Luftfahrzeug”——Rudoef Wagner,
Berichte v. Abh, der W G L, 10. Heft)

海軍技師 實吉金郎 紹介

第一部 蒸氣タービンを航空機用原動機として用ふる場合現用内燃機に對する優劣を比較して見る、
主なる利益：—

1. 運轉の確實性及耐久性を高め得ること
2. 廉價で不時引火の危険の少い燃料を使用し得ること、例へば重油の如きで其等の價格は今日の揮發油の $\frac{1}{5}$ 乃至 $\frac{1}{6}$ に過ぎない
3. 原動機一單位の馬力を約 100 より 2000 迄の間に任意にとり得ること、タービン自身としては猶馬力を増すことは容易であるが汽罐の重さに依つ制限される

主なる不利益：—

1. 原動機全體としての重さの増加
2. 燃料消費率の増加
3. コンデンサー（空氣冷し）の空氣抵抗が内燃機用放熱器に比べて大なること

以下此等の不利の點に就て少し詳しく述べる

I) 原動機の重さ

1000 H. P. を標準とし、汽壓、蒸氣過熱度及「コンデンサー」内真空を現今行て得る程度の値にとつて設計した圖面より推定すると必要な水及滑油を含む原動機の重さは約馬力當り 3kg となる、但將來原動機の色々な部分に輕金屬を用ふる事となれば單位重を 2kg 迄低めることが出来る（即ち現用發動機の約 1.5 倍に當る）然し或高空に於ける運轉状態で比較するならば「タービン」の馬力は内燃機の様空氣密度に關係しないから極めて有利となることを忘れてはならない、

此 1000 H. P. 「タービン」の重さを細別すれば次の様になる、

汽罐、(水を含む)	45 %
タービン及減速装置	16 %
コンデンサー	23 %
補助機、管、滑油其他	16 %

又同様な推定に依て

{	500 H.P. タービンの単位重は	3.6	kg/H.P.
	1500	"	2.5-2.6 kg/H.P.

となる

II) 燃料消費率

上述の 1000 H.P. 「タービン」に於て豫定した値は夫々

{	汽罐内圧力	35	kg/cm ²
	蒸気過熱度	340°	C
	コンデンサー内低圧	55	%

であり、此場合に

{	主タービンの蒸気消費率	5.3	kg/HP-hour
	燃料消費率 (補助機を含む)	0.41	kg/HP-hour

となる、上の豫定は現今容易に實現し得る程度のものであるが猶將來に期待し得る値として

{	汽罐内圧力	60	kg/cm ²
	蒸気過熱度	500°	C
	コンデンサー内低圧	90	%

とすれば

主タービン蒸気消費率 3.3 kg/HP-hour

同上 (中間過熱を加へるとき) 2.8-2.9 "

迄低下させることが出来る、又 500 H.P 「タービン」に對しては上の數字は 3.6 及 3.1 kg/HP-hour となる、従て最も良い條件の下に (中間過熱を加へて) 燃料消費率は

500 H.P. に對して 約 0.29-0.30 kg/HP-h

1000 H.P. 約 0.27-0.28 "

である、(此場合燃油の熱量價 10,000 k.cal/kg とする)

即ち 現用發動機に對しては約 30-40% の増加であるが、「タービン」機の燃料消費は空氣密度に關係しないけれども内燃機に於ては其が略ぼ空氣密度の平方根に逆比例して増加する故に高空に於ける運轉状態では將來兩者は匹敵するものと見る事が出来る。

III) 「コンデンサー」の空氣抵抗

水冷式航空發動機に於て氣箆冷却水の爲に失はれる熱量は約 400-450 k.cal/HP-h であり蒸気タービンの場合には其の約 4 倍が「コンデンサー」内に費される、「コンデンサー」内真空 90% (即ち壓力 = 0.1 kg/cm² abs.) とすれば溫度 46°C となり、放熱器内の水溫約 70°C に比べて空氣溫度との差が少いから結極放熱面積は約 5 乃至 6 倍を要することとなる、現用放熱器と同様な構造を應用するものとして空氣抵抗を約 5 倍と見る今速度を 150 km/hour, 「プロペラー」の効率を 70% とするとき、

普通の場合に推進力の約 5% が放熱器抵抗に費される故コンデンサーの抵抗には 25% を見込む可きであるが、放熱管の配列や全體としての構造其他を改良して猶相當に空氣抵抗を少くし得る餘地があるから今其抵抗を推進力の 15-20% とすることは不當でないと思はれる。

上に述べた様な缺點の爲に有效積載量及速度の減少する事が航空機用「タービン」の實現し得ない主要原因である、然し「タービン」は内燃機の有て居ない次の様な特性を有て居り、其に依て上述の缺點を何の程度迄補償し得るやを考へて見る。

即ち 1, 内燃機の様には他の特別な装置に依ることなく其馬力を如何な空氣密度に對しても一定に保ち得る事

2, 相當な時間 (1 時間程度) は 1.3 倍位の過負荷に耐える事

今 Kann の式 (Technische Berichte 6, Bd. II) に依り算出した兩者の比較を掲げる

		飛行機							
		發動機裝備のもの	タービン裝備のもの					タービン過負荷の有無	
			I	II	III	IV	V		
翼面荷重	kg/m ²	46.0	46.0	46.0	46.0	59.0	52.0	—	
馬力	kg/HP	10.6	10.6	10.6	10.6	13.4	12.0	—	
放熱器又は「コンデンサー」抵抗	%	5.0	5.0	15.0	30.0	5.0	15.0	—	
上昇限	m	3640	0920	8780	5110	4100	5260	—	
上昇時	2000 m 迄	min	23.1	8.4	9.5	12.8	17.7	14.5	30%
"	"	min	23.1	15.4	20.4	34.6	57.1	37.6	—
速度	1500 m に於て	m/sec	42.5	46.0	43.2	39.6	43.5	42.5	—

上の表で「タービン」を裝備した飛行機は I より V 迄種々特性の異たものが擧げられて居り、其等の中で特に翼面荷重の大きいもの又は「コンデンサー」抵抗が 30% といふ様な著しいものをとつて見ても上昇限又は上昇時間の點で發動機を備へたものより有利であることが解る。

今 V の飛行機を例にとつて兩者の重さを比較すれば次頁の表に示す如くなる。

「コンデンサー」の抵抗の大きい事は「タービン」機の最も苦痛とする所であつて、抵抗が少く放熱率の良いものを得る爲に模型に依る色々な實驗が行はれた。

1) 今 α = 放熱率 v = 風速

とすれば 大體 $\alpha = c v^{0.65}$ を得る。

こゝに c は或係數を表し、放熱面の性質、形及進行方向への深さ等に關係する。

		發動機を備へたもの	タービンを備へたもの
馬力		1000	1000
航続時間		6	6
單位重量	kg/HP	2 (放熱器冷却水 其他を含む)	3
燃料消費率	kg	0.24 (滑油を含む)	0.3
原動機全重量	kg	2000 1440 7160	3000 1800 7200
燃料全重量	kg		
機體重量及有效積載量	kg		
全重量	kg	10600	12000

2) 空氣抵抗は風速の二乗に比例する

3) 放熱面 1 m^2 に對する空氣抵抗は「コンデンサー」を構成する「エレメント」の形及配置に依り著しく變化する 即ち

$\frac{\text{エレメントの相互間隔}}{\text{進行方向の深さ}}$ 及 $\frac{\text{エレメントの厚さ}}{\text{の間の}}$ 等の比に比例する

實驗の一例を挙げれば、薄い波形鉄の組合せから成る「コンデンサー」が 1000 H.P. 「タービン」に要する放熱面積 270 m^2 を有し、各「エレメント」の間隔が 100 mm であつた時に 150 km/h の風速に對して 175 kg の抵抗を示した、即ち「プロペラー」の効率 70% とすれば推進力の 14% を消費することとなる。

「コンデンサー」の重さに就ては放熱面に對して $2-2.5\text{ kg/m}^2$ を標準にとることが出来る。

猶ほ翼表面を直接放熱面に應用する事は現に競争用飛行機に用ひられて居る様に極めて有效な方法で大いに研究す可きものと考へられる、此場合に起る空氣抵抗は殆ど單に摩擦に基くもののみとなる

又「コンデンサー」内真空に關しては全體としての重量、空氣抵抗及燃料消費等の點より考へて或 Optimism の値を求む可きである。

第二部 構造

I. 汽罐

重量を軽くし蒸汽發生量を最大ならしめる目的には、水管式にして水量を少くし而も循環速度を極めて高くする事が必要となる、重油を燃料とした高速度水雷艇の汽罐を造た經驗から、水管の大きさ配置、燃燒室の構造、蒸汽過熱器、空氣、煖熱裝置、等を適當に設計すれば、汽罐効率 $90-92\%$ を得ることは難くない、そして 1000 H.P. 「タービン」に應ずる様な此種の汽罐の水を含んだ重さは 1200 kg を超えることはない、之に比べて普通用ひられて居る陸用圓罐で同じ能力のものは約 40 ton の重さを有て居る。

送風器、送油ポンプ等は汽罐に合體して其一部を成して居り、空氣の通路を外界から遮斷して航空船に對しても引火の危険がない様にする事が出来る。

上に述べたものは現在應用し得る工作法に依て實現される程度のものであるけれども前掲の重さの表に示された通り汽罐の重さは機體全重量の 45% を占めて居るので、此部分の研究には最も力を注がなければならない、試みに水管の熱傳導率を内燃機のシリンダーの其と比較するならば、水管全部の平均に於て其の $\frac{1}{10}$ 最前列のものですら其の $\frac{1}{3}$ の値しか設計上要求することが出来ない有様である、それで水管の熱傳導率を増す爲には水の循環に對して改良を施すより方法がない、此様な考へから色々實驗を行つた結果水管の配置、大きさを適當にして水流の抵抗を出来るだけ少くした上に、循環系の適宜の位置に於て Injector として作用する様な部分的構造を與へ發生した水蒸氣が其部分を通る際に起る高速を利用して一般循環速度を高めるといふ方法が極めて有效である事が知られた、此方法に従へば蒸氣發生量と循環速度とを相互の作用に依り加及的に高めることが出来る。

此様にして將來汽罐、効率を高めつゝ更に其重さを減らすと云ふ事は可能である。猶然燒装置を適當にすれば粉炭をも燃料として用ひ得る望みが有る。

II. タービン

型式としては構造を簡單にし高い回轉に依て重さを減ずる目的から純「イムパルスタービン」のみが問題となり得る。

1000 H.P. 12500 rpm, 汽壓 35 kg/cm², 眞空 55% 等の條件で設計した結果に依ると蒸氣消費率 5.3 kg/HP-h, 全重量 235 kg となる、又此の Rotor の Critical Speed は約 25,400 rpm であり、又機體の運動に際し、Gyroscopic action に依て起る軸承への壓力もあまり大きくない事が計算上確められた、猶上の條件を多少變へた場合に就て計畫した結果を示せば

	馬力	毎分回轉數	汽壓	コンデンサー		蒸氣消費量	重量
				眞空	溫度		
a	1000	12500	kg/cm ² 35	55%	78°C	kg/HP-h 5.3	235 kg
b	"	18000	"	30	89°5	5.6	120
c	500	{ 18000 30000	60	90	—	3.6	—
d	"	{ 18000 30000	"	"	—	3.1	—

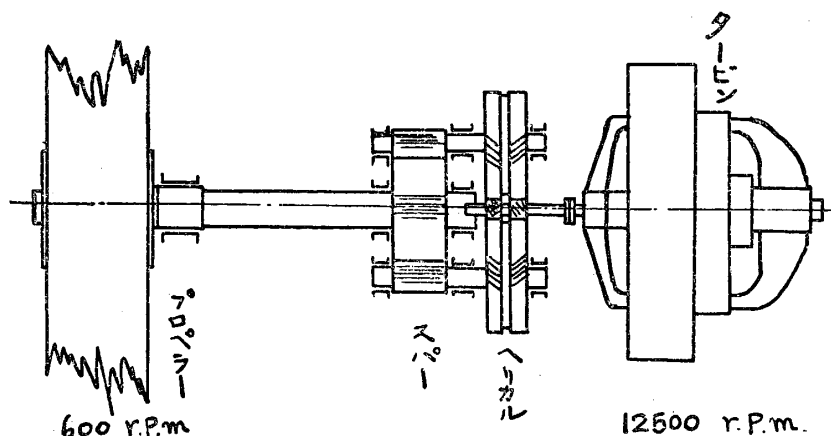
上の中 C に於ては「タービン」を高壓低壓の二機に分けたもので、d は更に高壓低壓の中間に於て再度蒸氣を過熱し、蒸氣消費率を極度に少くしたものである、高壓及低壓「タービン」は減速齒輪を通して共通の「プロペラー」を動かすか又は單獨に働くかは場合に依て任意に定めることが出来る、上の何の場合に於ても「タービンプレード」の周速度は 300 m/sec であるが de Laval「タービン」では既に

400 m/sec に達して居るものが有り之に比べて充分安全を期したものと云ふ事が出来る。

又航空船及大型飛行機の着陸に際して「プロペラー」を逆轉する必要あれば「アスターン」(astern)タービン」を備へることも出来る。

III. 減速装置

一般に行はれて居る通り齒輪を用ひ例として 1000 HP タービンをとり 12500 rpm を二段減速に依て 600 rpm に落とすとすれば、圖の様な配置に依て其重さ約 240 kg で收まる。此場合 casing は青



銅であるが、適當な輕金屬を用ふれば猶重さを減ずる事が出来る。

IV. 補助機關

補助機としては送水ポンプ、「コンデンセイト」及空氣ポンプ、汽罐用送風機、燃油及滑油ポンプ等があり、其等の構造配置は主機關に劣らない程重要な關係を有て居る、例へばポンプは凡て高速度回轉式とし適當に組合せ其回轉を 25000 rpm とすれば、所要量の二倍の能力有るポンプ全部の重さは約40 kg で足る。斯く適當に配置された補助機全部の蒸汽消費量は主タービンの 12% 見當である。

附記 將來の應用

高速度輕重量の蒸汽「タービン」に對して將來起り得可き應用方面に就き簡単に述べる。

1) 交通用大型飛行機 現在の發動機を用ひては實現困難と思はれる約 10,000 H.P. と云ふ様なものも「タービン」に依れば可能であろう、單葉とすれば翼長約 140 m で大西洋の交通に旅客 140 人を荷物共に運び得る此飛行機に於ては 5000 HP の主タービン二基を据え各二臺宛の汽罐を配する事が出来る。

2) 高速度鐵道 鐵道方面には更に應用が廣いと思はれる、即ちタービンに依る空氣推進を吊下げ式軌道 (Schwebbahn system) に應用すれば速度 300 km/h 位の高速度を實現し得る。

從來の經驗に依ると普通機關車の速度が 150 km/h を超へれば非常な困難が起て來るが、此以上の速度に對しては輕重量「タービン」を用ひて比較的容易に解決することが出来る。

例へば 通普の急行列車で速度 80 km/h のものは乗客一人當り約 1000 kg の重量を有て居るが速度 200 km/h のもの (Schnellbahn Berlin-Zossen) では同じ其重量が約 2000 kg となつて居る、既に行はれた色々の模型實驗の結果から云て 300 km/h の速度を得る爲に風の抵抗の少い適當の形を與へれば其に要する力は 1500 HP を超えず、吊下げ軌道とし車體に輕金屬を用ひて適當の構造をとる事に依て乗客一人當の重量約 200-250 kg とする事が出来る。 (終)