

# 渦輪熱氣動力初步設計 ( IV )

張瑞釗 / 引擎合作發展國外小組

72.5.12

## 目 錄

一、摘要

二、前言

三、流路設計

四、流路分析

五、結論

六、參考資料

七、附錄

附錄一、TFE 1042-8C 低壓渦輪流路

附錄二、低壓渦輪 Exit Swirl Angle 對  
Overall Eff 之關係圖

附錄三、低壓渦輪 Rotor Hub Reaction 對  
Overall Eff 之關係圖

附錄四、低壓渦輪 Rotor Hub Slope 對

## Rotor Hub Reaction, Rotor Turning 及 Overall Eff 之關係圖

### 一、摘要

本報告為針對對 TFE 1042-8C 的循環分析結果，做渦輪流路設計，並且分析其流路最後選定之。

首先由 MCD 組給予之需求，及循環分析決定高壓渦輪流路，其後則進行低壓渦輪流路設計。

流路初步決定後，以參數分析法，選定每個參數分析其流路，而後確定之。

### 二、前言

引擎之設計，不論那一小組，其步驟都是循序漸進的，待一步驟完全確定後，再進行下一個步驟。因為至此參與之設計工作為一實際設計與製造。渦輪組當然不例外。

參與渦輪組工作後先由初步設計開始，初步設計則以流路之決定為開端。因此剛開始一直在選定一種較佳的流路而反覆修正。

於此所誤的是 TFE 1042-8C 渦輪之流路設計。在-8C 中，依 HPT 之 TIP Speed 分為 High TIP Speed 及 Low TIP Speed 兩種情況同時進行設計與分析。

在初步設計中所需之計算工作及詳細之程序已見於參考資料（一）、（二）。唯利於分析起見，則先建立好類似之 PD Program，是為前題。而後仿參考資料（一）、（二）及本報告做實際設計上之 PD 及分析，如此循序可



進。

### 三、流路設計

#### 1. MCD 組之需求 ( 高壓渦輪 )

在渦輪流路設計之初，由 MCD 組提供最大轉速 (MAX, Physical N) 及 TIP Speed，由這兩個參數，可先算出 TIP Radius ( $R_{TIP}$ )。其次，MCD 組亦給了另一參數  $AN^2$ ，由此即可計算出口面積 A。

以上是 MCD 組所給之限制，至於渦輪流路之設計點 (Design Point)，則是依據以上所求得之面積 (A) 及循環分析所給之轉速 (N)，而得設計點之  $AN^2$  值。

以下是依據 TFE 1042-8 及-8C，高壓渦輪，Low TIP Speed 之計算實例。

CYCLE		A	N	$AN^2 \times 10^{10}$
-8	MCD	95.238*	23418	5.1
	Design Point	92.238	20751	4.0*
-8C	MCD	94.120*	23271	5.1
	Design Point	94.120	21614	4.4*

表中“\*”處之值，即依據以上所提法計算而得的。

由 MCD 組提供之 MAX. TIP Speed 及轉速 (N)，可求得 TIP Radius ( $R_{TIP}$ )，再由循環分析之轉速 N 即可求得設計點之 TIP Speed ( $U_T$ )，計算之實例列表如下：

CYCLE		N	$U_T$	$R_{TIP}$
-8	MCD	23418	1775	8.686*
	Design Point	20751	1575*	8.686

於此，還要說明在不同之 CYCLE 下，MMCD 組如何修正其轉速 (N)。

$$\text{因 } W = eVA = eV \pi r^2$$

$$\text{故 } \sqrt{W} = f(r), \text{ 即 } r \sim \sqrt{w}$$

因此，在不同之 CYCLE 下，而保持一定 TIP Speed ( $U_T$ ) 時，

$$U_T = N \times \frac{2\pi}{60} \times \frac{r}{12} \sim N \times r \sim N \times \sqrt{W}$$

$$\text{故 } U_T = \text{Const} = N \times \sqrt{W},$$

其中  $W$  為 Low Pressure Compressor 之 Corrected Flow 實際之例子，可由 -8，-8C 循環分析表中之 Corrected Flow 及前頁表中之轉速（-8 為 23418，-8C 為 23271），當可得證。

$$N_{-8} W_{-8}^{1/2} = N_{-8C} W_{-8C}^{1/2}$$

## 2. 高壓渦輪流路 ( HPT Flow Path )

由 MCD 組所提供之  $AN^2$  及  $N$ ，可求出出口面積  $A$ 。由  $N$  及  $U_T$  求出  $R_{TIP}$ ，最後由  $A$  及  $R_{TIP}$ ，即可算出  $R_{HUB}$ 。

由以上方法即決定了 HPT 出口半徑，依據參考資料（一），利用初步設計程式 (PD Program)，修正於設計點之  $AN^2$  值，一直至 Output 達列要求為止。

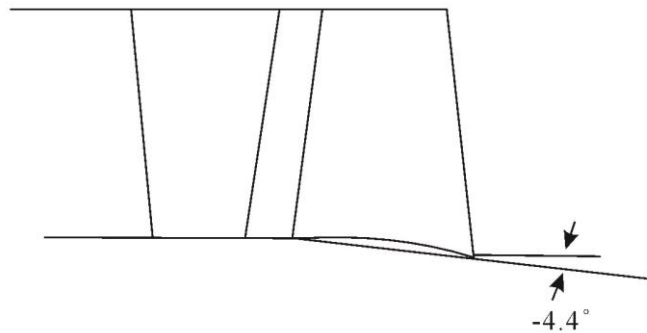
重要之 Output 為

(1) Exit Critical Mach No = .50

(2) Rotor HUB Reaction  $\approx .3 \sim .5$

### (3)Turning Angle <math>< 120^\circ</math> ( At Mean Radius )

依據這些需求選出一適當之 Swirl Angle。此外，高壓渦輪流路，轉子之 HUB 為  $-4.4^\circ$  之曲線，如下圖



### 3. GAP

在高壓渦輪與低壓渦輪間之 GAP，為避免其速度減速不均勻造成 Separation, HUB 及 Shroud 之斜率太大；亦即 GAP 不得擴散太快，以減少損失。損失之計算，詳閱參考資料（一）。

在初步設計中，是在高壓渦輪流路及低壓渦輪流路確定之後，給予 GAP 之長度，而連接之。

GAP 設計之分析，則留待以後討論。

### 4. 低壓渦輪流路 ( LPT Flow Path )

由參考資料（一），再由循環分析表，則可計算出口半徑。

由循環分析表，所需之數據為：

（以 TFE 1042-8C, High TIP Speed 為例）

Wheel Speed=15625 ( From Cylle Sheet )

Work Coeff.=1.80 (SET, 1.6~1.8)

Inlet Enthalpy=518.677

Exit Enthalpy=440.879

Exit Cri. Mach No.=.380 (Requirement)

Mass Flow Rate=61.387

Exit Temp.=1733.500

Exit Pressure=42.138

由以上可求出山口半徑

$R_{HUB}$

$R_{TIP}$

由此，則可先決定出口之徑向寬度為 ( $R_{TIP} - R_{HUB}$ )

實際之  $R_{HUB}$ ， $R_{TIP}$  值，則必須滿足在設計點之要求，見以下之說明。

決定低壓渦輪流路，必須滿足以下之需求，這些需求同時為初步設計程式 (PD Program) 之 Input. (以 High TIP Speed 為例)

(1) Rotor TIP Radius,  $R_{TIP} = 10.53$

Rotor HUB Radius,  $R_{HUB} = 6.7$

(2) Rotor TIP Axial Chord=0.65

Rotor HUB Axial Chord=1.00

(3) Rotor TIP Slope=19° (必須小於 20°)

Rotor HUB Slope=8° (必須小於8°)

(4)Duct Axial Length=0.50

(5)Stator TIP Axial Chord=2.10

Stator HUB Axial Chord=1.75

(6)Stator TIP Slope=19° (小於20°)

Stator HUB Slope=9° (小於10°)

以上之數據為本報告所提之 TFE 1042-8C 低壓渦輪 (High TIP Speed)，至目前為止所決定之流路，參考附錄 (一)。

在初步設計中，利用 PD Program，調整 Input Parameter (亦即修正 Flow Path)，直至 Output 達到需求為正。

低壓渦輪 Output 之基本需求如下：

(1)Exit Crit Mach Nu.=0.38

(2)Rotor HUB Reaction  $\approx$  0.38

(3)Rotor Turning  $<$  120° (At Mean Radius)

(4)Zweifel Coeff. (Rotor)  $\approx$  0.80~0.85

#### 四、流路分析

在初步決定了流路之後，利用 PD Program，視 Output 之情況，做流路之分析，以選定一種最佳之 Exit Swirl Angle。因為除了以上所提之 Input 外，在 HPT 及 LPT 之 PD Program 中，Input 是以多種 Swirl Angles 輸入，而後再由 Output 做分析，以下將述及在選擇 HPT 及 LPT 之 Swirl Angle 所做之分析。

在選定一種 Swirl Angle 後，對低壓渦輪而言，由於其流路之 HUB 及 Shroud 斜率較大，因此，可變化斜率來檢視其對效率之影響。

流路之分析，因 Output 情況之不同，而對其做必要之分析，且分析之方法亦因人而異，然最終目的皆為尋求一最佳之流路。以下是對 TFE 1042-8C LPT (High TIP Speed) 流路在初步設計中之幾個分析實例。

### 1. 低壓渦輪之 Swirl Angle

首先，可由 PD Program，得在各 Swirl Angle 下之渦輪效率，對其作圖，可得附錄 (二)。

在-8C 分析過程中為了需要，又做了以下分析：

在不同之 Rotor HUB Reaction 下，分別計算 Rotor HUB 及 Stator TIP 氣流之加速百分比 (% ACC)，其中 % ACC 為

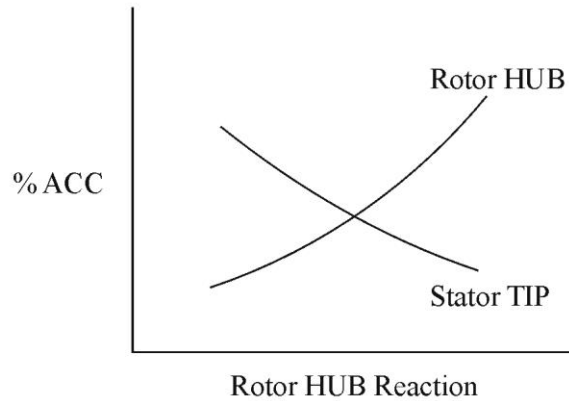
$$\%ACC = \frac{\left(\frac{V}{acr}\right)_{out} - \left(\frac{V}{acr}\right)_{in}}{\left(\frac{V}{acr}\right)_{in}}$$

$\frac{V}{acr}$  : Critical Mach. No

OUT : Rotor (Stator) Exit

IN : Rotor (Stator) Inlet

並作圖如下：(見附錄三)



由以上之分析有助於選擇一較佳之 Swirl Angle。

至目前為止 TFE 1042-8C LPT 所選定之 Swirl Angle 為  $-24^{\circ}$ 。

## 2. 流路斜率之分析

為了觀察 LPT 流路斜率對渦輪之影響，於此舉一例子，變化 Rotor HUB Slope，由 Output 中選擇 Rotor Turning, Rotor HUB Reaction 及 Overall Eff 三項分別作圖，如附錄（四）。

## 五、結論

本報告之目的，主要在說明，於初步設計中，流路之決定是反覆修正的，其工具則為初步設計程式（PD Program），且流路初步選定後，還要轉達至 MCD 組，若有問題，則視情況及需求，做必要之分析。

本報告之重點，在參考資料（一）中都有詳細說明，只要有了 PD Program 即可做同樣之分析。至於 PD Program 可依據參考資料（一）之說明自行建立。

文中之分析，只是 TFE 1042-8C LPT（High TIP Speed）流路設計過程的幾個實例，視情況之需要也許還要做各種不同之分析，以達要求。

分析選定後之 LPT 流路，即如附錄（一）所示，目前已送交 MCD 組。

## 六、參考資料

（一）管志宏，“渦輪熱氣動力初步設計”心得報告 72 年 2 月 17 日，VOL (I)。

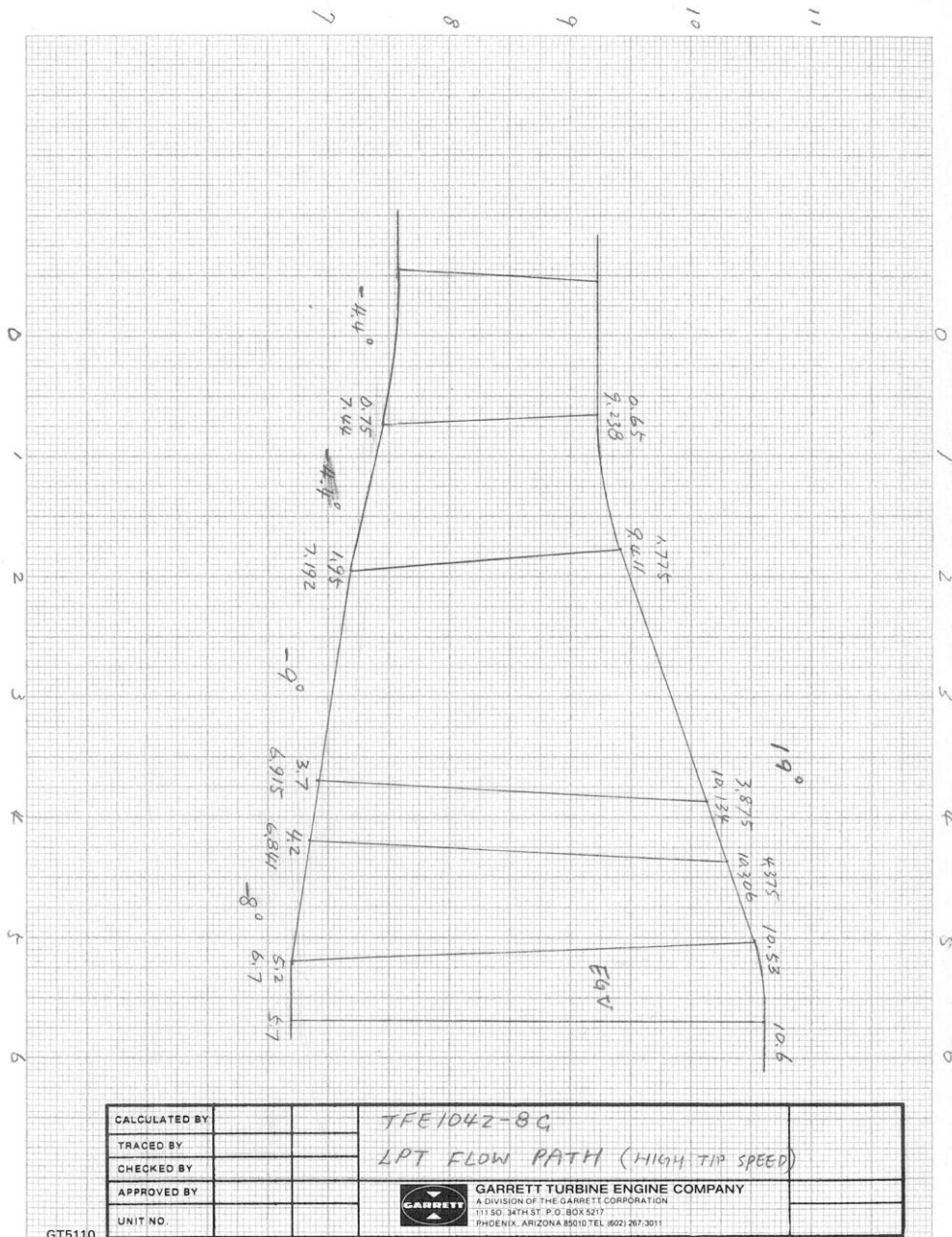
（二）管志宏，“渦輪熱氣動力初步設計”心得報告 72 年 3 月 23 日，VOL (II)。

（三）Arthur J. Glassman. “Turbine Design and Application”, NASA SP-290, vol (I), vol (II), 1972.

## 七、附錄

附錄一、TFE 1042-8C 低壓渦輪流路 ( High TIP Speed )

渦輪熱氣動力初步設計 (IV)

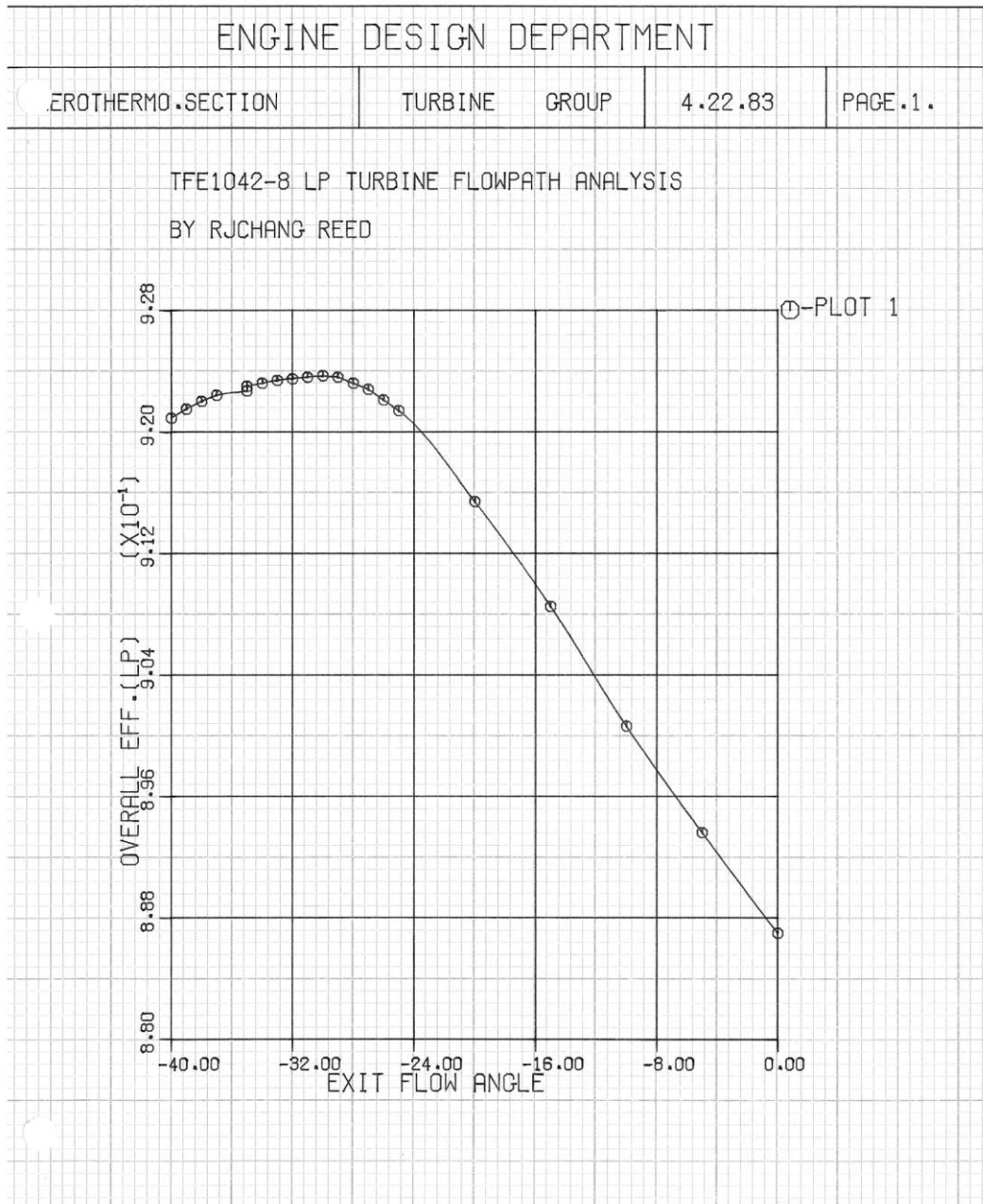


CALCULATED BY		TFE1042-8C
TRACED BY		LPT FLOW PATH (HIGH TIP SPEED)
CHECKED BY		
APPROVED BY		
UNIT NO.		

**GARRETT** GARRETT TURBINE ENGINE COMPANY  
 A DIVISION OF THE GARRETT CORPORATION  
 111 80, 34TH ST, P.O. BOX 5217  
 PHOENIX, ARIZONA 85010 TEL (602) 267-3011

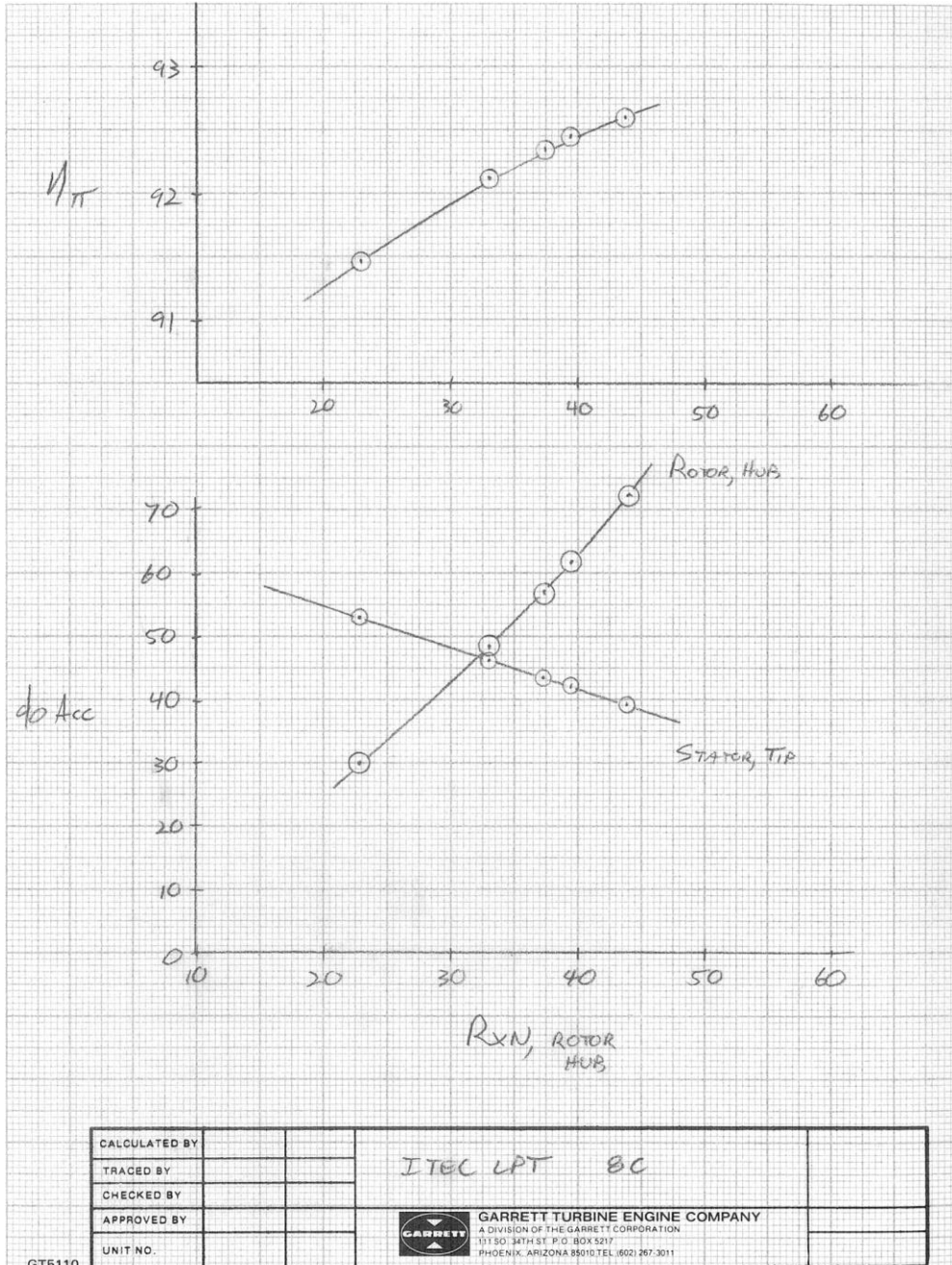
GT5110


附錄二、低壓渦輪 Exit Swirl Angle 對 Overall Eff 之關係圖



附錄三、低壓渦輪 Rotor HUB Reaction 對 Overall Eff 之關係圖

Rotor HUB Reaction 對% Acc 在  $\left\{ \begin{matrix} \text{ROTOR HUB} \\ \text{STATOR TIP} \end{matrix} \right.$  之關係圖



CALCULATED BY		ITEC LPT BC   GARRETT TURBINE ENGINE COMPANY A DIVISION OF THE GARRETT CORPORATION 11130 34TH ST. P.O. BOX 5217 PHOENIX, ARIZONA 85010 TEL. 602/267-3011
TRACED BY		
CHECKED BY		
APPROVED BY		
UNIT NO.		

GT5110

附錄四、低壓渦輪 Rotor HUB Slope 對 Rotor HUB Reaction  
Rotor Turning、Overall Eff 之關係圖

