

汽輪機的葉片 製造裝置及動平衡

楊 定 安 著

科學技術出版社

工業技術通訊叢刊

汽輪機的葉片製造裝置及動平衡

楊定安 著



科學技術出版社

1951

54 Kc 03 · 32 K

版權所有 不准翻印

工業技術通訊編委會編輯 校對：唐佩卿

1951 年 7 月發排(思明) 1951 年 11 月付印(星光)

一九五一年十一月初版

北京造 0001——5000 冊

科學技術出版社 北京燈市口甲 45 號

中國圖書發行公司總經售

編者的話

本書是作者自己的經驗介紹。作者修復了兩座一萬瓩的汽輪機，他所用的材料和方法，都是別的廠也能使用的。因此，我們把他的經驗介紹給讀者。我們知道國內有許多汽輪機已經需要大修，但許多技術人員缺乏信心，不敢動手修理。我們希望本書能幫助讀者加強信心，把待修的機器修好。如果讀者還有疑問，可以提給我們，我們可以轉給作者研究答覆。

工業技術通訊編委會 1951年6月1日

目 次

前言	1
1 第一部10,000瓩汽輪機的大修	2
2 第二部10,000瓩汽輪機的大修	35
3 校驗動平衡的理論根據	48
4 實驗的大量製造葉片方法	63
後記	69

前 言

佔我國各發電廠所用原動機最大部分的汽輪機，在八年抗日戰爭及四年解放戰爭之後的今日，正受到一種普遍而嚴重的威脅。它們內部的葉片或輕或重的損壞。損壞輕的使汽輪機出力減少，效率減低，且隨時有擴大損壞而影響發電的危險。損壞重的已經被迫擱置不用，把生產的巨人變成無用的廢物。這是一個多麼嚴重而立待解決的問題！

造成以上危險情況的主要原因，是在戰爭期中或日寇佔據期中，鍋爐及汽輪機缺乏應有的維護和檢修，又因解放前紀律廢弛，電力被極端浪費，多數汽輪發電機都被迫過度使用，無暇也無錢來保修。據估計，如果把停用的機器修復，所增發電容量不下十萬瓩，此外要靠大修來恢復出力或安全運轉的更多。

按上述理由，葉片的製造、換裝及有關的修理工作，目前已應加速進行，但事實上還未能普遍開展，這當然是受到若干客觀條件的限制。過去這些工作所需的器材和技術，都仰給於國外，現在爲了節省外匯，縮短修理時間，提高自己的技術經驗，和剷除對帝國主義的依賴，我們必須克服困難，自己設法來解決這個

問題。本書所說明的工作的經過、成績、方法和理論，證明這個任務是可以完成的。現在把幾種有關汽輪機大修的資料，包括葉片的製造、修整和換裝，動平衡設備的製造和使用，以及動平衡校驗方法和理論，介紹給讀者。希望這些說明能使各機器製造廠掃除以往不願承擔這種製造工作的顧慮；各發電廠了解怎樣並放心去進行這個大修工作，同時各製鋼廠也設法製成適用的合金鋼來解決最重要的材料問題。不過這裏所介紹的方法，雖然已經獲得相當成績，要改善的地方還多，更希望各廠技術工作者，根據理論和經驗來加以充實和提高。

1 第一部 10,000 瓩汽輪機的大修

1 汽輪機的規範和概況

製造者	德國西門子電機廠
額定正常容量	10,000 瓩
最高連續容量	12,500 瓩
總汽閥前汽壓	25 大氣壓，表示值
總汽閥前汽溫	375°C
撤汽量	0—10,000 公斤/小時
撤汽壓，滿負荷時	4.5 大氣壓（絕對值）
速度	3,000 轉/分鐘
真空	95%（以 760 公厘水銀柱為 100%）

這汽輪機是衝動反動混合式，第一級是衝動式，第二級到十三級是反動式，有三個調節汽閥，由調速器控制，其中兩閥送汽進入第一級，第三閥送汽進入第十二級後面的過荷蒸汽入口

帶(Over load steam inlet zone), 抗推軸承是米契爾式, 具有白合金墊塊四層, 轉子上有平衡輪(Balancing Wheel)一個, 輪的外周和正對着的汽缸內壁上, 以及輪鼓輪軸穿過汽缸的地方, 都設有迷宮扳根(北方叫做衛帶, 即 Labyrinth packing)。這些構造形式, 可參看圖 1。

製造汽輪機各主要部分的材料如下:

高壓段機殼(即汽缸或定子).....	鑄鋼
管嘴體(Nozzle Block)	5% 鎳鋼
高壓和低壓段動葉片	5% 鎳鋼
高壓段靜葉片	2% 鎳鋼
低壓段靜葉片	5% 鎳鋼
末尾三級動葉片	不銹鋼
低壓段機殼	鑄鐵

2 汽輪機損壞的經過 這部汽輪機在 1937 年裝好後就淪陷在日本人手中, 直到 1945 年抗戰勝利後才收回。當時因負荷和社會環境的關係, 不能夠加以檢查, 但是也不會發現任何異常的音響或振動, 除掉煤耗很大以外, 它的出力, 仍能達到額定數值。這樣運轉了一年多, 依然沒有啓蓋檢查的機會。有一次因為撤汽閥漏汽, 拆開它修理時, 發現有大批斷葉片積存在閥內, 這樣才知道汽輪機內部損壞情形的嚴重。經過很大的努力和佈置, 才得停供一部分電力, 停機揭蓋檢查。當時發現過負荷帶以後, 撤汽帶以前, 從第十六級到第二十四級的九級葉片, 幾乎全部斷落, 斷落的地方都離根很近。九級前面的一級中, 有幾個動葉片已經斷下半截, 其餘的同級葉片, 也銹蝕得很厲害。我們根據這

個現象，推測這幾塊斷下的破片，當時就被高速度汽流向低壓方向推送，門插在下一級的動靜葉片的中間，因此很快的把下一級的動靜葉片完全破壞。斷下的破片越來越多，又使以後各級葉片的破壞範圍繼續擴大。如果轉輪鼓 (Rotor drum) 是圓筒形或圓錐形的話，那最後必然會把以後的全部葉片打壞，使整個汽輪機立刻不能再運轉。幸而輪鼓的形狀是這樣的，在第二十四級的後面，正對着撤汽帶蒸汽出口的地方，它的直徑急遽的增大，成爲一個向外彎轉的肩 (參看圖 1)，全部斷片被此肩擋轉，由分佈在汽缸周圍的撤汽出口而外出，一部分積結於閥內，另有一部分已流入撤汽管內。

以上是當時拆看所見到的。過去的事實已經證明斷落這些葉片還不會十分影響轉輪的平衡和引起劇烈振動 (因爲反動式機器的輪鼓重量佔轉輪的最大部分，並且剛性甚大)，也未減低它的出力，當時又因爲急於恢復供電，所以決定將就使用，祇把斷片的斷口銼平，用紙印出它們的截面形狀，留作參考，又把各動靜葉片的殘餘部分銼到和輪鼓外面及汽缸內面幾乎相平，減少阻力，跟着就把汽輪機裝復使用 (壞葉銼平後的形狀可參看圖 2 和圖 3)。不過因爲汽輪機內蒸汽膨脹的情況與正常不同，它的軸向推力 (axial thrust) 可能增大，以致抗推軸承負荷太高，所以我們把負荷限制在 9,000 瓩以內。同時向德國西門子電機廠訂購全套動靜葉片和迷宮扳根鋼圈，以備將來換裝。那時因爲還可以勉強運轉一個時期，而且國內以往也沒有配製大量汽輪機葉片的先例，所以根本沒有想到要自己配製。

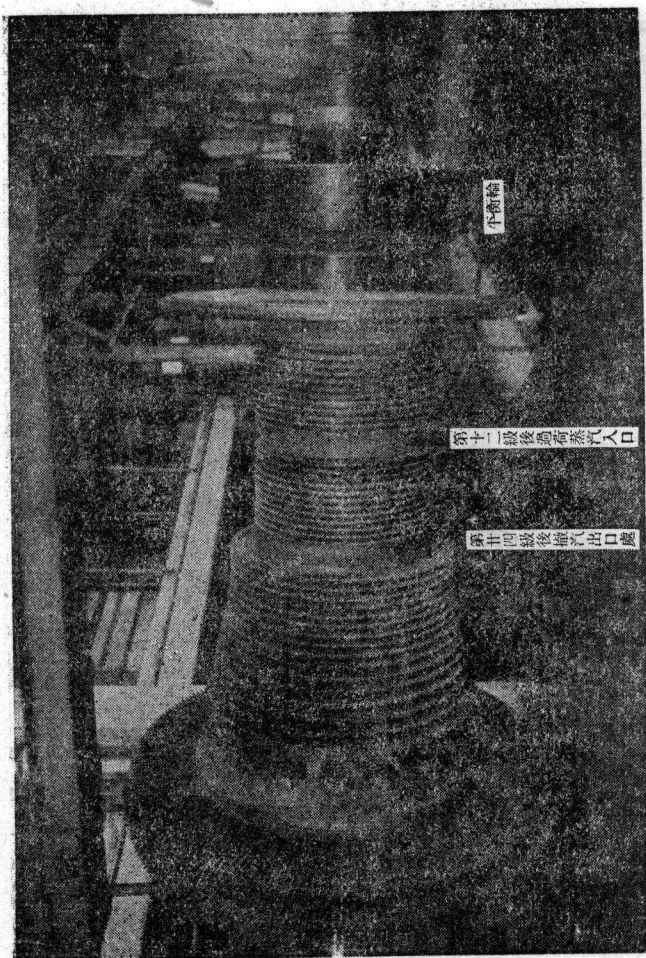


圖 1 修理後的鍋子

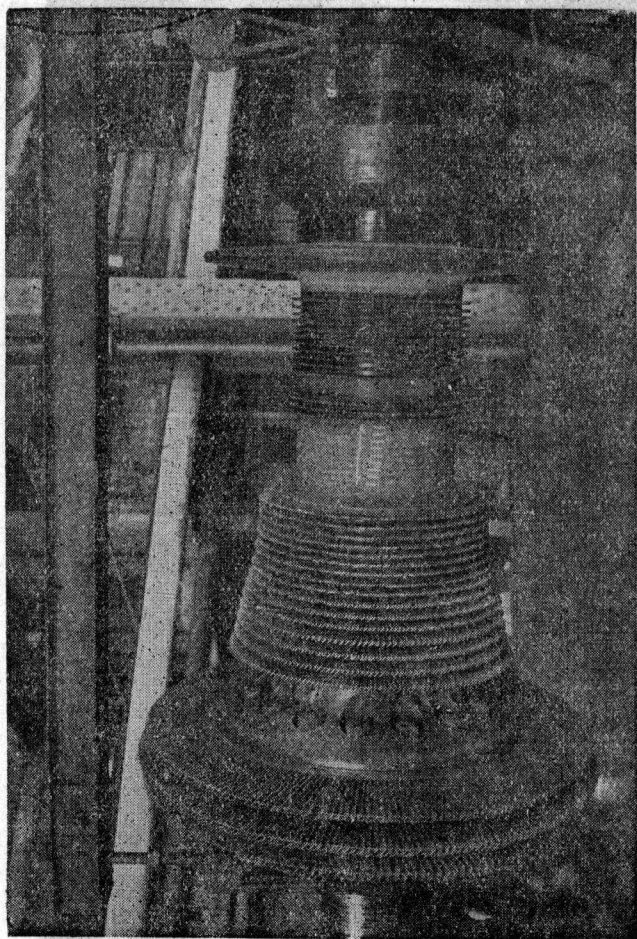


圖 2 修理前的轉子

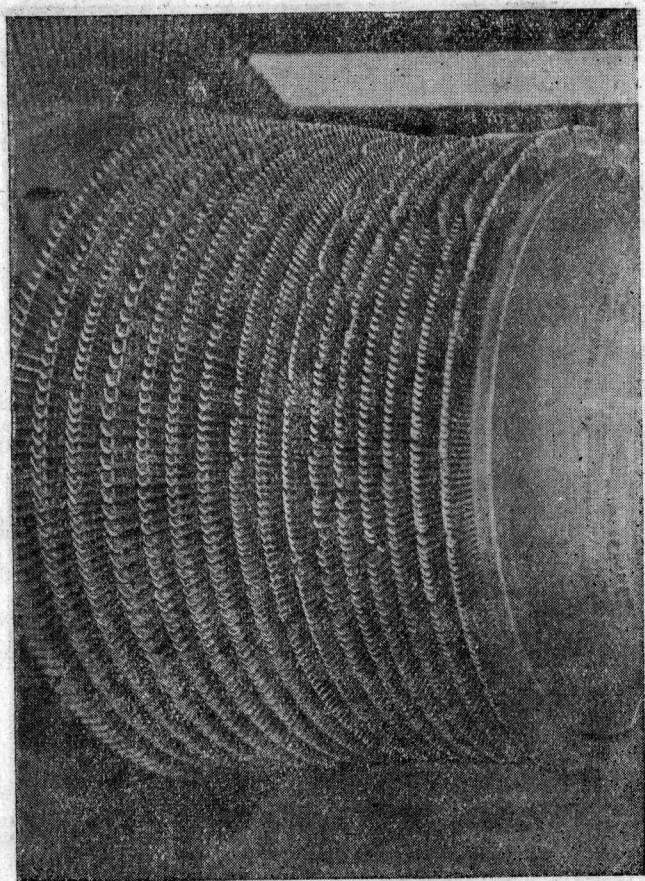


圖 2a 二十四級前銼平的動葉片二十五至四十級損壞的動葉片

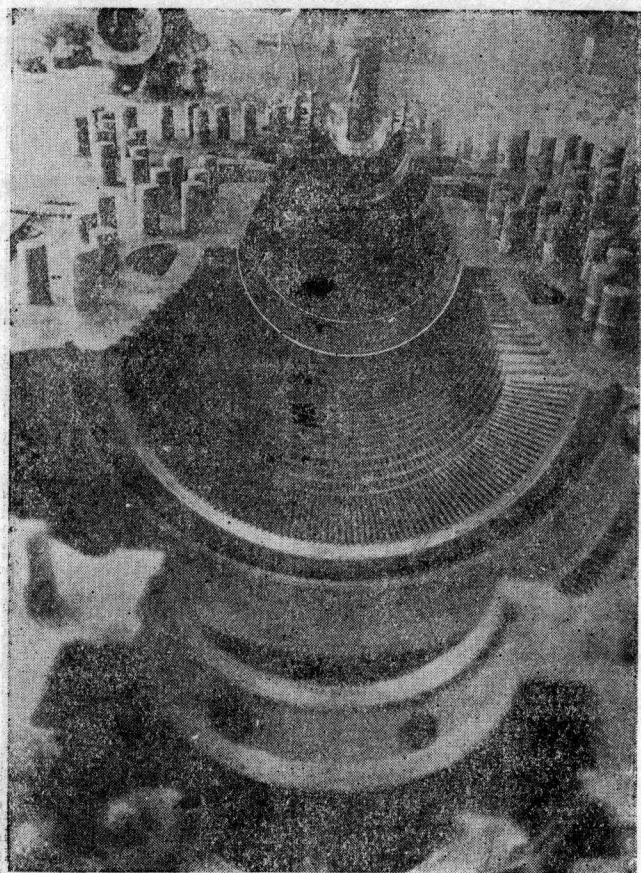


圖3 修理前1半部汽缸

TK2-84C,

1574-79G

繼續運用七個月後，因為鍋爐的水位表失效，鍋爐水跑進汽輪機，產生極大的軸向推力，使抗推軸承墊塊上白合金熔化，轉輪向低壓端移動，轉動部分與固定部分撞擠摩擦，雖然很快就拉開停汽，結果還是使大部分迷宮板根和動靜葉片都損壞到無可再用的程度。

3 葉片損壞起因的研討 雖然本書的主要目標是介紹怎樣修復汽輪機，但葉片損壞的起始原因，也是值得說明的。對於這一個問題，據當時研究的結果，還不能作肯定的判斷，但是按照汽輪機高壓段葉片的生銹發紅，尖端和邊緣的剝蝕，表面上沈澱物的積結，以及發生小陷坑(Pitting)等情形看來，葉片損壞的起因，應該是由於鍋爐水中含雜質過多，使汽水共騰(Priming)，和水中含有多量氧氣和二氧化碳氣蒸發時放出大量腐蝕性氣體的緣故(這完全是淪陷期中的實況，因為日本人把很多調整設備弄壞了，乾脆不用蒸水器和除氧器完全改用生水補充給水)，這幾種有害物質，不斷的隨着汽流和小水粒進入機中，產生化學浸蝕，此外更有高速度的水粒和垢屑衝入汽輪機，造成機械衝蝕。原用的製片材料，2% 和 5% 鎳鋼，抗銹抗衝能力不强，是另外一個原因。

針對上面所舉的缺點，補救的方法當然是改良水質和換用較好的製片材料。後來這些方法都採用了，蒸水器和除氧器恢復運用，不加生水入鍋爐，鍋爐水濃度限制在百萬分之一千五百以下，含氧量限制在百萬分之二十以內，製片材料改用 18% (鉻) 8% (鎳) 不銹鋼。在這種情形下運用十幾個月後，再度拆開檢查

表1 轉動葉片損壞修配情形

級數	原有葉片	全毀葉片	損壞情形	第一次修理	第二次修理	承製工廠
2	304	—	銹蝕, 邊稍捲	整理		
3	410	—	同上	整理		
4	410	—	同上	整理		
5	409	—	同上	整理		
6	409	—	同上	整理		
7	409	—	同上	整理		
8	415	415	全折毀	配裝 427		
9	398	398	同上	配裝 412		無線電廠
10	377	377	同上	配裝 392		無線電廠
11	349	349	同上	配裝 363		大中
12	256	256	同上	配裝 287		大通
13	303	—	未毀但須整理	整理裝復		
14	360	13	部分折毀	配 13, 餘整理		本廠
15	343	6	同上	配 6, 餘整理		本廠
16	350	350	上次全折毀	配裝 364		本永無大
17	336	336	同上	配裝 350		利綫電
18	332	332	同上	配裝 345		無大
19	328	328	同上	配裝 341		大
20	315	315	同上	配裝 360		大
21	318	318	同上	配裝 331		大
22	378	378	同上	配裝 393		大
23	320	320	同上	配裝 333		大
24	285	235	同上	配裝 245		大
25	335	70	除折毀外餘需整理	配 133 餘整理		本廠
26	316	33	同上	配 149 餘整理		通
27	285	14	同上	配 202 餘整理		通
28	260	21	同上	配 21 餘整理		通
29	275	39	同上	配 116 餘整理		通
30	246	31	同上	配 70 餘整理		通
31	298	131	同上	配 135 餘整理		通
32	273	121	同上	配 121 餘整理		通
33	319	42	同上	配 191 餘整理		通
34	235	6	同上	配 8 餘整理		通
35	237	1	同上	配 2 餘整理		本廠
36	208	2	同上	配 3 餘整理		本廠
37	151	—	無毀者但需整理	配 1 餘整理		本廠
38	251	—	同上	配 1 餘整理		本廠
39	193	—	同上	配 1 餘整理		本廠
40	196	—	同上	整理		本廠
共計				共配 5193	共配 5340	

無線電廠
無線電廠
大中

本廠
本廠
本永無大

利綫電
無大
大

大
大
大

大
大
大

大
大
大

大
大
大

大
大
大

共配裝
5340

南大
(第二次修理)

表2 靜止葉片損壞修配情形

級數	原有葉片	全毀葉片	損壞情形	第一次修理	第二次修理	承製工廠
2	286	—	出汽邊捲折	整修	共配裝 5200	通用 通用 通用 通用 通用 通用 通用 通用 通用 通用 (第二次修理)
3	285	—	同上	整修		
4	420	—	同上	整修		
5	420	—	同上	整修		
6	420	—	同上	整修		
7	420	—	同上	整修		
8	420	—	同上	整修		
9	386	386	全毀	配裝 402		
10	372	372	同上	配裝 387		
11	330	330	同上	配裝 343		
12	250	250	同上	配裝 260		
13	290	—	出汽邊捲折	整修	共配裝 5200	通用 通用 通用 通用 通用 通用 通用 通用 通用 通用 (第二次修理)
14	292	—	同上	整修		
15	366	—	同上	整修		
16	346	346	全毀	配裝 360		
17	340	340	同上	配裝 354		
18	333	336	同上	配裝 350		
19	318	318	同上	配裝 331		
20	306	306	同上	配裝 318		
21	304	304	同上	配裝 316		
22	370	370	同上	配裝 385		
23	313	316	同上	配裝 329		
24	230	230	同上	配裝 240		
25	246	—	出汽邊近根部磨損少許	整理	共配裝 5200	通用 通用 通用 通用 通用 通用 通用 通用 通用 通用 (第二次修理)
26	346	—	同上	整理		
27	308	—	同上	整理		
28	274	—	同上	整理		
29	293	—	同上	整理		
30	246	—	同上	整理		
31	325	—	同上	整理		
32	290	—	同上	整理		
33	365	—	同上	整理		
34	252	—	同上	整理		
35	256	—	同上	整理		
36	224	—	同上	整理		
37	152	—	同上	整理		
38	178	—	同上	整理		
39	246	—	同上	整理		
40	172	—	同上	整理		
共計				配裝4375	配裝5200	

的時候，新換的葉片，在第十三級以前第二十四級以後的都完整如新，毫無銹蝕現象，過去的原因既不存在，當然不會再度銹損。但中段有少數折斷，又作第二次修換，至於為什麼兩部汽輪機都在第十五和第十六級開始斷落？是不是在這一帶有不平衡干擾力，引起葉片振動？還無法試驗和證明。

4 各部分損壞詳情 動葉片 第一級衝動式葉片和第四十、四十一、四十二、四十三四級反動式葉片損壞很輕，其餘二十餘級（未包括前次已損壞的第十六至第二十四九級）或完全折斷或邊緣折捲或彎曲變形，損壞詳情列如表 1。

靜葉片 從第二級到第八級，又從第十三級到第十五級的葉片，除出汽邊捲曲外，還相當完整。第九級到第十二級幾乎完全損壞。第十六級到第二十四級是前次損壞的已經銼平了。第二十五級到第四十級的葉片進汽邊在接近根部的地方被動葉片磨掉少許，不過受傷還輕，損壞詳情列如表 2。

抗推軸承 盤塊上的白合金全部熔化，剩下的鋼座塊與軸上的抗推盤接觸、摩擦，幸而時間很短，盤面損壞不大。

迷宮扳根 因轉輪向低壓端移動，軸和平衡輪上的轉動迷宮鰭條與固定迷宮方條碰觸，鰭條的頂部被磨掉、折轉或部分崩落，完全失去它的隔漏效用（參看圖 4 和圖 8）。

5 自行修理的考慮和決定 根據上述的損壞情形，我們可以看出處理的途徑只有兩條。一條是等待德國西門子廠定貨的來到，另一條是克服一切顧慮和困難，自己設法修理，德國的定貨何時能來，毫無把握（事實上兩年半後才到），當時電力需要