

汽輪機起動淺說

歐世瀚編著

科學技術出版社

內 容 提 要

本書說明汽輪機起動的步驟和起動中所發生的問題,使操作人員在起動程序中熟知各項技術措施的意義和作用,使能靈活应付起動過程中可能發生的變化,不致有錯誤的處理和錯誤的操作。

本書主要供具有高小文化程度的技術工人閱讀之用,也可供專業學校初畢業的技術人員及轉業幹部在工作中的參考。

汽 輪 機 起 動 淺 說

編 著 者 歐 世 瀚

科 學 技 術 出 版 社 出 版
(上海建國西路336弄1號)

上海市書刊出版業營業許可證出〇七九號

導文印刷所印刷 新華書店上海發行所總經售

統一書號:15119.281

開本 787×1092 1/32·印張 1 7/8·字數 36,000

一九五六年七月第一版

一九五六年七月第一次印刷·印數 1-6,000

定價:(10)二角六分

前 言

社会主义建設高潮已經到來，提高科学技術的热潮也正在高漲。在这种新形势下，动力工業战綫上的工作者，特别是初級技術工人，都有提高科学技術水平的迫切要求和願望。本書編著的目的就是希望能够帮助热力电站或工厂动力車間的讀者，部分滿足这种要求和願望。

本書系根据作者在現場的体会，針對工人的技術水平，他們在工作上最缺乏何种知識，最需要提高的是何种理論，用深入淺出的方法，通俗地把汽輪机起动的各个問題，進行比較詳細的分析討論，从顯淺原理說明各起动步驟的必要性和要點，使司機人員能够熟知起动程序中各項技術措施的意义和作用。从而通过已有的現場工作經驗領会整个起动过程中的精神，抓住其關節，可以在指導人員的指示下單獨担任起动。作者希望讀者能够配合其他理論學習，使能灵活应付起动过程中可能發生的变化，不致有錯誤的處理和操作；即使在發生意外情况時，也能做到安全經濟，避免事故和不擴大事故，不延誤開車時間的原則。此外，書中有相当分量的內容是對於“電力工業技術管理法規”的進一步的介紹。

本書主要供具有高小文化程度的技術工人閱讀之用，也適合專業學校初畢業的技術人員及轉業干部在工作中的參考。

作者的經驗、學識均屬有限，書中錯誤及不完善的地方可能不少，希望讀者多予指正。

歐世瀚 一九五六年三月

目 錄

前言

第一章 通論	1
第二章 汽輪機機組 <u>預熱</u> (或稱暖機)及 <u>預熱時間</u>	3
第三章 汽輪機的热膨脹和起動時 <u>真空度</u>	13
(一) 各部分均速加熱	13
(二) 各部分的對稱加熱	18
(三) 各部分均勻加熱(徐徐加熱)	20
第四章 汽輪機的 <u>疏水</u>	28
第五章 汽輪機的循環 <u>油系統</u>	35
(一) 調速機構的速度控制用油	35
(二) 摩擦部分的潤滑和冷卻用油	36
第六章 汽輪機起動時的 <u>蒸汽品質</u>	39
(一) 蒸汽溫度	39
(二) 蒸汽壓力	41
第七章 汽輪機起動程序及方法	43
(一) 起動前的准备工作	43
(二) 起動的操縱程序及工作方法	45
(三) 新安裝或大修後汽輪機的第一次起動的方法	51

第一章 通 論

新安裝好的或已運轉過的汽輪機在起動開車的時候，為了保證獲得運轉的安全性和提高其經濟性，就必須注意下列幾個問題：

1. 汽輪機機組的預熱：包括蒸汽管路及汽輪機本體。
2. 汽輪機的起動時間：包括預熱時間、升速時間及帶負荷時間。
3. 汽輪機熱膨脹：包括汽缸膨脹、轉子膨脹、隔板膨脹、軸封膨脹、軸承座膨脹及上列各部分互相間的軸向間隙及徑向間隙因膨脹而發生的改變。
4. 汽輪機的真空度：包括低壓汽缸內真空、乏汽室與冷凝器內的真空。
5. 汽輪機疏水（即泄水）：包括蒸汽管路疏水、汽室疏水和汽缸疏水。
6. 油路系統：包括軸頸與軸瓦間用油、其他轉動摩擦部分用油（即潤滑用油）和調速系統用油。
7. 蒸汽品質：包括蒸汽壓力、蒸汽溫度及蒸汽中的雜質如空氣、油脂、鹽類等。

進行以上這些問題的適當處理和操作，目的就是為了要獲得汽輪機在起動開車過程中的下列技術要求：

1. 沒有不正常的振動，或振動是在容許範圍內。
2. 汽輪機的固定部分（靜子）與轉動部分（轉子）間沒有金

屬摩擦現象(摩擦聲、摩擦發熱等)。

3. 汽輪機的轉動部分沒有雜聲或不正常碰擊聲,例如水沖擊。

4. 軸承溫度正常,在一定的容許範圍內,汽機排汽端及冷凝器(或稱凝汽器)溫度在容許範圍內。

5. 各部分的热膨脹數字在安全的數值範圍內,根據膨脹指示器的指示和升溫的情況來考慮內部膨脹的情況,以確定其安全極限。務使各部分機構盡量做到均勻膨脹、等速膨脹及對稱膨脹,以免機件受到額外的熱應力而損裂。容許有微小的暫時性變形,但也必須是在容許的範圍內(不能有任何微小的永久性變形)。

能夠滿足上面的技術要求和在這個基礎上做到起動時間最短,便能及時或提早供電,才算完成了汽輪機起動的任务。

現就以上的幾個問題,在以后各章分別討論。

第二章 汽輪機機組預熱(或稱暖機) 及預熱時間

停用的冷機，機體各部分溫度一般都在 40°C 以下，但是進入的新蒸汽溫度遠遠高於此度數；因此，蒸汽一入機體，遇到金屬的冷表面失去部分熱量，蒸汽的溫度下降到飽和點以下，而凝結為水。連續進去的新蒸汽加熱機體，直至使它的溫度升高到略低於或等於此處蒸汽壓力的飽和溫度為止。凝結的水量，視汽輪機的類型及大小而不同，但基本上由下面三個因素決定：

- ✓ 1. 所需預熱的機體金屬材料的重量和單位重量熱容量(或稱比熱^①)；
- ✓ 2. 所預熱的金屬表面的溫度與預熱蒸汽的相當飽和溫度^②之差數；
- ✓ 3. 預熱的工作蒸汽的過熱程度。

凝結水量的多少，與這三個因素的前兩個因素成正比例而變化，與後一個因素成反比例而變化。譬如說，用作輔機如給水泵等的單級小型汽輪機，使用的蒸汽溫度一般不很高(指飽和溫度)，其轉子及機殼(汽缸)僅受到排汽的溫度影響，所須加熱金屬重量又很少，在這種情況下，因預熱而凝結的蒸汽量並不大。

① 比熱 使單位質量的物質溫度改變 1°C 所需的熱量(以卡或大卡為單位)，稱為該物質的比熱。

② 飽和溫度 在一定壓力下的水，繼續加熱，至某一溫度時，水即開始汽化(或稱沸騰)，直至所有的水全部汽化變成蒸汽為止。在這一段期間的蒸汽(及水)的溫度始終保持一定不變的這時的蒸汽叫做飽和蒸汽，這時的溫度叫做飽和溫度。

但若考慮一部大型動力廠用的、例如 30,000 瓩的汽輪機時，則凝結的蒸汽量就相當可觀。此時須要加热的各部分金屬總重量約可達 125 公噸。假如汽室中的初溫是 310°C ，在第一級汽段中的汽溫約 204°C ，在乏汽室（或稱排汽室）處是 32°C ，實際大部分金屬重量是在排汽端。為了簡化計算起見，假定：各部蒸汽的平均溫度為 93°C ；機體原來溫度為 15°C ；則所需預熱金屬材料與其蒸汽溫度的差數的平均值為

$$\frac{93 - 15}{2} = 39$$

$$93 - 15 = 78^{\circ}\text{C};$$

機體各部的單位熱容量可取與鉄相同的數值 0.12 仟卡/公斤- $^{\circ}\text{C}$ ；則當汽輪機進行預熱的過程中，機體溫度由 15°C 升至各部所存蒸汽壓力相當的飽和蒸汽溫度，所需供給的熱量為

$$125 \times 1,000 \times 0.12 \times 78 = 1,170,000 \text{ 仟卡 (或稱大卡)}。$$

又假定工作蒸汽含熱量可能供給預熱使用的熱量為每公斤 520 仟卡，則在汽輪機預熱中所需供給的工作蒸汽量為

$$1,170,000 \div 520 = 2,250 \text{ 公斤}。$$

如果供給預熱的蒸汽量不夠，則各部分會有凝結水繼續產生，當這一部分的凝結水存在機內，因此就有可能發生水沖擊的現象，並且促成劇烈振動。凝結水沖擊葉片時，若水速過高，還會有打壞葉片的嚴重後果。所以司機人員必須控制使有足夠的蒸汽量供給到汽輪機內部預熱。並將預熱時產生的凝結水疏清，然後升速帶荷。

或有人以為，在起動時，把進汽閥門開大些，在短時間內就可以供給大量的蒸汽，不是縮短預熱時間而提早發電了嗎？關於這個問題的答复是：蒸汽短時間內供給得太多，第一會使轉速

升得太快，冲击应力^①突然增大，不利於汽輪機的轉子；第二可能滑油溫度尚低，油的粘度較大，不容易造成軸頸與軸瓦間的油膜，因此汽機不能保持穩定的運轉；第三因短時間內產生大量凝結水，及時疏清也有困難；⁴但更嚴重的在於暖機過急，熱膨脹不均勻，各部件間會產生危害性的差別膨脹；或機件產生過大的熱應力，使機件變形或破裂（膨脹問題詳見後章）。因此汽輪機預熱，除供給足夠的蒸汽量外（實際上的預熱的蒸汽量比理論數量要多些），還須使這些蒸汽在適當長的一段時間內送進去。

但還須記住在盤車預熱或低速預熱的汽輪機已經得到了充分的預熱，並不是說明了以後升速就沒有凝結水發生了。因為各部分沒有達到正常的工作溫度，在升速時，進汽量增加，各級段（特別是高壓級）的壓力和相當的飽和溫度也隨着提高的結果，與金屬接觸的蒸汽有可能降低到飽和點以下，而凝結為水。因此，在升速過程中也須要逐步徐徐上升，使得有足夠的升速時間和能夠充分的有效放水。同樣道理，在速度達到正常運轉數值，開始帶上和增加負荷的過程中，各級段的汽壓和飽和溫度同樣地隨着增加，凝結水同樣地隨着發生。因此在升速及增負荷的過程中，只有在汽輪機各級段的蒸汽，它的過熱部分的含熱量已足以使金屬提升到相當的飽和溫度以上時（蒸汽過熱溫度較高的情況），才會消滅金屬表面有凝結水的現象（蒸汽在進行膨脹作功的時候也能形成一定的濕度，詳見第四章）。

進汽管路的預熱，包括汽水分离器、疏水器（或稱捕水器）、

① 应力 一物體受載荷（即外力）後而變形，其內部分子間就產生了內阻力以抗衡外力的作用，此種反作用力，稱為应力。

隔絕汽門(或稱總汽閥)、主汽閥(或稱停止汽門)、調速汽閥、主汽管等,也同樣需有足够的預熱蒸汽量,並且還需要適當長的預熱時間並進行疏水;否則,同樣會發生水沖擊和膨脹不均而熱裂等毛病。不過管路的預熱,因管壁等厚薄均勻,直徑較小,各處預熱溫度比較均勻,因此預熱情況較為簡單,預熱時間也較汽體本體短些。管路的預熱須分段進行,在隔絕汽閥(總汽閥)前是一段,在隔絕汽閥至主汽閥間又是一段,主汽閥至調速汽閥間又是一段,各段按順序逐步通汽進行預熱,預熱時須先開啓各汽閥的傍通閥,並檢查有汽壓的各管段的排水是否直接排至大氣中。預熱時間則視各段金屬重量多少、室溫高低(即機體溫度高低)而決定。

基於以上的道理,所以每一汽輪機的起動開車操作規程,自暖管、暖機、升速以至帶上滿負荷為止,都須按各種型式、構造情況、體積大小,規定出每一步驟的操作時間。並且在操作規程上須注明每一步驟的經過時間亦應隨着天氣的變化而有若干程度的變化,其他短時期的停機時間的長短也是考慮因素之一。理想的每一步驟操作時間,是等於每一步驟蒸汽進入量變化后的新溫度,並因此而均勻地傳導熱量到相當的各部分(如汽缸及轉子)金屬,使它們達到相等溫度的時候所需的時間。但實際上,這個時間不易準確求得。

各段汽管的預熱逐步提升汽壓至一定壓力一般是以每分鐘不超過1~1.5大氣壓(約1~1.5公斤/平方公分)的速度進行增加管段的汽壓。通常經過排水的汽管,其暖管時間平均為20~30分鐘,汽室的預熱時間約為10分鐘。為了縮短預熱時

間，主汽閥門至調速汽門（包括汽室）的預熱的開始，可以不必等前一段（主汽閥門以前之主汽管）預熱結束即進行，大約在主汽閥門前的汽壓表達到額定汽壓的 40~50%，就可開始主汽閥門后至汽室的預熱工作（此時調速汽門須關緊）。

至於汽輪機的預熱方法：轉子不作轉動下進行暖機，在一般情況是不准許的，應該進行低速暖機，暖機時轉子轉速應大約保持在額定轉速的 10~15%（額定轉速 1,500 轉/分鐘的汽輪機，暖機轉速為 200 轉/分鐘；額定轉速為 3,000 轉/分鐘的汽輪機，暖機速度為 200~400 轉/分鐘）。但也不能太低，太低了，軸頸和軸瓦間的油膜不易建立，致磨損軸瓦，擴大間隙。一般低速暖機的時間規定為 15~40 分鐘，在高压汽輪機中暖機時間應延長一些，讓轉子與汽缸膨脹差到最低值為止，一般規定為 40~60 分鐘，具體的時間應根據製造廠家的規定。低速暖機完畢後，由暖機轉速提升到額定轉速的升速率，一般每分鐘不應超過額定轉速的 10%，較大型的一般為 3~5%，在 20,000 瓩的單缸低壓汽輪機，此段時間最小安全數值為 20 分鐘；30,000 瓩單缸低壓汽輪機為 30 分鐘。一般中小型的汽輪機為 10~15 分鐘（應依據製造廠家說明具體規定）。對於沖動式小工作容量的汽輪機提升轉速，有時可以增加到每分鐘額定速度的 10%。對於反動式汽輪機因為轉子大多數是鼓形的，它的直徑比較大，提升速度應比較慢些，可使轉子各處受熱均勻。汽輪機達到運轉速度併車帶負荷時，每分鐘增加的負荷率不應超過全負荷的 10%，一般為 4~5%，在用背壓起動的情況下，因機身溫度較高，增荷率一般可提到 5~8%。20,000 瓩的汽輪機的升荷率，在比較安全

情況下以每分鐘不超過 1 000 轉為限。工作容量、汽壓、汽溫及額定轉速不同的汽輪機，暖機、升速、增荷的時間有頗大差異。這因為汽溫較低，起動時各部容易達到它的工作溫度；工作容量較小，它的機體也較小，因此機體金屬材料較少；轉速較高（3,000 轉/分鐘或 3,000 轉/分鐘以上），因此汽缸及轉子直徑較小，暖機也就比較容易。在這些情況時，起動過程中所需時間是允許有相當大的縮短。又汽壓高低不同，它相當的飽和溫度不同，金屬表面須提升的溫度數值也就不同，這也是影響上述時間

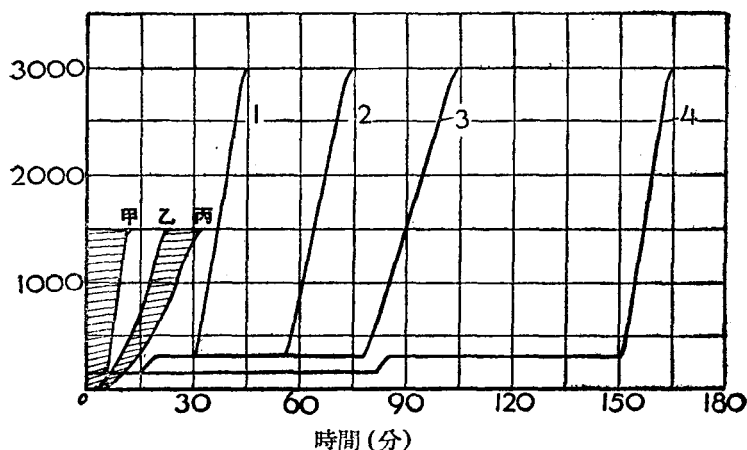


圖 1 汽輪機起動迴轉時間

甲、乙——輻流式汽輪機

丙——容量為 1,200~20,000 瓩的沖動式汽輪機

1——比比西工廠 12,000 瓩汽輪機

2——列寧格勒蘇大林金屬工廠 12,000 瓩汽輪機

3——比比西工廠 35,000 瓩汽輪機

4——容量為 60,000 瓩，單軸反动式汽輪機，在停機 8~20 小時以後起動

的一个因素。短時間(在 $1\frac{1}{2}$ ~2 小時以內)的停机后,汽輪機还未完全冷却,因此起動及升速的時間可以縮短,它的暖機時間为正常暖機時間的 $\frac{2}{3}$, 在停机 24 小時后再行開車時,必須進行正常的暖機。特别是大型的 20,000 瓩及以上的高压汽輪機,起動及升負荷的預熱時間是非常重要的,必須嚴格遵守操作規程。總之,汽輪機起動時間的具体規定,应視其型式、容量、構造、速度、蒸汽規格和环境情况的不同而不同。圖 1 是几种型式汽輪機起動時間的例子。表 1 是电力工業技術管理法規解釋中關於汽輪機預熱時間的規定。一般汽輪機从起動到額定轉速为止的全部時間,其中低速暖機約占 $\frac{2}{3}$ 或 $\frac{2}{3}$ 短一些的時間,升速階段約占其余 $\frac{1}{3}$ 的時間。

表 1 汽輪機的低速暖機及升速時間的參考表

汽 輪 機 型 式	低速暖機時間	升 速 時 間
單汽缸、中压、5,000 瓩以下	15~20分鐘	20~30分鐘
單汽缸或双汽缸、中压、50,000 瓩以下	15~30分鐘	20~40分鐘
單汽缸或双汽缸、高压、50,000 瓩以下	45~60分鐘	30~40分鐘
單缸、中压、高速、小容量	4~5 分鐘	5~10分鐘

为了使讀者更易明了起見,茲举实例兩個,以說明各類型汽輪機起動時間的規定項目:

例一

(一)汽輪機類型: 日本三菱廠制造,容克斯型,單缸、輻流、再生凝汽式汽輪機。

(二)規範：能作兩段不調整抽汽，供蒸發器和加熱器之用；有動葉片 23 級，具有過負荷汽門，是從汽室直接通至 11~12 段輻流葉片之中間；另有節流式調速器；

工作汽壓：25 公斤/平方公分， 汽溫：410°C，
額定容量：25,000 瓩， 轉速：3,000 轉/分鐘。

(三)規定的正常起動時間：

1. 隔絕汽閥(總汽閥)後與主汽閥前之主汽管暖管工作：

開總汽門傍通閥門，使主汽閥前的汽壓達到 2~3 公斤/平方公分時繼續暖管，保持一定時間：夏天為 15 分鐘；冬天為 30 分鐘。然後以每分鐘 1~1.5 公斤/平方公分的壓力上升率增加汽壓，使汽壓達到 22~23 公斤/平方公分為止，約需 15~20 分鐘。

↓ 2. 主汽閥後和調速汽閥之間的汽管暖管工作：

開主汽閥的傍通閥，使調速汽閥前的汽壓達 0.5 公斤/平方公分進行暖管 10~15 分鐘。

3. 盤車暖機工作：

以盤車杆徐徐轉動汽輪機轉子，直至起動為止，先將調速汽閥手輪開到 $\frac{1}{8}$ 轉處，然後開大主汽閥的傍通閥使調速汽閥前汽壓由 0.5 公斤/平方公分徐徐升至 2 公斤/平方公分，然後再將調速汽閥手輪開到 $\frac{1}{4}$ 轉處，又繼續開大主汽閥的傍通閥，使該汽壓慢慢升至 9~10 公斤/平方公分，並使汽輪機乏汽溫度達到 50°~55°C，這段操作經過時間為 10~20 分鐘。

4. 低速暖機工作：

轉子的轉速保持在 200~400 轉/分鐘，暖機 5~15 分鐘。

5. 以每分鐘 150~200 轉/分鐘的升速率提高轉速至 1,500

轉/分鐘,其中經過時間為 5~7 分鐘。

6. 在 1,500 轉/分鐘時,發電機給勵磁,需要的時間為 3 分鐘。

7. 以每分鐘 150~200 轉/分鐘的升速率提高轉速由 1,500 轉/分鐘到 3,000 轉/分鐘,其中經過時間需 7~10 分鐘。

8. 由併車至帶負荷 1,000~3,000 瓩時經過的時間需 5 分鐘。

9. 增負荷時間:每分鐘增加的負荷不宜超過 1,000 瓩,負荷已達 10,000~12,000 瓩時延續運行 30 分鐘。充分暖機後,再繼續以每分鐘 1,000 瓩的增荷率繼續增荷,以至滿負荷為止。

例二

(一)汽輪機類型:美國華盛頓摩里廠(Worthington Moore)製造,單汽缸、軸流、沖動、凝汽式汽輪機。

(二)規範:能作一段不調整抽汽,是在第 6 級抽出,供加熱器之用,有寇蒂斯式調速輪 1 級,拉多式葉輪 10 級,斷流式調速器,以減速齒輪聯動發電機。

額定工作容量: 1,000 瓩; 汽壓: 28.2 公斤/平方公分;

汽 溫: 399°C; 真空: 682 公厘水銀柱高;

汽輪機轉速: 4,528 轉/分鐘;

發電機轉速: 1,000 轉/分鐘。

230

(三)規定正常起動時間:

1. 主汽閥以前的主汽管暖管工作:略開鍋爐的總汽閥,使主汽閥前的汽壓達到 2~3 公斤/平方公分,進行一定時間暖管,夏天 5 分鐘,冬天 10 分鐘。

2. 然後繼續開大總汽閥，每分鐘增壓1.5公斤/平方公分，使主汽閥前的汽壓達到28.2公斤/平方公分（總汽閥全開），在這一段中經過時間為15分鐘（注：該機主汽閥前沒隔絕汽閥，主汽閥沒傍通汽閥。主汽閥與調速汽閥相鄰接，其間又無疏水閥門，因工作蒸汽過熱度頗高有 168°C ，故廠家設計這部分不需預熱）。

3. 低速暖機：迅速打開主汽閥使汽輪機轉子在10秒鐘以內（最遲60秒鐘以內）轉動，保持轉速在400~600轉/分鐘進行低速暖機10~15分鐘。

注：冬天暖機時間稍長，夏天稍短；若停機時未經盤車手續，則暖機時間須增長 $\frac{1}{2}$ ~1倍。

4. 升速時間：以每分鐘200~250轉/分鐘的升速率增加車速，直至規定的運轉速度，需經過的時間為15~20分鐘。但在進行升速過程中，當到達它的臨界轉速^①2,400轉/分時，必須迅速的平穩通過。

5. 併車並帶負荷至100~200瓩時，其中需要時間為5分鐘左右。

6. 增負荷：以每分鐘100~200瓩的增荷率增加汽機負荷，全部約4~9分鐘增加至滿負荷。

^① 臨界速度 汽輪機由零轉至額定轉速的升速過程中，會發現在到達某一轉速的時候，汽輪機的振動特別來得大些的現象，通過了這個轉速之後，或未到這個轉速之前，振動都會變小，這個使汽輪機振動特別大些的轉速，稱為臨界速度。汽輪機之所以有臨界速度是因為在製造和裝配的轉子雖然非常精密，但總還是有一些不平衡，也就是說轉子的重心和旋轉軸軸心永遠有一些某種程度的不重合。重心與軸心之間的距離稱為偏心距，在偏心距雖然很小時情況下，當旋轉時就會一定發生離心力，離心力就促成軸的振動，所以當轉子自身振動頻率與轉速的頻率相重合時，就發生較強烈的振動，過度的振動會促成軸的破裂，造成極大的事故。一般臨界速度有兩個數目，第二個臨界速度是第一個臨界速度的二倍。

9

第三章 汽輪机的热膨脹和起動時真空度

金屬材料同其他很多物体一样,都有一定的热脹冷縮的物理性質,所以在起動時,汽輪机由冷态升高至工作溫度,各部受熱后必然有膨脹現象。司機人員的一个重要任务就是如何控制这种热膨脹,注意这种热膨脹和正确处理,以達到正常起動和安全运行,不使發生任何事故,能提高運轉經濟性,獲得最有利的起動和帶負荷時間。为了保証这一些,就必須从下面三點出發考慮:

(1) 各部分加熱速度均等——使不生差別膨脹(即不相等的膨脹)或獲得最少的差別膨脹。 (2) 各部分對稱加熱——如汽缸及轉子,必須上下左右同時均勻加熱,以免發生彎曲扭轉或軸綫变化等。 (3) 各部分徐徐加熱(均勻加熱)——使各部的膨脹不致過劇,避免機件發生過大應力造成機件的永久的變形或破裂。

茲將这三方面的控制办法分別討論於后:

(一) 各部分均速加熱

假如汽輪机中一部分較另一部分加熱快些,則這部分的膨脹在某一時候將與另一部分的膨脹不同,即是說兩者間發生了差別的膨脹,这个結果破坏了汽輪机的正常的配合;具体的說,汽輪机的轉動部分轉子和固定部分靜子的間隙發生了变化:如隔板、汽封、軸綫与油封等對轉軸的徑向間隙;動葉輪對汽缸窪窩的徑向間隙;動葉輪對隔板及噴咀的軸向間隙;反动式汽輪机的平衡活塞對平衡環的間隙等。機組中各个軸承座的溫度若在