

內 容 提 要

本書主要介紹國產 221-6.5/13 型鍋爐和 21-0.75 型凝汽式汽輪機組成的小型電站在沒有廠用電的情況下對機爐起動的初步經驗。書中除簡述汽輪機在排大氣起動時對於排氣溫度、熱膨脹、凝結器過熱和起動速度等問題以外，並介紹汽輪機的起動和停機的操作程序。

本書文字通俗，可供小型電站作無電源起動時參考。

21-0.75 型汽輪發電站的無電源起動 清河試驗電站編

*

1763Z131

水利電力出版社出版（北京西郊科學院二里溝）

北京市書刊出版業營業許可證出字第 104 號

水利電力出版社印刷廠排印 新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{32}$ 開本 * 印張 * 12 千字

1958 年 12 月北京第 1 版

1958 年 12 月北京第 1 次印刷(0001—7,100 冊)

統一書號：15143·1377 定價(第 8 類)0.06 元

21-0.75型汽輪发电站的 無电源启动

清河試驗电站編

③

水利电力出版社

B43

3333

目 录

第一章 概論.....	3
一、主要設備的規範.....	3
二、汽水管路系統.....	4
三、汽輪機構造的簡單說明.....	6
第二章 无电源起動中的几个問題.....	7
一、鍋爐的起動操作.....	7
二、汽輪機排汽压力与排汽温度的限制.....	8
三、汽輪機的热膨胀.....	9
四、汽輪機过热.....	10
五、汽輪機的起動速度.....	11
六、对主蒸汽参数的要求.....	12
七、关于汽輪機排大气快速起動問題.....	12
第三章 汽輪機无电源起動和停机的操作程序.....	13
一、起動前的檢查.....	13
二、冲動前的操作.....	15
三、汽輪機起動.....	16
四、轉換为凝汽方式运行帶負荷.....	17
五、停机.....	18
第四章 汽輪機无电源起動記錄.....	20

第一章 概 論

清河試驗电站所安裝的机組，是由上海鍋炉制造厂于1958年5月出產的221-6.5/13型双汽包立式水管鍋炉和上海汽輪机制造厂出產的21-0.75型凝汽式汽輪机組成的。这些設備主要是供应农村及中小城市建設小型电站之用。

一、主要設備的规范

1. 鍋爐 式样：双汽包立式水管

最大連續的蒸发量(原設計)：6.5吨/小时

蒸汽压力(绝对)：14公斤/公分²

过热蒸汽温度：350°C

給水温度：50~105°C

鍋炉总受热面：226公尺²

过热器受热面：34公尺²

炉排面积：6.7公尺²

固定搖摆式炉排：左右各10排

附屬設備包括：机械力~~煤~~煤排煤机兩台，离心式送风机1台(出力12,550公尺³/小时，出口压力95公厘水柱)，以及回燃风机1台(出力1,000公尺³/小时，出口压力380公厘水柱)。另裝有容积为2.7公尺³的給水箱及VC5型双缸往复式汽动給水泵1台，还有喷射式給水泵(注水器)1台，作为給水备用泵。

2. 汽机 式样：單缸帶有減速齒輪~~汽~~动凝汽式

額定出力：750瓩

經濟出力: 600瓩

正常轉數: 6,500/1,500轉/分

蒸汽压力(绝对): 13公斤/公分²

蒸汽温度: 340°C

排汽压力(当冷却水温为27°C时):

額定負荷 0.09公斤/公分²

經濟負荷 0.075公斤/公分²

最高排汽压力 0.093公斤/公分²

附屬設備包括双道制表面式凝汽器(冷却水温为27°C、冷却面积为80公尺²)，循环水泵1台(10Д9型、流量为135公升/秒、揚程为14公尺、軸功率为28瓩)，凝結水泵1台(流量为8公尺³/时、揚程为30公尺、軸功率为2.8瓩)，以及兩級喷射抽汽器1台。

二、汽水管路系統

750瓩汽輪发电机汽水系統图如图1所示。机組設備除給水泵有备用外，都是單一布置，蒸汽、凝結水及給水也都是單一系統。在汽輪机变速級后有一段抽汽，供給水加热及除氧之用。为了簡化系統，这段抽汽未加利用。

蒸汽由鍋炉总截門經過汽水分离器引入汽輪机主汽門前。在汽輪机主汽門前有三支管分別供抽汽器、汽动油泵及軸封蒸汽。凝結水由水泵經抽汽加热器进入鍋炉給水箱，运行最終給水温度約40~60°C，然后由汽动給水泵把水箱的水打入鍋炉。

給水沒有除氧設備，我站在給水箱上盖有一层木板，以减少空气接触面，并利用汽动泵来排汽加热。化学补充水是由軟化器来，經軟化水加热器(加热的蒸汽仍利用汽动泵排汽)进入凝汽器除氧。汽輪机本体有兩段疏水进入凝汽器。

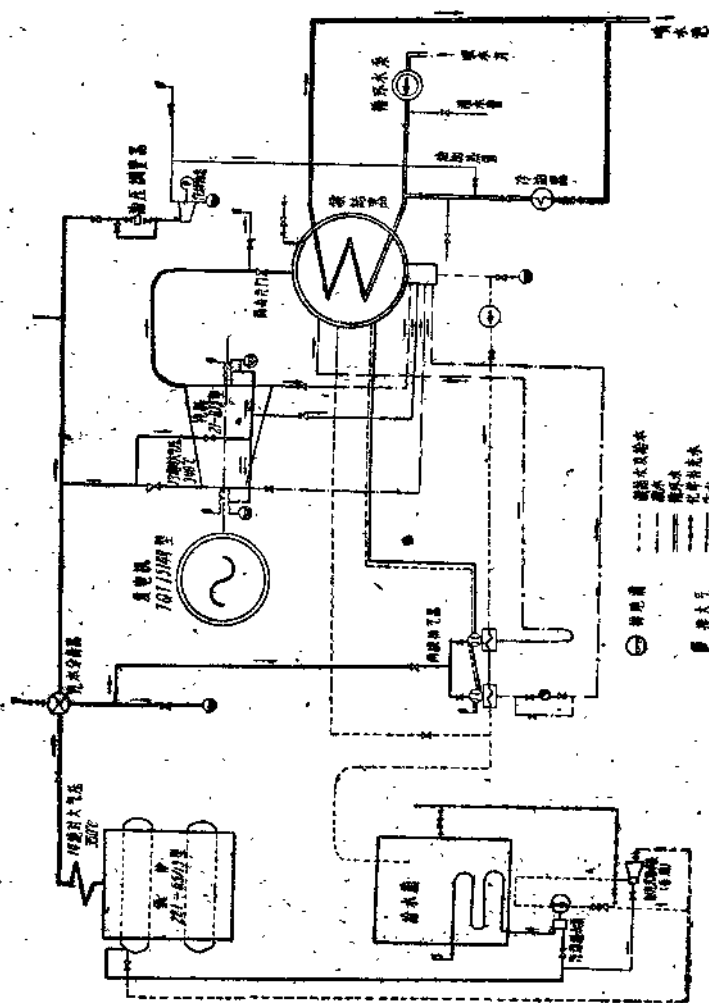


图 1 750 瓩汽轮机发电机电汽水系统图

三、汽輪機構造的簡單說明

汽輪機和凝結器為水平布置，汽輪機蒸汽室靠近發電機側，後汽缸靠近凝結器。

汽缸分為前後兩部分，前汽缸用普通鑄鋼鑄成，後汽缸則用高級鑄鐵鑄成。前汽缸與減速齒輪的連接部分，裝有水平橫銷，作為汽缸受熱膨脹時縱向定位。在前汽缸的下部，裝有導銷，固定了汽缸膨脹時縱向中心的位置，並使汽缸能作上下、左右及向凝結器方向自由膨脹。

在轉子末端，裝有相對熱膨脹指示器，用以測量在汽輪機起動或停機時由於轉子與汽缸之間的溫度變化不同、膨脹不等而引起的相對位移數值。在後汽缸兩“貓爪子”上面，裝有熱膨脹指示器，測量汽缸受熱時的絕對膨脹數值。

後汽缸排汽口向上，經過伸縮節用II形乏汽管與凝結器相連。伸縮節可允許汽缸作上下伸縮，而II形乏汽管可允許汽缸向後膨脹。大氣排出管安裝在II形乏汽管上，並裝有閘板式大氣放出門。

為了解決無電源起動時凝結器的過熱問題，我們在大气排出管與凝結器之間新裝了隔離擋板。隔離擋板是用%的鋼板制成的，它是固定在軸杆上，軸的一端軸承是焊接在乏汽管上，而另一端則裝上壓蘭和石棉盤根（詳細情況見圖2）。這樣可以保證在凝汽式運行時真空系統的嚴密性。在乏汽管與隔離擋板之間的間隙，應小於2公厘，保證最小的漏汽。

凝結器是表面式，凝結器內銅管的一頭是脹在管板上的，另一頭却是用橡皮圈墊裝在管板上，以使銅管在溫度變化時有脹縮的可能。

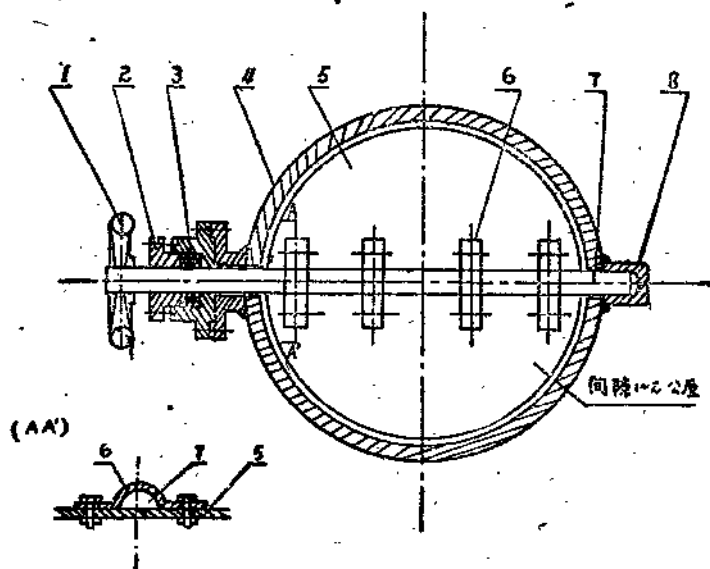


图2 隔离挡板俯视图

1—手轮；2—压盖；3—盘锯；4—排汽管；5—挡板；6—卡子；7—轴；
8—后支承。

第二章 无电源起动中的几个问题

一、鍋爐的起動操作

鍋爐機組的无电源起動，是在全厂无外来电源的情况下进行的。因此鍋爐房的所有附屬設備，包括送风机、播煤机及回燃风机都无法工作。在某些没有水塔或外来工业水源的电站，鍋爐最初的給水工作也是困难的。在这种情况下，就不得不借助于人力或其他簡單的机械向鍋爐給水。

清河試驗电站所用的工业水源是自来水，鍋爐在点火以

前，上水是用經過化学处理的軟化水的。在正常运行时，这种軟化水就作为鍋炉給水箱的补充水。鍋炉上好水以后，即开始进行点火。

在无电源起动的情况下，鍋炉的点火、升压过程是依靠人工加煤及自然通风来完成的。

点火、升压过程所用的煤应该选用粒度适当的块煤，过大的煤块会造成点火燃燒的困难，而細末过多也会影响通风，建議采用不大于100公厘的块煤。

在点火时，应该特別注意引风，不应使引风过大，否則会使点火不易进行。点火以后，根据燃燒的情况，适当的加大引风，使燃燒室負压維持在1~2公厘水柱。

在进行人工加煤时，应该尽量保持火床的平整，应避免燃煤局部的堆高。当发现火床上有凹凸不平或有局部地区不着火时，应用通条加以平整。

当汽压升至3~4公斤/公分²时，可以起动給水泵，同时可以酌情对泥包及下联箱进行放水，以保証鍋炉各部均匀地膨胀。

从开始点火直到汽輪发电机组正常工作，一般需要6~7小时，在这段时间內采用人工加煤及自然通风，当发电机供給厂用电源时，风机及播煤机則可以投入。

类似清河試驗电站的小型鍋炉机组在无电源的情况下起动时，并不存在很大的困难，所以这里只做簡單的一般叙述。

二、汽輪机排汽压力与排汽温度的限制

汽輪机在凝汽方式下起动，排汽压力为真空，排汽温度亦不会超过70°C。但在无电源起动时，由于汽輪机乏汽排向大气，因此排汽压力必然要大于当地的大气压力，而排汽温度，

由于起动过程中蒸汽流量少，汽轮机鼓风摩擦损失大，损失所转换的热量不可能完全被蒸汽所带走。因此往往较此时排汽压力下的饱和温度高些。1个标准大气压的饱和温度为 100°C ，因此排汽温度总在 100°C 以上。假如大气排出管过细，弯头过多，就使管路阻力很大而引起排汽压力增加，相应地排汽温度就要升高。排汽压力和排汽温度的增加，都会使汽轮机后汽缸乏汽管及最后几级叶轮的工作条件恶化。因此在第一次无电源起动时，必须将排汽温度、压力规定一个极限，如果超过这个极限，就应立即停机，以避免由于温度过高、膨胀过大而引起设备损坏。一般在排大气运行时，排汽压力不得超过1.2绝对大气压，排汽温度不得超过 120°C 。该机组在无电源起动时，排汽压力为1.06绝对大气压，排汽温度为 110°C 。

三、汽轮机的热膨胀

汽轮机和其他许多物体一样，都有一定的热胀冷缩的物理特性。在汽轮机起动的过程中，由常温升至工作温度，各部分必然有热膨胀的现象，尤其是在无电源起动的过程中，排汽温度远远超过凝汽方式起动时的数值，膨胀现象也比凝汽方式起动时大得多。因此，如何控制使其正确膨胀，保证机组安全起动，这是一个很重要的问题。

首先，在起动前，必须仔细检查各个膨胀间隙有无阻塞现象，间隙是否足够（必须大于可能产生最大膨胀数值），若间隙过小或堵塞时，汽缸受热后不仅不能很好地自由膨胀，而在材料内部产生热应力，甚至会引起汽缸变形和在运行中机组产生振动。

以清河试验电站的汽轮机来说，在凝汽方式起动时，排汽温度为 $60\sim 70^{\circ}\text{C}$ 左右，汽缸绝对膨胀在暖机时为0.5公厘左右，

定速后为 0.9 公厘左右。根据制造厂的图纸说明，机组最大热膨胀不得超过 4.4 公厘。现在在实际起动过程中，汽缸热膨胀没有超过 1.5 公厘。

另外，还应注意的就是在起动过程中，转子的温度总比静子的温度升高得快。因此转子的热膨胀也比静子的热膨胀来得大，也就是说两者之间发生了差别膨胀。过大的差别膨胀，将破坏机组的正常配合，甚至引起转子与静子之间发生摩擦而损坏。因此在起动过程中，应严密监视相对膨胀指示的数值，不应超过制造厂所规定的 1 公厘。

四、凝汽器的过热

原设计在乏汽管与凝汽器之间没有隔离门，所以在无电源起动时，凝汽器内部必然会充满压力蒸汽，温度亦将超过 100°C ，结果引起凝汽器过热，何况凝汽器内铜管的一头是用橡皮圈垫装起来的，其允许温度不能超过 80°C 。

为了解决凝汽器过热问题，在乏汽管上新装了隔离挡板，同时考虑到挡板与乏汽管之间有间隙，不够严密。因此在起动前，将凝汽器水侧灌满自来水，即使渗入部分蒸汽，也可以立即进行冷却。此外，还限制凝汽器喉部的温度不得超过 80°C ，当温度超过 80°C 时，应进行冷却水循环。当机组带上厂用电而转入凝汽式运行时，应注意此时凝汽器水侧所充满的冷却水，在起动过程中，由于挡板不严密而漏汽，温度就逐渐上升，甚至接近 80°C ，但外界冷却水（或自来水）的温度却很低。因此在起动循环水泵时，一定要慢慢地打开出水门，使冷却水逐渐进入凝汽器，以防止凝汽器内铜管在较高的温度下，忽然遇冷而引起胀口损坏及垫装用的橡皮圈加速老化。

我们曾考虑凝汽器汽侧灌入软化水，使凝汽器与乏汽管之

間形成水封，這樣就可以完全阻止蒸汽漏入凝汽器內。但是該機的安裝特點是汽輪機與凝汽器是平行安置的，而高低壓汽缸疏水都是放入凝汽器，因此，若凝汽器汽側灌滿了水，起動時，大量的汽缸疏水將無法放出。另外，在汽側滿水的同時，大量的軟化水也將自空氣抽出管進入抽氣器，使主抽氣器汽室內滿水。這樣，將使抽氣器及凝汽器難以投入工作，而延長了轉換為凝汽式運行這一過程的時間。

當然，假如有個很嚴密的隔離門，以上問題就不存在了。製造廠最好在設計時，使凝汽器與大氣排出管之間設有隔離門。

五、汽輪機的起動速度

加快起動速度，縮短整個起動過程，使汽輪機更早地轉為凝汽式運行，這是我們所希望的。但是加快起動速度，必然要在短時間內把進汽門開得大些，而供給汽輪機較多的蒸汽量。結果蒸汽在短時間內供應太多，很可能引起轉子溫度很快上升，而汽缸來不及受熱，於是轉子與靜子之間就產生較大的溫度差與相對膨脹值，使汽輪機轉子與靜子部分的間隙發生變化。汽缸內汽封、動葉輪與隔板等的軸向間隙、隔板軸封等徑向間隙都很小，因較大的相對膨脹，很容易就使轉子、靜子之間產生摩擦，損壞葉片或使振動加劇，造成不能起動。根據機組內部各個最小間隙及製造廠家的說明，相對熱膨脹數值在起動及運行過程中是不允許超過起動前讀數 1 公厘。因此在起動過程中，特別是在無電源起動過程中，應特別監視相對膨脹指示器，並根據其指示變化情況，決定降低或提高起動速度。

根據製造廠的規定，汽輪機的起動時間是：

暖機 10~15 分鐘 升速 10 分鐘

以此起动速度进行凝汽式起动时，相对热膨胀在低速暖机时为零，定速后为向后0.3公厘，然后逐渐恢复到零。

无电源起动时，我們的起动速度是：

暖机 7~8 分鐘 升速 5~6 分鐘

此时相对热膨胀的情况是起动前讀数为向前 0.2 公厘，暖机后仍向前 0.2 公厘，升速至 4,000 轉/分时为零，以后又逐渐恢复为向前 0.2 公厘。

这次起动是在汽輪机停机后不久进行的，当冷机起动时，暖机与升速時間应适当加長。

六、对主蒸汽参数的要求

我們知道，汽輪机运行时有二个特性：当排汽压力一定，汽輪机效率估計变动很小时，进汽压力降低和进汽温度降低，將增高排汽温度或减少排汽温度。因此，在起动过程中，我們希望进汽压力偏高一些，并使其不低于13个绝对大气压，进汽温度偏低一些，使其不高于340°C。

在无电源起动的过程中，鍋炉的一些电动設備亦无法起动，这时是用人工加煤。因此汽压的保持比較困难，对鍋炉就应特別注意，以防止汽压下降而引起排汽温度上升。

七、关于汽輪机排大气快速起动問題

为了尽量縮短汽輪机排大气的起动時間，同时又能减少汽輪机起动时所受的热应力，对于單机單炉布置的小型电站，我們曾考虑用排大气快速起动的方式，即在汽輪机起动时，用低压低温的过热蒸汽冲动汽輪机（一般过热温度不小于50°C），汽輪机被冲动后，就逐渐升速到接帶厂用电負荷，此时鍋炉亦同时升压升温到額定数值。但由于在安裝汽动油泵的蒸汽管路

后，通路可能阻塞，油泵的油压不足，所以没有进行试验。这种起动方式，虽然要考虑的问题较多，但是我们认为是最有利的。我们准备在试验以后然后详细介绍。

第三章 汽轮机无电源起动和 停机的操作程序

一、起动前的检查

1. 接到起动命令时，应与锅炉、电气的运行人员联系，并开始进行起动前的检查工作。

2. 检查汽轮机组及其附属设备，尤其是要特别注意刚刚检修过的地方。所有设备都应处于完好状态。

3. 清除机组附近一切不必要的工具杂物，保持机组及环境的清洁。

4. 仪表检查：

(1) 温度表是否装齐，温度表的刻度范围是否符合要求，排汽缸、凝汽器喉部温度表应用 $0 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 刻度的温度表；(2) 压力表是否装齐，压力表指示是否为零，表计下面考克是否已开启，排汽缸及凝汽器喉部应装联成表；(3) 用仪表油润滑转速表；(4) 检查油位计的動作是否灵活；(5) 检查水位表，玻璃是否明亮，考克是否开启；(6) 检查相对热膨胀指示器及热膨胀指示器，并调整讀数为零。

5. 蒸汽系统的检查：

(1) 危急保安器脱扣，关闭主汽门，开车时用手控制主汽门；(2) 关闭通前后汽封的蒸汽门及汽封通凝汽器的调整门；(3) 关闭汽动油泵前的蒸汽门；(4) 关闭抽气器前的蒸汽门；

(5) 打开大气排出門；(6) 关闭乏汽管上的隔离門。

6. 油系統的檢查：

(1) 油箱油位是否正常，如油位低，就应加油，但在加油之前，必須檢查濾油網是否清洁；(2) 各个視油窗是否清洁；(3) 全开冷油器油路进入口門。

7. 調速系統的檢查：

(1) 各連杆、螺絲的連接有无振動；(2) 調速器上面兩油杯內是否有油，无油或少油时，应加入潤滑油；(3) 活动一下調速器連杆，看看是否有卡澀現象；(4) 調速系統同步器应放在最低位置。

8. 循环水系統的檢查：

(1) 关闭噴水池前的进水門，檢查进水網是否清洁；(2) 檢查水池水位，如水位低时，可加补充水；(3) 关闭凝汽器水側放水門及上部兩空气門；(4) 关闭冷油器前后出水門及进水总門；(5) 檢查循环水泵出水門是否都已关闭；(6) 檢查循环水泵：1) 長期停用后，可进行电动机絕緣电阻測定；2) 檢查軸承潤滑情况，油量是否足够；3) 軸封盤根压盖四周間隙是否合格，防止与軸接触而发生摩擦；4) 順轉动方向，轉动靠背輪，檢查有无卡住現象。

9. 凝汽器系統的檢查：

(1) 关闭凝汽器汽側放水門；(2) 向凝汽器加入軟化水，保持比正常水位稍低的水位；(3) 关闭去給水箱的水門，打开再循环門；(4) 打开水泵进口处的平衡管；(5) 关闭水泵出水門；(6) 檢查凝結水泵，与檢查循环水泵的要求相同。

10. 打开主抽气器前空气門。

11. 疏水系統的檢查：

(1) 根据鍋炉情况，打开汽水分离器下疏水門；(2) 打开

主汽門前的高低壓汽缸上的疏水門；(3)關閉前汽封及調速器門的疏水門；(4)開主抽氣器第二段自動疏水器前後疏水門，關三通疏水門。

12. 檢查各個膨脹間隙有無阻塞，間隙應大於4.4公厘。

13. 汽缸與固定支架相對滑動面上螺絲的墊圈是否可以用松動，不應太緊。

14. 盤車：檢查有無碰擊及摩擦聲音。

二、沖動前的操作

1. 鍋爐進行暖管、升壓，達到額定參數。

2. 起動汽動油泵：

(1) 稍開蒸汽門，使汽輪機低速轉動，檢查其運行情況有無異常聲音與振動；(2) 低速轉動2~3分鐘後，視油壓逐漸打開蒸汽門，直到潤滑油壓為0.8~1.5表壓、主油壓為3.75~4.25表壓為止；(3) 從視油孔檢查潤滑油是否已流過各軸承；(4) 檢查油系統有無漏油現象；(5) 注意油箱油位的變化，如低於規定時，可加補充油。

3. 打開去冷油器前自來水門及冷油器前循環水總門，向凝汽器水側灌水，凝汽器上部空氣門有水流過時，關小自來水門。

4. 循環水泵灌水，灌滿後，關小灌水門，保證水泵里經常滿水，使循環水泵處於備用狀態。

5. 凝結水泵亦處於備用狀態。

6. 主抽氣器處於備用狀態。

7. 檢查下列各數值是否達到額定值。

主蒸汽壓力	不低於13個絕對大氣壓
主蒸汽溫度	不高於340°C，不低於300°C
潤滑油壓	不低於0.8表壓

潤滑油溫 不低于 35°C

8. 达到上述数值时, 通知鍋爐、电气运行人員, 准备冲动。

三、汽輪机启动

1. 打开主汽門, 待轉子冲动后, 立即將主汽門关小, 維持轉子在800轉/分以下进行暖机。

2. 暖机時間为7~8分鐘, 暖机结束后, 开大主汽門, 以每分鐘上升1000轉/分的速度进行升速, 約5~6分鐘后可达到額定轉速。

3. 在暖机和升速过程中, 应特別注意下列問題:

(1) 机組运行有无异常声音及振動; (2) 排汽压力、温度上升的情况: 排汽压力不应超过1.2绝对大气压, 排汽温度不应超过 120°C ; (3) 凝汽器喉部压力、温度的情况: 温度不得超过 80°C , 若將达到 80°C 时, 可用自来水进行凝汽器水侧循环; (4) 相对热膨胀指示不得超过起動前讀数1公厘, 若將达到1公厘时, 須延長暖机時間和降低升速速度; (5) 热膨胀指示不得超过4.4公厘, 如达到4.4公厘时, 应立即停机; (6) 潤滑油溫的变化: 当油溫超过 40°C 时, 打开冷油器水路进水門和冷油器前自来水門, 用自来水进行冷却, 油的温度保持在 $35\sim 45^{\circ}\text{C}$ 之間; (7) 調速汽門开度及調速汽門后压力; (8) 注意热水井水位和水溫的变化。

4. 当轉速上升至3000轉/分以上时, 注意主油泵投入工作的情况。油压上升后, 可逐步停止汽动油泵, 停止汽动油泵时, 应特別注意潤滑油压的变化。

5. 轉速上升至5000轉/分以上时, 注意調速器开始工作的情况和調速汽門是否逐漸关闭。

6. 当調速汽門关小在空負荷位置时, 注意調速器是否能維