

# 凝汽器泄漏 和过冷却的消除

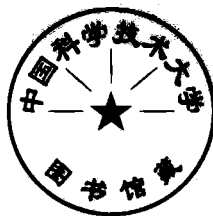
郭 予 超編著

水利电力出版社

## 內 容 提 要

本書詳細地分析了汽輪機凝汽器洩漏和凝結水過冷卻的各種原因，並介紹了消除這些缺陷的方法。

本書文字通俗，內容淺顯，適合汽輪機檢修工人或運行工人閱讀。



## 凝汽器洩漏和過冷卻的消除

郭 子 超編著

\*

1903R406

水利電力出版社出版（北京西郊科學路二里溝）

北京市書刊出版業營業許可證出字第105號

水利電力出版社印刷廠排印 新華書店發行

\*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 \* 1%印張 \* 37千字

1959年2月北京第1版

1959年2月北京第1次印刷(0001—3,100冊)

統一書號：15143·1499 定價(第8類)0.17元

# 目 录

第一章 凝汽器泄漏的消除 .....	2
第一节 凝汽器的作用和基本构造 .....	2
第二节 泄漏的危害性及其原因分析 .....	6
第三节 消除泄漏的方法 .....	18
第二章 凝結水过冷却的消除 .....	26
第一节 过冷却对汽輪机运行的影响 .....	26
第二节 产生过冷却的原因分析 .....	29
第三节 消除过冷却的方法 .....	38

# 第一章 凝汽器泄漏的消除

## 第一节 凝汽器的作用和基本构造

### 一、凝汽设备的任务

凝汽式汽轮机都具有凝汽设备，它是由凝汽器、循环水泵、凝结水泵、抽气器以及有关的管道组成。装设凝汽设备有二个目的：

(1)在汽轮机的排汽部分建立並維持一定的真空 在汽轮机的排汽部分建立高度的真空，目的是使进入汽轮机的蒸汽从高的压力和温度降低到可能达到的最低压力和温度，将它的热量尽可能多放些出来，变成转动汽轮发电机的能量，这样可以提高汽轮机设备的经济性。

真空的建立，主要是蒸汽在凝汽器中凝结时所造成的；在一定的压力下，蒸汽的体积比水的体积要大得多，特别是在压力很低时，例如在压力为0.05绝对大气压时，蒸汽的体积比水的体积大28,600倍，所以蒸汽在凝结成水的时候，体积就大大地缩小。在严密的凝汽器中，多余的蒸汽空间就造成了真空；在此同时，抽气器经常从凝汽器中把不能凝结的空气抽出去，二者的结果，使汽轮机在运行时，凝汽器经常保持着高度的真空。

(2)将凝结水回收，送回锅炉 凝汽器把蒸汽凝结成水，这些水都是清洁不含杂质的蒸馏水，锅炉正需要它来作为给水，如果把它放掉就很浪费，所以通过凝结水泵把它送到给水管去。

## 二、凝汽器的基本构造

为了达到上述两个目的，在凝汽式汽轮机设备上普遍采用了表面式凝汽器，它的构造如图1所示：

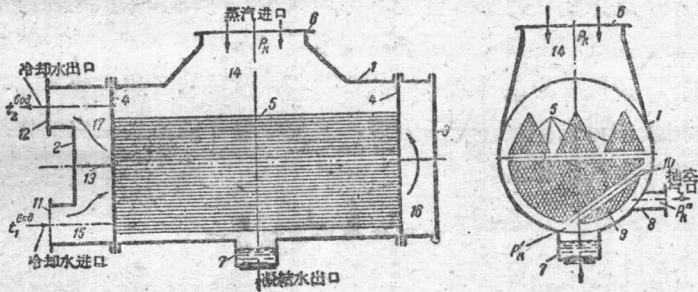


图1 表面式凝汽器构造的简图

1—凝汽器外壳；2—水侧盖板；3—返回端的水侧盖板；4—管板；  
5—冷却管；6—排汽进入管；7—热水井；8—空气抽出管；9—空气  
冷却器；10—凝汽器蒸汽侧档板；11—进水管；12—出水管；13—  
水侧隔板；14—凝汽器蒸汽空间；15、16、17—水室。

凝汽器外壳1是圆筒形或者椭圆形的，它用铸铁制成或用钢板焊成，两端各装上一块钻好孔的管板4，管板间相对的孔中固定着大量黄铜制成的冷却管，管板两端装有特殊的盖板2和3，和它连接而形成水室，凝汽器外壳的上部位置有排汽进入管6，它直接地或者通过膨胀接头和汽轮机的排汽管相连接，凝汽器外壳的下端装有储集凝结水的热水井7。

冷却水通过进水管11进入水室15而分配到第一回路的冷却铜管中去，通过第一回路后就流入水室16，在水室16转变方向而流入第二回路的管子中去，然后在水室17汇合而由出水管12引出，这样的凝汽器叫做两回路的凝汽器；有些小容量汽轮机采用三或四回路的凝汽器，冷却水在它里面转变两次或三次流动

方向。来自汽輪机的排汽，經過排汽进入管6进入凝汽器的蒸汽空間，在那里它和冷的銅管外壁接触而凝結成水，凝結水向下流而汇集于热水井7，不能凝結的空气則流向外壳下部侧面配置着的空气抽出管8，空气从凝汽器抽出之前，要求它的温度尽可能降低、使蒸汽含量尽可能减少，空气的体积也縮小，以减少抽气器的負担，所以在很多凝汽器中，分出一部分冷却管，数量約为全部冷却管的5~8%，这些管子集成管束9，由档板10将它和其他管子分开，这部分管子通常根据它的作用而称为空气冷却器。

### 三、銅管管端的裝配方法

銅管固定在管板上，基本上有两种形式，一种是脹管式(如图2)；一种是管端密封式(如图3、4)。不論那一种形式，它的任务是保証管端經常保持严密，而且当管子受热伸长时严密性不遭破坏。

銅管安装方式通常可分为三种：

(1)管子两端都采用管端密封式，使管子装在管板孔上，能自由地膨脹；

(2)管子两端都采用脹管式，須将管子稍稍弯曲来适应它的膨脹；

(3)管子一端采用管端密封式，另一端采用脹管式。

管端密封式的管板上具有垫料槽，銅管装上后，先装上垫料，然后再装上管环，并擰紧管环压住垫料而保持密封(如图3)，也有个别的制造厂，它的密封仅仅依靠垫料本身，无需再加管环，如图4即是其中的一种。在带有螺紋的管板槽中，装上用錫箔制成的垫料圈和化学纖維制成的垫料圈，安装时将它們逐个敲紧于管板槽內，这种特殊的化学纖維垫料圈在水中能潤

湿脹大起密封作用。带管环的管端密封式采用的垫料种类很多，有棉紗繩、承压紙板、橡皮、鉛箔垫圈、錫箔垫圈、布垫圈、化学纖維等，其中以棉紗繩用得最多。

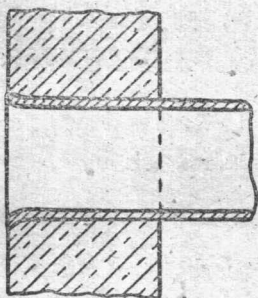


图2 銅管管端采用脹管式

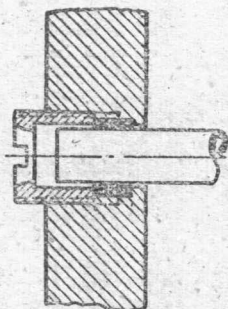


图3 銅管管端采用密封式

管端密封式的优点是管子可以自由伸长，装換很方便；但它需要装上大量的垫料，工作較麻煩，造价也較貴，而且在运行期間，它的严密性减弱亦較快，但实践証明，适当的垫料和正确的施工，仍能够长期保持良好的密封。

在現代的凝汽器中，广泛地采用两端脹管式，它的优点是安装工作簡單，而且管子和管板間的連接非常牢固，能保証管端有高度的严密性；在开始采用脹管式时，由于顧慮管子在受熱伸长时，它和管板間的接合会松掉，因此出現了一端用脹管式，另一端用密封式的安装方法，但实践証明，这种顧慮是多余的；如果脹管工作做得好，可以在长时期內保持良好的严密

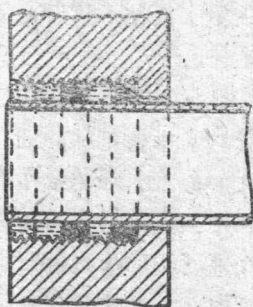


图4 銅管管端不带管环的密封式

性。我們曾經做過試驗，脹管管端能承受載荷 1 噸，甚至还多一些；而平時使管子脫離管板的力是很小的，最多也不過是幾百公斤，故我們認為沒有問題。由於兩端脹管式能保證高度的密封，因此在高壓汽輪機的凝汽器中都廣泛地採用兩端脹管式作為唯一的安裝方法，以達到現代高壓高溫電廠對於給水質量的嚴格要求。

## 第二節 洩漏的危害性及其原因分析

### 一、洩漏的危害性

凝汽器在運行時，如果銅管上有孔洞，裂紋或者銅管管端與管板連接處不嚴密，那麼冷卻水的壓力及蒸汽空間的真空吸力將使冷卻水漏入蒸汽空間，與凝結水混在一起，由凝結水泵打入給水系統。這種冷卻水漏入凝結水的現象，稱為凝汽器洩漏。

洩漏是凝汽器在運行中最常見的故障之一，洩漏的後果會使凝結水水質不純。我們大家都知道進入鍋爐的水質要求是很嚴格的，不容許給水中含有超過規定的雜質；冷卻水洩漏到凝結水中去，凝結水就會含有較多的固體懸游物（例如污泥等）、以及鈣、鎂的鹽類（例如碳酸鈣等）等雜質，含雜質的給水會使鍋爐內部各受熱金屬表面（例如爐管等）上形成水垢。水垢是不容易傳熱的，在積有水垢的地方熱量難以傳遞，這樣就會使鍋爐效率降低，增加煤耗；除此以外，爐管上積有的水垢物，各處厚薄不一，將使爐管上某些地方的溫度局部升高，日子一久，會使爐管因過度受熱而燒壞，被迫停爐，造成事故；如果冷卻水洩漏極嚴重時，甚至將使凝結水泵來不及將全部凝結水抽出，這樣不僅會使凝汽器中水位升高及真空惡化，而且凝結水質量會低劣到不允許汽輪機再繼續運行，迫使停機進行檢修。



从这些后果可以看到泄漏的危害性，因此消灭凝汽器泄漏是汽机分场工作人员重要工作之一。

## 二、检查泄漏的方法

为了便于分析泄漏的各种原因，先介绍一下日常所采用的各种检查泄漏的方法。

(1) 经常性的化学监督 汽轮机在运行中，我们怎样会知道凝汽器发生泄漏呢？主要是依靠经常对凝结水进行化学监督，化验水质状况，通常每班(八小时)至少进行一次凝结水泵出口处的凝结水水质化验。化验内容是测取凝结水的硬度、溶解氧量和导电度的数值，其中硬度和导电度二个数值和泄漏密切相关有关。

水的硬度主要是指水中含有钙、镁的碳酸盐或硫酸盐等杂质的数量，此类杂质愈多，则水的硬度愈大。发生泄漏时，凝结水中混入一部分带有杂质的冷却水，那么凝结水就会具有较高的硬度；同时，纯粹的凝结水是不良导电体的，但是当水里含有溶解固体后，就会使水的导电性能增加，水的导电度就是表明水的导电性能的数值，于是测得导电度就增加了；因此，在化验凝结水时，发现导电度增加，就表示凝汽器可能有泄漏发生。当泄漏比较严重时，凝结水就会出现较高的硬度(正常时硬度应等于零或不大于0.03~0.07德国度)，因此这两个数值可以作为监督泄漏的重要依据。

(2) 凝汽器泄漏水量的测定 凝汽器在运行正常时，漏入凝结水的冷却水应该差不多等于零或者每小时不超过几公斤。为了了解凝汽器水侧严密性，就需要知道凝汽器的泄漏水量，它可以在停机时用水侧水压试验来确定。

当进行水侧水压试验时，首先将通向凝汽器蒸汽空间的一

切管道用堵板或严密的截門截断，然后向凝汽器蒸汽空間灌水，直至到热水井的玻璃水位計已看得出为止。接着用循环水泵按正常程序向凝汽器送入冷却水，为了使水側和蒸汽空間之間获得接近正常运行时的压力差，可以起动輔助抽气器，通常利用此抽气器在軸封不供汽的条件下，可以获得200~300公厘水銀柱或更高的真空，当水側和蒸汽空間的压力(或真空)达到稳定的数值时，即可在玻璃水位計上做好第一个水位标記，經過一定的時間后(以不少于半小时为宜)，再做第二个水位标記，并記錄从做第一个水位标記到做第二个水位标記中間所持續的时间，那么，水位計上二个标記高度之差，即是此段時間內因泄漏而聚集在蒸汽空間的水量所引起的水位变化，根据热水井的尺寸，就可以算出泄漏水量。

凝汽器在輔助抽气器不工作的情况下，也就是凝汽器的蒸汽空間在大气压力时，亦同样可以进行上述水压試驗。

試驗时所得的漏水量，应该換算成每小时的漏水量，然后按凝汽器在正常工作时水側和蒸汽空間的压力差加以修正，修正可按下式进行計算：

$$D = D' \sqrt{\frac{\frac{P_1 + P_2}{2} + \frac{H}{735.5}}{\frac{P'_1 + P'_2}{2} + \frac{H'}{735.5}}}$$

式中  $D$ ——正常运行时每小时的漏水量，公斤/小时；

$D'$ ——試驗时每小时的漏水量，公斤/小时；

$P_1$ ——正常运行时凝汽器冷却水入口压力，表大气压；

$P'_1$ ——試驗时凝汽器冷却水入口压力，表大气压；

$P_2$ ——正常运行时凝汽器冷却水出口压力，表大气压；

$P'_2$ ——試驗时凝汽器冷却水出口压力，表大气压；

假使出口处为真空，则  $P_2$ 、 $P'_2$  取負值；

$H$  —— 正常运行时凝汽器蒸汽空間內的真空，公厘水銀柱；

$H'$  —— 試驗时凝汽器蒸汽空間內的真空，公厘水銀柱。

(3) 凝汽器蒸汽空間灌水檢查泄漏 如果要准确地找寻到泄漏发生在那几根管子，需要在停机时进行蒸汽空間灌水試驗。

向凝汽器蒸汽空間灌水之前，應該先进行下列各項准备工作：

1. 頂住凝汽器大气排出門的門盘，防止灌水水位高时将它頂开；頂住大气排出門門盘常用的簡單方法有二种：一种是用千斤頂頂住大气排出門的連杆，如图 5 所示；另一种是用二根长螺絲直接压住門盘，如图 6 所示，后面一种方法，

操作簡單、方便，但是在工作完毕时，容易忘記把它拆掉，而造成汽輪机在运行时大气排出門被人为頂住的不良后果。

2. 如果凝汽器和汽輪机排汽管是用法兰固定連接，在凝汽

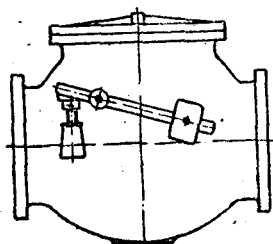


图 5 用千斤頂頂住大气排出門連杆

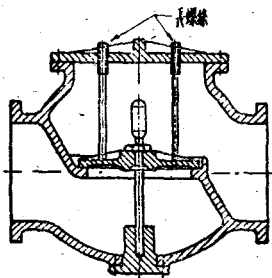


图 6 用长螺絲压住大气排出門門盘

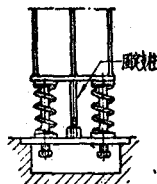


图 7 墊在凝汽器彈簧支座的固定支柱

器底部装有弹簧支座，那么在灌水之前，应该在弹簧支座处垫好类似千斤顶式的固定支柱，如图7所示，以避免凝汽器灌水后，水的重量作用到汽轮机汽缸的排汽管法兰上。

3. 将汽轮机排汽管上适当位置的水位监视孔打开，根据监视孔中水的流出，来判断凝汽器中水是否已灌满。监视孔的位置应该低于汽轮机最后一级叶片的最低位置，以避免灌水时，水触及叶片而发生危险，特别是对于刚停的汽轮机，触及温度较低的水会使热的机体发生单面冷却，甚至使汽轮机的轴产生弯曲等严重的不良后果。监视孔可以利用适当位置的疏水管、疏汽管法兰来代替，或者选择适当位置钻孔并装上堵板，在使用时拆除堵板而作为监视孔，在选择监视孔位置时，应该考虑到工作人员工作时的方便和安全。

4. 将水室内的剩水全部放尽后，打开凝汽器水侧的人孔门，装好低压行灯。

5. 用橡皮软管引压缩空气来，把管板上和铜管内部遗留的水滴吹干。

做好以上准备工作，即可进行灌水，水可以由凝结水系统上送过来，开启凝汽器回流管上的截门，经过它将水灌入凝汽器的蒸汽空间，通常回流管管径比较小，灌水所需时间较长，如果要时间缩短些，则可以在灌水前拆除凝结水泵逆止门门盘，让凝结水经过凝结水泵倒流到凝汽器的蒸汽空间。

灌水到监视孔有水流出时，立即关闭水源，在查漏过程中不许将监视孔关闭，以避免截门泄漏或误开时，凝汽器水位升高而发生危险。

灌水完毕，即可开始进行查漏，对泄漏部位应作标记和记录，有的可以立即进行处理。

当灌水试验完毕时，将大气排出门及凝汽器的支撑物拆

除，堵塞水位監視孔，关闭水室人孔門。

、如果在大修結束时进行上述試驗，可以将水位尽量放高，直到接近汽封洼窩处，或者在盖了汽缸以后，将軸封两端用垫料封住，从汽缸上盖上适当的孔眼通入压缩空气，使汽缸內产生約1公斤/平方公分左右的压力，然后再进行檢查泄漏，这些措施的目的是使查泄漏时的条件尽量接近运行时的工作条件。这样試驗时，还可順便的将在运行中可能处于真空状态的抽汽管道等，同时灌水来檢查它們有否不严密之处，在运行中泄入空气。

(4) 水室分成兩側的凝汽器在运行中檢查泄漏的方法 在运行中发现凝汽器有泄漏，可采取临时性的查漏方法如下：隔絕和停用凝汽器的一側，打开水室的人孔門，用点燃的蜡烛或者用一只橡皮膜工具如图8依次接近各根凝汽器管子的管口，因为凝汽器的蒸汽空間的真空使发生泄漏的管子将空气从管口吸入，所以当火焰或橡皮膜工具靠近这根管子，就会被吸引，火焰傾向管口或橡皮膜貼向管口，从这个現象可以确定泄漏的管子，并采用临时的措施堵掉这些管子；这个方法仅在泄漏比較严重时，方能見效，对于微小的滲漏，很难用这个方法来找它。但当泄漏过分严重时，又会在停用水室的一側，打开人孔門时，使大量空气漏入蒸汽空間，引起真空迅速下降，迫使停机，故在停用水室的一側后及打开人孔門时，要注意凝汽器的真空有否急烈的下降，如发现此現象应立即使这一側的水室充水，以避免真空下降，紧急停机事故，檢查泄漏工作則須在停机时进行。

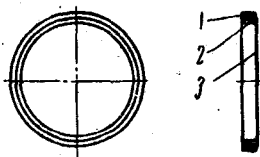


图8 查泄漏的橡皮膜  
1—外圈；2—内圈；3—薄膜。

### 三、泄漏的原因分析

凝汽器发生泄漏的原因很多，归纳起来有以下几种：

(1) 垫料的密封不好 采用管端密封式的安装方法，其最常见的缺陷是由于各种原因使垫料不能起良好的密封作用。

1. 选择的垫料材料、规格不满意 如有些运行已多年的旧式凝汽器，它的管端用布垫圈做垫料，这种布垫圈缺乏弹性，日子一久就失去密封作用；又如在选择棉纱绳时不恰当，放置了过细的棉纱绳，使垫料在管板槽中不能逐圈平服压紧，出现空隙而发生泄漏；又如棉纱绳质量不好，有些棉纱绳的中心没有绳芯，运行日久后，棉纱绳干燥缩小而使密封松弛；又如管板槽内的垫料深浅不一，棉纱绳长短不一，过短的棉纱绳会降低密封的质量，运行不多时就会泄漏。

2. 垫料安装得不好 棉纱绳或其他垫料的安装质量良好，是消除泄漏的重要手段；往往在几千根管子中间，只是几根或几十根管子的垫料装得不好，就会给我们造成很多麻烦，影响汽轮机的运行。

倘使在安装前没有将管板槽清理干净，有垃圾杂物残留在内，那么他们会使垫料充填得不均匀；安装棉纱绳垫料时，假使操作不熟练，使垫料没有均匀充填，这种情况往往是里面一两圈垫料填得不好，以致很多圈垫料拥挤在外面（如图9所示），此时即使管环已经压紧，日后也是容易发生泄漏的。这种安装质量不好的现象，最容易发生在工作时不方便的位置，例如在靠近凝汽器边缘和最低的几排管子；安装时操作错误，棉纱绳盘入管板槽的方向与管板槽螺纹旋入方向相反，垫料虽然装得很好，但在装管环时，会损坏垫料密封而降低了它的质量；管环没有压紧垫料，也会使密封迅速损坏，这种情况常常是管板

上螺紋齒已受腐蝕或損傷，使管環的擰入受到阻礙的緣故，操作時雖然感到管環已擰得很緊，而實際上墊料並沒有壓緊，此外，管子太長或管環尺寸不對使管環與管子已經碰着，也會誤以為墊料已壓緊(如圖10所示)，管環上的螺紋齒作成錐形是錯誤的，它也會引起墊料沒有壓緊而管環已擰緊的毛病；採用鉛墊圈、化學纖維墊圈時，倘使墊圈比安裝時的規定的只數放得少，而最外面的鉛墊圈沒有用工具敲緊，那麼表面上管板槽是填滿了，但實際並沒有足夠的密封；上述種種缺點都是泄漏的可能原因。

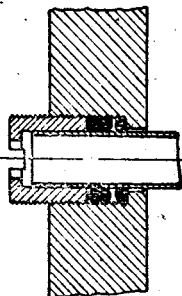


圖9 棉紗繩墊料  
填充不均勻

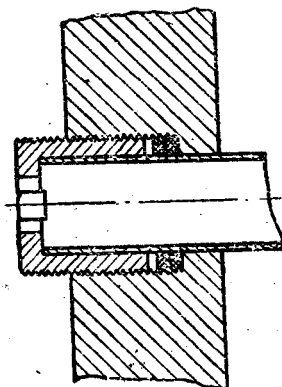


圖10 管環與管端碰着而  
墊料沒有壓緊

(2) 脹管管端泄漏 脹管管端的嚴密性比密封式管端的嚴密性可靠很多，一般來講，泄漏的可能性較少；如果脹管前，管板孔或管端外表面沒有清理干淨，脹管后，管端將受雜物的影響而不嚴密；脹管時緊度不足，亦會降低管端的嚴密程度，倘若根本沒有脹緊，那麼在灌水試驗中可以發現，但是若泄漏很輕微的話，在灌水試驗時就比較難找出，如果滲漏的管子較多，那麼就會在管板上出現潤濕的現象，而難以覺察到是那一

根管子泄漏；脹管时，如果过分用力，会使管端与管板孔接触处呈现很深的痕迹，严重者可能产生裂纹，倘使管板孔边缘太尖，亦会使膨胀时产生裂纹；如果安装前管端没有进行退火，膨胀时也容易产生裂纹，这些裂纹往往是促使铜管断裂的根源。

**(3) 铜管材料不符合要求** 凝汽器铜管在制造时，是用鑄铜延伸轧成，如果毛坯存在缺陷，例如鑄铜中有气孔或者含有杂质，这些气孔就会在管子的表面上形成伤疤，以后就会在这些伤疤上破断或腐蚀；在制造铜管时，模子不清洁，也会使轧成的管子在表面上出现纵向很长的伤痕，而成为以后产生裂纹的根源；在轧制铜管时，由于管子受冷却而产生内部应力，故轧制完毕时必须进行退火，如果没有经过退火消除它的内部应力，也会产生裂纹。由于以上这些原因会使铜管在运行时发生裂纹或折断，而引起泄漏。

**(4) 铜管振动而破損** 当物体受到外界的冲动力，就会发生振动，我们把物体在单位时间内振动的次数叫做振动的频率，根据振动学的原理，每个有一定形状和质量、并以一定的方式固定的物体都具有一定的振动频率，这频率是不会变的，只要它受到外力的作用，单位时间内振动的次数总是这么多，它并不因外力的大小而改变，这个频率叫做自然频率，这种振动叫做自然振动；物体除了自然振动以外，还可以发生强迫振动，它是受到周期性作用的外力（就是每隔一段时间来推一下的力）而引起的，如果外力的频率（单位时间内来推动物体的次数）和物体本身的自然频率一致或者比自然频率小若干整数倍，例如小1、2、3……倍，那么就会使物体发生共振，也就是说，物体振动的振幅将愈来愈大（振动的幅度大小称为振幅），这个大大增加的振动常常对物体产生很大的破坏作用。

凝汽器铜管两端装在管板上，中间有隔板隔开，铜管本身



就形成一个有彈性的物体，如果有一个外力推它一下，它就会发生振动，根据上面所講的原理，我們已知道銅管本身具有自然頻率；另一方面，汽輪机在运行时，轉动着的轉子使汽輪机和凝汽器产生一个周期性的振动，它的頻率和轉速有关，例如3,000轉/分的汽輪机，引起的振动頻率是50次/秒，如果銅管本身的自然頻率和汽輪机轉子轉动时产生的頻率相等或者成整数比，那么銅管在运行中会发生共振，有时銅管和附近其他轉动机器也会发生共振；发生共振的管子由于长期在幅度很大的振动情况下工作，銅管承受不了反复的弯曲而折断，比較輕微的振动則可能使管端的密封垫料被損坏。

另外一种情况，是由于蒸汽冲击，使靠近排汽入口的管子，受到蒸汽周期性的冲击，而引起剧烈的振动，直至銅管断裂，这种故障常常发生在最上面的两、三排管子。

如何避免凝汽器銅管与汽輪机轉动所引起振动而发生的共振，是在設計时就應該考虑的問題，所以由于这个原因而发生的振动是比較少的，多数的振动是由于蒸汽冲击所引起。

銅管由于振动而断裂的特点是断裂的地方往往是在靠近管板或隔板的位置，銅管的断裂面是很光、很平的，它是受了很多次弯曲应力，最后疲劳折断而形成的。

**(5)运行时，最后一級叶輪上，有叶片断落，击破第一排銅管** 屬这个原因的象征很明显，泄漏的銅管一定在凝汽器排汽入口的第一排銅管，如果停用凝汽器的一側找漏时，有这样的象征就值得怀疑这个原因，泄漏的发生常常很突然，并且泄水量也是較多的，从化学监督中可以觉察。

**(6)水、汽刷蝕** 引入凝汽器的各种疏水，疏汽管子如果布置得不好，就使水、汽能直接冲刷到凝汽器銅管上，被冲刷的地方会迅速磨損，以致发生泄漏；如果屬于这个原因而引起