

# 凝汽器的胶球清洗

江苏省电力局

水利电力出版社

64

# 凝汽器的胶球清洗

江苏省电力局

水利电力出版社

## 凝汽器的胶球清洗

江苏省电力局

\*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

\*

787×1092毫米 32开本 37/8 印张 86,000 字

1979年4月第一版 1979年4月北京第一次印刷

印数 00001—7850 册 每册 0.35 元

书号 15143·3429

## 前 言

节约是社会主义经济的基本原则之一。

在我国发电厂中必须开展省煤节电工作。这是一项十分重要的工作，也是一项大有作为的工作。它涉及到发电机、电、炉、化、燃料各车间及各部门，要他们各自做出最大的努力，也要他们互相配合。只有这样，才能在经济上取得成果。对汽轮机专业人员来说，首先要围绕如何提高汽轮机效率进行技术革新工作，以达到安全，满发、低耗的目的。

从发电厂汽机车间的日常工作中我们知道，要提高汽轮机的工作效率，可以从两个方面入手。一是提高汽轮机内效率，即是使汽轮机各部件趋于完善，如汽轮机通流部分的改进，减少漏汽损失等等，使汽轮机的经济性有较大的提高。二是提高汽轮机的循环热效率，即是从增加蒸汽在汽轮机中的有效热降来达到，如提高主蒸汽温度、提高主蒸汽压力和降低汽轮机的终压等等。随着蒸汽初参数的提高和终压的降低，蒸汽的作功能力也相应增加，这样汽轮机的循环热效率就有较大的提高。

综上所述，要提高汽轮机的工作效率，其途径很多。本书主要就如何降低汽轮机终压和实现它的有效手段，即对胶球清洗凝汽器加以探讨。

在编写本书过程中，既总结了我省一些电厂在开展胶球清洗凝汽器方面所做的工作和已取得的成果；也援引了外省许多发电厂的先进资料，借以将胶球清洗凝汽器这项工作按

ABD 83/02

我部电力生产司的要求，提到一定的高度加以推广。本书的初稿还得到华东电业管理局、华东电业管理局中试所、华东水利学院水动力教研组、上海吴泾热电厂、杨树浦发电厂、望亭发电厂、高桥发电厂、户县热电厂、松木坪发电厂、青岛发电厂、张掖发电厂、太原热电厂、半山发电厂、莲板发电厂、江西中试所、湖北电力设计院、上海汽轮机厂、南京工学院以及我省一些电厂的审阅，谨在此致以衷心的感谢。

本书由我局史政同志执笔。由于我们的实践和水平有限，书中一定存在许多不足和错误之处，敬请读者指正。

江苏省电力局

1978.9

# 目 录

## 前 言

第一章 凝汽器的清洗 .....	1
一、凝汽器的真空 .....	1
二、如何提高凝汽器的真空 .....	4
三、凝汽器是怎样污染结垢的 .....	6
第二章 胶球清洗凝汽器的效果 .....	11
一、尼龙刷子自动清洗法 .....	12
二、胶球自动清洗法 .....	13
三、软胶球与尼龙刷子两种清洗装置的比较 .....	14
四、胶球清洗凝汽器的经济效果 .....	16
第三章 胶球自动清洗系统 .....	19
一、胶球泵 .....	21
二、装球室 .....	28
三、收球网 .....	30
四、管路系统 .....	45
五、分配器 .....	46
六、设备的布置 .....	48
第四章 循环水二次滤网 .....	50
一、滤网的种类 .....	51
二、四种滤网的优缺点比较 .....	56
三、对比试验 .....	58
四、二次滤网设计时的注意事项 .....	61
第五章 理化法净水措施与酸洗、镀膜问题 .....	71
一、理化法净水措施 .....	71

二、凝汽器的酸洗 .....	76
三、铜管镀膜 .....	82
<b>第六章 凝汽器的污染监视与省煤的计算方法</b> .....	<b>86</b>
一、监视凝汽器的端差变化 .....	86
二、监视凝汽器的清洁度 .....	90
<b>第七章 影响回收率的结构因素及运行中应注意的 几个问题</b> .....	<b>99</b>
一、提高收球率的措施 .....	100
二、运行中应注意的几个问题 .....	105
三、投球的操作方法 .....	110
四、记录与分析的重要性 .....	112

## 第一章 凝汽器的清洗

凝汽器是汽轮机的重要辅助设备之一。有了它，汽轮机的热力循环才能实现。凝汽器工作的好坏直接关系汽轮机的工作效率。在火力发电厂的实践中，从来没有一个凝汽器工作不好而汽轮机效率很高的实例。凝汽器工作好坏的重要指标是其严密性和清洁度。只有凝汽器既严密又清洁，才能保持凝汽器的高度真空，汽轮机的工作效率才得以提高。因此本章将围绕如何保持凝汽器清洁度的几个问题加以叙述。

### 一、凝汽器的真空

汽轮机的排汽进入凝汽器以后，遇到排列成一定阵式的铜管束。由于铜管内通过温度较低的冷却水<sup>①</sup>，故铜管外壁温度较低。排汽接触到铜管表面即被冷却，凝结成水。因为排汽压力较低，它的比容很大，凝结成水后体积骤减，如当排汽的绝对压力是0.04公斤/厘米<sup>2</sup>时，凝结水的容积为蒸汽容积的三万五千分之一<sup>②</sup>。在密闭的凝汽器中产生这样大的体积变化（缩小），必定形成较高的真空。由于汽轮机的排汽口是紧联在凝汽器喉部的，凝汽器内真空较高，即意味着

---

① 在本书中凝汽器的冷却水就是循环水。严格说来，对采用闭式循环的火电厂，即其凝汽器出口冷却水经冷却后又进入凝汽器再行工作的水，叫做循环水。而在开式供水系统中，由于冷却水不作循环使用，故叫作冷却水。

② 此容积比系指同压力下水和干饱和蒸汽的容积比，而排汽是湿蒸汽，故比值要比三万五千分之一略小一些。



汽轮机的排汽口压力较低。这样蒸汽在汽轮机中作功膨胀可达最大限度，更多的蒸汽热能被汽轮机所利用，而传给冷源的热量就相应减少，因此循环热效率将显著增高。这一点从焓熵图上就很清楚地看出来。

从图 1-1 中可以看到当进汽压力  $P_0=100$  绝对大汽压 (ata)，汽温  $t_0=500^\circ\text{C}$  时，在汽轮机中膨胀到终压  $P_n=0.1$  绝对大汽压时，其理想焓降  $H_0$  为 307 大卡。如果把终压  $P_n$  由 0.1 下降到 0.04 绝对大汽压，则理想焓降  $H_0'$  将由 307 大卡变为 331.7 大卡，循环热效率  $\eta_i$  将由 40.3% 上升到 42.7%。

根据一般经验，在进汽参数和流量不变的情况下，凝汽器的真空每提高 1%，对中压汽轮机来说，其出力可提高 1%；对高压汽轮机来说，其出力的提高则近似 1%。

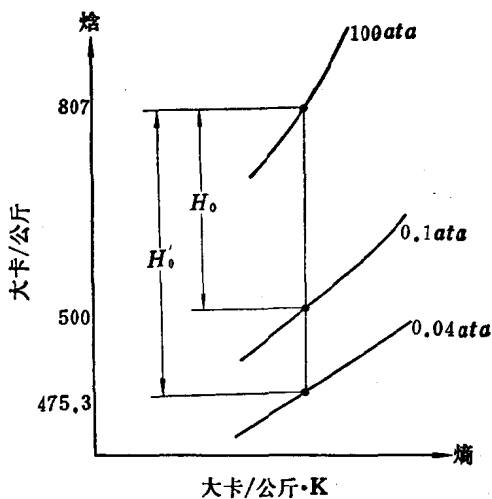


图 1-1 从焓熵图上看降低汽轮机的终压对循环热效率的影响

$$H_0 = 807 - 500 = 307 \text{ 大卡/公斤,}$$

$$H_0' = 807 - 475.3 = 331.7 \text{ 大卡/公斤}$$

这样说来，我们是否可以无限度地提高真空呢？凡事都有一个规律，对已设计好的机组来说，提高真空将受到末级通道的限制。因为各叶片之间的通道面积已定了，它通过蒸汽的能力也定下了。当真空提高到一定程度时，蒸汽的膨胀不能完全在叶片的流道中进行，而只能在末级叶片的出口处。因此可以说，末级叶片的流道截面积决定着真空的极限。超过这个极限若再提高真空，就没有意义了。此外，提高真空度与增大冷却水量有关。多开循环水泵，就要增大电耗，这可以从图 1-2 看到：在进汽流量及冷却水温不变的情况下，当增大冷却水流量时，汽轮机的出力增大了，见曲线 1；而此时的循环水泵的电耗也增大了，见曲线 2。两者相减就是增加循环水泵所得的净发电增量  $\Delta N$ ，据此绘出与冷

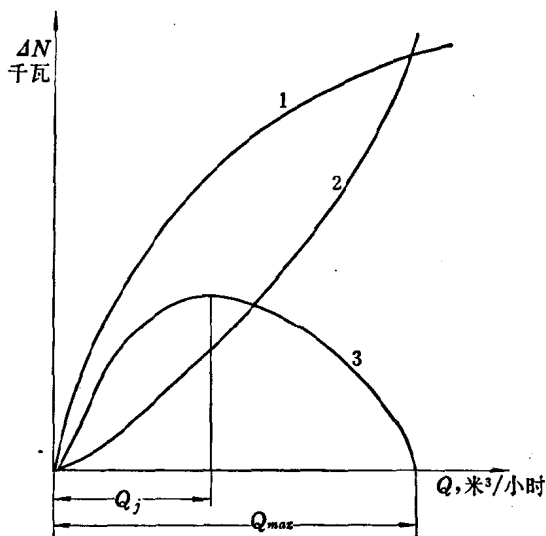


图 1-2 最佳真空与冷却水流量的关系曲线

却水有关的曲线3。从曲线3中找出最佳的冷却水量 $Q_j$ 或者是最佳真空来。当继续增大冷却水量至 $Q_{max}$ 时,将出现汽轮机出力增加的千瓦数与循环水泵多耗的千瓦数相等,即此时没有得益,也就是不能增加对电网提供电力。因此我们希望运行机组的排汽压力,一般达到设计值0.03~0.07绝对大气压为宜,最好达到通过试验确定的最佳真空值。目前许多电厂的真空均达不到设计值,特别是一到夏季农灌高峰时,个别电厂的汽轮机的排汽压力竟达0.1~0.2绝对大气压。由于凝汽器的工况不佳,不但影响了机组的出力,浪费了燃料,同时还影响工农业用电,使电网的供求关系更显紧张。因此我们要从政治这个角度来看待努力提高凝汽器真空,搞好省煤节电工作的重要性。

## 二、如何提高凝汽器的真空

在考虑提高凝汽器真空之前,应先简单地了解一下,一个设计良好的凝汽器应具备哪些技术条件。这些条件是:

- (1) 具有较高的传热效率和合理的管束布置;
- (2) 具有较高的真空严密性;
- (3) 具有较小的水阻;
- (4) 具有较小的汽阻及凝结水过冷程度;
- (5) 具有较小的凝结水含氧量;
- (6) 具有方便的清洗装置。

根据以上六条结合实践经验来看,现场中采用的提高凝汽器真空的办法大致如下:

- 1) 加大进入凝汽器的冷却水量,使冷却倍率 $m$ 增加,以提高凝汽器的真空,从而增加循环热效率。从图1-3所示可以看出,这一措施意味着汽轮机的终压降低。冷却倍率 $m$

一般设计在 50 至 70 之间。到底采用多少，这里有一个合理选用问题。冷却倍率选得过大可能出现两个问题：一个是铜管中流速过快，超过 2 米/秒以上。这时，如果水中含砂量较大，将会加速铜管的磨损；另一个是过多的消耗厂用电，甚至产生得不偿失的后果。

2) 改造老式凝汽器。由于老式凝汽器设计布置的空气区不当，管束布置不合理，以致水阻、汽阻较大，甚至过冷却现象严重等。这些都应设法消除，但必须持慎重态度。

3) 加大凝汽器的冷却面积。为了提高出力和由于其它原因，也可以考虑加大凝汽器的冷却面积，即增加铜管。但此时如有可能应加在两侧，防止因加大冷却面积后带来检修困难及过冷却的出现。

4) 加强凝汽器的维护，确保真空系统的严密性。这是一项很重要很有效的办法，但往往被忽视。大量的空气的侵入，势必引起凝汽器真空下降。有一个电厂大气放出门因薄膜用料不当破损了，造成真空下跌，不能运行。要保证系统

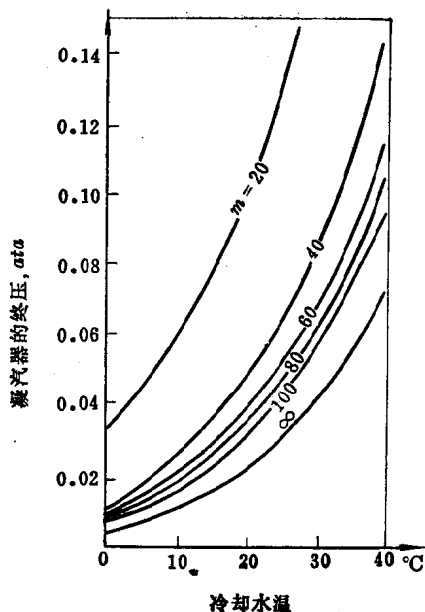


图 1-3 冷却倍率与汽轮机终压的关系曲线

有较好的严密性，检修时一定要加强责任感，同时严格检修工艺，执行验收制度。

5) 提高冷却管束的传热效率。在设计时选用什么样的管材是很重要的。铜管一旦选定即存在一个如何长期保证铜管清洁的问题。铜管中的冷却水来自江、河、湖、海和地下水源，均不同程度的存在污物和杂质，这就不可避免地会使铜管堵塞或结垢。怎样才能除去呢？这是一个非常重要的课题，也是本文的重点。

上述几种办法，发电厂感兴趣的还是如何防止铜管堵塞，清除管壁污垢，保持较高的凝汽器清洁度。因为这符合小改小革收益大的效果。在这方面，经过广大电业职工的多年努力，终于将胶球清洗凝汽器试验成功了。

### 三、凝汽器是怎样污染结垢的

凝汽器的污染一般指铜管污染，它分汽侧污染和水侧污染两种情况。汽侧污染往往是由于亚硫酸盐与石碳酸盐的附着所致，但这个问题比较小，也可用80~90℃热水冲洗它，效果良好。现在我们所要讲的是水侧污染，由于水源不同，水质各有差异，引起的污、堵、结垢也有所不同。为便于分析，根据不同水源将电厂分为下列四类加以讨论。

#### 1. 沿江电厂

沿江电厂一般都采用江水作为凝汽器的冷却水。江水含大量的细砂粒，较大的炉渣，细长的水草、稻草，芦根和较硬的果壳杂物，还有小鱼、小虾及小螃蟹等水生动物。

循环水泵房的进水滤网俗称一次滤网，长年没在水下，因而给检修维护带来一定困难，难免出现漏洞。一次滤网一旦有漏洞，上述这些杂物和生物即随水流进入循环水泵进

口，被循环水泵打到凝汽器水室中。由于有些杂物比铜管内径大，较大的杂物有可能堵在管口或卡在管中，使管中流速降低，泥沙迅速沉积，直到堵死。另一种情况是，铜管虽未被堵，然内壁结垢，这就使铜管的传热效率逐渐降低，真空日趋恶化。由于以上两个因素造成的危害很大，威胁着机组的安全满发，严重的要三、五天清理一次。

运行实践中就曾经出现过小螃蟹等堵管，引起真空跌落，造成停机的事例。

## 2. 沿河电厂

河水中含有大量的枯枝败叶，废弃的果壳、菜皮、破塑料布及水中生长的杂草与小鱼、小虾等动物，还有微生物。这些微生物随腐烂的果皮等杂物进入凝汽器后，就会附着在管板上，堵住铜管进口。此时由于流速减缓，温度适宜，微生物就在这里繁殖起来，逐渐形成一种灰绿色的或褐红色的粘膜，并在铜管内壁蔓延。它生长的快慢与水中有机污脏的程度有关，同时也与微生物生活条件好坏有关。此外水中细小的固体悬浮物很容易粘在这种粘膜上，日久变成一种黑色的糊状物质，往往带有臭味。它是一层导热不良的物质，使铜管的传热效率迅速降低。出现这种情况时的危害性可从下列一些概略数据中得到证实。

当凝汽器铜管结垢 0.5 毫米时，它的热阻是清洁铜管的 28 倍。

凝汽器铜管结垢不但使热阻增大，且使凝汽器的通流面积减少。以  $\phi 24 \times 1$  铜管为例，当结垢 0.5 毫米以后，通流面积约减 9%；若结垢 1.5 毫米时，则通流面积将减少 25% 左右。显然，这将使凝汽器水阻迅速上升。由此可见结垢的危害是很大的。

### 3. 沿海电厂

除去海水因水质原因对铜管有腐蚀作用外，由于海水中有水草及鱼虾等存在。这些杂物的危害是有季节性的，尤其是在夏季，风大浪急之时，大量沉在海底的贝壳和小石子将被卷起来，带向沿岸的循环水泵房进水口，通过被海水腐蚀而损坏的滤网处侵入，继而被循环水泵打进凝汽器，阻塞铜管，引起真空下降，使机组出力降低。

### 4. 采用闭式循环电厂

我国东北、西北、华北地区，由于水源缺乏，那里的电厂大都采用地下水作补充水源。这样循环水的暂时硬度，即水中含碳酸氢钙与碳酸氢镁较高。为了降低循环水的温度，电厂用喷水池、冷却塔或机力通风等方法来冷却循环水。这就要有一个闭式回流系统。循环水在流动中混入少量的树枝、枯叶甚至损坏的蜂窝纸及木块、小石子等，部分电厂的循环水中还含有绿苔衣。

这些电厂凝汽器的堵管并不严重，而主要问题还是铜管结硬垢。因为循环水在循环过程中要不断蒸发，从而使水中矿物质盐类的浓度逐渐增大。同时为补充因各种原因损耗的循环水，必须抽地下水来补充，这又要带来新的盐类。在铜管上结硬垢的主要是矿物盐类中的碳酸氢钙与碳酸氢镁的分解而成的碳酸钙与碳酸镁，其化学反应式如下：



促进它们分解的条件是水中的二氧化碳的含量降低，因为水中能含有多少硬度的碳酸盐是与该水中含有的游离二氧化碳数量有密切关系，见图 1-4。

从图 1-4 中我们可以看到，在不同的温度下，同一个二

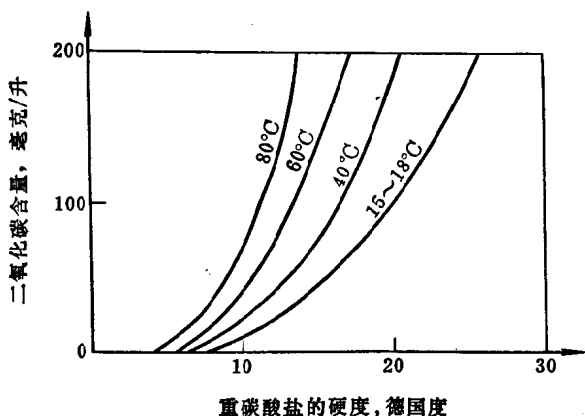


图 1-4 二氧化碳含量与重碳酸的硬度关系曲线

氧化碳的含量，就有几个对应于不同温度的碳酸盐硬度数值。循环水温度越高，其含碳酸盐硬度越低。

另外水中的重碳酸盐的分解，仅是其中超过溶解极限的那一部分。

再从图 1-5 中可以明显的看到，循环水温越高，则水中的二氧化碳含量就越低。结合前一段的内容，又可得出这样的结论：循环水温上升得越高，水中二氧化碳含量越低，则循环水中的碳酸氢钙与碳酸氢镁就越容易析出碳酸钙与碳酸镁，铜管内表面就越容易积垢。这可以从凝汽器不同部位的铜管结垢程度不一样得到证实。仅以常用的双流程对分式的凝汽器为例。一般结硬垢的电厂，总是凝汽器上部（凝汽器入口）的铜管结垢比下部铜管的结垢严重。而凝汽器中部的铜管又比外侧铜管的结垢严重。其原因与上述循环水温度的影响，即与凝汽器热负荷分布规律相关。

由于我们知道铜管中的循环水流速可视为相等，局部热



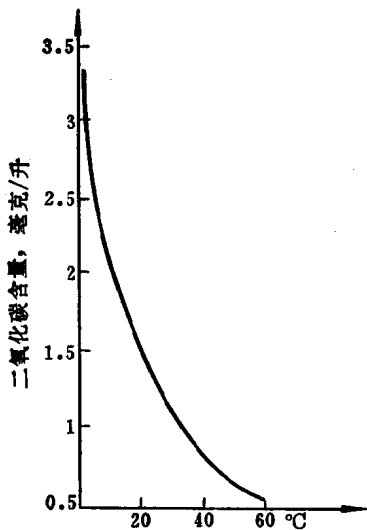


图 1-5 水温与二氧化碳含量关系曲线

负荷较重处也应是循环水温上升较高之处。而另一个原因是绝大部分机组的循环水是从下部进入凝汽器而由上部排出的，故上部温度较下部高。又因为铜管表面的凝结液膜是由上部向下落的，下部铜管的外表层液膜增厚，液膜的热阻较大。再就是抽气口在凝汽器的下侧，而局部热负荷是从凝汽器入口向抽气口方向逐渐减小的。由于以上因素造成这样一个现象：热负荷的分布基本上决定着结垢的状

况。也就是热负荷较严重处，其结垢程度也较严重。

那么循环水中的二氧化碳的含量是怎样减少的呢？一是因循环水在凝汽器中受热后，使水温上升，因而降低了水中气体的可溶性，即降低了水中气体的含量。这从图 1-5 中可明显地看出来。水温为 20°C 时，二氧化碳的饱和含量约为 1600 毫克/升；当水温上到 40°C 时，仅有 800 毫克/升左右，几乎是 20°C 时二氧化碳含量的二分之一。二是循环水在喷水池或冷却塔中成珠滴状落下，增大了与空气的接触面，导致二氧化碳的迅速消失。炉烟处理循环水主要就是用增加循环水二氧化碳含量的方法来防止铜管结垢。

综上所述，不论什么电厂的凝汽器，采用开式循环系统