

# 关于在汽轮机通流部分内部的除湿问题

孙先亮 罗春新

【提要】 本文对汽轮机通流部份内部除湿,包括在导向叶片内除湿、工作叶栅内除湿、导向叶栅后除湿以及隔板除湿、专门的汽轮机级—分离器、提高小颗粒水分的分离效果等除湿方法的原理、试验情况进行了概述,并进行了适当的分析,同时对我国开展这方面的研究工作提出自己的看法。

主题词: 汽轮机 通流部分内部 除湿研究

随着汽轮机单机功率逐渐增大,汽轮机末级组的蒸汽湿度也越来越大,湿蒸汽中的水滴对隔板的冲刷和对动叶片的侵蚀也就越厉害,这就必然对动叶片的安全工作造成危害,为了保证汽轮机组安全工作,在汽轮机设计时,就控制末级叶片出口湿度一般不超过13%。并且,从五十年代起,一些国家对汽轮机叶片的抗蚀和除湿问题日益重视,并开展了大量的试验研究工作。于是在动叶片进汽边采取了一些相应的抗蚀保护措施。如镶硬质合金片、喷镀硬质合金、电火花强化、镀铬、表面淬火等,以增加叶片进汽边表面的硬度,起到抗水蚀的作用。但蒸汽内所含的水分并没有减少,所以,这种抗蚀方法只是一种治标的方法。1954年苏联建成了世界第一座核电站,此后,三十多年来核电在世界很多国家发展很快,根据1985年的调查,全世界26个国家共已建成核电站375座,占世界总发电量的10%,正在兴建和计划兴建的核电站还有二百多座,预计到本世纪末世界核电站的发电量要占总发电量的30%。另外,苏、美、英、法这些年来还建造了大批的核动力舰艇。众所周知,目前核动力汽轮机,其工质大多为饱和蒸汽,往往汽轮机进口的蒸汽就处于饱和状态下,在不采用中间

再热和除湿措施时,饱和蒸汽通过汽轮机通流部分的膨胀,其末级叶片出口的蒸汽湿度可能达到近20%,这对汽轮机叶片的安全工作是无法接受的。所以随着核电站的广泛应用,除在叶片上采取抗蚀措施外,各国又对汽轮机除湿方法(治本的方法)进行了大量的试验研究,其中包括汽轮机前的水分离、在汽轮机通流部分内部除湿、在排汽缸和高、低压缸之间的连通管内除湿和外置式汽水分离器内除湿等措施,都已在不同国家的核电站汽轮机装置上应用或准备应用。下面只就关于汽轮机通流部分内部的除湿问题作一概述:

## 一、在导向叶片内除湿

通过空心导叶上开设的缝隙进行除湿,早已为世界各国的有关厂家和公司在实际运行的汽轮机中所广泛采用。我国的哈汽、上汽等厂家在本厂设计制造的汽轮机上曾使用过这种除湿方法。当蒸汽通过汽轮机时,在蒸汽湿度较大的情况下,导叶表面将出现一层水膜,因此,把导叶加工成空心,并在导叶出汽边和叶片内、背弧表面开设一定的缝隙,通过抽吸,可除去附着在导叶表面上一定数量的水分。一般在导叶表面上开两个缝

隙，并与共同抽吸腔室连接。为避免水分和蒸汽从这个缝隙流到另一个缝隙，应将两个缝隙开在具有相同静压的导叶表面上。如图1—2，3—4或其它（见图1a和6）。

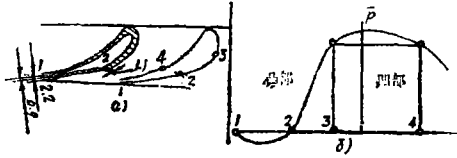


图1 空心导叶型线(a)和设置两个缝隙具有相同静压连接共同腔室的可能方案(b)

这种方法的除湿效果不同资料介绍各不相同。这是因为在汽轮机导叶表面上水分和水膜的形成过程是相当复杂的，它取决于多种因素。一些试验研究表明，汽流的工况参数（如 $Re$ 数和 $M$ 数； $u/c_0$ ； $y_0$ ； $\lambda_0$ 等。这里 $\lambda_0$ 为大颗粒水分的比率， $y_0$ 为被研究级前的蒸汽湿度）比导叶表面缝隙的形式和位置对除湿效果的影响要大得多。试验还证

明，当湿蒸汽的流动条件相同时，在导叶内的除湿效果与布置在叶片表面的缝隙位置关系不大。从图2可看出，随着被研究级前的初始蒸汽湿度 $y_0$ 的减小，其除湿效果将降低。这是因为，在多级汽轮机中，随级前初始蒸汽湿度的减小，汽轮机中蒸汽凝结的起点区移动，引起被研究隔板前水分颗粒度的变化，以致引起除湿效果的变化。另外，在蒸汽湿度 $y_0$ 和级的热降不变的情况下，转子的旋转频率，也就是 $u/c_0$ 对导叶内的除湿系数 $\psi$ 有显著的影响。导叶内的除湿效果随前一级的 $u/c_0$ 的增加而降低，因随 $u/c_0$ 的变化而引起水分颗粒度的变化，以致引起除湿效果的变化。在图2上还可看出，在大致相同的条件下（ $Re$ ， $M$ ， $y_0$ ， $u/c_0$ ， $\rho_{II}/\rho_{VII}$ ，这里 $\rho_{II}$ ——饱和蒸汽的密度， $\rho_{VII}$ ——湿蒸汽的密度），各研究单位对导叶内除湿效果的研究，所给出的试验数据重合得较好。（见图2上的虚线区）。即利用导叶表面上的缝隙可除去流经导叶槽道6~9%的水份。当然通过增加缝隙数量，加强外部抽吸以及采用一

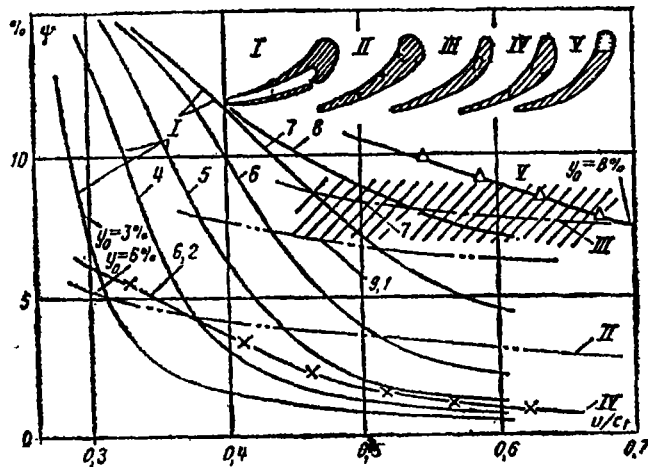


图2 内槽道水分分离效果与汽轮机工况的关系

- I——七级汽轮机的末级隔板；
- II——一级半试验汽轮机的第二级隔板（人造初始湿度）；
- III——K-300—240低压汽轮机末级隔板（哈尔科夫汽轮发电厂）；
- IV——在湿空气下，布良斯基运输机械制造学院（БИТМ）的单级汽轮机；
- V——列宁格勒工学院（ЛПИИ）试验汽轮机第二级隔板。

一些其它措施,还可能使导叶表面上的缝隙除湿效果进一步提高。

到目前为止,在低压 ( $P < 0.1$  兆巴) 情况下,对内槽道的水分分离做了大量的试验研究工作,导叶内的缝隙除湿广泛应用于汽轮机的低压部份。但在高压区这种除湿方法的试验研究还不多,在高压缸内槽道水分分离的试验资料还很缺乏,目前还不能在核电站汽轮机的高压缸中全面推荐这种除湿方法。但据估计,在高压汽轮机级中,蒸汽湿度大于  $5 \sim 7\%$ , 采用内槽道分离水分可能是有效的。必须指出,采用空心导叶进行除湿,能提高汽轮机的经济性和减少对工作叶片的侵蚀,但使陪板的制造工艺复杂化,而单级的导叶内除湿,其效果又有限,无法承担整个机组的除湿任务,——保证汽轮机得到允许的终态湿度。

除了通过空心导叶,并经过抽吸可直接从汽轮机通流部份排除水分,另外,还可用较高参数的蒸汽通入空心导叶内,给导叶加热,使导叶表面的水膜重新蒸发。莫斯科动力学院(МЭИ)和列宁格勒工学院(ЛПИ)在平面叶栅中进行了试验,证实了这种方法可以使导叶表面水膜蒸发和减小导叶出汽边后的水滴尺寸。西德电站设备公司(KWU)也曾进行了对低压汽轮机末级隔板加热的试验研究。这种方法虽然不会提高汽轮机装置的效率,但能减少工作叶片的水蚀损坏,对工作叶片起到一定的保护作用。

## 二、在汽轮机工作叶栅内除湿

由于工作叶栅高速旋转附着,在动叶表面上的水分在离心力的作用下,向叶片外缘移动,并从切线方向被甩出,通过除湿腔室把水分引走,从而把湿蒸汽中的一部分水分除去。从理论上来说,工作叶栅应具有很好的水分分离能力。但是大量的试验研究结果表明,普通工作叶栅的除湿效果并不高。这

主要因为,通过汽轮机通流部分蒸汽流的雷诺数  $Re$  较高,蒸汽中所含水分的颗粒度较小,不利于对水分进行分离。另外,蒸汽中的水滴还会与高速旋转的工作叶栅碰撞和反弹,同时,水膜沿工作叶片表面的移动,水膜波面被气流撕裂,这将使一部分水分重新进入主气流,这样在工作叶片表面就不能形成较厚的水膜,所以普通工作叶栅的除湿效果并不高。莫斯科动力学院在离心力场内的水膜试验表明,在汽轮机工作叶片表面的水膜厚度一般为  $\delta_{\text{пн}} = (7-12) \cdot 10^{-6} \text{m}$ 。并指出,在工作叶片表面的水膜在离心力作用下,被破坏成一些单个的流束,而流束也能破裂成流体单元。另外,由于工作叶片表面粗糙,其表面水膜厚度当达到  $\delta_{\text{пн}} \leq 40 \cdot 10^{-6} \text{m}$  时,水膜也可能被破坏。理论和试验研究表明,各种汽轮机工作叶片的水分分离能力(即水分甩向叶片外缘)在很大程度上取决于在离心力场中水膜的流动情况,特别是取决于叶片型线的形式。在图3上表明了几种工作叶栅的分离系数  $\psi$  与速度比  $u/c_0$  的特性关系。分离系数  $\psi$  绝对值的变化取决于工况参数 ( $Re$  数和  $M$  数)、双相密度比  $\rho_{\text{ст}}/\rho_{\text{пн}}$ 、汽轮机级进口的水分颗粒度等,而图示的  $\psi = f(u/c_0)$  是这些级在变工况状态下的最大特性值。试验研究表明,变截面长叶片将水分甩向叶片外缘的能力较低。因此,实际上在所有工作范围内,汽轮机的长叶片叶栅具有较低的除湿效果。在一般情况下,中等扇度的反动式工作中栅的水分分离能力高于变截面的长叶片,而冲动式的工作叶栅具有最大的除湿效果,尤其是在  $u/c_0 > 0.3$  的情况下,不论在进汽边区域,还是在出汽边区域,其除湿效果皆高于其它各种型式的汽轮机叶片。

为了提高工作叶片的水分分离效果,在汽轮机工作叶片表面的一定位置刻粗或沿一定方向在叶片上部进汽边加工出一定数量

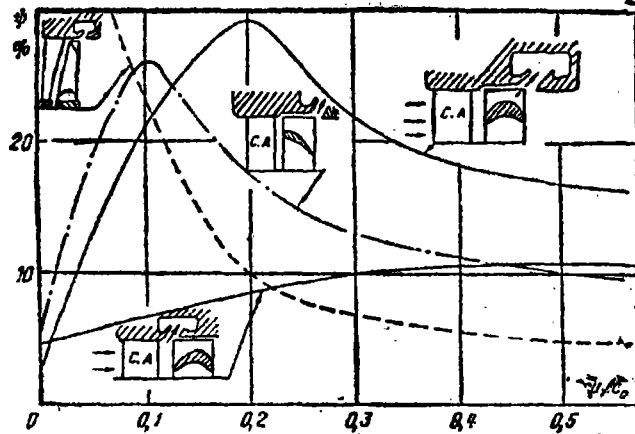


图3 汽轮机叶栅三种形式 ( $y_0 = 6\%$ ,  $P < 0.1$  兆帕) 的特性关系  $\psi = f(u/c_0)$

的齿形甩水槽, 并在汽缸上设计出良好的除湿腔室, 以及采用在叶片出汽边为负盖度的专门围带等, 可使工作叶片的水分分离效果

得到提高。图4给出了在蒸汽初始湿度变化的情况下, 各种汽轮机级的水分分离能力。

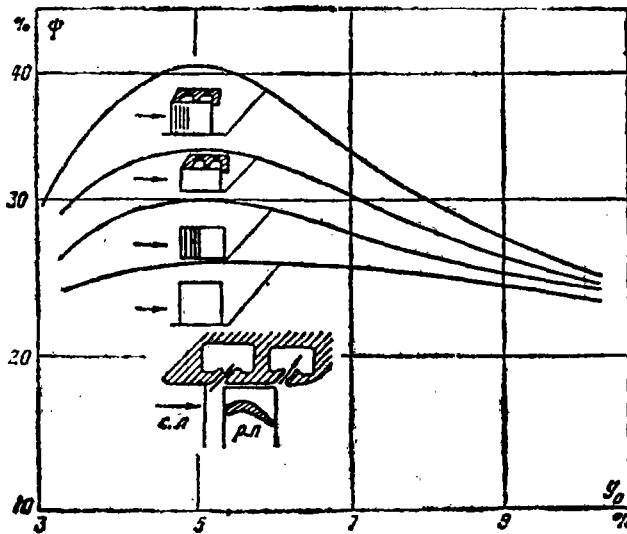


图4 在蒸汽初始湿度变化下, 各种汽轮机级——分离器的分离能力 ( $u/c_0 = 0.5$ ,  $e = 0.85$ )

图5是苏联水分收集排置的一个专利的示意图, 其结构特点是: 工作叶片3的围带是凸形, 由三个直线段6、7、8组成, 中间段8平行于汽轮机轴, 出口段6对汽轮机轴的倾斜角为 $15 \sim 30^\circ$ , 在围带2上方布置径向

环形缝隙4和引出腔室1, 沿缝隙4的两侧做成径向环形兜水槽5。这样当汽轮机工作时, 水分在离心力的作用下, 甩向叶片顶部, 这里是水分集中区。另外, 凸形围带没有形成水膜的可能性, 并在叶片的顶部附近

也不会使水滴随汽流转移到下一级，这样水分就集中在围带的下面，通过围带中段的孔把水分引向水分收集腔室。这种水分收集装置避免了大颗粒水滴随汽流流到汽轮机下一级的可能性，这样就减少了汽轮机的水蚀损坏，并显著的提高除湿效果。

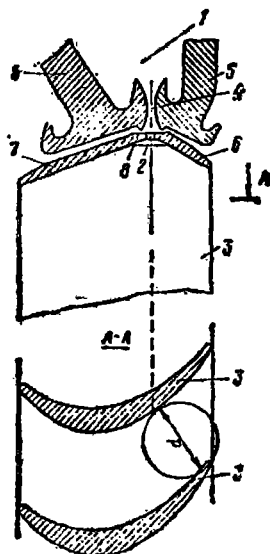


图5 水份收集装置的纵剖面

### 三、在导向叶栅后除湿

在导向叶栅后除湿也是用于汽轮机通流部分，即在导向叶栅和工作叶栅之间加大轴向间隙，设置水分分离机构（图6）。由于湿蒸汽汽流按出口角  $\alpha_1$  偏转而引起水滴向叶片外缘移动，如不考虑在加大的轴向间隙内蒸汽的实际流动情况，水滴向叶片外缘移动计算表明，这种除湿方法有相当高的水分分离效果（可达70~80%）。但是，导向叶栅后湿蒸汽在实际流动过程中发生  $\alpha_1$  角的增大，因此，水滴向叶片外缘径向位移的梯度随轴向间隙的增加而下降，所以显著增大  $\bar{Z} = \frac{Z}{l}$  不会导致导向叶栅后有很高的除湿效果。英国 A E I 公司生产的功率为 100MW 的湿蒸汽汽轮机，在汽轮机高压缸第五级导叶后加大了轴向间隙（轴向间隙大约等于两个导叶高度），并安装了水分分离器。这种分离器能排出通过导向叶栅约75%的水分。但这种分离器除湿效果的试验资料没有公布。

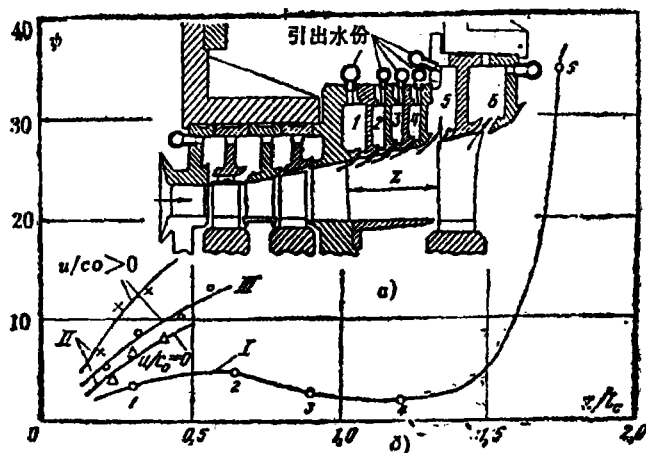


图6 当  $e=0.8$  和  $y_0=6\%$  时，在导向叶栅和工作叶栅之间的间隙内除湿

莫斯科动力学院在试验用双轴汽轮机上，对第三级导叶出汽边不同的轴向间

隙进行了详细的水分分离试验。该试验汽轮机允许最大轴向间隙到1.65的导叶高度，并

在汽缸上设有先进的水分收集腔室，以便能在离导叶出汽边的不同距离内测量水分分离效果。但在试验中得到的除湿效果并不高(图66)。在所有四个腔室中的除湿效果与 $u/c^\circ$ 的关系很小，其总的分离系数值 $\psi_2$ 不超过10~15%。这并没有超过在不大的相对轴向间隙下所得到的除湿效果。在所有试验中，没有证实在汽轮机内随着加大相对轴向间隙 $Z$ ，可能得到较高的水分分离效果的推测。这是因为加大轴向间隙会引起蒸汽 $\alpha_1$ 角的显著增加，降低了从工作叶片进汽边被甩出或被反弹的水分去除效果。但在工作叶片进汽边区域组织除湿，能得到相当高的水分分离系数值 $\psi$ (图6a的第五腔室)。

在导向叶栅后除湿，需加大导向叶栅和工作叶栅之间的轴向间隙，也就是要加长汽

轮机通流部份的轴向尺寸，而其除湿效果并不十分明显，同时，还要降低汽级机的级效率。

#### 四、隔板除湿

隔板除湿也需要在汽轮机通流部分加大轴向间隙。将除湿隔板装设在前一级动叶栅之后，后一级导叶栅之前。就是在加长的轴向空间位置内装设专门的除湿隔板。其原理是水滴蒸汽在高的切向速度下，由于离心力的作用被甩出，并通过水分收集腔室把水分抽走。其结构特点主要是由两列隔板导叶所组成，前一列类似普通的隔板导叶，使蒸汽获得高的切向速度；第二列为弯曲度很小的隔板导叶，其作用是使汽流稳定地进入下一级工作叶栅(图7)。

有关隔板除湿，目前国外公布资料很

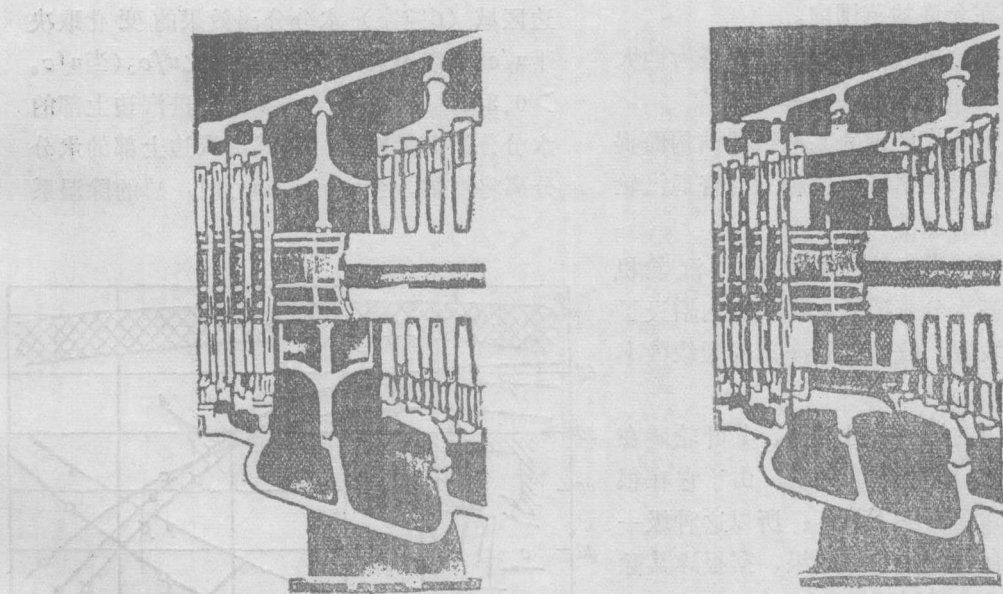


图7 右图为AEI公司在加拿大运行的22MW机组上改装成隔板除湿装置后的纵剖面  
左图为该机组改装前的纵剖面

少，只看到AEI公司在加拿大运行的22MW机组上使用隔板除湿的报导。隔板除湿装置设置在该机组的第八级动叶栅之后，

它代替了原先压损很大的外置式汽水分离器。据介绍，这种隔板除湿装置可达到与外置式汽水分离器相类似的除湿效果，但却可

去掉庞大、昂贵的外置式汽水分离器，这就使汽轮机装置大为简化。但在抽吸水分的同时约有8%的蒸汽与水分一道被抽走。据报导，这种隔板除湿装置适用于中、小型湿蒸汽汽轮机机组的除湿。

### 五、专门的汽轮机级——分离器

采用专门的汽轮机级——分离器在汽轮机通流部分有效的组织除湿，能显著的提高汽轮机装置的经济性和可靠性。在某些情况下，可以取代笨重而昂贵的外置式汽水分离器。在苏联，特别是莫斯科动力学院和列宁格勒工学院对不同的级——分离器进行过大量的综合性试验研究。这些级——分离器已应用在一些小型的汽轮机上，并保证汽轮机有很高的可靠性和经济性。在不带外置式汽水分离器的情况下，保证汽轮机末级后的排汽湿度控制在允许的范围内。

专门的汽轮机级——分离器可分为两大类——高速的和低速的共三种型式：

1) 由于叶片围带的某些特殊结构而提高除湿性能的汽轮机级，这种级与普通汽轮机级具有同样的经济性。

2) 具有相当高的除湿效果的汽轮机级。为了提高水分分离效果而在级内增设了专门的除湿装置、故其级效率比普通级效率低。

3) 专门的级——分离器、其叶轮装在独立的轴承上，并不做有效功。由于它在很小的热降和圆周速度下工作，所以这种级——分离器具有最大的除湿效果。据报导其除湿效果可达80~95%。

第一种型式的汽轮机级——分离器可装在汽轮机湿度大于5~6%的普通级地方；而第二种型式的汽轮机级——分离器则可装在汽轮机通流部分的中间段或汽轮机末端（如核电站汽轮机的高压缸）；第三种型式的专门级——分离器可能装在汽轮机的前面

（汽轮机前的水分分离），也可能装在高压汽轮机通流部分的末端，但最可能是装在高、低缸之间的连通管内。由于这种级——分离器的叶轮需装在独立的轴承上，在结构上的实现比较困难，虽然它有最大的除湿效果，但在应用方面却受到限制。至今未见到这种级——分离器有关工业性试验方面的报导。

第二种型式的汽轮机级——分离器提高除湿性能的主要因素是：对导叶和工作叶片的专门造型和加工；工作叶栅小的相对节距加大轴向间隙；小的热降和先进的水分收集；腔室系统。莫斯科动力学院在双轴试验用汽轮机上对这种分离器的方案之一进行了试验研究，当 $u/c_0$ 在宽广的范围内变化时，确定工作叶栅水分分离效果的稳定性(图8)。在试验中得出，在进汽边区域(A腔室)和出汽边区域(B腔室)水分分离效果的变化取决于 $u/c_0$ 而各不相同，随着速度比 $u/c_0$ (当 $u/c_0 > 0.3$ 时)的增大，工作叶片进汽边上部的水分分离开始减少，而其出汽边上部的水分分离将增加。当 $u/c_0 = var.$ 时，总的除湿系

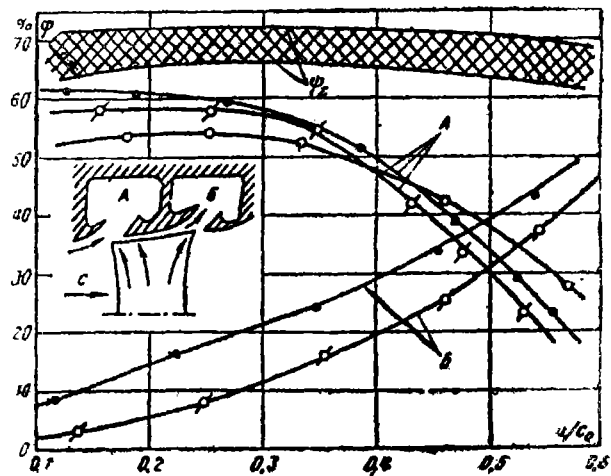


图8 汽轮机级——分离器的除湿效果与 $u/c_0$ 的关系

数 $\psi_2$ 实际上保持不变。试验研究表明,在所有情况下,汽轮机级——分离器水分分离能力比普通汽轮机级高得多。

第三种型式的汽轮机级——分离器是将工作叶轮装在独立的轴承上,并且工作叶栅的圆周速度不超过 $20\sim 30\text{m/s}$ ,在这种情况下,保证在工作叶片表面具有最有利的水分凝结过程,并避免水滴与旋转叶片碰撞后而破碎和反弹,造成部分水分随汽流而被带走。为了使水分在工作叶片上具有最大的凝结条件,可应用曲率变号窄工作槽道的方法来实现。为提高这种级——分离器的除湿效果也要对导向叶片和工作叶片进行专门的造型。

汽轮机级——分离器具有结构上的特点。为提高除湿效果,导向叶片的出汽角 $\alpha_1$ 从叶片的根部向顶部减小,这样能把大部分蒸汽引向根部,这里湿度小,因此能提高高级的经济性。同时,在高湿度区的顶部减小了 $\alpha_1$ 角,能加大蒸汽的扭转,并增加导向叶栅后的水分分离。 $\alpha_1$ 角减小、同样能降低在工作叶栅进口的水分冲击分速度,并提高高级效率。

工作叶片的专门造型是汽轮机级——分离器的主要特点。在工作叶片根部附近( $\bar{t} > 0.6$ )的小湿度区,叶型设计成冲动式,而叶型向顶部均匀过度成压缩形,在这种情况下,很难保证工作叶栅沿整个叶高有理想的进、出汽角。在叶顶部分将降低级效率,而在这个区则是高湿度区,具有最大的水分分离能力。在叶根部分具有普通汽轮机级的级效率。所以这种级具有较低的级效率,但应用在多级汽轮机中,由于能除去大颗粒水分而能提高汽轮机后面级的级效率。

在工作叶片专门造型的同时,通过减小叶栅的相对节距,可以提高工作叶栅的水分分离能力,工作叶栅在中间截面的相对节距 $\bar{t} = 0.42$ ,能增大水分与工作叶片的接触

面,从而提高水分在叶片表面的沉积效果。

专门的汽轮机级——分离器的主要优点是总的除湿系数 $\psi_2$ 不取决于 $u/c_0$ ,在试验研究中表明,在所有情况下,总的水分分离效果比普通级的分离能力高得多。大家知道,普通汽轮机工作叶栅的水分分离能力显著取决于速度比 $u/c_0$ ,通常当 $u/c_0 = 0.45\sim 0.55$ 时,其水分分离能力就明显降低,因此,普通汽轮机工作叶栅不能保证有较高的除湿效果。

莫斯科动力学院和列宁格勒工学院对低速级——分离器领域的多年研究结果表明,这种级——分离器完全可能被推荐在核电站汽轮机中进行工业性试验。这种级——分离器并能应用于气体、化学与其它工业部门的水分分离。当然,应用专门的汽轮机级——分离器还应当与其它行之有效的除湿、抗蚀等方法相配合。

## 六、提高小颗粒水分的分离效果

世界各有关国家对湿蒸汽汽轮机的除湿问题都经过多年的理论探讨和试验研究,对各种除湿方法在除湿效果方面都取得不同程度的提高。但在汽轮机中有关除湿的所有问题并没有得到充分的解决。特别是在较高的蒸汽密度和小颗粒度液相流条件下,汽轮机中的水分分离能力的研究还很不充分;大颗粒水分形成的物理概念和计算方法的理论根据也还不具备。现在必须充分利用理论分析和已有的试验研究成果,尽量使流过除湿装置的汽流工况参数符合最佳的水分分离条件,以得到较高的水分分离效果。在核电站汽轮机中高压缸所有的级都处在饱和蒸汽下工作,这里的蒸汽湿度小,密度高,水分的颗粒度也小,不易进行水分分离。而提高汽轮机高压缸通流部份的除湿效果又是相当重要的,因为在高压缸湿度的能量损失特别显著。

在一定的条件下,人为的把小颗粒水滴



扩大，可能是提高水分分离装置除湿效果的有效方法之一。在汽轮机通流部分，湿蒸汽紊流的剧烈性提供了设置专门凝结器的可能性。凝结器起强化小水滴紊流沉积过程的作用。凝结器是由不大的当量直径的非轴对称通道相连接。其特点是通过凝结器来扩大水分的沉积表面和加剧通道中的二次流，以提高沉积的小水滴比率。这样从凝结器板出口边出来的液膜将破碎，其组成主要是大水滴。由于大水滴的质量和速度与主流流的差异，这种大水滴在汽轮机级中或在各种惯性分离器内可相当容易地被除去。

莫斯科动力学学院曾在试验用双轴汽轮机上对装有凝结器的汽轮机级的水分离进行了试验研究（图9）。在第一根轴上装有双列速度级，研究级装在第二根轴上，在速度

级和研究级之间安装凝结器。这样双列速度级在蒸汽膨胀过程中提供了蒸汽干度在广泛的范围内变化（从99.5%到96%）。借助激光探针测得在凝结器前的水滴模态直径为  $(0.2 \sim 0.3) \cdot 10^{-6} m$ 。大家知道，在工作叶片的出口，蒸汽和水滴沿叶高的速度无论在数值上，还是在方向上都是不同的。而凝结器的微小多孔的通道对蒸汽和水滴起到平直的作用，使蒸汽和水滴实际上按轴向运动。因此，当工作时，在导叶槽道内被扩大了的水滴其主要部分将与工作叶片内弧表面接触，而只是小部分在叶片进汽边与叶片背弧接触。由于水分的集中，沿叶片间槽道截面的水分颗粒度也向内弧表面增大。因此，这种方法能提高除湿效果。

从带凝结器的级和不带凝结器的级的水

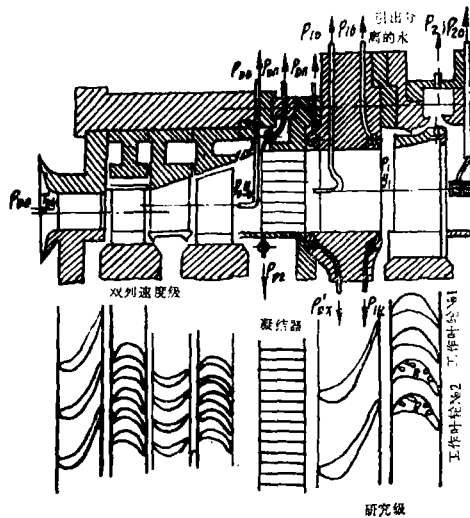


图9 试验用汽轮机的通流部份

分离能力试验结果看出，前者的水分分离效果比后者要高十倍。这是在级进口的小颗粒水分的模态直径为  $0.2 \cdot 10^{-6} m$  的条件下得到的试验结果，说明小颗粒水分通过凝结器具有很高的沉积效果。并指出，凝结器的沉积效果随多孔的水力学直径  $dr$  的减小而增加，而  $dr$  的减小又要增大流体的阻力，

所以应根据具体条件合理选取。根据实践，凝结器的环形组装件采用三角形通道型式最为合理，而三角形通道型式的波纹板用冲压或齿轮轧制最符合工艺要求。这种在汽轮机通流部分使用的凝结器，其目的是人为的扩大小水滴，故只限于使用在蒸汽的小湿度区。

## 七、结束语

上面对在汽轮机通流部分内部除湿的各种方法进行了综述,并做了一定的分析。很多国家的高等院校、科研单位、制造厂对各种除湿方法进行了多年的研究,并已取得了重要的研究成果。有的成果已应用到核电站汽轮机上,有的准备进行工业性试验。而我国各有关单位在汽轮机通流部分内部的除湿研究工作做得很少。随着核电站开始在我国建造,特别是核电站的建造已列入国家重点建设工程,并且在2000年以前要建造一定数量的核电站,这就应该将汽轮机通流部分内部的除湿问题列入有关单位的重点研究项目,并应投入一定数量的科技人员和相应的科研经费。因为这项研究难度较大,周期较长,各种除湿方法都要进行各方面的试验,同时涉及的问题较多。如汽、水双相流动问题,专门的叶片造型,一些除湿结构的设计,工况参数的确定。特别是蒸汽湿度的测量和蒸汽中水滴尺寸的测量等测试手段和测试方法等多方面都存在相当大的难度。另外,要开展这方面的研究工作,必须要做相应的试验,而且是多方案的,以便进行比较,这就需要建造相应的试验台,并给以相应的投资和科研费用。这样经过多年的研究工作,一定能

取得相应的科研成果,为我国的核电建设和海军舰艇的发展做出相应的贡献。另外,在核动力汽轮机上采用通流部分内部的除湿方法还应与叶片的抗蚀措施相配合,这样对汽轮机的可靠性将更加有效。

## 参 考 文 献

1. Исследование внутрик анальной сепарации влаги в многоступенчатой турбине. Кирюхин В. И., Филиппов Г. А., Поваров О. А.等.《Теплоэнергетика》1975 Г. №8.
2. Исследование турбинной ступени с увеличенным осевым зазором. Филиппов Г. А., Поваров О. А.等.《Теплоэнергетика》1976 Г. №12.
3. Steam turbine for the 100 MW (e) prototype F. R. Harris. Nuclear Engineering. June 1967.
4. Проблемы сепарации влаги в турбоустановках АЭС. Поваров О. А.《Теплоэнергетика》1980.Г.№2.
5. Исследование методов повышения эффективности сепарации мелкодисперсной влаги в турбинах. Поваров О. А., Семенов А. В.等.《Теплоэнергетика》1984 Г. №8.
6. Благоулавливающее устройство паровой турбины. Кирюхин В. И., Демичева Д. И. 苏联专刊(11)802567.

(上接第26页)

其理由是同改变炉型、重新设计锅炉的大改方案比较,这一改法具有制造安装工艺成熟和可以不经试验而能直接装船使用的优点,改进周期短,投资少,符合当前建设方针。

## 参 考 文 献

- [1] Н.И.Пушкин《Судовые паровые котлы》(1965).

- [2]《Naval Engineers Journal》(1962).
- [3] J.H.Miton《Marine steam boilers》(1970)
- [4] 龚三省《对某船动力装置的看法着重在主锅炉方面》(1977年).
- [5] 陈起铎《某船主锅炉改进的方案论证》第七〇三研究所,1980年.
- [6] 陈起铎《某船主锅炉改进的方案论证》第七〇三研究所,1984年.

JOURNAL OF ENGINEERING FOR THERMAL  
ENERGY AND POWER

No.6 1986

CONTENTS

GAS TURBINES

1. Calculation of a tandem cascade flow field  
.....*Hui Zhaosen, Ji Guimin* (1)

Abstract

This paper describes a method for calculating tandem cascade compressible flows. The generalized Kutta condition was employed simultaneously to the front and rear row cascade trailing edge and the flow distribution and outlet angles were determined. The flow field as a whole was calculated by solving stream functions, using a superrelaxation method.

2. Development prospects for naval gas turbines  
.....Translated by *Ji Guiming* (5)

STEAM TURBINES

3. Some considerations concerning the internal moisture removal in a steam turbine flow path  
..... *Sun Xianliang, Luo Chunxing* (10)

abstract

A brief account has been given of the principles and test methods regarding the internal moisture removal in a steam turbine flow path, among others, moisture removal in the guide vanes and moving cascades, moisture removal after static cascades and diaphragm moisture removal, special turbine stage moisture separator, as well as the effectiveness of enhancing small particle moisture removal. In addition, an appropriate analysis is given of the above-cited items along with some observations concerning the planning and development of research work in this regard in the People's Republic of China.

STEAM GENERATORS

4. An improved preliminary design for MSB marine main boiler  
.....*Chen Qidu* (20)