

# 汽轮机配汽运行优化思考

王彬彬

(国家能源集团宿迁发电有限公司, 江苏 宿迁 223800)

**摘要:** 汽轮机是现代火力发电厂的核心设备, 在机组运行过程中具有效率高、稳定性强等优点, 因此, 必须要保证汽轮机的安全稳定运行。在实际生产过程中, 汽轮机的配汽运行是非常重要的工作, 对于发电设备运行的可靠性有很大影响。为了能够保证机组配汽系统稳定运行, 需要针对相关设备进行优化运行。目前, 汽轮机具有参数多、效率高、易调节、可靠性高等优点, 因此得到了广泛应用。文章针对汽轮机配汽系统具体的工作原理进行分析, 并提出了一些优化措施。

**关键词:** 汽轮机 配汽 优化运行

**DOI:** 10.12319/j.issn.2096-1200.2022.26.181

## 一、汽轮机配汽系统工作原理分析

汽轮机运行过程中主要包含三个部分: 启动、压缩、发电。由于蒸汽压力的不同, 所以, 会产生不同的膨胀比和温度。因此, 随着蒸汽量和压力增大而变化, 同时还伴随着热应力和温度变化。当热应力产生时, 会引起局部变形, 因此需要进行局部改造。如果热应力过大或过小, 都会引起热裂纹或局部损坏。在蒸汽动力设备中, 汽轮机是最重要的动力设备之一。它承担着给水、排水、蒸汽增压等任务。它由汽轮机本体和附属配套设备组成: 本体包括转子和叶片; 附件包括轴瓦、轴承盖、调节套和平衡套等; 附属设备包括轴承座、密封装置等<sup>[1]</sup>。

在实际工作中, 一般需要根据汽轮机的具体运行情况, 对其配汽系统进行调整。在实际生产过程中, 汽轮机通过控制汽门开度来调节蒸汽流量, 主要是利用汽压差或者压力变送器来进行控制的。其中压力变送器主要是通过测量输入蒸汽压力和蒸汽流量的关系, 通过设置相应的变压比来进行调整的。此外, 还可以采用多点调节阀或者是单点阀进行调节。在实际生产过程中, 汽轮机还会通过汽轮机主汽出口调节阀和蒸汽出口调节阀来调节蒸汽流量。此外, 还可以采用节流调节方式来控制蒸汽流量。如果采用以上方法控制时出现问题, 就需要对其配汽系统进行优化运行, 保证配汽系统能够正常运行。

### (一) 增加阀门管理

为了提高汽轮机组的负载性能, 为了提高机组的负载反应能力, 许多机组都采取了组合滑压方式, 并在此基础上增加了对阀门的管理。气门管理功能是指根据工作条件要求, 将水轮机组的控制阀按照预定的工作模式进行操作, 也就是单阀操作或连续阀操作。在运转过程中, 两种方式可以不受干扰地进行转换, 有利于改善涡轮的调整性

能, 增强其对多种操作模式的适应性, 增强热应力控制, 从而延长其使用寿命和可靠性。应采用单阀和连续阀的控制模式, 实现了对机组进行安全、经济的控制。还可以使用计算机仿真技术进行配汽控制。该方案具有自动化程度高、运行稳定等特点, 能够满足机组运行需要。

### (二) 控制点的选择

在实际工作中, 汽轮机配汽运行需要对其控制点进行选择, 保证在进行汽轮机配汽运行时不会出现问题。(1) 控制点的类型和位置: 在进行汽轮机配汽运行时, 首先需要根据具体工作流程对其控制点的类型和位置进行确定, 例如当汽轮机蒸汽流量发生变化时, 主要有2种方法: 一是采用多点调节阀, 二是采用节流调节来降低蒸汽压力和流量。(2) 控制区划分: 不同阶段的控制区域对配汽的效果有着很大的影响, 所以在对其进行设置后需要注意。(3) 阀门选择: 需要注意阀门使用的方式, 一般有手动调节和自动调节两种方式。(4) 温度设置: 一般在进行汽轮机配汽运行时需要根据其温度要求来设置配汽温度。汽轮机不同区域对应着不同的蒸汽压力和蒸汽流量。

## 二、配汽方式对机组构成的影响

### (一) 汽流不平衡

在对水蒸气进行调节时, 通过调节叶片的流力作用, 将汽轮机分为若干组。当调整级变为均匀入蒸汽时, 对棱角口产生的气流作用力正好相反; 若喷嘴组的空间相似, 则在转子的转矩以外, 将产生200MW的高压气缸。两种不同的蒸汽进给方式<sup>[2]</sup>。在机组负载在0~210MW的情况下, 选取19种工况进行载荷分析, 并对其动态、静态性能进行了分析。具体的计算方法有两种: 一种是油膜数据库, 一种是Lund软件。采用旋转轴的蒸汽提流力和中心翻转作用力, 从根源上保证了它的平衡性和安全性。

### （二）汽流力对动、静特性的影响

由于蒸汽流量不均衡，导致了轴承的动态特性。在这些因素中，轴承对转子的影响也很大，同时也是阻力的根源。此外，转子的稳定性和临界转速也受到轴承的阻力和刚度的影响。因此，在实践中，必须对转子的性能进行深入的研究，并将其与轴承的作用相结合。

### （三）大容量高参数汽流力

从配汽不平衡调节级的流力情况可以看出：主汽压的级配对于非平衡流的影响较大。当主汽压力增大时，非均衡调整级的汽流力必然增大。随着机组容量的增大，机组的性能指标会向超临界、超临界、超临界等方向发展，主蒸汽压力也会随之增大。这时，通过调整级的变工计算，可以精确地求出非平衡级的主汽量。在负载逐步变化的情况下，非均衡调整级配汽的汽流强度最高可达150KN，约为200MW的3倍。产生气流激振的主要原因是：气缸间隙不均匀，转子径向不均匀。气流激振最根本的原因是气缸内的转子位置和稳定性。

### 三、汽轮机配汽的方式

汽轮机的配汽方式对机组的安全性和经济性有着重要的影响，汽轮机流通部分是按经济功率运行的。运行中，负荷不断改变，为了保证机组出力与用户所需要的功率相适应，必须利用配汽机构来改变汽轮机组的出力。由汽轮机功率的方程式可以知道，为了调节出力，可以调节进入汽轮机的蒸汽量，也可以调节蒸汽在汽轮机中的做工能力。不同的配汽方式可以实现蒸汽量和做工能力的改变。根据常用的蒸汽分配方法，主要有：喷嘴、节流、旁通配汽等<sup>[3]</sup>。

喷嘴蒸汽分配是将一段设定为一个调整段，将一个调节段分成若干组，每一个组都有自己的蒸汽供应和调节，根据机组的工作状态和负载情况，打开各个阀门。其特征是多个蒸汽连续打开，减少蒸汽的损失，但其结构并没有改变，汽轮机的第一级设为调节级，并将调节级的喷嘴分成4个组或更多组。每一个喷嘴组都有1个独立的调节汽门供汽。根据机组负荷和运行方式不同，各调门可顺序开启或同时开启。顺序开启时，蒸汽从锅炉中出来后首先经过全开的自动主汽门，而后经由一次开启的几个调节汽门进入汽轮机的第一级即调节级。喷嘴配汽的特点是通过多个调节汽门的顺序开启，减小部分负荷时调节汽门的节流损失；调节级结构变化，但调节级后结构不变。只有部分开启的调节汽门的蒸汽节流较大，而其余全部开启的汽门已经减到最小。

所谓节流，就是将所有的蒸气都集中在一个汽缸上，

这样可以防止汽缸太大。该方法不需要调整级，成本低廉，结构简单，在运行条件改变时，除末级外，其它级的比焓下降都很小。在恒压工况下，温度波动小，自适应能力强，但仅承受基本负载为佳。节流配汽是进入汽轮机的所有蒸汽都通过多个调节汽门，对蒸汽进行调节，然后进入汽轮机。利用调节汽门的节流、等焓过程，由一个或多个调节汽门同时开启来改变汽轮机的进汽量和焓降部分载荷时，调节汽门开度小，蒸汽的流量很小，功率减小，阀后压力决定于流量比，进汽温度基本保持不变。

旁通配汽是工业、船舶汽轮机中的一种，它可以提高汽轮机的流量，提高汽轮机的抽汽热、提高汽轮机的输出功率。此外，在工作状态下，安装旁路阀也是很方便的。通过设置内部或外部旁通阀增大汽轮机的流量，增大汽轮机的功率输出或增大汽轮机的抽汽供热量。设置一个旁通阀，用于加强工矿的时候开启。

## 四、汽轮机配汽运行的优化

### （一）运行过程中调节阀门

对角对称进汽可以有效地减小非平衡汽流组成的汽流力，在负载增加时，从效率角度出发，要想有效地减少节流损失，提高系统负载范围内的工作效率，就需要维持连续阀的调整优势。这时，可以采用对角对称进汽和顺序进汽等配汽方式，即先打开进气阀，再在重载区域打开其它阀。根据实测资料显示，不平衡蒸汽的方向对整个机组的影响也不尽相同。与垂直非平衡汽流相比，下压有利于提高轴系稳定性，但总体上对机组的影响更小；横向汽流对增大的楔形区域的汽流力影响不大；因此，在大负载顺序阀的运行中，要综合考虑蒸汽调整产生的非均衡汽流方向对整个机组的影响<sup>[4]</sup>。此外，大量的实际应用也表明，蒸汽不平衡的汽流力方向对机组的影响是不同的。在不平衡汽流力的竖向作用下，对轴系的稳定有很大的促进作用，而不会对机组产生不利的影响。而在水平方向上，由于不平衡的汽流力，使得进油油楔区的不平衡汽流对机组的影响很小。所以，在高负载区域进行连续阀配汽时，应该将第一次打开的调整汽门引起的不平衡汽流力的方向最大程度地减小。

### （二）运用高压轴承载荷确保运行顺利

在汽轮机的配汽运行中，轴承是否能够正常工作，与负荷有很大关系。这时，由于机组的安装，使轴承的额定负荷和外部负荷发生偏差，从而影响到机组的正常工作。如果大修停运，以改进此故障，将会造成巨大的财务损失。通过改变开度和次序，可以对不平衡蒸汽的方向和大小进行有效的控制，使之符合所需的力矩，最终满足轴承

外负荷的调节。当外部负荷很低时,由于振动引起的振动会使轴承难以承受住摩擦而影响到机组的正常工作,而增大轴承负荷可以起到很好的抑制作用。改进配汽方法,使不平衡的汽流出现大小合适、向下的不平衡汽流,加上适当的轴承负荷,可以在不停转的情况下,完成对轴承负荷的调节,消除临时失效。此外,灵活运用不平衡调整级蒸汽分配机制,在故障处理和现场操作中也能起到很好的效果。

额定工作外力对轴承的正常运行起着重要的作用。在一些场合,由于设备的安装问题,导致轴承外负荷与标称负荷发生偏差,影响了设备的工作。由于这么一次小故障,电力公司要面临巨大的亏损。通过改变调节阀的开度和开度,可以对不平衡汽流的大小和方向进行调节,从而实现对外部负荷的调节。在轴承负荷较小的情况下,由于不能为机组提供充分的减振,从而使机组产生自激振。通过改变蒸汽分配方式,使非平衡汽流向下,增大轴承负荷,从而实现对外部负荷的调节,暂时排除故障。充分认识调整级配汽不平衡汽流的形成机制,并灵活运用,对实际操作及故障处理都有一定的指导作用<sup>[9]</sup>。

### (三) 控制配汽阀门点

增加配汽阀门点是指气门进汽没有节流损耗的功率点,汽轮机在此工况下的工作效率最高。节流调节仅在满载状态下所有调节阀全开时无节流损耗,仅有一个阀位,其他负载节流损耗大,效率低下;喷嘴调整是把喷嘴分为几个组,每一个组都是独立的,用不同的调整阀分别供给蒸汽,并根据负载的要求,依次打开各个阀,这样就有了几个完全打开的功率点,也就是有几个阀点,在这些点处,没有节流损耗,比节流调整的效率要高得多。阀点越多,则汽轮机在全负载范围内的整体效率就越高,理论上,在汽轮机调整阀数量为无穷多的情况下,在负载发生改变后,充分打开对应数量的气门,从而使汽轮机在任意负载时不会出现节流损耗,从而达到最大的效率。现代DEH控制系统的蒸汽分配模式是以编程方式来实现的,它可以很容易地切换蒸汽模式,并根据DEH的阀门控制,运行出了各种不同负荷区间的高效配汽模式,可以大大增加配汽阀门点,最大程度上提高机组在多个负荷区的效率。

### (四) 运用机组启动冲转与最小负荷阶段

在机组冷态启动时,汽轮机从冲转、升速、并网及低负载时,均采用单阀,由所有调节阀及喷嘴腔供给蒸汽,实现全周进汽,从而实现汽轮机高压通流元件的均匀受热。当负载超过80 MW、调整段温度超过400℃时,可采用单阀开关连续阀,这时要严格控制负载变化。在负载改

变的过程中,如果负载快速变化或负贝氏变化,则需要调整汽轮机的通流部分的水汽温度,以减小热应力。若长时间处于低负荷工况下,为了提高热效率,应采用顺阀调整模式。若采用单阀工况,则应尽量提高负载,同时采用高效喷嘴调整模式保持高负载。为了使转子内的温度变化最小,在负载达到一定程度后,应马上进行阀门的开关。若单位为单阀门,则应尽量快速降低负载,使之长期处于低负荷状态。为了减小转子内、外温差,在一段较低的负载下,当一次蒸汽和金属的温度都稳定后,再进行阀门的开关。采用单阀下停机,可在允许的高压转子热应力条件下,迅速降载,使涡轮一段区域的金属温度均匀下降,临时停机时,不需开缸。通过顺阀门的关闭,可以将一段段的金属温度降到更低的程度,从而减少了运行后的盘车时间。

### (五) 及时检查维修

此外,如果蒸汽在旋转过程中有不完全流动不稳定可能会导致叶片的突然损坏严重影响机组正常运行甚至造成事故,即严重事故。当发生重大事故时必须立即停止运行:此时必须将所有人员撤离现场并切断电源;同时应进行必要的检查:例如通过压力计和热工仪表进行检查并记录数据;如无压力计或热工仪表不能正常工作,则要在安全范围内对设备进行检查;如果热工仪表不能正常工作或有故障或异常现象则应立即进行检修;并且还应根据设备状态来调整热工参数;根据实际情况制定紧急停车程序和应急方案。

针对当前汽轮机配汽存在的问题,利用改善汽轮机进汽方向、顺序,使用对称性进汽的形式能有效改善配汽,控制不平衡的汽流,从而达到提高运行效率和经济效益的目标。因此,在实际工作中,我们必须优化运行过程与技术,从实践应用中改善运行过程,优化汽轮机配汽技术发展。

### 参考文献

- [1]徐曙,曹赛,郭绪宏等.节流配汽汽轮机滑压优化的理论研究[J].汽轮机技术,2021,63(04):306-308,248.
- [2]王小波,李倡,吴辉等.汽轮机组顺序阀配汽函数整定仿真[J].江西电力,2021,45(06):44-47.
- [3]姜懿.600MW汽轮机深度变工况下高调门优化策略研究[D].华北电力大学,2021.
- [4]李状,郭容赫,樊茵.660MW汽轮机配汽方式对机组煤耗影响分析[J].吉林电力,2020,48(04):37-39.
- [5]张浩峰,胥建群,孙友源等.汽轮机调节阀和调节级特性建模与配汽优化[J].机械工程学报,2019,55(18):165-172.