



天津翔悦密封材料有限公司



弗莱希波·泰格  
金属波纹管有限公司



温州环球阀门制造有限公司



北新集团建材股份有限公司

## 600MW超临界机组汽轮机进水和进冷气防止措施

华北电力大学(071003) 吴克锋

国核工程有限公司(200233) 刁永胜

[摘要]以某台600MW超临界机组位例,介绍汽轮机进水和进冷气的危害、特征及原因,分析了反措和有关导则要求,提出了进水后的解决方法和详细的防范措施。

[关键词]汽轮机 进水 防范措施

### 0 汽轮机进水危害

汽轮机进水会引起汽缸变形、动静间隙消失发生碰磨、大轴弯曲等,直接表现为叶片的损伤与断裂、阀门及汽缸结合面漏汽、动静部分碰磨、推力瓦的烧损、汽轮机的高温金属部件产生永久变形、热应力引起金属裂纹影响使用寿命。根据事故调查规程有关规定,对于大型机组,汽轮机进水或进冷气后如果产生上述后果均为重大设备事故。因此,对于直流机组,必须制定完善的防范汽轮机进水措施。

### 1 汽轮机进水的主要现象

汽轮机进水后一般都有比较明显现象,主要如下:

1.1. 高中压缸上、下缸温差明显增大,或增大趋势加快。高中压缸上、下缸温差在机组启动、停运、正常运行过程中基本是在小于42℃之内,差值的变化趋势一般也在5℃/分钟的范围,如果超过这两个限制就必须采取措施。

1.2 主、再热蒸汽温度突降,过热度减小。主汽温度要高于汽缸最高金属温度50度,蒸汽过热度不低于50度,主汽温度变化率在5℃/分钟的范围,机侧主汽温度不得低于炉侧10℃等都是运行人员在监盘中必须牢记。

1.3 汽轮机振动增大。汽轮机进水或冷蒸汽,使高温金属部件突然冷却而急剧收缩,易产生较大热应力和热变形,机组胀差变化,机组强烈振动,动静部分轴向和径向碰磨,因此,机组正常运行时,轴振异常增大的主要原因为汽轮机进水或冷气。

1.4 抽汽管道发生振动。回热抽气管道进水或进冷气,饱和蒸汽产生的气锤效应和金属材料热变形都会产生管道的强烈振动,即如高加投运过快造成的管道振动,在损坏设备的同时有可能造成人身伤害。

1.5 盘车状态下盘车电流增大或盘车跳闸。机组启停过程中,盘车电流变化一般3-5A,转子与汽封摩擦时容易造成电流异常增大或盘车跳闸。

### 1.6 汽轮机进水实例

某台600MW超临界机组为一次中间再热、单轴、三缸、四排汽凝汽式汽轮机,直流锅炉。29日滑参数停机,18点30分机组解列投盘车,电流29.2A正常。机组解列前,就地打开一、二、三段抽汽电动门前疏水手动门、高中压导汽管疏水手动门、高中压本体疏水手动门和机侧主再热汽管道疏水手动门;解列后,真空到零就地关闭轴封减温水手动门。21:03高排管道上下壁温度分别由185℃和195℃开始下降,下壁温相对上壁温下降较快,至21:44下壁温降至103℃,至23:57上壁温降至100℃并稳定下来。30日2:00抄表人员发现大机高压外缸上下壁温差达到34℃(上缸253℃、下缸219℃),分析汽缸可能进冷气,2:30盘车跳闸,电流最大至75A,高压外缸上下壁温度分别为254℃和190℃(温差64℃),3:10最低下缸105℃、上缸254℃(温差149℃);进水后,运行人员对汽轮机及管道系统进行疏水后转入闷缸处理。

### 2 汽轮机进水的主要原因

2.1 锅炉主、再热蒸汽温度失控或主蒸汽流量瞬间突增；启动过程中升压过快，或滑参数停机过程中降压降温速度过快，使蒸汽过热度降低，甚至接近或达到饱和温度，导致管道内集结凝结水。

2.2 汽轮机回热系统加热器水位高、除氧器满水，且保护装置失灵，使水经抽汽管道返回汽轮机内造成水冲击。

2.3 启动时，轴封供汽或回热抽汽管道疏水不畅或未能充分暖管，积水或疏水进入汽缸；停机时，切换备用轴封汽源，因处理不当使轴封供汽带水。

2.4 机组滑参数停机后，闷缸措施错误，主汽疏水门不能及时关闭，造成汽缸进冷气。

2.5 凝汽器满水，淹到低压缸。

2.6 由于操作不当或阀门不严，再热器减温水不能有效切断，积存在再热蒸汽冷段管内或倒流入高压缸中，当机组启动时，积水被蒸汽带入汽轮机内。

2.7 高旁减温水在高旁关闭后不能联关，或阀门泄露，凝结水泵运行的情况下自再热冷段进入汽缸。

上述机组进水后分析其原因即为，机组停运后电泵运行，中间抽头阀门未关闭，锅炉A侧再热减温一直有4.3吨流量，直到30日3:10停止电泵流量才到零。

### 3 反措及导则中防止汽轮机进水要点

防止火电厂二十五项重大事故的要求、防止汽轮机进水或进冷气导则有关注意事项除上面已叙述外，还应当重视以下几点。

3.1 运行中主、再热蒸汽温度突降超规定值或下降至极限值，应立即紧急故障停机。

3.2 汽轮机盘车中发现进水，必须保持盘车运行一直到汽轮机上下缸温差恢复正常。同时加强汽轮机内部声音、转子偏心度、盘车电流等的监视。

3.3 汽轮机在升速过程中发现进水，应立即停机进行盘车。

3.4 汽轮机运行中进水监测报警时，应迅速查明原因并消除。若振动、胀差、上下缸温差的变化达到停机值时应立即停机。

3.5 有关人员应当具备和熟悉掌握以下知识：转子安装原始弯曲的最大晃度值、机组正常运行的波特图和盘车电流情况、正常停机惰走曲线、正常停机后汽缸金属温度下降曲线、通流部分轴向和径向间隙。

3.6 启动和低负荷时，不得投入再热蒸汽减温器喷水，在锅炉熄火或机组甩负荷时，应当及时切断减温水。

### 4 典型的逻辑

目前设计阶段防止汽轮机进水和进冷气在疏水门的设计和测点的配置上都能满足有关要求，DCS组态中一般设置有比较典型的逻辑，主要如下。

4.1 高压主汽门前、主蒸汽导汽管侧疏水门：汽机跳闸或负荷 $<10\%$ 联锁开，负荷 $>15\%$ 联锁关

4.2 高排逆止门前均有一个疏水门，每个门自带有两个疏水罐（尺寸：高度-300mm；直径-145mm），分别装设一个高液位开关和一个低液位开关。高排逆止门前疏水门：汽机跳闸或负荷 $<10\%$ 或高排逆止门已关或疏水罐水位高联锁开；负荷 $>15\%$ 且疏水罐水位低联锁关。

4.3 再热蒸汽热段管道疏水门：汽机跳闸或负荷 $<10\%$ 联锁开；负荷 $>15\%$ 或疏水罐水位低联锁关；再热蒸汽导汽管侧疏水门：汽机跳闸或负荷 $<10\%$ 联锁开；负荷 $>15\%$ 联锁关。

4.4 抽汽温度#1~#6段抽汽管道均有上下壁温度监视，但只做显示用，不做报警。

4.5 高、低加水位高保护动作联关抽气逆止门、抽气电动门、给水旁路运行，抽气管道疏水门逻辑为：汽机跳闸或负荷 $<15\%$ 或逆止门关联锁开，负荷 $>15\%$ 联锁关；5、6段抽气管道疏水门逻辑汽机跳闸或负荷 $<20\%$ 或逆止门关联锁开，负荷 $>25\%$ 联锁关；

4.6 除氧器水位高高跳给水泵、联关四段抽气逆止门和电动门。

4.7 高旁减压阀开允许开高旁减温水调整门。

4.8 再热减温水隔绝门设计负荷低联关逻辑。

## 5 完善的防止汽轮机进水措施

从众多汽轮机进水实例看，仅靠上述逻辑和运行人员加强监盘质量还远远不够，必须制定一个完善的措施，保证不能进水进冷气，进水后有明显的提醒手段。

5.1 CRT画面上增加主、再热蒸汽过热度报警。当前主蒸汽压力下对应的饱和温度与主蒸汽实际温度的偏差低于50发出报警。主蒸汽管道上的疏水门（包括高压缸主气门前疏水门和主蒸汽导汽管侧疏水门），建议增加如下联锁：

（1）当主蒸汽过热度小于35℃时，自动打开疏水门。

（2）当主蒸汽过热度大于50℃时，自动关闭疏水门。

（3）当任一过热度下降速率大于5℃/min时，联开相应疏水门。

5.2 增加凝汽器水位高联开#5低加出口排水电动门的逻辑，防止凝汽器水位高进水。

5.3 增加主汽温度、再热汽温度、高排温度、高旁后温度、高压缸上下缸温差、中压缸上下缸温差的变化率显示，当达到报警值时发软光字报警。

5.4 增加各抽气管道、高旁调整门后管道、高排管道上下壁温差大于15度的报警；有必要增加联锁开对应疏水门逻辑。

5.5 安装液位罐测量水位的，设置液位高报警联开疏水门逻辑，使液位报警时罐体显示红色；热控人员需要定期测试液位罐水位测量的可靠性，为防止开关失磁或电接点电极泄露，应当有足够备件。

5.6 热控专业在安装TSI系统探头后保存好安装原始记录，有必要记录顶轴油泵单台和两台运行条件下间隙电压值，为初略分析转子状态做准备。

5.7 应当加工好手动盘车专用的工具。

5.8 汽机专业有关人员应当熟悉汽轮机进水现象、危害、处理措施，分析每次机组停用、启动过程，掌握机组状态。

5.9 加强25项反措的学习，体会要领，编写符合电厂实际的实施导则和防范措施。

5.10 盘车装置的涡轮蜗杆的轴套由于受力集中，材料较特殊，电厂应当有足够备件。

## 6 汽轮机进水的处理

如果汽轮机运行期间确认水冲击发生，应立即破坏真空紧急停机，停机后应立即投入盘车，应尽量避免中断盘车。开启主汽导管、调速汽门座、本体疏水。若由于加热器满水或除氧器满水引起，应立即停用加热器及除氧器。记录机组惰走时间，倾听机内声音。如果轴位移超限，惰走时间缩短应停机检查。如惰走时间正常，其他无异常，可重新启动，但要充分疏水，冲转前应连续盘车不小于4小时。

盘车一旦掉闸，可能是因为大轴已经发生弯曲碰磨叶顶汽封造成电机过流。此时应当记录各瓦轴振探头间隙电压值，按照探头0.8V/mm的特性，根据间隙电压的变化判断大轴的弯曲程度，也可以作为可以手动盘车的依据，此时不建议停顶轴油泵，以免大轴弯曲位置不能判断。

发现汽轮机进水后要进行闷缸处理，即关闭所有本体疏放水门。当上下缸温差变小、能够手动盘车后先将转子反转180℃，间隔不小于1小时后再次反转180℃，确认手动盘车不费力时可以投运电动盘车。

## 7 参考文献

【1】国家电力公司 防止电力生产重大事故的二十五项重点要求 2000年

【2】哈尔滨汽轮机厂《600MW超临界机组汽轮机运行维护说明书》

文章作者： 吴克锋 刁永胜

发表时间： 2009-04-09 00:00:00

[\[关闭窗口\]](#) [\[打印文章\]](#) [\[回到顶端\]](#)