

DOI:10. 3969/j. issn. 1674 – 1951. 2019. 01. 019

# 1 000 MW 超超临界机组邻机加热启动技术应用

Application of adjacent boiler heating start-up technology for 1 000 MW  
ultra-supercritical units

刘彬,邵长暖  
LIU Bin,SHAO Changnuan

(华电莱州发电有限公司,山东 莱州 261441)  
(Huadian Laizhou Power Generation Company Limited, Laizhou 261441, China)

**摘 要:**1 000 MW 超超临界机组汽轮机普遍采用高压缸启动方式,机组启动冲转时,高压缸排汽温度较低,再热蒸汽冷、热段管道较长,中压缸两端轴承振动大,造成开机时间延长。通过改造邻机加热系统,使邻机蒸汽直接通过冷段管道进入高压缸,实现充分预暖高压缸、均匀加热中压缸的目的,从而延长机组寿命,保护再热器,缩短机组启动时间,减少机组启动费用。

**关键词:**超超临界机组;邻机加热系统;启动;预暖

**中图分类号:**TM 621.2      **文献标志码:**B      **文章编号:**1674 – 1951(2019)01 – 0074 – 03

**Abstract:**1 000 MW ultra-supercritical turbine units generally adopt high pressure cylinder starting mode. During the start-up of the turbine, the exhaust temperature of the high pressure cylinder is low, the reheat steam is cold, the pipe of the hot section is long, bearings at 2 ends of the medium pressure cylinder vibrate acutely, which results in the extension of start-up time. By reforming adjacent boiler heating system, steam of adjacent boiler can directly get into the high pressure cylinder through the cold section pipe, which achieves the purpose of fully preheating the high pressure cylinder and uniformly heating the medium pressure cylinder. Therefore, the lifetime of the unit can be extended, the reheater can be protected, the starting time can be shortened, and the starting cost can be reduced.

**Keywords:**ultra-supercritical unit; adjacent boiler heating system; start-up; preheat

## 1 研究背景及意义

某公司 1 000 MW 超超临界机组汽轮机为东方汽轮机厂生产的 N1050 – 25/600/600 型超超临界、一次中间再热、单轴四缸四排汽、凝汽式汽轮机,配置一级高压旁路系统,容量为 30% 锅炉最大连续蒸发量(BMCR),只满足机组启动需要,不具备再热器保护功能。汽轮机高压缸排汽管道未设置高压缸排汽逆止阀。汽轮机冷态启动前,对高压缸进行预暖,尽量提高调节级金属温度。高压缸预暖蒸汽汽源由邻机四段抽汽(额定进汽参数为 1. 159 MPa,392. 8 ℃)经本机组辅汽联箱供给<sup>[1]</sup>。

汽轮机采用高压缸启动方式,在主蒸汽品质、参数具备冲转条件时,同时开启高、中压调节阀,通过高压缸和中压缸进汽冲动转子,高压缸排汽进入再热器,然后进入中压缸做功后排至凝汽器。

因旁路系统采用一级启动旁路,锅炉点火后至汽轮机冲转前,锅炉再热器无蒸汽,处于干烧状态(设计允许)。机组启动冲转后,高压缸排汽温度较低,因再热蒸汽冷、热段管道较长,进入中压缸的再热蒸汽温度偏低,多次发生中压缸两端轴承振动大的情况,造成开机时间延长,增加机组启动费用,影响机组运行安全。

## 2 技术改造

### 2.1 中压缸启动程序

锅炉给水冷态冲洗结束后,即可投入高压缸预暖。邻机再热冷段蒸汽(蒸汽参数为 2. 40 ~ 4. 76 MPa,344 ~ 353 ℃)流经邻机加热系统,经邻机加热中压缸预暖进汽调节阀减压后的蒸汽(蒸汽参数 0. 35 ~ 0. 6 MPa,344 ~ 353 ℃)进入再热冷段管道(管道无高压缸排汽逆止阀),然后进入高压缸预暖。蒸汽进入高压缸预暖的同时,对再热冷段管道进行暖管,当高压调节级内缸内壁金属温度达到 100 ℃、再

热冷段管道壁温达到 125 ℃ 时,进行锅炉点火,对过热器和再热器进行加热。中压主汽阀前蒸汽参数达到中压缸启动要求时,由热控人员对高压调节阀控制逻辑进行强制关闭,确保中压缸冲转时高压调节阀始终处于关闭状态;然后进行中压缸冲转,机组转速由中压调节阀进行控制。中压缸冲转时,转速由阀位控制,此时高压主汽阀和中压主汽阀完全打开,同时对高压主汽阀和调节阀的阀壳进行预热,不需要进行单独的阀壳预热。

当中压缸进汽室内壁金属温度达到 235 ℃、中压缸膨胀量达到 5 mm 时,进行手动打闸停机,中压缸预热结束。

2.2 中压缸启动汽源设计改造流程

机组原设计高压缸预热蒸汽由辅助蒸汽提供,蒸汽由辅汽联箱经高压缸预热管道进入再热冷段管道,进行高压缸预热。因再热冷段管道无高压缸排汽逆止阀,考虑利用高压缸预热管道提供的蒸汽进行中压缸冲转。2015 年机组小修冷态启机时,经过现场试验,高压缸预热管道受规格(  $\phi 159\text{ mm} \times 4.5\text{ mm}$  )限制,供汽流量无法满足中压缸冲转至 3 000 r/min 并稳定运行的要求,因此在 2016 年机组小修时增加邻机加热系统,提供蒸汽的管道设计规格为  $\phi 219\text{ mm} \times 12\text{ mm}$ 。蒸汽流程:邻机冷段→邻机加热系统→再热冷段管道→再热器→再热热段管道→中压缸→低压缸→凝汽器。邻机加热系统流程如图 1 所示。

在 2017 年 10 月 29 日进行冷态中压缸启动现

场试验时,转速达到 3 000 r/min 后进行高速暖机,验证增加的邻机加热系统设计的合理性,机组在保持一级大旁路系统的前提下,应能实现中压缸启动。

2.3 冷态中压缸启动的安全性

高、中、低压缸和转子加热均匀,膨胀顺畅。中压缸启动冲转为全周进汽,与锅炉热态冲洗、升温升压同步进行,中、低压缸和转子加热时间长,加热均匀,汽缸上、下壁温温差小,汽缸中分面法兰内外壁温差小,再热器蒸汽温度与中压缸金属温度能更好地匹配,启动时高压缸预热持续投入,高压缸和高压转子加热均匀;高、中、低压汽缸所受热冲击小,减少了启动过程中高、中、低压转子的热应力。冲转蒸汽由邻机加热系统管道经再热冷段管道进入再热器,保证锅炉点火后再热器内部始终有蒸汽流通,对再热器的管道进行均匀加热,避免锅炉点火后再热器因干烧而超温,有效延长机组使用寿命<sup>[2]</sup>。

冷态中压缸启动时 #2 ~ #4 轴振在合理范围内(见表 1),各轴承金属温度均在允许范围内(见表 2)。

3 效益分析

3.1 经济效益

1 000 MW 容量等级超超临界机组进行中压缸预热改造后,现场试验证明,机组一次冷态中压缸冲转启动比高压缸启动节省暖机时间约 3 h。按每年冷态启动一次计算,经济效益如下。

节电:机组所有运转的辅机设备耗电量为 47 511.84

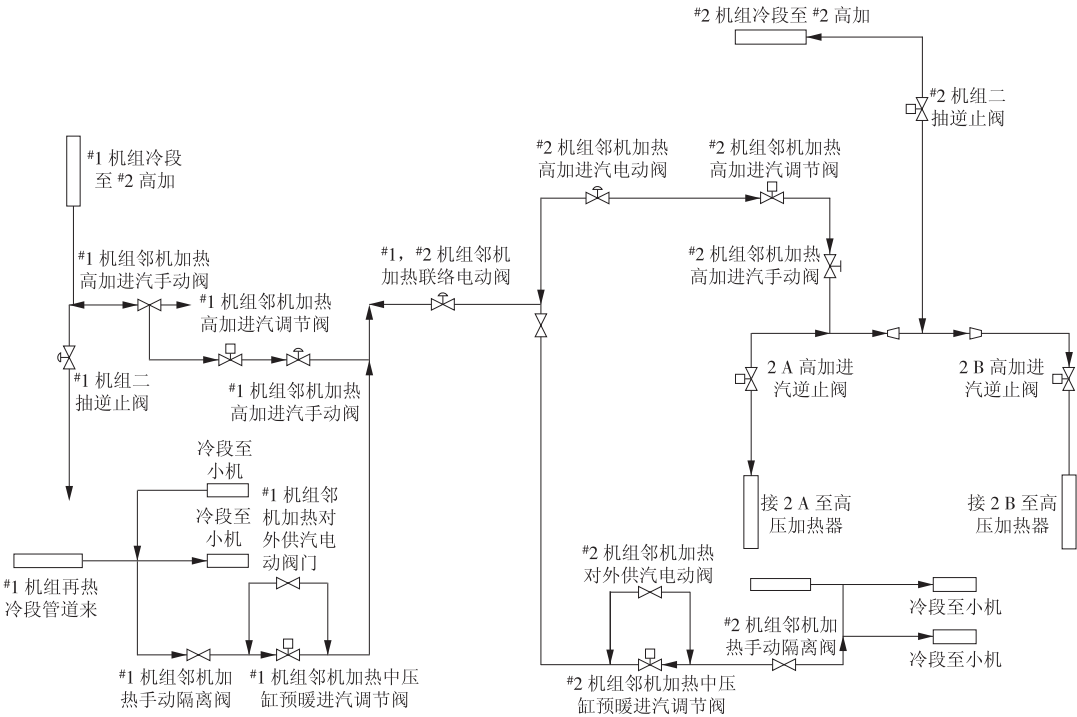


图 1 邻机加热系统  
Fig. 1 Adjacent boiler heating system

表 1 冷态中压缸启动时各轴承振动大值

Tab.1 High value of bearing vibration during the cold start-up of medium pressure cylinder

| 时间    | 转速/(r·min <sup>-1</sup> ) | 轴振/ $\mu\text{m}$ |        |        |         |        |        |
|-------|---------------------------|-------------------|--------|--------|---------|--------|--------|
|       |                           | 2X                | 2Y     | 3X     | 3Y      | 4X     | 4Y     |
| 15:00 | 0                         | 2.203             | 8.337  | 1.685  | 3.760   | 3.638  | 3.119  |
| 15:30 | 700                       | 44.684            | 57.166 | 12.885 | 27.045  | 17.493 | 17.554 |
| 15:53 | 1002                      | 29.059            | 46.729 | 19.293 | 42.67   | 19.507 | 19.568 |
| 16:06 | 1208                      | 29.059            | 38.214 | 34.491 | 65.527  | 25.916 | 80.267 |
| 17:47 | 1500                      | 41.876            | 83.624 | 44.135 | 115.24  | 24.695 | 104.92 |
| 17:50 | 2115                      | 69.556            | 88.843 | 88.995 | 152.075 | 90.308 | 79.657 |
| 17:55 | 2852                      | 84.265            | 85.211 | 66.534 | 87.592  | 75.232 | 83.258 |
| 17:58 | 3000                      | 78.009            | 79.596 | 59.332 | 85.608  | 85.608 | 80.267 |

表 2 冷态中压缸启动时各轴承金属温度

Tab.2 Bearing temperature during the cold start-up of medium pressure cylinder

| 时间    | 转速/<br>(r·min <sup>-1</sup> ) | 温度/ $^{\circ}\text{C}$ |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       |                               | #1 轴承                  | #2 轴承 | #3 轴承 | #4 轴承 | #5 轴承 | #6 轴承 | 正推力瓦  | 负推力瓦  |
| 15:02 | 0                             | 42.46                  | 41.26 | 42.34 | 42.15 | 46.58 | 42.60 | 39.90 | 39.80 |
| 15:30 | 702                           | 53.61                  | 56.47 | 51.96 | 54.82 | 54.69 | 55.80 | 43.90 | 41.80 |
| 15:53 | 1002                          | 59.20                  | 64.10 | 55.52 | 59.90 | 60.79 | 62.40 | 45.50 | 42.80 |
| 16:06 | 1208                          | 62.76                  | 68.69 | 58.57 | 63.98 | 64.36 | 66.50 | 47.50 | 45.30 |
| 17:47 | 1500                          | 66.33                  | 73.35 | 60.09 | 67.03 | 70.99 | 68.10 | 50.50 | 46.80 |
| 17:50 | 2115                          | 69.39                  | 76.93 | 63.15 | 68.56 | 75.07 | 70.60 | 54.60 | 49.30 |
| 17:55 | 2852                          | 73.99                  | 83.58 | 69.77 | 71.62 | 83.33 | 75.80 | 66.30 | 58.00 |
| 17:58 | 3000                          | 76.03                  | 86.15 | 70.79 | 71.11 | 83.84 | 75.80 | 69.90 | 59.50 |

kW·h,按上网平均电价 0.404 9 元/(kW·h) 计算,每台机组节电费用为 19237.5 元。

节水:节约凝结水 1359.72 t,按除盐水平均价格 10 元/t 计算,每台机组节水费用为 13597.2 元。

节汽:中压缸冲转启机比高压缸启机节约蒸汽 370 t(包含辅助用汽、给水泵汽轮机启动用汽和中压缸预暖冲转用汽),按蒸汽平均价格 180 元/t 计算,每台机组节汽费用为 66600 元。

节煤:中压缸冲转启机比高压缸启机节约煤 62 t,按标准煤平均价格 729.77 元/t 计算,每台机组节煤费用为 45245.7 元。

节油:中压缸冲转启机比高压缸启机节约燃油 3.5 t,按燃油平均价格 6057.14 元/t 计算,每台机组节约燃油费用为 21200 元。

增收发电效益:按上网平均电价 0.404 9 元/(kW·h)计算,每台机组年增收经济效益为 121.47 万元。

每台机组年节约生产成本和增发电量产生的经济效益共 138 万元。以该项目投资 90 万元计算,1a 可实现投资回收。

### 3.2 社会效益

该公司 2 台超超临界 1000 MW 机组煤耗低、经济性指标较好,改造实施后,能够实现两台机组快速启动和快速并网,减少了资源浪费。机组冷态启动

可缩短机组启动时间约 3 h,减少 CO<sub>2</sub> 排放,达到节能减排、减缓温室效应的目的;同时,提前投入脱硝系统,可减少 CO<sub>2</sub>排放 242 t、烟尘排放 14.4 kg、二氧化硫排放 9.3 kg、氮氧化物排放 2610.5 kg,具有良好的社会效益。

## 4 结束语

通过本文所述的技术改造,能够实现中压缸进汽冲转,扭转单一依靠高压缸启动的被动局面,进而实现充分预暖高压缸,均匀加热中压缸,延长机组寿命,保护再热器,缩短机组启动时间,减少机组启动费用,保障机组稳定运行安全等目的;此外,由于再热器进汽,再热热段管道得到充分暖管,中压缸避免受到冷汽或冷水冲击,可有效消除中压缸两端轴振偏大的现象,保障机组的安全启动和经济运行。

### 参考文献:

[1] 邵和春. 汽轮机运行[M]. 北京:中国电力出版社,2006.  
[2] 靳智平. 电厂汽轮机原理及系统[M]. 北京:中国电力出版社,2006.

(本文责编:刘芳)

### 作者简介:

刘彬(1965—),男,山东邹平人,工程师,从事电厂运行管理工作(E-mail:scn000@sina.com)。