

## 三缸两排汽供热机组增容改造

王力彪, 李染生, 庞晓岩

(北京京能热电股份有限公司, 北京 100041)

**摘 要:**介绍了北京京能热电股份有限公司石景山热电厂4号机增容改造的实施方案及检修运行情况,并总结了改造中出现的问题和解决方案。通过本次改造,该机的发电出力增加了20 MW,同时大大提高了机组的安全性、可靠性、经济性。

**关键词:**通流部分;增容改造;经济性

**中图分类号:**TK269<sup>+</sup>2 **文献标识码:**B **文章编号:**1003-9171(2008)02-0035-04

## Capacity Expansion of Thermal Power Unit with 3-cylinder and 2-exhaust

Wang Li-biao, Li Ran-sheng, Pang Xiao-yan

(Beijing Jingneng Thermal Power Co. Ltd., Beijing 100041, China)

**Abstract:** Implement scheme which was applied in capacity expansion of No. 4 unit of Shijingshan Thermal Power Plant, Beijing Jingneng Thermal Power Co. Ltd., as well as its maintenance and operation were introduced in this paper. Problems appeared in the reformation were generalized and corresponding solutions were put forward. After the reformation, power generation of No. 4 unit increased 20 MW. And security, reliability, economical efficiency were improved greatly.

**Key words:** flow path; capacity expansion reformation; economical efficiency

### 0 前言

北京京能热电股份有限公司石景山热电厂4号汽轮机是东方汽轮机厂生产的三缸两排汽供热机组,汽轮机型号为:NC200/160-12.7(130)/535/535,型式为:超高压中间再热三缸两排汽、抽汽供热凝汽式汽轮机,制造厂牌号D35。该机型是70~80年代设计的,采用的设计、制造技术较为落后,原机组通流部分叶型损失大,汽动热力性能差,效率低。该机型高压缸效率仅有80%,中压缸效率90%,低压缸效率84%;机组改造前实测热耗为(经二类修正后)8 848.2 kJ/kWh,能源浪费大,并增加了对环境的污染。根据统计,叶型损失、二次流损失和漏汽损失占级内总损失约90%,减少漏汽损失和采用新型高效叶片是提高通流部分效率的主要措施。国内三大汽轮机制造厂近些年通过学习引进消化吸收了世界上先进的现代汽轮机设计、制造技术,开发了全三维汽动设计技术、分流叶栅技术、流型优化技术、层流叶型优化技术

等,并广泛应用于新机的设计和制造。因此,采用现代化汽轮机设计通流技术改造石景山热电厂4号机是十分必要的也是可行的。

### 1 改造原则

针对高、中、低压缸原设计存在的问题,考虑到4号机目前的状况及冬季供热的特点,改造设计遵循下述原则。

(1) 采用可靠的改造技术和结构部件,消除原机组改造范围内的缺陷及薄弱环节,提高可用率,提高可靠性。

(2) 采用当前国内最先进的通流改造技术,提高经济性和增大出力。

(3) 汽轮机进汽参数不变,通流级数不变。

(4) 高、中、低压缸安装尺寸及对外接口尺寸不变。

(5) 高中压主汽门、调门不动,前、中、后轴承座与基础接口不变,高、中、低压缸采用旧转子,转子与发电机及主油泵的联接方式不变,与盘车装

置连接方式及位置不变。

(6) 回热系统、汽封系统、主汽系统、再热系统、额定转速、旋转方向不变,一级旁路系统、二级旁路系统等不变。

(7) 机组的基础不动,对基础负荷基本无影响,机组的轴向推力不超过原设计值。

(8) 设计、制造、检验符合现行的国家、电力行业新机出厂标准,当与标准相抵触时,应按高标准执行。

(9) 改造后设备运行应力控制值能适应机组运行参数变化的要求。

(10) 改造后设备满足现场安装要求。

(11) 高、中压端汽封仍沿用铁素体汽封,为减小轴封漏汽在最外圈加装接触式汽封。

(12) 改造后冷凝工况下机组额定出力为 220 MW。

## 2 主要技术方案

### 2.1 高压通流改造采用的技术

(1) 调节级:调节级喷嘴组叶栅,采用子午面收缩静叶栅。新设计的喷嘴组采用静叶根部与喷嘴组内环整体铣制,叶顶和外环焊接的结构,确保叶片与顶部子午面型线的加工制造精度;调节级动叶片采用自带围带,调整安装角,更合理分配焓降。适当增大通流面积;同时光顺动叶型线,使型线曲率更加光滑,减少型线损失;叶顶汽封采用 2~4 片汽封。

(2) 采用“后加载”高效静叶型,各压力级隔板静叶栅均采用“后加载”新叶型,降低静叶和隔板体的弯应力和挠度。

(3) 压力级隔板静叶栅:高压 2~4 级静叶采用新型的分流静叶栅结构,方钢数控机床铣制。高压缸 5~12 级静叶采用全三维弯扭联合成型静叶栅,铸件数控机床加工成型。

(4) 动叶片型线优化,动叶片叶型型线进行优化设计,以进一步减少叶型损失。

(5) 高压缸 2~12 级动叶片顶部全部采用自带冠围带,叶顶汽封齿均由原设计的 1~2 道增加为 4 道。

### 2.2 中压通流改造采用的技术及措施

(1) 13~20 级隔板为围带冲孔数控机床加工。

(2) 13~20 级隔板静叶采用“后加载”型线,变截面扭叶片,采用焊接钢隔板同时适当抬高根

径,以便改善进入低压通流的流线曲率,适当提高通流效率。

(3) 中压缸动叶片顶部全部自带冠围带整圈联接。

(4) 汽封齿由 2 道增至 3~4 道。

(5) 中压 17~20 级围带内侧(汽道侧)做成斜面(内斜外平),使子午面流道光顺,减少脱流(涡流)损失,提高效率,改善流动情况。

(6) 取消拉筋:取消中压缸和低压缸通流中的全部拉筋,减少拉筋绕流损失。

### 2.3 低压通流部分改造技术

(1) 全部动叶顶部为自带围带、内斜外平结构,动叶片形成整圈联接,通流子午面光顺。

(2) 低压 1~4 级动叶顶部各带 3 道汽封齿。

(3) 取消各级拉筋。

(4) 低压各级动叶型采用高效叶型。

(5) 次末级和末级叶片根部高反动度。末级静叶根部子午面扩张。次末级动叶进汽侧顶部电火花强化,末级动叶镶焊司太立合金片。

(6) 低压静叶全部采用复合弯扭静叶片,和新型“后加载”叶型。

(7) 铸铁隔板全部改为焊接钢隔板。

## 3 改造过程中遇到的问题及处理方法

在改造安装过程中遇到了很多问题,主要集中在隔板以及转子的安装定位方面,具体情况叙述如下。

### 3.1 新隔板洼窝找正

新隔板的安装应以转子中心作为基准来调整,故在机组解体阶段分别在全实缸及半实缸状态下进行了复校轴系中心工作,并测量了轴系各轴瓦及油档洼窝处的瓦表、水平、转子位置等。比上次大修装机复校中心合格后所测全套数据时发现轴系各瓦处瓦表值变化小于 0.06 mm,转子位置左右变化小于 0.07 mm,反映出中心变化相对不大,但停机第 3 天盘转子校测中心时发现轴系中心最大偏差在中低对轮处达到全实缸时测为低压转子偏高 0.345 mm,第 4 天半实缸时测为低压转子偏高 0.43 mm。第 9 天用假轴校测中心时更是达到低压转子中心偏高 0.98 mm。在此 3 次校测中心过程中中低对轮下张口也分别由 0.07 mm 增大到 0.09 mm,最终达到 0.32 mm。分析变化原因后认为主要为以下几点:

(1) 拆机工作较快,汽缸、轴承箱及转子的温

度偏高引起的热态变形较大,导致轴系解体测中心数值准确度下降。

(2) 拆机校中心时因机组温度依然较高,整个机组系统收缩不到位,存在不畅变形。

(3) 此台机组低压缸原为 300 MW 机组双层缸设计,低压转子质量为 57 933 kg,低压转子轴承座直接焊接在低压缸上,低压转子的质量及支撑方式对轴系中心影响较大。

(4) 假轴为厚壁钢管制作,故其质量、挠度等与真转子偏差较大,所测轴系中心值不能准确反映真轴系对中实况。

针对以上问题采取以下措施:

(1) 高、中压转子因其质量较小使用假轴进行中心校测找正工作,调整中心时重点参考恢复转子上次大修时复校中心的合格位置,转子位置变化小的不予调整,只对垫铁检查修刮时测量较大的轴瓦及瓦枕垫铁进行调整恢复。

(2) 中、低转子中心及低、电转子中心待低压转子返厂后全部采用真转子初找中心后进行隔板洼窝找正及通流间隙精细调整。

(3) 高、中压缸内各级新隔板、隔板套等以假轴进行找正,真轴返厂后校测中心偏差小于 0.10 mm 不再调整。低压转子从汽轮机厂返回后,先进行轴系中心调整,然后以低压转子为基准分别找正各级低压新隔板,使隔板洼窝中心和低压转子中心一致。

### 3.2 隔板轴向定位及加工问题

因为本次是改造工程,隔板生产后直接运到检修现场,无法在厂内进行出厂前的配装加工,只能在现场实测后进行配组装工作。本次现场配装时对全部 32 级隔板均进行了不同程度的机加工工作。高压 12 级新隔板在轴向定位时发现内缸的 9 级隔板轴向 A、C 间隙大于标准值,为确保机组效率将高压内缸向机前调整了 1.2 mm。中压 1、2 号套内的 6 级隔板的轴向 A、C 间隙小于标准值,将这两个隔板套向机后方向调整了 0.5 mm。在确定机加工部位时根据厂家提供的通流图纸对每一级隔板正反两个方向分别测绘 3 至 4 点确保隔板轴向间隙符合设计标准。低压末级隔板因直径较大外委机加工。

### 3.3 低压转子轴向重新定位问题

低压缸通流部分改造后,通流间隙须重新定位。在测绘正反两个方向的轴向通流间隙后将低压转子相对原来位置往发电机方向移动了

0.96 mm,同样发电机转子及励磁机转子均向机后方向移动 0.96 mm。发电机转子及励磁机转子移动将改变转子与定子的磁场中心。因改变数值较小认为不会引起不良后果,故未作其它相应调整。因励磁机轴瓦与转子凸肩轴向间隙符合安全间隙要求,此处未作调整。当低压转子轴向定位调整垫运到现场后组装到中压转子上,经测调飘偏合格后正式紧固安装。开机后推力瓦温度正常,机组运转状况良好。

### 3.4 低压缸缸体轴向振动大问题处理

检查低压缸内的各部支撑及连接管道未发现开裂及开焊现象,在检查盘车角销时发现盘车台板接触不合格,盘车箱底部与台板存在间隙,窗侧为 0.60 mm,炉侧为 0.70 mm,发电机侧为 0.45 mm。解体盘车箱与低压缸立面螺丝后测量台板接触情况及自由状态下与低压缸立面间隙,根据所测数值对盘车箱立面进行借偏加工 0.35 mm。对台板进行修刮,组装后盘车箱底部与台板接触红丹粉检查合格,塞尺检查 0.05 mm 不进。开机后低压轴瓦及缸体各项振动值均达到标准。

### 3.5 油档碰磨导致机组振动偏大问题

在机组检修完毕后开机过程中曾因 3 瓦前油档、3 瓦后油档、4 瓦前油档、4 瓦后油档、5 瓦前油档齿上中部不同程度地发生摩擦,3 000 r/min 稳定后振动逐渐开始爬升,运行人员先后共开停机达 4 次。通过现场实况分析认为导致机组停机的主要原因可能是机组冷态启动时因摩擦力较大没有充分膨胀出去,机组滑销系统的膨胀死点在 3 号轴承箱基架上 3 号轴承中心处,再加上此台机热态中心原本偏高(冷态找中心合格后须在 3 瓦处垂直方向撤垫 0.20 mm,5 瓦处撤垫 0.15~0.18 mm)。各油档顶部间隙标准(顶部间隙标准为 0.25~0.35 mm)偏小,调整时各油档顶部间隙多在 0.30 mm 左右。当转子旋转上浮后动静部分发生摩擦引起轴系振动。又因摩擦点较多,一时不能脱开导致轴、瓦振渐渐接近保护定值,运行人员打闸停机。后来检修人员将上述油档顶部间隙放大到 0.60~0.80 mm,并修尖齿尖,加长暖机时间,使机组充分膨胀出去,缓慢增长负荷后机组能够平稳运行。此后经过反复升降负荷的考验,最大变化时从 210 MW 连续降到 19 MW,机组依然能够保持平稳运行,且轴、瓦振均达标准。轴封无泄漏现象,各项指标均达到了标准。

#### 4 关于改造的建议

通过此次三缸改造遇到的部分问题,结合实际工作中的解决办法提出几点粗浅建议:

(1) 在新隔板找正工作中因轴系中心的问题使改造工作一度十分被动,尤其是低压部分因低压转子在大修第38天才抵达检修现场,后经找中心工作后才调整低压隔板洼窝使得后期工作非常紧张。建议三缸通流改造工作中在转子返厂前先进行轴系找中心工作,轴系找中心合格后,留好各轴瓦处的瓦表、水平、油档处的转子位置等数据。当转子返厂改造时可依据以上所留数据通过使用假轴或拉钢丝的办法来完成新隔板的找正工作,使整个三缸改造工作安排的更加合理有序、争取更多的检修时间。

(2) 此次三缸改造工作中受备件到货影响较大,因改造工作与制造厂签订合同后时间比较紧张,大修开始后部分隔板、隔板套及零配件等备件才陆续到达,致使改造工作在大修中几次因无备件而无法进行,延误了部分工期,因此建议改造工作前尽可能做到停机检修前各种备件全部到达或严格按计划到达。部分隔板与隔板套的配装工作

可在到达检修现场后停机前就进行调试配装,发现问题及早处理,为大修顺利开展打下良好的基础。

#### 5 改造后经济效益比较

改造后,高压缸效率提高至85.48%,中压缸效率提高至90.97%,低压缸效率提高至87.74%。机组热耗由改造前的8848.2 kJ/kWh降低到8072.23 kJ/kWh,机组热耗降低776 kJ/kWh。通流改造后额定工况下降低煤耗18.83 g/kWh,按照负荷率75%计算,可节约标煤24 743 t/台·年,按照改造电厂企业税后留利公式计算,可获得经济效益约1 187.5万元/台·年,约2.2年即可收回全部投资。具有明显的经济效益,节能效果显著。另外,改造后减少SO<sub>2</sub>排放量约645.44 t/台·年,减少费用77.45万元;减少NO<sub>x</sub>排放量约191 t/台·年,减少费用12.03万元;减少CO<sub>2</sub>排放量约5.92 wt/台·年,减排效果显著。

收稿日期:2008-01-30

作者简介:王力彪(1972—),男,1994年毕业于长沙电力学院热能动力工程专业,工程师,现主要从事电厂设备检修管理工作。

\*\*\*\*\*  
(上接第34页)

也会产生一个压降,但其数值并不大(不会大于两端不接地时地网两点间的电位差),因此不会产生负面的天线效应。综上所述,采用新型屏蔽层接地方法,可以降低二次电缆的共阻抗耦合。

接地电阻的数值一般选取为和电缆屏蔽层的等效电阻相等。

文献研究表明,在超高压和特高压变电站中,采用本文所提出的新型二次电缆屏蔽层接地方法,既可获得两端直接接地时良好的抗干扰效果,也避免了当地电流和干扰过大时烧毁屏蔽层的危险,可以达到较好的电磁兼容效果。而且这种方法不必附加铜排,新站、老站均可以方便地采用。

#### 6 结语

研究证明在采用合适的接地方式、低电阻的

地网以及恰当的均压措施后,可以有效地提高二次设备的抗干扰能力,减少二次设备异常动作的发生,保证站内单相短路接地时的继电保护动作可靠性。

#### 参考文献

- [1] 王梅义. 电网继电保护应用. 中国电力出版社, 1999.
- [2] 覃海清, 刘南平, 张召南. 变电站二次电缆屏蔽层接地的抗干扰作用. 广西电力工程, 1998, (2).
- [3] 黄少锋, 秦晓辉. 一种新的二次电缆屏蔽层接地方法. 电力系统自动化, 2007, (8).
- [4] 国家电网公司. 国家电网公司十八项电网重大反事故措施. 北京: 中国电力出版社, 2005.

收稿日期:2008-05-19

作者简介:刘永兴(1972—),男,工程师,从事变电站的二次系统施工建设工作。

欢 迎 投 稿      欢 迎 订 阅