

300MW 机组颠倒安装工序施工方案探讨

山西省电建一公司 金有源

文 摘 文章论述了沙岭子电厂 4 号机本体安装颠倒重要工序施工的方法,指出只要当低压缸定位后,转子中心扬度调准,做好中高压缸内外工作,先扣高压缸,后扣低压缸是可行的,指出凝结器与低压缸的连接,只要采取相应的措施,可以不必等铜管穿胀工作结束后进行,故为工程总体施工赢得了时间。

关键词 沙岭子电厂 4 号机组 安装工序 施工方案 铜管穿胀 凝结器与低压缸连接 转子中心 振动

沙岭子电厂 4 号机组系东方汽轮机厂制造的 N300-16.7/537/537-2 型、亚临界、中间再热、双缸、双排汽、单轴、冷凝式汽轮机。据出厂技术条件及有关规程和施工导则的要求,必须先将近凝器正式就位,然后穿胀铜管,连接排汽缸与凝器,扣低压缸后复测对轮中心,再扣中高压缸,再复测对轮中心,进行机组整体二次浇灌。在凝器灌水试验后,进行凝器系统有关机械的分步试运,锅炉的酸洗工作才能进行。

根据华北网局和上级的要求,沙岭子电厂 4 号机组应于 1995 年 4 月扣缸,5 月酸洗,6 月上旬开始吹管,6 月完成油循环,7 月冲转,并网,9 月完成 168h 试运,移交生产。

由于资金不到位,影响凝器铜管到货,预计 4 月底至 5 月初才能制成,运到现场。在这种情况下如不及时采取切实可行的方案和对策,则扣盖时间最少推迟 2 个月,相应的汽缸与管道连接的工作和保温工作将推后更长时间。为了确保 4 号机组的按时投产,电厂、施工单位、调试单位、设计单位和凝器生产厂家在华北网局领导和支持下采取了一些切实可行的施工方法,颠倒了汽轮机安装的施工顺序,保证了 4 号机组正点或提前投运。

1 具体作法——颠倒扣缸顺序

按厂家技术文件及有关规程和导则的要求,应先扣低压缸,以低压缸为基准,再扣高、中压缸。现低压缸因条件不成熟,能不能先扣高、中压缸,然后再扣低压缸,颠倒扣缸顺序将会出现什么问题,影响工程质量否,经现场各方讨论认为有三个问题:

- ① 低压转子的扬度问题;
- ② 中、低压转子联轴器中心变化问题;
- ③ 转子的轴向定位问题。

应采取的预防措施和调整方法:因为汽轮机的扬度和中心是以低压缸部份为基准,即低压转子分流环处的扬度为零,所以先扣高、中压缸也必须以低压缸为基准,并同时考虑低压缸与凝汽器连接前后的中心变化因素,在完成高压缸与低压缸转子找中心及通流间隙、汽封间隙测量调整工作后,滑销间隙配准,所有检修工作结束后,同时还要做好以下几点:

① 为了使低压转子扬度和中心变化值控制在最小范围内,在凝器连接施焊前,在低压缸四角台板,对轮处架设 9 块百分表进行监视,焊接工艺采用分段对称跳焊法,要求

表值变化不能超过 0.05mm, 否则停焊。连接后其变化值应保持在 0.03mm。从前 3 台机的安装记录看, 该变化值是能够保证的。

② 连接后复查中、低压转子对轮中心的残余变化值(一般为 0~0.05mm), 可通过调整 3、4 号轴承瓦枕垫块的调整垫片来进行。

③ 转子的轴向定位。在扣中、高压缸前, 完成推力瓦块检查研刮, 在完成高、中压通流

间隙、低压通流间隙测定, 汽封间隙测量调整后, 滑销系统间隙配准。计算出中、低压间对轮间隙, 由东方汽轮机厂加工对轮调整垫片。

实践证明以上的方案是可行的。

所测数据均在控制范围以内(图 1), 外圆卡子固定在低压对轮上, 由塞尺测得数值(mm)。

观测先扣高、中压缸中心变化情况, 发现

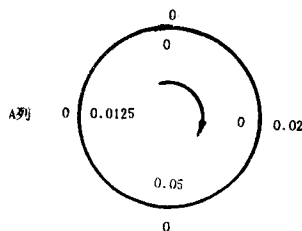


图 1-a 扣缸前中压缸对轮中心

扣缸前后中心变化量不大。其原因主要系高、中压缸的前后两个轴承均承受在落地式轴承箱上所致。

2 具体作法——以水重量代铜管重量

由于凝结器铜管不能如期到货, 凝结器铜管的穿胀工作不能全部完成, 部分铜管, 尤其是白铜管到货时间很难保证。直接影响低压缸和凝结器的连接工作及低压缸的扣盖工作。为此, 提出了封闭凝结器热水井人孔, 向凝结器内灌水, 以水重量代替铜管重量的方法, 在凝结器铜管穿胀工作未进行完的情况下实现了凝结器与汽缸的连接。

因 4 号机凝结器的支撑方式为弹性支点式, 凝结器与汽缸连接前的全部重量(430.5t)由 96 个弹簧承受, 运行时循环水的重量和排汽中形成的负压基本抵消。排汽缸的负压由低压缸下基架支撑, 所以要求凝结器与低压缸连接前必须满足凝结器达到设计重量, 弹簧自由, 负荷均匀, 在无外力的情况下与排汽缸连接。

2.1 改变工序的可行性分析

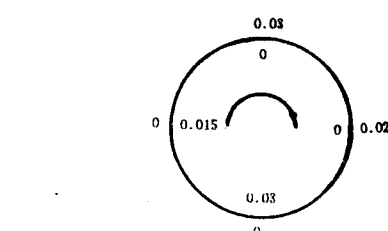


图 1-b 高中压缸扣缸后中低压缸对轮中心

当时约缺 50t 铜管, 要一个月后到货。

热水井高度近 1m, 下部人孔封闭容纳的 100t 水可用以作配重, 热水井下底完全水平, 水重量将均布于下部的支撑弹簧上, 代替铜管重量的分布。且水深 1m 以下, 边穿管, 边放水, 对铜管到后进行工作不会有任何影响, 故而可行。

2.2 施工方法及工艺顺序

① 清理凝结器内部杂物, 封闭下部人孔。

② 从工业水系统引出一路 D219 的临时管, 安装一个与凝结器接通的阀门。

③ 在凝结器底部开孔, 接出 D159 排水管, 并装设阀门。

④ 在凝结器四角装临时水位计 1 支, 以便监视水位。

⑤ 清理凝结器排水坑, 安装好两台排水泵, 并试运, 排水管与 A 列下水井接通。

⑥ 凝结器弹簧支座下部加工配制永久垫铁 96 组, 使弹簧顶丝不受力。

⑦ 配备百分表及支架 12 套, 分别监视凝结器底部 6 组弹簧, 顶部和低压缸台板四角及前后对轮外圆标高变化。

⑧ 凝结器喉部铜管采用 3mm 厚度的石棉垫封闭,以防喉部连接时损伤铜管。

⑨ 核准欲进行穿胀的铜管重量,确定灌水高度。

⑩ 打开灌水门,监视水位,使水重量等于欲穿胀铜管的重量。

⑪ 割去弹簧的拉筋,使凝结器总重量由弹簧支撑。

⑫ 喉部接口扁钢安装,上口自由滑动,下口与喉部水平顶板施焊。

⑬ 凝结器台板反向架百分表 6 块,汽缸四角架百分表 4 块,低压缸转子前后对轮架百分表 2 块,监视汽缸变化,垂直方向小于 0.10mm,水平方向小于方向 0.07mm,并控制最大变化量小于 0.10mm。

⑭ 连接口加强板安装完成。

⑮ 低压缸扣大盖。

⑯ 复测汽缸中心,二次浇灌混凝土。

⑰ 待铜管到货后,穿胀管,每穿胀铜管 5t 放水一次,使放水重量等于穿入铜管的重量,直到穿胀完,将水放尽。

2.3 实施过程中遇到的问题及其处理方法

凝结器与低压缸连接的初始焊接过程中,汽缸台板四角有上浮趋势,前后对轮有下降趋势。而当凝结器与汽缸连接后数小时,对轮垂直方向有上抬变量,台板在前汽缸呈上升趋势,在后汽缸呈现下降变形,前后对轮上抬。此现象出现在凝结器与汽缸连接后,加强筋板施焊结束后,汽缸中心上抬了 0.15mm。

考虑到低压缸扣缸过程中和扣缸后以及二次浇灌后中心还会有所变化,中心暂不作调整,最终进行一次统一的调整,见表 1。

表 1 低压缸中心变形情况

(mm)

时间	表 位								气温及其它
	前对轮上	后对轮上	A 列前汽缸	A 列后汽缸	B 列前汽缸	B 列后汽缸	前对轮	后对轮	
	表 1 垂直方向	表 2 垂直方向	表 3 垂直方向	表 4 垂直方向	表 5	表 6	表 7 水平方向	表 8 水平方向	
1995-04-12 19:40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15°C 开焊
1995-04-12 20:00	-0.01	0	+0.02	+0.02	+0.005	+0.01	-0.01	0.00	
1995-04-12 20:30	-0.02	-0.01	+0.04	+0.03	+0.01	+0.015	-0.01	-0.01	
1995-04-12 21:50	-0.04	0.00	+0.04	+0.03	0.00	+0.01	-0.02	0.00	13°C
1995-04-12 22:30	-0.02	-0.02	+0.02	+0.03	0.00	-0.01	-0.02	-0.01	13°C A 列有风
1995-04-12 23:00	-0.02	+0.02	+0.06	+0.06	0.00	+0.02	-0.01	0.00	
1995-04-13 0:00	-0.05	0.00	+0.04	+0.04	0.00	-0.01	-0.02	-0.01	
1995-04-13 1:00	-0.05	-0.02	+0.04	+0.02	0.00	0.00	-0.02	-0.01	13°C 连接结束
1995-04-13 1:30	-0.05	+0.02	+0.045	0.00	0.00	+0.02	-0.01	0.00	
1995-04-13 6:20	+0.06	+0.06	+0.07	-0.05	0.00	-0.07	—	—	18°C

注:垂直方向降为负;左右表架在 A 列向 B→为负。

3 造成低压缸中心上抬原因分析

因复测中、低压转子中心时气温渐高,4

月 19 日的环境温度为 23°C,而凝结器与汽缸连接时环境温度为 13~18°C,而且未装设 A 列卷帘门,凝结器前后形成较强的冷空气

对流,如按平均温度 15℃ 计算,与 4 月 19 日比,有 8℃ 的温差。凝结器高度(h)为 11.48m,凝结器壳体材料为 A₃ 钢,其线胀系数为 0.00101m/℃,所以当温差 Δt 为 8℃ 时,凝结器垂直方向的膨胀量为:

$$\Delta h = 0.00101 \times 8 \times 11.48(\text{m}) = 9.28(\text{mm})$$

凝结器弹簧刚度为 206kg/mm,共 96 支,全部热膨胀量被弹簧吸收后造成的向上顶力为(因台板未出间隙,可视为凝结器上部绝对刚性):

$$F = 206 \times 9.28 \times 96(\text{kg}) = 183.5(\text{t})$$

所以,凝结器与汽缸连接后,温差的作用对汽缸中心变化的影响很大。

4 中低对轮中心调整方法的确定及调整结果

鉴于以上情况,扣缸后对中低对轮暂不作调整就进行了台板二次浇灌混凝土,当混凝土达到设计强度后,于 1995 年 5 月 2 日复测中低对轮中心,结果如图 2 示(卡子固定在低压对轮上,用塞块测量)。

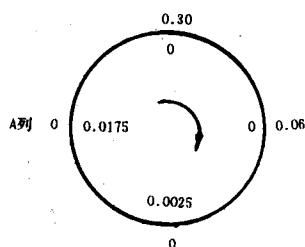


图 2 中低对轮中心复测结果(mm)

从图 2 看出,低压转子偏高 0.15mm (0.30/2),偏 B 列 0.03mm (0.06/2),端面平行度较好。

根据二次浇灌后中低对轮中心结果,决定对 2 号瓦进行中心预调。按照对轮直径和轴系瓦间距离的比例确定 2 号瓦调整量,见图 3。

因低压对轮偏 B 列,故在中压转子的低压侧轴瓦 A 列 45°瓦枕下加 0.05mm 垫片,

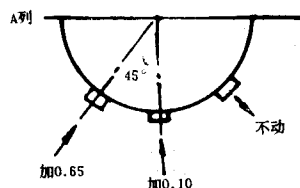


图 3 2号瓦调整量(mm)

又因低压中心偏高 0.15mm,故在 2 号瓦下部加高 0.10mm,使中低压中心吻合。又因 2 号瓦及箱体紧靠中压缸壁且猫爪传热也较大,在热态时 2 号瓦中心有上抬现象,所以,在预调 2 号瓦中心时,下部的 0.10mm 和 A 列侧的 0.05mm 垫片,都临时加在瓦枕与洼窝之间,以便中低压对轮连接后调整热态中心方便和准确。

2 号瓦加垫后,5 月 4 日气温 19℃ 时,复测中低压对轮中心,结果见图 4。由于低压缸

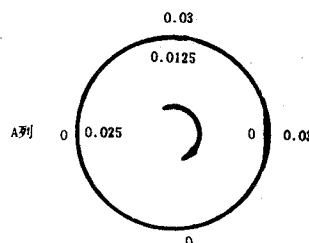


图 4 加垫后复测中低压对轮中心(mm)

和所有台板二次浇灌都已完毕,从 5 月 4 日起循环水出入口管道,小汽轮机排汽等系统管道都在和凝结器接口,从 5 月 4 日测量的结果看出,中心已在标准范围内,但 5 月 7 日

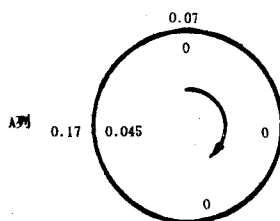


图 5 5月7日上午10时复测中心结果(mm)

上午 10 时复测中心时,却出现图 5 情况,卡子固定在低压转子上,塞块测量,气温 20℃。

从这次测量的中心变化看出,低压转子向 A 列偏移 0.085mm ($0.17/2$),低压中心仍然偏高 0.035mm ($0.07/2$),而且 A 列张口超标,之所以出现这样的现象,分析与系统连接有关。

对轮中心偏差分析,决定通过调整 3 号瓦中心来解决,即将 3 号瓦向 B 列移动,这样即可以减小对轮 A 列的张口,又可使中心趋向同心,垂直偏差可以降低 3 号瓦标高,通过理论计算得 3 号瓦调整量,见图 6。

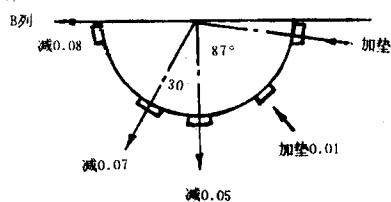


图 6 计算的 3 号瓦调整量(mm)

由于垫片规格所限,3 号瓦最终调整量见图 7。

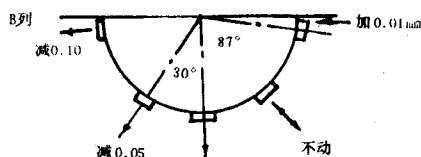


图 7 3 号瓦最终调整量

调整各瓦枕垫片后,用塞尺检查瓦枕与洼窝间隙 0.03mm 不入,复测验收中心,结果如图 8。

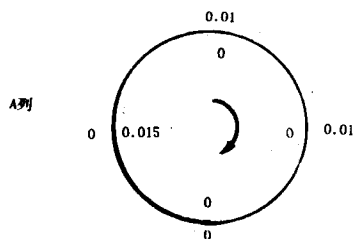


图 8 调整各瓦枕垫片后复测的对轮中心(mm)

1995 年 5 月 8 日,当日气温 21°C,复测

对轮中心取得了满意的效果。当日锁死中低压对轮,开始铰孔,配中低压对轮联系螺栓。5 月 10 日二次浇灌混凝土后的低发对轮中心复测结果,见图 9(卡子固定在发电机对轮上,塞块测量,环境温度 21°C)。

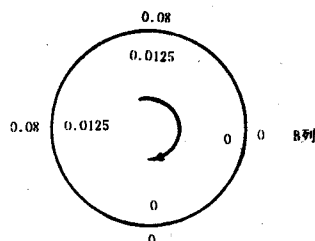


图 9 二次浇灌后的低发对轮中心复测结果
(mm)

从图 8 看出,发电机对轮高 0.04mm ($0.08/2$),发电机转子中心偏 A 列 0.04mm, $0.08/2$ 。经计算决定调整 5 号瓦瓦枕,从 B 列 45°瓦枕下撤去 0.05mm 垫片。5 月 10 日 14 时 55 分,气温 22°C,测量低发对轮中心,结果见图 10。

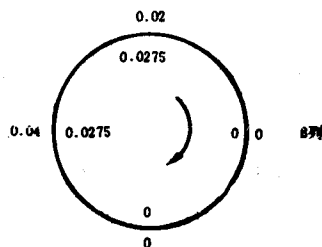


图 10 低发对轮中心测量结果(mm)

卡子固定在发电机对轮上,塞块测量低发对轮,于 1995 年 5 月 12 日锁死,23 日配对轮螺栓 3 条,27 日完成低发对轮正式镶配联系螺栓的工作。

轴系热态中心调整如下:

中低压对轮最终铰孔,正式镶配联系螺栓结束,2 号瓦中心下调 0.30mm,各瓦枕调整量见图 11。

A 列侧瓦枕外侧 0.05mm 临时垫取出后,又从下部减去 0.05mm;B 列侧瓦枕内侧去 0.10mm;底部瓦枕先取出外侧 0.10mm,

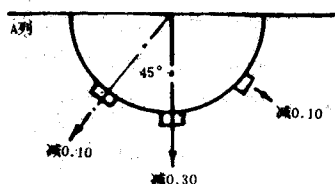


图 11 2 号瓦中心下调后各瓦枕调整量
又从下部撤去 0.20mm, 共 0.30mm。撤垫后
用 0.05mm 塞尺检查各瓦枕下部, 均不入。
百分表实测中心下降 0.24mm。

4 号轴瓦中心下调 0.05mm, 只在下瓦
枕减去 0.05mm, 瓦枕标高调整后实测轴系
晃度如下:

中低对轮最大晃度为 0.045mm;

低发对轮最大晃度为 0.04mm。

5 轴瓦调整中心后对汽轮机通流间隙的影响

因高中压缸隔板及汽封的径向间隙最
小, 所以 2 号瓦调整后, 主要考虑中压后汽封
径向间隙是否受到影响。如果中压后汽封在
安全的范围内, 则其它汽封所受到的影响远
小于中压后汽封。

中压后汽封设计间隙值为: 0.575 ~
0.695mm, 现场调整值轴端汽封和隔板汽封
上下为 0.70mm, 左右为 0.65mm, 因 2 号轴
瓦左右调整量为 0.03mm, 按比例在中压后
汽封处左右移动量为 0.02mm, 所以轴瓦调
整后中压后汽封左侧间隙为: $0.65 + 0.02 =$
 0.67mm , 中压后汽封右侧间隙为: $0.65 -$
 $0.02 = 0.63\text{mm}$, 均在设计范围内。

2 号轴瓦垂直方向向上调整了 0.10mm
后, 在中压后汽封处, 按比例垂直方向变化约
0.08mm, 所以调后中压上汽封间隙为 0.70
 $- 0.08 = 0.62\text{mm}$, 中压下汽封间隙为 0.70
 $+ 0.08 = 0.78\text{mm}$, 下汽封略大 0.09mm, 然
而, 由于调热态中心时 2 号轴瓦又降了
0.30mm, 实测轴颈处降了 0.24mm, 在中压
后汽封处下降约 0.20mm, 所以冷态时, 下汽
封间隙应为: $0.78 - 0.20 = 0.58\text{mm}$, 处在设
计值的下限, 所以是安全的。

至于 3 号轴瓦, 因调整量最大值也是
0.10mm, 所以同样也是安全的。

沙岭子电厂 4 号机组经过颠倒工序施
工, 为机组整套启动赢得了时间, 实现了华北
局对机组的整体计划安排, 7 月 12 日沙岭子
电厂 4 号机冲转成功 (见表 2), 轴系各瓦振
动均小于 0.02mm (见表 3), 总评价优良。

1995 年 7 月 28 日沙岭子电厂 4 号机组
50% 甩负荷成功。

1995 年 8 月 8 日 2 时 4 分沙岭子电厂 4
号机 100% 甩负荷成功。

6 结论

① 根据沙岭子电厂 4 号机本体安装颠
倒重要工序施工的方法, 只要当低压缸定位
后, 转子中心扬度调准, 做好中高压缸内外工
作, 先扣高压缸, 后扣低压缸是可行的。

② 凝结器与低压缸的连接, 可以不必等
铜管穿胀工作结束后进行, 只要采取相应的
措施, 配重分布得当, 可以在铜管未穿胀完进

表 2 4 号机冲转并网带负荷过程中各瓦振动情况 (mm)

项 目	振 动 幅 值							
	1 号瓦	2 号瓦	3 号瓦	4 号瓦	5 号瓦	6 号瓦	7 号瓦	8 号瓦
瓦 振	⊥ ^①	0.003	0.004	0.014	0.016	0.010	0.008	0.016
	⊥ ^②	0.003	0.003	0.018	0.014	0.023	0.006	0.018
轴 振	45° ⊥ ^③	0.035	0.03	0.065	0.085	0.055	0.065	0.075
	45° ⊥ ^④	0.025	0.025	0.05	0.035	0.015	0.055	0.075
轴瓦温/℃ ^⑤	62	75	82	64	82	81	64	64
回油温/℃	52	51	56	50	58	62	47	46

注: ①1995-07-12 8:00 $n = 3000\text{r/min}$; ②1995-07-28 $N = 87\text{MW}$; ③1995-07-28 9:40 $N = 87\text{MW}$; ④1995-07-28 9:40 $N = 87\text{MW}$; ⑤钨金温度。

表3 4号机 300MW 负荷各瓦振动情况

(mm)

项 目	振 动 幅 值							
	1号瓦	2号瓦	3号瓦	4号瓦	5号瓦	6号瓦	7号瓦	8号瓦
瓦振 μ	0.004	0.003	0.021	0.007	0.017	0.002	0.015	0.003
轴瓦温($^{\circ}\text{C}$)	63	75	80	65	81	81	65	64
推力瓦温($^{\circ}\text{C}$)	最高 71							

行与低压缸的连接。

③ 采取改变安装重大工序的方法,挽回了因客观条件不足(如资金困难,铜管等设备

不能按时到货等)所造成的损失,为工程的总体施工赢得了时间。

(收稿日期:1995-08-25)

(上接第4页)

大同电厂励磁系统属它励交流机励磁系统,配DQLT励磁调节器。其中实测 $K_f=0.1$, $T_f=10$ 没有软反馈作用。如考虑在调节器中加软反馈环节,选 $K_f=0.2$, $T_f=1.2$ 进行模拟,则励磁调节器动态响应特性有明显改善,且大房双回线检修一回无故障掉闸联切大同两台机极限为982MW,极限提高17MW,显然这不失为一项值得采取的措施。

通过现场实测参数、辨识建模后,利用仿真模型进行稳定计算优化励磁参数,按优化调整励磁参数,是辨识技术用于现场调试的进一步发展,也是在不改变励磁系统结构下,挖掘机组稳定裕量的有效途径,这些有待进一步研究。

4 结论

① 作为华北电网四大参数测试和动态数据库建库的阶段成果,大同电厂参数测试动态仿真结果表明:采用实测数据辨识得到的四大参数模型,在电网暂态过程计算分析中能较精确地反映实际系统的动态过程。

② 用辨识参数建立的 E'_q 新模型,比目前通用的 E'_q 恒定模型能更精确地反映实际

系统的动态过程。为系统稳定计算分析提供了更准确的模型参数,从而提高了计算精度和可信度,有助于保证系统安全运行和提高分析决策水平。

③ 大同电厂稳定计算表明:用精确模型比用简化模型计算大房线不同方式、不同故障类型稳定极限有不同程度提高,尤其是检修方式效益更明显。

④ 发电机励磁系统对系统稳定有影响。大同电厂3号机励磁系统加软反馈既可改善其自身动态响应特性,又可提高系统暂态稳定极限,不失为一项花费少、收益大的技术改进工作。

⑤ 大同电厂四大参数测试、仿真分析计算的试点工作,在各单位通力合作下已取得了阶段性的初步成果,对进一步在华北电网全面推广测试工作具有指导意义。

参考文献

- 1 Development For Measurement of Operating Parameters of Synchronous Generator And Control Systems. IEEE Trans-PAS. 1981. 2

(收稿日期:1995-10-31)

