

汽轮机凝汽器组合安装技术分析

曾才喜

(湖南省工业设备安装有限公司, 湖南 长沙 410000)

摘要: 凝汽器是发电厂重要设备之一, 凝汽器的安装速度和安装质量直接影响工程施工进度、网络节点的顺利实现和机组运行水平。文章以沙钢集团改建1×135 MW高炉煤气发电项目的凝汽器为例, 分析凝汽器厂内组合安装方案的可行性, 介绍方案实施程序及质量控制的关键问题, 强调汽轮机凝汽器组合安装技术在工期及成本控制方面相对于传统方案的优势, 希望在实践中得到推广。

关键词: 汽轮机; 凝汽器; 组合; 安装技术

中图分类号: TM726

文献标识码: A

文章编号: 1674-1064 (2022) 03-016-03

DOI: 10.12310/j.issn.1674-1064.2022.03.006

1 案例概况

沙钢集团改建1×135 MW高炉煤气发电项目超高压、中间再热、双缸双排汽、单轴布置汽轮机的凝汽器是上海汽轮机厂制造, 其型号为N-7000-4型、对分双流程表面式。组合好后壳体尺寸为长11 072 mm×宽6 060 mm×高8 547 mm, 无水凝汽器净重量为180 t (包括低加、减温减压器), 运行时的载荷310 t, 灌水试验时总重约540 t。

凝汽器主要技术数据包括: 冷却面积: 7 000 m²; 汽侧设计压力: 5.7 kPa (a); 水侧设计压力: 0.35 MPa (g); 水侧试验压力: 0.45 MPa; 冷却水管型号为: φ25×0.7不锈钢管1 340根, φ25×0.5不锈钢管9 470根。

该凝汽器尺寸较大, 制造厂加工成散件与部件组合体, 供货到现场后再组合安装, 按结构分为壳体、喉部、排汽接管、冷却管及附件五部分, 组合凝汽器是在循环水坑内的凝汽器基础前方及凝汽器基础上搭设平台, 组合好后利用行车吊装就位。

2 主要的作业方法及作业步骤

2.1 施工工艺流程

施工工艺流程为组合平台搭设—底侧板组合—壳体组合—喉部组合—冷却水管组合—凝汽器水室及附件安装—喉部与汽轮机低压缸连接—凝汽器灌水试验。

2.2 组合平台搭设、底侧板组合

2.2.1 组合平台

组合平台用工字钢I22框架连接, 下部立柱共12根, 立柱下部用14号横杆加固, 使立柱成为一个整体, 平台表面铺设钢板 (即凝汽器底板)。工件组合平台所需材料如表1所示。

表1 工件组合平台所需材料

序号	名称	规格	单位	数量	备注
1	工字钢	I 32	m	40	组合平台立柱
2	工字钢	I 22	m	46	组合平台
3	槽钢	14号	m	46	焊接加强用
4	钢板	δ 8	m ²	2.16	组合平台

组合时, 立柱应垂直, 钢板平面、框架不平整度全长控制在3 mm~5 mm。将壳体底板组合好放在组合框架上, 作为组合平台, 在底板焊接过程中, 底板易产生变形, 焊接形式为Y形, 采用分段跳跃退焊法, 并随时注意用气焊加热, 校正钢板以消除应力, 在底板校正后, 在底板上将壳体的两侧板组合好并校平。吊放在两侧面, 并做好固定措施^[1]。

2.2.2 壳体组合

底板与侧板组合好后, 先在底板上画出开孔位置, 支撑杆位置并标记。

在后端管板安装前应注意将后水室吊装至设备安装位置, 避免无法吊装, 将后端板与弹性固定板组合焊接好, 然后在后端管板及顶部焊接好吊耳, 调节后端管板的垂直度和位置。管板与底板的垂直度偏差不大于1 mm。端面弯曲度小于5 mm。

凝汽器前后端管板各分为左右两块, 中间隔板分为左右两列, 因此, 端管板及中间管板装配时, 必须正确区分组号、序号和标记打印的方向, 绝对不允许随意调换或翻转, 防止出现管孔错位, 影响穿管。

凝汽器前后管端板为凝汽器中间管板装配的基准, 同时也是冷却水管的穿、胀母管, 其焊缝的严密性将直接影响凝汽器使用和真空度, 进而影响机组的运行安全、可靠性, 所以在焊接过程中焊缝的质量和焊接变形必须控制^[2]。

焊接变形的影响因素很多, 主要控制手段包括: 一是控制线能量, 通过控制焊接热量控制焊接变形, 例如采用较小

作者简介: 曾才喜 (1981—), 男, 湖南湘潭人, 本科, 工程师。

的焊条直径、较小的焊接电流和焊接速度等均属此列；二是加强系统刚性，制约焊接变形，例如施焊部位加设拉筋等方法都能控制焊接变形；三是预先反变形，由于不适于管板拼装这样的双面坡口形式的焊接。采用合理的焊接顺序、方法及焊接过程，及时消除热应力也是行之有效的控制焊接变形手段。

将支撑管在底板上点焊好，将其纵横中心标高调整好，再焊好，将中间管板依次用汽车吊吊在安装位置上，并用拉杆连接好。包壳可分段装、焊、校直后穿入隔板，可整段装、焊、校直后穿入。装包壳要用定距工装，保证包壳到隔板管孔的尺寸，最好使间距为负公差，并在包壳内试穿管。前端管板组合好以后，将侧板与端管板焊接，要求侧板弯曲度不大于20 mm。用拉杆及不锈钢丝，以前、后端管板为母板，将中间管板调整好，应保证管板间的总间距在要求的尺寸内且保持0~20 mm的负公差。在保证每组管孔同心度偏差<2 mm的前提下，每块管板与底板面间的垂直误差为1 mm，左右两组的最低排管孔必须位于同一水平面上，误差<2 mm。隔板支撑管、加强板、壳体内部抽气管、取样管、挡汽板、筋板等全部点焊完成后，再集中焊接，焊接完毕，则将内部全部清理完，四边的焊缝必须做浸油试验，内部不得有油漆，避免影响凝结水的水质^[3]。

2.2.3 喉部组合

在壳体上组合喉部，外壳由端板及侧板两部分组成，端板及侧板均为散件供货，现场组合，先是半端板组合成端板，半侧板组合成侧板，同时将线划好，将肋板点焊好。然后端板与侧板连接成外壳体，组合前各件应校平校直，使平面公差度控制在5 mm范围内，且应边组合边测量各边尺寸，误差控制在5 mm内，外壳体组合前按喉部内空尺寸先在平台上放样划线后，再将侧板与端板按放线尺寸，先点焊在一起，组合调整到设计尺寸后，加支撑型钢，内部支撑杆形成稳定结构后进行焊接，焊接过程中应随时检查各尺寸变化，防止变形。

喉部组合内部结构包括支撑板、支撑管、筋板、连接板、弹性封板、工字钢、小机排汽接管、抽汽管、低加衬套、人孔装置、水幕保护喷水管等。先进行下部工字钢、筋板及连接板、弹性封板的组合（低加及减温减压器的弹性封板应在低加穿入后再组合），分别焊在侧板、端板无坡口的一面，在壳体焊接前先点焊牢固，检查核实并调整各件组合数据准确以后再焊接。工字钢应整圈连接成一个整体，顶部连接板的平面必须平整，平整度公差为5 mm，可在喉部壳体组合后进行。

支撑杆分为喷水管支撑杆、抽汽管托架支撑杆、壳体支撑杆，分别依次交叉地焊在壳体内壁的肋板上，组合焊接时按厂家图纸要求。组合时，每组各件中心及高度都应保持一致，组与组的中心及高度偏差都应控制在5 mm以内。

喷水管、抽汽管及其他管道安装过程中，安装抽汽管

可根据支撑杆的安装情况和管道的实际情况，尽量在组合后安装，必须先放在安装位置并临时固定，连接低缸的相应管道时，根据实际情况调整和修割。此管道安装应在喉部与汽缸连接，扣大盖之前安装完毕^[4]。组合时注意各件的连接顺序及波形补偿管的方向，在对口整齐后，焊接前应松开波形补偿管的紧固螺栓，组合好以后各件焊缝应做浸煤油试验检查，各部件在喉部上的焊接应在喉部与下缸连接后进行。抽汽管的保温为钢板隔热，在安装过程中，由于制造厂或安装过程中的误差，都要根据实际情况割补。喉部在各内外相通的焊缝及各抽汽管道及焊缝，均为氩弧焊打底，以保证管内清洁，且都要煤油浸透试验，以保证密封，要求焊缝平整美观。

在喉部组合完毕后，先将波形补偿器两半组合成一个整体，波形补偿器接口错位量要控制在1 mm以内。要按图对膨胀节进行气密性试验或水压试验，保证其密封性。根据喉部的高度，去掉排汽波形补偿器的调整部分，并将保护波的圆形罩的下半部根据图纸的要求去掉，再与喉部正式组合焊接。此焊缝为密封焊，要在焊接完毕后作浸油试验或着色探伤。也可将组合好的波形补偿器直接与喉部点焊牢，待以后凝汽器与汽缸连接前进行修割并正式连接。

2.2.4 冷却水管组合

凝汽器冷却管共10 840根，其中，空冷区及主凝区两边有 $\phi 25 \times 0.7$ 不锈钢管1 346根，其他的有 $\phi 25 \times 0.5$ 不锈钢管9 494根。因需要两头胀管，则共有胀口21 680个。胀管工作完成后，再对不锈钢管胀口与管板进行密封焊接^[5]。

不锈钢管组装前的准备工作包括：

第一，检查凝汽器内部斜撑、加强件、连结件等安装工作应全部结束；焊渣、药皮、焊瘤打磨干净，焊缝全面检查结束；管板孔逐孔检查清理完毕，应无毛刺；管板孔径内壁应光洁，无纵向痕迹，经由质检部门及监理、业主认可。上、下层壳体内部之间搭设木板隔离层，木板接缝处用铁皮或白铁板密封，并铺设石棉布，以免上壳体内部工作完善焊接时火花破坏不锈钢管。

第二，抽取不锈钢管总数0.5~1/1000进行工艺性能试验——压扁试验和扩散试验，并经检查合格。其要求为：钢管长20 mm，压成椭圆，椭圆度为原钢管直径的1/2，度样无裂纹或损伤迹象；钢管长50 mm，打入45°光锥体，管内径比原内径大30%，试样无裂纹。如上述试验不合格，可在不锈钢管的胀口部位进行400℃~450℃的退火处理。如果厂家已提供相应的报告，则在现场可不再做试验。

第三，将不锈钢管全部运至现场，做好明显标记并分别堆放，避免穿管时混淆。布置堆放、穿管场地，搭设穿管平台9 500 mm×9 500 mm并铺好脚手板。凝汽器内部设置6盏12 V行灯供凝汽器内部人员穿管照明，凝汽器四周的晚间照明应足够。

第四，胀管试胀值应符合的要求：在每块管板四角和中

间部位各选数孔,用量具分别测出其内径值,取平均值作计算值。制作孔径与计算值相同的试验胀板一块。胀口应无欠胀或过胀现象,胀口处管壁胀薄约4%~6%,胀管后管子内径的合适数值 $Da = D1 - 2t(1 - a)$ mm。式中: $D1$, 管板孔直径(mm); t , 钢管壁厚(mm); a , 膨胀系数, 4%~6%; 胀口处应平滑光洁, 无裂纹和显著痕迹; 胀口的胀接深度一般为管板厚度的75%~90%, 但膨胀部分应在管板壁内2 mm~3 mm, 不允许膨胀部分超过管板内壁。

在管板孔和不锈钢管的清洗方面, 先用压缩空气吹扫管板孔和管子两端, 再用丙酮将其清洗干净即可。

考虑到砂过的不锈钢管头和管板孔时间过长会有污垢及锈蚀, 因此穿管、胀管工作要尽量同时进行。使用有色粉笔在 $\phi 25 \times 0.7$ 不锈钢管区域的管板上勾画出来, 避免穿错位。先自上而下穿空气室的不锈钢管, 待空气室穿完以后, 根据不锈钢管在管板上排列方式等因素和以往穿不锈钢管的经验自上而下穿管, 直到穿完。应清洁穿管前的管板孔, 进入凝汽器内部的穿管人员应掏空衣袋, 同时, 不能穿皮鞋和带钉的鞋子。胀管前后切掉富余长度的管子, 并打磨切口, 使其平整无毛刺。管子伸出管端的长度在1/16"以内, 以保证焊接。

胀管过程中应注意胀接顺序, 控制好胀管过程中端板变形量, 最好是在端板上尽量对称胀接。

2.2.5 凝汽器水室及附件安装

分别将凝汽器前水室、后水室依次安装好, 安装时要注意安装的顺序及水室的垫子, 前后水室均为法兰螺栓连接; 低加为内置式, 横穿凝汽器喉部; 减温减压器安装在凝汽器10列, 分布在低加两侧。疏水扩容器 I、II 分别悬挂在凝汽器壳体的两侧。疏扩均是散件供货, 在现场先将其组装成一体后, 再与壳体连接。疏扩组装中应注意内部有合金管件, 注意不要混淆, 且内部的减温水管的喷嘴应与座子点焊。再将其他附件与凝汽器连接完毕。以上工作全部完成后, 即可调整凝汽器纵横中心线和低压缸连接。

2.2.6 喉部与汽轮机低压缸连接

在扣盖之前连接凝汽器与低压缸。连接时要在低压缸四角台板的低压转子前后轴颈处布置百分表监视台板变形和位移, 要求控制在0.1 mm以内, 变化大于0.1 mm时暂停焊接, 待恢复后继续施焊。在喉部与低压缸焊接完成后, 要对焊缝进行着色探伤, 保证其严密性。将凝汽器支座的垫铁全部配制完毕, 并加以点焊, 再对支座与混凝土支墩之间进行二次

灌浆。

2.2.7 凝汽器灌水试验及水压试验措施

凝汽器汽侧及真空系统应做灌水静压试验, 主要是检查管板孔与不锈钢管口胀接、凝汽器主凝区壳体焊缝的质量及真空系统的严密性, 保证应无渗漏。灌水静压水位为低压汽封注涡下100 mm, 且维持此高度至少要达到24小时, 水源为消防水或工业用水。灌水前应清理凝汽器内部的杂物, 灌水试验前应注意检查临时支座和支撑安装正确。灌水过程中如发现漏水应堵住, 全部检查完毕后, 重新换管子, 重作灌水试验, 直至无渗漏为止。应保证各焊缝、接口、胀口均无任何泄漏和渗漏现象。

凝汽器水侧应作水压试验, 试验压力为0.45 Mpa。试验的压力表应装在进出口水室的底部。各焊缝、接口、法兰、人孔等应无泄漏、渗水现象, 水室无变形现象。注意, 水压试验与凝汽器灌水试验不能同时进行。水压试验合格后, 再对水室和汽室进行相应的防腐处理。凝汽器的组合安装工作全部完成。

3 结语

综上所述, 凝汽器厂内组合安装方案的可行性是无可置疑的, 其优越性也是传统厂外组合方案不具备的, 可以广泛推广的。通过实施以上一系列得力措施, 在凝汽器厂具备使用条件后马上工作, 在很大程度上保证了各里程碑节点的顺利实现。因此, 要以工程全局为出发点, 因地制宜、因时制宜选择最有利于工程开展的施工方案。

参考文献

- [1] 雷平飞, 赵泽有. 汽轮发电机组凝汽器安装施工技术[J]. 安装, 2020(7): 37-39.
- [2] 陈强. 浅析汽轮发电机组的安装施工工艺[J]. 建材与装饰, 2016(1): 210-211.
- [3] 陈佳. 凝汽器壳体焊接工艺研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2018.
- [4] 赵立业. 汽轮机及辅助设备安装的要点探究[J]. 黑龙江科技信息, 2015(28): 61.
- [5] 朱克涛. 火力发电厂汽机凝汽器安装技术探讨[J]. 企业科技与发展, 2011(19): 95-97.