

## 高效率低压汽轮机

关键词 低压汽轮机 效率

美国电厂的平均连续工作寿命取决于机组的可靠性,大部分火电站和核电站汽轮机运行25年或更长一些。叶片尤其低压叶片的损坏是形成汽轮机被迫停机的重要原因之一,其典型问题有:(1)叶片和叶轮的裂纹或损坏;(2)拉筋损坏;(3)围带损坏或裂纹;(4)叶根裂纹;(5)转子叶根槽裂纹;(6)汽封松动或损坏。这些问题并不限于最后一级(L-0)、在L-1、L-2、L-3也曾出现过。

低压汽轮机叶片的损坏直接关系到电厂运行和维护人员的安全。当出现叶片损坏时,国外有些电厂是将设备运回制造厂,以更换低压通流部分的部件。最近以现代化的制造技术生产的新型叶片与十年前安装的叶片比较效率更高,且强度下降缓慢。

据《Power》1991年7月介绍:焊补和更换备品都不能从根本上解决问题,彻底解决办法是采用设计效率更高的全部低压通道。有一种能利用原机组的改型设计,在电厂长期运行中已显示其高度的可靠性。新设计的带有中心孔的实心转子由真空抽气锻造而成。这种转子的危险裂纹尺寸大,4-10倍于一般有中心孔的转子。对核电机组言,先进的碟型设计保留内在的压缩应力,以减小应力腐蚀裂纹。此种设计的新叶片能改善低压进汽级的膨胀效率。叶片由实心锻棒全自动工艺制成。叶片顶部有围带,当叶片全部组装后形成一个360°的围带环。整个围带环的阻尼特性大大地降低了叶片因汽流扰动所引起的振动。T型叶根之间的排列靠锁块就位固定。安装时有足够的预紧力,使得相邻叶片之间

的相互位置保持不变,即令在重载时亦复如此。改进了中间级汽封能保持汽封齿的损失为最小,允许动静叶片有相对的轴向位移。低压汽轮机出口包括2-3列自由叶片,没有拉筋和围带。排除沿叶片型面汽流扰动所提高效率大于因取消围带而增加的漏汽所带来的损失。叶片进汽边顶部的1/3处进行了火焰硬化以防止水滴侵蚀。L-0级空心静叶片开有疏水槽,以导走汽轮机尾部的水滴。

最难设计的也许是低压出口叶片的截面。长、有锥度而又扭曲的叶片必须承担大容量汽流导致的大弯曲力。低压汽轮机产生的有用功大部分靠后几级,故小的效率提高都能创造出可观的出力。改进低压叶片的第一步工作是优化沿叶高的汽流分布。一种优化是使汽流集中在叶片通道中膨胀效率最好的部位,以降低最后一级轮毂和顶部截面的质量流量。同时L-0级静叶片应作明显的改变。直线、圆筒型轮廓应以锥型、前曲弧外形代替。组装好的L-0级截面类似于高效喷气式飞机用压气机进气“风扇”。三维计算机模拟汽流能使设计者开发出基于蒸汽流速而得的叶片轮廓数据。加大叶片弦长以降低节距/弦长比,有助于最后一级叶片局部流速和叶型损失的减小,因为这样避免了该处或叶栅后部的负加速度。三维设计技术有助于优选排汽量。这项好处及伴随而来的环面积略增使出口损失适当地降低,估计最后一级叶片的效率可提高4%以内。

《Power》1991年7月介绍了一个典型例证:新开发的低压叶片改型首次应用于德国

Bremen 附近的 Unterwesser 核电站。1300 MW 的压水反应堆,1979 年投入运行。汽轮发电机组为 1500 转/分,高、低压缸分开。低压汽轮机末级叶片长 1372 mm。低压转子于 1990 年在趋于停机时作了更换。新转子系先进的叶轮式转子,其叶片已有改进,更换的部件包括一台全部装好叶片的 8 级叶轮式低压转子,以替代原 10 级转子,相应地更换了新内缸,每个汽流通道的最后三排换成新的静叶,还有外延的高效低压扩压器,原有外缸仍保留。机组于 1990 年 6 月 29 日停机,新转子于 7 月 6 日就位。改进后的低压转子使出力提高 17 MW。经多次测试,数据不稳定性小于 0.2%。

日本《火力原子力发电》1991 年 7 月介绍了一种:1016 mm 钛合金长叶片。该叶片叶顶的圆周速度约 600 米/秒,为了在这种高转速下保持优良特性,叶片顶部流道的喉部采用了反弯曲形超音速叶型。由于转速高,防水磨蚀很重要。为此选用  $\beta$  合金 Ti-16Mo-5Zr-3Al 为防蚀材料,用电子束焊接在叶片上。为了防止高速离心力影响叶片反扭曲,叶片的连接结构采用减振效果好的整圈结构。采用圆弧枞树型叶根。为了确保叶根强度,通过三维有限单元法作应力分析,并进行叶根拉伸试验和实物尺寸的疲劳试验,以确认其具有足够的强度,

汽轮机后部自然产生的水滴,直径约为 1 微米左右,这些微小水滴一旦吸附在叶片表面上,从出汽边飞出再混到汽流中,能形成直径达 100—500 微米的粗水滴,造成叶片磨

蚀。为此在隔板静叶表面的背弧和内弧开槽。试验确认,此法能够排除 50% 附在静叶表面上的水,从而有效地减少末级湿度损失。

二次流损失约占汽轮机内部损失的 52%。为了减少二次流损失,采用了出汽边倾斜的倾斜喷嘴。从喷嘴流出的蒸汽,其切向速度比轴向速度为大。传统的喷嘴蒸汽从喷嘴底部到出汽边几乎成直角流出,容易在根部脱流,促使避面边界层发展,导致二次流损失增大。改用倾斜喷嘴后,从出汽边流出的蒸汽在根部贴着壁面流动,能防止边界层的发展和脱流。实机试验确认,倾斜喷嘴能提高效率。

利用间隙自动控制汽封系统,动叶顶部汽封和隔板汽封在运行中能改变间隙。汽轮机启停时扩大间隙,在正常运行时保持小间隙,确保机组的高效率和运行可靠性。

日本知多火电厂 4 号机组(700 MW)的低压汽轮机已改造成高效汽轮机。改造内容包括:末级用 1016 mm 钛合金叶片更换原来的 851 mm 叶片、低压汽轮机内缸、转子和外缸留用,隔板静叶开槽;其它级用高效能新叶片更换原有叶片;低压汽轮机 1—3 级叶顶汽封侧和 2—4 级隔板汽封侧采用间隙自动控制系统。高、中压汽轮机基本不动,但原有叶片换成高效新型叶片。

经试验后的改造结果:低压汽轮机提高热效率 1.29%,其中 1016 mm 叶片提高热效率 1.13%。

(赵旺初 供稿 渠源沂 整理)

## 超声波探伤技术

据“火力原子发电”1992 年 9 月号报道,日本东芝电力公司和中部电力技术研究所等部门改进了汽轮机转子中心孔超声波探伤方法,提高了对沿轴向/径向平面的集束缺陷或二维缺陷的探测能力并改进

了分辨裂纹或测定其尺寸的能力。

通过对在一个弃置转子内几种人为缺陷和实际集束缺陷的诊断,验证了提出的斜角探伤法和开口合成信号处理技术。试验表明,这种方法优于常规的超声波探测方法。(学奥 供稿)

- (183) **Preliminary Test Results of the World' s First Kalina Cycle Electric Power Station** ..... Wang Zhenhua (*Nanjing Gas Turbine Research Institute*)  
This paper gives a brief description of the configuration and preliminary test results of the first Kalina cycle demonstrational power plant sited in the state of California of USA. **Key words:** *Kalina cycle, power generation, testing*
- (186) **The Application of Gas Turbines in Offshore Oil Fields and Specific Requirements To Be Met by Such Turbines** ..... Zhang Xuchen (*Ocean Engineering Institute of South China Sea Eastern Petroleum Corporation*)  
Based on the developments of Chinese offshore oil fields in recent years and engineering experiences gained during his participation in the exploration of some oil fields in China, the author has made a preliminary study and analysis of the application considerations and technical requirements to be met by the offshore oil field-oriented gas turbines. Given in this paper are also some proposals aimed at the development of gas turbines intended for use in Chinese offshore oil fields. **Key words:** *application of gas turbines, technical requirements, proposals*
- (191) **The Development of Coal-fired Gas Turbines** ..... Zhang Chunlin (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)  
**Key words:** *gas turbine, coal firing, pressurized fluidized bed combustion*
- (194) **Vibration Failure Diagnosis of a Turbogenerator set** ..... Li Luping (*Electrical Engineering Department of Changsha Teacher' s College of Hydroelectric Power*)  
This paper deals with a physical and mathematical model for the vibration failure diagnosis of rotary machines. The mathematical model can be used for the diagnosis of vibration failures of large-sized turbogenerator sets. **Key words:** *turbogenerator set, vibration, failure diagnosis, mathematical model*
- (200) **High-efficiency Low-pressure Steam Turbines** ..... Zhang Chunlin (*Technical Information Research Institute of Water Resources and Electric Power under the Ministry of Energy Sources*)  
**Key words:** *low-pressure steam turbine, efficiency*
- (202) **An Experimental study of Contact Fatigue Strength of Soft-Hard Tooth Face Gears** ..... Huang Qingrui, Huang Wei (*Harbin Marine Boiler & Turbine Research Institute*)  
This paper describes in detail the contact fatigue tests of gears made of 42CrMo steel which had been subjected to a heat treatment of quenching and tempering and gears of carburized/quenched 20CrMnMo steel. Covered in the paper are such a variety of items as test aims, test conditions and method, main parameters of CL-100 gear testing machine and gear test pieces, test results and data processing, the evaluation of test results, etc. **Key words:** *gear*