

Brief Description of Design Characteristics of DTC 100MW Grade Photothermal Turbine

Pengbo Qiao Xi Zhu Xin Wang Qiang Zhang Haoyun Sun

Dongfang Turbine Co., Ltd., Deyang, Sichuan, 618000, China

Abstract

In the new energy system, photothermal energy plays both the role of renewable energy and flexible energy. Its biggest feature is its flexibility and controllability. With the continuous increase in the proportion of new energy wind and photovoltaic power, it can effectively alleviate the phenomenon of wind and solar curtailment, which is an important support and guarantee for further increasing the proportion of renewable new energy in the power grid. The solar thermal turbine equipment must have good characteristics of flexibility and fast start stop, which determines that the solar thermal turbine cannot be designed according to the traditional power generation equipment that bears the basic load. This paper mainly introduces the operation and design structural characteristics of the 100MW level high-power solar thermal turbine unit of Dongfang Steam Turbine, as well as the measures taken around the flexible operation of the solar thermal turbine, providing a basis for the design of large capacity solar thermal units in the future.

Keywords

photothermal turbine; design features; flexibility

东汽 100MW 等级光热汽轮机组设计特点简述

乔朋博 朱熹 王鑫 张强 孙浩云

东方汽轮机有限公司, 中国·四川 德阳 618000

摘要

光热在新型能源体系中,既扮演了可再生能源,又扮演了灵活性能源的角色,其最大的特点是灵活可控,在新能源风电和光电占比不断提升的现状下,能够有效缓解弃风和弃光现象,是可再生能源进一步提高电网占比的重要支撑和保证。光热汽轮机设备必须具备灵活,快速启停的良好特性,该特性决定了光热汽轮机不能按照传统承担基础负荷的发电设备进行设计。论文主要介绍了东方汽轮机100MW等级大功率光热汽轮机组运行及设计结构特点,以及围绕光热汽轮机灵活运行所采取的措施,为今后大容量光热机组设计提供依据。

关键词

光热汽轮机; 设计特点; 灵活性

1 引言

中国光热发电经历了两个发展阶段:第一阶段为起步阶段,以 50MW 等级中小功率机型为主,各大设备供应商对光热的核心技术及实际运行特点尚处于摸索时期,无成功应用的经验,受国家电价政策引导与支持,在设计上,汽轮机组研发更加倾向于经济性提升,以提高电厂整体发电收益为目的;第二阶段(2022年之后),主要以 100MW 等级及以上大功率发电机型为主,光热项目多与光伏发电项目按一定比例配套建设,光热机组上网电价大幅下降,发电收益明显降低,与此同时,随着第一批次的示范光热项目逐步投

运,设备厂家对光热的运行特点有了更加充分的认识,光热所发挥的作用以灵活调峰,快速匹配电网需求为主。对应光热汽轮机组的设计思路需做优化调整,以确保机组安全稳定运行。

2 光热汽轮机组运行要求

无论光热汽轮机如何发展,我们都应清楚认识到,光热发电不同于传统的燃煤、气发电,其在电网中作用主要以调峰为主,扮演灵活性能源的角色,汽轮机组需具备如下三个方面的能力^[1]:

- ①快速启停+快速升降负荷的能力;
- ②维持机组 15% 超低负荷长时间运行的能力;
- ③宽负荷运行区域内保持较高的经济性的能力。

上述特性决定了光热机组不能按照常规发电机组设计思路进行设计,需针对性开发。

【作者简介】乔朋博(1989-),男,中国河南三门峡人,本科,工程师,从事火电、联合循环汽轮机组以及小型工业汽轮机组设计研究。

3 光热汽轮机设计特点

3.1 排汽方式选择

目前汽轮机的排汽方式主要有轴向排汽和下排汽两种，轴向排汽机组多为低位或零位布置，机组运行平台基本可控制在6m以下甚至0m，下排汽机组多为高位布置，运行平台在9m以上，相比轴向排汽机组，项目建设成本有所增加。

轴向排汽机组排汽与汽轮机轴线平行，排汽气流无90°转折，排汽压损小，经济性收益较下排汽高；但轴向排汽机组由于其运转平台低，现场管道布置，油箱，疏水系统布置设计均需结合安装检修空间，回油，疏水等问题着重考虑，给汽机岛设计带来了一定的难度。

受限于第一批对光热汽轮机经济性的极致追求，前期光热项目基本以轴向排汽为主，但在第二批光热项目中，部分项目已逐步优化为传统的下排汽方式；笔者推荐在投资成本增大不多的情况下，尽量采用下排汽方式，方便检修，降低机组回油及疏水不畅的风险^[2]。

3.2 快速启停及频繁升降负荷

第二批大容量示范光热项目，对机组的灵活性提出了更高的要求，一方面机组启机时间要求控制在120min以内，另一方面，机组升降负荷速率要求大幅度提升（~5MW/min），这必然对汽轮机的汽封间隙，轴系的稳定性、滑销系统、汽缸等大部套设计提出了更高的要求：

①需增加汽封间隙设计余量，同时兼顾机组的漏汽控制；②需缩短轴系跨距，提高转子气流干扰能力及稳定性，同时兼顾机组通流级数设计及经济性的提升；③采用结构对称，壁厚均匀，过渡大圆角等主机设计结构，采用全周节流配汽而非喷嘴部分进汽，以降低汽缸等大部套热应力，避免快速升降负荷及启停过程中应力集中；④切实开展对转子在频繁启停工况下寿命的评估计算^[3]；⑤设置轴封电加热，汽缸预暖及夹层加热等辅助加热系统，提高轴封供汽及金属部件热响应速率；⑥优化启动程序：缩短升速时间，延长升负荷时间，以降低金属峰值热应力。

3.3 宽负荷运行

以带8h熔盐储能系统的100MW等级某项目光热机组为例，汽轮发电机组每天晚7点到次日早2点满负荷运行，其余时间要求按15%额定负荷发电。长时间低负荷运行，一方面对机组安全性带来较大的挑战；另一方面，由于机组一年期间大部分时间处于中低负荷运行，如何尽可能提高机组在低负荷下的经济性，对电厂后期收益也至关重要。

以下是对机组不同负荷状态下，末级排汽流场的分析，如图1所示。

负荷越低，排汽涡旋越靠近末级动叶根部，引起末级动应力水平突增，同时低负荷运行引发末级排汽鼓风，进一步加剧了叶片的安全风险。

为妥善解决上述问题，应着力从如下方面开展优化工作：

- ①调整末叶叶型，优化排汽流场的分布；
- ②开发适应光热机组的高强度动叶叶根形式；
- ③优化中压进汽温度及低压排汽压力，降低鼓风影响；
- ④研发具有宽负荷适应能力的通流叶型；
- ⑤打破按照额定满负荷作为机组考核的传统通流设计理念，项目立项前期应精准预估机组运行负荷时间与分布，按实际运行负荷点设计机组通流。

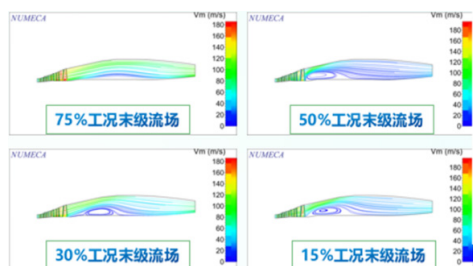


图1 不同负荷下末级排汽流场分析

3.4 回热系统设计

目前第二批部分光热项目在回热系统配置方面，受传统第一批示范光热对高经济性追求的影响，沿袭了3高加+1除氧+4低加+0#高加的8级回热模式，这导致在光热极低负荷运行时，容易出现末级低加无法投入等问题，经过对机组经济性，运行可靠性等多方面分析比对，笔者认为应简化为7级回热模式，取消末级低加，这对机组经济性影响不大，同时提高了运行的可靠性，简化了实际机组投资成本。

3.5 结构设计

100MW等级以上大型光热汽轮机机组主要以哈汽、上汽、东汽三家汽轮机设备供应商为主，从各家最终的方案来看，各有不同；现以东汽100MW等级光热机组为例，对其结构方案做以简要介绍：

①采用两缸（高压缸独立模块，中低压缸合缸设计），单排汽，单流，一次再热，空冷凝汽式，轴向排汽或下排汽设计型式；母型机为成熟余热发电设计机型；机组布置方案如图2、图3所示。



图2 100MW等级光热轴向排汽外形图

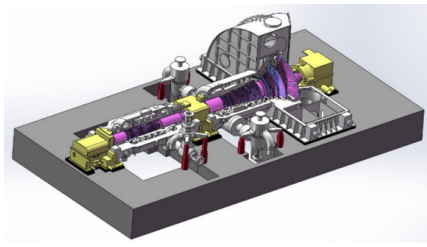


图 3 100MW 等级光热下排汽外形图

②通流方案：高压采用反动式，中低压采用冲动式设计，均采用单流设计。

设计优势：中低压采用冲动式设计，汽缸仅采用单层缸结构，有利于汽缸与转子的同时受热，降低中低压缸胀差，同时冲动式转子轴向推力较小，前轴封位置无大直径的平衡台阶，转子直径均匀，受热膨胀性能佳。

③阀门配置^[4]：高压及中压均采用双阀门对称进汽方式，如图 4 所示。

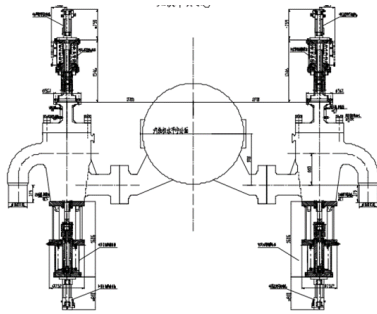


图 4 高压及中压进汽阀门布置

设计优势：采用双阀门对称布置方式，能够平衡机组两侧的管道推力，有利于汽缸的稳定性，降低膨胀过程中卡涩的风险，防止单侧推力或力矩过大使汽缸倾斜。

④轴系设计方面，采用三支点轴系支撑方案，相比常规凝汽式余热发电机组，机组跨距缩短，轴系刚度增强，临界转速提高，轴系抗汽流干扰能力进一步增强；

4 结语

从已有光热汽轮机后期投运情况来看，国内外各大厂商设备实际投运效果并不理想。中国光热发电技术起步较晚，但随着第一批示范光热项目陆续投运，中国设备厂家对光热汽轮机作为新型调峰能源的认识更加深入，对机组的设计经验和准则的把握更加成熟，技术进步十分迅速。相信在新一批 100MW 等级大功率机组投运后，已有问题将得到极大改善，也为后续开发更大功率等级机组奠定基础。

参考文献

- [1] 尹刚,范小平,吴方松,等.槽式光热发电汽轮机经济性关键技术研究[J].东方汽轮机,2021(1):29-32.
- [2] 张晓东.光热汽轮机技术特点及研发经验[C]//2017中国海西德令哈光热大会论文集,2017.
- [3] 陈贝贝,章艳,陈海峰,等.光热汽轮机汽缸的低周疲劳寿命研究与预测[J].东方汽轮机,2020(2):1-5+10.
- [4] 杨燕,尹刚,吴方松,等.50MW光热发电汽轮机联合进汽阀气动设计[J].东方汽轮机,2019(1):10-13+30.