

国产大型空分装置配套汽轮机的开发

傅培恒¹, 陈金来²

(1. 杭州工业汽轮机研究所 五室, 杭州 310022; 2. 浙江科技学院 经济与管理学院, 杭州 310023)

摘要: 介绍了国产大型空分装置用汽轮机的设计过程, 分析了开发过程中遇到的排汽缸结构设计问题和双出轴转子的振动问题, 提出了焊接式排汽缸结构等解决方案, 并在大型国产机组 48 000 m³/h(O₂)空分装置项目的汽轮机上得到应用。

关键词: 焊接式排汽缸; 双出轴转子; 国产化

中图分类号: TK262

文献标识码: A

文章编号: 1671-8798(2007)03-0186-03

Turbine Design for Indigenous Large Air Separation Facility

FU Pei-heng¹, CHEN Jin-lai²

(1. The 5th Section, Hangzhou Steam Turbine Institute, Hangzhou 310022, China;

2. School of Economics and Management, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: The turbine design process for the large indigenous air separation facility is presented and the reasons of some key problems such as the structure of exhaust casing and double output shaft vibration are analyzed. The welded exhaust casing structure is adopted. All these techniques have been applied on the turbine design for projection of 48 000 m³/h(O₂).

Key words: welded exhaust casing; double output shaft; indigenous

大型国产机组 48 000 m³/h(O₂)空分装置项目是目前国内自行成套、自主设计制造的最大型国产化率最高的化工内压缩流程空分装置, 实现了我国自主成套设计制造特大型空分设备的突破^[1]。本文结合 48 000 m³/h(O₂)空分装置项目用的汽轮机的开发设计进行分析, 详细介绍了系统的布置、焊接式排汽缸结构方案确定以及双出轴转子振动的解决方案等关键技术。

1 方案确定

在石油、化工和冶金等行业中, 空分装置是必不可少关键设备。在 48 000 m³/h(O₂)空分装置项目中, 用户提供的汽轮机主要参数如表 1 所示。

汽轮机转子进汽端输出功率约为 23 500 kW, 通过齿轮箱增速驱动氮气增压机; 排汽端输出功率约为 24 200 kW, 直接驱动空气压缩机。汽轮机额

收稿日期: 2007-05-21

基金项目: 国家经济贸易委员会“十五”重大技术装备国产化创新研制项目之“煤代油项目配套大型空分装置国产化研究”(200309)

作者简介: 傅培恒(1947—), 男, 浙江杭州人, 高级工程师, 主要从事工业汽轮机结构设计。

定工作转速 4 485 r/min,允许最低工作转速 3 364 r/min,允许最高工作转速 4 709 r/min。汽轮机的一阶临界转速为 1 310 r/min,汽轮机的二阶临界转速为 3 011 r/min。根据用户要求机组布置如图 1 所示。

表 1 汽轮机主要用户参数

主要用户参数	要 求
进汽端输出功率/kW	约 23 500
排汽端输出功率/kW	约 24 200
进汽压力/MPa(G)	4.0
进汽温度/℃	410
汽轮机额定工作转速/(r·min ⁻¹)	4 485
允许最低工作转速/(r·min ⁻¹)	3 364
允许最高工作转速/(r·min ⁻¹)	4 709

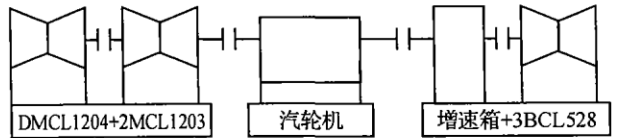


图 1 机组布置示意图

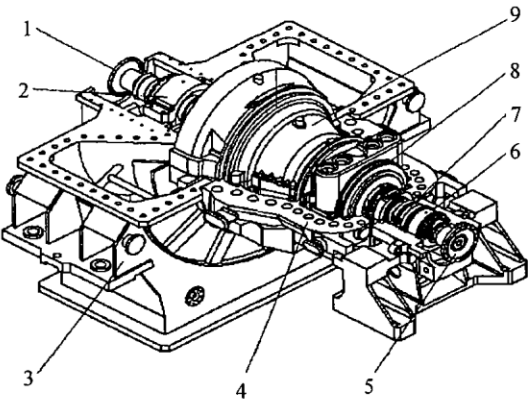
图 1 所示 DMCL1204、2MCL1203 和 3BCL528 均为空气离心压缩机,而项目配套用汽轮机为双出轴纯凝汽轮机,其主要结构参数如表 2 所示。

表 2 汽轮机主要结构参数

主要结构参数	说 明
型号	NKS63/90,双出轴纯凝汽轮机
汽缸材料	前汽缸材料 ZG17Cr1Mo;排汽缸钢板焊接体
转子材料	转子为整锻钢结构,材料为 28CrMoNiV
叶片	1)转子共 20 级,调节级 1 级,采用冲动式叶片 2)压力级 16 级,采用反动式直叶片 3)最后 3 级为扭叶片
调速器	Woodward505 调速器

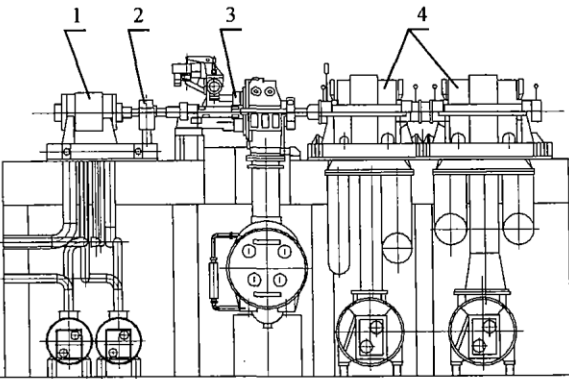
汽轮机主要结构:静体部分,前汽缸为铸钢体,材料为 ZG17Cr1Mo,排汽缸为焊接式,两者通过垂直中分面相接,整个汽缸有水平中分面,上下缸水平法兰面用螺栓连接密封;动体部分,转子为整锻钢结构,材料为 28CrMoNiV。转子共 20 级,调节级 1 级,采用冲动式叶片;压力级 16 级,采用反动式直叶片;最后 3 级为扭叶片。所有叶片均为不调频叶片。叶片的叶根部分、型线部分及叶片围带三者由整块材料铣制而成,扭叶片因叶片顶部节距大、叶型薄,不宜用围带而采用松拉筋结构。压力级为倒 T 形叶根,调节级和末级为叉形叶根。汽轮机采用 Woodward505 调速器,考虑到汽轮机超速问题,超

速保护采用三选二电子式方式,为了避免转子可能受腐蚀影响,汽轮机采用了静电接地电刷。本项目汽轮机局部视图和部分布置图如图 2 和图 3 所示。



1-半联轴器(空压机端);2-后径向轴承;3-90 号焊接排缸下半;4-前汽缸下半;5-半联轴器(氮增压机齿轮箱端);6-推力轴承;7-前径向轴承;8-蒸汽室;9-导叶持环

图 2 汽轮机局部视图



1-氮气增压机;2-齿轮箱;3-汽轮机;4-空气压缩机

图 3 机组布置图

2 机组开发的关键技术

2.1 问题描述

在机组开发、设计过程中遇到了很多技术难题,其中面临的重点和难点问题有两个:一是汽轮机最大排汽的排汽区段设计问题;二是适应用户使用条件的最大功率双出轴设计问题。

国外公司(比如西门子)最初在反动式工业汽轮机结构规划设计时,是根据德国国内铸造件由铸造专业厂供货的实际情况考虑的。而在我国,经过企业多年的生产实践发现,某些铸造件结构并不完全适应中国的工业实际情况。由于以前我国企业竞争力不够,得到的大机组合同不多,此类问题尚未充

分暴露。

近年来,随着石化、钢铁、电力等工业的发展,工业汽轮机需求增多,装置规模日益大型化,相应大机组的订货合同急剧增加,交货期缩短,此类问题暴露得越来越突出,其中主要集中在凝汽式汽轮机的排汽缸结构设计上。我国企业一般采用自己铸造方案^[2,3],由于设备、技术等各方面的原因,对较大型号的汽轮机排汽缸无法浇铸,所以只好由外协厂协作铸造。随着工业布局的改变,能够按时提供合格铸造件的协作厂家越来越少,经常发生铸造排汽缸加工到中间时,发现汽缸内部存在大缺陷,由于铸铁补焊性能差,该半成品的排汽缸只能报废,再重新定制新的排汽缸铸件,这对生产安排和汽轮机及时交货造成了极大地被动。为了保证不影响交货期,1台汽轮机只好订2套排汽缸,浪费很大成了影响汽轮机生产的瓶颈问题。另外,按照国际 API612 标准要求,汽轮机的轴承座应采用钢结构,而铸造排汽缸是和轴承座一体的,一般采用铸铁浇铸,不符合国际 API612 标准。

双出轴汽轮机的振动比一般汽轮机的要求更高,其主要原因是对于凝汽式汽轮机来说,进汽端比排汽端小得多,因此,一般的汽轮机均在排汽端输出功率,这样设计有利于解决汽轮机的振动问题。本项目中所用的汽轮机,不但前后端输出功率非常接近,而且进汽端和齿轮箱相连的联轴器非常重,进汽端的轴承座相对较小,所有这些都给汽轮机的振动提供了有利条件,造成设计难度增大。

2.2 技术解决方案

2.2.1 关于最大排汽的排汽区段设计问题 采用西门子公司在欧洲曾经用过的技术,即带3级扭叶片的90°排汽区段的转子部分,精心设计了与之相匹配的排汽缸的静体部分。在设计过程中,充分考虑了国际 API612 标准的要求,改进了原来西门子公司的设计,提出了采用焊接式排汽缸概念。即以板钢的焊接件来代替传统西门子的铸造件工艺,确保缸体的内部材质符合国际 API612 标准的最新要求。在导叶持环的设计上,也运用了同样的设计思路,低压部分的导叶持环摒弃了传统的铸铁件,重新设计采用了铸钢件。这些设计不仅提高了产品的质量,而且缩短了交货期、大大降低了制造成本,并在

实际工程运行过程中得到了证明,解决了国内在此领域的技术难题,为后续开发提供了实例设计。

2.2.2 关于机组最大功率双出轴设计问题 对于最大功率双出轴的设计,需要保证机组转子在各个工况点都具有良好的振动值。根据双出轴汽轮机自身的结构特点,需要从设计的源头来保证转子足够的运行稳定性。由于汽轮机前后结构的不同,特别是前端需要输出功率,就得给前端轴连上联轴器,这样会大大增加前端轴的悬臂,从而大大降低机组运行的稳定性。同时,由于转子的多阶自振频率必须避开空气压缩机以及氮气增压机的工作转速,故给结构设计造成了极大的难题。经过多次反复计算,调整转子跨距和转子形状,采用了一系列新的结构,如加大了前汽封直径、加大了前轴承直径、调整了轴承间隙、尽可能缩短轴头、尽可能缩短轴承跨距。由于采取的措施得当,机组实际运行良好。

3 结 语

随着冶金、化肥装置的大型化,现有的空分项目也越来越大,其规模一般都在 1.8 万 m^3/h 以上。但是,4 万 m^3/h 以上的空分设备用空气、氮气透平压缩机市场基本被外国公司所垄断。大型空分装置项目用汽轮机国产化的成功,从技术上打破了一直以来由少数几家国际跨国公司垄断该领域的局面,在我国工业汽轮机的制造史上具有划时代意义。该汽轮机的开发成功不仅创造了巨大的社会效益,同时也给企业带来了可观的经济效益。该攻关项目的两个依托工程是中石化湖北枝江和安徽安庆化肥厂大型空分装置,当年就为企业创造了 7 000 万元的销售收入,同时也为企业进一步开发设计、制造更大功率、更高转速、更多功能的汽轮机积累了经验。

参考文献:

- [1] 刘龙海. 大型空分装置配套汽轮机的开发研究[D]. 杭州:浙江大学机械与能源工程学院,2006.
- [2] 孟涛. 国产 600 MW 汽轮机本体技术改造[J]. 中国电力,2006(12):40-43.
- [3] 喻刚. 国产四缸四排汽 300MW 汽轮机本体结构改造设计[J]. 汽轮机技术,2003(1):25-26.