

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.08.015

轴流排汽缸气动性能数值研究与改型优化

初 鹏^{1,2}, 刘龙海^{1,2}, 辛小鹏^{1,2}, 马鑫磊^{1,2}, 隋永枫^{1,2,3}

- (1. 杭州汽轮机股份有限公司 工业透平研究院, 浙江 杭州 310022;
2. 浙江省工业汽轮机转子动力学研究重点实验室, 浙江 杭州 310022;
3. 浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310014)

摘要: 为减小轴流排汽缸内部损失,提高排汽缸的气动性能,以杭州汽轮机股份有限公司新开发的轴流排汽缸为研究对象,考虑末级动叶出口径向速度不均匀性对排汽缸的影响,联合末两级整圈低压级组和排缸进行了数值计算。分析了轴流排汽缸内部流动特点,并根据流场对其进行了改型优化。计算结果表明,轴流排汽缸与低压级叶片之间存在相互作用,排汽缸后部出现两个旋流方向相反的涡,并随着气流向下游扩展;通过对轴流排汽缸结构改型,静压恢复系数提高了40.7%,总压损失系数减少了31.4%。通过优化通油管道的截面形状,使静压恢复系数提高了0.13%,总压损失系数减少了2.2%,改善了排汽缸内部流动,显著提高了轴流排汽缸的气动性能。

关键词: 汽轮机; 轴流排汽缸; 联合计算; 改型优化

中图分类号: TH122; TK26 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2014)08-1031-04

Numerical simulation and optimization of aerodynamic performance for axial exhaust hood

CHU Peng^{1,2}, LIU Long-hai^{1,2}, XIN Xiao-peng^{1,2}, MA Xin-lei^{1,2}, SUI Yong-feng^{1,2,3}

- (1. Industrial Turbine Academy Turbomechanical Institute, Hangzhou Steam Turbine Co., Ltd., Hangzhou 310022, China,
2. Zhejiang Industrial Steam Turbine Rotor Dynamics Research Key Laboratory, Hangzhou 310022, China
3. College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming at reducing the leaving velocity loss of the axial exhaust hood, improving the aerodynamic performance of the exhaust hood, numerical simulation was used to analysis the flow field of the axial exhaust hood which was designed by Hangzhou Steam Turbine Corporation considering about the influence of non-uniformity radial velocity field at the last blade exit. The axial exhaust hood was also modified for optimization. The results indicate that there are flow interactions between the exhaust system and low pressure turbine stages. There are two vortexes at the back of the exhaust hood. By changing the structure of the exhaust hood, static pressure recovery coefficient increases 40.68%, total pressure loss coefficient reduces 31.43%, by changing the cross section of the oil pipe, static pressure recovery coefficient increases 0.13%, total pressure loss coefficient reduces 2.2%, also flow condition in exhaust hood outlet is improved.

Key words: steam turbine; axial exhaust hood; combined numerical simulation; optimization

0 引 言

排汽缸连接末级动叶和凝汽器,将水蒸汽从末级叶片中导流到凝汽器,同时将末级动叶出口湿蒸汽的

部分余速动能转化为压力能。早年对汽轮机效率的
提高的研究主要集中在叶片等旋转部件^[1-3],随着研究的深入,静止部件的效率也越来越得到重视。文献
[4]指出汽轮机末级出口余速损失比较大,其余速动

收稿日期: 2014-03-14

作者简介: 初 鹏(1988-),男,山东烟台人,主要从事叶轮机机械热力设计、流动与强度方面研究. E-mail:chup@htc.cn

通信联系人: 隋永枫,男,博士后,高级工程师, E-mail:suiyf@htc.cn

能为 45 kJ/kg~60 kJ/kg。文献[5]指出排汽缸排汽损失降低 0.1, 可使整个汽轮机组效率提高约 0.15%。提高排汽缸的气动性能有助于提高整个机组的热效率。

排汽缸内部结构复杂, 气流呈复杂的三维非定常流动, 排汽缸与低压级叶片存在相互作用。樊涛等人^[6-7]将单通道的末级叶片与排汽缸耦合数值计算, 分析了末级叶栅对排汽缸内非对称流动的影响, 他们采用“混合平面法”对动静交界面上的信息进行周向平均后向下游传递。文献[8-9]运用实验和数值模拟研究了带有 22 只末级静叶、30 只末级动叶的排汽缸。笔者实验测量了动叶叶片和排汽缸蜗壳非定常的压力, 动叶出口、排汽缸出口的非定常压力和速度分布, 将整圈全通道末级叶片联合排汽缸进行数值模拟, 并将计算值与实验值进行了对比。

相比于向下排汽方式的排汽缸, 轴向排汽排汽缸能够节省厂房布置, 同时轴流排汽缸内部流动简单, 流动损失小。张晓丽^[10]分析了引进的某轴流排汽缸的三维流场及温度场, 给出了排汽缸损失和支撑结构所受的力。

本研究应用计算流体力学商业软件 CFX, 将整圈末两级低压级组与排汽缸进行联合数值模拟, 考虑排汽缸与低压级叶片间的相互作用, 计算符合实际情况。同时分析排汽缸的内部流场, 并在联合计算的基础上对轴流排汽缸结构改型优化。

1 数值计算方法

计算模型和网格示意图如图 1 所示。计算域包括末两级叶片组和轴流排汽缸。末级两级叶片数如表 1 所示。由 TurboGrid 生成的叶栅六面体结构化网格, 排汽缸采用 ICEM 生成四面体非结构化网格, 并排汽缸壁面采用三棱柱网格对进行加密。为使排汽缸出口收敛

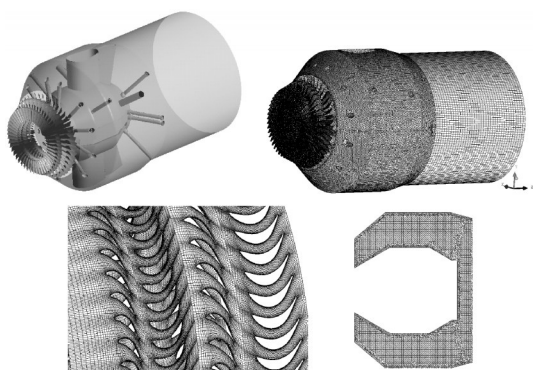


图 1 计算模型和网格示意图

表 1 低压级组叶片数目

	次末级静叶	次末级动叶	末级静叶	末级动叶
叶片数	48	58	42	48

稳定, 将排汽缸出口延长一倍当量长度, 延长段采用 ICEM 生成六面体网格。总的网格节点数为 7.25×10^6 。进口流量为 50 kg/s, 干度为 0.96, 出口背压为 9 000 Pa, 动叶转速为 3 600 r/min。

该计算方法利用 CFX 完成, 使用高精度 (high resolution) 离散格式。动、静交界面数据传递采用 frozen-rotor。计算工质为湿蒸汽, 本研究采用高雷诺数湍流模型: 标准 $k-\varepsilon$ 两方程模型进行计算。

2 计算结果和分析

排汽缸 yz 平面流线和三维流线图如图 2 所示。由于需要留出中部轴承座的空间, 使得在其后部出现两个旋流方向相反的涡, 并随着气流向下游扩展。

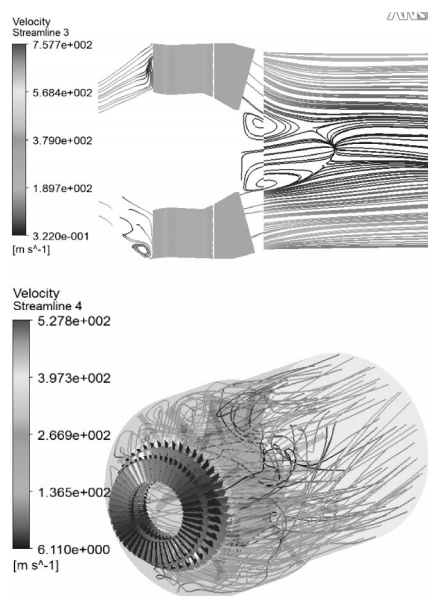


图 2 yz 平面流线图、三维流线图

另外, 末级动叶出口的速度分布对排汽缸气动性能有大的影响。笔者研究了低压级组与排汽缸之间的相互作用。末级动叶出口相对马赫数分布和压力分布如图 3 所示。由图 3 可以看出, 末级动叶出口叶顶处相对马赫数最大, 出现超音速, 气动参数沿着叶展方向变化剧烈。周向气动参数也呈现出不均匀性, 这对下游排汽缸内部流动、性能有较大影响。

3 结构改型优化

3.1 扩压器优化改型

在本节中笔者保持 d_1 (动叶出口根径), d_2 (动叶出口顶径), d_3 (轴承座所占空间外径), d_4 (排汽缸内壁直径) 尺寸不变, 通过改变 α (扩压器起始角度)、 β (轴承盖板起始角), 来实现轴流排汽缸性能的提高。

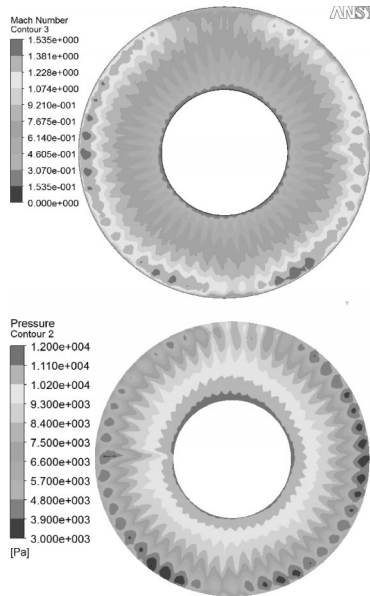


图3 末级动叶出口相对马赫数分布和压力分布

该次改型的目标函数为:静压恢复系数取大,总压损失系数取小。不同 α 和 β 对应的静压恢复系数和总压损失系数如图4所示。由图4中可以看出, β 越小,则静压恢复系数越大,考虑轴承及排缸结构约束, β 最小取 20° ;而 α 取为 40° 为最佳。原方案静压恢复系数0.389 1,总压损失系数为0.422 9,改型优化后静压恢复系数提高了40.7%,总压损失系数减少了31.4%。改型优化结构如图5所示。

优化前后的三维流线对比图如图6所示。由图6可见,原方案在排汽缸轴承座后部有较大的流动分离,且对主流区影响较大,导致排缸总压损失系数变

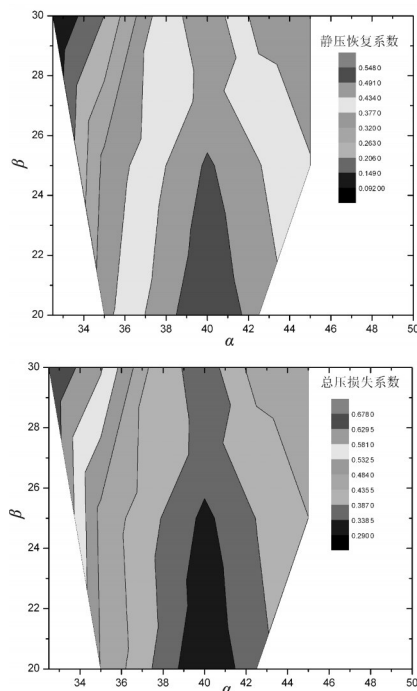
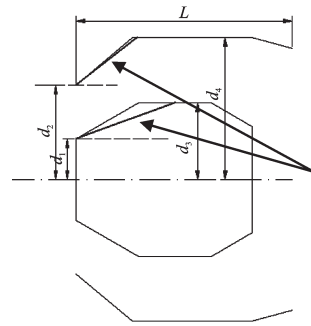
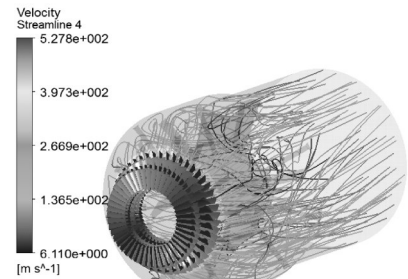
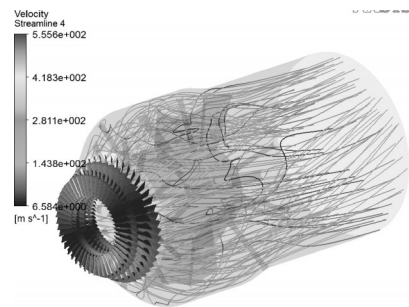
图4 不同 α 和 β 对应的静压恢复系数和总压损失系数

图5 原设计与改型优化后结构对比(带箭头是优化后的)

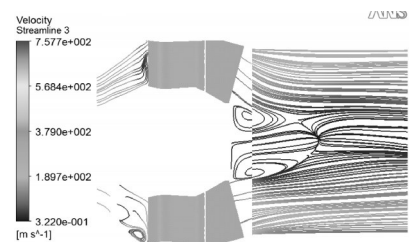
大;而优化后方案则改善了轴承座后部的流动,对流区影响较小。 yz 平面流线图显示:优化后的排汽缸在轴承座后方的分离涡较原方案要小。



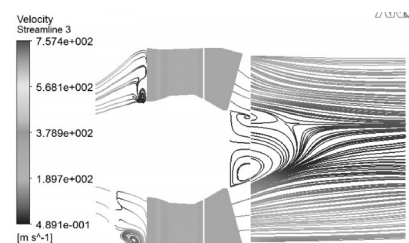
(a) 原设计结构1



(b) 改型优化后结构1



(c) 原设计结构2



(d) 改型优化后结构2

图6 优化前后排汽缸整体流线图、 yz 平面流线图

3.2 通油管道优化改型

冷却油管道的存在对排汽缸内部流动有较大的影响。在保持通油面积不变的情况下,本研究通过修改冷却油管道的截面形状来改善排汽缸内部流动,将圆弧形前缘、后缘改为椭圆形。

截面型线如图7所示。

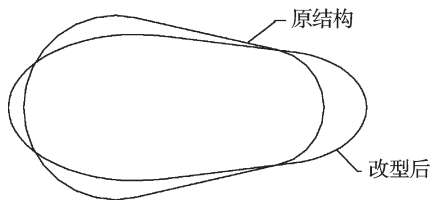
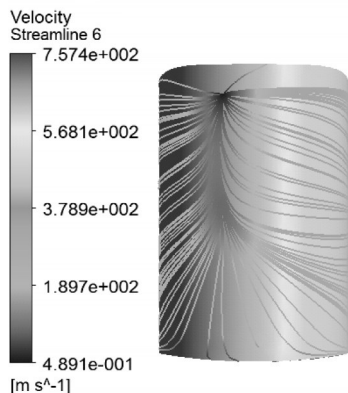
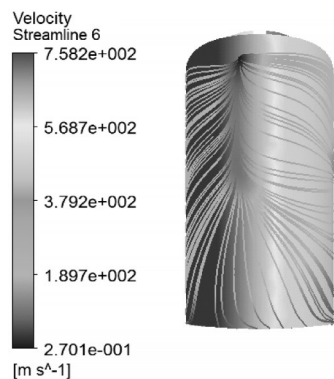


图7 改型前后冷却油管道截面形线
改型前、后管道表面流线如图8所示。



(a) 原设计结构



(b) 改型优化后结构

图8 改型前后管道表面流线

水蒸汽在通油管道前缘滞止,流动发生分离,流线紊乱。改型优化后流动分离减小,流动平稳,排缸性能提高,静压恢复系数提高0.13%,总压损失系数减小2.2%。

4 结束语

本研究应用商业软件CFX对末两级整圈低压级组联合轴流排汽缸进行数值计算并对排汽缸改型优化,结论如下:

(1) 给出了原方案的三维内部流场,在轴承座后部产生了分离涡,并对主流区影响较大,加大了排缸的损失。

(2) 由于排缸与低压级组叶片存在相互影响,造成了级组出口气动参数周向的不均匀。

(3) 在结构允许的情况下通过修改排汽缸内壁起始角和轴承盖板起始角,排缸静压恢复系数提高了40.7%,总压损失系数减少了31.4%,提高了排汽缸的气动性能。通过修改通油管道截面型线,静压恢复系数提高,总压损失系数减小2.2%。

参考文献(References):

- [1] 丁晨,隋永枫,辛小鹏,等. 高背压大流量空冷汽轮机低压级组叶片设计及优化[J]. 热力透平,2012,41(1):31-34.
- [2] 隋永枫,孙义冈,叶钟,等. 汽轮机叶片改型及三维气动优化设计[J]. 热力透平,2011,40(1):28-32.
- [3] 杨佐卫,赵世金,周进,等. 大型汽轮机油涡轮设计方法研究[J]. 机械,2013(1):8-16.
- [4] ZARYANKIN A, SIMONOV B, PARAMONOV A, et al. Advancements in the aerodynamics of exhaust hoods of turbines[J]. *Thermal Engineering*, 1998,45(1):23-27.
- [5] 霍文举. 田口方法优化设计透平排汽缸的应用[J]. 汽轮机技术,1993,35(1):48-55.
- [6] FAN T, XIE Y, ZHANG D, et al. A Combined Numerical Model and Optimization for Low Pressure Exhaust System in Steam Turbine [C]//ASME 2007. San Antonio: [s.n.], 2007:349-358.
- [7] 樊涛,谢永慧. 汽轮机排汽通道复杂流动数值研究的现状与进展[J]. 热力透平,2007,36(3):143-149,186.
- [8] FU J L, ZHOU S J, LIU J J. Experimental and Numerical Investigation of Interactions Between Axial Turbine and Non-Axisymmetric Exhaust Hood [C]//ASME 2008. Berlin: [s.n.], 2008:1265-1278.
- [9] 付经伦. 轴流透平级与非轴对称排汽系统非定常相互作用研究[D]. 北京:中国科学院工程热物理研究所,2007.
- [10] 张晓丽. 联合循环汽轮机轴向排汽缸气动及传热分析[D]. 上海:上海交通大学,2008.

[编辑:程浩]

本文引用格式:

初鹏,刘龙海,辛小鹏,等. 轴流排汽缸气动性能数值研究与改型优化[J]. 机电工程,2014,31(8):1031-1034.

CHU Peng, LIU Long-hai, XIN Xiao-peng, et al. Numerical simulation and optimization of aerodynamic performance for axial exhaust hood[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2014,31(8):1031-1034.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>