

# CFD 方法在流体机械设计中的应用研究

王琳

(大连科技学院机械工程学院, 辽宁 大连 116052)

**摘要:** 本文以 CFD 方法为研究对象, 围绕 CFD 方法在流体机械设计中的应用展开研究。通过对 CFD 方法具体内涵原理、方法技术的简单概述, 结合流体机械设计特点, 从几个不同的方面分别对 CFD 方法在流体机械设计中的具体应用情况进行详细的介绍, 并在现阶段研究的基础上展望了 CFD 方法未来发展趋势。

**关键词:** CFD 方法; 流体机械设计; 原理; 方法; 应用

**中图分类号:** TH122

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-0711(2021)05(上)-0111-02

新时期, 应工业制造产业升级改革的要求, 越来越多的先进技术被应用于工业制造中, 对工业制造生产效率、产品质量的提升等都起到了关键性的作用。CFD 方法在现代化工业制造产业中的引入, 帮助我们有效地解决了工业制造中复杂的数学模型计算问题, 使人们可以对流体的流动状态做出更加直观、深入的理解, 以此更好地为我们借鉴工业发展中的能量转化问题, 为工业化发展奠定坚实的科学基础。目前, CFD 已经成为工业现代化发展不可缺少的一项重要技术, 被广泛地应用于造船业、航空航天业、汽车制造业等多个领域中, 对压缩机、水泵等流体机械的设计与开发起到了很好的辅助作用。

## 1 CFD 方法概述

### 1.1 内涵原理

CFD 是计算流体动力学的英文简称, 是流体力学体系的重要构成, 作为近代流体力学领域重大研究成果存在, 由计算机科学、数值数学构成, 具有极强的学科交叉性。就其原理来看, CFD 以计算机方法为手段, 以不同类型的离散化数学方法为辅助, 在计算机超强运算能力的作用下, 围绕流体力学各项问题开展全方位的分析、模拟计算、数值实验等计算活动, 最终得出流体控制方程的近似解。从发展的角度来说, CFD 诞生兴起于 20 世纪 60 年代, 90 年代后期受计算机技术迅猛发展态势的影响, 而得以实现了快速的发展。21 世纪初期在计算机硬件工业的强大支持下, CFD 实现了飞速发展, 并基于其方法具备模拟复杂亦或是理想过程, 且实验分析成本较低等诸多优势, 而被广泛应用于各种实验场景中。

### 1.2 方法技术

CFD 方法是以电子计算机为手段, 在离散化数学方法的基础上所建立起来的一门学科, 综合了计算机科学、数值数学、流体力学等学科之优势于一体。因此, 就其方法技术而言也在很大程度上带有这些学科的影子。具体来讲, CFD 方法技术主要包括以下几方面:

(1) 有限体积法 (FVM), 该方法是当前发展最成熟的一种 CFD 算法。该方法的基本原理是, 通过对计算区域进行控制体积的明确划分, 以体积为节点借助守恒型微分方程来进行积分后离散求解。该方法的优点在于守恒性、灵活性突出, 能够克服泰勒展开离散的缺点, 适用于各种复杂工程问题的解决。

(2) 有限差分法 (FDM), 该方法最早被应用于数值模拟运算当中, 对 CFD 的早期发展起到了极关键的作用, 因此, FDM 也是所有 CFD 方法中应用最广泛的一种方法。该方法的基本原理是, 通过对空间、时间区域的网格划分, 将原有的

连续求解域以有限的网格节点替代, 将表示变量连续变化关系的偏微分方程离散为有限个代数方程, 在逐个计算的基础上, 求出不同时间段下各网格节点溶质浓度。该方法的优点在于表达简单、直观, 有助于我们理解。

(3) 有限元法 (FEM), 该方法建立在加权余量法、变分原理的基础上, 被广泛运用于泊松方程、拉普拉斯方程相关物理场景中。其原理是以单元为单位, 对计算域进行离散剖分, 并为每一单元选择相应的基函数, 以此逼近单元真解。该方法常被运用于结构力学、电磁力学、流体力学的计算工作, 能够对预判设计阶段的实验测试起到很好的替代作用, 极大地节省了成本。

## 2 CFD 方法在流体机械设计中的应用

### 2.1 在压缩机设计中的应用

压缩机主要由活塞组织与气缸壁构成, 作为一种代表性的流体机械存在, 主要作用于能量气体的压缩、输送, 以此达到能量转化、使用的目的。在高速运转制冷的过程中, 压缩机内部气体流动异常复杂, 涉及气体压力损失、压力脉动、速度分布等的精准运算。传统的运算方法不仅存在诸多计算漏洞, 更难以直观而精准地反映压缩机内部情况。CFD 方法则可以结合压缩机作业原理及性能, 通过对效率、p-v 图等比较, 快速建立三维模型, 以最直观的方式精确反映出压缩机内部的热力学过程以及气体流动状况。以此促使设计人员能够结合压缩机内部流场情况, 提出进一步的机械设计完善方向。

在应用 CFD 方法进行压缩机设计时, 要求设计人员必须提前对压缩机内部活塞、缸壁进行设计, 以运动壁面表示活塞、以圆柱体表示缸壁。并将曲柄角度设定在  $180^\circ$ , 以便于活塞在自上而下物理运动的过程中, 逐步对缸体内气体进行施压。其实施过程中的步骤包括建立物理模型、明确计算区域、产生网格、选择求解方法、设置模型参数、计算求解, 最后, 以结果形式得出相应的图表、数据。以活塞压缩机的设计为例, 在应用 CFD 方法进行设计时, 涉及到的质量守恒方程为:  $0 = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z}$ 。其中  $t$  为时间,  $\rho$  为密度, 速度矢量在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向上的分量分别以  $u$ 、 $v$ 、 $w$  表示。

### 2.2 在水泵设计中的应用

CFD 方法的出现大大提高了流体机械内部流场计算的精准性, 使设计人员能够突破各方面固有限制, 以一种更直观的方式去探究流体机械内部运行原理、状态, 大大提高了机械设计数据的精准性、客观性。利用 CFD 方法进行水泵设计, 对于直观反映水泵内部流场、掌握水泵叶片流动规律等都极具重要意义。在应用 CFD 方法进行水泵的设计时, 先后涉

# 浅谈高背压式汽轮机轴封系统优化设计

胡昕

(南京汽轮电机(集团)有限责任公司, 江苏 南京 210037)

**摘要:** 研究高背机采用常规轴封系统设计时容易出现轴封失效的原因, 以 B15-8.83/4.12 型汽轮机为实例, 提出一种针对高背机的轴封系统优化设计方案。通过改造轴封管路, 增设高压汽封加热器, 旨在从设计源头解决高背压机组的轴端蒸汽泄漏的问题。研究成果可为类似高背压机组的轴封设计提供参考。

**关键词:** 高背压式汽轮机; 轴封优化设计; 高压汽封加热器

**中图分类号:** TM621

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1671-0711(2021)05(上)-0112-02

高背压式汽轮机为排汽压力大于 2.0MPa 的背压式汽轮机, 多用作前置机, 或热电联产汽轮机, 适用于造纸、化工、冶金等企业的自备电厂。通过多个项目的跟踪发现, 采用常规背压轴封系统的高背机, 如机组运行波动较大、启停频繁, 轴封易失效, 轴端部会出现一定程度的漏汽现象。压力蒸汽泄漏出汽缸后会窜入轴承座, 导致润滑油带水乳化, 危及机组安全运行。

## 1 高背机的轴封设计分析

### 1.1 常规轴封系统设计简介

背压式汽轮机的轴封系统, 由端部的轴封(多采用曲径汽封)和与之相连的管道, 以及附属设备汽封加热器等组成, 常规布置如图 1 所示。

前轴封由五段轴封组成 4 个汽室, 后轴封由四段轴封组成 3 个汽室。前 1、前 2、前 3 和后 1、后 2 腔室均为正压, 向外漏汽, 逐级降压。汽封加热器借助抽气机, 在前后轴封最外部腔室(前 4、后 3)内形成微真空(约 96kPa), 空气由最外面一段轴封漏入此室, 同时, 内轴封漏出的蒸汽也漏

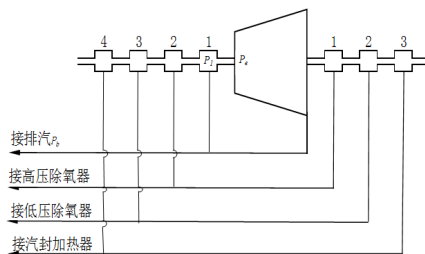


图 1 常规背压汽轮机轴封系统示意图

入此室, 以此形成密封。蒸汽混合物被引入汽封加热器中, 蒸汽凝结成水疏出, 而不凝气则由抽气机排向大气。

### 1.2 高背机应用时产生的问题

随着排汽压力增加, 高背机轴封设计通常会在后轴封第一段增加轴封齿数的方式来减少排汽端的轴封漏汽量。但如轴封系统不合理调整, 实际密封效果并不理想, 原因如下:

(1) 前轴封腔室 1 漏汽被引至排汽, 前 1 腔室的压力

※ 及建模、确定方程、模型计算几个关键性的步骤。

**建模:** 结合客户要求, 明确水泵扬程、空化余量、功率, 以及包括叶片、叶轮外径等主要结构的参数实际值。并生成计算网格, 进行三维流场计算。

**确定控制方程:** 在假设水泵转轮以正常转速运转的情况下, 对连续性方程以及动量方程进行设定, 分别为

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0, \quad \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_i} = \frac{\partial p^*}{\partial x_i} + \frac{\partial[\mu e (\frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \frac{\partial u_j}{\partial x_j})]}{\partial x_j}$$
 其中, 以  $\rho$  表示流体密度;  $\mu e$  表示有效黏性系数;  $x, y, z$  的实际坐标以  $x_j (j=1, 2, 3)$  来表示;  $p^*$  表示静压; 绝对速度分量  $u, v, w$  则以  $u_i, u_j$  来表示。

**模型计算:** 在 FLUENT 软件中三维单精度求解器的作用下, 依据所制定标准、模型来对函数进行分析、求解, 并在软件 3D 技术的辅助作用下, 构建出能够清晰描述水泵实际运行状态的模拟图。

## 3 CFD 方法未来发展趋势

经过多年的发展, 我国 CFD 方法理论研究体系不断完善, 并且经过不断的推广、实践, 已经被广泛运用于航空航天、船舶制造、气象监测、武器装备、建筑工程、水利设计、汽车制造、环境卫生、等工程领域当中, 取得了十分傲人的成绩。2019 年 9 月, 在重庆成功召开了汽车空气动力学分会学术年会, 以“CFD 新技术应用及发展趋势展望”为主题, 邀请国内外科研机构、企业、高校等行业专业人士对 CFD 未来发展趋势进行了积极的展望。其探讨内容包括 CFD 在新能源

汽车热管理开发、机器深度学习、工具使用、简易化界面设计, 以及与风洞试验的融合运用等 CFD 相关热点话题。由此可见, CFD 方法在未来的发展中, 会逐步朝着便捷化、多功能化的方向发展, 以此适用于工业生产日益网络化、智能化的发展趋势, 为精准化、全面化仿真实验奠定坚实的基础。此外, 为有效解决 CFD 方法在多领域的普遍性适用问题, 我们还必须在加大对 CFD 研究的基础上, 早日研发出更加贴合我国产业发展需要的国产 CFD 软件。

## 4 结语

综上所述, CFD 方法作为目前一种先进、有效的流体力学分析方法, 其实际效用已经得到了社会各界专业人士的高度认可, 并凭借该方法在计算机计算、数学逻辑分析等方面的显著优势, 被广泛地应用在社会各领域中, 对流体机械设计的优化、功能的完善等都起到了极为显著的促进作用。在未来的工作中, 我们要在以往工作成效的基础上, 继续砥砺前行, 加大对 CFD 方法的研究力度, 深度挖掘该方法在流体机械设计方面的潜在功效, 使其能够更好地为流体机械设计服务, 以此促进我国工业化发展水平、发展程度的加深。

## 参考文献:

- [1] 吴文群.CFD 方法在机械设计中的应用[J].九江学院学报(自然科学版),2017,32(02):43-45.
- [2] 张明慧.CFD 方法在流体机械设计中的运用分析[J].山东工业技术,2017(01):109.