

文章编号: 1002-5855 (2009) 01-0026-04

基于 ANSYS 的调节阀温度场分析与数值模拟

徐宏海¹, 李玉洁¹, 詹宁²

(1. 北方工业大学机电工程学院, 北京 100144; 2. 北京埃科特机电技术有限公司, 北京 100037)

摘要 基于 ANSYS 有限元分析软件, 采用热流耦合与单独温度场两种分析方法, 对调节阀的温度场进行分析。结果表明, 采用热流耦合方法, 可以提高温度分析精度, 但计算过程复杂。通过对调节阀温度场的数值模拟, 提出了降低执行机构温度的有效途径。

关键词 调节阀; ANSYS; 热流耦合; 温度场; 数值模拟

中图分类号: TH138.52 **文献标识码**: A

Temperature field analysis of control valve based on ANSYS

XU Hong-hai¹, LI Yu-jie¹, ZHAN Ning²

(1. College of Electromechanical Engineering, North University of Technology, Beijing 100144, China;

2 Beijing ACT Machinery & Electronic Technology Company, Beijing 100037, China)

Abstract: The temperature field of control valve is simulated and analyzed by two methods of heat - fluid coupling and separate temperature based on ANSYS. Research results indicates that heat - fluid coupling method has higher accuracy than separate temperature analyzing, but it's calculating process is very complicated. According to numerical simulation of control valve's temperature field, some effective approaches to reduce the temperature of actuator are put forward.

Key words: Control Valve; ANSYS; Heat - Fluid Coupling; Temperature Field; Numerical Simulation

1 引言

现代化工业技术的飞速发展使得高温流体管路系统的应用日益增加, 从而拓宽了电动调节阀的应用领域。电动调节阀执行机构承受的温度有严格的限制, 过高的温度会严重影响执行机构控制精度和使用寿命。因此, 对调节阀温度场进行模拟分析, 不仅可以确定阀体在高温条件下承受热载荷的能力, 而且可为分析执行机构内部温度分布状况提供参考依据。

2 温度场分析有限元理论基础

调节阀在稳定热负荷状态下, 流体介质流入和流出的热量之差等于调节阀散出的热量。流体作为热源, 与调节阀进行强迫对流换热, 调节阀与大自然中的空气形成了对流换热和辐射换热。调节阀内部传热遵循傅立叶定律, 调节阀的热量主要来自流体, 因此调节阀温度场分析属于无内热源问题的稳定热

分析。取微元体进行分析, 热力学平衡方程^[1]为

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right) + q_v = c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

式中 c ——比热, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$

ρ ——材料质量密度, kg/m^3

q_v ——内部热源 (单位时间内单位体积释放的热量)

λ ——导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

对于常物性、无热源、稳态温度场分析, 式 (1) 简化为

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (2)$$

3 有限元模型建立

3.1 三维几何模型

调节阀几何形状为结构对称, 可取其一半进行建模分析。采用 Pro/E 与 ANSYS 共同建立调节阀

作者简介: 徐宏海 (1967 -), 男, 教授, 研究方向: CAD/CAM、先进制造技术。

三维模型(图1)。网格划分采用六面体和四面体相结合的方式。把装配体看成一个整体,为提高结构突变部分分析的精度,模型局部进行了细分和均匀过渡^[2](图2)。

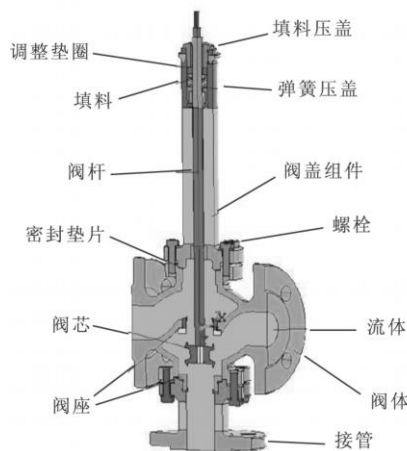


图1 调节阀三维模型

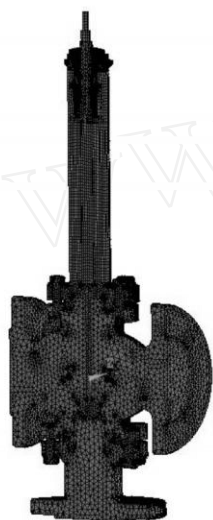


图2 调节阀网格模型

3.2 边界条件

热流耦合分析选取了温度场的第三类边界条件和热流耦合特有的边界条件。单独温度场分析选取了温度场的第一类边界条件和第三类边界条件。

第一类边界条件为已知温度均匀且保持常数,即

$$T_w = \text{常量}$$

第三类边界条件为固体与流体因温度差而发生了热对流换热,此时固体表面的热流密度与温度差成正比,即

$$- \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_w = h(T_w - T_f) \quad (3)$$

式中 n ——换热表面的外法线

h ——换热系数, $W/(m \cdot ^\circ C)$

T_w ——边界温度,

T_f ——流体温度,

热流耦合特有的边界条件包括流体进出口压力、流体温度和壁面边界。由于流体和固体遵循不同的控制方程,所以固体和流体交换壁上温度和热流密度必须满足连续性边界条件^[3],即

$$T_{\text{solid}} = T_{\text{fluid}} \quad (4)$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{\text{fluid}} = \left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{\text{solid}} \quad (5)$$

式中, $\left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{\text{fluid}}$, $\left. \frac{\partial T}{\partial n} \right|_{\text{solid}}$, 需通过耦合迭代求解耦合面的温度和热流密度。

初始条件是过程开始时,物体整个区域中所具有的温度,即

$$T|_{t=0} = T_0 \quad (6)$$

3.3 流体特性

根据调节阀的使用场合,采用了导热油为流体介质(表1)^[4]。

表1 导热油特性参数

温度 ($^\circ C$)	密度 (kg/m^3)	定压比热容 [$kJ/(kg \cdot ^\circ C)$]	运动粘度 (m^2/s)	导热系数 $W/(m \cdot ^\circ C)$
290	828.6	2.746	0.46e-6	0.087

4 热流耦合与单独温度场分析

4.1 热流耦合

流场分析采用 ANSYS 中的 Flotran CFD 模块,选择 fluid142 单元。边界条件包括流体入口压力、温度和出口压力等,流体的壁面对称面施加速度边界条件,固体施加外界对流换热边界条件。热流耦合温度场分析结果如图3所示。

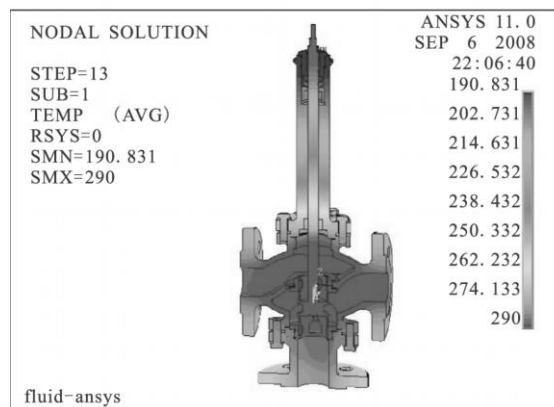


图3 热流耦合分析调节阀温度场分布

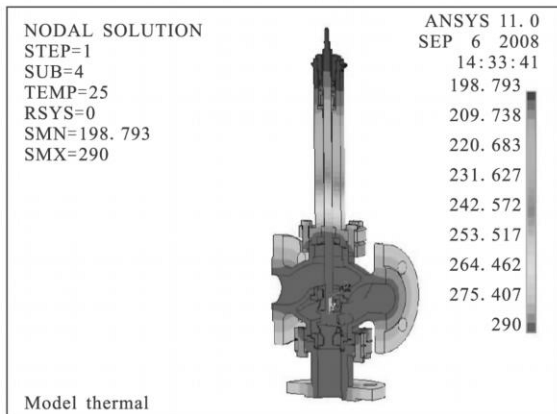


图4 单独温度场分析调节阀温度场分布

4.2 单独温度场

单独温度场分析采用 ANSYS 中的 switch 使模型从流场经结构场过渡到温度场，它们之间的单元转换关系为 fluid142 solid45 solid70。边界条件见表 2，分析结果如图 4 所示。

表 2 单独温度场分析边界条件

施加条件	空气自然对流系数 $W / m^2 \cdot ^\circ C$	热源温度
数值	7.596	290

4.3 结果对比

(1) 采用热流耦合分析和单独温度场分析所得到的调节阀温度场相差较小，阀杆最高温度相差约为 7。

(2) 采用热流耦合分析时，在分析完温度后还要分析热应力，需要采用间接耦合方式。由于节点温度值是无法从流场直接导入到结构场，因而需要采用物理场进行分析。鉴于单元 solid45 没有过

渡金字塔形式，需采用四面体单元。

(3) 450 以上环境中的调节阀，阀体在设计 and 选用时必须考虑温度和压力对材料机械强度的影响^[5]。热流耦合方法中的流场分析可获得阀体内部压力分布情况，结构分析时，依次从流场 - 温度场 - 结构场导入阀体温度分布，这样可以提高阀体温度分析的精度，但计算过程复杂，耗时长。

5 温度场数值模拟

前述分析结果表明，热流耦合分析与单独温度场分析结果差别不大，因此可以直接用 ANSYS 中的 Thermal 模块进行分析。采用单元为 solid70，switch 到结构单元为 185。模型舍去了流体部分。对于外表面存在的热辐射，采用表面热效应单元 surface152 (表 3)。

表 3 网格划分

单元名称	单元数量
solid70	438 109
surface152	17 572

在调节阀的材料特性、结构特性和结构密封性均满足要求的条件下，温度场数值模拟结果如表 4 所示。采用 Matlab 对表 4 中数据进行拟合，拟合曲线见图 5。

由图 5 可知，在调节阀散热方面，辐射散热随温度增加而增加的幅度比对流散热快，起主要作用。温度每增加 50，阀盖和阀杆的温度增加 11~17。因此，为了降低执行机构的温度，需要加强外界空气的自然对流情况，或者改自然对流为强迫对流。还应加大散热面积，如把阀盖的直筒式改造为散热片的形式。

表 4 温度场数值模拟结果

温度	对流系数 $W / (m^2 \cdot ^\circ C)$	发射率	阀盖最高温度	阀杆最高温度	对流散热 W	辐射散热 W	热量总和 W
200	6.940	0.908	110.704	112.937	124.8	222.02	346.82
250	7.279	0.926	126.364	129.298	169.28	352.21	521.49
300	7.596	0.934	140.717	144.343	214.47	515.39	729.86
350	7.845	0.940	153.443	157.776	262.17	716.14	978.31
400	8.089	0.945	167.473	172.515	288.52	961.31	1 249.83
450	8.291	0.951	178.116	183.916	333.8	1 248.5	1 582.3
500	8.366	0.956	190.242	196.779	355.35	1 585.6	1 940.95

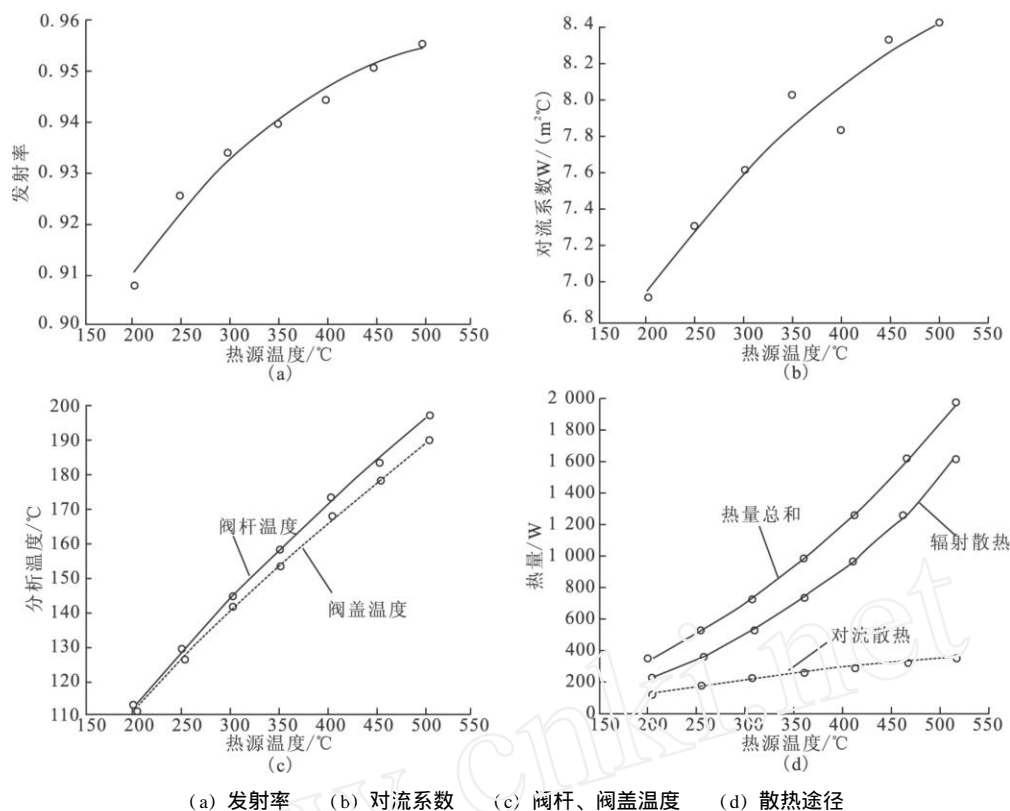


图5 温度场数据拟合曲线

6 结语

(1) 热流耦合分析方法与单独温度场分析相比, 分析结果更为精确, 但计算过程复杂, 耗时长。实际应用时, 可以采用单独温度场分析方法。

(2) 辐射散热是调节阀散热的主要途径, 改善空气对流情况、加大散热面积, 能有效降低调节阀执行机构的温度。

(3) 热流耦合和温度场模拟仿真提供了一种探求调节阀传热边界条件的方法, 对相似类型调节阀的设计和优化具有参考价值。

参 考 文 献

- [1] 陶文铨. 传热学 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2006. 12
- [2] 祝效华, 余志祥. ANSYS 高级工程有限元分析范例精选 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004. 10
- [3] 尚仁操, 乔渭阳, 许开富. 气冷涡轮叶片气热耦合数值模拟研究 [J]. 机械设计与制造, 2007, (2): 11 - 13
- [4] 关涛, 刘晓燕, 彭志刚. 导热油管内强制对流换热系数的计算 [J]. 工业锅炉, 2006, (6): 9 - 11
- [5] 何培堂, 刘先东, 张志军, 等. 高温阀门设计中的关键技术 [J]. 炼油与化工, 2002, 13 (4): 27 - 29

(收稿日期: 2008.09.03)

书 讯

《阀门手册 (第二版)》——本书由中国石化出版社 2005 年出版发行, [美] Philip L. Skousen 著, 孙家孔译。本书全面系统地介绍了阀门的基础知识、阀门种类和阀门应用等方面内容。具体内容包括: 阀门介绍、阀门选用准则、手动阀门、控制阀、手动控制器和执行机构、灵活阀门及定位器、确定阀门尺寸、确定执行机构尺寸和常见阀门问题等。本书可作为阀门使用维修人员以及设备管理和工程技术人员的工具书, 也可作为阀门设计人员和从事压力容器、管道设计人员的参考书。书号 ISBN 7 - 80164 - 896 - X, 定价 55.00 元/册。

每册加收书价 10% 的邮寄包装费, 需要者, 请与沈阳经济技术开发区开发大路 15 号沈阳阀门研究所科技开发信息中心的尹玉杰联系, 邮编: 110142, 电话: 024 - 25653780。

E - mail: sfskxz@chinavalveinfo.net http://www.chinavalveinfo.net