

给水加热器疏水冷却段的数值模拟

徐青 蒋杭 姜一帆

上海船舶研究设计院，上海，201210；

摘要：利用商业化的CFD工具Fluent，根据制造商公布的特定类型供暖器中蒸汽散热的部分构造数据进行了构建和数字仿真。对比其输出结果与制造商的数据，误差控制在了6%以内，这符合实际使用需求。此过程证实了用于数字化模拟的数学模型的准确性，并为其供暖器的架构改进及增强热量交换奠定了基础。

关键字：给水加热器；疏水冷却段；数值模拟

DOI: 10.69979/3041-0673.25.11.019

引言

给水加热器是热力发电系统中的一种辅助换热器。内部结构包括了三个阶段：过热蒸汽降温区、蒸汽凝聚区域及排水冷却区域。通常情况下，过热段与排水段位于管道之内。由涡轮机提取出的高温蒸汽首要经过过热段，受助于弯曲折流板的影响，以水平方式穿过管道并使前往锅炉的水被加温。当到达过热段末端时，仍然具有适当温度的蒸汽会继续到蒸汽凝聚段，在此过程中，蒸汽通过冷凝过程释放出气化热量来进一步对管道内的水进行加温。然后，这些凝结水会被送入排水分离器，进而再度提升刚刚进入加热的管道中的水的温度。

许多专家已经开始利用改进后的电脑技术来深入探讨关于热量交换器的理论问题了^[1]。最早尝试使用这种方法的是Patankar和Spalding等人在他们的著作中所做的分析工作^[2]，他们首次针对管道-容积型加热设备进行了内部流动场的数字仿真探索。随后Prithviraj和Andrews在其作品里也同样关注到了带有弯曲波纹状挡板的热量传递装置的问题并对其做了相应的数学建模处理^[3]。对带弓形折流板的管壳式换热器进行模拟研究，模拟结果与实验结果符合较好。此外，我国的一些科研人员如刘敏珊等人^[4]也在此领域做出了贡献：他们在Fluent这个工具的基础上构建了一种新的模型以用于描述具有单一弧线形状阻尼片的高效传导系统中的流量分布情况；通过这个过程实现了系统的性能提升并且降低了一些额外的压力损耗成本。

本文文献利用了商业化的CFD工具——Fluent作为基础，探讨了给水加热器中疏水冷却段的内部和外部

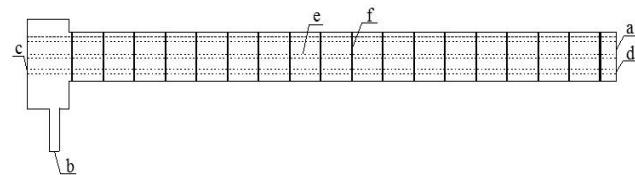
传热特性。我们针对某个工厂给水加热器的运作环境进行了仿真，并将其模拟的结果同真实的操作数据相比较，以此来评价模拟过程的准确度。

1 给水加热器疏水冷却段的计算模型

1.1 几何模型简化

本研究所探讨的是水加热器内部的疏水冷却部分，其包壳的形状为圆弧形。图1展示了这个部分的构造示意图。

图1所示的疏水冷却段中有左右布置的结构相同的18块折流板。由于疏水部分与供水加热器的蒸汽凝结部位有连接，因此我们将包壳右侧端面去除管束供水出口后所得到的区域作为疏水入口。通过适当的几何简化处理，我们可以在图2中看到疏水段的三维模型图。表1列出了疏水冷却段的主要结构参数。



a-疏水入口 b-疏水出口 c-给水入口 d-给水出口
e-换热管 f-折流板

图1 疏水冷却段结构示意图

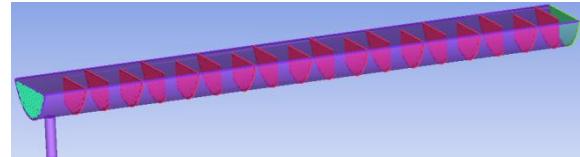


图2 疏水冷却段三维模型图

表1 疏水冷却段主要结构参数

包壳直径/mm	包壳长度/mm	包壳缺口高度/mm	换热管直径/mm	换热管间距/mm	管程	管子根数	排列方式	折流板间距/mm	折流板缺口高度/mm	疏水出口接管直径/mm
950*8	4707	707	15*1	21	1	282	正三角形	248	182	92

1.2 几何模型网格划分

这篇论文使用 ICEM 软件对几何模型进行了网格分割。

在疏水冷却部分，由于折流板形状相同且构造较为整齐，因此我们选择了使用拉伸

四边形面网格的方式来制作体网格。图 3 和图 4 展示了管侧和壳侧网格的部分截面，而图 5 则是整个网格的示意图。

图 3 展示了管侧网格的截面形状，而图 4 则呈现出壳侧网格部分的截面结构。

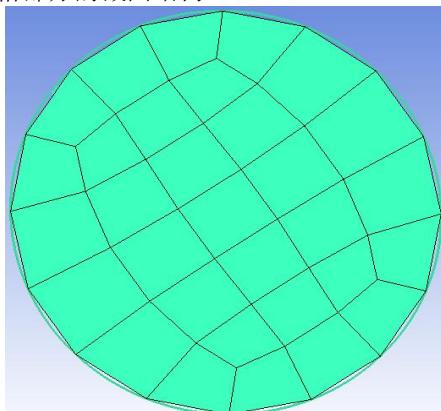


图 3 管侧网格截面图

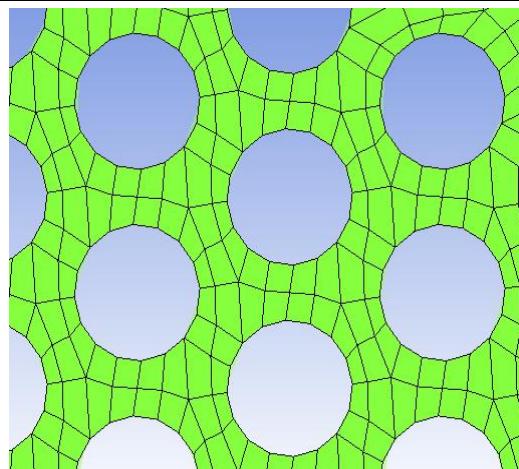


图 4 壳侧网格部分截面图

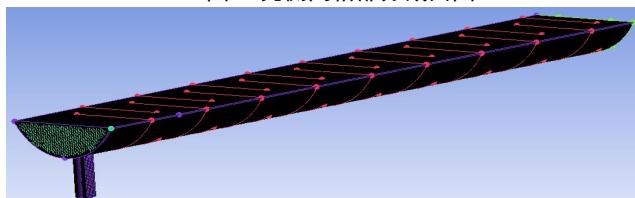


图 5 疏水冷却段整体网格

1.3 物性参数及边界条件的设置

表 2 为厂家提供的疏水冷却段的物性参数。

表 2 疏水冷却段物性参数表

	温度/K	压力/MPa	密度/kg·m ⁻³	比热容/J/(kg·K)	热导率/W/(m·K)	动力粘度/Pa·s
疏水入口	393.45	0.2	942.86	4244	0.6832	0.0002314
疏水出口	353.15	0.2	971.83	4197	0.6701	0.0003541
给水入口	352.15	1.7	973.13	4193	0.6702	0.0003590
给水出口	354.71	1.7	971.53	4195	0.6718	0.0003477

换热管是由不锈钢制成的，经过测算得出其导热系数为 $16.6 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。如果将污垢的热阻 ($0.00007 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$) 与导热系数进行比较，那么管壁的折合导热系数就是 ($0.00007 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)。

在确定边界条件时，应该使用速度作为入口条件，压力作为出口条件，并选择标准的 $k-\epsilon$ 湍流模型。要设置入口和出口的湍流特性，应该通过输入湍流强度和水力直径的方式进行。

由于换热管中同时有流体在管内外流动，并且管壁温度随流体流动方向而改变，因此将换热管壁设定为耦合壁面；而对于包壳壁面和折流板，则设定为绝热边界条件。

2 模拟收敛性的判断

在大多数情况下，我们不能仅仅依赖残差监测来判断计算是否达到了收敛状态，而需要进行全面的评估。

图 6 展示了疏水冷却段的残差收敛曲线。

在疏水段的换热过程中，给水出口温度是一个关键物理因素。经过计算，我们发现给水出口的温度几乎没有变化，同时管道内外工质的流量也已基本达到平衡状态，所以可以推断模拟计算已经完成收敛。

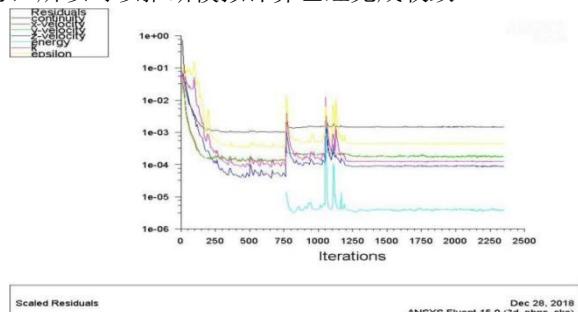


图 6 疏水冷却段残差收敛曲线

3 疏水段数值模拟准确性的验证

表 3 为模拟结果与厂家提供的实际工况的结果的对比。

表3 疏冷段模拟值与工况值比对

疏冷段	模拟值	工况值	误差(%)
疏水出口温度/K	352.45	353.15	5.74
给水出口温度/K	354.78	354.71	2.47
总传热系数/W/(m ² ·K)	1816	1743	4.19
换热量/W	778242	765720	5.82

根据表格数据，模拟值与实际工况值的偏差在6%以内，这符合工程应用的标准。同时，这也证明了对于给水加热器的疏水部分的模拟，使用上述计算模型是可行的。

4 结论

本研究利用商业CFD软件Fluent作为工具，针对给水加热器的疏水冷却段内的管道内外的热量交换进行了数值仿真分析。实验数据表明，该模型产生的结果与实际情况相符度较高，这证实了使用数值仿真技术来评估给水加热器的有效性的可行性，并为其后期的结构改进及增强换热效果奠定了一定的基础。

参考文献

[1]Patankar S V, Spalding D B. Heat exchanger de

sign theory source book[M]. MCGRaw-Hill Book Company, 1974.

[2]Patankar S V, Spalding D B. Heat exchanger design theory source book[M]. MCGRaw-Hill Book Company, 1974.

[3]Prithiviraj M, Andrews M J. THREE DIMENSIONAL NUMERICAL SIMULATION OF SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGERS. PART I: FOUNDATION AND FLUID MECHANICS[J]. Numerical Heat Transfer, 1998, 33(8): 799-816.

[4]刘敏珊,董其伍,刘乾.折流板换热器壳程流.

作者简介：徐青（1994-），男，江苏泰州人，硕士研究生，从事轮机工程换热器方向研究。