

风管机系统仿真与分析

Modeling and Analysis of an Air Duct Unit

卓明胜 陈泽波 王 成
(珠海格力电器股份有限公司 珠海 519070)

摘要: 针对某 7.5kW 风管机, 采用 GREATLAB 建立了系统仿真模型, 采用 CoilLab 建立了翅片管冷凝器和蒸发器模型, 仿真结果与实验结果良好吻合。通过系统仿真分析, 对系统的一些关键设计参数进行了优化, 使得系统性能获得了进一步的提升。研究表明, 通过系统仿真技术, 可以有效地提高产品开发效率、减少样机及实验量。

关键词: 风管机; 系统仿真; 验证; 性能改进

Abstract: To simulate a 7.5kW air duct unit, GREATLAB was used for system modeling and CoilLab was used for fin-and-tube condenser and evaporator coil modeling. The system model was validated by using the experimental data. The validated model was then used for some key parameters analysis and optimization, which made the system performance further improved. The study shows that the system modeling technique can help improve the product design efficiency, and reduce the prototypes and lab tests.

Key words: air duct unit; system simulation; validation; performance improvement

前言

风管机是一种典型的风冷冷风系统, 是轻型商用市场的主流产品之一。风管机系统设计的关键是换热器的设计和各部件在系统层面上的匹配。仿真模拟技术正日益成为提高设计效率、降低成本、提高产品质量的重要手段。

仿真模拟技术在制冷系统匹配设计中的应用主要有两个方面: 一是在设计阶段模拟结构参数对部件性能的影响和模拟额定工况下各部件匹配在一起的系统性能; 二是在匹配设计完成后模拟系统或部件在不同运行工况下的性能, 提供产品性能表 (rating table) 供选型使用。对于大部分的制冷系统, 在某一稳定的运行工况下, 系统中制冷剂和载冷剂的状态也是基本稳定的, 所以在制冷系统匹配设计中一般采用稳态仿真技术。稳态仿真采用稳态模型, 即构成模型的方程都不含时间项。

除了模型之外, 稳态仿真要解决的另一个关键问题是算法, 即如何求解数学模型。这里的数学模型通常是

一个非线性方程组, 其中的方程数可以从几个到成千上万。算法一般可以分为两大类: 顺序求解和联立求解。顺序求解法按一定的顺序先后求解各个部件模型。在开始求解第一个部件模型时, 模型的输入状态参数值是假设的。在顺序求解过程中逐步更新假设的状态参数值, 直至最终收敛。参数迭代时, 多采用两分法、割线法, 其优点是简单、容易控制迭代过程。联立求解法则是同时求解联系各部件模型的状态参数、甚至同时求解模型中包含的所有方程。经典的 Newton-Raphson 法是应用最广泛的一种非线性代数方程组求解算法。两种算法优缺点的比较如表 1 所示。以往, 顺序求解法使用较多^[1-5]。但随着制冷空调系统的日益复杂, 为了保证通用性, 联立求解法的使用越来越多^[6,7], 并且被越来越多的商业软件所采用。

本文以某 7.5kW 风管机为研究对象, 采用仿真模拟技术, 研究系统性能, 并对现有的系统设计提出了改进建议。

表 1 顺序求解法和联立求解法的比较

算法	说明	优点	缺点
联立法	联立求解部件模型	通用性好，计算效率高，适用于简单和复杂制冷系统仿真	求解过程难以干涉，程序不易调试；迭代初值对收敛性影响大
顺序法	顺序求解部件模型	求解过程有明确物理意义，程序易调试；迭代初值对收敛性影响较低	通用性差，计算效率低，不适合复杂制冷系统仿真

1 GREATLAB 简介

GREATLAB 是同济大学张春路教授团队开发的一个通用的制冷空调系统仿真平台。在软件开发过程中，我司与张教授团队进行了密切的技术合作，并通过大量实验数据验证了模型的正确性与有效精度。目前 GREATLAB 标准版具有以下主要特点：

- 1) 内置各类常见的制冷 / 空调系统，并可以根据客户需求快速定制不同的非常规系统模型，如图 1 和 2 所示。
- 2) 与 GREATLAB 提供的其它部件仿真 (设计) 软件，如翅片管换热器仿真软件 CoilLab^[8] 无缝对接，即在 GREATLAB 中直接调用 CoilLab 所建模型进行系统仿真。
- 3) 灵活的输入 / 输出参数转换，方便用户进行不同已知条件下的系统仿真，完成设计计算、校核计算、性能分析等不同的计算任务。
- 4) 内置多种常用的换热管类型、翅片类型、制冷剂 / 载冷剂类型。
- 5) 模型校准功能。可以根据实验数据标定模型，从而有针对性地提高模型仿真精度。

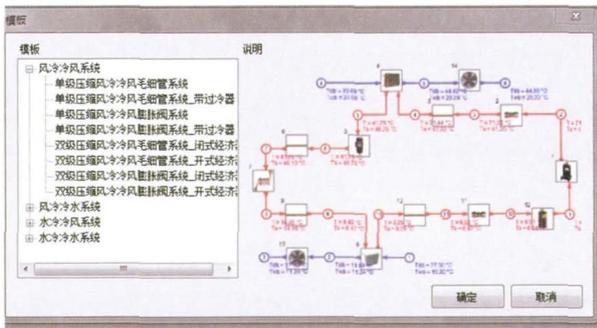


图 1 选择内置的系统模型

6) 提供用户自定义模型接口，允许用户接入自行开发的各类部件模型，实现基于 GREATLAB 的二次开发。

7) 仿真结果输出报告。可以定制输出报告格式，输出成 WORD 文档。

2 风管机系统仿真实例

针对某 7.5kW 风管机，本文尝试通过系统仿真软件 GREATLAB 建立风管机系统的仿真模型，如图 2 所示。其中，冷凝器和蒸发器采用翅片管换热器仿真软件 CoilLab 建立模型，连管图如图 3 所示；压缩机采用 ARI 的 10 系数模型；节流短管采用 GREATLAB 自带的模型。

采用 CoilLab 对冷凝器两种设计方案进行了仿真对比分析，以确定更为合理的分路数。如图 3 所示，两种设计方案如下：

方案一：2 排，每排 30 根 $\phi 7$ 内螺纹管。进口分 4 路，汇合后进入过冷器，出口为 1 路。

方案二：2 排，每排 30 根 $\phi 7$ 内螺纹管。进口分 5 路，汇合后进入过冷器，出口为 1 路。

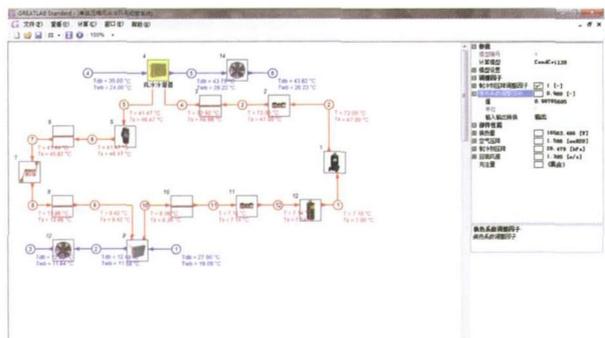


图 2 单级压缩风冷冷风毛细管系统模型

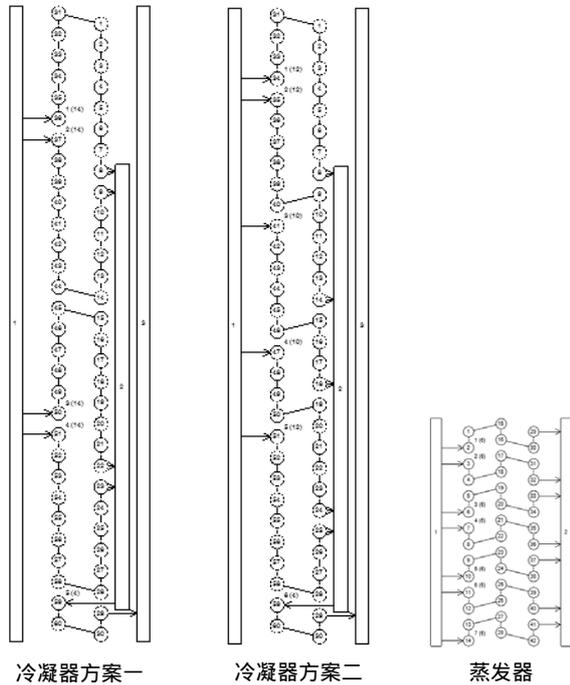


图3 换热器的管路连接图

仿真算例 I：制冷剂 R22，制冷剂冷凝温度（进口饱和温度）55、进口温度 90，出口液体温度 39；空气进风干球温度 35，相对湿度为 50%，风机风量 4000m³/h。冷凝器总体性能的仿真结果如表 2 所示。

仿真算例 II：制冷剂 R22，制冷剂冷凝温度（进口饱和温度）50、进口温度 85，出口液体温度 39；空气进风干球温度 35，相对湿度 50%，风机风量 4000m³/h。冷凝器总体性能的仿真结果如表 3 所示。

分析系统性能数据，可以获得以下主要推论：

1) 方案二冷凝器的换热能力比方案一冷凝器低大约

7%，其影响在系统层面上表现为制冷量下降不到 1%，COP 下降约 2%。这说明冷凝器能力对系统 COP 的影响要大于对制冷量的影响。

2) 采用方案二冷凝器的系统制冷剂充灌量更多，这主要是冷凝器设计不同造成的。从本系统设计来看，在冷凝器总换热管数不变的前提下，适当增加过冷器的换热管数量、相应减少冷凝管数量，既有利于提升换热的能力、又能降低制冷剂充灌量。

3) 从冷凝器出风温度来看，与冷凝温度的温差较大，说明风量是充分大的。冷凝器尺寸偏小是造成系统冷凝温度偏高、COP 偏低的重要原因。

4) 相比于冷凝器，从蒸发器的出风温度、蒸发温度来看，蒸发器风量与尺寸都比较合理。

在系统仿真中先采用一组实验值校准 GREATLAB 模型，然后采用校准后的模型预测不同设计下的系统性能。仿真结果与实验数据的对比如表 4 所示。可以看到，经过校准的模型可以正确地预测不同设计下的系统性能，主要参数的误差都可以控制在 2% 以内，与实验台测量精度相当。

3 结论

本文采用制冷系统仿真软件 GREATLAB 建立了某 7.5kW 风管机的系统模型，采用翅片管换热器通用仿真软件 CoilLab 建立了冷凝器和蒸发器模型。通过模拟校准，可以提高系统仿真精度，使得主要性能参数的相对误差小于 2%。通过仿真分析，可以发现产品设计中的问题，并进行相应的改进。

表 2 算例 1 仿真结果

	换热量 /W	冷剂压降 /kPa	冷剂质量 /kg	出口过冷度 /K	出风温度 /
方案一	10228	49	0.98	15.0	43.0
方案二	9475	31	1.07	15.4	42.4
两方案偏差	-7.4%	-36.7%	9.2%	0.4	-0.6

表 3 算例 2 仿真结果

	换热量 /W	冷剂压降 /kPa	冷剂质量 /kg	出口过冷度 /K	出风温度 /
方案一	7975	34.8	0.87	10.3	41.2
方案二	7506	21.8	0.94	10.5	40.8
两方案偏差	-5.9%	-37.4%	8.0%	0.2	-0.4

表 4 仿真与实验数据的对比 (名义制冷工况)

	单位	试验数据 (冷凝器方案一)	模型校准: (冷凝器方案一)	仿真数据: (冷凝器方案二)	试验验证 (冷凝器方案二)
室内风侧换热量	kW	7464	7463	7410	7387
输入功率	kW	2899	2899	2937	2898
性能系数	W/W	2.57	2.575	2.523	2.549
室内机风量	m ³ /h	1258	1260	1260	1324
室外机风量	m ³ /h	4000	4000	4000	4000
冷凝器压降	kPa	-	41.5	31.1	-
蒸发器压降	kPa	-	25.9	25.9	-
排气压力 (绝压)	kPa	2150	2151	2185	2130
吸气压力 (绝压)	kPa	594	594	595	590
吸气温度		9.6	9.5	9.6	8.3
排气温度		88.1	90.0	91.1	90.1
节流前制冷剂液体温度		39.1	38.2	39.1	37.8
制冷剂充灌量	kg	1.750	1.778	1.806	1.850

参考文献

[1] BROWNE M W, BANSAL P K. Steady-state model of centrifugal liquid chillers [J]. Int J Refrig-Rev Int Froid, 1998, 21(5): 343-58.
 [2] BROWNE M W, BANSAL P K. An elemental NTU-epsilon model for vapour-compression liquid chillers [J]. Int J Refrig-Rev Int Froid, 2001, 24(7): 612-27.
 [3] FU L, DING G L, SU Z J, et al. Steady-state simulation of screw liquid chillers [J]. Appl Therm Eng, 2002, 22(15): 1731-48.
 [4] ZHAO L X, SHAO L L, ZHANG C L. Steady-state hybrid modeling of economized screw water chillers using polynomial neural network compressor model [J]. Int J Refrig-Rev Int Froid, 2010,

33(4): 729-38.

[5] SHAO L L, YANG L, ZHANG C L. Comparison of heat pump performance using fin-and-tube and microchannel heat exchangers under frost conditions [J]. Appl Energy, 2010, 87(4): 1187-97.
 [6] SHAO S Q, SHI W X, LI X T, et al. Simulation model for complex refrigeration systems based on two-phase fluid network - Part I: Model development [J]. Int J Refrig-Rev Int Froid, 2008, 31(3): 490-9.
 [7] SHI W X, SHAO S Q, LI X T, et al. Simulation model for complex refrigeration systems based on two-phase fluid network - Part II: Model application [J]. Int J Refrig-Rev Int Froid, 2008, 31(3): 500-9.

(上接 32 页)

障电弧检测的 AD 转换, AD 转换结束后, 到连续故障电弧特征波形的软件算法程序, 进行连续故障电弧判断, 条件不满足, 中断返回, 条件满足, 转到故障报警、停整机程序。

6 结论

本文所述的 AFCI 技术在家用空调控制器上应用方

法已应用在空调柜机控制器内, 通过了各种功能测试及 EMC 测试, 所以该方法可行, 成本低, 可靠性强。

参考文献

[1] WWW.TIsensors.com TEXAS INSTRUMENTS SENSORS
 [2] UL1699 Arc-Fault Circuit-interrupters[S].