

doi: 10.7690/bgzdh.2015.06.025

基于知识规则的 2.4 m 风洞控制开车参数自动生成专家系统

饶正周, 马永一, 杨兴锐

(中国空气动力研究与发展中心高速所, 四川 绵阳 622661)

摘要: 针对 2.4 m 风洞控制开车参数往往取决于人工经验、难以准确给定控制参数的问题, 开发一种基于知识规则的控制开车参数自动生成专家系统。首先简要介绍了 2.4 m 风洞核心控制系统和专家系统的基本架构, 然后详细介绍了开车参数自动生成专家系统的设计方法。采用 C++Builder 语言开发了一套软件, 实现了 2.4 m 风洞主要控制执行机构预置位置参数的自动生成。实际的应用结果表明: 该系统具有适应能力强、覆盖范围广、可靠性高等特点。

关键词: 风洞控制; 开车参数; 自动生成; 专家系统

中图分类号: TP273 **文献标志码:** A

Rule-Based Expert System on Automated Generation of Operating Control Parameters in 2.4 m Wind Tunnel

Rao Zhengzhou, Ma Yongyi, Yang Xingrui

(High Speed Institute, China Aerodynamics Research & Development Center, Mianyang 622661, China)

Abstract: To solve the problem that the presetting value of the operating parameters of 2.4m wind tunnel are overly depended on human experience and it's hard to preset the parameters accurately, a rule-based expert system on automated generation of operating control parameters was developed. After a brief introduction on the basic structure of the core control system of the wind tunnel and that of the expert system, the detailed introduction on the design method of the rule-based expert system was depicted. A set of software was developed with C++Builder language, the automated generation of operating control parameters was realized in the wind tunnel. The actual application result shows that the developed expert system has characteristics of high adaptability, wide range and high reliability.

Keywords: wind tunnel control; operating parameters; automated generation; expert system

0 引言

2.4 m 风洞是我国自行研制的亚洲最大的暂冲式跨声速风洞, 其控制系统具有控制对象多且耦合严重的特点。风洞开车时参数给定较多, 每次开车时都要根据洞体条件和模型状态的不同, 人工给主调压阀、主排气阀、栅指/驻室流量阀等机构的预置位置。笔者在 2006 年前后曾经采用建立数据仓库, 通过数据挖掘分析建立特征参数数据库的方法, 基本实现了参数给定自动生成^[1], 也为后续工作的深入开展奠定了基础。随着 2.4 m 风洞试验任务的日益繁重, 对风洞试验的运行效率和自动化水平提出了新的更高的要求。针对前述问题引入专家系统方法对开车参数的自动生成进行全方位的优化, 经过几年的逐步完善, 现已经成功应用于 2.4 m 风洞的日常型号试验中。

1 2.4 m 风洞核心控制系统简介

2.4 m 风洞核心控制系统主要负责压力、流

场、模型姿态等控制, 采用上位监督管理计算机加下位 PLC 的体系结构, 上/下位机之间采用网络进行通信。主要的控制执行机构有主调压阀、主排气阀、栅指、驻室流量阀等。主调压阀负责主引射压力控制, 为风洞运行提供能量保证; 主排气阀负责总压控制; 栅指负责低马赫数 ($Ma < 0.9$) 控制; 驻室流量阀负责高马赫数调节 ($Ma \geq 0.9$)。马赫数范围: $0.3 \leq Ma \leq 1.2$, 总压范围: $110 \text{ kPa} \leq p_0 \leq 450 \text{ kPa}$ 。上位机监督管理程序的主要作用是负责试验流程组织、开车参数生成、人机交互、试验状态实时监控显示等。下位机 PLC 的主要作用是接受上位机发送的参数及命令, 完成对各执行机构的具体控制。核心控制系统框图见图 1。

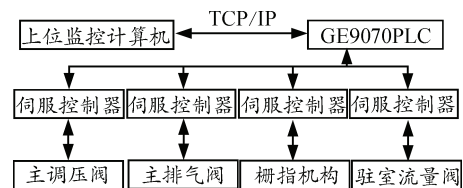


图 1 核心控制系统框图

收稿日期: 2015-01-19; 修回日期: 2015-02-28

作者简介: 饶正周(1967—), 男, 四川人, 学士, 从事跨超声速风洞测控系统设计与应用技术研究。

2 专家系统简介

专家系统就是将本行业专家的经验 and 知识融合到系统中,使任何操作使用系统的人员能像专家一样工作。专家系统构成如图2所示,通常由用户界面、解释机、推理机、知识获取机、知识库、基础数据库等构成^[2-3]。其中基础数据库用于存放推理过程中所需的重要原始数据;知识库用于存放专家提供的知识规则,知识库是专家系统质量是否优越的关键所在;推理机的功能是根据问题的条件反复匹配知识规则,得到问题的求解结果;人机接口是系统与用户进行信息交流的界面。

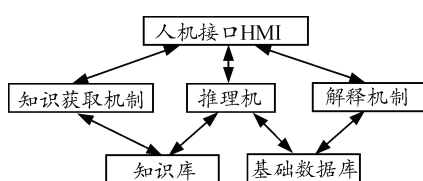


图2 专家系统构成框图

专家系统的知识库和推理机分离的特点使它不同于传统的程序设计方法^[5],能够很好地处理一些非确定性或非结构化的复杂问题,被广泛地应用于医疗、工业、农业、教育等问题。

3 开车参数自动生成专家系统设计

3.1 开车参数自动生成的原理

2.4 m风洞控制系统试验工况条件多且复杂,现以定马赫数变攻角试验工况为例说明。通常,除输入必要的车次号、马赫数、攻角阶梯外,还要给定总压、主引压力、主调压阀开度、主排气阀位移、栅指位移、驻室流量阀位移等多个参数,这些参数与风洞洞体条件、模型姿态等有很大关系。参数给定通常由人工经验决定,参数给定的优劣直接影响吹风时间的长短甚至吹风的成败。对大型暂冲式风洞来说,最大限度地缩短吹风时间对节约能耗有重要的现实意义。

参数自动生成的主要目的是给出与当前洞体条件及模型姿态相匹配的主要执行机构的预置位置。以栅指机构为例,其位置与马赫数、总压、主引压力、洞体及模型条件等均有密切关系。虽然从理论上说,通过如PID算法等控制策略,可以调节到最终位置,但对于大型暂冲式风洞而言,这是不经济甚至不可行的。因为栅指的行程较长、速度较慢,调节时间较长。通常工程实际的办法是事先给定预置位置,先采用位置闭环的方式快速将栅指机构运

动到预设位置,经适当延时后再采用马赫数闭环控制策略进行调节。这样做的好处是可以缩短调节时间、减少流场波动。主排气阀、驻室流量阀、主调压阀的控制思路也基本与栅指控制类似。限于篇幅,笔者主要针对栅指机构预置参数的自动生成进行描述,其他执行机构预置位置的生成原理和方法基本相似。

3.2 专家系统基础数据库设计

2.4 m风洞运行10多年来已进行上万次吹风试验,积累了大量历史数据^[1]。笔者通过建立数据仓库并开展数据挖掘分析的方法,建立了专家系统的基础数据库。数据库的关键字段包含2大类:第一类是每次车的特征数据,如车次号、马赫数、阶梯数、主引压力、总压、主排气阀位移、栅指位移、驻室流量阀位移、吹风时间等参数;第二类是每个型号相对固定的洞体模型状态及支撑方式参数,如引射喷嘴、试验段、支撑方式、模型大小等。基础数据库中的数据都是采用数据查询分析软件处理后,又经过人工筛选的各工况下的精选数据,是值得信赖的可靠基础数据。

3.3 专家系统知识库设计

将2.4 m风洞控制岗位积累的风洞运行经验和知识设计为计算机可以接受识别的知识库,是设计的重点和难点。因为2.4 m风洞的工况条件非常复杂,不同的马赫数、不同的总压、不同吹风方式、不同的洞体条件等可以相互组合成数量众多的工况条件,这些都会对栅指等执行机构的预置位置产生影响。

知识库是规则的集合,笔者采用产生式规则表示方法^[2]:

IF<Condition> THEN<Conclusion or Action>

栅指位置生成的主要规则如下:

1) IF<总压=常规总压> THEN <进入常压知识库>

ELSE <进入增压知识库>

2) IF<马赫数小于0.9> THEN <采用栅指调节马赫数>

ELSE<采用驻室流量阀调节马赫数>

3) IF<喷嘴=1号> THEN <确定与1号喷嘴对应的主引压力>

ELSE IF <喷嘴=2号> THEN <确定与2号喷嘴对应的主引压力>

.....

由于影响栅指位置的因素很多，对应的规则也比较多，此处只列出了部分规则以举例说明。规则越详尽，则越能模拟专家解决问题的思维方式，系统的智能化水平越高。该专家系统中针对所有主要执行机构预置位置生成的规则有近 300 条。

3.4 推理机设计

推理机的功能是针对当前问题的条件或已知信息，按行业领域专家的工作思路反复匹配知识库中的规则，得到需要的信息^[3-4]。推理机采用 C++ Builder 语言设计。推理的基本关系见图 3。

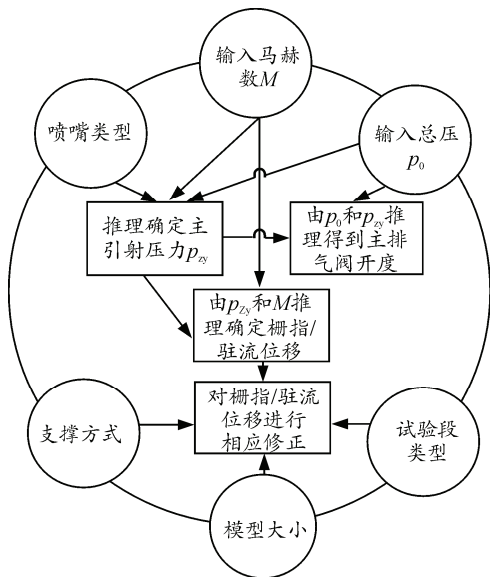


图 3 推理关系示意图

根据给定的试验马赫数、总压结合喷嘴类型，首先推理确定主引射压力，主引射压力是为风洞吹风提供能量的前提。其次根据主引射压力和总压推理确定主排气阀开度，主排气阀是控制总压的执行机构。然后再根据主引射压力和马赫数推理确定栅指/驻流位置的基础值。栅指/驻流的基础值确定后，还要根据不同支撑方式、模型大小、试验段类型等等条件进行参数修正，最终得到所有执行机构的参数预置位置。

推理机制的主要逻辑顺序如下：

$$p_{zy} = f(Ma, p_0)$$

$$1) S_{zp} = f(F_{zy}, p_0)$$

$$2) S_{sz} = f(p_{zy}, Ma) \quad (Ma < 0.9)$$

$$3) S_{zl} = f(p_{zy}, Ma) \quad (Ma \geq 0.9)$$

式中 p_{zy} 、 Ma 、 p_0 、 S_{zp} 、 S_{sz} 、 S_{zl} 分别表示主引射压力、马赫数、总压、主排气阀位移、栅指位移、驻室流量阀位移。

3.5 人机界面

人机界面采用 C++ 语言编程，每次吹风只需输入必要的马赫数、总压等参数，其余大量参数在同一型号试验中基本是固定的，这些参数都保存在参数配置文件中，不需要每次输入，每次吹风前只需检查确认，然后点击确定，系统自动进入参数生成的推理流程，人机界面见图 4。

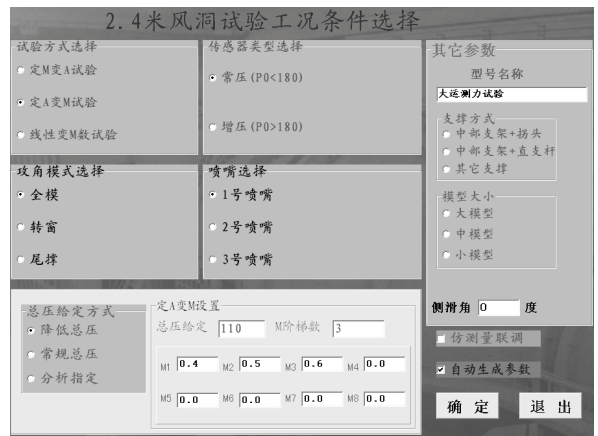


图 4 人机界面

4 结束语

通过引入基于知识规则的专家系统方法实现 2.4 m 风洞控制参数自动生成，提高了系统适应各种复杂工况条件的能力，生成的参数更加准确。系统已投入风洞日常型号试验应用，为提高风洞试验的自动化水平和运行效率、降低试验安全风险起到了积极作用。

参考文献：

- [1] 饶正周, 唐斌, 郁文山. 2.4 m 跨声速风洞的智能运行技术[J]. 兵工自动化, 2007, 26(1): 68-69.
- [2] 季宇潇, 张继华, 刘旺开, 等. 基于专家系统的热动力试验台测控系统[J]. 兵工自动化, 2013, 32(6): 56-58.
- [3] 张国伟, 徐宏, 毛红奎. 铝铸件缺陷专家系统知识推理策略研究[J]. 铸造技术, 2011, 32(12): 1690-1693.
- [4] 李智慧, 张瑞. 基于专家系统的入侵检测系统的实现[J]. 微计算机信息, 2007, 23(3): 61-63.
- [5] 蔡自兴, 约翰德尔金, 龚涛. 高级专家系统: 原理、设计及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 20-22.