

# 汽车淋雨试验室喷淋装置的模拟仿真

孔庆华 柏丽敏

东北林业大学交通学院, 哈尔滨 150040

**摘要:** 本文将应用最为普遍的有限元分析软件 ANSYS 参数化设计与汽车防雨密封性检测设备——人工淋雨试验装置的设计相结合, 做出了一套具有一定的理论和实用价值的仿真系统。

**关键词:** 淋雨试验 参数化 仿真

## 1 淋雨室概况

汽车淋雨试验是一种人工环境实验方法, 它用于测试汽车的防雨密封性能, 模拟汽车在使用条件下遇到自然降雨或滴水环境因素后的影响。淋雨试验方法的研究和应用至今已有多年的历史。早在 70 年代法国航空标准、美国军用标准和英国军用标准中均正式规定了有关人工淋雨、暴雨和防滴水方面的条款。我国也于 1990 年做出规定: GB/T 12480-90 客车防雨密封性试验方法。

## 2 研究目的和意义

随着国民经济的快速发展, 对产品的设计过程要尽快采用现代设计方法, 以便从根本上保证产品的质量和水平。CAD/CAE/CAM 技术的普遍应用为产品的设计开发提供了可靠的先进手段, 一度被人们称为 3C。计算机软硬件功能的飞速发展, 有力的促进了 3C 技术的应用不断向纵深发展, 人们逐渐体会到计算机辅助设计的真正含义。针对车辆产品的总目标, 着重从软件的求解功能、数据结构、前后处理器的功能、用户界面、易学易用性等方面进行比较。Ansys 软件不仅求解问题的功能完全满足其要求, 而且在应用方面, 图形用户界面 (GUI) 给用户的应用提供了直观的途径, 引导用户一步一步的进行分析。因此本文采用 Ansys 软件进行参数化设计与仿真。

参数化建模是指先用一组参数来定义几何图形(体素)尺寸数值并约束尺寸关系, 然后提供给设计者进行几何造型使用。它的主题思想是用几何约束、数学方程与关系来说明产品模型的形状特征, 从而得到一簇在形状或功能上具有相似性的设计方案。产品设计的目的是为了满足不同工业、科学研究和实际生活的需要。对于实际需要提出的各种各样的要求, 工业产品在功能上, 型号上都要不断的进行改进。如果以往的设计不能满足功能的要求, 就要重新设计产品; 如果仅是应用工况的不同造成的产品在尺寸方面的不同, 只需要开发不同尺寸型号的产品就可以了。对于系列化、通用化和标准化的定型产品, 设计所采用的数学模型及产品的结构都是相对固定不变的, 所不同的只是产品的结构尺寸有所差异, 而结构尺寸的差异是由于相同数目及类型的已知条件在不同规格的产品设计中取不同值造成的。对于这类产品进行设计时, 采用参数化建模方法对尺寸进行替换, 这样对于不同结构尺寸的产品只需要改变相应参数化尺寸的值就可以自动迅速的得到产品的模型, 省去了大量重复过程, 提高了设计生产效率。

## 3 实验室的参数化设计与模拟仿真

### 3.1 ANSYS 软件概述

ANSYS 是目前世界顶端的有限元商业应用程序。美国 John Swanson 博士于 1970 年创建 ANSYS 公司后, 便开发出了该应用程序, 以此用计算机模拟工程结构分析, 历经 30 多年的不断完善和修改, 现成为全球的工程应用最受欢迎的应用程序。其最新版本是 ANSYS8.1。

该应用程序的主要特点是紧跟计算机硬件、软件发展的最新水平,功能丰富,用户界面好,前后处理和图形功能完备,并且使用高效的有限元系统。它拥有丰富的、完善的单元库、材料模型库和求解器,保证了它能够高效地求解各类结构的静力、动力、振动、线性和非线性问题,并能有效地求解温度场问题、散热场以及多场耦合问题;它的友好的图形界面和程序结构使用户易学易用,通常专业人员在一个月左右的时间内就能掌握其应用方法和技巧;它的完全交互式前后处理和图形文件,大大减轻了用户创建工程模型,生成有限元模型以及分析和评价结果的工作量;它的统一和集中的数据库,保证了系统各模块之间的可靠和灵活的集成;它的 DDA 模块实现了它与多个 CAD 软件产品的有效连接。ANSYS 的各种产品适应于各种计算机平台的版本,为用户提供了各种可能的选择。

当今 ANSYS 的全球用户高达 5000 多家。二十世纪九十年代我国引入该应用程序后,广泛用于核工业、铁道、石油化工、航空航天、机械制造、能源工程、汽车交通、国防军工、电子、土木工程、造船、生物医学、轻工、地矿、水利、日用家电等一般工业及科学研究,为各领域的产品设计、结构分析和科学研究作出了应有的贡献。

### 3.2 仿真的必要性

首先根据流体力学和能量转换理论设计淋雨实验室喷淋系统,选择最佳节能效果和最低经济成本的设计方案。对每个喷头的喷水量进行分析计算,把计算出来的数据录入计算机,利用 ANSYS 模拟软件,对淋雨试验进行模拟仿真,以达到设计结果的可视化。可以让用户通过可视化的模拟仿真系统直接对设计的实验设备有所了解,并可以根据用户的要求随意调整各个参数,通过人机交互达到改进设计的目的,从而满足不同用户的各种需求。例如,试验对象可以是整车,也可以是车身部分。如果为卡车,只对驾驶室部分进行淋雨试验就足够了,同时也可节约资金。实现缩短设计周期、优化设计方案、节约设计成本的目的,以此促进我国汽车工业和国民经济的快速发展。

### 3.3 参数化有限元模型的建立

进入 ANSYS 的前处理模块,在工具菜单中(UtilityMenu)中选择 Parameters 选项下 ScalarParameters 项,调出参数尺寸定义界面,如图 1 所示。本文以一个喷头的参数为例,将模型中需要进行参数化的尺寸依次输入定义,完成参数化过程。实际问题中,需要参数化的尺寸是有限的,在定义参数尺寸时,要注意不要使得模型过约束。然后在 ANSYS 中开始建模,在模型中的尺寸如果是参数化的,要用尺寸的定义名输入,否则参数化信息没有进入模型。

在参数化模型建立后,进行正常的单元定义,实参数定义,单元划分,加载,求解工作。在这些过程进行后,通过 ANSYS 的 LGWRITE 命令保存命令流文件,文件名为 Jobname.lgw。Jobname 为自定义的分析文件名名称。用记事本打开,可以看到操作的步骤都被一一被 ANSYS 以一定的格式记录下来,对其中的尺寸定义部分进行编辑,保存文件。开始一个新的分析过程,用 ANSYS 的/INPUT 命令将 Jobname.lgw 文件读入 ANSYS,由于是批处理文件,因此程序自动进行分析过程得到参数化尺寸编辑后的模型及其计算结果。从上述论述中,可以看到应用 ANSYS 的参数化模型建立功能可以方便的得到相同结构不同尺寸模型的模型结果和分析结果。只有在参数化模型建立后,才可以进行进一步的优化分析过程。

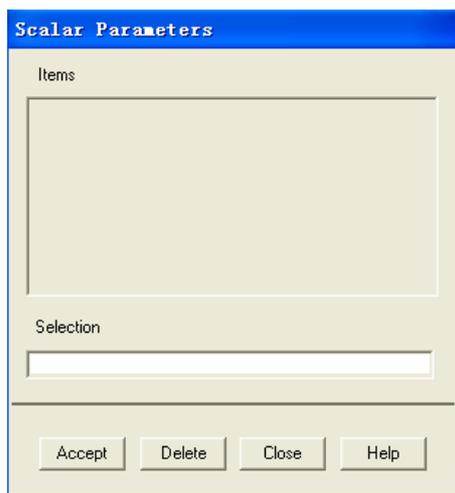


图 1 参数尺寸定义界面

### 3.4 仿真过程

本文主要采用 ANSYS 软件对淋雨实验室喷淋系统进行仿真分析研究。产品的各项性能均符合国家标准 GB/T 12480-90 客车防雨密封性试验方法。

#### 3.4.1 模型的建立

有限元模型是进行有限元分析的计算模型或数学模型，它为计算提供原始的数据。建模是整个有限元分析过程的关键，模型合理与否将直接影响计算结果的精度、计算时间的长短及计算过程能否完成。

由于管路是轴对称图形，二维模型就能清楚地显示其中水的流动情况，因此为了节省计算机使用空间和减少计算时间，本文利用 ANSYS 的前处理模块分别建立顶部、侧面和底部各一个管路的二维模型。如下图所示是他们的二维几何模型示意图。

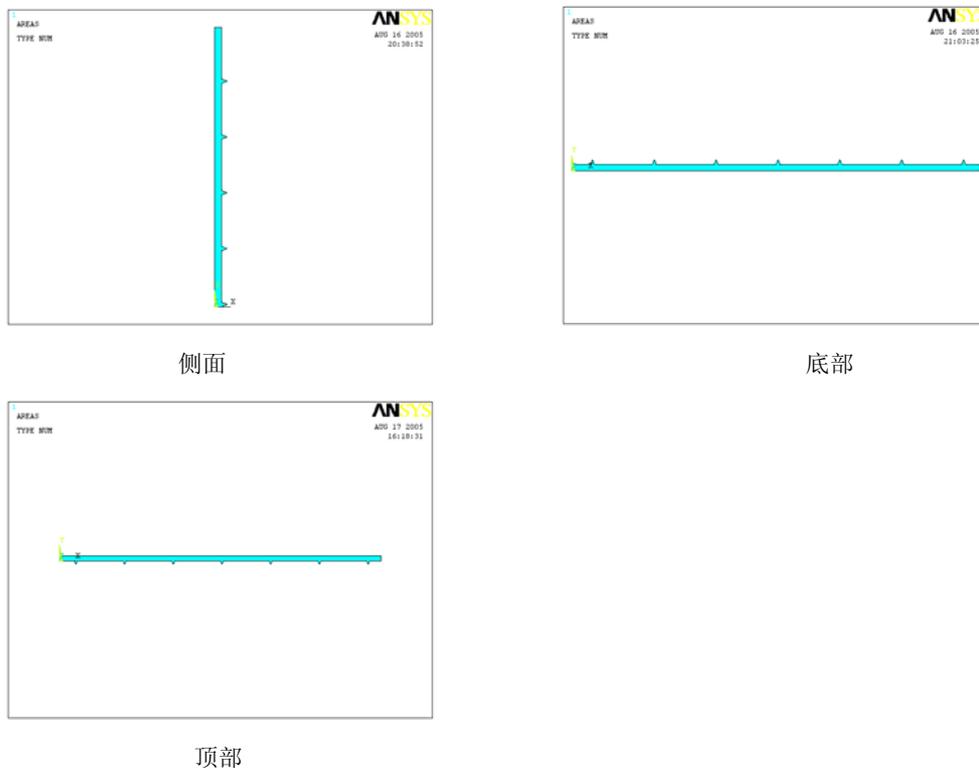


图 2 二维几何模型

### 3.4.2 模型的网格划分

有限元法的基本思想是把复杂的形体拆分为若干个形状简单的单元，利用单元节点变量对单元内部变量进行插值来实现对总体结构的分析，将连续体进行离散化即称网格划分。离散而成的有限元集合将替代原来的弹性连续体，所有的计算分析都将在这个模型上进行。因此，网格划分将关系到有限元分析的规模、速度和精度以及计算的成败。实验表明：如果网格划分太稀就会使计算精度不够，达不到预期效果；但是，相反的随着网格数量的增加，计算精确度逐渐提高，计算时间增加不多；但当网格数量增加到一定程度后，再继续增加网格数量，计算精确度提高甚微，而计算时间却大大增加。在进行网格划分时，应注意网格划分的有效性和合理性。这样就存在一个最佳网格密度问题，本模型首先采用整体智能网格划分，然后在拐角处进行人工控制网格划分对其进行细化，以便于有限元计算结果符合实际情况。

### 3.4.3 限制边界条件

加载即用边界条件数据描述结构的实际情况，即分析结构和外界之间的相互作用。

分析时假定入口流场均匀，且无径向分量。以单级单吸离心清水泵为例，当流量  $Q=100\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程  $h=50\text{m}$ ，转速  $n=2900\text{r}/\text{min}$ ，功率  $F=22\text{KW}$ ，进口直径  $d_0=100\text{mm}$ ，泵体耐压  $p=1.0\text{MPa}$ ，排水口直径  $d_1=80\text{mm}$ ，叶轮名义外径  $d_2=200\text{mm}$  时，可取入口速度为管路里按照公式  $v=Q/A$  计算所得的速度，轴向和周向速度为零；在所有壁面上施加无滑移边界条件，即所有速度分量均取为零；由于流体按不可压缩处理，且其性质恒定，所以在这种情况下，压力就可只考虑相对值，即在出口处施加的压力边界条件是相对压力为零；由于是湍流分析，可将出口处局部放大，以使流场能得到充分发展。在加载时，边界条件可直接施加在几何模型上，其优点在于当改变有限元网格而重新进行分析时，无需在节点上重新施加边界条件；而通常的做法是将边界条件加载在有限元模型上，这样当改变有限元网格时，必须先删去现有节点上的边界条件，再施加新的载荷，以保证加载的准确性。但要注意：无论采取何种加载方式，ANSYS 求解前都将载荷转化到有限元模型上。因此，加载到实体的载荷将自动转化到其所属的节点或单元上。

执行主菜单 Preprocessor>Loads>Apply>Velocity>On Lines（施加速度在线上）命令；执行主菜单 Preprocessor>Loads>Apply>Pressure DOF>On Lines（施加压力自由度在线上）命令。

### 3.4.4 求解

我们选择软件默认的直接解法，它只寻求分析的稳定性，并不强调求解的速度，而且对计算机的内存要求不高，在求解器处理每个单元时，同时进行整体矩阵的组集和求解。

在进行数值模拟时，存在着劣质网格及流动现象本身不稳定等因素，有必要采取措施提高收敛性，使求解达到稳定。ANSYS 程序提供的常用工具有松弛系数、惯性松弛、人工粘性、速度限值和面积积分阶次等。松弛系数（FLDATA 25）的值是介于 0 和 1 之间的小数，它表示旧结果与附加在旧结果上形成的新结果的最近一次计算值之间的变化量。采用小的松弛系数可减小解的振荡，提高稳定性，但会导致收敛速度降低，迭代次数增加<sup>[17]</sup>，所以可在初始迭代计算中，采用小的松弛系数来减小不适当的初始值引起的计算不稳定，当迭代一定次数后，将以上结果作为初始值继续迭代时，可取较大的松弛系数以提高收敛速度。模拟中速度项松弛系数、压力项系数（PRES）、湍流松弛系数（ENKE）的取值依据 ANSYS 软件给出的标准值，如图 3 所示。

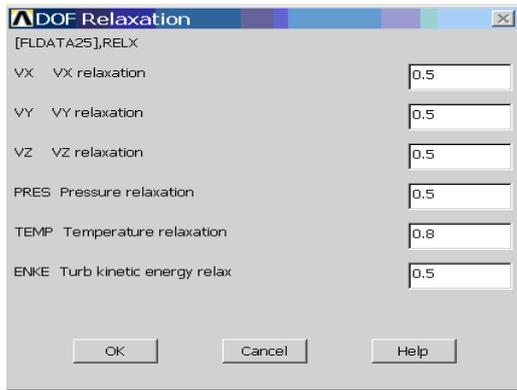


图3 松弛系数的取值

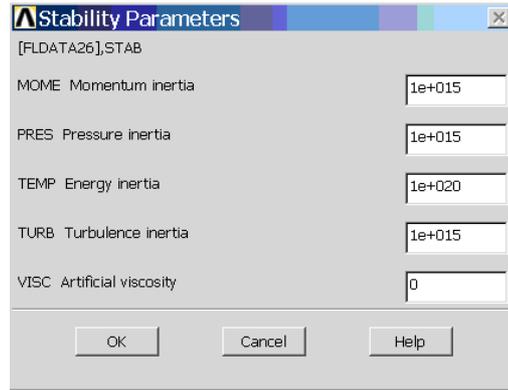
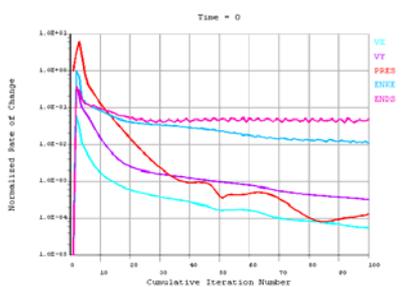


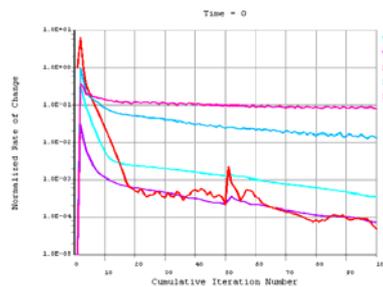
图4 惯性松弛系数的取值

当求解过程中发生舍入误差时，惯性松弛（FLDATA 26）就可能对结果产生影响，它以所加项分母的形式出现，值越小，所起的作用越大。人工粘性（VISC）用在梯度较大的区域以平抑速度解，它有助于可压缩问题的收敛，也有助于对有分布阻力的不可压缩问题的速度解进行平抑。模拟中动量（MOME）、压力（PRES）和涡流（TURB）的惯性松弛、温度惯性松弛及人工粘性（VISC）的取值参照图4所示。对于不可压缩问题，应使人工粘性的幅值与有效粘性的幅值处于相同的数量级。程序中默认的用于计算单元面积积分的阶次是单点积分，对于轴对称问题，该值设为2，这样可使含有异常形状单元的问题收敛到更精确的解。

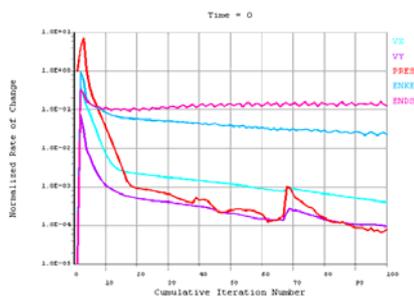
在FLOTTRAN求解过程中，程序在每一次总体迭代里对每一个自由度计算出一收敛监测量，包括：速度（VX、VY、VZ）、压力（PRES）、温度（TEMP）、湍流动能（ENKE）和动能耗散率（ENDS）。在批处理或交互式运行过程中，当求解进行时，程序的“图形求解跟踪（GST）”功能将实时显示出所计算的收敛监测量。图5为本模拟进行稳态求解时的GST图形。



侧面



底部



顶部

图 5 稳态 GST 图形

### 3.4.5 后处理

后处理是将计算所得的结果可视化。ANSYS 有两个后处理器：通用后处理器，它只能观看整个模型在某一时刻的结果；时间历程后处理器，可观看模型在不同时间的结果。本文采用通用后处理器进行求解。

图 6 为  $Re = 442320$  的管路内的流体流线图。可看出，水流流出喷嘴后，直接喷向车体。

我们可以更改其参数，如改变水泵的泵入流量或改变管路直径大小，即改变进口速度的值，得出不同水泵流量下的流线和喷淋管路中各个喷嘴出口流体流速的径向分布曲线图，进而比较各个喷嘴的流速是否均匀。

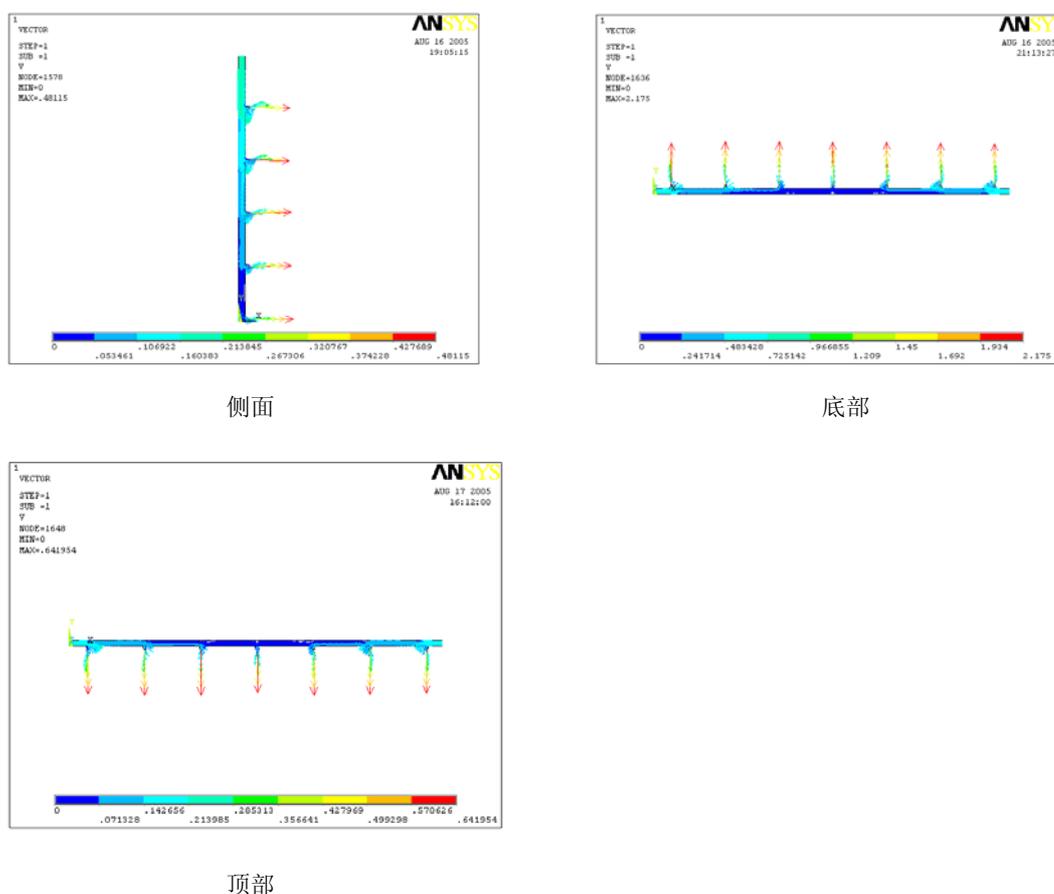


图 6 管路内的水流流线图

ANSYS 软件具有较强的后处理功能，通过数值计算，对计算结果进行后处理后可得到如图 7 所示的喷淋管路中各个喷嘴出口处流体流速的径向分布曲线图。图中横坐标为测点在喷嘴出口横截面上所处位置的相对半径，纵坐标为该点的轴向速度。

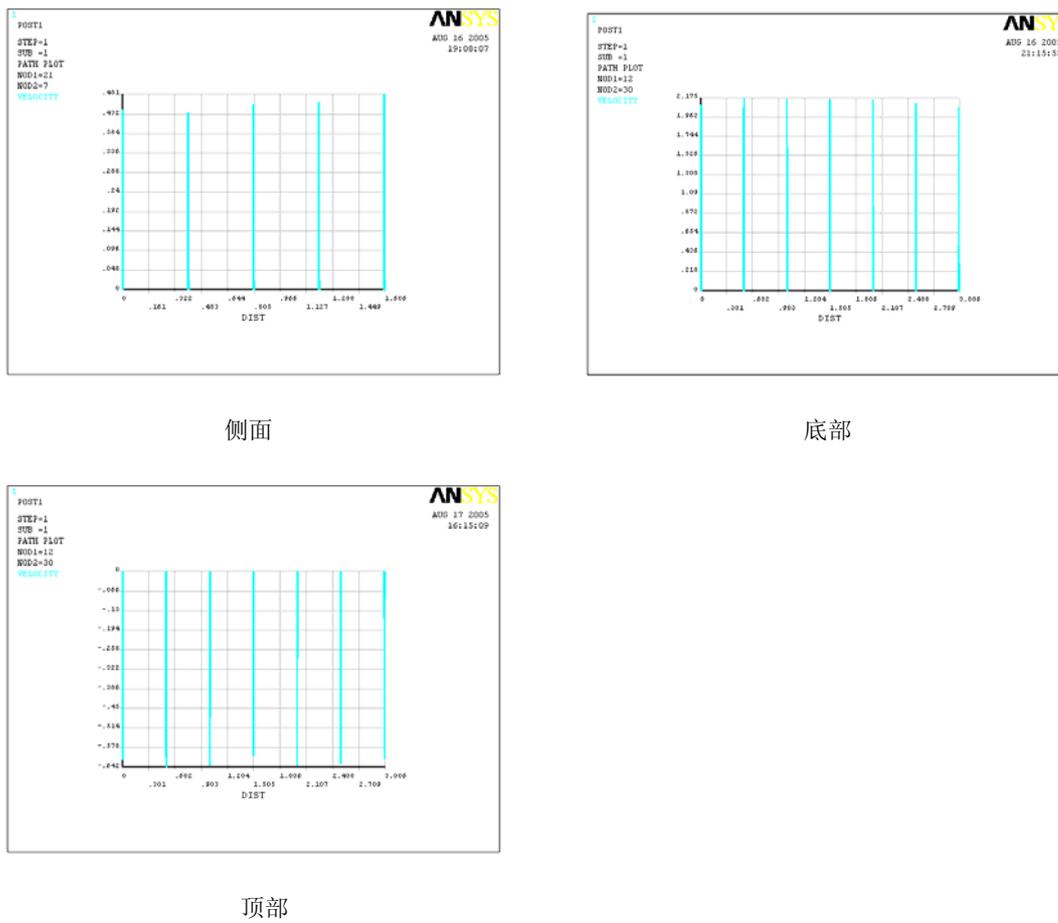


图 8 喷嘴出口处流体参数的径向分布曲线图

#### 4. 结论

从图中我们可以看到喷嘴出口处流体的速度几乎是接近相同的,这就说明了本设计的合理性与经济性。本仿真的界面友好,提示充分,操作方便、直观;可以展现淋雨室的工作状况,显著缩短了产品的设计周期,提高了设计效率;为后续过程提供了完备的信息源,具备一定的产品信息数据处理功能;为淋雨室设计的系列化、标准化和通用化奠定了基础。

#### 参考文献:

- 1 中国汽车工业总公司.汽车产品质量检验评定:机械工业出版社.1991.05
- 2 中国标准出版社总编室 编.中国国家标准汇编(155) GB/T 12446~12506:中国标准出版社出版.1994.1
- 3 马敏杰.轿车车身淋雨试验室的设计与计算.汽车工艺与材料,2001(5),26~27
- 4 张坚城.车身防雨密封性检测与喷淋装置.汽车技术,1998(8),38~45
- 5 夏越美.淋雨试验方法简介.航空标准化与质量,1999(3),45~47
- 6 魏国旗.汽车车身淋雨试验的作用与实践.重型汽车,2000(4),14~15
- 7 苏万良.汽车防雨密封性试验喷淋设备设计初探.广东公路交通,2000(4),63~65
- 8 乔爱科,刘有军. ANSYS 和 MATLAB 在血流动力学可视化中的应用.北京工业大学学报,2003(3),29(1):87~93
- 9 罗高作,王平. ANSYS 及结构分析应用.黄石高等专科学校学报,2002(9),18(3):26~28

## The simulation of the automobile rain test spray installs

Kong Qinghua, Bai Limin

Northeast forestry university traffic engineering institute, Harbin 150040

### Abstract

This article will make a simple explicate for the unify of parameter design of the most universal finite element analysis ( FEA ) software ANSYS and the artificial raining test facility —the device to check-out rainproof and leak-proof function of the automobile, as well as to make a simulation system which has the certain theory value and the practical value.

**Keywords:** Raining test parameter simulation