

U461.1
L16

435473

汽车系统动力学及仿真

雷雨成 编著

国防工业出版社

·北京·

4

前 言

目前汽车系统动力学有关领域的研究国内外十分成熟,随着计算机的普遍使用,汽车设计行业正从人工设计向计算机优化设计,向 CAD/CAM 等设计手段转化,使设计、生产一体化,提高了新产品质量,降低了设计周期。为满足这一要求必须将汽车系统动力学与计算机仿真、优化技术结合起来,使设计人员能在设计阶段对自己的设计产品的性能进行预测,对设计的结构参数能进行优化,这样不仅减少了试制样车造成大量的浪费,而且也提高了效率。总之汽车系统动力学及仿真研究是现代汽车设计不可缺少的部分,具有巨大的现实意义和理论意义。

目前国内各高校汽车专业研究生、本科生选修课无合适教材、汽车设计行业人员急需阅读系统动力学仿真著作。编写中为了适用和丰富该书的内容,本书不是只将作者自己的科研成果作为内容,而包括了国内外公认的郭孔辉轮胎模型;在汽车制动过程分析中采纳了鲁道夫的一部分方法;在软地面力学和相似理论部分采纳了著名的庄继德教授的一些思想和内容,并引入了国外空气动力学的一些研究成果,以及操纵动力学工程评价方法等。本书大部分内容采用了本书作者近八年来在动力学建模和仿真方面的一些成果,如 4 自由度操纵动力学,17 自由度操纵动力学实时仿真,制动系数模型的辨识方法,电动汽车动力性、经济性计算方法,汽车随机振动及 7 自由度振动建模与仿真研究,汽车系统动力学动画仿真系统(ASDSS95 软件)等内容。因此本书包含了几乎所有方面的汽车系统动力学内容,书中介绍的算法和内容大多有软件,软件用 BORLANDC++4.0 FOR WINDOWS 作为界面和输入输出接口软件,使软件(ASDSS95)具有像 WINDOWS 的可视性、易学性和高度透明性,只购买本书可以单独作为一本内容丰富实用的动力学及仿真的参考书,若再购买其软件 ASDSS95,则将使读者能节省 5~8 年的软件开发研究时间,并很易学懂该系统。

本书编写中,郭孔辉院士一直给予了指导和帮助,特表示衷心的感谢。王聪编写了第二章前部分内容,张伟编写了第三章,赵桂范对书稿进行了校对,李素敏编写了第八章前部分。雷雨成编写其余部分,并作为本书的主编。

对本书参考文献所列同行表示感谢。

本书作者课题组及学生王泽源、赵清亮等对该书做了一定的工作,一并表示感谢。

由于编著者水平有限,书中疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作 者

1996 年 1 月 1 日

内 容 简 介

对汽车进行优化设计和优化控制必须研究汽车系统的动力学关系,建立其数学模型,并采用计算机仿真软件实现汽车结构参数与动力学特性的优化配置。本书主要内容有:汽车空气动力学、汽车行驶方程式及全工况动力性仿真;电动汽车动力性、经济性、结构参数优化;汽车制动力学、汽车制动过程仿真、汽车制动系统动态模型辨识方法,汽车防抱理论;汽车操纵动力学、轮胎模型、4 自由度操纵动力学仿真,汽车 17 自由度操纵动力学仿真;侧偏柔度及工程评价方法;随机振动基础、汽车振动模型、汽车地面谱、7 自由度振动模型及仿真;汽车地面力学、汽车地面力学模型的相似理论建模方法等。最后介绍了包括汽车六大性能、结构优化设计和含有限元模态分析等的结构动力学软件的汽车系统动力学仿真软件系统(ASDSS95)。该书内容比较新,理论深度强,同时又十分注重实际应用,可选购软件。

本书适合于汽车专业研究生,本科生教材及专科生的选修教材,也可适用于从事汽车及零部件设计,生产及研究部门的专业技术人员参考。

目 录

第一章 汽车动力学	1
§ 1.1 汽车空气动力学	1
1.1.1 空气动力学试验及参数修正	1
1.1.2 与汽车形状近似的简单形体的尺寸与 C_D 值的关系	6
1.1.3 空气阻力与汽车基本尺寸的关系	8
1.1.4 汽车凸出物对空气阻力的影响	11
§ 1.2 空气阻力对汽车性能的影响.....	15
1.2.1 气动阻力和最大车速	17
1.2.2 气动阻力对燃油消耗量的影响	18
1.2.3 气动阻力对加速度的影响.....	18
§ 1.3 空气动力学应用实例.....	20
1.3.1 一种车型的形状最佳化	20
1.3.2 车身尺寸与状态对空气阻力的影响	20
1.3.3 车身形状的最佳化设计方法	20
1.3.4 对 Audi 100—Ⅱ型所采取减少阻力的措施	21
§ 1.4 汽车运动方程及行驶极限.....	22
1.4.1 双轴汽车的运动方程	22
1.4.2 轴荷的大小及升力	23
1.4.3 前轴驱动和后轴驱动时的附着率	28
1.4.4 全轮驱动	34
1.4.5 三轴汽车	37
§ 1.5 电动汽车动力性计算方法.....	38
1.5.1 非永磁电机的电动汽车模型	39
1.5.2 装有永磁无刷直流电机的电动汽车模型	45
1.5.3 电动汽车运动方程式及动力性仿真	47
第二章 汽车运动的能量平衡	49
§ 2.1 汽车和电动汽车耗能评价指标及影响因素.....	49
2.1.1 汽车燃料消耗的评价指标	49
2.1.2 电动汽车经济性指标	51
2.1.3 影响汽车燃料消耗的因素.....	51
§ 2.2 汽车经济性分析计算基本方程.....	58
2.2.1 变参数,各工况燃料消耗的计算	58

2.2.2	根据发动机的速度特性及负荷特性计算燃料消耗	60
2.2.3	根据汽车道路试验绘制汽车经济特性图	62
2.2.4	根据发动机万有特性绘制汽车的经济特性图	62
2.2.5	汽车的行驶特性图及其绘制	63
§ 2.3	装有液力传动汽车的燃料经济性计算	65
§ 2.4	电动汽车耗电经济性的计算	66
2.4.1	数学模型	66
2.4.2	城市四工况电动汽车耗电量计算方法	68
第三章	汽车动力参数的最优匹配	71
§ 3.1	汽车性能与传动比的关系	71
3.1.1	汽车发动机功率的选择	71
3.1.2	最小传动比的选择	71
3.1.3	最大传动比的选择	72
3.1.4	传动系挡数与各挡传动比的选择	73
§ 3.2	燃油经济性—加速时间曲线	74
3.2.1	加速时间的计算	75
3.2.2	汽车耗油曲线的计算	81
§ 3.3	利用燃油经济性—加速时间曲线确定动力装置参数	82
3.3.1	主减速器传动比的确定	82
3.3.2	变速器与主减速器传动比的确定	82
3.3.3	发动机排量、变速器传动比的确定	83
第四章	汽车的制动动力学	85
§ 4.1	汽车制动的力学模型	85
4.1.1	双轴汽车	85
4.1.2	双轴式载货汽车的制动	97
§ 4.2	汽车制动系统动态数学模型的辨识方法	106
4.2.1	汽车制动系统辨识的试验方法研究	106
4.2.2	M 伪随机信号作为最优输入信号	108
4.2.3	理想的辨识汽车制动系统模型的方法研究	112
§ 4.3	辨识汽车制动系统动态数学模型的一种新的快速高精度方法——相关广义最小二乘法(COR-GLS)	114
4.3.1	相关广义最小二乘法的理论模型	114
4.3.2	时滞 d 的确定	115
4.3.3	相关广义最小二乘法的辨识算法	115
§ 4.4	汽车制动系统数学模型的辨识及仿真	122
4.4.1	利用相关广义最小二乘法辨识制动分配阀的数学模型	122
4.4.2	差分模型与传递函数的转换	125

§ 4.5 防抱死制动系统理论	127
4.5.1 防抱死制动系统分析的理论基础	127
4.5.2 液压真空助力式液压防抱死系统	132
第五章 汽车操纵动力学	135
§ 5.1 轮胎模型	135
5.1.1 轮胎的坐标系与术语	135
5.1.2 轮胎侧偏特性的简化理论模型	136
5.1.3 轮胎侧偏特性的半经验模型	150
5.1.4 纵向力对侧偏角影响的粗略概念——“摩擦圆”概念	160
§ 5.2 6 自由度汽车操纵动力学模型	161
5.2.1 车辆坐标系	161
5.2.2 车上任意点加速度的确定	161
5.2.3 汽车运动微分方程	163
§ 5.3 汽车操纵稳定性的评价及工程分析方法	165
5.3.1 汽车的侧偏柔度	165
5.3.2 工程分析方法的数学模型	170
5.3.3 评价指标的工程计算方法	173
§ 5.4 4 自由度模型仿真	179
5.4.1 线性 4 自由度力输入运动的数学模型的符号说明	179
5.4.2 运动模型与坐标联法	181
5.4.3 运动微分方程	182
5.4.4 轮胎特性的线性化	184
5.4.5 关于转向系的当量线性阻尼	185
5.4.6 “红旗”CA770 汽车力阶跃输入反应的仿真与弯道撒手试验的比较	186
5.4.7 奥迪 100 型汽车的仿真分析	188
5.4.8 程序说明	188
§ 5.5 17 自由度汽车建模与实时仿真研究	190
5.5.1 概述	190
5.5.2 数学模型	190
5.5.3 计算机仿真	211
第六章 汽车振动动力学	218
§ 6.1 汽车随机振动基础	218
6.1.1 随机过程	218
6.1.2 相关分析	221
6.1.3 傅里叶分析	223
6.1.4 功率谱密度——路面谱	235
§ 6.2 7 自由度汽车振动系统建模	242

6.2.1	主要参数	242
6.2.2	微分方程	243
§ 6.3	悬架动挠度及车轮与路面间的相对动载荷	247
6.3.1	动挠度	247
6.3.2	动载荷	248
§ 6.4	响应均方根值的计算	248
6.4.1	系统频率响应函数的计算	248
6.4.2	响应的功率谱密度	253
6.4.3	四轮汽车的路面输入	254
6.4.4	响应均方根值计算	255
§ 6.5	响应的二阶导数的均方根值计算	259
6.5.1	输出二阶导数对输入的频率响应函数的计算	259
6.5.2	输出二阶导数功率谱密度及均方根计算	259
§ 6.6	悬架动挠度均方根值计算	259
§ 6.7	车轮与路面相对动载荷 F_d/G 的计算	261
§ 6.8	某汽车的仿真结果	263
6.8.1	7 自由度模型参数的确定	263
6.8.2	定刚度垂直方向振动加速度均方根值与阻尼的关系	263
6.8.3	定阻尼的垂直方向振动加速度均方根值与刚度的关系	265
6.8.4	定阻尼车身动挠度与刚度的关系	268
第七章 汽车的地面力学		270
§ 7.1	汽车的越障能力	270
7.1.1	通过性能的几何参数	270
7.1.2	通过性能的失效条件(障碍条件)	271
7.1.3	汽车越过台阶、壕沟的能力(以 4×2 后驱动为例)	272
7.1.4	汽车的倾覆失效和坡道及圆周行驶能力	274
§ 7.2	汽车软地面力学	277
7.2.1	土壤的受力变形	277
7.2.2	车辆在松软地面上的土壤阻力	277
7.2.3	汽车在松软路面上运动的驱动力或土壤推力	281
7.2.4	地面通过性能的评价指标	282
§ 7.3	汽车地面力学的因次分析及模型理论	283
7.3.1	因次分析原理	283
7.3.2	模型理论基础	286
第八章 汽车系统动力学仿真系统(ASDSS95)		290
§ 8.1	仿真系统组成及界面操作	290
8.1.1	仿真系统对硬件和软件的要求	290

8.1.2	仿真系统的安装	290
8.1.3	仿真系统的启动	291
8.1.4	仿真系统包含的内容及功用	291
8.1.5	仿真系统界面及操作	293
§ 8.2	动画仿真	303
8.2.1	动画仿真算法	303
8.2.2	动画仿真软件	306
8.2.3	动画仿真系统实例	307
§ 8.3	几种典型汽车系统动力学仿真实例	307
8.3.1	动力性仿真实例	307
8.3.2	汽车制动系统建模、评价及仿真结果	310
8.3.3	17 自由度操纵动力学仿真实例	312
参考文献		315

第一章 汽车动力学

汽车动力学是研究汽车的驱动力、行驶阻力、影响因素,以及汽车在行驶方向上的速度、加速度等特性的一门科学。

§ 1.1 汽车空气动力学^[24,23]

1.1.1 空气动力学试验及参数修正

空气动力学试验是空气动力学研究的基础。通过空气动力学模型或整车试验,可以建立空气动力学参数,合理地设计汽车外形。图 1.1 给出的是丰田公司的风洞布置图。图 1.2 为整车的六个分力。在做风洞试验时通过测量六个分力或力矩来计算空阻系数等空气动力学参数。其中包括阻力系数 C_D ,侧力系数 C_Y ,升力系数 C_L ,翻滚侧倾力矩系数 C_{XM} ,俯仰力矩系数 C_{YM} ,偏航力矩系数 C_{ZM} 。

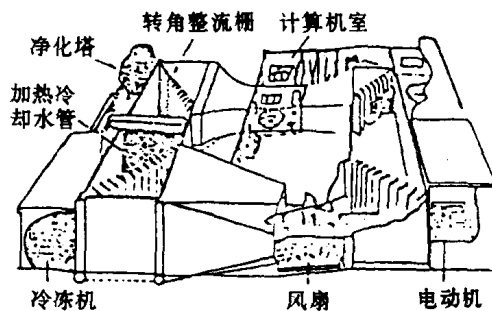


图 1.1 风洞布置图

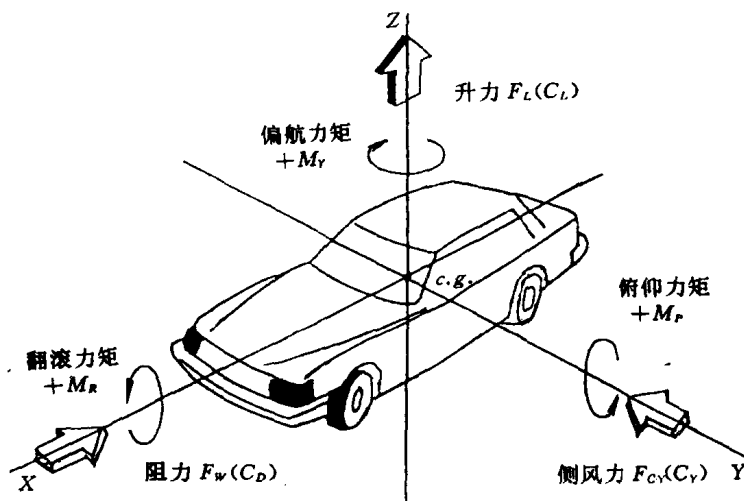


图 1.2 作用在汽车上的六分力

1. 空气阻力及阻力系数

在行驶方向的阻力用 F_w 表示

$$C_D = \frac{F_w}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (1.1)$$

式中 F_w ——阻力(N);

ρ ——空气密度,一般 $\rho = 1.2258 \text{N} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-4}$;

V ——气流速度(m/s);

A ——迎面投影面积(m^2)。

不同汽车的 C_D 值不同, C_D 的一般范围为:高级跑车 $C_D \leq 0.1$;一般跑车 $C_D = 0.1 \sim 0.2$;高级轿车 $C_D = 0.2 \sim 0.3$;一般轿车 $C_D = 0.3 \sim 0.45$;箱式小客车 $C_D = 0.45 \sim 0.6$;大客车 $C_D = 0.7 \sim 0.8$;小货车 $C_D = 0.8 \sim 0.9$;大货车 $C_D = 0.8 \sim 1.0$ 。

迎风面积一般可按 50m~100m 远处照相机照片按比例换算求得。

2. 升力及升力系数

升力是由于汽车纵断面形状如同机翼而产生的。它由前轮升力和后轮升力两部分组成

$$F_L = F_{LR} + F_{LF} \quad (1.2)$$

$$C_{LF} = \frac{F_{LF}}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (1.3)$$

$$C_{LR} = \frac{F_{LR}}{\frac{1}{2}\rho V^2 A} \quad (1.4)$$

式中 F_L ——总升力;

F_{LF} ——前轮升力;

F_{LR} ——后轮升力;

C_{LF} ——前升力系数;

C_{LR} ——后升力系数。

$$C_L = C_{LF} + C_{LR} \quad (1.5)$$

$$F_L = \frac{1}{2}\rho AV^2 \cdot C_L$$

式中 C_L ——升力系数。

3. 侧力系数

当风从汽车侧前方吹来时偏航角 $\beta \neq 0$, 在风洞中可将汽车转动一个角度使 $\beta \neq 0$, 然后测定六分力中的侧向作用力 F_{cy} , 侧向力系数 C_y 。

$$C_y = \frac{F_{cy}}{\frac{1}{2}\rho A_y V^2} \quad (1.6)$$

式中 C_Y ——侧向力系数；

F_{CY} ——侧向力；

A_Y ——侧面迎风面积。

4. 纵倾气动力矩 M_Y 及系数 C_{YM}

该力矩是由气动升力和气动阻力的联合影响引起的。

$$M_Y = F_L X_C - F_W Z_C = qA(C_L X_C - C_D Z_C) = qAC_{YM} \cdot L \quad (1.7)$$

$$C_{YM} = \frac{C_L X_C - C_D Z_C}{L}$$

式中 到重心的距离 $q = \frac{1}{2} \rho V^2$ ；

L ——轴距；

C_{YM} ——纵倾力矩系数；

M_Y ——纵倾气动力矩。

5. 偏航气动力矩(横摆) M_Z 及系数 C_{ZM}

$$M_Z = F_{CY} \cdot X_C - F_W \cdot Y_C = LqAC_{ZM} = qA_Y C_Y X_C - qAC_D Y_C \quad (1.8)$$

$$C_{ZM} = \frac{A_Y}{AL} C_Y X_C - \frac{C_D Y_C}{L}$$

式中 C_{ZM} ——横摆力矩系数；

X_C ——侧向力作用点在 X 轴方向到质心距离；

Y_C ——纵向力作用点在 Y 轴方向到质心距离。

6. 侧倾(翻滚)力矩及系数

$$M_X = F_{CY} Z_C = LqAC_{XM} = qA_Y Z_C C_Y \quad (1.9)$$

$$C_{XM} = \frac{A_Y}{AL} Z_C \cdot C_Y$$

式中 C_{XM} ——侧倾(翻滚)力矩系数；

Z_C ——侧向力作用点在 Z 轴方向到质心距离。

7. 无因次系数

空气动力以牛顿计,其系数数值与计算单位无关。在空气动力学方面经常使用无因次系数。例如,空气动力的分力与力矩,包括阻力与升力系数、压力系数、雷诺数,均是在空气动力学中经常使用的无因次数值。一般说来,物理量的无因次系数,是从运动方程或因次分析中产生的。之所以需要这种系数,是因为在评定阻力差别时,需要有一个评价标准,借以比较两个不同形状的空气动力特性,在多种汽车设计之间,寻找一个最佳造型方案。

上述雷诺数,是对全尺寸汽车和 1/5 或其他比例模型进行比较时采用一种无因次系数,可以把它看成空气速度大小的尺度。雷诺数用“ Re ”来表示。其表达式为

$$Re = \frac{\mu \cdot V \cdot l}{\rho} \quad (1.10)$$

式中 μ ——空气粘性系数；

l ——整个模型长。

按式(1.10),如果将空气速度、空气密度及静力粘度调整到使某一车身体形的 1/5 比例模型和全尺寸模型有相同的雷诺数时,则汽车周围的气流和空气动力系数也是相同的,即

形状相同 → 相同的气流形态
 雷诺数相同 → 相同的空气阻力系数

上述压力系数的概念如下:当以 P 表示在气流中汽车表面的压力, P_{∞} 表示在离模型很远的上游处用空速管测出的基准静压, $1/2\rho V^2$ 表示在试验段的均匀气流或以相同速度在道路上行驶的汽车的基准动压时,则压力系数为

$$C_p = (P - P_{\infty}) / (1/2\rho V^2) \quad (1.11)$$

压力系数的数值是很重要的,在选定发动机冷却、车顶通风与车身形状最佳方案时,均需使用这一系数。

8. 风洞试验边界效应及其修正

(1) 边界效应的概念

边界效应也称阻塞效应,是指当风洞试验段墙壁与天花板对气流产生阻挡,从而使作用于试验车的空气动力发生变化的现象。墙壁与汽车两侧的间隙越小,阻塞越严重。通过这些地方的气流速度 V_2 大于无阻塞部位的气流速度 V_1 。因此,在相同的基准风速下,发生阻塞时的空气力较大。另一方面,由于阻塞使气流迟滞,因此基准风速 $V_{\infty 2}$ 比 $V_{\infty 1}$ 低。所以存在阻塞现象时的空气动力系数比无阻塞时大。一般 $C_D(\text{道路}) = C_D(\text{风洞}) - 0.006$ 。

迄今为止,已发表的空气力(系数)都是按在道路上无阻塞现象时测定的,所以对有阻塞情况下测定的结果应加以修正,以消除阻塞的影响。图 1.3 示出了阻塞效应的具体意义。

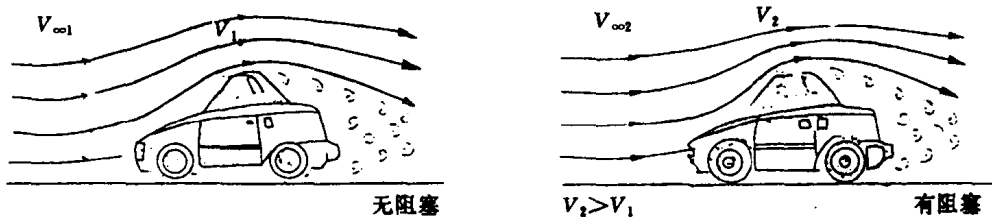


图 1.3 阻塞效应示意图

(2) 阻塞的修正

阻塞对空气力的影响,可以用公式进行修正,但是现在还没有一个可以彻底修正阻塞效应的理想公式,也没有一个能适于各种不同风洞的公式。目前最常用的修正方法有面积比例法、Maskell 公式法、Bettes/Kelly 公式法及压力标定法 (Pressure Signature Method)。

① 面积比例修正法

用此法可以修正试验物体中心以上气流的基准动压。通常在无阻塞时,在试验物体前几米上游处的基准动压为 $\frac{1}{2}\rho V_{\infty}^2$, 此与围绕试验物体周边气流的动压 $\frac{1}{2}\rho V^2$ 相等。但在

有阻塞现象时,其基准动压则小于 $\frac{1}{2}\rho V^2$ 。为了修正阻塞的影响,可以假设基准动压为 $\frac{1}{2}\rho V^2$ 。但因试验物体与墙壁间的风速 V 随位置不同而异,故很难进行精确的测定。为此, V 应根据以下几个连续公式来估算:

$$V = \frac{V_\infty}{1 - \frac{A}{C}} \quad (1.12)$$

于是有

$$\frac{1}{2}\rho V^2 = \frac{1}{2}\rho V_\infty^2 \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{A}{C}\right)^2} = n \cdot \frac{1}{2}\rho V_\infty^2 \quad (1.13)$$

为了修正阻塞,用这个公式计算的阻力系数 C_D 应被 n 除。修正阻塞的阻力系数可用下式计算:

$$C_{DC} = \frac{F_w}{\frac{1}{2}\rho V_\infty^2} \quad (1.14)$$

式中 F_w 为由天平测得的阻力; V_∞ 为在离试验物体数米远地方的基准气流速度。经修正阻塞后的阻力系数 C_{DC} 为

$$C_{DC} = \frac{F_w}{\frac{1}{2}\rho V_\infty^2 \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{A}{C}\right)^2}} = \frac{C_D}{n} \quad (1.15)$$

式中 C 为风洞断面积。

②Maskell 法修正公式

如果风洞有墙壁,则在试验物体下游所形成的尾流也会受到影响,因此需消除由此而引起的误差。下式中 B 为试验模型后的涡流面积。进行这种修正所用的 Maskell 公式的推导如下:

$$n = \frac{1}{1 - \frac{B}{C}} = \frac{1}{1 - m \frac{A}{C}}, \text{ 而因 } m = \frac{B}{A}$$

所以
$$C_{DC} = \frac{C_D}{n} \quad (1.16)$$

式中 B ——试验模型后的涡流面积,一般 $B > A$;

C ——风洞断面面积。

③压力标定法

首先,测出所试验物体上面的墙壁中心线的压力分布是平行气流方向的,然后,测出产生这种压力分布的试验段中心线上气流的“进入/排出”(Source/sink)比。以这些数据为基础,计算出在所试验物体位置的风速差 $\epsilon_m (= \Delta V/V_\infty)$,并用下式修正阻塞所致误

差：

$$C_D = \frac{C_D - \Delta C_D}{(1 + \epsilon_m)^2} \quad (1.17)$$

式中 ΔC_D 是水平方向浮力所产生的阻力修正部分。

④ Bettes/Kelly 修正公式

当试验段的墙壁和天花板分别靠近试验物体时,空气动力系数的变化可用下面的经验公式求出。以阻力系数 C_D 为例:

$$C_{DC} = C_D - \left(\frac{dC_D}{dB_r} \right) \cdot B_r - \left(\frac{dC_D}{dH_r} \right) \cdot H_r \quad (1.18)$$

式中 $B_r = \frac{B_1}{B_0}$, $H_r = \frac{H_1}{H_0}$;

B_1 —— 试验物体宽;

B_0 —— 侧墙内全宽;

H_1 —— 试验物体的总高;

H_0 —— 风洞内总高度。

1.1.2 与汽车形状近似的简单形体的尺寸与 C_D 值的关系

一个矩形断面的柱体与汽车相似,如它具有无限大的宽度,则将其称为“二度空间矩形柱”;如它具有有限宽度时,则称为“三度空间矩形柱”。

二度空间矩形柱的阻力系数,在很大程度上取决于其基本尺寸 [d (长)/ h (高)],这是由日本学者中口氏等发现的,图 1.4 是他们给出的二度空间柱体的阻力系数随其基本尺寸 d/h 值的变化关系。由此可见阻力系数在 1.0~2.8 间变化。

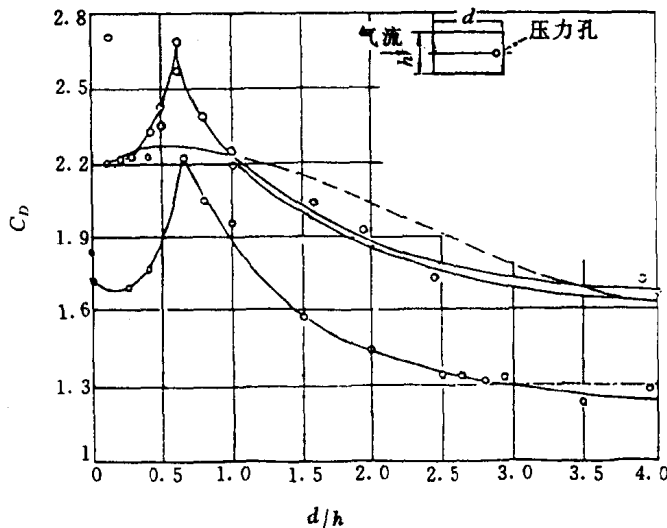


图 1.4 矩形柱的阻力系数与 d/h 的关系

中口氏对三度空间柱体的研究结果认为,与二度空间柱体相比,三度空间柱体更接近形于汽车状。图 1.5 示出了一个三度空间的柱体的空气阻力系数与 L/W 值的变化关系。从图可知,该系数在 0.83~1.25 间变化。

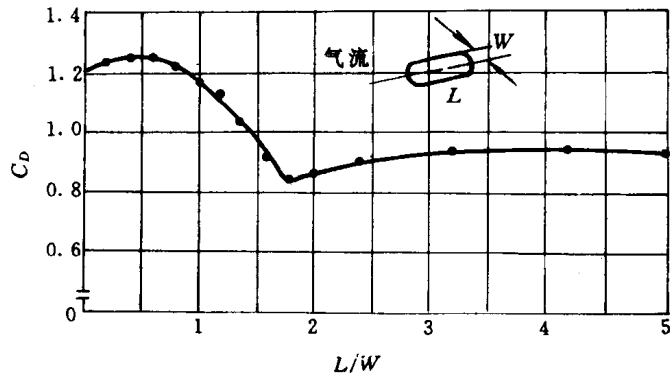


图 1.5 长方体的空气阻力系数与 L/W 的关系

S. F. Hoerner 公布了对一个其形状接近汽车的物体的空气阻力系数的研究结果,见 S. H. Hoerner 著《流体动阻力》,并证明一个物体随着其 l/d 的变化,其空气阻力系数在 0.2~0.75 之间变化,如图 1.6 所示。由此可见,即使是一个非流线型形体,寻找其最佳的基本尺寸比例,也是减少阻力的有效办法。

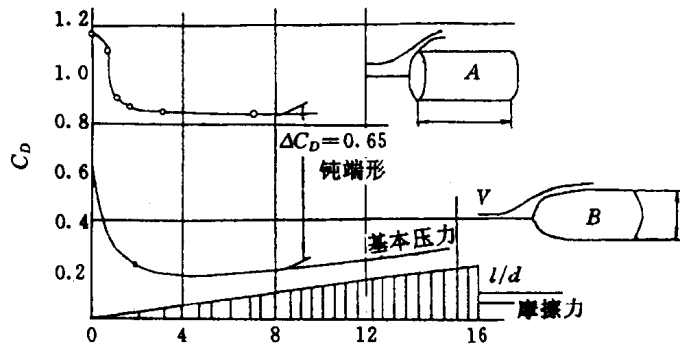


图 1.6 圆柱体的空气阻力系数与 l/d 的关系

汽车可以近似于理想形状的物体。德国大众汽车公司的研究结果表明,一个阻力系数低(0.06)的汽车,犹如一条海豚。如图 1.7 所示,车身阻力系数随其离地间隙除以车身长 l , 即 e/l 为无因次值、后端形状以及是否有车轮而变化。具体可归纳为有下列几种情况:

- ①当后端被削平(尾部局部被切掉), C_D 值约增加 0.06;
- ②当加上车轮时, C_D 值约增加 0.05;
- ③当增大车身与地面的距离,从而减少地面效应时, C_D 值约减小 0.03。

图 1.8 示出了流线体的类型、离地间隙与 C_D 的关系。图 1.9 为 1923 年的理想流线形汽车(Stromlinien Rennwagen LeyT6)。

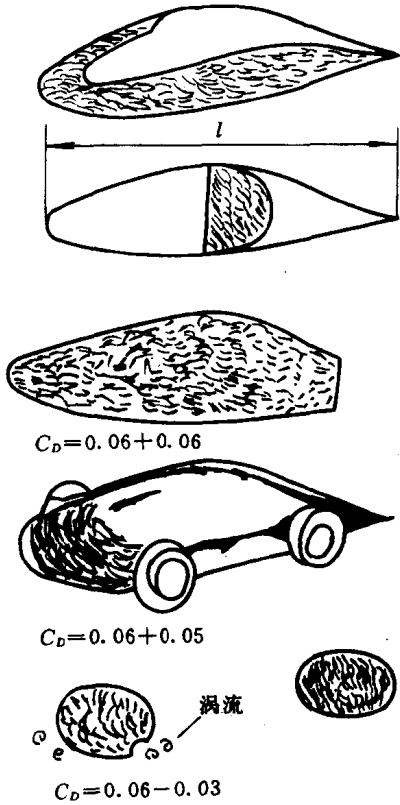


图 1.7 理想形体变化与空气阻力系数的关系

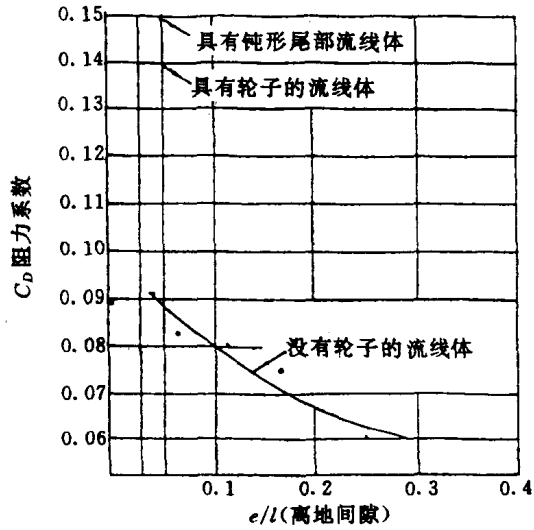


图 1.8 流线体与空气阻力系数的关系

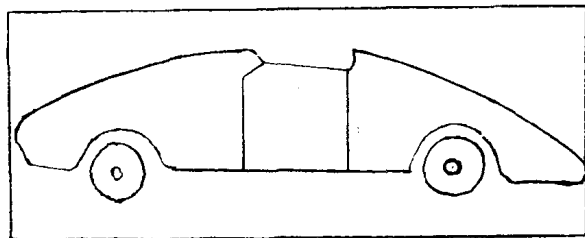


图 1.9 1923 年理想流线型试验车

1.1.3 空气阻力与汽车基本尺寸的关系

为了开发 C_D 值小于 0.3 的汽车,单纯依靠车身外表形状的最佳化是不够的。还必须由长、宽、高这些基本尺寸及它们间的最佳化比例,来考察 C_D 与这些基本尺寸的关系。

图 1.10 是世界上已发表的和日本一些已生产的低阻力汽车 ($C_D < 0.31$) 基本尺寸的比例关系。

很难把低阻力汽车与产品汽车的基本尺寸进行比较,以取得减小阻力的最佳尺寸。我们所能进行的工作,只能是考查每一辆低阻力汽车的基本尺寸与阻力之间的关系。

1. 车长与阻力的关系

车愈长,阻力愈小。欲开发一种低阻力的汽车,其车长应从图 1.11 的直线 L 的右侧取值。例如,要设计一种阻力系数为 0.2 的汽车,其长度必须大于 4300mm。当然,除此之外,还必须采取减少阻力的现代措施。例如,FX-1 型汽车,车长必须增加 400mm,并采用 Uni-Car 和 Probe III 型汽车所采用的降阻措施后,才能使阻力系数降到 0.2。

图 1.11 的下面是 1983 年日本汽车长度的分布范围。这些数据表明了这些汽车满足了阻力系数为 0.15 时对汽车长度的要求。

2. 车宽与阻力的关系

车愈宽,阻力愈小。要开发一种低阻力汽车,其宽度必须达到图 1.10 中 W 线右侧范围内的数值。例如,欲设计一种阻力系数为 0.2 的低阻力汽车,其宽度至少应为 1750mm。

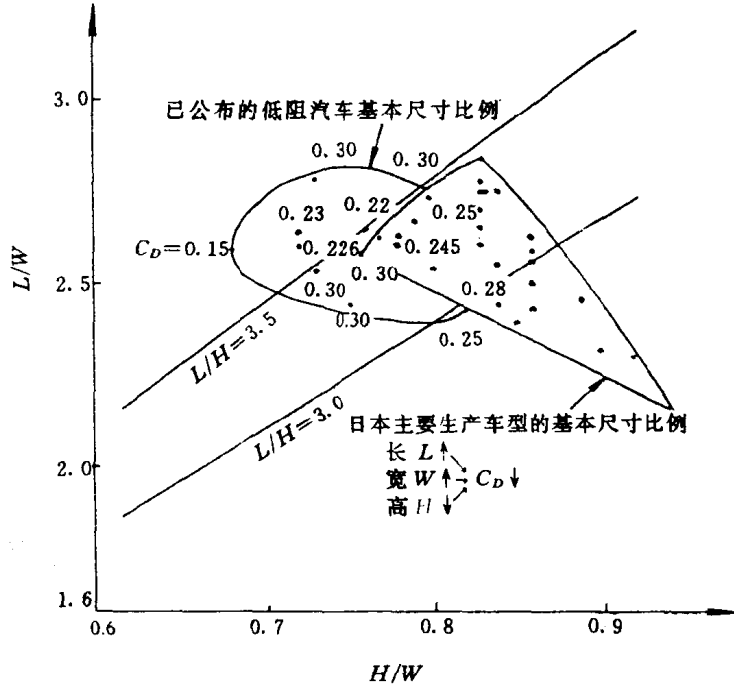


图 1.10 H/W 和 L/W 与空气阻力的关系

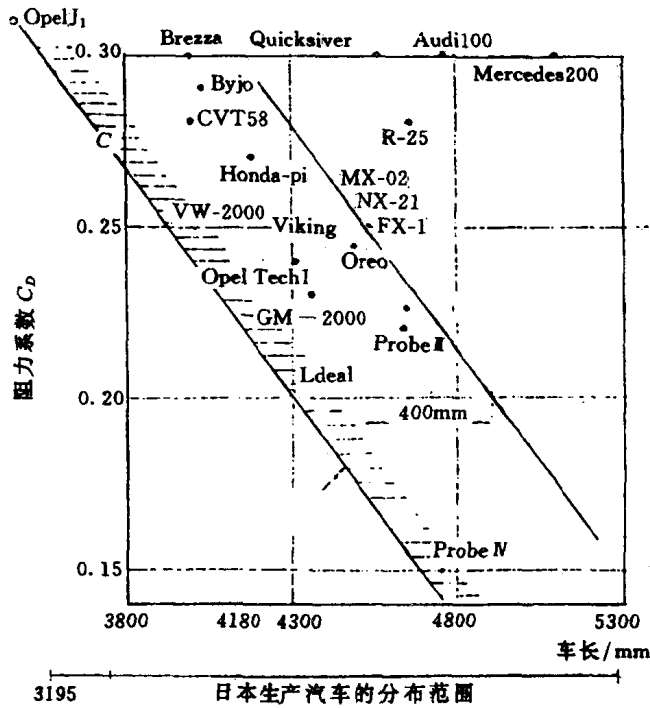


图 1.11 车长与阻力系数的关系

当然,除此之外,也要配合采用各种现代化减小阻力的措施。如 NX-21 型汽车,只有在车宽增加 80mm 以上,并采用 Uni-Car 与 Probe II 型汽车所采用的减小阻力的措施,方能使阻力系数降到 0.2。

在图 1.12 的下面列出了 1983 年日本产汽车宽度的分布范围。这些数据表明,通过对