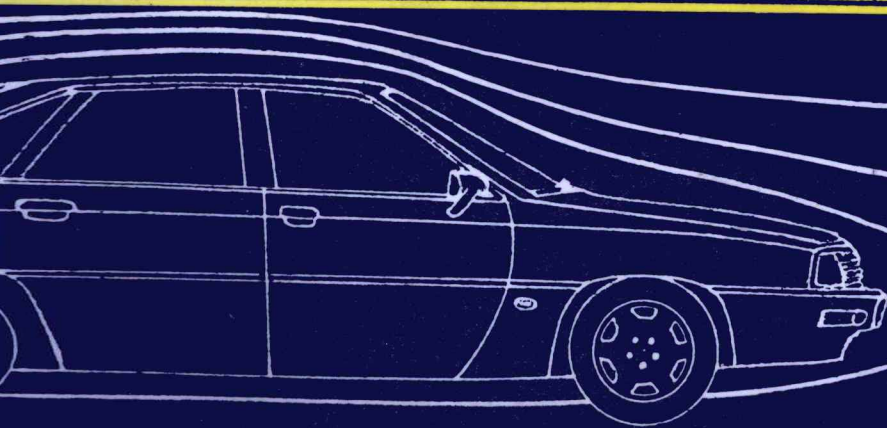


# 汽车空气动力学

〔日〕武藤真理 著 程正 译 何赐文 校



吉林科学技术出版社

# 汽车空气动力学

〔日〕武藤真理著 程正译 何赐文校

吉林科学技术出版社

## 内 容 提 要

本书借助大量的插图，对空气动力学的理论和在汽车上的应用加以形象的概括和描述，介绍了当今世界所有知名的汽车风洞、风洞试验及其结果的评价，阐述了空气动力学的基本知识及其在汽车设计中的应用。内容深入浅出，资料丰富可贵，可供从事汽车车身设计的技术人员及高等学校有关专业的师生参考。

### 汽 车 空 气 动 力 学

[日] 武藤真理 著 程 正 译 何赐文 校

吉林科学技术出版社出版发行  
长春汽车研究所附属印刷厂印刷

开本787×1092毫米1/16 印张13.25 字数310000  
1989年10月第一版 1989年10月第一次印刷  
印数0001—2000册

ISBN 7-5384-0427-9/U·16 定价：7.20元

## 前 言

在汽车设计现代化进程中，车身设计在整车设计工作中所占的地位和工作量比重相对提高。近年来车身造型和结构设计的结合使车身设计工作有很大发展，而空气动力学在车身造型和结构设计中的应用是一项重要的内容。如果现在开发一种新车型，而不去研究空气动力性是不可能的了。目前我国年轻的汽车设计专业队伍对空气动力学的知识仍较粗浅，在实际工作中对这一方面所进行的工作和重视的程度也极不够。但是，客观上空气动力学所研究的空气阻力、升力、表面压力分布及气流型的控制，都直接影响着汽车的性能和质量。

日本自动车研究所武藤真理先生所著此书，将空气动力学这一门十分抽象的科学理论，系统而深入浅出地介绍给广大读者，并且具有相当丰富的趣味性，这是极为难能可贵的。

译者希望我国的读者，不论是专业的设计人员或是汽车爱好者，都可以从此书中得到启发，使我们的汽车车身设计工作水平有所提高，使我国的汽车产品早日进入世界先进行列。

译者

1988年12月

# 目 录

第一篇 汽车风洞	( 1 )
1.1 菲亚特汽车公司的多用风洞	( 1 )
1.2 平宁法里那公司的全尺寸风洞	( 1 )
1.3 戴姆勒- 本茨汽车公司的全尺寸风洞	( 3 )
1.4 欧洲福特汽车公司的多用风洞	( 3 )
1.5 巴依尔汽车公司的多用风洞	( 5 )
1.6 大众汽车公司的多用风洞	( 5 )
1.7 斯图加特大学的风洞	( 5 )
1.8 英国汽车工业研究协会 (MIRA) 的全尺寸风洞	( 6 )
1.9 圣·希尔航空技术研究所的多用风洞	( 7 )
1.10 沃尔沃汽车公司的多用风洞	( 7 )
1.11 美国通用汽车公司的全尺寸风洞	( 7 )
1.12 克莱斯勒汽车公司的热力风洞	( 8 )
1.13 马兹达汽车公司的全尺寸风洞	( 9 )
1.14 三菱汽车公司的全尺寸风洞	( 10 )
1.15 日产汽车公司的全尺寸风洞	( 10 )
1.16 丰田汽车公司的多用风洞	( 11 )
1.17 日本汽车部件综合研究所的多用风洞	( 12 )
1.18 日本汽车研究所 (JARI) 的全尺寸与缩比模型风洞	( 12 )
第二篇 空气动力学基础	( 15 )
2.1 空气力与力矩	( 15 )
2.2 关于涡流的一些知识	( 17 )
2.3 空气阻力	( 20 )
2.4 升力	( 24 )
2.5 侧力	( 26 )
2.6 风洞基础知识	( 27 )
2.7 无因次系数	( 28 )
2.8 和汽车形状近似的简单形体的尺寸与 $C_D$ 值的关系	( 29 )
2.9 空气阻力与汽车基本尺寸的关系	( 32 )
2.10 风洞及风洞试验	( 34 )
2.10.1 汽车风洞的分类和名称	( 34 )
2.10.2 世界上的主要风洞	( 37 )
2.10.3 空气力的测量方法	( 41 )
2.10.4 风洞试验项目	( 45 )

2.10.5	风洞比较试验	(49)
<b>第三篇 空气动力学的应用</b>		(57)
3.1	轿车的空气动力学	(57)
3.1.1	车前部形状的最佳化	(57)
3.1.2	车头形状与 $C_D$ 值的关系	(59)
3.1.3	车窗区域倾斜与空气动力性的关系	(61)
3.1.4	侧面形状与空气动力性	(67)
3.1.5	顶盖的形状与空气动力性	(69)
3.1.6	后扰流板	(69)
3.1.7	车身底面的空气动力性	(71)
3.1.8	SABARU XT型车的空气动力性	(78)
3.2	理想车的空气动力学	(79)
3.2.1	由分析研究确定初步设计的方向	(83)
3.2.2	Probe IV型汽车的风洞试验	(87)
3.2.3	Probe IV型汽车的风洞试验结果(最终设计依据)	(87)
3.2.4	三菱公司开发的试验车型的空气动力性	(93)
3.2.5	其它理想车为降低 $C_D$ 值所采取的措施	(99)
3.2.6	对欧洲最新设计车型的空气动力性评价	(103)
3.3	载货汽车与大客车的空气动力学	(106)
3.3.1	载货汽车的空气动力学	(106)
3.3.2	大客车的空气动力学	(120)
3.3.3	旅居车的空气动力学	(127)
3.4	赛车的空气动力学	(128)
3.4.1	赛车的形态	(128)
3.4.2	F1型赛车结构的演变	(130)
3.4.3	飞机的翼	(130)
3.4.4	翼是怎样起作用的	(132)
3.4.5	规范赛车车轮的空气动力学	(136)
3.4.6	F1型车空气动力性的详细情况	(137)
3.4.7	C组赛车的空气动力学	(140)
3.4.8	向下压力	(141)
3.4.9	车身底部形状的最佳化	(143)
3.5	摩托车的空气动力学	(145)
3.5.1	空气动力学和摩托车性能的关系	(145)
3.5.2	整流罩形状与气流	(147)
3.5.3	摩托车的具体设计和空气动力性	(148)
<b>第四篇 数据分析与应用</b>		(158)
4.1	压力分布与 $C_D$ 值	(158)

4.2	车身设计最佳化的实例.....	(161)
4.3	对气流的观察——气流显形法.....	(164)
4.4	气流显形结果的分析.....	(166)
4.5	车身后部尾流的特性.....	(173)
4.6	发动机舱区域的空气动力性.....	(175)
4.6.1	散热器与空气.....	(175)
4.6.2	简单冷却系统模型的空气动力性.....	(176)
4.6.3	真车发动机舱内部的空气动力性.....	(179)
4.7	空气动力噪声的研究与对策.....	(182)
4.8	空气动力学与改善视野.....	(184)
4.8.1	刮水器的空气动力学.....	(184)
4.8.2	下雨时重型载货汽车的间接视野.....	(187)
4.9	汽车的侧风空气动力性.....	(189)
4.10	车轮的空气动力学.....	(192)
附录 I	日本生产汽车的 $C_D$ 值与车身尺寸.....	(199)
附录 II	日本汽车扰流板设计标准(1983年10月1日制订).....	(201)
附录 III	日本一般汽车导风板装置的标准.....	(202)

# 第一篇 汽车风洞

众所周知，在深入探索汽车空气动力性的过程中，风洞是不可缺少的。以往，汽车制造厂是和其它部门合用这种设备的，但自从汽车空气动力性被人们重视以来，许多汽车厂建造了自己的风洞。下面分别对世界上较著名的主要风洞（其中有两座正在建设中）予以介绍。

## 1.1 菲亚特汽车公司的多用风洞

该风洞虽属意大利菲亚特（FIAT）汽车公司，但亦为费拉利与埃多两个设计公司所利用。该风洞位于都灵市近郊的奥巴桑诺（Orbassano）。图1.1所示为风洞的试验段，其最大风速可达200 km/h。试验段为半开式，天花板和墙壁有些地方是敞开的。在这里还建造了低温与高温风洞（两者规模均比多用风洞小）。它们的总体便形成了一个能对各种汽车样品进行不同气候条件下的空气动力特性试验中心。图1.2是菲亚特公司的产品在风洞中进行试验的情形。

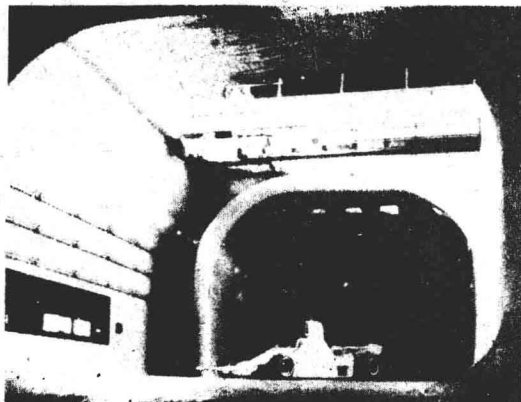


图1.1 菲亚特公司多用风洞的试验段



图1.2 菲亚特公司的产品在风洞中试验

## 1.2 平宁法里那（Pininfarina）公司的全尺寸风洞

该风洞是意大利的第一个全尺寸风洞。它历时8年于1973年7月建成，系钢筋混凝土结构，并有半圆形的漂亮的外观。风洞高11.5 m，长36.8 m。其布置形式为“埃菲尔”（Eiffel-type）式。风扇与试验段在一直线上。由直径为4.88 m的大风扇所产生的气流，流经两层墙壁间的通道而达试验段，气路呈“U”形回路。其试验段与菲亚特公司的风洞相同（半开式）。其特点是喷气口与扩散段均为半圆形断面，和整个建筑是一致的。



图1.3 平宁法里那全尺寸风洞的外貌



此风洞亦供其它汽车制造厂与车身厂使用，还可供体育运动工具（雪橇等）的空气动力试验用。图1.3 ~1.9 为该风洞的形貌、构造和应用等的一些情况。



图1.4 平宁法里那风洞的全尺寸模型



图1.5 平宁法里那风洞的试验段

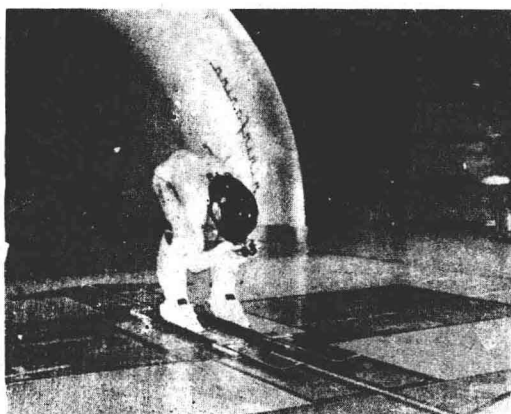


图1.6 雪橇空气动力试验

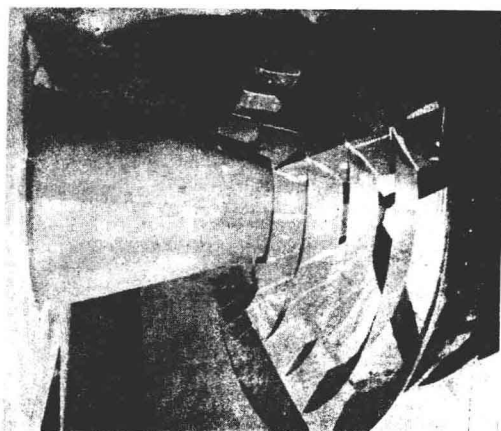


图1.7 平宁法里那风洞的整流段

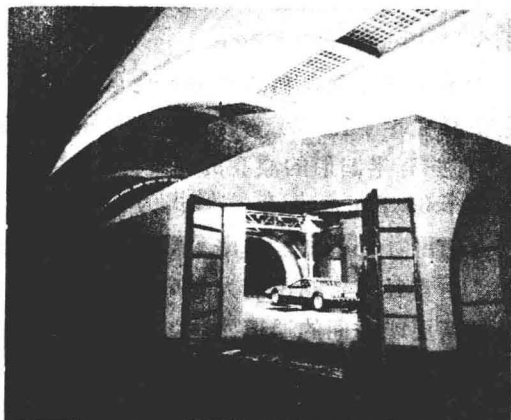


图1.8 平宁法里那风洞的试验段观测旁门

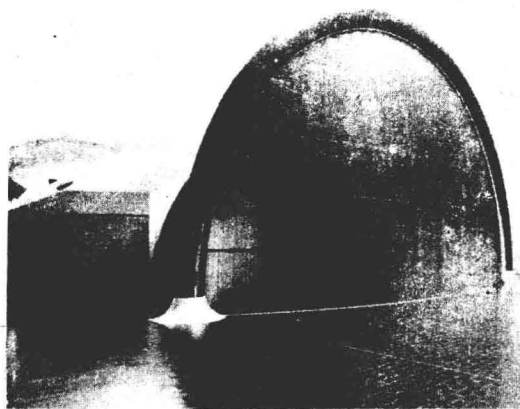


图1.9 平宁法里那风洞的喷气口扩散器

### 1.3 戴姆勒-本茨汽车公司的全尺寸风洞

该风洞最初属于联邦德国斯图加特技术学院的汽车工程与车用发动机研究所所有，系在卡姆博士 (Dr. W. Kamm) 监督下，于1944年建成的。1974年由戴姆勒-本茨公司 (DB) 接收，经重大改建后，于1976年2月建成为一座现代化的风洞。整个建筑为方形，属“格廷根” (Göttingentype) 式，气流在回路中循环。由风扇产生的气流，经过循环回路又回到风扇位置，所以耗能较少，并可产生高速风。风扇直径达8.5 m，由4000kW的电动机驱动。试验段空气流速可达270 km/h，是目前世界上的最高纪录。图1.10~1.13是有关该风洞的一些具体情况。

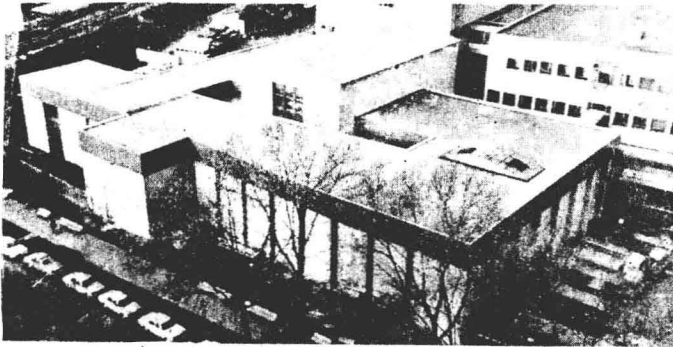


图1.10 戴姆勒-本茨公司风洞的外貌

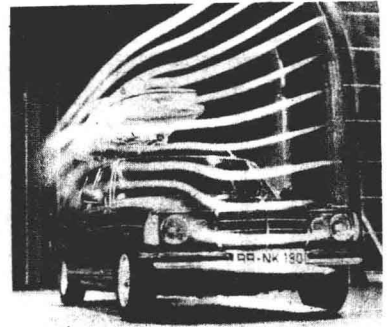


图1.12 对实际样车的烟丝显示气流试验



图1.11 戴姆勒-本茨公司风洞的试验段

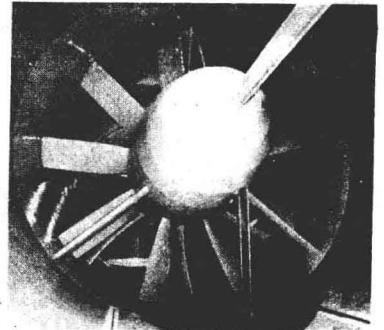


图1.13 戴姆勒-本茨公司风洞的风扇

### 1.4 欧洲福特汽车公司的多用风洞

该风洞是欧洲最新的，于1983年建成，位于联邦德国科隆市附近的“FOE” (欧洲福特的简称) 设计中心。这个风洞为“格廷根”式，试验段是半开式的。

在试验缩比模型时，将模型放在一块所谓“地板”的支座上，而喷咀与扩散器在外部。这种喷咀/扩散器装置，可将供全尺寸模型试验用的最大气流速度由180 km/h提高到300 km/h，以便使试验更为精确。图1.14~1.17是有关该风洞的一些具体情况。

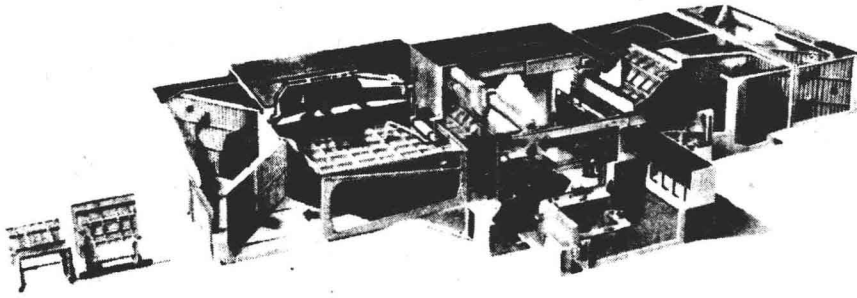


图1.14 欧洲福特公司的多用风洞（FOE风洞）

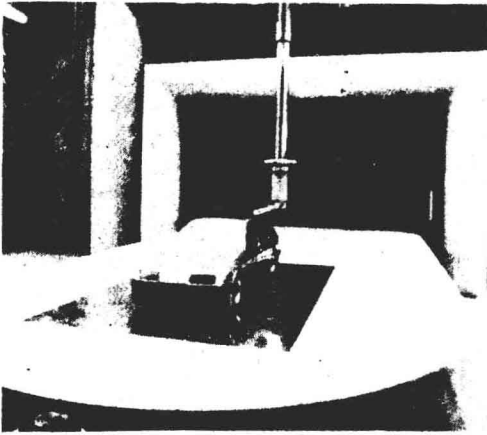


图1.15 试验段为缩比模型试验用的地板



图1.16 欧洲福特公司风洞的喷咀／扩散器

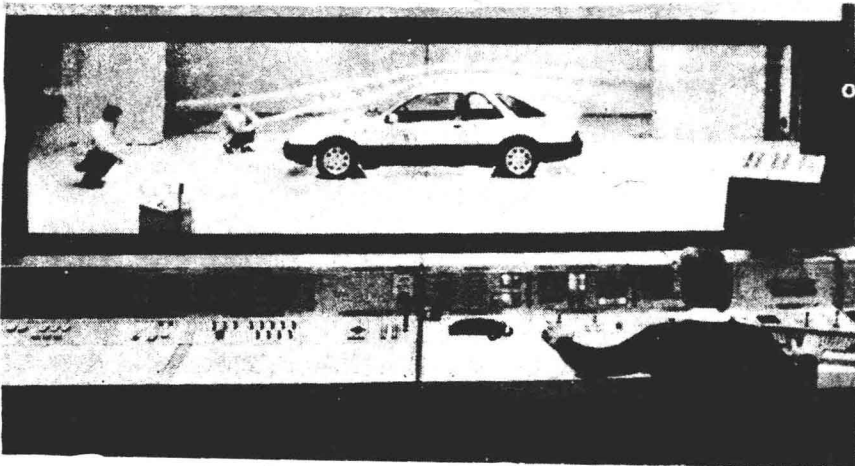


图1.17 欧洲福特公司多用风洞的试验段与控制室

### 1.5 巴依尔汽车公司的多用风洞

图1.18所示是在联邦德国巴依尔汽车公司(BMW)多用风洞中,对一个造型先进的缩比模型进行空气动力试验时的气流情况。越过车顶的气流是用细长的烟丝显示的。图1.19是R 100 RS型摩托车正在用烟雾发生器做烟雾试验。

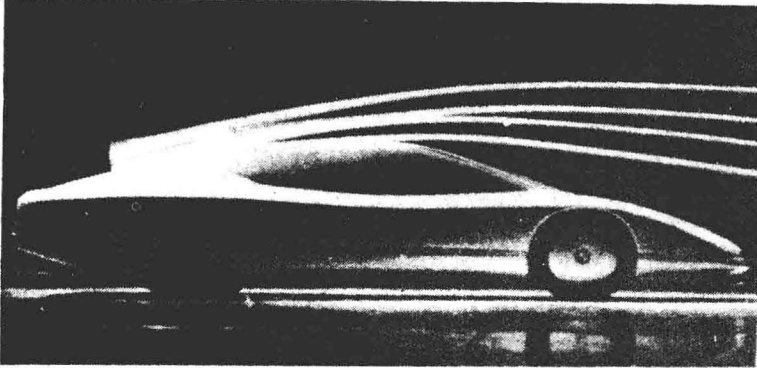


图1.18 巴依尔公司多用风洞的气流显示

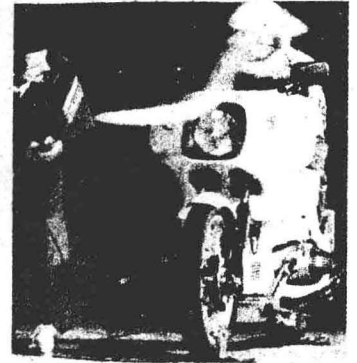


图1.19 在巴依尔公司多用风洞中对摩托车进行烟雾试验

### 1.6 大众汽车公司的多用风洞

该风洞具有滑动式屋顶,当关闭屋顶时可做气候试验,打开屋顶时可做空气动力试验。空气温度可在 $-30^{\circ}\text{C} \sim +45^{\circ}\text{C}$ 间调节,空气湿度可在 $5 \sim 95\%$ 间调节。最高气流速度为 $180 \text{ km/h}$ 。图1.20是该风洞的外观。

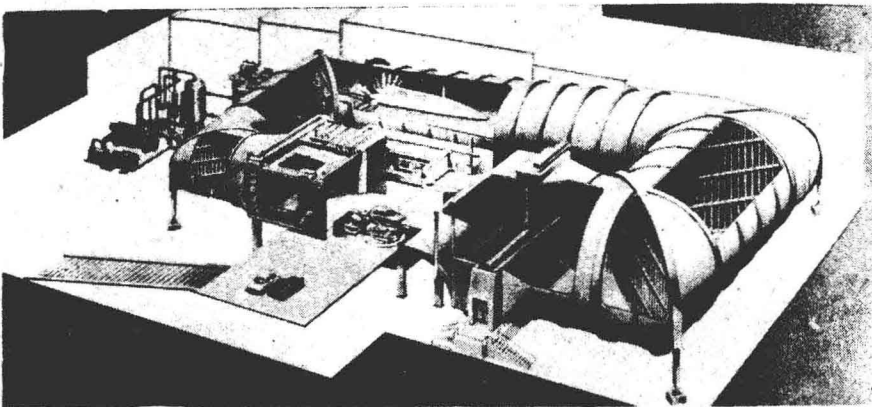


图1.20 大众汽车公司(VW)的多用风洞

### 1.7 斯图加特大学的风洞

该风洞在1986年建成。建造时由工业部门资助,共耗资26亿马克,其中奥贝尔公司投资5.15亿马克。风洞有全尺寸和缩比的两种,二者皆为“格廷根”式,其最高气流速度分别为 $200 \text{ km/h}$ 和 $230 \text{ km/h}$ 。图1.21是斯图加特大学风洞的外观。

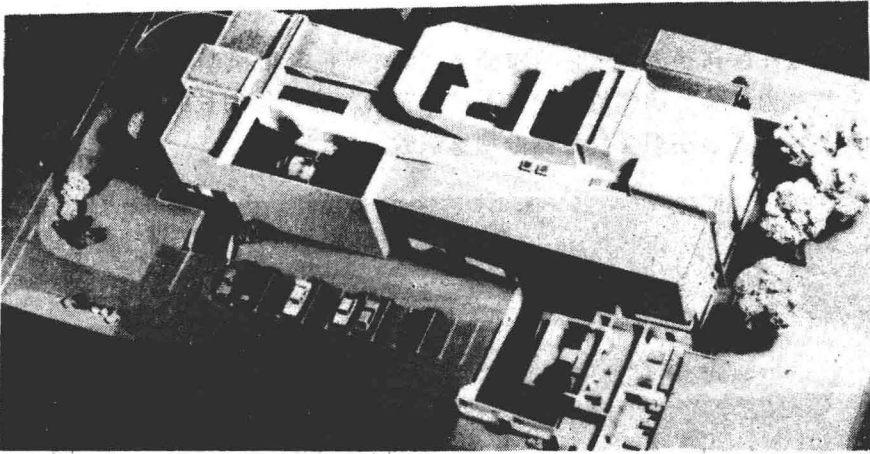


图1.21

### 1.8 英国汽车工业研究协会(MIRA)的全尺寸风洞

英国的“MIRA”(Motor Industry's Research Association)与日本的“JARI”(Japanes Automotive Research Institute)一样,是独立的科研机构,在空气动力学研究方面,已有30年的经验。“MIRA”的全尺寸风洞是“埃菲尔”式的。该风洞的特点是采用了4个较小的风扇(直径3.9 m),最大气流速度仅为133 km/h。在同一建筑中,还有一个缩比模型风洞。有关该风洞的一些情况见图1.22~1.24。

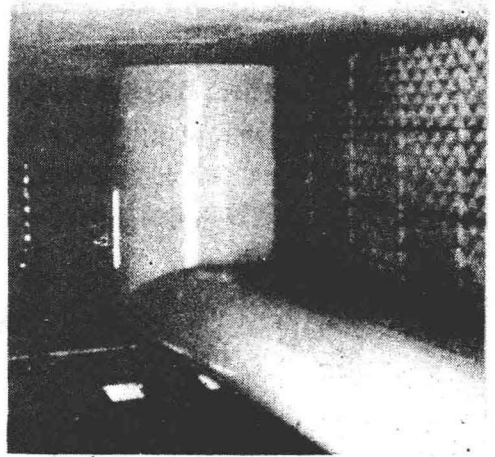


图1.22 “MIRA”风洞的喷气口

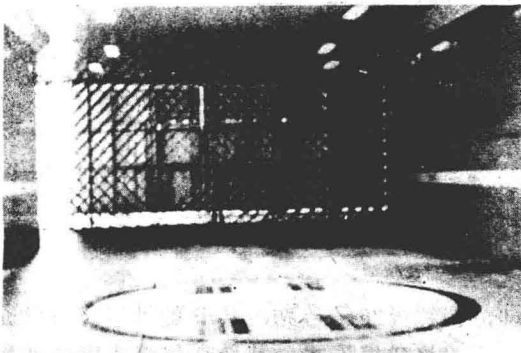


图1.23 “MIRA”风洞的全尺寸试验段



图1.24 在风洞中试验的真实样车

### 1.9 圣·希尔航空技术研究所的多用风洞

该风洞不仅供法国的别儒·(Peugeot)、雷诺与其它的汽车制造厂使用,而且还供联邦德国的巴依尔汽车公司及其它一些国家的汽车制造厂家使用。该风洞的特点是其试验段的墙壁是开槽的,籍以减少气流受到的墙壁效应。图1.25是该风洞的试验段,图1.26是全尺寸汽车模型在该风洞中做试验的情形。

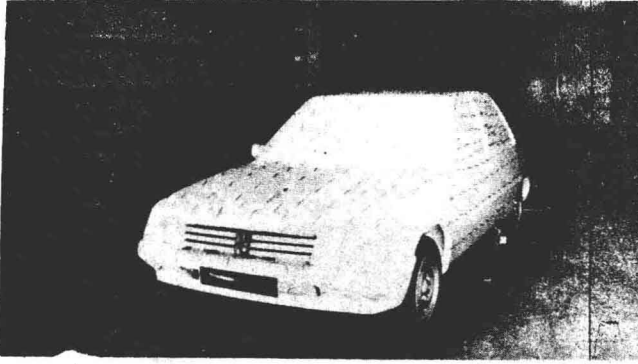


图1.25 圣·希尔研究所风洞的试验段



图1.26 在圣·希尔风洞中试验全尺寸模型

### 1.10 沃尔沃汽车公司的多用风洞

该风洞于1972年秋启用,其气流的温度可在 $-40\sim 50^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内调节,但其气流速度仅达 $95\text{ km/h}$ 。因此这套设备最好是用于天候试验。在这里进行空气动力试验时,绝大多数情况下系采用比例为 $2/5$ 的模型。其附加的喷咀可使气流的速度达 $190\text{ km/h}$ 。图1.27是该风洞的外观。

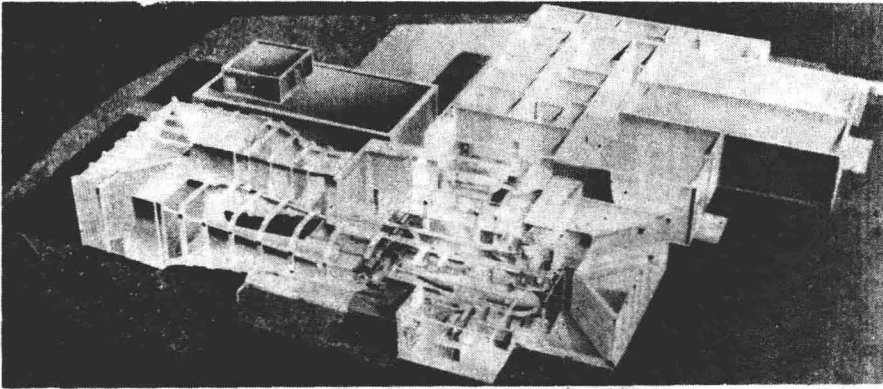


图1.27 沃尔沃公司的多用风洞

### 1.11 美国通用汽车公司的全尺寸风洞

该风洞建在美国密执安州Warren通用汽车公司技术中心,从1980年8月开始启用。在此以前,通用汽车公司(GM)一直使洛克希德公司(Lockheed Co.)与加拿大国立科学研

究协会 (National Research Council Canada——“NRC”) 的航空风洞。由于产品的发展, 通用汽车公司对风洞的需求日益增加, 因此就在自己的设计中心建造了这个风洞。该风洞是世界上最大的汽车风洞, 是典型的“格廷根”式风洞。风洞的风扇直径达13m, 气流行程长达282 m, 试验段为封闭式, 其高为5.4 m, 宽10.4m, 长21.3m。由于试验段的断面面积为汽车平均迎风面积的24倍之多, 故墙壁效应很小, 并可做相当大的偏航角的侧风试验。此外, 其长度充裕, 可同时放几个缩比模型以模拟队列或超车行驶工况。该风洞有两套天平, 一套用于全尺寸模型的汽车空气动力试验, 一套用于缩比模型的试验。该风洞最大气流速度达250 km/h, 仅次于联邦德国本茨公司风洞的最大气流速度。有关该风洞的一些情况见图1.28~1.31。

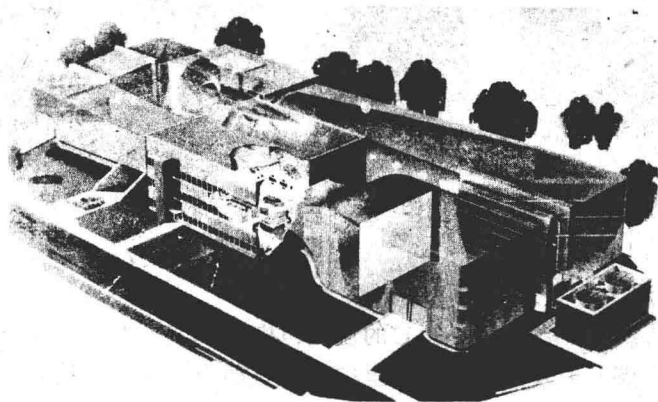


图1.28 美通用公司全尺寸风洞的布置



图1.30 通用公司风洞试验控制室



图1.29 通用公司风洞的试验段

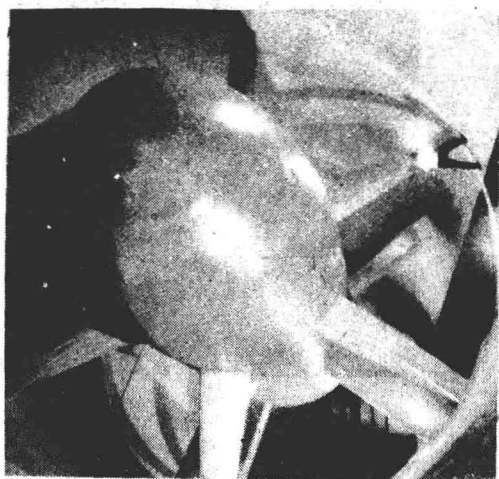


图1.31 通用公司风洞的气流发生装置

### 1.12 克莱斯勒汽车公司的热力风洞

该风洞是用于全尺寸模型的热空气动力试验及3/8缩比模型空气动力试验的。克莱

斯勒全尺寸空气动力试验是在洛克希德公司与NRC风洞内进行的。该热力风洞的最大气流速度为 $190\text{ km/h}$  ( $3/8$  缩比模型可采用 $71\text{ km/h}$ )。空气温度可在 $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 与 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间调整。图1.32是克莱斯勒公司风洞的外观。

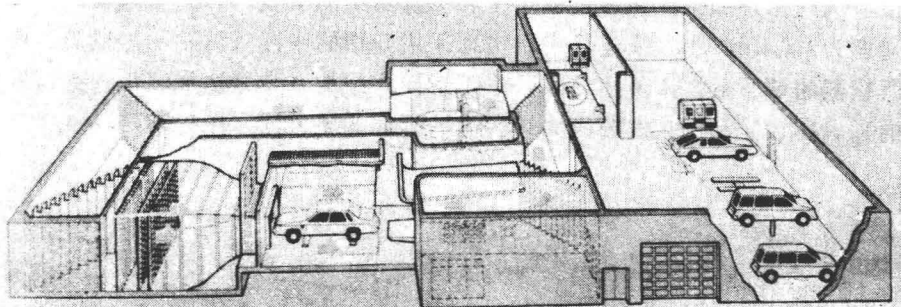


图1.32

### 1.13 马自达汽车公司的全尺寸风洞

该风洞于1983年10月建成，系日本最新的汽车风洞。该风洞的试验段为“格廷根”封闭式，可用于 $1/5$  缩比模型到 $2\text{ t}$  载货汽车试验用。其风扇直径为 $8\text{ m}$ ，最大气流速度为 $230\text{ km/h}$ 。气流速度、压力、温度和其它信号的传感器，可固定于试验段内从天花板上伸出的横向吊架上，并可遥控移动至所需要的测量位置。此风洞的最大特点是全部由计算机控制，因而其测量系统可自动控制并自动进行数据处理。图1.33~1.35是有关该风洞的一些具体情况。

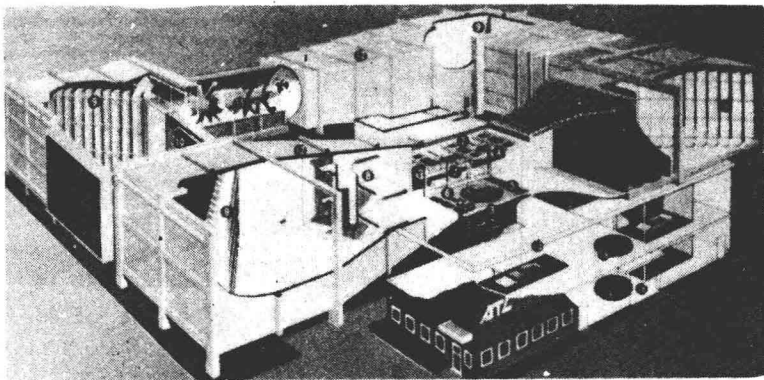


图1.33 马自达公司全尺寸风洞的布置

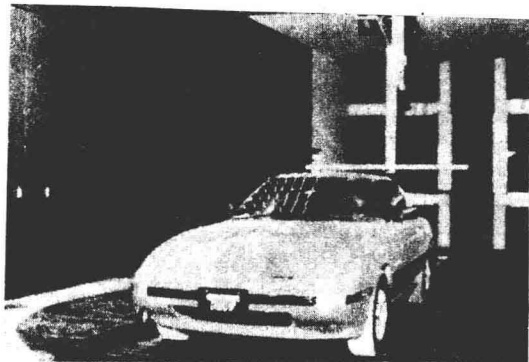


图1.34 马自达公司风洞的试验段

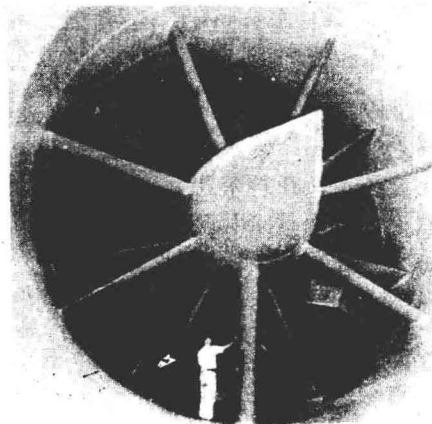


图1.35 马自达公司风洞的风扇



### 1.14 三菱汽车公司的全尺寸风洞

该风洞于1981年5月建成,属“格廷根”式。其特点是设有从外部进、出空气的进、排气口,以便空气的循环和排放试验后被尘土和烟雾污染的空气。该风洞风扇的直径为8 m,最大气流速度为216 km/h。在建设中曾考虑采用开槽的半开式试验段,但为了能运用三菱重工风洞所积累的试验数据,最后还是采用了封闭式结构(马兹达风洞是在本风洞的基础上发展起来的)。图1.36和图1.37分别为该风洞的外观和整流栅,图1.38是其气流显示。

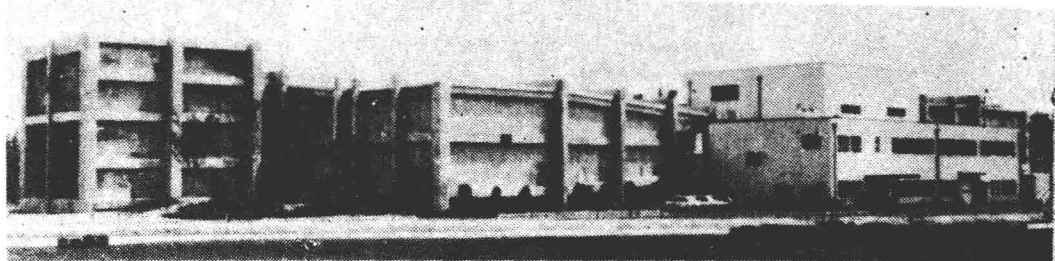


图1.36 三菱公司全尺寸风洞的外观

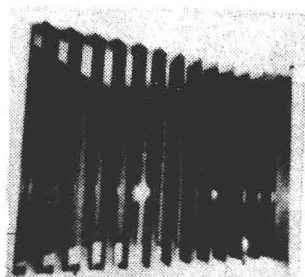


图1.37 三菱公司风洞的整流栅

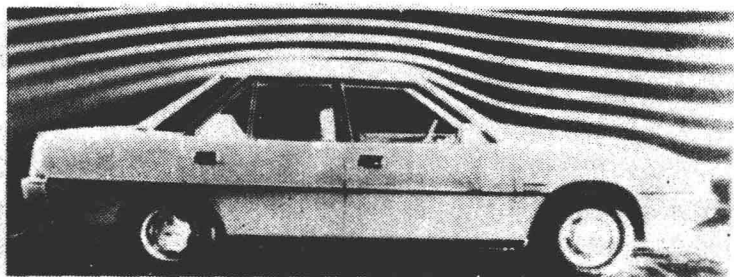


图1.38 三菱公司风洞的气流显示

### 1.15 日产汽车公司的全尺寸风洞

该风洞是日产公司于1986年建成的,是日本的第一个全尺寸风洞(属“埃菲尔”式)。现在该公司又在神奈川县厚木“日产技术中心”建成了“格廷根”式风洞。图1.39是一个预想的风洞计划方案。

这个计划中的日本的最大汽车风洞,具有一个 $28\text{ m}^2$ 的喷气口(高

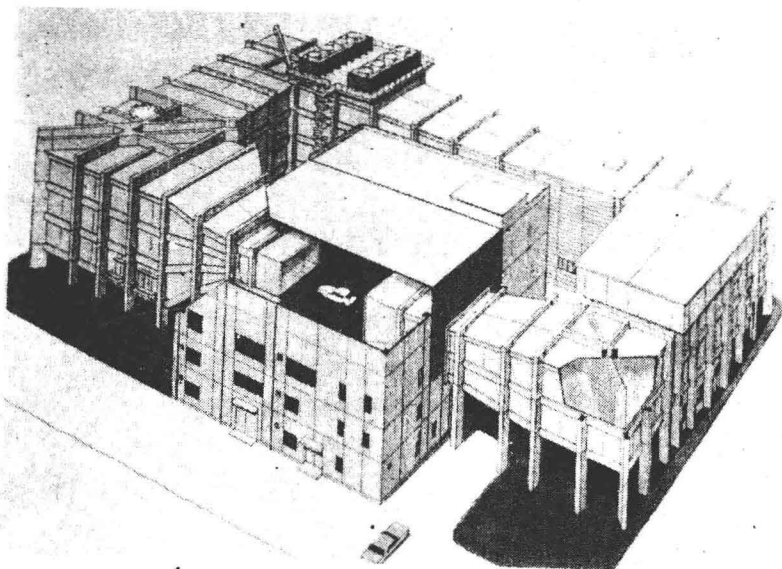


图1.39 日产公司全尺寸风洞计划方案