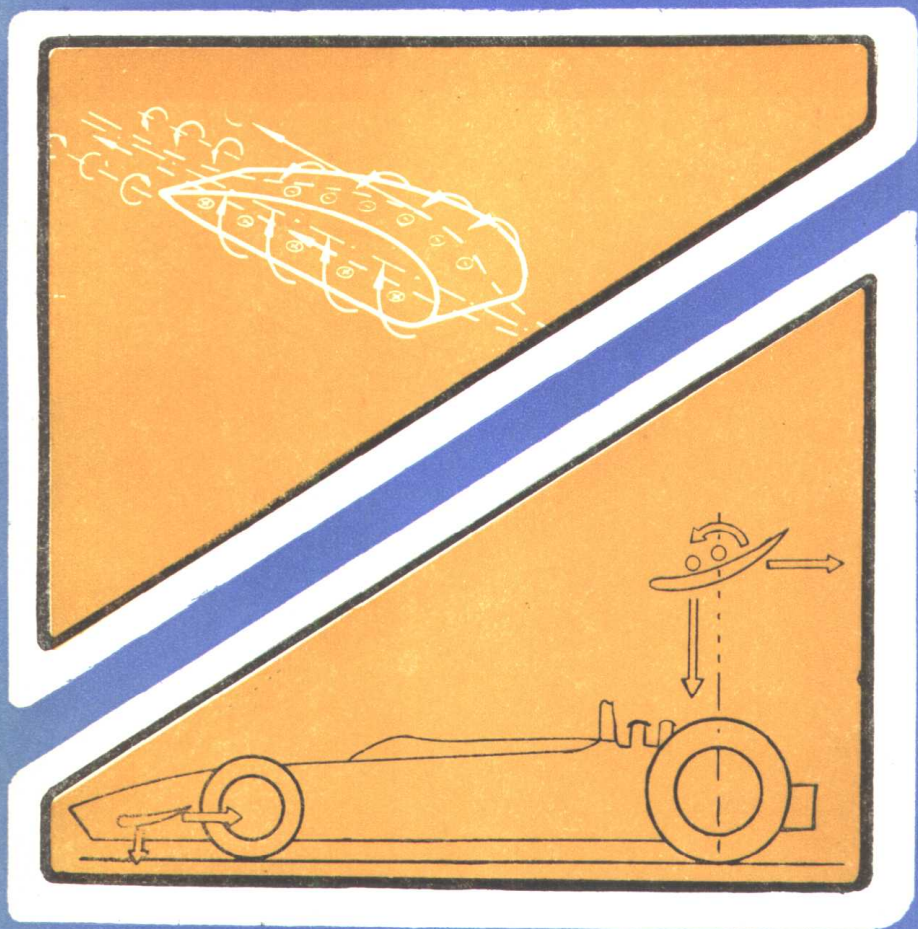


# 汽车空气动力学

[英] A.J. 赛伯-里尔斯基 著 杨尊正 邹仲贤 译



人民交通出版社

Qiche Kongqi Donglixue

# 汽车空气动力学

[英]A.J.赛伯-里尔斯基 著  
杨 尊 正 邹 仲 贤 译

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书为有关汽车空气动力学的专著。书中介绍了汽车空气动力学的基本定律,详尽论述了气动力对汽车的最大车速、燃油经济性和转向稳定性的影响,阐述了空气动力学与汽车造型的关系。

本书可供从事汽车使用、设计、制造和科研部门的工程技术人员使用,也可供大专院校有关专业师生参考。

本书译自英国伦敦彭奇出版社(Pentch Press)1975年出版的《Road Vehicle Aerodynamics》一书。

## 汽车空气动力学

[英]A. J. 赛伯-里尔斯基 著

杨尊正 邹仲贤 译

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$  印张: 7.5 字数: 145 千

1984年4月 第1版

1984年4月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—6,150册 定价: 1.15元

# 前 言

在人类社会的生活里，汽车起着重大的作用——事实上，每个人如不是汽车的拥有者，至少也是汽车的使用者。横贯大陆的高速公路系统使得汽车能够达到并保持较高的车速，再加上交通密度的增加，便引起了一些特殊的问题。道路、空气和汽车之间的相互作用产生气动力，即使在车速较低的情况下，气动力就开始超过了其他诸作用力。

本书的课题在于分析汽车周围的气流，以及汽车外形和其所产生的空气动力特性之间的关系。本书用叙述和图解的方式讨论空气动力学现象对汽车性能的影响，分析问题时尽量少用数学公式，从而使得汽车驾驶员、汽车设计人员、造型设计师、空气动力学家以及所有对汽车设计和制造感兴趣的人员都能理解。造型设计师可以从本书找到汽车外形的选择和由此所引起的气动力对道路特性的影响之间的内在联系。参考文献中还列举了更高深的空气动力学教科书，以供进行专门研究时参考。

在汽车设计的初始阶段，就应当对空气动力学问题给予适当的重视。从初始阶段开始的汽车研制过程，通过缩小模型的风洞实验，揭示了汽车外形和所引起的空气动力特性之间的关系。

研制出一种阻力小的车身外形虽然是十分重要的，但这还远远不够，因为我们还必须重视稳定性、操纵性和牵引特性和牵引性等问题，这些问题在很大程度上均受汽车空气动力特性的

影响。

本书详尽论述了气动力对汽车性能（例如车速、燃油经济性和转向稳定性）的影响。着重强调了在稳定风和阵风这两种情况下，气动力对直线行驶能力的影响。对于阵风突发的情况，分别讨论了对汽车的作用和驾驶员的反应，然后再讨论由此对汽车产生的综合效果。本书刊录了作者在汽车空气动力学的各个领域中所取得的研究成果，综述了本学科目前的状况，并指出了今后需进一步研究的方向。

还有一个令人担忧的问题是：如果将空气动力学严格准确地使用到汽车上，那么今后的汽车式样看起来就都差不多了。这就会产生某些哲学上的问题，飞机的外形是按照空气动力学原理设计的，但它们还是保持了各自的特点。

设计和造型是折衷调合的艺术。对于自然规律的理解和应用，所产生的成果不应当是千篇一律的，而应富于多种形式和多样化。我们只要观察一下周围的世界，就能领悟这个真理。

汽车外形的美究竟包含哪些因素是一个基本概念。外形与自然规律（如空气动力学定律）相矛盾的汽车设计，使我们觉得它难看。这样的形状，在其外形上有一些使我们的感官觉得不协调的因素。当然，这不仅涉及到美学方面，也涉及到实用和经济上的问题。外形美观的汽车销售起来较快。

可以辨明，公众的美学观念可以通过持续的宣传（例如广泛刊登广告）人为地加以转变。利用这种方法可以使公众对某种时新式样产生偏爱，或者至少可以接受它。但在此之后，还必须人为地补充进一步的影响，才能使这种状态持续下去。

在汽车行业的经营中，这种方法需要不断地提供多种时

新的车形，才能使汽车的销售量维持在较高的水平。因而，汽车的外形往往要受市场调查结果的影响，市场调查可以通过公众对过去式样的反应来预测将来的偏爱倾向。

本书用于扩展汽车造型哲理的基础。为此，空气动力学基本定律的知识应当成为每个汽车造型师和设计人员的学识才能的重要组成部分。本书旨在传播这门知识，以增强读者对汽车造型和审美方面有关美学和实践的理解。

**A.J.赛伯-里尔斯基**

# 目 录

第 1 章	绪论	1
第 2 章	气动力和气动力矩	9
2.1	汽车周围的一般流谱	9
2.2	气动力的产生	11
第 3 章	空气粘滞现象	16
3.1	气流分离	16
3.2	发动机罩和挡风玻璃之间的 局部气流分离	21
3.3	汽车后部的尾流	27
3.4	车轮转动对流谱的影响	32
3.5	汽车底部与地面之间的气流	46
3.6	汽车周围涡系的形成	58
3.7	流线型车尾的造型	64
3.8	内部气流	65
第 4 章	气动升力	75
4.1	地面效应	77
4.2	轮胎与道路之间摩擦的变化	82
4.3	由造型来减小升力	84
4.4	绕流器和负升力装置	92
第 5 章	气动力对性能的影响	105
5.1	气动力和最大车速	107
5.2	气动阻力对燃油消耗量的影响	109

5.3	气动阻力对加速度的影响.....	111
<b>第6章</b>	<b>空气动力学及汽车造型.....</b>	<b>114</b>
6.1	比例模型和空气动力学实验.....	115
6.2	符合造型规范的理想(阻力最小)外型.....	117
6.3	通过增加尾流压力来减小基面阻力.....	127
6.4	细小表面突起引起的空气动力学干涉.....	129
<b>第7章</b>	<b>影响汽车稳定性的诸力的基本分析.....</b>	<b>140</b>
7.1	历史发展.....	140
7.2	影响汽车稳态运动的力.....	144
7.3	风压中心的位置.....	147
7.4	侧向气动力 $Y_A$ .....	148
7.5	绕重心的气动力矩.....	154
7.6	横摆气动力矩 $N_A$ .....	155
7.7	纵倾气动力矩 $M_A$ .....	158
7.8	侧倾气动力矩 $Q_A$ .....	160
<b>第8章</b>	<b>气动力对稳态稳定性的影响.....</b>	<b>162</b>
8.1	平衡方程.....	164
8.2	静态系数.....	174
8.3	转弯特性.....	175
8.4	在有大气风的情况下转弯.....	188
<b>第9章</b>	<b>对瞬时气动力的动态反应.....</b>	<b>192</b>
9.1	引言.....	192
9.2	汽车动态稳定性研究的历史发展.....	198
9.3	瞬时气动力.....	199
9.4	瞬态运动方程.....	205
9.5	动态稳定性实验研究的现状.....	212
9.6	气动扰流.....	218



9.7 结论 .....	219
参考文献 .....	221
参考资料 .....	225
符号 .....	228

# 第 1 章 绪 论

从定义上讲，空气动力学是物理学的一个分支，研究物体与物体在其中运动的空气之间相互作用的关系。物体与空气相互作用产生的，并作用于运动物体上的这种力称为气动力。气动力的大小和方向取决于空气和物体(此处就是汽车)之间的相对速度和物体的形状。

汽车行驶时产生的气动力反映出汽车的性能。本书的目的在于论述有关的空气动力学现象，并指出它们的重要性和对实际驾驶的影响。职业的汽车造型设计师可以从本书中找到汽车外形的选择和由此引起的气动力对汽车道路特性的影响之间的内在联系。

阻碍汽车前进的气动力分力称为**气动阻力**。因为发动机的功率必须克服这个阻力，所以它在很大程度上影响着汽车的行驶速度和燃油经济性。气动力的另一个分力垂直向上，称为**气动升力**。它可以减小轮胎和路面之间的摩擦力，从而间接地改变汽车的转向性能和驱动性能。气动力是气流作用在汽车整个表面上的变分布压力的综合效果。这种压力分布依汽车和气流的相对状况而改变，有时可以改善转向特性和操纵特性，有时又使其恶化。因此，气动力在汽车的稳定性中是重要的考虑因素，并且也涉及到影响汽车和道路交通状况的安全性问题。

这种态度反映在本书各章节的安排顺序上。第一部分论述气动力的分解及其阻力分力和升力分力。第二部分论述气

动力对汽车稳定性和直线行驶能力的影响。

自备动力的道路车辆发展的第一阶段表明它们继承了马车的形状。早期的设计师们只能先解决机械问题，因为设计主要取决于结构问题的解决。考虑到这些汽车的速度非常有限，所以还不存在空气动力特性方面的问题。

由于汽车行驶速度的逐渐增加和汽车结构设计的逐步发展，很快就使得驾驶员和乘客置身于气流中，从而导致了采用诸如挡风玻璃这一类的零部件。后来发展的车型，其外形就受到保护乘客不受气流冲击的影响。至于流线型这个概念，则是后来出现了比空气轻的飞船之后才引入的。

在此之后，流线型与空气动力学的进展密切相关。这一进程起始于1920年，当时，德国进行了一些早期实验，实验表明了减小气动阻力的可能性。

在第一辆汽车发明之后约25年，德国组织了对汽车空气动力学的系统研究。1922年，该学科的第一批论文刊登于德国的技术文献上（参考文献1）。这些论文综述了一系列有关车身外形对气动阻力的影响的实验结果，实验是在腓特烈港（Friedrichshafen）的策佩林（Zeppelin）工厂的大风洞中进行的。

不久，由卡姆（Kamm）领导的科学工作者开始着手进行有关气动力对汽车稳定性和直线行驶能力的影响的系统研究（参考文献2）。由于这项工作的结果，或者说，由于其理论的影响，在斯图加特（Stuttgart）组织了车辆科学研究所。该研究所在二次大战后经过重建，目前是斯图加特工业大学的一部分。他们的研究成果影响着其他的研究课题（参考文献3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10）。美国克莱斯勒（Chrysler）汽车公司对汽车空气动力学感兴趣是在

1930年，但以后没有系统地继续研究。战后，美国在这个领域内的研究工作是从1950年开始的，主要由福特（Ford）公司进行。

汽车设计获初步成功之后，空气动力学的进一步发展主要涉及到与发动机、传动系、悬架和转向装置等有关的机械问题上。经历了约25年的稳步发展后，汽车发展到了一个空气动力学问题似乎已被认识的阶段。恰好就在这个阶段，航空空气动力学的研究也使飞机的性能有了引人注目的进展。因此说空气动力学起源于研究道路车辆的气动阻力问题，这一点并没有什么值得惊奇的。至于其他一些相关的问题，例如气动升力及其对汽车稳定性的影响，也只是当汽车的行驶速度再大大增加，这个影响不可忽略时，才引起人们重视的。

为了说明汽车外形发展及其空气动力特性之间的复杂的内在联系，研究一下机械设计的逐步进展和它对外形的影响是有益的。

大约在1956年，美国对汽车的外形从其功能发展的观点出发，进行了系统的研究（参考文献11），其部分原因是由于一些专家的影响，另一部分原因也是因为这些问题正在美国逐步地、系统地出现。这种分析是基于“在某种介质中运动的物体总是趋于使本身具有最小运动阻力的外形”这一假设而进行的。这个进展从使用方面影响着汽车的外形，汽车外形的自然进化也就是空气动力学发展的度量。汽车外形与环境相适应的情况越完善，技术设计也就越先进、越成熟。这种生态学的变化可以被认为是车辆与其环境相互作用的结果。

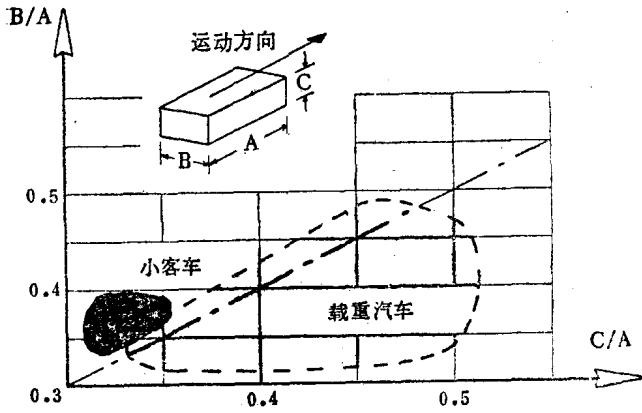
进化过程具有它自己的历史，在这段历史中，合理的设

经常常会与某些偶然的事物相混淆。例如，我们可以将汽车的基本形状设想为一个长方体（图1.1）。如图1.1b，设高度和长度之比为 $C/A$ ，宽度和长度之比为 $B/A$ ，对它们的相互关系的研究表明：对于小客车，一般为 $B/A > C/A$ ；而对于载重汽车和大客车，则为 $B/A < C/A$ 。这一点可以这样解释，载重汽车和大客车是希望在一定的底盘上有较大的容积，而对小客车来说，车身形状的发展是使乘客舒适，但外形又要尽量紧凑。

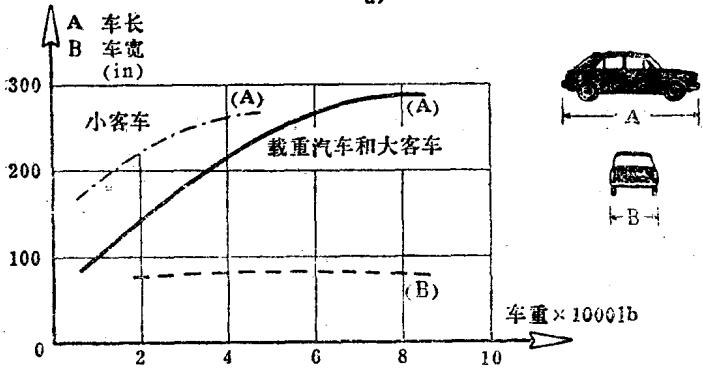
道路状况限制了汽车的宽度。可以说，这个宽度从马车时代就已经确定了，也就是两匹马能够宽裕地并排行走的宽度。汽车的长度与宽度没有直接的关系，所受限制不大，所以汽车的长度一般不受环境的影响。一般情况下，汽车的重量随长度而增加。总重2t（吨）以下的小客车一般均已达到了它的最大长度限度，因为进一步增加长度就会受到离地间隙、道路转弯半径和机动性的限制，见图1.1b。因此，多年来的生态学发展\*形成了一定的尺寸限制，而这个尺寸限制就使外形受到了局限。

本书中，对于本学科早期研究的课题（气动阻力分力的变化）的历史性回顾，是用于说明由于道路状况和使用要求的变化而引起汽车设计和外形发生变化的一个例子。在1904年，当时的车轮一般还是与车体分离的，挡风玻璃近于垂直，驾驶员和乘客的座椅也都裸露于气流中，所以气动阻力是相当大的。后来出现了轮罩，以后又逐渐与汽车的车身融为一个整体，演变为现代的小客车车身。图1.2a中示出了气动阻力不断减小的过程，纵座标为与最初的阻力值相比的比值。此后，因为汽车外形的一些其他变化，例如大灯隐入车体，

\* 所谓生态学发展，意指由于环境变化而影响的进化。



a)



b)

图1.1 a)汽车的主要尺寸; b)汽车自重与总体尺寸的关系

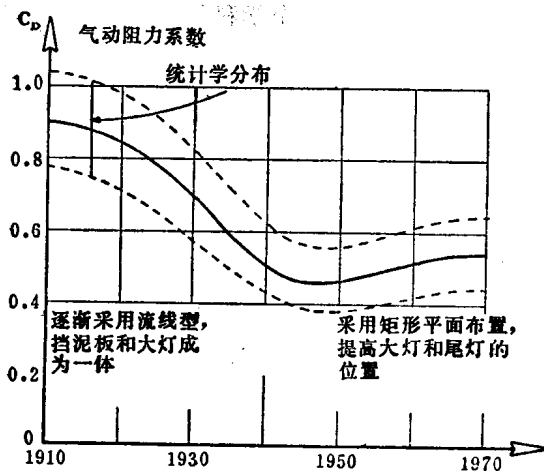
阻力不断减小, 到1950年达到其最小值, 约为1904年时峰值的45%。1950年以后, 减小的趋势停止了, 气动阻力又开始上升。对这种现象的深入研究揭示出: 阻力增加主要是由于发动机罩与挡泥板之间的空间被填满, 以及汽车的平面形

状从三角形发展为四边形。实际上，本书中的进一步详细研究还将揭示出这些迎合时代潮流的趋向使得气流比较平均地分为两股，流经汽车的上部和底部，而在此以前，这股气流是分流于汽车两侧的。因而，现代汽车的矩形平面布置与早期的三角形布置相比较，气动阻力似乎增加了。这样看来，汽车设计与造型的发展是遵从自然界的自然规律的。

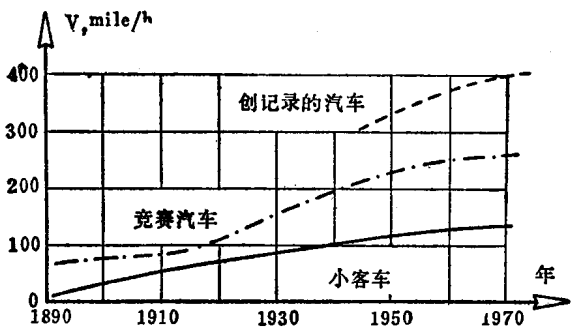
其他一些因素影响了越野汽车的形状变化，越野汽车的形状对外界环境的影响较敏感，这些影响因素主要是汽车驶经的土壤状况和所要驶越的障碍类型。运动汽车和小客车的发展超过了越野汽车的发展，主要是由于它们的形状更容易适应道路的状况，也易于采用较先进的式样。竞赛汽车虽不算是典型的例子，但可以被认为是这种发展的极端。

另一方面，如前所述，汽车的外形还要取决于发动机的尺寸、传动装置和悬架机构的设计等因素。航空学等先进技术的进展表明，机械系统与其他系统的正确组合，成为一个优异的设计，对其发展和技术先进性都是至为重要的。因此，零部件的设计和这些零部件是否能够组成一个完美的设计，在汽车的生态学发展中起着重要的作用。从而我们得到结论：设计、零部件的组合与车身外形之间有着密切的亲合关系，它们反过来又影响着汽车在道路上和大气中的行驶性能。

现代的道路系统和由此带来的运输方式的综合进展，强调着形态变化过程中速度因素的重要性。小客车平均车速逐渐增加的情况请见图 1.2 b。现代的高速公路系统由宽阔的多车道公路构成，两侧有宽而平坦的路肩，所以，与从前的狭窄弯曲的公路相比，受风向的影响也就越大。这就使得汽车更经常地处于恒风和阵风的影响之下，从而也就提高了空



a)



b)

图1.2 a)气动阻力特性随年代的变化; b)各类汽车最高车速随年代的  
增加

空气动力学效应中以前所遇到的那些问题的重要性。

空气动力学的定律是众所周知的，凡是在空气和汽车之间具有相对速度的状况中，这些定律都是适用的。长期以来，空气动力学成果的应用实际上只局限于航空领域，而且也正



是在航空领域内，取得了这个学科的巨大进展。汽车设计人员和造型师从这个领域的经验积累中受益非浅。在理论和实际两个方面，汽车空气动力学研究的进一步深入表明，在航空和汽车的应用上有着根本的差别。

飞机是自由飞翔的，而汽车则是在地面上运动，要受到地面的限制。飞行着的飞机形成的大气紊流有三个自由度，而汽车周围的气流则受到地面的影响。

行驶中的汽车受有惯性力和摩擦阻力，还有环境所施加的气动阻力，其中最主要的是轮胎与路面之间的摩擦阻力。目前，趋向于把汽车空气动力学作为一门独立于航空学之外的学科，而这门特属于小客车的空气动力学必须得以发展。

气动力与其他的机械力（例如牵引力，轮胎与路面的摩擦力，惯性力）一起从外部作用于汽车上。所以，没有理由将气动力与机械力分开考虑。

空气动力学的重要性在于：除非先确定空气动力特性，否则很难，甚至不可能预言汽车的性能和一般的道路特性。在实验样车进行结构设计和制作之前，应先解决空气动力特性的问题，并在全尺寸模型上进行验证。造型设计师在进行初始设计和决定汽车的式样时，应当熟悉空气动力学的基本原理。在确立汽车外形的最初阶段，从一开始就应当对车辆的空气动力特性进行估计，以便计算它的大概性能、稳定性和直线行驶能力。

在风洞中利用缩小的模型对上述问题进行研究，成本较低。这种实验技术在航空领域中是相当普及的，并得到了高度的发展。进行这种缩小模型的实验，需要空气动力学，特别是汽车空气动力学的基础知识。在对新车的各种式样进行评定时，通常采用1：5的粘土模型，以便在空气动力学实验