

QICHE DE RANLIAO JINGJIXING HE
QIANYIN-SUDU XINGNENG



〔苏〕A. A. 托卡列夫 著

李熙山 译

汽车的燃料经济性和 牵引-速度性能

人民交通出版社

汽车的燃料经济性和 牵引-速度性能

〔苏〕A.A.托卡列夫 著

李熙山 译

人民交通出版社

ТОПЛИВНАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ И ТЯГОВО-
СКОРОСТНЫЕ КАЧЕСТВА АВТОМОБИЛЯ

А. А. Токарев

МОСКВА « МАШИНОСТРОЕНИЕ » 1982

汽车的燃料经济性和牵引-速度性能

〔苏〕 А. А. 托卡列夫 著

李熙山 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 $\frac{1}{32}$ 印张: 7 字数: 150千

1987年8月 第1版

1987年8月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—5,450册 定价: 1.90 元

内 容 提 要

书中研究了汽车的燃料经济性和牵引-速度性能与汽车的基本结构因素、使用因素和其他因素的关系以及汽车运行的条件和状态；叙述了燃料-速度性能的基本评价指标和特性，它们的研究方法以及影响这些性能的结构参数的选择和优化方法。书中作者总结了在国家汽车和发动机研究所中央汽车试验场多年工作期间所积累的丰富经验。

本书可供从事汽车设计和使用的工程技术人员参考。

目 录

序言.....	1
第一章 汽车的运行条件和运行状态.....	2
第一节 使用条件.....	2
第二节 路线.....	4
第三节 速度状态和载荷状态.....	9
第二章 燃料-速度性能的理论基础	21
第一节 汽车的基本参数.....	21
第二节 行驶驱动力和行驶阻力.....	29
第三节 汽车运动的一般方程.....	35
第四节 测量量、指标和特性.....	44
第三章 研究方法.....	69
第一节 路线的选择.....	69
第二节 评价指标和特性的选择.....	70
第三节 试验研究方法.....	71
第四节 试验-计算研究方法	94
第五节 性能评价方法.....	103
第四章 汽车参数的优化方法.....	105
第一节 任务的提出.....	105
第二节 优化原理.....	106
第三节 多因素分析的理论前提.....	108
第四节 结构因素对柴油汽车列车燃料经济性和 速度性能指标的影响.....	115

第五节	汽车列车结构参数的优化·····	128
第六节	设计新型汽车时结构参数的选择·····	136
第七节	改进成批生产的汽车时结构参数的选 择·····	145
第五章	各种因素对汽车燃料-速度性能的 影响·····	146
第一节	比功率和功率损失的影响·····	146
第二节	发动机特性的影响·····	154
第三节	汽车质量和滚动阻力系数的影响·····	157
第四节	传动参数的影响·····	159
第五节	流线型系数的影响·····	164
第六节	速度和载荷状态的影响·····	165
第七节	周围环境参数的影响·····	170
第八节	路线类型和复杂程度的影响·····	174
第九节	行车密度的影响·····	175
第十节	道路表面平度和道路成分的影响·····	177
第十一节	驾驶方法的影响·····	180
第六章	改善汽车技术-经济指标的途径·····	181
第一节	定额指标·····	181
第二节	汽车运输的柴油机化·····	186
第三节	提高载重量和降低自重·····	187
第四节	改善发动机的使用特性·····	189
第五节	优化比功率和传动系参数·····	192
第六节	提高轮胎质量·····	193
第七节	改进汽车的空气动力特性·····	195
第八节	采用联合动力技术装置·····	196
第九节	使用新型燃料·····	198

第十节	提高汽车利用率.....	201
附录 1	测量量、指标和特性的分类.....	206
附录 2	大载重量 (120 乘客) 城市公共汽车循环 行驶燃料-速度特性计算数据	208
附录 3	角度系数 K_a 与滑行初速度的关系	208
附录 4	计算回归系数时使用的矩阵.....	208
附录 5	$N = 12 (k = 11)$ 布拉克特-别尔曼设计.....	210
附录 6	选择基本比功率指标的推荐值.....	211
附录 7	降低汽车燃料消耗措施表.....	211

序 言

汽车运输的燃料经济性和生产率，是两个重大的国民经济问题。它们对降低运输成本和节约国家的动力资源具有头等意义。这两个问题是互相联系的，因此需要用综合的方法，把它们作为一个完整的科学技术问题加以解决。

传统地、单独地研究汽车的性能，在优化汽车结构参数时，是难以用多因素分析的现代数学方法的。

本书把提高生产率和改善燃料经济性，看作是一个综合问题。采用综合方法，就有可能对影响汽车生产率和燃料经济性的结构参数研究出比较可靠和客观的优化方法。

本书分析了对汽车速度性能和燃料经济性有重要影响的使用条件，以及行驶的速度状态和载荷状态；叙述了综合研究汽车生产率和燃料经济性的综合方法的理论基础；为了更精确地说明运动方程，对汽车的基本参数、驱动力和行驶阻力进行了理论分析；研究了加速状态和稳定行驶状态的燃料平衡问题。

本书着重于叙述汽车燃料经济性和速度性能的现代试验研究方法和计算研究方法；研究了影响这些性能的结构参数的客观的和定量的选择方法和优化方法；叙述了各种因素对汽车速度性能和燃料经济性影响的规律和程度。

第一章 汽车的运行条件和运行状态

汽车的结构、潜在性能以及潜在性能的研究方法，和使用条件之间存在着不可分割的联系。因此在叙述生产率 and 燃料经济性的理论基础和研究方法之前，应当研究汽车的运行条件和典型的运行状态，以及它们对汽车结构的影响。

第一节 使用条件

汽车的使用条件是各种各样的，可分为道路的、负荷的、使用技术的和气候的等等条件。汽车的类型、结构和技术性能，均应与使用条件相适应，尤其是随着道路条件不同，汽车结构就可能有本质上的不同。

行驶在宽阔平整的混凝土路面上的汽车，通常结构比较简单，具有高的速度性能和良好的燃料经济性。

在土路和无路条件下行驶的汽车，通常为全轮驱动，具有可调气压的轮胎和其他特殊装置。这种汽车通常载重量较小，自身质量较大，行驶速度低，燃料消耗高，耐久性差。这是因为，由于行驶阻力相当大，所以这种汽车的零部件的受力强度就要高得多。

然而汽车在高级路面道路上行驶时，随着道路的纵断面和平面布置，以及路面状况和道路分布地区不同，汽车的生

产率和燃料经济性可在很大的范围内变化。如果道路分布在崎岖不平的地区，且有陡峭的长距离的坡道，转弯半径又小，显然行驶阻力高，就会使平均速度降低，燃料消耗增加。道路凹凸不平，会使车速明显降低，燃料消耗增加，汽车总成的耐久性降低，因而需要采用较复杂的悬架结构。

由于气候或气象条件不同，路面状况、能见度、总成的热状态等就可能发生显著变化。这对汽车运行的速度状态和经济性是有影响的。

有效载荷的变化，对汽车的燃料消耗和行驶速度会产生一定的影响。但这种影响不是单一的，当汽车在质量好的高级路面道路上增加有效载荷行驶时，平均速度降低，而生产率增加；单位行程的燃料消耗增加，但单位有效载荷的燃料消耗减少；轮胎、悬架和车身的载荷增加。在这种情况下，任何一种有效载荷的经济效果，只有在考虑了全部因素以后才能决定。这时不要忘记，即使在高级路面但质量不好（有凹凸）的道路上，汽车装上极限载荷，会导致过大的动载荷，而在某些情况下还会使汽车零部件损坏。

在土路尤其是在无路情况下满载运行（按轮胎强度允许的最大载荷），会导致汽车无法行驶和提前损坏。

所谓汽车的运行使用技术条件，是指在使用中汽车维修和保养的具体条件。使用的燃料和机油的品质、汽车的保管条件和技术保养质量、驾驶员的熟练程度以及运行时对推荐载荷状态和速度状态遵守的程度等，都属于使用技术条件。所有这些，在一定程度上影响着汽车的生产率和经济性。

因此，有效载荷以及道路、气候、气象、使用技术条件等等，都对汽车的行驶速度和燃料消耗有着重要影响。这就说明，当设计、试验和使用汽车时，有必要分别考虑这些条

件，也说明需要深入研究运行的速度状态和载荷状态，以便定性和定量地确定这些状态与速度性能和燃料经济性指标之间的关系。

第二节 路 线

实际的行驶路线体现了一定的使用条件，这些条件与汽车在路线上的运行有着直接的关系。行驶路线是确定汽车运行生产率和经济性的重要因素之一。

使用条件的多样性不能用数学进行描述，因而可把路线特性当作随机事件。这些特性取决于路线的分布、道路的有无与状况、行驶区内工业企业的数量、居民密度、汽车运输的交通密度、行人多少和其他因素。

针对本书所提出的任务，我们在下面研究的路线，其基本构成只包括具有高级路面的道路。

路线可按不同的特征分类，但我们只研究与所叙述的研究领域有关的那些特征。按照运输种类或任务，路线可分为两个基本类型：客运路线和货运路线。按照使用条件，可分为干线（国际的和城市间的）路线、地方路线、市郊和城市路线、平原路线、丘陵路线、山区路线和高山（高度在海拔2000m以上）路线。按交通密度来分，路线有低密度的、中密度的和高密度的。试验汽车用的高山路线使用得很少，因为它们属于特别专用路线，在使用路线的基本构成中所占的比重很小，因此它们不属于研究路线的范围。

由于汽车制造厂和科研单位积累了进行汽车试验技术方面的经验，因而对使用条件形成了一定的传统分类法。据此，可把使用条件基本分为干线的、山区的、丘陵的和城市

的四类。

根据以上所述，基本上可用类比的、客观（按统计特征）的和主观的评价方法，把适合于这些条件的公路上的典型路线，或相当于这些路线的人造道路上的典型试验路线选出来。

现在，为了试验研究汽车的牵引-速度性能和燃料经济性，国家汽车和汽车发动机科学研究所的汽车试验场，拥有整套的试验道路：平直动力性测试道路；纵断面不定的（坡度在4%以下）环形道路，它表征干线道路；丘陵断面的（坡度在16%以下）封闭路线；模拟城市行驶条件的路线。

确定具有代表性的路段、路线与典型的使用路线一致性的最客观的数据，是它们的统计特征。由于统计研究方法发展的结果，这种统计特征才能够获得。

中央汽车试验场进行了符合于干线、山区和城市使用条件的基本道路（路线）的状态测量。为了进行考察，所取的各路段（路线）都是选出来的。选取工作主要是在苏联欧洲部分的道路上进行的。经过状态测量的干线公路，有莫斯科—明斯克、莫斯科—列宁格勒、莫斯科—高尔基和莫斯科—雅罗斯拉夫尔。这些路线的区别，在于道路的纵断面和汽车运输交通密度不等。由所得到的直方图（图1a）可以确定，干线公路上 $\pm 1\%$ 坡度的分布密度最大，其中，不同道路的密度的众数值（%）如下：

莫斯科—辛菲罗波尔 24

莫斯科—雅罗斯拉夫尔 33

莫斯科—高尔基 39

莫斯科—列宁格勒 42

考察山区和山区-丘陵道路是以通过山区（交叉翻山路）

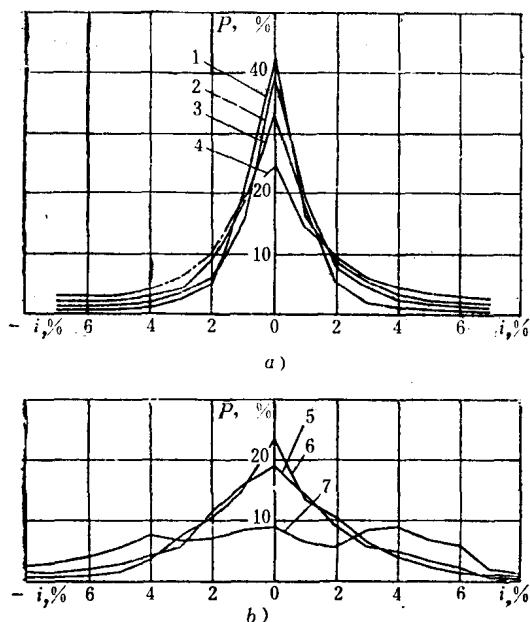


图1 某些路段标准纵断面坡度的分布密度

1-莫斯科—列宁格勒；2-莫斯科—高尔基；3-莫斯科—雅罗斯拉夫尔；
4-莫斯科—辛菲罗波尔；5-图雅普谢—新罗西斯克；6-奥尔忠尼启则—
第比利斯；7-图雅普谢—索契

的图雅普谢—新罗西斯克、图雅普谢—索契和奥尔忠尼启则—第比利斯的道路为基础的。这些路线的坡度的最大分布密度是在 $\pm 2\%$ 的范围内，也有大于此范围的，(见图1b)。密度的众数值：第一条路线为19%，第二条路线为23%，第三条路线为9%。

在城市型路线中，考察了莫斯科的“大玫瑰”和“小玫瑰”封闭路线以及某些公共汽车路线。

在选择应受考察的路线的路段时，不仅考虑了它们的特

征，而且考虑了货流在汽车运输总货流中的比重（通过上述考察的干线型路段的汽车运输货流，不小于通过干线型路线总货流的30%）、地理位置（反映出使用条件）以及有关道路考察的试验资料等。

为了进行研究，所使用的载货汽车、轻便汽车和公共汽车，都配备有动力测量接头和磁带记录仪。汽车在给定路段行驶过程中，把行程、时间以及道路总阻力（测量传动轴扭矩），包括弯道的附加滚动阻力，用磁带记录仪记录下来。经电子计算机处理所得到的道路纵断面的统计特征，可用来分析和检验典型的试验路线与典型的使用路线的一致性。典型的试验路线，是为汽车运行的物理的（试验的）和数学的模型而准备的。

从所得到的统计特征可以得出，在使用中，属于同一类的四条干线（不包括莫斯科—明斯克公路），莫斯科—列宁格勒公路有最平坦的断面（众数分布达42%），而莫斯科—辛菲罗波尔公路是最崎岖不平的（众数分布达24%）。莫斯科—明斯克公路不属于该种使用类型，因为它在评价特性上相差太大。

在山路条件下，具有坡度的多众数分布且密度达9%的图雅普谢—索契公路纵断面最不平坦。图雅普谢—诺沃罗西斯克和奥尔忠尼启则—第比利斯（交叉翻山路）公路有较小的不平断面。在这些道路上，标准纵断面的坡度的众数分布达19%~23%，（见图1b）。

必须指出，干线公路最典型的坡度约为 $\pm 1\%$ （对应1/2的众数密度），丘陵公路（图雅普谢—诺沃罗西斯克）坡度约为 $\pm 2\%$ ，山路坡度约为 $\pm 5\% \sim 6\%$ （见图1b）。这就证明，在计算各种使用条件下汽车的运行参数时，必须考虑道

路纵断面的衡量系数的大小。

谱密度的各峰值，在 $1\sim 10\text{Hz}$ 频带范围内（山区路线有较小的值）。当确定道路的类别时，尤其可以用上述道路特征来检查道路零点假设的真实性。

在电子计算机上进行计算研究时，利用的是真实的、典型的路线，以及具有干线、山区和城市使用条件特征的典型化路线。

根据各种类型汽车（载货汽车、轻便汽车、公共汽车）的试验数据查明，在干线和山区使用条件下，道路的纵断面坡度（图2a）和行驶速度（图2b）的分布规律，接近正态分布，并有下列特征：道路纵断面倾角正弦的数学期望等于零；纵断面坡度的标准差（%）：干线为3.68，山路为8.43；汽车的平均行驶速度处于置信区间。

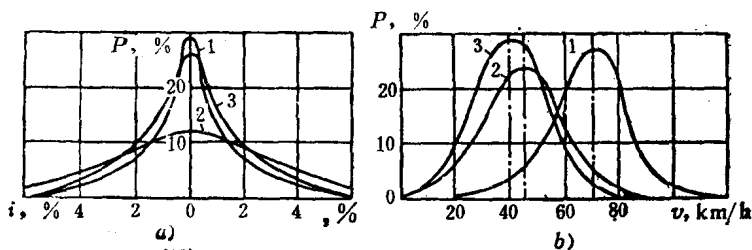


图2 坡度分布规律
1-干线道路；2-山区道路；3-城市道路

在电子计算机上计算时，每一种路线（干线、山路、城市道路）都由这种标准的或典型化的路线（经过 25m 行程）的标准纵断面坡度角的正弦表给定。标准纵断面考虑了沿弯道行驶时的道路附加阻力，路线的长度取为 50km 。

对于城市公共汽车路线，还要给定出站距，这可按莫斯科路线站距的分布密度曲线来大体取定。根据这些数据可以

得出，分布密度达最大值(30%)是400~600m循环，这些循环即应作为基准。

第三节 速度状态和载荷状态

一方面是道路因素和使用技术因素，另一方面是结构因素，二者都直接影响着汽车的速度状态和载荷状态，而后者又决定着汽车的生产率和经济性。因此，深入研究汽车在使用中的运行状态，并把这些状态加以标准化，就可以用在汽车试验场跑道上建立状态的物理模型，和在电子计算机上建立数学模型的方法，以最大概率评价汽车的速度性能和燃料经济性。

在下面的叙述中，必须确定在使用中常常遇到的行驶速度状态，并按一定条件将其分类。这种分类是在总结多年汽车试验所积累的经验的的基础上进行的。

按照上述分类方法，全部行驶速度状态可分成三种基本状态：匀速行驶的（稳定的），非匀速的（非稳定的）和循环的。

匀速行驶被分出来作为一种单独的状态，这是因为它实际上很重要，并且研究起来简单，虽然它的存在是假定的，因为在使用中，由于没有绝对水平的道路和无干扰的行驶而很少遇到。因此，我们有条件地把下述的状态当作匀速（稳定）状态：在给定行驶路段的行驶速度对其均值（数学期望）的均方差不超过2%。

非匀速（非稳定）行驶状态包括加速行驶（加速阶段）和减速行驶（减速和制动阶段）。

加速（减速）行驶状态，分为等加速（等减速）和非等加

速度（非等减速）行驶状态（即以可变的加速度进行加速或减速）。连续行驶状态可以作为非等速行驶的一个例子。这时由于运行过程中行驶阻力和扰动的变化，速度是变化的。

循环行驶状态由各行驶阶段分量确定的系统的组合来表征。典型的例子是汽车（例如城市公共汽车）沿着路线以确定的站距行驶。循环行驶状态可分为两种基本类型：有停车的和没有停车的。在使用中，遇到的各种各样的循环行驶，形成了一系列不同的行驶状态和阶段。可将它们分成下列基本行驶阶段（状态）：加速、稳定行驶、减速和制动。把制动状态作为独立行驶状态的理由是：存在着“汽车制动性能”的概念并为了便于对循环行驶状态进行分析。为了明确分出减速和制动阶段，规定凡是负加速度小于一个单位的减速行驶状态，均为第一（减速）阶段，而等于或大于一个单位的减速行驶状态，为第二阶段（制动阶段）。减速阶段包括滑行（挂档滑行）以及用发动机制动和用制动减速器或辅助制动器制动的减速。以负加速度不小于 1m/s^2 的强度进行制动的制动过程，属于制动阶段。

由上述分类可见，有停车和无停车的行驶循环由下列名称相同的行驶循环组成：加速-制动，加速-减速（包括上列全部减速方式），加速-滑行，加速-减速-制动，加速-滑行-制动，加速-稳定行驶-制动，加速-稳定行驶-减速-制动，加速-稳定行驶-滑行-制动。

加速和减速状态，可用各种方法实现。例如，用全部或部分油门换档或不换档加速；用发动机制动或用制动减速器制动，以及用其他制动的减速。因此，必要时可把一般名称的循环细分为名称更确切的循环。例如，“加速-减速”循环可分成这样的循环：“直接档加速-发动机制动减速”，