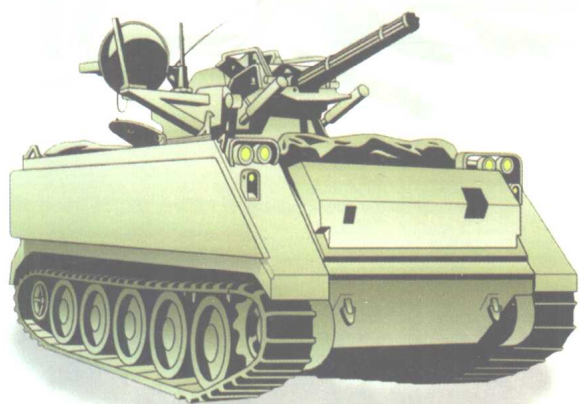


路面不平度的 测量 分析与应用

赵济海
王哲人
关朝雳

编 著



北京理工大学出版社

路面不平度的测量 分析与应用

赵济海 王哲人 关朝雳 编著

北京理工大学出版社

出版说明

为贯彻汽车工业产业政策,推动和加强汽车工程图书的出版工作,中国汽车工程学会成立了“汽车工程图书出版专家委员会”。委员会由有关领导机关、企事业单位、大中专院校的专家和学者组成,其中心任务是策划、推荐、评审各类汽车图书选题。图书选题的范围包括:学术水平高、内容有创见、在工程技术理论方面有突破的应用科学专著和教材;学术思想新颖、内容具体、实用,对汽车工程技术有较大推动作用,密切结合汽车工业技术现代化,有高新技术内容的工程技术类图书;有重要发展前景,有重大使用价值,密切结合汽车工程技术现代化需要的新工艺、新材料图书;反映国外汽车工程先进技术的译著;使用维修、普及类汽车图书。

出版专家委员会是在深化改革中,实行专业学会、企业、学校、研究所等相互结合,专家学者直接参与并推动专业图书向高水平、高质量、有序发展的新尝试。它必将对活跃、繁荣专业著作的出版事业起到很好的推动作用。希望各位同仁、专家积极参与、关心、监督我们的工作。限于水平和经验,委员会推荐出版的图书难免存在不足之处,敬请广大同行和读者批评指正。

本书由赵济海、王哲人、关朝雳编写,胡子正主审,经专家委员会评审通过、推荐出版。

汽车工程图书出版专家委员会

前 言

本书按照“汽车工程图书出版专家委员会”的选题要求,并邀请道路专业人员参与编写。

在本书中,车辆和道路面对的是同一个对象——路面,探讨的是同一个问题——路面的平整性。读者在书中将会发现,两学科在平整性技术内容的要求和表达上尽管存在少许差异,但更多的内容表现了共性和互补。而且随着时代的发展,两者的技术内涵将在更高层次上产生更多的互补和融合。

考虑到部分读者希望不涉及路谱分析而了解路面不平度的测量及仪器,所以把这些内容放在数学基础之前;这些测量方案之奇巧、数据之严谨、工程之艰巨无不拆射出业内同仁的勤劳和智慧。路面谱密度的表示方法和标准为路面谱工作提供便利。随机过程、频域分析等内容的叙述,避免艰深的理论论证,以满足路面谱分析的应用为目的。在应用一章中,既叙述了车辆和道路各自的内容,又部分涉及了两者合作的成果和前景。本书可作科技人员和高等院校师生的参考用书。

第一章第二节之二和第五章第四节两部分为王哲人编写,RST多道路面测试仪和第四章第三节两部分为关朝雳编写,其余均为赵济海编写。

林茂成高级工程师、应国增高级工程师长期从事路面谱工作,本书中有关长春汽车研究所的成果,均采自与他们合作的研究报告。在成书过程中,得到王学义研究员、北京市市政工程局孙尚田副总工程师的多次帮助和支持。胡子正教授审阅全书,在多方面作了改正并提出了部分增补、改写的宝贵意见,在此一并表示深深的感谢。

限于编者的水平和经验,错误和不足在所难免,恳请读者批评、指正。

编 者

一九九九年十月于长春

目 录

第一章 绪 论

第一节 车辆与道路	(1)
一、人与道路	(1)
二、车辆与道路	(1)
三、汽车与公路	(1)
第二节 路面不平度的重要性	(3)
一、车辆的运行环境	(3)
(一)车辆的运行环境	(3)
(二)路面不平度分析的现状	(4)
(三)路面不平的部分应用实例	(4)
二、公路运输经济	(6)
(一)公路交通费用组成	(6)
(二)车辆营运费用	(6)
(三)路面平整度的作用	(9)
第三节 路面不平度的定义	(11)
一、国际路面不平度分级	(11)
(一)国际路面不平度分级	(11)
(二)我国公路等级和国际不平度分级的关系	(12)
二、路面不平度的定义	(14)
(一)路面不平度的名词和内容	(14)
(二)路面不平度的定义	(16)

第二章 路面不平度的测量和仪器

第一节 路面不平度测量仪器的两个重要特性	(17)
一、路面测量的波长范围和采样间隔	(17)
二、路面不平度仪器的幅频特性	(18)
第二节 路面不平度的测量和仪器	(20)
一、不振动(固定)基准的测量方法和仪器	(20)
(一)用水平仪作基准测量路面纵剖面	(20)
(二)用光线作基准测量路面纵剖面	(21)
(三)用直梁作基准测量路面纵断面	(21)
(四)直尺及其测量方法	(22)
二、多轮测平车(随动基准)的性能及测量方法	(24)
三、动态响应测量(间接测量)的方法和仪器	(28)
(一)传递函数法	(28)
(二)颠簸累积仪	(28)
四、递推基准的路面纵剖面测量仪	(33)
(一)TRL 高速路面计	(33)

(二)轻便的递推式路面计	(43)
五、惯性基准路面纵剖面测量仪	(46)
(一)GMR 路面计(美、中、德、澳等计算修正的惯性基准)	(46)
(二)RST 多道路面测试仪(瑞典等,计算修正的惯性基准)	(56)
(三)APL 路面纵剖面仪(惯性摆基准)	(61)
六、角度基准路面纵剖面测量仪	(65)
(一)陀螺基准的两种测量仪器	(65)
(二)AASHO 道路纵剖面测量仪	(68)
(三)真实路形计(三角度求和方案)	(73)

第三章 不平度分析的数学基础

第一节 平稳随机过程	(79)
一、随机过程	(79)
二、平稳随机过程	(79)
三、各态历经随机过程	(80)
第二节 傅立叶变换	(81)
一、傅立叶级数	(81)
二、傅立叶积分	(83)
三、有限离散傅立叶变换	(84)
四、离散变换的周期现象	(86)
五、卷积定理和巴什瓦等式	(88)
第三节 采样与混淆	(90)
一、采样的频率混淆	(91)
二、抗混淆滤波和采样频率的确定	(92)
第四节 数据的预处理和平稳性检验	(93)
一、数据的预处理	(94)
(一)去均值(零均值化)	(95)
(二)去趋势项	(95)
(三)数字滤波	(96)
二、数据的平稳性检验	(105)

第四章 路面不平度数据的表示方法

第一节 幅值域的参量估计	(108)
一、方差估计	(108)
二、标准差估计	(108)
第二节 频率域表示——功率谱密度估计	(108)
一、空间频率 n 与波长 λ	(109)
二、单道数据——自功率谱密度估计	(109)
(一)自功率谱密度的定义	(109)
(二)泄露及加窗	(110)
(三)自功率谱密度估计	(113)
(四)总体平均和频率平滑	(114)
(五)路面功率谱密度函数的特性及其图形	(119)
(六)空间频率功率谱密度 $G_d(n)$ 化为激励功率谱密度 $G_d(f)$	(120)

(七)频带的累计方差	(121)
三、多道数据——互功率谱密度估计和凝聚函数	(122)
第三节 国际道路不平度指数(IRI)	(126)
一、国际不平度试验(IRRE)	(126)
二、国际不平度指数(IRI)	(127)
三、测点预处理和系数矩阵	(128)
(一)测点间的包容性计算	(128)
(二)测点间隔的规范化	(128)
(三)过渡过程和系数矩阵	(129)
第四节 各种路面不平度指标之间的换算	(131)

第五章 应 用

第一节 北京市路面谱分析	(133)
一、天安门广场和西长安街	(134)
二、特殊使用条件的三个路段	(134)
三、筑路材料及数据处理方法的影响	(135)
第二节 车辆试验道路及试验场	(136)
一、车辆的自然试验道路	(136)
二、武器试验场的路面谱	(136)
(一)承载系振动试验跑道	(140)
(二)越野道路的定性检查方法	(141)
(三)试验道路的功率谱密度	(142)
三、汽车试验场	(146)
(一)高速环形道	(146)
(二)可靠性试验坏路	(148)
(三)山区公路	(157)
四、承载系试验的路面输入等效法	(158)
(一)车辆响应等效法和路面输入等效法	(158)
(二)输入滤波器参数的选择	(159)
(三)路面输入等效的验证	(161)
第三节 路面工况的室内模拟试验	(163)
一、道路模拟试验机	(163)
(一)室内模拟试验技术的提出	(163)
(二)MTS 道路模拟试验机	(163)
(三)有效路形和真实路形	(165)
二、虚拟车辆试验场	(165)
(一)数据库和建模	(166)
(二)整车分析	(168)
第四节 道路工程	(168)
一、路面结构设计	(168)
(一)按使用要求设计路面(AASHO 法)	(168)
(二)影响路面平整度的工程因素	(169)
二、路面管理系统	(171)
(一)平整度的衰减	(171)

(二)路面养护管理系统	(172)
三、路面的使用性能	(176)
(一)功能性使用性能	(176)
(二)功能性与结构性使用性能	(177)
(三)平整度标准	(178)
参考文献	(180)
附录:ISO/DIS 8608 机械振动—路面纵剖面—测量数据报告方法	(182)
附录 A 报告的范例(资料)	(188)
附录 B 道路纵剖面特性及功率谱密度拟合	(191)
附录 C 使用道路纵剖面统计数据的一般指导	(193)
附录 D 功率谱密度的计算及精度的若干问题	(200)
附录 E 书目	(205)

第一章 绪 论

第一节 车辆与道路

一、人与道路

“衣食住行”是人们生活中极其重要的几个方面。

“行”的硬件部分应包括交通的运载工具和交通设施。运载工具包括各种车辆、船舶、飞行器；交通设施是指航空港、码头和各种道路。

最初的道路是人们为行走而创造的。我国有关道路的文字记载，最早的见于诗经“周道如砥，其直如矢”，其意思是：国道像打磨的那样平整，如箭一样直伸向远方。由此可见当时的道路已有笔直的线形和良好的平整度，也可以感到人们赞颂道路的热情。

道路由古代的羊肠小道、驿道发展到现在的公路、高速公路，其使用功能和物理性能都发生了巨大变化，与人们关系更加密切，在人们的生产、生活中的地位更为重要。

二、车辆与道路

●车辆的出现：不知道滚动的车轮的确切发明时间。一些人认为从山坡上滚下的圆形木头、石头，可能是激发先民创造车轮的因素。据记载，在公元前 3200 多年前的图画上，可以看到车轮已经用于酋长的战车之上。我国关于车辆较早的记载和传说，也大致在这个时期。黄帝的指南车应算是最早的车。“黄帝时，已有车服，故谓之轩辕”（荀子·解蔽篇）。“轩”是指装有圆形伞盖的车，“辕”为畜力车前部驾车的纵向梁木，“轩辕”很像是车的称谓。所以，后世称黄帝为轩辕，亦称轩辕黄帝。又有记载商代奚仲发明了车，则可能是对车辆作了重大改进和完善。看来，车的出现也可能像其他事物一样，是许多人分别创造的集成。

●早期的车辆与道路：春秋战国时期，诸侯纷争；数百年间，无数的兵车驰骋在中原的道路之上。嬴政灭六国，一统天下后下达的政令“车同辙”，可能是我国有文字记载的最早的交通法规。

早期交通的特点是非机动，人、车、马混合交通，这在人类历史上延续了数千年。“车辚辚，马萧萧，行人弓箭各在腰。耶娘妻子走相送，尘埃不见咸阳桥”所描写的正是一幅兵车、战马和步兵在道路上滚滚前进的洪流，十分形象地表示了道路并非供车辆专用，而是车、马、人的混合交通。而且，把马作为交通运输动力的代表，也可能是把道路称为“马路”的原因吧。

●古代的“高速公路”——御道：公元前 6 世纪中叶的波斯帝国控制了东起印度河、西至达坦尼尔海峡的广大疆域，所修建的最长的一条御道就是从王室所在地苏撒至小亚细亚的萨迪斯的道路。该道全长 2600km，紧急时以每天 370km 的惊人速度行驶，并专供军事及行政使用，可算是最早的“高速公路”。波斯时代之后的罗马帝国，在整个欧洲大陆建立起公路网，“条条道路通罗马”是该公路网不朽的通俗的注释。

三、汽车与公路

汽车的出现不过一百多年，但发展却极为迅速。

现代汽车公认的发明人是德国工程师卡尔·奔驰(1844—1929)和德国工程师戈特利布·戴姆勒(1834—1900)。卡尔·奔驰于 1885 年在曼海姆制造了第一辆三轮汽车,该车装有一台单缸、水冷、排量不到 1L、0.85HP(0.625kW)的汽油发动机,于 1886 年 1 月 29 日申请了专利,并于同年 7 月 3 日首次公开试验。于是 1886 年 1 月 29 日就成为世界第一辆汽车的诞生日。而另一位德国人戈特利布·戴姆勒和他的助手威廉·梅巴赫也在 1886 年制造了一辆时速 16km 的四轮汽车,该车装有一台单缸 1.5HP(1.103kW)的发动机。图 1-1、1-2 是他们发明的汽车。图 1-3 是该厂的商标、两人的照片和签名。

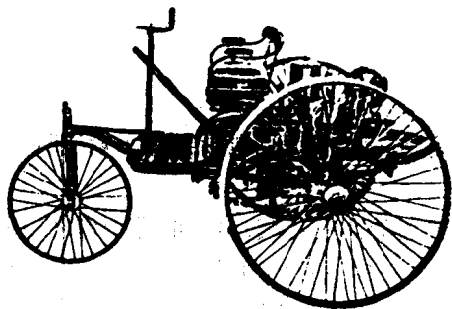


图 1-1 “奔驰”汽车专利(1886)

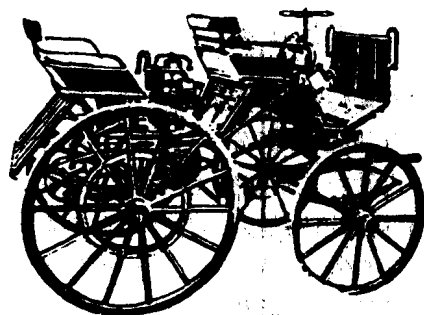


图 1-2 戴姆勒的四轮汽车,(1887/1888)

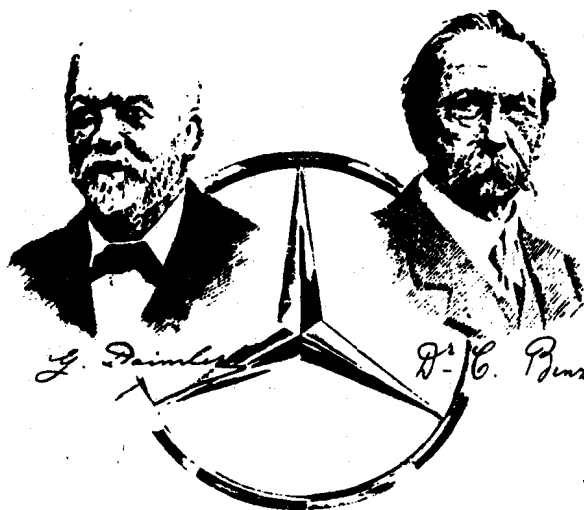


图 1-3 戴姆勒-奔驰厂的商标、两人的照片和签名

汽车于 1902 年(清光绪 28 年)进入中国,这辆戴姆勒-奔驰厂生产的汽车是慈禧的猎奇和休闲用车。1903 年(清光绪 29 年),上海南京路快利脚踏车行出售了一辆 Aldsmobile 牌汽车,次年(1904 年)上海租界开始颁发汽车牌照,该车的牌照为第一号。

汽车的迅猛发展极大地推动了交通和道路的发展,交通从机动车辆和非机动车辆共用一条道路的混合交通,逐步发展到现在的高速公路。高速公路是专供汽车分道高速行驶并全部控制出入口的公路。1962 年 11 月,联合国欧洲经济委员会运输部的日内瓦会议,把高速公路定义为:“高速公路是利用分离车道往返行驶的道路;它的往返车道用中央分割带分开;不允许与其他任何铁路、公路存在平面交叉;除规定的出入口外,禁止从路侧的任何地方进入公路;禁止汽车以外的交通工具出入。”

我国公路工程技术标准规定我国的公路分为高速公路、一级公路、二级公路、三级公路、四级公路五个等级,其技术参数见表 1-1。

表 1-1

公路等级	高速公路						一		二		三		四	
计算行车速度/ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	120			100	80	60	100	60	80	40	60	30	40	20
车道数	8	6	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2	1 或 2	
行车道宽度/m	2× 15.0	2× 11.25	2× 7.5	2× 7.5	2× 7.5	2× 7.0	2× 7.5	2× 7.0	9.0	7.0	7.0	6.0	3.5 或 6.0	

第二节 路面不平度的重要性

一、车辆的运行环境

(一)车辆的运行环境

交通领域涵盖了空中、水里、陆上的各种运载工具,不同运载工具的运行环境也不尽相同,飞行器的运行介质是空气;水面船舶和潜水艇的主要运行介质是水;车辆的运行环境则是空气和地面。

空气会对行驶中的车辆产生空气阻力、空气升力和侧向力,对汽车的动力性、操纵稳定性以及燃油经济性等方面产生影响。为了研究空气对行驶车辆的影响,在航空空气动力学的基础上形成了车辆空气动力学。两者的区别在于车辆的空气动力学具有地面效应,并且车辆在空气中的运行速度比飞行器低多了。

经过车辆空气动力学研究发现,空气阻力的大小与车速的平方成正比。因此对低速车辆来说,空气阻力对车辆行驶的影响较小而可以忽略不计。但对于高速车辆来说,空气阻力对车辆行驶的影响非常大不可以忽略。

车辆的另一个重要的运行环境是地面。由于“陆用车辆”包括了所有轮式和履带的公路车辆和越野车辆,所以,车辆运行的地面除了公路路面以外,还包括松软地面(土壤、沙漠、雪地、沼泽)和各种障碍(陡坡、侧坡、壕沟、台阶、灌木丛、水障等)。而其中的公路车辆和有限越野性能车辆所行驶的(硬)路面才是本书的研究对象。

路面不平使车辆在行驶中产生行驶阻力和振动。行驶阻力消耗车辆的功率并且影响车辆动力系统和传动系统的寿命。而在冲击下产生的振动,则直接影响了车辆平顺性、乘坐舒适性以及承载系的可靠性和寿命。同时阻力和振动也对车速和操纵稳定性产生影响。所以,路面不平度是车辆运行环境中的主要因素。

为了改善车辆的行驶质量,人们从道路和车辆两方面进行工作。从大道、驿道一直发展到今天的高速公路,道路工程为提高车辆行驶质量,作出了不懈的努力和巨大贡献。

早期的车辆,车轮和车体直接连接而没有缓冲,所以行驶质量很差。后来在轮轴、车体之间加装弹簧,以减少道路对车体的影响。同时还需要在车体和车轮之间来传递纵向的驱动、制动力和侧向力的机构;把弹簧及其机构称为车辆悬挂系统。目前应用的弹性元件(弹簧),有钢板弹簧、螺旋弹簧、扭杆弹簧、空气弹簧、油气弹簧等等;从悬挂方案来说,有相关悬挂、平衡悬挂、独立悬挂等,这些悬挂都是被动悬挂;主动悬挂还正在发展之中,微机从传感器得到车辆的运行信息,并动态地调整悬挂的诸多参数(如可变阻尼、可变刚度、可升降悬挂等)使车辆在该路面上达到更好的行驶工况。这一些都是为了使车辆适应其运行环境的卓有成效的进展。

此外,路面不平度是汽车设计中动态载荷计算的参数。

(二)路面不平度分析的现状

虽然在道路工程和车辆工程方面,均有前述值得自豪的进展,但不幸的是,作为车辆运行环境的路面不平度分析却发展缓慢,远不如空气动力学和流体力学。其原因可能有两点:

1. 重要性、迫切性不同

不掌握空气动力学,飞机就难于翱翔蓝天,而且机毁、人亡的事故不断。流体力学对于船舶同样是十分重要的。

与前者的流体性质相比,路面是个静止的对象,便于把握。而且路面的好坏,虽然影响车辆的行驶质量,但一般不会造成车毁、人亡;所以对路面的研究就不如前者那样迫切。

2. 分析的难度不同

空气、流体和路面三者研究的难点各不相同。

路面不平度对车辆的作用,不像空气和水对飞机和船舶那样均匀和连续,而是一个随机过程。它不但是一个数学问题,同时也是一个工程化的应用问题。例如随机分析的样本定义区间是 $(+\infty, -\infty)$ 。而工程样本,特别是路面样本只能是有限长。这就要把纯数学进一步发展能为工程所用的数学。

一些关键技术和方法,近代才得到逐步解决。如快速傅立叶变换(FFT),直到1965年才由柯立-杜肯(Cooley-Tukey)完成;有关谱窗、泄漏、误差等许多工程化问题,国内在20世纪70年代还在探讨之中。值得指出的是《随机数据分析方法》一书的出版(1976年12月中文版第一版,1971年英文第一版),由于该书是航空和宇宙航行试验数据处理工作总结,因此比较符合工程应用的需要。

路面分析的许多问题仍在探索和发展之中。1991年9月最新的路面谱的国际标准“ISO/DP 8608”仍然是草案,尚未转为正式标准;美国陆军试验与鉴定司令部路面谱文件的签署日期是1977年7月。如今,应用笔记本电脑系统可进行现场路面的测量、分析;这是路面数据分析设备经历了电子管模拟机、穿孔输入数字机等多次机型换代升级的结果。由于路面测量分析是一个很窄的专业,很难得到技术发展的直接支持,每次换代的硬(外时钟采集)、软件等开发任务只能由少数人员承担,这些都是路面不平度分析领域进展缓慢的原因。

(三)路面不平的部分应用实例

通过生活、生产中发生的事情,可以看出路面不平在人们生活中的重要地位。

1. 天安门广场

天安门广场和新华门前的道路在节日庆典时通过各种车辆和人群,因而为人们所熟悉。此外,凡是进、出北京国际空港的人,都经历了国内外两地乘车的历程,从而会比较两地的路面不平度的好坏,北京的路面成了中国道路质量的窗口。所以,该路的不平度等级如何,成为从事路面科学工作者的一件心事。

在 1984 年 6 月,由哈建工学院、长春汽研所、北京市政工程局和吉林交通所联合对这些路段的不平度进行了测量和评价。

分析结果表明,天安门广场和西长安街的路面都是高等级的 A 级路面。

2. 导弹、飞机与路面

导弹、飞机和路面似乎是风马牛不相及,可是它们的任务与路面却有着不解之缘。

1978 年夏,七机部(航天部)一院在课题调研中提出了一项军用急造公路路面谱的任务。原来机动战术导弹是装在运载车上的,战时进入阵地需要通过公路和军用急造公路,路面特性是设计需要的参数。可惜当时国内的条件还不具备,没能满足任务的要求。在两年以后,把军用急造公路路面不平度的谱分析报告送到了一院,但是事过境迁,没能及时结合任务进行应用研究。

20 世纪 80 年代初,三机部(航空部)某研究所和长春汽车研究所洽谈 60 个机场跑道的路面谱分析,并对长春机场进行了试测。后来由于管理体制等一些原因而中断。

美国早在 20 世纪 40 年代就对军用机场跑道不平度进行过谱分析。当年在美国和欧洲,曾经测量了数十个飞机场跑道的不平度。因为,飞机在起飞、降落的滑行状态下,机场跑道的不平度是飞机承载系的主要冲击源。

3. 路面谱和解放军三总部

高炮、火炮的可靠性牵引试验是国防科工委武器试验场的重要试验项目之一。牵引试验是在挖坑的土路上进行,这种 20 世纪 50 年代标准的试验道路,在试验中已暴露了许多缺点。测量表明,由于牵引车在过坑时往往制动减速,使武器所受到的冲击比起平坦路段上的冲击还小,这样就没有达到过坑试验的目的。新规范的试验道路是随机不平的坏路,克服了上述试验缺点。这样路面谱分析就成了该随机试验坏路测量和控制的必需的技术。

在总参的装甲兵试验场,有丘陵地形的起伏跑道,也有平坦的河卵石跑道。但在后者的试验道上,坦克的可靠性受到更严峻的考验,损坏较前者多。两种跑道试验里程的搭配比例是一个需要慎重对待的问题。这样,合理地选择不同功率路段的比例,以满足试验规范的要求,当然是路面不平度分析的任务了。

总后的汽车试验场,担负着军用车辆的试验和鉴定。试验场内各种路面的功率结构以及试验的强化研究,也都需要路面不平度分析技术。

在 20 世纪 80 年代三总部分别配备了真实路形计产品及配套分析软件。

4. 道路维修的诊断技术(PSI)

公路的造价是十分昂贵的,相应的道路维修费用也很可观。所以,道路的科学维修非常重要。

公路的造价虽高,总是可以通过“预算”和“决算”来得到,算是有章可循、“明码实价”。而道路维修费用却是大有学问,按照道路使用寿命的概念来说,它存在最佳维修时机。这个技术就是 PSI (Present Serviceability Index)。国际大量研究表明,根据 PSI 技术来确定道路的维修时机和维修内容,才能使维修费用最省。由于与造价相关的维修费用高昂,所以科学地按照 PSI 技术可以节省大量的资金。或者说不懂得运用该技术,所造成损失也可能是天文数字。从这里可以看出公路造价和公路维修费用的性质不同,后者是一个黑匣子,通俗点儿说是一个陷阱。举两个例子:20 世纪 70 年代美国按该技术编制的十三年维修预算高达 1300 亿美元,可见该技术在国民经济中的地位。20 世纪 80 年代我国某城市花费数百万元人民币维修了一条道路,一位作 PSI 研究的教授评估说:这是一次错误的维修。

路面不平度是 PSI 技术的重要组成部分。所以,路面不平度的应用研究,对国民经济有重大价值,特别是我国高速公路的建设飞速发展的今天,有着更大的意义。

5. 自行车的路-车-人系统

根据 1985 年统计,我国自行车年产量为 2500 万台,保有量超过一亿,并以每年 2000 万台的速度增长。照此推算现在自行车的保有量已超过二亿。所以,中国是名副其实的自行车王国。由于自行车节约能源、不污染,而且是许多人的代步工具,所以在国、内外的前景看好。提高自行车的舒适性、可靠性,就能改进性能、节约钢材。把路面对自行车的激励纳入分析内容,是国内、外最新的研究方向。

路面是自行车课题路-车-人系统的一部分,唐山自行车总厂和长春汽车研究所合作,于 1984 年完成了我国首例自行车路面谱分析报告。

二、公路运输经济

(一)公路交通费用组成

无论从宏观经济或微观经济的角度分析,路面的平整性都是重要的,因为“运输是生产过程在流通领域的继续”,而路面平整度影响到产品的成本。

自 1988 年沈大、沪嘉高速公路通车,实现我国大陆高速公路零的突破起,到 1998 年底高速公路总里程已达到 6258km。

为实现国民经济的持续发展,政府正在调整经济结构,加大对干线公路网建设的投资,1998 年计划投资高达 1800 亿元,实际投资达 2188 亿元,其深远意义不只是近期地拉动经济发展。发达国家的公路交通费用的组成分析(图 1-4)表明:交通基础设施建设费不超过 15%,巨额的公路建设投资,将通过运输成本的降低,产生数以倍计的直接经济效益和社会效益。纵观世界各国经济发展,发展国家无不以干线公路网建设为发展经济的前提。

从宏观经济分析,建设以高速公路为主骨架的干线公路网,通过时间的节约、能源消耗的降低、轮胎与车辆等物资利用率提高、事故损失的减少,实现高效率、低成本是全社会有限资源合理、有效分配的必然。

从微观经济分析,通过运输费用的减少,产品成本下降,市场竞争力提高。如今,有无高速公路已成为考察投资环境的必要条件。

经济规律表明,发展到一定时期,高度集中科学技术发展成果的汽车工业,将成为推动这一阶段社会经济发展的动力。进入这个阶段需要多种必要条件,所以文化大革命后,第一个提出修建高速公路的并不是交通部,而是中国汽车工程学会。

(二)车辆营运费用

按世界银行计算车辆营运费用的 VOC 模型(Vehicle Operating Cost Prediction Model),车辆营运费用包括油耗等 10 项,计算参数包括车型、车速与平整度 3 个,各项费用的影响因素如表 1-2 所列,其中第 10 项为杂费,按各地经验确定。表 1-3 给出了不同车型车辆营运费用的计算结果。

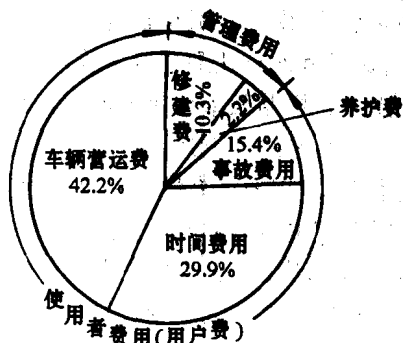


图 1-4 发达国家公路交通的费用组成

表 1-2

车辆营运费用项目	影 响 因 素		
	车型	车速	平整度
油耗	✓	✓	
轮胎磨损	✓	✓	✓
零件维修	✓		✓
维修劳务	✓		✓
润滑油消耗	✓		✓
乘务费用		✓	
车辆折旧	✓		
乘客延误		✓	
货物延误		✓	

表 1-3

单位:(万元/公里·年)

车型	燃料消耗	润滑油消耗	轮胎磨损	乘务员费用	乘客延误费用	载货延误费用	维修劳务	维修零件费用	车辆折旧	杂费	总和
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	
铰接车(a)	5609	468	3391	287	0	103	406	10625	5419	2069	28377
重货车(b)	3035	290	2387	244	0	88	172	5623	2907	1175	15922
中货车(c)	3010	290	1378	266	0	96	115	2373	1591	770	9888
轻汽货(d)	2364	215	2552	248	0	90	115	2081	1346	645	9656
轻柴货(e)	4883	215	1563	245	0	88	115	1367	949	465	9889
公 汽(f)	5212	290	555	261	3388	0	155	2139	1331	660	13990
小货车(g)	2605	159	211	248	0	90	40	1138	568	269	5328
大客车(h)	3452	159	264	220	2227	0	43	3927	1436	674	12403
中客车(i)	2795	159	185	204	1474	0	42	2124	940	426	8349
小轿车(j)	1307	159	132	199	647	0	37	1129	1310	620	5542

车辆营运费用的组成分析(图 1-5)表明了总体趋势:轻型车辆营运费用的油耗所占份额显著;重型车辆以轮胎与零件消耗费用显著;此外,基价昂贵的车辆折旧费用显著。联系表1-2,速度因素对轻型车辆的费用起主要作用,而平整度对重型车辆费用的影响更为突出。

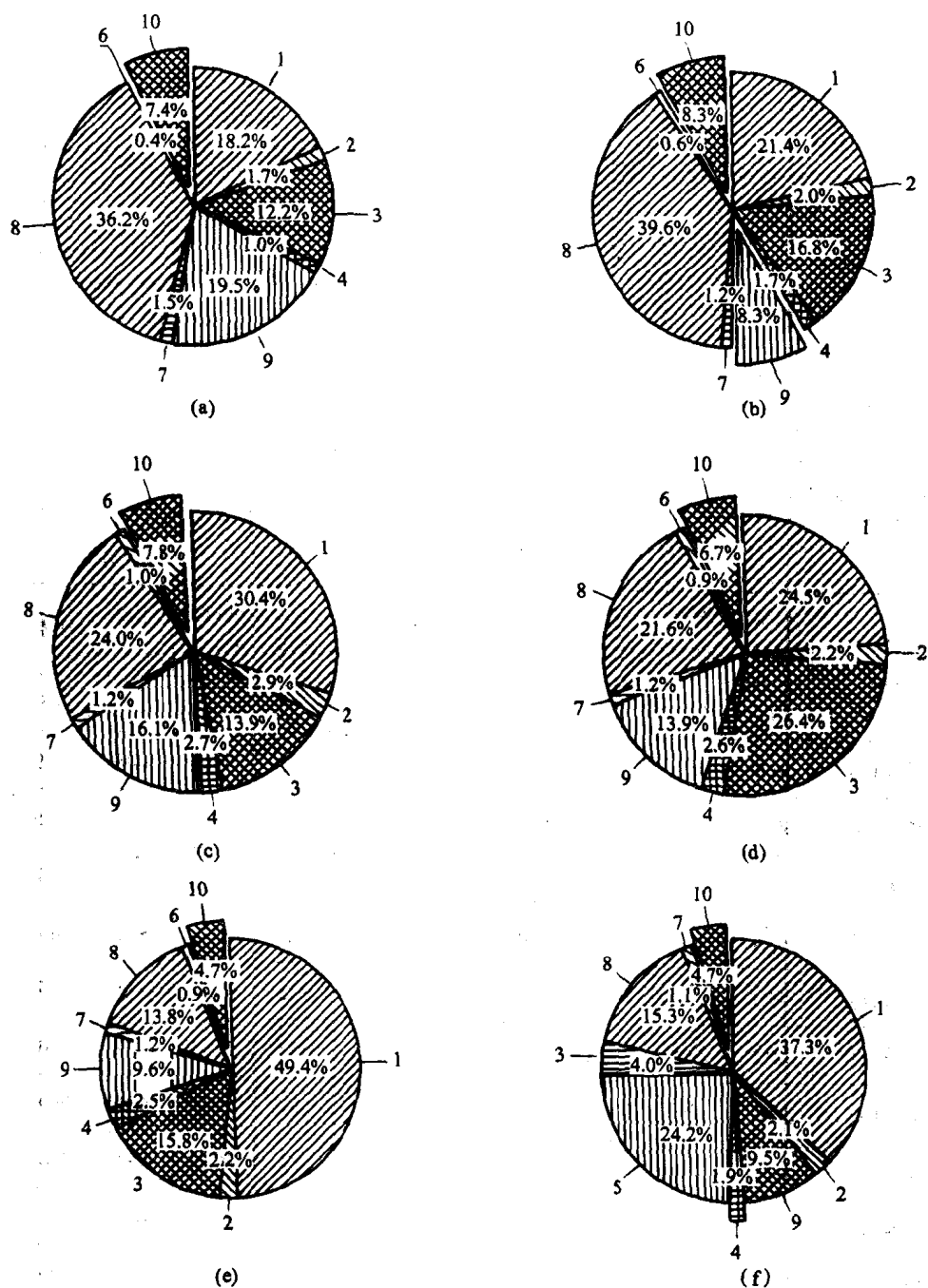


图 1-5

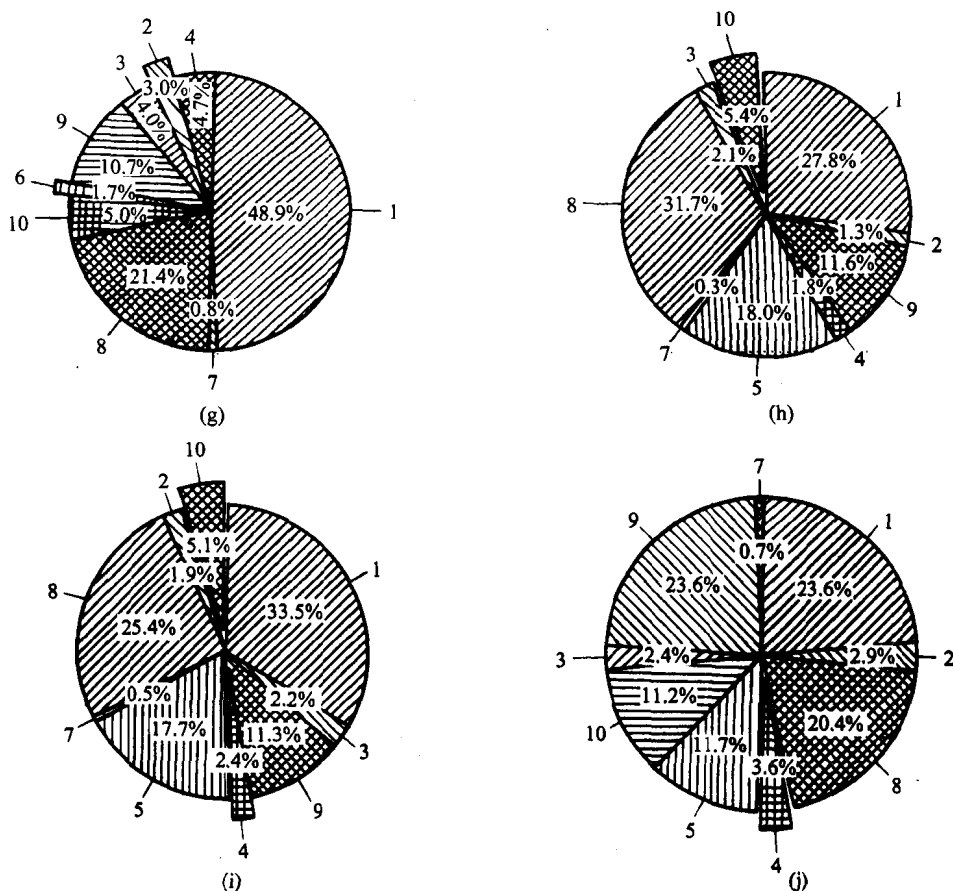


图 1-5 车辆营运费用组成分析

(a) 铰接车; (b) 重货车; (c) 中货车; (d) 轻汽货; (e) 轻柴货; (f) 公汽;
(g) 小货车; (h) 大客车; (i) 中客车; (j) 小轿车。

(三) 路面平整度的作用

道路对车辆营运费用的影响取决于道路的线型(坡度与曲率)与路面的平整性(平整度)。图 1-6 给出了一个实例,根据哈尔滨-大庆高等级公路交通的发展,分析了坡度、曲率、平整度三大道路要素对通车第一年的车辆营运费用的影响,同时预测了对设计年限末期第二十年的车辆营运费用的影响。

平整度影响如此显著,一方面通过零件维修等费用明显地反映出不平整造成车辆振动,使零件与车辆损坏的费用猛增,远远超过了油耗;另一方面,影响费用的另一因素——速度,它是平整度的隐函数。

由于平整度的双重影响,因此不仅各级公路有不同的平整度设计标准,而且平整度是决定路面养护对策的控制指标。对于特殊道路,为满足防震的要求把平整度上升为设计的控制指标,将在以后的章节中论述。