



高等学校试用教材

# 公路养护与管理

GONGLU YANGHU YU GUANLI

(公路与桥梁工程专业用)

● 许永明 主编 ●  
卓知学 主审

人民交通出版社

高等学校试用教材

Gonglu Yanghu yu Guanli

# 公路养护与管理

(公路与桥梁工程专业用)

许永明 主编

卓知学 主审

人民交通出版社

### 图书在版编目(CIP)数据

公路养护与管理/许永明编著.-北京:人民交通出版社,1998

高等学校试用教材

ISBN 7-114-03000-2

I. 公… II. 许… III. 公路养护-行政管理-高等学校-教材 IV. U418

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 09962 号

高等学校试用教材

### 公路养护与管理

(公路与桥梁工程专业用)

许永明 主编

卓知学 主审

插图设计:王惠茹 版式设计:崔凤莲 责任校对:张莹

责任印制:张凯

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街10号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京交通印务实业公司印刷

开本:787×1092 1/16 印张:11 字数:280千

1998年8月 第1版

2000年5月 第1版 第2次印刷

印数:5 001 - 10 000册 定价:14.00元

ISBN 7-114-03000-2

U·02151

# 前 言

《公路养护与管理》是高等专科学校公路与桥梁专业必修的一门专业课程。本课程的任务是通过教学使学生掌握公路养护的有关基本理论、技能和管理方法,以适应学生毕业后工作的需要。

本课程的基本要求是:

1. 通过学习掌握车辆行驶与公路相互作用以及公路在行车和自然因素作用下技术状况变化的基本理论知识,使学生具有分析公路病害产生原因的能力;
2. 系统、重点地掌握公路养护的维修技术以及病害的防治措施;
3. 了解公路养护工作的组织与管理内容,以及科学的养护管理方法。

我国高等学校教材《公路养护与管理》第一次组织编写出版是在 1961 年,以后一直未曾再有修订或重新组织编写出版。在这三十余年间,特别是我国实行改革、开放政策以来,公路建设事业得到了迅猛发展,公路养护管理工作也取得了很大成就。本教材的内容力求反映当前公路养护与管理的发展水平,根据我国最近修订的《公路养护技术规范》等有关新规范,并吸收了国内外最新的研究成果组织编写。

根据交通部 1991 年 10 月召开的高等学校路桥及交通工程专业教材编审委员会三届四次会议上审定的《教材编写大纲》及讨论意见,扩充了桥梁养护的内容,公路养护管理系统专列一章介绍,并在有关章节中增加了高速公路养护的内容,以适应当前公路养护管理工作发展的需要。

本课程是《路基路面工程》、《桥梁工程》等专业课的一门后续专业课程,并与诸多基础课程有关,涉及的内容较广,且具有较强的综合性与实践性。因此,在教学过程中应突出重点,以掌握基本概念、应用为主。各校根据具体情况,部分教材内容可指定学生自学,并应积极创造条件,应用录像等电化教学手段,以提高教学效果、节省讲课时数。在《路基路面工程》教学实习中未进行路况调查与测定的,宜在课程中安排适当时间补充这部分内容。

本书第一、三、八章由西安公路交通大学许永明编写,第二、五章由赵可编写,第四、六、七章由徐岳编写,第九章由刘国杰编写。全书由西安公路交通大学许永明主编,由湖南大学卓知学主审。

限于编者水平,疏误之处在所难免,敬请有关院校师生和读者,提出宝贵意见,以便再版时修改。

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 汽车与公路的相互影响和作用.....	1
第二节 行车和自然因素的作用对公路技术状况的影响.....	8
第三节 公路养护工作的任务及其工程分类 .....	12
第四节 我国公路养护工作的方针与技术政策 .....	18
第五节 公路养护管理的发展方向 .....	19
<b>第二章 路基的养护与维修</b> .....	22
第一节 路基养护工作的内容与要求 .....	22
第二节 路基的日常养护与维修 .....	23
第三节 路基翻浆的防治 .....	26
第四节 滑坍的防治 .....	32
<b>第三章 路面的养护与维修</b> .....	37
第一节 概述 .....	37
第二节 沥青类路面的养护与维修 .....	38
第三节 水泥混凝土路面的养护与维修 .....	55
第四节 粒料路面的养护与维修 .....	60
第五节 改善土路面的养护 .....	66
第六节 路面基层的改善 .....	68
<b>第四章 桥涵构造物的养护与维修</b> .....	71
第一节 概述 .....	71
第二节 桥梁的检查与检验 .....	71
第三节 桥梁上部构造的养护、维修与加固.....	83
第四节 墩台基础的养护、修理与加固.....	95
第五节 涵洞的养护、维修与加固.....	99
第六节 调治构造物的养护、维修与加固 .....	101
第七节 超重车辆的过桥措施.....	103
<b>第五章 防洪、防冰、防雪与防沙</b> .....	106
第一节 水毁的预防、抢修与治理 .....	106
第二节 公路冰害的防治.....	110
第三节 公路雪害的防治.....	112
第四节 公路沙害的防治.....	114
<b>第六章 公路沿线设施的养护</b> .....	115
第一节 交通安全设施及其养护.....	115
第二节 公路交通标志.....	117

第三节	路面交通标线	120
<b>第七章</b>	<b>公路绿化及其管护</b>	<b>122</b>
第一节	公路绿化及其规划	122
第二节	公路树木的栽植与管护	124
<b>第八章</b>	<b>养护工作的组织与管理</b>	<b>128</b>
第一节	公路养护管理的组织机构	128
第二节	公路养护的技术管理	130
第三节	公路养护的生产管理	136
第四节	路政管理	138
第五节	公路养护质量的考核	141
<b>第九章</b>	<b>公路养护管理系统</b>	<b>142</b>
第一节	公路养护管理作为系统研究的概念	142
第二节	路面状况评价及其指标与标准的确定	146
第三节	养护对策、优化与年度养护计划	160
第四节	路况预测模型及线性规划模型	165
<b>主要参考文献</b>		<b>167</b>

# 第一章 绪 论

## 第一节 汽车与公路的相互影响和作用

公路运输是整个交通运输系统中的一个重要组成部分。在国家的现代化建设中,公路是重要的基础设施之一,公路的技术状况直接关系到国民经济的发展、国防建设与人民生活水准的提高,也是衡量国家经济、科学文化水平的一个重要标志。

现代汽车的种类繁多,有轿车、客车、货车、牵引车、特种车、工矿自卸车和越野车等。但是,其基本构造都由发动机、底盘、车身、电器装置四部分组成。汽车的各总成、部件通过底盘连接成一整体,并由传动系统将发动机的动力传至驱动轮变成牵引力,以实现其行驶的目的。公路是为汽车行驶提供服务的一种构造物。

汽车运输的总的要求是安全、迅速、舒适和经济。这个要求需由驾驶者、汽车和公路三方面共同来保证。

### 一、汽车在公路上行驶

汽车在公路上行驶,首先要求公路路线的几何指标能够满足汽车一定行驶速度的技术要求,以保证行驶于公路上的汽车能够安全、舒适、经济地顺利通过。也即公路的平面线形、曲线半径、纵坡设置、路幅的宽度与布置必须同公路的交通量与设计车速相适应。如果线形指标过低,势必降低车速并造成交通拥塞。据研究,汽车每起动一次,为克服加速阻力需要多耗燃料约50ml左右;车辆运行不畅,汽车经常在经济车速以下行驶,可使燃料消耗平均增加7%~10%。表1-1所列国产东风EQ140型与解放CA141型两种汽车在三种不同交通状况路段上实测的平均车速和平均燃料消耗量的资料,就说明了这点。当然,交通拥挤对运输成本的影响不仅反映在燃料的消耗上,还有行车时间的延误、影响车辆周转等的经济损失,更是无法计算。

汽车在不同交通状况路段的平均车速与平均燃料消耗量

表 1-1

车 型	测 试 项 目	测 试 路 段		
		北京三环(市区)	北京顺沙(市郊)	京密公路
EQ140	平均车速(km/h)	18.77	36.53	50.54
	平均燃料消耗(l/100km)	31.92	25.86	23.61
CA141	平均车速(km/h)	18.40	35.47	44.62
	平均燃料消耗(l/100km)	35.70	27.85	24.26

汽车荷载通过车轮作用于路面并与路面直接接触相互发生影响,因此,研究车轮与路面之间的相互作用,对汽车的行驶状况具有十分重要的意义。

在现代汽车中,车轮都采用充气轮胎。充气轮胎一般由内胎和外胎两部分组成。轮胎的作用主要在于:

(1) 支承汽车的重量。轮胎负荷能力的大小决定于内胎的空气压力、外胎的刚度和轮胎的着地面积。车轮荷载愈大,需要内胎的空气压力也愈大。轮胎能够承受的最大负荷,通常用外胎的层级表示。

(2) 与汽车悬架共同起缓和、吸收道路不平整产生的冲击与振动,从而提高行车的平顺性和降低行车噪声。轮胎则是通过预先充入内胎的空气弹性和橡胶本身具有的弹性来实现这一功能的。

(3) 保证车轮和地面之间的接触有足够的附着力,不使车轮产生滑溜。这主要是利用轮胎的弹性变形和胎面花纹,增大轮胎与地面的接触面积和嵌合作用来达到。

因此,轮胎的性能直接关系到车辆的行驶状况。要求轮胎必须具有适当的弹性,足够的负荷能力和适宜的花纹。

在沙漠地区,为了增加车轮与地面之间的附着力,提高汽车的通行性,常采用超低压轮胎。

当今,在一些小轿车中已开始使用一种无内胎轮胎。压缩空气直接充入外胎,外胎兼起内胎作用,其密封性由其内壁和胎圈的气密层予以保证。当轮胎被刺破时,气密层能使漏气变得缓慢,因而提高了行车的安全性,且因这种轮胎的散热快,工作温度较低,适于高速汽车使用。

## 二、车辆行驶与路面相互作用

就路面而言,路面的表面特性则是影响汽车行驶状况的主要因素。它将影响到汽车在行驶过程中车轮与路面之间的滚动阻力和附着状况,以及车辆轮胎与机件的损耗、振动与噪声和车辆的维修工作等。因此,路面的表面特性是反映路面行车质量的重要指标。

### 1. 滚动阻力

轮胎与路面产生的滚动阻力可以看作轮胎滚动每单位距离所消耗的能量。滚动阻力愈大,汽车为克服阻力需要消耗发动机的能量也愈大,因此,它直接影响到汽车燃料与油料的消耗。通常,采用滚动阻力系数,即滚动阻力与汽车总重力之比来衡量路面与车轮之间的这种阻力。滚动阻力系数除了同轮胎的构造、材料、胎面花纹、气压以及行车速度、环境温度等条件有关外,在很大程度上与路面的种类及其表面构造状况有关。表 1-2 为各种路面在一定的轮胎和车速条件下的滚动阻力系数值。表 1-3 列出了不同的路面表面对轮胎滚动阻力影响的野外试验数据,其中以磨光的水泥混凝土测定值为 100 计。

各类路面的滚动阻力系数值

表 1-2

路面类型	水泥混凝土及 沥青混凝土路面	表面平整的 沥青碎石路面	碎石路面	干燥平整的土路	潮湿不平 整的土路
滚动阻力系数 $f$	0.01~0.02	0.02~0.025	0.03~0.05	0.04~0.05	0.07~0.15

道路表面对轮胎滚动阻力的影响

表 1-3

表面种类	磨光的水泥 混凝土	新铺筑的水 泥混凝土	中等磨光的 沥青混凝土	中等粗糙的 沥青混凝土	粗糙的表面 处治(封层)	坚实的砾石 路面
与磨光的水泥混 凝土的比例关系	100	114	115	123	151	>227

为了减少滚动阻力,要求路面有高的刚度和良好的平整度。通过试验,可得到滚动阻力系



数  $f$  与路面平整度之间的关系如下:

$$\text{对于轻车(轿车与面包车)} \quad f=0.0218+0.0000467\text{QI} \quad (1-1a)$$

$$\text{对于重车(公共汽车和载重货车)} \quad f=0.0139+0.0000198\text{QI} \quad (1-1b)$$

式中:QI——反映路面平整度的四分之一车指数,它与国际平整度指数 IRI 的关系为:QI=13IRI (1-1c)

汽车在行驶过程中,除了要克服上述滚动阻力外,还需克服空气阻力、上坡阻力和加速阻力。只有当汽车具有足够的牵引力来克服行驶过程中的这些阻力,汽车才能运动并保持一定的速度。这里需要说明的是,滚动阻力和空气阻力所消耗的功属纯消耗性的功,而上坡阻力和加速阻力所消耗的功将转变为位能和动能,当汽车在下坡和滑行时将被释放出来而得到补偿。

### 2. 附着力与摩擦系数

汽车的牵引力是汽车行驶的必要条件,但并不是汽车行驶的充分条件。汽车的牵引力还要受到轮胎与路面之间附着力的制约。如果附着力小于牵引力,车轮就打滑空转,车辆非但不能前进,而且还会出现滑溜事故。因此,从汽车行驶的条件和行车安全的角度出发,必须要有足够的附着力。附着力主要决定于轮胎与路面接触变形后的相互摩擦情况,通常用附着系数,也即摩擦系数来表征。摩擦系数与轮胎的花纹、气压和行车速度有关,并在很大程度上取决于路面的表面特性。表 1-4 列出了不同类型路面的摩擦系数值的范围。根据实践,当车速为 60km/h 时,潮湿路面的纵向摩擦系数应不小于 0.4;在道路线形不良、冲突点多的地段,摩擦系数应在 0.45 以上;若摩擦系数小于 0.35,则易产生行车事故,应尽量避免。

不同类型路面的摩擦系数范围

表 1-4

路面类型	摩擦系数范围	
	干燥状态	潮湿状态
水泥混凝土路面	0.5~1.0	0.4~0.9
沥青路面	0.5~1.0	0.3~0.9
砂石路面	0.4~0.6	—
积雪路面	—	0.2~0.5
结冰路面	—	0.1~0.2

### 3. 路面表面特性

路面的表面特性主要取决于面层采用材料的性质、组成以及施工的工艺和质量,同时也与路面结构及其整体强度以及行车作用和养护状况有一定的关系。

根据第十七届世界道路会议路面表面特性技术委员会的报告,按照路面的不同纹理构造可将路面表面特性分为三类:

(1)一级表面不平整度——微观构造。这是一种以微米糙度来度量的表面构造。主要指面层石料表面的纹理构造,同时也包括沥青胶浆和水泥砂浆的纹理在内。石料表面的纹理构造由其矿物性质所决定,通常用石料的磨光值来表征,表面愈粗糙的石料,其磨光值就愈大。

(2)二级表面不平整度——宏观构造。包括由粗集料(粒径大于 2.5mm 以上颗粒)的尺寸、形状、间距、排列构成路面表面石料颗粒间的空隙,以及各种类型的路面表面刻槽和与内部孔隙连通的表面,通常由路面表面的构造深度来表征。

(3)三级表面不平整度——结构性构造。包括不同频率与波幅的路表不平整度以及车辙、坑洞和各种裂缝、接缝。对于无铺面道路上的粒料松动则是这类不平整度中的另一种重要的表

面特征,其特点是在动力作用下表面本身发生很大移动。

在上述三个等级的表面不平整度中,由一、二级表面不平整度构成对车轮与路面之间附着状况至关重要的路面粗糙度,而三级表面不平整度中所列各种表面特性即为通常所说的路面不平整度。

不同的路面粗糙度其摩擦系数在干燥状态时一般都很大,即使车速改变也不会有大的变化。汽车所以发生问题,多在路面潮湿的时候。此时,路面的摩擦系数随车速增大而减小,如图 1-1 所示。

在潮湿状态下摩擦系数随车速增大的减小程度取决于路面表面的纹理构造状况。根据表面不同的微观与宏观构造的组合,路面粗糙度可有四种典型的类型,如图 1-2 所示。不同路面粗糙度类型在潮湿状况下所具有的抗滑特性如图 1-3 所示。试验时为了排除轮胎性质的影响,

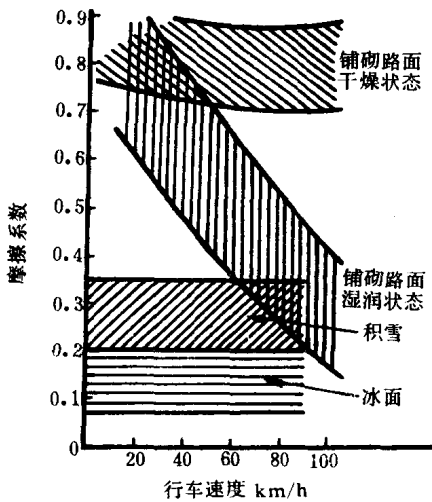


图 1-1 不同路面状态和摩擦系数的关系

粗糙度类型	纹理构造	
	宏观	微观
(A) 粗糙面	粗	糙
(B) 粗光面	粗	平滑
(C) 细糙面	密	糙
(D) 细光面	平滑	平滑

图 1-2 路面粗糙度的分类

车轮均采用光滑轮胎。由图 1-3 可知,类型 A 和 C 具有粗糙的微观构造,在车速 48km/h 时摩擦系数很高;类型 B 和 D 具有平滑的微观构造,在车速 48km/h 时摩擦系数很低。但是类型 A 和 B 又具有粗的宏观构造,随车速增加其摩擦系数的降低甚微;而类型 C 与 D 具有的是致密和平滑的宏观构造,其摩擦系数随车速的增加则有显著的降低。因此可以得出结论,路面表面的微观构造决定着路面原始的抗滑能力,而宏观构造决定着在高速时对这个抗滑能力可能维持的程度。路面表面的宏观构造在有水的条件下所以能够起到维持摩擦系数的作用,可用“水膜理论”予以解释,其作用大小决定于表面构造深度以及石料顶端的尖锐程度。因此,为了保证雨天潮湿状态下的高速行车安全,就应该把路面做成既具有充分糙度的微观构造又有足够的宏观构造,如图 1-2 中类型 A 那样。

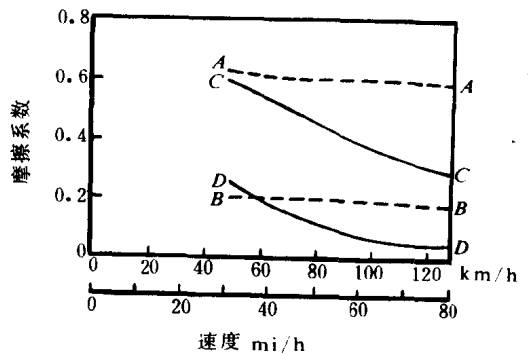


图 1-3 不同类型的路面粗糙度和摩擦系数的关系

我国《公路工程集料试验规程》(JTJ058-94)对用作抗滑表层石料的磨光值  $PSV$  作了如下规定:高速公路和一级公路应不小于 42,其他公路应不小于 35。

表 1-5 为澳大利亚对柔性路面表面构造规定的合适深度。

构造深度 (mm)	应 用
<0.2	很细构造 道路路面不希望有很细构造。通常路面泛油或磨光后才有
0.2~0.4	细构造 仅用于车速偶尔超过 60km/h(城市道路)的路段。在重交通能使表面构造变坏的路段或经常要进行刹车的路段都不应该用。细沥青混合料(标称尺寸 7mm 以下)和用 5mm 以下集料做的封层提供这种细构造
0.4~0.8	中等构造 适用于车速高到 110km/h 的路段,标称 10mm(方孔筛)以上密级配沥青混凝土和用 7mm 以上集料做的喷撒法封层提供这种构造
>0.8	粗构造 对于高速行车,特别是有表面水或几何形状不正常的路段可能需要这种构造。它可减少溅水,在冰冻条件下抗滑性能不易损失。用 10mm 以上集料做的喷撒法封层和开级配沥青混凝土提供这种构造

应该指出,路面温度对摩擦系数也有不可忽视的影响,其总的趋势是摩擦系数随温度升高而下降。同时,在使用过程中路面的抗滑能力将会衰减,其衰减程度与石料的抗磨损性能有关,但一般都发生在开放交通后的第一、二年里,随后就逐渐趋于稳定。

路面表面污染可对路面的抗滑能力产生较大影响,其影响程度与没有明显降雨的时间有关。无明显降雨时间(所谓明显降雨时间是指有足够的雨水在路面表面流动,且其时间不短于 30min)愈短,对路面摩擦系数的影响就愈大。我国的研究表明,在粘性土地地区因路肩土被带到路面引起的滑溜性污染,可使路面摩擦系数的摆值 *BPN* 降低 16~25。

研究还表明,路面表面的一级、三级不平整度对轮胎损耗具有重要的影响。粗糙的微观纹理构造将使轮胎花纹的磨损增加,而大的结构性不平整度将造成轮胎的损伤。根据巴西的资料,路面现时耐用指数(*PSI*)从 3.0 下降到 2.5 时,公共汽车的轮胎损耗将增加 25%。图 1-4 与图 1-5 分别为东非测定的路面不平整度同两类车辆轮胎损耗之间的关系。由图可知,轮胎损耗随路面不平整度的增加而成比例递增。粗糙的微观构造虽然可使轮胎磨耗增加,但从防止肇事、保证安全行车的要求出发,仍是必要的。

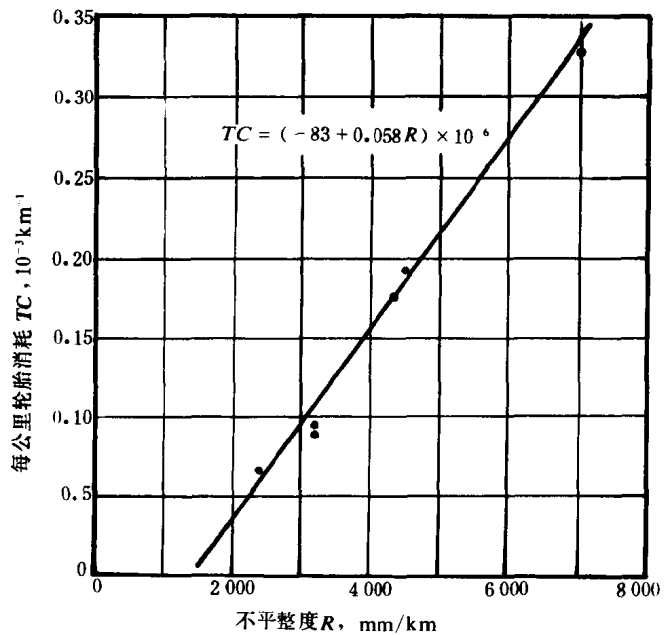


图 1-4 小客车和轻货车的轮胎消耗与路表不平整度的关系

路面的三级不平整度还对车辆损坏和疲劳产生明显影响,从而导致汽车零件和保养工时的增加;同时使滚动阻力增加,严重时可能造成车辆失稳与失控,诱发偶然事故的发生,使车速受到严重影响,因而应尽量避免。图 1-6 与图 1-7 所列为东非有关汽车零件消耗与路面不平整度关系的测定资料。

路面的三级不平整度还对车辆损坏和疲劳产生明显影响,从而导致汽车零件和保养工时的增加;同时使滚动阻力增加,严重时可能造成车辆失稳与失控,诱发偶然事故的发生,使车速受到严重影响,因而应尽量避免。图 1-6 与图 1-7 所列为东非有关汽车零件消耗与路面不平整度关系的测定资料。

路面的二级不平整度对滚动阻力也有重要影响,并在中、高速行驶时可因溅水削弱能见度而导致偶然事故的发生。

### 三、噪 声

随着公路上汽车车速的提高以及交通量的增长,汽车噪声已成为人们日益关注的一种公害。噪声使人烦躁,妨碍工作与休息,并对幼儿成长有害。汽车噪声包括来自车辆动力系统的噪声和轮胎与路面接触噪声两部分,而轮胎与路面的接触噪声在今后将显得更加突出。我国《机动车辆允许噪声》(GB1495—79)规定如表1-6。表1-7为日本规定的汽车噪声限值,可作参考。

影响汽车噪声大小的因素主要有车

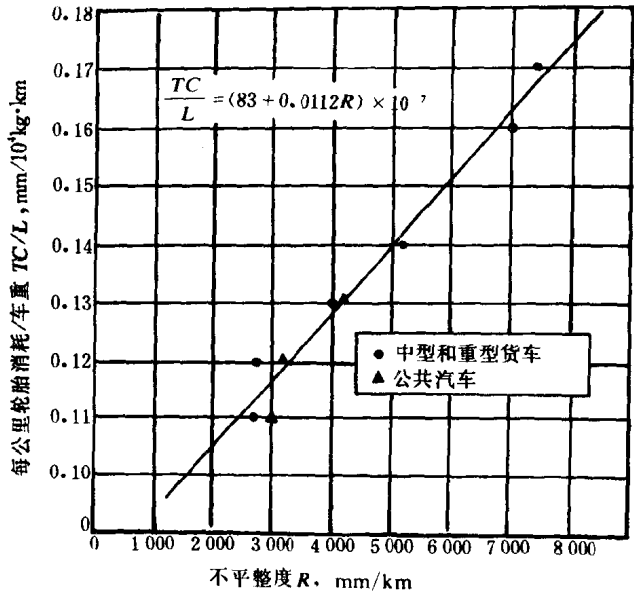


图 1-5 中型和重型货车的平均车重及公共汽车的轮胎消耗与路表不平整度的关系

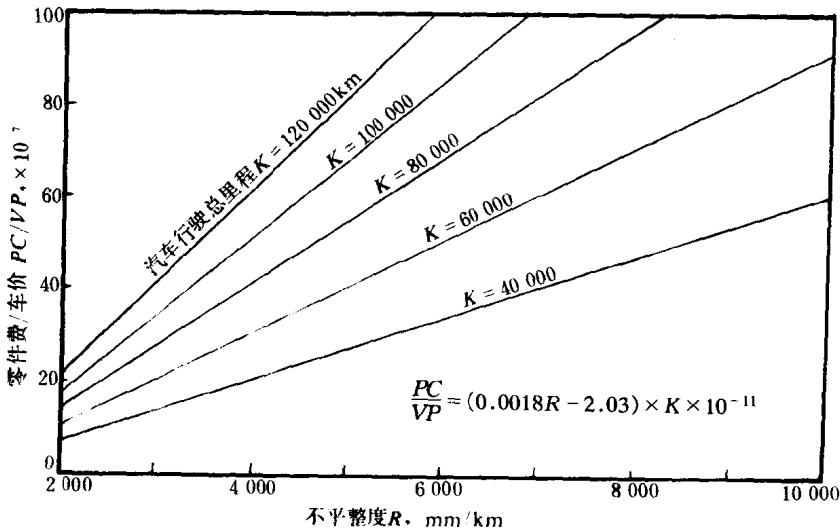


图 1-6 小客车和轻型货车的零件消耗与路表不平整度的关系

速、车型、轮胎规格、交通量与路面表面构造状况等。车速愈高、交通量愈大,重车愈多,轮胎的宽度愈宽、直径愈小、胎面花纹愈粗,以及路面表面愈粗糙,则噪声就愈大。一般,路面的微观构造主要影响高频振动产生的噪声,宏观构造主要影响低频振动产生的噪声,而结构性构造可使汽车经常产生间断的高噪声。路面表面在有水的情况下,噪声增大范围可达 10dB(A)。路面横向刻槽将使噪声增加 3dB~5dB(A),而纵向刻槽不会产生很大的噪声。在相同的宏观构造情况下,水泥混凝土路面的噪声可比沥青路面高出大约 1dB(A)。

根据实验分析,路面表面不平整度的波长在 3mm~15mm 时,同时避免采用横向刻槽,就有可能获得一种行车宁静、并有良好抗滑特性的表面构造。采用大空隙排水性沥青抗滑层(PAFC),既可降低轮胎与路面的接触噪声,避免雨天行车时的溅水现象,提高能见度,并可提供高的抗滑能力。但由于其空隙较大,沥青易老化,空隙易被尘土堵塞,因而对它的长期耐用性

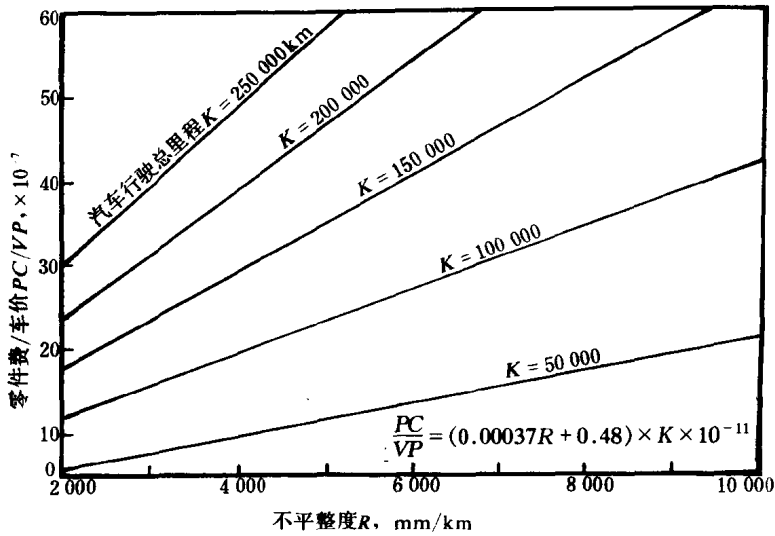


图 1-7 中型和重型货车的零件消耗与路表不平整度的关系

还需进一步研究解决。

各类机动车辆加速行驶时,车外最大允许噪声值

表 1-6

车 辆 种 类		车外最大允许噪声级不大于下列数值, dB(A)	
		1985 年 1 月 1 日 以 前 产 品	1985 年 1 月 1 日 起 的 产 品
载 重 汽 车	8t ≤ 载重量 < 15t	92	89
	3.5t ≤ 载重量 < 8t	90	86
	载重量 < 3.5t	89	84
轻 型 越 野 车		89	84
公 共 汽 车	4t ≤ 总重量 < 11t	89	86
	总重量 < 4t	88	83
轿 车		84	82
摩 托 车		90	84
轮 式 / 手 扶 拖 拉 机 (60HP 以 下)		91	86

日本汽车噪声允许限值(1982年加速行驶噪声)

表 1-7

汽 车 种 类	允 许 限 值, dB(A)
车重超过 3.5t 者	83
车重 3.5t 以下者	78
摩托车(除带内燃机的自行车以外)	75

采用间断级配的沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)做抗滑层,则可克服PAFC的上述缺点,具有很好的耐久性,并有高的抗滑性能与抗水损害能力以及溅水少、噪声低的特点。

以上主要是从公路路线标准和路面表面特性与汽车营运状况之间的关系进行分析,从而对公路路线及路面提出了相应的技术要求。在高速公路、一级公路上,为保证汽车安全、快速、舒适地运行,还需设置完善的交通安全等在内的沿线设施,并有良好的景观配合。

## 第二节 行车和自然因素的作用对公路技术状况的影响

供汽车行驶的公路构造物既要承受复杂的车辆荷载的作用,同时还要受到当地诸多自然环境的影响。

作用于公路上的车辆荷载主要有:

(1)通过车轮传递给路面的垂直压力,其大小主要取决于车辆的类型和轴载。

(2)由于车辆的起动、制动、变速、转向以及克服各种行车阻力作用于路面的水平力。其大小除与车辆的行驶状况和轮胎性质有关外,并与路面的类型及其干湿状况有关,最大时可达车轮垂直荷载的 0.7~0.8 倍。

(3)汽车自身的振动以及因路面不平整引起车辆颠簸产生振动而对路面作用的动压力,其值主要与车速、路面的平整度和车辆的减振性能有关。车速愈高、路面平整度愈差,对路面作用的动压力就愈大。车轮垂直动压力与静压力的比值,称作动荷系数。在较平整的路面上,车速不超过 50km/h 时,动荷系数一般不超过 1.30;在车速高、平整度差的路面上,动荷系数可接近甚至超过 2.0。

(4)在车轮后方与路面之间由于形成暂时的真空而对路面产生的真空吸力。真空吸力主要对材料粘结力差的中、低级砂石路面起作用。

此外,荷载作用的时间、频率和次数对路面也起着重要的影响。轮载作用时间与车轮着地长度、车速和所处的路面结构有关,频率和荷载次数与交通量、车道宽度、路面使用年限等条件有关。

自然环境条件的影响主要表现在温度、湿度两方面。同时大气中的空气、阳光对沥青路面技术性质的变化也有重要影响。

暴露于大气中的路面,直接经受着大气温度的影响。路面温度随气温一年四季和昼夜的周期性变化而相应地变化,并沿深度方向产生温度梯度。通常,路面的最高温度和最低温度分别出现于每年的 7 月份和 1 月份。根据观测资料可知,由于路面对太阳幅射热的吸收作用,沥青路面的最高温度可比气温高出 23℃,水泥混凝土路面高出 14℃左右,下面列出了我国上海地区对两类路面最高温度实测资料的回归公式:

$$\text{水泥混凝土 } T_{\max} = 8.67 + 0.728T_{14}^a + 0.027Q \quad (1-2a)$$

$$\text{沥青混凝土 } T_{\max} = 8.68 + 0.874T_{\max}^a + 0.124Q \quad (1-2b)$$

式中:  $T_{\max}$ ——路面最高温度(℃);

$T_{14}^a$ ——14:00 的气温(℃);

$T_{\max}^a$ ——最高气温(℃);

$Q$ ——太阳日幅射热( $\text{J}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$ )。

美国战略公路研究计划(SHRP)规定,沥青路面采用路表下 20mm 处一年中连续 7 天的最高温度的平均值  $T_{20\text{mm}}$  作为路面的高温设计温度,并以纬度(lat)为参数,建立了  $T_{20\text{mm}}$  与气温  $T_{\text{air}}$  的关系式如下:

$$T_{20\text{mm}} = (T_{\text{air}} - 0.00618\text{lat}^2 + 0.0089\text{lat} + 42.2) \times 0.9545 - 17.78 \quad (1-3)$$

冬季的最低温度发生在路表,并等于最低气温。

水对路基路面的作用主要来自大气的降水和蒸发、地面水的渗透以及地下水的影响。当路基内出现温度差异时,在温差作用下水还会以液态或汽态的方式从热处向冷处移动和积聚,从

而改变路基的湿度状态。

荷载和自然环境条件可因路基路面的结构条件和采用材料的性质不同表现出不同的影响。

### 一、车辆荷载作用分析

在车轮垂直荷载作用下,路面将产生压缩和弯曲。柔性路面因其材料的粘弹性质不仅产生弹性变形,还将伴随加载时间产生滞后弹性变形和不可恢复的塑性变形。在多次加载和卸载的过程中,如果压力不超过一定的限度,不可恢复的变形逐渐减小,而弹性变形增加,使路面密实度得到增加而强化。但当压力超过一定限度时,就会发生很大的不可恢复的塑性变形。在多次重复的荷载作用下,路面可因竖向塑性变形的累积而逐渐产生沉落。对于采用粘土做结合料的碎石、砾石路面在雨季潮湿的状态下,以及沥青路面在夏季高温时表现尤为明显。高等级公路的沥青路面,由于渠化交通的作用,可导致车辙产生。

对于水泥混凝土、沥青混凝土以及半刚性等整体性材料的路面,在车轮垂直荷载作用下将产生弯拉变形。当荷载应力超过材料的疲劳强度时,路面将产生疲劳而开裂破坏。重复作用的荷载次数愈多,材料可以承受疲劳作用的强度则愈小,两者成双对数的线性反比关系,用公式表示:

$$N = K \left( \frac{1}{\sigma} \right)^n \quad (1-4)$$

式中: $N$ ——荷载重复作用次数;

$\sigma$ ——材料疲劳强度,MPa;

$K$ 、 $n$ ——决定于试验条件和材料特性的实验常数。

行车水平力主要作用在路面的上层,引起路面表面变形而影响其平整度。

水平力对路面的影响首先表现在对路面的磨损上。路面的磨损主要是由车辆在行驶过程中车轮产生滑移造成的。强烈的路面磨损发生在车辆的制动路段,如公路的下坡道、小半径平曲线和交叉口之前以及通过居民点和交通稠密的路段上。在曲线上,因车辆侧向滑移也可使路面产生磨损。在不平整的公路上,由于行驶的车轮轮胎表面通过的距离比车轮中心通过的距离要“加长”,以及因振动在车辆向上跳荡时使车轮压力减小,都将引起车轮滑移对路面产生磨损。

路面的磨损除了受行车的作用外,大气因素诸如雨水冲刷和风蚀也是重要的因素,同时在很大程度上还与路面的类型及其材料的性质有关。石料愈耐磨,路面磨损愈小。在相同条件下,碎、砾石等中、低级路面的磨损量最大,水泥混凝土路面较小,沥青路面则最小,而采用石油沥青可比煤沥青减少磨损约达 2/3。

路面磨损不仅使路面材料受到损失并使厚度减薄,而且由于外露石料表面被磨光,使路面的摩擦系数衰减,从而影响行车安全。

车轮水平力还可使路面表面的粒料产生拉脱。这种情况多产生于粘结力较弱的碎石、砾石和沥青碎石路面中,如图 1-8。路面在受到水平力作用后,碎石被迫绕着支点  $O$  转动,在动力的重复作用下,逐渐松动而被拉脱,进而逐渐

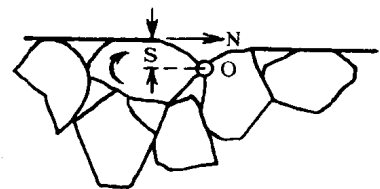


图 1-8 行驶车轮的水平力,使路面表层碎石产生拉脱

扩大以至形成坑槽。在雨天泥泞期间,沾带粘土的车轮行驶在碎石、砾石路面上,也可使其表面

粒料产生拉脱。

在车轮垂直力与水平力的综合作用下,在路面中将产生较大的剪应力。当剪应力超过面层与基层层间接触的抗剪强度或面层材料的抗剪强度时,路面面层将沿基层顶面产生滑移或面层材料本身产生剪切变形,使路面表面形成壅包以至波浪。前者多产生于沥青面层厚度较薄、层间结合不良的路段,后者多产生在面层厚度较厚或厚度虽薄但层间结合良好的以级配原则铺筑的砾石路面或沥青路面上。这类路面材料的强度除由粒料颗粒间的摩阻力提供外,在很大程度上还依赖于结合料的粘结力。由于粘结力易受水温条件变化的影响使材料抗剪强度下降,从而导致路面的失稳变形。在我国干旱的西北、内蒙等地区或南方多雨地区的级配砾石路面上出现的搓板,以及一些沥青混凝土路面、特别是当细料和沥青含量偏多或沥青稠度过低时在夏季高温季节常产生壅包、波浪的变形,其原因就在这里。按碎石嵌挤原则铺筑的碎石路面和沥青碎石路面,由于其强度主要由碎石之间的嵌挤力和内摩阻力构成,受水温条件的影响较小,因而通常很少出现这类变形病害。

路面所以会出现有规律的波浪变形,即通常所称的搓板现象,是与汽车系统地重复产生一定频率的振动和冲击有关。在汽车的这种动力作用下,使轮胎对路面的水平推移、磨耗和真空吸力等作用也具有相应的规律性,从而使路面产生有规律的波浪变形而形成搓板。特别是路面的不平整,将使汽车的振动与冲击作用加剧,水平推移与真空吸力作用也随之增大,从而加速了路面搓板的形成与发展。路面搓板在中、低级的砂石路面较为普遍,波长多在 0.75m 左右,它与公路上多数行驶汽车的速率和发动机的工作状况有关。

汽车产生冲击、振动的能量,大部分消耗在轮胎和弹簧的变形上,部分作用于路面,使路面产生短周期的振动运动,并在路面中产生周期性的快速变向应力。动力作用对路面的影响与路面的刚度有关,路面的刚性愈强,对路面的破坏性就愈大。由于路面的振动,可能产生对路面强度有危险的应力,使水泥混凝土路面出现发纹,碎石路面降低其密实度。潮湿的路基土在受到振动后引起湿度的重分布而可能危害路面,并使路基土挤入粒料垫层而影响其功能。沥青路面由于具有较大的吸振能力,因而振动对它的影响较小,实际上它起到了车轮冲击、振动的减振器作用。

当汽车产生周期性动力作用的频率与路面的固有振动频率相近时,路面将发生振幅和加速度很大的共振,对路面可以产生较大的破坏作用。产生共振时汽车的临界速率为:

$$v_c = \frac{\lambda}{2\pi} \sqrt{\frac{kg}{p}} \quad (1-5)$$

式中: $v_c$ ——临界速率(m/s);

$\lambda$ ——路面变形的波浪长度(m);

$k$ ——轮胎刚性模量(kN/m);

$g$ ——重力加速度,(9.81)(m/s<sup>2</sup>);

$p$ ——轮胎荷载(kN)。

## 二、自然因素影响分析

公路路基和路面的物理力学性质将随其水温状况而改变。水浸湿路基可因其强度和稳定性的下降,使路基失稳,引起坍方、滑坡等病害。对于土基承受荷载较大的柔性路面,常因承载能力的不足,在车轮荷载作用下使路面产生沉陷,有时在沉陷两侧还伴有隆起现象。严重时,在沉陷底部及两侧受拉区产生开裂形成纵裂,并逐渐发展成网裂。对于水泥混凝土路面,则可因



土基出现较大的变形,特别是不均匀的变形使混凝土板产生过大的荷载应力而导致断裂。

在北方冰冻地区,在有充分地下水供给的情况下,冬季将使路基产生不均匀冻胀,路面被抬高,以至产生冻胀裂缝,严重时拱起可达几十厘米;在春融季节则产生翻浆,在行车作用下路面发软、出现裂缝和冒泥现象以至路面结构遭致全部破坏,使交通中断。

在非冰冻区,中、低级粒料路面在雨季潮湿季节,强度和稳定性最低,路面容易遭致破坏,而在干燥季节,路面尘土飞扬,磨损严重,影响行车视线并污染周围环境。

沥青路面虽可防止雨水下渗,但它阻止了路基中水分的蒸发,在昼夜温差作用下,路基中的水分以汽态水的形式凝聚于紧挨面层下的基层上部,改变了基层原来的湿度状况,当基层采用水稳性不良的材料时,可导致路面的早期损坏。

沥青路面在浸水情况下,可使其体积松胀,并削弱沥青与集料之间的粘附性,从而降低沥青混合料的物理力学性能。水对粘附性的影响,主要决定于沥青的性质和集料的岩性,同时与集料的吸水性能也有关。通常,煤沥青比石油沥青、碱性矿料比酸性矿料有较好的粘附性。根据试验,对于国产石油沥青,其粘附性大小的顺序一般有如下规律:克拉玛依沥青、单家沥青、辽河沥青>欢喜岭沥青>茂名沥青>兰炼沥青>胜利沥青;各种岩性矿料的粘附性顺序为:石灰岩>安山岩>玄武岩>片麻岩>砂岩>花岗岩>石英岩。当水中含有易溶盐时,会使沥青产生乳化作用,从而加剧了沥青的熔蚀作用。

水泥混凝土路面的接缝渗入雨水后,使基础软化,在频繁的轮载作用下,路面出现错台或脱空、唧泥等现象,并导致板边产生横向裂缝。

沥青路面在冬季低温时,强度虽然很高,但变形能力则因刚性增大而显著下降。当气温下降,路面收缩而受基层约束产生的累积温度应力超过沥青混合料的抗拉强度时,将使路面产生一定间距的横向裂缝。水分浸入裂缝后,基层和土基承载力下降,遂使裂缝边角产生折断碎裂。影响低温缩裂的主要因素一是沥青混合料的性质,包括沥青的性质和用量、集料的级配;二是当地的气候条件,包括降温速率、延续时间、最低气温和每次降温的间隔时间等。此外,路面的老化程度、结构条件与路基土类也有一定的影响。

采用无机结合料的半刚性基层可因其干缩和温缩产生的裂缝而引起沥青面层出现反射裂缝。路面的反射裂缝除与半刚性基层材料的收缩性能有关外,并与面层的厚度和采用的沥青性质有关。通常,采用水泥或石灰粉煤灰稳定的材料比采用石灰的收缩性要小;稳定粒料、粒料土比细粒土的收缩性小。同时,含水量、密实度和稳定剂用量对收缩也有较大影响。

温度的变化同样要引起水泥混凝土路面板的胀缩变形。当变形受阻时,使板内产生胀缩应力和翘曲应力。由于水泥混凝土是一种拉伸能力很小的脆性材料,为了减小温度应力以避免板的自然开裂,所以需把板体划成一定尺寸的板块并修筑各种接缝。当板块尺寸设置不当或接缝构筑质量不合要求时,可使板产生断裂并引起各种接缝的损坏。

拌制的水泥混凝土混合料的水分过大或在施工养生期水分散失过快时,也可引起混凝土板的过大收缩和翘曲,在板的表面产生发状裂纹以至早期出现断板。

阳光、温度、空气等大气因素可以引起沥青路面的老化,使沥青丧失粘塑性,路面变得脆硬、干涩、暗淡而无光泽,抗磨性能降低,在行车荷载作用下相继出现松散、裂缝以至大片龟裂。当地的日照愈强烈、气温愈高、空气愈是干燥和流通,则路面老化速度愈快;沥青中不饱和烃及芳香烃愈多、混合料空隙率越大以及矿料中含有铝、铁等盐类则路面愈易老化。

由上述可知,公路在使用过程中所受的行车和自然因素作用是十分复杂的,往往并非单一因素的作用,而是多种因素的综合作用。在这些因素的作用下,导致公路各种病害和损坏现象