

高等路面结构 设计理论与方法

张起森 编著

Design Theory and
Method for Advanced
Pavement Structures



人民交通出版社

China Communications Press

**Design Theory and Method
for Advanced pavement Structures**

高等路面结构设计理论与方法

张起森 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本文系统地介绍了路面结构设计的理论、设计指标和参数、结构层材料的特性及组成设计方法、结构层组合、路面结构可靠度设计及优化、公路检测技术与评价、路面养护管理系统,以及路面设计新理论、新材料、新结构的发展与应用等方面的知识,是作者根据其本人和长沙理工大学(原长沙交通学院)公路学院道路工程教研室的教师、硕士和博士研究生近二十年来的研究成果和工程应用,并结合国内外路面方面研究的最新情况编写而成,反映了当前路面工程技术的发展水平。

本书适合于从事道路工程和相关方面工作的教师、研究和工程技术人员,以及在读的研究生、本科生使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

高等路面结构设计理论与方法/张起森编著. -北京:
人民交通出版社, 2005.8
ISBN 7-114-05667-2

I. 高… II. 张… III. 路面-结构设计
IV.U416.23

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第079739号

书 名: 高等路面结构设计理论与方法
著 作 者: 张起森
责任编辑: 孙 玺
出版发行: 人民交通出版社
地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号
网 址: <http://www.ccpress.com.cn>
销售电话: (010) 85285656, 85285838, 85285995
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京宝莲鸿图科技有限公司
开 本: 787×1092 1/16
印 张: 33.5
字 数: 851千
版 次: 2005年11月 第1版
印 次: 2005年11月 第1次印刷
书 号: ISBN7-114-05667-2
印 数: 0001-4000册
定 价: 58.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前言

QIANYAN

关于路面设计方面的书已有了不少了,但是我感到还是有必要再写一本。花费近三年的时间来完成这本书的编写工作,我认为值得。

本书的特点是,以国内外路面设计、材料、施工工艺发展为主线,结合作者及其所在单位数十年研究工作的实践,把路基路面结构设计方面的国内外最新状况展现给国内的同行们,对于进一步开展这方面的研究和实践,提高我国路面设计的质量和使用性能是有好处的。

本书共有十八章,包括路面设计的基本参数、路基强度和评定、基层和底基层、面层(沥青面层和水泥混凝土面层)、沥青路面的结构设计与理论、水泥混凝土路面的结构设计与理论、旧路的评价与修复、路面养护管理系统等,这其中介绍了路面结构可靠度设计、路面抗裂设计、路面新材料新结构等我们自己的一部分研究成果。全书在编写过程得到了我的博士生、硕士生和教研室老师的支持,他们主要有周志刚教授、查旭东教授、朱梦良教授、田小革教授、王辉副教授、关宏信博士、李雪莲(博士生)、谢泽华(硕士生)、郑渊(硕士生)等,在此一并表示感谢。

本书不仅适用于从事这方面工作的教学、科研、设计和施工的工程技术人员,也适合于博士研究生、硕士研究生学习,对于本科学生也可作为参考书之用。

由于时间和精力所限,本书肯定存在一些问题和不足,敬请读者不吝赐教。

张起森教授

2005年5月于长沙理工大学

目录

M_{ULU}

第一章 路面结构种类	1
第一节 路面类型	1
第二节 路面结构横断面	3
第三节 路面结构组合	4
第二章 作用在路面上的荷载	7
第一节 车辆的分类	7
第二节 作用在路面上的力	8
第三节 飞机荷载	13
第三章 作用在路面上的气候和环境因素	16
第一节 气温	17
第二节 水的影响	21
第三节 水温综合作用	22
第四章 土和路基特性	24
第一节 土的分类	24
第二节 土的压实和变形特性	28
第三节 路基强度评定	32
第四节 路基回弹模量的确定方法	36
第五章 路面设计参数	43
第一节 路面设计交通量	43
第二节 沥青路面计算参数	52
第三节 水泥混凝土路面计算参数	77
第四节 半刚性材料计算参数	79
第五节 未处治粒料的计算参数	80

第六章 路面材料特性	82
第一节 碎石(砾石)	82
第二节 石灰稳定土	83
第三节 水泥稳定土(粒料)	85
第四节 沥青稳定土(粒料)	89
第五节 材料的强度特性	90
第六节 材料的疲劳性能	94
第七节 材料的永久变形性能	95
第八节 材料的低温抗裂性和水稳定性	97
第七章 路面设计参数的变异性	102
第一节 概率统计分析的基本概念	102
第二节 常用的概率分布类型	107
第三节 设计参数的变异性 and 概率分布	110
第八章 基层和底基层	114
第一节 基层和底基层的作用和基本要求	114
第二节 对粒料的级配要求	116
第三节 粒料基层	119
第四节 石灰稳定基层(底基层)	126
第五节 石灰粉煤灰稳定土	134
第六节 水泥稳定土基层(底基层)	142
第七节 沥青稳定基层	147
第八节 施工管理及验收	148
第九章 沥青面层	160
第一节 面层的功能要求	160
第二节 沥青路面的结构类型	161
第三节 沥青材料的分类及技术指标	162
第四节 沥青混合料的强度形成与强度参数	173
第五节 沥青混合料的疲劳特性	180
第六节 沥青混合料的低温特性	191
第七节 沥青路面施工质量管理及验收	207
第十章 结构层材料组成设计	214
第一节 沥青混合料配合比设计	214
第二节 水泥混凝土配合比设计	221
第三节 半刚性材料组成设计	229
第四节 SMA 混合料组成设计	236
第五节 Superpave Level One 体积设计法	242
第六节 纤维加筋沥青混合料	250
第七节 聚丙烯腈纤维混凝土	270
第十一章 路面排水设计	274
第一节 路面排水的重要性	274

第二节	路面表面排水	275
第三节	路面结构层排水	276
第四节	路基、路面综合排水	282
第五节	地下排水	283
第十二章	沥青路面结构应力分析	286
第一节	垂直荷载作用下沥青路面结构的线弹性分析	286
第二节	单向水平荷载作用下线弹性体系分析	292
第三节	沥青路面结构的非线弹性分析	299
第四节	沥青路面结构的粘弹性问题	305
第十三章	水泥混凝土路面结构应力分析	309
第一节	小挠度弹性薄板理论	309
第二节	弹性地基模型	311
第三节	温克勒地基上水泥混凝土板荷载应力分析	313
第四节	弹性半空间体地基上水泥混凝土板荷载应力分析	321
第五节	水泥混凝土双层板荷载应力分析	325
第六节	水泥混凝土板温度应力分析	327
第七节	机场道面板的动力响应分析	333
第十四章	沥青路面结构设计	338
第一节	结构设计原则	338
第二节	沥青面层	341
第三节	基层、底基层及垫层	345
第四节	路基	351
第五节	路面结构厚度计算及程序	351
第六节	改建路面结构厚度计算及程序	358
第七节	路肩设计	361
第八节	桥面铺装设计	363
第九节	超薄沥青路面	370
第十节	国外代表性的沥青路面设计方法介绍	372
第十一节	考虑温度型开裂的沥青路面设计方法	386
第十五章	水泥混凝土路面结构设计	395
第一节	结构组成和组合设计	395
第二节	普通混凝土路面设计及程序	411
第三节	复合式混凝土路面设计	419
第四节	旧水泥混凝土路面加铺设计	420
第五节	其他混凝土路面	425
第六节	特殊部位混凝土路面设计	430
第七节	路肩设计	434
第八节	国外代表性的水泥混凝土路面设计方法介绍	435
第十六章	路面结构可靠度设计方法	448
第一节	结构可靠度分析理论	448

第二节	路面结构可靠度分析模型	461
第三节	路面结构可靠度分析方法	463
第四节	路面结构可靠度敏感性分析	466
第五节	路面结构可靠度设计	467
第六节	路面结构可靠度优化设计	471
第十七章	旧路的评定与修复	474
第一节	路面的破坏与分类	474
第二节	旧路的调查和检测	477
第三节	旧路状况评定	481
第四节	旧路的修复对策	483
第五节	旧水泥混凝土路面的罩面设计	485
第六节	旧沥青路面加铺层设计	495
第十八章	路面养护管理系统	498
第一节	路面管理数据库	499
第二节	路面使用性能评价	502
第三节	路面使用性能预测模型	507
第四节	经济效益分析	511
第五节	路面养护决策	516
参考文献		525

• 第一章 •

LUMIANJIEGOUZHONGLEI

路面结构种类

第一节 路面类型

通常所提的路面类型可以按照以下两种方法进行划分。

一、按路面结构力学特性分类

路面类型可以从不同角度来划分,但是一般都按面层所用的材料划分,如水泥混凝土路面、沥青路面、砂石路面等。但是在工程设计中,主要从路面结构的力学特性和设计方法的相似性出发,将路面划分为柔性路面、刚性路面和半刚性路面三类。

1. 柔性路面

柔性路面的总体结构刚度较小,在车辆荷载作用之下产生较大的弯沉变形,路面结构本身的抗弯拉强度较低,它通过各结构层将车辆荷载传递给土基,使土基承受较大的单位压力。路基路面结构主要靠抗压强度和抗剪强度承受车辆荷载的作用。柔性路面主要包括各种未经处理的粒料基层和各类沥青面层、碎(砾)石面层或块石面层组成的路面结构。

2. 刚性路面

刚性路面主要指用水泥混凝土作面层或基层的路面结构。水泥混凝土的强度高,与其他筑路材料比较,它的抗弯拉强度高,并且有较高的弹性模量,故呈现出较大的刚性。在车辆荷载作用下,水泥混凝土结构层处于板体工作状态,竖向弯沉较小,路面结构主要靠水泥混凝土板的抗弯拉强度承受车辆荷载。通过板体的扩散分布作用,传递到基础上的单位压力较柔性路面小得多。

3. 半刚性路面

用水泥、石灰等无机结合料处治的土或碎(砾)石及含有水硬性结合料的工业废渣修筑的基层,在前期具有柔性路面的力学性质,后期的强度和刚度均有较大幅度的增长,但是最终的强度和刚度仍远小于水泥混凝土。由于这种材料的刚性介于柔性路面与刚性路面之间,因此把这种基层和铺筑在它上面的沥青面层统称为半刚性路面。这种基层称为半刚性基层。

刚性路面、柔性路面和半刚性路面,这种以力学特性为标准的分类方法主要是为了便于从功能原理和设计方法出发进行区分,并没有绝对的定量分界界限。近年来材料科学的发展正

在逐步改变这种属性,如水泥混凝土的增塑研究正在使它的刚性降低而保留它的高强性质,沥青的改性研究使得沥青混凝土随气候而变化的力学性质趋向于稳定,大幅度提高其刚度。

二、按面层的使用品质分类

通常按路面面层的使用品质、材料组成类型以及结构强度和稳定性,将路面分为四个等级,如表 1-1 所示。

各级路面所具有的面层类型及其所适用的公路等级

表 1-1

路面等级	面层类型	所适用的公路等级
高级	水泥混凝土、沥青混凝土、厂拌沥青碎石、整齐石块或条石	高速、一级、二级、三级、四级
次高级	沥青贯入碎(砾)石、路拌沥青碎(砾)石、沥青表面处治、半整齐石块	二级、三级、四级
中级	泥结或级配碎(砾)石、水结碎石、不整齐石块、其他粒料	四级
低级	各种粒料或当地材料改善土,如炉渣土、砾石土和砂砾土等	四级

1. 高级路面

高级路面的特点是强度高,刚度大、稳定性好,使用寿命长,能适应较繁重的交通量,路面平整,无尘埃,能保证高速行车。高级路面养护费用少,运输成本低,但初期建设投资高,需要用质量高的材料来修筑。

2. 次高级路面

次高级路面与高级路面相比,强度和刚度较差,使用寿命较短,所适应的交通量较小,行车速度也较低。次高级路面的初期建设投资虽较高级路面低些,但要求定期修理,养护费用和运输成本也较高。

3. 中级路面

中级路面的强度和刚度低,稳定性差,使用期限短,平整度差,易扬尘,仅能适应较小的交通量,行车速度低。中级路面的初期建设投资虽然很低,但是养护工作量大,需要经常维修和补充材料,才能延长使用年限,运输成本也高。

4. 低级路面

低级路面的强度和刚度最低,水稳定性差,路面平整性差,易扬尘,故只能保证低速行车,所适应的交通量最小,在雨季有时不能通车。低级路面的初期建设投资最低,但要求经常养护修理,而且运输成本最高。

表 1-1 中所列公路等级是根据公路使用任务、性质和适应的交通量,按交通部颁发的《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)(以下简称《标准》)划分的。

高速公路为具有特别重要的政治、经济意义,专供汽车分向、分车道行驶并全部控制出入的干线公路。根据其适应的交通量不同,可分为下述三种:四车道高速公路一般能适应按各种汽车折合成小客车的远景设计年限,年平均昼夜交通量为 25000 ~ 55000 辆;六车道高速公路一般能适应按各种汽车折合成小客车的远景设计年限,年平均昼夜交通量为 45000 ~ 80000 辆;八车道高速公路一般能适应按各种汽车折合成小客车的远景设计年限,年平均昼夜交通量为 60000 ~ 100000 辆。

一级公路为供汽车分向、分车道行驶的公路,一般能适应按各种汽车折合成小客车的远景设计年限,年平均昼夜交通量四车道为 15000 ~ 30000 辆,六车道为 25000 ~ 55000 辆。

双车道二级公路一般能适应按各种车辆折合成中型载重汽车的远景设计年限,年平均昼夜交通量为 5000 ~ 15000 辆。

双车道三级公路一般能适应按各种车辆折合成中型载重汽车的远景设计年限,年平均昼夜交通量为 2000 ~ 6000 辆。

四级公路一般能适应按各种车辆折合成中型载重汽车的远景设计年限,年平均昼夜交通量为:双车道 2000 辆以下;单车道 400 辆以下。

第二节 路面结构横断面

一、横断面

在路基顶面铺筑的面层结构,沿横断面方向由行车道、硬路肩和土路肩所组成。路面横断面的形式随道路等级的不同,可选择不同的形式,通常分为槽式横断面和全铺式横断面,如图 1-1 所示。

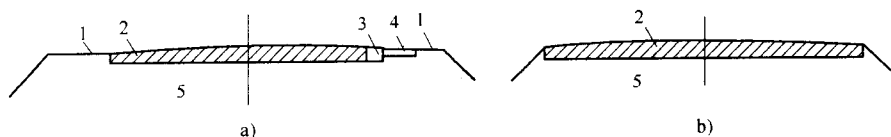


图 1-1 路面横断面形式

a)槽式;b)全铺式

1-土路肩;2-路面;3-路缘石;4-加固路肩;5-路基

1. 槽式横断面

在路基上按路面行车道及硬路肩设计宽度开挖路槽,保留土路肩,形成浅槽,在槽内铺筑路面。也可采用培槽方法,在路基两侧培槽,或采用半填半挖的方法培槽。

2. 全铺式横断面

在路基全部宽度内都铺筑路面。在高等级公路建设中,有时为了将路面结构内部的水分迅速排出,在全宽范围内铺筑基层材料,保证水分由横向排入边沟。有时考虑到道路交通的迅速增长,为适应扩建的需要,将硬路肩及土路肩的位置全部按行车道标准铺筑面层。在盛产石料的山区或较窄的路基上,全宽铺筑中、低级路面。路面横断面形式如图 1-1 所示。

二、路拱横坡度

为了保证路面上雨水及时排出,减少雨水对路面的浸润和渗透而减弱路面结构强度,路面表面应做成直线形或抛物线形的路拱。等级高的路面,平整度和水稳定性较好,透水性也小,通常采用直线形路拱和较小的路拱横坡度。等级低的路面,为了有利于迅速排除路面积水,一般采用抛物线形路拱和较大的路拱横坡度。表 1-2 列出了各种不同类型路面的路拱平均横坡度。

各类路面的路拱平均横坡度

表 1-2

路面类型	路拱平均横坡度(%)
水泥混凝土、沥青混凝土	1~2
厂拌沥青碎石、沥青贯入碎(砾)石、路拌沥青碎(砾)石、沥青表面处治、整齐石块	1.5~2.5
半整齐石块、不整齐石块	2~3
碎石、砾石等粒料路面	2.5~3.5
炉渣土、砾石土和砂砾土等	3~4

选择路拱横坡度,应充分考虑有利于行车平稳和有利于横向排水两方面的要求。在干旱和有积雪、浮冰地区,应采用低值,多雨地区采用高值。当道路纵坡较大或路面较宽,或行车速度较高时,或交通量和车辆载重较大时,或常有拖挂汽车行驶时,应采用平均横坡度的低值;反之则应采用高值。

高速公路和一级公路设有中央分隔带,通常采用两种方式布置路拱横断面。若分隔带未设置排水设施,则做成中间高、两侧低,路面由单向横坡向路肩方向排水。若分隔带设置排水设施,则两侧路面分别单独做成中间高、两边低的路拱,向中间和路肩两个方向排水。

路肩横坡度一般较路面横坡大 1%。但是高速公路和一级公路的硬路肩采用与路面行车道相同的结构时,应采用与路面行车道相同的路面横坡度。

第三节 路面结构组合

路面结构一般由面层、基层、底基层组成,必要时在土基与基层(或底基层)之间设置垫层。

面层是直接同行车和大气接触的表面层次,它承受较大的行车荷载的垂直力、水平力和冲击力的作用,同时还受到降水的侵蚀和气温变化的影响。因此,同其他层次相比,面层应具有较高的结构强度、抗变形能力,较好的水稳定性和温度稳定性,而且应当耐磨,不透水;其表面还应有良好的抗滑性和平整度。

修筑面层所用的材料主要有:水泥混凝土、沥青混凝土、沥青碎(砾)石混合料、砂砾或碎石掺土或不掺土的混合料以及块料等。

面层有时分两层或三层铺筑,如高速公路沥青面层总厚度 18cm,可分为上、中、下三层铺筑,并根据各分层的要求采用不同的级配等级。水泥混凝土路面也有时分上下两层铺筑,分别采用不同等级的水泥混凝土材料。水泥混凝土路面上加铺 5~6cm 以上沥青混凝土这样的复合式结构也是常见的。但是砂石路面上所铺的 2~3cm 厚的磨耗层或 1cm 厚的保护层,以及厚度不超过 1cm 的简易沥青表面处治,不能作为一个独立的层次,应看作是面层的一部分。

基层主要承受由面层传来的车辆荷载的垂直力,并扩散到下面的垫层和土基中去,实际上基层是路面结构中的承重层,它应具有足够的强度和刚度,并具有良好的扩散应力的能力。基层遭受大气因素的影响虽然比面层小,但是仍然有可能经受地下水和通过面层渗入雨水的浸湿,所以基层结构应具有足够的水稳定性。基层表面虽不直接供车辆行驶,但仍然要求有较好的平整度,这是保证面层平整度的基本条件。

修筑基层的材料主要有各种结合料(如石灰、水泥或沥青等)稳定土或稳定碎(砾)石、贫水泥混凝土、天然砂砾、各种碎石或砾石、片石、块石或圆石,各种工业废渣(如煤渣、粉煤灰、矿渣、石灰渣等)和土、砂、石所组成的混合料等。

基层厚度太厚时,为保证工程质量可分为两层或三层铺筑。当采用不同材料修筑基层时,基层的最下层称为底基层。对底基层材料质量的要求较低,可使用当地材料来修筑。

底基层是设置在基层之下,并与面层、基层一起承受车轮荷载反复作用,起次要承重作用的层次。底基层材料的强度指标要求可比基层材料略低。

基层、底基层视公路等级或交通量的需要可设置一层或两层。当基层或底基层较厚需分两层施工时,分别称为上基层、下基层,或上底基层、下底基层。

垫层介于土基与基层之间,它的功能是改善土基的湿度和温度状况,以保证面层和基层的强度、刚度和稳定性不受土基湿度状况变化所造成的不良影响,如冰冻地区设置的防冻层。另一方面的功能是将基层传下的车辆荷载应力加以扩散,以减小土基产生的应力和变形。同时也能阻止路基土挤入基层中,影响基层结构的性能。

修筑垫层的材料,强度要求不一定高,但水稳定性和隔温性能要好。常用垫层材料分为两类:一类是由松散粒料,如砂、砾石、炉渣等组成的透水性垫层;另一类是用水泥或石灰稳定土等修筑的稳定类垫层。

关于路面结构组合设计,美国沥青协会(APA)近年又提出了永久性路面的设计概念。所谓永久性路面,是指通过在材料选择、混合料设计、性能试验和路面结构设计等方面的努力,可以使道路管理部门通过周期性地更换沥青面层来获得路面结构更长的服务年限(超过 50 年)。这项技术的核心就是按功能合理设置路面结构层:面层要求具有抗车辙、不透水和抗磨损的能力;中间层或联结层具有稳定性和耐久性;基层要求具有抵抗交通荷载作用下的抗疲劳和耐久的能力(图 1-2)。

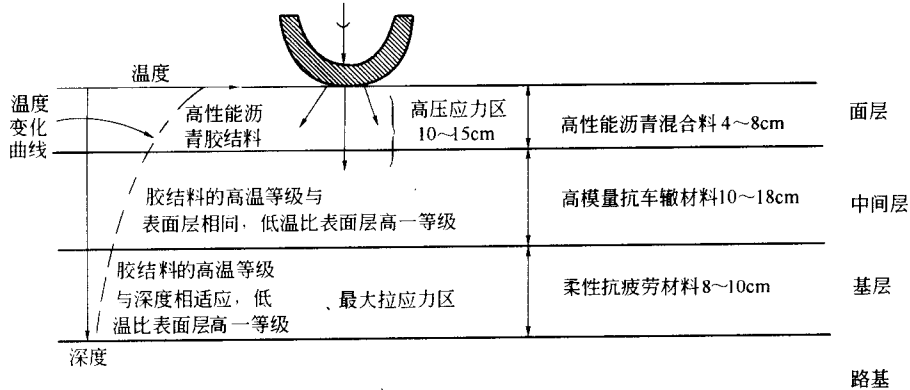


图 1-2 永久性路面设计概念

按功能来设置每一个结构层,这是一个非常好的想法。按照这个原则,沥青混合料基层主要是承受交通荷载作用下的弯曲疲劳。根据力学分析和试验研究,提高路面抗疲劳寿命,主要有两个途径:一是保证路面结构有足够的厚度,以降低基层底面的拉应变(或拉应力)水平;另一条途径是提高基层本身的抗疲劳开裂能力。大量研究表明,高沥青含量有利于沥青混合料的抗疲劳开裂。另外选用粘度高的沥青,以及改善矿料的级配等,也可以提高沥青混合料的疲劳性能。当然,沥青含量应考虑现场压实度达到最大密实度的 96%~98%。沥青的等级应具有与上面层相同的高温特性,以及与中间层相同的低温特性。由于基层施工期间,施工车辆一般是要通行的,所以还应对材料进行车辙性能评价。

对于路面结构的中间层或联结层必须同时保证稳定性和耐久性。其稳定性可以通过骨架

密实型级配和高温稳定性好的胶结料来获得。沥青混合物内摩阻力的获得,主要依靠形成坚实的骨架和采用破碎的集料。关于集料的最大粒径问题,一般认为采用粒径大的集料好些,如 LSM 的抗变形能力较一般沥青混合物要好些。中间层的胶结料其高温等级应该与表面层相同,低温等级可以低一级。中间层混合物设计可以按标准 Superpave 方法确定最佳沥青用量,并应进行车辙、水敏感性等性能指标评价试验。

关于面层的设计,由于对车辙、耐久性、透水及耐磨等方面的要求,对于重交通道路通常采用 SMA。但为了保证这种混合料的耐久性,一定要使其现场空隙率控制在 3% ~ 6% 之间。对于中低交通量的道路,一般采用 Superpave 密级配混合物比较合适。但需对混合物进行性能试验,尤其车辙试验是必须做的。对采用的胶结料,PG 等级的高温部分应比工程所在地区常用胶结料至少高一等级,低温部分应保证有 95% ~ 99% 的可靠度。

上述观点,我认为很值得我们认真研究。对照我国目前的路面结构组合设计,我感到我们对结构层的功能规定不明确。例如 18cm 的沥青层,上面层、中面层、下面层主要起什么作用? 对它们的要求是什么? 相应的材料设计、厚度等怎样确定? 现在谁也说不太清楚。对于基层除考虑承重层外,对于其抗疲劳性能怎样考虑(现在的半刚性基层其抗疲劳能力是比较差的)等一系列问题,在路面结构层组合设计中都没有很好解决。所以这是导致我们全国东、南、西、北、中,基本上是一个结构组合,甚至连结构层厚度都差不多。这显然是不符合实际的。可以认为这也是引起我国路面产生早期损坏的原因之一。

• 第二章 •

ZUOYONGZAILUMIANSHANGDEHEZAI

作用在路面上的荷载

汽车是路基和路面的服务对象,也是使路基和路面结构遭受损坏的主要原因。要能设计和修建出既符合使用要求又经久耐用的路基和路面结构物,就必须首先对行驶在路上的车辆作一考察,包括汽车轮重与轴重的大小与特性、不同车型车轴的布置、设计期限内汽车轴型的分布以及车轴通行量逐年增长的规律、汽车静态荷载与动态荷载特性比较等。

第一节 车辆的分类

一、车辆的种类

道路上通行的汽车按车型主要分为客车与货车两大类。

客车又分为小客车、中客车与大客车。小客车自身质量与满载总质量都比较轻,但车速高,一般可达 120km/h,有的高档小车可达 200km/h 以上;中客车一般包括 6 个座位至 20 个座位的中型客车;大客车一般是指 20 个座位以上的大型客车,包括铰接车和双层客车,主要用于长途客运与城市公共交通。

货车又分为整车、牵引式拖车和牵引式半拖车。整车的货厢与汽车发动机为一整体;牵引式拖车的牵引车与拖车是分离的,牵引车提供动力,牵引后挂的拖车可以拖挂两辆以上的拖车;牵引式半拖车的牵引车与拖车也是分离的,但是通过铰接相互连接,牵引车的后轴也担负部分货车的质量,货车厢的后部有轮轴系统,而前部通过铰接悬挂在牵引车上。货车总的发展趋势是向大吨位发展,特别是集装箱运输水陆联运业务开展之后,货车最大吨位为 40~50t。

在交通调查中,一般将汽车分为八类:即大型货车、中型货车、小型货车、大型客车、小型客车、拖挂车、集装箱车、大中型拖拉机。每种汽车应属于何种分类,交通部公管司提供了交通调查分类图。交通调查时,只要先熟悉每种汽车应属于何种类型,便可得出某断面昼夜混合汽车交通量。

二、汽车的轴型

汽车通过安装在车轴上的轮子,把荷载传给路面。汽车类型众多,车轴和车轮的组合形式也变化繁多。车轴可划分为前轴和后轴。绝大部分车辆的前轴为二个单轮组成的单轴,轴载约为汽车总重的 1/3 左右,而后轴可由单轴、双轴或三轴组成,大部分汽车后轴由双轮组成,少

数载重量轻的汽车后轴由单轮组成。各轴一般由一对单轮或一对双轮组成。各种轴型的车辆可以组合成不同轴数的组合车辆,如图 2-1 所示。路面设计时,不需考虑两轴四轮以下的各种客车和货车的作用,因为这些车辆对路面使用寿命的影响很小。

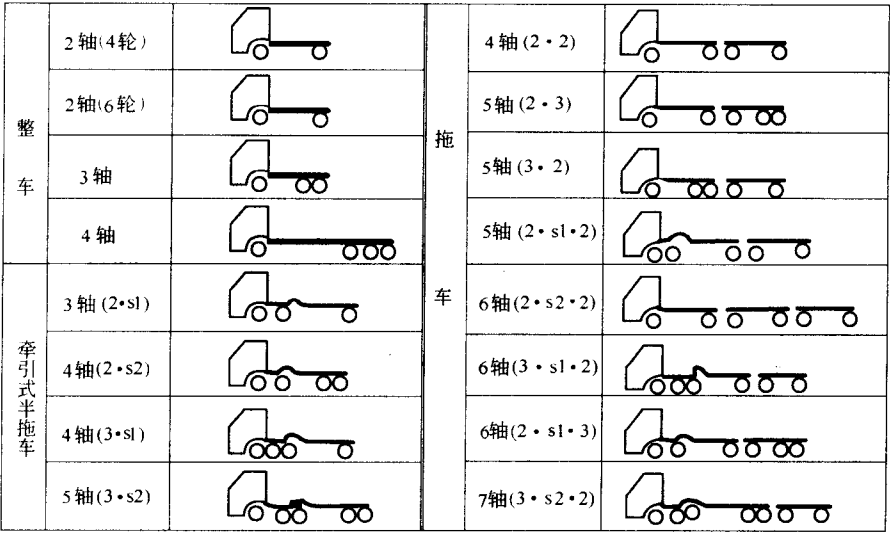


图 2-1 不同轴型的货车示意图

三、车重和轴重

车辆荷载以车辆的总重、各轴型(单轴、双轴或三轴)的轴重和各轮组(单轮或双轮)的轮重表征。

部分国家对道路上行驶车辆规定的最大车辆总重和轴重的许可值,列于表 2-1。

道路上行驶车辆的轴数和车辆总重最大允许值(t)					表 2-1
国 家		中 国	美国各州	加 拿 大	欧洲各国
轴 重	单轴	10	8.2 ~ 10.2	5.5(前轴),9.1	9 ~ 13
	双轴	10(单轮),18(双轮)	14.5 ~ 18.1	17	16 ~ 22
	三轴	12(单轮),22(双轮)	20	24	20 ~ 26
车辆总重		40	33 ~ 74	23.7(三轴),31.6(四轴),39.5(五轴) 46.5(六轴),53.5(七轴)	35 ~ 50

我国路面设计方法中,选用双轮组单轴荷载 100kN 作为标准轴载。其他设计参数为:双轮组轮载为 50kN,轮胎接触路面的压强为 0.70MPa,接触面积的当量圆直径为 21.3cm,双轮的中心距为 31.95cm(1.5 倍当量圆直径)。

第二节 作用在路面上的力

随着车辆在路面上运动状态的变化,作用在路面上的荷载也在不断变化。停放时,车辆作用在路面上的是垂直静压力;行驶时,作用在路面上的有垂直压力、水平力和振动冲击力。

一、静载压力

轮载经由轮胎传给路面。轮胎与路面接触面上的平均竖向压力会受下述因素的影响：

- (1) 充气轮胎的内压力大小 p_i ；
- (2) 轮胎的类型(斜线或子午线)和性质(新或旧)；
- (3) 轮载的大小(同轮胎的标准负载相比)。

货车轮胎的标准静内压力 p_i 大多数变化在 0.4 ~ 0.7MPa 范围内。一般情况下, 轮胎与路面接触面上的压力小于内压力, 约为 $(0.8 \sim 0.9)p_i$ 。只有在轮胎软而旧, 或者实际内压力比标准内压力低得多, 或者轮载超过规定的标准负载情况下, 接触压力才大于内压力 p_i , 约为 $(1.1 \sim 1.3)p_i$ 。车轮在行驶过程中, 内压力会因轮胎内气温的升高而增加。因此, 对于滚动的车轮, 接触压力由 $(0.8 \sim 0.9)p_i$ 增大到 $(0.9 \sim 1.1)p_i$ 。路面设计时, 通常忽略上述因素变化的影响而直接采用内压力作为接触压力, 并假定在接触面上压力是均匀分布的。图 2-2 为实测到的货车轮胎内压力 p_i 同平均接触压力 p 关系的变化范围。图中还绘出了 p_i 等于 p 时的关系线, 可以看出这条线接近于变动范围的平均值。

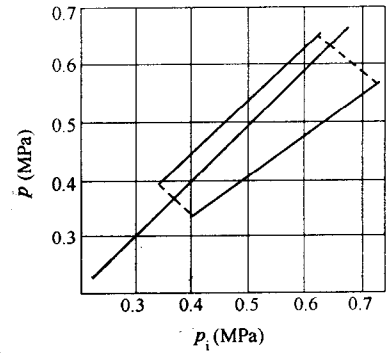


图 2-2 轮胎内压力 p_i 同平均接触压力 p 的关系

接触面上竖向压力的分布, 在轮载小于或等于轮胎的标准负载时比较均匀, 可近似地假设为均布。从图 2-3 所示的实测结果可看出, 当轮载超过轮胎的标准负载时, 其边缘处将出现压力峰值。但是, 采用均布假设给路面结构分析带来的误差很小。车轮的行驶状况(加速、减速或制动等), 对压力分布图形的影响不大。

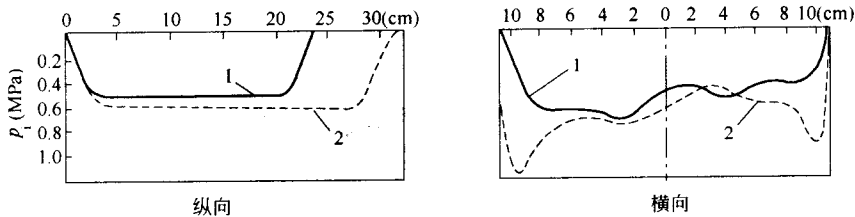


图 2-3 接触面上竖向压力分布

1- $P < P_N$; 2- $P > P_N$ (P_N 为轮胎的标准负载; 内压力 $p_i = 0.64\text{MPa}$)

在移动荷载作用下, 轮胎与路面的接触应力及其分布情况与静载情况稍有不同。图 2-4 表示的是 Bohdan T. Kulakowski 利用接触应力计(contact stress cell)测得的垂直接触应力分布图。图 2-4a) 是对于 100kN 轴载, 700kPa 轮胎内压, 在速度 20km/h 时(温度 10℃)测得的垂直接触应力图(双胎中的一个); 图 2-4b) 是在 80kN 轴载, 900kPa 轮胎内压, 速度 20km/h(温度 10℃)情况下测得的。

二、接触面积

现代车辆的车轮采用充气轮胎。轮胎的充气压力称为轮胎压力。充气轮胎在荷载作用下