

Structural Design
for Cement Concrete Pavement
Under Heavy Traffic Loading

重载交通 水泥混凝土路面 结构设计

赵队家 刘少文 申俊敏 著



人民交通出版社
China Communications Press

Structural Design for Cement Concrete Pavement
Under Heavy Traffic Loading

重载交通水泥混凝土路面 结构设计

赵队家 刘少文 申俊敏 著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书共分9章,内容包括绪论、山西省重载交通水泥混凝土路面使用现状、重载交通特性及轴载分析、重载交通普通混凝土路面结构力学分析、重载交通普通水泥混凝土路面结构设计、重载交通普通混凝土路面传力杆设计、重载交通普通混凝土路面典型结构、重载交通连续配筋混凝土路面设计、重载交通水泥混凝土路面设计的工程应用。

本书可供从事道路工程科研、设计及施工的技术人员阅读,也可供高等院校相关专业师生教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

重载交通水泥混凝土路面结构设计 / 赵队家, 刘少文, 申俊敏著. —北京: 人民交通出版社, 2012. 12
ISBN 978-7-114-10252-3

I. ①重… II. ①赵… ②刘… ③申… III. ①水泥混凝土路面—结构设计 IV. ①U416.216.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 307842 号

书 名: 重载交通水泥混凝土路面结构设计

著 作 者: 赵队家 刘少文 申俊敏

责任编辑: 刘永超 周 宇

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)59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 720×960 1/16

印 张: 12.75

字 数: 222 千

版 次: 2012 年 12 月 第 1 版

印 次: 2012 年 12 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-10252-3

定 价: 32.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

水泥混凝土路面 (Cement Concrete Pavement) 作为一种高等级路面结构形式,具有使用寿命长、养护工作量小、能源消耗少、施工简便、对交通等级和环境适应性强等优点,在国内外得到广泛应用。据统计,截至2011年底,全国有铺装路面里程达210.34万km,其中水泥混凝土路面151.21万km,约占71.9%,成为世界上水泥混凝土路面里程最多的国家。

但随着近年来国民经济和公路交通运输事业的快速发展,重型载货汽车的比重不断增加,汽车的总载质量和轴载质量也不断提高,单轴超过10t、双轴超过18t、三轴超过22t的重载车辆已成为交通运输的重要组成部分。传统水泥混凝土路面的诸多优势正逐渐减弱,难以满足大型、重载运输车辆的行车需求。

鉴于此,山西省交通科学研究院、同济大学等单位立项展开了“山西省运煤重载水泥混凝土路面典型结构的研究”等多项课题的研究。从重载交通水泥路面结构损坏的特点及原因、重载交通轴载特性、重载交通路面设计指标和方法、重载交通路面典型结构等方面深入探讨了重载交通水泥混凝土路面的结构设计问题。最终理清了重载交通水泥路面损坏原因和重载交通轴载特征;建立了适宜于重载交通路面的双层平面不等尺寸结构模型,给出了面层、基层的结构临界点及荷载应力、温度应力的计算式;提出了基于面层和基层综合疲劳破坏的重载交通水泥路面结构设计方法;提供了基于经验设计重载交通传力杆设置建议,推荐了适宜于重载交通水泥路面的典型结构,并结合实体工程阐述了重载交通水泥路面结构设计的工程应用。

本书在总结归纳相关研究成果的基础上,通过有限的篇幅系统论述了重载交通水泥混凝土路面结构分析与设计,旨在为我国重载交通水泥混凝土路面的发展做出一点贡献。本书可供高等学校的相关师生学习参考,也可供相关领域科研院所的研究人员参考使用。

本书共分为9章,第1、4章由赵队家撰写,第2、3章由刘少文撰写,第7、9

章由申俊敏撰写,第5章由周玉民撰写,第6章由张艳聪撰写,第8章由张脩撰写,全书的审阅和统稿由赵队家完成。由于作者知识及水平有限,书中难免有疏漏和不足之处,敬请各位读者批评指正。

作 者

2012 年 9 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 水泥混凝土路面的应用与发展概况	1
1.1.1 欧美国家水泥混凝土路面	1
1.1.2 我国水泥混凝土路面	2
1.2 水泥混凝土路面设计理论发展回顾	4
1.3 重载交通水泥混凝土路面的特点与现状	5
1.3.1 重载交通水泥混凝土路面的使用特点	5
1.3.2 重载交通水泥混凝土路面的研究现状	6
第 2 章 山西省重载交通水泥混凝土路面使用现状	9
2.1 山西省气候环境及公路自然区划	9
2.1.1 山西省气候环境	9
2.1.2 山西省公路自然区划	11
2.2 山西省重载交通水泥混凝土路面使用状况	13
2.2.1 重载交通水泥混凝土路面使用状况调查	13
2.2.2 重载交通水泥混凝土路面损坏原因分析	22
2.3 重载交通对水泥混凝土路面的要求	27
第 3 章 重载交通特性及轴载分析	30
3.1 车辆轴载限制标准与重载车辆分类	30
3.2 交通调查	31
3.2.1 交通量调查	32
3.2.2 车辆轴载调查	34
3.2.3 最大载重与轮压	36
3.3 各类轴型的设计轴载	37
3.3.1 当量标准轴载作用次数	37
3.3.2 设计轴载	38
3.4 标准轴载作用次数估算	39

3.4.1 轴型次数计算	39
3.4.2 当量标准轴载作用次数系数	40
第4章 重载交通普通混凝土路面结构力学分析	42
4.1 重载交通普通混凝土路面结构力学模型	42
4.1.1 单元类型和层间接触处理	43
4.1.2 单元精度和收敛性	45
4.1.3 基层超宽的影响	45
4.1.4 温度翘曲效应	47
4.2 重载交通普通混凝土路面结构应力计算	48
4.2.1 荷载图式	48
4.2.2 最大荷载应力位置	49
4.2.3 面层荷载应力计算	50
4.2.4 基层荷载应力计算	53
4.3 基层超宽对接缝传荷的影响	55
第5章 重载交通普通水泥混凝土路面结构设计	57
5.1 结构设计准则	57
5.2 结构临界位置	58
5.2.1 面层板的疲劳临界位置	58
5.2.2 基层板的疲劳临界位置	58
5.3 面层的疲劳应力	60
5.3.1 面层疲劳荷载应力	60
5.3.2 面层疲劳温度应力	60
5.4 基层的疲劳应力	62
5.4.1 基层疲劳荷载应力	62
5.4.2 基层疲劳温度应力	62
5.5 双层板下基层顶面当量模量换算	63
5.6 结构设计流程	64
第6章 重载交通普通混凝土路面传力杆设计	67
6.1 概述	67
6.2 设置传力杆路面的有限元分析模型	68
6.2.1 重载交通典型结构模型的建立	69

6.2.2 接触模型·····	69
6.2.3 材料及模型参数选定·····	70
6.2.4 弯沉传荷系数的计算方法·····	71
6.3 传力杆设置方式对路面结构的力学影响·····	72
6.3.1 传力杆几何尺寸的影响·····	73
6.3.2 传力杆空间位置的影响·····	77
6.3.3 传力杆与混凝土接触状况的影响·····	81
6.3.4 传力杆布设方式的影响·····	85
6.4 重载交通普通混凝土路面传力杆设置的改进建议·····	88
第7章 重载交通普通混凝土路面典型结构 ·····	89
7.1 重载交通普通混凝土路面设计参数的选择·····	89
7.2 重载交通普通混凝土路面典型结构·····	91
7.2.1 常见路面结构组合及要求·····	91
7.2.2 贫混凝土基层典型结构·····	92
7.2.3 沥青混凝土基层典型结构·····	94
7.3 重载交通普通混凝土路面典型结构的应力分析·····	95
7.3.1 重载交通典型结构模型·····	95
7.3.2 基层模量及厚度对面层、基层应力的影响·····	99
7.3.3 基层模量及厚度对面层、基层层间剪切应力的影响·····	104
7.3.4 基层模量及厚度对面层翘曲脱空的影响·····	107
7.3.5 层间结合状态对路面应力及面层翘曲的影响·····	108
7.4 重载交通普通混凝土路面典型结构的建议·····	114
第8章 重载交通连续配筋混凝土路面设计 ·····	117
8.1 连续配筋混凝土路面基本原理·····	117
8.1.1 连续配筋混凝土路面破坏标准·····	117
8.1.2 连续配筋混凝土路面配筋设计原理·····	119
8.1.3 CRCP 破坏调查和影响因素分析·····	120
8.2 连续配筋混凝土路面设计方法·····	122
8.2.1 板厚设计·····	122
8.2.2 AASHTO—1993 设计方法·····	122
8.2.3 MEPDG 设计方法·····	125

8.3	CRCP 设计方法验证	132
8.3.1	宝塔山隧道 CRCP 验证	132
8.3.2	太古高速公路 CRCP 验证	134
8.4	CRCP 早期力学特性和裂缝发展行为	140
8.4.1	早期温度场、应力场分析	140
8.4.2	早期裂缝发展行为	142
8.4.3	开裂的影响因素分析及控制	146
8.4.4	小结	147
第9章	重载交通水泥混凝土路面设计的工程应用	148
9.1	得大高速公路普通混凝土路面工程	148
9.1.1	工程概况	148
9.1.2	路面结构设计	148
9.1.3	试验路施工及效果	154
9.2	G309 国道临汾段配筋混凝土路面工程	156
9.2.1	工程概况	156
9.2.2	试验路结构组合设计与施工	156
9.2.3	工程质量跟踪与总结	158
9.3	孙吴线连续配筋混凝土路面工程	158
9.3.1	工程概况	158
9.3.2	试验路基本情况	158
9.3.3	路面结构设计	160
9.3.4	试验路施工及效果	165
附录		168
参考文献		186

第 1 章 绪 论

水泥混凝土路面作为一种高等级路面结构形式,具有使用寿命长、养护工作量小、能源消耗少、施工简便、对交通等级和环境适应性强等优点,在国内外得到广泛应用。然而,随着近年来国民经济和公路交通运输事业的快速发展,运输车辆中重型载货汽车的比重不断增加,汽车的总载质量和轴载质量不断提高,并且越来越大型化,更新换代速度也越来越快。单轴超过 10t、双轴超过 18t、三轴超过 22t 的重载车辆已成为交通运输的重要组成部分。传统水泥混凝土路面的诸多优势正逐渐减弱,难以满足大型、重型运输车辆的行车需求。加之早期修建的水泥混凝土路面由于设计与施工不当而出现的早期损坏和行车舒适性问题,导致其近年来水泥混凝土路面的发展受到限制。

但随着汽车工业的持续发展和公路交通运输需求的不断增长,适宜于重载交通的水泥混凝土路面势必重新呈现出巨大生机。同时,我们也应该看到沥青路面同样存在各种形式的早期损坏,而且近来随着石油价格的持续攀升使得沥青路面的造价远远超过水泥混凝土路面。因此,在修建沥青路面的同时,也应看到水泥混凝土路面尤其是重载交通水泥混凝土路面的优势。加快水泥混凝土路面的发展和技术进步是我国公路建设的客观需求,也是促进我国能源发展、环境保护的战略举措。

1.1 水泥混凝土路面的应用与发展概况

1.1.1 欧美国国家水泥混凝土路面

水泥混凝土作为筑路材料用于铺筑路面最早是在英国。1828 年在伦敦郊外,英国用水泥混凝土铺筑了道路基层,1912 年美国威斯康星州和加利福尼亚州用水泥混凝土铺筑了标准的面层。直到 1914 年第一次世界大战后,水泥混凝土路面才得到广泛应用。20 世纪 30 ~ 40 年代,水泥混凝土路面由于高强、耐久、行车性能好等一系列优点,在欧美各国得到迅速发展。

第二次世界大战以后,全世界汽车工业迅猛发展,特别是货运车辆载重和轴

重迅速增加,在美国和欧洲普遍出现了大范围的水泥混凝土路面破损,主要表现为唧浆、沉陷和破碎。通过大量的调查和研究,发现在重车作用下,混凝土板下的土基或基础失稳是造成破坏的主要原因。于是各国对土基和基层做出了严格的要求。近年来,美国高速公路网中,水泥混凝土路面占 49% 左右。在欧洲,比利时是使用水泥混凝土路面最多的国家,目前有 50% 的高速公路是水泥混凝土路面。法国最近每年建成的高速公路约 30% 为水泥混凝土路面,连续配筋水泥混凝土路面已被广泛用于高速公路。德国是大量使用水泥混凝土路面最早的国家,1960 年以前建成的高速公路几乎都是水泥混凝土路面。英国自 1970 年以来修建的主要干道中约有 22% 为水泥混凝土路面。

此外,20 世纪 90 年代以来,美国和欧洲一些国家提出,对于交通特别繁忙的公路按照长寿命道路的概念设计路面,有的提出按 50 ~ 60 年的寿命设计路面结构,不少国家构思修建钢筋混凝土(包括连续配筋路面在内)特强基层,50 年不维修,必要时 5 ~ 8 年更换上面沥青混合料功能层,这样水泥混凝土路面在可持续发展战略地位中将表现出独到的优势。

1.1.2 我国水泥混凝土路面

我国水泥混凝土路面应用起步较晚。至 1970 年,全国公路水泥混凝土路面的里程仅为 200km,占高级和次高级路面总里程的 0.87%;至 1980 年,混凝土路面的里程为 1 600km,约占高级和次高级路面里程的 1.01%。随着高等级公路的发展,至 1990 年,水泥混凝土路面总里程增加到 11 773km,占高级和次高级路面里程的 4.37%;至 2000 年,水泥混凝土路面总里程增加到 111 574km,占高级和次高级路面里程的 64.9%。

近年来,随着公路建设的大发展,公路总里程和公路密度迅猛增加。如图 1-1 所示,截至 2011 年底,全国公路总里程达 410.64 万 km,比 2010 年末增加 9.82 万 km。全国公路密度为 42.77km/100km²,比 2010 年末提高 1.02km/100km²。全国有铺装路面和简易铺装路面公路里程 261.57 万 km,比 2010 年末增加 17.35 万 km,占公路总里程的 63.7%,比 2010 年末提高 2.8 个百分点。各类型路面里程分别为:有铺装路面 210.34 万 km,其中沥青混凝土路面 59.13 万 km,水泥混凝土路面 151.21 万 km,如图 1-2 所示。

虽然,水泥混凝土路面占有铺装路面里程的 71.89%,远高于沥青混凝土路面。但是在高等级公路路面中的比例却比较小。究其原因,主要是水泥混凝土路面设计与施工不当,使其早期使用状况欠佳,使用寿命低于设计使用年限,尤其是一些重载交通干道,早期损坏严重,使得水泥混凝土路面不但没有体现出使

用寿命长、养护费用低等优点,反而进一步突显维修困难的弱点,甚至造成一些地区限制水泥混凝土路面在干线公路中应用。而沥青路面凭借表面平整、无接缝、行车舒适、噪声低、施工期短、适于分期修建等优点得到广泛应用,占据了高级路面结构的主流形式。

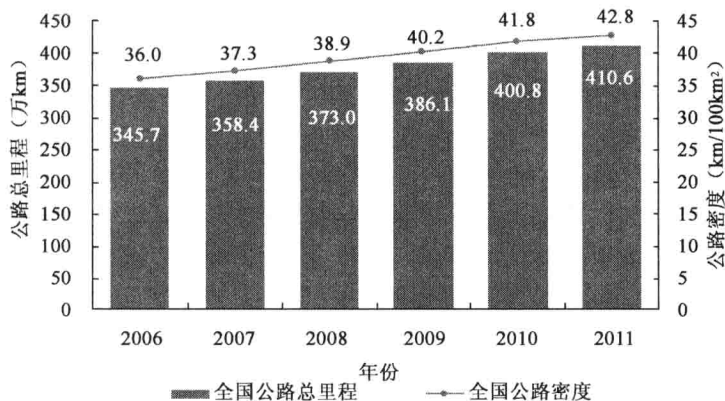


图 1-1 全国公路总里程及公路密度

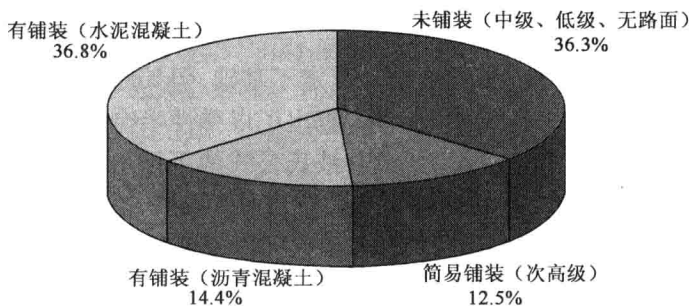


图 1-2 2011 年各路面类型里程构成

但随着水泥混凝土路面设计、施工水平的发展和公路交通运输需求的不断增长,重载交通水泥混凝土路面势必凭借以下优势重新呈现出巨大生机。

- (1) 水泥混凝土具有较高的抗压强度、抗弯拉强度以及较强的抗磨耗能力;
- (2) 水泥混凝土路面具备良好的稳定性,高温稳定性、低温稳定性和水稳定性均良好;
- (3) 水泥混凝土路面具有较好的耐久性,材料不易老化衰变,正确设计的路面有优良的耐疲劳性能,是长寿命路面的最佳选择;
- (4) 承载能力高,非常适宜于重载交通,工矿道路、停车场、机场跑道均宜优

先考虑水泥混凝土路面。

1.2 水泥混凝土路面设计理论发展回顾

水泥混凝土路面在车轮荷载作用下,作为承重结构主要以它的板体抗弯曲强度与刚度保持着路面的正常工作状态。因此,长期以来水泥混凝土路面面板厚度设计一直以路面板的抗弯拉应力达到极限强度、路面板产生疲劳开裂作为设计的破坏标准。

最早的设计方法由 C. Older 和 A. T. Goldbeck 于 1920 年提出,他们假设路面板底部局部脱空,板体处于悬臂状态,利用材料力学的方法得到板体的最大弯拉应力,并以此作为板厚的设计依据。1925 年, H. M. Westergaard 采用了铁道工程设计中惯用的 Winkler 地基来假定刚性路面以下的地基支撑,用弹性力学中的薄板假定来描述刚性面板,并将车轮对面板的作用比拟为一个面积相当的圆形均布垂直荷载,通过数学推导,得到三个不同荷载位置下,刚性面板在板中、板边、板角受荷时出现的最大弯拉应力。长期以来,威氏公式被广泛应用并证明基本与实际相符。但是 Winkler 地基假定未能充分估计到地基各个方向上的相互约束,计算结果略微偏高。

威氏公式虽然为刚性路面厚度设计奠定了基础,但其地基描述忽略了自身的整体效应。1938 年, A. H. A. Hogg 等人提出了以弹性半空间地基假定描述刚性路面板下的地基工作状态,并以此改善威氏公式的不足。在理论上引用了布辛尼斯克的各向同性的半空间弹性地基假定取代 Winkler 假定,路面板仍采用弹性薄板。在求解过程中,引用了贝塞尔函数和积分变换,最后形成的方法主要适用于半空间地基上无限大薄板的模式。

由于刚性路面面板的最不利荷载位置一般位于板角或板边,新的地基假定推导的公式虽然可以计算无限大板的厚度,但无法确定最不利荷载位置的弯拉应力。为此,梅特尼科夫等人应用应力等效原则,将两种地基假定下,两个板中应力计算公式取相等,导出了两种地基参数的等效换算公式,得出了以半空间弹性地基假设的参数表达的、三个典型荷载位置的弯拉应力计算公式。我国 1958 年、1966 年的刚性路面设计规范即以此为基础。

1943 年, D. M. Burmister 提出了双层弹性体系的解析解,这样就可以摆脱弹性薄板假定和层间滑动的接触条件的限制,完全按照路面板的实际结构厚度和接触条件建立方程,求得解析解。

除了荷载应力以外,温度变化会引起刚性路面温度变形,若温度变形受阻,

刚性面板还将产生与荷载应力无关的温度应力。H. M. Westergaard 提出了由于路面板上、下顶面温差引起面板发生翘曲变形,当变形受到约束时,将产生附加翘曲应力的概念,并由布拉德伯利通过阿灵顿试验路和数值推理提出了刚性路面翘曲应力的计算式和计算曲线,该方法一直沿用至今。

我国系统开展刚性路面结构理论与设计方法的研究起步较晚。20 世纪 70 年代中期,东南大学和浙江省交通厅在浙江台州修筑试验路,进行荷载应力、挠度测定和疲劳试验,通过研究论证了设计理论的可行性,提出了板下地基模量的非线性特性,以及路面设计时确定地基模量的方法,探讨了路面板在荷载反复作用下疲劳损伤的发展过程和估算方法。随后,在 20 世纪 90 年代初,在荷载应力和温度应力的计算分析、疲劳性能、轴载换算、结构评定、设计方法、地基强度及基层顶面模量的确定、可靠度理论与设计方法等方面取得了大量理论和实用性科研成果,为推动我国水泥混凝土路面的发展,初步建立我国刚性路面设计理论体系奠定了坚实的基础。

水泥混凝土路面结构分析理论和设计方法的研究已有 100 余年的历史,凝聚了世界各国道路科技工作者的辛勤劳动。设计理论和方法的发展密切结合世界交通运输的发展,不断顺应交通形势发展的需求。发展的过程不断引进相关学科的研究成果。展望未来,在新时期现代交通运输发展的新形势下,水泥混凝土路面设计理论和方法势必面临新的问题和挑战,为应对现代交通运输集约化、车辆多轴化、系统高效化的需求,广大道路科研工作者应当在学习前人成果的基础上,面对当前发展中遇到的问题,迎难而上,不断完善水泥混凝土路面结构分析和设计理论。

1.3 重载交通水泥混凝土路面的特点与现状

1.3.1 重载交通水泥混凝土路面的使用特点

由于公路等级的提高和高额利润的驱使,车辆超载现象在全国各地广泛蔓延。据调查:连接贵州、广西、广东和福建的 324 国道即由于超载受损严重,调查中发现,标准轴载在 50kN 的载货汽车,车主通过加钢板、加高车厢板、增加附加轮胎等手段,使实际的轴载量高达 150kN 以上。云南省运煤、运矿石的车辆超载率在 80% 以上,有的甚至超过标准载质量达 130%。河南、河北一些地区,10t 以上的重型车辆的超载比例在 40% 以上,某些路段更是达到 80%,最大超载率高达 300%。

对于此,各地政府也相继出台政策,对超载超重现象进行治理。以山西省为例,2004年6月“治超”之前,京大路运煤超载车辆很多,4轴车车货总质量最大可达到70~80t,5轴车车货总质量最大可达到140~150t,6轴车车货总质量最大可达到150~160t,单轴—双轮组轴载质量可达到20~25t,最大达30t,已远远超过设计要求。2004年6月“治超”以后,该现象得到了较大缓解,但为了获取超额运输利润,加高车厢、采用高压轮胎进行超载运输的现象仍然不可忽视。据调查,多数重载车辆轮胎充气压力为1.4~1.5MPa,推算轮胎接地压力为1.3~1.4MPa。

1.3.2 重载交通水泥混凝土路面的研究现状

为了适应重载交通运输的需要,国内外重载交通水泥混凝土路面设计方法的研究也在不断推进。

南非在20世纪70年代就开始采用动态称重系统对公路轴载分布进行研究,认为由于路面设计中对实际车辆轴载重的预测不准确,低估了超载重的加速磨损,才导致路面设计厚度不足。90年代南非在此基础上建立了可以用于超重荷载和多联轴形式的等效系数EDF的计算式。

美国新泽西州在20世纪80年代也作过公路的超载研究,它引用AASHTO的轴载换算标准,认为当量标准轴次(ESA)的增加会引起相同比例的路面使用寿命的减少。在对车辆超载规律的研究中它提出一种卸载概念,即将超载部分货物卸下后作另外多次运输,保证总的货运量一定。认为超载引起的路面使用寿命缩短的比例减去卸载后的缩短比例才是真正由超载引起的路面损耗。

加拿大安大略省在20世纪80年代对该省的车辆尺寸和荷载情况做了长期调查。结果表明:在允许一定程度的超载时测得的公路车辆荷载分布明显偏重,并且通过对车辆总重和轴荷载分布的数据分析提出了某种车型的总重与各组轴荷载分布的关系。对于超限部分的轴荷载,采用力学分析方法研究路面在重载作用下的力学反应变化。并以此作为衡量路面损坏的标准,建立力学模型以计算不同级别荷载产生的力学损耗。

全美运输研究协会(TRB)对所有联邦资助公路和州际公路进行了全面的调查,它采用WIM系统和电子牌照板进行全天候自动识别并记录行驶中的车辆荷载,得到了比较准确的车辆荷载分布数据,并按照AASHTO方法将实际交通荷载换算为标准轴载,从而在不同轴载与路面损坏程度(使用期末的PSI值)之间建立了相关模型。

美国联邦公路局Kellerhold与Loersno详细论述了重载交通下具有传力杆

接缝的水泥混凝土路面的设计方法;美国各州公路工作者协会(AASHTO)提出了一个基于概率统计的可靠度设计方法;美国 Illinois 大学的 Ballnab 与 Texas 大学的 Zgoerlin 提出防止疲劳应力产生横向开裂的设计方法。

在国内,随着超载车对水泥混凝土路面破坏的日趋严重,不少机构和学者也对重载交通路面的各方面研究进行了探索。我国在 20 世纪 80 年代针对当时的重型汽车发展情况曾经研究过提高公路汽车轴重限值的可行性,梅今安等人提出如果按照规范方法把重型车辆的轴载折算成标准轴交通量则重车的影响是很大的。但是在路面厚度设计中对交通量的变化并不敏感,所以认为可以适当地提高轴重。

我国 1984、1986 年版的刚性和柔性路面设计规范中提出用综合系数 K_k 来计入车辆的超载。但实际上 K_k 只是一个经验系数,除超载外还包含对偏载和冲击荷载的考虑,并不是真正意义上的超载系数。

20 世纪 90 年代初,同济大学和山西省交通厅对大同地区的车辆运行情况做了调查,发现不同车型的超载规律是不同的。额定吨位越小的车超载就越严重,吨位接近的车型超载情况差不多,但当时对荷载的判断主要依据目测和静态称重,因而数据少且不够准确。后来河北省采用目测与仪器(HDS-1 涵式动态轴载称重仪)相结合的方式对省内一些干线道路进行调查,最终选取了几种代表车型并列出各自的轴载谱,这对于合理进行路面设计十分有利。但在调查过程中首先目测判断其满载后再用仪器测其轴重,这样必然导致结果偏重,而不能体现真正的轴载分布规律。1995 年东南大学根据一系列假设条件提出模拟不同轴载限值下公路轴载谱的分布函数,但对轴载的统计过于粗略,而且假设条件较多。

同济大学的石小平等人针对重载车引起的混凝土面板脱空、唧泥、错台和断板等现象,提出了控制板角挠度的设计方法,该方法对于特重交通(板厚大于 26cm)的水泥混凝土路面,比控制疲劳应力的方法更切合实际。长安大学公路学院王选仓教授对于重载交通条件下的水泥混凝土路面设计中疲劳方程、轴载换算以及疲劳系数进行了详尽的研究,给重载交通条件下的水泥混凝土路面设计方法提供了理论依据。

交通运输部公路科学研究院的田波等人应用有限元法分析了特重车辆对水泥混凝土路面荷载应力的影响,并对计算结果进行回归分析,提出了新的板纵向边缘中部最大应力计算式。山西省交通科学研究院与同济大学联合主持的“山西省特重交通水泥混凝土路面合理结构的研究”项目,依据运煤公路轴载谱和超重情况调查,采用涵盖超重车辆的荷载作用图式,分析归纳了纵边边缘中部的

荷载应力计算式,依据荷载和温度综合作用下的疲劳断裂准则,推荐了山西省特重交通水泥混凝土路面的合理结构。

综上所述,国内外对重载交通水泥混凝土路面的研究已经取得了一定的成就,其中的思路、方法和成果很值得借鉴。但国内外现有的分析和调查研究表明,由于重载车辆对刚性路面板的损坏机理十分复杂且影响因素众多,从重载交通特性出发,应用有限元法综合考虑有限尺寸混凝土路面板、地基支撑条件及混凝土板块间传荷形式等因素的损坏机理研究均显不足。