

车辆参数对路面动载响应影响的研究现状与分析

李怀璋^① 余 群

(中国农业大学车辆工程学院)

摘 要 综述了国内外近年来车辆参数(悬挂系统、质量和轴结构等)对路面动载响应影响的研究现状,结合我国公路运输中普遍存在的严重超载、车辆技术结构不合理等实际问题,提出了以合理极限轴载来减轻路面破坏作用等研究课题。

关键词 车辆参数;路面;动载响应;研究现状

中图分类号 U 469.2

Summary and Analyses of Recent Study on Dynamic Response of Road to Vehicle Parameters

Li Huaizhang Yu Qun

(College of Vehicle Engineering, CAU)

Abstract Recent study on dynamic response of road to moving load, which is affected by different vehicle parameters (suspension system, weight and axle structure, etc.) is summarized. Considering the present problems in road transportation, such as serious overweight and reasonless vehicle type structure which are widely existed, the main projects and tasks on the studying reasonable maximum axle load are presented to reduce the damages of road.

Key words vehicle parameters; road; dynamic response; present study

目前,载货车数量飞速增加,车型向重型化方向发展;公路运输中的超载现象不但普遍存在,而且越来越严重;导致路面负荷日趋繁重。据调查,我国新建的高速公路,从目前的使用情况来看,其寿命大都有较大程度的降低。例如,1995年新通车的太原—旧关高速公路,其原设计寿命为15a,但根据目前通车情况只能有7a。由此可能造成的经济损失远远未能引起人们的充分注意。近年来,车辆与道路之间的相互作用问题日益受到发达国家的重视,它们已开展了这方面的研究工作。在我国,进行这一课题的研究,不仅可为人们弄清楚车辆对路面作用的机理与特性,而且可提出与减轻我国公路损伤有关的车辆参数的设计方案和要点,从而改善当前公路运输中超载造成路面严重破坏的状况,使车辆满足和适应路面的工作要求。

1 研究现状

悬挂系统对车辆行驶中的动载有直接影响。John Woodroffe^[1]认为,减小动态轮载的核心问题是在重型车悬挂系统中采用阻尼器(冲击吸收器),并对其进行优化设计,以满足“路面友好”重型车悬挂系统的要求。D. J. Cole 和 D. Cebon 等^[2]为了研究车辆对路面的损伤,对悬挂系

收稿日期:1997-12-29

^①李怀璋,北京清华东路17号 中国农业大学(东校区)213信箱,100083

统进行了优化设计,建立了2个简单的数学模型来研究传统被动悬架的优化问题,并对三轴牵引刚弹簧悬架做了简单的修改。结果发现,RMS动态轮胎力减小15%,理论上路面损伤减小5.2%。同时建立了用空气弹簧连接的悬挂系统的优化模型,这比板簧悬挂系统损伤减小9%,优化后的结果对路面损伤减小5.4%。试验表明,与优化被动阻尼空气悬架相比,安装由计算机控制的半主动阻尼器后,对路面的损伤可减少5%~6%。Brain D. Brademeyer等^[3]提出,悬挂系统作为车体的一部分,由于考虑多轴动载的相关性,它与车轮产生的载荷可能相关或不相关,从而影响动载特性。

但是,悬挂系统的优化设计只能保证在特定的激励下获得最佳减振性能,当激励发生变化后,悬挂性能亦随之变化,甚至出现优化设计的悬挂系统的减振性能还劣于按经验方法设计的情况。解决这一问题的办法是在优化参数的同时采取最优控制,以保证悬挂系统在各种路面条件下均能获得最优的减振性能。在这方面,章一鸣^[4]提出了阻尼最优控制的半主动悬挂系统。目前这方面的研究热点是性能更加优越的主动悬架和半主动悬架,在国外,主要有随机优化控制的悬挂优化^[5],以及主动悬挂与半主动悬挂系统的优化设计^[6]。

笔者认为,我国目前在悬挂系统对路面作用力影响的系统分析的研究上还很薄弱。对于悬挂系统的研究,除考虑人的舒适性及车辆的寿命外,还应充分考虑路况条件(国内路况与发达国家差距较大)。有关分析^[7]表明,国产重型汽车振动性能差,对道路损伤大的主要原因是后悬架阻尼太小,而这又源于不设置减振器;因此,要求所有的重型汽车设置后悬架减振器是减轻道路损伤的一项有力措施。

其他参数如车质量大小、轴载、轴结构、车速和轮胎规格等对路面动载也有影响。这方面的研究有轴的类型与布置(单轴、双轴和三轴)、轴距、车轮数目、轮胎类型、轮胎表面接触压力等参数变化引起路面响应的变化规律。由美国州际公路工作者协会(AASHO)在1958~1961年从事大规模试验时得出的四次幂理论,可以表述静态轴载与路面损坏的关系,但在超重载作用于弱路面时则有较大偏差^[8]。W. Kenis等^[9]研究了在轮胎类型、轮胎压力、车辆类型、车辆悬挂、车速、路面粗糙度等因素变化的情况下车轮对路面的动态力,同时进行了路面动态响应的计算机模拟。为了研究车辆参数对路面动载响应的影响,Michael J. Markow等^[10]分析了车辆-路面作用系统的模型,认为影响刚性路面最重要的因素是车和轴的结构、车载、悬挂特性、车速、路面粗糙度及缺陷、连接空间及路面板弯曲程度。与早期对弹性路面研究不同的是,轮胎压力对动载响应影响很小,由此得出结论:由于车辆本身的结构和功能设计成为影响动载的主要因素,在研究重载与路面作用时只考虑车质量大小及轴载是很不够的,而应考虑到轴、悬挂系统和轮胎的不同结构。Michael J. Markow^[10], Brian D. Brademeyer^[3,11]等较系统地研究了动载作用下的路面响应问题,对单轴和双轴载作用于柔性路面的动力学特性作了描述,同时通过对23种AASHO路面试验的仿真进行了模型验证。其中把路面响应描述成线性系统,即与载荷大小直接成比例。他们分析了在多轴动载重复作用下的路面响应,认为多轴动载的相关性与车的不同状态下的相对分配有关,并认为这种响应可由各轴平均动载的分配、各轴的动载变化和各个轴载之间的相关性来决定,最后由路面响应可计算出车辙,并得出路面现时服务指数PSI(present service index)曲线。

另一方面,不少研究者按不同的轴载、轴距和轴结构等车辆参数把车辆分为若干种,并用ESAL(equivalent single-axis load)值来衡量各种类型车辆对路面的损伤程度以及在交通量变

化后路面承受的 ESAL 值,从而得出车辆参数对路面的动载响应及损伤的一般规律^[12]。

由此可以看出,研究在一定控制条件下车辆对路面的动态力,不同的车型、悬挂系统、车质量大小、车速、轴载、轴的分配结构、轮胎类型、轮胎压力、路面粗糙度和路面结构等变化时路面响应的变化规律以及由此引起的路面损伤问题,是近年来国外研究的热点。在国内,杨方廷^[13]分别对轴距、轮距、车质量、车速等车辆参数对路面的动力响应进行了部分实验和分析。

笔者认为,双轴或三轴宽基轮胎的发展趋势可能会影响将来重载车的结构,整车质量对路面的损伤不是一个主要因素,而轴载、轴的组合及轴距、表面接触应力和悬挂系统则是很重要的因素;但从解决国内实际存在问题(详见 2)来考虑,研究汽车合理极限轴载是当前最为紧迫的任务。进一步的研究可以放在轴结构、车速及轮胎等参数变化对路面的响应及损伤规律上。

目前从事车辆动力学研究的人员进行这一问题的研究时,主要是从车辆的角度出发,很少考虑路面动力学的特点,分析和研究也缺乏系统性和完整性。在这方面的研究中,不但要考虑轮载的作用,而且要考虑车辆结构以及其他方面对路面的“减轻”效果,只有将它们结合起来,才能对此作出全面的分析和评价。

2 国内公路运输存在的主要问题

我国现有公路 118 万 km,其中高等级公路 1.78 万 km,到 1996 年底,高速公路共有 3 258 km。经调查笔者认为,目前我国公路运输中主要存在以下 3 个问题。

1) 超载现象过于严重。当前我国正处于汽车工业大发展和高等级公路大规模建设的阶段,公路交通网日益织密化、高速化和重载化。公路上营运车辆的实际轴载远远超出各车型的规定轴载,许多新生产车型的实际承载能力远远超过标称值而又得不到控制,各种类型的高速、重载车辆对路面所造成的损伤和破坏相当严重。据有关部门对河北省的初步调查^[14],超载车辆占满载车辆的近 80%,超载吨位达到 60%~100%,由此造成路面坑槽成串、严重龟裂成片和翻浆沉陷的后果。另外,太原—旧关高速公路(半刚性地基沥青路面)上煤焦车的运输中:设计载重 100 kN 的东风 140 拖挂车,其平均载重 230 kN,超载量为 130%;设计载重 180 kN 的黄河 150(162)拖挂车,其平均载重 280 kN,超载量为 54%。其他地区的公路上都不同程度地存在类似的严重超载问题。我国目前道路结构大多为等级偏低的半刚性基层路面,轴载变化较大,且超载系数不断上升,最终将导致路面的早期破坏。

2) 车辆技术结构不尽合理。我国重型、中型、轻型和微型的载货车辆的比重分别为 9.3%, 68.6%, 19.5% 和 2.6%,可见中型车辆比重过大,造成小马拉大车之势;汽、柴油车分别占 85% 和 15%,并且以国产车为主;车辆分布上,华东、中南地区比重过大;这些不合理因素都会引起路面的严重、提早破坏。

3) 运输组织落后。目前货物运输以中型卡车(轴载较大)为主,缺乏高性能的大型载货和载客运输车,没有形成较大规模的联营运输机制。这也是造成轴载过大的一个原因。

3 亟待研究的课题

根据国内外的研究现状,考虑到我国公路运输的实际情况,笔者认为,开展以下方面的研究有着较大的学术价值和现实意义。

1) 公路运输中合理极限轴载的研究。美国州际公路工作者协会(AASHO)早就通过环道

试验研究了轴载对路面的破坏作用,得出汽车对路面的破坏作用与其轴载的 n 次方成正比的结论。鉴于此,通过计算重载车特别是超载车对路面的响应及损伤量,并在保证路面具有足够寿命和运输经济效益的前提下,提出适合我国公路运输中的合理极限轴载,应是当前车辆公路部门科研人员的一项主要目标。

2)研究适合我国经济发展和国情的运输车型。在国外的货物运输中,大多采用大吨位型货车,与中小型运输车辆相比,其运输能力强、效率高、费用相对低,而我国目前主要采用中型卡车运输,轴载过大,对路面有极为严重的损伤和破坏作用,而且运输效益低、费用高。通过此方面的研究,提出适合我国国情的运输方式和车型。

3)进一步研究不同的车型、悬挂系统、车速、轴结构、轮胎等参数变化条件下路面应力及损伤的规律。

参 考 文 献

- 1 Woodroffe J. Heavy truck suspension damper performance for improved road friendliness and ride quality. SAE 952636,1995. 454~462
- 2 Cole D J, Cebon D. Optimisation of passive and semi-active heavy vehicle suspensions. SAE 942309, 1994. 567~579
- 3 Brademeyer B D. Analysis of moving dynamic loads on highway pavements (I); pavement response. International Symposium on Heavy Vehicle Weight and Dimensions, Kelowna, British Columbia, 1986. 381~396
- 4 章一鸣,林 静. 一种新型车辆悬挂系统的探讨——阻尼最优控制的半主动悬挂系统. 汽车工程,1992 (4):30~39
- 5 Hac A. Suspension optimization of a 2-dof vehicle model using a stochastic optimal control technique. J of Sound and Vibration, 1985,100(3):343~357
- 6 Yi K, Hedrick J K. Active and semi-active heavy truck suspensions to reduce pavement damage. SAE 892486,1989. 588~595
- 7 余卓平,黄锡朋,张洪欣. 减轻重型汽车对道路的损伤——汽车悬架优化设计. 中国公路学报,1994,7(3): 83~87
- 8 Addis P R, Miht B. Vehicle wheel loads and road pavement wear. In: Heavy Vehicle and Road: Technology, Safety and Policy. London: Thomas Telford, 1992. 233~241
- 9 Kenis W. Heavy Vehicle pavement loading: a comprehensive testing programme. In: Heavy Vehicle and Road: Technology, Safety and Policy. London: Thomas Telford,1992. 260~265
- 10 Markow M J, Brademeyer B D. Analyzing the interactions between dynamic vehicle loads and highway pavements. Transportation Research Record, 1196,1996. 161~169
- 11 Brademeyer B D. Analysis of moving dynamic loads on highway pavements (I); pavement response. International Symposium on Heavy Vehicle Weight and Dimensions, Kelowna, British Columbia, 1986. 363~380
- 12 Anderson K O. Impact of changes in vehicle weight legislation on pavements in Alberta, Canada. In: Heavy Vehicle and Roads: Technology, Safety and Policy. London: Thomas Telford, 1992. 316~322
- 13 杨方廷. 路面对车辆载荷的动态响应的研究:[学位论文]. 北京:中国农业大学,1996
- 14 魏连雨. 车辆超载运输对路面的破坏作用. 内蒙古公路与运输,1996(1):18~19