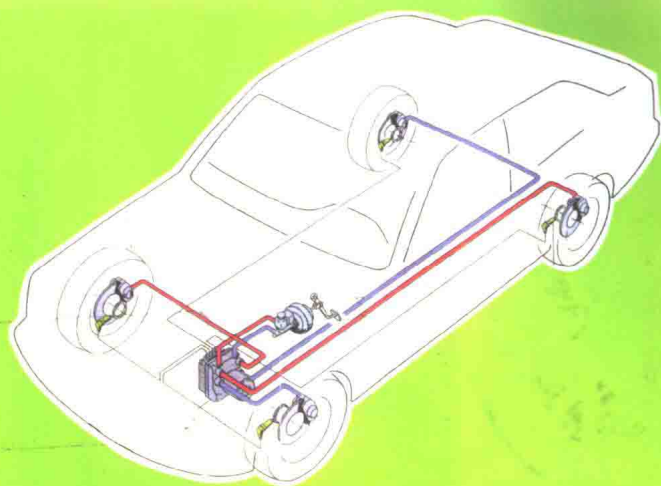


汽车防抱死 制动系统的 理论与实践

程 军



北京理工大学出版社

汽车防抱死制动系统的 理论与实践

程 军

北京理工大学出版社

通

动

曲

青

N

童

展

年

过

。

如

传

调

i、

带

一

郭

的

充

听

S

上

trol

内 容 简 介

本书从理论到实践全面论述了汽车防抱死制动系统,详细介绍了这一系统开发所涉及到的各个学科领域,即:防抱死系统的发展历史、车辆动力学系统的建模、计算机模拟技术、各种防抱死控制方法的研究与分析、防抱死系统的结构及试验、防抱死控制器的开发与实施、防抱死系统的最新发展等。

本书是作者近几年科研的总结,并汇集了国内外最新资料。本书着眼于防抱死系统的理论与实践,注重对这一系统开发方法与系统性的介绍,并可应用于其它类似的车辆电子控制系统的开发与研究。

本书注重理论与实践的结合,既可供从事汽车设计和研究的技术人员参考,也可用作汽车专业、机电一体化专业本科生、研究生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

汽车防抱死制动系统的理论与实践/程军著. —北京:北京理工大学出版社, 1999.9

ISBN 7-81045-585-0

I. 汽… II. 程… III. 汽车-制动装置,防抱 IV.

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 14772 号

责任印制:刘京凤 责任校对:郑兴玉

北京理工大学出版社出版发行

(北京市海淀区白石桥路7号)

政编码 100081 电话 (010)68912824

各地新华书店经售

北京地质印刷厂印刷

*

787毫米×1092毫米 16开本 14印张 336千字

1999年9月第1版 1999年9月第1次印刷

印数:1—5000册 定价:20.00元

※ 图书印装有误,可随时与我社退换 ※

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。

本书由程军编著,李修曾主审,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

汽车防抱死制动控制系统(Anti-lock Braking System, 简称 ABS)是制动时防止车轮抱死,以期获得最有效的制动效率和制动操纵稳定性,从而尽可能地避免交通事故的发生和减轻事故造成的损害的一种机电一体化系统。对这一系统的开发与研究一直受到国内外学者与工程师的重视。

作者自 1990 年以来陆陆续续进行这一领域的研究与开发。1994 年以来作者领导一个 ABS 课题组,这一课题得到作者所在单位——重汽技术中心的大力支持。同时课题得到福特—中国研究发展基金的资助,使课题能够打下比较坚实的理论基础。课题组自 1996 年以来又承担国家科委“九五”攻关项目中“汽车电子学”中一个子项:“气制动防抱死系统的研究与开发”。本书是对这些年工作经历的总结,试图系统地总结近二十年来这一领域的研究成果及作者近几年的研究工作,为从事汽车设计及理论研究工作提供必要而系统的参考。

防抱死控制系统是一个综合的学科,既涉及比较基础的控制理论及车辆动力学的内容,又涉及机械、电子控制、计算机模拟技术等大量的工程实践,同时它又与使用、维修、法规等社会问题密切相关。它既有比较基础的理论背景,又有广泛的应用问题。作者力求理论联系实际,反映这一学科的发展及相关的應用问题。本书分为三部分,第一部分包括第一章、第二章和第三章,详细介绍 ABS 系统的历史,车辆动力学建模及计算机模拟;第二部分包括第四章和第五章,详细介绍了防抱死控制基础理论的研究,包括经典的控制与分析方法、现代控制理论分析方法及模拟研究;第三部分包括第六章和第七章,详细介绍了 ABS 控制器的开发、系统软件、硬件设计方法、ABS 实际系统的构成及试验方法。最后有一章介绍在 ABS 基础上近年来发展起来的牵引控制系统、车辆动力学控制系统及电子制动控制系统。

本书所涉及的研究工作是课题组全体成员共同努力的结果。瞿宏敏同志在车辆、轮胎建模及路面辨识方面作了许多工作,并完成了本书的第四章第 6 节及其它有关部分。课题组成员高跃奎、徐光辉、崔继波、庄晓波、袁金光、王西山等为整套 ABS 系统开发和试验作出了多年不懈的努力,这些无疑是本书写作的基础及有力支持与帮助,在此深表谢意。最后作者借此机会感谢重汽技术中心王兴龙高工和清华大学汽车工程系李修曾教授对本书给予认真审阅与热情支持帮助。

本书虽力求使内容新颖,概念清楚,通俗易懂,但由于作者学识有限,加之时间仓促,不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

1998 年 10 月

目 录

第一章 绪 论	(1)
§1 ABS 系统工作原理简介	(1)
§2 ABS 系统的发展历史	(1)
§3 ABS 制动法规的发展	(3)
§4 ABS 系统的使用问题	(7)
§5 ABS 在我国的适用性	(8)
参考文献	(9)
第二章 车辆动力学建模基础	(11)
§1 动力学系统建模概述	(11)
§2 车辆系统模型	(16)
§3 车轮轮胎模型	(20)
§4 制动系统模型	(26)
§5 驱动系统模型	(37)
参考文献	(42)
第三章 计算机模拟技术	(43)
§1 制动、操纵与驱动系统的模拟	(43)
§2 图形建模的方法	(49)
§3 实时模拟系统	(55)
§4 快速成型系统	(59)
§5 动力学模拟集成系统的开发	(65)
参考文献	(70)
第四章 基于车轮加、减速度门限值的防抱死控制方法	(71)
§1 防抱死控制基本理论分析	(71)
§2 基本防抱死逻辑	(74)
§3 防抱死逻辑的相平面分析	(87)
§4 ABS 失控的预测	(98)
§5 分离附着系数路面的 ABS 控制	(102)
§6 路面辨识技术	(104)
参考文献	(108)
第五章 基于车轮滑移率的防抱死控制理论	(109)
§1 汽车控制系统的控制方法概述及基本控制模型	(109)
§2 PID 控制方法	(115)
§3 最优控制方法	(119)
§4 滑模变结构控制方法	(123)
§5 模糊控制方法	(128)
§6 鲁棒控制方法	(134)
§7 不同控制方法的比较	(142)

参考文献	(151)
第六章 ABS 控制系统的实施	(152)
§ 1 计算机控制系统的实现	(152)
§ 2 控制器硬件设计	(159)
§ 3 控制器软件设计	(162)
§ 4 ABS 系统的诊断	(166)
§ 5 控制系统的总线技术	(169)
参考文献	(173)
第七章 ABS 系统及试验技术	(174)
§ 1 典型 ABS 系统简介	(174)
§ 2 ABS 系统基本布置形式	(176)
§ 3 ABS 系统的道路试验方法	(180)
§ 4 ABS 制动道路试验的测试方法与数据处理	(185)
§ 5 ABS 试验结果的分析	(188)
参考文献	(197)
第八章 ABS 系统的发展	(198)
§ 1 防滑控制系统的研究	(198)
§ 2 车辆动力学控制系统的研究	(208)
§ 3 电子制动控制系统简介	(214)
参考文献	(217)

第一章 绪 论

§ 1 ABS 系统工作原理简介

防抱死制动控制系统是在传统的制动系统的基础上采用电子控制技术,在制动时防止车轮抱死的一种机电一体化系统。图 1-1 为一个四轮车辆防抱死控制系统的原理图。它由控制器、电磁阀、轮速传感器三部分组成。在应急制动时,司机脚踏板控制的制动压力过大时,轮速传感器及控制器可以探测到车轮有抱死的倾向,此时控制器控制作动系统减小制动压力。当车轮轮速恢复并且地面摩擦力有减小趋势时,控制器又控制作动系统增加制动压力。这样使车轮一直处于最佳的制动状态,最有效地利用地面附着力,得到最佳的制动距离和制动稳定性。

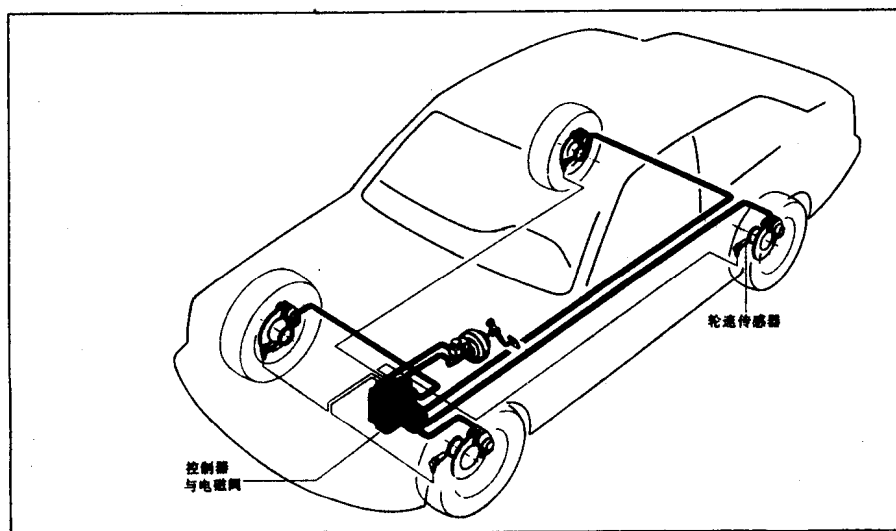


图 1-1 防抱死系统原理示意图

传统的汽车制动系统功能是使行驶的汽车车轮受制动力矩的作用,使车辆停止。在大多数情况下往往要抱死车轮,此时一方面造成车轮轮胎的严重磨损,另一方面后轮抱死会产生侧滑,容易使车辆丧失稳定性,而前轮抱死会使车辆丧失转向能力。这些状态都容易导致事故的发生。ABS 系统的引入使制动过程中车轮处于非抱死状态,这样不仅可以防止制动过程中后轮抱死而导致的车辆侧滑甩尾,大大提高制动过程的方向稳定性,同时可以防止前轮抱死而丧失转向能力,提高汽车躲避车辆前方障碍物的操纵性和弯道制动时的轨迹保持能力,而且最终的制动距离往往要比同类车型不带防抱死系统的车辆的制动距离要短,因而 ABS 系统是一种有效的车辆安全装置。

§ 2 ABS 系统的发展历史

最早官方记录的汽车防抱死系统是英国在 1932 年发布的专利 382241,名称是“制动时防

止车轮压紧转动车轮的安全装置”。在本世纪 30 年代,美国、德国、法国也有人申请有关防抱死装置的专利。德国 BOSCH 公司在 1936 年将电磁传感器用于测量车轮速度,当传感器探测车轮抱死时,在每条制动管路上的电动机启动以控制阀口的大小,从而调节制动压力。BOSCH 公司的这一专利被认为是 ABS 系统形成中的一个里程碑,其原理一直延用至今。

防抱死系统的实际应用被认为始于 1943 年,首先用于铁路上,美国的西屋公司开始批量生产用于火车上的防抱死系统。而飞机发展的需要进一步推动了 ABS 的发展。由于飞机体积和重量的加大,速度的加快,飞机在着陆时,车轮制动抱死产生剧烈的摩擦,在驾驶员反应过来之前轮胎就会磨出斑点,大大缩短了轮胎的寿命。防抱死系统的应用防止了这一现象的发生。40 年代末 50 年代初,ABS 系统成功地应用于飞机上。这些早期的防抱死系统大多是机械式的,利用惯性飞轮探测车轮是否抱死,从而减小制动压力。

50 年代防抱死系统开始应用于汽车工业。1951 年 Goodyear 航空公司将 ABS 装于载重车;1954 年福特汽车公司在林肯车上装用法国航空公司的 ABS 装置。60 年代开始应用电磁传感器探测车轮轮速,控制部分主要是机械式的,系统相对简单,只有在特定的车辆参数和工况下防抱死效果显著;在车辆参数及工况发生变化时,防抱死功能就会丧失。而要改善这些性能就会增加机械系统的复杂性和体积,从经济观点来说是不合适的。所以 ABS 的发展处于进退两难的境地。幸好 70 年代电子技术有了很大发展。70 年代初期 ABS 制造厂家采用分离元件的电子线路,控制器的体积较大,多达上千个元件,并且可靠性比较差,难于实用化。在 70 年代中期,由于大规模集成电路的应用,ABS 控制器由上千个减少到几百个,大大缩小了控制器的体积,并增强了可靠性。但控制功能的实现是靠硬件构成的逻辑电路,这决定了控制器不可能实现复杂的控制逻辑。1978 年 ABS 系统有了突破性的发展。BOSCH 公司与奔驰公司合作研制出三通道四轮带有数字式控制器的 ABS 系统,并批量装于奔驰轿车上。由于微处理器的引入,使 ABS 系统开始具有了智能。从而奠定了 ABS 系统的基础和基本模式。1981 年德国的 WABCO 公司与奔驰公司在载重车上装用了数字式 ABS 系统。

80 年代以后,ABS 在技术上得到很大发展,许多汽车零部件公司纷纷开始生产 ABS 产品。汽车新车的 ABS 装车率在美国已超过 50% 以上。尤其是对重型车、大客车,欧洲和美国在法规的要求下其装车率已达 100%。在发展过程中,ABS 体积逐步减小,重量逐步减轻,控制和诊断功能不断增强。液压 ABS 系统已将控制器与控制阀体集成为一体,可以作为一个附加系统添加到常规的制动系统中去。控制器已普遍采用 16 位单片机作为 CPU,同时采用通用的诊断协议接口。ABS 系统除本身朝着集成化、低价格、大批量的方向发展外,还在原有系统上进行了扩展。80 年代中后期,防滑控制系统(ASR)得到了发展,它包括制动防滑和牵引控制两部分,利用原有 ABS 系统,只增加部分作动系统和相应的软件,就可以实现防滑控制功能,使性能价格比大大提高。

电子制动控制系统(EBS)已开始在重型车上应用,它除 ABS/ASR 功能外又增加了许多新功能,最重要的特点是各个车轮上制动力可以独立控制。控制强度则由司机踏板位移信号的大小来决定,由压力调节阀、气压传感器及控制器构成闭环的连续压力控制,这样可以在外环形成一个控制回路,来实现各种控制功能,如制动力分布控制、减速控制、牵引车与挂车处耦合力控制等。在现有的 ABS 系统中也可以实现制动力分布控制,即在车轮未达到防抱死控制状态时,通过比较前、后轮的滑移率差,使之保持在一定范围内,这样制动力分布接近于理想的制动力分布,同时可以省去后轴的感载比例阀。

除 EBS 外,ABS 的另一个发展是车辆动力学控制系统(VDC),它是在 ABS 的基础上通过测量方向盘转角、横摆角速度和侧向加速度对车辆的运动状态进行控制。VDC 系统根据转向角、油门、制动压力,通过观测器决定出车辆应具有的名义运动状态。同时由轮速、横摆角速度和侧向加速度传感器测出车辆的实际运动状态。名义状态与实际状态的差值即为控制的状态变量,控制的目的是使这种差值达到最小,实现的方法则是利用车轮滑移率特性。由于车轮滑移率增加时车轮侧向力减小,利用滑移率就可以控制侧向力的大小以及横摆力矩,采用状态空间反馈的控制方法,状态控制器的输出为名义横摆力矩。由此计算出相应于每一个车轮上的名义滑移率。当出现不稳定情况时,实际的滑移率要偏离名义值,此时可通过控制制动压力或发动机驱动力而消除差值。这样就构成了两个串级控制循环,内部实现滑移率控制,外部实现车辆状态控制,即车辆横摆角速度和车辆质心滑移率控制。VDC 目前在轿车上开始得到应用。这一系统与 ABS 系统不同的是,它可以在车辆运动状态处于危险状态下自动进行控制,努力去纠正人为操纵中出现的错误。

面临车辆上不断增加的电子控制系统,需要采用总线结构将各个系统联系起来,达到数据和资源共享,朝着系统集成化的方向发展。无论 ABS 系统,还是其它车辆控制系统的发展都将会持续下去,这取决于计算机技术、车辆技术的发展和接受能力。人们预计 21 世纪汽车的发展将是电子控制的年代,汽车在电子系统控制下将变得更加清洁、安全与舒适。

§ 3 ABS 制动法规的发展

汽车制动法规是为保证车辆的安全并消除各国贸易间的技术障碍而制定的技术标准与要求。它以强制实行的方式出现,具有法律效用,各车辆制造厂家必须执行。目前国际上主要有欧洲和美国两大法规体系,其它国家包括中国要么全部采用或引用,要么稍加修改等同采用。欧洲有两个占统治地位的法规制定组织,这就是联合国欧洲经济委员会,简称 ECE,它的总部设在瑞士的日内瓦,其相应的制动法规是 ECE R13,它不是强制性的,各签约国可以自愿执行。另一个法规组织是欧洲经济共同体,简称 EEC,相应的制动法规是 EEC/71/320,它的总部设在比利时的布鲁塞尔,它几乎全部由指令组成,并是强制性的,即在共同体内强制执行并贯彻于国家的立法中。两个法规的内容基本相同。在法规的基本技术要求部分中规定了何种车型必须装何种 ABS 系统,ECE R13 的附件 13 和 EEC/71/320 附录 10 中规定了 ABS 试验标准及性能技术要求。

美国的制动法规主要由美国联邦公路安全局负责制定,制动法规有联邦机动车安全标准 FMVSS121 和 FMVSS105。FMVSS105 针对液压制动系统的轿车和轻型车辆,FMVSS121 是针对气动制动系统的中、重型载货车和大客车。FMVSS 标准也是强制执行的,但车辆认证制度与 ECE 法规是不同的。有关 ABS 的试验标准和装用要求则是针对气动系统的,并定义在 FMVSS121 标准中。

伴随 ABS 产品的发展,ABS 的法规也经历了一个曲折的发展过程。瑞士首先在 1968 年公布了 F-18 安全标准。由于瑞士是一个多冰雪的国家,制动安全就显得特别重要。其中的条文之一就是要求制动时达到一定的制动效率并不抱死车轮。标准要求从 1975 年实施。这一标准的公布引起极大的反响。1971 年在瑞士 Stockholm 召开的由 100 多个国家参加的会议上,各国代表一致认为此标准在 1975 年实施过早。因为当时还没有十分可靠的 ABS 装置。

1972年由德国和英国两国向ECE组织提出进行制定有关ABS制动标准的草案,1973年成立了由德国和英国专家组成的特别工作小组。1975年该小组向GRFF(注:GRFF为ECE R13制动专家组)提交了最后报告。在这期间,专家小组每年都召开多次工作会议,对有关的技术问题详细论证、试验验证、讨论,并进行了大量的试验工作。德国交通部发起了由德国保险公司组织的进行试验各种ABS产品的研究项目,并将各种研究报告提交给GRFF小组。1976年ECE通过了现在的ECE R13附件13关于“采用制动防抱死装置的车辆的试验要求”的标准。该标准于1977年正式通过,并于1979年正式公布生效。

在1979年以后的几年里,虽然ABS的标准已出台,但并未得到广泛的应用。一方面是由于ABS类型的车型比较少,另一方面当时轿车为满足EEC/75/524的制动力分布要求而大量装用ABS,而轿车又不在EEC法规强制装ABS的车辆类型之内。其它特殊车辆,如油罐车、危险货物运输车有其自身的特殊的要求,装用ABS是为了满足对这些车辆制动性能的特别要求。这些都导致汽车制造厂商不使用ECE R13的附件13进行ABS试验。由于试验进行得比较少,因而附件13在应用中暴露出的问题也比较少。后来各个国家各自增加了补充规定,使轿车及特殊用途车装ABS时必须按附件13进行试验。

80年代初,由于ABS在技术上正趋于成熟,装用ABS的车辆数量大大增加,ABS产品的种类也各不相同,因此在应用附件13进行试验时也出现了许多对标准的解释问题。同时附件13在使用中也暴露了一些问题。为此,1982年又成立了一个特别专家小组,研究发展附件13并进行修正。主要工作之一是将ABS进行分类。第一类ABS应满足附件13所有要求;第二类ABS除没有制动效率的要求外,其它与第一类ABS相同;第三类ABS除没有分离附着系数路况试验,并用附件10的制动效率及稳定性要求代替附件13的附着系数利用率的要求外,其余与第一类ABS相同。

由于ECE法规是各国自愿采用的,欧洲各国对装用ABS持不同态度。德国和法国是装用ABS的支持者;而英国以及其它国家则持消极态度。1984年法国制定了强制性法规,在新的的大客车上必须装用ABS装置。德国规定在大客车及危险货物运输车上也必须装ABS系统。

欧共体EEC指令在各成员国内为强制性法规。德、法两国在1985年将装ABS的想法提交给EEC会议时,其它成员国不予支持。所以当时强制性的ABS法规没有得到实施,只是全盘采用了ECE R13附件13的关于ABS的试验标准。

总之,欧洲国家对ABS的认识经历了比较长的过程。特别是德国、法国、英国在这方面做了大量的技术工作,为强制性法规的实施奠定了基础。而在美国,ABS的命运则由于法规的影响经历了一场很大的波折。60年代末70年代初,美国制动技术及ABS技术发展很快,因而美国国家公路交通安全局(NHTSA)在1970年开始为联邦机动车安全标准(FMVSS)制定制动标准。它提出了苛刻的制动距离要求,如对货车要求在高附着系数路面上以60m/h初速制动时,制动距离在216英尺(66m)之内,并且所有车轮不能有暂短抱死。标准虽然没有规定要装防抱死装置,但唯有装上ABS系统后,车辆的制动系统才能达到标准规定的要求。1971年NHTSA发布了FMVSS121用于气压制动系统的制动标准,并于1973年1月实施。迫于外部压力,标准中将制动距离的要求放松,由216英尺(66m)延长为245英尺(75m),即便这样仍需装用ABS才能满足标准的要求。由于汽车制造厂家的反对,标准的生效日期由1972年和1974年两次推迟,最后定为1975年初。这一要求使得货车前轴可以不装ABS,大客车完全可

以不装 ABS。1975 年 3 月 1 日标准生效时,有一载重车生产厂家曾对 FMVSS121 标准进行起诉,质问 ABS 的可靠性及价格、经济效益比的公正性。

FMVSS121 的出台企图对制动性能提出一个质量上的飞跃,它包括了前轴制动和快速响应时间要求。这给 ABS 产品质量控制带来了困难,引起了 ABS 使用中大量故障的出现。FMVSS121 的出台迫使厂家在所有载重车和大客车上装用 ABS 装置,但使用中大量出现的问题,如电磁干扰,过度的衬片磨损对 ABS 性能的影响,牵引车装 ABS 与挂车的相容性等问题没有很好的解决。维修也存在困难,缺少 ABS 零件。加之司机对 ABS 有很少的知识,从而使用户对 ABS 失去信心。司机常常将 ABS 系统切断或故意损坏;制造商由于 ABS 装置增加了成本而有所不满,并开始质疑 ABS 是否能从避免事故中带来经济效益。而当时美国并未开展 ABS 对事故影响的调查与分析,所以 NHTSA 拿不出有力的证据,加之公众舆论站在用户意见一边,从而使 FMVSS121 处于十分不利的境况,导致 NHTSA 两次放松制动距离的要求。一些用户的交通事故也归咎于 ABS 系统。在 1975 年有三家公司开始起诉这一标准,主要的论点是:

- 没有安全需要证实这一标准的公正性;
- 由于防抱死系统不可靠,所以标准既不合理也不实际,失效时更不安全;
- 标准的评价及试验不具客观性,因为随着条件的变化试验不具重复性。

与此同时,交通安全局 NHTSA 也开展了事故调查工作,以此证明车轮抱死对交通事故产生的影响,特别是汽车列车情况。根据双方提供的资料和数据,美国 Ninth Circuit 法院于 1978 年 4 月作出判决。大致如下:虽然 NHTSA 的标准目的是好的,但防抱死系统还不适于批量装车,存在诸如电器、信号灯失效和无线电干扰;ABS 失效后常规制动性能无法保证,即无可靠的产品可装用;NHTSA 在实施标准时未进行 ABS 装车的可靠性试验,因而会发生未遇见问题;标准是不合理的,同时使用中的一些 ABS 产品的性能也不符合要求,某些情况下比不装 ABS 更危险。所以法院认为,直到 NHTSA 提出证据证明 ABS 系统将不对大众产生更大危险的可能性才可装用这一系统。因而裁决废除标准中有关 60m/h 制动距离和不允许车轮抱死的条款。至此美国车辆(主要指重型车)装用 ABS 很快兴起,也很快消失。究其原因主要是美国当时的 ABS 产品还不成熟。70 年代的电子技术水平主要以集成电路为代表,控制功能往往比较简单,性能往往达不到标准的要求;另一方面,NHTSA 未作比较充分的准备,特别是未进行广泛的使用,就冒然的实施标准,用户很难接受;同时维修困难、可靠性差等造成一系列不良后果,致使标准最终被解除。至此以后的几年里 ABS 基本上从美国市场上消失了,ABS 生产厂家也基本消失。

与此同时,欧洲各国政府在 ABS 的使用中起到了积极的作用。1985 年 EEC 会议虽未达成协议,但德国企业在政府的帮助下进行交通事故的分析与调查,以帮助说服 EEC 指令委员会接受 ABS 作为一种必装的装置。ABS 的推广在很大程度上取决于装用 ABS 所能带来的经济效益,即避免或减轻交通事故。德国是最早应用 ABS 的国家之一,他们对 ABS 的经济效益作过很多调查。由汉诺威教学医院和柏林技术大学组成的汉诺威交通事故研究小组在 1984 年对 182 例商用车交通事故进行了分析调查。调查的目的是寻求两个问题的答案:(1)交通事故是否由制动过程的不稳定所导致;(2)制动距离的缩短和制动不稳定的克服是否改变交通事故的效果(包括材料和人员的损失)。通过对 182 例事故的记录、图片、资料及数据的分析,用有效的事故模拟技术再现事故现场,由此可以决定事故发生瞬间的速度和初始的制动状态。

为证明制动距离的缩短和制动稳定性的改善是否能避免事故或减轻事故所造成的损害,可利用这些重建事故现场中得到的制动状态参数,装上 ABS 并根据 WABCO 公司的有关试验数据,从而可以预测出装 ABS 后车辆是否发生事故或事故损害的减轻程度。通过这一方法,对 182 例事故的分析发现:7.1% 的交通事故如装用 ABS 就可以完全避免。此外对事故损失进行分析表明,装用 ABS 后,13.9% 的车辆材料损失、17.4% 的人身伤害、11.1% 卷入交通事故的其它车辆及物件材料损失、10.8% 对其它人的伤害都能得到避免或减少。182 辆车中的 18 辆有二次碰撞发生,装用 ABS 后避免二次碰撞及减少事故损失效果更理想。因此结论是装用 ABS 后,由于制动方面稳定性的改善和制动距离的缩短,可避免交通事故以及减少事故损失。制动距离的缩短及制动方向稳定性几乎是同等重要。

从保险公司的角度,在 80 年代中期美国有关保险公司统计数据表明:装 ABS 的重型车比不装 ABS 的重型车要少付 5% 的碰撞损失保险金额。德国保险公司统计的重型车的数字为 3.4% 左右。在德国和法国政府代表的说服下,EEC 指令委员会在 1988 年 EEC/88/194 指令中规定强制性装备 ABS 的车型:

总质量大于 16 吨的牵引车(装第一类 ABS);

总质量大于 12 吨的城市间公共汽车和大客车(装第一类 ABS);

轴荷超过 10 吨的 O4 类挂车。

这一规定自 1992 年在 EEC 各成员国内逐步实施。1992 年 ABS 的有关规定又发生了很大变化。在 1992 年的 AGB(制动专家组工作会议)会议上,德国政府代表提交了一个详细的价值效益分析报告。分析表明:总质量超过 3.5 吨的载货车装备 ABS 后都可以得到收益。经过讨论,德国的建议被采纳,从而制定了下列车型装用 ABS 的时间表:

1995 年 1 月 N3 类总质量超过 12 吨的货车和牵引车;

1997 年 1 月 M3 类总质量超过 5 吨的大客车和公共汽车;

N2 类总质量超过 7.5 吨至 12 吨的货车;

O3 类轴荷在 5 至 10 吨之间的挂车;

1998 年 1 月 N2 类总质量在 3.5 至 7.5 吨的货车;

O3 类轴荷在 3.5 到 5 吨之间的挂车。

美国看到欧洲 ABS 产品的兴起,也开始对 ABS 重新产生兴趣,在 1986—1990 年期间进行了一系列的 ABS 试验场地性能试验。与此同时,为回答法院的判决,并为未来的 FMVSS121 的修改作基础,NHTSA 从 1988 年底发起了一个为期两年的 ABS 使用情况调查。主要评价第二代 ABS 系统在重型牵引车上使用的可靠性、维修性和寿命。在其后(1990 年)又发起了另一个为期两年的针对半挂车装用 ABS 使用情况调查,其目的与重型牵引车是相同的。当调查结束时,得到的结论是积极的:ABS 确能起到保障车辆及司机安全的作用。NHTSA 发起的这一调查项目大大增加了用户使用 ABS 的信心。由于这一工作大大普及了 ABS 的使用,也增强了 NHTSA 的信心,与此同时,由于计算机的发展,ABS 成本下降,性能更加完善,各种应用中的技术问题都逐步地得到了解决。当时作为废除 FMVSS121 有关 ABS 条文的理由已不复存在,所以 NHTSA 经过此后几年的努力,重新将 ABS 的有关条文增加到 FMVSS121 中。1995 年 7 月公布的 FMVSS121 有关 ABS 条文将在 1997 年 3 月 1 日生效,文中分别规定了重型牵引车和半挂车 1998 年 3 月 1 日以后生产的车辆必须装 ABS 系统,并规定了故障警告方式等。至此美国的 ABS 应用可以说已顺利步入了正常的轨道。

§ 4 ABS 系统的使用问题

ABS 系统并不是一种自动的制动系统,而是与司机、车辆构成的一种交互式的制动系统。也就是说只有司机的正确使用,ABS 才能发挥作用。ABS 系统本身不能补偿不安全的驾驶习惯,但它可以使司机集中精力去操纵车辆。ABS 的使用要求司机在应急制动时要改变以往的驾驶习惯,即要最大限度地踩制动踏板,并在制动过程中始终保持住这种踏板力。与此同时要进行相应的转向操纵,躲避前方障碍物。但应避免过转向操纵。ABS 的正确使用要求一定的培训,也要求司机逐步地去适应它,对以往的驾驶习惯稍作改变。ABS 系统在任何路面上应急制动只要求一种特定的制动操纵,而不需要顾忌车轮抱死问题。这样可以在心理上减轻司机的疲劳。但司机必须保持谨慎的驾驶习惯,不能因为装了 ABS 而放松安全,这样往往会导致事故的发生。需要记住的是 ABS 装置仅仅是一种辅助系统,并不能代替司机的安全驾驶习惯。

另一方面,ABS 系统的优越性能都是在试验场地标准制动条件下得到的,还不足以说明它的实用性、可靠性。再好的装置必须能为广大用户所接受。下面是美国 NHTSA 进行的关于重型车 ABS 使用调查报告的介绍。

NHTSA 在 1988 年发起了一个 ABS 使用调查项目,征集了 17 个大型运输车队参加,重型车选用美国七个主要的生产厂家。共有 200 辆牵引车装用这些 ABS 系统,为对比,采用 88 辆相同类型车辆不装 ABS。其中有 216 辆车(200 辆带 ABS,16 辆不带 ABS)装了数据记录装置,记录制动工况。所有装 ABS 车辆总行程累积 4 000 万英里(6 437 万公里)。在这期间记录了维修情况,采集了 ABS 制动次数,定期地访问用户,对司机、车队经理、维修人员评论并作调查记录,下面几个方面为调查的主要结论。

(1) 维修:由于许多车辆是首次安装 ABS,出现一些安装空间干涉、布线问题在所难免。一部分经过调整检查解决问题,一部分需要更换合适的部件,这些都会随着对系统的熟悉而得到解决。在两年 4 000 万英里(6 437 万公里)的运行中,125 辆车(62%)由于正常的磨损而维修,其中的 76% 仅涉及检查和调整,其余 24% 涉及维修更换。88 辆车曾有故障警告灯提示过,但仅有 48 辆车真正有故障。低于 0.5% 的 ABS 系统部件由于正常磨损而需更换,故障率低,它比制动器、轮胎的故障率(0.9%,6.5%)要低。两年期间 ABS 维修费用比轮胎低 98%,比制动气路部分低 94%,仅增长总维修费用 0.59%。所以 ABS 系统不是无故障系统,但维修费用也不是太高,并且维修也不困难,用户是可以接受的。

(2) ABS 系统使用频率:200 辆 ABS 车两年间共累积记录制动次数 1 300 万。压力在 $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 以下的轻制动占 84% 左右, $1 \times 10^5 \text{ Pa} \sim 1.36 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的中等制动强度约占 10% 左右,其余为 45psi 以下的中等偏上的制动强度,仅 0.02% 是压力大于 $5 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的强制动。0.19g 减速度占 85%,14.7% 的制动强度在 0.19 ~ 0.40g 之间,仅有 0.11% 的制动强度是在 0.4g 以上,这说明绝大多数制动是所谓的“点刹车”。NHTSA 定义“主要的 ABS 作用”是指轮速小于车速 80% 且多于 4 个 ABS 循环,由此统计平均每个车辆 ABS 作用次数约为 10 次左右,每 1 万次制动中,ABS 制动仅发生 1.4 次,即 16 093 公里仅有 1.1 次 ABS 制动。虽然 ABS 制动发生次数很少,但这些制动工况往往很关键。

(3) 用户方面的评价:当问及司机他们是否喜欢和对 ABS 有信心时,在项目开始时 56%

的司机回答“高”和“中等”(从高到低共有 5 档)。随着项目的进展,98%的司机回答为“高”信心,仅有 2%的司机回答为“低”,但到项目的最后阶段就没有这种回答了。司机们提到 34 个事件如果没有 ABS 的动作就会导致事故,31 个司机评论认为挂车也应装 ABS。维修工人对 ABS 没有特别的看法,他们对 ABS 了解很少,也没这方面的知识。车队的经理们感到 ABS 的可靠性是好的,ABS 的故障并不影响车辆的正常运行,并认为维修也是比较简单容易的,可靠性要较其它电子系统要好,但同时他们也感到缺少对 ABS 的培训,如维修人员和司机。大多数人打算或肯定在他们的车队中装 ABS 系统。

(4) 事故及失效:两年期间共发生 115 次事故及碰撞,其中 101 次属于轻微的事故,14 例是涉及制动及 ABS 的碰撞,但无一例是由 ABS 引起的。事实证明 ABS 起到了减轻事故后果的作用。ABS 也存在一例在越野路面的失效情况,这是由于这一厂家的产品刚研制出来,还不太完善。

NHTSA 的评价及经验总结 通过这一项目的调查,像 ABS 这类复杂的机电一体化的高科技产品要在美国的重型车上得到成功的应用,什么问题必须解决,什么问题应该加以重视,各个方面应做哪些工作,NHTSA 作了如下的总结。

(1) 从 ABS 制造厂家来说,他们应与车辆制造厂家密切合作。特别是对初次装用 ABS 的车辆,特别要注意线束的质量及插接头的合理性,故障提示及警告方式,诊断系统的诊断方式必须简便实用,并且要制定统一诊断及指示灯国家或 ISO 标准,以使不同厂家共同遵守。还应该给用户配套便于使用的故障诊断系统,方便实用的维修手册及司机用的手册,广泛宣传,便于维修和使用;对半挂车要很好地解决电源问题。

(2) 从车辆制造厂家来说,厂家的正确安装 ABS 对保证正常可靠使用是至关重要的,特别是注意一些细节,如线束避免与尖锐金属的磨损等保护措施,车速传感器的正确安装调整。另外,清洁干燥的空气源也是十分重要的。另一方面要对销售人员进行培训,使其有 ABS 方面的知识以及维修及售后方面的知识,建立可靠的售后服务技术支持体系,使用户能够放心的使用。

(3) 从运输车队来说,此次调查向车队证明了装 ABS 是完全值得的,ABS 系统虽增加了维修费用,但负担是可接受的,在某种意义上轮胎的磨损减少可能会省钱。为减少费用,车队可以每年按 10%~20% 的速率安装 ABS,以使司机及维修工人逐步适应这一系统。必须加强对他们的培训,应鼓励司机学习 ABS 知识,使其驾驶方式与不带 ABS 的方式相同,当出现故障警告时应及时报告并坚持马上要求修理排除故障。维修工人应寻求 ABS 知识培训,需要注意轮边转速传感器的正确调整,不要因为调整其它部件而忽视它。在发生故障警告时也不要轻易地对它调整,他们应尽快对 ABS 故障进行处理。

上面各个方面的情况表明 ABS 系统应用的成功与否与 ABS 厂家、用户、车辆制造厂家、维修各个方面的协调与合作分不开的,它是一个有机的整体,互相促进使 ABS 技术不断成熟,方便用户,这样才能保证其广泛可靠的应用。

§ 5 ABS 在我国的适用性

近年来,随着我国对汽车工业的大规模投资及国内汽车工业与国外汽车工业的合资,汽车工业得到迅速的发展,产量大幅度增加。另一方面,虽然公路建设得到各级政府的重视,总里

程数也在迅速增加,但总的趋势是车流量及车辆密度不断增加,道路交通事故也随之增加。为了有效地减少交通事故,装用防抱死制动系统是有效的手段之一,这已为国外的经验所证明。目前 ABS 正成为国内汽车界的热门话题,各大汽车集团、汽车研究所及大专院校都开始进行积极的研究工作。国内也已研制出 ABS 产品,许多单位进行了道路装车试验,制动性能的改善是十分显著的。虽然如此,ABS 的使用推广还存在许多问题。究竟 ABS 给汽车安全带来什么? ABS 是否适应中国的国情? 我们的汽车界乃至全社会应以什么态度对待 ABS 的使用? 这些问题长期以来是人们关心的焦点。

ABS 在高速低附着系数路况下应急制动时有明显的效果。从我国的降雨分布可知:我国江南大部分地区年降雨天数达到或超过 150 天,尤其是南岭山脉两侧和贵州、四川不少地区降雨天数往往在 180 天左右。云南和川西横断山脉地区气候的垂直变化显著,日行程中路面附着情况差别很大。东北沿长白山地区和黑龙江流域的年下雪和下雨天数也可达 100 天以上。可以说我国三分之二的人口居住地区的公路路面每年有 3 到 6 个月中、低附着状态。这段时间又值公路运输旺季,或是防汛、防洪季节。据江苏省的统计资料表明,公路中沥青柏油路段占公路总程的 90% 左右,在雨天情况下其路面附着系数的平均值为 0.347。在东北地区的冰雪路面上,其附着系数还要低得多。在低附着系数路况上行驶,由制动失控导致的交通事故要比在高附着系数路况上的交通事故高得多。据有关文献的统计资料表明:由制动引起的交通事故在低附着系数路面上是高附着系数路面上事故的 2 倍。

在车辆行驶的制动工况方面,长春汽研所 1990 年在二级公路上对大型载货车进行了制动工况的跟踪测定,其测试结果为:载货车的制动初速一般在 40km/h 以上,50~70km/h 和 90~190km/h 速度段内制动次数占有较大的比例,制动末速制动次数多发生在 39~60km/h 速度段内。而防抱死切除的最低速度一般在 10 km/h,所以在这种初速和末速条件下,ABS 能很好地控制制动稳定性,并缩短制动距离,这已由试验数据得到证明。

近年来我国公路建设速度加快,陆续有几千公里的高等级道路建成,它将承担很大的交通流量,并且这些线路上的交通安全具有重要的社会影响。从现已建成的几段专用线提供的数据来看,由于消除了混合交通的纵向干扰,平均车速将比一般公路提高 54%,达 57 km/h。在这些公路上现有国产中型货车实际最高车速达 85~90km/h,国外可达 110km/h。随着我国车辆技术的进步,我国的车辆速度还将进一步提高。因此如何适应高速行驶,确保这些汽车在专用干线建成后的交通安全已经提到日程,而装用防抱死装置将是一项重要措施。目前交通流量及密度增大,交通事故呈逐年上升趋势,使装 ABS 成为一个紧迫的任务。总之,ABS 在我国有着广阔的应用前景。但它是一个十分庞大的社会系统工程,既要有汽车制动法规强制 ABS 系统的实施,也有赖于广大用户的认识和正确使用,充分发挥它的优越性。同时还要有一个比较完善的维修保障系统,保证它的正常工作。

参 考 文 献

- [1] 程 军. 国外防抱死制动系统及其法规的历史、现状、未来. 客车技术, 1995(2): 7~11
- [2] 程 军. 防抱死制动系统在重型车及大客车上应用的相关问题的讨论. 上海汽车, 1994(5)

- [3] 程 军. 欧洲制动法规的现状与发展. 重型汽车, 1995(1): 11 ~ 15
- [4] 程 军, 陆锦清. 载重车电子控制系统的发展. 客车技术研究, 1997(1)
- [5] 程 军. 重型车装 ABS 的使用维修问题. 重型汽车, 1997(1)
- [6] D. Otte, et al. Accidents with Involvement of Commercial Vehicle——The Influence of Automatic Antilock System. WABCO Westinghouse Fahrzeugbremsen GmbH, October, 1984