

同濟大學

工程硕士学位论文选题报告 及论文工作计划

课题名称 ABS 失效模式仿真分析

学 号 _____

姓 名 _____

专业领域 车辆工程

所在院、系 汽车学院

校内导师 _____

校外导师 _____

选题时间 _____ 年 _____ 月 _____ 日

同济大学研究生院

2016年5月15日

一、立论依据

课题来源、选题依据和背景情况、课题研究目的、工程应用价值

课题来源:

公司自拟研究课题。

选题依据和背景情况:

“ABS”中文译为“防锁死刹车系统”。它是一种具有防滑、防锁死等优点的汽车安全控制系统。ABS 是常规刹车装置基础上的改进型技术，可分机械式和电子式两种。

现代汽车上大量安装防抱死制动系统，ABS 既有普通制动系统的制动功能，又能防止车轮锁死，使汽车在制动状态下仍能转向，保证汽车的制动方向稳定性，防止产生侧滑和跑偏，是目前汽车上最先进、制动效果最佳的制动装置。ABS 通过控制制动力使车辆滑移保持在一定范围内,从而达到控制目的。

对于电子是式 ABS 来说，一旦发生 ABS 失效的情况，要对失效 ABS 进行故障分析及其困难，因为要重现失效过程受客观条件限制比较大。因此，建立一个可靠客观的液压模型来模拟失效 ABS 的工况，对 ABS 的失效分析就显得极为方便。

课题研究目的:

采用液压仿真建模，对 ABS 的失效过程进行重现，从而分析 ABS 的失效原因，并对失效结果作出评估。

工程应用价值:

- ◇ 对 ABS 失效工况进行液压建模，解决了无法重现某些特殊失效工况的不利状况。
对 ABS 进行实车的测试的代价是非常昂贵的，为了进行极限情况下的测试，通常需要寒冷或炎热的环境，对于测试人员来说很难实现，而且会造成一定的人生安全的威胁。
- ◇ 可以提前模拟 ABS 失效工况，对新产品的开发和改进提供帮助。
如果缺乏原型车，不得不导致试验推迟，这是与并行工程的原则相违背的。
- ◇ 节约产品的失效分析时间，提高产品开发效率，节约成本。
用真实汽车进行测试存在可重复性差、不能复现同一测试条件等缺点。

二、文献综述

国内外研究现状、发展动态

1、ABS 的发展历程

ABS（自动防抱死刹车系统）可说是行车安全历史上最重要的三大发明（另外两个是安全气囊与安全带），ABS 也是其它安全装置（如 ESP 行车动态稳定系统与 EBD 刹车力分配系统）的基础。过去的二十多年中，ABS 系统拯救了近 15000 名北美地区驾驶者的宝贵生命，让我们趁这个机会回顾一下 ABS 系统的发展及它带给汽车产业的影响。

2004 年是历史上第一部量产的民用型 ABS（Antilock Braking System，自动防抱死刹车系统）诞生的第 25 周年纪念。在过去的四分之一世纪中，ABS 系统不但持续进步、精益求精，也帮助许多车主从鬼门关前逃过一劫。在介绍 ABS 系统过去 25 年的巨大贡献之外，我们还要回顾 ABS 的发展史。

“自动防抱死刹车”的原理并不难懂，在遭遇紧急情况时，未安装 ABS 系统的车辆来不及分段缓刹只能立刻踩死。由于车辆冲刺惯性，瞬间可能发生侧滑、行驶轨迹偏移与车身方向不受控制等危险状况！而装有 ABS 系统的车辆在车轮即将达到抱死临界点时，刹车在一秒内可作用 60 至 120 次，相当于不停地刹车、放松，即相似于机械自动化的“点刹”动作。此举可避免紧急刹车时方向失控与车轮侧滑，同时加大轮胎摩擦力，使刹车效率达到 90% 以上。

从微观上分析，在轮胎从滚动变为滑动的临界点时轮胎与地面的摩擦力达到最大。在汽车起步时可充分发挥引擎动力输出（缩短加速时间），如果在刹车时则减速效果最大（刹车距离最短）。ABS 系统内控制器利用液压装置控制刹车压力在轮胎发生滑动的临界点反复摆动，使在刹车盘不断重复接触、离开的过程而保持轮胎抓地力最接近最大理论值，达到最佳刹车效果。

ABS 的运作原理看来简单，但从无到有的过程却经历过不少挫折（中间缺乏关键技术）！1908 年英国工程师 J. E. Francis 提出了“铁路车辆车轮抱死滑动控制器”理论，但却无法将它实用化。接下来的 30 年中，包括 Karl Wessel 的“刹车力控制器”、Werner Mhl 的“液压刹车安全装置”与 Richard Trappe 的“车轮抱死防止器”等尝试都宣告失败。在 1941 年出版的《汽车科技手册》中写到：“到现在为止，任何通过机械装置防止车轮抱死危险的尝试皆尚未成功，当这项装置成功的那一天，即是交通安全史上的一个重要里程碑”，可惜该书的作者恐怕没想到这一天竟还要再等 30 年之久。

当时开发刹车防抱死装置的技术瓶颈是什么？首先该装置需要一套系统实时监测轮胎速度变化量并立即通过液压系统调整刹车压力大小，在那个没有集成电路与计算机的年代，没有任何机械装置能够达成如此敏捷的反应！等到 ABS 系统的诞生露出一线曙光时，已经是半导体技术有了初步规模的 1960 年代早期。

精于汽车电子系统的德国公司 Bosch（博世）研发 ABS 系统的起源要追溯到 1936 年，当年 Bosch 申请“机动车辆防止刹车抱死装置”的专利。1964 年（也是集成电路诞生的一年）Bosch 公司再度开始 ABS 的研发计划，最后有了“通过电子装置控制来防止车轮抱死是可行的”结论，这是 ABS (Antilock Braking System) 名词在历史上第一次出现！世界上第一具 ABS 原型机于 1966 年出现，向世人证明“缩短刹车距离”并非不可能完成的任务。因为投入的资金过于庞大，ABS 初期的应用仅限于铁路车辆或航空器。Teldix GmbH 公司从 1970 年和奔驰车厂合作开发出第一具用于道路车辆的原型机——ABS 1，该系统已具备量产基础，但可靠性不足，而且控制单元内的组件超过 1000 个，不但成本过高也很容易发生故障。

1973 年 Bosch 公司购得 50% 的 Teldix GmbH 公司股权及 ABS 领域的研发成果，1975 年 AEG、Teldix 与 Bosch 达成协议，将 ABS 系统的开发计划完全委托 Bosch 公司整合执行。“ABS 2”在 3 年的努力后诞生！有别于 ABS 1 采用模拟式电子组件，ABS 2 系统完全以数字式组件进行设计，不但控制单元内组件数目从 1000 个锐减到 140 个，而且有造价降低、可靠性大幅提升与运算速度明显加快的三大优势。两家德国车厂奔驰与宝马于 1978 年底决定将 ABS 2 这项高科技系统装置在 S 级及 7 系列车款上。

在诞生的前3年中，ABS系统都苦于成本过于高昂而无法开拓市场。从1978到1980年底，Bosch公司总共才售出24000套ABS系统。所幸第二年即成长到76000套。受到市场上的正面响应，Bosch开始TCS循迹控制系统的研发计划。1983年推出的ABS 2S系统重量由5.5公斤减轻到4.3公斤，控制组件也减少到70个。到了1985年代中期，全球新出厂车辆安装ABS系统的比例首次超过1%，通用车厂也决定把ABS列为旗下主力雪佛兰车系的标准配备。

1986年是另一个值得纪念的年份，除了Bosch公司庆祝售出第100万套ABS系统外，更重要的是Bosch推出史上第一具供民用车使用的TCS/ASR循迹控制系统。TCS/ASR的作用是防止汽车起步与加速过程中发生驱动轮打滑，特别是防止车辆过弯时的驱动轮空转，并将打滑控制在10%到20%范围内。由于ASR是通过调整驱动轮的扭矩来控制，因而又叫驱动力控制系统，在日本又称之为TRC或TRAC。

ASR和ABS的工作原理方面有许多共同之处，两者合并使用可形成更佳效果，构成具有防车轮抱死和驱动轮防打滑控制(ABS/ASR)系统。这套系统主要由轮速传感器、ABS/ASR ECU控制器、ABS驱动器、ASR驱动器、副节气门控制器和主、副节气门位置传感器等组成。在汽车起步、加速及行进过程中，引擎ECU根据轮速传感器输入的信号，当判定驱动轮的打滑现象超过上限值时，就进入防空转程序。首先由引擎ECU降低副节气门以减少进油量，使引擎动力输出扭矩减小。当ECU判定需要对驱动轮进行介入时，会将信号传送到ASR驱动器对驱动轮（一般是前轮）进行控制，以防止驱动轮打滑或使驱动轮的打滑保持在安全范围内。第一款搭载ASR系统的新车型在1987年出现，奔驰S级再度成为历史的创造者。

随着ABS系统的单价逐渐降低，搭载ABS系统的新车数目于1988年突破了爆炸性成长的临界点，开始飞快成长，当年Bosch的ABS系统年度销售量首次突破300万套。技术上的突破让Bosch在1989年推出的ABS 2E系统首次将原先分离于引擎室（液压驱动组件）与中控台（电子控制组件）内，必须依赖复杂线路连接的设计更改为“两组件整合为一”设计！ABS 2E系统也是历史上第一个舍弃集成电路，改以一个8k字节运算速度的微处理器（CPU）负责所有控制工作的ABS系统，再度写下了新的里程碑。该年保时捷车厂正式宣布全车系都已安装了ABS，3年后（1992年）奔驰车厂也决定紧跟保时捷的脚步。

1990年代前半期ABS系统逐渐开始普及于量产车款。Bosch在1993年推出ABS 2E的改良版：ABS 5.0系统，除了体积更小、重量更轻外，ABS 5.0装置了运算速度加倍（16k字节）的处理器，该公司也在同年年中庆祝售出第1000万套ABS系统。

ABS与ASR/TCS系统已受到全世界车主的认同，但Bosch的工程团队却并不满足，反而向下一个更具挑战性的目标：ESP（Electronic Stability Program，行车动态稳定系统）前进！有别于ABS与TCS仅能增加刹车与加速时的稳定性，ESP在行车过程中任何时刻都能维持车辆在最佳的动态平衡与行车路线上。ESP系统包括转向传感器（监测方向盘转动角度以确定汽车行驶方向是否正确）、车轮传感器（监测每个车轮的速度以确定车轮是否打滑）、摇摆速度传感器（记录汽车绕垂直轴线的运动以确定汽车是否失去控制）与横向加速度传感器（测量过弯时的离心加速度以确定汽车是否在过弯时失去抓地力），在此同时，控制单元通过这些传感器的数据对车辆运行状态进行判断，进而指示一个或多个车轮刹车压力的建立或释放，同时对引擎扭矩作最精准的调节，某些情况下甚至以每秒150次的频率进行反应。整合ABS、EBD、EDL、ASR等系统的ESP让车主只要专注于行车，让计算机轻松应付各种突发状况。

延续过去ABS与ASR诞生时的惯例，奔驰S级还是首先使用ESP系统的车型（1995年）。4年后奔驰公司就正式宣布全车系都将ESP列为标准配备。在此同时，Bosch于1998及2001年推出的ABS 5.7、ABS 8.0系统仍精益求精，整套系统总重由2.5公斤降至1.6公斤，处理器的运算速度从48k字节升级到128k字节，奔驰车厂主要竞争对手宝马与奥迪也于2001年也宣布全车系都将ESP列为标准配备。Bosch车厂于2003年庆祝售出超过一亿套ABS系统及1000万套ESP系统，根据ACEA（欧洲车辆制造协会）的调查，今天每一辆欧洲大陆境内所生产的新车都搭载了ABS系统，全世界也有超过60%的新车拥有此项装置。

“ABS 系统大幅度提升刹车稳定性同时缩短刹车所需距离” Robert Bosch GmbH (Bosch 公司的全名) 董事会成员 Wolfgang Drees 说。不像安全气囊与安全带 (可以透过死亡数目除以车祸数目的比例来分析), 属于“防患于未然”的 ABS 系统较难以真实数据佐证它将多少人从鬼门关前抢回? 但据德国保险业协会、汽车安全学会分析了导致严重伤亡交通事故的原因后的研究显示, 60% 的死亡交通事故是由于侧面撞车引起的, 30% 到 40% 是由于超速行驶、突然转向或操作不当引发的。我们有理由相信 ABS 及其衍生的 ASR 与 ESP 系统大幅度降低紧急状况发生车辆失去控制的机率。NHTSA (北美高速公路安全局) 曾估计 ABS 系统拯救了 14563 名北美驾驶人的性命!

从 ABS 到 ESP, 汽车工程师在提升行车稳定性的努力似乎到了极限 (民用型 ESP 系统诞生至今已近 10 年), 不过就算计算机再先进仍须要驾驶人的适当操作才能发挥最大功效。

目前, 最新的 ABS 已发展到第 9 代, 现今的 ABS 还有衍生出其他电子控制系统, 比如:

- 1、电子牵引系统(ETC)。
- 2、电子稳定程序(ESP)
- 3、辅助制动器 (BA)

(注: 各个厂家对于以上系统的称谓有所区别, 但是原理一样, 而且多数的 ESP 系统都是来自博世)。

2、ABS 的分类:

◇ 按机械式、电子式分类, 两者有以下不同:

1. 电子式 ABS 是根据不同的车型所设计的, 它的安装需要专业的技术, 如果换装至另一辆车就必须改变它的线路设计和电瓶容量, 没有通用性; 机械式 ABS 的通用性强, 只要是液压刹车装置的车辆都可使用, 可以从一辆车换装到另一辆车上, 而且安装只要 30 分钟。
2. 电子式 ABS 的体积大, 而成品车不一定有足够的空间安装电子 ABS, 相比之下, 机械式的 ABS 的体积较小, 占用空间少。
3. 电子式 ABS 是在车轮锁死的刹那开始作用, 每秒钟作用 6~12 次; 机械式 ABS 在踩刹车时就开始工作, 根据不同的车速, 每秒钟可作用 60—120 次。
4. 电子式 ABS 的成本较高, 相比之下, 使用机械式 ABS 要经济实用些。

◇ 按控制通道分类, 有以下几种:

1. 四通道式、特点: 附着系数利用率高, 制动时可以最大程度的利用每个车轮的最大附着力。但是如果汽车左右两个车轮的附着系数相差较大(如路面部分积水或结冰), 会影响汽车的制动方向稳定性。广州本田即是使用四通道 ABS 装置。
2. 三通道式、特点: 汽车在各种条件下制动时都具有良好的方向稳定性。三通道 ABS 在小轿车上被普遍采用。
3. 二通道式、特点: 二通道式 ABS 难以在方向稳定性、转向控制性和制动效能各方面得到兼顾, 目前采用很少
4. 一通道式、特点: 结构简单, 成本低等, 在轻型载货车上广泛应用。

3. 制动防抱死系统的基本组成:

ABS 通常都由车轮转速传感器、制动压力调节装置、电子控制装置和 ABS 警示灯组成, 在不同的 ABS 系统中, 制动压力调节装置的结构形式和工作原理往往不同, 电子控制装置的内部结构和控制逻辑也可能不尽相同。

◇ 各种 ABS 在以下几个方面都是相同的:

1. ABS 只是汽车的速度超过一定以后 (如 5km/h 或 8km/h), 才会对制动过程中趋于抱死的车轮进行防抱死制动压力调节。
2. 在制动过程中, 只有当被控制车轮趋于抱死时, ABS 才会对趋于抱死车轮的制动压力进行防抱死调节; 在被控制车轮还没有趋于抱死时, 制动过程与常规制动系统的制动过程完全相同。

3. ABS 都具有自诊断功能，能够对系统的工作情况进行监测，一旦发现存在影响系统正常工作的故障时将自动地关闭 ABS，并将 ABS 警示灯点亮，向驾驶发出警示信号，汽车的制动系统仍然可以像常规制动系统一样进行制动。

◇ ABS 使用特点：

1. 在低附着系数的路面上制动时，应一脚踏死制动踏板
2. 能在最短的制动距离内停车
3. 制动时汽车具有较高的方向稳定性
- 4.

4、目前 ABS 所采用的控制技术

ABS 的控制效果很大程度上取决于系统所采用的控制技术。目前所采用的主要是逻辑门限值控制技术。为进一步提高 ABS 的性能，还提出了一些基于滑动率的控制技术，如 PID 控制，滑动模态变结构控制，模糊控制等。每种控制均以不同的控制规律逼近期望的点。

➤ PID 控制

定义期望滑动率 S_0 与实际滑动率 S 之差为控制误差 $e=S-S_0$ ，则 PID 的控制规律可表示为：

$$U = K_p e + K_i \int_0^t e dt + K_d \frac{de}{dt}$$

因此，ABS 控制器的设计最后就归结为，根据 ABS 动态系统，确定出一组最佳的参数 K_p 、 K_i 和 K_d ，使车轮的滑动率以最快的方式逼近设定目标 S_0 。

➤ 滑动模态变结构控制

由汽车防抱死制动的基本原理可知，其制动过程的本质问题是把车轮的滑动率控制在附着系数的峰值点 S_k ，则滑动模态变结构根据系统当时的状态、偏差及其导数值，在不同的控制区域，以理想开关的方式切换控制量的大小和符号，以保证系统在滑动区域很小的范围内，状态轨迹 (S, \dot{S}) 沿滑动换节曲线滑向控制目标 $(S_k, 0)$ 。

通常取制动力矩为控制变量 U ，切换条件为：

$$U = \begin{cases} M_b^- & \tilde{v} > 0 \\ M_b^+ & \tilde{v} < 0 \end{cases}$$

其中 M_b^- 、 M_b^+ 分别代表由调节系统所决定的制动力矩减少、增加两种不同的状态。

$\tilde{v} = \dot{e} + c_1 e$ ($c_1 > 0$) 为切换函数， $e=S-S_k$ 为实际滑动率相对目标点的偏差。

➤ 模糊控制

对于以滑动率为控制对象的防抱死制动系统，其输入量取期望滑动率与车轮实际滑动率的偏差 E 以及偏差的变化率 EC ，输出量为制动管路油压。采用带修正因子的模糊控制器，把用模糊推理算法形成的控制表概括为一个解析式：

$$U = \alpha \times E + (1-\alpha)EC$$

其中 α 为修正因子， α 值的大小直接反映了对偏差及偏差变化率的加权程度。通过调整修正因子 α ，就可以改变控制规则。当 α 较大时，表明对偏差的加权大，阶跃响应快，控制能量主要用于减少偏差，但易出现超调；当 α 较小时，控制目的是减少超调，但响应过程较慢。通常采用带两个 α 值的修正因子表达式就可满足性能要求，即：

$$u = \begin{cases} \alpha_1 E + (1 - \alpha_1) EC & \text{当 } E \text{ 较小时} \\ \alpha_2 E + (1 - \alpha_2) EC & \text{当 } E \text{ 较大时} \end{cases}$$

其中，修正因子 α_1 、 $\alpha_2 \in (0, 1)$ 且 $\alpha_1 < \alpha_2$ ，控制系统在判断 E 值的大小之后，选择控制规则表达式。

➤ 逻辑门限值控制[8]

此方法预先对若干个控制参数设定一些控制极限（门限）值，制动时，根据计算的实时参数值与对应门限值的大小关系，来判定车轮的运动状态，从而控制调节制动压力，以获取足够大的制动强度和良好的方向稳定性。常作为 ABS 控制参数的有：车轮滑移率 S ，车轮转动的角加（减）速度 ω 及其变化率 $\dot{\omega}$ 等三种描述车轮运动情况或动力学状态的参数。由于仅用一个控制参数难于保证 ABS 在各种行驶条件下都具有良好的性能，因此，目前逻辑门限值控制方法通常将车轮转动的角加（减）速度作为主要控制参数，而将车轮的滑动率 S 作为辅助控制参数。其中滑动率是从各轮速信号按一定逻辑确定汽车的参考速度后，计算出的参考滑动率，与实际滑动率存在着差异。

➤ 发展趋势

采用逻辑门限值控制算法，可避免一系列繁杂的理论分析和对一些不确定因素的定量计量。简化了控制器的设计，而且因仅需测定车轮的角速度，便于实现，所以装车成本低。该算法现已趋近成熟，为当前汽车 ABS 系统所普遍采用，但它并非最佳的控制算法。由于不同路况下各种门限值及保压时间都是经过反复试验得出的经验数值，没有十分明确的理论依据，故 ABS 开发的周期长，且控制品质难以保证。

基于滑动率的控制算法容易实现连续控制，且有十分明确的理论加以指导，但目前制约其发展的瓶颈主要是实现的成本问题，根据我们的研究认为，今后 ABS 控制算法的发展方向将在以下几方面。

- (1) 针对当前广泛采用的逻辑门限值控制算法所存在的缺点，研究能跟踪路面特性变化，使 ABS 各项性能指标始终处于最佳状态的控制算法。其中预测控制技术值得重视。由于在制动过程中，轮胎与路面间的摩擦特性导致防抱死制动系统具有非常明显的非线性、时变性和不确定性。因而难于建立其精确的数学模型，而预测控制具有预测模型、滚动优化和反馈校正的基本特性，可根据某一优化指标设计控制系统，确定一个控制量的时间序列，使未来一段时间内被调量与经过柔化后的期望轨迹之间的误差为最小。由于该算法采用的是不断在线滚动优化，且在优化过程中不断通过实测系统输出与预测模型输出的误差来进行反馈校正，所以能在一定程度上克服由于预测模型误差和某些不确定性干扰等的影响，使系统的鲁棒性得到增强。
- (2) 随着体积更小，价格更便宜，可靠性更高的车速传感器的出现，ABS 系统中增加车速传感器成为可能，确定车轮滑动率将变得准确而快速。其中非接触式车速传感器（如光电式、多谱勒仪等）今后最有可能应用于汽车 ABS 系统中。此时基于滑动率的控制算法就可被重视。其中模糊控制将以其不依赖对象的数学模型，便于利用人的经验知识，鲁棒性好，简单实用等特点而会被广泛采用。
- (3) 由单一的 ABS 控制目标转向多目标的综合控制[10]，其中已出现的牵引力控制系统（TCS）不仅能够制动过程中防止车轮发生抱死，而且能够在驱动过程中（特别是在起步、加速、转弯等过程中）防止驱动轮发生滑转，使汽车在驱动过程中的方向稳定性、转向操纵能力和加速性能等也都得到提高。未来汽车电子控制系统将朝着从多电子控制单元（ECU）的分散的独立控制向单一 ECU 的整车控制，以网络的方式实现数据共享和综合控制的方向发展；或者向动态递阶控制方向发展，即各分散控制系统的 ECU 不仅是各自独立地构造自己的动态补偿器，而且要再统一地建立一个高层的动态协调器来帮助确定各 ECU 的控制策略，以增强各 ECU 的控制能力，解决分散控制系统存在不稳定模时不能用动态分散控制镇定的问题[11]，使整车综合性能得到保证。

5、ABS 故障诊断一般方法:

ABS 系统检修的基本内容包括故障诊断与检查、故障排除与修理、定期保养与维护。根据 ABS 的特点, 具有一些特殊的检查、诊断和修理方法。

◇ 诊断与检查的基本内容

特定的诊断与检查可及时发现 ABS 系统中的故障, 是维修中非常重要的部分。对于不同的车型, 甚至同系列不同年代生产的车型, 检查的方法和程序都会有所不同, 这一点只要比较相应的维修手册便可知。但是 ABS 系统基本诊断与检查方法的内容是不变的, 它们一般包括如下 4 个步骤:

- 1) 初步检查
- 2) 故障自诊断
- 3) 快速检查
- 4) 故障指示灯诊断

通常情况下, 只要按照上述 4 个步骤进行诊断与检查, 就会迅速找到 ABS 系统的故障点。故障自诊断是汽车装用电控单元后给修理人员提供的快速自动故障诊断法, 在整个诊断与检查中占有极为重要的地位, 在后面将集中介绍自诊断方法。

◇ 修理的基本内容

通过诊断与检查后, 一旦准确地判断出 ABS 系统中的故障部位, 就可以进行调整、修复或换件, 直到故障被排除为止。修理的步骤通常如下。

- 1) 泄去 ABS 系统中的压力。
- 2) 对故障部位进行调整、拆卸、修理或换件, 最后进行安装。这一切必须按相应的规定进行。
- 3) 按规定步骤进行放气。

如果是车轮速度传感器或电控单元有故障, 可以不进行第一和第三步骤, 只需按规定进行传感器的调整、更换即可, ABS 电控单元损坏只能更换。

◇ ABS 维修的注意事项

- 1) ABS 系统与普通制动系统是不可分的, 普通制动系统一出现问题, ABS 系统就不能正常工作。因此, 要将二者视为整体进行维修, 不能只把注意力集中于传感器、电控单元和液压调节器上。
- 2) ABS 电控单元对过电压、静电非常敏感, 如有不慎就会损坏电控单元中的芯片, 造成整个 ABS 瘫痪。因此, 点火开关接通时不要插或拔电控单元上的连接器; 在车上进行电焊之前, 要戴好防静电器 (也可用导线一头缠在手腕上, 一头缠在车体上), 拔下电控单元上的连接器后再进行电焊; 给蓄电池进行专门充电时, 要将电池从车上拆卸下来或摘下蓄电池电缆后再进行充电。
- 3) 维修车轮速度传感器时一定要十分小心。卸时注意不要碰伤传感器头, 不要用传感器齿圈当做撬面, 以免损坏。安装时应先涂覆防锈油, 安装过程中不可敲击或用蛮力。一般情况下, 传感器气隙是可调的 (也有不可调的), 调整时应使用非磁性塞卡, 如塑料或铜塞卡, 当然也可使用纸片。
- 4) 维修 ABS 液压控制装置时, 切记要首先进行泄压, 然后再按规定进行修理。例如制动主缸和液压调节器设计在一起的整体 ABS, 其蓄压器存储了高达 18000kPa 的压力, 修理前要彻底泄去, 以免高压油喷出伤人。

制动液要至少每隔两年要换一次, 最好是每年更换一次。这是因为 DOT3 乙二醇型制动液的吸湿性很强, 含水分的制动液不仅使制动系统内部产生腐蚀, 而且会使制动效果明显下降, 影响 ABS 的正常工作。注意不要使用 DOT5 硅酮型制动液, 更换和存储的制动液以及器皿要清洁, 不要让污物、灰尘进入液压控制装置, 制动液不要沾到 ABS 电控单元和导线上。最后要按规定的方式进行放气 (与普通制动系统的放气有所不同)。

◇ ABS 系统的诊断与检查

(一) 初步检查

初步检查是在 ABS 系统出现明显故障而不能正常工作时首先采取的检查方法，例如 ABS 故障指示灯亮着不熄，系统不能工作。检查方法如下：

- (1) 检验驻车制动（手刹）是否完全释放。
- (2) 检查制动液液面是否在规定的范围之内。
- (3) 检查 ABS 电控单元导线插头、插座的连接是否良好，连接器及导线是否损坏。
- (4) 检查下列导线连接器（插头与插座）和导线的连接或接触是否良好：

- ① 液压调节器上的电磁阀体连接器；
- ② 液压调节器上的主控制阀连接器；
- ③ 连接压力警告开关和压力控制开关的连接器；
- ④ 制动液液面指示开关连接器；
- ⑤ 四轮车速传感器的连接器；
- ⑥ 电动泵连接器。

- (5) 检查所有的继电器、保险丝是否完好，插接是否牢固。

(6) 检查蓄电池容量（测量电解液比重）和电压是否在规定的范围内；检查蓄电池正、负极导线的连接是否牢靠，连接处是否清洁。

- (7) 检查 ABS 电控单元、液压控制装置等的接地（搭铁）端的接触是否良好。

- (8) 检查车轮胎面纹槽的深度是否符合规定。

如果用上述方法不能确定故障位置，就可转入使用故障自诊断。

(二) ABS 系统故障征兆模拟测试方法

在 ABS 系统故障检测与诊断中，若是单纯的元件不良，可运用电路检测方式诊断。如果属于间歇性故障或是相关的机械性问题，则需要进行模拟测试以及动态测试。

1、模拟测试方法

- (1) 将汽车顶起，使 4 个车轮均悬空。

- (2) 起动车辆。

(3) 将换挡操纵手柄拨到前进挡（D）位置，观察仪表盘上的 ABS 故障指示灯是否点亮。若 ABS 故障指示灯亮，表示后轮差速器的车速传感器不良。

(4) 如果 ABS 故障指示灯不亮，则转动左前轮。此时 ABS 故障指示灯若点亮，则表示左前轮车速传感器正常；反之，ABS 故障指示灯若不亮，即表示左前轮车速传感器不良。

- (5) 右前轮车速传感器测试方法与左前轮车速传感器测试方法相同。

该模拟测试，系根据 ABS ECU 中逻辑电路的车速信号差以及警示电路特性，便于检测车速传感器的故障而设置的。

2、动态测试方法

- (1) 使汽车在道路上行驶至少 12km 以上。

(2) 测试车辆转弯（左转或右转）时，ABS 故障指示灯是否会点亮。若某一方向 ABS 故障指示灯会亮，则表示该方向的轮胎气压不足，也可能是轴承不良、转向拉杆球头磨损，减振器不良或车速传感器脉冲齿轮不良。

(3) 将汽车驶回，在 ABS ECU 侧的“ABS 电源”和“电磁阀继电器”端子间接上测试线和万用表（置于电压档）。

(4) 再进行道路行驶，在制动时注意观察“ABS 电源”端和搭铁间的电压，应在 11.7~13.5V 之间；而“电磁阀继电器端子与搭铁间的电压，亦应在 10.8V 以上。前者主要是观察蓄电池电源供应情况，后者主要是观察电磁阀继电器的接点好坏。

(三) ABS 系统故障诊断表

在进行 ABS 系统故障检测与诊断时,应根据 ABS 系统的工作特性分析故障现象和特征,在故障征兆确认后,根据维修资料的说明有目的进行检测与诊断。为便于检测与诊断查找 ABS 系统的故障,必须首先了解 ABS 系统各主要部件在车上的安装位置。

1、ABS 系统的故障现象

由 ABS 系统的工作原理可知,在 ABS 系统工作过程中,会出现一些与传统经验相背离的情况,有些是 ABS 系统的正常反应,而不是故障现象,应加以区别,例如:

①发动机起动后,踩下制动踏板,制动踏板有可能弹起,这表示 ABS 系统已发挥作用;反之,发动机熄火,踩下制动踏板,踏板会有轻微下沉现象,这表示 ABS 系统停止工作,这些都是正常现象。

②当踩下制动踏板后,同时转动转向盘,即可感到轻微的振动,这并非故障。因为在车辆转向行驶时,ABS 系统工作循环开始,会给车轮带来轻微的振动,继而传递到转向盘上形成振感。

③汽车行驶制动时,制动踏板不时地有轻微的下沉现象,这是因为道路表面附着系数变化而引起的正常现象,并非故障。

④高速行驶时,如果急转弯,或是在冰雪路面上行驶时,有时会出现 ABS 故障指示灯点亮的情况,这说明在上述工况中出现了车轮打滑现象,而 ABS 系统产生保护动作,这同样也不是故障现象。

ABS 系统可能出现的故障有:紧急制动时,车轮被抱死;在驾驶过程中,或者放开手制动器时,ABS 操作故障操作指示灯点亮;制动效果不佳,或 ABS 操作不正常等。

6. 建立液压模型对 ABS 液压总成故障分析意义和优势

在 ABS 开发和应用过程中通常需要对失效的 ABS 进行分析,需要精确判断出 ABS 失效的零部件,用常规的模拟测试方法,很难确定液压总成的哪个液压阀发生故障,如果要判断出是液压阀泄漏或是液压阀失效,就需要重新模拟失效过程,在这种情况下,常规的模拟方式很难按照要求进行故障重现。

建立一个可靠的液压模型可以很容易再现 ABS 系统的故障现象,对判断 ABS 液压总成的故障有很大的帮助。液压模拟系统的建立,可以对各种 ABS 故障现象进行模拟,从模拟结果再来分析液压零部件的故障情况,可以得到比较准确的分析结论。

7. 国外 ABS 硬件在回路测试的介绍

➤ dSPACE 实时仿真系统

dSPACE 实时仿真系统是由德国 dSPACE 公司开发的一套基于 MATLAB/Simulink 的控制系统开发及测试的软件和硬件工作平台。

dSPACE 系统的硬件主要包括基于 PowerPC 或 DSP(如 TI 公司的 TMS320C40 DSP 和 TMS320F240 DSP 等)的处理器板,它用于实现对用户设计的算法或仿真模型的实时运行;在处理板之外,dSPACE 提供一套功能丰富的 I/O 板,以便于用户对外界物理系统信号的处理,这些 I/O 的功能包括模拟输入输出(ADC)、模拟输入输出(DAC)、数字 I/O、串行接口、CAN 接口、PWM 输出、增量编码器子系统 等。在处理器之间、处理器与 I/O 板之间用户都可以根据需要任意组合构成标准组件系统,也可以采用两者集成在一起的单板系统。

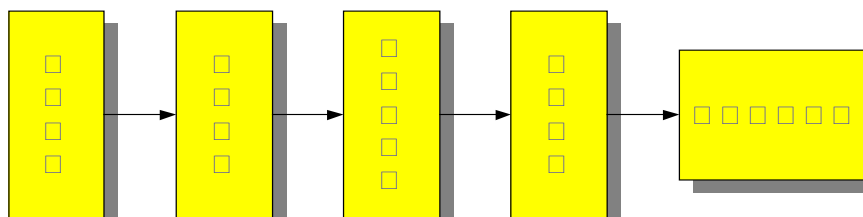
dSPACE 软件系统充分利用了 Matlab 的强大功能,同时在这个基础上进行了扩展。其主要软件组件包括 RTI (Real-time Interface)、ControlDesk 以及 MotionDesk。RTI 是连接 dSPACE 实时系统与软件开发工具 MATLAB/Simulink 之间的纽带。ControlDesk 是 dSPACE 开发的新一代实验工具软件。利用 ControlDesk 可以实现对实时硬件的图形化管理、用户虚拟仪表的轻松建立、变量的可视化管理、参数的可视化管理、实验过程自动化。MotionDesk 可为 dSPACE 处理器板上在线仿真的物体提供三维动画效果。

dSPACE 实时仿真系统提供了硬件在回路仿真测试平台。HILS 就是在控制器开发出来之后,实际的控制器和用来代替真实环境或设备的仿真模型一起组成闭环测试系统,难以建立数学仿真模型的部件(如液压系统)可以保留在闭环中,进行整个系统的仿真测试。dSPACE 的 Simulator 是应用最广泛的硬件在回路仿真器。

它是一个集成的测试环境，包括：系统模型（包括发动机，汽车动力学和路面模型等），实时硬件，信号调理，故障模拟单元，负载模拟单元，实验软件（包括实验管理，硬件管理，自动化测试等功能）。dSPACE Simulator（dSPACE 仿真器）可以根据任务需要来组成不同尺寸不同功能的系统。从手提系统到 19' 机柜，dSPACE 公司已提供了超过 800 套 Simulator。硬件在回路仿真利用该仿真器模拟一个虚拟的车辆，在测试过程中保证仿真的实时性以及加入一些真实的部件，负载，并且模拟出一些故障，从而实现 ABS ECU 的仿真测试。

➤ LabVIEW

虚拟仪器（virtual instrumentation）是基于计算机的仪器。计算机和仪器的密切结合是目前仪器发展的一个重要方向。粗略地说这种结合有两种方式，一种是将计算机装入仪器，其典型的例子就是所谓智能化的仪器。随着计算机功能的日益强大以及其体积的日趋缩小，这类仪器功能也越来越强大，目前已经出现含嵌入式系统的仪器。另一种方式是将仪器装入计算机。以通用的计算机硬件及操作系统为依托，实现各种仪器功能。虚拟仪器主要是指这种方式。下面的框图反映了常见的虚拟仪器方案。



虚拟仪器的主要特点有：

- 尽可能采用了通用的硬件，各种仪器的差异主要是软件。
- 可充分发挥计算机的能力，有强大的数据处理功能，可以创造出功能更强的仪器。
- 用户可以根据自己的需要定义和制造各种仪器。

虚拟仪器实际上是一个按照仪器需求组织的数据采集系统。虚拟仪器的研究中涉及的基础理论主要有计算机数据采集和数字信号处理。目前在这一领域内，使用较为广泛的计算机语言是美国 NI 公司的 LabVIEW。

虚拟仪器的起源可以追溯到 20 世纪 70 年代，那时计算机测控系统在国防、航天等领域已经有了相当的发展。PC 机出现以后，仪器级的计算机化成为可能，甚至在 Microsoft 公司的 Windows 诞生之前，NI 公司已经在 Macintosh 计算机上推出了 LabVIEW 2.0 以前的版本。对虚拟仪器和 LabVIEW 长期、系统、有效的研究开发使得该公司成为业界公认的权威。

普通的 PC 有一些不可避免的弱点。用它构建的虚拟仪器或计算机测试系统性能不可能太高。目前作为计算机化仪器的一个重要发展方向是制定了 VXI 标准，这是一种插卡式的仪器。每一种仪器是一个插卡，为了保证仪器的性能，又采用了较多的硬件，但这些卡式仪器本身都没有面板，其面板仍然用虚拟的方式在计算机屏幕上出现。这些卡插入标准的 VXI 机箱，再与计算机相连，就组成了一个测试系统。VXI 仪器价格昂贵，目前又推出了一种较为便宜的 PXI 标准仪器。

虚拟仪器研究的另一个问题是各种标准仪器的互连及与计算机的连接。目前使用较多的是 IEEE 488 或 GPIB 协议。未来的仪器也应当是网络化的。

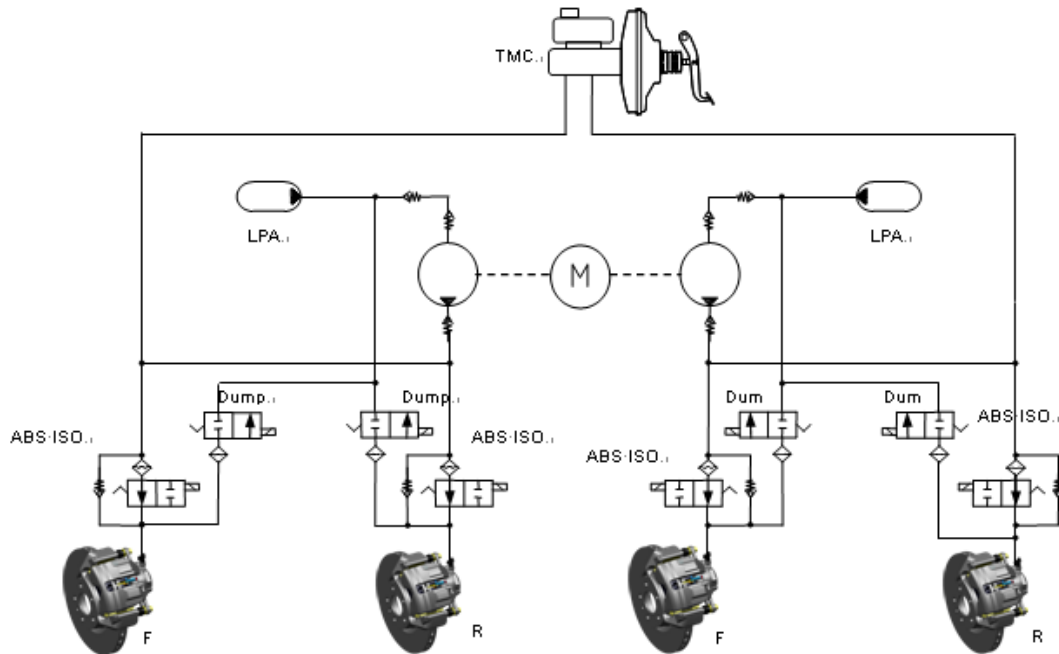
LabVIEW（Laboratory Virtual Instrument Engineering）是一种图形化的编程语言，它广泛地被工业界、学术界和研究实验室所接受，视为一个标准的数据采集和仪器控制软件。LabVIEW 集成了与满足 GPIB、VXI、RS-232 和 RS-485 协议的硬件及数据采集卡通讯的全部功能。它还内置了便于应用 TCP/IP、ActiveX 等软件标准的库函数。这是一个功能强大且灵活的软件。利用它可以方便地建立自己的虚拟仪器，其图形化的界面使得编程及使用过程都生动有趣。

利用 LabVIEW，可产生独立运行的可执行文件，它是一个真正的 32 位编译器。像许多重要的软件一样，LabVIEW 提供了 Windows、UNIX、Linux、Macintosh 的多种版本。

三、研究内容

1. 主要研究内容及拟关键技术

研究的主要内容是用液压模拟的方式，对 ABS 液压总成的故障进行模拟重现，通过对 ABS 液压阀的故障模拟，帮助判断确定失效 ABS 的故障阀和失效的液压回路。



图一：ABS 液压总成图

如图一所示，是 ABS 液压总成的布置原理图，从图上可以看出 ABS 功能主要是靠这么三部分来实现的：

- ABS ISO 阀和 Dump 阀来实现每个车轮制动钳压力的调节。
- LPA 低压蓄能器用来储藏卸压的制动液。
- M 是 ABS 液压总成的电机，用来带动一对活塞把 LPA 中的制动液抽回到 TMC 总泵助力器储液罐。

其工作原理是利用电磁阀的开关动作实现轮缸内的增压，缓增压，保压和减压，缓减压三种状态。这种压力调节的方式的特点是压力的变化是非连续的，但通过三种压力调节方式的高速切换，也可实现精细的压力调节。制动过程中，如果没有车轮即将抱死拖滑，制动主缸 TMC 和各个轮缸 F, R 相通，制动轮缸中的压力继续增大，即 ABS 制动过程中的增压状态。如果电控单元判断出某个车轮（假设为左前轮 FL）即将抱死拖滑，它即向制动压力调节装置发出命令，关闭制动主缸与左前轮缸的通道（即 FL ABS ISO 阀），使左前制动轮缸的压力不再增大，即 ABS 制动过程中的保压状态。若电控单元判断出左前轮仍趋于抱死拖滑状态，它即向制动压力调节装置发出命令，打开左前制动轮缸与低压蓄（LPA）能器的通道（FL Dump 阀），使左前制动轮缸中的油压降低，即 ABS 制动过程中的减压阶段。

如果 ABS 中的某个电磁阀未能及时开启或关闭，使得 ABS 制动过程中三种状态中的一个或几个无法正常完成，那么就造成 ABS 失效，引起车轮抱死。

要确定是哪一个电磁阀引起的 ABS 失效，就要对 ABS 进行测试，最好的方式就是重现失效状态。因此，研究的首要任务就是建立一个液压回路仿真模型，对 ABS 的各个部分进行失效模拟，再现 ABS 的失效过程，从而确定出 ABS 液压总成的失效部分。

2. 拟采取的研究方法、技术路线、实施方案及可行性分析

a) 研究方法

采用对比法进行研究，在固定压力的条件下进行，即主缸给定一个恒定的压力，ABS 在这个压力下工作，之后得到一组输出的压力曲线。然后强制 ABS 一个或几个电磁阀失效，再一次在此恒定压力下工作，得到另外一组压力输出曲线，对比两组压力曲线，就可以得到一个 ABS 某个电磁阀失效的经验曲线。再对比实际失效 ABS 在此压力下的输出压力曲线，确定 ABS 的经验曲线是否能帮助判断实际失效 ABS 的失效电磁阀。

b) 技术路线

- 用机理建模法对 ABS 的制动液压回路进行液压仿真，对 ABS 液压总成的主要零部件（ISO 阀和 Dump 阀）进行液压建模，构建一个比较完整的 ABS 液压总成模型。
 - 1) 轮缸增，减压特性的建模
 - 2) 压力状态切换过程中的滞后特性
 - 3) 轮缸增，减压特性的影响因素
- 在建立的液压模型上进行失效仿真，让建立的 ABS 液压总成的零部件模型分别失效，和有选择的同时实效。
 - 1) ABS ISO 阀失效的 ABS 制动过程
 - 2) ABS Dump 阀失效的 ABS 制动过程
 - 3) ABS ISO 和 Dump 阀同时失效的 ABS 制动过程
- 对失效后的结果用模拟的车轮压力曲线输出。

c) 实施方案

- 第一步先建立液压模型，模型的基本框架如下：
压力源（制动踏板，总泵助力器），ABS 总成，负载（车轮）
- 第二步实现常规制动的压力模拟。及模拟出脚踩制动踏板，制动压力通过 ABS 总成传递到车轮的过程。
- 第三步模拟出 ABS 的制动过程。
- 第四步模拟出液压阀失效，ABS 带故障运行的制动过程。

d) 可行性分析

- 尝试采用 AMESim、Matlab 中的 SimHydraulics、LebVIEW 等软件对 ABS 液压回路进行模拟仿真建模。寻求最佳模拟方式。
- 带防抱死系统的制动过程是模拟的重点。

必须用液压曲线图显示制动的过程和结果，这样的模拟才具有实际应用价值。

3. 预期目标

所建立液压模型的仿真结果，能够对确定失效 ABS 的失效部位作出比较准确的判定。

四、研究基础

1. 课题相关的实验手段、研究条件和实验条件；

a) 实验手段：

用机理建模方法得到模型或微分方程，然后通过实验确定参数。

b) 研究条件：

实物 ABS 试验和模拟 ABS 试验相结合。

c) 实验条件：

ABS 静态功能试验台架，福特汽车 ABS 液压控制单元和电控单元

2. 课题研究所需经费情况。

a) 各种试验软件所需费用

b) 试验台架和相关试验设备使用费用

c) 试验样件所需费用

五、工作计划

序号	阶段及内容	工作量估计 (时数)	起讫日期	阶段成果形式
1	实物 ABS 台架试验			确定液压模型参数
2	液压建模			建立 ABS 液压模型
3	液压模拟失效 ABS 试验			得到失效 ABS 经验曲线
4	实物失效 ABS 试验			验证模拟失效 ABS 经验曲线
5	撰写论文			论文

六、评审意见

导师（或导师组）对本课题的评价

导师签名_____年 月 日

评审小组的审查结论

组长_____组员_____年 月 日

工程领域领导小组意见

负责人签名_____年 月 日