



汽车维修技能修炼丛书

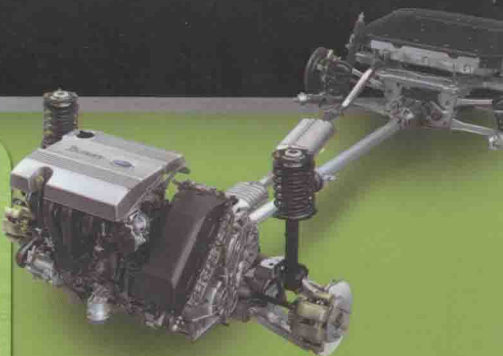
QICHE WEIXIU JINENG XIULIAN CONGSHU



# 汽车 底盘电控系统 原理与检修

刘春晖 ◎ 主编

本书在强调实用性、典型性的基础上，充分重视内容的先进性，尽可能反映出汽车底盘电控系统中采用的新技术。本书主要讲解最新车型的底盘电控系统的基本原理、检测方法、常见故障诊断及排除方法，重点内容包括：防抱死制动系统（ABS）检修、ABS的部分扩展功能、防滑转控制系统（ASR）检修、电子稳定系统（ESP）检修、汽车电控悬架系统（EMS）检修、汽车电控动力转向系统（EPS）检修以及轮胎压力检测系统（TPMS）检修等。



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

汽车维修技能修炼丛书

# 汽车底盘电控系统 原理与检修

刘春晖 主编



机械工业出版社

本书系统地讲述了汽车底盘电控系统的基本原理、检测方法、常见故障诊断及排除方法。主要内容包括：防抱死制动系统(ABS)检修、ABS的部分扩展功能、防滑转控制(ASR)系统检修、电子稳定系统(ESP)检修、汽车电控悬架系统(EMS)检修、汽车电控动力转向系统(EPS)检修以及轮胎压力检测系统(TPMS)检修7方面的内容。内容丰富、图文并茂、通俗易懂，在强调实用性、典型性的基础上，充分重视内容的先进性，尽可能反映出汽车底盘电控系统中采用的新技术。

本书既可作为职业院校汽车检测与维修专业、汽车电子技术专业、汽车运用专业的教学用书，也可作为汽车维修行业的技师和修理工提高技能的自学用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车底盘电控系统原理与检修/刘春晖主编. —北京:  
机械工业出版社, 2012. 6  
(汽车维修技能修炼丛书)  
ISBN 978-7-111-38372-7

I. ①汽… II. ①刘… III. ①汽车—底盘—电气控制  
系统—理论②汽车—底盘—电气控制系统—车辆修理  
IV. ①U472. 41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 097229 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
策划编辑: 连景岩 责任编辑: 连景岩 版式设计: 石 冉  
责任校对: 刘秀芝 封面设计: 鞠 杨 责任印制: 乔 宇  
北京铭成印刷有限公司印刷  
2012 年 8 月第 1 版第 1 次印刷  
184mm×260mm·15.75 印张·387 千字  
0001—3000 册  
标准书号: ISBN 978-7-111-38372-7  
定价: 39.80 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010)88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010)68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010)88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010)88379203 封面无防伪标均为盗版

# 前 言

随着汽车技术的高速发展,汽车电子化程度不断提高,这使汽车维修理念、维修项目和维修方法都发生了根本性的变化。汽车电控技术的普遍应用,尤其是在汽车底盘控制上的应用越来越多,各汽车底盘电控系统大量采用智能控制,维修越来越难,对从事汽车维修岗位人员的素质及技能要求越来越高,要求汽车维修技术人员能够在相对短的时间内掌握关于新车型的维修技术和方法,具备自我学习和知识更新能力。

随着计算机技术和汽车电子控制技术的不断发展,汽车底盘电控技术从功能、结构、原理到故障诊断与维修技术,最近几年都有了飞跃性的发展,新的技术不断被应用到汽车底盘控制系统中,这就要求汽车维修行业相关的技术人员对日益更新的汽车底盘电控系统有较深刻的了解。为此我们收集了国内外有关汽车底盘电控装置的最新资料,结合目前应用较广泛的主流车型的实际配置,查阅了大量汽车维修资料和文献,编写了此书。

本书在编写体例上力求简练准确、图文并茂的表达形式,以求达到直观明了、易读易学的效果。

本书共分7章,主要内容包括:防抱死制动系统(ABS)检修、ABS的部分扩展功能、防滑转控制(ASR)系统检修、电子稳定系统(ESP)检修、汽车电控悬架系统(EMS)检修、汽车电控动力转向系统(EPS)检修以及轮胎压力检测系统(TPMS)检修7方面的内容。

本书由山东华宇职业技术学院刘春晖主编,参加本书编写工作的还有张斌、尹文荣、魏金铭、张文、黄现国、孙长勇、蔡志涛、徐伟、魏代礼、李晓娜、杜祥、沙恒。

在编写本书的过程中借鉴和参考了大量国内外的汽车技术资料、维修资料和相关书籍,在此向维修资料的作者及编者深表感谢!由于编者水平所限,书中难免有错误和不当之处,恳请使用本书的广大师生、有关专家和广大读者批评指正。

编者

# 目 录

## 前言

## 第一章 防抱死制动系统(ABS)

### 检修 ..... 1

#### 第一节 汽车 ABS 功用与

##### 基本原理 ..... 1

##### 一、汽车 ABS 的功用 ..... 1

##### 二、汽车 ABS 的特点 ..... 1

##### 三、车轮滑移率 $S$ 及其影响因素 ..... 3

##### 四、车轮滑移率 $S$ 与附着系数 $\varphi$ 的关系 ..... 4

#### 第二节 防抱死制动系统

##### (ABS) 的类型 ..... 5

##### 一、按外观结构或组合形式分类 ..... 5

##### 二、按车轮控制方式分类 ..... 6

##### 三、按 ABS 的结构及原理分类 ..... 9

##### 四、按生产厂家分类 ..... 10

#### 第三节 防抱死制动系统(ABS) 部件

##### 结构 ..... 10

##### 一、传感器 ..... 11

##### 二、控制开关 ..... 17

##### 三、ABS ECU ..... 18

##### 四、执行控制元件 ..... 19

#### 第四节 防抱死制动液压控制

##### 系统 ..... 20

##### 一、循环式制动压力调节器的组成 ..... 21

##### 二、循环式制动压力调节器的工作过程 ..... 24

##### 三、可变容积式制动压力调节器的工作过程 ..... 26

#### 第五节 防抱死制动系统(ABS)

##### 的控制过程 ..... 28

##### 一、ABS 的控制方式 ..... 28

##### 二、ABS 控制方法 ..... 28

##### 三、ABS 控制过程 ..... 29

## 第六节 MK20-I 型 ABS 的结构

### 与工作过程 ..... 30

##### 一、ABS 组成及工作原理 ..... 30

##### 二、控制系统部件结构 ..... 32

##### 三、MK20-I 型 ABS 结构特点 ..... 36

##### 四、MK20-I 型 ABS 的工作过程 ..... 36

## 第七节 MK20-I 型 ABS 的自

### 诊断 ..... 41

##### 一、MK20-I 型 ABS 的自诊断测试 ..... 41

##### 二、故障码读取与清除 ..... 41

##### 三、ABS 加液与放气 ..... 43

##### 四、ABS 故障目视检查与排除方法 ..... 44

## 第八节 ABS 的拆装与检修 ..... 45

##### 一、MK20-I 型 ABS 拆装注意事项 ..... 45

##### 二、HCU 的拆卸与安装 ..... 46

##### 三、前轮轮速传感器的拆装 ..... 48

##### 四、后轮轮速传感器的拆装 ..... 50

##### 五、诊断 ABS 故障的技巧和方法 ..... 51

##### 六、MK20-I 型 ABS 检修注意事项 ..... 52

##### 七、MK20-I 型 ABS 零部件检修 ..... 53

## 第二章 ABS 的部分扩展功能 ..... 57

### 第一节 电子制动力分配

#### (EBD) 系统 ..... 57

##### 一、电子制动力分配(EBD)系统功用 ..... 57

##### 二、电子制动力分配(EBD)系统的基本组成及原理 ..... 59

##### 三、电子制动力分配(EBD)系统的优点 ..... 60

##### 四、EBD 系统与 ABS 的关系 ..... 61

### 第二节 电子差速锁(EDS) ..... 61

##### 一、电子差速锁(EDS)的基本功用 ..... 61

##### 二、电子差速锁(EDS)的基本工作过程 ..... 62

### 第三节 制动辅助系统(BAS) ..... 64



|                               |    |                    |     |
|-------------------------------|----|--------------------|-----|
| 一、制动辅助系统(BAS)的工作原理            | 64 | 二、ABS/TRC ECU 的自诊断 | 92  |
| 二、制动辅助系统(BAS)的工作过程            | 65 | 三、输入信号元件的检修        | 93  |
| 第四节 上坡和下坡辅助控制                 |    | 四、输出执行元件的检修        | 96  |
| 系统                            | 66 | 第四章 电子稳定系统(ESP)检修  | 98  |
| 一、上坡起步辅助控制(HAC)系统             | 66 | 第一节 电子稳定系统(ESP)    |     |
| 二、下坡辅助控制(DAC)系统               | 70 | 概述                 | 98  |
| 第五节 电子感应制动控制                  |    | 一、概述               | 98  |
| (SBC)系统                       | 72 | 二、ESP 系统在国外和国内应用现状 | 99  |
| 一、电子感应制动控制(SBC)系统             |    | 三、ESP 系统与其他系统的关系   | 100 |
| 的特点                           | 72 | 第二节 电子稳定系统(ESP)的调节 |     |
| 二、电子感应制动控制(SBC)系统             |    | 及工作过程分析            | 103 |
| 的组成                           | 73 | 一、ESP 的调节过程        | 103 |
| 三、电子感应制动控制(SBC)系统             |    | 二、ESP 工作过程分析       | 103 |
| 的工作原理                         | 74 | 第三节 电子稳定系统(ESP)    |     |
| 第三章 防滑转控制(ASR)                |    | 的控制原理              | 107 |
| 系统检修                          | 76 | 一、ESP 系统控制原则       | 107 |
| 第一节 驱动轮防滑转控制                  |    | 二、ESP 系统控制原理       | 108 |
| 的基本原理                         | 76 | 第四节 别克荣御 ESP 系统的部件 |     |
| 一、概述                          | 76 | 结构及控制过程            | 110 |
| 二、驱动力 $F_t$ 与附着力 $F_\phi$ 的关系 | 77 | 一、别克荣御汽车电子稳定系统的    |     |
| 三、滑转率与附着系数的关系                 | 77 | 部件结构与作用            | 110 |
| 四、ASR 系统与 ABS 的异同             | 78 | 二、别克荣御 ABS 工作过程    | 120 |
| 第二节 驱动轮防滑转的控制                 |    | 三、电子制动力分配(EBD)工作过程 | 123 |
| 方法                            | 79 | 四、牵引力控制系统(TCS)控制过程 | 125 |
| 一、控制发动机的输出转矩                  | 79 | 五、别克荣御 ESP 系统的控制过程 | 126 |
| 二、控制驱动轮的制动力                   | 80 | 第五节 汽车电子稳定系统       |     |
| 三、控制差速器的锁止程度                  | 81 | (ESP)的检修           | 129 |
| 第三节 雷克萨斯 LS400 型轿车            |    | 一、电子稳定系统(ESP)自诊断   | 129 |
| ABS/TRC 总体结构                  | 81 | 二、制动器排气程序          | 130 |
| 一、防滑转控制(TRC)系统                |    | 三、ESP 系统传感器及执行器的   |     |
| 的结构特点                         | 82 | 检修                 | 130 |
| 二、防滑转控制(TRC)系统                |    | 第五章 电控悬架系统原理与检修    | 132 |
| 的基本组成                         | 82 | 第一节 电控悬架系统概述       | 132 |
| 三、防滑转控制(TRC)系统                |    | 一、被动悬架与主动悬架        | 132 |
| 的控制过程                         | 86 | 二、电控悬架系统的功能        | 133 |
| 四、ABS/TRC 控制系统电路              | 87 | 三、电控悬架系统的分类        | 134 |
| 第四节 雷克萨斯 LS400 型轿车            |    | 第二节 电控悬架系统的结构      |     |
| ABS/TRC 故障自诊断                 | 91 | 与工作原理              | 134 |
| 一、故障码的读取与清除                   | 91 | 一、电控悬架系统的基本组成和原理   | 134 |

|                           |     |                               |     |
|---------------------------|-----|-------------------------------|-----|
| 二、传感器与控制开关信号 .....        | 136 | 动力转向系统 .....                  | 197 |
| 三、电子控制单元(ECU) .....       | 144 | 一、组成与结构 .....                 | 197 |
| 四、执行器 .....               | 145 | 二、电动式转向助力系统的工作原理 .....        | 204 |
| 第三节 电控悬架系统的工作             |     | 三、大众第三代电控助力转向系统诊断 .....       | 208 |
| 过程 .....                  | 148 | 第五节 四轮转向控制系统 .....            | 209 |
| 一、减振器阻尼控制 .....           | 148 | 一、4WS 车辆的转向特性 .....           | 209 |
| 二、车身高度控制过程 .....          | 150 | 二、转向角比例控制式 4WS 系统 .....       | 210 |
| 三、悬架刚度控制过程 .....          | 151 | 三、横摆角速度比例控制式 4WS 系统 .....     | 214 |
| 四、横向稳定器侧倾刚度控制过程 .....     | 153 | 第七章 轮胎压力监控系统检修 .....          | 219 |
| 第四节 奥迪轿车四级空气悬架系统 .....    | 156 | 第一节 轮胎压力监控系统概述 .....          | 219 |
| 一、奥迪轿车四级空气悬架结构 .....      | 156 | 一、轮胎压力与行车安全 .....             | 219 |
| 二、按钮功能 .....              | 157 | 二、轮胎压力对轮胎的影响 .....            | 219 |
| 三、工作模式 .....              | 159 | 三、轮胎压力监控系统的监控类型 .....         | 220 |
| 四、悬架减振器的硬度调节过程 .....      | 160 | 四、轮胎压力监控系统工作原理 .....          | 222 |
| 五、四级空气悬架调节过程 .....        | 161 | 五、轮胎压力监控系统(TPMS)主要作用及优点 ..... | 222 |
| 六、控制部件的结构原理 .....         | 163 | 第二节 轮胎压力监控系统的结构与工作过程 .....    | 223 |
| 第五节 电控悬架系统的故障诊断与检修 .....  | 176 | 一、轮胎压力监控系统的组成 .....           | 223 |
| 一、电控悬架检修注意事项 .....        | 176 | 二、轮胎压力监控系统的部件结构 .....         | 223 |
| 二、电控悬架的检查和调整 .....        | 176 | 三、轮胎压力监控系统的工作过程 .....         | 227 |
| 三、电控悬架故障诊断与排除 .....       | 177 | 第三节 轮胎压力监控系统的功能 .....         | 228 |
| 第六章 汽车动力转向与四轮转向系统检修 ..... | 180 | 一、轮胎压力监控系统操作和显示 .....         | 228 |
| 第一节 电控动力转向系统概述 .....      | 180 | 二、轮胎压力监控系统的功能简介 .....         | 232 |
| 一、电控动力转向系统的功能要求 .....     | 180 | 三、电路图 .....                   | 234 |
| 二、电控动力转向系统的分类 .....       | 181 | 四、车轮电子装置的拆装 .....             | 234 |
| 第二节 普通动力转向系统结构与原理 .....   | 181 | 第四节 别克荣御轿车直接式轮胎气压监测系统 .....   | 236 |
| 一、基本组成及原理 .....           | 181 | 一、基本组成 .....                  | 237 |
| 二、基本结构 .....              | 182 | 二、TPMS 系统工作原理 .....           | 237 |
| 三、工作过程 .....              | 184 | 三、轮胎气压监测系统读入模式 .....          | 239 |
| 第三节 电控动力转向系统的结构与原理 .....  | 186 | 四、轮胎气压监测系统的诊断功能 .....         | 240 |
| 一、液压式电控动力转向系统 .....       | 186 | 参考文献 .....                    | 244 |
| 二、电动式电控动力转向系统 .....       | 191 |                               |     |
| 第四节 大众第三代电动式电控            |     |                               |     |

# 第一章 防抱死制动系统(ABS)检修

## 第一节 汽车 ABS 功用与基本原理

### 一、汽车 ABS 的功用

凡驾驶过汽车的人都有这样的经验,在被雨淋湿的柏油路上或在积雪道路上紧急制动时,汽车会发生侧滑,严重时甚至会掉头旋转。如果是在有车辙的雪路上行驶,左右车轮分别行驶在雪地上和裸露的地面上,产生剧烈旋转的危险性更大。在这种路面上行驶时,若紧急制动,汽车方向会失去控制。若是弯道,就有可能从路边滑出或驶入对面车道,即使不是弯道,也无法躲避障碍物。防抱死制动系统就是为了防止这些危险状况的发生而研制的装置。这种系统利用电子电路自动控制车轮制动力,可以充分发挥制动器的效能,提高制动减速度,缩短制动距离,并有效地提高车辆制动时的稳定性,防止车辆侧滑和甩尾,减少车祸,因此被认为是当前提高汽车行驶安全性的有效措施之一。

ABS 的功用是:在汽车制动时,防止车轮抱死在路面上滑拖(车轮与路面间产生滑移),以提高汽车制动过程中的方向稳定性和转向控制能力,缩短制动距离,使汽车制动更为安全有效。防抱死制动系统的英文名称是 Anti-lock Braking System(防抱死制动系统)或 Anti-skid Braking System(防滑移制动系统),缩写为 ABS。

随着汽车行驶速度的提高、道路行车密度的增大以及人们对汽车行驶安全性的要求越来越高,ABS 已经成为汽车上非常重要的主动安全装置。目前在轿车和客车上广泛使用。

### 二、汽车 ABS 的特点

ABS 是在传统制动系统的基础上,增加了一套防止车轮制动抱死的控制系统。该装置在制动过程中,当车轮趋于抱死,即车轮滑移率进入非稳定区时,会迅速降低制动系统压力,使车轮滑移率恢复到接近理想滑移率的稳定区内,通过自动、高频率地对制动系统压力进行调节(其频率从每秒几次到每秒十多次),使车轮滑移率保持在理想的滑移率范围内,以达到充分利用车轮与路面间最大的纵向峰值附着系数和较高的横向附着系数,实现防止车轮抱死,获得最佳制动性能的目的。

应当指出的是,采用传统的制动系统进行制动时,尽管驾驶人也知道间歇性地踩、放制动踏板,防止车轮抱死,但再有经验的驾驶人也无法精确地进行判断和控制,特别是在紧急制动时,不可能将车轮滑移率控制在理想范围之内,往往会使车轮抱死,尤其是汽车在结冰、下雨打滑的路面上制动时,很容易产生侧滑、甩尾和失去转向操纵能力,此时驾驶人往往产生一种紧张情绪,缺乏安全感。而装用 ABS 后,在驾驶人遇到紧急状况需要制动时,只需用力踩下制动踏板即可,许多本来需要驾驶人决定的事,在短短几分之一秒内,都交由 ABS 来处理,防止车轮发生抱死时出现的危险状态,此时驾驶人可以专心地处理紧急状况。



## 1. ABS 的优点

(1) 增加汽车制动时的方向稳定性 装用 ABS 的汽车,在紧急制动时能将滑移率控制在理想滑移率的范围内,具有较大的横向附着力,有足够的抵抗横向干扰力的能力,从而提高了汽车制动时的方向稳定性,可以避免汽车侧滑和甩尾。图 1-1 所示为汽车在左右附着系数不同的路面上制动时有、无 ABS 对汽车方向稳定性的比较。无 ABS 时汽车侧滑甚至甩尾,有 ABS 时方向稳定性得到极为明显的改善。

(2) 改善汽车制动时的转向操纵能力 未装 ABS 的汽车在紧急制动时,如果前轮抱死,因横向(侧向)附着力几乎为零,汽车就丧失了转向操纵能力,此时即使转动转向盘,汽车也不能转向,只能沿原惯性力运动方向前进,最后撞到障碍物上。当装用 ABS 后,因汽车仍有足够的转向操纵能力,可以通过转向对障碍物进行避让。图 1-2 为汽车制动时有、无 ABS 对汽车转向操纵能力的比较。无 ABS 的车辆紧急制动时,即使打转向盘,车辆也不会转向,而是沿原运动方向前进;有 ABS 的车辆紧急制动时,车辆仍具有转向能力。

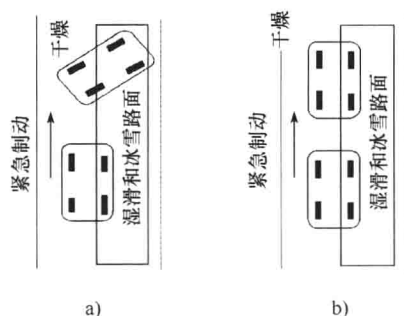


图 1-1 装用 ABS 增加了汽车制动时的方向稳定性  
a) 无 ABS b) 有 ABS

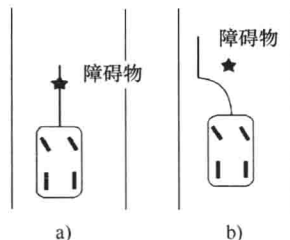


图 1-2 装用 ABS 汽车制动时仍具有转向操纵能力  
a) 无 ABS b) 有 ABS

(3) 缩短制动距离 装用 ABS 后,在汽车制动过程中,因为能始终保持车轮和路面间附着系数的最佳利用,有效地利用最大纵向附着力,因而能在最短的距离内制动停车。通常情况下,驾驶人操作时制动距离比无 ABS 时可以缩短,特别是在湿滑和冰雪路面上,制动距离可以明显缩短,一般为 10%~20%。图 1-3 为汽车制动时有、无 ABS 对汽车制动距离的比较。无 ABS 的车辆制动距离明显较长,有 ABS 的车辆制动距离缩短。应当指出的是,在松散的路面上,如松散的沙土和积雪较深的路面上,当汽车制动抱死时,其表面物质如积雪会被铲起并堆在车轮前面,形成楔形物,从而构成一种阻力,有利于汽车制动,会使制动距离变短。而在装用 ABS 的汽车上,由于车轮不会抱死,反而没有这种效果。

(4) 减少轮胎磨损 在未装 ABS 的汽车上,当汽车制动抱死时,由于车轮在路面上滑拖,会造成轮胎局部严重磨损,特别是在高附着系数路面上。装用 ABS 的汽车制动时,车轮处于边滚边滑移状态,可以减少轮胎局部磨损,从而提高轮胎使用寿命,一般可提高 6%~10%。车轮抱死会造成轮胎杯形磨损,轮胎胎面磨损也不均匀,使轮胎磨损消耗费用增加。

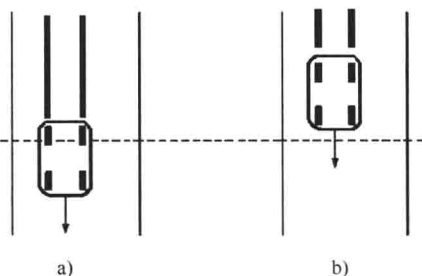


图 1-3 装用 ABS 可以缩短制动距离  
a) 无 ABS b) 有 ABS



(5) ABS 使用方便, 工作可靠 ABS 的使用与普通制动系统的使用几乎没有区别。制动时, 只要把脚踏在制动踏板上, ABS 就会根据情况自动进入工作状态, 如遇雨雪路滑, 驾驶人也没有必要用一连串的点制动方式进行制动, ABS 会使制动状态保持在最佳点。ABS 工作十分可靠, 并有自诊断能力。如果它发现系统内部有故障, 就会自动记录, 以故障码的形式存储, 并使 ABS 警告灯点亮, 同时终止 ABS 控制, 使普通制动系统继续工作。维修人员可以根据 ABS 电控系统记录的故障码进行维修。

(6) 减轻驾驶人紧张情绪 装用 ABS 的汽车进行制动时, 驾驶人只要把脚尽力踏在制动踏板上, ABS 就会代替驾驶人自动进入最佳制动的状态, 驾驶人可以比较放心地操纵转向盘。习惯驾驶装用 ABS 的汽车驾驶人, 如果驾驶未装 ABS 的汽车进行制动时, 尤其在湿滑和冰雪路面上紧急制动时, 会有一种不安全的感, 特别是缺乏驾驶经验的驾驶人, 会产生紧张情绪。

## 2. ABS 的缺点

- 1) ABS 不能提供超越车轮与路面所能承受的制动效果。
- 2) ABS 不能代替驾驶人的制动操作, 只能在驾驶人制动时, 帮助驾驶人达到较好的制动效果。
- 3) ABS 性能的好坏受整车制动状况的影响。
- 4) 在平滑的干燥路面上制动, 技术熟练的驾驶人操作常规制动系统, 其制动距离要比 ABS 工作的制动距离短, 这是因为 ABS 允许滑移率降低到 8% 左右所致。

## 三、车轮滑移率 $S$ 及其影响因素

当制动器制动力大于轮胎-道路附着力(简称附着力)时, 车轮就会抱死滑移。只有汽车具有足够的制动器制动力, 同时地面又能提供较大的附着力时, 汽车才能获得较好的制动效果。

在汽车制动时, 除车轮旋转平面的纵向附着力外, 还有垂直于车轮旋转平面的横向附着力。在汽车制动过程中, 纵向附着力决定汽车纵向运动, 影响汽车的制动距离; 横向附着力则决定汽车的横向运动, 影响汽车的方向稳定性和转向控制能力。

当汽车匀速行驶时, 实际车速  $v$  (即车轮中心的纵向速度) 与车轮速度  $v_0$  (即车轮滚动的圆周速度) 相等, 车轮在路面上的运动为纯滚动运动, 如图 1-4a 所示。然而, 在汽车实际运行过

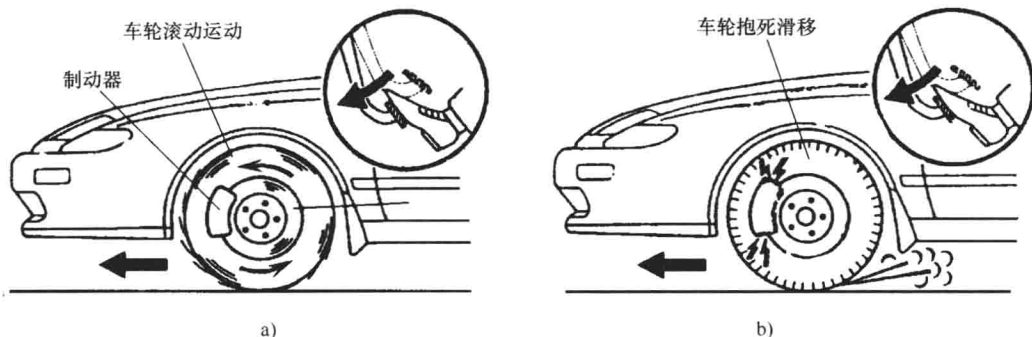


图 1-4 制动车轮受力分析

a) 车轮滚动运动 b) 车轮抱死滑移

程中,当驾驶人踩下制动踏板后,在制动器摩擦力矩的作用下,车轮的角速度减小,实际车速与车轮速度之间就会产生一个速度差,轮胎与地面之间就会产生相对滑移,如图 1-4b 所示。

轮胎滑移的程度用滑移率  $S$  来表示。车轮滑移率是指实际车速  $v$  与车轮速度  $v_{\omega}$  之差同实际车速  $v$  的比率,其表达式为

$$S = \left( \frac{v - v_{\omega}}{v} \right) \times 100\% = \left( 1 - \frac{v_{\omega}}{v} \right) \times 100\% = \left( 1 - \frac{r\omega}{v} \right) \times 100\%$$

式中  $S$ ——车轮滑移率;

$v$ ——车速(车轮中心纵向速度,m/s);

$v_{\omega}$ ——车轮速度(车轮瞬时圆周速度, $v_{\omega} = r\omega$ ,m/s);

$r$ ——车轮半径(m);

$\omega$ ——车轮转动角速度(rad/s)。

当  $v = v_{\omega}$  时,滑移率  $S = 0$ ,车轮自由滚动;

当  $v_{\omega} = 0$  时,滑移率  $S = 100\%$ ,车轮完全抱死滑移;

当  $v > v_{\omega}$  时,滑移率  $0 < S < 100\%$ ,车轮既滚动又滑移。滑移率越大,车轮滑移程度越大。

在制动过程中,车轮抱死滑移的根本原因是制动器制动力大于轮胎-道路附着力。因此影响车轮滑移率的因素包括以下几个方面:

- 1) 汽车载客人数或载物量。
- 2) 前、后轴的载荷分布情况。
- 3) 轮胎种类即轮胎与道路的附着状况。
- 4) 路面种类和路面状况。
- 5) 制动力大小及其增长速率。

四、车轮滑移率  $S$  与附着系数  $\varphi$  的关系

汽车纵向附着系数和侧向附着系数对滑移率有很大影响。试验证明,在地面附着条件差(例如在冰雪路面上制动)的情况下,由于道路附着力很小,使可以得到的最大地面制动力减小,因此在制动踏板力(或制动轮缸压力)很小时,地面制动力就会达到最大附着力,车轮就会抱死滑移。附着系数与滑移率之间的关系如图 1-5 所示,由图可见:

1) 附着系数取决于路面性质。一般说来,干燥路面附着系数大,潮湿路面附着系数小,冰雪路面附着系数更小。

2) 在各种路面上,附着系数都随滑移率的变化而变化。

3) 在各种路面上,当滑移率为 20% 左右时,纵向附着系数最大,制动效果最好。

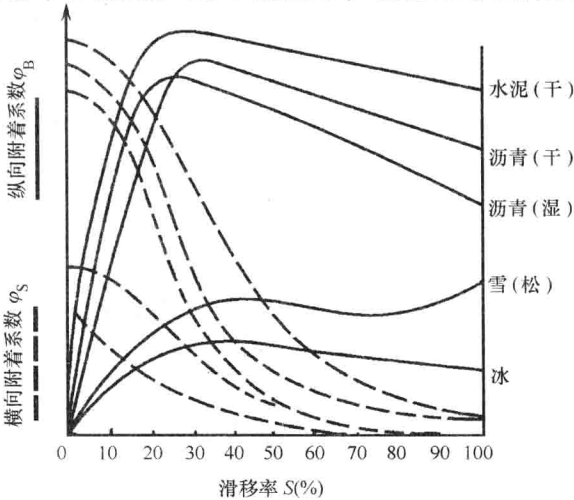


图 1-5 附着系数与滑移率的关系(虚线与实线标注的上下顺序一一对应)

$\varphi_B$ —纵向附着系数  $\varphi_S$ —横向附着系数  $S$ —滑移率



纵向附着系数最大时的滑移率称为理想滑移率或最佳滑移率。当滑移率超过理想滑移率时,纵向附着系数减小,产生的地面制动力随之下降,制动距离将增长。滑移率大于理想滑移率后的区域称为非稳定制动区域或非稳定区,如图 1-6 所示。

横向附着系数是研究汽车行驶稳定性的重要指标之一。横向附着系数越大,汽车制动时的方向稳定性和保持转向控制的能力越强。当滑移率为零时,横向附着系数最大;随着滑移率的增加,横向附着系数逐渐减小。当车轮抱死时,横向附着系数接近于零,汽车将失去方向稳定性和转向控制能力,其危害极大。如果前轮抱死,虽然汽车能沿直线向前行驶,但是失去转向控制能力,由于前轮维持转向运动能力的横向附着力丧失,汽车仍将按原行驶方向滑行,因此可能冲入其他车道与其他车辆相撞或冲出路面与障碍物相撞而发生恶性交通事故。如果后轮抱死,汽车的制动稳定性就会变差,抵抗横向外力的能力很弱,后轮稍有外力(如侧向风力)作用就会发生侧滑(甩尾),甚至出现掉头等危险现象。

综上所述,为了获得最佳制动性能,应将车轮滑移率控制在 10%~30% 范围内。采用电子控制防抱死制动系统(ABS)即可达到这一目的。

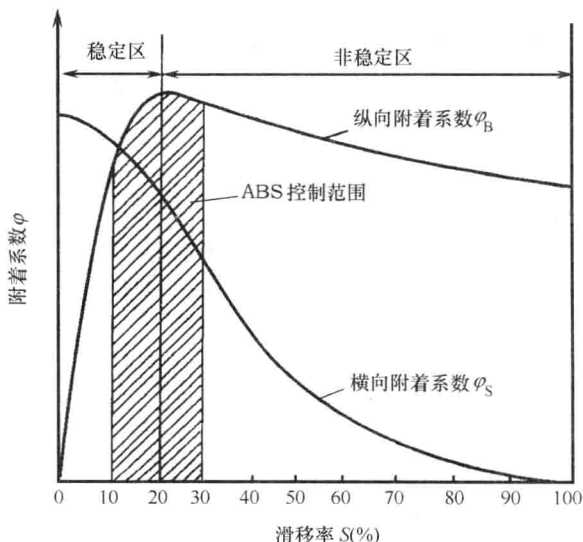


图 1-6 干燥硬实路面上附着系数与滑移率的关系

$\varphi_B$ —纵向附着系数  $\varphi_S$ —横向附着系数  $S$ —滑移率

## 第二节 防抱死制动系统(ABS)的类型

过去人们常将 ABS 分为两大类,即机械式 ABS 和电子式 ABS。目前机械式 ABS 已经淘汰,主要采用机电一体化的电子控制式 ABS。电子控制式 ABS 的种类很多,分类办法各异。

### 一、按外观结构或组合形式分类

根据制动压力调节器(执行器)与制动主缸的结构关系,可分为整体式和分离式两类,从外观上可以看出其明显的不同。

#### 1. 整体式 ABS

整体式结构的 ABS 是将制动压力调节器与制动主缸、高压蓄能器结合在一起形成一个总体,如图 1-7 所示。整体式 ABS 结构非常紧凑,管路接头少,但成本相对较高,目前多作为标准装备或在高级轿车上采用。采用整体式 ABS 的有博世 ABS3、戴维斯 ATE 型、本迪克斯 ABS9 和德尔科 ABS 等。

#### 2. 分离式 ABS

分离式结构的 ABS,其制动压力调节器自成一体,通过管路与制动主缸相连,如图 1-8 所示。分离式 ABS 在汽车上布置比较灵活。在原来没有 ABS 的车型上新装备 ABS 时,通常无需

对汽车的原布置进行较大改动,很适合将 ABS 作为选择装备装用,而且成本相对较低。但制动管路相对较为复杂,管路接头增多。目前装用分离式 ABS 的较多,如博世 ABS 2S 和 2E、戴维斯 ABS MK IV 和 MK 20、德尔科 ABS IV、本迪克斯 ABS 4 和 ABS 6 等。

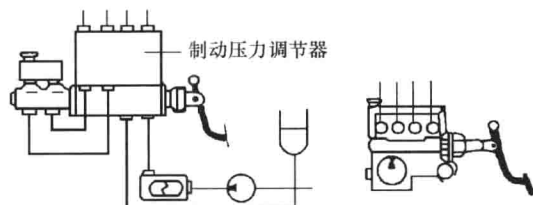


图 1-7 整体式 ABS

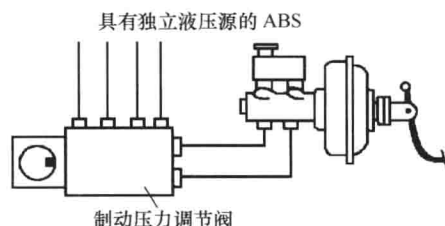


图 1-8 分离式 ABS

## 二、按车轮控制方式分类

按车轮控制方式不同,电子控制防抱死制动系统可分为“轮控式”与“轴控式”两种。轴控式又分为“低选控制(SL,Select Low)”和“高选控制(SH,Select High)”两种。在制动系统中,制动压力能够独立进行调节的制动管路称为控制通道。每个车轮各占用一个控制通道的称为“轮控式”(又称为独立控制式或单轮控制式);两个车轮占用同一个控制通道的称为同时控制。当同时控制的两个车轮在同一轴上时,则称为“轴控式”。

在采用“轴控式”ABS 的汽车上,当左、右车轮行驶在附着系数不同的路面上时,由于左、右车轮与路面之间的附着力不同,因此左、右车轮在制动时抱死的时机就会不同,附着系数小的车轮先抱死,附着系数大的车轮后抱死。如果“以保证附着系数较小的车轮不发生抱死为原则来调节制动压力”,这两个车轮就是“按低选原则进行控制”,简称“低选控制(SL)”;如果“以保证附着系数较大的车轮不发生抱死为原则来调节制动压力”,这两个车轮就是“按高选原则进行控制”,简称“高选控制(SH)”。

### 1. 六通道六传感器式 ABS

六通道六传感器式 ABS 主要用于大型客车上,采用独立控制,如图 1-9 所示。

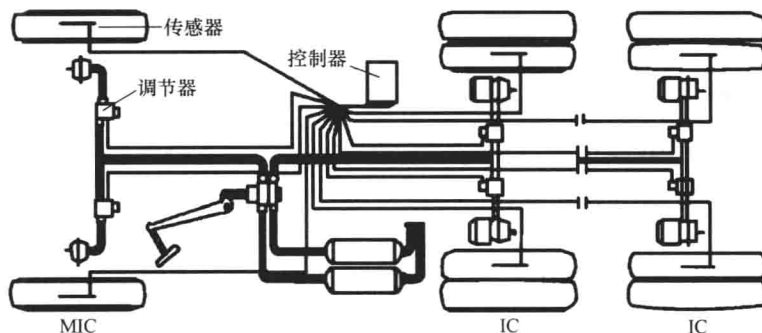


图 1-9 六通道六传感器式 ABS

### 2. 四通道四传感器式 ABS

四通道四传感器式 ABS 如图 1-10 所示。四通道四传感器式 ABS 有 4 个轮速传感器,在通往 4 个车轮制动轮缸的管路中各设 1 个制动压力调节分装置(如电磁阀),分别进行独立控制,



构成四通道四传感器控制形式。

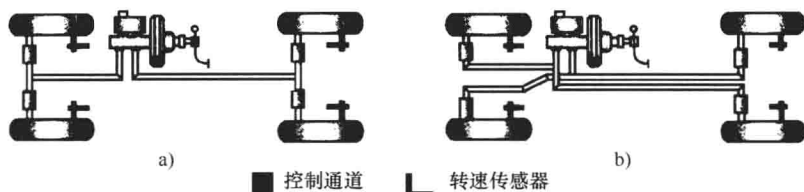


图 1-10 四通道四传感器式 ABS

a) 双制动管路前后布置 b) 双制动管路对角布置

由于四通道四传感器式 ABS 是根据各车轮轮速传感器输入的信号，分别对各个车轮进行独立控制，因此，附着系数利用率高，制动时可以最大限度地利用每个车轮的最大附着力。四通道控制方式特别适用于汽车左右两侧车轮附着系数相近的路面，不仅可以获得良好的方向稳定性和转向操纵能力，而且可以得到最短的制动距离。但是如果汽车左右轮附着力相差较大，如行驶在附着系数对分的路面上或汽车两侧垂直载荷相差较大时，制动时两个车轮的地面制动力就相差较大，因此会产生横摆力矩，使车身向制动力较大的一侧偏移，不能保持汽车按预定方向行驶，影响汽车的方向稳定性，一般驾驶人修正较为困难。通常在具有驱动防滑转(ASR)功能时采用四通道式。

常见车型：奥迪(前轮驱动)、红旗轿车、广州本田(X 型)。

### 3. 三通道式 ABS

三通道式 ABS 如图 1-11 所示。三通道式 ABS 有的用 4 个轮速传感器，也有的用 3 个轮速传感器。一般三通道式 ABS 是对两前轮进行独立控制，两后轮按低选原则进行一同控制，因此也称为混合控制。

图 1-11a 适用于前轮驱动汽车及按对角布置的双管路制动系统。该系统虽然在通往四个车轮制动轮缸的制动管路中，各设置了 1 个制动压力调节分装置，但两个后轮制动压力调节分装置却是由电子控制器按低选原则一同控制的。

目前，小轿车普遍采用了三通道防抱死制动系统(ABS)，即对两前轮采用“独立控制”，对两后轮采用“低选控制(SL)”。这是因为对两后轮采用“低选控制”可以保证汽车在各种条件下，左、右两个后轮的制动力相等。即使两侧车轮的附着力相差较大，两个车轮的制动力也能限制在附着力较小的水平，使两个后轮的制动力始终保持平衡，从而保证汽车在各种条件下制动时，都具有良好的方向稳定性。虽然两后轮按低选原则控制存在后轮附着系数较大时，一侧的附着力不能充分利用、汽车的总制动力有所减小的问题，但是在紧急制动时，由于发生轴荷前移，在总制动力中，后轮的制动力所占比重较小，尤其是小轿车，前轮的附着力比后轮的附着力大得多，后轮制动力通常只占总制动力的 30% 左右。因此，后轮附着力未能充分利用对汽车的总制动力影响不大。

对两前轮进行独立控制，主要是考虑到小轿车(特别是前轮驱动轿车)前轮的制动力占总制动力比例较大(可达 70% 左右)，可以充分利用两前轮的附着力，一方面使汽车获得尽可能大的总制动力，有利于缩短制动距离；另一方面可使两前轮在制动过程中始终保持较大的横向附着力，使汽车保持良好的转向控制能力。尽管两前轮独立控制可能导致两前轮制动力不平衡，但是两前轮制动力不平衡对汽车行驶的方向稳定性影响相对较小，并可通过驾驶人操纵转

向盘进行修正。正因如此,国产奥迪 100、200 型、桑塔纳 2000GSi 型、捷达、红旗 CA7220E 型轿车等都采用了三通道式防抱死制动系统。

图 1-11b、c 适用于后轮驱动汽车及按前后布置的双管路制动系统。在通往两后轮制动轮缸的制动总管路中,只设置 1 个制动压力调节分装置,以便对两后轮制动轮缸的制动压力进行一同控制。由于三通道 ABS 对两后轮进行一同控制,对于后轮驱动的汽车,也可以在传动系统中(如主减速器或变速器中)只设置 1 个轮速传感器,如图 1-11c 所示,测量两后轮的平均转速,实现近似低选原则的一同控制。常见车型:桑塔纳 2000GSi、北京切诺基。

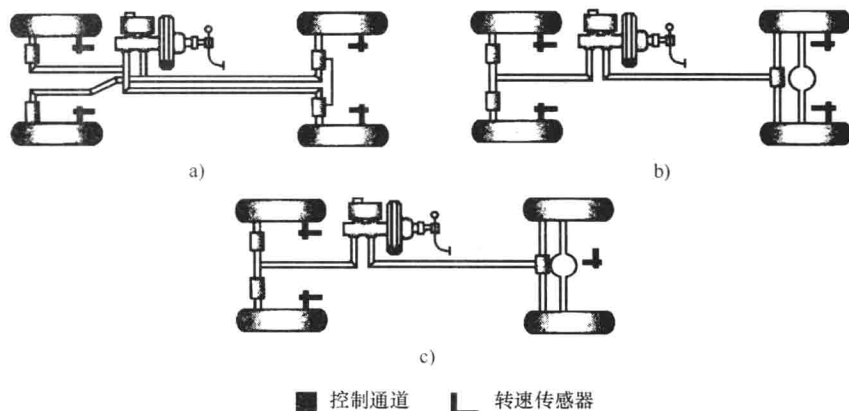


图 1-11 三通道式 ABS

a) 三通道四传感器 ABS(前轮驱动) b) 三通道四传感器 ABS(后轮驱动) c) 三通道三传感器 ABS(对角布置)

#### 4. 双通道式 ABS

图 1-12a 所示的双通道 ABS 在按前后布置的双管路制动系统的前后制动管路中,各设置一个制动压力调节分装置,分别对两前轮和两后轮进行一同控制。两前轮可以根据附着条件进行高选和低选转换,两后轮则按低选原则一同控制。

对于后轮驱动的汽车,可以在两前轮和传动系中各安装一个转速传感器。当在附着系数分离的路面上进行紧急制动时,两前轮的制动力相差很大,为保持汽车的行驶方向,驾驶人会通过转动转向盘使前轮偏转,以求用转向轮产生的横向力与不平衡的制动力相抗衡,保持汽车行驶方向的稳定性。但是在两前轮从附着系数分离路面驶入附着系数均匀路面的瞬间,原先处于低附着系数路面而抱死的前轮的制动力因附着力突然增大而增大,由于驾驶人无法在瞬间将转向轮回正,转向轮上仍然存在的横向力,将会使汽车向转向轮偏转方向行驶,这在高速行驶时是一种无法控制的危险状态。

图 1-12b 所示的双通道 ABS 多用于制动管路对角布置的汽车上,两前轮独立控制,制动液通过比例阀(P 阀)按一定比例减压后传给对角后轮。

对于采用双通道 ABS 控制方式的前轮驱动汽车,如果在紧急制动时离合器没有及时分离,前轮在制动压力较小就趋于抱死,而此时后轮的制动力还远未达到其附着力的大小,汽车的制动力会显著减小。而对于采用此控制方式的后轮驱动汽车,如果将比例阀调整到正常制动情况下前轮趋于抱死时,后轮的制动力接近其附着力,则紧急制动时由于离合器难以及时分离,导致后轮抱死,使汽车丧失方向稳定性。

由于双通道 ABS 难以在方向稳定性、转向操纵性和制动距离各方面得到兼顾,目前采用



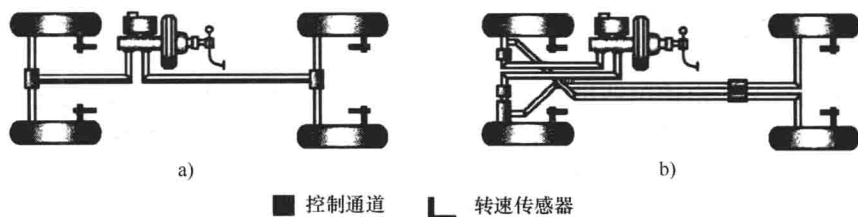


图 1-12 双通道 ABS

a) 前后型 b) 对角型

得很少。

### 5. 一通道式 ABS

一通道式 ABS 常称为单通道 ABS，它在后轮制动器总管中设置一个制动压力调节器，在后桥主减速器上安装一个轮速传感器(也有在两后轮上各安装一个)，如图 1-13 所示。

单通道 ABS 一般是对两后轮按低选原则进行一同控制。单通道 ABS 不能使两后轮的附着力得到充分利用，因而制动距离不会明显缩短。另外，前轮制动轮缸的压力并未进行控制，制动时前轮仍会出现制动抱死，因而转向操纵能力也未得到改善，但由于制动时两后轮并未抱死，能够显著地提高制动时的方向稳定性，在安全上是一大优点，加之具有结构简单、成本低廉等优点，所以目前单通道 ABS 在一些轻型载货汽车上仍广泛应用。

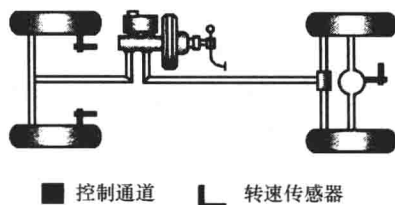


图 1-13 一通道式 ABS

## 三、按 ABS 的结构及原理分类

### 1. 液压制动系统 ABS

液压制动系统广泛应用于轿车和轻型载货汽车上，目前液压制动系统中装用的 ABS，按其液压控制部分结构原理的不同主要分为整体式、分离式和 ABS-VI 三种类型。其主要区别是：在整体式 ABS 中，制动压力调节器与制动主缸结合为一个整体，其结构更为紧凑，在美国生产的汽车上常装用整体式 ABS；在分离式 ABS 中，制动压力调节器与制动主缸分别为独立的总成，日本丰田公司各型车所装用的是分离式 ABS；ABS-VI 常用在美国通用公司生产的各型车和韩国大宇车上，它装用 3 个带控制阀的活塞泵(制动压力调节器)，两前轮各用 1 个，两后轮共用 1 个。

### 2. 气压制动 ABS

气压制动系统主要用于中、重型载货汽车上，所装用的 ABS 按其结构原理主要分为两种类型，即用于四轮后驱动气压制动汽车上的 ABS 和用于汽车、火车上的 ABS。

### 3. 气顶液制动系统 ABS

气顶液制动系统兼有气压和液压两种制动系统的特点，应用于部分中、重型汽车上。气顶液制动系统 ABS 按其结构原理又可分为两种类型，一种是通过气顶液动力缸输入空气压力来控制制动压力的 ABS，另一种是直接控制由气顶液动力缸输出到各车轮制动器的制动液压力的 ABS。



#### 四、按生产厂家分类

博世(BOSCH)ABS 由德国博世公司生产。戴维斯(TEVES)ABS 由德国戴维斯公司生产。上述两种是欧、美、日、韩轿车上装用最多的 ABS。德尔科(DELCO)ABS 由美国德尔科公司生产,在美国通用、韩国大宇等轿车上装用。本迪克斯(BENDIX)ABS 由美国本迪克斯公司生产,在美国克莱斯勒公司生产的汽车上装用最多。

以上 4 种 ABS 在轿车上应用最为广泛,而且每种 ABS 都在不断发展、更新和换代,因此,即使同一厂家,由于生产年代和装用车型的不同,ABS 的形式也可能不一样。有一些国家的生产厂家也生产其他形式的 ABS,其中有的是从上述厂家引进技术,并在此基础上进行单独开发或合作开发生产,有相当部分的 ABS 属于上述 4 种的某一变形。另外,还有德国的瓦布科(WABCO)公司,英国卢卡斯·格林(Lucas Girling)公司,日本本田住友(Honda Sumitomo)和美国凯尔塞·海斯(Kelsey Hayes)公司生产的 ABS,它们广泛装用在载货汽车或大型客车上。中国上海汽车制动系统有限公司生产的 ABS,是从 ITT 公司引进并合资生产的。

除上述分类方法外,还有其他分类方法。如按制动压力调节器调压方式可分为流通式和变容式等;按照控制车轮的数量不同,可分为两轮 ABS 和四轮 ABS;按照 ABS 是单独使用还是涵盖其他功能分为 ABS 式、ABS + ASR 式和 ABS + EBD + TCS + DSC + …式等。

### 第三节 防抱死制动系统(ABS)部件结构

防抱死制动系统(ABS)在汽车上的布置如图 1-14 所示。

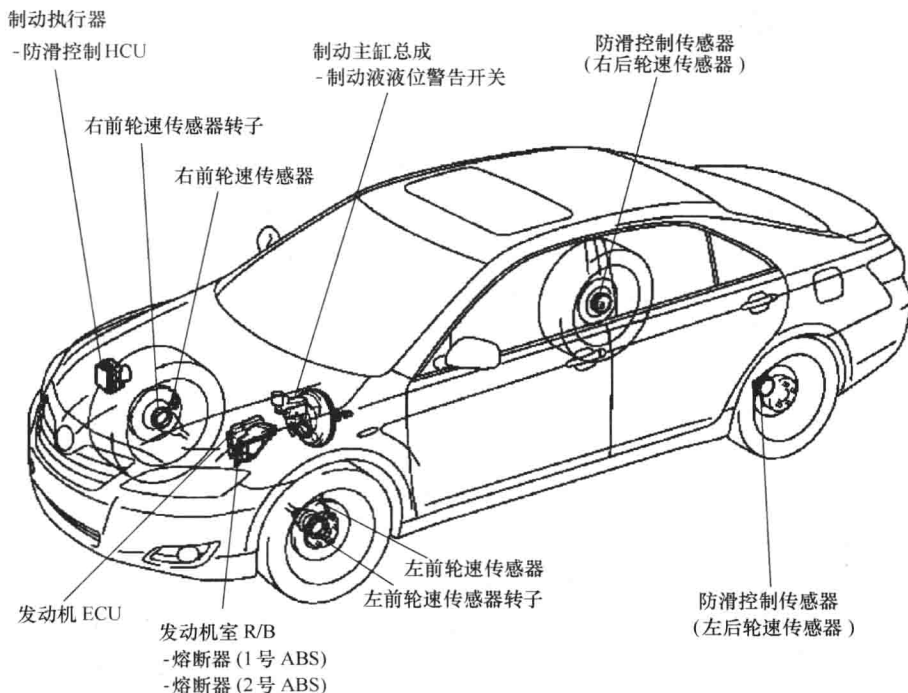


图 1-14 防抱死制动系统(ABS)在汽车上的布置