

本期引言：

随万安科技即将登陆 A 股市场，汽车制动系统相关的上市公司阵营进一步扩大。截至目前，A 股上市公司中汽车制动系统相关的主要公司已经达到 6 家以上，包括亚太股份、东风科技、万向钱潮、华域汽车、隆基机械、特尔佳等。

在上一期的“车闻天下”中，我们简单介绍了传统制动系统的类型、基本结构和工作原理，本期我们为您介绍制动系统领域的新技术，包括 ABS、EBD、BAS、TCS、ESP、EHB、EMB、IBS、EHC 等融合了电子控制的技术，并对这些令人目眩的缩写分类介绍，做出尽量清晰的梳理。由于上述上市公司部分涉及 ABS、ESP 甚至更新的制动技术，希望下文的介绍对您理解和分析行业和相关公司有所帮助。

汽车制动领域的新技术汇总介绍

由于传统简单制动系统在实际使用中存在很多问题，包括全力制动时车轮抱死、高速状态紧急变线导致车辆失控、传统液压制动系统从踩下制动踏板到油压完全建立有短暂的时间延迟、车辆起步时大马力汽车全油门加速会导致驱动轮打滑影响车辆加速性能和安全性等，因此从汽车诞生至今，工程师们对制动系统的改进和新技术研究一直没有停止过。ABS、ESP 等技术应运而生，EMB 等技术也快速发展。

实际上 ABS、TCS、ESP 等技术已经不能称为真正意义的“新技术”，这些技术，尤其是 ABS，已经在几十年前就在发达国家的汽车上大量装备。而 EHB、EMB 和 IBS 等技术，才是近年来工程师们重点研究的方向，这些技术往往采用了线控技术（BBW，brake-by-wire），系统反应更快，安全性更高，制动效果更好，但是还没有大规模使用。

表 1：汽车制动领域主要新技术汇总

分类	缩写	英文全称	中文	作用	类似系统 （或同种系统不同称谓）
基于传统制动系统的辅助系统	ABS	Antilock Brake System	防抱死制动系统	防止车轮制动时抱死	
	EBD	Electric Brake force Distribution	电子制动力分配	制动力分配，缩短制动距离	CBC、EBV
	BAS	Brake Assist System	制动辅助系统	检测紧急情况并使制动距离更短	EBA、BA
	ESP	Electronical Stability Program	电子稳定程序	防止汽车偏航	DSC、VSC、CST
	TCS	Traction Control System	牵引力控制系统	防止汽车起步和加速时驱动轮的滑转	ASR、TRC、ATC、PTM

基于线控系统 的制动技术	EH B	Electro Hydraulic Brake	电控液压制动系统	新型制动系统	SBC
	EM B	Electro Mechanical Brake	电控机械制动系统	新型制动系统	EWB
电子控制驻车 制动系统	EP B	Electric Parking Brake System	电子驻车制动系统	电子驻车	
	EH P	Electro-Hydraulic Parking Brake	电液驻车制动	电子驻车	
其他系统	IB S	Integriertes modulares Bremssystem	集成模块化制动系统	新型制动系统	
	EH C	Electric Hydraulic Combination Brake	电液混合制动系统	混合动力汽车用新型制动系统	

资料来源：现代汽车技术

我们在买车对比不同品牌配置单的时候可以发现，日系、德系、美系的车型一些时候除了 ABS 以外，其他制动安全系统的名称都不相同，实际上这只是叫法不同。例如同样是汽车动态控制系统，Alfa Romeo、Infiniti 称为 VDC，BMW、Jugear 和 Land Rover 称为 DSC，Mercedes-Benz、Chrysler、Citroën、Dodge、Opel 和 Peugeot 称为 ESP，Acura 称为 VSA，Ferrari 称为 CST，只是 ESP 的称谓使用最广，大家也最熟悉。

图 1：不同车型的制动系统配置差异很大

操控配置	宝马X6 2011款 xDrive50i	宝来 2011款 1.6L 手动 时尚型	比亚迪F0 2011款 1.0L 尚酷版炫酷型
ABS防抱死：	●	●	-
制动力分配 (EBD/CBC等)：	●	●	-
刹车辅助 (EBA/BAS/BA等)：	●	-	-
牵引力控制 (ASR/TCS/TRC等)：	●	●	-
车身稳定控制 (ESP/DSC/VSC等)：	●	-	-

资料来源：汽车之家

目前在轿车上比较成熟的技术主要是 ABS、ESP、TCS 等技术，这些技术的共同点是基于传统的液压/气压制动系统；而 EHB、EMB 等技术由于基于更为信息化的电子线控系统，目前尚未大规模普及。下面我们分别予以介绍。

基于传统制动系统的辅助系统

从 20 世纪初期防抱制动理论提出到 ABS 如今在汽车上大规模应用, ABS 经历了从机械制动压力调节——模拟电子控制装置——分离元件数字电子控制装置——大规模集成电路控制装置几个阶段, 20 世纪 80 年代 ABS 在西方得到广泛应用, 90 年代 TCS 使 ABS 更加完善, 现在的 ESP、EBD 和 BAS 将使汽车的制动技术和主动安全技术进入新的领域。

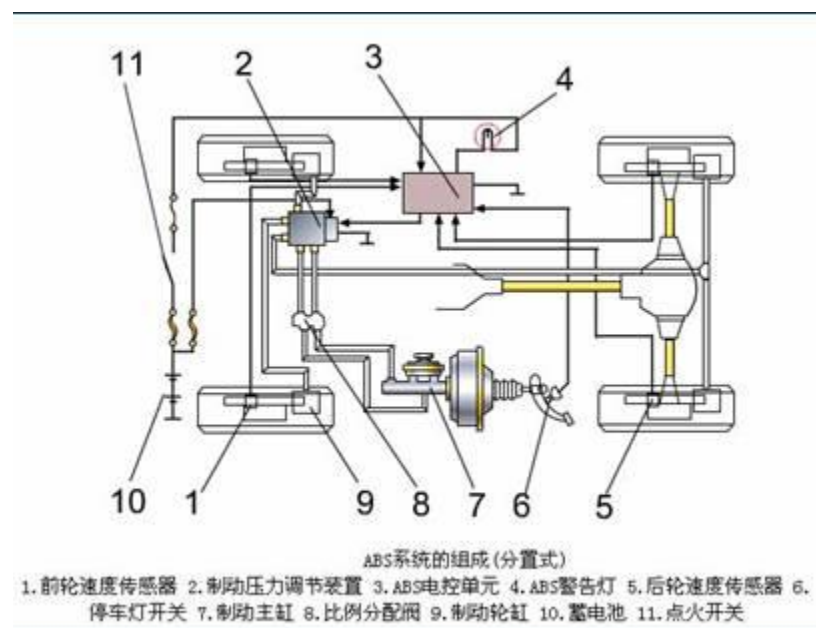
我们在这一部分主要介绍 ABS、EBD、BAS、TCS 和 ESP 的组成和工作原理。

ABS

在汽车制动时, 如果车轮抱死滑移, 车轮与路面间的侧向附着力将完全消失。如果只是前轮(转向轮)制动到抱死滑移而后轮还在滚动, 汽车将失去转向能力。如果只是后轮制动到抱死滑移而前轮还在滚动, 即使受到不大的侧向干扰力, 汽车也将产生侧滑(甩尾)现象。这些都极易造成严重的交通事故。因此, 汽车在制动时不希望车轮制动到抱死滑移, 而是希望车轮制动到边滚边滑的状态。

由试验得知, 汽车车轮的滑动率在 15%-20%时, 轮胎与路面间有最大的附着系数。所以为了充分发挥轮胎与路面间的这种潜在的附着能力, 目前在大多数车辆上都装备了防抱死制动系统(Anti-Block System 或 Antilock Brake System), 简称 ABS。

图 2: ABS 系统的组成(含传统制动系统)

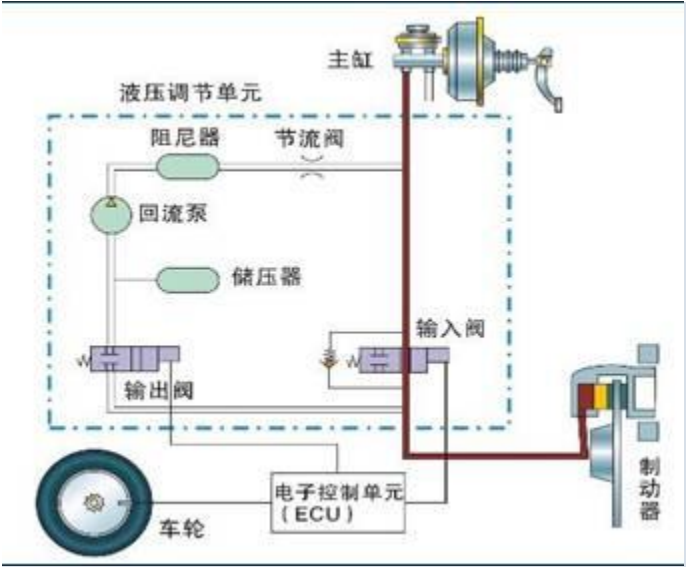


资料来源: Google 图片

工作原理: 制动过程中, ABS 电控单元(ECU) 3 不断地从传感器 1 和 5 获取车轮速度信号, 并加以处理, 分析是否有车轮即将抱死拖滑。如果没有车轮即将抱死拖滑, 制动压力调节装置 2 不参与工作, 制动主缸 7 和各制动轮缸 9 相通, 制动轮缸中的压力继续增大, 此即 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)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制动轮缸的通道, 使左前制动轮缸的

压力不再增大，此即 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储液室或储能器的通道，使左前制动轮缸中的油压降低，此即 ABS 制动过程中的减压状态。压力降低后，如果电控单元判断出左前轮已经处于正常滚动状态，说明制动力不足，仍有提高空间，这时电控单元将提高左前轮的制动压力，接近抱死状态时再度减小压力，如此反复，使该车轮始终处于即将抱死的边缘。这样既保持了最大的制动效果，同时又保持了车辆的控制能力。

图 3：ABS 油压调节器原理图

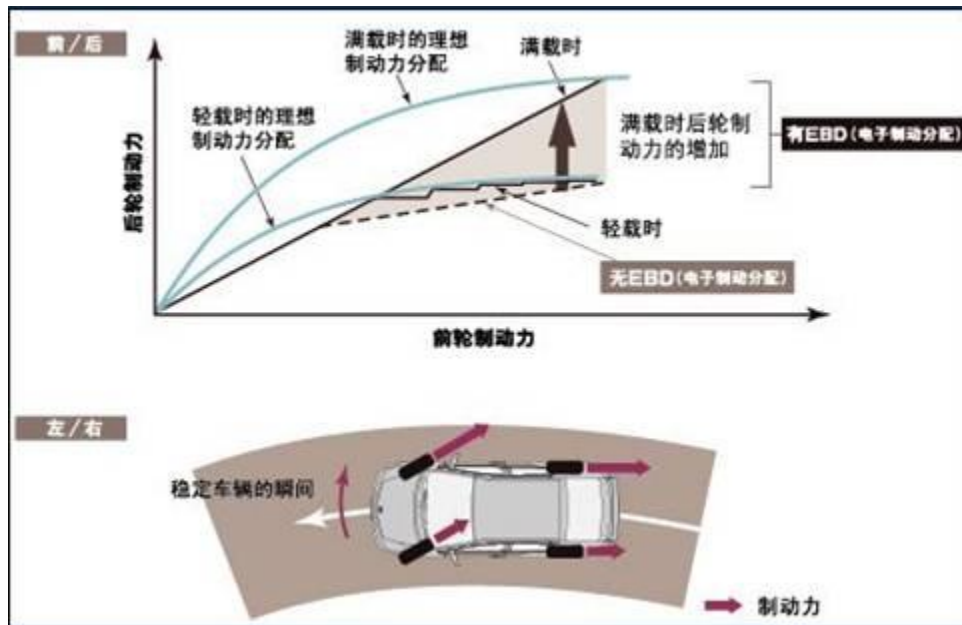


资料来源：Google 图片

EBD

EBD 的英文全称是“Electric Brake force Distribution”，即“电子制动力分配”。其德文缩写为 EBV，因此一些欧洲车型会采用 EBV 表示。

图 4：EBD 的作用原理



资料来源: Google 图片

在行驶制动过程中，四个车轮的工作环境千变万化，地面附着条件也往往不一样，制动时易发生跑偏、打滑、侧倾甚至车辆侧翻的情况。另外，制动时由于惯性作用，车辆重心前移，车身重量大部分由前轮承受，出现“点头”动作，这时前轮与地面的摩擦力大幅增长，而后轮由于垂直于地面的压力转移至前轮而摩擦力减弱，易出现甩尾，这样非常危险。

ABS 可以在一定程度上避免上述现象的发生，但由于 ABS 对后轮的控制始终以附着力较小的一侧（如行驶在泥水、冰雪路面的车轮）为基准调节点来进行调节，以保证两侧车轮制动力的平衡，追求的是制动稳定性。这样一来，附着情况好的一侧车轮制动力必将不能充分利用，使汽车总制动力减小，从而延长制动距离。虽然距离的延长可能只是微不足道的零点几米，但在紧急情况下这带来的也许是车毁人亡的结局。而 EBD 则不同，当紧急制动车轮抱死的情况下，可以在制动的瞬间经高速计算，不断调整 ABS 液压组件，在 ABS 动作之前就已经平衡了每一个轮的有效地面抓地力，即使四个车轮受到的制动力与其附着力匹配，以防止出现甩尾和侧滑，并缩短汽车制动距离。

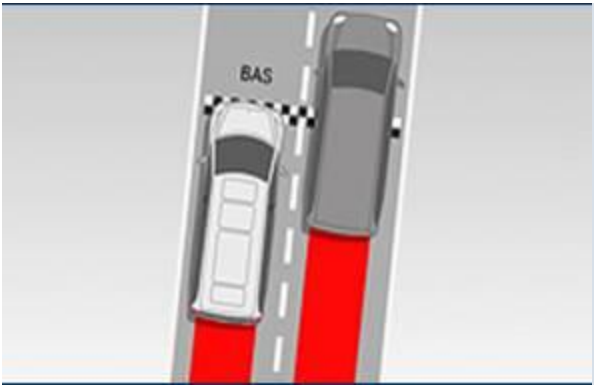
EBD 另外一个特性就是它的随动性。当车辆的载重或乘员数发生变化时，EBD 仍能根据各个车轮车速传感器采集的信号，主动、适时、合理地进行制动力的“智能”分配，从而保证制动过程中车辆的直线行驶状态和车身的稳定性，让危险夭折于萌芽状态。

同样，车辆在弯道制动时，因为弯道离心力使外侧车轮承受较大的车身自重及惯性载荷，这时 EBD 会增大外侧车轮的制动力，防止制动力突破轮胎与地面的抓地力而使车辆发生“自旋”。因此在安全指标上，EBD 更胜一筹。

BAS

由于大多数驾驶者在紧急情况下不能迅速而有力地采取制动措施，制动系统的最佳性能不能得到发挥，制动的距离会明显延长。

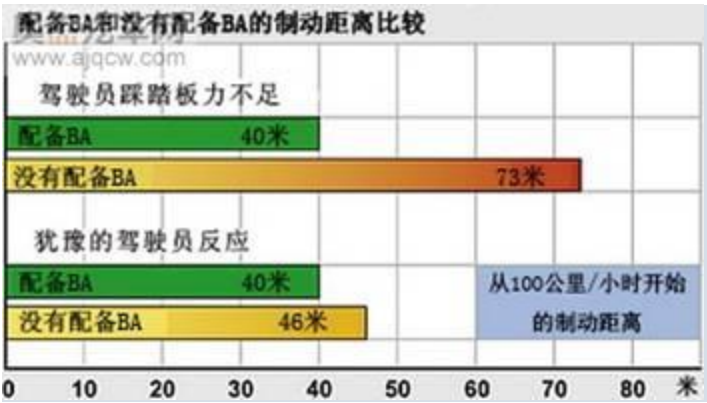
图 5: BAS 的效果示意图



资料来源: Google 图片

制动辅助系统(BAS)为有效的制动提供了必要的支持。通过持续地比较踩下刹车踏板的速度,系统就会识别出紧急制动情况。如果驾驶者受惊吓反应踩下制动踏板时速度比在控制单元中储存的正常值要快,那么制动辅助系统就自动起作用,建立最大的制动压力,使刹车减速度很快上升到最大值。在干燥的路面上,如果没有使用制动辅助系统,大多数测试者最多需要达 73 米的制动距离,才能把速度为每小时 100 公里的汽车完全停下。而利用这个系统时,仅仅经过 40 米后汽车就完全停下了。这相当于制动距离缩短大约 45%。

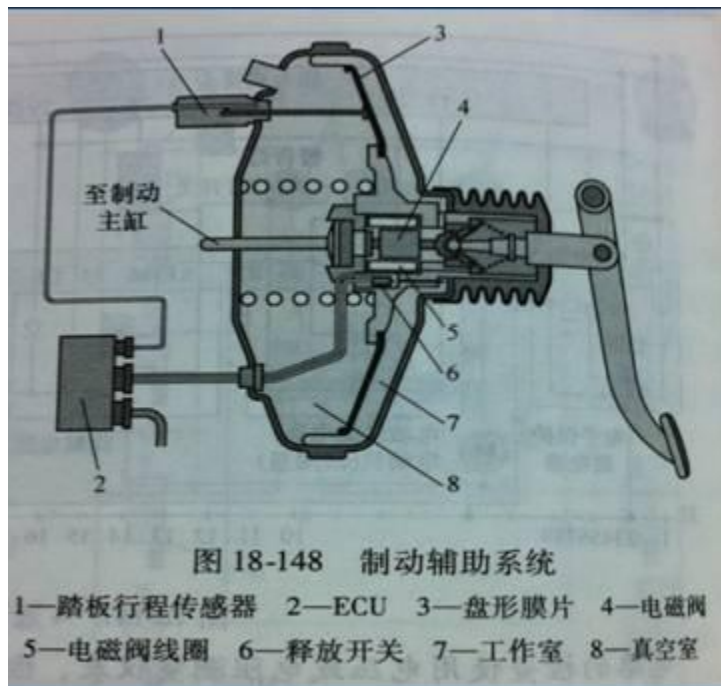
图 6: 有/无 BAS 的制动距离比较



资料来源: Google 图片

制动辅助系统主要包括以下部件: BAS ECU、踏板行程传感器、电磁阀和释放开关。

图 7：制动辅助系统的组成



资料来源：《现代汽车技术》

制动踏板的运动引起踏板行程传感器中电阻的变化，并将这一信号传给 BAS ECU。如果 ECU 检测到踏板被突然踩下，如紧急制动时，则给电磁阀通电，使制动助力器工作室通风，产生最大的助力（有关真空助力器的工作原理“车闻天下”第 11 期已经介绍过），从而实现紧急制动。ABS 系统防止了车轮抱死。只有在松开制动踏板并返回到其原始位置时，电磁阀才通过释放开关被关闭。

TCS

英文全称是 Traction Control System，即牵引力控制系统，又称循迹控制系统。汽车在光滑路面制动时，车轮会打滑，甚至使方向失控。同样，汽车在起步或急加速时，驱动轮也有可能打滑，在冰雪等光滑路面上还会使方向失控而出危险，TCS 就是针对此问题而设计的。

TCS 依靠电子传感器探测到从动轮速度低于驱动轮时（这是打滑的特征），就会发出一个信号，调节点火时间、减小气门开度、减小油门、降挡或制动车轮，从而使车轮不再打滑。TCS 可以提高汽车行驶稳定性，提高加速性，提高爬坡能力。TCS 如果和 ABS 相互配合使用，将进一步增强汽车的安全性能。TCS 和 ABS 可共用车轴上的轮速传感器，并与行车电脑连接，不断监视各轮转速，当在低速发现打滑时，TCS 会立刻通知 ABS 动作来减低此车轮的打滑。若在高速发现打滑时，TCS 立即向行车电脑发出指令，指挥发动机降速或变速器降挡，使打滑车轮不再打滑，防止车辆失控甩尾。

TCS 与 ABS 的区别在于, ABS 是利用传感器来检测轮胎何时要被抱死, 再减少制动器制动压力以防被抱死, 它会快速的改变制动压力, 以保持该轮在即将被抱死的边缘, 而 TCS 主要是使用发动机点火的时间、变速器挡位和供油系统来控制驱动轮打滑。

TCS 对汽车的稳定性有很大的帮助, 当汽车行驶在易滑的路面上时, 没有 TCS 的汽车, 在加速时驱动轮容易打滑, 如果是后轮, 将会造成甩尾, 如果是前轮, 车子方向就容易失控, 导致车子向一侧偏移, 而有了 TCS, 汽车在加速时就能够避免或减轻这种现象, 保持车子沿正确方向行驶。在 TCS 应用时, 可以在仪表板显视出地面是否有打滑的现象发生, 它有一个控制旋钮, 如果想要享受一下自己控制的快感, 在适当的时机可以将系统关掉, 车子重新启动时 TCS 就会自动放开。

ASR: ASR 驱动防滑系统也叫牵引力控制系统, 即 Acceleration Slip Regulation 的缩写。功能与 TCS 相同, 同样是为了防止车辆在起步、再加速时驱动轮打滑, 维持车辆行驶方向稳定性的系统, 叫法不同, 通常多在大众等德系车型上看到这个缩写。

TRC: TRC 功能与 TCS 相同, 此种叫法多出现于丰田、雷克萨斯等日系车型上。

ATC: 功能与 TCS 相同, Automatic Traction Control 的缩写, 自动牵引力控制, 又称为牵引力控制。

ESP

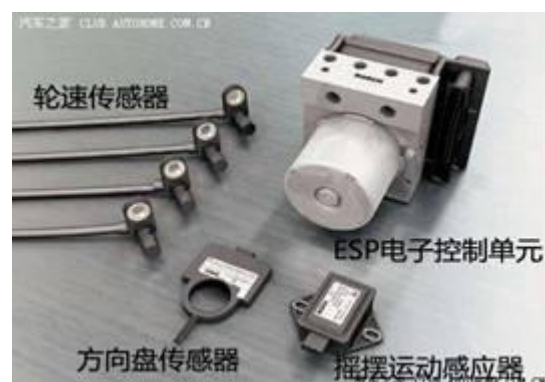
ESP 一般由转向传感器、车轮传感器、侧滑传感器、横向加速度传感器等组成, 它通过对这些传感器传来的车辆行驶状态信息进行分析, 然后向 ABS、TCS 发出纠偏指令, 来帮助车辆维持动态平衡, 它可以使车辆在各种状况下保持最佳的稳定性, 尤其在转向过度或转向不足的情形下效果更加明显。

图 8: ESP 系统组成



资料来源: Google 图片

图 9: ESP 主要部件



资料来源: Google 图片

图 10: ESP 整合了 ABS 和 TCS 的功能



资料来源: Google 图片

ESP 负责随时监控汽车的行驶状态，它能够通过自动地向一个或多个车轮施加制动力，甚至在某些情况下每秒进行 150 次制动，以把车子保持在司机所选定的车道内。目前它有 3 种类型：能自动向全体 4 个车轮独立施加制动力的四通道或四轮系统；只能对两个前轮独立施加制动力的双通道系统；能对两个前轮独立施加制动力而对后轮只能一同施加制动力的三通道系统。

图 11：有/无 ESP 的行驶状态对比



资料来源: Google 图片

ESP 与 ABS 及牵引力控制系统共同工作,但跟它们不同的是它不需要司机对它进行操作,而是根据实际情况自己作出反应。装上了 ESP 的汽车不再盲目服从司机,例如能纠正司机的过度转向和不足转向。比如:一辆汽车行驶在路滑的左弯道上,当过度转向开始使得车子向右甩尾时,ESP 的传感器感觉到了滑动,就迅速让右前轮制动,使汽车产生顺时针方向的转矩,而将汽车保持在原来的车道内;当不足转向使前轮驶离路面而丧失对地面的附着力时,四通道的 ESP 就让左后轮制动,由此产生逆时针方向的转矩使汽车回到正确路线上(如果车上装的是双通道的 ESP,则会使左前轮制动)。

ESP 对过度转向和不足转向感觉的灵敏度超过了世界上最优秀的赛车运动员。如今,有博世、电装(Denso)、Continental Teves、德尔福、Aisin Seiki 和 TRW 等 6 家汽车零部件供应商在生产 ESP。ESP 的工作以微型电脑的算法为依据。微电脑对来自几个传感器的信息进行评估。虽然各个厂家所用的软件不同,但它们的 ESP 都有下述硬件:

转向传感器:它监测转向盘旋转的角度,帮助确定汽车行驶方向是否正确。

车轮传感器:它监测每个车轮的速度,确定车轮是否在打滑。

侧滑传感器:它记录汽车绕垂直轴线的运动,确定汽车是否在打滑。

横向加速度传感器:它对转弯时产生的离心力起反应,确定汽车是否在通过弯道时打滑。

基于线控的制动技术

汽车的电子化、智能化、网络化是现代汽车发展的重要标志,随着消费者对汽车功能和性能要求的日益提高,汽车正在逐渐由机械系统向电子系统转换。随着电子技术和网络技术的发展,出现了更加高效、节能的线控技术(x-by-wire)。自 20 世纪 90 年以来,国外已开始了对车辆线控技术的研究。车辆线控系统采用新一代车载 Flexray 通讯网络,对包括驾驶员意图和车辆行驶状态等在内的,在线传感系统、能源动力系统(如 drive-by-wire)、制动系统(如 brake-by-wire)、转向系统(如 steer-by-wire)及悬架系统(如 Active Suspension)等进行统一协调、管理和控制,实现资源和信息共享以及车辆行驶性能综合最佳控制的目标。

目前通常提到的 Brake-by-wire 线控制动系统包括电控液压制动系统 EHB(Electro Hydraulic Brake)和电控机械制动系统 EMB(Electro Mechanical Brake)两种。Brake-by-wire 系统以电子元件替代了部分机械元件,以电能为能量来源,由传感器感知驾驶员操作,由控制器识别驾驶员意图,由电控执行器完成制动操作。这种新型制动系统弥补了传统制动系统原理和设计带来的不足,能充分利用路面附着,提高制动效率。

EHB

EHB(Electro-Hydraulic Brake)即线控液压制动器,是在传统的液压制动器基础上发展而来的。EHB 用一个综合的制动模块来取代传统制动器中的压力调节器和 ABS 模块等,这个综合制动模块就包含了电机、泵、蓄电池等等部件,它可以产生并储存制动压力,并可分别对 4 个轮胎的制动力矩进行单独调节。

比传统的液压制动器,EHB 有了显著的进步,其结构紧凑、改善了制动效能、控制方便可靠、制动噪声显著减小、不需要真空装置、有效减轻了制动踏板的打脚、提供了更好的踏板感觉。由于模块化程度的提高,在车辆设计过程中又提高了设计的灵活性、减少了制动系统的零部件数量、节省了车内制动系统的布置、空间。可见相比传统的液压制动器,EHB 有

了很大的改善。但是 EHB 还是有其局限性，那就是整个系统仍然需要液压部件，其基本的还是离不开制动液。

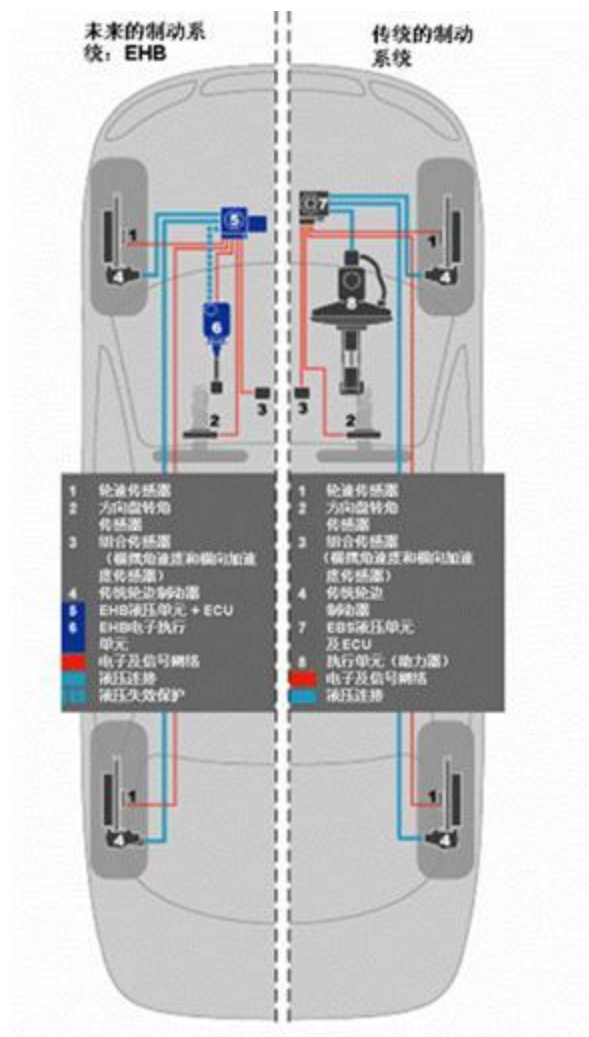
图 12：博世 EHB 制动系统控制器



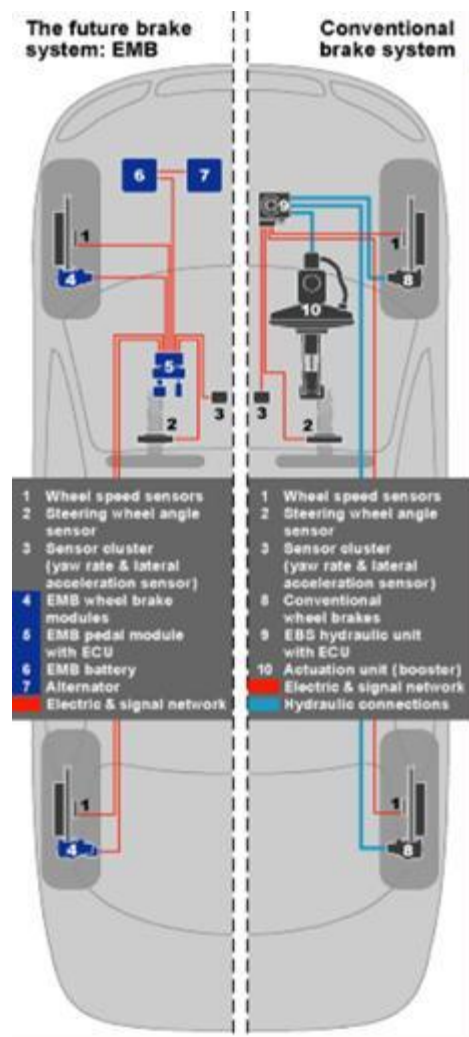
资料来源：Bosch

图 13：EHB 制动系统与传统制动系统比较

图 14：EMB 制动系统与传统制动系统比较



资料来源: Google 图片



资料来源: Bosch

EMB

如果把 EHB 称为“湿”式 brake-by-wire 制动系统的话，那么 EMB 就是“干”式 brake-by-wire 制动系统。EMB 是 Electromechanical Brake 的英文简称，它和 EHB 以及 HB 的最大区别就在于它不再需要制动液和液压部件，制动力矩完全是通过安装在 4 个轮胎上的由电机驱动的执行机构产生。因此相应的取消了制动主缸、液压管路等等，可以大大简化制动系统的结构、便于布置、装配和维修，更为显著的是随着制动液的取消，对于环境的污染大大降低了。

图 15: EMB 制动器



资料来源: Google 图片

EMB 起先是应用在飞机上的, 如美国的 F-15 战斗机就采用了 EMB 制动器, 后来才慢慢转化运用到汽车上来。EMB 与传统的制动系统有着极大的差别, 其执行和控制机构需要完全的重新设计。其执行机构需要能够把电动机的转动平稳转化为制动蹄块的平动、需要能够减速增矩、需要能够自动补偿由于长期工作而产生的制动间隙等, 而且由于体积的限制其结构也必须巧妙和紧凑, 是整个 EMB 系统中非常重要的组成部分; 其控制部分也要求能精确控制电动机的转速和转角从而防止制动抱死。

最近几年一些国际大型汽车零配件厂商和汽车厂进行了一些对于 EMB 制动系统的研究工作, 也申请了一部分专利, 主要参与竞争的公司有: Conti-nental Teves、Siemens、Bosch、Eaton、Allied Signal、Delphi、Varity Lucas、Hayes 等等, 而国内在此项目上的研究基本为空白, 仅有二汽、清华大学和南京航空航天大学进行了一些相关的研究工作。

EMB 包含了所有制动和车辆稳定功能, 例如 ABS, EBD, TCS, ESP, BA, ACC 等。即使在 ABS 工作时, 也可以做到真正的悄无声息。EMB 的主要部件包括: 四轮制动模块、电控单元、带有踏板感觉模拟器和驾驶员意图监测传感器的电子踏板模块等。

相比传统制动系统, EMB 有如下优势:

缩短制动距离, 优化车辆稳定性

得益于可调踏板, 舒适性和安全性都更胜一筹

即使在 ABS 启动后也没有踏板抖动的感觉

绝对安静

保护环境, 没有制动液

改善耐撞性

节省空间, 零件更少

组装简单

能够达到所需全部制动及车辆稳定性功能, 例如 ABS, EBD, TCS, ESP, BA, ACC 等

易于和未来的交通管理系统联网

便于集成诸如电子驻车制动等其他附加功能

但是, EMB 系统由于发展时间较短, 同样存在如下亟待解决的问题:

如果系统线路出现断路或者电源出现故障，制动系统应该如何动作？如果制动踏板模拟器出现故障该如何处置？因此需要加强系统可靠性和意外事故保险方面的研究力度。由于在高速制动过程中产生大量的热量，因此需要加强系统的热稳定性和散热性能。需要反复实验验证驱动电机和其它部件在高温条件下的工作性能和稳定性。

- 电制动系统采用大量的电控技术就难以避免有大量的电子电路，又由于车辆工况复杂而且在外部暴露的电磁场和地球磁场环境中工作，这就需要加强电制动系统的抗干扰能力。

- 驱动电机动作需要消耗大量的电能，这是对目前车辆使用的 12v 电源的一个考验，未来将采取 42V 的电压来为系统提供能量。

- .. 目前车辆 EMB 制动系统还要加强与其它现行车辆电控系统的整合，最好可以形成一体化、模块化的底盘控制系统，对车辆进行综合控制。

- 由于采用了大量的传感器、控制芯片和新的技术，使得目前电制动系统的成本比现有的液压制动系统成本高，因此降低系统的使用成本也是当前需要解决的问题。

电子控制驻车制动系统

电子控制驻车制动系统主要包括 EPB（电子驻车制动系统）和 EHP（电液驻车制动系统）两大类。

EPB

EPB（电子驻车制动）由一个电子控制器和一个机电式中央执行器构成，此执行器通过钢缆驱动盘毂结合式制动器或组合制动钳。与传统的驻车制动器相比，EPB 的优势包括：提高操作安全性；操作更加简便；没有手柄或踏板；具有诊断系统；减少安装工作量；操作状态的初始化非常简单；若行车制动系统失效后，仍可发挥其紧急制动的功能；EPB 的紧急制动功能通过行车制动功能和 ESP 相关联等。

目前电子驻车系统已经逐步安装在中高端乘用车上，例如宝马 5 系、迈腾、CC 等大众中高级轿车已经安装了此类系统。

图 16：电子驻车制动系统 EPB

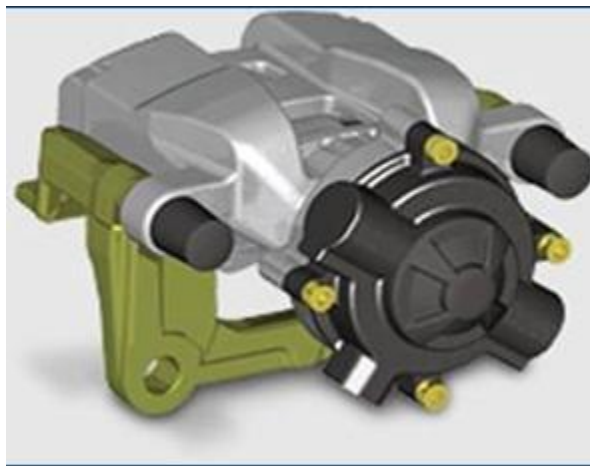


资料来源：Google 图片

EHP

EHP 集成在制动钳上，是一种更节约空间的 EPB 系统。它包括一个可独立建立制动油压的电子制动系统 EBS 和一个电控组合钳（FNec）。该组合钳的特点是通过电子制动系统 EBS 建立制动预压力，然后通过机电方式锁紧。主要优点是省去了所有的机械传动单元 重量轻，优化的封装方式。

图 17：电液驻车制动系统 EHP



资料来源：Google 图片

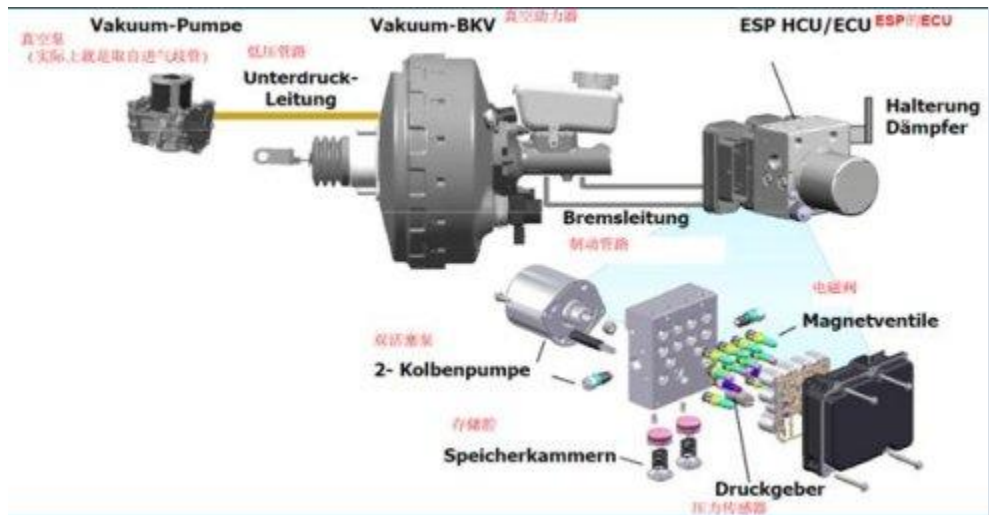
其他新技术

除了上述技术以外，现在还出现了 IBS、EHC 等技术。下面我们简单介绍 IBS 系统的工作原理。

IBS

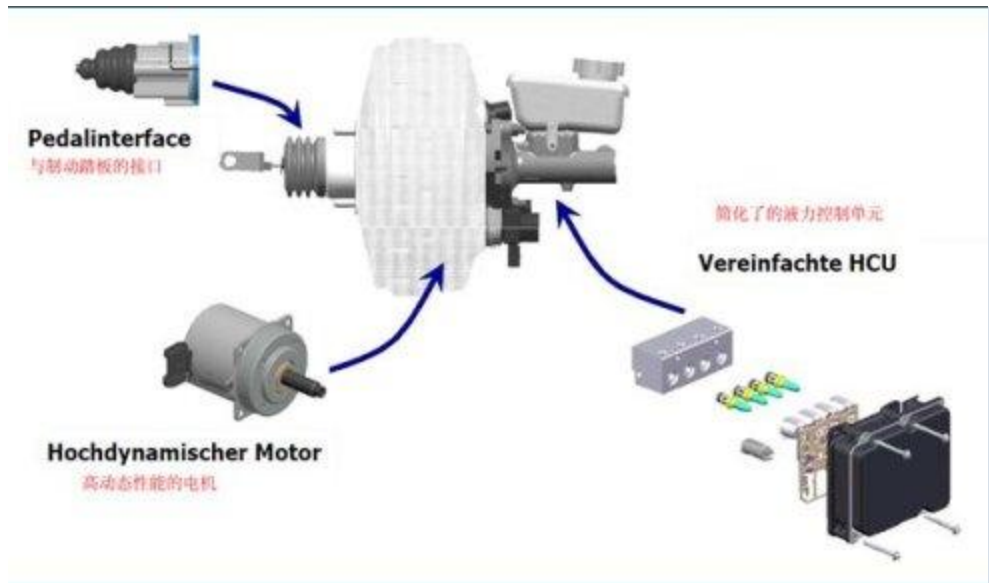
IBS（集成模块化制动系统）实际上也是采用液压制动的原理，但是与传统 ESP 系统相比，IBS 系统更紧凑，质量和体积明显减小。此外采用高动态性能电机控制油压，控制精度远好于通过真空助力泵的控制效果。在助力器失效的情况下，IBS 系统的初始踏板阻力大幅低于传统真空助力制动系统，安全性大幅提高。IBS 系统更适合工业化模块化生产，因为 IBS 用电机取代了真空助力系统，因此可以做成几个等级的电机平台，同时提供若干个 ECU 和踏板，从而获得不同的组合，因此成本更有优势。

图 18：传统 ESP 系统的典型组成



资料来源: LSP

图 19: IBS 系统用电机替代真空助力系统, 大幅简化了系统结构



资料来源: LSP