

投资评级：看好（首次）  
证券研究报告|行业专题报告  
汽车零部件  
2025年12月15日



# 线控制动/转向： 法规渐松绑，有望加速步入放量周期

证券分析师

姓名：李泽

资格编号：S1350525030001

邮箱：lize@huayuanstock.com

证券分析师

姓名：陈嵩

资格编号：S1350525070005

邮箱：chensong@huayuanstock.com

证券分析师

姓名：秦梓月

资格编号：S1350525070008

邮箱：qinziyue@huayuanstock.com



## ◆ 线控底盘追求人机解耦是实现L3/L4的基础，仅考虑国内线控底盘2030年市场规模有望突破千亿

- 线控制动/转向（二者门槛高+内外资差距收窄+低渗透→国产供应商或大有可为）、线控悬架（高ASP+低渗透，技术难度与高阶智驾相关性弱于转向/制动）是值得重点关注的方向；
- **线控底盘今年主要变化是制动与转向的强标/强标征求意见稿制定完成**，有望为电子机械制动（EMB）及线控转向（SBW）的量产厘清障碍；26年有望实现合规的量产落地。
- 线控制动/转向对于改善驾驶体验&保障智驾安全都有重要意义，**可能阶段性复刻激光雷达的定位——不只是高阶智驾车型需要，还是重要安全件**；二者对于AEB/泊车等功能的促进也可能是车企宣传亮点，价格带下沉的速度可能超市场预期。

## ◆ 关于线控制动：法规允许EMB 26年1月开始正式上车

- 制动系统可划分为控制/供能/传动/制动装置，升级过程就是各结构件的电子化过程；线控制动根据动力传输系统是否依赖液压系统划分为EHB（电子液压）/EMB；
- 关于EHB：可以细分为泵驱EHB和电机直驱EHB两类，后者主流；电机直驱EHB中的one-box性价比突出；**对于L3及以上级别，基于one-box实现，刚需独立制动单元（RBU）**。
- EMB执行机构完全依赖电机，无需液压，较之EHB有多方面优势（如制动时间缩短/部件轻量化&灵活部署/各车轮可独立精确控制），但也存在安全冗余、电压、散热等多方面上车难题，门槛不低。25年受益法规松绑，EMB国内量产/出海或已无障碍；**今年年底到明年年初可以期待搭载EMB车型批量发布**。
- 市场规模&格局：预计2030年国内制动市场500亿规模，EMB 164亿；如考虑海外+Robotaxi，市场规模有望进一步扩大；国内厂商量产节奏与博世等海外巨头接近，有望分庭抗礼。

## ◆ 关于线控转向：法规认证尚不明细，但年内或可期待新的政策催化

- 已是乘用车标配的EPS按照电机位置可划分为C/P/DP/R-EPS 4类；助力范围&精度不一，适配不同车重/成本车型。
- SBW转向轮解耦方向盘，电机从助力机构变成独立执行机构，转向系统完全由算法接管；SBW是L4/5去方向盘的基础。
- SBW上车痛点在于控制算法要求高/路感模拟器优化难度大/冗余要求高等；且SBW还没有类似EMB上车标准的国标颁布；但年内可以期待新的政策催化；量产车型来看，蔚来ET9已经认证上车，海外采埃孚26年将配套奔驰欧洲车型。体验上SBW不只是L4/5的刚需，其对于座舱空间的释放/灵活转向带来的操作体验提升/转弯半径缩小都可能成为卖点。
- 市场规模&格局：预计2030年国内转向系统500亿市场，SBW 215亿；如考虑Robotaxi+海外，预计市场规模将进一步扩张；格局方面，以耐世特/浙江世宝为代表的国内厂商有望挑战博世/采埃孚的市场地位。

## ◆ 风险提示：法规进展不及预期风险；竞争格局恶化风险；汽车下游销量不及预期风险；技术成熟度不及预期风险。

- ◆ 底盘多域融合的未来：往更长远的技术趋势看，下一代智能底盘将打破传统系统边界，例如通过“角模块”实现制动、驱动、转向的高度集成，从根本上解决早期智能汽车存在的操控迟滞、点头效应等问题；
- ◆ 建议关注：具有底盘全域平台化能力的优质龙头Tier1&上游的电机/丝杆，例如：耐世特、浙江世宝、伯特利、拓普集团、五洲新春、北特科技、斯菱股份、双林股份等。

图表1：线控制动/转向相关核心标的估值表

大类	证券代码	证券简称	市值（亿元）	收入（亿元）			归母净利润（亿元）			PE			PS		
				2024A	2025E	2026E	2024A	2025E	2026E	2024A	2025E	2026E	2024A	2025E	2026E
智能底盘优质Tier1	688326.SH	经纬恒润-W	112	55	71	88	-5.5	0.4	2.4	-20.4	307.4	47.0	2.0	1.6	1.3
	603596.SH	伯特利	281	99	127	159	12.1	14.2	18.2	23.3	19.7	15.5	2.8	2.2	1.8
	1316.HK	耐世特	140	307	318	338	0.6	1.3	1.7	226.7	106.8	81.5	0.5	0.4	0.4
	1057.HK	浙江世宝	30	27	35	44	1.5	2.7	3.8	19.9	11.0	7.8	1.1	0.8	0.7
	002284.SZ	亚太股份	92	43	54	65	2.1	4.2	5.3	43.0	21.7	17.3	2.2	1.7	1.4
	601689.SH	拓普集团	1201	266	306	369	30.0	29.9	37.2	40.0	40.1	32.3	4.5	3.9	3.3
丝杆/电机	603667.SH	五洲新春	187	33	36	42	0.9	1.3	1.8	204.3	138.7	103.0	5.7	5.1	4.5
	603009.SH	北特科技	144	20	24	29	0.7	1.2	1.7	201.5	120.2	83.8	7.1	6.1	5.0
	301550.SZ	斯菱股份	256	8	9	11	1.9	2.2	2.5	134.9	118.7	101.2	33.1	27.6	22.7
	300100.SZ	双林股份	216	49	56	66	5.0	5.3	6.4	43.5	40.7	33.6	4.4	3.8	3.3
	300660.SZ	江苏雷利	222	35	43	52	2.9	3.6	4.4	75.4	61.4	50.1	6.3	5.2	4.3
	605133.SH	嵘泰股份	93	24	31	38	1.6	2.5	3.2	56.8	37.5	28.8	3.9	3.0	2.5
	688160.SH	步科股份	94	5	7	9	0.5	0.8	1.0	192.4	119.1	92.2	17.2	13.4	10.5
	603119.SH	浙江荣泰	352	11	15	23	2.3	3.1	4.6	152.8	114.4	76.4	31.0	23.0	15.5

# 主要内容

---

1. 线控底盘追求人机解耦是实现L3/L4的基础
2. 关于线控制动：法规允许EMB 26年1月开始正式上车
3. 关于线控转向：法规认证尚不明细，但年内或可期待新的政策催化
4. 关注具有底盘全域平台化能力的优质龙头Tier1 & 上游的电机电机/丝杆

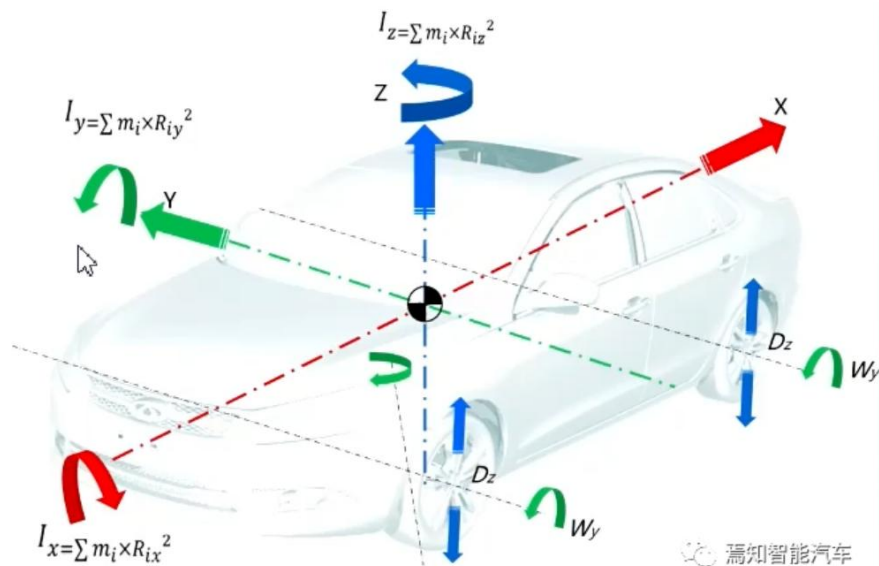


# 汽车底盘根据自由度可划分为驱动/制动、转向、悬架等多个子系统

**汽车底盘：**支承、安装汽车发动机及其各部件、总成，形成汽车的整体造型，并接受发动机的动力，使汽车产生运动，保证汽车能正常行驶。底盘系统的组成部件繁多，除了驱动、转向和制动等系统以外，还包含车身、离合器等部件；但如果仅站在六个自由度控制的角度，底盘系统可以细化成以下几个子系统：

- **x轴-驱动系统：**将发动机发出的动力传给驱动车轮推动汽车行驶；包括离合器、变速器、传动轴、万向节、主减速器、差速器和驱动半轴等。
- **x轴-制动系统：**1) 行车制动装置：驾驶人用脚踏板操纵的制动装置，在行车中经常使用；2) 驻车制动装置：驻车制动装置是驾驶人用手操纵的制动装置，主要用于停车后防止汽车滑溜。在行车制动装置失效时或在坡道上起步时，临时可用驻车制动装置。
- **y轴-转向系统：**把来自于传动系的转矩转化为地面对车辆的牵引力；承受外界对汽车的各种作用力和力矩；减少振动，缓和冲击，保证汽车正常、平顺地行驶；由转向盘、转向柱、转向机、转向助力机构等组成。
- **Z轴-行驶系统：**把来自于传动系的转矩转化为地面对车辆的牵引力；承受外界对汽车的各种作用力和力矩；减少振动，缓和冲击，保证汽车正常、平顺地行驶；由车架、车桥、车轮和悬架等组成。

图表2：汽车底盘的xyz轴划分



图表3：汽车底盘不同方向的子系统&组成

自由度	底盘子系统
纵向自由度（前后运动）	驱动系统
横向自由度（左右运动）	制动系统
垂向自由度（上下运动）	转向系统
	悬架系统



图表4：整车不同系统分拆





**区别：**机械底盘主要依靠机械、液压/气动等硬件连接操控；线控底盘通过电子化、电控化取代硬件连接操控车辆；滑板底盘是集成度更高的线控底盘，完全实现上下车体解耦；

**一句话总结：**线控底盘/智能底盘就是以电信号代替机械装置实现对车辆的精确控制，核心是人机解耦。

图表5：不同类型底盘的异同

类 别	机械底盘	线控底盘	滑板底盘
基本原理	承载、连接发动机及其部件、总成使汽车运动并按司机的操纵正常行驶	将驾驶员操作转变为电信号并通过信号线传递至执行机构从而实现车辆控制	形态长得像滑板，实现了“线控+三电+车身”一体化，底盘系统高度集成化
车身结构	轿车、城市SUV为承载式车身底盘，越野车、火车、客车为非承载式车身底盘		非承载式车身结构（车身和底盘分开）
系统组成	传动系、行驶系、转向系和制动系	线控转向、制动、驱动、悬架、换挡	集成整车动力、制动、转向、热管理和三电
作用方式	通过机械、液压/气动等硬件操控	信号通过线束传递至执行器的控制方式	属于线控底盘的一种，多通过软件调整方式控制
作用主体	驾驶员	电子系统（智能驾驶、自动驾驶）	
主要特点	由驾驶员直接操控	人机解耦，可有电子系统控制	车身与底盘解耦、底盘高度集成、接口标准化
核心优势	成熟、安全、可靠	响应速度快、控制精准高	开发成本低、底盘通用化、上装空间大

资料来源：通渠有道、济驭、同铃科技、华源证券研究所

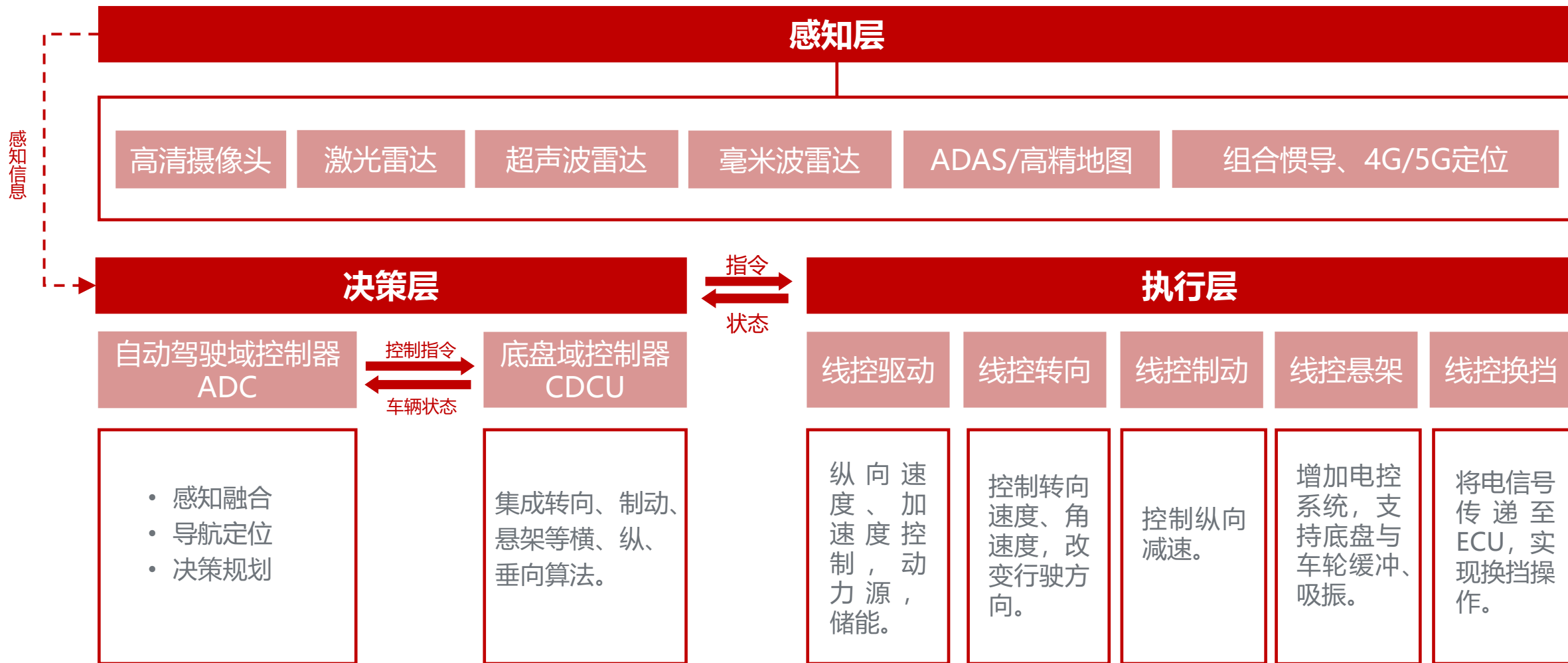


## 线控底盘由线控转向、驱动、制动、悬架等5个部分组成

自动驾驶域控制器是自动驾驶汽车的“大脑”、底盘域控制器是“小脑”；五大线控系统则视为自动驾驶汽车的“手和脚”。

“快速响应+精确控制+软硬件解耦”是实现高阶智驾的基础，催生底盘线控化需求。

图表6：智能驾驶的感知/决策/执行层概况



线控制动、转向、悬架是最有潜力的三个方向：机械线控驱动已是标配；线控换挡ASP低；二者技术也相对成熟；线控制动、转向技术门槛最高，且内外资基本是同一起跑线；国产替代空间大；线控悬架属于高ASP大单品且渗透率低，技术难度略低于转向、制动。

图表7：针对底盘不同环节的线控化情况比较

类目	线控制动	线控转向	线控驱动	线控换挡	线控悬架
主要作用	通过电机助力实现行车制动，可根据驾驶意图实现不同的减速控制	通过电机助力实现车辆转向，可根据驾驶意图实现不同的转角控制	通过线束控制信号，向驱动系统发送纵向速度/加速度控制	档位传感器通过信号线传递换挡要求，实现各个档位的切换	控制器通过信号线控制，时刻调整悬架阻尼特性
量产时间	2013年	2013年	1988年	1991年	1984年
渗透率	<20%	<1%	100%	25%	<3%
单车价值	1600-4000元（含EMB）	4000元	300元（不含电机）	200-300元	10000元
开发难度	高	高	低	低	较高
技术特点	技术门槛最高，成长期	技术门槛最高，导入期	技术较为成熟，燃油车基本标配，新能源车全配		技术门槛较高，成长期
竞争情况	外资产品开发早，成熟度高于国内供应商产品，以国际Tier1为主，（ECU、电机、传感器），自主与外资供应商差距不断缩小，国产替代潜力大		国外供应商配套时间长，占主导地位，国内企业参与度较低，格局稳定	国外供应商起步早、经验足、占主导，国内供应商主要配套中国品牌	国外供应商起步早、产品成熟，国内供方有供应链、成本和响应优势
国外供方	博世、大陆、采埃孚-天合等	耐世特、博世、捷太格特、采埃孚-天合等	博世、大陆、日产、德尔福等	采埃孚-天合、康斯博格、斯通里奇、富士机工等	大陆、威巴克、AMK、倍适登、采埃孚等
国内供方	伯特利、华城、拓普、亚太、拿森、同驭、格陆博、万安、长城精工	长城精工、联创电子、拓普集团等	宁波高发、隆盛科技、奥凯电子、凯众股份等	东风康斯博格、高发、奥联电子、重庆青山	拓普、中鼎、保隆、京西集团、孔辉科技等



今年最大的变化是线控制动/转向的强标均已制定完成，EMB/SBW的量产障碍基本厘清：关于EMB技术要求&试验方法的强标已经出台，26年1月1日开始正式实施；目前已经有车型在预热EMB上车（比如东风风行星海V9）；关于SBW也已于2025年7月31日出台了征求意见稿；明确了全自动转向失效之后，车辆需要具备可控的减速和停车能力。车辆还应能够通过其他辅助系统实现部分转向功能；比如能紧急靠边/制动；关于如何实现SBW冗余才算合规，可能还需要补充条例进一步厘清；预计年内可能有专门针对转向的协同法规出台。

图表8：25年完全的线控制动/线控转向迎来法规松绑

等级	标准号/归口	标准名称	进度	核心点
国标	GB 17675-2021	汽车转向系基本要求（代替GB17675-1999）	2022.1实施	允许转向系统方向盘与转向器之间的物理解耦
	国标GB/T 43947-2024	低速线控底盘通用技术要求	2024.11实施	适用车速≤25km/h的纯电非道路无人车线控底盘
	GB 21670-2025	《乘用车制动系统技术要求及试验方法》国家标准	2026.1实施	规定了乘用车制动系统的技术要求和试验方法
	GB 17675-2025征求意见稿	《汽车转向系基本要求》 代替GB 17675-2021	26H1有望出台正式稿	规定了线控转向失效后需要通过其他辅助系统实现部分转向功能
行标	JT/T 1285—2020	危险货物道路运输营运车辆安全技术条件	2024.5第1号修改单（征求意见稿）	危化半挂牵引车及总质量≥3500kg货车装ESC
	JT/T1178.1—2018	营运货车安全技术条件第1部分：载货汽车		2020.5起，车速≥90km/h牵引车、挂车配EBS
	JT/T 1178.2—2019	营运货车安全技术条件第2部分：牵引车辆与挂车		2021.5起，牵引车标配ESC，重卡载货车配ESC
团标	T/SSITS 2001-2022	低速无人车移动底盘通用技术条件	2023.1实施	适用车速≤50km/h的纯电非轨道无架线线控底盘
	T/CAAMTB 85-2022	商用车电子机械制动卡钳总成性能要求及台架试验方法	2022.9 实施	适用M3、N2、N3类车辆用行车制动器总成
	T/CAAMTB 112-2023	智能商用车线控底盘（接口）技术规范（中国汽车工业协会）	2023.5实施	规定了软件架构、控制需求描述和技术要求等
	T/CAAMTB	乘用车电子机械制动卡钳总成性能要求及台架试验方法	2024.3立项	乘用车EMB标准启动会
	T/CAAMTB	乘用车电子机械制动卡钳总成耐久性能要求及台架试验方法	2024.3立项	乘用车EMB标准启动会
	T/CSAE 284.1-2022	自动驾驶乘用车线控底盘性能要求及试验方法第1部分：驱动系统	2022.12发布	线控驱动系统的一般要求、性能要求及试验方法
	T/CSAE 284.2-2022	自动驾驶乘用车线控底盘性能要求及试验方法第2部分：制动系统	2022.12实施	线控制动系统的一般要求、性能要求及试验方法
	T/CSAE 284.3-2022	自动驾驶乘用车线控底盘性能要求及试验方法第3部分：转向系统	2022.12实施	线控转向系统的一般要求、性能要求及试验方法
	T/CSAE	乘用车智能底盘域控制器接口规范（中国汽车工程学会）	2023.12立项	规定了底盘域控制器的接口规范和功能安全要求
		乘用车底盘域控制器功能安全要求及试验方法（中国汽车工程学会）	计划2024年4月完成征求意见稿，10月报批发布	乘用车底盘域控制器功能安全要求及试验方法
	T/ZJSAE 014-2023	分布式驱动线控底盘通用技术条件（浙江省汽车工程学会）	2023.10发布	以轮毂/轮边电机为唯一动力源的线控底盘要求
	T/ZJSAE 015—2023	商用车线控电液转向器技术条件与试验方法（浙江省汽车工程学会）	2023.10实施	适用于商用车线控电液转向器
	T/ZJSAE 020—2024	车用线控转向路感模拟器技术要求及试验方法	2024.8实施	对空载波动、传感器特性等做了详细要求
	T/GAEP A 003-2024	线控转向技术要求和试验方法（广东省汽车智能网联发展促进会）	2024.6实施	确定了乘用车线控转向的系统性能和功能性要求
	T/CI	智能线控底盘系统通用技术要求（中国国际科技促进会）	2024.8征集参编单位	未知
	T/CI	能线控底盘智能化等级评价导则（中国国际科技促进会）	2024.8征集参编单位	未知

资料来源：通渠有道、济驭、同铃科技、华源证券研究所

**乘用车+商用车智能底盘2030年市场规模有望逾千亿：**根据通渠有道/济驭/同铃科技等测算，线控底盘2030年乘用车+商用车市场规模有望达到1100亿以上，其中乘用车有望达到1066亿市场规模（25-30年37%的CAGR）；

**低速装备市场（无人车主要指末端配送车辆，专用车主要指环卫车、港口集卡和宽体自卸车）市场规模有望逾170亿：**无人车+专用车2030年有望达到174亿市场规模（25-30年41%的CAGR）。

图表9：25年完全的线控制动/线控转向迎来法规松绑

类目		2025E	2030E
中国汽车销量规模（万辆）		3200	3800
线控底盘渗透率		5%	30%
线控底盘销量（万辆）		160	1140
乘用车	销量（万辆， 占总销量85%）	2720	3230
	线控底盘渗透率	5%	33%
	线控底盘销量（万辆）	136	1066
	线控底盘单车价值（万元/车）	1.6	1.0
	线控底盘市场规模（亿元）	217.6	1065.9
商用车	销量（万辆， 占总销量15%）	480	570
	线控底盘渗透率	5%	10%
	线控底盘销量（万辆）	24	57
	线控底盘单车价值（万元/车）	1.4	0.8
	线控底盘市场规模（亿元）	33.6	45.6
汽车线控底盘市场规模合计（亿元）		251.2	1111.5

图表10：25年完全的线控制动/线控转向迎来法规松绑

类目		2025E	2030E
中国低速装备销量规模（万辆）		165	150
线控底盘渗透率		5%	45%
线控底盘销量（万辆）		8.27	67.5
无人车	产销销量（万辆）	154	140
	线控底盘渗透率	5%	46%
	线控底盘销量（万辆）	8.0	64.4
	线控底盘单车价值（万元/车）	2.5	1.5
	线控底盘市场规模（亿元）	20.0	96.6
专用车	产销销量（万辆）	11.7	10
	线控底盘渗透率	2%	31%
	线控底盘销量（万辆）	0.3	3.1
	线控底盘单车价值（万元/车）	40	25
	线控底盘市场规模（亿元）	10.8	77.5
汽车线控底盘市场规模合计（亿元）		30.7	174.1

**EHB渗透率基本与智驾等级正相关（EPS基本已经是乘用车标配）：** 横向看，L2+/L2++基本标配EHB；纵向看，L2及以上级别one-box渗透率提升较快；对EMB后续渗透率爬坡的预期可以乐观些，预计跟L3/L4的放量是较为正相关的（毕竟L3落地初期，保障车辆安全>BOM成本管控；如果线控制动/转向车型口碑好，价格带下沉的速度或将较快；有望复刻激光雷达的定位，不只是高阶智驾车型需要，作为安全件的定位，二者对于AEB/自动泊车等功能的促进或将是车企宣传亮点）。

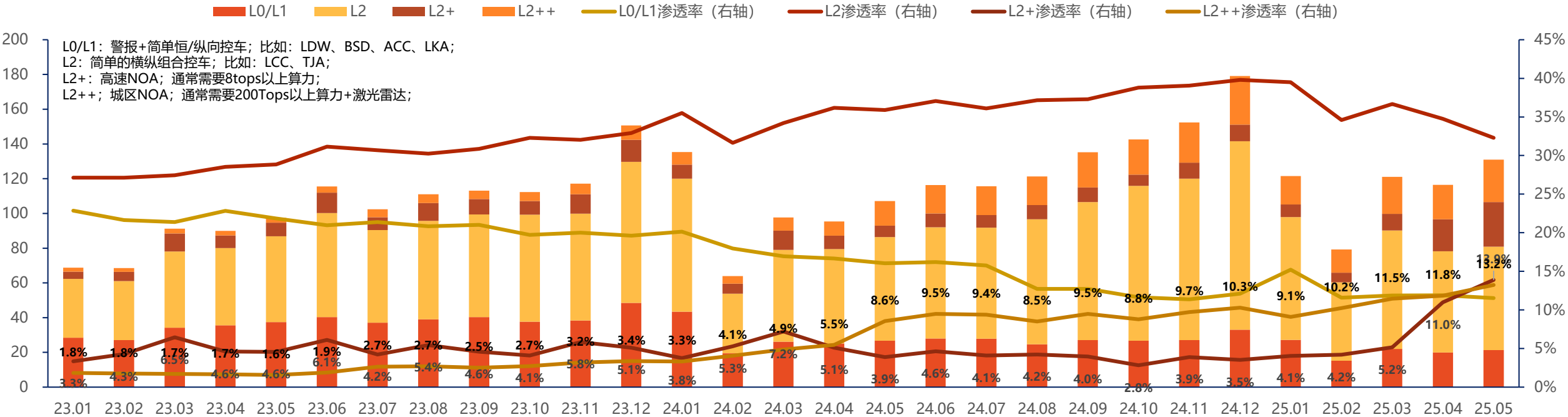
图表11：two-box EHB不同级别渗透率情况

类别	L0/L1	L2	L2+	L2++
23年1-12月	5.3%	22.8%	80.3%	43.5%
24年1-12月	4.9%	21.4%	49.6%	39.6%
25年1-5月	3.5%	20.6%	17.3%	27.5%

图表12：One-box EHB不同级别渗透率情况

类别	L0/L1	L2	L2+	L2++
23年1-12月	14.7%	31.9%	16.9%	56.5%
24年1-12月	13.3%	38.8%	49.4%	60.7%
25年1-5月	9.2%	38.7%	79.2%	72.3%

图表13：分月/分级别乘用车ADAS渗透率走势（单位：万辆）



资料来源：高工智能汽车、华源证券研究所

# 主要内容

---

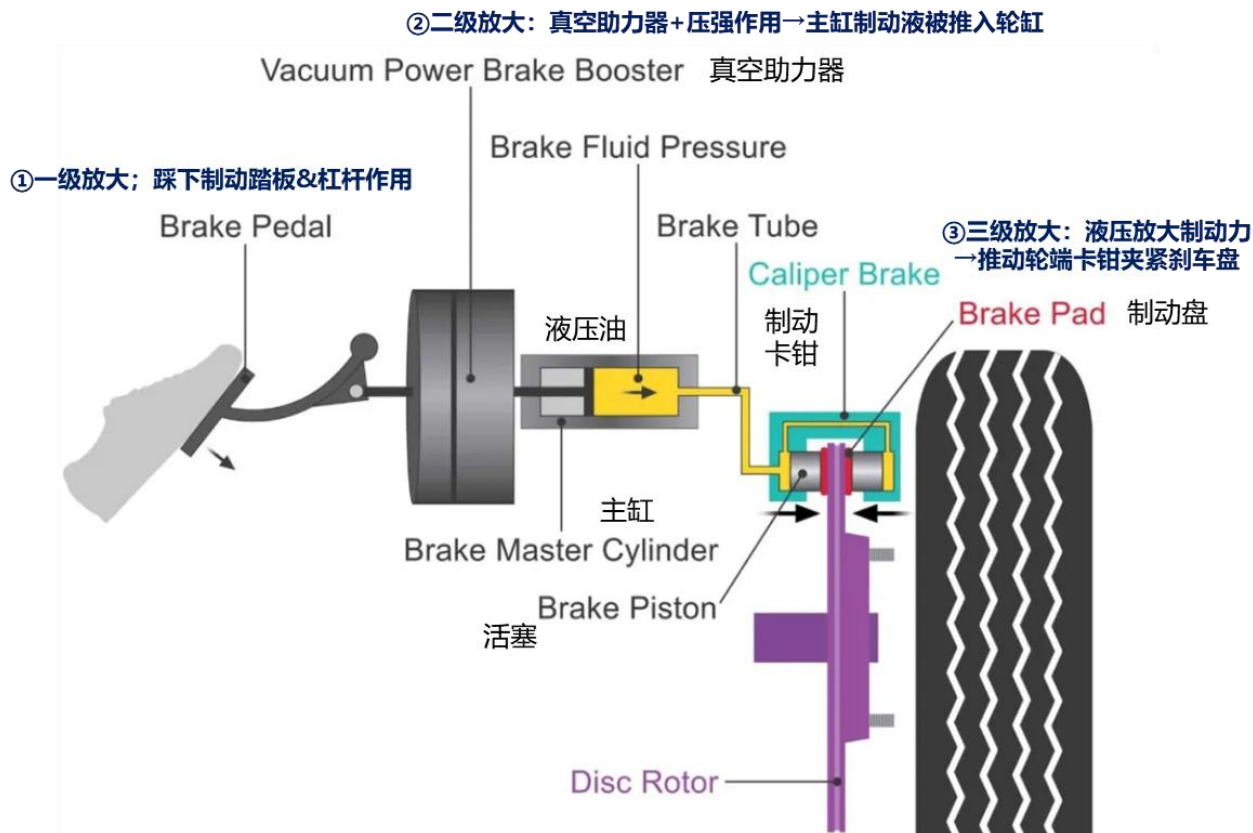
1. 线控底盘追求人机解耦是实现L3/L4的基础
2. 关于线控制动：法规允许EMB 26年1月开始正式上车
3. 关于线控转向：法规认证尚不明细，但年内或可期待新的政策催化
4. 关注具有底盘全域平台化能力的优质龙头Tier1 & 上游的电机电机/丝杆



**汽车制动系统是指对汽车某些部分（主要是车轮）施加一定力，从而对其进行一定程度强制制动的系列专门装置：**从结构上来看，由供能装置、控制装置、传动装置及制动器组成；按功能不同，可分为行车制动/驻车制动/辅助制动系统等；按供能装置差异可分为机械式/气压式/液压式三种。

**以一般乘用车液压制动系统为例：**驾驶员踩下制动踏板，由于杠杆作用，踏板力经过第一级放大传递到真空助力器；真空助力器依托压强原理将制动液传递到主缸，进一步放大制动力；主缸的制动液被推入轮缸并在压强的作用下产生更大制动力，推动轮端卡钳加紧刹车盘阻碍刹车盘转动，从而实现制动。

**图表14：典型传统液压制动的工作原理**







汽车制动系统的升级本质上是各结构件的电子化过程。驻车制动开始从机械式升级为EPB（集成卡钳式EPB逐步取代拉索式EPB）；行车制动方面，EHB渗透率持续提升，EMB进入量产前夕；这里面跟ADAS/AD关联比较大的类别，也即线控制动，指EHB/EMB（EHB执行部分仍依赖液压；EMB完全电机化；集成卡钳式EPB也是纯线控，但EPB对制动力与响应延迟需求都远小于行车制动系统，自然价格弹性也不如行车制动的线控化）。

图表15：制动系统的结构分拆与排列组合

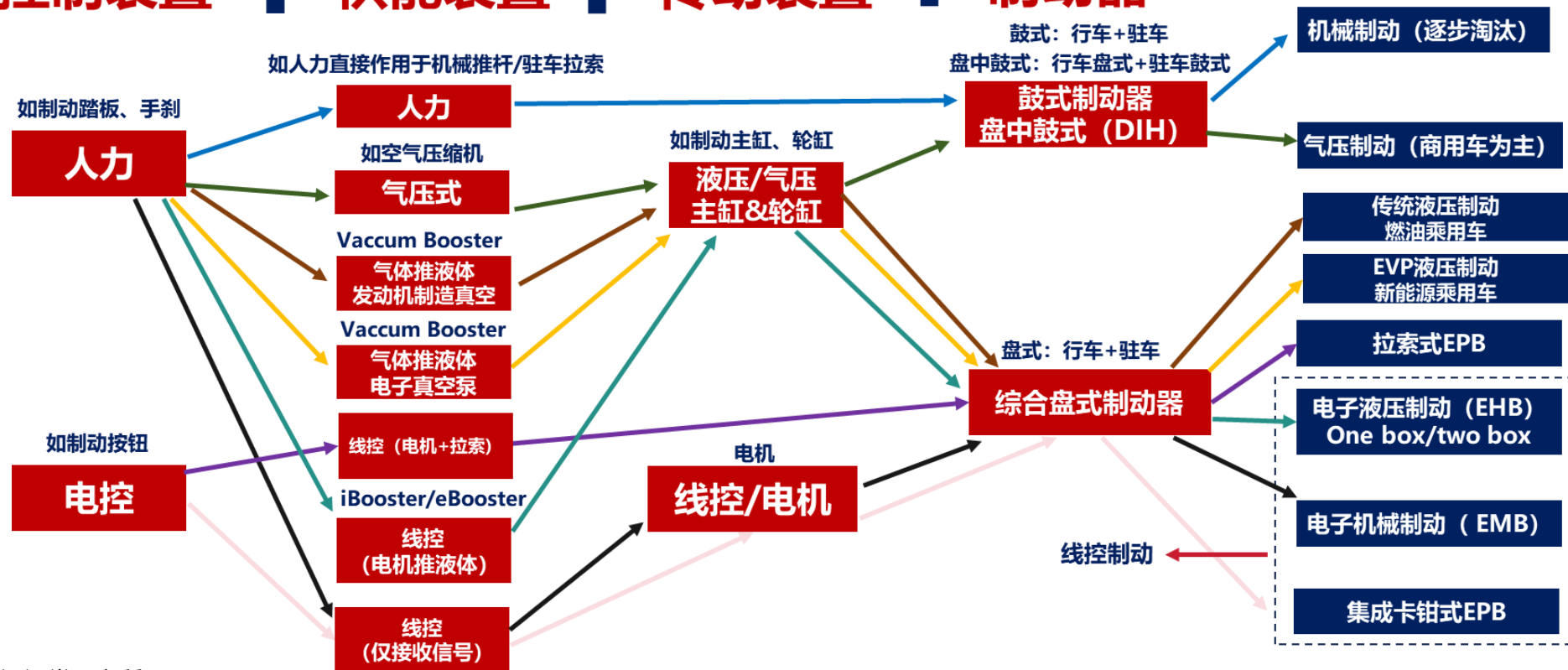
## 制动系统

负责启动/关闭制动系统的部件

调节制动力的介质/部件

调节&将制动能量传输到制动器

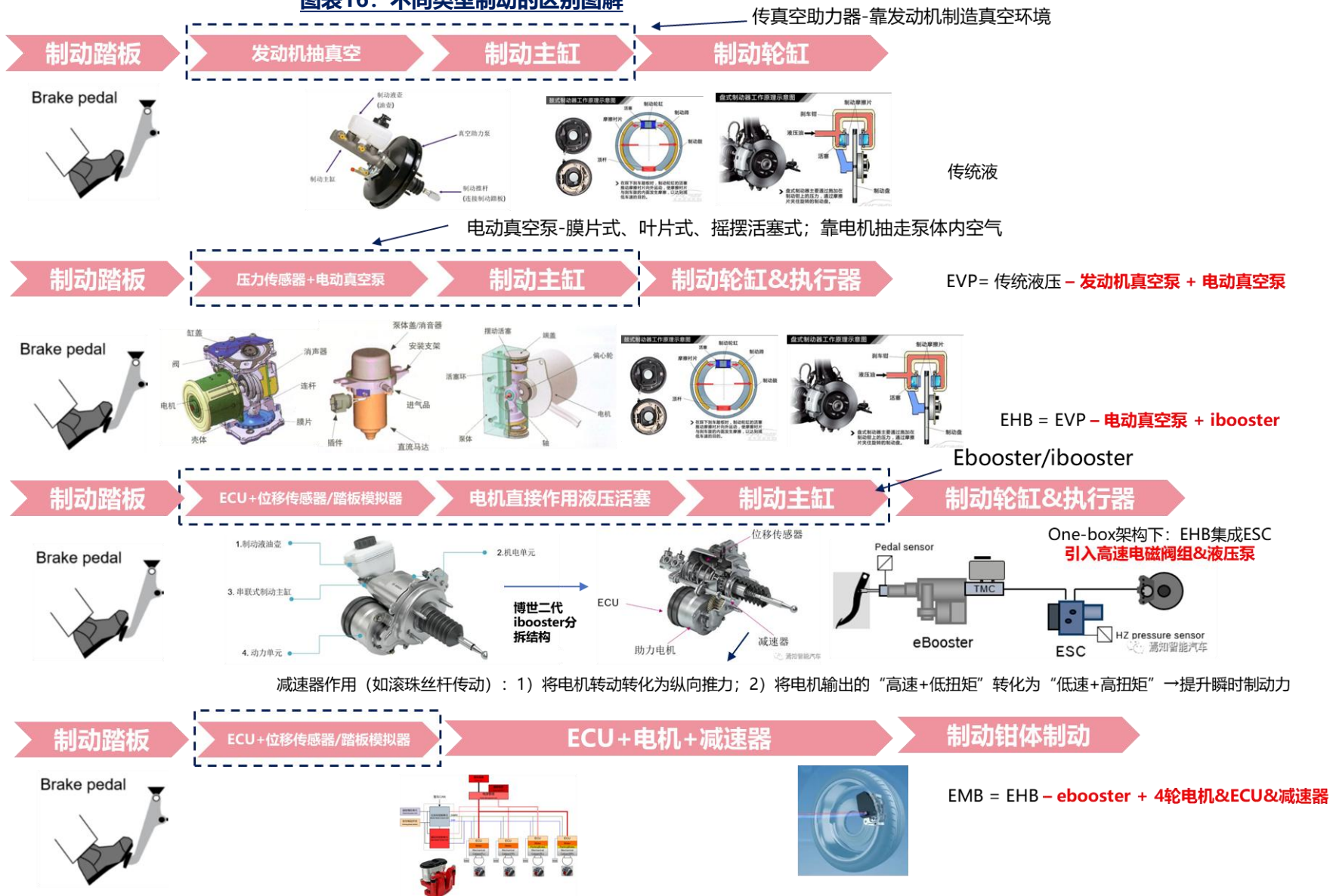
## = 控制装置 + 供能装置 + 传动装置 + 制动器





# 传统行车液压/EVP/EHB/EMB的区别

图表16: 不同类型制动的区别图解





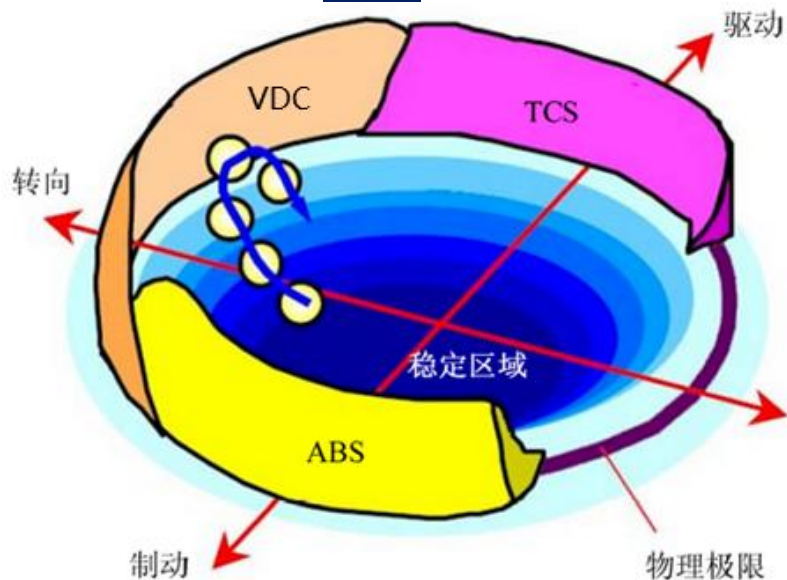
**ABS (Antilock Brake System, 防抱死制动系统)**：当紧急制动/猛踩刹车的时候，车轮可能直接从滚动状态到抱死拖滑状态，各个车轮受到的摩擦力不一样，导致整车失控；ABS作用如同点刹一样，不停踩、放刹车踏板，保证车与路面具有良好的纵向、侧向附着力，有效防止制动时汽车侧滑、甩尾、失去转向等现象发生（1978年博世率先量产）。

**TCS (Traction Control System, 牵引力控制系统)**：ABS局限是只有踩刹车踏板制动时才会收集到反馈信号，在驱动工况没法工作，如冰面启动等场景还是会打滑/抱死，于是博世1986年推出TCS，其根据驱动轮转数及传动轮转数来判定驱动轮是否发生打滑现象，当前者大于后者时，进而抑制驱动轮转速的一种防滑控制系统。

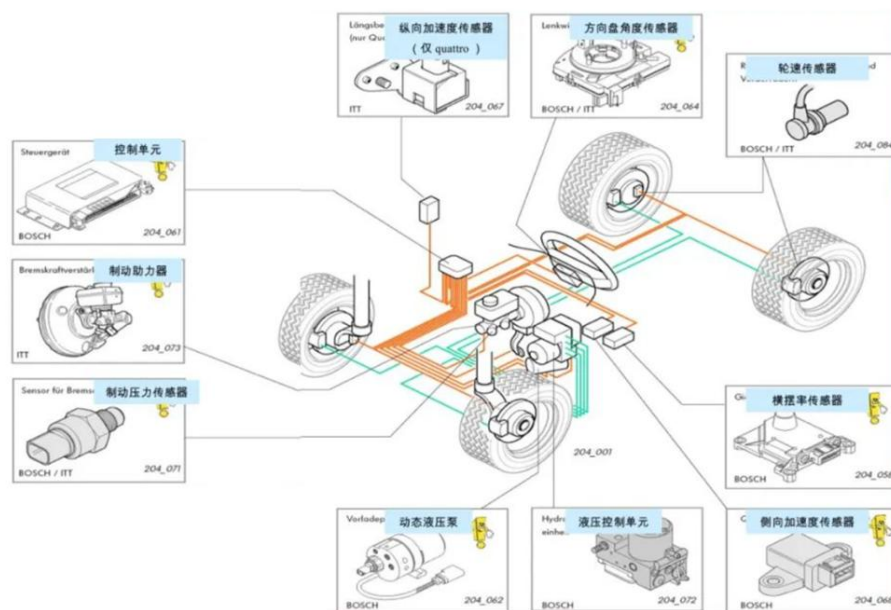
**VDC (Vehicle Dynamics Control, 车辆行驶动态控制系统)**：ABS与TCS解决制动/驱动时，轮胎抱死/打滑的问题，但转向不足/转向过头的情况下，车辆横向失控仍需要调控，于是VDC系统诞生（博世，1992年）。

由于三者涉及的组件&参数比较同质（如轮速传感器、液压控制单元（电磁阀+液压马达）等）；1992年，博世将ABS、TCS、VDC等系统控制单元集成，ESP诞生(Electronic Stability Program, 车身稳定控制系统)，1995年实现量产，首发于奔驰S级。后面其他厂家也陆续推出类似产品但是无法继续使用ESP这个简称，因此命名五花八门，大体统称为ESC（Electric Stability Controller, 电子稳定性控制系统）。

图表17：ABS：抑制过度制动；TCS：抑制过度驱动；VDC：抑制转向过度/不足



图表18：ESC系统涉及的组件



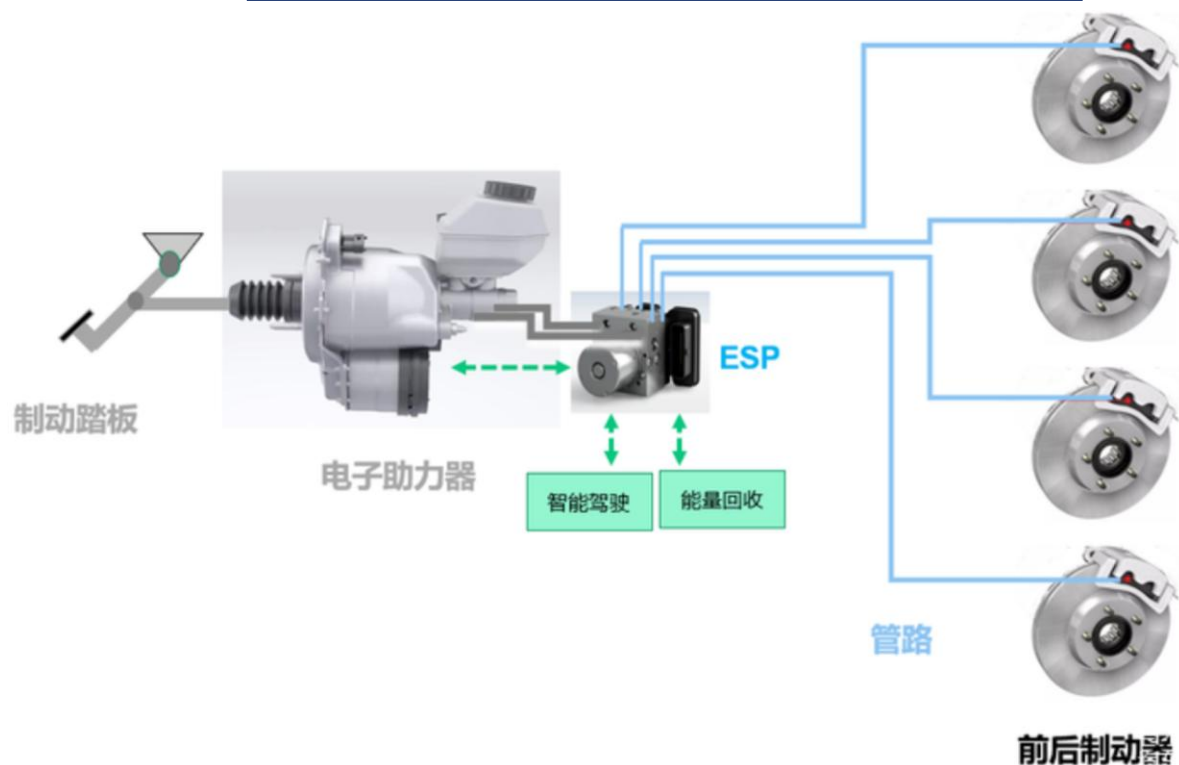




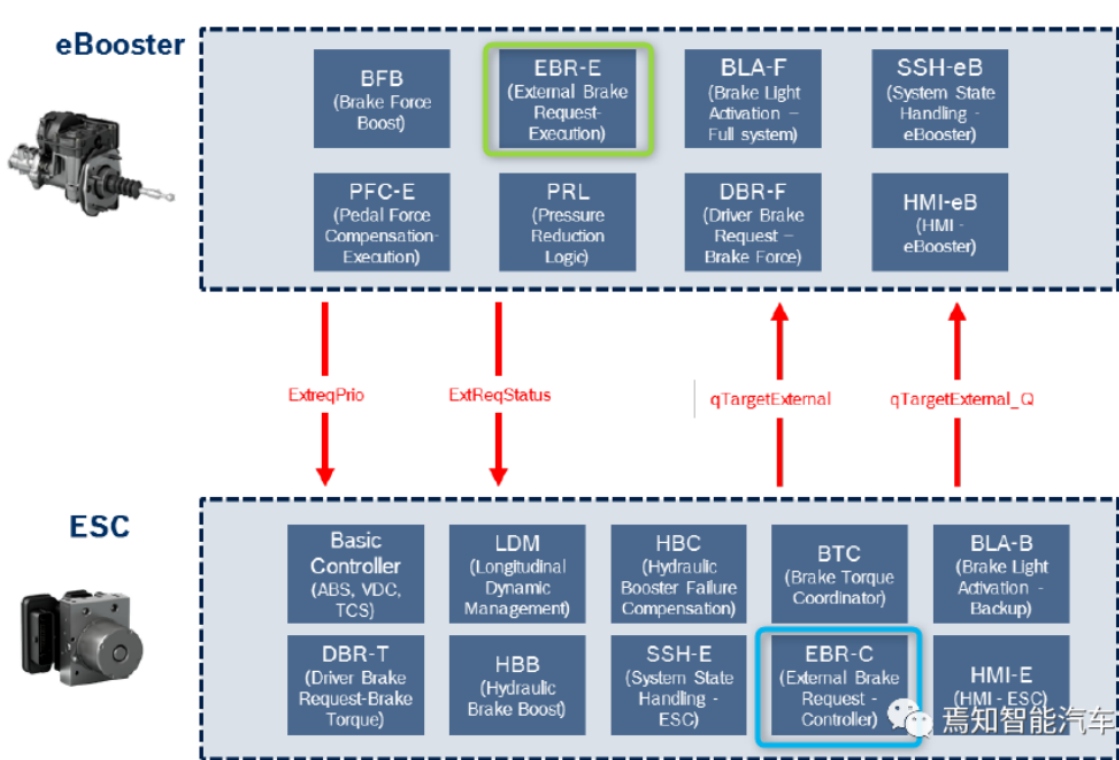
实际上ESP可以在没有踩刹车踏板的情况下向轮缸输出制动压力，符合线控标准，且以博世第九代ESP为代表（2010年量产），ESP可以部分控制油门&刹车系统，以实现ACC、AEB等功能。

**ESP不能取代常规刹车系统：**1) 本身定位只是备份刹车系统：只在少数紧急情况下使用；频繁使用，会导致柱塞泵发热严重，精密度下滑，寿命急剧下滑；2) 泵油功率有限且缺乏真空助力，反应速度较慢；3) 以博世为例，对国内厂家一般只开放ACC和ESP量产接口协议，刹车力度最大约为0.5g，标准的刹车力度需在0.8g以上，不能作为常规刹车。

图表19: ESP可承接智驾油门&刹车控制&能量回收&调节轮缸液压



图表20: eBooster是外部ECU请求制动系统制动时的主执行机构



线控制动的思想源头源自行业试图去掉真空助力器的努力——有没有可能用电机来推动主缸活塞：由于汽车底盘空间小，需要满足：电机体积小+有高效/精准的减速装置将电机扭矩输出为直线推力；21世纪以前，机电技术不成熟，无法实现目标。

于是出现泵驱EHB这种过渡形式（比如奔驰SBC（2000年）、丰田EBC（1997年）、天合（采埃孚）SCB）：由液压泵给高压蓄能器增压，通过调节电磁阀工作状态，实现液压控制。需持续补压&长期使用后密封件老化导致漏液风险&频繁启停泵影响使用寿命&系统设计/冗余设计复杂&成本高昂（依据佐思汽研的数据，奔驰SBC更换费用高达2万元以上人民币）。

2007年EVP作为设计更简单&成本更优的方案在新能源车上开始取代泵驱EHB：EVP用电子真空泵取代油车的真空助力器，但EVP依赖人力踩踏踏板，属于机械制动，几乎没有任何动能回收&刹车时会发出刺耳的噪音。

关于动能回收/再生制动：电动车制动过程中，制动力矩来源之一是摩擦片机械制动，另一个是电机提供负扭矩通过传动轴来实现减速（电制动）。机械制动的能量转化为热能消耗；电制动可以回收部分制动能量；电制动比例越高，能量回收效率越高；以博世ibooster为例，根据智驾最前沿的数据，其能实现0.3g的能量回收，也就是2.94m/s<sup>2</sup>；这个制动力或能满足城区跟车的基本需求（考虑20km/h的城区时速，也就是5.56m/s；大概2s刹停，刹车距离5m左右），城区场景制动频繁，或能提升10-20%以上的续航里程。

2009年日立旗下的东机特工推出电液线控制动系统E-ACT，通过直流无刷超高速电机配合滚珠丝杠直接推动主缸活塞达到电液线控制动。一直到2013年博世推出ibooster1.0，电机直驱EHB逐步开始得到广泛应用。

图表21：再生制动是新能源车特有，博世的ibooster可以回收0.3g的刹车能量

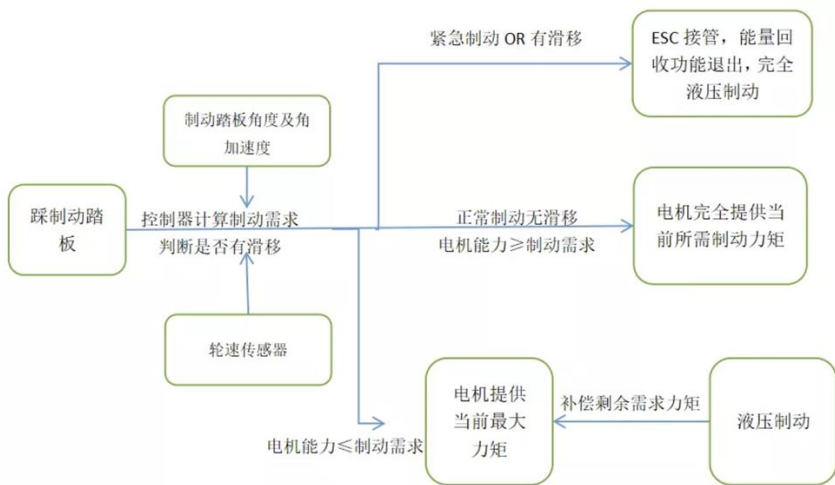
Bosch New Braking System  
博世制动系统解决方案

System 系统	ICE内燃机		再生制动		
	Standard 标准	Enhanced 增强	RBS ESP w/ RBC	CRBS blending in ESPhev	CRBS Blending in IPB
Boost 助力	VB <sup>1)</sup>	iBooster / IPB	iBooster / VB <sup>1)</sup>	iBooster	IPB
Blending 扭矩协调	无	无	无	≤ 0,3g <sup>2)</sup>	
Modulation 模块	ESP	ESP / IPB	ESP w/ RBC	ESP hevX	IPB
Target Segment 目标车型	无高制动动态性要求的 ICE车型	有高制动动态性要求的 ICE车型	Mild HEV, 48V BRS 轻混车型及48V系统	strong HEV, EV 强混车型，电动车型	

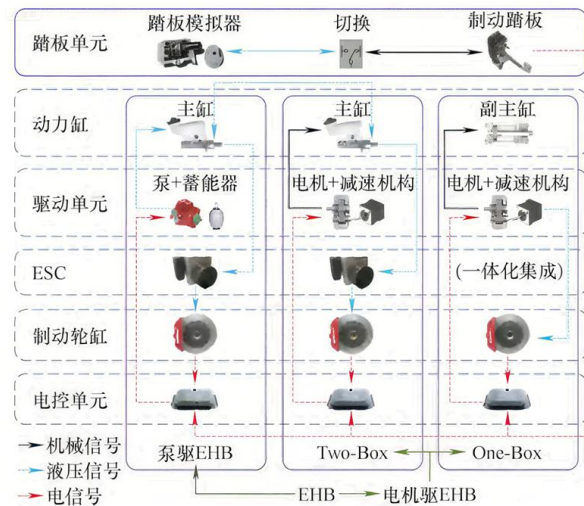
1) 机械式真空助力或EVP Vacuum booster w/ optional mechanical or electrical vacuum pump  
2) 具体车型的回馈协调能力受基础制动系统选型影响，需要进行BSPA评估。Blending potential is heavily impact brake system. BSPA (Brake System Project Assessment) necessary.  
3) Chassis Systems Control (CCP)M-SYS-CN | 15.10.2018  
© Bosch Automotive Products (Shanghai) Co. Ltd 2018. All rights reserved. All other trademarks, logos, and/or slogans are the property of their respective owners.



图表22：动能回收可以满足城区频繁启停的制动需求，但常规制动还是需要液压介入



图表23：泵驱EHB与电机直驱EHB结构差异



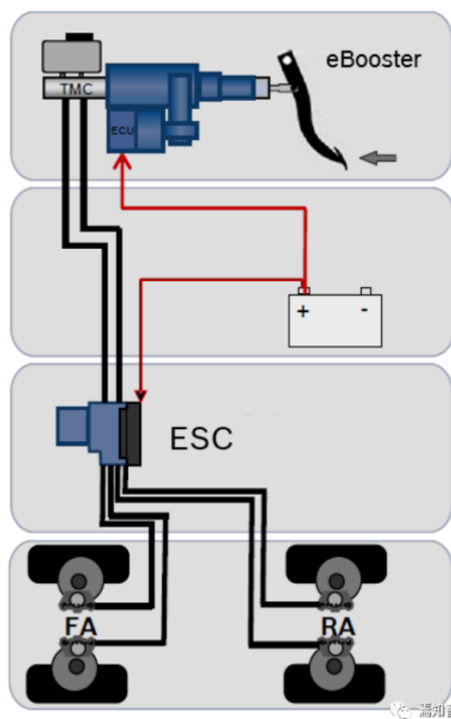




**电机直驱EHB:** 根据踏板解耦程度不同/是否集成ESC (or ESP) , 划分为One-box与two-box两类。

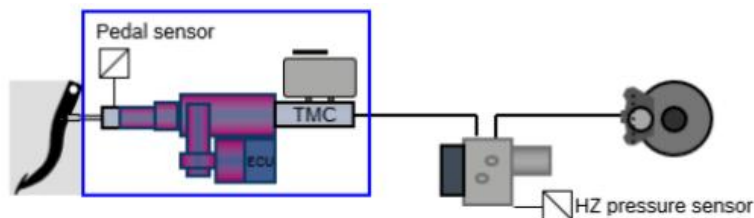
**主流Two-box方案为“eBooster+ ESC”组合，分别实现基础制动功能和稳定性功能。** ESC和eBooster在车上共用一套液压系统，两者协调工作。eBooster内的助力电机产生驱动力推动主缸活塞运动，使油壶中的制动液流入主缸管路并进入ESC进液阀，经ESC中的调压阀和进液阀流入4个轮缸，从而建立起制动力。**当eBooster不工作时，ESC也可以独立控制制动液从主缸流入轮缸，从而建立制动力。**另外，**two-box踏板非解耦（电机只是辅助放大踏板力；one-box则是直驱液压完全替代踏板力）**；在制动过程中eBooster能够反馈最真实和自然的踏板感，驾驶员能直观的感受制动系统的变化，例如ABS回馈力和刹车片的衰退等。且即使eBooster和ESC都失效的情况下（如整车电源故障），驾驶员踩下制动踏板，踏板力直接作用在推杆上，推杆推动主缸活塞移动使主缸液压流入轮缸从而产生制动力，该过程为纯机械建压，能够在500Nm的作用下产生 $2.44\text{m/s}^2$ 的减速度，满足法规要求（欧标ECE-R13H与国标GB13594）。

**图表24: two-box模式下踏板与主缸仍有机机械连接&ESC作为冗余的同时，保留机械冗余**



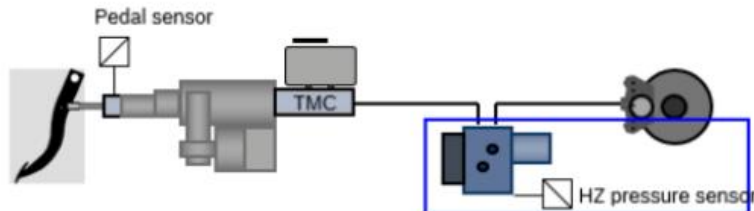
焉知智能汽车

全功能



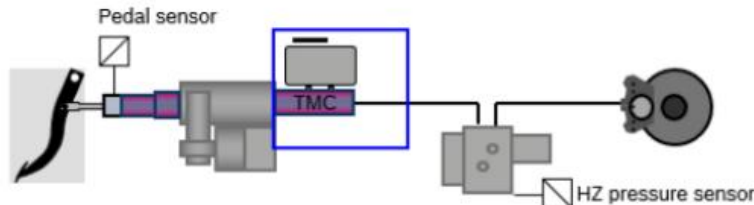
Brake Boosting  
by eBooster

降级等级1



Brake Boosting  
by ESC

降级等级2



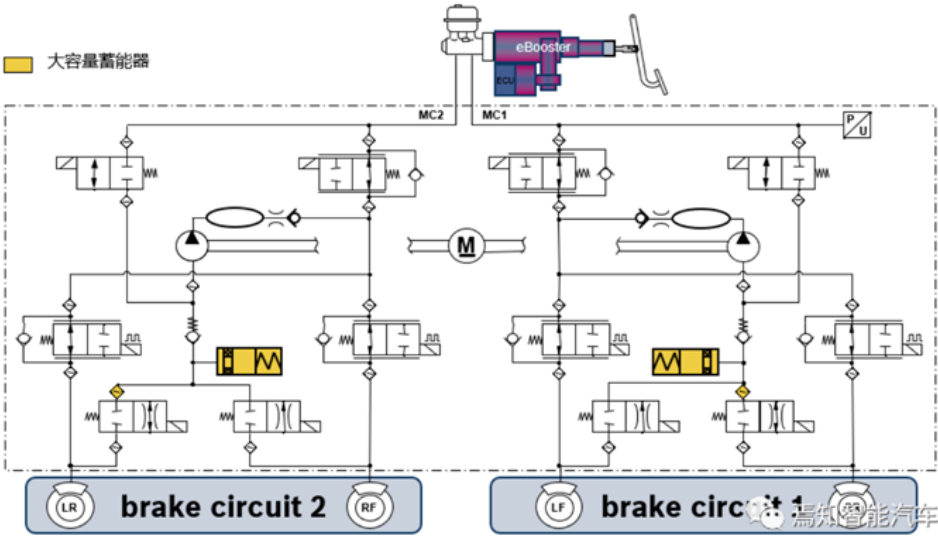
Mechanical backup.  
Direct link to TMC

焉知智能汽车

有利就有弊，two-box非解耦+电机只是辅助建压而不是独立建压就导致建压速度仍然有提升空间+制动能力回收的效率可能不够高+集成度不够，装配难度大&成本降不下来+踏板感软件调节受踏板等制动硬件约束；在此背景下，One-box作为全解耦+高集成的液压线控系统登上历史舞台。

较之Two-box，**One-box集成度更高+踏板感调节更加容易，不再受基础制动零件束缚+基础制动中的卡钳拖滞可以做到零，能量回收效率更高**（two-box方案能量回收上限通常由蓄能器容量决定；通常也就0.3g；One-box+制动响应时间更短）。

图表25: Two-box动能回收效率受ESC蓄能器掣肘



ESC液压管路示意图，蓄能器决定了制动能量回收的上限

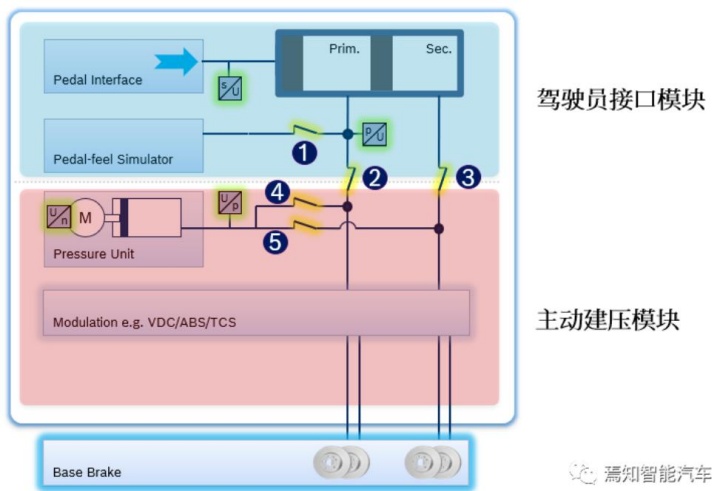
图表26: One-box在多个维度都优于two-box

	One-box	Two-box
集成情况	集成ABS/ESP	与ABS/ESP独立
结构	1ECU+1制动单元	2ECU+2制动单元
成本	集成度高+成本较低	集成度低+成本较高
安全性	踏板解耦+冗余较难	踏板耦合+冗余易
能量回收	最高达0.3g-0.5g	最高0.3g
制动响应时间	150ms以内建压10Mpa	通常150-200ms建压10Mpa

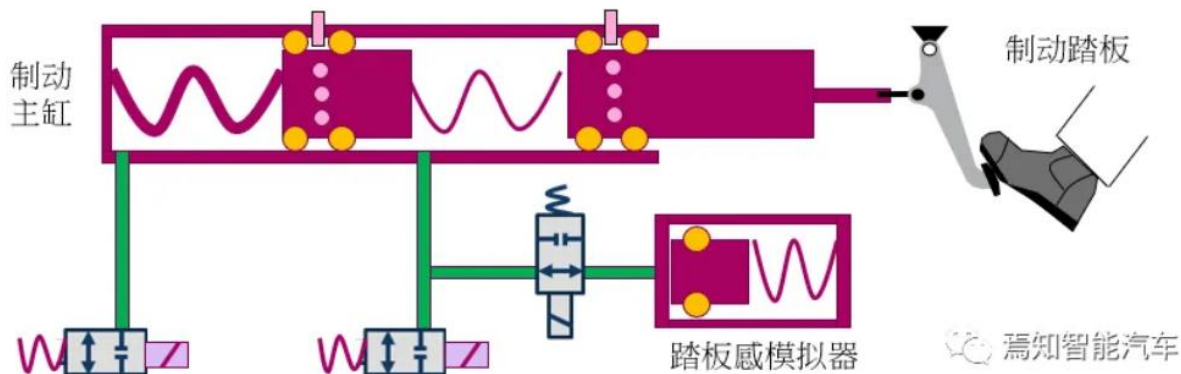
**One-box满足安全冗余的难度更高：**以博世IPB为例，为满足基础制动功能失效后，应急制动的平均减速度不小于 $2.44\text{m/s}^2$ （驾驶员输入 $500\text{Nm}$ ），IPB设计了如下机械备份：

- 当IPB正常助力时，当驾驶员踩下制动踏板，阀2和阀3关闭（左图），切断驾驶员接口模块和主动解压模块之间的液压回路；同时，驾驶员接口模块的阀1打开，驾驶员踩踏板后制动液进入主缸和踏板模拟器并建立压力，该压力的主要目的是给驾驶员反馈踏板感，此时踏板力-踏板行程曲线由主缸和踏板模拟器的特性决定。主动建压模块中，阀4和阀5打开，IPB ECU通过识别踏板位移信号后，伺服电机根据标定好的踏板位移-系统压力曲线建压，推动推杆将腔内的压力推到轮缸，产生车辆减速度。如果在驾驶员制动的过程中需要稳定性系统干预，ABS/TCS/VDC通过对各轮轮缸压力或驱动力进行动态调节以实现车辆的稳定性。
- 当IPB助力功能失效后，此时IPB进入backup模式，阀2和阀3打开，阀1、阀4和阀5关闭，驾驶员踩踏板建立的压力直接进入轮缸并产生车辆减速度。**制动主缸为双腔式设计，主腔和副腔的制动管路分别连接两个车轮的轮缸**，为考虑机械备份模式下主腔或副腔发生制动管路泄露的极端情况，博世IPB对机械备份下的制动设计提出了更高的要求——当发生管路泄露时，制动回路仍然可以在驾驶员踏板输入 $500\text{N}$ 的情况下提供不小于 $2.44\text{m/s}^2$ 的减速度；当没有发生管路泄露时，IPB降级到机械备份模式后 $500\text{Nm}$ 的踏板输入则能产生不小于 $4.88\text{m/s}^2$ 的减速度。

图表27：博世IPB的工作示意图



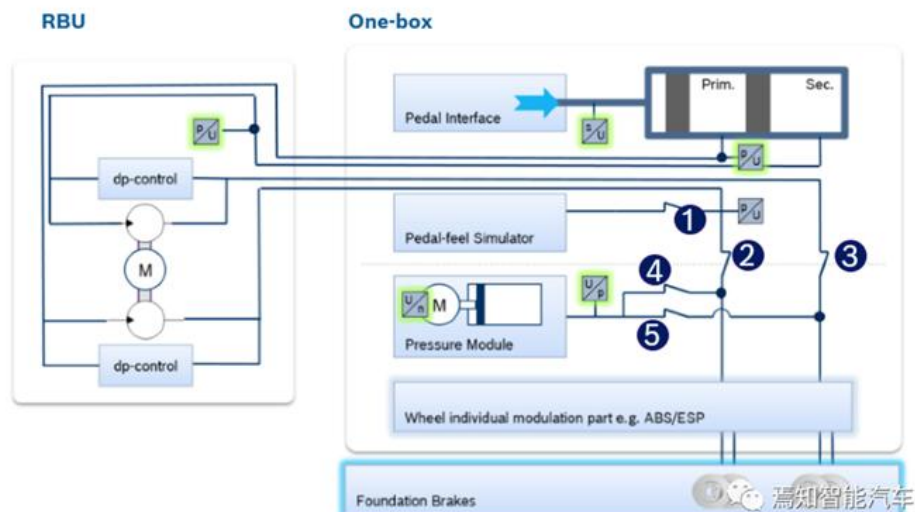
图表28：博世IPB 踏板模拟器示意图





如果是L3及以上级别，为保证车辆出现单一故障后系统能够及时进入合理的安全状态（无论是停在当前车道还是停在应急车道），冗余要求还要更高：目前产业的看法是刚需一个独立制动单元（RBU）；制动主缸两个腔出口的制动管路除了和One-box连通外，还连通RBU的输入端，而RBU的两路输出管路则分别与IPB中的轮缸管路相连；当One-box系统故障时，系统进入制动备份模式，阀2和阀3打开，阀1、阀4和阀5关闭，RBU中的电机工作，将制动主缸中的液压通过阀2和阀3推入轮缸完成建压（这个引申出的结论是即使不上EMB，为了满足L3冗余要求，加RUB后，成本也会趋近EMB；因此高速L3如果合规，势必会提升制动成本）。

图表29：L3级别的One-box冗余刚需独立管路的RBU



One-box与RBU管路连接示意图，图片来自'8th International Munich Chassis Symposium 2017'

图表30：主流EHB产品概况

大类	小类	产品	方案	厂商	量产时间	代表车型
泵驱EHB		SCB	能够实现踏板解耦及前后制动力独立调节，采用三位三通电磁阀进行制动模式切换，其尺寸较传统制动系统偏大	天合（采埃孚）	2012	通用Volt
		Servo Brake	通过开关阀和伺服阀进行压力调节，能够实现踏板解耦，但前后制动力无法进行独立调节	本田	2013	本田Insight
		ECB 3.0	响应速度快，制动平稳，能量回收率高，支持高级驾驶辅助系统	爱德克斯	2014	丰田Prius
		IEHB	能够在170ms内建立10 MPa的制动液压力，稳态压力跟随误差小于0.1MPa	亚太机电	2019	奇瑞新能源
电机直驱EHB	two-box	E-ACT	制动时间在120~150ms，刹车摩擦能量回收率高，以EPB作为冗余	日立	2011	日产Leaf
		iBooster1.0	制动时间小于150ms，制动能量回收率高，与ESP互为制动冗余，生产工艺精简，易于量产	博世	2013	特斯拉Model 3
		iBooster 2.0			2017	小鹏P7
		N-Booster	能够在200ms内建立10 MPa的制动液压力，实现3~5m的最大制动距离减少量，无噪声、踏板感一致	拿森电子	2018	北汽新能源EC3
		T-Booster	能够在150ms内建立10 MPa的制动液压力，提供类似真空助力器的踏板感；主动制动时，200ms内建立10 MPa的制动液压力且稳态压力跟随误差小于0.1MPa	英创汇智	2019	东风乘用车
		EHB	高性能主动制动，制动解耦并大幅提高制动能量回收率，个性化制动踏板感调节，扩展性强，能实现自动驻车功能	同驭汽车	2019	江铃
	one-box	IBS	两个踏板感觉模拟器分别匹配主缸的两个建压腔，各轮缸配置一个常开电磁阀，多通道复用方式进行液压力调节	大陆	2011	阿尔法Giulia
		MKC1	制动时间在150ms内，系统减重30%，制动能量回收率高，制动配置灵活，但生产工艺较复杂，较难量产	大陆	2016	奥迪E-Tron
		IBC	制动能量回收率高，EPB作为制动冗余	天合（采埃孚）	2018	雪佛兰Tahoe
		IPB	体积更小、质量更轻、比iBooster的成本低，应用于L2级自动驾驶汽车，与RBU配合可面向L4级自动驾驶；120ms建压速度；	博世	2019	比亚迪汉
		BSC	在140ms内将制动液压力建至10 MPa，最大可达18 MPa，百公里能量回收至少提升至0.5kWh，具备各类安全功能	比亚迪	2021	海豚
		GIBC	系统高度集成：E-booster+ESC+EPB，总体量≤5.3 kg，装配制造难度小，覆盖车型广，支持长时间的压力调节控制	格陆博	-	-
		WCBS	0~100bar建压时间136ms，20~80bar建压速率>900bar/s；高度集成（整个系统重量为5.8kg，而实现同样功能的传统制动系统重量为7.4kg）、解耦制动（100%利用电机的能力对制动能量进行回收）	伯特利	2021	奇瑞瑞虎8
		WCBS2.0	双液动力单元，可扩展双控冗余设计，更安全可靠；任意电气单点失效下减速度≥0.8g，仍具备线性踏板感；冗余模式ABS功能不受驾驶员介入影响；支持零拖滞、防盗、TPMS，SBM可集成IMU传感器节约成本；具备可扩展的EBD、ESC功能。	伯特利	-	-

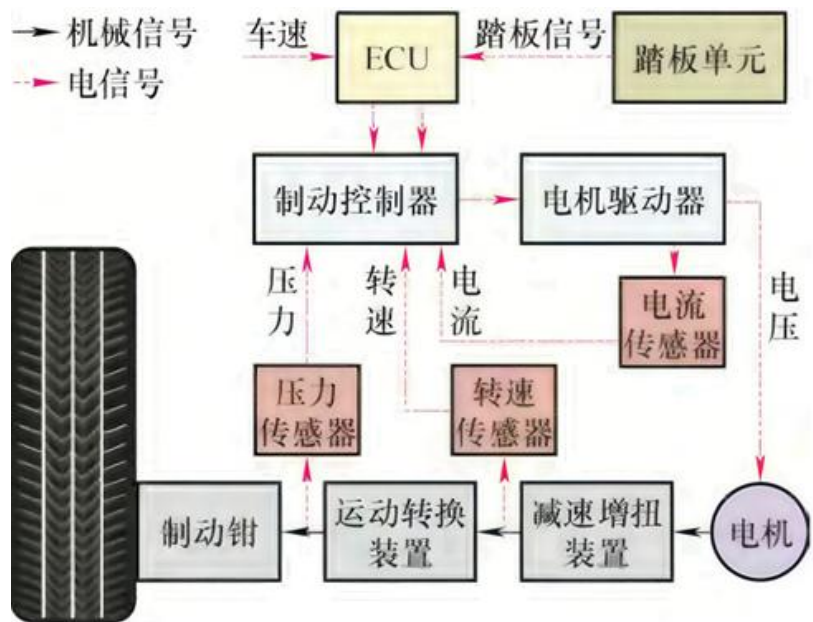


**EMB是真正意义的完全线控：**EMB用四个由电机驱动的轮端卡钳取代了主缸液压系统，摆脱液压系统，实现完全电机化；由于制动执行单元的显著差别，业界称EHB为“湿式（Wet）”线控制动，EMB则为“干式（dry）”线控。

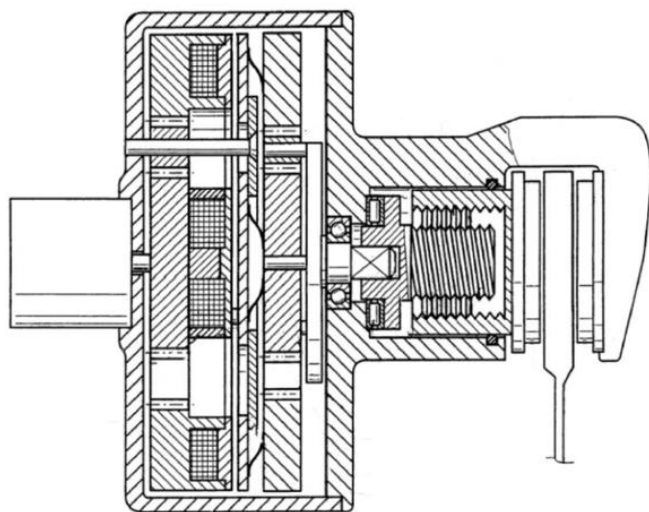
**EMB与EHB最大的区别来自执行机构，EMB执行机构按传动原理划分为线性自增力式与非线性增力式两种：**

- **线性自增力式：**电机输出的旋转力矩经过行星或定轴齿轮机构减速增扭、再通过滚珠丝杠将旋转运动转化为平动位移传递给摩擦制动器，制动力与电机输出力矩为线性关系；代表方案是博世与大陆的EMB；其中博世EMB采用电机外置匹配行星齿轮机构与滚珠丝杠副利用电磁离合器接合断开可以实现4种工况；大陆EMB采用电机内置匹配行星齿轮机构与滚珠丝杠副，间隙调整方式为智能控制，由棘轮机构实现制动力保持和驻车。

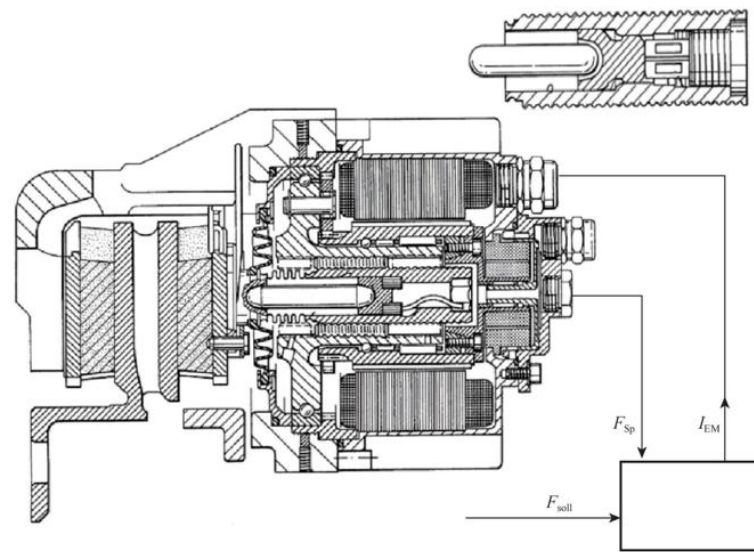
**图表31：电子机械制动系统（EMB）的组成架构**



**图表32：博世的线性自增力通过“电机+减速齿轮副+滚珠丝杠”实现**



**图表33：大陆的线性自增力通过“电机+行星齿轮+滚珠丝杠”实现**



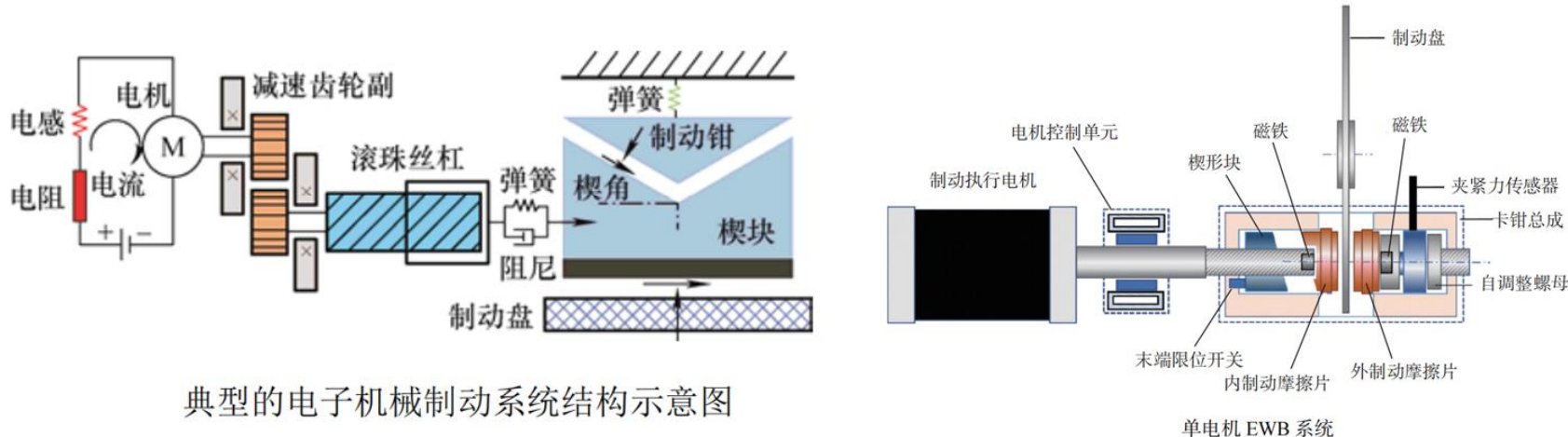




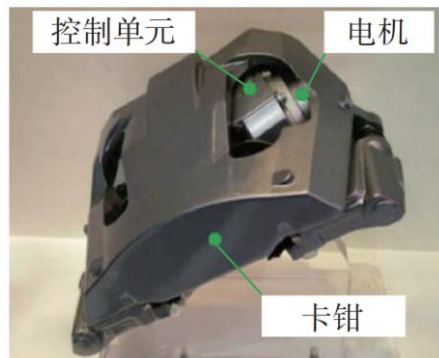
EMB与EHB最大的区别来自执行机构，EMB执行机构按传动原理划分为线性自增力式与非线性增力式两种：

- **非线性增力式：**利用楔形块的自增力原理，取消齿轮减速增扭机构；以西门子的电子楔式制动器（electronic wedge brake, EWB）为代表。楔形自增力结构可以匹配低功率小型电机配合滚珠丝杠驱动楔形块。
- **线性自增力 VS 非线性自增力：**线性自增力形式原理简单，易控制；但减速增扭的效果在一定程度上取决于电机，为应对夹紧力需求，往往需要升压到24V或48V；非线性增力式放宽了对电机的要求，可以兼容采用现有整车 12 V 低压电气平台，但制造工艺相对复杂，且不易进行转矩的精确控制。

图表34：EWB与EMB的最大区别是其取消了行星齿轮/减速齿轮



图表35：EWB系统实物图



图表36：EMB系统实物图



从需求端来看：L3以上等级对制动系统的反应时间&控制精度&集成度都提出了更高的要求。

图表37：不同ADAS/AD等级对制动系统的要求

智驾等级	L0	L1	L2	L3	L4	L5
特点	仅预警	单横向/纵向驾驶辅助	组合辅助驾驶	有条件的自动驾驶	高级自动驾驶	完全自动驾驶
代表功能	盲区检测、车道偏离预警	车道保持、自适应巡航	交通拥堵辅助、辅助泊车	高速/城区NOA	区域无人驾驶	无人驾驶
制动响应时间	500-600ms	500-600ms —— 100-150ms		100-150ms	≤100ms	
制动精度	≤1Mpa	≤1Mpa —— ≤0.2Mpa		≤0.2Mpa	≤0.1Mpa	
集成程度	液压	液压/线控			底盘域控/线控	
功能安全	ASIL D			ASIL D+预期功能安全+信息安全		

**较之EHB，EMB在多个方面具有优势：**①没有制动液导致的时间延迟问题，响应更迅速，进一步缩短制动距离；根据坐标系披露的数据，其纯机电制动系统SEMB车轮制动力矩响应时间相比液压系统缩短30%，百公里紧急制动缩短2.62米。②部件的精简使其质量更轻、占用空间更小、布置更灵活；③能实现各车轮制动力矩的独立精确控制；④仅通过调整控制算法即可实现与车辆纵向动力学其他系统的集成（全线控底盘的刚需，比如实现“圆规调头、钟摆入库”等对转向/制动系统时延与精度要求尤为高）。

图表38：主流EMB产品性能情况

厂商	EMB产品技术优势
大陆	EMB系统集成轮边制动卡钳、控制器与精密传动机构；采用模块化架构，将电子控制单元（ECU）与电机控制分离；系统对整车开放标准信号接口；引入“隔离区域”设计，将制动系统分为多个独立区域，互不影响
博世	已推出全干式EMB方案，采用三重冗余设计：独立电源回路、备用电容储能和机械应急连接；采用跨域软件平台VMM（车辆运动智控系统），可协调制动、转向、动力和悬架控制器，实现六自由度运动控制；集成“协同制动能量回收”功能，提升续航和制动稳定性；
采埃孚	已发布线控干式制动系统（EMB）；可提供混合制动方案，前轮采用传统EHB方案，后轮采用EMB；集成式制动控制系统和传统前制动钳；“前湿后干” EMB方案已获500万辆订单，将于2025年量产；四轮EMB方案和样车已发布
伯特利	车展首次展出EMB，夹紧力25kN-65kN，响应时间可缩短至80-100ms
利氮科技	车展发布EMB-LK产品，采用域控制器架构，可满足3.5吨位的乘用车；响应速度小于85ms；采用冗余安全设计，满足ASIL-D功能安全等级
炯熠电子	全国产化芯片EMB，具备“前湿后干” EMB系统和全干式EMB系统；“前湿后干” 方案可满足6吨以下乘商用车要求；全干式方案可满足3.5吨以下乘用车需求；实现ABS/TCS/VDC等功能集成；单轮失效跑偏补偿技术通过第三方认证
坐标系	EMB解决方案产品包括线控踏板、域控制器和轮边执行器；夹紧力可达65kN；拥有三路冗余设计，其中两路来自域控制器的双重备份；当域控制器失效，线控踏板可直接控制轮端制动器，完成包括ABS在内的基础制动；满足ISO/SAE21434信息安全和ISO26262功能安全要求；单车价值3488元
拿森科技	已推出机械式线控制动系统EMB-48V方案
格陆博	车展发布全干式EMB系统，支持四轮独立冗余控制；支持夹紧力35kN、45kN、65kN等；满足ASIL-D功能安全等级
耐世特	车展展示EMB系统，采用集成式控制单元，平台化设计；20kN-65kN夹紧制动力，可满足小车到皮卡、商用车需
辰致科技	车展展示EMB方案，四轮配备独立ECU，可独立控制；提供双电源双通信；前轮65kN以上，后轮30kN以上，满足3.5吨以下乘用车要求；制动响应时间≤85ms；百公里到0的制动距离缩短至33m以内；制动能量回收可增加30%续航；智能底盘运动一体化方案集成线控制动、转向、悬架协同控制

图表39：归纳总结EVP/EHB/EMB参数特点

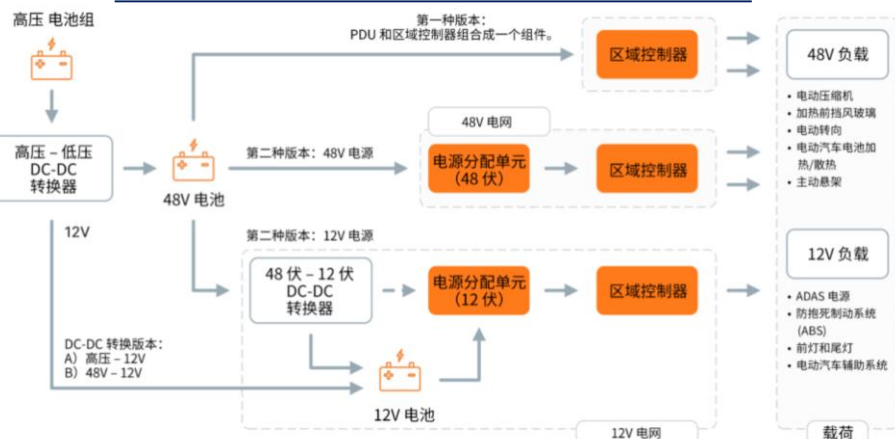
大类	子类	制动反应时间	制动精度	动能回收效率（理论值）
常规液压制动		300-500ms	>0.2Mpa	<20%
EVP			>0.2Mpa	30-40%
EHB	泵驱EHB	< 150ms	<0.1Mpa	60-70%
	Two-box	< 150ms	<0.1Mpa	
	One-box	120-150ms	<0.1Mpa	
EMB		90ms以内	<0.1Mpa	85-90%

资料来源：Congcong Li等《A Review of Electro-Mechanical Brake (EMB) System: Structure, Control and Application》、张奇祥等《智能电动汽车线控制动关键技术与研究进展》、新出行等、华源证券研究所

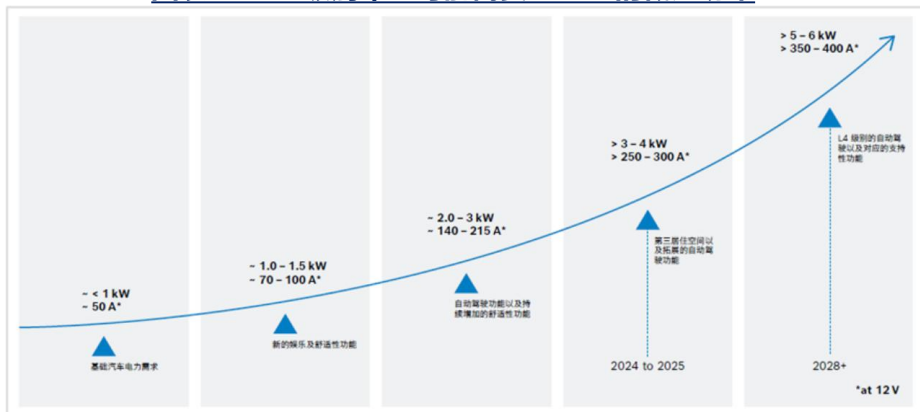


- **电压问题：**12V系统所能提供的功率极限在3-4kw左右。车企只能通过不断降压电器装备的功率需求来满足一定量的新电器设备的集成。48V低压电架构的线束可以支持更大功率电器，但由于汽车零部件长期基于12V开发设计，因此供应商要针对48V重新设计零部件，包括电路、芯片保护电压、诊断等，还需要针对48V设立标准重新做可靠性实验、EMC等等。特斯拉在2023年底发布的Cybertruck首先采用了48V低压电网架构，取消了12V电池，并宣称后续车型都会往48V演进。究其原因，还是因为辅助驾驶(更多的传感、冗余备份)，线控底盘及“移动生活空间”相关的信息娱乐舒适功能(冰箱、彩电、沙发、主动悬架等)的应用，车辆平均功耗逐年增加。**EMB轮侧制动电机需要较大功率，因此需要24/48V甚至更高电压来进行驱动。**后续整车低压网络或将从12V主导，向48V主导演进，以满足日益增强的座舱/智驾功能需求。
- **安全冗余问题：**纯数据信号传输，一旦出现车辆网络故障如何实现冗余备份以实现法规要求；**目前一套完整的EMB解决方案，包括4个电子制动卡钳（后轴带有EPB驻车功能；两两互为冗余），1个ECU主控制器，1个ECU冗余控制器，以及1个PFS踏板模拟器、两套供电系统；**部件之间通过CAN总线或者其他时间敏感型网络通信。

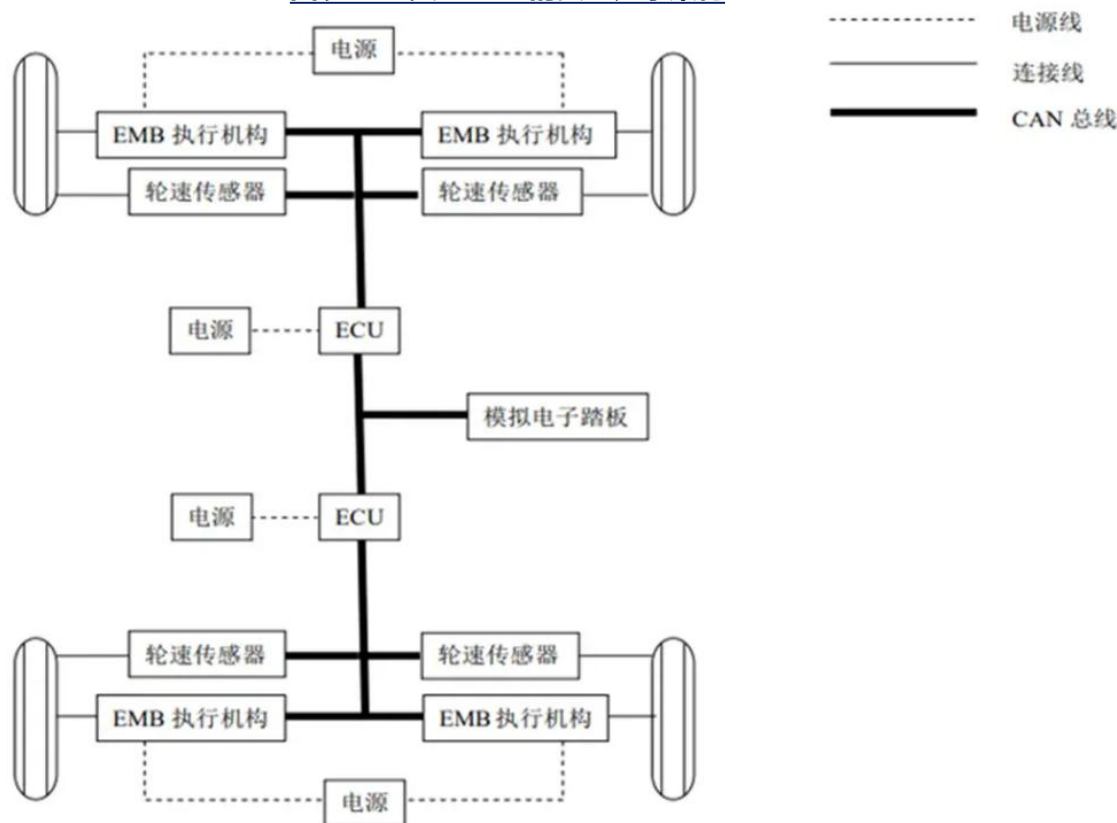
图表40：智驾/座舱功能升级驱动整车低压网络升级



图表41：L4级别车型可能需要5-6kw的低压功率



图表42：典型EMB的安全冗余架构

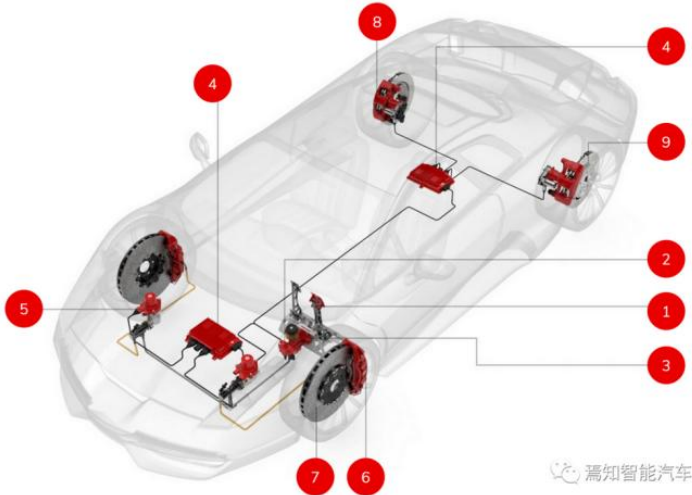




➤ **散热问题：**电机/控制单元均在轮侧，制动时产生很高温度，关键部位的抗高温和散热性要求很高；

这些问题的存在也导致部分厂商推出“前湿后干”的过渡方案（前轴需要的制动力大，后轴制动力需求小）；以布雷博EMB系统为例，其亮点在于四个车轮的电机并不是完全通过电信号直接控制，两个前轮电机仍然由小型的电 - 液执行单元驱动卡钳加紧和释放，而两个后轮电机则和当前的EPB系统一致，由电信号直接控制电机驱动卡钳加紧和释放。格陆博科技的GIBC 3.0也是类似结构。再比如伯特利的WCBS+EHC也是前轴保留液压单元，后轴线控化实现一定程度成本优化，精准匹配A0级电动车对轻量化与性价比的双重诉求。

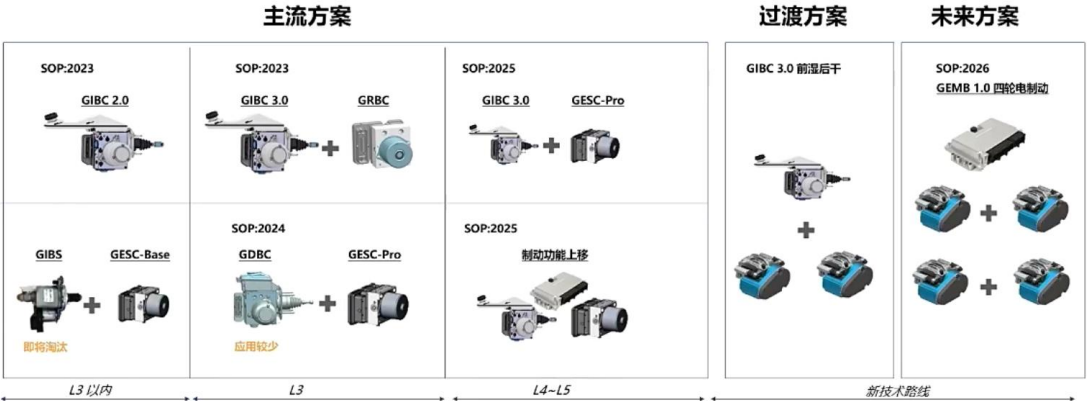
图表43：布雷博EMB组件分布图



图表44：布雷博EMB各组件对应功能

序号	组件	功能
1	制动踏板	驾驶员和制动系统接口
2	踏板感模拟器	模拟传统制动系统的踏板感反馈，制动时为驾驶员提供踏板感，可标定
3	踏板位移传感器	采集踏板位移信息，判断驾驶员制动意图
4	制动控制单元	包含主控制单元和备份控制单元，实现制动冗余
5	电 - 液执行单元	在制动控制单元的控制下输出目标液压力推动卡钳运动
6	前制动卡钳	与刹车盘作用实现前车制动
7	前刹车盘	通过与卡钳摩擦产生制动力
8	后制动卡钳	与刹车盘作用，既实现后轮制动，又实现驻车功能
9	后刹车盘	通过与卡钳摩擦产生制动力

图表45：格陆博科技的产品路线图



资料来源：焉知汽车公众号、盖世汽车社区公众号、华源证券研究所

**EMB之所以至今还没实现终端量产，法规约束是主要问题。** 25年5月30日GB21670-2025《乘用车制动系统技术要求及试验方法》国标正式发布，并将于26年1月1日起实施，EMB相关技术标准有法可依，扫除了量产的最大阻碍。大体要求是强调供电冗余、通信冗余、独立双制动回路+满足ASILD标准；GB21670-2025基本与欧标 ECE R13 的 EMB 修订版保持一致（拟实施日期：2026-01-01），有望为EMB出海也扫除标准认证上的障碍。

**从量产节奏看：**根据高工智能汽车数据，包括坐标系、华申瑞利、京西集团、同驭汽车科技、利氮科技等国内供应商，均已进行两轮EMB冬测，并把量产时间初步定在2025年底或2026年初；比如1月初采埃孚宣布与一家全球知名汽车制造商达成协议，将在合同期内为近500万辆汽车配套EMB；3月初，长城汽车与全资子公司精工菲格，共同研发的EMB产品，正式通过功能安全ASIL D等级认证，获国内首张EMB产品功能安全认证证书；坐标系也在与东风（星海V9）/奇瑞（星纪元ET）冲刺量产交付；京西集团24年官宣与零跑汽车签署战略合作协议，在线控悬架及线控制动领域面向全球市场展开长期战略合作，包括EMB；利氮科技的EMB-LK将实现2026年头部车企高端车型首发量产；今年年底到明年初可以期待搭载EMB车型批量发布。

图表46：GB21670-2025对于EMB提出了详尽的测试/验证要求，为量产上车厘清障碍

类别	GB21670-2025线控制动相关定义/技术要求		内容
结构&功能要求	对气压、液压或 <b>电力辅助设备</b> 的能量供应，应确保其工作时车辆制动可达到规定的减速度，即使在能源装置损坏的情况下，辅助设备的工作也不会导致向制动系统供能的储能装置（例如储气、储液或蓄电装置）的能量水平下降到5.2.14规定的能量水平以下		
定义新增	定义电力传输制动系统（Electrical Transmission Braking System，简称 ETBS；不带机械冗余的EHB与EMB均属于ETBS）		-
ETBS供电冗余与实时监控	供电冗余		主电源故障时，备用电源应5秒内无缝接管，保障系统不中断
	蓄电装置监控		设定多级（建议4级）老化报警门限，提供剩余寿命预测与健康度管理
	功率输出报警机制		当功率低于系统运行阈值时，必须通过黄色报警（Pw）提示驾驶员及后台系统
制动性能冗余保障机制	独立双制动回路		系统需包含 <b>两个物理或功能独立的回路</b> ，确保一个失效后另一个能提供基本制动性能（ $\geq 2.44\text{ m/s}^2$ ）
	极限电量应急策略		当剩余电量低至红色预警阈值，应在60秒内强制降速至20 km/h以下， <b>避免高速失控风险</b>
	驻车制动保障		即使主电源完全失效，仍需通过电气或机械备份实现驻车保持功能， <b>避免坡道溜车</b>
耐久性与可靠性验证	连续制动循环测试		电源系统需能承受20次连续“制动-解除”动作，无掉电/性能下降现象
	极限蓄能测试		蓄电装置在仅剩余9次制动容量的情况下，依旧可满足最低应急减速标准
	失效后冗余验证		在任意传输路径故障后，控制器需能完成8次促动，第9次应急制动仍可实现标准减速度
功能安全要求	ASIL-D级别高风险功能，应遵循功能安全V模型流程并满足定量指标		<b>ECU与执行器都得能认证ASIL-D</b>

图表47：东风星海V9



资料来源：高工智能汽车、ATC汽车底盘、易车网、华源证券研究所



**线控制动中one-box已是主流&燃油车线控制动渗透率低：**25H1线控制动（EHB，无EMB量产）渗透率在56%左右；其中One-box/two-box渗透率分别42/14%；燃油车EHB渗透率不到26%；新能源车则高达86%（新能源车中one-box渗透率73%）；燃油车随着智驾渗透率提升，预计线控制动渗透率有望提速；新能源车渗透率接近饱和。

**自主品牌&新势力均是one-box为主，分价格带来看选择one/two box与价格没有直接联系：**自主品牌/新势力新能源车基本都上了EHB且以one-box为主；分价格带来看，20-40万区间及60万以上价格的车辆基本标配EHB。

图表48：23-25H1 One-box与two-box渗透率（单位：辆）

上险量	2023年		2024年		2025H1	
	上险量	渗透率	上险量	渗透率	上险量	渗透率
EHB (one-box方案)	5149802	24.4%	8199534	35.8%	4411139	41.6%
EHB (two-box方案)	2982889	14.1%	3572334	15.6%	1516276	14.3%

图表49：23-25H1 分能源类型One-box与two-box渗透率（单位：辆）

类别	车型上险量	one-box上险量	one-box渗透率	two-box上险量	two-box渗透率
新能源	5314546	3869539	72.8%	700512	13.2%
燃油	5264990	541600	10.3%	815764	15.5%

图表50：23-25H1分价格带线控制动渗透率

分价格带渗透率	2023年		2024年		2025H1	
	One-box	Two-box	One-box	Two-box	One-box	Two-box
10万以下	12.3%	1.7%	29.6%	1.6%	34.2%	1.2%
10-15万	20.8%	5.1%	36.7%	7.8%	44.4%	5.0%
15-20万	29.2%	16.6%	37.5%	18.8%	38.2%	19.7%
20-25万	31.6%	19.8%	34.0%	23.2%	39.9%	35.4%
25-30万	38.4%	27.2%	34.5%	50.5%	49.1%	37.5%
30-40万	28.5%	33.7%	41.2%	22.8%	50.0%	18.6%
40-50万	17.6%	20.7%	28.9%	13.9%	40.3%	10.3%
50-60万	14.0%	19.6%	53.8%	6.4%	54.6%	8.5%
60-70万	71.1%	15.6%	83.4%	5.6%	84.8%	2.7%
70万以上	90.2%	0.1%	93.9%	4.0%	98.2%	1.7%

图表51：25H1主流车企线控制动渗透率情况（单位：辆）

车企	车企上险量	one-box上险量	one-box渗透率	two-box上险量	two-box渗透率
比亚迪	1564036	1563125	99.9%	466	0.0%
上汽集团	1417297	222712	15.7%	187714	13.2%
一汽集团	1326425	31280	2.4%	282637	21.3%
吉利集团	1165974	594879	51.0%	14750	1.3%
广汽集团	800201	115713	14.5%	373298	46.7%
长安集团	751514	314467	41.8%	0	0.0%
奇瑞汽车	646114	275897	42.7%	1607	0.2%
东风集团	570790	116764	20.5%	157219	27.5%
北汽集团	415440	93794	22.6%	4670	1.1%
长城汽车	317495	149367	47.0%	1053	0.3%
华晨汽车	279424	162375	58.1%	0	0.0%
特斯拉	264905	0	0.0%	264905	100.0%
理想汽车	208326	180705	86.7%	27610	13.3%
小鹏汽车	179860	175994	97.9%	3864	2.1%
零跑汽车	178601	23288	13.0%	137648	77.1%
小米汽车	158104	158104	100.0%	0	0.0%
赛力斯集团	156967	108984	69.4%	47983	30.6%
蔚来汽车	116924	116924	100.0%	0	0.0%
江铃集团	23304	1881	8.1%	1614	6.9%
江淮汽车	11830	3871	32.7%	968	8.2%

资料来源：高工智能汽车、华源证券研究所

线控制动市场格局：博世仍旧主导，EMB时代国产与外资差距有望进一步收窄

**博世行业龙头地位较为稳固，国产替代空间仍较大：**One-box博世25H1市占接近50%，近年来市占略有提升；24年以来弗迪、伯特利份额均在10%以上；以同驭为代表的two-box国产供应份额迅速提升；综合来看，线控制动目前还是以博世、大陆、采埃孚为代表的外资Tier1主导市场。

**国内标杆厂商或已具备挑战海外Tier1的能力：**1) 中国新能源车型研发迭代周期已压缩至12-18个月，领先于跨国企业平均36个月的传统研发节奏；2) 本土供应链在成本控制与方案简化方面有独到之处，比如伯特利的WCBS将TCS、ESC、ABS等十大功能模块高度集成，体积较传统方案缩小40%，重量减轻25%；弗迪依托比亚迪垂直整合优势打造的BSC系统在汉EV车型上的成功应用不仅实现了15%的成本优势，更开创了电动真空泵与制动主缸等六大部件整合设计的先河；3) 国内供应商充分发挥乙方精神，有望为战略客户提供深度定制服务；且或可避免外资Tier1产能受限情况下（如出现公共卫生黑天鹅事件），需要优先保障本土车企引至的供应链风险。

**EMB时代，国内供应商与海外的差距有望进一步收窄：**EMB要达到冗余要求&ASILD，需要经受更严苛的测试验证过程；比如坐标系联合创始人&CTO杨昆表示，EMB系统采用了比行业标准更为严苛的验证方式，比如，疲劳耐久测试达到400万次，远超行业的220万次，热负荷余量达到150%，瞬态100G冲击振动等，充分保障系统可靠性；更复杂的验证流程对于海外Tier1来说量产周期或将明显拖长；而国内供应商除了成本优势之外，还可以帮助客户缩短项目周期，更快速实现量产。

图表52：23-25H1 One-box市场格局（单位：辆）

类别	2023年		2024年		2025H1	
	上险量	市占	上险量	市占	上险量	市占
博世	2250834	43.7%	3782212	46.1%	2182465	49.5%
弗迪动力	1006704	19.5%	2006996	24.5%	768538	17.4%
伯特利	477912	9.3%	1052941	12.8%	541636	12.3%
大陆	528109	10.3%	823705	10.0%	488177	11.1%
拿森电子	0	0.0%	50391	0.6%	142181	3.2%
采埃孚	106202	2.1%	160043	2.0%	102317	2.3%
万都	180853	3.5%	176132	2.1%	64635	1.5%
菲格智能	29342	0.6%	82050	1.0%	61148	1.4%

图表53：23-25H1 two-box市场格局（单位：辆）

类别	2023年		2024年		2025H1	
	上险量	市占	上险量	市占	上险量	市占
博世	2636021	88.4%	2233948	62.5%	783591	51.7%
爱德克斯	15015	0.5%	738701	20.7%	387487	25.6%
采埃孚	152959	5.1%	256614	7.2%	173110	11.4%
同驭	130797	4.4%	191400	5.4%	139148	9.2%
擎度	0	0	0	0	13118	0.9%
联创汽车电子	26449	0.9%	32632	0.9%	10948	0.7%
日立安斯泰莫	0	0	2601	0.1%	2411	0.2%
拿森	11017	0.4%	8914	0.2%	2236	0.1%

## EMB市场规模：2030年预计将达到164亿

**EHB 24-30年CAGR预计3.5%；EMB 26-30年CAGR预计接近160%。**根据我们测算，2030年EHB市场规模将达到284亿，其中one-box 242亿；24-30年CAGR 3.5%（其中One-box 5.4%/two-box负增长）；EHB主要逻辑是国产替代；EMB从0到1，2030年预计164亿市场规模；Robotaxi市场规模会更小点（假设2030年全球100万台Robotaxi，5年折旧，年化20万辆需求；考虑硬件双冗余，假设ASP按照乘用车的2倍计算（按5k单车测算），市场规模为10亿，贡献是相对有限的；若考虑海外乘用车市场，市场规模有望进一步扩大）。

图表54：制动市场规模测算（不含卡钳）

	2023	2024	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	2035E
乘用车批发销量（万辆）	2556.4	2719.4	2814.6	2913.1	3015.0	3120.6	3214.2	3310.6	3745.6
yoy	-	4.2%	3.5%	3.5%	3.5%	3.5%	3.0%	3.0%	2.5%
制动市场规模（亿元）	345.7	369.9	376.0	389.2	418.0	437.8	466.7	498.7	576.5
yoy	-	7.0%	1.7%	3.5%	7.4%	4.7%	6.6%	6.9%	2.9%
1.EHB（one-box）	106.0	157.2	185.7	214.5	232.6	242.2	246.3	241.7	242.8
yoy	-	48.2%	18.1%	15.5%	8.4%	4.1%	1.7%	-1.8%	0.1%
2.EHB（two-box）	66.8	74.5	70.5	74.7	70.3	61.2	51.7	42.3	24.0
yoy	-	11.5%	-5.4%	6.0%	-5.9%	-13.0%	-15.5%	-18.3%	-10.7%
3.EMB	0.0	0.0	0.0	3.7	36.7	63.7	109.2	163.6	278.9
yoy	-	-	-	-	883.3%	73.9%	71.3%	49.9%	11.3%
4.传统液压制动	172.9	138.2	119.8	96.2	78.4	70.7	59.5	51.0	30.7
yoy	-	-20.1%	-13.3%	-19.7%	-18.5%	-9.8%	-15.9%	-14.2%	-9.7%
分类别行车制动出货量预期（万辆）									
1.EHB（one-box）	623.7	973.3	1210.3	1456.5	1628.1	1747.5	1832.1	1853.9	2060.1
yoy	-	56.0%	24.3%	20.3%	11.8%	7.3%	4.8%	1.2%	2.1%
2.EHB（two-box）	361.3	424.0	422.2	466.1	452.3	405.7	353.6	298.0	187.3
yoy	-	17.4%	-0.4%	10.4%	-3.0%	-10.3%	-12.8%	-15.7%	-8.9%
3.EMB	0.0	0.0	0.0	11.7	120.6	218.4	385.7	595.9	1123.7
yoy	-	-	-	-	935.0%	81.1%	76.6%	54.5%	13.5%
4.传统液压制动	1571.4	1322.1	1182.1	978.8	814.1	748.9	642.8	562.8	374.6
yoy	-	-	-	-	-16.8%	-8.0%	-14.2%	-12.5%	-7.8%
渗透率预期									
1.EHB（one-box）	24.4%	35.8%	43.0%	50.0%	54.0%	56.0%	57.0%	56.0%	55.0%
2.EHB（two-box）	14.1%	15.6%	15.0%	16.0%	15.0%	13.0%	11.0%	9.0%	5.0%
3.EMB	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	4.0%	7.0%	12.0%	18.0%	30.0%
4.传统液压制动	61.5%	48.6%	42.0%	33.6%	27.0%	24.0%	20.0%	17.0%	10.0%
ASP（元）									
1.EHB（one-box）	1700	1615	1534	1473	1429	1386	1344	1304	1179
yoy	-	-5%	-5%	-4%	-3%	-3%	-3%	-3%	-2%CAGR
2.EHB（two-box）	1850	1758	1670	1603	1555	1508	1463	1419	1283
yoy	-	-5%	-5%	-4%	-3%	-3%	-3%	-3%	-2%CAGR
3.EMB	-	-	3200	3200	3040	2918	2831	2746	2482
yoy	-	-	-	0%	-5%	-4%	-3%	-3%	-2%CAGR
4.传统液压制动	1100	1045	1014	983	964	944	925	907	820
yoy	-	-5%	-3%	-3%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%CAGR

# 主要内容

---

1. 线控底盘追求人机解耦是实现L3/L4的基础
2. 关于线控制动：法规允许EMB 26年1月开始正式上车
3. 关于线控转向：法规认证尚不明细，但年内或可期待新的政策催化
4. 关注具有底盘全域平台化能力的优质龙头Tier1 & 上游的电机电机/丝杆



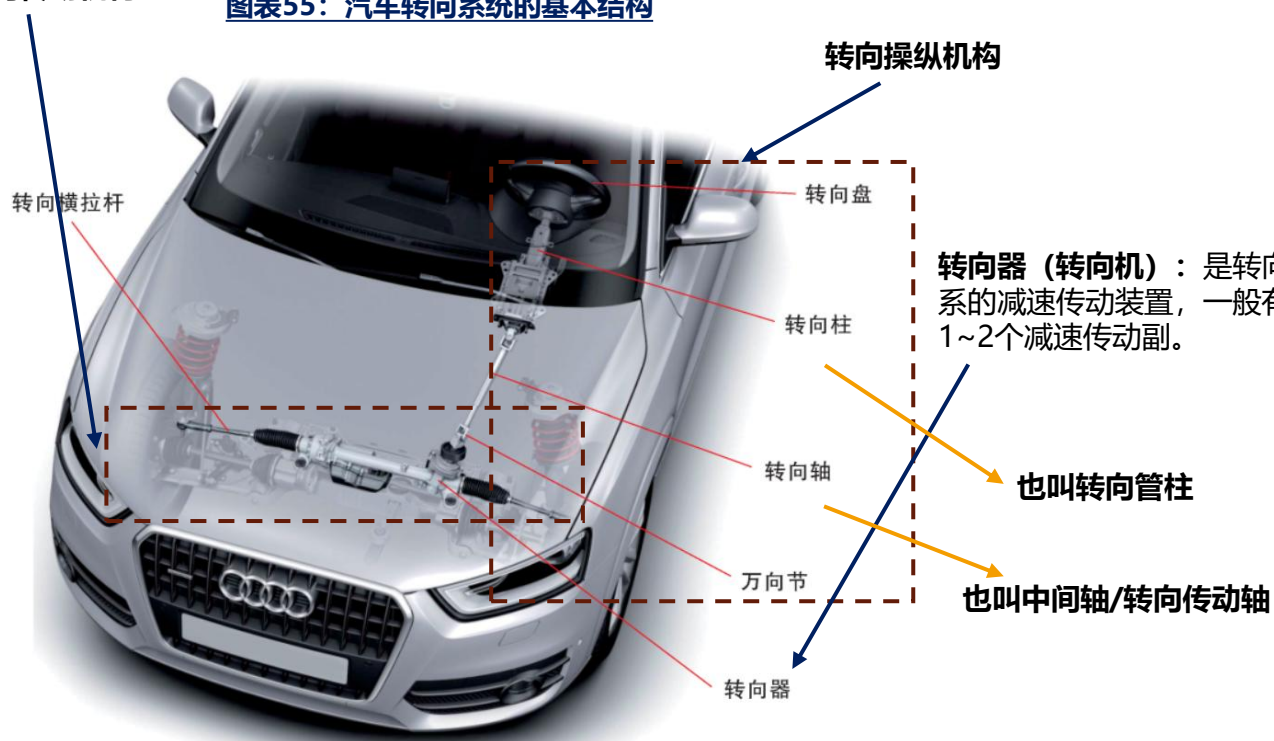
**汽车转向系统定义：**驾驶员通过操纵转向盘，经过一套传动机构，使转向轮在路面上偏转一定的角度来改变其行驶方向，确保汽车稳定安全的正常行驶。能使转向轮偏转以实现汽车转向，用来改变或保持汽车行驶或倒退方向的一整套机构（装置）称为汽车转向系统。

**按照不同部件的职能不同，可以划分为以下几个结构：**  
**转向操纵机构**-由方向盘、转向管柱、转向轴、转向传动轴、转向万向节、快拆器、快拆轴、轴承座等组成，作用是将驾驶员转动方向盘的力传给转向器；  
**转向器**-是完成由旋转运动到直线运动的一组齿轮机构，同时也是转向系中的减速传动装置；  
**转向传动机构**-从转向器到转向节之间的所有传动杆件（不含转向节）的总称，包括转向摇臂、转向直拉杆、转向节臂、转向梯形结构等。

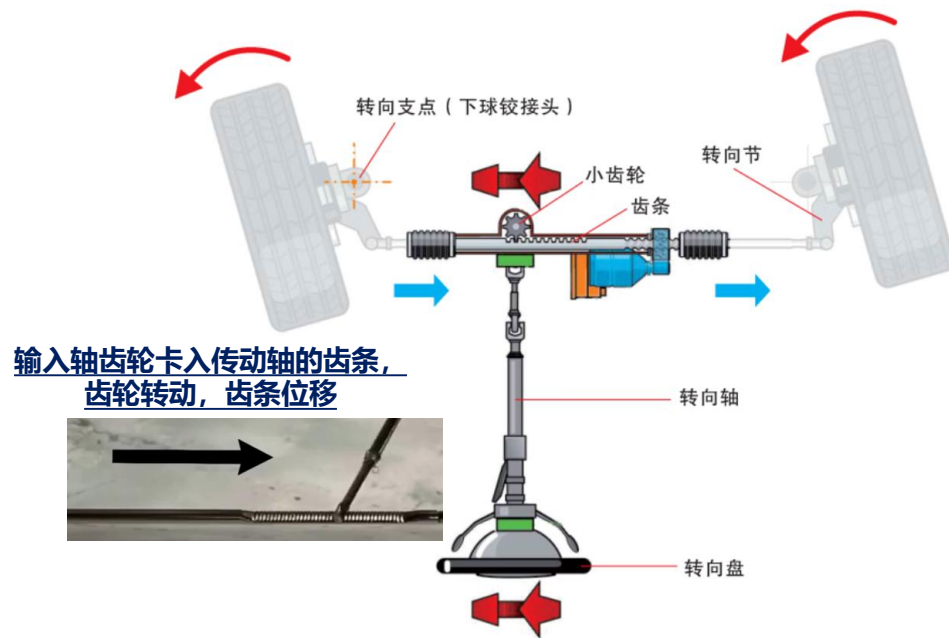
**工作原理：**右图举例了齿轮齿条式转向系统的基本工作原理，当驾驶人转动转向盘时，转向柱便跟着转动。通过转向节和转向中间轴，转向力矩传递至转向器的输入轴。输入轴的转动被齿轮齿条式转向器转换为往复运动或直线运动，推动或拉动转向杆系及转向节，使转向轮（前轮）偏转一定角度。

转向传动机构

图表55：汽车转向系统的基本结构



图表56：齿轮齿条式转向系统的工作原理



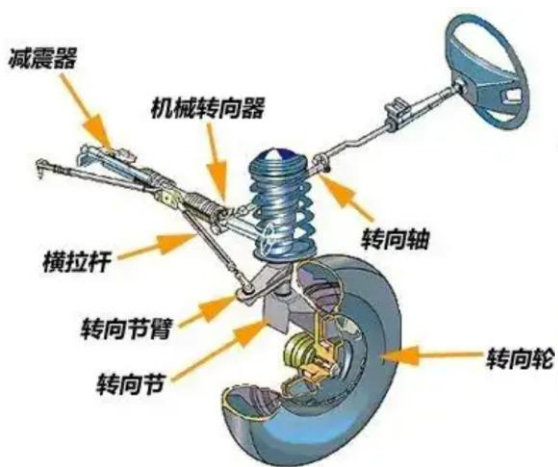




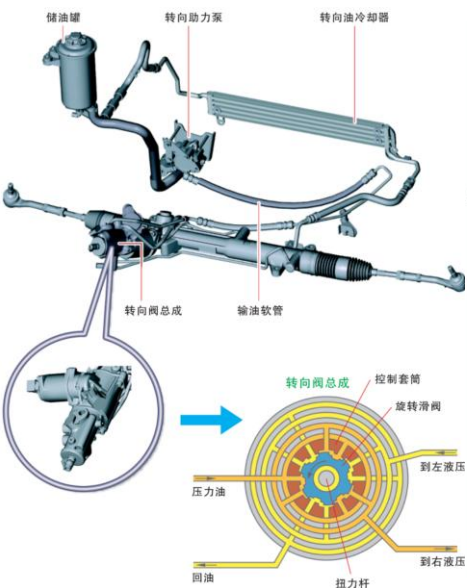
按照助力来源，转向系统可以划分为以下几个类别：

- **机械结构转向 (MS)**：不借助外力，依靠驾驶员操作，以驾驶员的体力作为转向动力来源，其中所有力学传递结构都是机械的。
- **机械液压转向助力系统 (HPS)**：包括齿轮齿条转向结构和液压系统(液压助力泵、液压缸、活塞等)两部分。工作原理是通过液压泵(由发动机皮带带动)提供油压推动活塞，进而产生辅助力推动转向拉杆，辅助车轮转向。
- **电子液压助力转向系统 (EHPS)**：它所采用的转向助力泵不再靠发动机传动带驱动，而是采用电动机来驱动。电子控制单元根据车辆的行驶速度、转向角速度来调节电动机的转速和由此产生的转向油流量，使转向助力力矩连续可调，从而满足高、低速时的转向助力力矩要求。
- **电子助力转向系统 (EPS)**：直接依靠电动机提供辅助转矩的电动助力转向系统。此系统利用微机控制电动机电流的方向和幅值，**不需要复杂的控制机构，电动机、减速机构、转向柱和转向齿轮可以制成一个整体。**
- **线控转向系统 (SBW)**：电机根据电子控制单元的指令直接驱动转向机构，方向盘与车轮之间无机械连接。

图表57：机械结构转向 (MS)



图表58：机械液压转向助力系统 (HPS) 图表59：电子液压助力转向系统 (EHPS)



图表60：电子助力转向系统 (EPS)



图表61：齿轮与齿条耦合图示



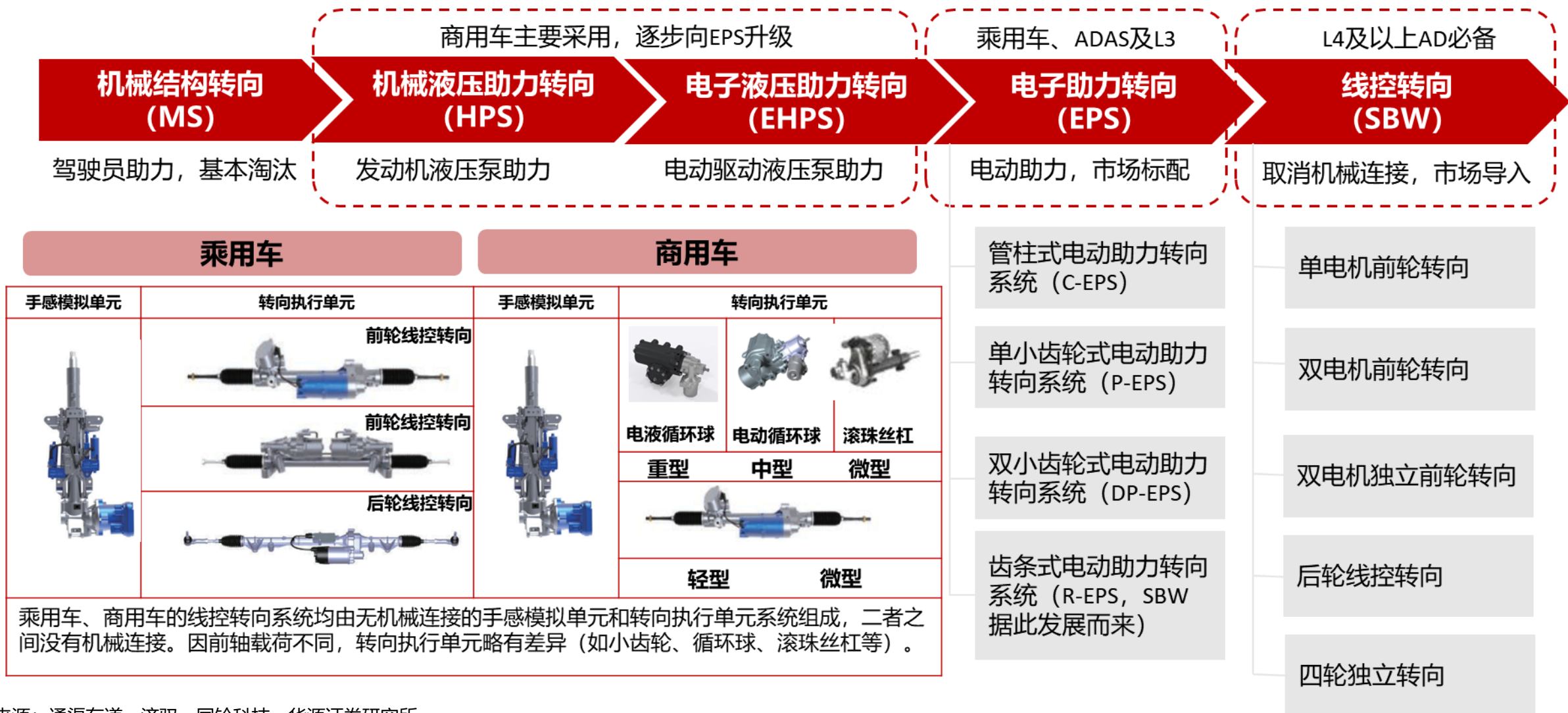
图表62：线控转向系统 (SBW)





EPS基本是乘用车标配；商用车从机械液压与电力液压助力逐步向EPS转型；线控转向（SBW）以R-EPS为基础实现机械解耦（下转就是R-EPS），逐步步入市场导入期。

图表63：不同类型转向适用车型与主要特点





**管柱式EPS (C-EPS)：**结构紧凑，布置简易。C-EPS助力电机位于转向柱上并布置在驾驶室内，体积小，成本低廉，但受限于空间位置和体积大小（可以看成多个电机跟驾驶员一块拧方向盘，是在操纵层发力），输出扭矩不大，电机工作噪音较大；

**小齿轮式EPS (P-EPS)：**电机功率更高，可提供较大转向助力。P-EPS电机布置在小齿轮和齿条啮合处，助力扭矩直接作用于转向齿轮，助力传动效率更高，能较好满足车辆转向需求；

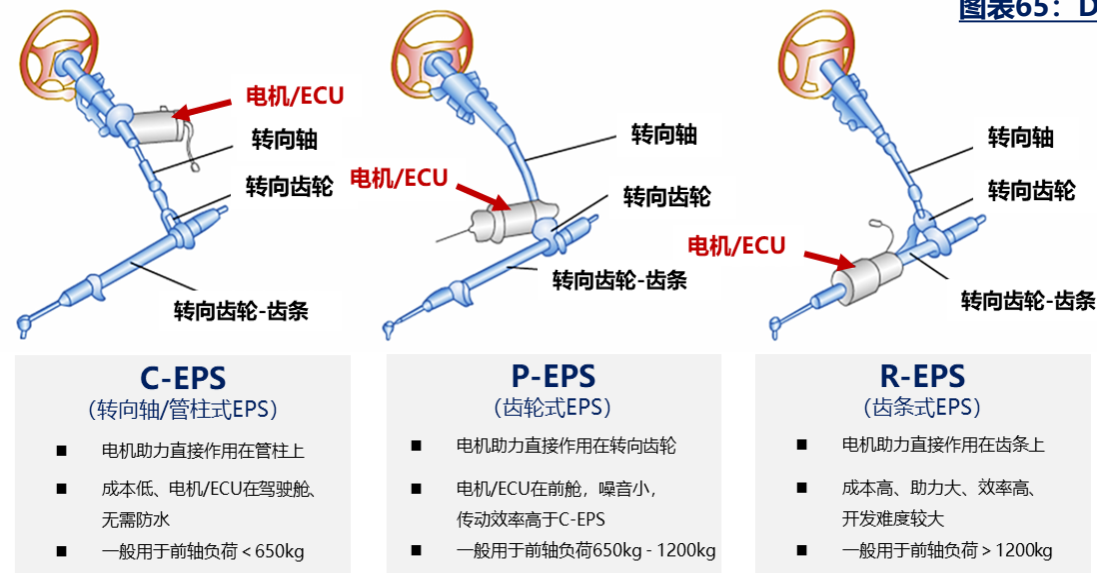
**双小齿轮式EPS (DP-EPS)：**实际上跟R-EPS更可比；增加的“电机+齿轮”总成平行于转向齿条安装，通过蜗轮蜗杆来助力（double的是齿轮而不是电机）；

**齿条式EPS (R-EPS)：**可提供最大转向动力，具备高输出、高刚度、高精度性等特点。电机安装在齿条上，且减速助力部件使用滚珠丝杆，噪声小+传动效率高；性能强于DP-EPS。

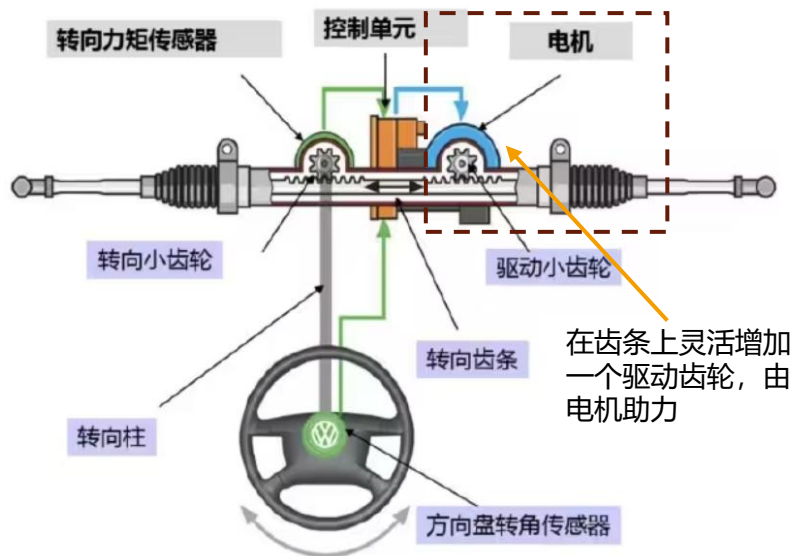
**总结：**

- 当电机越靠近转向器时，转向助力越大、传动效率越高、噪音越小、电机波动对手感影响越小、成本及开发难度越高，因此在性能上和传递效率上依次为 **C-EPS < P-EPS < DP-EPS < R-EPS**；
- 实际应用中OEM会根据车重、成本等因素综合考量，大体上有：**在A级或B级车上采用C-EPS；在C级或D级车上采用P-EPS；在中大型SUV或轿跑上采用DP-EPS或R-EPS。**

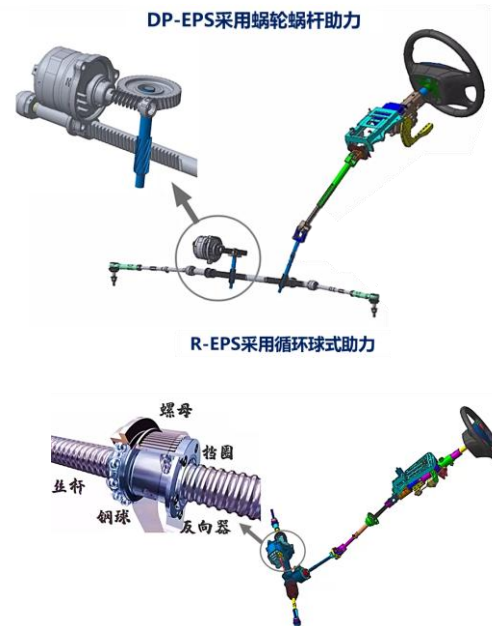
图表64: C-EPS VS P-EPS VS R-EPS



图表65: DP-EPS double的不是电机，而是在齿条上多了个齿轮电机总成



图表66: DP-EPS与R-EPS都是在齿条上加电机，但DP是蜗轮蜗杆来助力；R-EPS使用滚珠丝杆&无声皮带



图表67：不同类型EPS&SBW的特点对比

转向系统	C-EPS	DP-EPS	R-EPS	SBW
助力位置	驾驶室内	机舱内	机舱内	机舱内（无机械连接）
适用车型	紧凑型、小型、中小型	中型、中大型	中大型、大型	高端智能电车
单价	低（100-200美金）	中（200-300美金）	高（350-500美金）	高（≥500美金）
整车布置灵活性	中	高	低	高
功能拓展	差	好	好	好
NVH	路感差、噪音大	路感好	路感好	过滤路面振动， 仅模拟必要路感
开发周期	约24个月	约30个月	约30个月	4 - 6年
开发费用	低	中	高	高昂
电机惯性	大	小	小	小
动态响应	一般	较好	很好	好
助力范围	5-11KN	8-12KN	9-16KN	8-16KN
现有车辆搭载率	高	中	低	目前乘用车国内仅有蔚来ET9
自动驾驶等级	<L2	L2.5	≤L3	L3及以上

资料来源：王虎、许晓楠《汽车电动助力转向系统选型研究》、车界有料、Vehicle公众号等、华源证券研究所





**关于SBW：**广义的线控转向是指由电信号控制转向功能的转向系统，不一定取消转向轮和方向盘之间的机械连接；狭义的线控转向是指由电信号控制转向功能，并且取消了转向轮和方向盘之间的机械连接。狭义的线控转向系统，又可以分为带方向盘的和不带方向盘的，假如带了方向盘，方向盘一般不随车轮转动——**比如耐世特的静默方向盘线控转向系统**。通常讨论的SBW是指狭义；

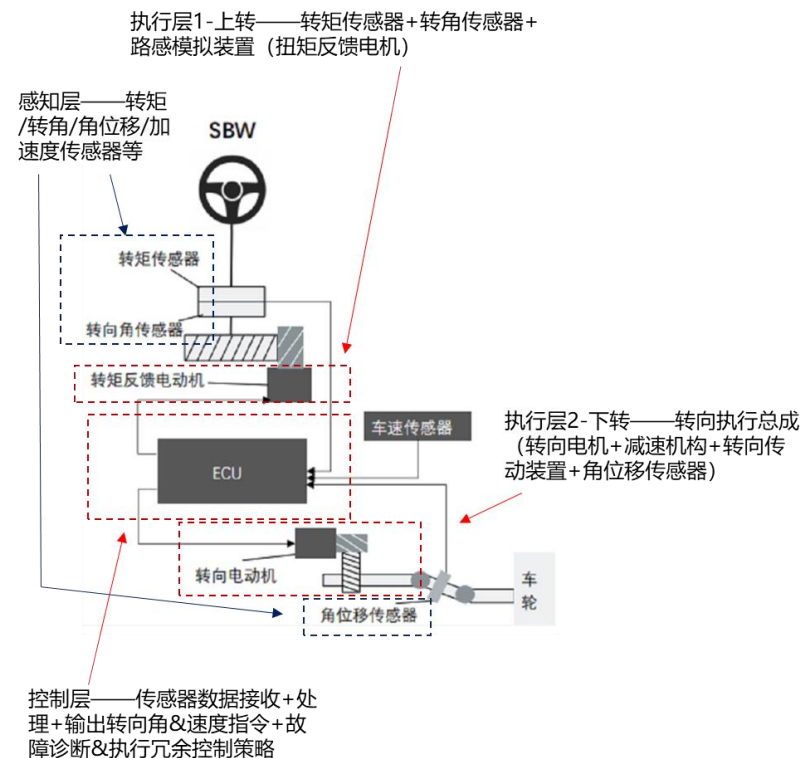
**结构上来看分为上转与下转部分：**上转部分的主角是路感模拟器（ECU计算+转矩反馈电机执行），作用就是模拟C-EPS/R-EPS给驾驶员的手感；与此同时取消方向盘到转向器之间的所有机械连接（转向管柱+中间轴）；下转部分跟R-EPS类似，转向执行总成同样是安装在齿条上。

**显然，SBW真正取消了车轮与方向盘之间的物理连接，电机不是接收驾驶员转动方向盘的扭矩来助力，而是独立的执行机构。**这意味着转向系统完全由控制算法来接管，而无需依赖于手工转动方向盘，这是方向盘去化的基础（其实对于L4/L5主驾无人，有机械连接方向盘/制动反而是负优化）。

**图表68：SBW = R-EPS – 管柱 – 中间轴 + 路感模拟器 + 信号线**



**图表69：SBW的上下转结构详解**





**完全依赖算法来实现可靠的转向，对控制算法要求高：**控制算法要确保主动转向时车身的稳定性，以及转向时前轮和后轮的协调。此外，控制算法还需要确保角度控制的精度以及实时性，假如精度不够或者在一些紧急情况下转向指令出现延时都可能造成很严重的后果。控制算法足够好，需要感知、预测、规划整个链条都足够好。也就是线控转向并不能孤立地发挥作用，而是依赖于整个自动驾驶系统的优化。但国内目前有能力实现“感知、预测、规划控制”全流程覆盖的Tier1非常少（这一定程度解释了以经纬恒润为代表的优质Tier1为何始终追求控制域&执行域软硬件全覆盖，长远看整套系统协同优化才能效果更佳）。

**L3冗余要求会明显提升：**根据蜂巢转向的数据，如果从响应时间/角度控制精度/车速&角度自适应调节等维度看，SBW的性能无疑能满足L3及以上级别需求；但L3及以上级别对于可靠性的要求及其严格（本质是驾驶员无法为系统失效兜底，系统安全目标从fail-safe升级为fail-operational）。量化来看，L3对SBW的要求可能达到10fit以内（10亿小时设备运行中失效次数在10次以内）；要达到这个目标可能得双冗余（两套传感器+两套电机+两套ECU+两套电源；蔚来ET9就是全链路双冗余），甚至三冗余（双冗余+独立功能转向）；因此，满足L3及以上级别需求的SBW系统成本阶段性会比较高（EMB也是同理，作为头部厂商高端车型的标杆产品，上车效果+安全 > 成本考量）；L2+及以下级别上SBW可能只要半冗余（双电机），考虑到上转路感模拟C-EPS与R-EPS成本也有差别，因此SBW针对不同车型的定价区别其实也会比较广。

图表70：SBW数据接收/处理及决策/控制涉及的流程



图表71：不同智驾级别对转向系统的性能要求

类别	L2：LCC	L2+：HWA	L2++：NOA（高速）	L3及以上（城区NOA）
响应性	√ 动态响应时间：<150ms。 √ 角度控制精度：<0.3°或0.5°。 √ 随车速和角度差多维度定制化调节。 <b>SBW&gt;R-EPS &gt; DP-EPS &gt; P-EPS &gt; C-EPS</b>			
精确度				
灵活性				
可靠性	300fit（非冗余）		100fit（部分冗余）	10fit（双冗余）/1fit（三冗余）



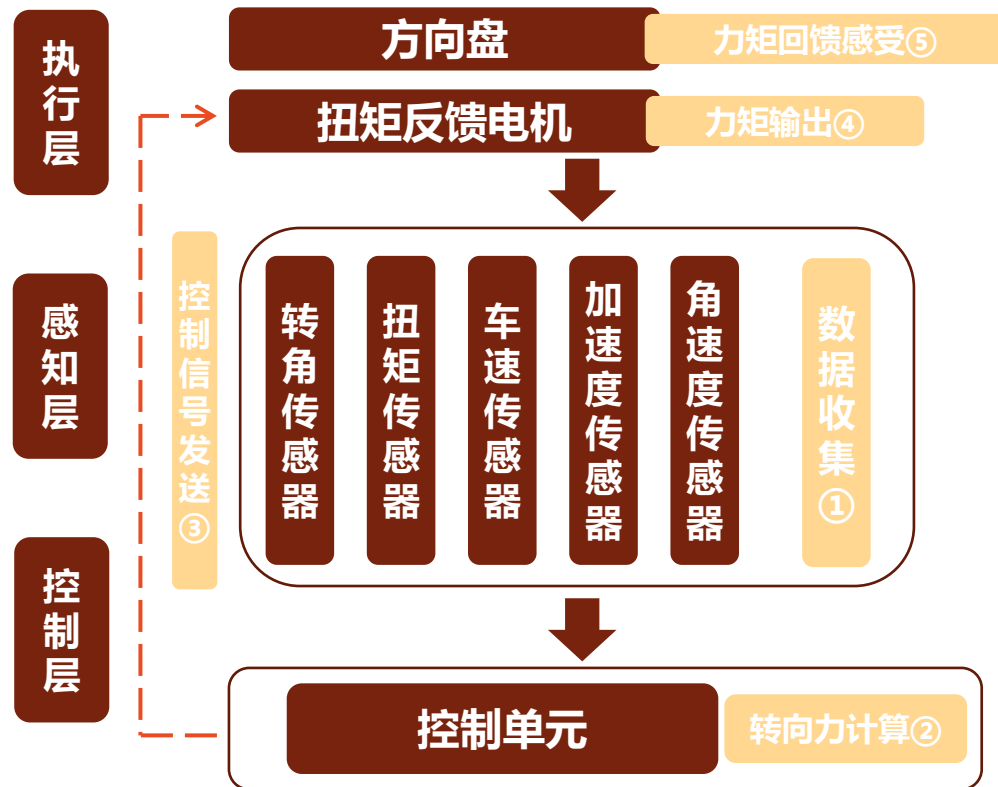
**为什么要模拟路感：**驾驶过程中需要让驾驶员可以感受到与传统机械转向相似的“力回馈”，因此需要通过电机模拟出一定的路感反馈，即控制单元需根据实际车辆动态模拟出合理的转向力反馈，再通过力矩电机向方向盘提供适当的阻尼和力感，从而使驾驶员可以感受到真实的转向感觉。

**模拟过程：**控制单元需根据内嵌的路感模拟模型，结合传感器数据，计算出在特定车速、转向角度和路面条件下，驾驶员在传统机械转向系统下应该感受到的转向力→以力矩电机作为执行机构，向其发送电流控制信号，使其产生相应方向和大小的力矩，并在相应条件下模拟出不同的路面阻力和转向阻力曲线，以让驾驶员获得更真实的路感反馈。整个过程中，控制单元始终保持对车辆状态的实时监控，并确保在紧急情况下能迅速调整反馈力度，以确保驾驶安全。期间若出现相应故障，系统将自动切换至安全模式，如提供一个恒定但不至于令驾驶员失去控制力矩的固定反馈。

图表72：路感模拟器的决策流

## 难点：

- **哪些路感需要反馈，哪些需要过滤存疑：**比如颠簸路面行驶带来的颠簸感，这里面什么程度的颠簸需要过滤？一边的车轮在水里造成的手感差异需要反馈给驾驶员，通过什么方法来检测这种信息？
- **面面俱到是很难的事：**比如英菲尼迪Q50 2013年搭载了带机械冗余的SBW；有消费者指出虽然来自路中心的反馈足够，但来自角落的反馈不足，让人很难获得真实的路感，相对有机械连接的情形效果差很多；
- **方向盘回正问题：**拿掉机械连接后，方向盘若要回正需要用电信号来模拟回正功能；用电信号模拟很难及时且恰到好处地让方向盘回正，方向盘可能回转过头/过慢；可能影响行车安全；
- **路感模拟器只是过渡形态产品，厂商难有激励加大投入：**路感模拟器只在人机共驾阶段需要；L4/L5不需要人接管；如果实现不了L4/L5，那SBW给用户带来的体验可能难以大幅超越R-EPS。



**目前国标对于线控转向尚无类似EMB一样完善的测试/验证/安全冗余标准：**关于线控转向的定义是在24.04由《GB/T 43947-2024 低速线控底盘通用技术要求》给出的——使用电子线路和通信传输等线控技术，接收驾驶自动化系统或操纵装置指令，对低速线控底盘进行转向控制的系统；而关于线控转向最新的进展体现在25.07发布的GB 17675-2025《汽车转向系基本要求》征求意见稿——对于线控转向系统，在整车层面，当车速降低至10 km/h以下或车辆制动至停车，并发出相应报警信号时，可认为进入安全状态。**整车层面的安全状态只能通过考虑线控转向系统之外的系统或驾驶员来实现和确保（这个标准还没有为双冗余EMB上车松绑）；**

另一个痛点问题是GB 7258-2017《机动车运行安全技术条件》明确要求装有转向助力装置的机动车，转向时其转向助力功能不应出现时有时无的现象，**且转向助力装置失效时仍应具有用方向盘控制机动车的能力，**也就是转向助力失效后，驾驶员必须能用方向盘控车；这跟EMB全线控的精神是冲突的。**那EMB要上车需要修订的标准可能不止GB 17675。**

值得一提的是海外市场来看，联合国法规UN R79也在围绕线控转向技术做修订工作；22年丰田BZ4X海外车型虽搭载了捷太格特的SBW，但最终也没规模量产。

**但我们对于年内法规有新进展是比较乐观的：**搭载线控转向技术的蔚来ET9在24年年底获得工信部量产许可，成为中国首款搭载“线控转向”技术的量产车型。这意味着EMB系统的可靠性已经得到国家层面认可（**根据IT之家整理的的数据，“线控转向”失去转向能力的概率为4.5FIT，比目前普遍使用的EPS可靠性提升2.2x**）；关于政策节奏，参考24年11月同驭汽车副总经理邓念观点——**国内26H2国标有望落地；**另外，海外市场这边，根据采埃孚披露，已经获得奔驰欧洲订单，将在26年量产。

图表73：与线控制动相关几个国标

《GB7258 - 2017》 6.9 装有转向助力装置的机动车,转向时其转向助力功能不应出现时有时无的现象,且转向助力装置失效时仍应具有用方向盘控制机动车的能力。
《GB17675 修改意见稿》 -2025.7 ——助力转向 power assisted steering equipment 转向力来源于驾驶员的操纵力和一个或多个供能装置。 注: 包括当转向系统完好时，转向力仅由一个或多个供能装置提供，当转向系统(带助力装置)出现故障后，转向力仍可通过驾驶员人力提供以完成转向动作的情况。【同GB17675-2021】 ——全动力转向 full-power steering equipment 转向力完全由一个或多个供能组件提供。【同GB17675-2021】 ——对于线控转向系统，在整车层面，当车速降低至 10 km/h 以下或车辆制动至停车，并发出相应报警信号时，可认为进入安全状态。整车层面的安全状态只能通过考虑线控转向系统之外的系统或驾驶员来实现和确保。当车辆过渡至安全状态时，应满足制造商定义的降级概念以及 4.3.3 的相关要求。 【新增】
《GB/T 43947—2024》 3.5 线控转向系统 steer-by-wire system 使用电子线路和通信传输等线控技术,接收驾驶自动化系统或操纵装置指令,对低速线控底盘进行转向控制的系统。

图表74：电动汽车产业技术创新战略联盟对2030年SBW的渗透率预期达30%

	2025年	2030年
技术水平发展目标	<div>• 满足L3+级自动驾驶的线控转向系统国际领先</div> <div>• 满足特殊场景的无人驾驶线控转向系统国际领先</div>	<div>• 满足L4+级自动驾驶的线控转向系统国际领先</div> <div>• 满足一般场景的无人驾驶线控转向系统国际领先</div>
关键零部件发展目标	<div>• 满足L3+级线控转向用传感器、控制器、电机、减速机构具备自主设计能力，且进入小批量试装阶段</div>	<div>• 满足L4+级线控转向用传感器、控制器、电机、减速机构具备自主设计能力，且进入小批量试装阶段</div>
系统特性目标	<div>• 自动驾驶跟随性达到传统驾驶模式的100%</div> <div>• 手动驾驶模式手感主观评价达到6分</div>	<div>• 满足全速域自动驾驶场景应用</div> <div>• 手动驾驶模式手感主观评价达到8分</div>
量产目标	<div>• 线控转向渗透率达到5%</div> <div>• 线控转向系统成本目标：4000元以内</div>	<div>• 线控转向渗透率达到30%</div>



**跟高阶智驾的相关性：**根据同驭汽车副总经理邓念的观点——线控转向可以满足L3级智能驾驶对安全冗余的要求；L4级智能驾驶对“人机解耦”有刚性需求，因此机械解耦的线控转向更是成为刚需。根据IT之家的观点——线控转向是汽车底盘一体化集成控制的关键，是高阶智能电动汽车的必备底层基础，也是实现“L3及更高阶智能驾驶”的核心部件之一。

**不只是跟L3及以上智驾绑定：**比如：1) 上下转解耦之后，方向盘可收纳（甚至去掉），**驾驶舱空间更大，智能座舱的场景可以有新变化**；2) 方向盘静默用在自动泊车这种场景也能改善用户体验（方向盘直接用来玩赛车游戏之类）；3) 据采埃孚介绍，转向比以及最大方向盘角度可灵活调整。最大方向盘角度可减小至180至210度，为全新的、更扁平的方向盘设计创造了可能，且驾驶员在转向时无需大幅摆臂；4) 据采埃孚介绍，依托前轮线控转向，前轮的最大转向角度从40度提升至80度，使中型车的转弯直径从十米以上缩减至七米以下。

图表75：线控转向的体验改善举例



图表76：蔚来官方对ET9线控转向系统的详解

类别	效果
解放方向盘	方向盘与转向轮之间「0机械连接」，取而代之的是电信号传递与控制，方向盘的角度和阻力矩可以自由设计，延迟更低、控制更精准，传递效率更高、布置更灵活。
可靠性提高2.2倍	ET9的「线控转向」系统拥有「双重供电、双重通信、双重硬件、双重软件」全冗余设计，方向盘和转向轮之间虽无机械转向管柱连接，但相比目前普遍使用的「电动助力转向系统 EPS」可靠性提升了「2.2 倍」
高阶智驾基础之一	「线控转向」是汽车底盘一体化集成控制的关键，是高阶智能电动汽车的必备底层基础，也是实现「L3 及更高阶智能驾驶」的核心部件之一，有望成为未来旗舰智能车型的标配。
小角度泊车	在自动泊车、换电泊车等场景下，方向盘与转向轮关联彻底解耦，方向盘仅需微转「10°」来表示车辆行进方向，无需快速、大角度旋转。
过滤路面80%振动	ET9的「线控转向」系统不仅能过滤超过「80%」从方向盘传来的路面振动，还能定制方向盘「路感」，商务出行可选择平稳的低路感模式，自己驾驶可切换至提升驾驶乐趣的高路感模式。



**主流车企积极拥抱线控转向：**特斯拉表示会将自适应空悬、线控转向、后轮转向应用于未来车型；国内主流自主品牌&新势力也均在推进产品落地；

**多个供应商已披露获得定点：**采埃孚25年配套蔚来ET9，26年将上车奔驰欧洲车型；博世、拓普、浙江世宝等厂商都披露过已经有定点；捷太格特则预期随着智驾加速渗透，2030年线控转向可能成为市场的主流选择。

图表77：已经上车/计划上车SBW的车企盘点（部分）

上车与否	配套车型	车型年款	产品	供应商
已经上车	英菲尼迪Q50	2013	DAS（带机械冗余）	日产+Koyaba
	英菲尼迪Q50	2018	DAS2.0（带机械冗余）	
	雷克萨斯RZ	2022	可变比电子线控转向系统	捷太格特
	丰田BZ4X（海外版）	2022	线控转向One Motion Grip	
	特斯拉Cybertruck	2024	线控转向（全冗余）+后轮转向	采埃孚
	奥迪R8 LMS GT2（赛车）	2024	机电一体化后轮转向+线控转向	舍弗勒
计划上车	ET9	2025	全冗余线控转向	采埃孚
	特斯拉ModelS/X及其他车型	-	48V/800V&线控转向&后轮转向上车后续车型&空悬	-
	特斯拉CyberCab	预计2026	确认搭载线控转向	-
	奥迪skysphere	预计2025	搭载线控转向、后轮转向	-
	奔驰EQS	预计2027	线控转向最早2027年用于奔驰S、EQS等车型	-
	吉利	预计2026	与海拉共同开发线控转向系统解决方案	-
	长城	-	21.06发布咖啡智能 2.0 智慧线控底盘，集成线控转向/制动/悬架；原计划23年量产；	-
	比亚迪	-	全新概念超跑腾势Z搭载自研线控转向	弗迪科技
	长安	-	长安旗下辰致科技展出的新一代智能底盘运动一体化解决方案；整合线控制动/转向/电磁悬架	辰致科技
	奇瑞	-	通过线控转向系统实现精准的转向控制，支持六维动态控制（纵向、横向、垂向、侧倾、纵倾及横摆），并搭载后轮转向技术	-
	小米	-	24.11月发布智能底盘预研技术，包括全自动悬架、48V线控制动和小米48V线控转向	-
	红旗	-	由红旗自主研发的四轮线控转向系统可实现极低的转弯侧倾和制动俯仰控制	-

图表78：主流Tier1厂商线控转向产品布局情况

类别	线控转向产品及布局情况
博世	自主研发的线控转向系统已获多家新能源整车客户项目定点
舍弗勒	线控转向技术Space Drive发展至第三代
采埃孚	EasyTurn前轮转向系统；2025年配套蔚来ET9量产，26年上车奔驰欧洲
耐世特	基于SBW推出静默方向盘转向系统和随需转向系统
捷太格特	已上车丰田BZ4X、雷克萨斯RZ；其预计到2030年，线控转向将会成为市场的主力选择
联创汽车电子	2020年年底实现了首次线控转向的样车展示
kayaba	2014年配套英菲尼迪Q50
万都	CES 2021发布SBW，原计划配套Canoo
伯特利	收购浙江万达，切入汽车转向，正在研发SBW
拓普集团	曾披露线控转向系统已获得多家头部主机厂定点
浙江世宝	线控转向可用于L3及以上智驾车型，目前已获得客户定点，正在项目开发过程中
拿森科技	未来五年，拿森将陆续推出C-EPS管柱式电动助力转向系统、后轮转向系统、线控转向系统、CDC连续可变阻尼减震器以及XYZ融合底盘域控制器

资料来源：汽车开发圈、佐思汽研、盖世汽车等、华源证券研究所

**EPS市场格局：博世龙一，耐世特+世宝崛起；SBW时代差距或进一步收窄**

**博世市占有所下降，耐世特&浙江世宝为代表的国产供应商崛起：** 博世/采埃孚24年国内乘用车EPS市占分别为27%/12%；25H1分别下滑至23%/11%；耐世特与世宝25H1市占分别为16%/5%；弗迪科技（BYD为主）25H1市占也达到4.4%，可见优质国内供应商或已具备挑战海外龙头的能力。在SBW时代，国内外研发启动的时间线相近+受益国内智驾发展较之海外更陡峭的斜率+蜗轮/皮带控制/丝杆螺母等环节产业链逐步超车海外，有理由相信国内供应商的市场份额可能比机械转向时代更乐观。

**成本角度，R-EPS的溢价体现在更大的电机&控制器+滚珠丝杆：** R-EPS所能支持的最大转向力更大&转向精度也更高，相应的电机需要更大+需要更精确传动装置；所以供应链角度电机与丝杆或是需要重点关注的方向；

**关于SBW的成本：** 上文讨论过SBW下转结构参考R-EPS；上转路感模拟器主要由ECU+转矩反馈电机构成；考虑整体算法复杂度明显提升，需要摊销更多研发成本，量产价格有望达到3-5千元。

图表79：2023-25H1 国内EPS供应商格局（单位：辆）

2025H1			2024			2023		
供应商	出货量	市占率	供应商	出货量	市占率	供应商	出货量	市占率
博世华域	2365555	22.5%	博世华域	6058179	26.6%	采埃孚	3953894	19.8%
耐世特	1699680	16.2%	耐世特	3674555	16.2%	博世	3702455	18.6%
采埃孚	1132546	10.8%	采埃孚	2642333	11.6%	NSK	2423513	12.2%
Jtekt	956973	9.1%	Jtekt	1907903	8.4%	Jtekt	1821356	9.1%
万都	534239	5.1%	NSK	1182029	5.2%	耐世特	1741734	8.7%
浙江世宝	487104	4.6%	现代摩比斯	1161400	5.1%	比亚迪	1097493	5.5%
弗迪科技	462378	4.4%	豫北转向	1105903	4.9%	万都	796498	4.0%
NSK	322670	3.1%	万都	917549	4.0%	豫北光洋	790784	4.0%
豫北转向	272230	2.6%	蒂森克虏伯	907623	4.0%	蒂森克虏伯	580805	2.9%
日立 & Showa	220645	2.1%	浙江世宝	591574	2.6%	博世华域	548311	2.8%

图表80：2024年不同类别EPS的预估价格（单位：元）

类别	渗透率	ASP
C-EPS	60-65%	900
P-EPS（含DP-EPS）	25-30%	1400-1500
R-EPS	15-20%	2000

图表81：C-EPS与R-EPS的成本结构

C-EPS		R-EPS	
电机+控制器	40%	电机+控制器	40%
角度+位移传感器	10%	角度+位移传感器	5-10%
蜗轮+蜗杆	10%	滚珠丝杆	10-15%
管柱	10-15%	管柱	10%
中间轴+支架+铸造件	10%	齿条+拉杆	10%
其他	10-15%	防尘罩&补偿结构件&其他	20-30%

资料来源：高工智能汽车、Vehicle公众号、头豹研究院等、华源证券研究所

**SBW2030年市场规模预计将达到215亿，26-30年有望实现160% CAGR：**我们预计25年国内乘用车转向系统市场规模或达到340亿左右，基本平稳；2030年将达到500亿市场规模，增量预计主要来自于SBW；SBW 2030年渗透率有望接近20%，市场规模有望达到215亿（类似EMB，考虑全球100万辆规模的Robotaxi，5年折旧，20万辆的年化；假设2倍于乘用车的ASP（6千元）；市场规模为12亿；考虑海外市场，预计市场规模将进一步扩张）。

图表82：转向系统市场规模测算

	2023	2024	2025E	2026E	2027E	2028E	2029E	2030E	2035E
乘用车批发销量（万辆）	2556.4	2719.4	2814.6	2913.1	3015.0	3120.6	3214.2	3310.6	3745.6
yoy	-	4.2%	3.5%	3.5%	3.5%	3.5%	3.0%	3.0%	2.5%
乘用车转向市场规模（亿元）	330.9	342.8	343.4	352.0	373.0	406.5	453.5	506.3	628.1
yoy	-	3.6%	0.2%	2.5%	6.0%	9.0%	11.6%	11.7%	4.4%
1.C-EPS	178.9	158.5	145.8	137.4	127.9	120.8	113.2	105.5	89.9
yoy	-	-11.4%	-8.0%	-5.8%	-6.9%	-5.5%	-6.3%	-6.8%	-3.1%
2.P-EPS（含DP-EPS）	107.0	99.1	85.6	83.6	81.6	78.0	70.2	62.3	51.8
yoy	-	-7.4%	-13.5%	-2.4%	-2.4%	-4.4%	-10.1%	-11.2%	-3.6%
3.R-EPS	45.0	85.3	111.8	126.4	140.5	139.6	134.1	123.2	104.1
yoy	-	89.5%	31.1%	13.1%	11.2%	-0.6%	-3.9%	-8.1%	-3.3%
4.SBW	0.0	0.0	0.2	4.7	23.1	68.1	136.0	215.2	382.3
yoy	-	-	-	2522.0%	391.6%	195.0%	99.8%	58.2%	12.2%
分类别行车制动出货量预期（万辆）									
1.C-EPS	1789.5	1686.0	1632.4	1602.2	1537.7	1497.9	1446.4	1390.4	1311.0
yoy	-	-5.8%	-3.2%	-1.9%	-4.0%	-2.6%	-3.4%	-3.9%	-1.2%
2.P-EPS（含DP-EPS）	690.2	679.8	618.8	629.2	633.2	624.1	578.6	529.7	486.9
yoy	-	-1.5%	-9.0%	1.7%	0.6%	-1.4%	-7.3%	-8.4%	-1.7%
3.R-EPS	204.5	407.9	562.9	670.0	783.9	811.3	803.5	761.4	711.7
yoy	-	-	-	-	17.0%	3.5%	-1.0%	-5.2%	-1.3%
4.SBW	0.0	0.0	0.4	11.7	60.3	187.2	385.7	629.0	1236.1
yoy	-	-	-	-	417.5%	210.5%	106.0%	63.1%	14.5%
渗透率预期									
1.C-EPS	70.0%	62.0%	58.0%	55.0%	51.0%	48.0%	45.0%	42.0%	35.0%
2.P-EPS（含DP-EPS）	27.0%	25.0%	22.0%	21.6%	21.0%	20.0%	18.0%	16.0%	13.0%
3.R-EPS	8.0%	15.0%	20.0%	23.0%	26.0%	26.0%	25.0%	23.0%	19.0%
4.SBW	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	2.0%	6.0%	12.0%	19.0%	33.0%
ASP（元）									
1.C-EPS	1000	940	893	857	832	807	782	759	686
yoy	-	-6%	-5%	-4%	-3%	-3%	-3%	-3%	-2%CAGR
2.P-EPS（含DP-EPS）	1550	1457	1384	1329	1289	1250	1213	1176	1063
yoy	-	-6%	-5%	-4%	-3%	-3%	-3%	-3%	-2%CAGR
3.R-EPS	2200	2090	1986	1886	1792	1720	1669	1619	1463
yoy	-	-5%	-5%	-5%	-5%	-4%	-3%	-3%	-2%CAGR
4.SBW	4800	4512	4241	4029	3828	3636	3527	3421	3093
yoy	-	-6%	-6%	-5%	-5%	-5%	-3%	-3%	-2%CAGR

资料来源：高工智能汽车、Vehicle公众号、智研咨询等、华源证券研究所

# 主要内容

---

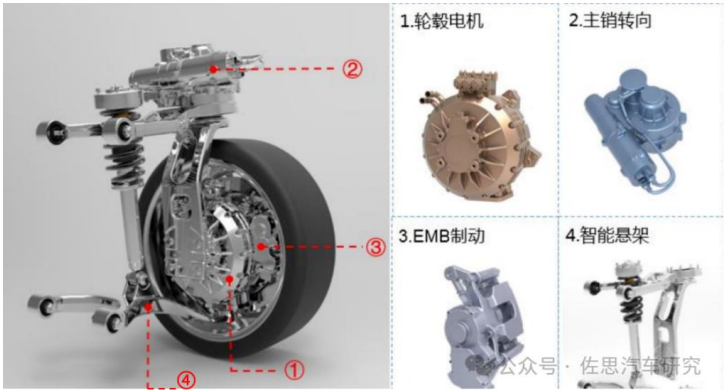
1. 线控底盘追求人机解耦是实现L3/L4的基础
2. 关于线控制动：法规允许EMB 26年1月开始正式上车
3. 关于线控转向：法规认证尚不明细，但年内或可期待新的政策催化
4. 关注具有底盘全域平台化能力的优质龙头Tier1 & 上游的电机/丝杆



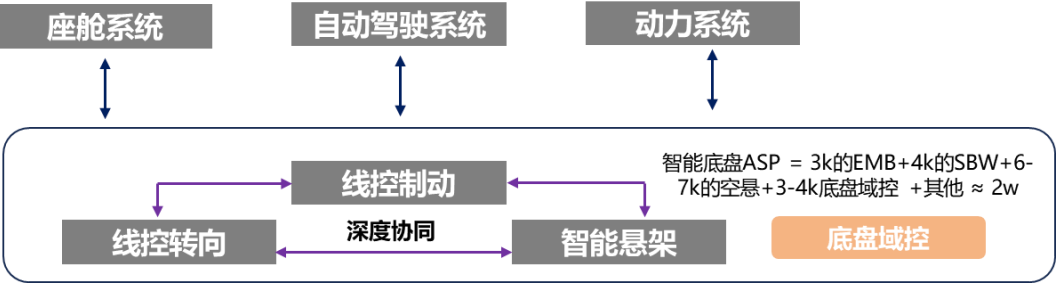
往更长远的技术趋势看，下一代智能底盘有望打破传统系统边界，例如通过“角模块”实现制动、驱动、转向的高度集成，从根本上解决早期智能汽车存在的操控迟滞、点头效应等问题；EMB与悬架、转向的集成度或将进一步提升。比如利氮科技的EMB-LK+SBW-LK与底盘域控平台C trio-LK协同，可以确保单一故障下制动系统与转向系统正常工作；龙头公司有非常明确的ASP扩张曲线，能整体配套底盘全域零部件的优质Tier1单车价值量有望达到2万元以上。

**线控四轮独立转向系统(4WS-SBW) 为代表的创新功能加速上车：**以红旗一体化底盘构型为例，首创底盘域控制算法，实现转向、制动、悬架系统的集成控制。它把驱动车轮的电机，从车身上去掉，直接集成到了车轮上，安装在了轮毂的内侧，并且4个轮子都采用同样的设计。这样相当于直接取消了传统汽车上的传动装置，让车轮能够“自己”驱动“自己”，可实现蟹行转向、定点掉头、前轮转向、四轮转向等七种运动模式。

图表83：红旗一体化底盘构型



图表84：能整合好底盘全域的优质Tier1足以支撑起2万元以上的单车



图表85：主流Tier1探索进一步集成底盘核心零部件

厂商	角模块示意图	角模块技术
亚太股份		<ul style="list-style-type: none"><li>角模块高级集成轮边转向、线控制动、轮毂电机、空气弹簧及主动阻尼器等多维执行器，可实现车辆原地转圈、横移，可以满足120km/h的高速要求</li><li>配合VMC底盘域控制系统，实现三轴全自由度精准控制</li></ul>
智达汽车科技		<ul style="list-style-type: none"><li>角模块产品将底盘的驱动系统、制动系统、驻车系统、转向系统、悬架系统集成成为一个模块，为智能线控底盘提供独立的、精准的、可靠的、高效的运动输出</li><li>采用域控技术，通过车规级的底盘域控制器（pC-DCU）对4个角模块进行复杂控制</li></ul>
Protean Electric		<ul style="list-style-type: none"><li>电驱动角模块“Protean 360+”集成了360度转向系统、轮毂电机、制动系统、悬架系统，为城市驾驶带来前所未有的机动性</li></ul>
舍弗勒		<ul style="list-style-type: none"><li>智能角模块集成了电驱动、线控转向、线控制动和底盘悬挂功能，可实现原地掉头，90°转向，底盘域控制器实现XY方向一体化控制</li></ul>
大陆		<ul style="list-style-type: none"><li>将制动系统与轮毂电机集成，实现高度模块化与灵活化</li></ul>

资料来源：佐思汽车研究公众号、盖世汽车、华源证券研究所



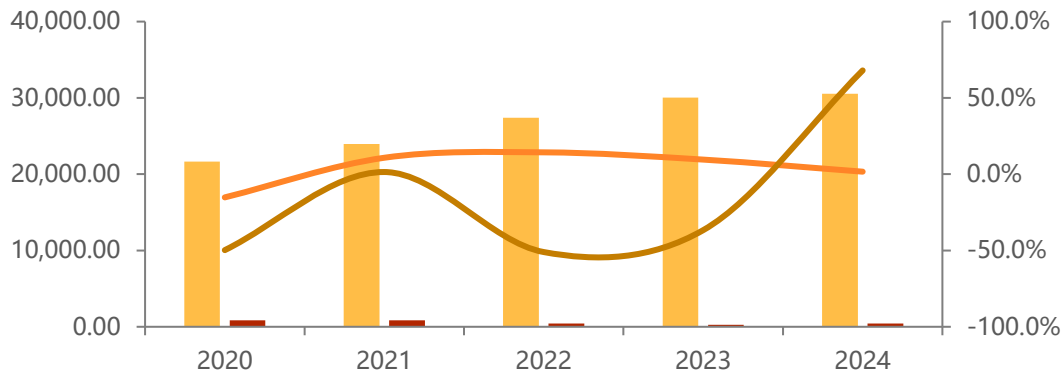
**耐世特：**全球汽车转向系统头部供应商，产品布局涵盖C-EPS、DP-EPS、R-EPS、管柱、中间轴、液压转向、传动系统等等；客户覆盖全球；车型涵盖乘用车&商用车&Robotaxi；早在2017年就开始布局SBW；有望成为最先实现SBW量产的本土供应商。

图表86：耐世特转向系统布局



图表87：耐世特收入、利润走势 (单位：元；USD/CNY 取7.14)

营收(百万) 归母净利润(百万) 营收yoy(右轴) 归母净利润yoy(右轴)



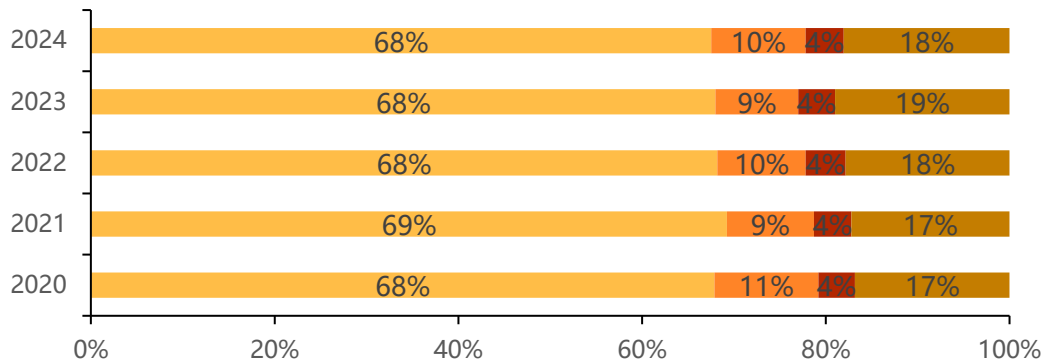
图表88：耐世特线控制动产品关键优势

## 耐世特EMB的关键优势

- 提升安全性和舒适性：EMB 能够对每个车轮进行快速、精确且独立的控制，提升了车辆的稳定性，缩短了响应时间和制动距离。该系统还能改善NVH（这在安静的电动车辆中尤为重要），并且可以通过软件调整制动踏板的脚感。
- 优化能源效率：通过去除液压油并减少机械损耗，EMB 有助于实现车辆的轻量化，提高燃油效率或电动车辆的续航里程。
- 面向未来的架构：由于没有传统的制动管路，EMB 提供了更大的设计灵活性，支持软件定义汽车（SDV）架构、驾驶辅助和自动驾驶功能。
- 降低维护成本并减少对环境的影响：去除液压部件减少了磨损，降低了制动粉尘、二氧化碳排放，以及维护成本和制动液处理问题。

图表89：耐世特收入产品结构

电动助力转向产品(EPS) 转向管轴及中间轴(CIS)  
液压助力转向产品(HPS) 动力传动



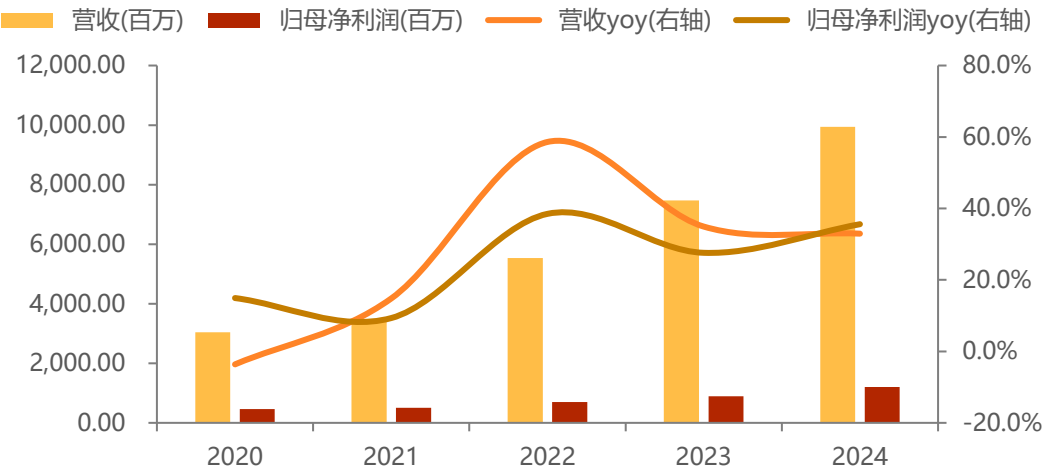
**伯特利：** 国产制动头部厂商；根据25年6月披露的可转债说明书，公司未来将新增60万套EMB产品年产能；100万套智能线控制动系统产品年产能；此外，公司22年5月完成对浙江万达的收购，切入汽车转向系统市场，积极布局SBW中。

线控制动系统

图表90：伯特利线控制制动系统布局



图表91：伯特利收入、利润走势

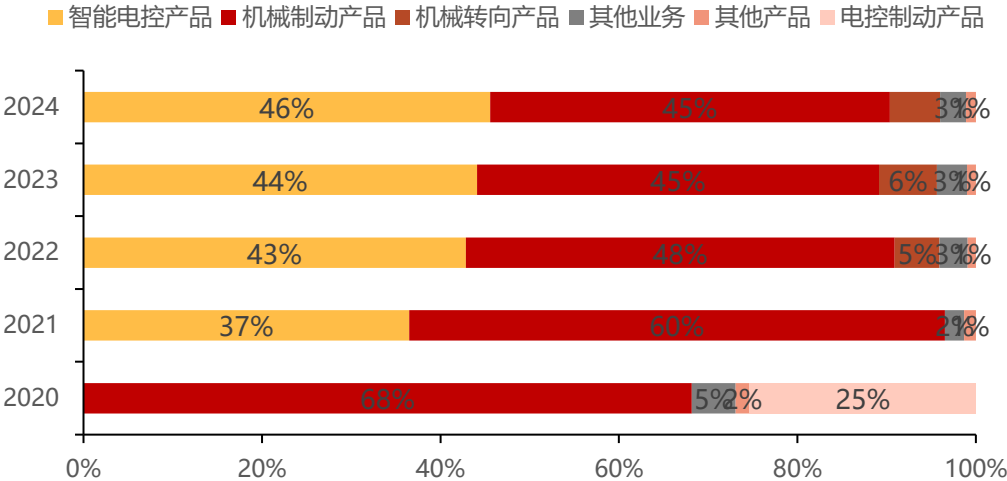


转向系统

图表92：伯特利转向系统布局



图表93：伯特利收入产品结构



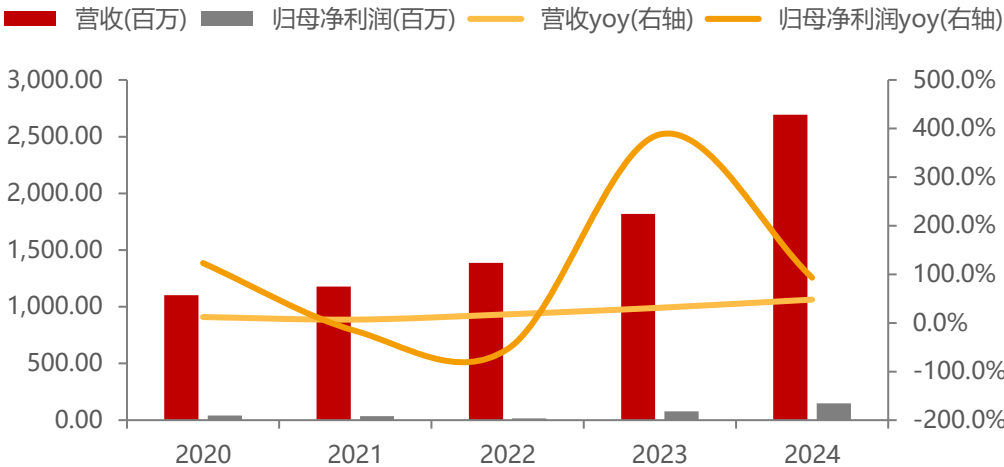
资料来源：ifind、伯特利官网、华源证券研究所

**浙江世宝：**国内转向系统头部厂商；公司客户涵盖全球商用车龙头企业&国内主流乘用车企；23年开始布局SBW；公司收入体量相对伯特利、耐世特更小且产品结构更为单一，乘用车客户覆盖面&配套产品的多样化程度也在持续拓展；SBW如果能放量，收入/利润体量的扩张速度或相对更快。根据公司投资者互动问答，公司的线控转向SBW已获得多个客户的项目定点，目前均在不同的开发阶段。根据客户的要求，预计最早于26年量产。

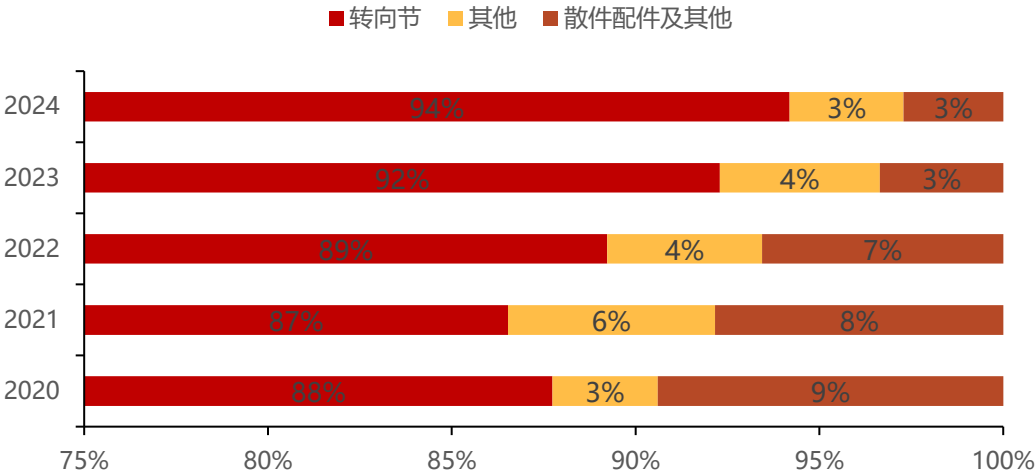
图表94：世宝转向系统产品布局



图表95：浙江世宝收入、利润走势



图表96：浙江世宝收入产品结构



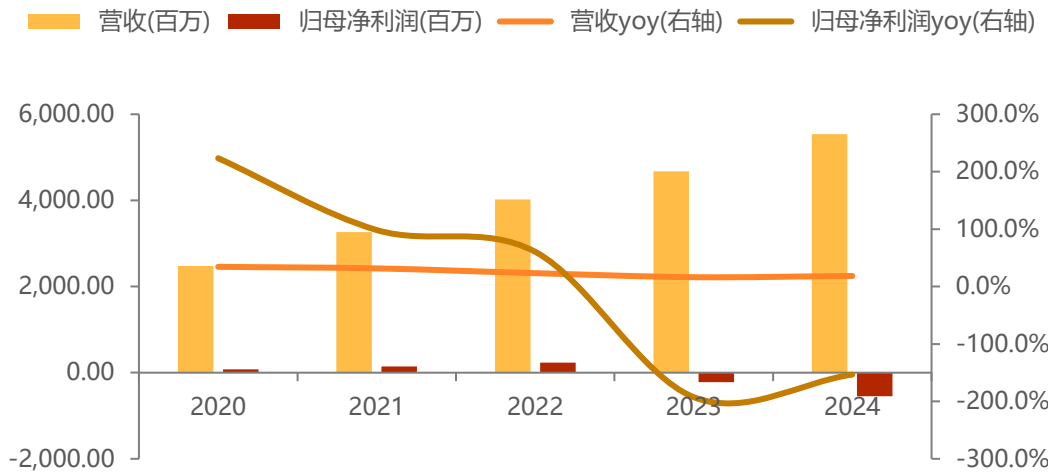


**经纬恒润：**控制器起家，车身、智驾、底盘、动力域、网联域全布局的Tier1头部厂商；硬件量产经营丰富+品控过硬的同时，软件能力突出；前瞻布局封闭/半封闭场景无人驾驶、干线物流、支线物流，深度受益整车电子电气架构集成化风潮&RoboX加速落地的产业趋势。

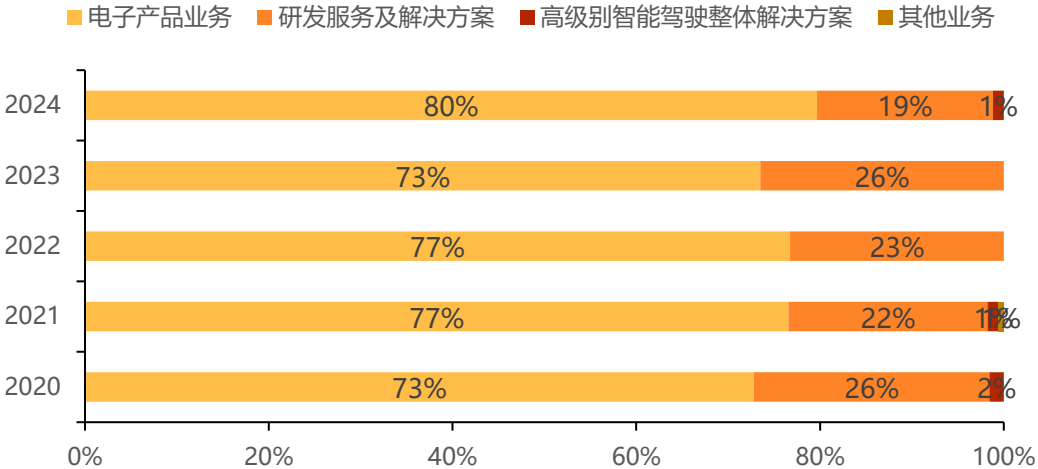
图表97：经纬恒润线控制动+底盘域控+线控转向全域布局



图表98：经纬恒润收入、利润走势



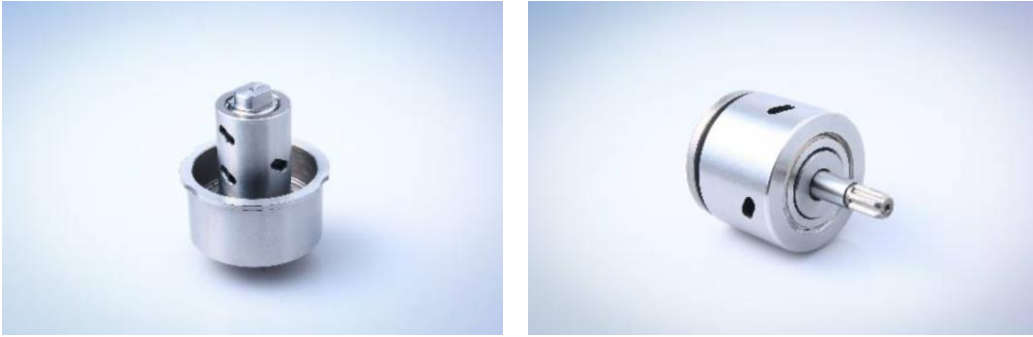
图表99：经纬恒润收入产品结构



资料来源：ifind、经纬恒润官网、华源证券研究所

**五洲新春：**国产精密制造商，主营轴承及汽车配件，依托自身精密制造经验，尤其是以轴承为基础的技术积累，着力发展各类丝杠产品，核心聚焦滚珠丝杠业务；在智能汽车线控系统方面，其丝杠产品可适配SBW，为系统提供关键的线性运动与动态控制支持，目前已开启相关领域合作布局。

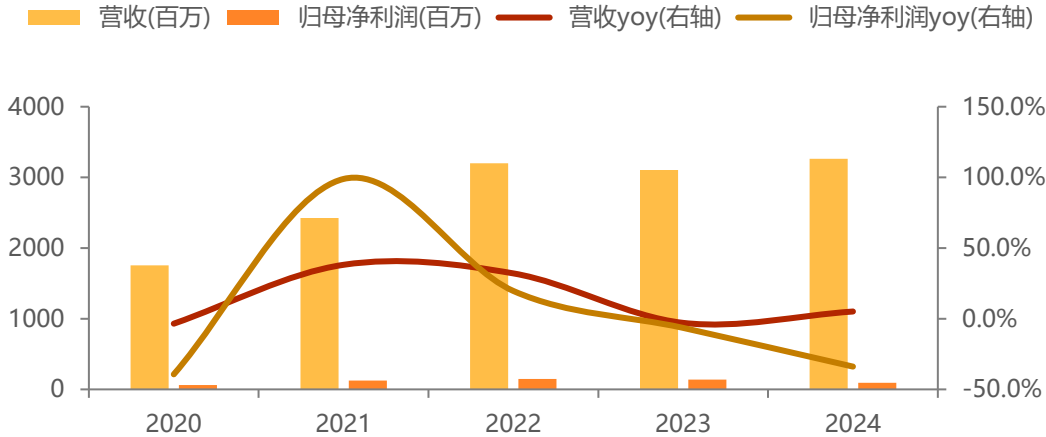
图表100：五洲新春线控制动系统布局



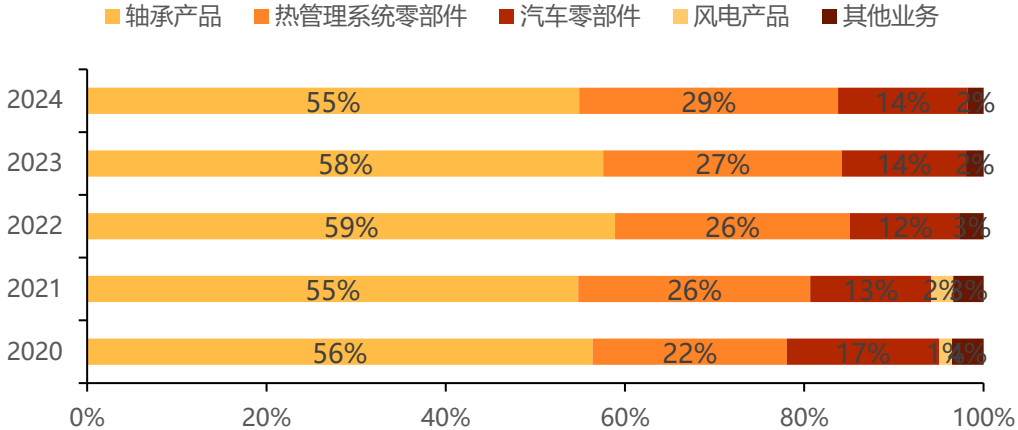
图表102：五洲新春转向系统布局



图表101：五洲新春收入、利润走势



图表103：五洲新春收入产品结构

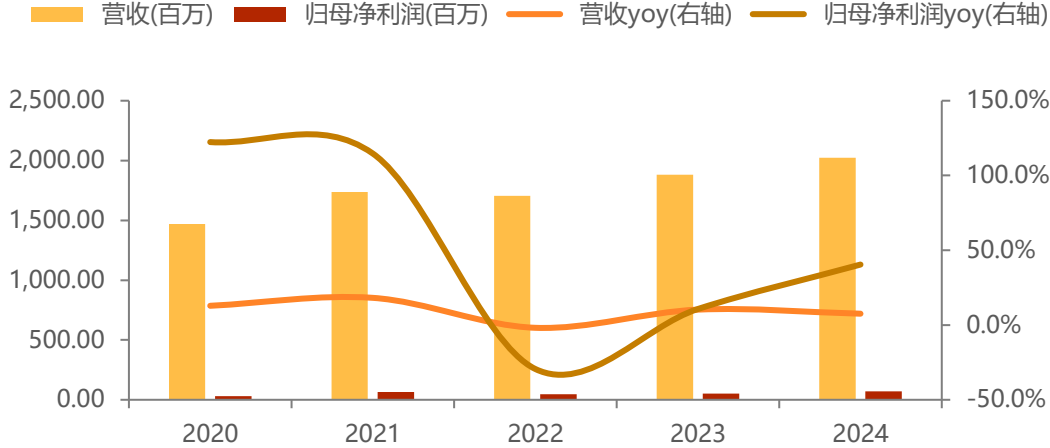


**北特科技：**国内汽车底盘零部件主流供应商，业务覆盖转向、减振等领域，重点深耕转向齿条业务；凭借工业优化与精度控制优势，积极探索转向齿条业务与线控转向系统SBW的融合发展，开发适配线控转向系统的高性能齿条产品。

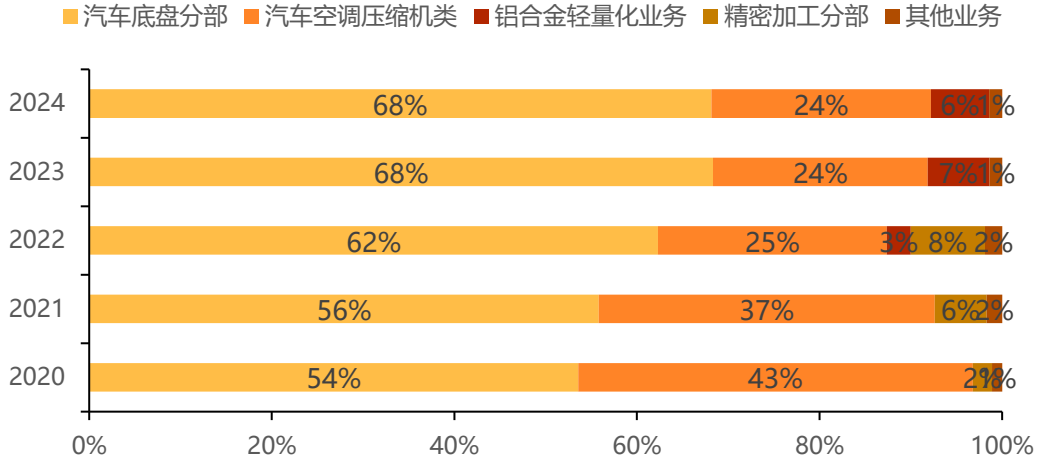
图表104：北特科技转向系统产品布局



图表105：北特科技收入、利润走势



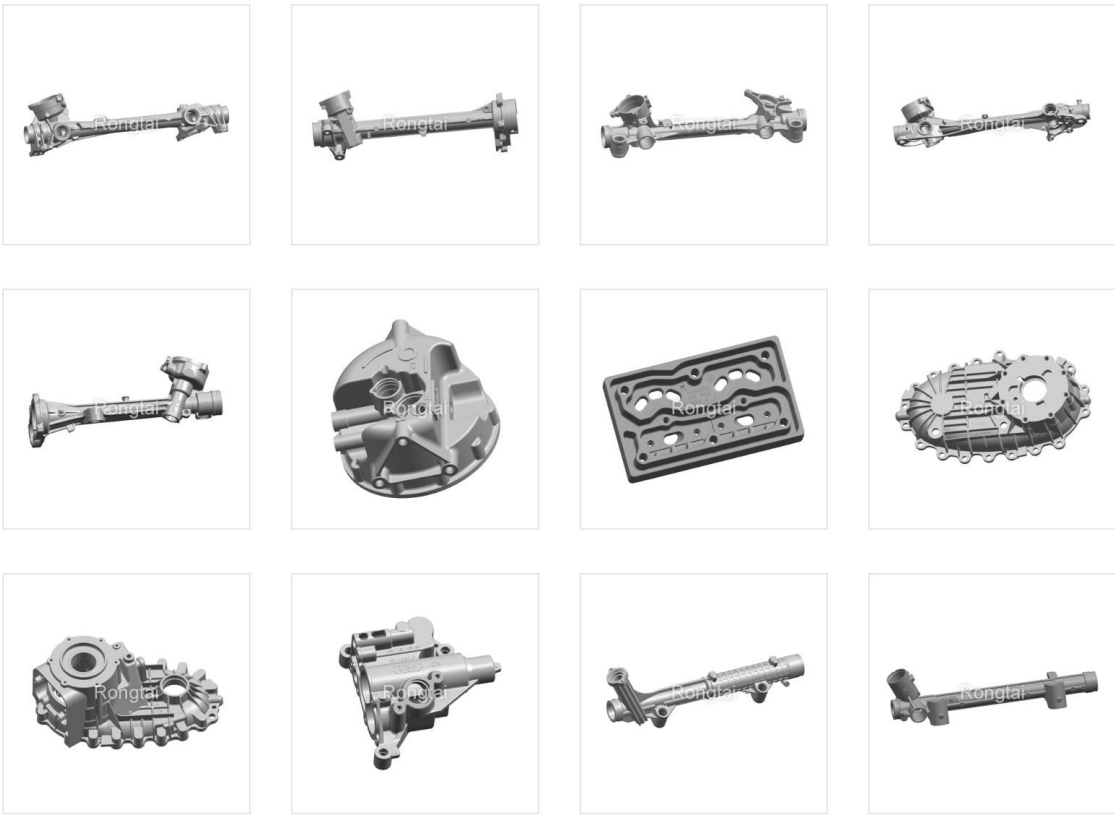
图表106：北特科技收入产品结构



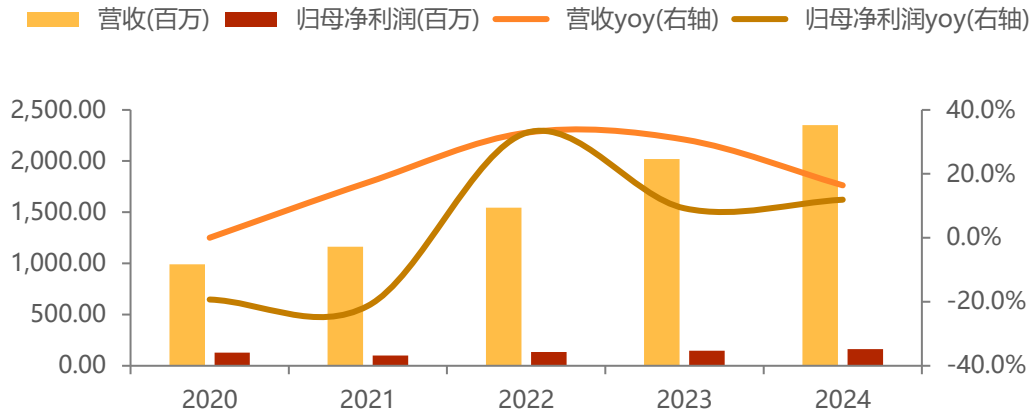
资料来源：ifind、北特科技官网、华源证券研究所

**嵘泰股份：**国内电动助力转向器铝铸壳体头部企业，其转向系统产品包括转向长壳体、转向管柱、伺服壳体、端盖等；具备转向管柱业务从研发设计、模具制造到压铸成型、精密加工的全流程生产能力，凭借技术优势快速响应诉求，开发出符合不同车型要求的转向管柱产品，其客户涵盖世界知名车企及顶级跨国零部件总成企业。

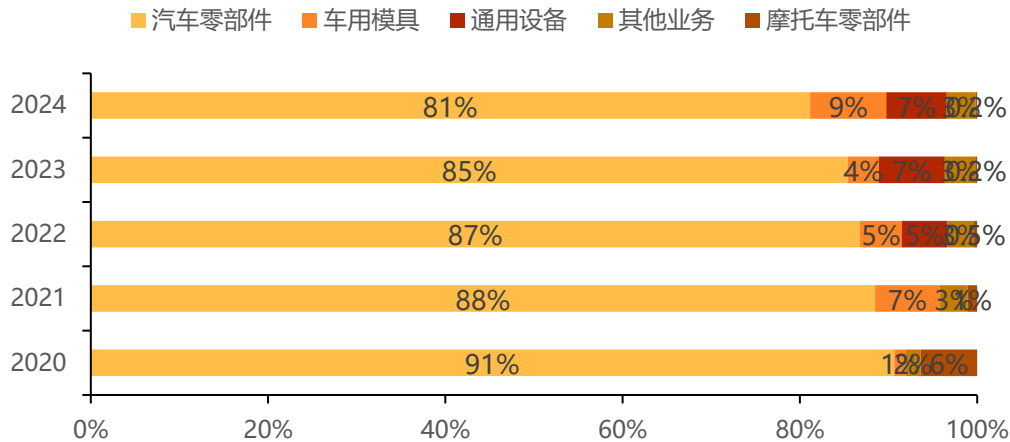
图表107：嵘泰转向系统产品布局



图表108：嵘泰股份收入、利润走势



图表109：嵘泰股份收入产品结构



资料来源：ifind、嵘泰股份官网、华源证券研究所





華源証券

HUAYUAN SECURITIES

## 风险提示

**法规进展不及预期风险：**如L3、L4/线控转向相关法规推进进程不及预期，可能导致行业渗透率提升速度低于预期，市场规模的增长可能低于预期。

**竞争格局恶化风险：**如多家主要产品供应商为获取定点采取过于激烈的竞争策略可能导致线控制动/转向产品降价速度超市场预期，行业市场规模与盈利水平可能不及预期。

**汽车下游销量不及预期风险：**如汽车下游受补贴政策、宏观环境等因素影响销量不及预期，可能导致线控制动/转向产品的终端销量不及预期。

**技术成熟度不及预期风险：**如量产上车的线控制动/转向产品市场反馈一般，甚至出现预期之外的安全风险，可能导致车企对该技术趋于保守，行业渗透率不及预期。



華源証券

HUAYUAN SECURITIES

## 评级说明和重要声明

### 证券分析师声明

本报告署名分析师在此声明，本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，本报告表述的所有观点均准确反映了本人对标的证券和发行人的个人看法。本人以勤勉的职业态度，专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观的出具此报告，本人所得报酬的任何部分不曾与、不与，也不将会与本报告中的具体投资意见或观点有直接或间接联系。

### 一般声明

华源证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。

本报告是机密文件，仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司客户。本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息撰写，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、工具、意见及推测等只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的的邀请或向人作出邀请。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。客户应对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特殊需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或使用本报告所造成的一切后果，本公司及/或其关联人员均不承担任何法律责任。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

本报告所载的意见、评估及推测仅反映本公司于发布本报告当日的观点和判断，在不同时期，本公司可发出与本报告所载意见、评估及推测不一致的报告。本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。除非另行说明，本报告中所引用的关于业绩的数据代表过往表现，过往的业绩表现不应作为日后回报的预示。本公司不承诺也不保证任何预示的回报会得以实现，分析中所做的预测可能是基于相应的假设，任何假设的变化可能会显著影响所预测的回报。本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本报告的版权归本公司所有，属于非公开资料。本公司对本报告保留一切权利。未经本公司事先书面授权，本报告的任何部分均不得以任何方式修改、复制或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。如征得本公司许可进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“华源证券研究所”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。本公司保留追究相关责任的权利。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

本公司销售人员、交易人员以及其他专业人员可能会依据不同的假设和标准，采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论或交易观点，本公司没有就此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。本公司的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。



## 信息披露声明

在法律许可的情况下，本公司可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。本公司将会在知晓范围内依法合规的履行信息披露义务。因此，投资者应当考虑到本公司及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

## 投资评级说明

**证券的投资评级：**以报告日后的6个月内，证券相对于同期市场基准指数的涨跌幅为标准，定义如下：

买入：相对同期市场基准指数涨跌幅在20%以上；

增持：相对同期市场基准指数涨跌幅在5%~20%之间；

中性：相对同期市场基准指数涨跌幅在-5%~+5%之间；

减持：相对同期市场基准指数涨跌幅低于-5%及以下。

无：由于我们无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使我们无法给出明确的投资评级。

**行业的投资评级：**以报告日后的6个月内，行业股票指数相对于同期市场基准指数的涨跌幅为标准，定义如下：

看好：行业股票指数超越同期市场基准指数；

中性：行业股票指数与同期市场基准指数基本持平；

看淡：行业股票指数弱于同期市场基准指数。

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重建议；

投资者买入或者卖出证券的决定取决于个人的实际情况，比如当前的持仓结构以及其他需要考虑的因素。投资者应阅读整篇报告，以获取比较完整的观点与信息，不应仅仅依靠投资评级来推断结论。

**本报告采用的基准指数：**A 股市场基准为沪深 300 指数，香港市场基准为恒生中国企业指数（HSCEI），美国市场基准为标普 500 指数或者纳斯达克指数。



華源証券

HUAYUAN SECURITIES