

NO.173

新能源电驱动系统发展趋势 及关键技术

1 电驱动系统的六大技术

(1) 系统集成技术

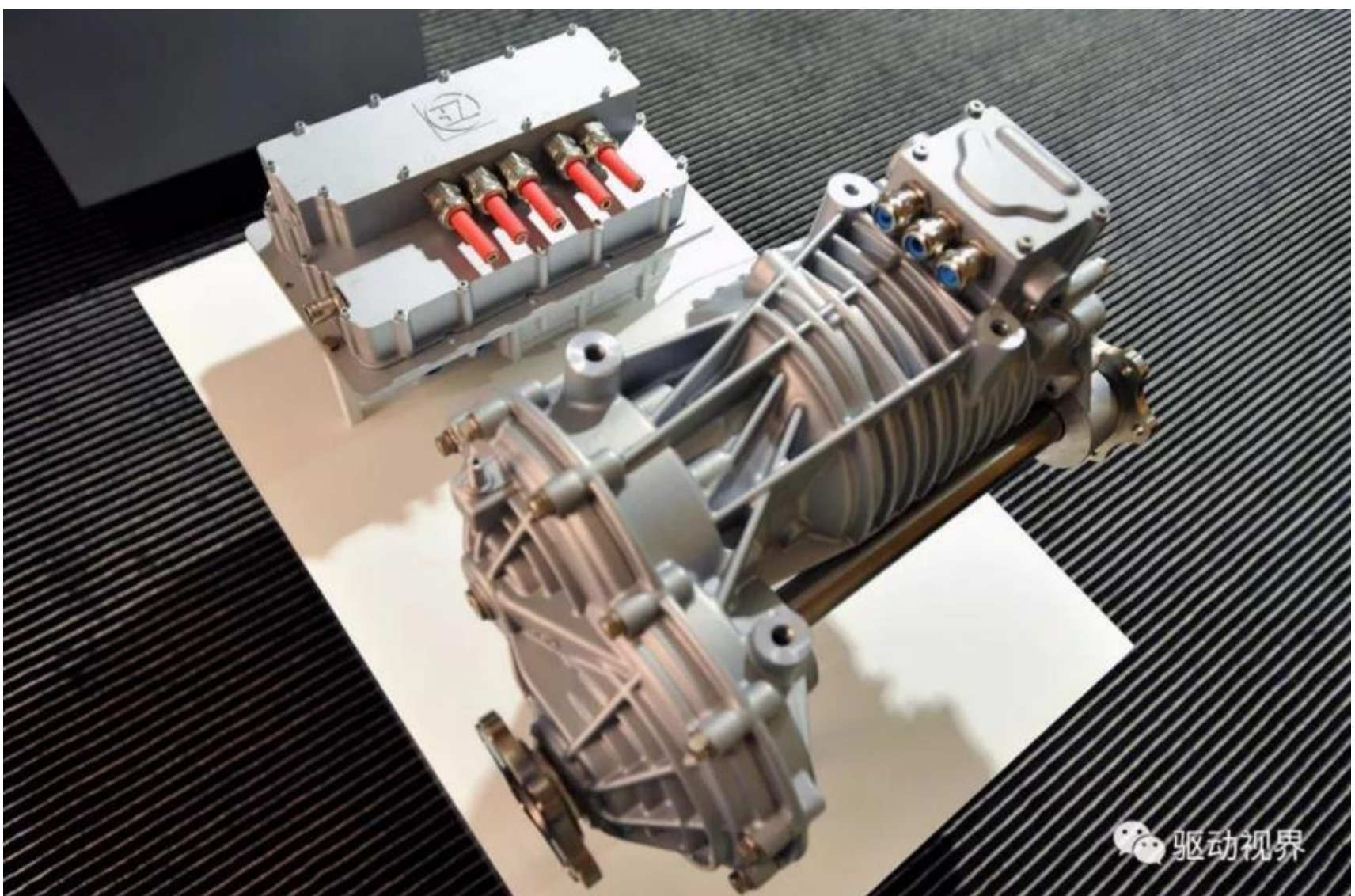
由于新能源电动汽车种类繁多、功能各异，很难设计一种具有普遍、通用化意义上的电驱动系统来适应所有车型，所谓集成，也就是在功能和场景的约束下，实现紧凑和轻量化的设计。

目前行业内都在做“三合一”，就是把驱动电机、减速器和电控部分集成为一体，可以实现轻量化、高效、小型化，同时降低成本，在一定程度上解放空间、利于整车布置。

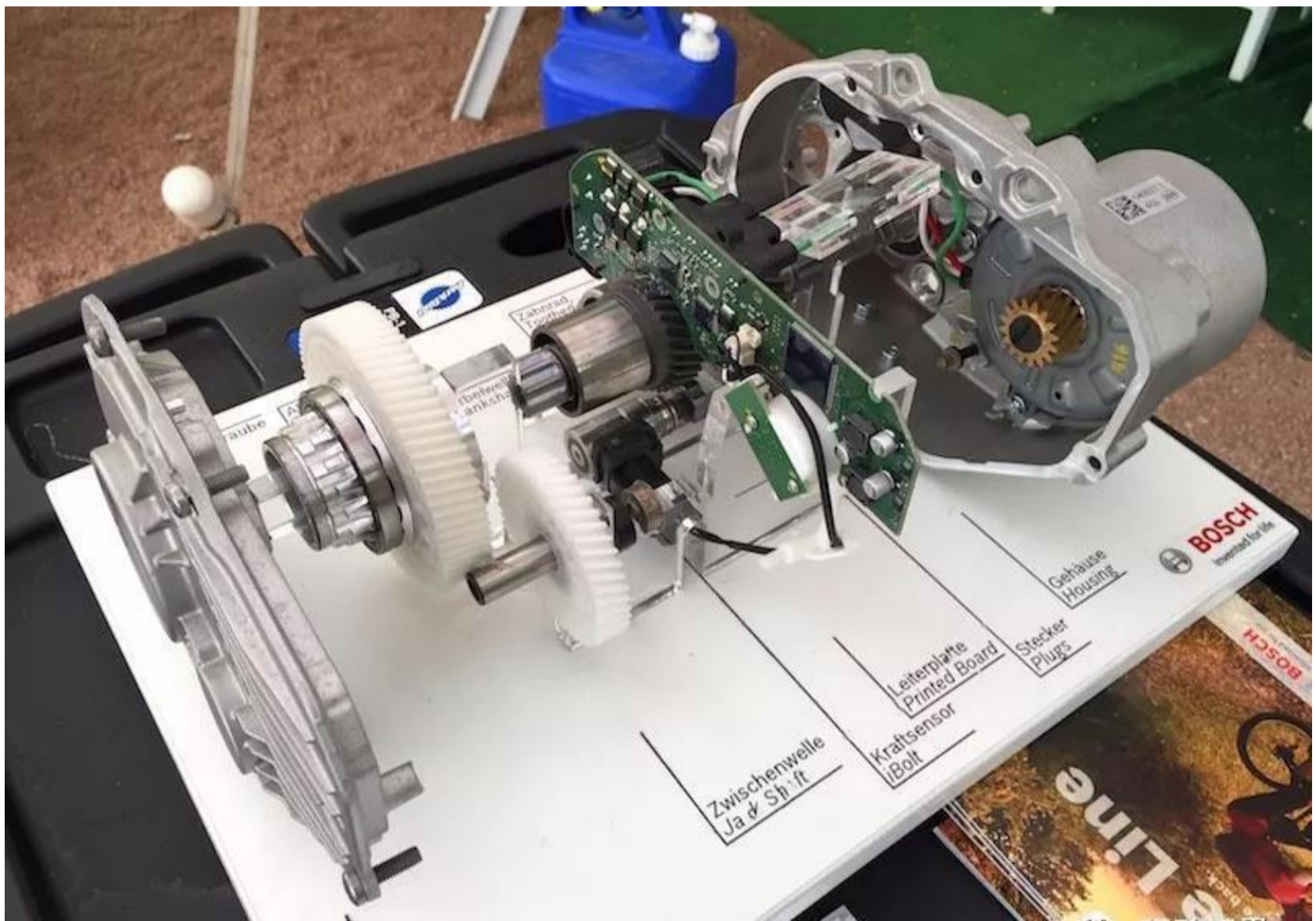
通过集成化设计，一方面可以简化主机厂的装配，提高产品合格率；另一方面可以大规模缩减供应商数量，还可以达到轻量化、节约成本等目的。



电驱动系统的集成化设计不仅可以实现驱动系统的小型化和轻量化以降低成本，还可以提高效率：如果将驱动电机与逆变器集成一体，逆变器配置在驱动电机旁，连接电机与逆变器的线束就可以缩短或者置换，由此，不仅减小了机构的尺寸和重量，还降低了线束产生的能量损耗。如博世，GKN Driveline，三菱电机和舍弗勒。不仅实现了逆变器与电机之间的连接配线缩短，尺寸更小，还降低了连接部位的电力损耗，提升了驱动系统效率。

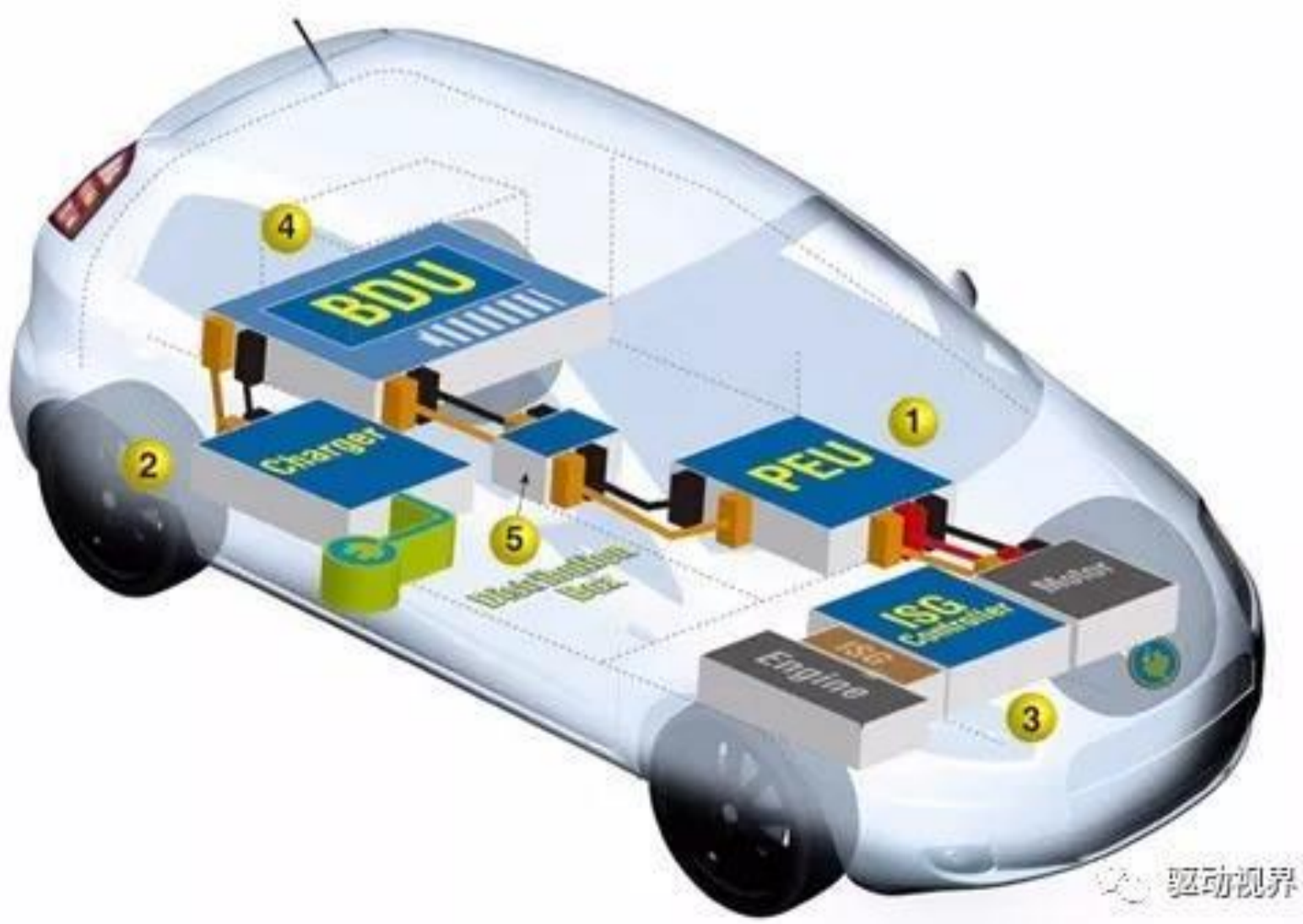


再如，将驱动电机与减速箱集成为一体，减速器齿轮的润滑油和电机的冷却油就可以共用，精简了冷却机构，可以实现小型化。综合来看，目前大多数企业只能做到“二合一”（电机集成减速器）的电驱动总成方案，但预计未来几年内，三合一电驱动总成方案将成为主流。



(2) 功率电子技术

电动汽车中需要使用大量的功率电子器件。据丰田汽车统计，功率电子器件用量在电动汽车中占到所有半导体器件的25%。

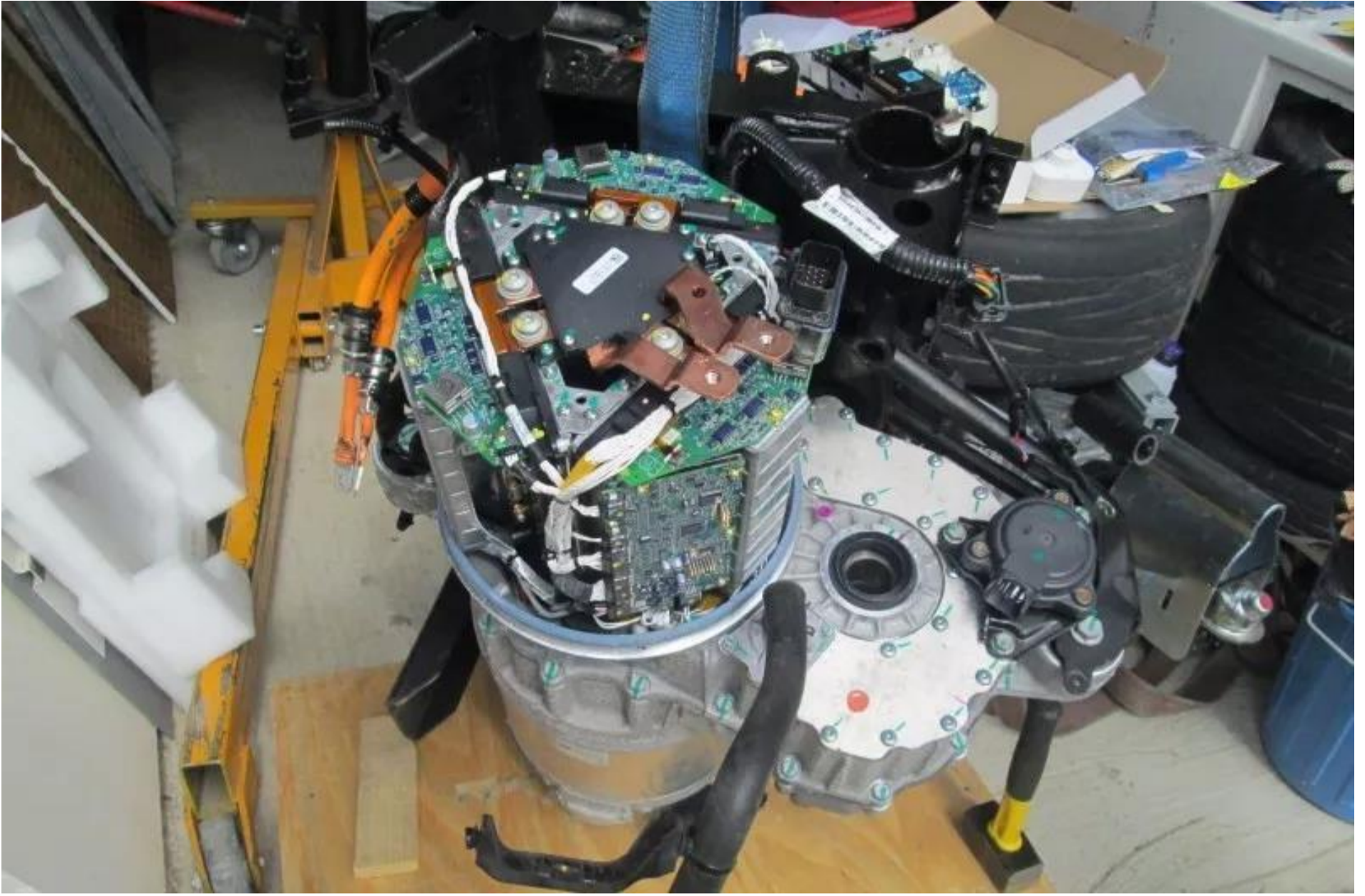


功率电子方面，分三个部分：芯片技术、封装技术、集成应用技术。功率半导体是各行各业能源转换的核心器件，处产业链核心环节，技术壁垒极高，对于电动汽车而言尤为关键，对于其他产业也非常重要。芯片方面是国内比较薄弱的，在损耗和单位面积的输出电能能力方面和国际有比较大的差距。从芯片角度，整体的趋势是小型化、高功率密度和低损耗。



封装现在国内有不少封装厂，但是走的路线基本上是逆向封装，正向设计的原创封装能力是有欠缺的。封装技术可实现功率模块小型化，高功率密度，但要求散热能力要好。

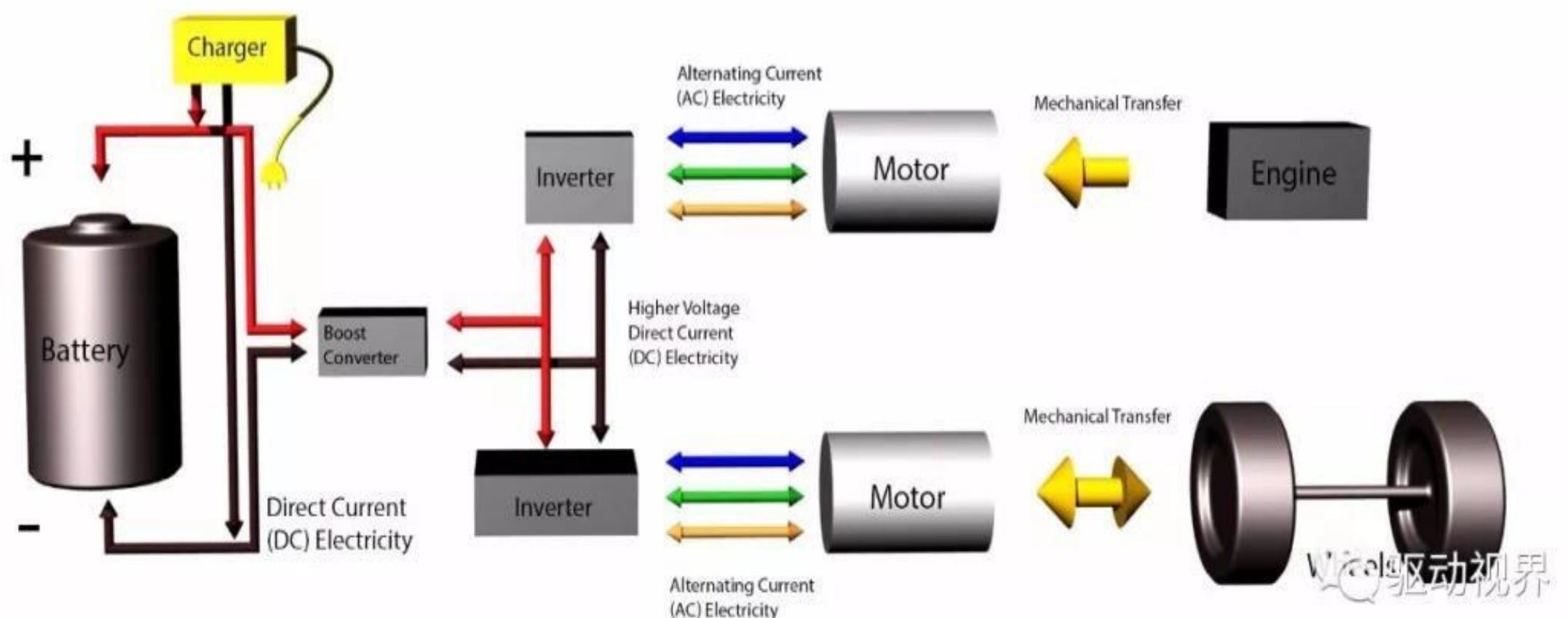
所以，从封装的拓扑结构、封装的材料选择，散热器的技术进步，以及导线互联等封装技术都需要不断的进步。现在国际上芯片和封装技术都在飞速发展，功率电子的技术革新比前些年的发展速度快的多。



集成应用技术是电机厂和整车厂比较关注的，每个公司都有自己公司的特殊技术和know-how。应用方面，如何发展功率电子器件的潜力，通过一些驱动设计、控制方面的设计优化它的性能，同时也要保障功率电子应用的可靠性以及耐久性。

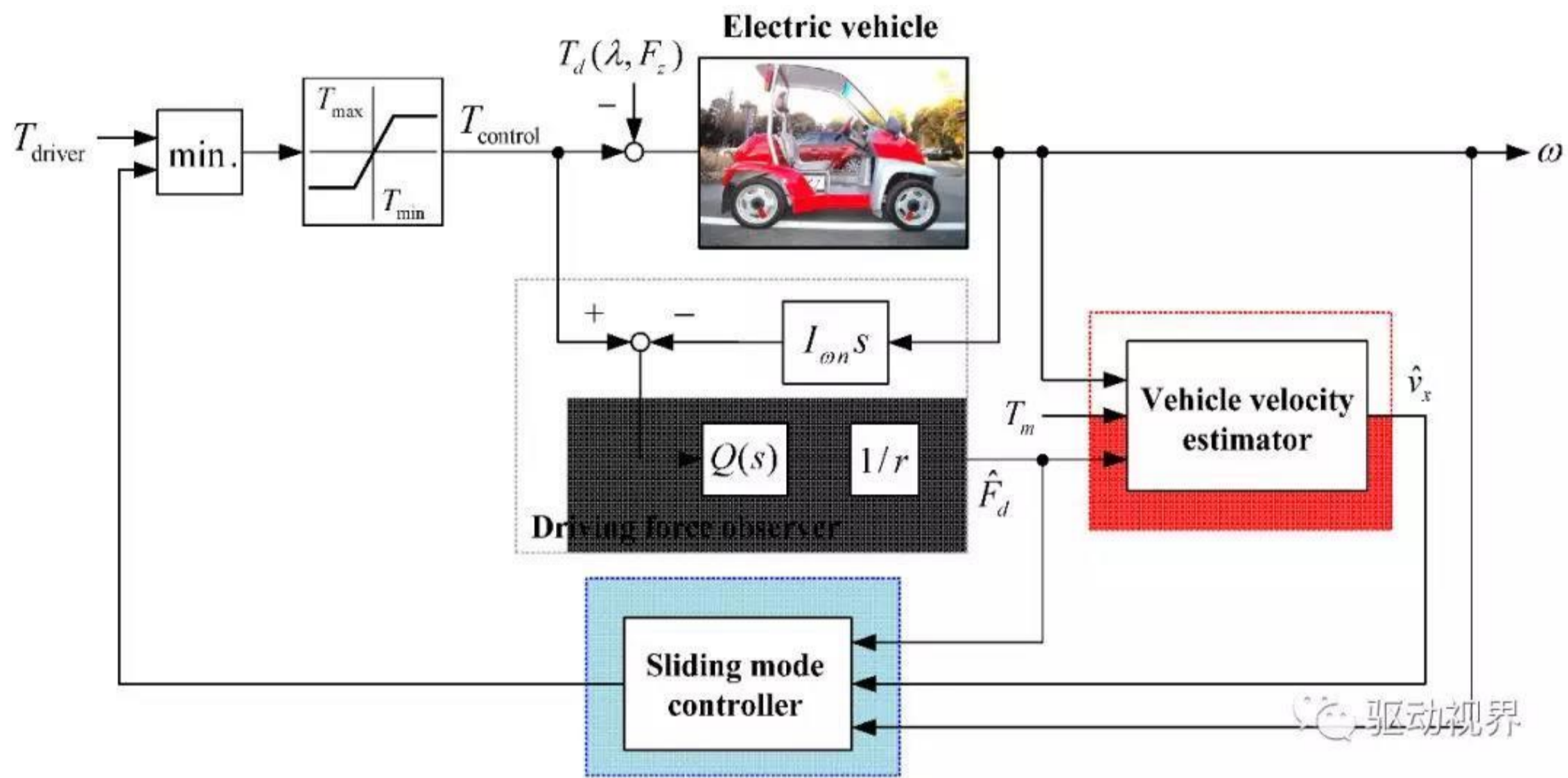
(3) 电机控制技术

国内的电力电子技术起步相对较晚，功率电子一直是制约我们国内电机控制器发展的瓶颈。因为这些技术的时间差，使得国内电机控制器的功率密度水平和国外量产的产品比较存在有些差距。



电机驱动汽车前行，而电机控制器驱动电机工作。电机控制器由逆变器 and 控制器两部分组成。

逆变器接收电池输送过来的直流电电能，逆变成三相交流电给汽车电机提供电源。控制器接受电机转速等信号反馈到仪表，当发生制动或者加速行为时，控制器控制变频器频率的升降，从而达到加速或者减速的目的。



电动汽车电机控制器技术发展趋势

- ①高安全性，这个是基本要求。集成功能越来越多，安全要求越高。
- ②高功率密度化。外形体积随分装向小型化发展。
- ③高压化是基本趋势。GBT的方向是650V IGBT的设计往更高的750V以及1200V。
- ④EMC等级越来越高。接下来要做到class 5水平。

(4) 性能设计技术

电驱动性能包含NVH性能、安全性能、电磁性能等几个方面，电磁性能方面目前流行高磁阻设计，以实现大扭矩、高转速和反电势均衡，当然也会带来谐波的恶化。还有一些热问题需要同步解决：热性能一般从一维做到二维、三维，还有一些根据工况循环进行瞬态仿真、安全方面的退磁和疲劳等问题。

一维：数据实时显示曲线图

二维：电机特性曲线图

三维：电机特性分布图

关于短时过载能力，目前设计指标多规定为30秒，实际应用中常用的是0.5秒、3秒、5秒。

(5) 材料工艺技术

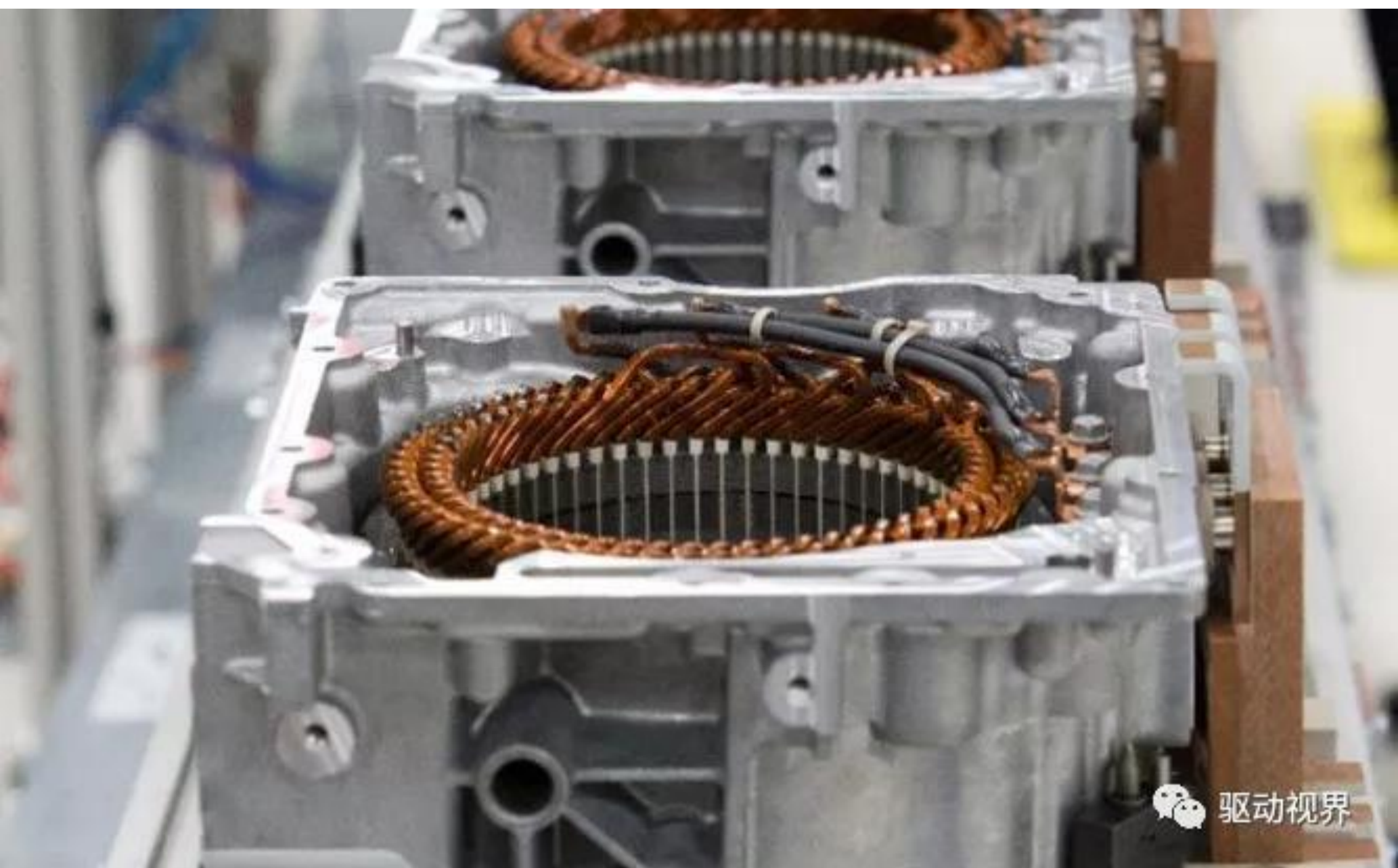
驱动电机的功率、扭矩、效率和寿命与所用的硅钢片有很大关系，尤其是电机转子所用的无取向电工钢片，磁性能决定了电机的扭矩和效率，铁损越低电机效率越高，磁感增大电机扭矩才能增加，力学性能决定了定子和转子的加工精度、承载强度和最大转速。



新能源电动汽车对驱动电机电工钢片的要求：

- 1) 电机需要提供高扭矩用于启动，要提高扭矩必须提高电流和电工钢的磁感
- 2) 常用驾驶模式下电机效率一般85%~93%，要提高能源转换效率，要求电机所用电工钢片具有优秀的磁性能，即中低磁场下的高磁感和高频下的低铁损
- 3) 电机转速6000~15000r/min，要求使用的电工钢片具有足够高的强度抵抗离心力，这要求使用高强度电工钢，特别是永磁驱动电机，磁极镶嵌于转子之中，因此保证转子的强度至关重要
- 4) 缩小转子和定子之间的间隙可有效提高磁通密度，这要求电工钢薄片具有良好的冲片性
- 5) 在汽车的使用周期内，处于服役期的高速旋转的电工钢片不能发生疲劳破坏，即要求有高的疲劳寿命

为了减少绕组线的长度，减小电机的体积和用铜量，减少铜损耗，提高电机效率，降低电机重量，提高功率密度，需要合理选择电机绕组方式，可以改善电机绕组的磁势正弦，降低定子磁势的谐波含量，减少电机铁耗和定子绕组引起的电机纹波转矩，提高电机效率，降低电机振动和噪声，合理选择电机绕组方式，可以提高电机凸度，提高磁阻转矩，减小绕组电流，降低电机铜耗。

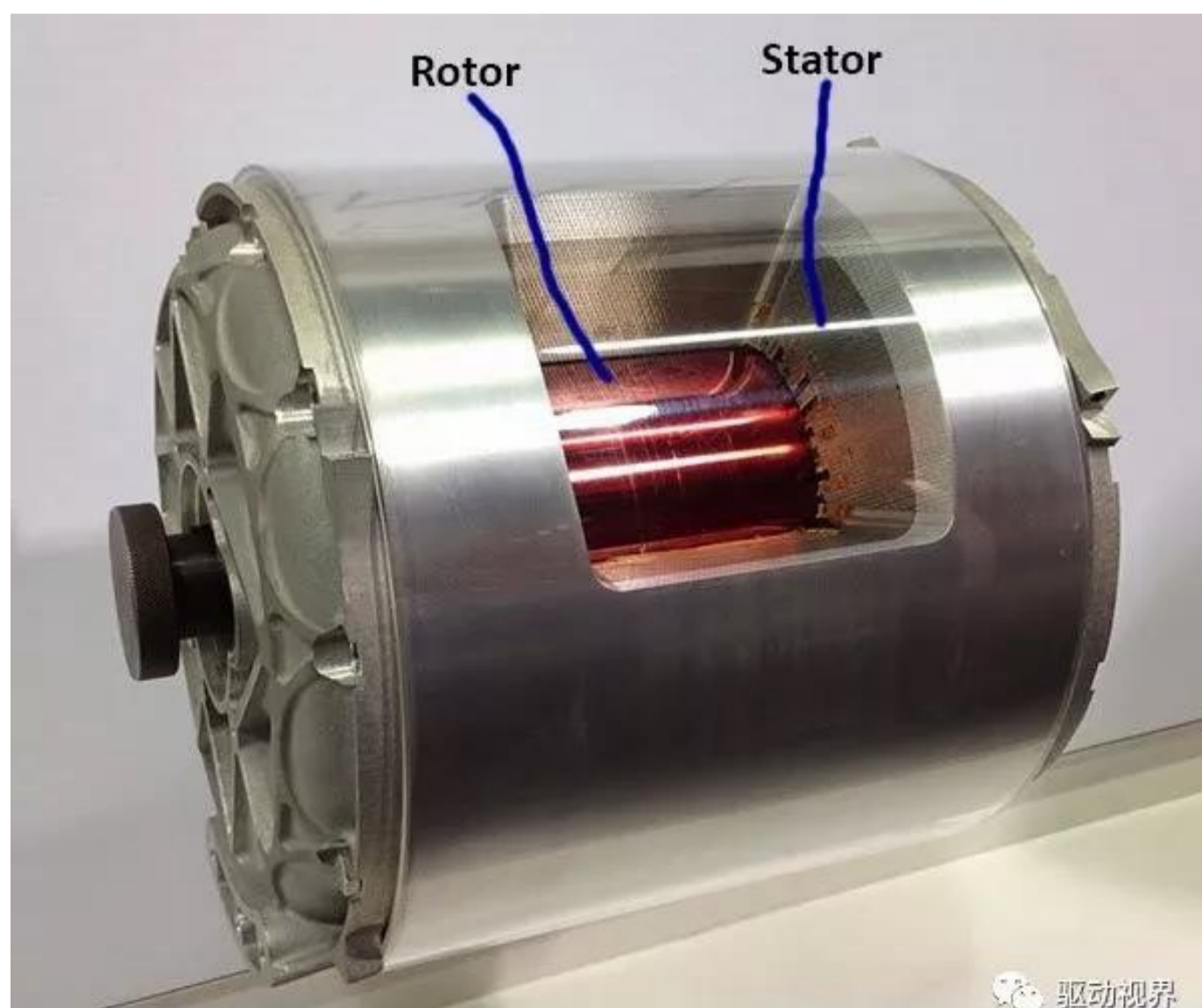


总体上定子中绕线的量是决定电机功率大小的重要因素。而决定绕线量的则主要是在有限空间内铜线可以绕机芯的圈数。技术方面目前插入器的使用由于适合高功率的定子加工，并有逐渐成为行业生产标配的趋势。

为了实现电机小型化，本田增加了绕线的占积率(空间中铜的比例)，使定子变小。通过使用大截面的方形导线作为线圈，使得占积率达到了60%。在传统的电动机中，使用薄的圆形线圈，占积率一般只能达到48%。

为了使定子小型化，线圈使用截面积大的方形导线。与传统的圆形线圈相比，方形导线可使占积率从48%增加到60%。但是，由于和圆线相比方线变粗，导体(铜)中的“过电流损失”会增大。通常通过增大定子的槽宽度或减小每个线圈的厚度来减小过电流损耗。

为了实现小型化，本田同时还缩短了从定子突出的线圈部分(“线圈末端”)。本田技术人员认为线圈末端部分“对电机工作没有贡献”。为了缩短线圈末端，采用了新的绕线结构方法：首先，将矩形线圈塑形成U字形，以形成“并列分割线圈”。接下来，将该分割线圈从定子铁心的轴方向插入。之后，将插入侧以及对侧伸出的线圈前端焊接在一起而形成线圈。新的绕线工艺需要投资新的制造设备。与传统工艺相比，新工艺不需要绳子捆绑，也不需要线圈末端压扁，从而更易于自动化。由此实现高效率大批量生产，成本也能降低。



Tesla Model S motor

(6) 试验验证技术

产品开发过程中需要结合车型特点进行更严格的验证（NEDC），重点关注实验前后输出功率和系统效率，以及电气元件的绝缘和老化内容。在试验过程中，可以在不改变失效机理的前提下，提高应力来缩短试验时间，常用的加速模型需要结合试验数据进行验证。

整个测试以额定功率或峰值功率、恶劣环境考核电机和总成产品，可分为市区路况、郊区路况和高速路况。

为了解电机实际行驶工况，采用转毂试验和路试相结合的方式采集电机系统的电压、电流、扭矩和转速。

电驱动系统的绝缘失效，温度是最大因素，需要重点关注温度应力加速模型。具体寿命要考虑温度模型、热循环模型、电压关系、振动关系、温度及其他应力关系。

可靠性测试主要聚焦电驱动总成标准工况及机、电、热应力综合及加速技术，测试内容可参考国际标准、国家标准和行业标准等，具体根据产品标准、企业标准制定统一的测试规范。

在具体测试中，振动传感器在电机系统安装点附近布置；在通县试验场不同强化路面在XYZ三个方向进行振动数据采集；通过对数据进行分析来研究合理振动的测试条件及台架试验条件。

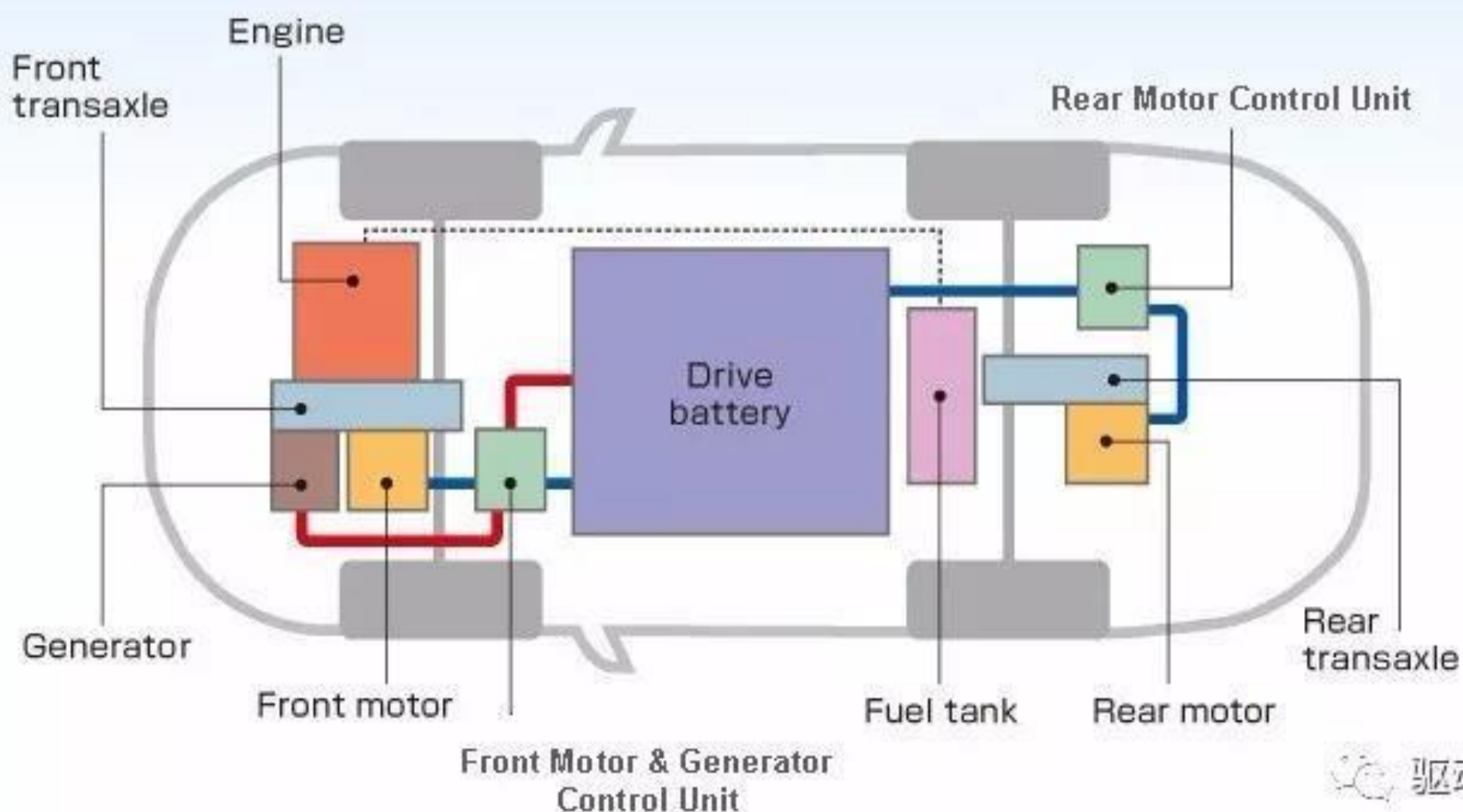
2 新能源电驱动系统的设计开发需求

首先，新能源电驱动系统做开发一定要秉承正向设计，自上而下地进行需求分解。电驱动系统可分为多种不同的属性支撑整车商品性达成，包括用户感知属性和产品的基本属性，各属性都做了技术详细分解和指标设定。

第二，针对不同的车型、不同的应用场景、不同的对象对电驱动系统开发的要求是不一样的。同时，在开发的优先级方面，包括技术方式选择方面也是不一样的。

比如说高性能车追求的是高性能、高舒适性。我们在做技术方案选择时会选择大功率、大电流的模块，同时牺牲一部分成本去满足这种NVH特性。

再比如说网约车主要要求低电耗，需要牺牲一些材料成本实现高的电耗水平，增加可靠性。把一些关键的技术做细、做透才能同时满足汽车产品的可靠性、成本、性价比等多种要求。



3 新能源电驱动系统的发展趋势

整体发展趋势，新能源汽车系统包括PHEV，话题太大，本次报告把纯电动作为主要的研究对象。目前新能源电驱动系统技术发展非常迅速，这种迅速来源于市场的刺激，来源于新的整车需求，来源于各个基本零部件的技术进步。

其中新能源驱动系统的主要技术驱动力是功率电子技术，其次是新型的材料和生产工艺，现在甚至可以称得上是一个革新的时代。

另外，从整个需求来讲，汽车产品要求低成本、轻量化，容易布置。这样的话，推动了电驱动系统向高速、集成、大功率，方向发展。适度的高压化也是迎合高功率来的。所以集成化、高速化、高压化是发展趋势。

电机本体方面，材料工艺水平在迅速提升，大家可以看到这个曲线，基本上比功率3到5年就提升一倍。比功率的定义是千瓦每公斤，重量指是有效部分。

电机技术创新与工艺材料发展密切相关，例如硅钢在不断变薄，耐电晕导线，绕阻工艺等。逆变器这块主要是功率电子的技术升级与性能提升，有封装技术、芯片技术、电容技术，大概五年左右体积降低一倍，性能提升一倍，成本降低30%以上。

4 主流企业的典型产品解读

1) 广汽

表 1 广汽纯电动乘用车及动力总成信息

车型	Aion S	Aion LX	Aion V
级别	A Sdean	B SUV	A SUV
长度 (mm)	4768	4786	4586
宽度 (mm)	1880	1935	1920
高度 (mm)	1530	1685	1728
轴距 (mm)	2750	2920	2830
整备质量 (kg)	1575-1625	1900	1860-1930
动总峰值功率 (kW)	135	135	135
动总峰值扭矩 (Nm)	300	350	350
电机峰值转速 (rpm)	16000	16000	16000
电机供应商	日本电产	日本电产	日本电产
动力性 (0-100km/h加速时间 (s))	8.0	8.7	8.6-8.8

数据来源：公告网、工信部等；加速时间为通过动力学公式计算得出的概值。

广汽推出的“埃安”系列产品是定位略高于广汽传祺新能源系列的中高端产品。目前已经相继推出Aion S和Aion LX两款产品，而马上即将上市的Aion V也已经开始预售。三款车型根据配置都搭载了日本电产“同一款电机”（扭矩参数不同可通过增加磁钢、加大电流提升磁通密度等方式提升电机扭矩）。

广汽对于纯电动乘用车动力总成把控和要求相对较高，Aion LX或是广汽近期推出的旗舰版纯电动车型，而入门版依然选择了参数较低的动力总成，是为了拉低整车价格还是无其他动力总成可选？这与电动汽车产品高端化、保持国产车本有的动力优势（同价格高动力性）产生较大的背离，也造成了小马拉大车的现象，尤其是动力总成后段动力储备不足的问题。

2) 上汽

表 2 上汽纯电动乘用车及动力总成信息

车型	Ei5	ERX5
级别	A Hatchback	A SUV
长度 (mm)	4544	4554
宽度 (mm)	1818	1855
高度 (mm)	1536	1716
轴距 (mm)	2665	2700
整备质量 (kg)	1555	1710
动总峰值功率 (kW)	85	85
动总峰值扭矩 (Nm)	255	255
电机峰值转速 (rpm)	3200 (基速)	3200 (基速)
电机供应商	华域	华域
动力性 (0-100km/h加速时间 (s))	10.6	12.7

数据来源：公告网、工信部等；加速时间为通过动力学公式计算得出的概值。

上汽的两款纯电动汽车选用了体系内供应商华域的扁线电机动力总成。而该款动力总成着实无法满足纯电动乘用车的动力需求。

上汽的两款车（都是A级车）的动力性能明显与主流纯电动乘用车不合群，尤其是ERX5，因为本身是从燃油车改制而成，而燃油车搭载了1.5T动力总成（功率扭矩分别为：124kW，250Nm），0-100km/h加速时间也基本在10秒内，但是纯电动版车型却流于与部分A00级车型同等级的动力性能。

上汽自主在燃油车领域有一定席位，但纯电动车型市场反应却远不如燃油车领域。ERX5所搭载的动力总成同样出现了小马拉大车的问题。

3) 吉利

表 3 吉利纯电动乘用车及动力总成信息

车型	Gse	
	400km续航	450km续航
续航	400km续航	450km续航
长度 (mm)	4440	4440
宽度 (mm)	1833	1833
高度 (mm)	1560	1560
轴距 (mm)	2700	2700
整备质量 (kg)	1635	1635
动总峰值功率 (kW)	120	130
动总峰值扭矩 (Nm)	250	270
电机峰值转速 (rpm)	12000	12000
电机供应商	精进	精进
动力性 (0-100km/h加速时间 (s))	9.9	9.9

数据来源：公告网、工信部等。

吉利的纯电动Cross车型Gse的两个配置搭载了精进提供的“同一款电机”组合而成的动力总成。

电机和动力总成实现了平台化，但平台化的动力总成并未延展出动力总成该有的性能（性能提升都在10%以内），只是让同一款车型的不同配置（续航增加，电池重量增加）拥有了等同的动力性能。

4) 北汽新能源

表 4 A0级纯电动SUV及动力总成对比

车型	EX3	EZS	GE3	元EV
级别	A0 SUV	A0 SUV	A0 SUV	A0 SUV
长度 (mm)	4200	4314	4337	4360
宽度 (mm)	1780	1809	1825	1785
高度 (mm)	1638	1620	1658	1680
轴距 (mm)	2585	2585	2560	2535
整备质量 (kg)	1640	1518	1562	1645
动总峰值功率 (kW)	160	110	132	120
动总峰值扭矩 (Nm)	300	350	290	280
电机峰值转速 (rpm)	11000	3000 (基速)	12800	/
电机供应商	北汽新能源	华域	精进	比亚迪
动力性 (0-100km/h加速时间 (s))	7.9	8.2	8.5	8.6

数据来源：公告网、工信部等，部分加速时间是通过动力学公式计算得出的概值。

北汽新能源在国内电动汽车市场属于领头羊，打造了两款明星车型（EC系列以及EU系列）。

在小型纯电SUV方面，北汽新能源只搭载了唯一的一款性能较高的动力电总成，也使得该款车型成为国内小型纯电SUV最高动力性能获得者。

采用如此的搭载方案是产品差异化战略还是确实缺少其他类型的动力总成（更好的效率和性能等）？

缺乏系统性的产品矩阵以及搭载逻辑是否已经成为企业头疼的关键性问题？

5) 比亚迪

表 5 比亚迪纯电动乘用车及动力总成信息

车型	秦Pro EV	宋Pro EV
级别	A Sedan	A SUV
长度 (mm)	4765	4650
宽度 (mm)	1837	1860
高度 (mm)	1515	1700
轴距 (mm)	2718	2712
整备质量 (kg)	1620/1650/1710	1745/1830
动总峰值功率 (kW)	100/120/135	120/135
动总峰值扭矩 (Nm)	180/280/280	280/280
电机峰值转速 (rpm)	12100/15000/-	15000/-
电机供应商	比亚迪	比亚迪
动力性 (0-100km/h加速时间 (s))	9.6/8.9/8.5	9.5/9.5

数据来源：公告网、工信部等，加速时间是通过动力学公式计算得出的概值。

比亚迪是国内最早涉足新能源汽车的企业，自身建立了相对完善的电机电控产业链。

在动力总成搭载逻辑方面，比亚迪似乎更加全面，可以让用户根据自身需求选择不同的产品。

如秦Pro EV根据配置不同搭载了三款不同的动力总成，这也是这个级别车型很少采用的搭载逻辑。但是，三种动力总成并未清晰的将整车性能进行有效区隔，导致产品之间性能差异不明显。

6) 蔚来

表 6 蔚来纯电动乘用车及动力总成信息

车型	ES6	ES8
长度 (mm)	4850	5022
宽度 (mm)	1965	1962
高度 (mm)	1758	1756
轴距 (mm)	2900	3010
整备质量 (kg)	2290/2345	2425/2460
动总峰值功率 (kW)	320 (前160, 后160) 400 (前160, 后240)	400 (前160, 后240) 480 (前240, 后240)
动总峰值扭矩 (Nm)	610 (前305, 后305) 725 (前305, 后420)	725 (前305, 后420) 840 (前420, 后420)
电机峰值转速 (rpm)	前15000 (PM), 后15000 (PM) 前15000 (PM), 后15000 (IM)	前15000 (PM), 后15000 (IM) 前15000 (IM), 后15000 (IM)
电机供应商	蔚然动力	蔚然动力
动力性 (0-100km/h加速时间 (s))	5.6/4.7	4.9/4.4

数据来源：公告网、工信部等。

蔚来汽车是国内第一家全面对标特斯拉性能的企业，故产品设计之初就采用了和特斯拉类似的逻辑，已推出的两款车型都是采用了前后四驱型式，也成为国内唯一一家所推产品全部为四驱车型的企业。

7) 特斯拉

表 7 特斯拉纯电动乘用车及动力总成信息

车型	Model S	Model X
长度 (mm)	4979	5037
宽度 (mm)	1964	2070
高度 (mm)	1445	1684
轴距 (mm)	2960	2965
整备质量 (kg)	2100	/
动总峰值功率 (kW)	487 (前202; 后285)	487 (前202; 后285)
动总峰值扭矩 (Nm)	844 (前404; 后440)	844 (前404; 后440)
电机峰值转速 (rpm)	18000	18000
电机供应商	台湾富田	台湾富田
动力性 (0-100km/h加速时间 (s))	3.8	4.6

数据来源：公告网、工信部等。

特斯拉在电动汽车领域一直处于行业标杆地位，产品主打超高性能。目前特斯拉打造的动力总成在全球范围内属于领先水平，目前国内产品只能望其项背。特斯拉动力总成搭载模式依然相对单一，但这也符合高端品牌特有的调性。

上述选取的企业以及产品具有一定的代表性，除去产品定位等因素外，各企业的动力总成产品并未形成系统有效的需求矩阵，同时在产品搭载逻辑方面，也呈现出各种各样的问题。整车企业以及零部件企业应该梳理认清纯电动汽车的产品特性，动力总成特性，以及未来需求，形成清晰的产品型谱及技术路线。

5 总结

不同于动力电池，纯电动汽车动力总成更接近传统部件，因为国外的混合动力（HEV，使用镍氢电池）较中国的新能源汽车提前将近二十年，故很多国外的零部件企业很早就积累了关于动力总成的相关开发技术和经验。经过奋力追赶，目前已经实现了齐头并进甚至反超。

国内的动力总成在商用车、物流车等产品技术要求低的领域占有优势，而在中高端乘用车领域却无法满足需求。

永磁同步电机中使用的高性能钕铁硼部分实现了自给自足，但高端产品依然依赖国外进口，高速轴承同样是制约高性能电机发展的因素，基本全部依赖进口；电机控制器是动力总成中技术难度最高、附加值最高的产品，而控制器中的核心部件IGBT国内开发制造能力存在欠缺，这也导致了电机控制器企业的话语权明显高于电机企业；在减速器方面，国内同样缺少高性能的产品。

自主动力总成在如高性能磁钢、轴承、IGBT、控制芯片及软件等开发能力还存在短板。