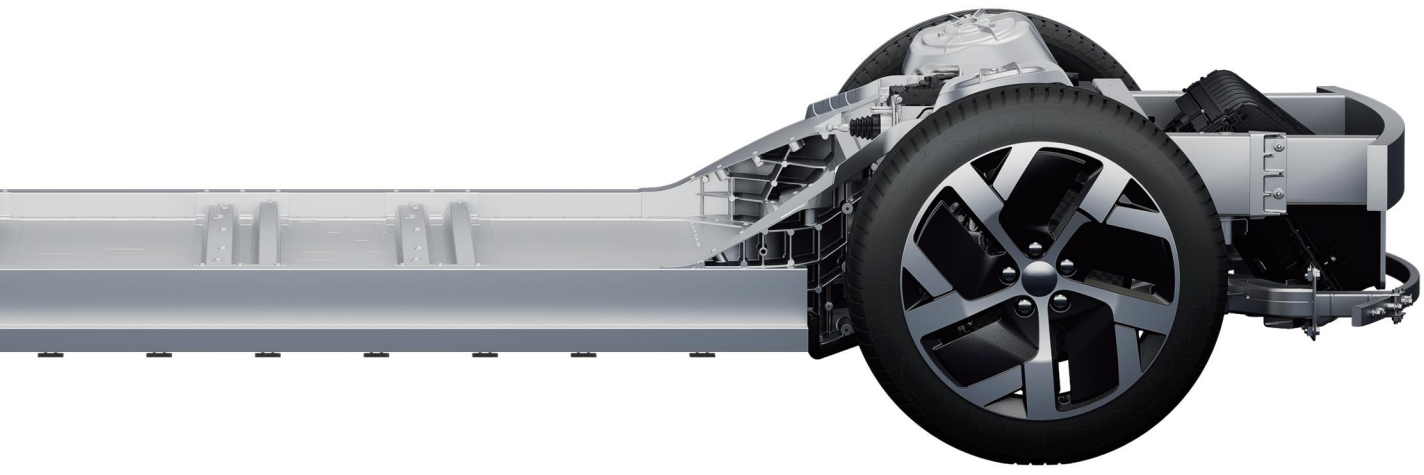
一体化智能底盘

概念、设计原则及标准化倡议



指导单位：中国汽车工程学会
主编单位：宁德时代（上海）智能科技有限公司

声　明

本白皮书版权归宁德时代（上海）智能科技有限公司所有，未经事先授权，任何机构及个人均不得以任何形式对本报告及其部分进行修改、改编、翻译、刊发。复制、转发、转载、引用，应当注明来源，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

违反上述声明者，将被追究相关法律责任。

对于本白皮书中所使用、引用、转载的图片、文字等内容，任何单位或个人认为可能涉嫌侵犯其合法权益，请及时与我们联系，并提供相应的证明材料，邮箱地址为CAIT-SH-Partner@catl.com；我们将积极配合并进行处理。

评审专家

张俊智　清华大学教授、中国汽车工程学会智能底盘分会主任委员

赵立金　中国汽车工程学会副秘书长、国汽战略院副院长

杨彦鼎　东风汽车集团有限公司研发总院院长

侯　杰　中国第一汽车集团有限公司研发总院资深首席

张晓东　吉利汽车研究院（宁波）有限公司资深总工程师

苏　亮　厦门金龙联合汽车工业有限公司副总经理、工程研究院院长

熊　璐　同济大学汽车学院副院长、教授

参编人员（排名不分先后）

蔡建永　刘　君　龚晓峰　郑福林　王云峰　李浩澜　栾景昌　陈　伟　李艳玲　张孝平

张建强　陆威宏　孙致纯　熊显锋　丁　航　贺　斌　于志丽　胡　旋　简　辉　冯向敏

陈立明　刘　鹏　涂金林　张玖磊　张大鹏　王慧洁　刘　宇　蔡祥熙　谢少华　朱贤春

侯　梁　冀红超　马晨辉　马　强　李　强　李　宝　乐伟志　杨　建　艾军波　曹　阳

王绍东　谢　培　余志刚　王学新　王世忠　温冬悦　刘思江　张树伟

序

张俊智

汽车产业是集能源、交通、信息、电子等多学科交叉融合的技术密集型产业，是现代工业皇冠上的“明珠”。多年来，在政策和市场的双轮驱动下，我国汽车产业在电动化与智能化领域取得了举世瞩目的成绩。电动汽车产销量全球领先、屡破新高，头部企业产品远销海外；智能汽车渗透率逐年攀升，高级别自动驾驶示范先行。作为汽车电动化与智能化的有机载体，汽车底盘也经历了由机械底盘、电动底盘到智能底盘的技术变革，是支撑汽车自动驾驶技术落地的基石，也是当前我国汽车产业亟需攻克的堡垒。

为有序引导我国汽车底盘技术、产品和产业的健康、高速发展，中国汽车工程学会成立了线控制动与底盘智能控制工作组、智能底盘分会，集聚行业优势科研力量，重点开展了电动汽车智能底盘技术路线图编制、技术与产品平台定义、技术与指标体系重构等工作。

2023年，中国汽车工程学会线控制动与底盘智能控制工作组面向行业发布了《电动汽车智能底盘技术路线图》，明确了智能底盘的概念和基本属性，指出了2030年实现智能底盘技术指标国际领先、产业链自主可控、自主企业走向海外的智能底盘产业发展的阶段性目标。

同年，中国汽车工程学会智能底盘分会启动了“面向2025智能底盘平台定义”的工作，梳理了智能底盘关键零部件技术、总体架构技术、切换控制技术、健康状态管理技术和开发测试技术等五大牵引性技术，定义了极限运动、高端公务、城市运行、智能越野等四大乘用车智能底盘产品平台和公路重卡、城区轻卡、客车、特种车辆等四大商用车智能底盘产品平台。

2024年，依托中国汽车工程学会，智能底盘分会和线控制动与底盘智能控制工作组继续汇聚行业专家、学者的经验与智慧，重构智能底盘牵引性技术和指标体系，研制智能底盘领域亟需的国标行标、团体标准、测试规范与政策，推动智能底盘新部件、新功能、新技术的先行先试工作。

智能底盘技术路线图的制定、技术与产品平台的定义、技术与指标体系的重构等工作，为智能底盘行业发展提供了系统的顶层设计。在底层技术与产业实践方面，要顺应汽车产业发展的重大历史趋势，把握智能底盘技术与产业变革的黄金机遇，解放思想、转变理念，实施产、学、研协同攻坚，共同推进我国汽车底盘产业由现阶段跟随发展向赶超发展、引领发展模式转变。

电动与智能汽车的融合发展，为智能底盘的技术创新深度赋能，为智能底盘产业发展带来了新的突破口。顺应汽车电动化与智能化趋势，智能底盘正面临“三个一体化”的迫切技术发展需求。一是制动、转向、悬架控制的一体化，核心在于纵横垂多维运动的融合控制，提升底盘的综合运动控制性能；二是底盘与动力的一体化，即电池、电驱动单元与底盘一体化，包括基于CTC的动力与底盘集成设计技术、分布式驱动技术、电机与底盘的集成控制技术等，提升底盘结构空间利用率和运动控制性能；三是底盘和智驾的一体化，即底盘和智驾的控制一体化，包括基于底盘和智驾传感器共用架构的多源信息融合感知技术、底盘动力学与智驾运动学一体化控制技术等，提升底盘在复杂工况下对智驶任务的执行力。

滑板底盘是智能底盘“三个一体化”技术的产业实践。当前，滑板底盘领域火热，入局者众多，包括主机厂、制动与转向等零部件供应商、电池与电机等电气设备供应商、大型物流公司等，覆盖了整车制造与应用的全产业链

条。滑板底盘与传统造车模式有显著区别，是一种新的产品形态，代表了一种新的商业模式，是一股极具创新能力的新生力量。

在此契机下，宁德时代作为电池行业的国际龙头企业，充分发挥自身优势，提出了“以电池为中心”的滑板底盘总体设计思路，在智能底盘的产业实践中开辟了一条新的道路。

宁德时代的一体化智能滑板底盘，以电池与底盘的集成技术CTC为基础，实现了电驱动、制动、转向与悬架的深度集成；同时以底盘域控为基础，实现了底盘多维运动控制的深度融合，可高效执行高阶智能驾驶任务。这一设计理念正在深度践行智能底盘“三个一体化”的发展需求。

不同的产品都有自己的基因，宁德时代一体化智能滑板底盘的基因显然是电池。随着智能底盘技术创新与产业推广步伐的加速，电池与底盘、电池与车身的集成化设计将成为未来底盘结构设计的主流；在此阶段，电池在提供能源供给的基础上，还需要承担结构强度支撑等，电池安全将为底盘设计带来全新挑战。宁德时代将高安全等级的电池技术融入底盘设计，进行高被动安全的一体化智能滑板底盘结构设计，为行业带来新的思路。

宁德时代一体化智能滑板底盘采用“平行开发，异步迭代”的研发模式。通过标准化的理念实现底盘平台的行业共享，可降低下游客户在底盘平台开发的人力和物力投入，提升整个行业的研发效率。在汽车行业技术快速迭代的当下，采用硬件平台共用、特色软件自研的方式开发智能电动汽车产品，将是未来汽车行业发展的一种新的产业模式。

作为电池行业的龙头，宁德时代以一体化智能滑板底盘参与到智能底盘的产业实践，对整个汽车行业的发展，是非常难得的贡献。

张俊智
清华大学车辆与运载学院教授，博士生导师，中国汽车工程学会会士
智能新能源汽车底盘全国重点实验室联盟主任
中国汽车工程学会智能底盘分会主任委员
线控制动与底盘智能控制工作组主任

序

赵福全

当前，汽车产业全面重构正在不断深化，这是一场广度和深度空前的重大变革，受此影响，与汽车相关的方方面面都将发生根本性的改变：

从技术维度看，电动化如火如荼、智能化方兴未艾，这两方面的技术越来越受到消费者的关注和青睐，均已成为至关重要的汽车核心技术。而电动化、尤其是智能化技术，并非单一的技术项，而是与传统汽车核心技术截然不同的完整技术群，有着丰富内涵且还在持续发展中。二者相互交织并与传统汽车技术紧密融合，为汽车技术创新提供了全新的可能和广阔的空间。

从产品维度看，具有全新内涵、属性和价值的汽车新物种正应运而生，我将其称为“新汽车”，以彰显其远超智能电动汽车本身的深刻巨变与深远影响。“新汽车”是移动的智能生活空间，作为互联节点、数据载体、智能终端、计算单元以及储供能装置，将会打通未来人类社会中人流、物流、能源流、信息流和价值链。而“新汽车”的本质在于能够基于数据、通过软件，实现持续的自我进化，这也是“软件定义汽车”的由来。展望未来，软硬件将逐渐趋于解耦，不同的软件可以灵活调用相同的硬件，以实现更多更好的功能。为此，我们必须面向“新汽车”，建立产品开发的全新理念、模式与体系。

从企业维度看，前所未有的产业转型与日益激烈的市场竞争交相而至。一方面，作为后发者的中国汽车企业迎来了换道赛车的战略机遇，并籍此实现了国内市场份额的节节攀升；另一方面，企业既要在电动化、智能化以及海外拓展等方面不断加大投入，以确保长期发展，又不得不参与越来越“卷”的价格战和淘汰赛，以确保短期生存。这意味着企业必须充分集聚资源，打造自身产品的特色差异化，同时与相关企业一起，共同探索具有更高“性价比”的发展路线。

从产业维度看，汽车产业边界正不断扩展且渐趋模糊，越来越多的“业外”力量涌入其中，成为不可或缺的重要参与者。由于没有任何一家乃至一类企业可以拥有发展“新汽车”所需的全部核心技术及能力，所以，分工协同、合作共创的生态化发展模式就成为必然选择和终极目标。未来，各类企业都必须在“你中有我、我中有你”的汽车生态中找到合理的定位，即凭借自身的独特优势融入生态，进而获取所需的其他资源。这就要求企业必须转变一家独大的工业思维，建立共享共赢的生态思维，并在此指引下积极开展生态建设与运营。

需要指出，以上各种变化及其影响不是彼此孤立的，而是紧密交融的。简言之，在汽车产业及社会的大变局下，企业要想打造出匹配未来多元价值且具有强大竞争力的“新汽车”，必须充分考虑电动化、智能化及其融合带来的技术可能性，必须全力追求最低成本与最大灵活度、差异化相平衡的产品方案，还必须与各类企业统一理念、达成共识，有效实现各展所长、优势互补的生态化发展。事实上，今后所有汽车企业都需要朝着这个方向相互奔赴、携手前行。

而一体化底盘，也就是通常所说的滑板底盘，恰是符合上述产业大势和发展方向的一种有益探索。说起来，上下车体相互解耦的底盘形式并不是新概念，但汽车电动化与智能化技术，赋予了其远超传统汽车时代的更大可能性和更高价值潜力。下面，简单谈谈我对这个行业热点的认识和判断。

首先，一体化底盘与汽车电动化、智能化技术的发展相辅相成。在电动化方面，动力电池与底盘以某种形式（如 CTC）实现最佳的一体化集成，这本身就是重要的创新方向；同时，电动底盘也为智能底盘提供了良好的载体。在智能化方面，全面线控、集中域控、自我感知与控制等技术的持续进步，使底盘精准完成传动、行驶、转向和制动等运动行为，并与自动驾驶系统有效协同成为可能；同时，智能底盘可以更有效地集成控制三电和热管理等系统。也就是说，汽车电动化与智能化的深度融合为一体化底盘带来了全新机遇，而一体化底盘则是汽车电动化与智能化融合发展的前沿实践。

其次，一体化底盘与“软件定义汽车”的演进趋势高度契合。实际上，这相当于在上下车体层面实现了彻底解耦——底盘与车身之间只需预留物理连接的接口和电子电气架构的接口，即可进行各自独立的开发，上车体由此获得了打造智慧生活空间的最大灵活度和可能性。在此模式下，软件可以自由调用底盘的运动能力，以形成个性化的驾驶特性，并且这种驾驶特性还可以与其他车辆功能相互组合，从而为用户提供特定场景下的最佳用车体验。

再次，一体化底盘或可形成性价比趋于极致的产品方案。一方面，通过下车体的标准化和规模化，有效降低主要由硬件决定的产品成本；另一方面，通过上车体的个性化和定制化，充分实现基于软件的产品差异。同时，上下车体还可以平行开发、异步迭代，这样既能节省开发成本，又能缩短开发周期，还能分别对底盘和车身进行更有针对性的开发及优化。由此，适合诸多小众细分市场的车型也完全可以基于相同的底盘打造，而以不同的车身满足不同用户群体的需求，从而在成本受控的前提下，最大限度地实现产品的差异化。

最后，一体化底盘必须基于生态化发展模式才有成功的可能。其一，一体化底盘其实就是汽车产品上最大的关键部件，为此需要形成完整的“小生态”，由具有优势的相关企业开发和制造，以确保其竞争力和拓展性。其二，一体化底盘相当于不同汽车产品的最大公约数，为此需要有效融入打造整车的“中生态”，让尽可能多的车企和车型共享使用，才能实现其最大价值。其三，一体化底盘需要与之匹配的多样化的车型功能以及应用服务，为此还需要在汽车使用及服务的“大生态”中，与更多的协作伙伴一起挖掘其更大的商业价值。

我想强调的是，一体化底盘最终能否成为独立于整车之外的共性部件，乃至成为行业的主流模式，目前尚难确定。我认为，从本质上讲，一体化底盘代表着汽车产品通过平台化、模块化实现通用化的持久追求，同时也是其在更高程度上的最新发展。而不同的汽车企业基于自身的战略目标、销量规模、产品谱系、技术实力以及细分市场，本来就有不同的平台化、模块化策略，这是很正常的。总体而言，如果车企在相近市场区间的车型产品有足够多的销量，那么打造专属性的平台以追求整车层面更优的集成效果和性能表现，或许是更合理的选择；而销量较少的小众车型或车企，可能更适合选择共用一体化底盘，以“拼团模式”有效分摊成本。

不过有一点是肯定的，要想把一体化底盘真正做好，相关企业必须有前面提到的几点认知：即充分融合电动化与智能化技术，充分平衡标准化与差异化，充分实现极致的性价比，充分发挥产业生态分工协作、共享共用的价值。

不久前，蔡建永先生专门约我深入交流了宁德时代在滑板底盘方面的思考和探索，他们称其为一体化智能底盘，并专门成立了子公司时代智能倾力打造。我发现他们的理解是深刻的，其中不少认识和实践与我的观点不谋而合。例如，他们提出了“内部集成，上下解耦、对外开放”的设计模式，以打造动力平台标准化与运动控制智能化相融合的通用平台；他们致力于提供一个行业共享的滑板底盘标准化部件，以释放上车体的个性化功能与服务，进而参与未来出行生态的构建；他们高度重视生态建设，不断扩大朋友圈，以推动其一体化智能底盘实现跨车型、跨车企的共享共用。在我看来，这些举措都行进在正确的道路上。

同时应该说，宁德时代也是适合发展滑板底盘业务的企业之一。一方面，作为全球动力电池的领导者，宁德时代更有能力以电池为中心，打造性能优异的一体化智能底盘。另一方面，宁德时代不是整车企业，又有足够体量，其一体化智能底盘相对更容易被行业广泛接受。

当然，滑板底盘业务作为一项创新尝试，也面临着诸多挑战和困难。包括如何打通能量流与数据流，真正形成电动化与智能化深度融合的移动平台；如何在硬件标准化的前提下有效支撑软件的个性化定义，尤其是对驾驶特性的定义；如何构建开放的产业生态和创新的商业模式，实现各类参与者的分工合作、协同共赢；如何聚焦和突破种子客户，让一体化智能底盘早日应用起来，进而在使用中不断完善技术、产品以及合作方式，等等。这一切，都是宁德时代需要联合尽可能多的生态伙伴共同解决的关键问题。

在这个过程中，实现一体化智能底盘的标准化非常重要，因为这是该项技术得到广泛应用的前提。对此，宁德时代也有充分的认知。他们特别编撰了相关的白皮书，并请我作序，借此发出强化标准与规范统一的倡议，传递加强合作、共享共赢的理念。

有鉴于此，我草拟了本文。希望宁德时代能够把这项与产业发展大势相符的尝试深入下去，为行业担当创新汽车打造模式的探路者。是以为序。

赵福全

清华大学车辆与运载学院 教授、博士生导师
汽车产业与技术战略研究院 院长
世界汽车工程师学会联合会（FISITA） 终身名誉主席

专家评语

汽车已从单纯交通工具向智能移动终端转变，这种智能移动终端到底该如何定义？需要我们系统思考满足未来多样化场景需求下的汽车新构型与新形态，一体化智能底盘的发展势必将推动汽车新结构的快速演变，赋予其更多功能属性，使其成为满足各种承载需求的新型底盘平台。

赵立金

中国汽车工程学会副秘书长、国汽战略院副院长

智能底盘是支撑智能网联新能源汽车产业高质量发展的关键核心技术，打造高度集成化、智能化的底盘架构是智能底盘发展的重要技术路径。希望全行业能够共同参与到一体化智能底盘基础技术研发和技术共享平台的构建中，共同打造智能底盘中国方案，为汽车产业发展贡献中国力量。

杨彦鼎

东风汽车集团有限公司研发总院院长

基于一体化智能底盘打造未来出行的产品是新的机遇，围绕一体化智能底盘建立一个跨企业的标准化平台，实现接口标准化将提升研发和制造效率。

张晓东

吉利汽车研究院（宁波）有限公司资深总工程师

一体化智能底盘突破了结构集成、控制集成核心技术，全面支撑汽车智能化、电动化，是汽车产业变革、转型升级成果的集中体现，对汽车设计理念、制造方式、商业模式产生颠覆性变革。

苏亮

厦门金龙联合汽车工业有限公司副总经理、工程研究院院长

汽车电动化和智能化带来了底盘的颠覆性变革，线控底盘是汽车成为移动超级智能终端不可或缺的前提，新一代线控底盘技术已成为全球汽车领域竞争焦点；宁德时代在一体化智能底盘领域开展了一系列前瞻性的探索工作，将有助于催生全新的产业形态，推动我国新能源汽车技术升级，支撑我国汽车产业持续引领！

熊璐

同济大学汽车学院副院长、教授

引　言

2023 年 6 月 2 日，李强总理在召开国务院会议的时候指出，要加强动力电池系统、新型底盘架构、智能驾驶体系等重点领域关键核心技术攻关，提升全产业链自主可控能力和绿色发展水平。 这为新型底盘架构，也就是我们说的一体化智能底盘的发展提供了契机。

中国的新能源汽车行业，在燃油时代的艰苦摸索基础上，经历了 20 多年的发展成功实现了电气化的弯道超车，现正迈向与智能化融合发展的快速增长阶段。2023 年上半年，新能源汽车在中国的渗透率第一次历史性突破 32%；欧洲、美国、日本的燃油车巨头也纷纷加速电动车的研发。这意味着，新能源汽车跨越了发展鸿沟，汽车的全面电动化时代已经打开，一个新的时代即将来临。

电动化的发展简化了汽车的结构，降低了造车门槛，让造车变得更简单，越来越多的玩家涌入进来，每个玩家也都在推出各种各样的车型。据统计，2023 年，国内新能源乘用车在售车型为 448 款，销量为 722 万辆，平均每款车型销量只有 1.6 万辆，92.4% 以上的车型无法达到盈亏平衡点。2023 年，由燃油汽车降价引起的价格战，逐步烧到了新能源汽车，竞争正在变得越来越激烈。一方面，新能源的渗透率在不断提升，蛋糕在持续变大；另一方面，由于汽车是成本敏感的大件消费品，OEM 和零部件供应商成本的压力越来越大。

电气化与智能化技术的交叉融合使传统的汽车行业朝着更加集成、更加 ICT 化的方向发展，繁荣了汽车行业，新能源赛道出现了众多的新技术、新玩家及新商业模式。

这种创新促进了汽车价值链的变化，传统生产制造环节价值降低，智能化及软件服务成为关键；出行即服务（MaaS：Mobility as a Service）逐渐成为行业共识，越来越多的车企在布局基于智能化服务为中心的赢利能力；而这种商业模式的基础是基于互联网思维的大量用户基数及规模化为基础，行业出现了以特斯拉为首的封闭体系玩家，也出现了众多的垂直整合的行业玩家。

在垂直 / 封闭模式中，整车厂自身开发底盘架构、EE 架构、硬件和软件系统等。这种模式对于车企和零部件供应商都是高成本的，因为私有接口意味着定制，无法实现跨车企的部件和模块共用；另一方面，由于部分车型的量不大，高度定制的部件为维护和保养上也会带来高成本。随着汽车的用途越来越多样化，对于私家车，更多的个性化意味着更多的定制化；而车型一旦销量不好，会带来巨大的浪费。类似的问题在电脑、手机产业上都发生过，电脑从小型机转向 PC 机的时候因为 X86 和 Windows + Linux 的开放，带来的规模化低成本及个性化的平衡，从而走入千家万户；而手机，因为 ARM 和 IOS + 安卓，同样实现了规模化低成本和个性化的平衡，变成人手一部。

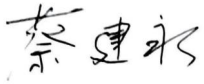
电动化电气化与智能化技术的交叉融合，增加了汽车的智能，让用车变得更加有趣、方便，汽车变得越来越成为移动的第三生活空间。2023 年作为通用人工智能元年，必将带动智能驾驶、无人驾驶技术的快速演进；新的玩家、新的商业模式正在不断地涌现出来，正如马斯克所说的，私家车除了通勤，可以出去运营，帮助车主挣钱。智能电动汽车作为能源、移动、计算体、甚至机器人的载体，正在成为一个母生态。

新能源汽车的下半场是智能化。电动化的发展拉齐了车辆的动力性能，后者的迭代逐渐变缓，消费者逐步从专注于驾驶性能向智能化空间体验转变；而智能化当下仍然在快速发展。因此，未来一段时间里智能电动汽车将出现相对稳定的下车身与快速发展的上车身异步进化的矛盾，解决这一矛盾是未来智能电动汽车的成功关键。通过上下车体解耦，实现异步迭代的平行造车模式将出现。

如果我们回顾汽车行业的发展历程，新能源技术的进步推动了汽车由燃油时代向新能源及电气化转型，IT互联网技术加速了汽车向智能化、集成化转型，平台化和模块化提升了车企的造车效率。但是如果放眼整个行业，汽车的开发与制造方式仍未出现一种类似于智能手机的跨企业、跨行业的开放生态，尤其是车型平台（硬件）方面，汽车行业的整体效率仍有提升的空间。

20 年前通用汽车提出了滑板底盘这个构想，电气化推动标准化，智能化促进软硬分离，电气化与智能化的交叉融合发展让滑板底盘的构想变成现实，一体化智能底盘应运而生。一体化智能底盘基于电池底盘集成技术（CTC：Cell To Chassis），融合了电气化与智能化的优势，通过高度集成的三电系统、线控技术，结合智能汽车的软件定义汽车标准（SDV），实现上下车体解耦，必将成为场景造车的最佳载体。

一体化智能底盘既继承了传统车型平台底盘硬件标准化与模块的开发思路，又在此基础上融合了智能化的最佳实践，提供了无限的想象空间。中国汽车行业已经完成了电气化转型，面向未来，基于一体化智能底盘打造未来的人类出行是个新的机遇。围绕一体化智能底盘建立一个跨企业、甚至跨行业的标准化移动出行开放平台，实现接口标准化，将大幅度提升整个汽车行业的研发与制造效率，繁荣未来出行生态，加速人类出行的可持续发展。



宁德时代（上海）智能科技有限公司 CTO
于滴水湖



第一章 ▌滑板底盘是智能电动汽车发展的必然阶段 1

1.1. 技术趋势：算力超越马力，智能化成为未来的竞争焦点 ----------2
1.1.1. 电动化：电动化趋稳，智能化蓬勃，异步演化出现----------2
1.1.2. 智能化：AI 大模型元年，座舱迭代加速----------4

1.2. 竞争趋势：高度内卷的市场马太效应显现，行业需要效率更高的造车模式----------5
1.2.1. 产品迭代要求更快，汽车行业竞争趋向消费电子化----------5
1.2.2. 新能源汽车的价值链重塑，智能化服务运营成为未来竞争的方向----------5

1.3. 需求趋势：空间属性超越驾驶属性，个性化成为未来竞争焦点----------6
1.3.1. 第三空间向全场景空间转变----------6
1.3.2. 场景需求更加多样，传统的单一车身模式无法满足消费者的个性化需求----------6

1.4. 政策趋势：核心技术突破超越产业规模化，可持续发展成为未来焦点 ----------7
1.4.1. 新能源汽车应对可持续发展的要求----------8

1.5. 总结：汽车行业迫切需要一种全新的造车思路和解决方案 ----------8

第二章 ▌智能滑板底盘的定义以及行业价值 9

2.1. 滑板底盘的发展历程 ----------10
2.1.1. 滑板底盘的行业实践----------10
2.1.2. 大咖说：滑板底盘，风起正当时----------12

2.2. 智能滑板底盘介绍----------14
2.2.1. 智能滑板底盘的定义----------14
2.2.2. 智能滑板底盘的技术范围----------15
2.2.3. 智能滑板底盘的特征----------16
2.2.4. 智能滑板底盘的功能----------18

2.3. 智能滑板底盘的行业价值 ----------19
2.3.1. 降低行业壁垒，助力伙伴“快省好多”地造车----------19
2.3.2. 重塑产业链价值链，加速行业向智能化转型----------20
2.3.3. 支持新能源汽车出海，赋能小国造车----------21

第三章 ▌一体化智能底盘的设计要求 22

3.1. 内部集成：筑牢电气化底座，提升行业效率 ----23
3.1.1. 机械集成----23
3.1.2. 能量集成----39
3.1.3. 控制集成----40

3.2. 上下解耦：异步开发，加速行业向智能化转型 ----41
3.2.1. 机械解耦----41
3.2.2. 电子电气解耦----49
3.2.3. 软件解耦----50

3.3. 对外开放：促进行业共享，繁荣未来出行生态 ----51
3.3.1. 硬件开放----51
3.3.2. 软件开放----51
3.3.3. 数据开放----52

第四章 ▌以接口标准化推动智能滑板底盘的行业发展 54

4.1. 车身机械接口标准化 ----55
4.1.1. 上下车体的合拼与密封----55
4.1.2. 上下车体的管路接口----56

4.2. 电气接口标准化----57
4.2.1. 高压连接器标准化----57
4.2.2. 低压连接器标准化----60

4.3. 软件接口标准化----61
4.3.1. 通信接口标准化----61
4.3.2. 控制接口标准化----62
4.3.3. 服务接口标准化----68

第五章 ▌基于智能滑板底盘的未来出行畅想 70

5.1. 智能滑板底盘引领产业链变革----71

5.2. 智能滑板底盘催生运营与体验新业态 ----72
5.2.1. 经典型：整车制造与营运----73
5.2.2. 体验型：智慧空间运营----74
5.2.3. 运营型：智能滑板底盘运营----74
5.2.4. 共创型：智能终端发烧友用户运营----76

5.3. 智能滑板底盘繁荣出行生态----76
附录----78
附录 1：术语缩略语----78
附录 2：参考文献----81



第一章

滑板底盘是智能电动汽车发展的必然阶段

“当前，全球汽车产业正处于深度变革期，这也是汽车产业格局重塑的关键时期，汽车革命与能源革命、信息革命、交通革命和智慧城市建设交织在一起，汽车产业的边界越来越宽，与其他产业融合越来越深，汽车的产业链、供应链、价值链都在加速重构。在产业变革的过程中电动化、智能化成为重要的方向。”2023年9月29日，在中国电动汽车百人会和合肥市人民政府共同举办的合肥国际新能源汽车展览会开幕式上，全国政协常委、经济委员会副主任苗圩表示①。

在市场层面，2023 年我国新能源乘用车的销售量达到 722 万辆，保有量超过了 1800 万辆，产销量规模、保有量规模都占全球一半以上。根据中国汽车工业协会所公布的数据，在 2023 年上半年，中国实现汽车整车出口 234.1 万辆，相比 2022 年上半年增长 76.9%；而与此同时，日本汽车工业协会的数据显示，2023 年上半年日本的汽车出口量为 202 万辆，相比 2022 年上半年增长 17%。中国在 2023 年上半年已超越了日本，成为了全球最大的汽车出口国。

在这样的大背景下，中国新能源产业政策已由加速产业落地、强化集成技术创新，向加强智能底盘②核心技术攻关演变。2023 年 6 月 2 日，李强总理在召开国务院会议的时候指出，要加强动力电池系统、新型底盘架构、智能驾驶体系等重点领域关键核心技术攻关，提升全产业链自主可控能力和绿色发展水平③。

汽车行业正在经历其诞生以来最深刻的变革，从先前的机械化时代，到如今的电动化和智能化浪潮，整个行业尤其是中国的汽车行业，正以前所未有的速度向前演进。汽车不再仅仅是一种交通工具，它正逐渐演变为连接人们生活与工作的重要纽带，成为一个“移动的第三空间”；而智能化时代，其汽车产业价值链也正经历着一场重塑。

汽车行业迫切需要一种全新的造车思路和解决方案，在当前“内卷”的市场实现一场完美的“蝉蜕”。

1.1. 技术趋势：算力超越马力，智能化成为未来的竞争焦点

传统汽车市场以交通属性或者驾驶属性为主，具有优势地位的车企基于在发动机及变速箱等动力系统的深厚研究积淀，在燃油时代占据领先地位；这种动力属性在电气化初期也是市场追捧的方向。从 PC 端和移动端起步的智能化浪潮方兴未艾，并逐步影响到了出行端；电动化拉平了动力性能在燃油动力系统之间的差异，基于电动化基础进行智能化的差异化竞争，正成为未来新能源的发展方向。

1.1.1. 电动化：电动化趋稳，智能化蓬勃，异步演化出现

中国新能源汽车持续高速发展，从 2019 年底不到 5% 的渗透率，主要靠国家补贴政策勉强生存的局面，到 2023 年，渗透率持续攀升至 34.5%，可以说新能源汽车已经完成了“跨越鸿沟”并深入人心，成为一股不可逆的力量。

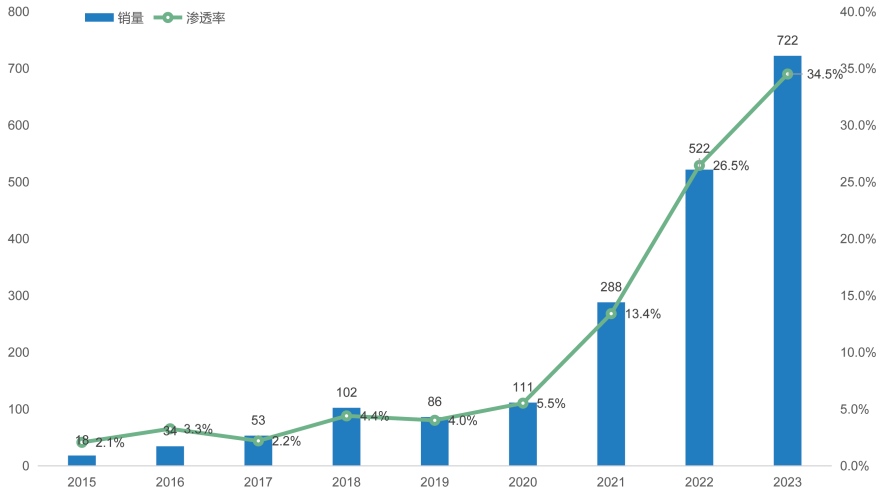


图 1.1 2023 年新能源汽车销量分布情况（数据来源：交强险）

① 苗圩，全国政协常委、经济委员会副主任，中国电动汽车百人会和合肥市人民政府共同举办的合肥国际新能源汽车展览会开幕式致辞，2023 年 9 月 29 日；
② 智能底盘是为自动驾驶系统、座舱系统、动力系统提供承载平台，具备感知、预判和控制车轮与地面间相互作用、管理自身运行状态的能力，具体实现车辆智能行驶任务的系统。中国汽车工程学会，《电动汽车智能底盘技术路线图》，机械工业出版社；
③ 新华网 2023 年 6 月 3 日，有删节

电动化新技术促进了底盘的集成化

新能源汽车由于电动机适合的工况范围远大于发动机，可以很好地替代复杂的内燃机动力系统，大大减少传统机械零部件的依赖，使得车辆硬件结构的复杂度大幅降低；而底盘集成度与“空间利用率”大幅提高，让深度集成三电系统的底盘拥有完全的自主运动能力成为可能，同时制造工艺与流程也在加速变革。

新能源汽车的演进过程中，不断地涌现出一大批新技术，持续推动加速电动化的迭代飞轮：高能量密度的电芯与高效的成组技术不断刷新续航上限；高效高能的电驱动系统，真正兼顾了动力与能耗；集中式热管理提升了能量效率与安全；一体化压铸技术不仅降低制造的物料与时间成本，在实现了整车轻量化的同时，提升了车辆的结构刚度。此外，先进电子电气架构与 OTA 技术，日益精进的智能驾驶系统，软件定义汽车带来更为轻松的驾驶体验，大幅提升车内的人机交互体验，并且让车持续优化，常用常新；分布式驱动 / 角模块、线控转向、线控制动等技术商业化在即，必将进一步提升系统的集成度。

从消费端视角，相比较传统内燃机，新能源汽车百公里加速的单位成本大幅降低，在动力性与加速性上实现了“科技平权”。最新的消费者调研报告也显示，用户对于新能源车具有很强的粘性，“一旦开了就再也回不去了”。一定程度上讲，燃油车时代通过提高发动机的功率来实现高端加速性能的围墙轰然倒塌，而新能源汽车的加速度从一开始就已经超越了绝大多数用户的需求。

从供应端视角，中国的三电产业链已经非常完整，动力电池及电驱动领域遥遥领先全球市场。以电机行业为例，2023 年中国市场前十的电机供应商中，中国厂商有 7 家，整体市场份额超过 52%，见图 1.2。

结合未来的自动驾驶场景，消费者将更注重移动乘坐体验而非驾驶与操控体验，对于车辆动力与操控提升的需求日益趋缓。因此，综合考虑产品研发与用户需求两端的变化趋势，电动汽车动力底盘系统技术将逼近稳定。

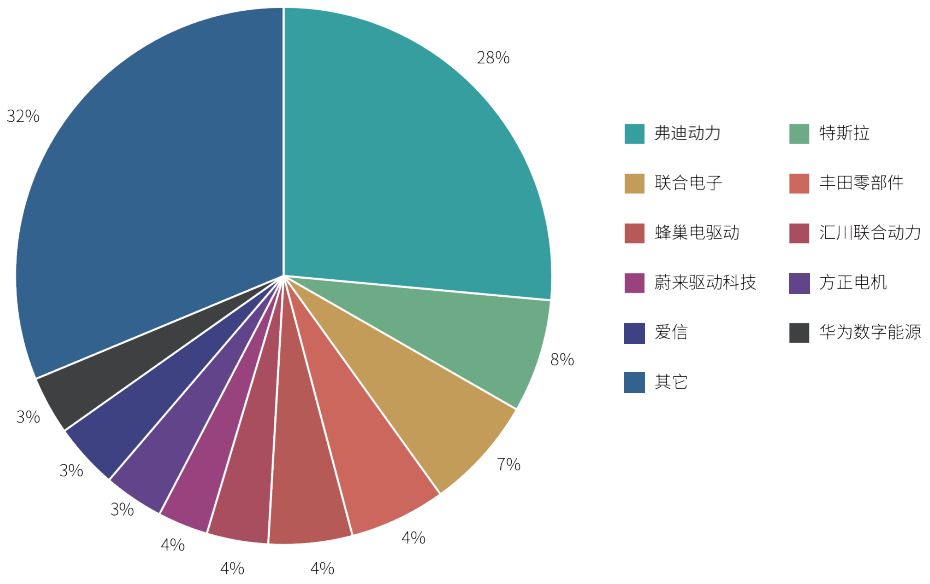


图 1.2 2023 年电机市场厂商数据（数据来源：NE 时代）

1.1.2. 智能化：AI 大模型元年，座舱迭代加速

2023 年中国电动汽车百人会论坛上，中国科学院院士欧阳明高表示“ChatGPT 引发人工智能革命，汽车智能化技术路线将被重塑，智能电动汽车产业化将带动智能机器人、智慧能源系统、智能低碳建筑及智慧城市大发展，预计 20-30 年发展成十万亿规模的大产业。”另外，清华大学车辆与运载学院创院院长杨殿阁教授曾表示，“如果说过去 20 年最大的创新出现在手机上，未来 30 年最大的创新载体将是智能汽车。未来汽车主要的差异不是电动化带来的差异，而是智能化带来的差异。”

自动驾驶过去受制于算法与模型有限的可解释性，发展进程缓慢。以往的小语言模型的方法由于缺乏灵活性、鲁棒性和泛化能力而未能实质性解决问题。但随着 ChatGPT 的出现，大语言模型（LLM：Large Language Model）通过文本处理和推理非文本数据（图片、视频等）的能力而受到研究者的广泛关注。利用 LLM 的可解释性，实现端到端自动驾驶系统，如解释车辆动作、提供相应的推理、回答用户的问题增强交互和预测车辆的运动控制，具有通过零样本泛化处理看不见的场景的能力，GPT（Generative Pre-trained Transformer）在可解释性和泛化能力上优于以往小语言模型，以 BEV 为代表的 Transformer 模型在行业内引发了智能驾驶发展狂潮。

在新能源汽车智能化的大背景下，汽车行业将面临着电动化和智能化双线作战的挑战。中国的新能源行业已在过去十多年的电气化进程建立了全球领先的竞争高地，产品及技术日益标准化。电动化的差异化越来越小，对成本的关注越来越大。面向未来的智能化时代，车企更应该集中资源、聚焦于持续提升智能座舱的用户体验、自动驾驶的技术迭代，构筑智能化用户体验方面的持续竞争力。

1.2. 竞争趋势：高度内卷的市场马太效应显现，行业需要效率更高的造车模式

当前新能源汽车高度内卷，体现在新能源汽车消费电子化，产品迭代速度加快；另外一个方面是价值链发生变化，由传统的制造销售赢利向全价值链的智能化服务增值转变。

1.2.1. 产品迭代要求更快，汽车行业竞争趋向消费电子化

汽车“新四化”时代，为满足消费者对产品快速迭代的需求，车企投放新车型的节奏越来越快。特别是在车市加速“内卷”的当下，车企产品推出的速度在很大程度上影响着销量表现。回顾历史，燃油车时代，一款产品全新换代要有 5、6 年的研发周期；而到了新能源汽车时代，中国车企把开发周期缩短至 36 个月，这显然还没有到达极限，造车新势力现在已经把周期压缩为 18~24 个月。前百度智能驾驶事业群组（IDG）智能汽车业务部总经理苏坦在接受澎湃新闻记者采访时坦言，国内车企的压力其实非常大，过去一款产品的开发周期是48 个月左右，逐渐缩短至 36 个月、24 个月；今年以来，很多车型从立项到上市只有 18 个月，很多自主品牌车企甚至把整个车型上市的周期压缩至 12 个月。

新能源汽车越发趋向于消费电子化了，因为消费者的需求变化越来越快了。而由于互联网、微信、抖音等快速传播，在一个车企上的独特设计和体验，会在很短的时间传播到所有人。在这个消费者为王的时代，无法满足消费者需求的产品就像当年的“功能机”一样被动地被淘汰出局。

1.2.2. 新能源汽车的价值链重塑，智能化服务运营成为未来竞争的方向

在智能化背景下，汽车的价值链正不断地从产品交付的单一节点，向车辆的全生命周期的各环节转移；传统的以整车制造及销售的赢利模式，正向基于智能化的软件服务增值转变。英伟达的 CEO 黄仁勋曾在 2021 年表示：“汽车制造商的业务模式将从根本上发生改变。到 2025 年，许多汽车企业很有可能以接近成本价的价格销售汽车，并主要通过软件为用户提供价值。”

在软件定义汽车成为行业共识的背景下，这一预言已然成真，依靠软件创造利润的目标虽然短时尚不可及，但汽车价值链重塑的趋势愈发显现。智能汽车正在以前所未有的速度产生海量数据，但这些数据面临着碎片化、私有性、数据孤岛等问题，造成数据的利用率还极为有限，数据资产价值仍待挖掘。要促进开放共享、充分挖掘车辆数据资产的价值，前提仍需解决隐私性、安全性、可溯源性、数据价值分配等现实问题。要突破数据封闭的行业瓶颈，数据接口的标准化或将成为重要的解决途径。

1.3. 需求趋势：空间属性超越驾驶属性，个性化成为未来竞争焦点

汽车行业革新的驱动力和需求属性正在发生巨大的变革: 由过去百余年的技术降本驱动转为消费需求拉动；由单一的交通工具属性转变为丰富生活空间属性。以消费者为中心的设计理念日渐深入人心，洞察消费趋势、满足需求趋势成为产品设计的原动力。电气化平权之后，基于智能化打造个性化的智能空间成为未来的竞争焦点。

1.3.1. 第三空间向全场景空间转变

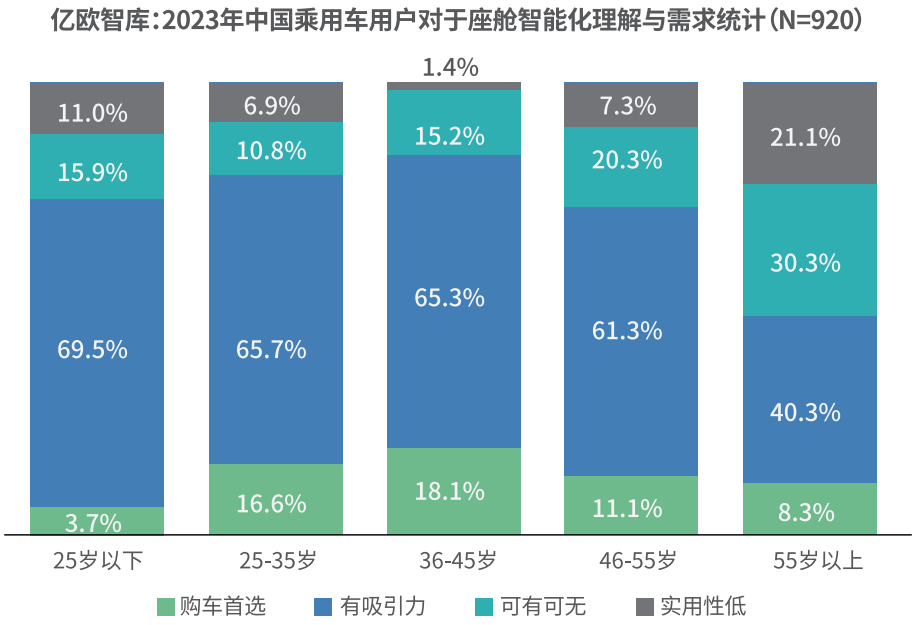
传统汽车偏向于交通工具属性，各大汽车厂商基于自己在动力系统及底盘方面的经验（Know-how）积累，打造产品的差异化特点，如动力性、操控性及舒适性，这种驾驶属性方面的优势也成为其产品及品牌优势。随着电气化的发展，尤其是中国汽车行业的蓬勃发展，传统车企在机械方面的领先优势迅速被电气化拉平，行业底盘调教方面的能力也迅速提高，或者被电气化智能化部件补足，如空气悬架等。

另一方面，随着电气化与智能化的深入，年轻人正逐渐成为智能汽车的主流消费群体，在移动交通工具属性之上，汽车是其表达个性和生活方式的载体之一，汽车的属性正在被重新定义——它不再仅仅是个交通工具，而越来越多地被打造成为一个兼具工作场所、娱乐中心等的功能空间，乘坐属性日益重要。此外，如今房价高企，很多年轻人和上班族谈“房”色变。年轻人可能暂时买不起房子，拥有一个移动起来当车子使用，而静止的时候当房子使用的车子，也许会变成年轻人的第一需求。在疫情隔离期间，有人在特斯拉里面完成办公、休息、娱乐等一系列活动，就是一个很好的例子。以后，上班在市区，下班在海边、森林公园等，汽车变成一个移动的房子的时代也即将到来。

1.3.2. 场景需求更加多样，传统的单一车身模式无法满足消费者的个性化需求

在驾驶属性需求日益趋缓的背景下，消费者对汽车的外观、内饰、自动驾驶系统等提出更高的要求。根据调研机构数据显示，年轻人及中坚消费者对智能化的关注度极高，约85% 的36-45岁车主倾向于为智能化体验买单，其中18.1%将智能化体验作为购车首选因素，如图1.3所示。他们期待符合个人品味的内外饰造型设计、多场景的功能应用，多样化的配置选择，如有的车型为用户提供了冰箱、彩电、大沙发的舒适体验。想象一下，在将来坐进一辆智能汽车，配备了高等级智能计算中心的智能化座舱，可自定义的智能化体验，甚至是与用户共创的产品定义。同时，智能汽车搭载了视觉、Lidar 等感知设备和决策算法，更能很好地满足送人、送货等多种运营场景的需求。

面向日趋变化的个性化需求，汽车制造商必须更加关注用户体验和使用场景，投入更多的资源聚焦于研究用户的真实需求，开发更多的个性化造型与功能配置，加速上车体的迭代速度。



注：购车首选：座舱的智能化程度是选购车时重要参考因素，会因为车型座舱智能化优势而选择购买
有吸引力：认为座舱的智能会给驾乘人员带来体验升级，将其作为购车时的参考因素之一
可有可无：座舱只是车内驾驶与乘坐的空间罢了，并未过多关注其智能化表现
实用性低：接触过，但认为当前的座舱内部分智能化功能实用性低

图 1.3 2023 年中国乘用车用户对座舱智能化理解与需求统计

1.4. 政策趋势：核心技术突破超越产业规模化，可持续发展成为未来焦点

随着科技进步与发展，能源危机与环境保护成为全球汽车行业的重要议题。能源与环境关乎全人类的未来福祉，其核心就是控制碳排放总量，并尽快实现碳中和。在全球范围内，欧洲在争取碳中和的行动上起步早、进步快，大部分欧盟国家已设立了节能减排目标，正在能源及环境治理方面发挥着全球引领作用，对各国相关政策制定具有参考意义。2021 年，欧盟为应对气候变化制定了名为《Fit for 55》的综合性计划，其中要求新车和货车的排放量从 2030 年开始比 2021 年的水平下降 65%，在 2035 年实现汽车净零排放，同时规定各国政府加强车辆充电基础设施建设。

汽车作为碳排放的重点行业，在碳达峰和碳中和的背景下需要有更有效的解决方案，推动单车的能源低碳化及降低能源消耗等。凭借新能源汽车高效的运行效率，在使用端显著地提升了节能减排水平；电池的梯次利用及循环利用同样至关重要，可以有效地减少原材料与资源的浪费。在国务院办公厅印发的《新能源汽车产业发展规划（2021—2035 年）》早已明确了对电池循环利用的要求：“推动动力电池全价值链发展。完善动力电池回收、梯级利用和再资源化的循环利用体系，鼓励共建共用回收渠道。建立健全动力电池运输仓储、维修保养、安全检验、退役退出、回收利用等环节管理制度，加强全生命周期监管”。

1.4.1. 新能源汽车应对可持续发展的要求

汽车制造也需要可以修旧如新，通过重复利用来提升效率，降低全生命周期的碳排放。相比传统燃油车，电动汽车的机械结构，尤其是动力系统、传动系统更为简单。电池的循环寿命可以做到5000次，如果按照电动汽车续航里程 500km 计算，5000次的循环寿命可以让电动汽车行驶 250万公里，可以说电动汽车的寿命、再利用价值远未被充分挖掘。结构稳定且长寿命的底盘，或许可以凭借上下车体解耦的技术，对底盘进行再制造，延长其生命周期；将梯次利用水平从电池（部件）级提升至系统级，提升循环利用率，进而实现低碳减排的目的。

1.5. 总结：汽车行业迫切需要一种全新的造车思路和解决方案

如上所述，电动化的发展让底盘产品趋于成熟稳定，个性化的用户需求让汽车制造商更专注于智能座舱与自动驾驶的开发，马力正逐渐让位于算力；线控技术的成熟为上下车体解耦提供了技术基础，碳达峰碳中和的要求期待低碳方案和循环经济。为了解决行业重复造轮子的问题，实现汽车平台及部件的跨企业标准化共享成为必然。

可以预见到，未来的智能汽车时代，上下车体将完全解耦、平行开发、异步迭代。滑板底盘将帮助车企筑牢电气化的底座，从而聚焦在快速增长的智能化赛道以避免双线作战，争取下半场的成功。



第二章
智能滑板底盘的定义以及行业价值

如前所述，新能源在向智能化快速演进的大背景下，行业迫切需要一种新的解决方案，全面解决新能源汽车的痛点，并为未来的智能化提供最好的底座。事实上，早在 20 多年前通用汽车发布的概念车就是解决方案的雏形——滑板底盘技术；并基于对未来移动出行的想象，创新性地提出了上下车体解耦的概念。此后的 20 多年间，它成为了指引技术发展的灯塔。经过行业先行者不断地探索与创新，滑板底盘概念逐步演化成为现实，商业化落地已然来临。

2.1. 滑板底盘的发展历程

滑板底盘从早期提出滑板底盘的概念到最近几年的商业化落地，发展了 20 多年。国内外行业玩家不断涌现，各自在商业模式、技术创新等领域进行了种种有益的探索。鉴往知来，结合当下新能源技术与智能化技术蓬勃发展的大势，我们从滑板底盘的发展历程中窥见未来。

2.1.1. 滑板底盘的行业实践

技术发展及商业模式创新推动了滑板底盘的商业化进程。

GM 的 AUTOnomy 概念车，滑板底盘的雏形

通用汽车（General Motors）于 2002 年北美国际汽车展发布了名为 AUTOnomy 的概念车。这款车型首次提出了“滑板底盘”（Skateboard Chassis）这一概念。基于 AUTOnomy 底盘，通用汽车提出了上下车体解耦的开创性构想：客户可以通过更换上车身获得新的用车体验。为此，底盘上不仅设计了车身机械锚点，更将转向、制动、电力、空调、控制系统融合为通用连接坞（Universal Docking Connection）。

此外，AUTOnomy 概念车还融入了零排放（Zero Emission）、可持续移动出行（Sustainable Mobility）、全线控（X-by-Wire）、轮边电机（e-Corners）等前瞻性理念与技术，对滑板底盘产品的演进产生极其深远的影响。

Rivian，滑板底盘的首次商业化落地

Rivian 的 R1 纯电动平台，被市场视为滑板底盘商业化的范例之一。Rivian 首发于 2018 年洛杉矶车展的 R1T 与 R1S 两款车型都基于 R1 平台。

该平台为非承载式架构设计，集成了电池、动力单元、空气悬挂与热管理系统，在提供更强刚性与安全保护的同时，凭借其低重心获得更好的驾驶体验。

商业化方面，Rivian 运用滑板底盘技术在商用车领域开发了 EDV（Electric Delivery Van）系列纯电动物流车，在物流配送领域和亚马逊取得了深度合作。

Canoo，基于滑板底盘的商业模式创新尝试

同时期的另外一家滑板底盘初创公司 Canoo，推出了其多用途平台 MPP（Multi-Purpose Platform），从皮卡、MPV 到箱式货运车，在有限的平台尺寸下最大化客舱空间、实用性和生产力，展现出滑板底盘特有的扩展性潜力。此外，基于滑板底盘的特性，Canoo 致力于通过模块化、客制化的车身组件、车辆的软硬件升级，将其全生命周期的客户价值最大化。

CATL，“以电池为中心”的一体化智能底盘设计

2023 年 11 月 30 日，宁德时代首席科学家吴凯在国际汽车电子与软件大会·滴水湖峰会上首次提出了“以电池为中心”的设计理念，并向外界首次介绍了其滑板底盘产品——“一体化智能底盘（CIIC, CATL Integrated Intelligent Chassis）”，预计在 2024 年推出第一款真正基于一体化智能底盘研发的乘用车，见图 2.1。



图 2.1 CATL- 以电池为中心的设计理念



图 2.2 一体化智能底盘（CIIC）

宁德时代基于对电池技术演进路线的深刻洞察，认为“一体化智能底盘是电池技术路线演进、成组效率提升的必然结果”，基于此开始进行了一体化智能底盘的研发工作。宁德时代创新性地提出“以电池为中心（Build around battery）”的设计理念，利用最先进的第四代高度集成化的 CTC 电池技术，通过结构创新充分发挥电池和底盘成组的优势，结合三电和热管理全栈自研，全面提升整车制造效率。

宁德时代的一体化智能底盘，通过上下车体解耦，滑板底盘可以实现上部车身空间与底盘行驶模块分离，平行开发，异步迭代。支持根据场景设计上车体，快速进行产品升级，提升整车厂的市场竞争力。同时，通过创造性的 Toolkit 的设计理念，提供全栈解决方案；通过对外开放的合作模式，希望打造基于“一体化智能底盘 + 生态”的创新模式，促进行业共同繁荣。

丰田 e-Palette，未来移动出行服务（MaaS）的创新构想

丰田发布于 2018 年 CES 消费电子展的 e-Palette，代表了继通用汽车之后，传统汽车制造商基于滑板底盘和分体设计理念，对未来移动出行服务（MaaS）的创新构想。运用车联技术、自动驾驶技术、客制化多场景上车身，联合零售、物流、餐饮等各行业商业伙伴，丰田 e-Palette 描绘了智能电动车时代，移动服务生态的未来蓝图。

回望过去 20 多年，通用汽车 AUTOnomy 概念车的发布，指引了一众初创公司基于滑板底盘理念的探索与实践，将这一产品形态的热度推向了阶段性的高峰。诚然，大规模的商业化之路道阻且长；丰田的 e-Palette 向行业描绘了 MaaS 时代滑板底盘的应用场景。近几年来，在竞争、技术和客户需求三轮驱动下，我们看到滑板底盘的核心技术与产品不断地商业化落地。

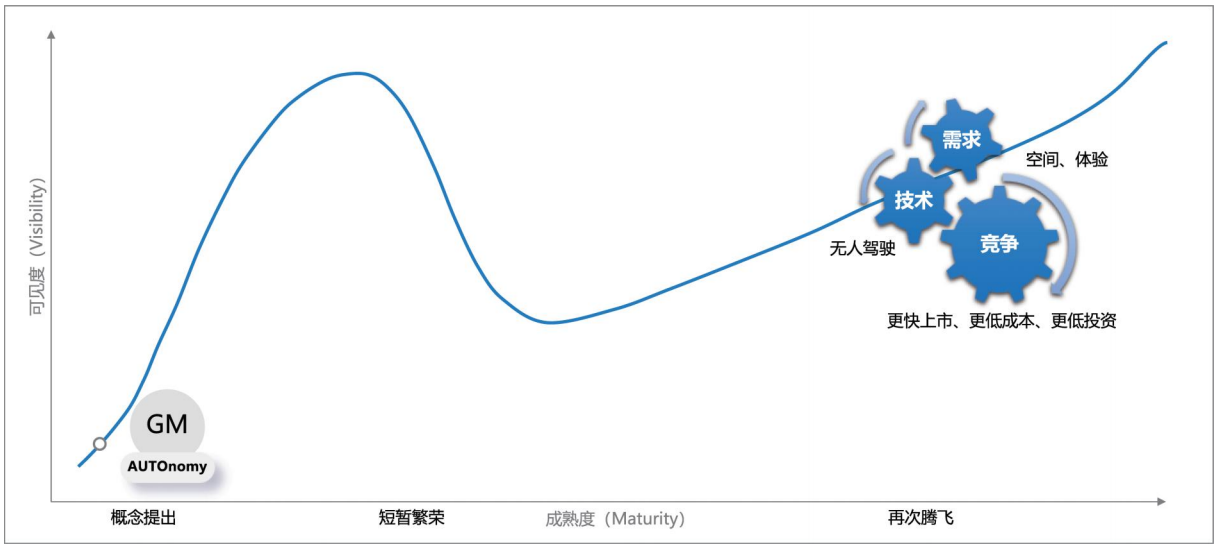


图 2.3 滑板底盘技术成熟度历程

2.1.2. 大咖说：滑板底盘，风起正当时

滑板底盘有望给汽车设计与制造带来一场革命——欧阳明高：中国科学院院士、清华大学教授

“滑板底盘由 CTC 电池系统、新型电驱动系统、线控转向制动、滑板底盘工艺、智能化技术五大核心技术组成。”中国科学院院士、清华大学教授欧阳明高表示，当前电动汽车底盘技术竞争持续升级，主要体现在底盘系统的“滑板化”，有望给汽车设计与制造带来一场革命。在接受《财经》采访时欧阳教授进一步表示，滑板底盘再配合智能化主动避撞，将来碰撞越来越少，车身可以做得越来越轻，甚至用塑料或者布都可以。车型开发周期非常短，花样无限多，个性化非常强。

以科技普惠实现高效共赢——行业之声

舍弗勒大中华区 CTO 刘泳先生介绍说：“当前，汽车行业百年不遇之大变局有两个大趋势，一个是电动化，另外一个是智能化。电动化趋势会简化传统的动力总成系统，且力度远超想象。新能源汽车包括混动和纯电动，

在国内纯电驱动汽车增长速度非常快。这类汽车已经不需要传统发动机和变速箱，集成了驱动电机和小型减速器的电驱动桥以及提供能源的电池成为了新的驱动系统。此外，舍弗勒还有一款非常创新的产品——轮毂电机，它将把驱动电机直接集成到车轮的轮辋里，使传统的集中式驱动变成了分布式动力驱动。这些新技术和新产品对整个汽车动力系统的简化是惊人的。这种简化打破了很多传统的边界，通过这些简化和设计的优化，可以把电驱动系统和线控的制动系统、转向系统全部集成到底盘中，为前面提到的模块化、集成化的滑板式底盘提供了条件。电动化趋势会颠覆传统汽车产业链，未来的商业模式也会有更多创新型举措。技术创新带来商业模式创新，最后改变商品属性，这是一个连锁反应。如今，很多头部企业都在未雨绸缪。对传统零部件供应商来说，也是个巨大的挑战④。

宁德时代（上海）智能科技有限公司执行总裁胡国亮先生从创新互惠的角度，对滑板底盘实现上部车身空间与底盘行驶模块分离，平行开发，异步迭代的观点做了剖析，“通过上下车体解耦，滑板底盘可以实现上部车身空间与底盘行驶模块分离，平行开发，异步迭代。支持根据场景设计上车体，快速进行产品升级，提升整车厂的市场竞争力。同时，通过三电高度集成、软硬件解耦、上下车体解耦，可以降低整车开发成本和生产制造投入，缩短开发周期，更好地服务市场场景化、个性化需求。从颠覆创新到科技普惠，一体化智能底盘的初心是希望上下车体分离后实现平行开发，同步进化，释放合作伙伴的双手；开发一款新车型时，不再需要从头到尾打造底盘平台，而是更聚焦于应用场景和用户体验，让每一个细分应用场景都能有更高效的落地方案，实现共赢。”⑤

④《财经》杂志，2023 年 01 月 03 日
⑤ 胡国亮，2023 年中国汽车供应链峰会（苏州昆山），《蝉蜕与重塑：宁德时代的一体化智能底盘思考》

2.2. 智能滑板底盘介绍

2.2.1. 智能滑板底盘的定义

智能滑板底盘定义：具备一定程度自主控制车辆运动能力的整体式纯电动可行驶的最小车辆单元，至少由车架或其他承载结构、能量系统、动力系统、传动系统、行驶系统、转向系统和制动系统等部分组成，外形为平板状或类似平板形状。在接受来自驾驶员或者智驾系统的指令时，可依据当前车辆状态进行主动修正和反馈。简单来说，智能滑板底盘就是一个能支撑智能驾驶乃至自动驾驶，集能量单元和车辆运动单元为一体的一体化车辆集成单元。智能滑板底盘有三个典型的特征属性，即电动化、一体化和智能化。如图 2.4 所示。

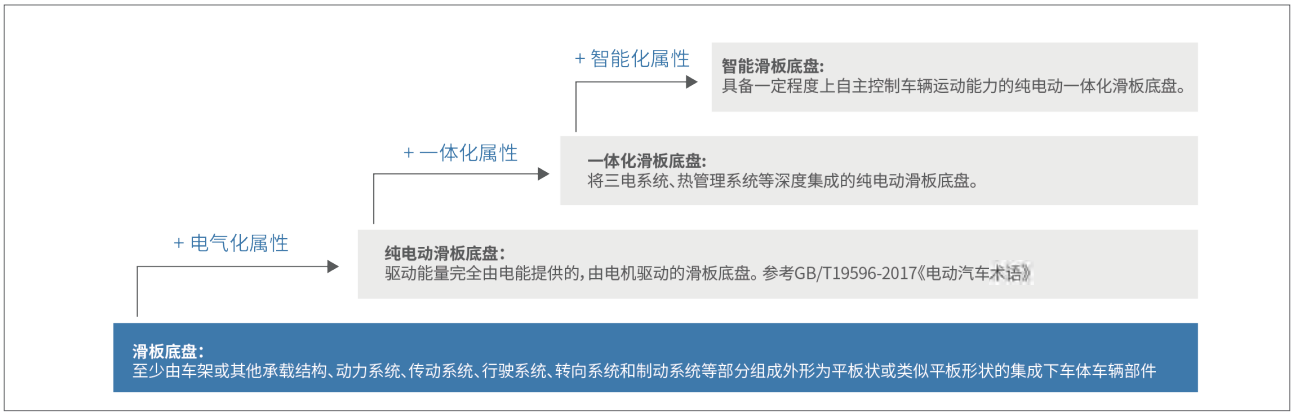


图 2.4 智能滑板底盘的特性属性

中国汽车工程学会智能底盘分会主任委员，清华大学张俊智教授深刻阐明了滑板底盘与智能底盘的关系，指出滑板底盘是智能底盘的一种产品形态，是一种商业模式，是一支重要的新生力量，所以它是一个新产品，新业态，新品种。

一体化智能底盘（CIIC – CATL Integrated Intelligent Chassis）是宁德时代智能滑板底盘的商品名称。如图 2.5 及图 2.6 所示。如无特别说明，后文所说智能滑板底盘是以一体化智能底盘为例进行阐述。



图 2.5 CATL 一体化智能底盘（CIIC）图

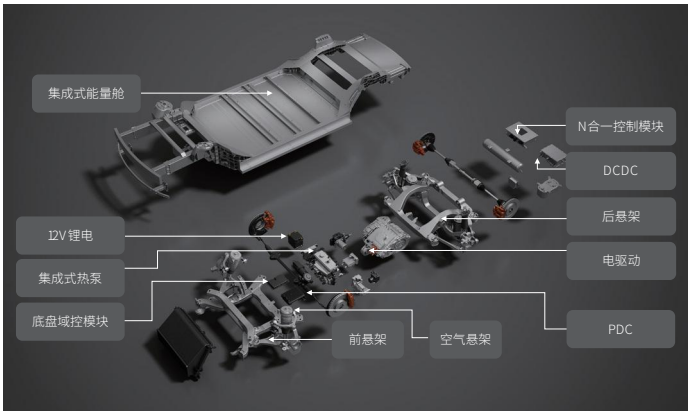


图 2.6 CATL 一体化智能底盘构成图

2.2.2. 智能滑板底盘的技术范围

智能滑板底盘从下到上分为 5 层结构，从硬件到软件，从执行到控制，从数据到服务，系统地阐述了智能滑板底盘所包含的技术范围内容，如图 2.7 所示。

其中第一层是标准化执行器，是上下车体解耦的基础；第二层是高压及智能冗余配电部件，是动力之源，能量枢纽；第三层是计算平台，向上提供标准化控制接口，是软件标准化、服务化的基石；第四层是应用软件及算法，是滑板底盘的智能所在，内置原生应用可集成三方应用，形成应用开发生态；第五层是服务开放，增强系统的可扩展性，为用户提供持续的增值体验。

第 1 层 - 底盘机械层：包含 CTC 能量舱、热泵模块、线控模块等机械硬件；

第 2 层 - 控制部件层：包含高低压配电控制器、热泵控制器、转向控制器等控制部件；

第 3 层 - 计算平台层：包含具有多核异构 SOC，可拓展 AI 算力的域控计算平台；

第 4 层 - 软件 & 算法层：以底盘控制与管理中间件、控制接口、原子服务 API 衔接基础实时操作系统 RTOS 和能量协调控制、设备管理、数据管理等上层管理服务；

第 5 层 - 运营 & 服务层：包含能源网络服务、电池健康管理评估等能源服务和远程诊断、OTA 的运营服务等部分。



图 2.7 智能滑板底盘技术架构

2.2.3. 智能滑板底盘的特征

智能滑板底盘非常好地契合了当前电气化智能化的发展方向，具有以下三个鲜明的技术特征。

内部集成

智能滑板底盘的集成核心是通过物理空间集成和软件控制集成，来实现降低成本、减轻重量和提高效率的目的。

物理空间集成

高度集成的智能滑板底盘将为场景造车提供灵活的上车体设计，提升上车体的“得房率”，低姿态底盘等可有助于实现纯平地板。在部件层级，通过提升热管理模块的集成度包括管路的集成度等可以降低体积和重量。

1) 电池与底盘的集成：其核心是 CTC 技术。通过省去不必要的外壳结构，进一步提升电池的布置效率，实现相同空间布置电量更大、续航更高；智能滑板底盘通过设计的优化，可以同时兼顾 CTC 和换电；

2) 电驱与底盘的集成：电驱通过三合一系统集成和优化空间设计，在轻量化和空间优化方面都做到最优；

3) 热管理与底盘的集成：通过高集成度的热泵模块设计达到空间体积更小，管路更优化的效果；

4) 高低压模块与底盘的集成：通过集成 BMU、OBC/DCDC、BDU、PDU 等模块，实现降低成本和减重的效果。

软件控制集成

软件控制集成包含运动的集成控制和能量的集成控制，其主要目的是通过融合控制提升效率，降低 ECU 的数量。

1) 运动集成控制通过分阶段逐步实现 XYZ 运动在域控制器的集成控制，减少底层 ECU 模块数量，实现降本增效的目的，同时提高效率；

2) 能量集成控制主要包含高压模块集成、低压模块集成和热管理集成，通过相同功能单元的集成，减少线束和壳体，提升空间利用率和减重的目的。

随着技术的不断演进，未来会做极致的算法上移，让域控制器真正实现底盘中央计算中心的作用，实现“真”跨域融合控制。

上下解耦

相比传统平台，滑板平台上下车体分离形成两块相对独立的区域。下车体以能量舱为中心，采用 CTC 方案，车体与能量舱集成设计，既满足传统车身的承载功能，同时集成电池的 pack 结构实现底盘行驶及安全功能。上车体实现造型及座舱功能，独立性及灵活性大幅提升。

上下解耦是智能滑板底盘的天然特性，通过上下车体的分离为场景造车提供更加灵活的解决方案，提高造车效率。上下解耦分为硬件解耦和软件解耦。

机械解耦

核心部分是线控技术，只有真正实现线控制动、线控转向等功能，才能真正实现上下车体的完全分离。除此之外，空调箱体的外置、接缝部分的密封技术等也是必不可少的技术要求。完全的上下车体硬件解耦，具有诸多方面的好处：

1) 从车辆开发角度，一体化底盘和上车身可以平行开发，通过标准化的底盘架构、性能解耦验证的策略，大大节省了车型设计开发周期和成本，带来整个造车模式的巨大变革；

2) 从车型定义角度，智能滑板底盘具备平整的地板、更大的上车身空间、独立的能量和驱动控制为“场景化造车”、多样化的上车身提供想象空间。

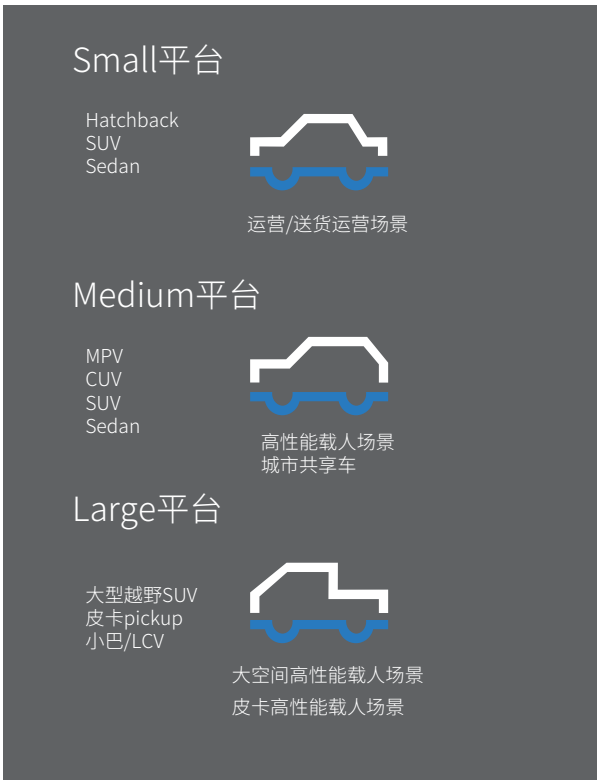


图 2.8 机械解耦的应用

控制解耦

控制解耦的核心是底盘域控制器。只有底盘的所有控制动作都在域控制器及以下完成自闭环，才能真正实现上下车体的控制解耦。完全的控制解耦也有诸多好处：

1) 支持高阶 EEA 架构：底盘的域控 / 中央计算中心的模式可以整合底盘所有的功能控制，方便和上车体的智驾、智舱等域实现对接，简化控制逻辑，提升效率；

2) 具备独立控制能力：可以实现不依赖上车体独立实现运动、能量控制的能力，在控制层面给“场景造车”提供更大的自由度。

对外开放

智能滑板底盘的终极目标就是对外开放，只有开放才能提高社会资源的效率最大化，才能充分发挥产业分工协作的优势，促进整个中国汽车产业的生态繁荣。

平台开放：通过弹性带宽的智能滑板底盘定义，满足更多合作伙伴、更广泛的上车体需求，真正实现智能底座的定位，以不变应万变；

数据开放：通过行业最先进的数字孪生技术，可以帮助用户随时随地掌握自己车辆的“数字生命”，彻底告别车辆始终是“黑盒”的状态；可以帮助合作伙伴在此基础上衍生出更多后市场服务，为车企的全生命周期服务运营盈利带来可能性；

服务开放：智能滑板底盘按照软件定义汽车的理念开发，通过将软件功能模块按照 SOA 服务化架构进行设计，并对外开放其标准化接口，实现车辆软件及服务解耦、独立开发、统一集成；

能量开放：底盘本身除了具备运动承载功能以外，作为一个大号的能量单体，可以实现削峰填谷的储能及对外放电功能，如 V2G、V2L 等；也可以实现基于能量残值的梯次利用，帮助用户实现能量价值最大化。

2.2.4. 智能滑板底盘的功能

智能滑板底盘企业开发一种具有标准功能的平台化标准化底盘产品，该标准化智能滑板底盘产品具有较大程度的独立性，具备稳定的产品属性与性能；因此，智能滑板底盘产品需要具有独立的、完整的控制协调系统，而不是简单的零部件物理集成。

智能滑板底盘拥有三电系统、热管理控制系统、悬架系统、线控制动、线控转向等供应链集成能力及底盘调校能力（属性与性能），赋予整车“独立个性”与“灵魂”。

智能滑板底盘主要功能如下：

基本功能

作为车辆的下部承载平台，智能滑板底盘由于其集成了与车辆行驶相关的智能控制单元，可以在某些情况下通过遥控及自动行驶等方式实现自主移动。

承载功能：智能滑板底盘通过车辆和悬架构成车辆的承载单元，通过高集成度的底盘集成技术，承载式车身结构也可以实现 80% 以上的承载能力；

储能功能：智能滑板底盘集成了 CTC 能量舱，既可以为整车提供动力来源，也可作为移动储能单元，对能源进行转运或消纳；

行驶功能：智能滑板底盘作为一个独立的车辆部件，由于其集成了能量单元、驱动单元、转向和制动单元，因而具备自主行驶功能。

拓展功能

智能滑板底盘域控制器以“小脑”角色，构建“运动中心、能量中心、数据中心”三大控制中心，配合上车体完成整车智能化功能部署。

综合能量控制功能：智能滑板底盘集成了能量单元，因而具有对外放电能力，可以在某些特定情况下实现 V2G 的能量转换功能；

车辆动态融合控制功能（XYZ 方向）：在经济、舒适、运动三种驾驶模式的基础上，增加了自适应驾驶模式，识别驾驶习惯，实现驾驶模式自动切换，提升车辆安全与驾控性能；

数智化服务功能：智能诊断、快速体检、远程诊断、远程实时系统状态监测、远程健康检测与生命周期管理。

2.3. 智能滑板底盘的行业价值

智能滑板底盘将开创一种全新的造车模式，它以创新型的上下车体分离方案打破了传统汽车行业垂直一体化顺序集成的思路，通过上下车体平行开发、异步迭代，提升了行业的造车效率。同时，智能滑板底盘通过平台行业共享，打破了传统行业重复造轮子的封闭体系，将以标准化的全新造车理念繁荣未来的出行生态。

2.3.1. 降低行业壁垒，助力伙伴“快省好多”地造车

传统造车模式下，每款车都需要从 0 到 1 进行架构和底盘设计，开发周期和成本巨大，难以实现盈利。智能滑板底盘将重塑传统造车模式，以上下车体的分离和平行开发，实现快速迭代，同时标准化的底盘也可以更高效助力多应用场景和车型落地。

智能滑板底盘“快省好多”的价值主张将让造车更自由：

快：更短的上市时间。通过为伙伴提供开发验证好的智能滑板底盘，缩减整车开发时间 12 个月左右；在此基础上，通过丰富的模块及基于云端数字孪生的自标定服务进一步缩短开发时间。这对新进入玩家尤其有意义。

省：更低的盈亏平衡点：1）BOM 成本节省。通过三电系统集成实现更高的能效，在同等续航下可以用更少的电池，节省电池成本；智能滑板底盘采用 CTC 技术，电池成组效率高达 75%，在同等续航下可以实现低成本化学体系替代，节省成本；2）通过平台的共享模式，节省研发投资。

好：更好的用户体验。1）底盘质量好，一体化底盘能够提供行业领先的 5 星碰撞安全与电池安全，优秀的 NVH 与操控品质；2）空间体验好，智能滑板底盘高度集成，能够实现纯平底盘设计，可为上车体设计提供更高的空间利用率，实现更高的“得房率”，以 A 级车的轴距，实现 C 级车甚至 D 级车的空间享受。

多：更多的客户选择。智能滑板底盘采用模块式设计，提供不同类型的系统模块（Toolkits）及标准化的接口，满足合作伙伴场景造车选择及不同成本目标的新车设计。

在未来，通过智能底盘与智慧空间的上下车体并行开发模式，结合超级智能、超级营运，将大幅度提升行业的造车效率。同时，基于智能底盘与智慧空间也将诞生很多新颖的商业模式，轻资产造车模式变成可能。智能滑板底盘的这些优势特别适合行业新玩家，尤其是那些需求场景明确，技术领域优势明显的智能车新玩家：

整车厂：上下车体分离将提升整车的研发效率，传统整车长链条、顺序集成的研发模式将发生变革。在各个细分市场领域，具备品牌优势和用户运营优势的车企，可以通过造型设计、空间体验方面的优势，利用通用的己方或者第三方滑板底盘快速推出车型；滑板底盘上下解耦的优势也将简化传统的制造模式，集中制造（或代工）将大幅降低整车生产的投资，轻资产造车模式成为可能；

科技型公司：如网络及平台公司型公司，他们大部分是强科技或品牌属性，他们优势是具有大数据、软件、自动驾驶等技术能力，或者消费品牌影响力；缺失的是汽车大规模制造的机械化和工程化能力；而且，这些公司本身对造车没有历史包袱也不会被固有的思维模式限制，反而对电子类的硬件制造方式更熟悉；

无人驾驶行业玩家：如京东、阿里、美团等；L4 及以上的无人驾驶车辆，由于是 AI 司机，相当一部分的人类驾驶员比较在意的主观驾乘体验的维度重要性下降，这一点更有利于去做底盘的通用性。亚马逊向 Rivian 采购的物流车，就是采用的通用“滑板底盘”。⑥

2.3.2. 重塑产业链价值链，加速行业向智能化转型

当前大部分车企是垂直模式造车，这带来几个问题：第一，平台及接口是私有的，车企要完成从部件到系统、到整车的开发、集成、验证，这个过程耗费车企及供应商大量的精力，成本很高；第二，每个车企的优势不一样，垂直一体化的开发模式使得车企无法专注于自己的优势领域，难于打造出具有特色的产品。智能滑板底盘代表车的下车体，下车体是平台化的标准品，这个标准品的开发成本会被多个 OEM 分摊，可以极大地降低研发成本；上下车体是解耦的，包括软件和电子电器。这样上车体的开发可以独立进行，下车体也可以独立迭代，甚至上车体的硬件也可以独立开发，使得整个车的开放模式从垂直模式变成平行造车模式，会给整个行业带来巨大的变化。

另外一方面从车的全生命周期，用智能滑板底盘以后让整车的全生命周期价值最大化。首先在量产前，在主机厂研发一个平台的时候，可以基于智能滑板底盘的平台开发乘用车的 SUV、轿车、MPV，也可以是 2B 的

⑥ 大热的“滑板底盘”会以什么节奏落地，汽车 SOA 开发者

网约车，共享车，也可以做一个物流车，或者是其他的车等等。在量产之后，考虑到底盘的寿命可以做到很长，而智能部件进化非常快，有了智能滑板底盘之后车的硬件也可以升级和更换。

智能滑板底盘将打造一种共享的出行生态，赋能行业玩家可以聚焦自己的优势领域，通过行业分工合作筑牢自己的优势，从而提升整个行业的效率，这也将加速行业向智能化转型。

2.3.3. 支持新能源汽车出海，赋能小国造车

智能滑板底盘的另一个优势就是支持小国造车。中国新能源汽车已经出海，并且建立了技术与品牌的全球优势地位。结合中国的“一带一路”战略，通过高度集成化的智能滑板底盘，集中输出电气化与智能化技术，将赋能沿路具备一定汽车工业基础、又有发展民族汽车工业意愿的国家，在智能滑板底盘的基础上快速推出具有本国民族及品牌特色的汽车。这具有非常重要的战略意义，这将改变以往的产品和技术出口，形成标准及产业的综合输出，提升发展中国家在新能源与智能化的参与程度，共享技术进步的福祉；也将有利于提升我国在新能源核心技术方面的全球影响力。

第三章
一体化智能底盘的设计要求



汽车通常由发动机、底盘、车身及电气设备四大总成组成；在一体化智能底盘技术中，发动机已经被三电系统取代，而车身和底盘结构将发生设计和功能的重构。一体化智能底盘主要集中在智能纯电动车型领域，从系统上讲，由传动系、行驶系、转向系、制动系、驱动系（包含三电系统）五部分组成；从功能上讲，包括驱动、供电、配电、制动、转向、驻车、通信、计算、感知类冗余等。

一体化智能底盘融合了电气化与智能化，具备自主行驶能力，将为未来出行提供一个通用最佳载体。面向未来智能化时代，一体化智能底盘的关键设计理念将紧紧围绕内部集成、上下解耦、对外开放展开。

3.1. 内部集成：筑牢电气化底座，提升行业效率

一体化智能底盘的首要设计要求是内部集成，通过更加紧凑的物理集成，把尽可能多的系统及部件集成到底盘里并做到纯平底盘设计，为上车体提供更大的设计灵活度；同时，通过更高的部件集成度有助于降低底盘的重量及 BOM 成本，提升电池的成组效率。通常来说，一体化智能底盘的内部集成包括机械集成、能量集成和控制集成。

3.1.1. 机械集成

（一）能量舱与底盘的设计要求

能量舱与底盘的核心设计要求，一是提升电池与底盘的成组效率，二是通过模块式设计提升一体化智能底盘的平台通用性。具体包括三段式的底盘设计、CTC（Cell To Chassis）设计及换电兼容性设计。

1) 以能量舱为中心的三段式结构设计。一体化智能底盘的三段式结构设计，能够适应不同客户的续航要求，同时降低制造的复杂性，提升制造效率；一体化智能底盘从连接方式和结构上可分为前中后三段，可独立装配与拆卸。

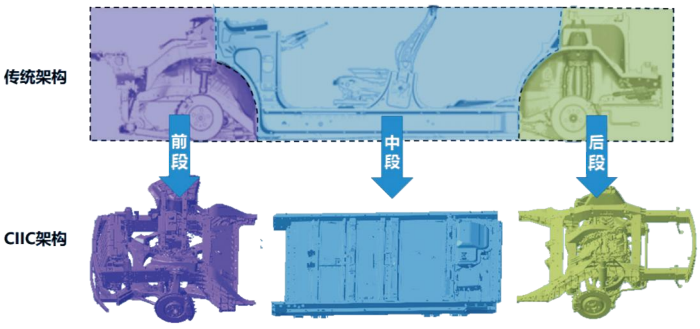


图 3.1 前中后三段结构

- 前段主要集成热管理及电驱系统，并与上车体共同满足整车的碰撞安全需求；
- 中段以能量舱为中心，将车身地板总成与电池一体化设计，同时集成能量及控制系统；
- 后段底盘和电驱动系统高度集成，形成一体化电驱桥。

以能量舱为中心进行平台开发，使得一体化智能底盘在空间效率、安全性、拓展性等角度体现出优势：

- 车身与电池一体化集成设计，减少结构占用空间及装配间隙，提升电芯布置可利用空间及成组效率；
- 整体考虑车身和电池的系统结构方案，保证电池安全性的同时提升平台及整车的扭转刚度；
- 更加灵活的底盘带宽设计，通过长度变化能够灵活的适应不同平台、不同续航里程的要求；
- 为满足客户产品差异化需求，能量舱可同时兼顾 CTC 和换电方案，以较小代价实现两种方案切换。

2) CTC 的设计要求：以电池为中心的底盘设计。CTC 是一体化智能底盘的核心技术之一， CTC 技术以电池为中心（Build around battery）构建底盘物理架构，将电芯直接集成于底盘，通过结构集成化设计，提高底盘可布置电芯空间；同时提升空间利用效率。基于最优能耗路径，自上向下（Top-Down）设计电驱动系统、电池系统、热管理系统、低压电子电气系统等相关子系统。以电池为中心的设计方法区别于传统纯电平台，主要体现在两方面：

物理架构：传统纯电平台开发通常先根据底盘布置和车身结构确定电池包（pack）物理边界，然后车身和电池包分别独立进行设计，这种开发方法的弊端是车身和电池包存在部分冗余结构、装配间隙。CTC 技术打破了车身和电池包物理边界，通过结构集成化设计，车身与电池包复用结构部件，可将整车底盘空间更多的转化为可布置电芯空间；

性能集成：通过构建三电一体化集成开发平台，采用基于模型开发方法，搭建复杂的电池、电驱动、热管理，全栈自研软硬件实现三电系统集成化开发，极限贴近各子系统的性能许用边界，实现能量利用效率最优化，同时平衡各子系统性能、成本。

通过采用独特的 CTC 电池成组技术，提高了底盘成组效率。

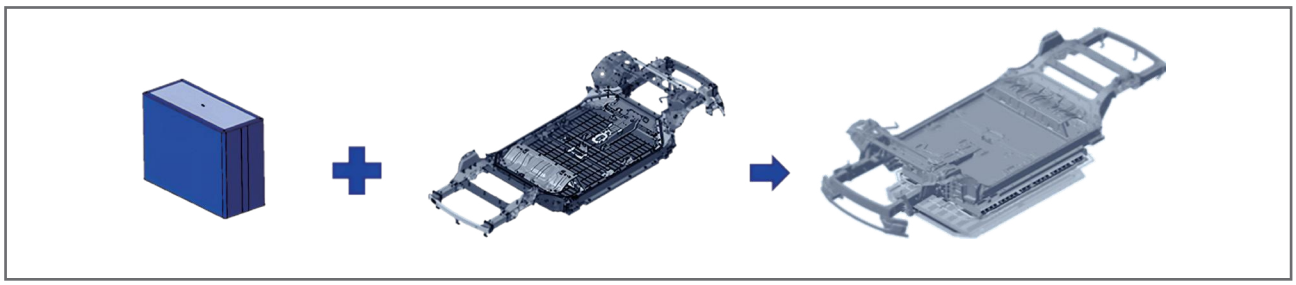


图 3.2 通过 CTC 实现电芯与车身结构集成化设计

底盘成组效率：是指电池包（或能量舱）内部电芯净总体积占底盘可用于布置电池包（或能量舱）的总空间的比例。在传统纯电动平台上开发的纯电动汽车，车身与动力电池包是物理上相互独立的部件，电池包在分配的边界内独立于车身进行设计，然后通过一定的机械连接方法装配在车身上。在进行底盘空间分配时，既需要考虑车身和电池包机械结构所需的空间，还需要预留必要的装配间隙，这必然会导致一定的底盘成组效率损失。

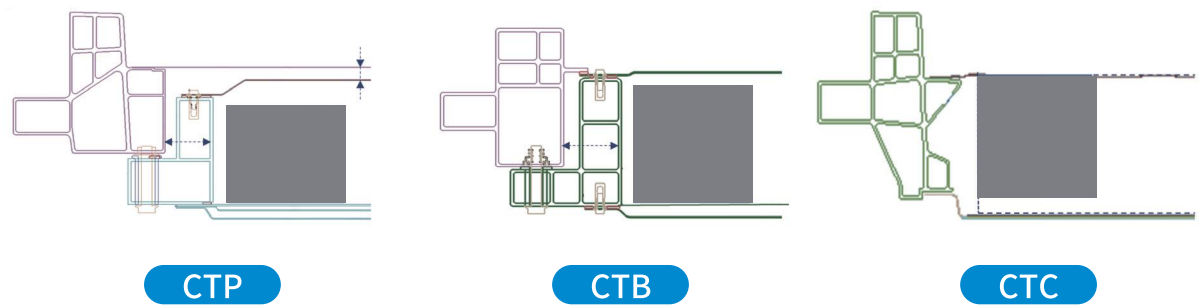
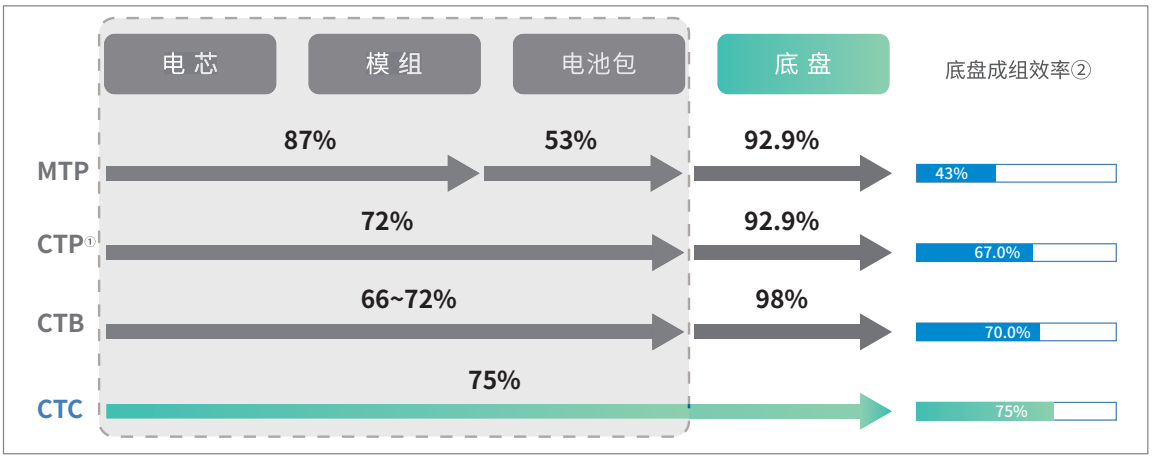


图 3.3 CTP、CTB、CTC 典型 X 向断面对比

相较于其它电池成组技术（如 MTP，CTP 等），CTC 将电池包与车身结构进行了集成化设计，减少了物理上的冗余结构和安装间隙，最高底盘成组效率可达 75% 以上。



备注：①采用 CATL “麒麟电池”成组技术。②基于行业平均技术水平估算。

图 3.4 不同电池成组技术路线底盘成组效率对比

3) 电池包与底盘的集成化设计。相较于 CTP 成组技术，CTC 技术通过结构集成化设计，可提高底盘成组效率：

车身与电池包部分结构部件复用，相关结构零部件种类减少约50%；

电轴比，即车长方向上可布置电芯空间尺寸与整车轴距之比，表征车长方向上尺寸利用效率。通过车身与电池包结构部件集成化设计，结合整车传力路径优化进行结构部件精细设计，电轴比可提高约 3%，整车电轴比可达约 55%；

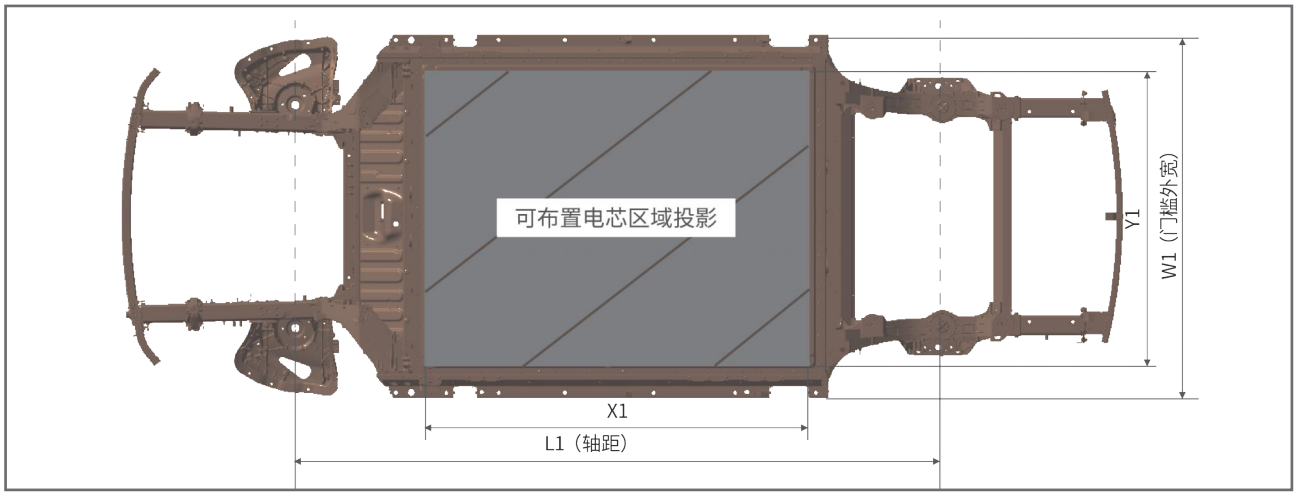


图 3.5 电轴比、电宽比示意图

电宽比，即车宽方向上可布置电芯空间尺寸与车身门槛外侧面宽度之比，表征车宽方向上尺寸利用效率。车身边梁（门槛梁）与电池包边框集成化设计，节省车身边梁与电池包间的装配间隙，结构部件尺寸减小，因而底盘 Y 向可布置电芯空间约增加 8%（双侧），整车电宽比可提高约 5%，可达约 80%；

电高比，即车高方向上可布置电芯空间尺寸与车身地板到电池包底板厚度之比为电高比，表征车高方向上尺寸利用效率。车身地板与电池包上盖集成化设计，节省地板与电池包之间装配间隙，因而增加底盘 Z 向可布置电芯空间，整车电高比可提高约 14%。采用 CTC 技术，整车电高比可达 85%。

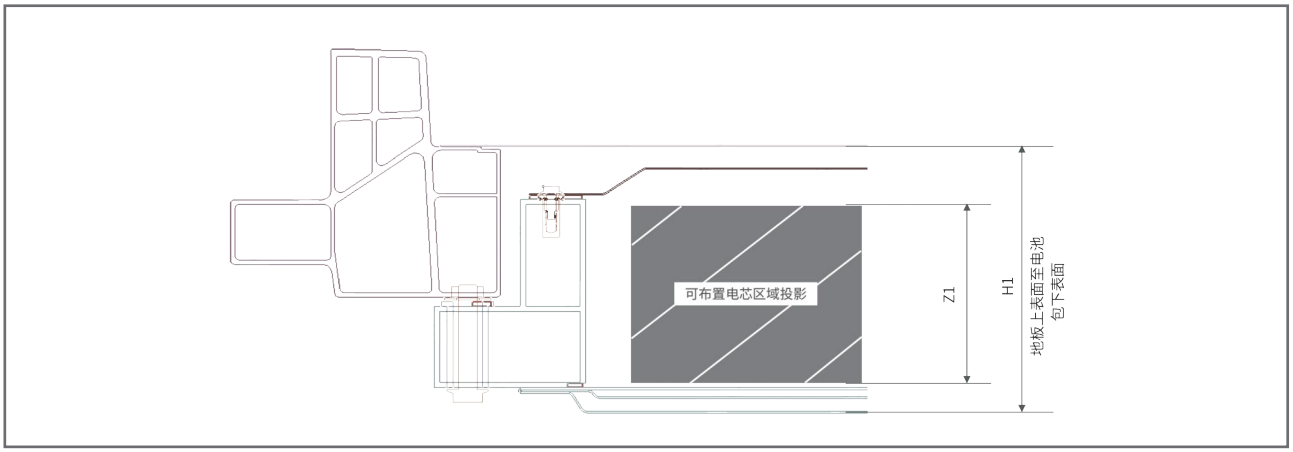


图 3.6 电高比示意图

提高电高比的核心技术——电芯倒置布置。相较于 CTP 成组技术，CTC 技术通过创新性地将电芯倒置布置在能量舱内部，可提高底盘成组效率：

-- 电芯倒置粘接于地板下侧，可提升地板刚度同时消除地板与电池包间的空腔，这为取消乘员舱内的隔音垫、减薄地毯提供了可行性。因而相同电芯高度、相同车高情况下，乘员舱内部高度空间可增加约 25mm；

--得益于共用电芯底部结构防护空间与热失控防护空间，电芯肩部高度尺寸可增加约 6%；或相同装电量，CTC 能量舱可较 CTP 电池包离地间隙提高约 10+mm，同时乘员舱可以增加约 15mm 高度空间。

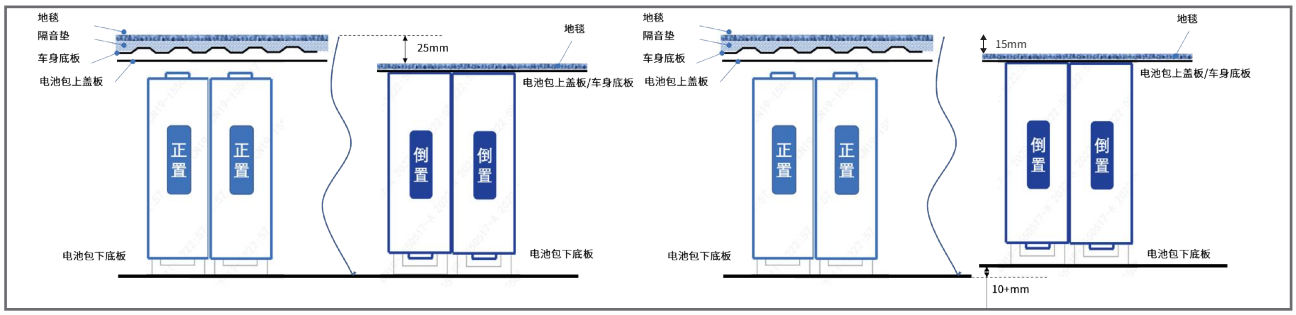


图 3.7 电芯倒置的设计示意图

CTC 技术对于底盘成组效率的提升，为整车带来以下几个方面的收益：

▶ 相较于 CTP，采用 CTC 技术在相同整车尺寸下，可提供约 10%更大的可布置电池空间。即CTC技术可采用能量密度更低的电化学体系，实现相同的装电量，对于部分车型可采用磷酸铁锂电芯替代三元电芯，实现相同或相近的整车续航里程；或采用相同的电化学体系，实现更高的装电量，助力整车达成 1000+ 公里续驶里程。

▶ 相同的电池装电量，可占用更小的整车空间，尤其是 CTC 技术带来整车电高比的提升。相同车高下，采用 CTC 技术可获得更大的乘员舱高度空间，提升乘坐舒适性；或提高能量舱离地间隙，提高整车通过性。能量舱厚度尺寸减小，对于整车 Z 向布置更友好，提高造型自由度。

▶ CTC 技术具有提升地板刚度、提升整车 NVH 性能、降低整车迎风面积等潜在的好处，助力整车实现更优美的造型，更大的舱内空间，更舒适的座舱。

换电技术设计要求：一体化智能底盘对内提高集成度，同时也需保留适当的技术路线选择自由度，物理架构需可兼容 CTC 能量舱和换电电池包等多种电池集成方式，以支持多样化的整车技术需求和更灵活的商业模式。

同平台上采用不同电池集成技术路线的一体化智能底盘，其前段、后段可以实现结构部件通用化，中段可实现部分结构部件通用化，并可兼容换电的差异化设计。匹配换电电池包，一体化智能底盘可支持“按需租电”的换电模式。

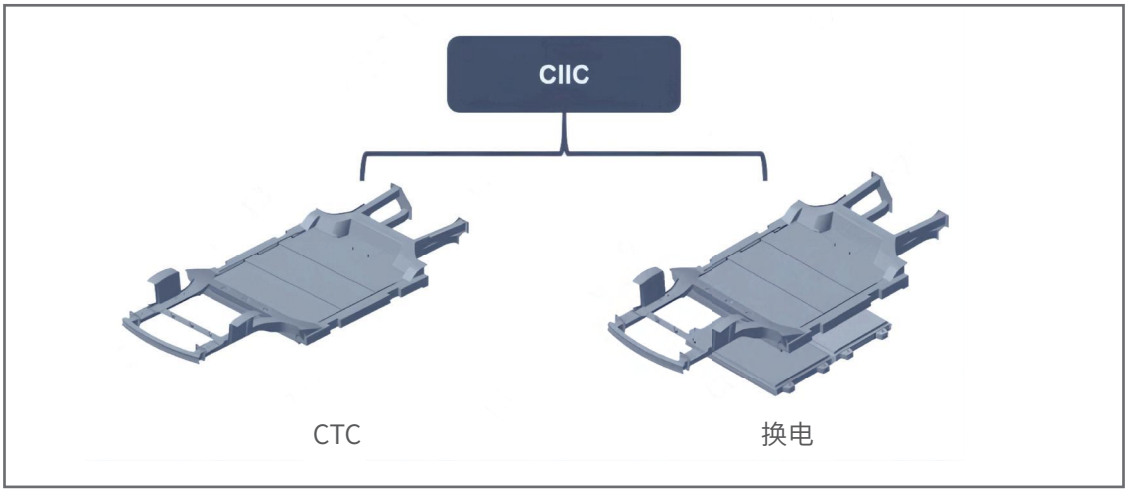


图 3.8 一体化智能底盘物理架构兼容 CTC 和换电

（二）电驱与底盘集成的设计要求

电驱系统（简称电驱）是一体化智能底盘的重要组成部分，其形态和性能对一体化智能底盘来说有着重要的意义。一体化智能底盘的高集成性、高适配性也要求电驱动系统朝着集成深度更高、效率更高的方向迈进。在这一背景下，电驱动系统也需要进一步集成，将电机、控制器、减速器等核心部件紧密地结合在一起，形成集成度更高，效率更好的动力总成。这种高集成化，高效化的产品将能够更好地适应智能底盘的空间布局需求，实现整车性能的最大化。

系统集成化：随着技术的发展，电驱动系统的集成也并不再是简单的物理集成，而是电子电气功能的深度耦合。

▶ 在集成形式上，三合一电驱动总成是当前乘用车市场上最主流的电驱集成形态，即将驱动电机、电机控制器与减速器集成进同一壳体内。根据 2023 年上半年新能源乘用车销售数据，三合一电驱动总成装机车销售量占比超过 53%。我国主流电驱动企业均推出了三合一电驱动系统，整体技术水平已较为成熟。电驱动系统的性能朝着峰值功率及最高转速不断提升的方向发展，峰值功率达 250kW 以上，电机最高转速迈向 22000rpm。

▶ 动力域控制器的快速发展促进了电驱动总成集成度的进一步加深，整车厂为提升功率密度和综合效率，陆续推出了多合一产品。如某厂商的八合一电驱动总成，将 VCU、BCU、PDU、DC-DC、OBC、MCU、电机、减速器八大部件集成在一起，系统综合效率高达 89%，相同功率下体积减小 20%，重量降低 15%。

机械物理集成的同时，电子电气功能上也进一步耦合。以电池振荡加热功能为例，电驱需要在了解电池特性的基础上，产生合适频率和幅值的振荡电流，快速给电池加热。这类新功能越来越多地需要多个系统之间了解彼此的特性和能力，相互配合才能做到系统的最优。

电驱动系统高度集成化的优势非常明显：

▶ 能够减小整体的体积与重量，避免额外的空间占用，为其它电气化的零部件预留出大量的空间，也为整车布局提供了更高的灵活性；

▶ 系统间能耗降低，系统效率大幅提升，功率密度和扭矩密度提高；

▶ 省略连接件，成本显著下降；

▶ 有利于配合一体化智能底盘实现标准化供货，提高适配性，缩短开发周期。

性能高效化：

▶ 随着半导体技术的进步，控制器正不断追求更高电压、更大电流和更高开关频率，如碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）等宽禁带半导体材料在 800V 下的应用使得逆变器能够在更高的开关频率下工作，从而减小了体积和重量，提高了功率密度。

▶ 先进技术如芯片双面焊接和系统级封装已成为国际主流的封装形式，行业内供应商等已经实现了高达16~25kW/L 的领先功率密度水平。此外先进的控制算法和策略的应用也进一步提升了电机控制器的动态响应速度、稳态精度和抗干扰能力。

▶ 车用电机方面通过优化电磁设计、采用高性能材料和先进的制造工艺，电机的能量转换效率不断提升。方导线绕组（hair pin）已经成为提升转矩、功率密度和效率的重要手段。随着高速电机技术的快速发展，驱动电机最高转速不断攀升，达到了 14000~18000rpm 的范围，而部分电机转速更是高达 22000rpm，显示了这一技术领域的激烈竞争和持续创新。

▶ 其次，永磁体材料方面，重稀土晶间扩散（GBD）及晶粒边界调节（GBM）技术的运用，显著减少了重稀土的使用量，同时提升了磁体的性能。此外薄规格、低铁损、高强度的硅钢片对于提升电机性能至关重要。0.2~0.3mm 系列化的硅钢片，其导磁和铁耗等性能相较于有所提升，为系统的效率提升提供了有力支持。

电驱动系统在一体化智能底盘上的应用趋势

电驱的平台化，电驱的集成促进了系统效率的提升，在集成的设计过程中，平台化的开发思维能够助力一体化智能底盘满足更加广泛的带宽设计要求、提升开发效率、促进标准化供货。电驱动系统的平台化设计思路可以从以下几个方面展开：

▶ 电驱系统产品平台化：电驱系统通过调整内部设计，利用电机尺寸拓展，功率模块替换等设计手段，拓展产品性能带宽，促成产品平台化，以覆盖不同车型的底盘需求；

▶ 电驱系统设计模块化：基于同种副车架硬点输入，通过紧凑化、集成化开发手段，实现不同平台的电驱系统与同平台车架的适配，从而达到模块化互换，为一体化智能底盘设计提供不同种类的电驱方案选择；

▶ 优化电驱系统宽电压的输出性能：拓宽电驱工作电压范围、不同电池类型电压对性能的影响；同步改善由于电池 SOC 变化、电压降低造成的动力性降低的影响。

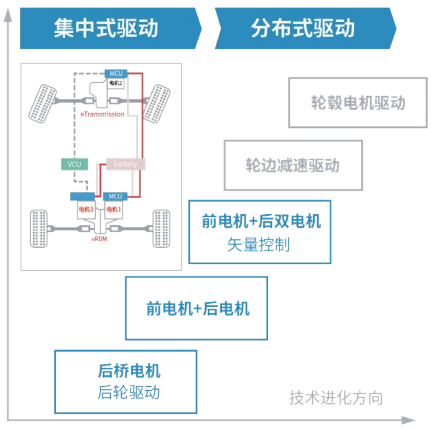


图 3.9 电机集成方式

从集中式驱动到分布式驱动

驱动方式从集中式演变到分布式体现了技术的不断进步和创新。这一演变不仅仅是技术层面的转变，更代表了车辆性能、能效、以及适应性的全面提升：

▶ 动力性能：分布式驱动为每个车轮或车轮组提供了独立的驱动力，使得车辆能够实现更为精确和灵活的动力分配。这不仅能提升加速和爬坡能力，还能为车辆带来更好的操控性能。

▶ 稳定性和操控性：通过独立控制每个车轮的扭矩和转速，分布式驱动能够更好地实现车辆的稳定控制和动力学管理。例如，在高速转弯时，通过调整内外侧车轮的扭矩分配，可以有效减少侧滑和提升操控稳定性。

▶ 车型和用途的多样化：分布式驱动则更具灵活性，能够适应多种车型和用途的需求。无论是乘用车、商用车还是特种车辆，分布式驱动都能通过调整电机的数量和布局来满足特定的性能要求。

▶ 用户可定义的车辆特性：由于分布式驱动可以改变车辆横摆特性，用户可以根据自己的驾驶习惯定义合适的过弯等特性，提高车辆操作中的舒适度，是“软件定义汽车”的一种表现。

▶ 未来技术的融合：随着自动驾驶、车联网等技术的发展，分布式驱动为这些先进技术的融合提供了更好的平台。通过与车辆其他系统的协同工作，分布式驱动能够实现更为智能和高效的车辆控制和管理。

通过轮边电机、轮毂电机和角模块等产品形式，分布式驱动得以实现，即取消差速器等传动部件，由驱动电动机一对一控制单边车轮，实现驱动、制动、前进和后退，两轮乃至于四轮独立驱动。依据驱动电机特点全新设计的一体化智能底盘为整车带来了极大收益，系统根据整车工况，按需分配左右轮边扭矩与转速，实现四轮矢量控制。

轮边电机的应用

轮边电机，顾名思义，通常安装在车轮附近，直接驱动车轮转动。在滑板底盘设计中，轮边电机的紧凑性和高效性使其成为理想的选择。由于电机靠近车轮，减少了传动轴和差速器等传统机械部件的需求，从而简化了底盘结构，降低了重量，并提高了能量利用效率。

轮毂电机的应用

轮毂电机，即将电机直接集成到车轮轮毂内，省略了传统的机械传动装置，为一体化智能底盘带来了诸多优势，例如提高空间利用率、动力传递效率以及车辆的操控灵活性等。目前，轮毂电机在城市公交和特定商用车中已有应用，其高效的空间利用和驱动性能得到了体现。

角模块的应用

角模块，是分布式驱动单元的高阶形式，整套系统集成了驱动、转向和悬挂系统，实现了紧凑而高效的设计。不仅将电机的动力高效传递到车轮，还可以实现车辆的转向功能。它优化了空间布局，提升了操控稳定性。

角模块将不仅作为连接和支撑部件，还将集成更多的功能，如电机控制、传感器接口、热管理系统等，成为滑板底盘上的重要节点。而且为了满足轻量化的需求，角模块将采用更先进的材料和制造工艺，实现轻量化设计，降低滑板底盘整体重量。此外角模块的设计将越来越标准化和通用化，便于在不同滑板底盘平台上进行快速配置和更换。

随着技术进步和成本降低，轮毂电机和角模块有望在更多车型中得到应用。特别是随着自动驾驶和智能网联技术的发展，他们提供的独立驱动和制动能力将为车辆带来更多操控和安全性上的优势。未来，随着材料科学的进步，独立式分布驱动单元会更加轻便、高效，进一步拓展其市场应用前景。

	优势	挑战
轮边电机	高效直驱：动力直接输出，能量损失降低，车辆响应性更好。 独立控制：各车轮驱动力独立，在实现精确控制，利于提升操稳性。 设计灵活：车辆结构及组件布局灵活，可实现多种驱动模式。	成本较高：各车轮配备电机增加制造成本，对整车售价有影响。 散热挑战：工作环境恶劣，散热问题突出，对热管理技术提出更高要求。 系统集成复杂：需实现多电机集成控制，系统开发及维护难。
轮毂电机	极致简化：轮内集成电机，极大简化底盘结构，实现“轮即电机”设计。 高灵活性和可配置性：各车轮可独立接收动力和制动力，甚至实现全轮驱动 / 转向等功能。 动态控制先进：更易实现先进的车辆动态控制系统，提高车辆稳定性。	成本较高：高性能材料、复杂工艺和集成化设计推高了制造成本。 重量与体积挑战：集成化设计导致重量增加，影响操控和悬挂系统。 散热与耐久性：紧凑空间内的散热是难题，影响电机寿命。
角模块	空间布局优化：整合多个系统于一体，重量降低，“得房率”提升。 操控性提高：优化的悬挂和转向系统令操控响应精准，驾驶体验好。 易于维护：模块化设计使得底盘维护更为便捷，维修成本降低。	技术复杂：高度集成化令设计及制造难度变高，需更先进工艺和质量控制。 成本较高：采用了高性能材料和复杂工艺，制造成本相对较高。 散热挑战：设计紧凑对散热要求高，需有效的冷却系统以实现稳定运行。

表 3.1 分布式电驱概览

（三）转向制动悬架与底盘集成的设计要求

独立的承载特性。一体化智能底盘的独特的承载特性赋予了上车体更加灵活的设计，由于上车体摆脱了受力承载的设计输入限制，可以更加灵活的设计车辆上部结构，空间布置和材料应用也得到更加灵活的发挥空间。

相比于传统汽车，新能源汽车碰撞安全的开发难度更高，也更复杂。一体化智能底盘的出现，在一定程度上能够降低新能源汽车碰撞安全的开发难度，并提高碰撞安全性能的稳健性。主要原因在于成熟的一体化智能底盘架构针对不同的车型项目开发，经过多轮 CAE 及试验的迭代验证，能够积累更多的风险模式，提高碰撞安全的全面性和稳健性。相较于传统车身结构下车身平台承担最多 60% 的碰撞载荷，一体化智能底盘可承担高达 85% 的碰撞载荷，体现出更好的承载特性，增加上车体及造型的自由度。因此可以帮助车辆开发：

- 缩短整车 CAE 分析时间、整车试验时间及试验数量及整车开发周期，降低开发成本；
- 提高碰撞安全性能稳健性，适应轿车、SUV、MPV 等不同车型的上部车体开发，为 OEM 的场景造车提供助力；
- 满足全球 NCAP 和中保研的碰撞安全需求，采用性能包的方式满足客户多元化需求，为车辆轻量化个性化设计提供支持；
- 稳定的碰撞安全结构为各种结构设计新技术、新工艺提供验证平台，有利于各种技术快速推向量产。

低姿态底盘设计。底盘架构的设计对一体化智能底盘效果的实现有较大影响，低姿态底盘架构更加契合一体化智能底盘的理念。

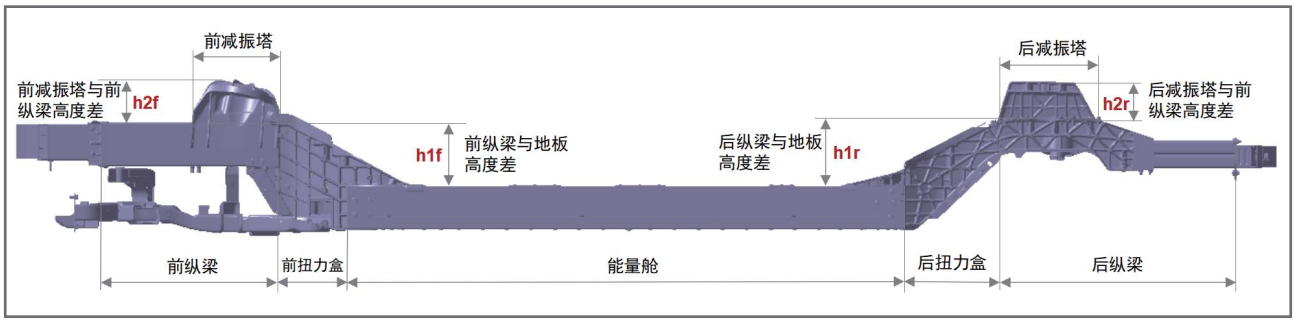


图 3.10　车辆下车体侧视图

如图所示，高差 h1 为纵梁与地板高度差，高差 h2 为减振塔与纵梁高度差，角标 f、r 分别代表前端与后端。

- 低h1和低h2均可以称为低姿态底盘；
- 根据驱动系统不同，低 h1 的技术路线存在差异：

  对于轮间布置的传统电机，高效紧凑的电驱尺寸及电驱—底盘的高度集成设计，为实现低 h1 的关键；

  对于轮边布置的轮毂电机，h1 可得到显著的降低。限于目前技术成熟度，该驱动系统尚不适用于乘用车。

- 低 h2 的技术路线集中在悬架系统的创新，特别是悬架类型与弹性元件：

  对于驱动桥，推荐双横臂及其多连杆变体悬架，有利于实现性能、布置、集成化的均衡；

  对于非驱动桥，推荐扭力梁及其变体等悬架，能显著降低 h2，充分发挥低姿态的收益；

  除悬架类型外，应充分考虑弹性元件高度的影响。创新的布置与相关新技术可实现 h2 的有效降低。其中，横置复合材料叶片弹簧，由于其对垂向布置的友好性及轻量化的收益性，为推荐的技术路线。

一些公司已展示了类似的概念，REE 聚焦于低 h1，Canoo、Mobis 聚焦于低 h2。一体化智能底盘致力于低 h1+ 低 h2 的均衡实现，如图 3.11 所示。

低姿态一体化智能底盘因存在如下优势，更有利于车型开发的多元化，充分满足不同客户的上车体个性化需求：

- 能够实现上下车体的高效解耦。减振塔高度影响下车体的刚度特性，高度越低刚度性能越好，越利于上下车体连接，解耦越充分；
- 能够最大化利用座舱空间。减振塔会占用前后舱室布置空间，高度低有利于客户空间最大化。

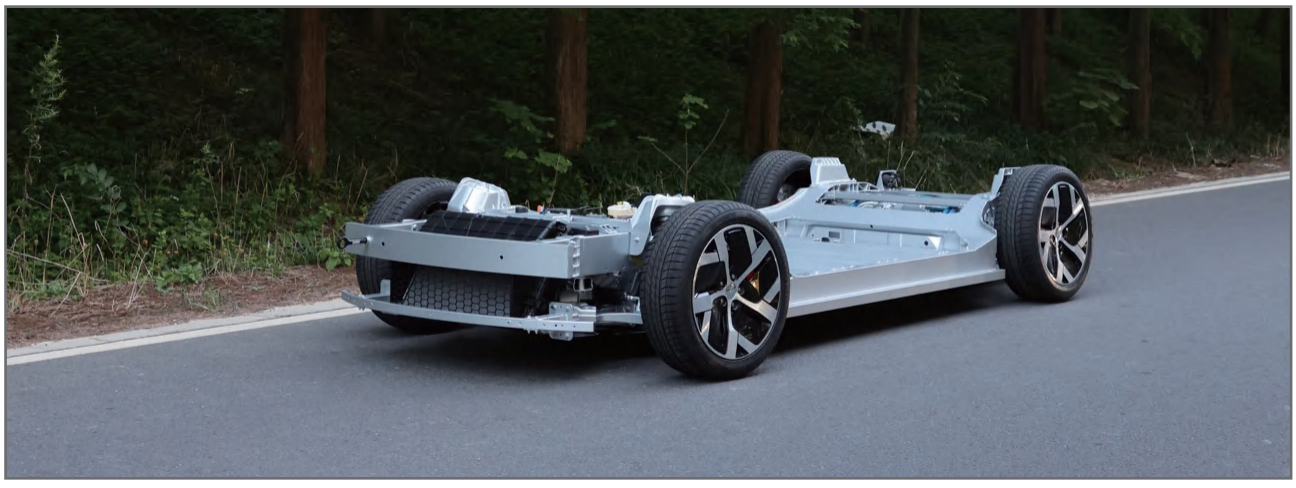


图 3.11 低姿态一体化智能底盘示意图

（四）高低压配电与底盘的集成要求

高压部件（N 合一，或 N-in-1）集成设计要求：底盘的高压架构设计对象为：电源（动力电池及其充电系统）、负载（电机、热管理子系统、DCDC）、配电中枢 N in 1、能量路径高压线束。设计目标要求在满足底盘高压安全、碰撞安全、负载需求的前提下，通过 N in 1 集成度、布置位置的灵活变化尽可能实现性能、成本、维修性、EMC 等属性的最佳平衡。考虑对各车型、全平台底盘的兼容性和适配性，多配置、大宽带极致设计的 N in 1 是高压架构的开发关键。其中可细分为系统架构设计、电气多配置设计及结构模块化设计。

▶ 系统架构设计要求

1. 整车需求分析：基于整车布置空间、续航里程目标、整车动力性指标（加速时间、最高车速、最大爬坡度）、充电属性（快充目标）确定整车动力电池、电机、热管理系统、OBC/DCDC 系统的选型方案。进一步分解需求后得到 N in 1 配电系统的电气与功能需求、布置空间与大致结构边界；

2. 子系统边界确认：根据高压系统要求、法律法规要求，对电池能量管理、整车能量管理、充电能量管理等子系统的基础功能进行划分，确定子系统功能边界、电气属性边界，以此为基础确定子系统的物理结构边界。此过程需尽可能使每个子系统包含其基础功能实现所需传感器、控制器、执行器，以确保最小功能单元的独立、解耦。

▶ 结构模块化设计要求

包含传感器、控制器、执行器的各子系统最小功能单元的结构设计和子系统集成设计。

1. 多配置兼容性：在满足上述各电气配置的零件布置的要求外，还需考虑兼容升压充电、无线充电、欧标充电、换电等功能预留。

2. 灵活的集成方式：适配整车布置空间，需至少考虑：

   1) 全分散布置结构方案：BMS、BDU、PDU、OBC/DCDC、电机 3in1 分散布置在底盘各空间。对乘客舱可用空间较友好，但系统成本相对较高；

   2) 大集成布置结构方案：BMS、BDU、PDU、OBC/DCDC、电机 3in1 集成为 N in 1 总成，整体布置在前舱或后舱。系统成本较低，但需要体积较大的完整空间，对乘客舱可用空间有一定影响；

   3) 集成度适中的结构方案：平衡成本、空间布置灵活性的方案。如 PDU+BDU+BMS 3in1、PDU+OBC/DCDC 3in1 等方案。

3. 小型化、轻量化：除载流铜排改用铝排、外壳探索适用铝镁合金材料外，还需关注高集成度高压保护器件方案（pyro+ 热熔丝 2in1 等）的趋势与应用。

4. Z 向高度控制：为发挥一体化智能底盘的 Z 向高度优势，N in 1 结构设计需严格控制 Z 向高度，使其不

成为整车 Z 向空间提升的短板因素。

5. 高效 N in 1 总成结构：在结构上实现多功能模块的结构复用、功能复用以及热传导复用，多模块的高度融合，使布置体积集成优化。

6. 针对 OEM 客户各平台车型布置特点，如 A 级车前驱、后驱配置、B 级车后驱、四驱配置、C 级车后驱、四驱、平地板等多样化，可通过调整 N in 1 集成度灵活调整以实现布置空间匹配，如：

1) 前驱车型：大集成设计，使用电池包前排中通道、后排座椅下方空间集中布置；

2) 后驱车型：大集成设计，使用电池包后排座椅下方、前舱等座椅空间集中布置；

3) 四驱车型：适当降低集成度，使用后排座椅下方、前舱、前排座椅中通道等集中布置；

4) 平地板：减少零件集成度，提高布置灵活性，各零件分散布置在车辆可用安全空间。

N in 1 总成子模块	功能介绍
双向 OBC	车载充电机（On-Board Charge）
DCDC	直流变换器（DC-DC Convertor），将汽车的电池高压电转换为低压电，给整车低压系统供电以及给 12V 锂电补电
PDU	能量分配单元（Power Distribution Unit），控制整个新能源汽车的高压系统，为各个高压部件分配能量
BDU	电池分配单元（Battery Distribution Unit），新能源汽车的电池能量输出分配
CMU	电芯监控单元（Cell Monitor Unit），12V 电池控制单元
12V（锂电池）	12V 锂电池（12V Li-Battery），为整车 12V 低压系统供电
RDB	远程数据桥（Remote Database Bridge），远程监控数据，将相关数据上传到云端，同时具备部分数据下载功能
EVCC	欧标充电功能 / 美标充电功能的实现
PDC	12V 低压配电系统

表 3.2 N 合一总成子模块概览

低压部件集成设计要求：低压系统一般由低压电源，低压分配单元和低压负载组成，其中低压电源又包括 DCDC 和蓄电池（一般为铅酸电池或锂电池）。低压分配单元一般为传统保险丝盒或低压配电控制器 PDC（Power Distribution Controller）。

在低压配电方面，为更好地实现下车体和上车身实现解耦，下车体部件通过低压配电控制器 PDC 针对上

车体直接配电，最大限度地放开上车体的配电自由度。通过智能配电盒给上车体的前舱保险丝盒、仪表保险丝盒、后备箱保险丝盒进行供电，上车体的所有用电负载可以根据自身的需求进行自由取电。如下图所示：

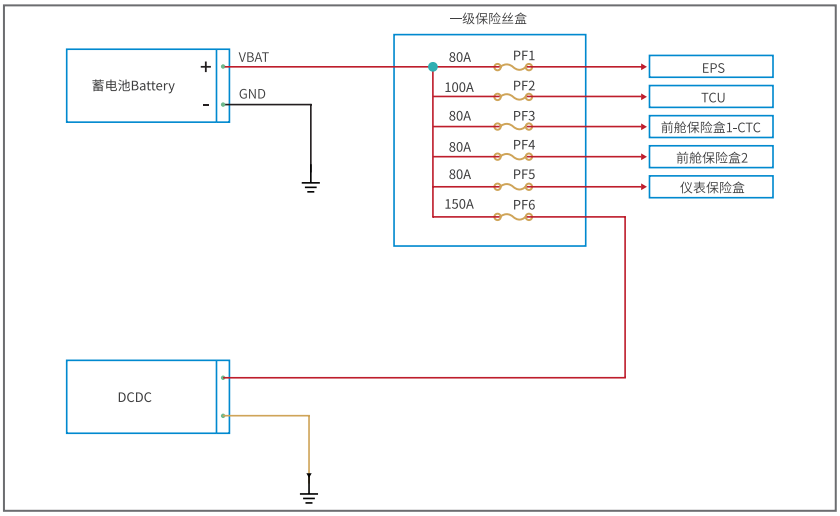


图 3.12 一体化智能底盘低压架构示意图

长久以来，车辆电子电气架构都是以传统保险丝和继电器组成的低压配电系统，随着车辆负载和功能的增加，传统的配电系统越来越难以满足各 OEM 的需求。随着近年来半导体的快速发展，能实现智能高边控制的 HSD 和电子熔断器 EFUSE 渐渐获得了市场的青睐。根据英飞凌对于芯片取代继电器进度的预测：未来行业低压配电通用解决方案将逐渐向基于单芯片的智能 HSD 技术方案发展，智能配电系统应用范围会逐步扩大到车辆整个电气系统，预计 2025-2030 年实现整车配电电子化。

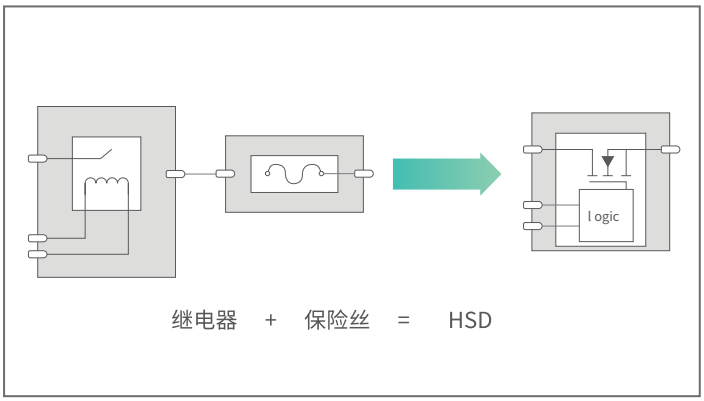


图 3.13 HSD 芯片

为了满足整车对低压配电的严格要求，应采用更加符合时代发展的智能配电方案。针对小电流需求（一般小于 25A），采用高可靠性、低价格的 HSD 智能高边开关集成方案，单芯片即集成了驱动 +MOSFET+ 电流检测 + 热保护 + 电压保护 +EMC+ 诊断；针对大电流需求，采用复杂度更高的驱动芯片 +MOSFET 分立方案，以满足不同客户和负载的配电需求。

相比与保险丝和继电器组成的传统低压配电系统，运用半导体技术的新型智能 EFUSE 技术具有如下优点：

▶ 功能更强大：EFUSE 技术能够获取配电信息，很轻易地实现过载保护、短路保护、过压保护、过温保护、温度检测、电流检测、电压检测、过压检测、欠压检测等，而传统保险丝仅能够实现短路保护这一个功能；

▶ **可靠性更高：**保险丝与芯片的寿命对比，保险丝可以做到 10 万个脉冲，而芯片可实现 10^{15} 次后无衰减。保险丝在使用一段时间后产生故障的频率将会大大增加，而芯片基本可以做到产品生命周期免维护。同时传统保险丝盒受其结构的影响，如图 3.14 所示，最多只能做到 IP54（不防水）；而智能配电盒因芯片体积大大减小，如图 3.15 所示，可以很轻易地实现 IP67 或 IP69 防水要求。



图 3.14 保险丝盒示意图

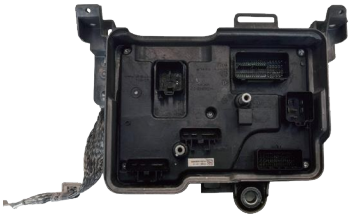


图 3.15 智能配电盒示意图

▶ **节省线束成本：**传统保险丝和继电器需要较为复杂的线束布置，如图 3.16 所示，导致线束长度较长，同时考虑复杂的整车工况，线束规格也进行了较大程度的降额设计，导致线束成本进一步增加；智能保险丝通过更为简洁的线束布置和更加精准的保护控制，如图 3.17 所示，大大降低了线束长度减少了线束规格，能够最大程度的实现线束成本最优。

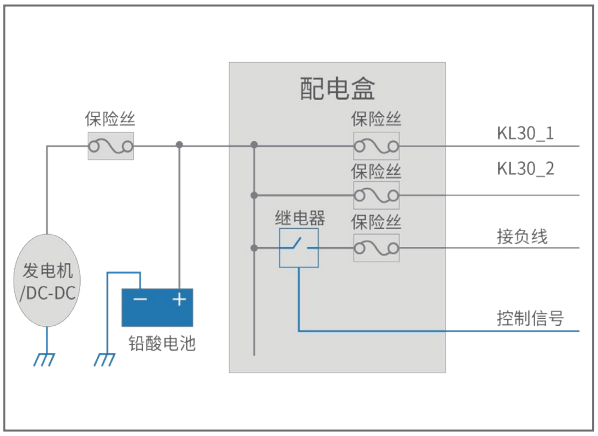


图 3.16 传统低压配电架构

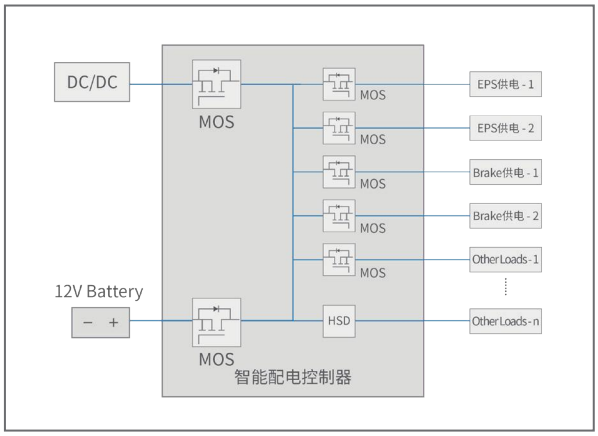


图 3.17 基于 HSD 和 EFUSE 的低压配电架构

▶ **更小、更轻、更精确。**相比于传统的保险丝盒，智能配电盒能够做到更小的体积，可减少 1/2 左右；重量方面也能够减重 1/3；同时也能够实现各种复杂的电流、电压、温度的检测和控制保护功能。

▶ **长寿命，免维护。**电子 EFUSE 能够达到更长的寿命，可实现整个寿命周期免维护。免维护能够简化整车的设计，无需考虑用户更换检查的场景，从另一个角度来讲就是整车设计更简单，零部件布置更灵活、效率更高、速度更快、成本更低。

通过智能配电模块，可以比较便利地实现上下车体解耦。针对下车体，能够根据实际负载，对每路用电负载进行单独供电，确保下车体供电的可靠性；针对上车体，通过 3 到 6 个二级配电通道分别对不同的二级保险丝盒进行供电，可在确保上车体自由度的前提下，实现不同车型的快速适配。

LBM（Low Voltage Module）PDC 高度集成：锂电池是近些年来新兴起的低压蓄电池，为了追求极致降本，可以巧妙地将 PDC 和锂电池进行深度集成，如图 3.18 所示，实现更低的系统成本。该方案将 PDC 和锂电池的控制板 LBM 进行集成，在一块 PCBA 板上同时实现 PDC 和 LBM 的功能。除了成本之外该集成方案还能带来如下优点：

- 优化电芯的充放电控制，延长电芯的使用寿命；
- 低压供配电一体，能够实施监控锂电池状态，尽可能降低整车低压功耗；
- 集成方案将两个控制器集成在一起，降低了整体尺寸，减小了系统重量。

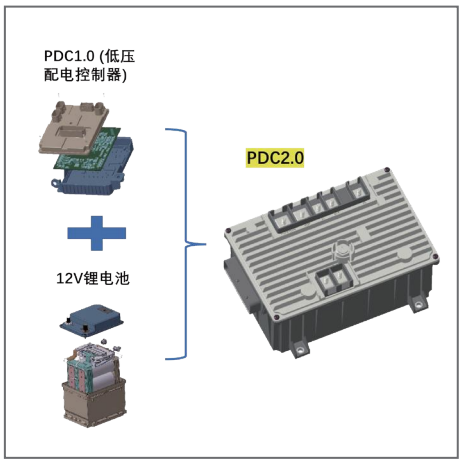


图 3.18　PDC 2.0

（五）热管理系统的空间体积集成

新能源电动汽车的热管理系统正向集成化发展，热管理物理部件设计同样秉承集成化与模块化思想，将集成与复用的原则贯穿全程，采用多合一方式最大限度节省空间体积、部件复用方式减少零部件数量。

热管理系统的核心部件之一为热泵集成模块，作为整套系统架构的物理承载平台，由多通水阀、水泵、制冷剂板式换热器、储液罐、电子膨胀阀、水路流道、制冷剂路流道、膨胀壶及各种水路和制冷剂传感器等组成。规范化及模块化设计，大幅减少小管路的数量和装配动作，便于总装环节的装配操作，生产节拍较传统模式节省 70%~80%。

回路架构的理论极简化设计在模块产品的物理设计中也被充分体现和放大，由高度集成的流道板形成小水道、部件安装座、结构骨架、对外侧管接口等多种部件重叠复用，既是管道，又是支架，直接减少至少十几个部件，免去组合安装的复杂与错漏风险。由于管道的缩减与集成，制冷剂充注量也同比减少约 50%，仅以常规单冷系统的充注水平即可满足热泵空调的制冷剂需求量。

管路集成也意味着接口数量大大减小，每减少一个对接口，则减少一份制冷剂泄露风险，目前热泵集成模块的冷媒泄漏风险至少较传统热泵系统降低 30% 以上，空间占用较传统分布形式减少约 30%，重量较传统形式减少约 10%。

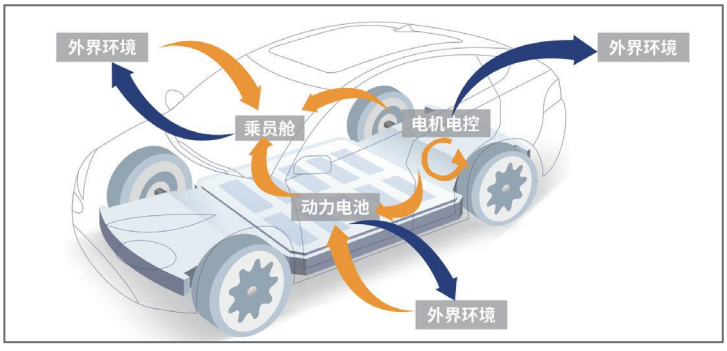


图 3.19　整车能量流传递路径示意图

3.1.2. 能量集成

针对当前纯电车型，高低温续航衰减快的问题，一体化智能底盘的热管理系统是实现全气候能量集成的关键。基于整车能量集成角度，就乘员舱、电池、电驱之间的热量传递进行归纳分析，如图 3.20 所示：

▶ 乘员舱和环境之间：以低温为例，乘员舱和环境之间存在着双向的热量流动，环境作为热量的载体若应用热泵系统其含有丰富的低温热源，与此同时乘员舱也存在着向环境进行热量耗散的热量流动路径；

▶ 电驱和电池之间：电驱和电池在低温下也存在向环境的耗散，但是与此同时本身又可以作为热源向乘员舱进行热量传递。

基于上述能量传递路径示意，系统性地结合电池需求，如冷却、加热、均衡等梳理电池冷热管理的综合场景及工作模式。

▶ 电驱内部，针对电驱的热管理需求可以划分为高温下散热模式、中低温下余热利用模式以及超低温情况下电驱的蓄热模式，结合电驱的需求无论是软件层面的策略管控还是硬件层面结构的设计，都是基于效率及能量最优化设计从而实现三电一体化进阶应用；

▶ 针对空调系统的乘员舱热管理，结合上述电池及电驱的热管理需求并考虑乘员舱的制冷、制热、除湿、除霜等方面需求梳理出整车热管理运行全场景定义，最后根据场景定义明确热管理系统架构设计。

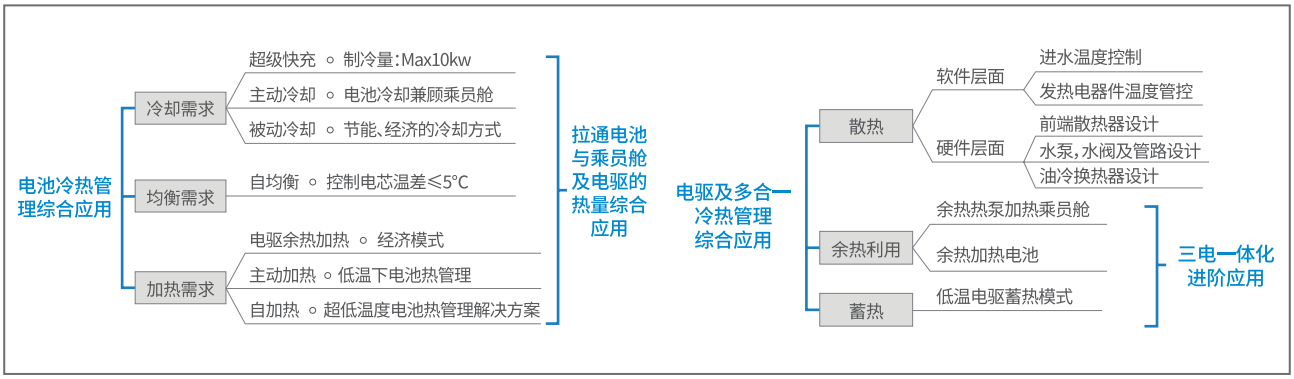


图 3.20 电池及电驱热管理需求示意图

▶ 控制策略的向上集成：在系统集成方面，通过低压驱动集成及算法上移，基于热管理驱动平台，可实现对热管理甚至其他前机舱低压执行器直接驱动，使执行部件做到“无脑化”，将应用层算法上移至域控模块，实现热管理系统控制及智能算法具备与中央计算中心整合能力，提升热管理系统控制的智能化程度。

综合上述需求，构建基于一体化智能底盘的集成热管理系统是实现能量集成的核心解决方案。基于热泵系统的工作原理，将电池热管理回路与乘员舱热管理回路及电驱电控冷却回路充分耦合，满足各目标热管理需求的同时，实现能量的最优化应用。

功能完善	高集成度	性能提升	高性价比
● 多源热泵系统构架 ● 三电拉通，提高能效 ● 高效空气热泵 ● 电机电池余热回收 ● 电机余热加热电池 ● 电池被动冷却 ● 电池自加热快速升温	● 核心部件热泵集成模块包含约20个子部件，超高集成度 ● 设计紧凑，整体体积较分布式减小30% ● 管路优化，管路数量减少	● 紧凑设计减小系统流动阻力 ● 热泵可在-20°C环温高效运行 ● 极限制冷能力支持电池4C快充	● 水路架构灵活强大，简化制冷剂系统，降低成本 ● 较常规热泵，制冷剂充注量减少50%，更环保 ● 通过系统架构设计及三电拉通，PTC辅助需要更小

图 3.21 一体化智能底盘热管理系统核心特点

3.1.3. 控制集成

一体化智能底盘产品不仅是零部件的物理集成，同样具有独立的、完整的控制协调系统。底盘域控制器作为一体化智能底盘的“小脑”，负责管理各子系统的协调运行，确保车辆的稳定行驶、性能响应，硬件设备的健康运行，跨系统（域）统筹能量的高效转化。此外，得益于域集中式的电子电气架构、高算力计算单元，可以在底盘上实现控制集成、子系统的控制逻辑上移，实现控制硬件做减法、系统效率做加法。

一体化智能底盘是具有标准功能的平台化标准化底盘产品，具有较大程度的独立性，具备稳定的产品属性与性能；因此，一体化智能底盘产品需要具有独立的、完整的控制协调系统，而不是简单的零部件物理集成。

一体化智能底盘拥有三电系统、热管理控制系统、悬架系统、线控刹车、线控转向等丰富产品线供应链集成能力及底盘调校能力（属性与性能）；一体化智能底盘企业基于完善的开发流程及测试体系，赋予平台化标准化一体化智能底盘“独立个性”与“灵魂”。

若干造车公司基于上述标准化一体化智能底盘产品可以快速量产整车配置不同、内饰不同、座舱不同、智驾系统方案不同、车型不同但安全性、智能化都有保障的产品，让原本难造车、不可能造车的公司，也具备了造车机会。

控制集成在底盘域上的典型应用之一是 VMC（Vehicle Motion Control），即车辆运动控制。VMC 是融合了线控制动、线控转向、线控驱动及电控悬架等底盘子系统的运动控制平台。

VMC 的特性

VMC 基于集中式域控制器架构。底盘域控制器为架构的核心，底盘各子系统（包含线控转向、线控制动、线控驱动、主动悬架等）为架构的底层支撑，运用多源传感器和智能感知算法实现整车运动状态感知；基于驾驶员的操纵输入（方向盘、制动踏板、加速踏板等）实现驾驶意图解析；并融合自动驾驶的环境感知信息以及 V2X 等实现多种复杂环境的场景感知；根据驾驶意图、车辆状态、场景等完成车辆行为规划和行为控制。基于整车多自由度模型和执行器实时状态监测，计算整车运动安全约束以及底盘执行器的能力约束，在满足约束条件下进行控制。VMC 根据控制目标，计算各执行器的控制量并完成控制指令分发，协调多执行器进行最优控制。

VMC 的优势

▶ 由于大部分控制软件从底盘各子系统上移到 VMC，各子系统仅需实现基础的执行器驱动即可。对于 VMC 的控制指令，底层子系统仅需“无脑”执行。由于各子系统的控制器算力需求大幅降低，可以采用更低成本的芯片和硬件方案，从而大幅降低零部件成本；

▶ VMC 提供丰富、完善、标准化的 ADAS（智能驾驶）控制接口，以供智能驾驶系统进行调用，提高其开发效率；

▶ 传统底盘业务高度依赖底盘子系统供应商，VMC 通过对整车底盘运动控制的整合，摆脱强势供应商的依赖和束缚；

▶ VMC 可扩展底盘运动控制功能，提高性能边界，为客户开发个性化的高阶运动功能，实现功能差异化，提高整车产品竞争力。

3.2. 上下解耦：异步开发，加速行业向智能化转型

3.2.1. 机械解耦

线控技术

线控底盘技术作为全球汽车电动化和智能化发展的关键技术，是支撑上下车体解耦的重要途径。线控底盘技术重点包含线控制动和线控转向：

线控制动产品有响应快、能耗低和制动力精准等优点，配合电子制动踏板可实现完全的上下车体解耦，并支持制动助力、车身稳定控制、CRBS、VAFs、dTCS 以及电子驻车等功能，满足 AEB 对制动系统反应时间的要求，并可实现多种踏板感。整套系统为双电源，双通信冗余，并进行轮速信号备份及踏板行程信号备份，满足 L3+ 以上自动驾驶对于行车制动冗余要求。

线控制动技术路线

制动系统从传统的真空系统发展到现在的 EHB 系统，实现了线控制动阶段性的发展使命，未来以一体化智能底盘为架构的平台将以电子制动踏板 E-Pedal，BWA、EMB 等技术为基础，推动线控制动实现创新性发展，在适配上下硬件解耦的基础上，提供更高效、安全的产品技术，提升滑板底盘行业竞争力，为新的商业模式注入活力。

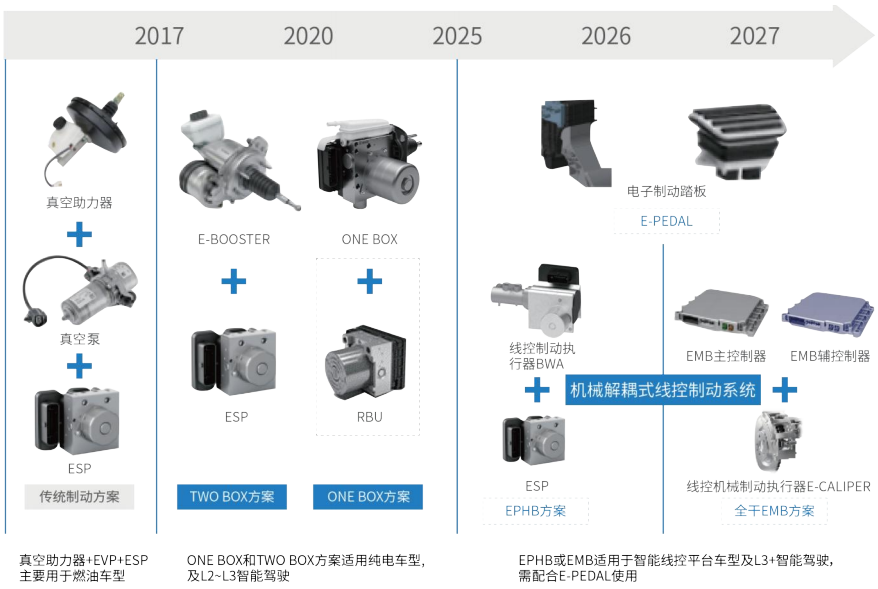


图 3.22 一体化智能底盘线控制动技术发展路线

未来线控制动技术发展进程及实施规划

对于采用电子制动踏板 E-pedal 的线控制动系统均称为机械解耦式线控制动系统，代表技术有液压式的 EPHB 和机械卡钳式的 EMB。

EPHB 技术

为了满足人机布置等要求，传统的机械踏板式液压线控制动系统直接应用在线控底盘上会有很大的局限性，难以实现上下车体解耦，且平台化开发受限。一体化智能底盘在 E-Pedal 电子制动踏板技术上，推出 EPHB 线控踏板式线控液压制动系统，如图 3.23 所示。

该系统由满足功能安全等级 ASIL D 的 E-Pedal 线控制动踏板、线控液压助力单元 BWA（M-EHB），以及 ESC（S-EHB）稳定性控制单元构成，如图 3.24 所示。系统采用智能滑板底盘的电源、通讯冗余架构方案，同时 EPHB 系统会融合电机能量回收进行常规减速控制或者冗余辅助减速控制。

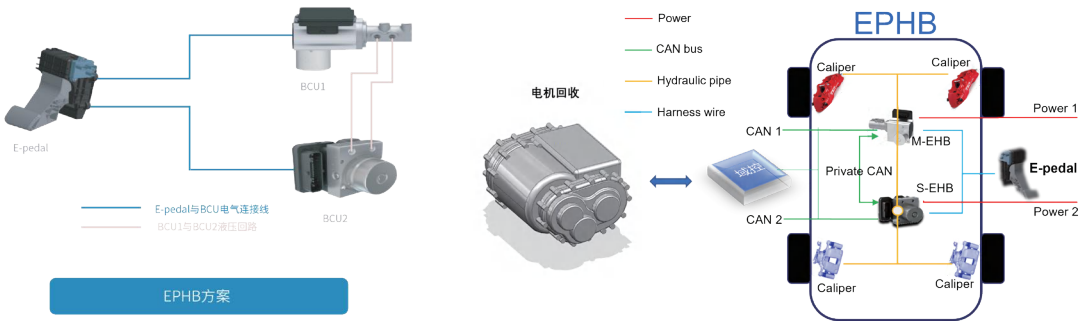


图 3.23 EPHB 系统架构方案

E-Pedal 中集成 4 路传感器进行驾驶员制动意图信号采集，分别包含代表驾驶员意图的踏板行程识别传感器和踏板力识别传感器，然后将信号分别传输到 BWA（M-EHB）、ESC（S-EHB）制动液压单元进行解析和校验，并根据解析的行程 - 压力关系最终完成液压控制。由于取消机械连接，结合一体化智能底盘功能安全架构，EPHB 系统失效分析从传统的单点失效到多点失效进行安全分析和冗余方案设计，在安全监控及仲裁、故障容错处理及鲁棒性和多点失效下的 Fail-Safe 到 Fail-Operational 策略上，满足甚至超越当前机械推杆连接的安全目标，实现了机械解耦。

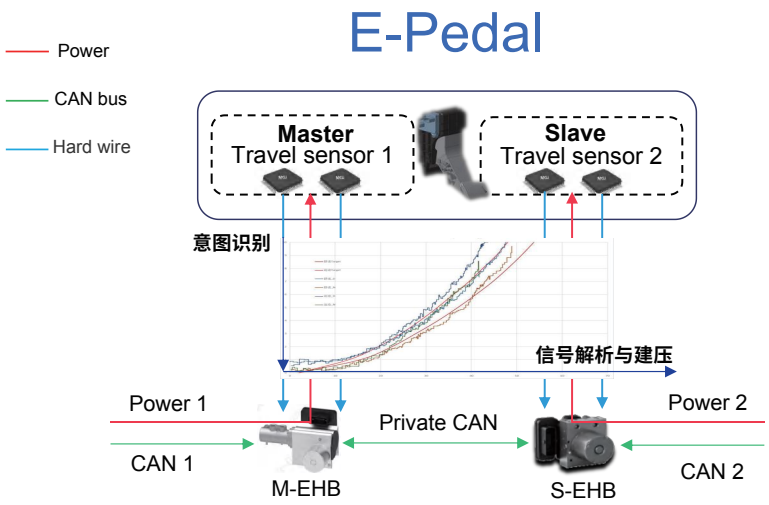


图 3.24 EPHB 系统架构方案

EPHB 系统方案相比传统机械 EHB 系统主要有以下优势：

- 踏板与执行器完全机械解耦，解决滑板底盘上下车体解耦痛点；
- 执行器布置灵活，优化机舱布置空间，提高被动安全性能，同时带来较好的 NVH 性能；
- 沿用现有液压模块开发，技术较成熟，开发难度较低；
- 对左右舵共平台开发更加友好，便于移植和共用。

一体化智能底盘域控单元不仅执行车辆驱动及能量回收控制，同时还为 EPHB 系统提供安全监控和额外保障，对驾驶员制动意图的冗余解析和执行，线控制动软件算法上移域控单元，实现 EHB 单元的控制备份。

当前，推广和量产 EPHB 面临公告认证等方面的限制，各方面均在积极研讨法规方案和实施计划，预计 2025 年会有这方面的突破。

EMB 技术

一体化智能底盘 EMB 线控制动系统属于创新型线控制动产品，系统由线控踏板 E-Pedal，电子机械卡钳 E-Caliper、主控 EMB 域控制器、冗余 EMB 域控制器，平台化电源冗余、通讯冗余组成，两域控制器间通过 private CAN 通讯，实现线控制动控制单元的相互冗余，当域控单元 1 失效时，域控单元 2 作为冗余备份参与线控制动控制，同时驱动电机也将通过能量回收进行常规减速以及冗余辅助制动控制，如图 3.25 所示。

与传统线控制动系统相比，EMB 完全抛弃液压及相关装置，采用电气信号传输及电机直接施加制动力，是线控制动的高度集成方案，顺应了当前汽车电动化、集成化、智能化的发展趋势，可以更好地支持未来集中式电子电气架构的演变。同时 EMB 更切合 OEM 或者一体化滑板底盘对软硬分离、功能上移的需求。

系统冗余设计

制动作为与车辆安全强相关的系统，EMB 系统在安全冗余方面具有天然的优势。该系统方案采用双路冗余电源、双路冗余通信、控制器单元冗余、传感器冗余、双绕组电机冗余设计，当一路失效时，另一路备份模块仍能工作，保证车辆可以安全停车。

在硬件架构上实现了相关冗余，同时一体化底盘平台层面，需要从系统方案上考虑极端情况下的 EMB 系统的应急制动功能的方案设计及实现，此问题将是滑板底盘架构设计中需要考虑的重要问题之一。

此外，系统冗余设计中，对电源的冗余设计需要考虑 EMB 长时间工作于大电流、高温等极端环境工况，设计开发高可靠性、高性能的 4 卡钳电机，完善和强化抗电磁干扰设计和验证，并探讨高电压平台（48V）在 EMB 系统中的应用方案。

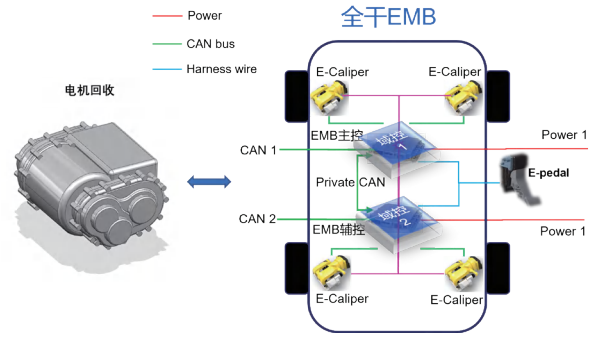


图 3.25 全干 EMB 架构方案

EMB 技术优势分析

从系统架构、整车布置以及市场商业模式等方面分析，EMB 系统方案存在以下优势：

- 全机械解耦，操纵和传输采用电信号，完全契合滑板底盘，实现更高效的平台化车辆制造模式；
- 采用四轮 EMB 卡钳电制动，实现了零拖滞技术优点，提升续航里程；

- 布置安装及维修便捷，优化空间，提升被动安全及 NVH 性能；
- 支持功能上移至其他域控，便于 VMC 功能融合集成开发；
- EMB 系统结构简化后，使得国内 OEM 不再受制于当前外资液压线控制动供应商，提升话语权；
- 取消制动液，减少污染；
- 响应速度快，满足高阶自动驾驶发展需求。

技术实现规划

当前 EMB 系统方案存在一些亟需解决的事项，首先在技术方面针对 EMB 在高温、电磁环境等复杂和极端工况下工作可靠性的测试验证，其次推动 EMB 在功能、性能及可靠性方面测试验证方法及评价标准的完善，形成一套完备的方法论，为公告验证及法规提供可靠依据，促进技术尽快商业化落地。

预计 2025 年完善制动钳状态控制、制动衬片与制动盘接触状态识别、制动钳制动衬片释放位置控制、夹紧力精确控制、驻车状态控制等关键技术，实现电子机械制动系统 ABS、ESC、EBD、TCS 等重要功能集成优化，完成系统技术预研、样车测试，并在 2026~2027 年实现 EMB 技术落地和市场应用。

2030 年完成系统精准快速控制技术体系的实车验证，量产车型控制性能完成优化，实现电子机械制动系统全部功能集成优化与兼容，完成 EMB 系统集成优化，实现 EMB 系统大规模市场应用。

一体化智能底盘将以此为目标加快产品的开发验证，为客户提供安全可靠的线控制动产品。

面向一体化智能滑板底盘的线控制动解决方案

线控制动的具体方案也随着电动车的发展需求而升级变革。目前主流的制动控制系统（如 E-booster + ESC 或 One-box 系统）均带有机械推杆，无法实现彻底的上下车体解耦，不利于底盘线控化发展。

为了解决这一痛点，更好推进一体化智能底盘标准化、集成化，行业内积极推进纯线控制动方案。采用电子制动踏板，并配合冗余的行车制动模块，实现制动需求输入端到制动控制执行端的解耦，取消了机械制动推杆，将制动踏板和制动控制执行器彻底分离，满足上下车体解耦的需求。电子制动踏板与制动控制执行器通过硬线连接，由踏板内置的行程传感器探测驾驶员制动需求，并由安装于底盘上的制动控制执行器完成制动。

基于目前技术发展现状，采用线控电子制动踏板，配合成熟的液压冗余制动模块架构，完成线控制动系统搭建。该方案既可尽快实现技术落地，又可满足 L3+ 级别自动驾驶的冗余需求，对于现有系统架构以及测试验证都具备更好的传承性，利于线控一体化智能底盘持续升级。同时，对于域控集成化进行布局，基于液压执行器完成功能开发及技术储备，待电子机械制动执行器发展成熟，可同时兼容液压及机械执行器。

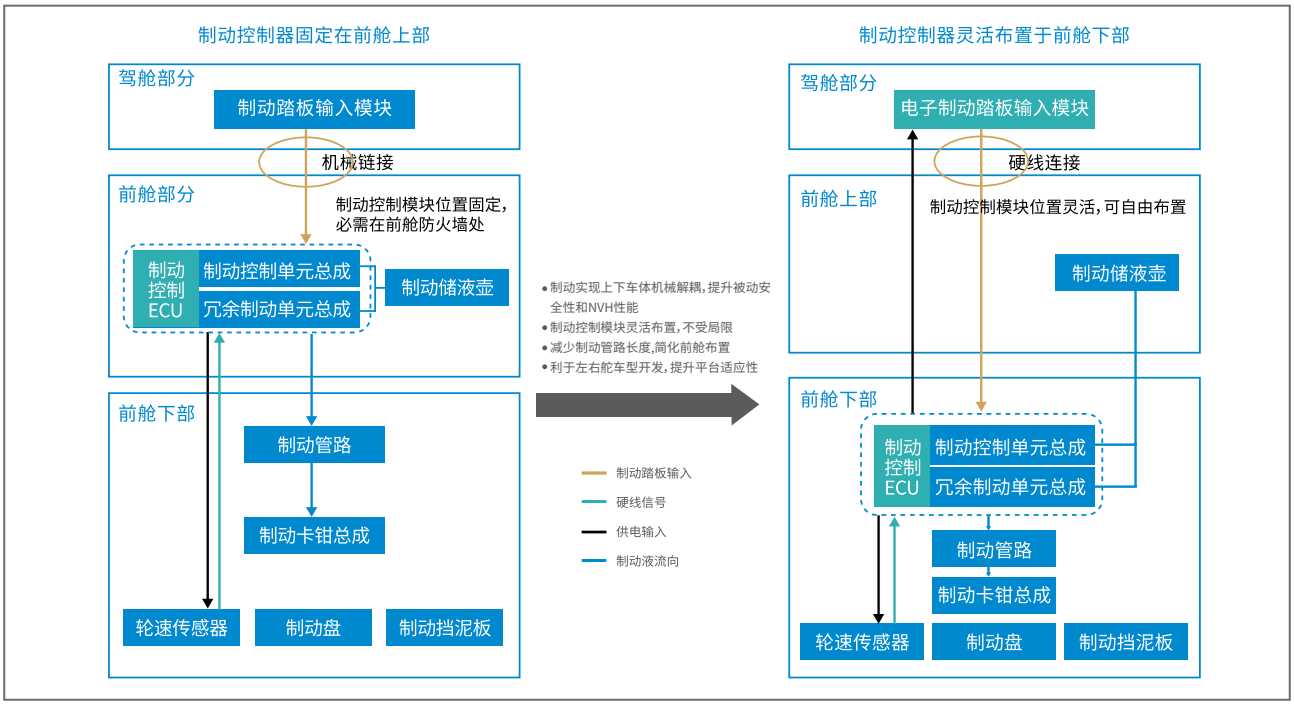


图 3.26　线控制动示意图

线控转向技术路线

汽车底盘从传统底盘到电动底盘，再到智能底盘的技术变革，带动了转向系统形态的进化；转向系统经历了传动机械转向系统 (MS)，液压助力转向 (HPS)，电子液压助力转向 (EHPS)，电动助力转向（EPS）四大阶段；现阶段乘用车以 EPS 为主，随着智能化升级需求以及复杂的应用场景需求，转向系统将继续向线控化及智能化方向发展，线控转向已成为当前转向行业的最新发展趋势。根据 2023 年中国汽车工程学会发布的《电动汽车智能底盘总体路线图》 预测，到 2030 年线控转向产品制造、法律法规、标准规范、测试设备等均可达到产业化水平。

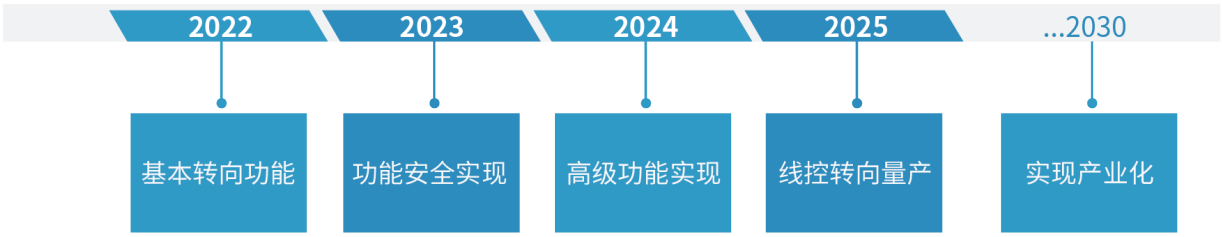


图 3.27　线控转向技术发展路线

线控转向由于取消了方向盘与车轮之间的全部机械连接，不仅操纵性、稳定性能更优，也给智能驾驶和智能座舱设计带来了更多颠覆性想象力，在驾驶方式和车辆空间方面都带来前所未有的体验。相比传统转向系统最大区别在于上转向系统和下转向系统无机械连接，系统由转向执行器（RWA）和手感模拟器（SWA）两部分组成。其中 SWA 可以根据智能驾驶等级或智能座舱定义（人驾模式）改为选装、自动收纳方向盘或转向手柄模拟器（SHA）。

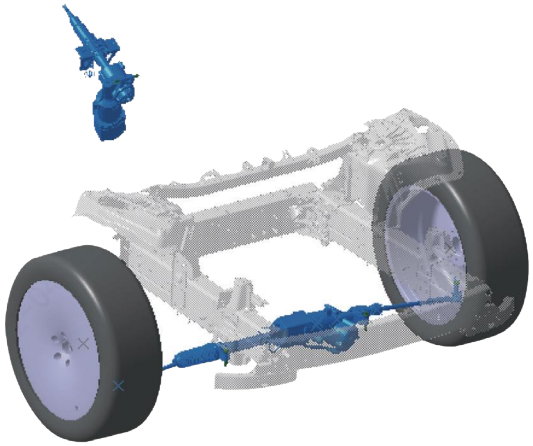


图 3.28 线控转向系统构成

为保证系统安全，RWA、SWA、SHA 均采用电源冗余、CAN 通信冗余、控制冗余、双绕组电机以及冗余传感器的全冗余结构，以保证转向系统 Fail Operational 的功能安全实现。为保证线控转向系统的响应速度，系统内部通过私有 CAN 连接，提升内部通讯诊断速度，同时提高系统安全性、可扩展性。

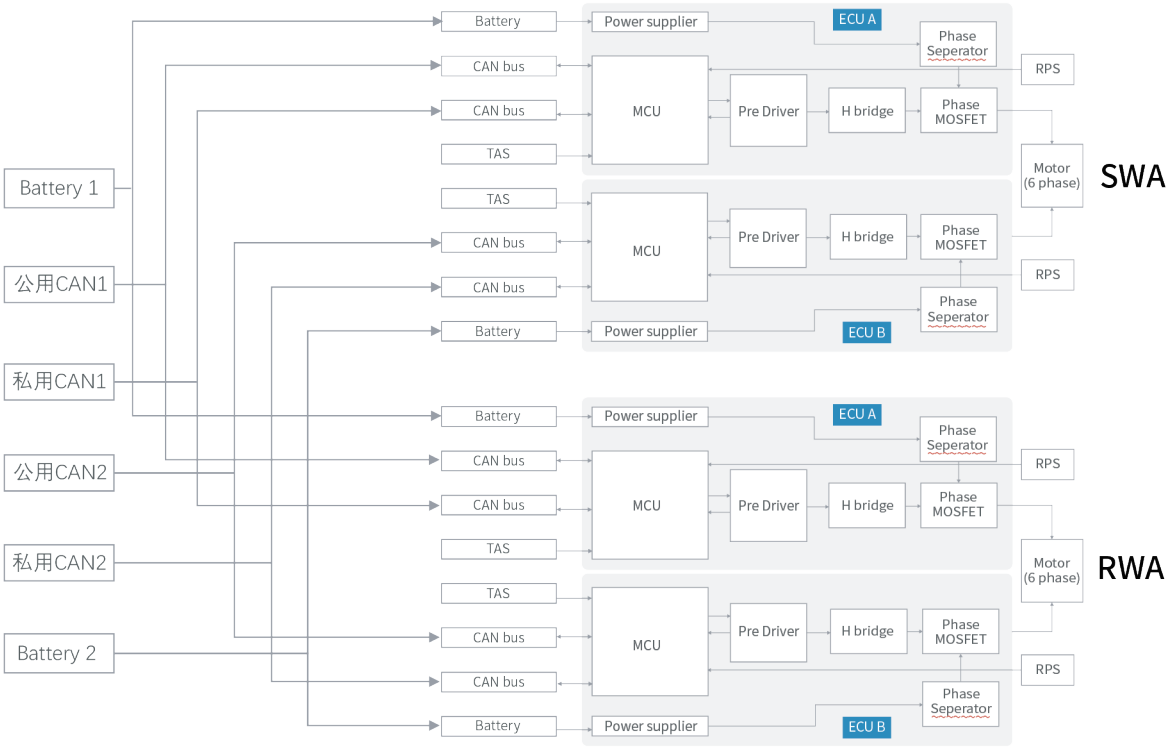


图 3.29 线控转向冗余电子架构

基于滑板底盘的线控转向主要优点：

基于滑板底盘的转向系统架构解耦：

线控转向仅通过电子信号就实现了转向命令的执行，给转向系统在架构、选型及布置层面提供了极大的自由度。从架构层面，依据不同智能驾驶等级及智能座舱需求，转向系统除转向执行单元外，可以选装手感模拟器、转向手柄模拟器；从选型层面，手感模拟器及转向手柄模拟器等人机交互模块硬件及软件架构可以高度标准化，转向执行器可依据不同轴荷车型进行选型（P-RWA、BD-RWA）；从布置层面，线控转向可灵活支持左右驾方案，不同平台方向盘人机布置等需求，实现动力舱及驾驶舱的解耦。

灵活的手感设计及优秀的 NVH 性能：

线控转向的手感设计主要基于转向手感特性曲线，叠加主动回正，摩擦补偿，阻尼补偿，并增加基于齿条力预估的路感补偿。其中路感补偿可基于不同需求及品牌调性，进行有选择的路感补偿策略以实现灵活的手感设计。机械中间轴连接取消，转向器向方向盘及乘客舱的振动噪声传递路径被隔断，车内 NVH 性能得到改善。

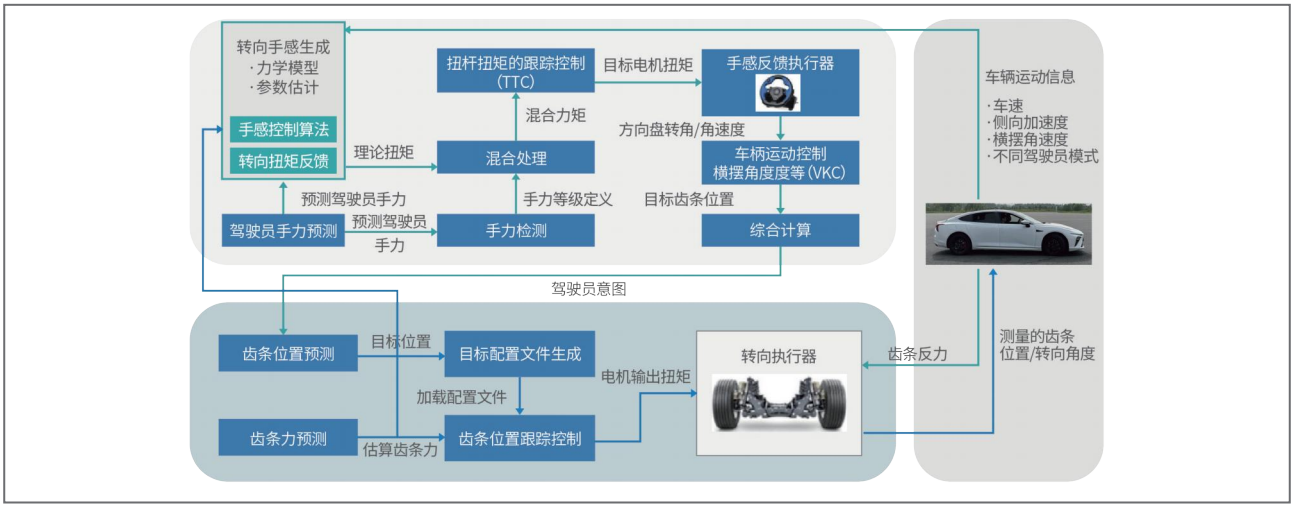


图 3.30　线控转向工作原理示意图

支持高阶自动驾驶：

线控转向可实现转向时方向盘静默不随动功能、改善了自动驾驶下的驾驶员体验。同时线控转向系统具备支持 Fail-Operational 的全冗余设计，支持高阶智能驾驶。



图 3.31　线控转向应用场景

极具想象力的智能座舱体验：

未来逐步成熟的智能驾驶技术给智能座舱体验带来的极大的创新空间。方向盘静默、收纳等功能在自动驾驶时收起方向盘、油门刹车踏板后使驾驶舱变成了“头等舱空间”，驾驶员从驾驶角色转化为乘坐者的角色。线控转向在游戏模式下实现了转向轮不随动，减少了轮胎磨损及能量消耗；另外手感模拟器可以给玩家提供更为丰富的游戏手力反馈，提升游戏体验。

分体空调

通过分体式空调箱设计可以实现上下车体冷却液及冷媒的解耦，通过拆分原本位于车辆仪表板内部的空调箱体结构，将蒸发器、暖风芯体等换热器及风机、多温区调温机构、内外循环进风机构等置于前舱集成于一体化底盘，实现管路的封闭，下车体可以独立的进行冷却液及冷媒加注，不需要上车身配合可独立执行。

从热管理角度而言，实现了功能部件的向下集成。对于上车身车内仅保留一套尺寸极小的风向分配机构，为整车提供灵活、空旷的防火墙内部空间实现女王副驾、对坐式坐姿、车内前排储物区、设置超大型电子设备等诉求均提供有力保证。

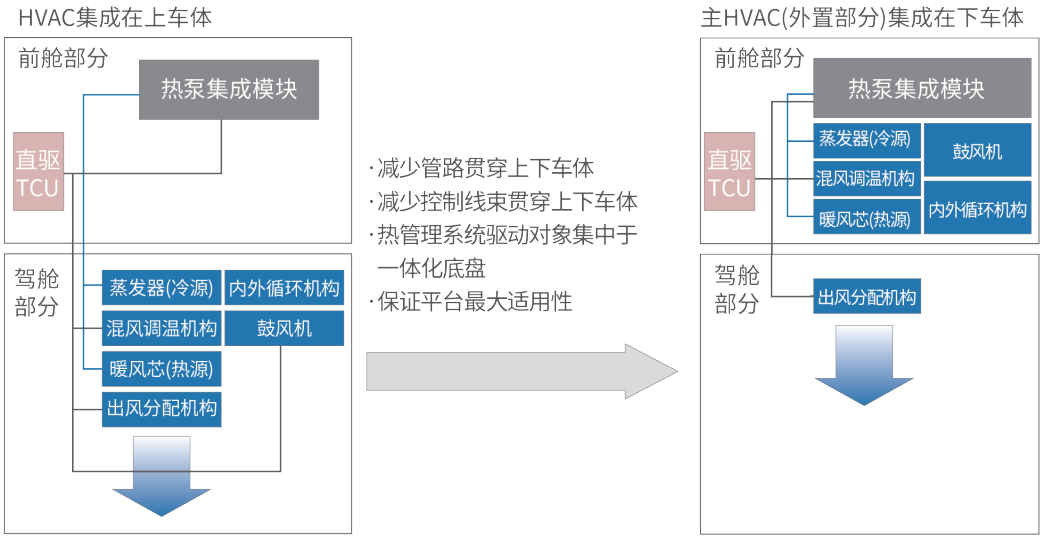


图 3.32 分体外置式空调架构示意

3.2.2. 电子电气解耦

通信解耦

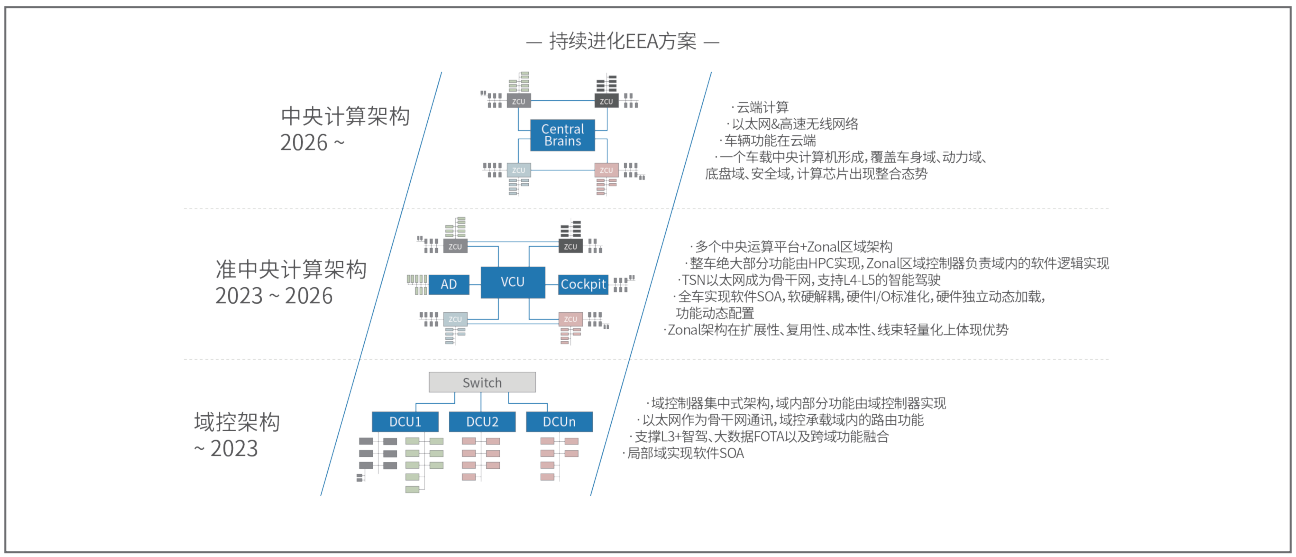


图 3.33 智能电动化下的 EEA 架构路线图

电子电气架构发展趋势。随着软件定义汽车的不断深入，软件与硬件分离，控制逐步上移，底层硬件逐步标准化，全车实现软件 SOA，通信主骨干网升级为以太网和高速无线网络，汽车电子电气架构将逐步由域控架构过渡到多中央计算平台 + 区域架构的准中央计算架构，最终走向一个车载中央计算机形成的车云协同的中央计算架构。

一体化智能底盘电子电气架构路线。从一体化智能底盘视角看，整车电子电气架构逐步由当前主流的多域融合架构，向上下车体解耦驾控一体的中央计算架构演进。一体化智能底盘的核心是高度集成的底盘计算中心，其承担软硬分离、上下解耦、通信标准化的重要角色，是整车运动、能量、数据的控制管理中心；是满足基于场景的控制、实现 SOA 的智能化基础。上车体智慧空间智能系统控制与计算中心，下车体一体化智能底盘运动和能量中心通过标准化通信接口实现解耦，适配不同空间应用场景。

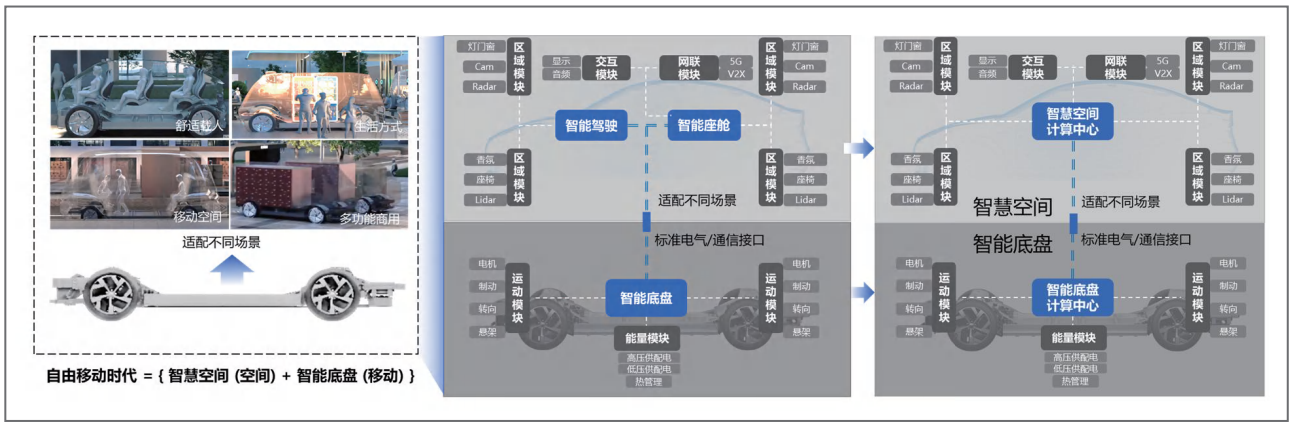


图 3.34　一体化智能底盘 EEA 架构路线演进过程

3.2.3. 软件解耦

▶ 控制解耦

一体化智能底盘通过独立的底盘控制系统，实现上下车体解耦开发与控制；一体化智能底盘通过大量共性模块的集成应用，具有一套通用的控制系统软件架构可以适配不同车型的需求，赋予产品高拓展性及高通用性，控制上需解决一体化智能底盘与外部域控模块间的接口标准化问题。

在当前新能源汽车域集中式电子电器架构下，从功能上分为四个控制域：动力底盘控制域、车身控制域、自动驾驶域控制器、智能座舱域控制器。一体化智能底盘使用集成化的动力底盘域控与外部控制域集中交互，通过控制接口标准化，为自动驾驶系统、智能座舱系统、智能车身系统提供运动与能量系统控制服务，响应上车身控制需求。

▶ 服务解耦

一体化智能底盘按照功能开发策略，将复杂的功能进行模块化开发，进一步将功能模块进行服务化开发，

按照标准接口形式对外部暴露，服务之间采用标准中间件 SOME/IP、DDS 进行通信。上车体功能模块可以采用中间件进行服务调用，无需关注底盘功能模块的具体开发方法和内部逻辑，在上下车体之间软件可以实现解耦、独立开发，相互独立。

将复杂的功能拆解为颗粒度适中的服务模块，采用 AUTOSAR AP 开发思路，进一步将服务模块封装为标准 APP，APP 可以灵活部署在不同的软件平台。上车体 APP 可以部署在底盘域控，同样一体化智能底盘 APP 也可以部署在上车体域控。各 OEM、供应商独立开发不同的服务模块，在各合作伙伴之间实现软件及服务解耦、独立开发，统一集成。

3.3. 对外开放：促进行业共享，繁荣未来出行生态

为促进新能源电动汽车向超级智能终端转型，一体化智能底盘产品作为一个非完全独立性的产品，为满足客户个性化、多场景应用，底盘平台应具备软件开放与数据开放能力：

3.3.1. 硬件开放

从物理形态上讲，一体化智能底盘是一个具备独立承载与移动能力的出行平台，方便行业玩家在平台上进行场景化造车；同时，在更为广义的产业层面，它也应当成为一个开放包容、承上启下的聚合平台：

承上：通过标准化硬件及其接口设计，上游供应链可避免重复开发，有效地降低底盘部件的开发及制造成本，从而极大地提升行业效率。标准化的平台设计、开放的电子电气及软件架构、智能的配电系统，也为新型智能部件、周边附件的开发部署创造先天优势，使其成为富有活力的创新平台。

启下：一体化智能底盘作为标准化的平台，摒弃了传统硬件导向的零部件思维，通过开放的上游生态、及 Toolkit（组件式工具包）选择，向下游的主机厂及终端用户提供丰富多样、软硬件深度融合的功能体验，以满足用户的个性化需求及创新的场景化应用：如前、后装升级改造、基于 V2X 的能量运营等，让标准化反哺个性化和场景化成为可能。

3.3.2. 软件开放

随着汽车行业软件定义汽车开发方法的转变，整车软件架构也需要同步进行升级，汽车各域控制系统中传统封闭、固化的软件系统应逐渐成为具备开放性、重用性的软件生态。在新一轮的软件架构升级中，一体化智能底盘域基于分层解耦的 SOA 服务化架构，利用设备抽象和原子服务实现硬件能力的充分服务化，具体对象包括底盘的传感器、执行器、传统总线通信，以及域控制器的故障诊断等软件能力。

新能源汽车未来域融合架构的网络通信，可进行基于信号或服务的整车电子电气应用开发；一体化智能底盘域不应是封闭的系统，而是整个车联网的一部分。在车辆软件层面，在传统 Classic AutoSAR 及其 RTOS 系统的基础上，引入了 Adaptive AutoSAR 平台、Linux、QNX 等车载中间件及操作系统，以支持高性能运算。

同时在电子电气架构设计层面，在以面向信号的设计方法基础上同步要进行面向服务 SOA 的设计，以能满足 OEM 功能工程师和系统工程师提出新功能应用，可以快速植入第三方应用 APP 软件，有效做到软硬解耦、软软解耦，真正的帮助客户有效利用硬件资源、降低成本。

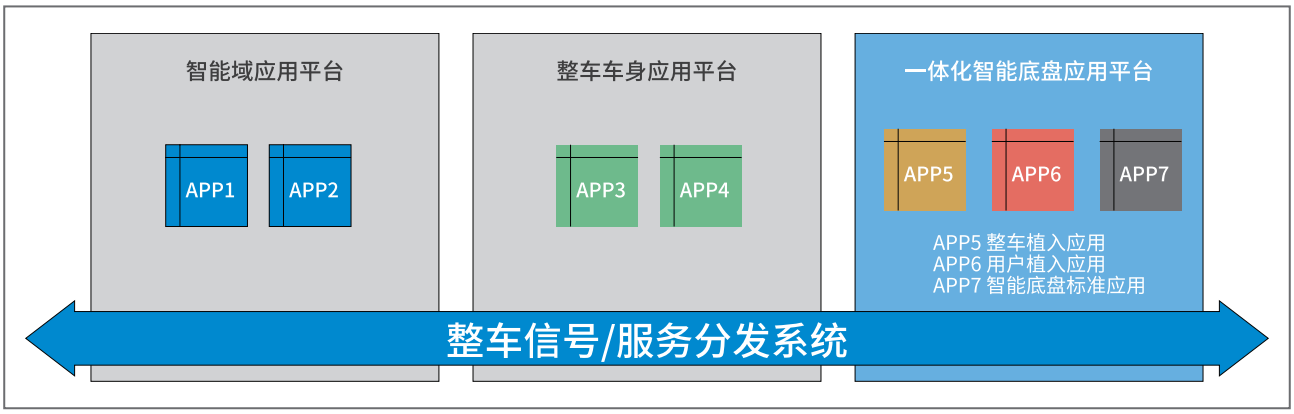


图 3.35 具备开放性、重用性的整车软件生态

3.3.3. 数据开放

随着汽车智能化和网联化不断发展和普及，车上的各种智能电子控制单元越来越多，以智能汽车终端为底座构建的车联网的数据和应用的商业价值将会凸显。现在越来越多的人已经意识到了互联网数据应用平台的商业价值和巨大商机，但不管是从个人还是中心化平台都很难获取相关数据，导致目前汽车数据市场很难形成规模化商业应用，主要原因和问题如下：

- 汽车各部件产生的数据没有对应的部件身份绑定，从源头上存在仿冒风险；
- 汽车各部件产生数据的完整性从源头上缺乏有效保护，存在篡改风险；
- 汽车数据个体间由于缺乏可信任交易介质而形成了数据孤岛，无法形成规模化的数据应用市场。

为了解决上述问题，使汽车数据的规模化商业应用成为可能，需要基于汽车内部各关键智能部件的硬件身份标识从源头保证数据的真实性和完整性的基础上，建立一个跨地域、跨行业、跨公司、去中心化分布式、开放，透明的数据共享和应用平台。

汽车传统的底盘内部有很多有价值的数据，包括驾驶数据、电池数据、能量数据、零部件数据等，这些数据当前由于缺乏有效的数据完整性和真实性的保护手段以及认证机制，目前很难形成开放的大数据应用生态，供第三方进行数据应用的开发。

在基于一体化智能底盘将底盘的各个部件（智能部件和非智能部件）进行统一集成和管理后，可以基于底盘内各智能控制器的硬件身份形成一体化智能底盘统一的硬件身份标识，利用一体化智能底盘统一的硬件身份

标识对底盘各个自部件产生的数据进行身份标识和密码学保护后，在保证其真实性和完整性的前提下，再结合汽车 VID 技术，可以构建一个汽车底盘数据的大数据应用和共享平台，开放给第三方。在智慧交通、汽车金融、零部件管理、电池回收、V2G、远程智能诊断等方面进行进一步应用开发和价值挖掘，如下图所示，最终形成一个开放的汽车智能底盘数据应用平台和生态。

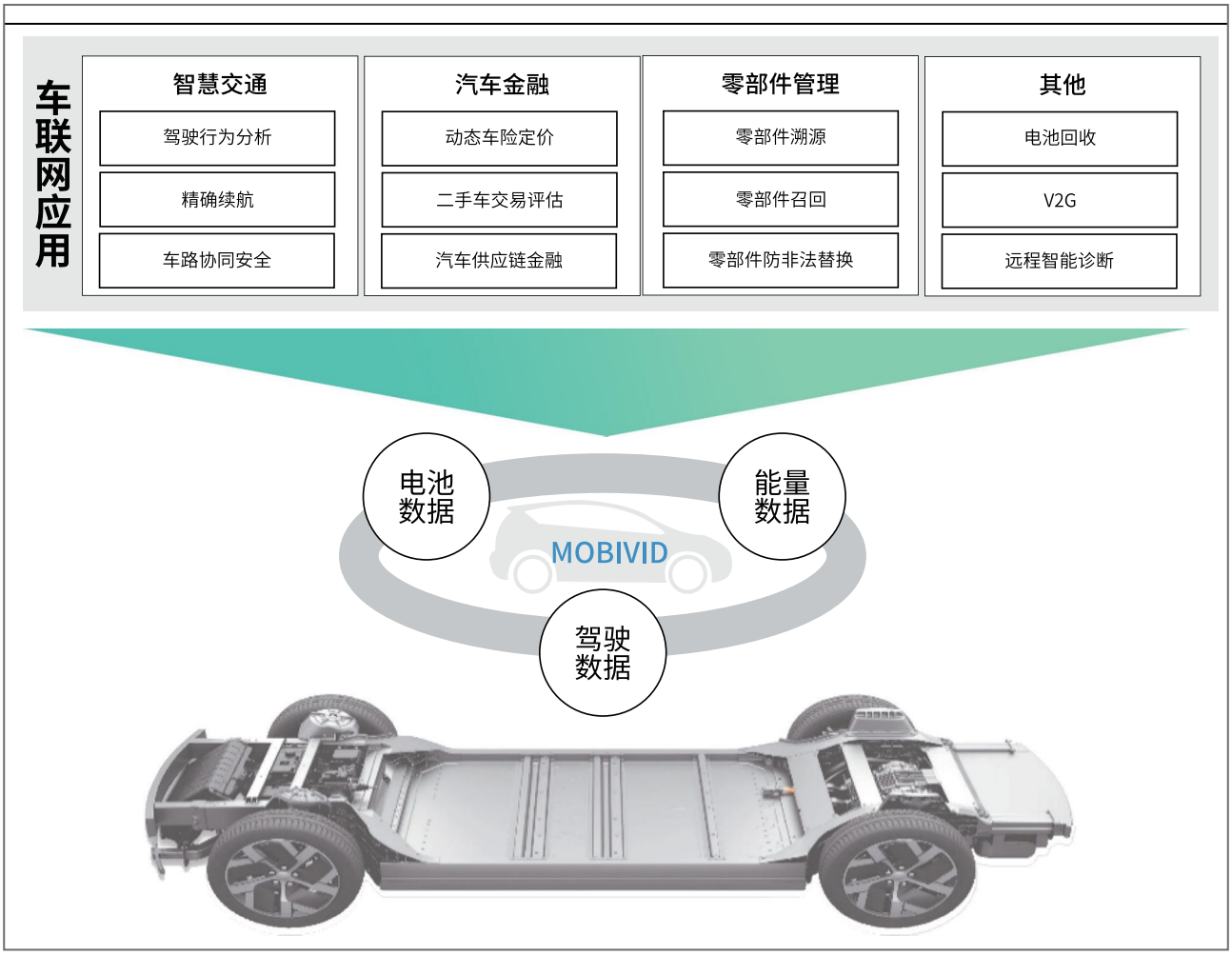


图 3.36 一体化智能底盘数据开放生态



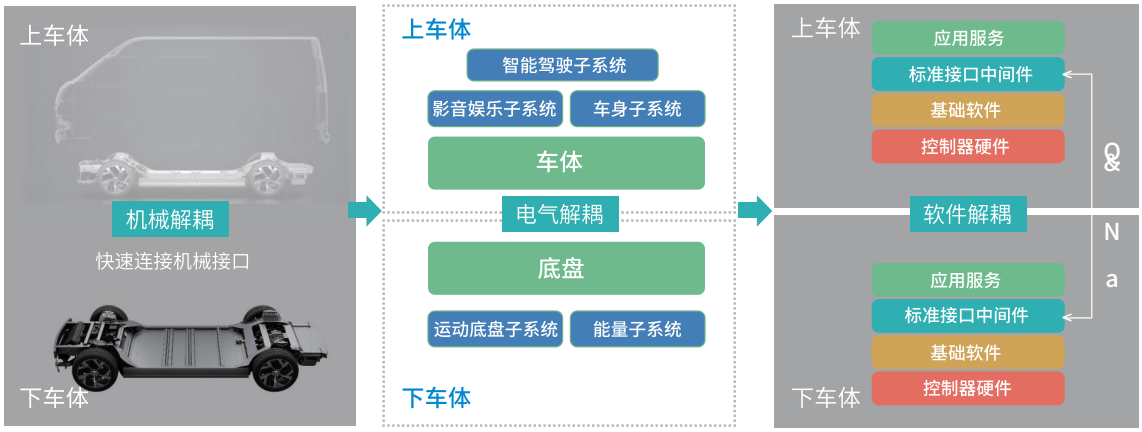
第四章

以接口标准化
推动智能滑板底盘的行业发展

汽车的诞生核心是为了服务于人，未来高度智能化的汽车产品必须满足用户日益提升的个性化需求，为此必须通过接口标准化来实现硬件与软件的全面解耦。这种标准化在手机和电脑的发展历程中可见一斑。

手机和电脑行业都经历了三个阶段，从早期的私有化接口，功能单一；到私有化平台，多功能；再到行业平台统一；软硬分离促进了手机和电脑的发展。具体到手机行业，由苹果起头，安卓和高通芯片（硬件架构，标准化）实现了软件和硬件的分离，繁荣了整个行业，规模经济效应极大地降低了成本，为消费者带来了丰富的应用和多样的手机款式；在电脑领域，Wintel 的出现真正实现了比尔·盖茨的梦想，电脑成为人人必备。在手机和电脑行业中，接口标准化已是行业现实。

面向智能化发展，汽车行业应借鉴电脑与手机行业的“最佳实践”，尽快形成标准化的共识。智能滑板底盘具有天然的标准化潜力，产业链上下游企业可以将智能滑板底盘作为接口标准化的突破口和落地平台，积极推动行业的标准化进程，更好地实现上下车体及软硬解耦的目标，以标准化的智能滑板底盘夯实智能汽车的通用底座。



机械结构
(结构&线控)

电子电气
(通信&供电接口)

软件算法
(控制&服务接口)

图 4.1 智能滑板底盘接口总览

统一的标准化规范与接口定义将极大地促进产业链的协同合作：通过更低的研发与制造成本分摊、更精益的供应链管理，有效地降低总体成本；统一的接口将加快子系统的开发和集成速度、减少兼容性问题、提升质量水平，一定程度上降低造车的技术门槛。通过实现接口标准化、丰富后市场生态，软硬件迭代的痛点、多样的个性化需求也将迎刃而解。

本章节将分别阐述智能滑板底盘上车身机械接口、电气接口、以及软件接口的标准化定义，并提出接口标准化的倡议。

4.1. 车身机械接口标准化

机械接口包括上下车体的合拼及密封两个部分。

▶ 合拼：包括连接和密封两个要点，连接通常以螺栓连接为主，即上下车体定位合拼后，采用一系列螺栓将上下车体连接为一个整体。

▶ 密封：通常采用密封胶条或者密封胶的型式对需要密封的位置进行封闭，密封部分通常集中在乘员舱范围，行李厢通常与上车体焊接成为一个整体，前机舱则无需密封。

4.1.1. 上下车体的合拼与密封

▶ 合拼：上下车体合拼的主要接口，目前主流的连接方式为螺栓连接。为提高装配的精度和便利性，通常采用上车体埋焊螺母，螺栓自下而上拧入螺母的连接方式，螺栓螺母多为 M10、M12、M14 几种规格，表面涂层为达克罗。

定位：为保证密封均匀和连接刚度，目前主流的连接螺栓数量均较大，因此从标准化角度建议设计上下对应的定位销和定位孔，以提高装配效率。考虑到涉及较大尺寸的定位，其刚度会引起定位孔的变化，推荐

采用菱形定位销而不是采用圆形销钉。如果采用长圆孔与圆销钉的配合型式，会导致上车体的长孔加工精度要求极高，切拼合对正难度较大。经统计目前主流的定位孔为 Φ16 的圆孔。

精度：上下拼合件的横纵向尺寸均为米级，但装配精度为毫米级，整个拼合周围的拼接孔需要进行复杂的尺寸链计算，以避免公差累积产生无法装配的现象，因此通常设置 4 到 6 个定位的过定位方式。过定位是为了控制刚度不足引起的变形，同时也能更好地提高装配精度。

▶ 密封：上下车体密封结构，当前有密封条和密封胶两种方式，两种密封方式各有优缺点。

密封条的型式可以改善维修性，密封条截面设计需要较强的结构设计经验和仿真能力，为了提高密封性能和结构耐久，通常还设计有密封台阶。另外，密封条轴向出现较大起伏的台阶结构时，还要考虑合拼间隙的封堵，如果采用变截面密封结构的成本则过高，且难以保证精度。因为通常来说密封条周长采取下偏差，且周长 6 米到 7 米的范围，其下偏差也更大，以免出现堆叠。

密封胶相对简单，采用合拼后车体内部打胶密封即可。其难点在于打胶的均匀性和型面曲率变化处的封堵能力，否则气密性很难保证。

从标准化角度来说，密封结构推荐采用相对平整的密封圈口，因为下车体相对平整，需要上车体设计出专门的密封对接结构，这样有利于实现上车体的多样性和车辆之间的互换性。

▶ 装配：上下车体间的物理硬件接口，除了上下拼接和密封结构之外，均通过装配形式体现。主要有空调箱暖风芯体的进出水口、充电线束、上车体低压线束、制动踏板与制动总成、转向管柱与转向机等的装配，此类装配通常为成熟结构。

未来线控转向和线控制动的发展将会进一步减少上下车体之间的机械连接。空调箱也会发展成分体式，即上车体只保留分风结构，鼓风机和冷暖芯体则保留在下车体，进而实现真正的上下解耦。

4.1.2. 上下车体的管路接口

采用分体式空调箱可以实现上下车体冷却液及冷媒的解耦，即将空调箱中的蒸发器、暖芯等部件通过分体式空调形式集成于下车体，实现管路的封闭（详见 3.2.1 分体空调）。因此下车体可以实现独立的冷却液及冷媒加注，不需要上车体空调箱连接，从而达到功能部件向下集成的目的。

有理由相信，硬件机械接口的标准化与快换技术将与智能滑板底盘产品协同发展并不断进化，并分阶段、分场景地在逐步落地，并真正实现上下车体从解耦、易换，到任意换的终极目标。

阶段	现在（1.0）	低速车辆 - 物流、场地车（2.0）	中高速 - 乘用车（3.0）
特征	设计解耦	特定场景换壳	梯次利用、上下分离
解决方案	上下对接，乘员舱密封，行李厢划分到上车体	固定场所用车，其结构强度要求不高，真正可以实现上下快速对接，同一底盘多个上车体得以实现。上车体材料甚至可以是工程塑料的，未来的非金属增材制造成本降低后，可极大地利好并丰富此类产品。	智能滑板底盘多样化、接口标准化，用户得以实现一车多用（换上装），一壳多用（换下装），产品体验属性和实用属性大大提升。换壳、连接机构需可靠、迅速。

表 4.1 智能滑板底盘解耦阶段性发展构想

4.2. 电气接口标准化

4.2.1. 高压连接器标准化

智能滑板底盘对外的标准化高压接口包括：交直流一体充电座、直流充电高压连接器、交流充电高压连接器；

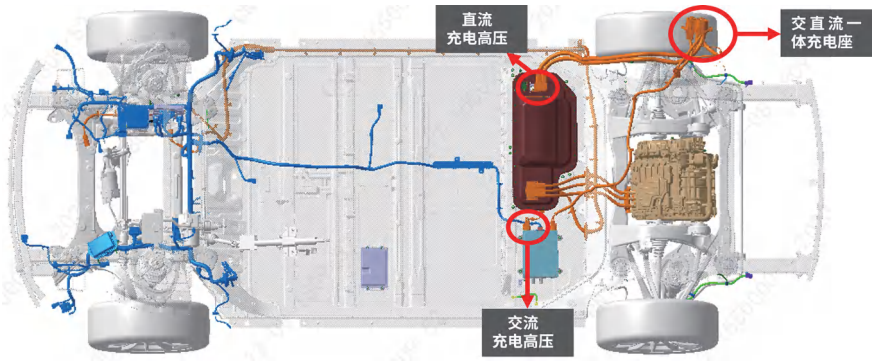


图 4.2 智能滑板底盘对外高压接口示意图

▶ 交直流一体充电座：

直流需要兼容 1000VDC，4C/5C 及以上的超级快充能力，交流需要兼容三相 / 单相配置；直流快充推荐使用 GBT 20234-2015 国标升级版；

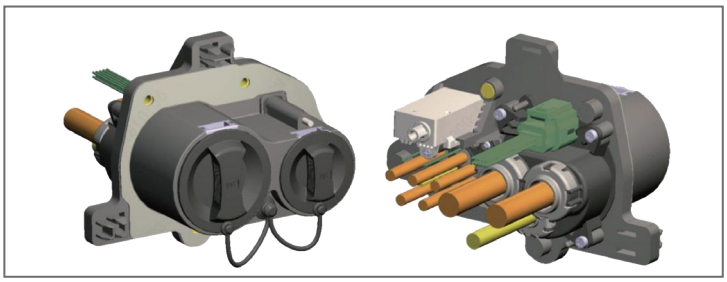


图 4.3 交直流一体充电座示意图

触头编号 / 标识	额定电压和额定电流	功能定义
1-(L1)	250V 10A/16A/32A	交流电源（单相）
	440V 16A/32A/63A	交流电源（三相）
2-(L2)	440V 16A/32A/63A	交流电源（三相）
3-(L3)	440V 16A/32A/63A	交流电源（三相）
4-(N)	250V 10A/16A/32A	中线（单相）
	440V 16A/32A/63A	中线（三相）
5-(PE)	—	保护接地（PE）， 连接供电设备地线和车辆电平台
6-(CC)	0V-30V 2A	充电连接确认
7-(CP)	0V-30V 2A	控制引导

表 4.2 交流充电触头电气参数值及功能定义

▶ 直流充电高压连接器：

采用金属壳体屏蔽、螺栓锁紧的方式，在保证低成本的前提下，很好地满足了过流能力的提升，以及性能可靠性的提升；

1. 电器特性：

a) 额定电流：300A(接 95mm² 屏蔽铝导线或 70 mm² 屏蔽铜导线)、400A（接 95mm² 屏蔽铜导线）；

b) 额定电压：1000V.DC；

c) 接触电阻：≤ 0.6mΩ；

d) 耐电压：≥ 3000V（AC）1min 不击穿；

e) 绝缘电阻：≥ 3000MΩ（常态）（1000V.DC）

≥ 100MΩ（湿热）（1000V.DC）

f) 屏　蔽：优选屏蔽，非屏蔽需定制；

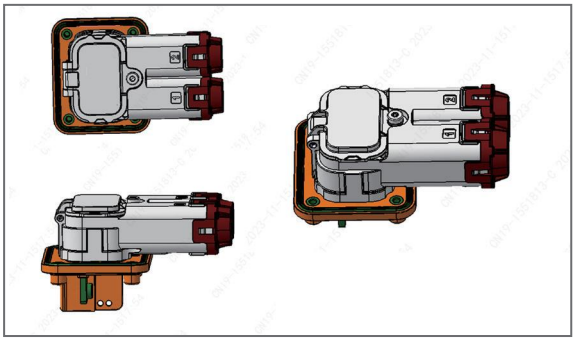


图 4.4 直流充电高压连接器

2. 机械特性：

a) 机械寿命：≥ 50 次；

b) 振动：USCAR-2 V1 等级

3. 工作环境：

a) 温度：-40°C ~+125°C；

b) 盐雾等级：GB/T 10125 （或 ISO 9227) NSS 720h；

c) 防护等级：IP68（1m 水深，48h 不漏水）；

d) 阻燃等级：UL94-V0

4. 主要材料：

a) 外壳：铝合金；

b) 接触件：铜合金；

c) 密封件：橡胶

5. 适配线缆：

线缆规格	线缆外被尺寸	备注
95mm² 屏蔽线	Ø20.2mm-Ø20.9mm(符合 LV216-2)	铜线
70mm² 屏蔽线	Ø17.4mm-Ø18.2mm(符合 LV216-2)	铜线

表 4.3 线缆适配情况

▶ 交流充电高压连接器：

采用四 PIN 塑料高压屏蔽连接器，在满足三相充电的条件下，可以兼容单相充电的需求；

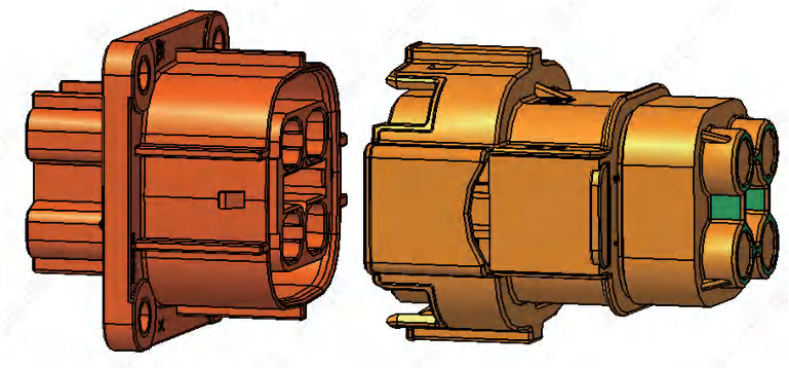


图 4.5 交流充电高压连接器

机械性能	
机械寿命	50 次
振动	USCAR-2 V2
冲击	USCAR-2 V2
分离力	⩽ 100N
电气性能	
额定电流	20A（功率接触件额定 20A 电流，接 2.5mm² 导线） 32A（功率接触件额定 32A 电流，接 4mm² 导线） 40A（功率接触件额定 40A 电流，接 6mm² 导线） 互锁信号线缆额定电流为 5A
冲击电流	连接器冲击电流为接触件额定电流的 2 倍，持续时间 30s。
额定电压	1000V DC
耐电压	3000V AC（互锁信号接触件与其他零部件间为 500 V AC)
绝缘电阻	试验电压 1000V DC，⩾ 5000MΩ （常温常湿）；⩾ 100MΩ（湿热状态）
耐环境性能	
防护等级	IP68（1 米水深，24h, 插合后）、IPXXB(插合前）、IP6K9K（插合后）
工作温度	-40°C ~+125°C
盐雾等级	480h
阻燃等级	材料 UL94 V0（外壳）
主要材料	
壳体	尼龙
绝缘体	尼龙
密封件	硅橡胶
屏蔽层	铜合金
接触件	铜合金

表 4.4 交流充电高压连接器性能

4.2.2. 低压连接器标准化

智能滑板底盘对外低压接口包括：上下车身 12V 电源连接与上下车身信号连接，其中电源连接点主要布置位置有两处，信号连接点布置位置有三处；

低压连接器方案说明：

1. 线径大小：≤ 2.5mm^2；
2. 连接器数量：1-3 个；
3. 连接器位数：≤ 40pin；
4. 连接器位置：如右图所示；
5. 连接器追踪量：XY 方向，最大 ±10mm；
6. 防水等级：非防水（同步考虑 IP67）；
7. 插拔次数：少（仅重大事故维修）；
8. 电源端子不采用快插方案；

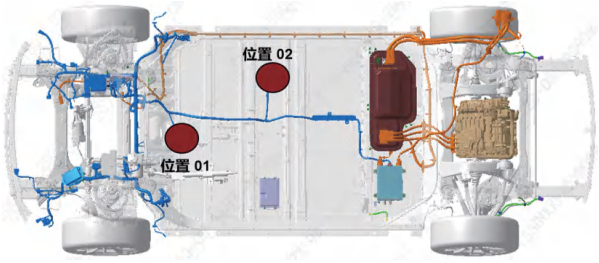


图 4.6 电源连接点布置位置示意图

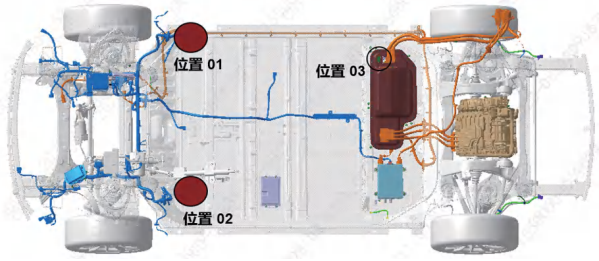


图 4.7 信号连接点布置位置示意图

信号连接器方案说明：

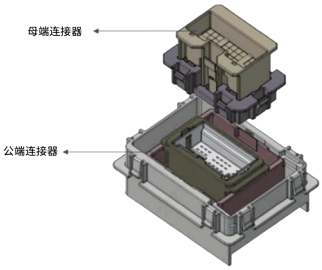


图 4.8 位置 01/02 采用盲插连接器

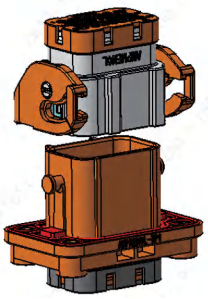


图 4.9 位置 03 采用穿缸快插连接器

一体化智能底盘标准电气连接器推荐汇总：

大类	标准连接器	属性	连接器位置推荐
高压	交直流一体充电座	1. 交直流一体集成化； 2. 2015 国标版本升级； 3. 液冷、大电流超级快充。	左 / 右后翼子板内侧区域
	直流充电高压连接器	1. 锁螺栓大电流、高可靠； 2. 小体积、低成本。	后排座椅底部靠近充电座侧
	交流充电高压连接器	1. 单相、三相集成； 2. 国产化、标准化统一。	后排座椅底部靠近充电座侧

低压	盲插连接器	1. 高效、全自动化装配； 2. 低成本、宽余量应用。	驾驶舱内主副驾脚部区域
	穿缸快插连接器	1. 国产化、标准化统一； 2. 小体积、低成本； 3. 信号、电源复合型。	后排座椅底部多合一壳体上

表 4.5 标准电气连接器推荐汇总

4.3. 软件接口标准化

为了支撑一体化智能底盘上下车体解耦式开发，软件上需解决一体化底盘与外部域控模块间的接口标准化问题，以实现一套通用的系统软件架构灵活适配不同车型。软件接口标准化可分为通信接口、控制接口、服务接口三大类：

4.3.1. 通信接口标准化

随着汽车的电动化、智能化、网联化、共享化，汽车车载总线通信也变得越来越复杂。当前主流的通信总线有 CAN/CANFD 总线，LIN 总线，车载 Ethernet 总线，FlexRay 总线，MOST 总线。针对当前主流的通信总线，从最大带宽、节点数、网络线束长度等多个特征维度进行对比，如表 4.6 所示：

特征 \ 网络类型	车载 Ethernet	CAN/CANFD	FlexRay	MOST	LIN
最大带宽（Mb/s）	100-1000-10G	0.25-0.5-5	20	150	0.02
最大节点数	受交换机端口限制	32	22	64	16
网络长度	各链路 15m	40m	24m	1280m	40m
报文	帧	循环帧	循环帧	循环帧 / 流	循环帧
媒体接入控制	全双工，无竞争	非破坏性仲裁	定时触发	定时触发	定时触发
成本	高	低	较高	较高	非常低
拓扑结构	星形 / 树形	总线	总线 / 星形 / 混合形	环形 / 星形	总线
电源管理 / 睡眠模式	是，PoE 48V	是	是	是	是
标准化	IEEE802.3， OPEN 联盟	ISO 11898	ISO 17458	MOST 公司开放	ISO17987
安全攸关功能	应用验证	是	是	否	是
片上系统	很多	很多	少数	没有	很多
电缆	UTP	UTP	UTP	光纤 /UTP	单线
错误检测功能	强	强	强	强	弱
纠错功能	没有（依赖于 高层协议）	重传机制	没有	没有（依赖于高 层协议）	没有
主要应用场景	信息娱乐， 智能驾驶，骨干	应用广泛	安全攸关功 能，线控技术	信息娱乐	水泵，水阀等 执行器传感器

表 4.6 车载网络重要特征对比

经过实时性、功能安全等多维度的对比，优选并制定智能滑板底盘对外标准化通信接口，定义如表 4.7 所示:

特征	CAN/CANFD	LIN	车载 Ethernet
带宽 (Mbit/s)	2	0.02	100、1000、10G
标准化	ISO 11898	ISO17987	100BASE-T1、1000BASE-T1、10GBASE-T1
上层协议	/	/	SOME/IP、DDS、DoIP、TSN 等多种协议
建议通道数	3	2	3

表 4.7 智能滑板底盘通信接口标准化

1) CANFD 总线，遵循 ISO11898 国际标准以及 CAN2.0 协议，兼容 CAN，建议三路；

2) LIN 总线，遵循 LIN2.1 协议，遵循 ISO17987 国际标准，建议两路；

3) 车载 Ethernet 总线，依据开放系统互连 OSI 参考模型，物理层遵循 100BASE-T1、1000BASE-T1 标准；支持 SOME/IP、DDS、DoIP、TSN 等多种协议，建议三路；

未来应对高带宽需求的中央计算架构，车载 Ethernet 总线速率将提升至 10G，甚至 100G。

4.3.2. 控制接口标准化

当前新能源汽车 EEA 整车架构从功能上可分为四个控制域：动力底盘控制域、车身控制域、自动驾驶域、智能座舱域，软件控制解耦是智能滑板底盘实现上下解耦、跨域交互的重要一环（详见3.2.3软件解耦），通过各控制域之间软件控制接口的标准化，可以大幅提高开发与集成的效率、降低兼容性风险、提升平台的可扩展性、促进生态伙伴的合作。以下列举动力底盘控制域与车身、智能座舱、智能驾驶以及云端的四类控制接口标准化定义：

▶ 车身域（BDCS）通用功能及其接口定义：根据软件开发的模块化设计方向，动力底盘域与车身域系统功能的交互，模块关系如下：

1. 车身域应用层
2. 整车接口适配层
3. 底盘域应用层
4. 底盘域执行层 (+ 相关域传感器)

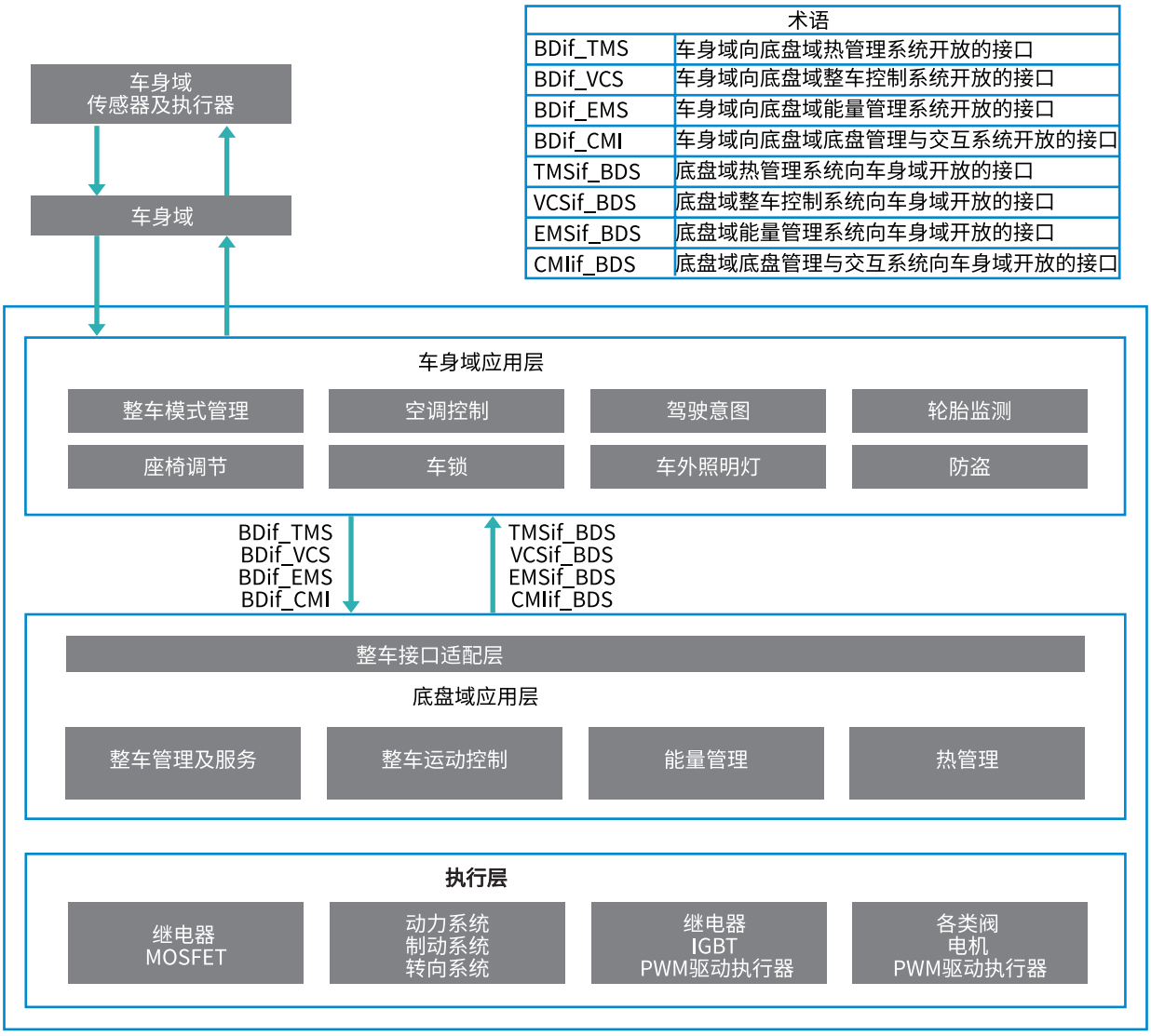


图 4.10 车身域与底盘域功能架构

为了解耦车身域（BDCS）应用功能和底盘域控功能间的依赖，即添加或变更功能不会影响对方系统设计，在动力底盘域增加接口适配层协调管理（VMG），各层之间定义标准化的通信接口；添加或变更车身域功能的影响可以在整车接口适配层中被吸收转化，以便最大限度地复用动力底盘域车控功能。

此标准化定义不涉及车身域传感器和车身域中间层，作为一般规则，在动力底盘域系统架构中避免与该两层设计直接的相互作用接口。

接口	注释
BDif_TMS	车身域向底盘域热管理系统开放的接口
BDif_VCS	车身域向底盘域整车控制系统开放的接口
BDif_EMS	车身域向底盘域能量管理系统开放的接口
BDif_CMI	车身域向底盘域底盘管理与交互系统开放的接口
TMSif_BDS	底盘域热管理系统向车身域开放的接口
VCSif_BDS	底盘域整车控制系统向车身域开放的接口
EMSif_BDS	底盘域能量管理系统向车身域开放的接口
CMIif_BDS	底盘域底盘管理与交互系统向车身域开放的接口

表 4.8 车身域通用功能各层之间的主要接口

▶ **智能座舱（CDCS）通用功能及其接口定义：**根据软件开发的模块化设计方向，动力底盘域与座舱域系统功能的交互，模块关系如下：

1. 智能座舱域应用层
2. 整车接口适配层
3. 底盘域应用层
4. 底盘域执行层 (+ 相关域传感器)

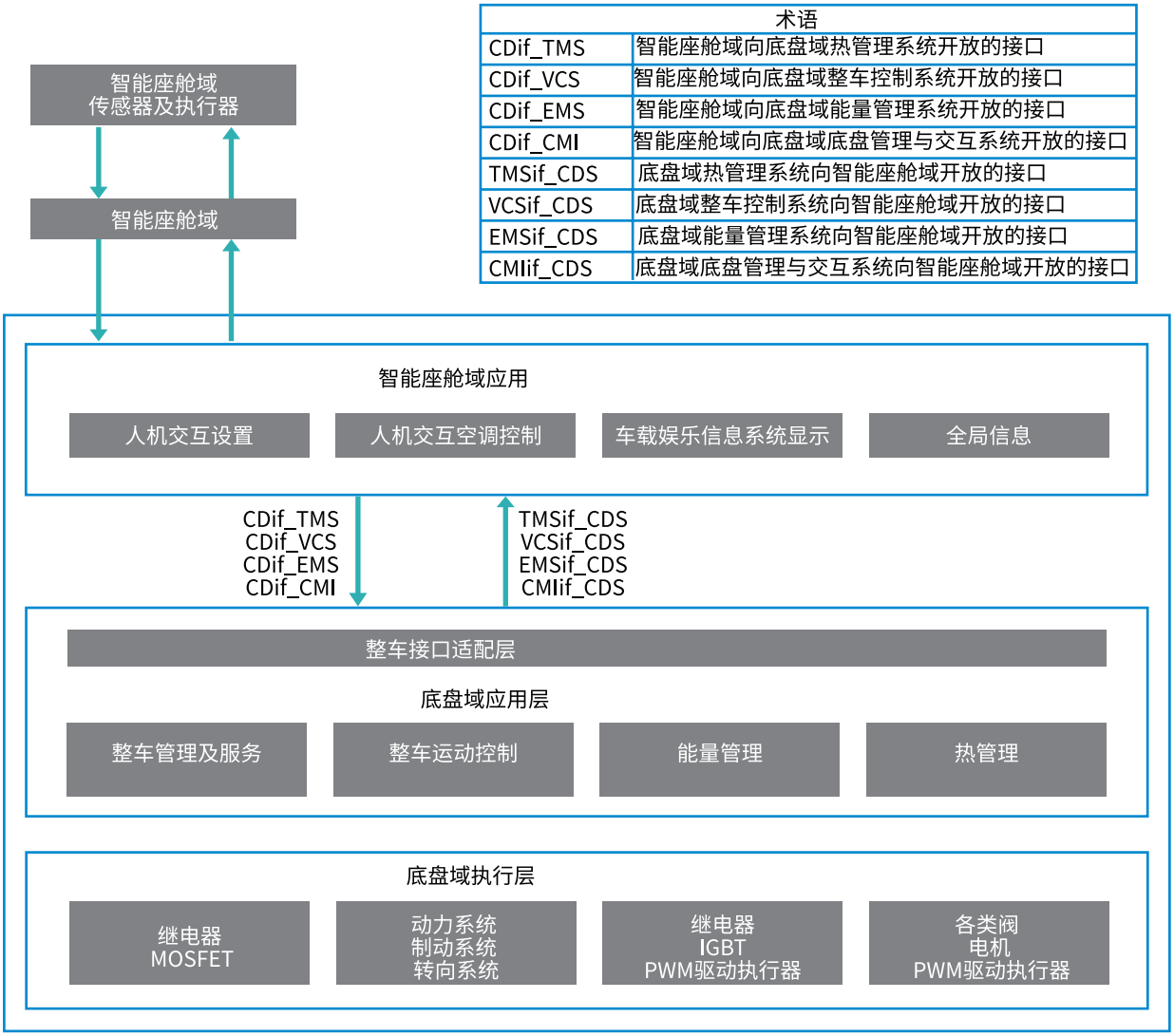


图 4.11　座舱域与底盘域功能架构

为了解耦智能座舱域应用功能和底盘域控功能间的依赖（添加或变更功能不会影响对方系统设计），在动力底盘域增加接口适配层协调管理，各层之间定义标准化的通信接口；添加或变更智能座舱域功能的影响可以在整车接口适配层中被吸收转化，以便最大限度地复用动力底盘域车控功能。

此标准化定义不涉及智能座舱域传感器和智能座舱域中间层，作为一般规则，在动力底盘域系统架构中避免与该两层设计直接的相互作用接口。

接口	注释
CDif_TMS	智能座舱域向底盘域热管理系统开放的接口
CDif_VCS	智能座舱域向底盘域整车控制系统开放的接口
CDif_EMS	智能座舱域向底盘域能量管理系统开放的接口
CDif_CMI	智能座舱域向底盘域底盘管理与交互系统开放的接口
TMSif_CDS	底盘域热管理系统向智能座舱域开放的接口
VCSif_CDS	底盘域整车控制系统向智能座舱域开放的接口
EMSif_CDS	底盘域能量管理系统向智能座舱域开放的接口
CMIif_CDS	底盘域底盘管理与交互系统向智能座舱域开放的接口

表 4.9……智能座舱通用功能各层之间的主要接口

▶ 智能驾驶（ADAS）通用功能及其接口定义：根据 AUTOSAR 定义的系统软件层级，通过四层定义 ADAS 系统与车辆控制系统的关系，如下：

1. 智能驾驶域应用层
2. 智驾域接口适配层
3. 整车接口适配层
4. 执行层 (+ 相关域传感器)

整个智能驾驶域系统结构由智能驾驶域传感器层、融合层以及上述四层功能组成。

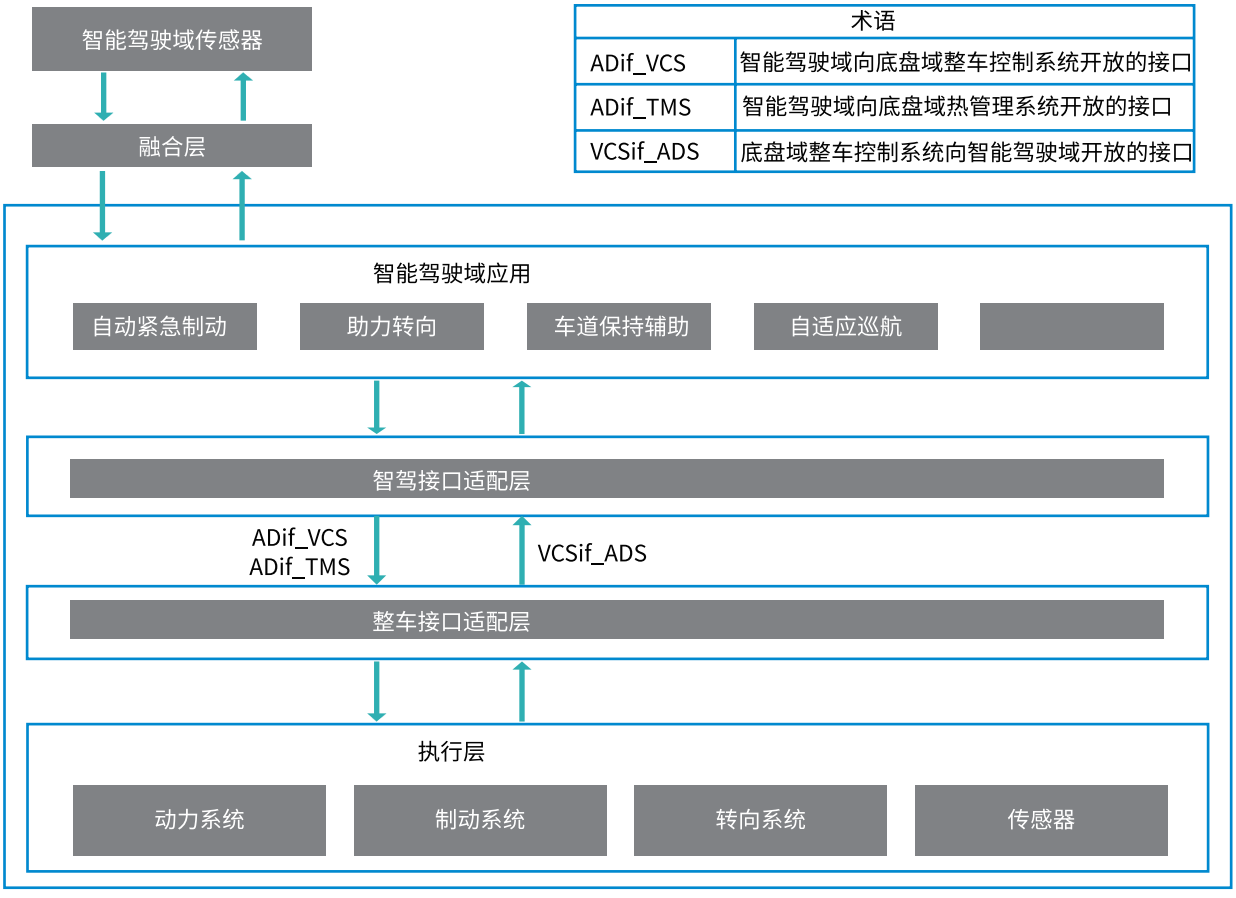


图 4.12 智驾域与底盘域功能架构

智能驾驶域传感器的示例包括视觉传感器（例如摄像头、雷达和激光雷达），智能驾驶域传感器监测车辆周围环境，并向融合层发送原始信号（原始数据）或预处理信号。

融合层融合来自每个传感器的信号，以识别车辆周围的情况，识别结果被发送到智能驾驶域应用层。

为了解耦智能驾驶域应用功能和车控执行器功能间的依赖（添加或变更功能不会影响对方系统设计），通过对智能驾驶域应用功能和车控执行器功能之间增加两个管理层（AMG & VMG），各层之间定义标准化的通信接口；智驾接口适配层（AMG）可以与整车接口适配层（VMG）通过标准化接口通信，减少对各自功能开发的影响。添加或变更智能驾驶功能的影响可以在智驾接口适配层中被吸收转化，添加或变更车控功能的影响可以在整车接口适配层中被吸收转化；此外，相互依赖性的减少也可以简化系统的功能安全分析。

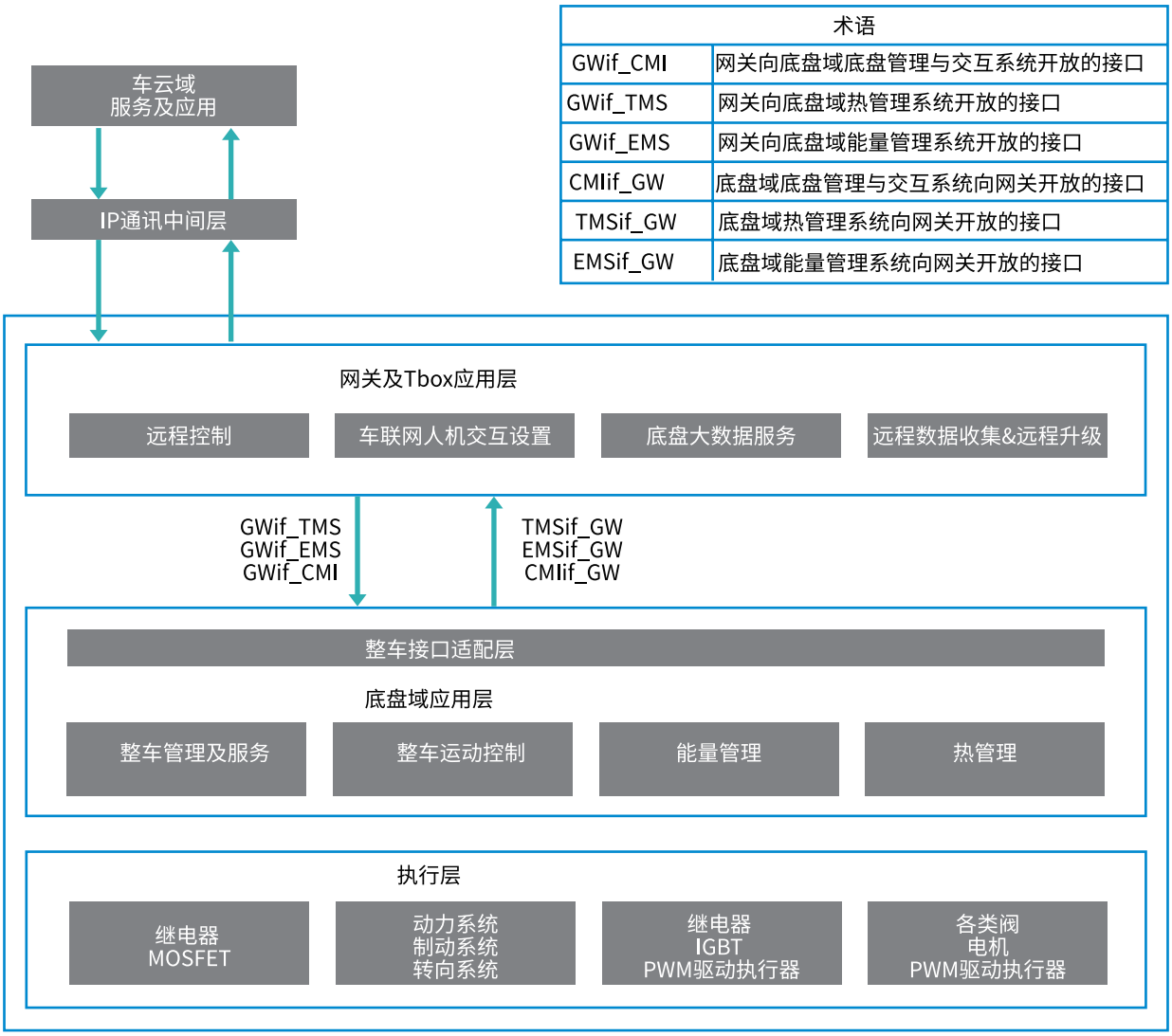
此标准化定义不涉及与车辆控制层没有直接接口的智能驾驶域传感器和融合层，作为一般规则，在动力底盘域系统架构中避免与该两层设计直接的相互作用接口。

接口	注释
ADif_VCS	智能驾驶域向底盘域整车控制系统开放的接口
ADif_TMS	智能驾驶域向底盘域热管理系统开放的接口
VCSif_ADS	底盘域整车控制系统向智能驾驶域开放的接口

表 4.10 智能驾驶通用功能各层之间的主要接口

▶ 车云融合通用功能及其接口定义：根据软件开发的模块化设计方向，动力底盘域与车云域系统功能的交互，模块关系如下：

1. 网关及 Tbox 应用层
2. 整车接口适配层
3. 底盘域应用层
4. 底盘域执行层 (+ 相关域传感器)



术语	
GWif_CMI	网关向底盘域底盘管理与交互系统开放的接口
GWif_TMS	网关向底盘域热管理系统开放的接口
GWif_EMS	网关向底盘域能量管理系统开放的接口
CMIif_GW	底盘域底盘管理与交互系统向网关开放的接口
TMSif_GW	底盘域热管理系统向网关开放的接口
EMSif_GW	底盘域能量管理系统向网关开放的接口

图 4.13 车云域与底盘域功能架构

为了解耦车云应用功能和底盘域控功能间的依赖（添加或变更功能不会影响对方系统设计），在动力底盘域增加接口适配层协调管理（VMG），各层之间定义标准化的通信接口；添加或变更车云功能的影响可以在整车接口适配层中被吸收转化，以便最大限度的复用动力底盘域车控功能。

接口	注释
GWif_CMI	网关向底盘域底盘管理与交互系统开放的接口
GWif_TMS	网关向底盘域热管理系统开放的接口
GWif_EMS	网关向底盘域能量管理系统开放的接口
CMIif_GW	底盘域底盘管理与交互系统向网关开放的接口
TMSif_GW	底盘域热管理系统向网关开放的接口
EMSif_GW	底盘域能量管理系统向网关开放的接口

表 4.11 车云融合通用功能各层之间的主要接口

4.3.3. 服务接口标准化

上下车体软件可以通过标准化的接口进行交互、采用 SOA 服务架构，将智能滑板底盘的能力进行标准化封装，以标准接口的形式对外暴露智能滑板底盘的能力，并实现服务解耦、独立开发，统一集成（详见 3.2.3 软件解耦）。

SOA 的核心设计思想是将应用程序分解为特定的功能组件或服务，并且独立于硬件、操作系统，通过标准化协议和应用程序接口（API）进行访问。这些服务设计应可以被共享，而不是受限于特定的硬件和车型。

智能滑板底盘需要为上车体提供稳定可靠的 SOA 服务，主要包括以下内容：

1. 解耦：通过标椎化服务接口形式，将智能滑板底盘与上车体解耦；上车体通过调用标准 API，即可以实现对智能滑板底盘的控制；

2. 分层：将智能滑板底盘提供的 SOA 服务进行分层架构设计，方便对不同层级的 SOA 服务进行接口开发、服务编排、优先级判断、服务治理和仲裁；

3. 模块化：将智能滑板底盘提供的功能分解成不同类型的一个或多个独立功能，功能间相互独立，方便构建上层应用，如数据采集、OTA、S2S 等；

4. 抽象：对不同的感知硬件实现共性数据抽象，既隔离上层算法模块又可以实现快捷硬件匹配；

5. 标准化：接口和数据标准化。

智能滑板底盘提供的 SOA 服务主要有以下几种类型：

1. 设备抽象服务，主要包括：

传感器抽象服务：如制动踏板、加速踏板、车速传感器、轮速传感器、温度传感器、电压采集、电流采集等抽象服务；

执行器抽象服务：泵阀、制动卡钳等抽象服务；

2. 原子服务，主要包括：

能量原子服务：单体电池状态、模组状态、充电状态、放电状态等抽象服务；

运动原子服务：档位状态、加速踏板状态、制动踏板状态、驱动电机状态等抽象服务；

底盘原子服务：转向状态、转向控制、电子驻车状态、电子驻车控制等抽象服务；

HMI 原子服务：故障显示、文字提醒等抽象服务；

基础服务：网络管理、时间同步、时钟信息、健康管理、通信服务等抽象服务。

3. 组合服务，主要包括：

能量组合服务：能耗计算服务、SOC、SOH、动力电池状态、动力电池控制、高压能量管理、低压能量管理等抽象服务；

运动组合服务：车辆运行状态计算、车辆运动修正、能量回收、电驱系统状态计算等抽象服务；

底盘组合服务：转向系统控制、制动系统控制、悬架系统控制等抽象服务；

数据服务：固定数据采集服务、动态数据采集服务、S2S 服务等抽象服务。

4. 应用服务，主要包括：

车辆功能应用：车辆基础运行功能，如高压上下电、加减速、制动等基础应用；

驾驶模式设置：单踏板设置、能量回收强度设置、运动模式设置等应用；

驾驶行为分析：分析驾驶行为习惯、加减速习惯、充电习惯等应用；

车辆监控：智能诊断、远程诊断、车辆健康监控等应用；

智能场景应用：宠物模式、露营模式、第三方游戏引用等应用；

个性化应用：用户自主设置空调、个性化驾驶模式、自定义能量管理等个性化应用。

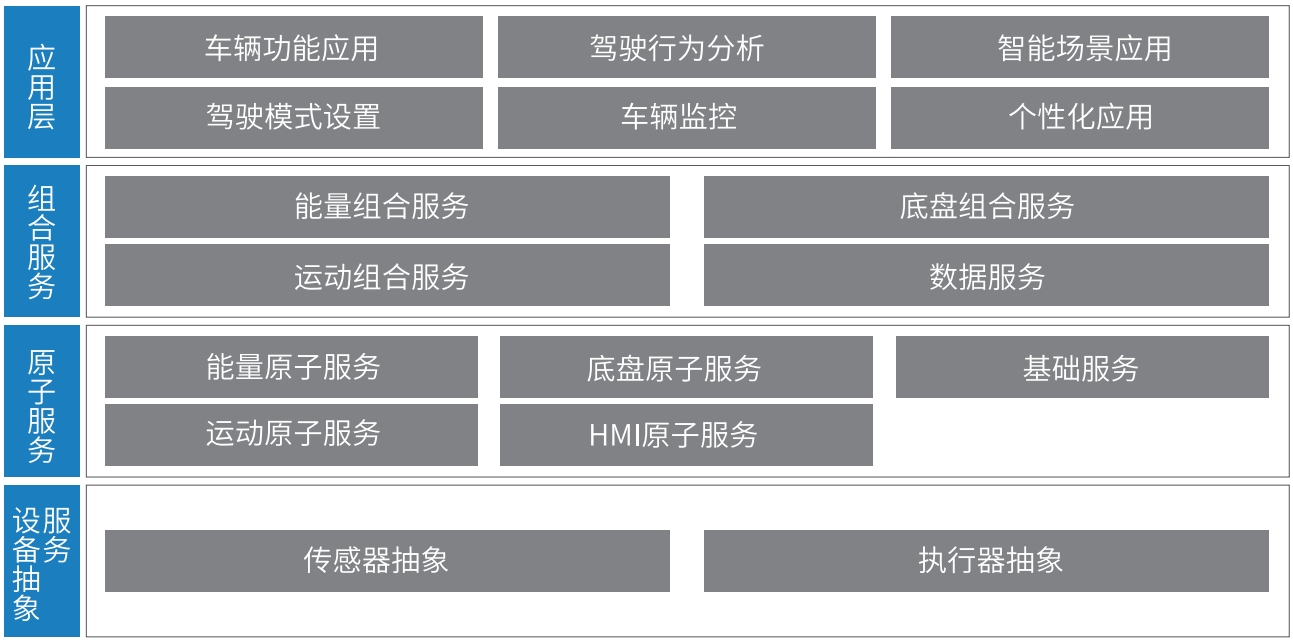


图 4.14 SOA 服务分层结构



第五章

基于智能滑板底盘的未来出行畅想

自 1886 年卡尔·本茨发明第一辆内燃机汽车至今，汽车行业已发展百年有余。回顾汽车行业的发展历史，机械与燃油时代横跨近 100 多年，而电气化发展进入大众视野才不到 20 年，如今又向智能化快速演进。伴随汽车驱动形式的进化过程，汽车的制造方式也发生了深刻变革。从福特汽车引入流水线实现大规模生产，到以大众为代表的平台化模块化设计，汽车的制造效率大幅度提升。可以预见，智能化时代的汽车制造也将向更高效率的维度持续发展。如智能手机的普及，一个自由移动、人人拥车的时代正逐渐成为现实。

阶段	1.0	2.0	3.0
代表企业	福特汽车	大众汽车	滑板底盘公司
关键抓手	流水线	平台化	智能滑板底盘
核心要素	规模化	通用设计	全面标准化

表 5.1 汽车行业发展阶段演进

未来的自由移动时代，车有望向“第三生活空间”乃至于全场景空间进化，汽车的驾驶属性将变弱而空间属性增强，汽车将演化成为上下分离的两个部分，即满足消费者使用的智慧空间 - **空间属性**，与承担移动功能的智能底盘 - **移动属性**，见图 5.1 所示。

上车体主要承担智慧空间的功能，这个功能融合智能座舱与自动驾驶，是消费者与车的主要交互与体验空间，大算力超级计算中心满足的各种体验，如 AI 助手（虚拟人），车云互动等。下车体主要承担智能移动载体的功能，高度集成的一体化底盘能够实现对能量、运动的高效管理，实现对上车体的高效移动功能。上下车体通过标准化的电气与通信接口实现连接，智慧空间与智能底盘计算中心可智能分配各自算力满足用户自由移动时代的要求。

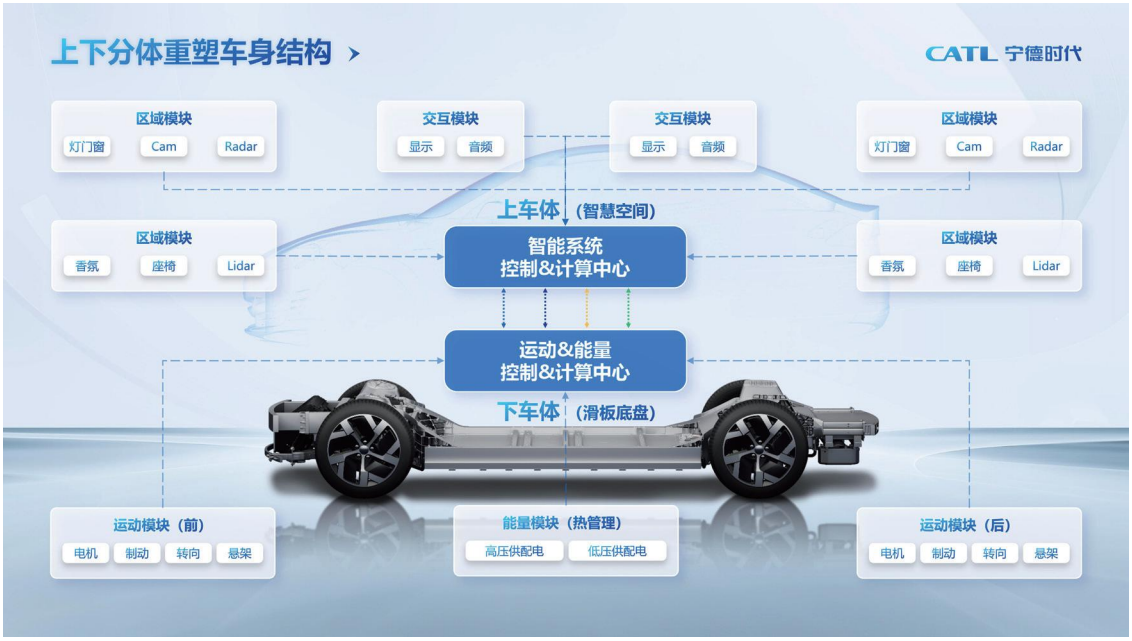


图 5.1 未来分体造车的构想

这种演化将为汽车行业带来深远的影响。在研发制造端，电气化与智能化进一步加速集成趋势，使研发制造端及供应链进一步压缩，出现以设计、研发、制造上车体的智慧空间（Space）供应商以及智能滑板底盘供应商，它们各自整合各级子供应商完成部件、性能及智能化集成，成为超级供应商。在运营端，基于上下车体的灵活场景化组合，可以实现基于上车体、下车体，面对 2B 及 2C 的多种运营商业模式。

5.1. 智能滑板底盘引领产业链变革

激烈的竞争下，今天的汽车市场在“卷”什么？——与用户体验直接相关的产品创新力：以安全为基石的智能驾驶、智能座舱、数智车云、整车造型。产业链上下游力图通过这几个维度的“内卷”，实现一场完美的“蝉蜕”。

智能滑板底盘是构建未来自由移动空间的底座，由此分离出的智慧空间与智能底盘或将助推产业链分工的进一步细化，进而提升行业的整体效率与竞争力；在“用户体验为中心”的理念驱动下，产业链上下游的合作模式也将转变：

产业链迎来变革，催生造车新解法：过去的汽车产业链为垂直的金字塔形合作方式，“刚性”的多层级关系造成创新能力差、市场响应滞后、供应链不稳定等问题，难以适应智能汽车时代“敏捷”迭代的市场需求。而以“用户体验为中心”的理念将打破传统的合作模式，并逐渐过渡为更加扁平的“星型”结构。得益于新的合作模式，尤其是智能滑板底盘等供应商的参与下，不仅造车变得简单、高效，市场需求和用户期待将被更好地满足。

整车制造商：专注于“微笑曲线”两端，创造更多用户价值。从底盘的研发制造（微笑曲线底部）抽离，让 OEM 可以集中更多的资源用于研发智慧空间的核心技术。可以想见，上下车体将是“异步”开发的，凭借更高频的上车体迭代速度、更多的上车体选择，OEM 的智慧空间可以向用户提供更好的交互、空间、移动出行体验；整车制造被简化之后，OEM 可以聚焦全生命周期的运营，与用户产生紧密的联结、创造高价值的服务，在价值链被重塑的智能汽车时代，构筑起关键竞争力。

客制化上车体：标准化的尽头是支撑个性化。标准化的智能底盘可以大幅降低客制化上车体的设计约束与成本门槛。当驾驶不再是移动体验的重要组成部分时，客户对于个性化空间的需求将愈发显现，OEM 的智慧空间定制部门会应运而生，第三方定制市场也将百花齐放。

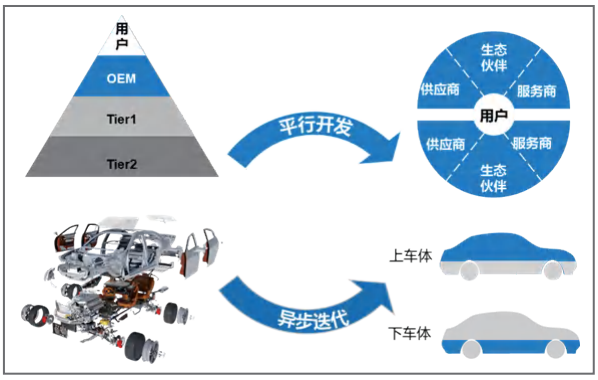


图 5.2 汽车制造合作模式变化趋势

5.2. 智能滑板底盘催生运营与体验新业态

在商业模式层面，智能座舱与自动驾驶对重塑未来行业格局话语权至关重要，未来将涌现新型商业模式与玩家——出现以用户为核心的服务和以车辆为核心的服务两大商业模式。

以用户为核心的服务意味着整车厂逐渐从对用户的“汽车销售”转向构建“闭环生态体系与生活方式服务”（包括质价兼顾产品、车载智能终端、生态互联终端、生活方式品牌），智能化将成为差异化核心；

以车辆为核心的服务体现在两个方面：一是整车制造环节，由于自动驾驶和电气化使底盘标准化提升，将衍生出智能底盘解决方案和代工，及定制化的上装 + 配件改装两大模式；二是对于供应商而言，智能网联相对应的软件产品组合、销售与定价模式和运营模式也将面临多样化选择。⑦

⑦ 罗兰贝格报告：中国市场在自动驾驶进程中领先 发展潜力巨大，《智能网联汽车的发展趋势与转型关键抓手》

智能滑板底盘可以进一步为上述两大商业模式提供支撑。如图 5.3 所示，在产品 SOP 前，智能滑板底盘可围绕用户需求打造场景化车型，一个平台支持多个场景。而 SOP 后，伴随着智能应用的持续深化和产品设计的以人为本，易受用户感知的软硬件通常需要维持持续迭代，解耦的上下车身将更易于更换，维护成本更低。此外，智能滑板底盘兼容换电模式，使得租赁模式和金融方案更加灵活落地，降低用户的拥车门槛。在生命周期末端，智能滑板底盘和上部的智慧空间将进入各自的再循环周期，根据诊断情况进行再使用、再制造、翻新和回收，实现全生命周期价值的最大化。

根据需要，电池、底盘、上车身都可以独立做资产的运营管理，进一步提高资产利用率。未来汽车行业将出现围绕终端用户（2B/2C）的多种业态，其关键要素是智慧空间（上车体），智能滑板底盘（下车体），以及围绕终端用户（C 端及 B 端客户）的运营方（包括整车厂 OEM 及平台运营方）。

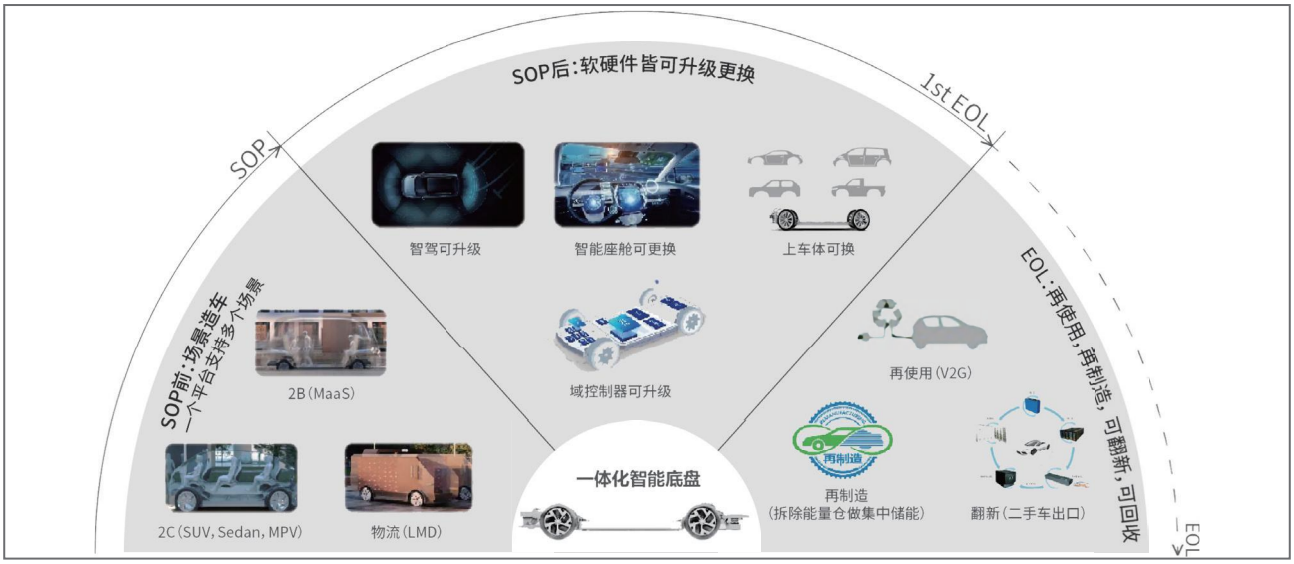


图 5.3 未来车辆全生命周期业态构想

5.2.1. 经典型：整车制造与营运

整车厂 OEM 主导产品需求、产品设计及品牌营运等，并制造整车，包括上车身与下车体即智能滑板底盘，这是当前的主要模式。未来整车厂（OEM）将更多的专注于如何提升客户体验，如何打造智能化服务能力。标准化会促使行业进行更加细化的行业分工，出现整车代工，或者底盘与上车身代工。智能滑板底盘会加速这个转变，通过标准化的智能滑板底盘业内共享，可避免重复造轮子的问题，提升行业效率，尤其是细分市场的小批量车型等。

5.2.2. 体验型：智慧空间运营

这种模式比较适合那些注重体验的新进入玩家，或者传统车企的轻资产化转型。车企 /OEM 专注于消费者的空间体验，在业务上偏向于上车体 Space 的造型及空间设计，以及围绕用户的服务开发等；未来消费者不再强调驾驶体验，智能底盘的驾驶体验弱化而成为行业标准件，OEM 偏向于采用第三方的标准化设计、代工。未来将出现专注于上车体智慧空间的运营商。

移动体验运营的内容可以包括娱乐快闪店、花店、服装展示等等，并将商业覆盖范围延伸到郊外，在更贴近自然的环境下提供都市级场景化服务。如常规商业店铺基于居民区、商圈、CBD 等布局，经营地点固定，覆盖范围有限；而基于汽车的移动商业运营模式，诸如冰激凌车等，随着纯电一体化平台的广泛应用将得到复兴和延伸应用。纯电代表着上车身无需额外加装供能设施，直接由大电池提供营运电力；一体化底盘平台极大地减少了底盘对上车身布置的影响，上车身可按需进行装修、拆装。

5.2.3. 运营型：智能滑板底盘运营

与体验型恰恰相反，运营型注重的智能滑板底盘的移动承载能力，是把智能滑板底盘作为一个运营的生产资料，关注的是智能滑板底盘的高可靠性、高出勤率，更低的 TCO 以实现商业赢利目标；上车体作为一个载物空间注重功能而体验等并不重要。智能滑板底盘开发移动运营平台具有多项优点:

灵活性和可定制性：智能滑板底盘具有较高的灵活性和可定制性，提供丰富的模块化组件（Toolkit），可以根据不同应用场景和需求来进行开发和定制；

强大的运动能力：智能滑板底盘具有出色的运动能力，能够在各种地形和环境中灵活移动，适应不同的应用场景；

传感器和系统集成：智能滑板底盘可以集成多种传感器和系统，例如激光雷达、摄像头、毫米波雷达等等，从而实现机器人的感知和自主导航；

开发成本和速度：使用智能滑板底盘可以降低开发成本和加快开发速度，因为许多技术和解决方案已经得到了开发和测试，可以直接应用于移动机器人开发上来。

智能滑板底盘可以根据丰富的场景需求实现灵活定制，以单位载货 TCO 为原则开发不同应用场景的产品，从而提高运营效率。运营主要包括两种:

出行服务（MaaS）

出行即服务（MaaS，Mobility as a Service），利用智能技术整合并优化运力资源为用户提供全链路交通路线规划和动态信息，主要应用分为定制出行服务、路线规划、智慧停车、公共交通优化、紧急救援、智能支付、交通数据分析优化等，可提高用户出行效率，降低出行成本，有效治理交通拥堵，降低环境污染。

MaaS 通常具有较强的本地化属性，需要动态匹配本地资源，如往返于密集居民区和商业 CBD，可分为“公交”、“地铁”、“公交 + 地铁”、“出租车”等出行方案。MaaS 系统可根据用户出行习惯和倾向（追求舒适或追求时间等），为用户提供动态的方案推荐和整合支付，极大提升用户体验。

智能滑板底盘具备上下解耦、生态开放特性，可以根据场景灵活定制、根据用户需求深度定制，可成为 MaaS 交通系统中不可或缺的一环。

基于智慧空间，车内空间可被定制为多种场景，如救援车、福祉车、休息舱等，通过标准化接口与标准的智能滑板底盘实现基于场景的合拼，这在大时空交通调度层面存在巨大潜力。

在早晚上下高峰时间可以基于 MaaS 订单大平台，为上班族提供定制化的公车接送服务；到饭点前夕，合拼餐饮配送上车身，为 CBD、园区等提供送餐服务；在深夜交通空闲时，合拼快递配送上车身，提供物流配送等服务。以上场景智能滑板底盘都可以基于 MaaS 大平台调度系统做持续优化和分析，持续为用户提供更加以人为本的服务。

物流配送

物流配送车辆上车身基于商家及客户的供需情况自由定制，如冷链物流、外卖配送、社区配送、同城急送等。基于通用化的智能滑板底盘有助于快速推出定制化的上车身从而满足物流端多样的场景需求。

- 智能滑板底盘具有高度集成特性，在社区“一公里”配送中提供更大空间的定制化恒温货仓，有利于减少因包装不当、暴力装卸及潮湿等造成的包裹损坏；
- 智能滑板底盘配合换电或快充系统，在提供同城急送时，智能滑板底盘具备低成本批量化造车，客单价格有望大幅降低，物流效率持续提升；
- 智能滑板底盘具备上下解耦特性，实现上车身灵活配搭。通过一体化全耦合热管理架构精细化控制货舱温度，在冷链物流中搭载冷库用货舱，而在外卖配送时换装保温货舱，实现“集装箱”式装卸与运输作业分离。

未来随着高阶自动驾驶的到来，基于智能滑板底盘可以快速开放城内干线物流车，实现从物流中转站到社区集散地的全天 24 小时的高出勤率营运。

5.2.4. 共创型：智能终端发烧友用户运营

发烧友用户共创是指消费者根据自己的喜好，选择标准化的智能滑板底盘及智慧空间，进行个性化（或者菜单化）的整车产品定制，整车厂 OEM 或者服务运营方在后台提供对应的服务支持，如整车状态检测、后台的数据安全及运营支持等。智能滑板底盘通过标准化的硬件及软件接口设计，可以实现类似于乐高积木一样的模块化（Toolkit）快速组装。

结合基于智能滑板底盘的未来汽车生态圈，开发者、自由设计者及发烧友可以进行深层次的共创，包括外形的深度定制化设计，UX/UI 的个性化定制，驾驶习惯，性能的个性化释放等。此时后台的运营商或者 OEM 为共创提供数据平台，操作系统及合规监控等。

5.3. 智能滑板底盘繁荣出行生态

智能滑板底盘将成为未来生态的关键底座。其位于总体生态底层，注重于提供至臻完善的移动控制、运输载具底盘和承载智能化服务的底层接口，可成为数字化移动平台的最佳底座，底层之上是车舱体验。

智能滑板底盘的标准化将促进未来出行的生态繁荣，上下车体分离成智慧空间与智能底盘，通过生态协作，将更好地继承现有汽车行业的发展基础，又能融合智能化的发展趋势，将彻底释放生态伙伴的专业优势能力。如智能底盘可以看成是现有机电底盘与智能化的融合，智慧空间是消费电子如 PC+手机与智慧家居的融合；运营方由传统的制造 OEM 向消费者运营转型，融合更多的跨界服务成为超级聚合服务平台。在这个基础上，汽车出行生态空前繁荣，形成三个围绕着消费者的子生态群：



图 5.5 未来出行生态圈构想

▶ 智慧空间子生态圈：承接、融合现有的 PC+ 智能手机产业链、技术生态及应用生态，通过软硬分离、SDV、物联网（IoT）及车云协调等助力第三空间的体验提升。标准化接口有助于智慧空间生态更好地与智慧底盘生态协同。具有优势整合能力的 Tier1 供应商将打造成智慧空间的子生态圈，剔除供应链中层层加码的低效率；

▶ 智能滑板底盘子生态圈：该技术生态的核心是电气化系统与智能化系统，如三电系统、线控系统、智驾系统等。底盘域控可以更好的协调各子系统并与上车体智慧空间对接；围绕着运动与控制等，核心供应商可以提供更多的应用服务，如 VMC 运动融合控制、精细化能量管理，UBI 保险等；

▶ 运营服务子生态圈：这个生态以运营方（OEM）为核心，是面向消费者的主要窗口。运营方围绕着使用场景提供全方位的聚合服务，如充电、保险、金融、维修保养，二手车等等。同时，智慧底盘与智慧空间的应用服务等也通过运营平台实现与消费者的对接，实现数据增值服务等。

附录 1：术语缩略语

缩略语	英文全称	中文全称
AEB	Autonomous Emergency brake	自动紧急制动
AP	Adaptive Platform	自适应平台
API	Application Interface	应用程序接口
APP	Application	应用
AUTOSAR	Automotive Open System Architecture	汽车开发系统架构
BCU	Battery Control Unit	电池控制单元
BWA	By-Wired Actuator	线控执行器
CAN	Controller Area Network	控制器局域网
CANFD	CAN with Flexible Data rate	可变速率的控制器局域网
ISC	Intelligent Skateboard Chassis	智能滑板底盘
CIIC	CATL Integrated Intelligent Chassis	一体化智能底盘
CMI	Chassis Management & Interaction	底盘管理与交互系统
CP	Classic Platform	经典平台
CRBS	Cooperation Regeneration Brake System	协调式再生制动能量回收系统
CTB	Cell To Body	电芯到车体
CTC	Cell To Chassis	电池底盘集成
CTP	Cell To Pack	电池包成组
DC-DC	Direct Current - Direct Current	直流转换器
DDS	Data Distribution Service	数据分发服务
DoIP	Diagnostic communication over IP	基于 IP 的诊断通信
dTCS	distributed Traction Control System	分布式牵引力控制系统
E-Booster	Electric Booster	电子助力器
EBD	Electronic Brake force Distribution	电子制动力分配
EMS	Energy Management System	能量管理系统
EHB	Electronic Hydraulic Brake	电子液压制动系统
EHPS	Electro Hydraulic Power Steering	电子液压助力转向系统
EMB	Electronic Mechanical Brake	电子机械制动系统

缩略语	英文全称	中文全称
EPHB	Electronic Pedal Hydraulic Brake	电子踏板液压制动系统
EPS	Electro Power Steering	电动助力转向系统
ESC	Electric Stability Control	电子稳定性控制
ESP	Electronic Stability Program	车身电子稳定系统
EVP	Electronic Vacuum Pump	电子真空泵
HPS	Hydraulic Power Steering	液压助力转向系统
IoT	Internet of Things	物联网
LIN	Local Interconnect Network	局域互联网络
MCU	Motor Control Unit	电机控制器
M-EMB	Master-Electro Mechanical Brake	主电子机械制动系统
MOST	Media Oriented System Transport	面向媒体的系统运输
MS	Manual Steering	手动转向
MTP	Module To Pack	模组到电池包
NVH	Noise、Vibration、Harshness	噪声、振动、声振粗糙度
OBC	On-Board Charger	车载充电机
OEM	Original Equipment Manufacturer	原始设备制造商
OS	Operating System	操作系统
OTA	Over-the-Air Technology	空中下载技术
PDU	Power Distribution Unit	电源分配单元
PoE	Power over Ethernet	以太网供电
RBU	Redundant Brake Unit	冗余制动单元
RVDC	Remote Vehicle Data Collection	远程数据收集
RWA	Road Wheel Actuator	转向执行器
BD-RWA	Belt Driving-RWA	带传动式电动助力转向执行器
P-RWA	Pinion RWA	小齿轮式电动助力转向执行器
S2S	Signal to Service	信号转服务
S-EMB	Slave-Electro Mechanical Brake	辅电子机械制动系统
SHA	Steering Handle Actuator	转向手柄执行器
SOA	Service-Oriented Architecture	面向服务的架构

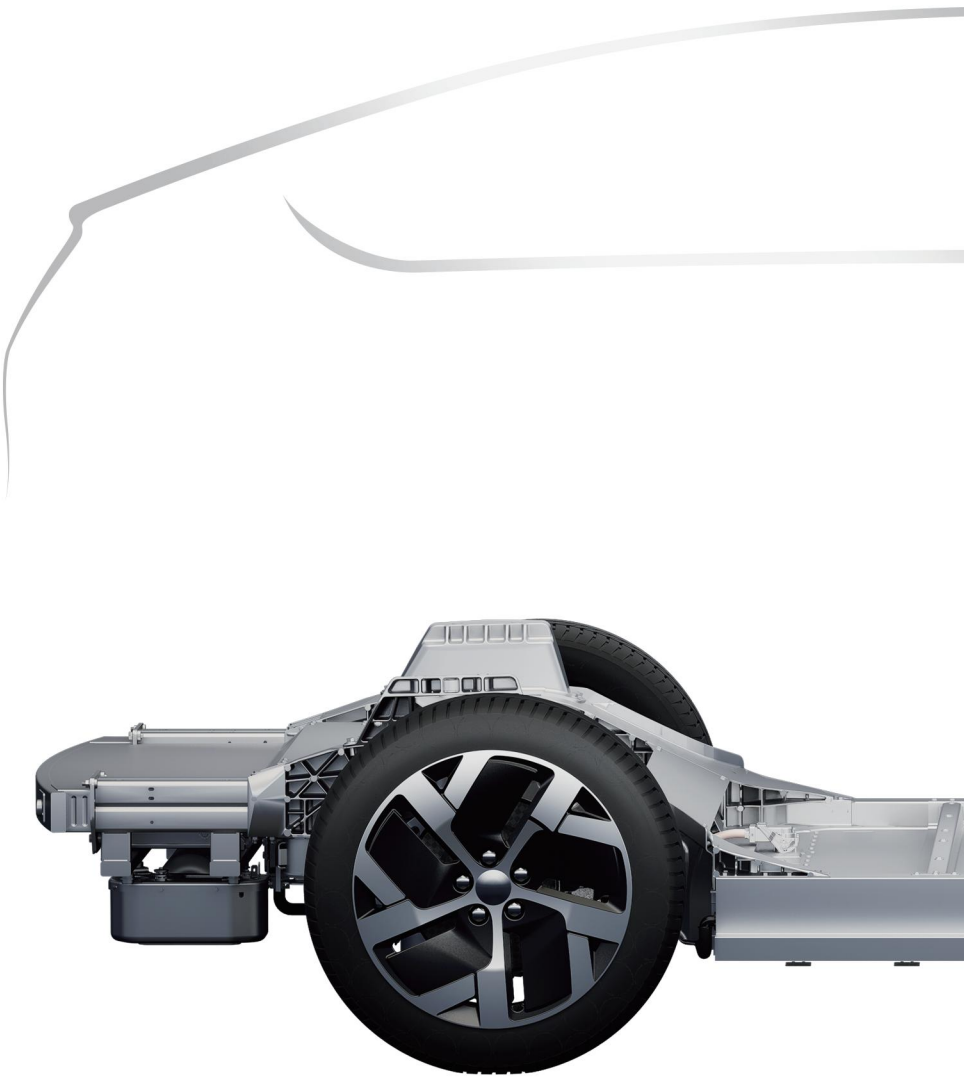
缩略语	英文全称	中文全称
SOC	State of Charge	电池的充电状态（剩余电量）
SOME/IP	Scalable service-Oriented Middleware over IP	基于 IP 协议的面向服务的可拓展通信中间件
SWA	Steering Wheel Actuator	手感模拟器
TMS	Thermal Management System	热管理系统
TSN	Time-Sensitive Network	时间敏感网络
UTP	Unshielded Twisted Pair	非屏蔽双绞线
V2G	Vehicle-to-Grid	车辆到电网
VAFs	Value Added Functions	增值功能
VCS	Vehicle Control System	整车运动控制系统
VCU	Vehicle Control Unit	车辆控制单元
VIN	Vehicle Identification Number	车辆识别码

附录 2：参考文献

i. 中国汽车工程学会，《电动汽车智能底盘技术路线图》，机械工业出版社

ii. 赵福全、刘宗巍、马青竹，《汽车技术生态创新》，机械工业出版社

CATL宁德时代



宁德时代（上海）智能科技有限公司
地址：上海市浦东新区水芸路55号港城广场二街坊1号楼15F
www.flexhub-ciic.com
联系邮箱：CAIT-SH-Partner@catl.com