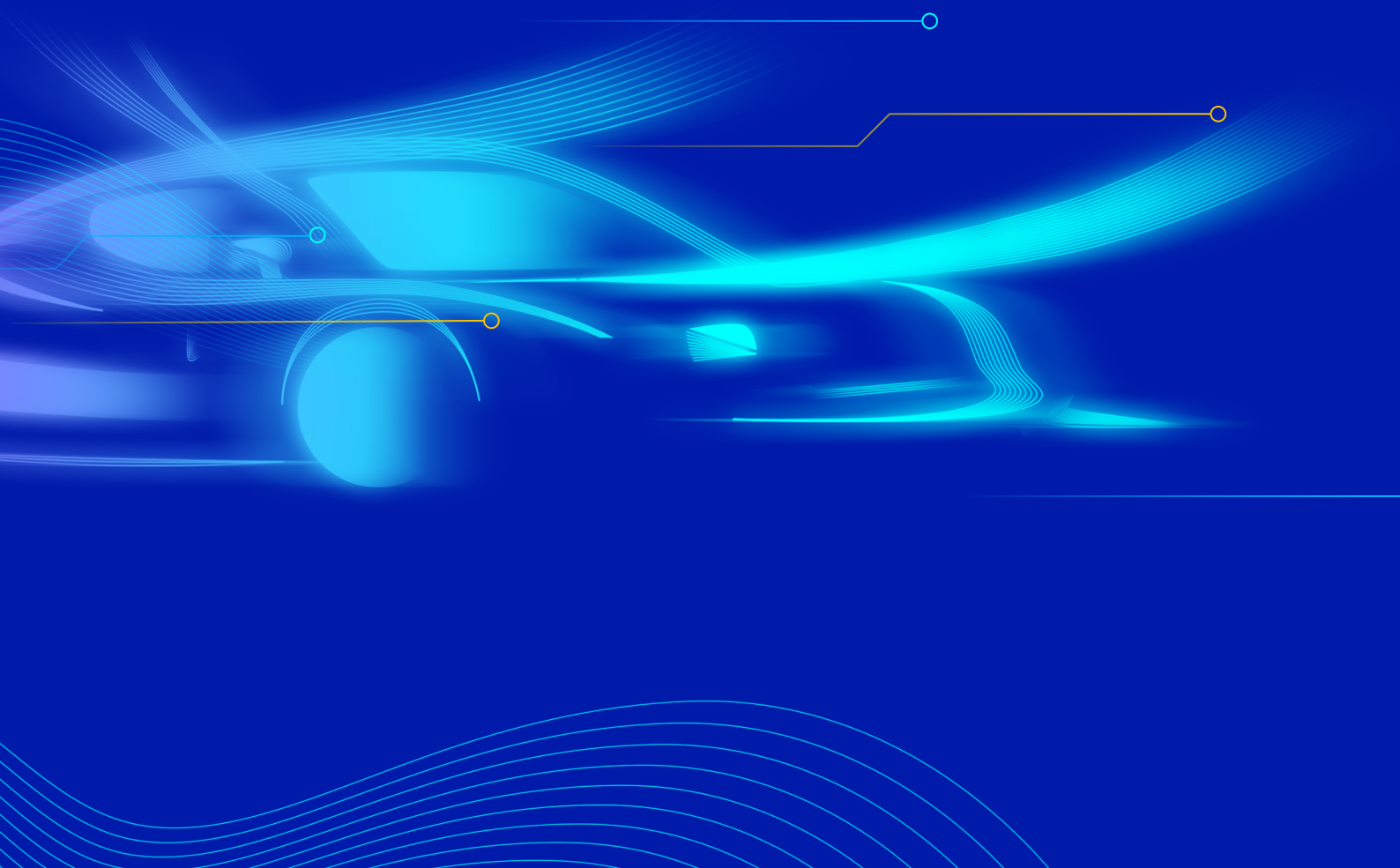


重构汽车电子电气架构，引领行业变革

经纬恒润物理区域控制器 (ZCU) 技术白皮书



目录

CONTENTS

▸ 引言

一 传统架构的桎梏:智能化转型的“不可能三角” 02

- 1.1 算力与成本的悖论 02
- 1.2 创新与惯性的对抗 02
- 1.3 功能与安全的博弈 03

二 架构革新:ZCU的必然性与核心价值 04

三 经纬恒润ZCU系统化解决方案:架构重构的实施路径 05

- 3.1 设计哲学:平台化、集成化与软硬解耦 05
- 3.2 关键技术指标与平台化配置 06
- 3.3 核心能力体系:智能配电、区域控制与数据枢纽 07
 - 3.3.1 智能能源管理:软件定义的精细配电 08
 - 3.3.2 区域IO整合:统一接入与高效执行 09
 - 3.3.3 服务化通信:基于SOME/IP的数据中枢 10
- 3.4 架构优势与关键技术突破 11
 - 3.4.1 高集成度硬件与系统化工程设计 11
 - 3.4.2 基于AUTOSAR的开放软件平台 11
 - 3.4.3 全方位安全体系:功能安全与网络安全的融合 12
 - 3.4.4 关键挑战与突破:跨域集成、热管理及EMC设计 13

四 实践验证:规模化量产应用与市场引领 14

- 4.1 深度协同:与多元客户的合作范式创新 14
- 4.2 典型案例:赋能主流车企的架构转型 15
- 4.3 市场引领:百万台级交付与行业标杆地位 15

目录

CONTENTS

五	迈向未来:ZCU技术的演进路径与行业协同	18
5.1	势在必行:标准化、平台化与产业生态共建	18
5.2	技术前瞻:驱动架构深度演进的三大路径	18
5.2.1	基础革新:通信、能源与控制的深度融合	18
5.2.2	软件定义:从原子服务到开放应用生态	19
5.2.3	边缘智能:从功能执行到本地智能决策的演进	19
▶ 结语:以区域控制为基石,共创智能出行新纪元		

引言

“

汽车行业正经历百年未有之大变革，汽车电子电气架构正经历从“分布式”到“域集中式”，最终向“中央计算+区域控制”架构的演进。在这一进程中，物理区域控制器（Zonal Control Unit, 以下简称ZCU）作为承上启下的关键节点，不仅是技术演进的必然选择，更是产业迈向智能化的重要标志。

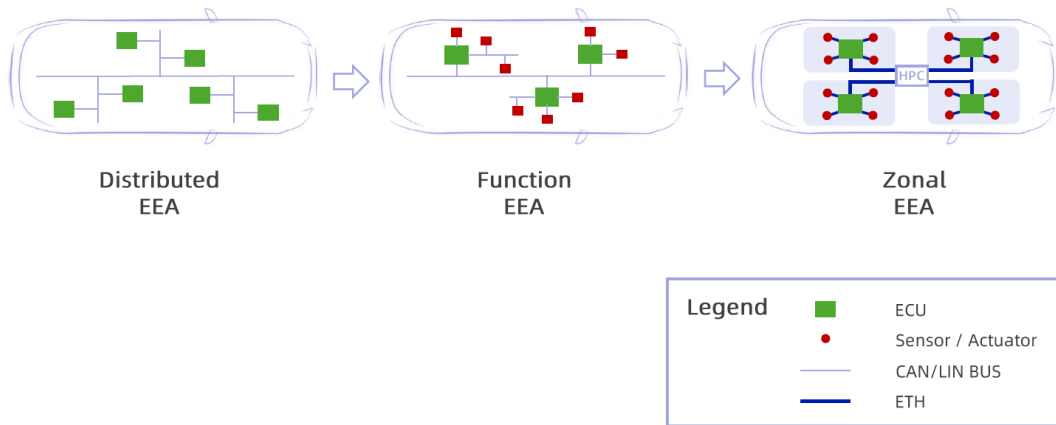


图1：汽车电子电气架构演变

经纬恒润作为中国领先的汽车电子供应商，凭借20余年技术积累，深刻洞察行业痛点，率先在国内推出量产级ZCU解决方案，迄今已交付超百万台，市场占有率位居国内首位，标志着国产ZCU技术从跟随到引领的跨越，为车企架构转型提供了坚实保障。

”

一、传统架构的桎梏：智能化转型的“不可能三角”

传统分布式电子电气架构在发展过程中，逐渐面临了“算力与成本”、“功能与安全”、“创新与惯性”交织的“不可能三角”困境，难以从容应对汽车行业日新月异的变革需求。

1.1 算力与成本的悖论

传统分布式ECU架构最显著的问题是形成了大量“信息孤岛”。在传统分布式电子电气架构下，一辆高端汽车往往搭载超过100个ECU，这些ECU各自为政，如同分散的“算力散兵”，导致算力资源被无效分割。单个ECU可能存在算力冗余，但整车算力却难以形成有效合力，整体效率极为低下。

这种低效的算力分配模式带来了巨大的成本压力：

线束复杂昂贵：线束作为汽车内部的“神经网络”，其重量占整车重量的5%，成本占比高达10%。这些繁杂的线束不仅增加了车辆重量，降低了燃油经济性和续航里程，还大幅提升了制造成本和组装复杂度。

开发周期漫长：传统架构下，新功能的开发往往需要新增ECU和线束，开发周期长达3-5年，使得汽车产品难以快速响应市场变化和技术迭代。

1.2 创新与惯性的对抗

创新受限：在传统汽车产业生态和架构中，Tier1供应商掌控着ECU功能开发的主导权。主机厂难以掌握底层技术，产品差异化创新受到制约，难以根据市场需求快速推出具有差异化竞争力的产品，软件定义汽车更是无从谈起。软件与硬件强耦合，扩展性差。

车型代际兼容性难题：燃油车与电动车平台共存的需求进一步加剧了架构的复杂性。不同平台、不同车型之间的硬件和软件差异巨大，为了实现兼容，需要投入大量资源进行适配和优化，增加了开发成本和周期。

OTA升级困难重重：传统的分布式架构下，OTA升级需要对大量分散的、来自不同供应商的ECU进行操作，升级成功率低、风险高、效率低下，导致车辆功能无法及时优化升级，用户体验难以持续改善。

1.3 功能与安全的博弈

随着智能驾驶、智能座舱等前沿技术的兴起，汽车对数据吞吐量的需求呈爆发式增长。功能安全新需求对整车的电子电气架构，以及配电的安全性提出了更高的要求，然而：

通信带宽瓶颈：传统CAN总线仅1Mbps的带宽，如同一根狭窄的“数据管道”，根本无法满足多传感器融合（摄像头、激光雷达、雷达等）对高数据吞吐量的需求，成为高级别智能功能发展的硬约束。

安全验证复杂度激增：数百个ECU独立运行的模式，让功能安全（ISO 26262）与网络安全（ISO/SAE 21434）的验证复杂度呈指数级上升。ISO 21434网络安全标准与ASIL等级要求对ZCU的实时性、故障诊断能力提出严苛标准，传统方案难以满足L3+自动驾驶需求。

二、架构革新：ZCU的必然性与核心价值

面对传统分布式架构的深刻困境，汽车产业迫切需要一场从底层架构到开发模式的全面革新。“中央计算+区域控制”架构被视为面向未来的解决方案，其中ZCU扮演着承上启下的关键角色，ZCU的核心价值主要体现在以下几个方面：

简化线束，降低成本和重量：ZCU作为区域内的集成枢纽，将大量本地线束收束，通过一根高速以太网主干线连接中央计算机，能显著减少线束长度、重量和复杂度。

实现硬件标准化与软件解耦：ZCU为“软件定义汽车”提供了物理基础。它实现了硬件接口的标准化，使得功能逻辑可由中央计算机的软件统一定义和下发，实现了功能的极致灵活性和OTA升级的便利性。

支撑集中式电源管理：ZCU可以集成智能配电功能，替代传统的保险丝盒和继电器盒，实现软件定义的电路保护、能耗监控和睡眠唤醒管理，提升能源效率。

促进供应链关系重构：ZCU减少了ECU数量，改变了主机厂与Tier1的传统合作模式，使主机厂能够更深入地掌握底层架构和软件定义权，强化自主创新能力。

表1：采用ZCU的区域控制架构核心优势——以Tesla为例

优化类别	传统分布式架构	区域控制架构（采用ZCU）
ECU数量	100+个	约15-25个（根据区域/功能域划分）
线束长度	超5km（高端车）	减少约3.5km+（参考Tesla Model 3/Y）
整车重量	/	减轻约25-30kg（Tesla案例，得益于线束与ECU精简）
材料成本	/	降低约20%-30%（Tesla案例，规模化与设计简化）
碳排放	/	减少约15%-20%（Tesla案例，来自轻量化与能效提升）

三、经纬恒润ZCU系统化解决方案:架构重构的实施路径

面对前述“不可能三角”的桎梏，架构革新势在必行。经纬恒润ZCU系统化解决方案，正是以平台化集成破解算力与成本悖论，以软硬解耦应对创新与惯性对抗，以高安全通信与配电架构满足功能与安全博弈的需求，为车企提供了一条清晰的架构重构实施路径。与传统按功能划分的控制单元不同，ZCU采用物理区域划分理念，将车辆划分为多个物理区域（前舱、左舱、右舱、后舱），每个区域部署一个ZCU，作为该区域内所有电子设备的集成控制枢纽。

3.1 设计哲学：平台化、集成化与软硬解耦

按产品形态与集成度划分 ZCU 的发展体现了集成度不断提高的过程，其形态大致可以分为三类：基础性ZCU、增强型ZCU和融合性ZCU，如下表所示：

表2：三种ZCU形态的功能特点

类型	特征	主要功能	技术挑战	代表厂商/方案
基础性ZCU	区域网关+基础IO协议转换 (CAN/LIN to Eth)	简单信号采集与驱动，基本配电	多协议兼容、接口管理	早期ZCU方案
增强型ZCU	+智能配电集成	在基础型上，集成eFuse（电子保险丝）、智能高边/低边开关，取代传统保险丝盒和继电器盒	智能功率器件的选型与散热、安全诊断	多数主流Tier1
融合型ZCU	+跨域功能集成	在增强型上，进一步集成部分底盘、动力、车身域的功能执行与信号处理	跨域功能安全隔离、实时性保障、复杂软件架构	特斯拉 Cybertruck

经纬恒润已实现规模化量产的ZCU产品属于增强型类别，其定位是“区域融合网关”和“智能配电中心”，其主要设计理念包括：

区域整合：替代传统分布式ECU架构，将特定物理区域内的多种控制功能集成到单一控制器中，显著减少ECU数量和线束复杂度。

接口统一：提供丰富的接口选项，支持多种网络协议和IO接口，实现区域内异构设备的统一接入和管理。

资源集中：通过集中化配电和通信架构，优化资源利用，降低系统总成本。

软硬解耦：采用硬件平台化、软件服务化设计理念，支持功能OTA升级和灵活部署。

配电管理：包含隔离器和整车所有的配电，合理的整个电网结构为自动驾驶功能安全提供保障。

通信革命：ZCU支持以太网通信，致力于推动从传统的“基于信号”的CAN/LIN通信向“基于服务”的以太网（SOME/IP）通信的范式转换。这是实现软硬件解耦、软件定义汽车的通信基石。

3.2 关键技术指标与平台化配置

经纬恒润ZCU系列产品已针对不同区域位置进行了优化设计，其主要技术参数如下表所示：

表3：经纬恒润ZCU系列产品基本技术参数

关键参数	
MCU能力	3核*300MHZ, 32位, 6M flash, ASILD
配电方式	F-ZCU包含全车配电（隔离器，一级配电，区域配电），L-ZCU/R-ZCU:区域配电
功能部署	车身相关功能（门锁，门窗，后视镜，座椅，尾门，尾翼，前舱盖，加油/充电口盖，内外灯，雨刮洗涤等），热管理相关功能（鼓风机，冷却风扇，空调风门电机，出风口电机等），区域网关功能
通信模块	CAN, LIN, ETH
驱动模块	高边，低边，桥驱
OTA	AB分区，支持OTA无感刷写
静态电流	<1.5mA@25°C
防护等级	FZCU:IP6K9 L ZCU/RZCU: IP5K2
功能安全	ASILB/D

3.3 核心能力体系：智能配电、区域控制与数据枢纽

经纬恒润ZCU集成了三大核心功能体系，实现了区域内电子电气系统的统一管理与控制，大幅提升了整车架构的集成度和效率。

3.3.1 智能能源管理：软件定义的精细配电

ZCU集成了传统车辆中的保险丝盒和继电器盒的配电功能，同时集成隔离器，满足L2以上级别自动驾驶的功能安全要求，实现了整车智能配电功能。当然，不同整车厂可根据自己的电器架构来灵活配置是否增加F-ZCU（隔离器+一级配电）。

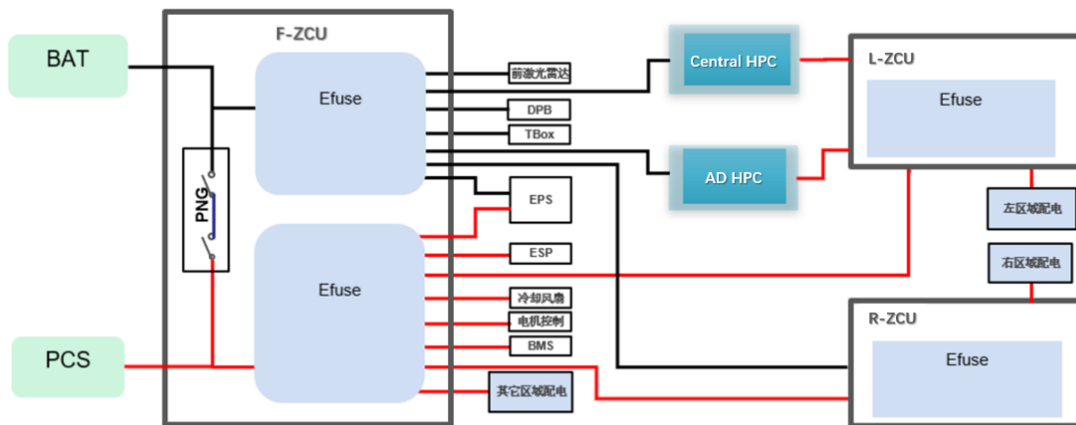


图2：经纬恒润ZCU的配电架构

包括：

两级配电管理：同时支持一级配电（从电池直接取电）和二级配电（通过其他控制器取电），优化整车的电力分配架构。

电子保险丝功能：替代全车所有传统机械保险丝，支持软件可配置的过流、过压、过温保护策略，保护参数可通过OTA动态调整。

智能功耗管理：实时监测各通道的负载电流，支持休眠唤醒管理，显著降低静态功耗，提升电动汽车续航里程。

故障诊断与记录：提供精确到每个输出通道的故障诊断能力，记录故障历史数据，便于售后维修和故障分析ZCU的智能配电，由半导体取代了传统熔断熔丝，以实现智能熔断。

这种方案具有诸多优点：

- 智能配电能够对整车所有用电设备进行集中式精细化管理，从而显著提升能源利用效率。这对于电动汽车而言尤为重要；如果电池电量不足，系统可以通过智能保险丝智能地暂时关闭某些非关键车辆功能；

- 智能配电可以实时检测到线路的电流，实现更为便捷的保护；故障去除后会自动恢复，

不需要人为的更换保险丝；并且可以将故障信息实时传递回中央系统。相比较传统的配电形式，售后的维护更便捷和高效；

- 智能配电可以通过更为精准的线束保护曲线、降低线径，从而达到节约线束成本、减轻重量目的。

3.3.2 区域IO整合：统一接入与高效执行

ZCU作为区域IO中心，实现了对输入输出信号的统一管理和控制，能够与各种传感器、执行器等设备无缝连接，确保信号的准确传输和高效处理。这种集中化的管理方式简化了系统复杂度，提高了整车的可靠性和安全性。

ZCU直接负责区域内各类传感器信号的采集和执行器的驱动控制：

多样化IO接口：提供GPIO、PWM、ADC等多种IO接口，支持直接连接传感器和执行器，减少中间转换环节。

表4：经纬恒润ZCU的资源汇总

	F-ZCU	L-ZCU	R-ZCU
eFuse配电	13	1	3
其它配电(I ² T)	36	33	32
HSD	25	46	36
HBD	8	56	68
5V-Power	3	2	2
Digital Input	2	34	28
Analog Input	27	26	36
PWM IN	3	17	17
CAN/CANFD	6	6	6
LIN	4	8	8
100BASE-T1	1	1	1

区域功能整合：根据不同区域位置，集成了差异化的控制功能，具体功能分配如下图所示：

表5：经纬恒润ZCU区域功能分配

ZCU	集成控制功能
F-ZCU (前)	前灯控制、雨刮系统、热管理系统、雷达接口、空调控制
L-ZCU (左)	左门控系统、座椅控制（主驾）、转向柱调节、电动踏步、内灯控制、出风口控制、充电口控制
R-ZCU (右)	右门控系统、座椅控制（副驾）、空调控制、内灯控制、出风口控制、PLG尾门控制、前舱盖控制

机电算法集成：内置多种车身舒适控制机电算法，如门窗防夹算法、座椅控制算法、灯光渐变调节算法等。

3.3.3 服务化通信：基于SOME/IP的数据中枢

ZCU作为区域数据枢纽，提供强大的网络协议转换和数据路由能力：

多协议支持：内置百兆/千兆以太网接口、CAN-FD控制器、LIN总线控制器，支持多种车载网络协议的无缝转换。

服务化通信：基于SOME/IP协议提供车控域的原子服务能力，支持服务发现和订阅发布机制。

实时数据交换：在区域设备与中央计算平台之间提供低延迟、高带宽的数据传输通道，满足实时控制需求。

网络管理：支持车辆网络状态管理，协调各节点的睡眠和唤醒时序，优化整车能耗。

3.4 架构优势与关键技术突破

经纬恒润ZCU采用先进的硬件和软件架构设计，在多个维度展现出显著的技术优势，为整车制造商带来实实在在的价值提升。

3.4.1 高集成度硬件与系统化工程设计

ZCU的硬件采用高度集成化设计，在单一块电路板上实现了多种功能组件的有机整合：

多核处理器架构：采用高性能多核MCU，预留充足算力资源（CPU和内存），支持客户部署自定义应用软件和第三方软件组件。

智能功率驱动：集成高边/低边开关芯片，支持高精度电流检测和诊断，最大驱动能力可达30A/通道。

硬件接口标准化：标准化的硬件接口和资源，与软件逻辑解耦。可以根据客户的架构，在不同区域间灵活配置功能，同时，也可以根据车型的配置情况灵活的裁剪ZCU的个数，做到成本的最优化。

紧凑型结构设计：针对不同安装位置优化机械结构设计，前区控制器采用IP6K9高防护等级，左右区控制器采用IP5K2防护等级，适应苛刻的车载环境。

ZCU系统的高集成度体现在：

功能集成：其ZCU产品高度集成信号采集、负载驱动、电子保险及区域网关等功能。

配电集成：集成整车一级、二级配电功能，这意味着它取代了传统的保险丝盒和继电器盒。

跨域集成：ZCU集成车身舒适、动力、空调热管理等功能的输入输出，表明了其向融合型ZCU发展的方向。

这种高度集成的硬件设计使整车线束长度减少30%以上，连接器数量减少40%以上，显著降低系统成本和重量。可以根据客户架构需求，适配不同车型及功能。

3.4.2 基于AUTOSAR的开放软件平台

ZCU软件平台采用AUTOSAR自适应平台架构，支持面向服务（SOA）的软件开发模式：

Classic AUTOSAR 基础软件：提供标准化的基础软件模块，包括通信栈、内存管理、系统服务和诊断功能。

自适应应用框架：支持基于POSIX标准的应用程序开发，提供更丰富的计算资源和软件生态。

原子服务封装：将传统ECU的信号接口封装为可重用的原子服务，支持服务组合和灵活部署。

无感OTA升级：支持AB分区双备份机制，实现无感刷写和故障回滚，确保升级过程的安全性和可靠性。

软件架构的开放性和可扩展性使OEM能够快速部署自定义功能，具备快速适配不同的架构和软件部署方案的能力，缩短开发周期，支持"软件定义汽车"的持续演进。

经纬恒润的ZCU支持如下两种软件架构：

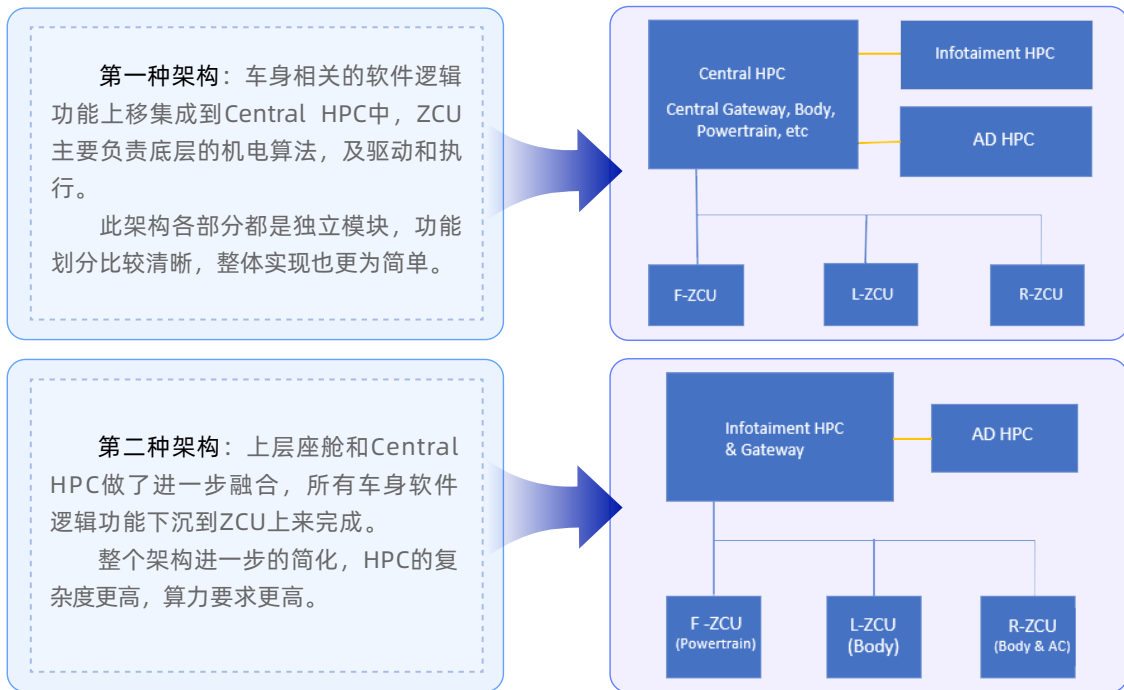


图3：ZCU常见的两种软件架构

3.4.3 全方位安全体系：功能安全与网络安全的融合

ZCU从功能安全和网络安全两个维度构建了完善的安全保障体系：

功能安全：系统架构遵循ISO 26262标准，支持ASIL B/D安全等级，提供故障检测、隔离和处理机制。

信息安全：集成硬件安全模块（HSM），支持安全启动（Security Boot）、安全通信（SecOC）、安全诊断和密钥管理。

故障容错：采用冗余设计和故障隔离策略，确保单一故障不会影响整体系统功能。

预期功能安全（SOTIF）：通过传感器融合和算法优化，减少功能不足和误操作风险。

3.4.4 关键挑战与突破：跨域集成、热管理及EMC设计

经纬恒润已实现规模化量产的ZCU产品属于增强型类别，其高集成度和技术难点主要体现在：



图4：关键挑战与突破

四、实践验证：规模化量产应用与市场引领

经纬恒润ZCU自推出以来，已在国内主流车企的多款热门车型上实现量产应用，取得了显著的市场成绩和用户认可。

4.1 深度协同：与多元客户的合作范式创新

经纬恒润与客户构建了超越传统“供应-采购”关系的深度协同、合作共赢的伙伴模式。对于ZCU产品，经纬恒润为客户提供多样化的合作模式：

与造车新势力：前瞻共研，快速迭代的深度协同研发。经纬恒润会早期介入客户的电子电气架构定义，提供ZCU硬件平台、基础软件及开发工具链（如INTEWORK，ModelBase，OrienLink等自研工具），支持客户进行上层应用软件的开发与快速迭代。这种模式紧密配合了新势力车型高速上市和持续OTA升级的需求。

与本土传统车企：经纬恒润更多提供平台化的ZCU解决方案，支持客户从传统的分布式控制器（BCM）向区域架构平滑过渡。这不仅帮助车企减少线束、降低成本，还通过软硬件解耦为未来功能扩展和OTA升级预留空间，助力传统车企稳步迈向智能化。

与国际品牌OEM及Tier1：技术赋能与联合开拓。经纬恒润的角色更侧重于技术赋能者和联合开发者。可以为客户提供符合国际标准的车规级ZCU产品和技术方案，满足海外市场严格的法规和性能要求，帮助客户将产品推向全球市场。

特殊场景定制化：定制化解决方案在商用车和特定场景（如港口集装箱运输、无人配送），合作模式更具定制化。经纬恒润会与客户深度合作，开发适应特定运营场景和功能需求的ZCU及相关域控产品，并整合其高级别智能驾驶整体解决方案，共同推动智慧物流等特定场景的商业化落地。

4.2 典型案例：赋能主流车企的架构转型

某国内头部新势力OEM客户：经纬恒润ZCU产品为某头部新势力OEM的两个爆款车型提供配套量产，实现了区域控制架构在新兴造车企业的首次大规模应用。ZCU实现了前舱、左舱、右舱的全区域覆盖，集成了灯光控制、门控、座椅控制、配电管理等多种功能。通过采用ZCU架构，客户车型成功减少线束长度约35%，降低生产成本约20%，并支持了丰富的个性化场景功能。

某国内自主品牌头部OEM客户：经纬恒润ZCU产品为国内自主品牌头部OEM的超过10款车型提供配套量产。经纬恒润ZCU与多合一控制器(XCU)协同工作，实现了车身区域控制与动力控制的深度集成。ZCU在该项目中主要负责车身舒适功能和配电管理，支持了无感OTA升级和个性化驾驶场景配置功能，提升了用户体验。

某Global OEM客户：经纬恒润还获得了某Global OEM客户的多个车型项目定点，进一步扩大了ZCU产品的市场应用范围。该项目中，ZCU与中央计算平台协同工作，实现了真正意义上的"中央计算+区域控制"架构。

4.3 市场引领：百万台级交付与行业标杆地位

截至2025年7月，经纬恒润ZCU累计产量突破100万台，本土市场占有率位居第一，创造了行业新品量产速度的新纪录。



图5: 高工智能2025年1-5月中国市场乘用车前装ZCU供应商市场份额

经纬恒润ZCU的量产历程如下:

2023年: 正式推出首款ZCU产品, 完成研发、试验和小批量生产;

2024年8月: 开始大规模量产交付;

2025年7月: 实现第100万台产品下线, 不到一年时间达到百万产量里程碑;

2025年12月: 实现第200万台产品下线, 第二个百万件用时仅4.5个月。



图6: 经纬恒润ZCU第100万件下线



图7：经纬恒润ZCU第200万件下线

百万量产不仅是商业上的成功，更证明了区域控制架构在汽车行业的接受度和成熟度，为整个行业向新一代电子电气架构转型提供了信心和动力。

五、迈向未来：ZCU技术的演进路径与行业协同

随着汽车电子电气架构向“中央计算+区域控制”的持续演进，ZCU的战略地位将愈发关键。其未来发展将呈现标准化与平台化的行业趋势，并沿着深度集成、软件定义与边缘智能三大技术方向持续深化，从而更高效地支撑下一代智能汽车的实现。

5.1 势在必行：标准化、平台化与产业生态共建

随着区域架构成为主流，行业将逐步形成统一的硬件接口、通信协议与服务接口标准，以降低开发复杂度与成本。经纬恒润积极参与相关标准制定，推动产业协同发展。同时，ZCU硬件自身也将向系列化、平台化方向演进，通过提供不同性能等级与接口配置的产品版本，覆盖从经济型到豪华型等各类车型的需求，最大化研发资源的复用效率，助力主机厂快速、灵活地打造差异化车型。经纬恒润不仅积极参与行业标准制定，更通过百万台级量产实践，为ZCU的接口规范、通信协议等提供了事实上的参考标准，助力产业生态高效共建。

5.2 技术前瞻：驱动架构深度演进的三大路径

ZCU的技术创新是架构演进的核心驱动力。其未来图景将由以下几项关键技术路径共同塑造。

5.2.1 基础革新：通信、能源与控制的深度融合

ZCU将推动更深度的跨域功能融合，实现这一目标依赖于底层基础的革新：