

2022 MathWorks 中国汽车年会

冗余智能制动系统研发创新及虚拟仿真技术应用

张杰, 中汽创智科技有限公司



CAIC 中汽创智
CHINA AUTOMOTIVE
INNOVATION CORPORATION



目录

01

智能底盘制动新挑战及技术趋势

02

CAIC冗余智能制动系统研发创新

03

基于模型和虚拟车辆的软件开发

■ 车辆底盘系统的发展

- 底盘是车辆运动学与动力学性能的保障；经历着机械液压系统，电子电控系统、**线控化+智能化**的发展；
- **智能底盘的定义**：为自动驾驶、座舱、动力系统提供**承载平台**，具备**认知、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

智能底盘系统 (CC-智能)

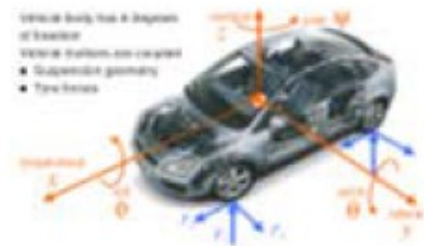
根据人+车+路+场景及上层HAD指令，自主判断并执行,实现智能车辆行驶任务



- ◆ 操控去人化
- ◆ 车辆成为智能移动终端
- ◆ 相当于机器人的小脑+四肢

底盘电控系统 (EE-电子)

全方位提高行驶性能，弥补或减轻驾驶员手脚操作能力不足与负担



- ◆ 提升综合性能
- ◆ 操控与平顺性
- ◆ 动力性与经济性
- ◆ 多目标优化

传统底盘 (MM-机械)

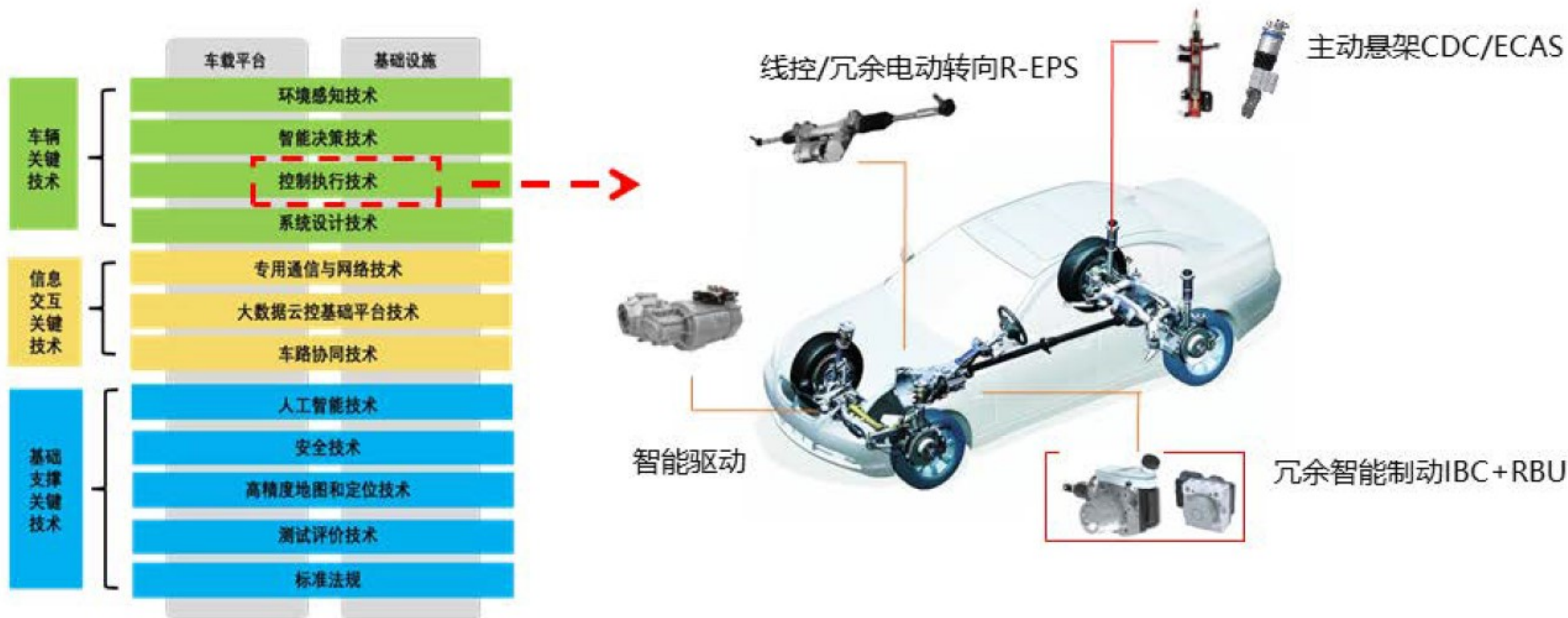
根据驾驶员指令输入，直接控制轮胎六分力；间接改变车辆三向平动与三向转动的自由度。



- ◆ 基于机械液压的执行机构；
- ◆ 被动实施制动、转向、减振等

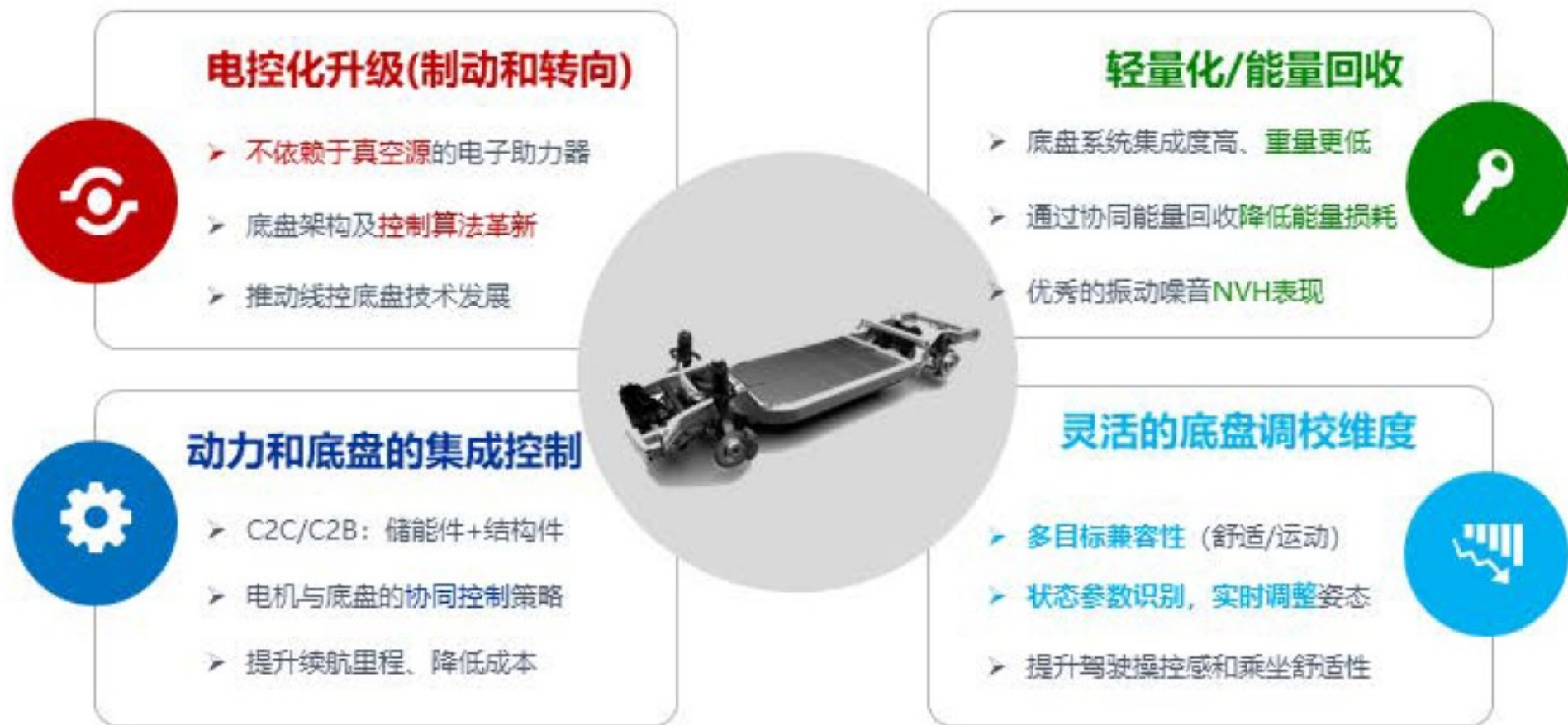
■ 面向智能化的底盘系统新挑战

- 智能车辆对底盘执行的需求：不依赖人力的主动加速/制动/转向，并满足FuSa、SOTIF、信息安全；
- 底盘系统面临的挑战：**线控主动精准快速执行、适应多种域控架构、高效协同控制、失效安全运行。**

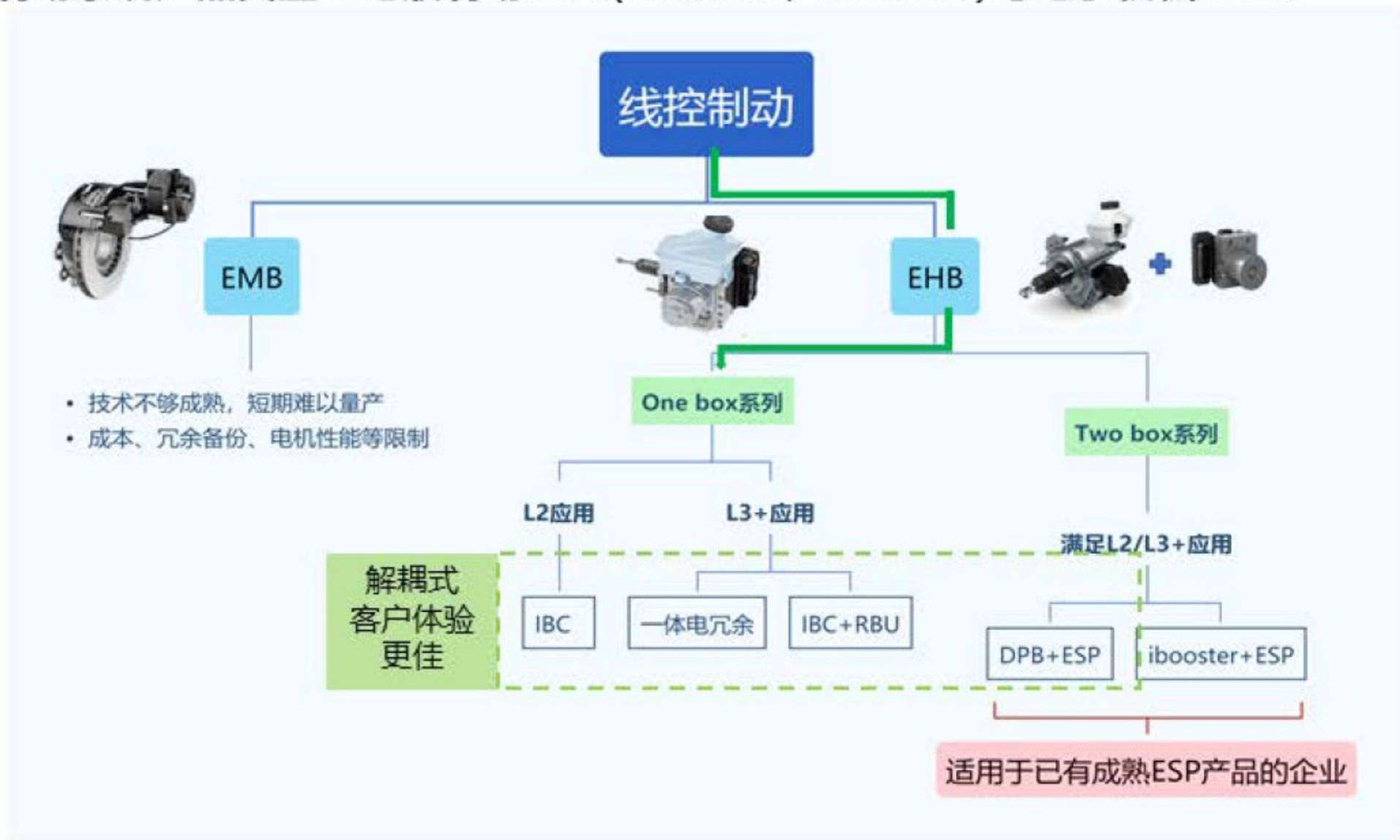


■ 面向电动化的底盘系统新挑战

- 新能源车辆对底盘的新需求：不依赖于发动机真空源的助力、提高能量回收效率、提升多场景综合性能；
- 底盘系统面临的新挑战：**节能低碳、电池与底盘一体集成、动力与底盘协同控制、分布式轮端控制执行。**



■ 线控制动系统产品类型：电液制动EHB(Twobox、Onebox)与电子机械EMB





■ CAIC智能底盘开发整体计划

- 研发具有自主知识产权、面向高级别自动驾驶应用的**智能线控底盘系统**，掌握关键核心技术，解决行业卡脖子难题，充分参与市场竞争，打造自主可控的国内产业链和世界一流的产品竞争力。
- **分三个阶段**：第一阶段-实现冗余智能制动IBC+RBU量产应用，第二阶段-实施冗余转向EPS及与制动协同控制研发；第三阶段-融合集成制动、冗余转向、主动悬架，形成智能底盘域控制系统。



SOP: 2023 Q3

第一阶段
集成智能制动系统IBC、
冗余智能制动IBC+RBU量产



SOP: 2024 Q1

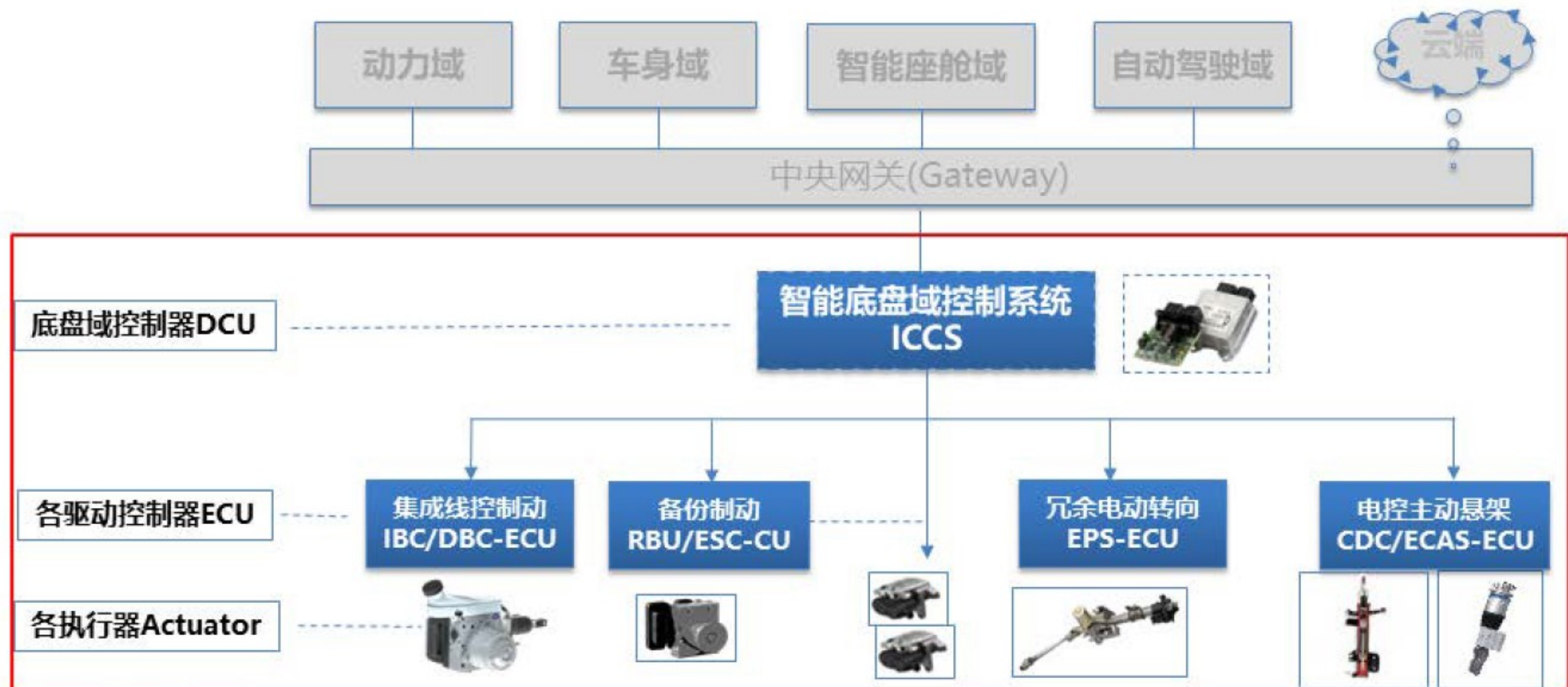
第二阶段
冗余智能转向DP/R-EPS
制动与转向协同控制



SOP: 2024.Q4

第三阶段
主动悬架系统CDC/ECAS、
底盘动力域控制系统iCCS量产

- CAIC智能底盘域控系统：软硬件分离、软件分层、线控单元模块化及异构冗余、集中计算与协同控制。



法规解读-SAE J3016_201806 《标准道路机动车驾驶自动化系统分类与定义》

| SAE name | SAE narrative definition | Execution of steering and acceleration/deceleration | Monitoring of driving environment | Follow-up performance of dynamic driving task | System capability (driving modes) | SAE J3016 | SAE J3016 |
|---|---|---|-----------------------------------|---|-----------------------------------|---------------------|-----------|
| Human driver monitors the driving environment | | | | | | | |
| 0 | No Automation: the full-line performance by the human driver of all aspects of the dynamic driving task, even when enhanced by warning or intervention systems | Human driver | Human driver | Human driver | None | Operator only | 0 |
| 1 | Driver Assistance: the driving mode-specific assistance by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver performs all remaining aspects of the dynamic driving task | Human driver and system | Human driver | Human driver | Some driving modes | Assisted | 1 |
| 2 | Partial Automation: the driving mode-specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver performs all remaining aspects of the dynamic driving task | System | Human driver | Human driver | Some driving modes | Partially automated | 2 |
| Automated driving system ("system") monitors the driving environment | | | | | | | |
| 3 | Conditional Automation: the driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the human driver will respond appropriately to a request to intervene | System | System | Human driver | Some driving modes | Highly automated | 3 |
| 4 | High Automation: the driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task, even if a human driver does not respond appropriately to a request to intervene | System | System | System | Some driving modes | Fully automated | 4a |
| 5 | Full Automation: the full-line performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task under all roadway and environmental conditions that can be managed by a human driver | System | System | System | All driving modes | | |

- L3需要制动系统在主制动系统失效的情况下，能提供至少几秒的制动能力；
- L4/L5对制动系统的要求一致，但制动系统发生单点失效后，还应具备支持车辆自动完成最小风险状态（车辆靠边停车，并发出救援信号）的能力；
- 制动系统具有监控、诊断、报警功能；
- L4的制动系统需要两个独立的电源分别给IBC和RBU供电；
- L4级ADAS的制动系统应具有两个独立控制器IBC和RBU；

法规解读-GB/T 《汽车驾驶自动化分级》

表 A.1 驾驶自动化等级与划分要素的关系

| 分级 | 名称 | 车辆转向和换档/加速控制 | 目标和事件检测与响应 | 动态驾驶任务管理 | 设计运行条件 |
|----|---------|--------------|------------|---------------------|--------|
| 0级 | 应急辅助 | 驾驶员 | 驾驶员及系统 | 驾驶员 | 有限制 |
| 1级 | 部分驾驶辅助 | 驾驶员和系统 | 驾驶员及系统 | 驾驶员 | 有限制 |
| 2级 | 组合驾驶辅助 | 系统 | 驾驶员及系统 | 驾驶员 | 有限制 |
| 3级 | 有条件自动驾驶 | 系统 | 系统 | 动态驾驶任务管理用户（接管员或驾驶员） | 有限制 |
| 4级 | 高度自动驾驶 | 系统 | 系统 | 系统 | 有限制 |
| 5级 | 完全自动驾驶 | 系统 | 系统 | 系统 | 无限制* |

* 特殊商业和法规因素等限制。

- L3级及以上要求制动系统冗余一个可主动制动装置；
- L4级以上自动驾驶，冗余模块可以让车辆原地停车或移到路肩或移到维修站同时报警；
- 另外制动系统还因具有监控、诊断、报警功能；
- L5级对制动系统的要求与4级一样。

■ 三家主机厂对冗余制动模块的需求示例：

OEM1

项目：搭载冗余制动系统

- 需满足L3及L4自动驾驶需求
- 最大建压能力20MPa
- 冗余模块可以独立完成**车辆纵向稳定控制**，保证车辆纵向稳定和可转向性
- 平坦干燥沥青路面上建压至 6.4m/s^2 减速度时间小于**0.5s**

OEM2

项目：新平台车型

- 冗余制动系统建压能力需达到 **$\geq 0.5\text{g}$ 减速度**
- **L3-/FAPA**: 可通过驻车制动备份激活**EPB进行紧急制动**
- **L3+**: 冗余制动系统实现双轴四通道的制动控制，**实现纵向及横向的车辆稳定控制**

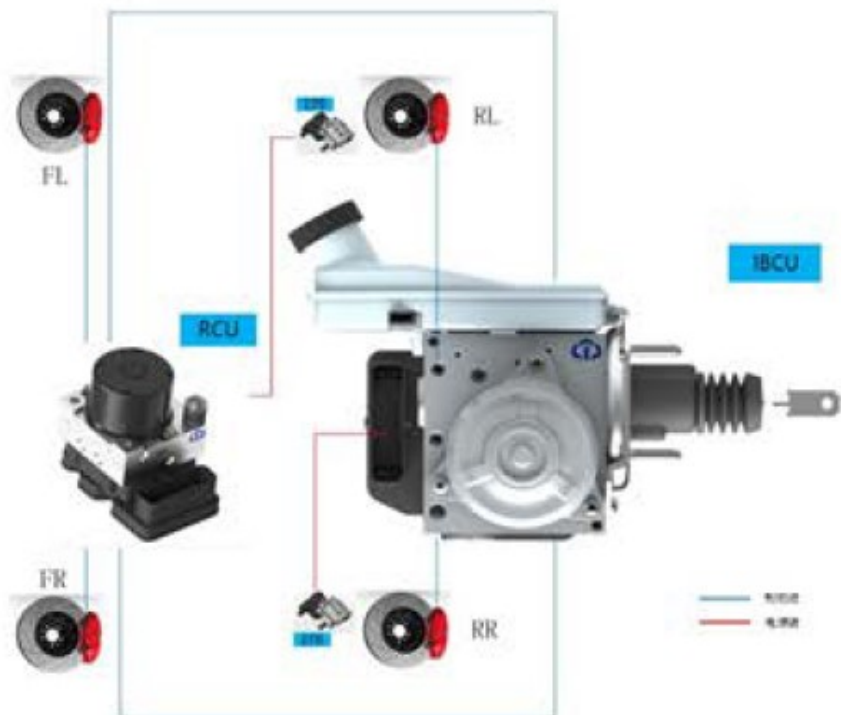
OEM3

项目：车型升级

- **Lv3+**: 需要双电源，双通信总线，主执行器失效后，需要**冗余的ABS功能**，需要至少提供冗余前轴轮速信号；需要提供车速信号；
- **APA7.0**: 需要双电源、双通信总线，主执行器失效后需要**行车冗余制动**，不需要冗余ABS,无冗余轮速要求；

■ 满足高等级自动驾驶需求的冗余智能制动系统架构设计

- 三级冗余架构设计(IBC主模块+RCU冗余模块+双控EPB),满足L3以上自动驾驶所需求Fail-operational功能;
- 主模块最大建压能力 $\geq 200\text{bar}$, 冗余模块实现在 0.5s 建压减速度 $\geq 6.4\text{m/s}^2$, 并具有纵向稳定控制功能, 主制动系统的失效判断时间 ≤ 100 毫秒, 主冗余系统切换 ≤ 20 毫秒, 功能安全达到ASILD。



CAIC三级冗余架构: IBCU主模块+RCU冗余模块+双控EPB驻车

| 工作模式 | 实现功能 |
|--|---|
| 正常工作模式 (IBC主动制动) | 具备基础助力BBF、EBD、ABS、VDC、RBS、EPB、VAF等功能。IBC系统实现4轮的最大200bar制动压力、实车产生大于 1g 的制动强度。 |
| 第一级冗余: Fail-operation (RCU+EPB主动制动) | 当IBC失效时, 制动系统可通过RBU和EPB提供行车和驻车制动的一级冗余。产生大于 0.8g 的制动强度。 |
| 第二级冗余: Fail-operation (IBC机械备份+EPB) | 当IBC和RCU助力制动同时失效, 通过四个轮缸IBC机械备份以及两后轮EPB产生叠加制动力, 大于 0.64g 制动强度。 |
| 第三级冗余: Fail-Safe (IBC机械备份制动) | IBC助力失效、RBU失效且EPB失效时, 4个轮缸通过IBC机械备份产生最少50bar的制动压力, 大于 0.5g 减速度。 |

■ 搭建软件算法全栈开发测试流程

- 开发与测试验证建立双向追踪，形成正向开发全栈工具链环境，提升软件开发的可靠性。
- 以ASPICE CL3为基础，融入ISO26262功能安全开发流程，形成软件开发V-Model的完全覆盖，提升软件质量。
- 实现纵向制动和主动安全为核心30多项应用功能、多重Failsafe降级处理，确保系统鲁棒性。



| 软件算法全栈测试 | | | |
|------------|---|--------|------------|
| 软件测试科目 | 目的用途 | 开发阶段 | 工具链 |
| 单元测试 | 单元测试的测试对象是实现具体功能的软件算法组件单元。 | 模型开发验证 | MATLAB |
| 集成测试 | 集成测试的测试对象是单元间的组合，关注不同单元模块之间接口和配合。 | 模型开发验证 | MATLAB |
| 系统测试 | 针对项目级别的软件系统进行的测试，主要目的是依据系统需求分析说明书，验证该软件系统是否满足系统的软件设计要求。 | 模型开发验证 | MIL/RCP |
| 静态测试 | 确保代码算法的逻辑正确性、清晰性、规范性、一致性、算法高效性。 | 代码开发测试 | Ploypspace |
| 动态测试 | 开发测试用例，执行待测程序来跟踪、比较实际结果与预期结果是否一致。 | 代码开发测试 | VectorCast |
| 软件集成测试 | 应用软件和底层软件集成后由软件集成部门对集成软件进行的初步测试。 | 系统测试 | 台架/HIL |
| 功能测试 | 满足系统功能定义要求的测试验证。 | 系统测试 | 台架/HIL |
| 性能测试 | 指功能实现的具体技术指标是否满足要求。 | 系统测试 | 台架/HIL |
| 通讯测试 | 节点设置进行测试，用以确定节点工作正确并不会干扰总线的正常通讯。 | 系统测试 | 台架/HIL/实车 |
| 诊断测试 | 用于保证电控单元诊断功能的准确实现以便满足车辆生产及售后服务要求。 | 系统测试 | 台架/HIL/实车 |
| failsafe验证 | 失效安全验证通常需要模拟或复制与相应的失效，验证失效安全设计的有效性。 | 系统测试 | 台架/HIL/实车 |
| 鲁棒性测试 | 测试软件系统在异常情况下能否正常运行的能力。 | 系统测试 | 台架/HIL/实车 |

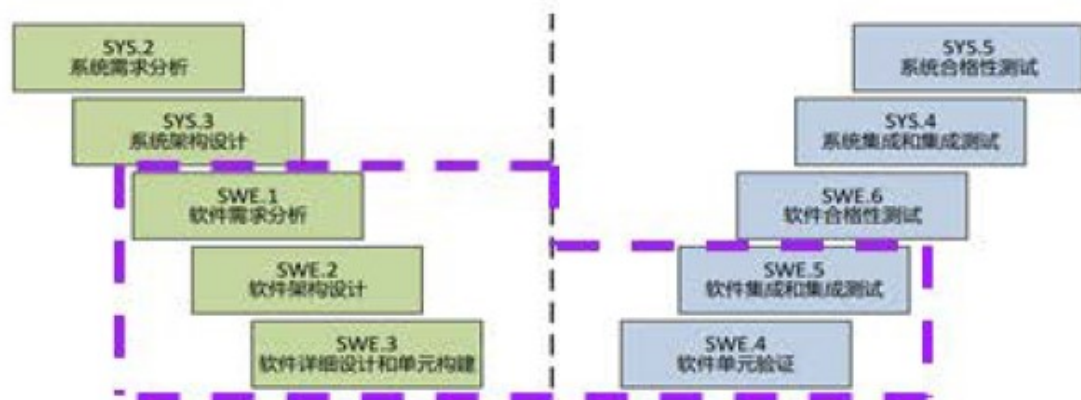
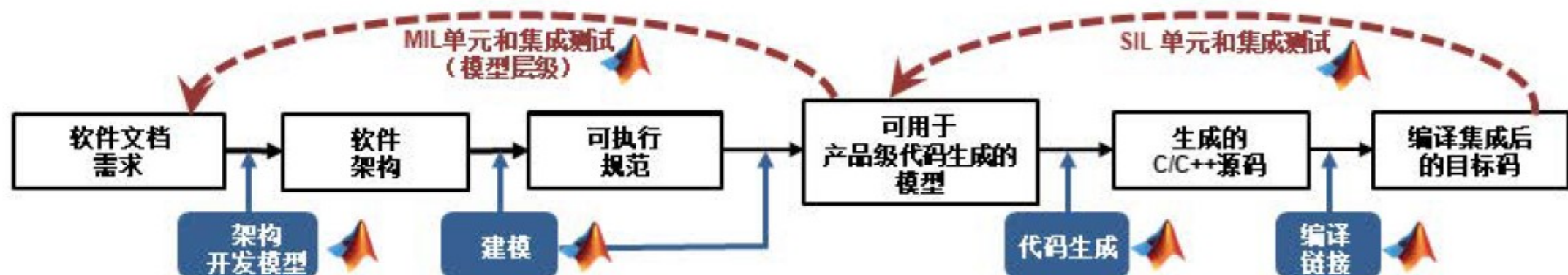
■ 基于模型设计的软件开发VS手写代码

- 高效率软件迭代：便于开发和测试人员理解和维护算法逻辑，修改优化效率高
- 降低错误发生率：避免由于编写错误导致代码BUG，同时在自动生成代码时检测此类错误。
- 保障软件高质量：由结果质量管控变为软件设计开发过程质量管控。
- 缩短开发周期：基于模型的开发方式，在前期可进行阶段性MIL级验证。

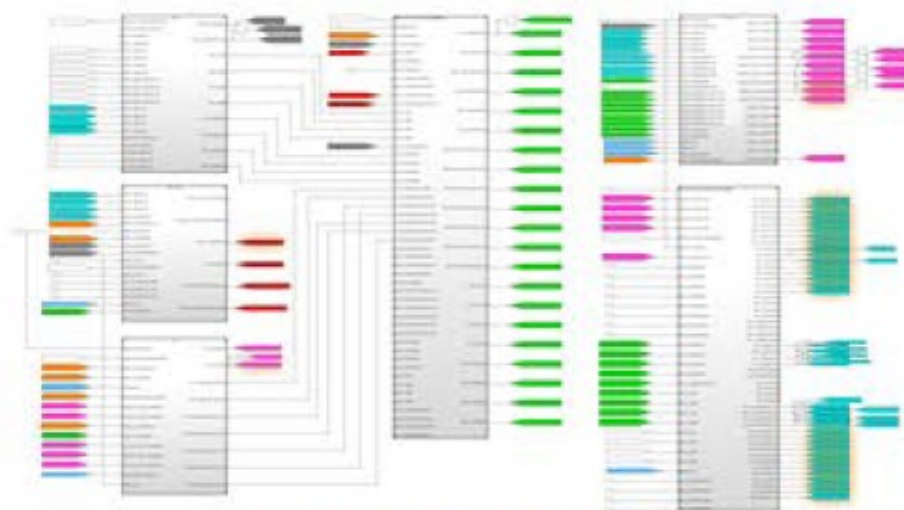


■ IBC基于模型的设计开发流程

- 在IBC开发流程中应用MATLAB包括但不限于：控制算法模型搭建、C代码生成、MIL/SIL单元和集成测试



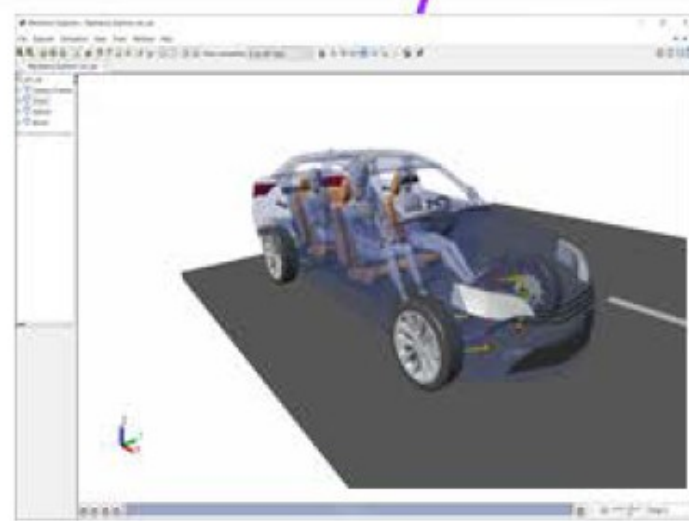
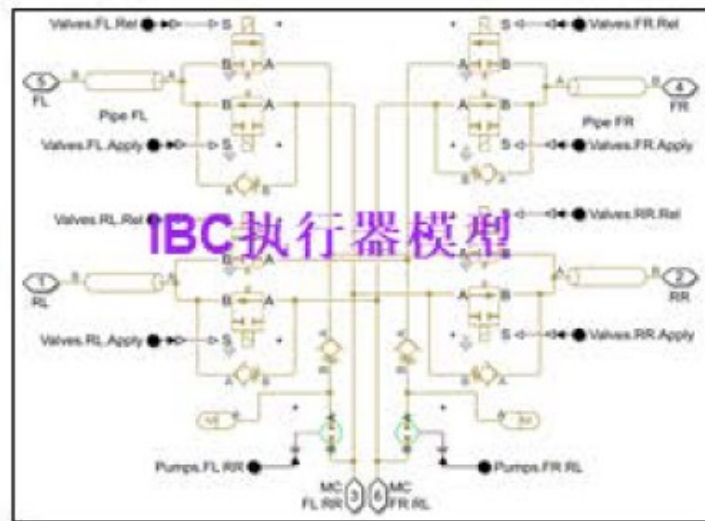
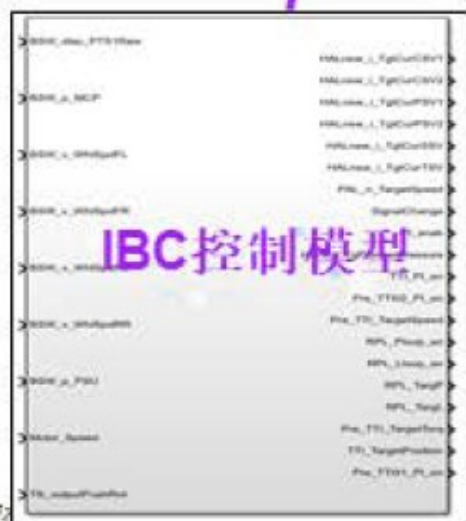
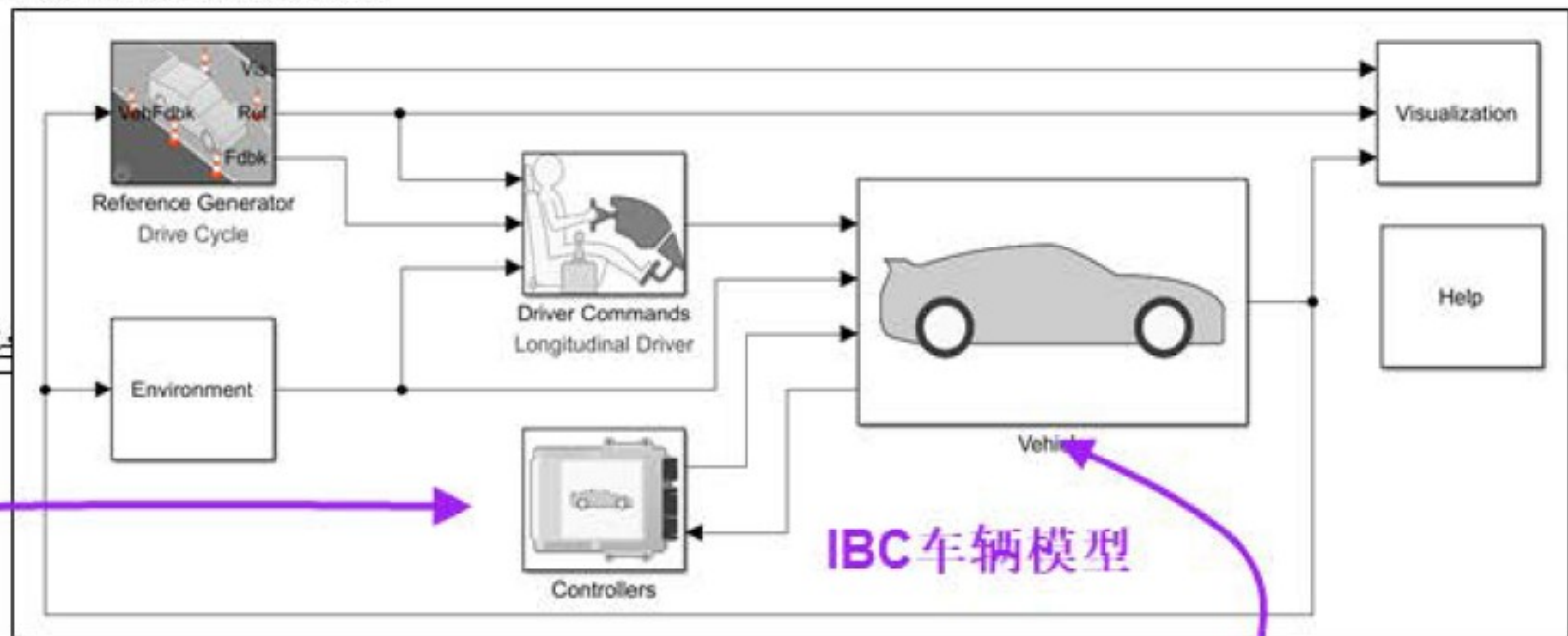
ASPICE规范流程参考



IBC算法控制模型示例

■ IBC基于MATLAB虚拟车辆模型开发应用规划

- 通过MATLAB建立平台化的模型：
 - IBC控制算法模型
 - IBC机电液执行器物理模型
 - IBC车辆模型
- 有利于加快建模准确性、模型平台迭代移植、缩短开发调试周期。



■ 基于云端虚拟车辆模型仿真应用的规划

- Mathworks新发布的Virtual Vehicle Composer，易于构建定制化的虚拟车辆；
- 可以应用于电脑桌面开展研发，也可以轻松地将工作部署到云端进行大规模研发。



开发

使用在线工具



连接到数据和仿真

使用弹性资源



集成和测试

使用基于云的CI



部署

软件和仿真

简化软件工具的部署

访问更多数据和计算资源

使用最新的工具和计算资源

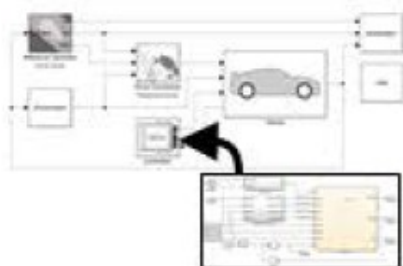
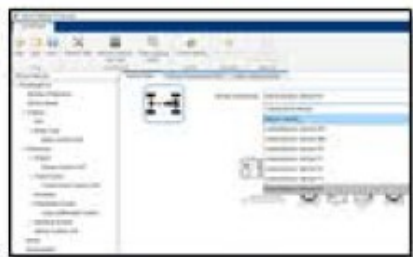
扩展部署到新平台

让工程师可以随时随地访问他们的工具

通过无限的真实场景使设计更加稳健

让整个工程团队参与早期集成

通过实时更新和数字孪生创建新业务



2022 MathWorks 中国汽车年会

Thank you



CAIC 中汽创智
CHINA AUTOMOTIVE
INNOVATION CORPORATION