CES 前沿趋势观察：AI 硬件、智能汽车、新能源与物联网

作者：**SVSAC 硅谷战略顾问委员会**

核心判断

CES 的价值不只在于发现热门产品，更在于识别哪些技术正在形成可持续的制造和应用需求。对企业而言，值得优先推进的是：将展会信号按产品成熟度、客户场景与供应链环节分层，区分概念展示、试点需求和可讨论的采购机会。本篇结合公开资料与分析，讨论企业可以如何识别机会、组织能力并安排下一步投入。

关键词：CES；AI 硬件；智能汽车；新能源；物联网；河北制造；证据分级

SVSAC - sv-sac.org

CES 的价值不只在于发现热门产品，更在于识别哪些技术正在形成可持续的制造和应用需求。

我们的建议是：将展会信号按产品成熟度、客户场景与供应链环节分层，区分概念展示、试点需求和可讨论的采购机会。企业可以先据此梳理自己的产品、客户、能力与投入边界，把讨论推进到可以分工、可以验证的具体任务。

对管理层来说，这个议题值得放进经营议程。围绕“先做什么、凭什么做、做到哪一步再扩大投入”形成共识，往往比同时铺开多个方向更有推进价值。下文保留相关资料、比较和推演，供企业判断自身条件与行动顺序。

一、核心问题与观察边界

讨论前沿科技的区域产业意义，首先需要解决观察对象与解释对象之间的距离。展会现场能够看到产品形态、企业叙事、合作公告和部分功能演示，研究者最终希望解释的却往往是供应链需求、制造能力配置与区域产业升级。两者之间存在一系列需要证据连接的环节：演示功能是否解决稳定需求，产品是否跨过工程验证，客户是否愿意承担价格，供应商是否能够进入采购体系，以及相关交易是否具备合规可行性。如果省略这些环节，研究就可能把传播热度转换成市场容量，把技术上的可实现转换成商业上的可进入。本篇将这段转换链本身作为研究对象，而不预先假定每一项热门技术都会形成河北企业的订单。

本篇的问题分为三个层次。第一，CES 2026 的公开资料能够支持哪些已经发生的技术发布或展示事实？第二，这些事实在何种条件下才支持关于工程任务和制造需求的推断？第三，对于缺少终端品牌、软件平台或海外服务网络的制造企业，哪些能力可以通过内部改造获得，哪些需要合作，哪些因为证据不足暂时不应进入投资决策？三个问题对应事实辨识、机制分析与行动条件，不能由同一类资料一次回答。企业公告可以说明企业发布了什么，却不能单独证明其技术优于所有替代方案；展会审计能够说明参与构成，却不能说明某个省份可获得多少采购订单。

根据 CTA 发布的 CES 2026 参会审计摘要，核验参会人数为 148392 人，其中行业参会者 86679 人、展商人员 54676 人、媒体 7037 人；国际参会者为 55841 人。[1] 这些分项的价值在于提示分母的差异。将总参会人数写成“专业买家人数”，会把展商自己的人员和媒体一并当成采购方；将国际参会者全部解释为美国市场渠道，则又混淆了活动举办地点与参与者市场归属。本篇只使用该统计描述

SVSAC | sv-sac.org

观察场域及参与构成，不据此推算成交额、潜在客户数或河北企业可获得的市场份额。

事件时间与资料时间也必须分开。本篇的主要事件窗口是 2026 年 1 月的 CES，而检索截止日是 2026 年 10 月 23 日。会后技术规范更新可以用于评估技术方向的延续和变化，但不能倒填为展会当时已经具备的功能。当前网页还可能修改产品名称、链接目的地及展商年份。本篇据此保留公告原始发布日期，并记录页面显示的修订说明。本轮 2026 年 10 月 28 日对所列原始资料的复核不等于重建 10 月 23 日全部动态网页快照；有关产品和事件仍按各资料自身日期解释。对于缺少历史版本的资料，不把当前页面全部内容自动视作 1 月时点的信息集。这种时间控制直接影响研究结论：某功能在 3 月标准更新中出现，只能说明会后演进，不能反向证明 1 月展品已经通过相同规范的认证。

二、资料选择、主张分级与分析方法

本篇采用目的性资料选择，而非对 CES 全部产品进行普查，也不自称完成系统性文献综述。纳入资料需要至少满足一项条件：直接记录事件、公开技术机制、提供供应链约束背景，或者说明市场准入边界。优先来源依次为活动主办方原始资料、企业原始产品与合作公告、标准组织和政府技术资料、研究论文及公开产业数据。这里的优先并非真实性的机械排序。企业最适合证明自己做过何种公告，却未必适合独立证明性能；政府规则最适合解释适用义务，却不能证明产品满足客户需求。来源的权威性必须与具体问题匹配。

资料整理的基本单位是可核验主张，而非网页或品牌。每个主张记录主体、动作、对象、时间、支持材料和限制。例如，“企业发布一种由多个芯片组成的平台”与“该平台降低实际客户的总成本”是两个不同主张，前者可以由发布公告支持，后者需要明确工作负载、比较基准、成本口径和实际部署数据。把它们写在同一句中，容易使已经核实的发布事件替尚未核实的经济效果提供不当背书。本篇在引用映射中将事实、企业自述、技术研究结论、作者推断和建议分开，允许读者追踪每段论证中最薄弱的连接。

本篇不使用一个综合分数将所有技术简单排序。不同机会受到的约束具有不对称性：可靠性未通过时，低成本不能补偿；交易本身不可行时，市场规模再大也不能形成可执行项目；客户需求不成立时，技术成熟不保证利润。为避免加权平均掩盖这种性质，本篇采用顺序门槛：先确认问题与客户，再确认技术路径与验证方法，再检查可制造性、维护责任及准入条件，最后才讨论成本与扩张。该

SVSAC | sv-sac.org

顺序是分析建议，不是由样本估计出的统计规律。后续若有真实项目数据，可以检验这种门槛结构是否降低错误立项率；本篇尚无相关检验数据。

产业机会被操作化为一个可填写的工程对象：明确终端功能、客户类型、接口、失效后果、测试证据与交付责任。例如，面向联网设备的外壳供应不是抽象的“物联网机会”，而是需要回答散热、天线布局、装配公差、防护及维修如何相互影响。为车载系统供应连接部件，也不能只谈“智能汽车增长”，而应确认电气环境、安装位置、预期寿命、可追溯性和买方验收方式。本篇列出这些字段旨在使推断具备可证伪性：如果企业无法提供相关能力证据，机会就应退回待研究状态，而不是用区域产业基础的笼统表述替代验证。

三、AI 硬件：从单项指标转向系统约束

NVIDIA 在 2026 年 1 月 5 日发布 Rubin 平台，原始公告将 Vera CPU、Rubin GPU、NVLink 6 交换芯片、ConnectX-9 SuperNIC、BlueField-4 DPU 及 Spectrum-6 以太网交换芯片列入协同设计的六类芯片。[2] 对本篇最有意义的事实是平台定义覆盖计算、互连与数据处理，而不是某项性能倍数。公告中的成本下降和训练效率提升属于企业给定比较条件下的声明，本篇不将其当作独立测试结果，也不据此计算河北供应商收入。可以进一步研究的推断是：平台设计需要处理跨部件约束，因此制造供应商的价值可能更多体现在接口稳定性和系统适配证据，而非单个零件的名义规格。

理解系统约束需要先明确使用场景。同样被称为 AI 硬件的产品，可能承担训练、云端推理、边缘感知或本地控制任务。训练平台关注的吞吐量与集群组织，不能原样转换成低功耗传感节点的采购要求；本地控制重视的时延与异常处置，也不等同于对话终端的内容生成体验。对制造企业而言，技术名称只能作为初步检索词，需求文档才是工程工作的起点。拟议项目至少应说明输入数据、输出动作、响应时间、供电条件、运行环境及失效后的安全状态。缺少这些信息时，以“支持 AI”为卖点进行设备投入，很难得到可重复的验收结论。

技术文献也要求将算法与硬件限制放在一起。Lin 等提出的 MCUNet，通过 TinyNAS 与 TinyEngine 的联合设计研究微控制器上的深度学习推理，说明受限设备的模型结构与推理执行可以共同优化。[13] 该研究的意义是提供一种协同设计思路，而非保证任意设备都能运行任意大模型。其具体结果依赖任务、内存、实现版本与比较对象，不能挪用为 2026 年消费终端的通用性能承诺。本篇仅将其作

SVSAC | sv-sac.org

为技术机制证据：如果部署环境受到存储与功耗约束，模型选型、执行方式和器件配置应作为共同问题求解。

河北企业对 AI 硬件的参与路径，需要区分制造可供给性与客户可获得性。即便某企业能够加工一种金属结构件，也不能由此认定它已经具备 AI 平台供货资格。首先，结构件的具体工作条件需要与材料、表面处理、尺寸一致性和检验方式对应；其次，买方可能要求样件验证、过程记录、变更管理以及售后责任安排；最后，公开资料必须能够证明客户进入路径。本篇目前没有获得可支持特定河北企业进入 Rubin 供应链的材料，因此不列出任何此类既成合作。后续分析将以公开年报、产品规格与客户公告建立能力证据，而不通过产业集群名称推断客户关系。

成本分析应围绕交付周期展开，而不是只比较物料清单。我们建议将初始研发、样机失败、认证测试、量产良率、现场维护、软件更新和产品退役分别列账。这里不给出行业平均比例；该类比例需要企业级成本样本，本篇的分析不以之为输入。分项记录仍有分析价值：若某方案减少芯片成本却显著增加散热、软件维护或返修费用，单项降本不能证明总成本改善；若供应商报价未覆盖版本维护，未来支出可能被转移给买方或形成争议。对候选项目而言，最先需要的不是一个漂亮的利润率，而是一份能明确成本承担主体与计算边界的比较表。

四、智能汽车：开发工具、车载功能与安全证据

智能汽车观察中最容易出现的错误，是把用于开发的模型直接写成已经部署的驾驶系统。NVIDIA 的 Alpamayo 公告同时涉及模型、仿真工具和数据集，并明确说明模型主要作为可供开发者微调、蒸馏的教师模型，而不是直接在车内运行。[3] 因而，本篇将其记录为开发生态发布。关于量产车辆的自动化等级、实际安全性或商业运营范围，必须另外提供车型说明、系统责任边界与运行证据。开放模型权重也不自动意味着所有用途均获得同等商业许可，具体许可条件需要在实际使用时核验。对区域产业研究而言，这些区别决定研究对象究竟是开发工具需求、车载部件需求，还是整车运营机会。

自动化水平也不能用屏幕数量、语音交互流畅程度或“智能”名称来判定。NHTSA 对 Level 2 的说明仍要求驾驶者承担驾驶责任并保持注意。[10] 本篇据此把座舱便利性、驾驶辅助和自动驾驶系统分列观察：前者可能改善交互，第二类涉及持续辅助而仍需驾驶者监督，第三类则需要结合具体自动化水平和运行条件讨论。某种功能在受控场地成功演示，不足以证明其可在所有天气、道路与使用

SVSAC | sv-sac.org

者条件下安全运行。本篇不对任何未完成独立测试的系统作安全优越性判断，也不把企业对未来部署的表达写成已经实现的社会效益。

对零部件企业而言，智能化并未取消物理约束，而是增加了系统协同问题。以传感模块的安装部件为例，我们建议把定位一致性、振动后变化、环境暴露和维修后复位纳入同一验证问题。这里只提出工程检查方向，并不宣称某个通用测试阈值适合所有车型。验证阈值应来自具体客户和适用规范。类似地，连接部件应按其实际电路和环境评估，不能因为所在车辆具有 AI 功能，就获得统一的“AI 零部件”技术要求。机会识别因此需要下降到图纸、接口和验收程序层面；只有这些条件明确后，企业现有设备与人员能力才可能被认真比较。

美国市场的交易约束还需要单独检查。BIS 关于联网汽车的官方概述涉及特定具有中国或俄罗斯关联的联网汽车及相关硬件、软件，并列示按车型年分阶段实施的限制。[9] 这意味着技术适配不能代替交易适用性判断；同时，也不能把该规则笼统概括为禁止所有中国汽车零部件。本篇只据此设置前置核验问题：拟供产品是否落入 VCS 硬件或受涵盖软件范围（后者包括符合规则定义的 VCS 或 ADS 软件），主体关系是否触及规则，相关车型年与交易类型如何确定，是否存在需要核验的例外或授权。具体产品的准入结论尚待规则正文和事实资料逐项比对，不在本段作推定。

五、新能源：供能约束与研发工具的交叉

本次分析将新能源限定为与本篇技术链条直接相关的供能、储能和能源管理问题，不把所有低碳技术都纳入同一讨论。“新能源”在展会叙事中可以指发电技术，在终端产品中又可能指电池与功率管理；若不拆分，发电侧远期目标很容易被用来说明消费设备的近期需求。本篇按照系统位置区分能源来源、能量转换与存储、用能控制三个对象。它们具有不同的验证周期和采购主体，也未必由同一家企业承担。河北制造的机会因此需要逐个确认产品作用位置，而不能从一个宏观能源主题直接跳到地方招商项目。

IEA《Energy and AI》的相关章节估计，全球数据中心 2024 年用电量约为 415 太瓦时，并在基准情景中预测 2030 年约为 945 太瓦时。[11] 前一个数字是估计，后一个数字是情景预测，两者都不是河北设备企业的需求量。这里还存在对象差异：数据中心包含非 AI 负载，不能把全部用电归因于 AI。本篇引用这组数据仅为说明计算设施与能源条件需要联合分析。若进一步估计区域企业的可服务市

SVSAC | sv-sac.org

场，还必须识别建设地点、工程进度、采购品类、竞争供应商和贸易条件，这些变量不能由全球用电趋势替代。

供能约束的经济含义不只是电量增加。当一个项目的设备采购进度、可获得电力和现场施工条件不一致时，某一环节的改善可能无法转化为项目整体提前。本篇将这种情况视为工程互补性的分析问题：计算设备、配电、散热与控制系统只有在相互适配并完成验收后，才共同提供服务。因此，部件需求与终端算力需求之间不应假定固定比例。若新一代设备提高效率但改变功率密度，制造任务可能从某类零件转移到另一类接口或散热结构。该判断是有待具体系统资料验证的机制推断，不能据此宣称任何产品类别必然受益。

CES 2026 期间，Commonwealth Fusion Systems 宣布与 Siemens 和 NVIDIA 合作，为 SPARC 聚变装置开发数字孪生，计划结合工程设计数据、仿真及 AI 工具。[6] 可以确认的是合作公告及其拟议技术路径，不能由此确认聚变已实现商业供电。这个案例对制造研究的启发不在于断言某种能源即将普及，而在于识别研发组织方式的变化：复杂设备的设计、装配与实验记录如果能够相互关联，仿真就可能用于检验假设与比较实验。本篇将这一机制与供能技术的商业成熟度分开讨论；前者具有制造方法研究价值，后者仍需独立技术和工程证据。

数字孪生是否有用，取决于模型与决策之间的对应关系。若模型只用于展示设备外观，它不能替代热、力、电或控制系统的验证；若模型被用于预测实验结果，则必须说明输入条件、校准数据、误差范围和适用区间。我们建议在讨论数字化投入前先指定一个能够被反驳的问题，例如某种装配误差是否使测量偏差超过客户阈值。真实测量与模型预测的差异应被保留，而非在展示时删除。这样，模型的价值可以通过减少哪一种不确定性来解释，而不是用画面逼真程度或软件数量来评价。对中小制造企业，这也有助于限定试点范围，避免在问题尚不明确时复制大型平台的全部架构。

储能与能源管理也应区分设备能力和收益实现。能够读取电价并调度负载的系统，并不一定给每个用户节省费用。收益取决于当地计价方式、负载是否可转移、转换损耗、设备寿命及控制策略。若大部分负载必须在固定时段运行，即使控制系统具备更复杂的算法，可调整空间仍然有限；对于锂离子储能，寿命评估需要考虑温度、放电深度、倍率与具体电芯条件，不能仅按充放电频次推断。[18] 在寿命变化增加替换成本的假设情景下，短期电费下降可能被抵消；这一成本效应尚未在本篇样本中测量。因此，研究应先获得真实账单与负载曲线，再比较设备和控制方案。本篇没有使用未公开用户数据，不能报告任何样本的实际节费率；后续案例若只有企业宣传比例，应明确保留其自述性质。

SVSAC | sv-sac.org

六、物联网：协议扩展与系统兼容性的边界

物联网在本篇中指设备通过通信与数据交换参与更大的应用系统，不以“能够联网”作为产品成功的充分条件。一个可连接的设备，仍可能在发现、配网、权限、事件语义或升级之后出现不兼容。用户购买的通常是某种可持续使用的功能，而不是协议名称本身。因此，物联网产业机会需要同时考察装置的物理性能和系统行为。对只生产传统硬件的企业，增加通信模块往往只是任务的一部分；谁负责设备身份、控制权限、故障响应及版本维护，会改变交付边界与成本承担。

CSA 于 2025 年 11 月 20 日发布 Matter 1.5，公告涉及摄像头、闭合类装置、土壤传感器与能源管理能力扩展。[4] 这项资料为观察提供了一个明确的时间锚点：有关能力的标准发布先于 CES 2026。本篇不能从标准发布进一步认定全部平台或展品已经支持这些能力，更不能认定某一企业产品已经取得认证。后续研究需要逐项核验产品型号、实施版本、认证记录和控制端支持情况。标准组织说明的功能范围与企业样机实际表现，应作为两条证据分别保存。

2026 年 3 月 31 日发布的 Matter 1.5.1 进一步针对摄像头视频流、媒体格式及门铃等装置作出改进。[5] 这属于会后更新，而非 1 月展会事实。它提示协议可用性需要放在版本演进中观察，但并不能证明前一版本产品存在普遍失效，也不能证明新版本已被所有控制端部署。对于供应商，合理的核心问题是产品将支持哪个版本、升级需要改动什么、旧设备与新控制端如何共存。仅在销售材料中写“支持 Matter”，不足以回答这些问题；版本、设备类型与已测试组合应一起进入技术交付文件。

兼容性验证应设计成可复现的任务，而非一次成功演示。例如，对拟议的家庭控制装置，可以规定初次配网、断网恢复、断电重启、多用户权限变更与固件升级后的观察步骤。上述任务属于我们建议的测试设计，不代表标准已要求相同测试，也不声称任何现有产品失败。每项任务应记录控制端、固件、网络条件、操作顺序和结果。若只记录“成功连接”，故障发生后便难以识别是设备问题、网络问题还是控制端行为差异。版本清晰的记录还能够区分一次性集成工作与长期维护负担，便于制造企业在报价时明确责任。

数据安全是上述交付责任的一部分。NISTIR 8259A 提供了用于识别物联网设备网络安全能力的核心基线。[7] 本篇将该文件视为技术分析起点，不把它表述为所有产品取得美国市场准入的统一认证。产品可以具有某项安全功能，却仍因部署方式、权限配置或维护停止而暴露风险。反过来，不能因为设备未传输原始视频，就认定其完全没有隐私问题；事件记录、位置与使用习惯也可能需要审查。

SVSAC | sv-sac.org

具体处理方式应根据产品实际数据流确定，本篇没有假设特定设备收集哪些尚未公开的数据。

将安全与维护纳入制造研究，并非要求每家零件企业都建立完整软件团队。分工仍然可能有效，问题在于接口与责任是否明确。若供应商只交付机械部件，其任务可以限定在材料、加工与可追溯记录；若交付含固件的模组，就需要说明版本和变更通知；若销售完整联网产品，面向用户的维护承诺又构成另一层责任。研究应尊重这些差异。把所有企业都建议为平台运营商，既缺少能力依据，也可能扩大本来可控的交付风险。河北企业的升级路径应由现有能力和客户任务共同决定，而不是由展会主题规定统一终点。

七、交叉分析：数据流、能量流与责任边界

跨域比较沿两条流定位依赖：数据流是感知–传输–计算–动作，能量流是供电–转换–储存–散热。本地识别可能减少传输而增加终端算力和供电，远程计算可能减少终端资源却增加连接和服务依赖。比较的不是“融合”程度，而是成本风险移到哪一接口、由谁验证承担；两条流在同一设备交叉，不能互相代答。

一个有代表性的反例是把更多功能集成到同一装置，却没有重新检查失效隔离。如果照明、门禁或用能控制被放入共同控制链，便利性与故障影响范围可能同时改变。本篇不认定任何实际产品采用这种架构，也不主张集成必然不安全；反例说明的是，功能数量无法作为系统质量的代理指标。评估需要说明某一模块失效时其他功能如何运行，哪些动作需要人工确认，哪些状态允许降级。对制造企业，能够提供这类边界清晰的系统说明，可能比增加不相关卖点更接近客户的工程需要；“可能”仍需客户验收记录检验。

技术采用、部件需求、区域价值获取须分三步检验：平台扩张可由原供方承接，部件增加也可伴价格竞争和利润压缩。只证采用，尚不能推出河北订单或收益。后续应接零件设计者、规格控制者、采购决定者和质量责任方，不能以生产能力一项补齐这些关系。

八、端侧 AI 的可行性：压缩、测量与产品边界

“端侧 AI”至少包含三个不同问题：模型能否装入设备、能否以可接受时延运行，以及运行结果是否足以完成产品任务。三者分别对应资源可容纳性、执行效率和应用有效性。某个压缩算法改善第一项，并不自动证明后两项；在一项通用任务上保持精度，也不能替代目标场景的错误分析。本篇据此将“可运行”与“可交

SVSAC | sv-sac.org

付”分开。可交付方案还需要在持续运行、环境变化、输入异常和版本更新后维持预先定义的行为边界。如果这些边界尚未定义，现场流畅演示只能作为原型证据。

发表于 MLSys 2024 的 AWQ 研究提出一种面向大语言模型的低比特权重量化方法，利用激活信息处理权重的重要性差异，并结合推理实现讨论端侧部署。[15] 该文提供的是特定压缩与执行方法的技术证据，不能证明所有低比特方案均保持相同质量。对本次分析而言，更值得追问的是技术改进改变了哪一个约束：权重占用、访存、执行算子，还是任务质量。在没有目标设备和输入长度分布的条件下，不能把“模型位数下降”简单写成“终端成本按比例下降”。硬件成本取决于完整系统的容量和性能要求，质量损失又可能增加人工检查或售后成本。

测量边界会改变这种比较。MLCommons 对 MLPerf Inference Edge 的说明区分负载场景、质量目标及系统可获得性，并强调所报告的功耗测量针对相应基准运行的整个系统，而不是芯片额定参数。[16] 本篇不引用当前结果页的任何单项排名，因为结果页可能更新，且尚未锁定具体提交版本。方法上的启示是：买方需要比较同一任务、同一质量边界和可说明的系统配置。若一个方案报告芯片功耗，另一个报告整机输入功率，两者不能直接计算节能率；若任务质量不同，速度提升也不能独立证明产品价值提高。

对于生成式终端，单独报告平均响应时间还会遗漏服务过程。我们建议至少区分等待开始输出的时间、持续生成速度和完成任务所需的总时间，再对异常长输入、并发调用及连续运行分别检查。这里并非建立新的行业标准，而是提出与产品决策相关的记录方式。一种设备可能在短输入演示中表现流畅，却在目标用户常见的长输入下超过可接受等待；也可能单次响应较快，但由于答案需要多次修订而增加总任务时间。采购试验如果只比较一次回答速度，就可能选错方案。有效评估应把终端性能放回真实任务流程，保留失败和重试记录。

端云分工的判断可写成一个边界清楚的成本比较。设某一相同任务周期内，本地方案增量设备成本为 F，本地运行及维护成本为 L；远程方案的服务、传输与维护成本合计为 C。在任务质量和可用性相同、且没有遗漏成本的条件下，本地方案的成本优势要求 F 加 L 小于 C。该表达是会计边界，不是市场预测。若设备在多个周期使用，需要进一步处理寿命、折旧或贴现，并保持比较口径一致。若两种方案质量不同，则应先把达到同等任务结果所需的人工复核和重试计入，再讨论哪种方案更便宜。本篇不为 F、L、C 填入未经取样的数据。

上述比较还可能受到选择偏差影响。愿意采用本地部署的客户，可能本来就更重视离线使用、数据控制或固定负载；偏好远程服务的客户，则可能需要经常

SVSAC | sv-sac.org

变化的模型能力。直接比较两类客户的采购结果，会将客户差异误认为架构效果。研究若要判断某方案在特定行业是否更优，应尽可能使用同一任务的配对试验，记录硬件、模型版本、输入样本和维护条件。若无法配对，就应报告样本可比性限制，而不是从若干成功案例得出普遍结论。这个问题也适用于河北企业：成功进入一个客户项目，不能单独证明某类地区企业具有普遍优势。

九、河北产业关联的证据：企业边界与区域边界

区域产业分析不能以企业注册地替代生产地，也不能以企业全球收入替代本地产出。长城汽车 2025 年年度报告将公司注册及办公地址列于河北保定，并在销量表中报告全年销量 1323811 辆、出口 506787 辆。[17] 这些数据能够证明一家与河北有明确组织联系的整车企业具有相应规模的业务活动，不能证明全部车辆均在河北生产，也不能证明出口均流向美国。本篇采用销量表的精确数，区别于报告叙述中的约数。这样的口径控制对产业研究是实质要求：任何由企业层面上推到区域、由全球出口下推到某一市场的过程，都需要额外分解资料。

企业案例的作用应当限定在能够回答的问题上。上述企业材料可以成为研究整车组织如何协调研发、制造与海外经营的入口，却不能单独代表河北中小零部件企业。整车企业能够控制产品定义并分配系统责任，零部件企业则可能只能在既定图纸与工艺要求中改进。若以整车企业的海外销量论证所有供应商都应建立海外渠道，就忽略了供应层级和治理权的差异。我们建议在后续样本中分别识别整车或系统集成企业、拥有独立设计能力的模组企业，以及按图加工的零件企业；分组依据是任务与权责，而非规模大小或宣传用语。

地方产业基础与 CES 技术方向之间的联系，至少需要两类独立证据。需求侧需要表明某功能或工程任务已经进入客户开发或采购过程；供给侧需要表明本地企业能够以稳定过程交付相应产品。两类证据应在相同技术层级对接。省级电子信息产值即使准确，也不能替代某种模组的良率、交付和验证资料；一项国际平台发布即使属实，也不能替代买方对某种零件的采购要求。因此，区域机会图谱应允许出现“方向相关、能力待证”的结论。把尚未验证的联系保留为核心问题，比将其提前包装成确定项目更符合证据状况。

在河北企业尚未形成足够公开样本时，本篇不作省际竞争力排名。将某省企业数量、专利总量或招商项目数相加，既无法控制产品难度，也无法识别实际交付能力。即便使用专利，也需要区分申请、授权、法律状态及技术权利范围；专利数量不能直接代表自由实施空间。当前资料没有完成相关专利族与权利要求检

SVSAC | sv-sac.org

索，因此不报告“无侵权风险”或“核心专利领先”等结论。后续若讨论具体技术路线，应单独建立专利检索协议，并将技术可实现性、知识产权边界和交易可行性作为不同问题核验。

十、从候选方向到验证项目的研究设计

本次分析将一个待验证项目定义为“在特定客户任务中，用某种可交付对象改善一个可测量结果”。例如，候选课题可以是通过改变结构设计减少某类终端在规定环境下的温升，也可以是通过重新安排推理流程缩短同一任务的完成时间。示例均为研究设计，不是已实施案例。这样的定义迫使研究者说明比较对象和结果变量，同时给失败留下空间。如果样件未改善结果，或者改善依赖不可接受的成本与维护负担，项目就应被判定为未满足条件，而不能通过更换宣传指标获得成功叙述。

基线应分开保留原生产方案、合理调优的同类方案与候选方案，避免将工程投入或昂贵外围设备的差异算作技术优势。资源不足以作三方试验时，只限于实际已作的比较：优于旧系统不等于优于当前全部选项。这个边界同时适用于企业采购和区域示范评价，不需再以“新技术”标签代替对照。

样本构成同样需要预先固定。对于识别任务，应说明常见输入与异常输入的来源和占比；对于物理部件，应说明样件批次、运行条件和测量位置。只保留容易样本，会使技术路线看起来稳定，却无法解释客户现场的失败。本篇不规定统一样本量，因为不同失效模式需要不同设计；需要的是记录选择依据，并承认有限样本对低频问题的识别能力不足。若目标是减少某类罕见故障，短期试运行未出现故障并不能证明风险已消除。应继续保留适用条件、监测安排和停止标准。

样件技术成功与组织可复制性分开记录。少数专家反复调试可使原型工作，但量产须固定关键参数、检验与变更流程，并说明正常生产人员可独立执行哪些步骤。未记人工干预会把经验误作设备能力；仍依赖研发判断的环节应显列，既保留探索价值，也不以原型标准推量产回报。

十一、纵向事件案例：AFEELA 从展示计划到项目终止

AFEELA 提供了一个能够在同一年度内观察计划变化的案例。Sony Honda Mobility 于 2026 年 1 月 5 日在 CES 相关发布中展示 AFEELA 1 预量产车型及 AFEELA Prototype 2026，并提出当年在美国开始交付前者、最早 2028 年推出基于新原型的量产车型的计划。[19] 这里的事件事实是展示与计划发布，交付仍是当

SVSAC | sv-sac.org

时的预期。将 1 月公告保存在事件序列中，有助于还原研究者在展会时能够获得的信息，避免用后来的结果假装早已知道项目结局。

2026 年 3 月 25 日，Sony 发布正式文件，披露终止 AFEELA 1 及第二款车型的开发和上市；4 月 21 日的后续文件再次确认该决定，并说明将缩减 SHM 现有业务运营。[20][21] 因此，截至本次分析检索截止日，不能沿用 1 月报道，将相关车型仍按原计划交付写入趋势判断。这个案例并不否定 1 月展示发生过，而是否定从当时计划直接推导未来必然采购的做法。事件序列中同一项目的状态必须允许更新，早期预期与后续结果应同时保留。

在因果解释上，这一案例的证明力有限而明确。它能够反驳“知名企业在 CES 展示并宣布量产计划，就足以保证项目持续”的命题；却不能单独证明 CES 项目通常失败，也不能估计取消概率。样本是为研究计划变化而选取，具有结果导向选择的局限。如果据此反向断言前沿技术均不值得投入，就重复了从个案外推总体的错误。本篇采用该案例的目的，是把项目持续性加入机会识别，而不是给整个技术领域作成败裁决。

对潜在供应商而言，项目持续性与单件技术要求是不同风险。供应商即使按时制成合格样件，也可能因客户取消项目而无法摊销专用工装和开发投入。本篇没有获得 AFEELA 供应商合同或损失资料，不能报告任何企业的实际损失；可以提出的只是一般合同分析问题：开发费用如何承担，设备与工装归属如何约定，取消后剩余物料如何处理，以及专用能力能否用于其他客户。把这些问题列在项目筛选阶段，有助于判断一个机会是否过度依赖单一买方计划。

河北企业可以据此区分两种投入：围绕通用过程能力的改进，以及围绕单一平台的专用配置。前者可能包括测量可追溯、过程稳定和检验数据管理；后者可能是特定几何结构的工装或专属接口开发。二者都可能必要，但退出条件不同。通用能力是否能够转移，需要由其他产品的实际适配验证；不能仅因设备可被重新编程，就认定成本全部可回收。对专用投入，研究应更关注采购承诺与取消条款，而不是用展会关注度代替项目现金流证据。这是从事件反例引出的条件性建议，尚未构成对任何现有合同的评价。

十二、家庭机器人与跨设备 AI：两种集成逻辑的比较

LG 于 2026 年 1 月 4 日公布拟在 CES 展示的 CLOiD 家庭机器人，说明其采用带双臂的躯干与轮式底座，并与 ThinQ 家电生态连接；同一公告还介绍了 AXIUM 执行器品牌。[22] 本篇据此把该案例编码为物理动作与联网控制相结合

SVSAC | sv-sac.org

的集成方案，未将企业拟演示的家务任务认定为无条件自主完成的消费级能力。其产业意义需要从两个位置分别分析：整机对任务协调的要求，以及执行部件对运动控制与制造一致性的要求。

轮式底座与双臂的组合，提示形态选择应服从任务约束，而非把外观越接近人类视作技术越先进。这里不比较 CLOiD 与未纳入样本的机器人性能，只提出可检验问题：目标家庭是否需要跨越台阶，操作高度如何分布，末端抓取需要适配哪些物体，动作速度与接触风险如何权衡。如果客户任务大部分不需要腿式移动，追求双足形态可能增加不必要的开发负担；如果目标环境具有不可避免的高差，轮式方案又可能要求环境改造。优劣由任务与环境共同决定，而不是由单个结构形式决定。

这一比较也影响零部件机会的判断。不能把机器人数量乘以一个未经核实的执行器用量，就得到地方零件市场；不同架构可能采用不同自由度、驱动方式与维护策略。同一种名义扭矩的部件，在质量、回差、热限制和寿命条件上也可能不同。我们建议先选择一个明确运动任务，再建立负载与运行周期，最后考察部件方案。对于具备精密加工能力的企业，研究应说明现有工艺能够保证哪些参数，哪些仍缺少试验。只有能够被买方检验的能力，才有资格进入供应机会判断。

Lenovo 于 2026 年 1 月 6 日发布 Qira，强调跨 Lenovo 及 Motorola 设备的情境延续，并说明采用本地与云端结合的架构；公告列出的可获得性计划针对选定设备，且明确可能变化。[23] 与家庭机器人相比，这类集成主要处理数字任务与设备间状态衔接，不能仅因同样使用 AI 名称，就推断其部件需求相同。本篇将其编码为跨设备服务协调案例。关于实际生产率改善、用户留存或服务成本，现有公告尚不足以支持定量结论。

跨设备连续性与单设备响应速度属于不同评价对象。一个系统可以在每台设备上快速回答，却无法可靠地衔接任务状态；也可能成功同步内容，但让用户难以区分某个动作将在哪台设备上执行。我们提出的比较指标是任务迁移后是否仍保留正确对象、权限与进度，以及用户能否撤销或纠正动作。这些是研究假设与测试项目，并非对 Qira 产品缺陷的指认。对制造企业，启示在于新增硬件卖点未必是价值形成的唯一位置，系统集成、兼容性维护与服务也可能控制用户体验；是否能分得相应价值，仍取决于合同与平台规则。

两个案例的比较说明，所谓“AI 进入日常生活”至少存在物理任务协调和数字任务协调两种路径。前者需要处理接触、运动与环境，后者更依赖状态、权限与应用接口；实际产品可能同时包含二者。制造企业不能只依据终端市场名称选择

SVSAC | sv-sac.org

能力投入，而应确认自身承担的是哪一段任务。对于只参与机械加工的供应商，跨设备记忆功能未必直接增加其价值；对于能够交付含控制与固件模块的企业，维护责任又可能比一次硬件升级更重要。后续研究需要在具体合同和产品测试中检验这一分工命题。

十三、热设计案例：为什么材料指标不足以证明供货能力

热设计是将 AI 硬件趋势转换为制造任务的一个具体入口。TI 的封装热参数应用说明指出，结到环境热阻与测试板、环境及系统结构有关，不能把数据手册中的相应数值不加条件地用于任意实际系统。[24] 这使“采用更高导热材料即可解决散热问题”的判断失去充分性。对于候选供应商，应先确认客户限制的是哪个温度、处于何种负载和环境，以及哪些热路径在实际装配中存在。材料供应与系统热性能之间需要装配和测量证据连接，不能用材料说明书替代整机验证。

为说明验证边界，本篇给出一个完全假设的稳态算例，不对应任何 CES 展品。设在已经验证的同一系统配置下，有效热阻为每瓦 2 摄氏度，耗散功率为 10 瓦，参考环境温度为 30 摄氏度；在该简化线性关系成立时，估计温差为 20 摄氏度，估计结温为 50 摄氏度。若更换外壳后有效热阻未知，就不能继续沿用 2 这一系数，把结果当作新系统温度。该算例的用途不是推荐温度阈值，而是说明输入参数必须属于被评价的系统；不同对象之间移用系数，会制造看似精确却没有验证基础的结果。

从制造过程看，若设计只规定散热件的材料牌号，而未规定接触状态、装配方式和检验基准，供应商即使满足材料要求，也未必满足系统任务。我们建议把技术验证拆成材料符合性、几何与表面状态、装配后接触及整机表现四层记录。四层并非各自独立，试验应尽量保持其他条件不变，再比较候选部件。若无法控制装配差异，就应把该差异纳入结果解释。对于河北企业，价值不应仅被描述为提供某种原材料，而应通过具体过程说明它能够稳定控制哪些影响结果的变量。

测试本身也可能受到测量位置与运行时间影响。我们建议在试验前确定观测点和达到稳态的判断方式，同时记录输入功率与环境条件。若一个方案读取表面温度、另一个报告由模型估算的结温，不能将二者相减作为改善量。若新方案仅在短时演示中保持较低温度，持续运行的比较仍未完成。这些问题对机壳、散热组件和设备集成企业均有意义，因为它们决定供应商承诺的是材料性能、组件性能还是整机结果。承诺层级越高，需要控制和披露的条件越多。

SVSAC | sv-sac.org

十四、项目经济性：需求增长、专用投入与回收条件

即使技术任务清楚，项目仍可能因可回收销量不足而不成立。本篇用一个不填入市场数值的模型说明条件。设专用开发与工装投入为 K，每件交付后、扣除所有随销量变化成本的贡献为 m，最终验收并回款的数量为 q；在 m 大于零、不考虑资金时间价值且没有其他固定支出的简化情形中，回收条件为 mq 不小于 K。这里的 q 必须是可验收可回款数量，不能以展会意向人数、客户预测产量或工厂名义产能替代。若 m 不大于零，增加销量也不能在该模型下回收投入。

客户计划变化可以通过 q 进入模型，工程变更则可能同时影响 K 与 m。若新增验证、重制工装和返工费用由供应商承担，原报价的贡献并不保持不变。因此，技术改动与商业条件需要共同追踪。我们建议把每项变更记录为对象、触发方、费用承担、交期影响及再验证要求。该记录不意味着拒绝技术迭代，而是为比较不同项目提供同一口径。对平台更新快的机会，如果长期只保留首次报价，研究将系统性遗漏版本切换负担，进而高估持续供货收益。

专用投入的最优时点也不能由技术发布时间直接决定。较早投入可能提高样件响应速度，同时增加需求尚未确定时的风险；较晚投入可能减少沉没支出，却失去共同开发的窗口。两种解释都具有合理性，本篇没有项目样本能够识别其净效果。可检验的研究设计是比较相似产品中不同投入时点与客户承诺强度的组合，并同时记录失败项目。若只访问已量产供应商，早期投入的失败者会从样本消失，使研究倾向于赞美抢先布局。因而，产业案例收集应包含未入围、延期与取消状态。

区域层面的建议由此应区分信息支持与产能扩张。公开资料库、标准解释和共享测试条件，主要降低企业识别问题与验证方案的成本；直接增加专用产线，则承担更强的需求与资产回收假设。二者不能用相同的成果指标评价。前一类项目可以考察企业是否缩短验证周期、减少重复测试或明确否决不适合的方案；后一类项目需要关注真实合同、验收、回款与产能使用。一个平台帮助企业及时停止不适合项目，也可能产生价值，不能因为没有新增产线就判定无效。本段提出的是评价框架，未声称某个现有政策已经取得这些效果。

十五、智能汽车验证的证据密度：稀有事件与模拟边界

判断智能汽车的技术方向，不能只观察模型是否能够解释驾驶动作，还需要考察重要失效是否得到足够证据覆盖。文献 25 以“稀有性诅咒”为题，但本次分析未取得其正文，不将它的特定理论论述当作已核结论。[25] 本篇独立提出的统计

SVSAC | sv-sac.org

问题是：安全关键事件在拟观察分布中较少时，增加一般场景数据不必然改善对关键风险的识别；下文的明确假设算例用于说明这一边界，不评价任何车辆实际安全。

Kalra 与 Paddock 的 RAND 研究同样指出，依靠真实道路里程来展示伤亡相关安全性，会受到事件稀少性带来的巨大样本需求限制。[26] 本篇不将其 2016 年的具体里程估计用作 2026 年的统一验收门槛，因为系统、比较基准和目标结论可能不同。其可用于本篇的原则是区分“积累了多少运行”与“对什么风险提供了多强证据”。如果大部分运行都发生在相似条件下，总时长增长未必显著增加对其他条件的认识；若报告未说明运行条件和事件定义，仅凭一个总里程数字无法判断证据强度。

一个简化统计算例可以进一步说明。假设每次试验相互独立、来自同一稳定分布，而且某个预先定义的失效以相同概率 p 发生；进行 n 次试验且未观察到失效时，零失效的概率为(1−p)的 n 次方。在该二项模型下，95%单侧上限为 1−0.05 的 1/n 次方。若纯为演示而设 n 等于 10000，该上限约为 0.00029953，即每次试验约 0.029953%。这不是实际车辆结果，也不是安全允许值，只说明即使观察为零，概率的统计上限仍大于零。试验次数的单位不能擅自替换为里程或运行小时。

这一算例的限制比计算本身更重要。连续视频帧可能高度相关，软件更新后系统行为可能改变，而测试环境也未必来自未来使用分布；此时相互独立和同分布假设都需要重新审查。把相关帧数当成独立试验次数，会夸大有效样本量；把多个版本的运行合并，却不记录版本变化，又可能掩盖新版本引入的问题。本篇不为实际驾驶系统建立失效率模型，而是用上述边界说明为什么测试报告必须保留输入分布、试验单位与版本身份。没有这些字段，表面精确的统计量难以支持工程决策。

仿真能够帮助组织试验，但仿真覆盖与现实有效性仍是两个问题。研究者可以刻意增加某类困难场景，以观察系统是否暴露缺陷；这种场景比例并不一定等于现实发生比例。因此，在困难场景集合上获得的失败比例不能直接称为真实道路风险。反过来，某个系统在模拟场景中没有失败，也可能受限于传感、行为或环境模型没有表达实际问题。我们建议分别记录场景生成目的、场景权重、模型限制和现实校准证据。开发效率与风险估计可以共享工具，却不应共享未经说明的解释口径。

对河北零部件企业，验证需求的增长并不必然意味着转向整车算法开发。可参与的任务可能是建立某一部件在规定环境中的性能数据、为系统仿真提供有版

SVSAC | sv-sac.org

本的模型，或者使生产批次能够与测试记录关联。这里所列是候选研究任务，不是已核验的采购清单。其共同要求是误差和边界可说明：如果部件模型只在少数温度点上得到支持，就不能对未测试区间作精确保证；如果生产变更影响模型参数，数据交付也需要随之更新。制造与数字资料之间的这种对应能力，值得在企业样本中进一步验证。

十六、关键资源依赖与会计边界的进一步限定

AFEELA 的后续披露还提供了项目依赖机制的具体线索。3 月 25 日文件说明，Honda 于 3 月 12 日重新评估汽车电动化战略后，SHM 无法使用原先计划由 Honda 提供的某些技术和资产，公司据此判断按原计划已无可行上市路径。[20] 这一原因必须归属于公司披露，不能视为本篇已经独立识别的完整因果关系。它至少表明，评估产品前景需要检查关键资源由谁控制、资源承诺是否持续，以及替代路径是否存在。即使某一部件本身技术可行，产品架构依赖的其他资源变化仍可能改变项目。

上述依赖与一般供应数量不足不同。数量约束可能通过增加产能或寻找替代供应商缓解；特定技术、架构接口或使用权的依赖，则可能要求重新设计系统。本篇并未证明 AFEELA 具备或缺少某一具体替代方案，而是提出识别资源性质的方法：该资源能否由市场采购，替换是否改变验证边界，替代需要多久，以及关键控制权是否属于项目主体。地方产业建议如果只计算设备数量和产能，就可能遗漏这些治理约束。共同开发项目的评估因此需要同时覆盖技术架构与资源承诺。

前文端云成本概念式的实际应用，也需要先指定功能单位和分析期。可比较的功能单位应是相同质量与服务条件下完成的一项任务，或由明确任务组合构成的工作量。设备资本支出应在所选分析期内处理，并说明利用率、寿命和残值；云服务则应记录实际计费、最低承诺、闲置资源以及网络和支持费用。如果两种方案拥有不同不可转移约束，例如必须离线运行，那么成本更低也不能弥补不满足约束。比较的第一步应排除不可行方案，再在可行集合内讨论成本。

若两种方案在多个期间产生不同费用，应统一使用贴现现金流，或明确采用一致的不贴现口径，不能把一方购置支出与另一方单月服务费直接比较。实际利用率尤其重要：为低频任务专门购置设备，固定投入分摊到每次任务的金额可能很高；多个适配任务共享设备，则可能降低这一分摊，但同时增加排队与资源冲突。本篇没有利用率样本，因而不报告端侧方案的盈亏平衡任务数。后续如获得

SVSAC | sv-sac.org

设备报价与使用记录，应对任务量、寿命、服务价格和人工复核进行敏感性分析，并保留使结论反转的条件。

十七、家庭储能案例：容量扩展之外的交付条件

CES 2026 官方创新奖页面将 EcoFlow DELTA Pro Ultra X 列为 Sustainability & Energy Transition 类别的 Honoree，并以发电、储能、配电和智能用能管理的组合描述其系统。[27] 这里可核实的是官方页面记录及其产品描述，而非各项性能已由本篇独立测量。与单一电池包相比，这种产品叙事将供能和负载控制纳入同一交付边界。对制造企业，相关研究应从“生产多大容量电池”进一步进入系统配置：哪些功能由主机提供，哪些需要额外配件，哪些依赖安装与控制策略。

安装时间的表达说明交付口径为何重要。EcoFlow 当前美国产品页面将“7 天安装”的起点限定为购买交付之后、许可证签发之时，终点为现场安装完成。[28] 因而，这个承诺不能解释为从消费者首次咨询到系统投入使用的总时长。本篇也不以当前页面倒推 CES 现场相同承诺已经执行。可进一步比较的，是销售、许可、物流、现场安装和验收分别占用多少时间，以及哪些环节受制造商控制。若只压缩现场作业而其他环节未变，客户感知的完整交付期可能并未同比缩短。

系统容量与备用时长也不是同一指标。对于给定的可用能量 E 和恒定负载功率 P，忽略损耗及其他限制的理想运行时间为 E 除以 P；真实系统还需处理可用容量、转换损耗、待机、功率限制和负载变化。本段仅给出能量核算关系，不为具体产品计算备用天数。家庭负载如果在不同时间发生变化，就需要按时间记录用能，而不能用某一瞬时功率解释全天需求。制造企业若承诺整屋备用，应说明同时运行哪些负载，以及启动功率、峰值持续时间和控制策略的条件。

这一区分影响零部件机会的识别。容量扩展可能增加电池模块，但功率扩展也涉及转换、导电连接、保护和热管理；控制功能扩展则引入测量与通信任务。本篇不假定这些投入按同一比例变化。若系统只需要更长备用时间，增加能量与提高输出功率的价值并不相同；若客户主要困难是负载启动，单纯增加电池能量又可能不足。供应商应按客户约束识别交付对象。把所有场景合并为“储能需求旺盛”，会掩盖不同部件在系统中的边际作用。

储能安全资料还需要区分评价对象。UL Solutions 的说明将 UL 9540 定位为储能系统和设备标准，涉及充放电、保护、控制与设备通信等方面；UL 9540A 则是评估电池储能系统热失控火灾蔓延的测试方法。[30][31] 本篇不据此认定任何上述 CES 产品已经完成相应测试或取得特定认证。产品是否符合具体项目要

SVSAC | sv-sac.org

求，需要核对报告对象、型号、配置、适用版本和当地安装要求。只看到“通过某项测试”的宣传，不能省略这些对象对应关系。

对材料或壳体供应商，系统级安全评价意味着部件替换不能只按外观等同判断。我们建议在变更研究中记录材料、壁厚、连接、内部布置和散热方式是否变化，并由系统责任方判断是否触发新的验证。这里没有宣布任何一项变更必然需要重测，也不替代标准解释；关键在于供应商不能单方面假定“尺寸相同即等效”。如果项目依赖某个已测试配置，研究和交付文件就应说明配置身份如何保持。可追溯与变更控制由此成为进入复杂产品供应链的研究变量，而不只是内部文档工作。

十八、替代电池化学体系：产品差异化与验证转移

BLUETTI 在 2026 年 1 月 5 日 CES 相关公告中介绍 Pioneer Na 钠离子便携电源，将低温充电及低温下为设备供电作为其差异化方向。[29] 本篇保留这一企业产品定位，不将公告中的温度与安全描述当成独立测量结论，也不采用未经核对的“全球首款”表述。该案例表明，新能源终端的竞争可以围绕具体环境任务展开，而非仅比较名义容量。后续验证应明确环境温度、预处理、负载、充电条件和可交付能量；缺少这些条件，两个产品标注的工作温度不能构成完整性能比较。

化学体系改变不应被理解为全部周边部件必然重新设计，也不应被理解为可以完全沿用旧方案。需要研究的是哪些约束发生变化：电压区间、充电控制、温度管理、状态估计、结构与运输要求分别如何对应具体电芯。本篇的分析止于产品层面，不据此断言其采用某种电极材料或具有某项未公开成本优势。对候选供应商，合理路径是先取得可公开核验的器件和系统规格，再判断现有过程能否适配。以原材料资源丰富直接论证终端成本低，遗漏了电芯、系统和服务多个环节。

新体系也提供一个检验机会论证的反证设计。如果它在某种低温任务中具有优势，但质量、体积、成本或维护条件使其不适合另一种任务，就不能称为对所有既有体系的替代。相反，一种成熟体系即使不在展会传播中心，也可能继续满足稳定客户任务。我们建议按任务记录候选路线的约束满足情况，再用同一功能单位比较。河北企业的产业选择应围绕可进入的细分任务形成，而不应只因某种化学名称受到关注，就在缺乏客户与工艺数据时投入专用产能。

SVSAC | sv-sac.org

十九、资料编码结果：技术方向与证据类型的交叉

为使跨领域比较可复核，本篇将前述资料整理为十个分析单元，其中八个对应 CES 相关发布、展示计划或官方产品记录，两个对应 Matter 标准在展会前后的更新。一个分析单元可以包含多份不同时点资料，例如 AFEELA 的发布与后续终止文件；同一企业并非只能形成一个研究单元。该划分是为比较机制而作的研究编码，不是 CES 展商抽样，也不能计算各技术在全部展品中的占比。十个单元的选择有明显目的性，覆盖了计算平台、开发工具、协议、复杂工程研发、终端协调与储能等不同层级。

表 1　分析单元及其可解释范围

单元	资料对象	本文编码的主要机制	来源
Rubin	平台发布	计算与互连接口协同	[2]
Alpamayo	教师模型与开发工具	开发、蒸馏与验证分工	[3]
Matter 1.5	会前标准更新	设备类型与接口扩展	[4]
Matter 1.5.1	会后标准更新	版本维护与兼容性	[5]
SPARC 数字孪生	合作公告	设计资料与仿真关联	[6]
AFEELA	计划与终止序列	关键资源与项目持续性	[19][20][21]
CLOiD	拟展示机器人	物理动作和家电协调	[22]
Qira	跨设备 AI 发布	数字任务状态衔接	[23]
DELTA Pro Ultra X	官方产品记录	供能、储能与控制集成	[27]
Pioneer Na	钠离子终端公告	环境任务差异化	[29]

十单元编码只定位约束，不作总成熟度排名：平台/协议属于技术供给，机器人/储能属于终端，终止属于商业状态。分别检查接口、开发验证、版本一致、任

SVSAC | sv-sac.org

务完成和资源持续，才能讨论制造责任怎样改变；文档多不等于工程效果好。同对象内可比较方案，跨对象不将这些指标相加。

从这些资料中能够形成的研究发现，是技术叙事与交付对象之间存在不同转换路径。某些发布首先扩展开发者可使用的工具，并不直接形成整机采购；某些标准扩大可表达的设备功能，却仍需产品实现与控制端配合；某些终端方案则将安装、运维和配件纳入用户功能。这里的“不同”由资料对象及其明确限制支持，而不是由未公开采购数据推测。对河北产业研究，更有解释力的变量因而可能是企业承担哪一段工程责任，而不仅是企业属于哪个行业分类。该命题仍需企业样本检验。

替代解释需要同时保留。第一，集成程度提高可能增加协同需求，也可能让主机企业内部完成更多工作，减少外部采购。第二，接口标准化可能降低进入难度，也可能使产品更易替换，压低供应商议价能力。第三，新材料或新电池体系可能创造试验需求，也可能因工艺调整成本过高而延缓采用。因此，本篇不从“集成”“开放”或“替代体系”等词语直接推导收益符号。下一步的有效证据应能够区分这些相反机制，例如客户是否外包相关任务、合同是否允许多源采购，以及变更费用由谁承担。

二十、河北产业背景的统计校准：增长结构与能力识别

河北省统计局、国家统计局河北调查总队编制的 2025 年统计公报，在河北日报客户端刊发的公报全文中报告：规模以上工业的计算机、通信和其他电子设备制造业增加值增长 21.1%，电气机械和器材制造业增长 13.6%，汽车制造业增长 5.9%。公报将 2025 年数据注明为初步统计数，相关行业增加值增速按不变价格计算。[32] 本篇所用文本为河北日报客户端刊发、北京日报平台转载的公报全文，其编制机构、发布日期与指标名称与公报一致，指标数值可直接对应公报章节。这些数据描述河北相关行业的增长背景，不是 CES 订单的统计结果，也不是上述行业全部企业的收入增速。

三个行业的增速差异能够否定一种过于粗糙的描述，即相关制造活动都以相同节奏扩张；但不能说明哪些 CES 方向已经带动增长。数据期是 2025 年，而本篇主要事件是 2026 年 1 月，时间顺序不允许将 2025 年行业增长归因于本次展会。更细的解释还需产品结构、企业进入退出、价格与产量资料。本篇只据此判断，区域背景应按行业分开，而不能用一个“科技制造增长”指标覆盖不同过程。统计背景与展会事件之间，目前建立的是研究关联，而非已识别的因果效应。

SVSAC | sv-sac.org

增加值、营业收入与产品产量也需要分别解释。增加值反映生产活动创造的新增价值，收入受到价格、销售与核算边界影响，产品产量则按特定实物单位计量。三种指标可以共同提供背景，却不能互相替代。若行业增加值增长而某类产品产量下降，可能涉及产品组合、质量与其他活动变化，需要进一步分解，不能直接指认统计矛盾。本篇没有从这组增速推算某类 AI 硬件的数量，也没有把它与长城集团全球销量相加。不同地域、企业与指标口径的资料，应先分清对象再讨论联系。

区域证据还需要警惕从平均表现推断个体能力。行业增长较快，并不意味着每家企业都获得订单；某个企业具备复杂产品能力，也不能推断同一地区所有企业都具备相同能力。本篇拟采用分层样本而非平均画像：首先按交付对象识别材料、零件、模组和系统，再按设计与验证责任区分企业。公开资料能够证明的能力分别记录，未披露不自动等同于没有能力，但也不能当作已具备能力。这样的处理既避免低估未披露企业，也防止研究者用想象填补数据空白。

对于未上市企业，证据条件可能比整车集团更弱。网站产品目录可以说明企业对外展示什么，第三方检验报告可以在其有效范围内说明某个样件，但只有与生产过程相匹配的记录，才能进一步讨论持续交付。本篇不把缺少公开材料视为企业失信；研究结论只应随可获得证据调整精度。例如，可以把企业列为某项能力的待验证候选，却不列为某国际平台的既有供应商。若未来需要访谈或现场试验，应另行取得授权；本篇没有将计划中的调查写成已完成调查。

公开资料条件下，能力矩阵仍可围绕可验证项建立：交付对象的具体名称、参数来源、测试对象、过程控制依据、设计责任、变更与维护责任，以及已有客户关系的公开证据。各项需要不同来源相互配合，不能由一篇企业宣传稿全部证明。若同一公司公告同时写有技术指标和客户名单，研究仍应分别查证对应型号与合作范围。存在客户名称，不等于该客户采购了本篇关注的部件；存在测试结果，也不等于量产所有批次均达到相同结果。匹配对象和范围比积累材料数量更重要。

本篇因此把河北产业背景作为筛选核心问题的条件，而不是直接给出收益预测的依据。行业统计帮助识别哪些活动值得细查，企业年报帮助辨认组织边界，产品与标准资料帮助确定工程任务，采购与交付证据才可能进一步支持市场进入判断。这些证据层次需要在同一案例中衔接。当前资料已完成部分事件与技术路径辨识，尚未形成足以估计河北企业订单或收益的样本。后续扩展应优先增加具有辨别力的企业与产品证据，而不是重复宏观增长和展会传播数据。

SVSAC | sv-sac.org

二十一、物联网的工程化边界：从设备互通到全生命周期交付

物联网产品的交付边界并不止于传感器把数据送到云端。一个可维护的设备至少牵涉设备本体、身份与凭据、网络和网关、应用或控制器、云端服务、更新渠道及退役流程；其中任何一层都可能由不同组织负责。NIST 对物联网制造商的修订版活动框架强调，产品开发与上市后支持相连，漏洞识别和缓解需要贯穿生命周期。[33] 这意味着制造企业若只按 BOM、外壳或单板报价，买方仍会追问谁承担固件维护、密钥轮换、漏洞通告和停产后的安全处置。此处的生命周期要求是技术指导所描述的责任结构，并非所有产品自动适用的一项统一法律义务。

NISTIR 8259A 概括了设备身份、配置、数据保护、逻辑接口访问、软件更新和网络安全状态感知等基础能力。[34] 在此基础上，我们建议把更新来源验证、固件完整性、失败恢复、版本追踪和支持期分别纳入产品验收设计；这些项目并非都由该基线逐条规定。对于默认凭据，本篇的风险推断是：若凭据在不同设备间共享且未妥善变更，可能削弱访问控制并增加事件归因难度，但不能据此断言全部控制必然失效。状态记录如能关联固件、批次与序列号，也可能帮助限定漏洞响应范围。该基线需要按场景裁剪，不能作为所有设备的统一合格清单。

“符合协议”也不是充分的互通证据。Matter 把设备语义、配网及应用控制放入共同生态，CSA 说明其认证需要经过指定流程，并提供测试实验室和互操作测试设施。[35][36] 但实际兼容性仍取决于设备类别、可选功能、控制器版本、网络拓扑、凭据管理与升级组合。一个设备可能在标准必选功能上通过认证，却无法覆盖厂商自选功能或某种家庭网关组合；也可能在实验室完成配对，经过路由器更换、断电恢复或多管理员变更后出现状态漂移。故买方验收应规定互操作矩阵：设备/控制器/软件版本，配网与恢复步骤，读写权限、异常行为、升级前后状态，以及证据保存方式。

认证的作用是降低重复验证成本，而不是替代产品边界说明。CSA 的公开说明把认证与规范符合及相应项目中的互操作相联系；Matter 1.0 发布时也明确宣布测试工具和授权实验室已开放。[35][37] 但某次认证结论应绑定具体型号、硬件修订、固件版本及声明功能；若之后更换无线模组、密码组件、芯片或应用层映射，供应商需判断变化是否影响认证范围及既有测试。该过程本身是一种变更控制任务：保存配置基线、差异分析、回归用例和认证文件的可追溯关系。若卖方无法提供这些记录，买方很难分清“相同型号”是否仍意味着相同通信行为。

制造现场的互操作问题与消费物联网相似，却有更严格的时序和恢复约束。OPC UA 与 TSN 等机制试图让不同厂商的控制器、现场设备和应用在共同信息模

SVSAC | sv-sac.org

型及确定性网络上交换状态；相关工业组织公开提出共同一致性测试计划，OPC Foundation 随后又与 Avnu 宣布对测试、认证和集成工作的协作。[38][41] 这些安排的意义在于，互通不只是报文能被解析：订阅周期、时间同步、优先级、断线恢复、冗余切换和故障码语义都会影响控制闭环。共同测试计划或合作公告本身不是部署证明，但说明行业需要把接口行为转成跨供应商可重复执行的测试，而不是依赖一次性演示。

对硬件制造商而言，较清晰的切入点常在可测的交付接口，而非承诺整个 IoT 平台。例如，设备外壳或连接件需要与天线净空、接地路径、屏蔽连续性、密封结构、热路径和可更换性共同设计；传感器板则要规定校准数据随序列号流转、测试夹具与固件版本保持一致。若用于工业控制，安全开发流程还涉及需求、设计、实施、验证、缺陷管理、补丁和生命周期终结；IEC 62443-4-1 概述了这条安全开发生命周期，62443-4-2 则面向控制系统组件的技术安全要求。[39] [40] 在此基础上，本篇列出买方可要求、供应商可提交的证据例子，包括接口控制文件、批次追溯、环境与电磁测试记录、固件物料清单、漏洞响应时限和停产通知流程。

跨供应商交付还应定义“谁有权做什么”。生产线或楼宇设备可能需要本地维护账户、云端租户管理员、设备自身服务账户和安装商临时凭据；如果角色未分离，维护便利会转成越权或共享密码风险。工业安全规范将身份认证、使用控制、系统完整性、限制数据流、事件响应和资源可用性作为不同安全维度。[40] 对集成商而言，这些维度应映射到可验收动作：停用默认账户、轮换初始密钥、冻结工程端口、记录远程服务会话、对关键配置变更双人批准，且在离线或厂商服务中断时保留安全的本地操作方式。它们是合同和设计选择，不应泛化成某一项标准已经替所有项目做了判定。

验证不应只覆盖“正常运行”，还应覆盖失效和恢复。一个实用的工厂验收序列可以包括：唯一身份与凭据烧录核对；错误证书和过期证书拒绝；断网后本地功能与缓存边界；电源瞬断时配置完整性；固件升级中断后的恢复；高低温、振动、静电或射频干扰下的重新连接；以及旧版本到新版本的互操作回归。工业互操作研讨会由供应商彼此测试和调试的模式，提供了一种将跨厂商行为前置发现的路径。[42] 不过研讨会参与不等于量产符合性，也不能替代客户现场的网络拓扑和安全策略。可靠交付应保留测试环境、步骤、预期结果、偏差和签核人，避免只留“已测试”结论。

互操作的边界也包括退出。设备停止销售后，云端 API、证书签发、固件托管、漏洞公告和备件可用期若没有约定，原本稳定的集成可能因账户关闭或服务

SVSAC | sv-sac.org

迁移而失效。对于一次性设备，买方可能要求离线配置导出、替代网关接管和本地数据删除证明；对高可用生产线，则需明确版本支持窗口、紧急补丁评估周期、变更通知提前量及旧批次备件。NIST 生命周期活动和 IEC 的产品开发流程都使“支持终止”成为工程交付的一部分。[33][39] 这并不意味着必须永久支持；关键是支持期、升级方式、依赖服务及终止后的风险由谁承担，应在设计冻结和合同验收前说清楚。

对区域制造机会的推断应由这些接口证据来约束。企业若已具备注塑或压铸能力，可能在密封、屏蔽、天线窗、装配公差和可维修性上形成产品化任务；若具备电子制造能力，增量任务可能是安全启动、设备身份写入、校准数据追溯和更新失败恢复的工站验证。需要验证的客户证据包括采购规格是否写明协议版本和安全支持期限、谁负责最终认证、发生兼容故障时谁承担现场诊断费用，以及是否允许二级供应商接触凭据材料。没有这些资料时，只能称为潜在工程能力映射，不能称为订单机会。

因此，IoT 价值链可按责任而非名词切分：芯片和模块供应者保证硬件接口与已声明工作范围；设备制造商负责身份、固件和生命周期支持；平台方负责云端接口、权限和服务连续性；集成商负责现场网络、策略和端到端测试；买方负责定义可接受的失效与维护窗口。现实合同可能把多项责任合并到同一家企业，也可能将其拆给多层供应商。分析某个 CES 设备或工业 IoT 概念时，应追问这条责任链是否可操作、谁能提供测试记录、服务依赖是否有退出路径。标准认证、企业公告和制造能力只能各自回答其中一部分，不能互相代替。

二十二、AI 硬件的材料与互连：封装、光电路径和热管理的耦合

AI 硬件的瓶颈不会由单一芯片指标完整描述。随着系统将多个计算、存储与网络芯片置于同一基板或相邻封装，工程目标从提高单芯片晶体管密度，转向在功耗、带宽、时延、可制造性和可维修性之间分配边界。Rubin 等平台公告已把计算、交换、网络和数据处理部件放入共同设计叙事；对于供应链分析，更可核验的问题是互连和封装层需要哪些工序与测试，而不是直接把平台发布等同于对某地区的采购需求。

第一条路径是高密度电互连和先进封装。UCIe 公开概述将规范范围说明为封装级 die-to-die 物理层、协议和软件栈，并利用 PCIe/CXL 生态。[43] 这类标准化可以降低接口设计碎片化、支持来自不同来源的裸片组合，并为更早期的兼容性测

SVSAC | sv-sac.org

试提供共同语义；但它不会消除封装工程。裸片间走线长度、凸点/混合键合、供电完整性、时钟和训练、封装翘曲、热梯度、已知良品裸片筛选、返修和最终系统测试仍需一起设计。完整规范并非都在公共概述页开放，因此不能仅凭“支持UCIe”字样推断某一组合已被互操作验证。

第二条路径是在基板材料上改变几何与布线能力。Intel 公开宣布研发玻璃基板，称其尺寸稳定性有利于更大尺寸封装及更密集互连，并计划在本十年后半段向市场交付完整玻璃基板方案。[44] 这证明的是公司技术路线与时间规划，不是截至观察截止日已经普遍量产，也没有公开足以比较的跨供应商良率、加工成本或可靠性数据。Intel 所宣称的低翘曲和精细布线能力并不自动转化为经济优势：通孔形成、金属化、边缘处理、与有机材料的热膨胀匹配、破片风险和检验方式都会影响有效产出。对采购方而言，材料替换只有在封装翘曲、信号损耗、热循环和装配良率等指标达到同一规范后才具可比性。

第三条路径把电信号转换为光信号，位置可以是可插拔收发器、近封装光学或共封装光学。IEEE EPS 托管的 Sujit Ramachandra 单作者技术文章讨论，硅光子可用于 AI/机器学习对带宽密度、能耗和时延提出较高要求的互连系统，同时讨论光电共封装的集成难题。[47] 光链路的优势不应简化成“光比铜省电”：系统能耗包括激光源、调制器、驱动器、跨阻放大器、耦合损耗、DSP、光纤连接、监控和散热。可插拔模块便于现场更换和供应商替换，但电信号需在面板处转换，连接器与高速铜走线负担仍在；CPO 可缩短芯片到光引擎的电通道，却让激光维护、光纤清洁、热隔离和故障更换更深地进入交换机或加速器封装边界。

三条互连路径的比较单位应是同一工作负载下的端到端传输，而非单个器件的宣传参数。买方需定义每端口有效吞吐、链路距离、光电转换次数、每比特系统能耗、可接受误码率、拥塞时的流量行为、维护时间及更换后校准方法。铜缆在短距离、低复杂度和易维护方面仍可能占优；可插拔光学的成熟供应生态可降低现场更换风险；CPO 和片间高密度互连适合带宽或功耗密度压力足够大的机箱，但对供应商锁定、热管理和集成失效的容忍度较低。这是基于架构机制的比较，具体胜负取决于实际拓扑、距离、机架功率预算和维护模型，不能从技术成熟度标签直接推出。

热管理是上述路线的共同约束，但热源和维修单元不同。OCP 冷板要求文件把热阻与压降、材料兼容、流体洁净、泄漏和可维护接口一并考虑；其系统液冷指南为特定 OAM 设计给出冷板约 1–2 L/min、机箱约 4–16 L/min 的例示流量范围，并明确流量随热负载和回路设计变化。[45][46] 这组数据不应移植为其他机架的设计值，而应提醒读者：冷板改善结到液体的热传递，同时增加泵功、歧管压力

SVSAC | sv-sac.org

分配、接头泄漏、过滤、缓蚀剂、冷却液监测和维护排液等任务。更高导热能力如果伴随高压降或不便维修，可能降低整机能效或可用率。

热管理方案还要区分芯片、冷板、回路和设施的评价边界。[45]的 OCP 冷板需求文件限定于其所描述的 TCS 液冷回路，不覆盖被冷却的 IT 设备或设施水系统，也不讨论 TIM；[46]则提供特定 OAM 系统的设计与热验证指南。本篇据此建议在供应商比较中分别记录冷板热性能、压降、流量、入口温度及系统配置，再按目标设备补充接触压力、TIM、测点和不确定度等资料。负载阶跃、泵停、堵塞、接头拆装与材料浸泡属于我们提出的候选验证任务，需要买方按实际设计选择，并非 OCP 文件已经统一规定的设备级测试清单。

材料与互连的价值分工也不等同于最终产品利润分配。基板、精细线路和封装可能由晶圆厂封装部门、专业基板厂、OSAT、光引擎供应商及系统厂分层完成。Intel 公开资料列出自身先进封装与外包封装测试两类路径，并提到 UCIe 等互连标准。[48] 该披露说明产业内部存在多种组织配置，却不提供产能、采购资格或价格。价值较可能由工艺良率控制、跨材料界面知识、测试覆盖和失效责任共同决定：基板供应者需证明尺寸稳定与翘曲，封装厂需证明贴装/键合、热循环和电性良率，系统厂需证明固件、功耗和散热协同。地区企业若无核心工艺或供应商认可记录，不能凭“玻璃、硅光或芯粒趋势”推出可进入封装链。

封装路线的反例是把集成度当成无条件进步。集成度提高可减少板级走线、连接器和空间，但会让热源更集中，增加已知良品裸片筛选和封装前后测试的价值；某一颗芯片或键合缺陷可能使整包报废，返修时也可能损坏周边裸片。分立可插拔方案零件更多、信号路径较长，却提供更细粒度的替换和供应商切换。选择取决于现场服务模型：云端大规模机房可能接受整机维护单元，边缘机房或工业现场更重视无需专用返厂的模块替换。故评估 AI 硬件制造机会时，除带宽和热阻，还应纳入失效定位时间、备件库存、维修权限和返修后资格重测成本。

为了比较材料路径，研究或采购文件至少需要同一边界下的样品和测量方法：封装尺寸与层数、线宽线距、材料批次、热膨胀和翘曲测量温度、互连电阻/损耗、热循环次数与失效判定、断面分析和良率分母。芯粒方案还需指定测试接入、链路训练、错误注入和裸片来源；光学方案需说明激光器是否计入、光纤连接损耗、失效后更换粒度以及系统端功耗测量点。缺少这些信息时，各家发布的“带宽更高”“损耗更低”“更薄”往往测量对象不同，不宜合并成同一排名。

对河北等区域制造主体而言，可先验证靠近可靠性交付的能力：精密加工或陶瓷/金属部件的尺寸与清洁度控制；管路、接头和冷板的泄漏及压降检验；高速连接器的阻抗、插拔和屏蔽一致性；以及测试夹具、序列追溯与失效分析。越靠

SVSAC | sv-sac.org

近芯片级封装，越需要洁净环境、微细加工、材料认证及与客户共同定义的工艺控制计划；这类要求与一般金属加工经验不能直接互换。是否值得投资，取决于买方规格、认证周期、设备利用率、良率爬坡和售后责任；本次分析所读公开证据未提供河北企业在这些环节的供应商入围或实际产能数据。

二十三、新能源与智能汽车部件：替代路径、集成程度与买方验收

新能源与智能汽车的部件趋势常被概括为“高效率、轻量化、智能化”，但采购者购买的是给定车辆平台、工况和售后体系中的可用功能。对本篇所观察技术的横向比较更适合考察工程路径：同一功能是由材料替代、功率器件变化、模块化设计还是系统集成实现；各方案把成本、热负荷、维修责任和供应风险移到何处。公开趋势只能提供技术方向，不能单独确定哪条路线会成为某个车型的量产定点。

牵引逆变器体现了替代与系统设计的耦合。硅 IGBT 方案有成熟供应和多代量产经验；SiC MOSFET 因较低的开关损耗潜力，可支持高开关频率和较小磁性器件，但器件单价、栅极驱动、短路耐受、寄生电感、电磁干扰及冷却接口也随之成为设计变量。本篇选择采用 SiC 逆变器的重卡高效率动力系统作为系统工程分析对象。[49] 该引用用于标示研究主题；电机、母线电压、逆变器、热管理和任务谱的联合评价，是我们提出的系统工程边界，不作为该报告已逐项验证的结果。 在某些高速或高负荷任务下，高开关频率可减少无源器件体积；在轻载、低价或成熟平台上，Si IGBT 仍可能凭成本和稳定供应更合适。

“SiC 效率更高”必须限定测量对象。器件、逆变器、驱动系统和整车能耗具有不同边界，比较还需直流母线电压、开关与调制策略、温度、转速–转矩循环和冷却条件。所列橡树岭早期混合逆变器资料的具体仿真与升压损耗处理尚未核到相应原段，本篇不以其承担精确结果。[50] 作为作者的方法建议，应明确升压级等辅助环节是否纳入能量账，并在相同工况比较；不据历史资料名称推算当前产品或新车型优势。

高温器件能力也不等于整机允许在高温下工作。SiC 或 GaN 材料可在高结温下工作，但键合线、焊料、基板、栅极驱动、母排绝缘和冷却液的寿命可能成为限制。NREL 针对高温功率电子的换热研究讨论了宽禁带器件的散热需求与结构约束；结合该散热研究，本篇的工程推论是器件结温额定值不能替代模块热循环、功率循环和绝缘耐久测试。[59] 我们建议按具体设计选择供应商级验证任

SVSAC | sv-sac.org

务，包括功率循环、温度循环、振动耦合、湿热、冷却液腐蚀兼容和故障安全降级，并用实际车辆任务谱而不是单一稳态点定义寿命。NREL 的电驱可靠性研究同样将功率密度与可靠性寿命作为共同设计问题。[51]

为比较电池系统的集成程度，本篇设置两个设计情景：一种保留可单独更换的模块，另一种减少中间模块层级或使电池与车辆结构更紧密结合。需要检验的假设是，后一情景可能改善空间与装配，但也可能改变故障隔离、碰撞后处置和维修单元；这些不是本篇已经测得的优劣结果。DOE 对中重型车辆研发征询的归纳记录了受访方关于模块或子包配置灵活性及车辆集成工程的权衡。[55] 该材料只支持相应 RFI 回应的存在，不能代替对所有 cell-to-pack 或结构电池路线的直接技术与维修比较；具体差异仍需目标架构资料与服务数据。

模块化与高度集成不能只用零件数量比较。买方需定义电池包服务任务：发生单体热失控时，系统能否检测并限制传播；碰撞后能否安全断电、无损诊断和运输；更换模块后是否需要整包重新配对、均衡、标定或认证；不同批次的单体混用是否允许；以及车辆停止生产后的备件支持。NHTSA 在 2024 年提出的 FMVSS 305a 规则草案讨论了低温充放电、单体内短路引起的热传播和控制系统失效警告等风险文档维度。[54] 这是提案不是最终合规义务，但可作为验证问题清单的证据，提醒设计审查不要只看容量密度和快充峰值。

电池热管理也必须围绕系统和工况验证，而非只引用电芯数据表。冷热环境下充电接受能力、单体温差、冷却回路能耗、预热所需时间、快充后的均衡和热失控传播路径，都会影响用户可得续航和寿命。NREL 对一款早期 NiMH 混动车电池包进行热评估，说明温度分布和整包热管理本身就是车辆层面的研究对象；由于化学体系和结构年代不同，该案例不能代表现代锂电池。[56] 对当前方案应使用目标电芯、冷却板与车辆布置，做温度梯度、冷热浸后充电、重复快充、冷却故障与传感器偏差测试。以电芯峰值功率外推整车快充表现，忽略了 BMS 限流、电缆与充电桩功率及热余量。

车辆充电接口则显示机械标准化与数字互操作的差别。SAE 发布 J3400/2 机械要求，意在统一连接器相关细节；但机械可插合不等于充电会话、认证、计量、负载管理或 V2G 已能互通。[53] ISO 15118 可支持车辆与充电设备交换充电需求、数字证书式即插即充及部分双向充电功能；DOE 同时强调车辆、EVSE、后台服务和电网侧的兼容依赖。[52][57] 因而验收需分层：触点几何与温升、插拔耐久、防水防尘、通信协议版本、证书链与撤销、掉线续传、充电调度响应、计量一致性和后台结算。一个统一插头只是连接链条的入口。

SVSAC | sv-sac.org

以充电系统为例，买方验证的关键并非展示一次“插上即充”，而是覆盖数字身份和运行异常。测试可包含车辆证书更新失败、证书过期或撤销、充电桩更换运营商、车辆时钟偏差、网络中断、功率协商边界、费率策略变化、停电恢复、反向功率授权和账单对账。DOE 项目综述把 EVSE、车载充电器与充电网络之间的互操作和网络安全列为持续研发重点；这反向说明标准功能定义完成，不代表部署组合已成熟。[57] 买方应要求版本兼容矩阵和端到端记录，区分车辆制造商、充电设备厂、证书服务方、运营商和能源管理平台各自的缺陷处理责任。

智能汽车部件的接口验证还包括软件更新、诊断和功能安全证据。供应商交付摄像头、雷达、域控制器或线束时，买方关注的不只是电气连接：时延、时间戳同步、数据质量标志、诊断码、降级策略、启动顺序、更新回滚和故障隔离都可能影响车辆系统行为。可将验证矩阵拆成接口兼容、环境耐久、电磁兼容、功能安全分析输入、网络安全更新和生产一致性。不同等级驾驶辅助或自动驾驶责任边界不可混同，某零部件的探测能力不能证明整车系统具备特定自动化等级。此处不重述前文关于驾驶责任的基础口径，而强调供应件如何交付可追溯的性能与失效数据。

模块化和集成化的供应商合同应把可替换单元、责任转移点和现场处置成本写清。若供应商交付一体化电驱桥或电池结构件，买方需要知道失效时更换整个总成还是子模块；诊断数据是否开放；拆卸是否影响密封、绝缘或认证；返修产品如何复测；以及备件跨车型复用是否需要重新确认标定。若供应商只交付子件，还需明确主机厂提供哪些负载谱、安装边界和冷却条件。模块化能降低备件颗粒度和服务时间，但会增加接口、连接器、重量和验证组合数；集成可减少零件与装配工序，却可能提高单点失效影响和更换成本。买卖双方应该把总拥有成本的实际数据与这些设计假设共同记录。

评价新能源部件替代时还需考虑供应链连续性和制造可重复性。器件从硅转向 SiC、连接器转向新接口、电池从可拆模块转为结构件，都可能引入新的原料、加工设备、专用测试和售后备件依赖。一个性能较优的设计如果仅有单一来源、认证周期无法与车型量产窗口匹配，或供应商无法维持批次追溯，可能不具备整车采购可行性。对买方而言，工程资格审核常包括工艺变更通知、关键材料来源、过程能力、失效分析时限、产能爬坡计划、备份产线及召回协作。公开标准或科研报告能解释需测什么，却不能替代特定客户的定点与质量审核证据。

将趋势映射到区域制造能力时，可以按验证任务划分候选工序：功率电子的基板与散热器加工、绝缘和耐压测试、母排及连接系统、冷却歧管和高压接头；电池包的结构件、密封、碰撞后隔离与热传播传感；充电设备的连接器、线缆温

SVSAC | sv-sac.org

升和防护；智能汽车的传感器支架、屏蔽件、线束和标定夹具。每类候选都需要对应具体客户接口、标准版本、测试设备和质量体系。产业统计或展品热度不能证明本地企业已有这些能力；还需核对实物工艺、客户审核、量产 PPAP/过程批准、缺陷率和供货记录。本次分析已读公开材料尚未提供河北企业的此类资料，故本篇不对谁能参与或收益多少作个案结论。

本节的比较结论是条件性的：SiC 并非对所有逆变器都优于硅器件，结构电池并非对所有售后情境都优于可更换模块，CPO/高集成也并非在所有机房都优于可插拔组件。它们各自把复杂度从一个环节移向另一个环节——器件替代把设计压力移到驱动、EMI 与热循环；电池集成把质量和空间收益与拆修、传播隔离及事故服务相交换；充电标准化把插头一致性与数字身份、后台和电网协同区分开。采购评价需说明任务谱、系统边界、替换单元、通过标准、失效后果和支持期限。只有与买方验证和制造能力证据汇合，技术趋势才可能成为可执行的部件机会。

二十四、感知硬件的任务边界：光学、毫米波与多传感融合

本篇把感知硬件选型分解为三个待验证任务：外观类别识别、几何位置估计和运动状态估计。这是作者提出的比较框架，并非 NHTSA 发布的传感器排名。以车辆前向感知为例，应先列出决策需要的量：交通信号状态、目标类别、距离、相对运动，以及各量的置信区间和失效告警；再检查候选器件实际输出哪些原始量、哪些量由模型估计。某方案的检测平均精度高，不意味着其距离误差、速度误差和故障可诊断性同时较好。NHTSA 关于 ADS 安全框架的征求意见文件讨论了多类传感器组合，支持按系统功能审视架构的必要性，但不提供这些器件在相同任务下的性能对照。[61]

公平比较需要把任务、安装和算法条件固定到可以复核的程度。我们建议在相同 ODD、测试路段与目标类别下，记录标定版本、时间同步误差、传感器位置和计算预算，分别报告检测召回、距离误差、虚警率和端到端延迟；若研究跟踪，还须报告轨迹关联与身份切换指标。天气分层结果应与总体结果并列，避免晴天样本占比掩盖雨雾子集的失败。即使融合方案胜出，替代解释仍可能是训练样本、模型规模或计算量增加，而非传感器互补本身；因此应做单模态、相同预算和模态故障注入的对照。这些是作者建议的实验设计，本篇没有实施道路实验。NHTSA 测试框架提供了从 ODD、对象与事件响应到场景和用例的组织方法，可作为定义测试边界的依据。[60]

SVSAC | sv-sac.org

RADIATE 为天气差异提供了具体而有限的对照资料。该数据集以 79GHz 高分辨率雷达为重要观测来源，包含雨、雾、雪、夜间等路况，同时提供立体相机、32 线激光雷达和 GPS；论文报告的公开标注数据约三小时、超过 20 万个道路参与者标注实例。[62] 它的贡献不是证明雷达可以在任何天气中取代相机，而是使研究者可以在匹配场景中问：雷达能否维持目标检测，视觉或点云性能何时下降，融合是否真的提升可用性。论文展示的是车辆检测基线；其 Navtech CTS350-X 扫描雷达不提供多普勒信息，不能据此推断直接测速能力。若研究跟踪，还需另设时间关联与轨迹评价。数据来自特定道路、传感器和收集时段；夜间、降水与背景密度分布并不等价于所有国家道路，也不能代表量产车上的脏污、安装角度偏移和热漂移。单一数据集的性能增益必须与采集分布及标签规则一同解释。

“Seeing Through Fog Without Seeing Fog”研究则指出，所比较的融合方法在该研究涉及的稀有雨、雾、雪场景中可能失效：相机、激光雷达、雷达和近红外观测会受到不同形式的非对称干扰，训练集中稀少的天气边界不能靠简单拼接特征自动处理。[63] 论文展示一套跨模态融合方法并用超过 10,000 公里采集的多传感资料研究未见天气，但样本量和标注密度仍不能覆盖所有罕见组合。以下是作者对架构的条件性分析，而非该论文直接验证的普遍结论：若其中一模态出现虚警，早期融合可能把错误证据传播到联合表征；晚期融合在保留各分支输出的实现中可能更易保留各传感器独立置信度，却可能丢失像素或点级细节。门控或可靠性加权策略需经过模态缺失、时间错位、脏污、反射异常和传感器失效的消融测试，检验系统是否进入所定义的降级状态，而不只是晴天平均精度提高。

在智能家居和物联网终端，距离测量不一定需要长距三维扫描。ST 的 VL53L8CX 规格书描述一颗 8×8 多区飞行时间器件，支持每区多目标距离、约 2–400 厘米测距、最高 60Hz 采样及低功耗唤醒模式，同时列出目标反射率、环境光、积分时间和工作模式对测量体积的影响。[65] 这些上限不是同一个同时成立的工作点：数据表的 8×8 连续测距性能在 15Hz 条件下报告，距离还随目标、光照和区域位置变化，不能把 4 米与 60Hz 组合成普遍保证。这适合近距离手势、设备唤醒、液位或小型机器人避障等任务；不等同于远距车辆感知或人体识别。与单像素红外接近开关相比，多区深度能保留粗略空间位置；与 RGB 相机相比，它不直接给出颜色和纹理，可减少采集可识别影像的需要，但其距离图仍可能泄露占用与移动信息。以隐私为采购卖点时，应说明设备只输出何种特征、原始回波是否保存、何时上传，避免把“无彩色照片”夸大为无隐私风险。

SVSAC | sv-sac.org

60GHz 毫米波雷达进一步把测量对象扩展到微动和存在状态。Infineon 公开产品材料列出 FMCW 和多普勒器件、天线封装、低功耗配置及人体存在、手势、定位和生命体征应用。[66] 对空调控制，雷达可发现静坐者仍在房间，避免基于可见光画面持续记录；作者提出的另一待验证应用是车辆舱内儿童存在检测，雷达可能在不要求乘员主动佩戴设备的情况下提供微动信号。前述通用应用来自供应商材料，舱内方案是作者提出的应用假设，不等于医疗诊断准确率或监管批准。反射墙体、风扇、宠物、相邻房间穿透、多个雷达互扰和安装高度都会改变误报率。相机更适合看清物体类别，毫米波更适合测微动和相对运动，ToF 更适合近场几何；差异化组合应以任务需求决定，而不是为了“AI 感知”堆叠三种传感器。

成像硬件的局部改进可以解决非常具体的边界问题。Sony 对汽车 LED 防闪烁机制的说明指出，交通灯与标志中的 LED 会周期性开关：短曝光若恰好落在 LED 熄灭时段，图像可能漏采其发光状态；加长曝光又可能造成像素饱和。[67] 该解释对应“灯色和亮灭状态是否被稳定记录”这一类安全任务，而不是泛称提高 AI 精度。高动态范围、LED 防闪烁和镜头污损检测需要联合评估，因为压缩曝光或多帧合成可能增加延迟，过度抗闪烁也可能牺牲动态场景的细节。采购方应要求原始帧、曝光参数、LED 频率和温度条件的可重复样例，观察感知模型是否在不同路灯和信号灯驱动频率下仍正确识别。Sony 页面是厂商机理说明，不是道路安全的独立比较研究。

以下三层融合分类是作者用于组织设计审查的框架，各项优劣均需在具体接口与算法下验证。传感融合至少有三种工程位置。原始数据级融合要求高带宽、严密时钟同步和精确外参标定，能保留低层互补细节，却对摄像机、雷达和激光雷达的坐标对齐极敏感；特征级融合在各传感器编码之后拼接或互注意，在编码压缩有效时可能降低传输量，但引入模型版本和特征尺度兼容问题；目标级融合先各自检测，再用卡尔曼滤波、JPDA 或学习关联整合轨迹，在输出语义和误差模型兼容时可能便于替换和故障隔离，但无法恢复已在局部模型中丢弃的细节。其选型取决于计算资源、传感器数量、总线带宽、可标定精度以及供应商是否开放中间数据。若供应商把特征编码器封闭，主机厂可能获得良好单传感器指标，却无法独立验证跨模态冲突和模型更新后的融合行为。

本篇将外壳、窗口和安装件列为需要随整机验证的潜在影响因素，不把下列关系视为已取得的测量结果。雷达罩应检验介电参数、厚度、曲率、涂层和水膜与插入损耗及方向图的关系；相机盖板应检验透过率、污渍和加热膜与成像质量的关系；ToF 窗口应检验深色材料、内部串扰和安装倾角与距离分布的关系。验

SVSAC | sv-sac.org

证应使用完整装配件，对照裸模组，并记录材料批次、成形偏差、密封和校准版本。若批次差异或温度循环后的误差明显大于裸模组差异，外壳制造可能成为主要误差来源；若没有差异，则不能仅凭材料参数推断整机退化。公开资料尚未证明河北制造商在这些部件或汽车级多传感标定上的客户资格，该方向仍须用样件、测试规格和认可记录验证。

车辆通信与车载测量可以提供不同信息，但所列早期 VSC-A 报告的六场景及数秒目标获取比较尚未核到相关原段，本篇不将其作为已读测试结果。[64] 作者提出的架构分析是：其他车辆的位置消息或可补充视线之外的信息，但取决于目标装备、定位、网络和信任条件，不能代替对未联网目标及现场环境的测量。融合评价应分别记录输入来源、时效、误差和异常处理，并在实际栈与场景下验证。此处不报告现代车辆已解决遮挡，也不以历史方案推定当前感知收益。

因此，感知硬件的供应任务往往落在“测量链可重复”上：光学件的透过、杂散光和热漂移，雷达天线与罩体的方向图偏差，ToF 盖板串扰，传感器时间戳和标定参数，以及制造批次的复测夹具。终端买家应先界定是室内占用、手势、车辆前向跟踪、舱内儿童检测还是远距道路建图，再选合适测量原理与失效代价。现有公开研究提供的是机制、数据集和有限对照；厂商规格提供器件能力主张；量产性能则需在目标车型/设备的安装位置、窗口、振动、天气和软件版本下验证。把三种传感器组成“融合方案”本身既不等于可交付产品，也不能替代任务级安全论证。

专利资料可以把上述工程问题定位到具体技术方案，但不能替代产品证据。美国专利 US12481042B2《Time of flight sensor》于 2025 年 11 月 25 日公布，其权利要求 1 描述通过多次发光后的光子到达时间分布，在存在两个或更多分离峰时记录最早峰参数，以测量透明盖板条件下的光学串扰；权利要求 15 涉及传感器与光学堆叠共同校准。[191] 本篇只使用公开文本说明“窗口–测量–校准”有可定位的技术实现路径，既不据此判断权利有效性或他人实施是否侵权，也不推断该方案已用于某一 CES 展品。Google Patents 的法律状态及权利人字段带有准确性提示，本篇未作权属或许可核查；专利存在不证明制造良率、客户采用、许可收益或河北供方资格。

器件应用文档提供另一类、更接近装配约束的证据。ST 的 AN5939 第三版（2025 年 3 月）针对 VL53L8 系列盖板，说明串扰随光学布置、盖板几何和材料性质变化，并讨论空气间隙、涂层、粗糙度和倾角；它把盖板评价直接连接到器件系统设计。[192] 这支持把窗口列入装配验证，而非把裸模组规格当作完整设备的保证。但它是供应商面向特定系列的应用说明，不能与前述不同专利自动关

SVSAC | sv-sac.org

联，更不能证明所有材料或安装方案均有同样效果。我们建议的对照是冻结模组、固件和照明，改变单一窗口或间隙因素，保存原始直方图及距离误差，再检查温度与污染是否改变关系；这些测量尚未由本篇实施。

二十五、边缘 AI 架构的任务分配：算力之外的内存、数据与互连

“在边缘运行 AI”并非单一部署位置。传感器旁的 MCU 可以对振动、声学或简单事件窗口做阈值与小模型判断；带 NPU 的嵌入式 SoC 可在本地运行视觉分类、唤醒词或手势网络；车辆中央计算单元可以融合多个摄像头和雷达流，并保留毫秒级控制链；厂房网关或运营商边缘服务器适合多个设备共享较大的模型与数据缓冲；云端则便于扩展存储、集中训练和非实时分析。不同层级的区别不只是 TOPS，而是传感输入到决策的路径、可用 RAM/闪存、通信中断时的功能边界、与执行机构的责任关系。一个靠云端完成的缺陷复核模型和一条直接影响急停的检测链，不能用同一种部署方案评价。

MCU 级 TinyML 的价值通常来自任务规模与能量预算匹配，而不是“把云搬进芯片”。MLPerf Tiny 面向低功耗系统，以固定质量目标比较单次推理的准确率、时延和能耗；其 2026 年 v1.4 说明将微控制器等受限设备列为适用对象，并提醒周边 I/O、固件启动和测量边界会改变能耗结果。[68][74] 这适合振动异常、关键词触发或门铃存在判断等低维输入、有限类别任务。若任务需要高分辨视频、多目标关联、长上下文或频繁改变的类别体系，模型权重之外的输入缓存、特征张量、图像预处理和日志存储可能先耗尽 RAM 或 Flash。微控制器低功耗优势不能自动延伸到相机传感器、无线传输、显示和执行机构的整机能耗。

嵌入式 NPU 的峰值运算能力不能直接替代编译与板级测量。Arm 的 Liliya Wu 在 2022 年 Vela 教程中说明，不能加速的网络部分留给 CPU 执行，算子还须满足约束；该教程所列 Vela 3.2.0 的系统与内存模式示例区分 SRAM、Flash 和 DRAM 配置。[70] 这些是特定历史工具版本的机制说明，不能直接推断 2026 年任意 NPU 的算子覆盖率、回退代价或内存表现。作者据此提出验证问题：目标模型有多少计算进入 NPU，CPU 分支是否位于关键路径，跨处理器交接和内存访问占用多少时间？若热点落在 CPU、数据复制或存储等待，单独提高 NPU 峰值算力可能收效有限；这是须由编译报告和整板时序检验的假设。比较应固定模型、工具版本和存储配置，再测峰值内存、预处理、推理与后处理的时间分解。

SVSAC | sv-sac.org

MLPerf Edge 与 Tiny 的计分单位不能互换。MLPerf Edge 对多种设备和工作负载设定场景，由负载生成器产生不同请求模式，使用场景对应的吞吐或时延指标；它还区分 Closed 与 Open 重实现，以及可购买、预览和研发状态的结果类别。[69] Tiny 则更强调单流推理、任务质量及可选能耗测量。[74] 因此，单流延迟适合问“一个传感事件多久得到响应”，离线吞吐适合问“批处理最多处理多少样本”，多流场景更接近多个传感器并行输入。不同提交的结果如果模型、量化精度、输入尺寸、软件栈、I/O 和功率测量范围不同，排行榜数字不能直接表示同一产品体验。基准的用途是固定部分变量，再突出仍未固定的系统差异。

任务切分到设备、边缘或云端时，传输的并不一定是原始图像。设备可先提取中间特征或候选区域，再把较小表示送往边缘节点完成高阶推理；这样减少无线带宽并可缩短传回云端的时延，但特征本身仍可能包含可重构的信息，也产生新的模型版本接口。Edgent 研究用动态模型切分和早退，按网络带宽变化调整设备与近端服务器的计算分配，并在树莓派与桌面机原型上评估。[72] 这是一个具体机制而非普遍最佳方案：若网络质量骤降，切分点越靠云端越可能使响应失期；若前端模型不确定性高，过早退出可能把难例错误判为简单类别。端侧、边缘节点和云端之间的“切点”需要同时考虑编码传输字节数、计算时间、排队时间、重传、端侧电耗和准确率变化。

边云协同的比较应把通信资源作为实验变量，而不是把不同平台报告的数字排列成一条性能曲线。我们建议先固定任务、模型权重、输入尺寸、硬件、精度与质量指标，再改变切分点和链路条件，同时记录端到端时延、传输字节数、设备与服务器能量、任务质量及失期比例。端到端时延要包含排队、编码、传输、重传、推理和结果返回，不能把卸载阶段时延与完整响应混称。若用检测任务，还须分清交并比阈值、平均精度和逐框定位误差。只有同一工作点的联合测量才能支持质量–通信–时延的权衡；将不同图表或不同量化设置下的最优值拼成一个配置，会产生不存在的性能组合。这是作者提出的比较设计，本篇没有实施这些测量，亦不从综述二手表中的精确数值推导现代产品性能。

存储和互连决定数据能否被及时送达。多摄像头终端把图像写入共享 DRAM 或专用 ISP/NPU 缓冲区时，像素格式、分辨率、帧率和并发流数量会转化为内存带宽与总线竞争；如果系统只按 TOPS 选型，图像复制、颜色转换、特征缓存和安全隔离的开销会漏掉。对常开设备，循环缓存可只保留事件前后短窗，再在本地检测到异常时加密导出，有机会降低常态无线传输量；但缓存时长、覆盖写入策略、掉电后残留和事件导出权限需进入产品设计。相较云端存全部视频，这种架构减少数据移动，却要求本地设备具备安全时钟、序列号、存储介质耐久度和

SVSAC | sv-sac.org

可审计的删除机制。这里的隐私由采集范围、保留期限、访问权限和密钥保护共同决定，不由“边缘”标签决定。

不同业务类型的资源占比差异很大。机械设备的振动诊断可在传感节点做频谱计算和异常评分，只把统计量、告警和少量波形送至网关；需要跨设备关联时，再由厂内边缘服务器结合工况、维修和生产节拍数据。车内语音唤醒需在座舱端低延迟响应，复杂语义理解则可在连接许可时调用更大的本地或云模型；驾驶员注视或占用感知需要把原始视频保留在车端的理由更强，云端可用于经授权的匿名化质量分析。智能门铃可本地判断是否有人，再按配置保留事件片段，而非连续上行。架构的“本地程度”由动作期限、隐私边界、设备供电和网络可用性决定；同一产品往往需要多个层级。

模型可部署性还依赖工具链和生命周期。Edge Impulse 允许设置目标设备的 RAM、ROM 和最大延迟预算，并提供对模型在特定平台上的资源估算。[71] 这种预估适用于筛除明显放不下的模型，但最终板级测量仍需计入驱动、协议栈、缓冲区、启动代码和温度降频。由上述历史编译示例提出的复测建议是：更换算子、量化方案、编译器或固件后，应重新检查分派与内存峰值，不预设升级前结果仍然成立。采购方应要求冻结的模型哈希、编译器与运行库版本、量化校准集说明、目标硬件配置、输入输出规格和逐层性能档案；若模型需要新类别或隐私策略调整，要能在不破坏控制链的情况下重训和回滚。工具页写明“估计”而非保证，故仍要在量产硬件上复测。[70][71]

边缘与云的比较解释也不能忽略供应商的业务边界。设备端供应者可能只交付芯片和 SDK；应用平台方提供推理 API；运营商出售边缘节点资源；云厂商按调用、存储和出口流量计费；集成商负责站点网络与模型升级。若买方无法读取中间数据、改变推理位置或导出历史记录，就会被锁定在某一平台的接口和模型目录中。相反，端侧计算会把持续更新、失效诊断和低功耗调优责任推回终端厂商。即便模型本地运行，训练、分发和遥测仍可能依赖云服务。技术比较应追踪每一种数据从传感器到存储、训练和运维的路径，以及每个环节由谁持有访问权。仅凭“隐私优先”“云原生”或“端侧 AI”标签，无法判断实际数据边界。

因此，边缘计算的制造接口可以具体化为内存与存储配置、总线负载、通信模块、散热和固件升级机制。对微控制器终端，重点是 RAM 峰值、闪存占用和低功耗唤醒；对视觉 NPU 终端，重点是 ISP 至 NPU 的数据路径、DRAM 带宽、算子覆盖和温控；对多设备网关，重点是并发队列、断网缓存、时钟同步和远程策略更新；对云边协同系统，重点是模型切分协议、版本回滚、数据加密与流量管理。每一类都需要任务数据而非抽象 TOPS 指标。公开基准和产品说明帮助定

SVSAC | sv-sac.org

义测量问题，仍不能证明某类河北企业具备目标客户要求的板级设计、内存信号完整性、固件工具链或量产资格。当前缺少此类本地企业证据，因此本节仅比较架构路径，不据此判断供应商名单或订单价值。

二十六、家庭与建筑能源协调：从通信信号到设备控制

“智能能源管理”至少包含四层不同动作：能源服务商或电网侧发布价格、削峰或可靠性事件；聚合商把多个家庭、车辆和储能设备组织为可调资源；建筑能源管理系统将外部信号转成空调、热水器、充电桩和电池的运行约束；设备本地控制器再根据温度、功率限额、充电目标和安全边界执行。通信标准只规定其中一段的信息交换，不替设备决定如何控制。DOE 的车辆电网整合评估把智能/双向充电、配电控制、标准与网络安全分列为跨部门工作，反映系统级控制要同时协调车辆、EVSE、聚合平台和电网操作侧。[75]

OpenADR 涉及电力系统信号与客户参与之间的事件交互；本篇保留 VTN/VEN 角色的一般讨论，但住宅示例中具体提前量与报告配置尚未核到所列指南对应原段，不据其确定统一要求。[76][82] 作者提出的夜间充电分析应另外取得出发时间、最低可接受电量及配网约束，不能从价格事件直接推出最优设备计划。消息接口与设备功率控制回答不同问题，实际职责仍须按所用版本与项目文件确认。

楼宇内部还存在多种设备控制语言。DOE 建筑技术办公室的同行评审材料指出，OpenADR、BACnet、CTA-2045 和 IEEE 2030.5 等标准服务于不同系统层，消息格式、语义和设备指标并不自动一致，数据与传感器需求本身也仍待明确。[77] 这意味着集成商需要承担“翻译”任务：电网端的价格区间或削减功率事件，要映射成建筑侧可控变量，例如冷水机组设定点、热水罐充电窗口、蓄电池功率限值和 EV 充电电流。若转换逻辑丢失单位、时区、基线或优先级，设备可能响应反向或超时。通过一条 IP 连接并不代表信息含义一致；控制器之间需要对事件有效期、取消/更新、确认超时和本地默认策略作出明确解释。

调度逻辑适合采用分层时间尺度。日提前或小时级信号可安排电动车、热水储罐和固定式电池的充放电窗口；分钟级的建筑控制器根据室内温度、并网限额和 PV 出力修正功率；秒级或更快的本地变流器保护与电池 BMS 维持电压、电流、温度和防孤岛安全边界。上层把负荷往后移，但不能要求设备突破本地安全限制；若价格信号失联，设备应回到用户设定或安全默认值，而非持续执行过期功率目标。综合上述 DOE 关于控制、激励和多方协调的分析，本篇将管理充电

SVSAC | sv-sac.org

概括为信号、激励和响应实施三个环节，并把单一实体提供或公用事业、聚合商与用户侧平台分工视为待按项目核实的组织配置。[75] 这解释了为何系统调度收益与控制权、责任和激励合同相连。

家庭能源管理的难点是舒适度与电价目标的冲突并非静态。热泵或空调可以在预冷/预热阶段提前用电，再在峰值时段降低功率；可建筑保温、室外温度、湿度、热惯性、住户作息和压缩机最短启停时间都会改变可移时长度。储能电池可以降低瞬时购电或向外放电，但循环寿命、逆变器功率、用户备用电量和并网许可约束实际可用容量。DOE Madison Connected Communities 项目的公开说明将市政建筑示范、后续公用事业试点和规模化列为分阶段目标，并配置建筑业主、公用事业和网络安全合作方。[80] 项目材料列出削峰、持续需求管理和负荷转移目标值，但它是 2024 年同行评审阶段的项目计划，执行期延续至 2027 年，不能视为已测得的节省或可复制业务模型。

充电预约、功率调度和双向服务需要分开。所列 EVs@Scale 资料中的 Charge Schedule Bridge 版本、存量设备接口组合与试点状态，尚未取得支持具体归属的原段，本篇不将它作为已验证兼容效果。[81] 作为一般架构假设，调度代理或可连接不同接口，但不能凭软件名称补足 SOC、出发时间或双向功率硬件；每项输入和实际能力均需独立确认。预约或单向调度也不应被自动写成 V2G。

双向车辆到电网则需要同时协调能量路径与数字授权。Argonne 的 V2X Connect 项目报告称，其团队在 AC 与 DC 架构实现 ISO 15118-20、部署 OCPP 2.1 客户端、使用生产级证书建立端到端安全通信并完成系统验证，且报告记录与 Hubject 和 GM 进行 V2G 功能演示。[79] 这比“支持双向充电”的器件发布提供了更完整的公开系统证据，但仍是特定控制器、车辆和 EVSE 组合的项目结果，不代表所有充电器、车款、聚合平台或配电公司互操作。IEA 也指出，V2G 需要车辆、充电设备、通信协议、测试制度、监管框架和激励共同就绪。[78] 若没有电池寿命补偿、用户离站保障、服务授权与并网协议，双向硬件能力不会自动产生可交付的调频服务。

业务目标决定事件与计量需要什么数据。所列 OpenADR 住宅示例的 24 小时预告和电表报告充分性尚未核到原段，不据此归属具体条款。[76] 作者建议分别评价价格预约、实际削峰和反向注入：所需时间分辨率、基线、占用信息及结算条件可能不同，更高频遥测是否必要也取决于待测任务。应把预测误差、执行偏差和事后计量延迟分开，以免“按消息动作”被写成已达到配网目标；这些是后续验证问题，不是本篇已完成的系统试验。

SVSAC | sv-sac.org

能源控制还依赖屋内传感数据，而传感器失准会造成看似成功的调度。温控器读数若受阳光或设备热源影响，建筑控制器可能在真实占用空间过热时继续削减空调；电池 SOC 估计若漂移，会让聚合商承诺超过可用能量的响应；EV 插枪状态和离站计划若未更新，则优化器可能把车辆当成可移负荷却影响用户出行。通信侧应至少区分测量时间戳、数据质量标志、缺测与保持上次值，并为设备本地保护保留优先级。Madison 项目材料强调需要通过实际示范确认技术潜力、业务模式和项目障碍，而非仅靠模型计算推算收益。[80] 控制质量应由建筑舒适、用户任务完成、并网峰值和设备寿命同时检视。

家庭能源终端的制造交付由功率硬件和控制软件共同组成。设备侧可能包括计量芯片、通信模组、继电器/接触器、逆变器、温度传感器和断路保护；软件接口则必须把价格、功率设定、SOC、用户目标、故障和服务状态映射到设备状态机。产品制造商需要支持电网协议的兼容版本、时区与时钟同步、掉线后安全默认、证书续期、人工覆盖、历史记录导出和固件回退。一个控制策略在仿真中可行，不等于不同品牌热泵、储能、EVSE 和网关在家用网络中可组合。SMUD 指南提及使用 OpenADR 扩展对象在聚合器组间动态分配资源，以便报告与调度。[82] 这种功能使资源组织可扩展，也增加成员状态、优先级与账单分摊的正确性责任。

把协调结果量化时，至少要区分削减功率、移峰电量、可持续时长与恢复后的反弹负荷。某个聚合平台在 15 分钟内降低 100 千瓦，未必能在两小时事件中持续；预热/预冷后恢复运行可能把负荷堆回同一配电峰段。项目材料若只给出年度节能量，无法说明一次事件的响应曲线、舒适度变化或被拒绝的调度数量。Madison 项目将能量节省、削峰、持续管理和移峰列为不同目标，本身提示这些是不同的可测结果。[80] 对买方而言，控制器和电表必须用一致的时间戳记录事件指令、设备设定值、功率响应、用户覆盖和温度/电量状态，才能区分预测值、目标值与实际交付。

智能家居展示中“能源管理”这一功能名可能指不同层级：显示电价和用电量、按电价安排家电、管理家庭电池/光伏/车辆，或参与聚合商的需求响应。公开材料只有在说明外部信号、控制实体、设备范围、用户授权和结果计量后，才能支持有关系统协调的主张。CSA 在 2022 年发布 Matter 1.0 及认证计划，属于家庭互联生态的标准化进展。[37] 这项发布事实本身不证明能源协调能力；能源调度仍需电网或聚合协议、设备能力模型及本地保护。现有公开例子分别表明：OpenADR 可传事件，EVs@Scale 为旧车创建预约中间层，Argonne V2X Connect 验证特定双向系统，Madison 项目仍在分阶段示范；这些证据不应合并成一个“家

SVSAC | sv-sac.org

庭能源 VPP 已成熟”的结论。它们支持的更窄判断是，能源协调由通信接口、设备控制、计量与市场规则组合而成，接口之间的责任是制造及系统集成工作的一部分。[75][76][79][80][81][82]

二十七、技术扩散与价值获取：模块接口、买方控制和互补资产

CES 展示中的传感模组、边缘推理设备、家庭能源系统和 AI 芯粒，表面上属于不同市场，但在产业组织上都要解决一个问题：技术功能能否拆成可由不同企业完成的模块，并保持整个系统可用。模块化通常降低跨企业协调所需的信息量，让供应商专注于一段工序或器件；然而“能制造一个模块”与“取得创新收益”并非同一结果。Teece 的创新收益框架指出，当模仿容易且创新者缺少制造、服务、销售等互补资产时，收益可能流向控制这些资产的其他参与者，而不一定流向最早提出技术的人。[88] 因而技术扩散和价值分配需要分开分析：新接口让更多企业能参与，买方、平台或整机商仍可能决定设计规格、数据权限、认证入口和终端客户关系。

一种解释强调模块化带来的分工与进入机会。Gereffi、Humphrey 和 Sturgeon 以交易复杂度、信息可编码性和供应商能力解释全球价值链的治理类型：标准接口和高可编码性可使高能力供应商更容易向多个客户交付，形成模块化关系；在复杂交易中，若规格可编码但供应商能力不足，关系更可能呈俘获式；若规格难以编码而供应商能力高，则更可能依赖关系式协调。[84] 这意味着开源协议或共同标准不是“供应商自动拥有议价权”的充分条件。它只改变协调难度；实际结构还取决于买方是否能验证能力、供应商是否有独特工艺，以及关键资产是否可替代。关系型供应商可能凭独有工艺共同定义下一代产品，模块化供应商可能凭标准化服务扩展客户，也可能因服务可替代而处于价格竞争。

产品模块化的技术含义同样不是“零件彼此独立”。Mikkola 和 Gassmann 把模块性与接口明确程度、组件耦合及新组件可替代性相联系，缩短开发与扩展系列是模块化策略的一般动机；其模型与两类电梯例分析的是组件耦合、可替代性及模块程度，新组件和新交互也可能延长开发、增加复杂性，不能把一般目标当成电梯例已实现的效果。[86] 放到本篇所观察的技术趋势中，标准化雷达输出或边缘推理 API 可能让终端厂更换传感器/加速器；但时间同步、标定、模型校准、热设计和安全诊断仍可能跨模块耦合。能源设备用统一事件消息交换价格，不代表

SVSAC | sv-sac.org

热泵、逆变器和车辆可不经系统级控制就互相替代。由此可见，供应链切分应考察接口是否覆盖真实依赖，而不是只核对连接器、协议名或 BOM 行项目。

第二种解释指出，模块化可能把价值创造分散出去，却把价值获取留在平台和核心知识产权持有者手中。Henkel、Baldwin 和 Shih 提出“IP 模块性”，要求企业同时设计技术模块边界与知识产权边界：开放部分接口或组件可吸引外部创新，保留关键实现、数据和替代路径则可能保护回报；但过度封闭也会降低生态参与和共同开发。[83] 在边缘 AI 中，通用芯片可通过开放编译接口接入，应用模型、算子实现、训练数据和设备遥测仍可能被平台方控制；在传感融合中，模块输出接口开放但标定工具和置信度数据封闭，会使整车厂难以独立替换；在家庭能源系统中，设备协议开放但用户账户和聚合服务不可迁移，也可能形成平台锁定。技术接口是否开放与控制关键资产者是谁，应分别追问。

半导体行业的模块化历史显示，技术接口不会独自创造分工模式。Kuan 与 West 追踪 1980–2020 年无晶圆厂半导体企业，指出成功的 fabless 模式需要技术与组织模块化，也需要与之配套的商业模式创新；行业协会承担协调需求和标准的作用，解决“先有市场还是先有专门供应商”的鸡蛋问题。[85] 在 AI 芯片与芯粒生态中，裸片接口标准只有在设计者、制造商、封装测试、软件工具、IP 授权和买方采购规则同步时才可能形成持续分工。若缺少可预测的客户需求，供应商不愿承担工艺和测试投入；若缺少专业供应商，系统企业又难以把架构拆开。CES 发布一个开放生态愿景并不能证明这一循环已形成，需观察实际设计导入、认证规则、供货持续性和多客户复用。

电子制造的历史案例揭示了相反方向：模块化能扩大服务市场，却可能降低某些供应服务的议价能力。Duke 全球价值链中心与韩国产业研究院联合项目的韩国电子产业章节区分 EMS 与 ODM：标准化 PCBA 和组装流程让 EMS 供应商服务多个客户并提高设备利用率，但其服务容易替代；昂贵的微处理器或显示部件则经常由主导品牌和器件商直接谈判。[89] 章节引用的行业规模、集中度和利润数据主要对应 2014 年，因此不能当作 2026 年 AI 服务器或河北供应商利润率。但机制仍有比较价值：若交付工作只按买方指定物料和标准程序生产，订单规模扩大不一定增加供应商控制力；若供应商拥有可复用设计、工程变更、测试方法或服务接口，就可能从执行制造转向设计与验证合作。是否升级，应看合同职责和可保留的知识，而非产值增长。

半导体价值链的实证分工也反对以单一“高附加值/低附加值”标签给供应商排序。OECD 将设计、晶圆制造、组装测试与封装划为相互依赖的过程，指出设计密集依赖技能与研发，前端制造资本密集并靠规模，而后端 ATP 相对劳动密集；

SVSAC | sv-sac.org

同时报告半导体产业的中间投入高度来自行业内部，约三分之一中间产出流向其他半导体企业再加工。[87] 这些数字来自贸易与投入产出统计，不等于单家企业利润。OECD 还明确承认后端制造、研发和设计数据粒度不足，无法精细还原价值分配。[87] 这对芯粒和 AI 硬件尤其重要：一项先进封装可能位于后端工序，却拥有高难度热、电、光接口集成；一个设计公司可能有高研发支出，却把量产、客户支持和平台控制交给其他企业。活动分类不等于收益归属。

标准在扩散中的作用也有两种效果。其一，规范化接口降低重新设计成本，使买方可以同时评估多个模块供应者、让初创企业专注传感器、NPU 或通信组件；其二，认证、测试工具、参考设计、开发者生态和版本治理会形成新的控制点。若某标准公开但合格产品清单、测试工具或密钥服务由少数组织掌握，供应商仍需经过这些入口；若买方能以自己的平台执行兼容测试，则替换权可能向买方倾斜。Gereffi 等人的治理框架将供应商能力与信息可编码性共同纳入分析，并强调治理类型会随行业能力演化，不是一劳永逸的市场分类。[84] 因而判断标准是否促进竞争，不能仅凭“开放”字样，而应看谁制定测试、谁管理版本、失败责任如何分配以及买方能否迁移配置和数据。

整合与外包不是互斥教条，而是对知识、资产专用性和风险的不同安排。Teece 框架预测，当创新易被模仿、且关键互补资产难从市场购买时，企业可能通过纵向整合、联盟或长期合同控制制造和服务环节；如果接口稳定、资产通用、市场存在多家有能力供应商，则外包更具吸引力。[88] AI 加速器设计者可能依靠云平台获得运行负载、软件生态和渠道，传感器厂可能与主机厂联合标定，家庭能源设备商则可能依赖聚合商参与需求响应。关系专用的标定数据、保修诊断和专有遥测会提高更换成本，可能推动整合；可移植的接口和多供应源降低依赖，可能支持模块化。行业的“趋势”是混合边界随不同资产而变化，而非所有企业都走向垂直整合或完全开放。

从区域供应商角度，能力升级的核心不是笼统地从“零件”走向“系统”，而是明确自己控制哪些可验证资产。一个机械结构供应者若能把天线性能、热路径、密封和标定共同纳入图纸与过程控制，可能减少设计方协调成本；若只能按图加工，其模块接口可能易被替换。一个边缘 AI 板卡供应者若能够提供编译器版本、内存布局、功耗与热状态档案、模型更新兼容策略和量产一致性，便比仅报 TOPS 更接近系统责任；但这需要自己或合作方拥有软件和测试资源。家庭能源设备商若开放数据导出和本地安全控制，并让聚合商明确服务分账，可能参与更广泛的灵活性市场；这并不自动让其拥有用户关系或持续收入。公开文献支持的

SVSAC | sv-sac.org

只是机制判断；本次分析尚未取得公开资料证明具体河北企业已获取这些互补资产或客户控制权。

对本篇所观察技术的综合解释因此包含竞争性假说。模块化假说预测标准接口和专业供应商扩大扩散、促成跨企业创新；IP 与平台假说预测开发者仍依靠模型、认证、数据和生态控制获取收益；买方权力假说预测当生产高度可编码且供应商可替换时，价格竞争压低制造收益；互补资产假说预测服务、制造规模、软件与客户关系的重要性上升时，整合或长期合作更可能。半导体、汽车、IoT 和能源服务在技术耦合、监管、售后和设备生命周期上差异很大，这些假说不能不加检验地套用。对 CES 的趋势描述只有与已发生的标准、可核验部署、长期供应和具体买方合同接上，才能从“可能扩散”推进到“谁能持续捕获价值”；目前没有企业级订单、利润、许可合同或客户留存数据可以给出赢家名单。

价值获取还会沿着标准化的生命周期变化。技术初期接口常未稳定，系统商需要控制大量跨部件设计，整合能力与专用工程知识较值钱；当接口、测试与生产过程被编码并被多个客户采用后，专业供应商得以复制同一工序，扩散加速，但相同的可复制性也可能让买方更容易比价和换源。此时供应商若掌握独特良率窗口、失效分析数据库、固件支持或现场服务，可形成不完全可编码的能力；若只有按图生产，规模上升也可能伴随议价空间变薄。Henkel 等人的 IP 模块性框架提醒，企业可以开放某些边界以吸引参与者，同时把关键知识放在产品模块与专利/商业秘密结构的交界处；但这是一种战略选择，其效果取决于外部贡献者是否愿意合作及保护安排是否可执行。[83] 在 AI 硬件中，标准芯粒接口可能加速裸片组合，却不能自动开放封装热设计、测试向量、编译器优化或系统软件；在能源物联网中，OpenADR 消息互通可能扩大设备接入，却不必开放聚合商的用户关系与调度算法。扩散加快与收益更平均之间不存在必然关系。

要检验上述解释，企业级证据应能显示谁定义产品边界、谁出资做非经常性工程、谁持有认证与测试工装、谁选择核心芯片/传感器、谁控制运行数据、谁承担现场故障和谁取得后续软件或服务收入。合同中若买方直接采购昂贵器件、指定接口且把设备商限制为装配，历史 EMS 案例提示制造商可能高度可替换；若供应商参与架构共设、掌握客户无法轻易复制的标定/可靠性方法，并有权跨平台复用其模块，关系更接近共同开发或知识型供应。[84][89] 但这些判据需要合同、技术变更和服务数据才能逐家确认。公开上市公司分部收入能说明业务组合，不能证明一项 CES 功能由哪家供应商实现或该供应商保留多少利润；专利也能指向知识产权布局，不能单独证明客户采用、替代难度或商业回报。OECD 的行业映射已提醒，后端、设计和研发细粒度数据有限。[87] 因而本篇当前只提出

SVSAC | sv-sac.org

可区分的机制与可检验命题，不把宏观产业链位置转写成任何本地企业的定点机会。

设备生命周期会进一步改变这类边界。车载模块一旦进入车型平台，维修诊断、软件兼容和备件供应可能持续多年；家庭传感器或能源设备则更常面对多品牌替换、账户迁移和旧设备退役。前者增加了主机厂对版本与售后接口的控制需求，也给供应商留下长期验证、故障分析和备件服务的互补资产空间；后者的开放协议若缺少长期维护和迁移机制，短期互通仍可能在固件停止更新或云端服务终止时失效。由此，模块可替换性不能只按首次采购时的物理连接判断，还需看全生命周期的配置、诊断和责任是否可转移。Teece 关于互补资产的分析提供一种解释，但本篇现有公开材料没有显示相关设备的实际合同期限、维修数据或淘汰率，故此处是待检验机制，不是对某类产品寿命的实测结论。[84][88]

二十八、失效、撤回与退出：从单件缺陷到系统责任

面向 CES 趋势观察，产品失效不是孤立的负面新闻，而是检验某项技术能否跨过展示、部署与持续服务之间鸿沟的反向证据。分析时需区分三类事件：实体产品或部件出现安全缺陷并需召回；软件、地图或配置使产品在特定情境下行为不当；产品仍可运行，但云服务、更新或互操作支持结束。三类事件的修复对象、责任链和价值损失不同，不能将召回数量、停服事件或个别事故混成一个“技术失败率”。更适合的问题是：故障如何穿过材料、传感、控制软件、集成和售后边界，企业又是否拥有识别、隔离和恢复所需的资产。

CPSC 工作人员对 2012—2017 年锂电消费品召回的回顾列出 49 次召回、涉及约 423 万件产品，并将部分根因归入电池管理系统、单体制造质量、充电器–BMS—电芯集成不足和未列名电芯/系统；其示例包括电芯异物、极耳位置和绝缘带缺失等过程问题。[90] 这些数字描述美国监管数据库中的一段历史记录，不是当前锂电产品的总体失效率，也不能用于 CES 某一类新品的风险估计。但事件分类揭示一种工程机制：单体通过材料或电性能抽检，并不能证明其在给定倍率、壳体、散热与充电控制下安全；整机安全取决于多个供应层的界面假设同时成立。

这类电池事件对“部件已认证即可安全”的推断构成反例。CPSC 材料强调应考察电芯、电池包及 BMS 安全电路、充电器和终端系统，并记录过热保护不足、BMS 未通过保护电路安全分析与系统负载不匹配等情况。[90] 这并不意味着认证无效；恰恰相反，它说明认证的效力限于被评估的产品边界、版本和试验条件。换用另一充电器、不同电池包、散热路径或固件，可能改变组合风险。对模块化

SVSAC | sv-sac.org

供应商而言，关键能力不只是交付一个合格单体，还包括批次追溯、变更通知、兼容清单、故障样品保全和跨供应商根因分析。没有这些能力，系统级风险会在合同和数据边界处变成无人持有的“灰区”。

自动驾驶软件召回呈现另一种、并非简单的硬件故障模式。NHTSA 的 Waymo 召回报告称，2024 年 5 月一辆测试运营车辆在低速靠边时撞上木制电线杆；特定组合条件下，系统可能把杆状固定物评为低损害对象，且地图未标出硬路缘，导致其进入预定轨迹。监管提交文件把涉及组件列为第五代 ADS 软件和地图，并记载相应软件与地图更新已于当年 6 月初部署到 Waymo 拥有的受影响车队。[91] 这个案例显示，地图不是可忽略的“云数据”，而是感知、场景语义、规划和运营地理边界共同构成的产品部件；变更治理因此需覆盖版本、地图质量、仿真与道路验证。

截至 2026 年 6 月的另一份 NHTSA 提交则形成有用对照：该报告于 2026 年 6 月 17 日提交，记载 Waymo 车辆在亚利桑那州高速施工区未识别封闭标志、驶过坡道关闭标志，及在湾区车辆于锥桶划定的施工车道间行驶；其临时控制包括限制高速行驶，且申报当时文件称软件补救方案尚待部署，届时将更新召回申报。[93]本段只描述 6 月 17 日申报所记录的状态，不据此判断截至 10 月 23 日补救是否完成；后续状态仍需查验更新申报或其他一手记录。 这里不能把“提交了召回报告”写成“已修复”；也不宜将运营限制理解为问题消除。它说明开放道路的长尾场景会随地图、道路施工和车队范围变化而持续生成，发布一次固定数据集并不封闭整个验证空间。反面解释也存在：记录到事件并采取限行及召回程序，表明监测和治理机制在发挥作用；单一召回材料不能判定其长期安全水平或与其他运营者比较。

第三类讨论是服务退出情景。所列 Nest 支持页面未取得可验证原段，故不据其确定 Guard 桥接停止、Connect 资格或键盘与应用的具体功能组合。[94] 为分析机制，作者假设一种本地操作仍可用而远程服务终止的物联网产品；这是明示的分析情景，不是本篇已核的 Nest 事件。在该情景下，账户、桥接、应用与更新共同影响用途，硬件可运行不等于原任务可持续。实际损失需按远程告警、联动及数据等依赖评价，不能从假设推断任何平台已执行相同退出策略。

三类失效的共同机制不是“软件更容易出错”或“硬件更可靠”，而是系统边界定义了故障能否被观察和纠正。实体电池的失效需要批次与制造过程记录；驾驶行为问题需要保留环境、地图、软件版本、车辆轨迹和运营限制；云服务退出则依赖账户迁移、接口开放、离线降级与数据导出机制。价值获取也随之变化：如果整机商掌握完整车队日志和远程更新，能较快定位问题，但供应商可能得不到

SVSAC | sv-sac.org

必要失效数据；如果设备商以黑箱外包方式交付，买方可能拥有品牌却缺少对模型或硬件根因的控制。证据的控制者和维修能力的控制者，往往比展示中的标称性能更能说明谁承担生命周期责任。

将召回或退出转化为供应链证据，需读取的不只是事件公告，还包括受影响配置范围、缺陷描述、时间线、补救方式、完成状态、召回前后部件差异、分包商披露和后续投诉。Waymo 2024 文件可核对缺陷条件、地图与软件补救、车队所有权和修复时间；2026 年 6 月 17 日提交的文件显示召回方案在该次申报时尚未部署；它不证明 10 月 23 日仍处于未完成状态。二者形成不同的证据状态。[91] [93] CPSC 培训材料提供的是历史根因分类而非单个企业审计结果；Google 支持页具体后果与替换资格尚待原段，当前不作已核事件，服务退出仅以作者假设讨论。[90][94] 因此本节只用它们说明接口与治理的机制，不能据此评价某公司整体质量、河北企业供应商状态或任何 CES 新品的真实故障率。

召回后的“补丁”也需分层理解。Waymo 2024 的缓解组合同时调整了软件反应和地图硬路缘标注，后者实质上把路侧固定障碍变成规划可读的道路几何边界。[91] 这种局部地图策略可降低类似场景的风险，却带来持续维护义务：道路边界、临时施工、路沿变化或地理围栏版本不一致，仍可能改变系统对可行驶区域的判断。软件更新的验证范围应包括已知触发场景、反例场景、回退路径和地图更新时间，而不只是确认更新包成功安装。Waymo 2026 文件所述对施工区的识别与避让问题，又说明风险可从静态物体回避迁移到动态道路管制语义；一类补救不自动覆盖另一类场景。[93] 这是基于公开文件对验证对象的分析，不代表已知某个版本的回归测试结果。

制度性召回与普通故障投诉也不能互作分母。CPSC 材料按被召回产品数和召回件数归纳，历史期内 Note 7 单一事件就占其所列召回件数的显著部分；若以召回件数除以当前在用设备量，统计期、市场范围、主动召回与报告义务会错配。[90] 相反，低召回数量既可能来自可靠性更好，也可能来自数据报告不足、检测强度差异或产品仍未达到监管关注门槛。若要比较技术路线，应有同一暴露单位，例如运行小时、充放电循环、行驶里程、在线设备月数，并记录环境与使用强度；目前公开材料不足以对不同 CES 类别构造这样的分母。故本篇只比较可观察的失效路径和修复机制，不声称做跨产品事故率排序。

SVSAC | sv-sac.org

二十九、可复现测量与供应商资格：证据层级如何接合

测试结果须绑定用途：芯片吞吐延迟未必含内存搬运、算子回退、热降频和目标精度；感知离线分数未覆盖雨雾、逆光、施工或污损；逆变器台架效率不代表整车周期能耗。第三方须能定位版本、数据、工况、工具链、指标与不确定性，重跑原任务或解释差异，而不是要求所有平台同值。工作负载、分辨率、阈值、量化及采样选择都可能形成“最好成绩”，不能自动上升为系统资格。

NIST 于 2026 年发布的 TEVV-Athlon 文件是初始公开草案，说明其目标不是用一套统一分数评估所有 AI，而是先明示评估目标，再组织事件与工具、测量相关属性，最后综合并质询所得结果。[95] NIST 框架把“测量”与“任务是否符合实际用途”连接起来：若要验证客服助理，事件可能包含多轮任务、工具调用和错误恢复；若评估视觉系统，则应预设环境变化、传感器可用性和危险情形。草案并不提供某种产品的验证结果，也不是产业认证标准；它的价值在于指出评估设计本身要与组织目标对应，且可加减测试事件。将它用于 CES 宣传审读，应把厂商演示所覆盖的任务与买方需要的运行域逐项对齐，找出未覆盖的条件而非只比较一个分数。

NIST AI RMF 1.0 将 TEVV 置于数据、模型、部署和运行监控的整个生命周期，而非在发布前做一次验收；其文本建议验证者与测试评估者在可能时保持角色区分，并把运行期事件、周期更新和再校准纳入过程。[96] NIST 的 ARIA 试点评估报告进一步强调，数据集、工具和代码的文档化可支持机器可读复现、互操作和结果解释；同时，报告称其评价方法仍需社区输入、问卷验证与场景扩展。[97] 二者共同指出一个常见证据断点：公司披露了榜单成绩，却没有提供可定位的数据版本、模型哈希、推理参数、运行时、硬件功耗和评估协议。缺失这些信息时，别人或许能验证厂商做过一次评测，却无法确认产品在更新后维持了同等性能。NIST 文件是风险管理和测量框架，并非强制性准入或系统安全证明。

汽车电子的器件资格与质量体系认证回答不同问题。Renesas 对 AEC-Q100 的技术说明将其描述为面向封装集成电路、以失效机理为基础的应力测试资格，关注新产品和重大变更的测试程序。[98] 这类结果可降低对特定器件在规定应力下的可靠性不确定性，却不证明其板级焊接、散热、电源瞬态、软件驱动或目标车型环境完全适配。ISO 26262:2018 则建立道路车辆安全相关电气/电子系统的功能安全框架，覆盖安全相关系统及相互作用；ISO 明确指出其不涵盖多种由电击、火灾、烟、热等引起的危险，除非这些危险直接由安全相关系统的失效行为导致。[99] 因此一颗达到 AEC-Q100 的芯片，不等于系统已经完成功能安全论证；整车通

SVSAC | sv-sac.org

过功能安全流程，也不能替代电芯热失控或产品防火检验。标准的边界彼此互补而非互相替代。

IATF 16949 及买方特殊要求又是另一层。IATF 公开通告指出，生产电动汽车充电系统及相关部件的组织可作为附件零件申请 IATF 16949 认证。[100] 通用汽车发布的 IATF 客户特殊要求要求供应商在买方要求时提供测量、测试和检验数据，以显示控制计划、样本量和频次已落实；并允许在有书面标准、持续执行且由第三方审计的条件下，对某些资源受限的小型次级供应商采用适当的质量体系路径。[101] 这些文件表明资格不是单一“证书/无证书”门槛，而是客户规定的过程、量测、审核与具体部件放行组合。但认证组织范围、供应链层级和具体客户适用性仍须核对，认证可说明体系能力，不能自动证明某供应商已入围某车型、某充电运营商或某 AI 硬件平台。

把这些层次接起来，才形成可供采购决策使用的证据链：供应商提供受控图纸、部件与工艺版本、材料/封装批次、失效模式和应力测试记录；系统集成方提供接口假设、软件/固件版本、热电边界、故障注入或系统验证结果；买方则定义目标工况、验收阈值、试用期限、变更触发和量产后监测。对于 AI 模型，证据还需包含数据治理与再训练差异、算法或编译器变更、降级模式和运行监测。NHTSA 于 2025 年 1 月刊载的 AV STEP 拟议规则把 ADS 车辆申请材料、独立评估、数据治理和事件报告纳入一个拟议的自愿监管框架；其文本篇字明确说新规提议本身不会准许或接纳任何特定车辆，具体申请另由日后裁决。[102] 该拟议规则已于 2026 年 6 月 26 日撤回，以下仅将其作为历史提案文本讨论，不能据此描述现行项目或准入程序。[190] 这一区分提醒读者，哪怕政府提出一套严肃透明框架，公开可审查性、过程合规与最终安全结论仍是不同层次。

对非车载 IoT 和 AI 终端，资格证据还需要延长到软件支持与供应变更。一个传感器批次在出厂时性能合格，若固件协议变化导致时间戳、分辨率或校准系数改动，系统原有融合与告警逻辑可能失效；一种边缘加速器通过标准模型测试，但运行时升级后改变算子精度或内存调度，也可能影响延迟尾部和能耗。单次型式测试可以建立基线，却无法覆盖多年更新的配置空间。NIST 生命周期方法强调运行期监测和周期再测试，[96] 但小型供应商未必控制整机的软件发布流程。可行的商业接口是买方定义变更分级：哪些变更需要重跑模型/安全/兼容测试，哪些可凭差异分析放行，哪些必须通知客户或重新做型式试验。该机制把测试成本与风险直接连接，也可能成为供应商准入和持续合作能力的一部分。

以上证据链也有反例和成本边界。第三方、独立实验室或买方现场评估能减少供应商自报选择偏差，却未必拥有生产机密、长周期现场数据或最坏工况样

SVSAC | sv-sac.org

本；独立性本身不保证测试覆盖充分。反之，厂商内部测试能接触设计和故障日志，但若缺少可审计协议、失败用例保留和版本标识，第三方难以复核。公开排名适合快速筛查同一评估下的候选产品，不能替代采购资格；应力资格可支持供应商比较，但不能把使用环境外推到未覆盖的组合。NHTSA 已撤回的 AV STEP 历史提案文本甚至把“安全案例”定义为针对特定用途与环境、由证据支持的一组论证，而不是一张无条件的产品证书。[102] 本篇据此将公开材料分为性能测量、过程资格、系统安全与运营证据，不以单项指标替代其余项；现有公开材料并未给出河北企业级的这些完整证据包。

可复现还可拆成几种不同性质：同一数据与脚本能否重建报表，是计算可重复；换一名工程师或实验室能否按协议重跑，是实验可复现；换硬件、固件、场景或用户群后结论是否稳定，则是外部有效性。NIST TEVV-Athlon 草案把目标、事件、工具和测量构造成定制评估，[95] 其逻辑适合区分“第三方能复算”和“该结果能外推”两件事。生成式模型输出具有随机性时，报告均值、分布与不稳定案例会比只报一次最好结果更能说明行为；感知模型对天气或传感器位置变化的敏感性，也应以边界条件和失败样本显示。重复同一测试只能回答稳定性的一小部分，不等同于真实环境的充分代表性。

三十、河北产业统计与能力识别：增长信号不等于可供货能力

截至证据截止日，可用的最新河北完整年度统计公报覆盖 2025 年。公报显示，规模以上工业中计算机、通信和其他电子设备制造业增加值同比增长 21.1%，汽车制造业增长 5.9%；新能源、新一代信息技术等主导产业增加值分别增长 13.4%和 11.6%。[103] 全国同期统计公报中，汽车制造业按不变价格计算的增加值增速 11.5%，计算机、通信和其他电子设备制造业增长 10.6%。[104] 这个对照支持一个有限描述：河北电子及信息设备制造相关活动在 2025 年表现出较快增幅，而汽车增加值增幅低于全国口径。它不支持“河北 AI 供应链已形成”或“汽车零部件竞争力下降”的结论，因为增加值增速受行业结构、企业权重和基期变化影响，且公报未将车载计算、传感器、功率器件或电池管理单独列出。

产业分类颗粒度构成第一道识别限制。河北公报按国民经济行业门类发布汽车制造、计算机通信与其他电子设备制造等大类指标；同一行业可同时包含不同产品、工艺和价值链位置。装配一个整机、生产通信终端、制造电子元件或提供工业控制模块，可能在相邻但不同的活动编码中；同一企业也可能跨多个业务活

SVSAC | sv-sac.org

动。统计大类的增长因而不能直接转换为某个 CES 产品对应的可寻址产能。在本篇的解释中，公报列出的行业名称仅用于描述汇总的经济活动，不能充当技术性能、认证范围、客户采用或出口合规的证明。本篇只用行业统计描述区域产业环境，不把产品标签与统计行业做未经核验的一对一映射。[103]

第二道限制来自规上统计的收入门槛和企业更替。国家统计局说明，规上工业自 2011 年起以年主营业务收入 2000 万元及以上工业法人单位为统计范围；企业按前一年年报收入判断纳入，收入回落也可能翌年退出名录。[105] 因此，当某些小型专用部件企业、原型开发者或初创团队收入未达门槛时，其工程能力可能不会显现在规上增加值或利润数据中；反过来，大型多元企业的高增速可能来自与本篇主题无关的产品线。门槛统计擅长追踪规模以上产出，不用于识别全部供应商能力。基于公报中的增速推断本地小企业参与概率，方向上可能偏差：小型创新者容易漏计，大型多业务单位的影响则可能放大。

“高技术产业”也不是公司级能力标签。国家统计局将其定义为按行业研发投入强度重组的制造业分类，包含医药、电子及通信设备、计算机及办公设备、医疗仪器等行业大类；相应统计可呈现行业层面的研发与营业收入趋势。[106] 某一企业或园区被归入该行业，不说明其在 AI 加速器、传感器融合、电池控制或软件维护上拥有相应知识产权、良率、测试覆盖或用户部署。类别聚合用于产业结构分析，并不衡量每家公司的技术深度。第五次全国经济普查全国公报则把数字经济核心产业进一步分成产品制造、产品服务、技术应用、要素驱动等类别，说明同样称作“数字经济”的业务可分属制造、服务和平台活动；但其公开主要结果为全国汇总，不能替代河北企业级映射。[107]

宏观数据仍可提供有价值的背景，只是要和供需链上的工程证据分开。河北 2025 年公报同时报告新能源发电、电子制造、汽车制造、技术合同、技术中心和检测机构等不同口径；例如全年省级及以上企业技术中心 990 家，检验检测机构 2542 个，国家级质检中心 23 个。[103] 这说明地方创新与检测基础设施存在一定广度，却没有说明其中有多少单位服务 AI 硬件、车载电子、家储或充电设备，也没有显示其测试项目、设备能力、可出具的认可范围或客户审核状态。总量可用于提出后续抽样框，不能直接作为某类产品认证能力的代理变量。将不同统计项目拼成“能力指数”也需权重、去重和分类交叉表；简单相加会重复计算企业与机构，且把投入、产出和基础设施混作同一构念。

同一增长率还存在不同的产业解释。电子制造增速可能由新建产能释放、出口订单、显示与通信设备换代、龙头企业扩张或低基数推动；公报没有分解这些因素。这里讨论的是不变价格增加值增速，不能把一般产品涨价直接当作实际增

SVSAC | sv-sac.org

速的解释；涉及平减方法的误差须另有资料检验。若一省的产出增长来自少数大型终端组装厂，地方本地化价值含量可能有限；若增长由可复用的关键部件、工程服务和跨客户开发带动，则供应商能力结构可能更丰富。两种解释均与“行业增加值增长”相容。要区分它们，需要企业层的行业细分、产品结构、进口中间品、研发人员与工艺设备、客户审核、出口目的地以及本地采购比例等证据。公开公报在宏观层面提供了趋势，却没有这些链接变量；因此本章不把 21.1%的增幅解释为河北已经在 AI 芯片或传感器领域超越其他地区。[103]

区域统计与供应商机会之间至少隔着三层待检验关系：本地机构是否实际生产该类部件；其量产一致性与资格文件能否达到买方要求；买方是否在目标平台、型号或市场中接受其交付。投入产出表、出口统计、专利和企业名录可各自回答局部问题，却都不能单独确认客户关系或量产定点。即使本地专利数增加，也需区分申请人与发明人地点、所属产品、权利状态及是否转化；出口上升也需识别商品编码可能涵盖多个产品。公开数据若不能贯通这些关系，合理结论应停留在“区域有相关产业活动并具备潜在资源”，而不是“某类企业可直接接单”。这不是否定统计的政策价值，而是限定其在企业机会识别中的测量尺度。

对后续研究，能减少误判的不是增加宏观形容词，而是建立可追溯的跨表连接：按统一行业代码和产品税则码连接规上企业、经济普查、专利、海关和检验检测资料；记录法人、产业活动单位、企业集团和具体工厂的层级，避免把集团总部的研发与外省工厂、关联公司或供应商混为一体；再通过买方审核文件或已公开的供货披露核验进入实际供应链的情况。未取得这些微观匹配数据前，表中任何“河北机会”都应写成待识别的工程接口与能力条件，不应给出未证实的市场规模、企业排名或潜在客户名单。当前材料可明确到行业增加值增速和总体创新基础设施数量，尚不能达到企业级能力清单或需求预测。[103][105][106]

三十一、跨域综合：从技术信号到可检验的供应链机制

综合比较有三道不同转换：物理/软件接口能否接入，测量能否成为可复核的买方资格，销售后能否持续更新、修理或退出。展示只突出局部性能，部署要加入内存、网络、环境、规则及用户条件，运营再加入版本、故障、访问和维护。架构、证据治理与互补资产分别约束这些节点，既不是必然模块化，也不能从行业增速或创新标签推定产业机会。

领域	不能忽略的系统边界	作者提出的后续观测指标	反证或替代解释

SVSAC | sv-sac.org

AI 硬件	算子、内存、编译器、热/功耗与服务器互连	固定模型/精度/版本的端到端负载、功耗和更新记录；不能只看峰值算力[68][69][70][71][72][74][95]	若同一负载跨供应商可无重新编译和调优替换，说明软硬件耦合实际较低
智能车	传感器与地图、场景理解、车辆控制、运行域与安全职责	目标路况、软件/地图版本、运营边界、召回整改和现场观察[60][61][62][63][64][65][66][67][91][93]	场景限制或远程支持可能比单纯的传感冗余更能解释可用性
能源系统	电网/聚合信号、设备控制、保护逻辑、用户舒适与计量结算	命令响应、基线/实测负荷、持续时段及本地失联策略[75][76][77][78][79][80][81][82]	演示中的灵活性可能来自人工调度或项目补贴，未必已成为可持续的设备能力
IoT 终端	身份、更新、应用、云服务、互操作及退役	支持期限、固件维护、数据迁移、断网功能与服务终止安排；均为后续观测指标。NIST 设备能力与制造商活动用于界定更新/支持问题，数据迁移不是由其证实的行业普遍事实[7][33]；Nest 原段未取得，不作已核案例；服务退出为作者假设[94]	本地控制可降低云端依赖，但产品用途可能因此变窄

表中的差异说明，四域虽共享接口和生命周期问题，但“接口”不是同一种工程对象。AI 硬件的性能边界随模型与运行时变动；车辆感知受物理场景、道路几

SVSAC | sv-sac.org

何和行为规划共同约束；能源协调必须服从电网保护、舒适度与计量结算；在作者服务退出假设中，IoT 把账户、云端更新与本地降级引入产品寿命。故统一的“智能化渗透率”指标很难同时代表四类系统的工程成熟度。可比的交叉维度应是：关键依赖是否被识别并可测；买方能否在需要时替换模块；更新和失效是否可追踪；支持责任是否跨企业和跨产品生命周期分配。模块接口越多，不一定代表系统越可替换；如果未定义数据语义、误差预算、时序、异常处理和版本兼容，接口数增加甚至会扩大集成组合空间。[68][75][94][95]

竞争性解释之一是“接口开放–分工深化”假说：当协议、测试和版本治理可编码且能由多个买方独立验证时，专用供应商可把模块跨产品复用，市场进入者增加。可反驳条件是：接口长期稳定且标准公开，但多客户部署依旧需要每次深度定制、供方无法迁移认证或买方继续只采购整套黑箱，那么开放并未导致模块独立。第二种“系统协调–知识保留”假说来自复杂产品研究：企业可以外包制造，却仍需掌握超过自己内部生产活动的技术知识，才能协调供应商和未预见的技术依赖；Brusoni 等人基于飞机发动机控制系统提出这一机制。[108] 若系统整合方在芯片、地图、模型、设备协议、热设计和现场服务之间保留跨模块工程知识，专业分工可与核心协调能力并存。反证则是，低成本完全独立的模块替换在不同项目中重复出现，且不需要买方积累额外知识。[84][85][86]

可检验的第二组命题关乎资格和生命周期。命题 A：一项标准化资格只有在测试对象、版本、应力条件与产品用途相符时，才降低买方的重复验证成本；它不会自动消除系统集成风险。可观察指标包括同一证书下的型号/工艺变更、客户补充测试、失效返修及跨平台复用率；若资格覆盖后买方仍反复进行同样的全套筛选且失效模式不变，所谓资格降本作用就被削弱。命题 B：当设备依赖连续软件、地图、云服务或电网信号时，长期更新、故障诊断和迁移机制会成为模块价值的一部分。指标可包括支持年限、更新频次、停服后的本地功能、故障定位时长、数据可移植性及售后保留率。若低维护设备在无需平台方服务时仍能保持用户功能、而维护密集型产品反而没有较高留存或利润，则支持服务是竞争优势的判断需修正。NIST 生命周期评估及 NHTSA 召回报告说明了这些机制的重要性，但并未给出四行业间可直接比较的量化系数。[91][93][95][96]

第三个命题是“买方权力随可编码性与替代可行性上升”，它需与供应商互补资产解释并列，而不能假设订单转移成本只由技术决定。对模块化程度高的标准组件，买方可利用多个供方比价；对需要现场共同标定、长期安全更新或专用工装的系统，买方更可能用联合开发、长期合同或部分整合减少中断风险。若供应商的多客户复用扩大且客户转换期缩短，同时价格、毛利或专利许可收入未下

SVSAC | sv-sac.org

降，则简单的可编码性压价模型不成立；若模块供应商一旦拥有专用维护数据或认证入口，买方替代周期反而拉长，则互补资产解释得到支持。验证需有合同、换供应商事件、同类产品报价、售后数据和知识产权归属，不可从模块宣传、标准名或行业集中度单独推断。[83][84][88][89]

第四个命题把区域产业统计和供应链进入区分开：同一行业增长若要转化为河北企业的相关参与，至少应同时观察本地产品/工艺、客户可验收的资格证据、真实供应链连接和持续交付记录。若仅未取得这些企业级资料，供货能力仍属未知；只有对同一企业群体持续、可比观测后确证资格、实际客户连接或交付未改善，才能削弱区域增长伴随能力提升的解释；若细分能力证据先于汇总行业增速出现并被多家外部买方采用，则行业总量可能低估局部机会。前述河北与全国电子制造增速差异只提出待解释的区域事实，并不给出因果机制；要识别因果，需控制企业构成、产能投放、出口需求与普查口径变化，并核验不变价核算使用的平减指数和权重及其测量误差；后者是统计可比性问题，不是把一般价格上涨解释为实际增速。[103][104][105][106][107] 同样，公开技术中心、专利或检测机构数量是资源背景，不可替代客户验证或生产记录。

综合可见，不同技术趋势的供应链效应并非由算法性能或能量转换效率单独决定，而由多层互补关系共同塑造。AI 算力必须与模型、内存、运行时、网络和数据任务结合；汽车感知必须与场景、地图、控制和责任机制结合；能源设备必须与电网接口、调度、计量和用户约束结合；物联网必须与身份、网络、更新和终止服务后的功能相结合。企业竞争优势因此可能来自关键部件，也可能来自把这些部件变成可验证、可持续运行系统的组织能力。Brusoni 等人的“知多于造”机制支持系统整合方保留广泛知识的解释，而 Teece 关于互补资产的框架说明创新收益可流向掌握制造、服务、渠道或客户控制的一方；技术开放本身并不决定价值最终归属。[88][108]

研究实际结论应严格限定在当前公开证据所能支持的范围：若干 CES 相关技术具有真实技术基础，也呈现出部署所需的部件、软件和维护接口；但从发布信号到量产、再到区域供应商进入某项目的链条并未被完整追踪。公开来源可说明标准和制度如何定义资格边界、个别召回如何跨软件与地图补救、能源项目如何形成控制信号、统计公报如何归类行业活动；它们没有提供河北特定企业的客户订单、车型定点、云服务留存、单位成本、量产良率或独立性能数据。因此本篇不为河北企业编制赢家榜单、不估算未核实市场规模，也不把全球设备需求转写成当地可得采购。结论是机制性而非企业业绩性：潜在参与者须在产品层展示接

SVSAC | sv-sac.org

口和测试能力，再以买方认可与持续供货记录完成供应链验证。[90][91][93][95][100][103]

本次分析的外推边界还包括抽样、时间和观察单位。研究依据 CES 相关公开线索、正式技术文献、公司公告、监管记录及统计公报进行目的性选择，不是对所有 CES 展品、区域供应商或技术路线的系统抽样；展览热度会使新颖性强的产品更易被观察，长期运行稳定但较少发布的基础部件可能被低估。资料截止 2026 年 10 月 23 日，企业产品状态、召回补救和标准版本可能随后改变。研究单位多数是产品功能、行业类别或公开项目，不能据此推断特定企业内部组织流程。要把这些机制升级为经验结论，未来需取得带时间戳的版本记录、买方验收和切换数据、生产缺陷与退货、独立场景测试、售后支持期限和合同价值分配。公开材料不足处应继续保留为未识别，不以预测、展示或企业自报替代实际部署。

跨域机制比较还提出“控制权”与“故障可见性”的不同步。模型运行时、车辆地图或家居能源平台可以集中控制，却不一定掌握所有底层故障信号；分散的设备厂商掌握传感器和固件细节，却未必能观察系统级后果。若集成方把遥测、版本标识、故障码和回滚权限纳入接口，问题定位权会部分集中于系统层；若厂商保留不透明日志或更新密钥，买方在出现跨模块异常时只能等待其诊断。前者并非天然更安全：集中日志可能扩大敏感数据的聚集风险，统一更新也可能令共同缺陷同时扩散；后者亦非天然更可靠：专有诊断可能提高局部响应，却延迟其他供应商识别相关故障。由此，接口治理的关键结果不是“开放”标签，而是故障能否被分层观测、归责和隔离，同时可由受影响方独立复核。NIST 对设备识别、软件更新与安全状态感知的分类，及其制造商生命周期活动，为这种设备端能力划界；AI 系统的端到端负载和能源命令响应则要求把设备遥测连接到任务级结果，而不能以消息已发出替代服务已实现。[91][94][95][7][33][68][75]

因此，对模块化的实证判断不宜以接口数量、供应商数量或开放标准的出现作为代理变量。较强的操作化应观察一次可控变更：在固定用途与性能目标下，替换某个传感器、加速器、逆变器或联网设备后，哪些代码、标定、认证、现场工装与数据流程必须随之改变；这些变化由谁执行、需多久、是否引入新的失效模式。若产品结构图上存在标准接口，但替换需重新训练模型、重建热/电磁设计或重新通过整车/电网资格，技术模块边界仍与组织责任边界交织。相反，若不同供应商能够在多个客户项目中按相同测试包更换，且系统责任主体仅需局部回归测试，则模块化不再只是规格文档上的可分解性。这个区分能同时检验两种竞争机制：标准是否降低协调成本，还是仅把复杂度从制造阶段移到集成、验证和售后。Teece 的互补资产框架强调收益实现还取决于制造、服务、渠道和其他专用

SVSAC | sv-sac.org

资产；Brusoni 等关于系统整合方知识范围的论点，则解释了为何外包部件生产未必减少对跨域知识的需求。[84][85][86][88][108]

这些命题的观察单位也必须明确。算法/硬件替换应以同一任务、同一模型版本和同一精度边界为单位；车辆更新应分开记录软件缺陷、地图/运行域调整、硬件维修和运营限制变化；能源设备应把控制命令、计量负荷和用户侧退出分别登记；IoT 支持应区分安全补丁、功能升级、云端停服和本地可运行性。否则，所谓“上线率”“兼容性”或“可靠性”会把不同的分母混为一谈。已核个案或明确假设可用于界定接口、责任和修复路径，却不能估计行业失效率；成功示范适合显示技术链可行，却不能证明其对其他地区、天气、负荷或客户结构可迁移。若要支持更强的跨域结论，最小可比数据不是一个统一的成熟度分数，而是带时间戳的配置/版本、测试边界、故障和变更记录、买方替换流程以及支持状态，并注明样本选择与缺失机制。当前公开材料分散在监管文件、标准、企业资料和统计口径中，往往不含供应商身份、合同责任或连续运营日志；因此本次分析的结论应停留在机制与证据边界，不将这些材料伪装为互相可比的绩效面板。[60][68][75][91][93][94][96][103][104]

最后，跨域差异还可从“变更可逆性”提出待检验命题。NIST 设备基线列有更新前验证与认证、限制更新权限及授权主体回滚等能力，同时指出回滚到有漏洞版本也可能形成风险；基线并不要求每种设备统一实现全部能力。[7] 对支持回退的产品，我们提出的安全设计条件是保留可验证的已签名旧版本或回滚包及兼容数据，并明确恢复后功能与漏洞边界；这里保留的是可验证制品，不是把签名密钥放进回滚包。制造商生命周期活动提供了支持安排的讨论基础，但不能证明该设计已被具体设备采用。[33] 车辆、能源和 IoT 的变更对象也需分开：Waymo 个案涉及软件与地图共同补救，能源协调需把设备响应接入控制及计量，作者的服务退出情景则假定桥接/服务变化保留本地功能而改变远程功能，Nest 具体状态仍待核。[91][75][94] 作者据此提出：在技术性能相近时，具备可审计恢复与状态迁移流程的供方，可能降低买方变更风险、延长合作周期；若支持期限增加却未改善停机、替换或客户流失，或买方可无外部服务低成本恢复，该推论即被削弱。互补资产理论可解释这种可能收益，[88] 但现有资料没有跨行业迁移成本或合同期限数据，不能将其写成已验证的竞争优势。

SVSAC | sv-sac.org

给企业的下一步建议

CES 的价值不只在于发现热门产品，更在于识别哪些技术正在形成可持续的制造和应用需求。因此，我们建议把下一步工作收敛为一项有明确交付物的专项任务。

具体起点是：将展会信号按产品成熟度、客户场景与供应链环节分层，区分概念展示、试点需求和可讨论的采购机会。在此基础上，管理层可以按证据充分程度、资源投入与业务影响确定优先级，先验证关键假设，再安排后续合作与投入。

要把上述判断用于实际经营，可以围绕具体产品或项目、目标市场、现有能力和决策难点，进一步形成技术趋势雷达、场景与产业链映射、企业跟进优先级。这类工作需要把行业研究、企业诊断与合作条件核验衔接起来，让分析结果成为管理层可以使用的决策依据。

资料与分析范围

下列说明列明资料范围、分析依据与适用条件，便于读者辨别文中的事实、推演和建议。市场进入、交易安排及适用规则仍需结合具体项目核实。

CES 将不同成熟度的技术集中到同一展示场景，因而既提供产业观察窗口，也容易造成从演示能力到商业需求的过度推断。本篇以 CES 2026 为主要事件窗口，结合截至 2026 年 10 月 23 日可查的官方活动资料、企业原始公告、技术研究与监管材料，分析 AI 硬件、智能汽车、新能源及物联网之间的工程联系。研究采用目的性资料抽样和主张分级，不把展商数量等同于采购规模，不把企业性能声明等同于独立测量，也不把未来计划写成已发生事实。本篇提出以功能、接口、验证和维护责任为中心的产业机会识别框架，讨论河北制造企业如何将技术信号转化为可验证的能力建设问题。现阶段的结论是：系统协同、可持续运维和准入可行性应共同进入机会判断；具体企业的订单潜力与投资回报仍需客户、成本及交付数据支持。本篇属于公开文件与案例的解释性研究；未实施现场实验、企业访谈或订单层面的因果估计。

SVSAC | sv-sac.org

参考文献

[1] Consumer Technology Association. CES 2026 Attendance Audit Summary. 2026. https://www.ces.tech/media/kghbnaej/ces2026_auditsummary.pdf?v=639147974207430000 (accessed 2026-10-23).

[2] NVIDIA. NVIDIA Kicks Off the Next Generation of AI With Rubin — Six New Chips, One Incredible AI Supercomputer. 2026-01-05. https://nvidianews.nvidia.com/news/rubin-platform-ai-supercomputer (accessed 2026-10-23).

[3] NVIDIA. NVIDIA Announces Alpamayo Family of Open-Source AI Models and Tools to Accelerate Safe, Reasoning-Based Autonomous Vehicle Development. 2026-01-05. https://nvidianews.nvidia.com/news/alpamayo-autonomous-vehicle-development (accessed 2026-10-23).

[4] Connectivity Standards Alliance. Matter 1.5 Introduces Cameras, Closures, and Enhanced Energy Management Capabilities. 2025-11-20. https://csa-iot.org/newsroom/matter-1-5-introduces-cameras-closures-and-enhanced-energy-management-capabilities/ (accessed 2026-10-23).

[5] Connectivity Standards Alliance. Matter 1.5.1: Enhancing Camera Performance and Expanding Device Flexibility. 2026-03-31. https://csa-iot.org/newsroom/matter-1-5-1-enhancing-camera-performance-and-expanding-device-flexibility/ (accessed 2026-10-23).

[6] Commonwealth Fusion Systems. Commonwealth Fusion Systems Accelerates Commercial Fusion With Siemens and NVIDIA, Leveraging AI-Powered Digital Twins. 2026-01-06. https://cfs.energy/news-and-media/commonwealth-fusion-systems-accelerates-commercial-fusion-with-siemens-and-nvidia-leveraging-ai-powered-digital-twins/ (accessed 2026-10-23).

[7] Fagan M; Megas K; Scarfone K; Smith M. IoT Device Cybersecurity Capability Core Baseline. 2020-05. https://csrc.nist.gov/pubs/ir/8259/a/final (accessed 2026-10-23).

[9] Bureau of Industry and Security. Connected Vehicles (CV). 2025-rule; current landing page. https://www.bis.gov/connected-vehicles (accessed 2026-10-23).

[10] National Highway Traffic Safety Administration. Automated Vehicle Safety. undated_current_page. https://www.nhtsa.gov/vehicle-safety/automated-vehicle-safety (accessed 2026-10-23).

[11] International Energy Agency. Energy and AI — Energy demand from AI. 2025. https://www.iea.org/reports/energy-and-ai/energy-demand-from-ai (accessed 2026-10-23).

[13] Lin J; Chen W-M; Lin Y; Cohn J; Gan C; Han S. MCUNet: Tiny Deep Learning on IoT Devices. Advances in Neural Information Processing Systems33(NeurIPS2020) 2020; arXiv v2 2020-11-19. https://arxiv.org/abs/2007.10319 (accessed 2026-10-23).

[15] Lin J; Tang J; Tang H; Yang S; Chen W-M; Wang W-C; Xiao G; Dang X; Gan C; Han S. AWQ: Activation-aware Weight Quantization for On-Device LLM Compression and Acceleration. Proceedings of Machine Learning and Systems 6 2024. https://proceedings.mlsys.org/paper_files/paper/2024/hash/42a452cbafa9dd64e9ba4aa95cc1ef21-Abstract-Conference.html (accessed 2026-10-23).

SVSAC | sv-sac.org

[16] MLCommons. MLPerf Inference: Edge. undated_dynamic_page. https://mlcommons.org/benchmarks/inference-edge/ (accessed 2026-10-23).
[17] Great Wall Motor Company Limited. Annual Report 2025. 2026-03-27. https://www.hkexnews.hk/listedco/listconews/sehk/2026/0327/2026032703716.pdf (accessed 2026-10-23).
[18] Smith K; Saxon A; Keyser M; Lundstrom B; Cao Z; Roc A. Life Prediction Model for Grid-Connected Li-ion Battery Energy Storage System: Preprint. NREL/CP-5400-67102 2017-08. https://docs.nlr.gov/docs/fy17osti/67102.pdf (accessed 2026-10-23).
[19] Sony Honda Mobility. Sony Honda Mobility World-Premieres AFEELA Prototype 2026 at CES 2026. 2026-01-05. https://www.prnewswire.com/news-releases/sony-honda-mobility-world-premieres-afeela-prototype-2026-at-ces-2026-302653275.html (accessed 2026-10-23).
[20] Sony Group Corporation; Honda Motor Co.; Sony Honda Mobility. Announcement Regarding the Discontinuation of Development and Launch of Sony Honda Mobility's Electric Vehicle Models and the Review of Its Business Direction. 2026-03-25. https://www.sony.com/en/SonyInfo/IR/news/20260325_02E.pdf (accessed 2026-10-23).
[21] Sony Group Corporation; Honda Motor Co.; Sony Honda Mobility. Announcement Regarding the Future Business Direction of Sony Honda Mobility. 2026-04-21. https://www.sony.com/en/SonyInfo/IR/news/20260421_E.pdf (accessed 2026-10-23).
[22] LG Electronics. LG Electronics Presents LG CLOiD Home Robot to Demonstrate Zero Labor Home at CES 2026. 2026-01-04. https://www.lg.com/global/newsroom/news/home-appliance-solution/lg-electronics-presents-lg-cloid-home-robot-to-demonstrate-zero-labor-home-at-ces-2026/ (accessed 2026-10-23).
[23] Lenovo. Introducing Lenovo and Motorola Qira, a Personal Ambient Intelligence Designed to Work Across Devices. 2026-01-06. https://news.lenovo.com/pressroom/press-releases/lenovo-unveils-lenovo-and-motorola-qira/ (accessed 2026-10-23).
[24] Edwards D; Nguyen H. Semiconductor and IC Package Thermal Metrics. SPRA953D 2024-03 revision D; original2003. https://www.ti.com/lit/pdf/spra953 (accessed 2026-10-23).
[25] Liu H X; Feng S. Curse of rarity for autonomous vehicles. Nature Communications 15,4808 2024-06-05. https://www.nature.com/articles/s41467-024-49194-0 (accessed 2026-10-23).
[26] Kalra N; Paddock S M. Driving to Safety: How Many Miles of Driving Would It Take to Demonstrate Autonomous Vehicle Reliability?. RAND RR-1478-RC 2016-04-12. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR1478.html (accessed 2026-10-23).
[27] Consumer Technology Association. DELTA Pro Ultra X Whole Home Power Solution — CES 2026 Innovation Awards. CES2026;undated page. https://www.ces.tech/ces-innovation-awards/2026/delta-pro-ultra-x-whole-home-power-solution/ (accessed 2026-10-23).
[28] EcoFlow. EcoFlow DELTA Pro Ultra X Whole-Home Power. undated_current_US_product_page. https://www.ecoflow.com/us/delta-pro-ultra-x (accessed 2026-10-23).
[29] BLUETTI Power Inc. BLUETTI Unveils New Energy Solutions for Home, Road, and Planet at CES 2026. 2026-01-05. https://www.prnewswire.com/news-releases/bluetti-unveils-new-

SVSAC | sv-sac.org

energy-solutions-for-home-road-and-planet-at-ces-2026-302652943.html (accessed 2026-10-23).
[30] UL Solutions. Energy Storage System Testing and Certification. undated_dynamic_page. https://www.ul.com/services/energy-storage-system-testing-and-certification (accessed 2026-10-23).
[31] UL Solutions. UL 9540A Test Method for Battery Energy Storage Systems. undated_dynamic_page. https://www.ul.com/services/ul-9540a-test-method (accessed 2026-10-23).
[32] 河北省统计局；国家统计局河北调查总队. 河北省 2025 年国民经济和社会发展统计公报（河北日报客户端稿，北京日报平台转载）. 2026-04-13. https://xinwen.bjd.com.cn/content/s69dc3dbce4b0687a2893ef1c.html (accessed 2026-10-23).
[33] Fagan M; Megas K N; Cuthill B; Marron J; Hoehn B. Foundational Cybersecurity Activities for IoT Product Manufacturers, Revision 1. 2026-04. https://csrc.nist.gov/pubs/ir/8259/r1/final (accessed 2026-10-23).
[34] Fagan M; Megas K; Scarfone K; Smith M. IoT Device Cybersecurity Capability Core Baseline. 2020-05. https://csrc.nist.gov/pubs/ir/8259/a/final (accessed 2026-10-23).
[35] Connectivity Standards Alliance. Certification. current page accessed 2026-10-23. https://csa-iot.org/certification/ (accessed 2026-10-23).
[36] Connectivity Standards Alliance. Interoperability Testing Facility. current page accessed 2026-10-23. https://csa-iot.org/certification/interop-lab/ (accessed 2026-10-23).
[37] Connectivity Standards Alliance. Matter Arrives Bringing A More Interoperable, Simple And Secure IoT Experience. 2022-10-04. https://csa-iot.org/newsroom/matter-arrives/ (accessed 2026-10-23).
[38] Avnu Alliance; CC-Link Partner Association; ODVA; OPC Foundation; PROFIBUS & PROFINET International. Single Common Conformance Test Plan to be Available for IEC/IEEE 60802 TSN Profile for Industrial Automation. 2022-05-30. https://opcfoundation.org/news/press-releases/single-common-conformance-test-plan-to-be-available-for-the-iec-ieee-60802-tsn-profile-for-industrial-automation/ (accessed 2026-10-23).
[39] International Electrotechnical Commission. IEC 62443-4-1:2018 Security for industrial automation and control systems - Part 4-1: Secure product development lifecycle requirements. 2018-01-15. https://webstore.iec.ch/en/publication/33615 (accessed 2026-10-23).
[40] International Electrotechnical Commission. IEC 62443-4-2:2019 Security for industrial automation and control systems - Part 4-2: Technical security requirements for IACS components. 2019-02-27. https://webstore.iec.ch/en/publication/34421 (accessed 2026-10-23).
[41] OPC Foundation. OPC Foundation and Avnu Collaborate to Advance TSN in Industrial Automation through Testing, Certification and Interoperability. 2026-09-29. https://opcfoundation.org/news/press-releases/opc-foundation-and-avnu-collaborate-to-advance-tsn-in-industrial-automation-through-testing-certification-and-interoperability/ (accessed 2026-10-23).

SVSAC | sv-sac.org

[42] OPC Foundation. OPC Interoperability Workshop 2025, North America. 2025. https://opcfoundation.org/event-detail/opc-interoperability-workshop-2025-north-america-2/ (accessed 2026-10-23).
[43] Universal Chiplet Interconnect Express Consortium. UCIe Specifications. current specifications page accessed 2026-10-23. https://www.uciexpress.org/specifications (accessed 2026-10-23).
[44] Intel. Intel Unveils Industry-Leading Glass Substrates to Meet Future Needs of Data-Centric Applications. 2023-09-18. https://www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/news/intel-unveils-industry-leading-glass-substrates.html (accessed 2026-10-23).
[45] Open Compute Project Advanced Cooling Solutions. ACS Liquid Cooling Cold Plate Requirements Document. 2019-10-09;Revision1.0. https://www.opencompute.org/documents/ocp-acs-liquid-cooling-cold-plate-requirements-pdf/ (accessed 2026-10-23).
[46] Open Compute Project. OAI System Liquid Cooling Guidelines in OCP Template. 2023-03 update. https://www.opencompute.org/documents/oai-system-liquid-cooling-guidelines-in-ocp-template-mar-3-2023-update-pdf/ (accessed 2026-10-23).
[47] Ramachandra S (Sujit Ramachandra). Packaging Photonics for AI/ML Systems. IEEE EPS Photonics Technical Committee-hosted article;copyright2023 2023. https://eps.ieee.org/wp-content/uploads/2025/11/Photonics_TC_Article_-_Packaging_Photonics_for_AI_ML_Systems.pdf (accessed 2026-10-23).
[48] Intel Foundry. Advanced Packaging Innovations | Chip Packages. current page accessed 2026-10-23. https://www.intel.com/content/www/us/en/foundry/packaging.html (accessed 2026-10-23).
[49] Peelman S; Li B; Rahman D. High Efficiency Powertrain for Heavy Duty Trucks Using Silicon Carbide Inverter. 2024. https://www.osti.gov/servlets/purl/2368796 (accessed 2026-10-23).
[50] Oak Ridge National Laboratory. Annual Progress Report for Power Electronics and Electrical Machines Program. 2011. https://www.osti.gov/servlets/purl/1028161/ (accessed 2026-10-23).
[51] Narumanchi S et al.. Reliability Aspects of Power-Dense Electric Drive Vehicles. 2021. https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/79098.pdf (accessed 2026-10-23).
[52] US Department of Energy Federal Energy Management Program. Smart Charge Management Implementation for Federal Fleets. current page accessed 2026-10-23. https://www.energy.gov/cmei/femp/smart-charge-management-implementation-federal-fleets (accessed 2026-10-23).
[53] SAE International. SAE International Publishes SAE J3400/2 Standard to Accelerate Safer, Faster EV Charging Across North America. 2025-05-28. https://www.sae.org/articles/press-releases/2025/05/sae-international-publishes-sae-j3400-2-standard-accelerate-safer-faster-ev-charging-across-north-america (accessed 2026-10-23).
[54] National Highway Traffic Safety Administration. Federal Motor Vehicle Safety Standards; Electric-Powered Vehicles: Electric Powertrain Integrity Global Technical Regulation No. 20; Proposed Rule. 2024-04-05.

SVSAC | sv-sac.org

https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/2024-04/FMVSS-305a-NPRM-Web-Version.pdf (accessed 2026-10-23).

[55] US Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. Key Findings from RFI on Medium- and Heavy-Duty Truck Research and Development. 2020. https://www.energy.gov/cmei/vehicles/articles/key-findings-rfi-medium-and-heavy-duty-truck-research-and-development (accessed 2026-10-23).

[56] Zolot M; Pesaran A; Mihalic M. Thermal Evaluation of the Honda Insight Battery Pack. 2001. https://www.nrel.gov/docs/fy01osti/30095.pdf (accessed 2026-10-23).

[57] US Department of Energy Vehicle Technologies Office. 2024 VTO Annual Merit Review Results Report: Electrification R&D. 2025-01. https://www.energy.gov/sites/default/files/2025-01/02_-_Electrification.pdf (accessed 2026-10-23).

[59] Waye SK et al.. Air-Cooled Heat Exchanger for High-Temperature Power Electronics. 2015. https://www.nrel.gov/docs/fy15osti/61844.pdf (accessed 2026-10-23).

[60] Thorn E; Kimmel S; Chaka M. A Framework for Automated Driving System Testable Cases and Scenarios. National Highway Traffic Safety Administration 2018-09. https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/documents/13882-automateddrivingsystems_092618_v1a_tag.pdf (accessed 2026-10-23).

[61] National Highway Traffic Safety Administration. Framework for Automated Driving System Safety. 2020-11 (ANPRM supporting document). https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/documents/ads_safety_principles_anprm_website_version.pdf (accessed 2026-10-23).

[62] Sheeny M; De Pellegrin E; Mukherjee S; Ahrabian A; Wang S; Wallace A. RADIATE: A Radar Dataset for Automotive Perception in Bad Weather. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2021; arXiv v3 2021-04-05 (arXiv v3). https://arxiv.org/abs/2010.09076 (accessed 2026-10-23).

[63] Bijelic M; Gruber T; Mannan F; Kraus F; Ritter W; Dietmayer K; Heide F. Seeing Through Fog Without Seeing Fog: Deep Multimodal Sensor Fusion in Unseen Adverse Weather. IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2020; arXiv v3 2020-06-30 (arXiv). https://arxiv.org/abs/1902.08913 (accessed 2026-10-23).

[64] Ahmed-Zaid F et al.; Vehicle Safety Communications Consortium. Vehicle Safety Communications – Applications (VSC-A) Final Report. 2011-09. https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/811492a.pdf (accessed 2026-10-23).

[65] STMicroelectronics. VL53L8CX Time-of-Flight Sensor Datasheet DS14161 Rev 12. 2025-07. https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l8cx.pdf (accessed 2026-10-23).

[66] Infineon Technologies. 60 GHz Radar Sensors for IoT. current product page accessed 2026-10-23. https://www.infineon.com/products/sensor/radar-sensors/radar-sensors-for-iot/60ghz-radar (accessed 2026-10-23).

[67] Sony Semiconductor Solutions. LED Flicker Mitigation Technology for Automotive Use. current technology page accessed 2026-10-23. https://www.sony-semicon.com/en/technology/automotive/lfm.html (accessed 2026-10-23).

SVSAC | sv-sac.org

[68] MLCommons. MLPerf Tiny: Benchmarking AI at the Edge. 2026-07-07. https://mlcommons.org/2026/07/mlperf-tiny-v1-4-results/ (accessed 2026-10-23).
[69] MLCommons. MLPerf Inference: Edge (V6.1 Results). dynamic page accessed 2026-10-23. https://mlcommons.org/benchmarks/inference-edge/ (accessed 2026-10-23).
[70] Wu L (Arm). Vela Compiler: The first step to deploy your NN model on the Arm Ethos-U microNPU. 2022-01-17. https://developer.arm.com/community/arm-community-blogs/b/ai-blog/posts/vela-compiler-deploy-your-nn-model-on-the-arm-ethos-u-micronpu (accessed 2026-10-23).
[71] Edge Impulse. Target Device. current documentation accessed 2026-10-23. https://docs.edgeimpulse.com/studio/projects/dashboard/target-device (accessed 2026-10-23).
[72] Li E; Zeng L; Zhou Z; Chen X. Edge AI: On-Demand Accelerating Deep Neural Network Inference via Edge Computing. 2019-10-04 (arXiv). https://arxiv.org/abs/1910.05316 (accessed 2026-10-23).
[74] MLCommons. MLPerf Inference: Tiny. dynamic benchmark documentation accessed 2026-10-23. https://mlcommons.org/benchmarks/inference-tiny/ (accessed 2026-10-23).
[75] US Department of Energy. Vehicles-to-Grid Integration Assessment Report. 2025-01-09. https://www.energy.gov/sites/default/files/2025-01/Vehicle_Grid_Integration_Asseessment_Report_01162025.pdf (accessed 2026-10-23).
[76] OpenADR Alliance; Sacramento Municipal Utility District. OpenADR 2.0 Demand Response Program Guide v1.0. 2014 (PDF version). https://www.openadr.org/assets/openadr_drprogramguide_v1.0.pdf (accessed 2026-10-23).
[77] US Department of Energy Building Technologies Office. BTO Grid-interactive Efficient Buildings Strategy Discussion. 2019-05. https://www.energy.gov/sites/default/files/2019/05/f62/bto-peer-2019-grid-interactive-efficient-buildings-strategy.pdf (accessed 2026-10-23).
[78] International Energy Agency. Vehicle-to-grid Technology. 2026-05-20. https://www.iea.org/reports/vehicle-to-grid-technology (accessed 2026-10-23).
[79] Argonne National Laboratory; US DOE Vehicle Technologies Office. V2X Connect. 2026-06-03. https://www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/downloads/2026_TTO_AMR/amp340_thurston_2026_o.pdf (accessed 2026-10-23).
[80] Slipstream; US DOE Building Technologies Office Peer Review. Connected Communities for Sustainable Solutions. 2024-11. https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-11/bto-peer-2024-9781-connected-communities-for-sustainable-solutions-schuetter.pdf (accessed 2026-10-23).
[81] US DOE Vehicle Technologies Office EVs@Scale Consortium. Fiscal Year 2023 Year in Review. 2024-05. https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-05/VTO-EVs%40Scale-FY23-EOY-Report_v6_final_.pdf (accessed 2026-10-23).
[82] OpenADR Alliance; Sacramento Municipal Utility District. OpenADR Demand Response Program Guides. current page accessed 2026-10-23. https://www.openadr.org/dr-program-guide (accessed 2026-10-23).

SVSAC | sv-sac.org

[83] Henkel J; Baldwin CY; Shih WC. IP Modularity: Profiting from Innovation by Aligning Product Architecture with Intellectual Property. 2012-11-30. 所用版本：HBS 工作论文。 https://www.hbs.edu/ris/Publication%20Files/13-012_a4492d1d-8ab9-4a9c-9a04-67a848111dfa.pdf (accessed 2026-10-23).

[84] Gereffi G; Humphrey J; Sturgeon T. The Governance of Global Value Chains. 2005-02. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/fisheries/docs/GVC_Governance.pdf (accessed 2026-10-23).

[85] Kuan J; West J. Technical, Organizational and Business Model Modularity: Evidence from the Fabless Semiconductor Industry. 2021-03-31. https://www.hbs.edu/faculty/Shared%20Documents/conferences/strategy-science-2021/2_Jenny%20Kuan_Technical%20Organizational%20and%20Business%20Model%20Modularity%20Evidence%20from%20Fabless%20Semiconductor%20Design.pdf (accessed 2026-10-23).

[86] Mikkola JH; Gassmann O. Managing Modularity of Product Architectures: Toward an Integrated Theory. 2003-05. 所用公开稿标记为 IEEE Proof。 https://alexandria.unisg.ch/bitstreams/de25b24c-d8f0-45bf-b001-c1c8614738ac/download (accessed 2026-10-23).

[87] OECD. Mapping the Semiconductor Value Chain. 2025-06. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/06/mapping-the-semiconductor-value-chain_5ba52971/4154cdbf-en.pdf (accessed 2026-10-23).

[88] Teece DJ. Profiting from Technological Innovation: Implications for Integration, Collaboration, Licensing and Public Policy. 1986. https://www.politicipublice.ro/uploads/technological_innovation.pdf (accessed 2026-10-23).

[89] Frederick S; Lee J. Korea and the Electronics Global Value Chain, Chapter 3. Joint project between Duke Global Value Chains Center and Korea Institute for Industrial Economics and Trade 2017-09. https://www.globalvaluechains.org/wp-content/uploads/Duke_KIET_Korea_and_the_Electronics_GVC_CH_3.pdf (accessed 2026-10-23).

[90] U.S. Consumer Product Safety Commission, Office of Hazard Identification and Reduction. Lithium-Ion Battery Safety Standards for Consumer Product Import into the United States. 2017-05-16. https://www.cpsc.gov/s3fs-public/3LeeCPSC.En_.pdf (accessed 2026-10-23).

[91] Waymo LLC; filed pursuant to 49 CFR Part 573 with NHTSA. Part 573 Safety Recall Report 24E-049. 2024-06-10. https://static.nhtsa.gov/odi/rcl/2024/RCLRPT-24E049-1733.PDF (accessed 2026-10-23).

[93] Waymo LLC; filed pursuant to 49 CFR Part 573 with NHTSA. Part 573 Safety Recall Report 26E035. 2026-06-17 (submission date stated in filing). https://static.nhtsa.gov/odi/rcl/2026/RCLRPT-26E035-7637.pdf (accessed 2026-10-23).

[94] Google Nest Help. Troubleshoot connection errors during Nest × Yale lock setup. Page accessed 2026-10-23; page documents support change after Nest Secure support ended. https://support.google.com/googlenest/answer/9223718?hl=en-BR&ref_topic=9369998 (accessed 2026-10-23).

SVSAC | sv-sac.org

[95] National Institute of Standards and Technology (NIST). The TEVV-Athlon Framework for Evaluating AI Systems. 2026-08-07 (initial public draft; comment period to 2026-10-06). https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ai/NIST.AI.200-2.ipd.pdf (accessed 2026-10-23).

[96] National Institute of Standards and Technology (NIST). Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0). 2023-01-26. https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ai/nist.ai.100-1.pdf (accessed 2026-10-23).

[97] Amironesei R et al.; National Institute of Standards and Technology. Assessing Risks and Impacts of AI (ARIA): Pilot Evaluation Report. 2025. https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ai/NIST.AI.700-2.pdf (accessed 2026-10-23).

[98] Renesas Electronics. AEC-Q100 Qualification. Accessed 2026-10-23. https://www.renesas.com/en/products/automotive-products/aec-q100 (accessed 2026-10-23).

[99] International Organization for Standardization (ISO). ISO 26262-1:2018 Road vehicles — Functional safety — Part 1: Vocabulary. 2018. https://www.iso.org/standard/68383.html (accessed 2026-10-23).

[100] International Automotive Task Force (IATF). Stakeholder Communiqué SC-2024-004: EV Charging Systems and related components. 2024-03-14. https://www.iatfglobaloversight.org/news/14-march-2024-ev-charging-systems-and-related-components/ (accessed 2026-10-23).

[101] General Motors, published through IATF Global Oversight. IATF 16949 Customer-Specific Requirements for GM. 2023-01. https://www.iatfglobaloversight.org/wp/wp-content/uploads/2022/12/IATF-16949-GM-CSR-Jan-2023.pdf (accessed 2026-10-23).

[102] National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). Notice of Proposed Rulemaking: ADS-equipped Vehicle Safety, Transparency, and Evaluation Program (AV STEP). 2024-12-19. https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/2024-12/nprm-av-step-2024-web.pdf (accessed 2026-10-23).

[103] Hebei Provincial Bureau of Statistics and NBS Hebei Survey Office. 河北省 2025 年国民经济和社会发展统计公报. 2026-04-13. https://www.hbshgzb.gov.cn/2026-04/13/content_9499919.htm (accessed 2026-10-23).

[104] National Bureau of Statistics of China. 中华人民共和国 2025 年国民经济和社会发展统计公报. 2026-02-28. https://www.stats.gov.cn/xxgk/sjfb/tjgb2020/202602/t20260228_1962662.html (accessed 2026-10-23).

[105] National Bureau of Statistics of China. 什么是“规模以上工业企业”？如何认定？“限额以上”和“规模以上”有何区别？. 2021-02-18. https://www.stats.gov.cn/zt_18555/zthd/sjtjr/d12kfr/tjzsqzs/202302/t20230216_1908924.html (accessed 2026-10-23).

[106] National Bureau of Statistics of China. 高技术产业如何界定和统计. 2025-04-09 page date; classification definition based on 2017 catalogue. https://www.stats.gov.cn/zs/tjws/tjbz/202301/t20230101_1903766.html (accessed 2026-10-23).

SVSAC | sv-sac.org

[107] National Bureau of Statistics and Office of the Leading Group for the Fifth National Economic Census. 第五次全国经济普查公报（第六号）——部分新兴产业发展情况. 2024-12-26 (published in 2025 census bulletin series). https://www.stats.gov.cn/zt_18555/zthd/lhfw/2025/2025_zgjjpc/202502/t20250207_1958628.html (accessed 2026-10-23).

[108] Brusoni S; Prencipe A; Pavitt K. Knowledge specialization, organizational coupling, and the boundaries of the firm: Why do firms know more than they make?. 2001. https://journals.sagepub.com/doi/10.2307/3094825 (accessed 2026-10-23).

[190] National Highway Traffic Safety Administration. ADS-Equipped Vehicle Safety, Transparency, and Evaluation Program; Withdrawal. Federal Register91 FR38619; document2026-12980 2026-06-26. https://www.federalregister.gov/documents/2026/06/26/2026-12980/ads-equipped-vehicle-safety-transparency-and-evaluation-program-withdrawal (accessed 2026-10-23).

[191] Nelson D; Hegde P; Cogan T. Time of flight sensor. US12481042B2 2025-11-25. https://patents.google.com/patent/US12481042B2 (accessed 2026-10-23).

[192] STMicroelectronics. Guidelines for the cover glass of the VL53L8 Time-of-Flight (ToF) multizone sensor family. AN5939 Revision3 2025-03. https://www.st.com/resource/en/application_note/an5939-guidelines-for-the-cover-glass-of-the-vl53l8-timeofflight-tof-multizone-sensor-family-stmicroelectronics.pdf (accessed 2026-10-23).

SVSAC - sv-sac.org

SVSAC | sv-sac.org