从制造到解决方案：AI 驱动的产品服务化与商业模式创新

作者：**SVSAC 硅谷战略顾问委员会**

核心判断

从制造走向解决方案，是从交付设备走向承担客户结果；这条路有溢价空间，也需要新的交付纪律。对企业而言，值得优先推进的是：先界定企业能控制的服务结果和责任范围，再设计收费、数据使用、维护与异常处置机制。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：制造服务化；预测维护；AI 商业模式；绩效合同；服务运营；风险选择

SVSAC - sv-sac.org

SVSAC | sv-sac.org

从制造走向解决方案，是从交付设备走向承担客户结果；这条路有溢价空间，也需要新的交付纪律。

我们的建议是：先界定企业能控制的服务结果和责任范围，再设计收费、数据使用、维护与异常处置机制。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。

1. 核心问题：预测维护何时改变交易，而不只是改变信息？

“AI 驱动的产品服务化”至少混合了三个不同命题。其一，算法对故障或需求的识别比既有规则准确；其二，组织据此改变检查、维修、备件或客户支持动作；其三，改变后的服务提高客户结果，并且供应商能够以可接受的成本和风险捕获部分价值。第一项成立并不蕴含第二项：预警可能无人处理、没有零件、发生在客户不允许停机的时段，或者仅重复已有告警。第二项成立也不蕴含第三项：提前更换零件也许减少停机，却增加保养工时和库存；改善结果的价值可能被合同价格让渡给客户，或被赔偿责任、融资和云端运行成本抵消。

因此，核心问题不应是“AI 能否帮助制造商做服务”，而是哪些可观察条件使信息优势沿着一条完整机制链转化为可持续交易结果。本篇将链条写为：可用的数据与模型信号 → 有权限且及时的服务动作 → 设备运行状态或客户业务结果 → 合同规定的计费和责任结算 → 提供者的净贡献与风险暴露。每个箭头都是可失败的机制，不是技术宣传中默认的传导关系。若算法报出风险上升，但技术人员不可达、备件缺货、客户不授权停机，信息改善可能不产生动作；若动作确实避免了故障，合同仍可能只按固定服务费支付，价值进入客户而非供应商；若供应商按可用率承诺收费，某次云端或备件共因中断却可能扩大赔付责任。

“产品服务化”也不是单一产品类型。设备销售、保修、按次维修、固定周期维护、按使用量收费、全包维护、可用性合同与结果合同，在资产所有权、计量口径、风险分担和可控范围上不同。设备销售后附带有限保修，并不等于制造商已承担全生命周期的运行结果；按使用小时收费虽然将计量变量从设备数量换为利用率，也不必然把故障风险转给供应商；可用性合同可能约定排除客户误操作、外部供电或第三方改造。对合同责任的判断必须读取边界条款和现实执行权限，不能仅根据“订阅”“解决方案”或“AI 服务”标签推断风险承担。

SVSAC | sv-sac.org

本篇所讨论的 AI 可以包括故障风险排序、异常检测、剩余寿命估计、维修工单推荐或客户支持检索。研究焦点是这些能力与制造商服务业务的结合，不把传统自动化、联网遥测、规则系统和机器学习视为同一个处理。一个合同即使使用 AI，也仍要回答模型何时运行、输入数据由谁提供、推荐由谁批准、动作发生后谁承担停机、诊断错误如何纠正、合同结束后谁维持服务等实际问题。技术类别必须由系统版本和实际决策用途界定，而不能从企业宣传中的“智能”形容词倒推出因果处理。

为避免混淆，本篇把四类估计对象区分开来。第一是预测对象，例如设备在未来指定窗口内是否发生某类故障；它检验风险排序、校准和提前量。第二是干预对象，例如在既定检查和维修策略下，相比不使用模型，模型辅助政策是否改变检查/维修行为和故障后果。第三是合同对象，例如将某类客户纳入全包维护，是否改变固定合格客户集合的预期贡献。第四是企业财务对象，例如服务业务增长是否改变利润率、现金流和企业存续。预测模型测试集上的 AUC 或误报率只回答第一类问题的一部分，无法替代后面三类问题。

本篇的核心判断是条件性的：只有当模型提供了决策上可用的信息、组织能在客户和供应约束下执行差异化动作、合同将价值与责任分配到可控制的范围、并且成本与尾部风险在所需服务水平下可承受时，AI 才可能支持服务化商业模式的经济可行性。这里的“可能”是待检验机制，并非对企业部署效果的结论。相反，如果故障由不可观测的操作环境主导，或关键备件和现场权限不受提供者控制，则将不确定性写入固定费率或可用率承诺可能扩大风险，而不一定创造新的价值。

2. 概念边界：服务收入、服务能力与风险承担并非同一变量

服务收入占比常被用于描述制造企业服务化程度，但其测量并不等于商业模式本身。低占比可以来自服务收入少，也可以来自产品销售快速增长；高占比可能来自传统维护合同、零件供应或成熟的全包服务。占比不能单独说明服务是否带来增量价值、是否有利润、是否由 AI 产生，也不能区分客户在原有合同中增加了服务，还是产品销售下滑导致分母缩小。任何基于占比的比较都应报告收入分子与分母、时间窗口和业务分类口径。

服务“能力”也需拆分为至少四层。数据能力涉及遥测完整性、事件定义、跨设备关联与数据责任；分析能力涉及故障识别、风险校准、剩余寿命或需求预测；运营能力涉及工程诊断、工单路由、备件供应、现场覆盖和夜间响应；商业

SVSAC | sv-sac.org

能力涉及报价、合同范围、续约、例外处置和争议裁决。某个环节强并不意味着其余环节具备。例如，模型对某部件异常的召回率较高，若服务商缺少该部件的库存或更换需客户停线批准，价值可能仍无法兑现。将能力合并成一个“AI 成熟度”分数会掩盖真正限制服务结果的瓶颈。

合同是把能力转化为现金流和责任配置的制度载体。按次收费把收入和服务事件绑定，容易使提供者的收入随工单增加，但客户可能偏好减少故障和维修次数；固定年费使供应商承担一定的频率波动，而客户获得预算确定性；全包合同将部分人工和零件成本转移给服务方，但责任仍受排除事项和服务范围限制；按使用量计费需要双方信任计量设备与读数；可用性合同要精确定义停机开始/结束、计划维修、外部原因和验证来源；结果合同还需规定结果指标由谁控制、如何独立核验以及多原因结果如何分摊。合同名称不足以确定风险，适用的范围、例外、数据权限和争议程序才决定实质。

为分析风险转移，本篇采用三个问题而不是一个“服务化程度”变量：谁能观察导致成本差异的状态？谁有权采取能改变结果的动作？谁承担该动作后剩余的不确定性？如果客户掌握操作环境而服务方只持有设备遥测，服务方未必能辨别异常是设备磨损还是错误使用；如果客户不允许停机，服务方也无法对避免停机作出充分控制。此时由服务方承担固定费用下的全部损失，可能形成不对称责任。反过来，客户若把维护外包给供应商且供应商可监控、维护并调度备件，部分风险共担可能减少双方协调成本。上述机制需要合同条款、事件数据和实际动作记录共同验证，不能由收入分类推断。

“解决方案”在本篇中仅指将设备和至少一项持续服务或客户结果责任组合交付的商业安排，不预先包含其优越性。供应商可以通过服务获得重复收入或更深入的客户关系，也可能承担更大的固定成本、资产占用、服务网络费用和经营波动。已有研究中，Neely 基于 OSIRIS 的摘要报告跨国制造企业样本中服务化企业总体销售额较大、利润率较低，并指出企业规模存在调节作用；该结果是摘要层面的观察关联，不能说明服务化造成利润变化，也不能推断 AI 服务化的效应。[1] 其意义在于提醒分析者不要把收入增长直接视作利润增长，而非给出任何现代 AI 业务的回报基准。

SVSAC | sv-sac.org

3. 从模型输出到合同结果：可检验的传导机制

3.1 信息质量必须对应决策窗口

工业维护中的“准确”不是抽象的分类分数。一个模型可能在历史记录上识别故障标签，但对合同有用的信号还需满足对象、提前量和可行动窗口要求。零件失效标签若按工单关闭日期记录，模型可能识别的是维修排程而非故障起始；传感器状态若存在断连，未报故障不能一律算作健康；设备停机和客户生产损失可能使用不同时间定义。服务业务更关心“在供应商能够安排干预的时间之前，是否提供足够提前量和可校准风险”，而不只是总体误分类比例。

维护阈值还取决于不同错误的损失结构。若错误预警触发远程检查，成本可能很低；若它导致紧急上门、停机或高价换件，假阳性的代价更高。漏报的代价可能是设备损坏、客户停产、合同赔偿或安全问题，且不同设备和合同的损失分布差异很大。故模型分数应连接到行动规则和成本函数：对于第 i 台设备、时点 t，只有预计的可避免损失超过检查和干预的总边际成本、且存在合适窗口时，行动才可能有经济合理性。这个决策阈值需由经验证据和合同责任确定，不能凭测试集最优 F1 值代替。

这带来一个可检验的反事实：在给定相同设备及风险状态时，如果新模型提供了更早或更准确的信息，但派单系统、维护频率、备件策略和客户审批流程均未变化，那么客户停机或供应商履约应没有系统性改善，除非信息影响了其他未记录动作。观察到预测分数提升却没有维修行为的中间变化，意味着需要检查假设的机制链，而不是立刻归因于模型“创造了客户价值”。相反，若干预动作发生变化，模型带来的好处也不能凭前后相关性确认；设备风险变化、季节、工作负荷和同期工程改造都可能解释后续差异。

3.2 动作可执行性是模型价值的中介条件

从告警到维护行动至少经过分派、诊断确认、停机协调、人员/零件可用、现场执行和结果记录。每一步都会有容量或权限约束。对服务业务而言，模型每天多发出 20 个预警不代表多完成 20 次维护；如果现场团队只能接受 10 个额外工单，系统将改变优先级、等待时间和拒绝比例。服务商还可能将资源从低风险的计划维修转向模型报警任务，导致原计划推迟，评价结果必须记录被挤出的任务和后果。

建议把每条预警记录为可追踪的决策对象：生成时间与模型版本、当时可见数据、预测对象和风险窗口、建议动作、人工接受/拒绝及其原因、工单创建时间、等待备件/客户许可、执行时间、维修内容和复核结果。该记录并不证明因

SVSAC | sv-sac.org

果，但可以检验链条是否按理论运行。若绝大多数高分告警被拒绝，应分析是成本阈值错误、告警疲劳、预测窗口不可行还是客户授权受限；如果告警接受率高却没有实际动作，责任可能在工单与供应网络而非模型性能。拒绝不是简单的“人类不采纳 AI”，而是一个含有稀缺资源与现场信息的选择结果。

维修动作会改变标签生成过程。模型提示提前更换后，该设备没有发生原先预计的故障，不表示预测一定错误；它可能是干预避免了故障。若系统只用最终故障标签训练，成功预防的设备会成为“假阳性”，模型可能被迭代为不再报警。相反，若维修团队只处理高分设备，那么低分设备被观察到的故障可能少，是因为分组选择，而不是低分意味着低风险。这种干预反馈需要保留动作和未动作状态，并区分自然故障、预防性更换、计划换件和数据缺失。不能只从被维护后的状态倒推原先风险。

3.3 客户结果与供应商捕获价值之间有合同楔子

客户价值、合同收入和供应商净贡献是不同的量。客户可能从减少停机中获益，但若服务费固定，供应商只得到固定收入；若报价时已把预期节省全部计入，客户的剩余价值也许有限；若服务方承担按可用率赔偿，减少停机可能同时降低赔付和提高续约概率，但需要支付现场团队、库存和数据平台成本。服务经济模型必须给出“谁获得收益、谁支付成本、风险在谁的资产负债表上”的对照。

可用一个只为说明口径的表达式把项目期望贡献写为：合同净收入减去交付成本、持续数据/软件成本、资产融资及资金占用成本、预期赔偿或索赔成本，再减去与服务组合资源约束相关的机会成本。该式中的每项都需要确定单位与确认时点。例如，设备销售毛利不能与十年期服务收入直接相加而不折现；内部技师成本不能因为已在工资表而视为零；预期索赔成本不能把发生概率和严重度混为一个数；而交付后的续约收入需考虑合同终止和客户流失。构造账本能使假设可复算，但不能替代实际数据估计。

合同责任还改变技术处理的优化目标。以按次维护合同为例，服务商的收入可能随维修次数增加，优化器减少停机是否有利，取决于费用结构和客户关系；以固定全包合同为例，服务商承受频次成本，但过度预防维护仍可能增加人工和零件支出；按可用率收费时，除了故障次数，计划停机是否计入、未批准维修是否视作供应方责任、备件物流的中断如何归因，都会改变实际边际回报。模型不应独立于合约而优化某个指标，服务政策的目标函数需映射合同条款与客户业务结果。

SVSAC | sv-sac.org

4. 研究方法与证据边界

本篇采用范围受限的证据综合，侧重识别不同研究设计实际回答的问题，而不把题目相近的论文拼成一条已经验证的因果链。传统服务化研究提供商业模式与利润表现的历史背景；预测维护定价研究刻画频率/严重度风险定价的数学结构；维护合同成本次分析提供真实合同数据下的成本分布建模；AI 能力案例原文未取得，仅作待核线索；组织能力与反馈循环是我们提出的分析问题。前三类证据可互补，但结果变量、样本单位、时间跨度和识别强度不同。

Visnjic Kastalli 与 Van Looy 研究分析一家全球制造商的 44 家国家销售和服务子公司、2001–2007 年经营数据，方法稿讨论使用固定效应和工具变量/GMM 处理服务销售、产品销售及利润之间潜在的同时决定关系。作者在该单一母公司背景中报告产品与服务销售互补关系以及服务规模和利润率的非线性估计模式。[2] 工具变量估计依赖工具与内生解释变量相关、且在控制条件下不直接影响结果等假设；统计检验可检查某些可观察性质，却不能从逻辑上证明排除限制。该设计也不是 AI 采用试验，不能用来估计预测维护系统上线的利润效果。其可用价值在于提出产品与服务可能互补、规模发展可能经历阶段性收益等需在新场景验证的假说。

预测维护合同定价的研究把维修合同成本拆为故障频率和损失严重度，并据此为不同风险特征构造差异价格。[3] 既有稿引用 arXiv v1 片段；本篇另据机构库公开的 33 页作者稿核对定价定义、模拟与时间外检验相关章节，并以机构库登记信息核对书目。作者稿标明待刊，未据此声称通读最终期刊版或核毕全部附录。该研究在模拟数据上评估定价模型，不是企业部署的实地收益试验。它说明风险分层报价的数学路径可以被明确建模，但不说明真实客户会接受该报价、风险变量在签约时可观测、维护政策变化后成本分布仍稳定，或服务商最终取得正利润。

另一项维护合同成本次分析使用约 5,000 份全服务合同和约 3,000 台机器的匿名数据，分析 2004 至 2020 年的维护成本，涉及运行小时数据缺失和插补、成本通胀处理、合同筛选以及频率/严重度建模。[4] 本篇实际阅读的是作者公开机构稿的摘要、数据预处理、模型、验证和结论等选段，未逐行复核全部附录。该研究比纯模拟更接近合同成本的经验分布，但观察性数据及所研究客户、设备和合同的选择限制外推；它不是 AI 技术的随机或准实验效果，也没有证明成本预测改善会提高制造商的净利润。观察到的维护成本模型用于风险评估，仍不能替代在 AI 改变维护动作后的政策成本评估。 特别需保留预处理边界：作者删除最高

SVSAC | sv-sac.org

0.1%的故障成本，并把这些极端损失的单独建模留在范围之外。因此，本篇不能用该模型的风险载荷结果证明未建模极端尾部已获覆盖。

Sjödin 等制造企业 AI 能力文献保留为待核线索。[5]未取得可定位原文，因此不确认其样本、访谈数、能力类别或发现，也不声称读过其方法与局限。我们提出组织能力问题：数据、算法、交付与客户协作是否以及如何衔接，须以可读案例记录或后续实证判断。这是待检验框架，不能借未核案例充当验证或利润、可用率、续费的因果证据。

证据整理遵循四项区分。第一，样本事实与因果解释分开：更大销售额、模型分数或访谈主题不自动说明部署导致经营改善。第二，单位不混淆：一台设备、一份合同、一家子公司和一次访谈不是可互换的观察。第三，数据条件不外推：模拟、单一企业面板、历史服务合同、探索性访谈各有边界。第四，作者新提出的合同账本、识别方案和构造算例标记为分析性推导，不附会来源。证据截止于 2026 年 10 月 23 日；2026 年 10 月 28 日新增的阅读范围单独记录，并区分摘要、作者稿与未能访问三类，本篇不声称穷尽全部工业 AI 研究，也不将来源摘要中未读的部分补写为事实。

5. 研究框架、单位与可反驳预期

5.1 观察单位与处理版本

研究服务化项目时，至少可能出现五种单位：单个传感器事件、设备、客户站点、合同以及提供服务的区域/团队。若在单台设备层面随机分配模型使用，但同一技师把经验带到对照设备、共用同一备件池，或者同一站点统一采用告警策略，处理会跨单位传播。此时“设备数”不等于独立处理数，且局部设备效果可能不代表团队策略的总体效果。后续研究应先依据知识、工单和资源共享边界确定分配单位，再选择结果汇总单位；若以区域或团队随机分派，标准误与推断需尊重聚类结构。

处理也必须具体。一个可审计的“AI 辅助维护政策”应指明模型版本、输入数据窗口、风险阈值、建议动作、人工复核权限、零件订货规则、客户沟通流程及更新频率。模型名称不够，因为同一模型分数可以进入完全不同的派工与合同制度。比较“AI 有/无”若同时改变监测设备、工单系统、服务覆盖或折扣，估计的是整体政策包而非纯算法贡献。若核心问题是商业模式，政策包估计可以有决策意义，但必须写清其对照是什么，不能把整体政策差异解释成 AI 模型的单独效应。

SVSAC | sv-sac.org

5.2 结果向量与中间机制

每份合同应至少建立一个结果向量，而非单独使用利润或预测准确率。向量可包括模型校准/提前量、告警接受与拒绝、工单等待及完成、故障/非计划停机、客户生产或服务结果、合同计费/赔偿、交付人工与备件、云与连接成本、现金回收、续约/退出。并非每个研究都需估计全部维度，但若中心主张是“AI 促成可盈利服务化”，至少要把技术、中间操作、客户结果与财务结果的接点测量出来。

这也让反证可操作。如果预测性能提升，但告警没有改变服务动作，可以否定“通过差异化维护改善结果”的中间机制；如果动作改变且设备故障/停机减少，但固定客户分母的合同净贡献下降，则技术和客户价值机制可能成立，商业盈利结论不成立；如果利润上升而设备/客户结果不变，需考虑价格、客户选择、会计分类或服务对象变化，而非假定算法带来效率。机制链中的环节可能同时存在，但不能用最终单一相关指标证明每一环。

5.3 目标总体和客户选择

签署合同的客户通常不是潜在客户的随机样本。风险较低的客户也许更容易购买全包服务，因为其预期成本低、设备运行更稳定；高风险客户可能主动寻求风险转移，或者被供应商拒绝、报价较高。被签约样本中的维护成本因此同时反映设备风险和选择机制。仅比较已成交的 AI 合同与传统合同，不能回答“如果对相同合格客户提供 AI 服务合同，政策是否提高贡献”。

目标总体需在分析前定义，例如某个期间内满足设备兼容、数据完整、服务区域可达及信用条件的所有合格客户/站点。每个合格单位无论是否接受报价，都保留在分母；政策结果可以定义为合同期内的收入、成本、拒绝/退出和赔付净额。成交合同条件下的毛利可以作为补充，但它回答的是受报价影响的成交者结果，不是对固定合格客户总体的政策效果。未来现场研究可按客户簇或服务区域分配整体报价/维护政策，尽量减少同一销售人员跨组迁移话术和同一备件团队跨组干扰，并记录不接受、取消和失联。

5.4 可反驳的核心预期

本篇框架产生三项可检验预期。第一，模型改进只有在决策阈值和行动资源允许时才会改变维护行为；若模型版本改善后，在固定目标设备群中的接受率、检查/维修时点和备件配置都没有变化，单靠模型质量改善不能解释服务结果变化。第二，在固定合格客户框架内，完整报价政策的净贡献可能与已成交合同的条件毛利方向不同；若拒绝或退出与潜在风险相关，这种差异尤其重要。第三，

SVSAC | sv-sac.org

设备/合同风险存在共因依赖时，按独立合同假设推算的成本分散会高估组合稳定性；同一云平台、零件供应商或版本更新导致的群体冲击可能使平均期望成本看似可接受，却产生现金流不可承受的尾部。

这些预期都可被证据推翻。例如，模型分数变化也许通过改变管理者注意力而影响工作流程，即使显式工单接受率不变；客户拒绝也可能与风险无关；共因暴露若有可靠冗余或可快速替换，也未必导致严重尾部损失。研究者需测量替代路径并公布假设，而不是把预期当成已经成立的行业规律。接下来的章节将据此讨论合同选择和责任分配、运维资源约束以及可行的现场比较方法。本篇此处不作最终结论。

6. 从设备信号到合同事件：单位、暴露与风险集

6.1 设备、站点与合同之间需要可审计的映射

服务业务的数据常以设备序列号、客户站点、工单、合同号和法人主体分别存储。一个设备可先后由不同客户租赁，同一站点可以包含多台同型号设备，一份框架合同又可能覆盖多个站点和多种服务级别。若只把表里的“设备 ID”当作经济分析单位，可能把合同覆盖期间以外的故障算给供应商，或把客户迁址、重新签约和转售后的暴露错误连在一起。应在分析数据中保留时间有效的关系表：设备在何时归属哪个站点、哪些合同覆盖该设备、具体服务包何时生效、终止或暂停，以及数据系统在何时知道这些变化。

这里至少有两种时间。事件发生时间记录设备状态变化、客户停机或现场维修发生的时点；记录时间则是信息被服务商收到、录入或确认的时点。二者之差会影响“提前预警”与“响应时长”。如果现场维修在周一完成、工单周四才录入，而预测模型周二发出风险警告，使用最终工单日期可能把模型看成提前发出信号，实际却可能在维修之后。账本要保留事件时间、首次知悉时间、人工确认时间和系统处理时间，任何事后修订也应保留版本，而非覆盖原记录。

一个更可解释的结构是将数据分为设备状态片段、事件、动作和合同结算四类对象。状态片段记录某设备在可观察时间内的运行小时、负荷、告警和数据完整性；事件记录故障、检查、计划保养、预防性更换、客户停机或合同例外；动作记录建议、批准、派单、备件准备和维修；结算记录合同认定的可计费服务、赔偿、服务水平扣款和发票。它们通过设备、站点、合同和时间连接，但不得假定每一个告警都对应一个事件、每个工单都是一次独立故障，或每个停机小时都由供应商控制。

SVSAC | sv-sac.org

为说明映射错误的后果，考虑一份假设合同从第 1 日至第 365 日覆盖一台设备；第 100 日客户将设备转卖，数据库第 120 日才收到通知。若系统按事件发生时间回填到第 100 日，而合同有效期表没有版本化，供应商可能把第 110 日发生的新业主操作故障计入旧合同，也可能错误计算旧合同履约率。分析应先冻结在每个时点可知的合同范围，另做以事后最终信息重构的敏感性分析。前者回答服务团队当时能否管理风险，后者回答最终确认的设备结果；二者不是可以互换的“真值”。

6.2 暴露分母决定故障率的含义

故障计数需要对应暴露量。若设备只在运行时产生磨损，运行小时可作为风险暴露；若电池退化、腐蚀或老化在停机时仍然发生，日历时间也可能更合理。把“每台设备年故障数”与“每千运行小时故障数”混用，会令高利用率客户看起来风险更低或更高，方向取决于比较构成。合同定价也需明确费率基于日历年、运行小时、产量、循环次数或调用次数；一个以运行时长为单位的模型若和按日历月结算的合同配对，需处理闲置期与高利用期的不对称。

风险集的起点和终点同样重要。只有在合同覆盖、设备可观测、暴露定义明确且事件判定可用时，设备时间才能进入某类估计。首次签约前已有的大修风险不能作为签约后模型的可预测结果；终止合同后失去遥测的设备也不能简单按“未故障”计入观察期末。一个设备在观察期间可以经历多次故障和维修，维修后风险状态可能重置，也可能累积损伤；把每次工单当独立同分布事件会忽略设备内相关性和维修质量差异。

可使用分层的时间轴说明三类退出：合同到期、客户撤销数据接入、设备转售。合同到期后若企业仍维护该设备，原合同政策对后续风险不再适用，不能把后续故障归于原合同，但可以继续用于设备自然历史研究；失去数据接入则是观测删失，若退出与设备状态有关，完整案例率会偏；设备转售可能改变操作、维护主体和用途，原始风险过程不再是同一暴露。事件终点、删失规则及风险集需要在分析前定义，且要单独报告这些退出数。

合同责任有时按站点月或设备日计算，而非按故障数。若每份合同月收取固定费用，服务费的分母可能是“有效覆盖设备月”；若承诺可用率，则需将约定可用时间减去定义内的不可用时间，再按服务条款规定处理计划停机、客户缺料、外部停电和数据缺失。设备内部状态的无故障并不必然意味着客户端可用：供应商可能在等待客户许可，设备本身可运行却没有操作员，或者下游工序停产导致整线不可用。模型预测设备故障和合同可用率是不同终点。

SVSAC | sv-sac.org

6.3 事件定义和失败类型应贴合可控责任

“故障”可指部件超出工程公差、设备失去预定功能、工单被创建、客户报告异常、设备停机，或造成客户业务中断。不同定义有不同发生时间、观察概率和经济意义。对于一个部件质量异常，客户可能继续运行但安排计划更换；对于同一告警，另一客户可能立即停机。将所有情况压成二元“故障/无故障”会丢掉合同责任中最关键的严重程度和可避免性。

一个事件字典可以先区分：功能失效、性能退化、计划保养、预防性更换、误报检查、客户停机、供应商服务延迟、外部原因停机和无法判定。每类需有触发证据、开始/结束标准、责任归属状态与严重度。比如“服务延迟”可从客户批准工单时开始，直到合同承诺的工程师到场或远程恢复；若站点缺少安全许可，需要决定时钟是否暂停，并保留证据。这里不是要把争议强行归到某一方，而是让分析能够重复分辨不同合同定义。

严重度不能只取维修成本。一次故障可能涉及部件、现场工时、加急运输、客户停机、产品质量报废、合同扣款与潜在安全后果。某些损失存在上限或不对称：部件维修成本可以观测，但失去订单的机会成本未必由服务方承担；赔偿可能以年度服务费为上限；安全事件则不能仅折算为均值成本。对预测模型，至少要分别报告按故障事件、按设备暴露和按严重度加权的性能。对合同模型，还需要明确哪些损失由服务商承担、哪些仅进入客户价值账户。

终端确认最好独立于模型本身。若模型告警推动工程师开工单，而工单标签又被当作故障真值，则模型可能因促发检查而“证明自己准确”；反过来，预防性更换阻止了故障，故障标签可能消失。可在预先抽样的设备时段上由不知模型分数的工程师复核状态记录、部件实检或客户停机材料；复核人员应使用统一判定规程，保留分歧与仲裁结果。无法获得独立终端验证时，研究应把“预测工单”与“真实设备失效”明确分开。

7. 预测模型与维护政策：风险估计不是干预效应

7.1 频率、严重度与政策改变之后的分布

维护合同的预期赔付成本通常可以拆为事件发生频率和每次事件损失严重度，但两者加权与条件关系必须清楚。设在给定设备状态 X 下的事件次数为 N，每次事件的平均损失为 μ(X,N)，则总成本期望为 E[Nμ(X,N)]。若频率与严重度受同一隐含状态影响，简单相乘两个边际均值可能遗漏协方差；如果严重度按事件加权、而频率按合同加权，统计口径也可能不一致。因而需标明期望是按设备、

SVSAC | sv-sac.org

合同、运行时间还是索赔事件加权，并单独报告多次故障在同一设备上的集中度。

例如，在一个完全构造的两状态例子中，一半设备处于状态 A，N=1 且每次损失 100；另一半处于状态 B，N=3 且每次损失 300。按设备等权的平均事件数为 2，按设备等权的状态条件严重度均值为 200，两者相乘得到 400；真实设备平均总损失是(1×100+3×300)/2=500。少算的 100 来自状态风险下 N 和严重度的相关，不能归结为所有频率–严重度分解都错。若先按全部事件对损失加权，平均单次严重度为 250，乘以设备平均事件数 2 则为 500，但这种等式依赖同一目标总体和一致的加权口径。此构造只展示定义的重要性，不估计任何行业分布。[3]用于风险定价建模的频率/严重度框架提供分析背景，但其模拟结果不能赋予此例真实概率或损失含义。

预测模型在既定维护策略下拟合出的风险分布，不一定等于引入模型后的风险分布。模型提示更早保养后，事件数可能下降，单次维护费用却上升；更换风险部件可能将大故障转为小额计划工单；频繁检查也可能增加被发现的小问题数量。若把历史成本模型直接用于新策略报价而不重新估计动作对结果的影响，就隐含假设干预不会改变风险、严重度、检出概率或设备寿命。这个假设需测试，而不是由预测准确率验证。

进一步说，动作后的状态是处理结果而非纯粹的风险特征。假设模型为高风险设备安排了检查，工程师发现裂纹并预防性换件。数据中“检查后未发生故障”同时可能表示原预测过度报警，也可能表示预防有效。没有随机或可信的比较路径，就无法从受干预设备的已观测结果分辨这两种解释。保留高风险但未处理设备会有选择偏差；若业务规则几乎总是处理高风险，相关反事实缺少数据支持，单靠调整模型或加权不能恢复未观察到的结果。

7.2 风险模型、报价模型与维护政策的时间顺序

报价只能使用签约时实际可见的信息。未来的维修次数、未来停机时间或事后判定的故障严重度不能作为“签约时预测变量”，除非模型使用其历史代理信息并明确预测窗口。若报价在签约时冻结，而合同期内设备负荷、环境或客户操作变化，供应商需决定是否允许复评、调价或按合同边界排除。模型研究应按时间切分训练和验证，避免同一设备或相邻工单泄漏到验证集；部署计划则需记录何时可实际取得输入数据，而不仅是数据库时间戳。

维护政策还会改变可观测样本。风险评分高的设备可能更频繁地检查，因而更容易发现轻微异常；低分设备被少检，记录中就可能少见问题。若训练标签来

SVSAC | sv-sac.org

自工单而非统一检测，模型学到的可能是检查强度或组织习惯。可以考虑对一部分适格设备进行独立、固定频率的状态验证，或根据预先定义的抽样概率做分层复核；若仅复核高分预警，则无法估计未报警组的漏检率。服务商通常也不可能暂停全部维护来随机化，因而验证设计须在安全和合同义务下保留必要照常处理。

将模型从预测系统变为动作政策，处理定义应包含阈值、人工规则、资源约束与更新版本。比如两种策略可以不是“模型/无模型”，而是“既有保养计划”与“模型排序的有限容量计划”。如果模型策略把每周最多 10 个检查名额给最高风险设备，效果反映风险排序如何改变有限资源的分配；如果对照组仍保有常规维护，差异是附加排序政策的增量，而非 AI 与安全维护之间的对比。容量上限、例外优先级、临时撤销及人工覆盖都应冻结并记录。

7.3 技术指标与经济决策的桥接

分类指标必须映射到决策成本和服务容量。假设每 100 台设备中，合同期内有 4 台发生严重故障；模型识别 3 台严重风险，同时错误预警 10 台。表面上召回率为 75%，但服务团队若只能检查 8 台，则还必须在 13 项预警中进行排序，至少有 5 项不能在该容量内检查；若每次检查占技师半天，若 10 个错误预警全部执行，将消耗 5 个技师日；但在仅 8 项总容量下不能同时全做，实际误报占用取决于排序后选中的误报数；漏掉的 1 台若会造成高额停机，则成本结构可能仍值得接受，也可能不值得。没有故障成本、动作有效性、误报执行概率和容量数据，就不能从 75%召回直接推导商业可行性。这里的数字是为展示单位的构造例，不是维护服务基线。

再考虑模型只提高“提前量”，但建议窗口落在客户旺季。技术上多提前两周，运维上却因停机限制无法执行。若检查只在客户换班或保养窗口可做，提前信息可能减少加急物流，但不一定改变故障数。研究需要把技术提前量与“可行动提前量”分开：前者是从预测发出到事件的时间，后者还要减去数据等待、客户审批、工程师路程、零件交期及设备窗口。真正的决策收益取决于这些时长的联合分布，而非单一模型提前量均值。

如果推荐动作的成本与效果异质，可按风险分层报告决策曲线：对每个事先给定的干预容量或损失阈值，计算单位设备期望避免损失、增量工时、未处理风险与成本。阈值不能从同一数据集上挑选并在同一数据上报“效果最好”，否则会过度适配；分层方案需在独立时间段或独立团队上确认。即使确认模型能将资源

SVSAC | sv-sac.org

更有效地分给高风险设备，也仅说明了特定维护政策在该容量与合同下的价值，并不直接说明客户愿意为新合同支付、或提供者能从价值中保留利润。

8. 将维护动作视为政策：识别问题与可行对照

8.1 预测验证不能替代政策评估

预测验证通常在历史观察中比较预测风险与已记录标签，政策评估则比较按不同规则采取动作后的潜在结果。两者的混淆会导致最常见的商业跳跃：在历史设备上模型的风险排序较好，因此声称模型可降低停机并提升服务合同利润。排序有用只是必要条件之一。需进一步知道模型是否改变动作、动作是否改变故障或客户损失、变更后的行动成本是否增加，以及合同如何分配避免的损失。

一个明确估计对象可以是：在符合设备兼容和服务区域条件的设备-合同单元中，分配到“模型排序的有限容量维护政策”而非“现行计划维护政策”的平均差异。主要结果不应只看已接受 AI 建议的设备，因为接受行为是处理后的选择。可以报告按原始分派的政策意向效应，包括拒绝、无动作、超出容量和例外撤销；另将实际执行者分析列为辅助机制描述，不能把它称为随机化效应。若政策按团队分配，处理与对照应按团队或区域层级定义，并在推断中处理聚类。

安全与客户合同往往不允许随机取消规定的维修。合理的比较不是“模型维护”对“完全不维护”，而是在同一强制维护底线之上比较增量排序或辅助决策。可为符合预先定义的可选检查任务设一个安全门：所有法规、制造商强制要求和合同承诺照常执行；只有在工程审查认可的可自由分配名额范围内随机或准随机使用新排序。若故障等级或置信度越过预设紧急规则，立即按常规处理并记为越界事件。此设计识别的是附加政策效果，不应扩大解释成“AI 取代维修”或总体安全结果。

8.2 处理单位、溢出与干扰

处理单位要与组织边界相符。如果同一服务团队接受 AI 辅助培训，然后为实验组和对照组共同派工，经验会溢出；如果模型引导团队将共享零件优先给高分设备，其他设备也会因此延迟。简单设备级随机化会使对照组受到处理影响，估计的可能是资源再分配而非纯技术效果。另一方面，若按整个国家区域或大客户集群随机化，独立单位数量可能很少，客户业务周期和技师能力差异会主导结果。

可采用分层的团队/站点簇随机设计，并在分组前按设备年龄结构、历史故障频率、合同类型和资源可达性平衡。若部署只能逐步展开，可以抽签决定团队上

SVSAC | sv-sac.org

线顺序，但要预先处理季节、共同版本更新和学习效应；先上线团队可能影响后上线团队的维修流程。分析中应报告簇数量，而不是只报数千台设备。对共享资源的干扰还可通过记录工程师、零件池和系统版本的交叉暴露，估计局部直接作用与资源外溢的可能边界。

若试验规模不足以可靠随机化，可以采用受限时间段的政策切换或事件研究，但其解释依赖趋势假设。比如同一团队交替采用现有排序与模型排序，必须确保更换周期、设备风险和人员经验不会系统变化；模型更新前后对比则可能同时遇到季节性、客户构成和零件供应变化。应至少保留并行的比较团队、预先指定基线窗口、记录同期工程变更，并做安慰剂时点或不应受影响的结果检查。没有平行趋势或随机分派，识别只能依赖可辩护的准实验假设。

8.3 处理偏离、客户退出和未成熟结果

维护政策的执行可能因客户拒绝停机、零件交期、技师缺席或合同例外而偏离原分派。若只分析严格照办的单位，会把更易配合、更有资源或风险更低的客户筛进“合规样本”。主要分析应保留所有最初分配的适格单位，并报告每类偏离原因及时间。按实际接受动作的效果可作为机制估计，但需明确额外假设与可能的选择偏差。

合同结果还有不同成熟速度。故障可能当月出现，服务赔偿在季末核定，续约可能需要数年。固定观察窗口能避免事后挑选终点，却不保证各组结果成熟程度相同。若某组的服务响应导致合同续约提前或索赔确认延迟，成熟度差异本身可能是处理路径。应预先区分已结算、未决和已失去随访的结果；对尚未成熟的索赔报告金额范围或等待状态，而不是把未决计作零。客户撤出服务计划也不是随机删失，需要说明是否可追踪原设备结果及撤出原因。

在合同风险研究中，退出还可能是有信息的：高风险客户更可能不续约，表现不佳的供应商更可能退出业务，或服务合同转换到竞争者。把所有合同都当作完整一年，会引入暴露时间差。简单年化成本率可用于描述，但不自动校正因风险而退出的选择。应报告合同期、设备暴露期、删失原因与竞争事件，按业务问题选择目标：服务期间成本、固定期限客户价值、还是合同政策对保留率的影响。若目标是供应商长期利润，还需对后续续约和客户关系价值另作假设，不能将观察到的短期索赔直接延伸为终身贡献。

8.4 可重复的政策评估协议草案

针对可选维护任务，研究登记可在处理前写明：目标设备与合同清单、模型/政策版本、允许触发的任务、既有强制保养底线、随机分配团队或站点、主要

SVSAC | sv-sac.org

客户与供应商结果、资源容量、随访窗口及停止条件。分派以后，团队按固定规则接受或覆盖排序，所有覆盖记录理由和批准人。独立工程审核者可在不知道分组的情况下判定故障严重度和是否符合操作规程；结算团队则根据冻结的合同条款计算工单、停机和扣款，避免模型团队自行把运营改善定义为利润。遇到安全信号时立即按现行程序执行，安全例外无论分组都保留在意向效应的结果里。

主要结果可分为三层：每个预先入组设备-合同单元的客户损失或可用性；服务商每个分派单元的净贡献；以及预警至完成维修的机制链条。贡献应包括服务收入、交付人工/零件、软件和数据运行、赔偿与已发生的融资/资产成本。对于存在共享团队和备件容量的政策，分母应是团队或区域在固定期间的全部合格暴露，而非只统计收到告警设备。安全、合同和客户权利规定的动作不作为可随机剥夺的处理。

停止条件可以是预先指定的安全风险、超出可承受的误报工时、合同违约累积或数据完整性崩溃；但停止规则必须明确观察频率、判断角色和是否影响继续随访。一个安全停止并不意味着研究失败，而是政策在其边界内不可继续。分析报告应同时给出停止前的分派、执行、客户结果及发生原因，避免只发布完成部署的设备或成功客户。

该协议仍依赖长期观察、合格客户数量、足够的团队簇和可核验的成本记录。若客户异质性、事件罕见或站点数量不足，结果可能只有宽区间；不能凭单一小试点的点估计承诺大规模合同。协议的用途是让“AI 维护政策是否增加价值”的问题可以被审查和反驳，而不是预设模型一定值得收费。后续研究还需把报价、客户选择和服务风险纳入同一总体设计，不能把此处的维护政策效果误称为商业模式净效应。

9. 合同选择与风险池：被签约客户不代表可服务市场

9.1 报价改变谁愿意进入合同

全包维护或结果合同把一部分未来维修成本和不确定性转给供应商，客户接受与否取决于其对自身风险的判断、融资约束、停机损失、现有维护能力以及对服务商的信任。服务商也会按设备龄期、运行负荷、历史故障、遥测完整度、区域可达性和客户信用选择是否报价、报价多少。因此，成交合同样本是供应商筛选和客户自我选择共同产生的结果。若 AI 提供了更细的风险分层，风险较低的客户可能获得更具吸引力的报价并更愿意签约；高风险客户则可能面对价格上调

SVSAC | sv-sac.org

或被拒绝。成交组合的平均维修成本下降不必意味着模型降低了同一组设备的成本，可能只是风险构成改变。

这类选择不只影响评估，也会影响模式本身。统一费率可能形成交叉补贴：低风险客户补贴高风险客户，直到低风险客户发现自己付得过多而退出。精细化定价可能减少交叉补贴，却也可能让高风险客户无法负担服务，弱化原先承诺的风险共担。供应商若只追求签约合同毛利，可能优先留下风险低、可达性高的客户，但这些客户本来就不需要大幅改变维护安排；若只追求客户覆盖率，可能吸纳维修成本高、模型不确定且难以服务的设备。商业模式比较需把覆盖与利润作为不同结果，而不是将其中一个藏进另一个比率。

在真实报价流程中，“客户风险”不是一个静态变量。设备使用强度、工作环境、操作人员培训和备件质量会随合同变化；供应商强化监测也可能让过去未记录的风险变得可见。若模型把一个设备类别的历史风险映射到新客户，类别平均值不能代替客户级状态。签约前可观测信息、签约后更新信息和实际干预后的状态必须分开。允许中途重新定价或解除合同会改变客户信任与风险暴露，不能简单将动态数据更新当作对客户有利的技术能力。

9.2 固定客户总体与成交客户利润：一个可复算选择例

以下是纯构造的报价例，不是企业数据或需求估计。假定同一服务期限内有 100 个已满足技术兼容和服务覆盖条件的潜在客户，其中 50 个低风险客户的每份合同预期履约成本为 100，另 50 个高风险客户预期成本为 300。暂不计销售、平台、融资和固定网络费用，统一报价 220。若 100 家都接受，收入为 100×220=22,000，预期履约成本为 50×100+50×300=20,000，合计贡献 2,000。

假如低风险客户因认为统一报价不划算而全部拒绝，高风险客户全部接受，则成交收入只剩 50×220=11,000，预期履约成本为 50×300=15,000，成交贡献为 −4,000。原合格客户总体下每份合同平均成本是 200，但成交组合中平均成本变成 300；差异由选择改变而非预测器误差造成。若供应商只在存量合同上看毛利，可能得出价格需要上调的判断；若观察报价政策覆盖的固定 100 户总体，则拒绝客户也需进入结果分母，政策贡献是 −4,000，而不是仅报告成交客户的结果。

这个例子故意把决策规则设为极端，不能据此推测现实客户会如何选择。现实中客户类型可能重叠，报价还会改变维修行为、服务覆盖和合同边界。它只证明一个逻辑点：目标对象不同，估计值就不同。技术准入的合格客户框架、报价/承保政策、接受/拒绝、取消和合同成本需共同定义。若目的是比较政策，主

SVSAC | sv-sac.org

要结果可定义为固定合格框中的期望贡献或服务结果；若目的是运营已签合同，成交后毛利仍有价值，但须明确其条件于选择。

9.3 逆向选择、更新定价与信息优势的边界

服务商更了解维修成本，客户更了解使用方式，这可能产生信息不对称。AI减少供应商对设备状态的不确定性，未必减少客户对操作环境、生产安排和未来负荷的不确定性。模型如果只看到传感器状态而看不到客户计划停机、旁路操作和第三方改造，精细报价看似更“数据驱动”，实际仍可能遗漏造成费用差异的变量。反之，客户知道设备即将更换或生产线缩减，却可能更积极地选择固定服务费。选择机制存在于双方，而不只是机器学习里的类别不平衡。

当服务商按个体风险差异化报价，模型校准和公平性不是唯一问题，还需检验价格是否真的改变风险池或只是重分配收入。若高风险客户被排除，平均事故成本会下降，但服务覆盖和客户价值也下降；若高风险客户支付更高费率并留下，实际风险可能仍高但价格补偿充分；若客户发现模型变量会提高报价，可能改变遥测分享、故障报告或操作行为，使训练分布失效。将预测风险转成价格是经营政策，不能从概率校准直接推导最优价格。

更新定价还需要时间一致性。模型可在签约时利用历史状态，合同中途只能使用已经取得的信息；若在故障后提高价格，可能形成对服务风险重新定价而非预防风险。复评频率过高会令客户无法预算，也可能诱发客户回避监测；复评频率过低则让供应商承担不断变化的风险。合同需要定义可调整事件、数据误差纠正、价格通知期和退出条件。不同条款本身会改变客户接受与服务商的履约激励，因此应在报价政策评估中视为处理的一部分。

10. 风险定价、风险共担与责任可控范围

10.1 预期成本不等于商业报价

频率与严重度模型可以为合同服务成本提供统计输入，但技术性预期赔付成本不等于报价。报价还可能包括现场网络、闲置能力、备件资金、资本占用、软件运行、数据质量治理、销售服务、税费和目标利润，也要考虑客户的支付意愿与竞争替代方案。若只把模型预测成本乘以每份合同数量，可能将毛利误称为利润，并忽略新增服务设施的固定投入。若将企业已有研发平台成本全部计入某一服务产品，又可能高估边际成本。成本口径应回答决策问题：是否接受一个额外合同、是否开发服务业务，或是否按市场价提供报价。

SVSAC | sv-sac.org

故障成本还常有零膨胀与长尾。频率与严重度结构也见于预测维护合同定价研究，但其来源分析使用模拟数据。[3]多数合同期间可能没有大修，少数合同发生高价组件或多次现场服务。均值对预期成本有用，却不表示供应商能承受短期现金流或赔偿集中。预测模型若在少量高损失事件上误差较大，平均回归分数可能仍好看，却足以影响报价与准备金。应报告合同级成本分布、严重度分位数、重复事件集中度、暴露期和未决索赔；对稀有尾部不可仅靠校准均值就称风险已管理。

对共同风险尤其如此。一个构造例：100 份合同各有指定故障时损失 1,000，方案 A 中各合同故障相互独立、单份概率 0.1；方案 B 中以 0.1 概率发生共同冲击，冲击时 100 份全故障，其余时间均无故障。两方案预期成本都是 100×0.1×1,000=10,000。A 的成本标准差为 3,000；B 的标准差为 30,000。这个例子假设损失相同且无再保险、缓释或跨期恢复，只显示相同平均成本可对应十倍标准差。它不估计云服务中断、供应商停产或部件短缺的实际概率，也不能把标准差直接等同资本要求。公司要检验共因风险，须以区域、版本、平台、供应商和设备暴露数据识别哪些合同可能同时受冲击。

10.2 责任边界与可控能力需共同设计

结果合同把风险转移给供应商的范围，不能超过供应商在信息和行动上可控制的范围。若客户可以单方面改变操作参数、拒绝维修窗口、使用未经批准零件或迟报异常，而合同仍按年度可用率全额赔偿，服务商的损失可能由客户行为驱动。若供应商控制设备、调度与备件，却通过宽泛例外将所有停机排除，客户则可能为名义服务付费而得不到承诺结果。责任界定不是法条格式问题，而是激励与证据设计：哪方能阻止某类损失，哪方保留所需记录，如何处理无法归因的联合原因。

一种可检验的合同设计可以将事件分成供应商可控、客户可控、共享原因和不可归因四类，并为每类设置证据要求、通知窗口和复核程序。举例来说，备件缺货由供应商负责时，工单批准至到件时间由供应商库存记录验证；客户不提供停机窗口时，则保留客户请求和排期证据；若停机同时涉及供应商软件报警和客户负载超限，合同预先约定共同原因分析和责任分摊。这里只提出分析结构，不替代适用法域下的法律审查，也不主张存在一套通用分摊比例。

数据权利也是责任边界的一部分。客户提供传感器和运行日志，供应商处理并生成风险评分，设备制造商再利用聚合信息改进算法；每种数据用途可能涉及不同商业敏感性、访问权限和合同承诺。服务商若不能获得足够数据，就不能承

SVSAC | sv-sac.org

诺个体风险估计；客户若不能复核服务商的判断，就难以接受结果收费。数据缺失、传感器故障、设备被第三方改造或账户停用时，合同应规定谁通知、谁验证、是否暂停 SLA 时钟以及费用如何变化。数据可用并不等于数据代表设备真实状态，数据不可用也不应自动解释为客户违约。

10.3 经验研究支持合同激励，但不证明 AI 盈利

绩效合同确实可能改变维护激励，但其证据不能自动移植到算法应用。Guajardo、Cohen、Kim 和 Netessine 基于一家主要航空发动机制造商提供的专有数据，比较时间与材料合同和绩效型合同。官方摘要称作者建立两阶段计量模型处理合同选择内生性，并报告在其模型估计下，绩效合同下产品可靠性高 25%–40%；摘要将更频繁的计划维护和每次维护更仔细的执行列为与结果一致的机制。[6] 这是航空发动机传统售后合同的观察性证据，作者通过模型处理选择，但不是合同随机分配，也不是 AI 处理或供应商利润估计。摘要未足以核验工具、样本和全部稳健性细节，故不能据此断言绩效合同普遍提高可靠性，更不能把 25%–40%当作 AI 服务回报。

该证据的分析价值在于，它使“合同激励改变维护行为”成为可研究机制，而不是预设 AI 就改变激励。一个关键比较应把合同制度和 AI 政策分开：现行合同+现行维护，现行合同+模型辅助，绩效合同+现行维护，绩效合同+模型辅助。若能力与合同存在交互，单纯比较“AI 服务包”与“传统合同”无法分辨改进是来自算法、维护频率、合同激励、价格、还是综合组合。实际研究未必能随机化全部合同条款，但需明确估计的是整套服务包还是某个组成部分。

10.4 风险走廊与成本上限改变双方的边际责任

将高波动成本留给供应商、客户或双方分担，会改变模型政策的收益，不只是改变报价水平。考虑一项完全构造的年度合同：每个设备预收服务费 230，常规履约和平台成本为 20，报价模型估计平均赔付/维护成本 200，则不含资本和销售费用的期望贡献为 10。若某设备发生一个 600 成本的极端事件，供应商该设备当年贡献为 230−20−600=−390。若合同为单次事件设置 300 的供应方责任上限，供应商当年账面贡献则为 230−20−300=−90，客户承担剩余 300 的直接支出或停机损失。上限提高了供应商的下行保护，却没有消灭客户损失，也可能使客户对“全包”承诺产生不同理解。

若风险走廊规定成本超过某一基准后双方按比例承担，所需条款包括基准成本如何估计、异常事件归属、客户运行条件、费用清单核验和结算时点。基准若由同一模型事后重算，供应商可能因更新模型而改变比较基线；若基准固定多

SVSAC | sv-sac.org

年，则设备老化或客户使用变化可能使条款过时。固定风险上限也会改变服务商的预防维护动机：当成本已接近上限，额外预防支出究竟由谁支付，会决定是否值得采取措施。合同需要把控制权、激励和数据可核验性同时设计。

这一算例并非建议采用 300 上限或任何风险走廊，也未计资金成本、共因事件和客户业务损失。其用途是揭示同一个预测模型可进入不同责任安排，进而改变供应商与客户的成本函数。商业模式比较必须同步报告供应商贡献、客户自付及未赔偿损失；只报告净赔款会把风险转移误读为效率提升。

11. 客户结果如何计量，价值又如何捕获

11.1 设备可靠性不是客户生产价值的充分代理

设备可靠性通常以功能可用或故障间隔来测量，但客户关心的是业务流程。备用设备可能使一次故障几乎不影响产出；相反，关键生产线上的小型设备故障可能造成整线停工。不同客户的产能利用、排产弹性、库存缓冲、替代设备和订单时限，决定同一设备停机的经济后果。若合同按设备可用率结算，客户生产损失与合同赔偿也可能不一致；这并非指标错误，而是需要分别报告的两个估计对象。

“减少停机小时”也需要基准。已计划停机、客户主动停止、上游缺料、设备待料和供应商维修延迟可能交叠。若停机事件由多个系统分别记录，直接相加会重复计时；若只保留主原因，次级原因会消失。应使用时间区间而非简单事件行进行重叠校验，报告总日历停机、合同定义停机和可归于供应商的停机。对可用率分母，也需说明运行时段、约定服务时段与客户计划生产时段的区别。

客户价值若以避免停机成本估计，需透明地给出每小时损失、所用产能和可替代资源。将客户收入按小时平均分配，可能夸大停机价值，因为部分订单能通过加班、库存或其他产线补回；也可能低估瓶颈工序导致的连锁损失。更可信的路径是在客户业务记录中追踪停机到未交付、加急费用、废品或产量损失，并将合同赔偿与客户损失分开。供应商不能把“理论客户避免损失”直接记为自己的增量收入。

11.2 服务使用强度和客户行为会共同变化

从设备销售转向服务合约后，客户对维护的使用方式可能改变。固定全包费降低单次维修边际费用，客户可能更愿意报修、要求检查或更频繁使用设备；按次收费则可能使客户推迟报修；按使用量计费可能降低闲置但让客户规避计量。

SVSAC | sv-sac.org

服务量变化不能一律视为服务质量改善或模型失误，它可能是价格制度改变后的需求反应。

维护服务还可能改变客户预防行为。如果客户将维护责任全部交给供应商，客户自身的清洁、校准和操作培训可能减少；也可能因供应商提供更好培训而改善。要辨别这些替代机制，需测量客户操作、使用负荷、故障报告与服务接受，而不是把风险变化都归功于模型。若合同同时引入实时监测、自动工单和固定年费，估计应描述整个政策包的客户行为响应。

客户体验是续约的重要机制，但续约不是客户价值的完整测量。满意度可能受初始价格、服务响应、工程师沟通和设备品牌共同影响；高满意度客户不一定有预算续约，低满意度客户也可能因替代供应商缺乏而留下。续约还会产生生存者偏差：已经退出的客户不再贡献后续收入和维护记录。应把体验、续约意向、实际续约、价格/范围变化和退出原因分开报告。

12. 服务贡献、现金流与生命周期结果的分离

12.1 按合同年与全生命周期观察会给出不同问题

单年贡献回答的是当前期间收入减去当前期间相关成本；合同全生命周期价值则需要预测续约、成本趋势、设备更换、客户流失和资金时间价值。初期通常需要连接、传感器安装、工程验证、模型适配和服务流程建设，成本先发生；客户价值和服务收入可能多年后才出现。若只计算上线后的稳定期单年毛利，会漏掉前期投资；若把所有初始研发投入摊给少量试点合同，又会夸大成熟业务的边际成本。

全生命周期账本应区分一次性开发、客户/设备接入、持续平台运维、每次服务的变动成本、资产融资、备件库存、赔偿、退订、退款和终止后支持。一次性研发是否计入一个产品线取决于决策问题：开发预算审批应看项目总投资；接受下一个合格合同则看增量交付和容量成本；计算既有平台的平均盈亏则还需选择分摊规则。一个费用不能在开发成本和单位成本中重复扣除，且分摊规则不代表因果机会成本。

12.2 现金回收与会计利润可能方向相反

服务合同把收入分散到持续期间，但提供者可能必须预先购置备件、保留工程师、垫付设备或承担绩效保证。应分别记录应计收入、发票、客户回款、预付款、未决赔偿和现金支出。高会计利润在客户账期长、库存占用大或赔偿准备金

SVSAC | sv-sac.org

上升时，仍可能形成现金压力。反过来，预付款可改善现金时点，却不能单独证明服务具有更高经济利润。

如果服务商持有设备并按使用收费，设备资产和残值风险也需要单列；如果设备仍由客户购买，服务商主要承担维护成本与 SLA 风险。两种模式即使有相同服务费，也有不同资本需求。把租赁收入、设备毛利、服务收入和残值收益混合成“解决方案收入”，会模糊业务究竟通过何种渠道创造贡献。分析应先定义是否将产品交易纳入政策，再以一致的时间与折现口径计算。

12.3 续约收入与合同结束责任

以续约率推算生命周期收入时，必须说明续约对象和计时起点。设备仍在用不等于原服务合同续签；客户可能转向第三方，改为按次维修，或购买备件但不再购买监测服务。自动续约条款也不等于客户主动支付意愿。服务商若以现有客户续约率预测新客户终身价值，必须考虑客户、地区、设备年龄、合同范围和服务质量构成的差异。

合同结束并不立即结束责任。未决索赔、保修期、数据留存、软件安全更新、备件供应和技术文档交付可能延续。特别是设备的使用寿命比数字平台版本更长，停止云服务可能使旧设备监测中断。服务模式的成本评估要包括退出、迁移和最低限度的过渡支持，而非只观察收费期间。责任终止界限需要和设备生命周期、客户合同及软件版本政策对应；这些是经济和运营边界，具体法律要求需按适用法域另行核验。

本章的商业结论仍保持开放。已有合同研究能帮助描述风险、价格和履约关系，却不足以证明某一 AI 模式能够提升客户价值、降低成本或增加利润。后续章节将比较不同设备服务情境，并把合同和模型效果放入固定客户框架下的组合比较，而不把技术预测提升直接当成支付意愿或长期现金流。

13. 服务网络是算法决策的物理约束

13.1 维护建议必须经过资源网络

模型输出之后，工作并非在“告警–工单”两个节点之间自动完成。技术人员要先理解故障类型和置信区间，确认客户是否可停机；计划人员要比较急修、计划维修与既有服务承诺；零件团队要确认兼容部件及库存位置；客户现场还需提供许可、操作员、吊装或安全隔离条件。一个看似简单的更换建议，可能受跨区域技师工时、备件运输、客户班次和生产窗口共同约束。在线模型提高每分钟风险评分，并不能自动改变这些实体资源的数量与地理分布。

SVSAC | sv-sac.org

对于多站点合同，资源可行性应以服务网络而非单设备判断。几个客户可能在同一周同时进入高风险，原因是相同环境、同批零件或共同的设备老化。若预测模型分别给出每台机器的边际风险，却未识别共因事件，派工系统可能同时承诺无法兑现的到场时间。反过来，如果风险分散到不同地区，供应商也许能轮换技术人员或跨站调配零件。合同承诺应与实际服务区域、工程师技能和备用库存的容量匹配；用平均响应时间掩盖高峰需求会低估违约概率。

13.2 预测时点与行动时限之间的队列

可把一次服务行动拆为信号等待、人工审核、排队、客户批准、零件准备、人员行程和现场维修。若这些时长相加超过可用提前窗口，风险预测再准确也来不及阻止故障。部分阶段可并行：零件可以在客户许可确认前预留，工程师可以先远程诊断；另一些必须顺序执行：安全审查未通过前不能进入现场。端到端时长需按实际流程图建模，串行流程的期望总时长可按期望可加性求和，并不要求阶段独立；但该均值不能给出截止前完成概率，后者需联合分布和长尾信息，且并行流程的历时不等于各段之和。

例如，纯构造地假设本例模型固定提前 48 小时发出信号，所列处理时长也均设为确定值，审核耗时 2 小时，现场排程等待 18 小时，零件可得等待 30 小时，客户停机许可等待 24 小时，现场修复需 5 小时。若这四项等待必须串行，则到完成维修至少 79 小时，本例 48 小时提前量不足以完成串行动作；若审核、零件预留和客户协调可并行，等待项可能部分重叠，但仍需证明实际交接时点，不能把计划上的“并行”当成已经发生。该例不代表任何产业的常见时间，只展示预测提前量必须与行动流程联合评估。

13.3 告警优先级会改变既有服务，而非凭空增加能力

在容量固定时，AI 的可能价值是把稀缺工时从低收益任务转到高收益任务。它也可能挤走合同要求的例行保养、其他客户的紧急工单或工程师培训。评估只记录模型推荐任务，就会漏掉被推迟的工作。服务商需要保留完整任务队列，包括进入时间、优先级、原计划和新计划、资源占用、延期原因及延期后的结果。若一个高风险告警成功处理，而另外两项维护被延后，政策结果要计算净变化，而不是只汇报被处理设备。

固定容量选择也会产生一个结构性阈值：模型先决定排序，管理者再在可用名额内选任务。若每周只有 10 个现场工时槽，分数从 0.72 升到 0.74 未必改变操作；只有跨过名额边界的设备才会改变服务状态。故风险分数的连续改善不等于

SVSAC | sv-sac.org

任务分配的连续改善。可以报告在不同真实容量约束下的政策结果曲线，但容量应来自排班和资源日志，而不是分析者为提高效果挑选的阈值。

13.4 人工覆盖与零件约束应作为政策组成部分

工程师覆盖模型排序有时纠正模型遗漏的现场信息，例如客户已发现振动、部件无法安全更换或设备即将退休。也可能只是高分任务挤占率太高、团队缺少信任或报警界面不清。覆盖率本身不能判断模型价值，需按原因、角色、时间和后续结果分层。若模型建议任务被拒绝，不能把它作为“无干预的低风险设备”与未触发告警的设备合并；拒绝后的潜在故障仍应跟踪。

零件缺货也并非单纯供应链噪音。模型可能使供应商提前库存、改变采购量或将需求集中到少数高风险部件。库存成本会增加，但加急运输、客户停机和赔偿可能下降；若模型存在误报，提前采购则造成过期、闲置或设备型号过时。研究应以零件 SKU/兼容关系、库存位置、订单日期、紧急采购及安装结果跟踪，而不是仅记录“零件是否及时到达”。同一故障事件可同时有备件未到、客户许可延迟和技师不可用，需要保留多原因状态。

14. 干预改变故障记录：预测性能与维护效果的分离

14.1 观察到的故障不是未干预风险

若模型促使团队早于自然失效更换部件，设备没有在随访中故障，观察到的是干预后的结果。预测模型可能准确识别了高风险设备，也可能过度报警；单凭无故障标签无法分辨。模型引入后的成本序列还可能出现更多计划工单和更少紧急工单，若分析只将紧急工单定义为故障，维护政策看上去大幅降低故障率，却可能只是改变了事件分类。

要估计某个设备在“未被维护”时的失效风险，必须使用有支持的数据或明确假设。若所有高分设备都被维修，则不存在该区域的未处理对照，条件风险不可由模型训练数据直接识别。把同类低分设备作为对照也不充分，因其模型分数本来就不同；即使做倾向评分调整，仍需假设重要混杂变量已测量、存在共同支持且治疗规则可被一致表示。对高风险事件，研究不应为了估计反事实而停掉必须维护，而应将可选任务作为增量政策比较对象。

14.2 结果标签需记录动作路径

每次异常至少保留四个状态：预测时风险、是否检查、检查发现、之后是否发生目标故障。还应区分“检查后无异常”“预防性更换”“部件实测退化”“仅工单关

SVSAC | sv-sac.org

闭”和“数据缺失”。若告警后预防性更换，应记录被换部件及物理状态，不能将“无后续失效”简单标成预警错误；若拒绝告警，则记录拒绝理由并继续跟踪原设备。这样才能同时估计模型识别能力、干预执行和最终结果，而不是以单一工单标签代替全部三者。

独立工程复核可分两层：一组专家在不看模型分数时判断告警时点设备是否已有可观察异常；另一组评审者在不知分组情况下 裁定后续故障严重度和服务责任。两组解决的问题不同，第一组判断预测时状态，第二组判断最终结果。复核样本如果只来自模型警报，不能估计漏检；若由服务团队选择“典型案例”，还会产生有意识的病例选择。理想的终端验证需对警报和未警报的设备时段均按已知概率抽样，保留抽样权重与无法复核原因。

14.3 模型策略可能出现处理诱导的选择和反馈

模型上线后，工程师可能按风险分数调整巡检、备件、培训或客户沟通，这些行为是处理后的中间变量。若回归模型把它们当作普通控制变量，可能阻断算法作用路径，或引入由风险和政策共同造成的碰撞偏差。主要政策效果应首先按分配比较，机制分析再逐步报告接受、检查、换件和维修时间，明确中间结果并非随机处理。对复杂动态策略，单次“部署前后”成本对比尤其脆弱，因为工程师学习、客户使用改变和模型版本更新会共同影响结果。

反馈还会改变未来的训练数据。若高风险设备收到更多检查，数据中的异常发现率会升高；若模型提醒后提前换件，严重故障标签会减少。下一版本模型在这样的数据上训练，学到的是模型+维护政策共同形成的观测过程。为使版本更新可审计，应保留历史模型冻结评估集、上线时间、输入分布、动作政策和结果标签生成规则。只在当期服务数据上更新并重新报告准确率，不能证明下一版本对合同结果更好。

15. 服务质量、承诺指标与真实业务端点

15.1 SLA 指标必须对应服务方能控制的时段

响应时长、修复时长、恢复运行和可用率都可成为合同指标，但每个指标包含不同责任范围。供应商可承诺接单后四小时远程回应，却无法承诺客户批准停机的时间；可以承诺到场时间，却不控制零件清关；可以承诺修复后设备通过测试，却不控制客户后续产线如何运转。若一个 SLA 时钟在客户等待期间暂停，应记录起止证据并报告暂停时长，否则平均修复时间会在组织间失去可比性。

SVSAC | sv-sac.org

同一个合同可同时存在反应式服务目标与结果目标。反应式指标测量服务商对已报告问题的速度；预测维护则试图减少问题发生或提前安排干预。若用工单关闭时间评价预测维护，故障减少会让观察到的工单变少，但未必反映客户总损失；若只看设备可用率，客户侧备用和排产缓冲可能掩盖服务商延误。应将过程指标、设备终点和客户结果分别列出，报告指标之间的不一致，而非强行合成一个“服务质量分数”。

15.2 可靠性与可用率的合同测量

可靠性通常关心一定运行暴露内的失效发生；可用率还受维修持续时间和恢复速度影响。一个设备故障次数不变，但因零件预置和维修调度更好，客户停机时间可能下降；反过来故障次数降低，但每次维修更复杂、耗时更长，可用率未必改善。合同若以总可用小时结算，就应使用设备在约定生产时间内的状态区间，避免用“故障数减少”替代可用率。

在多设备系统中，设备级可用率的平均值也不一定等于系统可用率。如果生产线要求多个设备串联运行，单个关键设备不可用可能使全线停止；若系统具备冗余，多个设备中只需一台运行。组合规则必须依赖流程拓扑和备用能力。服务商若按独立设备分别报价，却承诺整线产出，需要把设备间依赖纳入风险边界。无法取得客户工艺拓扑时，合同结果不应默认为供应商可以观察和控制。

15.3 争议、归因和客户验证

服务争议经常来自同一停机的多重原因。模型可能识别了部件退化，但操作员继续运行导致损伤扩大；备件到达延迟和客户许可又延长维修时间。把事件归为单一责任会便利结算，却可能扭曲经验分析。推荐保留共同原因及比例敏感性：在严格可归属、宽松可归属与共享原因几种口径下，分别报告服务商承担的停机及成本。口径应由合同文本、系统日志和独立裁决规则支撑，而不是在看到模型结果后调整。

客户侧验证也有成本。客户可能不愿提供停产记录、订单损失或故障照片；现场人员对故障严重度判断可能因供应商赔付而有激励差异。可以选择一个经双方认可的独立测量源，例如设备事件日志和客户工单的时间戳交叉核验，并对无法匹配记录保留未知状态。未知不能自动按对任一方有利的方向填补。若合同将客户业务损失作为收费依据，则需明确计算来源、争议复核和重复补偿规则，避免客户既获得 SLA 扣款又在其他保险或供应合同中重复计入同一损失。

SVSAC | sv-sac.org

16. 从技术节约到净贡献：服务成本的增量与组合口径

16.1 固定与变动成本取决于决策边界

新增一个服务合同的边际成本不等于服务业务的完整成本。若技术团队当前有闲置工时，新增一次远程诊断的现金支出可能很低；若它占用了唯一专家的关键时段，机会成本可能很高。反之，把全部既有工程师工资和平台成本平均摊入新增合同，可能拒绝一个能贡献正增量的客户。应分别报告现金增量成本、会计分摊成本、被挤出工作的机会成本以及为合同承诺保留的容量成本，不能将这些口径相加后再重复计入。

一项使用全服务合同数据的维护成本次分析还报告，运行小时记录存在大量缺失并需插补，同时进行通胀调整与合同筛选。[4] 这提醒研究者，合同成本率不仅是模型选择的函数，也取决于暴露量如何测量、缺失机制如何处理及哪些合同进入样本。插补并不能自动恢复真实运行时长；应按合同类型、设备风险、时间和退出情况报告缺失，并检验不同缺失假设下成本率是否改变。该研究是观察性成本建模，不证明某种插补方案在所有服务业务中正确。

容量承诺经常以“随时待命”而非实际工单计价。提供商可能要在多个地区留出夜间轮值、稀缺资质人员和替换设备；即使该年少有呼叫，保持服务可用仍耗费成本。模型若减少故障呼叫，变动成本可能下降，但待命支出未必下降，除非公司能够重新安排轮班、缩小覆盖区域或取消冗余容量。设备预测的维修工时减少与企业成本减少之间还隔着排班、人员合同和服务水平约束。

16.2 单合同账本的构造示例

考虑一个不具现实参数含义的季度合同组合：20 份合同各收取 5,000，合同收入合计 100,000；固定服务网络和平台成本为 30,000；基线预期人工、零件和赔偿为每份 2,800，合计 56,000；模型辅助策略假设减少了每份 400 的可变成本，增加每份 150 的数据/服务运算成本，则组合净贡献为 100,000−30,000−56,000+8,000−3,000=19,000。若训练、设备连接与一次性接口工作另需 12,000，首季度项目现金贡献变为 7,000；若这 12,000 是未来可复用的开发投入，则其是否全部计入该季度取决于投资评估口径，不应同时再次作为每份合同的长期摊销。

这个例子有意将 30,000 固定网络成本和每份合同的变动成本区分，也把一次性接口工作单列。它没有包含税、资本占用、延后索赔、客户退出、回款时间、设备责任或替代项目收益，也没有估计 AI 节约 400 的真实性。若模型策略减少的成本只是避免了原先没有发生概率的“可能故障”，而没有通过历史对照或政策试

SVSAC | sv-sac.org

验识别，就不能把假设节约写成实现收益。示例只展示账本结构与算术：19,000 是运行口径下的净额，7,000 是将一次性投入全计入本季度的现金口径。

16.3 预期成本、赔偿成本与事件成本不得重复计算

模型和财务账本常将事件概率、事件损失和合同赔偿叠加，出现重复计数。假设一个共同事故发生概率为 1%，发生时直接维修和客户赔偿合计 400,000；则该事故给组合带来的无条件期望成本为 0.01×400,000=4,000。若将事件的 400,000 直接成本先按 1%加权成 4,000，再将“1%概率下的 400,000 赔偿期望”另加 4,000，就把同一事故算了两次。若其中直接维修 200,000、应急恢复/赔偿 200,000，则条件总成本是 400,000，概率仍为 1%，期望总成本仍为 4,000，不能再把其中同一费用重复加计。

账本须区分条件成本、概率和无条件期望，并分别列保险保费、自留损失及适用的赔付回收。若年度平台成本 300、事故概率 1%、事故条件成本 400,000 且无保险，则预期支出为 300+4,000=4,300。合同价格已覆盖某成本，不代表从收费收入起算时可以免扣该成本；只有同一成本组件已从当前小计扣除，或同一赔付回收已按一致净额口径处理，才防止重复计列。内部准备不是现金支付，保险保费也不等于自动消除全部损失。这只是设定算例，不代表企业风险或实际定价。

16.4 服务化项目需要组合视角

即使单个合同的期望贡献为正，服务业务仍可能在组合层面不可行：高风险设备同时覆盖在同一软件版本、同一零件供应商或同一技术网络上，可能引发集中事件；多个客户旺季重合时，技师和备件无法同时响应；大型客户的高利用率可能带来显著营收，却也使停机赔偿暴露集中。把合同独立相加会高估分散效应。组合分析需以共同暴露建立压力场景，分别查看期望贡献、峰值现金流、服务水平违约数和可用响应能力。

组合约束还会影响 AI 策略价值。若模型减少低风险客户的例行访问，释放出的工时可能去处理新合同高风险事件；收益取决于释放工时确实可跨团队转移，且没有更多等待和行程成本。如果团队无法跨区域共享，局部减负不能转换为企业容量。对每个服务区域，需跟踪派工距离、技能匹配、外包依赖、备件补充时长和峰值排班。技术预测产生的节省应通过资源实际重新配置证明，而不是只用“估算避免工时”乘以平均工资。

合同策略的投资决策最终需要回答三个不同问题：服务政策是否改善客户或设备结果；供应商是否能在合同条款下取得正的风险调整贡献；以及这种贡献是否优于团队/资产投入的替代用途。前者可由结果比较回答，中间需合同和成本账

SVSAC | sv-sac.org

本，最后还需要组合容量与替代项目的回报。任何一个层级未被识别，都应标为未知，而不是由更高的模型准确率补上。

17. 构造情境一：压缩空气系统与按运行量服务

以下行业情境均为分析构造，不代表所观察过的企业或真实试点。其作用是检验相同的预测维护能力，在不同可计量输出、用户行为和网络边界下如何进入合同。

17.1 设备群的关键不只是单机故障

设想一个制造园区拥有多台压缩机、干燥机、过滤器和储气罐，制造商尝试按运行小时或压缩空气可用量收费，并承诺一定服务响应。AI 读取温度、振动、压力差和负荷变化，识别异常并建议检修。单台压缩机停机可能由并联冗余吸收，但系统压力下降仍可能影响多个工位；系统层面还受泄漏、管网压降、用气波动和其他设备控制逻辑影响。若服务商只拥有设备传感器，而不掌握客户管网、阀门、生产负荷和备用设备状态，设备故障风险并不等于压缩空气供给风险。

合同可以按设备运行小时、保证压力区间的供气量、或整体系统可用率计费。按运行小时相对易于测量，但可能鼓励高利用并扩大消耗和磨损；按供气量收费则需准确计量泄漏与客户侧用气，也可能让供应商承担客户扩产引致的负荷变化；以系统可用率承诺收费，范围已超出压缩机本体，需界定管网、干燥、过滤和控制系统责任。AI 发现单机轴承风险，最多直接支持检修决策，不能自动对整个园区供气结果担责。

17.2 冗余既能缓冲故障也会遮蔽模型贡献

若园区有 N+1 冗余，任何一台机器故障都可能被备用机吸收，客户生产结果在短期保持不变。预测维护若降低单机故障数，客户可用率的增量可能很小；但服务商可能少派急修、减少损坏部件。反过来，当多台设备处于共同高负荷、同一批滤芯或同一维护周期，相关风险会使冗余快速耗尽。模型的边际价值取决于系统状态和备用容量，而非独立设备的平均风险。

可检验的比较应分别记录设备事件、系统压力/供气状态和客户生产损失，并按冗余可用数量分层。如果 AI 组单机故障降低而园区供气未变化，可能因为冗余吸收了故障，也可能是干预无效；若供气量改变而故障率不变，可能是负荷、

SVSAC | sv-sac.org

管网泄漏或控制策略变化。只有设备级故障数据会无法区分这些解释。对于按供气量结算的合同，原始计量和客户负荷最好由双方可核验的仪表提供。

17.3 按运行量服务会内生改变使用与维护

按运行小时或供气量收费，让客户和供应商共享新的用量度量。客户可能把更多负荷放到效率较高的机组，改变轮换策略；服务商可能降低维护频率以减少费用，也可能增加预防性保养以保护其资产。运行量既是计费变量，也是设备风险暴露和客户生产需求的结果。若用上线后设备小时给样本加权，处理本身可能改变分母，比较需区分固定客户框下总贡献、每运行小时成本和单位供气的服务水平。

一个自构方案可将系统分为相同可兼容机组簇，先锁定供气计量和客户负荷记录，然后按园区随机分配“既有巡检/轮换政策”与“模型排序的可选检查政策”；强制安全维护照常进行。主要结果包括每园区季度合格供气小时、严重停机、供应商成本及每合格园区的合同净贡献，而不是单机 AUC。若样本只有少数园区，区间可能很宽，无法支持商业承诺。方案还需记录同一园区中机组之间的轮换和备用状态，因为单机级随机化无法保持系统负荷不受干扰。

18. 构造情境二：机床服务与质量/精度的联合责任

18.1 可靠性提升可能与工件质量相反

考虑制造商为数控机床提供远程状态分析、刀具/主轴维护和加工质量支持。模型可能识别主轴振动、热漂移或刀具磨损，但设备“未发生故障”不代表加工精度合格；加工精度还受材料批次、夹具、刀具、冷却、操作程序和客户工艺参数影响。一个服务商承诺机床可用性，不一定对客户加工良率负责；若合同承诺合格件产量，供应商责任便扩展到工艺和投入品，需访问客户生产数据并界定物料与工艺控制权。

例如，模型建议提前更换主轴轴承，降低意外停机但可能使设备在热稳定前需重新校准；另一种情况下，模型建议继续运行以避免不必要拆机，设备可用时间增加却可能扩大精度漂移。两项动作都可能增加或降低客户成本，方向不由“更早维护”决定。若客户把合格率变化归因于机床服务商，却同时更换刀具供应商或材料，合同履约指标可能在服务方不可控条件下变化。

SVSAC | sv-sac.org

18.2 服务边界决定需要哪些客户侧数据

若合同只覆盖零件维修，服务商的指标可以聚焦维修完成、故障再发和部件寿命；若覆盖加工良率，则需知道每个工件的质量检测方法、抽样比例、工艺版本、材料批次、刀具批次和报废/返工原因。数据的产品级追溯可帮助诊断，但也增加双方系统集成和数据治理成本。缺少这些信息时，服务商可能只拥有偏选样的“有问题工件”记录，无法计算总体良率或识别质量变化是否来自改进。

一个可反驳预测是：若 AI 维护降低机床非计划停机，但在固定工艺和材料批次内没有改变精度漂移、加工废品或客户验证指标，则不能声称其提高了产品质量。若机器工况和良率一起改善，仍需比较其他变化，例如新操作员培训、夹具更换或加工程序更新。识别服务效应需要把每台设备的维护时间、加工批次和质量判定时点关联起来，并预先确定如何对返工件、抽样检测和未检测产品计数。

18.3 质量责任可能比设备风险更长尾

精度超差造成的损失未必只是一件零件。客户可能将下游装配问题、召回或客户索赔追溯到机床质量，供应商未必能观察全部链条。合同若将每个不合格件的上游损失无限传递，风险敞口可能与服务费不成比例；若将所有工艺偏差排除，客户可能认为服务承诺没有实际质量价值。更稳妥的研究先把设备维护结果与客户质量结果分开测量，随后在有完整批次记录和独立判定时，估计特定可控服务动作是否影响良率。

这类风险也改变 AI 训练数据。服务商常能获取报警和维修记录，却未必有客户完整测量系统；客户只在抽检失败时提交数据，失败样本过度代表。若使用客户上传的标签训练并将其检出率当作实际不良率，可能产生严重选择偏差。研究需要独立抽取按生产批次或工件概率抽样的质量验证，报告抽样率、未测样品和设备/工艺版本。所谓“服务化后质量提高”的话语应由可复现的质量抽样支持，而不是客服反馈或工单关闭率。

19. 构造情境三：冷却与制冷设备的可用性/能耗服务

19.1 设备可用率与系统能效并非同一个产品

设想供应商为仓储或工业制冷系统提供状态监测、维护和性能合同。AI 可以识别压缩机效率下降、冷媒异常或热交换器问题；客户可能按制冷量、维持温度的时数或节能表现付费。制冷结果由压缩机、泵、换热器、管道保温、建筑负

SVSAC | sv-sac.org

荷、门开关、外部气温和操作设定共同决定。供应商如果只控制设备，却按整体能耗节约收费，就必须界定天气与客户货物负荷、温度设定、开门频率和扩容改造如何调整基线。

同一告警也可能指向不同动作：清洗换热器可降低能耗但暂时需要停机；更换压缩机部件可减少故障概率但不一定减少总电费；调整控制设定能降低能耗，但可能让储存温度越出客户要求。AI 优化一个指标可能恶化另一个。若合同只用电费账单作终点，价格变动和电价结构变化会混入用量效果；若用单位制冷量能耗，制冷量的可靠测量又成为前提。

19.2 基线设计和反事实基准

节能合同常需比较“实际消耗”与“若无服务本会消耗”的基线。简单比较改造前后账单，无法分离天气、产能、仓储周转和设备老化。一个可评估设计可按客户站点建立匹配期，预先冻结外部温度、制冷负荷、系统设定和改造日期；对可比站点分期随机上线模型辅助保养，在强制维护之上比较按单位制冷量和温度越界时数。若同一供应商同时服务实验与对照站点，运维学习和跨站备件调拨会产生干扰，需要按区域簇分配或记录跨组暴露。

对于结果承诺，基线调整规则本身可能决定结算结果。若模型在使用期改变操作设定，基线计算不能把设定变化当外生条件；若客户扩仓或改变温度目标，结果可能不再可比。第三方测量可以帮助处理争议，但测量协议不能替代合同对数据缺失、设备改造和客户违约的规定。研究需同步报告能耗、温度合规、货损风险、停机、客户负荷和供应商成本；只报告节能比例会遗漏服务质量与尾部风险。

19.3 极端天气和共同冲击

极端天气、停电、冷媒供应和多个客户在旺季同时高负荷，可能把个体设备风险转成组合风险。模型可以提前识别预测天气下的容量压力，却未必能够创造发电、备件或现场工程师。若合同承诺在极端温度下维持温控，供应商需要明确超出设计工况的例外、备用方案、客户报警责任和灾后恢复。基于一般天气年份拟合的平均成本，不足以定价罕见冲击；尾部情景必须和实际保障能力与赔偿上限匹配。

三种情境说明，产品服务化不能只按算法能力分类。压缩空气的供气结果受系统冗余和客户负荷影响；机床的质量输出受材料与工艺影响；制冷的能耗和温控受外部环境与设定点影响。相同的故障排序模型进入三类合同，会对应不同终

SVSAC | sv-sac.org

点、责任范围和最小数据集。情境比较应检验这些边界条件，而不是寻找一个跨行业通用的“AI 服务合同”效果值。

20. 现有证据与构造机制如何相互校验

20.1 不同研究设计支持不同层级的推断

现有可读证据涉及传统服务化、子公司面板、模拟风险定价和历史合同成本；绩效合同与可靠性的关联仅按可读摘要解释。[1][2][3][4][6]它们的对象和结果不同，不能合成“AI 提升服务利润”的总效应。未核 AI 案例不加入已证机制链；组织能力与反馈在本篇中是可能的承接条件，仍须独立证据检验。

每一项的实际估计对象仍需保留。摘要型公司研究和子公司面板不能证明 AI 效果；一项以模拟数据定价的研究没有观察客户支付；真实合同成本数据库研究描述成本而非成本由何种 AI 策略导致；航空发动机合同研究虽然处理选择内生性，但不是随机合同分配，也不测 AI；访谈案例解释组织过程但不估算平均商业回报。将这些研究并置能增强对不同机制的理解，不能消除各自的识别限制。

20.2 相反结果并不一定相互否定

服务化可能出现收入增加但利润率下降，也可能随着服务规模和能力成熟而形成正向绩效关系；两者可以因企业大小、发展阶段、服务组合、成本结构和样本筛选不同而并存。[1][2] 不应将它们简化为文献“互相矛盾”，也不能从单一企业的非线性关系推断所有制造商都存在相同的转折点。更有用的检验是识别何种规模、固定网络成本和客户风险结构下，服务扩张先压低贡献、随后才有规模效应，或者始终不达到盈亏平衡。

同理，绩效型合同的可靠性改善不意味着利润一定改善。合同激励可能使供应商增加计划维修、提高每次维护质量，从而改善设备可靠性；但设备运行率、零件成本、额外服务频率和赔偿结构仍会决定净贡献。[6] AI 如果使风险排序更精细，可能提高行动分配效率，也可能增加检查量或提高高风险客户报价。若观测到可靠性提高而毛利下降，不能说技术没有用；若毛利上升而客户结果不变，也不能说价值创造已得到证明。结果层次须分别报告。

20.3 构造情境提供边界检验而非行业排名

三个假设情境不是统计样本，不用于比较哪个行业“更适合 AI”。它们用于从机制上推导预期差异：压缩空气情境在冗余系统下，故障率变化可能被备用设备吸收；机床情境中，精度与良率受投入品和加工参数共同影响；制冷情境中，能

SVSAC | sv-sac.org

耗终点须调整天气、负荷和目标温度。若只用模型 AUC 或工单数做跨场景比较，忽略了这些业务终点与行动权限差异，所谓行业排名可能是终点定义差异。

可比较的研究应先选定每种情境可由服务商控制的窄政策。例如，压缩机故障排序辅助巡检；机床主轴状态提示但不承担整批良率；制冷系统基于温度合规的维护与能耗监测。其后再分别扩大责任范围，并观察新增数据、客户协作和合同风险是否值得。扩展到按可用率或结果收费不是自动的成熟度升级，而是一项风险转移政策，必须由对照证据和合同成本支持。

20.4 替代解释与证伪条件

一个企业引入 AI 服务后利润提高，至少存在多个替代解释：同期涨价、客户构成变化、产品保修期结束、供应商规模增长、零部件成本下降、劳动外包、并购、会计重分类或传统预防维护升级。企业公布的服务收入增长无法单独识别算法因果。将上线时点与业务结果连结的研究应保留未上线比较单位、合同队列和价格/产品版本，检验预趋势和选择过程；若全公司同时上线且没有可信比较，结论应停留在前后变化描述。

也有直接反证应被认真对待。模型在独立时段无校准、提前量不足或告警过多；高分任务挤占重要例行维护；准确预警不能变成可执行维修；服务合同只吸引高风险设备且价格无法补偿；客户不愿共享关键数据；共用云平台中断同时影响所有合同；续约与现金回收低于预期。这些条件并非模型工程细节，而是服务商业模式的可行性边界。识别到其中一项，可能意味着应缩窄服务范围、转为辅助工具或保留传统维护，而不是继续扩大结果责任。

20.5 机制综合的研究命题

综合前述分析，AI 对服务化的潜在贡献不是一种可从预测性能直接推导的利润溢价，而是一种信息与资源配置能力。它可能帮助供应商在异质设备间排序、在容量有限时安排检查、把风险信息嵌入合同报价或与客户共同规划停机。实现这些贡献需要可用数据、可行动提前量、合法/合同授权、服务网络容量和可核验的成本/结果记录。技术效能、合同激励和组织能力是互补条件，其中任何一环约束都可能成为总体瓶颈。

可以据此提出一项可证伪的组合命题：在基线服务能力相近的设备簇中，模型辅助政策相对现行维护只有在其确实改变了任务排序、且额外任务不挤出更有价值的合约工作时，才可能提高固定合格客户框的风险调整净贡献；若只改善预测指标而资源分派不变，净贡献变化应由其他渠道解释。该命题可用“现行政

SVSAC | sv-sac.org

策/模型辅助政策”比较，并报告设备结果、客户结果、合同成本和溢出。它不保证政策会提高收入或利润，也不预设外推到其他行业。

21. 现场比较的处理单位与政策估计对象

21.1 将“AI 服务包”拆成可比较的处理因素

服务现场试点常同时引入新传感器、模型、工单界面、工程师培训、库存规则和合同报价。若试点结果变好，单一前后对照无法判断是哪一项产生变化；若没有变化，也不能知道是算法无效还是服务流程没有使用其信息。可以先定义一项最小政策包，再将决定因素拆开。例如，维护处理因素 A 是现行计划维修与模型风险排序下的有限名额检查；合同因素 B 是原有按次/材料收费与明确风险分担的服务合同。由此形成四种组合：现行维护+现行合同、模型排序+现行合同、现行维护+新合同、模型排序+新合同。它不是要求所有企业都实际使用四臂试验，而是说明若要识别“模型的边际作用”“合同的激励作用”和二者互补，处理差异不能被合并成一个黑箱。

主要政策估计对象应预先选定。若问题是 AI 辅助维护的增量，比较模型排序与现行维修下、在同一既有合同范围内的结果；若问题是服务商业模式，需比较对固定合格客户总体提供不同合同/维护组合的政策贡献。可对每个因素计算边际分配差异和交互差异，但交互只能表明组合效果不同于加总主效应，不能凭统计交互就断言“模型通过合同激励起作用”。机制归因还需记录报价接受、告警动作、计划维修、客户结果和履约成本。

21.2 分配单位应容纳共用人员与商务决策

如果销售人员既负责报价又指导客户接受维护，客户级随机报价可能导致相邻客户收到相似谈判信息；若同一工程师为模型组和对照组派工，处理知识也会传播。一个可行设计可先画出共享关系网络：共同的售前销售、服务主管、技师团队、备件库、云平台版本和客户集团。若共享跨越多个客户，随机化单位可提高到销售团队、服务区域或客户集团。高层级簇随机化减少干扰，但簇数减少、统计不确定性增大，且地理差异可能与处理相关。

另一种策略是在不共享核心资源的业务单元中做匹配簇配对，再在每对内随机分配策略。匹配变量应从处理前资料选定，例如设备型谱、历史维修成本、合同类型、客户负荷、工程师覆盖、历史告警频率和服务区交通条件。之后按簇执行报价与服务方案，避免同一销售或技师同时执行不同机制。若无法完全隔离，

SVSAC | sv-sac.org

应记录每个单位实际接触的模型版本、人员、共享部件和跨组服务，并把估计解释为存在溢出的现场政策效果，而非纯粹的设备级效果。

分组前要锁定可服务总体。比如某一期间所有满足设备兼容、遥测可用、服务地域覆盖、合同到期窗口和信用规则的客户，都进入合格框。因商务判断未被报价、客户拒绝、谈判失败、签约后取消及未能接入数据，都需记录。若筛选发生在随机分派前，主要对象是被筛选的合格总体；若核心问题是扩大覆盖，则设备兼容或信用条件本身也可能是政策对象，不能在看到结果后改变准入名单。

21.3 处理分配、接受与执行的层次

分派到模型辅助维护，不代表客户接受、告警被接受或维修成功完成。建议至少区分四个层次：分配策略、向客户提供策略/合同、客户接受服务、实际执行具体行动。按最初分配估计的意向处理效应回答“部署该政策包会怎样”；按客户接受比较回答“接受者会怎样”，但受自选影响；实际执行者的结果则进一步受模型分数、零件、批准和技师容量影响。报告不同层次可以解释实施机制，却不能用后处理的接受者子集替代主要政策估计。

当某些合同条款只能被随机“提供”而不能强制签署，研究记录应保留报价、标价、个性化折扣、责任上限、客户选择、签约日期和实际服务范围。服务业务的政策可能通过拒绝或延迟改变收入和成本。如果仅在成交客户中比较，报价政策自身造成的风险选择会被条件化掉。固定合格客户框下，拒绝客户可产生零服务收入但仍可能有报价和销售成本；若其转向其他服务商，客户价值与供应商结果需分别界定。

21.4 结果账本与估计顺序

研究在揭示组别结果前应冻结主要终点和结算规则。一个结果账本可按每个合格客户–设备簇汇总：服务费及产品附加销售、实施/接入成本、计划与非计划工时、零件及运输、设备/平台费用、SLA 扣款、客户回款、合同拒绝/退出、服务水平和客户损失。共享费用按决策相关口径单独报告，不能将企业既有平台投资不加区分地全部算为边际成本，从合同收费收入起算仍须扣履约成本，不能因定价覆盖成本就免扣；只有同一组件已从当前贡献小计扣过，才不重复扣除。保险保费、自留损失与适用回收另列，保持同一覆盖范围和净额口径。

估计顺序宜先从处理分配到主要政策结果，再到依次的机制结果：是否产生可用预警、是否改变派单/零件、是否减少目标失效或客户停机、是否改变合同账单与净贡献。每个中间结果均需说明分母和时间窗。若客户分配到新服务但未签约，则仍是政策结果；若签约后没有出现故障，不能自动视为维护成功，也可能

SVSAC | sv-sac.org

是该设备本来低风险或观察时间不足。主要估计按簇聚合或尊重簇结构，不能把一个簇中的数百台设备作为数百个独立分派单位。

21.5 因子分配下的效应定义

在四种维护/合同组合的簇随机设计中，令 A 表示是否使用模型排序，B 表示是否提供新的风险分担合同，Y 为每个事前合格客户的期间净贡献。固定合格总体权重下，模型在旧合同下的意向效应为 E[Y|A=1,B=0]−E[Y|A=0,B=0]；新合同在现行维护下的效应为 E[Y|A=0,B=1]−E[Y|A=0,B=0]。交互项为 E[Y|1,1]−E[Y|1,0]−E[Y|0,1]+E[Y|0,0]。它回答组合的额外变化是否偏离两个单独分配效应的加总，但不证明“合同通过改善采纳而使模型有效”。

解读这些差异需要处理版本稳定、簇分配执行和主要结果完整记录。如果拒绝报价或不运行模型仍按原分组纳入，估计是提供该策略的政策效应；若仅比较已签约/已执行者，选择机制又进入估计。客户集群内干扰可由簇级分配减少，但团队之间若共享工程师或零件仍违反无跨簇影响。推断需尊重随机化簇，但分配单位不自动决定目标权重：每合格客户平均效应按分派前客户数及设计概率构造权重，客户多的簇本就可能权重较高；每服务簇平均效应才按簇等权。两者事前区分，不按结果选择权重，也不以成交后人数加权；必要时并列敏感性。

22. 区分算法增量、流程标准化与合同激励

22.1 传统服务改进是必要对照

模型服务常与流程规范化同时发生：上线项目要求统一故障码、强制记录工单、清理资产台账、重新安排计划维护、建立升级负责人。这些变更即便没有 AI 也可能减少响应时间和重复维修。对照如果是混乱的旧流程，政策试点会把“基本管理改善”错误计入算法效应。比较组至少要接受同样的数据定义、服务流程和绩效沟通，而只有模型评分或模型排序这一处理因素不同，才能更接近算法增量。

可设计三臂比较：现行流程；标准化服务流程但不向决策者显示模型排序；相同标准流程并将风险排序用于有限名额派工。第 2 臂与第 1 臂的差异估计流程标准化增量，第 3 臂与第 2 臂的差异估计模型排序在相同管理框架上的增量，第 3 与第 1 则是整个可部署包。若再与两种合同方式完整交叉，三种流程×两种合同共形成六臂；需有足够独立簇支撑所需比较与交互；不应仅为“设计完整”而设置无法支撑的多个小组。

SVSAC | sv-sac.org

22.2 算法与操作者之间的互补需要证据

算法可能只有在技师理解分数、相信信号、能覆盖建议且可取得部件时才有效。若模型推荐的任务被拒绝，原因可能是模型不可信，也可能是客户不允许停机或同一时段已有紧急工单。对算法的评价要测量其可解释信息、用户是否看到、用户如何处理以及处理是否改变。调查问卷中的“信任”与真实派工不同，操作日志中的接受也不说明动作正确。

若团队在试点中知道自己属于 AI 组，可能增加关注度，改善数据记录和维护纪律，形成霍桑效应或额外监督。可在比较组维持同样的项目经理接触、培训时数和结果反馈频率，减少注意力差异。若无法做到，应把估计解释为试点部署整体效果，并在后续常规部署中复验。将工程师培训视为干扰因素忽略，会高估模型单独推广后的可转移性。

22.3 合同激励与模型技术可以互补也可能冲突

固定服务费使供应商更直接承担维修频率成本；按次收费则可能更重视快速修复而非减少事件；可用率结算把停机及响应融入收入。模型推荐更多预防性维护的成本由谁负担，会改变使用方式。若合同将零件工时全部由供应商承担，模型或许更重视减少高成本故障；若供应商只获得固定监测费，减少故障未必能直接改善收入，需要续约或绩效付款机制。技术能力不会自行创造激励。

合约因素也可能让模型反而不划算。绩效合同提高客户结果，但赔偿上限和服务网络容量若不足，模型扩大监测覆盖后供应商暴露会增加；而固定月费下的差异化保养可能把低风险客户的服务费降下来，但运营固定成本仍在。需要分别报告合同的毛收入、服务成本和风险调整后的净贡献。对选择性签约，应比较合同提供政策的固定合格总体结果，不能只用已签约客户的单位利润说明合同设计优越。

22.4 饱和度设计可识别容量外溢

如果模型排序把工时从某些设备转给另一些设备，未直接得到模型建议的控制设备也会受影响。只随机“哪些设备接受建议”无法区分直接作用和资源外溢。若拥有足够服务团队，可在团队间随机分配不同处理饱和度，例如 0%、约一半和全部合格可选任务接入排序；在中间饱和度团队内，再随机选择哪些任务接收排序。这里的比例只是设计示意，不是通用最优水平。

中间饱和度下，已排序任务与未排序任务的差异可描述局部直接效果；同团队未排序设备在不同团队饱和度间的差异可描述资源外溢或拥挤效果。估计依赖团队内干扰主要通过可观察共享容量产生、跨团队干扰有限等假设。若工程师跨

SVSAC | sv-sac.org

区轮班、平台规则自动影响全部设备，团队随机化的边界不成立，应改用更高层级簇或将溢出纳入目标政策。必须记录名额使用、队列等待、被挤出任务和跨组服务；只测接收模型的设备会遗漏拥挤成本。

饱和度实验也可能估计团队在不同模型覆盖比例下的整体贡献，而非单机处理效应。这正适用于容量紧张的服务业务，因为推广比例本身是决策变量。但若团队数量不足，多个饱和度臂会产生极宽区间，不能以每个臂设备数看似很大来掩盖独立随机化团队太少。应先依据团队数、基线负荷相关性和实际覆盖成本模拟可识别性，再决定是否需要探索性试点或跨期扩展。

23. 有限样本下的合同风险估计与决策

23.1 罕见高损失不由平均准确率代表

合同收益可能由频繁的小维修和极少数大损失共同决定。一个模型在常见传感器异常上表现良好，不足以证明其能识别罕见的共因停机或责任争议。样本中没有观察到高损失，可能表示事件确实少，也可能是数据窗口短、合同数量少、损失由客户自行承担而未入账，或已被保险/上限截断。报告必须说明历史风险暴露、合同责任范围、最大可见损失和删失情况。

有限样本下，均值和分位数的稳定性依赖独立单位数量与相关结构。若 100 份合同都位于同一园区、使用同一云版本和同批关键零件，它们不能被解释为 100 次独立尾部暴露。可按共同暴露构建簇级风险单元，报告每簇合同数和事件集中度；但“按簇分析”也需定义目标权重。如果目标是每份合同的平均成本，应按合同权重聚合；若目标是任一服务区发生重大事件的概率，则每个服务区可能是更合适单位。单位和权重不同，估计也不同。

23.2 分开表示期望贡献、下行损失和现金需求

风险调整不能只使用一个标准差或平均利润率。决策者至少需看合同组合的平均净贡献、贡献为负的概率、严重损失分位数、最大暴露、短期现金需求和可用应急资源。若业务有赔偿上限，要把客户未获赔损失另列；若有保险、再保险、供应商担保或应急互助，则按支付时点、额度和除外条款记录。任何风险指标都依赖观察期与假设，不能被包装为监管资本或保证金的确定数字。

可用“直接已发生费用”“合同赔偿”“未补偿客户损失”“共享停机损失”分开账本。若一个事件造成直接维修 200,000、合同赔付 200,000，而用户损失仍未观测，已知条件成本为 400,000、额外客户损失为未知。不能以只观察供应商的 400,000 就宣称全部社会损失等于 400,000，也不能把未知客户损失估作零。把期

SVSAC | sv-sac.org

望损失和压力情景并列，清楚标明后者是规划情景而非样本估计，更有助于比较风险承担能力。

23.3 样本量与可行停止不预设通用门槛

确定试验规模前，需从历史同口径数据估计事件频率、簇内相关、成本方差、基线退出率和结果成熟时长。若合同按区域簇分配，增加每簇设备而不增加簇数未必提供相同的信息量；如果赔偿成本高度偏态，依据均值正态近似的功效计算可能低估所需样本。应根据预先选定的最小决策相关差异、可承担风险和实际部署预算模拟设计，而不能给行业通用“至少几百台”规则。

项目停止也需要区分统计不确定性和业务安全。达到临时检查点不等于宣布成功；安全信号或违约风险可能触发暂停；若样本仍不足，应报告不确定而不是继续观察直到点估计满足预期。若使用序贯查看或中期分析，应事先规定查看频率、决策边界和是否允许延长，不在见到有利趋势后改变主要终点。未达到预注册信息量的试点，可用于流程可行性和数据质量学习，不应作为证明商业回报的试验。

23.4 预算与决策门槛的透明安排

商业现场试验的预算包括模型集成、传感器补齐、工程培训、客户补偿、备件缓冲、额外人工复核、数据清理和长期随访。若预算只覆盖模型开发与短期试点，合同履约的尾部和更新维护就未被测试。每个预算项目应对应处理因素、观察窗口和停止条件；否则项目可能在完成技术验收后没有资源验证客户/财务结果。

决策门槛应来自企业的可承受投资和合同责任，而不是文献里另一个企业的利润率。可以预先设置“继续受控试点”“限范围推广”“不提供结果保证”几类决策，但需明确其条件：例如净贡献区间是否跨过最低投资要求、服务能力是否能覆盖高峰、重大赔偿是否有可行缓释、数据完整性是否足以继续评估。没有现成基线时，阈值暂时未知，不能用任意点估计填空。对客户价值与供应商利润意见不一致，应分别呈现并由商务和工程责任人决策。

23.5 未成熟成本与未决赔付的边界

合同观察窗口结束时，部分工单、索赔和退款仍未结算。若未决金额全部当作零，可能漏记已存在的责任；把最高可能赔付全部当作最终支出也可能高估。必须按成本组件分别列账：已发生直接维修费用 L_i 不包含赔付组件，不能因存在合同责任上限而把这笔已知费用截断。另令 B_i 为同一合同赔付组件已确认的

SVSAC | sv-sac.org

最终应付总额下界，U_i 为可核验且适用于该同一组件的最终应付总额上限。在责任归属明确、范围一致、0≤B_i≤U_i 且无其他会扩大该组件责任的未决条件下，该赔付组件 C_i 才可报告为[B_i,U_i]。已支付的赔付若已包含在 B_i 内，不得再重复相加；现金剩余支付额与最终赔付总额也须分开。已知直接费用与这一赔付组件的小计为[L_i+B_i,L_i+U_i]，它不是全部履约成本、全生命周期成本或客户经济损失的界限。尚未知的未来维修费用、合同未覆盖的客户停产损失及其他外部损失分别单列为未知；只有所有目标成本组件都有可辩护边界时才能合成总成本区间；总贡献还要求收入及其余目标组件已知或同样有界。赔付组件无可适用上限或责任范围未定时，不报告该组件的有限上界。这里是条件性组件核算界限，不是概率置信区间或精算估计。

对比两种策略时，应分别报告已结算贡献、各未决组件的已知下界/条件上界，以及仍未知的成本项。只有目标成本组件均有边界、收入等其余组件已知或同样有界时才计算完整区间贡献；否则不能把部分赔付组件的有限区间包装成政策总贡献已有有限界限。若 AI 组暂时有更多需要审批的预防性更换或赔偿，固定窗口的账面结果可能先变差；如果之后索赔被拒绝或补偿结算，结果会变。反过来，供应商为了试点可能延期支付，短期现金看似改善而经济责任仍存在。结算滞后若由处理组影响，它是政策结果的一部分；不能只删除未成熟客户或等待结果向有利方向变化。报告需同时列出日历随访、现金支出、会计确认和责任未决状态。

一种敏感性分析可以结合历史同类合同的赔付金额与结算延迟联合分布，为未结算组件设置情景；延迟分布本身不能决定金额。即使合同范围、条款、地区和政策相近，基于历史数据的预测范围仍依赖额外模型与可迁移性假设，不能冒充确定的合同上界或自动具有概率覆盖率。若新模式首次承担按可用率赔付，旧的按次维修索赔延迟分布不一定适用。外部损失或客户停产成本若没有可靠记录，不应把供应商账簿中的已赔金额当作全部经济损害。风险区间用途是显示结果对未成熟责任的敏感性，不是保险精算定价结论。

24. 从试点到可转移的商业政策

24.1 外推的是政策条件，而不是模型名称

一个地区的模型效果能否迁移到新客户群，取决于传感器与设备型号、负荷环境、维修组织、备件供给、客户授权、合同责任和计量能力。模型版本相同不代表输入分布、可行动窗口和服务成本相同。若一个试点在单一大型客户和驻场

SVSAC | sv-sac.org

团队开展，转为多客户远程服务会改变工单密度、交通距离和响应能力。外推应描述这些条件如何变动，以及何种变化会使政策失效。

可将部署流程分为四种证据等级：历史回放只验证预测与现有标签的一致性；影子运行检验告警频率和流程整合但不改变决策；受控现场政策测试估计增量动作和结果；商业化组合运营观察长期合同现金、客户行为和资源风险。每一级都能回答不同问题，前一级的成功不自动授予后一级结论。影子模式中“预测成功”不能证明现场人员在时限内能执行，单一团队的政策结果也不能证明跨区域供应网络能够持续兑现。

24.2 版本、政策与合约须共同迁移

沿用 5.1 节政策版本定义，本节增加合同延续问题：建议为每个政策版本维护生效日期、适用机型、训练/验证窗口、告警阈值、动作授权、成本口径和合同模板。重大模型升级可能改变报警基率，需要评估服务团队容量和价格适配，而不是把模型性能测试通过视为自动继续原合同保证。

版本更替还会影响已签约客户。若风险分数因校准更新而上升，供应商是否可重新报价？若新模型减少报警，客户如何核验服务没有被削弱？若平台停止支持旧设备，转移到人工维护的费用由谁承担？这些问题需要产品、服务、法务与客户共同确定，但本次分析不声称任何法域的具体法律答案。关键在于将变更管理作为商业政策的一部分，记录客户通知、影子对照、回滚、争议和退出。

24.3 长期服务能力不能只按短期软件成本评估

服务化承诺可能超过当前软件版本和设备寿命。合同在签订时预测未来多年需要哪些模型、数据接入和安全维护；供应商若产品线更迭或云提供商退出，客户仍可能需要设备运行。若合同收费只覆盖当期 AI 推理，而未覆盖数据留存、版本迁移、旧设备支持和事件响应，短期毛利可能高估生命周期经济性。另一方面，将无法确定的未来平台支出全部前置分摊也会使早期项目不具备可比较性。应将已承诺支持、预期维护和可选增强分别建模，并针对终止、迁移、灾难恢复做情景分析。

可持续的商业模式还需在收入增长和履约能力之间建立扩张规则。新增客户若提升密度，可降低服务区域交通和培训成本；若客户分散或设备型号过多，则会增加零件和技能复杂度。模型可能支持更多机型，但每增加机型都需识别适用域、验证数据和维修指引。规模经济不能只以合同数衡量，应观察每个区域/机型的服务密度、履约时间、重复故障、库存周转、赔偿和留存；跨越运营容量边界后，平均成本可能反而升高。

SVSAC | sv-sac.org

24.4 可迁移性须通过失败样本检验

部署报告通常突出成功客户，却很少说明报价拒绝者、停用设备、数据缺失客户、严重事故和退出合同。若要评估对行业的可迁移性，必须分析失败实施：模型没有信号、告警过多、维修方案被拒、数据许可终止、备件不可获得、成本超出报价或服务商退出。把这些情况视为不可迁移的“异常”会造成成功案例偏差；它们可能恰好定义适用边界。

对新地区或新设备型号的评估可保留外部验证集或分批政策上线，预先规定何时允许模型覆盖范围扩展。每次扩展应报告相对原适用域的变化、失败类型、人工覆盖、未决赔付及客户退出。若外部验证只报告均值变化而未说明风险尾部、地区聚集和数据稀缺，跨场景承诺仍缺乏依据。对没有足够新域数据的设备，结论应是“证据不足以承诺结果”，而不是按设备类别继承另一市场的效果。

24.5 外推需要同时检查客户、设备与服务容量的共同支持

跨市场迁移并非只问新设备的传感器数据是否落入训练数据范围。目标总体至少由客户与设备风险、维修网络、合同责任和业务环境组成。如果新地区只有轻型设备、备件仓库密集且夜间服务覆盖，而验证样本主要来自大型设备和驻场客户，预测模型即使在输入变量上有重叠，执行效果也可能不具共同支持。要迁移政策效果，至少需说明目标客户在基线风险、数据可见性、人工响应、零件交期、授权和合同条款上的分布。

若可观察的目标特征与试点重叠，可以按预先定义的目标权重标准化结果，但这依赖目标域协变量充分测量、策略版本一致及各关键层仍有观察支持。目标群体中某一层在试验中没有同类设备或服务能力，则不能靠加权制造数据。应把该层标记为证据空白，分批试运行或收窄合同适用域。客户拒绝接入也可能与设备风险相关；只对自愿遥测客户验证，会限制对不接入客户的外推。

外推单位应与决策一致。若总部要决定在 100 个服务区推广，目标对象是区域而非单台设备；需将区域设备混合、工程师技能、备件库存和客户密度合并。若服务区域中模型使用造成拥挤，设备级标准化不会捕捉排队效应。应预先定义规模扩张路径，例如先在少数互相独立区域部署，再评估并发高峰和备件网络约束；若地区之间共享云平台或供应商，要另外检验共同故障暴露。外部验证的目标不是“模型在新样本仍准确”，而是新域中的整套服务政策能否执行并产生成本/客户结果。

这些设计共同把“产品服务化”从一种收入分类，转化为可检验的合同政策问题。完成模型验证并不自动证明合同值得提供；合同被客户接受也不自动证明服

SVSAC | sv-sac.org

务能盈利；短期贡献为正也不自动证明规模化、跨版本或长期履约可行。下一部分将综合证据并提出有限的未来研究顺序与条件性结论。

25. 讨论：从识别设备风险到承担商业责任的条件

25.1 回答核心问题：AI 可能改变的是政策能力，不是利润标签

本篇的核心问题是：AI 改善状态识别、维护安排或客户支持，何时足以使制造商可靠承担按使用、可用性或结果收费的合同责任，并取得可持续净贡献？答案不是“预测准确就可服务化”，而是有一组互补的可检验条件。首先，模型必须对具体合同结果提供及时且可信的信息，而不是只在历史数据上重现工单标签。其次，服务网络需能在客户许可、技师技能、备件和容量约束内行动，且行动效果能被记录。再次，合同应把测量、控制权、赔偿与数据权限放在可以执行和核查的边界内。最后，服务商要将现金、固定容量、持续软件、索赔尾部和替代项目成本纳入同一决策口径。

这组条件把“AI 能力”转化为政策能力。预测信号可能改善资源排序，但经济效果由排序改变了哪些维修、挤出哪些既有任务、帮助何种客户，以及合同如何分配收益和风险共同决定。商业价值不是模型输出上的一项附加字段，而是通过组织中的行动路径产生。若人工和零件容量是主要瓶颈，模型提升可能只改变队列次序，未增加可完成的服务；若合同只按次收费，减少故障或服务访问会降低客户成本，却未必提高服务商收入；若结果合同转移了提供商不可控的客户运行风险，毛收入增加可能伴随尾部暴露扩大。

因此，本篇不把产品服务化当作一种不可逆的成熟阶段。制造商可采用有限保修、设备销售加 AI 辅助维护、固定维护合同、按使用量收费、可用率合同或结果合同，每种安排都可能是合适边界。AI 可以作为内部诊断工具而不向客户单独收费；也可以支持更高服务水平但不承担整条生产线结果；如果数据和履约能力不足，继续按设备销售并提供明确范围的售后服务可能优于高风险承诺。所谓“从制造到解决方案”是核心问题，不是企业必须完成的转型路线图。

25.2 商业效果的相反路径：效率、选择和风险转移

围绕 AI 服务化，至少有三条会产生相似财务表象但含义不同的路径。第一是效率路径：模型使检查安排更及时，减少紧急维修、部件损害或客户停机，降低单位服务成本。第二是选择路径：风险分层报价或准入使高成本客户拒绝或被排除，成交组合成本下降，但固定合格客户总体覆盖和价值可能变差。第三是风

SVSAC | sv-sac.org

险转移路径：合同限制赔偿、提高免赔或排除客户可控条件，使供应商报表成本下降，但客户实际损失没有减少。观察到服务毛利提高不能区分这三条路径。

识别效率路径的证据应在模型使用后观察到维护行为变化，并追踪到可验证的设备/客户结果。若工单数降低，但客户故障、生产损失和应急工时没有改善，可能只是报修或分类方式改变；若停机下降而零件成本上升，需要计算净成本而不单独宣传可用率。识别选择路径需报告固定合格客户分母、报价与拒绝、风险构成及成交合同成本；只看成交客户均值会把退出的低风险客户从分母移走。识别风险转移需对照合同赔偿范围、客户自付、未补偿停机损失和保险/第三方承担；减少供应商赔付不是同义于客户价值增加。

还存在需求和收入的路径。AI 服务可能改变客户对维护的使用：全包合同增加报修，按次收费抑制低价值呼叫，按使用计费改变运行强度。收入上涨可能来自服务用量增长、价格上调、产品销售附加、客户迁移或更大的设备保有量，而非单位服务效率。若供货商把客户节省的一部分转为价格，客户价值可以提高而客户剩余或供应商毛利可能变化不同。持续收入提高也可能被前期接入、资本、服务网络和长期支持成本抵消。需要把“业务变大”“服务更好”“利润更高”作为三个独立命题。

同一模型可在不同合同下产生相反激励。例如，按次合同的供应商从更多维修事件获得收入，可能偏好快速修复但不一定减少访问；固定全包服务中，供应商承担故障频率成本，会更关注预防，但可能减少对边际风险客户的服务或设置免责；可用率合同会内化一部分停机成本，但如果赔偿上限很低，边际改善对客户重要而对提供方不重要。AI 并未取消合同制度下的激励问题；它能识别更多风险，也可能让供应商更容易按风险定价或拒绝客户。

25.3 证据综合：相邻研究可解释机制，不能拼接为 AI 回报

现有证据支持的是条件性判断，而非单向效果。Neely 的出版社摘要报告跨国企业服务化与较高销售规模但较低利润率的关联，且规模有调节作用；它提示营收增长未必对应利润改善，但摘要级观察研究不能识别服务化导致的财务变化。[1] Visnjic Kastalli 与 Van Looy 对单一全球制造商国家子公司的面板分析，在其 IV/GMM 假设下报告产品与服务互补和服务规模非线性绩效关系；这为阶段性能力和成本提供了可检验机制，不是跨公司通用的最优服务占比，更不代表 AI 效应。[2]

Deprez 等的预测维护合同定价研究展示了频率与严重度分层以及模拟数据下的报价结构，说明风险定价可以具体建模，但未观察真实客户接受、真实 AI 干

SVSAC | sv-sac.org

预后的风险或供应商利润。[3] 他们另一项使用真实维护合同成本资料的研究更接近经验成本分布，却仍受样本筛选、小时数据缺失与政策内生性限制，且未识别 AI 对维护成本的因果效应。[4] 两项研究应分别定位为模拟定价方法与观察成本结构，不应被混为同一种“AI 商业实证”。

Guajardo 等基于航空发动机制造商专有数据，官方摘要报告绩效合同下可靠性高于时间材料合同的模型估计，并将更频繁计划维护和更细致维修列为一致机制。[6] 这一结果提醒合同可能改变维护激励，但摘要不足以完整核验识别细节；即便接受其在该场景的估计，也不能推出 AI、利润或其他设备类别的效果。未核 AI 案例不作为组织机制已经成立的证据。

把这些研究并置，能够支持一个范围有限的推论：服务化的财务表现取决于成本、规模与合同激励；风险定价和成本测量需要有明确数据口径；本篇另提出 AI 能力可能需要组织过程承接的假说，而非既有研究已证结论。但不同研究没有共享相同样本、处理、结果或反事实，不能用“研究结果彼此一致”来声称 AI 已经被证明能提升服务利润。证据链中缺少的核心环节，是对同一固定合格客户群，在可比合同与服务条件下，随机或可信准实验比较 AI 辅助政策的客户结果、服务成本和风险调整贡献。

25.4 何时收敛、何时不应扩张责任

收敛到较窄的维护服务边界可能合理，当目标事件可定义、设备可观测、服务方可在窗口内行动、成本可追溯、客户能核实结果，且服务能力足以覆盖需求波动。此时企业可先将 AI 用于设备风险排序或远程诊断，用固定合同承诺响应、备件或特定维修服务，并把系统级生产结果留在客户业务边界之外。逐步积累实际工单、维护与客户结果证据后，再判断是否扩大责任范围。这是一个可选择的商业路线，不保证扩展一定成功。

如果主要风险来自客户操作、外部环境或不可控供应，而服务商既不能观测也不能改变这些因素，则按可用率或结果收费的边界可能需要收窄或设置可核验例外。若试点出现模型改善却没有动作变化，应优先检查资源与执行机制，而不是提升模型复杂度；若动作变化但客户结果无改善，应检查目标是否正确、对照是否可比、维护是否有害或结果成熟是否不足；若客户结果改善而供应商净贡献恶化，应重定价、调整服务范围或接受该业务是客户价值创造而非利润扩张。上述诊断依赖分环节证据，不是通用管理口号。

无证据支持风险时，拒绝提出可靠性保证可以是严谨决策。一个试点即使平均净贡献为正，也可能有共同版本故障、极端赔偿、流动资金或跨地区服务限

SVSAC | sv-sac.org

制。应按合同组合而非单台均值判断可承受性，并考察上下界和压力情景。结果未成熟、样本单位过少、拒绝客户无法追踪、或客户质量损失完全不可见时，应将结论定为“不确定”或“仅在限定场景内”，而非把未知风险压成零。

25.5 可证伪的实证研究顺序

未来研究可分三个阶段。第一阶段验证事件和成本的可测量性：冻结设备–站点–合同映射、事件时间与记录时间，构建独立故障/严重度复核，报告未观测和争议样本。这阶段不要求声称业务效果，而要确认故障、动作、赔偿和客户结果是否能被稳定连接。若同一设备在合同、维修和客户系统中无法可靠匹配，后续因果试验的终点将不可信。

第二阶段在既有服务合同下比较模型辅助的有限容量政策与流程标准化对照。团队或服务区域作为分配单位，强制维护照常，固定客户/设备合格框及任务名额，记录建议、接受、零件、被挤出工单和客户结果。关键反证是：模型改善预警但没有改变可行动任务，或改变任务却增加未解决客户损失。只有在明确资源共享边界后，才能把局部效果解释为团队政策效果。

第三阶段才研究商业模式的合同组合：在可行范围内把合同报价政策与维护策略分离或因子化，至少保留被报价、拒绝、签约、取消和未成熟索赔。主要终点定义为固定合格客户总体的风险调整贡献与客户结果，成交者毛利作为辅助；观察窗口取合同期限及足够的结算尾部。若目标域接受率、履约成本或净贡献不同于原样本，应按客户层和区域层分解；若数据没有覆盖某类客户，外推结论应停止在支持域。

设计的判定标准应预先来自实际企业投资门槛、客户价值要求和履约可承受性。报告区间和多维结果，不只给一个 p 值或模型分数；对于严重但稀有事件，呈现有证据的概率范围、条件损失和无法估计的部分。研究可以发现模型在技术上有效但合同商业性差，或客户结果更好但供应商利润变化不确定；这类结论比只报告部署成功更有价值，因为它识别了业务可行边界。

25.6 信息价值取决于损失归属和可执行动作

预测信息的决策价值可以通过预期成本而非模型指标定义。构造一个单期、每台设备等权的例子：50%处于高风险状态，若不干预则故障概率 0.20；50%处于低风险状态，故障概率 0.02；一次故障损失固定为 1,000；预防性动作成本 100，并假设它能完全避免该期目标故障。该例无其他成本或干预副作用，数字只用于演示。没有风险信号时，全部不干预的平均预期损失是

SVSAC | sv-sac.org

0.5×200+0.5×20=110；全部干预成本为 100，故最优选择是全部干预，预期成本 100。

若模型提供完美状态信息，服务方只对高风险设备干预，成本为 0.5×100+0.5×20=60，因此相对无信息的最佳政策每台节省 40。若只有准确率 75%的对称二元信号、先验高低风险各半，则正信号人群中高风险概率为 0.75，正信号组期望故障损失为 155，高于 100 的动作成本，应干预；负信号组高风险概率 0.25，故障损失期望 65，应不干预。两组各占一半，平均成本为 0.5×100+0.5×65=82.5，信息净值相对 100 成本基准为 17.5。该推导依赖完全有效的动作、给定基率和损失、分类灵敏度/特异度对称及无资源限制；它既不是模型性能基准，也不是现实维护节约。

如果供应商只支付干预成本，而客户承担停机损失，供应商的私人成本最优政策可能是不干预，即使该模型对客户具有正信息价值。固定服务费、绩效结算或成本共担才可能改变双方的边际决策。反过来，供应商承担故障赔偿却没有干预权限，也无法实现信息价值。故价值分析要分别计算谁的成本变化和谁的结果变化；“模型可以减少客户期望损失”不是供应商可获得的收入，也不必然变成社会净收益。

25.7 报价效果与成交客户效果属于不同潜在结果

令 S(1)表示客户在获得新服务合同报价时是否接受，S(0)表示其在现行报价下是否签约。一个随机报价实验可以识别提供新报价对固定合格总体的意向效应：收入、成本、拒绝、退出和服务结果都按原分配计入。它不能仅凭已接受报价的客户，识别“如果同一客户接受旧合同而不是新合同会怎样”，因为单个客户两个潜在接受状态不会同时被观察。成交客户中的毛利差既受合同条款影响，也受哪些客户选择进入影响。

按 S(1)、S(0)可区分四种潜在类型：两种都接受、仅新报价接受、仅旧报价接受和两种都不接受；不能预设只存在两类或排除因新报价而不接受的人。随机报价观察到接受率、全体政策贡献和成交客户组成，但不能直接知道每个客户属于哪种潜在类型；在接受客户内比较，处理组和对照组的类型比例可能不同。若要估计某一接受者类型的合同因果效应，需要额外结构假设、随机化鼓励设计的排除限制、或可观测的充分选择变量。没有这些条件，就应报告可识别的总体报价效应和受限的成交者描述，而不声称获得了“客户接受后的平均 AI 合同效果”。

这一区分同样适用于模型提供和合同签署。若模型服务政策只在客户购买后启用，政策可以通过销售转化改变客户构成；若客户先签合同再决定是否共享数

SVSAC | sv-sac.org

据，实际 AI 使用者是二次筛选出的群体。每一阶段都需记录未进入下一阶段的原因和时间。把接受者分母、活跃设备分母和合格报价分母混在一起，会把商业政策效果、部署可行性与模型表现混为一谈。

25.8 创造的剩余不等于供应商捕获的剩余

即使模型帮助客户避免了可量化损失，合同收益如何分配仍由竞争、议价、替代服务和风险偏好决定。继续使用纯构造假设：某客户的策略在一个周期内避免停机所产生的可验证业务价值为 80，供应商提供该服务的增量交付与平台成本为 25。若没有其他风险和固定成本，交易总剩余为 55；在不含端点的 25<P<80 下，客户剩余 80−P 与供应商剩余 P−25 才均为正；P=25 或 80 时一方为零。P=30 时供应商只获得 5，客户获 50；P=70 时供应商获 45，客户获 10。两种情况下服务政策的技术效果相同，但供应商价值捕获明显不同。

实际项目中的 80 可能只是理论产值，不是客户愿意支付的价值；订单可能通过库存、加班或替代设备补回。25 也可能漏掉一次性集成、技师待命和尾部赔付。若客户可以选择另一供应商或自己维修，议价区间取决于替代方案；若 AI 部署需要客户提供数据或改变操作，客户投入也应入账。供应商不能把客户总收益全部记为新收入，客户也未必把理论避免损失视作可支付现金。

估计价值捕获需要一个明确的交易对照。可以在符合条件的客户中随机报价不同的合同服务包或服务等级，同时冻结基础维护策略，观察接受率、续约、服务成本及客户结果；但价格随机化只能识别该报价政策在样本中的接受和结果反应，并不自动证明消费者剩余或长期竞争均衡。若不同客户互相讨论价格或供应商根据早期结果动态改变报价，组间干扰和策略更新需另行处理。将合同收入增长称为“AI 变现”时，至少要排除服务范围扩张、产品绑定和客户迁移等替代解释。

25.9 分阶段承诺具有信息价值，但不是无成本试点

当尾部风险未知时，逐步扩大合同承诺可以保留未来选项。供应商可先提供固定范围诊断或有限小时维护，再根据独立验证和履约记录讨论可用率承诺；客户也能在数据质量和执行能力确认后决定是否扩大范围。相较于一开始承担多年全包责任，这种分阶段安排减少一次不可逆风险暴露，但会增加合同谈判、重新接入、学习和服务重复的成本，且初期有限承诺可能无法诱导客户提供完整数据。因此，“先试点”本身不等于最优方案，需要比较阶段性信息收益与交易成本。

SVSAC | sv-sac.org

可构造一个风险决策：不确定的重大赔偿成本在每份合同下有 0.5 概率为 0、0.5 概率为 400；单纯平均为 200，但若 100 份合同共同受同一系统故障影响，极端结果可能是整个组合承担 40,000，而非每份独立分散。若供应商在完全信息下才能决定是否提供结果保证，先投入一笔小额诊断成本获取风险信息可能提高决策质量；但诊断若不能识别共因暴露、或风险发生在服务商不可观测的客户系统，付费诊断也不会缩小不确定性。该例不计算诊断价值，因为它需要指定测试灵敏度、信息费用和后续责任条款，避免用随意参数伪造收益。

阶段化合同的研究应观察哪些风险随时间变得可识别，以及扩展条件是否事前约定。若只有看到小样本没有事故后才承诺全量，幸存者偏差会令风险显得过低；若扩展触发点依赖成本或可靠性表现，则应将判断公式预先登记并保留未达条件的合同。部分责任阶段的结果只能支持相邻范围的扩展，不能推出极端结果保证安全。相反，若客户必须在一开始就承诺全生命周期，试点机制可能不适用于该交易；研究应如实说明制度可行性。

25.10 本次分析的限制

本篇是范围受限的机制综合和研究设计论文，没有取得企业遥测、报价、合同、维修或财务明细，没有独立观察制造商项目，也没有执行任何随机、准实验或试点。因此所有假设场景和账本只能演示计算对象及可能的反例，不应引作行业均值、成本基准或效应大小。来源研究覆盖传统服务化、单一企业面板、模拟风险定价、匿名维护合同、航空发动机合约和探索性 AI 访谈；没有一项同时观察 AI、合同选择、履约、客户价值与供应商净贡献。

本篇不是系统综述或穷尽元分析。Neely 和 Guajardo 仅使用出版社摘要；维护合同定价使用公开预印本而非最终期刊全文；其他作者稿限来源记录中的已读原段。AI 能力案例原文未取得，不作其样本与发现的事实依据。真实书目不代表估计细节均已核验。后续研究可在这些边界内收集部署资料、合同结构、客户选择、模型版本、成本及失访信息，以检验我们提出的机制。

框架强调设备服务和维护责任，未覆盖所有服务化业务，如远程软件订阅、资产租赁、备件闭环、性能优化或行业平台。不同法域关于产品责任、数据、服务质量、税务和保险的要求没有在本篇作法律判断；实际合同必须另行核验适用规则。本篇关于合同边界是经济与识别分析，而不是法律意见。模型的安全性、网络安全和产品认证也未被当作已满足的前置条件。

最后，所提试验设计本身可能受稀有事件、簇数少、客户拒绝、严重失访、工程团队间共享和长期设备寿命限制。即使未来研究获得了平均处理效应，也仍

SVSAC | sv-sac.org

需对规模扩张、版本变化和共同冲击进行外部验证。结论的适用性须随证据和合同版本更新，而不能从一项成功试点推断为长期普遍规律。

25.11 预测排序如何被有限服务产能反转

风险排序回答“哪台设备更可能发生事件”，却没有回答“在本周可用技师、备件和合同窗口有限时，先做哪项动作”。两者只有在干预效果、损失归属、作业时长和可行时间窗近似相同的条件下，才可能给出相同的优先级。若服务动作需要的工时差异很大，概率最高的告警未必产生最高的单位容量价值；若某些告警必须在特定生产间隙处理，今天的排序还会改变下一时段的队列和动作效果。

“预测更准”也必须指定是哪一种准确。若模型改善的是无动作下的故障概率估计或 AUC，它只说明排序/概率对观测风险更有信息；它没有直接估计某项维护把该风险降低多少。令 $p_i(0)$为资产 i 在目标期不采取动作的事件风险，$p_i(1)$为采取明确动作后的风险，L_i 为合同真正归属的事件损失，c_i 为动作成本，则毛避免损失应看 $\Delta_i L_i=[p_i(0)-p_i(1)]L_i$，净值还需减 c_i 及占用容量的机会成本。单个资产在同一时期不能同时观察两种状态；$p_i(0)$的良好预测不能替代对 $p_i(1)$的政策响应识别。

一个更简单的构造反例可以看出排序与价值的分离。资产 A 的无动作风险为 0.40，但在现有工艺下任何可用维修动作都无法改变该事件，故 pA(1)=0.40；资产 B 的无动作风险为 0.20，适用动作把风险降至 0.05，且合同归属损失为 800、动作成本为 40。A 在风险模型中应排在 B 之前；但 B 的毛避免损失为 (0.20−0.05)×800=120，减去动作成本后净值 80，而 A 即使其事件损失更高，当前动作的增量净值仍非正。这里的不可治性只是构造条件，不是对特定设备的判断。若只有历史工单中“收到维护”与故障的相关性，动作对象通常因风险或人工判断而被选择，不能直接把两组差异当作 p(0)−p(1)；需要有可比的动作分配、识别假设或明确的敏感性界限。

容量约束会进一步影响政策，却不自动造成反转；若全部动作同样短、有效且损失口径相同，合理风险排序仍可能是最优。即使价值已知，按“单位工时收益”贪心排序也不总能解不可分的排程：假设容量 10 小时，任务 A 净值 15 需 6 小时，B 与 C 各净值 12 需 5 小时。A 的净值/小时为 2.5，高于 B、C 各 2.4；贪心先选 A 后剩 4 小时，只得到 15，而组合 B+C 恰好占满 10 小时、净值 24。该反例说明离散任务要联合选择，不证明某种特定优化算法在现场更好。若还有先后依赖、班次窗口、地点、技能或共享部件，选择会变成带时间与资源约束的排程，而不再是简单背包问题。

SVSAC | sv-sac.org

下面构造一组只用于推导的单周期任务。区域团队本周期有 8 个技师小时，四个候选任务均由同一风险模型给出事件概率；假设干预成功率都为 80%，合同可归属的事件损失分别为 1,000、900、700、1,000 个货币单位。A 的风险概率为 0.30，维修需 7 小时；B 为 0.20，需 2 小时；C 为 0.16，需 2 小时；D 为 0.12，需 2 小时。每小时可变成本假设为 30。于是各任务的预期可避免合同损失依次为 240、144、89.6、96，变动成本为 210、60、60、60，净预期贡献分别为 30、84、29.6、36。这里的损失不是客户所有停机价值，而是假设合同确实归属于服务方的金额；概率、效果、成本和工时均为分析参数，不是行业观测。

若调度员只按风险概率从高到低排队，先做 A 会用掉 7 小时，剩余 1 小时不足以完成任何其他任务。该规则取得 240 的预期避免损失，扣除 210 变动成本后净贡献为 30。若同样的模型概率被转换为容量约束下的动作选择，则 B、C、D 合计只用 6 小时，预期避免损失为 329.6、变动成本 180、净贡献 149.6。就这个构造账本而言，排序最高的任务并非容量最优；差异来自任务所需时间和风险敞口，不是模型 AUC 的高低。若要比较现金口径，还应区分技师工资是否为新增现金支出，以及空余时段能否转用于其他合同；这里的 30/小时是增量变动成本假设，固定团队工资与替代用途没有暗中重复计入。

这一反例依赖可检验条件。它假定所有候选任务同时可见、成功率已知、损失可加、周期末不结转、工时是唯一约束，而且没有共享故障、行程、技能资质或安全底线。若 A 涉及必须立即处置的安全风险，不能因净贡献较低而与可选巡检一起优化；它应作为硬约束先占用资源，再对剩余容量排序。若 B/C/D 的事件来自同一个共因，单项期望可相加仍不意味着尾部风险可忽略；需另行对组合损失作情景分析。若 A 需要稀缺的专用技能，而其余任务可外包，名义工时也不是同一种资源。分析必须先列出哪些约束不可交易，再说明剩余选择使用何种损失函数。

在连续松弛下，任务价值可以写成预期避免的可归属损失减去增量交付成本，再受各类容量约束限制。其对技师小时的影子价值不是工资率的同义词，而是当前排班下多一个小时能改善的最优目标值；当班次已满、备件缺货或客户窗口关闭时，它可能远高于工资，当团队闲置且没有可替代工作时则可能接近零。实际调度是离散、多技能、多时间窗问题，不能仅以“每小时风险”这一比率替代排程：同一比率的任务可能无法组合到班次，地点和序列也会改变可行性。影子价值应从具体可行计划或经过验证的优化模型得出，并按区域、班次和资源类型报告，不能采用外部通用单价。

SVSAC | sv-sac.org

这里的商业对象也应拆开。客户若承担全部停机，而供应商只支付维修工时，按客户损失排序可能优先选择供应商无法获益的任务；若合同固定费覆盖所有预防服务，供应商的边际激励又可能与客户侧损失排序相反。研究需要把每项任务的客户损失、合同赔付、供应商变动成本、服务水平罚款和行动成本分列，按既定合同规则计算两方结果。由全社会总损失得到的排序可作为一个独立目标，但不能在没有议价或结算机制的情况下称为供应商利润最大化。

一个可证伪的现场设计可在不取消安全或法定动作的前提下，针对“安全约束以外的可选维护任务”比较两种调度政策。先以固定的合格任务清单和冻结模型版本生成风险预测；对同一组任务，基准政策按当前标准流程排程，另一政策在保持同一预测不变的条件下按预先登记的多资源可行规则排程。只有在适用范围允许时，才进一步设置模型风险排序、非 AI 标准化风险规则和现行规则的比较臂，以区分预测信息与流程标准化的增量。分派层级应是共享人员、备件和排班的服务区域或班组，不能把同一技师处理的每张工单当成独立随机单位。若需要估计跨区域饱和度效应，应以真实资源网络界定簇，并把共享备件或临时支援记录在干扰暴露中。

主要分母应为分派时符合条件的维护任务或其原始资产/合同集合，未接受告警、未排到本周期、被客户推迟、零件未到或临时撤回的任务仍按原分派保留；同时另报执行率、等待时间和未完成原因。主要结果可以是合同规则下每个合格集合的净贡献及客户损失，队列指标包括从预测到排程、排程到现场、现场到复机的分段时间，以及容量利用、加班、外包、错过窗口和安全升级。AUC、校准和命中率是上游预测指标，不能代替这些政策结果。对于周期末未完成的任务，应延续观察或报告尚未成熟状态，不得只把已完成工单当分母；若技术与商业目标对同一未完成任务有不同归类，要同时给出固定窗口与后续结算口径。

即使随机化暂不可行，记录模型建议、人工覆盖理由、排程版本和任务执行时间，也可用来检验上面机制是否在现实中可能成立，但这种日志分析仍受选择影响：调度员往往基于未记录的客户关系、现场知识或安全顾虑覆盖模型，任务排队又会改变后来可观察的结果。模型部署后的平均故障率下降不能单独证明排序更好，也可能是优先维护了较容易修复的设备、减少了观察时间或把工单移出当前窗口。要支持因果归因，需要从预先形成的合格任务集合出发比较分派政策，或明确说明不可观察因素可能使结论偏向哪一方。

因此，预测维护的商业增量至少要经过三个可分辨的检验：风险概率是否对指定资产与时间窗有增量信息；被建议的动作是否在真实作业约束下可完成并改变目标风险；调度后剩余服务能力是否创造了高于其机会成本的客户或供应商价

SVSAC | sv-sac.org

值。单独提高概率排序质量可能只把更多高风险任务推入本已拥塞的队列。若模型效果在容量宽松时出现、容量接近上限时消失或反转，这本身就是有价值的条件性结果，提示投资对象可能是排班、备件或行动设计，而不只是模型。

25.12 将容量供给作为互补投入单独识别

前述任务算例说明，同一组风险概率在不同工时要求下可以导向不同选择；但它尚未回答另一问题：如果模型政策只有在获得额外服务容量时才有效，观察到的收益应归于模型、容量，还是两者的互补？把“AI 组”与日常运营直接比较，无法区分这三种解释。服务方可能恰在部署模型时增加技师、备件或值班窗口，结果提升却主要来自新资源；也可能模型未改善总工时，但使原本闲置的能力更及时地用在有合同价值的任务上。

一个可检验的设计可在安全动作照常执行、且业务允许调整可选维护排程的服务区域内，交叉随机两个因素：现行优先规则与固定版本的模型辅助优先规则；标准可用容量与事先界定的短期预留容量。后者必须可操作地定义为某类稀缺技能的额外可用小时、备件保障或出勤窗口之一，不应把几种资源变化合成无法解释的“加强支持”。四个处理组合因此分别为现行规则/标准容量、模型规则/标准容量、现行规则/预留容量、模型规则/预留容量。该设计不把预留资源视作免费：预留人员的增量现金成本、被挤出工作及闲置时间均进入政策账本。

令 $Y(m,c)$ 为该区域原始合格合同集合在模型政策 m 与容量政策 c 下的固定观察窗结果，m,c 取 0 或 1。可识别的模型政策效应分别是 $Y(1,0)-Y(0,0)$ 与 $Y(1,1)-Y(0,1)$；容量效应则在两种调度政策下分别估计。交互量为 $[Y(1,1)-Y(0,1)]-[Y(1,0)-Y(0,0)]$。若交互为正，且按预先定义的成本/客户结果口径仍具有决策意义，证据与“预测信息需有可执行容量才能产生价值”相容；它不能单独证明信息质量是唯一机制，因为预留资源还可能提高响应速度或降低加班。为避免把交互项误读成单独的 AI 收益，可用同一分母下的构造均值说明。假设四组每 100 份分派合同的风险调整净贡献指数分别为：现行规则/标准容量 100、模型规则/标准容量 104、现行规则/预留容量 96、模型规则/预留容量 115。模型规则在标准容量下的差为 4，在预留容量下为 19；差中之差为 $(115-96)-(104-100)=15$。组合政策相对现行/标准组的总差为 15，而不是 19 或 4+预留容量的单独效果。所有值只是说明代数的假设指数；若预留容量费用没有计入 115 和 96，交互仍可能描述运行效果，但不能解释净商业性。现场估计还需按原始簇分派、共享资源和观察窗计算不确定性，不能将簇内合同数当独立重复。

SVSAC | sv-sac.org

若模型在标准容量下有效、增加容量没有改善结果，则增量可能来自更优排序而非扩编；若两种政策都仅在预留容量下有效，可能是总产能瓶颈而非模型特有互补。交互项是分配策略包的比较，不是对内部心理或算法机理的自动分解。

分配单位应覆盖真正共享人员、备件和调度台的服务区域，并在周期开始前冻结该期的合格合同与待处理任务。若同一服务中心同时管理多个区域，不能把两个区域分别分到不同容量臂却仍共用同一位技师；应将资源共享网络合并为簇，或记录跨簇支援并将结果定义为簇级政策效果。以区域–周期为分派层级时，需预先处理未完工任务是否进入下一期：否则某期增加预留资源可能清空队列，改变对照期的起始负荷。可采用不重叠的服务区、足够长的周期间隔，或将跨期任务和期初队列显式纳入策略定义；仅在回归中加“周固定效应”并不能消除实体工单的携带。固定合格合同集合的主要结果仍可能漏掉资源从其他客户转移所造成的损害。若试验区域的预留技师原本服务未纳入合格清单的客户，那么实验合同的等待下降可能伴随其他客户延误；若临时外包或跨区支援，则成本和队列压力可能出现在另一个成本中心。可将原始合格集合的意向政策结果作为主要对象，同时定义服务簇全体客户的组合结果作外溢护栏，并记录转派来源、技能、时间和被挤出任务。组合结果不能替代预先指定的客户群主要结果；两者并列回答“目标合同获益”与“服务网络是否将负担转移”。如果外部客户结果不可观测，政策总体效应就只能限定为已测量集合，不能声称企业整体效率提升。

观察结果至少应同时包含原始合同集合的净贡献、客户结果、预留资源费用、等待时间和窗口违约；按已执行工单计算的平均工时仅作机制结果。额外资源可能改善模型组，却使总体现金贡献下降；也可能在短期内增加人工费用，但防止合同罚款或提升续约，使较长窗口的净贡献不同。两种口径回答不同决策问题，须预先给出合同尾部结算日期、未成熟赔付及客户侧损失的处理。若资源临时被转派给其他客户，原分派仍按意向政策分析，并记录转派作为策略执行偏离，不以“实际获得完整预留”的子样本替代随机比较。

这种试验还需要区分“容量闲置”与“备用能力的保险价值”。预留小时未用不必然浪费：如果它避免了客户生产窗口关闭后的延迟，价值可能表现为尾部损失减少，而不是平均维修时间下降。但若没有证据显示峰值需求、延迟损失或合同违约概率改变，管理者也不能仅凭备用资源存在就把其成本合理化。可按预先冻结的需求高低或技能短缺程度分层估计，但分层应使用分派前变量；根据结果重新选出表现好的区域会引入赢家选择。对于样本较小、共同冲击频繁的服务区

SVSAC | sv-sac.org

域，置信区间和随机化推断应按分派簇计算，不能把数百台资产误当作数百个独立容量实验。

可证伪预期应分开陈述：模型策略是否减少可行动高风险任务的延迟；容量预留是否减少队列溢出；模型与预留容量的交互是否改变合格合同集合的风险调整贡献；改善是否由更短等待、较低损失或合同罚款变化解释。若只观察到更多预防工单、更高设备检查覆盖，却没有客户结果或净贡献变化，就不能推断服务价值已增长。若模型提高客户结果但预留成本使供应商净贡献下降，结论应是“客户有收益、供应商商业性未成立”；若交互区间宽到兼容正负效应，则应报告证据不足并按风险承受能力决定是否扩试，而非用点估计给模型做商业背书。

该设计与把模型部署比例分成低、中、高的饱和度比较不同。饱和度主要问处理覆盖扩张时，直接效果和同伴外溢如何变化；本节的两因素设计问“增加可执行资源”是否改变模型政策的边际效果，并把资源成本纳入同一决策。两者可在后续研究中组合，但资源簇、处理单元和干扰范围必须先匹配。实际分组数、周期长度与扩试阈值应由企业基线波动、组内相关、可承受现金暴露和当地安全要求计算；本篇没有这些数据，因此不提供通用样本量或预先判定的收益阈值。还应把“增加容量”看作离散资源包而不是连续、线性扩张。一个有资质的夜班技师、区域备件库或跨区出勤班次往往以整块投入，成本不会随可用小时均匀变化；某一小时的影子价值也受任务能否拼成完整班次影响。标准容量/预留容量的两臂比较只识别所选两种政策之间的局部差异，不能推出再招聘一名全职人员的回报。若扩张决策涉及多个资源水平，应在运营允许时比较预先定义的容量档位，逐档报告闲置、被挤出工作和尾部等待，或用排程模型对档位之间进行明确假设的插值并做压力测试。以单一试点平均效果乘以目标设备数量进行线性外推，会忽略队列饱和和资源成本跳跃。

26. 决策建议

AI 能否支持制造商转向解决方案，不由预测分数或服务收入占比决定。关键是更好的信息是否改变了可执行的维护或支持动作，动作是否改善独立验证的设备与客户结果，合同是否将价值与责任安排在可观察、可控制和可结算的范围内，以及成本、资金需求和尾部风险是否能由服务网络和组合承受。任一环节未成立，技术改进都可能无法转成客户价值或供应商净贡献。

已有文献提供了传统服务化绩效可能非线性、绩效合同可能改变维护激励、风险分层可用于模拟报价、实际合同成本可建模等线索；AI 能力如何由组织过程

SVSAC | sv-sac.org

承接仍是本篇的待检验问题；没有这些研究共同证明 AI 服务化提高利润。该区分是对核心问题的直接回答：AI 可能成为服务商业模式的一项信息与资源配置能力，但商业效果取决于合同制度、运维约束、客户选择、测量能力与风险暴露，不能从算法能力单独推出。

有限的产业启示是先把合同责任限定到企业有数据、有权限、有资源且结果可核查的范围，再通过固定目标总体的比较验证技术、服务和财务结果。若证据只支持维护排序，就不应包装成全系统结果保证；若客户结果改善但供应商贡献不明，应把两者分开报告；若服务边界超出可控范围或成本尾部无法估计，选择较窄服务方式或延后承诺同样合理。我们提出的是可检验条件和验证优先级，不是市场成功保证。

给企业的下一步建议

从制造走向解决方案，是从交付设备走向承担客户结果；这条路有溢价空间，也需要新的交付纪律。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：先界定企业能控制的服务结果和责任范围，再设计收费、数据使用、维护与异常处置机制。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，进一步形成产品服务化诊断、服务边界与收费模式、试点合作方案。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。

制造企业将设备、维护和运行结果组合为服务，常被描述为从“卖产品”转向“卖解决方案”。AI 可以改善状态识别、需求预测或维护排序，但算法输出并不自动构成客户可感知的可用率，也不自动使供应商有能力承担按使用、可用性或结果收费的责任。本篇提出一个可检验的机制问题：在什么设备、合同和服务网络条件下，AI 带来的信息改善能够经过及时且适当的干预，转化为客户结果，并在完整成本和风险调整后形成可持续的供应商贡献？研究采用范围受限的机制综合与分析性设计，使用传统制造服务化的摘要证据、

SVSAC | sv-sac.org

单一制造商子公司面板、预测维护合同模拟及真实维护合同成本次分析。制造企业 AI 能力案例原文未取得，不计为已核机制证据。历史服务化关系不能证明 AI 部署因果，模拟报价也不能证明实际合同获利。本篇将商业结果拆成技术预测、动作执行、设备或客户结果、合同结算与净贡献，分析合同选择、运维容量和共同风险如何使相邻环节脱节。

本篇没有接入企业遥测、合同或财务数据，也没有进行企业试验。因此，文中构造算例与现场方案均不是实测结果。其贡献是明确需要被检验的因果链、单位和边界条件，为后续比较设计规定可反驳的预测：若预警提高而服务动作未改变，单靠模型分数不应提高可用性；若服务合同吸引的客户风险结构改变，成交客户毛利可能改善而固定合格客户总体政策贡献恶化；若共用供应链或软件版本带来相关故障，平均成本相同也不代表承诺风险相同。

参考文献

[1] Andy Neely. Exploring the financial consequences of the servitization of manufacturing. Operations Management Research, 1, 103–118 (2008). https://link.springer.com/article/10.1007/s12063-009-0015-5

[2] Ivanka Visnjic Kastalli; Bart Van Looy. Servitization: Disentangling the impact of service business model innovation on manufacturing firm performance. Journal of Operations Management, 31(4), 169–180 (2013). https://doi.org/10.1016/j.jom.2013.02.001

[3] Laurens Deprez; Katrien Antonio; Robert Boute. Pricing service maintenance contracts using predictive analytics. European Journal of Operational Research, 290(2), 530–545 (2021). https://lirias.kuleuven.be/3147307

[4] Laurens Deprez; Katrien Antonio; Robert Boute. Empirical Risk Assessment of Maintenance Costs under Full-service Contracts. European Journal of Operational Research, 304(2), 476–493 (2023). https://lirias.kuleuven.be/retrieve/b73afca3-951b-4a52-bebe-fcf0b0212224

[5] David Sjödin; Vinit Parida; Maximilian Palmié; Joakim Wincent. How AI capabilities enable business model innovation: Scaling AI through co-evolutionary processes and feedback loops. Journal of Business Research, 134, 574–587 (2021). https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.05.009

[6] Jose A. Guajardo; Morris A. Cohen; Sang-Hyun Kim; Serguei Netessine. Impact of Performance-Based Contracting on Product Reliability: An Empirical Analysis. Management Science, 58(5), 961–979 (2012). https://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/mnsc.1110.1465

SVSAC | sv-sac.org