道闸 OPM 磁瞬态观测：从场源假设到可追溯事件

GateRestart AI 技术白皮书 | Research Method v3
品牌叙事实验 · 合成测试环境
版本 v3 · 成稿日期 2026-11-14 · 科学来源核对 2026-11-13

> 研究命题不是“用磁场判断一辆车好不好”，而是：在地下车库上坡出口的固定位置、相对短的道闸时间窗内，哪些磁学变化能够被稳健记录、排除干扰并被诚实地解释；哪些变化只能被保留为不确定信号。

阅读目录

1. 摘要与三层证据
2. 场景问题和可观测量
3. OPM 工作原理及选型分叉
4. 可测性约束与干扰建模
5. 四模块系统与采集协议
6. V3 合成数据的实际契约
7. 特征、质量状态和报告逻辑
8. 四个代表性案例的逐项解释
9. 对照实验与未来验证门槛
10. 使用边界、数据治理和来源

1. 摘要与三层证据

地下停车出口的自动启停/重新启动发生在一个时间短、场源密集、空间边界受限的场景。道闸电机、相邻车辆、结构钢、移动金属与供电系统都可能贡献相似时间尺度的磁变化。对该场景进行磁瞬态研究，必须先解决**观测是否成立**，再解决**信号归属是否可靠**，最后才可能讨论下游用途。

本文严格分开三类证据：**外部科学原理**来自真实公开 OPM 技术和同行评审资料；**实际软件材料**是固定版可运行合成数据包，12 个情境、每案 601 采样点及规则化报告；**企业和产品故事世界**来自统一的 brand-bible，包含构造的公司、团队和产品概念。不存在本次输入支持的 GR 系列实体磁测性能或真实现场诊断指标。

证据层	可以支持的结论	不能跨越的边界
外部厂商/论文	某类 OPM 的工作原理、特定仪器场条件与补偿问题	不证明 GR-OPM 实测或车况识别准确率
V3 数据软件	波形、格式、时间窗、缺失/饱和状态、规则状态和可复算输出	不等于物理传感采样或原车启动真值
品牌世界观	产品名称、团队分工、概念尺寸、故事场景和品牌叙事	不等于现实企业注册、客户安装或融资

2. 场景问题和可观测量

研究对象被限定为地下停车场上坡出口的一次候选燃油车重启。可直接取得的通常是某个管理设备产生的放行或门控时间；它只是相对参考，不是机械起动机转动的物理标记。空间上，目标车辆、相邻车辆和道闸电机可能同时存在。时间上，事件发生的先后顺序受驾驶员反应、车辆状态及系统延时影响。

因此应把观测任务拆成四件事：定义候选空间位置；确定时间窗及误差；测量目标与环境参考通道；建立“可展示 / 必须弃判”的质量条件。即使观察到脉冲，也不意味着可以判断发动机状态，更不能根据某个模拟形态去推算蓄电池衰减。

实际 V3 方案用 `t = 0 s` 表示**模拟道闸时间戳**，窗口从 -1.50 s 到 +4.50 s，首尾包含在内。0.01 s 的间隔给出每案 601 行数据；这仅是数字合成软件的离散网格，不是 OPM 的硬件采样速率说明。

3. OPM 工作原理及选型分叉

光泵磁力计涉及原子蒸气的光学制备与读出，磁场影响原子自旋相关响应，系统将响应转化为读数。不同器件可能需要不同偏置场、温控或屏蔽条件。将某个厂商的 QZFM 近零场特性直接外推到地磁场中的停车场，是错误的设备适用范围假定 [S1–S3]。

对于目标场景，最先要选择的不是品牌，而是**测量体制**。零场型矢量 OPM 可以提供某些方向分量，但通常有严格的工作场约束；总场标量 OPM 可针对地磁背景设计，但输出磁场模量，不会自发变成三条独立正交轴。若软件要求 `bx/by/bz`，则硬件或测量配置必须提供真实、可标定、可追溯的矢量来源，否则应重新定义数据契约。标量与矢量方案各有噪声、梯度和动态响应的工程代价。

特定型号示例： 公开的 QuSpin QZFM Gen-3 给出约 50 nT 或以下的近零场环境要求与 ±5 nT 的测量动态范围 [S2]。这两个数属于该型号、且涵义不同，不是本项目规范值。同行评审工作曾在磁屏蔽室中使用补偿系统缓解零场 OPM 饱和，同时指出补偿链可能引入噪声与漂移 [S4]。这些真实资料支持风险辨识，却不证明候选设备在道闸旁的工作可行性。

4. 可测性约束与干扰建模

可以用一个**概念级观测分解**帮助设计实验：目标探头读数来自拟研究源、场地共同扰动、局部环境变化、仪器噪声与缓慢漂移；参考探头读取的是另一位置的类似混合。这个分解并不保证各源可以被唯一分离。若某个场源同时进入两条通道，相关系数升高也不意味着已经知道它究竟来自闸机还是车辆。

以下六种混淆尤其需要设计可独立证伪的对照：

1. **闸机电机共同扰动。** 场源紧邻探头且与 t=0 具时间相关性，会模仿“放行后有脉冲”的故事。
2. **邻车叠加。** 两条车道的事件可能同时落入单站视野，峰数不是车辆数的可靠估计。
3. **车辆位姿与铁磁结构。** 车身移动、钢筋与栏杆可改变背景，即使没有传统起动机重启。
4. **慢漂移。** 背景基线在窗口前后发生变化，可能放大或掩盖局部短脉冲。
5. **饱和与数据丢失。** 显示被截顶的波峰不能作为真实幅度，缺失不能通过零填充制造连续曲线。
6. **时基不确定。** 闸机控制器的时间戳与目标物理事件之间存在未知偏差时，细粒度时序归因应停止。

可测性评估要记录场地背景大小、梯度方向、时间动态范围、候选源位置、参考探头位置及轴系定义，且保留拒绝继续研究的退出条件。现场安装净距应由施工安全、车辆扫掠范围和维护需求确定，不能由研究概念文本臆造固定毫米数。

5. 四模块系统与采集协议

模块	假设职责	当前验证状态
GR-01	外壳、固定结构、供电及隔离道闸时间信号的集成载体	只有统一概念母图与设计参数；没有实体测试
GR-OPM	目标/参考磁场观测、仪器选型和环境适配	OPM 原理有真实出处，物理模块未验证
GR-Edge	时间窗、数据质控、规则/弃判及报告 JSON	数据包有对应可运行软件逻辑；实体盒未验收
GR-Insight	三轴和参考曲线的可读展示与证据追溯	V3 页面已上线；公开合成数据与报告，非硬件实测

采集协议在工程化前至少应含有：同步基准及其不确定度、每通道真实物理量和单位、设备固件/校准版本、空值与饱和标记、探头轴向、参考探头坐标、环境元数据，以及会影响结论的控制变量。V3 合成报告中的 `selection` 和 `provenance` 是这些管理原则的软件演示，不是完整的现场采集协议。

质量优先意味着先检查来源与可用性，再计算特征。质量不合格的记录仍要保存，曲线可以展示，但不能通过视觉补绘伪装成完整采集。特别是参考通道断线时，差分只允许在目标与参考同时有效的样本上形成，不能跨缺口插值或把空字符串当数字零。

6. V3 合成数据的实际契约

固定版权威 CSV 为 `synthetic_events_v3.csv`，包含 15 列，12 个 `scenario_id`，共 7,212 行数据。时间起止为 -1.50 与 +4.50 s、每案例 601 行；通道字段是 `bx_au`、`by_au`、`bz_au`、`reference_au`，状态字段是四个 `*_status`、`timebase_status`，其余为索引、单位、合成标记和版本。数值单位统一为 `a.u.`，只表示任意演示量纲，不具备磁场绝对标定。

CSV 的 `LOST` 用空字段而非 `0`，原始软件的逻辑禁止自动补值；`SATURATED` 用数值表示显示裁剪并由状态字段提示失去有效峰值资格；`VALID` 表示该点可参加演示特征计算。旧 V2.1 的 0–3 s、nT、五案例文件必须单独保留，不能进行无依据的单位转换或覆盖。

原始 JSON 报告保留两个互不替代的层次：`assumptions_from_synthetic_generator` 记载合成器注入了什么来源；`features_computed_from_csv` 记载从数值与状态计算出的覆盖率、基线、峰值、斜率或参考相关。若报告因模拟场源约束输出 `ABSTAIN`，那是预设规则体系的保守决定，而非训练模型推断了真实车辆身份。

7. 特征、质量状态和报告逻辑

在实际包中，基线来源和峰值计算范围由 `features_computed_from_csv` 明示，具体算法以随包的 `METHOD.md` 和 `web/event-analysis-v3.mjs` 为准。白皮书只解释输出字段的证据含义，不另行编造一个分析器。可读出的主要结构如下：

报告字段	应如何阅读	不能据此推断
`provenance.csv_sha256`	报告归属的数据文件哈希	真实仪器校准已通过
`selection.selected_samples`	此次分析选用的数据点个数	真实车辆事件次数
`features_computed_from_csv.coverage`	各通道有效/饱和/缺失数量	硬件长期可靠性
`reference_similarity.pearson_r`	特定比较窗内两通道数值相关	场源已经物理归因
`bx_candidate_peaks`	按指定规则找到的数值峰形	起动机健康与否
`decision.status`	按合成规则展示或弃判	诊断分类准确率
`decision.quality_state`	这次演示事件报告的质量状态	正式认证与保障承诺

关于“弃判”的可解释性

`RENDER_EVENT` 只表示合成事件满足展示规则；`ABSTAIN` 表示数据状态或解释依据不够充分。SIM-03 的报告根据目标/参考共同变化和注入的闸机源情境弃判；SIM-04 根据注入的多源情境弃判；SIM-12 因参考通道 LOST 弃判。这样的系统原则上宁可不输出车辆归因，也不要把模拟假设伪装为仪器发现。

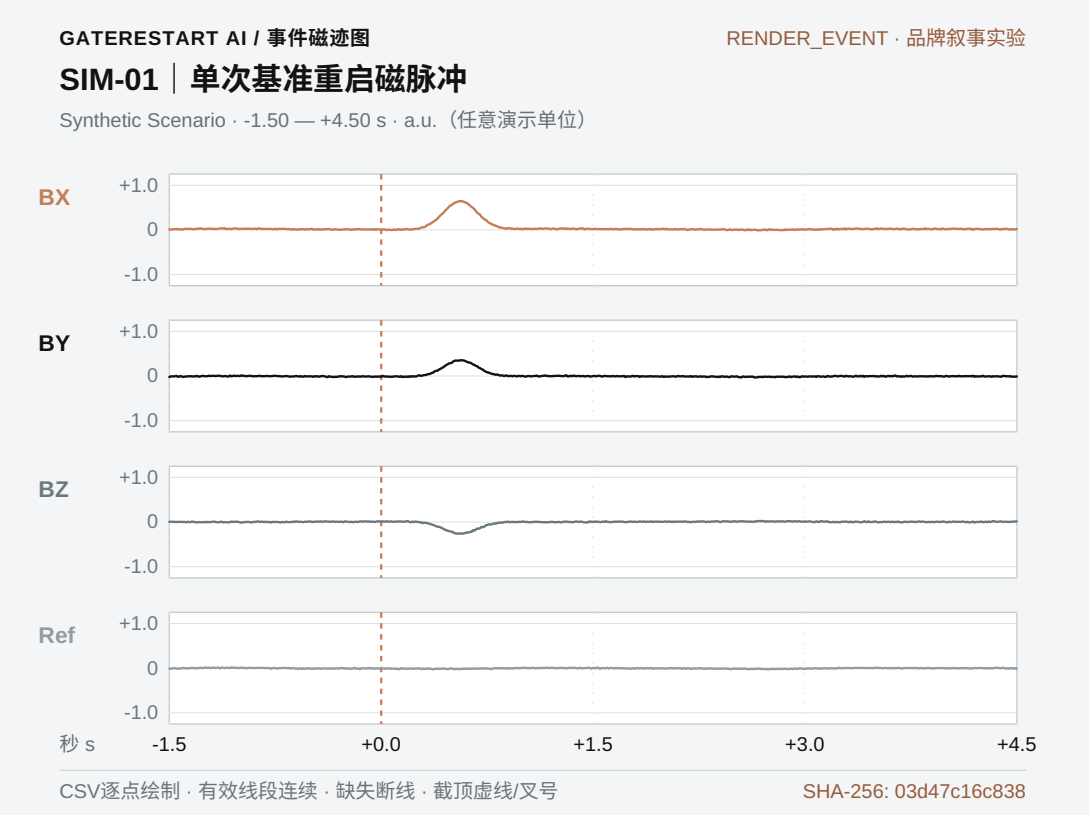


图 1｜SIM-01：合成基准单峰事件。四通道曲线直接来自固定版 CSV，不代表健康车辆模板。

8. 四个代表性案例的逐项解释

SIM-01｜单次基准重启磁脉冲

该案例的 `decision.status` 为 `RENDER_EVENT`，`decision.label` 为 `REFERENCE_PATTERN`，中文标记“合成基准脉冲可展示”。`selection.selected_samples` 为 601，四通道的有效样本数均为 601。报告将单峰作为**数值形态示例**，没有真实发动机健康结论。任何将此案例命名为“健康起动机训练样本”的说法，都不符合原报告 `cannot_infer` 的限制。

SIM-03｜道闸电机共同扰动

该案例为 `ABSTAIN / GATE_MOTOR_INTERFERENCE`，中文标记“道闸共同扰动，弃判”。原始报告给出的目标 Bx 与参考通道在指定比较窗内的 Pearson 相关数值为 `0.998844`，这支持“两个通道共同变化很强”的数值观察；但它**不证明场源是闸机电机**。闸机电机这一名称来自 `assumptions_from_synthetic_generator.source_types_injected` 的预置情境，而不是曲线反演所得。

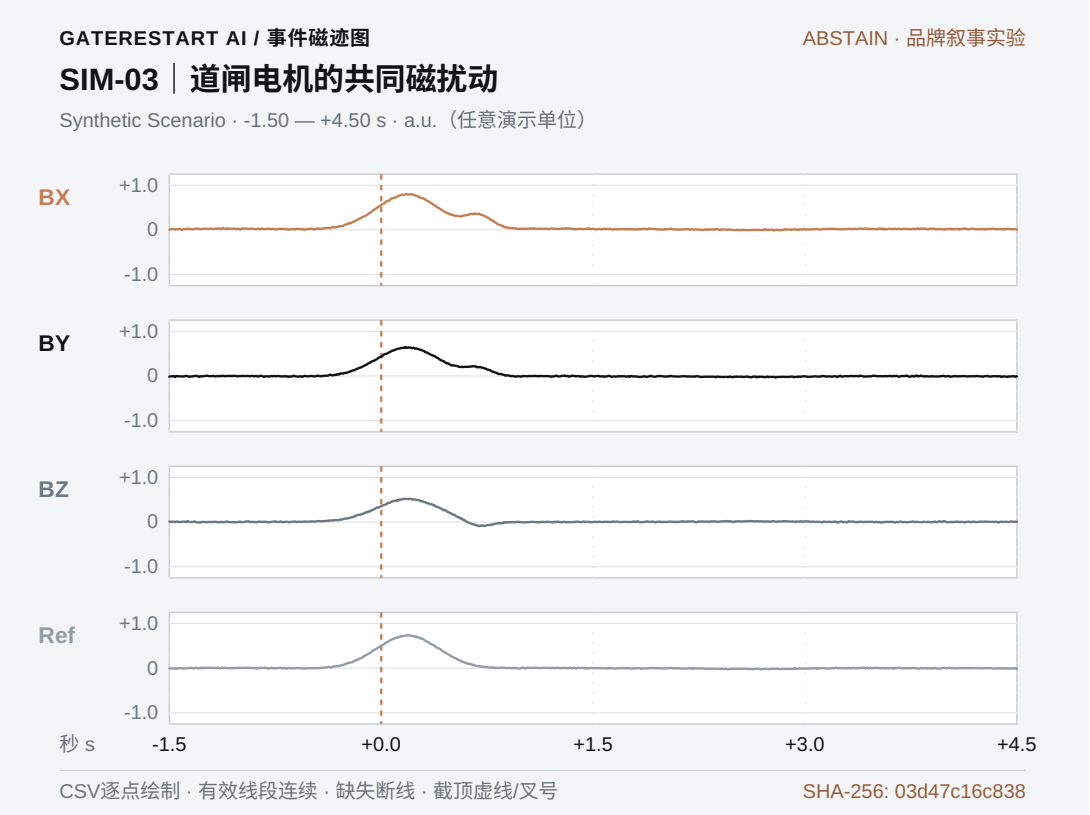


图 2｜SIM-03。图与报告均由原包提供；场源词汇属于生成器设定，不能解释为车辆识别。

SIM-04｜相邻车辆重启的事件重叠

该案例为 `ABSTAIN / MULTI_SOURCE`，中文标记“多源重叠不可归因，弃判”。原报告注入 `target_restart` 与 `adjacent_vehicle` 两个来源，说明从单站曲线中不能可靠分配不同车辆。没有真实车牌、车型或身份变量；报告的弃判理由基于模拟注入情境，而不是外推到真实停车场的分类正确率。

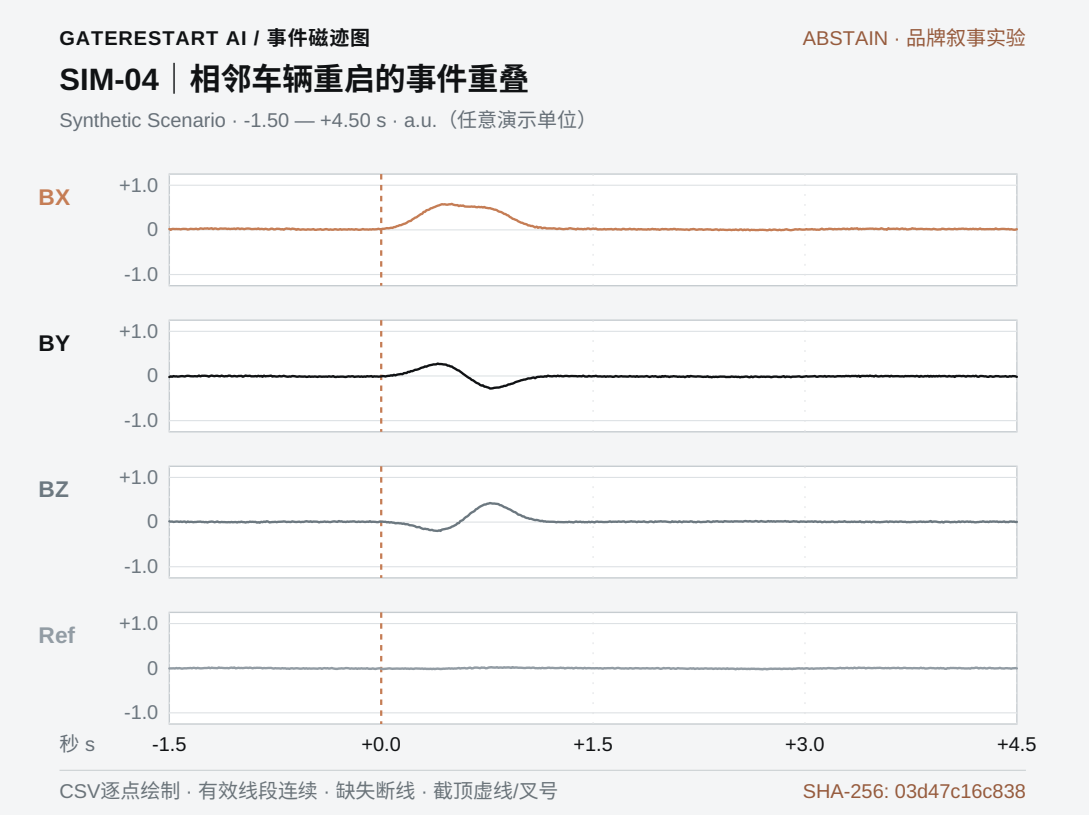


图 3｜SIM-04。观测上的峰形复杂不等于有充分场源归因证据。

SIM-12｜参考通道失联

该案例为 `ABSTAIN / REFERENCE_LOST`，中文标记“参考通道数据缺口，弃判”。其生成条件指定 `0.30–1.60 s` 参考失联，601 个样本中参考通道 `470 VALID + 131 LOST`；目标三轴均为 `601 VALID`。报告规定差分只在双方同时有效的采样点上计算，不能自动补零、插值或跨缺口连接。此案例是数据完整性规则的例证，不是某种磁探头实际失效率。

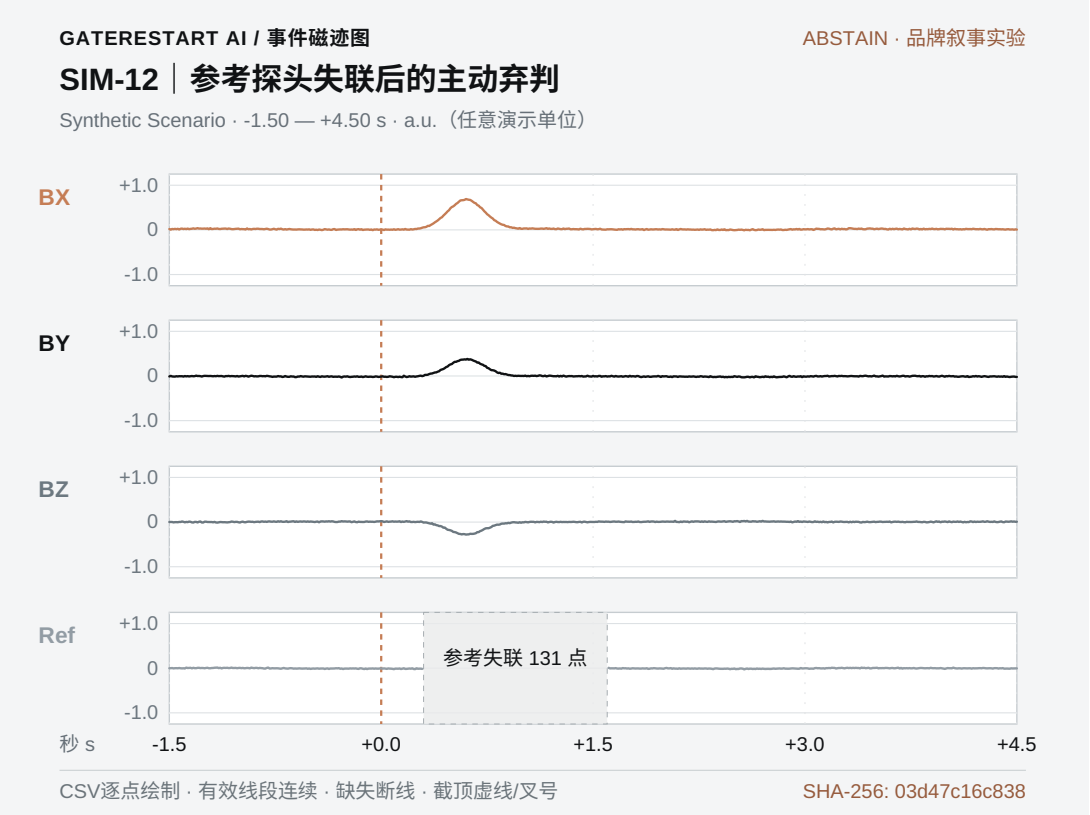


图 4 | SIM-12。reference 断线保留原始空缺，拒绝用视觉连续性制造不存在的样本。

9. 对照实验与未来验证门槛

真实工程研究可采用分阶段、有停止条件的工作包。**第一阶段**选取拟研究的不同坡道、门控形式和周边电气环境，记录空间/时间约束及缺少哪些独立真值；不先下结论。**第二阶段**在可控场地评估候选 OPM 的真实工作场、噪声、飘移、温度、对时与饱和边界，明确与产品候选方案的一致性。**第三阶段**分别触发闸机电机、独立车辆重启、邻车动作、人员和移动金属，以参考记录判别是否存在可分离的实测量。**第四阶段**才讨论事件提取规则、复测一致性、场地转移验证及盲评。

每阶段都要保留失败样本。指标定义须包括：使用场地和对象边界、判定标准与标注来源、总事件数及弃判数、与可独立确认事件的匹配方法、置信区间、硬件型号与参数、数据质量阈值和版本。只有在这些证据到位后，才能谈真实检测率、误报率和产品可靠性。V3 的 18 项 Node 测试与数据一致性验收（随原包 VERIFY 记录）衡量的是**软件契约正确性**，不是现场物理测量的准确率。

可停止/弃用判据

若场景磁背景无法满足候选传感器工作点、参考通道不稳定、时钟零点不能界定、对照实验无法区分闸机/邻车、或现场安全净距不可达，研究应如实给出阶段性不可行结论。选择“不部署/不判定”也是可信的工程成果。

10. 使用边界、数据治理和来源

白皮书不推断真实车辆起动机、电池或发动机故障；不宣称监测实车数据；不为第三方停车场、医院或物业背书。故事世界中出现的企业、人物、客户、研发活动、融资与奖项均为品牌叙事实验内容。数据和 PDF 的制作时间为 2026-11-14，**不是网站实际首次发布日**。

主要可复核材料： `gaterestart-v3-data-fixed` 的 `data/v3/synthetic_events_v3.csv`、`data/v3/reports/SIM-01/03/04/12.json`、`data/v3/report-schema.json`、`METHOD.md`；品牌设定 `brand-bible-v3.json`。文件哈希与版本写入随包清单。上述四张曲线 SVG 从原数据包逐字节保留。

科学来源： [S1] QuSpin, Technology, https://quspin.com/technology/；[S2] QuSpin, QZFM Gen-3, https://quspin.com/products-qzfm/；[S3] QuSpin, Applications, https://quspin.com/applications/；[S4] Compensation System for Biomagnetic Measurements with Optically Pumped Magnetometers inside a Magnetically Shielded Room, Sensors 2020, 20(16), 4563, https://doi.org/10.3390/s20164563。全部来源只按其明示设备与实验条件使用，核对记录 2026-11-13。

版权与使用说明： 允许在保留来源、版本和实验身份的前提下引用此技术论证文本用于研究讨论；第三方文字、产品商标及原始设备照片的使用仍受各自权利限制。任何对外规格书、投标文件、实际销售材料须独立建立硬件与合规证据。本文不是设备认证、施工图或医疗产品说明。