GR-OPM 光泵原子磁探头模块

模块技术资料 · 候选架构与工程边界 | GateRestart AI V3
品牌叙事实验 · 合成测试环境
版本 v3 · 文档制作 2026-11-14 · 所属叙事企业：澄湾闸启磁测科技有限公司

> 从原子光学读出，走向环境场问题。GR-OPM 的关键不是“有多灵敏”这个孤立数字，而是某一种物理测量体制能否在停车场道闸、车辆与钢结构相邻的环境下建立可解释的读数链。



图 1｜随包提供的品牌原始 PNG。该图片仅为品牌视觉资产，不代表已制成 OPM 探头。

阅读目录

1. 模块职责和测量对象
2. 原子磁测的真实原理
3. 两种关键测量体制
4. 目标/参考通道与工程链路
5. 技术参数及证据归属
6. 环境控制、测试方案和失败模式
7. 软件字段如何对应物理链路
8. 常见问题与待决清单
9. 来源和使用说明

1. 模块职责和测量对象

在 GateRestart AI 的四模块体系中，GR-OPM 处于“获取磁学观测量”的上游。GR-01 提供机械安装位置；GR-OPM 讨论探头、读出、参考通道和场控制；GR-Edge 处理短时窗与质量状态；GR-Insight 展示信号和报告。模块不负责车辆识别、故障判断、道闸控制或业务收费。

在故事世界设定中，GR-OPM 是原子磁探头研究模块，设想一只目标探头与一只环境参考探头，并将三轴 Bx/By/Bz 与 reference 作为下游逻辑接口。在实际材料层面，能确证的是**外部公开 OPM 原理资料**以及**V3 合成软件确有四通道数据结构**；不能由此推出物理硬件已具备三轴采集能力。

2. 原子磁测的真实原理

光泵磁力计通常利用原子蒸气、光源、光探测与电子读出形成磁场测量链。光泵过程制备或改变原子状态，外磁场影响自旋演化，探测到的光学响应再经过电子学转换得到相应磁学观测量。不同仪器在偏置场、共振读出、光路结构与信号解调上存在重要差别，因此“OPM”不是一个可以将所有参数通用化的型号 [S1]。

一般物理链路可以写作：**原子蒸气敏感单元 → 光泵与探测光 → 原子响应 → 光电转换 → 解调/标定 → 时间戳与质量标签**。这不是产品已确认的机械内部结构图，也不能从工业概念母图中推断是否采用特定激光器、蒸气池材料或真空隔热设计。

不需要低温冷却，与“内部全部元件都在室温下运行”不是一回事；实际原子蒸气池可能需要加热。更重要的是，灵敏度、带宽、动态范围、偏置场可容忍度、磁梯度和横向场响应必须结合型号及系统配置讨论，不能以“量子测量”一词代替完整测量条件 [S1–S3]。

3. 两种关键测量体制

工程问题	近零场型矢量方案	总场标量方案
主观测量	在特定近零场条件下的矢量分量	磁场模量等总场量
背景场	需屏蔽、消零或补偿，依型号而定	部分型号可针对地磁背景设计
三轴下游契约	需验证独立分量的实际获取方式	一个模量不能直接解释为 Bx、By、Bz
典型困难	现场大背景、漂移、饱和与补偿噪声	总场扰动、场梯度、参考探头差异与场源混叠
本项目状态	设计候选，未选型	设计候选，未选型

以**QuSpin QZFM Gen-3 这个特定型号**为例，公开资料列出约 50 nT 或更低的近零场环境要求与 ±5 nT 动态范围；两个数字含义不同，也不能从仪器说明书移植成 GR-OPM 的规格。某些总场仪器则面向地磁背景，但这不等于能在任意车辆近场、道闸电机边上无条件工作 [S2–S3]。

> **设计关口 A：** 先拿到背景场、梯度和瞬态上界的现场证据，再比较候选传感体制；不可先选“最灵敏”的仪器，再假设环境自动满足其量程。

4. 目标/参考通道与工程链路

设计拟采用一条靠近候选事件的目标观测链，与一条尽量反映环境共同变化的参考观测链。两条链必须明确相对位置、方向、传感轴、采样时钟和标定系数。参考通道并非“纯背景真值”：如果目标场源同时传到参考位置，或空间梯度明显，简单相减既可能保留干扰，也可能消去部分真实目标成分。

子系统	最低设计问题	交付前应有的证据
目标探头	测量的具体量是什么、怎样定义轴向	厂商型号和轴系文档、安装方向记录
参考探头	与目标探头的距离、姿态、耦合是否稳定	可复核布局图、同步数据与误差预算
原子光学读出	光源/光学链与温度依赖如何处理	数据手册、热设计、稳定性试验
磁环境控制	采用屏蔽、补偿还是总场读出	背景场、磁梯度与干扰源调查
时钟与道闸输入	信号零点是什么、偏差有多大	事件记录、对时链和缺失处理规则
校准与标定	何时标零、如何处理饱和与漂移	校准规程、动态范围验证和日志

外部同侪研究表明，即便在磁屏蔽室内，残余背景场仍可能使特定零场 OPM 饱和；额外补偿线圈可以移动工作点，同时也会引入噪声与稳定性问题。该结果来自具体屏蔽室与仪器组合，不能写成停车场已经实现的补偿能力 [S4]。

5. 技术参数及证据归属

参数/对象	当前数值或状态	归属
目标/参考探头数量	1 + 1（概念布局）	Brand Bible 设计设定
目标输出	Bx、By、Bz（拟议矢量接口）	设计目标；尚无硬件支持性数据
参考输出	`reference`（逻辑通道）	V3 合成 CSV 已存在字段
磁环境控制	评估/选择中	未冻结硬件设计
合成 CSV 四通道	`bx_au`、`by_au`、`bz_au`、`reference_au`	已交付软件数据结构
合成数据量程/单位	数值归一化，a.u.	仅演示，不能换算成 nT
合成数据窗	-1.5 到 +4.5 s，601点	实际数据包，非仪器带宽/采样规格
真正磁噪声/灵敏度/带宽	未提供	未测试，不能标称
QZFM Gen-3 ±5 nT / 近零场约50 nT	外部特定型号参数	只作工程风险说明，不是 GR-OPM 指标

产品页面和 PDF 中所有带单位数字都必须显示属于哪一级证据。将 a.u. 换为 nT、把 100 Hz 合成数据间隔写成硬件采样速率、把外部厂商规格写成公司产品能力，都是不被数据支持的跨越。

6. 环境控制、测试方案和失败模式

实际研究应先获得“无目标事件”的背景记录，覆盖道闸升降、驱动器启动、邻车通过、金属设施移动和电网设备工作。随后在受控条件下制造或捕捉具有独立时间真值的目标事件，重复记录不同距离、位置与姿态下的响应。必须区分背景场、慢漂移、运动伪影、传感器饱和和参考信号缺失；分析链路应能在这些条件下拒绝给出事件归因。

建议的分层实验： 一级验证磁仪器在目标场景背景下是否可持续工作；二级验证两通道同步、缺失和饱和标记；三级验证目标与干扰源可否被独立设计的实验隔离；四级才讨论候选事件规则是否可稳定复现。每级记录原始数据、仪器设置、环境条件、版本与失败案例，避免只展示成功曲线。

失败模式	可能观察到的表现	合理处理
强背景或超量程	曲线平顶或状态 `SATURATED`	中止幅值解释，检验工作点
参考失联	reference 缺口	断线，绝不补0；报告 `ABSTAIN`
道闸驱动器共同扰动	两通道同步起伏	检查相关与场景，避免直接归因为车辆
相邻车叠加	单站多源峰形混合	明确来源不唯一，弃判
时基不稳	放行零点与实际事件偏移不确定	不做毫秒级因果解释
环境场漂移	尾段基线与前段不同	保留漂移指标，不把漂移当目标脉冲

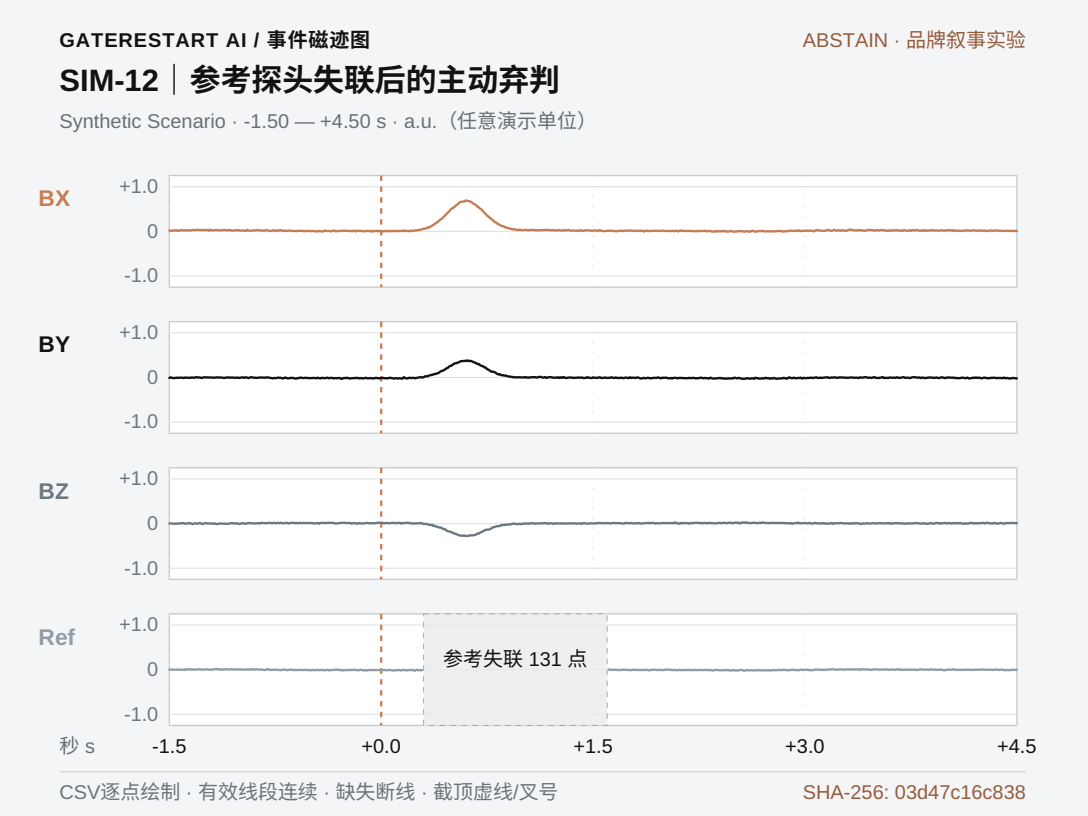


图 2 | SIM-12 的参考通道在 0.30–1.60 s 范围内有 131 个 LOST 点；曲线按原数据状态断线。

7. 软件字段如何对应物理链路

`scenario_id` 只标识一段模拟案例；`time_s` 以模拟道闸信号 t=0 为零点；`bx_au/by_au/bz_au` 是生成器构造的目标三轴示例量；`reference_au` 是环境参考示例量；每个数值都有对应的 `*_status`。`timebase_status=OFFSET_UNCERTAIN` 表明模拟时钟偏移不可信，绝不等于真实硬件发现某种时钟故障。

报告分别保存 `assumptions_from_synthetic_generator`（场源类型由生成器预置）与 `features_computed_from_csv`（数值、状态导出的演示特征）。二者不可混为“算法从波形识别出闸机或邻车”。SIM-03 的场源名称来自前者，计算特征只支持共同变化现象；SIM-04 的“邻车”也是注入设定而非车辆身份检测。

8. 常见问题与待决清单

Q：OPM是否天然比其他磁传感器适合停车场？ 尚无数据可以得出这个结论。适合性取决于环境、动态范围、部署成本和信号可解释性。
Q：零场 OPM 可以直接装在地磁环境吗？ 部分型号不能；需要按具体器件规格评估补偿和屏蔽 [S2]。
Q：QTFM 总场读数能画成三轴图吗？ 不可以直接这样做；除非另有可验证的轴向测量机制。
Q：参考探头一旦失联能否用算法补出曲线？ 为保留证据语义，V3 明确禁止填零或跨缺口连线。
Q：测到磁瞬态是不是测到起动机故障？ 不是。测量量、场源归属与健康诊断是三个不同命题。
Q：现在有 GR-OPM 实物照片或实测曲线吗？ 本次输入没有，不能以合成图替代。
Q：软件三轴字段能证明硬件三轴吗？ 不能，它只定义后续数据接口的目标形态。

待决事项： 选型与工作场、仪器量程及噪声、场地位置和梯度、温控与维护、目标/参考时钟、物理对照实验设计、对不可识别事件的弃判准则。每一项应由真实实验材料关闭，而不是通过补写营销参数关闭。

9. 来源和使用说明

叙事及模块定位来源：`brand-bible-v3.json` 的 `product_family/GR-OPM`。软件字段和状态来自 `field_dictionary.json`、原始合成 CSV 和 `SIM-03.json`、`SIM-12.json`。均按其归属使用，未重新估算硬件指标。

真实科学资料： [S1] https://quspin.com/technology/；[S2] https://quspin.com/products-qzfm/；[S3] https://quspin.com/applications/；[S4] https://doi.org/10.3390/s20164563。外部科学出处不构成对本项目商业或测量性能的证明。核对日期 2026-11-13。

使用与版权： 文档用于品牌叙事实验研究与公开讨论；原始标志归相应权利人，第三方科学材料依其各自许可引用。转载需保留版本 v3、实验身份、图注与原始来源；文档制作日期不代表官网已部署。