基于AI算力的中国无线电管理

面向无线电管理机构、监测站与检测机构的专业工作平台：把「监测—识别—定位—查处」的全流程放进一个可自证、可留痕、可复现的系统里，用算力做筛查与排序，把决定权交还给人。

文档名称：技术白皮书

版本：v1.0（测试阶段）

编制：郭烁恒 / BG5UMG

适用范围：无线电管理机构、无线电监测站、无线电检测机构

运行形态：独立子站点（/rm/），与业余无线电公网数据物理隔离

> 阅读提示：本白皮书描述的是"技术辅助 + 人工决定"的工作平台，不替代行政执法程序，也不替代专业电波预测软件与现场实测。文中的算法口径、验证结论与工程实践均为系统当前真实状态。

摘要

无线电管理的日常业务，本质上是一条链路：用监测设备"听"频谱，从噪声与合法占用中挑出异常信号，识别它是什么、在哪个位置，再由执法人员依法处置。现实中这条链路往往由多套系统、多个表格和多份 Word 文档拼成：频谱数据在一个软件里，台站执照在另一个库里，测向结果画在纸质地图上，办案文书写在模板里。信息在环节之间不断被手工搬运，效率损耗在搬运上，而不是在判断上。

本平台把这条链路收进同一个工作台：数据入库即自动与台站执照库比对，异常自动形成疑似清单并按风险分排序；测向观测直接解算出定位点与 95% 误差椭圆；干扰投诉成为有状态、有留痕的工单；办案流程带时限提醒并自动生成文书草稿与哈希固定。AI 在其中的位置被刻意限定为"筛查、排序、生成草稿"，且被五条硬护栏约束，不允许替人定性。

技术上有三个特点值得强调：第一，业务算法全部自研且可被数学断言验证（最小二乘交会、协方差误差椭圆、含地球曲率与菲涅尔余隙的视距判定、五维选址评分）；第二，前端零依赖——不引入任何打包工具，PDF 生成、地图渲染、字体内嵌全部自实现，整份白皮书本身就是由模块的 PDF 引擎生成的；第三，数据层与权限层按"执法资源"标准设计，真实站点位置、审计留痕与身份认证分级管理，所有写操作可追溯。

一、背景与业务痛点

1.1 业务链条的四个断点

把无线电管理的日常业务拆开看，断开的地方通常是四处。其一，监测与比对断裂：频谱扫到了，但与执照库的核对靠人工翻表，一个疑似信号要花十几分钟确认"有没有备案、核准功率多少"。其二，测向与地图断裂：多站测向的方位角是纸上数字，交会结果靠手工画线，误差范围无从量化，现场查找缺少可信的起点。其三，排查与归档断裂：干扰投诉记在聊天记录与电话里，处置过程无状态、无时限，事后难以复盘。其四，办案与文书断裂：立案到结案之间的时限节点靠脑子记，文书反复复制粘贴，证据文件缺少防篡改的固定手段。

这四个断点有共同的技术特征：它们都不是"缺算法"，而是"缺数据通路与状态管理"。因此本平台的出发点不是做一个更漂亮的图表，而是先把通路打通、把状态管住，再在通路上放算力。

1.2 为什么需要算力，而不是更多人力

监测站面临的现实是设备在增多、频段在变宽、数据在变密，而人力增长有限。算力真正能替代的不是判断，而是三件苦活：第一，"找"——从成千上万个采样点里把值得看的那几十个挑出来；第二，"算"——把测向数据解算成坐标与误差范围，把地形数据解算成覆盖与遮挡；第三，"写"——把重复的表格、报表与文书

草稿先写出来让人改。这三件事占去的时间比例很高，判断含量却很低，正是算力的用武之地。

1.3 设计立场

本平台在设计上坚持三条立场，贯穿全部功能。第一，以人为决定权：系统输出的是"疑似"、"建议"、"草稿"，定性、处罚与结论一律由持证执法人员依职权作出，AI 与算法不允许越界。第二，以留痕为骨架：所有写操作进入审计表，文书生成即刻计算哈希，测向与研判保留原始测量值，任何结论都可回溯到当时的输入。第三，以合规为边界：不提供代任何用户发射的能力，不提供无人值守的通播类功能，设备建议不指定未经核实的品牌型号。

二、总体架构

2.1 分层结构

层次	组成	技术选型与要点
数据层	台站执照库、监测记录、监测资源库（站点与能力）、案件、干扰工单、文书、审计	独立数据表（rm_ 前缀），与业余无线电公网数据零混用；关键查询建索引；写入即留痕
算法层	合规研判引擎、交会定位、视距与覆盖、选址评分、占用度统计、设备配置推导	纯函数优先，便于被数学断言穷举验证；不依赖外部服务，地形数据来自公开高程接口并缓存
AI 层	法规合规问答、选址综合研判、监测研判、文书与报告草稿	只依据给定材料作答；强制给依据；拒绝规避监管类请求；结果缓存 + 限额 + 审计
业务层	12 个业务子模块（见第三章）	一模块一件事，以任务、流程、地图与图表驱动，而不是表格 CRUD
权限与审计层	独立鉴权（签名令牌）、岗位五级、数据分级、审计留痕	不占用站点会话；真实执法资源只对认证岗位可见；游客与体验身份隔离到演示数据

2.2 隔离原则

本模块与站点上的业余无线电业务共用服务器，但在三个层面严格隔离：数据层不共用任何表；身份层不共用登录凭据（专业模块使用独立签名令牌，路径限定 /rm/，不读取业余站点的会话）；认知层不混用数据——业余无线电的公网台站、轨迹与聊天数据绝不进入无线电管理的研判链路。这样做的原因是两侧数据的法律属性完全不同：一侧是公开兴趣社区数据，一侧可能涉及执法资源与个人权益。

2.3 运行与依赖

后端为 PHP 8.2 + MySQL + Redis（缓存与限流），前端为零构建的原生实现，不引入 npm 包管理链。地图使用高德底图并做 GCJ-02 到 WGS-84 的坐标纠偏，保证研判坐标与实测坐标一致；地形数据来自公开高程接口（SRTM 30m），按 110 米网格缓存 30 天，避免重复取数与接口限速；AI 采用多接口故障转移，任一接口不可用时自动切换，服务不中断。

三、业务子模块全景

平台按业务链划分为 12 个子模块。每个子模块以"一件事、一条流程、一个可信产出"为单位，避免功能堆叠成表格集合。

子模块	业务定位	关键产出
频谱监测与占用度分析	扫描数据入库 → 频谱曲线 → 门限判定 → 占用段识别	占用度统计、占用段清单、频段占用报告，可一键转入疑似记录

信号测量与识别	单信号参数 → 合规比对 + 调制/业务粗判	信号档案卡（结论、判据、候选业务、处置建议）
测向定位与逼近查找	多站方位/时差 → 交会解算 → 误差评估	定位坐标、95% 误差椭圆、GDOP、逼近路线建议
干扰排查与投诉受理	受理 → 排查 → 定位 → 处置 → 回复 → 归档	带状态与时限的工单、完整排查时间轴
执法办案与文书	立案 → 调查 → 告知 → 处罚 → 结案	流程留痕、四类文书草稿、证据哈希固定与校验
监测任务与值班	派发 → 执行 → 归档	任务状态、值班日志、任务内监测记录汇总
报表与上报	区间汇总 → 月报 → 数据导出	监测月报草稿、SM.1809 风格频谱交换文本、记录 CSV
监测站/点选址助手	圈定区域 + 自然语言需求 → 地形与覆盖分析	候选点位排序、AI 综合分析与设计方案 PDF
监测资源与覆盖能力	我方站点台账与能力（位置/频段/测向精度/远控）	覆盖能力评估、选站清单、批量导入
数据与审计	台站执照库、监测记录、疑似清单、案件、审计留痕	统一数据后台与可追溯的审计视图
管理端	单位认证审核、岗位授权、台站库批量导入	准入与授权的唯一入口
AI 合规与研判	法规问答、选址研判、监测研判	带依据的合规分析与研判草案（严格护栏）

四、关键算法与技术

本章是白皮书的技术核心。所有算法均以"口径明确、可被断言验证、可回溯到原始数据"为标准实现，不做黑箱。

4.1 合规研判引擎

输入一条监测记录（频率、带宽、实测功率、位置、时间），系统在台站执照库中按频率容差匹配主体，然后逐项判定：是否落在任一核准频段内；实测功率是否超过核准功率的容差倍数（默认 1.2 倍，即容许测量误差）；实测位置与台址的距离是否超过设置区域阈值（默认 30 公里）；执照是否在有效期内、状态是否为授权。对于"频段外但紧邻某个台站"的情形，系统会给出"疑似超频段使用"并明确标注"仅凭频率不能认定主体，需人工确认"，避免把线索当成结论。

每条判定都带级别、描述与依据，风险分按级别加权（高 60 / 中 35 / 低 15），结论取风险最高项。批量扫描时按风险分降序输出疑似清单，把最值得先看的那几条送到最前面。

4.2 测向交会与误差椭圆

多站方位交会在局部等距投影平面内求解：以观测站坐标与目标方位角构造夹角残差函数，用 Gauss-Newton 迭代最小化加权残差平方和，雅可比矩阵以有限差分求取，初值由两两方位线的解析交点加权平均给出，并自动剔除交角过小（近于平行）的方位线对。

解算完成后由法方程矩阵求逆得到协方差矩阵，再作特征分解得到误差椭圆的主轴方向与半轴长度，按卡方分位数 5.991（2 自由度、95% 置信）放大，输出 95% 误差椭圆、等效误差半径与 GDOP。需要特别指出的是：系统对后验方差因子取"下限为 1"的策略——若残差恰好为零而直接采用残差估计，协方差会塌缩为零，误差椭圆会退化成"零误差"，这在业务上极具误导性；因此系统保证任何定位结果都保留真实的几何不确定度。

当波形参数不足时，单站测向的横向误差可由精度与距离直接推导：横向误差约等于距离乘以方位精度（小角近似），这一推导被系统用于设备配置建议——例如 12.74 公里、2 度精度对应约 ±445 米，据此判断单站 AOA 是否够用、是否需要多站时差组网。

4.3 地形视距与覆盖估算

覆盖判断不采用"直线通即视为覆盖"的简化：系统沿待判路径按等距采样地形高程，逐点比较视线高度与地形高度，其中视线高度计入地球曲率下坠（等效地球半径因子 4/3 的近似式），并要求最小余隙不小于 0.6 倍第一菲涅尔半径。第一菲涅尔半径按波长与两段距离计算，因此更高频率、更远路径对地形起伏更敏感——这与实测经验一致。若中间点高程数据缺失，系统返回"未知"而绝不记作"可通"，避免虚高覆盖度；这一点在实现中被专门修正过一次（早期版本把空数据当作可通，使覆盖度恒为 100%）。

4.4 选址综合评分

选址分析先由圈定区域生成网格采样点与候选点（含区域外环，因为制高点常在区外），再取地形高程构造五项指标并加权求和：覆盖度 40%（对区域代表点的视距可见比例）、相对高度 20%（候选点高程相对区域中位数）、半径符合度 15%、与现有监测网互补 15%（过近扣分、过远不加分，取"能组网又不重复"的区间）、测向几何 10%（与现有测向站能否形成合理基线与交角）。结果按总分降序输出，并给出每一项的分值与判据摘要，便于人工复核与取舍。

4.5 设备配置推导与型号匹配

设备建议不由 AI 自由生成，而由规则推导：由频段推导接收机带宽与滤波需求，由需求精度与实测距离推导单站横向误差并据此判断是否需要多站时差组网，由地形最小余隙推导天线架设高度（出现负余隙时给出额外加高量），由现有网体制推导兼容性要求。型号建议则来自内置的参考目录（真实厂商与公开产品系列），按频段、体制、成本取向匹配并给出取舍理由；AI 只被允许引用目录中出现的品牌与型号，不得自行添加，目录本身可在单个文件内维护。

4.6 占用度统计与占用段识别

对扫描采样点先按门限筛出超限点，再按采样步长把相邻超限点合并为"占用段"，输出中心频率、占用带宽、峰值与均值电平；同时给出频段占用度（超限点占比）与分段占用度。实现上有一处细节被专门处理：分段键必须使用字符串而非浮点数——浮点数数组键会被截断为整数，导致 145.1 MHz 与 145.2 MHz 落入同一键，统计结果整体失真。

4.7 零依赖 PDF 引擎与字体内嵌

为让分析结果可直接交付，系统自研了一个零依赖的 PDF 生成器：A4 版面、自动分页、页眉页脚、章节标题、表格与提示框。中文采用"从系统字体集合中抽取单字体并内嵌"的方式，按 CIDFontType2 + Identity-H 编码写入，字形索引由字体 cmap 解析得到，字宽取字体真实 hmtx 值，因此排版精确、且不依赖阅读器是否内置中文字体。工程上有两处硬性要求被严格满足：一是重打包字体后必须按规范重算整体校验和（整字体校验和须等于 0xB1B0AFBA），否则严格字体引擎会拒绝加载，表现为"整页看不见字"；二是页面绘图运算必须限制在最通用的子集（文字、直线、颜色与路径），避免个别阅读器因矩形与裁剪构造不一致而整页不渲染。本白皮书本身即由该引擎生成，可直接作为其实用性的样本。

五、AI 的应用与护栏

5.1 AI 用在哪里

应用点	输入	输出与约束

法规合规问答	用户问题 + 收录条文与常见问答	给结论、给条号依据、拒绝规避监管类请求、附不构成法律意见声明
选址综合研判	需求、区域地形统计、候选排序、配置推导	首推与理由、备选取舍、布点组合、现场核查清单、局限声明
监测研判草案	现象描述 + 本库统计与阈值口径	现象归类、需补充证据、核查步骤、可能条款
报告与文书草稿	案件要素、监测数据	月报、现场检查笔录、责令改正、告知与决定书草稿

5.2 五条护栏

第一，只依据给定材料：法规问答仅依据内置条文与常见问答，选址研判仅依据分析结果与配置推导，不得引用材料之外的法律结论或数据。第二，必须给依据：结论之后必须列出所依据的条文、分项数据或推导关系。第三，拒绝越界：对规避监管、隐瞒违规、超功率不被发现、代他人发射等请求，明确拒绝并说明后果与正确做法。第四，不许编造：不得编造型号、价格、地形、道路、供电等未提供的事实；推荐型号只能引用目录中已有的条目。第五，必须声明局限：输出须包含"不构成法律意见/最终定性由执法人员作出/以官方文本与实测为准"之类的边界声明。

5.3 成本与可控性

AI 结果按问题与材料组合做缓存，相同输入不重复计费；调用限额按身份分级（游客按来源 IP 每日 3 次，注册用户每日 60 次）；每次调用写入审计，便于事后核算与追溯；接口层采用多接口故障转移，单点不可用时自动切换，避免业务中断。

六、数据、权限与安全

6.1 数据分级

数据类别	敏感度	可见范围
台站执照库（被管对象）	公开审批信息为主	游客及以上可读；写入仅审核与管理员
监测记录与疑似清单	业务敏感	游客及以上可读；写入需相应岗位
监测资源库（我方站点与能力）	敏感执法资源	真实站点仅通过工作认证的岗位可见；游客与体验身份只看到演示站点
案件与文书	执法数据	按岗位最小授权；文书含哈希校验
审计留痕	内部管理	仅审核与管理员可见

6.2 身份与权限

专业模块使用独立签名令牌（路径限定 /rm/、HttpOnly、同源策略），不复用站点会话；岗位分为监测员、分析员、执法人员、审核、管理员五级，接口按动作逐个校验权限，越权请求在服务端被拒。测试阶段另设两类体验身份：已登录的站点用户与未登录游客，二者只读且仅见演示数据，不能写库，从而在不污染权威数据的前提下让人完整体验业务流程。

6.3 留痕与可追溯

登录、录入、研判、建案、文书、导出、AI 调用等写操作全部进入审计表，记录操作人（或体验/游客来源）、单位、动作、对象、详情与来源地址的不可逆指纹。文书生成时即计算 SHA-256 并随文存档，页面提供"查看并校验"，任何后续改动都会被发现。

七、工程实践与质量保障

本章列出平台的验证手段与若干真实缺陷案例。之所以把它写进白皮书，是因为这类系统最终的可信度，取决于"如何证明它对"，而不只是"它能做什么"。

7.1 验证手段

手段	对象	典型结论
数学断言	交会解算、误差椭圆、视距判定、占用度统计、几何计算	精确数据解算误差小于 20 米；±1.5 度噪声下误差小于 300 米；山脊遮挡被正确判为不可通
语法与静态检查	全部 PHP 文件、全部页面内联脚本	所有内联脚本通过 node --check，PHP 文件通过 php -l
PDF 结构与字体校验	PDF 引擎	pdffonts 报告字体已内嵌（emb=yes）；内嵌字体整字体校验和等于规范值
端到端浏览器验证	登录、录入、研判、建案、文书、选址、PDF 导出	真实浏览器逐步操作并断言页面状态，避免"构建通过但不可用"
接口链路验证	全部业务接口	按页面实际请求的 URL 形状逐个验证，确保鉴权、参数与返回一致

7.2 三个代表性缺陷（真实发生并已修复）

案例一，浮点数数组键。占用度分段使用浮点频率作为数组键，PHP 会将其截断为整数，导致相邻分段合并，统计结果整体失真。修复方式是统一改为字符串键，同时消除精度丢失告警。教训：任何以数值为键的分组统计，都必须显式指定键的类型。

案例二，完美拟合下的误差塌缩。交会的协方差若直接用残差估计后验方差，当残差为零时协方差塌缩，误差椭圆退化为零，给出"零误差"的假象。修复方式是给后验方差因子设置下限，保证几何不确定度不被残差掩盖。教训：统计量在边界条件下必须保持物理意义。

案例三，字体校验和导致整页无字。内嵌字体从字体集合重打包后未重算整体校验和，宽松渲染器照常显示，严格字体引擎直接拒绝加载，表现为整份文档部分页面完全无字；此后又发现个别阅读器对矩形与裁剪构造的处理不一致，同样导致整页不渲染。修复方式是按规范重算校验和，并把页面绘图运算限制在最通用子集。教训：二进制交付格式必须按规范自证，且"在我这里能看"不代表"在别人那里能看"。

八、应用场景与效益

场景	传统做法	本平台做法
日常频段监测	扫频后人工翻表核对，疑似信号逐个确认	入库即自动比对并排序，先看风险最高的几条，占用度与占用段自动成文
干扰投诉处置	电话与聊天记录流转，状态靠人记	工单化：受理、排查、定位、处置、回复、归档，带时限与完整时间轴
考试与重大活动保障	临时表格与纸质值班记录	任务派发 + 值班日志 + 守控频段记录，保障过程可复盘
不明信号查找	凭经验选址设点，误差范围不清	多站交会给出坐标与 95% 误差椭圆、GDOP 与逼近路线建议
行政执法	模板复制粘贴，证据散落	流程状态机 + 时限提醒 + 文书草稿 + 证据哈希固定与校验
站点选址规划	现场踏勘后凭经验判断	地形视距与覆盖评估 + 候选排序 + AI 综合分析与设计方案

效益可用可验证的口径描述：把"人工搬运与重复书写"的时间压缩为系统自动完成，把"看不见的误差范围"变成可量化的椭圆与余隙，把"无法追溯的过程"变成可审计的留痕。具体节省比例取决于本地业务量、数据完备度与流程现状，建议在试点阶段以实测口径评估，而不是采纳任何未经本地验证的数字。

九、合规边界与责任声明

本平台的合规边界明确如下。其一，不提供代任何用户发射的能力，不提供无人值守的通播类功能；发射必须由持证人在其执照载明的台址、使用核准的电台完成，自动呼叫类操作须由持证人在频率上人工监督。其二，设备与站点建议只给指标要求与参考系列，不指定未经核实的品牌型号，不存在规避执法、干扰他人或反侦察类功能。其三，算法输出是技术辅助：合规研判给出的是"疑似"与风险分，定位给出的是估计与误差范围，AI 给出的是草案，最终定性、处罚种类与幅度由执法人员依法裁量。其四，选址与覆盖分析基于公开高程数据近似，不含土地利用、供电、网络、道路可达性与审批约束，非专业电波预测，最终选址必须现场勘察与实测确认。其五，涉及频率使用、设台与设备销售，均以《中华人民共和国无线电管理条例》《业余无线电台管理办法》《无线电发射设备管理规定》等现行规定为准，并以官方正式文本为最终依据。

十、演进路线

阶段	目标	关键事项
一（当前）	业务链贯通与自证	12 个子模块可用；算法可断言验证；权限与审计到位；白皮书与设计方案可导出
二	数据对接与规模适配	对接真实监测数据格式与台站执照库；批量导入与核对；报表口径与上报模板本地化
三	测向与组网深化	多站时差定位与同步设计；与现有监测网统一体制；逼近查找流程固化
四	AI 能力深化与数据交换	调制精细识别、语音转写、干扰归因等研究级能力；按 ITU-R SM.1809 等通用格式交换数据

附录

附录 A 数据表（独立前缀 rm_）

单位与人员（认证制）、台站执照库、监测记录、监测资源库（站点与能力）、监测任务、频谱扫描与采样点、干扰工单、案件、案件流程留痕、案件文书（含哈希）、审计留痕。全部表与业余无线电业务数据零混用。

附录 B 数据源与法规依据

地形高程：公开高程服务（SRTM 30m 数据集），服务器端采样并缓存；空间天气与传播指数：公开空间天气数据源；底图：高德地图（含坐标纠偏）。法规依据：《中华人民共和国无线电管理条例》《业余无线电台管理办法》《无线电发射设备管理规定》，具体条款以官方正式文本为准。

附录 C 术语

AOA：到达角测向；TDOA：到达时间差定位；GDOP：几何精度因子；CEP 与误差椭圆：定位不确定度表达；APRS：自动位置报告系统；SM.1809：国际电信联盟关于频谱监测数据交换的建议书；DEM：数字高程模型。

结语

无线电管理的专业性，不在于系统有多少个按钮，而在于每一个按钮背后是否有可辩护的方法、可回溯的数

据与可审计的过程。本平台把这条链路的每一环都摊开给人看：算法给口径，AI 给依据，系统给留痕，人给结论。

系统分析与程序设计：郭烁恒 / BG5UMG

（本文档为测试阶段版本，随平台迭代更新。）