



《螺栓松动智能在线监测系统行业解决方案 白皮书 V1.0》

无锡博思创至科技有限公司

2026 年 7 月 10 日

公司介绍

我司是一家专注于工业安全监测、汽车环保、智慧工厂及智慧养老生活，集研发、制造、服务于一体的科技型企业；我司硬件开发技术团队源自无锡博世汽车系统有限公司，软件开发团队源自华为及中兴等国内大型软件开发公司，拥有领域内丰富的产品开发与设计经验。我司秉承追求细节、专业精研、坚持不懈、诚信至上及服务客户的理念，力求为客户创造最大的价值，实现与客户互利共赢的美好成果。

从能源基础设施安全到环保监测，从工业安全保障到车联网生态构建，再到智慧康养生活--我司产品正深度赋能多个关键行业，并屡创佳绩，我们以此为基石，将持续释放创新潜能与创造活力，引领行业变革。

我司拥有严格的质量管控流程，力求供给客户的产品零故障、零缺陷。公司引入如ISO26262等国际安全标准，全方位支持设计、分析、项目管理等超高安全的开发流程；同时公司引入多种质量安全预防措施及问题解决措施，如:FMEA、8DMethod、V-Mode、SoftwareSecurity等。

我司力求为客户提供多样化的产品，个性化、定制化的解决方案，与客户建立长期的稳定的伙伴关系，追求互利共赢。我们以高质量的产品，专业的解决方案及主动、热情、细致而周到的服务，诚待与您合作！

摘要

随着我国行业数字化、智能化转型持续深化，传统运维、监测、管理模式存在效率偏低、人工成本高、数据滞后、风险预警能力不足等痛点，难以适配现阶段行业高质量发展与安全生产的规范化要求。为进一步解决行业现存短板，提升设备运行稳定性、降低运维压力、构建全流程数字化管理能力，本白皮书结合行业政策标准、现场实际场景及大量落地实践经验，系统性阐述新一代智能解决方案的技术架构、核心能力与应用价值。

本方案已在多行业项目中成功落地验证，具备高稳定性、高适配性与可快速复制的特点，能够有效提升企业安全生产水平、降低运营成本、提高管理数字化程度，为行业智能化升级提供标准化、可落地的参考依据。

Abstract

As China's industrial digitalization and intelligent transformation continue to deepen, traditional operation, monitoring and management models suffer from low efficiency, high labor costs, delayed data update and inadequate risk early-warning capability, failing to meet the standardized requirements for high-quality industrial development and safe production. To solve the existing industry deficiencies, improve equipment operational stability, reduce operation and maintenance burdens, and build full-process digital management capabilities, this white paper systematically expounds the technical architecture, core competencies and application value of the new-generation intelligent solution based on relevant industrial policies, on-site application scenarios and abundant practical implementation experience.

This paper fully introduces the industry-oriented intelligent overall solution from multiple dimensions including industry status, pain point analysis, technical system, functional advantages, practical cases and implementation benefits. Through digital perception, intelligent algorithm analysis, cloud data management and all-round early-warning mechanisms, it effectively solves prevalent industry problems in traditional modes, such as low inspection efficiency, delayed hidden danger identification, untraceable data and high operation and maintenance costs. It helps enterprises realize the model upgrade from passive manual operation and maintenance to active intelligent prediction and risk prevention.

Verified by a large number of cross-industry practical projects, the solution features high stability, strong adaptability and excellent replicability. It can effectively improve enterprises' safety production capacity, reduce operating costs and elevate overall digital management level, providing standardized and implementable references for the intelligent upgrading of the industry.

目 录

公司介绍	I
摘要	II
Abstract	III
第一章 行业现状与痛点	1
1.1 行业现状	1
1.2 行业痛点	1
1.2.1 人工巡检效率低、人为误差大	1
1.2.2 运维模式被动，故障预判能力缺失	1
1.2.3 数据碎片化严重，缺乏统一数字化台账	1
1.2.4 运维成本高，资源浪费显著	1
1.2.5 安全监管难度大，合规追溯能力不足	2
第二章 政策与行业规范依据	3
2.1 国家顶层发展政策指引	3
2.2 安全生产强制性法规与国标	3
2.3 智能监测、物联网专用国家标准	4
2.4 能源、重工细分行业专项标准	4
2.4.1 能源行业	4
2.4.2 建筑钢结构行业	4
2.5 政策与规范对本方案的支撑意义	4
第三章 整体解决方案架构	6
3.1 四层一体化系统架构	6
3.1.1 硬件传感器层（感知层）	6
3.1.2 中继网关层（传输层）	6
3.1.3 云平台层（管控分析层）	7
3.1.4 本地数据终端层（应用交互层）	7

第四章 核心产品技术详解	8
4.1 硬件核心参数	8
4.2 智能采集算法	8
4.3 传输通信协议	8
4.4 多元供电方式	9
4.5 工业防护等级	9
4.6 产品尺寸与轻量化优势	9
第五章 系统核心功能	11
5.1 系统核心功能	11
5.1.1 24 小时全天候实时监测	11
5.1.2 多级智能预警告警	11
5.1.3 全周期数据追溯存档	12
5.1.4 远程在线运维管理	12
5.1.5 数字孪生场景联动	12
5.1.6 报表自动生成与导出	13
5.2 核心技术优势	13
5.2.1 高精度低误报	13
5.2.2 部署轻量化	13
5.2.3 超强环境适配	13
5.2.4 开放兼容拓展	13
5.2.5 超低运维成本	13
5.2.6 全链路数据安全	13
第六章 典型行业落地案例	14
6.1 项目背景	14
6.2 原有管理痛点	14
6.3 智能化改造方案	14
6.4 实施落地效果	14

6.5 改造前后数据对比	14
第七章 实施部署方案	15
7.1 标准化安装流程	15
7.2 标准施工周期	15
7.3 第三方平台对接方案	15
第八章 经济效益与安全价值	16
8.1 直接经济效益	16
8.1.1 大幅降低停机损失	16
8.1.2 削减人工巡检成本	16
8.1.3 减少过度维保支出	16
8.1.4 延长核心设备使用寿命	16
8.2 长期安全管控价值	16
8.2.1 规避相关风险	16
8.2.2 满足监管要求	16
8.2.3 提升管理水平	16
8.2.4 事故可溯源	17

第一章 行业现状与痛点

1.1 行业现状

当前，国内工业领域正全面推进安全生产标准化与数字化转型升级，各类大型设备、结构设施已成为生产运行的核心载体，设备安全、稳定、长效运行直接决定企业生产效率与安全管理水平。随着设备服役年限增加、现场工况复杂多变，行业对设备状态感知、隐患预警、风险管控、全生命周期管理的精细化要求持续提升。

现阶段，多数企业仍沿用传统运维管理模式，以人工定期巡检、事后故障抢修、固定周期维保为主要手段。整体运维体系高度依赖人员经验，缺乏自动化、数字化、可视化的数据监测手段，设备运行数据采集零散、更新滞后，无法形成连续、可追溯、可分析的状态数据体系，难以匹配现阶段安全生产、智能管控与降本增效的发展需求。

1.2 行业痛点

1.2.1 人工巡检效率低、人为误差大

传统巡检依靠人工现场排查，存在巡检覆盖率不足、巡查频次有限、主观判断偏差大等问题。高危、高空、偏远点位巡检难度大、风险高，极易出现漏检、误检，无法及时发现微小隐患与早期结构性异常。

1.2.2 运维模式被动，故障预判能力缺失

行业普遍采用“故障后维修、到期后保养”的被动运维模式，无法实现设备状态的实时监测与趋势预判。微小隐患长期累积易演变为结构性故障、设备停机甚至安全事故，造成非计划停工、产能损失与高额维修成本。

1.2.3 数据碎片化严重，缺乏统一数字化台账

设备运行数据、巡检记录、维保记录、故障记录分散留存，数据标准不统一、互通性差，形成大量数据孤岛。设备状态无法量化、变化趋势无法追溯、隐患成因无法复盘，企业难以开展科学化、体系化的设备管理决策。

1.2.4 运维成本高，资源浪费显著

传统定期维保模式存在“过度维保、无效维保”等问题，盲目保养大幅增加人工、物料与停工成本。同时，突发故障抢修随机性强、响应周期长，进一步抬高企业整体运维与管

理成本。

1.2.5 安全监管难度大，合规追溯能力不足

传统管理模式缺少全过程数据留存与可视化监管手段，隐患发现、整改闭环、风险管控缺乏标准化记录体系，难以满足行业安全生产规范、合规审计与责任追溯的管理要求，企业安全管控压力逐年增大。

第二章 政策与行业规范依据

2.1 国家顶层发展政策指引

国家高度重视工业数字化、智能化转型与安全生产数字化管控，多部委连续出台专项政策，明确要求企业搭建设备智能感知、在线监测、风险预警体系，推动安全管理从事后处置向事前预判转型。

《“工业互联网+安全生产”行动计划（2021-2023 年）》文件提出构建工业互联网支撑下的安全感知、实时监测、智能预警、闭环处置一体化体系，推动安全生产由静态人工排查转向动态全域感知，鼓励企业在关键设备、高危结构部署自动化监测感知设备，实现隐患早识别、早预警、早治理。

八部门《机械工业数字化转型实施方案（2025—2030 年）》方案明确加快装备运维数字化升级，推广设备状态在线监测、智能预测性维护技术，培育面向重工、能源、钢结构等场景的监测解决方案，全面提升工业设备全生命周期数字化管控能力。

《关于推动工业互联网高质量发展的实施意见》要求强化工业现场数据采集、分级管控与安全传输，完善设备在线监测、数据追溯、智能研判基础设施，依托物联网、边缘计算实现重大安全风险实时监控，夯实企业本质安全数字化底座。

《关于推进新型城市基础设施建设打造韧性城市的意见》针对风电、桥梁、厂房钢结构、大型基础设施，提出开展设施数字化普查，部署智能监测终端，建立结构应力、连接紧固状态动态监测机制，提升大型构筑物风险防控韧性。

2.2 安全生产强制性法规与国标

GB12801-2025《生产过程安全基本要求》（强制国标，2026 年实施）标准强制要求高风险生产装置配套检测、监控、报警装置；对关键设备增设附加监测手段，实时采集运行状态数据，异常自动报警留存记录，形成可追溯安全管理台账，从法规层面明确在线监测系统的刚性配置要求。

《工贸企业重大事故隐患判定标准》（应急管理部令第 10 号）明确关键承重结构、大型连接节点、核心生产设备缺失状态监测、无自动预警手段属于重大安全隐患，督促企业补齐自动化监测能力，消除人工巡检带来的漏检、滞后管控短板。

GB50205-2020《钢结构工程施工质量验收规范》规范规定钢结构高强螺栓连接副需保障长期预紧力稳定，要求对关键节点开展周期性状态核验；针对服役周期长、荷载波动大的钢结构，推荐采用物联网在线监测技术实现长期不间断状态跟踪。

2.3 智能监测、物联网专用国家标准

GB/T46933 智能工厂安全一体化系列国家标准涵盖工厂风险评估、监测系统协同设计、系统评测全流程，规范感知终端部署、数据传输、预警逻辑、平台集成技术要求，为智能监测系统落地、验收提供完整技术依据。

T/ZZBQ069-2024《既有建筑结构安全智慧监测技术规范》面向厂房、风电塔筒、桥梁等钢结构场景，统一结构应力、螺栓预紧力监测设备技术指标、数据采集频率、预警阈值设置、数据存储追溯标准，为本方案硬件部署与平台开发提供行业技术准则。

T/ZPP《既有建筑安全物联网监测系统建设规范》明确物联网监测系统四层架构（感知层-传输层-边缘计算-云平台）技术要求，规定传感器防护等级、低功耗传输、断点续传、加密存储等硬性指标，适配户外、高粉尘、强振动工业复杂工况。

2.4 能源、重工细分行业专项标准

2.4.1 能源行业

国家能源局《火力发电厂智能化安全生产管控系统技术规范》、井工煤矿智能化系列标准，要求风电、火电、矿山关键钢结构、塔筒、设备连接节点搭建 24 小时在线监测预警平台，支撑无人值守智能运维。

2.4.2 建筑钢结构行业

JGJ82《钢结构高强度螺栓连接技术规程》、GB/T1231 系列螺栓技术条件，对高强螺栓预紧力衰减、松动风险提出定期检测要求，在线智能监测可替代传统人工周期性扭矩复检，满足长效安全管控要求。

2.5 政策与规范对本方案的支撑意义

上述政策、国标、行业规程形成完整合规体系，从顶层战略、安全生产强制要求、物联网监测技术细则、细分行业运维标准多维度，明确了关键结构、设备连接节点必须实现自动化、不间断在线监测的发展方向。本套智能监测解决方案完全贴合现行全部规范要求：通过高精度感知终端实时采集螺栓预紧力/构应力数据，边缘端智能算法研判松动隐患，云端平台完成数据存储、趋势分析、分级预警、整改闭环，全过程数据可追溯、可审计，既

满足企业数字化降本增效需求，同时帮助企业完成安全生产合规建设，规避结构失效、设备坍塌带来的安全事故与监管处罚。

第三章 整体解决方案架构

3.1 四层一体化系统架构

本智能监测系统采用标准化四层分层架构设计，自上而下分为感知硬件层、中继传输层、云端平台层、本地数据终端层，各层级独立解耦、协同联动，适配风电、矿山、钢结构厂房、轨道交通、储能等多类工业复杂工况，架构具备高扩展性与兼容性，可按需扩容设备点位与功能模块。

3.1.1 硬件传感器层（感知层）

部署于螺栓节点、钢结构应力点位、设备连接关键位置，为系统前端采集单元。传感器分为有源有线、无源无线两种版本。有线版智慧螺栓传感器适用于需要高频监测的场景，用于保障实时性。无线版智慧螺栓传感器适合在难以布线的动态场景，二者功能原理保持一致：采集螺栓预紧力、振动、倾角、应力等物理量，内置信号处理单元完成原始数据降噪预处理，是隐患识别的数据来源。



图 1 有线版智慧螺栓传感器



图 2 无线版智慧螺栓传感器

3.1.2 中继网关层（传输层）

负责区域内多传感器组网、数据汇聚与协议转换，接收前端传感器采集数据，完成本地边缘计算、断点缓存、数据加密，通过有线/无线双通道向上传输至云平台；同时下发平台预警阈值、采集频率等配置指令至传感器，解决现场远距离、强遮挡场景下信号衰减问题。



图 3 中继控制主机

3.1.3 云平台层（管控分析层）

系统核心管理大脑，承载数据存储、算法运算、趋势分析、分级预警、台账管理、数字孪生可视化等核心业务，支持多项目、多厂区、多设备点位统一管理，开放标准化 API 接口实现第三方系统对接。



图 4 大数据云平台

3.1.4 本地数据终端层（应用交互层）

包含本地工控屏、车间监测终端、手机移动端小程序、PC 客户端，面向运维人员、管理人员提供现场可视化查看、报警弹窗、报表导出、现场处置闭环操作，支持无网络离线本地查看缓存数据。



图 5 本地显示器

第四章 核心产品技术详解

4.1 硬件核心参数

前端监测传感器采用工业级高精度采集芯片，量程覆盖行业主流螺栓规格应力区间，测量误差 $\leq \pm 2\%$ ；内置高温耐受元器件，适配 $-40^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$ 宽温域户外工况；单传感器支持长周期稳定数据采集，内置大容量储能单元，保障长期不间断工作。中继网关搭载多核边缘处理芯片，支持百路传感器同时接入，本地缓存容量可存储全年历史监测数据，断电后数据不丢失。

4.2 智能采集算法

搭载自研多维度融合识别算法，集成自适应滤波、基线自校准、松动梯度判别三大核心模型。可自动过滤设备启停、环境振动、温度形变带来的干扰数据，精准区分正常应力波动与螺栓渐进式松动；通过连续时序数据趋势演算，提前捕捉预紧力衰减过程，实现故障前置预判，杜绝瞬时误报警。

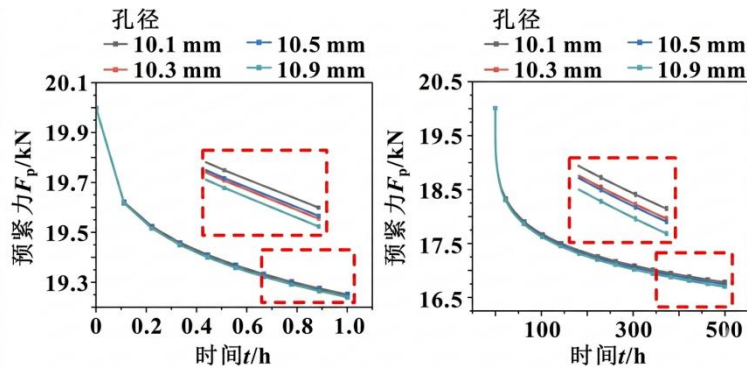


图 6 算法图谱依据

4.3 传输通信协议

采用双传输协议保障通信稳定性，近距离传感器与网关之间采用低功耗私有射频协议，抗电磁干扰；网关至云端支持 4G、485、LoRa 多链路自动切换，数据传输遵循 MQTT 加密通信协议，搭配 SSL 数据加密传输机制，防止现场监测数据泄露、篡改；支持离线缓存续传，网络中断恢复后自动补齐缺失监测数据。

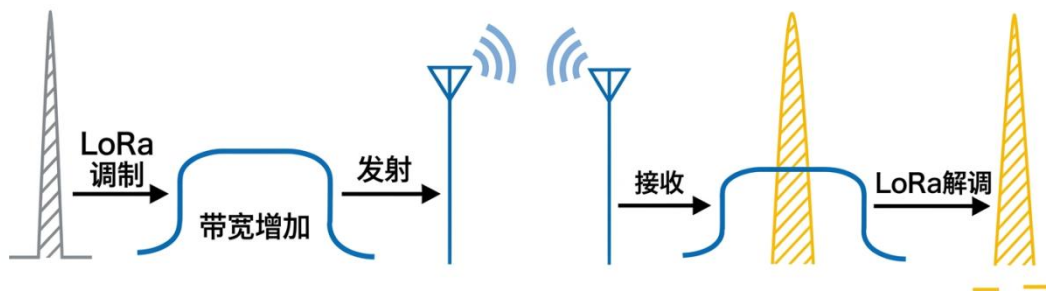


图 7LORA 传输示意图

4.4 多元供电方式

针对不同现场施工条件提供三类供电方案：户外无布线场景采用太阳能光伏+大容量锂电池组合供电；厂区具备供电线路点位采用 DC 直流有线供电；井下、密闭狭小设备空间选用长续航一次性工业电池，续航周期可达 2-5 年，大幅降低现场运维频次。

4.5 工业防护等级

全套前端传感器防护等级达 IP67，防尘防水，可适应暴雨、粉尘、高湿度矿区、沿海盐雾腐蚀环境；外壳采用抗冲击防腐 ABS 材质，具备抗振动、抗机械撞击能力；中继网关箱体 IP65/IP67 防护(室内外)，配备散热、防尘、防雷模块，适配露天塔筒、厂房顶部、井下巷道等恶劣工业现场。

4.6 产品尺寸与轻量化优势

本系列智能监测传感器采用超小型轻量化集成结构设计，在保证高精度采集、工业级防护与长期稳定性的前提下，极大压缩设备整体体积，完美适配各类紧凑型设备节点与狭小安装空间。产品整体结构紧凑、无外凸笨重结构，无需改造设备基体、无需焊接、无需打孔、不破坏原有结构受力体系，可直接贴合螺栓、法兰、钢结构节点安装，适配塔筒、设备机架、厂房钢构、大型机械连接点位等绝大多数工业场景。

相较于传统监测设备体积大、重量高、遮挡设备结构、易产生附加风载与荷载干扰的问题，本产品凭借微型化尺寸、轻量化自重优势，最大限度降低监测设备对原有结构力学状态的影响，保证监测数据真实、贴合设备原始运行状态。同时小巧机身更便于密集点位

布置、狭小空间布设与高处隐蔽安装，现场施工美观整洁，适配规模化、标准化批量改造项目，具备极强的场景通用性与落地适配性。

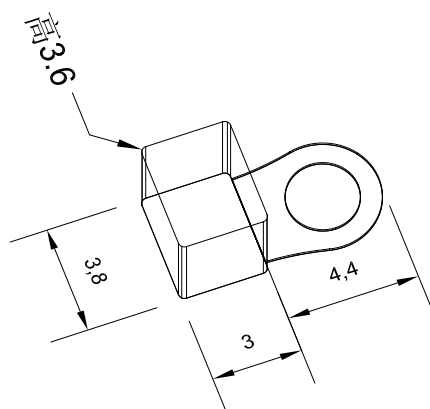


图 8M24 尺寸传感器三维图

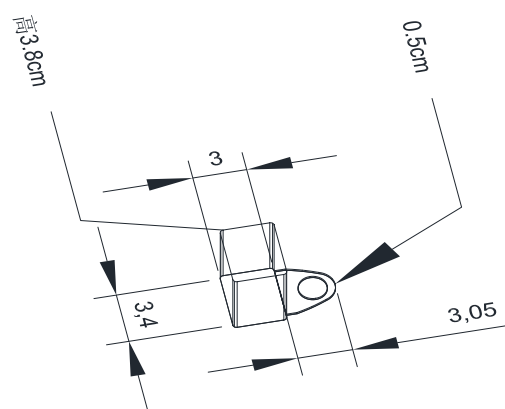


图 9M16 尺寸传感器三维图

第五章 系统核心功能

5.1 系统核心功能

5.1.1 24 小时全天候实时监测

全时段不间断采集关键节点力学数据，秒级刷新设备状态，运维人员可随时查看各点位实时数值、动态曲线，摆脱人工定期巡检的时间限制。

III

首页 / 实时数据



* 所属单位:

无锡博思创至科技有限公司

×

告警类型:

全部

▼

设备名称:

请输入设备名称

主机编号:

请输入主机编号

从机编号:

请输入从机编号

Q 查询

🔄 重置

设备名称	主机编号	从机安装位置	从机编号	采集时间	从机设备个数	从机状态	预紧力状态	倾斜
868108078794189	868108078794189	1-4	81C19DFF	2026-07-10 16:58:51	1	从机正常	正常	严重

图 10 云平台报警列表

5.1.2 多级智能预警告警

设置预警、报警、危险三级阈值，当螺栓预紧力衰减至临界区间，系统自动推送告警信息至 PC 终端、手机短信、微信小程序，区分一般隐患、重大安全风险，同步记录告警发生时间、点位、数值。



图 11 螺栓智慧管理 APP

5.1.3 全周期数据追溯存档

平台永久存储全部历史监测数据，支持按时间、设备、厂区、项目多维度检索，自动生成巡检台账、故障记录、趋势报表，满足安监审计、合规检查的数据溯源需求。



图 12 云平台历史数据查询与导出

5.1.4 远程在线运维管理

无需抵达设备现场，可远程修改预警阈值、在线诊断设备通信故障、升级传感器固件，大幅减少现场上门调试工作量。



图 13 云平台设备控制示例

5.1.5 数字孪生场景联动

对接场景三维数字孪生模型，将传感器点位数据映射至实景三维模型，异常点位自动高亮标红，直观展示设备结构健康状态，实现虚实同步可视化管控。



图 14 数字孪生图

5.1.6 报表自动生成与导出

系统按日/周/月自动生成安全监测报告，支持 Excel、PDF 格式一键导出，包含设备健康分析、隐患统计、运维记录，直接用于企业内部管理与监管上报。



图 15 报表自生成导出图

5.2 核心技术优势

5.2.1 高精度低误报

融合算法滤除环境干扰，预警准确率超 99.5%，减少无效告警带来的运维人力消耗。

5.2.2 部署轻量化

传感器体积小巧，无需破坏原有设备结构，无损安装，改造施工工期短。

5.2.3 超强环境适配

宽温域、高防护硬件设计，覆盖矿山、风电、铁路、化工全高危行业。

5.2.4 开放兼容拓展

标准化 API 对接 SCADA、MES、园区管理平台，无需更换现有管控系统。

5.2.5 超低运维成本

低功耗硬件搭配远程运维能力，大幅降低人工巡检、设备维保开支。

5.2.6 全链路数据安全

传输加密、本地缓存、云端多重备份，保障工业监测数据安全合规。

第六章 典型行业落地案例

6.1 项目背景

某大型风电运营企业下辖数十台风力发电机组，塔筒法兰、机舱底座高强螺栓数量庞大，机组地处偏远山地，人工巡检交通成本高、巡检周期长；风机长期承受强风交变荷载，螺栓预紧力持续衰减，多次出现螺栓松动隐患，存在塔筒结构失稳、停机损毁风险，企业面临安监检查压力与非计划停机损失。

6.2 原有管理痛点

人工季度巡检，单次上山巡检周期长，偏远风机点位漏检概率高；仅依靠人工扭矩扳手复检，只能检测瞬时状态，无法预判缓慢松动趋势；螺栓松动隐患发现滞后，多次出现带病运行，被迫紧急停机检修；无完整数字化记录，隐患整改、巡检记录纸质存档，追溯难度大；每年投入大量巡检人员、车辆成本，运维开支居高不下。

6.3 智能化改造方案

对每台风机塔筒法兰、机舱关键螺栓点位批量部署智能监测传感器，每 3-5 台风机配套一台区域中继网关；搭建企业专属云端监测平台，对接企业现有设备管理系统，同步部署移动端告警推送功能，接入厂区数字孪生平台实现三维可视化监测。系统设置三级松动预警阈值，自动留存全部时序监测数据，支持远程设备运维调试。

6.4 实施落地效果

项目上线后实现风机关键螺栓 24 小时不间断在线监测，系统提前识别多起螺栓预紧力衰减隐患，运维人员根据预警信息定点处置，彻底杜绝风机带隐患运行；取消大面积人工上山季度巡检，仅针对告警点位定向检修。

6.5 改造前后数据对比

巡检人力成本：下降 75%，省去常态化山地巡检班组、车辆运维开销。

隐患发现时效：由季度滞后检查变为实时预判，隐患前置识别效率提升 90%。

非计划停机次数：同比下降 92%，规避风机停机发电收益损失。

安全事故风险：未发生一起由螺栓松动导致的结构安全事故，顺利通过安监合规审查。

数据管理效率：纸质台账全部数字化，报表导出、审计追溯效率提升 10 倍以上。

第七章 实施部署方案

7.1 标准化安装流程

现场勘测：实地摸排设备点位、供电条件、信号遮挡情况，出具点位布置方案。

硬件预装：传感器校准、网关程序预配置，工厂完成调试后发货，缩短现场施工。

现场无损安装：传感器固定于螺栓点位，主机安装于就近机柜/塔筒平台，布线固定。

组网调试：网关与传感器配对组网，测试无线通信、数据上传稳定性。

云端配置：平台录入设备信息、设置预警阈值、绑定企业管理员账号。

联合试运行：72 小时不间断试运行，校准算法基线，优化告警策略。

交付验收：出具验收报告，开展运维人员操作培训，项目正式交付。

7.2 标准施工周期

单厂区/单风场小规模点位（100 点以内）：配合业主 3-5 个工作日完成勘测+安装调试；
中型项目（100-500 监测点位）：7-10 个工作日；大型多厂区整体改造项目：分批次分段施工，同步分批上线，不影响企业正常生产作业。

7.3 第三方平台对接方案

平台预留 API、RS485 工业接口，可无缝对接企业现有 MES、SCADA、设备管理系统、数字孪生平台，支持数据双向互通：监测数据同步推送至原有管控大屏，原有设备启停、荷载数据同步至本监测平台，实现全厂设备一体化综合管控，无需替换企业现有信息化系统。同时支持私有化本地部署，满足内网无外网、数据本地存储的涉密厂区需求。

第八章 经济效益与安全价值

8.1 直接经济效益

8.1.1 大幅降低停机损失

提前预判螺栓松动、结构异常隐患，避免设备突发故障停机，减少停工带来的产能、发电收益损失，消除故障维修高额物料、人工成本。

8.1.2 削减人工巡检成本

替代大范围周期性人工现场巡检，缩减巡检班组人员、车辆、耗材开支，仅针对系统预警点位精准检修，人力运维成本显著下降。

8.1.3 减少过度维保支出

摒弃固定周期统一维保模式，基于设备真实健康状态按需检修，避免无故障设备重复保养造成的备件、停工浪费。

8.1.4 延长核心设备使用寿命

及时消除螺栓松动、应力异常等隐性损伤，避免长期异常荷载加速钢结构、设备疲劳老化，延长塔筒、机组、大型构件服役年限，延缓设备大修、更换周期。

8.2 长期安全管控价值

8.2.1 规避相关风险

从源头规避重大安全事故实时捕捉连接节点失效前兆，杜绝螺栓断裂、结构倾覆、设备坍塌等恶性安全生产事故，规避人员伤亡、厂区损毁以及行政处罚、民事赔偿风险。

8.2.2 满足监管要求

满足行业合规监管要求完整留存全流程监测数据、告警记录、隐患整改闭环台账，完整匹配安全生产法规、行业监测规范，轻松应对安监、第三方审计检查。

8.2.3 提升管理水平

构建主动式安全管理体系推动企业安全管理的由“事后抢修、被动整改”转向“实时监测、提前预判、主动治理”，形成数字化、标准化长效安全管控机制，提升企业整体安全生产管理水平。

8.2.4 事故可溯源

降低企业安全管理责任风险全程可追溯数字化监测记录可作为安全管理履职凭证，明确隐患发现、处置全流程责任链条，降低企业及管理人员安全追责风险。