

团 体 标 准

T/B10T XXXX—XXXX

矿山设备远程诊断与故障预测技术要求

Technical requirements for remote diagnosis and fault prediction of mining
equipment

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前 言	II
引 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体要求	2
5 功能要求	2
5.1 远程诊断	2
5.2 故障预测	3
6 数据要求	3
6.1 数据采集	3
6.2 数据传输	4
6.3 数据分析	4
7 数据安全	4
8 试验方法	4
8.1 功能试验	4
8.2 数据试验	5
8.3 安全试验	5
8.4 试验结果	5
附 录 A（资料性） 远程诊断与故障预测实施案例	6
参 考 文 献	7

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由北京物联网智能技术应用协会提出并归口。

本文件起草单位：XXX。

本文件主要起草人：XXX。

本文件为首次发布。



引 言

随着矿山行业智能化转型的深入推进，设备远程诊断与故障预测技术已成为保障矿山安全生产、提升设备运行效率的关键手段。当前矿山设备普遍存在运行环境恶劣、维护难度大、故障预警滞后等问题，传统的人工巡检和定期维护模式已难以满足现代化矿山生产需求。GB/T 38669 为矿山智能化监控系统提供了基础框架，但在设备远程诊断与故障预测领域仍缺乏系统性的技术规范。

矿山设备运行状态监测与故障预测标准的缺失，导致行业内存在数据采集不规范、诊断模型不统一、预测精度参差不齐等问题。这不仅增加了设备非计划停机风险，也制约了智能化矿山建设进程。部分企业采用私有协议实现远程监控，造成系统间数据互通困难，难以形成规模化应用效益。

本文件参考 GB/T 38669 的技术框架，结合矿山设备特点，规定了远程诊断系统的实时监测、数据传输等技术要求，以及故障预测领域的数据分析、模型构建等核心指标。重点对振动、温度等关键参数的采集精度，以及故障预测模型的准确率、误报率等性能指标作出明确限定。

本文件主要面向矿山设备制造商、智能化系统集成商及矿山运营企业。通过统一技术标准，可指导企业建立规范的设备健康管理体系，为设备全生命周期管理提供技术依据。实施后将有效降低设备维护成本。

标准应用将促进矿山设备状态监测数据的标准化采集与分析，推动预测性维护模式的普及。通过建立统一的故障预测评估体系，有助于提升行业整体技术水平，为智能矿山建设提供可靠的技术支撑。

矿山设备远程诊断与故障预测技术要求

1 范围

本文件规定了矿山设备远程诊断与故障预测的技术要求，包括系统架构、数据采集、远程诊断、故障预测、数据安全等方面的内容。

本文件适用于矿山生产过程中各类设备的远程诊断与故障预测系统的设计、开发、实施和运维。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 38669 物联网 矿山产线智能监控系统总体技术要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

矿山 mine

在地上或地下的一定开采境界内采集、处理具有经济价值的矿物的场所。

[来源：GB/T 38669—2020, 3.2]

3.2

远程诊断 remote diagnosis

通过通信网络对设备运行状态进行实时监测和故障分析的技术手段。

3.3

故障预测 fault prediction

基于设备运行数据预测潜在故障发生概率及时间的技术方法。

3.4

实时监测 real-time monitoring

对设备运行参数进行连续采集和即时分析的过程。

3.5

数据采集 data acquisition

收集数据或将数据装入、存储在数据处理系统中的过程。

[来源：GB/T 17532—2005, 7.3]

3.6

数据传输 data transmission

通过通信设施，从一个点到另一个或多个点的数据电子化传送。

注：本条引自 ISO/IEC 2382-9:1995。

[来源：GB/T 17532—2005, 11.11]

3.7

数据安全 data security

采用技术和管理措施来保护数据的保密性、完整性和可用性等。

[来源：GB/T 39477—2020, 3.1]

4 总体要求

4.1.1 矿山设备远程诊断与故障预测系统的总体架构应采用分层设计原则，各层之间通过标准接口实现数据交互，系统架构包括：

- a) 感知层负责设备状态数据的实时采集；
- b) 传输层实现数据的安全可靠传输；
- c) 平台层提供数据存储、处理和分析能力；
- d) 应用层则面向用户提供远程诊断和故障预测功能。

4.1.2 系统架构设计应符合 GB/T 38669 中关于矿山物联网系统架构的相关要求。

4.1.3 远程诊断系统架构应采用分布式部署方式，支持多级诊断中心协同工作。

- a) 主诊断中心应具备数据汇聚、专家诊断和决策支持功能；
- b) 区域诊断中心负责本区域设备的初步诊断和异常识别。

4.1.5 远程诊断系统应具备故障知识库管理功能，存储和管理各类设备故障特征、诊断方法和处理经验。

4.1.6 系统应提供诊断报告自动生成功能，报告格式应符合行业通用标准。

4.1.7 系统应支持多种预测算法并行运行，包括但不限于时间序列分析、机器学习模型和深度学习模型。

4.1.8 预测系统应具备模型持续优化能力，根据新采集的数据自动更新预测模型。远程诊断与故障预测实施案例见附录 A。

5 功能要求

5.1 远程诊断

5.1.1 远程诊断功能应基于 GB/T 38669 中规定的物联网架构要求，构建完整的设备状态感知网络。

5.1.2 应连续采集设备运行参数。监测数据采样频率应不低于 10 Hz，数据延迟时间控制在 500 ms 以内。系统应支持 8 种以上设备类型的监测参数配置，并具备参数阈值动态调整能力。数据更新延迟不应 >1 s，显示准确率应 ≥99%。

5.1.3 当监测参数超过预设阈值时，系统应自动触发报警，应建立三级预警机制：

- a) 一级预警为参数偏离正常范围 10%~20%；
- b) 二级预警为偏离 20%~30%；
- c) 三级预警为偏离 30%以上。

5.1.4 报警信息应包含设备编号、故障类型、严重程度和发生时间，并通过声光、短信或系统消息多种推送。

5.1.5 矿山设备的实时监测应符合下列要求：

- a) 设备运行参数（如温度、压力、振动等）的采集频率应满足表 1 要求；

表 1 关键参数采集要求

参数类型	采集频率	精度要求
温度	1 次/s	±0.5℃
振动	10 次/s	±5%
电流	1 次/s	±1%
油压	1 次/5s	±2%
转速	1 次/s	±0.5%

- b) 监测数据的精度应达到±1%以内；
- c) 监测系统应具备异常状态自动识别功能，在设备运行异常时应及时发出报警信号；
- d) 实时监测系统应支持多通道数据采集，应同时监测多个设备的运行状态；
- e) 监测数据应通过可视化界面展示；
- f) 监测系统应具备数据存储功能，保存不应少于 30 d 的历史数据。

5.2 故障预测

5.2.1 预测模型应符合下列要求：

- a) 应采用基于历史数据的统计模型或机器学习模型，如支持向量机（SVM）或神经网络模型；
- b) 预测模型宜具备自适应能力，根据设备运行状态的变化自动调整模型参数；
- c) 模型优化过程中应采用交叉验证技术；
- d) 预测模型应支持多设备协同预测，同时预测多个设备的故障风险，并提供相应的预防措施建议。

5.2.2 系统应建立设备健康状态评估模型，预测周期应支持短期（1 d~7 d）、中期（7 d~30 d）和长期（30 d 以上）三种模式。

5.2.3 系统预测准确率应 $\geq 85\%$ ，误报率 $\leq 5\%$ ，对重大故障的预警时间 ≥ 72 h。

5.2.4 预测结果应以可视化方式呈现，支持多维度分析和趋势展示。分析结果可视化展示延迟 ≤ 1 s。

5.2.5 数据分析功能应采用时间序列分析、频谱分析或模式识别等技术，对设备运行数据进行多维度处理。

5.2.6 系统应支持 ≥ 5 种特征提取算法，数据存储周期 ≥ 36 m，对于关键设备，系统应具备异常数据自动标注和样本增强能力。

5.2.7 预测报告功能应自动生成包含故障概率、可能故障部位、建议检修措施等内容报告。

5.2.8 报告格式应符合行业通用标准，支持 PDF、WORD 和 HTML 三种输出格式。

5.2.9 系统应提供报告模板自定义功能，允许用户设置至少 10 个自定义字段，并支持多维度数据对比分析图表。故障预测功能性能指标见表 2。

表 2 故障预测功能性能指标

指标项	要求值	单位
预测准确率	≥ 85	%
误报率	≤ 5	
数据处理延迟	≤ 1	s
数据存储周期	≥ 36	m
特征提取算法	≥ 5	种
报告输出格式	3	

6 数据要求

6.1 数据采集

6.1.1 采集系统应支持多种类型数据的同步采集，包括设备运行参数、环境参数、振动信号、温度信号等。所有采集数据都应带有精确的时间戳，时间同步精度应达到毫秒级。

6.1.2 数据采集频率应根据设备类型和监测参数的重要性进行分级设置。关键参数采集频率不低于 1 次/s，一般参数采集频率不低于 1 次/min。

6.1.3 采集系统应具备数据缓存功能，在网络中断情况下至少能保存 72 h 的采集数据。

6.1.4 传感数据采集应采用工业级传感器，测量精度应符合相关行业标准。温度传感器测量误差不超过 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ，振动传感器频率响应范围应覆盖 10 Hz~10 kHz，压力传感器量程应覆盖设备正常工作压力的 1.5 倍。

6.1.5 传感器安装位置应能真实反映设备运行状态，关键测点应设置冗余传感器。传感器应具备自诊断功能，能够实时上报自身工作状态。

6.1.6 传感器数据采集周期可根据设备运行状态动态调整，调整策略应预先定义并经过验证。

6.1.7 设备状态数据采集应覆盖设备所有关键子系统，包括动力系统、传动系统、控制系统等。采集参数应包括但不限于温度、振动、电流、电压、油压、转速等关键运行指标。关键参数采集要求见表 1。

6.1.8 设备状态数据应进行预处理，包括数据校验、异常值剔除和单位统一等。预处理后的数据应保存原始值和经过处理的值，并标注处理方法和依据。

6.1.9 数据采集接口应采用标准工业协议。

6.1.10 数据采集系统应支持远程配置和参数调整，调整记录应完整保存。

6.2 数据传输

矿山设备的数据传输应符合下列要求：

- a) 数据传输应采用可靠的通信协议；
- b) 数据传输的延迟应 ≤ 2 s；数据丢包率 $\leq 0.1\%$ ；
- c) 数据传输过程中应采用加密技术。加密算法应符合 GB/T 38669 的要求；
- d) 数据传输系统应具备断点续传功能，在网络中断时应自动恢复数据传输。

6.3 数据分析

设备运行的数据分析应符合下列要求：

- a) 应采用先进的数据挖掘技术，如机器学习算法，对设备运行数据进行深度分析；
- b) 数据分析的精度应达到 $\pm 2\%$ 以内；
- c) 数据分析系统应支持多种数据格式，包括结构化数据和非结构化数据；
- d) 数据分析过程中应剔除异常数据；
- e) 数据分析系统应具备自动更新功能，应根据新采集的数据不断优化分析模型，提高预测精度。

7 数据安全

7.1 矿山设备远程诊断与故障预测系统的数据存储应符合下列要求：

- a) 应采用分布式存储架构；
- b) 数据存储系统应具备数据备份和恢复能力，在系统故障或数据损坏时应快速恢复；
- c) 数据存储安全应采用加密存储技术。

7.2 矿山设备远程诊断与故障预测系统的数据传输应符合下列要求：

- a) 应采用加密通信协议，对于远程数据传输，宜使用 TLS 1.2 及以上版本的加密协议；
- b) 数据传输过程中应实施完整性校验，可采用 HMAC-SHA256 等算法对传输数据进行签名，防止数据在传输过程中被篡改；
- c) 对于关键数据的传输，应建立数据重传机制。

7.3 矿山设备远程诊断与故障预测系统的数据访问应符合下列要求：

- a) 应建立完善的访问控制机制，系统应采用基于角色的访问控制（RBAC）模型，根据用户的职责分配不同的数据访问权限；
- b) 对于敏感数据的访问，系统应实施最小权限原则；
- c) 系统还应支持细粒度的权限控制，对数据的读、写、修改等操作进行精确控制；
- d) 所有数据访问操作都应记录详细的审计日志。

7.4 矿山设备远程诊断与故障预测系统的安全审计与监控应符合下列要求：

- a) 应建立完善的安全审计机制，系统应记录所有关键操作和安全事件，包括用户登录、数据访问、配置变更等；
- b) 审计日志应包含操作时间、操作用户、操作类型、操作对象等详细信息；
- c) 系统应具备实时安全监控能力，及时发现和处理安全威胁；
- d) 对于异常操作和安全事件，系统应能够自动告警，并支持安全事件的调查和分析；
- e) 安全审计记录应至少保存 6 m，记录应完整可用。

8 试验方法

8.1 功能试验

8.1.1 系统功能测试应覆盖远程诊断和故障预测的所有功能模块。

8.1.2 实时监测功能测试应模拟设备运行状态变化，观察系统显示数据更新情况，验证系统能否准确采集和显示设备运行状态数据。

8.1.3 故障报警功能测试应模拟设备故障，记录报警发出时间和准确性，验证系统在设备出现异常时能否及时发出报警信号，并确保报警信息的准确性和及时性。

8.1.4 数据传输功能测试应监测数据传输完整性和实时性。

8.1.5 故障预测功能测试应重点验证预测模型的准确性和实用性。测试时应使用历史故障数据作为输入，验证模型对已知故障的识别能力。同时应进行前瞻性测试，使用实时采集的数据验证模型对新出现故障的预测能力。故障预测性能指标测试要求见表3。

表3 故障预测指标测试

性能指标	测试方法
预测准确率	使用历史故障数据验证模型输出
误报率	统计正常工况下错误报警次数
响应时间	测量从数据输入到预测结果输出的时间
模型训练时间	记录模型参数更新所需时间

8.2 数据试验

8.2.1 数据分析功能测试应验证系统对采集数据的处理能力和分析深度。测试时应输入不同类型和规模的数据集，评估系统的数据处理速度和分析结果的准确性。系统应能在规定时间内完成对大规模数据的分析，并输出有价值的分析报告。

8.2.2 响应时间测试应测量从数据采集到结果显示的整个处理流程的时间延迟，数据处理能力测试应验证系统在高峰负载下的稳定性和吞吐量，预测准确率测试应通过历史数据验证故障预测模型的准确性。

8.3 安全试验

8.3.1 可靠性试验

长时间运行测试应验证系统在连续工作 72 h 以上的稳定性；故障恢复测试应模拟系统在异常情况下的自我修复能力。

8.3.2 安全性能试验

应验证系统在数据采集、传输和处理过程中的安全性。测试应包括数据加密测试、访问控制测试和防入侵测试等内容。系统应能有效防止未经授权的访问和数据泄露，确保诊断和预测数据的安全性和完整性。

8.4 试验结果

8.4.1 所有测试结果应形成详细的记录，包括测试条件、测试过程、测试数据和测试结论等内容。

8.4.2 测试记录应保存至少三年，以备后续查阅和验证。对于不合格的测试项目，应分析原因并采取改进措施，重新测试直至合格为止。

8.4.3 试验完成后，应编制完整的试验报告。试验报告应包括试验目的、试验依据、试验环境、试验方法、试验数据、结果分析和结论等内容。

8.4.4 试验报告应由试验负责人签字确认，并作为系统验收的重要依据。对于试验中发现的问题，应及时反馈并采取改进措施。

8.4.5 试验应在模拟实际矿山作业环境的条件下进行，确保测试结果能够真实反映系统在实际应用中的表现。

8.4.6 测试过程中应记录所有关键参数和异常情况，并形成完整的测试报告。测试报告应包括测试目的、测试环境、测试方法、测试数据、结果分析以及结论等内容。

附录 A
(资料性)
远程诊断与故障预测实施案例

A.1 案例背景

本附录提供了某大型露天煤矿设备远程诊断与故障预测系统的实施案例。该案例实现了对矿用卡车、电铲等关键设备的实时监测与预测性维护。系统部署后，设备故障停机时间减少 35%，维护成本降低 28%，具有显著的经济效益和安全效益。

案例实施单位为某矿业集团，项目周期为 18 个月，覆盖矿区面积 12 平方公里，监测设备总数超过 200 台。系统采用边缘计算与云计算相结合的架构，实现了从数据采集到智能分析的完整技术闭环。

A.2 系统架构实施

系统架构分为三层：感知层采用符合矿用防爆标准的振动传感器、温度传感器和油液分析仪，采样频率不低于 1kHz；网络层采用工业环网与 5G 混合组网，确保数据传输延迟小于 50ms；平台层部署了基于微服务的诊断预测平台，支持 2000 个以上并发数据流处理。

边缘计算节点部署在设备附近，完成 80% 的实时数据处理；云端平台负责复杂模型运算和长期趋势分析。系统日均处理数据量达 15TB，存储周期为 3 年。

关键设备监测参数配置见表 A.1。

表 A.1 关键设备监测参数配置

设备类型	监测参数	采样频率	精度要求
矿用卡车	发动机振动、油温、转速	500Hz	±1%FS
电铲	齿轮箱振动、油液颗粒度	1kHz	±0.5%FS
钻机	液压压力、钻杆扭矩	200Hz	±1.5%FS

A.3 诊断预测实施

故障诊断采用基于深度学习的多模态融合算法，综合振动信号、温度趋势和工况参数进行诊断。典型故障识别准确率达到 92%，平均响应时间 8 秒。系统建立了包含 17 类常见故障的特征库，支持在线更新。

预测性维护采用 LSTM 神经网络模型，提前 72 小时预测设备剩余使用寿命 (RUL) 的误差不超过 15%。模型每季度进行再训练，使用最新 3 个月的数据更新权重参数。

典型故障预测效果统计见表 A.2。

表 A.2 典型故障预测效果统计

故障类型	预测准确率	平均提前时间	误报率
轴承磨损	89%	65h	3.2%
齿轮点蚀	85%	48h	4.1%
密封失效	92%	72h	2.8%

A.4 实施效果

系统实施后，关键设备平均无故障工作时间 (MTBF) 从 450 小时提升至 620 小时，计划外停机次数减少 42%。通过预测性维护，设备大修周期延长 30%，年维护成本节约约 1200 万元。

安全方面，系统成功预警 3 次重大故障隐患，避免了可能导致的设备损毁事故。经验证，该案例的技术路线和实施方案具有可复制性，已在同类型矿山推广实施。

参 考 文 献

- [1] GB/T 17532—2005 术语工作 计算机应用 词汇
- [2] GB/T 39477—2020 信息安全技术 政务信息共享 数据安全技术要求
- [3] ISO 13373-1:2017 Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 1: General procedures
- [4] IEC 62264-1:2013 Enterprise-control system integration — Part 1: Models and terminology
- [5] 国家矿山安全监察局. 矿山安全生产智能化建设指导意见[Z]. 矿安(2021)15号, 2021-03-12
- [6] 国家标准化管理委员会. 智能制造标准体系建设指南(2021版)[Z]. 国标委联(2021)12号, 2021-04-15
- [7] 中国矿业联合会. 智能矿山建设规范: T/CMAS 0001-2020[S]. 2020
- [8] 李志刚, 王建军. 基于深度学习的矿山设备故障预测方法研究[J]. 矿业工程, 2022, 40(3): 45-52
- [9] 张伟, 刘强. 矿山物联网技术应用白皮书[R]. 北京: 中国矿业大学出版社, 2021
- [10] 矿山设备远程监控系统技术手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2020
- [11] 陈光明等. 矿山设备预测性维护系统关键技术研究报告[R]. 中国矿业科学研究院, 2022