

ICS XX.XXX

XX

团 体 标 准

T/GITIF XXX—2021

基于 CPS 的产线设备健康管理

Based on CPS production line equipment health management

(征求意见稿)

2021-XX-XX 发布

2021-XX-XX 实施

广东省电子信息联合会 发布

目 次

前言	I
引言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 架构和流程	3
5 健康等级及指标体系	5
6 健康基线	6
7 在线健康监测	7
8 离线健康自检	8
9 远程健康评估	9
10 健康管理展示	10
11 方法与接口	11
附录 1 参考性附录 通信协议	12
附录 2 装备监测参数表	16
附录 3 健康评估雷达图展示	18

前 言

本标准按照 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。

本标准由工业和信息化部电子第五研究所提出。

本标准由广东省电子信息联合会归口。

本标准起草单位：工业和信息化部电子第五研究所、佛山华数机器人有限公司、华中科技大学、中国五洲工程设计集团有限公司、广州智能装备研究院有限公司、广州明珞装备股份有限公司、广东省离散型数字智造科技创新有限公司等。

本标准主要起草人：王远航、丁小健、梁超、周健、唐敬、莫文安、陆树汉、杨云帆、吴军、梁殿胜、赵常均、孙谋、李园、郭明哲、吴桂秀。

引 言

基于 CPS 的产线设备是将传统制造技术与数字技术、人工智能、新型传感与测控技术等集成应用于产品设计、生产、制造、服务等全生命周期，达到制造过程各环节的智能感知、分析、推理、决策与控制的自动化设备。广泛采用 CPS 产线设备，不仅可提高产品的质量与数量，而且对保障人身安全，改善劳动环境，减轻劳动强度，提高劳动生产率，节约原材料消耗以及降低生产成本，对促进我国制造业的崛起，有着十分重要的作用。然而，随着智能制造的发展，对于 CPS 产线设备的健康状态评估相关标准还处于空白，没有一个指导性的标准。本标准的出发点是规范目前 CPS 产线设备的生产制造研发等标准化，提高 CPS 产线设备的投入使用的可靠性水平。

本标准主要用于 CPS 设备产线使用方、研发机构、生产厂商，主要作用是为使用方、研发机构、生产厂商开展设备研发、设备运维、设备生产提供较为全面系统的标准依据，引导和规范行业开展相关工作。

基于 CPS 的产线设备健康管理

1 范围

本标准规定了基于CPS的产线设备的健康管理的相关术语和定义、一般流程、评估体系、评估方法、结果展示等。

本标准适用于基于CPS的产线设备的健康管理。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 20921-2007 机器状态监测与诊断 词汇

GB/T 2298-2010 机械振动、冲击与状态监测 词汇

GB/T 9873.1 机器状态监测与诊断 振动状态监测与诊断 第1部分：总则

GB/T 22393-2008 机器状态监测与诊断 一般指南

GB/T 22394.1-2015 机器状态监测与诊断-数据判读和诊断技术 第1部分：总则

GB/T 23713.1-2009 机器状态监测与诊断 预测 第1部分：一般指南

GB/T 7826-2012 系统可靠性分析技术 失效模式和影响分析（FMEA）程序

GB/T 25742.1-2010 机器状态监测与诊断 数据处理、通信与表示 第1部分：一般指南

GB/T 25742.2-2013 机器状态监测与诊断 数据处理、通信与表示 第2部分：数据处理

GB/T 26221-2010 基于状态的维护系统体系结构

GB/T 27758.1-2011 工业自动化系统与集成 诊断、能力评估以及维护应用集成 第1部分：综述

3 术语和定义

GB/T 12643-2013、GB/T 20921-2007、GB/T 20921-2007 中确立的以及下列术语和定义适用于本部分标准。

3.1

信息物理空间 Cyber Physical System

一个综合计算、网络和物理环境的多维复杂系统，通过3C（Computation、Communication、Control）技术的有机融合与深度协作，实现大型工程系统的实时感知、动态控制和信息服务。

[\[百度词条\]](#)

3.2

产线 Production-line

产线是指产品生产过程所经过的路线，即从原料进入生产现场开始，经过加工、运送、装配、检验等一系列生产活动所构成的路线。

[\[百度词条\]](#)

3.3

产线设备 Production-line equipment

产线上涉及的具体设备，也是企业在生产中所需要的机械、装置、仪器和设施等物质资料的总称。

[\[百度词条\]](#)

3.4

故障/失效 fault/failure

丧失完成某项规定功能的能力。

[\[GB/T 20921-2007 机器状态监测与诊断 词汇 术语2.7\]](#)

[\[GB/T 20921-2007 机器状态监测与诊断 词汇 术语2.8\]](#)

注：[\[GB/T 7826-2012 系统可靠性分析技术-失效模式和影响分析（FMEA）程序\]](#)故障和失效可等同使用。

3.5

异常 anomaly

系统或部件的不规则或反常（偏离标准状态）。

系统的不规则或反常。

[\[GB/T 20921-2007 机器状态监测与诊断 词汇 术语 5.4\]](#)

3.6

健康状态 health state

设备的健康程度，可通过健康等级或者健康分数表示。

3.7

状态监测 condition monitoring

检测与收集反映机器状态的信息和数据。

[\[GB/T 20921-2007 机器状态监测与诊断 定义2.5\]](#)

3.8

实时监测 real-time monitoring

（状态监测）连续的实时的数据采集。

注1：[改写GB/T 20921-2007 机器状态监测与诊断 定义7.5 在线：（状态监测和诊断）连续的数据采集。](#)

3.9

征兆 sign/symptom

信号的特征参数，它表明有关状态的信息。

[GB/T 20921-2007 机器状态监测与诊断 定义5.8]

3.10

在线 on-line

设备处于生产线上的作业状态。

注1: 改写GB/T 20921-2007 机器状态监测与诊断 定义7.5: (状态监测与诊断) 连续的数据采集。

3.11

离线 off-line

设备处于脱离生产的非工作状态。

注1: 改写GB/T 20921-2007 机器状态监测与诊断 定义7.4: (状态监测与诊断) 周期性或间歇性的数据采集。

3.12

远程 Remote

通过网络等实现远距离通信。

3.13

指标体系 Index system

衡量健康状态的参数及参数表达形式的集合及架构。

3.14

基线 baseline

一个或一组描述符，它提供机器在各种过程下正常状态的基准。

[GB/T 20921-2007 机器状态监测与诊断 词汇 10.1]

3.15

工况 work condition

设备在产线上工作时和其动作有直接关系的条件，包括负载、速度、轨迹和位姿等的组合。

4 架构和流程

4.1 架构

产线设备的健康管理分为在线模式、离线模式和远程模式。

——在线模式：设备处于产线上正常作业状态下的实时健康监测、评估和预警状态；

——离线模式：设备处于脱离生产的非工作状态下的定期健康自检或故障停机定位状态；

——远程模式：通过网络实现产线设备的健康远程监控、趋势跟踪和预测等状态。



图1 基于CPS的产线设备健康管理架构图

4.2 流程

基于CPS的产线设备健康管理流程如图2所示。根据设备在产线上的应用特点，定义健康状态并划分健康等级，构建其健康指标体系；其次，开展不同工况的基线测试，建立每个参数在典型工况下的健康基线，作为后续健康评估的基准；然后，根据设备在产线上的工作状态，分为在线健康监测、离线健康自检和远程健康评估。

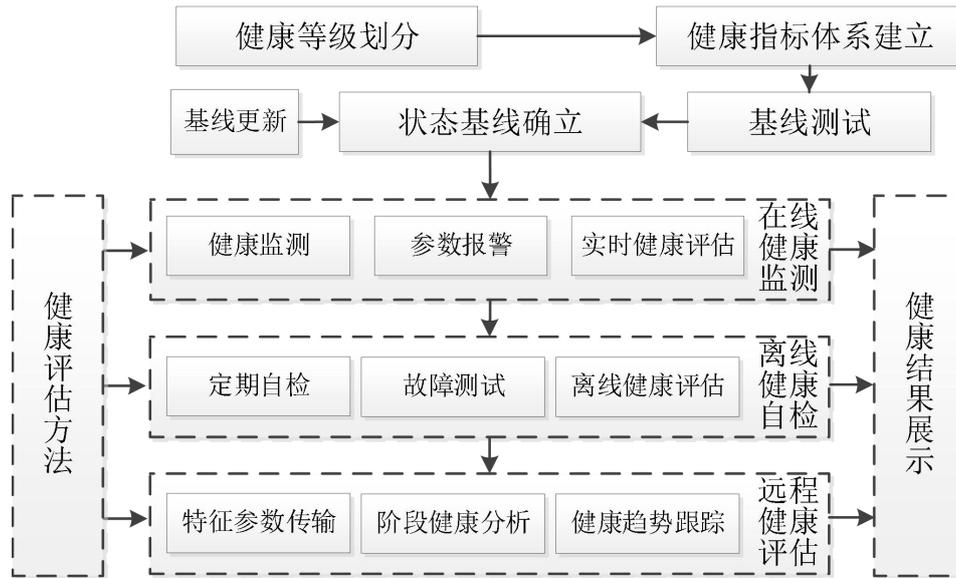


图2 产线设备健康管理流程图

5 健康等级及指标体系

5.1 健康等级划分

产线设备的健康状态等级一般分为奇数级，每个健康等级可自定义。其中，第一级为完好级/健康级，最后一级为故障级。如三级健康状态可划分为完好状态、不良状态和故障状态，不良状态可根据健康等级进一步细分不同等级的不良。

表1 健康等级划分示例（三级）

等级	健康等级	工业机器人状态描述
1	完好	健康状态完好，各项指标均良好、稳定，工作质量优秀。
2	不良	性能状态有所下降，或逐渐不稳定，出现一定程度的工作偏差。
3	故障	无法完成规定工作，性能极不稳定，工作质量很差，甚至报警停机。

5.2 健康指标体系

产线设备的健康指标体系包括结构层和健康层。结构层是体现和影响产线设备健康状态的主要组成部分，结构层及其对应的健康参数构成了产线设备的健康指标体系。

产线设备健康指标体系的结构层包括了应用、整机、部件、环境四个主要元素。每个结构节点可以分多个下级结构，每个结构可能具有多个健康参数，健康参数是反映该结构健康程度的重要依据。

——应用类参数：主要是产线设备在该应用场景下的工作指标，如工作精度/偏差、良品率/不良品率等；

——整机类健康参数：主要是产线设备的整体性能参数，如定位精度、重复定位精度等；

——分系统或部件类：主要是核心部件或分系统的整体性能，如分系统控制偏差、整体振动特征、温升等。分系统或部件类可进一步下分具体部件。

——环境类：主要考虑恶劣环境、误操作等导致的产线设备发生故障的风险，比如超限的环境温度、负载冲击、电网环境、碰撞等。

根据产线应用场景和设备组成结构，相关参数指标可进一步裁剪和扩展，各级结构可扩展下级结构和健康参数。

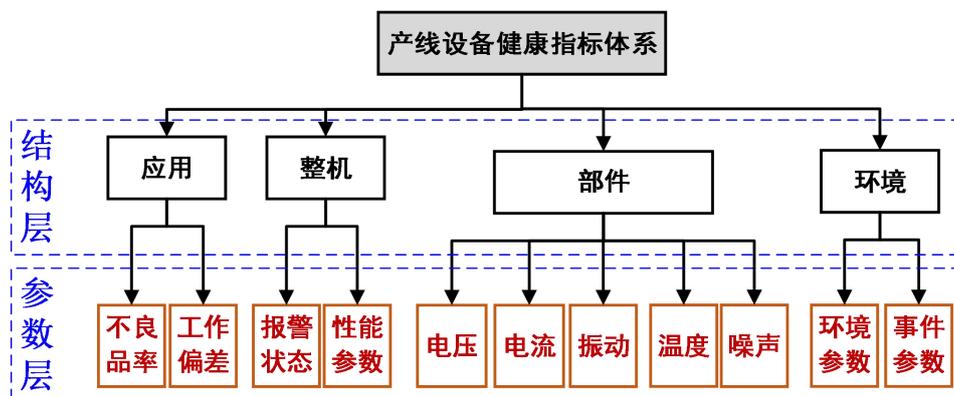


图3 产线设备健康指标体系

6 健康基线

6.1 基线测试

健康基线是健康评估的基准，由于产线设备可能运行在不同工况下，健康评估需去除工况的影响，因此，健康基线的设定必须考虑产线工况。

——对于工况变化较少（如为一组固定的负载、速度、轨迹等）的产线设备，可以设置一组或多组特定工况的测试程序，在产线设备安装/维修磨合后进行基线测试，采集测试过程的健康参数；在后续健康基线分析过程中，每个参数的一组特定工况对应一条健康基线；

——对于工况多变的产线设备，在产线设备安装/维修磨合后进行基线测试，跟踪一段时间设备在产线上的实际工作，作为基线测试，采集该时间段内产线设备的健康参数；在后续健康基线分析过程中，工况多变的工业机器人只考虑一种“平均”或“加权平均”工况下的健康基线。

6.2 基线确定

根据上述基线测试过程获得的各自工况对应健康参数，可采用如下方法进行每个参数的健康基线确定：

——对于事件型参数，如报警状态、不良品等参数，一旦发生即故障，健康基线为固定值，或者统计一段时间的发生频次（即单位时间的发生率），按经验值设置。

——对于实时型参数，如温度、振动、电流等，以某工况下测试数据的均值 μ 为健康基线，与健康基线距离为标准差 σ 为退化基线；距离健康基线距离为 3σ 为故障基线。

$$\mu = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

健康基线： $o = \mu$

退化基线： $a = \mu \pm \sigma$

故障基线： $b = \mu \pm 3\sigma$

进一步，根据应用场景、参数特点和专家经验等，对健康基线、退化基线、故障基线等进行适当调整。

其中，还可分单侧（只有上限或者只有下限）和双侧（上下限都有的情形）。单侧上限分别为 a^+ 和 b^+ ，单侧下限为 a^- 和 b^- ，如图3所示。

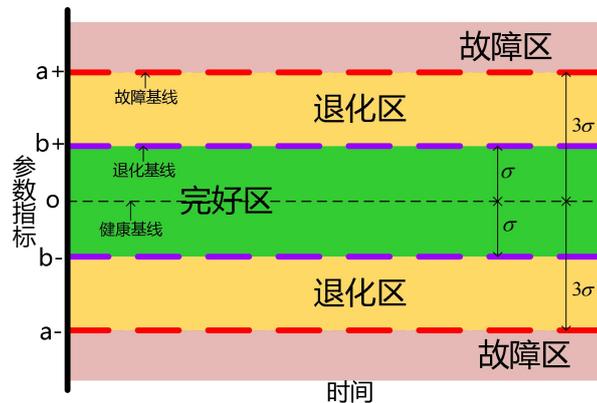


图4 产线设备健康基线示意图

6.3 基线更新

在某些情况下，产线设备需要重新开展基线测试，更新健康基线。

- 在产线设备投入生产、性能稳定后尽早开展基线测试，建立状态基线；
- 在产线设备有较大的作业变更、或整机与关键部件进行大修后，需要进行基线更新。

7 在线健康监测

7.1 健康监测

产线设备须进行在线健康监测。监测参数：包括图2中的相关健康参数，以及与之有关的其他参数。包括环境参数、控制参数、状态参数、任务参数等。产线设备的在线监测主要包括总线监测和附加传感器监测。

(1) 总线监测

对于多数产线设备控制参数和大部分状态参数，建议通过总线建立联系，调用系统内部的API函数库或动态链接库完成数据采集，这种方式不需要外加传感器和数据采集设备，应作为在线监测的首选方式。

- 采样频率：总线监测的每个参数读取密度建议不低于10Hz。
- 数据长度：对于具有固定运行周期的产线设备，采集数据应按照动作周期进行组织。
- 监测记录：监测实施过程中应有必要的记录，至少包括监测负责的人员、监测参数、监测条件、监测设备、监测流程、监测结果。

(2) 附加传感器监测

针对产线设备无法提供的状态参数，例如振动、噪声、声发射等，或产线设备通过网络提供的数据密度不足时，例如机械振动、电机电流，可通过外加传感器进行监测。详细安装方案见附录2。

——传感器要求：对于部署额外传感器采集相关参数，则应详细列出用于采集监测量的传感器清单；传感器及采集设备应符合相关标准规定，测量精度应符合要求并在校准有效期内；测试配置的设备或配置项、软件测试配置项及软件测试工具等应合理有效。

注：振动传感器的安装方式尤其重要，安装方式的选择可参考 GB/T 14412-2005《机械振动与冲击 加速度计的机械安装》

——采样频率：采样频率取决于故障类型及其扩展速率（以及相关参数的变化率），同时也考虑设备运行周期、成本和关键性等因素的影响。对瞬态工况或者是有限时长的，宜采用高速数据采样方式。采

样间隔的选择主要取决于被监测部件可能发生的故障类型、故障的发展速率、故障的危害程度和成本。对于振动信号，为了准确捕捉零件表面缺陷、间隙等产生的冲击，采样频率应不低于25.6kHz，电机电流信号、电压采样频率应不低于1kHz，声发射信号采样频率宜不低于1MHz。

——采样长度：对于具有固定运行周期的产线设备，采集数据应按照动作进行组织，单个记录的数据长度宜与动作周期一致。

——采样方式：相同类型参数当有多个通道时，应采用同步采样方式。使用不同采样率的多种参数，应保证同时启动采样过程。

——数据保存：在线监测记录的存储包括但不限于测量值、单位、日期与时间信息、测量位置、仪器及传感器类型、测量的准确度要求、采样频率、采样模式、记录长度、及其他用作比较的信息，还应该包括设备配置的详情和任何部件的变化。

7.2 实时评估

根据每个健康参数的实时值及其对应的状态基线，进行该参数的实时健康评估。参数实时评估可采用健康等级评估或者健康分数评估两种。

对于结构*i*的第*k*个健康参数，若为实时型参数，存在故障基线 $a_{i,k}$ 、退化基线 $b_{i,k}$ 、完好基线 $o_{i,k}$ ，健康等级评估可直接通过实时监测值 $x_{i,k}$ 与健康基线的关系，即参数实测值所处的健康基线区间来判定健康等级；健康分数评估需要先定义健康等级划分中各健康状态对应的健康分数边界值，然后通过等比例算法、模糊算法等计算获取健康分数，如 $x_{i,k}$ 落入退化区间，通过等比例算法获取的健康分数 $S_{i,k}$ 为：

$$S_{i,k} = \left| \frac{v_a - v_b}{a_{i,k} - b_{i,k}} \right| \times (x_{i,k} - b_{i,k}) + v_b, \quad s.t. \ b_{i,k} \leq x_{i,k} < a_{i,k}$$

其中， v_a 、 v_b 分别为故障基线和退化基线对应的健康分数。

若结构*i*的第*k*个健康参数为事件型参数，发生时 $x_{i,k} = 1$ ，不发生 $x_{i,k} = 0$ 。

7.3 参数报警

产线设备的报警分为一般报警和超差报警两类。一般报警用于警示产线设备的突发类异常，超差报警用于警示工业机器人监测参数超过规定阈值的异常状态。

(1) 一般报警

- 通讯异常；
- 程序异常；
- 文件异常；
- 运行异常；
- 姿态异常（如超出工作空间）；
- 配套系统异常。

(2) 超差报警

- 当参数超过退化基线，需进行预警；
- 当参数超过故障基线，需进行报警；
- 当参数在基线范围内，但连续多次监测处于连续退化状态，也应该进行预警。

注：报警事件需进行记录存储，包括但不限于以下信息：报警参数及实测值、单位、日期与时间信息、报警信息、其他参数值及其他相关的工况信息、维护措施。

8 离线健康自检

8.1 定期自检

产线设备可定期开展健康自检。

(1) 自检周期

根据产线设备的类别和工作强度设置自检周期，到了自检事件，也可根据生产情况，在设备空闲时安排自检。

(2) 自检程序

自检程序包括整机工况自检和结构独立自检。

——整机工况自检，可按照6.1的特定工况下的基线测试程序进行，判断当前健康与早期基线的变化情况。

——结构独立自检，根据产线设备的结构特征，针对独立的分系统或核心部件进行单独的测试自检，如旋转设备需要恒定负载下的定转速运行自检，工业机器人需进行单关节独立自检等。

(3) 自检过程监测

可根据产线现场条件，综合采用总线监测和附加传感器监测等手段。

(4) 自检记录

定期健康自检应有必要的记录，至少包括自检人员、自检时间、自检程序及顺序、监测参数、自检结果等。

8.2 离线评估

离线评估根据定期离线自检数据，详细评价产线设备的健康状态，包括：

——健康基线偏差：通过整机工况自检（与基线测试相同工况和测试程序），获得当前状态与基线的准确偏差，由于实时评估结果存在随机干扰和不确定性，定期健康自检偏差可作为后续健康评估的基准状态，如定期健康自检结果为退化状态，那么在后续实测评估过程中，其状态将只可能是退化状态或比退化状态更差的故障状态。

——健康状态详情：通过结构独立自检，可分析设备内部详细的结构健康状态。

——健康故障风险：通过健康参数与故障特征的进一步分析，可判断产线设备的明显退化部件、潜在故障模式等健康风险。

9 远程健康评估

9.1 特征参数远程传输

远程健康评估需要将产线现场的数据通过网络传输给远端（一般是监控运维平台）。

(1) 传输方式

——特征实时传输：由于产线设备现场采集数据量大，同时受限于网络带宽的影响，因此现场只传输与健康评估相关的特征参数。

——闲时被动式传输：对于在线测试的原始数据，远端根据平台并发量决定传输时间，向产线设备现场端发送请求，现场应答式/被动式将原始数据压缩后传输远端。

——按需主动式传输：对于离线自检等事件驱动数据，应该主动向远端平台请求数据交互，上传测试数据下载分析结果。

(2) 数据接口

数据接口的示例见附录1。

9.2 阶段健康分析

由于健康实时评估的计算量大、工况干扰和系统误差等原因，实时健康评估可能存在误差和健康状态跳动的情况。远端应根据设备工作周期或者经验设定一个评估阶段，以该阶段数据进行统计分析。如事件型健康参数采用频数或频率的方式进行，实时型健康参数采用阶段内各点实时评估的加权和方式等，示例如图5所示。

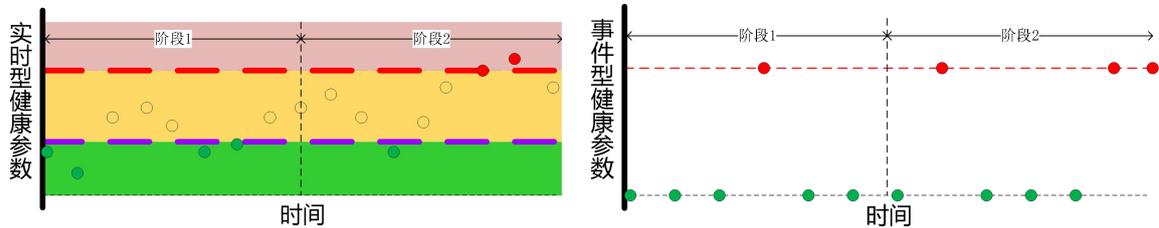


图5 阶段健康评估示例

9.3 趋势跟踪预测

远端应保存并跟踪相关健康参数和等级的变化情况，包括定期健康自检数据，各参数的实时评估值、部件/整机/应用的评估值，并通过历史数据绘制趋势跟踪图，如图6所示。

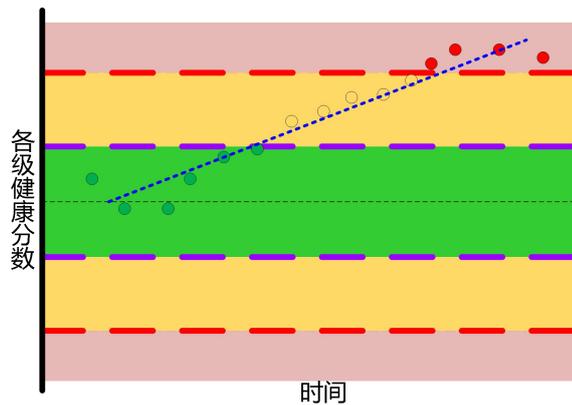


图6 健康趋势跟踪和预测

10 健康管理展示

应实时展示产线装备各健康参数、结构的实时监测值和评估结果。

- 用图表形式展示健康参数的实测数据和评估结果；
- 用指示灯展示健康等级，如表2所示；
- 用雷达图展示各级健康评估组成，如附录3所示；
- 用表形式展示健康评估风险详情。

表2 健康状态评估结果的指示灯展示

等级	健康等级	健康分数	推荐的指示灯
I	完好	80-100	
II	退化	30-80	
III	故障	0-30	

11 方法与接口

11.1 方法类别

- 基线计算：通过经验或者统计进行基线阈值的确定；
- 单参数瞬时值实时评估：单个参数瞬时值的健康等级评判或健康评分；
- 多参数加权的上级实时评估：一个部件有多个参数，通过模糊、加权等方法获得健康评分；
- 阶段性偏差评估：根据一个周期内的监测序列，分析健康偏差；
- 综合评估：从下往上（如部件到系统）的综合评估，可采用加权法或最差原则进行综合评估。

11.2 接口定义

输入：工况编号（工况对应基线阈值）、单参数瞬时值、单参数周期监测序列、多参数周期数据集。

输出：参数/结构对象编号、是否报警、健康等级、健康分数、多参数雷达图信息。

1 附录 1 参考性附录 通信协议

通信协议基本格式		
内容	字节数	备注
数据头	1	0X43,即'C'
数据长度	2	即从本字段开始的,到校验字节的数据的总长度,转义之前的总长度(长度为绿色部分的长度)
协议版本	1	
SN	4	本数据报的序号,由发起方维护。
设备类型	1	0X60
命令字	1	
应答标志	1	发起方为 0, 应答方 (1, 为成功, 其他, 异常)
数据内容	N	含时间戳, CPU-ID/MAC
校验字节	2	CCITT-16, 从数据长度开始到数据内容的 CCITT-16 校验。
数据尾	1	0X42,即'B'

1) 以 0x43 (即“C”)为数据报(报,以下同)的开头,以 0x42 为数据报的结尾,发送的数据报中间如出现 0x43, 0x42, 0x41 的,完全按转义(转义,以下同)处理。

发送前转义:

0x43 (A) -----→0x41 0X00
 0x42 (B) -----→0x41 0X01
 0x41 (C) -----→0x41 0X02
 0X2B (+) -----→0x41 0X18

接收后转义:

0x41 0X00-----→0x43
 0x41 0X01-----→0x42
 0x41 0X02-----→0x41
 0x41 0X18-----→0x2B (+)

转义只出现在传输过程中,除头和尾外,都必须转义传送,发送方先填充各种数据,并计算校验后,再转义,然后发送;接收方先转义成实际的数据,然后再算校验和取出数据,执行命令。

2) 系统时间采用 UNIX 时间戳 (JAVA 需要按 8 字节处理),无符号整形,32 位 (4 字节)表示。从 1970 年 1 月 1 日的 UTC 时间从 0 时 0 分 0 秒算起,到某指定时刻所经过的秒数 (忽略闰秒)。

如采集器 MCU 不支持,则填充 0XFFFFFFF。

3) 协议本身不带时间戳, CPU-ID 或 mac 地址,由采集器叠加到数据内容字段。

4) 所有数据以小端模式表示。数据对齐,1 字节对齐。

5) 无效数据:2 字节的以 0X7FFF 表示,4 字节的以 0X7FFFFFFF 表示。

6) 故障代码:告警 (N 种),正常,无效。由结构体定义。

7) 数据内容的表示方法 (记录) :

```
typedef struct Str_pack_t{
```

```

    unsigned char rec_num;
    struct Str_record rec0;
    struct Str_record rec1;
    .....
}

```

设备特征数据上行命令字：0x20

每秒上传的特征数据命令字，含心跳。连续 15 秒无数据，可认为设备离线。

设备原始数据上行命令字：0x21

每 n 分钟连续 m 秒的原始数据上传。如每隔 10 分钟，连续采集 3 秒的原始数据。

云平台下行查询参数命令字：0x22

云平台下发查询所有参数的命令，采集卡应答的命令字也是 0x22。

云平台下行修改参数命令字：0x23

云平台下发修改参数的命令，一个报文包含所有参数（无论该参数是否修改），采集卡应答的命令字也是 0x23，且应答报文中也包含所有参数。

云平台下行状态显示命令字：0x24

云平台下发的显示状态控制命令（目前仅有云端错误码）。

云平台设置实时时间命令字：0x25

云平台下发实时时间。

附 1.1：CCITT-16 校验算法

```

unsigned short int cal_crc_ccitt(unsigned char *ptr, unsigned short int len) {
    unsigned short int crc;
    unsigned char da;
    unsigned short int ccitt_table_code[16]={ // CRC 余式表
    0x0000, 0x1021, 0x2042, 0x3063, 0x4084, 0x50a5, 0x60c6, 0x70e7,
    0x8108, 0x9129, 0xa14a, 0xb16b, 0xc18c, 0xd1ad, 0xe1ce, 0xf1ef,
    };

    crc = 0;
    while((len--)!=0) {
        da = ((unsigned char)(crc/256))/16;

```

```

        crc <<= 4;
        crc ^= ccitt_table_code[da^(*ptr/16)];
        da = ((unsigned char)(crc/256))/16;
        crc <<= 4;
        crc ^= ccitt_table_code[da^(*ptr&0x0f)];
        ptr++;
    }
    return(crc);
}

```

附 1.2: 数据/命令结构体定义

// 特征数据帧，一帧里包含 10 条记录

```

typedef struct tag_EigenValueFrame_t
{
    EigenValue_t value[EIGEN_VALUE_NUM_PER_FRAME];
}
EigenValueFrame_t;

```

```

typedef struct tag_EigenValue_t
{
    uint32_t unix_time;           // 时间戳
    uint32_t cpu_id[3];          // 96bit 的 CPU ID
    uint32_t sn;                 // 报文序列号
    uint8_t error_code_local;    // 本地故障码
    uint8_t error_code_remote;  // 云端指定的故障码
    int16_t stator_temp;         // 电机定子绕组温度, 单位 10m° C
    int16_t front_bearing_temp; // 前轴承温度, 单位 10m° C
    int16_t rear_bearing_temp;  // 后轴承温度, 单位 10m° C
    int16_t air_temp;           // 空气温度, 单位 10m° C
    int16_t air_humi;           // 空气湿度, 单位 0.01%RH
    uint16_t speed;             // 电机转速, 单位 RPM
    uint16_t u_rms_u;           // U 相电压有效值, 单位 100mv
    uint16_t u_rms_v;           // V 相电压有效值, 单位 100mv
    uint16_t u_rms_w;           // W 相电压有效值, 单位 100mv
    uint16_t i_rms_u;           // U 相电流有效值, 单位 10ma
    uint16_t i_rms_v;           // V 相电流有效值, 单位 10ma
    uint16_t i_rms_w;           // W 相电流有效值, 单位 10ma
    uint16_t fs_i_ptp;          // 正序电流幅值, 单位 10ma
    uint16_t bs_i_ptp;          // 负序电流幅值, 单位 10ma
    uint16_t zs_i_ptp;          // 零序电流幅值, 单位 10ma
    uint16_t i_imbalance_ratio; // 电流不平衡度, 单位 0.01%
    uint16_t power_factor;      // 功率因素, 单位 0.01%
    int16_t slip_ratio;         // 转差率, 单位 0.01%
    int16_t efficiency;         // 效率, 单位 0.01%
}

```

```

int32_t in_active_power; // 输入有功功率, 单位 W
int32_t out_active_power; // 输出有功功率, 单位 W
int16_t temp_rise; // 电机温升, 单位 10m° C
uint16_t front_vib_severity; // 前轴承振动烈度, 单位 0.05mm/s
uint16_t rear_vib_severity; // 后轴承振动烈度, 单位 0.05mm/s
int16_t front_vib_aclt_1st; // 前轴承振动加速度 1 倍频, 单位 0.02g
int16_t rear_vib_aclt_1st; // 后轴承振动加速度 1 倍频, 单位 0.02g
int16_t front_vib_aclt_2nd; // 前轴承振动加速度 2 倍频, 单位 0.02g
int16_t rear_vib_aclt_2nd; // 后轴承振动加速度 2 倍频, 单位 0.02g
uint16_t front_vib_kurtosis; // 前轴承振动峭度, 单位 0.01
uint16_t rear_vib_kurtosis; // 后轴承振动峭度, 单位 0.01
int16_t rsvd_ch[4]; // 保留通道, 用于甲方拓展
}
EigenValue_t;

// 原始数据
typedef struct tag_RawValueFrame_t
{
    uint32_t unix_time; // 时间戳
    uint32_t cpu_id[3]; // 96bit 的 CPU ID
    uint32_t sn; // 报文序列号
    int16_t current_cnt;
    int16_t total_cnt;
    int16_t vib_ch1[POINTS_PER_RAW_FRAME];
    int16_t vib_ch2[POINTS_PER_RAW_FRAME];
}
RawValueFrame_t;

// 云端状态 – 目前仅有错误代码
typedef struct tag_RemoteStatus_t
{
    uint8_t error_code_remote;
}
RemoteStatus_t;

```

2 附录 2 装备监测参数表

装备监测参数表1

参数	机器类型										
	电动机	汽轮机	航空燃气涡轮	工业燃气涡轮	泵	压缩机	发电机	往复式内燃机	风机	机器人	阀
温度	X		X	X	X	X	X	X	X		
压力		X	X	X	X	X		X	X		X
压头(差)					X						
压力比			X	X		X					
压力(真空度)		X			X						
空气流量			X	X		X			X		X
燃料流量			X	X							
液体流量		X			X	X					X
电流	X						X			X	X
电压	X						X			X	X
电阻	X						X				
电相位	X						X				
输入功率	X				X	X	X		X	X	X
输出功率	X	X	X	X			X			X	X
噪声	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
振动	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
声发射	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
超声	X	X	X	X	X	X	X	x	X		
油压	X	X	X	X	X	X	X		X		X
油损耗	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
油(摩擦学参数)	X	X	X	X	X	X	X		X		
热成像	X	X	X	X	X	X	X		X		
扭矩	X	X		X		X	X			X	
转速	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
长度		X								X	X
角位置		X	X	X		X				X	
效率(导出量)		X	X	X	X	X				X	X
耗材消耗		X	X	X	X						X
光照度									X		
感光度									X		
时间		X	X	X	X	X	X		X	X	X

装备监测参数表2

参数	机器类型													
	喷涂设备	焊接设备	数控机床	电动紧固装置	激光设备	冷却设备	加热设备	控制设备	视化设备	机运设备	检测设备	安全设备	除尘设备	气缸
温度	X	X	X		X	X	X				X	X		
压力	X	X		X		X	X	X		X	X	X	X	X
压头(差)	X										X			
压力比											X			
压力(真空度)	—	—									X		X	X
空气流量	X	X			X	X		X			X		X	X
燃料流量														
液体流量	X	X	X		X	X		X			X			
电流	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
电压	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
电阻		X					X				X			
电相位			X								X			
输入功率	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
输出功率	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
噪声											X	X		
振动			X							X	X	X		
声发射											X			
超声							X				X			
油压								X			X	X		
油损耗								X			X	X		
油(摩擦学参数)								X						
热成像		X	X		X		X	X	X		X	X		
扭矩			X	X						X	X	X	X	X
转速			X	X						X	X	X	X	
长度											X			X
角位置				X						x	X			X
效率(导出量)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	x	X		X	X
耗材消耗		X	X		X						X			
光照度									X		X	X		
感光度									X		X			
时间		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X

3 附录 3 健康评估雷达图展示

