

团 体 标 准

T/CMIF XXXX—20XX

电机远程运维 第 1 部分：在线监测与状态评估要求

Remote operation and maintenance of motor system—Part 1: On-line monitoring and status assessment requirements

（征求意见稿）

（本稿完成时间：2023 年 6 月 12 日）

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。

20XX – XX – XX 发布

20XX – XX – XX 实施

中国机械工业联合会 发 布

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 系统结构 1

5 数据采集与可量测信号 3

 5.1 通用要求 3

 5.2 电压采集 3

 5.3 电流采集 3

 5.4 振动采集 3

 5.5 温度采集 4

6 数据预处理 4

 6.1 电压信号预处理 4

 6.2 电流信号预处理 4

 6.3 振动信号预处理 4

 6.4 温度信号预处理 4

7 特征参数 5

 7.1 电机特征参数表 5

 7.2 特征参数传输 5

8 状态评估 5

 8.1 评估参数 5

 8.2 评估方法 6

9 报警 7

10 预测性维护 7

参考文献 8

图 1 在线监测与状态评估系统结构示意图..... 2

表 1 电机特征参数 5

表 2 特征参数值过大的分段线性评估函数的阈值参数值和评估分数的对应关系表..... 6

表 3 特征参数值过小的分段线性评估函数的阈值参数值和评估分数的对应关系表..... 6

表 4 与损耗特性有关的基于特征参数的维护时间和内容..... 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这些专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

引 言

电机在我国各类机械与电气设备上应用广泛，占比高达90%，但是某些领域（如：风电、油田和核电等）现场条件恶劣，电机运维条件复杂，特殊工况下的人工巡检极易产生安全隐患与突发情况。因此电机远程在线监测与状态评估具有重要意义。

本文件将工业互联网新型信息技术与传统电机制造业相结合，规范机电设备运行数据的采集、监测要求与状态评估方法，解决了监测哪些信号，如何监测信号，如何处理信号的方法论问题，并在此基础上给出电机的远程在线评估电机状态的基本方法、处理状态报警分级以及预测性维护的要素。本文件解决了电机工业互联网平台实现电机远程运维的基础功能问题。

本文件有助力企业实时了解机组运行状态，可提高设备运行的可靠性、安全性和有效性，降低机电设备故障率，增加企业经济收益，发挥标准化对智能制造的引领和支撑作用，促进产业智能化和数字化转型。

电机远程运维

第 1 部分：在线监测与状态评估要求

1 范围

本文件规定了电机行业工业互联网平台远程运维在线监测与状态评估的总体结构、数据采集、可测量信号、数据预处理、特征参数计算、状态评估、报警以及预测性维护等要求。

本文件适用于接入远程运维系统并网运行的工业用电动机的在线监测与状态评估，其他类型电动机的远程运维系统参照使用。

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 10068-2020 轴中心高为56mm及以上电机的机械振动 振动的测量、评定及限值
GB/T 14711-2013 中小型旋转电机通用安全要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电机行业工业互联网平台 industrial internet platform of motor

面向制造业数字化、网络化和智能化需求，通过云网关或智能网关等设备集成工厂内部和/或工厂外部的各种电机及系统数据、服务和用户等各类资源，构建基于海量数据采集、汇聚和分析的服务体系，支撑制造资源泛在连接、弹性供给和高效配置，实现不同地域（区域）设备服务的工业云平台。

3.2

特征参数 feature parameter

从采集到的可量测信号中提取的表征电机各种运行工况的和与运行状态直接相关的电机数据。

3.3

评估参数 assessment parameter

从特征参数中选取的用于评估电机健康状态的数据。

3.4

在线监测 condition monitoring

采用传感器和仪器仪表等有效的互联网检测手段和分析诊断技术，及时准确地掌握设备运行状态。

3.5

状态评估 status assessment

通过评估参数，对电机各项指标以及整机健康状态进行评估，给出评估分数和工作状态。

3.6

机理模型 mechanism model

根据对象和生产过程的内部机制或者物质流的传递机理建立起的精确数学模型。

4 系统结构

4.1 概述

电机远程运维应用由电机工业互联网平台实现。在线监测与状态评估的系统结构主要由边缘层、基础层、平台层和应用层等部分功能组成，如图1所示。

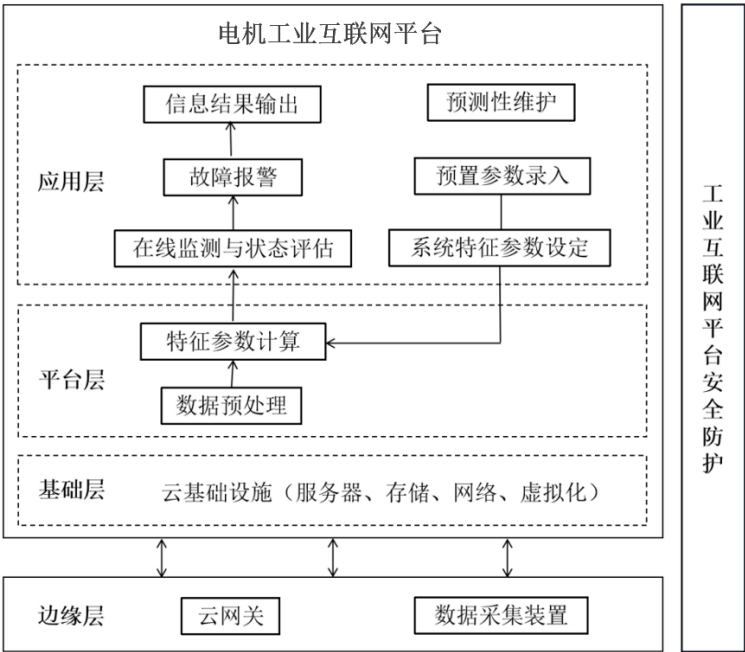


图1 在线监测与状态评估系统结构示意图

4.2 边缘层

边缘层包括云网关和数据采集装置：

a) 云网关

实现多源异构数据的归一化、边缘集成及汇聚处理功能，负责边缘侧和平台的通讯；

b) 数据采集装置

通过传感器（如温度传感器、振动传感器等）和 I/O（模拟量、数字量）模块等采集电学、振动、热学、绝缘和噪声等电机特征参数数据。

4.3 基础层

基础层实现计算机资源的池化管理，并确保资源使用的安全与隔离

4.4 平台层

平台层包括数据预处理和特征参数计算：

a) 数据预处理

对采集的信号进行滤波、去掉异常数据点和频谱分析等处理；预处理模型参数由平台设置后下发到边缘侧；

b) 特征参数计算

对经预处理的传感器信号按照电机机理模型进行计算，变换为表征电机状态的特征参数；

4.5 应用层

包括在线监测与状态评估、系统特征参数设定、故障报警、预置参数录入、结果信息的输出以及预测性维护等功能：

a) 预置信息录入

预置信息录入是电机和云网关固有的信息，在平台录入，可以是电机的厂家、名称、型号、额定信息、编号、维修时间等或者云网关的厂家、名称、型号、IP、MAC 地址或参数等；

b) 系统特征参数设定

系统特征参数设定是指平台根据机理模型和数据分析成果，给出预处理模型参数和特征参数的计算模型参数、在线监测与状态评估和报警模型所需的阈值参数和权重因子等；

c) 在线监测与状态评估

根据给定的特征参数、系统设定的阈值参数和评估权重因子对电机各个评估参数进行综合评估，给出各个评估参数的评估分数；

d) 故障报警

根据各个评估参数的评估分数，根据预先给定的报警阈值参数给出紧急报警、一般预警和智能预警等三个不同级别的报警；

e) 结果信息输出

结果信息输出是指平台根据用户需求用数据或图表显示在线监测特征参数、评估分数和报警级别；

f) 预测性维护

预测性维护是根据在线监测与状态评估分数及其趋势进行预测性维护。

5 数据采集与可量测信号

5.1 通用要求

5.1.1 电机远程运维系统应通过安装相应的传感器实现采集以下与电机相关的测量信号：

- a) 电压——电机输入端任意两条线电压的有效值或瞬时值；
- b) 电流——电机输入端三个线路电流的有效值或瞬时值；
- c) 振动——电机轴承处振动速度的有效值或瞬时值；
- d) 温度——电机三相定子绕组、轴承、冷却介质、外壳和其他发热部件的温度。

5.1.2 电机远程运维系统可选择上述可测量数据的不同组合，但应包括但不限于一个温度信号。

5.1.3 电机远程运维系统不宜与其他系统共享传感器。

5.2 电压采集

电机远程运维系统接入的设备若需要进行功率分析时应监测电压，应满足：

- a) 若多台设备共用母线可以只检测母线电压；
- b) 可以检测三个线电压中的任意一个或两个；
- c) 电压传感器安装在电机的输入端或者电压互感器的二次侧，并联安装在所测电压的两端；
- d) 根据 GB/T 14711-2013 第十一章的要求，保证电压传感器与周围外露的带电导体之间的电气间隙和爬电距离；
- e) 电压传感器的精度为 1 级或更高，平坦频率响应范围为 0~2 kHz，采集板采样频率为 1.3 kHz 或更高，连续采样时间不低于 1 个基波周期。

5.3 电流采集

电机远程运维系统接入的设备若需要电流监测，应满足：

- a) 可以检测三个线电流中的任意一个或两个；
- b) 电流传感器安装在电机的输入端或者电流互感器的二次侧；
- c) 电流传感器宜采用开启式钳形结构和霍尔效应原理，方便在线安装与拆卸；
- d) 电流传感器套在电缆外部时，对接触部分的电缆外部进行保护，不能损坏电缆绝缘；
- e) 根据 GB/T 14711-2013 第 11 章的要求，保证电流传感器与周围外露的带电导体之间保证电气间隙和爬电距离；
- f) 电流传感器的精度等级为 1 级或更高，平坦频率响应范围为 0~2 kHz，采集板采样频率为 1.3 kHz 或更高，电流信号分析不作频谱分析时，连续采样时间不低于 1 个基波周期，否则，连续采样时间满足频谱分析要求；
- g) 若设备需要进行功率分析时，电流与电压同步采样。

5.4 振动采集

电机远程运维系统监测设备轴承处速度或加速度采用速度或加速度传感器，应满足：

- a) 按 GB/T 10068-2020 中 7.2.1 的规定，对于振动测量点，测量全部或部分测量点的振动，也可以使用安装在上述测量点的多轴振动传感器替代部分测量点，其中振动传感器要按照 GB/T 10068-2020 中 7.4 规定；

- b) 振动传感器的精度为 5 级或更高，平坦的频响范围在仅要求计算振动有效值时满足 GB/T 10068—2020 第五章的要求，但若对频谱分析有要求，平坦的频率响应范围为 2 Hz~2 kHz 或更高，采集板采样频率为 2 kHz 或更高，连续采样时间不低于 50 个基波周期；
- c) 电机在制造过程中，电机上预先设计安装振动传感器或者预留安装位置和走线空间。预先设计安装的振动传感器接入电机上的弱电箱接线排，并标记为电机远程运维系统专用。

5.5 温度采集

电机远程运维系统采用温度传感器可监测电机的三相定子绕组较热点、所有轴承静止部件、电机冷却系统介质（进口和出口）、电机机壳较热点、周围环境和润滑油等或其中一部分的温度，应满足：

- a) 为了消除温度数据采集的滤波干扰，采样频率不低于 10 Hz，连续采样点不少于 10 个。具体温度信号预处理方法见 6.4；
- b) 三相定子绕组较热点、所有轴承静止部件、电机冷却系统介质（进口和出口）和润滑油等电机内部部件的温度监测在电机制造过程中在电机相应部位预先埋设 PT100 或 PT1000 等温度传感器，该预先埋设的温度传感器一般一备一用；
- c) 电机机壳较热点的温度监测可以在电机制造过程中预先设置，已埋设定子绕组传感器的一般不再对电机机壳较热点进行监测；
- d) 预先设置的温度传感器接入到电机上的弱电箱接线排，并标记为电机远程运维系统专用。

6 数据预处理

6.1 电压信号预处理

电压信号预处理应采用以下方法：

- a) 对于采集三个线电压中的任意两个瞬时电压信号，先计算剩余一个线电压信号。
- b) 对于采集三个线电压中的任意一个电压信号的，剩余两个线电压无须计算；
- c) 针对每个采集的线电压信号应对按照整数倍基波周期连续采样得到的数据作傅里叶变换，得到其频域数据。同时计算每个采集的线电压信号的有效值、幅值和谐波含量。对于采集三个线电压中的任意 2 个的电压信号的，计算其电压不平衡度、电压基波的负序分量与正序分量的比；
- d) 根据电压有效值的变化情况，通过预定的筛选算法确定采样异常点。

6.2 电流信号预处理

电流信号预处理应采用以下方法：

- a) 对于采集三个线电流中任意两个瞬时电流信号，假设没有中心点接地，并计算剩余一个线电流信号；
- b) 对于仅采集三个线电流中的任意一个电流信号的，剩余两个线电流无须计算；
- c) 针对每个采集的线电流信号应对按照整数倍基波周期连续采样得到的数据作傅里叶变换，得到其频域数据。同时计算每个采集的线电流信号的有效值、幅值和谐波含量。对于采集三个线电流中的全部电流信号的，计算其电流不平衡度、电流基波的负序分量与正序分量的比、电流基波的零序分量与正序分量的比。对于采集三个线电流中的任意 2 个的电流信号的，计算其电流不平衡度、电流基波的负序分量与正序分量的比；
- d) 根据电流有效值的变化情况，通过预定的筛选算法确定采样异常点。

6.3 振动信号预处理

振动信号预处理应采用以下方法：

- a) 针对每个轴采集的振动信号，对按基波的整数倍基波周期连续采样得到的数据作傅里叶变换，得到其频域数据。同时，计算每个轴振动信号的有效值和幅值；
- b) 根据振动有效值的变化情况，通过预定的筛选算法确定采样异常点。

6.4 温度信号预处理

温度信号预处理应采用以下方法：

- a) 针对每一路的温度信号，对连续采样的数据去除最大值以及最小值，再对剩余数据取平均值；
- b) 根据振动有效值的变化情况，通过预定的筛选算法确定采样异常点。

7 特征参数

7.1 电机特征参数表

在预处理基础上，通过电机机理模型计算得到如表1所示的电机特征参数。

表1 电机特征参数

序号	特征参数	自变量	量测数据	评估标记
1	各相电压有效值	时间	电压	
2	各相电压幅值	时间	电压	
3	电压不平衡度	时间	2个电压以上	
4	各相电压幅值和相位频谱	频率	电压	
5	电压基波的负序与正序的比	时间	2个电压以上	
6	电压的谐波含量	时间	电压	
7	各相电流有效值	时间	电流	
8	各相电流幅值	时间	电流	
9	电流不平衡度	时间	2个电流以上	
10	各相电流幅值和相位频谱	时间	电流	
11	电流基波的负序与正序的比	时间	2个电流以上	
12	各相电流的谐波含量	时间	电流	
13	电流基波的零序与正序的比	时间	3个电流	
14	振动有效值	时间	振动	
15	振动幅值	时间	振动	
16	振动幅值和相位频谱	频率	振动	
17	输入有功功率	时间	电压和电流	
18	输入无功功率	时间	电压和电流	
19	输入视在功率	时间	电压和电流	
20	功率因数	时间	电压和电流	
21	启停状态	时间	电压、电流、振动和温度	
22	累计运行时间	时间	启停状态	
23	绝缘系统的热寿命	时间	温度和电机预置信息	
24	转速	时间	电压、电流、振动和温度	
25	电流负载率	时间	电流和电机预置信息	
26	轴承寿命	时间	启停状态、电流和电机预置信息	
27	润滑油更新剩余时间	时间	启停状态、电流和电机预置信息	
22	累计运行时间	时间	启停状态	
28	效率	时间	电流和电机预置信息	
29	各路温度	时间	各路温度	
30	各路温升	时间	各路温度和环境温度	
注：各个企业单位可按需自行添加特征参数用作评估参数。				

7.2 特征参数传输

数据上传的最小时间间隔可配置，不宜小于其两倍的连续采样周期。各特征参数均需设定是否上传云端标记，频域数据的各个频率需单独设置是否上传云端标记，选择给定的频率数据上传。是否上传云端标记由平台确定后下发到云网关。

8 状态评估

8.1 评估参数

状态评估参数分为单项评估参数和综合评估参数。单项评估参数包括：评估用特征参数、综合评估参数、制造质量记录、交接安装验收记录、预防性试验数据和检修消缺记录。评估用的特征参数通过对特征参数增加是否用于评估的标记来选取。综合评估参数是对所有的单项评估参数的综合，其评分值为所有单项综合评估参数评分的归一化加权累计。

电机的状态评估参数包括：制造质量记录、交接安装验收记录、预防性试验数据、检修消缺记录和在线监测数据。电机的工作状态包括：正常状态、可疑状态、不良状态和危险状态。

8.2 评估方法

8.2.1 电机状态评估参数的评估由专家确定标准后，至少可由运维人员在电机工业互联网平台进行人工评估、打分并记录。单项评估参数由系统给定单项评估阈值参数后，通过预先设定的函数计算得到分数，评估分值采用百分制，即0~100分，0对应于故障状态，100分对应于正常状态，修约系数为0.1。

8.2.2 评估方法及函数如下：

a) 表示特征参数值过大的分段线性评估函数：

$$u(T) = \begin{cases} 100, & T \leq T_1 \\ 100 - \frac{25}{T_2 - T_1}(T - T_1), & T_1 < T \leq T_2 \\ 75 - \frac{25}{T_3 - T_2}(T - T_2), & T_2 < T \leq T_3 \\ 50 - \frac{25}{T_4 - T_3}(T - T_3), & T_3 < T \leq T_4 \\ 25 - \frac{25}{T_5 - T_4}(T - T_4), & T_4 < T \leq T_5 \\ 0, & T > T_5 \end{cases} \quad (1)$$

式中：评估用的阈值参数值和评估分数的对应关系见表2。

表2 特征参数值过大的分段线性评估函数的阈值参数值和评估分数的对应关系表

阈值参数值	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
评估分数	100	75	50	25	0

注：上述的值为升序，即满足： $T_1 \leq T_2 \leq T_3 \leq T_4 \leq T_5$ 。

b) 表示特征参数值过小的分段线性评估函数：

$$u(T) = \begin{cases} 0, & T \leq T_1 \\ \frac{25}{T_2 - T_1}(T - T_1), & T_1 < T \leq T_2 \\ 25 + \frac{25}{T_3 - T_2}(T - T_2), & T_2 < T \leq T_3 \\ 50 + \frac{25}{T_4 - T_3}(T - T_3), & T_3 < T \leq T_4 \\ 75 + \frac{25}{T_5 - T_4}(T - T_4), & T_4 < T \leq T_5 \\ 100, & T > T_5 \end{cases} \quad (2)$$

式中：评估用的阈值参数值和评估分数的对应关系见表3。

表3 特征参数值过小的分段线性评估函数的阈值参数值和评估分数的对应关系表

阈值参数值	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
评估分数	0	25	50	75	100

注：上述的值为升序，即满足： $T_1 \leq T_2 \leq T_3 \leq T_4 \leq T_5$ 。

c) 表示特征参数值为零的分段线性评估函数：

采用b)中表示特征参数过小的分段线性评估函数， $T_1 \sim T_5$ 为接近零的数值。

系统根据单项评估参数的重要性，通过专家打分等方法给定单项评估参数的权重因子，权重因子的总和为1。单项评估分数与权重因子的积的累计为综合评估分数，综合评估分数的范围为0~100分。评估分数的趋势，是评估分数一定时期的变化率，为前一个运行周期的线性回归的斜率。平台应记录单项评估参数评估分数和综合评估参数的评估分数，并可计算对应的评估分数趋势。

9 报警

9.1 电机的报警有单项和综合两种，分别针对单项评估分数和综合评估分数触发。报警信号触发后，应立即通过平台通知运维人员。

9.2 电机工作状态评估分数区间如下：

- a) 正常状态评估分数在 75 分~100 分之间状态，无报警；
- b) 可疑状态评估分数在 50 分~74.9 分之间状态，触发智能预警信号；
- c) 不良状态评估分数在 25 分~49.9 分之间状态，触发普通预警信号；
- d) 危险状态评估分数在 0 分~24.9 分之间状态，触发紧急报警信号。

10 预测性维护

10.1 电机远程运维体系应制定预测性维护计划，根据特征参数和评估参数评估分数对损耗特性有关的预测维护要素进行区分，预测计划应包括维护时间点与维护内容。

10.2 基于特征参数的预测性维护要素包括绝缘系统的热寿命时间、累计运行时间、轴承寿命时间和润滑油更新后使用时间等，根据电机设计给出并预置值，估算下一次维护的具体内容和时间，见表4。

表4 与损耗特性有关的基于特征参数的维护时间和内容

序号	维护时间点	维护内容
1	绝缘系统热寿命到期	大修：换电机主要部件，包括绝缘系统
2	累计运行时间到期	大修：换电机主要部件
3	轴承寿命到期	换轴承
4	润滑油更新时间	换润滑油

10.3 基于评估参数评估分数的预测性维护要素包括电流评估分数、振动评估分数、温度评估分数和电流不平衡度评估分数等。根据系统预置的评估分数维护阈值，给出下一次维护的具体内容和时间，见表5。评估分数维护阈值可以是智能预警阈值与普通预警阈值之间的值。

表5 与损耗特性有关的基于评估参数评估分数的维护时间和内容

序号	维护时间点	维护内容
1	电流评估分数按当前趋势到达维护阈值	检修：检查负载和散热系统等
2	温度评估分数按当前趋势到达维护阈值	检修：检查负载和散热系统等
3	振动评估分数按当前趋势到达维护阈值	检修：检查机械连接结构、转子和轴承等
4	电流不平衡度评估分数按当前趋势到达维护阈值	检修：定子绕组、接线端子和电源等

参 考 文 献

- [1] GB/T 755 旋转电机 定额和性能
-