

ICS 03.100.50  
L85/89

# T/WJDGC

团 体 标 准

T/WJDGC 0013—2022

---

## 工业系统前置安全检测指南

2022-12-30 发布

2022-12-30 实施

---

茂名市机电工程学会 发布

## 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。

本文件由广东石油化工学院提出并归口。

本文件起草单位：广东石油化工学院、杭州电子科技大学、佛山科学技术学院、海南中清能科技有限公司、广东省茂名市质量计量监督检测所、广东维尔能源有限公司、茂名华检实验科技有限公司。

本文件主要起草人：朱冠华、文成林、余伟、刘海平、赵善达、王焮灏、王广宁、关鹏、崔得龙、彭章明、梁绪树。

# 工业系统前置安全检测指南

## 1 范围

本文件规定了工业系统前置安全检测的术语和定义、前置安全检测要求、前置安全检测需要的数据、前置安全检测的方法。旨在：

- 让工业系统的用户与制造商在前置安全检测领域有共同的概念；
- 让用户准备必要的技术特性数据，用于工业系统前置安全检测的相关诊断；
- 给出实现工业系统前置安全检测方法的相关指引。

本文件适用于所有的工业系统。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容对通过文件的规范性引用而构成本文必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅注日期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 22393-2015 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 20921 机器状态监测与诊断 词汇

IEC 60812-2018 Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA)

## 3 术语和定义

GB/T 20921 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1 工业系统

泛指机器系统，如：工业领域中的电动机、压缩机、泵等机器系统；交通运输领域中的汽车、船舶、高铁等机器系统。

### 3.2 微小故障

当机器的一个部件（或组件）劣化或出现可能导致机器失效的异常状态，但异常征兆微小（监测参数与基线数据的偏离程度较小，一般不超过报警界限，有时甚至不超过预警界限）时，机器部件（或组件）所处的状态。

### 3.3 显著故障

当机器的一个部件（或组件）劣化或出现可能导致机器失效的反常状态，但反常征兆显著（监测参数与基线数据的偏离程度较大，一般超过报警界限）时，机器部件（或组件）所处的状态。

### 3.4 前置安全

系统呈现显著故障（监测参数超过报警界限）前，因微小故障引发的系统安全隐患。一般而言，前置安全隐患（微小故障）具有监测参数偏离基准程度小，故障特性不明显、易被未知扰动和噪声掩盖等特点。

### 3.5 前置安全检测

收集反映机器状态的信息和相关数据，并为确定机器系统前置安全隐患（微小故障）的性质（种类、状况、程序）而检验相关症状和症候群。

## 4 前置安全检测要求

### 4.1 前置安全检测在工业系统运维中的作用

一般而言，无论工业系统故障的规模多大、来势多凶猛，这些故障都是从微小故障（早期故障、初始故障、初期故障）开始的。开展针对微小故障的前置安全检测是预防和减少灾难发生的关键。为了使前置安全检测有效，宜按照工业系统中可能发生的故障制定前置安全检测程序，并强烈建议对工业系统前置安全检测进行初步研究。

### 4.2 确定前置安全检测需求

在确定前置安全检测需求时，建议按照GB/T 22394.1-2015中4.2的原则示意图来考虑工业系统初步研究中的相关事项。

确定前置安全检测需求的一般步骤包括：

- a) 分析工业系统各机器全过程的利用率，及针对微小故障而言的可维修性和危害度；
- b) 列举工业系统各机器的主要部件及其功能；
- c) 分析各机器主要部件故障的失效模式和原因（特别是与微小故障相关的失效模式和原因）；
- d) 基于机器部件的重要性（安全性、利用率、维修费用、产品质量）和故障发生率来确定危害度；
- e) 确定机器部件微小故障的可诊断性（“哪些故障是可以诊断的？”）；
- f) 分析哪些运行工况最有利于观察各种微小故障，并规定前置安全检测的基准工况；
- g) 表示适用于前置安全检测的微小故障症状；
- h) 列出用于检测各种微小故障症状的表征量；
- i) 识别适用于前置安全检测的必要测量，从中导出或计算出表征量。

对于步骤a)、b)、c)和d)，可以采用FMEA(失效模式和影响分析)或FMECA(失效模式影响和危害度分析)等方法进行运维优化。步骤c)、d)、e)、f)、g)、h)和i)可应用于FMSA(失效模式症状分析)中。

注：FMEA和FMECA的过程在IEC 60812中进行了概述；FMSA方法在GB/T 22394.1-2015中有具体描述。

在进行FMSA(失效模式症状分析)的等级评估时，监测优先数(MPN)等级是检测等级评估(DET)、失效严酷等级(SEV)、诊断结论置信度(DGN)、预报置信度(PGN)这4个等级的乘积。在GB/T 22394.1-2015的4.3节中，检测等级评估(DET)、诊断结论置信度(DGN)、预报置信度(PGN)的等级评估分为1~5级，而表征故障危害度的失效严酷等级(SEV)的等级评估分为1~4级，这降低了工业系统机器故障危害度对监测优先数(MPN)等级评估的影响，对于一些要求较高安全等级的工业系统而言是不太适用的。因此，建议根据工业系统对安全等级的要求，适当提高失效严酷等级(SEV)的等级评估分级数(如将其等级评估分为1~7级等)，以增强工业系统机器故障危害度对监测优先数(MPN)等级评估的影响。

### 4.3 前置安全检测要求报告

建议把对工业系统前置安全检测进行初步研究的结果综合保存在“前置安全检测要求报告”中。该报告建议参照GB/T 22394.1-2015中的4.4来处理。

需要注意的是：工业系统前置安全检测主要任务是检测微小故障，而微小故障由于异常征兆微小，可能存在故障症状不被状态监测所涵盖的情况，建议增加额外的监测能力，或采用更优秀的微小故障诊断方法来解决这类问题。这时，需要考虑“计算表征量所使用的方法和参数”是否需要更换。

## 5 前置安全检测需要的数据

### 5.1 状态监测数据

状态监测数据涉及测量、表征量、症状、故障、运行参数等方面的内容，建议参照 GB/T 22394.1-2015 中的 5.1 来处理。

为了使工业系统前置安全所要检测的微小故障诊断结果更准确，需要结合具体的诊断方法，确定更容易诊断微小故障的症状，进而选择与症状对应性更好的表征量或原始测量量。

运行参数是工业系统前置安全检测的重要状态监测数据，既用来描述某些表征量，也用来描述发生故障时对应的运行工况（环境）。正确应用运行参数，有助于提高工业系统前置安全检测的诊断准确率。

### 5.2 机器数据

工业系统前置安全检测通常需要知道机器的具体数据（如：对工业系统的振动检测需要知道机器部件转速等运动学数据）。

为了使工业系统前置安全检测结果更准确，需要结合具体的微小故障诊断方法，记录诊断要求中有关状态监测技术的机器数据。

### 5.3 机器历程数据

工业系统发生的微小故障除了与机器的运行有关外，还可能与机器的维修有关。为了使工业系统前置安全检测结果更准确，诊断时需要考虑工业系统的故障历程、运行历程和维修历程，因此记录这些机器历程数据对工业系统前置安全检测很重要。

## 6 前置安全检测的方法

### 6.1 前置安全检测方法的分类

工业系统前置安全检测的方法主要分为如下两大类：

a) 数据驱动的方法。这种方法一般是通过训练的算法程序自动完成前置安全检测（微小故障诊断），其特点是：需要用大量观察到的故障数据来训练算法，但不需要有关故障产生和扩展机理的深层知识。

b) 基于知识的方法。这种方法一般是通过故障行为或症状的精确模型程序来实现前置安全检测（微小故障诊断），其特点是：需要有关故障产生和扩展机理等深层知识，但不需要用大量观察到的故障数据来训练算法。

需要注意的是，对于工业系统前置安全检测，这些方法是可以组合使用的，而且可利用几种方法的组合制定出解决问题的方案。

### 6.2 基于数据驱动的前置安全检测方法

基于数据驱动的前置安全检测方法并不依赖系统的先验知识（如数学模型和专家经验），以采集到的不同来源和不同类型的状态监测数据为基础，结合机器数据与机器历程数据，利用各种数据挖掘技术获取其中隐含的有用信息，表征系统运行的正常模式和故障模式，进而达到前置安全检测（微小故障诊断）的目的。关于数据驱动方法的相关介绍可参考 GB/T 22394.1-2015 中 6.3 节的相关内容。

工业系统发生故障必然会反映在监测数据上，监测数据包括当前时刻的采样数据（即在线数据）以及大量的历史数据。在线数据反映了系统当前的时变特性，历史数据包含了监测对象的各种过程模式。理论上，只要对监测数据进行合理且足够深度的挖掘，便可获得更为细节化的故障特征，适用于前置安全检测（微小故障诊断）。目前，该方法已成为较为实用的前置安全检测方法，可进一步细分为基于统

计分析、基于信号处理和基于人工智能的前置安全检测方法。

### 6.3 基于知识的前置安全检测方法

基于知识的方法的相关介绍可参考 GB/T 22394.1-2015 中 6.4 节的相关内容。对于基于知识的前置安全检测方法，建议进一步细分为基于解析模型（如第一原则模型方法等）和基于知识库（故障/症状诊断方法、因果关系树诊断法等）的前置安全检测方法。

基于解析模型的前置安全检测方法是系统的本质特性出发，以期对故障达到实时性的检测与诊断。微小故障通常与模型参数直接相关，随着对系统故障演化机理的逐步理解，进而实现对模型的修正以提高诊断精度。然而，在实际的工程化应用中，例如化工机组、电力系统、大型船舶等复杂多变量系统，通常要求所构建的数学模型具有高精度性，而基于解析模型的微小故障诊断方法多数是利用系统残差对其局部子系统构建数学模型进行状态估计、在线近似等，难以确保高精度。同时，由于建模过程中难以避免误差和未知干扰，很难同时保证干扰鲁棒性和故障灵敏度，特别是对于复杂的动态系统，如果变量彼此耦合，建立模型的代价就更高。因此基于模型的微小故障诊断技术在实际应用中具有一定的局限性。

基于知识库的前置安全检测方法依赖于相关领域专家的经验知识，分为定性方法和定量方法。定性方法多是基于状态、属性等非量化特征进行诊断，诊断的准确程度受知识库中专家经验的丰富程度影响，并依赖于专家知识水平的高低。但鉴于系统的动态复杂性、专家经验和知识的局限性以及对知识规则化表述的困难性，使得诊断知识库并不完备（当遇到一个全新的故障现象时，知识库内没有相关规则与之对应），同时，系统缺乏自学习和自完善能力，现行的用于故障诊断的专家系统在运行中不能从诊断的实例中学习获得新的知识，且对系统设计的一些边缘性问题的求解显得较为脆弱和敏感。在前置安全检测时，微小故障属于弱信号，很难由定性的方法直接推理，因而对于前置安全检测具有一定的局限性。

### 6.4 前置安全检测方法的选择

在选择前置安全检测方法时，需要考虑如下因素：

- 检测系统的成本效益；
- 系统或机器的检测必要性；
- 用户对检测方法的认可度；
- 监测技术的可行性；
- 构建知识库的复杂性；
- 构建解析模型的复杂性；
- 再训练模型的需要；
- 与故障相关的监测数据、机器数据、历程数据的可用性。

前置安全检测方法的选择可参考 GB/T 22394.1-2015 中 6.2 节的相关内容。从实用性角度出发，建议优先选择基于数据驱动的前置安全检测方法。