



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 13399—2025

代替 GB/T 13399—2012

## 汽轮机安全监视技术规范

Technical specification for safety monitoring of steam turbine

2025-12-02 发布

2026-07-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布



目 次

前言 ..... III

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 通则 ..... 1

5 技术要求 ..... 3

6 汽轮机安全监视装置及仪表出厂试验 ..... 6

7 汽轮机安全监视装置的包装、发货、运输 ..... 6

8 汽轮机安全监视装置出厂文件 ..... 6

附录 A（规范性） 汽轮机安全监视仪表—转速测量装置测试 ..... 7

附录 B（规范性） 汽轮机安全监视仪表—位移测量装置测试 ..... 9

附录 C（规范性） 汽轮机安全监视仪表—偏心测量装置测试 ..... 11

附录 D（规范性） 汽轮机安全监视仪表—振动测量装置测试 ..... 13

参考文献 ..... 15



## 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。

本文件代替 GB/T 13399—2012《汽轮机安全监视装置 技术条件》，与 GB/T 13399—2012 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了“术语和定义”一章以及“转速静态误差”“转速动态误差”的术语和定义(见第 3 章)；
- b) 增加了汽轮机安全监视仪表内容(见 4.2)；
- c) 更改了汽轮机安全监视项目内容(见 4.3, 2012 年版的 3.2.2)，删除了主轴偏心测量装置[见 2012 年版 3.2.2e)]，增加了额定参数变化的时间超限保护[见 4.3n)]；
- d) 更改了汽轮机安全监视装置组成和类别(见 4.4, 2012 年版的 3.3)；
- e) 增加了电源切换要求(见 4.5.1)；
- f) 更改了仪表工作环境的温度范围(见 4.5.2, 2012 年版的 3.4.2)；
- g) 更改了紧急停机处理的监视项目，从信号的发生到监测装置输出时间限制(见 4.5.7, 2012 年版的 3.4.7)；
- h) 增加了仪表或传感器的技术要求(见 4.5.9)；
- i) 更改了转速测量装置的技术要求(见 5.1, 2012 年版的 4.1)；
- j) 更改了电超速保护装置的技术要求(见 5.2, 2012 年版的 4.2)，增加了电超速保护的精度要求(见 5.2.4)；
- k) 更改了轴向位移测量和保护装置的技术要求(见 5.3, 2012 年版的 4.3)；
- l) 更改了胀差测量装置的技术要求(见 5.4, 2012 年版的 4.4)；
- m) 更改了主轴偏心装置的技术要求(见 5.5, 2012 年版的 4.5)；
- n) 更改了轴承座绝对振动测量装置的技术要求(见 5.6, 2012 年版的 4.6)；
- o) 更改了轴振动测量保护装置的技术要求(见 5.7, 2012 年版的 4.7)；
- p) 更改了热膨胀及阀位、液位测量装置的技术要求(见 5.8, 2012 年版的 4.8)；
- q) 更改了润滑油压过低保护装置的技术要求(见 5.9, 2012 年版的 4.9)；
- r) 更改了低真空保护装置的技术要求(见 5.10, 2012 年版的 4.10)；
- s) 更改了抽汽凝汽式汽轮机或抽汽背压式汽轮机对抽汽压力保护装置的技术要求(见 5.11.2, 2012 年版的 4.11.2)；
- t) 更改了机械危急遮断保护指示装置的技术要求(见 5.12, 2012 年版的 4.12)；
- u) 更改了轴瓦及润滑油温度过高保护装置的技术要求(见 5.13, 2012 年版的 4.13)；
- v) 更改了低压缸排汽温度的技术要求(见 5.14, 2012 年版的 4.14)；
- w) 增加了额定参数变化的极限值的时间记录装置及其技术要求(见 5.15)；
- x) 更改了汽轮机安全监视装置出厂试验的内容(见 6.2, 2012 年版的 5.1)，增加了出厂前按照合同要求进行工厂验收试验(见 6.4)；
- y) 更改了汽轮机安全监视装置的包装、发货、运输的内容(见第 7 章, 2012 年版的第 6 章)；
- z) 增加了汽轮机安全监视装置出厂时应提供的技术文件要求[见第 8 章 d)、e)]；
- aa) 增加了安全监视仪表的检测方法(见附录 A～附录 D)。

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。

本文件由中国电器工业协会提出。

本文件由全国汽轮机标准化技术委员会(SAC/TC 172)归口。

本文件起草单位:北京北重汽轮电机有限责任公司、上海发电设备成套设计研究院有限责任公司、东方电气集团东方汽轮机有限公司、杭州汽轮动力集团股份有限公司、中国长江动力集团有限公司、上海电气电站设备有限公司上海汽轮机厂、哈尔滨汽轮机厂有限责任公司自动控制工程分公司、东方电气自动控制工程有限公司。

本文件主要起草人:宫相臣、马鑫、张子健、杨宇、王立洋、何斌、王军伟、赵珊、孙宏云、包锦华、杜继光、李亮。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为:

——1992年首次发布为GB/T 13399—1992,2012年第一次修订;

——本次为第二次修订。



# 汽轮机安全监视技术规范

## 1 范围

本文件规定了固定式发电用汽轮机安全监视的技术要求、包装、发货、运输和出厂文件要求，描述了相应试验方法。

本文件适用于固定式发电用汽轮机(以下简称“汽轮机”)安全监视装置的设计、配套选型与出厂调试。其他类型汽轮机安全监视装置的设计、配套选型与出厂调试参照使用。

## 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 3047.1 高度进制为 20 mm 的面板、架和柜的基本尺寸系列
- GB/T 5578 固定式发电用汽轮机规范
- GB/T 6075.1 机械振动 在非旋转部件上测量评价机器的振动 第 1 部分：总则
- GB/T 11348.1 旋转机械转轴径向振动的测量和评定 第 1 部分：总则
- JB/T 2862 汽轮机包装 技术条件
- JJG 644 振动位移传感器检定规程

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**转速静态误差 speed static error**  
汽轮机固定转速时的测量误差。

### 3.2

**转速动态误差 speed dynamic error**  
汽轮机变转速过程中的测量误差。

## 4 通则

### 4.1 汽轮机安全监视装置作用

汽轮机安全监视装置应能协同汽轮机控制系统、保护系统等装置，保障汽轮机安全可靠地运行。在汽轮机启动、运行和停机过程中，该装置应能指示汽轮机的主要安全监视参数值；运行中参数越限时应能发出报警或停机信号，其中部分监视装置应能提供巡测和/或计算机接口信号。

### 4.2 汽轮机安全监视仪表内容

汽轮机应配备的安全监视仪表内容按 GB/T 5578 的规定执行。一般包括下列项目，在使用中，根

据汽轮机实际情况允许个别增减。

- a) 本体监视仪表：
  - 1) 汽轮机本体内腔室蒸汽温度监视仪表；
  - 2) 汽轮机本体内腔室蒸汽压力监视仪表；
  - 3) 汽轮机金属温度监视仪表；
  - 4) 汽轮机阀位监视仪表；
  - 5) 机械危急遮断器动作监视仪表(若有)；
  - 6) 汽缸热膨胀监视仪表。
- b) 轴系监视仪表：
  - 1) 转速监视仪表；
  - 2) 零转速监视仪表；
  - 3) 轴向位移监视仪表；
  - 4) 胀差监视仪表；
  - 5) 轴偏心监视仪表；
  - 6) 轴键相监视仪表；
  - 7) 轴承绝对振动监视仪表；
  - 8) 轴相对振动监视仪表。
- c) 辅助系统监视仪表：
  - 1) 润滑油箱及控制油箱液位监视仪表；
  - 2) 润滑油箱及控制油箱油温监视仪表；
  - 3) 润滑油及控制油冷油器出口油温监视仪表；
  - 4) 润滑油及控制油压力监视仪表。
- d) 其他系统的监视仪表。

#### 4.3 汽轮机安全监视项目内容

汽轮机应配备的安全监视项目内容按 GB/T 5578 的规定执行。一般包括下列项目,在使用中,根据汽轮机实际情况允许个别增减:

- a) 转速测量保护；
- b) 电超速保护；
- c) 轴向位移保护；
- d) 胀差保护；
- e) 轴承座绝对振动保护；
- f) 轴振动保护；
- g) 热膨胀及阀位、液位保护；
- h) 润滑油压、控制油压过低保护；
- i) 低真空保护；
- j) 背压及抽汽压力保护；
- k) 机械危急遮断器保护(若有)；
- l) 轴瓦温度及润滑油温度过高保护；
- m) 排汽温度过高保护；
- n) 额定参数变化的时间超限保护。

#### 4.4 汽轮机安全监视装置组成和类别

4.4.1 汽轮机安全监视装置由测量传感器、测量转换部分及显示(或记录)仪表组成。测量转换部分所



组成的仪表壳体、箱体和屏柜应符合 GB/T 3047.1 的规定

4.4.2 汽轮机安全监视装置分单项测量(或保护)装置、组合式测量保护装置和整屏式测量保护装置三类。

4.4.3 汽轮机安全监视装置各测量仪表应编号,宜遵循 GB/T 50549 或其他规定。

#### 4.5 汽轮机安全监视装置所选用的各类传感器和仪表要求

4.5.1 通电试验时间不少于 7 d,其性能稳定,现场运行两年,其性能符合出厂参数指标。组合式和整屏式测量保护装置可接受两路 220 V 电源,电源应自动切换或冗余供电,电源切换时不应引起系统扰动。

4.5.2 安装在集控室及电子间的仪表工作环境温度范围为 0℃~45℃;安装在汽轮机现场的仪表,工作环境温度范围应满足机组运行环境要求。

4.5.3 安装在机组内部的传感器,应具有抗油、耐温、防震的性能。连接导线应为抗油、耐高温导线。装于轴承箱内的传感器耐温范围应不低于 0℃~120℃;装于罩壳内的传感器耐温范围不低于 0℃~80℃。

4.5.4 汽轮机本体上的传感器引线应接入刚性好的接线盒内。接线端子应具有防震性能,内部引线应有密封联接器件。

4.5.5 仪表的量程范围一般应比实际值大 30%。

4.5.6 仪表的输出信号模拟量为 4 mA~20 mA、1 V~5 V,或者为 0 mA~10 mA、0 V~5 V;开关量输出信号的节点容量应不低于 250 V(ac)、3 A 和 24 V(dc)、0.5 A;数字式组合式仪表应具备数据通信功能。

4.5.7 对作为紧急停机处理的监视项目[4.3 中的 b)、c)、h)、i)及 j)项目等],从信号的发生到监测装置输出应限制响应时间,其中超速保护不应大于 0.04 s,其他保护项不应大于 0.1 s。

4.5.8 监视装置应具有一定的抗干扰能力,对系统在现场的接地和导线屏蔽措施应有明确说明。

4.5.9 仪表或传感器应具有自我诊断功能(或与二次仪表配合实现自我诊断功能),能检测故障并及时报警,以便进行维护和修理。

## 5 技术要求

### 5.1 转速测量装置

5.1.1 转速测量应包括机组启动过程、正常运行以及停机过程的转速测量和零转速测量、盘车转速测量及超速时的转速测量。

5.1.2 转速测量传感器宜采用磁阻式传感器、电涡流式传感器和霍尔效应式传感器。

5.1.3 转速测量装置的测试方法应符合附录 A 的规定。转速测量精度:静态误差为  $\pm 0.1\%$  或  $\pm 1$  r/min;动态误差为  $\pm 0.2\%$ ;动态响应时间不大于 0.1 s;用于停机的转速测量动态响应时间不大于 0.04 s。

5.1.4 转速测量装置配用显示仪表应符合下列要求:

- a) 智能数字式转速表:量程不小于 4 位数,刷新时间小于 1 s;
- b) 数字式转速表:量程不小于 4 位数,刷新时间小于 1 s;
- c) 电子式模拟转速表:量程为 0%~150%额定转速,动态响应时间小于 0.1 s。

5.1.5 转速测量装置在测量范围内应设有 2 点~3 点可调开关量输出。

5.1.6 汽轮机转速下降接近零或等于零时应具有开关量输出功能。

5.1.7 转速测量装置应有自校试验功能,以便检查转速测量电路状态。

5.1.8 汽轮机超速试验应采用智能数字式转速表或电子式模拟转速表监视机组转速。

## 5.2 电超速保护装置

5.2.1 汽轮机应有独立于调速系统的电超速保护装置。

5.2.2 电超速保护装置应配有专用的转速测量传感器,测量通道为三通道(基于三选二逻辑原理),能输出报警和停机开关量。

5.2.3 电超速保护装置应有自校试验功能。试验时能自动切除开关量的输出。

5.2.4 电超速保护装置的精度要求应为停机设定转速的 $\pm 0.1\%$ 与 $\pm 1 \text{ r/min}$ 中的较小值。

## 5.3 轴向位移测量和保护装置

5.3.1 轴向位移测量和保护装置用于监测汽轮机转子在启停和运行中的轴向位移值,测量传感器宜采用电涡流式传感器。

5.3.2 轴向位移测量和保护装置的测量范围为 $\pm 1 \text{ mm}$ 或 $\pm 2 \text{ mm}$ ,并应设有正、负报警与正、负停机开关量输出。

5.3.3 测量仪表的计量性能应满足 JJG 644 的要求,轴向位移测量和保护装置的测试方法应符合附录 B 的规定,系统误差范围为 $\pm 3\%$ 。

## 5.4 胀差测量装置

5.4.1 胀差测量装置用于监测汽轮机转子与汽缸之间的相对膨胀值,测量传感器宜采用电磁感应式传感器或电涡流式传感器。

5.4.2 单支胀差测量传感器的量程为 $2 \text{ mm}$ 、 $4 \text{ mm}$ 、 $8 \text{ mm}$ 、 $12 \text{ mm}$ 、 $25 \text{ mm}$ 等可调,并应设有正、负报警与正、负停机开关量输出。其他汽轮机胀差量程可采用上述量程传感器组合实现,或采用机械结构与上述传感器组合实现。

5.4.3 测量仪表的计量性能应满足 JJG 644 的要求,胀差测量装置的测试方法应符合附录 B 的规定,系统误差范围为 $\pm 3\%$ 。

## 5.5 主轴偏心测量装置

5.5.1 主轴偏心测量装置用于监测汽轮机盘车工况下主轴的弯曲值,测量传感器宜采用电涡流式传感器。

5.5.2 主轴偏心测量装置的量程为 $0 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ 、 $0 \mu\text{m} \sim 200 \mu\text{m}$ 或 $0 \mu\text{m} \sim 500 \mu\text{m}$ (峰峰值)三种,并应具有偏心报警开关量输出。

5.5.3 测量仪表的计量性能应满足 JJG 644 的要求,主轴偏心测量装置的测试方法应符合附录 C 的规定,系统误差范围为 $\pm 4\%$ 。

5.5.4 主轴偏心测量装置应具备自校试验功能。

## 5.6 轴承座绝对振动测量装置

5.6.1 汽轮机宜配有轴承座振动测量装置。

5.6.2 测量传感器选用惯性传感器,测点布置与测量方法应符合 GB/T 6075.1 的规定。

5.6.3 轴承座绝对振动测量振动位移的峰峰值,装置量程为 $0 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ (峰峰值)、 $0 \mu\text{m} \sim 200 \mu\text{m}$ (峰峰值),亦可采用测量轴承座振动速度的均方根值,量程为 $0 \text{ mm/s} \sim 12 \text{ mm/s}$ (均方根值)、 $0 \text{ mm/s} \sim 24 \text{ mm/s}$ (均方根值),并设有报警开关量输出。

5.6.4 轴承座绝对振动测量装置的测试方法应符合附录 D 的规定,测量仪表精度为 $\pm 5\%$ ,系统误差范围为 $\pm 5\%$ 。

## 5.7 轴振动测量保护装置

5.7.1 汽轮机应有轴振动测量保护装置,并设有报警、停机开关量信号输出。

5.7.2 测量传感器宜采用电涡流式传感器,测点布置与测量方法应符合 GB/T 11348.1 的规定。

5.7.3 测量仪表的计量性能应满足 JJG 644 的要求,轴振动测量保护装置的测试方法应符合附录 D 的规定,系统误差范围为 $\pm 4\%$ 。

5.7.4 轴振动测量保护装置用于测量转子的相对振动的峰峰值,量程为 $0\ \mu\text{m}\sim 500\ \mu\text{m}$ (峰峰值)可调;也可选择测量转子的相对振动的单峰值,量程为 $0\ \mu\text{m}\sim 250\ \mu\text{m}$ (单峰值)并设有报警、停机开关量信号输出;组合式仪表应留有传感器缓冲输出接口。组合式仪表在提供轴振动测量时应提供键相信号,以便于振动分析,除本装置使用以外,还应有键相脉冲输出。

## 5.8 热膨胀及阀位、液位测量装置

5.8.1 热膨胀及阀位测量内容包含汽缸绝对膨胀测量,油动机、各种调节阀门的位移测量;液位测量内容包含主油箱的油位和加热器、凝汽器的水位测量(具有汽水分离器和再热器的湿蒸汽汽轮机应有汽水分离器和再热器疏水箱的水位测量)。

5.8.2 测量传感器宜采用线性可变差动变压器(LVDT)式传感器或磁致伸缩式位移传感器。

5.8.3 单向测量传感器的量程宜采用: $0\ \text{mm}\sim 25\ \text{mm}$ 、 $0\ \text{mm}\sim 35\ \text{mm}$ 、 $0\ \text{mm}\sim 50\ \text{mm}$ 、 $0\ \text{mm}\sim 80\ \text{mm}$ 、 $0\ \text{mm}\sim 100\ \text{mm}$ 、 $0\ \text{mm}\sim 180\ \text{mm}$ 、 $0\ \text{mm}\sim 250\ \text{mm}$ 、 $0\ \text{mm}\sim 400\ \text{mm}$ 、 $0\ \text{mm}\sim 600\ \text{mm}$ 等;双向测量传感器量程范围宜采用 $\pm 100\ \text{mm}$ 、 $\pm 250\ \text{mm}$ 、 $\pm 400\ \text{mm}$ 、 $\pm 600\ \text{mm}$ 。亦可根据装备特性采用其他规格仪表。

5.8.4 仪表的计量性能应满足 JJG 644 的要求,热膨胀及阀位、液位测量装置的测试方法应符合附录 B 的规定,系统误差范围为 $\pm 2\%$ 。

5.8.5 液位测量一般通过浮子反馈油位或水位信号,由磁翻板等方式就地显示或通过 LVDT 等方式远传。也可通过差压、导波雷达或超声波来接收液位信号并远传;液位测量装置应设有液位报警开关量信号输出。

## 5.9 润滑油压、控制油压过低保护装置

5.9.1 装置用于汽轮机润滑油压、控制油压过低时应发出报警或停机信号。

5.9.2 按不同的低油压门槛值,应分别设置独立的装置。

5.9.3 装置分别安装于汽轮机主轴承进油的润滑油母管、控制油母管,并应带有运行在线试验设施。

## 5.10 低真空保护装置

5.10.1 装置用于凝汽式汽轮机,真空过低时应发出报警或停机信号。

5.10.2 应按不同的低真空门槛值设置独立的装置,并带有运行中在线试验设施。

5.10.3 取样点应设在排汽装置或凝汽器喉部位置。

## 5.11 背压及抽汽压力保护装置

5.11.1 背压式汽轮机对背压过高或过低设有保护装置,并应具有报警和停机信号。

5.11.2 抽汽凝汽式汽轮机或抽汽背压式汽轮机对抽汽压力应设置相应保护装置(压力或压差),并应具有报警和停机信号。

## 5.12 机械危急遮断器动作指示装置(若有)

装置用于汽轮机危急遮断器,飞锤(或飞环)击出和回入的动作指示和转速记忆,并应带远传输出

信号。

### 5.13 轴瓦及润滑油温度过高保护装置

装置用于测量轴瓦金属温度和润滑油回油温度,金属温度和回油温度作为报警信号,金属温度作为停机信号。

### 5.14 排汽温度过高保护装置

装置用于测量低压缸[必要时含(超)高压缸、高压缸、中压缸]排汽温度,如有需求时应配备停机信号。

### 5.15 GB/T 5578 规定的额定参数变化的时间超限保护装置

装置用于监视记录汽轮机进汽参数超限时长,应具有报警和停机信号。

## 6 汽轮机安全监视装置及仪表出厂试验

6.1 传感器出厂均应做性能试验并应符合有关标准要求。

6.2 单项仪表、组合仪表和仪表屏均应进行老化试验、温度试验和例行试验。老化试验时间应不少于72 h,例行试验所用电压应为标准电压220 V(ac)、110 V(dc)、220 V(dc),并允许有-15%~+10%变化范围。

6.3 组合式与整屏式汽轮机安全监视装置均应进行厂内整体特性试验。

6.4 出厂前应按照合同要求进行系统工厂验收试验。

## 7 汽轮机安全监视装置的包装、发货、运输

7.1 汽轮机安全监视装置的包装箱,应具有防潮、防震、防腐蚀措施并符合JB/T 2862的规定。

7.2 在运出工厂之前,为防止运输途中和安装前的储存阶段发生腐蚀、粉尘污染或装卸损坏,所有部件均应包装保护。

7.3 买方应提供货物运输时的限制条件,例如允许的路面载荷,以及供货时以公路或铁路运输时的时间和空间限制。

## 8 汽轮机安全监视装置出厂文件

供方应向买方提供汽轮机安全监视装置的详细资料,至少包括下列项目:

- a) 使用说明书;
- b) 产品合格证;
- c) 设备清单(或装箱清单);
- d) 随机仪表校验书;
- e) 项目执行阶段的仪控相关信息,至少包含:
  - 系统内及系统间对所需连接电缆的要求;
  - 信号交换清单;
  - 出厂前调试说明(若调试在买方范围内)。

附 录 A

(规范性)

汽轮机安全监视仪表—转速测量装置测试

A.1 试验仪器与装置

试验仪器与装置包括：

- a) 转速试验台；
- b) 标准信号源。

A.2 检测方法

A.2.1 转速测量装置监视功能检测方法

A.2.1.1 在转速试验台上安装转速传感器并正确接入汽轮机监视仪表(TSI)系统的转速测量装置(或使用标准信号源模拟传感器输入)。启动转速试验台后,转速测量装置开始采集由转速传感器测量的转速信号,试验点包括测量范围上、下限在内应不少于5个,且以 $10^n \text{ r/min}$  ( $n=0,1,2,3,\dots$ )分布在整个测量范围内。在参比大气条件下,各试验点连续读取并记录10个转速值。同步记录测量装置的输出数据,形成完整记录。

A.2.1.2 将传感器安装至被测设备的固定位置,并正确接入TSI系统的转速测量装置,调整与被测面间隙。被测设备启动后,转速测量装置开始采集由转速传感器测量的转速信号,试验点包括测量范围上、下限在内应不少于5个,且以 $10^n \text{ r/min}$  ( $n=0,1,2,3,\dots$ )分布在整个测量范围内。在参比大气条件下,各试验点连续读取并记录10个转速值。同步记录测量装置的输出数据,形成完整记录。

A.2.2 电超速保护装置监视功能检测方法

标准信号源接入TSI系统的电超速保护装置,并输入相应的信号,对报警信号的输出进行测量:当电超速保护装置输出信号满足电超速保护装置的三选二逻辑时,电超速保护装置则开始输出报警和停机开关量,记录此时电超速保护装置的报警和停机状态。

A.3 误差计算

A.3.1 转速静态误差

按公式(A.1)及公式(A.2)计算各测量点的测量值与设定值的转速绝对误差与转速静态误差,由此得到转速静态误差。

$$\Delta X_r = X_m - X_t \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- $\Delta X_r$  ——绝对误差,单位为转每分(r/min)；
- $X_m$  ——测量值,单位为转每分(r/min)；
- $X_t$  ——设定值,单位为转每分(r/min)。



$$\delta_r = \left( \frac{\Delta X_r}{X_t} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

$\delta_r$  ——转速静态误差(相对误差)。

## A.3.2 转速动态误差

动态误差通常通过系统的时间常数、带宽或阶跃响应分析来量化,转速动态误差计算公式如下。

按公式(A.3)建立动态误差模型为:

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

$s$  ——复频率域变量;

$K$  ——系统增益(通常为 1,假设无静态误差);

$\tau$  ——时间常数(系统响应速度的指标),单位为秒(s)。

当转速以斜坡信号(匀速变化)输入时,动态误差按公式(A.4)计算:

$$\delta_d = \tau \cdot \frac{dN}{dt} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

$\delta_d$  ——转速动态误差;

$N$  ——转速,单位为转每分(r/min);

$t$  ——时间,单位为秒(s);

$\tau$  ——系统时间常数,单位为秒(s)。

若转速发生阶跃变化(如突然加速),动态误差表现为超调量按公式(A.5)计算:

$$\delta_d = \left( \frac{N_{\text{peak}} - N_{\text{steady}}}{N_{\text{steady}}} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

$N_{\text{peak}}$  ——测量值的峰值(最大瞬时转速),单位为转每分(r/min);

$N_{\text{steady}}$  ——稳态转速值,单位为转每分(r/min)。





## 附录 B

(规范性)

## 汽轮机安全监视仪表一位移测量装置测试

## B.1 试验仪器与装置

试验仪器与装置包括：

- a) 标准信号源；
- b) 静态位移试验台；
- c) 数字多用表。

## B.2 检测方法

在涡流传感器静态位移试验台上安装经过测试合格的涡流传感器，并正确接入 TSI 系统的位移测量装置(或使用标准信号源模拟传感器输入)。调整传感器与标准靶面之间的间隙，以每 10% 量程为 1 个测量点，在整个测量范围内，包括上、下限值共测 11 个点，顺序在各个测量点测量传感器的输出值  $U$  和传感器的移动距离  $L$ ，以上、下两个行程为一个测量循环，进行全行程位移模拟试验，同步记录由位移测量装置采集到的位移传感器测量的位移信号，形成完整记录。

其中，用于位移测量装置检测的涡流传感器的测试方法如下：

涡流传感器静态灵敏度的检测，需将位移传感器安装在相应的静态位移试验台上，改变传感器的测量距离以每 10% 量程为 1 个测量点，在整个测量范围内，包括上、下限值共测 11 个点，顺序在各个测量点测量传感器的输出值  $U$  和传感器的移动距离  $L$ ，以上、下两个行程为一个测量循环。

位移传感器静态灵敏度采用最小二乘法计算，设回归方程为按公式(B.1)计算：

$$\hat{U}_I = U_0 + S L_i \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

$\hat{U}_I$  —— 传感器输出信号的回归值，单位为伏特(V)；

$U_0$  —— 截距，单位为伏特(V)；

$S$  —— 位移传感器灵敏度，单位为伏特每毫米(V/mm)；

$L_i$  —— 给定位移(测量位移)，单位为毫米(mm)。

根据给定位移  $L_i$  和传感器相应的输出值  $U_i$ ，按最小二乘法公式(B.2)计算出  $S$ ：

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n L_i U_i - \bar{L} \sum_{i=1}^n U_i}{\sum_{i=1}^n L_i^2 - \bar{L} \sum_{i=1}^n L_i} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

$$U_0 = \frac{\bar{U} \sum_{i=1}^n L_i^2 - \bar{L} \sum_{i=1}^n L_i U_i}{\sum_{i=1}^n L_i^2 - \bar{L} \sum_{i=1}^n L_i} \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

$n$  —— 检测次数( $i=1, 2, 3, \dots, n$ )；

$\bar{L}$  —— 给定位移量平均值  $\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i$ ，单位为毫米(mm)；

$\bar{U}$  —— 给定位移量的相应输出平均值  $\bar{U} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i$ ，单位为伏特(V)。

涡流传感器静态幅值线性度检测与静态灵敏度检测同时进行,检测数据取包括上、下限值在内的检测点数据,用最小二乘法[公式(B.1)、公式(B.2)及公式(B.3)]计算出  $U_i$  与  $\hat{U}_i$  之间的最大差值  $\delta_{\max}$  按公式(B.4)计算:

$$\delta_{\max} = (U_i - \hat{U}_i)_{\max} \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

则幅值线性度偏差按公式(B.5)计算:

$$\overline{\delta_v} = \frac{\delta_{\max}}{U_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

式中:

$\delta_{\max}$  ——  $U_i$  与  $\hat{U}_i$  之间的最大差值,单位为伏特(V);

$\overline{\delta_v}$  ——幅值线性度;

$U_N$  ——满量程时传感器的输出,单位为伏特(V)。

### B.3 误差计算

#### B.3.1 示值误差

按公式(B.6)及公式(B.7)计算各测量点的测量值与设定值的绝对误差与相对误差:

$$\Delta X_d = X_s - X_e \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

式中:

$\Delta X_d$  ——绝对误差,单位为毫米(mm);

$X_s$  ——测量值,单位为毫米(mm);

$X_e$  ——设定值,单位为毫米(mm)。

$$\delta_s = \left( \frac{\Delta X_d}{X_e} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (B.7)$$

式中:

$\delta_s$  ——相对误差。

#### B.3.2 系统误差



系统误差按公式(B.8)计算:

$$\sigma_i = \frac{|\overline{U_{is}} - \overline{U_{ix}}|}{U_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (B.8)$$

式中:

$\sigma_i$  ——系统误差;

$\overline{U_{is}}$  ——第  $i$  个测量点上 3 次上行程传感器输出值的算术平均值,单位为伏特(V);

$\overline{U_{ix}}$  ——第  $i$  个测量点上 3 次下行程传感器输出值的算术平均值,单位为伏特(V);

$U_N$  ——满量程时传感器的输出值,单位为伏特(V)。



附 录 C

(规范性)

汽轮机安全监视仪表—偏心测量装置测试

C.1 试验仪器与装置

试验仪器与装置包括：

- a) 标准信号源；
- b) 数字多用表；
- c) 偏心动态试验台；
- d) 标准位移测量工具。

C.2 检测方法

C.2.1 将偏心与键相传感器安装至动态试验台上，并正确接入 TSI 系统的偏心测量装置(或使用标准信号源模拟传感器输入)。调整传感器与标准面之间的间隙，用标准位移测量工具检查偏心率峰—峰值。动态试验台启动后，偏心测量装置开始采集由传感器测量的偏心信号，同步采集测量装置的输出数据，形成完整记录。

C.2.2 将偏心与键相传感器安装被测设备的固定位置，并正确接入 TSI 系统的偏心测量装置，调整传感器与被测面间隙。在盘车状态和升速状态，偏心测量装置开始采集由传感器测量的偏心信号，同步采集测量装置的输出数据，形成完整记录。

C.3 误差计算

C.3.1 示值误差

按公式(C.1)及公式(C.2)计算各测量点的测量值与设定值的绝对误差与相对误差：

$$\Delta X_p = X_c - X_l \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

- $\Delta X_p$  ——绝对误差，单位为微米( $\mu\text{m}$ )；
- $X_c$  ——测量值，单位为微米( $\mu\text{m}$ )；
- $X_l$  ——设定值，单位为微米( $\mu\text{m}$ )。

$$\delta_c = \left( \frac{\Delta X_p}{X_l} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中：

$\delta_c$  ——相对误差。

C.3.2 系统误差

系统误差按公式(C.3)计算：

$$\sigma_e = \frac{|\bar{U}_{is} - \bar{U}_{ix}|}{U_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

式中：

$\sigma_e$  ——系统误差；

$\overline{U}_{is}$  ——第  $i$  个测量点上 3 次上行程传感器输出值的算术平均值，单位为伏特(V)；

$\overline{U}_{ix}$  ——第  $i$  个测量点上 3 次下行程传感器输出值的算术平均值，单位为伏特(V)；

$U_N$  ——满量程时传感器的输出值，单位为伏特(V)。



## 附录 D

(规范性)

### 汽轮机安全监视仪表—振动测量装置测试

#### D.1 试验仪器与装置

试验仪器与装置包括：

- a) 标准信号源；
- b) 数字多用表；
- c) 标准振动台；
- d) 静态位移试验台。

#### D.2 检测方法

##### D.2.1 轴承座绝对振动测量装置监视功能检测方法

在振动试验台上安装测振传感器并正确接入 TSI 系统的振动测量装置(或使用标准信号源模拟传感器输入)。启动振动试验台后,调整振动试验台的输出,振动测量装置开始采集由测振传感器测量的振动信号,同步记录测量装置的输出数据,形成完整记录。

其中测振传感器的精度计算为:分别测量各速度点的惯性传感器输出电压值,并计算出各点的速度灵敏度,然后按公式(D.1)计算它们与参考速度灵敏度的相对偏差；

$$e_{ri} = \frac{S_i - S_v}{S_v} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

- $e_{ri}$ ——第  $i$  个速度点的速度灵敏度与参考速度灵敏度的相对偏差；
- $S_i$ ——第  $i$  个速度点的速度灵敏度,单位为毫伏每厘米秒[mV/(cm·s<sup>-1</sup>)]；
- $S_v$ ——参考速度灵敏度,单位为毫伏每厘米秒[mV/(cm·s<sup>-1</sup>)]。

##### D.2.2 轴振动测量保护装置监视功能检测方法

选用适合的支架,将位移传感器固定在标准振动台台面垂直方向上的合适位置,并确保支架及传感器非活动部分与振动台台体之间不产生相对运动,对于测量中不用支架固定,可直接安装在被测振动体上的传感器,在检定中应将被检传感器刚性地安装在标准振动台台面上。并正确接入 TSI 系统的轴振动测量装置(或使用标准信号源模拟传感器输入)。用标准加速度计监控振动台,在被检传感器的动态范围内,选取某一实用的频率值(推荐 20 Hz, 40 Hz, 80 Hz, 160 Hz)和某一指定的位移值(推荐 0.1 mm, 0.2 mm, 0.5 mm, 1.0 mm, 2.0 mm, 5.0 mm)进行检测,轴振动测量装置开始采集通过位移传感器测量的振动信号,同步记录测量装置的输出数据,形成完整记录。

其被检传感器的输出值与振动台的位移值之比为该传感器的动态参考灵敏度。动态参考灵敏度按公式(D.2)计算：

$$S_d = \frac{U}{D} \quad \dots\dots\dots (D.2)$$

式中：

- $S_d$ ——位移传感器的动态参考灵敏度,单位为伏特每毫米(V/mm)；
- $U$ ——参考点处传感器的输出值,单位为伏特(V)；
- $D$ ——参考点处的振动位移值,单位为毫米(mm)。

动态频率响应:传感器的安装同动态参考灵敏度检测,在传感器的动态范围内,均匀地选取不少于7个频率值(包括上、下限值),在保持振动台位移恒定的情况下,测量各频率点传感器的输出值,并计算出各点的动态位移灵敏度,然后按公式(D.3)计算各测量点灵敏度与动态参考灵敏度的相对偏差:

$$\delta_{fi} = 20 \lg \left| \frac{S_{di}}{S_d} \right| \quad \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:

$\delta_{fi}$ ——第*i*个频率点的动态灵敏度与动态参考灵敏度的相对偏差;

$S_{di}$ ——第*i*个频率点的动态灵敏度,单位为伏特每毫米(V/mm)。

动态幅值线性度:被测传感器的安装方法同动态参考灵敏度检测,在传感器的频率范围内选取某一实用的频率值,并在校准振动台可达到的振动位移幅值内选取5个位移值进行激振,分别测量各位移点的传感器输出值和振动台的位移幅值,计算出各测量点传感器的动态位移灵敏度,然后按公式(D.4)计算各测量点灵敏度与动态参考灵敏度的相对偏差。

$$\delta_{dri} = \frac{S_{di} - S_d}{S_d} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (D.4)$$

式中:

$\delta_{dri}$ ——第*i*个位移点的动态灵敏度与参考动态灵敏度的相对偏差;

$S_{di}$ ——第*i*个位移点的动态位移灵敏度,单位为伏特每毫米(V/mm);

$S_d$ ——参考动态灵敏度,单位为伏特每毫米(V/mm)。

### D.3 误差计算

#### D.3.1 示值误差

按公式(D.5)及公式(D.6)计算各测量点的测量值与设定值的绝对误差与相对误差:

$$\Delta X_k = X_z - X_f \quad \dots\dots\dots (D.5)$$

式中:

$\Delta X_k$ ——绝对误差,单位为毫米(mm);

$X_z$ ——测量值,单位为毫米(mm);

$X_f$ ——设定值,单位为毫米(mm)。

$$\delta_k = \left( \frac{\Delta X_k}{X_f} \right) \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (D.6)$$

式中:

$\delta_k$ ——相对误差。

#### D.3.2 系统误差

系统误差按公式(D.7)计算:

$$\sigma_p = \frac{|\bar{U}_{is} - \bar{U}_{ix}|}{U_N} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (D.7)$$

式中:

$\sigma_p$ ——系统误差;

$\bar{U}_{is}$ ——第*i*个测量点上3次上行程传感器输出值的算术平均值,单位为伏特(V);

$\bar{U}_{ix}$ ——第*i*个测量点上3次下行程传感器输出值的算术平均值,单位为伏特(V);

$U_N$ ——满量程时传感器的输出值,单位为伏特(V)。

参 考 文 献

- [1] GB/T 50549 电厂标识系统编码标准
- 





