

ICS 27.100

CCS F 23

团 体 标 准

T/CSEE 0338—2022

火力发电厂电涡流式振动位移传感器 检测技术导则

Technical guidelines for eddy current vibration displacement sensor
detection in thermal power plant



2022-12-05 发布

2023-03-01 实施

中国电机工程学会 发布

团 体 标 准
火力发电厂电涡流式振动位移传感器
检测技术导则

T/CSEE 0338—2022

*

中国电力出版社出版、印刷、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

*

2023年5月第一版 2023年5月北京第一次印刷

880毫米×1230毫米 16开本 1印张 31千字

*

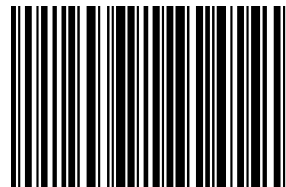
统一书号 155198·4783 定价 25.00元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换



中国电机工程学会官方微信



155198.4783

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 检测要求	1
4.1 通用技术要求	1
4.2 计量性能要求	1
4.3 安装要求	2
5 检测条件	2
5.1 环境条件	2
5.2 检测标准仪器	2
6 检测方法	3
6.1 外观及附件检查	3
6.2 静态指标检测	3
6.3 动态指标检测	5
7 检测结果	7
8 检测周期	7
附录 A（资料性） 检测原始记录格式	8
附录 B（资料性） 检测证书内页格式	10
参考文献	12

前 言

本文件按照《中国电机工程学会标准管理办法（暂行）》的要求，依据 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。

本文件由中国电机工程学会提出。

本文件由中国电机工程学会热工自动化专业委员会技术归口并解释。

本文件起草单位：西安热工研究院有限公司、江苏方天电力技术有限公司、华北电力科学研究院有限责任公司、陕西省计量科学研究院、河南省计量科学研究院、上海发电设备成套设计研究院、华电电力科学研究院有限公司、陆川电气科技（上海）有限公司、扬州英迈克测控技术有限公司、陕西北元集团锦源化工有限公司。

本文件主要起草人：韦宣、叶加星、瞿丽莉、李思瑶、王志浩、由志勋、田爽、李晓博、常威武、黄莺、郑慧慧、王玲、孙钦密、程卫国、郝汉昆、党显洋、孙衍星、肖鹏、赵婷婷、赵蒙、冯金平、陈启山、刘真。

本文件为首次发布。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条1号，100761，网址：<http://www.csee.org.cn>，邮箱：cseebz@csee.org.cn）。

火力发电厂电涡流式振动位移传感器检测技术导则

1 范围

本文件规定了火力发电厂汽轮机监视仪表系统、给水泵汽轮机监视仪表系统中电涡流式振动位移传感器检测条件、检测方法和检测结果的技术要求。

本文件适用于（0~500）Hz 频率范围内的电涡流式振动位移传感器在产品验收、机组维护检修过程中的检测。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

汽轮机监视仪表系统 turbine supervisory instruments system; TSI

连续测量汽轮机的转速、振动、膨胀、位移等机械参数，并将测量结果送入控制系统、保护系统等用作控制变量及运行人员监视的自动化系统。

[来源：DL/T 701—2022，5.55]

3.2

振动发生器系统 vibration generator system

振动发生器及其操作所必需的相关设备。

[来源：GB/T 2298—2010，3.101]

4 检测要求

4.1 通用技术要求

4.1.1 检查传感器生产厂家应提供传感器的技术指标，如线性范围、绝缘电阻、绝缘强度、质量、外形尺寸、供电要求、功耗及安装方式等。

4.1.2 检查以下外观和附件：

- a) 传感器产品的外壳上应有铭牌，标明产品名称、规格型号、制造厂、出厂日期和编号；
- b) 传感器输出导线及各连接部件应配备齐全、完好、可靠；
- c) 传感器敏感部分表面的化学处理层不应有划痕和脱落现象。

4.2 计量性能要求

在发电企业，一般根据传感器的测点位置选择考核其动态或静态指标，对于轴向位移和胀差测点，其属于静态位移测量范畴，需要考核传感器静态指标，静态计量性能要求见表 1。

表 1 静态计量性能要求

检测项目	技术指标要求	备注
灵敏度误差	±5%	与出厂技术指标比较

表 1（续）

检测项目	技术指标要求	备注
静态幅值线性度	10 mm 量程以下， $\pm 2.0\%$ ；10 mm 量程以上， $\pm 5.0\%$	—
回程误差	1.0%	—
幅值重复性	1.0%	—

对于轴振测点，其属于动态位移测量范畴，需要考核传感器动态技术指标，动态计量性能要求见表 2。

表 2 动态计量性能要求

检测项目	技术指标要求	备注
参考灵敏度误差	$\pm 5\%$	与出厂技术指标比较
频率响应	$\pm 10\%$	—
动态线性度	$\pm 5\%$	—

4.3 安装要求

4.3.1 安装及运输过程中应避免强烈撞击。

4.3.2 应采用适合的支架将被检传感器固定在和标准仪器靶面（靶面金属材料与电涡流探头产生涡流效应）中心垂直的位置，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，同时应使被检测传感器与靶面的距离处于传感器线性中点位置。

5 检测条件

5.1 环境条件

- 温度： $(23 \pm 3)^\circ\text{C}$ （绝对法）， $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ （比较法）；
- 相对湿度： $\leq 75\%$ ；
- 电源电压的变化不超过额定电压的 $\pm 10\%$ ；
- 检测现场应无强振源、强磁场的干扰及腐蚀性气液体。

5.2 检测标准仪器

5.2.1 一般要求

根据被检传感器的不同用途选择静态和动态检测标准仪器。宜使用圆形靶面进行检测，其直径应大于被检传感器探头直径的 5 倍以上；靶面材料宜使用 42CrMo4、45 号钢等与转子特性接近的合金材料。

5.2.2 静态指标检测标准仪器

静态指标检测所需标准仪器如下：

- 位移测量仪器：测量不确定度优于被检传感器不确定度的 1/3；
- 数字电压表：直流电压幅值测量不确定度： $\leq 0.1\%$ （ $k=2$ ）。 k 为包含因子，即为获得扩展不确定度，对合成标准不确定度所乘的大于 1 的数。

5.2.3 动态指标检测标准仪器

绝对法振动标准装置：包括激光测振仪、振动发生器系统、测量系统和必要的隔振基础，其测量范

围和不确定度应满足表 3 的要求。

表 3 绝对法振动标准装置的测量范围和不确定度

名称	测量范围	频率范围	测量不确定度
绝对法振动标准装置	频率：(0.005~5000) Hz； 位移：(1×10 ⁻⁸ ~0.5) m	(0.005~0.1) Hz	3%
		(>0.1~5000) Hz	1%

比较法振动标准装置：包括振动标准套组、振动发生器系统、测量系统和必要的隔振基础，其测量范围和不确定度应满足表 4 的要求。

表 4 比较法振动标准装置的测量范围和不确定度

名称	测量范围	频率范围	测量不确定度
比较法振动标准装置	频率：(0.01~5000) Hz； 位移：(1×10 ⁻⁸ ~0.5) m	(0.01~20) Hz	5%
		(>20~2000) Hz	2%
		(>2000~5000) Hz	2%

6 检测方法

6.1 外观及附件检查

外观及附件应符合 4.1 的要求。

6.2 静态指标检测

6.2.1 灵敏度检测

将被检传感器安装在位移测量仪器上，用数字电压表测量传感器输出，调整传感器与靶平面位置，使其位于线性范围中点位置（根据传感器输出线性范围的起始电压和终点电压确定），以该中点位置为起始位置，规定离靶平面近端为负行程，远端为正行程，测量范围为 $-l \sim l$ 。改变传感器的测量距离以每 10%量程为 1 个测量点，即步进为 $l/5$ 。在测量范围内包括上、下限值共选取 11 个测量点，位移步进顺序如图 1 所示，从起始位置开始步进至下限后步进返回起始位置，再步进至上限后步进返回起始位置，记录各个测量点传感器的输出值 U 和传感器的移动距离 L ，此为一个循环，一共测 3 个循环。

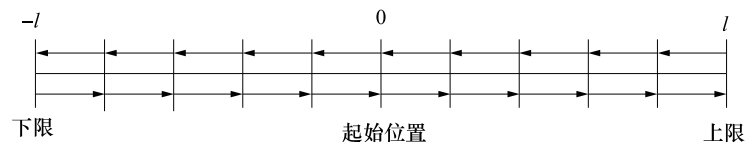


图 1 位移步进顺序

根据图 1，认为从 $-l$ 到 l 为正行程，从 l 到 $-l$ 为负行程，将测量数据中 10%~90%量程的正、负行程各 9 个检测点的数据取为 1 组，共取 3 组，采用最小二乘法计算，线性回归方程见公式 (1)。

$$\hat{U}_i = U_0 + SL_i \dots \dots \dots (1)$$

式中：

\hat{U}_i ——传感器输出信号的回归值，V；

U_0 ——截距，V；

S ——传感器的灵敏度, V/mm;

L_i ——给定位移, mm。

根据给定位移 L_i 和传感器相应的输出值 U_i , 按最小二乘法计算出 S , 见公式 (2) ~ 公式 (5)。

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

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

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \dots\dots\dots (4)$$

$$\bar{U} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i \dots\dots\dots (5)$$

式中:

n ——测量次数 ($i=1, 2, 3, \dots, n$);

U_0 ——截距, V;

U_i ——传感器输出值, V;

L_i ——给定位移, mm;

\bar{L} ——给定位移量平均值, mm;

\bar{U} ——给定位移量相应输出的平均值, V。

6.2.2 灵敏度误差检测

灵敏度误差检测和灵敏度检测同时进行, 其偏差按公式 (6) 进行计算。

$$\delta_{S1} = \frac{S - S_0}{S_0} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

式中:

δ_{S1} ——灵敏度相对误差, %;

S ——灵敏度测量值, V/mm;

S_0 ——灵敏度出厂值, V/mm。

6.2.3 幅值线性度检测

传感器幅值线性度和灵敏度检测同时进行, 选取包括上、下限值在内的三次正行程的测量点数据, 将数据采用最小二乘法进行线性拟合, 算出传感器输出值和其线性回归值之间的最大差值 δ_{\max} , 幅值线性度计算见公式 (7)。

$$\delta_r = \frac{\delta_{\max}}{U_N} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

式中:

δ_r ——幅值线性度, %;

δ_{\max} ——传感器输出值和其线性回归值之间的最大差值, V;

U_N ——传感器满量程输出值, V。

6.2.4 回程误差检测

传感器回程误差同灵敏度检测同时进行，按照公式（8）进行计算。

$$\delta_{hr} = \frac{|\bar{U}_{is} - \bar{U}_{ix}|}{U_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- δ_{hr} ——第 i 个测量点的回程误差，%；
- \bar{U}_{is} ——第 i 个测量点 3 次上行程传感器输出值的算术平均值，V；
- \bar{U}_{ix} ——第 i 个测量点 3 次下行程传感器输出值的算术平均值，V；
- U_N ——传感器满量程输出值，V。

6.2.5 幅值重复性检测

传感器幅值重复性检测和灵敏度检测同时进行，由 3 次循环中同一行程同一测量点的 3 次测量的传感器输出值，得出相互间的最大差值 Δ_i ，幅值重复性按照公式（9）进行计算。

$$\delta_{ri} = \frac{|\Delta_i|}{U_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

- δ_{ri} ——第 i 个测量点的幅值重复性，%；
- Δ_i ——第 i 个测量点的 Δ 值，V；
- U_N ——传感器满量程输出值，V。

6.3 动态指标检测

6.3.1 参考灵敏度检测

6.3.1.1 比较法。选用比较法振动标准装置作为检测仪器，在被检传感器的动态范围内，根据传感器的测点位置选择合适的频率和振动位移值作为检测参考点，推荐的检测参考点如表 5 所示。

表 5 推荐的检测参考点

测点位置	频率 Hz	振动位移 μm
汽轮发电机组轴振	55	150
给水泵汽轮机轴振	80	100
汽轮发电机组偏心	10	50

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参考灵敏度，其计算见公式（10）。

$$S_1 = 4\pi^2 f^2 \frac{X_2}{X_1} \times S_R \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

- S_1 ——被检传感器参考灵敏度，mV/m 或 pC/m；
- f ——被检传感器的参考频率，Hz；
- X_2 ——参考点处被检传感器输出值，mV 或 pC；
- X_1 ——标准加速度计输出值，mV 或 pC；
- S_R ——标准加速度计参考加速度灵敏度，mV/($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$) 或 pC/($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)。

6.3.1.2 绝对法。选用绝对法（正弦逼近法或条纹计数法）振动标准装置作为标准仪器，在被检传感器动态范围内选取某一实用的频率和某一指定位移值进行正弦激振，参考表 5 的推荐的检测参考点，将激光光点调整到尽量靠近振动台台面中心的位置，则被检传感器的输出值 U 与参考点处振动位移值 D 之比为该传感器的参考灵敏度，计算见公式（11）。

$$S_1 = \frac{U}{D} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

S_1 ——被检传感器参考灵敏度，mV/ μm ；

U ——参考点处被检传感器输出值，mV；

D ——参考点处振动位移值， μm 。

灵敏度误差按公式（12）计算：

$$\delta_{s2} = \frac{S_1 - S_0}{S_0} \times 100\% \dots\dots\dots (12)$$

式中：

δ_{s2} ——灵敏度相对误差，%；

S_1 ——被检传感器参考灵敏度，mV/ μm ；

S_0 ——灵敏度出厂值，mV/ μm 。

6.3.2 频率响应检测

在传感器工作频率范围内，均匀地选取包括上、下限值在内的不少于 7 个的频率值，推荐选择 10 Hz、20 Hz、40 Hz、50 Hz、55 Hz、60 Hz、80 Hz、100 Hz、120 Hz，推荐的振动位移值参考表 5，在保持振动台振幅恒定的情况下，测量各频率点传感器的输出值，并计算出各频率点的灵敏度，然后按公式（13）计算各频率点灵敏度与参考灵敏度的相对误差。

$$\delta_{fi} = \frac{S_{di} - S_d}{S_d} \times 100\% \dots\dots\dots (13)$$

式中：

δ_{fi} ——第 i 个频率点的动态灵敏度与参考灵敏度的相对误差，%；

S_{di} ——第 i 个频率点的动态灵敏度，mV/ μm ；

S_d ——参考灵敏度，mV/ μm 。

6.3.3 动态线性度检测

在传感器的工作频率范围内选取某一实用的频率值，推荐的频率参考表 5，并选取 7 个振动位移值进行激振，推荐选择 20 μm 、40 μm 、60 μm 、80 μm 、100 μm 、120 μm 、150 μm 、200 μm 、250 μm 、300 μm ，分别测量各位移点的传感器输出值，计算出各位移点传感器的灵敏度，然后按公式（14）计算各位移点灵敏度与参考灵敏度的相对误差。

$$\delta_{dri} = \frac{S_{di} - S_d}{S_d} \times 100\% \dots\dots\dots (14)$$

式中：

δ_{dri} ——第 i 个位移点的灵敏度与参考灵敏度的相对误差，%；

S_{di} ——第 i 个位移点的灵敏度，mV/ μm ；

S_d ——参考灵敏度，mV/ μm 。

7 检测结果

传感器检测结果按照表 1 计量性能要求判别，符合则判定为“合格”，否则为“不合格”。检测原始记录格式和证书内页格式分别见附录 A 和附录 B。原始记录及证书应归档，保存时间至少应为 6 年或至下一个检测周期。

8 检测周期

检测周期应根据机组 A 级检修周期而定。

附 录 A
(资料性)
检测原始记录格式

电涡流式振动传感器静态检测记录格式见表 A.1。

表 A.1 电涡流式振动传感器静态检测原始记录格式

1. 外观检查													
2. 灵敏度误差													
灵敏度测量值 V/mm					灵敏度出厂值 V/mm				相对误差 %				
3. 静态幅值线性度、回程误差、幅值重复性													
标准位移 mm	第一次				第二次				第三次				
	上行程		下行程		上行程		下行程		上行程		下行程		
	位移 mm	电压 V	位移 mm	电压 V	位移 mm	电压 V	位移 mm	电压 V	位移 mm	电压 V	位移 mm	电压 V	

电涡流式振动传感器动态检测记录格式见表 A.2。

表 A.2 电涡流式振动传感器动态检测原始记录格式

1. 外观检查				
2. 参考灵敏度误差				
参考频率 Hz	参考位移 μm	参考灵敏度 $\text{mV}/\mu\text{m}$	灵敏度出厂值 $\text{mV}/\mu\text{m}$	相对误差 %
3. 频率响应				
频率 Hz	位移 μm	灵敏度 $\text{mV}/\mu\text{m}$	频率响应 %	频率响应最大值 %
4. 动态线性度				
频率 Hz	位移 μm	灵敏度 $\text{mV}/\mu\text{m}$	动态线性度 %	动态线性度最大值 %

附 录 B
(资料性)
检测证书内页格式

电涡流式振动传感器静态检测证书格式见表 B.1。

表 B.1 电涡流式振动传感器静态检测证书内页格式

1. 外观检查							
2. 灵敏度误差							
灵敏度测量值 V/mm		灵敏度出厂值 V/mm		相对误差 %		要求值 %	
3. 静态幅值线性度、回程误差、幅值重复性							
标准位移 mm	输出电压 V	幅值线性度		回程误差		幅值重复性	
		实测值	要求值	实测值	要求值	实测值	要求值

电涡流式振动传感器动态检测证书内页格式见表 B.2。

表 B.2 电涡流式振动传感器动态检测证书内页格式

1. 外观检查					
2. 参考灵敏度误差					
参考频率 Hz	参考位移 μm	参考灵敏度 $\text{mV}/\mu\text{m}$	灵敏度出厂值 $\text{mV}/\mu\text{m}$	相对误差 %	要求值 %
3. 频率响应					
频率 Hz	位移 μm	灵敏度 $\text{mV}/\mu\text{m}$	频率响应 %	频率响应最大值 %	
4. 动态线性度					
频率 Hz	位移 μm	灵敏度 $\text{mV}/\mu\text{m}$	动态线性度 %	动态线性度最大值 %	

参 考 文 献

- [1] GB/T 2298—2010 机械振动、冲击与状态监测 词汇
 - [2] DL/T 701—2022 火力发电厂热工自动化术语
 - [3] JJG 644—2003 振动位移传感器检定规程
 - [4] JJG 676—2019 测振仪
-