



团 体 标 准

T/XXX XXXX—XXXX

数控龙门导轨磨床在线动平衡装置 技术要求

Technical requirements for on-site dynamic balancing device of nc gantry rail grinder

(工作组讨论稿)

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。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

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 基本要求	2
4.1 结构与外观	2
4.2 安装适配性	2
4.3 安全性	2
5 技术要求	2
5.1 核心性能指标	2
5.2 振动检测性能	3
5.3 平衡校正性能	3
5.4 电气与通信要求	3
5.5 环境适应性与可靠性	3
5.6 安全防护与失效应对	4
6 试验方法	4
6.1 试验环境与仪器	4
6.2 振动检测精度试验	4
6.3 平衡校正性能试验	5
6.4 动态响应时间试验	5
6.5 环境与可靠性试验	5
6.6 电气安全试验	5
6.7 通信接口试验	5
6.8 试验方法与指标	5
7 检验规则	6
7.1 检验分类	6
7.2 出厂检验	6
7.3 型式检验	6
7.4 不合格处置	6
8 标志、包装、运输与贮存	6
8.1 标志	7
8.2 包装	7
8.3 运输	7
8.4 贮存	7
附录 A (资料性) 典型试验条件参考	8
A.1 试验转子不平衡量施加方法	8
A.2 模拟磨削工况的振动背景	8

A.3 通信协议测试参考	8
附录 B (资料性) 安装、调试与维护要点	9
B.1 安装要点	9
B.2 调试要点	9
B.3 维护要点	9
B.4 常见故障处理	9

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。

本文件由任丘典晟科技有限公司提出。
本文件由浙江省产学研合作促进会归口。
本文件起草单位：
本文件主要起草人：

数控龙门导轨磨床在线动平衡装置 技术要求

1 范围

本文件规定了数控龙门导轨磨床用在线动平衡装置的术语和定义、基本要求、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输与贮存。

本文件适用于配套数控龙门导轨磨床的砂轮在线动平衡装置。其他同类精密磨床（如数控平面磨床、数控外圆磨床）用在线动平衡装置可参照执行。

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 191 包装储运图形符号标志
- GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温
- GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温
- GB/T 2423.3 环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验
- GB/T 2423.10 环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动（正弦）
- GB/T 4208 外壳防护等级（IP代码）
- GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件
- GB/T 13306 标牌
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 第3部分：射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
- GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
- GB/T 17626.6 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度
- GB/T 40806 机床发射空气传播噪声 金属切削机床的操作条件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

在线动平衡装置 online dynamic balancing device

能够在机床运行状态下实时检测砂轮（或旋转主轴系统）的不平衡振动信号，并自动执行平衡校正操作的装置。

3.2

不平衡量 unbalance

旋转体质量分布不均匀导致离心力系不为零的状态，通常用质量与偏心距的乘积表示，单位为克毫米（g·mm）。

3.3

振动幅值 vibration amplitude

振动信号（如位移、速度或加速度）的最大波动幅度，单位为微米（ μm ）、毫米每秒（ mm/s ）或米每二次方秒（ m/s^2 ）。

3.4

平衡校正 balancing correction

通过主动改变旋转体上的质量分布（如移动配重块、喷液、电磁调节等）以减小不平衡量的过程。

3.5

残余不平衡量 residual unbalance

经平衡校正后仍残留在旋转体上的不平衡量，单位为克毫米（g·mm）。

3.6

动态响应时间 dynamic response time

从检测到不平衡振动信号变化到完成一次有效平衡校正所需的时间，单位为秒（s）。

3.7

重复定位精度 repeatability of balancing

在相同工况下多次进行平衡校正后，残余不平衡量的一致性程度，用标准差或最大偏差表示。

3.8

适配转速范围 applicable speed range

装置能够正常工作并实现有效平衡校正的主轴转速区间，单位为转每分（r/min）。

4 基本要求

4.1 结构与外观

4.1.1 装置的结构设计应紧凑、合理，便于在数控龙门导轨磨床上安装、拆卸和维护。

4.1.2 装置外观应整洁，无毛刺、锈蚀、划伤等缺陷。涂覆层应均匀、附着力良好。

4.1.3 所有外露紧固件、接插件、密封件应安装牢固，无松动、渗漏。

4.1.4 装置应具备良好的防尘、防油、防冷却液侵入能力，防护等级不应低于 GB/T 4208 中 IP54 的规定。

4.1.5 装置的运动部件（如配重盘、传动机构）应动作平稳，无卡滞、无异常撞击声。运动部件与固定部件之间应保留安全间隙，避免运行干涉。

4.2 安装适配性

4.2.1 装置的机械安装接口应适配数控龙门导轨磨床主轴箱或砂轮架的预留安装位置，并提供明确的安装图与尺寸公差。

4.2.2 电气接口（电源、信号、通信）应与机床电气系统兼容，不得对机床原有控制系统产生干扰。

4.2.3 装置应支持在机床运行状态下进行在线拆装（如需），并应有安全锁定机制。

4.3 安全性

4.3.1 电气安全应符合 GB/T 5226.1 的规定，包括但不限于：

a) 接地电阻 $\leq 0.1 \Omega$ ；

b) 绝缘电阻 $\geq 1 M\Omega$ （500 V）；

c) 耐压试验：1500 V，1 min 无击穿。

4.3.2 装置在运行过程中不应产生超过 85 dB（A）的噪声。

4.3.3 外露旋转部件应设防护罩或安全警示标识。

5 技术要求

5.1 核心性能指标

在线动平衡装置的核心性能指标应符合表1的规定。

表 1 核心性能指标要求

指标名称	单位	要求值	备注
振动检测范围	μm (P-P)	0.1~100	位移峰峰值

指标名称	单位	要求值	备注
振动检测精度	μm (P-P)	$\pm 5\%$ 或 $\pm 0.1 \mu\text{m}$ (取大者)	满量程
最小可检测不平衡量	$\text{g}\cdot\text{mm}$	≤ 10	在适配转速范围内, 装置能稳定响应的最小不平衡量
平衡校正能力(最大可校正不平衡量)	$\text{g}\cdot\text{mm}$	≥ 500	视砂轮规格而定
残余不平衡量(校正后)	$\text{g}\cdot\text{mm}$	≤ 30	在适配转速范围内
动态响应时间	s	≤ 10	从检测到完成校正
重复定位精度(残余量波动)	%	$\leq \pm 10\%$	连续10次校正
适配转速范围	r/min	500~8000 (或制造商声明)	不低于此区间
运行稳定性(连续运行漂移)	%	$\leq \pm 5\%$	24 h连续运行
注: 表中各项指标均为装置在额定工况下的最低要求值。制造商可根据实际产品性能提供优于表中数值的指标, 但应在产品说明书中明确标注。			

5.2 振动检测性能

- 5.2.1 装置应能实时监测砂轮系统的不平衡振动, 传感器应具备抗干扰能力(如抗电磁干扰、抗冲击)。
- 5.2.2 检测信号的采样频率不应低于主轴旋转频率的 20 倍。
- 5.2.3 振动信号处理应包含必要的滤波(如带通滤波、陷波滤波)以剔除机械噪声与电气干扰。

5.3 平衡校正性能

- 5.3.1 装置应支持在磨削工况下自动完成不平衡量的检测、计算与校正, 无需停机。
- 5.3.2 校正机构(如步进电机驱动配重盘、液压或气压喷液装置)应动作可靠, 响应时间符合表 1 要求。
- 5.3.3 校正过程不应引起砂轮或主轴的附加冲击或过热。
- 5.3.4 装置应具备手动/自动两种校正模式切换功能。在自动模式下, 应根据预设阈值自动启动校正; 在手动模式下, 应接收数控系统或外部控制器的指令进行单次校正。

5.4 电气与通信要求

5.4.1 电源适应性

在额定电压 $\pm 10\%$ 范围内, 装置应能正常工作。

5.4.2 通信接口

装置与数控系统之间应至少支持以下一种通信方式:

- 数字量 I/O (如 24 VDC 电平);
- 现场总线: PROFINET、EtherCAT、Modbus TCP 等;
- 模拟量 (4 mA~20 mA 或 0 V~10 V)。

5.4.3 数据交互内容

至少应包括以下数据的上传与接收:

- 实时振动幅值与相位;
- 不平衡量估算值;
- 校正状态(完成/进行中/故障);
- 校正指令或阈值设定。

5.5 环境适应性与可靠性

5.5.1 温湿度适应性

5.5.1.1 装置在下列环境条件下应能正常工作:

- 工作温度: $+5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+45\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 贮存温度: $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+60\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 相对湿度: $\leq 90\%$ (无凝露)。

5.5.1.2 按 GB/T 2423.1 和 GB/T 2423.2 进行试验后, 性能不应下降。

5.5.2 抗振动与抗冲击

装置应能承受机床加工过程中产生的常规振动与冲击，按GB/T 2423.10进行试验（频率10 Hz～500 Hz，加速度2 g）后，无结构损坏、性能正常。

5.5.3 抗电磁干扰

装置应通过静电放电（ESD）、电快速瞬变脉冲群（EFT）、浪涌（surge）等抗扰度试验，等级不低于工业环境要求。

5.5.4 可靠性要求

装置在额定工况下连续运行2000 h，平均无故障时间（MTBF）应不低于5000 h（按制造商声明及可靠性试验验证）。

表2 环境与可靠性试验项目

试验项目	试验条件	判定标准
低温工作	+5 °C, 2 h	功能正常, 精度不超差
高温工作	+45 °C, 2 h	功能正常, 精度不超差
恒温湿热	40 °C, RH 93%, 48 h	无凝露损坏, 性能正常
正弦振动	10 Hz~500 Hz, 2 g	无共振损坏, 输出稳定
机械冲击	15 g, 11 ms	无结构损坏
电磁抗扰度	工业环境等级	无误动作或数据错误
连续运行	2000 h, 额定工况	无失效

5.6 安全防护与失效应对

5.6.1 装置应具备自诊断功能，在传感器故障、通信中断或校正机构卡滞时，应能输出报警信号并向数控系统发送“安全停机请求”。

5.6.2 装置失效时不应导致砂轮飞出或主轴抱死等危险状态。

5.6.3 装置应有防误操作设计，避免在校正过程中因外部干扰导致错误动作。

5.6.4 装置应具备供电掉电保护功能。当装置供电中断时，当前校正状态应予以保持，重新上电后不应发生误动作，且不应丢失已存储的校准参数。

6 试验方法

6.1 试验环境与仪器

6.1.1 试验环境条件

试验环境应符合以下条件：

- 温度：20 °C±5 °C；
- 相对湿度：45%~75%；
- 电源电压：额定电压±2%。

6.1.2 主要试验仪器

主要试验仪器及精度要求如下：

- 标准振动台或标准不平衡转子（可溯源）；
- 激光位移传感器或高精度加速度计（精度≤0.1 μm）；
- 数字示波器（带宽≥100 MHz）；
- 绝缘电阻测试仪、耐压测试仪；
- 环境试验箱（温湿度可控）；
- 电磁干扰模拟器（ESD、EFT、浪涌）。

6.2 振动检测精度试验

6.2.1 将装置传感器安装于标准振动台或已知不平衡量的试验转子上。

- 6.2.2 施加一系列已知幅值（如 1 μm 、5 μm 、10 μm 、50 μm 、100 μm ）的振动信号，记录装置测量值。
6.2.3 按以下公式计算相对误差：

$$\delta = \frac{|A_m - A_s|}{A_s} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

A_m ——装置测量值， μm ；

A_s ——标准给定值， μm 。

- 6.2.4 各点误差应符合表 1 要求。

6.3 平衡校正性能试验

- 6.3.1 在试验机床上安装标准砂轮及被检测装置。
6.3.2 人为施加已知不平衡量（如 100 g·mm、200 g·mm、500 g·mm），启动装置进行自动校正。
6.3.3 校正后使用高精度平衡机或振动仪测量残余不平衡量，应满足表 1 要求。
6.3.4 重复上述步骤 10 次，计算残余不平衡量的标准差与最大偏差，评估重复性。
6.3.5 校正过程监测：在校正过程中应连续监测振动信号变化曲线，装置应能识别并剔除因外部冲击、切削力波动等因素引起的伪振动信号，避免误校正。
6.3.6 极限校正能力验证：在最大可校正不平衡量（如 500 g·mm）条件下进行校正，校正后残余不平衡量仍应满足表 1 要求，且装置不应出现任何机械损坏或功能异常。

6.4 动态响应时间试验

- 6.4.1 在装置运行状态下突然改变不平衡量（如通过释放配重）。
6.4.2 记录从振动信号出现突变到装置输出校正完成信号之间的时间间隔。
6.4.3 重复 3 次，取最大值作为动态响应时间。

6.5 环境与可靠性试验

- 6.5.1 低温、高温、湿热试验分别按 GB/T 2423.1、GB/T 2423.2、GB/T 2423.3 执行，试验后立即进行性能复测。
6.5.2 振动试验按 GB/T 2423.10 执行，试验中监测装置输出是否异常。
6.5.3 电磁兼容抗扰度试验按 GB/T 17626.2、GB/T 17626.3、GB/T 17626.4、GB/T 17626.5、GB/T 17626.6 执行。
6.5.4 连续运行试验：装置连接模拟或实际机床，连续运行 2000 h，记录故障次数与类型。

6.6 电气安全试验

按 GB/T 5226.1 执行：

- a) 绝缘电阻：500 V 兆欧表测量电源输入端对地；
b) 耐压试验：1500 V，1 min；
c) 接地连续性：接地端子与外壳任一点电阻 $\leq 0.1 \Omega$ 。

6.7 通信接口试验

- 6.7.1 将装置与对应数控系统或仿真终端连接。
6.7.2 发送/接收表 5.4.3 所列数据，验证正确性与实时性。
6.7.3 断开通信线后恢复，检查自动重连与数据恢复能力。

6.8 试验方法与指标

试验方法与对应指标见表 3。

表 3 试验方法与对应指标一览表

试验项目	对应指标	试验方法条款
振动检测精度	表 1	6.2
残余不平衡量	表 1	6.3

试验项目	对应指标	试验方法条款
动态响应时间	表1	6.4
温湿度适应性	5.5.1	6.5.1
抗振动冲击	5.5.2	6.5.2
抗电磁干扰	5.5.3	6.5.3
连续运行可靠性	5.5.4	6.5.4
电气安全	4.3.1	6.6
通信兼容性	5.4.2、5.4.3	6.7

7 检验规则

7.1 检验分类

检验分为出厂检验与型式检验。

7.2 出厂检验

7.2.1 每台产品出厂前应进行出厂检验，检验项目及要求见表4。

7.2.2 出厂检验中若出现任何一项不合格，允许返修后复检；复检仍不合格则判定为不合格品。

表4 出厂检验与型式检验项目

序号	检验项目	出厂检验	型式检验	要求条款	试验方法条款
1	外观与结构	√	√	4.1	目视、量具
2	安装尺寸	√	√	4.2	卡尺、卡板
3	绝缘电阻	√	√	4.3.1	6.6
4	耐压强度	√	√	4.3.1	6.6
5	振动检测精度	-	√	表1	6.2
6	残余不平衡量	-	√	表1	6.3
7	动态响应时间	-	√	表1	6.4
8	温度适应性	-	√	5.5.1	6.5.1
9	抗振动试验	-	√	5.5.2	6.5.2
10	电磁抗扰度	-	√	5.5.3	6.5.3
11	通信兼容性	√	√	5.4	6.7
12	噪声	√	√	4.3.2	GB/T 40806

注：“√”表示检验，“-”表示可不检验。

7.3 型式检验

7.3.1 有下列情况之一时，应进行型式检验：

- 新产品或老产品转厂生产的定型鉴定；
- 产品结构、材料、工艺重大变更可能影响性能时；
- 正常生产每两年至少一次；
- 停产一年以上恢复生产时；
- 出厂检验结果与上次型式检验存在较大差异时；
- 国家质量监督机构提出要求时。

7.3.2 型式检验的样品应从出厂检验合格的产品中随机抽取，不少于2台。

7.3.3 型式检验中若全部项目合格，则判定为合格；若出现任意一项不合格，应加倍抽样复检，复检中仍有不合格项，则判定该批产品型式检验不合格。

7.4 不合格处置

检验不合格的产品不得出厂。制造商应对不合格原因进行分析，采取纠正措施后方可重新进入生产或检验流程。

8 标志、包装、运输与贮存

8.1 标志

8.1.1 每台装置应在明显位置固定标牌，标牌应符合 GB/T 13306 的规定，至少包括：

- a) 产品名称、型号；
- b) 制造商名称或商标；
- c) 出厂编号与生产日期；
- d) 主要技术参数（电源、转速范围、残余不平衡量等级等）。

8.1.2 包装箱外壁应标注“精密仪器”“防潮”“向上”等必要警示标志，按 GB/T 191 执行。

8.2 包装

8.2.1 产品包装应符合 GB/T 13384 的规定，应具有防潮、防锈、防震功能。

8.2.2 包装箱内应附有：

- a) 产品合格证；
- b) 使用说明书（含安装图、电气接线图、参数设置方法）；
- c) 出厂检验报告；
- d) 附件清单（如传感器、电缆、安装支架）。

8.2.3 使用说明书应包含安全注意事项、日常维护内容、常见故障排除方法。

8.2.4 包装材料应优先选用可回收或可降解材料，不得使用国家禁止的含毒有害物质。包装箱内所用的缓冲材料（如泡沫、气垫膜）应清洁、无粉尘、无异味。

8.3 运输

运输过程中应避免剧烈碰撞、雨雪直接淋袭和腐蚀性气体。包装后的产品应能承受常规陆运、海运或空运条件下的振动与冲击而不损坏。

8.4 贮存

8.4.1 产品应贮存在清洁、干燥、通风良好、无腐蚀性气体的仓库内，环境温度为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 80\%$ （无凝露）。

8.4.2 贮存期超过 12 个月再次使用前，应重新进行出厂检验中的电气安全与基本功能检查。

附 录 A
(资料性)
典型试验条件参考

A.1 试验转子不平衡量施加方法

可采用在标准试验转子上对称铣削孔并加入标准质量块的方式产生已知不平衡量。不平衡量值计算公式如下：

$$U = m \times r \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

U ——不平衡量，g·mm；

m ——附加质量，g；

r ——质心半径，mm。

A.2 模拟磨削工况的振动背景

为验证装置抗干扰能力，可在试验中叠加宽带随机振动（功率谱密度0.01 g²/Hz，频带10 Hz～2000 Hz）模拟磨削过程。

A.3 通信协议测试参考

推荐使用Modbus TCP或PROFINET调试工具（如Wireshark、PROFINET Inspector）进行通信报文分析，验证寄存器地址映射与数据周期。

附录 B
(资料性)
安装、调试与维护要点

B.1 安装要点

- B.1.1 机械安装前应切断机床电源，清理安装表面油污与铁屑。
- B.1.2 传感器支架、校正头应按产品说明书顺序安装，紧固扭矩符合制造商规定。
- B.1.3 电气接线时，电源线、信号线、通信线应分开走线，屏蔽层单端接地，接地电阻符合4.3.1要求。

B.2 调试要点

- B.2.1 空载调试时，主轴从最低转速逐步升至额定转速，记录各转速下的背景振动值作为校正基准。
- B.2.2 带载验证时，分别记录开启和关闭平衡功能时的工件表面粗糙度，开启后粗糙度应有明显改善。
- B.2.3 更换砂轮后，应重新进行一次完整的初始校正，不得直接使用旧参数。

B.3 维护要点

- B.3.1 每次开机前应检查传感器电缆无破损、接头无松动、无故障报警。
- B.3.2 每6个月校验传感器灵敏度（误差 $\leq\pm 5\%$ ）、检查接地电阻（ $\leq 0.1\ \Omega$ ）。
- B.3.3 每12个月复紧安装螺钉、清洁内部积尘。

B.4 常见故障处理

表 B.1 常见故障处理方法

故障现象	可能原因	处理方法
振动显示始终为零	传感器断线、插头松动	检查连接线，更换传感器
振动值波动剧烈	电磁干扰、传感器松动	检查屏蔽接地，紧固传感器
校正后振动不降反升	校正方向错误、机构卡滞	检查校正逻辑，手动测试动作
通信中断	电缆损坏、地址冲突	更换电缆，检查地址设置