

ICS
CCS

团 体 标 准

T/CI XXX—2022

高温旋转部件力热参数无线测量仪器

详细规范

Detailed specification for wireless extraction and measurement instruments for
micro/nano sensor signals

(征求意见稿)

2022-X-XX 发布

2022-X-XX实施

中国国际科技促进会 发布

目 次

前 言	2
高温旋转部件力热参数无线测量仪器详细规范	3
1 范围	3
2 引用文件	3
3 要求	4
3.1 总则	4
3.2 结构和外形	4
3.3 重量	4
3.4 密封性	4
3.5 功能要求	4
3.6 性能特性	5
3.7 环境适应性要求	6
4 质量保证规定	7
4.1 检验分类	7
4.2 检验条件	7
4.3 鉴定检验	7
4.4 质量一致性检验	8
4.5 检查	10
5 交货准备	15
5.1 包装	15
5.2 储存	15
5.3 运输	15
6 说明事项	15
6.1 预定用途	15
6.2 订购文件中应明确的内容	15
6.3 术语和定义	16

前 言

本规范是参照JB/T 12573-2018《机动车尾气立式遥测设备 通用技术要求》及GB/T 25480-2010《仪器仪表运输、贮存基本环境条件及试验方法》的制定的相关详细规范。

本规范的附录A是规范性附录。

本标准按照GB/T1.1-2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》起草。

某些内容可能涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规范起草单位：中北大学、西安翔迅科技有限责任公司、中国航发四川燃气涡轮研究院、中国航发湖南动力机械研究所、北京动力机械研究所、慧石(上海)测控科技有限公司。

本规范主要起草人：谭秋林、等。

本标准为首次发布。

高温旋转部件力热参数无线测量仪器详细规范

1 范围

本规范规定了高温旋转部件力热参数无线测量仪器的详细要求。

2 引用文件

下列文件中的有关条款通过引用而成为本规范的条款。凡注日期或版次的引用文件，其后的任何修改单（不包括勘误的内容）或修订版本都不适用于本规范，但提倡使用本规范的各方探讨使用其最新版本的可能性。凡是不注日期或版次的引用文件，其最新版本适用于本规范。

GJB 150.1A-2009	军用设备环境试验方法总则
GJB 150.3A-2009	军用设备环境试验方法 高温试验
GJB 150.4A-2009	军用设备环境试验方法 低温试验
GJB 150.5A-2009	军用设备环境试验方法 温度冲击试验
GJB 150.16A-2009	军用设备环境试验方法 振动试验
GJB 150.18A-2009	军用设备环境试验方法 冲击试验
GJB 179A-1996	计数抽样检验程序及表
GB/T 2829-2002	周期检验计数抽样程序及表
GJB 3947-2009	军用电子测试设备通用规范
GJB 151A-1997	军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求
GJB 152A-1997	军用设备和分系统电磁发射和敏感度测量
GJB 151B-2013	军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求与测量
GJB 360A-1996	电子及电气元件试验方法
GB/T 6587-2012	电子测量仪器通用规范标准
GB 4943.1-2011	信息技术设备安全 第一部分：通用要求
GB/T 17626.2-2006	电磁兼容试验和测试技术 静电放电抗扰度试验
GB/T 16611-2017	无线数据传输收发信机通用规范
GB/T 37132-2018	无线充电设备的电磁兼容性通用要求和测试方法
JB/T 12573-2018	机动车尾气立式遥测设备 通用技术要求
EN 14776-2004	航空工程地面设备和操作. 遥测技术和遥控指令数据

包应用

GOST 19619-1974

无线电遥测设备. 术语和定义

GB/T 25480-2010

仪器仪表运输、贮存基本环境条件及试验方法

3 要求

3.1 总则

高温旋转部件力热参数无线测量仪器应符合本规范的所有要求,当本规范的要求与通用规范不一致时,应以本规范为准。

3.2 结构和外形

3.2.1 结构

高温旋转部件力热参数无线测量仪器包括轴端安装数字遥测单元及可视化数据处理设备等部分,遥测单元安装在运动部件轴端,随部件一起旋转;其包含两个主要组件,即:转子组件和静子组件。转子组件通过输入轴承组件与发动机转轴机械相连,转子组件内置数据采集模块、激光通信及无线供电一体化模块。静子组件上装有激光信号发射与无线充电接收模块,用于接收转子传输过来的高速数据,将其传送给后处理设备,并给转子组件供电。

3.2.2 外形

仪器的外表不应有可见刮伤、玷污等痕迹,外露件不能有影响工作性能的机械损伤或脱落,接插件接触应保持良好的,仪器上应有产品名称、型号规格、生产日期和产品标号等。

3.3 重量

仪器总重量 $\leq 5\text{kg}$, 外围数据接收和处理单元 $\leq 10\text{kg}$ 。

3.4 密封性

按4.5.4试验后,仪器的密封应符合相关详细规范的要求。

3.5 功能要求

3.5.1 工作方式要求

高温旋转部件力热参数无线测量仪器应具有实现在高旋高振动及超高温环境下可靠工作的多通道、大容量传感采集存储及无线充电与数据传输功能,做到连续测量、实时显示数据、测量结果查询和存储、实时数据传输功能。

3.5.2 数据采集传输要求

高温旋转部件力热参数无线测量仪器的数据采集、传输应符合下列要求：

采样速率：信号采样速率应大于0.5kHz

传输速率：信号传输速率应大于2Mbps

3.6 性能特性

3.6.1 系统精度

按照4.5.5.1规定进行实验，高温旋转部件力热参数无线测量仪器的系统精度为：0.25%。

3.6.2 无线传输距离

按照4.5.5.3规定进行实验，高温旋转部件力热参数无线测量仪器无线传输距离 $\geq 2\text{mm}$ 。

3.6.3 传感通道

高温旋转部件力热参数无线测量仪器传感通道数量为64路，可扩展。

3.6.4 响应时间

按照4.5.5.4规定进行实验，高温旋转部件力热参数无线测量仪器的响应时间 $\leq 1\text{ms}$ 。

3.6.5 采样速率

按照4.5.5.5规定进行实验，高温旋转部件力热参数无线测量仪器采样速率为0.5kHz。

3.6.6 无线传输速率

按照4.5.5.6规定进行实验，高温旋转部件力热参数无线测量仪器无线传输速率为：2Mbps。

3.6.7 抗振动性能

按照4.5.5.7规定进行机械振动实验，在测量过程中及测试后，高温旋转部件力热参数无线测量仪器抗振动性能为1000Hz/20g。

3.6.8 抗冲击性能

按照4.5.5.8规定进行冲击实验，在测量过程中及测试后，高温旋转部件力热参数无线测量仪器抗冲击性能为100g/8ms。

3.6.9 电磁兼容

按照4.5.5.9规定进行电磁兼容试验，进行CS112静电放电敏感度试验、

CS114电缆束注入传导敏感度试验和CS115电缆束注入脉冲激励传导敏感度试验。

3.6.10 重复性

按照4.5.5.10规定进行重复性试验,高温旋转部件力热参数无线测量仪器进行测量过程中,待仪器示值稳定后,记录仪器相应示值。重复上述操作6次,按公式计算重复性。

$$\Delta c = \frac{1}{A_p} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - A_p)^2}{n-1}} \times 100\%$$

式中:

Δc ——重复性误差;

A_p ——6次示值的平均值;

n ——测量次数 ($n=6$);

A_i ——每次的示值。

3.6.11 稳定性

按照4.5.5.11规定进行稳定性试验,高温旋转部件力热参数无线测量仪器校准后进行测量,稳定后记录仪器相应示值 M_0 ,每15min重复上述操作一次,连续运行1h。记录每次示值,按公式计算稳定性误差。

$$\delta = \frac{M_j - M_0}{M_0} \times 100\%$$

式中:

δ ——稳定性误差;

M_j ——每次读数值;

M_0 ——开始读数值。

3.7 环境适应性要求

仪器在运输或贮存时经受高温/高温贮存实验、低温/低温贮存实验、振动和冲击实验后应能正常工作。

3.7.1 高温试验

按照4.5.6.1规定进行高温实验,在仪器的测量过程中及测试后,仪器的性能满足最大允许测量误差要求,功能正常,各项性能指标均符合规定要求。

3.7.2 高温贮存试验

按照4.5.6.2规定进行高温贮存实验，在仪器的测量过程中及测试后，仪器的性能满足最大允许测量误差要求，功能正常，各项性能指标均符合规定要求。

3.7.3 低温试验

按照4.5.6.3规定进行低温实验，在仪器的测量过程中及测试后，仪器的性能满足最大允许测量误差要求，功能正常，各项性能指标均符合规定要求。

3.7.4 低温贮存试验

按照4.5.6.4规定进行低温贮存实验，在仪器的测量过程中及测试后，仪器的性能满足最大允许测量误差要求，功能正常，各项性能指标均符合规定要求。

3.7.5 恒定湿热试验

按照4.5.6.5规定进行恒定湿热实验，在仪器的测量过程中及测试后，仪器的性能满足最大允许测量误差要求，功能正常，各项性能指标均符合规定要求。

3.7.6 温度冲击试验

按照4.5.6.6规定进行温度冲击实验，在仪器的测量过程中及测试后，仪器的性能满足最大允许测量误差要求，功能正常，各项性能指标均符合规定要求。

4 质量保证规定

4.1 检验分类

本规范规定的检验分类如下：

- a) 鉴定检验；
- b) 质量一致性检验。

4.2 检验条件

4.2.1 环境条件

除非另有规定，所有检验应在GB/T 25480-2010规定的试验的标准大气条件下进行。

4.2.2 试验设备及检验装置

承制方应建立和维持具有足够的准确度、质最和数景的试验设备和检验装置，以便进行所要求的检验。同时，为控制测量和试验设备的准确度，承制方应按GB/T 25480-2010建立和维持其计量校准系统。

4.3 鉴定检验

4.3.1 通则

鉴定检验应在鉴定机构认可的试验室或设施上进行。鉴定合格资格保持期为24个月。如果检验结果表明产品不符合规范的规定，或连续两个周期内未生产，则丧失鉴定合格资格。鉴定检验之前，仪器应100%进行筛选，不合格品予以剔除。

4.3.2 样品

提交鉴定检验的高温旋转部件力热参数无线测量仪器样品为在生产中正常使用设备和工艺所生产的并经过选合格的产品，用于经受检验的仪器样品母体数不少于4只，逐批检验与周期检验抽样数量各不少于2只。

4.3.3 合格判定

如有任一样品不能达到规定的要求，则鉴定检验失效，不能给予鉴定批准。

4.4 质量一致性检验

4.4.1 通则

质量一致性检验由A组和C组检验组成。A组检验为逐批检验（即为产品交货检验），C组检验为周期检验。质量一致性检验之前，仪器应100%进行筛选，不合格品予以剔除。不合格产品数不大于1台。

4.4.2 逐批检验

4.4.2.1 通则

逐批检验应由A组检验组成，逐批检验即为产品交货检验。

4.4.2.2 检验批

一个检验批应由在相同条件下生产，并在三个月内同时提交检验的相同型号的所有产品组成。

4.4.2.3 A组检验

4.4.2.3.1 检验项目和顺序

A组检验按表1规定的项目和顺序进行。

表 1 A 组检验

序号	检查项目	要求章条号	方法章条号
1	结构和外形	3.2	4.5.2
2	重量	3.3	4.5.3
3	密封性	3.4	4.5.4
4	系统精度	3.6.1	4.5.5.1

5	传感通道	3.6.2	4.5.5.2
6	无线传输距离	3.6.3	4.5.5.3
7	响应时间	3.6.4	4.5.5.4
8	采样速率	3.6.5	4.5.5.5
9	无线传输速率	3.6.6	4.5.5.6
10	抗振动性能	3.6.7	4.5.5.7
11	抗冲击性能	3.6.8	4.5.5.8
12	电磁兼容试验	3.6.9	4.5.5.9
13	重复性	3.6.10	4.5.5.10
14	稳定性	3.6.11	4.5.5.11

4.4.2.3.2 抽样方案

A组检验采用100%检查。如有任一样品不能达到规定的要求，则判定该产品不合格，并予以剔除，批不合格品率不大于1只。

4.4.2.3.3 抽样方案

如果一个检验批被拒收，承制方可以返修该批产品以纠正其缺陷或剔除有缺陷的产品，并重新提交进行复检。重新提交的检验批应采用加严检验。对重新检验批应清晰标明为复验批，并与新的检验批严格分开。

4.4.3 周期检验

4.4.3.1 通则

周期检验应由C组检验组成。已通过A组检验的产品，不应推迟至周期检验得到结果后交货，如果周期检验结果表明不合格，则应按4.4的规定进行。

4.4.3.2 检验项目和顺序

C组检验按表2规定的顺序和项目进行。

4.4.3.3 抽样方案

C组检验应在通过A组检验合格批中随机抽取，样品数不少于1只，按GJB 179A-1996中规定的一次正常抽样方案进行抽样。

4.4.3.4 合格判定

如有任一样品不能达到规定的要求，则判C组检验失效。

表 2 C 组检验

序号	检验项目	要求章条号	方法章条号
----	------	-------	-------

1	高温试验	3.7.1	4.5.6.1
2	高温贮存试验	3.7.2	4.5.6.2
3	低温试验	3.7.3	4.5.6.3
4	低温贮存试验	3.7.4	4.5.6.4
5	恒定湿热试验	3.7.5	4.5.6.5
6	温度冲击试验	3.7.6	4.5.6.6
注：C组实验完成后进行一次准确度检验			

4.4.3.5 不合格品处理

如果仪器样品未能通过C组检验，则承制方应向鉴定机构报告失效情况，并根据不合格的原因，对材料或结构设计或对两者采取纠正措施，而且认为适当时，对用基本相同的材料和结构，在基本相同的条件下制造的，以及认为经受相同失效的，可以修复的全部产品采取纠正措施。在采取鉴定机构认可的纠正措施之前应暂停产品的验收和交货。在采取纠正措施之后，应对追加的样品重新进行C组检验（由鉴定机构决定进行全部项目的检验或进行原来样品失效项目的检验）。同时，可以重新开始A组检验，但在C组复验表明纠正措施是成功的之前，不得进行最后的验收和交货。若复验仍然失效，则应将有关失效的资料提供给鉴定机构和有关主管部门。

4.5 检查

4.5.1 型式检查

有下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品的试制定型鉴定；
- b) 产品正式生产后，结构、材料、生产工艺有较大改变，可能影响产品性能；
- c) 产品停止生产超过两年；
- d) 产品转厂生产；
- e) 国家质量监督部门提出进行型式检验的要求。

型式检验的仪器样品应从出厂检验合格的产品中随机抽取 2 台。

4.5.2 结构和外形

通过目视检查产品外观是否符合3.2的要求。

4.5.3 重量

用称量器测量重量，结果应符合3.3的要求。

4.5.4 密封性

按GJB360A-1996中方法112中规定的方法进行试验，试验条件按相关详细规范规定。结果应符合3.4的要求。

4.5.5 性能试验

4.5.5.1 系统精度

将遥测单元置于高速旋转测试平台，平台选用中空轴电机，将标准传感器信号通过电滑环，穿过电机中心孔引入转子测试单元，然后转子与定子组件通过无线磁感应充电和激光实现无线无源数据通信，转子组件和定子组件分别通过FPGA 固件实现信号采集，数据格式的转换，可视化数据处理平台及数据处理系统用以实时处理通过激光接收端接收到的传感数据，并对校准后的传感信号进行处理与分析，给出叶片部件的温度梯度及动态变化特性等参数，与真值比较计算误差。结果应符合 3.6.1 的要求。

4.5.5.2 无线传输距离

遥测单元置于高速旋转测试平台，平台选用中空轴电机，将标准传感器信号通过电滑环，穿过电机中心孔引入转子测试单元，然后转子与定子组件通过无线磁感应充电和激光实现无线无源数据通信，转子组件采集的数据通过激光传输到定子组件后，需要将 RS485 信号传输到计算机，需要进行总线转换和数据上传，同时还需要进行整个系统的回路监测。改变组件之间距离至仪器无法正常工作，测试最大无线传输距离。结果应符合 3.6.3 的要求。

4.5.5.3 传感通道

从 128 通道选择 4 个通道进行传感器实时监测，从遥测仪器转子端连接 4 路传感器信号。将转子组件直接通过 RS485 总线与无线激光通信系统连接，并且将网线与计算机连接，通过可视化数据处理软件进行数据回读，并进行实时监测。对通道数据实时解算和显示，对比进行数据判断。利用标准仪器改变输入温度，采用补偿导线进行温度采集，比如标准 S 型热电偶 300°C 对应输出 2mV，1450°C 对应 12.512mV，采用标准模拟电压输入 1mV~15mV，每次递增 1mV，遥测仪器进行实时测试，得出对应的 32 个测试值，进行误差分析，得出测试通道精度，测试精度小于 1% 为合格。结果应符合 3.6.2 的要求。

4.5.5.4 响应时间

将薄膜温度传感器样件置于测试台上，传感器参考端连接数据采集系统数据输入端，调整激光光路，使激光束经光学整形模块后聚焦到薄膜温度传感器的测试端。设置激光器输出功率，启动激光器，利用脉冲激光产生的能量，对被测薄膜传感器的热接点施加一个阶跃变化的温度。利用数据采集系统记录被测薄膜传感器的热电势输出，得到在某一温度下传感器的输出热电势-时间（V-t）曲线。输出温度电压信号随阶跃激光信号变化而变化，信号到稳定值 63.6%所需的时间间隔即为仪器的响应时间 t_r 。结果应符合3.6.4的要求。

4.5.5.5 采样速率

遥测单元置于高速旋转测试平台，平台选用中空轴电机，将标准传感器信号通过电滑环，穿过电机中心孔引入转子测将试单元，然后转子与定子组件通过无线磁感应充电和激光实现无线无源数据通信，转子组件采集的数据通过激光传输到定子组件后，需要将 RS485 信号传输到计算机，需要进行总线转换和数据上传，同时还需要进行整个系统的回路监测。对所抓取数据绘制成曲线，设定一速度和测试行程，计算出走完测试过程所用时间，计算采样速率。结果应符合 3.6.5 的要求。

4.5.5.6 无线传输速率

将仪器按照指定转子和定子的安装位置固定，仪器定子组件安装在三轴滑台固定支架上，转子组件安装在转子法兰上进行激光通信测试。测试通过转子组件发送设置的模拟信号源进行测试。模拟信号源采用固定的帧格式，整体数据帧结构为72（列）*4（行），将自检数据按照帧格式排列显示来检查数据，同时换算出相应的数据量和速率。测试软件包含2部分，一部分是遥测仪器实时控制软件，另外一部分是数据查看和分析软件，同时换算出无线传输速率（单位：Mbps）。结果应符合3.6.6的要求。

4.5.5.7 抗振动性能

依据标准GJB150.16A-2009《军用装备实验室环境试验方法 第16部分：振动试验》，开展振动试验。试验条件如表3、表4所示：

表 3 驻频试验条件

频率点或范围 (Hz)	加速度 (m/s^2)	双振幅 (mm)	振动轴向	驻频时间(min)
----------------	-----------------	----------	------	-----------

1000	200	/	X、Y、Z	10
------	-----	---	-------	----

表 4 随机振动试验条件

试验方向	频率(Hz)	功率谱密度(g^2/Hz)	斜率 (dB/oct)	均方根值(g)	试验时间 (min)
X Y Z	20~80	/	+3	6.06	5

结果应符合 3.6.7 的要求。

4.5.5.8 抗冲击性能

依据标准：GJB150.18-1986《军用设备环境试验方法 冲击试验》开展冲击试验。

试验条件如表5所示：

表 5 半正弦波冲击试验条件

冲击波形	峰值加速度	脉冲持续时间	试验方向	冲击次数
半正弦波	100g	6ms~8ms	±Z	每方向3次

结果应符合 3.6.8 的要求。

4.5.5.9 电磁兼容试验

依据标准 GJB151B-2013《军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求与测量》，开展电磁兼容试验，结果应符合 3.6.9 的要求。

4.5.5.10 重复性

高温旋转部件力热参数无线测量仪器进行测量过程中，待仪器示值稳定后，记录仪器相应示值。重复上述操作6次，按公式计算重复性。其结果应符合3.6.10的要求。

4.5.5.11 稳定性

为验证遥测仪器的稳定性，确定其安全有效的使用期限，采用在寿命试验的基础上形成的加大应力、缩短时间的加速寿命试验方法进行遥测仪器样机寿命试验验证。结果应符合 3.6.11 的要求。

4.5.6 环境试验

4.5.6.1 高温试验

按 GJB 150.3 中规定的试验方法和如下条件进行：

- a) 温度：工作温度的上限温度；
- b) 保温时间：按照相关详细规范规定。

试验过程中，仪器按相关详细规范规定的连接方式连接，使仪器处于工作状

态，温度恒定后检测仪器的输出。试验后，在试验的标准大气条件下恢复 2h 或按相关详细规范规定，再进行检测，其结果应符合 3.7.1 要求。

4.5.6.2 高温贮存试验

按 GJB 150.3 中规定的试验方法和如下条件进行：

- a) 温度：贮存温度的上限温度；
- b) 保温时间：48h；

试验后，除非另有规定，在试验的标准大气条件下恢复 4h, 然后进行检测，结果应符合 3.7.2 要求。

4.5.6.3 低温试验

按 GJB 150.4 中规定的试验方法和如下条件进行：

- a) 温度：工作温度的下限温度；
- b) 保温时间：按照相关详细规范规定。

试验过程中，仪器按相关详细规范规定的连接方式连接，使仪器处于工作状态，温度恒定后检测仪器的输出。试验后，在试验的标准大气条件下恢复 2h 或按相关详细规范规定，再进行检测，其结果应符合 3.7.3 要求。

4.5.6.4 低温贮存试验

按 GJB 150.4 中规定的试验方法和如下条件进行：

- a) 温度：贮存温度的下限温度；
- b) 保温时间：24h。

试验后，除非另有规定，在试验的标准大气条件下恢复 4h, 然后进行检测，结果应符合 3.7.4 要求。

4.5.6.5 恒定湿热试验

按 GJB 360A-1996 方法 103 中规定进行试验，试验条件按相关详细规范规定。试验后，在标准大气条件下恢复 12h 或按相关详细规范规定，然后进行检测，结果应符合 3.7.5 要求。

4.5.6.6 温度冲击试验

按 GJB 360A-1996 方法 107 中规定的试验方法和如下条件进行：

- a) 试验温度：贮存温度的上限温度和贮存温度的下限温度；
- b) 试验温度保持时间：按相关详细规范的规定；

- c) 转换时间：不大于 5min；
- d) 循环次数：不小于 5 次。

试验后，除非另有规定，在试验的标准大气条件下恢复 4h, 然后进行检验，结果应符合 3.7.6 要求。

5 交货准备

5.1 包装

仪器应有专用的包装盒，包装盒内应有防震保护。包装盒上应有标签并标明：

- a) 制造单位名称或商标；
- b) 产品名称、型号与编号；
- c) 检验日期和检验员印章；
- d) 包装日期和包装印章；
- e) 详细规范号。

5.2 储存

仪器应存放在环境温度为 -10°C ~ 40°C 和相对湿度不大于 80%的通风、无腐蚀性气体影响的库房内。

5.3 运输

仪器运输时应有牢固的包装箱，并按 GWT 191-2008 规定标示“易碎物品”、“怕雨”等字样或标志。装有仪器的包装箱允许用任何工具运输，运输中应避免雨、雪的直接淋袭和机械撞击。

6 说明事项

6.1 预定用途

符合本规范的产品可用于航天、航空、船舶、兵器、电子等领域军事装备上的信号无线引出及测量。

6.2 订购文件中应明确的内容

订购文件应规定下列内容：

- a) 本规范的编号、名称；
- b) 数量；
- c) 特殊装箱与交通运输要求；

d) 其他要求。

6.3 术语和定义

GOST 19619-1974 确立的术语和定义适用于本规范。

征求意见稿