ICS 19.020

CCS xx

团体标准

发 布

中国电机工程学会

20XX—XX—XX实施

20XX—XX—XX发布

**变电站与换流站非侵入式高电压传感器**

**检测技术规范**

Technical Specification for Non-Intrusive High-Voltage Sensor Testing in Substations and Converter Stations

（征求意见稿）

T/CSEE XXXX—YYYY

代替 T/XXXX

目  次

[1](#_Toc183183359)

[1](#_Toc193982544)

[前  言 III](#_Toc193982545)

[变电站与换流站非侵入式高电压传感器检测技术规范 1](#_Toc193982546)

[1 范围 1](#_Toc193982547)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc193982548)

[3 术语和定义 1](#_Toc193982550)

[4 总体要求 4](#_Toc193982568)

[4.1 检验规则 4](#_Toc193982569)

[4.1.1 型式试验 4](#_Toc193982570)

[4.1.2 出厂检验 4](#_Toc193982571)

[4.1.3 验收检验 4](#_Toc193982572)

[4.2 检验项目 4](#_Toc193982573)

[4.3 试验条件 5](#_Toc193982574)

[4.3.1 环境条件 5](#_Toc193982575)

[4.3.2 通信条件 5](#_Toc193982578)

[5 试验方法 5](#_Toc193982579)

[5.1 结构、外观检查 5](#_Toc193982580)

[5.2 功能试验 6](#_Toc193982585)

[5.2.1 数据接口试验 6](#_Toc193982586)

[5.2.2 协议一致性试验 6](#_Toc193982589)

[5.3 性能特征试验 6](#_Toc193982590)

[5.3.1 准确度试验 6](#_Toc193982591)

[5.3.2 频率响应 7](#_Toc193982633)

[5.3.3 线性度 7](#_Toc193982634)

[5.3.4 分辨率 7](#_Toc193982637)

[5.3.5 零点漂移（零偏稳定性） 7](#_Toc193982640)

[5.3.6 热零点漂移 7](#_Toc193982643)

[5.3.7 功耗 8](#_Toc193982646)

[5.4 电磁兼容试验 8](#_Toc193982647)

[5.4.1 工频磁场抗扰度 8](#_Toc193982672)

[5.4.2 脉冲磁场抗扰度 8](#_Toc193982673)

[5.4.3 阻尼振荡磁场抗扰度 8](#_Toc193982674)

[5.5 环境适应性试验 8](#_Toc193982676)

[5.5.1 低温试验 8](#_Toc193982677)

[5.5.2 高温试验 9](#_Toc193982680)

[5.6 可靠性试验 9](#_Toc193982681)

[5.6.1 平均无故障工作时间试验 9](#_Toc193982699)

[5.6.2 防护等级试验 9](#_Toc193982725)

[5.7 电源性能试验 9](#_Toc193982726)

[5.7.1 电源分类 9](#_Toc193982727)

[5.7.2 一次电池性能试验 9](#_Toc193982728)

[5.7.2.1 设计续航时间 9](#_Toc193982729)

[5.7.3 太阳能电池性能试验 10](#_Toc193982746)

[5.7.3.1 电池容量 10](#_Toc193982747)

[5.7.3.2 充电效率 10](#_Toc193982748)

[5.7.3.3 无光照运行时间 10](#_Toc193982749)

[5.7.4 环境自取能性能试验 10](#_Toc193982752)

[5.8 无线通信性能试验 10](#_Toc193982753)

[5.8.1 全向射频输出功率试验 10](#_Toc193982765)

[5.8.2 发射带宽试验 10](#_Toc193982768)

[5.8.3 发射频率容差试验 11](#_Toc193982771)

[5.8.4 杂散发射试验 11](#_Toc193982774)

[5.8.5 接收灵敏度 11](#_Toc193982775)

[5.8.6 授时精度 11](#_Toc193982776)

[附　录　A （规范性） 12](#_Toc193982777)

[A.1 监测报文 12](#_Toc193982778)

[A.2 告警报文 13](#_Toc193982779)

前  言

本文件按照《中国电机工程学会团体标准的管理办法（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。

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智能感知专业委员会归口并解释。

本文件起草单位：国网江苏省电力有限公司电力科学研究院，中国电力科学研究院有限公司，重庆大学，西安交通大学，中国科学院上海微系统与信息技术研究所，北京智芯微电子科技有限公司，中国科学技术大学，中电普瑞电力工程有限公司。

本文件主要起草人：XXXX

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)。

变电站与换流站非侵入式高电压传感器检测技术规范

1. 范围

本文件规定了用于变电站和换流站的非侵入式高电压传感器检测的总体要求，描述了对应的试验方法及要求等。

本文件适用于110kV及以上电压等级变电站、换流站电压测量场景的非侵入式电压传感器型式试验、出厂检验、验收检验，其他电压等级或电力设备的非侵入式电压传感器可参照执行。

1. 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 2423.1—2008 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—2008 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 4208—2017 外壳防护等级(IP代码)

GB/T 7665—2005 传感器通用术语

GB/T 12572—2008 无线电发射设备参数通用要求和测量方法

GB/T 16821—2007 通信用电源设备通用试验方法

GB/T 17626.8-2006 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验

GB/T 17626.9-2011 电磁兼容 试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验

GB/T 18459-2001 传感器主要静态性能指标计算方法

GB/T 20840.7—2007 互感器 第7部分：电子式电压互感器

GB/T 26217—2019 高压直流输电系统直流电压测量装置

YD/T 1484.1—2016 无线终端空间射频辐射功率和接收机性能测量方法 第1部分：通用要求

YD/T 3330—2018 支持通信应用的北斗授时设备测试方法

SJ 20927—2005 光纤电压传感器通用规范

1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

非侵入式电压传感器 non-intrusive high voltage sensor

一种与一次设备无任何电气连接、无须侵入导线绝缘层或设备内部的电压传感器，一般通过测量电压量产生的空间电场量线性变化实现，由电场敏感元件和信号处理电路组成，适用于110kV及以上交直流电压等级变电站、换流站中母线、一次设备引流线、输电线路导线的电压传感。

电场敏感元件 electric field sensing element

能感受交流或直流电场强度并可转换成可用输出信号的敏感元件。

额定电压标准值 standard values of rated voltage

作为非侵入式电压传感器性能基准的被测电压值。

频率响应frequency response

在规定的测量频率范围内，当输入频率变化的正弦波信号时，输出量与输入量之幅值比及相位差随频率的变化。

[来源：GB/T 26217—2019，3.7]

准确度 accuracy

测量结果与被测量的真值之间的一致程度，通常以等级或误差范围表示。

[来源：GB/T 7665—2005，3.5.11]

线性度 linearity

正、反行程实际平均特性曲线相对于参比直线的最大偏差，用满量程输出的百分比表示。

[来源：GB/T 18459—2001，2.3.5]

分辨力 resolution

传感器在整个输入量程内都能产生可观测的输出量变化的最小输入量变化。

[来源：GB/T 18459—2001，2.3.1]

零点输出 zero-measurand output

在被测电压为零的情况下，传感器的输出信号值。

[来源：SJ 20927—2005，6.1.1]

零点漂移（零偏稳定性） zero stability

传感器在环境温度不变和无测量信号情况下，规定的时间间隔内保持零点输出不变的能力。

[来源：GB/T 7665—2005，3.5.1.82 和 SJ 20927—2005，6.1.3]

热零点漂移 thermal zero shift

由环境温度变化所引起的零点输出变化，通常用单位温度的满量程输出的百分比来表示。

[来源：GB/T 18459—2001，2.3.12]

功耗 power consumption

信号处于稳定条件下，传感器在工作范围内所消耗的最大功率瓦特数。

[来源：GB/T 7665—2005，3.5.1.85]

平均无故障工作时间 mean time between failures, MTBF

传感器在规定的条件下和时间内，相邻两次故障之间的平均运行时间。

总全向辐射功率 total isotropic radiated power

无线终端在空间三维球面上的射频辐射功率积分值，反映了无线终端在所有方向上的发射特性。

[来源：YD/T 1484.1－2023，3.1.1]

必要带宽 necessary bandwidth

对特定的发射类别而言，恰能满足规定条件下信息传输所要求的速率和质量的必要带宽。

[来源：GB/T 12572-2008，3.1.5]

频率容限 frequency tolerance

发射所占频带的中心频率偏离指配频率，或发射的特征频率偏离参考频率的最大容许偏差。频率容限以百万分之几（χ×10⁻⁶）或若干赫兹表示。

[来源：GB/T 12572-2008，3.1.1]

杂散发射 spurious emission

必要带宽外的单个或多个频点上的发射，可以减小其电平而不影响相应的信息传输。杂散发射包括谐波发射、寄生发射、互调产物及变频产物，但带外发射除外。

[来源：GB/T 12572-2008，3.1.7]

总全向辐射灵敏度 total isotropic radiated sensitivity

无线终端在空间三维球面上的接收灵敏度积分值，反映了无线终端在所有方向上的接收特性。

[来源：YD/T 1484.1－2023，3.1.2]

1. 总体要求
   1. 检验规则
      1. 型式试验

型式试验的开展应满足以下规则：

1. 新产品定型前；
2. 正常生产时，每4年进行一次；
3. 停产1年后又恢复生产时；
4. 生产设备重大改变时；
5. 正式生产后，因结构、材料、工艺有较大改变，可能影响传感器性能时；
6. 国家技术监督机构或受其委托的技术检验部门提出型式试验要求时。
   * 1. 出厂检验

出厂检验的开展应满足以下表1规则。

* + 1. 验收检验

验收检验在传感器到货后由企业与供货商协商开展，宜满足以下表1规则。

* 1. 检验项目

型式试验、出厂检验和验收检验项目如表1所示。

表1 检验项目

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检验项目分类 | 检验项目 | | 型式试验 | 出厂检验 | 验收检验 |
|  | 结构、外观检查 | | | ● | ● | ● |
|  | 功能试验 | 数据接口试验 | | ● | ● | ○ |
|  | 协议一致性试验 | | ● | ○ | ○ |
|  | 性能特征试验 | 准确度试验 | | ● | ● | ● |
|  | 频率响应试验 | | ● | ● | ● |
|  | 线性度试验 | | ● | ● | ● |
|  | 分辨率试验 | | ● | ● | ● |
|  | （零点漂移）零偏稳定性试验 | | ● | ● | ● |
|  | 热零点漂移试验 | | ● | ● | ● |
|  | 功耗试验 | | ● | ● | ● |
|  | 电磁兼容试验 | 工频磁场抗扰度试验 | | ● | ● | ● |
|  | 脉冲磁场抗扰度试验 | | ● | ● | ● |
|  | 环境适应性试验 | 低温试验 | | ● | ● | ○ |
|  | 高温试验 | | ● | ● | ○ |
|  | 可靠性试验 | 平均无故障工作试验 | | ● | — | — |
|  | 防护等级试验 | | ● | ○ | ○ |
|  | 电源性能试验 | 一次电池性能试验 | 设计续航时间 | ● | — | — |
|  | 太阳能电池性能试验 | 电池容量 | ● | ○ | ○ |
|  | 无光照运行时间 | ● | ○ | ○ |
|  | 环境自取能性能试验 | 电流自取能启动电流阈值试验 | ● | ○ | ○ |
|  | 电流自取能功率试验 | ● | ○ | ○ |
|  | 无线通信性能试验 | 全向射频输出功率试验 | | ● | ○ | ○ |
|  | 发射带宽试验 | | ● | ○ | ○ |
|  | 发射频率容差试验 | | ● | ○ | ○ |
|  | 杂散发射试验 | | ● | ○ | ○ |
|  | 接收灵敏度试验 | | ● | ○ | ○ |
|  | 授时精度试验 | | ● | ○ | ○ |
| 注：“●”为必做项，“○”为选作项，“—”为不做项。 | | | | | | |

* 1. 试验条件
     1. 环境条件

非特殊注明，各项检验宜在以下环境条件下进行：

1. 环境温度：+15℃～+35℃;
2. 相对湿度：25％RH～75％RH;
3. 大气压力：86kPa～106kPa。
   * 1. 通信条件

采用无线通信方式的传感器，通信要求如下：

1. 应采用固定周期和告警触发结合的模式上报数据，最小可设定上报周期不大于5min。
2. 试验方法
   1. 结构、外观检查

目测和触摸检查传感器的外观，传感器表面应无划伤、裂纹和变形，零部件无松动和脱落，铭牌标志应清晰完整。

* 1. 功能试验
     1. 数据接口试验

传感器接口的数据输出是指传感器监测、告警等功能所产生的业务数据。，业务数据报文格式根据数据业务类型的不同，可分为监测数据报文格式及告警数据报文格式两类。数据接口检测项及试验方法应满足表2。监测、告警数据报文格式及报文内容应符合附录A要求。

表2传感器数据接口检测项

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 测试大类 | 测试项 | 选项 | 具体试验方法 |
| 1 | 业务数据 | 监测报文 | ● | 传感器以周期性发送业务监测数据。 |
| 2 | 告警报文 | ○ | 传感器在参量达到告警阈值时，发送告警信息。 |
| 注：“●”为必做项，“○”为选作项。 | | | | |

* + 1. 协议一致性试验

采用无线通信方式的传感器，通信要求如下：

1. 应满足数据规约一致性要求，即数据规约应满足循环冗余校验（CRC-16）算法的相关要求；
2. 应采用固定周期和告警触发结合的模式上报数据，最小可设定上报周期不大于5min。
   1. 性能特征试验
      1. 准确度试验

非侵入式电压传感器的准确度以额定电压下所规定的最大允许电压误差百分数来标称：

1. 电压测量范围：0.1 p.u.～1.5 p.u.；
2. 标准准确级位：0.1，0.2，0.5，1.0。

试验应按表3规定的各电压值进行准确度试验，试验系统见 GB/T 26217-2019。电压传感器的测量误差 *ε*u 按照式（1）计算，用百分数表示。

 （1）

式中：

*K*r —— 额定分压比；

*U*d —— 实际一次电压，单位为千伏（kV）；

*U*s —— 测量条件下，施加 *U*d 时的实际二次电压，单位为千伏（kV）。

表3 非侵入式电压传感器的误差限值（精度）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 准确级 | 在下列额定电压下的幅值误差  % | | | |
| 0.1 p.u. | 0.2 p.u. | 1.0 p.u. | 1.0 p.u.～1.5 p.u |
| 0.1 | ±0.4 | ±0.2 | ±0.1 | ±0.3 |
| 0.2 | ±0.75 | ±0.35 | ±0.2 | ±0.5 |
| 0.5 | ±1.5 | ±0.75 | ±0.5 | ±1.0 |
| 1.0 | ±3.0 | ±1.5 | ±1.0 | ±3、±5、±10 |

* + 1. 频率响应

将电压传感器安装在标准平板电极内，确保其稳定并且处于测量环境中，避免外部干扰，使用信号发生器产生已知频率的电场信号。信号的频率应该从DC开始，逐渐增加至目标范围的上限（100 kHz以上），使用示波器观察电源信号和传感器输出信号波形，记录每个频率下传感器的输出信号强度或响应值。绘制传感器输出的频率响应曲线，根据响应曲线，找出传感器能够有效响应的频率范围，通常以频率响应下降3dB为边界，作为传感器的频率响应。

* + 1. 线性度

在测量量程内均布取 m 个（除另有规定外，通常取 m=5～11）校准点，按规定的校准点平稳施加电场，待稳定后，读取传感器的输出值。除另有规定外，按 GB/T 18459-2001中A2 提供的独立线性度方法，将施加电压值和读取传感器的输出值的拟合曲线作为传感器的参比工作直线，按 GB/T 18459-2001中3.8.7规定的方法按式(2)计算传感器的线性度：

 (2)

式中：

Δ*YL*，max —— 传感器的实际特性曲线对参比直线的最大偏差；

*YFS* —— 传感器的满量程输出；

*γ* —— 传感器的线性度。

* + 1. 分辨率

根据规定的测量范围，调整电压输入量，施加电压 U0+ΔUstep(U0 即为量程下限，ΔUstep 为规定的分辨力数值)作为基点，读取传感器的输出值 yc0；将电压增大到 U0+2×ΔUstep，读取传感器的输出值yc2;重新施加电压 U0+ΔUstep，将电压减小到量程下限U0，读取传感器的输出值yc1。应满足：yc1<yc0<yc2，则分辨力为ΔUstep。

* + 1. 零点漂移（零偏稳定性）

首先在室温下对电压传感器施加零电压，每间隔30s记录1个输出数据，共3个数据进行算术平均作为传感器的零点输出。将电压传感器放置于温度试验箱中并通电工作，分别在室温、上限工作温度、下限工作温度、保温30分钟，每隔10 min记录一次输出数据，共记录1 h。传感器的零点漂移（零偏稳定性）应按下式计算：

 (3)

式中：

*D* —— 零点漂移；

*Ymax*(*T*) —— 最大漂移出处的零点输出；

*Y*(*T*0) —— 初始时室温下的零点输出；

*YFS* (*T*0) —— 室温时满量程输出值。

* + 1. 热零点漂移

将电压传感器放置于温度试验箱中并通电工作，分别在室温、上限工作温度、下限工作温度、保温30分钟，记录上述温度时的零点输出值（在电压为零时传感器的输出）。热零点漂移按下式计算，取两者最大值作为热零点漂移。

 (4)

式中：

*α* —— 热零点漂移；

*T*0 —— 室温，单位为摄氏度（℃）；

*T* —— 上限或下限工作温度，单位为摄氏度（℃）；

*Y*(*T*0) —— 室温时的零点输出值；

*Y*(*T*) —— 上限或下限工作温度的零点输出值；

*YFS*(*T*0) —— 室温时满量程输出值。

* + 1. 功耗

测试在室温环境下进行，将功率分析仪与电压传感器供电回路连接，施加零点电压情况下，给传感器通电并稳定工作10分钟后，同时测量电压传感器供电回路的电压和电流；实时记录瞬时有功功率，持续运行15分钟，计算平均功耗。根据测量的供电电压和电流值按下式计算出功率：

 (5)

式中：

*U* —— 传感器供电电压，单位为伏（V）；

*I* —— 传感器供电电流，单位为安（A）；

*W* —— 传感器功耗，单位为瓦（W）。

* 1. 电磁兼容试验
     1. 工频磁场抗扰度

基于电压传感器处于正常工作状态，按照 17626.8—2006 中规定的试验方法进行试验，试验等级为5级；试验期间及试验后，电压传感器的功能和性能正常。

* + 1. 脉冲磁场抗扰度

基于电压传感器处于正常工作状态，按照 17626.9—2011 中规定的试验方法进行试验，试验等级为5级；试验期间及试验后，电压传感器的功能和性能正常。

* 1. 环境适应性试验
     1. 低温试验

基于电压传感器处于正常工作状态，按照 GB/T2423.1—2008 中5.2 规定的试验方法进行，严酷等级为温度－40℃、持续时间 24 h 的低温试验；试验期间及试验后，电压传感器的功能和性能正常。

* + 1. 高温试验

基于电压传感器处于正常工作状态，按照 GB/T2423.2—2008 中 5.2 规定的试验方法进行，严酷等级为温度+85℃、持续时间 24 h 的高温试验；试验期间及试验后，电压传感器的功能和性能正常。

* 1. 可靠性试验
     1. 平均无故障工作时间试验

按 GJB/T 899中图A.24中的统计方案开展试验，MTBF大于5000小时。

* + 1. 防护等级试验

按 GB/T 4208-2017 进行。防尘试验按13.4和13.6.1进行，合格条件按13.6.2的要求；防水试验按14.2.7进行，合格条件按14.3的要求。

* 1. 电源性能试验
     1. 电源分类

根据传感器供电方式不同，可分为一次电池供电，太阳能电池供电和环境自取能。其中，环境自取能方式包括电流取能、电压取能、温差取能等方式。对不同供电方式，应采用对应的测试项目。

* + 1. 一次电池性能试验
       1. 设计续航时间

准备相同型号的1年内生产未使用过的电池，并按照以下方法进行试验：

1. 使用功耗仪在额定电压、2次无线通信间隔为5min的条件下测量传感器功耗1*h*，分别得出最大工作电流*Imax*（mA）、平均工作电流*Ix*（mA）、单次平均工作时间*Tx*（min）、平均休眠电流*Is*（mA）；
2. 以最大工作电流*Imax*为放电电流，传感器最小工作电压为截止电压对电池进行放电，得到电池的可用容量*C*（mAh）。默认在20℃测量，严寒地区可选择在-10℃、-25℃、-40℃下测量。

当传感器设计2次通信间隔为*Tn*（min）时，电池设计续航时间*T*（h）为：

 （6）

式中：

*T* —— 电池设计续航时间；

*k*1 —— 自损耗系数，电池长时间运行会产生自放电，减小电池容量，一般取值0.8；

*C* —— 电池的可用容量；

*k*2 —— 老化系数，通信元件老化后，可能会造成重传次数增加、元件功耗增加，一般取值1.2；

*I*x —— 平均工作电流；

*T*x —— 单次平均工作时间；

*T*n —— 传感器设计2次通信间隔；

*I*s —— 平均休眠电流。

* + 1. 太阳能电池性能试验
       1. 电池容量

应按照以下步骤开展试验：

1. 针对杆塔上供电电源的蓄电池,在环境温度为 25℃±5℃的条件下,进行标准充电。根据不同情况，标准充电可以I10(A)电流对蓄电池进行恒流充电至制造商规定的充电限制电压，或按照制造商规定的技术条件进行充电，然后静置30min；
2. 在环境温度为 25 ℃±5 ℃的条件下，对蓄电池进行标准放电。根据不同情况，标准放电可以I10(A)电流对蓄电池进行恒流放电至制造商规定的放电终止电压,或按照制造商规定的技术条件进行放电，然后静置 30 min；
3. 参考GB/T 22473方法，计算额定容量C和额定能量E；
4. 重复上述1)~3)步骤，共进行5次循环试验，电池容量应在第5次前达到制造商标称的容量/能量。
   * + 1. 无光照运行时间

将传感器数据采集、发送周期调至10min，将传感器电池进行标准充电，充满后在无光照条件下运行，统计无光照运行时间。

* + 1. 环境自取能性能试验
       1. 电流自取能启动电流阈值试验

电流自取能启动电流阈值试验方法应满足以下技术要求：

1. 准备功能完整的电流取电传感器，将磁芯弯折成半径5cm的圆形并加装绝缘垫圈。
2. 使通流导体从磁芯中间穿过，调试传感器与接收装置配套成功，正常上传数据，数据发送周期调整为3min；
3. 调节电流发生器输出电流，以0.1A为步长降低电流发生器输出电流大小（有效值），观察传感器是否数据报送正常；
4. 以3个数据上送周期为一个观察组（即一个观察组观察时间为9min），观察数据上送情况。若连续3次数据报送正常，则认为该电流下传感器可正常工作；若1组有1次及以上报送不正常，则继续观察1组，若连续两组报送不正常，则认为该电流下传感器无法正常工作；
5. 取支持传感器启动的最小电流为该传感器启动电流阈值。
   * + 1. 电流综合自取能功率试验

按照《GB/T 16821-2007 电源设备通用试验方法》5.7开展测试。将电流综合自取能装置放置于电流谐波模拟环境中，并将输出端接入电阻箱或可调负载，实测获得的电流流谐波分量占比数据，模拟额定工况 5000 A直流负荷下的谐波电流，既模拟52.5 A一次谐波电流或138 A二次谐波电流或114.5 A四次谐波电流（电流值可为模拟值的±1 A），调整电阻箱或可调负载阻值，记录在不同负载下的输出功率，取最大值为直流综合取能功率。

* 1. 无线通信性能试验
     1. 全向射频输出功率试验

应按照YD/T1484.1－2016中5.3 给出的方法在微波暗室中进行测试，传感器采用的物理层要求应符合CRC-16校验算法。传感器进入发射机检测模式，带宽使用默认配置，天线使用3dB全向天线，工作模式为发送数据或单载波。

* + 1. 发射带宽试验

按GB/T 12572－2008中5节规定的方法进行测试。传感器进入发射机检测模式，工作模式为发送数据或单载波，使用频谱分析仪表计算发射带宽。

* + 1. 发射频率容差试验

按GB/T 12572－2008中4节规定的方法进行测试。传感器进入发射机检测模式，工作模式为发送数据，设置发射频率，带宽使用默认配置，使用频谱分析仪表计算中心频率，并与传感器设置发射频率对比。

* + 1. 杂散发射试验

按GB/T 12572－2008中7.3节规定的方法在微波暗室中进行测试。传感器进入发射机检测模式，设置传感器为最大发射功率，工作模式为发送数据或单载波，使用频谱分析仪表测试目标频段内的杂散信号强度。

* + 1. 接收灵敏度

按YD/T1484.1－2016中6.3节规定的方法进行测试。在高、中、低信道下测量传感器在特定误码率条件下的最小接收功率，计算总体三维接收灵敏度。

* + 1. 授时精度

按YD/T 3330-2018中6.5.1节规定的方法搭建测试拓扑，对节点与传感器组成系统进行测试，计算恒定时间误差。

1. （规范性）  
   1. 监测报文

监测数据报文格式应符合A.1.1，监测数据报文内容应符合A.1.2，监测数据响应报文格式应符合A.1.3。

表A.1.1监测数据报文格式

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 名称 | 代码 | 数据长度 | 备注 |
| 1 | 传感器ID | Sensor ID | 6字节 | 传感器ID各字段均为UnsignedInt  厂商代码：16比特  产品标签：5比特  版本号：6比特  产品序列号：21比特 |
| 2 | 参量个数 | Parameter Num | 4比特 | 报文包含参量数量，以m表示 |
| 3 | 分片指示 | Frag Ind | 1比特 | 0b0：未分片，0b1：分片 |
| 4 | 报文类型 | PacketType | 3比特 | 0b000：监测数据报文 |
| 5 | 报文内容 | Data | （n1+…+nm)字节 | 监测数据报文内容字段格式应符合A.1.3 |
| 6 | 校验位 | Check | 2字节 |  |

表A.1.2监测数据报文内容

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | | 代码 | 数据长度 | 备注 |
| 第1个参量 | 参量类型 | Parameter Type | 14比特 | 0b00000000000101 |
| 数据长度字段指示位 | LengthFlag | 2比特 | 标识“数据长度”字段的长度，取值含义如下  0b00：“数据长度”字段不存在  0b01：“数据长度”字段的长度为1字节  0b10：“数据长度”字段的长度为2字节  0b11：“数据长度”字段的长度为3字节 |
| 数据长度 | Length | x字节 | 该字段的长度依据“数据长度字段指示位”指示，x可以表示：NULL、1、2或3  当“数据长度”字段不存在时，“数据内容”字段的长度为4字节 |
| 数据内容 | Data | 变长 | — |
| 第2个参量 | 格式同第1个参量 | | | |
| …… | …… | | | |
| 第m个参量 | 格式同第1个参量 | | | |

表A.1.3监测数据响应报文格式

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 名称 | 代码 | 数据长度 | 备注 |
| 1 | 传感器ID | SensorID | 6字节 | 传感器ID各字段均为UnsignedInt  厂商代码：16比特  产品标签：5比特  版本号：6比特  产品序列号：21比特 |
| 2 | 参量个数 | ParameterNum | 4比特 | 报文包含参量数量，以m表示 |
| 3 | 分片指示 | FragInd | 1比特 | 0b0：未分片 |
| 4 | 报文类型 | PacketType | 3比特 | 0b001：监测数据响应报文 |
| 5 | 报文内容 | Data\_Status | 1字节 | 表示数据发送状态，取值含义如下  0xff：成功  0x00：失败 |
| 6 | 校验位 | Check | 2字节 |  |
| 注：该格式适用于监测数据为分片传输时的监测数据响应报文。 | | | | |

* 1. 告警报文

告警数据报文格式应符合表A.2.1，告警数据报文内容应符合表A.2.2，告警数据响应报文格式应符合表A.3.3。

表A.2.1告警数据报文格式

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 名称 | 代码 | 数据长度 | 备注 |
| 1 | 传感器ID | SensorID | 6字节 | 传感器ID各字段均为UnsignedInt  厂商代码：16比特  产品标签：5比特  版本号：6比特  产品序列号：21比特 |
| 2 | 参量个数 | Parameter Num | 4比特 | 报文包含参量数量，以m表示 |
| 3 | 分片指示 | FragInd | 1比特 | 0b0：未分片  0b1：分片 |
| 4 | 报文类型 | PacketType | 3比特 | 0b010：告警数据报文 |
| 5 | 报文内容 | Data | （n1+…+nm)字节 | 告警数据报文内容字段格式应符合A.2.3 |
| 6 | 校验位 | Check | 2字节 |  |

表A.2.2告警数据报文内容

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 名称 | | 代码 | 数据长度 | 备注 |
| 第1个参量 | 参量类型 | ParameterType | 14比特 | 0b00000000000101 |
| 数据长度字段指示位 | LengthFlag | 2比特 | 标识“数据长度”字段的长度，取值含义如下  0b00：“数据长度”字段不存在  0b01：“数据长度”字段的长度为1字节  0b10：“数据长度”字段的长度为2字节  0b11：“数据长度”字段的长度为3字节 |
| 数据长度 | Length | x字节 | 该字段的长度依据“数据长度字段指示位”指示，x可以表示：NULL、1、2或3  当“数据长度”字段不存在时，“数据内容”字段的长度为4字节 |
| 数据内容 | Data | 变长 | — |
| 第2个参量 | 格式同第1个参量 | | | |
| …… | …… | | | |
| 第m个参量 | 格式同第1个参量 | | | |

表A.2.3告警数据响应报文格式

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 名称 | 代码 | 数据长度 | 备注 |
| 1 | 传感器ID | SensorID | 6字节 | — |
| 2 | 参量个数 | ParameterNum | 4比特 | — |
| 3 | 分片指示 | FragInd | 1比特 | 0b0：未分片 |
| 4 | 报文类型 | PacketType | 3比特 | 0b011：告警数据响应报文 |
| 5 | 报文内容 | SendStatus | 1字节 | 表示数据发送状态，取值含义如下  0xff：成功  0x00：失败 |
| 6 | 校验位 | Check | 2字节 |  |

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_