

ICS 29.120.01

K 46

备案号: 64298-2018

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB / T 32004 — 2018

代替 NB/T 32004 — 2013

光伏并网逆变器技术规范

Technical specification of PV grid-connected inverter

2018-04-03 发布

2018-07-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 逆变器类型 7

5 环境及使用要求 8

6 安全要求 9

7 基本功能要求 23

8 性能要求 23

9 保护要求 35

10 标识和文档 37

11 试验方法 39

12 检验规则 67

附录 A（规范性附录） 设备标识上使用的符号..... 70

附录 B（规范性附录） 湿度预处理 71

附录 C（资料性附录） 逆变器效率测量..... 72

参考文献..... 77

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

——修改了标准名称，原《光伏发电并网逆变器技术规范》更名为《光伏并网逆变器技术规范》；

——修改 1 范围中的“光伏逆变器”为“光伏并网逆变器”，增加“集成升压变压器并网至 35kV 及以下电压等级电网的预装式光伏并网逆变装置可参照使用”；

——在 3 术语和定义中增加了 3.2 预装式光伏并网逆变装置、3.5 隔离型逆变器、3.6 非隔离型逆变器、3.7 居住环境、3.8 非居住环境、3.28 功能绝缘、3.41 小型设备、3.42 有线网络端口、3.43 信号/控制端口、3.44 恒电压控制、3.45 恒功率因数控制、3.46 恒无功功率控制、3.47 响应时间和 3.48 调节时间的定义；

——在 3 术语和定义中删除原 3.12 谐振频率的定义；

——修改 3.35 基本防护中的“GB 16895.21—2001”为“GB 16895.21”；

——修改了 3.16 品质因数关于 Q_f 的计算公式；

——删除原 4.4 按应用场合分类和 4.5 按使用规模分类；

——增加 4.4 按接入电压等级分类：A 类逆变器和 B 类逆变器；

——修改 5.3 安装地点的海拔不超过 1000m 为 2000m；

——删除了原 5.2.2.2 海拔中图 1 电流容量随海拔而变化的关系曲线；

——原标准第 5 章调整为第 10 章；

——原“6.1 正常使用、安装及运输条件”修改为“5 环境及使用条件”；

——删除原 6.2 节非正常使用、安装及运输条件；

——原第 7 章分解成：第 6 章安全要求、第 7 章基本功能要求、第 8 章性能要求和第 9 章保护要求几个章节；

——6.1 温度限值的表 3 增加“用于散热的部件的可触及表面”的温升限值要求；

——修改了 6.2.3.1 绝缘电压中关于 PV 电路和电网电源电路关于过电压等级和脉冲耐受电压值的确定方法；

——修改 6.2.3.3 电气间隙要求，只给出海拔 2000m~6000m 的逆变器的电气间隙修正因子；

——增加了 6.2.3.5 耐受电压关于海拔 2000m~6000m 的逆变器耐受电压值的选取方法，以及不同海拔下脉冲试验电压值的修正方法；

——修改原 7.5.1.1 输入要求和 7.5.1.2 输出要求的试验要求；

——删除原 7.5.3 软启动试验要求及试验方法；

——在 8.2 效率中增加动态 MPPT 效率应不低于 90%，增加平均加权效率限值要求，和最大转换效率限值要求一样按不同功率等级、输出相数及是否为隔离型进行划分；

——删除原 7.6.3 关于三相电压不平衡度试验要求，增加 8.3.1.3 三相电流不平衡度试验要求；

——删除原 7.7.9 操作过电压试验要求及试验方法；

——修改原 7.9.1 有功功率控制、7.9.2 电压/无功调节的试验要求和试验方法；

——修改 8.3.1.1 分次谐波电流含有率计算方法改为分次谐波电流值与逆变器交流侧额定电流的百分比；

——修改 8.3.1.2 功率因数 $\cos\varphi$ 为 PF；

——增加了电压适应性（8.3.4、11.4.3.4）、频率适应性（8.3.6、11.4.3.6）和电能质量适应性（8.3.7、11.4.3.7）的试验要求和试验方法；

——增加了高电压穿越测试的技术要求和试验方法，并与原 7.7.8 低电压穿越技术要求和 8.4.4.8 试验方法分别进行合并为 8.3.5 故障穿越技术要求和 11.4.4.5 故障穿越试验方法；

——修改 8.4.1.1 传导发射和 8.4.1.2 辐射发射测试依据标准 GB 4824 相关限值及测试要求，增加对有线网络端口和信号/控制端口的传导发射测试要求；

——修改了 9.8 恢复并网的测试要求；

——修改 11.4.5.1 发射测试的工况要求为要求测试 4 种工况；

——将 8.4.2.3 抗扰度试验要求按 A 类和 B 类设备进行分类，并以汇总表格形式给出；

——删除原 7.8.2.9 电压波动抗扰度试验要求及试验方法；

——增加 8.4.2.3 振铃波抗扰度试验要求及 11.4.5.2.9 试验方法；

——9.2 过/欠频保护的试验要求根据增加的 8.3.6 频率适应性要求进行了修改，删除原标准表 11 电网频率的响应限值要求；

——删除 9.5 输出短路保护的逆变器最大跳闸时间要求；

——11.2.2.2 保护连接增加备注 3 和备注 4；

——修改了 11.2.2.4.7 局部放电试验相关条款要求；

——修改了 11.2.7.3 残余电流突变的测试方法；

——修改了 11.4.1.2 中表 39 试验参数允差要求；

——增加了 12.2 a) 出厂试验关于转换效率和谐波与波形畸变测试的要求；

——修改 12.3 检验项目噪声、防雷保护、方阵绝缘阻抗检测和方阵残余电流检测项目不列入出厂检查项目。

——修改了 11.5.8 防孤岛保护的试验方法；

——删除了原 8.3.6.1 通信协议测试方法，以及 8.3.6.2.2~8.3.6.2.5 的测试方法；

——删除原附录 B 紫外暴露试验，附录 C 接触电流测量，附录 D 电气间隙校正，附录 E 接触探头试验，附录 F 防孤岛效应保护方案，附录 H 电气间隙和爬电距离测量，附录 I 电热丝引燃试验，附录 J 逆变器测试平台，附录 L 温升试验用导线，附录 M 温度测量修正和附录 N 短路保护功能验证试验。

本标准由国家能源局提出。

本标准由中国电器工业协会归口。

本标准主要起草单位：上海电器设备检测所有限公司、机械工业北京电工技术经济研究所。

本标准参加起草单位：阳光电源股份有限公司、华为技术有限公司、合肥工业大学、中国质量认证中心、上海电器科学研究所（集团）有限公司、上海添唯认证技术有限公司、上能电气股份有限公司、艾思玛新能源技术（江苏）有限公司、特变电工新疆新能源股份有限公司、江苏固德威电源科技股份有限公司、厦门科华恒盛股份有限公司、许继集团有限公司、上海岩芯电子科技有限公司、北京鉴衡认证中心有限公司、许昌开普检测研究院股份有限公司、深圳市禾望电气股份有限公司、浙江艾罗网络能源技术有限公司、苏州欧姆尼克新能源科技有限公司、上海正泰电源系统有限公司、上海提迈克电力电子有限公司、北京京仪绿能电力工程有限公司、宁波锦浪新能源股份有限公司、合肥科威尔电源系统有限公司、湖北追日电气股份有限公司。

本标准起草人：王爱国、李新强、果岩、郑陆海、郭鑫鑫、黄晓阁、方宏苗、苏建徽、刘雷、石磊、叶琼瑜、宋江伟、李小涛、龚元平、周洪伟、刘奎、江涛、曾春保、刘刚、吴春华、王婷、李全喜、陈卓、曾建友、周勇、陈波、朱军卫、蔡欢、陈江桥、林锥、张鹁、唐德平、潘非、刘奎、胡四全。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

——NB/T 32004—2013。

光伏并网逆变器技术规范

1 范围

本标准规定了光伏（PV）发电系统所使用光伏并网逆变器的产品类型、技术要求及试验方法。

本标准适用于连接到 PV 源电路电压不超过直流 1500V，交流输出电压不超过 1000V 的光伏并网逆变器。集成升压变压器并网至 35kV 及以下电压等级电网的预装式光伏并网逆变装置可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

- 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 2423.3—2016 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Cab：恒定湿热试验
- GB/T 2423.4—2008 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Db：交变湿热（12h+12h 循环）
- GB/T 2423.10—2008 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Fc：振动（正弦）
- GB/T 2828.1—2012 计数抽样检验程序 第 1 部分：按接收质量（AQL）检索的逐批检验抽样计划
- GB/T 3805 特低压（ELV）限值
- GB/T 4207 固体绝缘材料耐电痕化指数和相比电痕化指数的测定方法
- GB/T 4208 外壳防护等级（IP 代码）
- GB 4824 工业、科学和医疗（ISM）射频设备 骚扰特性 限值和测量方法
- GB/T 5169.10 电工电子产品着火危险试验 第 10 部分：灼热丝/热丝基本试验方法 灼热丝装置和通用试验方法
- GB/T 5169.11 电工电子产品着火危险试验 第 11 部分：灼热丝/热丝基本试验方法 成品的灼热丝可燃性试验方法
- GB/T 5169.17 电工电子产品着火危险试验 第 17 部分：试验火焰 500W 火焰试验方法
- GB/T 5465.2—2008 电气设备用图形符号 第 2 部分：图形符号
- GB 7251.1—2013 低压成套开关设备和控制设备 第 1 部分 总则
- GB/T 11918.1 工业用插头插座和耦合器 第 1 部分：通用要求
- GB/T 12113—2003 接触电流和保护导体电流的测量方法
- GB/T 12326 电能质量 电压波动和闪变
- GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波
- GB/T 15543 电能质量 三相电压不平衡
- GB/T 16422.1 塑料 实验室光源暴露试验方法 第 1 部分：总则
- GB/T 16422.2 塑料 实验室光源暴露试验方法 第 2 部分：氙弧灯
- GB/T 16422.4 塑料 实验室光源暴露试验方法 第 4 部分：开放式碳弧灯
- GB/T 16842—2016 外壳对人和设备的防护 检验用试具
- GB 16895.3 建筑物电气装置 第 5-54 部分：电气设备的选择和安装 接地配置和保护导体

- GB/T 16895.10—2010 低压电气装置 第 4-44 部分：安全防护 电压骚扰和电磁骚扰防护
- GB 16895.21 低压电气装置 第 4-41 部分：安全防护 电击防护
- GB/T 16935.1—2008 低压系统内设备的绝缘配合 第 1 部分：原理、要求和试验
- 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 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 17626.8 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验
- GB/T 17626.11 电磁兼容 试验和测量技术 电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验
- GB/T 17626.12 电磁兼容 试验和测量技术 振铃波抗扰度试验
- GB/T 17626.18 电磁兼容 试验和测量技术 阻尼振荡波抗扰度试验
- GB/T 17626.34 电磁兼容 试验和测量技术 主电源每相电流大于 16A 的设备的电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验
- GB/T 17627.1—1998 低压电气设备的高电压试验技术 第一部分：定义和试验要求
- GB/T 19964 光伏发电站接入电力系统技术规定
- GB/T 24337 电能质量 公用电网间谐波
- GB/T 29319—2012 光伏发电系统接入配电网技术规定
- NB/T 32005 光伏发电站低电压穿越检测技术规程
- NB/T 32009—2013 光伏发电站逆变器电压与频率响应检测技术规程
- NB/T 32010 光伏发电站逆变器防孤岛效应检测技术规程
- IEC 60028 铜电阻国际标准（International standard of resistance for copper）
- IEC 60364-1 低压电气设施 第 1 部分：基本原则、一般特性评价和定义（Low-voltage electrical installations-Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions）
- IEC 60755 剩余电流动作保护器的一般要求（General requirements for residual current operated Protective devices）
- IEC 60695-2-20 着火危险试验 第 2-20 部分：基于灼热丝/热丝的基本试验方法 热丝线圈引燃性设备试验方法和导则（Fire hazard testing-Part 2-20: Glowing/hot wire based test methods-Hot-wire coil ignitability – Apparatus, test method and guidance）
- IEC 61180: 2016 低压电气设备的高压试验技术 定义，试验和程序要求，测试设备（High-voltage test Techniques for low-voltage equipment definitions, test and procedure requirements）
- IEC 62920: 2017 光伏发电系统 EMC 要求（Photovoltaic power generating systems-EMC requirements）
- IEEE 1394 串行标准技术要求（serial standard technical specifications）
- EN 50530—2010 并网光伏逆变器的全逆变效率（Overall efficiency of grid connected photovoltaic Inverters）

3 术语和定义

3.1

光伏并网逆变器 **photovoltaic grid-connected inverter**

将光伏方阵输出的直流电转换成交流电后馈入电网的设备。

注 1：本标准中提到的逆变器均指光伏并网逆变器。

注 2：本标准规定的技术要求和试验方法不适用于交流组件中的逆变器。

3.2

预装式光伏并网逆变装置 preparatory photovoltaic inverter

包含有逆变器、电力变压器、高低压开关设备和控制设备的箱式或箱式组合的光伏并网逆变装置，包括集装箱式，典型的高压侧交流额定电压等级在 3.6kV~40.5kV 之间。

3.3

光伏方阵模拟器 photovoltaic array simulator

一种模拟光伏方阵静态和动态电流、电压特性的功率源。

3.4

逆变器交流输出端 inverter a.c. output terminal

逆变器交流侧对外输出功率的连接点。

3.5

隔离型逆变器 isolated inverter

交流输出电路与光伏直流输入电路之间有电气隔离的一种逆变器。

注：这种电气隔离可以在逆变器内部实现，也可以使用按要求在交流侧外接独立专用隔离变压器的组合方式实现。

3.6

非隔离型逆变器 no-isolated inverter

交流输出电路与光伏直流输入电路之间没有电气隔离的一种逆变器。

3.7

居住环境 residential enviroment

一种产品直接（不通过外接变压器）连接到一个公共低压配电网或其他低压电网设施的环境。

3.8

非居住环境 non-residential enviroment

一种经由独立电力变压器或一个高压或中压变压器供电的独立电力网络环境。

3.9

最大功率点跟踪 maximum power point tracking; MPPT

对因光伏方阵表面温度变化和太阳辐照度变化而产生的输出电压与电流的变化进行跟踪控制，使方阵一直保持在最大输出工作状态，以获得最大的功率输出的自动调整行为。

3.10

最大功率点跟踪效率 maximum power point tracking efficiency

在规定的测试周期 T_m 时间内，被测逆变器获得的直流电能与理论上光伏方阵模拟器（或光伏电池阵列）在该段时间内工作在最大功率点提供的电能的比值，计算公式见式（1）。

$$\eta_{\text{MPPT}} = \frac{\int_0^{T_m} P_{\text{DC}}(t) \cdot dt}{\int_0^{T_m} P_{\text{MPP}}(t) \cdot dt} \quad (1)$$

式中：

$P_{\text{DC}}(t)$ ——逆变器在直流端口输入功率的瞬时值；

$P_{\text{MPP}}(t)$ ——理论上光伏方阵模拟器（或光伏电池阵列）提供的瞬时最大功率点功率。

3.11

转换效率 conversion efficiency

在规定的测试周期 T_m 时间内，由逆变器在交流端口输出的电能与在直流端口输入的电能的比值，转换效率计算公式见式（2）：

$$\eta_{\text{conv}} = \frac{\int_0^{T_m} P_{\text{AC}}(t) \cdot dt}{\int_0^{T_m} P_{\text{DC}}(t) \cdot dt} \quad (2)$$

式中:

$P_{\text{AC}}(t)$ ——逆变器在交流端口输出功率的瞬时值;

$P_{\text{DC}}(t)$ ——逆变器在直流端口输入功率的瞬时值。

3.12

总效率 overall (total) efficiency

在规定的测试周期 T_m 时间内, 逆变器在交流端口输出的电能与理论上光伏方阵模拟器 (或光伏电池阵列) 在该段时间内提供的电能的比值, 计算公式见式 (3)。

$$\eta_t = \frac{\int_0^{T_m} P_{\text{AC}}(t) \cdot dt}{\int_0^{T_m} P_{\text{MPP}}(t) \cdot dt} = \eta_{\text{conv}} \cdot \eta_{\text{MPPT}} \quad (3)$$

3.13

孤岛效应 islanding

电网失压时, 光伏系统保持对失压电网中的某一部分线路继续供电的状态。

3.14

防孤岛效应 anti-islanding

禁止孤岛效应发生的一种功能。

注: 非计划性孤岛效应发生时, 由于系统供电状态未知, 将造成以下不利影响: ①可能危及电网线路维修人员和用户的生命安全; ②干扰电网的正常合闸; ③电网不能控制孤岛中的电压和频率, 从而损坏配电设备和用户设备。

3.15

电网模拟电源 a.c. simulated power

用来模拟公共电网的测试电源装置, 其输出电压和频率可调。

3.16

品质因数 quality factor

防孤岛效应保护试验中试验负载谐振能力的评估指标。

注: 在并联 RLC 谐振电路中, 负载品质因数 Q_f 的计算公式为

$$Q_f = R\sqrt{C/L} \quad (4)$$

式中:

Q_f ——负载品质因数;

R ——负载电阻;

C ——负载电容;

L ——负载电感。

在已知并联 RLC 谐振电路消耗的有功、感性无功和容性无功的情况下, Q_f 也可以表示为

$$Q_f = R\sqrt{|Q_l| \times |Q_c|} / P \quad (5)$$

式中:

Q_l ——感性无功 (电感 L 消耗功率);

Q_c ——容性无功 (电容 C 消耗的功率);

P ——有功 (电阻 R 消耗的功率)。

3.17

电气间隙 clearance

两个导电零部件之间的最短空间距离。

3.18

封闭电气操作区域 closed electrical operating area

电气设备使用的房间或区域，该区域明显标示恰当的警告标识，只允许具有相关技能或受过专门训练的人员进入，且需用钥匙或工具打开门或移动安全栅后才能进入。

3.19

爬电距离 creepage distance

在两导电零部件之间沿绝缘材料表面的最短距离。

3.20

外壳 enclosure

为防止外部影响、火焰蔓延、触及危险而包围内部零部件的设备部件。

3.21

电气防护外壳 electrical enclosure

为了限制触及电击、能量或灼伤危险的区域而包围内部零部件的设备部件。

3.22

防火外壳 fire enclosure

包围内部零部件，最大限度减少内部火焰和燃烧物蔓延的设备部件。

3.23

污染等级 pollution degree

用数字分级表示设备内部或周围微观环境受预期污染的程度。

3.24

带电部件 live parts

正常使用时被通电的导体或导电部件，包括中性导体，但按惯例不包括保护中性（PEN）导体。

注：带电部件不一定包含电击危险。

3.25

抽样试验 sample test

从一批产品中随机抽取一定数量的样品进行的试验。

3.26

型式试验 type test

对按某一设计而制造的一个或多个设备进行的试验，以表明这一设备设计符合一定的规范。

3.27

工作电压 working voltage

在额定电压下，在设备的任何特定绝缘两端可能产生的交流电压或直流电压的最高有效值。

注：不考虑瞬时现象。开路和正常运行两种情况都要考虑。

3.28

功能绝缘 functional insulation

产品正常运行所必需的绝缘。

3.29

基本绝缘 basic insulation

在非故障条件下对防触电起基本保护作用的绝缘。

注：不适用于专门用作功能目的之绝缘。

3.30

双重绝缘 double insulation

由基本绝缘和附加绝缘两者组成的绝缘。

3.31

加强绝缘 **reinforced insulation**

加在带电部件上的一种单一绝缘系统，在规定的条件下，其提供的防电击保护等级相当于双重绝缘。

注：单一绝缘系统并不意味着该绝缘必须是均匀物质。它可以由多个绝缘层组成，只不过无法逐层拆分为基本绝缘或附加绝缘来进行试验。

3.32

附加绝缘 **supplementary insulation**

除了用于故障保护的基本绝缘外，另外再设置独立绝缘。

3.33

瞬时过电压 **transient overvoltage**

振荡的或非振荡的、通常为高阻尼的持续时间只有几毫秒或更短的时间过电压。

3.34

保护等级 I **protective class I**

通过基本绝缘和可接触导电部件的保护接地来防止电击，因此当基本绝缘失效时可接触导体不能带电。

3.35

保护等级 II **protective class II**

不仅通过基本绝缘来防止电击，而且提供了如双重绝缘或者加强绝缘等附加安全防范措施。这种保护既不依靠保护接地，也不依赖于安装条件。

3.36

基本防护 **basic protection**

无故障条件下的电击防护。

注：对于低压装置、系统和设备，其基本防护通常对应于 GB 16895.21 的直接接触防护。

3.37

均匀电场 **homogeneous field**

电极之间的电压梯度基本恒定的电场（一致电场），如两个球之间每一球的半径均大于二者间的距离的电场。

注：均匀电场条件被称为情况 B。

3.38

非均匀电场 **inhomogeneous field**

电极之间的电压梯度基本上不恒定的电场（非一致电场）。

注：关于电压耐受能力，尖端对平面电极结构的非均匀电场条件是最差的情况，被称为情况 A。它可以由一个具有半径为 30μm 的点电极和一个 1m×1m 的平面电极来代表。

3.39

暂时过电压 **temporary overvoltage**

持续相对长时间（对应于瞬时过电压）的工频过电压。

3.40

不平衡度 **unbalance factor**

三相电力系统中三相不平衡的程度。用电压、电流负序基波分量或零序基波分量的方均根值百分比表示。电压、电流的负序不平衡度和零序不平衡度分别用 ε_{U2} 、 ε_{U0} 和 ε_{I2} 、 ε_{I0} 表示。

不平衡度的表达式：

$$\begin{cases} \varepsilon_{U_2} = \frac{U_2}{U_1} \times 100\% \\ \varepsilon_{U_0} = \frac{U_0}{U_1} \times 100\% \end{cases} \quad (6)$$

式中:

U_1 ——三相电压的正序分量方均根值,单位为伏(V);

U_2 ——三相电压的负序分量方均根值,单位为伏(V);

U_0 ——三相电压的零序分量方均根值,单位为伏(V)。

将式(6)中 U_1 、 U_2 、 U_0 换为 I_1 、 I_2 、 I_0 则为相应的电流不平衡度 ε_{12} 和 ε_{10} 的表达式。

3.41

小型设备 **small equipment**

台式或落地式设备,其整体(包括电缆)在直径1.2m、高1.5m的圆柱体测试区域内。

3.42

有线网络端口 **wired network port**

通过直接连接到单用户或多用户通信网络,使分布广泛的系统之间进行互相联络,用于声音,数据和信号传输的端口。

注:例子包括 CATV、PSTN、ISDN、xDSL、LAN 和相似的网络。这些端口能够支持屏蔽或非屏蔽电缆,也能够输送通信规范中不可或缺的交流或直流功率。该端口如果按照性能规范(例如对连接到它的最大长度要求不超过30m)使用,则端口不在本定义规定的有线网络端口的范围内。

3.43

信号/控制端口 **signal and control port**

依据相关功能说明,用于设备部件之间,或设备与本地辅助设备之间互相联络用端口。

注:例子包括 RS-232,通用串行总线(USB)、高清多媒体接口(HDMI)、IEEE 1394 接口(火线接口)等。该端口如果按照性能规范(如对连接到它的最大长度要求不超过30m)使用,则端口不在本定义规定的信号与控制端口的范围内。

3.44

恒电压控制 **constant voltage control**

在运行过程中保持输出电压不变,当电网电压偏离给定范围,恒电压控制介入并根据电网电压变化进行无功功率的调节。

3.45

恒功率因数控制 **constant power factor control**

在运行过程中保持功率因数不变的无功控制方法。

3.46

恒无功功率控制 **constant reactive power control**

在运行过程中保持输出无功功率不变的控制方法。

3.47

响应时间 **response time**

从接收到控制信号开始到第一次达到与目标值偏差在 $\pm 10\%$ 范围内所需要的时间。

3.48

调节时间 **adjusting time**

从接收到控制信号开始到功率达到目标功率偏差始终控制在目标功率值的允许范围内所需要的时间。

4 逆变器类型

4.1 按交流侧输出相位数分类

按交流侧输出相位数可分为:

- 单相逆变器；
- 三相逆变器。

4.2 按安装环境分类

按安装环境可分为：

- 户内 I 型（带气温调整装置）；
- 户内 II 型（不带气温调整装置）；
- 户外型。

4.3 按电气隔离情况分类

按电气隔离情况可分为：

- 隔离型；
- 非隔离型。

4.4 按接入电压等级分类

按接入电压等级可分为：

- A 类逆变器。

指通过 35kV 及以上电压等级接入电网，或通过 10kV 及以上电压等级与公共电网连接的光伏发电站所用光伏逆变器；

- B 类逆变器。

指通过 380V 电压等级接入电网，以及通过 10kV 及以下电压等级接入电网用户侧的光伏发电系统所用光伏逆变器，包含居住环境和直接连接到住宅低压供电网设施中使用的逆变器。

注：经由独立电力变压器接入电网的逆变器在电磁兼容测试时，采用 A 类限值。

4.5 其他分类

以上未列出的、制造商声明的其他类型。

5 环境及使用要求

5.1 温度

户内型逆变器的周围空气温度范围：户内 I 型：0℃～+40℃；户内 II 型：-20℃～+40℃。

户外型逆变器的周围空气温度范围：-25℃～+60℃。

5.2 湿度

户内型相对湿度范围：户内 I 型：5%～85%无凝露；户内 II 型：5%～95%无凝露。

户外型相对湿度范围：4%～100%，有凝露。

5.3 海拔

安装地点的海拔不超过 2000m。逆变器安装场所的海拔大于 2000m 时，需考虑电气介电强度的下降。

5.4 冲击振动

逆变器在生产、运输、安装、操作和维护等过程可能会受到冲击振动，需要有合理的预防措施以

确保避免损坏。应采用 11.6.4 规定的方法来验证。

5.5 运输和安装

对于 50kg 以上的逆变器，包装上须给出逆变器重心的标识，便于运输和搬运。如果逆变器的运输和安装条件不同于第 5 章中的规定，制造商和用户应达成特殊协议。

5.6 外壳防护

户外型逆变器最低需满足 IP54 要求，户内型逆变器最低需满足 IP20 要求。

5.7 紫外暴露

户外型逆变器外壳的聚合物材料对由紫外（UV）辐射引起的材料老化应有足够的耐受能力，需要经过耐紫外辐射的评估或提供第三方相关合格测试报告。紫外辐射试验之后，样品应没有明显的退化迹象，包括裂纹或破裂。如果部件降级不影响其提供的保护，可忽略本条款要求。

5.8 污染等级

为了便于确定电气间隙和爬电距离，环境污染等级分类如下：

- 1) 污染等级 1：无污染或仅有干燥的非导电性污染。
- 2) 污染等级 2： 一般情况仅有非导电性污染，但是必须考虑到偶然由于凝露造成的短暂的导电性污染。
- 3) 污染等级 3：有导电性污染，或由于凝露使干燥的非导电性污染变为导电性污染。
- 4) 污染等级 4：持久的导电性污染，如由于导电尘埃或雨雪造成的污染。

户外型和户内型 II 逆变器应满足污染等级 3 的环境；户内型 I 逆变器应满足污染等级 2 的环境。对于特殊的用途和微观环境可考虑采用其他的污染等级。如预定在污染等级 4 的环境下使用逆变器，需采取措施将逆变器内部微观环境的污染等级降低至 1、2、3 级。

6 安全要求

6.1 温度限值

设备所使用的材料和部件的温度不能超过表 1～表 3 规定的限值。一般情况下，若逆变器的相关元器件或其表面温度变化不超过 1℃/h 时，则认为逆变器已达到热稳定状态。在全功率条件下，温升试验至多持续 7h（模拟一天日照情况）。但如果时间更长的测试能证明其会产生更大危险的情况除外。

表 1 变压器、电抗器等线圈类及其绝缘系统温度极限限值

绝缘等级	热电偶测试表面温度限值 ℃	电阻法或多点式热电偶测试温度限值 ℃
等级 A（105℃）	90	95
等级 E（120℃）	105	110
等级 B（130℃）	110	120
等级 F（155℃）	130	140
等级 H（180℃）	150	160
等级 N（200℃）	165	175

表 1（续）

绝缘等级	热电偶测试表面温度限值 ℃	电阻法或多点式热电偶测试温度限值 ℃
等级 R（220℃）	180	190
等级 S（240℃）	195	205
注：表面粘贴热电偶法一般测不到最热部位。相比之下，多点埋入式热电偶法更有可能记录到最高温度。而线圈电阻变化法给出的是被测线圈段的平均温度。		

表 2 元器件及制造商材料等级温度标准不存在时的极限限值

部件和材质	电阻法或多点式热电偶测试温度限值 ℃
电容-电解型	65
电容-非电解型	90
外部连接的接线柱 ^a	60
外部可接触的线路布线点 ^a	60
逆变器内部的绝缘导线	额定温度
熔断器	90
印刷电路板	105
绝缘材料	90
主电路半导体器件与导体的连接处	裸铜：70 有锡镀层：80 有银镀层：95
^a 测量的接线端子或接线盒内的接线点如果有更高的温度限值，需要有标识说明。	

表 3 逆变器表面的温度限值℃

位置	表面材料		
	金属	陶瓷或玻璃类	塑料橡胶类
日常使用中操作需要连续接触的器件（按钮、把手、开关器件、显示面板等）	55	65	75
日常使用中用户操作时只需短暂接触的器件	60	70	85
偶尔触及的逆变器表面	70	80	95
在用于散热的部件的可触及表面，如果表面粘贴或印刷了高温标示	100	100	100

6.2 电击防护要求

6.2.1 直接接触防护要求

6.2.1.1 一般要求

- a) 防止人直接接触到对人产生伤害的带电零部件，防止直接接触的措施应通过 6.2.1.2 或 6.2.1.3 规定的一种或多种措施来实现。

- b) 开放式部件和装置不需要采取直接接触防护措施，但其操作说明书需明确要求在最终产品安装完成后提供必要的防护措施。
- c) 预定安装在封闭电气操作区域的逆变器不需要采取直接接触防护措施。若维修人员在安装或维修期间需要对其进行通电，则防护措施需符合 6.2.1.2.3 的要求。

6.2.1.2 外壳和遮拦防护

6.2.1.2.1 一般要求

提供保护的外壳和安全遮拦，其零部件在不使用工具的情况下应不能拆卸。满足这些要求的聚合物材料应同时符合 6.1 及 6.5 的要求。逆变器在户外使用时，其外壳聚合物材料受阳光照射时需同时符合 5.7 的要求。

6.2.1.2.2 防止接触要求

- a) 通过外壳和安全的防护后，人与带电部件之间的距离需达到以下要求：
 - 1) 带电部件电压为小于等于规定安全电压——可以触及；
 - 2) 带电部件电压为大于规定安全电压——不可触及，且与带电零部件之间必须有足够的电气间隙。

注：安全电压限值按标准 GB/T 3805 要求规定。

- b) 逆变器采用外壳或遮拦防护，按 11.2.2.1 的方法检验，以防止触及危险带电部分。

6.2.1.2.3 维修人员接触区

安装或维修期间需打开外壳，且逆变器需通电时，对维修过程中可能无意触碰到的大于规定安全电压的带电零部件的，应提供防接触保护。防护要求按 11.2.2.1 的方法检验。

6.2.1.3 带电部件的绝缘防护

绝缘需根据逆变器的冲击电压、暂时过电压或工作电压来确定，并按 6.2.3 的要求选取其中最严酷的情况。在不使用工具的情况下，绝缘防护应不能被去除。

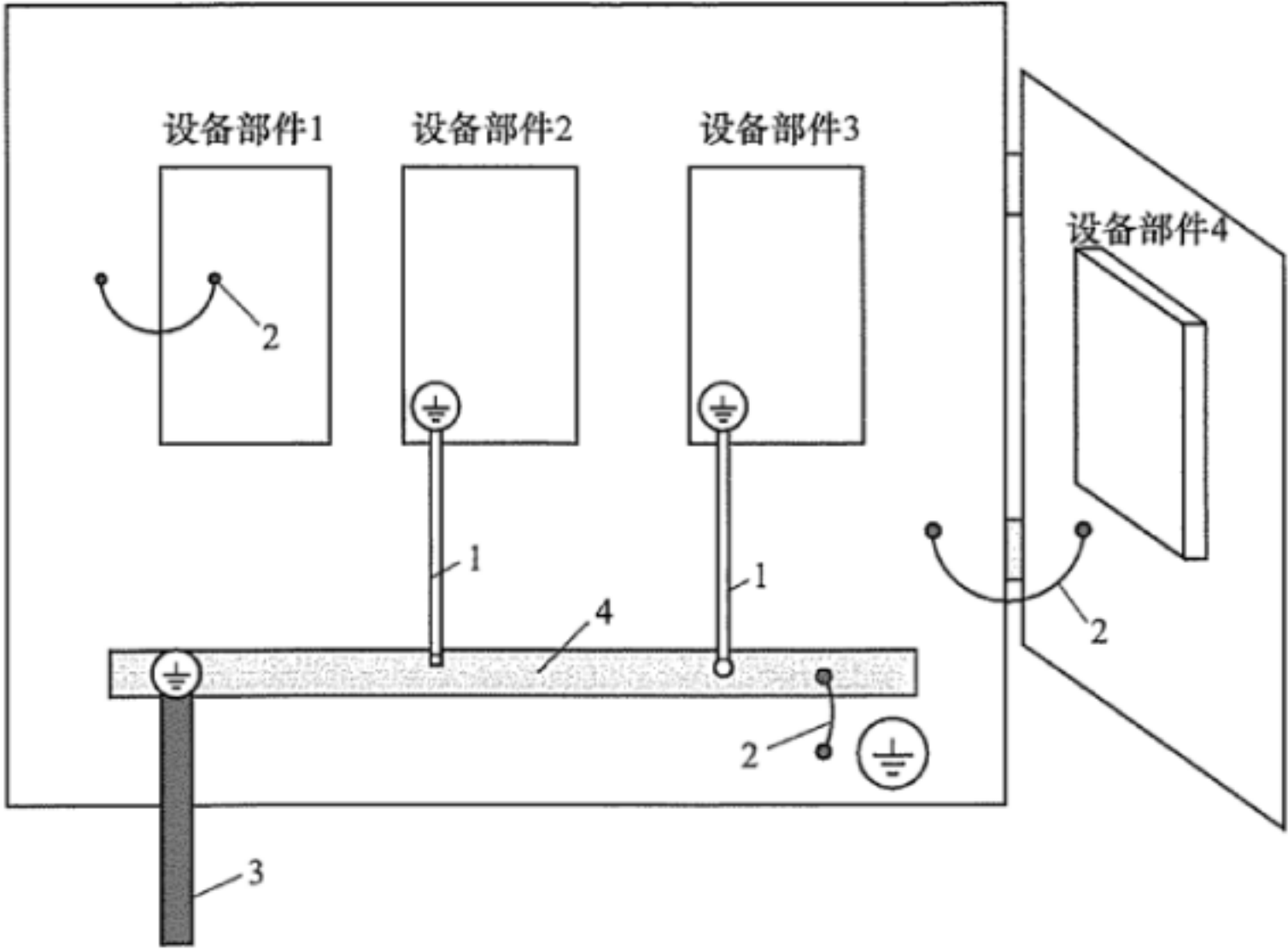
6.2.2 间接接触防护要求

6.2.2.1 一般要求

- a) 逆变器可接触导体与带电零部件之间绝缘失效的情况下，为防止接触存在电击危险的电流，要求对间接接触进行防护。间接接触防护的方式一般有 2 种：
 - 保护等级 I：基本绝缘和保护接地；
 - 保护等级 II：双重绝缘或加强绝缘。
- b) 如果间接接触防护依赖于安装方式，安装说明书需明确指示相关的危险并详细说明安装方式。
- c) 采用绝缘方式进行间接防护的电路应该符合 6.2.3 的规定。
- d) 对于电压小于规定安全电压 [见 6.2.1.2.2 中 a) 1)] 的部分，此种电路不存在电击危险。

6.2.2.2 保护连接和接地

逆变器应提供可靠的保护连接和保护接地，以确保可触及导电部件之间及与外部接地导体的电气连接。图 1 给出了逆变器及其相关保护连接和接地的示例。



说明：

1——逆变器部件的保护接地导体（根据每个部件要求）；

2——保护连接（可能是连接导体，紧固件，或其他方式）；

3——逆变器外部保护接地导体（根据表 4 要求）；

4——接地母排。

图 1 保护连接和接地示例

6.2.2.2.1 保护连接方式

逆变器的保护连接应当选择以下方式之一：

- 1) 通过直接的金属连接；直接金属连接的两部件，接触处有涂层或油漆时，应刮去涂层或油漆以确保金属与金属的直接接触；
- 2) 通过逆变器使用时不会被卸掉的其他零部件；
- 3) 通过专用的保护连接；
- 4) 通过逆变器其他金属元器件。

6.2.2.2.2 保护连接要求

保护连接的阻抗应足够小，以避免在绝缘失效的情况下，部件之间出现危险的电位差：

- 1) 对于电路中过电流保护装置的额定值不小于 16A 的逆变器，保护连接的阻值不超过 0.1Ω。
- 2) 对于电路中过电流保护装置的额定值大于 16A 的逆变器，保护连接上的压降不超过 2.5V。

6.2.2.2.3 外部保护接地导体

逆变器通电后外部保护接地导体应始终保持连接。除非当地的配线设计规则有不同要求，否则外部保护接地导体的横截面积需符合表 4 的要求，或者根据 GB 16895.3 进行计算。

表 4 外部保护接地导体的横截面积

逆变器相导体的横截面积 S mm^2	外部保护接地导体的最小横截面积 S_p mm^2
$S \leq 16$	S

表 4（续）

逆变器相导体的横截面积 S mm^2	外部保护接地导体的最小横截面积 S_p mm^2
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$
注：只有当外部保护接地导体使用与相导体采用相同的金属时，本表的取值有效。否则，外部保护接地导体横截面积应使其电导率与本表规定等效。	

6.2.2.2.4 外部保护接地导体连接方式

每个预定需通过保护接地导体与地相连的逆变器，都需在靠近相应保护导体连接的地方提供一个连接端子。每个外部保护接地导体应使用单独的连接方式，不能用作其他连接的机械组件。接地回路中不应安装熔断器等短路保护装置。

保护导体的连接应使用附录 A 的第 7 个符号≡进行标识，保护接地线缆使用黄绿相间的颜色。

6.2.2.2.5 接触电流

为了在保护接地导体受损或被断开的情况下保持安全，对于插头连接的逆变器，测得的接触电流不应超过 3.5mA a.c.或 10mA d.c.；对于所有其他逆变器若接触电流超过 3.5mA a.c.或 10mA d.c.，应采用以下一个或多个保护措施并标识附录 A 的第 15 个警告标识：

- 1) 采用固定连接且保护接地导体的横截面积至少为 10mm²（铜）或 16mm²（铝）；
- 2) 采用固定连接且在保护接地导体中断情况下自动断开电源；
- 3) 用 GB/T 11918.1 规定的工业连接器进行连接，且多导体电缆中的保护接地导体的最小横截面积为 2.5mm²。

6.2.3 绝缘配合

6.2.3.1 绝缘电压

根据电路系统电压和过电压级别规定了脉冲耐受电压和暂时过电压见表 5。过电压类别按 GB/T 16895.10—2010 中 443 条款说明进行判别。

一般情况下，电网电源电路过电压考虑等级为Ⅲ级，与电网电源电路通过电流隔离的 PV 电路的过电压等级定为Ⅱ级；对于电网电源电路和 PV 电路之间没有电流隔离的逆变器，根据电网电源电路的过电压等级确定脉冲耐受电压，与 PV 电路的脉冲耐受电压进行比较，选择较大者作为 PV 电路和电网电源电路的联合电路的脉冲耐受电压。

对于其他电路，根据它与 PV 电路和电网电源电路之间的关系按下列要求进行判断，选择两种关系判断结果中较严酷的过电压等级：

- 1) 对于不通过电流隔离连接到电网电源的电路，采用电网电源电路的过电压等级。
- 2) 对于不通过电流隔离连接到 PV 电路的电路，采用 PV 电路的过电压等级。
- 3) 如果通过变压器、光耦合器或类似电流隔离装置进行隔离，所考虑的电路的过电压等级比通过这些隔离所连接的电路的过电压等级低一级。如果通过隔离连接的电路不止一个，取其中最严酷的等级。

以上确定的过电压等级适用于电路到地。每个电路的功能绝缘的过电压等级，比电路到地的过电压等级低一级。

表 5 低电压电路的绝缘电压

系统电压 V	冲击耐受电压 V				暂时过电压 (峰值/V rms) V/V
	过电压等级				
	I	II	III	IV	
≤50V rms 或 71V d.c.	330	500	800	1500	1770/1250
100V rms 或 141V d.c.	500	800	1500	2500	1840/1300
150V rms 或 213V d.c.	800	1500	2500	4000	1910/1350
300V rms 或 424V d.c.	1500	2500	4000	6000	2120/1500
600V rms 或 849V d.c.	2500	4000	6000	8000	2550/1800
1000V rms 或 1500V d.c.	4000	6000	8000	12 000	3110/2200
注 1: 电网电源电路不允许插值, 其他电路允许。					
注 2: 最后一行仅适用于单相系统, 或三相系统中的线电压。					
注 3: 第六栏, 暂时过电压仅适用于电网电源电路, 不适用于与电网隔离的电路。本栏数值是根据 GB/T 16935.1—2008 用公式 (1200V+系统电压) 计算得到。					
注 4: PV 电路最小冲击电压要用 2500V, 系统电压取最大 PV 开路电压。					

6.2.3.2 绝缘位置

6.2.3.2.1 直接连接电网的电路

直接连接到电网的电路及其周边之间的电气间隙和固体绝缘应根据冲击电压、暂时过电压或工作电压进行设计, 取三者中要求较严酷的。

6.2.3.2.2 电网电源电路以外的电路

- a) 两个电路之间的绝缘设计应根据对绝缘有较高要求的电路来确定。对于电气间隙和固体绝缘, 由有较高冲击电压要求的电路决定。对于爬电距离, 由有较高的工作电压有效值的电路决定。
- b) 电网电源电路以外的电路及其周边电路之间的电气间隙和固体绝缘, 需根据冲击电压和重复峰值电压进行设计, 考虑以下要求:
 - 系统电压: 对于 PV 电路, 取最大 PV 开路电压; 对于其他电路, 取工作电压。
 - 冲击电压见表 5, 根据上述系统电压和 6.2.3.1 规定的过电压等级进行查表。
 - 电气间隙的设计根据工作电压或冲击电压来确定, 取二者中要求较严酷的。

6.2.3.3 电气间隙

功能绝缘、基本绝缘或附加绝缘的最小电气间隙应满足表 6 的要求, 海拔 2000m~6000m 的逆变器, 电气间隙应根据表 7 的修正系数进行修正。

按表 6 确定加强绝缘的电气间隙时, 对应的电压值应根据更高一级的脉冲电压、暂时过电压的 1.6 倍, 或者工作电压的 1.6 倍进行选择, 取三者中结果最严酷的。

表 6 电 气 间 隙

冲击电压 V	用于确定电路及其周边之间绝缘的暂时过电压 (峰值) 或用于确定功能绝缘的工作电压 (重复峰值) V	用于确定电路及其周边之间绝缘的工作电压 (重复峰值) V	最小间隙 mm		
			污染等级		
			1	2	3
不适用	≤110	≤71	0.01	0.20 ^a	0.80

表 6（续）

冲击电压 V	用于确定电路及其周边之间绝缘的暂时 过电压（峰值）或用于确定功能绝缘的 工作电压（重复峰值） V	用于确定电路及其周边之间绝 缘的工作电压（重复峰值） V	最小间隙 mm		
			污染等级		
			1	2	3
不适用	225	141	0.01	0.20	0.80
330	340	212	0.01	0.20	0.80
500	530	330	0.04	0.20	0.80
800	700	440	0.10	0.20	0.80
1500	960	600	0.50	0.50	0.80
2500	1600	1000	1.5		
4000	2600	1600	3.0		
6000	3700	2300	5.5		
8000	4800	3000	8.0		
12 000	7400	4600	14.0		
注 1：允许插值。					
注 2：暂时过电压和工作电压的电气间隙源自于 GB/T 16935.1—2008 表 A1。第 2 列的电压大约为耐受电压的 80%；第 3 列的电压大约为耐受电压的 50%。					
注 3：a 指 PWB（印刷电路板）上为 0.1mm。					

表 7 海拔超过 2000m 电气间隙修正系数表

海拔 m	正常大气压强 kPa	电气间隙的倍增系数
2000	80.0	1.00
3000	70.0	1.14
4000	62.0	1.29
5000	54.0	1.48
6000	47.0	1.70

6.2.3.4 爬电距离

功能绝缘、基本绝缘和附加绝缘的爬电距离要满足表 8 要求，加强绝缘的爬电距离为表 8 中数值的 2 倍。当表 8 规定的爬电距离小于 6.2.3.3 规定的电气间隙时，爬电距离应至少不小于表 6 规定的电气间隙值。

爬电距离应按表 8 规定的对应于跨接爬电距离两端的实际工作电压（长期电压有效值）予以确定，允许使用插入值确定中间电压的爬电距离。应使用线性插入法求插入值，并将所得值的位数圆整到表中值的相同位数。

根据 GB/T 4207 中相比漏电起痕指数（CTI），将绝缘材料划分为 4 组：

- 绝缘材料组别 I CTI≥600；
- 绝缘材料组别 II CTI≥400；
- 绝缘材料组别 IIIa CTI≥175；
- 绝缘材料组别 IIIb CTI≥100。

表8 最小爬电距离

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
工作电压，交流有效值或直流 V	PWBs		其他绝缘体								
	污染等级		污染等级								
	1	2	1	2				3			
				绝缘材料组别				绝缘材料组别			
				I	II	IIIa	IIIb	I	II	IIIa	IIIb
≤2	0.025	0.04	0.056	0.35	0.35	0.35		0.87	0.87	0.87	
5	0.025	0.04	0.065	0.37	0.37	0.37		0.92	0.92	0.92	
10	0.025	0.04	0.08	0.40	0.40	0.40		1.0	1.0	1.0	
25	0.025	0.04	0.125	0.50	0.50	0.50		1.25	1.25	1.25	
32	0.025	0.04	0.14	0.53	0.53	0.53		1.3	1.3	1.3	
40	0.025	0.04	0.16	0.56	0.80	1.1		1.4	1.6	1.8	
50	0.025	0.04	0.18	0.60	0.85	1.20		1.5	1.7	1.9	
63	0.04	0.063	0.20	0.63	0.90	1.25		1.6	1.8	2.0	
80	0.063	0.10	0.22	0.67	0.95	1.30		1.7	1.9	2.1	
100	0.10	0.16	0.25	0.71	1.0	1.4		1.8	2.0	2.2	
125	0.16	0.25	0.28	0.75	1.05	1.5		1.9	2.1	2.4	
160	0.25	0.40	0.32	0.80	1.1	1.6		2.0	2.2	2.5	
200	0.40	0.63	0.42	1.0	1.4	2.0		2.5	2.8	3.2	
250	0.56	1.0	0.56	1.25	1.8	2.5		3.2	3.6	4.0	
320	0.75	1.6	0.75	1.6	2.2	3.2		4.0	4.5	5.0	
400	1.0	2.0	1.0	2.0	2.8	4.0		5.0	5.6	6.3	
500	1.3	2.5	1.3	2.5	3.6	5.0		6.3	7.1	8.0	
630	1.8	3.2	1.8	3.2	4.5	6.3		8.0	9.0	10.0	
800	2.4	4.0	2.4	4.0	5.6	8.0		10.0	11	12.5	a
1000	3.2	5.0	3.2	5.0	7.1	10.0		12.5	14	16	
1250	4.2	6.3	4.2	6.3	9	12.5		16	18	20	
1600	b		5.6	8.0	11	16		20	22	25	
7.5			10.0	14	20		25	28	32		
10.0			12.5	18	25		32	36	40		
12.5			16	22	32		40	45	50		
16			20	28	40		50	56	63		
20			25	36	50		63	71	80		
25			32	45	63		80	90	100		
32			40	56	81		100	110	125		
40			50	71	100		125	140	160		
10 000											
注 1：第 2、3 列不仅适用于 PWB 上的元器件和零部件，也适用于公差控制相当的其他元器件和零部件的爬电距离。											
注 2：第 2、4 列适用于所有材料组别。											
注 3：第 3 列适用于除 IIIb 以外的所有其他材料分组。											
注 4：允许插值。											
a 污染等级 3，电压在 630V 以上，一般推荐使用 IIIb 组绝缘材料。											
b 电压在 1250V 以上，采用第 4 列～第 11 列的适当数值。											

6.2.3.5 耐受电压

电气间隙和固体绝缘应能持久地承受电场强度和机械应力，应能承受以下试验：

- a) 根据表 9 确定冲击耐受电压；
- b) 根据表 10 和表 11 确定适当的交流工频耐受电压或直流试验电压。

对于在海拔 2000m~6000m 使用的逆变器，冲击耐受电压值应按 6.2.3.3 的规定进行反查来确定。不同海拔下脉冲试验电压值依据表 12 进行修正。

表 9 冲击耐受电压试验值 V

1	2	3	4	5
系统电压	过电压等级Ⅱ，不直接连接到电网的电路及周边之间的绝缘的冲击耐受电压 ^a		过电压等级Ⅲ，直接连接到电网的电路及周边之间的绝缘的冲击耐受电压 ^b	
	基本或附加	双重或加强	基本或附加	双重或加强
≤50V rms 或 71V dc	500	800	800	1500
100V rms 或 141V dc	800	1500	1500	2500
150V rms 或 213V dc	1500	2500	2500	4000
300V rms 或 424V dc	2500	4000	4000	6000
600V rms 或 849V dc	4000	6000	6000	8000
1000V rms 或 1500V dc	6000	8000	8000	12 000
—	允许插值		不允许插值	
^a 过电压等级Ⅰ和Ⅲ的试验电压可以按同样方法从表5中得到。				
^b 过电压等级Ⅰ和Ⅱ的试验电压可以按同样方法从表5中得到。				

表 10 直接连接电网电路的交流或直流试验电压 V

1	2 ^a		3 ^a	
系统电压	带基本绝缘的电路的型式试验电压，以及所有例行试验电压		带保护隔离的电路的型式试验电压，以及电路和可接触表面（导电或非导电，但不连接到保护接地，保护等级为 II）的型式试验电压	
	交流电压有效值 ^b	直流电压	交流电压有效值	直流电压
≤50	1250	1770	2500	3540
100	1300	1840	2600	3680
150	1350	1910	2700	3820
300	1500	2120	3000	4240
600	1800	2545	3600	5090
1000	2200	3110	4400	6220
注：允许插值。 ^a 本试验应采用短路电流不低于 0.1A，符合 IEC 61180：2016 第 5.2.2 条款要求的电压源。 ^b 对应于 1200V+ 系统电压。				

表 11 不直接连接电网的电路的交流或直流试验电压

V

1	2 ^a		3 ^a	
工作电压 (重复峰值)	带基本绝缘的电路的型式试验电压, 以及所有例行试验电压		带保护隔离的电路的型式试验电压, 以及电路和可接触表面 (导电或非导电, 但不连接到保护接地, 保护等级为 II) 的型式试验电压	
	交流电压有效值 ^b	直流电压	交流电压有效值	直流电压
≤71	80	110	160	220
141	160	225	320	450
212	240	340	480	680
330	380	530	760	1100
440	500	700	1000	1400
600	680	960	1400	1900
1000	1100	1600	2200	3200
1600	1800	2600	2900	4200
注: 允许插值。 ^a 本试验应采用短路电流不低于 0.1A, 符合 IEC 61180: 2016 第 5.2.2 条款要求的电压源。 ^b 对应于 1200V+系统电压。				

表 12 不同海拔下脉冲试验电压值

V

脉冲电压 (从表 5)	海平面的 脉冲试验电压	海拔 200m 的 脉冲试验电压	海拔 500m 的 脉冲试验电压
330	360	360	350
500	540	540	530
800	930	920	900
1500	1800	1700	1700
2500	2900	2900	2800
4000	4900	4800	4700
6000	7400	7200	7000
8000	9800	9600	9400
12 000	15 000	14 000	14 000
注 1: 关于电气间隙的电气强度的影响因素 (大气压、海拔、温度、湿度), GB/T 16935.1—2008 的 6.1.2.2.1 给出了解释。 注 2: 对电气间隙进行试验时, 相关的固体绝缘将会承受试验电压。由于表中冲击试验电压对额定冲击电压而言有所增加, 固体绝缘的设计需有相应的考虑。这要求固体绝缘有更高的冲击耐受能力。 注 3: 上述数值在 GB/T 16935.1—2008 的 6.1.2.2.1 条款的基础上进行了四舍五入。			

6.2.3.6 局部放电

固体绝缘的电气强度远远大于空气的电气强度, 但通过固体绝缘材料的绝缘距离通常远小于电气间隙而产生高的电应力。在绝缘系统中电极与绝缘之间和不同的绝缘层之间均可能产生间隙, 或绝缘材料本身有气隙。在这些间隙或气隙中, 即使电压远小于击穿水平, 仍可能发生局部放电, 这就会影响固体绝缘的使用寿命。如果跨在绝缘件上的工作电压重复峰值大于 700V 且绝缘件上的电压应力大于 1kV/mm, 要进行局部放电试验。

6.3 能量危险防护

6.3.1 危险能量等级的确定

出现下列两种情况之一，则认为存在危险能量等级：

- a) 电压等于或大于 2V，且 60s 之后容量超过 240VA；
- b) 电容器电压 U 大于等于 2V，按以下公式计算的电能 E 超过 20J：

$$E=0.5CU^2 \quad (7)$$

式中：

E ——能量，单位为 J；

C ——电容，单位为 F；

U ——电容器端电压测量值，单位为 V。

6.3.2 操作人员接触区

逆变器的设计应保证操作人员接触区的可触及电路不产生危险能量，并考虑金属物体桥接的时候可能会引起伤害，能够被试验指桥接的零部件之间，一定不能存在危险能量。除了限制能量外，也可采用屏障、护栏等方式防止接触。

6.3.3 维修人员接触区

位于维修或安装时可能被移动或移除的操作面板中的电容器，逆变器断电之后电容器存储的电荷应不构成危险能量。

逆变器断开电源之后，内部的电容器应在 10s 之内放电至能量低于 6.3.1 规定的 20J。若因功能或其他原因不能满足要求，应在外壳、电容器的保护屏障或电容器附件上清楚地标注附录 A.1 中第 21 个警告符号以及放电时间。在维修手册中也需说明逆变器断电之后电容器放电时间。如果电容器的放电时间不能精确计算，则应该进行测量。

6.4 机械防护要求

6.4.1 一般要求

在正常使用条件和任意故障条件下操作逆变器不应产生机械危险。棱缘、凸起、拐角、孔洞、护罩和手柄等操作人员能够接触的部位需圆滑、无毛刺，在正常使用时不能引起伤害。

6.4.2 运动部件要求

逆变器的运动部件（如散热风机等）不应应对操作人员的身体部位造成伤害，设备的危险运动部件应提供足够的防护措施。

在例行维护期间，若因技术原因不可避免地要求操作人员接触危险运动部件，如对运动部件进行调整，则逆变器必须提供以下所有预防措施才允许让操作人员接触：

- a) 只有借助工具才能接触；
- b) 说明书应有声明：操作人员必须经过培训才允许执行危险操作；
- c) 拆卸才能接触到危险部位的盖子或零部件上需有警告标识，以防止未经培训的操作人员误接触；
- d) 未安装有自动复位的热断路器，过流保护装置或自动定时启动装置等。

对于没有采取以上预防措施的逆变器，试验指以不明显力从任何方向均不得触及危险运动部件，

对于防止试验指进入的孔洞，需进一步用直的不带关节的试验指，施加 30N 的力进行试验。如果这种试验指能进入孔洞，则应重新使用新的试验指进行试验；必要时，则应将该试验指施加力至 30N 推入孔洞内。

6.4.3 稳定性

如果逆变器没有固定到建筑构件上，则在正常使用中其本身须具有物理稳定性。在操作人员打开逆变器的门或抽屉等之后，逆变器自身需能保持稳定。若不能，则制造商应给出警告标识。

逆变器如固定到墙壁或天花板时，安装支架应承受大小等于逆变器重力 4 倍的力。

6.4.4 搬运措施

如果逆变器安装了搬运手柄，那么手柄必须能够承受逆变器本身重力 4 倍的力；质量为 18kg 或以上的逆变器或部件，应提供搬运指导文件。

6.4.5 抛射出的零部件

在故障条件下，逆变器不能安装抛射出来可能导致危险的零部件，若安装则必须限制其能量。逆变器对抛射零部件的防护措施，必须使用工具才能拆卸。

6.4.6 连接外部导线的接线端子

6.4.6.1 一般要求

- a) 接线端子的结构应保证具有良好的电接触和电气载流能力，并应有足够的机械强度。接线端子的连接应用螺钉、螺母或其他等效方法与导体连接，以保证维持必要的接触压力。
- b) 接线端子紧固用螺钉和螺母除固定接线端子本身就位或防止其松动外，不应作为固定其他任何零部件之用。
- c) 与特定输入或输出电路相关的接线端子应相互靠近。而且，连接到电网电源电路的端子应靠近保护接地端子。
- d) 接线端子也可采用光伏连接器，连接器需经第三方检验证明适用。
- e) 本条款符合性通过检查来检验。

6.4.6.2 接线端子尺寸

制造厂应规定接线端子适用连接的导线类型（硬线或软线、单芯线或多股线），最大和最小导线截面积以及同时能接至接线端子的导线根数（如适用）。接线端子能够连接的最大截面导线应不小于 11.2.1 温升试验所规定的导线截面，可用于接线端子的导体应是同一种类型（硬线或软线、单芯线或多股线）。

6.4.6.3 接线端子的设计

接线端子在设计上应使其能以足够的接触压力将导线夹持在金属表面之间而不会损伤导线。接线端子的设计或配置应使夹持导线的螺钉或螺母在拧紧时，导线不会滑脱。

接线端子应配置适当的固定导线的附件（如螺母和垫圈）。

接线端子的固定应使夹持导线的附件在拧紧或拧松时，

——接线端子本身不会松脱；

——内部布线不承受应力；

——电气间隙和爬电距离不会减小到小于 6.2.3.3 和 6.2.3.4 的规定值。

6.5 着火危险防护

6.5.1 一般要求

在逆变器内部和逆变器外侧，通过使用适当的材料和元器件以及采用适当的结构，以减少引燃危险和火焰蔓延的危险。

——方法 1 选择和使用能将引燃危险和火焰蔓延的可能性减小的元器件、配线和材料；必要时使用防火外壳。

注：对于元器件数量比较多的逆变器，推荐使用方法 1。

——方法 2 所有模拟试验不会有导致元器件引燃，或使温度达到燃点，或导致其他着火危险迹象，则此类逆变器或逆变器的一部分则就不要求防火外壳。

注：对于元器件数量比较少的逆变器，推荐使用方法 2。

6.5.2 材料的可燃性要求

为防止引燃危险和火焰蔓延的可能性，设备内外侧的材料可燃性要求汇总见表 13。

表 13 材料可燃性要求汇总

零部件	最低要求
大面积外壳材料如果表面积大于 1m ² 或单个方向的长度超过 2m	火焰蔓延指数最大不超过 100
防火外壳	——5VB 级 ——GB/T 5169.17 的试验 ——IEC 60695-2-20 灼热丝试验（若与可能产生引燃温度的零部件之间的空气距离小于 13mm）
元器件和零部件，包括防火外壳内的机械防护外壳和电气防护外壳	——V-2 级或 HF-2 级 ——元器件满足元器件相关的标准要求 ——线束的各种夹持件（不包括螺旋缠绕式的或其他连续形式的夹持件）等不做阻燃要求
空气过滤装置	——V-2 级或 HF-2 级 ——安装在防火外壳外部，可以使用 HB 级

6.6 噪声防护

户用逆变器要求噪声不超过 65dB，工业用逆变器不超过 80dB，对于声压等级大于 80dB 的逆变器，应该在其明显位置粘贴“听力损害”的警示标识，且说明书中给出减少听力损害的指导。

6.7 其他要求

6.7.1 方阵绝缘阻抗检测

6.7.1.1 与不接地光伏方阵连接的逆变器

与不接地的光伏方阵连接的逆变器应在系统启动前测量光伏方阵输入端与地之间的直流绝缘电阻。如果阻抗小于 $U_{\text{max,pv}}/30\text{mA}$ （ $U_{\text{max,pv}}$ 是光伏方阵最大输出电压），那么：

- a) 对带隔离型逆变器，应指示故障，但故障期间仍可进行其他动作和操作。在绝缘电阻满足上述要求时允许其停止报警；
- b) 对非隔离逆变器或逆变器虽有隔离但其漏电流不符合要求，应指示故障，并限制其接入电网。

此时允许其继续监测方阵的绝缘电阻，并且在绝缘电阻满足上述要求时，允许停止报警也允许接入电网。

6.7.1.2 需要功能性接地的逆变器

若需要通过一个集成的电阻实现光伏方阵功能性接地的逆变器，逆变器需满足本条款 a) 和 c)，或者 b) 和 c)。

- a) 含预置的用于功能性接地的电阻在内，总接地电阻不得小于 $R=U_{\text{maxpv}}/30\text{mA}$ 。预期的绝缘电阻值可以在所接光伏方阵面积可知的情况下，按每平方米方阵的绝缘阻抗 $40\text{M}\Omega$ 计算。也可以根据逆变器的额定功率和逆变器可以连接的最差的光伏方阵的效率来计算。
- b) 如果电阻小于 a) 中规定。那么逆变器应该能够提供一个在运行过程中监测通过电阻和任何一个与之平行的网络线路（如测试线路）的电流的方法，如果突变电流的响应时间超过表 14 的限制，应该断开电阻或者用其他方式实现限流。如果是非隔离的逆变器，或隔离但不能满足最低漏电流要求的逆变器，那么必须从电网断开。
- c) 在正常工作之前，逆变器必须能够实现接地电阻的测试。

6.7.2 方阵残余电流检测

6.7.2.1 通用要求

- a) 工作在安全电压等级以上的不接地光伏方阵有可能导致触电危险。逆变器没有隔离，或者虽具有隔离措施但不能保证接触电流在某个合理范围内的，若使用者同时接触到方阵的带电部分和地时，电网和地的连接（如接地中线）将为接触电流提供一个回路，从而产生触电危险。这种危险可以通过 6.7.2.4 描述的防护方式消除，亦可通过 6.7.2.5 规定的方式，使接触电流被限制在 30mA 以内。
- b) 无论光伏方阵接不接地，接地故障的发生都会导致不应载流的导体部件或结构承载电流，从而引发着火的危险。该危险可以通过 6.7.2.4 描述的防护方式消除，亦可通过 6.7.2.5 规定的方式，将着火漏电流限制在如下范围内：
 - 1) 对于额定输出小于或等于 30kVA 的逆变器， 300mA 。
 - 2) 对于额定输出大于 30kVA 的逆变器， 10mA/kVA 。

6.7.2.2 30mA 接触电流

按照 GB/T 12113—2003 中图 4 所示的接触电流测试电路，依次测试光伏方阵的各个端子与地之间的接触电流，若测得的值大于 30mA 限值，则应采用 6.7.2.4 或 6.7.2.5 中的措施提供额外保护。

6.7.2.3 着火漏电流

对于隔离型逆变器，着火漏电流应不大于 300mA （不大于 30kVA 的逆变器），或 10mA/kVA （大于 30kVA 的逆变器），当大于此值时则需要采用 6.7.2.4 或 6.7.2.5 中的措施提供额外保护。

6.7.2.4 残余电流检测器（RCD）保护

在逆变器与交流电网之间装配 RCD 来提供额外保护，RCD 限制设置为 30mA ，必须是 B 型而不能是 A 或者 AC 型 RCD（IEC 60755）。

6.7.2.5 残余电流监控保护

在逆变器接入交流电网、交流断路器闭合的任何情况下，逆变器都应提供残余电流检测。残余电

流检测装置应能检测总的有效值电流（包括直流和交流部件）。无论逆变器是否带有隔离，与之连接的光伏方阵是否接地，以及隔离形式采用何种等级（基本绝缘隔离或加强绝缘隔离），都需对过量的连续残余电流及过量残余电流的突变进行监控。限值如下：

- a) 连续残余电流。如果连续残余电流超过如下限值，逆变器应当在 0.3s 内断开并发出故障发生信号：
 - 1) 对于额定输出不大于 30kVA 的逆变器，300mA；
 - 2) 对于额定输出大于 30kVA 的逆变器，10mA/kVA。
- b) 残余电流的突变。如果残余电流的突变超过表 14 所列的限值，则应当在规定的时间内断开。

表 14 对突变电流的响应时间

残余电流突变 mA	逆变器与电网断开最长时间 s
30	0.3
60	0.15
150	0.04

7 基本功能要求

7.1 自动开关机

逆变器应能根据电压输入情况，或故障及故障恢复后等情形，实现对应的自动开机、关机操作。

7.2 通信功能

逆变器应设置本地通信接口，通信接口应具有固定措施，以确保其连接的有效性。通信端口电磁兼容应符合 8.4 要求，并易于组成网络。通信可以选用 RS485、光缆、PLC 电力载波、以太网、无线等多种方式进行通信，通信内容应包括逆变器运行状态、故障告警等相关信息，光伏电站功率控制系统可通过通信给逆变器下发有功控制、无功控制等控制需求，通信协议宜与光伏电站通信协议相匹配。

8 性能要求

8.1 电气参数

8.1.1 输入要求

逆变器在正常输入工作电压范围内工作时，测得的连续最大输入电流或功率应不超过标称最大输入值的 110%，测得的逆变器工作电压范围，不得超过制造商宣称值加上制造商宣称的电压控制精度。

8.1.2 输出要求

逆变器在正常输入、输出工作电压范围内工作时，逆变器能够连续输出的电流不得超过标称最大连续输出电流的 110%。此时，过流保护装置和过温保护装置不应动作。

逆变器在正常输入、输出工作电压范围内工作时，能够连续输出标称的额定功率，并且不应超过标称额定输出功率的 110%。此时，过流保护和过温保护装置不应动作。

8.2 效率要求

对于逆变器，决定其能量转换的效率包括动态 MPPT 效率、静态 MPPT 效率和转换效率。

逆变器的最大转换效率 η_{\max} 和平均加权总效率 $\eta_{t,c}$ 不应低于表 15 中的要求。要求测试计算所得的动态 MPPT 效率不应低于 90%。其中，平均加权总效率是按照中国典型太阳能资源区的效率权重系数计算出不同电压下静态 MPPT 效率和转换效率下的平均加权效率。

转换效率包含了所有辅助电源及控制用电损耗。对于外接独立专用隔离变压器的逆变器，可不带变压器按非隔离型逆变器转换效率限值进行考核；也可以带隔离变压器按隔离型逆变器转换效率限值进行考核，其损耗含隔离变压器的损耗。预装式光伏并网逆变装置的转换效率限值可以参照隔离型逆变器限值，需要含隔离变压器的损耗。

表 15 逆变器最大转换效率和平均加权总效率限值

功率 P (kW)	三相				单相			
	非隔离型		隔离型		非隔离型		隔离型	
	η_{\max}	$\eta_{t,c}$	η_{\max}	$\eta_{t,c}$	η_{\max}	$\eta_{t,c}$	η_{\max}	$\eta_{t,c}$
$P \leq 8$	96.50%	96.00%	94.50%	94.00%	96.50%	96.00%	94.50%	94.00%
$8 < P \leq 20$	97.50%	97.00%	95.50%	95.00%	—	—	—	—
$P > 20$	98.50%	98.00%	96.50%	96.00%	—	—	—	—

8.3 并网性能

8.3.1 电能质量

8.3.1.1 谐波和波形畸变

逆变器运行时，注入电网的电流谐波总畸变率限值为 5%，奇次谐波电流含有率限值见表 16。

表 16 奇次谐波电流含有率限值

奇次谐波次数	含有率限值	偶次谐波次数	含有率限值
3 th —9 th	4.0% I_N	2 th —10 th	1.0% I_N
11 th —15 th	2.0% I_N	12 th —16 th	0.5% I_N
17 th —21 th	1.5% I_N	18 th —22 th	0.375% I_N
23 th —33 th	0.6% I_N	24 th —34 th	0.15% I_N
35 th —39 th	0.3% I_N	36 th —40 th	0.075% I_N
注 1: I_N 为逆变器交流侧额定电流。			
注 2: 电流谐波测试时应排除因电网电压谐波引起的电流谐波。			

8.3.1.2 功率因数

逆变器正常运行条件下，当逆变器输出有功功率大于其额定功率的 50%时，功率因数应不小于 0.98（超前或滞后），输出有功功率在 20%~50%之间时，功率因数应不小于 0.95（超前或滞后）。

功率因数（ λ ）计算公式为：

$$\lambda = \frac{P_{out}}{\sqrt{P_{out}^2 + Q_{out}^2}}$$

(8)

式中:

P_{out} ——逆变器输出总有功功率;
 Q_{out} ——逆变器输出总无功功率。

8.3.1.3 三相电流不平衡度

逆变器正常运行时, 负序三相电流不平衡度不应超过 2%, 短时不应超过 4%。

8.3.1.4 直流分量

逆变器正常运行时, 向电网馈送的直流电流分量应不超过其输出电流额定值的 0.5%。

8.3.2 有功功率控制

8.3.2.1 变化率控制

逆变器在正常运行时有功功率变化的速率应不超过 $\pm 10\%P_N/\text{min}$, 包括启机和停机时, 实际在光伏电站运行时允许出现因太阳辐照度降低而引起的有功功率变化速率超出限值的情况。

A 类逆变器应能设置启停机时有功功率的变化速率, 启停机时有功功率控制误差不应超过 $\pm 5\%P_N$, 启动和停机过程中交流侧输出的最大峰值电流不应超过额定交流峰值电流的 1.1 倍。B 类逆变器可参照执行, 但无须具备启停机变化率控制的功能。

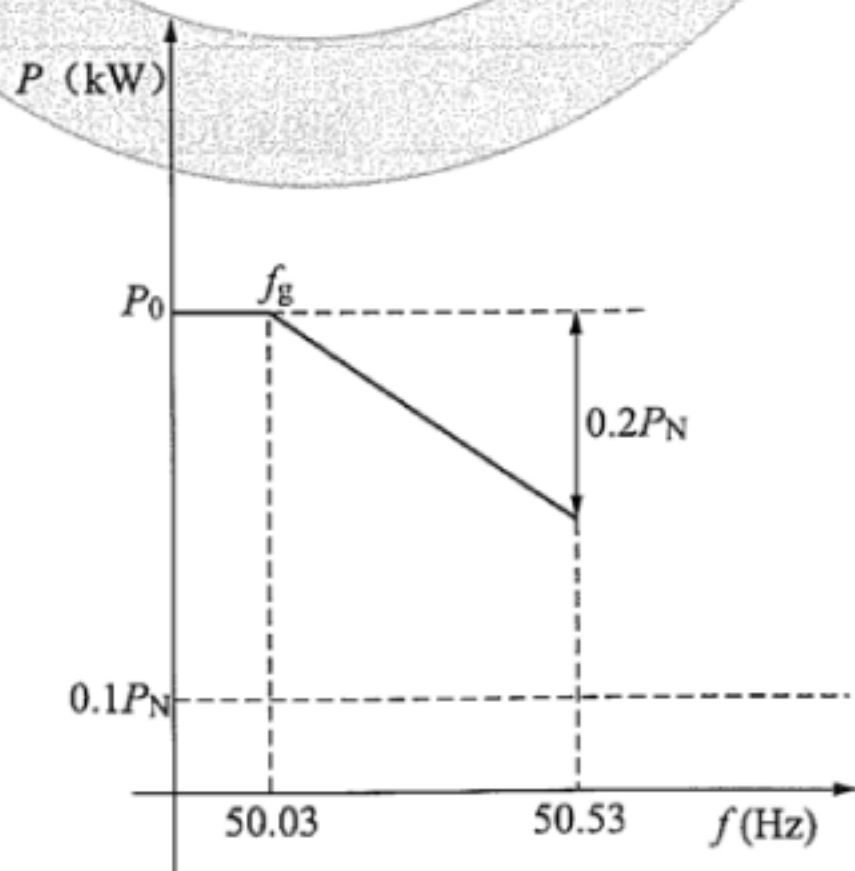
8.3.2.2 给定值控制

A 类逆变器应具备有功功率连续平滑调节的能力, 能接受功率控制系统指令调节有功功率输出值。控制误差不应大于 $\pm 1\%P_N$, 响应时间不应大于 1s。B 类逆变器宜参照执行。

8.3.2.3 过频降额控制

A 类逆变器宜具有过频降额控制功能, 当系统频率偏差大于: $+0.03\text{Hz}$ (允许误差范围: $\pm 0.01\text{Hz}$), 逆变器有功出力大于 $10\%P_N$ 时, 逆变器应能调节有功输出, 有功功率调节曲线如图 2 所示, 具体要求如下:

- a) 当系统频率上升时, 逆变器应减少有功输出, 有功出力最大减少量为 $20\%P_N$;
- b) 当系统频率下降时, 逆变器配有储能设备时可增加有功输出;
- c) 一次调整的调差率应可设置;
- d) 过频降额控制响应时间应不大于 0.5s, 调节时间应不大于 2s, 有功功率调节控制误差不应超过 $\pm 2\%P_N$ 。



注: P_0 是触发过频降额控制前逆变器的当前输出功率值。

图 2 逆变器过频降额控制曲线

8.3.3 电压/无功调节

逆变器稳态无功功率输出范围应满足图 3 要求，A 类逆变器应在所示实线矩形框内动态可调；B 类逆变器应在所示阴影框内动态可调（恒功率因数模式）。具备电网无功支撑能力的 A 类逆变器无功功率输出范围宜在虚线矩形框内动态可调。

A 类逆变器应有多种无功控制模式，包括恒电压控制（ $Q-U$ 控制）、恒功率因数控制和恒无功功率控制等，具备接受功率控制系统指令控制输出无功功率能力，具备多种控制模式在线切换的能力。

逆变器无功功率控制误差不应大于其额定有功功率的 $\pm 1\%$ ，响应时间不大于 1s。对于恒功率因数控制模式，要求功率在 $20\%P_N$ 以上功率因数控制误差为： ± 0.01 。B 类逆变器宜与 A 类光伏逆变器的要求相同。

注：在恒功率因数控制中，功率因数 $\cos\varphi$ 是指基波的有功功率除以基波的视在功率。

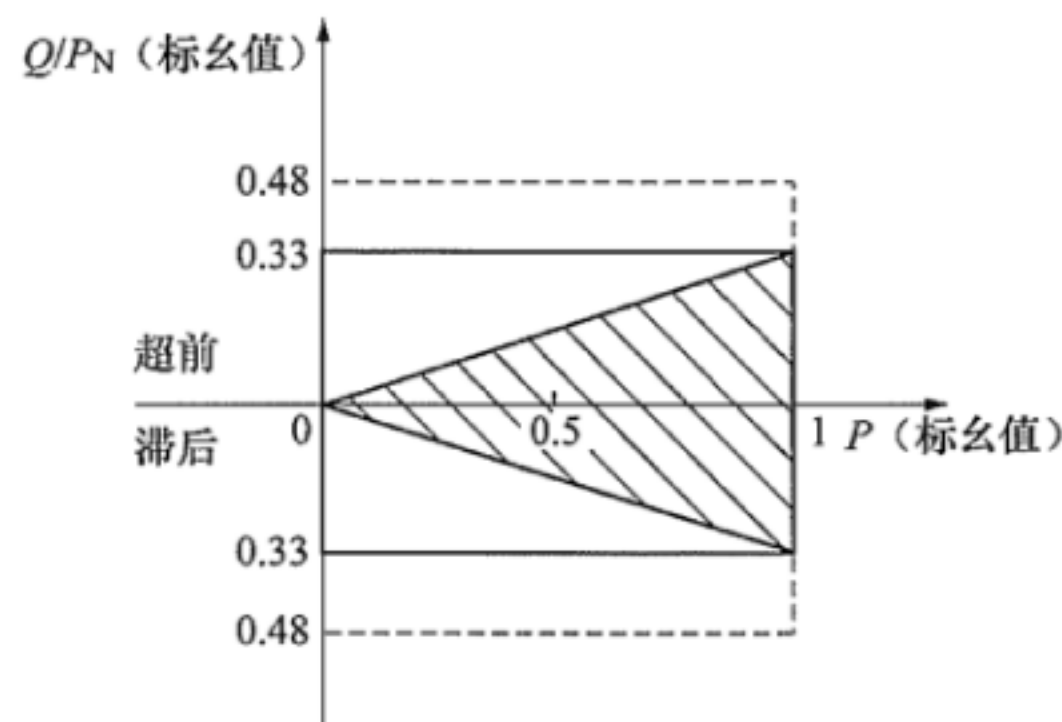


图 3 无功功率控制能力

8.3.4 电压适应性

A 类逆变器的并网电压适应性能应满足 GB/T 19964 的要求，在表 17 所示电压范围内能按规定运行。

B 类逆变器其并网点电压在 $0.85U_N\sim 1.1U_N$ 范围之内时，应能正常运行。

表 17 逆变器在不同并网电压范围内的运行规定

电压范围	运行要求
$U<0.9U_N$	应符合本标准 8.3.5.1.1 低电压穿越的要求
$0.9U_N\leq U\leq 1.1U_N$	应正常运行
$1.1U_N<U<1.3U_N$	应符合本标准 8.3.5.1.2 高电压穿越的要求
注：U 为测试电压。	

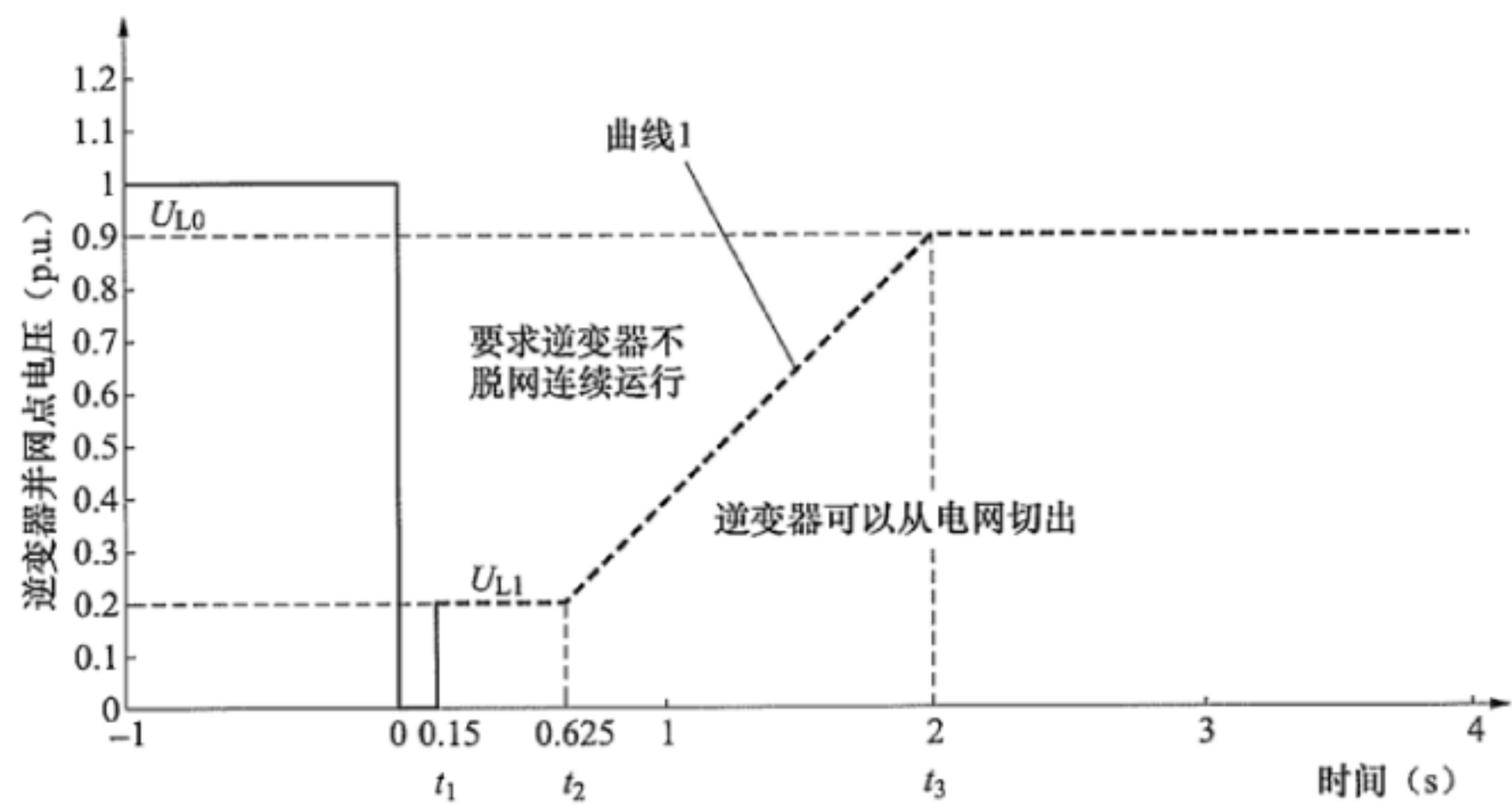
8.3.5 故障穿越

8.3.5.1 基本要求

8.3.5.1.1 低电压穿越

A 类逆变器，其低电压穿越能力应满足 GB/T 19964 关于低电压穿越能力的要求，考核曲线如图 4 所示：

- a) 并网点电压跌至 0 时，逆变器应能不脱网连续运行 0.15s；
- b) 并网点电压跌至曲线 1 以下时，逆变器可以从电网切出。



说明：

U_{L0} ——为正常运行的最低电压限值；

U_{L1} ——需要耐受的电压；

t_1 ——为电压跌落到 0 时需要保持并网的时间；

t_2 ——为电压跌落到 U_{L1} 时需要保持并网的时间；

t_3 ——为电压跌落到 U_{L0} 时需要保持并网的时间。

U_{L1} 、 t_1 、 t_2 、 t_3 数值的确定需考虑保护和重合闸动作时间等实际情况。实际的限值应依据接入电网主管部门的相应技术规范要求设定。

图 4 逆变器的低电压穿越能力要求

8.3.5.1.2 高电压穿越

- A 类逆变器，其高电压穿越能力应满足以下要求，考核曲线如图 5 所示：
- a) 当电网发生故障或扰动引起测试点电压升高时，逆变器并网点各线电压（相电压）在图 5 中电压轮廓线及以下的区域内时，逆变器必须保证不脱网连续运行；否则，允许逆变器切出。
 - b) 逆变器具有在测试点电压为 130%额定电压时能够保证不脱网连续运行 0.5s 的能力。
 - c) 逆变器具有在测试点电压为 120%额定电压时能够保证不脱网连续运行 10s 的能力。
 - d) 逆变器具有在测试点电压为 110%额定电压时能够保证不脱网连续运行的能力。

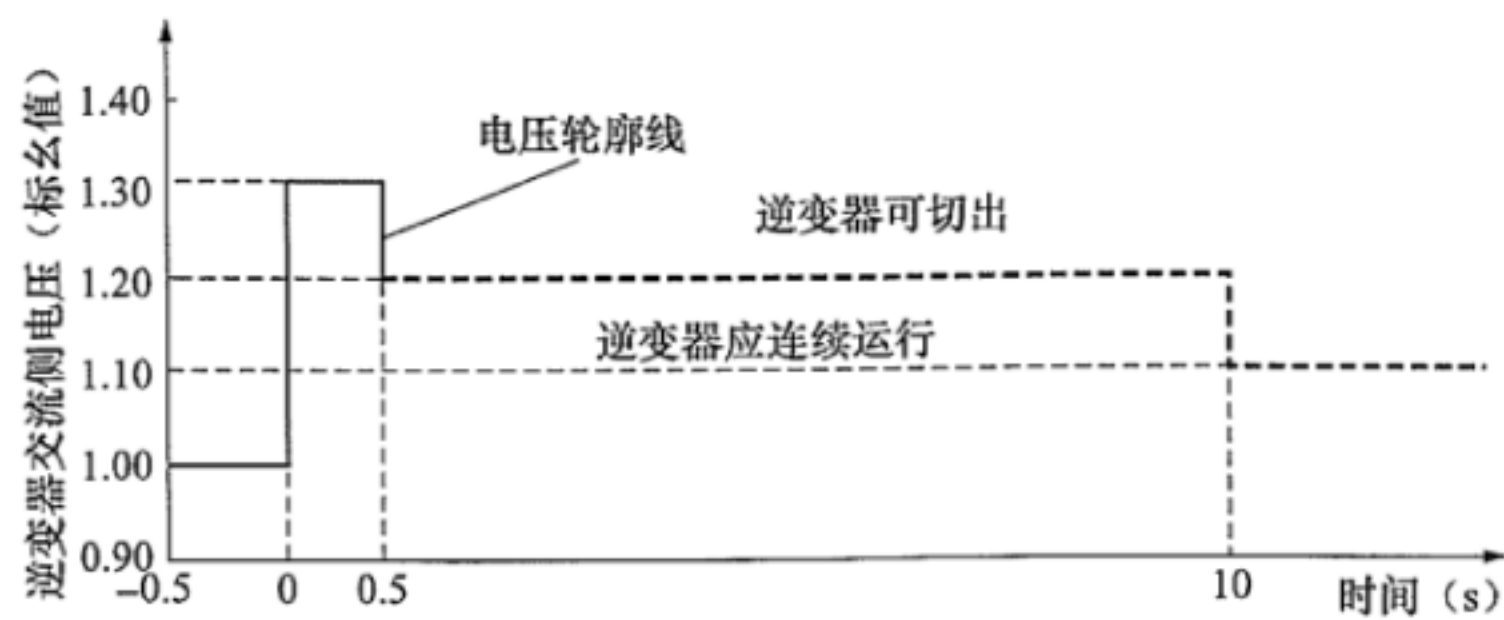


图 5 逆变器高电压穿越能力要求

8.3.5.1.3 故障类型及考核电压

低电压穿越针对不同故障类型的考核电压见表 18，高电压穿越仅考核表 18 中的三相对称短路

故障。

表 18 故障穿越考核电压

故障类型	考核电压
三相对称短路故障	交流侧线/相电压
两相相间短路故障	交流侧线电压
两相接地短路故障	交流线/相电压
单相接地短路故障	交流相电压
注：地指大地，实际可通过相线 L 与中性线 N 短路，而 N 接大地。	

8.3.5.2 有功恢复

对电力系统故障期间没有脱网的逆变器，其有功功率在故障清除后应快速恢复，自故障清除时刻开始，以至少 $30\%P_N/s$ 的功率变化率恢复至故障前正常发电状态。

8.3.5.3 动态无功能力

自逆变器交流侧电压异常时刻起（ $U_T < 0.9$ 或 $U_T > 1.1$ ），动态无功电流的响应时间不大于 60ms，最大超调量不大于 20%，调节时间不大于 150ms。

自动态无功电流响应起直到电压恢复至正常范围（ $0.9 \leq U_T \leq 1.1$ ）期间，逆变器输出的无功电流 I_T 应实时跟踪并网点电压变化，并应满足下列公式：

$$I_T = K_1 \times (0.9 - U_T) \times I_N \quad (U_T < 0.9) \tag{9}$$

$$I_T = K_2 \times (1.1 - U_T) \times I_N \quad (U_T > 1.1) \tag{10}$$

式中：
 I_T ——逆变器输出无功电流有效值，数值为正代表输出感性无功，数值为负代表输出容性无功；
 K_1 、 K_2 ——逆变器输出无功电流与电压变化比例值， K_1 、 K_2 应可设置， K_1 取值范围为 1.5~2.5， K_2 取值范围为 0~1.5；
 U_T ——逆变器交流侧实际电压与额定电压的比值。

对称故障时，动态无功电流的最大有效值不宜超过 $1.05I_N$ ；不对称故障时，动态无功电流的最大有效值不宜超过 $0.4I_N$ ；动态无功电流控制误差不应大于 $\pm 5\%I_N$ 。

8.3.6 频率适应性

A 类逆变器宜具备一定的耐受系统频率异常的能力，应能在表 19 所示的电网频率范围内按规定运行。

B 类逆变器其并网点频率在 49.5Hz~50.2Hz 范围内时，应能正常运行。

注：B 类逆变器正常工作频率上限制造商可以在 50.2Hz~50.5Hz 之间自我申明，并在使用手册中注明。

表 19 逆变器在不同电力系统频率范围内的运行规定

频 率 范 围	运 行 要 求
$f < 46.5\text{Hz}$	根据逆变器允许运行的最低频率而定
$46.5\text{Hz} \leq f < 47.0\text{Hz}$	频率每次低于 47.0Hz，逆变器应能至少运行 5s
$47.0\text{Hz} \leq f < 47.5\text{Hz}$	频率每次低于 47.5Hz，逆变器应能至少运行 20s
$47.5\text{Hz} \leq f < 48.0\text{Hz}$	频率每次低于 48.0Hz，逆变器应能至少运行 1min

表 19 (续)

频 率 范 围	运 行 要 求
$48\text{Hz} \leq f < 48.5\text{Hz}$	频率每次低于 48.5Hz, 逆变器应能至少运行 5min
$48.5\text{Hz} \leq f \leq 50.5\text{Hz}$	连续运行
$50.5\text{Hz} < f \leq 51.0\text{Hz}$	频率每次高于 50.5Hz, 逆变器应能至少运行 3min
$51.0\text{Hz} < f \leq 51.5\text{Hz}$	频率每次高于 51.0Hz, 逆变器应能至少运行 30s
$f > 51.5\text{Hz}$	根据逆变器允许运行的最高频率而定
注 1: 逆变器允许运行的最低频率和最高频率由电网调度机构要求而定。 注 2: 电网频率范围超出 48.5Hz~50.5Hz, 此时停运状态的逆变器不得并网。	

8.3.7 电能质量适应性

8.3.7.1 谐波适应性

当并网点的谐波值满足 GB/T 14549 的规定时, 逆变器应能正常运行。

8.3.7.2 间谐波适应性

当并网点的间谐波值满足 GB/T 24337 的规定时, 逆变器应能正常运行。

8.3.7.3 三相电压不平衡适应性

当并网点的三相电压不平衡满足 GB/T 15543 的规定时, 逆变器应能正常运行。

8.3.7.4 闪变适应性

当并网点的电压波动和闪变满足 GB/T 12326 的规定时, 逆变器应能正常运行。

8.4 电磁兼容性能

8.4.1 发射测试

8.4.1.1 传导发射

A 类逆变器的交流端口和直流端口应满足 GB 4824 中 1 组 A 类限值, 分别见表 20 和表 21, 有线网络端口和信号/控制端口应满足 IEC 62920: 2017 中 A 类限值, 见表 22。

B 类逆变器的交流端口和直流端口应满足 GB 4824 中 1 组 B 类限值, 分别见表 23 和表 24, 有线网络端口和信号/控制端口应满足 IEC 62920: 2017 中 B 类限值, 见表 25。

表 20 在试验场地测量时, A 类逆变器的骚扰电压限值 (交流电源端口)

频段 MHz	额定功率 $\leq 20\text{kVA}^c$		20kVA<额定功率 $\leq 75\text{kVA}^{a,c}$		高功率电子系统和设备, 额定功率 $> 75\text{kVA}^{b,c}$	
	准峰值 dB (μV)	平均值 dB (μV)	准峰值 dB (μV)	平均值 dB (μV)	准峰值 dB (μV)	平均值 dB (μV)
0.15~0.50	79	66	100	90	130	120
0.50~5	73	60	86	76	125	115

表 20（续）

频段 MHz	额定功率≤20kVA ^c		20kVA<额定功率≤75kVA ^{a,c}		高功率电子系统和设备， 额定功率>75kVA ^{b,c}	
	准峰值 dB（μV）	平均值 dB（μV）	准峰值 dB（μV）	平均值 dB（μV）	准峰值 dB（μV）	平均值 dB（μV）
5~30	73	60	90~73 随频率对数线性减小	80~60 随频率对数线性减小	115	105
<p>在过渡频率上采用较严格的限值。</p> <p>对于单独连接到中性点不接地或经高阻抗接地的工业配电网（见 IEC 60364-1）的 A 类设备，可应用额定功率大于 75kVA 设备的限值，不论其实际功率大小。</p> <p>注：以额定输入或输出功率 20kVA 为例，相当于每相电流约为 29A（400V 三相供电网络）或每相电流约为 58A（200V 三相供电网络）。</p> <p>^a 这些限值适用于额定功率大于 20kVA 并预期由专用电力变压器或发电机供电而不连接到低压架空电线的设备。对于不是由用户指定的电力变压器供电的设备，可采用小于或等于 20kVA 对应的限值。制造商和/或供应商应提供能使设备发射降低的安装方法信息。应特别说明此类设备由专用电力变压器或发电机供电而非低压架空电线。</p> <p>^b 这些限值仅适用于安装在以下情况中的额定功率大于 75kVA 的高功率电子系统和设备：</p> <p>——装置是由专用电力变压器或发电机供电，而非连接到低压架空电线；</p> <p>——装置距离居住环境大于 30m 或者有一结构作为辐射现象的阻挡物；</p> <p>——制造厂和/或供应商应注明此设备满足额定输入功率大于 75kVA 的高功率电子系统和设备的骚扰电压限值，并提供能使设备发射降低的安装方法信息。应特别说明此类设备由专用电力变压器或发电机供电而非低压架空电线。</p> <p>^c 应根据制造商规定的额定交流功率选择适当限值。</p>						

表 21 在试验场地测量时，A 类逆变器的骚扰电压限值（直流电源端口）

频段 MHz	额定功率 ≤20kVA ^a		20kVA<额定功率 ≤75kVA ^{a,b}				额定功率 >75kVA ^{a,b}			
	电压限值		电压限值		电流限值		电压限值		电流限值	
	准峰值 dB （μV）	平均值 dB （μV）	准峰值 dB （μV）	平均值 dB （μV）	准峰值 dB （μA）	平均值 dB （μA）	准峰值 dB （μV）	平均值 dB （μV）	准峰值 dB （μA）	平均值 dB （μA）
0.15~5	97~89	84~76	116~106	106~96	72~62	62~52	132~122	122~112	88~78	78~68
5~30	89	76	106~89	96~76	62~45	52~32	122~105	112~92	78~61	68~48
<p>在一定频段内，表中限值随频率对数线性减小。</p> <p>^a 应根据制造商标明的额定交流功率选择适当限值。</p> <p>^b 这些限值适用于额定功率大于 20kVA 并预期由专业人员安装在专业大型光伏发电系统里的设备。在产品随附的手册中，制造商和/或供应商应提供能使设备降低辐射的缓解措施信息，来防止装置 30m 距离内对无线电接收的干扰危害。特别是应注明此设备可与附加滤波器一起安装且距离居住环境大于 30m。安装人员需确认其减缓安装措施还要满足本标准 6.4 中现场测量方法的要求。</p>										

表 22 在试验场地测量时，A 类逆变器的骚扰电压限值（有线网络端口和信号/控制端口）

频段 MHz	准峰值 dB（μV）/dB（μA）	平均值 dB（μV）/dB（μA）
0.15~0.50	97/53~87/43 随频率对数线性减小	84/40~74/30 随频率对数线性减小
0.50~30	87/43	74/30
<p>注 1：如果连接至信号/控制端口的线缆长度超过 30m，则该端口必须测试并满足以上限值要求。</p> <p>注 2：电流和电压和骚扰限值是在使用了规定阻抗的阻抗稳定网络（ISN）条件下导出的，该阻抗稳定网络对于受试的通信端口呈现 150Ω 的共模（不对称）阻抗（转换因子为 20lg150/l=44dB）。</p>		

表 23 在试验场地测量时, B 类逆变器的骚扰电压限值 (交流电源端口)

频段 MHz	准峰值 dB (μV)	平均值 dB (μV)
0.15~0.50	66~56 随频率对数线性减小	56~46 随频率对数线性减小
0.50~5	56	46
5~30	60	50

注: 在过渡频率上采用较严格的限值。

表 24 在试验场地测量时, B 类逆变器的骚扰电压限值 (直流电源端口)

频段 MHz	准峰值 dB (μV)	平均值 dB (μV)
0.15~0.50	84~74 随频率对数线性减小	74~64 随频率对数线性减小
0.50~30	74	64

表 25 在试验场地测量时, B 类逆变器的骚扰电压限值 (有线网络端口和信号/控制端口)

频段 MHz	准峰值 dB (μV) / dB (μA)	平均值 dB (μV) / dB (μA)
0.15~0.50	84/40~74/30 随频率对数线性减小	74/30~64/20 随频率对数线性减小
0.50~30	74/30	64/20

注 1: 如果连接至信号/控制端口的线缆长度超过 30m, 则该端口必须测试并满足以上限值要求。
注 2: 电流和电压和骚扰限值是在使用了规定阻抗的阻抗稳定网络 (ISN) 条件下导出的, 该阻抗稳定网络对于受试的通信端口呈现 150Ω 的共模 (不对称) 阻抗 (转换因子为 $20\lg 150/1=44\text{dB}$)。

8.4.1.2 辐射发射

A 类逆变器应满足 GB 4824 中 1 组 A 类限值, 见表 26。

B 类逆变器应满足 GB 4824 中 1 组 B 类限值, 见表 27。

表 26 在试验场地测量时, A 类逆变器的电磁辐射骚扰限值

频段 MHz	开阔试验场 (OATS) 或半电波暗室 (SAC)			
	10m 测量距离		3m 测量距离 ^b	
	额定功率≤20kVA ^c	额定功率>20kVA ^{a, c}	额定功率≤20kVA ^c	额定功率>20kVA ^{a, c}
	准峰值 dB (μV/m)	准峰值 dB (μV/m)	准峰值 dB (μV/m)	准峰值 dB (μV/m)
30~230	40	50	50	60
230~1000	47	50	57	60

在 OATS 或 SAC 测量时, A 类设备可在 3m、10m 或 30m 标准距离下测量。如果测量距离为 30m, 应使用 20dB/10 倍距离的反比因子, 将测量数据归一化到规定距离以确定符合性。
在过渡频率上采用较严格的限值。

^a 该限值适用于额定功率大于 20kVA 且与第三方无线电通信设施距离大于 30m 的设备。制造厂必须在技术文件中说明该设备将使用于距离第三方无线电通信设施大于 30m 的区域, 如果无法满足上述条件, 应按额定功率小于或等于 20kVA 的限值。

^b 3m 距离所规定的限值只适用于 3.7 所定义尺寸的小型设备。

^c 应基于制造厂标明的额定交流功率选择适当限值。

表 27 在试验场地测量时，B 类逆变器的电磁辐射骚扰限值

频段 MHz	开阔试验场或半电波暗室	
	10m 测量距离	3m 测量距离 ^a
	准峰值 dB (μV/m)	准峰值 dB (μV/m)
30~230	30	40
230~1000	37	47
在 OATS 或 SAC 测量时，B 类设备可在 3m 或 10m 距离下测量。 在过渡频率上采用较严格的限值。 ^a 3m 距离所规定的限值只适用于满足 3.7 所定义的小型设备。		

8.4.2 抗扰度测试

8.4.2.1 性能判据

制造商应提供在 EMC 测试期间或测试结果中性能判据定义的功能说明，测试结果按性能判据记录在测试报告里。抗扰度测试的性能判据等级见表 28。

表 28 抗扰度测试的性能判据等级

性能判据等级	试验期间	试验后
A	逆变器应按预期要求连续正常运行，其性能降低或功能丧失不允许低于制造商规定的性能水平	逆变器应按预期要求继续运行
B	逆变器应按预期要求继续运行； 允许出现可接受的性能降低，如显示数值在制造商规定限值范围内的变化、通信延迟时间在制造商规定限值范围内的变化、显示屏出现闪烁等。 但不允许出现操作状况的改变或不可逆转的存储数据的丢失	能自行恢复暂时的性能降低，逆变器按预期要求继续运行
C	可接受的性能降低和性能丧失，但没有不可逆的硬件或软件（程序/数据）破坏	在手动控制、系统重启或电源关断/开启后，逆变器能恢复试验期间降低或丧失的性能，并按预期要求继续运行

8.4.2.2 测试端口

8.4.1 及 8.4.2 指出的 EMC 测试项目对应的测试端口见表 29。

表 29 EMC 测试项目及测试端口汇总表

测试端口	外壳整体	直流输入端口	交流输出端口	信号端口
传导发射	—	√	√	√
辐射发射	√	—	—	—
静电放电抗扰度	√	—	—	—
射频电磁场辐射抗扰度	√	—	—	—
电快速脉冲群抗扰度	—	√	√	√
浪涌（冲击）抗扰度	—	√	√	√
射频场感应的传导骚扰抗扰度	—	√	√	√
工频磁场抗扰度	√	—	—	—

表 29 (续)

测试端口	外壳整体	直流输入端口	交流输出端口	信号端口
电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度	—	—	√	—
阻尼振荡波抗扰度	—	—	√	—
振铃波抗扰度	—	—	√	—

注：打“√”表示在此端口需要做对应的 EMC 试验。

8.4.2.3 试验要求

本标准涉及的逆变器抗扰度试验要求是按 A 类逆变器和 B 类逆变器分别给出，分别见表 30 和表 31。每类设备试验要求又按端口逐一给出，要求试验以完全确定的和可重复的方式进行，并以单个的试验依次逐项进行，试验顺序是任意的。

表 30 A 类逆变器的抗扰度试验要求

端口	试验项目		试验规范值	基础标准	性能判据
外壳	工频磁场		50Hz 30A/m	GB/T 17626.8	A
	射频电磁场辐射		80MHz~1000MHz 10V/m (非调制) 80%幅度调制 (1kHz)	GB/T 17626.3	A
外壳	射频电磁场辐射		1.4GHz~6.0GHz 3V/m (非调制) 80%幅度调制 (1kHz)	GB/T 17626.3	A
	静电放电	接触放电	±4kV (充电电压)	GB/T 17626.2	B
		空气放电	±8kV (充电电压)		B
信号线/ 控制线端口	射频场感应的传导骚扰		0.15MHz~80MHz 10V (非调制) 80%幅度调制 (1kHz)	GB/T 17626.6	A
	浪涌 线—地 线—线 ^a		1.2/50μs (8/20μs) ±1kV (开路电压) ±0.5kV (开路电压)	GB/T 17626.5	B
	电快速脉冲群		±1kV (充电电压) 5/50ns 100kHz (重复频率)	GB/T 17626.4	B
直流电 源端口	射频场感应的传导骚扰		0.15MHz~80MHz 10V (非调制) 80%幅度调制 (1kHz)	GB/T 17626.6	A
	浪涌 线—地 线—线		1.2/50μs (8/20μs) ±1kV (开路电压) ±0.5kV (开路电压)	GB/T 17626.5	B
	电快速脉冲群		±1kV (充电电压) 5/50ns 100kHz (重复频率)	GB/T 17626.4	B
交流电 源端口	射频场感应的传导骚扰		0.15MHz~80MHz 10V (非调制) 80%幅度调制 (1kHz)	GB/T 17626.6	A
	浪涌 线—地 线—线		1.2/50μs (8/20μs) ±2kV (开路电压) ±1kV (开路电压)	GB/T 17626.5	B

表 30（续）

端口	试验项目	试验规范值	基础标准	性能判据
交流电 源端口	电快速脉冲群	±2kV（充电电压） 5/50ns 100kHz（重复频率）	GB/T 17626.4	B
	电压暂降	0 持续 1 周期	GB/T 17626.11 GB/T 17626.34	B
		40%持续 10 周期（50Hz） 70%持续 25 周期（50Hz）		C
	电压中断	0 持续 250 周期	GB/T 17626.11 GB/T 17626.34	C
	阻尼振荡波 慢速 线—地 线—线 快速 线—地	100kHz、1MHz（振荡频率） ±2.5kV（开路电压） ±1kV（开路电压） 3、10、30MHz（振荡频率） ±2kV（开路电压）	GB/T 17626.18	A
	振铃波 线—地 线—线	0.5μs/100kHz ±2kV（开路电压） ±1kV（开路电压）	GB/T 17626.12	B
a 浪涌信号线/控制线端口测试，线—线的要求仅针对非屏蔽不对称端口适用。				

表 31 B 类逆变器的抗扰度试验要求

端口	试验项目		试验规范值	基础标准	性能判据
外壳	工频磁场		50Hz 3A/m	GB/T 17626.8	A
	射频电磁场辐射		80MHz~1000MHz 3V/m（非调制） 80%幅度调制（1kHz）	GB/T 17626.3	A
			1.4GHz~6.0GHz 3V/m（非调制） 80%幅度调制（1kHz）		A
	静电放电	接触放电	±4kV（充电电压）	GB/T 17626.2	B
		空气放电	±8kV（充电电压）		B
信号线/ 控制线端口	射频场感应的传导骚扰		0.15MHz~80MHz 3V（非调制） 80%幅度调制（1kHz）	GB/T 17626.6	A
	浪涌 线—地 线—线 ^a		1.2/50μs（8/20μs） ±1kV（开路电压） ±0.5kV（开路电压）	GB/T 17626.5	B
	电快速脉冲群		±0.5kV（充电电压） 5/50ns 100kHz（重复频率）	GB/T 17626.4	B
直流电 源端口	射频场感应的传导骚扰		0.15MHz~80MHz 3V（非调制） 80%幅度调制（1kHz）	GB/T 17626.6	A
	浪涌 线—地 线—线		1.2/50μs（8/20μs） ±1kV（开路电压） ±0.5kV（开路电压）	GB/T 17626.5	B

表 31（续）

端口	试验项目	试验规范值	基础标准	性能判据
交流电源端口	电快速脉冲群	±0.5kV（充电电压） 5/50ns 100kHz（重复频率）	GB/T 17626.4	B
	射频场感应的传导骚扰	0.15MHz~80MHz 3V（非调制） 80%幅度调制（1kHz）	GB/T 17626.6	A
	浪涌 线—地 线—线	1.2/50μs（8/20μs） ±2kV（开路电压） ±1kV（开路电压）	GB/T 17626.5	B
	电快速脉冲群	±1kV（充电电压） 5/50ns 100kHz（重复频率）	GB/T 17626.4	B
	电压暂降	0 持续 0.5 周期	GB/T 17626.11 GB/T 17626.34	B
		0 持续 1 周期		B
		70%持续 25 周期		C
	电压中断	0 持续 250 周期	GB/T 17626.11 GB/T 17626.34	C
^a 浪涌信号线/控制线端口测试，线—线的要求仅针对非屏蔽不对称端口适用。				

9 保护要求

9.1 过/欠压保护

9.1.1 直流输入侧过压保护

当直流侧输入电压高于逆变器允许的直流方阵接入电压最大值时，逆变器不得启动，并同时发出警示信号。直流侧电压恢复到逆变器允许工作范围后，逆变器应能正常启动。

9.1.2 交流输出侧过/欠压保护

B 类逆变器，当并网点电压超出 GB/T 29319—2012 中表 1 规定的电压范围时，见表 32，应在相应的时间内停止向电网线路输电，此要求适用于多相系统中的任何一相。

注：正常工作电压上限制造商可以在 110% U_N ~135% U_N 之间自我申明，并在使用手册中注明。

表 32 保护动作时间要求

电网电压（电网接口处）	要 求
$U<50\%U_N$	最大分闸时间不超过 0.2s
$50\%U_N\leq U<85\%U_N$	最大分闸时间不超过 2.0s
$85\% U_N\leq U<110\%U_N$	连续运行
$110\% U_N\leq U<135\%U_N$	最大分闸时间不超过 2.0s
$135\%U_N\leq U$	最大分闸时间不超过 0.2s
注 1： U_N 为并网点电网额定电压。	
注 2： 最大分闸时间是指异常状态发生到电源停止向电网送电时间。	

9.2 过/欠频保护

B 类逆变器，当并网点频率超过 47.5Hz~50.2Hz 运行范围时，应在 0.2s 内停止向电网送电。当电网频率低于 49.5Hz，或高于 50.2Hz，此时处于停运状态的逆变器不得并网。在电网频率恢复到允许运行的电网频率时逆变器应能重新启动运行。

A 类逆变器，其频率保护配置应满足 8.3.6 的要求。

注 1：B 类逆变器保护频率上限制造商可以在 50.2Hz~50.5Hz 之间自我申明，并在使用手册中注明。

注 2：B 类逆变器其并网点频率在 47.5Hz~49.5Hz 之间工作状态及停止向电网送电时间由制造商自我申明，并在使用手册中注明。

9.3 相序或极性错误

9.3.1 极性误接

逆变器直流输入或交流输出极性误接时逆变器能自动保护，待极性和相序正确接入时，逆变器应能正常工作。

9.3.2 交流缺相保护

逆变器交流输出缺相时，逆变器自动保护，并停止工作，正确连接后逆变器应能正常运行。

9.4 直流输入过载保护

9.4.1 若逆变器输入端不具备限功率的功能，则当逆变器输入功率超过标称最大直流输入功率的 1.1 倍时需保护。

9.4.2 若逆变器输入端具有有限功率功能，当光伏方阵输出的功率超过逆变器允许的最大直流输入功率时，逆变器应自动限流工作在允许的最大交流输出功率处。

9.5 输出短路保护

逆变器开机或运行中，检测到输出侧发生短路时，逆变器应能自动保护。要求可触及导电部位不存在触电危险，确保存在带电危险和机械危险的部位不被触及。如果记录的短路电流超过电路的最大额定电流，则测量到的最大短路电流必须写入安装手册中。

9.6 反放电保护

当逆变器直流侧电压低于允许工作范围或处于关机状态时，逆变器直流侧应无反向电流流出。

9.7 防孤岛效应保护

B 类逆变器，应具备快速监测孤岛且立即断开与电网连接的能力，防孤岛保护动作时间应不大于 2s，同时发出警示信号，且孤岛保护还应与电网侧线路保护相配合。

9.8 恢复并网

B 类逆变器因电压或频率异常跳闸后，当电压和频率恢复正常后，光伏逆变器应经过一个可调的延迟时间后才能恢复并网，延迟时间范围可采用 20s~5min。若光伏逆变器设置了启停机变化率，则恢复并网时应满足启停机变化率的要求。

A 类逆变器因电压或频率异常跳闸后，是否自行恢复并网应根据当地电网要求决定。当不允许自

行恢复并网时，逆变器恢复并网由光伏电站的功率控制系统控制。

9.9 冷却系统

逆变器应具有冷却系统，确保逆变器持续正常工作不因温度过高而对逆变器造成损害。

9.10 防雷保护

逆变器应设有防雷保护装置。

10 标识和文档

10.1 标识

10.1.1 一般要求

10.1.1.1 除内部零部件的标识之外，所有标识在产品安装之后需能从外部看见；针对整个产品的标识不应放在操作人员无须工具即可拆卸的零部件上。

10.1.1.2 标识可以使用图形符号，但须依照 A.1 或 GB/T 5465.2—2008 的相关要求。逆变器提供的文档应解释所使用的图形符号。

10.1.1.3 逆变器至少应永久标注以下内容：

- 1) 制造商或供应商的名称或商标；
- 2) 用于识别逆变器的型号或命名；
- 3) 用于识别产地、批次或日期的序列号、代码或其他标识。批次或日期精确到3个月以内，标识日期的方法在30年内不会出现重复的数字。

本条款的符合性通过检查来验证。

10.1.2 额定参数

除非本标准其他部分有特殊规定，逆变器上应标注以下适用的参数：

- 输入电压范围、最大输入电压、电压类型、最大输入电流以及最大直流短路电流；
- 输出电压等级、电压类型、频率、最大连续输出电流，以及额定输出功率；
- IP 防护等级，保护等级。

本条款符合性通过检查来验证。

10.2 文档资料

10.2.1 一般要求

10.2.1.1 文档需对逆变器的安全操作和安装进行说明；若有需要，也可以给出逆变器维护的说明及以下内容：

- 1) 解释逆变器上的标识，包括所用的符号。
- 2) 端子和控制器的位置和功能。
- 3) 所有与安装和操作逆变器相关的参数和规格，包括以下环境参数，并解释其含义及影响：
 - 环境分类；
 - 潮湿场所分类；
 - 预置外部环境的污染等级；

- IP 防护等级；
- 环境温度和相对湿度；
- 每个输入输出端口的过电压类别。

4) 光伏阵列受到光照后会向逆变器输入直流电压的警告。

10.2.1.2 安装说明，操作说明，维护说明等与安全相关的说明文档应采用逆变器预定安装使用所在地的通用语言。

10.2.1.3 文档必须采用印刷形式，并随逆变器一起提供。

注：电子版可以随印刷文档提供，但不能替代印刷文档。

10.2.2 安装说明

文档需包括安装说明，也可以包括详细调试说明。基于安全考虑，对于安装和调试过程中可能产生的危险，需给出警示。文档提供的信息应包括：

- a) 组装、定位和固定的要求；
- b) 每个电源的参数和连接方式，关于配线、外部控制器、导线颜色代码、断开方式和所需过流保护的要求，以及关于安装位置不得妨碍断开电源的说明；
- c) 逆变器各个输出端的参数和连接方式，以及关于配线、外部控制器、导线颜色代码和所需过流保护的要求；
- d) 通风要求；
- e) 特殊保养要求，例如冷却液（适用时）；
- f) 噪声等级相关指示和说明；
- g) 保护接地的说明。

10.2.3 操作说明

操作说明应包括所有保证安全操作的必要信息，包括以下适用的内容：

- a) 控制器的设置、调节方法以及调整效果的说明；
- b) 关于连接附件和其他设备的说明，并明确适用的附件、可拆卸零部件和专用材料；
- c) 烫伤危险的警告，以及要求操作人员采取的降低风险的措施；
- d) 关于逆变器没有按照制造商规定的方式使用时其保护措施可能失效的说明。

本条款符合性通过检查来验证。

10.2.4 维护说明

10.2.4.1 维护说明包括以下信息：

- 1) 保证安全所需要的定期维护周期和说明（如更换空气过滤器或定期紧固接线端子等）；
- 2) 操作人员接触区（适用时）的说明，包括不要进入逆变器特定区域的警告；
- 3) 零部件的编号和说明，方便操作人员找到可以更换的零部件；
- 4) 说明安全的清洁方式（适用时）。

10.2.4.2 如果逆变器有多路供电，手册中需说明开关装置断开的顺序。

10.2.5 零部件及接口

10.2.5.1 熔断器标识

10.2.5.1.1 熔断器标识应给出其额定电流。若熔断器底座可以装入不同电压等级的熔断体，标识还应

给出其额定电压。标识应靠近熔断器或熔断器底座，或者直接标注在熔断器底座上。也可以标注在其他位置，但需明显区分标识所指的熔断器。

10.2.5.1.2 如果必须使用特定熔断特性（如延迟时间和断开容量）的熔断器，则应标明熔断器类型。

10.2.5.1.3 对于安装在操作人员接触区以外的熔断器，以及在操作人员接触区内但固定焊接的熔断器，可以只标注一个明确的参考符号（如 F1、F2 等），并需在维修手册中说明相关信息。

10.2.5.2 开关设备

开关设备的开与关位置需标注清楚。如果电源采用按钮开关，可以使用表 A.1 中的第 10 个或第 16 个符号来标注“开”的位置，用表 A.1 中第 11 个或第 17 个符号来标注“关”的位置。这些符号需配对使用，即用表 A.1 中第 10 个与第 11 个，或用表 A.1 中第 16 个和第 17 个。

10.2.5.3 接口标识

10.2.5.3.1 如果安全方面有必要，应给出端子、连接器、控制器和指示器及其各种位置的指示，包括冷却液加注和排线的连接（适用时）。可以参考表 A.1 给出的符号；如果位置不够，可以用表 A.1 中的第 9 个符号。

注：有多个管脚的信号、控制和通信用连接器，不必逐个管脚进行标注，只需标明整个连接器的用途。

10.2.5.3.2 在紧急制动装置的按钮和制动器上，用于警示危险或指示需要紧急处理的指示灯均须使用红色。

10.2.5.3.3 多电压供电逆变器需标明出厂时设置的电压。该标识允许用纸标签或其他非永久性材料。

10.2.5.3.4 逆变器的直流端子需明确标注连接的极性：

- 1) “+”号表示正极，“-”号表示负极；
- 2) 其他能够准确说明极性的图形符号。

10.2.5.3.5 保护接地导体的连接端子用以下方式标注：

- 1) 表 A.1 的第 7 个符号；
- 2) 字母“PE”；
- 3) 黄绿双色导线。

10.2.6 标识的耐久性

本条款要求逆变器上的标识在正常使用条件下需保持清晰可辨，而且能够耐受制造商所指定的清洗剂的腐蚀。

本条款的符合性通过检查和对逆变器外部的标识进行耐久性试验来验证。用浸渍了指定清洗剂的布，以正常压力（约 10N）手工快速擦拭标识 15s。若制造商没有指定清洗剂，则用丙酮替代。擦拭之后，标识须保持清晰可辨，粘贴标签不能出现松脱或卷边现象。

11 试验方法

11.1 试验环境条件

除非本标准另有规定说明，试验场所须满足以下环境条件：

- 温度 15℃～40℃；
- 相对湿度 5%～75%；
- 大气压强 75kPa～106kPa；
- 无结霜、凝露、渗水、淋雨、日照等现象。

11.2 安全性能测试

11.2.1 温度测试

11.2.1.1 一般要求

温升试验满足 6.1 的要求。

温升试验用导体应根据试验电流大小按以下规定选取：

- a) 试验电流不大于 400A：
 - 1) 连接导线应采用单芯聚氯乙烯（PVC）绝缘铜导线，其截面按表 33 的规定。
 - 2) 连接导线应置于大气中，导线之间的间距约等于设备端子间的距离。

表 33 试验电流为 400A 及以下的试验铜导线尺寸

试验电流范围 A	导线尺寸	
	mm ²	AWG/MCM
$0 \leq I < 8$	1.0	18
$8 \leq I < 12$	1.5	16
$12 \leq I < 15$	2.5	14
$15 \leq I < 20$	2.5	12
$20 \leq I < 25$	4.0	10
$25 \leq I < 32$	6.0	10
$32 \leq I < 50$	10	8
$50 \leq I < 65$	16	6
$65 \leq I < 85$	25	4
$85 \leq I < 100$	35	3
$100 \leq I < 115$	35	2
$115 \leq I < 130$	50	1
$130 \leq I < 150$	50	0
$150 \leq I < 175$	70	00
$175 \leq I < 200$	95	000
$200 \leq I < 225$	95	0000
$225 \leq I < 250$	120	250
$250 \leq I < 275$	150	300
$275 \leq I < 300$	185	350
$300 \leq I < 350$	185	400
$350 \leq I < 400$	240	500

- b) 试验电流大于 400A 时，连接导线要求见 GB 7251.1—2013 的表 12。

11.2.1.2 周围空气温度测量

在试验周期的最后 1/4 时间内应记录周围空气温度。测量时至少用两个温度检测器（如温度计或热

电偶), 均匀分布在被试设备的周围, 放置在被试设备高度的 1/2 处离开被试设备的距离约为 1m。温度检测器应保证免受气流、热辐射影响和由于温度迅速变化产生的显示误差。

试验中, 周围空气温度应在逆变器厂家规定的最高使用环境温度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 之间, 如果周围空气温度的变化超过 3K, 应按设备的热时间常数用适当的修正系数对测得的部件温升予以修正。

11.2.1.3 部件温度的测量

用合适的温度检测器测量设备的所有部件可能达到最高温度的不同位置上各点的温度。温度测量选用的温度检测器应不影响被测量部件的温升。试验中, 温度检测器与被试部件的表面应保证良好的热传导。温度测量一般使用热电偶法。

即使在最严酷的额定工作条件下, 设备所使用的材料和部件的温度不能超过表 1~表 3 规定的限值。为证明设备符合最高温度限值要求, 温度的测量必须在逆变器厂家规定的最高使用环境温度下进行。同时, 还需要考虑所有可能影响温度测量结果的工作模式和条件。对于最高可在 50°C 环境温度下工作的逆变器, 试验可在 $0^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 的任意环境温度下进行, 但是, 必须对温度测量结果进行修正(增加或减少), 然后与表 1~表 3 中规定的温度限值进行比较。修正值为实际试验环境温度和设备最高环境温度的差值。逆变器以最大功率输出, 间隔 0.5h 记录 1 次各个测试部位的温度数据, 当逆变器达到热稳定时, 记录此时各个测试位置的最高温度。

- a) 线圈的测量, 可以用电阻变化法进行测量;
- b) 对其他零部件进行测量时, 实际测得温度不应超过以下规定的最低限值:
 - 1) 表 1 规定所示适用于线圈及其绝缘系统:
 - 零部件适用的 IEC 标准;
 - 零部件或材料制造商标称的工作温度。
 - 2) 若不满足于上述两个条件, 则温度限值参照表 2 规定所示。
 - 3) 表 3 适用于样品上可被触及的表面。

11.2.2 电击防护试验

11.2.2.1 试验指检查

11.2.2.1.1 检查逆变器外壳、挡板等开孔处。

11.2.2.1.2 用 GB/T 16842—2016 的图 2 和图 9 分别规定的带关节试验指和试验针进行试验, 试验结果应符合 6.2.1.2.2 的要求。对外壳开孔进行检查时, 操作人员不用工具即可拆卸或打开的零部件(包括熔断器座)要先去掉; 同时, 允许操作人员打开的门和盖板要处于打开状态。试验时逆变器中的灯允许留在原位。对于操作人员不需要工具即可断开的连接器, 应在断开的过程中和断开之后分别试验。任何可移动零部件要置于对结果最不利的位置。试验指和试验针按照上述要求, 在不施加明显力的情况下对每个可能的位置进行试验。质量超过 40kg 的立式逆变器可以不倾斜。预定嵌入式安装、架式安装或并入大型设备的逆变器, 应根据安装说明书要求的安装方法判断哪些位置需要进行试验。

11.2.2.1.3 11.2.2.1.2 中能够防止带关节试验指进入的开孔, 要进一步用直线不带关节的试验指(见 GB/T 16842—2016 的图 7)施加 30N 力进行试验。如果不带关节试验指能够进入, 这时再重新使用带关节试验指进行试验, 最多可以施加 30N 的力。

11.2.2.2 保护连接

对于每个保护连接电路, 保护导体和作为每个保护电路一部分的相关点之间的阻抗, 应通电流进行测量。测试电流及持续时间如下:

- a) 对于逆变器过电流保护值小于等于 16A, 测试电流为 32A, 持续 120s。保护连接的电阻最后测

得值不超过 0.1Ω。

- b) 逆变器的过电流保护值大于 16A，测试电流是过电流保护值的 2 倍，并且持续时间见表 34。
保护连接的压降测试时，持续规定时间后测量值不超过 2.5V。
- c) 测试过程中及测试后，保护连接不应有熔化、松动或其他可能会破坏保护连接有效性的损坏。

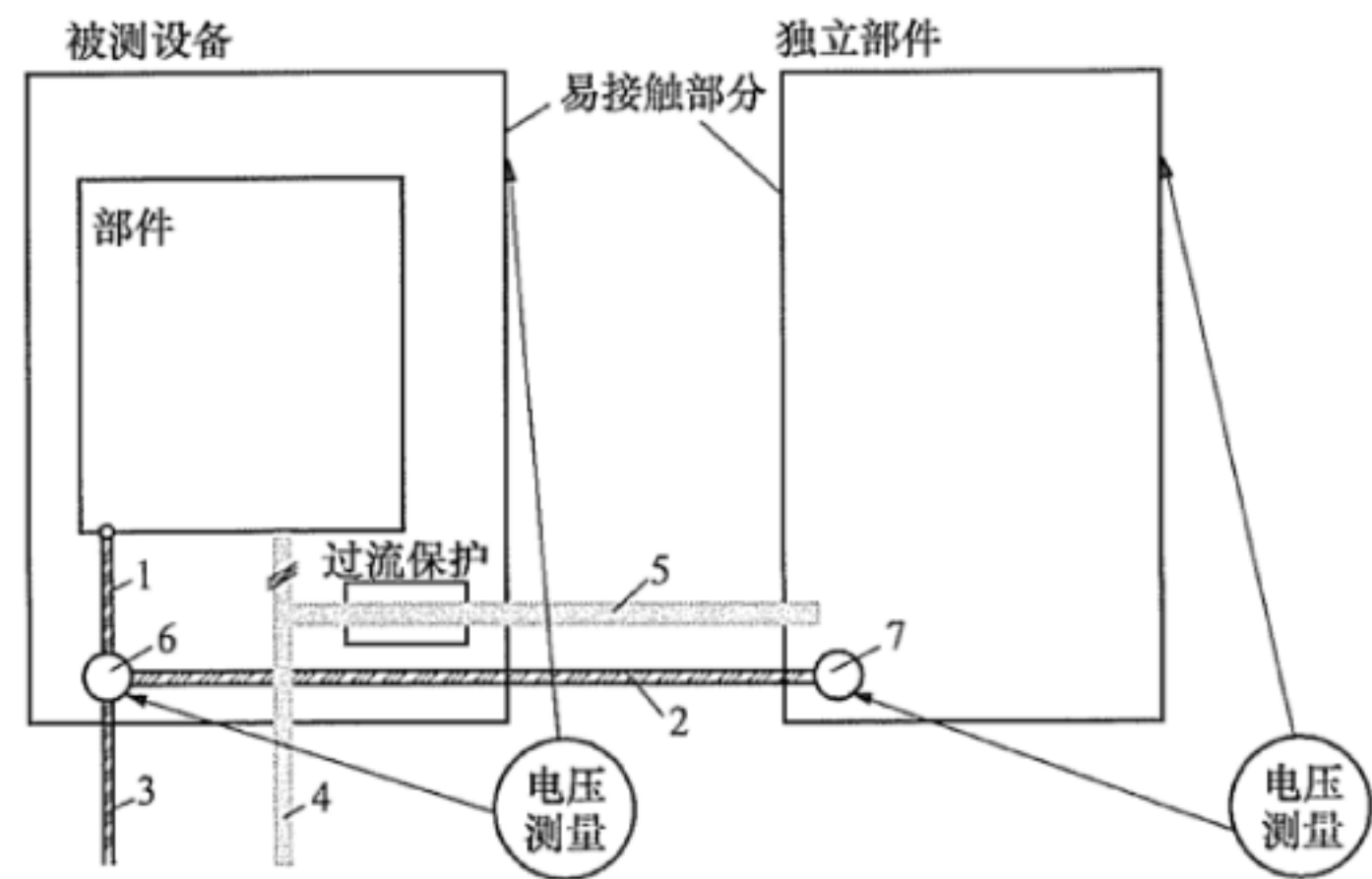
注 1：测试电流可用直流或交流电源，输出不接地。
注 2：如果阻抗值很低，需正确放置测量探针。
注 3：对于出厂试验，测试电流不小于 10A，测试持续时间不少于 2s。
注 4：如果保护连接通过多个导体或多个紧固件实现，出厂试验时可以免测。

表 34 保护连接测试持续时间

过流保护装置等级 A	测试持续时间 min
16~30	2
31~60	4
61~100	6
101~200	8
>200	10

- 1) 逆变器的回路中有过流保护装置，如图 6 所示。测量时每个保护连接都需要测量，对于带过流保护的电路测量，两个接地点接线阻抗不用计算入保护连接阻抗内。

注：逆变器采用软件控制实现过流保护功能不属于回路中有过流保护装置范畴。



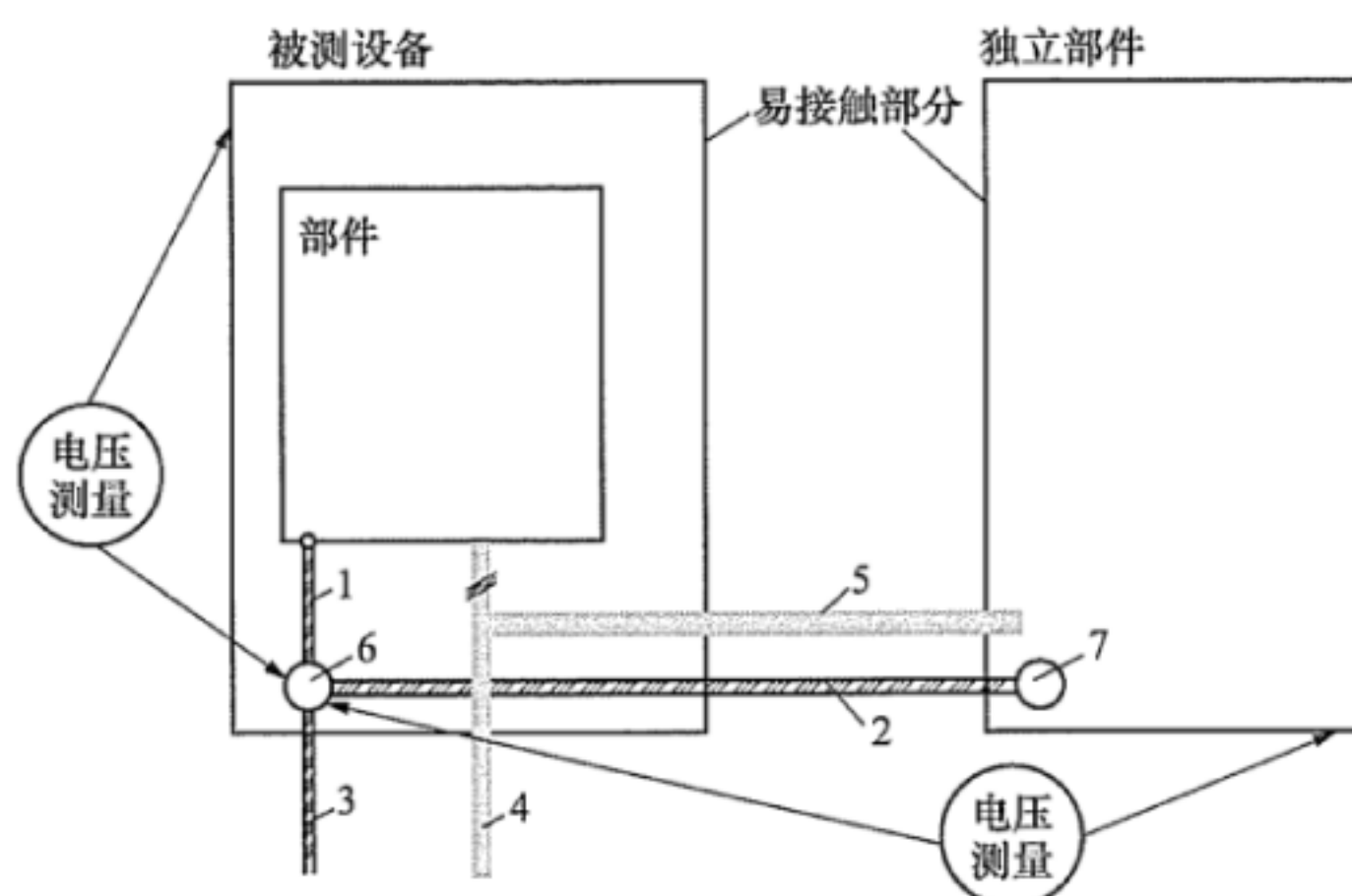
说明：

- 1—保护连接；
2—独立部件的保护接地导体；
3—被测逆变器的接地保护导体；
4—供电电源；
5—由被测逆变器到独立部件供电，带过流保护；
6—外部保护接地导体终端；
7—独立部件保护接地导体终端。

图 6 带过流保护装置的保护联结阻抗测试

- 2) 逆变器的回路中无过流保护装置，如图 7 所示。对于不带过流保护的电路测量如图 7 所

示，两个单元的接线电阻必须计算作为保护连接阻抗值。



说明：

- 1—保护连接；
- 2—独立部件的保护连接；
- 3—被测逆变器的接地保护导体；
- 4—供电电源；
- 5—由被测逆变器到独立部件供电，不带过流保护；
- 6—外部保护接地导体终端；
- 7—独立部件连接的点（可能多于1个）。

图7 不带过流保护装置的保护联结阻抗测试

11.2.2.3 接触电流

逆变器不接地安装，并且在额定电压下，使用 GB/T 12113—2003 图 4 规定的试验电路测量外部保护接地导体与大地或可同时接触的零部件之间的接触电流。

对于预定安装在潮湿环境中的逆变器，应按要求进行湿度预处理（见附录 B）后，再进行接触电流的测量。

11.2.2.4 介电性能的验证

11.2.2.4.1 一般条件

一般条件如下：

- a) 除非有关产品标准另有规定，试验都应在完好的逆变器上进行。
- b) 若为了便于试验而采用提高试验严酷度的方法，或为了缩短试验时间而采用较高的操作频率进行试验，则需在制造厂同意的情况下进行，而试验结果应认为是有效的。
- c) 根据制造厂的说明书和 11.1 规定的环境条件，被试逆变器应如正常使用情况一样接线并完整安装在其固有支架或等效支架上。
- d) 所有逆变器应在自由空气中进行试验。除非另有规定，试验时不允许维修和更换零部件。
- e) 为了提供详尽的和可比较的试验结果，全部重要的试验参数应具有高的测量精度。为此目的，本部分规定用于测量下述试验参数的仪器的允许测量误差如下：
 - 1) 试验电压（交流/直流）：±3%；
 - 试验电压（冲击）：±5%；

- 2) 电流: $\pm 1.5\%$;
- 3) 频率: $\pm 0.2\%$;
- 4) 温度:
 - 100°C 以下: $\pm 2^{\circ}\text{C}$;
 - 100°C 到 500°C : $\pm 3\%$;
- 5) 相对湿度: $\pm 3\%$ 相对湿度;

注: 规定的误差是指湿度测量仪器的误差。它不包括箱内的湿度均匀性和/或试品对湿度均匀性的影响, 箱内湿度仅在样品试验前在一个适当的位置测量。

- 6) 局部放电量: $\pm 10\%$ 或 $\pm 1\text{pC}$ (两者取大者);
- 7) 时间(冲击电压): $\pm 20\%$;
时间(试验时间): $\pm 1\%$ 。

11.2.2.4.2 冲击耐受电压

11.2.2.4.2.1 一般要求

基本绝缘和加强绝缘的电气间隙以及固体绝缘应采用额定冲击耐受电压来验证。

11.2.2.4.2.2 冲击试验电压

试验电压试验值见表 9。冲击耐压试验的波形为 $1.2/50\mu\text{s}$ (见 GB/T 17627.1—1998 中 6.1、6.2 规定波形), 正负极性各 5 次, 最小时间间隔为 1s。

11.2.2.4.2.3 试验电压施加

试验时保护接地应断开, 除非它本身是试验对象。对于跨接在基本绝缘和加强绝缘上的电容, 如果该电容已经符合相应的产品标准, 则测试时可断开。试验电压施加在:

- 1) 基本绝缘位置。主电路所有接线端子连接一起和外壳或安装板之间; 基本绝缘隔离的两电路之间。正常工作不接至主电路的每个控制电路和辅助电路与以下部位之间:
 - 主电路;
 - 其他电路;
 - 外露导体部分;
 - 外壳或安装板。
- 2) 加强绝缘位置, 加强绝缘隔离的两电路之间。

11.2.2.4.2.4 试验判别

试验过程中应无击穿放电、飞弧或者火花现象。

11.2.2.4.3 工频耐受电压

11.2.2.4.3.1 试验电压值。具体试验电压值如下:

对主电路、控制电路和辅助电路, 试验电压按表 10、表 11 的规定选择, 通常应该选用交流试验电压, 如果不能施加交流试验电压(如有 EMC 滤波器件时), 可选用直流试验电压值。

11.2.2.4.3.2 试验电压施加。

测试部位如下:

- 1) 基本绝缘位置。主电路所有接线端子连接一起和外壳或安装板之间; 基本绝缘隔离的两电路之间。
- 2) 加强绝缘位置, 加强绝缘隔离的两电路之间。

对于预定安装在潮湿环境下的逆变器，应先按规定进行湿度预处理（见附录 B），然后立即进行本项试验。

对于过电压保护器件（如压敏电阻），测试前应该断开；对于形成绝缘的元器件（如 Y 电容），测试时不能断开。

试验持续时间，对于型式试验至少为 60s。施加试验电压时可以逐渐上升或下降，试验持续时间为达到规定试验电压后保持的时间。

11.2.2.4.3.3 试验结果。试验前先进行绝缘电阻测试，要求逆变器的输入电路对地、输出电路对地以及输入电路与输出电路间的绝缘电阻应不小于 $1\text{M}\Omega$ ，其中输入电路与输出电路间的绝缘电阻测试只适用于内置隔离变压器的隔离型逆变器；工频耐受电压试验时，要求逆变器应无击穿或任何破坏性放电现象。

11.2.2.4.4 短路试验后工频耐受电压

短路试验后按 11.2.2.4.3 进行试验。

11.2.2.4.5 湿热性能试验后的工频耐受电压

湿热试验后按 11.2.2.4.3 进行试验。

11.2.2.4.6 电气间隙和爬电距离

电气间隙和爬电距离的符合性应通过测量来检验，测量方法按 GB/T 16935.1—2008 中 6.2 的要求；电气间隙结果要求符合 6.2.3.3；爬电距离要求符合 6.2.3.4。

11.2.2.4.7 局部放电试验

11.2.2.4.7.1 一般要求。使用固体绝缘的方式来满足加强绝缘的地方需要用局部放电实验来验证。建议在冲击耐受电压试验（见 11.2.2.4.2）之后进行局部放电试验，这样可以发现脉冲电压试验导致的损伤。如果加强绝缘是由单个元器件来完成的，则局部放电可以在单个器件进行测试。

11.2.2.4.7.2 样品预处理。对于最高使用环境温度高于 40°C 的逆变器，样品需要按照 GB/T 16935.1—2008 中 6.1.3.2 d) 的要求，进行湿热处理。

11.2.2.4.7.3 试验电压值。正弦工频试验电压应基本上为正弦波形。当峰值和有效值之比为 $\sqrt{2} \times (1 \pm 3\%)$ 时符合要求。电压采用 50Hz 或 60Hz 交流电压峰值，见图 8。

11.2.2.4.7.4 试验电压施加。采用经过校准的放电测量装置或不带加权滤波的无线电干扰仪，试验按照 GB/T 16935.1—2008 附录 C 进行。

试验电压从低于额定放电电压 U_{PD} 开始，逐渐升高至 U_{PD} 的 1.875 倍，并最多维持 5s。然后电压逐渐降低到 U_{PD} 的 1.5 倍（ $\pm 5\%$ ），并最多维持 15s。在此 15s 内完成局部放电的测量。额定放电电压 U_{PD} 是绝缘隔离的每个电路的重复峰值电压的总和。

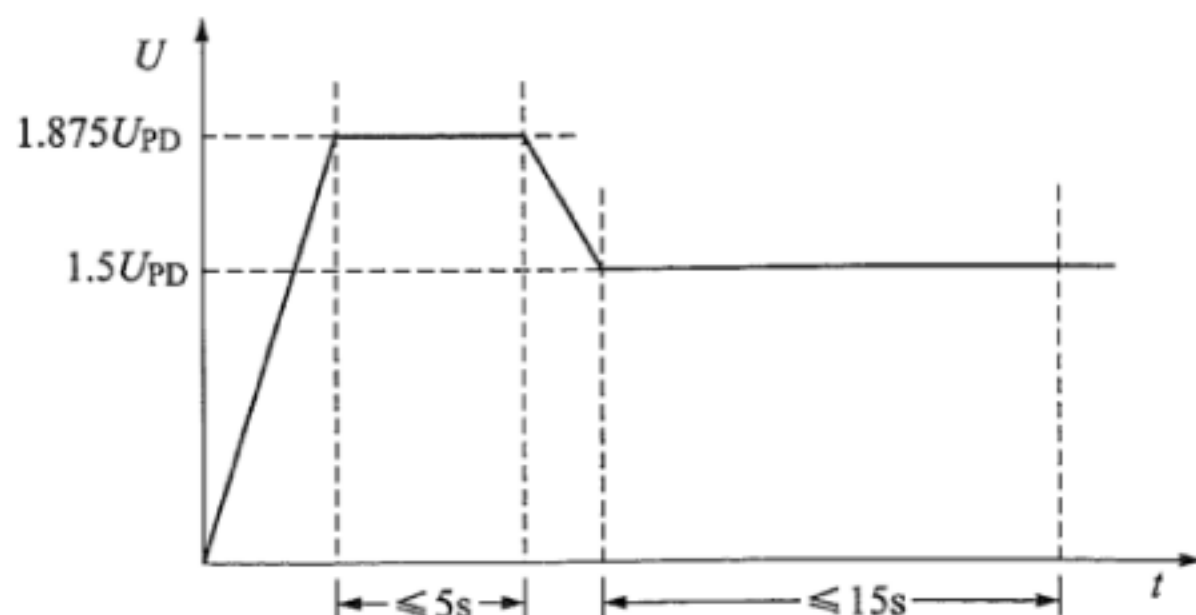


图 8 试验电压

11.2.2.4.7.5 试验结果判别:

- 无绝缘击穿现象;
- 试验后测得的放电量不大于 10pC 规定值。

11.2.3 机械防护验证

11.2.3.1 稳定性试验

稳定性试验时,逆变器的各箱柜应在其额定容积范围内转至能产生最不利条件的物件,脚轮置于正常使用范围内对试验结果最不利的位置。除非另有规定,门和抽屉等试验时需关紧。

- a) 对于非手持式逆变器,从正常垂直位置向各个方向倾斜 10° ;
- b) 对于高度超过 1m 且质量不小于 25kg 的逆变器以及所有其他落地逆变器,在逆变器顶部或距地面 2m 处(如果逆变器高度不低于 2m),沿任意方向(除向上的方向外)施加 250N 或者是本身重力 20% 的力,取较小值,在正常操作时使用的支撑脚,以及预定由操作人员打开的门和抽屉等,需置于最不利位置;
- c) 对落地式逆变器,用 800N 的向下作用力施加在能产生最大力矩的以下位置:
 - 所有水平工作面;
 - 明显突出且距离地面小于 1m 的其他表面。

试验期间,逆变器不应失去平衡。

对于壁挂式安装的逆变器需预先固定到墙壁或天花板的安装支架上,支架需承受大小等于 4 倍逆变器本身重力的力;用规定的紧固件和墙壁结构按制造商说明书的要求安装之后,再进行符合性检验。对于可调整的支架,需调整至距离墙壁(或支撑装置)的最远端。如果说明书没有规定墙壁结构,则用说明书规定安装紧固件,将逆变器安装固定在支架上;安装支架除了承受逆变器自重,还需再加上大小等于逆变器重力 3 倍的力。力的方向沿重心处垂直向下。试验力在 5s 至 10s 内从零逐渐增加到预定大小,然后维持 1min。试验后逆变器表面不能损坏并符合 6.4.3 要求。

11.2.3.2 搬运要求

对每个手柄施加大小等于逆变器重力 4 倍的力,不用夹具,直接将力均匀地施加在手柄中间 70mm 宽的范围内。力要逐渐地增加,10s 后达到预定大小,并保持 1min,如果逆变器安装了多个手柄,力按正常使用的比例分配到各个手柄上;如果逆变器安装了多个手柄但预定可以通过一个手柄来搬运,则不能进行力的分配,而要求每个手柄都需承受全部的力,且手柄不能从逆变器上松脱,或者出现永久性变形、破裂或其他失效现象。

11.2.3.3 接线端子要求

11.2.3.3.1 一般条件

逆变器应满足以下要求或提供第三方相关合格测试报告。

- a) 本试验不适用于铝接线端子,也不适用于连接铝导体的接线端子。
- b) 除非制造厂另有规定,每一试验应在完好的和新的接线端子上进行。
- c) 当采用圆铜导线进行试验时,应采用符合 IEC 60028 规定的铜线。
- d) 当采用扁铜导体进行试验时,铜导体应具有以下特征:
 - 最小纯度: 99.5%;
 - 极限抗张强度: $200\text{N/mm}^2 \sim 280\text{N/mm}^2$;
 - 维氏硬度: 40~65。

11.2.3.3.2 机械强度试验

- a) 试验应采用具有最大截面积的合适型号的导体来进行试验。
- b) 每个接线端子应接上和拆下导体 5 次。
- c) 对螺纹型接线端子，拧紧力矩应按表 35 第 II 列规定的力矩，用螺丝刀拧紧，然后进行第 2 次试验。
- d) 如果表 35 第 II 列和第 III 列的值相同，只需进行螺丝刀拧紧试验。
- e) 每次拧紧的螺钉或螺母松掉后，应采用新的导体来进行下一次拧紧试验。
- f) 在试验中，紧固部件和接线端子不应松掉并且不应影响其进一步使用。

表 35 验证螺纹型接线端子机械强度的拧紧力矩

螺纹直径 mm		拧紧力矩 N · m		
标准值	直径范围	I	II	III
2.5	$\phi \leq 2.8$	0.2	0.4	0.4
3.0	$2.8 < \phi \leq 3.0$	0.25	0.5	0.5
—	$3.0 < \phi \leq 3.2$	0.3	0.6	0.6
3.5	$3.2 < \phi \leq 3.6$	0.4	0.8	0.8
3.5	$3.6 < \phi \leq 4.1$	0.7	1.2	1.2
4.5	$4.1 < \phi \leq 4.7$	0.8	1.8	1.8
5	$4.7 < \phi \leq 5.3$	0.8	2.0	2.0
6	$5.3 < \phi \leq 6.0$	1.2	2.5	3.0
8	$6.0 < \phi \leq 8.0$	2.5	3.5	6.0
10	$8.0 < \phi \leq 10.0$	—	4.0	10.0
12	$10 < \phi \leq 12$	—	—	14.0
14	$12 < \phi \leq 15$	—	—	19.0
16	$15 < \phi \leq 20$	—	—	25.0
20	$20 < \phi \leq 24$	—	—	36.0
24	$24 < \phi$	—	—	50.0

注：第 I 列，适用于拧紧时不突出孔外的无头螺钉和不能用刀口宽度大于螺钉根部直径的螺丝刀拧紧的其他螺钉；第 II 列，适用于用螺丝刀拧紧的螺钉和螺母；第 III 列，适用于比螺丝刀更好的工具来拧紧的螺钉和螺母。

11.2.3.3.3 弯曲试验

11.2.3.3.3.1 本试验适用于连接非预制圆铜导线的接线端子，连接导线的根数、截面积和类型（软线和/或硬线，多股线和/或单芯线）由制造厂规定。扁铜导体的接线端子试验可由供需双方协商。

11.2.3.3.3.2 用 2 个新试品进行以下试验：

- 1) 用最小截面导线及其允许的最多根数连接至接线端子进行试验；
- 2) 用最大截面导线及其允许的最多根数连接至接线端子进行试验；
- 3) 用最小和最大截面导线及其允许的最多根数连接至接线端子进行试验。

11.2.3.3.3.3 预期要连接软线或硬线（多股线和/或单芯线）的接线端子应采用每种类型导线在不同的试品组上进行试验。将软线和硬线（多股线和/或单芯线）一起接入的接线端子应同时进行上述 3) 项规定的试验。

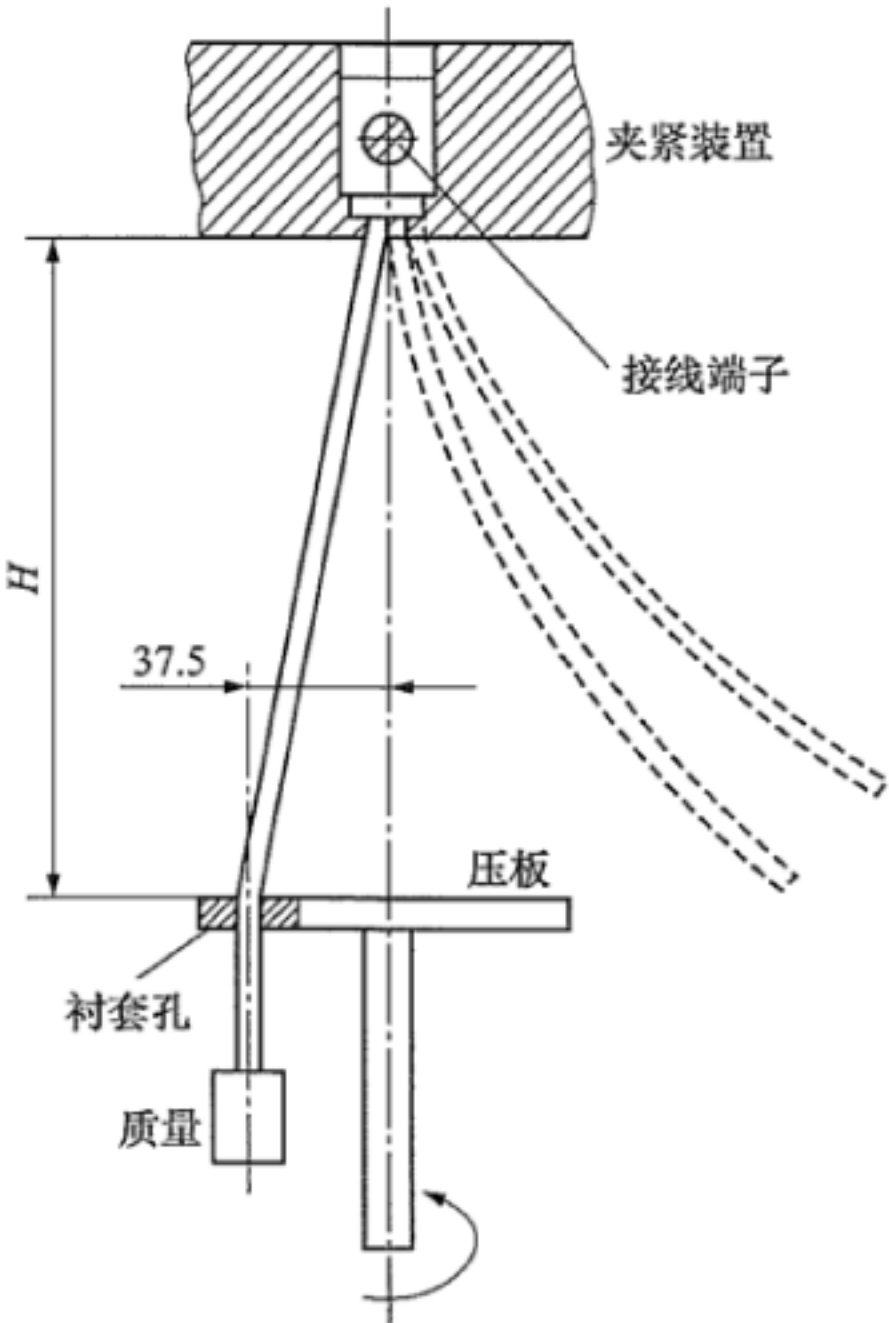
11.2.3.3.3.4 试验应在合适的试验逆变器上进行，将规定的导线根数接至接线端子。试验导线的长度应比表 36 规定的高度 H （ H 为夹紧装置至压板的距离）长 75mm。紧固螺钉应拧紧，施加的拧紧力矩按

表 36 的规定或制造厂商的力矩，被试逆变器应按图 9 固定所示固定。

表 36 圆铜导线拉出和弯曲试验数值

导体截面		衬套孔直径 ^a	高度 mm	质量 kg	拉力 N
mm ²	AWG/MCM	mm			
0.2	24	6.4	260	0.3	10
—	22	6.4	260	0.3	20
0.5	20	6.4	260	0.3	30
0.75	18	6.4	260	0.4	30
1.0	—	6.4	260	0.4	35
1.5	16	6.4	260	0.4	40
2.5	14	9.5	279	0.7	50
4.0	12	9.5	279	0.9	60
6.0	10	9.5	279	1.4	80
10	8	9.5	279	2.0	90
16	6	12.7	298	2.9	100
25	4	12.7	298	4.5	135
—	3	14.3	318	5.9	156
35	2	14.3	318	6.8	190
—	1	15.9	343	8.6	236
50	0	15.9	343	9.5	236
70	00	19.1	368	10.4	285
95	000	19.1	368	14	351
—	0000	19.1	368	14	427
120	250	22.2	406	14	427
150	300	22.2	406	15	427
185	350	25.4	432	16.8	503
—	400	25.4	432	16.8	503
240	500	28.6	464	20	578
300	600	28.6	464	22.7	578

^a 如果规定的衬套孔直径不足以容纳包扎导线则可以用一个较大孔径的衬套。



单位：mm

图 9 弯曲试验的试验设备

11.2.3.3.3.5 按以下程序试验，使每根导线承受圆周运动：被试导体的末端应穿过压板中合适尺寸的衬套孔，压板处于设备接线端子向下 H 处， H 值见表 36。除被试导线外其余导线均应弄弯，以免影响试验结果。衬套应在水平压板上，且与导线同轴。衬套中心距离压板中心 37.5mm，运动速度为 8r/min~12r/min。接线端子出口至衬套的上表面距离应是高度 H ，允差为 $\pm 13\text{mm}$ 。衬套应加润滑油，防止绝缘导线的弯曲、扭转或自转。表 36 规定的质量挂在导线的末端。试验应连续旋转 135 转。

试验应过程中，导线应既不脱出接线端子又不在夹紧件处折断。

弯曲试验后应把被试设备上每根经过弯曲试验的导线立即进行 11.2.3.3.4 规定的拉出试验。

11.2.3.3.4 拉出试验

11.2.3.3.4.1 圆铜导线的拉出试验。弯曲试验后，对经过该试验的导线施加表 37 规定的拉力。本试验的紧固被试导线的螺钉不应再拧紧。拉力应平稳的持续作用 1min，拉力不应突然施加。试验过程中，导线应既不脱出接线端子又不在夹紧件处折断。

11.2.3.3.4.2 扁铜导线拉出试验。将适当长度的导线固定在接线端子上，按表 37 规定的拉力平稳持续作用 1min，拉力方向与导体插入方向相反，不应突然施加。试验过程中，导线应既不脱出接线端子又不在夹紧件处折断。

表 37 扁铜导线拉出试验数值

扁导体的最大宽度 mm	拉力 N
12	100
14	120
16	160
20	180
25	220
30	280

11.2.4 防火试验

11.2.4.1 灼热丝试验

灼热丝试验应在 6.5 规定的条件下，根据 GB/T 5169.10 和 GB/T 5169.11 的规定进行。

注：如果试验必须在试品上的多个地方进行，应注意保证首次试验引起的材料损坏不影响后续试验。

11.2.5 噪声测试

在最严酷的工况下，在逆变器噪声最强的方向，距离设备 1m 处用声级计测量逆变器发出的噪声。声级计测量采用 A 计权方式。

测试时至少应保证实测噪声与背景噪声的差值大于 3dB，否则应采取措施使测试环境满足测试条件。当测得噪声值与背景噪声差值大于 10dB 时，不对测量值做修正；当实测噪声与背景噪声的差值为 3dB~10dB 之间时，按照表 38 进行噪声值的修正，其值应符合 6.6 的要求。

表 38 背景噪声测量结果修正表

差值 dB	3	4~5	6~10
修正值 dB	-3	-2	-1

11.2.6 方阵绝缘阻抗检测试验

逆变器连入测试电路，将直流端的电压设置在高于逆变器启动的电压（功率）值。将一个小于 6.7.1 中阻抗值的电阻（约 90%的要求阻抗值）的接入逆变器的直流输入端子与地之间，逆变器响应满足 6.7.1 的要求。

11.2.7 方阵残余电流检测试验

11.2.7.1 连续残余电流测试

逆变器在最严酷的工况下，且直流输入端无接地，交流输出端应有一极接地。测试时可以关闭光伏方阵的绝缘电阻监测功能。在直流输入端与地之间接入一个可调电阻。可调电阻的起始值应设定在使初始残余电流在 6.7.2.5 a) 规定的限值之下。然后逐步调低电阻值，记录残余电流保护装置动作时的电流值。该测试应重复 5 遍，所有测试结果不得超过 6.7.2.5 a) 中的限值，否则逆变器应在 0.3s 内断开电网。

注：如果有多路输入，且电路分析有同样的原理及可能的测试结果，则无须逐一测试。

11.2.7.2 着火漏电流测试

逆变器在最严酷的工况下，且直流输入端无接地，交流输出端应有一极接地。测试时可以关闭光伏方阵的绝缘电阻监测功能，用电流表依次测量每个方阵端子与地之间的漏电流，应符合 6.7.2.3 要求。

11.2.7.3 残余电流突变测试

按以下步骤完成不同残余电流和断开时间限值条件下的残余电流突变功能测试，当测试的突变电流值超过已设置的基准连续残余电流值，需要先关闭连续残余电流检测功能。

- a) 预先设置基准连续残余电流值。在一个直流输入端与地之间接入一个可调电容。然后逐步调高电容值直到逆变器断开电网。然后调低电容值，使连续残余电流增大至断开水平，并使该残余电流值约为表 14 给出的残余电流突变值的 150%（当残余电流突变值为 30mA 时，这里要求值即为 45mA），并让逆变器重启。
- b) 施加残余电流突变。将预先调节过能产生 30mA 的残余电流的电阻通过一个开关连接至步骤 a) 中相同的直流输入端口与地之间。测量开关合上至逆变器断开电网的时间，可通过观测逆变器的输出电流及电流降至零的时间。该测试应重复 5 遍，所有测试结果不得超过 6.7.2.5 b) 中的限值。

重复步骤 a) 和 b)，完成表 14 中 60mA 和 150mA 残余电流突变值及保护时间的测试。

注：如果有多路输入，且电路分析有同样的原理及可能的测试结果，则并不必逐一测试。对于大功率逆变器，可以采用电阻来代替电容或与电容组合来产生需要的电流，前提是采用的监测方法和电路经分析证明能够精确地测量电阻、电容和混合电流。

11.3 基本功能验证

11.3.1 自动开关机

逆变器应能在制造商规定的电压范围内，自动开关机。

调节直流输入源，使输入从低于逆变器允许工作范围的下限开始增加，当输入条件高于允许范围下限时，逆变器应能自动开机；待逆变器工作稳定后，调节直流输入源使输入下降到低于允许范围下

限时，逆变器应能自动关机。

11.3.2 通信功能验证

通过 RS485 等转换器与 PC 机（上位机）连接，设定逆变器在通信状态下；可采用专用监控管理软件验证逆变器通信功能。应能保证数据传输正确，能进行参数设定，无任何出错信息或明显传输延迟。

采用同样方法分别在常温条件下、极限工作温度下和电磁兼容试验中验证逆变器的通信功能。

11.4 性能测试

11.4.1 一般要求

11.4.1.1 试验平台连接

图 10 给出了逆变器电性能试验的参考电路，测试要求如下：

- 1) 逆变器的直流输入源应为光伏方阵或光伏方阵模拟器；直流输入源的容量和最大输出电流要求不小于被测逆变器的最大输入功率和最大输入电流。
- 2) 电网模拟电源容量要求不小于被测逆变器的最大输出功率，输出的电压、频率能在一定的范围内调节。若电网模拟电源能完全吸收逆变器输出的电能，也可采用图 11 电路进行试验。

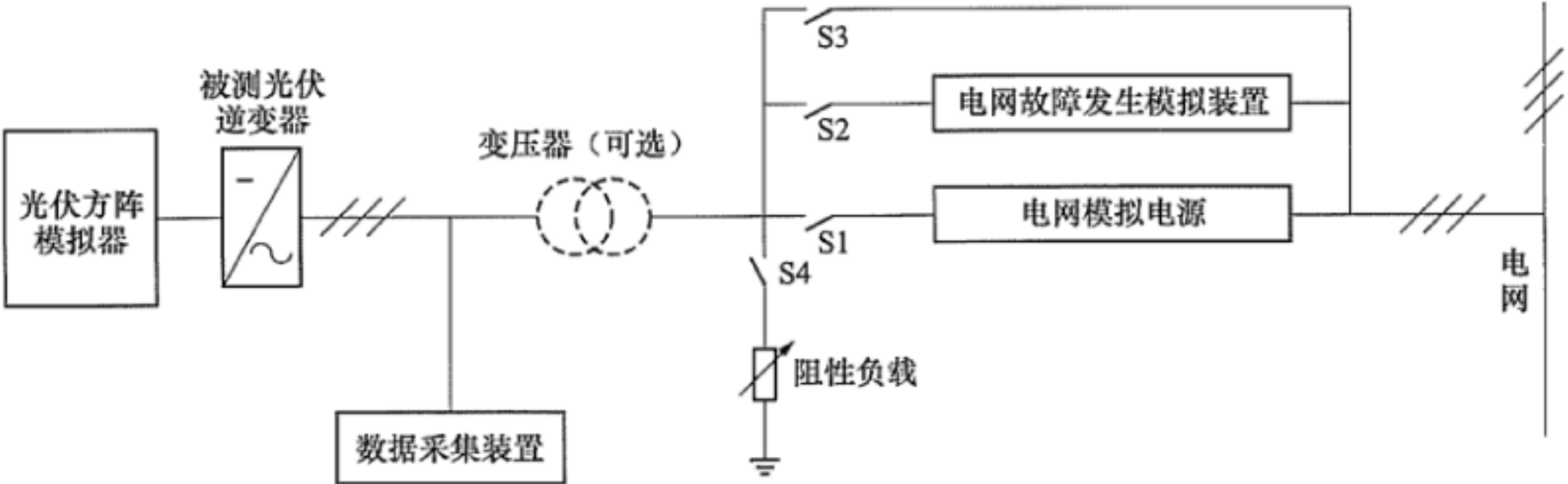


图 10 逆变器测试平台（一）

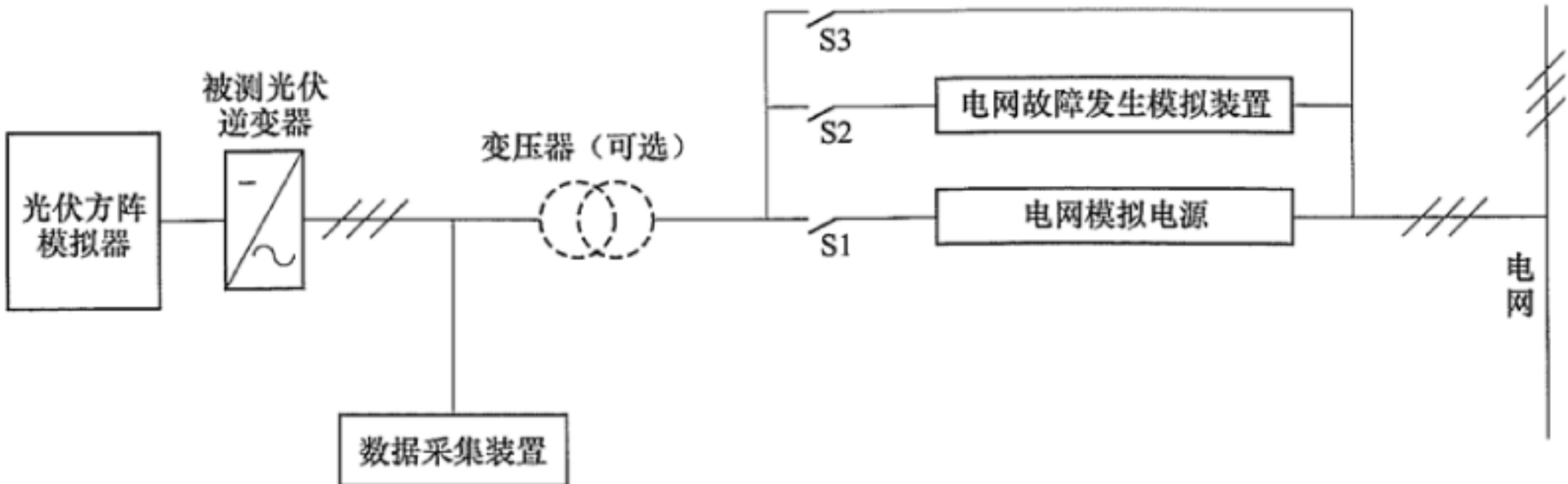


图 11 逆变器测试平台（二）

11.4.1.2 试验参数误差

试验过程中允许的试验误差若无规定，则按表 39 的规定。

表 39 试 验 参 数 允 差

参数	测量准确度
电流（交直流）	±1%
电压（交直流）	±1%
功率因数	±0.01
频率	±0.01Hz

11.4.2 电气参数验证

在 11.1 规定的参考试验条件下运行时，测得的连续输入电流或功率及相应的 MPPT 电压范围应满足 8.1.1 的要求；测得的连续输出电流或功率应满足 8.1.2 的要求。

将逆变器启动并置于额定工作状态，调整逆变器的输入电压（升压或降压），记录逆变器停止工作时的电压上限值和下限值。

11.4.3 效率测试

11.4.3.1 最大转换效率

在逆变器额定输出工作电压下，测量得到最大的转换效率应符合 8.2 的规定。

11.4.3.2 MPPT 效率

MPPT 效率包括动态 MPPT 效率及静态 MPPT 效率，测量方法按 EN 50530—2010 的要求进行或参见附录 C。被测逆变器如有多个独立的直流输入端口，则每一路都需要进行测试。除非制造商另行规定，总功率一定会平均分配到每一个输入端口。

11.4.3.3 转换效率

测量负载点为 5%、10%、20%、25%、30%、50%、75%、100%以及可输出最大效率点处的转换效率，并以曲线图的形式在试验报告中给出。被测逆变器如有多个独立的直流输入端口，则每一路都需要进行测试。除非制造商另行规定，总功率一定会平均分配到每一个输入端口。测量方法具体参见附录 C。

在环境试验时，测量并记录逆变器在高低温环境下的转换效率，结果在试验报告中给出。

11.4.3.4 加权总效率

按照中国典型太阳能资源区的效率权重系数计算出不同输入电压下的加权总效率 $\eta_{t,i}$ ，见公式（11）。

$$\eta_{t,i} = \sum_{i=1}^7 \alpha_i \cdot \eta_{\text{conv},i} \cdot \eta_{\text{MPPTstat},i} \quad (11)$$

式中：

α_i ——权重系数，其值见附录 C 中的表 C.2；

$\eta_{\text{conv},i}$ ——各功率下的测量所得转换效率；

$\eta_{\text{MPPTstat},i}$ ——各功率下的测量所得静态 MPPT 效率。

在试验报告中描绘出按照权重系数所计算出不同电压下的总效率曲线。

对不同电压下的加权总效率求平均之后得出逆变器平均加权总效率 $\eta_{t,C}$ ，见公式（12）：

$$\eta_{t,C} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \eta_{t,i} \quad (12)$$

11.4.4 并网性能测试

11.4.4.1 电能质量

11.4.4.1.1 谐波和波形畸变

将逆变器启动并置于正常工作状态,测量逆变器输出电流谐波(即谐波子群值),基本测量时间间隔为 0.2s (10 个周波),累积时间间隔为 3s (150 周波),连续采样时间不少于 1min,总电流谐波畸变率 (THD) 取最大值,分次电流谐波取方均根值。

验证逆变器在不同工作状态下,即 30% P_N 、50% P_N 、100% P_N 时的 THD 和分次电流谐波。要求均满足 8.3.1.1 的规定。

11.4.4.1.2 功率因数

将逆变器启动并置于正常工作状态,测量逆变器输出端功率因数。验证逆变器在不同工作状态下,即 30% P_N 、50% P_N 、75% P_N 、100% P_N 时功率因数。要求均满足 8.3.1.2 的规定。

11.4.4.1.3 三相电流不平衡度

将逆变器启动并置于正常工作状态,测量逆变器输出端三相电流不平衡度。

对于设备供电引起的电流负序不平衡度测量值的 10min 方均根值的 95% 概率大值,以及测量值中的最大值应不大于要求规定值。

三相电流不平衡度测量仪器应满足测量要求,累积时间间隔为 3s,按均方根取值。电流输入信号基波分量的每次测量取 10 个周波的间隔。对于离散采样的测量一起推荐按下式计算:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \varepsilon_k^2} \quad (13)$$

式中:

ε_k ——在 3s 第 k 次测得的不平衡度;

m ——在 3s 内均匀间隔取值数 ($m \geq 6$)。

验证逆变器在不同工作状态下: 30% P_N 、50% P_N 、75% P_N 、100% P_N 时三相电流不平衡度。

要求均满足 8.3.1.3 的规定。

注: 此项测试项目是针对三相逆变器,单相逆变器此项不适用。

11.4.4.1.4 直流分量

将逆变器启动并置于正常工作状态,测量逆变器输出端直流分量,连续采样时间不少于 1min,取绝对值最大值。验证逆变器在不同工作状态下,即 30% P_N 、50% P_N 、75% P_N 、100% P_N 时直流分量。要求均满足 8.3.1.4 的规定。

11.4.4.2 有功功率控制

11.4.4.2.1 变化率控制

检测步骤如下:

- 调节逆变器的启动和停机,可预先设置逆变器的启停机有功功率变化速率;
- 使用数据采集装置分别记录启动后 10min 和停机前 10min 逆变器交流侧有功功率,以每 0.2s 有功功率平均值为一数据点,以时间轴为横坐标,绘制实测曲线,要求有功功率变化率及在测得的

有功功率值与理论值的偏差在 8.3.2.1 要求的范围内；

- c) 并用示波器或录波装置采集交流电流波形，要求启停机过程中测得的最大交流峰值电流满足 8.3.2.1 的要求。

11.4.4.2.2 给定值控制

检测步骤如下：

- a) 调节光伏方阵模拟器使逆变器输出有功功率达到额定值 P_N ；
- b) 应按照图 12 的设定曲线控制逆变器输出有功功率，并在每个功率控制目标值上保持 2min；
- c) 使用数据采集装置记录逆变器交流侧电压与电流，至少每 0.2s 计算有功功率平均值，以 0.2s 为一个点绘制有功功率实测曲线；
- d) 计算有功功率控制的控制精度和响应时间。

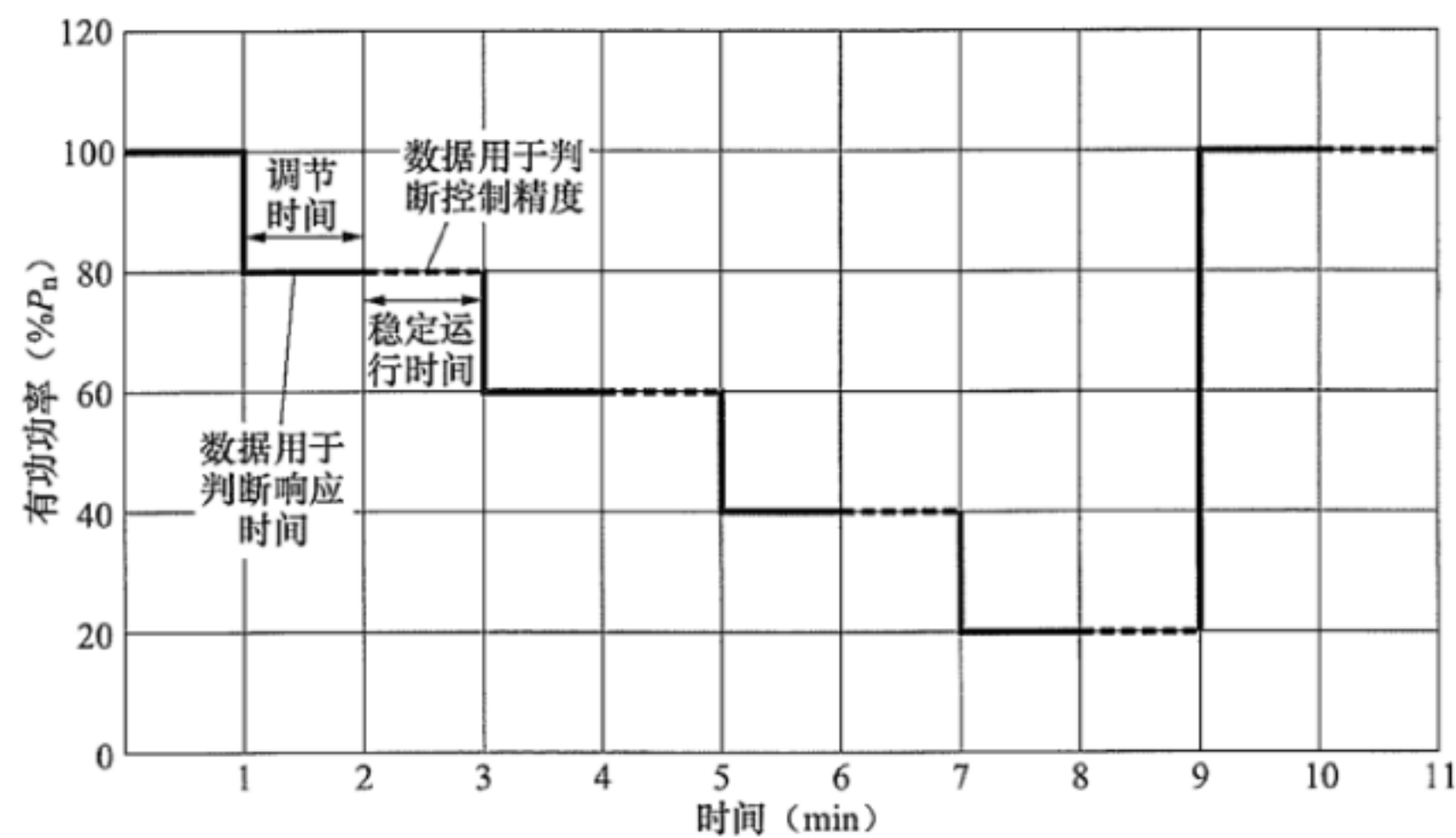


图 12 有功功率控制曲线

11.4.4.2.3 过频降额控制



检测步骤如下：

- a) 调节光伏方阵模拟器使逆变器在标称频率和标称电压条件下分别运行 $10\%P_N\sim30\%P_N$ 和 $70\%P_N\sim90\%P_N$ 两种工况下；
- b) 调节电网模拟电源在标称电压下输出频率按照表 40 设置频率，频率阶跃时间不应大于 20ms，频率保持时间不应小于 30s；
- c) 通过数据采集装置记录稳态区间中交流侧电压与电流的数据，至少每 0.2s 计算有功功率平均值；
- d) 计算过频降额响应时间、调节时间、有功功率稳态均值和控制精度。

表 40 过频降额测试点

序号	机端频率 f Hz	频率波动波形
1	50.5	
2	50.3	
3	50.1	
4	49.9（如适用）	

表 40 (续)

序号	机端频率 f Hz	频率波动波形
5	49.7 (如适用)	
6	49.5 (如适用)	

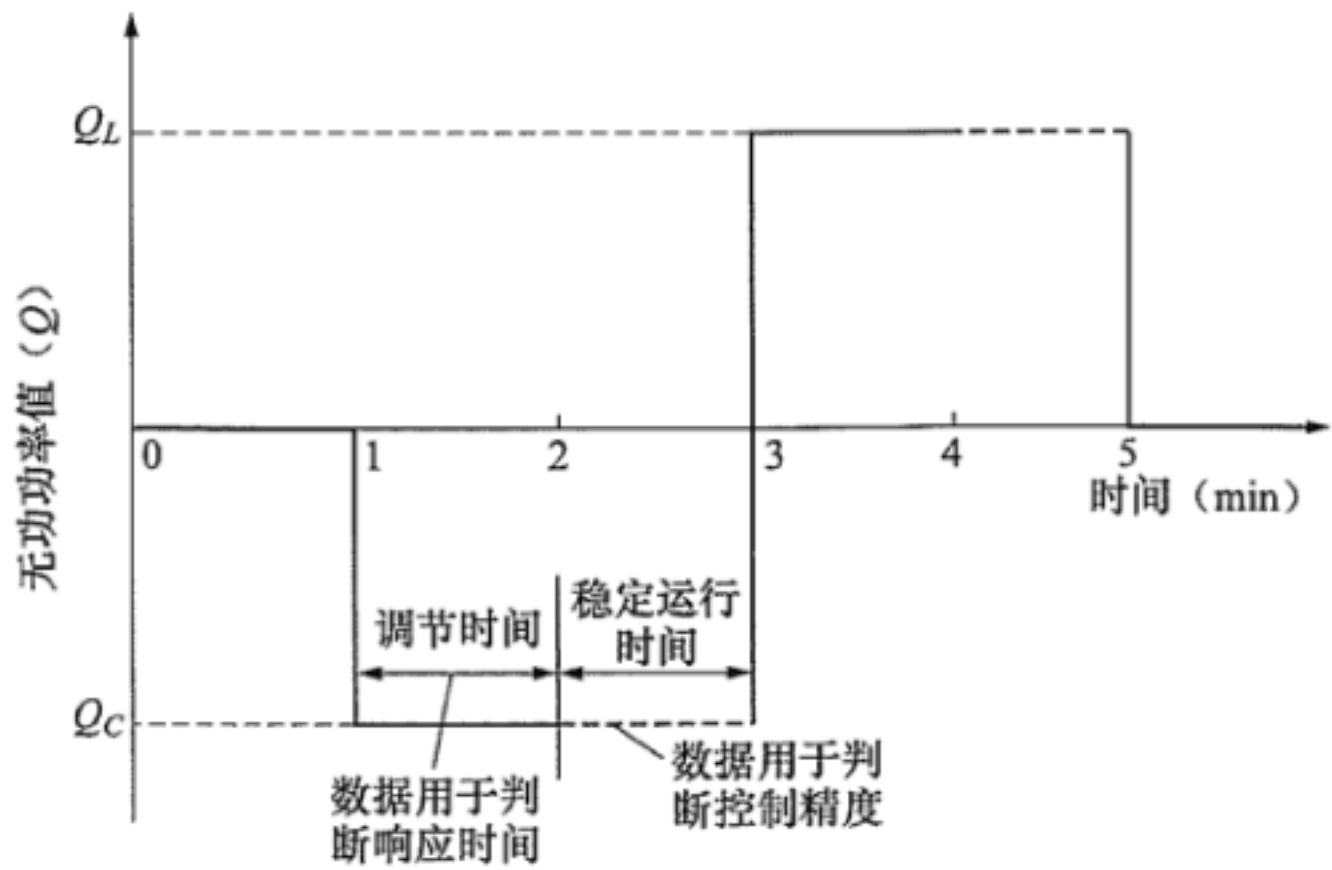
11.4.4.3 电压/无功调节

11.4.4.3.1 无功功率容量

- 检测步骤如下：
- a) 调节光伏方阵模拟器使逆变器输出有功功率达到额定值 P_N ；
 - b) 调节逆变器运行在输出最大感性无功功率工作模式；
 - c) 使用数据采集装置记录 2min 有功功率和无功功率，计算 2min 内有功功率和无功功率的平均值；
 - d) 分别调节逆变器输出的有功功率为 $90\%P_N$ 、 $80\%P_N$ 、 $70\%P_N$ 、 $60\%P_N$ 、 $50\%P_N$ 、 $40\%P_N$ 、 $30\%P_N$ 、 $20\%P_N$ 及 $10\%P_N$ ，重复步骤 b) ~ c)；
 - e) 调节逆变器运行在输出最大容性无功功率工作模式，重复步骤 b) ~ d)；
 - f) 以有功功率为横坐标，无功功率为纵坐标（感性为正，容性为负），绘制逆变器功率包络图。

11.4.4.3.2 无功功率控制

- 检测步骤如下：
- a) 设定被测逆变器输出有功功率为 $50\%P_N$ ；
 - b) 不限制逆变器的无功功率变化，按照图 13 的设定曲线控制逆变器输出的无功功率；
 - c) 使用数据采集装置在逆变器交流侧记录无功功率，以至少每 0.2s 无功功率平均值为一点，记录实测曲线；
 - d) 计算无功功率控制的功率控制精度和响应时间。



注： Q_L 和 Q_C 为 11.4.4.3 测量所得的 $50\%P_N$ 工况下，逆变器输出的最大感性无功和最大容性无功。

图 13 无功功率控制曲线

11.4.4.3.3 控制模式切换

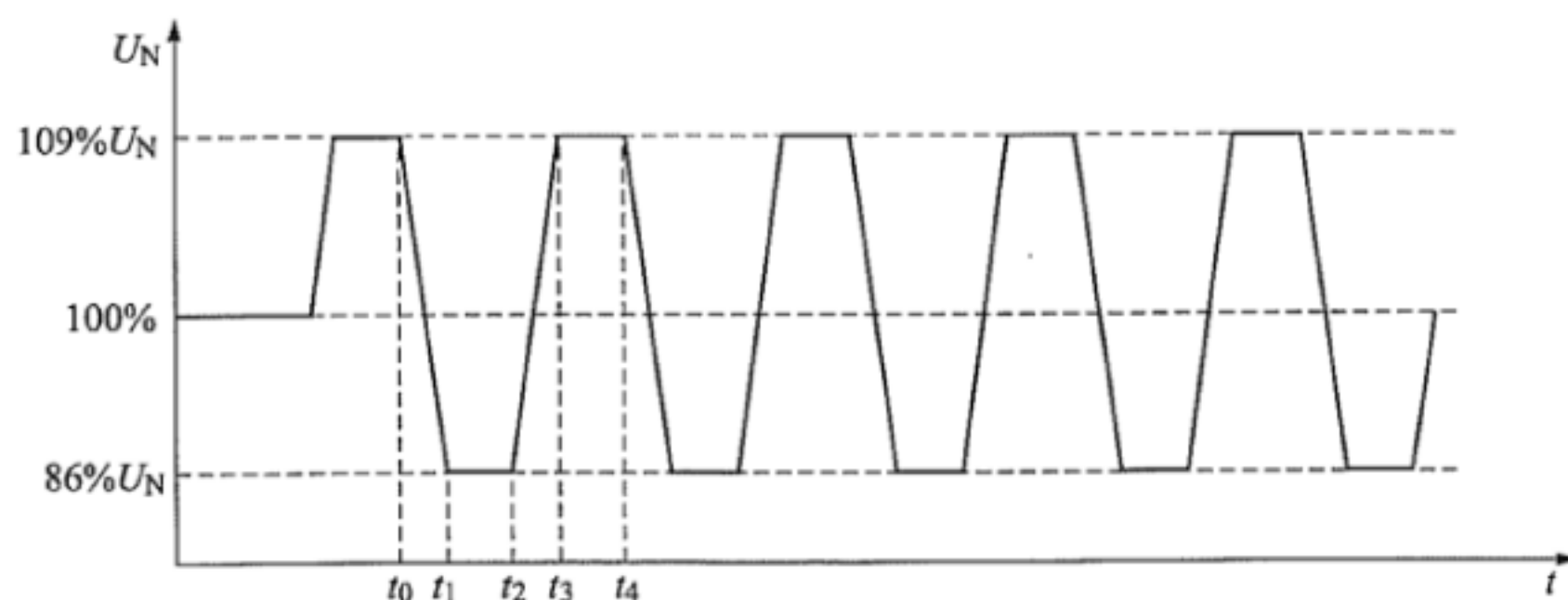
控制模式切换检测应按如下步骤进行：

- a) 通过无功控制系统设置逆变器无功运行方式为恒无功控制模式;
 - b) 待系统稳定运行不小于 30s 后切换至恒电压控制模式;
 - c) 待系统稳定运行不小于 30s 后切换至恒无功控制模式;
 - d) 保持稳定运行至少 30s;
 - e) 使用数据采集装置在逆变器交流侧记录无功功率, 以每 0.2s 有功功率平均值为一, 记录实测曲线;
 - f) 设置逆变器无功运行方式在恒无功控制模式与恒功率因数控制模式间切换, 重复步骤 a) ~e);
 - g) 设置逆变器无功运行方式在恒电压控制模式与恒功率因数控制模式间切换, 重复步骤 a) ~e)。
- 在模式切换期间如逆变器无法稳定运行, 则每个控制模式运行至少 5min。

11.4.4.4 电压适应性

电压适应性试验步骤如下:

- a) 使逆变器运行在额定功率下;
- b) 调节电网模拟电源在标称频率下三相输出电压按照图 14 的曲线在 $86\%U_N$ 与 $109\%U_N$ 之间连续阶跃 5 次, 逆变器应保持并网状态运行;
- c) 通过数据采集装置记录逆变器交流侧电压、电流数据。



注 1: 电压阶跃时间 (即 t_0 与 t_1 、 t_2 与 t_3 的间隔时间) 应尽可能快, 一般不宜超过 20ms。

注 2: 电压维持时间 (即 t_1 与 t_2 、 t_3 与 t_4 的间隔时间) 应至少为 20s。

图 14 电压适应性测试曲线

11.4.4.5 故障穿越

11.4.4.5.1 测试要求

11.4.4.5.1.1 低电压穿越

低电压穿越试验依据 NB/T 32005 规定的测试方法进行, 检测装置宜使用阻抗分压原理模拟电网电压跌落, 原理如图 15 所示。图中 X_1 为限流电抗, 用于限制电压跌落对电网的影响; X_2 为短路电抗。检测时, 断开开关 S1, 闭合开关 S2, 可模拟电网故障时的电压跌落。

限流电抗和短路电抗均可调, 通过调节电抗可以在测试点产生不同深度的电压跌落。检测设备电压跌落点应至少为 5 个, 电压跌落点应包含 0 且在 $(0\sim25\%)U_N$ 、 $(25\%\sim50\%)U_N$ 、 $(50\%\sim75\%)U_N$ 、 $(75\%\sim90\%)U_N$ 四个区间均有分布, 并按照表 41 选取故障时间。

各电抗器电抗值与电阻值之比 (X/R) 应至少大于 10, 测试点三相对称短路容量应为被测逆变器额定功率的 3 倍以上。

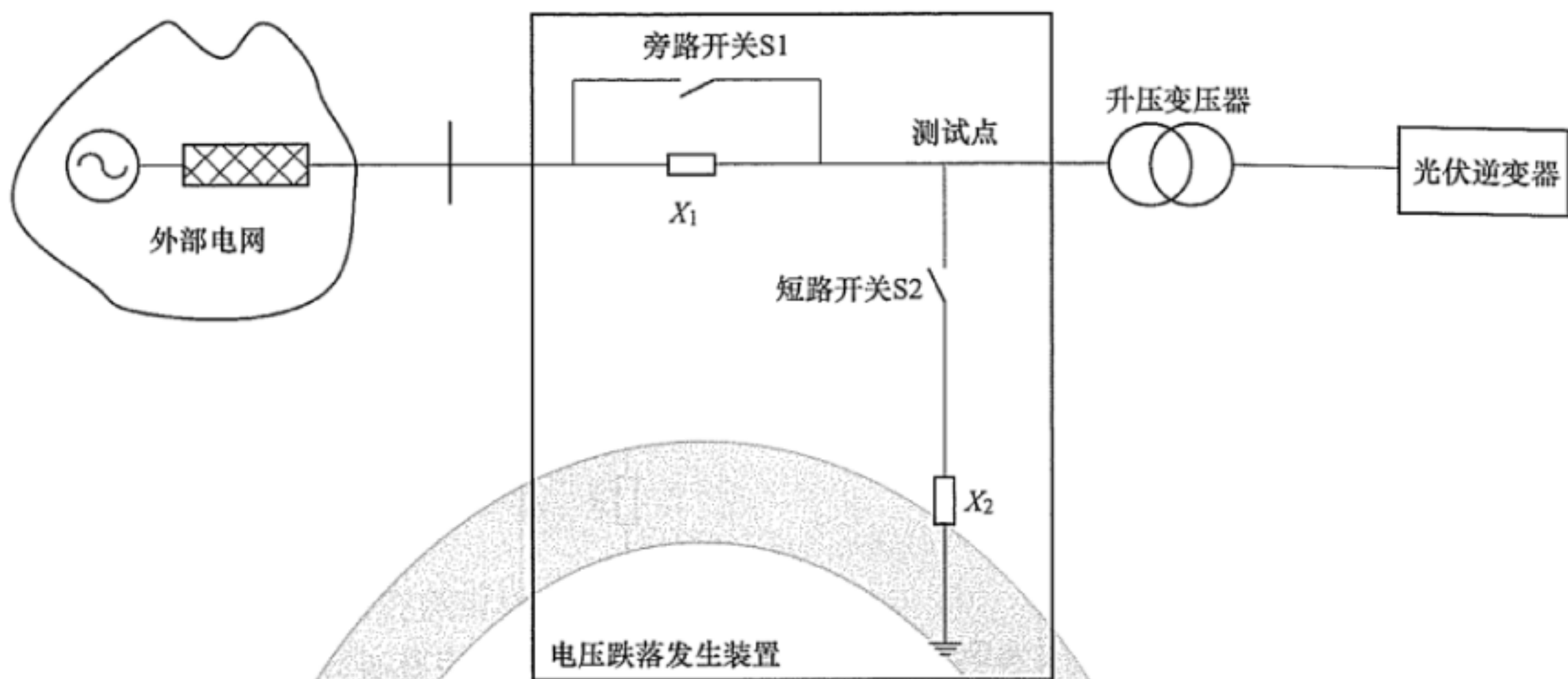


图 15 电压跌落发生装置示意图

表 41 电网电压跌落幅值及持续时间要求

规格	电压跌落幅值 U_{TP} 标么值	故障持续时间 ms	电压跌落波形
1	0.90—0.05	2000±20	
2	0.75±0.05	1705±20	
3	0.50±0.05	1214±20	
4	0.35±0.05	920±20	
5	0.20±0.05	625±20	
6	0.0±0.05	150±20	

11.4.4.5.1.2 高电压穿越

检测装置使用阻容分压原理在测试点模拟电网电压升高，原理如图 16 所示。图中 X_1 为限流电抗，用于限制电压升高对电网的影响；图中 Z_c 为升压容抗， R 为升压阻尼电阻。检测时，断开旁路开关 S_1 ，闭合升压开关 S_3 ，将升压容抗和升压阻尼电阻组成支路的三相或两相连接在一起，在测试点产生要求的电压升高。

限流电抗和升压容抗均可调，通过调节容抗可以在测试点产生不同的电压升高。高电压穿越检测应至少选取 2 个点，并在 $(110\% \sim 120\%) U_N$ 、 $(120\% \sim 130\%) U_N$ 两个区间内均有分布，并按照表 42 选取故障时间。

限流电抗的 X/R 均应大于 10。

表 42 电压升高幅值及持续时间要求

序号	电压升高幅值 U_{TP} p.u.	电压升高持续时间 ms	电压升高波形
1	1.20±0.02	10 000±20	
2	1.30±0.02	500±20	

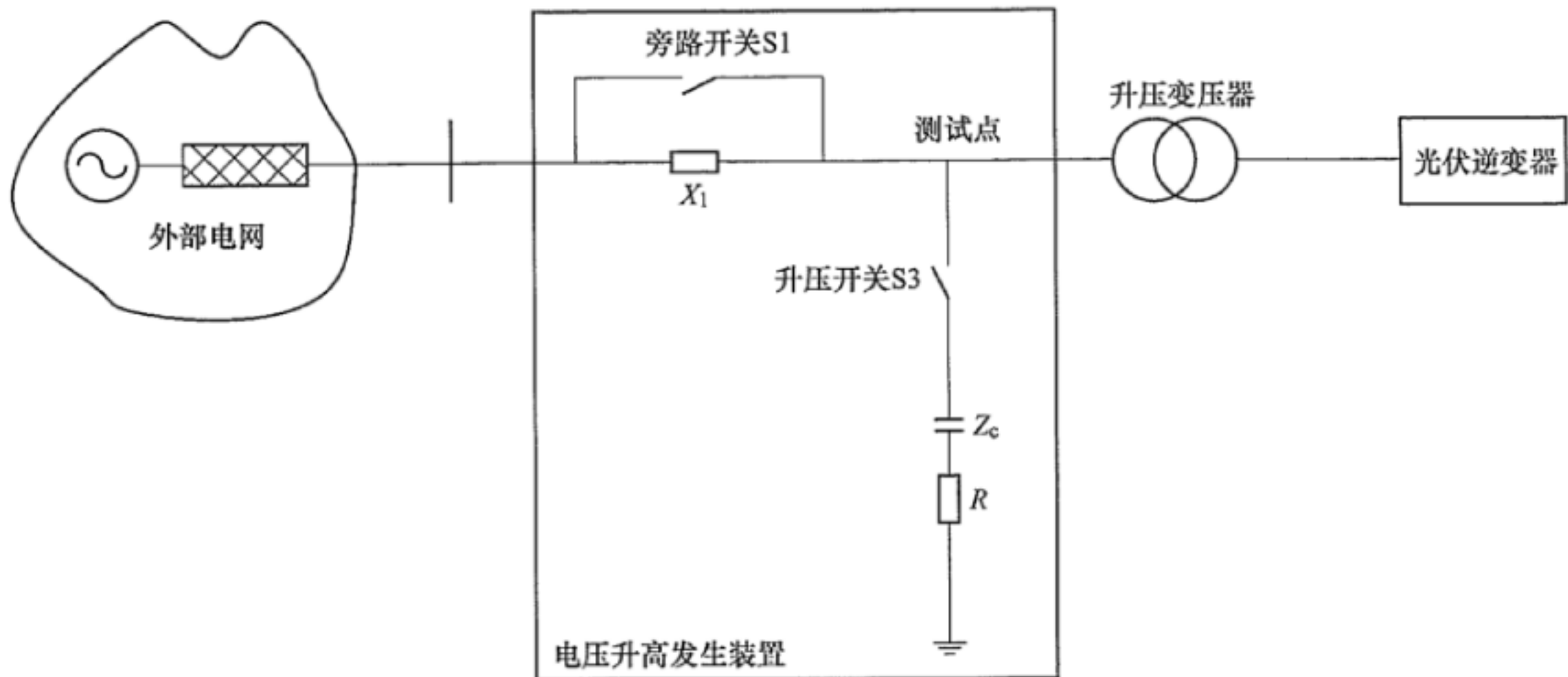


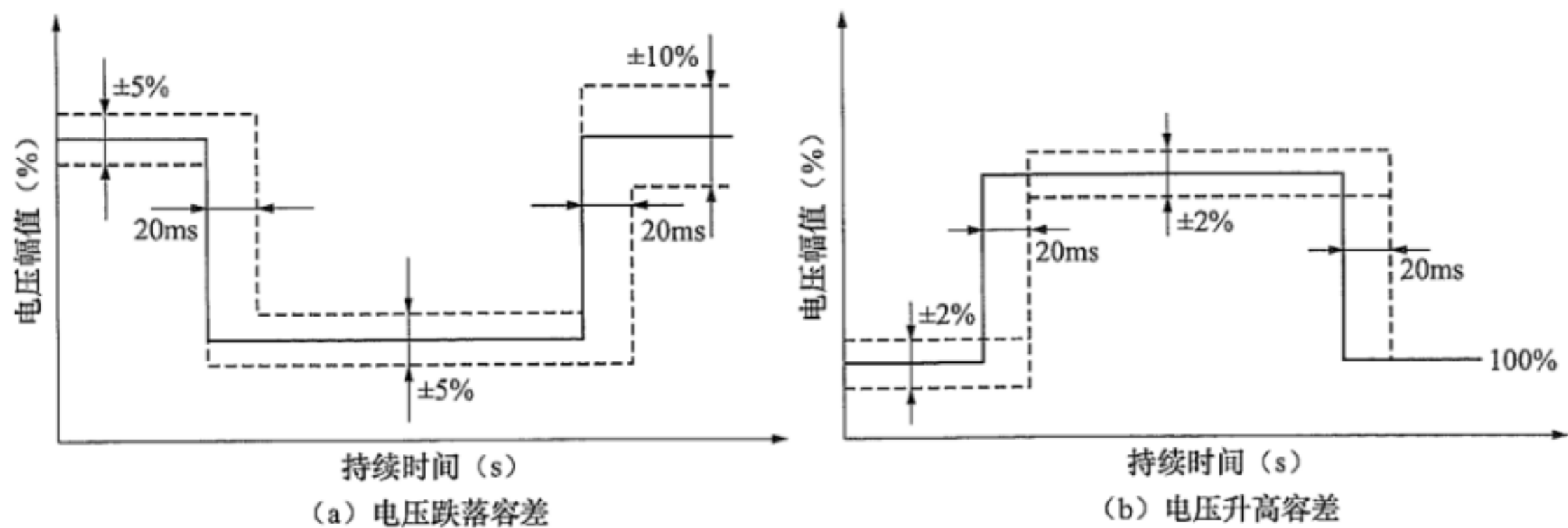
图 16 电压升高发生装置示意图

11.4.4.5.2 空载测试

逆变器投入运行前应先空载测试，步骤如下：

- a) 断开检测回路中逆变器的连接；
- b) 调节故障模拟装置，模拟线路三相对称故障，电压跌落点应满足本标准 8.3.5.1.1 的要求；
- c) 调节故障模拟装置，模拟表 18 中的 AB、BC、CA 相间短路或接地短路故障的一种，电压跌落点电压跌落点应满足本标准 8.3.5.1.1 的要求；
- d) 调节故障模拟装置，模拟线路三相电压抬升，电压抬升点应满足本标准 8.3.5.1.2 的要求；
- e) 故障模拟装置的电压阶跃时间不应大于 20ms。

空载测试时测量点电压跌落幅值和跌落时间的精度应满足图 17（a）的要求，其中电压跌落持续时间为短路开关闭合、断开之间的间隔时间；空载测试时测量点电压升高幅值和升高时间的精度应满足图 17（b）的要求，其中电压升高持续时间为升压开关闭合、断开之间的间隔时间。



注：0% U_N 和 20% U_N 跌落点电压跌落幅值容差为+5%。

图 17 空载测试时电压跌落容差

11.4.4.5.3 负载测试

在空载测试结果满足要求的情况下，可进行故障穿越负载测试。负载测试时故障模拟装置的配置应与空载测试保持一致。

- a) 将空载测试中断开的逆变器接入电网运行；
- b) 控制故障模拟装置进行三相对称电压跌落；

- c) 调节逆变器分别在 $0.1P_N \sim 0.3P_N$ 和不少于 $0.7P_N$ 两种工况下进行检测;
- d) 通过数据采集装置记录被测逆变器交流输出侧电压和电流的波形, 记录应包含故障前 10s 到故障恢复正常后 6s 之内的数据;
- e) 控制故障模拟装置进行不对称电压跌落, 重复步骤 c) ~d);
- f) 控制故障模拟装置进行三相对称电压抬升, 重复步骤 c) ~d);
- g) 每个故障点应连续做两次试验, 两次试验均通过方为通过。

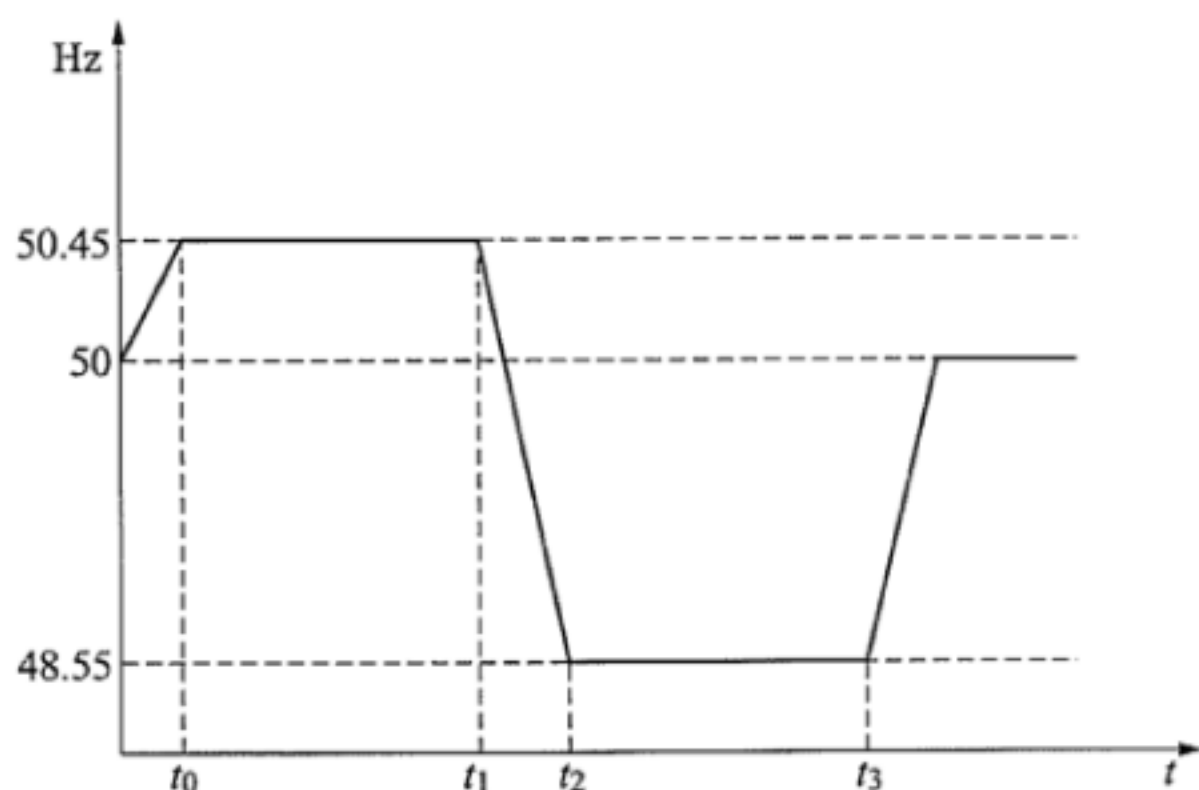
11.4.4.6 频率适应性

11.4.4.6.1 频率适应性试验

- 1) 使逆变器运行在额定功率下;

调节电网模拟装置在标称电压下输出频率按照图 18 的曲线在 48.55Hz 与 50.45Hz 之间连续变化, 逆变器应保持并网状态运行;

- 2) 通过数据采集装置记录逆变器交流侧电压、电流数据。



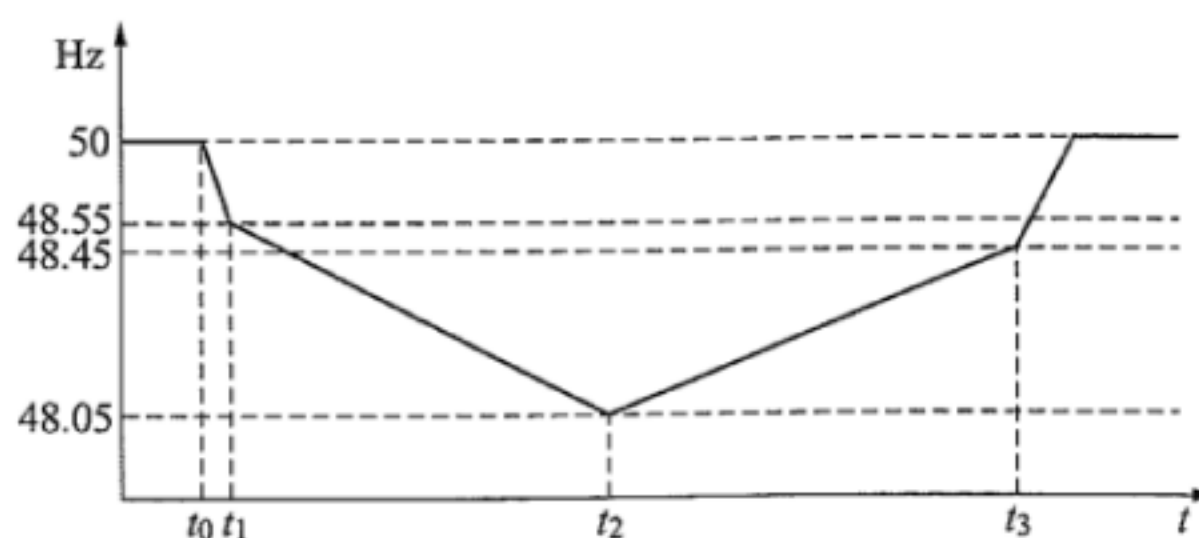
注 1: 频率维持时间 (即 t_0 与 t_1 、 t_2 与 t_3 的间隔时间) 应不小于 20min。

注 2: B 类逆变器, 设置的正常工作频率上限和上限值根据制造商声明的范围来确定。

图 18 频率适应性曲线

11.4.4.6.2 欠频适应性试验的步骤如下:

- 1) 使逆变器运行在额定功率下;
- 2) 调节电网模拟电源在标称电压下输出频率分别至 48.45Hz、48.05Hz 并保持时间 5min 后恢复额定值, 逆变器应保持并网状态运行;
- 3) 调节电网模拟电源在标称电压下输出频率按照图 19 的曲线从 50Hz 跳变到 48.55Hz 后按照恒定的速率缓慢降低到 48.05Hz 再升高到 48.45Hz, 逆变器应保持并网状态运行;



注 1: 频率阶跃时间 (即 t_0 与 t_1 的间隔时间) 应尽可能快, 一般不宜超过 20ms。

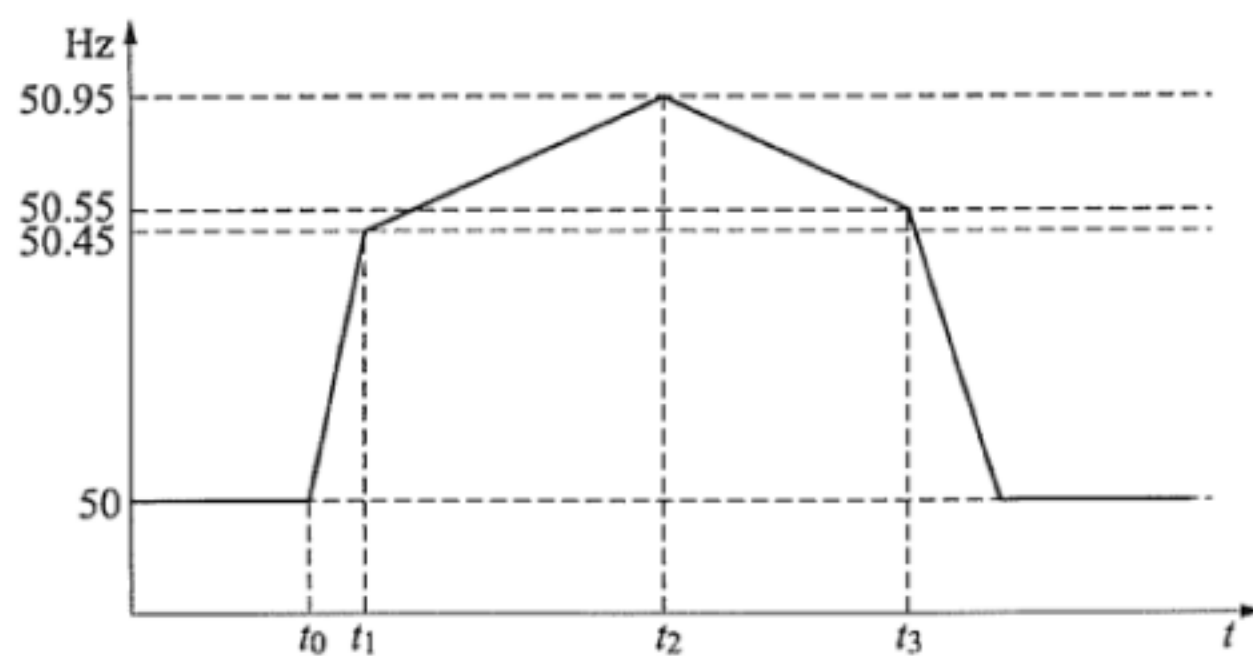
注 2: 频率维持时间 (即 t_1 与 t_3 的间隔时间) 应为 5min。

图 19 欠频适应性曲线

- 4) 通过数据采集装置记录逆变器交流侧电压、电流数据;
- 5) 依此类推, 重复步骤 2) ~ 4), 分别验证 $47.5\text{Hz} \leq f < 48.0\text{Hz}$, $47.0\text{Hz} \leq f < 47.5\text{Hz}$ 和 $46.5\text{Hz} \leq f < 47.0\text{Hz}$ 频率范围内的适应性试验, 其相应的频率保持时间依据表 19 的要求。

11.4.4.6.3 过频适应性试验的步骤如下:

- 1) 使逆变器运行在额定功率下;
- 2) 调节电网模拟装置在标称电压下输出频率分别至 50.55Hz、50.95Hz 并保持时间 3min 后恢复额定值, 逆变器应保持并网状态运行;
- 3) 调节电网模拟装置在标称电压下输出频率按照图 20 的曲线从 50Hz 跳变到 50.45Hz 后按照恒定的速率缓慢增长到 50.95Hz 再降低到 50.55Hz, 逆变器应保持并网状态运行;
- 4) 通过数据采集装置记录逆变器交流侧电压、电流数据;
- 5) 依此类推, 重复步骤 2) ~ 4), 验证 $51.0\text{Hz} < f \leq 51.5\text{Hz}$ 频率范围内的适应性试验, 其相应的频率保持时间依据表 19 的要求。



注 1: 频率阶跃时间 (即 t_0 与 t_1 的间隔时间) 应尽可能快, 一般不宜超过 20ms。

注 2: 频率维持时间 (即 t_1 与 t_3 的间隔时间) 应为 3min。

图 20 过频适应性曲线

11.4.4.7 电能质量适应性测试

11.4.4.7.1 谐波适应性

11.4.4.7.1.1 空载测试: 设置电压总谐波畸变率为指定值, 记录电压总谐波畸变率、各次谐波电压含有率和对应的调整参数; 设置各次谐波电压含有率 (2 次~25 次) 为指定值, 记录电压总谐波畸变率、各次谐波电压含有率和对应的调整参数。

11.4.4.7.1.2 负载测试: 测试时电压总谐波畸变率和各次谐波电压含有率对应的调整参数应与空载时保持一致。测试过程中逆变器平均有功功率输出应在额定功率的 50% 以上。测试时采用以下步骤:

- 1) 在额定电压和额定频率条件下保持逆变器正常运行。
- 2) 设定调整参数为空载测试时电压总谐波畸变率为指定值所对应的调整参数, 并开始计时, 持续 10min 后若逆变器未脱网则停止测试; 若逆变器脱网, 记录测试持续时间和逆变器脱网时间。
- 3) 恢复电压和频率为额定条件并保持逆变器正常运行, 设置调整参数为空载测试时第 3 次谐波含有率为指定值所对应的调整参数, 并开始计时, 持续 2min 后若逆变器未脱网则停止测试; 若逆变器脱网, 记录测试持续时间和逆变器脱网时间。
- 4) 各奇次电压谐波 (5 次~25 次) 的谐波电压适应性测试方法与第 3 步相同。
- 5) 恢复电压和频率为额定条件并保持逆变器正常运行, 设置调整参数为空载测试时第 2 次谐波含有率为指定值所对应的调整参数, 并开始计时, 持续 2min 后若逆变器未脱网则停止测试; 若

逆变器脱网，记录测试持续时间和逆变器脱网时间。

6) 各偶次电压谐波（4 次~24 次）的谐波电压适应性测试方法与第 5 步相同。

11.4.4.7.2 间谐波适应性

参考 11.4.4.7.1 的谐波适应性测试方法进行。

11.4.4.7.3 三相电压不平衡适应性

测试逆变器的三相电压不平衡适应能力，测试内容见表 43。

- a) 空载测试：通过降低一相或两相电压幅值或相位产生三相不平衡电压，分别记录当三相负序电压不平衡度为 2.0%和 4.0%时对应的调整参数。
- b) 负载测试：测试时每种工况的三相负序电压不平衡度设定值对应的调整参数应与空载时保持一致。测试过程中逆变器平均有功功率输出应在额定功率的 50%以上。测试时采用以下步骤：
 - 1) 在额定电压和额定频率条件下保持逆变器正常运行，设定调整参数为空载测试时负序电压不平衡度为 2.0%所对应的调整参数，并开始计时。若逆变器未脱网，则持续 30min 后停止测试；若逆变器脱网，记录测试持续时间和逆变器脱网时间。
 - 2) 在额定电压和额定频率条件下保持逆变器正常运行，设定调整参数为空载测试时负序电压不平衡度为 4.0%所对应的调整参数，并开始计时。若逆变器未脱网，则持续 1min 后停止测试；若逆变器脱网，记录测试持续时间和逆变器脱网时间。

表 43 逆变器三相电压不平衡适应性测试内容

三相电压不平衡度设定值 %	持续时间 min
2.0	30
4.0	1

11.4.4.7.4 闪变适应性

- a) 空载测试：设定闪变值大于等于 1，记录实测闪变值和对应的调整参数。
- b) 负载测试：测试时闪变设定值对应的调整参数应与空载时保持一致。测试过程中逆变器平均有功功率输出应在额定功率的 30%以上。测试时采用以下步骤：
 - 1) 在额定电压和额定频率条件下保持逆变器正常运行，设定与空载测试时相同的调整参数，并开始计时，持续 10min 后若逆变器未脱网则停止测试。
 - 2) 若逆变器脱网，记录测试持续时间和逆变器脱网时间。

11.4.5 电磁兼容测试

11.4.5.1 发射测试

- a) 制造商应在提供给用户的信息中规定逆变器的应用环境（即设备应用类别）。
- b) 需要测试 3 种工况：输出为额定电压，输入电压分别为宣称的满载 MPPT 下限、额定输入电压、MPPT 电压满载上限以及无直流输入状态。

11.4.5.1.1 传导发射

逆变器应在 11.4.5.1 要求工况下运行，参照 GB 4824 规定并在下述条件下进行试验：

- a) 测试频段: 150kHz~30MHz;
 - b) 测试端口: 输入输出电源端口、有限网络端口和信号/控制端口;
 - c) 测试限值: 参照 GB 4824 I 组 A 类或 B 类限值, 以及 IEC 62920 关于 A 类或 B 类限值。
- 注: 超出人工电源网络耐压极限的端口可使用电压探头测量。

11.4.5.1.2 辐射发射

逆变器应在 11.4.5.1 要求工况下运行, 参照 GB 4824 规定并在下述条件下进行试验:

- a) 测试频段: 30MHz~1000MHz;
- b) 测试端口: 外壳整体;
- c) 测试限值: 参照 GB 4824 I 组 A 类或 B 类限值。

11.4.5.2 抗扰度测试

11.4.5.2.1 静电放电抗扰度

静电放电抗扰度试验方法应满足 GB/T 17626.2 中的要求, 逆变器可在轻载状态下运行, 测试结果应满足本标准 8.4.2.3 的要求。

11.4.5.2.2 射频电磁场辐射抗扰度

射频电磁场辐射抗扰度试验方法应满足 GB/T 17626.3 中的要求, 逆变器可在轻载状态下运行, 测试结果应满足本标准 8.4.2.3 的要求。

11.4.5.2.3 电快速脉冲群抗扰度

电快速脉冲群抗扰度试验方法应满足 GB/T 17626.4 中的要求, 逆变器可在轻载状态下运行, 测试结果应满足本标准 8.4.2.3 的要求。

11.4.5.2.4 浪涌(冲击)抗扰度

浪涌(冲击)抗扰度试验方法应满足 GB/T 17626.5 中的要求, 逆变器可在轻载状态下运行, 测试结果应满足本标准 8.4.2.3 的要求。

11.4.5.2.5 射频场感应的传导骚扰抗扰度

射频场感应的传导骚扰抗扰度试验方法应满足 GB/T 17626.6 中的要求, 逆变器可在轻载状态下运行, 测试结果应满足本标准 8.4.2.3 的要求。

11.4.5.2.6 工频磁场抗扰度

工频磁场抗扰度试验方法应满足 GB/T 17626.6 中的要求, 逆变器可在轻载状态下运行, 测试结果应满足本标准 8.4.2.3 的要求。

11.4.5.2.7 电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度

电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验方法应满足 GB/T 17626.11 (适用于额定输出电流每相不大于 16A 的逆变器) 或 GB/T 17626.34 (适用于额定输出电流每相大于 16A 的逆变器) 中的要求, 逆变器可在轻载状态下运行, 测试结果应满足本标准 8.4.2.3 的要求。

如果逆变器的辅助电源使用外供电, 需要对辅助源的交流输入端口进行测试。

11.4.5.2.8 阻尼振荡波抗扰度

阻尼振荡波抗扰度试验方法应满足 GB/T 17626.18 中的要求, 逆变器可在轻载状态下运行, 测试结果应满足本标准 8.4.2.3 的要求。

11.4.5.2.9 振铃波抗扰度

振铃波抗扰度试验方法应满足 GB/T 17626.12 中的要求, 逆变器可在轻载状态下运行, 测试结果应满足本标准 8.4.2.3 的要求。

11.5 保护试验

11.5.1 一般要求

- a) 试验中未注明试验电路的按 11.4.1 的规定连接。
- b) 电气性能试验过程中允许的试验误差若无规定, 则按表 39 的规定。

11.5.2 过/欠压保护

11.5.2.1 直流输入侧过压保护

调节直流输入源的电压, 直至逆变器直流侧输入电压偏离允许直流输入电压范围, 逆变器的工作状态应符合 9.1.1 规定。

11.5.2.2 交流输出侧过/欠压保护

B 类逆变器应依据 NB/T 32009—2013 中 6.5~6.8 规定的测试方法分别进行过压慢速跳闸检测、过压快速跳闸检测、欠压慢速跳闸检测和欠压快速跳闸检测。

11.5.3 过/欠频保护

B 类逆变器, 将逆变器启动并置于正常工作状态, 调整电网模拟电源输出频率, 分别选取 $f < 47.5\text{Hz}$ 、 $47.5\text{Hz} \leq f < 49.5\text{Hz}$ 、 $f > 50.5\text{Hz}$ 内 3 个不同的频率值, 测量逆变器最大跳闸时间, 并要求处于停机状态的逆变器在以上频率范围内不得启机工作。分别测量 3 次, 要求均满足 9.2 要求。

A 类逆变器, 将逆变器置于停机状态, 调整电网模拟电源输出频率, 分别选取 $f < 48.5\text{Hz}$ 和 $f > 50.5\text{Hz}$ 内 3 个不同的频率值, 逆变器的工作状态应符合 9.2 的要求。

11.5.4 极性或相序错误保护

11.5.4.1 极性误接

将所有开关断开, 逆变器直流输入端正负极反接, 输出正确接线, 闭合所有开关, 逆变器应能自动保护并报警, 1min 后将逆变器直流输入端正确接线后, 逆变器应能正常工作符合 9.3.1 的要求。

将所有开关断开, 逆变器输入正确接线, 交流输出端相序任意反接, 闭合所有开关, 逆变器应能自动保护并报警, 1min 后将逆变器交流输出端正确接线后, 逆变器应能正常工作符合 9.3.1 的要求。若逆变器能实现交流相序自适应, 应在安装说明中注明。本要求只适用于三相逆变器。

11.5.4.2 交流缺相保护

将逆变器输出端逐一缺相连接, 输入、输出端通电加载工作电压时, 设备不能工作, 正确连接时

逆变器正常运行，符合 9.3.2 的要求。

逆变器正常运行时，将逆变器输出端逐一缺相，逆变器应能自动保护并停止工作，正确连接后逆变器应能正常运行并应符合 9.3.2 的要求。

11.5.5 直流输入过载保护

调节直流输入源，使其输出功率超过逆变器允许的最大直流输入功率，逆变器的工作状态应符合 9.4 要求。

11.5.6 短路保护

短路保护测试前，预先将需要短路的线路连接并采用继电器或类似装置断开，逆变器正常启动后再进行合闸短路操作。

- a) 单相逆变器将 L—N 接通，逆变器应在规定时间内断开并网回路，并报警。
- b) 三相逆变器分别将 A—B、B—C、A—C，A—N、B—N、C—N 接通，逆变器应在规定时间内断开并网回路，并报警。

要求均满足 9.5 的规定。

注：对于带隔离变压器的逆变器，短路处为隔离变压器的一次侧和二次侧。

11.5.7 防反放电保护

降低逆变器直流输入电压，测量逆变器直流侧应无反向电流。

11.5.8 防孤岛保护

B 类逆变器应依据 NB/T 32010 规定的测试方法和测试步骤进行防孤岛效应保护试验。图 21 给出了防孤岛效应保护试验平台，S1 为被测逆变器的网侧分离开关，S2 为被测逆变器的负载分离开关。测试使用 RLC 负载，使其在被测逆变器的额定频率上谐振，并与被测设备输出功率匹配。试验应在表 44 规定的条件下进行。表 45 为试验条件 A 情况下的负载不匹配状况，表 46 为试验条件 B 和试验条件 C 情况下的负载不匹配状况。要求测试并记录的保护时间都应符合 9.7 的规定。

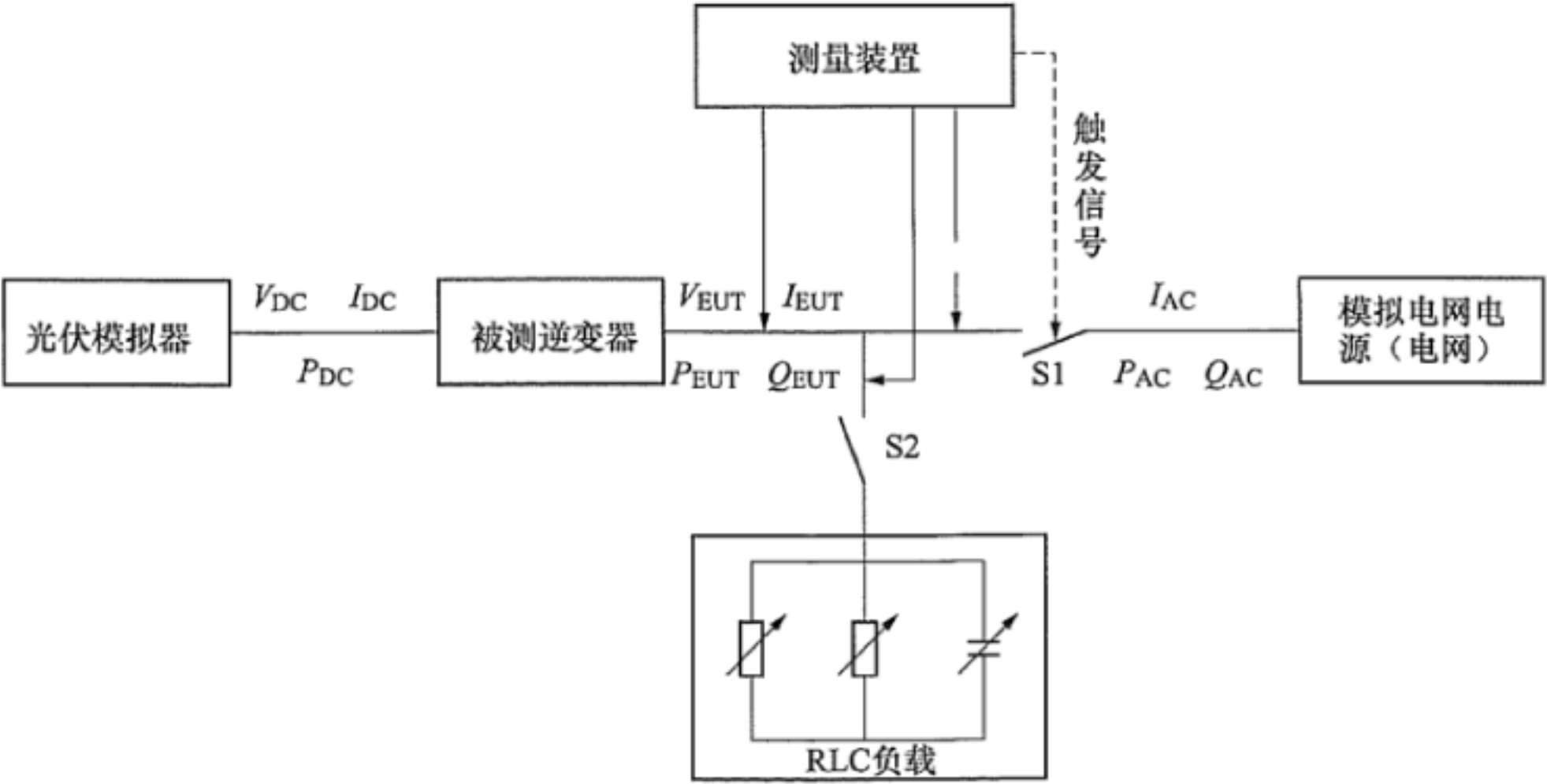


图 21 防孤岛效应保护试验平台

表 44 防孤岛效应保护的试验条件

条件	被测逆变器的输出功率 P_{EUT}	被测逆变器的输入电压 ^b	被测逆变器跳闸设定值 ^c
A	最大功率 ^a	> 直流输入电压范围的 75%	电压和频率触发值设定为标称值

表 44（续）

条件	被测逆变器的输出功率 P_{EUT}	被测逆变器的输入电压 ^b	被测逆变器跳闸设定值 ^c
B	50%~66%最大功率	直流输入电压范围的 50%±10%	电压和频率触发值设定为标称值
C	25%~33%最大功率	<直流输入电压范围的 20%	电压和频率触发值设定为标称值

^a 被测逆变器最大功率输出条件应利用最大允许输入功率实现。

^b 如果直流输入电压范围在 X 电压与 Y 电压之间，90%的范围= $X+0.75\times(Y-X)$ 。 Y 不应超过 0.8 倍被测逆变器最大系统电压（即最大允许的阵列开路电压）。在任何情况下，被测逆变器都不应在允许输入电压范围以外工作。

^c 生产商应提供被测逆变器的电压和频率跳闸幅值和时间。如果被测逆变器的电压和频率跳闸幅值和时间可设置，宜将参数设置为下表要求的设置值，可满足大多数公共电网的要求。

参数	幅值	时限（S）
过电压	115%的标称电压	2
欠电压	85%的标称电压	2
过频率	高于标称频率 1.5Hz	1
欠频率	低于标称频率 1.5Hz	1

表 45 试验条件 A 情况下的负载不匹配状况

试验中负载消耗的有功功率、无功功率与额定值的偏差百分比 %				
-10, +10	-5, +10	0, +10	+5	+10, +10
-10, +5	-5, +5	0, +5	+5, +5	+10, +5
-10, 0	-5, 0		+5, 0	+10, 0
-10, -5	-5, -5	0, -5	+5, -5	-10, -5
-10, -10	-5, -10	0, -10	+5, -10	+10, -10

表 46 试验条件 B 和试验条件 C 情况下的负载不匹配状况

试验中负载消耗的有功功率、无功功率与额定值的偏差百分比 %	
	0, -5
	0, -4
	0, -3
	0, -2
	0, -1
	0, 1
	0, 2
	0, 3
	0, 4
	0, 5

11.5.9 恢复并网

依据 NB/T 32009—2013 中 6.11 规定的测试方法分别进行过压跳闸后重新并网检测、欠压跳闸后重

新并网检测、过频跳闸后重新并网检测和欠频跳闸后重新并网检测。

11.5.10 冷却系统

设备冷却系统按以下要求设置故障，可根据逆变器设置其中一个：

- a) 完全堵住或部分堵住进风口；
- b) 堵转或断开冷却风扇，一次一个；
- c) 循环水或其他冷却液应停止或部分限制。

逆变器能持续运行 7h 而不损坏，或者具有自动检测温度功能，温度超过允许值时自动停止工作。

注：要求在高温下验证冷却系统的故障试验。

11.5.11 防雷保护

检查逆变器是否具有防雷保护装置。

11.6 环境适应性测试

11.6.1 低温工作试验

试验方法按 GB/T 2423.1—2008 中试验 A 进行。逆变器无包装，在试验温度为 $-20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ （户内型）或 $-25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ （户外型）的条件下，通电加额定负载保持 2h，在标准大气条件下恢复 2h 后，逆变器应能正常工作。

11.6.2 高温工作试验

试验方法按 GB/T 2423.2—2008 中试验 B 进行。逆变器无包装，在试验温度为 $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ （户内型）或 $60^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ （户外型）的条件下，通电加额定负载保持 2h，在标准大气条件下恢复 2h 后，逆变器应能正常工作。

11.6.3 湿热试验

11.6.3.1 恒温湿热试验：试验方法按 GB/T 2423.3—2006 进行，试验温度为 $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ （户内型）或 $60^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ （户外型），相对湿度为 $90\% \pm 3\%$ ；要求逆变器无包装、不通电，经受 48h 试验后，取出样品，在正常环境条件下恢复 2h 后，应能正常工作。

11.6.3.2 交变湿热试验：试验方法按 GB/T 2423.4—2008 进行。试验温度为 $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ （户内型）或 $55^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ （户外型），循环次数：2 次；降温方式：方法 1；要求逆变器无包装、不通电，经受 48h 试验后，取出样品，在正常环境条件下恢复 2h 后，应能正常工作。

11.6.4 振动试验

逆变器振动试验的方法按 GB/T 2423.10—2008 要求。

频率范围：	10Hz~150Hz；	
振幅/加速度推荐：	振幅	0.075mm；
	加速度	1g；
振动持续时间：	3 个互相垂直的轴方向；	
扫频循环数：	10 个扫描周期/轴；	

振动试验后，试品应能正常启动工作。

注：大型逆变器振动替代方法正在考虑中。

11.6.5 外壳防护等级

逆变器外壳防护等级按照制造商声明的 IP 防护等级验证，测试方法依据 GB/T 4208。

逆变器的防护等级要求最低满足 5.6 要求。

注：大型逆变器防护等级验证可采用提供样柜的方法等效测试。

11.6.6 紫外暴露

紫外线暴露测试可通过检查设备的结构和外壳材料的防紫外线报告（或者保护涂层的相关数据）或采用下述方法进行测试：

按照 GB/T 16422.1 规定的测试方法，使用 GB/T 16422.4 规定的碳弧灯和 GB/T 16422.2 规定的氙弧灯分别进行测试。测试之后样品应没有明显的退化迹象，包括裂纹或破裂。

紫外辐射处理之后，样品在室温下保持 16h~96h，然后根据标准进行相关的试验。

11.7 外观及结构检查

逆变器设备应符合：

- a) 采用的元器件数量、质量应符合设计要求，元器件布局、安装应符合各自技术要求；
- b) 油漆或电镀应牢固、平整，无剥落、锈蚀及裂痕等现象；
- c) 机架面板应平整，文字和符号要求清楚、整齐、规范、正确；
- d) 标牌、标志、标记应完整清晰，符合 10.1 要求；
- e) 各种开关应便于操作，灵活可靠；
- f) 文档资料应符合 10.2 要求。

12 检验规则

12.1 总则

12.1.1 本标准提出的试验需在具有一定资质的检测机构进行。

12.1.2 试验应在与实际工作条件等效的条件下，或在能保证逆变器性能可满足使用要求的条件下进行。

12.2 检验分类

评定逆变器性能的试验包括：

- a) 出厂试验。为验证逆变器性能，保证其符合本标准和型式试验的相关要求，对组装后的逆变器必须逐台进行出厂试验。出厂试验合格后应给予出厂试验合格证明。

出厂试验时，只要有一项不符合规定要求，则允许返修复试。复试合格后方可给予出厂试验合格证明。

在进行转换效率和谐波与波形畸变测试时，可以只测试额定输入输出条件下的转换效率和总电流谐波含有率。

- b) 型式试验。型式试验是全面验证逆变器性能指标和质量是否符合本标准要求的一种试验。通过以下型式试验对逆变器质量进行评定。

c) 现场检查。验证逆变器在实际工况中运行的情况下的各性能状况等。

- d) 抽样试验。如果工程和统计分析表示出厂试验没有必要在每台逆变器上进行，而可由抽样试验来代替，相关的抽样试验方法可由制造商依据 GB/T 2828.1—2012 规定要求自行制定，并需在制造商产品生产质量管控文件中体现。

12.3 检验项目

逆变器检验项目汇总见表 47。

表 47 逆变器检验项目一览表

序号	测试项目	试验要求	试验方法	出厂检查	型式试验	
					A 类 逆变器	B 类 逆变器
1	安全要求	外观及结构检查	10.1	11.7	√	√
2		温度测试	6.1	11.2.1		√
3		试验指检查	6.2.1.2	11.2.2.1		√
4		保护连接	6.2.2.2	11.2.2.2	√	√
5		接触电流	6.2.2.2.5	11.2.2.3		√
6		冲击耐受电压	6.2.3.5	11.2.2.4.2		√
7		工频耐受电压	6.2.3.5	11.2.2.4.3	√	√
8		局部放电试验	6.2.3.6	11.2.2.4.7		√
9		电气间隙	6.2.3.3	11.2.2.4.6		√
10		爬电距离	6.2.3.4	11.2.2.4.6		√
11		危险能量等级	6.3.1	6.3.1		√
12		稳定性试验	6.4.3	11.2.3.1		√
13		搬运要求	6.4.4	11.2.3.2		√
14		接线端子要求	6.4.6	11.2.3.3		√
15		防火试验	6.5	11.2.4		√
16		噪声测试	6.6	11.2.5		√
17		方阵绝缘阻抗检测	6.7.1	11.2.6		√
18		方阵残余电流检测试验	6.7.2	11.2.7		√
19	基本功能	自动开关机	7.1	11.3.1	√	√
20		通信功能	7.2	11.3.2		√
21	性能要求	电气参数	8.1	11.4.2	√	√
22		最大转换效率	8.2	11.4.3.1		√
23		MPPT 效率	8.2	11.4.3.2		√
24		转换效率	8.2	11.4.3.3	√	√
25		平均加权总效率	8.2	11.4.3.4		√
26		谐波和波形畸变	8.3.1.1	11.4.4.1.1	√	√
27		功率因数	8.3.1.2	11.4.4.1.2		√
28		三相电流不平衡度	8.3.1.3	11.4.4.1.3		√
29		直流分量	8.3.1.4	11.4.4.1.4		√
30		有功功率控制	8.3.2	11.4.4.2		√

表 47 (续)

序号	测试项目	试验要求	试验方法	出厂检查	型式试验	
					A 类 逆变器	B 类 逆变器
31	性能要求	电压/无功调节	8.3.3	11.4.4.3	√	√
32		电压适应性	8.3.4	11.4.4.4	√	√
33		故障穿越	8.3.5	11.4.4.5	√	
34		频率适应性	8.3.6	11.4.4.6	√	√
35		谐波适应性	8.3.7.1	11.4.4.7.1	√	√
36		间谐波适应性	8.3.7.2	11.4.4.7.2	√	√
37		三相电压不平衡适应性	8.3.7.3	11.4.4.7.3	√	√
38		电压波动和闪变适应性	8.3.7.4	11.4.4.7.4	√	√
39	性能要求 (电磁兼容)	传导发射	8.4.1.1	11.4.5.1.1	√	√
40		辐射发射	8.4.1.2	11.4.5.1.2	√	√
41		静电放电抗扰度	8.4.2.3	11.4.5.2.1	√	√
42		射频电磁场辐射抗扰度	8.4.2.3	11.4.5.2.2	√	√
43		电快速脉冲群抗扰度	8.4.2.3	11.4.5.2.3	√	√
44		浪涌(冲击)抗扰度	8.4.2.3	11.4.5.2.4	√	√
45		射频场感应的传导骚扰抗扰度	8.4.2.3	11.4.5.2.5	√	√
46		工频磁场抗扰度	8.4.2.3	11.4.5.2.6	√	√
47		电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度	8.4.2.3	11.4.5.2.7	√	√
48		阻尼振荡波抗扰度	8.4.2.3	11.4.5.2.8	√	
49		振铃波抗扰度	8.4.2.3	11.4.5.2.9	√	
50	保护要求	过/欠压保护	9.1	11.5.2	√	√
51		交流输出侧过/欠压保护	9.2	11.5.3	√	√
52		极性或相序错误保护	9.3	11.5.4	√	√
53		直流输入过载保护	9.4	11.5.5	√	√
54		短路保护	9.5	11.5.6	√	√
55		防反放电保护	9.6	11.5.7	√	√
56		防孤岛效应保护	9.7	11.5.8		√
57		恢复并网	9.8	11.5.9	√	√
58		冷却系统	9.9	11.5.10	√	√
59		防雷保护	9.10	11.5.11	√	√
60	环境适应性要求	低温工作试验	5.1	11.6.1	√	√
61		高温工作试验	5.1	11.6.2	√	√
62		湿热试验	5.2	11.6.3	√	√
63		振动试验	5.4	11.6.4	√	√
64		外壳防护等级	5.6	11.6.5	√	√
65		紫外暴露	5.7	11.6.6	√	√

附 录 A
(规范性附录)
设备标识上使用的符号

设备标识上使用的符号见表 A.1。

表 A.1 设备标识上使用的符号

编号	符号	参考标准	描述
1		IEC 60417—5031	直流
2		IEC 60417—5032	交流
3		IEC 60417—5033	交直流
4		IEC 60417—5032-1	三相交流
5		IEC 60417—5032-2	三相交流带中线
6		IEC 60417—5017	接地
7		IEC 60417—5019	保护接地
8		IEC 60417—5020	框架或底座端子
9		ISO 7000—1641	参考操作说明书
10		IEC 60417—5007	开（电源）
11		IEC 60417—5008	关（电源）
12		IEC 60417—5172	通过双重绝缘或加强绝缘保护的設備
13		ISO 3864—5036	注意，电击危险
14		IEC 60417—5041	注意，灼热表面
15		ISO 7000—0434	注意危险
16		IEC 60417—5268	双稳按键开启
17		IEC 60417—5269	双稳按键关闭
18		IEC 60417—5034	输入端子或定额
19		IEC 60417—5035	输出端子或定额
20		IEC 60417—5448	双向端子或定额
21		IEC 60417—5036 IEC 60417—5416	注意，电击危险，能量存储定时释放 (放电时间标注在符号旁边)
22			注意听力损害危险，佩戴听力保护装置

附 录 B
(规范性附录)
湿 度 预 处 理

如果本标准其他条款要求在试验前对逆变器进行潮湿预处理,则按本附录要求进行。预处理时逆变器不通电。电子元器件、外盖和其他零部件,若能够徒手拆除,则应在拆除后与主体一同进行湿度预处理。

预处理在相对湿度为 $(92.5 \pm 2.5)\%$ 的湿度试验箱中进行。试验箱内空气温度保持在 $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。在加湿之前,设备先加热到 $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$,通常需要在该温度下放置至少4h。试验箱内的空气应流动起来,防止设备上出现凝露。设备在试验箱内保持48h。湿度试验后,允许在本标准第5章规定的环境条件下恢复2h后再进行后续的试验。恢复期间,无通风设备的外盖应打开。

附 录 C
(资料性附录)
逆变器效率测量

C.1 逆变效率

本附录定义的总逆变效率 η_t ，包括转换效率、最大功率点跟踪效率，并给出比单独的转换效率 η_{conv} 更精确的逆变器总效率的描述方式。最大功率点跟踪效率，根据不同的辐照强度 G 和组件温度 T ，保证从光伏方阵中得到最大的功率输出 P_{MPP} ；逆变器转换效率，有效地将可利用的直流功率 P_{DC} 转换为交流功率 P_{AC} 。

C.1.1 最大功率点跟踪 (MPPT) 效率

- a) 总体说明。MPPT 效率反映了逆变器的最大功率点在 PV 功率特性曲线上的设置精度。最大功率点跟踪效率分为静态 MPPT 效率和动态 MPPT 效率。两个效率均是通过对逆变器输入端的电压和电流瞬时值采样来测定。
- b) 静态 MPPT 效率。静态 MPPT 效率 $\eta_{\text{MPPT,stat}}$ 由下列测量值的平均值决定：

$$\eta_{\text{MPPT,stat}} = \frac{\sum_{i=1}^n U_{\text{DC},i} \cdot I_{\text{DC},i} \cdot \Delta T}{P_{\text{MPP,PVS}} \cdot T_m} \quad (\text{C.1})$$

式中：

$U_{\text{DC},i}$ ——逆变器输入电压的采样值；

$I_{\text{DC},i}$ ——逆变器输入电流的采样值；

T_m ——总测量周期（不小于 10min）；

ΔT ——连续两个采样值之间的周期（不大于 20ms）。

静态 MPP 效率反映的是在给定静态光伏组件的特性曲线上，逆变器调节跟踪最大功率点的精度。静态 MPP 效率的检测应按照表 C.1 所示的测试条件下进行。待被测设备输出稳定后，开始测量下列数据，测量时间为 3min。

注： $U_{\text{DC},i}$ 和 $I_{\text{DC},i}$ 必须是同一时间的采样值。

- c) 动态 MPP 效率。静态 MPP 效率没有考虑辐照强度变化及逆变器在不同运行工作点间的过渡转换等因素，动态 MPP 效率 $\eta_{\text{MPPT,dyn}}$ 则可用来评估逆变器暂态过程中的效率特性，定义如下：

$$\eta_{\text{MPPT,dyn}} = \frac{1}{\sum P_{\text{MPP,PVS},j} \cdot \Delta T_j} \sum U_{\text{DC},i} \cdot I_{\text{DC},i} \cdot \Delta T_i \quad (\text{C.2})$$

其中：

ΔT_j —— $P_{\text{MPP,PVS},j}$ 的采样间隔；

ΔT_i —— $U_{\text{DC},i}$ ， $I_{\text{DC},i}$ 的采样间隔。

C.1.2 转换效率

转换效率的检测应按照表 C.1 所示的测试条件下进行。

被测逆变器如有多个直流输入端口，则每一个输入端口参数配置应与制造商的要求相一致。除非制造商另行规定，光伏模拟器输出功率应平均分配到每一个输入端口。

注：转换效率的测量应与静态 MPPT 效率的测量同时进行。

表 C.1 转换效率测试规范

光伏模拟器 I/U 特性曲线的 MPPT 电压	I/U 特性	光伏模拟器 MPP 功率与额定直流功率之比 $P_{MPP,PVS}/P_{DC,r}$							
		0.05	0.10	0.20	0.25	0.30	0.50	0.75	1.00
U_{MPPmax}	晶硅组件								
$U_{MPPmin}+0.7\Delta U$	晶硅组件								
$U_{MPPmin}+0.5\Delta U$	晶硅组件								
$U_{MPPmin}+0.3\Delta U$	晶硅组件								
U_{MPPmin}	晶硅组件								
U_{MPPmax}	薄膜组件								
$U_{MPPmin}+0.7\Delta U$	薄膜组件								
$U_{MPPmin}+0.5\Delta U$	薄膜组件								
$U_{MPPmin}+0.3\Delta U$	薄膜组件								
U_{MPPmin}	薄膜组件								

根据上述规定测试条件调节光伏方阵模拟器的输出特性，待被测设备输出稳定后，开始测量下列数据，记录时间为 10min。

- 输入电压 U_{DC} ；
- 输入电流 I_{DC} ；
- 输出电压 U_{AC} ；
- 输出电流 I_{AC} 。

本标准没有规定特定的等待时间。被测逆变器测试时的等待时间应在测试报告中记录。如果被测逆变器输出一直不稳定，则等待时间应不小于 5min。利用式 (C.2) 计算转换效率并将结果填入检测报告。表 C.2 为中国太阳能资源逆变器加权系数表，利用式 (C.2) 可计算不同电压下加权点效率。

表 C.2 中国太阳能资源区逆变器加权效率的权重系数表

权重系数	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7
	0.02	0.03	0.06	0.12	0.25	0.37	0.15
$P_{MPP,PVS}/P_{DC,r}$	1	2	3	4	5	6	7
	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.75	1

C.2 动态 MPPT 效率测量方法

C.2.1 测试程序

动态 MPPT 效率的测试须依照下列程序进行。归一化辐照强度是辐照强度与标准测试条件 (STC) 下辐照强度的百分比，归一化辐照强度 100%表示辐照强度是 25℃时 1000W/m²的辐照条件。低辐照强度和中等辐照强度之间变动的测试程序如图 C.1 所示，中等辐照强度和强辐照强度之间变动时的测试程序如图 C.2 所示。

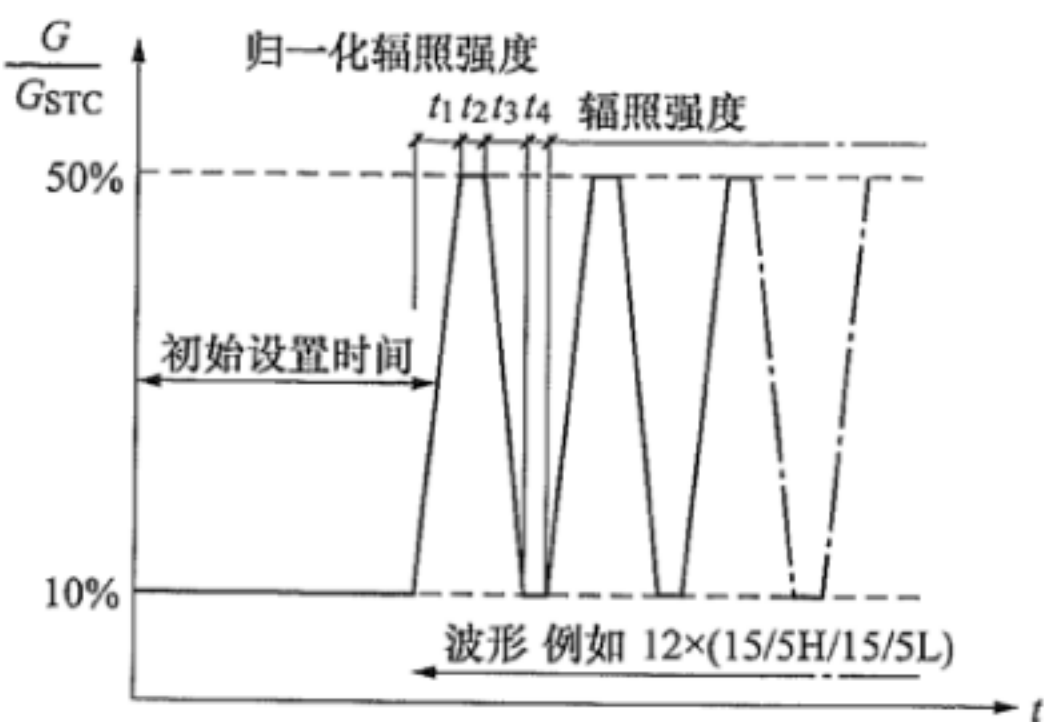
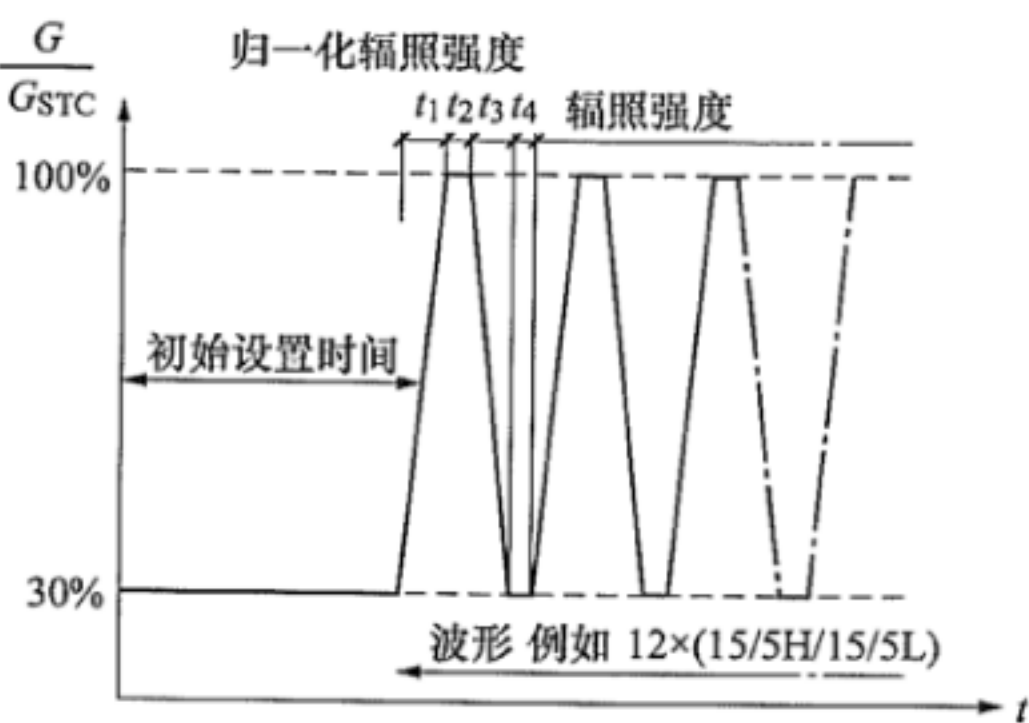


图 C.1 低辐照强度和中等辐照强度之间变动时的测试程序



说明： n 次循环，每个循环包括上升时间 t_1 ，在高值上的驻留时间 t_2 ，下降时间 t_3 和最后在低值上的驻留时间 t_4 。

图 C.2 中等辐照强度和强辐照强度之间变动时的测试程序

C.2.2 10%~50% $P_{DC,r}$ 测试程序

10%~50%动态最大功率点跟踪试验（对评价 MPPTdyn 有效）见表 C.3。

表 C.3 10%~50%动态最大功率点跟踪试验（对评价 MPPTdyn 有效）

辐照度区间 W/m^2	区间大小 W/m^2					等待时间 s
100~500	400					300
循环次数	步长 $W/(m^2/s)$	上升时间 s	驻留时间 s	下降时间 s	驻留时间 s	持续时间 s
2	0.5	800	10	800	10	3540
2	1	400	10	400	10	1940
3	2	200	10	200	10	1560
4	3	133	10	133	10	1444
6	5	80	10	80	10	1380
8	7	57	10	57	10	1374
10	10	40	10	40	10	1300
10	14	29	10	29	10	1071
10	20	20	10	20	10	900
10	30	13	10	13	10	767

表 C.3 (续)

循环次数	步长 W/ (m ² /s)	上升时间 s	驻留时间 s	下降时间 s	驻留时间 s	持续时间 s
10	50	8	10	8	10	660
					合计	15 936
注：P _{DCn} ，指逆变器额定直流输入功率。						

C.2.3 30%~100% P_{DC,r} 测试程序

30%~100%动态最大功率点跟踪试验（对评价 MPPTdyn 有效）见表 C.4。

表 C.4 30%~100%动态最大功率点跟踪试验（对评价 MPPTdyn 有效）

辐照度区间 W/m ²	区间大小 W/m ²					等待时间 s
300~1000	700					300
循环次数	步长 W/ (m ² /s)	上升时间 s	驻留时间 s	下降时间 s	驻留时间 s	持续时间 s
10	10	70	10	70	10	1900
10	14	50	10	50	10	1500
10	20	35	10	35	10	1200
10	30	23	10	23	10	960
10	50	14	10	14	10	780
10	100	7	10	7	10	640
					合计	6980

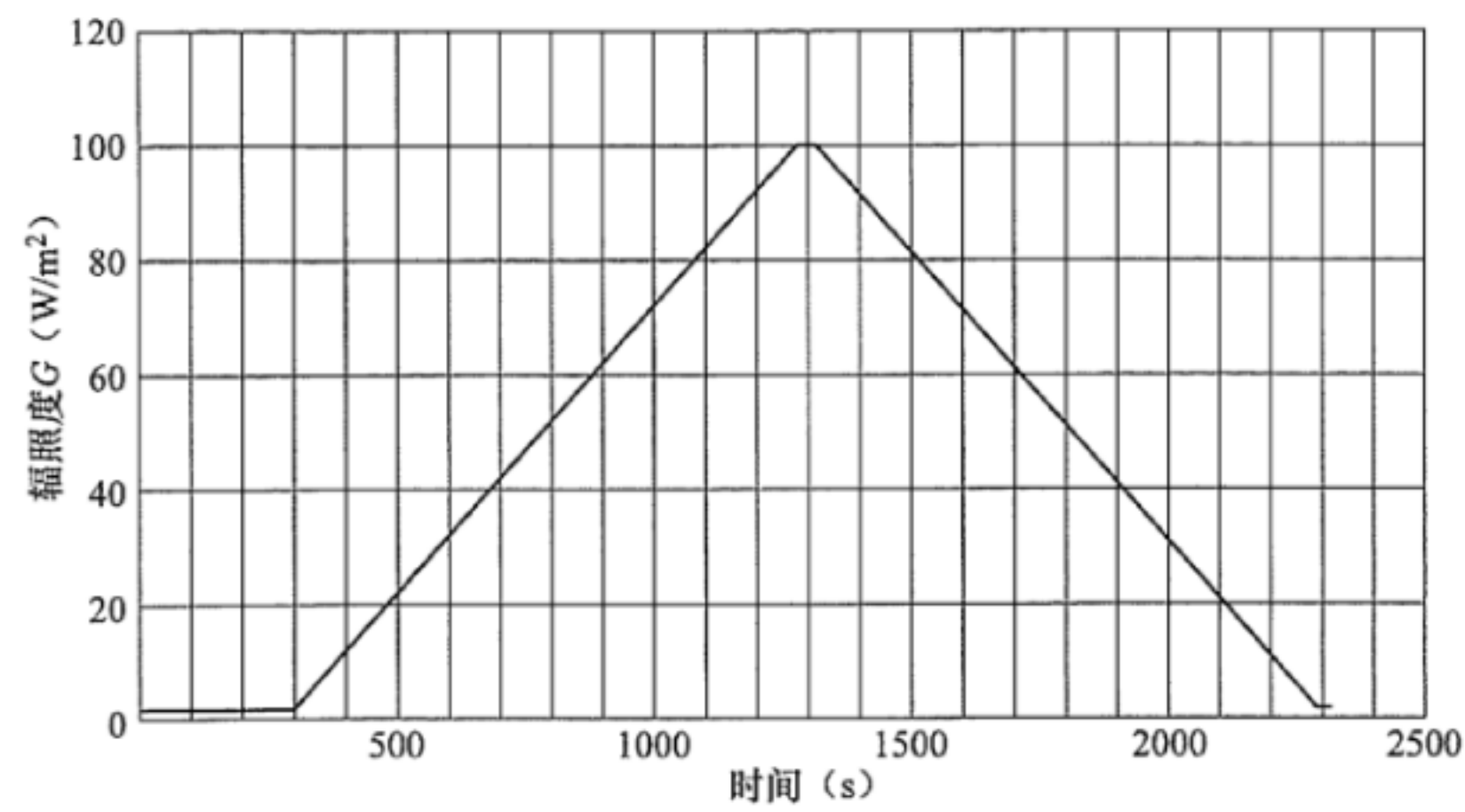
C.2.4 缓慢变化情况下的开关机测试

启动停机测试见表 C.5。

表 C.5 启动停机测试

辐照度区间 W/m ²	区间大小 W/m ²					等待时间 s
100~500	400					300
循环次数	步长 W/ (m ² /s)	上升时间 s	驻留时间 s	下降时间 s	驻留时间 s	持续时间 s
1	0.1	980	30	980	30	2320
					合计	2320

逆变器的启动和停止的试验程序如图 C.3 所示。



注：在非常低的辐照度时，光伏方阵模拟器的电压变化是非常快的。另外，因光伏方阵的模型在低的辐照强度下没有准确定义。因此，测试时，试验可能要开始于某一个小的直流功率，如被测逆变器额定功率 $P_{\text{DC},r}$ 的 0.5% 处开始。

图 C.3 逆变器的起动和停止的试验程序

C.2.5 试验总持续时间。

试验总持续时间为依据 C.2.2~C.2.4 条款试验程序测试所需的时间之和。

参 考 文 献

- [1] GB/T 191 包装储运图示标志
- [2] GB/T 3859.2—1993 半导体变流器 应用导则
- [3] GB 10593.1—2005 电工电子产品环境参数测量方法 第1部分：振动
- [4] GB/T 12325—2008 电能质量 供电电压偏差
- [5] GB/T 13384—2008 机电产品包装通用技术条件
- [6] GB/T 17045—2008 电击防护 装置和设备的通用部分
- [7] GB/T 20514—2006 光伏系统功率调节器效率测量程序
- [8] CNCA/CT S0002—2014 光伏并网逆变器中国效率技术条件
- [9] IEC 60309—1: 2005 (Plugs, socket-outlets and couplers for industrial purpose-General requirements)
- [10] IEC 62093: 2005 光电系统的系统平衡元部件. 设计鉴定自然环境 (Balance-of-system components for photovoltaic systems-Design qualification natural environments)
- [11] IEC 62109-1: 2010 光伏发电系统用电力转换设备的安全 第1部分：通用要求 (Safety of power converters for use in photovoltaic power systems-Part 1: General requirements)
- [12] IEC 62109-2: 2011 光伏发电系统用电力转换设备的安全 第2部分：对逆变器的特殊要求 (Safety of power converters for use in photovoltaic power systems-Part 2: Particular requirements for inverters)
- [13] EN 50178: 1997 用于电力安装的电气设备 (Electronic equipment for use in power installations)
- [14] UL 1741—2010 分布式能源用逆变器, 变换器, 控制器及系统互联设备 (Inverters, Converters, Controllers and Interconnection System Equipment for Use With Distributed Energy Resources)