

团 体 标 准

T/CIMA 0196—XXXX

量子交流标准功率源

Quantum AC standard power source

(征求意见稿)

20260508

20XX—XX—XX 发布

20XX—XX—XX 实施

中国仪器仪表行业协会 发布

CIMA

CIMA

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 分类 .....	3
5 结构原理 .....	3
6 技术要求 .....	4
7 试验方法 .....	12
8 检验规则 .....	19
9 包装、运输和贮存 .....	21

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国仪器仪表行业协会电工仪器仪表分会提出。

本文件由中国仪器仪表行业协会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

# 量子交流标准功率源

## 1 范围

本文件规定了量子交流标准功率源（以下简称“标准源”）的分类、组成原理、技术要求、试验方法、检验规则、包装、运输和贮存。

本文件适用于新制造的量子交流标准功率源。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 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 2423.5—2019 环境试验 第2部分：试验方法 试验Ea和导则：冲击
- GB/T 2423.10—2019 环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动（正弦）
- GB/T 4208—2017 外壳防护等级（IP代码）
- GB/T 5169.11—2017 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（GWEP T）
- GB/T 9254.1—2021 信息技术设备、多媒体设备和接收机 电磁兼容 第1部分：发射要求
- GB/T 13384—2008 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 16935.1—2023 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 17215.211—2021 电测量设备（交流）通用要求、试验和试验条件 第11部分：测量设备
- GB/T 17215.231—2021 电测量设备（交流）通用要求、试验和试验条件 第31部分：产品安全要求和试验
- GB/T 17626.2—2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 43737—2024 量子测量术语

## 3 术语和定义

GB/T 17215.211—2021 和 GB/T 43737—2024 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**量子电压基准** quantum voltage standard

用约瑟夫森效应来复现电压单位量值的装置。

### 3.2

**信号发生器** signal generator

能够输出电压、电流、频率、相位、功率等标准电参量，并以设定值作为其标准值的多功能交流信号发生设备或功能单元。

## 3.3

**原子钟 atomic clock**

以原子（分子、离子）量子跃迁辐射的频率为参考、对实用频率源进行频率或相位锁定、产生准确稳定时间（频率）信号的装置或功能单元。

[来源：GB/T 43737—2024，5.5，有修改]

## 3.4

**量子交流标准功率源 quantum AC standard power source**

以量子电压基准、信号发生器实现功率单位复现，在受控的实验室环境中使用，以获得最佳准确度和稳定度，并溯源到国际标准、国家标准或与国际标准、国家标准进行比对，用于输出功率量值的设备。

## 3.5

**短期稳定度 short-term stability**

在规定条件下，输出量在规定时间内保持不变的能力。

[来源：DL/T 2213.1—2021，3.1.4]

## 3.6

**量程 range**

输出范围内满足规定误差的输出量上限和下限的代数差。

[来源：DL/T 2213.1—2021，3.1.7]

## 3.7

**基本量程 basic range**

确定量子交流标准功率源有关特性的量程（值）。

[来源：DL/T 2213.1—2021，3.1.8，有修改]

## 3.8

**温度系数 temperature coefficient**

输出量随温度的变化率。

[来源：DL/T 2213.1—2021，3.1.9]

## 3.9

**最大负载 maximum load**

电压、电流输出回路满足准确度要求时的输出最大视在功率值。

[来源：DL/T 2213.1—2021，3.1.14，有修改]

## 3.10

**电压/电流不平衡 voltage/current unbalance**

三相电压或电流在幅值上不同或相位差不是  $120^\circ$ ，或兼而有之。

[来源：DL/T 2213.1-2021，3.1.15]

### 3.11

#### 不平衡度 unbalance factor

三相电压/电流不平衡的程度。用电压、电流负序基波分量或零序基波分量与正序基波分量的方均根值百分比表示。

注：电压、电流的负序不平衡度和零序不平衡度分别用  $\varepsilon_{10}$  和  $\varepsilon_{12}$ 、 $\varepsilon_{10}$  表示。

[来源：DL/T 2213.1-2021，3.1.16，有修改]

## 4 分类

### 4.1 按准确度等级分类

标准源按功率测量准确度等级分为

- a) 有功功率：0.003 级、0.005 级、0.01 级；
- b) 无功功率：0.003 级、0.005 级、0.01 级。

注：本文件所述的无功功率仅针对基波。

### 4.2 按使用相别类型分类

标准源按输出相别类型分为：

- a) 单相量子交流标准功率源；
- b) 三相量子交流标准功率源。

## 5 组成原理

### 5.1 组成

标准源由量子电压基准和本体部分组成。本体部分由原子钟、信号发生器、电压放大器、跨导放大器、采样控制器、电压变换器、电流变换器、切换开关组成。

### 5.2 原理

标准源结构原理图见图 1。

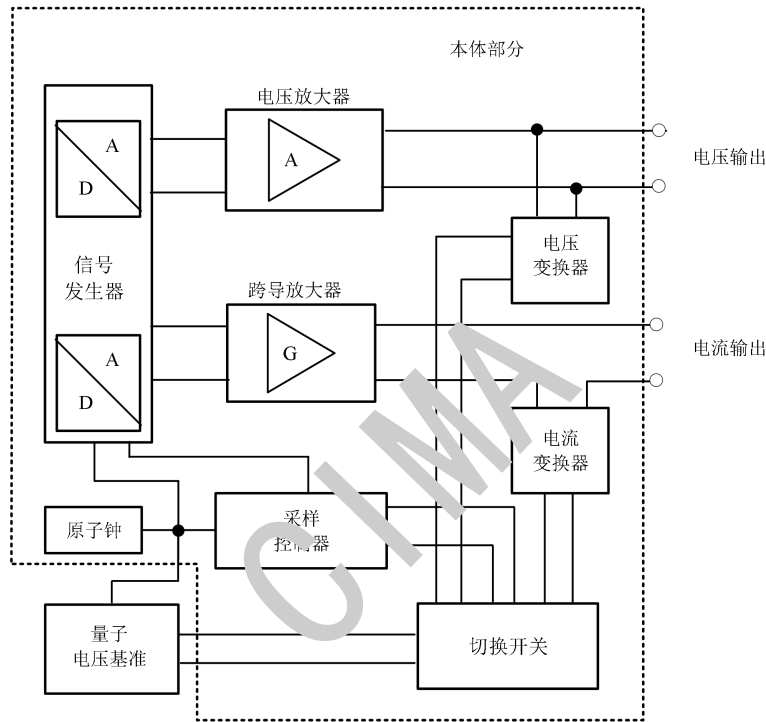


图 1 标准源结构原理图

其中，标准源的各主要组成部分工作原理如下：

- a) 原子钟为信号发生器、采样控制器和量子电压基准提供时间基准；
- b) 量子电压基准工作时：
  - 1) 原子钟输出的频率信号经过量子电压基准的倍频后转换为精确的量子电压；
  - 2) 电压放大器和跨导放大器的输出信号分别经电压变换器和电流变换器转换后，通过切换开关由采样控制器进行采样，并将采样值实时溯源至量子电压基准；
  - 3) 采样控制器计算标准源的输出误差修正值后调节电压放大器和跨导放大器的输出值，直至输出值等于设定值。
- c) 量子电压基准不工作时：采样控制器控制信号发生器按最近的输出误差修正值控制输出交流电压和交流电流。

## 6 技术要求

### 6.1 气候适应性

在表 1 规定的工作温度范围或/和表 2 规定的相对湿度范围内，标准源应能正常工作，温度变化引起的功率误差百分数改变量应满足 6.5.5.2 的要求。

表 1 各准确度等级标准源耐受的环境温度

工作环境温度参数	各准确度等级标准源耐受的环境温度范围		
	0.003 级	0.005 级	0.01 级
温度下限/℃	+20		+15
温度上限/℃	+26		+30

表 2 标准源正常运行的相对湿度

年平均相对湿度	≤75%
30 天最大值 (一年中这些天是以自然方式分布的) 最大值	95%
在其余时间有时达到	85%

## 6.2 结构和外观

### 6.2.1 外壳

标准源的外壳应满足下列要求：

- a) 具有防护打开外壳的措施，只有在解除防护后才能打开外壳，触及内部部件；
- b) 无影响标准源正常工作的明显损坏

### 6.2.2 铭牌

标准源的铭牌应至少给出下列信息：

- d) 制造商名称或商标；
- e) 产品名称和产品型号；
- f) 产品准确度等级；
- g) 最大电压值；
- h) 最大电流值；
- i) 供电电源；
- j) 产品制造日期；
- k) 产品出厂编号；
- l) 产品依据标准。

### 6.2.3 端子和接口

标准源的端子和接口应满足下列要求：

- a) 具有供电电源输入端子、电压输出端子、电流输出端子、接地端子；
- b) 各端子应具有清晰明显的端子名称标识；
- c) 供电电源输入端子、电压输出端子、电流输出端子具有清晰明显的警示标志；
- d) 对接地端子的接地标志进行标识；
- e) 所有的标识和标志具有耐久性，不易被擦除。

### 6.2.4 信息显示和指示

标准源应具有数据和信息显示部件，或/和用于状态指示和警示的显示部件或指示灯。

各准确度等级标准源显示的有效位数及分辨力应符合表 3 的规定。

表 3 显示的有效位数及分辨力

标准源准确度等级	0.003 级	0.005 级	0.01 级
输出电压、电流时的有效位数	7	6	6

表 3（续）

标准源准确度等级	0.003 级	0.005 级	0.01 级
显示相位值时的有效位数	6	6	6
显示频率值时的有效位数	5	5	5
显示功率时的有效位数	7	6	6

### 6.3 机械要求

#### 6.3.1 机械危险防护

标准源对机械危险的防护应符合 GB/T 17217-231-2021 中第 7 章的规定。

#### 6.3.2 外壳防护

标准源外壳防护等级不应低于 GB/T 4208-2017 规定的 IP20。

#### 6.3.3 抗机械振动

标准源应具有一定的抗振性，经过 7.3.3 抗机械振动试验后，标准源应能正常工作，技术性能应符合 6.5 的规定。

#### 6.3.4 抗机械冲击

标准源应能够耐受一个不重复的具有特定峰值加速度和持续时间的标准冲击脉冲波形的冲击，经过 7.3.4 抗机械冲击试验后，标准源应能正常工作，技术性能应符合 6.5 的规定。

#### 6.3.5 防止火焰蔓延

标准源的端子、面板、外壳应具有合理的防止火焰蔓延的安全措施，不助燃，移除热源后应自动熄灭。试验中，不应由于与其接触的带电件的过热而引起燃着。经 7.3.5 防止火焰蔓延试验后，标准源应能正常工作。

#### 6.3.6 表面温度限值

在表 1 规定的工作温度的上限时，标准源电压回路和电流回路通以最大值。标准源防止灼伤的表面温度不应超过表 4 规定的限值。

表 4 表面温度限值

标准源易触及的部件或部位		表面温度限值 ℃
可能触及的密封部件外表面 (触及持续时间约 1 s)	无护套或阳极氧化的金属	65
	有护套（涂料、非金属化）的金属	80
	玻璃和陶瓷	80
	塑料	85

表 4（续）

标准源易触及的部件或部位		表面温度限值 ℃
用户操作的标准源表面、按键等	金属	55
	玻璃和陶瓷	65
	塑料	70
	正常使用中短时间（1 s~4 s）握住的非金属部分	70
注：表面温度限值的取值取自 GB/T 17215.231—2021 的表 31。		

### 6.3.7 电气间隙和爬电距离

工作在海拔高度 2 000 m 及以下场所的标准源，其电压输出、电流输出及供电电源端子的任何端子与地之间，以及与通信接口之间的电气间隙和爬电距离不应小于表 5 的规定。工作海拔高度在 2 000 m 以上、5 000 m 以下场所的标准源，其电气间隙应乘以表 6 规定的倍乘系数。

表 5 电气间隙和爬电距离

电压（峰值） $U$ V	最小电气间隙 mm	最小爬电距离 mm
$U \leq 100$	0.5	1.4
$100 < U \leq 150$	1.5	1.6
$150 < U \leq 300$	3.0	3.2
$300 < U \leq 600$	5.0	6.3

表 6 海拔高度 5000 m 以下电气间隙的倍乘系数

标准源工作的海拔高度 m	倍乘系数
$h \leq 2000$	1.0
$2000 < h \leq 3000$	1.14
$3000 < h \leq 4000$	1.29
$4000 < h \leq 5000$	1.48
注：表中数值取自 GB/T 17215.231—2021 的表 5。	

## 6.4 量程值和输出范围

### 6.4.1 电压

标准源的量程电压  $U_n$  从表 7 中选取 1 个或多个量程值，电压输出范围：0.2 $U_n$ ~1.2 $U_n$ 。

注：电压测量范围是指标准源正常工作条件下满足准确度等级要求的测量值。对需要扩展测量范围的其它特殊应用，由采购方与制造方协商确定。

表 7 量程电压值 ( $U_n$ )

推荐的标称值 V	例外值 V
57.7、100、220、380	60、110、120、200、208、230、240、277、347、400、415、480、600
注：对超出本表范围的特殊应用值，可由采购方与制造方协商确定。	

#### 6.4.2 电流

标准源的量程电流  $I_n$  推荐值：1 A、2 A、5 A 以及它们的十进位倍数或分数。标准源量程电流选取 1 个或多个量程值，电流输出范围：0.2 $I_n$ ~1.2 $I_n$ 。

#### 6.4.3 频率

标准源的标称频率  $f_n$  为：50 Hz 或 60 Hz，频率范围：45 Hz~65 Hz。

### 6.5 准确度要求

#### 6.5.1 基本误差

在 7.4.1 规定的参比条件下，标准源电压、电流、相位、功率测量示值误差的限值不应超过表 8 的规定。

三相标准源如果作为单相标准源使用，则分相的误差也应符合表 8 的规定。

表 8 示值的误差限值

类别	各准确度等级标准源的示值误差限值		
	0.003 级	0.005 级	0.01 级
电压/电流	$(a+b) \leq 0.003$	$(a+b) \leq 0.005$	$(a+b) \leq 0.01$
有功功率 $\cos \phi = \pm (0.5 \sim 1)$ 0.5L、C	0.003% $A_x$	0.005% $A_x$	0.01% $A_x$
无功功率 $\sin \phi = \pm (0.5 \sim 1)$	0.003% $A_x$	0.005% $A_x$	0.01% $A_x$
相位	0.001°	0.0015°	0.003°
频率	0.001Hz	0.001Hz	0.001Hz
注：电压/电流准确度标示： $\Delta_m = \pm (a\%A_x + b\%A_n)$ ， $a \geq 4b$ a, b 要求为基本量程下，其中： $\Delta_m$ —— 电压/电流基本误差限值； $A_x$ —— 电压/电流的设定值，对于功率而言，为电压、电流有效值的乘积； $A_n$ —— 电压/电流的量程值； a —— 基本误差的相对项系数； b —— 基本误差的绝对项系数。			

### 6.5.2 稳定度

标准源输出功率 2 min 内的稳定度应符合表 9 的规定。

表 9 功率源稳定度

准确度等级	输出功率稳定度 %
0.003 级	0.0010
0.005 级	0.0015
0.01 级	0.0030

### 6.5.3 波形失真度

标准源输出信号的波形失真度应符合表 10 的规定。

表 10 电压/电流波形失真度限值

准确度等级	电压/电流波形失真度限值
0.003 级	0.1 %
0.005 级	0.1 %
0.01 级	0.2 %

### 6.5.4 不平衡度

标准源输出信号的的不平衡度应符合表 11 的规定

表 11 标准源输出不平衡度限值

准确度等级	电压	电流
0.003 级	0.1 %	0.1 %
0.005 级	0.1 %	0.1 %
0.01 级	0.2 %	0.2 %

注：仅适用于三相标准源。

### 6.5.5 影响量

#### 6.5.5.1 供电电源变化影响

在 7.4.1 规定的参比条件下，由供电电源变化影响引起的标准源误差改变量不应超过表 12 的要求。

表 12 供电电源变化影响引起的误差改变量限值

影响量	范围	各准确度等级标准源的误差改变量限值 %		
		0.003 级	0.005 级	0.01 级
电压	额定值±10%	0.0006	0.001	0.002

表12 (续)

影响量	范围	各准确度等级标准源的误差改变量限值		
		%		
		0.003级	0.005级	0.01级
频率	额定值±2%	0.0006	0.001	0.002
波形	畸变因数 2%			

### 6.5.5.2 温度变化影响

在 7.4.1 规定的参比条件下,由环境温度变化影响引起的标准源误差改变量不应超过表 13 的规定。

表 13 环境温度变化影响引起的误差改变量限值

影响量	范围	各准确度等级标准源的误差改变量限值		
		%		
		0.003级	0.005级	0.01级
温度变化	工作环境温度	0.001	0.0015	0.003

### 6.5.5.3 电压负载变化影响

标准源的电压回路施加最大负载,其误差改变量不应超过准确度等级的30%,且其误差应符合表8的规定。

### 6.5.5.4 电流负载变化影响

标准源的电流回路施加最大负载,其误差改变量不应超过准确度等级的30%,且其误差应符合表8的规定。

## 6.6 电气性能要求

### 6.6.1 供电电源

标准源正常工作的供电电源应满足下列要求

- 电压额定值  $U_{sn}$ : AC 110 V 或 AC 220 V;
- 电压范围:  $(1 \pm 10\%) U_{sn}$ ;
- 波形失真度:  $\leq 2\%$ ;
- 频率:  $(1 \pm 2\%) f_n$ 。

### 6.6.2 调节细度

标准源输出信号相位调节细度不应大于 $0.0001^\circ$ ,频率调节细度不应大于 $0.001\text{ Hz}$ ,幅值调节细度应符合表14的规定。

表 14 幅值调节细度限值

标准源准确度等级	0.003级	0.005级	0.01级
电压	0.0006 %	0.001 %	0.002 %

表14 (续)

标准源准确度等级	0.003级	0.005级	0.01级
电流	0.0006 %	0.001 %	0.002 %

### 6.6.3 最大负载能力

标准源最大负载能力宜满足以下要求：

- 电压回路的输出电流不小于 100 mA；
- 电流回路的输出电压不小于 1 V。

### 6.6.4 绝缘性能

#### 6.6.4.1 绝缘电阻

绝缘电阻在下列端子之间测量：

- 电压测量端子和电流测量端子与机壳地之间；
- 供电电源端子与机壳地之间；
- 通信接口与机壳地之间；
- 电压输出端子、电流输出端子和供电电源端子和通信接口之间。

在 7.4.1 规定的参比条件下，绝缘电阻值不应小于 100 M $\Omega$ 。

在高温高湿条件下，绝缘电阻值不应小于 50 M $\Omega$ 。

注：高温高湿即在表 1 规定的工作温度上限和表 2 规定的工作湿度最大值。

#### 6.6.4.2 交流电压

标准源应能承受 2 kV、50 Hz 历时 1 min 的交流电压试验。试验中不应发生闪络、火花放电或击穿现象，且漏电流不超过 5 mA。试验后，标准源应能正常工作，且技术性能应符合 6.5 的规定。

注：交流电压试验不针对量子电压基准装置。

### 6.6.5 自热

各准确度等级标准源自热影响的功率误差偏移极限应符合表15的规定。

表 15 误差偏移极限

标准源准确度等级	0.003级	0.005	0.01级
标准源20 min内误差偏移极限/%	$\pm 0.001$	$\pm 0.001$	$\pm 0.003$

## 6.7 电磁兼容性能要求

### 6.7.1 通用要求

标准源的电磁兼容性能应满足以下要求：

- 电磁兼容试验时的温度和湿度应满足基本电磁兼容相关标准要求；所有其他参比条件应符合 7.4.1 的规定；
- 所有电缆应按制造商的说明书进行连接（例如电压和电流测量电缆、通信电缆、辅助电源电缆、I/O 电缆、辅助装置电缆等）；

- c) 除非测试条款中另有规定，电缆长度、信号端口连接或终端负载应满足基本电磁兼容相关标准要求；
- d) 如果标准源适用于多个标称电压，则按相关试验说明的规定，在一个标称电压下进行试验即可，所有用于接地的部分应接地。

### 6.7.2 无线电干扰抑制

标准源应能够承受在正常使用条件下出现的干扰，在无线电干扰抑制试验中不应产生干扰其它设备的传导和辐射噪声，具体试验方法与试验条件应符合本文件7.6.1的规定。

### 6.7.3 静电放电抗扰度

标准源应能够承受在正常使用条件下出现的干扰，静电放电抗扰度试验后，当影响量或干扰移除且恢复到参比条件时，标准源应能恢复其所有功能，自身准确性能不允许降低，并能满足表10和表11规定的准确度要求，具体试验方法与试验条件应符合本文件7.6.2的规定。

## 7 试验方法

### 7.1 气候适应性试验

#### 7.1.1 通用要求

标准源气候适应性试验宜满足以下通用要求：

- a) 每项气候试验前，应在参比条件下测定标准源的基本误差；
- b) 每项气候试验后，标准源功能不应损坏，由气候适应性试验引起的误差偏移应符合本文件中6.5的规定；
- c) 每项气候试验后，目视检查标准源，标准源的外观，特别是标志和显示器的清晰度不应改变。

#### 7.1.2 高温试验

按照GB/T 2423.2—2008中规定的方法，在下列条件下进行试验，试验后自然恢复到室温，被检标准源应能够正常工作，自身准确性能不应降低，并能满足表8规定的误差限值要求：

- a) 标准源为工作状态；
- b) 试验程序 Bb；
- c) 温度：见表1；
- d) 试验时间：16 h。

注：高温试验不针对量子电压基准。

#### 7.1.3 低温试验

按照GB/T 2423.1—2008中规定的方法，在下列条件下进行试验，试验后自然恢复到室温，被检标准源应能够正常工作，自身准确性能不应降低，并能满足表8规定的误差限值要求：

- a) 标准源为工作状态；
- b) 试验程序 Ab；
- c) 温度：见表1；
- d) 试验时间：16 h。

注：低温试验不针对量子电压基准。

#### 7.1.4 耐湿热试验

按照 GB/T 2423. 4—2008 中规定的方法和表 1 规定的温度，在各准确度等级的工作温度上限，进行不少于 2 个循环的交变湿热试验，试验中和试验结束后 24h，按 6. 6. 4. 1 的试验分别对标准源进行绝缘电阻测试。

注：耐湿热试验不针对量子电压基准。

### 7. 1. 5 工作温度范围试验

试验前，应在 7. 4. 1 规定的参比条件下测定标准源的初始误差；按 GB/T 2423. 2—2008 中规定的方法，并在下列条件下进行试验：

- a) 标准源在工作状态下；
- b) 试验程序 Be；
- c) 温度：表 1 规定的温度上限；
- d) 时间：16 h；
- e) 在试验中温度达到表 1 规定的温度上限后的第 16 小时，测试标准源的误差，与初始误差比较，误差改变量应符合 6. 5. 5. 2 中表 12 的限值要求；
- f) 将试验温度调整至表 1 规定的温度下限，运行 16h；
- g) 在试验中温度达到表 1 规定的温度下限后的第 16 小时，测试标准源的误差，与初始误差比较，误差改变量应符合 6. 5. 5. 2 中表 13 的限值要求。

注：量子电压基准在参比条件下工作。

## 7. 2 结构和外观检查

### 7. 2. 1 外壳

目视检查标准源外壳的符合性。

外壳防护等级按照 GB/T 4208—2017 的规定进行试验。

验证打开外壳的防护措施，应在未解除防护措施时不能打开外壳。

### 7. 2. 2 铭牌

目视检查标准源铭牌信息和完整性。

### 7. 2. 3 端子和接口

目视检查标准源端子和接口的符合性或根据供应商提供的文件进行验证。

标志的耐久性按照 GB/T 17215. 231—2021 中 5. 2. 2 规定的方法进行试验。

### 7. 2. 4 信息显示和指示

目视检查标准源的数据和信息显示部件，或/和用于状态指示和警示的显示部件或指示灯；标准源通电工作后，目视检查数据显示的有效位数及分辨力。

## 7. 3 机械试验

### 7. 3. 1 机械危险防护试验

按照 GB/T 17215. 231—2021 中第 7 章规定的方法进行试验。

### 7. 3. 2 外壳防护试验

按照 GB/T 4208—2017 中 13. 2 规定的方法进行试验。

### 7.3.3 抗机械振动试验

按照GB/T 2423.10—2019规定的方法，在三个互相垂直的轴线上，在下列条件进行试验：

- a) 标准源在非工作状态下，无包装；
- b) 频率范围：10 Hz～150 Hz；
- c) 交越频率：60 Hz；
- d)  $f < 60$  Hz，恒定的位移振幅为 0.035 mm；
- e)  $f > 60$  Hz，恒定加速度为  $4.9 \text{ m/s}^2$ ；
- f) 单点控制；
- g) 每一轴向扫描周期数：10 次。

注1：一个扫描循环指从 10 Hz 到 150 Hz 再到 10 Hz 的过程，详见 GB/T 2423.10—2019 中 3.4 扫频循环的定义。

注2：抗机械振动试验不针对量子电压基准。

### 7.3.4 抗机械冲击试验

按照GB/T 2423.5—2019规定的方法，在三个相互垂直的每个方向上连续冲击三次，按下列条件进行试验：

- a) 标准源在非工作状态下，带包装；
- b) 试验波形：半正弦冲击脉冲；
- c) 峰值加速度： $100 \text{ m/s}^2$ ；
- d) 脉冲时间：11 ms；
- e) 冲击次数：18 次。

注1：结构和性能完全对称的标准源，如有关标准有规定，允许减少试验的方向数及相应的冲击次数。

注2：抗机械冲击试验不针对量子电压基准。

### 7.3.5 防止火焰蔓延试验

按照GB/T 5169.11—2017规定的方法，在下列条件进行试验：

- a) 端子、面板和外壳： $650 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ；
- b) 作用时间： $30 \text{ s} \pm 1 \text{ s}$ ；
- c) 将灼热丝与任一随机位置接触，如果端子与表面（端子安装在表壳面）是一个整体，则只需在端子上进行试验。

### 7.3.6 表面温度限值试验

标准源放置在温度控制室，调节控制室温度达到表1规定的工作温度上限值，输出规定的电压、电流，运行1 h后开始测量，在随后的1h试验期间内，每隔10 min用测温设备测试相应部位的温度，取其最大值作为表面温度值。

### 7.3.7 电气间隙和爬电距离试验

标准源电气间隙和爬电距离的测量按照GB/T 16935.1—2023中6.2和6.3规定的方法进行。

## 7.4 准确度试验

### 7.4.1 参比条件

标准源在进行准确度试验时，应保持以下试验条件：

- a) 所有用于接地的部分有效接地；
- b) 任一试验进行前，电路通电足够时间以达到热平衡；

- c) 量子电压基准稳定输出；  
 d) 标准源的准确度试验在表 16 规定的参比条件下进行；  
 e) 对于三相标准源，相序与接线图的标识一致，电压和电流输出满足表 17 规定的平衡条件。

表 16 参比条件

量	参比值	各等级标准源允许的偏差		
		0.003级	0.005级	0.01级
环境温度	23 ℃	±1 ℃	±2 ℃	±2 ℃
相对湿度	60%	±15%	±15%	±15%
供电电源电压	$U_{sn}$	±1%	±1%	±1%
供电电源频率	$f_n$	±0.1%	±0.1%	±0.1%
外部工频磁场	磁场强度为零	在任一情况下，总要求应小于 0.01 mT	在任一情况下，总要求应 小于0.02 mT	在任一情况下，总要求 应小于0.05 mT
电压输出端口电流	0 mA	3 mA	3 mA	3 mA
电流输出端口电压	0 V	0.3 V	0.3 V	0.3 V

表 17 电压和电流平衡条件

标准源的准确度等级	0.005级、0.01级
每相电压对三相电压平均值的偏差值 (%)	±0.2
每相电流对三相电流平均值的偏差值 (%)	±0.5
各相电流和电压的相位差与另外任一相电流和电压的相位差之差 (°)	≤1

#### 7.4.2 基本误差试验

在 7.4.1 规定的参比条件下，对所用标准测量装置及被检标准源进行预热、预调等操作，使其处于最佳工作状态。

试验点的推荐值优先从表 17 中选择。

表 18 基本误差试验的推荐表

交流电参量	检测点	
电压	$(20/50/80/100/120) \% U_n$	
电流	$(20/50/80/100/120) \% I_n$	
相位	$U=U_n, I=I_n$	0° /15° /30° /60° /90° /120° /150° /180° /210° /240° /300° /330° /345°
频率	$U=U_n, I=I_n$	45 Hz/48 Hz/50 Hz/52 Hz/55 Hz/60 Hz/65 Hz
有功/无功功率	功率检测点应涵盖电压、电流检测点及功率因数为 1.0、0.5L、0.5C 的检测点	

#### 7.4.3 稳定度试验

在 7.4.1 规定的参比条件下，采用标准功率表在额定量程值下进行测量。每间隔 1 s 读一次功率，测试时间不少于 2 min。标准源输出功率稳定度按式 (1) 计算：

$$S_p = \frac{\sqrt{\sum (P_i - \bar{P})^2 / (n-1)}}{\bar{P}} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$S_p$ ——功率稳定度，%；

$P_i$ ——第  $i$  次测量的功率读数 ( $i=1, 2, 3, \dots, n$ )，单位 kW 或 kvar；

$\bar{P}$ —— $n$  次功率读数的平均值，单位 kW 或 kvar；

$n$ ——测量次数。

#### 7.4.4 波形失真度试验

在被检标准源的每个量程测试，负载调整为最大。用失真度测量仪直接测量各个量程输出电压、电流波形的失真度。

#### 7.4.5 不平衡度试验

在被检标准源每个量程测试，用电能质量谐波分析仪直接测量各个基本量程输出的三相电压、电流的不平衡度。

注：仅适用于三相标准源。

#### 7.4.6 抗影响量试验

##### 7.4.6.1 供电电源变化试验

标准源供电电源变化试验应满足以下要求：

a) 标准源供电电压变化试验应按以下步骤进行：

- 1) 将标准源的电源线接入可调交流稳压电源的输出端，将稳压电源的电压调整至标准源供电电压的额定值，在标准源的基本量程的满度值处进行试验，记录标准测量装置的读数值  $A_1$ ，保持被检标准源的输出设定值不变；
- 2) 调整稳压电源的输出电压至被检标准源供电电压的上限值，记录标准测量装置的读数值  $A_2$ ；
- 3) 调整稳压电源输出电压至被检标准源供电电压的下限值，记录标准测量装置读数值  $A_3$ ；
- 4) 计算  $A_2$ 、 $A_3$  与  $A_1$  的差值，取其大者作为供电电压影响变差值。

b) 供电电源频率影响试验按以下步骤进行：

- 1) 将标准源的电源线接入频率可调的交流稳压电源的输出端，将稳压电源的频率调整至频率的额定值，在标准源的基本量程的满度值处进行试验，记录标准测量装置的读数  $A_1$ ，保持输出设定值不变；
- 2) 调整稳压电源输出电压的频率至本标准规定的上限值，记录并记录标准测量装置的读数值  $A_2$ ；
- 3) 调整稳压电源输出电压的频率至本标准规定的下限值，记录标准测量装置的读数值  $A_3$ ；
- 4) 计算  $A_2$ 、 $A_3$  与  $A_1$  的差值，取其大者作为供电电源频率影响变差值。

c) 供电电压波形影响试验按以下顺序进行：

- 1) 将被检标准源的电源线接入波形可调的交流稳定电源的输出端，将稳定电源的波形调整为正弦波，电压为供电电压的额定值。在标准源的基本量程的满度值处进行试验，记录标准测量装置的读数值  $A_1$ ，保持输出设定值不变；
- 2) 调整稳定电源的输出电压的波形；

- 3) 使其含有 5%三次谐波,保持电压的频率和额定值不变,记录标准测量装置上的读数 $A_2$ ;
- 4) 计算 $A_2$ 与 $A_1$ 的差值作为供电电源波形影响变差值。

#### 7.4.6.2 温度变化试验

平均温度系数应在整个工作温度范围内测量,对该区间最高、最低温度点进行误差试验测试。  
试验时被检标准源应在上述各温度点保温 2 h,确保被检标准源内部达到温度平衡时进行测量。

#### 7.4.6.3 电压负载变化试验

在7.4.1规定的参比条件下进行试验。在各个电压量程下,分别在满载和空载条件下测试标准源的输出电压,空载时的电压记录为 $A_1$ ,满载时的电压记录为 $A_2$ ,计算 $A_2$ 和 $A_1$ 的差值 $A_3$ , $A_3/A_1$ 作为电压负载变化影响的变差值。

#### 7.4.6.4 电流负载变化试验

在7.4.1规定的参比条件下进行试验。在各个电流量程下,分别在满载和空载条件下测试标准源的输出电流,空载时的电流记录为 $A_1$ ,满载时的电流记录为 $A_2$ ,计算 $A_2$ 和 $A_1$ 的差值 $A_3$ , $A_3/A_1$ 作为电流负载变化影响的变差值。

注:试验中电流回路空载指的是电流回路在标准源的电流输出端采用阻抗尽可能低的短接线直接短接,此时标准源的电流输出端电压值接近于0,输出功率最小。

### 7.5 电气性能试验

#### 7.5.1 供电电源试验

使用谐波失真度小于0.2%的可编程交流电源输出6.6.1中的电压范围上下限、最大谐波失真度、频率范围上下限,接入到标准源的供电电源输入。

#### 7.5.2 调节细度试验

使用具有高分辨力的测量装置进行测试,具体要求如下:

- a) 设定被检标准源电压量程为最大量程,输出最高电压,同时读出测量装置的示值 $A_1$ ;通过调节器使末位设定值变化1个字,再次读出测量装置的示值 $A_2$ ;两次示值之差( $A_1-A_2$ )的绝对值即为被检标准源电压最大量程的调节细度。依次测试其它各个电压量程;
- b) 设定被检标准源电流量程为最大量程,输出最高电流,同时读出测量装置的示值 $A_1$ ;通过调节器使末位设定值变化1个字,再次读出测量装置的示值 $A_2$ ;两次示值之差( $A_1-A_2$ )的绝对值即为被检标准源电流最大量程的调节细度。依次测试其它各个电流量程;
- c) 设定被检标准源输出为某一个相位角,同时使用高分辨力的标准电能表测试相位角示值为 $\phi_1$ ,调节标准源输出的最小变化相位角,再次使用标准电能表测试相位角示值为 $\phi_2$ ,两次示值之差( $\phi_1-\phi_2$ )的绝对值即为被检标准源的相位调节细度;
- d) 设定被检标准源输出的为某一个频率,同时使用高分辨力的标准电能表测试频率值为 $f_1$ ,调节标准源输出频率的最小变化值,再次使用标准电能表测试频率值示值为 $f_2$ ,两次示值之差( $f_1-f_2$ )的绝对值即为被检标准源的频率调节细度。

#### 7.5.3 最大负载能力试验

通过无级可调阻性负载与标准测量装置并联/串联,接入被检功率源相应输出端口,在满量程值电压、电流输出条件下,缓慢调节负载从空载起始,通过标准测量装置观察并记录满足准确度要求的负载

最大调节范围，则对应的负载的最大端口电流（电压输出）或端口电压（电流输出）即为被检标准源该量程的最大负载能力。试验应对每个量程进行。

注：标准源电流回路的“空载”对应可调阻性负载的接近 $0\ \Omega$ 状态。

#### 7.5.4 绝缘性能试验

##### 7.5.4.1 绝缘电阻试验

绝缘电阻试验应符合GB/T 16927.1的规定，并按下列步骤进行试验：

- 标准源在非工作状态下，无包装，且供电电源开关处于切断位置；
- 用兆欧表测试电压输出端子和电流输出端子与机壳地之间的绝缘电阻值；
- 用兆欧表测试供电电源端子与机壳地之间的绝缘电阻值；
- 用兆欧表测试通信接口与机壳地之间的绝缘电阻值；
- 用兆欧表测试电压输出端子、电流输出端子和供电电源端子和通信接口之间的绝缘电阻值；
- 测试用兆欧表的输出电压，除脉冲输入输出端子和通信接口与机壳地之间的试验为 $500\ \text{V}$ 之外，其余均为 $1000\ \text{V}$ 。

##### 7.5.4.2 交流电压试验

交流电压试验应满足以下要求：

- 标准源在非工作状态下，且供电电源开关处于接通位置；
- 标准源所有参比电压小于 $40\ \text{V}$ 的辅助线路接外壳地；
- 标准源电压测量线路和电流测量线路以及参比电压高于 $40\ \text{V}$ 的辅助线路连接为一点；
- 标准源的供电电源L、N连接为一点；
- 另一点为金属外壳或绝缘材料的金属外露部分；
- 选用容量不小于 $500\ \text{VA}$ 的耐压测试仪；
- 分别在c)和e)两点间，d)和e)及c)和d)两点间施加波形近似正弦波的试验电压；
- 试验电压平稳地上升到规定值，期间无明显的瞬变；
- 保持试验电压时间 $1\ \text{min}$ ，观察放电情况，测试漏电流。

注：交流电压试验不针对量子电压基准装置。

##### 7.5.5 自热试验

自热试验应按下列步骤进行试验：

- 标准源加额定电压，无电压、电流输出，持续工作 $2\ \text{h}$ ；
- 然后，电压在最大量程，输出最高电压，电压输出端带最大负载；电流在最大量程，输出最大电流，电流输出端带最大负载，功率因数为1；电流施加后，应立刻测量标准源的功率误差，记录此时的标准源初始误差 $A_1$ ，并在足够短的间隔时间内准确绘出作为时间函数的误差变化曲线；
- 试验应至少进行 $1\ \text{h}$ ，且在任何情况下，直至 $20\ \text{min}$ 内误差变化不大于各准确度等级标准源基本最大允许误差的 $10\%$ ；记录此时标准源的功率误差 $A_2$ ， $A_2-A_1$ 为误差的改变量，依据表15的规定判定结果。

#### 7.6 电磁兼容性能试验

##### 7.6.1 无线电干扰抑制试验

无线电干扰抑制试验应符合GB/T 9254.1—2021的规定，并在下列条件下进行试验：

- 供电电源施加额定电压，标准源在工作状态；
- 电压设定为最大量程，输出最大电压，带最大负载；

c) 电流设定为最大量程，输出最大电流，带最大负载（线性负载）。

## 7.6.2 静电放电抗扰度试验

静电放电抗扰度试验应符合GB/T 17626.2—2018的规定，并在下列条件下进行试验：

- a) 严酷等级：2；
- b) 接触放电试验电压：4kV；
- c) 空气放电试验电压：8kV；
- d) 放电次数：10次；
- e) 标准源为非工作状态：
  - 1) 供电电源回路、电压回路、电流回路开路；
  - 2) 所有电压接线端及供电电源接线端连接一起；
  - 3) 静电电压施加在被检标准源的面板、操作键、按钮等操作人员可能触及的部位，其时间间隔至少为1s。
- f) 标准源在工作状态：
  - 1) 供电电源回路施加额定电压，电压回路输出任一量程电压；
  - 2) 电流回路无输出电流，电流端子开路；
  - 3) 静电电压施加在被检标准源的面板、操作键、按钮等操作人员可能触及的部位，其时间间隔至少为1s。

注：静电放电抗扰度试验不针对量子电压基准。

## 8 检验规则

### 8.1 检验分类

检验分为出厂检验和型式检验两类。

### 8.2 检验项目

标准源检验项目应符合表19的规定。

表 19 检验项目

序号	检验项目名称	章条号	检验类别		
			出厂检验	型式检验	
1	气候适应性试验	高温试验	7.1.2	-	√
2		低温试验	7.1.3	-	√
3		耐湿热试验	7.1.4	-	√
4		工作温度范围试验	7.1.5	-	√
5	结构和外观检查	外壳	7.2.1	√	√
6		铭牌	7.2.2	√	√
7		端子和接口	7.2.3	√	√
8		信息显示和指示	7.2.4	√	√

表 19（续）

序号	检验项目名称		章条号	检验类别		
				出厂检验	型式检验	
9	机械试验	机械危险防护试验	7.3.1	-	√	
10		外壳防护试验	7.3.2	-	√	
11		抗机械振动试验	7.3.3	-	√	
12		抗机械冲击试验	7.3.4	-	√	
13		防止火焰蔓延试验	7.3.5	-	√	
14		表面温度限值试验	7.3.6	-	√	
15		电气间隙和爬电距离试验	7.3.7	-	√	
16	准确度试验	基本误差试验	7.4.2	√	√	
17		稳定度试验	7.4.3	√	√	
18		波形失真度试验	7.4.4	√	√	
19		不平衡度试验	7.4.5	√	√	
20		抗影响量试验	供电电源电压变化试验	7.4.6.1	-	√
21			温度变化试验	7.4.6.2	-	√
22			电压负载变化试验	7.4.6.3	-	√
23			电流负载变化试验	7.4.6.4	-	√
24	电气性能试验	供电电源试验	7.5.1	-	√	
25		调节细度试验	7.5.2	-	√	
26		最大负载能力试验	7.5.3	-	√	
27		绝缘性能试验	绝缘电阻试验	7.5.4.1	√	√
28			交流电压试验	7.5.4.2	√	√
29		自热试验	7.5.5	-	√	
31	电磁兼容性试验	无线电干扰抑制试验	7.6.1	-	√	
32		静电放电抗扰度试验	7.6.2	-	√	
33	包装、运输和贮存	包装及随机文件检查	9.1	√	√	
34		运输	9.2	-	√	
35		贮存	9.3	-	√	

注：“√”表示检验时该项目应做试验，“-”表示检验时该项目不做试验。

## 9 包装、运输和贮存

### 9.1 包装及随机文件

标准源的包装应符合 GB/T 13384—2008 的规定。包装产品的随机文件包括：

- a) 产品合格证；
- b) 产品说明书；
- c) 装箱清单；
- d) 出厂测试报告；
- e) 产品保修卡及其它相应技术资料。

文件的符合性通过检查供应商提供的文件进行验证。

### 9.2 运输

标准源的运输环境条件应满足表 20 的要求，并按 GB/T 25480—2010 的规定进行验证。

表 2 运输环境条件

温度	相对湿度	冲击极限		高度（自由跌落）极限	底面与实验台面的夹角 （平面跌落）极限
		峰值加速度	脉冲持续时间		
-40 °C~+55 °C	≤95%	100 m/s <sup>2</sup>	16 ms	1000 mm	30°

注：运输温度限值取自GB/T 25480—2010中的表1。

### 9.3 贮存

标准源存放地应清洁，贮存环境条件应满足表 21 规定，空气中不应含有引起腐蚀的有害物质。标准源的贮存应按GB/T 25480—2010的规定进行验证。

表 1 贮存环境条件

贮存温度	贮存相对湿度
-25 °C~+55 °C	5%~95%

注：贮存温度限值取自GB/T 25480—2010中的表1。