

ICS 19.060  
CCS N 73



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 44400—2024

## 电动振动台双台并激振动试验系统

Dual electro-dynamic shakers simultaneous vibration testing system



2024-08-23 发布

2025-03-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 系统组成 .....	2
5 技术要求 .....	2
5.1 环境与工作条件 .....	2
5.2 基本要求 .....	2
5.3 单轴向电动振动台 .....	3
5.4 双台系统 .....	3
5.5 机械解耦装置一阶共振频率 .....	3
5.6 其他要求 .....	3
6 检验方法 .....	4
6.1 检验条件 .....	4
6.2 单轴向电动振动台检测 .....	4
6.3 双台系统参数检测 .....	4
6.4 机械解耦装置一阶共振频率 .....	7
7 检验规则 .....	7
7.1 出厂检验 .....	7
7.2 型式检验 .....	8
7.3 判定规则 .....	8
8 标志、包装、运输和贮存 .....	8
8.1 标志 .....	8
8.2 包装 .....	9
8.3 运输和贮存 .....	9
9 随机技术文件 .....	9

## 前 言

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

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。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国试验机标准化技术委员会(SAC/TC 122)归口。

本文件起草单位：苏州苏试试验集团股份有限公司、广州大学、航天科工防御技术研究试验中心、北京航空航天大学、沈阳工业大学、大连智鼎科技有限公司、中机试验装备股份有限公司。

本文件主要起草人：张雷雷、徐忠根、王刚、姚金勇、赵海宁、张兆宇、任霞。



# 电动振动台双台并激振动试验系统

## 1 范围

本文件规定了电动振动台双台并激振动试验系统的技术要求、检验规则、标志、包装、运输和贮存,描述了电动振动台双台并激振动试验系统的检验方法。

本文件适用于电动振动台双台并激振动试验系统(以下简称“双台系统”)的制造。

由多个相同方向组成的多台并激的电动振动试验系统参照执行。

## 2 规范性引用文件

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

GB/T 191 包装储运图示标志

GB/T 2298 机械振动、冲击与状态监测 词汇

GB/T 2611—2022 试验机 通用技术要求

GB/T 5226.1—2019 机械电气安全 机械电气设备 第1部分:通用技术条件

GB/T 13310—2007 电动振动台

JB/T 6147—2007 试验机包装、包装标志、储运技术要求

JJG 948—2018 电动振动试验系统检定规程

## 3 术语和定义

GB/T 2298 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**电动振动台双台并激振动试验** **dual electro-dynamic shakers simultaneous vibration test**

由两台相同规格型号的单轴向电动振动台在试件的不同位置进行的相同轴向、相同方向的振动试验。

### 3.2

**机械解耦装置** **mechanical decoupling device**

为消除或减轻双台振动的耦合运动对试验的影响而采用的振动传递机械装置。

### 3.3

**最大正弦激振力** **maximum sinusoidal excitation force**

组成双台系统的两个单轴向振动台最大正弦推力的叠加。

### 3.4

**最大随机激振力** **maximum random excitation force**

组成双台系统的两个单轴向振动台最大随机推力的叠加。

#### 4 系统组成

双台系统由下列部分组成：

- a) 相同规格型号的两台单轴向电动振动台；
- b) 机械解耦装置；
- c) 双台并激振动控制仪；
- d) 其他辅助装置。

双台系统示意图见图 1。

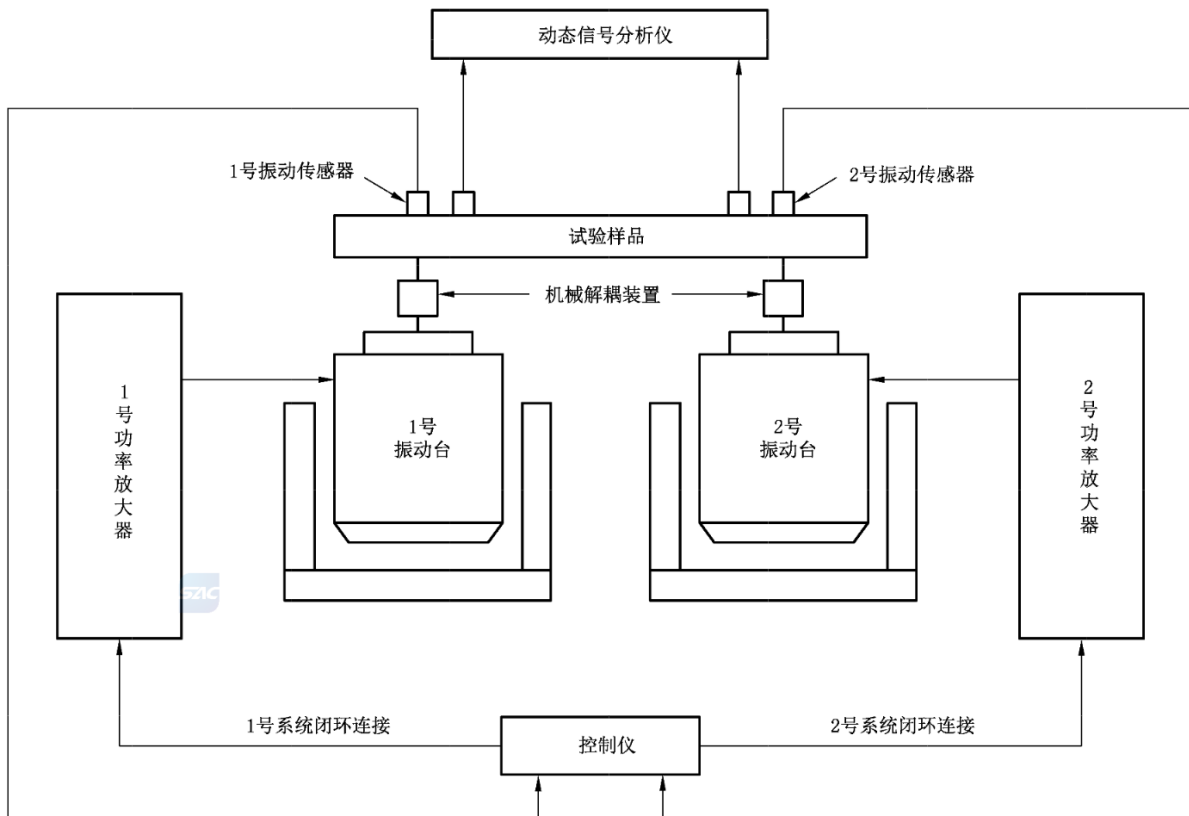


图 1 双台系统示意图

#### 5 技术要求

##### 5.1 环境与工作条件

双台系统在下列环境与工作条件下应能正常工作：

- a) 环境温度： $5\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于 90%；
- b) 周围无腐蚀性介质及较强的振动源；
- c) 电源电压变化不超过额定工作电压的 $\pm 10\%$ 。

##### 5.2 基本要求

最大正弦激振力、最大随机激振力、最大位移应符合制造商与使用方双方协定。

### 5.3 单轴向电动振动台

组成双台系统的两台单轴向电动振动台,均应符合 GB/T 13310—2007 的规定。

### 5.4 双台系统

#### 5.4.1 正弦振动

##### 5.4.1.1 频率示值误差

双台系统工作时,在规定的频率范围内,频率  $f$  应连续可调,频率示值误差应满足下列要求:

——当  $5 \text{ Hz} \leq f \leq 50 \text{ Hz}$  时,最大允许值为  $\pm 1 \text{ Hz}$ ;

——当  $f > 50 \text{ Hz}$  时,最大允许值为  $\pm 2\% f$ 。

##### 5.4.1.2 加速度、位移的示值误差

在规定的频率范围内,加速度应可调。加速度示值的最大允许误差为  $\pm 10\%$ ,位移示值的最大允许误差为  $\pm 15\%$ 。

##### 5.4.1.3 相位精度

双台系统在工作频率范围内,相位精度应不大于  $\pm 10^\circ$ ,累计超差带宽应不大于试验带宽的  $5\%$ 。

#### 5.4.2 随机振动

##### 5.4.2.1 加速度总均方根示值误差

双台系统振动方向的随机加速度总均方根示值误差的允许值应在  $\pm 10\%$  范围内。

##### 5.4.2.2 加速度功率谱密度示值误差

双台系统的随机振动加速度功率谱密度示值误差的允许值应在  $\pm 20\%$  范围内。

##### 5.4.2.3 加速度总均方根和加速度功率谱密度控制准确度

在  $90\%$  置信度下,双台系统并激振动时,振动台的随机振动加速度总均方根的控制应准确到  $\pm 3 \text{ dB}$ ;加速度功率谱密度的控制应准确到  $\pm 6 \text{ dB}$ 。

### 5.5 机械解耦装置一阶共振频率

机械解耦装置沿激励方向的一阶共振频率尽可能高,应不低于随机试验上限频率的  $1/3$ 。

### 5.6 其他要求

5.6.1 为保护双台系统以及试件的安全,双台系统应具有相应的安全装置或防护措施,当双台系统以超出所设定的正常工作状态参数(例如:过电流、过电压、过位移,冷却装置低水位等)工作时,双台系统应自动停机。

5.6.2 双台系统的外观应符合 GB/T 2611—2022 中第 10 章的规定。

5.6.3 双台系统台体的电气安全应确保:

a) 绝缘电阻不小于  $2 \text{ M}\Omega$ ;

b) 产品的带电部分与可能接地的非带电导体间施加交流电压  $1500 \text{ V}$  不少于  $1 \text{ min}$ ,无击穿。

## 6 检验方法

### 6.1 检验条件

在 5.1 规定的环境与工作条件下进行单台单轴向电动振动台的检测。

### 6.2 单轴向电动振动台检测

在组成双台系统之前,应对两台单轴向电动振动台按照 GB/T 13310—2007 中第 7 章的规定进行出厂检验和型式检验。

### 6.3 双台系统参数检测

#### 6.3.1 检测程序

本文件规定的系统检测方法需要在细长体标准负载、垂直状态下对 5.4 的要求进行检测。双台系统、机械解耦装置以及细长体标准负载在振动方向均刚性连接,所有的加速度计传感器均刚性安装。连接方法示意图见图 1。

#### 6.3.2 检测用仪器

双台系统的检测仪器按 GB/T 13310—2007 中表 6 的规定。

#### 6.3.3 基本参数的检测

##### 6.3.3.1 最大正弦激振力

在双台系统工作频率定加速度段选取 100 Hz 频率点,按公式(1)计算加速度峰值,系统按此加速度峰值进行同步并激定频试验 5 min,通过动态信号分析仪测试 1 号台加速度  $a_1$  和 2 号台加速度  $a_2$ ,最大正弦激振力按公式(2)计算。

$$a_{\max} = \frac{F_{\max}}{m_1 + m_2 + m_3} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

$a_{\max}$  ——系统最大加速度,单位为米每二次方秒( $\text{m/s}^2$ );

$F_{\max}$  ——系统最大正弦激振力,单位为牛顿(N);

$m_1$  ——1 号振动台运动部件等效质量,单位为千克(kg);

$m_2$  ——2 号振动台运动部件等效质量,单位为千克(kg);

$m_3$  ——细长体标准负载质量,单位为千克(kg)。

$$F'_{\max} = (m_1 + m_2 + m_3) \times a' \dots\dots\dots(2)$$

式中:

$F'_{\max}$  ——系统实际最大正弦激振力,单位为牛顿(N);

$a'$  —— $a_1$  和  $a_2$  中的较小值,单位为米每二次方秒( $\text{m/s}^2$ )。

##### 6.3.3.2 最大随机激振力

按公式(3)计算最大加速度总均方根  $a$ ,按公式(4)计算加速度功率谱密度  $S_F$ ,控制仪根据 JJG 948—2018 中图 9 设置随机推力检定谱线。连续振动 5 min,通过动态信号分析仪测试 1 号台加速度  $a_1$  和 2 号台加速度  $a_2$ ,根据公式(5)计算系统实际最大随机激振力  $F'$ 。

$$a = \frac{F}{m_1 + m_2 + m_3} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$F$  ——系统最大随机激振力，单位为牛顿(N)；

$a$  ——最大加速度总均方根，单位为米每二次方秒( $\text{m/s}^2$ )。

$$S_F = \frac{a^2}{1\ 980} \times 1.02 \dots\dots\dots (4)$$

$S_F$  ——加速度功率谱密度，单位为瓦特每赫兹( $\text{W/Hz}$ )。

$$F' = (m_1 + m_2 + m_3) \times a' \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$F'$  ——系统实际最大随机激振力，单位为牛顿(N)。

### 6.3.3.3 最大位移

在系统工作频率定位移段选取 5 Hz 频率点，系统按位移峰值  $D$  进行同步并激定频试验 5 min，通过动态信号分析仪测试 1 号台加速度  $a_1$  和 2 号台加速度  $a_2$ 。按公式(6)计算实际最大零峰值位移  $D'$ 。

$$D' = \frac{a'}{(2\pi f)^2} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$D'$  ——最大零峰值位移，单位为毫米(mm)；

$f$  ——选择定频的频率点，单位为赫兹(Hz)。

注：最大峰值  $D$ 、 $D'$  为零峰值。

### 6.3.4 频率示值误差

双台系统工作时，在规定的频率范围内，均匀地或按倍频程至少选取 5 个频率进行试验(包括工作频率上限值、下限值)，用频率计测量，分别记录 1 号台、2 号台轴向频率和控制仪的示值，计算测量值与控制仪示值误差。

### 6.3.5 加速度、位移的示值误差

按 6.3.1 的连接方法进行系统连接，工作时，在规定的频率范围内，在高、中、低 3 个频段各选取 1 个频率，并在所选频率中选取大、中、小 3 个加速度、位移。用测振仪测量台面中心加速度、位移，记录测量值和控制仪的示值，并计算示值误差。

### 6.3.6 相位精度

按 6.3.1 的连接方法进行系统连接，工作时，在规定的频率范围内，在高、中、低 3 个频段各选取 1 个频率，在对应频率点按照 25% 的系统加速度进行检测，分别读取控制仪两个输出相位，比较两者的相位差值。

### 6.3.7 加速度总均方根示值误差

按 6.3.1 的连接方法进行系统连接，控制仪按图 2 谱形设置，并均衡控制。测量加速度计经适调放大器接动态信号分析仪，读取动态信号分析仪和控制仪的总均方根示值 20 次以上，分别计算其示值平均值  $A_a$  和  $A_b$ ，然后按公式(7)计算加速度总均方根示值误差。

$$\delta_A = \frac{A_a - A_b}{A_b} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

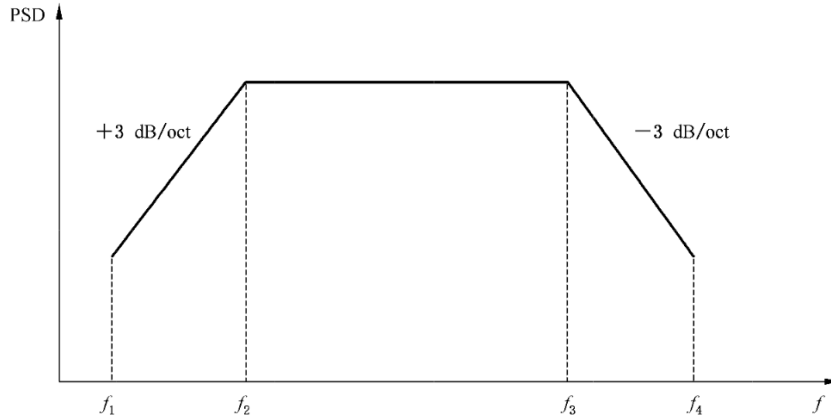


式中：

$\delta_A$  —— 加速度总均方根示值误差；

$A_a$  —— 控制仪示值平均值，单位为米每二次方秒( $m/s^2$ )；

$A_b$  —— 动态信号分析仪示值平均值，单位为米每二次方秒( $m/s^2$ )。



标引符号说明：

PSD —— 功率谱密度，单位为米每二次方秒的平方每赫兹 $[(m/s^2)^2/Hz]$ ；

$f$  —— 频率，单位为赫兹(Hz)；

dB/oct —— 分频斜率的单位；

$f_1, f_2, f_3, f_4$  —— 试验系统选择的四个频率点，单位为赫兹(Hz)。

图 2 检验谱形设置

### 6.3.8 加速度功率谱密度示值误差

按 6.3.1 的连接方法进行系统连接，控制仪见图 2 谱形设置，并均衡控制。在谱形的平直段任取 3 个频率进行检测，通过动态信号分析仪测量这些频率点的加速度谱密度值，分析仪的频率分辨力取  $1/3\Delta f \sim 1/5\Delta f$ ，同时记录双台系统运动加速度功率谱密度的示值，然后计算相对误差。

### 6.3.9 加速度总均方根和加速度功率谱密度控制准确度

双台系统随机振动控制在 90% 置信度下，按 6.3.7 方法观测 10 min，每 2 min 测量 1 次，记录 5 次测量结果。

### 6.3.10 安全装置或防护措施

当双台系统按下列超出所设定的正常工作状态参数工作时，目测检查振动台的安全装置或防护措施：

- 过电压：双台系统开环控制下，控制仪设定固定频率（建议 50 Hz），手动调整功率放大器增益，其中任意一台功率放大器的输出电压超出系统设定电压上限 1%，目测检查双台系统是否自动停机；
- 过电流：双台系统开环控制下，控制仪设定固定频率（建议 160 Hz），手动调整功率放大器增益，其中任意一台功率放大器的输出电流超出系统设定电流上限 1%，目测检查双台系统是否自动停机；
- 过位移：双台系统开环控制下，控制仪设定固定频率（建议 5 Hz），手动调整功率放大器增益，其中任意一台的动圈位移超过系统最大位移的 2%，目测检查双台系统是否自动停机；

——冷却装置低水位：手动放掉双台系统冷却装置冷却水，其中任意一台冷却装置冷却水低于低液位时，目测检查双台系统是否自动停机。

### 6.3.11 外观

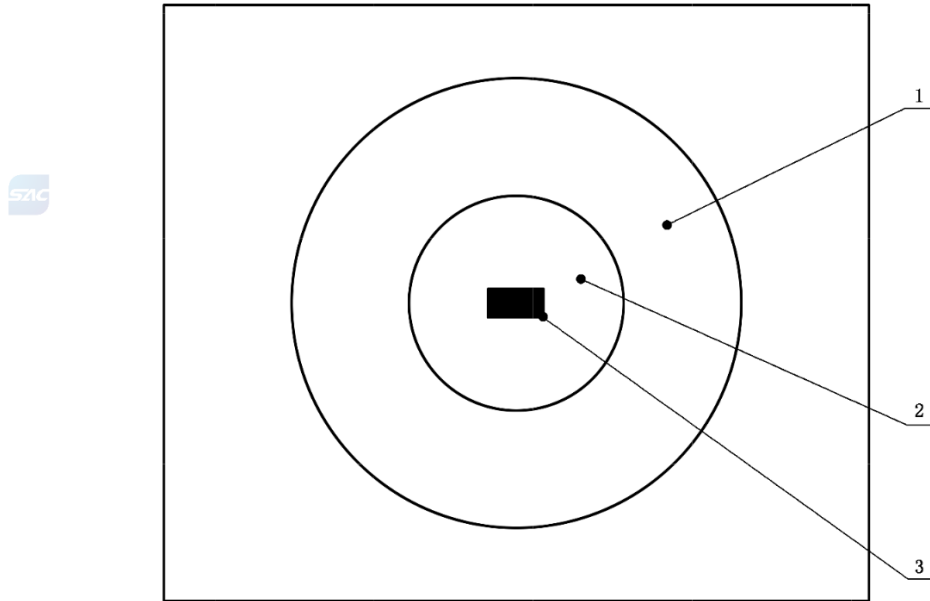
目测检查双台系统各部分的外观及外部标志。

### 6.3.12 电气安全

双台系统应使用绝缘电阻测试仪和耐电压测试仪进行测量。绝缘电阻按 GB/T 5226.1—2019 中 18.3 进行检测。耐压试验按 GB/T 5226.1—2019 中 18.4 进行检测。

## 6.4 机械解耦装置一阶共振频率

机械解耦装置分别刚性地连接在两台单台单轴向电动振动台上，并按图 3 黏结传感器。在工作频率范围内，进行从 5 Hz 到工作频率范围上限值，振动量级为  $9.8 \text{ m/s}^2$  的正弦扫频试验，读取控制仪测试曲线一阶共振频率。



标引序号说明：

- 1——电动振动台；
- 2——机械解耦装置；
- 3——传感器。

图 3 解耦夹具传感器安装位置

## 7 检验规则

### 7.1 出厂检验

出厂检验项目见表 1。产品取得合格证方能出厂。

表 1 双台系统检验项目及顺序

序号	检验项目	型式检验	出厂检验	技术要求	试验方法
1	最大正弦激振力	●	●	5.2	6.3.3.1
2	最大随机激振力	●	●	5.2	6.3.3.2
3	最大位移	●	●	5.2	6.3.3.3
4	单轴向电动振动台主要技术参数	●	●	5.3	6.2
5	频率示值误差	●	●	5.4.1.1	6.3.4
6	加速度、位移的示值误差	●	●	5.4.1.2	6.3.5
7	相位精度	●	●	5.4.1.3	6.3.6
8	加速度总均方根示值误差	●	●	5.4.2.1	6.3.7
9	加速度功率谱密度示值误差	●	●	5.4.2.2	6.3.8
10	加速度总均方根和加速度功率谱密度控制准确度	●	●	5.4.2.3	6.3.9
11	机械解耦装置一阶共振频率	●	●	5.5	6.4
12	安全装置或防护措施	●	●	5.6.1	6.3.10
13	外观	●	●	5.6.2	6.3.11
14	电气安全	●	●	5.6.3	6.3.12

注：“●”为检验项目。

7.2 型式检验

7.2.1 型式检验项目见表 1。

7.2.2 有下列情况之一时应进行型式检验：

- a) 新产品试制或老产品转厂生产的定型鉴定或型式评价时；
- b) 产品正式生产后,其结构设计、材料、工艺及关键的配套元器件有较大改变,可能影响产品性能时；
- c) 产品长期停产后恢复生产时；
- d) 国家市场监督管理总局提出进行型式试验的要求时。

7.3 判定规则

7.3.1 对于出厂检验,如出现不合格项,则出厂检验不合格。

7.3.2 对于型式检验,如出现不合格项,则型式检验不合格。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

8.1.1 双台系统应在明显和适当位置固定产品铭牌。

产品铭牌的内容应包含：

- a) 产品型号、产品名称；

- b) 主要技术参数:最大正弦激振力、最大随机激振力、最大位移、工作频率范围;
- c) 出厂编号、制造日期;
- d) 制造商名称或标志。

8.1.2 包装箱上的储运图示标志应符合 GB/T 191 中的有关规定。

## 8.2 包装

8.2.1 双台系统的包装箱应标示下列内容:

- a) 产品型号、产品名称、规格、数量;
- b) 箱体最大外形尺寸(cm):长×宽×高;
- c) 净重与毛重(kg);
- d) 收货单位和收货地址;
- e) 制造者名称或标志。

8.2.2 双台系统的包装为防潮、防锈、防尘组合的复合防护包装。

8.2.3 双台系统的包装应符合 JB/T 6147—2007 第 5 章的规定。

## 8.3 运输和贮存

### 8.3.1 运输

产品的运输应符合 JB/T 6147—2007 中 7.1 的规定。

### 8.3.2 贮存

产品应贮存在空气清洁、干燥、温度不高于 40 °C、不低于 5 °C 的仓库中,并应符合 JB/T 6147—2007 中 7.2 的规定。

## 9 随机技术文件

双台系统应提供下列随机文件:

- a) 装箱单;
- b) 产品合格证;
- c) 使用说明书等。