

ICS 71.100.20

J76

**JB**

# 中华人民共和国机械行业标准

JB/T 5904.1—1999

---

## 低压透平膨胀机 技术条件

Specifications for low pressure turboexpanders

1999-07-12 发布

2000-01-01 实施

---

国家机械工业局 发布

## 前 言

本标准是对 ZB J76 033—90《低压透平膨胀机 技术条件》进行的修订。

本标准与 ZB J76 033—90 相比，主要技术内容改变如下：

——在 4.2 中增加了产品试验可在制造厂或用户现场进行。

——在 5.3.1 中增加了当合同有要求时，应进行型式检验。

——在 6.2.3 中增加了所有标记均应符合 GB 191 的有关规定。

本标准自实施之日起代替 ZB J76 033—90。

本标准的附录 A、附录 B 都是标准的附录。

本标准由气体分离与液化设备标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位：杭州制氧机集团有限公司。

本标准主要起草人：蔡国成、师建忠。

本标准于 1990 年 10 月首次发布。

# 低压透平膨胀机 技术条件

代替 ZB J76 033—90

## Specifications for low pressure turboexpanders

### 1 范围

本标准规定了低压透平膨胀机的技术要求，试验方法，检验规则，标志、包装、运输和贮存。

本标准适用于空气分离与液化过程中膨胀做功获得冷量、进气压力不大于 1.6MPa（绝压）的向心式透平膨胀机（以下简称膨胀机）。

本标准不适用于工质为汽、液两相的膨胀机。

### 2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

|                  |                                |
|------------------|--------------------------------|
| GB 191—1990      | 包装储运图示标志                       |
| GB/T 2624—1993   | 流量测量节流装置用孔板、喷嘴和文丘里管测量充满圆管的流体流量 |
| GB/T 2888—1991   | 风机和罗茨鼓风机噪声测量方法                 |
| GB/T 13306—1991  | 标牌                             |
| GB/T 13384—1992  | 机电产品包装通用技术条件                   |
| JB/T 5904.2—1999 | 低压透平膨胀机 制造技术要求                 |
| 《压力容器安全技术监察规程》   |                                |

### 3 技术要求

**3.1** 膨胀机应符合本标准的规定，产品制造应参照 JB/T 5904.2 的要求，并按照经规定程序批准的图样及技术文件制造。

**3.2** 进入膨胀机的介质应为干燥、洁净、无腐蚀性的气体。

**3.3** 膨胀机制造厂应确定产品及变型产品的设计流量及允许工作范围。设计工况流量偏差，上偏差为设计工况的 10%，下偏差为设计工况的 -5%。

#### 3.4 等熵效率

膨胀机的等熵效率值必须满足成套设备的配套要求，其设计工况的等熵效率值不得低于图 1 的规定。

膨胀机的设计工况标准流量与基准状态标准流量的换算，可参照无因次流量相等的原则进行。即：

$$q_n^0 = \frac{(\rho / \rho^0)(ZRT_0 / Z^0 R^0 T_0^0)^{1/2}}{(p_0 / p_0^0)(k / k^0)^{1/2}} q_n \dots\dots\dots (1)$$

式中： $q_n^0$ ——膨胀机基准状态的标准流量（0℃，101.325kPa），m<sup>3</sup>/h；

$\rho$ ——工作介质的密度 (0℃, 101.325kPa), kg/m<sup>3</sup>;

$\rho^0$ ——空气的密度 (0℃, 101.325kPa), kg/m<sup>3</sup>;

$Z$ ——设计工况的工作介质的压缩性系数;

$Z^0$ ——基准状态的空气压缩性系数;

$R$ ——工作介质的气体常数, N·m/(kg·K);

$R^0$ ——空气的气体常数, N·m/(kg·K);

$T_0$ ——膨胀机设计工况的进口温度, K;

$T_0^0$ ——膨胀机基准状态的进口温度, K;

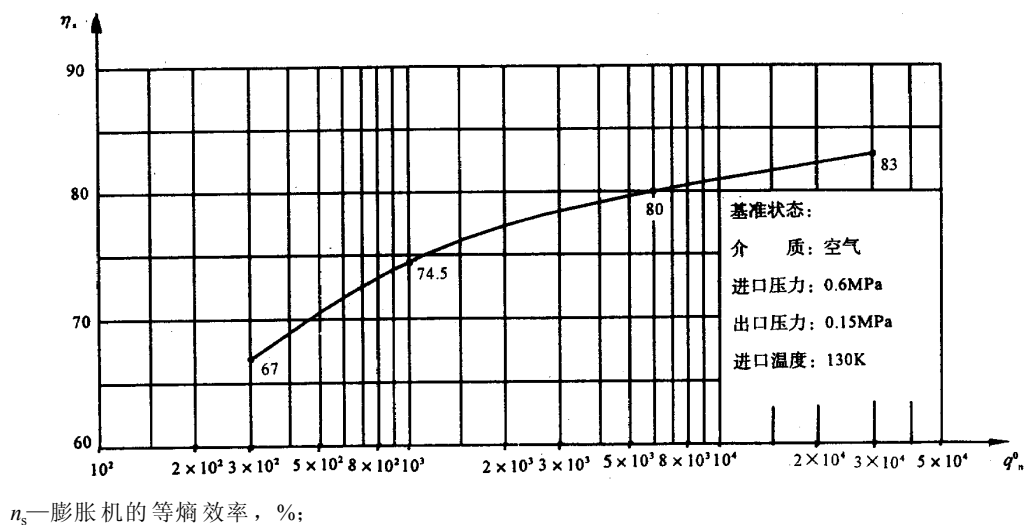
$p_0$ ——膨胀机设计工况的进口压力, MPa;

$p_0^0$ ——膨胀机基准状态的进口压力, MPa;

$k$ ——工作介质的等熵指数;

$k^0$ ——空气的等熵指数;

$q_n$ ——膨胀机设计工况的标准流量 (0℃, 101.325kPa), m<sup>3</sup>/h。



### 3.5 临界转速

3.5.1 对于刚性转子, 在运转条件下, 转子的实际第一临界转速应高于最大允许连续转速的 26%。

3.5.2 对于柔性转子, 在运转条件下, 转子的实际第一临界转速应低于最小允许连续转速的 15%, 实际第二临界转速应高于最大允许连续转速的 26%。

3.5.3 对电机制动的膨胀机, 低速齿轮轴的临界转速不应在高速齿轮轴转速的 85%~115%之内。

### 3.6 噪声

在工作状态下, 配大中型空气分离设备的膨胀机其噪声值不得超过 89dB(A); 配小型空气分离设备的膨胀机其噪声值不得超过 85dB(A); 测量方法可参照 GB/T 2888 的规定。

### 3.7 振动

3.7.1 轴的振动测量用非接触式仪器, 在支承轴承旁进行测量, 其振幅值见附录 A (标准的附录)。

3.7.2 轴承箱的振动用接触式仪器并固定在轴承箱上进行测量, 其均方根振动速度 (振动烈度)  $u_{rms}$  值

应低于 4.5mm/s, 其振幅值见附录 A。

**3.8** 膨胀机连续运转周期不低于成套设备规定的运转周期, 调节自如、稳定、可靠。

**3.9** 膨胀机成套供应范围

- a) 装配完整的膨胀机;
- b) 电机制动型膨胀机所属的电机、变速机构、安装底架;
- c) 供油系统;
- d) 测量仪表 (或根据产品技术文件规定);
- e) 装卸膨胀机所必需的专用工具;
- f) 备用易损件。

上述供应范围如有增加或减少则按与用户签订的合同供应。膨胀机的控制、切换、加温及安全保护等装置均由其所配套的设备成套。

**3.10** 质量保证期

在用户遵守膨胀机使用维护说明书所规定的运输、保管、安装、使用规则的条件下, 从制造厂发货日期起在 18 个月内 (其中油封有效期不超过 12 个月), 使用期不超过 12 个月, 产品因制造质量不良而发生损坏或不能正常工作时, 制造厂应无偿负责为用户更换或修理 (不包括易损件)。

## 4 试验方法

**4.1** 无负荷运转试验

**4.1.1** 在设计转速条件下做 2h 无负荷运转。

**4.1.2** 在设计转速条件下膨胀机的轴承温度不大于设计图样的规定, 振幅应符合 3.7 的规定。

**4.1.3** 无负荷运转 2h 后按设计转速的 120% 做 1min 的超速试验并测残余变形量, 应符合 JB/T 5904.2 中的规定 (超速后应复校动平衡)。

**4.1.4** 试验后拆检膨胀机, 主轴、轴承、齿轮、密封器等摩擦面不允许有影响质量的缺陷。

**4.2** 性能试验

根据需要及条件, 产品试验可在制造厂进行, 也可在用户现场进行。

**4.2.1** 试验原理

根据膨胀机的性能相似条件, 试验必须满足以下四个准则数相等。

$$\text{比转速: } n_s = \frac{nq_v^{\frac{1}{2}}}{\Delta h_s^{\frac{3}{4}}} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{比直径: } D_s = \frac{D\Delta h_s^{\frac{1}{4}}}{q_v^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{马赫数: } Ma = \frac{u}{c} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{雷诺数: } Re = \frac{uD}{\nu_1} \dots\dots\dots (5)$$

式中:  $n$ ——膨胀机转速, r/s;

$q_v^3$ ——膨胀机出口体积流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$\Delta h_s$ ——膨胀机的等熵焓降, J/kg;

$D$ ——膨胀机工作轮的外径, m;

$u$ ——膨胀机工作轮的进口圆周速度, m/s;

$c$ ——膨胀机工作介质的当地音速, m/s;

$\nu_1$ ——膨胀机工作轮进口处工作介质的运动粘度,  $\text{m}^2/\text{s}$ 。

#### 4.2.2 试验要求

##### 4.2.2.1 如果试验介质的等熵指数 $k$ 相等, 取膨胀比

$$\varepsilon_V = \varepsilon_G \dots\dots\dots (6)$$

如果试验介质的等熵指数  $k$  不相等, 膨胀比必须满足式 (7)。

$$\varepsilon_V = \varepsilon_G \frac{m_V}{m_G} \dots\dots\dots (7)$$

$$m_V = \frac{1}{1 - \frac{k_V - 1}{k_V} \eta_s} \dots\dots\dots (8)$$

$$m_G = \frac{1}{1 - \frac{k_G - 1}{k_G} \eta_s} \dots\dots\dots (9)$$

式中:  $\varepsilon_V$ ——性能试验时膨胀机的膨胀比;

$\varepsilon_G$ ——设计工况下膨胀机的膨胀比;

$m_V$ ——试验介质的多变指数;

$m_G$ ——工作介质的多变指数;

$k_V$ ——试验介质的等熵指数;

$k_G$ ——工作介质的等熵指数。

##### 4.2.2.2 性能试验时如果雷诺数满足式 (10), 可不计雷诺数的影响。

$$Re_G \geq Re_V > 10^6 \dots\dots\dots (10)$$

如果雷诺数不满足式 (10), 按增值式 (11) 修正等熵效率试验值。

$$\eta_s = 1 - (1 - \eta_{sv}) \left( \frac{Re_V}{Re_G} \right)^{0.2} \dots\dots\dots (11)$$

式中:  $Re_G$ ——设计工况下的雷诺数;

$Re_V$ ——性能试验时的雷诺数;

$\eta_{sv}$ ——性能试验时膨胀机的等熵效率。

##### 4.2.2.3 性能试验时采用临界马赫数为基准, 并符合式 (12)。

$$Ma_V^* \geq Ma_G^* \dots\dots\dots (12)$$

$$Ma_V^* = u_V / c_V^* \dots\dots\dots (13)$$

$$Ma_G^* = u_G / c_G^* \dots\dots\dots (14)$$

式中:  $Ma_V^*$ ——性能试验时的临界马赫数;

$Ma_G^*$ ——设计工况下的临界马赫数;

$u_V$ ——性能试验时膨胀机工作轮进口圆周速度, m/s;

$c_V^*$ ——性能试验时膨胀机喷嘴的临界音速, 对于亚音速喷嘴, 取喷嘴出口的当地音速, m/s;

$u_G$ ——设计工况下膨胀机工作轮进口圆周速度, m/s;

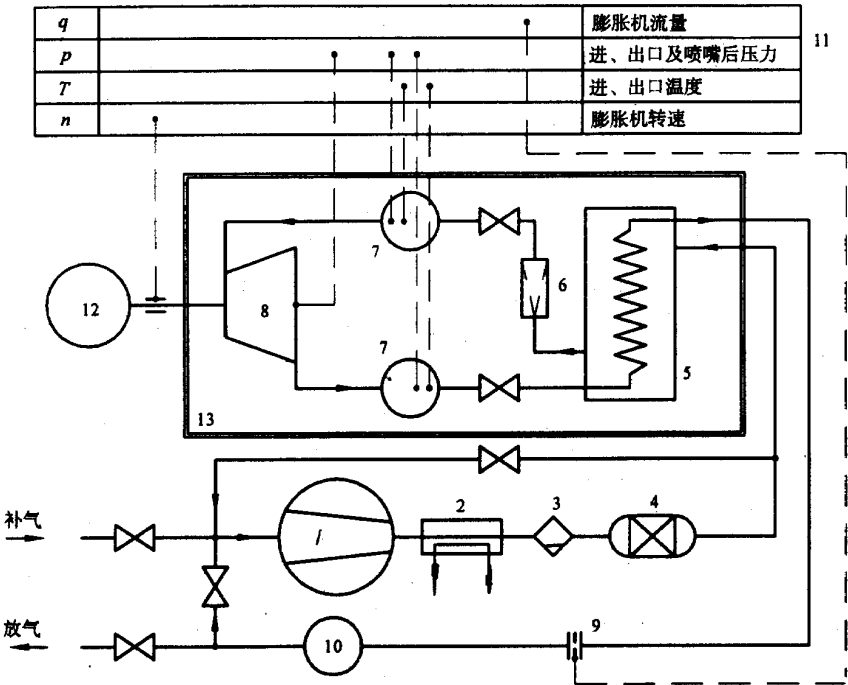
$c_g^*$ ——设计工况下膨胀机喷嘴的临界音速，对于亚音速喷嘴，取喷嘴出口的当地音速，m/s。

- 4.2.2.4 试验转速不得高于工作转速的 120%。
- 4.2.2.5 试验介质必须纯净，不允许在试验条件下造成气路堵塞和泄漏。
- 4.2.2.6 试验测量仪表
- 4.2.2.6.1 测量仪表精度按表 1 要求。

表 1

| 项 目                | 精 度 |
|--------------------|-----|
| 压力表精度等级            | 0.4 |
| 温度计（包括二次仪表）精度<br>K | 0.1 |
| 流量计精度 %            | 2.5 |
| 转速表精度 %            | 1   |
| 功率表精度 %            | 1   |

- 4.2.2.6.2 膨胀机流量计的安装按 GB/T 2624 的规定，其他仪表的安装可参照有关电工、热工仪表测量方法的规定，必须保证测量的准确性。
- 4.2.2.7 性能试验装置采用闭式循环低温试验流程（图 2），在满足上述要求的情况下也可采用抽气膨胀低温试验流程[附录 B(标准的附录)]或其他试验方法。



1—压缩机；2—气体冷却器；3—水分分离器；4—过滤吸附器；5—换热器；6—过滤器；7—气流平衡器；8—透平膨胀机（试验透平）；9—流量计；10—平衡筒；11—测量仪表屏；12—制动系统；13—绝热冷箱

图 2 闭式循环低温性能试验流程

4.2.3 试验步骤

- 4.2.3.1 试验装置中的压力容器应符合《压力容器安全技术监察规程》及有关标准的规定。
- 4.2.3.2 试验装置的管路不得泄漏和堵塞，测试仪表确定能正常使用，并在鉴定有效期内。
- 4.2.3.3 试验装置的操作按有关操作说明书进行。
- 4.2.3.4 根据试验装置的条件换算的试验模拟值，稳定试验工况。
- 4.2.3.5 每组测定的数据，应尽量在同一时间内进行，取连续测点 5 组参数，测试过程中运转参数的允许波动范围按表 2 的规定。

表 2

±%

| 运 转 参 数 | 测试值与相似模拟值间允许的最大相对偏差 | 每组测试值相对于其平均值的最大允许波动范围 |
|---------|---------------------|-----------------------|
| 进 口 压 力 | 2                   | 2                     |
| 出 口 压 力 | 2                   | 2                     |
| 进 口 温 度 | 2                   | 1                     |
| 转 速     | 5                   | 1                     |

#### 4.2.4 试验结果

4.2.4.1 用 5 组测试值分别计算，取等熵效率的平均值为试验结果，由仪表精度引起的等熵效率值绝对误差控制在 1% 之内。

$$\text{等熵效率: } \eta_s = \Delta h / \Delta h_s \cdots \cdots \cdots (15)$$

式中： $\Delta h$ ——膨胀机的实际焓降，J/kg。

#### 4.2.4.2 膨胀机的特性曲线

##### 4.2.4.2.1 膨胀机的特性曲线指曲线

$$\eta_s = f(v) \cdots \cdots \cdots (16)$$

或

$$\eta_s = f(q_n) \cdots \cdots \cdots (17)$$

式中： $v$ ——速度比（特性比）。

4.2.4.2.2 膨胀机特性曲线的试验点不宜少于 7 个点，并使分布在曲线两边的点数大致均等。

4.2.4.3 试验报告必须有试验人员和检验人员的签字，并由主管部门认可。

### 5 检验规则

5.1 膨胀机的检验分出厂检验和型式检验。

#### 5.2 出厂检验

5.2.1 膨胀机产品应逐台进行出厂检验。

##### 5.2.2 出厂检验内容

- 产品零件质量检验；
- 进行无负荷运转试验；
- 试验后的内部检验；
- 外观检验。

#### 5.3 型式检验

5.3.1 试制产品、老产品转厂生产、产品结构设计与重大修改或合同有要求时，应进行型式检验。

### 5.3.2 型式检验内容

- a) 产品通过出厂检验;
- b) 进行性能试验。

### 5.4 判定规则

**5.4.1** 产品须通过出厂检验及型式检验(如不进行型式检验则此项可免),经制造厂技术检验部门检验合格,并附有产品质量合格证明文件方可出厂。

## 6 标志、包装、运输和贮存

### 6.1 标志

**6.1.1** 每台膨胀机应在明显位置钉上产品标牌,其尺寸和技术要求应符合 GB/T 13306 的有关规定。

#### 6.1.2 标牌内容

- a) 制造厂名称;
- b) 膨胀机名称和型号;
- c) 膨胀机的技术参数(设计工况):
  - 流量(0℃, 101.325kPa), m<sup>3</sup>/h;
  - 进/出口压力(表压), MPa;
  - 进口温度, K;
  - 转子转速, r/min;
  - 重量, kg;
- d) 出厂编号;
- e) 出厂年月。

### 6.2 包装

**6.2.1** 膨胀机的包装应符合 GB/T 13384 的规定。

**6.2.2** 包装前应将产品各零部件中积存的油和水等清理干净,产品零部件外露和不涂漆的加工表面(有色金属除外),均需涂防锈层或加以适当的保护。

**6.2.3** 膨胀机的包装应保证在运输过程中免受损伤或散失附件、文件等情况,在包装箱外印上防雨、防潮、防震、勿倒置等标记,标记应符合 GB 191 的有关规定。

**6.2.4** 每台(套)膨胀机出厂时均应附带下列文件,并封存在不透水的口袋内。

- a) 出厂合格证明书;
- b) 随机文件,包括:
  - 使用维护说明书;
  - 流程图;
  - 安装图;
  - 总剖视图及主要部件图;
  - 备件清单;
  - 专用工具清单;
- c) 装箱清单。

**6.3 运输与贮存**

**6.3.1** 运输应避免使产品遭受损坏。

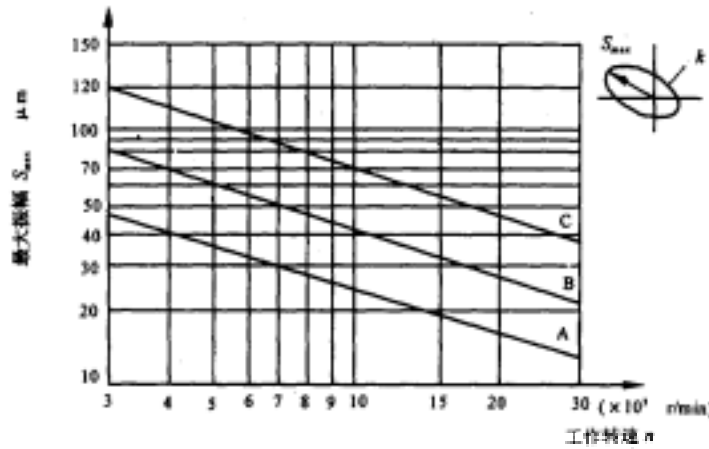
**6.3.2** 木箱应贮存在干燥、通风的库房或有遮盖的场所内。存放期间应经常做防锈、防损检查。

# 附录 A (标准的附录)

## 产品的振动判定准则

### A1 轴的振动判定

膨胀机在轴承范围内的测量平面中的相对轴振动时的极限值不得超过图 A1 中的极限曲线 A 的规定。由于冲击、形状误差等引起的虚假的轴振幅也包括在上述极限值中，它们不得超过极限曲线 A 的 35%。



A—良好振动状态的极限；B—报警的极限；C—停机的极限

图 A1 最大振幅曲线

### A2 轴承箱的振动判定

根据膨胀机轴承箱的均方根振动速度（振动烈度） $u_{rms}$ ，其对应的位移振幅值  $s$  应低于图 A2 的规定。

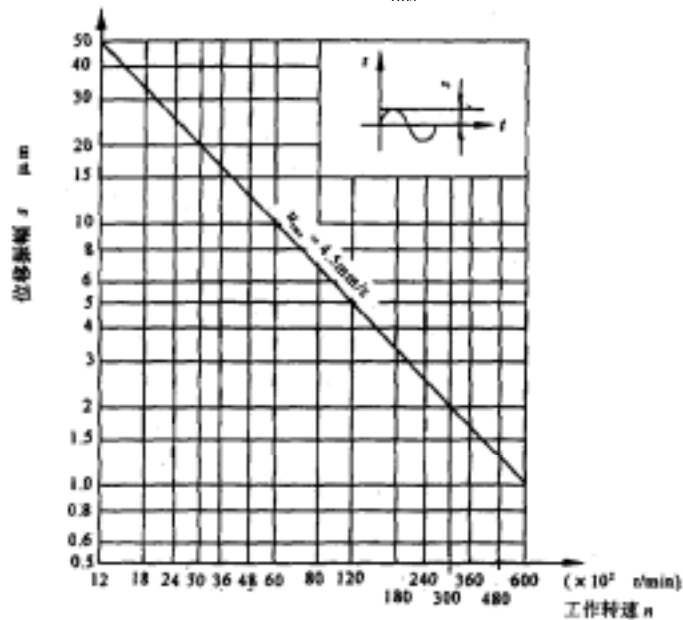
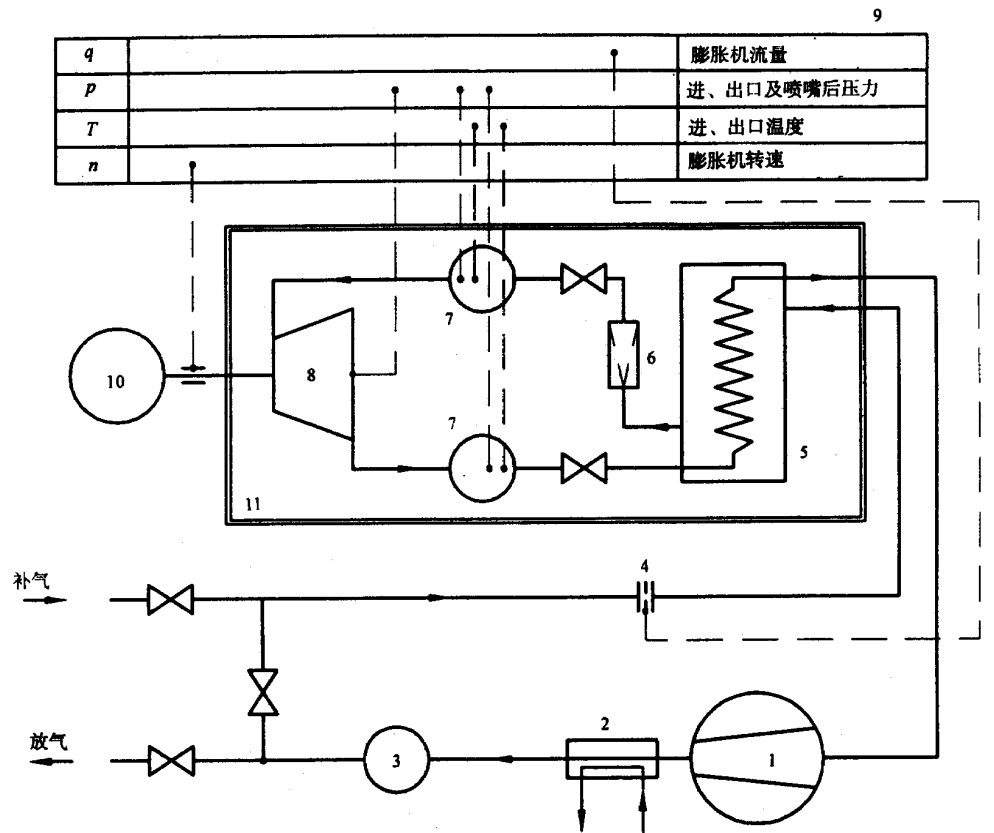


图 A2 位移振幅曲线

附录 B  
(标准的附录)

抽气膨胀低温性能试验流程



1—抽气鼓风机；2—气体冷却器；3—平衡筒；4—流量计；5—换热器；6—过滤器；  
7—气流平衡器；8—透平膨胀机（试验透平）；9—测量仪表屏；10—制动系统；11—绝热冷箱

图 B 抽气膨胀机低温性能试验流程

中 华 人 民 共 和 国  
机 械 行 业 标 准  
低压透平膨胀机 技术条件

JB/T 5904.1—1999

\*

机械工业部机械标准化研究所出版发行  
机械工业部机械标准化研究所印刷  
(北京首体南路2号 邮编 100044)

\*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 22,000  
1999年 8月第一版 1999年 8月第一次印刷  
印数 1—500 定价 10.00 元  
编号 99—162