



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 20421.2—2006/ISO 4392-2:2002

## 液压马达特性的测定 第2部分：起动力

Hydraulic fluid power—Determination of characteristics of motors—  
Part 2: Startability

(ISO 4392-2:2002, IDT)



2006-08-22 发布

2007-01-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会



中华人民共和国  
国家标准  
液压马达特性的测定  
第2部分:起动性

GB/T 20421.2—2006/ISO 4392-2:2002

\*

中国标准出版社出版发行  
北京复兴门外三里河北街16号  
邮政编码:100045

网址 [www.bzcbs.com](http://www.bzcbs.com)

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

\*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 20 千字  
2007年1月第一版 2007年1月第一次印刷

\*

书号:155066·1-28584 定价 12.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533



GB/T 20421.2-2006

## 前 言

GB/T 20421《液压马达特性的测定》分为3个部分:

- 第1部分:在恒低速和恒压力下;
- 第2部分:起动性;
- 第3部分:在恒流量和恒转矩下。

本部分为GB/T 20421的第2部分,等同采用ISO 4392-2:2002《液压传动 马达特性的测定 第2部分:起动性》(英文版)。

本部分采用ISO 4392-2:2002时,做了以下编辑性修改:

- 在“2 规范性引用文件”一章,以我国相应的标准取代国际标准,其中引用GB/T 786.1、GB/T 3141和JB/T 7033的内容与ISO 4392-2:2002中引用相应国际标准的内容完全一致;
- 将ISO 4392-2的“参考文献”中的ISO 1219-1:1991转换成相应的国家标准GB/T 786.1—1993,并依据GB/T 1.1—2000的规定将其列入“2 规范性引用文件”一章。

本部分的附录A、附录B、附录C是规范性附录。

本部分由中国机械工业联合会提出。

本部分由全国液压气动标准化技术委员会(SAC/TC 3)归口。

本部分起草单位:北京机械工业自动化研究所。

本部分主要起草人:张佳音、刘新德、赵曼琳。

本部分是首次发布。

## 引 言

在液压传动系统中,功率是通过回路内的受压流体来传递和控制的。液压马达是将液压能转变成机械能的元件,通常以旋转形式输出。起动性指马达起动的能力,在特殊的应用中,是液压马达一项重要的特性。



## 目 次

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 前言 .....                      | III |
| 引言 .....                      | IV  |
| 1 范围 .....                    | 1   |
| 2 规范性引用文件 .....               | 1   |
| 3 术语和定义 .....                 | 1   |
| 4 符号 .....                    | 1   |
| 5 试验设备 .....                  | 3   |
| 6 恒转矩方法 .....                 | 3   |
| 7 恒压力方法 .....                 | 4   |
| 8 试验报告 .....                  | 5   |
| 附录 A(规范性附录) 补充的物理量及字母符号 ..... | 6   |
| 附录 B(规范性附录) 测量准确度等级 .....     | 8   |
| 附录 C(规范性附录) 实用单位 .....        | 9   |

# 液压马达特性的测定

## 第 2 部分: 起动性

### 1 范围

GB/T 20421 的本部分描述了测定旋转液压马达起动性的两种方法。

这是两种相似的测量方法,恒转矩法(见第 6 章)和恒压力法(见第 7 章)。由于获得的结果是相同的,所以两种方法没有优劣之分。

在附录 A 中给出附加物理量及字母符号的说明。

测量的准确度划分为 A、B、C 三个等级,在附录 B 中给出说明。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过 GB/T 20421 的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本部分,然而,鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本部分。

GB/T 786.1 液压气动图形符号(GB/T 786.1—1993,eqv ISO 1219:1991)

GB/T 3141 工业液体润滑剂 ISO 粘度分类(GB/T 3141—1994,eqv ISO 3448:1992)

GB/T 17446 流体传动系统和元件 术语(GB/T 17446—1998,idt ISO 5598:1985)

GB/T 17485 液压泵、马达和整体传动装置参数定义和字母符号(GB/T 17485—1998,idt ISO 4391:1983)

JB/T 7033 液压测量技术通则(JB/T 7033—1993,eqv ISO 9110-1:1990)

ISO 9110-2:1990 液压传动 测量技术 第 2 部分:在封闭回路内的平均稳态压力的测量

### 3 术语和定义

GB/T 17446 和 GB/T 17485 中确立的以及下列术语和定义适用于 GB/T 20421 的本部分。

#### 3.1

**起动性 startability**

液压马达在规定载荷下的起动能力。

#### 3.2

**恒转矩起动 start at constant torque**

是指当测定马达轴和负载之间的角位移时,在角位移与压力特性的关系曲线上的斜率的突变点。

#### 3.3

**恒压力起动 start at constant pressure**

是指当测定马达轴和负载之间的角位移时,在角位移与转矩特性的关系曲线上的斜率的突变点。

### 4 符号

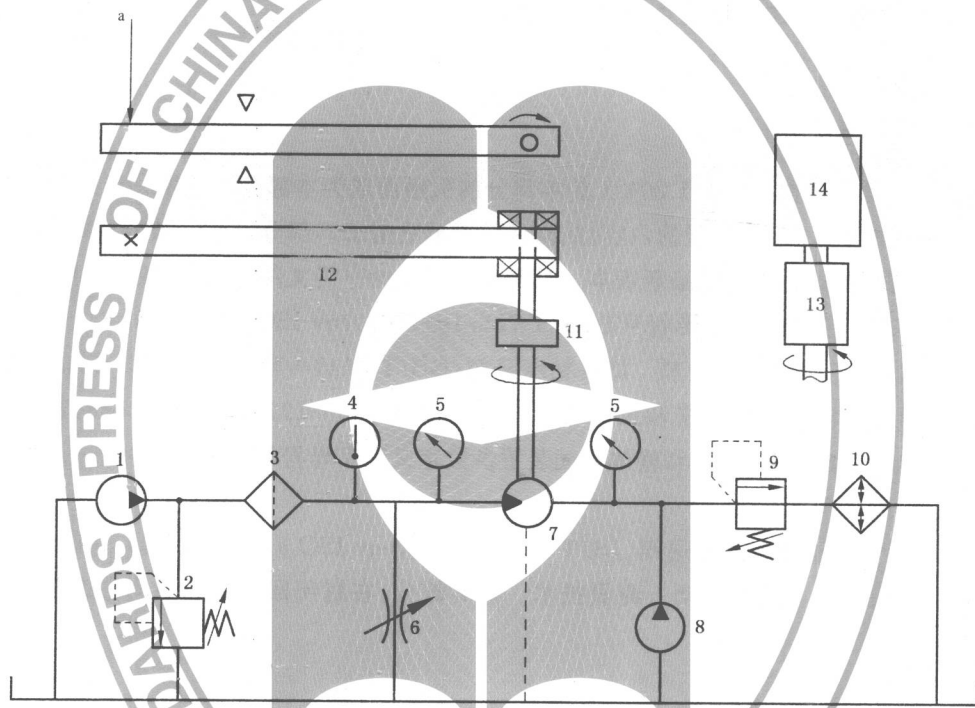
4.1 表 1 所列物理量的字母符号及其下标符合 GB/T 17485 和附录 A 的规定。

4.2 图 1 中的图形符号符合 GB/T 786.1 的规定。

表 1 符号和单位

| 物理量    | 符号            | 量纲 <sup>a</sup> | SI 单位 <sup>b</sup> |
|--------|---------------|-----------------|--------------------|
| 压力, 压差 | $p, \Delta p$ | $ML^{-1}T^{-2}$ | Pa                 |
| 转矩     | $T$           | $ML^2T^{-2}$    | $N \cdot m$        |
| 瞬时排量   | $v$           | $L^3$           | $m^3$              |
| 时间     | $t$           | T               | s                  |
| 行程排量   | $V$           | $L^3$           | $m^3$              |

a M=质量;L=长度;T=时间。  
b 附录 C 列出了描述结果的实用单位。



- 1——供油泵;
  - 2——压力控制阀(手动);
  - 3——过滤器;
  - 4——温度指示器;
  - 5——压力指示器;
  - 6——节流阀;
  - 7——被试马达;
  - 8——背压泵;
  - 9——背压控制阀;
  - 10——热交换器;
  - 11——联轴器;
  - 12——安装在静压轴承上的杆;
  - 13——转矩传感器;
  - 14——电转矩负载。
- a 可变负载。

图 1 单向马达的液压试验回路

## 5 试验设备

### 5.1 液压试验回路

#### 5.1.1 液压试验回路如图 1 所示。

图 1 没有表示出为防止元件意外失效造成破坏所需的所有安全装置。试验人员应对人身安全和设备安全给予应有的重视。

注 1: 虽然图 1 列举的是单向马达的基本试验回路,但是经适当修改即可用作双向马达的试验。

注 2: 当柱塞马达试验时,可能需要增加补油泵回路。

5.1.2 应安装油液调节回路,提供必要的过滤,以保护被试马达和回路中的其他元件,并保持马达进油口的油液温度在 50℃ 或 80℃,误差不超过 ±2℃。

5.1.3 被试马达进、出油口与液压回路的连接,应使马达输出轴旋转方向与负载转矩方向相反。

5.1.4 最高试验压力不应超过马达制造商推荐值。

### 5.2 仪器

测量仪器应符合 JB/T 7033 和 ISO 9110-2 的要求,其系统误差应与所选择的测量准确度等级相一致(见附录 B)。

## 6 恒转矩方法

### 6.1 试验装置

6.1.1 试验台应采用 5.1.1 规定的试验回路,并提供如图 1 所示及 6.1.2 和 6.1.3 中所描述的装备。

6.1.2 提供一种转矩加载装置,如图 1 中的 12 所示,可以在马达起动时限制马达轴的转动,例如可调节末端质量的水平臂,也可以采用如图 1 中 14 所示的可控电子变转矩加载设备。

6.1.3 提供一个机械锁定装置防止转矩加载装置使被试马达反转。

### 6.2 试验条件

6.2.1 开始试验前被试马达应处于热平衡状态。

6.2.2 出口压力应一直保持在马达制造商推荐的压力范围内。

6.2.3 马达进口压力每秒的增长率要小于或等于试验压力的 20%,不会显著地影响马达的起动压力。

6.2.4 进行测量前,首先应把经过马达的压差降低到最高试验压力的 5% 或 1 MPa(10 bar),取小值。

注:这一要求不适用于特殊用途的马达,如绞盘驱动。

6.2.5 以不同轴位置的测量次数,应多于在一转范围内测得最高起动压力(具有 95% 的置信度)所需的最少数量。

6.2.6 转矩值应保持恒定,变化在 ±1% 以内。

### 6.3 试验步骤

6.3.1 调节马达出口的背压,使之处于一个恒定值(见 6.2.2)。

6.3.2 逐渐增加进口压力,直到马达开始转动(见 6.2.3)。同时记录下马达轴相对于进口压力的角位移。

6.3.3 把 6.3.2 步骤中获得数据制成图表并注明使马达开始转动的压力值,即特征曲线的斜率发生突变的点(见 3.2)。

6.3.4 在若干不同的轴位置上重复步骤 6.3.2~6.3.3(见 6.2.5)。

6.3.5 在若干不同的转矩下重复步骤 6.3.2~6.3.4(见 6.2.6),以获得一个覆盖典型起动条件范围的特征曲线。

6.3.6 双向马达要在反方向重复步骤 6.3.2~6.3.5。

### 6.4 结果表达

使用下面的公式计算每个试验转矩下的最小起动效率  $\eta_{hm,min}$



$$\eta_{\text{hm},\text{min}} = \frac{\Delta p_{\text{i},\text{mi}}}{\Delta p_{\text{e},\text{max}}}$$

或

$$\eta_{\text{hm},\text{min}} = \frac{\Delta p_{\text{g},\text{mi}}}{\Delta p_{\text{e},\text{max}}}$$

式中:

$$\Delta p_{\text{i},\text{mi}} = \frac{2\pi}{V_{\text{i}}} \times T';$$

$$\Delta p_{\text{g},\text{mi}} = \frac{2\pi}{V_{\text{g}}} \times T';$$

$T'$ ——试验转矩;

$\Delta p_{\text{e},\text{max}}$ ——试验中测得的指定转矩下的最大压差。

## 7 恒压力方法

### 7.1 试验装置

7.1.1 试验台应采用 5.1.1 规定的试验回路,并提供如图 1 所示及 7.1.2 中所描述的装备。

7.1.2 应提供一种符合 6.1.2 要求的转矩加载装置(图 1 中的 11 和 12 或 13 和 14)。

### 7.2 试验条件

7.2.1 开始试验前被试马达应处于热平衡状态。

7.2.2 出口压力应一直保持在马达制造商推荐的压力范围内。

7.2.3 转矩每秒的减小率要小于或等于试验转矩的 20%,不会显著地影响马达的起动转矩。

7.2.4 进行测量前,首先应把经过马达的压差降低到最高试验压力的 5%或 1 MPa(10 bar),取小值。

注:这一要求不适用于特殊用途的马达,如绞盘驱动。

7.2.5 以同一转矩,不同轴位置测量的次数应足以得到最小起动转矩(具有 95%的置信度)。

### 7.3 试验步骤

7.3.1 调节马达出口的背压,使之处于一个恒定值(见 7.2.2)。

7.3.2 在适当的压力下,调节转矩加载装置的转矩值,稍大于马达理论转矩的最大值。

7.3.3 逐渐增加马达进口压力至试验所需的压力。如果超过试验压力,应将压力降下并重复前述步骤。

7.3.4 平滑地降低加载转矩(见 7.2.3)直到马达开始转动。同时记录下马达轴相对于转矩的角位移。

7.3.5 把 7.3.4 步骤中获得的数据制成图表并注明使马达开始转动的转矩值,即特征曲线的斜率发生突变的点(见 3.3)。

7.3.6 在多个不同的压力下及轴的不同位置上重复步骤 7.3.2~7.3.5(见 7.2.5),以获得一个覆盖典型起动条件范围的特征曲线。

7.3.7 双向马达要在反方向重复步骤 7.3.2~7.3.6。

### 7.4 结果表达

使用下面的公式计算每个试验压力下的最小起动转矩效率  $\eta_{\text{hm},\text{min}}$

$$\eta_{\text{hm},\text{min}} = \frac{T_{\text{e},\text{min}}}{T_{\text{i},\text{mi}}}$$

或

$$\eta_{\text{hm},\text{min}} = \frac{T_{\text{e},\text{min}}}{T_{\text{g},\text{mi}}}$$

式中:

$$T_{\text{i},\text{mi}} = \frac{1}{2\pi} \times V_{\text{i}} \times p';$$

$$T_{g,mi} = \frac{1}{2\pi} \times V_g \times p';$$

$p'$ ——所用的试验压力；

$T_{e,min}$ ——试验中测得的指定压力下的最低转矩。

## 8 试验报告

### 8.1 总则

在各试验压力下的所有相关试验数据以及 8.3 中所列内容,均应记录在试验报告中。

### 8.2 试验数据的表达

所有试验测量值和由测量值得出的计算结果,均应用列表和适当图形表示。

### 8.3 试验数据

试验报告中应包含下列数据:

- a) 试验马达的说明;
- b) 采用的试验方法,即恒转矩法或恒压力法;
- c) 采用的测量准确度等级(见附录 B);
- d) 液压试验回路及元件的说明;
- e) 试验用油液的说明;
- f) 油液黏度(依据 GB/T 3141 确定);
- g) 油液温度(见 5.1.2);
- h) 出口压力(见 6.2.2 和 7.2.2);
- i) 几何排量  $V_g$  或理论排量  $V_i$ ;
- j) 根据所用的试验方法选择其中之一:
  - 1) 试验压力和各试验压力下相应的马达轴旋转一周中最小及最大的起动转矩;
  - 2) 试验转矩和各试验转矩下相应的马达轴旋转一周中最小及最大的起动压力;
- k) 最小起动效率  $\eta_{hm,min}$ (见 6.4 和 7.4);
- l) 从轴端观察的起动方向(顺时针或者逆时针)。

附 录 A  
(规范性附录)  
补充的物理量及字母符号

## A.1 总则

本附录是对 GB/T 17485 中涉及液压马达起动条件方面物理量及字母符号的补充,用于准备试验报告。

## A.2 恒转矩试验中起动条件的数据(表 A.1)

表 A.1 恒转矩试验中起动条件的物理量及字母符号

| 序号     | 名称                 | 符号                             | 量纲              | 定义或解释   |
|--------|--------------------|--------------------------------|-----------------|---|
| A.2.1  | 压差                 | $\Delta p_{(\varphi=\dots)}$   | $ML^{-1}T^{-2}$ | 在给定的轴位置的压差( $\varphi=\dots$ ) <sup>a</sup>  |
| A.2.2  | 一转或 $2\pi$ 弧度的压差积分 | $\Delta p_{mi}$                | $ML^{-1}T^{-2}$ | 对一转内的压力积分得到的平均值<br>$\Delta p_{mi} = \frac{1}{2\pi} \int_{\varphi=0}^{\varphi=2\pi} \Delta p_{(\varphi=\dots)} d\varphi$   |
| A.2.3  | 最小压差               | $\Delta p_{e,min}$             | $ML^{-1}T^{-2}$ | 一转或 $2\pi$ 弧度内的最小压差   |
| A.2.4  | 最大压差               | $\Delta p_{e,max}$             | $ML^{-1}T^{-2}$ | 一转或 $2\pi$ 弧度内的最大压差   |
| A.2.5  | 最低压力与压差积分的偏差       | $\delta\Delta p_{e,min}$       | 1               | $\delta\Delta p_{e,min} = \frac{\Delta p_{e,mi} - \Delta p_{e,min}}{\Delta p_{e,mi}}$   |
| A.2.6  | 最高压力与压差积分的偏差       | $\delta\Delta p_{e,max}$       | 1               | $\delta\Delta p_{e,max} = \frac{\Delta p_{e,max} - \Delta p_{e,mi}}{\Delta p_{e,mi}}$   |
| A.2.7  | 压差积分的总偏差           | $\Delta p_{e,t}$               | 1               | $\delta\Delta p_{e,t} = \delta\Delta p_{e,min} + \delta\Delta p_{e,max} = \frac{\Delta p_{e,max} - \Delta p_{e,min}}{\Delta p_{e,mi}}$  |
| A.2.8  | 瞬时几何压差             | $\Delta p_{g,(\varphi=\dots)}$ | $ML^{-1}T^{-2}$ | 在给定的轴的位置的几何压差( $\varphi=\dots$ ) <sup>a</sup><br>$\Delta p_{g,(\varphi=\dots)} = \frac{T_{g,(\varphi=\dots)}}{V_{g,(\varphi=\dots)}}$<br>其中<br>$T_{g,(\varphi=\dots)}$ 为瞬时几何转矩(见 A.3.11);<br>$V_{g,(\varphi=\dots)}$ 为给定的轴的位置的几何排量( $\varphi=\dots$ ) |
| A.2.9  | 一转内理论压差积分          | $\Delta p_{i,mi}$              | $ML^{-1}T^{-2}$ | $\Delta p_{i,mi} = \frac{2\pi T_{i,mi}}{V_i}$<br>其中:<br>$T_{i,mi}$ 为一转的理论转矩积分(见 A.3.13);<br>$V_i$ 为理论排量(见 A.3.10)   |
| A.2.10 | 一转内几何压差积分          | $\Delta p_{g,mi}$              | $ML^{-1}T^{-2}$ | $\Delta p_{g,mi} = \frac{2\pi T_{g,mi}}{V_g}$<br>其中:<br>$T_{g,mi}$ 为一转的几何转矩积分(见 A.3.12);<br>$V_g$ 为几何排量(见 A.3.9)  |
| A.2.11 | 平均液压机械效率积分         | $\eta_{hm,mi}$                 | 1               | $\eta_{hm,mi} = \frac{\Delta p_{g,mi}}{\Delta p_{e,mi}}$  |

表 A.1 (续)

| 序号  | 名称                    | 符号              | 量纲 | 定义或解释  |
|---|-----------------------|-----------------|----|--|
| A. 2.12   | 最高液压机械效率 <sup>b</sup> | $\eta_{hm,max}$ | 1  | $\eta_{hm,max} = \frac{\Delta p_{g,(φ...)}}{\Delta p_{e,min}}$ |
| A. 2.13   | 最低液压机械效率 <sup>b</sup> | $\eta_{hm,min}$ | 1  | $\eta_{hm,min} = \frac{\Delta p_{g,(φ...)}}{\Delta p_{e,max}}$ |
| <sup>a</sup> $\varphi$ 为转动的角度。<br><sup>b</sup> 当 $\Delta p_{g,(φ...)}$ 无法求出的情况下, 可以使用 $\Delta p_{i,mi}$ 或 $\Delta p_{g,mi}$ 。 |                       |                 |    |  |

A.3 恒压力试验中起动工况的数据(表 A.2)

表 A.2 恒压力试验中起动工况的物理量及字母符号

| 序号  | 名称                    | 符号                  | 量纲            | 定义或解释   |
|---|-----------------------|---------------------|---------------|---|
| A. 3.1  | 转矩                    | $T_{(\varphi=...)}$ | $ML^2 T^{-2}$ | 在给定轴位置( $\varphi=...$ )的转矩 <sup>a</sup>   |
| A. 3.2  | 一转或 $2\pi$ 弧度的转矩积分    | $T_{mi}$            | $ML^2 T^{-2}$ | 一转内转矩积分的平均值<br>$T_{mi} = \frac{1}{2\pi} \int_{\varphi=0}^{\varphi=2\pi} T_{(\varphi=...)} d\varphi$ |
| A. 3.3  | 最大转矩                  | $T_{e,max}$         | $ML^2 T^{-2}$ | 一转或 $2\pi$ 弧度内的最大转矩   |
| A. 3.4  | 最小转矩                  | $T_{e,min}$         | $ML^2 T^{-2}$ | 一转或 $2\pi$ 弧度内的最小转矩   |
| A. 3.5  | 最大转矩与转矩积分的偏差          | $\delta T_{e,max}$  | 1             | $\delta T_{e,max} = \frac{T_{e,max} - T_{e,mi}}{T_{e,mi}}$  |
| A. 3.6  | 最小转矩与转矩积分的偏差          | $\delta T_{e,min}$  | 1             | $\delta T_{e,min} = \frac{T_{e,mi} - T_{e,min}}{T_{e,mi}}$  |
| A. 3.7  | 转矩积分的总偏差              | $\delta T_{e,t}$    | 1             | $\delta T_{e,t} = \delta T_{e,max} + \delta T_{e,min} = \frac{T_{e,max} - T_{e,min}}{T_{e,mi}}$     |
| A. 3.8  | 瞬时几何排量                | $V_{g,(φ=...)}$     | $L^3$         | 在给定轴位置的几何排量   |
| A. 3.9  | 几何排量                  | $V_g$               | $L^3$         | 不考虑误差、间隙或变形的计算几何排量  |
| A. 3.10   | 空载排量                  | $V_i$               | $L^3$         | 测量流量获得的排量   |
| A. 3.11   | 瞬时几何转矩                | $T_{g,(φ=...)}$     | $ML^2 T^{-2}$ | 在给定轴位置( $\varphi=...$ )的几何转矩 <sup>a</sup>   |
| A. 3.12   | 一转内几何转矩积分             | $T_{g,mi}$          | $ML^2 T^{-2}$ | $T_{g,mi} = \frac{1}{2\pi} \int_{\varphi=0}^{\varphi=2\pi} T_{g,(φ=...)} d\varphi$                  |
| A. 3.13   | 一转内理论转矩积分             | $T_{i,mi}$          | $ML^2 T^{-2}$ | $T_{i,mi} = \frac{V_i \cdot \Delta p}{2\pi}$<br>其中 $\Delta p$ 为压差(见 A.2.1)                          |
| A. 3.14   | 平均液压机械效率              | $\eta_{hm}$         | 1             | $\eta_{hm} = \frac{T_{e,mi}}{T_{g,mi}}$   |
| A. 3.15   | 最高液压机械效率 <sup>b</sup> | $\eta_{hm,max}$     | 1             | $\eta_{hm,max} = \frac{T_{e,max}}{T_{g,(φ=...)}}$   |
| A. 3.16   | 最低液压机械效率 <sup>b</sup> | $\eta_{hm,min}$     | 1             | $\eta_{hm,min} = \frac{T_{e,min}}{T_{g,(φ=...)}}$   |
| <sup>a</sup> $\varphi$ 为转动的角度。<br><sup>b</sup> 当 $T_{g,(φ=...)}$ 无法求出的情况下, 可以使用 $T_{i,mi}$ 或 $T_{g,mi}$ 。 |                       |                     |               |   |

**附录 B**  
(规范性附录)  
**测量准确度等级**

注：在 JB/T 7033 和 ISO 9110-2 中给出了对测量准确度的指导。

### B.1 测量准确度等级

根据要求的准确度，试验应经有关各方商定，按 A、B、C 三种测量准确度等级之一完成。

注 1：等级 A 和等级 B 用于需要比较准确地确定性能的特殊场合。

注 2：等级 A 和等级 B 的试验，要求比较精确的仪器和方法，因此会增加这类试验的费用。

### B.2 误差

试验装置或方法应通过国家标准校准或比对，并具有不超过表 B.1 中给出的系统误差范围的测量能力。

注：表 B.1 中给出的范围是被测量的值，而不是仪器最大刻度值的百分数。

**表 B.1 校准期间测定的测量仪器的允许系统误差**

| 测量仪器的参量                | 相对于测量准确度等级的允许系统误差 |        |        |
|------------------------|-------------------|--------|--------|
|                        | A                 | B      | C      |
| 转矩/%                   | ±0.5              | ±1     | ±2     |
| 压力低于 0.2 MPa 的压力表/MPa  | ±0.001            | ±0.003 | ±0.005 |
| 压力等于或高于 0.2 MPa 的压力表/% | ±0.5              | ±1.5   | ±2.5   |
| 油液温度/℃                 | ±0.5              | ±1     | ±2     |

附 录 C  
(规范性附录)  
实 用 单 位

试验结果可以使用表 C.1 所列的单位。

表 C.1 实用单位

| 物理量  | 符号            | SI 单位          | 实用单位             |
|--|---------------|----------------|------------------|
| 压力, 压差   | $p, \Delta p$ | Pa             | bar <sup>a</sup> |
| 转矩   | $T$           | N·m            | N·m              |
| 瞬时排量   | $v$           | m <sup>3</sup> | dm <sup>3b</sup> |
| 时间   | $t$           | s              | s, ms            |
| 理论排量   | $V$           | m <sup>3</sup> | dm <sup>3</sup>  |
| <sup>a</sup> 1 bar = 10 <sup>5</sup> Pa = 10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup> = 0.1 MPa。<br><sup>b</sup> 1 dm <sup>3</sup> = 1 L。 |               |                |                  |