

中华人民共和国国家标准

GB/T 44050.1—2024

液压传动 油液噪声特性测定 第1部分：通则

Hydraulic fluid power—Determination of fluid-borne noise characteristics
of components and systems—Part 1: Introduction

(ISO 15086-1:2001, MOD)

2024-05-28 发布

2024-05-28 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

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 2

5 基础模型和理论 3

6 试验与测量 6

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。

本文件是 GB/T 44050《液压传动 油液噪声特性测定》的第 1 部分。GB/T 44050 已经发布了以下部分：

——第 1 部分：通则；

——第 2 部分：管道中油液声速的测量。

本文件修改采用 ISO 15086-1:2001《液压传动 油液噪声特性测定 第 1 部分：通则》。

本文件与 ISO 15086-1:2001 的技术差异及其原因如下：

——更改了本文件的范围(见第 1 章,ISO 15086-1:2001 的第 1 章),以适应我国的技术条件；

——用规范性引用的 GB/T 17446 替换了 ISO 5598(见第 3 章),以适应我国的技术条件,提高可操作性；

——术语和定义中删除了“3.7~3.10、3.12”(见 ISO 15086-1:2001 的第 3 章),以符合我国的编写规则；

——更改了公式(5)~公式(8)(见 5.3,ISO 15086-1:2001 的 5.3),以保持与相关标准的一致性；

——增加了部分符号(见表 1),以符合我国的编写规则。

本文件做了下列编辑性改动：

——将第 4 章中的符号以表的形式呈现,并增加了符号的单位；

——增加了管路示例(见图 3、图 4)；

——更改了图 1、图 2 中横纵坐标的符号和单位；

——更正了 ISO 15086-2:2000 的编辑性错误,按照先后顺序调整所有公式的编号,并在正文中逐一引用；

——删除了参考文献。

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。

本文件由全国液压气动标准化技术委员会(SAC/TC 3)归口。

本文件起草单位：浙江大学、安徽乐冠智能科技有限公司、佛山市顺德区质量技术监督标准与编码所、厦门大学、北京机械工业自动化研究所有限公司、武汉科技大学、宁波华液机器制造有限公司、共青团职业学院、国家智能制造装备产品质量监督检验中心(浙江)、中国机械总院集团海西(福建)分院有限公司、江苏国瑞液压机械有限公司。

本文件主要起草人：徐兵、叶绍干、罗经、陈新元、魏新、许弟春、张策、刘金华、郑智剑、占稳、阮瑞勇、林泉。

引 言

在液压流体动力系统中,动力是通过封闭回路中的受压液体来传输和控制的。在将机械功率转化为流体功率的过程中,会产生流体噪声(流量波动和压力波动),进而导致结构噪声和空气噪声。流体噪声的传输受到液压回路中元件阻抗的影响。

GB/T 44050 旨在规范液压元件和系统油液噪声特性的测定,由三个部分构成。

- 第 1 部分:通则。目的在于通过提供确定液压元件和系统油液噪声特性的传递矩阵理论,为测定油液噪声的特性提供指导。
- 第 2 部分:管道中油液声速的测量。目的在于通过对安装在管路中的压力传感器的测量,确定管路内封闭油液中的声速的方法。
- 第 3 部分:液压阻抗的测量。目的在于通过对安装在管路中的压力传感器的测量,确定液压元件阻抗特性的方法。

目前,已经开发出多种方法来描述液压系统中油液噪声的产生和传播。其中,传递矩阵方法能够很好地描述元件的物理行为,并为元件特性的测量提供合适的基础。

液压传动 油液噪声特性测定
第 1 部分：通则

1 范围

本文件提供了确定液压元件和系统油液噪声特性的传递矩阵理论，为测定油液噪声的特性提供指导。

本文件适用于稳态工况下液压传动回路中 10 Hz~3 000 Hz 频率范围内油液噪声的测定。

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 17446 流体传动系统及元件 词汇(GB/T 17446—2024,ISO 5598:2020,MOD)

3 术语和定义

GB/T 17446 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

流量波动 flow ripple

液压油液中流量的变动。

3.2

压力波动 pressure ripple

由流量波动源与系统的相互作用引起的液压油液中压力的变动分量。

3.3

液压噪声发生器 hydraulic noise generator

在回路中产生流量波动，从而导致压力波动，或在回路中产生压力波动，从而导致流量波动的液压元件。

3.4

基频 fundamental frequency

理论分析的或由仪器测量的压力波动(或流量波动)的最低频率。

示例 1：

转速为 $N(\text{r/s})$ 的液压泵或液压马达的基频为 $N(\text{Hz})$ 。对于具有 k 个排量组件的液压泵或马达，如果在不同周期之间没有明显的测量偏差，则基频也可取为 $N(\text{kHz})$ 。

示例 2：

数字频率分析仪根据第一谱线的频率定义基频。

3.5

谐波 harmonic

以基频整数倍出现的压力波动或流量波动的正弦分量。

注：谐波可用幅值和相位来表示，也可用其实部和虚部来表示。

3.6

阻抗 impedance

液压系统中给定点在给定频率下的压力波动与流量波动的复数比。

3.7

液声能 hydro-acoustic energy

液体中能量的变动部分。

3.8

端口对称性 port-to-port symmetry

两端口元件的端口与回路的连接转换后,波的传播特征保持相同的特性。

4 符号

表 1 中列出的符号适用于本文件。

表 1 符号

符号	说明	单位
A, A', A^*, B, B', B^*	复系数	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$
a, b	与频率相关的波传播系数	Hz
C'	复系数	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$
c	油液中的声速	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
d	管路内径	m
f	频率	Hz
f_0	基频	Hz
j	虚数单位	—
L	管路长度	m
n	谐波总数	—
P	压力波动的傅立叶变换	Pa
$p(t)$	压力波动的时间函数	Pa
p_i	压力波动第 i 次谐波的幅值	Pa
Q	流量波动的傅立叶变换	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
$Q_{x \rightarrow y}$	位置 x 的流量波动,流动方向从 x 到 y (复数)	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
$Q_{1 \rightarrow 2}$	位置 1 的流量波动,流动方向从 1 到 2(复数)	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
$Q_{2 \rightarrow 1}$	位置 2 的流量波动,流动方向从 2 到 1(复数)	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
$Q_{2 \rightarrow 3}$	位置 2 的流量波动,流动方向从 2 到 3(复数)	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
$q(t)$	流量波动的时间函数	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
q_i	流量波动的第 i 次谐波的幅值	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
R	谐波分量的大小(压力或流量波动,视情况而定)	Pa 或者 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
t	时间	s
ϵ_f	管路连接处流量波动的计算误差	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

表 1 符号 (续)

符号	说明	单位
ϕ_i	压力波动第 i 次谐波的相位	(°)
ρ	油液密度	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
ν	运动黏度	$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
θ	谐波分量的相位(压力或流量波动,视情况而定)	(°)
ω	角频率	$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$
ϕ_i	流量波动第 i 次谐波的相位	(°)

5 基础模型和理论

5.1 概述

液压系统中压力和流量波动的时间函数可用傅立叶级数进行数学描述。图 1 为时域中周期性流量波动信号,图 2 为其对应的频域信号,相位在 $-180^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 范围内。

图 2 所示的频谱显示了谐波分量的幅值和相位,也可用其实部和虚部表示。频域信号可使用频率分析仪获得。

为了确定液压元件和系统的油液噪声特性,只考虑周期性信号。

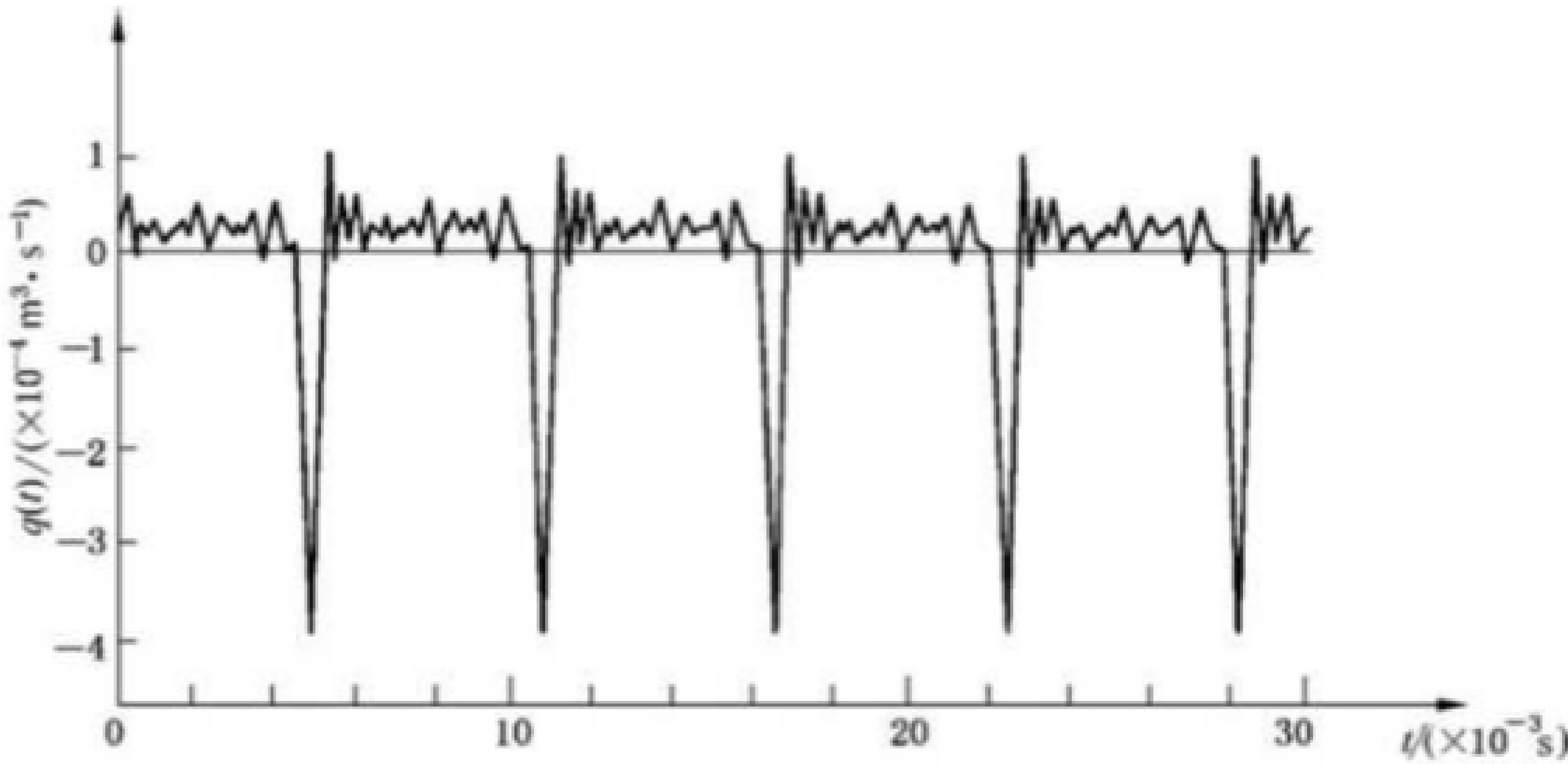


图 1 时域中流量波动信号示例

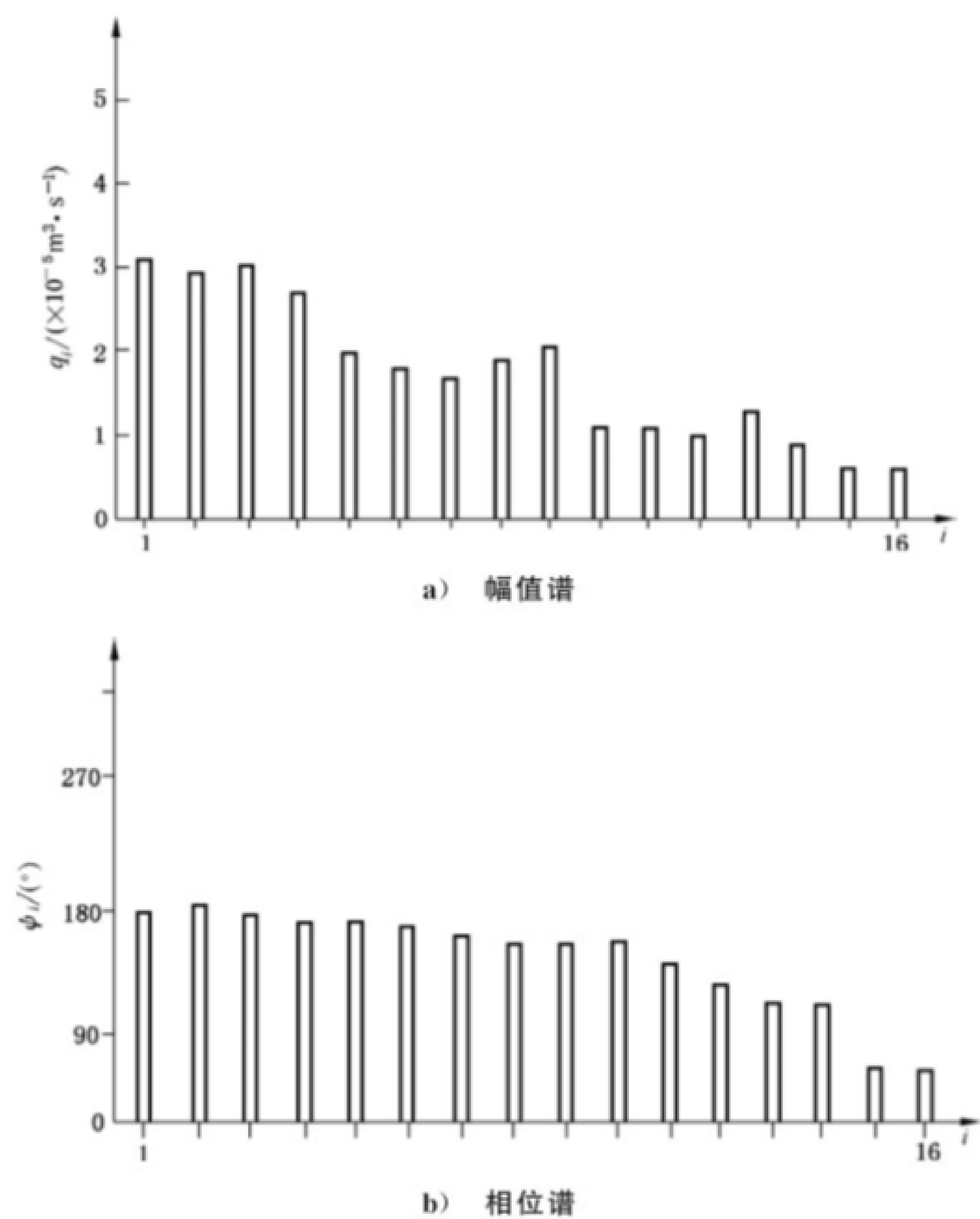


图2 时域信号对应的频谱

5.2 压力波动的频谱表示

压力波动的时间函数 $p(t)$ 可近似分解为有限个正弦压力波动 $p_i(t)$ 之和,每一个正弦分量可用其幅值(p_i)和相位(ϕ_i)描述,见公式(1):

$$p(t) = \sum_{i=1}^n p_i \sin(2i\pi f_0 t + \phi_i) \dots\dots\dots (1)$$

流量波动的时间函数 $q(t)$ 可近似分解为有限个正弦流量波动 $q_i(t)$ 之和,每一个正弦分量可用其幅值(q_i)和相位(ϕ_i)描述,见公式(2):

$$q(t) = \sum_{i=1}^n q_i \sin(2i\pi f_0 t + \phi_i) \dots\dots\dots (2)$$

在基频(f_0)整数倍(m)谐波的特定频率($f = mf_0$)下,压力波动的幅值为 P_m ,相位为 ϕ_m 。相应的流量波动的幅值为 Q_m ,相位为 ϕ_m 。
谐波分量也可用其实部和虚部表示,见公式(3):

$$R \angle \theta = R \cos \theta + jR \sin \theta \dots\dots\dots (3)$$

5.3 波在管路中传播的频域数学模型

本文件中给出的平面波传播的数学模型考虑了油液黏度的影响,适用于频域分析。该模型适用于一定压力和温度范围的牛顿流体。

在每个频率下,管路中某一处(x)的流量波动可表示为该处和另一处(y)的压力波动的线性组合,管路如图 3 所示。用复数表示,见公式(4):

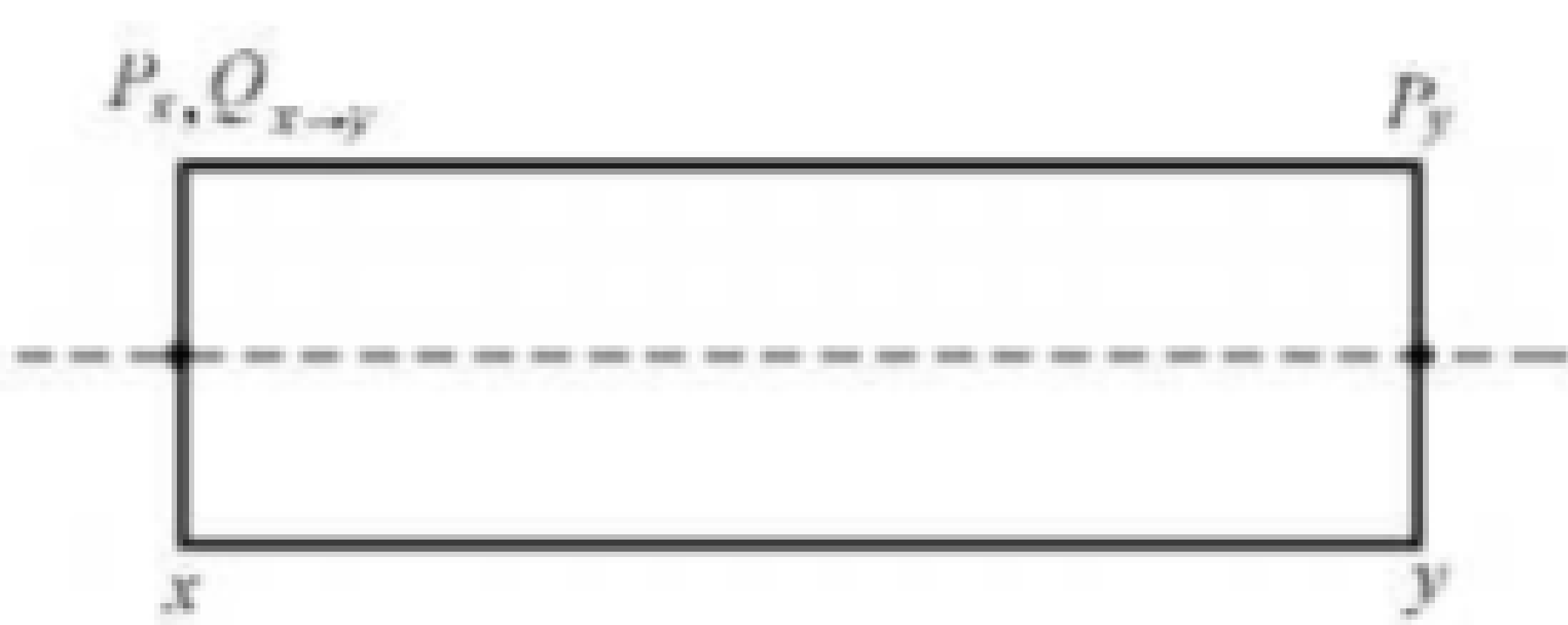
$$Q_{x \rightarrow y} = AP_x + BP_y \quad \dots\dots\dots (4)$$


图 3 管路示例

对于从 x 处到 y 处的流量,其体积流量波动 $Q_{x \rightarrow y}$ 是正值。复数 A 和 B 是频率的函数,并且和管路的几何尺寸和油液的特性参数相关,见公式(5)和公式(6):

$$A = \frac{-\pi d^2 j \omega}{4 \rho c (a - j b)} \cot \left[(a - j b) \frac{L}{c} \right] \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$B = \frac{\pi d^2 j \omega}{4 \rho c (a - j b)} \frac{1}{\sin \left[(a - j b) \frac{L}{c} \right]} \quad \dots\dots\dots (6)$$

考虑到管壁处油液黏度的影响, a 和 b 近似表达见公式(7)和公式(8):

$$a = \left(\omega + \sqrt{\frac{2 \omega \nu}{d^2}} \right) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$b = \left(\frac{4 \nu}{d^2} + \sqrt{\frac{2 \omega \nu}{d^2}} \right) \quad \dots\dots\dots (8)$$

参数 a 和 b 的计算具有足够的精度,前提是满足公式(9):

$$\omega \geq \frac{4 \nu}{d^2} \quad \dots\dots\dots (9)$$

由于等截面管路具有物理对称性,截面(y)处的流量波动可用公式(10)表示为:

$$Q_{y \rightarrow x} = AP_y + BP_x \quad \dots\dots\dots (10)$$

复系数 A 和 B 与公式(4)中的相同。

5.4 连续性方程

在两个或多个管路的连接点,或管路和元件之间的连接处,流量的代数和等于零,见公式(11):

$$Q_{2 \rightarrow 1} + Q_{2 \rightarrow 3} = 0 \quad \dots\dots\dots (11)$$

由此可将一根管路分为横截面积相同的两个独立管路,如图 4a)所示。管路连接处 2 的流量波动可表示为连接处上游某处 1 和下游某处 3 压力波动的函数,见公式(12)和公式(13):

$$Q_{2 \rightarrow 1} = AP_2 + BP_1 \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$Q_{2 \rightarrow 3} = A'P_2 + B'P_3 \quad \dots\dots\dots (13)$$

如果位置 2 和位置 3 之间的距离与位置 1 和位置 2 之间的距离不同,则上式中 A' 和 B' 与 A 和 B 的值也不同。

因此,位置 2 的压力波动可用公式(14)表示:

$$P_2 = -\frac{B}{A + A'}P_1 - \frac{B'}{A + A'}P_3 \quad \dots\dots\dots (14)$$

上述关系也适用于两个不同横截面积管路连接处的情形,如图 4b)所示。



图 4 管路示例

获得两个选定位置的压力波动后,可求得上游或下游另一位置的压力波动。测量位置 1 和位置 2 的压力波动,可求得位置 1 和位置 2 下游位置 3 的压力波动,见公式(15)~公式(18):

$$Q_{3 \rightarrow 1} = A^* P_3 + B^* P_1 \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$Q_{3 \rightarrow 2} = A' P_3 + B' P_2 \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$Q_{3 \rightarrow 1} = Q_{3 \rightarrow 2} \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$P_3 = \left(\frac{B'}{A^* - A'} \right) P_2 - \left(\frac{B^*}{A^* - A'} \right) P_1 \quad \dots\dots\dots (18)$$

其中 A' 和 B' 与位置 2 和位置 3 之间的管路特性参数相关, A^* 和 B^* 与位置 1 和位置 3 之间的管路特性参数相关。

5.5 压力和流量波动源

理想波动源是指在液压回路的特定位置产生所需幅值和相位的压力(或流量)波动的装置。实际波动源为理想波动源及其与出口相连的内部流道构成的装置,按特定的频谱将波动源的压力(或流量)波动传输到出口。出口处的压力(或流量)波动与波动源的性质、结构、连接回路的特性相关。

5.6 阻抗

对于液压元件和系统的油液噪声特性,阻抗与进入元件或系统的体积流量的代数和有关(进入元件或系统的流量为正值)。阻抗可用幅值和相位表示,也可用实部和虚部表示。

5.7 无源元件和液压噪声发生器

应区分无源元件和其他元件。无源元件内部没有明显的能量源。具有内部能量源的元件均是无源元件和液压噪声发生器的组合。

6 试验与测量

6.1 压力波动测量

多种装置可用于测量液压元件和系统中的压力波动,其带宽应满足试验的频率范围要求。

6.2 流量波动测量

目前,还没有合适的装置可在适当的频率范围和工作条件下直接测量流量波动。因此,通常测量两个(或多个)压力波动去计算流量波动。对于已知几何特性的刚性管路,可使用公式(4),从两个压力波动测量中计算流量波动。其中复系数 A 和 B 按公式(5)和公式(6),以及油液特性参数和管路几何尺寸计算。

位于压力传感器 P_1 前的流量波动 $Q_{1 \rightarrow 2}$,可根据压力波动 $P_i = P_1$ 和 $P_j = P_2$,由公式(10)计算得出。

对于管路中任意位置的压力波动和流量波动,首先使用公式(11)或公式(15)计算压力波动,然后使

用公式(4)计算流量波动。

6.3 局部阻抗测量

局部阻抗由同一位置的 P/Q 确定。 P 和 Q 可按 6.2 中所述的方法测量或计算。

6.4 声速测量

对于管路油液中声速未知的情况,可根据管路中三个不同位置压力波动的测量值计算声速。

中间传感器处的流量波动可用两种不同的方式计算:通过压力波动的测量值 P_1 和 P_2 按公式(12)计算 $Q_{2 \rightarrow 1}$;通过压力波动的测量值 P_2 和 P_3 按公式(13)计算 $Q_{2 \rightarrow 3}$ 。

由于中间压力传感器所在位置的流量连续性,两个流量波动 $Q_{2 \rightarrow 1}$ 和 $Q_{2 \rightarrow 3}$ 的代数和应为零。但是,如果计算中使用的声速有误差,代数和将不为零,见公式(19)。

$$\epsilon_f = Q_{2 \rightarrow 1} + Q_{2 \rightarrow 3} \quad \dots\dots\dots(19)$$

当每个测量谐波频率上的误差 ϵ_f 模的总和最小时,可确定声速的最佳值。为保证本文件的技术有效性,管路中油液的平均流速应小于声速的 1%。对于液压矿物油,这通常意味着其平均流速小于 10 m/s。

需要注意的是,通过这种方法获得的声速与所用的油液和管路的具体情况有关。进行液声计算时,应使用封闭在实际管路中油液的声速。

6.5 矩阵系数测量

元件的液声特性可用传递矩阵法表示。通过将一段管路视为具有端口对称性的简单双端口元件(通常情况下并非如此),其两个端口的压力波动和流量波动的关系,见公式(20)和公式(21):

$$Q_{1 \rightarrow 2} = AP_1 + BP_2 \quad \dots\dots\dots(20)$$

$$Q_{2 \rightarrow 1} = AP_2 + BP_1 \quad \dots\dots\dots(21)$$

用矩阵形式表示,见公式(22):

$$\begin{bmatrix} Q_{1 \rightarrow 2} \\ Q_{2 \rightarrow 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ B & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(22)$$

可用这种方式描述各种元件的液声特性。对于端口对称的情况,可进行相关测量以计算矩阵系数。通常,矩阵系数为复数形式。为了确定系数,测量得到 P_1 、 P_2 、 $Q_{1 \rightarrow 2}$ 和 $Q_{2 \rightarrow 1}$ 后,复系数 A 和 B 由公式(23)和公式(24)确定:

$$A = \frac{Q_{1 \rightarrow 2}/P_2 - Q_{2 \rightarrow 1}/P_1}{P_1/P_2 - P_2/P_1} \quad \dots\dots\dots(23)$$

$$B = \frac{Q_{1 \rightarrow 2}/P_1 - Q_{2 \rightarrow 1}/P_2}{P_2/P_1 - P_1/P_2} \quad \dots\dots\dots(24)$$

采用适当的计算机算法可计算这些系数,并表示为频率的函数。

对于非对称元件,情况更为复杂,需要三个系数来描述元件的特性。相关方程见公式(25)和公式(26):

$$Q_{1 \rightarrow 2} = A'P_1 + B'P_2 \quad \dots\dots\dots(25)$$

$$Q_{2 \rightarrow 1} = C'P_2 + B'P_1 \quad \dots\dots\dots(26)$$

用矩阵形式表示,见公式(27):

$$\begin{bmatrix} Q_{1 \rightarrow 2} \\ Q_{2 \rightarrow 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A' & B' \\ B' & C' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(27)$$

6.6 液压噪声发生器特性测量

液压噪声发生器具有液声能量源。例如,容积式液压泵和马达,其频率是旋转轴转速的整数倍。在

其他频率上,可将发生器视为无源元件,因此可用传递矩阵法描述其特性。

为了完整描述液压噪声发生器的特性,应明确内部能量源的特征和代表无源元件的传递矩阵系数,其测量方法见 GB/T 44050 其他部分。

6.7 测量误差

液声测量中有两种常见的误差。

- a) 一种测量误差是由连续频谱评估之间的信号变化引起的。为了降低宽带噪声的影响,应对大量频谱进行平均。每个频谱应以同步测试的数据计算,或与噪声发生器基频相关的基准同步。
 - b) 另一种测量误差是由被视为无源元件内部的液声能引起的,应避免这种测量误差。元件内的高流速是产生宽带噪声的可能原因,应采取适当的措施进行识别。
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
液压传动 油液噪声特性测定
第 1 部分：通则

GB/T 44050.1—2024

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址：www.spc.net.cn

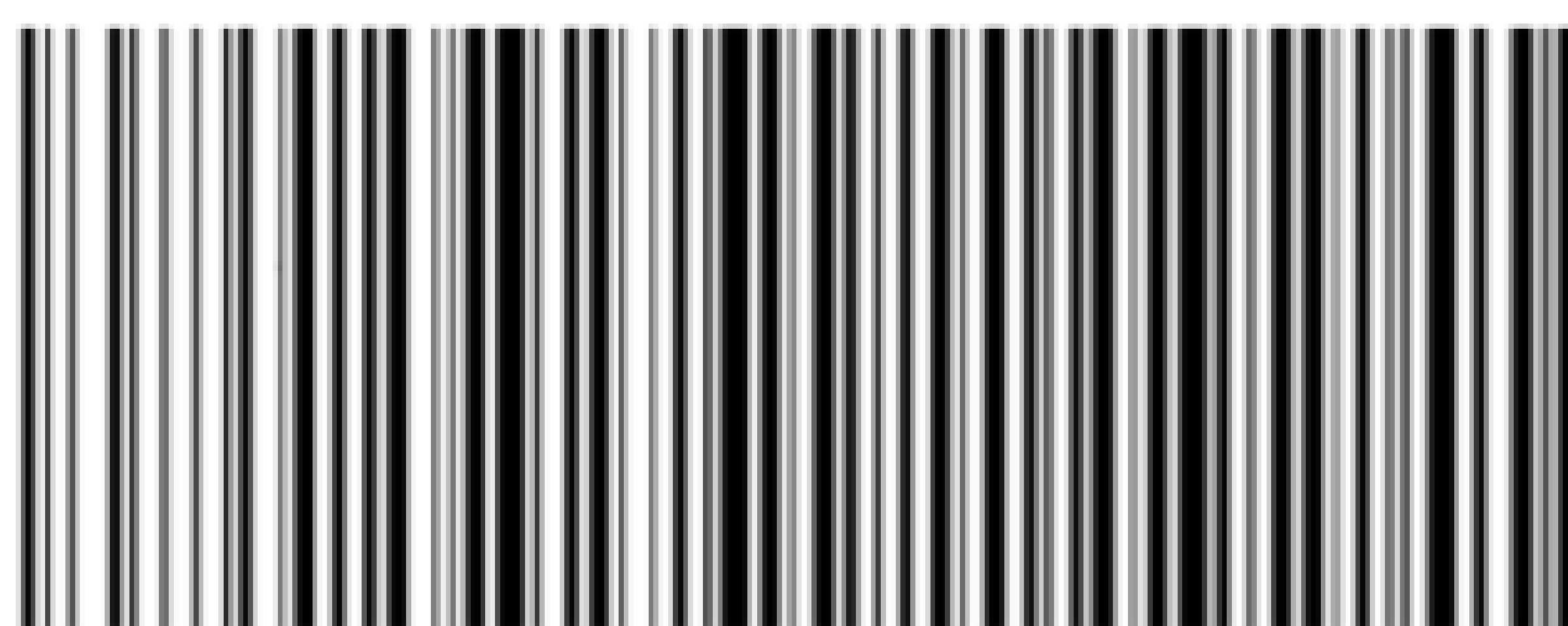
服务热线：400-168-0010

2024 年 5 月第一版

*

书号：155066 • 1-76246

版权专有 侵权必究



GB/T 44050.1—2024