



中华人民共和国国家标准

GB/T 34108—2017

金属材料 高应变速率室温压缩试验方法

Metallic materials—High strain rate compression test method at ambient
temperature

2017-07-31 发布

2018-04-01 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

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 符号和说明 2

5 试验原理 3

6 试验设备 3

7 试样 5

8 试验程序 5

9 试验数据处理 6

10 试验报告..... 8

附录 A（规范性附录） 分离式霍普金森压杆系统 9

附录 B（规范性附录） 数据测试系统 11

附录 C（资料性附录） 入射波、反射波和透射波起点的确定方法 13

附录 D（资料性附录） 高应变速率室温压缩试验数据处理方法 14

附录 E（资料性附录） 高应变速率室温压缩试验示例 16

附录 F（资料性附录） 高应变速率室温压缩试验测试异常示例 19

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国钢铁工业协会提出。

本标准由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本标准起草单位：中国工程物理研究院总体工程研究所、钢研纳克检测技术有限公司、中国科学技术大学、西北工业大学、宝山钢铁股份有限公司、冶金工业信息标准研究院。

本标准主要起草人：钟卫洲、胡文军、高怡斐、胡时胜、徐伟芳、郭伟国、方健、董莉。

引 言

材料动态力学性能参数是研究交通碰撞、空间碎片撞击、武器毁伤等结构冲击响应的基础数据。高应变速率下金属材料的压缩性能反映了材料在动态压缩载荷下的塑性流动、应变速率效应等力学特征,是结构设计、优化和制造中的关键材料参数,是建立材料塑性大变形本构模型与失效判据的重要参量,也是采用数值分析方法研究金属材料结构冲击行为进行模拟不可缺少的基本依据。当金属材料处于高应变速率变形时,许多材料的动态力学性能(如屈服强度、失效应变)表现出应变速率相关性。高速撞击条件下金属材料经历的应变速率高达 $10^2 \text{ s}^{-1} \sim 10^4 \text{ s}^{-1}$,远高于 GB/T 7314—2005 中的应变速率 ($10^{-5} \text{ s}^{-1} \sim 10^{-4} \text{ s}^{-1}$)。因此通过高应变速率压缩试验方法测试金属材料动态压缩力学特性,对于金属结构设计的选取材料、优化、加工和数值评估等方面具有重要的工程应用意义。

霍普金森压缩试验是研究材料在应变速率范围为 $10^2 \text{ s}^{-1} \sim 10^4 \text{ s}^{-1}$ 内力学性能的主要试验方法,基于一维弹性应力波和试样应力、应变分布均匀性假定,根据一维波传播理论求解波导杆与试样端面的应力-位移-时间关系,从而得到试样的应力-位移-应变关系。其试验装置具有结构简单、测量方法精巧、操作方便、加载波容易控制的特点,通过设计加载脉宽和试样尺寸,使试样在变形过程中处于动平衡状态,从而在试样变形分析中无需考虑波动效应,将应力波效应与应变速率效应成功解耦,获得材料在高应变速率下的力学性能。

本标准和 GB/T 7314 共同构成了评价金属材料在室温低应变速率和高应变速率压缩加载下力学性能的试验方法。

金属材料
高应变速率室温压缩试验方法

1 范围

本标准规定了金属材料高应变速率压缩试验方法的术语和定义、符号和说明、试验原理、试验设备、试样、试验程序、试验数据处理和试验报告等。

本标准适用于室温下金属材料在 $10^2\text{ s}^{-1}\sim 10^4\text{ s}^{-1}$ 应变速率范围内压缩应力-应变曲线等力学性能的测定。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 1804 一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差
- GB/T 2975 钢及钢产品 力学性能试验取样位置及试件制备
- GB/T 7314 金属材料 室温压缩试验方法
- GB/T 10623 金属材料 力学性能试验术语
- GB/T 13992 金属粘贴式电阻应变计
- GB/T 32967.1 金属材料 高应变速率扭转试验 第1部分:室温试验方法
- JJG 623 电阻应变仪

3 术语和定义

GB/T 10623 和 GB/T 32967.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

弹性纵波 elastic longitudinal wave
质点运动方向与波传播方向平行的弹性应力波。

3.2

纵波波速 longitudinal wave velocity
 c_b
弹性纵波波阵面的传播速度。

3.3

分离式霍普金森压杆 split Hopkinson pressure bar
一种用于测试高应变速率下试样压缩应力-应变曲线等力学性能的霍普金森杆。

3.4

波导杆 bar for wave transmit
试验装置中的输入杆和输出杆,用于弹性应力波的传导,实现对试样的加载。

GB/T 34108—2017

3.5

输入杆 input bar

试验装置中用于传导入射波和反射波信号的波导杆。

3.6

输出杆 output bar

试验装置中用于传导透射波信号的波导杆。

3.7

撞击杆 striker

试验装置中撞击输入杆的短杆,用于在波导杆中产生弹性应力波。

3.8

吸收杆 absorption bar

试验装置中用于吸收输出杆动能的金属杆。

4 符号和说明

本标准使用的符号及其说明见表 1。

表 1 符号和说明

符号	单位	说明
分离式霍普金森压杆试验系统		
a_1	mm	输入杆中应变计中心离试样端的距离
a_2	mm	输出杆中应变计中心离试样端的距离
c_b	mm/ms	波导杆中纵波波速
ρ_b	g/mm ³	波导杆材料的密度
r_b	mm	波导杆半径
d_b	mm	波导杆直径
E_b	MPa	波导杆材料的弹性模量
L	mm	波导杆的长度
L_p, L_1, L_T	mm	撞击杆、输入杆和输出杆的长度
R_b	MPa	波导杆中的应力
R_e	MPa	波导杆材料的屈服强度
v	mm/ms	撞击速度
$v_{\max}$	mm/ms	撞击杆允许的最大速度
试样		
l_0	mm	试样初始长度
r_0	mm	试样初始半径
d_0	mm	试样初始直径
ρ_s	g/mm ³	试样材料的密度
c_s	mm/ms	试样中弹性纵波波速

表 1 (续)

符号	单位	说明
试验材料的力学性能参数		
$\dot{\epsilon}_s$	ms^{-1}	工程压缩应变速率
$\overline{\dot{\epsilon}}_s$	ms^{-1}	平均工程塑性应变速率
ϵ_s	—	工程压缩应变
R_s	MPa	工程压缩应力
应变测试系统		
U_{0j}	V	第 j 通道的应变标定时电压, $j=1,2,\dots,n$
U_j	V	第 j 通道测试信号的电压, $j=1,2,\dots,n$
U_B	V	桥压
U	V	应变计测试输出电压
测试信号		
$n_1、n_2、n_3$	—	入射波、反射波、透射波起点对应的数据点序号
λ	ms	入射波的脉冲宽度
s	mm	应力波在波导杆中传播的距离
t	ms	时间
t_w	ms	应力波作用时间
t_0	ms	工程压缩应力—时间曲线中屈服强度对应的时刻
t_i	ms	采样时间间隔
τ	ms	时间积分变量
e	—	弹性压缩波产生的弹性应变
ϵ_j	—	第 j 通道的应变测量值, $j=1,2,\dots,n$
$\epsilon_I、\epsilon_R、\epsilon_T$	—	分别由入射波、反射波和透射波产生的弹性应变

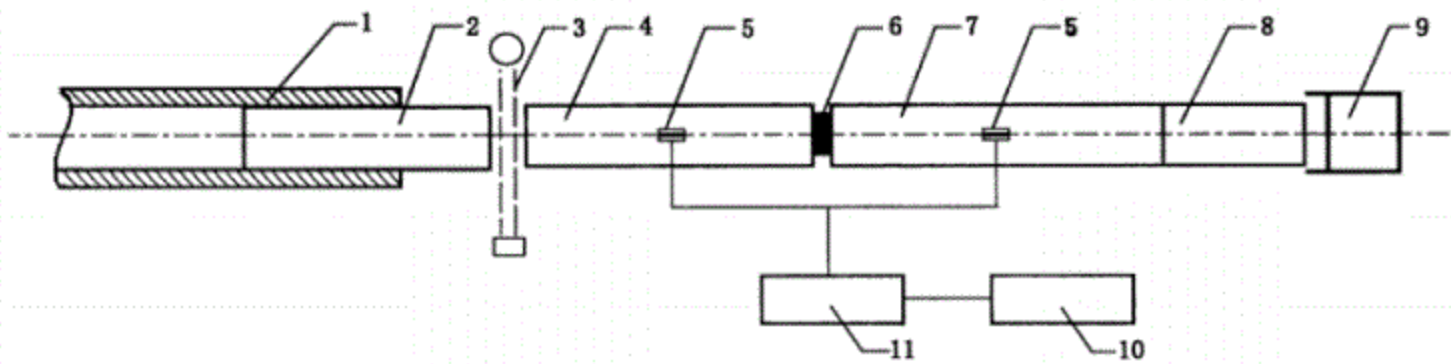
5 试验原理

在室温条件下,基于一维应力波理论和应力均匀假定,采用分离式霍普金森压杆对试样进行加载,获得高应变速率下材料的压缩力学性能。

6 试验设备

6.1 设备组成

分离式霍普金森压杆试验系统主要由分离式霍普金森压杆和数据测试系统组成,如图 1 所示。



- 说明：
- 1 ——驱动装置；
 - 2 ——撞击杆；
 - 3 ——测速装置；
 - 4 ——输入杆；
 - 5 ——应变计；
 - 6 ——试样；
 - 7 ——输出杆；
 - 8 ——吸收杆；
 - 9 ——阻尼器；
 - 10——数据采集与存储装置；
 - 11——动态应变仪。

图 1 分离式霍普金森压杆试验系统示意图

分离式霍普金森压杆主要由驱动装置、撞击杆、输入杆、输出杆、吸收杆等部分组成(见图 1),且应符合附录 A 的规定;数据测试系统主要由测速装置、应变计、动态应变仪、数据采集与存储装置及其连接的导线等部分组成(见图 1),用于测试和记录试验过程中撞击杆速度、波导杆上的入射波、反射波和透射波信号,且应符合附录 B 的规定。

6.2 试验系统检验

6.2.1 波导杆同轴度

波导杆的同轴度可通过无试样的压缩试验检测,具体方法是:将输入杆和输出杆直接同轴接触,施加载荷,检测入射波和透射波状态。当入射波、透射波的波形相同,且两曲线平台值相差小于 5%时,则波导杆的同轴度满足试验要求。

6.2.2 应变计

通过对粘贴应变计的波导杆施加已知静态力来标定应变计的输出信号;在动态压缩试验中,根据撞击杆速度、波导杆密度和纵波速度,应用式(1)计算杆中应力理论值;根据应变计测试信号 e_j ,应用式(2)计算杆中应力测试值。当理论计算与测试结果相差小于 5%满足试验要求。

$$R_b = \frac{\rho_b c_b v}{2}$$

.....(1)

$$R_b = E_b e_j$$

.....(2)

6.2.3 波速标定

在波导杆上选取一定距离的两点分别粘贴应变计,根据两应变计间的距离和应力波传播时间来计算波导杆中的弹性纵波传播速度;将测试结果与理论公式(3)计算值进行对比,当测试值与理论计算值

相差小于 2% 满足试验要求。

$$c_b = \sqrt{\frac{E_b}{\rho_b}}$$

.....(3)

7 试样

7.1 试样形状、尺寸

- 7.1.1 试样采用圆柱体,试样直径应小于波导杆直径,且试样长径比为 0.5~1.0,其要求见图 2。
- 7.1.2 试样直径和长度的尺寸公差不大于 Js9 级,未注尺寸公差按 GB/T 1804-m 执行。

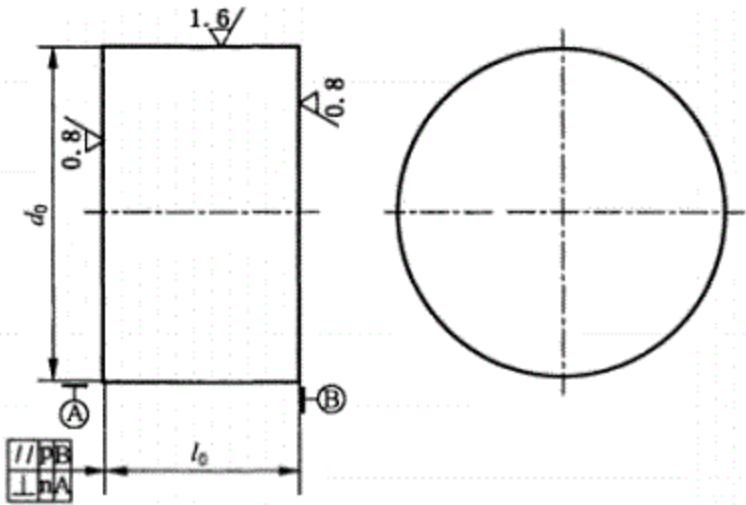


图 2 试样几何形状及加工要求

7.2 试样制备

7.2.1 样坯切取

应按照相关产品标准或 GB/T 2975 的要求切取样坯,制备过程中应避免加工硬化或过热影响试样材料动态力学性能。

7.2.2 试样制作

试样制作应符合 7.1 的规定。

7.3 试样尺寸测量

测试并记录试样直径和长度,测量装置分辨力应不低于 0.02 mm。

8 试验程序

8.1 试验条件

除非另有规定,试验一般在室温 10 ℃~35 ℃ 范围内进行。对温度要求严格的试验,试验温度应为 23 ℃±5 ℃。

8.2 测量系统建立

按附录 B 要求在波导杆中部位位置粘贴应变计,布置应变计引线连接数据采集与存储装置。

8.3 数据采集系统设置

开启测速装置、应变信号采集与存储装置预热至设备稳定。对数据采集系统进行参数设定,以保证记录信号的完整性。

8.4 撞击杆安装

将撞击杆置于驱动装置内。

8.5 试样安装

将待测试样两端均匀涂抹一层润滑剂,置于输入杆和输出杆中间,与波导杆同轴,推荐采用凡士林润滑。

8.6 驱动撞击杆

将测速装置和应变信号采集系统置于待触发状态,驱动撞击杆,速度应符合附录 A 中 A.2 规定。

8.7 数据采集

记录撞击杆速度、波导杆应变信号。

8.8 测量与记录

试验过程中应测量和记录以下信息:

- a) 撞击杆与波导杆的尺寸、弹性模量和弹性纵波波速;
- b) 应变计的型号、灵敏系数和电阻值等参数及其在波导杆中的粘贴位置;
- c) 数据测试系统的参数(测试电路、应变的标定值等);
- d) 撞击杆速度;
- e) 试样尺寸;
- f) 输入杆和输出杆原始波形;
- g) 试验后试样破坏情况。

9 试验数据处理

9.1 波导杆中的应变

波导杆中的应变按式(4)计算:

$$e_j(t) = U_j(t)/U_{0j}(t) \quad \dots\dots\dots (4)$$

9.2 波形处理

9.2.1 波形基线的确定

当采用对称贴片时,应分别取对称应变计测试信号的平均值作为数据处理时的入射波、反射波和透射波。

取入射波起点前平直段数据的平均值作为入射波和反射波的波形基线值;取透射波起点前平直段数据的平均值作为透射波的波形基线值。数据处理时,应使入射波、反射波和透射波的波形基线归零。

9.2.2 波形起点的确定

根据入射波、反射波和透射波的波形,确定对应的波形起点。所确定的起点应在对应波形的基线上

且靠近波形的起跳点,推荐采用附录 C 中的方法确定入射波、反射波和透射波的起点。

9.2.3 对齐波形起点

移动入射波、反射波和透射波,使其起点位于相同的时刻,并以此时刻作为数据处理中的起始时刻。起点对齐后的入射波、反射波和透射波应满足均匀化假设,即满足式(5):

$$e_i(t) + e_R(t) = e_T(t) \quad \dots\dots\dots (5)$$

9.2.4 应力波作用时间 t_w 的确定

宜以波形进入下降沿前的最后一个极大值点作为入射波的末点,确定应力波的作用时间 t_w ,并以此作为数据处理的结束时刻,如在附录 D 中工程压缩应变公式(D.3)、式(D.7)、式(D.10)中,设定 $t = t_w$ 。

9.3 力学性能的测定

基于入射波、反射波和透射波信号计算试样材料应变速率、应变、应力曲线,获得材料在高应变速率下压缩应力-应变曲线和屈服强度。

9.3.1 工程压缩应变速率

工程压缩应变速率的计算公式参见附录 D,推荐采用式(D.2)。

9.3.2 工程压缩应变

工程压缩应变的计算公式参见附录 D,推荐采用式(D.3)。

9.3.3 工程压缩应力

工程压缩应力的计算公式参见附录 D,推荐采用式(D.4)。

9.3.4 工程压缩应力-应变曲线

利用 9.3.3 的工程压缩应力和 9.3.2 的工程压缩应变,获得工程压缩应力-应变曲线。

9.3.5 平均工程塑性应变速率

按照式(6)对 9.3.1 中的工程应变速率历程曲线确定平均工程塑性应变速率:

$$\bar{\dot{\epsilon}}_s = \frac{1}{t_w - t_0} \int_{t_0}^{t_w} \dot{\epsilon}(\tau) d\tau \quad \dots\dots\dots (6)$$

9.3.6 压缩屈服强度

根据工程压缩应力-工程应变曲线形式,参照 GB/T 7314 的方法确定压缩屈服强度等力学性能。室温条件下应用分离式霍普金森压杆测试金属材料压缩力学性能示例参见附录 E。

9.4 试验结果有效性评估

金属材料高应变速率压缩试验中,波导杆中的入射波、反射波和透射波典型波形图如图 3 所示。若试验装置与数据采集设备设置不当将引起测试信号异常,导致试验结果无法真实反映材料力学性能。数据处理前需对试验记录信号进行分析,评估试验结果的有效性,几类典型试验测试异常示例参见附录 F。

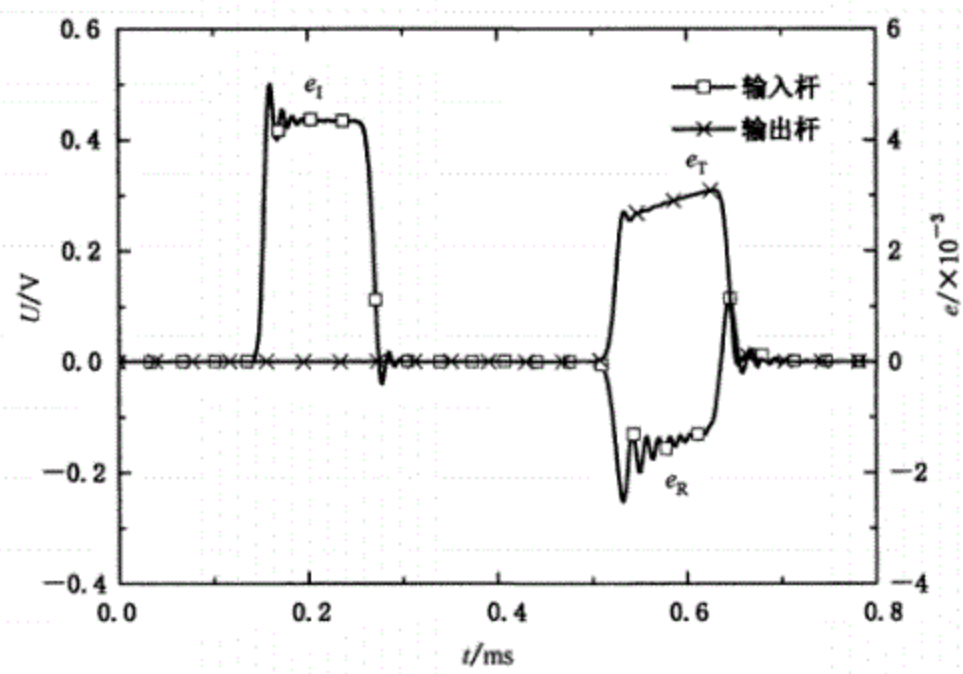


图 3 高应变速率压缩试验的典型波形图

10 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- a) 本标准的编号；
- b) 材料名称和来源；
- c) 试样形状及尺寸；
- d) 试验环境条件；
- e) 试验设备；
- f) 试验方案；
- g) 试验结果，如原始波形、平均工程塑性应变速率、压缩应力-应变曲线等。

附录 A
(规范性附录)
分离式霍普金森压杆系统

A.1 总则

分离式霍普金森压杆系统的基本结构见图 1。
本附录规定了分离式霍普金森压杆系统各部组件的技术要求。

A.2 驱动装置

驱动装置对撞击杆施加初始速度,加载过程中应确保波导杆处于弹性状态,撞击杆的速度不超过式(A.1)的计算结果:

$$v_{\max} = \frac{1.7R_e}{\rho_b c_b} \dots\dots\dots (A.1)$$

示例:
密度 ρ_b 为 $7.8 \times 10^{-3} \text{ g/mm}^3$ 、压缩屈服强度 R_e 为 1 000 MPa、弹性纵波波速 c_b 为 5 100 mm/ms 的波导杆,则撞击杆最大速度 $v_{\max}$ 为 42 mm/ms。
注:撞击杆最小速度应保证试样产生塑性变形。

A.3 波导杆与撞击杆

A.3.1 波导杆

输入杆和输出杆应采用高强度材料,其直径应相同,推荐直径为 12 mm~20 mm;长度可不同,可根据式(A.2)和式(A.3)分别设计,且波导杆的长径比宜不小于 40。

$$L_I \geq 40d_b \dots\dots\dots (A.2)$$
$$L_T \geq 40d_b \dots\dots\dots (A.3)$$

波导杆应符合图 A.1 的要求。

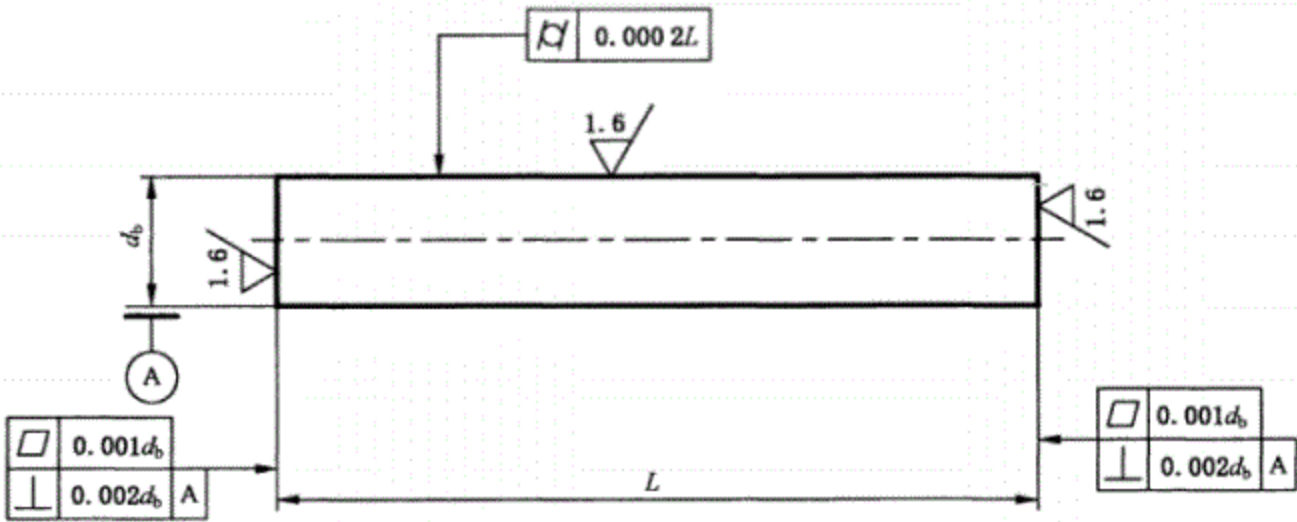


图 A.1 波导杆的形状和加工要求

A.3.2 撞击杆

撞击杆材料、直径与波导杆相同,长度宜大于其 10 倍直径,并小于 0.5 倍波导杆长度,加工精度见 A.3.1。

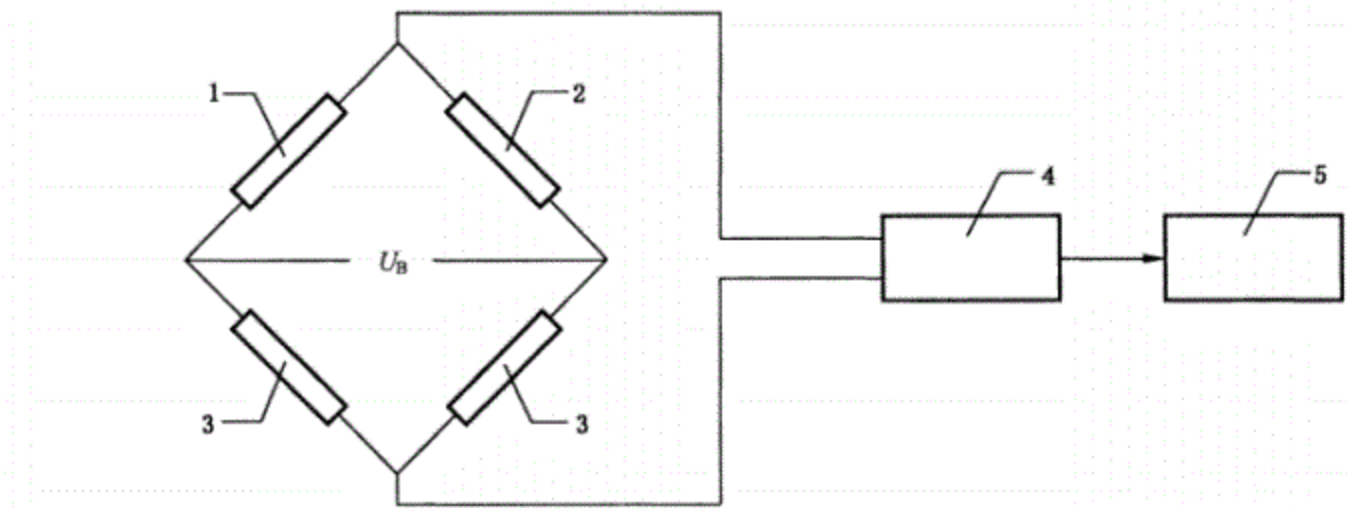
附录 B
(规范性附录)
数据测试系统

B.1 总则

本附录规定了数据测试系统的组建方法,给出了应变计、动态应变仪、数据采集系统及导线的技术要求。

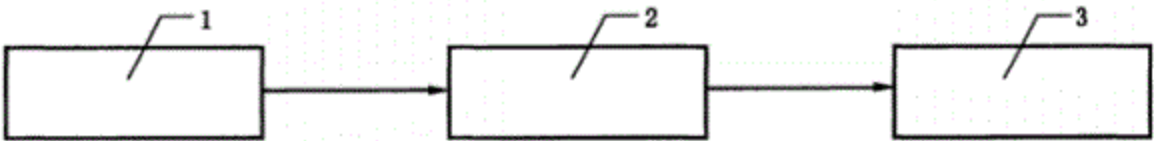
B.2 数据测试系统的组建

根据应变计的连接方式可分为桥式数据测试系统(见图 B.1)和非桥式数据测试系统(见图 B.2),推荐采用惠更斯电路组成桥式数据测试系统。当采用桥式电路时,推荐同时在与波导杆材料相同的金属块上粘贴相同的应变计作为温度补偿。



- 说明:
- 1——工作应变计;
 - 2——温度补偿应变计;
 - 3——标准电阻;
 - 4——动态应变仪;
 - 5——数据采集与存储装置。

图 B.1 桥式测试电路框图



- 说明:
- 1——应变计;
 - 2——动态应变仪;
 - 3——数据采集与存储装置。

图 B.2 非桥式测试系统框图

B.3 应变计

应按 GB/T 13992 和下列要求选择和使用应变计：

- a) 应变计极限响应频率应不低于 120 kHz, 推荐不低于 300 kHz;
- b) 根据波导杆直径确定应变计的栅长, 栅长应不大于 5 mm;
- c) 宜采用两个应变计在波导杆的同一轴向位置对称贴片;
- d) 应变计的敏感栅方向与波导杆轴向平行;
- e) 输入杆、输出杆上应变计应粘贴在靠试样一端, 且大于 1 倍撞击杆长度处, 推荐将应变计置于波导杆中部。

B.4 动态应变仪

应按 JJG 623 的要求, 动态应变仪的频响应高于 120 kHz, 推荐不低于 500 kHz。

B.5 数据采集系统

采样频率应不小于 240 kHz, 推荐采用 1 MHz。

B.6 导线

推荐采用屏蔽导线组建测试系统, 且导线的长度宜小于 5 m。

B.7 数据测试系统联试

根据图 B.1 组建测试系统, 设定应变的标定值, 并联试和检测数据测试系统的状态。

附录 C
(资料性附录)

入射波、反射波和透射波起点的确定方法

C.1 总则

本附录给出了入射波、反射波和透射波波形起点方法,也可采用其他起点确定方法。

C.2 入射波、反射波和透射波起点的确定

入射波起点确定的步骤为:

- a) 根据入射波采集信号,选取入射波前一定量数据点(如采样频率为 5 MHz,取 100 个数据点)计算平均值,确定采集信号基线;
- b) 根据入射波波形确定入射波最大值;
- c) 确定入射波上升至其最大值十分之一的时刻及其所对应的离散数据点;
- d) 取入射波最大值十分之一对应时刻及向后取一定量数据点(如采样频率为 5 MHz,取 50 个数据点)拟合作直线,将该直线与基线交点对应时刻作为入射波的起点 n_1 。

在确定入射波的起点后,通过式(C.1)和式(C.2)确定反射波和透射波的起点:

$$n_2 = \text{int} \left[\frac{2a_1}{c_b t_i} \right] + n_1 \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

$$n_3 = \text{int} \left[\frac{a_1 + a_2}{c_b t_i} + \frac{l_0}{c_s t_i} \right] + n_1 \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:
int[]——取整函数。

附录 D

(资料性附录)

高应变速率室温压缩试验数据处理方法

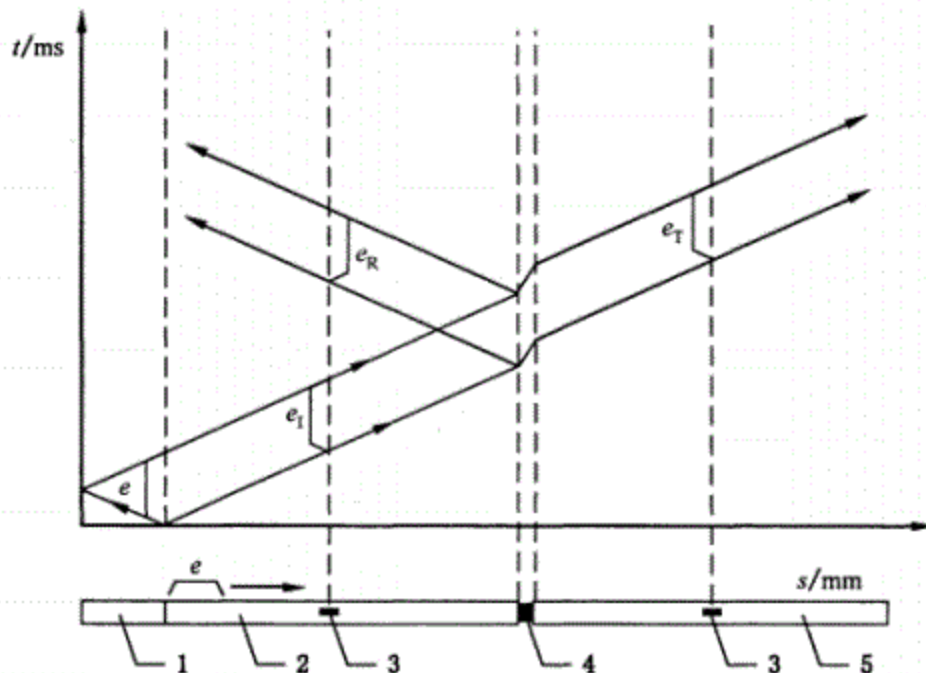
D.1 总则

本附录介绍了分离式霍普金森压杆测试原理,给出了采用入射波、反射波和透射波计算工程压缩应变速率、工程压缩应变和工程压缩应力的公式。试验测试数据有效情况下,为减少波形起点确定误差和计算方便,推荐采用 D.3.1 中反射波和透射波法进行处理。

在数据处理过程中,压缩应变速率和平均工程塑性应变速率的单位为 ms^{-1} ,应力波传播时间的单位为 ms ;在结果表述时,宜将压缩应变速率单位换算成为 s^{-1} ;应力波传播时间单位换算成 μs 。

D.2 测试原理

在室温条件、高应变速率下金属材料压缩力学性能的测试采用分离式霍普金森压杆实施。试样共轴安放于输入杆和输出杆之间,采用气枪等装置驱动撞击杆作用输入杆产生入射波;通过输入杆的传播对试样加载,并在输入杆和输出杆中形成反射波和透射波,其传播过程见图 D.1。根据一维应力波理论和应力均匀假定,通过对测得的入射波、反射波和透射波信号进行计算,进而获得在特定应变速率下试样的压缩力学性能。



说明：

- 1——撞击杆;
2——输入杆;
3——应变计;
4——试样;
5——输出杆。

图 D.1 分离式霍普金森压杆的测试原理示意图

D.3 二波法

D.3.1 反射波和透射波法

根据反射波和透射波对试验数据进行处理,相关公式如下:

- a) 根据分离式霍普金森压缩试验方法的均匀性假设,入射波、反射波和透射波满足式(D.1):

$$e_I(t) = e_T(t) - e_R(t) \quad \text{.....(D.1)}$$

- b) 工程压缩应变速率按式(D.2)计算:

$$\dot{e}_s(t) = -\frac{2c_b}{l_0} e_R(t) \quad \text{.....(D.2)}$$

- c) 工程压缩应变按式(D.3)计算:

$$e_s(t) = -\frac{2c_b}{l_0} \int_0^t e_R(\tau) d\tau \quad \text{.....(D.3)}$$

- d) 工程压缩应力按式(D.4)计算:

$$R_s(t) = \frac{r_b^2}{r_0^2} E_b e_T(t) \quad \text{.....(D.4)}$$

D.3.2 入射波和透射波法

根据入射波和透射波对试验数据进行处理,相关公式如下:

- a) 根据分离式霍普金森压缩试验方法的均匀性假设,入射波、反射波和透射波满足式(D.5):

$$e_R(t) = e_T(t) - e_I(t) \quad \text{.....(D.5)}$$

- b) 工程压缩应变速率按式(D.6)计算:

$$\dot{e}_s(t) = \frac{2c_b}{l_0} [e_I(t) - e_T(t)] \quad \text{.....(D.6)}$$

- c) 工程压缩应变按式(D.7)计算:

$$e_s(t) = \frac{2c_b}{l_0} \int_0^t [e_I(\tau) - e_T(\tau)] d\tau \quad \text{.....(D.7)}$$

- d) 工程压缩应力按式(D.8)计算:

$$R_s(t) = \frac{r_b^2}{r_0^2} E_b e_T(t) \quad \text{.....(D.8)}$$

D.4 三波法

基于一维应力波理论,对波导杆上的应变计测得的入射波、反射波和透射波进行处理,获得该应变速率下试样材料的压缩应力-应变等力学性能,相关公式如下:

- a) 工程压缩应变速率按式(D.9)计算:

$$\dot{e}_s(t) = \frac{c_b}{l_0} [e_I(t) - e_R(t) - e_T(t)] \quad \text{.....(D.9)}$$

- b) 工程压缩应变按式(D.10)计算:

$$e_s(t) = \frac{c_b}{l_0} \int_0^t [e_I(\tau) - e_R(\tau) - e_T(\tau)] d\tau \quad \text{.....(D.10)}$$

- c) 工程压缩应力按式(D.11)计算:

$$R_s(t) = \frac{r_b^2}{2r_0^2} E_b [e_I(t) + e_R(t) + e_T(t)] \quad \text{.....(D.11)}$$

附录 E

(资料性附录)

高应变速率室温压缩试验示例

E.1 总则

本附录给出了在室温条件下应用分离式霍普金森压杆测试 Q235 钢材料高应变速率压缩应力-应变曲线的示例。

E.2 分离式霍普金森压杆

撞击杆和波导杆的结构尺寸和材料性能如下:

- a) 撞击杆直径:18 mm;
- b) 撞击杆长度:300 mm;
- c) 波导杆直径:18 mm;
- d) 输入杆长度:2 000 mm;
- e) 输出杆长度:2 000 mm;
- f) 撞击杆和波导杆材料:18Ni 马氏体不锈钢;
- g) 弹性模量: 2.12×10^5 MPa;
- h) 密度:0.007 8 g/mm³。

E.3 应变计

应变计基本参数和粘贴位置情况如下:

- a) 栅长:3 mm;
- b) 电阻:120 Ω ;
- c) 灵敏系数:2.17;
- d) 输入杆中应变计离试样端的距离: $a_1=1\ 000$ mm;
- e) 输出杆中应变计离试样端的距离: $a_2=1\ 000$ mm;
- f) 测试电路:见图 B.1。

E.4 试样

试样基本尺寸如下:

- a) 直径:10 mm;
- b) 长度:5 mm。

E.5 动态应变仪

动态应变仪频响和标定情况如下:

- a) 频响:DC-500 kHz;

- b) 入射波、反射波应变标定值:1 V 对应 0.01;
- c) 透射波应变标定值:1 V 对应 0.01。

E.6 数据采集存储装置

数据采集存储装置采样频率为 5 MHz。

E.7 Q235 钢的测试结果

利用霍普金森压杆对 Q235 钢进行试验测试,计算处理得到的结果如下:

- a) 波导杆上应变计的输出信号
- 波导杆上应变计测得的人射波、反射波和透射波见图 E.1;移波后的三波见图 E.2。

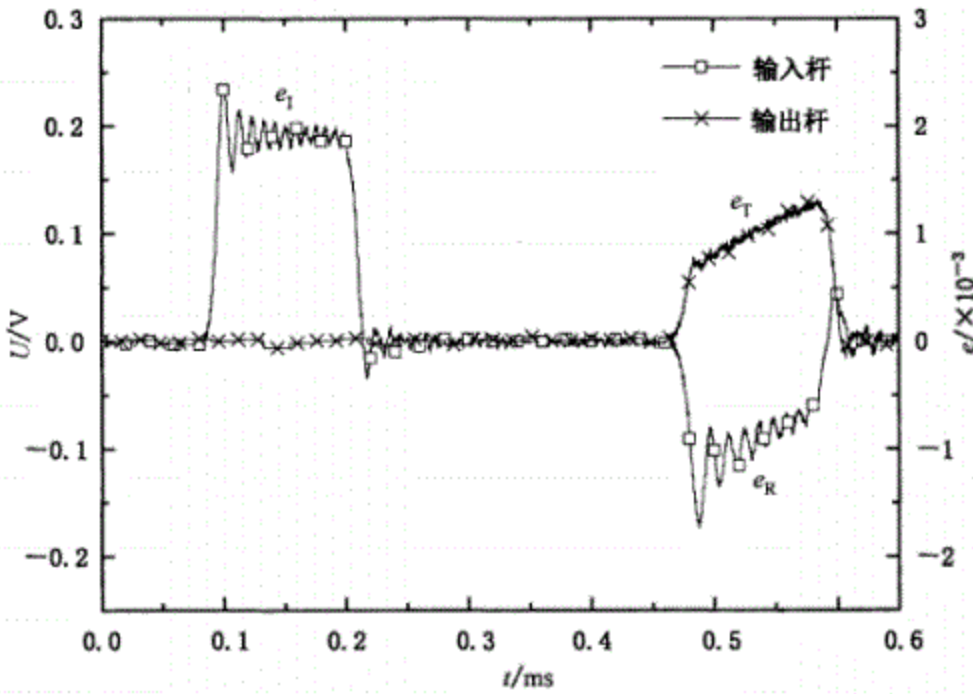


图 E.1 Q235 钢试验中波导杆上应变计的输出信号

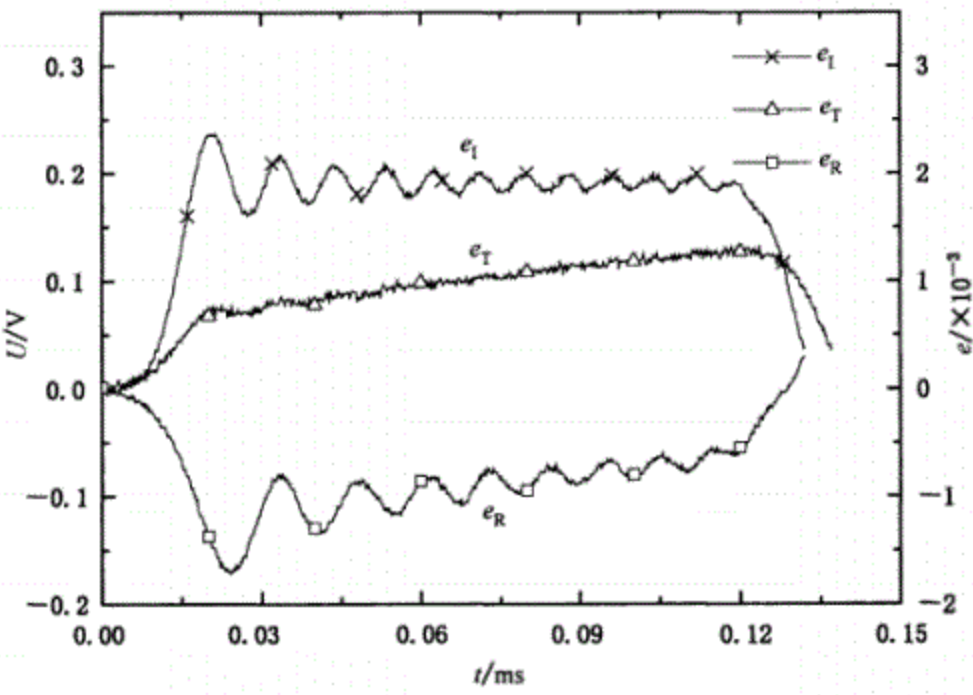


图 E.2 移波后的三波信号图

b) 塑性应变速率-时间曲线

试验获得的塑性应变速率-时间曲线见图 E.3。根据图 E.3,按照 9.3.5 中的式(6)可得此试验的平均塑性应变速率约为 $2\,050\text{ s}^{-1}$ 。

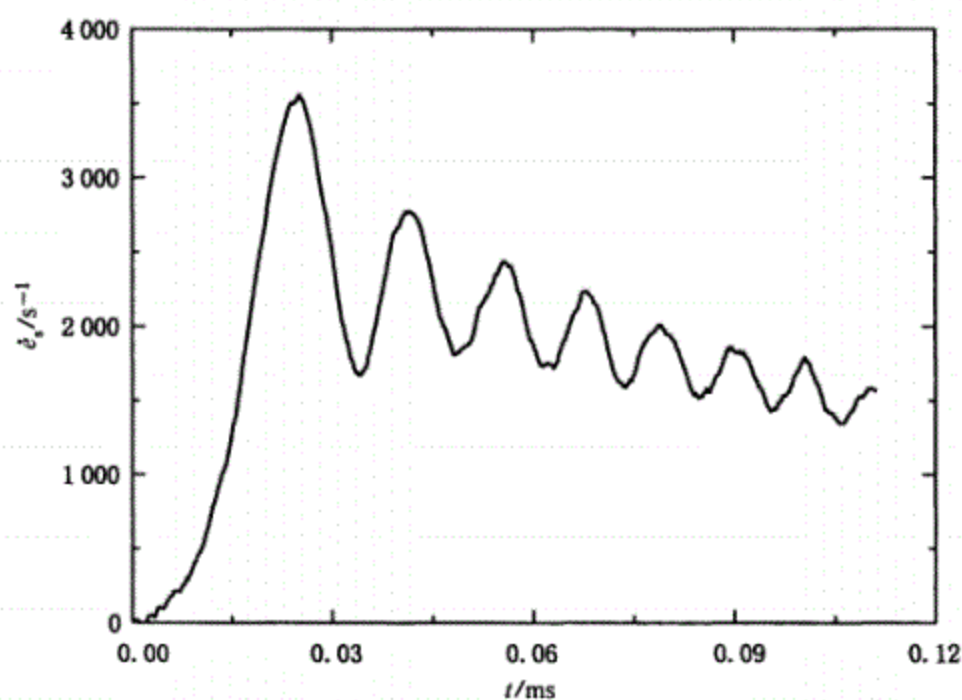


图 E.3 Q235 钢的工程压缩应变速率-时间曲线

c) 压缩应力-应变曲线

对测试信号进行处理,获得了 Q235 钢的压缩应力-应变曲线(见图 E.4),由此曲线,按照 9.3.6 的规定,可得此应变速率下 Q235 钢的屈服强度为 455 MPa。

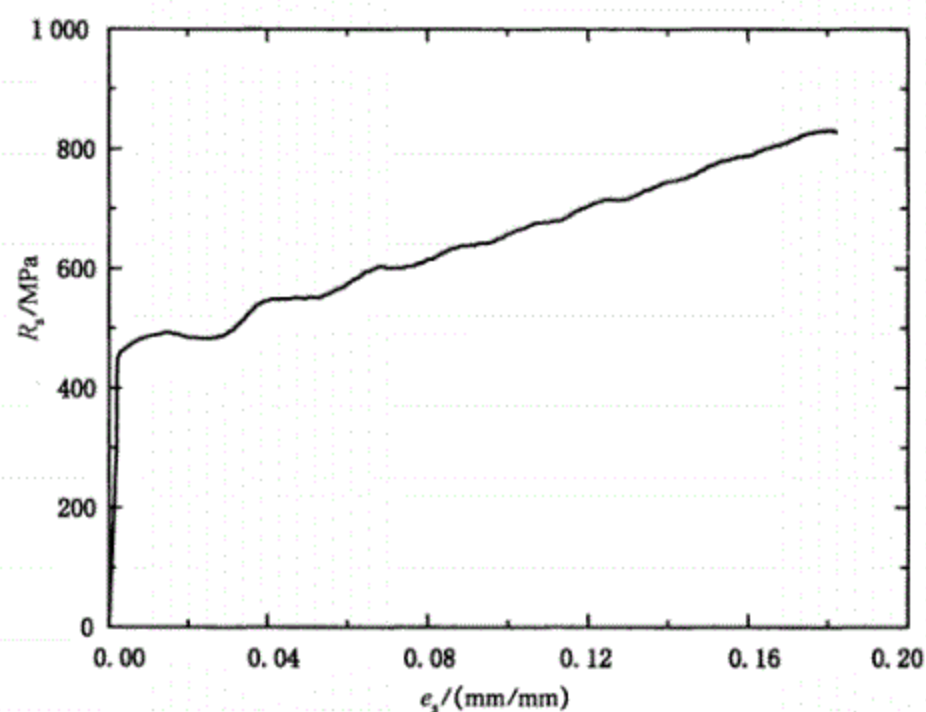


图 E.4 Q235 钢的工程压缩应力-应变曲线

附录 F
(资料性附录)
高应变速率室温压缩试验测试异常示例

F.1 总则

本附录给出了在室温条件下运用霍普金森压杆测试金属材料动态压缩力学性能的异常示例,以下情况可能对材料性能评价带来影响,此时需重新试验或对试验结果给出恰当的解释和说明。

F.2 试验测试异常示例

霍普金森压杆试验中,数据采集设备设置或试验设计不当将导致测试结果无效,典型异常示例如下:

- a) 应变计导线连接不牢,采集波形明显异常(见图 F.1),需重新连接应变计导线再试验。

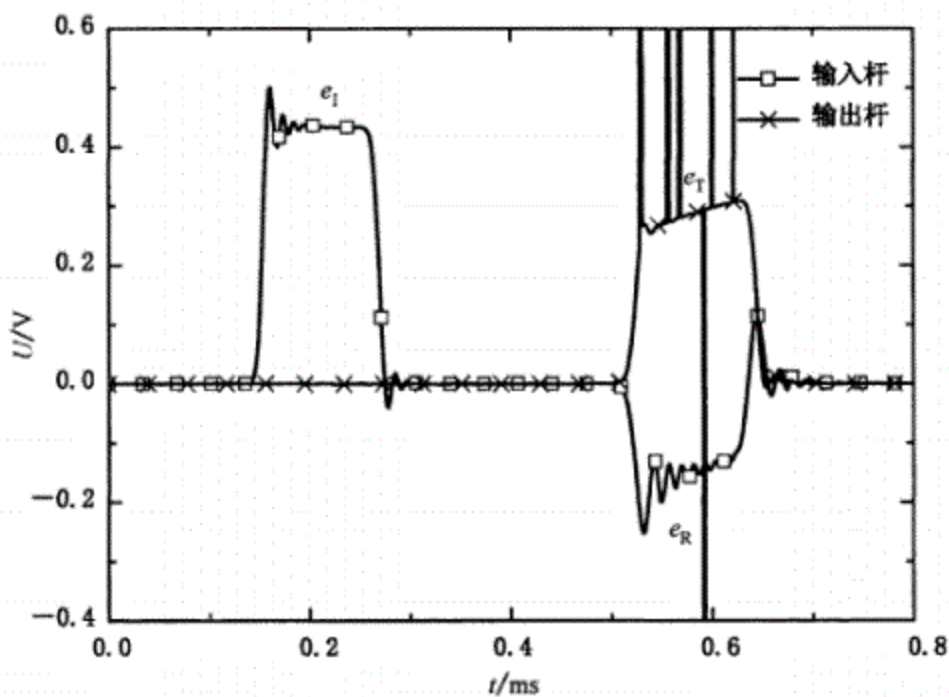


图 F.1 应变计连接问题引起的异常情况

- b) 试验过程中数据采集设备设置不当,未能对信号进行完整采集(见图 F.2)。

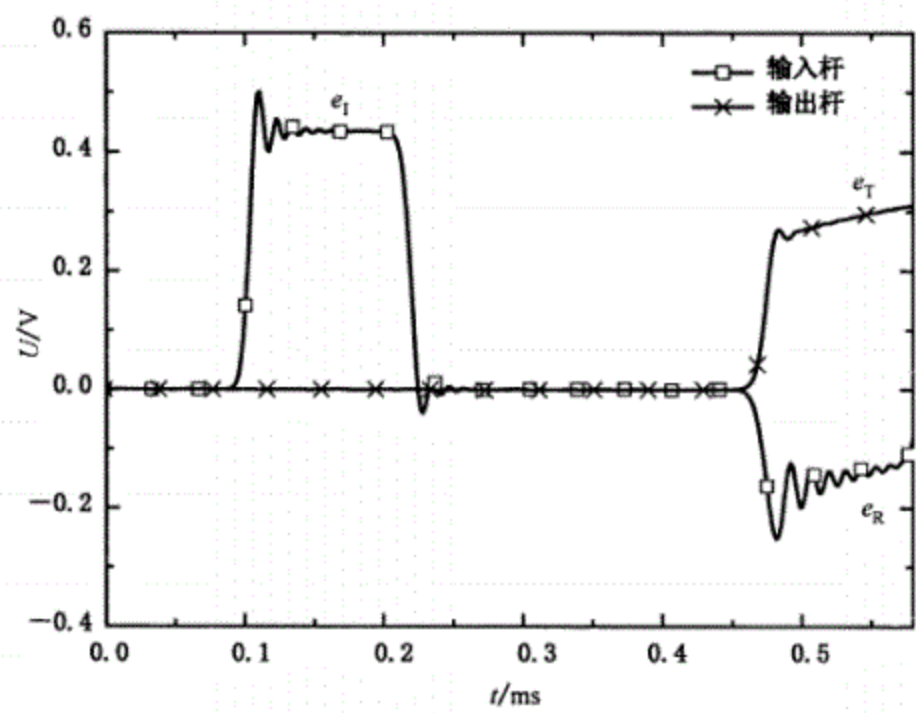


图 F.2 数据采集设备设置不当引起的异常示例

c) 试验过程中数据采集设备设置不当,采集信号出现限幅现象(见图 F.3)。

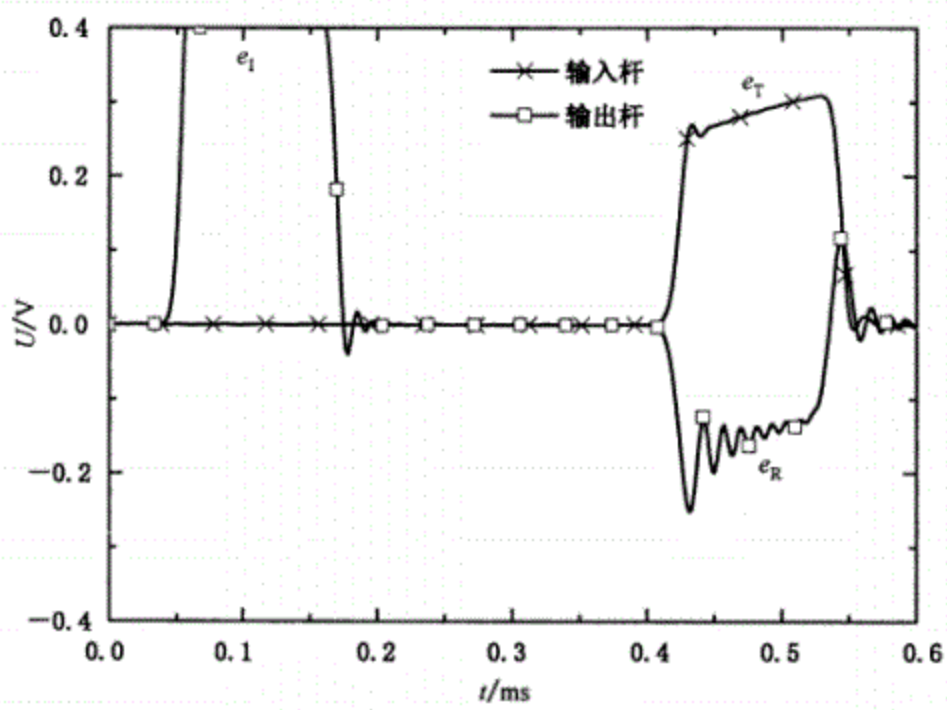


图 F.3 数据采集设备设置不当引起的采集信号限幅情况

d) 数据采集设备采样频率设置不当,引起信号失真现象(见图 F.4)。

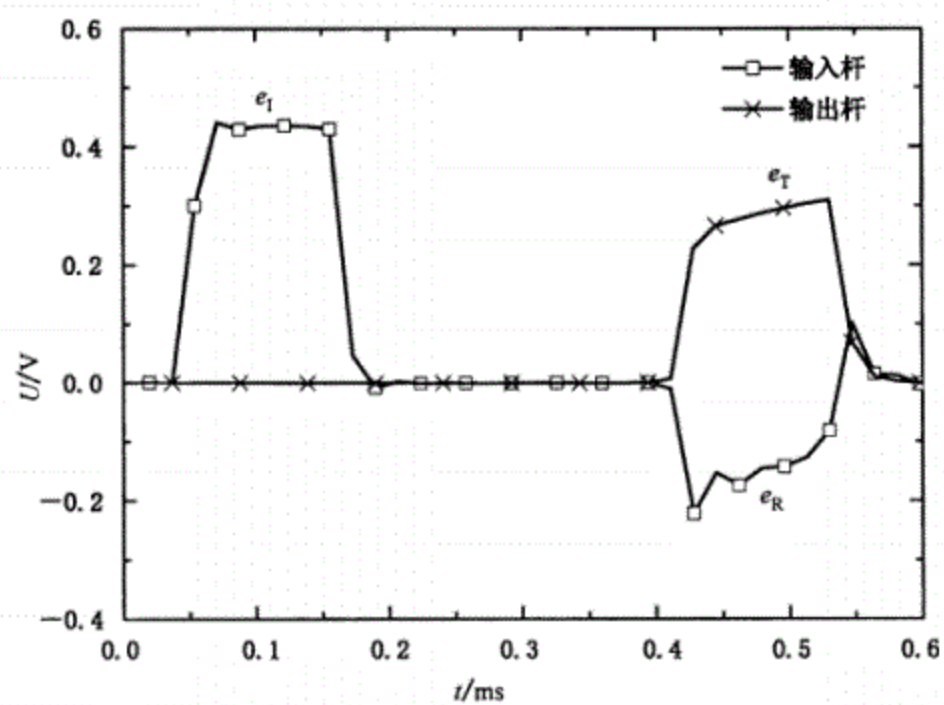


图 F.4 数据采集频率设置不当引起的采集信号失真情况

- e) 本地噪声太大,影响测试信号辨识。
- f) 试验后试样直径超过波导杆直径。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
金属材料
高应变速率室温压缩试验方法
GB/T 34108—2017

*

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

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

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 1.75 字数 46 千字
2017年8月第一版 2017年8月第一次印刷

*

书号: 155066·1-57014 定价 27.00 元



GB/T 34108—2017