

# 圆柱壳在外压和轴向冲击联合作用下的稳定性实验研究

张延教 韩铭宝

(华东工学院) (北京大学)

**摘要** 本文利用 AMT 铝合金三种不同厚度的圆柱壳, 在常外压和不同轴向冲击载荷作用下的柱壳塑性动力屈曲问题。实验发现除了通常文献中提到的临界速度  $v_{c1}$  外, 还有一个使柱壳发生较大变形而破坏时所对应的一个临界速度  $v_{c2}$ 。文章重点研究  $v_{c2}$  与轴向变形、柱壳厚度等之间关系以及柱壳屈曲形式。

**关键词** 冲击; 稳定性。

## 一、引言

由于军事和民用工程的需要, 结构在冲击载荷作用下的失稳问题一直为人们所关注。在弹性动态失稳方面的研究, 已有很多文章论述, 这些研究对认识弹性动态屈曲的本质, 了解它的特性和防护工程结构的失稳等问题都起到了积极作用。

早在四十年代, 人们就认识到塑性动态失稳的临界载荷不唯一性。从六十年代初就有人开始对杆、板、壳等典型的构件进行轴向冲击下的塑性动态屈曲研究, 到目前, 多数人集中讨论的是在冲击下构件最初形状改变时所对应的阈速度, 即在受冲击时轴向均匀压缩转向有均匀的、轴对称的屈曲波形所对应的速度。然而, 构件在达到阈速度时并没有完全破坏, 仍然可以承受很大的冲击力, 由于这方面问题的复杂, 使研究工作产生许多困难。在文献 [1] 中对圆柱壳受轴向冲击的失稳进行过实验和理论探讨。给出在冲击载荷作用下, 由于结构的失稳丧失承载能力的判据和提出第二失稳临界速度的概念。文献 [2] 对圆柱壳无径向力受轴向冲击时塑性动力失稳的第二失稳临界速度做了进一步研究, 确定半径与厚度之比在一定范围中第一和第二失稳临界速度可以同时存在。文献 [3] 对圆柱壳体受内压和轴向冲击联合作用时做了实验和理论分析, 发现了与无径向力相比, 它的失稳后半波数减小; 第二失稳临界速度提高; 失稳变形主要是以轴对称环形波为主。

本文是对圆柱壳受外压和轴向冲击联合作用时的塑性动力失稳进行了实验研究。实验结果表明: 失稳波形基本上是呈菱形波; 第二失稳临界速度与无径向力相比有明显的降低, 即有外压的存在会降低圆柱壳耐轴向冲击的能力; 半波数与无径向力相比较略有增加。这些实验结果将对理论研究提供一些依据, 同时也具有一定工程实际的意义。

## 二、实验描述

试件：是用 AM $\Gamma$  铝合金（相当于中国国标 GB、LF 2）加工出长度  $L = 100\text{ mm}$ 、外径  $D = 20.85\text{ mm}$ 、壁厚分别为  $h_1 = 1.42\text{ mm}$ ； $h_2 = 1.00\text{ mm}$ ； $h_3 = 0.70\text{ mm}$  三种不同尺寸的试件。壁厚误差  $\Delta h \leq 0.01$ ，半径误差  $\Delta R \leq 0.02$ 、长度误差  $\Delta L \leq 0.1\text{ mm}$ 。圆柱壳外压  $p$  是用橡皮条在常拉力  $10\text{ kg}$  下缠绕两层来实现的。为了使撞击载荷作用在壳体端部均匀，壳体受撞击端加一个垫块  $m_1 = 28\text{ g}$  如图 1 所示。

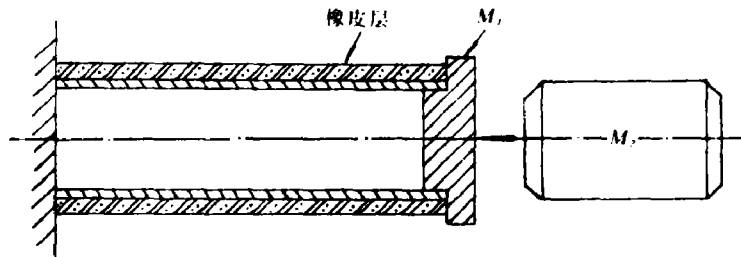


图 1

装置：如图 2 所示。主要装置是  $\varnothing 21\text{ mm}$  口径的空气枪，子弹质量  $m_2 = 54\text{ g}$  时，速度范围在  $0 \sim 200\text{ m/s}$ 。当调节空气枪供压的大小，可大致控制子弹射出的速度，精确地测出子弹射出的速度是在子弹出口处装有一台 HG 203 型测速仪，由它测出子弹在  $50\text{ mm}$  行程中所需要的时间，求出子弹射出的平均速度。试件安装在相距枪口  $30\text{ mm}$  的刚性靶上，并配有滑轨对子弹导向。

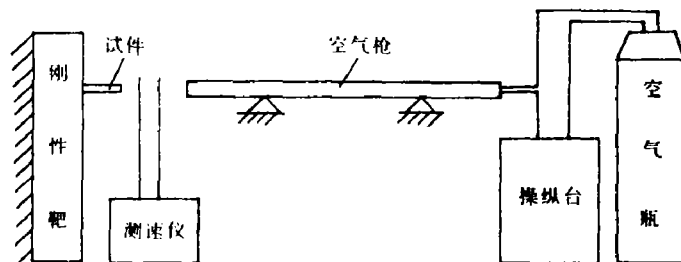


图 2

## 三、实验结果

三组不同厚度的圆柱壳，在子弹质量相同其射出速度不同的情况下，对每一个试件进行试验的结果如表 1 所列。每组试件，根据子弹的冲击速度  $v$  和试件轴向缩短  $\Delta L$  的关系绘成如图 3 所示的曲线。可以看出：速度  $v$  第二次跳跃时对应壳体有明显的形状变化（见图 4 为  $h_3 = 0.70\text{ mm}$  的照片），即由均匀的轴对称环形波形变为非均匀的非轴对称的菱形波形，使圆柱壳因大变形而破坏。由于壳体的壁厚不同，所对应的第二失稳临界速度分别为：

表 1

编 号	壁厚 $h$ (mm)	外径 $D$ (mm)	壳长 $L$ (mm)	子弹重 $m_2$ (gr)	弹速 $v$ (m/s)	轴向缩短 $\Delta L$ (mm)	半波数 $n$ (个)	注
1	0.70	20.85	100	28	80.4	30.4	22	
2	0.70	20.85	100	28	76.0	23.2	22	
3	0.70	20.85	100	28	75.4	21.3	22	
4	0.70	20.85	100	28	73.7	20.1	22	
5	0.70	20.85	100	28	68.4	19.6	22	
6	0.70	20.85	100	28	66.2	17.4	22	
7	0.70	20.85	100	28	55.5	11.6	24	
8	0.70	20.85	100	28	47.0	8.2	24	
9	0.70	20.85	100	28	43.0	6.2	22	
10	0.70	20.85	100	28	39.7	5.4	22	
1'	1.00	20.85	100	28	89.6	28.65	24	
2'	1.00	20.85	100	28	86.2	24.10	22	
3'	1.00	20.85	100	28	80.6	20.65	22	
4'	1.00	20.85	100	28	79.6	19.50	22	
5'	1.00	20.85	100	28	74.0	19.50	22	
6'	1.00	20.85	100	28	73.9	19.70	22	
7'	1.00	20.85	100	28	72.0	16.85	22	
8'	1.00	20.85	100	28	64.4	14.80	22	
9'	1.00	20.85	100	28	63.5	10.75	22	
10'	1.00	20.85	100	28	60.3	/	/	子弹冲击偏
1"	1.42	20.90	100	28	120.3	26.7	20	
2"	1.42	20.90	100	28	118.5	24.5	22	
3"	1.42	20.90	100	28	115.2	21.2	22	
4"	1.42	20.90	100	28	113.9	19.5	20	
5"	1.42	20.90	100	28	106.0	19.2	20	
6"	1.42	20.90	100	28	98.6	18.4	18	
7"	1.42	20.90	100	28	97.7	17.4	18	
8"	1.42	20.90	100	28	97.0	15.4	18	
9"	1.42	20.90	100	28	94.0	13.6	18	
10"	1.42	20.90	100	28	27.8	/	/	枪漏气

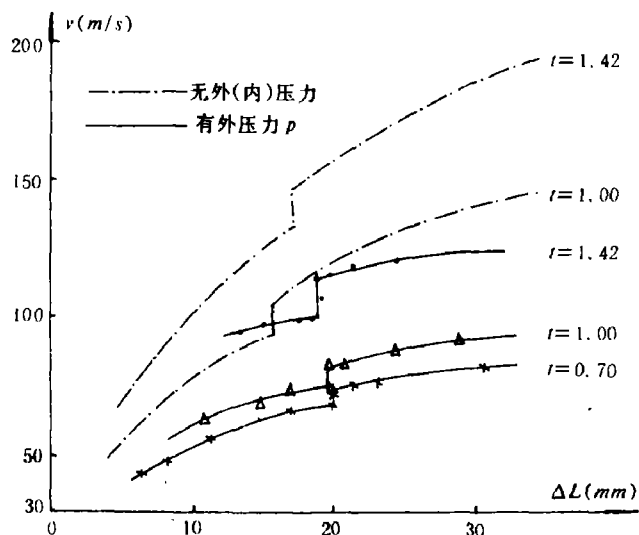


图 3



图 4

$h_1 = 1.42 \text{ mm}$ 、 $v_{c2} = 98.6 \text{ m/s}$ ； $h_2 = 1.00 \text{ mm}$ 、 $v_{c2} = 73.96 \text{ m/s}$ ； $h_3 = 0.70 \text{ mm}$ 、 $v_{c2} = 68.4 \text{ m/s}$ 。由以上结果可得出：

1. 在外压和轴向冲击联合作用下的圆柱壳，当速度  $v \geq v_{c2}$  时，圆柱壳由于产生大变形而破坏，最后的波形都是菱形波，环形波基本不出现。这就不同于文献 [1] 无径向力轴向冲击时，波形间有菱形或环形或者两种波形同时出现在一个试件上的情况。
2. 对同种圆柱壳，在外压和轴向冲击联合作用下与文献 [1] 无径向力轴向冲击相比较，所得到的第二失稳临界速度  $v_{c2}$  有明显降低，其降低的数值随壳体壁厚和外压力大小而变化。
3. 在外压和轴向冲击联合作用下的圆柱壳，子弹速度  $v_{c2}$  的跳跃数值，随壳体壁厚的减小而减少。
4. 圆柱壳受冲击后的轴向缩短，最终数值随壁厚增加而减小；其径向变形随由不明显趋向柱壳墩粗。

本工作一直受到王仁教授的关注, 并提出过很好的建议, 在此表示感谢。

#### 参 考 文 献

- [ 1 ] 王仁、韩铭宝、黄筑平、杨青春, 力学学报 ( 5 ) (1983), 519.
- [ 2 ] Wang, R., Han, M., Yang, Q., On the Second Critical Velocity in the Dynamic Axial Plastic Buckling of Cylindrical Shells, Proc. ISIDL 515-520, June 3-7, 1986, Beijing, China.
- [ 3 ] Han, M., Yang, Q., Wang, R., On the Plastic Instability of a Liquid Filled Cylindrical Tube under Impulsive Axial Loading, proc. IUTAM Symposium on Macro-Micro-Mechanics of High Velocity Deformation and Fracture, Tokyo, Aug. 1985, to be published by Springer Verlag.

## AN EXPERIMENTAL STUDY OF INSTABILITY OF CYLINDRICAL SHELLS UNDER EXTERNAL PRESSURE AND AXIAL IMPACT

Zhang Yanjiao

*(Huadong Institute of Technology)*

Han Mingbao

*(Peking University)*

**ABSTRACT** A dynamic plastic buckling analysis of three AMΓ aluminum alloy circular cylindrical shell with different thickness under external pressure and axial impact is presented in this paper. Experiments discover the presence of a critical speed  $v_{c2}$ , which is corresponding to the collapses of the shell with large deformation and not the same as usually mentioned the critical speed  $v_{c1}$ . In this paper the emphases of study are buckling mode and the relationship between  $v_{c2}$  and parameters of the axial deformation and the thickness of the shell.

**KEY WORDS** impact, instability.