

栗 枯 主编

软 阳 模 成 形

龚 维 四 编著



国 防 科 学 出 版 社

机械制造实用新技术丛书之四

软阳模成形

栗 枯 主编

龚维四 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书介绍软阳模成形技术用于钣金零件的制造。

书中着重介绍软阳模成形的基本原理，大、中、小零件的胀形、局部成形、冲裁，各类模具的设计与计算，最后介绍各种软阳模材料。

本书可供机械制造专业工程技术人员阅读。也可供高等院校、中等专业学校机械制造专业师生参考。

软 阳 模 成 形 机械制造实用新技术丛书之四

栗 枯 主 编

袁维四 编 著

责任编辑 宋桂珍

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

850×1168¹/₃₂ 印张 2¹/₄ 55 千字

1984年11月第一版 1984年11月第一次印刷 印数：0,001— 8,850册

统一书号：15034·2789 定价：0.48元

作 者 的 话

现代航空发动机制造是机械制造工业的一个重要方面，具有机械制造的基本特点。它又是技术集约性的工业，集中应用了很多新的技术和新的工艺，其中多数对于机械制造行业具有普遍推广的价值。七十年代末，我国从英国引进了斯贝 MK202 发动机及其制造技术，同时又有选择地引进了一些先进的机床设备。这项技术在一定程度上比较完整地反映了近代航空发动机制造的先进水平，通过生产实践也证明了这一点。

为了交流的方便，也为了能有更多的人有机会了解这些制造技术，我们整理编写了这套资料，命名为《机械制造实用新技术丛书》。所以这样命名，是因为我们在编写中遵照了下述原则：

1. 实用性。尽量避免一般性的理论叙述，力求使读者能较快的在实践中运用；
2. 先进性。我们只选择了那些更新颖更有意义的资料；
3. 揉合了我们在斯贝发动机试制工作中的实践经验，还综合了不少有价值的参考资料。

作者期望本套丛书对机械工业，特别是航空发动机制造行业的人们有所帮助，这将是对我们最大的鼓舞。

由于我们视界较窄，水平有限，错误缺点难免存在，欢迎读者批评指正。

本丛书由栗祐同志主编。参加审校工作的主要有：唐宏霞、钟礼治、胡贤惠、谭杰巍、王克强、姜仁忠等同志。

在本丛书编写和出版的过程中，王德荣、黄家豪、郑宝湖、郭治国、姚静梅等同志提供了许多宝贵意见，并参加了审校。还得到了国防科工委、航空工业部有关领导和同志们的大力支持及热情帮助，他们是魏祖治、陈少中、任家耕和贾克琴、张汉生等

同志。

本书介绍了一种很有发展前途和推广价值的弹性凸模冲压工艺方法。此法特别适用于复杂零件的成形。

本书由龚维四同志编写，唐宏霞审校，栗祜终审定稿。应家骧、韩宝成、邓新建、刘欣、杨全坤、陈驯汉和许毓顺等从事这项工艺的同志们为本书提供了宝贵的经验，对给予本书编写和出版工作支持和帮助的所有同志表示感谢。

作者于西安国营红旗机械厂

目 录

一、概述	1
二、软阳模胀形	4
(一) 基本原理及工艺参数的选择	4
(二) 大型环形件的胀形	14
(三) 中小型环形件的胀形	18
(四) 复杂型面零件的胀形	22
(五) 管形件的胀形	28
(六) 模具的设计与计算	31
三、软阳模局部成形及冲裁	41
(一) 波纹垫加工工艺	41
(二) 压力及毛料的计算	44
(三) 模具结构和主要零件的设计及计算	48
四、软阳模材料	56
(一) 聚氨酯橡胶	56
(二) 聚氯乙烯(PVC)塑料	61
(三) 软阳模制造	63
五、软阳模成形的的主要优缺点	64
(一) 与传统冲压工艺相比	64
(二) 与其他新工艺相比	65

一、概 述

随着航空与宇航工业科学技术的发展,精度高、强度大、重量轻、刚性好的薄壁零件越来越多,冲压零件的比例很大,由于零件品种多,机种更新频繁,批量小,任务急,因此传统的冲压工艺方法,已不能完全满足要求,需要新的工艺方法来补充,软阳模成形就是这样一种新工艺方法。

软阳模成形也称可挠曲冲头成形或弹性凸模成形。它是由一个带型面的刚性阴模和一个没有精确型面的在受压下可以改变形状,并传递压力的弹性阳模组成。按软阳模成形的含义,液压胀形、橡皮囊胀形、填蜡胀形、爆炸成形、液电成形、电磁成形等以流动或半流动介质作阳模的成形工艺都属这个范畴,但通常所谓的软阳模成形,是指使用橡胶或塑料等弹性体作阳模的成形方法。其他流动或半流动介质作阳模的成形方法,都使用它们各自的专用名称。

软阳模成形工艺简单,生产准备周期短,弥补了传统冲压工艺的不足,它可以完成许多刚性阴模和阳模难以成形的复杂型面的冲压,克服传统冲压工艺中长期存在的回弹、波棱、划伤和变薄超差等缺陷。

软阳模成形适应性强,不需要专用设备。在普通冲床、液压机、摩擦压力机和落锤上都可进行。它可以成形铝合金、碳钢、铜合金、不锈钢等较软的材料,也可以成形耐热合金和钛铜合金等类型的板材,例如C263、N75、N80、T/Cu、S/CuTi、GH30、1Cr18Ni9Ti和LF-2等。这些材料的特点是强度高、弹性大、用一般冲压工艺是难以成形的。主要化学成分见表4-1(a)机械性能见表4-1(b)。

软阳模成形使用范围非常广泛,不仅可以用于拉伸、翻边、弯曲、胀形、落压,而且还可以用于压印和冲切等工序。本文着重介绍软阳模胀形,软阳模局部成形及冲裁工艺。

表4-1(a) 化学成分

牌 号	成 分		C	Fe	Mn	Si	Al	Ti	Cr	Co	Mo	Cu	Ni	S	P	其 他
	最小	最大														
C263	最小	0.4			0.2	0.1	0.3	1.9	19	19	5.6		余			Pb = 0.002
	最大	0.8	0.7		0.6	0.4	0.6	2.4	21	21	6.1	0.2		0.007		B = 0.007
N75	最小	0.08						0.2	18				余			
	最大	0.15	5.0		1.0	1.0		0.6	21			0.5				
T/Ca	最小							余				2.0				H = 0.006
	最大	0.1	0.2									3.0				
S/CNT	最小		余		0.5	0.2			17				7.0			
	最大	0.08			2.0	1.0			19				10	0.025	0.035	
1Cr18Ni9Ti	最小		余		1.0				17				8	0.02		
	最大	0.12			2.0			0.8	19				10.5		0.035	
GH30	最小							0.15	19				余			Pb
	最大	0.12	1.0		0.7	0.8	0.15	0.35	22			0.20		0.01	0.015	0.001
LF ₂	最小				0.15		余									Mg 2.02 2.9
	最大		0.4		0.4	0.4						0.1				Fe + Si = 0.6

表 4-1(b) 机械性能

材料牌号	状 态	拉伸强度 (公斤/毫米 ²)	屈服强度 (公斤/毫米 ²)	延伸率(%)
C263	1190±5°C空冷 + 785±5°C回火	99.2	51.97	40
N75	1000~1050°C均匀热空冷或控制气氛中冷却	77.42	31.62	30
T/Cu	退 火	55~71.4	46.9~58.1	≥18
S/CNT	1060±10°C	55	22	30
GH 30	980~1020°C空冷	70		30
1Cr18Ni9Ti	1030~1080°C水冷或空冷	55		42
LF ₂		17~23		16~18

二、软阳模胀形

(一) 基本原理及工艺参数的选择

1. 基本原理

软阳模胀形是弹性介质冲压工艺方法中的一种，其工作原理和液压胀形有些相似，软阳模受机床垂直主压力的作用，开始变形，逐步贴紧毛料，产生垂直于毛料的初始压力，当压力继续增加超过毛料的变形抗力时，毛料就伴随软阳模一起改变形状，向阴模型腔贴靠而使零件胀形。胀形过程分四个阶段（如图 4-1）所示。

第一阶段：胀形准备，毛料放入阴模型腔；第二阶段：开始加压，软阳模块受力变形贴紧毛料；第三阶段：压力继续增加，

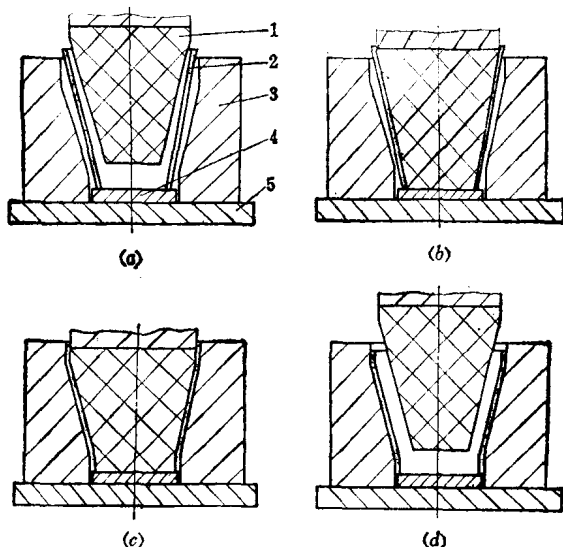


图 4-1 软阳模胀形过程

(a) 胀形准备；(b) 开始加压；(c) 加压胀形；(d) 胀形完毕。

1—软阳模；2—毛料；3—阴模；4—顶料板；5—下模板。

毛料受压和软阳模块一起变形贴靠阴模型腔，第四阶段：卸压、零件完全成形。

2. 工艺参数选择

主要是变形量、毛料长度、压力三个方面的计算，软阳模压缩量和硬度的选择。

(1) 变形量 Q 的计算

软阳模胀形的变形量的计算方法和传统冲压工艺基本相同。假设毛料在胀形过程中不存在轴向的材料补偿，而是靠毛料本身的变形来完成。变形量 Q 用下式计算

$$Q = (K - 1) \times 100\%$$

式中 K ——变形系数；

$$K = \frac{S_{*}}{S_{*}} = \frac{D_{*}}{D_{*}}$$

式中 S_{*} ——零件相应截面的周长；

S_{*} ——毛料相应截面的周长；

D_{*} ——相当于 S_{*} 的等值圆直径即 $\frac{S_{*}}{\pi}$ ；

D_{*} ——相当于 S_{*} 的等值圆直径即 $\frac{S_{*}}{\pi}$ 。

变形系数 K 与延伸率 ε 的关系是

$$K = 1 + \varepsilon$$

因此只要知道材料的许用延伸率，就可算出相应的许用极限变形系数和许用的极限变形量。

实际选用的变形量应小于许用的极限变形量，为了确保零件的变形在塑性状态下进行，因此最小的变形量必需大于0.5%。

表4-2为一些极限变形系数的实验数据，表4-3是几种典型材料在试验和生产中所取得的实用变形量，可供参考。

(2) 毛料长度计算

毛料的长度 L_{*} 主要取决于零件的母线长度，在实际生产中，毛料在胀形过程中也存在一定的轴向补偿。因此 L_{*} 可用下式计算。

表4-2 变形系数实验数据

材 料	厚 度 (毫米)	材料许用延伸率 ε (%)	极限变形系数 K
铝青铜焊合金表面	0.5	25	1.25
纯 铝	1.0	28	1.28
	1.5	32	1.32
	2.0	32	1.32
铝-铜-镍合金表面	0.5	20	1.20
	1.0	24	1.24
耐热不锈钢	0.5	26~32	1.26~1.32
	1.0	28~34	1.28~1.34

表4-3 几个零件的实用变形量

材 料 牌 号	材 料 厚 度 (毫米)	变 形 量 (%)
C263	0.91	6~15
T/Cu	0.71	~2.5
N75	0.71	4~13
1 Cr18Ni9Ti	1.5	4.2~14.5

$$L_{\text{毛}} = L_1 + L_2 + L_3$$

式中 L_1 ——零件的母线长度；

L_2 ——切边余量；

L_3 ——毛料的轴向补偿[●]。

形状简单的胀形件， L_3 可用下式计算：

$$L_3 = (0.3 \sim 0.4) \varepsilon$$

式中 ε ——毛料的切向最大延伸率；

(0.3~0.4)——经验系数。

L_3 的大小与零件的形状、毛料状态、模具结构和软阳模硬度都有很大关系，尤其是截面变化很大而又非常急剧的零件，影响

● 轴向补偿，即胀形时毛料高度方向缩短所需的余量。

因素更多，计算结果与实际情况差距很大，因此对复杂的胀形件，还要经过试压修正。

切边余量 L_2 的大小，可以根据经验选取，形状对称的简单零件， L_2 可以取得很小，形状不对称的复杂胀形件，由于胀形后端面不平整， L_2 值一般要取得大一些，通常取 $L_2=10\sim20$ 毫米。

(3) 压力计算

软阳模胀形所需的单位压力 q 用下式确定〔3〕，

$$q = t\sigma_s \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$$

式中 t ——毛料厚度；

σ_s ——毛料强度极限；

R_1 ——零件外圆半径；

R_2 ——零件母线上小圆角处半径。

形状比较简单的零件的胀形力 q 可按式确定〔1〕

$$q = 2t\sigma_T/d_i$$

式中 t ——毛料厚度；

σ_T ——拉伸强度；

d_i ——毛料内径。

单位压力确定后，就可用下式确定设备压力：

$$P = KqF$$

式中 P ——设备压力；

q ——胀形所需单位压力；

F ——软阳模最大水平投影面积；

K ——安全系数。

$K \geq 1.2$ ，一般选取 $K=1.3$ 。

形状非常复杂的零件的胀形压力，因为影响因素很多，计算比较麻烦，尤其是聚氯乙烯(PVC)塑料，目前还没有一条实用的压力曲线。在实际生产中，胀形压力往往需要通过试压才能决定。

(4) 软阳模压缩量及硬度的选择

软阳模的压缩量和硬度对零件的胀形精度影响很大, 最小压缩量一般在10%以上才能确保零件在开始胀形时具有所需的预压力, 但是压缩量也不宜过大, 最大不能超过35%, 否则软阳模很快就会破坏。

软阳模的硬度, 可以根据软阳模元件尺寸、压缩量以及所承受的载荷选择。

(图4-2)为五种国产聚氨酯橡胶在不同形状系数情况下所获得的压缩性能实验曲线族。

由于模具所用的橡胶元件形状与尺寸各不相同, 为便于计算, 采用了形状系数 K 来标志橡胶元件的各种不同形状与尺寸。形状系数是指橡胶元件承受载荷的作用面积与侧表面面积的比值。

由图4-2可以获得各种硬度聚氨酯橡胶的形状系数 K 与近似弹性模量 E' 的实验曲线族(图4-3)。曲线族中的弹性模量是压缩量为10%~35%时的平均值, 由曲线族中查得的弹性模量值是近似的, 必须按(图4-4)所示的修正系数 C 加以修正, 弹性模量 $E = CE'$ 。

图4-5是长方形橡胶元件的形状系数, 按下式计算

$$K = \frac{F_1}{F_2}$$

式中 F_1 ——载荷作用面面积,

F_2 ——侧表面面积。

因为 $F_1 = Lb$ $F_2 = 2h(L + b)$

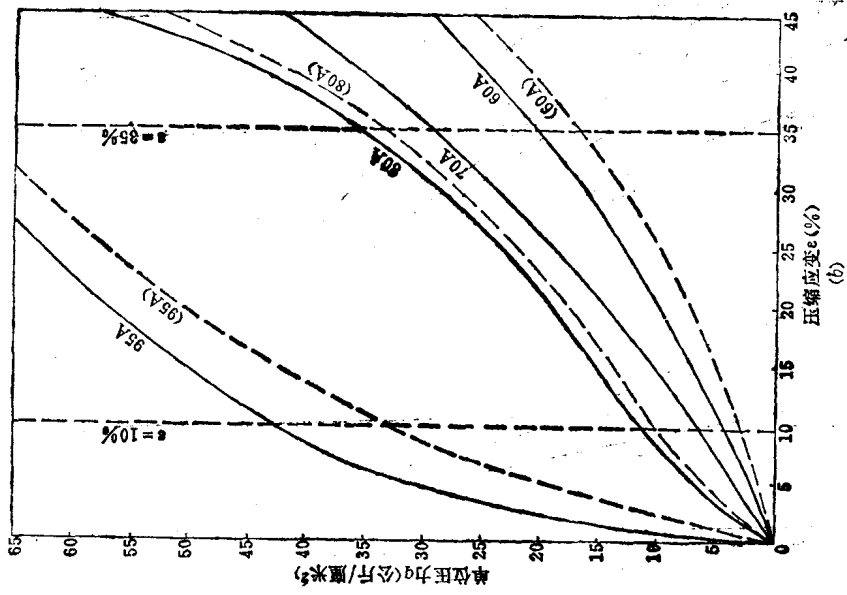
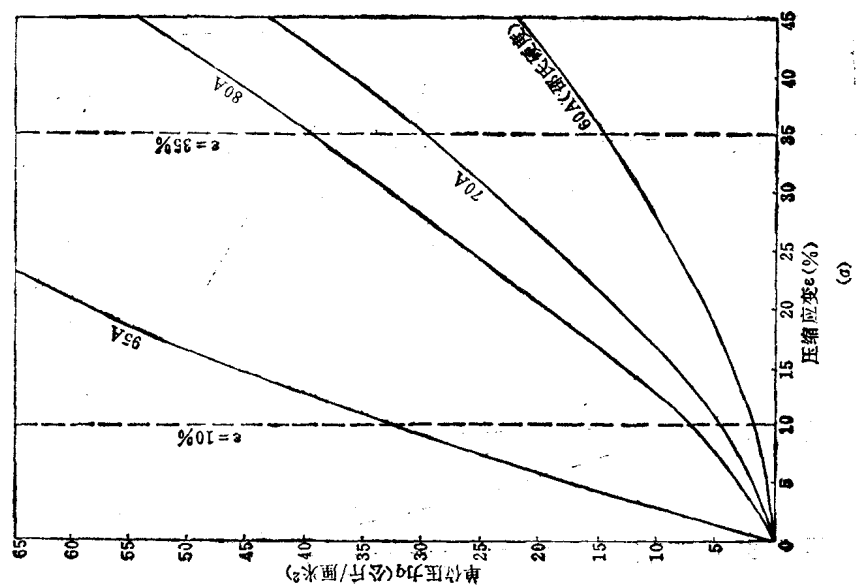
所以 $K = \frac{Lb}{2h(L + b)}$

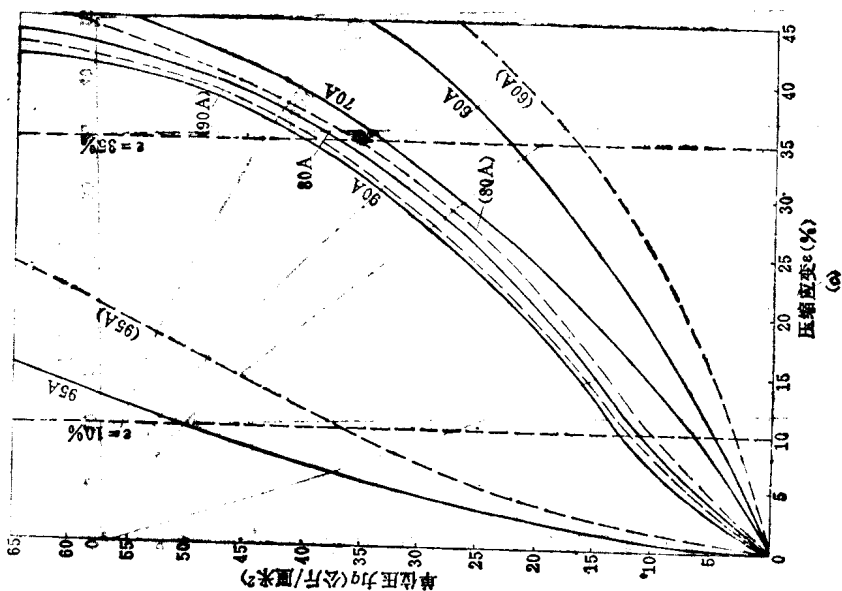
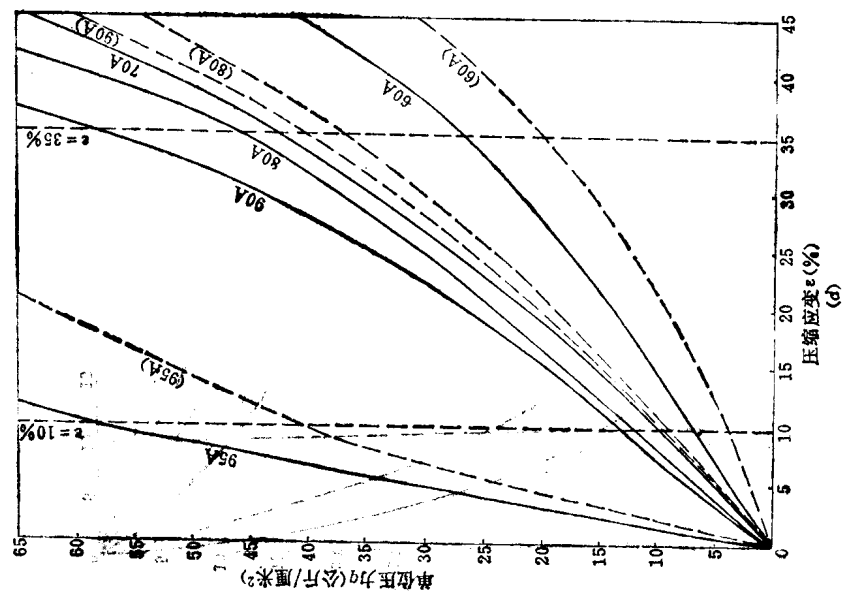
(图4-6)所示圆柱形橡胶元件的形状系数可按下式计算,

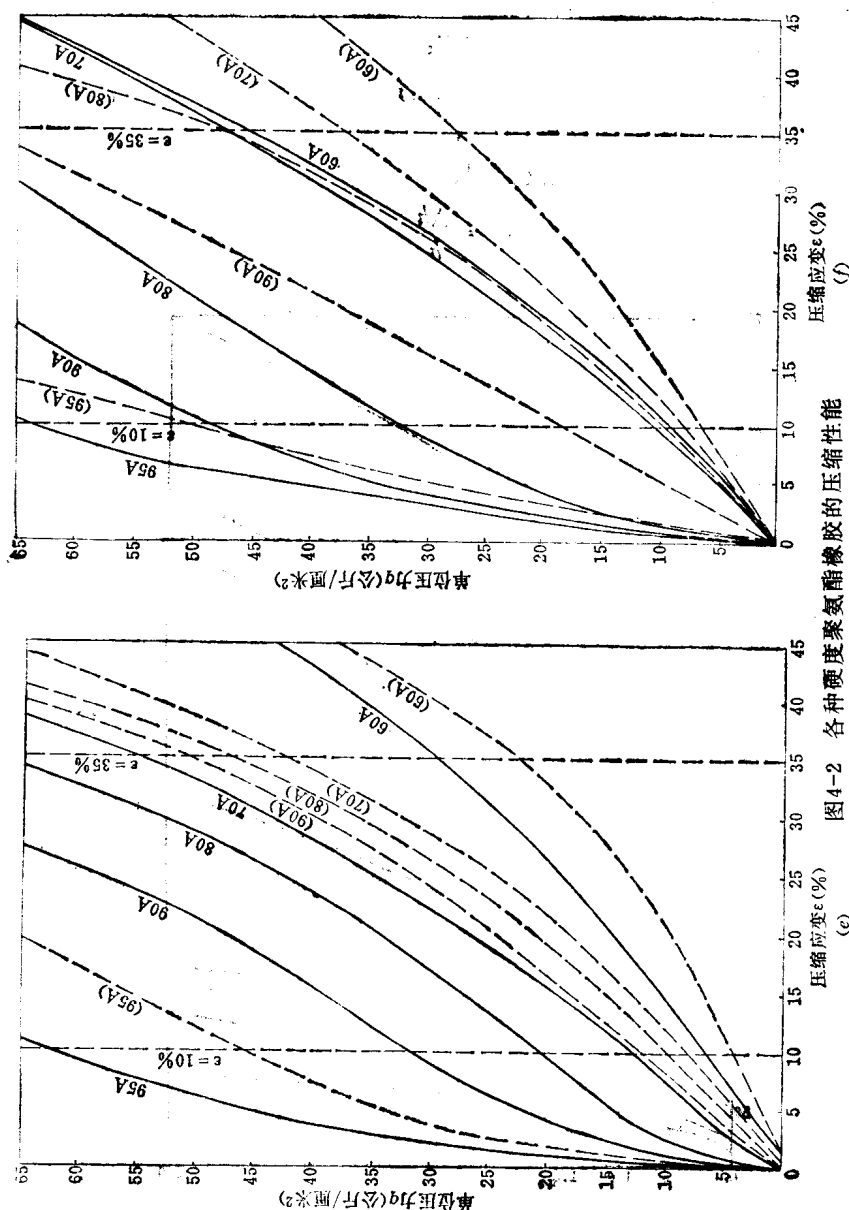
$$K = \frac{d}{4h}$$

根据弹性体在单向应力状态下的虎克定律可得弹性模量 E 的表达式,

$$E = \frac{q}{\epsilon} = \frac{Ph}{\Delta h F_1}$$







实验曲线图
图4-2 各种硬度聚氨酯橡胶的压缩性能

(a) 形状系数 $K = 0.1$; (b) 形状系数 $K = 0.78$; (c) 形状系数 $K = 1.04$;
(d) 形状系数 $K = 1.56$; (e) 形状系数 $K = 2.08$; (f) 形状系数 $K = 3.13$ 。