

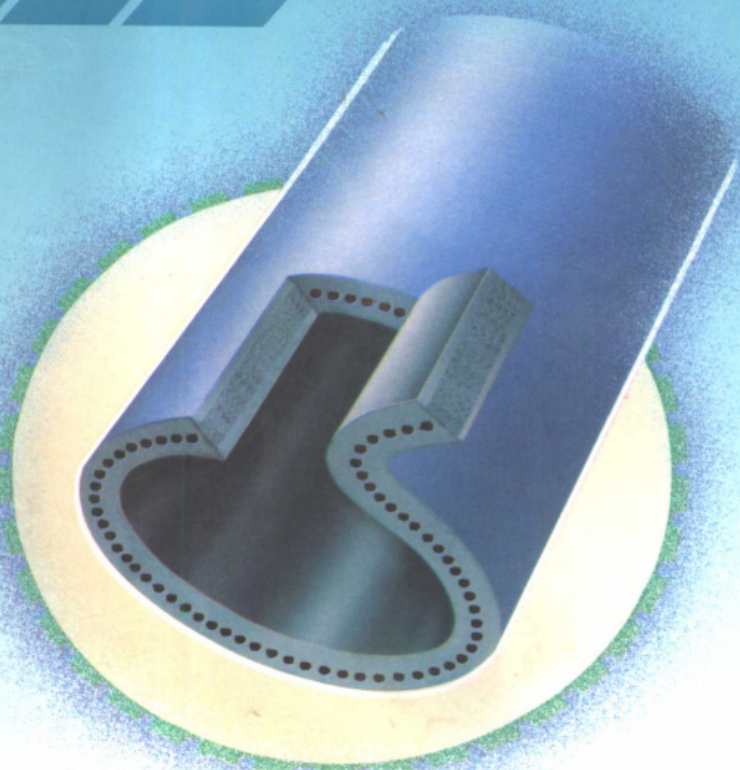
化学工业出版社

塑料成型加工丛书

泡沫塑料成型

第二版

吴舜英 编著
徐敬一



塑料成型加工丛书

泡沫塑料成型

第 二 版

吴舜英 徐敬一 编著

化学工业出版社

·北 京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

泡沫塑料成型/吴舜英,徐敬一编著. - 2版. - 北京:化学工业出版社,1999.2
(塑料成型加工丛书)
ISBN 7-5025-2426-6

I. 泡… II. ①吴… ②徐… III. 泡沫塑料-塑料成型
IV. TQ328.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 38776 号

塑料成型加工丛书

泡沫塑料成型

第二版

吴舜英 徐敬一 编著

责任编辑: 龚浏澄 白艳云

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

*

开本 850 × 1168 毫米 1/32 印张 20 字数 545 千字

1999 年 2 月第 2 版 1999 年 2 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—5000

ISBN 7-5025-2426-6/TQ·1112

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

第二版前言

《泡沫塑料成型》一书，自1992年底出版以来，承蒙广大读者的支持，已成为泡沫塑料加工行业的畅销书，正如台湾高分子工业杂志社在台湾版《泡沫塑料成型》的序言中所指出的，泡沫塑料虽然应用很广“然在此快速发展的过程中却鲜见专门著作，对此重要成型技术，做专书介绍，偶有论文研讨亦仅针对部分主题，而无法对业界提供全面性的帮助，实在是令发泡成型业者感到遗憾之事”。这正是我们编写此书意图，台湾版序言中还写道“该书内容丰富，对发泡成型原理，各种成型技术与设备均有详细说明及图表对照，今能出版发行，相信将对我发泡成型加工业者极大帮助”。感谢高分子工业杂志社对我们编写工作的支持与鼓励，为了不负众望，我们在化学工业出版社的安排下，编写了第二版，把新近一些有关塑料发泡成型原理的研究成果和新技术的发展情况补入，同时对第一版中的错误及欠妥之处进行了修正和补充。由于编者的水平所限，若有不当之处，衷心希望读者给予批评指正。

《泡沫塑料成型》(第二版)全书共分十二章，原第九章中的反应成型加强了，增加了不少新内容，故独成一章。旋转发泡成型，中空发泡成型和一些新发展的技术成为第十章，其余顺序后推，其中第一、二、三、四、六章由吴舜英编写，第五、七、八、九、十、十一、十二章由徐敬一编写，其中第七、八章吴舜英进行了补充。全书由吴舜英主编。

在第二版的编写过程中得到国家教委博士点基金的两次连续资助，使我们在精神上和经济上都受到极大的鼓舞和支持。在编写过程中还得到龚浏澄同志的多方面帮助，还有关菊芬同志和其他一些有关同志的大力帮助，在此一并表示衷心感谢。

编者

1998年初

第一版前言

近年来, 泡沫塑料已迅速发展成为现代塑料工业中的重要分支之一。由于它容重轻, 导热系数小, 价格低廉, 能隔音、隔热、缓冲, 物理性能改性范围大, 成型工艺简单, 在工业、农业、军事、日用品和办公用品等各方面得到了广泛的应用。

本书较为全面地介绍了塑料发泡的原理、流变特性、使用原料与工艺配方、成型定型方法、设备结构原理和参数设计、成品性能测试方法和后处理技术, 以及应用领域。本书既有大量的实用数据和具体结构图, 又有一定程度的理论分析和颇具参考价值的试验结果。本书主要参照欧、美、日及我国有关部门的大量资料和经验数据, 并结合我们的实际工作经验编写而成。可供从事泡沫塑料成型加工的科研人员、工程技术人员以及生产一线的技术工人阅读, 也可供大专院校塑料工程专业的师生参考。本书若能对我国的泡沫塑料科研和生产起到一定的促进作用, 编者将会感到十分欣慰。

本书共分十一章, 其中第一、二、三、四、六章由吴舜英编写, 第五、七、八、九、十、十一章由徐敬一编写。全书由吴舜英主编。本书编写过程中曾得到上海塑料制品公司陈介安等同志的帮助, 在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限, 若有不当之处, 衷心希望读者给予批评指正。

编者

1988年6月

内 容 提 要

本书全面地介绍了塑料发泡的原理、流变时性、原料与配方、工艺及设备、性能测试和后处理技术等。既有先进的现代加工技术，也有实用的传统加工技术。本书理论与实际相结合，为读者提供了大量的经验数据和实用参数设计以及配方实例。

本书可供泡沫塑料成型加工行业的科研人员、工程技术人员以及技术工人参考，也可作为大专院校塑料加工与机械专业师生的专业参考书。

目 录

第一章 绪言	1
参考文献	9
第二章 泡沫塑料的原材料	10
第一节 高聚物	10
一、聚苯乙烯	10
二、聚乙烯	11
三、聚丙烯	13
四、聚氯乙烯	14
五、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物	15
六、聚氨酯	16
七、酚醛树脂	18
八、脲甲醛树脂	19
第二节 填料	20
一、玻璃类	22
二、碳酸钙	23
三、其他填料	23
第三节 助剂	25
一、发泡剂	25
二、增塑剂	31
三、润滑剂	38
四、稳定剂	40
五、阻燃剂	42
六、交联剂	44
七、着色剂	45
八、成核剂	46
参考文献	46
第三章 泡沫塑料的成型定型原理	48

第一节 概述	48
第二节 气泡核的形成过程	49
一、利用高聚物分子中的自由空间为成核点形成气泡核	49
二、利用高聚物熔体中的低势能点为发泡成核点	52
三、气液相混合直接形成气泡核	56
四、形成气泡核的临界条件和影响因素	57
第三节 气泡的膨胀过程	60
一、反映气泡膨胀的数学模型	61
二、影响气泡膨胀的因素	67
第四节 气泡的稳定和固化过程	82
一、热塑性泡沫塑料的固化定型过程	84
二、热固性泡沫塑料的固化定型过程	86
第五节 各种泡沫塑料的成型原理	86
一、结构泡体	86
二、微孔泡体	87
三、交联发泡体	89
四、合成泡体 (Syntactic Foam, 又称组合泡体)	89
参考文献	91
第四章 泡沫塑料熔体的流变性能	93
第一节 概述	93
第二节 含发泡剂塑料熔体的流动特性	94
第三节 塑料熔体粘弹性对发泡临界条件的影响	100
第四节 塑料熔体的流变性能对泡体结构性能的影响	105
参考文献	140
第五章 泡沫塑料挤出成型工艺及设备	142
第一节 概述	142
第二节 泡沫塑料挤出成型工艺	142
一、挤出发泡方法	142
二、成核方法	146
三、挤出发泡基本工艺	146
四、挤出发泡成型设备的基本组成和要求	148
五、影响发泡质量的主要挤出工艺参数	151
第三节 泡沫塑料挤出成型设备	156

一、挤出机	156
二、机头	164
三、冷却定型	185
四、牵引	200
五、切断及其他	200
第四节 挤出发泡法的应用	201
一、异型材	201
二、板材	217
三、管材	225
四、管状吹塑膜(片)	228
五、发泡电缆绝缘体	229
六、特殊的挤出发泡工艺	232
第五节 挤出发泡的微机控制系统	242
参考文献	248
第六章 泡沫塑料注射成型工艺及设备	250
第一节 概述	250
第二节 泡沫塑料注射成型工艺	252
一、工艺过程	252
二、主要工艺参数	255
第三节 泡沫塑料注射成型设备	265
一、低压法注射发泡成型机	266
二、中压法(即反压法)注射发泡成型机	278
三、高压法注射发泡成型机	283
四、多组分注射发泡成型机	286
第四节 注射发泡成型机的主要零部件及模具设计	303
一、塑化及注射装置	303
二、喷嘴	307
三、模具	312
参考文献	325
第七章 泡沫塑料浇铸成型工艺及设备	326
第一节 概述	326
第二节 聚氨酯泡沫塑料浇铸成型工艺过程	327
一、原材料配制	327

二、发泡成型阶段.....	343
第三节 聚氨酯泡沫塑料浇铸成型设备	369
一、原材料的贮存、输送和计量装置.....	369
二、混合头.....	372
三、模具.....	376
四、喷枪.....	377
第四节 脲甲醛泡沫塑料浇铸成型工艺及设备	379
一、脲甲醛泡沫塑料浇铸成型的工艺过程.....	379
二、脲甲醛泡沫塑料浇铸成型设备.....	386
第五节 泡沫塑料浇铸成型的应用	393
参考文献	401
第八章 泡沫塑料模压成型工艺及设备	402
第一节 概述	402
第二节 泡沫塑料模压成型工艺	402
一、一步法模压发泡成型工艺.....	403
二、二步法模压发泡成型工艺.....	414
第三节 泡沫塑料模压成型设备	434
一、混合设备.....	434
二、预发泡设备.....	437
三、模压发泡成型机.....	439
四、模具.....	454
第四节 模压发泡成型的实用	461
一、发泡塑料板材.....	462
二、泡沫塑料包装垫块.....	464
三、泡沫塑料浮材.....	467
参考文献	468
第九章 泡沫塑料反应注射成型工艺及设备	469
第一节 概述	469
第二节 泡沫塑料反应注射成型工艺	471
第三节 泡沫塑料反应注射成型设备	493
第四节 泡沫塑料增强反应注射成型	524
第五节 结构泡沫反应注射成型	532
第六节 聚脲反应注射成型	539

参考文献	541
第十章 泡沫塑料其他成型工艺、设备及发展	542
第一节 旋转成型	542
一、概述	542
二、泡沫塑料旋转成型工艺	543
三、泡沫塑料旋转成型设备	549
四、旋转成型应用实例	551
五、常见的泡沫塑料旋转成型工艺问题及解决方法	552
第二节 低发泡中空吹塑成型	555
一、概述	555
二、低发泡中空吹塑成型工艺及设备	557
三、低发泡中空吹塑成型的应用	560
四、低发泡中空吹塑成型工艺常见问题及解决方法	562
第三节 泡沫塑料成型技术的发展	567
参考文献	576
第十一章 泡沫塑料的后处理	577
第一节 概述	577
第二节 泡沫塑料的表面涂饰	577
一、涂料耗费量和成本与所要求表面粗糙深度的关系	578
二、涂料的选择与分类	579
三、表面处理	580
四、涂饰方法	583
五、涂层的固化与干燥	587
六、涂饰实例	588
第三节 泡沫塑料边废料的回收利用	596
一、物理回收方法	596
二、化学回收方法	598
参考文献	601
第十二章 泡沫塑料测试方法	602
第一节 物理性能	603
一、表观密度与相对密度	603
二、吸水性	605
三、水蒸气渗透性	606

四、含水量·····	606
五、尺寸稳定性·····	607
六、线性尺寸·····	608
七、气泡开孔率·····	609
第二节 力学性能 ·····	611
一、拉伸强度与断裂伸长·····	611
二、压缩强度与变形·····	615
三、回弹与冲击强度·····	618
四、弯曲强度·····	620
五、硬度·····	621
六、撕裂强度·····	621
第三节 热性能 ·····	622
一、热导率·····	622
二、比热容·····	623
三、线膨胀系数·····	623
第四节 耐温性、耐候性与耐化学性能、燃烧性·····	624
一、耐温性和耐候性·····	624
二、耐化学性·····	625
三、燃烧性·····	626
参考文献 ·····	627

第一章 绪 言

泡沫塑料是一种新型材料，它以塑料为基本组分，含有大量气泡，因此泡沫塑料也可以说是以气体为填料的复合塑料。泡沫塑料的品种很多，但因都含有大量气泡，因此具有共同的特性，质轻、省料、热导率低、隔热性能好、能吸收冲击载荷、具有优良的缓冲性能、隔音性能好、比强度高、等可贵的性能。其用途很广，近十几年来发展极快，特别是在一些工业发达的国家，泡沫塑料工业已成为一个重要的化学工业部门。

泡沫塑料的品种繁多，分类方法也多种多样。根据发泡倍数的不同，泡沫塑料可以分为高发泡与低发泡；根据泡体质地的软硬程度，可以分为硬质泡沫塑料、半硬质泡沫塑料和软质泡沫塑料；根据泡孔的结构可分为开孔泡沫塑料与闭孔泡沫塑料；根据泡体的结构可以分为自由发泡塑料和结构泡沫塑料。

高发泡塑料是指发泡倍数大的泡沫塑料，一般以4倍为分界线，大于4倍的称高发泡塑料，低于4倍的称低发泡塑料，常用的泡沫塑料床垫，座垫，包装衬块和包装膜等多是高发泡塑料；发泡板，管，异型材等等以塑代木的泡沫塑料大多是低发泡，泡沫塑料的发泡倍数等于不发泡的塑料密度与发泡的同种塑料密度之比。泡沫塑料质地的硬软是塑料一种物理性能的表现。Skochdopole 和 Rubeno 根据塑料的物理性质把泡沫塑料分为硬质、半硬质和软质三大类。在常温下，泡沫塑料中的聚合物处于结晶态，或其玻璃化温度高于常温，这类泡沫塑料在常温下的质地较硬，故称之为硬质泡沫塑料；另一类泡沫塑料，聚合物晶体的熔点低于常温，或无定形聚合物的玻璃化温度低于常温，这类泡沫塑料在常温下泡体质地软，故称之为软质泡沫塑料；介于这两类之间的称为半硬质泡沫塑料。按这种分类方法，酚醛泡沫塑料、环氧树脂泡沫塑料、聚苯乙烯泡沫塑料、聚碳酸酯泡沫塑料、

硬聚氯乙烯泡沫塑料和多数聚烯烃泡沫塑料都属硬质泡沫塑料；而橡胶、弹性聚氨酯、软聚氯乙烯和部分聚烯烃的泡体称为软质泡沫塑料。泡沫塑料泡孔的开闭，对泡体的力学性能影响很大，是泡体的重要结构参数。开孔泡沫塑料如图 1-1 (1) 所示，塑料泡体中的泡孔是破的，气泡间相互连通，泡体中的气相和塑料都是连续相，流体可以通过泡体，通过的难易程度与聚合物材料的性能及开孔率有关。闭孔泡沫塑料如图 1-1 (2) 所示，塑料泡体中的泡孔是封闭的，孤立地分散在泡体中，只有塑料基体是连续相。在实际的液体中，泡孔不是纯开孔或纯闭孔，而是开孔中带一些闭孔，或闭孔中带一些开孔。泡体中泡孔的分布对泡沫塑料的性能影响也是很大的。结构泡沫塑料的泡体具有不发泡或少发泡的皮层和发泡的芯体如图 1-1 (3)、(4) 所示，它与自由发泡塑料的主要区别是皮层，自由发泡塑料的表层也发泡，

经过定型皮层可以达到平整，但不可能达到和结构泡沫塑料那样光滑。结构泡沫塑料的成型难度比较大，为了得到光滑的不发泡皮层，一般可以通过两种途径：

① 皮层和芯体采用同一种原材料配方，但在发泡成型时，使皮层与芯部处在不同的温度和压力条件下，结果得到的结构泡沫塑料如图 1-1 (3) 所示；

② 图 1-1 (4) 所示为采用复合成型原理制得的，皮层和芯体采用不同的原材料配方，皮层所用的塑料可以和芯体相同但不

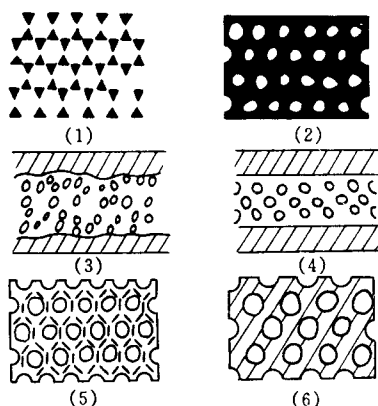


图 1-1 泡体结构类型示意图

含发泡剂，也可以用不同的塑料不含发泡剂。

为了提高泡沫塑料的物理机械性能可以加纤维增强，如图 1-1 (5) 所示，成型难度比较大，还可以加空心球如图 1-1 (6) 所示，后一种一般用在浇铸发泡成型中，在建筑行业中有其特殊的应用价值。

泡沫塑料品种很多，上面只是简要的介绍，下面分析泡沫塑料的共同特性，也可以说是泡沫塑料的可贵性能。

1. 质轻省料

泡沫塑料中的部分塑料被气体取代，因此它比不发泡的塑料轻，轻几倍、十几倍、几十倍、近百倍，不仅减轻重量，也节省了塑料的用量。泡沫塑料的密度可用以下公式计算。

$$\rho_c = \rho_s(1 - \phi_g) + \rho_g \phi_g \quad (1-1)$$

式中 ρ_c , ρ_s , ρ_g ——相应为泡沫塑料，不发泡塑料和气体的密度；
 ϕ_g ——气相的容积率。

$\rho_s \gg \rho_g$ ，故上式可以简化为

$$\rho_c = \rho_s(1 - \phi_g) \quad (1-2)$$

2. 热导率低隔热性能好

泡沫塑料的热导率比不发泡的塑料低得多，因为气体的热导率比塑料的热导率低近一个数量级。例如，聚苯乙烯 (PS) 的热导率为 $452 \text{ J}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K})$ ；硬聚氯乙烯 (RPVC) 为 $570 \text{ J}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K})$ ；低密度聚乙烯 (LDPE) 为 $1205 \text{ J}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K})$ ；高密度聚乙烯 (HDPE) 为 $1733 \text{ J}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K})$ ；聚丙烯 (PP) $422 \text{ J}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K})$ ；尼龙 66 为 $839 \text{ J}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K})$ 。总的讲塑料的热导率一般在 $420 \sim 2100 \text{ J}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K})$ ，气体的热导率却要小得多， N_2 为 $83 \text{ J}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K})$ ； O_2 为 $92 \text{ J}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K})$ ； CO_2 为 $96 \text{ J}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K})$ 。总的讲，气体的热导率约在 $80 \sim 100 \text{ J}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{K})$ ，比塑料少近一个数量级。

下面是泡沫塑料导热能力的计算，为了简化计算，现把泡体看成是气体与塑料组成的复合壁（如图 1-2 所示），根据付立叶定律，其热导量 Q 计算如下。

$$Q = \frac{A \Delta T}{X} [\phi_g K_g + (1 - \phi_g) K_s] \quad (1-3)$$

式中 A ——传热界面的表面积（垂直于导热方向）；

ΔT ——总温差；

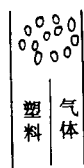


图 1-2 气体与塑料的复合壁

X ——泡沫塑料的厚度；

ϕ_g ——气相的容积率；

K_g, K_s ——相应为气体和塑料的热导率。

由公式 (1-3) 可以看出, 由于 K_g 比 K_s 小得多, 因此随着气相容积率的增加, 泡体的热导能力下降很大。

S. O. Yamane 曾提出泡沫塑料热导率计算公式如下:

$$\frac{1}{K_c} = \frac{1 - \phi^{1/3}}{K_s} + \frac{\phi_g^{2/3}}{K_s(1 - \phi_g^{2/3}) + K_g \phi^{2/3}} \quad (1-4)$$

当 $K_g \ll K_s$ 时, 上式可简化为下式

$$\frac{1}{K_c} = \frac{1}{K_s} \left(\frac{1 - \phi_g^{1/3} + \phi_g}{1 - \phi_g^{2/3}} \right) \quad (1-5)$$

泡沫塑料气泡中的气体相互隔离, 减少了气体的对流传热, 有助于提高泡沫塑料的隔热能力。

根据实验结果聚苯乙烯泡沫塑料的热导率与其密度存在如图 1-3 所示的关系。从图中可以看出当聚苯乙烯泡沫塑料密度为 0.65 g/cm^3 时, 其热导率比不发泡的聚苯乙烯小一半。

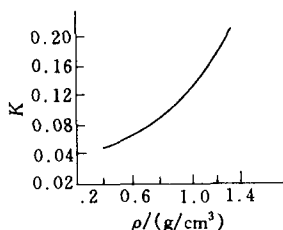


图 1-3 PS 泡沫塑料

K 与 ρ 的关系

辐射热能透过泡体中的气体层传递, 泡沫塑料对辐射热传递能力主要由塑料对红外线的吸收系数, 泡孔大小, 泡孔的形状和气体的容积率等因素决定。由于影响因素较多, 因此要精确计算比较困难。但

可以认为, 在一定的温度条件下, 辐射传热量对总传热量的影响将随着泡沫塑料中的气相容积和泡孔的直径增加而增加。

泡沫塑料的传热能力应是以上三种传热结果的综合, 由于对流传热影响比较小, 故在图 1-4 中所示为导热与辐射传热和泡体密度之间的关系, 从图 1-4 可以看出, 在泡体密度很低时, 辐射传热量在总的传热过程中起了主要的作用。但在温度不高的条件下, 泡沫塑料的传热性能主要取决于泡体的热导率。

3. 具有吸收冲击载荷的能力, 有优良的缓冲性能

泡沫塑料受到外来冲击载荷时, 泡孔中的气体通过滞流和压缩, 使外来的作用能量被消耗, 散逸。泡沫能以较小的负加速度, 逐步终止外来的冲击载荷。因此, 泡沫塑料具有优良的缓冲能力。

4. 隔音性能好

泡沫塑料的隔音效果主要是通过两种途径, 一种是吸收声波的能量, 使它不能反射或传递。声波是纵波, 与冲击波很相似, 当声波到达泡体壁时, 泡体将受到的冲击能量通过对泡体中气体的压缩和滞流, 使能量消耗和散逸, 以达到吸收声波能量的目的。另一种是消除共振, 减少噪音。泡沫塑料的体积大, 比刚性也大, 通过增加泡体的刚性, 以消除或减少泡体由于受到声波冲击而引起共振, 产生噪声, 由于以上两方面的效果, 所以泡沫塑料具有良好的隔音能力。

5. 比强度高

泡沫塑料的机械强度是随着发泡倍数的增加而下降的, 其关系可用下式表示,

$$E_C = E_s \phi_s^n \quad (1-6)$$

式中 E_C , E_s 相应为泡沫塑料和不发泡塑料的弹性模量; ϕ_s 为泡体中塑料的容积率; n 为与变形方式有关的经验参数, 一般在 $1.0 \leq n \leq 2.0$ 。

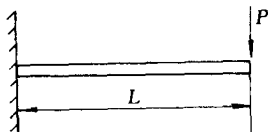


图 1-5 悬臂梁受力图

泡沫塑料的机械强度虽低, 但比强度高, 因为泡沫塑料具有较大的体积, 以刚度为例:

用同等重量不发泡的 ABS 和发泡的 ABS 分别做悬臂梁如图 1-5 所示, 外力 P 作用在

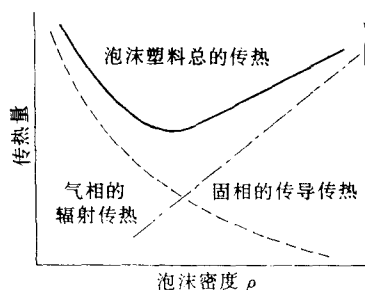


图 1-4 泡沫塑料传热能力与泡体密度的关系