

工程材料性能与选用

韩永生 编著

GONGCHENG CAILIAO XINGNENG YU XUANYONG



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



工程材料性能与选用

韩永生 编著



机械工业出版社

本书系统地介绍了常用工程材料的基本知识,包括塑料、橡胶、纤维、木材、石材、玻璃、陶瓷、黑色金属和有色金属材料、粘合剂、涂料、无机胶凝材料和复合材料等。对各类材料的结构与基本性质、主要品种和特点以及每一种材料的应用方法都作了较为详细的介绍。同时还介绍了一般产品设计时选择材料的原则和方法。在编写时力求做到既通俗易懂、深入浅出,又不过多地涉及有关专业理论。

本书既有精炼的基本理论,又有具体数据与实例,篇幅适中,是一本内容比较全面的关于材料选择与应用的简明书籍。既可供从事工业产品设计专业和相关非材料专业的技术人员参考使用,也可供大专院校的工业设计、环境设计等非材料专业的教师和学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料性能与选用/韩永生编著. —北京:机械工业出版社, 2013. 8
ISBN 978-7-111-43720-8

I. ①工… II. ①韩… III. ①工程材料 IV. ①TB3

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第195456号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:张秀恩 责任编辑:张秀恩 王彦青

版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:陈沛 责任印制:张楠

唐山丰电印务有限公司印刷

2013年11月第1版第1次印刷

169mm×239mm·25.5印张·526千字

0 001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-43720-8

定价:69.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

随着科学技术的不断发展,工业设计人员对材料性能的要求越来越高,而传统的金属和非金属材料在许多方面已不能满足要求,因而促进了新材料的不断出现和推广。在某些方面,非金属材料的应用日益增多,尤其是高分子材料和复合材料的发展更为迅速;具有许多特殊性能的各类新材料也已显露锋芒。因此,设计人员需要掌握各种材料尤其是新材料的基本知识,并能够进行合理选用。

本书系统地介绍了常用工程材料的基本知识,包括塑料、橡胶、纤维、木材、石材、玻璃、陶瓷、黑色金属和有色金属材料、粘合剂、涂料、无机胶凝材料和复合材料等。对各类材料的结构与基本性质、主要品种和特点以及每一种材料的应用方法都作了较为详细的介绍。同时还介绍了进行一般产品设计时选择材料的原则和方法。在编写时力求做到既通俗易懂、深入浅出,又不过多地涉及有关专业理论,做到了理论与实践密切结合。可供从事工业产品设计专业和相关非材料专业的技术人员在进行产品设计时参考使用。

另外,许多大专院校尤其是艺术类专业的工业设计等专业已经开设或正在准备开设有关材料性能和选择方面的课程,以使学生掌握较为坚实的材料知识。然而,目前满足这种要求的教材和参考书还不多,本书既有精炼的基本理论,又有具体数据与实例,篇幅适中,是一本内容比较全面的关于材料的简明书籍。因此也可以供大专院校的工业设计、环境设计等非材料专业的教师和学生作为教学参考书。

本书初稿曾为天津科技大学工业设计专业开设的《材料工艺学》课程作为教材试用过。在讲授后,根据有关意见与建议,作了多次修改。随着材料科学的不断进步,许多传统的材料退出了常用领域,本书修改了部分不适合当今时代的某些材料的应用方法,修订、增加了部分新内容。

本书在编写过程中,参考了大量的相关资料,除书末注明的参考资料外,其余的参考资料主要有:公开出版的各类报纸、刊物和书籍;笔者对企业的调研;因特网上的检索。在此向参考资料的各位作者表示谢意!

由于编者水平有限,书中的疏漏和错误在所难免,恳请读者批评指正,多提宝贵意见,使之不断完善,编者在此预致谢意。

编 者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 工程材料的分类	1
1.3 工程材料的基本性质	2
1.3.1 物理性质	3
1.3.2 力学性质	15
1.3.3 耐久性	32
第 2 章 塑料和橡胶	40
2.1 概述	40
2.2 高分子合成材料	40
2.2.1 高分子化合物概述	40
2.2.2 高分子化合物的基本反应	42
2.2.3 高分子化合物的物理状态	44
2.2.4 高分子化合物的老化与防老化	47
2.3 塑料	47
2.3.1 塑料的组成、分类	48
2.3.2 塑料的性能	48
2.3.3 常用塑料简介	51
2.4 塑料制品的生产工艺	76
2.4.1 挤出成型	76
2.4.2 注射成型	77
2.4.3 压制成型	77
2.4.4 压延成型	78
2.4.5 回转成型	78
2.4.6 浇铸成型	78
2.4.7 真空成型和二次加工	78
2.4.8 泡沫塑料成型	79
2.5 塑料的装饰	80
2.5.1 塑料电镀	80
2.5.2 真空镀铝	81
2.5.3 塑料烫印	81
2.5.4 塑料印刷	82
2.5.5 薄膜贴花	82

2.5.6 仿真人造革	82
2.5.7 塑料移印	83
2.5.8 塑料植绒	83
2.6 橡胶	83
2.6.1 简介	83
2.6.2 生胶	84
2.7 橡胶配合剂	96
2.8 橡胶生产工艺	96
2.8.1 塑炼和混炼	96
2.8.2 成型硫化	98
2.9 橡胶的主要技术性能与应用	99
2.9.1 主要技术性能	99
2.9.2 应用	101
2.10 橡胶的老化及防止	105
2.10.1 影响橡胶老化的因素	105
2.10.2 橡胶老化的防止	106
第3章 纤维	108
3.1 纤维的基本知识	108
3.1.1 分类	108
3.1.2 命名	110
3.1.3 主要性能指标	111
3.2 纤维的性质	112
3.2.1 天然纤维	112
3.2.2 人造纤维	116
3.2.3 常用合成纤维	119
第4章 木材	132
4.1 概述	132
4.2 木材的基本知识	132
4.2.1 木材的分类	132
4.2.2 木材的构造	133
4.3 木材的基本性质	135
4.3.1 密度和体积密度	135
4.3.2 导热性	136
4.3.3 含水率	136
4.3.4 吸湿性	137
4.3.5 湿胀与干缩	138
4.3.6 声学 and 光学性能	141
4.3.7 导电性	142
4.3.8 强度	142

4.4 木材的工艺性质	146
4.5 木材的缺陷	147
4.5.1 树木本身的缺陷	147
4.5.2 木材的加工缺陷	151
4.5.3 有缺陷木材的合理利用	154
4.6 我国主要木材的特点	155
4.7 人造板材	156
4.7.1 胶合板	156
4.7.2 纤维板	158
4.7.3 刨花板	158
4.7.4 覆面细木工板(大芯板)	159
4.8 竹材	160
4.8.1 竹材的构造	160
4.8.2 竹材的物理、力学性质	161
4.8.3 竹材质量检验和用途	161
第5章 石材	163
5.1 岩石与石材的基本知识	163
5.1.1 造岩矿物与岩石的构造和命名	163
5.1.2 常用岩石的分类及性质	166
5.1.3 石材的加工	169
5.1.4 天然石材的选用	171
5.2 天然大理石	172
5.2.1 大理石的概念和特点	172
5.2.2 大理石的主要品种	173
5.2.3 天然大理石板材的贮存和选用	176
5.3 天然花岗石	176
5.3.1 花岗石的概念和特点	176
5.3.2 花岗石的品种	176
5.3.3 天然花岗石板材的贮存和应用	178
5.3.4 天然石材的保养	179
5.4 其他石材	179
5.4.1 石英石系列	179
5.4.2 云母石系列	179
5.4.3 筋石系列	179
5.4.4 化石系列	179
5.4.5 玉石系列	179
5.4.6 卵石	180
5.4.7 木纹石、洞石、黑珍珠和南非金沙石	180
5.5 青石板与板岩饰面板	180

5.5.1 青石板	180
5.5.2 板岩板	180
5.6 人造饰面石材	181
5.6.1 水泥型人造饰面石材	182
5.6.2 聚酯型人造饰面石材	182
5.6.3 树脂型人造石材	183
5.6.4 复合型人造饰面石材	183
5.6.5 烧结型人造饰面石材	183
5.7 石材的天然放射性	184
第6章 玻璃	189
6.1 概述	189
6.2 玻璃的化学组成	190
6.2.1 钠钙玻璃	191
6.2.2 铅钾玻璃	191
6.2.3 铅玻璃	191
6.2.4 镁铝玻璃	191
6.2.5 硼硅玻璃	192
6.3 玻璃的生产	192
6.3.1 玻璃原料	192
6.3.2 玻璃熔制	194
6.3.3 玻璃成型	195
6.3.4 玻璃的退火	197
6.4 玻璃制品的二次加工	197
6.4.1 冷加工	197
6.4.2 热加工	199
6.4.3 表面处理	199
6.5 玻璃的缺陷	201
6.5.1 结石	201
6.5.2 气泡	201
6.5.3 条纹和节瘤	201
6.6 玻璃的性能	202
6.6.1 力学性能	202
6.6.2 机械强度	202
6.6.3 热学性能	203
6.6.4 光学和着色性能	204
6.6.5 化学稳定性	207
6.6.6 电学性能	208
6.6.7 阻隔性能	208
6.7 玻璃的主要品种和应用	208

6.7.1 建筑玻璃	208
6.7.2 安全玻璃	210
6.7.3 信号玻璃	211
6.7.4 特种玻璃	212
6.7.5 瓶罐玻璃	213
第7章 陶瓷	214
7.1 概述	214
7.2 陶瓷材料的一般性能	214
7.2.1 力学性能	214
7.2.2 物理性能和化学性能	216
7.3 普通陶瓷	216
7.3.1 普通陶瓷的分类	216
7.3.2 陶瓷原料的成分	217
7.3.3 陶瓷制品的制造	217
7.3.4 传统陶瓷	218
7.4 釉	222
7.4.1 釉的特点、性质及制釉原料	223
7.4.2 釉的分类	224
7.5 琉璃制品	227
第8章 金属	229
8.1 金属材料及分类	229
8.2 金属热处理工艺基础	229
8.2.1 简介	229
8.2.2 钢的退火与正火	230
8.2.3 钢的淬火与回火	231
8.2.4 钢的表面热处理	234
8.2.5 其他热处理工艺	235
8.3 铸铁	236
8.3.1 简介	236
8.3.2 铸铁的分类	237
8.3.3 灰铸铁	237
8.3.4 其他常用铸铁	239
8.4 钢	243
8.4.1 钢的分类与牌号	243
8.4.2 非合金钢	245
8.4.3 低合金钢	248
8.4.4 合金结构钢	250
8.4.5 合金工具钢和高速工具钢	255
8.4.6 不锈钢、耐热钢及特殊物理性能钢	258

8.5 有色金属	261
8.5.1 铜及铜合金	261
8.5.2 铝及铝合金	266
8.6 钢铁的化学处理	270
8.7 金属的表面镀饰	270
8.7.1 电镀	271
8.7.2 电刷镀	272
8.7.3 复合电镀	273
8.7.4 真空离子镀	273
8.7.5 热浸镀	275
8.7.6 热喷涂	275
8.7.7 冰花镀	275
8.7.8 镀黑	276
8.7.9 其他表面处理方法	276
8.7.10 彩色涂层钢板	276
8.7.11 彩色氧化铝	277
第9章 粘合剂	279
9.1 粘合剂的组成与分类	280
9.1.1 组成	280
9.1.2 分类	281
9.2 粘接机理	282
9.2.1 产生粘合的基本条件	282
9.2.2 粘合理论	283
9.2.3 影响粘合强度的因素	286
9.3 常用粘合剂	287
9.3.1 葡萄糖衍生物粘合剂	287
9.3.2 热熔型粘合剂	288
9.3.3 溶剂型粘合剂	288
9.3.4 乳液型粘合剂	289
9.3.5 环氧粘合剂	290
9.3.6 改性酚醛粘合剂	293
9.3.7 聚氨酯粘合剂	293
9.3.8 α -氰基丙烯酸酯胶	294
9.3.9 厌氧粘合剂	294
9.3.10 无机粘合剂	295
9.4 粘接工艺	295
9.4.1 粘合剂的选用	296
9.4.2 粘接接头的设计	296
9.4.3 表面处理	301

9.4.4	粘合剂的配制和涂敷	308
9.4.5	粘合剂的晾置与固化	309
9.4.6	塑料的粘合	312
9.5	粘接质量无损检验方法	313
9.5.1	目视法	313
9.5.2	敲击法	313
9.5.3	声阻探伤法	313
9.5.4	超声波探伤法	314
9.5.5	液晶探伤法	314
9.5.6	辅助检验	315
9.6	安全和防护	315
9.6.1	常见粘合剂和溶剂的毒性	315
9.6.2	中毒的途径、症状及防护	317
9.6.3	燃烧与爆炸	319
第10章	涂料	321
10.1	概述	321
10.1.1	涂料的作用	321
10.1.2	涂料的组成、分类与表示法	321
10.2	涂料用油及天然树脂和人造树脂	324
10.2.1	涂料用油	324
10.2.2	涂料用天然树脂和人造树脂	325
10.3	涂料用合成树脂	326
10.3.1	涂料用合成树脂的特点	326
10.3.2	涂料用合成树脂的品种	327
10.4	涂料的次要成膜物质和辅助成膜物质	331
10.4.1	次要成膜物质	331
10.4.2	辅助成膜物质	332
10.5	常用涂料	334
10.5.1	酚醛树脂涂料	334
10.5.2	醇酸树脂涂料	336
10.5.3	氨基树脂涂料	336
10.5.4	防锈涂料	336
10.5.5	水溶性涂料	339
10.5.6	其他品种涂料	340
10.6	特种涂料	343
10.6.1	烧蚀隔热涂料	343
10.6.2	耐辐射涂料	343
10.6.3	示温涂料	343
10.6.4	导电涂料	344

10.6.5	发光涂料	344
10.6.6	伪装涂料	345
10.6.7	润滑涂料	345
10.6.8	陶瓷涂料	345
10.6.9	防火涂料	346
10.6.10	灭虫涂料	346
10.6.11	金属罐用涂料	346
10.6.12	塑料用涂料	347
10.6.13	纸用涂料	348
10.7	涂料的选择	348
10.8	涂料的施涂工艺	349
第 11 章	无机胶凝材料	351
11.1	石膏	351
11.1.1	石膏原料与石膏的生产	351
11.1.2	建筑石膏的分类及技术指标	351
11.1.3	建筑石膏的硬化	352
11.1.4	建筑石膏的应用	353
11.1.5	建筑石膏的使用与保管	353
11.2	石灰	353
11.2.1	石灰的烧制	353
11.2.2	石灰的熟化	354
11.2.3	石灰的硬化	354
11.2.4	石灰的技术性能	355
11.2.5	石灰的用途	356
11.2.6	石灰的保管	356
11.2.7	磨细生石灰粉	356
11.3	水玻璃	357
11.4	菱苦土	358
11.5	水泥	358
11.5.1	水泥的技术性质	358
11.5.2	水泥的种类和标号	359
11.5.3	水泥品种的选用	361
11.5.4	水泥的储运管理	363
第 12 章	复合材料	365
12.1	概述	365
12.2	复合材料的分类与特性	365
12.2.1	分类	365
12.2.2	特性	366
12.3	复合理论	366
12.4	纤维增强复合材料	367

12.4.1	纤维增强复合材料的特点	367
12.4.2	结构与强度复合	369
12.4.3	纤维增强复合材料品种简介	369
12.5	层合复合材料	374
12.5.1	双层金属复合材料	374
12.5.2	塑料/金属多层复合材料	374
12.5.3	夹层结构复合材料	375
12.5.4	塑料软包装复合薄膜和片材	375
12.6	颗粒复合材料	377
12.7	复合材料的应用	378
第 13 章	材料的选用	380
13.1	选材的原则与方法	380
13.2	金属零件的选材	381
13.2.1	选材的一般原则	381
13.2.2	工艺性原则	382
13.2.3	经济性原则	382
13.2.4	选材的一般步骤和应注意的问题	383
13.2.5	典型零件选材及工艺分析	384
13.3	塑料零件的选材	387
13.3.1	塑料选用的一般原则和方法	387
13.3.2	典型零件的选材	388
13.3.3	不宜选用塑料的情况	389
13.3.4	塑料的加工性能	391
13.3.5	塑料制品的成本	393
参考文献		396

第 1 章 绪 论

材料是工业技术发展的基础。人们生产的制品所采用的材料是否先进，能直接反映出当时社会的生产水平。人类社会从落后到先进的发展进程，实际上也可以看做是材料发展的历程。典型的例子可以从人类社会发展的标志看出：石器时代、青铜时代、铁器时代，直到现在的以新材料为代表的新技术革命时代。

现在，各种新型材料被不断开发出来，新材料的特点是高性能化、功能化、复合化。传统的金属材料、无机材料、有机材料的界线逐渐模糊。材料科学已成为多学科相互交叉、相互渗透的科学。因此，很有必要全面了解传统材料与新材料的知识，对材料科学有一个基本的了解，扩大材料领域的知识面，并掌握有关材料的发展规律。了解并掌握材料的性能和它们的变化规律并能够合理选择与使用。

1.1 概述

材料是物质的一部分，是人类用来制造器件、构件或其他可供使用的物质的总称。一般为经过加工的天然物质，如金属、水泥、塑料等。材料的品种、数量和质量是衡量一个国家科学技术和国民经济水平以及国防实力的重要标志之一。

长期以来，人们对材料本质的认识是逐步深入的，不少传统材料的发展、制备和使用都凭经验或者靠师徒传授进行的。后来，随着经验积累、总结提高成为“材料工艺学”，从此材料进入一个新的发展阶段。由于材料是一切工程的物质基础，所以，材料科学不仅探讨材料属性的微观机理，而且更注重材料的使用性能和工程价值。因此，材料科学的研究成果有着重要的社会意义。新型材料发展，将促进我国新产品、新技术的发展。本书主要研究和介绍在工业设计以及工程中经常使用的材料，即工程材料的性能及选择和使用。

1.2 工程材料的分类

工程材料的品种非常繁杂。要想全面了解和掌握各种工程材料的性能、特点和用途，首先需要对其进行合理的分类。

工程材料按化学成分可分为金属材料，如黑色金属（铸铁、碳钢和合金钢）和有色金属（轻有色金属、重有色金属、贵金属和稀有金属等）；无机非金属材料，如传统的硅酸盐材料（水泥、玻璃、陶瓷和耐火材料）和新型陶瓷（除 SiO_2 以外的其他氧化物、碳化物、硼化物、氮化物等材料）；有机非金属材料，如石油

燃料、润滑油脂、合成橡胶、塑料、合成纤维、胶粘材料以及天然动植物材料等，详见表 1-1。

表 1-1 工程材料按化学成分分类

金属材料	黑色金属材料	铸铁、碳钢、合金钢	
	有色金属材料	铝及铝合金、铜及铜合金、钛合金、贵金属、稀有金属	
非金属材料	无机非金属材料	天然石材	大理石、花岗岩等
		陶瓷	陶器、瓷器、炆器等
		玻璃	硅酸盐玻璃、硼酸盐玻璃、碱硼硅酸盐玻璃
		水泥	硅酸盐水泥、铝酸盐水泥、硫铝酸盐水泥等
		混凝土	无机胶凝材料混凝土、有机胶凝材料混凝土
	有机材料	木材	木材、胶合板、纤维板、细木工板
		竹材、藤材	
		纤维	天然纤维、合成纤维、人造纤维
		高分子材料	塑料、橡胶
		涂料、粘合剂及其他	
复合材料	有机与无机复合材料	钙塑材料	
	金属与非金属复合材料	彩色涂层钢板、铝塑复合材料	

按用途分为结构材料和功能材料，前者主要是利用其物理力学性能，如结构材料中的金属、石材、粘土砖、混凝土及木材等；功能材料是通过光学、电学、声学、磁学、化学、物理化学、生物化学等特性而完成特定功能的材料，如半导体材料、磁性材料、激光材料及超导材料等。

按物理力学性能，材料又可以分为高强材料、高温材料及导电材料等。按状态分为单晶材料、多晶材料及非晶材料等。本书主要按化学成分的分类介绍工程材料的选择与使用。

1.3 工程材料的基本性质

工程材料在使用过程中，要承受各种介质（如水、蒸汽、腐蚀性气体和流体等）的作用以及各种物理作用（如温度差、湿度差、摩擦等），而且工程材料在运输及使用过程中不可避免地会受到碰撞或遭到一定外力的作用，因此，工程材料必

须具有抵抗上述各种作用的能力。为保证工程材料的正常使用,对许多工程材料还要求具有一定的防水、防腐、耐热、防火、声学、光学等性质。因此,掌握工程材料的基本性质是正确选择与合理使用工程材料的基础。

工程材料所具有的性质是由材料的组成、结构与构造等内部因素所决定的,所以了解其性质和组成是非常必要的。

1.3.1 物理性质

1. 与质量有关的性质

(1) 密度 指材料在绝对密实状态下,单位体积的质量。密度(ρ)可用下式表示:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

式中 ρ ——材料的密度 (g/cm^3);

m ——材料在干燥状态下的质量 (g);

V ——材料在绝对密实状态下的体积 (不包括内部任何孔隙的体积, cm^3)。

材料的密度 ρ 大小取决于材料的组成与材料的内部结构。

密度是材料的状态参数,用以表示材料物理状态的特征。不同组成的材料(金属材料、有机材料、无机非金属材料)的密度相差颇大;同属无机非金属材料由于结晶状态不同(如金刚石与石墨),密度也不同;组成相同的材料,因结构状态不同(如玻璃体与晶体),密度也不相同。因此,材料的密度在这里也同时说明了固体材料的结构特征。密度又是衡量材料轻重的一个指标,同时它还反映材料的强度、硬度、熔点、吸水性、导热性及耐久性等性质的大小。密度可作为材料质量评定和选用的依据之一。在产品的设计和制造过程中,如何减少自重,增加承载能力,密度是重点考虑的对象。

(2) 体积密度(表观密度) 指材料在自然状态下,单位体积的质量。按下式计算:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0}$$

式中 ρ_0 ——材料的体积密度 (g/cm^3);

m ——材料的质量 (g);

V_0 ——材料在自然状态下的体积 (或叫表观体积,包括材料内部所有开闭孔隙的体积, cm^3)。

测定材料的体积密度时,材料的质量可以是在任意含水状态下的质量,但需说明含水情况。通常所指的体积密度是指材料在干燥状态下的体积密度。当材料处在烘干状态下时,称为气干体积密度,简称体积密度。材料的体积密度除与材料的密度有关外,还与材料内部孔隙的体积有关,材料的孔隙率越大,则材料的体积密度

越小。因此,对于多孔材料而言,它们的体积密度明显小于其密度值,只有密实材料的体积密度接近或等于其密度值。

(3) 堆积密度 指粒状(粉状)材料,在堆积状态下,单位体积的质量。按下式计算:

$$\rho'_0 = \frac{m}{V'_0}$$

式中 ρ'_0 ——材料的堆积密度 (g/cm^3);

m ——材料的质量 (g);

V'_0 ——材料的堆积体积 (cm^3)。

测定松散材料的堆积密度时,材料的质量是指填充在一定容器内的材料质量,其堆积体积是指所用容器的容积。因此,材料的堆积体积包含了颗粒之间的空隙和颗粒内部的孔隙。

在实际生产中,材料用量的计算、堆放空间确定以及材料自重和体积的计算,经常要用到材料的密度、表观密度和堆积密度等物理常数。常用非金属材料的几种密度值见表 1-2。

表 1-2 常用非金属材料的几种密度值

名称	密度/ (g/cm^3)	表观密度/ (g/cm^3)	堆积密度/ (g/cm^3)
石灰石	2.6	1.8 ~ 2.6	—
花岗石	2.8	2.5 ~ 2.9	—
砂	2.6	—	1.45 ~ 1.65
粘土	2.6	—	1.60 ~ 1.80
普通粘土砖	2.5	1.60 ~ 1.80	—
水泥	3.1	—	1.20 ~ 1.30
普通混凝土	—	2.10 ~ 2.60	—
木材	1.55	0.40 ~ 0.80	—
泡沫塑料	—	0.020 ~ 0.050	—

(4) 密实度与孔隙率

1) 密实度是指材料体积内被固体物质所充实的程度。密实度 (D) 可用下式计算:

$$D = \frac{V}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho_0}{\rho} \times 100\%$$

式中 D ——密实度 ($\%$);

V ——材料中固体物质体积 (cm^3 或 m^3);

V_0 ——材料体积 (包括内部孔隙体积 cm^3 或 m^3);

ρ_0 ——体积密度 (g/cm^3 或 kg/m^3);