



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

建筑材料 (第五版)

武汉大学 李亚杰 方坤河 主编

Higher Education



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

建 筑 材 料

(第五版)

武汉大学 李亚杰 方坤河 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书主要讲述水利水电工程、水运工程、工业与民用建筑工程、道路工程中常用的各种建筑材料的成分、生产过程、技术性质、质量检验、使用及运输保管等的基本知识。其中,以技术性质、质量检验及合理使用为重点。全书共分为十四章,即建筑材料的基本性质,天然石料,气硬性胶凝材料,水泥,水泥混凝土,建筑砂浆,沥青及沥青混合料,建筑钢材,合成高分子材料,木材,墙体材料和屋面材料,防水材料,绝热、吸声及装饰材料,建筑材料试验等。

根据普通高等教育“十一五”国家级规划教材的要求,本书全部按现行国家标准、部及行业标准和最新规范编写。

本书可作为高等学校水利水电工程、农用水利工程、河流工程、港口、航道及海洋工程、工业与民用建筑工程、道路工程及工程建设监理等专业的教材和教学用书,也可供相关大专及中等专业学校的教师和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑材料/李亚杰,方坤河主编.—5版.—北京:

中国水利水电出版社,2007

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5084-4260-0

I. 建… II. ①李…②方… III. 建筑材料—高等学校—教材 IV. TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 143338 号

书 名	普通高等教育“十一五”国家级规划教材 建筑材料(第五版)
作 者	武汉大学 李亚杰 方坤河 主编
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16开本 21.5印张 510千字
版 次	1979年6月第1版 1985年5月第2版 1993年6月第3版 2001年3月第4版 2007年1月第5版 2007年1月第16次印刷
印 数	177171—183170册
定 价	28.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

第五版前言

本书第四版自出版以来受到了各校师生的欢迎,也得到了广大工程技术人员的好评。为满足社会需要决定在此基础上修订再版。

进入 21 世纪,适值我国跨入新世纪建设高潮,水利、水电、道路、港工和工业及民用建筑等各类工程如雨后春笋,建筑材料的生产、科研及工程应用迅速发展,涌现出了大量新材料、新工艺及新试验方法。许多新的国家、部委及行业标准和规范也相应颁布。为了与时俱进地反映建筑材料科学发展的新成果,更好地服务于高等学校教学,在本书修订中,保持了原书的基本体系,在内容上作了较多更新。本书现已被教育部批准为“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材。

本书由武汉大学李亚杰、方坤河两位同志担任主编,河海大学梁正平同志担任主审。各章节的修订工作,均按第四版的分工进行,具体如下:武汉大学李亚杰负责编写绪论、第一、八、九、十二章、第十四章第九节及附录一、附录二、附录三;曾力负责编写第二、十章;何真负责编写第三、四章;方坤河负责编写第五章。西安理工大学张浩博负责编写第六、七章及第十四章的第六、七、八节。河海大学肖玉明负责编写第十一、十三章及第十四章的第一至五节、第十节。

在编写过程中,参考了各校对第四版教材的修改意见,许多同志都对本书提出了宝贵建议。梁正平教授对初稿提出了许多意见和建议,使本书质量得到了很大提高。在此,特向他们表示衷心感谢。

由于我们水平有限,书中难免有不少缺点和不妥之处,恳请各校师生及读者指正。

编 者

2006 年 2 月

第一版前言

本书是根据1978年1月水利电力部召开的教学计划和教材规划座谈会的要求,按照1978年4月建筑材料教材编写大纲讨论会所拟定的教材编写大纲编写的,作为高等学校水利水电工程建筑专业、农田水利工程专业、水道及港口工程建筑专业的教材,也可作为水利类其他各专业的教学用书。

由于建筑材料试验是建筑材料课程的重要组成部分,为学习使用方便起见,建筑材料试验的内容也包括在本书中,一并出版。

在编写中,力求贯彻“少而精”的原则,注意加强基本理论的阐述及基本技能的培养。主要讲述了水利工程中常用的各项主要建筑材料,其中重点突出了水泥、水泥混凝土、沥青及沥青防水材料等有关部分的内容及其试验;对近年来国内外出现的新型材料(如合成高分子材料等),亦作了一定的介绍。对于某些章节,采用小字排印,以供不同专业根据情况选用。

书中引用的有关技术标准及试验规程,均采自现行的技术规范。随着科学技术的不断发展,对原有规范将不断进行修订。因此,国家颁布新的规范时,应以新的技术标准及试验规程为准。

本书由下列院校的教师分工编写:武汉水利电力学院王国欣、李鸿恩、白福来、牛光庭同志负责编写绪论、第一至四章及第九章,并担任全书主编;西北农学院叶淑君、丁朴荣同志负责编写第五、六章及试验第六部分的第(五)、(六)项、试验第七部分;成都工学院李玉德同志负责编写第七、八章;华东水利学院谢年祥、林毓梅同志负责编写试验第一至五部分、试验第六部分的(一)至(四)项、试验第八部分。

本书由大连工学院王庆寿同志担任主审。

全书的绘图工作由武汉水利电力学院杨玉琦同志担任。

对于本书存在的缺点和不妥之处,希各院校师生及读者提出宝贵意见。

编 者

1978年12月

第二版前言

根据“高等学校水利电力类专业教材编审出版规划”，按照1982年讨论拟定的水利水电工程建筑专业、农田水利工程专业的教学大纲，对本书进行了修订。

修订中，力求反映近年来我国建筑材料方面的新成就；适当加强了有关基础理论的阐述；引用了近年来我国新修订的有关技术标准及试验规程。同时，对于某些部分，作了必要的精简。

第二版由武汉水利电力学院王国欣同志担任主编，大连工学院王庆寿同志担任主审。各章节的修订工作，均按初版的分工进行。除原有参加编写的同志外，华东水利学院卢瑞珍同志、武汉水利电力学院李亚杰同志也参加了部分编写工作。

本书初版发行以来，有不少同志对本书提出过宝贵建议。在此，特向他们表示衷心的感谢。

由于我们水平有限，书中仍有不少缺点和不妥之处，希望同志们提出宝贵意见。

编 者

1984年4月

第三版前言

本书是根据“高等学校水利水电类专业教材编审出版规划”，在第二版的基础上进行修订的。修订中，参考了各院校对第二版所提的修改意见。同时，为适应当前教学改革中专业发展的需要，适当拓宽了本书的内容，主要讲述水利水电工程及工业与民用建筑工程中常用的各项主要建筑材料。

本书由下列院校的教师分工编写：武汉水利电力学院王国欣、李鸿恩、白福来、牛光庭、李亚杰负责编写绪论、第一、二、四、五、六、十一章及试验第十部分；陕西机械学院丁朴荣负责编写第七、八章及试验第九部分；成都科技大学李玉德负责编写第九、十章；河海大学卢瑞珍负责编写第三、十二章及试验第一至八及十一部分。

本书由武汉水利电力学院牛光庭、李亚杰合编，大连理工大学王庆寿担任主审。

在编写过程中，许多同志曾对本书提出了宝贵建议，在此致以衷心的感谢。

由于我们水平有限，书中难免有不少缺点和不妥之处，希望同志们继续提出宝贵意见。

书中用*或*-*号隔开的部分，带*号的章、节、附录，为选学内容。

编 者

1992年5月

第四版前言

本书是根据高等学校水利水电类专业第四轮教材选题出版规划，在第三版的基础上进行修订的。修订中，尽量反映近年来我国建筑材料科研、生产及工程应用的新成果，全部按现行国家标准、部及行业标准和最新规范编写。同时，为了适应教学改革发展的需要，适当拓宽了本书的内容和使用专业。本书主要讲述水利水电工程、水运工程、工业与民用建筑工程中常用的主要建筑材料的成分、生产过程、技术性能、质量检验、使用及运输保管等基本知识。

本书为高等学校水利水电工程建筑、农田水利工程、水利水电工程施工、河流工程、港口、航道及海洋工程、工业与民用建筑工程、道路工程及工程监理等专业的教材和教学用书，也可作为工程技术人员的参考书。

本书由下列院校的教师分工编写：武汉大学李亚杰负责编写绪论、第一、八、九、十二章、第十四章第九节及附录一、附录二、附录三；曾力负责编写第二、十章；何真负责编写第三、四章；方坤河负责编写第五章。西安理工大学张浩博负责编写第六、七章及第十四章的第六、七、八节。河海大学肖玉明负责编写第十一、十三章及第十四章的第一至五节、第十、十一节。

全书由李亚杰主编，河海大学梁正平教授担任主审。

在编写过程中，参考了各校对第三版教材所提出的修改意见，得到了第三版作者的大力支持，还有很多同志对本书提出过许多宝贵意见和建议，特此表示衷心感谢。

由于我们的水平有限，书中难免有缺点和不妥之处，恳请指正。

编 者

2000年8月

目 录

第五版前言	
第一版前言	
第二版前言	
第三版前言	
第四版前言	
绪论	1
第一章 建筑材料的基本性质	3
第一节 材料的组成、结构与构造	3
第二节 材料的密度、表观密度和孔隙率	7
第三节 材料的力学性质	9
第四节 材料与水有关的性质	15
第五节 材料的耐久性	17
第六节 材料与热有关的性质	19
复习思考题	20
第二章 天然石料	22
第一节 岩石的形成与分类	22
第二节 天然石料的主要技术性质	24
第三节 工程中常用的天然石料	27
复习思考题	29
第三章 气硬性胶凝材料	30
第一节 石灰	30
第二节 石膏	32
第三节 水玻璃	34
第四节 镁质胶凝材料	35
复习思考题	36
第四章 水泥	37
第一节 概述	37

第二节	硅酸盐水泥	37
第三节	混合材料及掺有混合材料的硅酸盐水泥	46
第四节	其他品种水泥	52
第五节	水泥的应用	55
	复习思考题	56
第五章	水泥混凝土	59
第一节	概述	59
第二节	混凝土的主要技术性质	60
第三节	水泥混凝土的骨料及拌和（养护）用水	79
第四节	混凝土外加剂	85
第五节	混凝土的掺和料	95
第六节	混凝土的配合比设计	99
第七节	混凝土的质量控制	110
第八节	轻混凝土	116
第九节	碾压混凝土	124
第十节	其他品种水泥混凝土	129
	复习思考题	133
第六章	建筑砂浆	136
第一节	建筑砂浆的组成材料	136
第二节	建筑砂浆的技术性质	138
第三节	砌筑砂浆的配合比设计	140
	复习思考题	145
第七章	沥青及沥青混合料	146
第一节	沥青材料	146
第二节	沥青混合料	163
	复习思考题	174
第八章	建筑钢材	176
第一节	概述	176
第二节	建筑钢材的力学性能和工艺性能	177
第三节	铁碳合金的晶体结构	180
第四节	化学元素对钢材性能的影响	184
第五节	钢的压延加工及热处理	186
第六节	建筑钢材的牌号与应用	188
第七节	钢材的腐蚀与防护	197
	复习思考题	199
第九章	合成高分子材料	200

第一节	合成高分子化合物基础知识	200
第二节	建筑塑料	202
第三节	常用合成橡胶及合成纤维	204
第四节	合成胶粘剂	207
第五节	聚合物混凝土	209
	复习思考题	212
第十章	木材	213
第一节	木材的构造	213
第二节	木材的物理和力学性质	214
第三节	木材的主要产品及等级	218
第四节	木材的腐蚀及防护	220
	复习思考题	220
第十一章	墙体材料和屋面材料	221
第一节	烧土制品的原料及生产工艺简介	221
第二节	烧结砖	224
第三节	非烧结砖	228
第四节	建筑砌块	229
第五节	建筑板材	231
第六节	屋面材料	232
	复习思考题	233
第十二章	防水材料	234
第一节	防水涂料	234
第二节	防水卷材	237
第三节	建筑密封材料	244
	复习思考题	249
第十三章	绝热、吸声及装饰材料	250
第一节	绝热材料	250
第二节	吸声材料	252
第三节	装饰材料	253
	复习思考题	258
第十四章	建筑材料试验	259
第一节	石料试验	260
第二节	水泥试验	264
第三节	混凝土骨料试验	276
第四节	混凝土拌和物试验	286
第五节	混凝土试验	293

第六节 砂浆试验	300
第七节 沥青材料试验	304
第八节 沥青混凝土试验	309
第九节 木材试验	313
第十节 砌墙砖抗压强度试验	317
附录一 工业与民用建筑工程普通混凝土的几项技术指标	320
附录二 水工混凝土的几项技术指标	322
附录三 水运工程混凝土的几项技术指标	327
主要参考文献	330

绪 论

建筑材料是指土木建筑工程（水利、水运、房屋、道路、桥梁等）中所应用的材料。通常按材料的组成分为三大类：第一类是无机材料，它又可分为无机非金属材料（也称矿物质材料）和金属材料；第二类为有机材料，包括天然植物材料、沥青材料和合成高分子材料等；第三类是复合材料，它是由两种或两种以上不同性质材料人工复合成的多相材料，例如：由金属与矿物质材料复合的钢筋混凝土材料，由无机材料与合成高分子材料复合的聚合物混凝土及玻璃纤维增强塑料（又名玻璃钢），由两种不同性质的矿物质材料复合的水泥混凝土，以及由两种有机材料复合的有沥青防水卷材等。在水利、水运工程中，应用较多的是水泥、混凝土、钢材、天然石料、沥青材料等。

建筑工程中常按建筑材料的功能将其分为结构材料、防水材料、装饰材料、防护材料及隔热保温材料等。

建筑材料是土木建筑工程的重要物质基础。在任何一项建筑工程中，用于建筑材料的投资都占有很大的比重。同时，建筑材料的品种、质量与规格，直接影响着工程结构形式和施工方法，决定着工程的坚固、耐久、适用、美观和经济性。因此，凡从事建筑工程的技术人员和专家——建筑师、建筑经济师、勘测、设计、施工或试验研究的工程师，都会随时接触到有关建筑材料问题，例如：材料的调查与勘探、材料的选择使用、性能改进及新型材料的研究与试验等，均需具有一定的建筑材料知识才能承担这些任务。

建筑材料的发展是随着人类社会生产力和国民经济不断发展而发展的，与建筑技术的进步有着不可分割的联系，它们相互推动又相互制约。国民经济建设的发展，直接促进了建筑材料的生产和技术进步，建筑工程的需要，对建筑材料的品种、质量不断提出更高、更新的要求。建筑物的结构形式及施工方法受到建筑材料性能的制约，建筑工程中许多技术问题的解决，往往依赖于建筑材料问题的突破；新型建筑材料的出现又促进了结构设计和施工技术的革新。国民经济建设的发展要求建筑材料工业不断高速发展，而建筑材料工业又是一项耗费自然资源和能源的大户，它既可大量吸纳工农业废料也可产生大量废气、烟尘等，对环境造成有利或不利的影 响。因此，建筑材料生产及科学技术的发展，对于社会主义现代化建设具有重要作用。

改革开放以来，我国建筑材料工业有了巨大发展，基本解决了建筑材料生产不能满足建筑工程需要的被动局面。多年来，在实现现代化的建设过程中，建筑工程的规模不断扩大，对建筑材料的需要不仅数量大，更对其品种、规格及质量的要求越来越高，我国许多重要建筑材料的年产量已经位居世界前列，但传统的生产增长方式使我国在资源、能源和生态环境等方面付出了沉重代价。当前，资源、能源、水源及环境保护问题，已成为制约国民经济发展的关键。因此，突破资源、能源及生态环境的制约，建立循环节约型的可持续发展的生产



方式,在建筑工程及建筑材料行业是刻不容缓的重要课题。为此必须研究和生产高性能、多功能新型建筑材料,特别是新型复合材料,使建筑材料的品种、质量和配套水平显著提高,以适应现代建筑工程发展的要求。例如:研究和发具有保温隔热及热存储性能的新型墙体材料,以满足建筑节能的需要;大力发展利用工农业废料及再生资源的建筑材料,以利于循环型经济的发展;研究开发节约能源、资源,减少污染保护环境的新材料和生产工艺,淘汰浪费土地的烧结黏土砖和高污染、高耗能的小水泥以及各种落后的建材生产工艺;利用现代科学技术手段和方法,开展建筑材料理论、试验技术及测试方法的研究,使建筑材料工业尽快达到现代化,并朝着按指定性能设计、生产新材料的方向前进,让建筑材料行业沿着全面贯彻科学发展观,构建人与自然和谐的可持续发展道路快速前进。

产品标准化是现代社会化大生产的产物,是组织现代化大生产的重要手段,也是科学管理的重要组成部分。建筑材料的技术标准,是产品质量的技术依据。生产企业必须按标准生产合格产品;使用者应按标准选用材料、按规范进行工程的设计与施工,以保证工程的优质、高速、低成本。同时,技术标准还是供需双方对产品进行质量检查、验收的依据。

我国的技术标准分为国家标准、部级标准、地方标准和企业标准。技术标准的表示方法由标准名称、代号、标准号、年代号组成。国家标准代号 GB 及 GB/T (推荐标准);建设部行业标准代号 JG;水利部标准代号 SL;电力行业标准代号 DL;国家建材局标准代号 JC 等。例如:GB175—1999《硅酸盐水泥及普通硅酸盐水泥》;GB200—2003《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥》;JC714—1996《快硬硫铝酸盐水泥》;SL211—98《水工建筑物抗冰冻设计规范》;SL48—94《水工碾压混凝土试验规程》;SL319—2005《混凝土重力坝设计规范》;GB/T5223—2002《预应力混凝土用钢丝》;DL5017—1993《压力钢管制造安装及验收规范》;DL/T5207—2005《水工建筑物抗冲磨防空蚀混凝土技术规范》等。

随着建筑材料科研及生产的发展,建筑材料技术标准也不断变化。根据需要国家每年都发布一批新的技术标准,修订或废止一些旧的标准,并逐步与国际标准相接轨。

对于建筑材料使用者,熟悉和运用建筑材料技术标准,有着十分重要的意义。除了在选用材料时必须严格执行技术标准外,使用代用材料时,必须按标准进行试验和论证,对于新材料还必须经过技术鉴定。此外,在选择和使用材料时,还必须充分认识到我国将长期处于社会主义初级阶段这一基本国情,需要合理用材、节约用材,做到保证质量、技术可行、经济合理、节约资源、有利环保。

本书着重讲述在水利水电工程、工业与民用建筑工程及水运工程中常用的各种建筑材料。既为学生学习专业课程提供必要的基础知识,也为工程技术人员解决实际工程中的建筑材料问题提供一定的基本理论知识和基本试验技能。

《建筑材料》是一门技术基础课,在学习过程中,应以材料的技术性质、质量检验及其在工程中的应用为重点,并须注意材料的成分、构造、生产过程等对其性能的影响,掌握各项性能间的有机联系。对于现场配制的材料,如水泥混凝土、沥青混凝土等,应掌握其配合设计的原理及方法。学习中,必须贯彻理论联系实际的原则,重视试验课及习题作业。建筑材料试验是本课程的重要教学环节,通过试验操作及对试验结果的分析,一方面可以丰富感性认识,加深理解;另一方面对于培养科学试验的技能以及提高分析问题、解决问题的能力,也具有重要作用。

第一章 建筑材料的基本性质

建筑材料在建筑物中承受各种不同的作用，要求具有相应的性质，例如：承重构件的材料要求一定的强度和刚度，防水材料要有不透水的性质，隔热保温材料应具有不易传热的性质等。同时，建筑物在使用过程中，还经常受到各种环境因素的作用，使材料逐渐遭受破坏，例如：风、雨和日晒等大气因素的作用，水流和泥沙的冲刷作用，温湿度变化及冻融作用，环境水或空气中所含有害成分的化学侵蚀作用等。因此，材料在满足建筑物所要求的功能性质的同时，还需具有抵抗这些破坏作用的性质，以保证在所处环境中经久耐用。

所谓材料的性质是指在负荷与环境因素联合作用下材料所具有的属性。因此，工程中讨论的材料各种性质，都是在一定环境条件下测试的各种性能指标。

建筑材料的性质是多方面的，不同材料又有其特殊性质。本章将具有共同性和比较重要的材料性质作为基本性质重点论述，各类材料的特殊性质及工艺性质，将分别在有关章节中介绍。

第一节 材料的组成、结构与构造

材料的组成、结构与构造是决定材料性质的内部因素。

一、材料的组成

材料的化学组成，是指组成材料的化学元素种类和数量。通常金属材料以化学元素含量百分数表示；无机非金属材料以元素的氧化物含量表示；有机高分子材料常以构成高分子材料的一种或几种低分子化合物（单体）来表示。材料的化学成分，直接影响材料的化学性质，也是决定材料物理性质及力学性质的重要因素。因此，材料种类常按其化学组成来划分。

材料的矿物组成，是指组成材料的矿物种类和数量。所谓矿物，是指具有一定化学成分和一定结构，以及物理力学性质的物质或单质的总称。矿物是构成岩石及各类无机非金属材料的基本单元。例如：花岗岩的矿物组成主要是石英和长石，石灰岩的矿物组成为方解石。材料的矿物组成直接影响无机非金属材料的性质。

有机高分子材料分子组成的基本单元为链节。所谓链节，是由一种或几种低分子化合物按特定结构构成的基本单元。链节的多次重复即构成合成高分子材料。例如，聚氯乙烯的链节为氯乙烯，其重复次数称为聚合度。

二、材料的结构

材料的结构是指材料的微观组织状况。可分为微观结构和显微结构两个层次。



(一) 微观结构

微观结构是指用电子显微镜观察到的组成材料原子、分子的排列方式、结合状况等。材料的微观结构可分为晶体、非晶体。

1. 晶体

晶体是由质点（原子、离子或分子）在三维空间作有规律的周期性重复排列（远程有序）而形成的固体。质点的这种规则排列构架称为晶格。构成晶格的最基本的几何单元称为晶胞。晶体就是由大量形状、大小和位向完全相同的晶胞堆砌而成，故晶体结构取决于晶胞的类型及尺寸。

晶体的物理力学性质，除与其质点的本性及其晶体结构形态有关外，还与质点间结合力有关，这种结合力称为结合键，可分为离子键、共价键、金属键和分子键四种。

按组成材料的晶体质点及结合键的不同，晶体可分为如下几种：

(1) 离子键和离子晶体。由正、负离子间的静电引力所形成的离子键构成的晶体称为离子晶体。离子键的结合力比较大，故离子晶体具有较高的强度、硬度和熔点，但较脆，其固体状态是电热的不良导体，熔、溶状态时可导电。

(2) 共价键和原子晶体。共价键的特点是两个原子共享价电子对。由原子以共价键构成的晶体为共价晶体（或称原子晶体），如石英、金刚石等。共价键的结合力很大，故原子晶体具有高强度、高硬度和高熔点，但塑性变形能力很差，只有将共价键破坏才能使材料产生永久变形，通常为电、热的不良导体。

(3) 金属键和金属晶体。金属键结合的特点是价电子的“公有化”。由金属阳离子组成晶格，自由电子运动其间，阳离子与自由电子形成金属键，金属键的结合力较强。金属晶体的晶格一般是排列密集的晶体结构，如铁的体心立方体结构，故金属材料一般密度较大。金属晶体有较高的硬度和熔点，具有很好的塑性变形性能，并具有导电和传热性质。

(4) 分子键和分子晶体。分子键也称分子间范德华力，是存在于中性原子或分子之间的结合力，本质上是一种物理键。依分子键结合起来的晶体称为分子晶体，如合成高分子材料中长链分子之间由范德华力结合的晶体。分子键结合力很弱。分子晶体具有较大的变形性能，熔点很低，为电、热的不良导体。

分子键是普遍存在的，但当有前述化学键存在时，它会被遮盖而被忽略。对由数个分子或由多个分子组成的微细颗粒或超微细颗粒（如纳米颗粒），其间范德华力的作用则是很重要的。

此外，还有一种特殊的分子键——氢键，它是由氢原子与 O、F、N 等原子相结合时，形成的一种附加键。氢键是一种物理键，但比范氏键强。水、冰中都有氢键，硼酸为氢键晶体。

在实际材料中，大多数晶体并不是由前述某一种类型键结合的，而是存在着混合键。如硅酸盐结构是由共价键组成的 SiO_4 单元，与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等以离子键结合而成。由碳元素组成的石墨晶体具有复杂的混合键，每个碳原子与周围三个碳原子以共价键方式结合，并处在同一平面上而使晶体呈层状，其第四个价电子较自由地在层内活动，使石墨具有金属性；在层与层之间以范德华力相结合，使石墨具有显著的塑性转移性质。

实际材料中的晶体，都有各种晶格缺陷，主要有点缺陷、线缺陷及面缺陷三种。



(1) 点缺陷。是指晶格中有空位和填隙原子，如图 1-1 (a) 所示。这是由于晶体内原子热运动，某些质点脱离了晶格，出现了暂时的晶格空位。晶格空位削弱了晶体材料强度，但它是材料发生固相反应的媒介。晶格间隙中嵌入的杂质原子（直径较小的原子）称为填隙原子。填隙原子造成晶格畸变，使晶体强度增加、塑性降低。

(2) 线缺陷（位错）。是指晶体中存在着多余的半平面，如图 1-1 (b) 所示。位错使晶面容易滑移产生塑性变形。当晶体受力后，位错线很容易在晶粒内移动，当其移至晶粒表面时，晶粒即产生了永久变形。因此，位错是使晶体材料成为不完全弹性体的原因之一，也是影响晶体结晶生长、造成杂质在晶体中扩散并改变其性能的原因。

(3) 面缺陷。晶体材料中相邻两晶粒的晶格常存在相位差。在界面处原子排列不规则，称为面缺陷，如图 1-1 (c) 所示。面缺陷使界面处原子滑移困难。相邻两晶粒，若其一的晶格滑移（位错在其中运动）至面缺陷后滑移终止，使位错不易向另一晶粒传递。因此，面缺陷使晶体材料强度提高、塑性降低。

此外，材料的性质还与晶粒大小及分布状态有关。一般晶粒越细、分布越均匀，材料的强度越高。

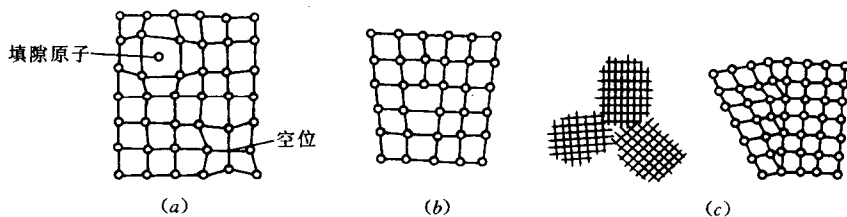


图 1-1 晶格缺陷示意图
(a) 点缺陷；(b) 线缺陷；(c) 面缺陷

2. 非晶体

非晶体结构又称无定形结构或玻璃体结构。它与晶体的区别在于质点排列没有一定规律性（或仅在局部存在规律性，也称近程有序）。非晶体没有特定的几何外形，是各向同性的，也没有固定的熔点，如石英玻璃等。

由于玻璃体凝固时没有结晶放热过程，在内部蓄积着大量内能。因此，它是一种不稳定的结构，可逐渐地发生结构转化。它具有较高的化学活性，也是它能与其他物质起化学反应的原因之一。

(二) 显微结构

显微结构是指用光学显微镜可以观察到的材料组成及结构。一般可分辨的范围是 $10^{-3} \sim 1\text{mm}$ 。

材料在这一层次上的组成及其聚集状态，对其性质有重要影响。例如，水泥混凝土材料，可以分为水泥基体相、集料分散相、界面相及孔隙等。它们的状态、数量及性质将决定水泥混凝土的物理力学性质。又如木材，可以分为木纤维、导管及髓线等，它们的分布、排列状况不同，使木材在宏观上形成年轮、弦向与径向、顺纹与横纹等性能的差异。钢铁材料在显微镜下，可以观察到铁素体晶粒、不同状态的珠光体、渗碳体及石墨等，它