

水利工程材料

金晓鸥 主编



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



高等教育出版社
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

主要内容

水利工程材料

金晓鸥 主编

ISBN 7-04-018282-0

定价：35.00元

ISBN 7-04-018282-0

ISBN 7-04-018282-0

ISBN 7-04-018282-0

ISBN 7-04-018282-0

ISBN 7-04-018282-0

责任编辑：金晓鸥 封面设计：金晓鸥 印刷：金晓鸥 装订：金晓鸥

ISBN 7-04-018282-0 定价：35.00元
ISBN 7-04-018282-0 定价：35.00元
ISBN 7-04-018282-0 定价：35.00元
ISBN 7-04-018282-0 定价：35.00元
ISBN 7-04-018282-0 定价：35.00元
ISBN 7-04-018282-0 定价：35.00元
ISBN 7-04-018282-0 定价：35.00元
ISBN 7-04-018282-0 定价：35.00元
ISBN 7-04-018282-0 定价：35.00元
ISBN 7-04-018282-0 定价：35.00元

ISBN 7-04-018282-0 定价：35.00元
ISBN 7-04-018282-0 定价：35.00元
ISBN 7-04-018282-0 定价：35.00元
ISBN 7-04-018282-0 定价：35.00元
ISBN 7-04-018282-0 定价：35.00元
ISBN 7-04-018282-0 定价：35.00元
ISBN 7-04-018282-0 定价：35.00元
ISBN 7-04-018282-0 定价：35.00元
ISBN 7-04-018282-0 定价：35.00元
ISBN 7-04-018282-0 定价：35.00元

高等教育出版社

Higher Education Press

ISBN 7-04-018282-0 定价：35.00元

内容提要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书对水利水电工程中常用的各种主要的建筑材料进行了较为详细和规范的介绍,基本上以水利工程材料的组成成分、生产工艺、技术性质、质量技术标准、应用及储运为先后顺序,以材料的技术性质、质量技术标准及合理选用为重点内容进行阐述。全书除绪论外共分为11章,即建筑材料的基本性质、气硬性胶凝材料、水泥、水泥混凝土、建筑砂浆、砌筑材料、沥青及沥青混合物、建筑钢材、木材、高分子材料和土工合成材料。书中的最后一部分内容是水利工程材料试验指导,包括水利工程材料的基本性质试验,以及水泥、砂石、建筑砂浆、普通混凝土、沥青、钢筋等材料的相关试验。

本书可作为高等职业院校水利水电工程、农田水利工程、水利工程管理等水利水电类专业的教学用书,也可作为水利工程科研、设计、管理和施工等技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

水利工程材料/金晓鸥主编. —北京:高等教育出版社,2008.6

ISBN 978-7-04-024322-2

I. 水… II. 金… III. 水工材料-高等学校-教材 IV. TV4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 058826 号

策划编辑 张晓军 责任编辑 张玉海 封面设计 张志奇 责任绘图 尹 莉
版式设计 马敬茹 责任校对 姜国萍 责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京未来科学技术研究所
有限责任公司印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 14.25
字 数 340 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008年6月第1版
印 次 2008年6月第1次印刷
定 价 18.20元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 24322-00

前 言

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，针对长期以来水利水电类高等职业教育工程材料类用书版本少、更新慢、高职特色体现不够充分等问题，在编写上全部采用国家颁布的现行规范和标准，对水泥、混凝土、沥青等材料进行重点阐述，同时对石材、钢材、木材、高分子和土工合成材料等也作了必要的介绍。本书在阐述传统工程材料的同时，结合各位编者多年的科研工作内容，有的放矢地纳入了新的研究成果；结合多年寒区工程施工特点及对材料的要求，适当地编入相关内容。书中全部采用水利水电工程实例。

本书由黑龙江大学金晓鸥任主编及统稿，并编写绪论、第一~三章和第八章，胡锟编写第四、十、十一章，王永明编写第五、六、七章，赵文军编写第九章和水利工程材料试验部分。部分图片的拍摄和收集工作由王威和马冬香完成。全书由黑龙江大学水利水电学院张儒生教授审阅。

本书在编写过程中得到高等教育出版社、浙江水利水电专科学校的大力支持与帮助，在此表示衷心的感谢。

由于建筑材料的迅速发展，新材料的不断涌现，我们在编写过程中不一定能全部收集和编入，加上时间和水平的限制，书中可能存在疏漏和不当之处，敬请广大读者提出宝贵意见，惠赐最新资料，以期再版时引入，特此感谢。

编者

2007年8月

目 录

录

绪论	1
第一章 建筑材料的基本性质	5
第一节 材料的组成、结构与构造	5
第二节 材料的基本物理性质	8
第三节 材料与水有关的性质	11
第四节 材料与热有关的性质	14
第五节 材料的力学性质	16
第六节 材料的耐久性	20
第七节 材料的安全性	20
复习思考题	21
第二章 气硬性胶凝材料	22
第一节 石膏	22
第二节 水玻璃	25
第三节 石灰	26
第四节 镁质胶凝材料	31
复习思考题	31
第三章 水泥	32
第一节 硅酸盐水泥	32
第二节 掺混合材料的硅酸盐水泥	42
第三节 其他品种水泥	48
复习思考题	51
第四章 水泥混凝土	52
第一节 概述	52
第二节 水泥混凝土的组成材料	53
第三节 混凝土外加剂和掺合料	60
第四节 混凝土的主要技术性质	67
第五节 混凝土的质量控制	76
第六节 混凝土的配合比设计	80
第七节 其他混凝土	89
复习思考题	91
第五章 建筑砂浆	92
第一节 建筑砂浆的组成材料	92
第二节 建筑砂浆的技术性质	94
第三节 建筑砂浆配合比设计	96

第四节 抹面砂浆	100
复习思考题	102
第六章 砌筑材料	104
第一节 砖材	104
第二节 天然石材	109
第三节 砌筑块材	116
复习思考题	118
第七章 沥青及沥青混合料	119
第一节 石油沥青	119
第二节 煤沥青	125
第三节 沥青混合料	127
第四节 沥青混凝土配合比设计	133
复习思考题	138
第八章 建筑钢材	139
第一节 概述	139
第二节 建筑钢材的性能	141
第三节 建筑钢材的冷加工及热处理	145
第四节 建筑钢材的晶体组织和化学成分	146
第五节 常用建筑钢材	149
第六节 钢材的腐蚀与防腐	155
复习思考题	156
第九章 木材	158
第一节 木材的构造和技术性质	158
第二节 木材的缺陷和材质标准	162
第三节 主要木材制品	165
第四节 木材的防护	166
复习思考题	167
第十章 高分子材料	168
第一节 高分子材料的基本知识	168
第二节 工程上常用的高分子材料	169
第三节 聚合物砂浆和聚合物混凝土	171
复习思考题	174
第十一章 土工合成材料	176

第一节 概述	176	试验三 砂、石试验	198
第二节 土工合成材料的技术性能	180	试验四 建筑砂浆试验	203
第三节 土工合成材料的用途	183	试验五 普通混凝土试验	207
复习思考题	187	试验六 沥青材料试验	211
附录 水利工程材料试验	188	试验七 钢筋试验	215
试验一 水利工程材料的基本性质试验 ..	188	参考文献	219
试验二 水泥试验	191	1	1
1001	191	2	2
201	191	3	3
301	191	4	4
401	191	5	5
501	191	6	6
601	191	7	7
701	191	8	8
801	191	9	9
901	191	10	10
1001	191	11	11
1101	191	12	12
1201	191	13	13
1301	191	14	14
1401	191	15	15
1501	191	16	16
1601	191	17	17
1701	191	18	18
1801	191	19	19
1901	191	20	20
2001	191	21	21
2101	191	22	22
2201	191	23	23
2301	191	24	24
2401	191	25	25
2501	191	26	26
2601	191	27	27
2701	191	28	28
2801	191	29	29
2901	191	30	30
3001	191	31	31
3101	191	32	32
3201	191	33	33
3301	191	34	34
3401	191	35	35
3501	191	36	36
3601	191	37	37
3701	191	38	38
3801	191	39	39
3901	191	40	40
4001	191	41	41
4101	191	42	42
4201	191	43	43
4301	191	44	44
4401	191	45	45
4501	191	46	46
4601	191	47	47
4701	191	48	48
4801	191	49	49
4901	191	50	50
5001	191	51	51
5101	191	52	52
5201	191	53	53
5301	191	54	54
5401	191	55	55
5501	191	56	56
5601	191	57	57
5701	191	58	58
5801	191	59	59
5901	191	60	60
6001	191	61	61
6101	191	62	62
6201	191	63	63
6301	191	64	64
6401	191	65	65
6501	191	66	66
6601	191	67	67
6701	191	68	68
6801	191	69	69
6901	191	70	70
7001	191	71	71
7101	191	72	72
7201	191	73	73
7301	191	74	74
7401	191	75	75
7501	191	76	76
7601	191	77	77
7701	191	78	78
7801	191	79	79
7901	191	80	80
8001	191	81	81
8101	191	82	82
8201	191	83	83
8301	191	84	84
8401	191	85	85
8501	191	86	86
8601	191	87	87
8701	191	88	88
8801	191	89	89
8901	191	90	90
9001	191	91	91
9101	191	92	92
9201	191	93	93
9301	191	94	94
9401	191	95	95
9501	191	96	96
9601	191	97	97
9701	191	98	98
9801	191	99	99
9901	191	100	100

绪论

一、建筑材料的发展过程

人类对建筑材料的认识和使用以及建筑材料的生产和发展经历了十分漫长的历史过程。在远古时代,人类的居住环境和生存条件只能依赖于大自然的赏赐——“巢处穴居”,到了石器和铁器时代,人类学会了制造简单的生产工具,并且利用它进行劳作,“挖土凿石为洞,伐木搭竹为棚”非常形象地表明此时天然材料已被人类所认识,并且开始使用。以后人类又学会了烧砖制瓦、冶炼金属,使天然材料进入了人工生产阶段,“秦砖汉瓦”就是那个时代建筑材料进步的典型标志。但由于封建社会生产力水平的低下,社会发展速度十分缓慢,建筑材料的发展受到严重制约,使其长期停滞在“秦砖汉瓦”时期;一直到资本主义社会,工商业的迅猛发展、城市建设规模的扩大、交通运输业的发达,使原有的建筑材料从数量到质量,从性能、规格到品种都远远满足不了社会发展的实际需要,“供”与“需”的矛盾明显突出,因此,建筑材料的发展必须迈向一个新的历史阶段,此时,诞生了水泥、混凝土、钢等新型材料,使这一矛盾得以缓解;进入20世纪以后,满足特殊需要的特性建筑材料成为时代发展和人类需求的目标之一,因此,保温隔热、防火防爆、吸声隔声、抗腐蚀、抗渗透等一些特性材料应运而生;如今,已经步入21世纪,未来的社会发展对建筑材料的要求有以下几方面的趋势:

- (1) 轻质高强材料的质量会进一步被减轻,强度会进一步提高;
- (2) 构件尺寸会越来越大,并且应用越来越广,使大跨度的厂房、桥梁等越来越容易实现;
- (3) 材料的耐久性越来越受到人类的重视,使建筑物的寿命更为长久;
- (4) 特殊功能材料的种类会更全,质量和性能会更好;
- (5) 降成本、降能耗、降料耗,力求环保,开发绿色建材是21世纪研发新材料的根本要求。

总而言之,建筑材料是随着社会生产力的发展,科学技术的进步而不断发展的;是在不断地解决供需矛盾中发展起来的,并且在社会的经济发展中起着极其重要的作用。

二、建筑材料在土木工程中的地位

建筑材料组成了各类工程,在工程中有着不可替代的地位和作用,主要体现在以下两个方面。

(1) 建筑材料影响甚至决定了工程造价的高低。一项一般工程总造价的30%~50%要用于建筑材料的采购上,对于重要工程这个比例可高达70%~80%,如高标准的高速公路、大型水电站工程等。因此合理选择和使用建筑材料直接影响工程的坚固性、耐久性、适用性和经济性。

(2) 建筑材料的发展可以促使建筑形式的变化、结构设计方法的改进和施工技术的革新。

三、水利工程材料的主要内容

“水利工程材料”是一门实践性很强的专业基础课程,通过学习水利工程中常用材料的组

成、生产过程、用途、性能以及影响因素和变化规律,达到合理选择和使用材料的目的,为在工程实际中解决材料问题提供一定的基本理论知识和基本试验技能,同时为其他专业课的学习奠定基础。

本课程采用理论教学和实验教学相结合的方式,在学生们获得一定理论知识的同时,通过试验环节增强感性认识,锻炼实际操作能力,促进对理论知识的消化、理解和掌握。

四、建筑材料的定义和分类

1. 建筑材料定义

建筑材料是指一切土木工程所用材料的总称。

2. 建筑材料分类

建筑材料的分类方法很多,常用的方法是按化学成分来分类,见表0-1。

表0-1 建筑材料分类

建筑材料		实例
无机材料	金属材料	黑色金属 钢、铁
		有色金属 铜、铝等及其合金
	非金属材料	天然石材 砂、石及其制品
		烧土制品 砖、瓦、陶瓷、玻璃等
有机材料		胶凝材料及其制品 石灰、石膏、水泥等
	植物质材料	木材、竹材、植物纤维等
	沥青材料	煤沥青、石油沥青及其制品
复合材料	高分子材料	塑料、胶粘剂、涂料等
	无机基复合材料	水泥刨花板、混凝土、砂浆等
	有机基复合材料	玻璃纤维增强塑料、沥青混合料等

五、建筑材料技术标准

建筑材料的现代化生产、使用、交易和管理要求必须对材料产品的各项技术指标和要求制订一个统一的、被各方所认可的依据,这就是技术标准。它是通过科学的实验方法获得准确的数据作为一种规定,让大家共同遵守。技术标准的使用是现代工业生产各个领域的共同需要。

技术标准按其适用范围可分为国家标准、行业标准、企业标准和地方标准以及国际标准等,在土木工程领域均可采用。

(一) 技术标准

1. 国家标准

国家标准是指对全国经济和技术发展有重大意义,必须在全国范围内统一的标准,简称“国标”。国家标准由国务院有关主管部门或专业标准化技术委员会提出草案,报国家标准总局审批和发布;属于工程建设和环境保护方面的国家标准要报国家基本建设委员会审批和发布。

国家标准用“国标”的汉语拼音首写字母“GB”表示，这是在全国范围内强制执行的标准。还有一种表示方法——GB/T，它是指在全国范围内推荐执行的标准。

国家标准由标准名称、批准年代号、部门代号、编号四部分组成，如 GB 175—1999《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》。

2. 行业标准

行业标准也是专业产品的技术标准，主要是指全国性各专业范围内统一的标准，简称“行标”。这种标准由国务院所属各部和总局组织制定、审批和发布，并报送国家标准总局备案。如 JT——交通行业标准，JG——建筑工程行业标准，JC——建筑材料行业标准，SLJ——水利行业标准。

3. 企业标准

凡没有制定国家标准、行业标准的产品或工程，都要制定企业标准。这种标准仅限于企业范围内适用，简称“企标”，代号为其汉语拼音首写字母“QB”。为了不断提高产品或工程质量，企业可以制定比国家标准或行业标准更先进的产品质量标准。

4. 地方标准

在本区域（省、自治区、直辖市）范围内执行的标准称为地方标准，用其汉语拼音首写字母“DB”表示。

土木工程常用国家标准、行业标准见表 0-2。

表 0-2 国家及行业标准代号

标准名称	代号	标准名称	代号
国家标准	GB	交通行业标准	JT
国家建材局标准	JC	建筑工业行业标准	JG
建筑工程国家标准	GBJ	石油化工行业标准	SH
铁道部标准	TB	林业行业标准	LY
中国工程建设标准化协会标准	CECS	国家级专业标准	ZB
电力行业标准	DL/DLJ	水利行业标准	SL/SLJ

5. 国际标准及其他国家标准

随着国家经济技术的迅速发展和对外技术交流的不断增加，我国还引入了不少国际和外国技术标准，现将常见的标准列入表 0-3，以供参考。

表 0-3 国际组织及几个主要国家标准

标准名称	代号	标准名称	代号
国际标准	ISO	德国工业标准	DIN
国际材料与结构试验研究协会标准	RILEM	韩国国家标准	KS
美国材料试验协会标准	ASTM	日本工业标准	JIS
英国标准	BS	加拿大标准协会	CSA
法国标准	AF	瑞典标准	SIS

(二) 建筑材料技术标准的作用

在建材行业使用技术标准有以下几个方面的作用:

- (1) 建筑材料技术标准是材料生产的依据。
- (2) 建筑材料技术标准是供需双方验收材料质量的依据。
- (3) 通过建筑材料的标准化可以促进构筑设计、施工工艺的标准化。

(4) 建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

建筑材料标准化可以加快工程进度、降低工程造价。

第一章 建筑材料的基本性质

内容提要和学习要求：

本章主要介绍建筑材料的一些基本和通有的性质及其影响因素和变化规律，以便在选材和处理工程实际问题时予以考虑。

通过本章的学习，要求学生掌握建筑材料必须具备的物理性质、力学性质、热工性质、工艺性质、耐久性质，熟悉影响材料性质的因素及变化规律，学会针对工程实际情况，避开不利因素，侧重应用材料的某些性质。

一切土木工程都是由建筑材料组成的，并且建筑材料在其中起着不同的作用。它们除了承受各种外力的综合作用外，还要承受风吹、日晒、雨淋、地下水、冰冻、酸、碱、盐等各种因素的作用；有些工程结构物还要受到声、电、光、热的影响。因此，为保证工程结构物的使用功能、耐久性和安全性，建筑材料必须具备抵御上述各种因素作用的能力。亦即建筑材料必须具备与工程要求相适应的物理性质、力学性质、热工性质、工艺性质、耐久性质等。

第一节 材料的组成、结构与构造

建筑材料的性质与其组成、组织结构和构造等内部因素有着密切的关系。为了深入了解材料的各种性质及其变化规律，首先要了解其组成成分、结构和构造对材料性质的影响。

一、材料的组成

材料的组成通常分为化学组成与化合物（或矿物）组成两个部分。前者是通过化学分析获得的，表明组成材料的化学成分及其含量；后者是通过各种分析手段获得的，表明化合物（或矿物）的种类和含量。化学成分、矿物种类和它们的含量不同，材料的性质就会有差异。

例如，普通碳素钢容易生锈，但在其中添加了 Cr、Ni 元素后，就会使钢的阻锈、防锈能力加强，变成不锈钢。天然石料中所含的矿物种类不同，就构成了不同的岩石品种，并且性质也有所不同，如花岗岩和石灰岩。

改变硅酸盐水泥熟料中几种矿物成分的比例，如提高硅酸三钙的含量，可得到高强度水泥；将水泥中的铝酸三钙限制在 5% 以下，可得到抗硫酸盐水泥；降低铝酸三钙和硅酸三钙含量，提高硅酸二钙含量，可得到水化热较低的大坝水泥等，这些水泥性质都各不相同。

二、材料的结构与构造

材料的性能除与其组成成分有关外，还与其结构、构造有着密切的关系。因此，研究材料

的结构与构造及其与性能的关系十分必要。

广义而言,结构、构造是材料从微观状态到宏观状态各个层次构造状态的统称。影响材料性能的结构层次及类别是十分丰富及多样的,大体上可以分为微观结构、亚微观结构和宏观结构三个层次。

(一) 微观结构

微观结构(又称显微结构)是指组成材料的质点(原子、分子、离子)的排列情况和结合方式,可用电子显微镜观察。由于材料在微观结构上的差异,它们的性能,如强度、变形、硬度、导热性、熔点等也各不相同。在微观层次上,材料可分为晶体、非晶体、胶体三种结构。

1. 晶体结构

晶体结构是指构成材料的质点(原子、分子、离子)在空间呈周期性的有序排列。晶体结构有面心立方晶格、体心立方晶格和六方体晶格之分。

晶体按质点和化学键的不同又可分为:

原子晶体:中性原子之间以共价键相结合,如石英等。

离子晶体:正负离子之间以离子键相结合,如 CaCl_2 等。

分子晶体:以分子间的范德华力相结合的晶体,如有机化合物等。

金属晶体:以金属键相结合的晶体,如钢、铁等。

晶体结构具有如下特点:

- (1) 具有固定的几何形状,这是晶体内部的质点在空间呈周期性规则排列的外部体现。
- (2) 具有固定的熔点。
- (3) 具有较好的化学稳定性。
- (4) 有弹性,可以产生一定的弹性变形和塑性变形。
- (5) 呈现各向异性,这是晶体的结构特征在性能上的表现。

2. 非晶体结构

非晶体结构(又称玻璃体结构)是指构成材料的质点(原子、分子、离子)在空间呈非周期性的无序排列。这是因为骤冷使质点还来不及按一定规律进行有序排列而造成的结果,非晶体的结合键为离子键或共价键。如粒化高炉矿渣,在急冷处理后溶渣表面形成了玻璃状的物质。

非晶体结构具有如下特点:

- (1) 没有固定的形状。
- (2) 没有固定的熔点,熔融时会出现软化现象。
- (3) 化学稳定性差。这是由于急冷使其内部大量的化学能还未来得及释放而造成的,也正是由于这一特点,使非晶体的火山灰、粉煤灰、粒化高炉矿渣等常被用于水泥的生产。
- (4) 呈现各向同性。

3. 胶体结构

胶体结构是指直径为 $1 \sim 100 \mu\text{m}$ 的细小颗粒(胶粒)作为分散相,在连续相介质中分散而构成的分散体系。

由于分散相非常微小,因此胶体结构总表面能很大,吸附能力很强,具有很强的胶结能

力。胶体结构材料与晶体和非晶体结构材料相比具有强度较低、变形较大的特点。胶体结构又分为溶胶结构和凝胶结构两类。

(1) 溶胶结构 在胶体结构中,当较少的胶粒在液体介质中分散时,这种胶体为溶胶结构。

(2) 凝胶结构 在胶体结构中,若胶粒数量较多,胶粒在表面能的作用下发生凝聚作用或由于物理化学作用而使胶粒产生彼此相连的现象,形成空间网络结构,从而使胶体结构的强度增大,变形性减小,呈现固体或半固体状态,这种胶体为凝胶结构。

胶体的溶胶结构和凝胶结构在一定条件下是可以相互转变的。当对凝胶施以一定的外力进行搅拌时,凝胶会变成溶胶;而使溶胶脱水或发生质点凝聚则又使溶胶变成了凝胶,胶体的这一可逆互变现象即为胶体的触变性。

(二) 亚微观结构

材料的亚微观结构(又称细观结构),一般是指用光学显微镜所能观察到的结构,其尺寸范围在 $10^{-6} \sim 10^{-3} \text{ m}$ 。在此结构范围内可以充分观察到天然岩石的矿物组织,金属材料的晶粒大小及金相组织,木材的纤维、髓线、导管等纤维组织,也可观察到水泥混凝土的孔隙与微裂纹等。

(三) 宏观结构

材料的宏观结构(又称粗观结构)通常是指用肉眼或低倍放大镜能够分辨的粗大组织,其尺寸在 10^{-3} m 级以上,是比毫米级还大的尺度范围内的构造状况。

建筑材料的宏观构造可分为以下几种。

1. 致密状构造

致密状构造是指在外观和结构上都是致密而无孔隙存在或孔隙极少的结构。如金属材料、致密岩石、玻璃等。构造致密的材料具有强度高、硬度高、抗渗性好、抗冻性好、吸水性差等特点。

2. 多孔状构造

多孔状构造是指在材料中分布着孤立的或适当相连的粗大气孔的结构。如加气混凝土、泡沫混凝土、粘土砖及泡沫塑料等。多孔构造的材料具有强度、硬度低,抗渗性和抗冻性差,吸水性好,保温性好等特点。

3. 纤维状构造

纤维状构造是指植物纤维、矿物棉以及人工纤维(主要是玻璃纤维)等纤维材料所具有的构造。纤维状构造材料的性质既受组成纤维的成分、性质(无机、有机的区别,天然、人工的区别)的影响,也依纤维配置情况及密实度而变化。例如,平行纤维方向与垂直纤维方向的强度与导热性就有明显的差异。使用时可以制成毡子、垫子、纺织品以及各种纤维板等。

4. 层片状构造

层片状构造是将单一的片状或板状材料叠合成层状,以粘结或其他方法使其结合成为整体,从而获得单一材料所不具备的性质。层片状构造的材料与单一材料相比具有综合性能好、强度高、抗变形能力强等特点。如胶合板、纸面石膏板、层状填料塑料板等。

第二节 材料的基本物理性质

作为工程材料最基本的物理性质就是密度、表观密度、容重、密实度和孔隙率等参数。它们表征了材料的质量与其体积之间的相互关系。此外材料固半固和固原是，小颗粒和要，大颗粒

一、密度

密度是指材料在绝对密实状态下，单位体积的质量，用下式表示：

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-1)$$

式中 ρ ——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， cm^3 。

绝对密实状态下的体积是指不包括孔隙在内的体积。除钢材、玻璃和水等少数材料外，绝大多数工程材料都含有一定的孔隙，在测定密度时，应把含有孔隙的材料破碎并磨成粉末状，烘干后用李氏瓶测定其密实体积。材料粉磨得越细，测得的密度值越精确。对砖、石等块状材料常用此种方法测定其密度。

二、表观密度

表观密度是指材料在自然状态下单位表观体积所具有的质量，在工程上也称为视密度。表观体积包括绝对密实的固体体积和闭口孔隙体积两部分。表观密度用下式表示：

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} = \frac{m}{V + V_a} \quad (1-2)$$

式中 ρ_0 ——表观密度， g/cm^3 ；

m ——材料在干燥状态下的质量， g ；

V_0 ——材料的表观体积， cm^3 ；

V_a ——材料体积内闭口孔隙体积， cm^3 。

V ——同前。

三、容重

在自然状态下，材料单位体积所具有的质量称为容重，用下式表示：

$$\rho' = \frac{m}{V'} = \frac{m}{V + V_a + V_b} \quad (1-3)$$

式中 ρ' ——材料的容重， g/cm^3 ；

V' ——材料在自然状态下的体积；

m 、 V 、 V_a ——同前；

V_b ——材料体积内开口孔隙体积， cm^3 。

材料的自然状态体积包括开口孔隙和闭口孔隙的体积,通常情况下,容重是指材料在气干状态(长期在空气中干燥)下的容重,在烘干状态下测定的容重称为干容重。当材料孔隙内部含水时,材料的质量将发生变化,进而影响到材料的容重值。因此,在表示材料的容重时,须注明其含水情况。

四、堆积密度

堆积密度指粉料和粒料这样的散粒材料,在堆积状态下,单位体积的质量,用下式表示:

$$\rho'_0 = m/V'_0 \quad (1-4)$$

式中 ρ'_0 ——堆积密度, kg/m^3 ;

m ——材料的质量, kg ;

V'_0 ——材料的堆积体积, m^3 。

测定材料的堆积密度时,材料的质量是指填充在一定容器内的材料质量,而堆积体积则是指该容器的容积。所以材料的堆积体积既包含颗粒的体积,又包含颗粒之间的空隙体积。根据材料堆积的紧密程度,堆积密度又分为松散堆积密度和紧密堆积密度。松散堆积密度是指材料在自然堆积状态下的堆积密度。紧密堆积密度是指材料在振捣密实堆积状态下的堆积密度。

在土木工程中,计算材料和构件的自重、材料的用量,以及计算配料、运输台班和堆放场地时,经常要用到材料的密度、表观密度、容重以及堆积密度等数据。

常用工程材料的上述数据列于表 1-1 中。

表 1-1 常用工程材料的密度、容重及堆积密度

材料名称	密度 $\rho/(\text{g}/\text{cm}^3)$	容重 $\rho'/(\text{kg}/\text{cm}^3)$	堆积密度 $\rho'_0/(\text{kg}/\text{m}^3)$
石灰岩	2.60	1 800 ~ 2 600	—
花岗岩	2.80	2 500 ~ 2 900	—
碎石	2.60	—	1 400 ~ 1 700
砂	2.60	—	1 450 ~ 1 650
粘土	2.60	—	1 600 ~ 1 800
普通粘土砖	2.50	1 600 ~ 1 800	—
粘土空心砖	2.50	1 000 ~ 1 400	—
水泥	3.10	—	1 100 ~ 1 600
普通混凝土	—	2 100 ~ 2 600	—
轻骨(集)料混凝土	—	800 ~ 1 900	—
木材	1.55	400 ~ 800	—
钢材	7.85	7 850	—
泡沫塑料	—	20 ~ 50	—
沥青(石油)	约 1.0	约 1 000	—

五、密实度

材料体积内被固体物质充实的程度称为密实度,按下式计算:

$$D = \frac{V}{V'} \times 100\% = \frac{\rho'}{\rho} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 D ——材料的密实度, %;
 V ——材料在绝对密实状态下的体积, cm^3 ;
 V' ——材料在自然状态下的体积, cm^3 ;
 ρ ——材料的密度, g/cm^3 ;
 ρ' ——材料的容重, g/cm^3 。

六、孔隙及孔隙率

材料体积内部存在着各种各样的缺陷, 其中有一种孔洞状的缺陷称为孔隙。

1. 孔隙的分类

- (1) 按孔隙之间的相互关系可分为: 孤立孔隙、连通孔隙;
- (2) 按孔隙与外界的关系可分为: 开口孔隙、闭口孔隙;
- (3) 按孔隙的尺寸可分为: 粗大孔隙 (孔径 $D > n \text{ mm}$)、细小孔隙 (孔径 $D = n \times 10^{-4} \sim n \text{ mm}$)、极细微孔隙 (孔径 $D = n \times 10^{-7} \sim n \times 10^{-4} \text{ mm}$);
- (4) 按孔隙的形状可分为: 球形孔隙、针形孔隙、片形孔隙。

2. 孔隙率

孔隙的多少用孔隙率来表示。孔隙率是指材料中孔隙的体积占材料总体积的百分数, 它反映了材料的致密程度。用下式计算:

$$P = \frac{V' - V}{V'} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 P ——材料的孔隙率, %;

V' 、 V 、 ρ' 、 ρ ——同前。

材料的强度、吸水性、耐久性、导热性等许多性能均与其孔隙率和孔隙的特征有关。孔隙特征包括孔隙的、形状、大小、分布, 以及连通与封闭的情况等。粗大孔隙易吸水, 但不易保持水分, 因此含水率不高。而开口的极细微孔隙容易吸水也容易保水, 因此含水率高, 吸湿性和吸音隔声性好, 但抗冻性、抗渗性差。封闭的不连通孔隙, 水分及其他介质不易侵入, 其所占比例越大, 强度越低, 导热性越差, 抗冻性、抗渗性及保温性越好。因此, 我们说孔隙特征及孔隙率对材料的容重、强度、吸水、抗渗、抗冻及声、热、绝缘等性能都有很大影响。

七、填充率

散粒材料在某堆积体积中, 其颗粒的填充程度称为填充率, 用下式表示:

$$D' = \frac{V'}{V_0} \times 100\% = \frac{\rho'_0}{\rho'} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中 D' ——散粒材料的填充率, %;

V' 、 V_0 、 ρ'_0 、 ρ' ——同前。

八、空隙率

散粒材料在某堆积体积中, 其颗粒间空隙体积占堆积体积的百分数称为空隙率, 空隙率的

大小表征着散粒材料颗粒间相互填充的致密程度,用下式表示:

$$P' = \frac{V'_0 - V'}{V'_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{\rho'_0}{\rho'}\right) \times 100\% \quad (1-8)$$

式中 P' ——散粒材料的空隙率,%;

V'_0 、 V' 、 ρ'_0 、 ρ' ——同前。

空隙率可作为控制混凝土骨料级配与计算砂率的依据。

第三节 材料与水有关的性质

在土木工程材料及其制品中,水本身就是一种建筑材料,它可以配制混凝土和砂浆,可以用于砖和瓦的生产。除此之外,许多建筑物与水都有着密不可分的关系。如蓄水池、水塔等本身就是用来盛水的,桥梁的墩台、拦水大坝等都建在水中或长期与水接触。那么水与这些建筑物接触后,将与建筑材料产生不同的物理和化学反应,因此,研究在水的作用下材料所表现出来的各种特性及其变化规律显得十分必要。

一、亲水性与憎水性

建筑物与水或大气中的水汽相接触是一种常见现象。在日常生活中,雨点打到玻璃、沥青、砖、木材上会有不同的表现,有的雨点消失得快些,有的雨点消失得慢些,有的雨点呈现图 1-1a 的形状,有的雨点呈现图 1-1b 的形状,下面针对这类情况进行讨论。

当液滴与固体在空气中接触且达到平衡时,从固、液、气三相界面的交点处沿着液滴表面引切线,包括液滴在内的夹角 θ 称为湿润角或接触角。由图 1-1 可知, $\sigma_{\text{气-固}}$ 、 $\sigma_{\text{气-液}}$ 、 $\sigma_{\text{液-固}}$ 分别表示气相和固相、气相和液相、液相和固相各界面间的张力。

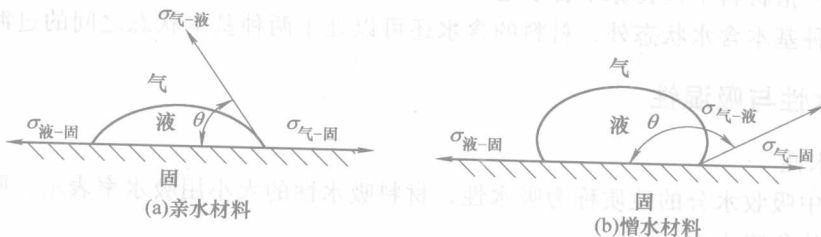


图 1-1 材料的润湿示意图

以图 1-1a 为例。当三力达到平衡时具有下列关系:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{气-固}} &= \sigma_{\text{液-固}} + \sigma_{\text{气-液}} \cos \theta \\ \cos \theta &= \frac{\sigma_{\text{气-固}} - \sigma_{\text{液-固}}}{\sigma_{\text{气-液}}} \end{aligned}$$

显然,液体能否润湿固体与接触角 θ 的大小有关,对此式进行讨论:

(1) 当 $\sigma_{\text{气-固}} - \sigma_{\text{液-固}} < 0$ 时, $\cos \theta < 0$, $\theta > 90^\circ$ 。此时,液体与固体界面上的张力大于固体的表面张力,固体不能被润湿。

(2) 当 $\sigma_{\text{气-固}} - \sigma_{\text{液-固}} = \sigma_{\text{气-液}}$ 时, $\cos \theta = 1$, $\theta = 0^\circ$ 。此时,液体与固体界面上的张力小于