

筑路材料与 试验检测

主编 郭天惠

主审 刘 志

筑路材料与试验检测

主 编 郭天惠
副主编 李 何 龙志伟
参 编 韦锦兵 李 琼
主 审 刘 志

内 容 提 要

本书以国家和交通运输部发布的最新技术标准、规范和试验规程为依据,充分体现任务引领、实践导向课程的设计思想,紧紧围绕不同施工阶段所涉及的筑路材料试验编写而成。全书共分为4个学习情境,分别是:学习情境1施工进场阶段常用材料及试验,包括土、石料、集料、石灰与水泥、钢材;学习情境2路基、桥梁施工阶段常用材料及试验,包括矿质混合料的组成设计、无机结合料稳定材料、水泥混凝土、建筑砂浆;学习情境3路面施工阶段常用材料及试验,包括沥青材料、沥青混合料;学习情境4新型材料,包括新型水泥混凝土、新型桥面防水材料、土工合成材料、高分子聚合物、其他新型材料等。

本书可作为高等院校道路与桥梁工程技术、监理工程、城市轨道交通、道路养护和其他相近专业的教材,也可作为从事道路工程试验检测人员的培训及参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

筑路材料与试验检测 / 郭天惠主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2021.1
ISBN 978-7-5682-9422-5

I. ①筑… II. ①郭… III. ①筑路材料—材料试验 IV. ①U414

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第004968号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 20

字 数 / 535千字

版 次 / 2021年1月第1版 2021年1月第1次印刷

定 价 / 78.00元

责任编辑 / 多海鹏

文案编辑 / 多海鹏

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前 言

本书以国家和交通运输部发布的最新技术标准、规范和试验规程为依据,充分体现任务引领、实践导向课程的设计思想,紧紧围绕不同施工阶段所涉及的筑路材料试验编写而成。在编写过程中,编者注重理论联系实际,将职业知识和职业意识教育相结合,强调现代教学技术手段与教学课件的综合运用和教学效果,力求使本书具有高等教育的特色以及具有针对性和可操作性,突出对学生的技术和技能的培养,注重学生综合素质的提高,充分体现高等教育的特点。

本书以当前常用筑路材料为主要对象,结合道路工程所用材料的基本知识、基本理论和试验检测方法进行编写。针对本专业的特点,着重阐明常用道路材料的作用、分类、结构和试验原理,使学生牢固掌握常用道路材料的组成、性质、技术指标和常用道路材料的试验操作;培养学生对道路与桥梁施工常用的原材料、混合材料质量进行检测的实践能力;培养学生进行混合材料组成设计的能力;培养学生进行仪器操作、数据处理的动手能力;培养学生运用国家现行试验规范、规程、标准的能力,以及对材料、试验检测仪器及试验检测方法不断更新的适应能力,为学习后续课程和参加专业岗位实践奠定基础。

本书由贵州交通职业技术学院郭天惠担任主编,由贵州交通职业技术学院李何、龙志伟担任副主编,贵州交通职业技术学院韦锦兵、李琼参与编写。具体编写分工如下:引言、学习情境3由郭天惠编写,学习情境1由李何编写,学习情境2由李琼编写,学习情境4由龙志伟编写,韦锦兵参与试验视频资源录制。全书由贵州交通职业技术学院刘志主审。在本书的编写过程中,得到了贵州交通职业技术学院的领导、老师和有关专家的指导和帮助,在此一并表示感谢。

由于编者学术水平和教学经验有限,书中难免存在错误和疏漏之处,欢迎广大读者提出宝贵意见,以便修改和补充。

编 者

目 录

引 言	1	2.3.2 抗拉强度	32
学习情境1 施工进场阶段常用材料及试验	5	2.3.3 抗折强度	33
项目1 土	5	2.3.4 磨耗度	33
任务1.1 土的三相组成及物理性质指标	6	任务2.4 石料的化学性质	33
1.1.1 土的形成	6	任务2.5 石料的技术标准	34
1.1.2 土的三相	6	2.5.1 路用石料的技术分级	34
1.1.3 土的物理性质指标	8	2.5.2 路用石料的技术标准	34
任务1.2 黏性土的界限含水率	14	项目3 集料	35
任务1.3 土的工程分类	18	任务3.1 集料概述	35
1.3.1 一般规定	18	3.1.1 集料的概念	35
1.3.2 《公路土工试验规程》(JTG 3430—2020)中土的工程分类	19	3.1.2 集料的分类	35
任务1.4 土的力学性质	20	3.1.3 集料的技术性质	36
1.4.1 土的击实	20	任务3.2 集料的物理性质	36
1.4.2 土的固结	21	3.2.1 物理常数	36
项目2 石料	25	3.2.2 粗细程度与颗粒级配	39
任务2.1 石料概述	25	3.2.3 粗集料的物理性质	43
2.1.1 岩石的定义、特点和分类	25	任务3.3 集料的力学性质	52
2.1.2 石料的技术性质	26	项目4 石灰与水泥	57
任务2.2 石料的物理性质	26	任务4.1 胶凝材料概述	57
2.2.1 物理常数	26	4.1.1 胶凝材料的概念	57
2.2.2 与水有关的性质	30	4.1.2 胶凝材料的分类	57
任务2.3 石料的力学性质	31	任务4.2 石灰	57
2.3.1 抗压强度	31	4.2.1 石灰的生产工艺概述	58
		4.2.2 石灰的消化和硬化	58
		4.2.3 石灰的技术要求和技术标准	59
		任务4.3 水泥	60
		4.3.1 硅酸盐水泥生产原料与生产工艺	60

4.3.2 硅酸盐水泥的化学成分和矿物组成	62	任务7.3 无机结合料稳定材料的技术性质	113
4.3.3 硅酸盐水泥的水化、凝结和硬化	64	7.3.1 强度	113
4.3.4 硅酸盐水泥的技术性质和技术标准	66	7.3.2 变形性能	114
项目5 钢材	81	7.3.3 疲劳特性	115
任务5.1 钢材概述	81	7.3.4 水稳定性和冰冻稳定性	115
5.1.1 钢材的分类	81	任务7.4 无机结合料稳定材料的组成设计	115
5.1.2 建筑钢材的分类	82	7.4.1 设计依据和原材料选择	116
任务5.2 钢材的技术性质、应用与保护	83	7.4.2 组成设计步骤	116
5.2.1 钢材的主要技术性质	83	项目8 水泥混凝土	125
5.2.2 钢材的冷加工	85	任务8.1 普通水泥混凝土的组成材料	126
5.2.3 钢筋混凝土结构用钢材	86	8.1.1 水泥	126
5.2.4 钢材的腐蚀与防护	90	8.1.2 细集料	127
学习情境2 路基、桥梁施工阶段常用材料及试验	97	8.1.3 粗集料	130
项目6 矿质混合料的组成设计	97	8.1.4 矿物掺合料	132
任务6.1 集料的级配	98	8.1.5 混凝土拌和用水	133
6.1.1 矿质混合料级配类型	98	任务8.2 水泥混凝土的技术性质	134
6.1.2 级配曲线	98	8.2.1 新拌混凝土的工作性(和易性)	134
6.1.3 级配理论	99	8.2.2 硬化后混凝土的力学性质	137
任务6.2 级配曲线的绘制	100	任务8.3 外加剂	144
任务6.3 矿质混合料的组成设计方法	101	任务8.4 普通水泥混凝土的组成设计	146
6.3.1 试算法	101	8.4.1 混凝土配合比	146
6.3.2 图解法	103	8.4.2 普通混凝土配合比设计方法	147
项目7 无机结合料稳定材料	109	8.4.3 水泥混凝土配合比设计示例	154
任务7.1 概述	109	任务8.5 路面水泥混凝土	157
任务7.2 无机结合料稳定材料的组成及其技术要求	110	8.5.1 路面水泥混凝土组成材料的技术要求	158
7.2.1 无机结合料	110	8.5.2 路面水泥混凝土技术性质	159
7.2.2 被稳定材料	111	8.5.3 配合比设计步骤	160
7.2.3 水	112	8.5.4 施工配合比	163
7.2.4 添加剂	113	8.5.5 配合比设计示例(以弯拉强度为设计指标)	163

任务8.6 普通水泥混凝土的质量控制	164	10.3.5 乳化沥青的应用	211
8.6.1 混凝土质量的波动	164	任务10.4 改性沥青	213
8.6.2 混凝土质量的评价方法	165	10.4.1 改性沥青的分类及特性	213
任务8.7 其他功能混凝土	167	10.4.2 改性沥青的技术要求	214
8.7.1 高强度混凝土	167	10.4.3 改性沥青的应用和发展	215
8.7.2 纤维混凝土	167	项目11 沥青混合料	216
8.7.3 轻集料混凝土	168	任务11.1 概述	216
8.7.4 流态混凝土	168	11.1.1 沥青混合料的特点	216
8.7.5 碾压式水泥混凝土	169	11.1.2 沥青混合料的分类	217
项目9 建筑砂浆	181	任务11.2 热拌热铺沥青混合料	218
任务9.1 砌筑砂浆	181	11.2.1 组成结构及其强度理论	218
9.1.1 组成材料	181	11.2.2 组成材料的技术要求	221
9.1.2 技术性质	182	11.2.3 技术性质和技术标准	224
9.1.3 砌筑砂浆的配合比设计计算	183	11.2.4 组成设计	240
任务9.2 抹面砂浆	186	11.2.5 拌制及运输	244
		任务11.3 其他沥青混合料	245
		11.3.1 沥青玛蹄脂碎石混合料	
		(SMA)	245
		11.3.2 冷拌沥青混合料	246
		11.3.3 桥面铺装材料	247
		11.3.4 水泥混凝土路面填缝材料——	
		沥青胶粘剂	247
		11.3.5 沥青碎石混合料	248
学习情境3 路面施工阶段常用材料及试验	191		
项目10 沥青材料	191	学习情境4 新型材料	250
任务10.1 石油沥青	192	项目12 新型水泥混凝土	250
10.1.1 石油沥青的生产和分类	192	任务12.1 聚合物改性水泥混凝土	250
10.1.2 石油沥青的组成和结构	193	12.1.1 混合料技术特征	250
10.1.3 石油沥青的技术性质	195	12.1.2 原材料的技术要求	253
10.1.4 道路用液体石油沥青的技术标准	205	12.1.3 混合料组成设计	254
任务10.2 煤沥青	207	任务12.2 纤维混凝土	254
10.2.1 煤沥青的化学组分与结构	207	12.2.1 混合料技术特征	255
10.2.2 煤沥青的技术性质、技术指标及其技术要求	207	12.2.2 原材料技术要求	255
任务10.3 乳化沥青	209	12.2.3 混合料组成设计	256
10.3.1 乳化沥青的组成材料	209	任务12.3 透水性混凝土	258
10.3.2 乳化沥青的形成机理	211	12.3.1 混合料技术特征	258
10.3.3 乳化沥青的技术性质与技术要求	211		
10.3.4 乳化沥青在集料表面分裂机理	211		

12.3.2 原材料技术要求	259	15.1.2 聚合物的结构特征	291
12.3.3 混合料组成设计	259	15.1.3 聚合物材料的分类与命名	291
任务12.4 露石混凝土	261	15.1.4 聚合物的合成	292
12.4.1 原材料技术要求	261	任务15.2 常用的工程聚合物	293
12.4.2 混合料组成设计	262	15.2.1 合成橡胶	293
任务12.5 彩色混凝土	263	15.2.2 合成纤维	295
12.5.1 原材料技术要求	263	15.2.3 塑料	295
12.5.2 混合料组成设计	264	15.2.4 塑料-橡胶共聚物	297
项目13 新型桥面防水材料	266	任务15.3 高分子聚合物在道路工程中的应用	298
任务13.1 防水材料的分类及其特点	266	15.3.1 聚合物混凝土	298
任务13.2 防水材料的技术性质	268	15.3.2 其他应用	299
13.2.1 物理力学性能	268	项目16 其他新型材料	301
13.2.2 路用性能	269	任务16.1 新型建筑钢材	301
13.2.3 抗施工损伤性能	270	任务16.2 新型沥青材料	302
任务13.3 防水材料的技术标准	271	16.2.1 天然沥青	302
13.3.1 桥面防水卷材	271	16.2.2 泡沫沥青	304
13.3.2 桥面防水涂料	272	任务16.3 新型沥青混合料——Superpave的组成设计方法	305
项目14 土工合成材料	274	16.3.1 沥青胶结料性能评价方法	305
任务14.1 土工合成材料的分类及特点	274	16.3.2 Superpave集料性能评价方法	306
任务14.2 土工合成材料的技术性质	276	16.3.3 Superpave混合料设计方法	307
14.2.1 物理性能	276	任务16.4 新型沥青混合料——GTM的组成设计方法	309
14.2.2 力学性能	277	参考文献	311
14.2.3 水力性能	281		
14.2.4 耐久性能	283		
任务14.3 土工合成材料的选择及技术要求	285		
项目15 高分子聚合物	290		
任务15.1 聚合物概述	290		
15.1.1 聚合物材料的组成	290		

引 言

通过对本课程的学习，学生应掌握道路、桥涵、隧道等工程建设常用材料技术性能及要求，具备常用材料的试验检测能力，即掌握水泥、石灰、石料、集料、水泥混凝土、钢筋、建筑砂浆、无机结合料稳定材料、沥青及沥青混合料的基本知识和技术要求，掌握水泥混凝土和沥青混合料配合比设计，能独立完成常用材料的试验报告。为在有限的学时内取得较好的学习效果，本课程采用理实一体化的教学模式，在理实一体化的路桥专业教室内进行。在教学过程中，针对道路工程从进场到工程竣工每一阶段所用的材料及对材料所做的试验检测，教师课堂上采用实物、视频、理论讲解、现场教学、项目教学和分组教学等方式进行教学，在传统的教学基础上增加了 PPT、视频、微课等，以期化难为简，充分调动学生的感知能力和学生的学习热情。

本课程试验项目如下表所示：

序号	试验名称	试验内容及要求	每组人数	试验属性	开出要求
1	土的含水率试验 (酒精燃烧法)	掌握土的含水率检测方法，能够正确选取土试样，正确使用酒精、铝盒、天平	6~8	检测	必做
2	土的颗粒分析试验(筛分法)	掌握土的筛析检测方法，能够正确使用套筛、天平，会进行数据处理，判定土的分类	6~8	检测	选做
3	土的密度试验(环刀法)	掌握土的密度试验，能正确用环刀制备土样	6~8	检测	必做
4	土的比重试验(比重瓶法)	掌握土的密度检测方法，能够正确使用电砂浴煮沸密度瓶，能够正确进行三次称量	6~8	检测	必做
5	界限含水率试验 (液限和塑限联合测定法)	掌握土的液塑限联合测定方法，能够正确使用液、塑限联合测定仪，正确进行土样制备、试验数据处理，判定土的分类	6~8	检测	必做
6	土的击实试验	掌握土的击实试验检测方法，能够正确制备土样，正确使用击实仪和进行数据处理，得出最大干密度和最佳含水率	6~8	检测	必做
7	石料密度试验	掌握石料真密度的检测方法，能够正确制备岩粉试样，正确使用密度瓶、电砂浴、烘箱	6~8	检测	必做
8	毛体积密度试验	能够正确用量积法、水中称重法、蜡封法测石料毛体积密度，能够正确使用游标卡尺	6~8	检测	必做
9	单轴抗压强度试验	掌握单轴抗压强度检测方法；能够根据试验数据对岩石的强度进行分级和岩性描述	6~8	检测	选做

续表

序号	试验名称	试验内容及要求	每组人数	试验属性	开出要求
10	细集料表观密度试验	掌握细集料表观密度检测方法,能够正确操作烘箱,能够正确取样,能够精确读取液体体积	6~8	检测	必做
11	细集料堆积密度试验	掌握细集料堆积密度的检测方法;能够正确将试样通过漏斗装入容量筒,能够正确进行容量筒校正	6~8	检测	必做
12	细集料的筛分试验	掌握细集料筛分检测方法,能够正确使用干筛法和水筛法;能算出细度模数,画出级配曲线,判定细集料的类型	6~8	检测	必做
13	粗集料表观密度试验	掌握粗集料表观密度检测方法,能够正确使用静水天平,能够正确称取饱和面干质量	6~8	检测	必做
14	粗集料堆积密度试验	能够正确使用松装法、紧装法(振动实法、捣实法);能够正确使用松装法、累装法(振实法、捣实法测定堆积密度)	6~8	检测	必做
15	粗集料及集料混合料的筛分试验	掌握粗集料筛分检测方法,能够正确称取试样的最小质量,正确计算出筛余质量、通过率,画出级配曲线	6~8	检测	必做
16	水泥混凝土用粗集料针片状颗粒含量试验(规范仪法)	掌握水泥混凝土用粗集料针、片状含量检测方法,能够正确使用针状规范仪、片状规范仪	6~8	检测	必做
17	沥青路面用粗集料针片状颗粒含量试验	掌握沥青混合料用粗集料针、片状含量检测方法,能够正确使用游标卡尺	6~8	检测	选做
18	粗集料压碎值试验	掌握粗集料压碎值检测方法,能够正确取样,能够操作压力机和使用压碎指标测定仪,能够鉴定水泥混凝土粗集料的品质	6~8	检测	必做
19	粗集料磨耗度试验	掌握粗集料磨耗度检测方法,能够正确操作洛杉矶式磨耗机,能够按照规定要求选取各种粒径试样的质量	6~8	检测	必做
20	水泥细度检验方法	能够正确使用干筛法、水筛法、负压筛法进行水泥细度检测,能够正确操作负压筛	6~8	检测	必做
21	水泥标准稠度用水量与凝结时间检验方法	能够精确用标准法和代用法检测水泥标准稠度用水量,能够正确使用维卡仪,能够精确计算初凝及终凝时间	6~8	检测	必做
22	水泥安定性检测方法	掌握水泥安定性检测方法,能够正确操作雷氏夹、沸煮箱,能够判定水泥的安定性是否合格	6~8	检测	必做

续表

序号	试验名称	试验内容及要求	每组人数	试验属性	开出要求
23	水泥胶砂强度检验方法	掌握细集料表观密度检测方法；能够正确操作压力机、抗折机；能够计算水泥抗压抗折强度，判定水泥强度等级	6~8	检测	必做
24	无机结合料稳定材料的无侧限抗压强度试验	掌握无机结合料稳定土的无侧限抗压强度检测方法，能够正确进行试件制备、强度计算	6~8	检测	必做
25	低碳钢的拉伸试验	掌握低碳钢拉伸检测方法，能够正确操作万能试验机和游标卡尺，能够绘制拉伸曲线	6~8	检测	必做
26	金属冷弯试验	掌握钢筋冷弯检测方法，能够正确操作万能试验机	6~8	检测	必做
27	水泥混凝土拌合物稠度试验及混凝土成型	掌握水泥混凝土拌合物稠度试验及混凝土成型，能够正确使用搅拌机、坍落筒、电动振实台	6~8	检测	必做
28	水泥混凝土立方体抗压强度试验、水泥混凝土抗弯拉强度试验	掌握混凝土抗压、抗折强度检测方法，能够正确操作压力机、抗折机，能够计算抗压、抗折强度并判定混凝土强度等级	6~8	检测	必做
29	建筑砂浆取样及试样制备、稠度及保水性试验	掌握建筑砂浆稠度检测方法，能够正确取样、操作砂浆搅拌机及正确操作稠度仪等	6~8	检测	必做
30	水泥砂浆立方体抗压强度试验	掌握砂浆立方体抗压强度检测方法，能够正确操作压力机、计算抗压强度、判定砂浆强度等级	6~8	检测	必做
31	沥青针入度试验	掌握沥青针入度检测方法，能够正确操作沥青针入度仪、精确计算针入度	6~8	检测	必做
32	沥青延度试验	掌握沥青延度检测方法，能够正确使用沥青延度仪、精确计算延度	6~8	检测	必做
33	沥青软化点试验(环球法)	掌握沥青软化点检测方法，能够正确使用沥青软化点仪、精确判定软化点	6~8	检测	必做
34	沥青混合料试件制作方法(击实法)	掌握沥青混合料试件制作方法(击实法)检测方法，能够正确制备试样，操作沥青混合料搅拌机、马歇尔电动击实仪，能够正确脱模	6~8	检测	必做
35	压实沥青混合料密度试验(表干法)	掌握沥青混合料密度试验(表干法)检测方法，能够正确使用挂篮天平，并精确计算出沥青的表干密度	6~8	检测	必做

续表

序号	试验名称	试验内容及要求	每组 人数	试验 属性	开出 要求
36	沥青混合料马歇尔 稳定度试验	掌握沥青混合料稳定度检测方法，能够正确操作沥青马歇尔稳定度仪，并精确计算出浸水马歇尔稳定度、流值	6~8	检测	必做
37	沥青混合料车辙试验	掌握沥青混合料车辙检测方法，能够正确操作沥青混合料车辙试验机，并精确计算出沥青混合料稳定度	6~8	检测	必做
38	沥青混合料配合比设计	掌握沥青混合料配合比设计，能够进行目标配合比设计、生产配合比设计、生产配合比验证	6~8	案例设计	选做

学习情境 1 施工进场阶段常用材料及试验

核心技能

1. 会做土的技术性质常规试验。
2. 会做石料技术性质常规试验。
3. 会做集料技术性质常规试验。
4. 会做石灰、水泥技术性质常规试验。
5. 会做无机结合料稳定材料技术性质常规试验。
6. 会做钢材技术性质常规试验。

项目 1 土

学习目标

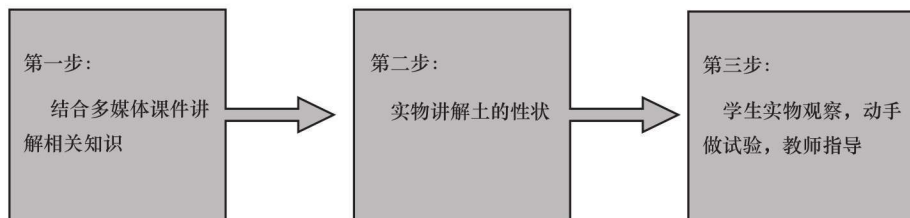
1. 能够掌握土的各种技术性质。
2. 能够熟练掌握土的密度和含水率的测定，正确操作仪器，独立完成试验并会分析试验结果。

任务描述

准备 3~5 种土试样，装在托盘中，让学生观察土的性状，采用简易鉴别法确定土的分类，并对土试样进行描述。

学习引导

本项目沿着以下脉络进行学习：



任务 1.1 土的三相组成及物理性质指标

1.1.1 土的形成

土是由地壳表面的岩石经过物理风化、化学风化和生物风化作用之后的产物，不同的风化作用会形成不同性质的土。

1. 物理风化

岩石暴露在大气中，受到温度变化的影响，体积发生膨胀和收缩，不均匀的膨胀和收缩使之产生裂缝，同时长期经受风、霜、雨、雪的侵蚀以及动、植物的破坏，逐渐由整块岩体崩解成大小不等和形状不同的碎块，这个过程叫作物理风化。物理风化只改变岩石颗粒的大小和形状，不改变颗粒的成分。

2. 化学风化

当岩石的碎块与氧气、二氧化碳和水接触后，发生化学变化，变成更细的颗粒并且其成分发生改变，产生与原来岩石成分不同的矿物，这个过程叫作化学风化。

3. 生物风化

由于动物、植物和人类活动对岩石的破坏称为生物风化。

经过这些风化作用所形成的矿物颗粒堆积在一起，与其间贯穿的孔隙、孔隙间存在的水以及空气等集合体组成了土。

相关链接

在工程建设中，土往往因其用途不同而具有不同的功能。如在建筑工程中(房屋、桥梁、道路、堤坝)，土作为地基，用来支撑建筑物传来的荷载；在路堤、土坝等工程中，土则用作建筑材料；在隧道、涵洞及地下建筑工程中，土成为建筑物周围的介质或环境。

1.1.2 土的三相

土是由土颗粒(固相)、水(液相)及气体(气相)三种物质组成的集合体(图 1-1)。

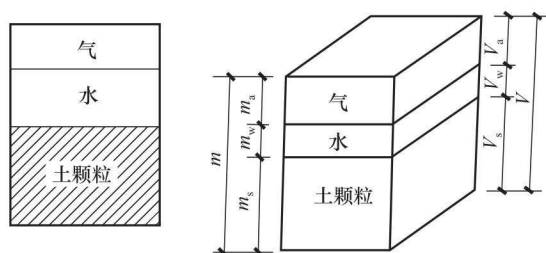


图 1-1 土的三相体积与质量关系

V ——土的总体积(cm^3 或 m^3)； V_s ——土中固体颗粒的体积(cm^3 或 m^3)； V_w ——土中水的体积(cm^3 或 m^3)；

V_a ——土中气体体积(cm^3 或 m^3)； m ——土的总质量(g)； m_s ——土中固体颗粒的质量(g)；

m_w ——土中水的质量(g)； m_a ——土中气体的质量(g)

1.1.2.1 固相

土的固相物质可分为无机矿物颗粒和有机质，是土体的骨架物质。其中，无机矿物颗粒又分为原生矿物(如石英、长石、云母等)和次生矿物(如三氧化二铁、三氧化二铝、次生二氧化硅、黏土矿物及盐类等)两大类。

土在风化过程中，往往由于微生物的参与，产生有机质成分。其中，有机质成分分解完善的，称为腐殖质土；有机质成分分解不完善、尚存有残余物的，称为泥炭。有机质成分对土的工程性质具有不利影响，在公路工程中不应采用含有机质成分的土。

1.1.2.2 液相

土的液相是指土孔隙中存在的水。一般这种水与自由水类似，是无色、无味、无嗅的中性液体，其密度为 1 g/cm^3 ，重度为 9.81 kN/m^3 ，通常在 0°C 时冻结，在 100°C 时沸腾。但实质上，土中水是成分复杂的电解水溶液，它与土粒间有着复杂的相互作用。

水在土中以气态、液态和固态三种状态存在。

1. 气态水

在土孔隙中任何时候都存在有水汽，它与空气形成气态混合物。水分以气态运动时，盐类自然不迁移。但是气态水形成过程经常伴随着原先存在于水溶液中的物质在蒸发层中积累。在干旱和半干旱地区，由于这种积累发生盐胀，往往会使公路路面遭到破坏。

2. 液态水

液态水可分为存在于矿物颗粒内部的水——化学结构水和化学结晶水，以及存在矿物颗粒表面的水——结合水和自由水。

(1)化学结构水：以 H^+ 、 OH^- 离子的形式存在于次生黏土矿物结晶格中，成为土颗粒结构的组成部分。这种水只有在 $165^\circ\text{C} \sim 175^\circ\text{C}$ 温度作用下才能被释放，对某些矿物如氢氧化铝、氢氧化硅之类，甚至要高达 500°C 以上时才能被释放出来。

(2)化学结晶水：以水分子的形式存在于一些盐类矿物中。化学结晶水对盐渍土性能有较大影响。

(3)结合水：根据被吸附的程度又可分为强结合水和弱结合水两种形态。强结合水的含量决定于土的矿物成分和粒度成分，土颗粒越细，比表面积越大，含有黏土矿物和腐殖质时，强结合水含量则偏高。在强结合水外一定范围内的水分子，受到 $1 \sim 10$ 个大气压力，被吸附在土粒表面形成弱结合水。土中含有弱结合水时可使土具有塑性。结合水有时占据很大的容积，因而减少了内部孔隙和毛细管的断面(有时减少可达 $20\% \sim 40\%$)。在高黏粒含量的土中，结合水完全能够充满细小孔隙，这就造成了土的不透水性。

(4)自由水：包括毛细水和重力水。毛细水由于表面张力作用，在土孔隙中能够移动。它能够溶解盐分并使之发生迁移；在季节冰冻地区，若地下水水位较高，毛细水可成为已冻土层中的弱结合水不断补充的水源，使冻土层中的聚冰体膨胀，造成严重冻胀从而破坏道路及构造物。重力水的特征是液体状态，在重力作用下倾向于垂直下行(或侧向沿地面坡度)运动，具有很强的溶解作用，能够以溶液状态转运盐分、胶体溶液和很细的悬浮体等。在地下水水位埋藏很深的情况下，重力水在下行移动的过程中逐渐扩散，同时转变为毛细水和弱结合水的状态。

3. 固态水

处于固态的晶体状态中的水为冰，它是自由水的一个特殊类型。土中水以冰的形态呈季节性出现，称为季节性冻结，在我国北方广大地区的冬季可见到。除此之外，在我国东北及西北

的部分地区,还存在有多年冻结土层及永久性冻结土层。

1.1.2.3 气相

土的气相主要是指土孔隙中充填的气体。土的含气量与含水率有密切关系,其中土是气体占优势还是水占优势,对土的性质会有很大的影响。土中的气体可分为两类:与大气相联通的自由气体和与大气隔绝的封闭气体(气泡)。在受到外力作用时,自由气体能很快地从孔隙中被挤出,一般不影响土的工程性质。而封闭气体在受到外力作用时,随着压力的增大,气泡可被压缩或溶解于水中,当压力减小时,气泡又会恢复原状或重新游离出来。气泡的存在增加了土体的弹性,减小了土的渗透性。这种含气体的土称为非饱和土,不含气体的土则称为饱和土。

1.1.3 土的物理性质指标

土的物理性质指标反映土的工程性质特征,具有重要的实用价值。土的物理性质的指标有密度、土粒比密度、含水率、干密度、饱和密度、浮密度、孔隙比、孔隙率、饱和度等。

1. 常用物理性质指标和定义

(1)土的密度:是指土体单位体积的质量。

$$\rho = \frac{m}{V} (\text{kg/m}^3) \quad (1-1)$$

(2)土的相对密度(或土粒密度) G_s :是指土的固体颗粒的单位体积的质量与水在4℃单位体积的质量之比。

$$G_s = \frac{m_s}{m_w} = \frac{m_s}{V_s \rho_w} \quad (1-2)$$

(3)土的含水率:是指土中水的质量与固体颗粒质量之比,通常以百分数表示。

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100 \quad (1-3)$$

(4)土的干密度:是指土的固体颗粒质量与土的总体积之比。

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} (\text{kg/m}^3) \quad (1-4)$$

(5)饱和密度:是指土中孔隙全部被水充满时土的密度。

$$\rho_{\text{sat}} = \frac{m_s + V_v \times \rho_w}{V} (\text{kg/m}^3) \quad (1-5)$$

(6)浮密度(或称浸水密度):是指土浸入水中受到水的浮力作用时的单位体积的质量。

$$\rho' = \frac{m_s - V_s \times \rho_w}{V} (\text{kg/m}^3) \quad (1-6)$$

(7)孔隙比 e :是指土中孔隙的体积与固体颗粒体积之比。

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-7)$$

(8)孔隙率:是指土中孔隙体积与总体积之比。

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100 \quad (1-8)$$

(9)饱和度:是指土孔隙中水的体积与孔隙体积之比。

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \quad (1-9)$$

土的物理性质的主要指标见表 1-1。

表 1-1 土的物理性质的主要指标

指标名称	表达式	参考数值	指标来源	实际应用
相对密度 G_s	$G_s = \frac{m_s}{V_s \cdot \rho_w}$	2.6~2.75	由试验确定	1. 换算 n 、 e 、 ρ_d ; 2. 工程计算
密度 ρ /(g·cm ⁻³)	$\rho = \frac{m}{V}$	1.6~2.20	由试验确定	1. 换算 n 、 e ; 2. 说明土的密度
干密度 ρ_d /(g·cm ⁻³)	$\rho_d = \frac{m_s}{V}$	1.3~2.00	$\rho_d = \frac{\rho}{1+w}$	1. 换算 n 、 e ; 2. 粒度分析、压缩试验资料整理
饱和密度 ρ_{sat} /(g·cm ⁻³)	$\rho_{sat} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V}$	1.8~2.30	$\rho_{sat} = \frac{\rho(G_s - 1)}{G_s(1+w)} + 1$	—
水下密度 ρ' /(g·cm ⁻³)	$\rho' = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V}$	0.8~1.30	$\rho' = \frac{\rho(G_s - 1)}{G_s(1+w)}$	1. 计算潜水面以下地基土自重应力; 2. 分析人工边坡稳定
天然含水率 w	$w = \frac{m_w}{m_s}$	0< w <1	由试验确定	1. 换算 s_r 、 ρ_d 、 n 、 e ; 2. 计算土的稠度指标
饱和含水率 w_{max}	$w_{max} = \frac{V_v \rho_w}{m_s}$	—	$\rho' = \frac{G_s(1+w) - \rho}{G_s \cdot \rho}$	—
饱和度 S_r	$S_r = \frac{V_w}{V_v}$	0~1	$S_r = \frac{G_s \cdot \rho \cdot w}{G_s(1+w) - \rho}$	1. 说明土的饱水状态; 2. 砂土、黄土计算地基承载力
天然孔隙度 n	$n = \frac{V_v}{V}$	—	$n = 1 - \frac{\rho}{G_s(1+w)}$	1. 计算地基承载力; 2. 砂土估计密度和渗透系数; 3. 压缩试验整理资料
天然孔隙比 e	$e = \frac{V_v}{V_s}$	—	$e = \frac{G_s(1+w) - 1}{\rho}$	1. 说明土中孔隙体积; 2. 换算 e 和 ρ'

试验 1.1 土的含水率试验(酒精燃烧法)(JTG 3430—2020)

土的含水率表示土中含水的数量,为土体中水的质量与固体矿物质量的比值,用百分数表示。

1. 目的和适用范围

本试验适用于快速简易测定土(含有机质的土和盐渍土除外)的含水率。

2. 仪器设备

- (1)天平:感量 0.01 g;
- (2)酒精:纯度 95% 以上;
- (3)其他:滴管、火柴、调土刀、称量盒(定期调整为恒定质量)等。

3. 试验步骤

- (1)称取空盒的质量,精确至 0.01 g。
- (2)取代表性试样不小于 10 g,放入称量盒内,称盒与湿土的总质量,精确至 0.01 g。