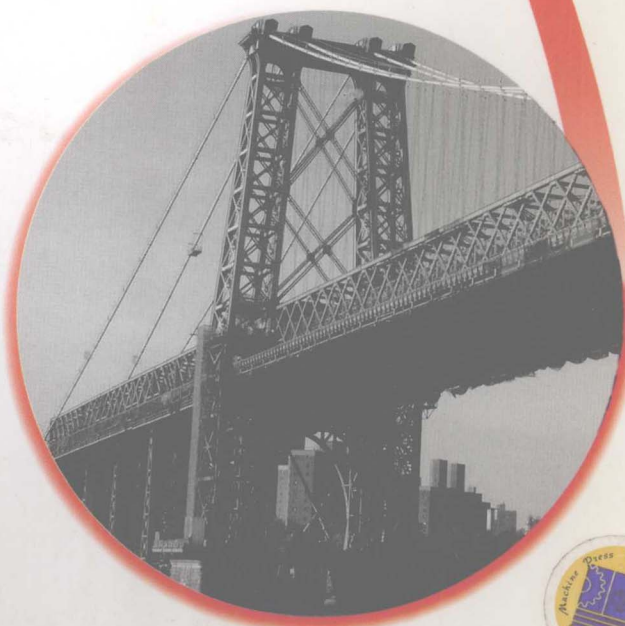




高等职业教育“十一五”规划教材

道路建筑材料实训

林丽娟 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



U414
C16

高等职业教育“十一五”规划教材

道路建筑材料实训

主 编 林丽娟

副主编 马彦芹

参 编 张 萍 王记平 周 云

主 审 蒋 玲

查件图

章数制数

×, 并速出

— 7 1821

— 数, I

141.00

本速国中

业工制时

降除升责

升面性

丰京京北



机械工业出版社

机械工业出版社

本书共分三大部分：绪论、基本操作训练和综合实训。本书本着培养学生实际操作能力和提高学生综合设计、分析能力的原则，依据国家及行业颁发的最新标准、规范和规程编写。基本操作训练部分包括常用道路建筑材料（如天然砂石、石灰、水泥、水泥混凝土、砂浆、稳定土、沥青及沥青混合料、钢材等）的 36 个常规试验，通过试验教学环节，使学生掌握实践技能的同时，也巩固和强化了所学的理论知识；综合实训部分包括水泥混凝土组成设计及热拌沥青混合料配合比设计 2 个综合性、设计性实训，可以提高学生的综合素质和解决工程实际问题的能力。

本书可作为高等职业院校土建、道桥、监理、施工检测等专业的教材，也可作为交通、土建类相关专业师生及有关工程技术人员的学习参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

道路建筑材料实训/林丽娟主编. —北京：机械工业出版社，2005.9

ISBN 7-111-17719-3

I. 道… II. 林… III. 道路工程—建筑材料
IV. U414

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2005）第 125474 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：李俊玲 版式设计：霍永明 责任校对：吴美英

封面设计：姚毅 责任印制：洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2006 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm × 1092mm $1/16$ · 8.25 印张 · 198 千字

定价：14.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
本社购书热线电话（010）68326294

封面无防伪标均为盗版

高等职业教育“十一五”规划教材

(道路与桥梁、公路监理专业)

编 审 委 员 会

主任委员	孟祥林	南京交通职业技术学院
副主任委员	钟建民	山西交通职业技术学院
	罗凤姿	湖南工程职业技术学院
委 员	王保群	山东交通职业技术学院
	田 平	河北交通职业技术学院
	白淑毅	广东交通职业技术学院
	务新超	黄河水利职业技术学院
	刘 武	江西交通职业技术学院
	周志坚	福建交通职业技术学院
	周传林	南京交通职业技术学院
	林丽娟	徐州建筑职业技术学院
	胡兴福	四川建筑职业技术学院
	李俊玲	机械工业出版社 (兼委员会秘书)

出版说明

自 20 世纪 90 年代开始,我国公路建设步入了持续、快速发展的轨道。截至 2004 年年底,我国高速公路通车里程已达 3.42 万 km,年增长 21.2%,全国公路通车总里程达到 185.6 万 km。公路交通建设的发展,使社会急需大量的素质高、应用能力强、富有创新精神的复合型人才,各高等职业院校面临着向社会输送合格的公路专门人才的紧迫任务。“教书育人,教材先行”,人才的培养,离不开优秀的教材。基于此背景和要求,机械工业出版社组织全国多所交通及土建类院校编写了这套针对道路与桥梁、公路监理、高等级公路维护与管理等专业的系列教材。

本系列教材具有以下特点:

1. 贯彻了交通部发布的最新的行业标准规范,保证了时效性,使教学与实际紧密结合。

2. 为突出高等职业教育的特点, 本套教材的编写班子以双师型教师为主, 并吸收了部分企业的技术人员参加教材的编、审工作, 使教材更贴近实际, 更能反映公路工程建设中最新的技术、工艺和方法。

3. 不追求教材的系统性和完整性,以够用、实用为原则,将理论知识与实际操作融为一体。基础理论知识以讲清概念、强化应用为重点;专业课加强了针对性和实用性,强化了实践教学,重点培养学生的动手能力和思维方法。

4. 大部分教材中都有“学时分配建议表”,供授课教师参考;每章前有“学习目标”,章后有“小结”、“思考题”、“习题(或操作实训)”,更利于学生学习和复习。

5. 以学生好学、教师上课方便为宗旨,将教学改革成果引入到教材中,并陆续配备电子教案、学习指导等,力争为一线教师提供较全面的立体化的教材。

6. 在教材内容的选取上,以三年制教学为主,也充分考虑了两年制教学的要求,可供三年制和两年制教学使用。

希望本系列教材的出版,能促进高等职业院校道路与桥梁等专业的教材建设,为培养符合市场需要的高技能人才起到积极的推动作用。

机械工业出版社

前言

本书是按照高等职业教育的要求、本着培养学生实际操作能力和提高学生综合设计能力的原则,依据国家及行业颁发的最新标准、规范和规程编写的,是机械工业出版社《道路建筑材料》(蒋玲主编)的配套教材,参考学时为 40 学时。

道路建筑材料是道路与桥梁建筑的物质基础。材料质量的优劣以及配制是否合理、选用是否适当等,都直接影响着道路与桥梁的质量。因此,对材料性能的检测成为工程建设中必不可少的环节,从事相关专业的工程技术人员应全面了解和掌握道路与桥梁建筑常用材料的技术性能及其检验方法。随着道路与桥梁建筑技术的发展,用于道路与桥梁建筑的材料不仅在品种上日益增多,而且在质量上不断提出新的要求,即材料试验的内容繁多。本书从实际工程出发,介绍了道路与桥梁工程中常用材料的常规试验共计 36 个,通过试验教学环节,在学生掌握实践技能的同时,也巩固和强化了所学的理论知识;此外,本书还包括了水泥混凝土配合比及沥青混合料配合比的设计、调整和校核等综合性、设计性训练,以提高学生的综合素质和解决工程实际问题的能力。

本书具有以下特点:

1. 按照高等职业技术教育培养一线技术类应用型人才的总目标,根据生产实践所需的基本知识和基本技能,精选教学内容。

2. 各章均采用现行的国家及行业最新标准和规范,如 JTG E30—2005《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》、JTG E41—2005《公路工程岩石试验规程》、JTG E42—2005《公路工程集料试验规程》、JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》等;并按标准统一了有关专业术语及试验用具,如对所有试验规程中的集料全部统一为方孔筛规格(取消了原来的圆孔筛)、统一了粗集料的洛杉矶磨耗试验方法(删除了原石料的磨耗试验、狄法尔磨耗试验)、统一了粗集料压碎值试验方法(取消了原水泥混凝土用粗集料压碎值试验)、在粗集料的筛分试验中增加了集料混合料的筛分试验方法等。

本书由徐州建筑职业技术学院林丽娟主编,南京交通职业技术学院蒋玲主审。编写人员及分工为:概述、第一、二章由林丽娟编写;第三、七章由徐州建筑职业技术学院张萍编写;第四、八、九章由河北交通职业技术学院马彦芹编写;第五章由河北交通职业技术学院王记平编写;第六章由湖南工程职业技术学院周云编写。

编者

目 录

出版说明

前言

绪论 1

基本操作训练

第一章 砂石材料试验 5

试验一 岩石的密度、毛体积密度试验及
孔隙率计算 5

试验二 岩石的单轴抗压强度试验 11

试验三 细集料表观密度、堆积密度
试验 12

试验四 细集料筛分试验 15

试验五 粗集料密度及吸水率试验
(网篮法) 18

试验六 粗集料堆积密度试验及空隙率
计算 20

试验七 粗集料及集料混合料的筛分
试验 23

试验八 粗集料针片状颗粒含量
试验 27

试验九 粗集料压碎值试验 30

试验十 粗集料磨耗试验(洛杉矶法) 32

试验十一 粗集料含水率试验 34

试验十二 矿粉亲水系数试验 35

第二章 石灰、水泥试验 37

试验一 有效氧化钙和氧化镁含量的
简易测定 37

试验二 水泥细度试验(80 μ m 筛
筛析法) 38

试验三 水泥标准稠度用水量、凝结时间和
安定性检验 40

试验四 水泥胶砂强度检验
(ISO 法) 46

第三章 水泥混凝土、砂浆试验 50

试验一 水泥混凝土拌合物稠度试验 50

试验二 水泥混凝土试件制作与养护 53

试验三 水泥混凝土立方体抗压
强度试验 55

试验四 水泥混凝土抗弯拉强度试验 57

试验五 水泥混凝土拌合物表观密度
试验 59

试验六 砂浆稠度与分层度试验 60

试验七 水泥砂浆立方体抗压强度试验 62

第四章 无机结合料稳定土试验 65

试验一 无机结合料稳定土的击实
试验 65

试验二 无机结合料稳定土无侧限抗压
强度试验 69

第五章 沥青材料试验 73

试验一 沥青材料的取样 73

试验二 石油沥青的针入度试验 75

试验三 沥青延度试验 78

试验四 沥青软化点试验(环球法) 80

第六章 沥青混合料试验 83

试验一 沥青混合料试件制作方法
(击实法) 83

试验二 压实沥青混合料密度试验
(表干法) 85

试验三 沥青混合料马歇尔稳定度
试验 88

试验四 沥青混合料车辙试验 90

试验五 沥青混合料中沥青含量试验(离心
分离法) 92

第七章 建筑钢材试验 95

试验一 钢材的拉伸试验 95

试验二 钢筋的冷弯试验 98

综 合 实 训

第八章 水泥混凝土组成设计 103

第九章 热拌沥青混合料配合比 设计 109

参考文献 123

绪 论

一、道路建筑材料试验的目的和意义

材料是工程结构物的物质基础。材料质量的优劣以及配制是否合理,选用是否适当等,均直接影响结构物的质量。随着道路与桥梁建筑技术的发展,用于道路与桥梁建筑的材料不仅在品种上日益增多,而且在质量上不断提出新的要求。本教材的任务就是使初学者了解道路与桥梁建筑常用材料的技术性能及其检验方法。

二、道路建筑材料检测的步骤

道路建筑材料检测的步骤,主要包括取样和实验室检测两个步骤。

各种材料的抽样按有关标准进行,所抽取的试样必须具有代表性,这样检测出的技术数据才能代表被抽样的一批材料的性能。

实验室检测由具有相应资质等级的合法检测机构进行。施工单位将按规定抽取的试样送交检测机构,由检测机构进行检测,检测的依据为现行的有关标准和规范。

三、材料检测人员的素质

为了使检测的数据科学、合理、具有说服力,要求材料检测技术人员具有以下素质。

- 1) 必须具备强烈的责任感,良好的职业道德。
- 2) 必须切实执行工程产品的有关标准、试验方法及有关规定。
- 3) 必须具有科学的态度,不得修改试验原始数据,不得假设试验数据,尊重科学,对出具的检测报告的科学性负责。
- 4) 应当具备一定的理论水平及较强的操作能力。
- 5) 杜绝检测工作中不负责任、敷衍了事、不按有关标准进行试验操作等行为。

四、试验数据统计分析与处理

1. 算术平均值

算术平均值主要用于了解该批数据的平均水平,度量这些数据的中间位置,计算公式为

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \cdots + X_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

式中 $\bar{X}$ ——算术平均值;
 $X_1, X_2, \cdots, X_n$ ——各试验数据值;
 $\sum X$ ——各试验数据的总和;
 n ——试验数据的个数。

例如,3个混凝土试件的立方体抗压强度分别为25.7MPa、28.3MPa、26.6MPa,则该组混凝土的立方体抗压强度的算术平均值为

$$\bar{X} = \frac{25.7 + 28.3 + 26.6}{3} \text{MPa} = 26.9 \text{MPa}$$

2. 误差计算

(1) 范围误差 范围误差也称为极差, 是试验数据中最大值与最小值之差。

例如, 3个混凝土试件的立方体抗压强度分别为 25.7MPa、28.3MPa、26.6MPa, 则该组混凝土的立方体抗压强度的范围误差(极差)为

$$28.3 \text{MPa} - 25.7 \text{MPa} = 2.6 \text{MPa}$$

(2) 算术平均误差 算术平均误差的计算公式为

$$\delta = \frac{|X_1 - \bar{X}| + |X_2 - \bar{X}| + \cdots + |X_n - \bar{X}|}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|$$

式中 δ ——算术平均误差;

$X_1, X_2, \cdots, X_n$ ——各试验数据值;

$\sum X$ ——各试验数据的总和;

n ——试验数据的个数。

例如, 3个混凝土试件的立方体抗压强度分别为 25.7MPa、28.3MPa、26.6MPa, 则其算术平均误差为

$$\delta = \frac{|25.7 - 26.9| + |28.3 - 26.9| + |26.6 - 26.9|}{3} \text{MPa} = 1.0 \text{MPa}$$

(3) 标准差 平均值只能反映总的平均水平, 要了解数据的波动情况, 标准差是衡量波动性即离散性大小的指标。标准差的计算公式为

$$S = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \cdots + (X_n - \bar{X})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

式中 S ——标准差(均方根差);

$X_1, X_2, \cdots, X_n$ ——各试验数据值;

$\sum X$ ——各试验数据的总和;

n ——试验数据的个数。

例如, 1组烧结普通砖试块(10块), 养护3d后进行抗压强度试验, 测得的抗压强度值分别为 16.76MPa、29.12MPa、32.63MPa、15.31MPa、33.06MPa、21.60MPa、18.67MPa、23.60MPa、24.82MPa、23.54MPa。则该组砖的抗压强度标准差为

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{\frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \\ &= \sqrt{\frac{1}{9} [(16.76 - 23.90)^2 + (29.12 - 23.90)^2 + \cdots + (23.54 - 23.90)^2]} \text{MPa} \\ &= 6.20 \text{MPa} \end{aligned}$$

3. 数字修约

(1) 数字修约原则

1) 在拟舍弃的数字中, 保留数后边(右边)第1位数字小于5时, 则舍去, 保留数的末位数字不变。

2) 在拟舍弃的数字中, 保留数后边(右边)第1位数字大于5时, 则进1, 保留数的末

位数字加 1。

3) 在拟舍弃的数字中, 保留数后边(右边)第 1 位数字等于 5 时, 5 后边的数字并非全部为零时, 保留数的末位数字加 1。

4) 在拟舍弃的数字中, 保留数后边(右边)第 1 位数字等于 5, 且 5 后边的数字全部为零时, 保留数的末位数字为奇数时则进 1, 保留数的末位数字为偶数时(包括“0”)则不进。

5) 所有拟舍去的数字, 若为 2 位以上的数字, 不得连续进行 2 次以上的修约, 应根据保留数后边(右边)第 1 个数字的大小, 按上述规则一次修约出结果。

6) 负数修约时, 先将其绝对值按前述规则进行修约, 然后在修约值前面加上负号。

数字修约原则示例见表 0-1。

表 0-1 数字修约原则示例

示 例	修 约 前	修 约 后
将 14.2446 修约到保留一位小数	14.2446	14.2
将 14.2846 修约到保留一位小数	14.2846	14.3
将 14.2546 修约到保留一位小数	14.2546	14.3
将 0.3500、0.4500、1.0500 修约到保留一位小数	0.3500	0.4
	0.4500	0.4
	1.0500	1.0
将 25.4546 修约为整数	正确方法	25.4546 25
	错误方法	25.4546 第一次 25.455 第二次 25.46 第三次 25.5 第四次 26

(2) 0.5 单位修约 0.5 单位修约是指修约间隔为指定数位的 0.5 单位, 是将拟修约的数值除以 5, 按指定数位依进舍规则修约, 所得数值再乘以 5。

表 0-2 为 0.5 单位修约示例。

表 0-2 0.5 单位修约示例

拟修约数值	除以 5	修 约	修约后的值
60.25	12.05	12.0	60.0
60.38	12.076	12.1	60.5
-60.75	-12.15	-12.2	-61.0

(3) 0.2 单位修约 0.2 单位修约是指修约间隔为指定数位的 0.2 单位, 是将拟修约的数值除以 2, 按指定数位依进舍规则修约, 所得数值再乘以 2。

表 0-3 为 0.2 单位修约示例。

表 0-3 0.2 单位修约示例

拟修约数值	除以 2	修 约	修约后的值
60.36	30.18	30.2	60.4
60.29	30.145	30.1	60.2
60.30	30.15	30.2	60.4

五、道路材料试验的方法和技术标准

1. 道路材料的一般检验方法

道路与桥梁建筑用材料应具备必要的性能,对于这些材料性能的检验,必须通过适当的测试手段来进行。这些方法包括:实验室内原材料性能测定、实验室内模拟结构物的性能测定和现场修筑结构物的性能测定。本书着重于介绍实验室原材料性能的检验测定。室内原材料试验包括下列内容。

(1) 物理性能试验 测定道路与桥梁用材料的物理性能,可以提供材料组成设计时用到的一些原始资料,通过物理性能测定可以间接推断材料的力学性能。

(2) 力学性能试验 材料的力学性能主要采用各种试验机测定其静态力学性能(如抗压、抗剪、抗拉、抗弯等强度)来反映。

(3) 化学性能试验 材料化学性质的试验,通常只作材料简单化合物(如氧化钙、氧化镁)含量或有害物质含量的分析。

(4) 工艺性能试验 现代工艺性能试验主要是将一些经验的指标与工艺要求联系起来,但尚缺乏科学理论的分析。随着流变力学、断裂力学等的发展,许多材料工艺性能的试验按照流变—断裂学理论来进行分析,并提出不同的方法。例如,沥青混合物的摊铺性能采用流动性系数等指标来控制。

由材料试验得到的数据和技术参数能够表达材料的特性,决定材料的适用范围,并且可能是有关的结构设计参数。为此,材料性能检测应按照当前技术标准中规定的标准程序进行,以保证试验结果的科学性、公正性和权威性。

2. 道路建筑材料的技术标准

道路建筑材料的技术标准是有关部门根据材料自身固有的特性,结合研究条件和工程特点,对材料的规格、质量标准、技术指标及相关的试验方法所作出的详尽而明确的规定。目前,我国的建筑材料标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准4级。国家标准是由国家标准局发布的全国性指导技术文件,简称“国标”,代号“GB”对没有国家标准而又需要在全国某范围内统一的技术要求,可以制定行业标准。行业标准由国务院有关行政主管部门制定和发布,如“JT”表示交通行业的标准。企业标准适用于本企业,凡没有制定国家标准或行业标准的材料或制品,均应制定企业标准,代号“Q”。推荐性标准,在标准后加“T”;在标准后加“J”表示“基本建设方面”。

我国加入WTO后,采用和参考国际通用标准和先进标准是加快我国建筑材料工业与世界接轨的重要举措,对促进建材工业的科技进步,提高产品质量和标准化水平,扩大建筑材料的对外贸易有着重要作用。常用的国际标准有以下几类:

国际标准化组织标准(ISO)等,属于国际性标准化组织的标准。

美国材料与试验协会标准(ASTM)等,属于国际团体和公司标准。

德国工业标准(DIN)、欧洲(共同体)标准(EN)等,属区域性国家标准。

随着研究工作的深入及应用技术的成熟,各种技术标准中的具体条款和技术参数将会被不断地修订和补充。

基本操作训练

第一章 砂石材料试验

试验一 岩石的密度、毛体积密度试验及孔隙率计算

一、岩石的密度试验

(一) 试验目的与适用范围

- 1) 岩石的密度是指在规定条件下，烘干岩石矿质单位体积（不包括开口与闭口孔隙体积）的质量。
- 2) 岩石密度是选择建筑材料、研究岩石风化、评价地基基础工程岩体稳定性及确定围岩压力等必需的计算指标。
- 3) 本法用洁净水做试验时适用于不含水溶性矿物成分的岩石的密度测定，对含水溶性矿物成分的岩石应使用中性液体如煤油做试验。

(二) 试验仪器设备

- 1) 密度瓶。容积 100mL 的短颈量瓶，如图 1-1 所示。
- 2) 天平。感量 0.001g。
- 3) 轧石机（实验室用小型轧石机）或钢锤。供初碎岩石试样用。
- 4) 球磨机。供磨碎石粉用。
- 5) 研钵。供磨细石粉用。
- 6) 烘箱。能使温度控制在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
- 7) 砂浴、恒温水槽（灵敏度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ）及真空抽气设备。
- 8) 干燥器。内装氯化钙或硅胶等干燥剂。
- 9) 筛子。孔径为 0.315mm。
- 10) 锥形玻璃漏斗和瓷皿、滴管、牛角匙、温度计等。



图 1-1 密度瓶

(三) 试验准备

取代表性岩石试样在小型轧石机上初碎（或手工用钢锤捣碎），再置于球磨机中进一步磨碎，然后用研钵研细，使之全部粉碎成能通过 0.315mm 筛孔的岩粉。

(四) 试验步骤

- 1) 将制备好的岩粉放在瓷皿中，置于温度为 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘至恒量，烘干时间一般为 6~12h，然后再置于干燥器中冷却至室温（ $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ）备用。

2) 用四分法取两份岩粉, 每份试样从中称取 15g (m_1), 精确至 0.001g (本试验称量精度皆同此), 用漏斗灌入洗净烘干的密度瓶中, 并注入试液至瓶的一半处, 摇动密度瓶使岩粉分散。

3) 当使用洁净水做试验时, 可采用沸煮法或真空抽气法排除气体。当使用煤油做试验时, 应采用真空抽气法排除气体。采用沸煮法排除气体时, 将密度瓶放在砂浴上沸煮, 沸煮时间自悬液沸腾时算起不得少于 1h; 采用真空抽气法排除气体时, 真空压力表读数宜为 100kPa, 抽气时间维持 1~2h, 直到无气泡逸出为止。

4) 将经过排除气体的密度瓶取出擦干, 冷却至室温, 再向瓶中注入排除气体且同温条件的试液, 使试液接近满瓶, 然后置于温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的恒温水槽内。待瓶内温度稳定, 上部悬液澄清后, 塞好瓶塞, 使多余试液溢出。从恒温水槽内取出密度瓶, 擦干瓶外水分, 立即称其质量 m_3 。

5) 倒出悬液, 洗净密度瓶, 注入经排除气体且同温条件的试液接近满瓶, 再置于恒温水槽内, 水温必须与步骤 4) 中所用的水槽温度相同。待瓶内试液的温度稳定后, 塞好瓶塞, 将逸出瓶外的试液擦干, 立即称其质量 m_2 。

(五) 结果整理

1) 按式 (1-1) 计算岩石密度值 (精确至 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$)。

$$\rho_t = \frac{m_1}{m_1 + m_2 - m_3} \rho_{wt} \tag{1-1}$$

式中 ρ_t ——岩石密度 (g/cm^3);
 ρ_{wt} ——与试验同温度试液的密度 (g/cm^3);
 m_1 ——烘干试样的质量 (g);
 m_2 ——瓶加试液的质量 (g);
 m_3 ——瓶、试液与试样的总质量 (g)。

2) 以两次试验结果的算术平均值作为测定值, 如两次试验结果之差大于 $0.02\text{g}/\text{cm}^3$ 时, 应重新取样进行试验。

(六) 试验记录

填写试验记录 (表 1-1)。

表 1-1 岩石密度试验记录

工程名称: _____		报告编号: _____	
取样日期		试验规程	
试验日期		试验人签字	
样品状态		复核人签字	
样品名称		技术负责人签字	

试验次数	密度瓶号	与试验同温度 试液的密度/ (g/cm³)	烘干试样 的质量 m ₁ /g	瓶装满试液 后的质量 m ₂ /g	瓶、试液及试 样的总质量 m ₃ /g	岩石密度 ρ _r /(g/cm³)		备 注
						单次值	平均值	
1								
2								

注: 水的密度见 JTG E41—2005《公路工程岩石试验规程》附录。

二、岩石的毛体积密度试验

(一) 试验目的与适用范围

1) 岩石的毛体积密度是一个间接反映岩石致密程度、孔隙发育程度的参数,也是评价工程岩体稳定性及确定围岩压力等必需的计算指标。根据岩石含水状态,毛体积密度可分为干密度、饱和密度和天然密度。

2) 岩石毛体积密度试验可分为量积法、水中称量法和蜡封法。

3) 量积法适用于能制备成规则试件的各类岩石;水中称量法适用于除遇水崩解、溶解和干缩湿胀外的其他各类岩石;蜡封法适用于不能用量积法或直接在水中称量进行试验的岩石。

(二) 试验仪器设备

1) 试件加工设备:切石机、钻石机、磨石机及小锤等。

2) 天平:称量大于 500g,感量 0.01g。

3) 烘箱:能使温度控制在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的范围内。

4) 水中称量装置。

5) 石蜡及熔蜡设备。

6) 游标卡尺。

(三) 试验准备

(1) 量积法试件制备 采用圆柱体或立方体作为标准试件,直径或边长和高均为 50mm $\pm 2\text{mm}$ 。

(2) 水中称量法试件制备 试件可采用规则或不规则形状,试件尺寸应大于组成岩石最大颗粒粒径的 10 倍,每个试件质量不宜小于 150g。

(3) 蜡封法试件制备 将岩样制成边长约 40~60mm 的立方体试件,并将尖锐棱角用砂轮打磨光滑;或采用直径为 48~52mm 的圆柱体试件。测定天然密度的试件,应在岩样拆封后,在设法保持天然湿度的条件下,迅速制样、称量和密封。

(4) 试件数量 同一含水状态,每组不得少于 3 个试件。

(四) 试验步骤

1. 量积法

(1) 测量试件的直径或边长 用游标卡尺测量试件两端和中间 3 个断面上互相垂直的两个方向的直径或边长,按截面积计算平均值。

(2) 测量试件的高度 用游标卡尺测量试件断面周边对称的 4 个点(圆柱体试件为互相垂直的直径与圆周交点处;立方体试件为边长的中点)和中心点的 5 个高度,计算平均值。

(3) 测定天然密度 应在岩样开封后,在保持天然湿度的条件下,立即加工试件和称量。测定后的试件,可作为天然状态的单轴抗压强度试验用的试件。

(4) 测定饱和密度 试件的饱和过程制作,可由以下两种方法中任选一种。

1) 用煮沸法饱和试件。将试件放入水槽,注水至试件高度的一半,静置 2h。再加水使试件浸没,煮沸 6h 以上,并保持水的深度不变。煮沸停止后静置水槽,待其冷却,取出试件,用湿纱布擦去表面水分,立即称其质量。

2) 用真空抽气法饱和试件。将试件置于真空干燥器中,注入洁净水,水面高出试件顶面 20mm,开动抽气机,抽气时真空压力需达到 100kPa,保持此真空状态直到无气泡发生时

为止(不少于4h)。经真空抽气的试件应放置在原容器中,在大气压力下静置4h,取出试件,用湿纱布擦去表面水分,立即称其质量。测定后的试件,可作为饱和状态的单轴抗压强度试验用的试件。

(5) 测定干密度 将试件放入烘箱,在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下烘至恒量,烘干时间一般为12~24h,取出试件置于干燥器内冷却至室温。从干燥器内取出试件,放在天平上称其质量。测定后的试件,可作为干燥状态的单轴抗压强度试验用的试件。

(6) 本试验称量精确至0.01g;测量精确至0.01mm。

2. 水中称量法

1) 测天然密度时,应取有代表性的岩石制备试件并称量;测干密度时,将试件放入烘箱,在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下烘至恒量,烘干时间一般为12~24h。取出试件置于干燥器内冷却至室温后,称干试件质量。

2) 将干试件浸入水中进行饱和,饱和方法可依岩石性质选用煮沸法或真空抽气法。试件的饱和过程和称量同量积法。

3) 取出饱和浸水试件,用湿纱布擦去试件表面水分,立即称其质量。

4) 将试件放在水中称量装置的丝网上,称取试件在水中的质量(丝网在水中质量可事先用砝码平衡)。在称量过程中,称量装置的液面应始终保持同一高度,并记下水温。

本试验称量精确至0.01g。

3. 蜡封法

1) 测天然密度时,应取有代表性的岩石制备试件并称量;测干密度时,将试件放入烘箱,在 $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下烘至恒量,烘干时间一般为12~24h。取出试件置于干燥器内冷却至室温。

2) 从干燥器内取出试件,放在天平上称量。

3) 把石蜡装在干净铁盆中加热熔化至稍高于熔点(一般石蜡熔点为 $55 \sim 58^{\circ}\text{C}$)。岩石试件可通过滚涂或刷涂的方法使其表面涂上一层厚度为1mm左右的石蜡层,冷却后准确称出蜡封试件的质量。

4) 将涂有石蜡的试件系于天平上,称出其在洁净水中的质量。

5) 擦干试件表面的水分,在空气中重新称取蜡封试件的质量,检查此时蜡封试件的质量是否大于浸水前的质量。如蜡封试件的质量-浸水前试件质量 $>0.05\text{g}$,说明试件蜡封不好,洁净水已浸入试件,应取试件重新测定。

本试验称量精确至0.01g。

(五) 结果整理

1. 密度计算

1) 量积法岩石毛体积密度按式(1-2)计算,精确至 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$ 。

$$\left. \begin{aligned} \rho_0 &= \frac{m_0}{V} \\ \rho_s &= \frac{m_s}{V} \\ \rho_d &= \frac{m_d}{V} \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

式中 ρ_0 ——天然密度 (g/cm^3);

ρ_s ——饱和密度 (g/cm^3);

ρ_d ——干密度 (g/cm^3);

m_0 ——试件烘干前的质量 (g);

m_s ——试件强制饱和后的质量 (g);

m_d ——试件烘干后的质量 (g);

V ——岩石的体积 (cm^3)。

2) 水中称量法岩石毛体积密度按式 (1-3) 计算, 精确至 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$ 。

$$\left. \begin{aligned} \rho_0 &= \frac{m_0}{m_s - m_w} \rho_w \\ \rho_s &= \frac{m_s}{m_s - m_w} \rho_w \\ \rho_d &= \frac{m_d}{m_s - m_w} \rho_w \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

式中 m_w ——试件强制饱和后在洁净水中的质量 (g);

ρ_w ——洁净水的密度 (g/cm^3)。

3) 蜡封法岩石毛体积密度按式 (1-4) 计算, 精确至 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$ 。

$$\left. \begin{aligned} \rho_0 &= \frac{m_0}{\frac{m_1 - m_2}{\rho_w} - \frac{m_1 - m_d}{\rho_N}} \\ \rho_d &= \frac{m_d}{\frac{m_1 - m_2}{\rho_w} - \frac{m_1 - m_d}{\rho_N}} \end{aligned} \right\} \quad (1-4)$$

式中 m_1 ——蜡封试件质量 (g);

m_2 ——蜡封试件在洁净水中的质量 (g);

ρ_N ——石蜡的密度 (g/cm^3)。

毛体积密度试验取 3 个试件平行试验。组织均匀的岩石, 其毛体积密度应为 3 个试件测得结果之平均值; 组织不均匀的岩石, 毛体积密度应列出每个试件的试验结果。

2. 孔隙率计算

求得岩石的毛体积密度及密度后, 按式 (1-5) 计算总孔隙率 n , 试验结果精确至 0.1%。

$$n = \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho_t} \right) \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 n ——岩石的总孔隙率;

ρ_t ——岩石的密度 (g/cm^3)。

(六) 试验记录

填写试验记录 (表 1-2~表 1-4)。

表 1-2 岩石毛体积密度试验记录（量积法）

工程名称： 报告编号：

取样日期			试验规程	
试验日期			试验人签字	
样品状态			复核人签字	
样品名称			技术负责人签字	

试件 编号	烘干前试 件质量 m_0/g	烘干后试 件质量 m_d/g	强制饱和 后试件质 量 m_s/g	试件尺寸/mm			试件的 体积 V/cm^3	岩石毛体积密度 $/(g/cm^3)$		备 注
				圆柱体		立方体				
				直径 D	高 h	边长 b		单块值	平均值	
1										
2										
3										

表 1-3 岩石毛体积密度试验记录（水中称量法）

工程名称： 报告编号：

取样日期			试验规程	
试验日期			试验人签字	
样品状态			复核人签字	
样品名称			技术负责人签字	

试验编号	烘干前试 件的质量 m_0/g	烘干后试 件质量 m_d/g	强制饱和 后试件的 质量 m_s/g	强制饱和和试件在 洁净水中的质量 m_w/g	洁净水的 密度 ρ_w $/(g/cm^3)$	岩石毛体积密度 $/(g/cm^3)$		备 注
						单块值	平均值	
1								
2								
3								

表 1-4 岩石毛体积密度试验记录（蜡封法）

工程名称： 报告编号：

取样日期			试验规程	
试验日期			试验人签字	
样品状态			复核人签字	
样品名称			技术负责人签字	

试件 编号	烘干前试 件的质量 m_0/g	烘干后 试件质 量 m_d/g	蜡封试件 的质量 m_1/g	蜡封试件在 洁净水中的 质量 m_2/g	洁净水的 密度 ρ_w $/(g/cm^3)$	石蜡的密 度 ρ_N $/(g/cm^3)$	岩石毛体积密度 $/(g/cm^3)$		备 注
							单块值	平均值	
1									
2									
3									

岩石的孔隙率 $n =$ 。