

高等学校教材

# 道路建筑材料

Daolu Jianzhu Cailiao

(公路与城市道路、桥梁工程专业用)

第三版

严家伋 编著

人民交通出版社

由于编者学术水平和教学经验有限,教材中错误和疏漏之处在所难免,敬请使用本教材的师生提出宝贵意见,经寄上海同济大学道路与交通工程系严家极收,以便再版时修改。

编者

1995年3月

高等学校教材  
**道路建筑材料**  
(公路与城市道路、桥梁工程专业用)  
第三版

严家俊 编著

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

三河新世纪印刷厂印刷

开本:787×1092  $\frac{1}{16}$  印张:21.75 插页:1 字数:600千

1979年8月 第1版

1986年6月 第2版

1996年6月 第3版 第1次印刷 累计11次印刷

印数:90751—109250册 定价:16.70元

ISBN 7-114-02244-1

U·01550

## 内 容 提 要

本书分为两篇,第一篇阐述道路与桥梁建筑用各种材料的基本组成、生产工艺、技术性能、组成设计和应用方法等。第一篇共七章,其中包括:砂石材料、石灰和水泥、水泥混凝土和砂浆、沥青材料、沥青混合料、工程高聚物材料、建筑钢材和木材等。第二篇介绍道路与桥梁建筑用各种材料的试验方法,共六章其中包括 15 个试验。

本书系高等学校路桥专业教材,亦可供道路与桥梁工程专业技术人员参考。

(作者通讯地址:严家级 200092 上海四平路 1239 号同济大学道路与交通工程系)

# 前 言

本教材第三版是遵照高等学校路桥及交通工程专业教学指导委员会 1993 年 5 月“关于《道路建筑材料》教材修订意见”和高等学校路桥本科专业教材审定会 1994 年 10 月讨论通过的《道路建筑材料教材修订编写大纲》，并参考 1990 年制订的《道路建筑材料课程基本要求》编写的。本教材第二版自 1986 年出版迄今已有 9 年，这些年来，我国道路建设（特别是高等级公路）有了很大的发展，与道路建筑材料有关的技术规范和技术标准也大多已修订。为此，通过这次修订，力求教材能反映近年来国内外在道路建筑材料方面的科研新成果和生产新经验，并遵照新颁布的技术标准和技术规范的有关规定来阐述教材内容。

关于本版教材的修订内容有以下几点说明：

1. 本版教材尽量保留原教材的框架体系，力求做到难点分散、重点突出、主次分明、各章均衡。

2. 为便于学生自学，除维持原有体例，各章仍按“内容提要与学习要求、正文、复习题、习题”的顺序组织内容，并在正文之后增加了“小结”，以便学生进一步掌握本章核心内容。

为使主次分明，正文中重点内容在标题前加★号，次要或提高（标题前加△号）内容采用新 5 号字排版。各校教师可根据实际教学时数选用。

3. 为加强学生运算技能的培养，对矿质混合料组成设计、水泥混凝土组成配合比设计和沥青混合料设计等三个组成设计，按照新颁的国家标准和行业标准，重新编制了例题和习题。在命题中注意理论与实际相联系，以及与新颁规范、标准相衔接。

4. 为加强学生试验技能的培养，将原附录的试验改编为与理论对应的第二篇，根据新颁的国家标准和行业试验规程，重新选编了 15 个试验。为适应当前高等级公路建设的需要，增选了一些新的试验项目，但考虑到各校仪器设备的差异，故仍作为任选项目。

5. 为便于国际学术交流以及学生学习英语的需要，凡属于道路建筑材料范畴的专业术语，在正文第一次出现时均加注英文。

6. 为尊重原作者的著作权，以及便于学生进一步深入研究教材内容、查阅原文。本教材各章节主要参考文献均附列于书末。凡属一般参考文献，仅列出文章及书名；对具体引用研究成果或图表、数据等时，用[ ]号注出参考文献编号。在此谨向原作者表示谢忱！

7. 本教材为道路与桥梁两个专业共用的教材，两专业对各章内容要求不同，各有侧重。本教材是按各章多学时专业编写的，希望任课教师按照教学大纲要求选用教材。

本版教材承蒙主审人东南大学李一鸣教授予以悉心审定，并提出宝贵的修改意见；同时，在修订编写过程中，承蒙西安公路交通大学、东南大学、长沙交通学院、北京工业大学、湖南大学、太原工学院、武汉城市建设学院、北京城市建设学院、上海城市建设学院、东北林业大学和福州大学等兄弟院校的领导和本课程有关老师对教材修订编写大纲提出宝贵意见，并提供有关科研和教学资料；在编写中还得到交通部公路科学研究所、交通部第二公路勘察设计院、中国建筑科学研究院建筑工程材料及制品研究所等单位提供的有关参考资料；本教材全部书稿由曹春临、王斌和严复源协助电脑打字及整理工作，谨此一并表示诚挚的感谢！

# 目 录

绪论	1
一、本课程的研究内容和任务	1
二、建筑材料在路桥工程中的作用及其应具备的性质	2
三、道路材料的检验方法和技术标准	3
四、道路材料质量的变异和控制	5
复习题、习题	7

## 第一篇 道路建筑材料

第一章 砂石材料	8
第一节 砂石材料的技术性质	8
一、石料的技术性质和技术要求	8
二、道路和桥涵用石料制品	16
三、集料的技术性质	18
四、冶金炉渣集料	26
第二节 矿质混合料的组成设计	27
一、矿质混合料的级配理论和级配曲线范围	27
二、矿质混合料的组成设计方法	31
小结	41
复习题、习题	42
第二章 石灰和水泥	44
第一节 石灰	44
一、石灰的生产工艺概述	44
二、石灰的消化和硬化	45
三、石灰的技术要求和技术标准	45
第二节 硅酸盐水泥	49
一、硅酸盐水泥生产工艺概述	50
二、硅酸盐水泥的化学成分和矿物组成	51
三、硅酸盐水泥的凝结和硬化	52
四、硅酸盐水泥的技术性质和技术标准	56
五、硅酸盐水泥石的腐蚀和防止	60
第三节 掺混合材水泥和其他品种水泥	61
一、掺混合材水泥	61
二、其他品种水泥	65

小结 .....	69
复习题 .....	69
<b>第三章 水泥混凝土和砂浆 .....</b>	<b>71</b>
<b>第一节 普通水泥混凝土 .....</b>	<b>71</b>
一、普通水泥混凝土的主要技术性质 .....	72
二、普通水泥混凝土的组成材料 .....	88
三、普通水泥混凝土的组成设计 .....	95
四、普通水泥混凝土的质量控制 .....	111
五、混凝土外加剂 .....	114
六、粉煤灰混凝土 .....	119
<b>第二节 其他功能混凝土 .....</b>	<b>122</b>
一、高强混凝土 .....	122
二、轻集料混凝土 .....	124
三、流态混凝土 .....	127
四、纤维增强混凝土 .....	128
五、碾压式水泥混凝土 .....	129
<b>第三节 建筑砂浆 .....</b>	<b>130</b>
一、砌筑砂浆 .....	130
二、抹面砂浆 .....	134
小结 .....	134
复习题、习题 .....	135
<b>第四章 沥青材料 .....</b>	<b>137</b>
<b>第一节 石油沥青 .....</b>	<b>137</b>
一、石油沥青的生产工艺概述 .....	137
二、石油沥青的组成和结构 .....	140
三、石油沥青的技术性质 .....	147
四、石油沥青的技术标准 .....	162
<b>第二节 其他沥青 .....</b>	<b>166</b>
一、煤沥青 .....	166
二、乳化沥青 .....	169
三、再生沥青 .....	176
四、改性沥青 .....	177
小结 .....	179
复习题、习题 .....	180
<b>第五章 沥青混合料 .....</b>	<b>181</b>
<b>第一节 热拌沥青混合料 .....</b>	<b>182</b>
一、沥青混合料的组成结构和强度形成原理 .....	182
二、沥青混合料的技术性质和技术标准 .....	189
三、沥青混合料组成材料的技术性质 .....	194
四、热拌沥青混合料配合比设计方法 .....	199

第二节 其他沥青混合料	209
一、常温沥青混合料	209
二、沥青稀浆封层混合料	209
三、桥面铺装材料	211
四、水泥混凝土路面填缝料	212
小结	213
复习题、习题	214
<b>第六章 工程高聚物材料</b>	<b>216</b>
第一节 工程高聚物材料基础	216
一、高聚物材料概论	216
二、几种主要高聚物材料介绍	223
第二节 高聚物材料在道路与桥梁工程中的应用	227
一、高聚物改性水泥混凝土	227
二、高聚物改性沥青混合料	229
小结	234
习题	234
<b>第七章 建筑钢材和木材</b>	<b>235</b>
第一节 建筑钢材	235
一、钢材的分类及建筑钢材的类属	235
二、建筑钢材的技术性质	236
三、化学成分对碳素钢技术性能的影响	240
四、桥梁建筑用钢材及其制品	241
第二节 建筑木材	252
一、建筑木材的构造和技术性质	252
二、建筑木材的缺陷和材质标准	260
小结	261
复习题	262

## 第二篇 道路建筑材料试验

<b>第一章 砂石材料试验</b>	<b>263</b>
试验一 石料的强度和磨耗试验(道路专业)	263
一、石料单轴抗压强度试验	263
二、石料磨耗试验	264
三、集料压碎值试验	266
四、石料强度和磨耗试验报告	267
试验二 集料的密度和级配试验	269
一、集料的表观密度、堆积密度和空隙率	269
二、集料的筛析和级配试验	273
三、级配计算和绘图	274



试验三 集料磨光性试验(任选).....	275
<b>第二章 石灰和水泥试验</b> .....	278
试验四 石灰有效氧化钙和氧化镁含量试验(道路专业).....	278
试验五 水泥胶砂强度和其他(演示)试验.....	282
一、水泥细度、标准稠度用水量、凝结时间和安定性试验(演示) .....	282
二、水泥的胶砂强度试验 .....	287
<b>第三章 水泥混凝土试验</b> .....	292
试验六 水泥混凝土拌和物的拌制和工作性试验.....	292
一、水泥混凝土拌和物的拌制 .....	292
二、水泥混凝土拌和物工作性试验 .....	293
三、试件成型与养护方法 .....	294
试验七 水泥混凝土的力学强度试验.....	295
一、水泥混凝土抗压强度试验 .....	295
二、水泥混凝土抗折强度试验(道路专业) .....	297
三、水泥混凝土轴心抗压强度试验(桥梁专业) .....	298
试验八 水泥混凝土强度早期推定(道路专业).....	299
<b>第四章 沥青材料试验</b> .....	301
试验九 石油沥青的针入度、延度和软化点试验 .....	301
一、石油沥青的针入度试验 .....	301
二、沥青延度试验 .....	303
三、沥青软化点试验 .....	305
试验十 沥青的粘度和其他(演示)试验(道路专业).....	308
一、沥青标准粘度试验 .....	308
二、沥青材料其他试验项目演示试验 .....	310
试验十一 石油沥青的化学组分和含蜡量试验(任选).....	310
一、石油沥青的化学组分(四组分)试验 .....	310
二、石油沥青蜡含量试验 .....	315
<b>第五章 沥青混合料试验</b> .....	318
试验十二 沥青混合料的制备和物理指标测定(道路专业).....	318
一、沥青混合料的制备和试件成型 .....	318
二、沥青混合料物理指标测定 .....	320
试验十三 沥青混合料马歇尔稳定度试验(道路专业).....	322
试验十四 沥青混合料车辙试验(任选).....	325
一、车辙试验用试件的制作 .....	325
二、沥青混合料车辙试验 .....	327
<b>第六章 建筑钢材试验</b> .....	329
试验十五 建筑钢材的硬度和冷弯试验(桥梁专业).....	329
一、硬度试验 .....	329
二、冷弯试验 .....	331
<b>主要参考文献</b> .....	334

# 绪 论

## 一、本课程的研究内容和任务

《道路建筑材料》是研究道路与桥梁建筑用各种材料的组成、性能和应用的一门课程。

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,而且对其质量也不断提出新的要求。现就本教材将讲述到的一些常用建筑材料分述如下:

1. 砂石材料 砂石材料有的是由地壳上层的岩石经自然风化得到的(天然砂砾),有的是经人工开采或再经轧制而得到的(如各种不同尺寸的碎石和石屑)。砂石材料可以直接用于铺筑路面,或砌筑各种桥梁结构物,但是,更重要的是作为配制水泥混凝土或沥青混合料的矿质集料。砂石材料在道路与桥梁建筑中的用量占有很大的比例。

现代冶金工业的发展,各种冶金重矿渣也是很好的集料。

2. 无机结合料及其制品 在道路与桥梁建筑中最常用到的无机结合料,主要是石灰和水泥。水泥是桥梁建筑中水泥混凝土和预应力混凝土结构的主要材料。随着高等级公路的发展,水泥混凝土路面已成为主要的路面类型之一,而随着半刚性路面的发展,使石灰和水泥广泛应用于路面基层,成为半刚性基层的重要组成部分。

此外,水泥砂浆是各种桥梁圬工结构物砌筑的重要结合料。

3. 有机结合料及其混合料 有机结合料主要是指沥青类材料,如石油沥青、煤沥青等。这些材料与不同粒径的集料组配,可以修筑成各种类型的沥青路面。现代高速公路和重型交通的路面,绝大部分是采用沥青混凝土修筑的,所以沥青混合料是现代路面建筑中极为重要的一种材料。

4. 高聚物材料 近年来随着我国化学工业的发展,各种高聚物逐渐应用于道路与桥梁工程中,除了可以替代传统材料外,更主要的是用来改善沥青混合料或水泥混凝土的性能,它是一种有发展前途的新材料。

5. 钢材和木材 钢材是桥梁钢结构及钢筋混凝土结构或预应力钢筋混凝土结构的重要组成部分。由于木材资源的宝贵,除了抢修工程或林区临时性工程外,木材较少直接用于修筑桥涵,目前主要用作混凝土工程的拱架和模板。

除上述这些常用材料外,随着现代材料科学的进步,在这些常用材料的基础上,又发展了新型的“复合材料”。复合材料是两种或两种以上不同化学组成或组织相的物质,以微观和宏观的物质形式组合而成的材料。复合材料可以克服单一材料的弱点,而发挥其综合的性能。道路材料的研究任务,不仅是要正确使用好各种常用材料,还要进一步改善现有材料,创造新型材料。

因此,在学习本课程时,应了解上述一些道路与桥梁建筑常用材料的技术性能以及检验方法;各种材料的内部组成结构及其与技术性能之间的关系;产源(天然材料)或加工工艺(人造材料)对其性能的影响;各种材料的技术性能以及存在的问题和改善途径;此外,也要注意合理选用和保管、运输等问题。

本课程是一门基础技术课,它与物理、化学等基础课以及材料力学、工程地质等基础技术课有着密切的联系,它是学习路面工程、桥梁工程专业课的基础。

## 二、建筑材料在路桥工程中的作用及其应具备的性质

### 1. 建筑材料在路桥工程中的作用

材料是工程结构物的物质基础。材料质量的优劣、配制是否合理以及选用是否适当等等,均直接影响结构物的质量。

在道路与桥梁结构物的修筑费用中,用于材料的费用约占30%~50%,某些重要工程甚至可达70%~80%。所以,要节约工程投资,降低工程造价,认真合理地选配和应用材料是很重要的一个环节。

在道路与桥梁工程中要实现新设计、新技术、新工艺,新材料亦为其中重要一环。许多新型先进设计,由于材料-关未能突破,因而长期未能实现。某些新材料的出现,又推动新技术的发展,所以,道路建筑材料的研究,是道路与桥梁技术发展的重要基础。

### 2. 道路材料应具备的性质

道路与桥梁工程都是一种承受频繁交通荷载反复作用的结构物,同时又是一种无遮盖而裸露于大自然的结构物。它不仅受到车辆复杂的力系作用,同时又受到各种自然因素的恶劣影响。所以,用于修筑道路与桥梁结构用的材料,不仅需要具有抵抗复杂应力作用下的综合力学性能;同时,还要保证在各种自然因素的长时期影响下,综合力学性能不产生明显的衰减,即所谓持久稳定性。

为了保证道路与桥梁建筑用建筑材料的综合力学强度和稳定性,就要求建筑材料具备下列四个方面的性质。

(1)力学性质 力学性质是材料抵抗车辆荷载复杂力系综合作用的性能。目前对建筑材料力学性质的测定,主要是测定各种静态的强度,如抗压、拉、弯、剪等强度;或者某些特殊设计的经验指标,如磨损、冲击等。有时假定材料的各种强度之间存在一定关系,以抗压强度作为基准,按其抗压强度折算为其他强度。

(2)物理性质 材料的力学强度随其环境条件而改变。影响材料力学性质的物理因素主要是温度和湿度。材料的强度随着温度的升高或含水率的增加而显著降低,通常用热稳定性或水稳定性等来表征其强度变化的程度。对于优质材料,其强度随着环境条件的变化应当较小。

此外,通常还要测定一些物理常数,如密度、实积率、孔隙率和空隙率等。这些物理常数是材料内部组成结构的反映,并与力学性质之间存在一定的相依性,可以用于推断力学性质。

(3)化学性质 化学性质是材料抵抗各种周围环境对其化学作用的性能。道路与桥梁用材料除了受到周围介质(如桥墩在工业污水中)或者其他侵蚀外,通常还受到大气因素(如气温的交替变化、日光中的紫外线、空气中的氧以及水等)的综合作用,引起材料的“老化”,特别是各种有机材料(如沥青材料等)更为显著。

(4)工艺性质 工艺性质是材料适于按照一定工艺流程加工的性能。例如,水泥混凝土在成型以前要求有一定的流动性,以便制作成一定形状的构件。但是加工工艺不同,要求的流动性亦不同。

建筑材料这四方面性能是互相联系、互相制约的,在研究材料性能时,往往要把各方面性能联系起来统一考虑。

### 三、道路材料的检验方法和技术标准

#### 1. 道路材料的一般检验方法

道路与桥梁建筑材料应具备的性能已如前述,对于这些性能的检验,必须通过适当的测试手段来进行。检定供作道路与桥梁用材料在实际结构物中的性质,通常可采用实验室内原材料性能检定、实验室内模拟结构检定以及现场修筑试验性结构物检定等方法。而本课程主要着重于实验室内原材料性能的检定。

室内材料试验包括下列内容:

(1)物理性质试验 测定道路桥梁用材料的物理常数,除了提供材料组成设计时用的一些原始资料外,同时因为物理常数是材料内部组成结构的反映,所以,通过物理常数测定可以间接推断材料的力学性能。

(2)力学性质试验 目前建筑材料的力学性质,主要是采用各种试验机测定其静态力学性能,如抗压、拉、弯、剪等强度。

随着基础科学的发展,使得测定材料真实性能有了可能。考虑到道路建筑材料在不同温度与不同荷载作用时间条件下动态的弹-粘-塑性能,用以描述材料的真实性能,例如,沥青混合料在不同温度与不同作用时间条件下的动态劲度,以及采用特殊设备或动态三轴仪来测定在复杂应力作用下,不同频率和间歇时间的沥青混合料的疲劳强度等,使材料的力学性质与其在路上的实际受力状态较为接近,也对现代考虑粘-塑性的路面设计方法提供一定的参数。

(3)化学性质试验 对于材料化学性质的试验,通常只作材料简单化合物(如CaO、MgO)含量或有害物质含量的分析。目前进一步发展,可作某些材料(如沥青)的“组分”分析,这样可以初步地了解材料的组成与性能的关系。随着近代测试技术发展,例如核磁共振波谱、红外光谱、X-射线衍射和扫描电子显微镜等在沥青材料分析中应用,促进了沥青化学结构与路用性能的相依性的研究,有可能从化学结构上来设计性能要求的沥青材料。

(4)工艺性质试验 现代工艺试验主要是将一些经验的指标与工艺要求联系起来,尚缺乏科学理论的分析。随着流变力学、断裂力学等的发展,许多材料工艺性质的试验按照流变-断裂学理论来进行分析,并提出不同的方法。例如,沥青混合料的摊铺性质采用流动性系数等指标来控制。关于这方面的发展可说是日新月异。

#### 2. 道路材料质量的标准化和技术标准

应用于道路与桥梁的材料及其制品必须具备一定的技术性质,以适应道路结构物不同建筑结构与施工条件的要求。这些要求由国家标准或有关的技术规范规定一些技术指标,在道路设计与建筑过程中我们应按这些指标来评价道路材料的质量。

为了保证建筑材料的质量,我国对各种材料制定了专门的技术标准。目前我国建筑材料的标准分为:国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四个等级。

对需要在全国范围内统一的技术要求,应当制定国家标准。国家标准由国务院标准化行政主管部门制定。

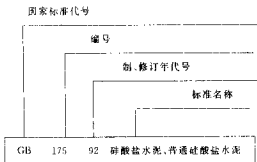
对没有国家标准而又需要在全国某行业范围内统一的技术要求,可以制定行业标准。行业标准由国务院有关行政主管部门制定,并报国务院标准化行政主管部门备案。在公布国家标准之后,该项行业标准即行废止。

此外,对没有国家标准和行业标准,又需在省、自治区、直辖市范围内统一要求,可以制定地方标准。企业生产的产品没有国家标准和行业标准的,应当制定企业标准,作为组织生产的依据。

国家标准和行业标准表示方法

(1)国家标准的表示方法 国家标准由国家标准代号、编号、制定、修订年份、标准名称等四个部分组成。

现以硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥为例表示如下:

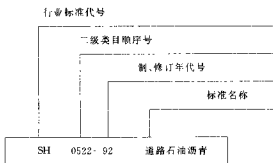


国家标准修订时标准代号和编号不变,只改变制、修订年代号。例如上述标准原为1977年制定的GB175-77;1988年修订为GB175-88;1992年修订为GB175-92。

强制性国家标准代号为GB,推荐性国家标准在GB后加“T”。例如:

GB/T1509-81 石油沥青针入度测定方法

(2)行业标准表示方法 行业标准由行业标准代号、一级类目代号、二级类目代号、二级类目序号、制修订年代号、标准名称等部分组成。



推荐性行业标准,同样在行业标准后加“T”。例如:

SH/T0509-92 石油沥青组分测定方法

我国国家标准及与道路材料有关的几个行业标准代号示例如表0-1。

国家标准和行业标准代号

表 0-1

标准名称	代号(汉语拼音)	示 例
国家标准	国标 GB(Guo Biao)	GB 175-92 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥
交通行业标准	交通 JT(Jiao Tong)	JTJ 052-93 公路工程沥青及沥青混合料试验规程
建材行业标准	建材 JC(Jian Cai)	JC/T 479-92 建筑生石灰
石油化工行业标准	石化 SH(Shi Hua)	SH 0522-92 道路石油沥青
黑色冶金行业标准	冶标 YB(Ye Biao)	YB/T 030-92 煤沥青筑路油

为研究国外有关道路建筑材料的科学技术,现将国际及国外几个主要国家的标准代号列于表0-2中。

国际标准和国外国家标准代号

表 0-2

标准名称	缩写(全名)
国际标准	ISO(International Standard Organization)
美国国家标准	ANS(American National Standard)
美国材料与试验学会标准	ASTM(American Society for Testing and Materials)

标准名称	缩写(全名)
原苏联国家标准	ГСТ(Государственный Стандарт СССР)
英国标准	BS(British Standard)
德国工业标准	DIN(Deutsche Industrie Normen)
日本工业标准	JIS(Japanese Industrial Standard)
法国标准	NF(Normes Françaises)

#### 四、道路材料质量的变异和控制<sup>①</sup>

##### 1. 变异性参数

道路材料的质量,可以通过试验的数据来反映。但是,由于材料质量的变异,测定的数据有一定的波动。材料质量变异的程度,可采用下列方法表示:

(1)平均差(Average deviation) 每次测定值与平均值的差的绝对值的总和除以测定次数的商,可按式(0-1)求得:

$$\delta = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n} \quad (0-1)$$

式中: $\delta$ ——平均差;

$x_i$ ——某次测定值, $i=1,2,3,\dots,n$ ;

$\bar{x}$ ——算术平均值,由式(0-1')求得:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (0-1')$$

平均差是表达复演性的尺度方法之一。

(2)标准差(Standard deviation) 每次测定值与平均值之差的均方根值,亦称“均方根差”,可按式(0-2)求得:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (0-2)$$

但在有限样本容量条件下,采用式(0-2')表示:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (0-2')$$

式中: $\sigma$ ——标准差;

$x_i, \bar{x}$ ——意义同前。

标准差是用于表达一组测试值复演性的尺度,其优点是较平均差更准确地反映复演性的优劣。

(3)变异系数(Coefficient of variation) 一组测定值的标准差和其算术平均值之比,亦称“高差系数”,可按式(0-3)求得:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100(\%) \quad (0-3)$$

##### 2. 正态分布(Normal distribution)

在对某一测试对象进行多次测试时,测得值在一定范围内波动,其中接近平均值的数值占多数,大于和小于平均值的频率近乎一样,远离平均值的占少数,这种分布规律称为“正态分布”。用图线表示称为正态分布曲线,如图0-1。在路面材料试验中得到的数据分布规律,多为正态分布。正态分布的概率密度函数见式(0-4):

$$y = f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \right)^2} \quad (0-4)$$

<sup>①</sup> 对已学过《数理统计》课程的学生,本节可不讲。

式中:  $y$  —— 测定值的概率密度;

$x$  —— 某测定值;

$\bar{x}$  —— 测定值的平均值;

$\sigma$  —— 标准差;

$e$  —— 自然对数值;

$\pi$  —— 圆周率。

由以上可知, 正态分布曲线, 由平均值  $\bar{x}$  和标准差  $\sigma$  所决定。  $\bar{x}$  决定了曲线峰值的位置,  $\sigma$  决定了曲线峰值的大小和曲线陡度。  $\sigma$  越小则曲线范围越窄, 表示了测定值离散度小;  $\sigma$  越大则曲线范围越宽, 表示离散度大。

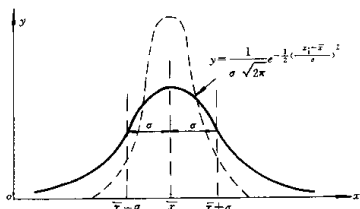


图 0-1 正态分布曲线

若以保证率系数  $t = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$  代入式(0-4)则得:

$$y = f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}t^2} \quad (0-5)$$

为了标准化, 转化为  $N(0, 1)$  的正态分布, 如图 0-2, 此时  $y$  轴已移到图形最高点的位置, 左右两支曲线与  $y$  轴相对称。

整个正态分布曲线与横轴之间所包含的总面积(即频率)应为 1, 可按式(0-6)求得。

$$P = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) dt = 1 \quad (0-6)$$

则区间  $(0, t)$  的面积可按式(0-7)求得:

$$P = \int_0^t f(t) dt \quad (0-7)$$

在区间  $(-t, +\infty)$  的面积(即保证率)可按式(0-8)或式(0-9)求得:

$$P' = \int_0^t f(t) dt + \int_{-\infty}^0 f(t) dt \quad (0-8)$$

或

$$P' = 0.5000 + \int_0^t f(t) dt \quad (0-9)$$

式中保证率  $P'$  值可根据保证率系数  $t$  值查表 0-3 求得。

保证率系数( $t$ )与保证率( $P'$ )关系表

表 0-3

$t$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8819	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8941	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9293	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767

续上表

$-t$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9907	0.9909	0.9912	0.9914	0.9916
2.4	0.9918	0.9921	0.9923	0.9925	0.9927	0.9926	0.9931	0.9933	0.9935	0.9937

注:1. 保证率大于50%时,保证率系数为负值;

2. 表中查出的保证率面积为自 $-t$ 至 $>>$ 的面积,参见图0-2。

【例题】桥梁工地生产供桥梁上部结构用混凝土,按图纸设计强度 $f_{c,k}=40\text{MPa}$ ,由现场按规定方法取样,制成标准尺寸的试块,经标准条件养护28d后,测试各组混凝土强度代表值列如表0-4。试求其变异参数和保证率。

表 0-4

水泥混凝土立方抗压强度 $f_{c,i}$ (MPa)										
42.2	45.3	38.5	44.0	48.2	47.5	43.3	44.0	44.7	43.4	46.3
39.3	36.1	45.8	45.8	43.8	42.4	37.5	44.0	38.0	45.4	44.0
46.1	38.2	43.8	47.3	43.2	45.7	45.2	43.2	$\Sigma=1302.5$		

【解】1. 计算变异性参数,由公式(0-1')、(0-2)和(0-3)得:

(1) 算术平均值  $\mu_{10}=43.4\text{MPa}$ ;(2) 标准差  $\sigma=3.1\text{MPa}$ ;(3) 变异系数  $C_v=7.1\%$ 。

2. 确定保证率

(1) 保证率系数  $t = \frac{f_{c,k} - \mu_{10}}{\sigma} = \frac{40 - 43.4}{3.1} = -1.097$ (2) 保证率 根据表0-1,当 $t=-1.097$ 时,保证率 $P=86\%$ 。

## 复 习 题

0-1 试论道路建筑材料的研究内容和任务及其在路桥工程建设中的地位和作用。

0-2 何谓复合材料?它具有什么优越性?并举例加以说明。

0-3 试论道路建筑用材料应具备的主要技术性质以及试验室常用的一般检测方法。

## 习 题

【题目】某桥上部结构用水泥混凝土设计强度 $f_{c,k}=30\text{MPa}$ 。在施工过程经试验室抽取代表性混凝土样品,按标准方法制成试件,经28d养护后测定各组抗压强度代表值 $f_{c,i}$ ,列于表0-5中。试计算该混凝土质量的变异参数,并求其保证率。

表 0-5

水泥混凝土立方抗压强度 $f_{c,i}$ (MPa)									
33.8	36.4	29.8	34.0	34.8	31.8	33.2	35.8	38.8	36.2
34.7	35.4	36.0	29.3	36.6	33.8	35.8	33.2	32.2	33.5
35.3	36.8	32.4	34.6	31.9	28.0	29.8	32.4	32.8	35.8



# 第一篇 道路建筑材料

## 第一章 砂石材料

### 内容提要和学习要求

本章着重阐述砂石材料的技术性质和技术要求,以及矿质混合料的级配理论和组成设计方法。同时对石料制品和矿渣集料也作简要介绍。

通过本章学习,要求学生了解砂石材料的技术性质和技术要求,掌握级配理论和组成设计方法,会用图解法和试算法设计矿质混合料的配合比。

砂石材料是道路与桥梁建筑中用量最大的一种建筑材料,它可以直接(或经加工后)用作道路与桥梁的圬工结构,亦可加工成各种尺寸的集料,作为水泥(或沥青)混凝土的骨料。用作道路与桥梁建筑的石料或集料都应具备一定的技术性质,以适应不同工程建筑的技术要求。特别是作为水泥(或沥青)混凝土用的集料,应按级配理论组成,因此,还必须掌握其组成设计的方法。

### 第一节 砂石材料的技术性质

砂石材料包括:天然砂石料、人工轧制的集料以及工业冶金矿渣集料等,本节将对这些材料的技术性质予以论述。

#### 一、石料的技术性质和技术要求

##### ★(一)石料的技术性质

石料的技术性质,主要从物理性质、力学性质和化学性质三方面来进行评价。

##### 1. 物理性质

石料的物理性质包括:物理常数(如真实密度、毛体积密度和孔隙率等)、吸水性(如吸水率、饱水率等)和耐候性(耐冻性、坚固性等)。

##### 1) 物理常数

石料的物理常数是石料矿物组成结构状态的反映,它与石料的技术性质有着密切的联系。石料可由各种矿物形成不同排列的各种结构,但是从质量和体积的物理观点出发,石料的内部组成结构主要是由矿物实体和孔隙(包括与外界连通的开口孔隙和不与外界连通的闭口孔隙)所组成,可示意如图 1-1a)。各部分的质量与体积的关系可示意如图 1-1b)。

为了反映石料的组成结构以及它与物理、力学性质间的关系,通常采用一些物理常数来