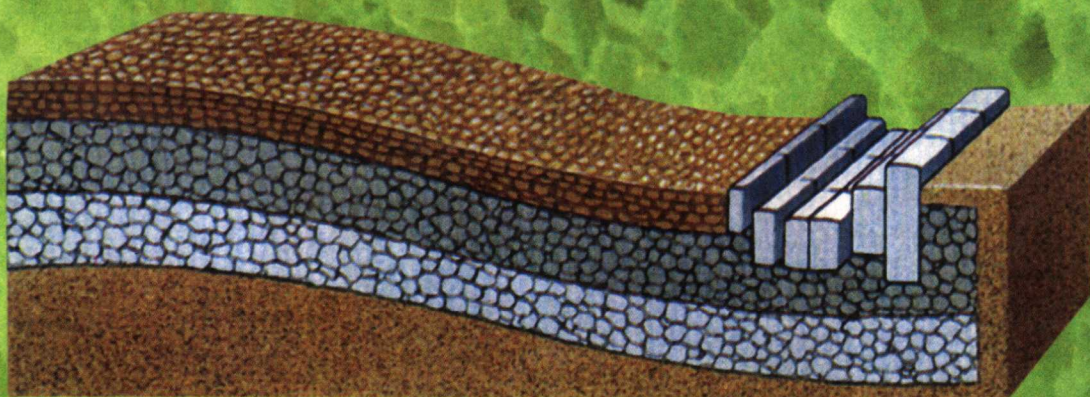


道路建筑材料

主 编 邵连河
副主编 孙 凌
主 审 苏 群



人民交通出版社

Daolu Jianzhu Cailiao

道路建筑材料

主 编 邵连河

副主编 孙 凌

主 审 苏 群

人民交通出版社

内 容 提 要

本书共两篇。第一篇为道路建筑材料,介绍砂石材料、石灰和水泥、水泥混凝土和砂浆、沥青材料、沥青混合料、建筑钢材;第二篇为道路建筑材料试验,介绍材料试验目的、设备、步骤及资料整理,共三章 24 个试验。

本书为交通高等专科学校公路与城市道路专业教材,也可供有关专业技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

道路建筑材料/邵连河主编.-北京:人民交通出版社,1998

ISBN 7-114-03071-1

I.道… II.邵… III.道路工程-建筑材料 IV.U414

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 24811 号

道路建筑材料

邵连河 主编 孙凌 副主编 苏群 主审

正文设计:刘洪 责任校对:高琳 赵瑞琴

责任印制:张凯

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号)

各地新华书店经销

北京通州京华印刷制版厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:15 字数:368 千

1998 年 9 月 第 1 版

1999 年 5 月 第 1 版 第 2 次印刷

印数:6001—9500 册 定价:24.00 元

ISBN7-114-03071-1

U · 02208

前 言

交通高等专科学校公路与城市道路专业的学生,应具有较强的专业基本知识和熟练的基本操作技能。为满足培养公路与城市道路专业的高级应用性人才对道路建筑材料的基本知识和基本操作技能的需要,根据黑龙江交通高等专科学校、南京交通高等专科学校、济南交通高等专科学校和辽宁交通高等专科学校四校教学协作会议的决定,编写了本教材。

在教材编写过程中,力求使教材能反映道路建筑材料的新理论和新技术,突出了学生的应用能力的培养,并采用了新颁布的技术标准和技术规范的有关规定。

为了适应当前高等级公路建设的需要,为了培养学生的专业技术应用能力,较大幅度地改变了实践教学的内容和结构。即联系高等级公路修建的实际,根据新颁布的国家标准和行业试验规程等增选了一些新的试验项目,并将试验分成三大部分,第一章 石灰、水泥及钢材;第二章 水泥混凝土;第三章 沥青混合料。根据水泥混凝土和沥青混合料对不同材料和集料的不同要求,分别在这两部分里安排了石料和集料的试验,这样安排使每项试验都各自独立又相互联系;并建议试验课采取集中强化训练方式进行。

为便于学生自学,每章内容之前列有重点内容和学习要求,各章均列有复习题和计算题。正文中,对次要内容和参考内容采用新 5 号字排印,供学生课外学习研究。在附录中还列出了主要参考书目和文献。

本书由黑龙江交通高等专科学校邵连河主编,孙凌副主编。具体编写情况是,邵连河编写绪论、第六章;孙凌编写第二章及试验部分;王百成编写第三章;南京交通高等专科学校虞娟编写第五章;济南交通高等专科学校张爱勤编写第一章;辽宁交通高等专科学校关磊编写第四章。全书由黑龙江交通高等专科学校苏群主审。

限于编者水平,书中缺点和错误在所难免,敬请读者提出宝贵意见。

1997 年 12 月

绪 论

《道路建筑材料》是道路与桥梁专业的一门基础技术课,是研究道路与桥梁用材料性能的一门科学。

一、建筑材料与路桥工程的关系

材料是工程结构物的物质基础,道路建筑材料是道路、桥梁等工程结构物的物质基础。材料质量的好坏,配制是否合理及选用是否适当等,均直接影响结构物的质量。道路工程结构物裸露于大自然中,承受瞬时、反复动荷载的作用,材料的性能和质量对结构物的使用性能影响极大。近年来由于交通量的迅速增长和车辆行驶的渠化,一些高等级路面出现较严重的波浪、车辙等现象,与材料的性质有一定的关系。

材料的使用与工程造价密切相关,在道路与桥梁结构的修建费用中,道路材料费用通常在道路工程总造价中约占 60%。因此,合理地选择和使用材料,尽量就地取材,对节约工程投资、降低工程造价十分必要。

材料科学的进步,可以给工程提供优质的材料。工程建筑设计,工艺的更新换代,往往要依赖于新材料的发展;同时,新材料的出现和使用,必然导致工程建筑设计、工艺的新突破,在道路与桥梁工程建设中,材料同样是促进道路与桥梁工程技术发展的重要基础。

二、建筑材料应具备的工程性质

道路与桥梁建筑物,既受到车辆荷载的复杂力系作用,又受到各种复杂的自然因素的恶劣影响,所以,用于修建道路与桥梁的材料,不仅要具备有一定的力学性能,同时,还要有在恶劣的自然因素的作用下,不产生明显强度下降的耐久性。这就要求道路材料应具备以下几方面性质:

1. 力学性质

力学性质是指材料抵抗车辆荷载复杂力系综合作用的能力。目前除了通过静态的拉、压、弯、剪等试验来反映材料的力学性质外,还采用磨损、磨光、冲击等试验来反映其性能等。

2. 物理性质

通常通过测定材料的物理常数,如真密度、毛体积密度、孔隙率、含水量等来了解材料的内部组成结构,并且由于物理常数与力学性能之间有一定的相关性,可以用来推断材料的力学性能。

影响材料性质的主要因素是温度和湿度。一般材料随温度的升高、湿度的加大,则强度降低。因此,测定材料的温度稳定性、水稳定性是某些材料性能的主要指标之一。

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。道路与桥梁用材料在受到周围介质(如桥墩在工业污水中)的侵蚀下,会导致强度降低;在受到大气因素(如气温的交替变化,日光中的紫外线,空气中的氧、水等)的综合作用,会引起材料的老化,特别是各种有机材料(如沥青材料等)更为显著。

4. 工艺性质

工艺性质是指材料适合于按一定工艺要求加工的性能。例如,水泥混凝土拌合物需要一定

的和易性,以便浇筑。材料工艺性质是通过一定的试验方法和指标进行控制。

三、道路建筑材料检验方法及技术标准

道路建筑材料试验是本课程的一个重要组成部分。材料应具有一定的技术性能,而对这些性能的检验。必须通过适当测试手段来进行。材料性质的检验分为实验室室内检验和施工现场的实地检验,本课程主要研究在实验室内对原材料性质的检验及复合材料性能的检验,学习道路与桥梁建筑中常用材料的常规试验方法。

建筑材料及其制品必须具备一定的技术性质,以满足工程的需要。由于材料自身固有的特性,以及试验方法的不同导致试验结果的差异,必须有统一的技术质量要求和统一的试验方法进行评价。这些方法体现在国家标准或有关的技术规范、规定的各项技术指标中,在选用材料及施工中都应按技术标准、规范执行。我国技术标准分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准等四类。对需要在全国范围内统一的需制定“国家标准”,国家标准由国务院标准化行政主管部门编制计划、组织草拟、统一审批、编号、发布。我国国家标准以符号“GB”代表,此外还要注明编号,制定、修订年份、标准名称等。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。

四、本课程研究的内容、任务、目的及与其他课程的关系

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,而且对其质量也提出更新的要求。现就本教材主要讲述的内容分述如下:

1. 砂石材料

砂石材料是人工开采的岩石或轧制的碎石以及地壳表层岩石经天然风化而得到的。砂石材料可以直接应用于砌筑道路、桥梁工程结构物或铺筑隧道基础,也可以作为集料应用于配制水泥混凝土和沥青混合料。

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。水泥混凝土作为无机结合料的主要制品成为最广泛的工程材料。另外,随着半刚性路面的发展,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材料。

3. 有机结合料及其混合料

有机结合料主要指沥青材料,这种材料与不同粒径和级配的集料组成沥青混合料可以铺筑成各种类型的沥青路面,成为现代公路建设中一种极为重要的筑路材料。

4. 建筑钢材

钢材是桥梁钢结构及钢筋混凝土结构的重要材料。

本课程的主要任务是论述材料的组成、结构、技术性质及它们之间的关系,论述某些材料的强度理论及其影响因素;论述材料的检验方法,进行试验并评定其技术性质;论述材料的优缺点和可能改善的途径。

本课程的目的是通过上述基本内容的讲述和试验操作,从而使学生掌握材料的基本理论和性能,能够正确地使用材料,准确地鉴定材料,科学地改善材料和创造性地研制材料。

本课程是一门技术基础课程,它与物理学、化学、数学、力学和工程地质学等学科有着密切的联系。同时,它也为后继学科“桥梁工程”、“路基路面工程”等专业课提供材料方面的基础知识。

目 录

绪论	1
一、建筑材料与路桥工程的关系	1
二、建筑材料应具备的工程性质	1
三、道路建筑材料检验方法及技术标准	2
四、本课程研究的内容、任务、目的及与其他课程的关系	2

第一篇 道路建筑材料

第一章 砂石材料	1
第一节 砂石材料的技术性质	1
一、石料的技术性质	1
二、石料的技术标准	7
三、集料的技术性质	8
四、道路与桥梁用石料制品	15
五、冶金矿渣集料	17
第二节 矿质混合料的组成设计	19
一、矿质混合料的级配理论	19
二、级配曲线范围的绘制	22
三、矿质混合料的组成设计方法	23
复习题	29
习题	30
第二章 石灰和水泥	31
第一节 石灰	31
一、石灰的生产工艺概述	31
二、石灰的消化和硬化	31
三、石灰的技术要求和技术标准	32
第二节 水泥	35
一、硅酸盐水泥及普通硅酸盐水泥	35
二、掺混合材料水泥	45
三、其它品种水泥	46
复习题	50
第三章 水泥混凝土和砂浆	51
第一节 普通水泥混凝土	51
一、普通水泥混凝土的技术性质	52
二、普通水泥混凝土组成材料的技术要求	64
三、普通水泥混凝土的组成设计	69
四、普通水泥混凝土的质量控制	83

五、混凝土外加剂·····	86
第二节 其它功能混凝土·····	89
一、高强混凝土·····	89
二、轻集料混凝土·····	89
三、碾压混凝土·····	91
四、流态混凝土·····	91
五、纤维增强混凝土·····	92
第三节 建筑砂浆·····	92
一、砌筑砂浆·····	92
二、抹面砂浆·····	95
复习题·····	95
习题·····	96
第四章 沥青材料·····	98
第一节 石油沥青·····	98
一、石油沥青的生产工艺概述·····	98
二、石油沥青的组成和结构·····	99
三、石油沥青的技术性质·····	102
四、石油沥青的改性措施·····	110
五、石油沥青的技术标准·····	110
第二节 煤沥青·····	111
一、煤沥青的化学组成和结构特点·····	111
二、煤沥青的技术性质与技术标准·····	113
第三节 乳化沥青·····	115
一、概述·····	115
二、乳化沥青的组成材料·····	116
三、乳化沥青的形成机理·····	118
四、乳化沥青的制备·····	120
五、乳化沥青分裂·····	121
六、阳离子乳化沥青的分类和质量标准·····	121
复习题·····	122
第五章 沥青混合料·····	123
一、沥青混合料的定义·····	123
二、沥青混合料的分类·····	123
三、沥青混合料的基本性质·····	123
第一节 热拌沥青混合料·····	124
一、沥青混合料的组成结构和强度理论·····	124
二、沥青混合料的技术性质·····	127
三、沥青混合料的技术标准·····	128
四、沥青混合料组成材料·····	131
五、沥青混合料配合比设计·····	135

第二节 其它沥青混合料	141
一、冷铺沥青混合料	141
二、煤沥青混合料	141
三、桥面铺装材料	142
四、水泥混凝土路面填料	142
复习题	144
习题	144
第六章 建筑钢材	146
第一节 钢材的分类及其技术性质	146
一、钢的分类	146
二、钢材的技术性质	147
第二节 化学成分对钢材性能的影响	150
一、有益的元素	150
二、有害元素	150
第三节 建筑钢材的技术标准	151
一、钢结构用钢材	151
二、钢筋混凝土结构用钢材	153
复习题	156

第二篇 道路建筑材料试验

第一章 石灰、水泥及钢材	157
试验一 石灰中有效氧化钙和氧化镁含量试验	157
试验二 水泥细度、标准稠度用水量、凝结时间和体积安定性试验	161
试验三 水泥胶砂强度试验	168
试验四 钢筋的拉伸试验	171
试验五 钢筋的冷弯试验	175
第二章 水泥混凝土	178
试验六 集料的表观密度、装填密度和空隙率试验	178
试验七 粗集料针、片状颗粒含量试验	184
试验八 水泥混凝土粗集料压碎指标值试验	185
试验九 集料含水率试验	186
试验十 集料的含泥量试验	187
试验十一 混凝土配合比设计	190
试验十二 水泥混凝土拌和物的拌制和工作性试验	191
试验十三 水泥混凝土力学强度试验	195
试验十四 混凝土拌和物实测密度	198
第三章 沥青及沥青混合料试验	200
试验十五 石油沥青的针入度、延度和软化点试验	200
试验十六 沥青的脆点试验(选做)	207
试验十七 石料的抗压强度和磨耗试验	208

试验十八 沥青的粘附性试验.....	212
试验十九 粗、细集料的筛析试验	214
试验二十 沥青混合料组成设计.....	217
试验二十一 沥青混合料的制备.....	219
试验二十二 沥青混合料物理指标测定.....	221
试验二十三 沥青混合料马歇尔稳定度试验.....	222
试验二十四 沥青混合料车辙试验(选做).....	224
主要参考文献.....	229

第一篇 道路建筑材料

第一章 砂 石 材 料

[重点内容和学习要求]

本章重点讲述砂石材料的技术性质和技术要求、矿质混合料的级配理论和组成设计方法。

通过学习,要求必须了解评价砂石材料技术性质的主要指标,学会检验砂石材料技术性质的方法;学会应用级配理论设计矿质混合料配合组成的方法。

砂石材料是道路与桥梁建筑中用量最大的一种建筑材料。它可以直接用作道路与桥梁的圬工结构,亦可以加工为各种尺寸的集料,作为水泥混凝土和沥青混合料的骨料。用作道路与桥梁建筑的石料或集料应具备一定的技术性质,以适应不同工程建筑的技术要求。特别是对于水泥混凝土和沥青混合料中所用的集料,还必须依据级配理论组配成符合级配要求的矿质混合料。

第一节 砂石材料的技术性质

按照不同用途,砂石材料可分为石料、集料和矿质混合料。

一、石料的技术性质

石料主要指可以加工成一定规则形状的,并可以直接用于路桥工程建筑的块石。

石料的技术性质,主要从物理性质、化学性质和力学性质三个方面来进行评价。

(一)物理性质

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。一块规则(或不规则)的石料,按照其内部组成结构,可视作由矿质实体、闭口(不与外界联通的)孔隙和开口(与外界联通的)孔隙三部分组成,示意如图 1-1a)。各部分的质量与体积的关系示意如图 1-1b)。

路桥工程所用块状石料,最常采用的物理常数主要有密度、毛体积密度、表观密度和孔隙率。这些物理常数在一定程度上表征材料的内部组成结构,可以间接地预测石料的有关物理性质和力学性质。

1) 密度

石料的密度是在规定条件(干燥、试验温度为 20℃)下,烘干石料矿质实体单位体积(不包括开口和闭口孔隙体积)的质量。

由图 1-1b)可知,石料的密度可表达如式(1-1)。

$$\rho_s = \frac{m_s}{v_s} \quad (1-1)$$

式中: ρ_s ——石料的密度, g/cm³;

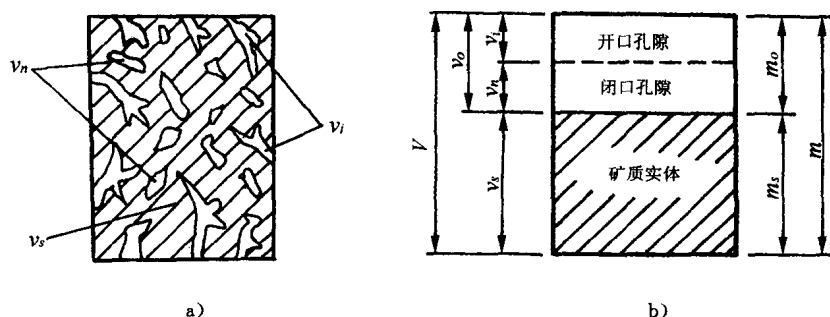


图 1-1 石料结构示意图

a) 石料结构组成示意图; b) 石料结构的质量与体积关系示意图

m_s ——石料矿质实体的质量, g;

V_s ——石料矿质实体的体积, cm^3 。

因试验的条件是在空气中称量石料的质量, 故 $m_0 = 0$, $m_s = m$, 则式 (1-1) 可改写为式 (1-1')

$$\rho_s = \frac{m}{V_s} \quad (1-1')$$

式中: ρ_s, V_s —— 意义同前;

m —— 烘干石料试样的质量, g。

石料密度的测定可采用比重瓶法或李氏比重瓶法。要获得矿质实体的体积, 必须将石料粉碎磨细, 然后通过试验测定出来。

2) 表观密度

为方便起见, 生产上往往不采用上述方法来求得矿质实体的体积, 而是将石料饱水后, 按排水法测定其体积。所测得的体积包括矿质实体体积和闭口孔隙体积, 称之为表观体积。

在规定条件下, 石料单位表观体积 (矿质实体体积 + 闭口孔隙体积) 的质量, 称为表观密度, 亦称视密度。

由图 1-1b) 可知, 表观密度可表示如式 (1-2)。

$$\rho'_s = \frac{m}{V_s + V_n} \quad (1-2)$$

式中: ρ'_s —— 石料的表观密度, g/cm^3 ;

m, V_s —— 意义同前;

V_n —— 石料闭口孔隙体积, cm^3 。

3) 毛体积密度

石料的毛体积密度是在规定试验条件下, 烘干石料单位体积 (包括孔隙在内) 的质量。

由图 1-1b) 可知, 石料的毛体积密度可表示如式 (1-3)。

$$\rho_h = \frac{m}{v_s + v_i + v_n} \quad (1-3)$$

式中: ρ_h —— 石料的毛体积密度, g/cm^3 ;

v_i —— 石料开口孔隙体积, cm^3 ;

m, v_s, v_n —— 意义同前。

因: $v_s + v_i + v_n = V$, 故式 (1-3) 可改写为式 (1-3')。

$$\rho_h = \frac{m}{V} \quad (1-3')$$

式中: ρ_h, m —— 意义同前;

V —— 石料的总体积, cm^3 。

石料的毛体积密度测定可将石料加工为规则形状石料试件, 采用精密量具测量其几何形状的方法计算其体积; 对于遇水崩解、溶解和干缩湿胀性松软石料, 应采用封蜡法测定。

4) 孔隙率

石料的孔隙率是石料的孔隙体积占其总体积的百分率。

由图 1-1b) 可知, 石料的孔隙率可表示如式(1-4)。

$$n = \frac{v_0}{V} \times 100 \quad (1-4)$$

式中: n —— 石料的孔隙率, %;

v_0 —— 石料孔隙(包括开口和闭口孔隙) 体积, cm^3 ;

V —— 意义同前。

孔隙率可按式(1-4')由密度和毛体积密度计算得到。

$$n = \left(1 - \frac{\rho_h}{\rho_t}\right) \times 100 \quad (1-4')$$

式中: n, ρ_h, ρ_t —— 意义同前。

2. 吸水性

水与石料相互作用后, 水除了润湿石料的矿物外, 并部分填充石料的孔隙, 因此水对石料的作用主要取决于石料造岩矿物的性质及其组成的结构状态(即孔隙大小和分布情况), 可通过石料的吸水性来反映。为了解石料的吸水性, 在工程上常采用吸水率和饱水率这两项指标来表征。

1) 吸水率

石料的吸水率是指在室内常温($20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$)和大气压条件下, 石料试件最大的吸水质量占烘干石料试件质量的百分率。吸水率按式(1-5)计算。

$$\omega_x = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (1-5)$$

式中: ω_x —— 石料的吸水率, %;

m_1 —— 烘干石料试件的质量, g;

m_2 —— 吸水至恒重时石料试件的质量, g。

2) 饱水率

石料的饱水率是指石料在常温($20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$)和真空(真空度为 20mmHg)条件下的最大吸水质量占烘干石料试件质量的百分率。

饱水率的计算方法与吸水率相同。只是因为饱水率是在石料抽至真空的条件下测定的, 所以水几乎充满开口孔隙的全部体积, 因此, 饱水率较吸水率大。

吸水率和饱水率能有效地反映岩石微裂隙的发育程度, 可用来判断岩石的抗冻性和抗风化等性能。国外广泛地将这两项指标与其它物理力学的特征值建立关系。

3. 抗冻性

道路与桥梁都是暴露于大自然中无遮盖的建筑物, 经常受到各种自然因素的影响。用于路桥工程建筑的石料, 长期受到各种自然因素的综合作用, 会逐渐引起力学强度的衰减。

在工程中引起石料组织结构破坏而导致力学强度降低的因素,首先是温度升降的作用,即由于温度升降产生温度应力作用而引起石料内部组织结构的破坏;其次是石料在潮湿条件下,受到正负气温的交替冻融作用而引起的石料内部组织结构的破坏。究竟何者为主导因素取决于当地的气候条件。一般在大多数地区,后者占主导作用。因此,目前对路桥工程建筑用石料,在某些气候条件下,必须要求其抗冻性。石料的抗冻性是指石料在饱水状态下,抵抗反复冻结和融化的性能。现行测定抗冻性的方法有直接冻融法和硫酸钠坚固性法。

1)直接冻融法

直接冻融法是测定石料抗冻性的主要试验方法。此方法是将石料制备成直径和高均为50mm的圆柱体或边长为50mm的立方体试件,放入烘箱(105℃±5℃)烘至恒重,冷却后称其质量。按吸水率试验方法让试件吸水饱和,然后取出擦去表面水分,置于冰箱(-15℃)冻结4h,然后取出放入25℃±5℃的水中融解4h,如此为一次冻融循环。经反复冻融至规定次数为止。将冻融后的试件再烘干至恒重,并称其质量。对于不同的工程环境气候条件,冻融循环的次数有不同的要求,分为15次、25次及25次以上。

在试验过程中,每隔一定的冻融循环次数,应详细检查试件有无剥落、裂缝、分层及掉边等现象,并加以记录。对于块状石料的抗冻性,可采用经规定次数的冻融循环后的质量损失率或者耐冻系数表征。

(1)质量损失率

石料冻融循环后的质量损失率可按式(1-6)计算。

$$Q_{fr} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \tag{1-6}$$

式中:Q_{fr}——试件冻融后的质量损失率,%;

m₁——试验前烘干试件的质量,g;

m₂——试验后烘干试件的质量,g。

(2)耐冻系数

石料的耐冻系数为冻融循环后的石料试件抗压强度与未经冻融的石料试件抗压强度的比值,可按式(1-7)计算。

$$K_{fr} = \frac{f_{sc(fr)}}{f_{sc}} \tag{1-7}$$

式中:K_{fr}——试件的耐冻系数;

f_{sc(fr)}——经冻融循环后的试件饱水抗压强度,MPa;

f_{sc}——未经冻融试验的试件饱水抗压强度,MPa。

公路工程,一般要求石料的耐冻系数大于0.75;质量损失率不大于5%。同时,试件应无明显缺损(包括剥落、裂缝和边角损坏等情况)。

桥梁工程石料,对一月份平均气温低于-10℃的地区,除气候干旱地区的不受冻部位外,应符合表1-1的抗冻性指标。

桥涵用石料抗冻性指标 表 1-1

结构部位	大、中桥	小桥及涵洞
	冻融循环次数	
镶面或表层的石料	50	25

注:①试验后,石料应无明显损伤(裂缝、脱层等),同时其耐冻系数大于0.75。

②根据以往实践经验,证明石料确有足够抗冻性能者,可不作抗冻性试验。

2) 硫酸钠坚固性法

由于直接冻融法需要低温冰箱设备,同时需要经过多次的冻融循环,试验周期长,所以有时采用硫酸钠坚固性的试验方法。

坚固性试验是确定石料试样经饱和硫酸钠溶液多次浸泡与烘干循环后不发生显著破坏或强度降低的性能,是测定石料抗冻性的一种简易快速的方法。

坚固性试验石料试件制备要求同直接冻融法石料试件。将试件置于烘箱($105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$)烘至恒重冷却后称其质量,然后将试件浸入饱和硫酸钠溶液中,浸置 20h,取出后,再置于烘箱中烘 4h。待试件冷却后,将其重新浸入硫酸钠溶液中,直至硫酸钠结晶溶解后取出试样,用放大镜及钢针仔细观察有无破坏现象,并仔细记录。如此为一次循环。按上述方法反复循环 5 次,最后一次循环后,用热蒸馏水煮洗几遍,直至将试件中硫酸钠溶液全部洗净为止(是否洗净可用 10% 氯化钡溶液滴入鉴定)。将洗净的试件烘至恒重,并称其质量。

坚固性试验采用质量损失率来表征抗冻性,可按式(1-8)计算。

$$Q_{\text{坚}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1-8)$$

式中: $Q_{\text{坚}}$ —— 试验后的质量损失率, %;

m_1 —— 试验前烘干试件的质量, g;

m_2 —— 试验后烘干试件的质量, g。

岩石的抗冻性与其吸水性有一定的关系。一般认为,吸水率大于 0.5% 时,岩石的抗冻性较差,并且往往以此来确定是否进行岩石的抗冻性试验。按我国标准规定,有条件者均应采用直接冻融法进行试验。

(二) 力学性质

道路与桥梁工程结构物中使用的石料,除了受到各种自然因素的影响外,还要受到车辆荷载复杂力系的综合作用。因此路桥工程建筑用石料除了应具备要求的各种物理性质外,还必须具备多种力学性质。

1. 公路工程石料的力学性质

1) 抗压强度

石料的抗压强度,通常有单轴抗压强度和三轴抗压强度两种。如果不作边坡验算等,一般仅需要进行单轴抗压强度试验。

单轴抗压强度试验是测定规则形状岩石试样单轴抗压强度的方法,主要用于岩石的强度分级和岩性描述。

公路工程石料的抗压强度,是将石料制备成边长为 $50\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 的正立方体或直径与高均为 $50\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 的圆柱体试件,经吸水饱和后,在规定的加载条件(加载速率为 $0.5 \sim 1.0\text{MPa/s}$)下单轴受压,石料试件达到极限破坏时,单位受压面积的强度,按式(1-9)计算。

$$f_{\text{sc}} = \frac{F_{\text{max}}}{A} \quad (1-9)$$

式中: f_{sc} —— 石料的抗压强度, MPa;

F_{max} —— 试件极限破坏时的荷载, N;

A —— 试件的截面积, mm^2 。

石料的抗压强度值,取决于石料的组成结构,同时也取决于试验的条件(如试件几何外形、加荷速度、温度和湿度等)。

2) 磨耗率

石料的磨耗率是指石料抵抗冲击、边缘剪力和摩擦的联合作用的性质,也是评定石料等级的依据之一,可采用洛杉矶试验法或狄法尔试验法测定。

(1) 洛杉矶试验法

洛杉矶试验法采用洛杉矶(或搁板)式磨耗试验机。是将石料试样洗净烘干,称出按我国标准规定的级配石料 $5000\text{g} \pm 50\text{g}$, 装入磨耗机,同时装入直径为 48mm 的助磨钢球(单个质量为 $405 \sim 450\text{g}$, 总质量为 $5000\text{g} \pm 50\text{g}$) 12 个。磨耗机以 $30 \sim 33\text{r/min}$ 的转速转动 500 转。由于在旋转中石料试样受到相互摩擦、冲击等力系的综合作用,使石料试样产生磨耗和破碎。用 2mm 圆孔筛或 1.6mm 方孔筛筛去试样中的石屑,将剩余试样洗净烘干,并称其质量。石料的磨耗率以经试验后石料试样的质量损失百分率来表示,可按式(1-10)计算。

$$Q_{\text{磨}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1-10)$$

式中: $Q_{\text{磨}}$ —— 石料磨耗率, %;

m_1 —— 装入磨耗机的试样质量 g;

m_2 —— 试验后洗净烘干的试样质量 g。

(2) 狄法尔试验法

狄法尔试验法采用狄法尔(或双筒)式磨耗试验机。它是将石料破碎(人工或机械),并过筛选出 $50 \sim 75\text{mm}$ 的块石 50 ± 2 块,共约 5kg (每块质量约 100g),计两份,分别洗净烘干,装入磨耗机的两圆筒中。磨耗机以 $30 \sim 33\text{r/min}$ 的转速转动 10000 转。石料的磨耗率同样是以通过 2mm 或 1.6mm 筛孔的质量损失百分率来表示,亦按式(1-10)计算。

按我国标准规定,两种试验方法以洛杉矶试验法为标准方法。

2. 桥梁工程石料的力学性质

抗压强度是桥梁工程石料的主要力学指标,是确定石料标号的主要依据。

桥用石料的抗压强度是将石料加工成边长为 20cm 的正立方体试件,经吸水饱和后,按规定的加荷条件单轴受压,石料试件达到极限破坏时,单位受压面积的强度。此亦作为石料的标号,可按式(1-11)计算。

$$f_{sc(q)} = \frac{F_{\max}}{A_0} K_q \quad (1-11)$$

式中: $f_{sc(q)}$ —— 桥梁工程石料的抗压强度, MPa;

$F_{\max}$ —— 极限破坏时的荷载, N;

A_0 —— 试件截面积, mm^2 ;

K_q —— 换算系数,见表 1-2。

石料标号换算系数

表 1-2

试件尺寸(cm)	20×20×20	15×15×15	10×10×10	7.07×7.07×7.07	5×5×5
换算系数 K_q	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6

桥用石料的力学性质以抗压强度为基准,其他力学指标(如抗拉强度、抗剪强度、抗弯强度等)一般可采用与抗压强度的大约比值。

二、石料的技术标准

1. 石料的技术分级

按公路工程对各种不同组成结构的岩石的不同技术要求,可将自然界的岩石划分为四大类:

I、岩浆岩类:花岗岩、正长岩、辉长岩、辉绿岩、闪长岩、橄榄岩、玄武岩、安山岩、流纹岩等;

II、石灰岩类:石灰岩、白云岩、泥灰岩、凝石岩等;

III、砂岩和片岩类:石英岩、砂岩、片麻岩、花岗片麻岩等。

IV、砾石类。

按我国路用石料标准,各类岩石可按其主要的物理—力学性质(饱水状态的抗压强度和磨耗率)划分四个等级:

1级——最坚强的岩石;

2级——坚强岩石;

3级——中等强度的岩石;

4级——较软的岩石。

2. 石料的技术标准

1) 公路工程石料的技术标准

路用岩石对各岩类的各级岩石的技术指标要求列如表 1-3。

公路工程石料技术标准						表 1-3
岩石类别	主要岩石名称	石料等级	技 术 标 准			
			极限抗压强度 (饱水状态) (MPa)	磨耗率(%)		
				洛杉矶式磨耗机 试验法	狄法尔式磨耗机 试验法	
1	2	3	4	5	6	
Ⅰ 岩浆岩类	花 岗 岩、玄 武 岩、安 山 岩、辉 绿 岩 等	1	>120	<25	<4	
		2	100~120	25~30	4~5	
		3	80~100	30~45	5~7	
		4	—	45~60	7~10	
Ⅱ 石灰岩类	石 灰 岩、白 云 岩 等	1	>100	<30	<5	
		2	80~100	30~35	5~6	
		3	60~80	35~50	6~12	
		4	30~60	50~60	12~20	
Ⅲ 砂岩与片岩类	石 英 岩、片 麻 岩、石 英 片 麻 岩、砂 岩 等	1	>100	<30	<5	
		2	80~100	30~35	5~7	
		3	50~80	35~45	7~10	
		4	30~50	45~60	10~15	
Ⅳ 砾石	—	1	—	<20	<5	
		2	—	20~30	5~7	
		3	—	30~50	7~12	
		4	—	50~60	12~20	
试 验 方 法			JTJ054 T0212—94	JTJ054 T0220—94	JTJ054 T0221—94	

2) 桥梁工程石料的技术标准