



道路建筑材料

谢凤举 主编

重庆大学出版社

道 路 建 筑 材 料

谢 凤 举 主 编

重 庆 大 学 出 版 社

内 容 提 要

本书根据高等学校公路和城市道路及桥梁专业教学大纲的要求，讲述了天然石料、无机胶结材料、水泥混凝土、沥青材料、沥青混凝土、建筑钢材、建筑用合成树脂和增强塑料及建筑木材等主要建筑材料的基本性质，及其有关的成分、结构、构造和生产与应用的知识，并选编了为印证理论知识、培养试验工作技能所必需的材料试验原理和方法。

本书可作高等学校公路和城市道路专业、桥梁专业教学用书和同专业函授教学用书，也可供公路、桥梁、城建及其它土建专业技术人员参考。

道 路 建 筑 材 料

谢凤举 主编

责任编辑 梁 涛

重庆大学出版社出版发行
新华书店经销
重庆建筑专科学校印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：13.5 字数：337千
1989年7月第1版 1989年7月第1次印刷

印数：1—5000

标准书号：ISBN 7-5624-0287-6 定价：2.44

U·4

前 言

本教材根据交通部1982年4月在湖南长沙召开的路桥专业教材编委会扩大会议拟定的《道路建筑材料教学大纲》编写。内容以水泥、水泥混凝土、沥青、沥青混凝土为重点，对建筑钢材和路用石料也给予了一定程度的重视。

编写过程中，参照现行有关最新技术标准和国内外研究新成果，从理论依据、实用价值和技术先进性等方面，经过较认真的分析，对某些具体资料，作了必要的增删和取舍。如适当增加了近年来国内外发展较快的合成高分子材料及其复合材料在土建工程中的应用等内容；引进电算技术代替了原有的某些烦琐而效果欠佳的近似方法等。

在内容的组织方面，力求符合认识规律，避免重复脱节，加强逻辑性和系统性；同时，尽量按照理论联系实际的原则，采用深入浅出的表述和论证方法，以利于学生复习和自学。

与此书同时编写自学指导书一册，供作函授教学的参考和补充。

本书由重庆交通学院谢凤举主编。各章内容编写分工如下：

绪论、第二章、第五章、第六章、第七章——谢凤举；

第一章、第三章、第四章、第八章——熊光译；

道路建筑材料试验——杨正。

全书由重庆建筑工程学院徐家保教授主审。

限于编者水平，缺点和错误在所难免，欢迎广大读者批评指正。

编者1988年12月

绪 论

一、建筑材料在工程建设中的地位和作用

一切物质产品都是生产者对材料进行劳动加工的成果。工程师和建筑工人所建筑的道路、桥梁、房屋及其它附属构筑物也不例外。

随着人类对自然界认识的不断扩大和深入,可用材料的品种也不断丰富和更新。材料应用由简单到复杂、由低级到高级的每一进程,实际上反映了人类文明发展的不同水平。基于这一客观事实,历史学家们曾科学而形象地把古代历史划分为石器、陶器、铜器、铁器等时代。

当代,人类文明高度发达,使用材料品种极其繁多。在生产、生活的不同领域中,各自利用和发展着适应其特定要求的材料。研究材料的科学,已成为当代几大基础学科之一。

“建筑材料”就是材料科学的一个重要分支。它主要研究各种土建工程所用材料的成分、结构、构造、性能、生产和应用等。从道路和桥梁工程专业要求出发,还应结合道路和桥梁工程的特点,重点地对它所最常使用的主要建筑材料作更为深入的探讨和了解。

任何一种物质产品的质量和成本,也就是它对人类生产和生活所产生的社会和经济效益,都与它所用的材料密切相关。就土建工程而言,主要表现在:

1) 材料的性能,在极大程度上决定着工程的使用功能和寿命。对工程的各种要求,包括承受荷载、抵抗侵蚀、保温隔热、防水、耐火、装饰美化等,无不以材料性能为其基本保证。道路、桥梁及其附属构筑物,不仅承受着较大的各种荷载,且常年暴露在野外大气当中,经受各种环境条件急剧变化的影响,对此尤应予以充分重视。

2) 材料的费用,在工程总造价中所占比重很大,随工程采用材料质量等级和价格水平的不同,低者可达30~50%,高者可达70~80%。合理选择和应用材料,无疑是工程经济中应考虑的重要环节。道路和桥梁工程,材料耗量巨大,且施工现场分散,运距较远,解决好这一问题,具有更重要的意义。

3) 材料的性能,还直接制约着结构设计理论和施工技术的发展。如无高强度钢材和混凝土等的出现,并在应用过程中不断改善其工程性能,当代的许多高墩大跨桥梁、高级公路路面、各种水下工程及其它高层建筑的建设,就不可能实现。新结构的设计理论和预制装配化等新的施工工艺,也不可能产生。另一方面,新的设计思想和施工方案,又对材料提出了新的要求。它们互相促进,不断发展。

显而易见,作为一个土建工程技术人员,要建设技术上先进、经济上合理的工程,如对建筑材料没有较深入而正确的了解和认识,是难以适应四化建设高标准要求的。

二、建筑材料的分类和对各类材料的基本要求

为了研究问题的方便,把纷繁多样的建筑材料进行适当分类。通常按化学成分分为:

无机材料	{	金属材料	{ 黑色金属材料(钢、铁)
			{ 有色金属材料(铜、铝等及其合金)
		非金属材料	{ 天然无机材料(天然石料)
			{ 人造无机材料(砖、瓦、混凝土)

有机材料	天然有机材料（沥青、木材）
	人造有机材料（人造树脂和纤维等）
复合材料	无机复合材料（水泥混凝土及砂浆）
	有机复合材料（某些纤维增强塑料）
	有机无机复合材料（树脂水泥混凝土及树脂浸渍混凝土）
	金属非金属复合材料（钢筋混凝土）

在工程应用中，实用性较强的是按材料功能分类：

1. 结构材料

它主要用于承受荷载的部位，要求具有较高力学强度，如钢材、混凝土、石料和木材。它们可分别用作桥梁上部结构、路面结构层、墩台、护坡，以及其它各种建筑物的梁、柱、承重墙和基础等。

2. 胶结材料

也称胶凝材料。它用于胶结块状或粒状材料，使成整体构件或结构物。在施工阶段，它应具有可流动性和粘结性；施工完毕后，应能适时凝结和硬化，并具备必要的强度。各种水泥、石灰、沥青等属于此类。

3. 集料（骨料）及填充材料

不同粒径的散粒矿质材料的混合物，可与胶结材料配合使用，结成坚强整体。它主要发挥骨架或填充作用，有助于提高整体强度和节约胶结材料用量。对这类材料，要求具有一定的颗粒强度、形态、粒径组成和必要的化学性质。常用的有卵石、碎石、砂、石粉和某些工业废渣。

4. 其它功能材料

如各种防水材料、耐火材料、绝热材料、装饰材料等，应该各自具有其特定的性能。

不论哪类材料，都要求具有足够的耐久性。

根据材料在施工现场必需的加工要求，还应具有其相应的工艺性质。

为适应采用新结构、新施工技术，建设高水平工程结构物的需要，应该充分利用现代科学技术新成果，大力发展新型建筑材料和进行改善传统材料性能的研究。如新型复合材料的工程性能和应用，工业废渣在建材生产中的有效利用，材料轻质高强化的途径，材料性能测试检验方面新技术的引进和材料微观结构与工程性能间的关系等许多理论与实践问题，都有待深入探讨。

三、建筑材料的质量鉴定和技术标准

各种材料因成分、结构、构造不同而性质各异。材料质量的优劣，又根据其性质指标予以评价。材料性质指标必须用科学测试方法所测得确切数据表示。为使测试数据和质量指标在有关学科和有关研究、设计、生产、应用各部门间互相承认，给交流、协作提供必要的基础，对测试方法和条件、产品质量评价标准等，均由专门机构制订并颁发“技术标准”，作出详尽明确的规定，作为共同遵循的依据。这也是现代工业生产各个领域的共同需要。

适用于全国范围的标准，称为“国家标准”。我国国家标准，一般由有关科研机关起草，主管部门提出，经国务院国家标准总局审核批准后颁发实施。我国国家标准以符号“GB”代表，后续的数字为标准编号和颁行年分。如硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的现行国家标准为“GB175-85”。

适用于各部委业务范围的标准称“部颁标准”，其代表符号取部委名称汉语拼音的第一个字母。如交通部标准为“JT”，冶金部标准为“YB”，林业部标准为“LB”等。后续编号的方法与国家标准同。

此外，还有只适用于地方范围的“地方标准”和只适用于一个企业范围的“企业标准”等。

由于国际技术和经济交流与合作的需要，国际标准化组织（ISO）专门研究和制订了“国际标准”。

技术标准按照颁发等级分别称为“规范”、“规程”或“技术条件”。

各种技术标准随科学技术的进步而及时修订，力求反映当代先进技术水平，起着把新技术引入生产领域，指导生产和促进技术发展的作用，这也是实现科学管理所必需的。

在建材学科有关文献中，接触较多的外国标准有：

“ASTM”	美国材料试验协会标准；
“JIS”	日本工业标准；
“ГОСТ”	全苏国家标准；
“BS”	英国标准；
“DIN”	联邦德国工业标准。

四、建筑材料课程的学习方法

正确的学习方法，是学好一门课程的重要条件之一。根据建筑材料课程的特点，在学习过程中，经常注意以下各点，就会有所裨益。

（1）明确目的、掌握重点 建材学科内容十分丰富，学习应该根据专业的需要而有所侧重。作为道路和桥梁工程的建设者，就材料品种论，应该以道路和桥梁所必须大量使用的力学强度较高和耐久性较强的材料为重点，而且要注意资源丰富的地方性材料的利用和轻质高强新材料的发展状况。其它功能材料，可只作一般了解。

须明确我们的主要任务是正确鉴定、合理应用和妥善管理材料。应把主要的注意力放在材料性能方面，只要掌握材料性能，就能正确选用材料和提出改善措施。当然，某些需要在施工现场进行配制或再加工的材料，也应对有关工艺问题作较深入、具体的了解。

（2）重视实践环节，认真掌握测试技术 材料试验既是生产管理中正确评价和验收材料、施工过程中控制工程质量的重要手段，也是研究材料性能，验证理论分析，寻求改善途径的可靠方法。对主要的、有代表性的试验项目，必须通过实践，掌握原理，熟悉方法。这对巩固理论知识，也是大有帮助的。

（3）善于运用基础理论，联系生产实践知识，进行综合和分析 建材学科涉及知识面广而实践性强。但它也是运用多门学科基础理论的成果，并在生产实践中反映了这些规律。如能灵活运用先修学科的有关理论，联系生产实践中的有关感性认识，进行综合、分析，找出它们的内在联系和共同规律，将会大大有助于加深理解和增强记忆，提高解决实际问题的能力，收到事半功倍之效。切忌把各个问题孤立起来，死记硬背。

复习思考题

- 一、建筑材料知识对作好道路、桥梁及其附属构筑物的设计、施工和管理有何作用？
- 二、作为一个土建工程师，学习建筑材料应掌握的重点是什么？
- 三、什么是“技术标准”？技术标准包括些什么内容？
- 四、结合我国当前实际和四化建设要求，在建筑材料的研究和生产方面，有些什么值得重视的问题？
- 五、根据建材学科的特点，在学习方法上要注意些什么问题？

目 录

绪 论	(1)
第一章 天然石料	(1)
第一节 石料的技术性质和技术要求	(1)
第二节 影响石料技术性质的因素和常用石料的技术特征	(7)
第三节 路桥工程常用石料制品	(8)
第四节 散粒石料	(10)
复习思考题	(16)
第二章 无机胶结材料	(17)
第一节 建筑石灰	(17)
第二节 硅酸盐水泥	(19)
第三节 掺混合材料的硅酸盐水泥	(31)
第四节 其它品种水泥	(34)
复习思考题	(39)
第三章 水泥混凝土和砂浆	(40)
第一节 普通水泥混凝土	(40)
第二节 其它品种的水泥混凝土	(70)
第三节 砂浆	(74)
复习思考题	(77)
第四章 沥青材料	(79)
第一节 石油沥青	(79)
第二节 煤沥青	(91)
第三节 乳化沥青	(94)
复习思考题	(98)
第五章 沥青混凝土	(100)
第一节 热铺沥青混凝土	(100)
第二节 其它品种的沥青混凝土	(118)
复习思考题	(119)
第六章 建筑钢材	(121)
第一节 钢材生产和分类的概念	(121)
第二节 钢材的技术性质	(122)
第三节 碳钢的组织结构及其与性质的关系	(125)
第四节 碳钢中杂质元素对技术性质的影响	(128)
第五节 钢材的冷加工强化和热处理	(129)
第六节 土建工程用钢的技术分类和技术标准	(131)
第七节 建筑钢材的腐蚀与防止	(136)

复习思考题.....	(137)
第七章 合成树脂和增强塑料	(138)
第一节 合成高分子化合物的基本概念.....	(138)
第二节 合成树脂.....	(139)
第三节 合成树脂粘结剂.....	(142)
第四节 树脂砂浆和树脂混凝土.....	(143)
第五节 纤维增强塑料.....	(144)
复习思考题.....	(148)
第八章 建筑木材	(149)
第一节 木材的构造.....	(149)
第二节 木材的技术性质.....	(151)
第三节 木材的疵病和防腐措施.....	(155)
复习思考题.....	(157)
道路建筑材料试验	(158)
第一节 石料试验.....	(158)
第二节 粗、细集料试验.....	(164)
第三节 水泥试验.....	(171)
第四节 混凝土拌合物试验.....	(178)
第五节 混凝土力学性质试验.....	(182)
第六节 沥青材料试验.....	(191)
第七节 沥青混凝土混合料试验.....	(199)
参考文献	(204)

第一章 天然石料

天然石料是地壳表层的岩石经开采加工所得不同尺寸与形状的块状石料（如块石、料石、片石等），或岩石经自然风化而成的不同粒度的散粒状石料（如砂、砾石或卵石等）。天然石料资源极为丰富，分布广泛，便于就地取材，具有较高的抗压强度和良好的耐久性。它的主要缺点是抗拉、抗弯和抗剪强度较低，开采、修凿和砌筑等操作较为笨重费工。

人类利用天然石料修筑各种工程，具有悠久历史和丰富经验。我国建于隋代的赵州桥和其它许多古代石建筑，至今仍为世界建筑学家高度赞赏。在现代建筑中大量使用的混凝土，也以天然石料为其主要成分。在线长面广特别需要就地取材的道路工程建设中，天然石料的利用，更具有重要意义。

第一节 石料的技术性质和技术要求

一、物理性质

（一）比重、容重①和孔隙率

（1）比重 干燥石料在绝对密实状态（不含孔隙）下单位体积的重量②（图1-1），用下式表示

$$\gamma = \frac{G_s}{v_s} = \frac{G}{v_s} \quad (1-1)$$

式中 γ —— 石料的比重（ g/cm^3 ）；

G_s —— 石料矿质实体重量（ g ）；

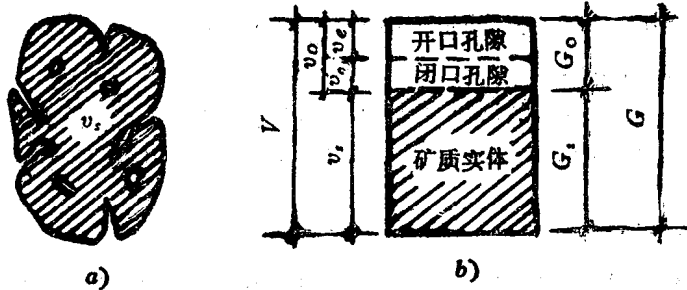


图1-1 石料结构示意图

a)外观示意图 b)重量与体积关系图

①在工程应用中，“比重”和“容重”的定义与物理学中的“比重”和“密度”略有不同又极相近似，容易引起误解和混淆。有的教材已改用其它名称，但尚未被普遍采纳，也未形成正式规定。

②我国法定计量单位中只有“质量”和“重力”单位，但一般习惯称“质量”为“重量”，所用衡器实际是质量单位（ kg ）。在工程上考虑物质的重力作用或作力学计算时，则应将其换算为重力单位（ N ）。

G ——石料的重量 ($G_s = G$) (g);

v_s ——石料矿质实体体积 (cm^3)。

(2) 容重 干燥石料在自然状态下 (含孔隙) 单位体积的重量 用下式表示

$$\delta = \frac{G}{v_s + v_i + v_c} = \frac{G}{V} \quad (1-2)$$

式中 δ ——石料的容重 (g/cm^3);

G ——干燥石料的重量 (g);

v_s ——石料矿质实体体积 (cm^3);

v_i ——开口孔隙体积 (cm^3);

v_c ——闭口孔隙体积 (cm^3);

V ——干燥石料自然状态下的体积 (cm^3)。

(3) 孔隙率 石料孔隙体积占石料总体积的百分率。由图 1-1 可知, 孔隙率为

$$\begin{aligned} n &= \frac{v_o}{V} \times 100\% = \frac{V - v_s}{V} \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{v_s}{V}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{\delta}{\gamma}\right) \times 100\% \end{aligned} \quad (1-3)$$

式中 n ——石料孔隙率 %。

石料的矿质实体体积与其总体积的比值则称密实度, 用 $D = v_s/V = \delta/\gamma$ 表示。

石料的比重和容重表征材料的结构状态, 二者差值小, 则石料构造密实; 反之, 则构造疏松, 孔隙大。孔隙率由开口孔隙率和闭口孔隙率两部分组成。开口孔隙率是指与外界连通的, 能被水饱和的孔隙体积占材料总体积的百分率, 用下式表示

$$n_k = \frac{G_1 - G}{V} \cdot \frac{1}{\gamma_w} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中 n_k ——开口孔隙率 (%);

G, V ——意义同前;

G_1 ——石料在真空抽气条件下吸水饱和后的重量 (g);

γ_w ——水的比重 (g/cm^3)。

石料的孔隙率对其性质有较大影响; 同一类石料, 孔隙率大, 其强度较低。开口孔隙率与外界连通。孔隙之间也可相互贯通, 因而对材料的吸水性、抗渗性和抗冻性等有较大影响。

(二) 吸水性

石料吸收水分的性质称为吸水性。吸水性可用含水率、吸水率和饱水率来表征。

(1) 含水率 由于石料的亲水性以及开口孔隙的存在, 通常都会因吸湿或吸水而含有一定水分。石料中所含水分的多少常以含水率表示。含水率为石料中所含水分的重量占干燥石料重量的百分率。

(2) 吸水率 吸水率是石料在室温 ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) 和常压下水中吸水饱和后吸入水的重量占干燥石料重量的百分率, 用下式表示

$$W_{\text{吸}} = \frac{G_2 - G_1}{G_1} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 $W_{\text{吸}}$ ——石料吸水率 (%);

G_1 ——石料烘干至恒重时的重量(g);

G_2 ——石料吸水至恒重时的重量(g);

吸水率除用重量百分率表示外,也可用体积百分率表示,即石料吸入水的体积占吸水前石料体积的百分率,用下式表示

$$W_{\text{体}} = \frac{G_2 - G_1}{V} \cdot \frac{1}{\gamma_w} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 $W_{\text{体}}$ ——以体积计的吸水率(%);

其它符号意义同前。

一般以 $\gamma_w = 1$, 得重量计吸水率与体积计吸水率有如下关系

$$W_{\text{体}} = W_{\text{吸}} \cdot \delta \quad (1-7)$$

式中 δ ——石料的容重(g/cm^3)。

石料的吸水率与其孔隙大小和特征有关。通常孔隙率愈大,吸水率愈大;封闭的孔隙,水分不能进入,粗大开口孔隙,不易吸满水分;具有很多微小开口孔隙时,吸水能力最强。

(3) 饱水率 石料在常温和真空抽气(抽至真空度为20mm水银柱)条件下最大吸水体积占干燥石料体积的百分率,其计算式与式(1-6)相同。由于真空抽气后石料孔隙内部的空气被排出,当恢复常压后水分即易进入孔隙中,此时水分几乎充满开口孔隙的全部体积。因此开口孔隙率可视为与体积计的饱水率相等。通常认为,吸水率是水分部分充满开口孔隙,而饱水率则为水分全部充满开口孔隙。所以常用吸水率与饱水率的比值,即饱水系数表示在常温常压下石料吸水饱和时开口孔隙被水充满的程度,它与抗冻性有密切关系。饱水系数用下式表示

$$K_{\text{饱}} = \frac{W_{\text{吸}}}{W_{\text{饱}}} \quad (1-8)$$

(三) 抗冻性

石料在吸水饱和状态下,抵抗多次冻结与融化(冻融循环)作用而不破坏,同时也不严重降低强度的性质称为抗冻性。

冰冻的破坏作用是由于材料孔隙内的水分结冰引起的。水在结冰时体积约增大9%,当材料孔隙中充满水时,由于结冰时对孔壁产生很大压力(可达100MPa),而使孔壁开裂。冰的融化是从表层开始然后向内层进行。无论结冰还是融化,都会在材料的内外层产生明显的温度差和应力差。因此随着冻融循环次数增加,石料表面即出现脱屑、剥落、裂缝,强度也随之降低。

对石料抗冻性的要求,必须根据建筑物的等级、石料所处环境和气候条件等决定。对于寒冷地区,冬季月平均气温低于 -10°C 的重要工程所用覆面石料,必须进行抗冻性试验。石料的抗冻性指标以石料经受规定的冻融循环次数后,检查无明显的缺损(裂缝、缺角、掉边、表面松散等现象),同时强度降低不超过25%为合格。以此检验合格的冻融循环次数来划分抗冻性标号,如 M_{15} 、 M_{25} 、 M_{50} 等。《公路砖石及混凝土桥涵设计规范(JTJ022-85)》规定桥涵用石料抗冻性指标列于表1-1

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	
镶面的或表层的石料	50	25

石料的抗冻性亦可用坚固性试验来测定。坚固性试验是将石料浸入饱和的硫酸钠溶液

中，使石料孔隙中吸满硫酸钠溶液，然后将其烘干，硫酸钠结晶 ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 体积胀大，产生与水结冰相似的作用，使石料孔壁受到挤压力，然后再置于常温条件下溶解，如此为一循环。经过若干循环后引起石料破坏和强度降低。硫酸钠结晶产生的破坏作用比冻融试验还更强烈，故可在较短时间内，以较少循环次数对石料作出抗冻性评价。

二、力学性质

道路和桥梁结构在工作状态下，它的各个部位可能受压力、拉力、剪力和弯曲、冲击力 and 摩擦力等的作用。

石料是脆性材料，具有较高的抗压强度，弯拉强度很低，抗拉强度仅为抗压强度的 $1/50 \sim 1/5$ 。因此，石料主要用于承受压力的构件。

(一) 抗压强度

石料的抗压强度是以标准试件经吸水饱和后，以单轴受压状态下的极限强度来表示：

$$R = \frac{P}{A} \quad (1-9)$$

式中：R——石料的抗压强度 (MPa)；

P——破坏荷载 (N)；

A——试件截面积 (mm^2)。

道路用石料以边长为 50mm 的立方体或直径与高度均为 50mm 的圆柱体为标准试件。

桥梁建筑用石料的标准试件尺寸为边长 200mm 的立方体，并根据测定的抗压强度 (MPa) 划分标号 (等级)。石料标号分为 30、40、50、60、80 和 100 六个等级。当石料试件为非标准试件时，由于试件尺寸大小，明显影响测定结果，故应将其强度乘以表 1-2 所列换算系数，换算为标准试件强度，然后再划分等级。

石料标号的换算系数

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	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6

试件尺寸对强度测定结果产生影响的原因，主要有两个方面。一方面是大试件存在引发破坏的内部缺陷的几率较大；另一方面是压力机上下压板与试件的接触面之间的摩擦力，对试件的破坏产生的约束作用 (通常称为环箍效应)，大试件的这种作用比小试件相对较小。故尺寸相对较小的试件，测定结果相应偏高。

石料抗压强度采用吸水饱和试件，是因为石料吸水后，削弱矿物颗粒之间的结合，甚至使某些矿物软化，导致石料强度降低。故也可用石料吸水饱和试件的抗压强度与干燥试件抗压强度的比值——软化系数 K_m 表征石料的耐水性能。

K_m 在 0 至 1 之间变化。经常位于水中或受潮严重的重要结构的材料， K_m 不宜小于 0.85；受潮较轻或次要结构的材料， K_m 不宜小于 0.70。

(二) 抗拉强度

石料的抗拉强度是指标准试件承受轴向拉力破坏时的极限强度。

由于石料直接抗拉的标准试件加工和强度测定较为困难，我国《公路工程石料试验规程》(JTJ054-83) 规定用劈裂法测定石料的抗拉强度。

劈裂法抗拉强度试验是将石料加工成直径和高均为 50mm 的圆柱体或边长为 50mm 的立方体，在试件中心线上施加线形荷载（图 1-2），求出劈裂破坏时的荷载，按下式计算抗拉强度

$$R_{pl} = \frac{2P}{\pi F} = 0.637 \frac{P}{F} \quad (1-10)$$

式中 R ——石料劈裂抗拉强度(MPa)；

P ——破坏荷载(N)；

F ——劈裂面积。圆柱体试件 $F = d \cdot l$ ，其中 d 为试件直径(mm)， l 为试件高度(mm)；立方体试件 $F = a^2$ ，其中 a 为试件边长(mm)。

(三) 抗剪断强度

石料试件的着力面与荷载方向成一定角度(α)时，平行着力面的切向分力所产生的最大剪应力，称为抗剪断强度。

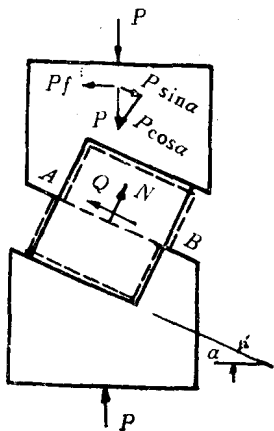


图 1-3 石料抗剪断试验示意图

由图 1-3 所示，把所有的力投影到 N 轴和 Q 轴上，得

$$N - P \cos \alpha - P f \sin \alpha = 0 \quad (1-11)$$

$$Q + P f \cos \alpha - P \sin \alpha = 0 \quad (1-12)$$

移项并同除以试件截面积 F ，得

$$\sigma_n = \frac{P}{F} (\cos \alpha + f \sin \alpha) \quad (1-11')$$

$$\tau_n = \frac{P}{F} (\sin \alpha - f \cos \alpha) \quad (1-12')$$

式中 P ——破坏时的荷载(N)；

N ——试件剪切面上的正向力(N)；

Q ——剪切面上的切向力(N)；

f ——有滚轴时为滚动摩擦系数，无滚轴或润滑剂时为静止摩擦系数；

α ——试件的放置角度，一般可取 45° 、 50° 、 55° 、 60° ；

σ_n ——剪断面上的正应力(MPa)；

τ_n ——剪断面上的剪应力(抗剪断强度)(MPa)。

用不同的 α 角剪断试件，则每一个角度可确定一组 σ_n 、 τ_n 值，把这些值画在 τ - σ 直角坐标图上，即得不同滑移面的正应力与剪应力的关系曲线，为岩石基础设计提供计算依据。

(四) 磨耗率

磨耗率是表征石料抵抗冲击、边缘剪切和磨擦等联合作用的能力的指标。

石料磨耗率的测定有两种方法：双筒法(狄法尔法，详图见试验部分图试-3)和搁板式法(洛杉矶法，详图见试验部分图试-4)。

双筒式法系选取一定块数(50 ± 2 块)一定重量(约 5kg)的单粒径(50~75mm)试样两份，在双筒式磨耗机中旋转 10000 转后，以通过 2mm 筛孔的重量损失百分率表示

$$Q = \frac{G_1 - G_2}{G_1} \times 100\% \quad (1-13)$$

式中 Q ——石料的磨耗率(%);

G_1 ——试验前烘干试样的重量(g);

G_2 ——试验后, 存留在 2mm 筛孔上, 洗净烘干的试样重量(g)。

搁板式法系将规定重量(5kg)的不同粒径的试样和 12个直径为 48mm的钢球同时装入搁板式磨耗机中, 转动 500 转后, 以通过 2mm 的重量损失率表示, 其计算方法同式(1-13)。

(五) 冲击韧度

石料抵抗多次连续重复动荷载作用的性能称为冲击韧度。

冲击韧度是将石料加工成直径与高均为 25mm 的试件, 放置在冲击韧度试验机上, 由一个固定重量 (2kg) 的冲锤逐次升高 1cm, 连续冲击试件, 直至破坏为止。以破坏时冲锤冲击次数 (即破坏时冲锤升高的高度 cm 数) 表示。

(六) 耐磨硬度

石料抵抗磨损的性能称为耐磨硬度 (磨损)。石料的耐磨硬度是将石料加工成标准试件 ($h=50\sim80\text{mm}$ 、 $d=25\text{mm}$), 在专用的硬度机上, 以规定荷载 (12.5N) 使试件压紧在转动的铸铁盘上, 与标准石英砂磨擦, 在铸铁盘转动规定转数 (1000 转) 后, 按下式计算耐磨硬度:

$$A = \frac{G_1 - G_2}{F} \quad (1-14)$$

式中 A ——石料耐磨硬度(g/cm²);

G_1 ——试验前烘干试件的重量(g);

G_2 ——试验后试件的重量(g);

F ——试件的截面积(cm²)。

三、路用石料的技术要求

根据交通部《道路建筑用天然石料按强度技术分级标准 (JTJ1003-66)》, 先将常用石料分类, 每类石料又按其强度指标分为五级。各类各级石料的技术要求见表 1-3。

道路建筑用天然石料按强度技术分级标准 (JTJ 1003-66)

表 1-3

石料等级	砾石	火成岩		石灰岩		砂岩		片岩	
	磨耗度重量 (%)	极限抗压强度 (MPa)	磨耗度重量 (%)	极限抗压强度 (MPa)	磨耗度重量 (%)	极限抗压强度 (MPa)	磨耗度重量 (%)	极限抗压强度 (MPa)	磨耗度重量 (%)
1	<20	>120	<4	>100	<5	>100	5	>100	<4
2	20~30	100~120	4~5	80~100	5~6	80~100	5~7	80~100	4~5
3	30~50	80~100	5~7	60~80	6~12	50~80	7~10	60~80	5~7
4	>50	—	7~10	30~60	12~20	30~50	10~15	30~60	7~12
5	—	—	>10	<30	>20	<30	>15	<30	>12

注: 1. 火成岩包括花岗岩、玄武岩、安山岩、辉绿岩等; 砂岩包括石英岩在内; 石灰岩包括白云岩在内; 片岩包括片麻岩、花岗片麻岩等。

2. 极限抗压强度系石料在饱水状态下求得的。磨耗度即双筒式磨耗机 (狄法尔磨耗机) 中测定的磨耗率。

3. 国标《沥青混凝土路面施工及验收规范》(GBJ 92-86) 将石料分为 4 级, 并注明磨耗率应以洛杉矶法为准, 无该设备时方可用狄法尔法测定。

第二节 影响石料技术性质的因素 和常用石料的技术特征

一、影响石料技术性质的主要因素

建筑用石料采自自然界中的岩石。岩石按其形成过程可分为岩浆岩（火成岩）、沉积岩和变质岩。

（一）岩浆岩

岩浆岩是地壳内部岩浆冷却凝固而成的岩石。由于冷却条件不同，岩浆岩又可分为深成岩、溢出岩（喷出岩）和火山岩。

深成岩是岩浆在地壳内部冷却而形成的岩石，所含矿物主要是石英、长石、辉石、角闪石和橄榄石等，均有较高硬度，除长石外耐风化能力也都很强。且在其形成过程中岩浆冷却较慢，上部又受到较大岩层压力，故其特点是粗粒结晶结构，矿物结晶比较完全，矿物晶粒彼此联结十分牢固。这类岩石一般较致密、容重大、孔隙率小、吸水率低、强度和耐久性高，如花岗岩、正长岩等。

溢出岩是岩浆溢出地面，冷却速度较快，上部覆盖压力较低条件下形成的岩石。若溢出岩浆较厚则溢出岩的结构特点是矿物为细粒晶体或隐晶结构，其品质与深成岩相似；若岩浆在溢出地表前就含有部分先成的晶体，则形成斑晶结构，如斑晶花岗岩，这类岩石因结构不均匀，抗风化能力较差。当岩浆溢出较少，形成较薄的岩层，矿物来不及结晶，则形成玻璃质结构，岩石的特点是脆性较大，如玄武岩。

火山岩是岩浆喷入空气中，在冷却速度很快，压力急剧降低的条件下形成的玻璃质多孔结构的岩石，强度极低，多孔，吸水率高，耐久性差。主要作为生产无机胶结材料的原料或作混合材料使用。

（二）沉积岩

沉积岩是地壳上原有的岩石（岩浆岩、变质岩或已有的沉积岩），在常温常压下，受到大自然中空气、水、生物长期作用而破坏成碎屑或成溶解物质，经流水、风力、冰川等搬运，逐渐沉积或再经压实固结成具有一定强度的岩石。

沉积岩中除母岩风化后保留下来的原生矿物，如石英、长石、云母和部分岩石碎屑外，还有母岩经风化分解生成次生的软弱的粘土矿物，自溶液中化学沉淀而成的碳酸盐类，铁、锰的氧化物，由生物的残骸或生物作用而形成的有机质等，所以其矿物组成与岩浆岩有较大差异。

沉积岩的特点是具有显著的层理，各层层理的厚薄、颜色、成分、颗粒大小，致密度、吸水性、抗冻性、抗压强度等变化幅度较大，强度的各向异性比较明显，耐水性一般不如深成岩。

（三）变质岩

变质岩是岩浆岩或沉积岩因地壳变动，在高温高压或具有化学活性的流体作用下变质而形成的岩石。变质岩中除原来岩石残留的矿物，如石英、长石、云母、角闪石、方解石、白云石等外，还有变质后形成的变质矿物，如绿泥石、蛇纹石、石榴石等矿物。变质作用的结果使原有矿物重新结晶，重新排列，形成全晶质结构，一般沉积岩变质后都比变质前密致坚强。变质岩的构造除块状构造，如石英岩，大理岩外，尚有定向构造，如片麻岩、板岩、片岩等。具有定向构造的岩石易沿片理分解成或厚或薄的片状石料。