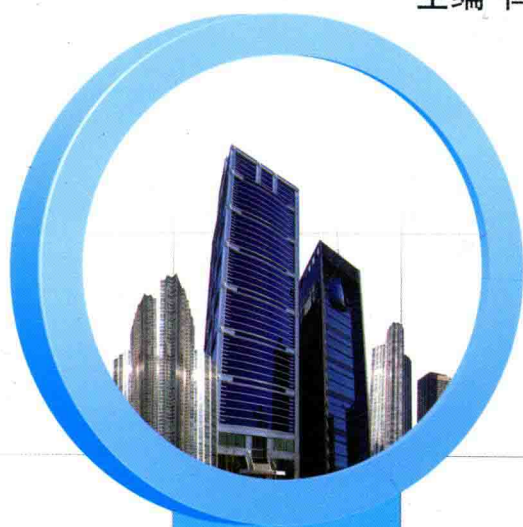




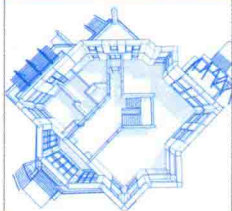
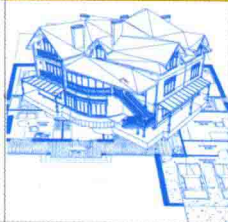
高等职业教育“十二五”规划教材

建筑工程材料

主编 闫瑞兰 要强强



JIANZHU
GONGCHENG
CAILIAO



 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS



高等职业教育“十二五”规划教材

建筑工程材料

主 编 闫瑞兰 要强强

副主编 孙 磊 包建强



江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

镇 江

内 容 提 要

本书分为 11 章,系统介绍了砂石材料、石灰与水泥、无机结合料稳定材料、水泥混凝土与砂浆、沥青材料、沥青混合料、工程高分子聚合物材料、建筑钢材、墙体材料、建筑塑料及胶粘剂、常用建筑装饰材料、绝热材料与吸声材料的物理性能及工程应用。

本书可作为高等职业院校土木工程、交通运输工程、道路桥梁工程专业学生的教学用书和教学参考书,也可供中等职业教育土建类专业师生及各类培训使用,还可供从事工程施工、工程监理、实验检测工作的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程材料 / 闫瑞兰, 要强强主编. — 镇江 :
江苏大学出版社, 2014. 2
ISBN 978-7-81130-636-1

I. ①建… II. ①闫… ②要… III. ①建筑材料—高等职业教育—教材 IV. ①TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 018634 号

建筑工程材料

Jianzhu Gongcheng Cailiao

主 编 / 闫瑞兰 要强强

责任编辑 / 汪再非

出版发行 / 江苏大学出版社

地 址 / 江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)

电 话 / 0511-84446464(传真)

网 址 / <http://press.ujs.edu.cn>

排 版 / 北京金企鹅文化发展中心

印 刷 / 北京市科星印刷有限责任公司

经 销 / 江苏省新华书店

开 本 / 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张 / 20.75

字 数 / 479 千字

版 次 / 2014 年 2 月第 1 版 2014 年 2 月第 1 次印刷

书 号 / ISBN 978-7-81130-636-1

定 价 / 39.80 元

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话: 0511-84440882)



经济和技术的飞速发展,对高等职业教育提出了更高的要求,如何培养适应社会需要的具有一定理论知识和实践动手能力,具有创新意识,能够快速适应工作岗位的高素质实用型人才,这是高等职业院校的任务。为了满足高等职业教育土建专业培养实用型人才的教学需要,我们编写了本书。

本书由呼和浩特职业学院闫瑞兰、要强强任主编,呼和浩特职业学院孙磊、包建强任副主编,全书由闫瑞兰统稿。具体编写情况如下:绪论、第2章第3节、第4章、第5章、第8章、第9章、第10章、第11章由闫瑞兰编写,第1章、第2章的第1节及第2节由孙磊编写,第3章、第6章由要强强编写,第7章由包建强编写。

在本书的编写过程中,力求做到:

1. 突出特点。

新:采用国家及行业最新技术标准和技术规范,选编新材料、新工艺,充分反映当前建筑材料的最新技术。

特:为了适应生产和教学需要,较好地体现针对性与先进性、实用性与可操作性、综合性与科学性的结合特征。

2. 从实用角度出发,对建筑材料的定义、来源、分类、技术性能、影响因素、工程应用等方面作全面叙述。

3. 章节内容重点突出,主次分明,阐述简明。为便于学生学习,每章都列有教学目标及复习思考题等,以便学生更好地了解掌握本章核心内容。

4. 能够结合高等职业教育特点,围绕土建施工、交通、道路桥梁等高等职业教育专业培养目标,理论与实践并重,突出学生实践技能培养,并注重学生综合素质提高。

我国幅员辽阔,环境各异,地域特色明显,考虑到各院校具体情况,讲授过程中教师应对本书内容进行增删。同时,为了增强教学效果,强化学生实践操作技能,建议理论部分讲授应与实验课同时进行,并在中级实验工考核鉴定前采取集中强化训练方式讲授。

由于编者水平有限,书中谬误和疏漏之处在所难免,敬请读者不吝赐教。

编 者

2014年1月



绪 论	1
0.1 本课程的内容与任务	1
0.2 建筑材料应具备的工程性能	2
0.3 建筑材料与建筑工程的关系	3
0.4 建筑材料的检验方法和技术标准	4
第 1 章 砂石材料	7
1.1 砂石材料及其技术性能	7
1.2 矿质混合料的组成设计	21
小 结	33
思考与练习	34
第 2 章 石灰、水泥和稳定土	36
2.1 石灰	36
2.2 水泥	41
2.3 稳定土	59
小 结	66
思考与练习	67
第 3 章 水泥混凝土和砂浆	69
3.1 水泥混凝土	69
3.2 建筑砂浆	142
小 结	153
思考与练习	153
第 4 章 沥青材料	155
4.1 石油沥青	155
4.2 煤沥青	172
4.3 乳化沥青	175
4.4 改性沥青	180



4.5 防水卷材	182
4.6 防水涂料	191
4.7 防水材料的选用与验收	197
4.8 建筑防水密封材料	198
小 结	201
思考与练习	201
第 5 章 沥青混合料	203
5.1 概述	203
5.2 热拌沥青混合料	205
5.3 其他沥青混合料	229
5.4 新型沥青混合料	232
小 结	240
思考与练习	241
习 题	241
第 6 章 工程高分子聚合物材料	243
6.1 概述	243
6.2 土工布	244
6.3 高分子聚合物改性混凝土	246
6.4 高分子聚合物改性沥青混合料	249
小 结	252
思考与练习	252
第 7 章 建筑钢材	253
7.1 建筑钢材的主要技术性能	254
7.2 建筑钢材的选用	259
小 结	265
思考与练习	265
第 8 章 墙体材料	266
8.1 砌墙砖	266
8.2 砌块	277
8.3 墙体板材	282
小 结	287
思考与练习	287



第 9 章 建筑塑料及胶粘剂	288
9.1 建筑塑料	288
9.2 胶粘剂	293
小 结	297
思考与练习	297
第 10 章 常用建筑装饰材料	298
10.1 玻璃	299
10.2 建筑涂料	305
10.3 建筑饰面石材	308
10.4 建筑陶瓷	311
小 结	313
思考与练习	314
第 11 章 绝热材料与吸声材料	315
11.1 绝热材料	315
11.2 吸声材料	319
小 结	323
思考与练习	323
参考文献	324

绪 论

建筑工程材料是指建筑工程及其附属构造物所用的各类建筑材料,是建筑工程的物质基础。

在人类社会漫长的历史中,建筑材料是随着社会生产力的发展而发展的。天然的土、石、竹、木是古代人类的主要建筑材料。到了人类能够用黏土烧制砖瓦、用岩石烧制石灰和石膏之后,建筑材料进入了人工生产阶段。18~19 世纪,建筑钢材、水泥、混凝土和钢筋混凝土相继问世而成为不可替代的结构材料。到 20 世纪,出现了预应力混凝土。21 世纪,高性能混凝土作为主要结构材料得到广泛应用。传统材料的性能越来越难以满足建筑工程发展的要求,随着技术的进步,建筑材料将会向着再生化、多元化、利废化、节能化和绿色化等方向发展。从建筑工程技术水平的发展来看,建筑材料应向着轻质高强、高耐久性、良好的工艺性、多功能以及智能化等方向发展。

0.1 本课程的内容与任务

“建筑工程材料”是一门研究建筑工程用材料的组成、性能 and 应用的课程。随着建筑技术的发展,建筑工程材料不仅在品种上日益增多,而且其质量和性能也在不断提升。

0.1.1 砂石材料

砂石材料是经人工开采的岩石或轧制碎石,以及地壳表层岩石经天然风化而得到的松散粒料。砂石材料可以直接应用于铺筑道路或砌筑各种桥梁结构物,也可以作为集料来配制水泥混凝土和沥青混合料。

0.1.2 无机结合料及其制品

在建筑工程中最常用到的无机结合料是石灰和水泥。水泥与集料配制的水泥混凝土是桥梁建筑中钢筋混凝土和预应力钢筋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,石灰、粉煤灰、水泥与土(或集料)拌制而成的无机结合料稳定材料广泛应用于路面基层,成为半刚性基层的重要组成材料。

此外,砂浆是各种桥梁圬工结构物砌筑的重要结合料。



0.1.3 有机结合料及其混合物料

有机结合料主要指沥青材料，它与不同粒径的集料组成沥青混合物料，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。

0.1.4 高分子聚合物材料

近年来，随着我国化学工业的发展，多种高分子聚合物逐渐应用于道路和桥梁工程中，主要是用来改善沥青混合物料或水泥混凝土的性能，是一种有发展前途的新材料。如用作水泥混凝土路面的填缝料，也可配制改性沥青等。

0.1.5 建筑钢材

建筑钢材是桥梁钢结构及钢筋混凝土或预应力钢筋混凝土结构的重要材料。

本课程是一门技术基础课，它与物理、化学以及材料力学、工程地质等课程有着密切的联系，也是公路设计与施工、桥梁工程等课程的基础。通过本课程的学习可以使从事相关专业的工程技术人员全面了解和掌握道路建筑材料的基本概念与理论、技术性能与质量要求、检测手段方面的系统知识，并能够正确使用、准备和鉴定材料。

0.2 建筑材料应具备的工程性能

桥梁建筑物等建筑工程，不仅要受到车辆荷载的复杂力系作用，而且还受到各种复杂的恶劣环境的影响，所以用于建筑工程的材料，既要具备一定的力学性能，又要保证在各种自然条件下，综合力学性能不会下降。

0.2.1 力学性能

力学性能是材料抵抗荷载等复杂力系综合作用的性能。目前除通过测定各种材料的静态强度（如抗压、抗拉、抗弯、抗剪等强度）来反映材料的力学性能外，还可通过磨耗、磨光、冲击等经验指标来反映。

0.2.2 物理性能

材料在使用过程中，其力学性能随温度和湿度等物理因素影响而改变。一般材料随温



度的升高、湿度的加大,强度会降低。因此,材料的温度稳定性、水稳定性是材料性能的主要指标。

通常通过测定材料的物理常数,如密度、实积率、孔隙率、含水率等来了解材料的内部组成结构,并且根据物理常数与力学性能之间的一定相关性,来推断材料的力学性能。

0.2.3 化学性能

在公路与桥梁建筑中,材料自身的化学成分将影响材料及混合材料的性能,由此也影响结构物的受力或使用性能。

化学性能是材料抵抗周围环境对其化学作用的性能。建筑材料在受到周围介质(如桥墩在工业污水中)的侵蚀时,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)的综合作用时,会引起材料的“老化”,特别是各种有机材料(如沥青材料等)表现更为显著。

0.2.4 工艺性能

工艺性能是指材料适合于按一定工艺要求加工的性能。例如水泥混凝土拌和物需要一定的和易性,以便浇筑。材料工艺性能可通过一定的试验方法和指标调整进行控制。

0.3 建筑材料与建筑工程的关系

0.3.1 材料是建筑工程结构物的物质基础

建筑材料是建筑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。建筑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、车辙等病害现象,这些均与材料的性能有一定的关系。

0.3.2 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占 60%~70%,因此,合理地选择和使用材料,对节约工程投资、降低工程造价十分必要。



0.3.3 材料科学的进步可以促进工程技术发展

工程的建筑设计、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、施工工艺的新突破。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。

0.4 建筑材料的检验方法和技术标准

0.4.1 建筑材料的一般检验方法

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,必须通过适当的测试手段来进行。检验测定建筑结构物中所用材料在实际结构物中的性能,通常可采用实验室内原材料性能测定、实验室内模拟结构检验测定以及现场修筑试验性结构物检定等方法。本课程主要着重于实验室内原材料性能检验测定。室内材料试验包括下列内容。

1. 物理性能试验

测定材料的物理常数需提供材料组成设计时用的一些原始资料。另外,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地推断材料的物理性能。

2. 力学性能试验

目前建筑材料的力学性能,主要是通过采用各种试验机测定其静态力学性能(如抗压、抗拉、抗弯、抗剪等强度)来反映。

随着科学的发展,测定材料真实性能有了可能。例如,检测沥青混合料在不同温度与不同作用时间条件下的动态强度,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,这使检测获得的材料的力学性能与其在道路上的实际受力状态较为接近,也为黏—塑性的路面设计提供一定的参数。

3. 化学性能试验

对于材料化学性能的试验,通常只作材料简单化合物(如 CaO 、 MgO 等)含量或有害物质含量的分析。目前,随着技术进步,该试验可作某些材料(如沥青)的组分分析,这样可初步地了解材料的组成与性能的关系。随着测试技术的发展,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的应用,促进了沥青化学结构与

使用性能的相依性的研究，使得从化学结构上来设计沥青材料的性能成为可能。

4. 工艺性能试验

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，许多材料工艺性能的试验按照流变—断裂学理论来进行分析，产生了不同的工艺方法。例如，沥青混合料的摊铺性能采用流动性系数等指标进行控制。

0.4.2 建筑材料质量的标准化和技术标准

建筑工程结构物所用材料及其制品必须具备一定的技术性能，以适应结构物不同建筑结构与施工条件的要求。这些要求体现为国家标准或有关的技术规范规定的一些技术指标。在建筑设计与修筑过程中，应按这些指标来评价建筑材料的质量。

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 4 个等级。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、编号和发布。我国国家标准以符号“GB”代表，还要注明编号、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。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。

我国国家标准及与道路建筑材料有关的几个行业标准代号示例如表 0-1 所示。国际和国外几个主要国家的标准代号如表 0-2 所示。

表 0-1 国家标准和行业标准代号

标准名称	代号（汉语拼音）	示 例
国家标准	GB（guobiao）	《通用硅酸盐水泥》（GB 175—2007）
交通行业标准	JT（jiaotong）	《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》（JTG E20—2011）
建材行业标准	JC（jiancai）	《石灰石硅酸盐水泥》（JC/T 600—2010）
石油化工行业标准	SH（shihua）	《道路石油沥青》（NB/SH/T 0522—2010）
黑色冶金行业标准	YB（yebiao）	《碳素工具钢丝》（YB/T 5322—2010）



表 0-2 国际标准和外国国家标准代号

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

第 1 章 砂石材料

【教学目标】

- ① 了解砂石材料的基本性能和技术要求，了解矿质混合料的性能；
- ② 能合理选择适当的砂石材料并配置矿质混合料；
- ③ 熟练掌握砂石材料技术性能的检验方法；
- ④ 认识岩石制品和粉煤灰、矿渣集料。

1.1 砂石材料及其技术性能

砂石材料有两种，一种是由岩石自然风化形成的，另一种是人工加工的。这类材料是道路与桥梁工程中使用量最大的材料，可用于道路结构层的水泥混凝土和沥青混凝土，大块石材可作为桥梁工程的基础和附属设施等。

1.1.1 岩石及其技术性能

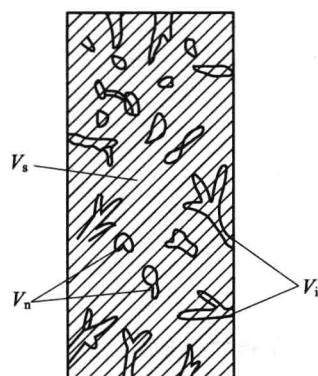
岩石的技术性能，主要从岩石的物理性能、力学性能和化学性能三个方面来进行评价。

1. 岩石的物理性能

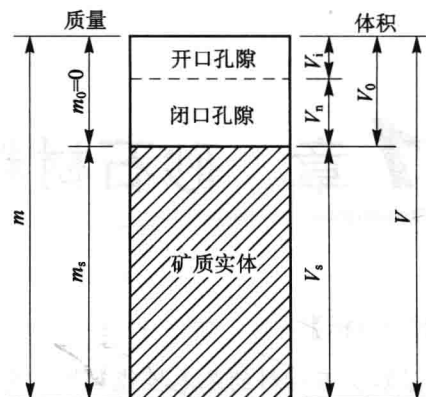
岩石的物理性能包括：物理常数（如密度、毛体积密度和孔隙率等）、吸水性（如吸水率、饱和吸水率等）和耐候性（耐冻性、坚固性等）。

（1）常用物理常数

岩石中各种矿物形成不同排列的结构，岩石的内部结构主要由矿质实体和孔隙组成。孔隙又包括开口孔隙与闭口孔隙两类，开口孔隙是与外界连通的孔隙，闭口孔隙是与外界不连通的孔隙（如图 1-1a 所示），各部分的质量与体积的关系如图 1-1b 所示。



(a) 岩石组成结构外观示意图



(b) 岩石结构的质量与体积关系示意图

图 1-1 岩石组成结构示意图

在路桥工程用块状岩石中，最常用的物理常数是密度、毛体积密度和孔隙率。这些物理常数可以间接地反映岩石的物理性能和力学性能。此外，在混合料组成设计计算时，这些物理常数也是重要的原始资料。

① 密度。

即在规定条件下，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，用 ρ_t 表示，

$$\rho_t = \frac{m_s}{V_s} \quad (1-1)$$

式中， ρ_t ——岩石的真实密度 (g/cm^3)；

m_s ——岩石矿质实体的质量 (g)；

V_s ——岩石矿质实体的体积 (cm^3)。

由于测定岩石密度时是在空气中称量岩石质量的，所以岩石中的空气质量 $m_0 = 0$ ，矿质实体的质量就等于岩石的质量，即 $m_s = M$ ，所以式 1-1 可改写为式 1-1'。

$$\rho_t = \frac{M}{V_s} \quad (1-1')$$

式中， M ——岩石的质量 (g)。

岩石密度的测定方法：按我国现行《公路工程岩石试验规程》(JTG E41—2005)，将岩石样品粉碎磨细后，在 $105 \sim 110^\circ\text{C}$ 条件下烘至恒重，称得质量。然后在密度瓶中加水经煮沸后，使水充分进入孔隙中，通过“置换法”测定其真实体积。已知真实体积和质量即可按式 1-1'求得真实密度。

② 毛体积密度。

即在规定条件下，烘干岩石包括孔隙体积在内的单位体积的质量，用 ρ_0 表示，

$$\rho_0 = \frac{m_s}{V_s + V_n + V_i} \quad (1-2)$$



式中, ρ_0 ——岩石的毛体积密度 (g/cm^3);

V_i, V_n ——岩石开口孔隙和闭口孔隙的体积 (cm^3)。

由于 $m_s = M$, 岩石的矿质实体体积和孔隙体积之和即岩石的毛体积, $V = V_s + V_n + V_i$, 所以式 1-2 可写为式 1-2'。

$$\rho_0 = \frac{M}{V} \quad (1-2')$$

式中, V ——岩石的毛体积 (cm^3)。

岩石毛体积密度的测定方法, 按《公路工程岩石试验规程》的规定, 可分为量积法、水中称量法和蜡封法。量积法适用于能制备成规则试件的各类岩石; 水中称量法适用于不会遇水崩解、溶解和干缩湿胀的各类岩石; 蜡封法适用于不能用量积法或无法直接在水中称量的其他岩石。

③ 孔隙率。

即岩石中孔隙的体积占其总体积 (包括孔隙体积在内) 的百分率,

$$n = \frac{V_0}{V} \times 100 \quad (1-3)$$

式中, n ——岩石的孔隙率 (%);

V_0 ——岩石的孔隙 (包括开口和闭口孔隙) 体积 (cm^3)。

孔隙率也可由公式 1-3' 计算得到:

$$n = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_t}\right) \times 100 \quad (1-3')$$

岩石的物理常数 (密度、毛体积密度和孔隙率) 不仅反映岩石的内部组成结构状态, 而且能间接地反映岩石的性能 (例如相同矿物所组成的岩石, 孔隙率愈低, 其强度愈高, 耐候性愈差)。尤其是岩石的孔隙结构, 会影响其所制成的集料在混凝土中对胶凝材料的黏滞、吸附等作用。

(2) 吸水性

吸水性是岩石在规定条件下吸收水分的能力。岩石与水作用后, 水很快湿润岩石的表面并填充岩石的孔隙进入岩石内部, 因此水对岩石破坏作用的大小, 主要取决于岩石造岩矿物性能及其组织结构状态 (即孔隙分布情况和孔隙率大小)。为此, 我国现行《公路工程岩石试验规程》规定, 采用吸水率和饱和吸水率两项指标来表征岩石的吸水性。

① 吸水率: 在自然状态下, 岩石试样最大的吸水质量与烘干岩石试件质量之比,

$$w_a = \frac{m_1 - m}{m} \times 100 \quad (1-4)$$

式中, w_a ——岩石吸水率 (%);

m_1 ——岩石吸水至恒重时的质量 (g);



m ——岩石试块烘干至恒重时的质量 (g)。

② 饱和吸水率：岩石的饱和吸水率是指岩石在强制条件下，最大的吸水质量与烘干岩石试件质量之比，以百分率表示。饱和吸水率采用煮沸法或真空抽气法测定。

测定岩石吸水率时，因为是在自然状态下试验，所以岩石内部部分开口孔隙仍然被空气占据；而真空抽气或煮沸后占据岩石开口孔隙的空气被排出，水即会进入岩石的孔隙中，此时水分几乎充满了开口孔隙的全部体积。所以，饱和吸水率大于吸水率。

(3) 耐候性

道路与桥梁工程都是暴露于大自然中的无遮盖的建筑物，经常受到各种自然因素的影响，用于道路和桥梁工程的岩石抵抗自然因素破坏作用的性能称为岩石的耐候性。目前对道路与桥梁工程用岩石，在某些气候条件下，必须考虑其抵抗冻融的耐久性(简称抗冻性)。

目前已列入我国《公路工程岩石试验规程》的耐候性指标有抗冻性和坚固性。

① 抗冻性：岩石试样在饱和状态下抵抗反复冻结和融化的性能。

我国现行试验规程中抗冻性的试验方法采用直接冻融法。该方法是将岩石加工为规则的块状试样，在常温 ($20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) 下，采用逐渐浸水的方法，使开口孔隙吸饱水分，然后置于负温 (通常 -15°C 以下) 的环境中冻结 4 h，再在常温条件下融解，如此为一个冻融循环。经过 10、15 或 25 次等循环后，观察其外观破坏情况 (是否产生剥落、裂缝、分层、掉角等现象) 并记录。采用经过规定冻融循环后的质量损失百分率表征其抗冻性：

$$L = \frac{m_s - m_f}{m_s} \times 100 \quad (1-5)$$

式中， L ——试件经冻融循环后的质量损失率 (%)；

m_s ——试验前试件烘干的质量 (g)；

m_f ——试验后试件烘干的质量 (g)。

此外，抗冻性亦可采用未经冻融的岩石试件饱水抗压强度与冻融循环后的岩石试件饱水抗压强度的比值 (称为耐冻系数) 表示：

$$K_f = \frac{R_f}{R_s} \quad (1-6)$$

式中， K_f ——耐冻系数；

R_f ——未经冻融的岩石试件饱水抗压强度 (MPa)；

R_s ——冻融循环后的岩石试件饱水抗压强度 (MPa)。

水在结冰时，体积会增大约 9%，对孔隙壁产生约 100 MPa 的压力，在压力的反复作用 (冻融循环) 下孔壁可能会开裂。当岩石吸收水分体积占开口孔隙体积 90% 以下时，岩石不因冻结而产生破坏。因此对岩石抗冻性要求，要根据岩石本身吸水率大小及所处的环境和气候条件来考虑。一般要求在寒冷地区 (冬季月平均气温低于 -15°C) 的重要工程，岩石吸水率大于 0.5% 时，都需要对岩石进行抗冻性试验。

② 坚固性：岩石试样经饱和硫酸钠溶液多次浸泡与烘干循环而不发生显著破坏或强