

高等学校试用教材

道路建筑材料试验

(道路与桥隧专业用)

同济大学道路工程教研室 编

人民交通出版社

高等学校试用教材

道路建筑材料试验

(道路与桥隧专业用)

同济大学道路工程教研室 编

人民交通出版社

高等学校试用教材
道路建筑材料试验
(道路与桥隧专业用)

同济大学道路工程教研室 编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 10 字数: 242 千

1979年7月 第1版

1979年7月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—8,100 册 定价: 1.05元

内 容 提 要

本书介绍道路与桥隧建筑中常用各种建筑材料的试验方法。其内容包括砂石材料、无机结合料、水泥混凝土、沥青材料、沥青混合料以及金属等材料的试验方法，该书是《道路建筑材料》教材的组成部分。

本书可作为高等学校道路和桥隧专业教材；亦可供有关专业人员工作和学习中的参考。

前 言

本教材是根据1978年3月在西安召开的道路工程专业、桥梁工程专业教材会议拟定的教材编写大纲编写的。供道路工程专业的道路建筑材料和桥梁专业的建筑材料试验课使用。

由于两个专业对该课程教学内容的重点不同，教学时数亦有差别，希望在使用本教材时，根据教学要求选用。照编写大纲规定，道路工程专业可着重于砂石材料、水泥及其混凝土和沥青及其混合料等；桥梁工程专业着重于水泥及其混凝土和金属材料等。

本教材编写的试验内容较多，由于目前各校试验仪器设备情况不同，可根据不同条件选作或演示。

本书主要供教学使用，对书中有关规定与现行标准或规范不一致处，应以国家标准或技术规范为准。

本书由同济大学严家伋编写，哈尔滨建筑工程学院蔡乃森审阅，在编写中哈尔滨建筑工程学院肖洪举参加了部分工作。

由于编写时间匆促，错误与缺点在所难免，希望批评、指正。对本书意见，请迳寄上海同济大学路桥工程系道路工程教研室转编者，以便再版时修改。

目 录

第一章 砂石材料试验	1
第一节 石料 (原石) 试验	1
试验1-1-1 石料比重、容重和孔隙率试验	2
试验1-1-2 石料吸水率和饱水率试验	5
试验1-1-3 石料耐冻性和坚固性试验	7
试验1-1-4 石料抗压强度试验	11
试验1-1-5 石料韧度试验	13
试验1-1-6 石料耐磨硬度试验	15
第二节 粗集料试验	17
试验1-2-1 粗集料视比重、容重和空隙率试验 ^[4]	17
试验1-2-2 粗集料含水率和饱和面干吸水率试验 ^[4]	20
试验1-2-3 粗集料筛析试验 ^[4]	22
试验1-2-4 粗集料针状和片状颗粒含量试验 ^[4]	23
试验1-2-5 粗集料坚固性试验 ^[4]	25
试验1-2-6 粗集料磨耗试验 ^[4]	27
试验1-2-7 粗集料压碎性试验 ^[4]	30
第三节 细集料试验	32
试验1-3-1 细集料视比重、容重和空隙率试验 ^[3]	32
试验1-3-2 细集料含水率和饱和面干吸水率试验 ^[3]	34
试验1-3-3 细集料筛析试验 ^[3]	36
试验1-3-4 细集料尘屑、淤泥和粘土总含量试验 ^[3]	38
试验1-3-5 细集料有机物质含量试验 ^[3]	39
试验1-3-6 细集料三氧化硫 (SO ₃) 含量试验 ^[5]	40
试验1-3-7 细集料云母含量试验 ^[3]	42
第四节 矿粉试验	43
试验1-4-1 矿粉颗粒组成试验 (水洗法)	43
试验1-4-2 矿粉容重试验	44
试验1-4-3 矿粉空隙率试验	45
试验1-4-4 矿粉亲水系数试验	45
第二章 无机结合料试验	47
第一节 石灰试验	47
试验2-1-1 石灰的未消解颗粒含量试验	47
试验2-1-2 石灰的活性氧化钙和氧化镁含量试验	48
第二节 水泥试验	51
试验2-2-1 水泥的细度试验 ^[1]	53

试验2-2-2 水泥的标准稠度用水量、凝结时间和安定性试验 ^{〔1〕}	55
试验2-2-3 水泥的胶砂强度试验 ^{〔1〕}	58
第三章 水泥混凝土和建筑砂浆试验	62
第一节 水泥混凝土试验	62
试验3-1-1 水泥混凝土混合料拌制和塑性试验	62
试验3-1-2 水泥混凝土抗压强度试验 ^{〔6〕}	67
试验3-1-3 水泥混凝土轴心抗压强度试验 ^{〔6〕}	68
试验3-1-4 水泥混凝土静力抗压弹性模量试验	69
试验3-1-5 水泥混凝土抗折强度试验 ^{〔6〕}	71
试验3-1-6 水泥混凝土静力抗折弹性模量试验 ^{〔6〕}	73
第二节 建筑砂浆试验	76
试验3-2-1 建筑砂浆稠度试验	76
试验3-2-2 建筑砂浆分层度试验	77
试验3-2-3 建筑砂浆抗压强度试验	78
第四章 沥青材料试验	80
第一节 沥青材料常规试验	80
试验4-1-1 沥青比重试验 ^{〔7〕} (比重瓶法)	80
试验4-1-2 沥青针入度试验	85
试验4-1-3 沥青延度试验	88
试验4-1-4 沥青软化点试验 (环与球法)	90
试验4-1-5 沥青溶解度 (或游离炭含量) 试验 ^{〔7〕}	93
试验4-1-6 沥青加热损失试验	94
试验4-1-7 沥青闪点和燃点试验 (开口杯法)	96
试验4-1-8 沥青含水量试验	98
试验4-1-9 沥青粘度试验	101
试验4-1-10 液体石油沥青分馏试验	103
试验4-1-11 软煤沥青分馏试验	106
试验4-1-12 软煤沥青酚含量试验	108
试验4-1-13 软煤沥青萘含量试验	110
第二节 沥青材料非常规试验	111
试验4-2-1 沥青脆点试验	111
试验4-2-2 沥青与石料粘附性试验 ^{〔7〕}	113
试验4-2-3 沥青化学组分试验	119
试验4-2-4 沥青含蜡量试验 ^{〔7〕}	123
第五章 沥青混合料试验	128
第一节 沥青混合料常规试验	128
试验5-1-1 沥青混合料拌制和试件制备	128
试验5-1-2 沥青混合料物理性质 (容重、饱水率和膨胀率) 试验	129
试验5-1-3 沥青混合料的抗压强度试验	131
第二节 沥青混合料非常规试验	133

试验5-2-1 沥青混合料稳定度 试验.....	133
试验5-2-2 沥青混合料三轴 试验.....	138
试验5-2-3 沥青混合料组成分析 试验.....	141
第六章 建筑金属材料试验.....	145
试验6-1 金属硬度试验	145
试验6-2 金属冷弯 试验.....	148
主要参考文献.....	150

第一章 砂石材料试验

砂石材料是道路建筑中最常用的材料，由于它的产状和加工成品的性质不同，分为下列四类：

1.块状岩石：从地壳开采出后成大块状的，在未进行进一步加工前称之为原石（或母岩）。对于原石的试验，主要是判断该原石可否用作加工各种石料制品。例如加工为桥梁砌筑用的各种石料制品（片石、块石、粗凿石、细凿石、镶面石等）和道路路面铺砌用料（锥形块石、拳石、条石、方块石等）以及轧成各种不同粒径的碎石等。

2.粗集料：粗集料包括天然风化而成的卵石以及人工轧制的碎石，它们的尺寸通常大于5毫米。在各种混合料中，它们主要是用作混合料的骨料。

3.细集料：是天然风化而成或人工轧制碎石时所得粒径小于5毫米的集料，通称为砂，或分别称为天然砂与人工砂。它们在混合料中多作为粗集料的填充材料。

4.石粉（或称矿粉）：这是为提高沥青混合料的质量而特别加工而成的粉末状物。它的粒径大部分通过0.074毫米，主要用作沥青混合料的填充料。

这四类砂石材料的试验方法，下面分四节讲述。

第一节 石料（原石）试验

本节仅讲述原石（母岩）的有关试验，包括比重、容重、孔隙率、吸水率、饱水率、耐冻性、坚固性、抗压强度、耐磨硬度、冲击韧度等，有时原石亦需要进行压碎与磨耗这二项试验，可参见第二节粗集料试验。

对于路用石料的技术要求，按交通部（JT-1003-66）规定，以抗压强度和磨耗度二项指标进行岩组分级，各岩组各等级石料的技术要求见表1-1。各岩组各等级石料的技术指标

路用天然石料按强度技术分级标准（交通部标准 JT1003-66）

表1-1

石料等级	砾石	火成岩		石灰岩		砂岩		片岩	
	磨耗度 重 %	抗压强度 兆帕 (公斤/厘米 ²)	磨耗度 重 %	抗压强度 兆帕 (公斤/厘米 ²)	磨耗度 重 %	抗压强度 兆帕 (公斤/厘米 ²)	磨耗度 重 %	抗压强度 兆帕 (公斤/厘米 ²)	磨耗度 重 %
1	<20	>117.6 (>1200)	<4	>98 (>1000)	<5	>98 (>1000)	<5	>98 (>1000)	<4
2	20~30	98~117.6 (1000~1200)	4~5	78.4~98 (800~1000)	5~6	78.4~98 (800~1000)	5~7	78.4~98 (800~1000)	4~5
3	30~50	78.4~98 (800~1000)	5~7	58.8~78.4 (600~800)	6~12	49~78.4 (500~800)	7~10	58.8~78.4 (600~800)	5~7
4	>50	—	7~10	29.4~58.8 (300~600)	12~20	29.4~49 (300~500)	10~15	29.4~58.8 (300~600)	7~12
5	—	—	10	<29.4 (<300)	>20	<29.4 (<300)	>15	<29.4 (<300)	>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、砂岩等；石灰岩包括石灰石、白云石等；片岩包括片麻岩、花岗岩等。

② 极限抗压强度系石料在饱水状态下求得的，磨耗度是在双筒式（即德瓦尔式）磨耗机中测定的。

公路工程用石料按强度技术分级 (供参考用)

表1-2

岩石组别	物理力学性质 指标等级	容 重 (克/厘米 ³)	吸 水 率 重 量 计 (%)	硫酸钠溶液 试验损失 (重量计) (%)	饱 水 状 态 下 极限抗压强度 千帕(公斤/厘米 ²)	磨 耗 度 (%)		初度, 冲击次数 (次)	硬度系数 (耐磨硬 度机)
						双筒式 磨耗机	摘板式 磨耗机		
火 成 岩 组	1	>2.6	<1.0	<0.5	>117,600 (>1,200)	<4	<25	>12	>18
	2	2.5~2.6	1.0~1.5	0.5~5.0	98,000~117,600 (1,000~1,200)	4~5	25~30	10~12	16~18
	3	2.5~2.6	1.5~3.5	5.0~10.0	78,400~98,000 (800~1,000)	5~7	30~45	6~10	15~16
	4	2.5~2.6	3.5~4.0	10.0~15.0	58,800~78,400 (600~800)	7~10	45~60	<6	<15
	5	<2.5	>4.0	>15.0	—	>10	>60	—	—
石 灰 岩 组	1	>2.7	<1.0	<0.5	>98,000 (>1,000)	<5	<30	>16	>16
	2	2.6~2.7	1.0~3.0	<0.5	78,400~98,000 (800~1,000)	5~6	30~35	7~10	14~16
	3	2.5~2.6	3.0~8.0	0.5~1.0	58,800~78,400 (600~800)	6~12	35~50	6~7	10~14
	4	2.0~2.5	8.0~15.0	1.0~1.5	29,400~58,800 (300~600)	12~20	50~60	4~6	6~10
	5	<2.0	>15	>1.5	<29,400 (<300)	>20	>60	<4	<6
砂 岩 组	1	>2.5	<1.5	<0.5	>98,000 (>1,000)	<5	<30	>10	>17
	2	2.4~2.5	1.5~3.0	0.5~5.0	78,400~98,000 (800~1,000)	5~7	30~35	7~10	16~17
	3	2.4~2.5	3.0~4.0	5.0~10.0	49,000~78,400 (500~800)	7~10	35~45	5~7	14~16
	4	<2.5	4.0~6.0	10.0~15.0	29,400~49,000 (300~500)	10~15	45~60	<5	<14
	5	<2.2	>6.0	>15	<29,400 (<300)	>15	>60	—	—
片 岩 组	1	>2.5	<0.5	<0.5	>98,000 (>1,000)	<4	<30	>10	>17
	2	>2.5	0.5~1.5	0.5~5.0	78,400~98,000 (800~1,000)	4~5	30~35	8~10	16~17
	3	>2.5	1.5~3.0	5.0~10.0	58,800~78,400 (600~800)	5~7	35~45	5~8	12~16
	4	2.4~2.5	3.0~4.0	10.0~15.0	29,400~58,800 (300~600)	7~12	45~60	<5	<12
	5	<2.4	>4.0	>15.0	<29,400 (<300)	>12	>60	—	—

汇列于表 1-2, 供参考。

试验 1-1-1 石料比重、容重和孔隙率试验

一、定义

石料比重是石料在干燥状态下 (105~110°C 干燥至恒重) 不包括孔隙在内的单位体积 (简称实体积) 质量与 4°C 同体积蒸馏水质量之比。在标准温度下不包括孔隙率在内的单位体积质量称为密度。C.G.S 制下, 4°C 时 1 立方厘米水的质量为 1 克, 故比重与密度的绝对值相等。但前者为比值, 后者单位为克/厘米³。在 S.I. 制中, 重度即为单位体积物体的重力, 故以牛顿每立方厘米为单位。

石料容重是石料在干燥状态下, 包括孔隙在内的单位体积重量, 亦即石料在 105~110°C 干燥至恒重时的重量与其表观体积之比值。

石料孔隙率为单位体积石料的孔隙容积与其总体积之比。

二、试验意义

石料的比重、密度、容重和孔隙率是石料的重要物理常数。这些物理常数反映石料的内部结构状态与其物理性质与力学性质之间都存在的关系。由于这些物理常数的测定方法较其它物理-力学性质测定简便，可以利用它们直接为生产服务或推断其它的物理力学数据。

三、试验仪器和试剂

1. 烘箱：容积不小于 $20 \times 20 \times 30$ 厘米，最高温度为 200°C ，并能自动调节温度为 $105 \sim 110^{\circ}\text{C}$ ；
2. 干燥器：直径30厘米，内装氯化钙或硅胶等干燥剂；
3. 比重瓶：形状和尺寸见图 1-1；
4. 工业天平：称量 200 克，感量 0.01 克；
5. 恒温水浴：容积长 $\times$ 宽 $\times$ 高 = $20 \times 20 \times 25$ 厘米；
6. 温度计：温度范围 $0 \sim 200^{\circ}\text{C}$ ；
7. 锥形玻璃漏斗和磁皿；
8. 牛骨匙；
9. 轧石机（实验室用小型轧石机）或大小钢钎：供初碎石料样品用；
10. 球磨机或研磨机：供磨碎石粉用；
11. 玛瑙研钵或瓷研钵：供磨细石粉用；
12. 标准筛：孔径 0.2 毫米；
13. 煤油：沸点范围 $175 \sim 325^{\circ}\text{C}$ ；
14. 烧杯：250 毫升；
15. 石蜡（事先测出比重）；
16. 软毛刷。

四、试验方法

（一）比重（比重瓶法）

1. 取代表性石料样品在小型轧石机上轧碎（或手工用钢钎敲碎），再置于球磨机中初碎，然后用研钵研细，筛取通过 0.2 毫米筛孔的石粉。

2. 用磁皿称取石粉约 100 克，并把石粉均匀地分布于皿底。置于 $105 \sim 110^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘至恒重^①，然后置于干燥器中冷却至室温。

3. 将洗净、烘干的比重瓶置于水温为 $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的恒温水浴中，使刻度浸于水中，并用支架夹紧，以免浮起，将煤油倒入比重瓶中，使液面最低点与刻度零点相切，如高于零点时可精确读出液面刻度。

4. 准确称出冷却后的磁皿和石粉合重为 g_0 （准确至 0.01 克，以后各称量准确度同此）。用牛骨匙小心地将石粉通过漏斗装入比重瓶中，使液面上升至 20 毫升刻度（或其它大于 20 毫升的整数刻度），在倾注时注意勿使石粉粘附于液面以上的瓶颈内壁上；将瓶沿垂直轴转动几次至液面不再发生气泡为止。准确读出石粉体积 V （准确至 0.1 毫升）。

5. 准确称出磁皿和剩余石粉合重为 g_1 。

6. 按下式计算出石料比重值：

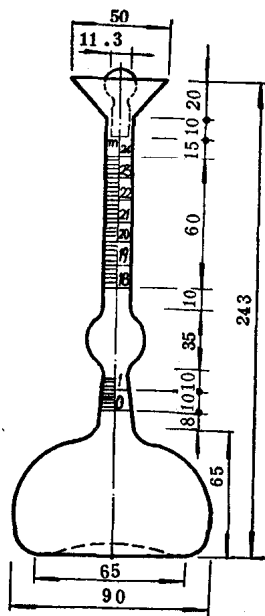


图1-1 石料比重瓶

① 此处石料恒重称量是指两次称量的重量差值不大于 0.05 克，恒重称量所需时间与石料含水量有关，一般可采用烘 8-4 小时或 6-2 小时的称量方式。

$$\gamma = \frac{g_0 - g_1}{V}, \text{克/厘米}^3$$

式中: γ ——石料比重, 此处以密度表出;

g_0 ——试验前石粉与磁皿合重, 克;

g_1 ——试验后剩余石粉与磁皿合重, 克;

V ——比重瓶液体上升体积, 厘米³。

以两次试验的算术平均值为试验结果, 准确至 0.01 克/厘米³, 两次试验之差值不大于 0.02 克/厘米³。

(二)容重 (蜡封法)

1. 将试验石料敲成边长约为 5 厘米的近似正方体试件 3 或 5 个 (石质均匀者 3 个; 不均匀者 5 个), 用软毛刷刷去灰尘后用油漆编号。

2. 将石料试件置于 105~110°C 烘箱中烘至恒重, 然后置于干燥器中冷却后, 准确称出重量为 g_0 。

3. 将石蜡加热熔化, 至稍高于其熔点 (一般石蜡熔点在 55~58°C)。用中号鬃毛刷在石料试件表面涂上一层厚度不大于 1 毫米的熔融状石蜡层。冷却后准确称出涂有石蜡的石料试件重量为 g_1 。

4. 将涂有石蜡膜的试件系于静水天平上, 准确称出其在水中重量为 g_2 。

5. 石料容重按下式计算:

$$\delta = \frac{g_0}{g_1 - g_2 - \frac{g_1 - g_0}{\gamma_p}}$$

式中: δ ——容重, 克/厘米³;

g_0 ——干燥至恒重后的试件重, 克;

g_1 ——涂石蜡后试件在空气中重, 克;

g_2 ——涂石蜡后试件在水中重, 克;

γ_p ——石蜡比重 (应事先测得, 一般约为 0.93 克/厘米³)。

五、准确度

组织均匀的岩石取 3 个试样的算术平均值为试验结果。个别值与平均值的试验误差不大于 ± 0.02 克/厘米³; 组织不均匀的岩石记录其最大值与最小值供参考。

附: 对于规则试件 (如将石料加工成正立方体或圆柱体), 将试件烘至恒重后, 准确称出重量 (准确至 0.01 克), 可直接用游标卡尺准确量出试件体积。体积测量方法如下:

① 正立方体, 长、宽、高均要在每个面的上、中、下的三个地方进行测量, 以三次测量的算术平均值为测量结果, 测量尺寸准确至 0.1 毫米。试件体积为

$$V = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3} \cdot \frac{b_1 + b_2 + b_3}{3} \cdot \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3}$$

② 圆柱体, 在圆柱体的上、中、下三个平面互相垂直的方向量直径六次, 在互相垂直的直径与圆周交点之处测量高度四次, 按以上量得的直径 (d) 和高 (h) 的算术平均值, 按下式计算。试件体积为

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot h$$

石料容重按下式计算:

$$\delta = \frac{g}{V}$$

式中: g ——烘至恒重后干燥试件重, 克;

V ——试件体积, 厘米³。

(三)孔隙率

石料孔隙率按下式进行计算:

$$v = \left(1 - \frac{\delta}{\gamma}\right) \cdot 100$$

式中: v ——孔隙率, %;

δ ——石料容重, 克/厘米³;

γ ——石料比重, 克/厘米³。

六、试验记录

石料比重、容重和孔隙率试验记录表

表1-3

试样编号		石 字 第			号		试样来源						
石料名称							初拟用途						
比 重	试验次数	试验前石粉+磁皿重 (克) g_0	试验后剩余石粉+磁皿重 (克) g_1		装入比重瓶的石粉重 (克) $g_0 - g_1$		比重瓶液面读值 装入石粉前 V_0		装入石粉后 V_1		装入比重瓶的石粉体积 (厘米 ³) $V = V_1 - V_0$	比 重 γ	
	①	②	③		④ = ② - ③		⑤		⑥		⑦ = ⑥ - ⑤	⑧ = ④ / ⑦	
	1												
	2												
容 重 (规则几何状试件)	试验次数	试件重量 (克) g	试件尺寸(毫米)						试件体积 (厘米 ³) V		容 重 (克/厘米 ³) δ		
			a			b			c				
			a_1	a_2	a_3	b_1	b_2	b_3	c_1	c_2	c_3		
	①	②	③			④			⑤			⑥ = ③ × ④ × ⑤	⑦ = ② / ⑥
孔 隙 率、 实 积 率	试验次数	石 料 比 重 γ		石 料 容 重 δ		石料孔隙率(%) $v = \left(1 - \frac{\delta}{\gamma}\right)$				石料实积率 $d = \frac{\delta}{\gamma}$			
	1												
	2												
	3												

试验者: _____ 日期: _____; 复核者: _____ 日期: _____

试验1-1-2 石料吸水率和饱水率试验

一、定义

吸水率是石料在常温 ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) 和标准气压 (760 毫米水银柱) 条件下的最大吸水能力, 以重量 (或体积) 百分率计。

饱水率是石料在常温 ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) 和真空 (真空度为20毫米水银柱) 条件下的最大吸水能力, 以重量 (或体积) 百分率计。

二、试验意义

饱水率和吸水率是同一物理现象, 仅试验条件不同。吸水率试验因系在常温、常压条件

下, 石料的开口孔隙体积仍有部分被空气所占据, 所以水仅能充满开口孔隙的其余大部分体积; 而饱水率试验则是在常温和真空抽气的条件下, 故开口孔隙中的空气被驱除, 因而水分几乎充满开口孔隙的全部体积。

石料吸水率的大小, 决定于石料的孔隙的数量大小和分布情况。从吸水率可以间接判断石料的抗冻性。此外, 根据容重和吸水率亦可间接确定石料的抗压强度。

三、试验仪器和试剂

1. 石料加工设备 (钻石机、锯石机、磨平等, 如采用不规则试件进行试验时则可无需上述仪器);

2. 工业天平: 称量 500 克, 感量 0.01 克;

3. 烘箱: 温度范围 50~200°C;

4. 干燥器: 直径 30 厘米, 内盛氯化钙等干燥剂;

5. 铅皮盛水箱: 长×宽×高 = 30×20×8 厘米;

6. 抽气设备: 抽气机、水银压力计、真空干燥器和净气瓶等;

7. 硫酸 (H_2SO_4): 浓度 98%, 比重 1.8;

8. 磁片或黄砂少许;

9. 软毛刷: 供清洁试件用;

10. 纱布: 供揩拭试件表面多余水分用。

四、试验方法

(一) 吸水率试验

1. 将石料加工成标准试件● (以后可留作饱水率和抗压强度等试验用), 如采用不规则试件时, 试件最小边尺寸应为 4~6 厘米。每组试件数量根据石料质量而定。石质均匀者取三块, 石质不均匀者取五块。

2. 将试件表面的疏松颗粒及尘土等刷除干净, 并用油漆编号, 同时在试件侧面 1/4, 1/2, 3/4 处作出标记。然后将试件放于 105~110°C 的烘箱中烘至恒重。将试件移入干燥器中, 待其冷却后准确称出重量为 g_1 (准确至 0.01 克, 以下各称量准确度同此)。

3. 将试件置于水箱中, 在试件下垫有小磁片或在箱底铺一层薄砂, 使试件底部有充分吸水的机会。试件之间应留有 1~2 厘米的间隔。在水箱中加入清水至试件高度的 1/4 处。经 2 小时后, 加水至 1/2 处, 经 4 小时后, 加水至 3/4 处。经 24 小时后加水高出试件 2 厘米以上。

4. 再经 24 小时后, 取出试件, 用湿纱布轻轻揩去试件表面水分, 并准确称出试件重量。

5. 再次将试件重新浸没于水中, 又 24 小时后, 重新准确称量重量, 如此重复上述步骤, 直至试件达恒重为止 (重复称量重量允许偏差 0.05 克)。准确称出吸水后试件重量为 g_2 。

6. 吸水率按下式计算。

(1) 按重量计:

$$W_{\text{吸(重)}} = \frac{g_2 - g_1}{g_1} \cdot 100, \%$$

(2) 按体积计:

$$W_{\text{吸(体)}} = \frac{g_2 - g_1}{g_1} \cdot \delta \cdot 100, \%$$

式中: g_1 ——试件干燥重量, 克;

● 通常为 $5 \times 5 \times 5$ 的正方体或直径与高均为 5 厘米的圆柱体。

g_2 ——试件吸水后重量，克；

δ ——试件容重，克/厘米³。

(二) 饱水率试验

1. 按吸水率同样的方法准备试件，烘至恒重，准确称出重量 g_1 。也可以用测定吸水率后的湿试件再行测定饱水率。

2. 将试件置于真空干燥器中，在干燥器中注入清水，水面应高出试件 2 厘米以上。在干燥器盖子的盖边毛玻璃口上涂以凡士林，然后盖上干燥器的盖子。连接抽气机和水银压力计。

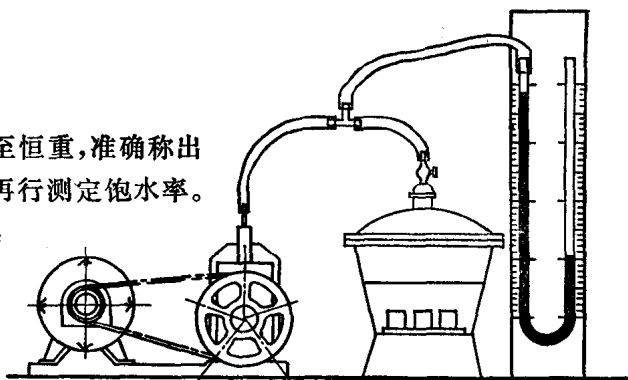


图1-2 真空抽气设备

3. 开动抽气机，使真空干燥器中的空气抽至水银压力计为 20 毫米的真空度（即水银柱高差为 740 毫米），保持此真空状态，直至试件内冒出的气泡完全消失为止（大约需 3 小时左右），然后关闭抽气机，停止抽气，拧开真空干燥器的开关，使空气进入干燥器中，如此试件在标准压力（760 毫米水银柱）下，继续浸水 4 小时，然后将试件取出，用湿布轻轻揩去表面水份，并准确称量其重量 g_2 。饱水率计算方法与吸水率相同，符号用 $W_{\text{饱}}$ 。

五、试验记录

石料吸水率、饱水率试验记录表

表1-4

试样编号		石 字 第		号		试样来源			
石料名称						初拟用途			
吸水率	试验次数	试件干燥后的重量 (克) g_1	试件吸水后恒称 (克) g_2				试件吸的水重 (克) $g_2 - g_1$	试件吸水率 (%) $W_{\text{吸}}$	
			1	2	3	4		按重量计 $W_{\text{吸}}$ (重)	按体积计 $W_{\text{吸}}$ (体)
	①	②	③				④ = ③ - ②	⑤ = ④ / ②	⑥ = ⑤ δ
	1								
	2								
3									
饱水率	试验次数	试件干燥后重量 (克) g_1	试件饱水后重量 (克) g_2				试件饱含水重 (克) $g_2 - g_1$	饱 水 率 (%) $W_{\text{饱}}$	
			1	2	3	4		按重量计 $W_{\text{饱}}$ (重)	按体积计 $W_{\text{饱}}$ (体)
	①	②	③				④ = ③ - ②	⑤ = ④ / ②	⑥ = ⑤ δ
	1								
	2								
3									
饱水系数计算		饱水系数: $K_{\text{饱}} = \frac{W_{\text{吸}}}{W_{\text{饱}}}$							

试验者: _____ 日期: _____, 复核者: _____ 日期: _____

试验1-1-3 石料耐冻性和坚固性试验

一、定义

石料耐冻性，是石料试样在潮湿状态下，经多次冻融循环而不产生显著破坏或强度降低的性能。

石料坚固性，是石料试样经饱和硫酸钠溶液 ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 多次浸泡与烘干循环后，而不发生显著破坏与强度降低的性能。

二、试验意义

耐冻性是侵入石料孔隙和微小裂缝里的水，在冻结时增大体积，对孔隙壁和微小裂缝的内壁上发生很大的压力，在此情况下石料抵抗破裂的性能。

温度在 -20°C 至 $+18^\circ\text{C}$ 之间的反复变化，对石料破坏有一定的影响，特别对矿物成份复杂，晶粒粗大，构造不均匀，并有片状结构的岩石，由于引起了晶粒的不均匀膨胀和收缩，其影响更大。因此石料抗冻性决定于矿物成份、晶粒粗度、分布的均匀性、胶结物质对晶体粘结性及孔隙性质等。

喷出岩吸水率少于0.5%，和沉积岩吸水率少于1.0%的石料，除重要工程外，可不作耐冻性试验。

判断石料的耐冻性，有时用吸水率与饱水率的比值“饱水性系数”概略表示如下式：

$$K_{\text{饱}} = \frac{W_{\text{吸}}}{W_{\text{饱}}}$$

式中： $W_{\text{吸}}$ ——石料吸水率，重量，%；

$W_{\text{饱}}$ ——石料饱水率，重量，%。

在试验室没有耐冻性试验设备的条件下，亦可采用坚固性试验来表征石料的耐冻性。

坚固性与耐冻性试验相似，因其设备较为简单，费时较少，所以常用以代替耐冻性试验。而耐冻性与坚固性的循环次数的换算关系，随着岩石造岩矿物与组成结构的不同，各种岩石并非一固定数值。通常，坚固性试验合格的石料，耐冻性大多合格，必要时可进一步作耐冻性试验，最后对该石料作出适用性的判断。

三、试验仪器和试剂

1. 石料加工设备（同前述）；
2. 烘箱（同前述）；
3. 铜丝笼及铅皮箱：供放置冷冻试件用；
4. 工业天平：称量 500 克，感量 0.01 克；
5. 冰箱：能调节至温度为 -20°C ；
6. 恒温水浴；
7. 放大镜：放大 30 倍；
8. 标准钢针：检查岩石矿物的构造用；
9. 搪磁盆：直径 25 厘米左右；
10. 干燥器；
11. 游标卡尺：精度 0.1 毫米；
12. 玻璃棒；
13. 无水硫酸钠 (Na_2SO_4)：白色吸湿性粉末，比重 2.698，能溶于水。或加水合硫酸钠 ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)，无色晶体，比重 1.46，热至 100°C 完全失水，能溶于水。

四、试验方法

(一)耐冻性

1. 将石料加工成 $5 \times 5 \times 5$ 厘米的正立方体, 或直径与高均为 5 厘米的圆柱体试件 3~5 个 (石质均匀者每组 3 个, 石质不均匀者每组 5 个)。选取试件时用放大镜、钢针检查并详细作出描述 (如层理、纹理和裂缝等)。刷去表面的尘土, 用油漆编号, 烘干至恒重。然后准确称出重量 g_1 (准确至 0.01 克, 以下各称量同此)。

2. 按吸水率试验方法制备水饱和和试件。将水饱和和试件分别装入铜丝笼, 然后装入铅皮箱中 (防止试件互相碰撞损坏) 连同铅皮箱一起置于 $-20 \pm 2^\circ\text{C}$ 的冰箱中 4 小时, 使其冻结。然后取出放在 $+20 \pm 2^\circ\text{C}$ 的恒温水浴中 4 小时, 使其融化。这样称为一个冻融循环, 反复进行此循环达到要求的循环次数为止。

3. 在经一定循环次数 (如 15、25、50 次等) 后均须借放大镜及钢针之助, 作详细观察, 视试件有无发生裂缝及鳞片状脱落崩散等现象, 观察结果应详细描述记录。

最后一次冻融后的试件应烘干至恒重, 然后准确称出重量 g_2 。无明显坏损的试件应留作耐冻后的抗压强度试验, 以求耐冻系数之用。

4. 耐冻性试验可用下列方法表示。

(1) 经规定冻融循环次数后以损失量表示。损失量按下式计算:

$$Q_{\text{冻}} = \frac{(g_1 - g_2)}{g_1} \cdot 100, \%$$

式中: g_1 ——试验前干试件恒重, 克;

g_2 ——试验后干试件恒重, 克。

(2) 经规定冻融循环次数后, 以石料极限抗压强度降低百分率表示。抗压强度降低百分率按下式计算:

$$K_{\text{冻}} = \frac{R_{\text{压(干)}} - R_{\text{压(冻)}}}{R_{\text{压(干)}}} \cdot 100, \%$$

式中: $R_{\text{压(干)}}$ ——石料干燥试件极限抗压强度平均值, 千帕 (公斤/厘米²);

$R_{\text{压(冻)}}$ ——石料经规定冻融循环后干燥试件极限抗压强度平均值, 千帕 (公斤/厘米²)。

(3) 以试件破坏和裂缝的情况表示, 不得发生贯穿 (穿过试件两棱角) 裂缝。

(二) 坚固性试验

1. 取约 400 克的无水硫酸钠 (或 800 克的结晶硫酸钠) 溶解于温度为 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ 的 1000 毫升蒸馏水中, 配制成饱和硫酸钠溶液 (溶液总需要量约等于试件体积的 5 倍)。硫酸钠饱和溶液的配制方法是边加热蒸馏水 (温度为 $30 \sim 50^\circ\text{C}$), 边逐渐加入硫酸钠, 并用玻璃棒不断搅拌, 待硫酸钠全部溶解直至饱和并有部分结晶析出为止。让溶液冷至室温 ($20 \sim 25^\circ\text{C}$) 并静置 48 小时后待用。应用时需再将溶液充分搅拌, 试验过程中应保持溶液比重在 1.151~1.174 范围。与耐冻性试验同样方法制备标准试件 (正立方体或圆柱体)。

2. 将干燥至恒重并已称得重量为 g_1 的试件浸入装有硫酸钠溶液的磁盆中, 溶液应加至高出试件 15 毫米以上, 用盖将磁盆盖好, 如此浸置于溶液中 20 小时。

① 按《道路桥涵工程规范》规定: 用于大、中桥铺面的或表层的石料, 冻融循环次数为 50 次; 小桥及涵洞铺面的或表层的石料, 冻融循环次数为 25 次。

② 按《道路桥涵工程规范》规定: 桥涵建筑用石料在寒冷地区经冻融循环试验后极限抗压强度不得低于未经冻融循环的原石料极限抗压强度的 75%。亦有以石料经规定冻融循环试验后的干燥试件的极限抗压强度平均值与未经冻融试验的干燥试件的极限抗压强度平均值的比值为“耐冻系数”, 表示如下:

$$K_{\text{冻}} = \frac{R_{\text{压(冻)}}}{R_{\text{压(干)}}}$$

式中符号同前。

③ 不规则试件的坚固性试验方法参阅碎石的坚固性试验。