



高等学校土木工程专业规划教材

土木工程试验

Civil Engineering Test

张建仁 田仲初 主编



人民交通出版社
China Communications Press

高等学校土木工程专业规划教材

土木工程试验

Civil Engineering Test

张建仁 田仲初 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书以国家级实验教学示范中心为依托,按照土木工程专业教学要求,分为基础篇和专业篇。基础篇内容包括土木工程材料试验、土力学与工程地质试验、工程结构基本构件试验和测量学实验;专业篇内容包括路基路面工程试验、桥梁工程试验、工程结构试验以及岩土工程(含隧道工程)试验。本书内容简明扼要,具有很强的实用性和操作性。

本书可作为高等院校土木工程专业和相近专业教材,同时也可供相关工程技术人员和科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程试验/张建仁,田仲初主编. —北京:
人民交通出版社,2012.6
高等学校土木工程专业规划教材
ISBN 978-7-114-09771-3

I. ①土… II. ①张…②田… III. ①土木工程—试
验—高等学校—教材 IV. ①TU-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 080869 号

高等学校土木工程专业规划教材

书 名: 土木工程试验

著 作 者: 张建仁 田仲初

责任编辑: 王文华(wwh@ccpress.com.cn)

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京盈盛恒通印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 18.75

字 数: 470 千

版 次: 2012 年 6 月 第 1 版

印 次: 2012 年 6 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-09771-3

定 价: 38.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

“土木工程试验”在土木工程科学研究和技术革新方面起着十分重要的作用,已逐步形成为一门相对独立的学科,并日益引起科研人员和工程技术人员的关注和重视。其内容不但涵盖建筑材料、土力学、工程地质、结构设计原理、钢结构、结构力学、工程测量学、路基路面工程、道路勘测设计、桥梁工程、岩土工程等课程的相关试验,同时还涉及物理学、机械与电子测量技术、数理统计分析等内容。通过本课程的学习,使学生进一步掌握基本理论,巩固所学知识,获得常规操作、试验观察和搜集、处理试验数据、描述试验过程、绘制试验图表等基本技能,具有科技工作者所必须具有的试验能力和基本素质,为今后从事科学研究和工程检测打下坚实的基础。

教育部批准长沙理工大学土木工程专业实验教学中心为 2008 年度国家级实验教学示范中心建设单位,全面进行实验教学内容 and 教学体系改革。“土木工程试验”根据实验教学体系改革方案,按照“独立设课,单独考核,分段实施”的原则,分为基础试验和专业试验两个模块。其中,基础试验共 55 项,包括必修试验 23 项,选修试验 32 项,必修试验以基础训练型试验为主,内容涵盖建筑材料、土力学与工程地质、工程结构基本构件、测量学等基础试验;专业试验项目共 35 项,必修项目有 8 项,增设了综合设计型、研究创新型和工程实践项目,内容包括道路工程试验、桥梁工程试验、工程结构试验、岩土工程试验(含隧道工程)等专业试验。专业试验项目是在基础试验项目的基础上,培养学生理解专业知识、综合应用专业知识的能力,并通过研究创新试验项目增强学生的创新能力。

“土木工程试验”课程将学生能力的培养贯穿于整个实验教学过程中,特别是培养学生的基础理论知识综合运用能力和解决工程实际问题的能力。一方面通过试验内容的精心设计来阐释基础理论知识,加深学生对理论知识的理解;另一方面在试验中体现理论的指导作用,培养学生对理论学习的兴趣,达到实验教学与理论教学的互为补充、协调发展。根据土木工程专业本科生的知识结构和能力结构的特点,强调建筑材料、土力学与工程地质、工程结构基本构件、测量实验等基础知识和基本技能的训练。同时,通过改造、更新试验内容和试验方法,特别是在专业试验课程中大量增加综合性、设计性、创新性试验项目,突出工程实践能力和创新能力的培养。在专业基础试验和专业试验项目中均考虑设置一定数量的综合设计性试验项目,将传统的分散的相关基本知识点综合,设计成一个较大的试验项目,从而将原本相对独立的基本知识点贯穿起来,使学生了解各基本知识点之间的有机联系,增强学生的综合应用能力,同时也节省了试验学时。另外,该课程还将道路、桥梁等土木工程领域的先进技术手段和试验方法应用于实验教学,开发了一批反映现代土木工程技术,具有土木工程特色的研究创新性试验项目和工程实践性试验项目。土木工程实验教学改革为培养具有现代土木工程建设意识、具有工程实践能力和创新精神的高级应用型专门人材提供了重要条件。

本书内容简明扼要,具有很强的实用性和操作性,可供高等学校土木工程专业和相近专业作为教材使用,同时也可供相关工程技术人员和科研人员作为参考用书。

本书第1章由李九苏和欧阳岚编写,第2章由梁斌、刘龙武和张新敏编写,第3章由蒋田勇、赵虹、张中脊和潘权编写,第4章由徐卓揆、唐平英、周访滨、宋谦和李杰编写,第5章由欧阳岚、李九苏和江宏编写,第6章由蒋田勇、徐飞鸿、谢海波、潘权、彭涛和肖丹编写,第7章由张中脊、张向阳和文双武编写,第8章由张庆斌和张宏编写。全书由张建仁和田仲初统稿、校阅。

书中难免存在差错和不足,敬请读者批评指正。

张建仁,田仲初

2012年4月

目 录

第一篇 基础篇

第1章 土木工程材料试验	3
1.1 粗、细集料物理力学性能试验	3
1.2 粗、细集料筛分及组成设计试验	9
1.3 水泥性能试验	13
1.4 沥青性质试验	19
1.5 水泥混凝土拌和物和易性的测定与调整试验	24
1.6 水泥混凝土配合比设计试验	26
1.7 基准混凝土与掺外加剂混凝土性能的对比试验	27
本章参考文献	28
第2章 土力学与工程地质试验	29
2.1 土的基本物理性质指标测定	29
2.2 土的基本力学性质指标测定	38
2.3 土的定名试验	49
2.4 软土的三轴压缩试验	50
2.5 土的力学性能原位试验	51
2.6 地基承载力确定试验	55
2.7 软土工程沉降模型试验	56
2.8 土工构筑物力学性能模型试验	57
2.9 填料压实性评价试验	60
2.10 主要造岩矿物的综合鉴定试验	61
2.11 常见岩浆岩的综合鉴定试验	66
2.12 常见沉积岩的综合鉴定试验	69
2.13 常见变质岩的综合鉴定试验	74
本章参考文献	77
第3章 工程结构基本构件试验	78
3.1 电阻应变计灵敏系数测定试验	78
3.2 钢筋混凝土梁正截面破坏试验	80
3.3 钢筋混凝土柱偏心受压试验	84

3.4 简支钢桁架静载试验·····	87
3.5 刚架试验·····	90
3.6 超声回弹法测试混凝土强度试验·····	92
3.7 简支钢桁架模态试验·····	97
本章参考文献·····	100
第4章 测量学实验 ·····	101
4.1 水准仪的构造与使用·····	101
4.2 高程测量综合实验·····	103
4.3 经纬仪的构造与使用·····	106
4.4 角度测量的综合性实验·····	109
4.5 测绘仪器的检验与校正·····	112
4.6 距离测量与直线定向综合实验·····	117
4.7 全站仪的构造与使用·····	119
4.8 全站仪三维导线测量·····	121
4.9 经纬仪测绘法成图·····	122
4.10 数字化成图·····	125
4.11 建筑基线的放样(测设)·····	127
4.12 圆曲线测设·····	129
4.13 带缓和曲线的圆曲线测设·····	132
4.14 纵断面测量·····	135
4.15 全站仪坐标法测设中线与断面·····	138
4.16 工程建筑物的变形观测·····	140
4.17 桥隧控制测量(三角测量)·····	141
4.18 GPS 在控制测量中的应用·····	143
4.19 RTK GPS 施工放样·····	144
4.20 虚拟实验·····	146
本章参考文献·····	147

第二篇 专 业 篇

第5章 路基路面工程试验 ·····	151
5.1 无机结合料稳定材料试验·····	151
5.2 沥青试验·····	165
5.3 沥青混合料试验·····	170
5.4 压实度试验·····	177
5.5 承载能力测试试验·····	186

5.6 路基路面现场回弹模量试验	195
5.7 路面抗滑性能试验	199
5.8 平整度试验	207
5.9 沥青路面渗水性能试验方法	211
5.10 路基路面检测新技术简介	214
本章参考文献	218
第6章 桥梁工程试验	220
6.1 简支梁桥荷载横向分布模型试验	220
6.2 拱结构模型试验	222
6.3 CFRP 拉索斜拉桥模型受力性能试验	224
6.4 简支箱梁整体工作性能试验	227
6.5 桥梁结构动力特性测试试验	229
6.6 缆索支承桥梁索力测试试验	232
6.7 基桩静载试验	234
6.8 基桩完整性检测及评定	238
6.9 钢筋混凝土桥梁耐久性指标检测及状态评价	240
6.10 桥梁结构或单梁现场荷载试验	245
本章参考文献	251
第7章 工程结构试验	252
7.1 砌体轴心抗压强度试验	252
7.2 框架结构受力试验	254
7.3 钢筋混凝土梁斜截面破坏试验	255
7.4 网架结构模型受力试验	257
7.5 配筋砌体轴心抗压强度试验	258
7.6 钢筋混凝土结构耐久性指标检测与评价	261
本章参考文献	265
第8章 岩土工程(含隧道工程)试验	266
8.1 超声检测混凝土质量及缺陷试验	266
8.2 隧道环境检测试验	270
8.3 静力、动力触探试验	274
8.4 岩土波速测试试验	276
8.5 雷管电阻参数测量试验	278
8.6 隧道地质检测与预报试验	279
8.7 隧道现场测试与监测试验	281
本章参考文献	288

第一篇

基础篇



第1章 土木工程材料试验

1.1 粗、细集料物理力学性能试验

粗、细集料是土木工程中使用的大宗原材料之一,其物理、力学性能对水泥砂浆、水泥混凝土、沥青混合料有显著影响。粗、细集料的物理性能试验主要包括表观密度试验、毛体积密度试验等,力学性能试验主要包括粗集料压碎值试验、粗集料磨耗试验、粗集料坚固性试验等。表观密度、毛体积密度是指粗、细集料单位表观体积或毛体积的质量,其大小通常在一定程度上表征粗、细集料力学性质的优劣和孔隙的多少;粗集料压碎值试验间接反映粗集料的抗压强度;粗集料磨耗值试验模拟粗集料受到冲击、磨耗作用时的磨损情况,在一定程度上表征其耐磨性的好坏;粗集料坚固性试验通过硫酸钠溶液结晶作用,在一定程度上模拟粗集料抵抗冻融和自然因素作用的能力。通过粗、细集料的物理、力学性能试验,不但要求掌握粗、细集料物理、力学性能的检验方法和步骤、试验结果分析方法,还要求掌握其物理、力学性能对水泥砂浆、水泥混凝土、沥青混合料性能的影响。

1.1.1 表观密度试验

1) 试验目的

- (1)掌握粗、细集料的表观密度试验方法和步骤;
- (2)掌握水泥砂浆、水泥混凝土和沥青混合料中对粗、细集料表观密度的要求;
- (3)掌握粗、细集料表观密度试验结果的数据处理和分析方法。

2) 试验方法

对于粗、细集料表观密度的测试,通常采用水中重法进行。对于粗集料,一般采用广口瓶法;而对于细集料,则一般采用容量瓶法。

3) 主要仪器设备

容量瓶(500mL),天平,干燥器,浅盘,铝制料勺,温度计,烘箱,烧杯,广口瓶,筛子,带盖容器,毛巾,刷子,玻璃片等。

4) 试验步骤

按规定取有代表性的粗、细集料若干。用四分法或分料器法准备好规定质量的粗、细集料备用。

(1) 广口瓶法

①将试样过4.75mm筛,按照四分法缩分至表1.1规定的数量。清洗干净后,分成大致相等的两份备用。

表观密度试验所需试样数量

表 1.1

最大粒径(mm)	<26.5	31.5	37.5	63.0	75.0
最少试样质量(kg)	2.0	3.0	4.0	6.0	6.0

②将试样浸水饱和后,装入广口瓶中,装试样时广口瓶应倾斜放置,然后注满饮用水,用玻璃片覆盖瓶口,以上下左右摇晃的方法排除气泡。

③气泡排尽后,向瓶内添加饮用水,直至水面凸出到瓶口边缘,然后用玻璃片沿瓶口迅速滑行,使其紧贴瓶口水面。擦干瓶外水分后,称取试样、水、瓶和玻璃片的质量(m_1),准确至1g。

④将瓶中的试样倒入浅盘中,置于温度为 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重,取出放在带盖的容器中冷却至室温后称取试样的质量(m_0),准确至1g。

⑤将瓶洗净,重新注入饮用水,用玻璃片紧贴瓶口水面,擦干瓶外水分后称取其质量(m_2),准确至1g。

⑥按下式计算石子的表观密度 ρ'_s (准确至 $10\text{kg}/\text{m}^3$):

$$\rho'_s = \frac{m_0}{m_0 + m_2 - m_1} \times \rho_w \times 1000 \quad (1.1)$$

式中: ρ_w ——水的密度, g/cm^3 。

(2)容量瓶法

①将660g左右的砂试样在温度为 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的烘箱中烘干至恒重,并在干燥器内冷却至室温,分为大致相等的两份待用。

②称取烘干的试样300g(m_0),准确至1g,将试样装入容量瓶,注入冷开水至接近500mL的刻度处,摇转容量瓶,使试样在水中充分搅动,排除气泡,然后塞紧瓶塞,静置24h。

③静置后用滴管添水,使水面与瓶颈500mL刻度线平齐,再塞紧瓶塞,擦干瓶外水分,称取其质量(m_1),准确至1g。

④倒出瓶中的水和试样,将瓶的内外表面洗净,再向瓶内注入与前面水温相差不超过 2°C ,且温度在 $15 \sim 25^\circ\text{C}$ 范围内的冷开水至瓶颈500mL刻度线,塞紧瓶塞,擦干瓶外水分,称取其质量(m_2),准确至1g。

⑤按下式计算砂的表观密度 ρ'_s (准确至 $10\text{kg}/\text{m}^3$):

$$\rho'_s = \frac{m_0}{m_0 + m_2 - m_1} \times \rho_w \times 1000 \quad (1.2)$$

5) 试验误差要求

表观密度应用两份试样分别测定,并以两次试验结果的算术平均值作为测定结果,准确至 $10\text{kg}/\text{m}^3$ 。如两次测定结果的差值大于 $20\text{kg}/\text{m}^3$ 时,应重新取样测定。

1.1.2 毛体积密度试验

毛体积密度与表观密度最大的区别是,前者的单位体积包括实体颗粒、闭口孔隙和开口孔隙三部分,而后的单位体积只包括实体颗粒和闭口孔隙两部分。

1) 试验目的

- (1)掌握粗、细集料的毛体积密度试验方法和步骤;
- (2)掌握水泥砂浆、水泥混凝土和沥青混合料中对粗、细集料毛体积密度的要求;
- (3)掌握粗、细集料毛体积密度试验结果的数据处理和分析方法。

2) 试验方法

对于粗、细集料毛体积密度的测试,通常采用表干法进行。对于粗集料,一般采用广口瓶法;而对于细集料,则一般采用容量瓶法。

3) 主要仪器设备

容量瓶(500mL),天平,干燥器,浅盘,铝制料勺,温度计,烘箱,烧杯,广口瓶,筛子,带盖容器,毛巾,刷子,玻璃片等。

4) 试验步骤

(1)按规定取有代表性的粗、细集料若干,用四分法或分料器法准备好规定质量的粗、细集料备用。

(2)取试样一份装入容量瓶(广口瓶)中,注入洁净的水(可滴入数滴洗涤灵),水面高出试样,轻轻摇动容量瓶,使附着在石灰土中的气泡逸出。盖上玻璃片,在室温下浸水24h。

注:水温应在15~25℃范围内,浸水最后2h内的水温相差不得超过2℃。

(3)向瓶中加水至水面凸出瓶口,然后盖上容量瓶塞,或用玻璃片沿广口瓶瓶口迅速滑行,使其紧贴瓶口水面,玻璃片与水面之间不得有空隙。

(4)确认瓶中没有气泡,擦干瓶外的水分后,称取集料试样、水、瓶及玻璃片的总质量(m_2)。

(5)将试样倒入浅搪瓷盘中,稍稍倾斜搪瓷盘,倒掉流动的水,再用毛巾吸干漏出的自由水。需要时可称取带表面水的试样质量(m_4)。

(6)用拧干的湿毛巾轻轻擦干颗粒的表面水,至表面看不到发亮的水迹,即为饱和面干状态。当粗集料尺寸较大时,可逐颗擦干。注意拧湿毛巾时不要太用劲,防止拧得太干。擦颗粒的表面水时,既要使表面水擦掉,又不能将颗粒内部的水吸出,整个过程中不得有集料丢失。

(7)立即称取饱和面干集料的表干质量(m_3)。

(8)将集料置于浅盘中,放入温度为(105±5)℃的烘箱中烘干至恒重,取出浅盘,放在带盖的容器中冷却至室温,称取集料的烘干质量(m_0)。

注:恒重是指相邻两次称量间隔时间大于3h的情况下,其前后两次称量之差小于该项试验所要求的精密度,即0.1%。一般在烘箱中烘烤的时间不得少于4~6h。

(9)将瓶洗净,重新装入洁净水,盖上容量瓶塞,或用玻璃片紧贴广口瓶瓶口水面,玻璃片与水面之间不得有空隙。确认瓶中没有气泡,擦干瓶外水分后称取水、瓶及玻璃片的总质量(m_1)。

5) 试验结果计算

(1)毛体积密度 ρ'_b 按下式计算(准确至10kg/m³):

$$\rho'_b = \frac{m_0}{m_3 + m_1 - m_2} \times \rho_w \times 1000 \quad (1.3)$$

(2)集料的吸水率 w_x 、含水率 w 、表面含水率 w_s 以烘干试样为基准,分别按下式计算,准确至0.1%。

$$w_x = \frac{m_3 - m_0}{m_0} \times 100 \quad (1.4)$$

$$w = \frac{m_4 - m_0}{m_0} \times 100 \quad (1.5)$$

$$w_s = \frac{m_4 - m_3}{m_0} \times 100 \quad (1.6)$$

(3)当水泥混凝土集料需要以饱和面干试样作为基准求取集料的吸水率 w_x 及表面含水

率 w_s 时,按下式计算,准确至 0.1%,但需在报告中予以说明。

$$w_x = \frac{m_3 - m_0}{m_3} \times 100 \quad (1.7)$$

$$w_s = \frac{m_4 - m_3}{m_3} \times 100 \quad (1.8)$$

6) 精密度或允许差

毛体积密度应用两份试样分别测定,并以两次试验结果的算术平均值作为测定结果,准确至 10 kg/m^3 。如两次测定结果的差值大于 20 kg/m^3 时,应重新取样测定;吸水率不得超过 0.2%。

1.1.3 压碎值试验

集料压碎值用于衡量集料在逐渐增加的荷载下抵抗压碎的能力,是衡量集料力学性质的指标。一般而言,压碎值越小,集料的强度越高。因此,压碎值试验在一定程度上能间接反映石料力学强度的高低,又因为石料单轴抗压强度试验相对来说测试步骤较为复杂,故工程上经常用压碎值来间接表征。国家标准和行业标准中关于压碎值的试验方法可能略有差别,下面介绍公路工程中的集料压碎值试验方法。

1) 试验目的

通过测定压碎值来间接了解集料、石料的力学强度,检验对土木工程的适用性。

2) 主要仪器设备

石料压碎值试验仪,金属棒,天平,方孔筛,金属筒,500kN 压力试验机。

3) 试验步骤

(1) 用 9.5mm 和 13.2mm 标准筛过筛,取 9.5 ~ 13.2mm 的试样 3kg,供试验使用。

注: 试样宜采用风干石料,如需加热烘干时,烘箱温度不应超过 100°C ,烘干时间不超过 4h。试验前,石料应冷却至室温。

(2) 每次试验的集料数量应满足按下述方法夯击后石料在试筒内的深度为 10cm: 将集料分三层倒入量筒中,每层数量大致相同。每层都用金属棒的半球面端从石料表面上约 50mm 的高度处自由下落均匀夯击 25 次,最后用金属棒作为直刮刀将表面刮平,称取量筒中试样质量 (m_0)。以相同质量的试样进行压碎值的平行试验。

(3) 将试筒安放在底板上。

(4) 将上面所得试样分三次(每次数量相同)倒入试筒中,每次均将试样表面整平,并用金属棒按上述步骤夯击 25 次,最上层表面应仔细整平。

(5) 压柱放入试筒内石料面上,注意使压柱摆平,勿楔挤筒壁。

(6) 将装有试样的试筒连同压柱放到压力机上,均匀地施加荷载,在 10min 时达到总荷载 400kN。

(7) 达到总荷载 400kN 后,立即卸荷,将试筒从压力机上取下。

(8) 将筒内试样取出,注意勿进一步压碎试样。

(9) 用 2.36mm 筛筛分经压碎的全部试样,可分几次筛分,均需筛到在 1min 内无明显的筛出物为止。

(10) 称取通过 2.36mm 筛孔的全部细料质量 (m_1)。

4) 试验结果计算

压碎值按下式计算(准确至 0.1%):

$$Q_a = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad (1.9)$$

式中: Q_a ——石料压碎值,%;

m_0 ——试验前试样质量,g;

m_1 ——试验后通过 2.36mm 筛孔的细料质量,g。

以两次平行试验结果的算术平均值作为压碎值的测定值。

1.1.4 磨耗值试验

集料的磨耗值表征集料耐磨性的好坏。磨耗值的试验方法主要有洛杉矶磨耗试验和道瑞磨耗试验,前者更为常用。下面介绍洛杉矶磨耗试验方法。

1) 试验目的

测定标准条件下粗集料抵抗摩擦、撞击的能力,以磨耗损失(%)表示。

2) 主要仪器设备

(1) 洛杉矶磨耗试验机:圆筒内径为 (710 ± 5) mm,内侧长 (510 ± 5) mm,两端封闭,投料口的钢盖通过紧固螺栓和橡胶垫与钢筒紧闭密封。钢筒的回转速率为 30 ~ 33r/min。

(2) 钢球:直径约为 4.68mm,质量为 390 ~ 445g,大小稍有不同,以便组成符合要求的总质量。

(3) 台秤:感量 5g。

(4) 标准筛:符合要求的标准筛系列,以及筛孔为 1.7mm 的方孔筛一个。

(5) 烘箱:能使温度控制在 (105 ± 5) ℃范围内。

(6) 容器:搪瓷盘等。

3) 试验步骤

(1) 将块石用碎石机轧碎(或人工敲碎)并用水洗净,置于温度为 (105 ± 5) ℃的烘箱中烘干至恒重。

(2) 开启磨耗机转筒的筒盖,清理转筒,将选好的碎石试样置于筒内,并加直径为 46.8mm 的钢球 12 个,每个质量为 390 ~ 445g,总质量为 $(5\,000 \pm 50)$ g,盖好筒盖,调整计数器至零。开动电动机,使圆筒以 30 ~ 33r/min 的速度旋转。

(3) 待圆筒旋转至 500 转,关闭电动机停止转动,取出试样置于边长为 1.7mm 的方孔筛上,筛去石粉和石屑,然后将筛移至自来水龙头上,用水冲洗干净,将存留在筛上的试样置于温度为 (105 ± 5) ℃的烘箱中烘至恒重,并准确称出磨耗后试样质量(m_2)。

4) 试验结果计算

石料磨耗损失按下式计算(准确至 0.1%):

$$Q_{ls} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1.10)$$

式中: Q_{ls} ——石料磨耗损失,%;

m_1 ——装入筒中的烘干石料试样质量,g;

m_2 ——试验后洗净烘干的石料试样质量,g。

1.1.5 坚固性试验

1) 试验目的

确定碎石或砾石经饱和硫酸钠溶液多次浸泡与烘干循环,承受硫酸钠结晶压而不发生显著破坏或强度降低的性能。

2) 主要仪器设备

(1) 烘箱:能使温度控制在 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。

(2) 天平:称量 5kg,感量不大于 1g。

(3) 标准筛:根据试样的粒级,按表 1.2 选用。

坚固性试验所需的各粒级试样质量

表 1.2

公称粒级(mm)	圆孔筛	5~10	10~20	20~40	40~63	63~80
	方孔筛	4.75~9.5	9.5~19	19~37.5	37.5~63	63~75
试样质量(g)		500	1 000	1 500	3 000	5 000

注:1. 粒级为 10~20mm(或 9.5~19mm)的试样中,应含有 10~16mm(或 9.5~16mm)粒级颗粒 40%,16~20mm(或 16~19mm)粒级颗粒 60%。

2. 粒级为 20~40mm(19~37.5mm)的试样中,应含有 20~31.5mm(或 19~31.5mm)粒级颗粒 40%,31.5~40mm(或 31.5~37.5mm)粒级颗粒 60%。

(4) 容器:搪瓷盆或瓷缸,容积不小于 50L。

(5) 三脚网篮:网篮的外径为 100mm,高为 150mm,采用孔径不大于 2.5mm 的铜网或不锈钢丝制成;检验粒级 40~80mm 的颗粒时,应采用外径和高均为 250mm 的网篮。

(6) 试剂:无水硫酸钠和十水结晶硫酸钠(工业用)。

3) 试验方法及步骤

(1) 试验准备

① 硫酸钠溶液的配制:取一定数量的蒸馏水(多少取决于试样及容器大小),加温至 20~50 $^\circ\text{C}$,每 1 000mL 蒸馏水加入无水硫酸钠(Na_2SO_4)300~350g 或十水硫酸钠($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)700~1 000g,用玻璃棒搅拌,使其溶解并饱和,然后冷却至 20~25 $^\circ\text{C}$;在此温度下静置 48h,其相对密度应保持在 1.151~1.174(波美度为 18.9~21.4)范围内。试验时容器底部应无结晶存在。

② 试样的制备:将试样按表 1.2 的规定分级,洗净后放入温度为 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的烘箱内烘干 4h,取出并冷却至室温,然后按表 1.2 规定的质量称取各粒级试样质量 α_i 。

(2) 试验步骤

① 将所称取的不同粒级的试样分别装入三脚网篮并浸入盛有硫酸钠溶液的容器中,溶液体积应不小于试样总体积的 5 倍,温度应保持在 20~25 $^\circ\text{C}$ 的范围内;三脚网篮浸入溶液时应先上下升降 25 次,以排除试样中的气泡,然后静置于该容器中,此时,网筛底面应距容器底面约 30mm(由网篮脚高控制);网篮之间的间距应不小于 30mm,试样表面至少应在液面以下 30mm。

② 浸泡 20h 后,从溶液中提出网篮,放在温度为 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的烘箱内烘干 4h。至此,完成了第一个试验循环。待试样冷却至 20~25 $^\circ\text{C}$ 后,即开始第二次循环,从第二次循环起,浸泡及烘干时间均可为 4h。

③ 完成五次循环后,将试样置于 25~30 $^\circ\text{C}$ 的清水中洗净硫酸钠,再放入温度为 $(105 \pm$

5)℃的烘箱中烘干至恒重,待冷却至室温后,用试样粒级下限筛孔过筛,并称量各粒级试样试验后的筛余量。

注:试样中硫酸钠是否洗净,可按下述方法检验:取洗试样的水数毫升,滴入少量氯化钡(BaCl_2)溶液,如无白色沉淀,即说明硫酸钠已被洗净。

④对粒径大于20mm(或19mm)的试样部分,应在试验前后分别记录其颗粒数量,并进行外观检查,描述颗粒的裂缝、剥落、掉边和掉角等情况及其所占的颗粒数量,以作为分析其坚固性时的补充依据。

4) 试验结果计算

(1) 试样中各粒级颗粒的分计质量损失百分率按下式计算:

$$Q_i = \frac{m_i - m'_i}{m_i} \times 100 \quad (1.11)$$

式中: Q_i ——各粒级颗粒的分计质量损失百分率,%;

m_i ——各粒级试样试验前的烘干质量,g;

m'_i ——经硫酸钠溶液法试验后,各粒级筛余颗粒的烘干质量,g。

(2) 试样总质量损失百分率按下式计算(准确至1%):

$$Q = \frac{\sum \alpha_i Q_i}{\sum \alpha_i} \quad (1.12)$$

式中: Q ——试样总质量损失百分率,%;

α_i ——试样中各粒级的分计质量百分率,%;

Q_i ——各粒级的分计质量损失百分率,%。

1.2 粗、细集料筛分及组成设计试验

在我国,粗、细集料通常以具有一定粒度分布范围的类似于“混合料”的方式供应。而在水泥砂浆、水泥混凝土或沥青混合料的相关技术规范或标准中,对粒径分布的要求则具体到某一级筛孔的通过率或累计筛余百分率。因此,在进行配合比设计或实际施工生产过程中,经常需要进行粗、细集料的筛分试验,以判定是否符合要求或提供参考数据供配合比设计时使用。粗、细集料的组成设计则是要确定在最终的混合料中各种粗、细集料以及填料所占的百分率。

1.2.1 粗、细集料筛分试验

1) 粗集料筛分试验

(1) 试验目的和意义

测定粗集料的颗粒级配及粒级规格,检验其级配是否符合技术标准,并为水泥混凝土配合比或沥青混合料配合比设计提供依据。

(2) 主要仪器设备

摇筛机,标准筛(孔径规格为2.36mm、4.75 mm、9.50 mm、16.0 mm、19.0 mm、26.5 mm、31.5 mm、37.5 mm、53.0 mm、63.0 mm、75.0 mm和90mm),天平,台秤,烘箱,容器,浅盘等。

(3) 试验准备

按规定方法取样,并将试样缩分至略大于表1.3规定的数量,烘干或风干后备用。根据需要可按要求的集料最大粒径的筛孔尺寸过筛,除去超粒径部分颗粒后,再进行筛分。