

公路水运工程试验检测专业技术人员  
职业资格考试用书

# 水运材料

(2024年版)

交通运输部安全与质量监督管理局  
交通运输部职业资格中心 组织编写

人民交通出版社股份有限公司

北京

《公路水运工程试验检测专业技术人员职业资格  
考试用书 水运材料》(2024 年版)

主 编

胡建福 袁 媛 谭 华

主 审

任铮钺 周庆华

交通基础设施建设质量安全工作事关交通运输行业高质量发展,事关人民群众生命财产安全,事关经济社会稳定发展,抓好质量安全工作功在当代、利在千秋。公路水运工程试验检测是交通运输基础设施建设的关键岗位,在质量把关、隐患排查和安全监测等环节发挥着重要作用。实施好公路水运工程试验检测专业技术人员职业资格制度,建设高素质、专业化的专业技术人员队伍,既是不断提升交通建设工程质量、实现交通运输安全发展的重要保证,也是在为加快建设交通强国、当好中国现代化的开路先锋提供质量安全人才支撑。

为方便考生备考,我们组织来自全国公路水运工程试验检测相关单位和部分高校的专家,依据《2024年度公路水运工程试验检测专业技术人员资格考试大纲》,对《公共基础》《道路工程》《桥梁隧道工程》《交通工程》《水运材料》和《水运结构与地基》六个科目的考试用书进行了修订。新版考试用书持续贯彻习近平总书记关于交通运输工作、人才工作的重要论述和指示批示精神,聚焦落实《交通强国建设纲要》《质量强国建设纲要》对新阶段公路水运工程建设质量安全提出的目标任务,突出加快建设交通强国及建设现代化高质量综合交通体系等要求,体现了交通建设的新标准、新工艺、新技术、新设备、新材料的发展对试验检测专业技术人员职业能力的要求,注重理论联系实际,针对性、实用性和指导性强,可以作为广大考生复习备考的参考用书。

在此一并向所有参与编写及修订工作的单位及专家表示感谢!

由于水平有限,疏漏之处在所难免,敬请批评指正。

<b>第一章 水泥</b> .....	1
第一节 概述.....	1
第二节 通用硅酸盐水泥的技术要求及判定规则.....	3
第三节 水运工程中水泥的选用及特殊要求.....	5
第四节 通用硅酸盐水泥检验组批、取样和样品要求 .....	6
第五节 通用硅酸盐水泥检测方法.....	8
<b>第二章 集料和岩石</b> .....	26
第一节 概述 .....	26
第二节 技术要求及检验规则 .....	29
第三节 细集料检测方法 .....	37
第四节 粗集料检测方法 .....	55
第五节 岩石试验方法 .....	69
<b>第三章 混凝土拌和用水</b> .....	74
第一节 使用规定及技术要求 .....	74
第二节 检验规则、取样和样品要求.....	76
第三节 混凝土拌和用水检测方法 .....	78
<b>第四章 混凝土外加剂</b> .....	83
第一节 外加剂的分类和主要功能 .....	83
第二节 外加剂的应用规定和检验规则 .....	84
第三节 外加剂匀质性试验 .....	89
第四节 混凝土性能检测方法 .....	94
第五节 阻锈剂性能检验方法.....	102
第六节 膨胀剂性能检测方法.....	103
第七节 外加剂与胶凝材料相容性.....	104
<b>第五章 掺合料</b> .....	106
第一节 掺合料的分类和作用.....	106
第二节 使用规定、技术要求及检验规则 .....	108
第三节 粉煤灰检测方法.....	112
第四节 粒化高炉矿渣粉检测方法.....	115
第五节 硅灰检测方法.....	117

<b>第六章 混凝土路面砖</b> .....	120
第一节 技术要求和检验规则.....	120
第二节 混凝土路面砖检测方法.....	123
<b>第七章 土工合成材料</b> .....	128
第一节 概述.....	128
第二节 技术要求及检验规则.....	131
第三节 土工布检测方法.....	136
第四节 塑料排水板检测方法.....	144
<b>第八章 沥青</b> .....	150
第一节 概述.....	150
第二节 技术要求及检验规则.....	151
第三节 检测方法.....	152
<b>第九章 混凝土修补和加固材料</b> .....	156
第一节 修补和加固材料及其性能要求.....	156
第二节 立模浇筑混凝土试验.....	159
第三节 喷射混凝土抗压强度试验.....	161
第四节 水下不分散混凝土性能试验.....	162
第五节 修补砂浆材料性能试验.....	165
第六节 界面粘结材料与基材的正拉粘结强度试验.....	167
<b>第十章 混凝土表面防腐</b> .....	170
第一节 混凝土表面防腐的方法和原理.....	170
第二节 混凝土表面防腐技术要求.....	171
第三节 混凝土表面防腐检验规则.....	173
第四节 混凝土表面涂层性能检测.....	174
第五节 硅烷浸渍保护性能检测.....	178
第六节 混凝土表面涂层和硅烷浸渍质量现场检验.....	182
<b>第十一章 钢筋、钢绞线和钢筋接头</b> .....	184
第一节 概述.....	184
第二节 钢筋、钢绞线和钢筋接头的技术要求.....	187
第三节 检验组批及判定规则.....	191
第四节 钢筋检测方法.....	194
第五节 钢筋接头检测方法.....	200
第六节 预应力混凝土用钢绞线试验.....	203
<b>第十二章 水泥混凝土和砂浆</b> .....	208
第一节 概述.....	208
第二节 混凝土质量要求.....	209
第三节 混凝土检验规则.....	212
第四节 混凝土试验方法.....	215

第五节	混凝土配合比设计	240
第六节	砂浆试验方法	247
第七节	砂浆配合比设计	254
<b>第十三章</b>	<b>钢结构连接</b>	<b>257</b>
第一节	概述	257
第二节	高强度大六角头螺栓连接副	258
第三节	扭剪型高强度螺栓连接副	259
<b>第十四章</b>	<b>预应力锚具</b>	<b>262</b>
第一节	技术要求	262
第二节	检验规则	263
第三节	检测方法	264
<b>第十五章</b>	<b>预应力波纹管</b>	<b>269</b>
第一节	概述	269
第二节	技术要求	270
第三节	检验规则	274
第四节	检测方法	275
<b>第十六章</b>	<b>无机结合料稳定材料</b>	<b>284</b>
第一节	目标配合比设计主要内容	284
第二节	主要技术指标	285
第三节	取样、成型和养护	287
第四节	试验方法	295

## 相关标准规范

- 《水运工程混凝土试验检测技术规范》(JTS/T 236—2019)；
- 《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2023)；
- 《水泥化学分析方法》(GB/T 176—2017)；
- 《水泥密度测定方法》(GB/T 208—2014)；
- 《水泥细度检验方法 筛析法》(GB/T 1345—2005)；
- 《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》(GB/T 1346—2011)；
- 《水泥胶砂流动度测定方法》(GB/T 2419—2005)；
- 《水泥比表面积测定方法 勃氏法》(GB/T 8074—2008)；
- 《水泥胶砂强度检验方法(ISO法)》(GB/T 17671—2021)；
- 《水泥取样方法》(GB/T 12573—2008)。

## 第一节 概 述

### 一、水泥分类

#### 1. 按水泥的用途及性能分类

水泥的种类繁多,按水泥的用途和性能可分为通用水泥和特种水泥两大类。

(1)通用水泥:一般土木建筑工程通常采用的水泥。以水泥的硅酸盐矿物名称命名,并冠以混合材料名称或其他适当名称,如:硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥。

(2)特种水泥:具有特殊性能或用途的水泥。以水泥的主要矿物名称、特性或用途命名,并冠以不同型号或混合材料名称,如:快硬硅酸盐水泥、低热矿渣硅酸盐水泥等。

#### 2. 按水泥的主要水硬性矿物名称分类

(1)硅酸盐水泥:主要水硬性矿物为硅酸三钙、硅酸二钙、铝酸三钙和铁铝酸四钙。

- (2) 铝酸盐水泥:主要水硬性矿物为铝酸钙。
- (3) 硫铝酸盐水泥:主要水硬性矿物为无水硫铝酸钙和硅酸二钙。
- (4) 铁铝酸盐水泥:主要水硬性矿物为无水硫铝酸钙、铁铝酸钙和硅酸二钙。
- (5) 氟铝酸盐水泥:主要水硬性矿物为氟铝酸钙和硅酸二钙。

### 3. 通用硅酸盐水泥的分类

根据《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2023):通用硅酸盐水泥按混合材料的品种和掺量分为硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥六大类,各品种水泥的代号和组分要求见表 1-1。

各品种水泥的代号和组分要求 表 1-1

品种	代号	组分(质量分数,%)						
		熟料+石膏	粒化高炉矿渣	火山灰质混合材料	粉煤灰	石灰石	砂岩	替代混合材料
硅酸盐水泥	P·I	100	—	—	—	—	—	—
	P·II	95~100	0~<5	—	—	—	—	—
—			—	—	0~<5	—	—	
普通硅酸盐水泥	P·O	80~<94	5~<20			—	—	0~<5
矿渣硅酸盐水泥	P·S·A	50~<79	21~<50	—	—	—	—	0~<8
	P·S·B	30~<49	51~<70	—	—	—	—	
火山灰质硅酸盐水泥	P·P	60~<79	—	21~<40	—	—	—	0~<5
粉煤灰硅酸盐水泥	P·F	60~<79	—	—	21~<40	—	—	
复合硅酸盐水泥	P·C	50~<79	21~<50				—	—

水泥是一种磨细材料,与水混合形成塑性浆体后,能在空气中水化硬化,并能在水中继续硬化保持强度和体积稳定性的无机水硬性胶凝性材料。

#### (1) 硅酸盐水泥。

由硅酸盐水泥熟料和适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,其中允许掺加0%~5%石灰石或粒化高炉矿渣,代号P·I和P·II。

#### (2) 普通硅酸盐水泥。

由硅酸盐水泥熟料和不超过总质量20%的混合材料,掺加适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,代号:P·O。

#### (3) 矿渣硅酸盐水泥。

由硅酸盐水泥熟料和粒化高炉矿渣为主要组分,掺加适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,代号:P·S。

#### (4) 火山灰质硅酸盐水泥。

由硅酸盐水泥熟料和火山灰质混合材料为主要组分,掺加适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,代号:P·P。

(5) 粉煤灰硅酸盐水泥。

由硅酸盐水泥熟料和粉煤灰为主要组分,掺加适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,代号:P·F。

(6) 复合硅酸盐水泥。

由硅酸盐水泥熟料和两种或两种以上混合材料为主要组分,掺加适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料,代号:P·C。

## 二、硅酸盐水泥熟料

硅酸盐水泥熟料是由主要含  $\text{CaO}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的原料,按适当比例磨成细粉,烧至部分熔融,得到的以硅酸钙为主要矿物成分的水硬性胶凝物质。其中硅酸钙矿物含量(质量分数)不少于 66%, $\text{CaO}$  和  $\text{SiO}_2$  质量比不小于 2.0。

硅酸盐水泥熟料的四种主要矿物:硅酸三钙( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ )、硅酸二钙( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ )、铝酸三钙( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ )和铁铝酸四钙( $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ )。

### 1. 硅酸三钙

硅酸三钙是硅酸盐水泥熟料的主要矿物,其遇水反应速度快、水化热高,水化产物对水泥早期和后期强度起主要作用。

### 2. 硅酸二钙

硅酸二钙由  $\text{CaO}$  与  $\text{SiO}_2$  化合而成,硅酸盐水泥熟料的主要矿物之一,其遇水反应速度较慢、水化热很低,水化产物对水泥早期强度贡献较小,但对后期强度起重要作用,耐化学侵蚀和抗干缩性能好。

### 3. 铝酸三钙

铝酸三钙在熟料煅烧中起熔剂作用,是四种矿物中遇水反应速度最快、水化热最高的组分,它的含量对水泥凝结时间、水化热、耐化学侵蚀和抗干缩性能起较大作用。

### 4. 铁铝酸四钙

铁铝酸四钙也是一种熔剂性矿物,遇水反应速度较快、水化热较高,强度较低,对水泥抗折强度起重要作用,耐磨性、耐化学侵蚀性和抗干缩性能好。

## 第二节 通用硅酸盐水泥的技术要求及判定规则

### 一、通用硅酸盐水泥的技术指标

通用硅酸盐水泥的主要技术指标包括:化学指标、碱含量和物理指标。

#### 1. 化学指标

通用硅酸盐水泥的化学指标主要有不溶物、烧失量、三氧化硫、氧化镁和氯离子含量,水泥的化学指标应符合表 1-2 的规定。

通用硅酸盐水泥的化学指标(%)

表 1-2

品种	代号	不溶物 (质量分数)	烧失量 (质量分数)	三氧化硫 (质量分数)	氧化镁 (质量分数)	氯离子 (质量分数)
硅酸盐水泥	P·I	≤0.75	≤3.0	≤3.5	≤5.0 <sup>①</sup>	≤0.06 <sup>③</sup>
	P·II	≤1.50	≤3.5			
普通硅酸盐水泥	P·O	—	≤5.0	≤4.0	≤6.0 <sup>②</sup>	
矿渣硅酸盐水泥	P·S·A	—	—		≤3.5	
	P·S·B	—	—	≤6.0		
火山灰质硅酸盐水泥	P·P	—	—	≤3.5	≤6.0	
粉煤灰硅酸盐水泥	P·F	—	—			
复合硅酸盐水泥	P·C	—	—			

注:①如果水泥压蒸试验合格,则水泥中氧化镁的含量(质量分数)允许放宽至6.0%。

②如果水泥中氧化镁的含量(质量分数)大于6.0%时,需进行水泥压蒸安定性试验并合格。

③当有更低要求时,该指标由买卖双方协商确定。

## 2. 碱含量(选择性指标)

水泥中碱含量按  $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$  计算值表示。当用户要求提供低碱水泥时,由买卖双方协商确定。

## 3. 物理指标

### (1) 凝结时间。

硅酸盐水泥初凝时间不小于45min,终凝时间不大于390min。

普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥初凝时间不小于45min,终凝时间不大于600min。

### (2) 安定性。

沸煮法合格;压蒸法合格。

### (3) 强度。

通用硅酸盐水泥,其不同龄期的强度应符合表 1-3 的规定。

通用硅酸盐水泥不同龄期强度要求(MPa)

表 1-3

强度等级	抗压强度		抗折强度	
	3d	28d	3d	28d
32.5	≥12.0	≥32.5	≥3.0	≥5.5
32.5R	≥17.0		≥4.0	
42.5	≥17.0	≥42.5	≥4.0	≥6.5
42.5R	≥22.0		≥4.5	
52.5	≥22.0	≥52.5	≥4.5	≥7.0
52.5R	≥27.0		≥5.0	

续上表

强度等级	抗压强度		抗折强度	
	3d	28d	3d	28d
62.5	≥27.0	≥62.5	≥5.0	≥8.0
62.5R	≥32.0		≥5.5	

(4) 细度(选择性指标)。

硅酸盐水泥细度以比表面积表示,不小于  $300\text{m}^2/\text{kg}$ ,且不大于  $400\text{m}^2/\text{kg}$ 。

普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥以  $45\mu\text{m}$  方孔筛筛余表示,应不低于 5%。

## 二、结果判定规则

(1) 当组分、化学指标、凝结时间、沸煮法安定性、强度、细度均符合标准要求时为合格品。

(2) 当组分、化学指标、凝结时间、沸煮法安定性、强度、细度中的任何一项不符合标准要求时为不合格品。

## 第三节 水运工程中水泥的选用及特殊要求

水运工程混凝土用水泥,应根据建筑物所在地区、工程部位和水泥混凝土特殊要求选择,在《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202—2011)、《水运工程混凝土质量控制标准》(JTS 202—2—2011)、《海港工程高性能混凝土质量控制标准》(JTS 257—2—2012)、《港口水工建筑物修补加固技术规范》(JTS/T 311—2023)和《水运工程大体积混凝土温度裂缝控制技术规程》(JTS/T 202—1—2022)中分别规定了水泥的选用及质量控制要求。

### 一、《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202—2011)

(1) 六类水泥均可选用。

(2) 水泥品种应根据建筑物所在地区和部位选取,并应符合以下规定:

① 有抗冻要求的混凝土,宜采用硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥,不宜采用火山灰质硅酸盐水泥。

② 不受冻地区海水环境浪溅区部位混凝土,宜采用矿渣硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥和硅酸盐水泥。

③ 高性能混凝土宜采用标准稠度用水量低的中热硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥,不宜采用矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥。

(3) 严禁使用烧黏土质的火山灰质硅酸盐水泥。

(4) 与其他侵蚀性水接触的混凝土所用水泥,应按国家现行有关标准选用。

## 二、《水运工程混凝土质量控制标准》(JTS 202—2—2011)

适用于普通混凝土的质量控制,与《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202—2011)的要求基本相同。

## 三、《海港工程高性能混凝土质量控制标准》(JTS 257—2—2012)

高性能混凝土宜采用标准稠度用水量低的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥。不宜采用矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥。

## 四、《港口水工建筑物修补加固技术规范》(JTS/T 311—2023)

混凝土结构修补加固用的水泥,宜采用强度等级不小于42.5级的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥,必要时应采用特种水泥。水泥的性能和质量应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB 175)等的有关规定。

## 五、《水运工程大体积混凝土温度裂缝控制技术规范》(JTS/T 202—1—2022)

(1)水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB 175)或《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥》(GB/T 200)的有关规定,且不应使用早强水泥。

(2)水泥的铝酸三钙含量不宜大于8%。

(3)硅酸盐水泥45 $\mu\text{m}$ 方孔筛筛余不应小于5%,比表面积不应超过380 $\text{m}^2/\text{kg}$ 。

(4)对于与侵蚀性介质接触的混凝土结构,所用水泥应符合现行《水运工程耐久性设计标准》(JTS 153)的有关规定。

# 第四节 通用硅酸盐水泥检验组批、取样和样品要求

## 一、通用硅酸盐水泥质量检验组批规则

### 1.《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2023)的规定

(1)按同品种、同强度等级编号,袋装水泥和散装水泥应分别进行编号。每一编号作为一个检验取样单位。

(2)水泥出厂编号(一个编号水泥数量),按厂家的年设计生产能力确定。

### 2.《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)的规定

(1)以同一厂家同期出厂的同品种、同强度等级、同一出厂编号的水泥为一批。

(2)袋装水泥不超过200t,散装水泥不超过500t。

## 二、水泥的进场检验

(1)《水运工程混凝土技术规范》(JTS 202—2011)规定:水泥的进场检验应符合现行行业标准《水运工程质量检验标准》(JTS 257)的有关规定。

(2)《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)附录 C 规定:进场抽样复验的必检项目包括安定性、凝结时间和水泥胶砂强度;其他项目:细度、烧失量、三氧化硫、碱含量、氯化物、氧化镁。

## 三、水泥的取样和样品要求

《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2023)规定:水泥的取样方法按 GB/T 12573 进行,可连续进行,也可从 20 个以上不同部位取等量样品,总量至少 12kg。以下为《水泥取样方法》(GB/T 12573—2008)的有关规定。

取样一般在袋装水泥堆场、散装水泥卸料处或水泥输送管路中进行。

### 1. 袋装水泥手工取样

(1)每一编号内随机抽取不少于 20 袋水泥。

(2)采用袋装水泥取样器取样,将取样器沿对角方向插入水泥包装袋中,用大拇指按住气孔,小心抽取取样管,将样品放入密闭的容器中,封存样加封条。

(3)每次抽取的单样量应尽量一致。

### 2. 散装水泥手工取样

(1)当所取水水泥深度不超过 2m 时,每一编号内采用散装水泥取样器随机取样。

(2)通过转动取样器的控制开关,在适当位置插入水泥一定深度,关闭后小心抽出,将样品放入密闭的容器中,封存样加封条。

(3)每次抽取的单样量应尽量一致。

### 3. 混合样与分割样及取样量

(1)混合样:从一个编号内不同部位取得的全部单样,经充分混匀后得到的样品。对于混合样,取样量应符合现行《通用硅酸盐水泥》(GB 175)规定。

(2)分割样:从一个编号按每 1/10 编号取得的单样,用于匀质性试验的样品。对于分割样,每 1/10 编号取得的单样量至少 6kg。

### 4. 混合样的制备

水运工程项目,水泥进场检验或施工过程中抽检采用混合样。

混合样的制备:每一编号所取水水泥单样通过 0.9mm 方孔筛后充分混匀,一次或多次将样品缩分到相关标准要求的量。均分为试验样和封存样。

### 5. 样品的包装、贮存和取样单

(1)样品应贮存在密闭的容器中,容器应洁净、干燥、防潮、密闭、不影响水泥性能。

(2)封存样应加封条,存放封存样的容器至少在一处加盖标有水泥编号、取样日期、取样

地点和取样人的密封印。

(3) 封存样应密封贮存于干燥、通风的环境中,贮存期应符合相应水泥标准的规定。

(4) 取样单至少包括:水泥编号、水泥品种、强度等级、取样日期、取样地点和取样人。

## 第五节 通用硅酸盐水泥检测方法

### 一、标准稠度用水量、凝结时间、安定性

#### 1. 概念

(1) 标准稠度用水量。

标准稠度:以规定方法测试,达到统一规定的水泥净浆的可塑性程度。

标准稠度用水量:制备具有标准稠度的水泥净浆所需的加水量。

(2) 凝结时间。

水泥凝结时间:是指水泥标准稠度净浆从加水拌和开始至失去塑性或达到硬化状态所需的时间,分为初凝时间和终凝时间。

初凝时间:从加水拌和起到开始失去塑性所经历的时间。

终凝时间:从加水拌和起到完全失去塑性所经历的时间。

(3) 安定性。

水泥体积安定性是指水泥在凝结硬化过程中,体积变化是否均匀的性能。安定性反映水泥浆在硬化后因体积膨胀不均匀而变形的情况,是评定水泥质量是否合格的指标之一。

水泥的安定性有两种检验方法:标准法和代用法。当有争议时,以标准法为准。标准法又称雷氏法,是通过测定水泥标准稠度净浆在雷氏夹中煮沸后试针的相对位移表征其体积膨胀程度;代用法又称试饼法,是通过观测水泥标准稠度净浆试饼煮沸后的外形变化情况表征其体积安定性。

#### 2. 试验条件

(1) 试验室温度为  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度不低于 50%;湿气养护箱的温度为  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度不低于 90%。

(2) 水泥试样、拌和水、仪器和用具的温度应与试验室温度一致。

(3) 试验用水必须是洁净的饮用水,如有争议时应以蒸馏水为准。

#### 3. 水泥净浆的拌制

(1) 试验前先用湿布擦过水泥净浆搅拌机的搅拌锅和搅拌叶片。

(2) 用精度  $\pm 0.5\text{mL}$  的量筒或滴定管量取拌和用水,倒入搅拌锅内。

(3) 用最大称量不小于 1000g、分度值不大于 1g 的天平,称取 500g 水泥。

(4) 在 5s ~ 10s 内小心将称好的 500g 水泥加入水中,防止水和水泥溅出。

(5) 将锅放在搅拌机的锅座上,升至搅拌位置,启动搅拌机,低速搅拌 120s,然后停 15s,同时将叶片和锅壁上的水泥浆刮入锅中,接着高速搅拌 120s 停机。

#### 4. 标准稠度用水量测定

标准稠度用水量的测定有标准法和代用法,本书介绍标准法的测定步骤。

(1) 主要设备:水泥净浆搅拌机、标准法维卡仪。

(2) 试验前的准备工作。

①检查维卡仪的滑杆是否能自由滑动、搅拌机运行是否正常。

②试模和玻璃板用湿布擦拭,将试模放在底板上。

③调整标准法维卡仪至试杆接触玻璃板时指针对准零点。

(3) 试验方法。

①水泥净浆拌和结束后,立即取适量水泥净浆一次性装入试模,浆体超过试模上端,用宽约25mm的直边刀轻轻拍打超出试模部分的浆体5次,以排除浆体内的孔隙。

②然后在试模上表面约1/3处,略倾斜于试模分别向外轻轻锯掉多余净浆,再从试模边缘轻抹顶部1次,使净浆表面光滑。在锯掉多余净浆和抹平的过程中,注意不要压实净浆。

③抹平后迅速将试模和底板移到维卡仪上,并将其中心定在试杆下,降低试杆直至与水泥净浆表面接触,拧紧螺钉1s~2s后,突然放松,使试杆垂直自由地沉入水泥净浆中。

④在试杆停止沉入或释放试杆30s时记录试杆距底板之间的距离,升起试杆后,立即擦净;整个操作应在搅拌后1.5min内完成。以试杆沉入净浆并距底板 $6\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 的水泥净浆为标准稠度净浆。其拌和水量为该水泥的标准稠度用水量 $P$ ,按水泥质量的百分比计。

#### 5. 凝结时间的测定

(1) 主要设备:水泥净浆搅拌机、标准法维卡仪。

(2) 准备工作与试样制备。

①调整凝结时间测定仪的试针接触玻璃板时,指针对准零点。

②以标准稠度用水量制备标准稠度净浆,装模与刮平步骤与标准稠度试验的要求一致,刮平后立即放入湿气养护箱中。记录水泥全部加入水中的时间作为凝结时间的起始时间。

(3) 初凝时间的测定。

①试件在湿气养护箱中养护至加水后30min时进行第一次测定。

②测定时,从湿气养护箱中取出试模放到试针下,降低试针与水泥净浆表面接触。拧紧螺钉1s~2s后,突然放松,试针垂直自由地沉入水泥净浆。观察试针停止下沉或释放试针30s时指针的读数。

③临近初凝时间时每隔5min(或更短时间)测定一次,当试针沉至距底板 $4\text{mm} \pm 1\text{mm}$ 时,为水泥达到初凝状态;从水泥全部加入水中至初凝状态的时间为水泥的初凝时间,用“min”表示。

(4) 终凝时间的测定。

①为了准确观测试针沉入的状况,在终凝针上安装一个环形附件。

②在完成初凝时间测定后,立即将试模连同浆体以平移的方式从玻璃板取下,翻转 $180^\circ$ ,直径大端向上,小端向下放在玻璃板上,再放入湿气养护箱中继续养护。

③临近终凝时间时每隔15min(或更短时间)测定一次,当试针沉入试件0.5mm时,即环形附件开始不能在试件上留下痕迹时,为水泥达到终凝状态,从水泥全部加入水中至终凝状态

的时间为水泥的终凝时间,用“min”表示。

(5) 注意事项。

①在最初测定的操作时应轻轻扶持金属柱,使其徐徐下降,以防试针撞弯,但结果以自由下落为准。

②在整个测试过程中试针沉入的位置至少要距试模内壁 10mm。

③临近初凝时,每隔 5min(或更短时间)测定一次,临近终凝时每隔 15min(或更短时间)测定一次,到达初凝时应立即重复测一次,当两次结论相同时才能定为到达初凝状态;到达终凝时,需要在试件另外两个不同点测试,确认结论相同才能确定到达终凝状态。

④每次测定不能让试针落入原针孔,每次测试完毕须将试针擦净并将试模放回湿气养护箱内,整个测试过程要防止试模受振。

## 6. 安定性(雷氏法-标准法)

(1) 主要设备。

雷氏夹:当一根指针的根部先悬挂在一根金属丝或尼龙丝上,另一根指针的根部在挂上 300g 质量的砝码时,两根指针的针尖距离增加应在  $17.5\text{mm} \pm 2.5\text{mm}$  范围以内,当去掉砝码后,针尖的距离能恢复至挂砝码前的状态。

雷氏夹膨胀测定仪:标尺最小刻度 0.5mm。

沸煮箱:符合现行《水泥安定性试验用沸煮箱》(JC/T 955)的要求。

(2) 试验要点。

①雷氏夹试件的成型。

每个试样需成型 2 个试件,每个雷氏夹需配备两个边长或直径约 80mm,厚度 4mm ~ 5mm 玻璃板,与水泥接触面稍涂一层矿物油。

将雷氏夹放在已擦油的玻璃板上,立即将已制好的标准稠度净浆一次装满雷氏夹,用宽约 25mm 的直边刀在浆体表面轻轻插捣 3 次,抹平后盖上擦过油的玻璃板,移至湿气养护箱内养护  $24\text{h} \pm 2\text{h}$ 。

②沸煮及测量。

调整好沸煮箱内的水位(保证在整个沸煮过程中水面超过试件,不需中途补水,同时又能保证在  $30\text{min} \pm 5\text{min}$  内升至沸腾)。

脱去玻璃板取下试件,测量雷氏夹指针尖端间的距离  $A$ ,精确到 0.5mm。

将试件放入沸煮箱水中的试件架上,指针朝上,然后在  $30\text{min} \pm 5\text{min}$  内加热至沸并恒沸  $180\text{min} \pm 5\text{min}$ 。

沸煮结束后,立即放掉沸煮箱中的热水,打开箱盖,待箱体冷却至室温,取出试件进行判别,并测量雷氏夹指针尖端的距离  $C$ ,准确至 0.5mm。

(3) 结果处理。

①当两个试件煮后增加距离  $(C-A)$  的平均值不大于 5.0mm 时,该水泥安定性合格。

②当两个试件煮后增加距离  $(C-A)$  的平均值大于 5.0mm 时,应用同一样品立即重做一次试验,以复验结果为准。

## 7. 安定性(试饼法-代用法)

### (1) 主要设备。

沸煮箱:符合现行《水泥安定性试验用沸煮箱》(JC/T 955)的要求。

### (2) 试验要点。

#### ① 试饼的成型。

每个样品需准备两块约 100mm × 100mm 的玻璃板,与水泥净浆接触的玻璃板稍涂一层油。

将制好的标准稠度净浆分成两等份,使之成球形,放在预先准备好的玻璃板上,轻轻振动玻璃板并用湿布擦过的小刀由边缘向中央抹,做成直径 70mm ~ 80mm、中心厚约 10mm、边缘渐薄、表面光滑的试饼,接着将试饼放入湿气养护箱内养护 24h ± 2h。

#### ② 沸煮及观测。

调整好沸煮箱内的水位,使能保证在整个沸煮过程中都超过试件,不需中途添补试验用水,同时又能保证在 30min ± 5min 内升至沸腾。

脱去玻璃板取下试饼,在试饼无缺陷的情况下将试饼放在沸煮箱水中的算板上,然后在 30min ± 5min 内加热至沸,并恒沸 180min ± 5min。

沸煮结束后,立即放掉沸煮箱中的热水,打开箱盖,待箱体冷却至室温,取出试件进行判别。

### (3) 结果处理。

① 目测试饼未发现裂缝,用钢直尺检查也没有弯曲(使钢直尺和试饼底部紧靠,以两者间不透光为不弯曲)的试饼为安定性合格,反之为不合格。

② 当两个试饼判别结果有矛盾时,该水泥的安定性为不合格。

## 二、水泥胶砂流动度

### 1. 主要设备

水泥胶砂流动度测定仪(简称跳桌):跳桌宜通过膨胀螺栓安装在水泥混凝土基座上,水泥混凝土基座重度至少为 2240kg/m<sup>3</sup>,基座平面尺寸约为 400mm × 400mm,高约 690mm。

水泥胶砂搅拌机:符合现行《行星式水泥胶砂搅拌机》(JC/T 681)的要求。

试模:由截锥圆模和模套组成。金属材料制成,内表面加工光滑。圆模高度 60mm ± 0.5mm,上口内径 75mm ± 0.5mm,下口内径 100mm ± 0.5mm,下口外径 120mm,模壁厚大于 5mm。

卡尺:量程不小于 300mm,分度值不大于 0.5mm。

小刀:刀口平直,长度大于 80mm。

### 2. 试验要点

(1) 如跳桌在 24h 内未被使用,先空跳一个周期 25 次。

(2) 胶砂制备按规定进行。在制备胶砂的同时,用潮湿棉布擦拭跳桌台面、试模内壁等与胶砂接触的用具,将试模放在跳桌台面中央并用潮湿棉布覆盖。

(3) 将拌好的胶砂分两层迅速装入试模,第一层装至截锥圆模高度约 2/3 处,用小刀在相互垂直两个方向各划 5 次,用捣棒由边缘至中心均匀捣压 15 次;随后,装第二层胶砂,装至高

出截圆锥模约 20mm,用小刀在相互垂直两个方向各划 5 次,再用捣棒由边缘至中心均匀捣压 10 次。捣压后胶砂应略高于试模。捣压深度,第一层捣至胶砂高度的 1/2,第二层捣实不超过已捣实底层表面。装胶砂和捣压过程中试模不能产生移动。

(4)捣压完毕,取下模套,将小刀倾斜,从中间向边缘分两次以近水平的角度抹去高出截圆锥模的胶砂,并擦去落在桌面上的胶砂。将截圆锥模垂直向上轻轻提起。立刻开动跳桌,以每秒一次的频率,在  $25\text{s} \pm 1\text{s}$  内完成 25 次跳动。

(5)流动度试验,从胶砂加水开始到测量扩散直径结束,应在 6min 内完成。

(6)跳动完毕,用卡尺测量胶砂底面互相垂直的两个方向直径。

### 3. 结果处理

计算胶砂底面互相垂直的两个方向直径的平均值,即为该水量的水泥胶砂流动度,取整数,单位为 mm。

## 三、水泥胶砂强度

### 1. 主要设备

行星式搅拌机:应符合现行《行星式水泥胶砂搅拌机》(JC/T 681)的要求。

振实台:振实台应安装在高度约 400mm 的混凝土基座上。混凝土体积约为  $0.25\text{m}^3$ ,重约 600kg。需防外部振动影响振实效果时,可在整个混凝土基座下放一层厚约 5mm 天然橡胶弹性衬垫。振实台固定在基座上,安装后台盘成水平状态,仪器底座与基座之间要铺一层胶砂以保证它们的完全接触。

抗折强度试验机:应符合现行《水泥胶砂电动抗折试验机》(JC/T 724)的要求。

抗压强度试验机:应符合现行《水泥胶砂强度自动压力试验机》(JC/T 960)的要求。

试模:应符合现行《水泥胶砂试模》(JC/T 726)要求。成型操作时,应在试模上面加一个壁厚 20mm 的金属套模,模套壁与试模内壁应该重叠,超出内壁不应大于 1mm。

### 2. 试验环境

试件成型试验室的温度应保持在  $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  之间,相对湿度应不低于 50%。

试件带模养护的养护箱(室)温度保持在  $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$  之间,相对湿度不低于 90%。

试件养护池水温度应在  $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$  范围内。

试验室温度和相对湿度及养护池水温在工作期间每天至少记录一次。

养护箱(室)的温度与相对湿度至少每 4h 记录一次,在自动控制的情况下可以一天记录两次。

### 3. 试验要点

(1)胶砂组成。

①中国 ISO 标准砂:以  $1350\text{g} \pm 5\text{g}$  量的塑料袋混合包装。

②水泥:应贮存在基本装满和气密的容器里。

③水:验收试验或有争议时应使用符合《分析实验室用水规格和试验方法》(GB/T 6682)规定的三级水。

## (2) 胶砂配比。

①每锅材料的水泥(单位 g):标准砂:水 =  $(450 \pm 2) : (1350 \pm 5) : (225 \pm 1)$ 。

②火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥和掺火山灰质混合材料的普通硅酸盐水泥在进行胶砂强度检验时,用水量按 0.50 水灰比和胶砂流动度不小于 180mm 来确定。当流动度小于 180mm 时,须以 0.01 的整倍数递增的方法将水灰比调整至胶砂流动度不小于 180mm。

## (3) 胶砂制备。

①锅内先加入水,再加入水泥,把锅放在固定架上,上升至固定位置。

②立即开动机器,低速搅拌 30s 后,在第二个 30s 开始的同时均匀地加入标准砂,再高速搅拌 30s。

③停拌 90s,第 1 个 15s 内用胶皮刮具将叶片和锅壁上的胶砂刮入锅中间,再高速搅拌 60s。各个搅拌阶段,时间误差应在  $\pm 1s$  以内。

## (4) 试件成型(振实台法-标准法)。

①胶砂制备后应立即成型。

②将空试模和模套固定在振实台上,用勺子直接从搅拌锅取胶砂分两层装入试模,装第一层时,每个槽里约放 300g 胶砂,用大播料器垂直架在模套顶部,沿每个模槽来回一次将料层播平,接着振实 60 次。

③再装入第二层胶砂,用小播料器播平,再振实 60 次。移走模套,从振实台上取下试模,用一金属直尺以近似  $90^\circ$  的角度架在试模模顶的一端,然后沿试模长度方向以横向锯割动作慢慢向另一端移动,将超过试模部分的胶砂刮去,锯割动作的多少和直尺角度的大小取决于胶砂的稀稠程度,较稠的胶砂需要多次锯割、锯割动作要慢以防止拉动已振实的胶砂。用拧干的湿毛巾将试模端板顶部的胶砂擦拭干净,再用同一直尺以近乎水平的角度将试件表面抹平。抹平的次数要尽量少,总次数不应超过 3 次。最后将试模周边的胶砂擦除干净。

④在试模上作标记或加字条,标明试件编号和试件相对于振实台的位置。

## (5) 试件脱模与养护。

①脱模前的处理和养护。

在试模上盖一块玻璃板,也可用相似尺寸的钢板或不渗水的、和水泥没有反应的材料制成的板。盖板不应与水泥胶砂接触,盖板与试模之间的距离应控制在 2mm ~ 3mm 之间。为了安全,玻璃板应有磨边。

将做好标记的试模立即放入雾室或湿箱的水平架子上养护,湿空气应与试模各边接触。养护时不应将试模放在其他试模上。

脱模前,对试件进行编号和做其他标记。在编号时应将同一试模中的三条试件分在两个以上龄期内。

②脱模。

对于 24h 以上龄期的,应在成型后 20h ~ 24h 之间脱模。当需要延迟到 24h 以后脱模时,应在试验报告中说明。

对于 24h 龄期的,应在破型试验前 20min 内脱模。

③水中养护。

将做好标记的试件立即水平或竖直放在  $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  水中养护,水平放置时刮平面应朝上。每个养护池只养护同类型的水泥试件。

试件间保持一定间距,六个面与水充分接触,试件间隔和上表面的水深不得小于 5mm。

最初用自来水装满养护池(或容器),随后随时加水保持适当的水位,在养护期间,可以更换不超过 50% 的水。

试件应在试验(破型)前 15min 从水中取出(除 24h 龄期或延迟至 48h 脱模的试件外)。揩去试件表面沉积物,并用湿布覆盖。

④试件龄期从水泥加水搅拌开始时算起,不同龄期强度试验时间应符合表 1-4 要求。

不同龄期强度试验时间 表 1-4

龄期	24h	48h	72h	7d	28d
试验时间	$\pm 15\text{min}$	$\pm 30\text{min}$	$\pm 45\text{min}$	$\pm 2\text{h}$	$\pm 8\text{h}$

(6)强度试验。

①抗折强度。

每个龄期取出三条试件先做抗折强度试验,试验前擦去试件表面附着的水分和砂粒。

将试件放入抗折夹具内,试件的一个侧面放在试验机支撑圆柱上,试件长轴垂直于支撑圆柱,通过加荷圆柱以  $50\text{N/s} \pm 10\text{N/s}$  的速率加载,直至折断。

保持两个半截棱柱体处于潮湿状态直至抗压试验。

②抗压强度。

将抗折试验后的半截棱柱体试件放在抗压夹具上,半截棱柱体中心与压力机压板受压中心差应在  $\pm 0.5\text{mm}$  内,棱柱体露在压板外的部分约 10mm。

以  $2400\text{N/s} \pm 200\text{N/s}$  的速率均匀地加荷直至破坏。

4. 结果处理

(1)抗折强度  $R_f$  按下式进行计算。

$$R_f = \frac{1.5F_f L}{b^3}$$

式中: $R_f$ ——抗折强度,MPa;

$F_f$ ——折断时施加于棱柱体中部的荷载,N;

$L$ ——支撑圆柱之间的距离,mm;

$b$ ——棱柱体正方形截面的边长,mm。

以一组三个棱柱体抗折结果的平均值作为试验结果。当三个强度值中有一个超出平均值  $\pm 10\%$  时,应剔除后再取平均值作为抗折强度试验结果;当三个强度值中有两个超出平均值  $\pm 10\%$  时,则以剩余一个作为抗折强度结果。各试件的抗折强度精确至 0.1MPa,抗折强度试验结果计算至 0.1MPa。

(2)抗压强度  $R_c$  按下式进行计算。

$$R_c = \frac{F_c}{A}$$

式中: $R_c$ ——抗压强度,MPa;

$F_c$ ——破坏时的最大荷载,N;

$A$ ——受压部分面积, $\text{mm}^2$  ( $40\text{mm} \times 40\text{mm} = 1600\text{mm}^2$ )。

以一组三个棱柱体上得到的六个抗压强度测定值的算术平均值为试验结果。如六个测定值中有一个超出平均值的 $\pm 10\%$ ,则剔除这个测值,以剩下五个测值的平均值作为结果。如果五个测定值中再有超过它们平均值 $\pm 10\%$ 的,则此组结果作废。当六个测定值中同时有两个或两个以上超过平均值的 $\pm 10\%$ 时,则此组结果作废。各个半棱柱体得到的单个抗压强度结果计算至0.1MPa,平均值计算精确至0.1MPa。

(3) 试验报告。

应报告所有单个强度结果(包括按规定舍去的试验结果)和平均值。

### 5. 影响因素

水泥的强度主要取决于水泥熟料矿物成分的相对含量和水泥的细度。水泥的强度受到温度、湿度、龄期、加水量、试件尺寸、试验方法等许多因素的影响。

## 四、水泥密度

### 1. 主要设备

李氏比重瓶:瓶颈刻度由0mL~1mL和18mL~24mL两段刻度组成,分度值0.1mL,任何标明的容量误差都不大于0.05mL。

恒温水槽:应有足够的容积,并能稳定控制 $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 的水温。

电子天平:量程大于100g,分度值不大于0.01g。

温度计:量程包含 $0^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ ,分度值不大于 $0.1^\circ\text{C}$ 。

无水煤油:应符合现行《煤油》(GB 253)要求。

### 2. 试验要点

(1) 水泥试样先通过0.90mm方孔筛,在 $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 温度下烘干1h,并在干燥器内冷却至室温,室温应控制在 $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 之间。

(2) 称取水泥60g( $m$ ),精确至0.01g。

(3) 将无水煤油注入李氏比重瓶中至0mL到1mL刻度线后,盖上瓶塞并放入温度 $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 的恒温水槽内,使刻度部分浸入水中,恒温至少30min,记下无水煤油的第一次读数( $V_1$ )。

(4) 从恒温水槽中取出李氏比重瓶,将水泥样品一点点地装入李氏比重瓶中,反复摇动排出气泡,再次将李氏比重瓶静置于恒温水槽,使刻度部分浸入水中,恒温至少30min,记下第二次读数( $V_2$ )。

(5) 两次读数时,恒温水槽的温度差不大于 $0.2^\circ\text{C}$ 。

### 3. 结果处理

(1) 按下式计算水泥密度,精确至 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$ 。

$$\rho = m / (V_2 - V_1)$$

式中: $\rho$ ——水泥密度, $\text{g}/\text{cm}^3$ ;

$m$ ——水泥质量, g;

$V_2$ ——李氏瓶第二次读数, mL;

$V_1$ ——李氏瓶第一次读数, mL。

(2) 试验结果取两次测定结果的平均值。两次试验的结果之差不得超过  $0.02\text{g}/\text{cm}^3$ 。

## 五、水泥细度-比表面积测定方法(勃氏法)

### 1. 方法原理

水泥比表面积是单位质量的水泥粉末所具有的总表面积,以  $\text{cm}^2/\text{g}$  或  $\text{m}^2/\text{kg}$  表示。

勃氏法是根据一定量的空气通过具有一定空隙率和固定厚度的水泥层时,所受阻力不同而引起流速的变化来测定水泥的比表面积。

### 2. 主要设备

勃氏比表面积透气仪:分手动和自动两种,均应符合现行《勃氏透气仪》(JC/T 956)的要求,结果有争议时,以手动勃氏透气仪测定结果为准。

烘干箱:控制温度灵敏度为  $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

分析天平:分度值为  $0.001\text{g}$ 。

秒表:精确至  $0.5\text{s}$ 。

### 3. 样品处理与环境条件

水泥样品按现行《水泥取样方法》(GB/T 12573)进行取样,先通过  $0.9\text{mm}$  方孔筛,再在  $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  下烘干  $1\text{h}$ ,并在干燥器中冷却至室温。

试验室条件:相对湿度应不大于  $50\%$ 。

### 4. 试验要点

(1) 设备的密封性检查。

将透气圆筒上口用橡皮塞塞紧,接到压力计上。用抽气装置从压力计中抽出部分气体,然后关闭阀门观察是否漏气。如发现漏气,可用活塞油脂加以密封。

(2) 空隙率  $\varepsilon$  的确定。

P·I、P·II型水泥空隙率采用  $0.500 \pm 0.005$ ,其他水泥或粉料空隙率选用  $0.530 \pm 0.005$ 。当按上述空隙率不能将试样压至规范规定的位置时,则允许改变空隙率。空隙率的调整以  $2000\text{g}$  砝码(5等砝码)将试样压实至规定的位置为准。

### 5. 结果处理

(1) 根据被测样品的密度、空隙率与标准样品的对比,以及试验时温度与设备校准温度之差来选择不同的公式计算比表面积。

(2) 试验结果取两次透气试验测值的平均值,如二次试验测值相差  $2\%$  以上,应重新试验。计算结果保留至  $10\text{cm}^2/\text{g}$ 。

(3) 当同一水泥用手动勃氏透气仪测定的结果与自动勃氏透气仪测定的结果有争议时,以手动勃氏透气仪测定结果为准。

## 六、水泥细度(负压筛析法)

水泥细度筛析法有负压筛析法、水筛法和手工筛析法,实际使用中以负压筛析法为主,当结果有争议时以负压筛析法为准。

负压筛析法是采用负压筛析仪,通过负压源产生的恒定气流,在规定筛析时间内使试验筛(45 $\mu\text{m}$ 或80 $\mu\text{m}$ 方孔筛)内的水泥达到筛分。

### 1. 主要设备

负压筛析仪:筛座由转速为30r/min $\pm$ 2r/min的喷气嘴、负压表、控制板、微电机及壳体构成,筛析仪的负压可调范围为4000Pa~6000Pa。

试验筛:45 $\mu\text{m}$ 、80 $\mu\text{m}$ 。

天平:最小分度值不大于0.01g。

### 2. 样品要求

水泥样品应有代表性,并先过0.9mm方孔筛。

### 3. 试验要点

试验前所用试验筛应保持清洁、干燥。试验时,80 $\mu\text{m}$ 筛析试验称取试样25g,45 $\mu\text{m}$ 筛析试验称取试样10g。

调节负压至4000Pa~6000Pa范围内。

称取试样,精确至0.01g,置于洁净的负压筛中,盖上筛盖,接通电源,开动筛析仪连续筛析2min,在此期间如有试样附着在筛盖上,可轻轻地敲击筛盖,使试样落下。筛毕,用天平称量全部筛余物。

### 4. 结果处理

(1)按下式计算水泥试样筛余百分数,结果计算至0.1%。

$$F = \frac{R_1}{W} \times 100\%$$

式中: $F$ ——水泥试样的筛余百分数,%;

$R_1$ ——水泥筛余物的质量,g;

$W$ ——水泥试样的质量,g。

(2)筛余结果的修正。

试验筛的筛网会在试验中磨损,因此筛析结果应进行修正,将计算结果乘以该试验筛经标定得到的修正系数,作为最终结果。

每个样品应称取两个试样分别筛析,取筛余平均值作为筛析结果。若两次筛余结果绝对误差大于0.5%时(筛余值大于5.0%时可放至1.0%)应再做一次试验,取两次相近结果的算术平均值,作为最终结果。

### 5. 水泥试验筛的日常保养及标定方法

(1)日常保养:试验筛必须保持洁净,筛孔通畅,使用10次后要进行清洗。金属框筛、铜

丝网筛清洗时应用专门的清洗剂。试验筛每使用 100 次后需重新标定。

(2) 试验条件。

水泥细度标准样品:符合现行《水泥细度和比表面积标准样品》(GB 14—1511)要求,或相同等级的标准样品;有争议时以满足前者标准样品为准。

被标定试验筛:应事先经过清洗,去污,干燥(水筛除外)并和标定试验室温度一致。

(3) 标定步骤。

将标准样装入干燥洁净的密闭广口瓶中,盖上盖子摇动 2min,消除结块。

静置 2min 后,用一根干燥洁净的搅拌棒搅匀样品。

按照负压筛析法试验要求称量标准样品,精确至 0.01g,将标准样品倒进被标定试验筛,并进行筛析试验操作。

每个试验筛的标定应称取两个标准样品连续进行,中间不得插做其他样品试验。

(4) 标定结果。

两个样品结果的算术平均值为最终值,但当两个样品筛余结果相差大于 0.3% 时应称第三个样品进行试验,并取接近的两个结果进行平均作为最终结果。

(5) 按下式计算修正系数  $C$ ,计算至 0.01。

$$C = F_s / F_t$$

式中: $F_s$ ——标准样品的筛余标准值,%;

$F_t$ ——标准样品在试验筛上的筛余值,%。

(6) 合格判定。

当  $C$  值在 0.80 ~ 1.20 范围内时,试验筛可继续使用, $C$  可作为结果修正系数。

当  $C$  值超出 0.80 ~ 1.20 范围时,试验筛应予淘汰。

## 七、水泥化学分析通用要求[《水泥化学分析方法》(GB/T 176—2017)]

### 1. 试验次数与要求

(1) 每项测定的试验次数为两次,两次结果的绝对差值在重复性限内时,用平均值表示测定结果。

(2) 进行化学分析时,建议同时做烧失量的测定。

(3) 除烧失量外,其他各项应同时进行空白试验,并校正测定结果。

### 2. 试剂

(1) 除另有说明外,所用试剂不低于分析纯,用于标定的试剂应为基准试剂。

(2) 所用水不低于现行《分析实验室用水规格和试验方法》(GB/T 6682)规定的三级水。

(3) 所用酸和氨水,未注浓度者均指市售的浓酸或浓氨水。

(4) 用体积比表示试剂稀释程度,如:盐酸(1+2)表示 1 份体积浓盐酸+2 份体积水。

(5) 除另有说明外,标准滴定溶液有效期为 3 个月,超过 3 个月应重新标定。

### 3. 质量、体积、体积比、滴定度和结果的表示

(1) 质量用“克(g)”表示,精确至 0.0001g。

(2) 滴定管体积用“毫升(mL)”表示,读数精确至0.01mL。

(3) 滴定度用“毫克/毫升(mg/mL)”表示。

(4) 苯甲酸-无水乙醇标准滴定溶液对氧化钙的滴定度保留三位有效数字,其他标准滴定溶液的浓度、滴定度和体积比保留四位有效数字。

(5) 以质量分数表示各项分析结果,氯离子以%表示至小数点后三位,其他以%表示至小数点后两位。

#### 4. 恒量

经第一次灼烧、冷却、称重后,通过连续对每次15min的灼烧、然后以冷却、称量的方法来检查恒定质量,当连续两次称量之差小于0.0005g时,即达到恒量。

#### 5. 试样制备

(1) 按现行《水泥取样方法》(GB/T 12573)取样,送往实验室的样品应是具有代表性的均匀样品,采用四分法或缩分器将试样缩分至约100g,经150 $\mu$ m方孔筛筛析后,除去杂物,将筛余物研磨后使其全部通过150 $\mu$ m方孔筛,充分混匀,装入干净、干燥的试样瓶中密封,进一步混匀供测定用。

(2) 如果试样制备过程中带入的金属铁可能影响相关的化学特性的测定,用磁铁吸去筛余物中的金属铁。(提示:尽可能快速地进行试样的制备,以防止吸潮,分析水泥前,不需要烘干试样)

#### 6. 重复性限和再现性限

重复性限和再现性限为绝对偏差,以质量分数(%)表示。

在重复性条件下,两次分析结果之差应在标准规定的重复性限内,若超出重复性限,应在短时间内进行第三次测定,测定结果与前两次或任一次结果之差符合重复性限的规定时,则取其平均值,否则,应查找原因,重新进行分析。

在再现性条件下,对试样各自进行分析,所得结果的平均值之差应在标准规定的再现性限内。

#### 7. 检验方法的验证

可应用有证标准样品/标准物质进行比对试验,验证方法的准确性,如:

《水泥熟料成分分析标准样品》(GSB 08—1355);

《普通硅酸盐水泥成分分析标准样品》(GSB 08—1356);

《硅酸盐水泥成分分析标准样品》(GSB 08—1357);

《硅酸盐水泥成分分析标准物质》(GWB 03201);

《水泥熟料成分分析标准物质》(GWB 03204);

《普通硅酸盐水泥成分分析标准物质》(GWB 03205)。

### 八、不溶物含量(盐酸-氢氧化钠处理法)

#### 1. 试验要点

(1) 盐酸处理。

①称取约1g试样( $m_1$ ),精确至0.0001g,置于150mL烧杯中,加入25mL水,搅拌使试样

完全分散,在不断搅拌下加入 5mL 盐酸,用平头玻璃棒压碎块状物使其分解完全。

②用近沸的热水稀释至 50mL,盖上表面皿,将烧杯置于蒸汽水浴中加热 15min。

③用中速定量滤纸过滤,用热水充分洗涤 10 次以上。

(2) 氢氧化钠处理。

①将残渣和滤纸一并移入原烧杯中,加入 100mL 近沸的氢氧化钠溶液,盖上表面皿,置于蒸汽水浴中加热 15min,加热期间搅动滤纸及残渣 2 次~3 次。

②取下烧杯,加入 1 滴~2 滴甲基红指示剂,滴加盐酸(1+1)至溶液呈红色,再过量 8 滴~10 滴。

③用中速定量滤纸过滤,用热硝酸铵溶液充分洗涤至少 14 次。

(3) 灰化、灼烧、称量。

①将残渣及滤纸一并移入已灼烧恒量的瓷坩埚中,灰化后在  $950^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$  的高温炉内灼烧 30min 以上。

②取出坩埚,置于干燥器中,冷却至室温,称量。反复灼烧,直至恒重( $m_2$ )。

(4) 空白试验。

用不加水泥的试样,进行空白试验,测定空白试验灼烧后不溶物的质量( $m_{02}$ )。

## 2. 结果处理

(1) 按下式计算不溶物的质量分数:

$$w_{\text{IR}} = \frac{m_2 - m_{02}}{m_1}$$

式中: $w_{\text{IR}}$ ——不溶物的质量分数,%;

$m_2$ ——灼烧后不溶物的质量,g;

$m_{02}$ ——空白试验灼烧后不溶物的质量,g;

$m_1$ ——试料的质量,g。

(2) 重复性限和再现性限。

不溶物 $\leq 0.50\%$ 时,重复性限为 0.10%,再现性限为 0.10%。0.5% < 不溶物 $\leq 2\%$ 时,重复性限为 0.10%,再现性限为 0.15%。不溶物 > 2%时,重复性限为 0.15%,再现性限为 0.20%。

## 九、水泥烧失量(灼烧差减法)

### 1. 试验要点

(1) 称取约 1g 试样( $m_1$ ),精确至 0.0001g,放入已灼烧恒量的瓷坩埚中,盖上坩埚盖,并留有缝隙,放在高温炉内。

(2) 从低温开始逐渐升高温度,在  $950^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$  下灼烧 15min~20min。

(3) 取出坩埚,置于干燥器中,冷却至室温,称量。反复灼烧,直至恒量( $m_2$ )。

### 2. 结果处理

(1) 按下式计算烧失量的质量分数  $w_{\text{LOI}}$ 。

$$w_{\text{LOI}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%$$

式中： $m_1$ ——试料的质量，g；

$m_2$ ——灼烧后试料的质量，g。

(2) 重复性限和再现性限。

重复性限为 0.15%，再现性限为 0.25%。

## 十、矿渣硅酸盐水泥烧失量(校正法)

### 1. 试验要点

(1) 称取约 1g 试样( $m_1$ )，精确至 0.0001g，放入已灼烧恒量的瓷坩埚中，盖上坩埚盖，并留有缝隙，放在高温炉内。

(2) 从低温开始逐渐升高温度，在  $950^\circ\text{C} \pm 25^\circ\text{C}$  下灼烧 15min ~ 20min。

(3) 取出坩埚，置于干燥器中，冷却至室温，称量( $m_2$ )。不用反复灼烧至恒量。

(4) 取灼烧后的全部试样或约 0.5g 按“三氧化硫含量测定”方法，测定三氧化硫质量分数  $w_2$ 。

(5) 测定未灼烧水泥试样的三氧化硫质量分数  $w_1$ 。

### 2. 结果处理

(1) 按下式计算实际测定的烧失量的质量分数  $w_{\text{LOI}}$ 。

$$w_{\text{LOI}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%$$

式中： $m_1$ ——试料的质量，g；

$m_2$ ——灼烧后试料的质量，g。

(2) 烧失量的校正计算。

$$w'_{\text{LOI}} = w_{\text{LOI}} + 0.8 \times (w_2 - w_1)$$

式中： $w'_{\text{LOI}}$ ——校正后烧失量的质量分数，%；

$w_1$ ——未灼烧水泥试样中硫酸盐三氧化硫的质量分数，%；

$w_2$ ——以水泥基表示灼烧后试样中硫酸盐三氧化硫的质量分数，%。

(3) 重复性限和再现性限。

重复性限为 0.20%，再现性限为 0.30%。

## 十一、三氧化硫含量(硫酸钡重量法-基准法)

用盐酸分解试样，生成硫酸根离子，在煮沸下用氯化钡溶液沉淀，生成硫酸钡沉淀，经过滤灼烧后称量，测定结果以三氧化硫计。

### 1. 试验要点

(1) 盐酸溶样、氯化钡沉淀硫酸盐。

① 称取约 0.5g 试样( $m_1$ )，精确至 0.0001g，置于 200mL 烧杯，加约 40mL 水分散；加 10mL

盐酸(1+1),用平头玻璃棒压碎块状物,加热煮沸并保持微沸 5min~10min。

②用中速滤纸过滤,用热水洗涤 10次~12次,滤液集于 400mL 烧杯。

③调整滤液至 250mL,玻璃棒底部压一小片定量滤纸,盖上表面皿,加热煮沸,在搅拌下滴加 10mL 氯化钡溶液(100g/L),继续微沸数分钟使沉淀良好形成。然后在常温下静止 12h~24h,此时溶液的体积应保持在约 200mL。

④慢速定量滤纸过滤,热水洗涤,用定量滤纸片擦洗烧杯及玻璃棒,洗涤至用硝酸银溶液(10g/L)检测无氯离子时为止。

(2)灰化、灼烧、称量。

①将沉淀及滤纸移入已灼烧至恒量的瓷坩埚,灰化后,在 800℃~950℃的高温炉内灼烧 30min 以上。

②取出坩埚置于干燥器中冷却至室温,称量。反复灼烧,直到恒量( $m_2$ )。

## 2. 结果处理

(1)按下式计算三氧化硫的质量分数。

$$w_{\text{SO}_3} = \frac{(m_2 - m_{02}) \times 0.343}{m_1} \times 100\%$$

式中: $w_{\text{SO}_3}$ ——三氧化硫的质量分数,%;

$m_2$ ——灼烧后沉淀的质量,g;

$m_{02}$ ——空白试验灼烧后沉淀的质量,g;

$m_1$ ——试料的质量,g;

0.343——硫酸钡对三氧化硫的换算系数。

(2)重复性限和再现性限。

$w_{\text{SO}_3}$  小于或等于 1% 时,重复性限为 0.10%,再现性限为 0.15%。

$w_{\text{SO}_3}$  大于 1% 时,重复性限为 0.15%,再现性限为 0.20%。

## 十二、氧化镁含量(原子吸收光谱法-基准法)

以氢氟酸-高氯酸分解或氢氧化钠熔融或碳酸钠熔融的方法制备溶液,分取一定量的溶液,用锆盐消除硅、铝、钛等对镁的干扰,在空气-乙炔火焰中,于波长 285.2nm 处测定溶液的吸光度。

### 1. 试验要点

(1)氢氟酸-高氯酸分解试样。

称取约 0.1g 试样( $m$ ),精确至 0.0001g,置于铂坩埚(或铂皿、聚四氟乙烯皿)中。

加入 0.5mL~1mL 水湿润,加入 5mL~7mL 氢氟酸和 0.5mL 高氯酸,放入通风橱内低温电热板上加热,近干时摇动铂坩埚以防溅失。待白色浓烟完全驱尽后,取下冷却。

加入 20mL 盐酸(1+1),温热至溶液澄清,冷却后,移入 250mL 容量瓶中,加入 5mL 氯化锆(50g/L)溶液,用水稀释至标线,摇匀。此溶液为 C 溶液。

(2)氢氧化钠熔融-盐酸分解试样。

称取约 0.1g 试样( $m$ ),精确至 0.0001g,置于银坩埚中。

加入 3g ~ 4g 氢氧化钠, 盖上坩埚盖, 并留有缝隙, 放入高温炉, 在 750℃ 下熔融 10min, 取出冷却。

将坩埚放入已盛有约 100mL 沸水的 300mL 烧杯中, 盖上表面皿, 待熔块完全浸出后, 取出坩埚, 用水冲洗坩埚和盖。

在搅拌下一次加入 35mL 盐酸(1 + 1), 用热盐酸(1 + 9)洗净坩埚和盖。

将溶液加热煮沸, 冷却后, 移入 250mL 容量瓶中, 用水稀释至标线, 摇匀。

此溶液为 D 溶液。

(3) 碳酸钠熔融-盐酸分解试样。

称取约 0.1g 试样( $m$ ), 精确至 0.0001g, 置于铂坩埚中。

加入 0.4g 碳酸钠, 搅拌均匀, 放入高温炉, 在 950℃ 的下熔融 10min, 取出冷却。

将坩埚放入已盛有 50mL 盐酸(1 + 1)的 250mL 烧杯中, 盖上表面皿, 待熔块完全浸出后, 取出坩埚, 用水冲洗坩埚和盖。

将溶液加热煮沸, 冷却后, 移入 250mL 容量瓶中, 用水稀释至标线, 摇匀。

此溶液为 E 溶液。

(4) 氧化镁的测定。

从 C 溶液或 D 溶液或 E 溶液中吸取 5.00mL 溶液放入 100mL 容量瓶中(试样溶液的分取量及容量瓶的容积视氧化镁的含量而定)。

加入 12mL 盐酸(1 + 1)及 2mL 氯化锶(50g/L)溶液, 使测定溶液中盐酸的体积分数为 6%, 锶的浓度为 1mg/mL。用水稀释至标线, 摇匀。

用原子吸收光谱仪, 在空气-乙炔火焰中, 用镁空心阴极灯, 于波长 285.2nm 处, 测定溶液的吸光度, 在工作曲线上查出氧化镁的浓度( $c_1$ )。

## 2. 结果处理

(1) 按下式计算氧化镁的质量分数  $w_{\text{MgO}}$ 。

$$w_{\text{MgO}} = \frac{c_1 \times 100 \times 50}{m \times 10^6} \times 100 = \frac{c_1 \times 0.5}{m}$$

式中:  $w_{\text{MgO}}$ ——氧化镁的质量分数, %;

$c_1$ ——扣除空白试验值后测定溶液中氧化镁的浓度,  $\mu\text{g/mL}$ ;

100——测定溶液的体积, mL;

50——全部试样溶液与所分取试样溶液的体积比;

$m$ ——试料的质量, g。

(2) 重复性限和再现性限。

重复性限为 0.15%, 再现性限为 0.25%。

## 十三、氯离子含量(硫氰酸氨容量法-基准法)

该方法给出总氯加溴的含量, 以氯离子表示结果。试样用硝酸进行分解, 同时消除硫化物的干扰, 加入已知量的硝酸银标准溶液使氯离子以氯化银的形式沉淀。煮沸、过滤后, 将滤液和洗涤液冷却至 25℃ 以下, 以铁(III)盐为指示剂, 用硫氰酸氨标准溶液滴定过量的硝酸银。

### 1. 试验要点

- (1)称取 5g 试样( $m_1$ ),精确至 0.0001g,置于 400mL 烧杯中。
- (2)加 50mL 水,搅拌分散试样,搅拌下加 50mL 硝酸(1+2)。
- (3)加热煮沸,并在搅拌下煮沸 1min~2min。
- (4)准确移取 5.00mL 0.05mol/L 硝酸银标准溶液,放入溶液,煮沸 1min~2min。
- (5)加入少许滤纸浆,用玻璃砂芯漏斗抽气过滤,滤液收集在 250mL 锥形瓶。
- (6)用硝酸(1+100)洗涤烧杯、玻璃棒和滤纸,至滤液和洗液达约 200mL。
- (7)溶液在弱光线或暗处冷却至 25℃ 以下。
- (8)加 5mL 硫酸铁铵指示剂,用 0.05mol/L 硫氰酸铵标准溶液滴定至产生的红棕色不消失为止( $V$ )。如果  $V$  小于 0.5mL,用减少一半的试样质量重新试验。
- (9)不加入试样,按上述方法进行空白试验,记录硫氰酸铵标准溶液的消耗量( $V_0$ )。

### 2. 结果处理

- (1)按下式计算氯离子的质量分数。

$$w_{\text{Cl}^-} = \frac{1.773 \times 5.00 \times (V_0 - V)}{V_0 \times m_1 \times 1000} \times 100 = 0.8865 \times \frac{V_0 - V}{V_0 \times m_1}$$

式中: $w_{\text{Cl}^-}$ ——氯离子的质量百分数,%;

1.773——硝酸银标准溶液对氯离子的滴定度,mg/mL;

$V$ ——滴定时消耗硫氰酸铵标准溶液的体积,mL;

$V_0$ ——空白试验消耗硫氰酸铵标准溶液的体积,mL;

$m_1$ ——试料质量,g。

- (2)重复性限和再现性限。

含量 $\leq 0.10\%$ 时,重复性限为 0.005%,再现性限为 0.010%。

含量 $> 0.10\%$ 时,重复性限为 0.010%,再现性限为 0.015%。

## 十四、碱含量(火焰光度法-基准法)

水泥中碱含量按  $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$  计算值表示,碱含量是水泥的选择性指标。

试样经氢氟酸-硫酸蒸发处理除去硅,用热水浸取残渣,以氨水和碳酸铵分离铁、铝、钙、镁。滤液中的钾、钠用火焰光度计进行测定。

### 1. 工作曲线的绘制

(1)分别用基准试剂氯化钠和氯化钾配制每毫升含 1mg 氧化钾及每毫升含 1mg 氧化钠的标准溶液。

(2)吸取每毫升含 1mg 氧化钾及 1mg 氧化钠的标准溶液 0mL、2.50mL、5.00mL、10.00mL、15.00mL、20.00mL 分别放入 500mL 容量瓶中,用水稀释至标线,摇匀,贮存于塑料瓶中。

(3)将火焰光度计调节至最佳工作状态,按仪器使用规程进行测定。用测得的检流计读数作为相对应的氧化钠和氧化钾含量函数,绘制工作曲线。

## 2. 试验要点

- (1) 称取约 0.2g 试样 ( $m_1$ ), 精确至 0.0001g, 置于铂皿或聚四氟乙烯皿中, 用少量水润湿。
- (2) 加 5mL ~ 7mL 氢氟酸及 15 ~ 20 滴硫酸 (1 + 1)。
- (3) 在低温电热板上蒸发, 近干时摇动铂皿, 驱尽氢氟酸后逐渐升温, 驱尽三氧化硫白烟, 取下放冷。
- (4) 加入 40 ~ 50mL 热水, 压碎残渣使其溶解。
- (5) 加 1 滴甲基红指示剂溶液, 用氨水 (1 + 1) 中和至黄色。
- (6) 加 10mL 碳酸铵溶液 (100g/L), 搅拌, 置于电热板上加热 20min ~ 30min。
- (7) 用快速滤纸过滤, 以热水洗涤, 滤液及洗液盛于 100mL 容量瓶, 冷却至室温。
- (8) 用盐酸 (1 + 1) 中和至溶液呈微红色, 用水稀释至标线, 摇匀。
- (9) 用火焰光度计测得检流计读数。
- (10) 在工作曲线上查出氧化钾和氧化钠的含量  $m_2$  和  $m_3$ 。

## 3. 结果处理

- (1) 计算氧化钾和氧化钠的质量分数  $w_{K_2O}$  和  $w_{Na_2O}$ 。

$$w_{K_2O} = \frac{m_2}{m_1 \times 1000} \times 100 = \frac{m_2 \times 0.1}{m_1}$$

$$w_{Na_2O} = \frac{m_3}{m_1 \times 1000} \times 100 = \frac{m_3 \times 0.1}{m_1}$$

式中:  $w_{K_2O}$  —— 氧化钾的质量分数, %;

$w_{Na_2O}$  —— 氧化钠的质量分数, %;

$m_1$  —— 试料的质量, g;

$m_2$  —— 扣除空白试验值后 100mL 测定溶液中氧化钾的含量, mg;

$m_3$  —— 扣除空白试验值后 100mL 测定溶液中氧化钠的含量, mg。

- (2) 重复性限和再现性限。

氧化钾: 重复性限为 0.10%, 再现性限为 0.15%。

氧化钠: 重复性限为 0.05%, 再现性限为 0.10%。