



中华人民共和国国家标准

GB/T 12960—201X
代替 GB/T12960-2007

水泥组分的定量测定

Quantitative determination of constituents of cement

(征求意见稿)

201X - XX - XX 发布

201X - XX - XX 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 试验的基本要求	2
5 试剂和材料	3
6 仪器与设备	6
7 试样的制备	9
8 硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥中组分含量的测定	9
9 矿渣硅酸盐水泥中组分含量的测定	15
10 火山灰质硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥中组分含量的测定	16
11 复合硅酸盐水泥中组分含量的测定	17
12 解矩阵方程和特征组分的方法	20
13 重复性限和再现性限	21

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准代替GB/T 12960—2007《水泥组分的定量测定》，与GB/T 12960—2007相比主要变化如下：

——对试样的制备进行了修改（见第7章，2007年版的第7章）。

——对碱石棉吸收重量法的测定步骤进行了修改（见8.2.3.1条，2007年版的8.2.3.1条）。

——“氢氧化钾—乙醇跟踪滴定法”修改为“自动光度滴定法”（见8.2.3.2条，2007年版的8.2.3.2条）。

——修改后的公式适用于同时掺加两种以上火山灰质混合材料或粉煤灰的情况（见8.3.4.1、9.2.3.1、10.2.2、10.2.3、11.2.4、11.2.5.1条，2007年版的8.4.3.1、9.2.3.1、10.2.2、10.2.3、11.2.4、11.2.5.1条）。

——增加了水泥中熟料组分含量的的计算公式（见8.3.5.4条）。

——增加了解矩阵方程和特征组分的方法（见第12章）。

——取消了有关立窑生产水泥的组分计算公式（2007年版的8.3.5.1条、8.3.5.2条、9.2.4.1条、9.2.4.2条、10.2.3条、11.2.5.1条、11.2.5.2条）。

本标准由中国建筑材料联合会提出。

本标准由全国水泥标准化技术委员会（SAC/TC 184）归口。

本标准负责起草单位：中国建材检验认证集团股份有限公司。

本标准参加起草单位：

本标准主要起草人：

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 12960—1991、GB/T 12961—1991、GB/T 12960—1996、GB/T 12960—2007。

水泥组分的定量测定

1 范围

本标准规定了水泥组分的定量测定方法。

本标准适用于通用硅酸盐水泥（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）组分的测定。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 176 水泥化学分析方法

GB/T 2007.1 散装矿产品取样、制样通则 手工取样方法

GB/T 5484 石膏化学分析方法

GB/T 5762 建材用石灰石、生石灰和熟石灰化学分析方法

GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 12573 水泥取样方法

JC/T 850 水泥用铁质原料化学分析方法

JC/T 874 水泥用硅质原料化学分析方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 重复性条件 repeatability conditions

在同一实验室，由同一操作者使用相同设备，按相同的测试方法，并在短时间内从同一被测对象取得相互独立测试结果的条件。

3.2

再现性条件 reproducibility conditions

在不同的试验室，由不同的操作者使用不同的设备，按相同的测定方法，从同一被测对象取得测试结果的条件。

3.3

重复性限 repeatability limit

一个数值，在重复性条件(3.1)下，两次测试结果的绝对差值不超过此数的概率为95%。

3.4

再现性限 reproducibility limit

一个数值，在再现性条件(3.2)下，两次测试结果的绝对差值不超过此数的概率为95%。

3.5

基准法 reference method

采用实际测定的原始混合材料和硅酸盐水泥(P·I)试样中不溶渣含量等化学成分计算组分含量的方法。

3.6

代用法 alternative method

采用硅酸盐水泥(P·I)试样中不溶渣含量等化学成分的统计平均值进行组分含量的计算；对于水泥中混合材料组分而言，一般采用混合材料的不溶渣含量统计平均值进行组分含量的计算；而对于混合材料掺加量较高的组分，需要采用实际测定的原始混合材料中不溶渣含量进行组分含量的计算。

3.7

特征化学成分 characteristic chemical component

某组分中所含有的一种化学成分，该化学成分在其他组分中不含有或其含量很低。

3.8

特征组分 characteristic constituent

含有特征化学成分(3.7)的组分。

4 试验的基本要求

4.1 试验次数与要求

每项测定的试验次数规定为两次，用两次试验结果的平均值表示测定结果。

4.2 试验室温度

试验室温度要求在15℃~30℃之间。

4.3 恒量

经第一次烘干、冷却、称量后，通过连续对每次15min的烘干，然后冷却、称量的方法来检查恒定的质量，当连续两次称量之差小于0.0005g时，即达到恒量，除另有规定。

4.4 质量、体积、滴定度的表示

质量用“克(g)”表示，精确至0.0001g。滴定管体积用“毫升(mL)”表示，读数精确至0.01mL。标准滴定溶液的滴定度用“毫克每毫升(mg/mL)”表示，保留四位有效数字。

4.5 结果的处理

选择溶解后不溶渣的含量、二氧化碳含量及三氧化硫含量以质量分数计，数值以%表示至小数点后两位。

各组分含量测定结果以质量分数计，数值以%表示至小数点后一位。

如果测定的某组分含量小于或等于1.0%，则该组分的含量按零计，在计算其他组分含量时，如果用到该组分含量，则按零值带入计算；对于大于1.0%的组分含量，不应扣除1.0%表示结果。

数值的修约按GB/T 8170进行。

4.6 重复性限和再现性限

本标准所列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，采用本标准所列方法分析同一试样时，两次分析结果之差应在所列的重复性限(见表2)内。如超出重复性限，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分析结果之差值符合重复性限的规定时，则取其平均值，否则，应查找原因，重新按上述规定进行分析。

在再现性条件下，采用本标准所列方法对同一试样各自进行分析时，所得分析结果的平均值之差应在所列的再现性限(表2)内。

5 试剂和材料

5.1 总则

除另有说明外，所用试剂应不低于分析纯。用于标定的试剂应为基准试剂。所用水应不低于GB/T 6682中规定的三级水的要求。标准中的无二氧化碳的水是指新煮沸并冷却至室温的水。

本标准所列市售浓液体试剂的密度指20℃的密度(ρ)，单位为克每立方厘米(g/cm^3)。

在化学分析中，所用酸，凡未注浓度者均指市售的浓酸。

用体积比表示试剂稀释程度，例如：盐酸(1+2)表示1份体积的浓盐酸与2份体积的水相混合。

5.2 盐酸(HCl)

密度 $1.18\text{g}/\text{cm}^3 \sim 1.19\text{g}/\text{cm}^3$ ，质量分数 36%~38%。

5.3 硫酸(H_2SO_4)

密度 $1.84\text{g}/\text{cm}^3$ ，质量分数 95%~98%。

5.4 磷酸(H_3PO_4)

密度 $1.68\text{g}/\text{cm}^3$ ，质量分数 $\geq 85\%$ 。

5.5 三乙醇胺 [$\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3$]

密度 $1.12\text{g}/\text{cm}^3$ ，质量分数 99%。

5.6 乙醇($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)

体积分数 95%。

5.7 无水乙醇($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)

体积分数不低于99.5%。

5.8 乙醇胺 ($\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$)

1.01g/cm³，体积分数≥99%。

5.9 盐酸（1+2）。

5.10 三乙醇胺（1+2）。

5.11 氢氧化钠溶液（50g/L）

将5g氢氧化钠（NaOH）溶于水中，稀释至100mL，贮存于塑料试剂瓶中。

5.12 EDTA 溶液[c(EDTA)=0.15mol/L, c(NaOH)=0.25mol/L]

称取55.8g 乙二胺四乙酸二钠（C₁₀H₁₄N₂O₈ Na₂·2H₂O）和10g 氢氧化钠（NaOH），置于1000mL烧杯中，加入500mL~600mL水，加热并搅拌使其溶解，过滤，冷却至室温后用水稀释至1000mL，摇匀。

5.13 硫酸铜（CuSO₄·5H₂O）饱和溶液。

5.14 硫酸铜溶液（200g/L）

称取20g 硫酸铜（CuSO₄·5H₂O）溶于100mL水中。

5.15 吸收溶液

在1000mL试剂瓶中，加入10mL水、50mL乙醇胺（见5.8）、500mL无水乙醇（见5.7）及7.5mL百里香酚酞指示剂溶液（见5.19），摇匀。

取60mL~70mL上述溶液置于200mL烧杯中，用氢氧化钾—乙醇标准滴定溶液（见5.18）滴定至浅蓝色（颜色勿过浅）。然后打开滴定池盖，向滴定池内加入约50mL该溶液，若蓝色变浅再用氢氧化钾—乙醇标准滴定溶液（见5.18）滴定至浅蓝色。

5.16 磷酸盐 pH 标准缓冲溶液

称取2.238g磷酸氢二钠（Na₂HPO₄·12H₂O）与0.851g磷酸二氢钾（KH₂PO₄），精确至0.0001g，置于200mL烧杯中，加入约100mL无二氧化碳的水，温热并搅拌使其溶解，冷却至室温后，移入250mL容量瓶中，用无二氧化碳的水洗净烧杯并稀释至标线，摇匀。不同温度下的磷酸盐pH标准缓冲溶液的pH值见表1。

表1 标准缓冲溶液的 pH 值

温度/°C	磷酸盐 pH标准缓冲溶液的pH值	硼酸盐 pH标准缓冲溶液的pH值
10	6.92	9.33
15	6.90	9.28
20	6.88	9.23
25	6.86	9.18
30	6.85	9.14
35	6.84	9.10
40	6.84	9.07
45	6.83	9.04

5.17 硼酸盐 pH 标准缓冲溶液

称取 0.953g 四硼酸钠 ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), 精确至 0.0001g, 置于 200mL 烧杯中, 加入约 100mL 无二氧化碳的水, 温热并搅拌使其溶解, 冷却至室温后, 移入 250mL 容量瓶中, 用无二氧化碳的水洗净烧杯并稀释至标线, 摇匀。不同温度下的硼酸盐 pH 标准缓冲溶液的 pH 值见表 1。

5.18 氢氧化钾—乙醇标准滴定溶液 [$c(\text{KOH}) = 0.1\text{mol/L}$]

5.18.1 氢氧化钾—乙醇标准滴定溶液的配制

称取 6.3g 氢氧化钾 (KOH) 溶于 20mL 水中, 加入 100mL 乙醇胺 (见 5.8)、在不断搅拌下缓慢加入 1000mL 无水乙醇 (见 5.7), 然后加入 15mL 百里香酚酞指示剂溶液 (见 5.19), 摇匀, 贮存于塑料瓶中。

5.18.2 氢氧化钾—乙醇标准滴定溶液浓度的标定

标定前, 将一个空的反应瓶连接到图3所示的仪器装置 (见6.9) 上。启动抽气泵, 控制气体流速约为 100mL/min~150mL/min, 通气20min以上, 以除去系统中的二氧化碳, 并用氢氧化钾—乙醇标准滴定溶液自动跟踪滴定 (不计体积)。

称取 0.15g (m_1) 已于 105°C~110°C 烘过 2h 的碳酸钙 (CaCO_3 , 基准试剂), 精确至 0.0001g, 置于干燥的 100mL 反应瓶中, 将反应瓶连接到图3所示的仪器装置 (见6.9) 上。启动抽气泵, 调节气流量为 100mL/min~150mL/min, 加入 15mL 磷酸到分液漏斗6中, 小心旋开分液漏斗活塞, 使磷酸滴入反应瓶5中, 并留少许磷酸在漏斗中起液封作用, 关闭活塞。调节电压使电炉丝呈暗红色, 慢慢低温加热使反应瓶中的液体至沸, 并加热微沸 5min, 关闭电炉, 并继续通气 15min。加热和通气过程中, 滴定池中的溶液蓝色开始褪色, 用氢氧化钾—乙醇标准滴定溶液自动跟踪滴定至起始颜色为止 (V_1)。

同时进行空白试验。除不加入碳酸钙之外, 采用完全相同的分析步骤, 取相同量的试剂进行试验 (V_0)。

氢氧化钾—乙醇标准滴定溶液对二氧化碳滴定度按式 (1) 计算:

$$T_{\text{CO}_2} = \frac{m_1 \times 1000}{V_1 - V_0} \times \frac{44.01}{100.09} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

T_{CO_2} ——氢氧化钾—乙醇标准滴定溶液对二氧化碳的滴定度, 单位为毫克每毫升 (mg/mL);

V_0 ——空白试验消耗氢氧化钾—乙醇标准滴定溶液的体积, 单位为毫升 (mL);

V_1 ——滴定时消耗氢氧化钾—乙醇标准滴定溶液的体积, 单位为毫升 (mL);

m_1 ——称取碳酸钙的质量, 单位为克 (g);

44.01—— CO_2 的摩尔质量, 单位为克每摩尔 (g/mol);

100.09—— CaCO_3 的摩尔质量, 单位为克每摩尔 (g/mol)。

5.19 百里香酚酞指示剂溶液 (2g/L)

将 0.2g 百里香酚酞溶于 100mL 乙醇 (5.6) 中。

5.20 硫化氢吸收剂

将称量过的、粒度在 1mm~2.5mm 的干燥浮石放在一个平盘内, 然后用一定体积的硫酸铜饱和溶

液（见 5.13）浸泡，硫酸铜溶液的质量约为浮石质量的一半。把混合物放在 150℃ 的干燥箱（见 6.2）内，在玻璃棒经常搅拌下，蒸发混合物至干，烘干 5h 以上，将固体混合物冷却后，贮存于密封瓶内。

5.21 碱石棉

粒度 1mm~2mm（10 目~20 目），化学纯，密封保存。

5.22 无水高氯酸镁 [Mg(ClO₄)₂]

制成粒度 0.6mm~2mm，贮存于密封瓶内。

5.23 钠石灰

粒度 2mm~5mm，医药用或化学纯，密封保存。

5.24 变色硅胶

在 105℃~110℃ 烘干至蓝色。

6 仪器与设备

6.1 天平

精确至 0.0001g。

6.2 干燥箱

可控制温度 105℃ ±5℃，150℃ ±5℃。

6.3 酸度计

测量 pH 值范围 0~14，精确至 0.02。

6.4 玻璃砂芯漏斗

直径 40mm~直径 60mm，型号 G4（平均孔径 4μm~7μm）。

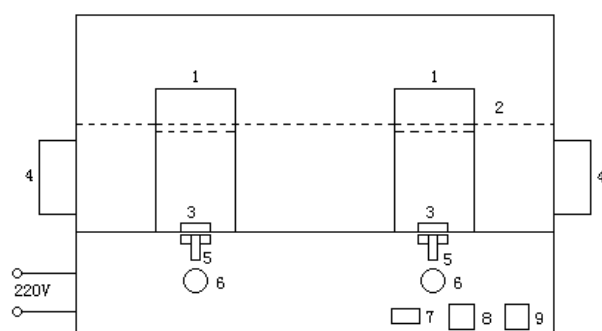
6.5 抽滤瓶

1000mL。

6.6 抽气泵

抽速 0.25L/s。

6.7 水泥组分测定装置：可恒温 10℃ ±2℃，20℃ ±2℃，示意图见图 1。

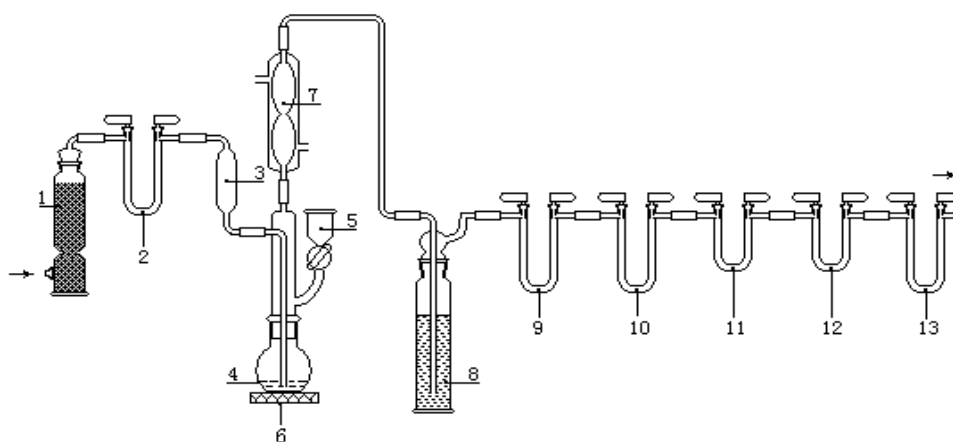


- | | | |
|-----------|----------|-----------|
| 1—烧杯； | 2—恒温水槽； | 3—搅拌子； |
| 4—恒温电器元件； | 5—电磁搅拌器； | 6—搅拌调速调节； |
| 7—电源开关； | 8—时间设定； | 9—温度设定。 |

图1 水泥组分测定装置示意图

6.8 二氧化碳测定装置（碱石棉吸收重量法）

仪器装置示意图如图 2 所示。安装一个适宜的抽气泵和一个玻璃转子流量计，以保证气体通过装置均匀流动。



- | | |
|------------------------------|-------------------------------------|
| 1—吸收塔：内装钠石灰（5.23）或碱石棉（5.21）； | 4—反应瓶：100mL； |
| 2—U形管：内装碱石棉（5.21）； | 6—电炉； |
| 3—缓冲瓶； | 8—洗气瓶：内装硫酸（5.3）； |
| 5—分液漏斗； | 10—U形管：内装无水高氯酸镁（5.22）； |
| 7—球形冷凝管； | 11、12—U形管：内装碱石棉（5.21）和无水高氯酸镁（5.22）； |
| 9—U形管：内装硫化氢吸收剂（5.20）； | 13—U形管：内装钠石灰（5.23）或碱石棉（5.21）。 |

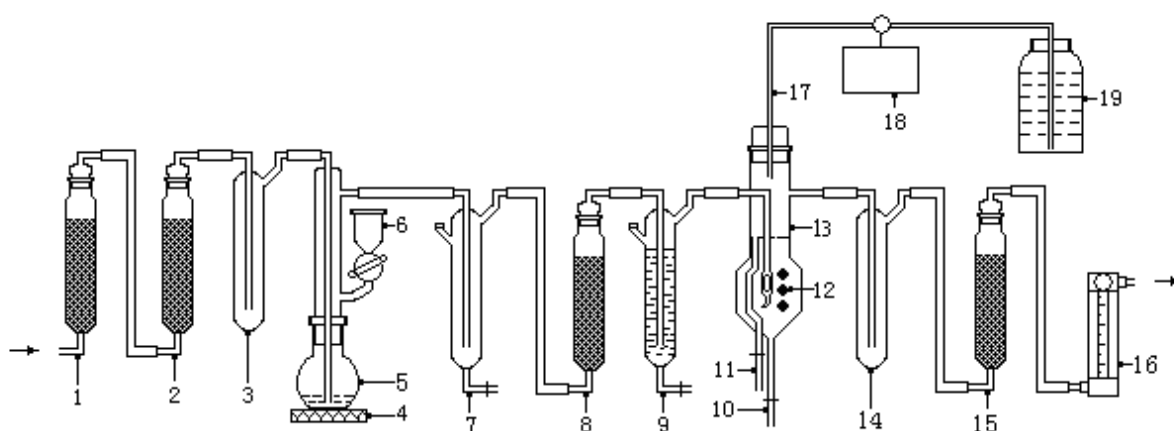
图2 碱石棉吸收重量法—二氧化碳测定装置示意图

进入装置的气体先通过含钠石灰（5.23）或碱石棉（5.21）的吸收塔1和含碱石棉（5.21）的U形管2，气体中的二氧化碳被除去。反应瓶4上部与球形冷凝管7相连接。

气体通过球形冷凝管7后，进入含硫酸（5.3）的洗气瓶8，然后通过含硫化氢吸收剂（5.20）的U形管9和无水高氯酸镁（5.22）的U形管10，气体中的硫化氢和水分被除去。接着通过两个可以称量的U形管11和12，内各装3/4碱石棉（5.21）和1/4无水高氯酸镁（5.22）。对气体流向而言，碱石棉（5.21）应装在水高氯酸镁（5.22）之前。U形管11和12后面接一个附加的U形管13，内装钠石灰（5.23）或碱石棉（5.21），以防止空气中的二氧化碳和水分进入U形管12中。

6.9 二氧化碳测定装置（自动光度滴定法）

仪器装置示意图如图3所示。安装一个适宜的抽气泵和一个玻璃转子流量计，以保证气体通过装置均匀流动。



- 1、2——洗气瓶，内装钠石灰（见5.23）或碱石棉（见5.21）；
- 3、7、14——空瓶；
- 4——电炉；
- 5——反应瓶：100mL；
- 6——带分液漏斗的冷凝管；
- 8——洗气瓶，内装硫化氢吸收剂（见5.20）；
- 9——洗气瓶，内装硫酸铜溶液（200g/L）；
- 10——废液管；
- 11——排液管；
- 12——光敏元件；
- 13——滴定池，内装吸收液（见5.15）；
- 15——洗气瓶，内装变色硅胶（见5.24）；
- 16——气体流量计；
- 17——滴定管；
- 18——自动滴定、数据处理、液晶显示器；
- 19——试剂瓶，内装氢氧化钾—乙醇标准滴定溶液（见5.18）。

图3 自动光度滴定法—二氧化碳测定装置示意图

进入装置的气体先通过含钠石灰（见5.23）或碱石棉（见5.21）的洗气瓶1和2，气体中的二氧化碳被除去。反应瓶5上部与带分液漏斗的冷凝管6相连接。

气体通过洗气瓶8和9，洗气瓶8内装硫化氢吸收剂（见5.20），洗气瓶9内装硫酸铜溶液（见5.14），气体中的硫化氢被除去，最后二氧化碳气体进入滴定池13。

6.10 U形管

图2中可以称量的U形管11和12的尺寸应符合下述规定：

二支直管之间内侧距离	25mm~30mm
内径	15mm~20mm
管底部和磨口段上部之间距离	100mm~120mm
管壁厚度	1mm~1.5mm

7 试样的制备

7.1 取样

样品应是具有代表性的均匀性样品。取样过程中应注意水泥样品和组成水泥的各组分样品的取样时间一致，保证其相关性。

水泥的取样按GB/T 12573进行。混合材料等原料的取样方法按GB/T 2007.1进行。

7.2 制样

将水泥样品缩分至约100g，混匀后装入试样瓶中，密封保存。

石灰石试样按GB/T5762制备；石膏试样按GB/T5484制备；矿渣、火山灰质混合材料或粉煤灰等试样的制备，分别将样品粉磨、缩分至约100g，并将筛余物研磨至全部通过80 μ m方孔筛，混匀后装入试样瓶中。

硅酸盐水泥（P I）试样由各生产企业正常煅烧的熟料和石膏按生产质量比例配制而成，并装入试样瓶中，密封保存。

除了水泥、熟料和石膏外，混合材料等原料试样需在105 $^{\circ}$ C~110 $^{\circ}$ C烘干2h后，放在干燥器中冷却至室温，以备分析用。

8 硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥中组分含量的测定

8.1 方法提要

水泥试样用盐酸溶液(10 $^{\circ}$ C \pm 2 $^{\circ}$ C)选择溶解，火山灰质混合材料或粉煤灰组分基本上不溶解，而其他组分则基本上被溶解。

水泥试样被pH 11.60含有EDTA的溶液选择溶解后，熟料、石膏及碳酸盐基本上被溶解，而其他组分则基本上不溶解。

石灰石的含量由二氧化碳的含量而定。二氧化碳的测定采用碱石棉吸收重量法或自动光度滴定法。

碱石棉吸收重量法用磷酸分解试样，碳酸盐分解释放出的二氧化碳由不含二氧化碳的气流带入一系列的U形管，先除去硫化氢和水分，然后被二氧化碳吸收剂吸收，通过称量来确定二氧化碳的含量。

自动光度滴定法用磷酸分解试样，碳酸盐分解释放出的二氧化碳先由不含二氧化碳的气流带入硫酸铜洗气瓶，除去硫化氢，然后被乙醇—乙醇胺溶液吸收，以百里香酚酞为指示剂，用氢氧化钾—乙醇标准滴定溶液自动跟踪滴定。

由选择溶解的结果以及二氧化碳和三氧化硫的含量，计算水泥中各组分的含量。

8.2 分析步骤

8.2.1 用盐酸溶液选择溶解后不溶渣含量的测定

基准法用盐酸溶液选择溶解法分别测定水泥和掺入水泥的火山灰质混合材料或粉煤灰以及硅酸盐水泥（P·I）中不溶渣的含量；代用法用盐酸溶液选择溶解法测定水泥中不溶渣的含量，而火山灰质混合材料或粉煤灰以及硅酸盐水泥（P·I）中的不溶渣含量采用统计平均值作为常数。

称取约0.5g试样（ m_4 ）（其中火山灰质混合材料或粉煤灰试样称取约0.25g），精确至0.0001g，置于200mL的干烧杯中，加入80mL水，放入一根搅拌子。将烧杯置于图1所示的水泥组分测定装置（6.7）上，控制温度在 $10^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ，搅拌5min，使试料完全分散。

然后，加入40mL已在 $10^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 水中恒温8min~10min的盐酸（1+2），继续搅拌25min，取下。立即用预先在 $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 烘干至恒量的玻璃砂芯漏斗抽气过滤。

提示：恒量的玻璃砂芯漏斗是预先处理好的，即先用毛刷和水洗涤干净，并分别用热的盐酸（1+5）和水抽滤洗涤干净。然后在 $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 干燥箱中烘干至恒量，在干燥器中冷却至室温并称量（ m_2 ）。

用镊子取出搅拌子并用 $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 的水洗净，将不溶渣全部转移至玻璃砂芯漏斗上，用水洗涤不溶渣6次，再用乙醇（5.6）洗涤2次（洗涤液总量80mL~100mL）。

过滤时等上次洗涤液漏完后再洗涤下次。过滤必须迅速，如果过滤时间超过20min（包括洗涤），应重做该试验。

将玻璃砂芯漏斗放入 $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 烘箱中，烘干40min以上。取出后置于干燥器中冷却至室温，称量。如此反复烘干，直至恒量（ m_3 ）。

8.2.2 用EDTA溶液选择溶解后不溶渣含量的测定

基准法用EDTA溶液选择溶解法分别测定水泥和掺入水泥的矿渣以及硅酸盐水泥（P·I）中不溶渣的含量；代用法用EDTA溶液选择溶解法测定水泥中不溶渣的含量，同样火山灰质混合材料或粉煤灰以及硅酸盐水泥（P·I）中的不溶渣的含量采用统计平均值作为常数。

按照仪器的使用规程，分别用磷酸盐pH标准缓冲溶液（5.16）与硼酸盐pH标准缓冲溶液（5.17）校准酸度计（6.3）。

取50mL EDTA溶液（5.12）、10mL三乙醇胺（1+2）、80mL水，依次加入至200mL烧杯中。

在酸度计指示下用氢氧化钠溶液（5.11）调整溶液的pH至 11.60 ± 0.05 。

放入一根搅拌子。将烧杯置于图1所示的水泥组分测定装置（6.7）上，使溶液保持在 $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ，在搅拌下向溶液中加入约0.3g试样（ m_7 ），精确至0.0001g。在加入试样后计时，继续搅拌25min，取下。立即用预先在 $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 烘干至恒量的玻璃砂芯漏斗抽气过滤。

提示：恒量的玻璃砂芯漏斗是预先处理好的，即先用毛刷和水洗涤干净，并分别用热的盐酸（1+5）和水抽滤洗涤干净。然后在 $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 干燥箱中烘干至恒量，在干燥器中冷却至室温并称量（ m_5 ）。

用镊子取出搅拌子并用水洗净，将不溶渣全部转移至玻璃砂芯漏斗上，用 $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 的水洗涤不溶渣8次，再用乙醇（5.6）洗涤2次（洗涤液总量100mL~120mL）。

过滤时等上次洗涤液漏完后再洗涤下次。过滤必须迅速，如果过滤时间超过20min（包括洗涤），应重做该试验。

将玻璃砂芯漏斗放入 $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 烘箱中，烘干40min以上。取出后置于干燥器中冷却至室温，称量。如此反复烘干，直至恒量（ m_6 ）。

8.2.3 试样中二氧化碳含量的测定

8.2.3.1 碱石棉吸收重量法

每次测定前, 将一个空的反应瓶连接到图2所示的仪器装置(6.8)上, 连通U形管9、10、11、12、13。启动抽气泵, 控制气体流速约为50mL/min~100mL/min(每秒3~5个气泡), 通气30min以上, 以除去系统中的二氧化碳和水分。

关闭抽气泵, 关闭U形管10、11、12、13的磨口塞。取下U形管11和12放在干燥器(6.2)中, 恒温10min, 然后分别称量。

提示: 取用U形管时, 应小心避免影响质量、损坏或受伤。建议进行操作时带防护手套。

称取约1g试样(m_{10}), 精确至0.0001g, 置于干燥的100mL反应瓶中, 将反应瓶连接到图2所示的仪器装置(6.8)上, 并将已称量的U形管11和12连接到图2所示的仪器装置(6.8)上。启动抽气泵, 控制气体流速约为50mL/min~100mL/min(每秒3~5个气泡)。加入20mL磷酸到分液漏斗5中, 小心旋开分液漏斗活塞, 使磷酸滴入反应瓶4中, 并留少许磷酸在漏斗中起液封作用, 关闭活塞。打开反应瓶下面的小电炉, 调节电压使电炉丝呈暗红色, 慢慢低温加热使反应瓶中的液体至沸, 并加热微沸5min, 关闭电炉, 并继续通气25min。

提示: 切勿剧烈加热, 以防反应瓶中的液体产生倒流现象。

关闭抽气泵, 关闭U形管10、11、12、13的磨口塞。取下U形管11和12放在干燥器(6.2)中, 恒温10min, 然后分别称量。用每根U形管增加的质量(m_8 和 m_9)计算水泥中二氧化碳的含量。

如果第二根U形管12的质量变化小于0.0005g, 计算时忽略。实际上二氧化碳应全部被第一根U形管11吸收。

同时进行空白试验。计算时从测定结果中扣除空白试验值(m_0)。

8.2.3.2 自动光度滴定法

每次测定前, 将一个空的反应瓶连接到图3所示的仪器装置(见6.9)上。启动抽气泵, 控制气体流速约为100mL/min~150mL/min, 通气20min以上, 以除去系统中的二氧化碳。并用氢氧化钾-乙醇标准滴定溶液(见5.18)自动跟踪滴定(不计体积)。

称取约1g试样(m_{11}), 精确至0.0001g, 置于干燥的100mL反应瓶中, 将反应瓶连接到图3所示的仪器装置(见6.9)上。启动抽气泵, 调节气流量为100mL/min~150mL/min, 加入15mL磷酸到分液漏斗6中, 小心旋开分液漏斗活塞, 使磷酸滴入反应瓶5中, 并留少许磷酸在漏斗中起液封作用, 关闭活塞。调节电压使电炉丝呈暗红色, 慢慢低温加热使反应瓶中的液体至沸, 并加热微沸5min, 关闭电炉, 并继续通气15min。加热和通气过程中, 滴定池中的溶液蓝色开始褪色, 用氢氧化钾-乙醇标准滴定溶液(见5.18)自动跟踪滴定至起始颜色为止(V_2)。

同时进行空白试验。除了不加入试样, 按照相同的分析步骤和使用相同的试剂量, 对得到的分析结果进行校正(V_0)。

8.2.4 试样中三氧化硫含量的测定

水泥及熟料中三氧化硫含量(w_1 和 w_2)的测定按GB/T 176进行。

石膏中三氧化硫含量(w_3)的测定按GB/T 5484进行。

8.3 结果的计算

8.3.1 盐酸溶液选择溶解后不溶渣含量的计算

盐酸溶液选择溶解后水泥中不溶渣的含量(R_1)和掺入水泥的火山灰质混合材料或粉煤灰中不溶渣的含量(R_2)以及硅酸盐水泥(P·I)中不溶渣的含量(R_3)均按式(2)计算:

$$\text{盐酸溶液选择溶解后不溶渣的含量} = \frac{m_3 - m_2}{m_4} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- m_2 ——玻璃砂芯漏斗的质量，单位为克（g）；
- m_3 ——烘干后的玻璃砂芯漏斗和不溶渣的质量，单位为克（g）；
- m_4 ——试料的质量，单位为克（g）。

8.3.2 EDTA 溶液选择溶解后不溶渣含量的计算

EDTA 溶液选择溶解后水泥中不溶渣的含量（ R_4 ）、掺入水泥的矿渣中不溶渣的含量（ R_5 ）以及硅酸盐水泥（P·I）中不溶渣的含量（ R_6 ）均按式（3）计算：

$$\text{EDTA 溶液选择溶解后不溶渣的含量} = \frac{m_6 - m_5}{m_7} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- m_5 ——玻璃砂芯漏斗的质量，单位为克（g）；
- m_6 ——烘干后的玻璃砂芯漏斗和不溶渣的质量，单位为克（g）；
- m_7 ——试料的质量，单位为克（g）。

8.3.3 二氧化碳含量的计算

8.3.3.1 碱石棉吸收重量法二氧化碳的含量（ D_1 ）按式（4）计算：

$$D_1 = \frac{m_8 + m_9 - m_0}{m_{10}} \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- D_1 ——水泥中二氧化碳的质量分数，%；
- m_8 ——吸收后 U 形管 11 增加的质量，单位为克（g）；
- m_9 ——吸收后 U 形管 12 增加的质量，单位为克（g）；
- m_{10} ——试料的质量，单位为克（g）；
- m_0 ——空白试验值，单位为克（g）。

如果试样中碳酸盐含量较高，应按比例适当减少称取试样量。

8.3.3.2 自动光度滴定法二氧化碳的含量（ D_1 ）按式（5）计算：

$$D_1 = \frac{T_{\text{CO}_2} \times (V_2 - V_0)}{m_{11} \times 1000} \times 100 \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- D_1 ——水泥中二氧化碳的质量分数，%；
- T_{CO_2} ——氢氧化钾—乙醇标准滴定溶液对二氧化碳的滴定度，单位为毫克每毫升（mg/mL）；
- V_0 ——空白试验消耗氢氧化钾—乙醇标准滴定溶液的体积，单位为毫升（mL）；
- V_2 ——滴定时消耗氢氧化钾—乙醇标准滴定溶液的体积，单位为毫升（mL）；
- m_{11} ——试料的质量，单位为克（g）。

8.3.4 硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥组分含量的计算（基准法）

8.3.4.1 水泥中火山灰质混合材料或粉煤灰组分的含量按式（6）计算：

$$P = \frac{R_1 - R_3}{R_2 - R_3} \times 100 \dots\dots\dots (6)$$

式中：

P ——水泥中火山灰质混合材料或粉煤灰组分的质量分数，%；

R_1 ——盐酸溶液选择溶解后水泥中不溶渣的质量分数，%；

R_2 ——盐酸溶液选择溶解后火山灰质混合材料或粉煤灰中不溶渣的加权质量分数，%（即各种火山灰质或粉煤灰在火山灰质或粉煤灰总量中所占的比例乘以各自在盐酸溶液选择溶解后不溶渣的质量分数之和）；

R_3 ——盐酸溶液选择溶解后硅酸盐水泥（P I）中不溶渣的质量分数，%。

8.3.4.2 水泥中矿渣组分的含量按式（7）计算：

$$S = \frac{R_4 - R_6}{R_5 - R_6} \times 100 - p \dots\dots\dots (7)$$

式中：

S ——水泥中矿渣组分的质量分数，%；

R_4 ——EDTA 溶液选择溶解后水泥中不溶渣的质量分数，%；

R_5 ——EDTA 溶液选择溶解后矿渣中不溶渣的质量分数，%；

R_6 ——EDTA 溶液选择溶解后硅酸盐水泥（P I）中不溶渣含量的质量分数，%；

P ——水泥中火山灰质混合材料或粉煤灰组分的质量分数，%。

8.3.4.3 水泥中石灰石组分的含量（ D ）按式（8）计算：

$$D = 2.274 \times D_1 - 1.00 \dots\dots\dots (8)$$

式中：

D ——水泥中石灰石组分的质量分数，%；

D_1 ——水泥中二氧化碳的质量分数，%；

2.274——二氧化碳对碳酸钙的换算因数；

1.00——校正系数。

8.3.4.4 水泥中石膏组分的含量（ G ）按式（9）计算：

$$G = \frac{w_1 - w_2}{w_3} \times 100 \dots\dots\dots (9)$$

式中：

G ——水泥中石膏组分的质量分数，%；

w_1 ——水泥中三氧化硫的质量分数，%；

w_2 ——熟料中三氧化硫的质量分数，%；

w_3 ——石膏中三氧化硫的质量分数，%。

8.3.4.5 水泥中熟料组分的含量 (C) 按式 (10) 计算:

$$C = 100 - P - S - D - G \dots\dots\dots (10)$$

式中:

- C ——水泥中熟料组分的质量分数, %;
- P ——水泥中火山灰质混合材料或粉煤灰组分的质量分数, %;
- S ——水泥中矿渣组分的质量分数, %;
- D ——水泥中石灰石组分的质量分数, %;
- G ——水泥中石膏组分的质量分数, %。

8.3.5 硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥组分含量的计算 (代用法)

8.3.5.1 水泥中火山灰质混合材料或粉煤灰组分的含量 (P) 按式 (11) 计算:

$$P = 1.07 \times R_1 - 1.09 \dots\dots\dots (11)$$

式中:

- P ——水泥中火山灰质混合材料或粉煤灰组分的质量分数, %;
- R_1 ——盐酸溶液选择溶解后水泥中不溶渣的质量分数, %;
- 1.07, 1.09——校正系数。

8.3.5.2 水泥中矿渣组分含量 (S) 按式 (12) 计算:

$$S = 1.07 \times R_4 - P - 2.36 \dots\dots\dots (12)$$

式中:

- S ——水泥中矿渣组分的质量分数, %;
- R_4 ——EDTA 溶液选择溶解后水泥中不溶渣的质量分数, %;
- P ——水泥中火山灰质混合材料或粉煤灰组分的质量分数, %;
- 1.07, 2.36——校正系数。

8.3.5.3 水泥中石膏组分的含量 (G_1) 以半水石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) 计, 按式 (13) 计算:

$$G_1 = 1.81 \times w_1 \dots\dots\dots (13)$$

式中:

- G_1 ——水泥中石膏组分 ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) 的质量分数, %;
- w_1 ——水泥中三氧化硫的质量分数, %;
- 1.81——三氧化硫对 ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) 的换算因数。

8.3.5.4 水泥中熟料组分的含量 (C) 按式 (14) 计算:

$$C = 103.36 - 1.07 \times R_4 - 2.274 \times D_1 - 1.81 \times w_1 \dots\dots\dots (14)$$

式中:

- C ——水泥中熟料组分的质量分数, %;
- R_4 ——EDTA 溶液选择溶解后水泥中不溶渣的质量分数, %;
- D_1 ——水泥中二氧化碳的质量分数, %;
- w_1 ——水泥中三氧化硫的质量分数, %;
- 103.36, 1.074, 2.274, 1.81——校正系数。

9 矿渣硅酸盐水泥中组分含量的测定

9.1 分析步骤

9.1.1 用盐酸溶液选择溶解后不溶渣含量的测定

按 8.2.1 步骤进行，基准法用盐酸溶液选择溶解法分别测定水泥和掺入水泥的火山灰质混合材料或粉煤灰、矿渣以及硅酸盐水泥（P·I）中不溶渣的含量；代用法用盐酸溶液选择溶解法测定水泥中不溶渣的含量。

9.1.2 用 EDTA 溶液选择溶解后不溶渣含量的测定

按 8.2.2 步骤，基准法用 EDTA 溶液选择溶解法分别测定水泥和掺入水泥的矿渣、火山灰质混合材料或粉煤灰以及硅酸盐水泥（P·I）中不溶渣的含量；代用法用 EDTA 溶液选择溶解法分别测定水泥和掺入水泥的矿渣中不溶渣的含量。

9.2 结果的计算

9.2.1 盐酸溶液选择溶解后不溶渣含量的计算

盐酸溶液选择溶解后矿渣硅酸盐水泥中不溶渣的含量（ R_7 ）、掺入水泥的火山灰质混合材料或粉煤灰中不溶渣的含量（ R_2 ）、矿渣中不溶渣的含量（ R_8 ）以及硅酸盐水泥（P·I）中不溶渣的含量（ R_3 ）均按式（2）计算。

9.2.2 EDTA 溶液选择溶解后不溶渣含量的计算

EDTA 溶液选择溶解后矿渣硅酸盐水泥中不溶渣的含量（ R_9 ）、掺入水泥的矿渣中不溶渣的含量（ R_5 ）、火山灰质混合材料或粉煤灰中不溶渣的含量（ R_{10} ）以及硅酸盐水泥（P·I）中不溶渣的含量（ R_6 ）均按式（3）计算。

9.2.3 矿渣硅酸盐水泥中组分含量的计算（基准法）

9.2.3.1 矿渣硅酸盐水泥中火山灰质混合材料或粉煤灰组分含量（ P ）按式（15）计算：

$$P = \frac{(R_7 - R_3)(R_5 - R_6) - (R_8 - R_3)(R_9 - R_6)}{(R_2 - R_3)(R_5 - R_6) - (R_8 - R_3)(R_{10} - R_6)} \times 100 \dots\dots\dots (15)$$

式中：

- P ——矿渣硅酸盐水泥中火山灰质混合材料或粉煤灰组分的质量分数，%；
- R_2 ——盐酸溶液选择溶解后火山灰质混合材料或粉煤灰中不溶渣的加权质量分数，%；
- R_3 ——盐酸选择溶解后硅酸盐水泥（P·I）中不溶渣的质量分数，%；
- R_5 ——EDTA 溶液选择溶解后矿渣中不溶渣的质量分数，%；
- R_6 ——EDTA 溶液选择溶解后硅酸盐水泥（P·I）中不溶渣的质量分数，%；
- R_7 ——盐酸溶液选择溶解后矿渣硅酸盐水泥中不溶渣的质量分数，%；
- R_8 ——盐酸溶液选择溶解后矿渣中不溶渣的质量分数，%；
- R_9 ——EDTA 溶液选择溶解后矿渣硅酸盐水泥中不溶渣的质量分数，%；
- R_{10} ——EDTA 溶液选择溶解后火山灰质混合材料或粉煤灰中不溶渣的加权质量分数，%。

9.2.3.2 矿渣硅酸盐水泥中矿渣组分的含量按式（16）计算：

$$S = \frac{R_9 - R_6}{R_5 - R_6} \times 100 - p \dots\dots\dots (16)$$

式中:

- S ——矿渣硅酸盐水泥中矿渣组分的质量分数, %;
- R_5 ——EDTA 溶液选择溶解后矿渣中不溶渣的质量分数, %;
- R_6 ——EDTA 溶液选择溶解后硅酸盐水泥(P·I)中不溶渣的质量分数, %;
- R_9 ——EDTA 溶液选择溶解后矿渣硅酸盐水泥中不溶渣的质量分数, %;
- p ——矿渣硅酸盐水泥中火山灰质混合材料或粉煤灰组分的质量分数, %。

9.2.4 矿渣硅酸盐水泥中组分含量的计算(代用法)

9.2.4.1 矿渣硅酸盐水泥中火山灰质混合材料或粉煤灰组分含量(P)按式(17)计算:

$$P = 1.07 \times R_7 - 1.09 \dots\dots\dots (17)$$

式中:

- P ——矿渣硅酸盐水泥中火山灰质混合材料或粉煤灰组分的质量分数, %;
- R_7 ——盐酸溶液选择溶解后矿渣硅酸盐水泥中不溶渣的质量分数, %;
- 1.07, 1.09——校正系数。

9.2.4.2 矿渣硅酸盐水泥中矿渣组分含量(S)按式(18)计算:

$$S = \frac{R_9 - 2.20}{R_5 - 2.20} \times 100 - p \dots\dots\dots (18)$$

式中:

- S ——矿渣硅酸盐水泥中矿渣组分的质量分数, %;
- R_5 ——EDTA 溶液选择溶解后矿渣中不溶渣的质量分数, %;
- R_9 ——EDTA 溶液选择溶解后矿渣硅酸盐水泥中不溶渣的质量分数, %;
- p ——矿渣硅酸盐水泥中火山灰质混合材料或粉煤灰组分的质量分数, %;
- 2.20——校正系数。

9.3 矿渣硅酸盐水泥中石灰石组分含量和石膏组分含量的测定

矿渣硅酸盐水泥中石灰石组分含量和石膏组分含量的测定按第8章进行。

10 火山灰质硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥中组分含量的测定

10.1 分析步骤

按8.2.1步骤进行,基准法用盐酸溶液选择溶解法分别测定水泥和掺入水泥的火山灰质混合材料或粉煤灰以及硅酸盐水泥(P·I)中不溶渣的含量;代用法用盐酸溶液选择溶解法分别测定水泥和掺入水泥的火山灰质混合材料或粉煤灰中不溶渣的含量。

10.2 结果的计算

10.2.1 盐酸溶液选择溶解后不溶渣含量的计算

盐酸溶液选择溶解后火山灰质硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥的不溶渣含量 (R_{11})、掺入水泥的火山灰质混合材料或粉煤灰中的不溶渣含量 (R_2) 以及硅酸盐水泥 (P·I) 中不溶渣的含量 (R_3) 均按式 (2) 计算。

10.2.2 火山灰质硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥中组分含量的计算 (基准法)

火山灰质硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥中火山灰质混合材料或粉煤灰组分含量 (P) 按式 (19) 计算:

$$P = \frac{R_{11} - R_3}{R_2 - R_3} \times 100 \dots\dots\dots (19)$$

式中:

P ——火山灰质硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥中火山灰质混合材料或粉煤灰组分的质量分数, %;

R_2 ——盐酸溶液选择溶解后火山灰质混合材料或粉煤灰中不溶渣的加权质量分数, %;

R_3 ——盐酸溶液选择溶解后硅酸盐水泥 (P·I) 中不溶渣的质量分数, %;

R_{11} ——盐酸溶液选择溶解后火山灰质硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥中不溶渣的质量分数, %。

10.2.3 火山灰质硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥中组分含量的计算 (代用法)

火山灰质硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥中火山灰质或粉煤灰组分含量 (P) 按式 (20) 计算:

$$P = \frac{R_{11} - 1.01}{R_2 - 1.01} \times 100 \dots\dots\dots (20)$$

式中:

P ——火山灰质硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥中火山灰质混合材料或粉煤灰组分的质量分数, %;

R_2 ——盐酸溶液选择溶解后火山灰质混合材料或粉煤灰中不溶渣的加权质量分数, %;

R_{11} ——盐酸溶液选择溶解后火山灰质硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥中不溶渣的质量分数, %;

1.01 ——校正系数。

10.3 火山灰质硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥中石膏组分含量的测定

火山灰质硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥中石膏组分含量的测定按第 8 章进行。

11 复合硅酸盐水泥中组分含量的测定

11.1 分析步骤

11.1.1 用盐酸溶液选择溶解后不溶渣含量的测定

按 8.2.1 步骤进行, 基准法用盐酸溶液选择溶解法分别测定水泥和掺入水泥的火山灰质混合材料或粉煤灰、石灰石以及硅酸盐水泥 (P·I) 中不溶渣的含量; 代用法用盐酸溶液选择溶解法分别测定水泥和掺入水泥的火山灰质混合材料或粉煤灰中不溶渣的含量。

11.1.2 用 EDTA 溶液选择溶解后不溶渣含量的测定

按 8.2.2 步骤进行, 基准法用 EDTA 溶液选择溶解法分别测定水泥和掺入水泥的火山灰质混合材料或粉煤灰、矿渣、石灰石以及硅酸盐水泥 (P·I) 中不溶渣的含量; 代用法用 EDTA 溶液选择溶解法分别测定水泥和掺入水泥的火山灰质混合材料或粉煤灰、矿渣中不溶渣的含量。

11.1.3 二氧化碳含量的测定

按 8.2.3 步骤测定复合硅酸盐水泥以及掺入水泥的石灰石中二氧化碳的含量。测定石灰石中二氧化碳的含量时, 称取试样量改为约 0.1g。

11.2 结果的计算

11.2.1 盐酸溶液选择溶解后不溶渣含量的计算

用盐酸溶液选择溶解后复合硅酸盐水泥中不溶渣的含量 (R_{12})、掺入水泥的火山灰质混合材料或粉煤灰中不溶渣的含量 (R_2)、石灰石中不溶渣的含量 (R_{13}) 以及硅酸盐水泥 (P·I) 中不溶渣的含量 (R_3) 均按式 (2) 计算。

11.2.2 EDTA 溶液选择溶解后不溶渣含量的计算

用 EDTA 溶液选择溶解后复合硅酸盐水泥中不溶渣的含量 (R_{14})、掺入水泥的火山灰质混合材料或粉煤灰中不溶渣的含量 (R_{10})、矿渣不溶渣的含量 (R_5)、石灰石中不溶渣的含量 (R_{15}) 以及硅酸盐水泥 (P·I) 中不溶渣的含量 (R_6) 均按式 (3) 计算。

11.2.3 二氧化碳含量的计算

复合硅酸盐水泥中二氧化碳含量 (D_1) 以及掺入水泥的石灰石中二氧化碳含量 (D_2) 按 8.3.3 计算。

11.2.4 复合硅酸盐水泥中组分含量的计算 (基准法)

11.2.4.1 复合硅酸盐水泥中火山灰质混合材料或粉煤灰组分含量 (P) 按式 (21) 计算:

$$P = \frac{R_{12} - (R_{13} - R_3) \times D \times 10^{-2} - R_3}{R_2 - R_3} \times 100 \dots \dots \dots (21)$$

式中:

- P ——复合硅酸盐水泥中火山灰质混合材料或粉煤灰组分的质量分数, %;
- R_2 ——盐酸溶液选择溶解后火山灰质混合材料或粉煤灰中不溶渣的加权质量分数, %;
- R_3 ——盐酸溶液选择溶解后硅酸盐水泥 (P·I) 中不溶渣的质量分数, %;
- R_{12} ——盐酸溶液选择溶解后复合硅酸盐水泥中不溶渣的质量分数, %;
- R_{13} ——盐酸溶液选择溶解后石灰石中不溶渣的质量分数, %;
- D ——复合硅酸盐水泥中石灰石组分的质量分数, %。

11.2.4.2 复合硅酸盐水泥中矿渣组分含量 (S) 按式 (22) 计算:

$$S = \frac{R_{14} - (R_{10} - R_6) \times p \times 10^{-2} - (R_{15} - R_6) \times D \times 10^{-2} - R_6}{R_5 - R_6} \times 100 \dots \dots \dots (22)$$

式中:

- S ——复合硅酸盐水泥中矿渣组分的质量分数，%；
 R_5 ——EDTA 溶液选择溶解后矿渣中不溶渣的质量分数，%；
 R_6 ——EDTA 溶液选择溶解后硅酸盐水泥（P I）中不溶渣的质量分数，%；
 R_{10} ——EDTA 溶液选择溶解后火山灰质或粉煤灰中不溶渣的加权质量分数，%；
 R_{14} ——EDTA 溶液选择溶解后复合硅酸盐水泥中不溶渣的质量分数，%；
 R_{15} ——EDTA 溶液选择溶解后石灰石中不溶渣的质量分数，%；
 P ——复合硅酸盐水泥中火山灰质混合材料或粉煤灰组分的质量分数，%；
 D ——复合硅酸盐水泥中石灰石组分的质量分数，%。

11.2.4.3 复合硅酸盐水泥中石灰石组分的含量（ D ）按式（23）计算：

$$D = \frac{D_1 - 0.44}{D_2 - 0.44} \times 100 \dots\dots\dots (23)$$

式中：

- D ——复合硅酸盐水泥中石灰石组分的质量分数，%；
 D_1 ——复合硅酸盐水泥中二氧化碳的质量分数，%；
 D_2 ——石灰石中二氧化碳的质量分数，%；
 0.44——校正系数。

11.2.5 复合硅酸盐水泥中组分含量的计算（代用法）

11.2.5.1 复合硅酸盐水泥中火山灰质或粉煤灰组分含量（ P ）按式（24）计算：

$$P = \frac{R_{12} - 1.01}{R_2 - 1.01} \times 100 \dots\dots\dots (24)$$

式中：

- P ——复合硅酸盐水泥中火山灰质混合材料或粉煤灰组分的质量分数，%；
 R_2 ——盐酸溶液选择溶解后火山灰质混合材料或粉煤灰中不溶渣的加权质量分数，%；
 R_{12} ——盐酸溶液选择溶解后复合硅酸盐水泥中不溶渣的质量分数，%；
 1.01——校正系数。

11.2.5.2 复合硅酸盐水泥中矿渣组分含量（ S ）的按式（25）计算：

$$S = \frac{R_{14} - (R_{10} - 2.20) \times P \times 10^{-2} - 2.20}{R_5 - 2.20} \times 100 \dots\dots\dots (25)$$

式中：

- S ——复合硅酸盐水泥中矿渣组分的质量分数，%；
 R_5 ——EDTA 溶液选择溶解后矿渣中不溶渣的质量分数，%；
 R_{10} ——EDTA 溶液选择溶解后火山灰质或粉煤灰中不溶渣的质量分数，%；
 R_{14} ——EDTA 溶液选择溶解后复合硅酸盐水泥中不溶渣的质量分数，%；
 P ——复合硅酸盐水泥中火山灰质混合材料或粉煤灰组分的质量分数，%；
 2.20——校正系数。

11.2.5.3 复合硅酸盐水泥中石灰石组分的含量 (D) 按式 (26) 计算:

$$D = 2.274 \times D_1 - 1.00 \dots \dots \dots (26)$$

式中:

D ——水泥中石灰石组分的质量分数, %;

D_1 ——水泥中二氧化碳的质量分数, %;

2.274——二氧化碳对碳酸钙的换算因数;

1.00——校正系数。

11.3 复合硅酸盐水泥中石膏组分含量的测定

复合硅酸盐水泥中石膏组分含量的测定按第 8 章进行。

12 解矩阵方程和特征组分的方法

12.1 方法提要

水泥中组分含量的测定采用解矩阵方程和特征组分的计算方法。通过测定组成水泥的各组分中化学成分的质量分数以及水泥中化学成分的质量分数, 根据其化学成分质量分数的相关性, 计算出各组分的含量。当掺入特征组分时, 可采用测定特征化学成分的方法测定特征组分的含量。

12.2 化学成分测定

按 GB/T 176、GB/T 5484、GB/T 5762、JC/T 850、JC/T 874 测定组成水泥的各种组分中化学成分的质量分数以及水泥中化学成分的质量分数。

12.3 解矩阵方程

设水泥中的组分数目为 i , 根据化学成分的测定结果, 选择硅酸盐水泥 (P I) 与混合材料之间含量相差较大的、且具有一定含量的前 ($i-1$) 种化学成分, 列出矩阵方程, 求出水泥中各组分的含量。建议选择 CaO、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、烧失量等主要成分。

水泥中各组分的含量按式(27)计算:

$$X = A^{-1} \times B \dots \dots \dots (27)$$

式中:

X ——水泥中各组分含量组成的列阵;

A^{-1} ——组成水泥的各组分中化学成分组成的矩阵 A 的逆阵;

B ——水泥中化学成分组成的列阵。

X 、 A 、 B 分别为下列矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & \dots & C_{1,j} & \dots & C_{1,n} \\ C_{2,1} & C_{2,2} & \dots & C_{2,j} & \dots & C_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{i,1} & C_{i,2} & \dots & C_{i,j} & \dots & C_{i,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{n-1,1} & C_{n-1,2} & \dots & C_{n-1,j} & \dots & C_{n-1,n} \\ 1 & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \cdot \\ X_j \\ \cdot \\ X_{n-1} \\ X_n \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \cdot \\ C_i \\ \cdot \\ C_{n-1} \\ 1 \end{bmatrix}$$

n ——水泥中掺加的组分数目；

X_j ——矩阵 X 中，水泥中组分 j 的含量($j=1, 2, \dots, n$)，%；

$C_{i,j}$ ——矩阵 A 中，水泥中组分 j 的化学成分 i 的质量分数，%；

C_i ——矩阵 B 中，水泥中化学成分 i 的质量分数($i=1, 2, \dots, n-1$)，%；且有 $C_1 \geq C_2 \geq \dots \geq C_i \geq \dots \geq C_{n-1}$ 。

12.4 特征组分含量的计算

特征组分的含量按式(28)计算：

$$X_j = \frac{C_j}{C'} \times 100 \dots\dots\dots (28)$$

式中：

X_j ——水泥中特征组分的含量，%；

C_j ——水泥中特征化学成分的质量分数，%；

C' ——特征组分中特征化学成分的质量分数，%。

13 重复性限和再现性限

水泥中各种混合材料含量测定结果的重复性限和再现性限见表2。

表2 水泥中各种混合材料含量测定结果的重复性限和再现性限

混合材料种类	组分含量范围 (%)	重复性限 (%)	再现性限 (%)
矿渣组分	≤ 20	0.8	1.2
	> 20	1.0	2.0
火山灰质混合材料 或粉煤灰组分	≤ 20	0.8	1.0
	> 20	1.0	1.5

石灰石组分	≤ 10	0.5	0.8
	> 10	0.8	1.0
解矩阵方程和特征组分测定的各组分结果	—	1.0	2.0
