

土木工程材料试验

◎ 精编

■ 施惠生 郭晓潞 主编

TUMU CAILIAO
GONGCHENG SHIYAN JINGBIAN

中国建材工业出版社

土木工程材料试验精编

施惠生 郭晓潞 主编

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料试验精编/施惠生,郭晓潞主编. —
北京:中国建材工业出版社,2010.8
ISBN 978-7-80227-803-5

I. ①土… II. ①施… ②郭… III. ①土木工程—建
筑材料—实验 IV. ①TU5-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第115995号

内 容 简 介

本书精选了与土木工程材料密切相关的42个试验,内容涉及土木工程材料的众多领域,包括材料性能的检测、材料制备和生产过程中工艺技术参数测定,以及与土木工程材料研究、开发直接相关的部分基础试验。全书分为土木工程材料的基本性质试验、水泥试验、石灰和石膏试验、建筑砂浆和混凝土试验、建筑结构材料与功能材料试验五章。书末还收录了本书引用和涉及的有关标准、规范的目录,便于读者查询。

本书适合从事土木工程材料相关领域的设计、生产、施工、研究、教学、管理、监理等工作的各类技术人员使用,也可作为高等院校土木工程专业和其他相关专业的实验教学用书或教学参考书。

土木工程材料试验精编

施惠生 郭晓潞 主编

出版发行:中国建材工业出版社

地 址:北京市西城区车公庄大街6号

邮 编:100044

经 销:全国各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:16.5

字 数:407千字

版 次:2010年8月第1版

印 次:2010年8月第1次

书 号:ISBN 978-7-80227-803-5

定 价:38.00元

本社网址:www.jccbs.com.cn

本书如出现印装质量问题,由我社发行部负责调换。联系电话:(010) 88386906

前 言

随着社会和科技的发展，建筑物的规模、功能、造型和相应的建筑技术越来越大型化、复杂化和多样化。在我国的现代化建设中，土木工业已成为国民经济发展的支柱产业。现代土木工程不断地为人类社会创造崭新的物质环境，成为人类社会现代文明的重要组成部分。土木工程材料是材料科学的一个重要分支。材料、能源和信息一起组成了客观世界的三大要素，材料的发展已成为人类发展时代的重要标志，正是由于人类对材料认识的不断深入，才使得人类从石器时代走进了信息时代。对土木工程的发展起关键作用的，首先是作为工程物质基础的土木工程材料，每当出现新的、优良的土木工程材料时，土木工程就会有飞跃式的发展。

土木工程材料试验在土木工程发展中占有举足轻重的地位。现代科学技术同试验同步发展，试验已成为科学发展的重要基础，成为科学研究的重要组成。从某种意义上来说，可以认为土木工程材料是一门试验科学，土木工程新材料的开发离不开试验研究。土木工程材料试验不仅是评定和控制土木工程材料质量的依据和必要手段，也是节能减排，保证土木工程质量的重要措施。

近几年来，土木工程材料发展很快，新材料、新工艺、新技术不断涌现，大量的技术标准、规范相继更新和颁布，为适应时代的发展需求，与时俱进，我们应中国建材工业出版社之邀编写了《土木工程材料试验精编》这本书。本书具有三大特点：1. 及时性。本书广泛引用了国家和行业的最新的标准、规范，并考虑了我国标准向国际标准靠拢和接轨的趋势。2. 实践性。本书编写过程中还广泛听取了来自教学、科研、工程第一线的专家和技术人员的意见，从不同的角度详细介绍了各种土木工程材料的试验方法，使之更适合土木工程材料试验的不同需求。3. 实用性。本书精选了土木工程材料领域最常用的 42 个试验，包括材料性能的检测、材料制备和生产过程中工艺技术参数测定，以及与土木工程材料研究、开发直接相关的部分基础试验，适合从事土木工程材料相关领域的设计、生产、施工、研究、教学、管理、监理等工作的各类技术人员使用。

同济大学以土木工程见长并闻名于世，在“城市，让生活更美好”的中国 2010 上海世界博览会举办之际，我们编写这本书，以期为建设城市和土木工程材料的发展尽微薄之力。本书由同济大学环境材料研究所所长、博士生导师施惠生教授和郭晓潞博士主编，参加编写的人员还有王程、吴凯、陈邦威、宗永红、朱瑜凯、韩曦、苏钦、林茂松、李东峰、黄昆生、阙黎黎、沙丹丹。本书由中国建材工业出版社组稿，本书的出版得到了吕佳丽编辑的大力帮助，在此我们表示衷心感谢。

由于编者水平和时间有限，书中难免有疏漏和不当之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2010 年 5 月于同济园

目 录

第1章 土木工程材料的基本性质试验	1
1.1 真实密度、表观密度、容积密度和吸水率试验	1
1.2 水分、烧失量和不溶物的测定	4
第2章 水泥试验	8
2.1 水泥生料中碳酸钙滴定值的测定	8
2.2 物料易磨性的测定	11
2.3 水泥生料易烧性的测定	15
2.4 水泥熟料中游离氧化钙的测定	17
2.5 水泥中三氧化硫的测定	20
2.6 水泥混合材的检验	30
2.7 水泥细度的检验	37
2.8 水泥比表面积的测定	39
2.9 水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性的测定	44
2.10 水泥胶砂强度检验	49
2.11 水泥胶砂流动度的测定	54
2.12 水泥水化过程的观测——显微镜法	56
2.13 用结合水法测定水泥水化速度	57
2.14 水泥水化热的测定	62
2.15 水泥石中氢氧化钙的分析	68
2.16 膨胀水泥膨胀性能的测定	71
2.17 硬化自应力水泥中剩余石膏量的分析	74
2.18 水泥-水体系减缩试验	76
第3章 石灰和石膏试验	78
3.1 生石灰消化速度的测定	78
3.2 建筑石膏标准稠度用水量和强度的测定	80
第4章 建筑砂浆和混凝土试验	83
4.1 建筑砂浆基本性能试验	83
4.2 混凝土用骨料试验	97

4.3	普通混凝土拌合物稠度和表观密度测定	117
4.4	普通混凝土力学性能试验	120
4.5	混凝土耐久性试验	134
4.6	混凝土外加剂性能试验	173
4.7	高强高性能混凝土用矿物外加剂试验	180
4.8	水泥和混凝土用粒化高炉矿渣微粉检测	184
4.9	水泥和混凝土用粉煤灰检测	188
4.10	预应力高强混凝土管桩用硅砂粉试验	194
第5章	建筑结构材料与功能材料试验	197
5.1	钢筋拉伸和弯曲试验	197
5.2	木材含水率和顺纹强度试验	201
5.3	烧结普通砖抗压强度试验	207
5.4	石油沥青试验	210
5.5	沥青混合料表观密度、稳定度试验	215
5.6	建筑密封材料试验	221
5.7	建筑防水涂料试验	232
5.8	绝热材料稳态热性能试验	237
5.9	建筑吸声产品吸声系数测量试验	242
5.10	建筑材料色度、白度和光泽度测定	246
附录	本书引用与涉及的有关标准	255
参考文献		257

第 1 章 土木工程材料的基本性质试验

1.1 真实密度、表观密度、容积密度和吸水率试验

土木工程材料的基本性质很多，相应的试验方法也很多，而且对于不同材料同一性质的测试方法也各有差异，但其基本原理是一致的。本试验主要列举了块状石材的密度、表观密度、孔隙率、吸水率的基本测试方法。通过试验，不仅可以熟悉和掌握材料的基本试验方法，而且可以更好地了解材料的基本性质。

1.1.1 试验目的

测定密度、表观密度和容积密度，计算孔隙率、吸水率，了解材料的基本性质。

1.1.2 采用标准

《天然饰面石材试验方法 第 3 部分：体积密度、真密度、真气孔率、吸水率试验方法》(GB/T 9966.3—2001)。

1.1.3 试验设备

1. 电热干燥箱：温度可控制在 $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ 范围内；干燥器。

2. 天平：最大称量 1000g，感量 10mg；最大称量 200g，感量 1mg。

3. 比重瓶：容积 25 ~ 30mL，如图 1-1 所示。

4. 63 μm 标准筛。

1.1.4 试样及其制备

1. 密度、孔隙率试样

取洁净样品 1000g 左右，并将其破碎成小于 5mm 的颗粒，以四分法缩分到 150g，再用瓷研钵研磨成可通过 63 μm 标准筛的粉末。

2. 表观密度、容积密度、吸水率试样

试样为边长 50mm 立方体或直径、高度均为 50mm 的圆柱体。每组 5 块。试样不允许有裂纹。

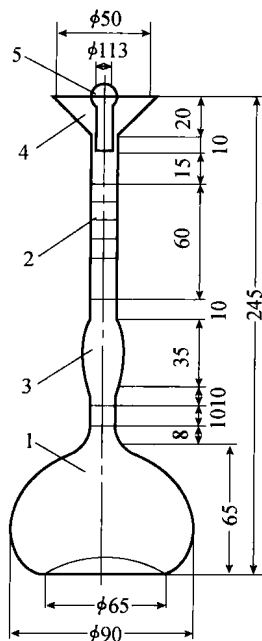


图 1-1 比重瓶

1—底瓶；2—细颈；3—鼓形扩大颈；
4—喇叭形漏斗；5—玻璃磨口塞

1.1.5 试验步骤

1. 密度、孔隙率测定试验

(1) 将试样装入称量瓶中，放入 $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ 干燥箱内，干燥 4h 以上，取出，放入干燥器内冷却至室温。

(2) 称取三份试样，每份 $10\text{g}(m'_0)$ ，精确至 0.002g 。每份试样分别装入洁净的比重瓶中。

(3) 向李氏比重瓶内注入蒸馏水，其体积不超过比重瓶容积的一半，将比重瓶放入水浴中煮沸 $10 \sim 15\text{min}$ 或将比重瓶放在真空干燥器内，以排除试样中的气泡。

(4) 擦干比重瓶，待冷却至室温后，用蒸馏水装至标记处，称质量 (m'_2) ，精确至 0.002g 。

(5) 清空比重瓶并将其冲洗干净，用蒸馏水装至标记处，称质量 (m'_1) ，精确至 0.002g 。

2. 表观密度、容积密度测定试验

(1) 将试样放入 $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ 电热干燥箱内干燥至恒重，连续两次质量之差小于 0.02% ，放入干燥器内冷却至室温，称其质量 (m_0) ，精确至 0.02g 。

(2) 将试样放在 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的蒸馏水中浸泡 48h 后取出，用拧干的湿毛巾擦去试样表面的水分，并立即称其质量 (m_1) ，精确至 0.02g 。

(3) 立即将水饱和的试样置于网篮中，将网篮与试样浸入 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的蒸馏水中，小心除去网篮和试样上的气泡，称试样在水中的质量 (m_2) ，精确至 0.02g 。称量装置如图 1-2 所示。

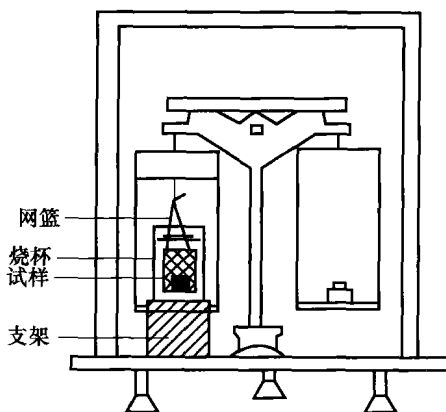


图 1-2 称量 (m_2) 装置示意图

1.1.6 结果计算

1. 密度

密度 ρ (又称真密度、绝对密度， g/cm^3) 是材料在绝对密实状态下单位体积的质量，按下式计算 (三位有效数字)：

$$\rho = \frac{m'_0}{V_0} = \frac{m'_0 \rho_w}{m'_1 - m'_2} \quad (1-1)$$

式中 m'_0 ——干粉试样在空气中的质量，g；

V_0 ——干粉试样的体积， cm^3 ；

m'_1 ——只装蒸馏水的比重瓶质量，g；

m'_2 ——装粉样加水的比重瓶质量，g；

ρ_w ——试验时室温水的密度， g/cm^3 。

计算精度为 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$ ，以两次试验结果的算术平均值作为测定值。两次结果相差不应大于 2% 。

2. 表观密度、容积密度

表观密度 ρ' (又称视密度、近似密度, g/cm^3) 表示材料单位细观外形体积 (包括内部封闭孔隙) 的质量, 按下式计算 (三位有效数字):

$$\rho' = \frac{m_0}{V'} = \frac{m_0 \rho_w}{m_0 - m_2} \quad (1-2)$$

容积密度 ρ_0 (又称体积密度、表观毛密度、容重, g/cm^3) 表示材料单位宏观外形体积 (包括内部封闭孔隙和开口孔隙) 的质量, 按下式计算 (三位有效数字):

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} = \frac{m_0 \rho_w}{m_1 - m_2} \quad (1-3)$$

上两式中 V' ——材料细观外形体积, cm^3 ;

V_0 ——材料宏观外形体积, cm^3 ;

m_0 ——干燥试样在空气中的质量, g ;

m_1 ——水饱和试样在空气中的质量, g ;

m_2 ——水饱和试样在水中的质量, g 。

3. 孔隙率

总孔隙率 $P(\%)$ 按下式计算 (两位有效数字):

$$P = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) \times 100\% \quad (1-4)$$

开口孔孔隙率 $P_k(\%)$ 按下式计算 (两位有效数字):

$$P_k = \frac{V_k}{V_0} = \frac{m_1 - m_0}{V_0 \rho_w} \times 100\% \quad (1-5)$$

闭口孔孔隙率 $P_b(\%)$ 按下式计算 (两位有效数字):

$$P_b = \frac{V_b}{V_0} = \frac{(V_0 - V) - V_k}{V_0} = P - P_k \quad (1-6)$$

式中 V_k ——开口孔孔隙体积, cm^3 ;

V_b ——闭口孔孔隙体积, cm^3 。

4. 吸水率

吸水率 $W(\%)$ 按下式计算 (两位有效数字):

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (1-7)$$

1.2 水分、烧失量和不溶物的测定

1.2.1 试验目的

为进行配料计算和物料平衡计算，需要测定物料附着水分的百分含量，以及将水泥原料的化学组成换算成灼烧基，故需要对水分和烧失量进行测定；不溶物是衡量水泥质量的一项不可忽视的指标，通过对不溶物的测定能判断熟料煅烧质量的好坏。

1.2.2 采用标准

《水泥化学分析方法》(GB/T 176—2008)。

1.2.3 试验设备

1. 天平：一台天平的分度值为 0.1g；另一台的分度值为 0.0001g。
2. 红外线灯：250W。
3. 铂、瓷坩埚：带盖，容量 20 ~ 30mL。
4. 干燥器：内装变色硅胶。
5. 干燥箱：可控制温度 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。
6. 高温炉：隔焰加热炉，在炉膛外围进行电阻加热。应使用温度控制器准确控制炉温，可控制温度 $(700 \pm 25)^\circ\text{C}$ 、 $(800 \pm 25)^\circ\text{C}$ 、 $(950 \pm 25)^\circ\text{C}$ 。
7. 蒸汽水浴。
8. 滤纸：快速、中速、慢速三种型号的定量滤纸。
9. 玻璃器皿：滴定管、容量瓶、移液管、烧杯、表面皿、平头玻璃棒。

1.2.4 试剂与材料

1. 盐酸 (HCl)：1.18 ~ 1.19g/cm³，质量分数 36% ~ 38%。
2. 硝酸铵溶液 (20g/L)：将 2g 硝酸铵 (NH₄NO₃) 溶于水，加水稀释至 100mL。
3. 氢氧化钠溶液 (10g/L)：将 10g 氢氧化钠溶于水，加水稀释至 1L，贮存于塑料瓶中。
4. 甲基红指示剂溶液 (2g/L)。

1.2.5 水分的测定

矿物和岩石中的水分，一般以附着水和化合水两种形态存在。附着水不是物质的固有组成部分，其含量与其细度以及周围空气的湿度有关。化合水有结晶水和结构水两种形式：结晶水是以 H₂O 分子状态存在于物质的晶格中（如二水石膏 CaSO₄ · 2H₂O），通常在 400℃ 以下加热便可完全除去；结构水是以化合态的氢和羟基的形式存在于物质的晶格中，一般需加热到高温才能分解并放出水分。

附着水分通常在 105 ~ 110℃ 下就能除掉，在测定矿物和岩石中的附着水分时，可将试样在 105 ~ 110℃ 下烘干至恒重。天然二水石膏由于其失去结晶水的温度较低，在 80 ~ 90℃

时即可开始分解成半水石膏，故测定其附着水通常在 50 ~ 60℃ 的温度下进行。

水泥在吸水后，熟料矿物即发生水化，水以化合水形态存在，在 105 ~ 110℃ 下不可能将其烘出。有时掺入水泥中的混合材含水量较大。水分的存在实际上是降低了水泥的有效质量，影响了水泥的品质，此水分应包括在烧失量的测定中，不应另行扣除。

物料水分的测定就是测定物料附着水分的百分含量。

1. 用干燥箱测定水分

用分度值为 0.1g 的天平准确称取试样 50g，倒入小盘内，对于一般的物料，放于 105 ~ 110℃ 的恒温控制的干燥箱中烘干至恒重，取出冷却后称量。对石膏等物料，控制温度应根据物料性质另定。

物料中水分的质量百分含量按下式计算：

$$X = \frac{m - m_1}{m} \times 100 \quad (1-8)$$

式中 m ——烘干前试样的质量，g；

m_1 ——烘干后试样的质量，g。

2. 用红外干燥仪测定水分

用分度值为 0.1g 的天平称取试样 50g，置于已知质量的小盘内，放在 250W 红外线灯下 3cm 处烘 10min 左右（湿物料需 20 ~ 30min）。取下，置于干燥器内冷却后称量，计算公式同上。

用红外线干燥仪烘干水分时，严防冷物触灯，以免引起灯泡爆裂。

3. 注意事项

(1) 石膏附着水分测定时烘干温度应为 50 ~ 60℃，不得使用红外线干燥仪。

(2) 测定时尽量采用物料的粉体试样，大块样品应先破碎至 1cm 以下再测定。

1.2.6 烧失量的测定——灼烧差减法

1. 方法提要

试样在 $(950 \pm 25)^\circ\text{C}$ 的高温炉中灼烧，驱除二氧化碳和水分，同时将存在的易氧化的元素氧化。通常矿渣硅酸盐水泥应对由硫化物的氧化引起的烧失量的误差进行校正，而其他元素的氧化引起的误差一般可忽略不计。

2. 分析步骤

称取约 1g 试样，精确至 0.0001g，放入已灼烧恒重的容量为 20 ~ 30mL 的带盖瓷坩埚中，将盖斜置于坩埚上，放在高温炉内，从低温开始升高温度，在 $(950 \pm 25)^\circ\text{C}$ 下灼烧 15 ~ 20min，取出坩埚置于内置变色硅胶的干燥器中冷却至室温，称量。如此反复灼烧，直至恒重。

3. 结果的计算与表示

(1) 烧失量的计算

烧失量的质量百分含量 X_{LOI} 按下式计算：

$$X_{\text{LOI}} = \frac{m - m_1}{m} \times 100 \quad (1-9)$$

式中 X_{LOI} ——烧失量的质量百分含量, %;

m ——灼烧前试样的质量, g;

m_1 ——灼烧后剩余物的质量, g。

(2) 矿渣硅酸盐水泥和掺入大量矿渣的其他水泥烧失量的校正

称取两份试样, 一份用来直接测定其中的三氧化硫含量; 另一份则按测定烧失量的条件下 $(950 \pm 25)^\circ\text{C}$ 下灼烧 15 ~ 20min, 然后测定灼烧后的试样中的三氧化硫含量。

根据灼烧前后三氧化硫含量的变化, 矿渣硅酸盐水泥在灼烧过程中由于硫化物氧化引起的烧失量的误差可按下式进行校正:

$$W'_{\text{LOI}} = W_{\text{LOI}} + 0.8 \times (W_{\text{后}} - W_{\text{前}}) \quad (1-10)$$

式中 W'_{LOI} ——校正后烧失量的质量分数, %;

W_{LOI} ——实际测定的烧失量质量分数, %;

$W_{\text{前}}$ ——灼烧前试样中三氧化硫的质量分数, %;

$W_{\text{后}}$ ——灼烧后试样中三氧化硫的质量分数, %。

4. 注意事项

(1) 灼烧应该从低温升起达到规定温度并保温半小时以上。含碱量大的试样常会侵蚀瓷坩埚而造成误差, 因此这样的试样应在容量为 20 ~ 30mL 的带盖铂坩埚中测定。含煤量大的生料更要避免直接在高温下进行灼烧。

(2) 为了正确反映灼烧基化学组分, 烧失量试样和进行全分析的试样应同时称取。

(3) 在对水泥试样进行烧失量测定时应直接取样测定, 不能将水泥试样先经过烘样处理后再称样测定。

1.2.7 不溶物的测定——盐酸 - 氢氧化钠处理

1. 方法提要

试样先以盐酸溶液处理, 尽量避免可溶性的二氧化硅的析出, 滤出的不溶渣再以氢氧化钠溶液处理, 进一步溶解可能已沉淀的痕量二氧化硅, 以盐酸中和、过滤后, 残渣经灼烧后称量。

2. 分析步骤

(1) 称取约 1g 试样, 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 (1+1), 用平头玻璃棒压碎块状物使试样分解完全 (必要时可将溶液稍稍加温几分钟)。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, 用中速定量滤纸过滤, 用热水充分洗涤烧杯、滤纸和残渣 10 次以上。

(2) 将残渣连同滤纸一并移入原烧杯中, 加入 100mL 10g/L 近沸的氢氧化钠溶液, 盖上表面皿置于蒸汽水浴中加热 15min, 加热期间搅动滤纸和残渣 2 ~ 3 次。取下烧杯, 加入 1 ~ 2 滴甲基红指示剂溶液 (2g/L), 滴加盐酸 (1+1) 至溶液呈红色, 再过量 8 ~ 10 滴。用中速定量滤纸过滤, 用热的 20g/L 硝酸铵溶液充分洗涤 14 次以上。

(3) 将残渣和滤纸一并移入已灼烧至恒重的瓷坩埚中, 灰化后在 $(950 \pm 25)^\circ\text{C}$ 的高温炉内灼烧 30min, 取出坩埚, 置于内置变色硅胶的干燥器中冷却至室温后称量, 如此反复灼

烧，直至恒重。

3. 结果的计算与表示

不溶物的质量百分含量 X_{IR} 按下式计算：

$$X_{\text{IR}} = \frac{m_1}{m} \times 100 \quad (1-11)$$

式中 X_{IR} ——不溶物的质量分数，%；

m_1 ——灼烧后不溶物的质量，g；

m ——试样的质量，g。

4. 注意事项

(1) 不溶物的测定方法是一个规范性很强的经验方法。结果正确与否同试剂浓度、试剂量、温度、处理时间等密切相关。为了减少误差，提高精确度，在操作步骤上应更为严密。

(2) 在加水分散试样及加酸分解试样时，切勿使试样结块。

(3) 如果试样中锰含量高，在加酸分散试样时，可使溶液稍稍加温。

(4) 将烧杯置于蒸汽水浴中加热，指使烧杯处于水蒸气包围之中（杯中溶液应完全浸入蒸汽中），而杯底不能与水相接触。

(5) 经酸处理后过滤时，如果滤液不清，可再次过滤。

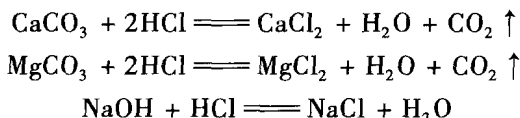
第2章 水泥试验

2.1 水泥生料中碳酸钙滴定值的测定

在硅酸盐水泥生产中, 为了对生料质量进行快速、准确的控制, 除了要测定各氧化物的百分含量外, 还需要检验其碳酸钙滴定值的合格率是否符合工艺指标, 这是生料质量控制的主要项目之一。

2.1.1 测定原理

水泥生料中的碳酸盐(包括碳酸钙和碳酸镁), 与盐酸标准溶液作用, 生成相应的盐和碳酸(碳酸又分解为 CO_2 和 H_2O)。在生料中先加入过量的已知浓度的盐酸溶液, 加热使其与碳酸盐完全反应, 剩余的碳酸以酚酞为指示剂, 用氢氧化钠标准溶液滴定过量的盐酸, 根据盐酸的实际消耗量计算碳酸的含量, 即为生料中碳酸钙的滴定值。反应如下:



2.1.2 测定方法

1. 试剂及配制

(1) 10g/L 酚酞指示剂溶液: 将 1g 酚酞溶于 100mL 乙醇中。

(2) 0.2500mol/L 的氢氧化钠标准溶液: 将 100g 氢氧化钠溶于 10L 水中, 充分摇匀, 贮存在带胶塞的硬质玻璃瓶或塑料瓶中^①。

标准方法: 准确称取约 1g 苯二甲酸氢钾^②, 置于 400mL 烧杯中, 加入约 150mL 新煮沸过并已用氢氧化钠溶液中和至酚酞呈微红色的冷水, 搅拌使其溶解。然后加入 2~3 滴 10g/L 酚酞指示剂溶液, 用配好的氢氧化钠标准滴定溶液滴定至微红色。

氢氧化钠标准溶液的浓度按下式计算:

$$c(\text{NaOH}) = \frac{m \times 1000}{V \times 204.2} \quad (2-1)$$

式中 $c(\text{NaOH})$ ——氢氧化钠标准滴定溶液的浓度, mol/L;

m ——苯二甲酸氢钾的质量, g;

① 氢氧化钠溶液容易吸收空气中的二氧化碳, 应在瓶口上连接一盛有钠石灰的洗气瓶, 以免在使用过程中二氧化碳侵入而影响其浓度。

② 苯二甲酸氢钾不易吸水, 故在使用时一般不必干燥。如无苯二甲酸氢钾, 可以用碳酸钠或碳酸钙先标定配制好的盐酸溶液的浓度, 然后再用盐酸来标定氢氧化钠溶液的浓度。

V ——滴定时消耗氢氧化钠标准滴定溶液的体积, mL;

204.2——苯二甲酸氢钾的摩尔质量, g/mol。

(3) 0.5000mol/L 盐酸标准溶液; 将 420mL 盐酸注入 9660mL 水中, 充分摇匀。

标定方法:

准确吸取 10.00mL 配制好的盐酸初始溶液, 注入 400mL 烧杯中, 加入约 150mL 煮沸过的蒸馏水和 2~3 滴 10g/L 酚酞指示剂溶液, 用已知浓度的氢氧化钠标准滴定溶液滴定至微红色出现。

盐酸标准滴定溶液的浓度按下式计算:

$$C = \frac{C_1 V_1}{10} \quad (2-2)$$

式中 10——吸取盐酸标准滴定溶液的体积, mL;

C ——盐酸标准滴定溶液的浓度, mol/L;

C_1 ——已知氢氧化钠标准滴定溶液的密度, mol/L;

V_1 ——滴定时消耗氢氧化钠标准滴定溶液的体积, mL。

2. 测定步骤

准确称取约 0.5g 试样, 置于 250mL 锥形瓶中。用少量水冲洗内壁使试样润湿, 然后从滴定管中准确加入 25mL 0.5000mol/L 盐酸标准滴定溶液 (V_1), 用水冲洗瓶口和瓶壁, 并用量筒加入 30mL 水, 将锥形瓶放在小电炉上加热, 在加热过程中, 应将锥形瓶摇荡 2~3 次, 以促进试样完全分解。待溶液沸腾后, 继续在电炉上微沸 2~3min。取下, 用水冲洗瓶口以及瓶壁, 加 5 滴 10g/L 酚酞指示剂溶液, 用 0.2500mol/L 氢氧化钠标准滴定溶液滴定至淡红色, 在 30s 内不消失为止 (耗量为 V_2)。

碳酸钙滴定值按下式计算:

$$\text{CaCO}_3 = \frac{(C_1 V_1 - C_2 V_2) \times 50}{m \times 1000} \times 100 \quad (2-3)$$

式中 C_1 ——盐酸标准滴定溶液的浓度, mol/L;

V_1 ——加入盐酸标准滴定溶液的体积, mL;

C_2 ——氢氧化钠标准滴定溶液的浓度, mol/L;

V_2 ——滴定时消耗氢氧化钠标准滴定溶液的体积, mL

50—— $\frac{1}{2}\text{CaCO}_3$ 的摩尔质量, g/mol;

m ——试样的质量, g。

3. 注意事项

(1) 所用的酸碱滴定管最好是专供测定碳酸钙滴定值用的滴定管。

(2) 为防止溶液在沸腾时溅出, 可在锥形瓶中预先加入十余粒小玻璃珠。

(3) 加酸时应随时摇荡, 以防止试样粘在瓶底不易分解。

(4) 用酸碱中和法测定硅酸盐水泥生料中的碳酸钙滴定值, 试验中所消耗的酸除了碳酸钙所耗酸以外, 实际上还包括了碳酸镁和少量有机物所耗酸。这样计算出来的碳酸钙百分

含量称为碳酸钙滴定值。另外，从理论上讲，碳酸钙滴定值可以利用分式 $1.789\text{CaCO}_3 + 2.48\text{MgO}$ 计算出来，但由于生料中部分氧化钙和氧化镁是以不溶于盐酸的盐类形式存在，或者采用石膏作矿化剂，在酸碱滴定时，不能将这部分钙全部测出来，所以，实际测定值与理论计算值之间存在一定的差数。在确定碳酸钙滴定值实际控制范围内时，要考虑这一因素。

2.2 物料易磨性的测定

克服物体变形时的应力与质点之间的内聚力以及生成新的被粉磨物料的表面能，主要取决于被粉磨物料的性质。它可以概括地用易磨性或易磨性系数来表示。物料的易磨性是表示物料被粉磨的难易程度的一种物理性质。物料的易磨性与物料的强度、硬度、密度、结构的均匀性、含水量、黏性、裂痕、表面形状等许多因素有关。

物料的易磨性一般采用相对易磨性系数来表示。水泥原料易磨性测试方法的标准 JC/T 734—2005 还规定了以粉磨功指数表示水泥原料的易磨性。

2.2.1 易磨性系数的测定

测定物料相对易磨性系数的方法是用水泥厂化验室用 $\phi 500\text{mm} \times 500\text{mm}$ 试验磨将标准砂磨至表面积 $(300 \pm 10)\text{m}^2/\text{kg}$ ，并记录其粉磨时间，然后以相同的粉磨时间将被测物料（粒度控制在 7mm 以下）进行粉磨并测出其比表面积值，两种被粉磨物料的比表面积值之比即为物料的相对易磨性系数。

计算公式如下：

$$K_m = \frac{S_o}{S_s} \quad (2-4)$$

式中 K_m ——物料的相对易磨性系数；

S_o ——被测物料经过粉磨 t 时间后的比表面积， m^2/kg ；

S_s ——标准砂经过粉磨 t 时间后的比表面积， m^2/kg 。

几种典型物料的相对易磨性系数见表 2-1。

表 2-1 物料的相对易磨性系数

物料名称	K_m	物料名称	K_m
立窑熟料	1.12	中硬石灰石	1.50
硬质石灰石	1.27	软质石灰石	1.70

相对易磨性系数越大，物料越容易粉磨，磨机的产量高，且磨得较细。

物料相对易磨性系数的测定比较简单，它被广泛地应用于各行各业，尤其是无机非金属材料各种物料易磨性的研究。

2.2.2 粉磨功指数的测定

粉磨功指数是表示水泥原料与其混合料的易磨性的指数。其测定原理是物料经规定的磨机研磨至平衡状态后，以磨机每转生成的成品量计算粉磨功指数，用以表示物料粉磨的难易程度。

1. 设备与仪器

(1) 球磨机

内径 305mm 、内长 305mm 的铁制圆筒状球磨机（图 2-1）；转速： $70\text{r}/\text{min}$ 。

(2) 钢球

钢球构成见表 2-2，总质量不小于 19.5kg 。