

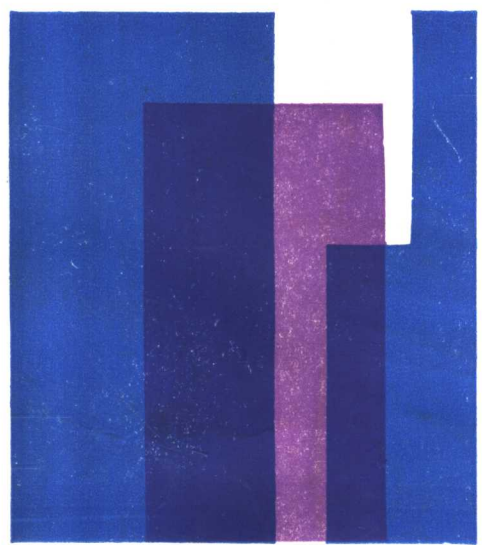
439035

高等学校试用教材

水泥工艺实验

81.595
Y DS

杨东生 编



中国建筑工业出版社



高等学校试用教材

水泥工艺实验

杨东生 编

中国建筑工业出版社

本书系大专院校无机非金属材料专业、硅酸盐工程专业用的教材，也可供水泥生产、研究等部门工程技术人员参考。书中编入了水泥物理性能的检验、水泥特性试验、生产控制试验、科学研究试验等方面的三十个实验内容，对实验的基本原理、仪器设备、材料、试验条件、试验步骤、结果处理、公式推导和注意事项等内容作了详细的叙述，反映了新的标准试验方法和科研成果。

高等学校试用教材
水泥工艺实验
杨东生 编

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本：787×1092毫米 1/16 印张：9¼ 字数：222 千字
1986年7月第一版 1986年7月第一次印刷
印数：1—11,600册 定价：1.30元
统一书号：15040·5033

前 言

本书根据1983年4月水泥教材编审组“泰安会议”讨论通过的“水泥工艺实验课程大纲”编写。全书编入水泥物理性能检验、科学研究试验等五章共32个基础实验和科研实验。在具体内容安排上，除了必不可少的仪器设备、材料试剂、试验条件、实验步骤、结果处理等外，还着重对实验原理、公式推导、影响因素与注意事项、实验方法的适应性与局限性等作了比较详细的阐述，并力求吸收新的科研成果和纳入新的标准试验方法，试图能在培养实验技能、实验设计、实验结果处理与分析以及科学研究等能力方面起到应有的作用。本书主要用作高等院校水泥工艺实验课程的教材，也可供从事水泥生产和研究的工程技术人员参考。

本书由山东建材学院张柏寿主审，南京化工学院闵盘荣、同济大学魏金照、建筑材料科学研究院水泥研究所方德瑞等参加审稿，教材编审委员会副主任王国宾和山东建材学院朱宏军等也参加了审稿会议。

在编写过程中，得到建筑材料科学研究院水泥研究所、南京化工学院、同济大学、山东建材学院等的大力支持，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，经验不足，书中错误和不当之处在所难免，诚恳希望读者批评指正。

编 者

1985年7月

目 录

第一章 水泥分散度的测定	1
§ 1.1 概述	1
§ 1.2 用筛析法检验水泥细度	3
一、水筛法	3
二、干筛法	4
§ 1.3 用透气法检验水泥比表面积	5
§ 1.4 用透气法测定水泥颗粒平均直径	14
§ 1.5 用沉积天平法测定水泥颗粒组成	21
参考资料	29
第二章 水泥物理性能检验	30
§ 2.1 概述	30
§ 2.2 水泥需水性检验	35
一、水泥标准稠度用水量检验	35
二、水泥胶砂流动度检验	38
§ 2.3 水泥凝结时间检验	40
§ 2.4 水泥安定性检验	41
一、用沸煮法检验水泥安定性	41
二、用压蒸法检验水泥安定性	42
§ 2.5 水泥胶砂强度检验与水泥标号的确定	46
§ 2.6 水泥强度快速检验	56
一、高温养护法	56
二、统计法	58
§ 2.7 水泥小试体强度试验	59
参考资料	61
第三章 水泥特性试验	62
§ 3.1 概述	62
§ 3.2 用直接法测定水泥水化热	65
§ 3.3 水泥抗硫酸盐侵蚀快速试验	70
§ 3.4 水泥胀缩性试验	73
一、水泥胶砂干缩试验	73
二、膨胀水泥净浆膨胀试验	76
§ 3.5 水泥抗冻性试验(慢冻法)	78
§ 3.6 水泥抗渗性试验	82
§ 3.7 水泥耐磨性试验	84
§ 3.8 水泥抗碳化试验	86
参考资料	87

第四章 生产控制试验	88
§ 4.1 概述	88
§ 4.2 熟料中游离氧化钙的分析(甘油乙醇法)	91
§ 4.3 水泥中三氧化硫含量的分析	93
一、用二次静态离子交换法分析水泥三氧化硫含量	93
二、用磷酸溶样—氯化亚锡还原—碘量滴定法分析水泥三氧化硫含量	96
§ 4.4 火山灰质混合材料的火山灰性试验	100
参考资料	102
第五章 科学研究试验	103
§ 5.1 概述	103
§ 5.2 熟料单矿物合成	105
§ 5.3 用结合水法测定水泥水化速度	107
§ 5.4 水泥石中氢氧化钙的分析	110
§ 5.5 硬化自应力水泥中剩余石膏量的分析	113
§ 5.6 水泥-水体系减缩试验	115
§ 5.7 水泥石比表面积与孔分布测定	116
一、用气体吸附法测定水泥石比表面积与孔分布	116
二、用水银压入法测定水泥石孔分布	135
参考资料	138
附录 国际单位制有关单位	139

第一章 水泥分散度的测定

§ 1.1 概 述

物料的分散度是指物料细分散的程度,通常称之为细度。分散度愈高,物料颗粒愈细。分散度常用筛余量、比表面积、颗粒平均直径、颗粒组成等表示。

(一) 筛余量即采用具有特定筛孔尺寸的标准筛,按规定筛分方法测出不能通过筛网的筛余物重量,以筛余物与试样的重量百分比来表示。筛子的筛孔大小和筛号有不同表示方法。英、美等国的筛子用“目”来表示筛孔大小。“目”是每一英寸长度筛布上所含编织数。德国筛号以每一平方厘米筛布上所含筛孔数表示。用英、美方法表示时,对筛布编织直径同时予以规定,筛孔净空尺寸即已确定。我国和苏联的筛号以筛孔净空尺寸的毫米数表示。我国采用筛孔净空尺寸为0.080毫米方孔筛作为检验水泥细度的标准筛。此筛亦用作生料和煤粉等细度的检验。

用筛析法测定细度简单易行,广泛应用于水泥工业中,能基本满足生产控制的要求。但是由于筛孔尺寸的限制,小于40微米的物料一般不能用筛析法测定细度,而3~30微米大小的水泥粒子对水泥强度等性质却具有决定性的影响。此外,筛析法只能测出通过筛孔的颗粒总量,却不能分出通过筛孔的大小不同颗粒的比例。因此,用筛余量表示物料的分散度并不十分确切,筛余量与水泥强度等性能之间的相关性有时还较差。

(二) 比表面积是指单位重量物料所具有的相对表面积,一般以1克物料所具有表面积的平方厘米数表示。同一物料用不同的方法和仪器测定时,测得的比表面积值并不相同。因此,比表面积值仅为相对值。当比较两种物料的分散度时,只有用相同方法测得的比表面积值进行比较才有意义。物料的表面积分为外表面积和内表面积两种。理想的非孔性物料只有外表面积。对于多孔物料,除有外表面积外尚有内表面积。水泥通常被看作非孔性物料,一般用透气法或浊度计法测定其比表面积。水泥硬化体则具有多孔结构特征,一般用气体吸附法测定其比表面积。

空气透过料层时,当料层空隙率一定,料层厚度和横截面积亦相对固定时,物料比表面积越大,料层中颗粒之间的透气孔道越小,流体阻力越大,透气速度越慢。透气量一定时,所需透气时间越长;若透气时间一定,透气量就减少。用透气法测定比表面积就是根据这一原理进行的。根据使用仪器不同,透气法又可分为勃莱恩法(采用固定容积式Blaine仪)、李和纳尔斯法(采用恒压式Lea-Nurse仪)和托瓦洛夫法(采用Товаров仪)等。其中勃莱恩法在国际中较为通用。在国际交往中,水泥比表面积一般都采用Blaine数值,国际标准化组织也推荐勃莱恩法作为测定水泥比表面积的方法。我国目前按GB207—63《水泥比表面积测定方法》检验水泥比表面积,采用固定容积式透气仪。为适应国际交往的需要,拟在适当时候采用勃莱恩法。Blaine仪的结构如图1.1。

用浑浊度计测定物料比表面积和颗粒组成,国际上通用的仪器是华格纳(Wagner)

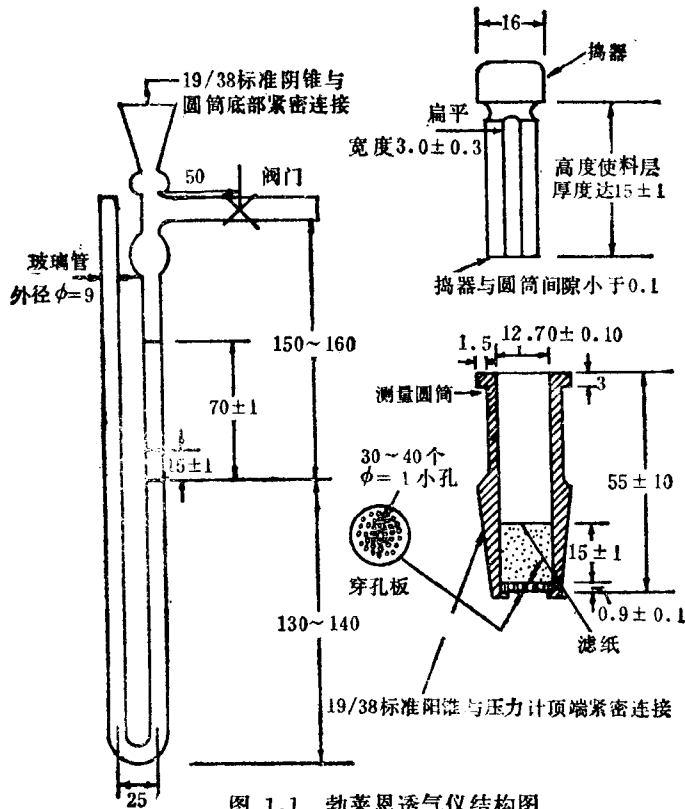


图 1.1 勃莱恩透气仪结构图

浊度计。它在斯托克定律 (Stoke's law) ①基础上, 利用固体颗粒吸收可见光的原理, 在一定高度的水泥悬浮液面上, 以一定强度的平行光线水平射入悬浮体。光线碰到水泥颗粒时, 即被水泥颗粒吸收或反射, 不能透过; 光线照射在液体介质上时, 即通过液体介质而到达光电池的感应板上, 使光电池产生电流, 在微安培计上表示出来。因此, 光量通过的多少和悬浮液的浑浊度有关。在水泥悬浮液的光照面上水泥颗粒愈多, 悬浮液的浑浊度就愈大, 在微安培计上的读数就愈小; 反之, 微安培计上的读数就愈大。按斯托克定律算出不同沉降时间在光照面上相应的颗粒粒径, 根据相应时间悬浮液浑浊度的变化, 计算出水泥颗粒组成与比表面积。

用透气法和浊度计法测得的比表面积, 虽然都是用每克水泥的平方厘米数表示, 但它们的数值是从完全不同的方法中得到的。因而有很大的差别。图 1.2 为实验测得的勃莱恩比表面积数 S_B (用勃莱恩透气仪测得) 与华格纳比表面积数 S_W (用华格纳浊度计测得) 的对比。图中二条直线的线性方程 $S_W = -\frac{5}{9}S_B$ 和 $S_W = 125 + 0.485S_B$ 都在使用。这两种换算方式仅是求得比表面积值的实用方法, 对于不同的物料, 这两种比表面积的比值将有变动。

(三) 颗粒平均直径是表示物料分散度的另一个参数, 可用透气法测得。颗粒平均直径越小, 比表面积越大, 分散度越高。当一定压力的空气通过试料柱时, 受到的阻力越

① 详见 § 1.5 用沉积天平法测定水泥颗粒级配。

大，压力降越多。在设定仪器参数条件下，找出压力降与颗粒平均直径的关系，通过压力降算出（或直接从仪器中指示出）颗粒平均直径。

用比表面积或颗粒平均直径表示分散度，比用筛余量表示较为接近实际，它与水泥强度等性能的相关性比筛余量的更好一些。

然而，它毕竟是平均值，仍不能较好地反映出各种粒级的颗粒含量。

（四）水泥颗粒组成亦称为颗粒级配，指水泥各粒级的颗粒含量。文献指出，粒度为3~30微米的水泥颗粒有利于增进水泥的强度；粒度小于3微米的水泥颗粒，只对水泥早期强度有利，这部分颗粒水化很快，在一天后就产生最高的抗压和抗拉强度；大于60微米的颗粒水化很慢，对水泥强度所起的作用很小。因此，要使

水泥强度得到充分发挥，不仅要求增大水泥的比表面积，而且要求水泥各粒级的颗粒含量有比较合适的比例，即水泥应具有合理的颗粒组成。

测定水泥颗粒组成是以斯托克司沉降定律为基础的。测定方法有沉积天平法、浑浊度计法、激光分析法等多种。我国目前按GB2939-82《水泥颗粒级配测定方法》采用沉积天平法测定水泥颗粒组成。

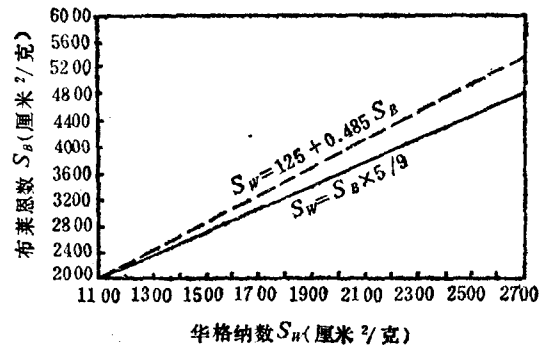


图 1.2 比表面积的华格纳数与勃莱恩数的对比

§ 1.2 用筛析法检验水泥细度

筛析法有水筛法和干筛法两种。两法相比，水筛法受人为因素和气候条件影响较小，复演性较好，筛析结果可靠，劳动强度低，粉尘少，但设备和试验条件较复杂，必须有自来水，且要求有稳定的水压。GB1345-77《水泥细度检验方法（筛析法）》将水筛法列为主要方法，同时保留干筛法，但水筛法和干筛法检验结果发生争议时，以水筛法结果为准。本实验按GB1345-77《水泥细度检验方法（筛析法）》进行。

一、水筛法

1. 基本原理

置于筛中一定重量的水泥，经适宜水压的分散水流冲洗一定时间后，水泥筛分已经完全。根据筛余物重量和试样重量求出水泥筛余量。

2. 仪器

（1）筛子：筛框有效直径125毫米，高80毫米，采用方孔边长0.080毫米的铜丝网筛布。筛布应紧绷在筛框上，接缝必须严密。质量必须符合GB3350.7-82《标准筛》要求。

（2）筛座：用于支撑筛子，并能带动筛子转动，转速约50转/分。

（3）喷头：直径55毫米，面上均匀分布90个孔，孔径0.5~0.7毫米，安装高度以离筛布50毫米为宜。

3. 检验方法

（1）水泥试样应充分拌匀，通过0.9毫米方孔筛，并记录筛余物。

(2) 称取试样50克, 倒入筛内立即用洁净水冲洗至大部分细粉通过, 再将筛子置于筛座上, 用水压 $0.3\sim 0.8$ 千克力/厘米² (约 $0.03\sim 0.08$ 兆帕) 的喷头连续冲洗3分钟。

(3) 筛毕取下筛子, 一手斜持筛子, 一手持喷头, 将筛余物冲到一边。将筛子倒置于瓷蒸发皿(350~400毫升)或烘样盘上, 用少量水冲洗筛底, 将筛余物全部移至蒸发皿中。沉淀后, 将水倾出, 旋转蒸发皿使筛余物均匀分布于皿壁, 烘干。用毛刷轻轻刷下筛余物。称重, 称准至0.1克。以筛余物克数乘2即为筛余百分数。

(4) 以一次检验测定值作为鉴定结果。

4. 影响因素与注意事项

(1) 研究表明, 当喷头水压(表压)为 $0.3\sim 0.8$ 千克力/厘米²时, 筛析结果较稳定。水压低于 0.3 千克力/厘米²时, 结果偏高; 而水压过高, 样品有溅出筛外的可能, 使结果偏低。一般控制水压 0.5 千克力/厘米²为宜。

(2) 检验用水必须洁净。水中含有泥砂时, 须先经沉淀或过滤, 否则使筛析结果偏高。

(3) 喷头孔眼 $1/6$ 以上被堵塞时, 在筛析时间不变情况下筛析结果偏高。发现喷头孔眼堵塞要及时穿通。

(4) 筛子应保持洁净。经多次筛析后, 部分筛孔将被水泥颗粒堵塞而影响筛析结果, 必须定期清洗和校正。一般来说, 筛析20~30个试样就得清洗和校正一次。清洗时可将水筛放到 $0.3\sim 0.5$ N的醋酸或食用醋里浸泡一分钟, 然后轻刷, 用清水洗净。晾干后进行校正。水筛使用完毕, 应清洗干净, 晾干后保存。对于常用的水筛, 每次使用后应在净水中放置, 不要暴露在空气中, 以免水泥颗粒硬化, 堵塞筛孔而不易清洗处理。

(5) 用电炉烘干筛余物时, 蒸发皿不能直接放在电炉盘上, 要用石棉板隔开或放在离电炉一定高度的金属丝网架上, 以防因急热使筛余物爆溅出皿外。

二、干筛法

1. 基本原理

置于筛中一定重量的水泥, 借助于机械振动或人工拍打使细粉通过筛网, 直至筛分完全后, 根据筛余物重量和试样重量求出水筛筛余量。

2. 仪器

筛子: 筛框有效直径150毫米, 高50毫米, 采用方孔边长 0.080 毫米的铜丝网筛布。筛布应紧绷在筛框上, 接缝必须严密。筛子附有筛盖。质量必须符合GB3350.7-82《标准筛》要求。

3. 检验方法

(1) 试验前将水泥试样置于 $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ 的烘箱中烘干一小时, 然后将试样充分拌匀, 通过 0.9 毫米方孔筛, 并记录筛余物。

(2) 称取烘干试样50克倒入筛内, 用人工或机械筛动。但将近筛完时, 必须一手执筛往复摇动, 一手拍打。摇动速度约120次/分。其间, 筛子应向一定方向旋转数次, 使试样分散在筛布上, 直至每分钟通过不超过 0.05 克时为止。称量筛余物, 称准至 0.1 克。以筛余物克数乘2即为筛余百分数。

(3) 以一次检验测定值作为鉴定结果。

(4) 筛子必须经常保持干燥洁净。筛布孔眼如遇堵塞情况, 可用软毛刷在筛底轻轻

刷去堵孔颗粒，以免影响试验结果。筛布及孔眼必须定期检查是否平整、合格，并定期校正。

4. 影响因素与注意事项

(1) 干筛法筛析结果受操作熟练程度等人为因素影响较大。研究表明，同一样品，同一筛子，不同人试验，筛析结果的变异系数高达8~16%（水筛法结果为3%左右），筛余量相差可高达1%以上。

(2) 干筛不如水筛筛得完全。一般情况下，干筛比水筛的筛余量偏高1~2%，且水泥越粗，差值越大。当水泥细度在15%左右时，干筛筛余量要比水筛高3%左右。

(3) 试样必须烘干，以防糊筛。筛析时筛子要盖上筛盖，防止水泥飞溅。在筛分过程中，可用毛刷刷轻刷筛底以减少堵塞。最后人工筛分时，应将过筛细粉筛在白纸上，以便估计筛净程度。筛析完毕，可将筛子倒扣在白纸上，用毛刷刷轻刷筛底，将筛余物刷净，然后称量。检验完毕，应将筛子彻底清扫干净，保存在清洁干燥处，防止水泥结硬堵筛。

§ 1.3 用透气法检验水泥比表面积

本实验按GB207—63《水泥比表面积测定方法》进行。

1. 基本原理

按一定空隙率制备的水泥层中，孔隙的大小和数量是水泥颗粒尺寸的函数，同时也决定了通过料层的空气流速。定量空气在规定压头^①抽吸作用下通过一定空隙率、固定厚度与横截面积的水泥层所需时间，随水泥比表面积增大而延长。利用透气时间与水泥比表面积

的函数关系，测出透气时间便可算出比表面积。

2. 仪器构造

试验仪器采用固定容积式透气仪，主要由圆筒1、气压计2、活塞3、负压调整器4和抽气球5组成，如图1.3。各部件的构造与功能分述如下：

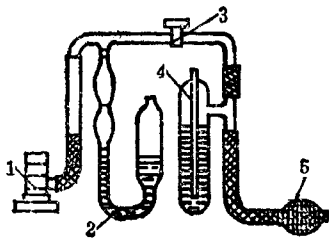


图 1.3 比表面积装置系统图

1—圆筒；2—气压计；3—活塞；4—负压调整器；5—抽气球

(1) 圆筒（图1.4）：放置水泥粉末试样用，为一内径 25.1 ± 0.1 毫米的钢质圆筒1，断面相当于5厘米²。在圆筒内壁下部有一凸边，上面放有一穿孔圆板2，下面为螺旋底盖3，旋紧在圆筒底部。在穿孔板以下圆筒壁上装有一支通气管4。穿孔板为一钢质薄板，厚2毫米，直径 25.1 ± 0.1 毫米，具有90个孔，孔径1.2毫米，均匀分布在板面上。

(2) 捣器（图1.5）：为捣实圆筒内试料至一定体积时用。由圆柱捣体1、支持环2及把手3组成。

捣体中心有垂直于底面的通气道。捣体的大小应与圆筒内径相适应，可自由伸入，其与圆筒壁接触的空隙应为0.1毫米。

支持环与捣器下平面之间的距离应当是：当捣体伸入圆筒内、支持环与圆筒口相接触时，捣器底面至穿孔板之间的距离恰好为 15 ± 0.5 毫米。

^① 取决于仪器气压计中工作状态的液柱高差。试验过程中，压头随液柱高差变化而变化，但对每台仪器其变化范围是相对固定的。

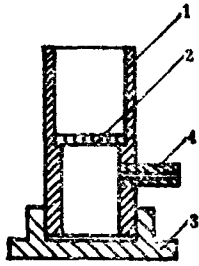


图 1.4 圆筒

1—圆筒；2—穿孔板；3—底盖；4—通气管

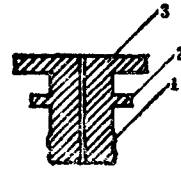


图 1.5 捣器

1—圆柱捣体；2—支持环；3—把手

(3) 气压计(图1.6)：由内径5毫米、高250毫米的玻璃管制成。气压计的一端是开口的，具有直径为28毫米的整个扩大部分1，另一端连接负压调整器和圆筒，具有直径为26毫米的两个扩大部分2。上面的扩大部分用来测定比表面积大的粉末，下面的扩大部分用来测定比表面积小的粉末。两个扩大部分的细颈上，均刻有标记(B, C, D)，气压计中注入带颜色的水。

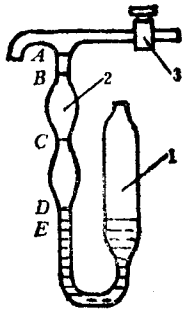


图 1.6 气压计

1、2—扩大部分；3—活塞

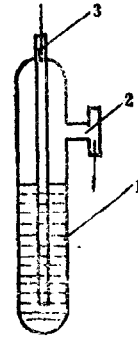


图 1.7 负压调整器

1—容器；2—三通管；3—进水管

(4) 负压调整器(图1.7)：为高310毫米、直径38毫米的玻璃容器1，容器内插入固定的进水管3，容器侧面带有一个三通管2，用以连接仪器其它各部分。容器内注入饱和的食盐水，食盐水的量，必须使抽气时气压计中的水位能升至规定的高度A。

除以上四部分外，还需备有抽气球、中密度定性滤纸、精确至 1°C 的温度计、精确至0.5秒的秒表、分度值为10毫克的天平。

3. 仪器校准

(1) 透气仪漏气的检查 进行试验前，必须检查仪器是否漏气。检查的方法是，用胶皮塞塞紧圆筒口，抽气，关闭活塞，在5分钟内液面如未下降，就证明仪器并未漏气，否则必须找出漏气处加以密封。

(2) 圆筒中试料层体积的测定 用水银代替法测定料层体积。先在圆筒中穿孔板上填二片滤纸，然后在圆筒中注满水银，用薄玻璃板使水银面与圆筒口平齐。倒出水银称量，精确至0.05克。重复几次测定，至数值不变为止。然后取出一片滤纸，在圆筒中加入

适量的试样，再把取出的一片滤纸盖在上面，用捣器压实试料层，压到规定厚度即捣器的支持环与圆筒边接触，再把水银装满圆筒压平，同样倒出水银称量，重复几次测定，至水银重量不变为止。圆筒内试料层体积按式（1）计算：

$$V = \frac{P_1 - P_2}{\gamma_H} \quad (1)$$

式中 V ——圆筒内试料层体积（厘米³）；

P_1 ——未装水泥时充满圆筒的水银重量（克）；

P_2 ——装水泥后充满圆筒的水银重量（克）；

γ_H ——试验温度下水银的密度（克/厘米³），见表1.1。

试料层体积的测定，采取二次相差不超过0.02厘米³的平均值。测定过程中应记录圆筒附近的温度。每隔一季度至半年应重新校正试料层体积，使用的滤纸改变时亦应重新校正。

（3）仪器常数 K 的测定 用已知比重和比表面积的标准试样，按3(1)至3(4)各条规定的操作方法，分别测定空气流过水泥层而进入气压计上下两个扩大部分所需的时间，然后按3(5)条的计算公式（3）式分别算出相应的仪器常数 K_{\uparrow} 和 K_{\downarrow} 。

仪器常数至少应采取三次试验的平均值，每次试验结果之间的差别不得超过2%。

当圆筒内试料层体积改变，或使用滤纸的种类和质量改变时，仪器常数均应重新校正。

（4）试验前，观察气压计中颜色水静止时的液面是否与测定仪器常数时的液面（图1.6中的 E ）保持一致。不一致时需予以调整。

3. 测定方法与计算

（1）检验用的水泥试样，必须先放在烘干箱中于 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 温度下烘干一小时，然后放入干燥器中冷却至室温，并按GB208—63《水泥比重测定方法》（详见附录）测出水泥比重。

（2）装入圆筒中的水泥重量，应使经捣器捣实后恰能达到所规定的体积，其重量可按式（2）算出：

$$P = \gamma_c V (1 - m) \quad (2)$$

式中 P ——水泥称量（克）；

γ_c ——水泥的密度（克/厘米³）；

V ——圆筒中试验用的水泥层体积，亦即圆筒的有效体积（厘米³）；

m ——水泥层捣实后的空隙率，即圆筒中水泥层空隙的体积与水泥层总体积的比值。水泥层空隙率规定采用 $m = 0.48 \pm 0.02$ 。

如果按式（2）算出的重量称取的水泥试样在圆筒的有效体积中容纳不下，或者经捣实后未能充满圆筒的有效体积，则允许适当地改变空隙率 m ，以减少或增添水泥称量。

（3）水泥装入圆筒的方法如下：将穿孔板安装于圆筒内，上面铺一张圆形滤纸（用过的滤纸不得再用）。将称好的水泥（精确至0.01克）放入圆筒内，在桌面上以水平方向轻轻摇动圆筒，使水泥层表面平坦。然后在水泥层上再铺一张滤纸，用捣器均匀捣实试料至支持环与筒边紧密接触并旋转一周为止。然后将捣器抽出。

（4）将圆筒中的水泥捣实后，打开仪器阀门，用抽气球抽气，使液面上升到气压计

的刻度 A (图1.6) 附近。关闭阀门, 当液面下降到 B 处时, 开始计时, 当液面徐徐下降到 C 处时, 记下液面从 B 到 C 所需的时间及试验时的温度。这样重复测定二次。计算时, 采用上面扩大部分的仪器常数 K_E 计算。

当试样比表面积较小, 液面从 B 到 C 所需的时间少于35秒时, 就应采用下面的扩大部分, 记录液面从 B 到 C 所需的时间, 计算时采用下面扩大部分的仪器常数 K_F 计算。

(5) 比表面积按式(3)计算:

$$S = \frac{K}{\gamma_0} \sqrt{\frac{m^3}{(1-m)^2}} \cdot \sqrt{\frac{1}{\eta}} \cdot \sqrt{t} \quad (3)$$

式中 S ——水泥比表面积 (厘米²/克);

K ——仪器常数, 根据不同情况分别采用 K_E 或 K_F ;

γ_0 ——水泥密度 (克/厘米³);

m ——压实后水泥层空隙率;

t ——气压计中液面从 B 经扩大部分下降到 C (或由 C 下降到 D) 所需的时间 (秒);

η ——试验温度下的空气粘度 (泊)。

(6) 如果水泥比表面积试验中, 采用的空隙率与测定仪器常数 K 时所用标准试样的空隙率一致, 而且温度相差在 $\pm 2^\circ\text{C}$ 范围内时, 式(3)可简化成式(4):

$$S = \frac{S_s \cdot \gamma_s \cdot \sqrt{t}}{\gamma_0 \sqrt{t_s}} \quad (4)$$

式中 S ——水泥比表面积 (厘米²/克);

γ_0 ——水泥密度 (克/厘米³);

S_s ——标准试样比表面积 (厘米²/克);

γ_s ——标准试样密度 (克/厘米³);

t ——测定水泥比表面积时, 气压计中液面从 B 到 C (或由 C 到 D) 所需的时间 (秒);

t_s ——测定标准试样比表面积时, 气压计中液面从 B 到 C (或由 C 到 D) 所需的时间 (秒)。

(7) 水泥比表面积由二次试验结果的平均值确定, 计算应精确至10厘米²/克, 10厘米²/克以下的数值按四舍五入计。每次试验结果与所得平均值的相差不得超过 $\pm 2\%$ 。否则应进行第三次试验, 以误差在 2% 以内的二次试验结果的平均值来确定。

4. 供计算用的空气粘度、水银密度及水泥层空隙率值见表1.1、表1.2。

5. 影响因素与注意事项

(1) 仪器各接口处漏气将导致测定结果偏低, 应严防漏气。

(2) 制备水泥层时, 将称好的水泥倒入圆筒中, 切勿边装试样边振动, 防止料柱上下层空隙率不均(图1.8.A)。然后以水平方向轻摇圆筒, 使水泥层表面平坦(图1.8.B), 盖上滤纸片后再行捣实(图1.8.B')。若在自然状态下(图1.8.C)捣实, 将导致水泥层空隙分布不均(图1.8.C'), 影响测定结果, 举例如表1.3。

(3) 水泥比重是决定水泥试样称重量和在比表面积计算中不可缺少的参数, 它直接影响水泥层空隙率、透气时间和比表面积计算结果, 故比重的测定应力求准确。

不同温度下的空气粘度和水银密度值

表 1.1

温 度 (°C)	空气粘度 η (泊)	$\sqrt{\frac{1}{\eta}}$	水 银 密 度 (克/厘米 ³)
8	0.00001749	75.64	13.58
10	0.00001759	75.41	13.57
12	0.00001768	75.21	13.57
14	0.00001778	75.00	13.56
16	0.00001788	74.79	13.56
18	0.00001798	74.58	13.55
20	0.00001808	74.37	13.55
22	0.00001818	74.16	13.54
24	0.00001828	73.96	13.54
26	0.00001837	73.78	13.53
28	0.00001847	73.58	13.53
30	0.00001857	73.38	13.52
32	0.00001867	73.19	13.52
34	0.00001876	73.01	13.51

不同 m (空隙率) 所对应的 $\sqrt{\frac{m^3}{(1-m)^2}}$ 值

表 1.2

m	$\sqrt{\frac{m^3}{(1-m)^2}}$	m	$\sqrt{\frac{m^3}{(1-m)^2}}$	m	$\sqrt{\frac{m^3}{(1-m)^2}}$	m	$\sqrt{\frac{m^3}{(1-m)^2}}$
0.450	0.549	0.474	0.620	0.498	0.700	0.522	0.789
0.451	0.552	0.475	0.624	0.499	0.704	0.523	0.793
0.452	0.554	0.476	0.627	0.500	0.707	0.524	0.797
0.453	0.557	0.477	0.630	0.501	0.711	0.525	0.801
0.454	0.560	0.478	0.633	0.502	0.714	0.526	0.805
0.455	0.563	0.479	0.636	0.503	0.718	0.527	0.809
0.456	0.566	0.480	0.639	0.504	0.721	0.528	0.813
0.457	0.569	0.481	0.643	0.505	0.725	0.529	0.817
0.458	0.572	0.482	0.646	0.506	0.729	0.530	0.821
0.459	0.575	0.483	0.649	0.507	0.733	0.531	0.825
0.460	0.578	0.484	0.652	0.508	0.736	0.532	0.829
0.461	0.581	0.485	0.656	0.509	0.739	0.533	0.833
0.462	0.584	0.486	0.659	0.510	0.743	0.534	0.837
0.463	0.587	0.487	0.662	0.511	0.747	0.535	0.842
0.464	0.590	0.488	0.666	0.512	0.751	0.536	0.845
0.465	0.593	0.489	0.669	0.513	0.755	0.537	0.850
0.466	0.596	0.490	0.672	0.514	0.758	0.538	0.854
0.467	0.599	0.491	0.676	0.515	0.762	0.539	0.858
0.468	0.602	0.492	0.679	0.516	0.766	0.540	0.863
0.469	0.605	0.493	0.683	0.517	0.770	0.541	0.867
0.470	0.608	0.494	0.687	0.518	0.774	0.542	0.871
0.471	0.611	0.495	0.690	0.519	0.777	0.543	0.875
0.472	0.614	0.496	0.693	0.520	0.781	0.544	0.880
0.473	0.617	0.497	0.697	0.521	0.785	0.545	0.884

制样方法影响比表面积测定结果实例

表 1.3

捣 实 方 法	比 表 面 积 (厘米 ² /克)		
	1	2	3
在自然状态(水泥层表面不平坦)下捣实	3000	3010	3030
轻轻摇动使水泥层表面平坦后再捣实	3070	3070	3060

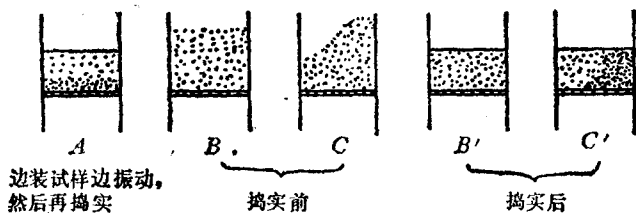


图 1.8 制样方法对空隙分布均匀性的影响示意图

(4) 水泥层空隙率 m 直接影响透气时间。实验表明, 对大多数水泥来说, 当空隙率 m 为 0.46~0.50 范围内变化时, 测出的比表面积值变化不大, 稳定性比较好。故测定水泥比表面积时, 取 $m = 0.48 \pm 0.02$ 。对一般硅酸盐水泥, $m = 0.48 \pm 0.1$, 但对掺有软质多孔材料的水泥、过细的水泥以及比重小的水泥, 这个数值需适当调整。在测定需要互相比较的物料时, 空隙率改变不应太大, 否则影响试验结果的可比性, 见表 1.4。

同一试样测得的 S 值随 m 值不同而变化实例

表 1.4

空 隙 率 m	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.49	0.50
比 表 面 积 S (厘米 ² /克)	3250		3140		3100		3070		3060	
		3140		3120		3100		3070		3000

用捣器捣实水泥层时, 捣器支持环的边必须与圆筒口紧密接触, 保证试料层厚度和空隙率达到试验要求。

(5) 从理论上讲, 使用仪器上、下扩大部分所测得的比表面积应该是一致的。但由于较粗的试样用上面扩大部分测定时, 透气时间较短, 相对误差较大, 故测定透气时间小于 35 秒的较粗物料时, 宜用下面扩大部分进行测定, 以提高试验的准确度。

(6) 置于圆筒中水泥层底面和表面的滤纸, 应为直径与圆筒内径相同、边缘光滑的圆片。滤纸片太小, 会使圆筒中的水泥漏失或外溢, 使空隙率 m 增大; 滤纸片太大则会褶皱, 影响试验结果。此外, 使用过的滤纸不能再用。滤纸的密度和厚度应保持一致。

(7) 用水银测定试料层体积时, 往圆筒装入水银前, 可用一根直径略小于圆筒内径的平底圆棒将滤纸送到穿孔板上, 压紧边缘, 防止水银漏入多孔板下部。倒出水银时, 除要倒清滤纸上方的水银外, 还应检查穿孔板下方的圆筒中是否藏有漏入的水银。所有注入或倾卸水银的操作, 均应在搪瓷盘中进行, 严防水泥溅落地下或操作台中。万一水银泻

① 用勃氏法测定时, $m = 0.50$ 。

地，应及时认真清扫回收。若有残余水银无法收回，应在水银上面洒上硫磺，使水银变成硫化汞，以消除其对人体健康的危害。

(8) 装入水泥层底层滤纸片时，应注意压紧纸片边缘，防止漏料，装入上层滤纸片时应精心操作，防止水泥外溢到纸片上面。

(9) 在测定过程中，气压计内液体如有损失应及时补充，使原始液面经常保持在刻度 E 上，保证工作状态的液柱高差相同，并与测定仪器常数 (K_{\uparrow} 或 K_{\downarrow}) 时保持一致。负压调整器中的饱和食盐水也应经常保持一定高度，保证抽气时气压计中的水位能升至规定的高度 A 。

(10) 用抽气球抽气时不宜过急，应使液面徐徐上升，以免液体损失。

6. 比表面积计算公式的推导

用透气法测定物料比表面积，是根据空气通过厚度、横截面积及空隙率均相对固定但物料比表面积不同的粉末层时产生不同的压力降来进行的。粉末层为许多细粉颗粒所组成，流体在粉末颗粒之间流动，可以看作是在无数“假想毛细管”中流动，如图 1.9 所示。据此，可借助于真正毛细管来研究空气通过试料层时流速与压力降的关系。

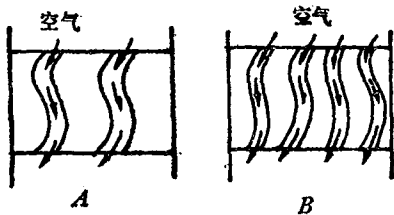


图 1.9 空气在“假想毛细管”中流动示意图

(A) 比表面积较小，毛细管较少，但管径较大；
(B) 比表面积较大，毛细管较多，但管径较小

颗粒愈小，颗粒之间的空隙也愈小，在一定空隙率的固定体积粉末层中的毛细孔道数量愈多，毛细孔道直径愈细，气体通过毛细孔道的阻力就愈大，在规定压头抽吸作用下，气体通过料层的流速也愈慢。由于水泥颗粒较细，可以认为空气在水泥层中的流动是粘性流动。根据泊氏定律：

$$\Delta P = \frac{32\eta W l}{g d^2} \quad (5)$$

式中 ΔP ——流体流过管道时因受阻而产生的压力降；

η ——流体的粘度；

W ——流体在管道中的流速；

g ——重力加速度；

l ——管道长度；

d ——管道直径。

由于流体通过料层所流经的通道实际上并不是具有相同直径的圆筒形毛细管，同时这些通道的实际直径、长度及数量亦无法测定。因此，在应用式 (5) 时，用当量直径 d_e 和当量长度 l_e 来代替直径 d 和长度 l ，此时式 (5) 改写成式 (6)：

$$\Delta P = \frac{32\eta W l_e}{g d_e^2} \quad (6)$$

根据流体力学：

$$\text{当量直径 } d_e = 4 \times \frac{\text{流体流过的截面}}{\text{流体润湿的周界}} \quad (7)$$