

4.3 单面冻融法(或称盐冻法)

4.3.1 本方法适用于测定混凝土试件在大气环境中且与盐接触的条件下,以能够经受的冻融循环次数或者表面剥落质量或超声波相对动弹性模量来表示的混凝土抗冻性能。

4.3.2 试验环境条件应满足下列要求:

- 1 温度 $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 。
- 2 相对湿度 $(65 \pm 5)\%$ 。

4.3.3 单面冻融法所采用的试验设备和用具应符合下列规定:

1 顶部有盖的试件盒(图 4.3.3-1)应采用不锈钢制成,容器内的长度应为 $(250 \pm 1)\text{mm}$,宽度应为 $(200 \pm 1)\text{mm}$,高度应为 $(120 \pm 1)\text{mm}$ 。容器底部应安置高 $(5 \pm 0.1)\text{mm}$ 不吸水、浸水不变形且在试验过程中不得影响溶液组分的非金属三角垫条或支撑。

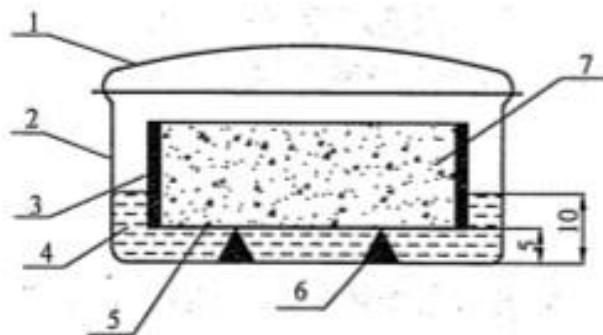


图 4.3.3-1 试件盒示意图(mm)

1—盖子; 2—箱体; 3—侧向封闭; 4—试验液体;
5—试验表面; 6—垫条; 7—试件

2 液面调整装置(图 4.3.3-2)应由一支吸水管和使液面与试件盒底部间的距离保持在一定范围内的液面自动定位控制装置组成,在使用时,液面调整装置应使液面高度保持在 $(10 \pm 1)\text{mm}$ 。

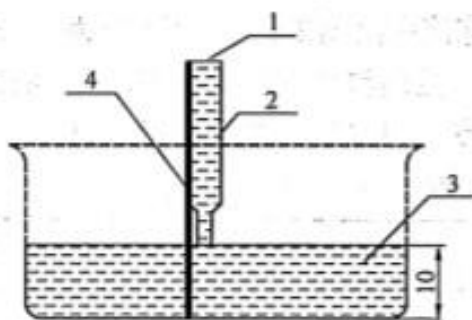


图 4.3.3-2 液面调整装置示意图

1—吸水装置; 2—毛细吸管; 3—试验液体; 4—定位控制装置

3 单面冻融试验箱(图 4.3.3-3)应符合现行行业标准《混凝土抗冻试验设备》JG/T 243 的规定,试件盒应固定在单面冻融试验箱内,并应自动地按规定的冻融循环制度进行冻融循环。冻融循环制度(图 4.3.3-4)的温度应从 20°C 开始,并应以 $(10 \pm 1)^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度均匀地降至 $(-20 \pm 1)^{\circ}\text{C}$,且应维持 3h;然后应从 -20°C 开始,并应以 $(10 \pm 1)^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速度均匀地升至 $(20 \pm 1)^{\circ}\text{C}$,且应维持 1h。

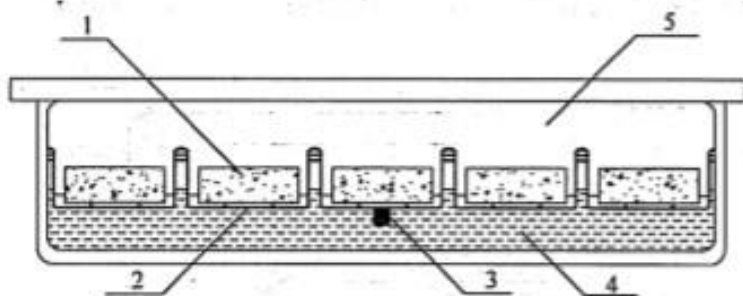


图 4.3.3-3 单面冻融试验箱示意图

1—试件; 2—试件盒; 3—测温度点(参考点);
4—制冷液体; 5—空气隔热层

4 试件盒的底部浸入冷冻液中的深度应为 (15 ± 2) mm。单面冻融试验箱内应装有可将冷冻液和试件盒上部空间隔开的装置和固定的温度传感器，温度传感器应装在 $50\text{mm} \times 6\text{mm} \times 6\text{mm}$ 的矩形容器内。温度传感器在 0°C 时的测量精度不应低于 $\pm 0.05^\circ\text{C}$ ，在冷冻液中测温的时间间隔应为 $(6.3 \pm 0.8)\text{s}$ 。单面冻融试验箱内温度控制精度应为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ，当满载运转时，单面冻融试验箱内各点之间的最大温差不得超过 1°C 。单面冻融试验箱连续工作时间不应少于28d。

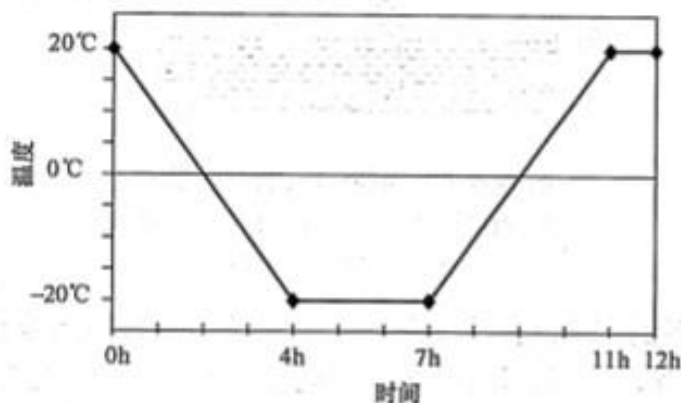


图 4.3.3-4 冻融循环制度

5 超声浴槽中超声发生器的功率应为250W，双半波运行下高频峰值功率应为450W，频率应为35kHz。超声浴槽的尺寸应使试件盒与超声浴槽之间无机械接触地置于其中，试件盒在超声浴槽的位置应符合图4.3.3-5的规定，且试件盒和超声浴槽底

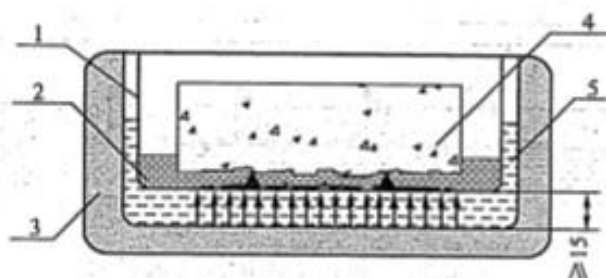


图 4.3.3-5 试件盒在超声浴槽中的位置示意图(mm)

1—试件盒；2—试验液体；3—超声浴槽；4—试件；5—水

部的距离不应小于 15mm。

6 超声波测试仪的频率范围应在(50~150)kHz 之间。

7 不锈钢盘(或称剥落物收集器)应由厚 1mm、面积不小于 110mm×150mm、边缘翘起为(10±2)mm 的不锈钢制成的带把手钢盘。

8 超声传播时间测量装置(图 4.3.3-6)应由长和宽均为(160±1)mm、高为(80±1)mm 的有机玻璃制成。超声传感器应安置在该装置两侧相对的位置上,且超声传感器轴线距试件的测试面的距离应为 35mm。

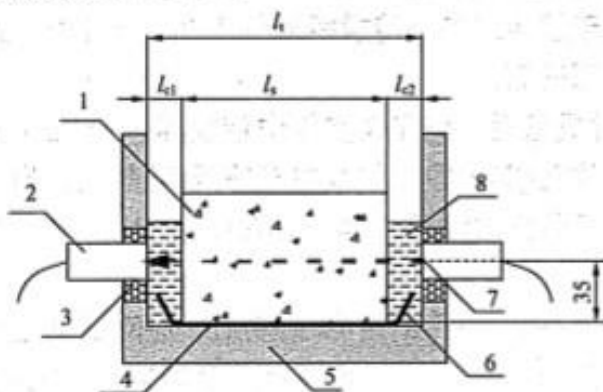


图 4.3.3-6 超声传播时间测量装置(mm)

1—试件; 2—超声传感器(或称探头); 3—密封层;
4—测试面; 5—超声容器; 6—不锈钢盘; 7—超声传
播轴; 8—试验溶液

9 试验溶液应采用质量比为 97%蒸馏水和 3%NaCl 配制而成的盐溶液。

10 烘箱温度应为(110±5)℃。

11 称量设备应采用最大量程分别为 10kg 和 5kg, 感量分别为 0.1g 和 0.01g 各一台。

12 游标卡尺的量程不应小于 300mm, 精度应为±0.1mm。

13 成型混凝土试件应采用 150mm×150mm×150mm 的立方体试模, 并附加尺寸应为 150mm×150mm×2mm 聚四氟乙

烯片。

14 密封材料应为涂异丁橡胶的铝箔或环氧树脂。密封材料应采用在 -20°C 和盐侵蚀条件下仍保持原有性能,且在达到最低温度时不得表现为脆性的材料。

4.3.4 试件制作应符合下列规定:

1 在制作试件时,应采用 $150\text{mm}\times 150\text{mm}\times 150\text{mm}$ 的立方体试模,应在模具中间垂直插入一片聚四氟乙烯片,使试模均分为两部分,聚四氟乙烯片不得涂抹任何脱模剂。当骨料尺寸较大时,应在试模的两内侧各放一片聚四氟乙烯片,但骨料的最大粒径不得大于超声波最小传播距离的 $1/3$ 。应将接触聚四氟乙烯片的面作为测试面。

2 试件成型后,应先在空气中带模养护 $(24\pm 2)\text{h}$,然后将试件脱模并放在 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的水中养护至7d龄期。当试件的强度较低时,带模养护的时间可延长,在 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的水中的养护时间应相应缩短。

3 当试件在水中养护至7d龄期后,应对试件进行切割。试件切割位置应符合图4.3.4的规定,首先应将试件的成型面切去,试件的高度应为 110mm 。然后将试件从中间的聚四氟乙烯片分开成两个试件,每个试件的尺寸应为 $150\text{mm}\times 110\text{mm}\times 70\text{mm}$,偏差应为 $\pm 2\text{mm}$ 。切割完成后,应将试件放置在空气中

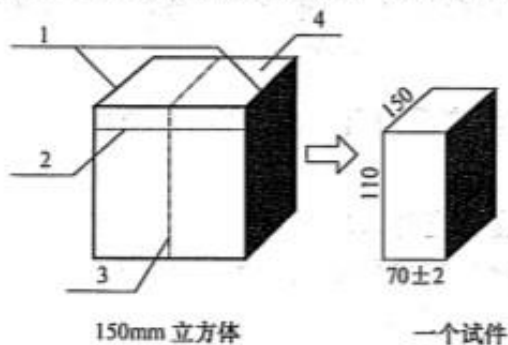


图 4.3.4 试件切割位置示意图(mm)

1—聚四氟乙烯片(测试面);

2、3—切割线;4—成型面

养护。对于切割后的试件与标准试件的尺寸有偏差的，应在报告中注明。非标准试件的测试表面边长不应小于 90mm；对于形状不规则的试件，其测试表面大小应能保证内切一个直径 90mm 的圆，试件的长高比不应大于 3。

4 每组试件的数量不应少于 5 个，且总的测试面积不得少于 0.08m^2 。

4.3.5 单面冻融试验应按照下列步骤进行：

1 到达规定养护龄期的试件应放在温度为 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 $(65\pm 5)\%$ 的实验室中干燥至 28d 龄期。干燥时试件应侧立并应相互间隔 50mm。

2 在试件干燥至 28d 龄期前的 $(2\sim 4)\text{d}$ ，除测试面和与测试面相平行的顶面外，其他侧面应采用环氧树脂或其他满足本标准第 4.3.3 条要求的密封材料进行密封。密封前应对试件侧面进行清洁处理。在密封过程中，试件应保持清洁和干燥，并应测量和记录试件密封前后的质量 w_0 和 w_1 ，精确至 0.1g。

3 密封好的试件应放置在试件盒中，并应使测试面向下接触垫条，试件与试件盒侧壁之间的空隙应为 $(30\pm 2)\text{mm}$ 。向试件盒中加入试验液体并不得溅湿试件顶面。试验液体的液面高度应由液面调整装置调整为 $(10\pm 1)\text{mm}$ 。加入试验液体后，应盖上试件盒的盖子，并应记录加入试验液体的时间。试件预吸水时间应持续 7d，试验温度应保持为 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 。预吸水期间应定期检查试验液体高度，并应始终保持试验液体高度满足 $(10\pm 1)\text{mm}$ 的要求。试件预吸水过程中应每隔 $(2\sim 3)\text{d}$ 测量试件的质量，精确至 0.1g。

4 当试件预吸水结束之后，应采用超声波测试仪测定试件的超声传播时间初始值 t_0 ，精确至 $0.1\mu\text{s}$ 。在每个试件测试开始前，应对超声波测试仪器进行校正。超声传播时间初始值的测量应符合以下规定：

- 1) 首先应迅速将试件从试件盒中取出，并以测试面向下的方向将试件放置在不锈钢盘上，然后将试件连同不锈钢盘一起放入超声传播时间测量装置中

(图 4.3.3-6)。10 超声传感器的探头中心与试件测试面之间的距离应为 35mm。应向超声传播时间测量装置中加入试验溶液作为耦合剂,且液面应高于超声传感器探头 10mm,但不应超过试件上表面。

2) 每个试件的超声传播时间应通过测量离测试面 35mm 的两条相互垂直的传播轴得到。可通过细微调整试件位置,使测量的传播时间最小,以此确定试件的最终测量位置,并应标记这些位置作为后续试验中定位时采用。

3) 试验过程中,应始终保持试件和耦合剂的温度为 $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$,防止试件的上表面被湿润。排除超声传感器表面和试件两侧的气泡,并应保护试件的密封材料不受损伤。

5 将完成超声传播时间初始值测量的试件按本标准第 4.3.3 条的要求重新装入试件盒中,试验溶液的高度应为 $(10 \pm 1)\text{mm}$ 。在整个试验过程中应随时检查试件盒中的液面高度,并对液面进行及时调整。将装有试件的试件盒放置在单面冻融试验箱的托架上,当全部试件盒放入单面冻融试验箱中后,应确保试件盒浸泡在冷冻液中的深度为 $(15 \pm 2)\text{mm}$,且试件盒在单面冻融试验箱的位置符合图 4.3.5 的规定。在冻融循环试验前,应采用超声浴方法将试件表面的疏松颗粒和物质清除,清除之物应作为废弃物处理。

6 在进行单面冻融试验时,应去掉试件盒的盖子。冻融循环过程宜连续不断地进行。当冻融循环过程被打断时,应将试件保存在试件盒中,并应保持试验液体的高度。

7 每 4 个冻融循环应对试件的剥落物、吸水率、超声波相对传播时间和超声波相对动弹性模量进行一次测量。上述参数测量应在 $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的恒温室中进行。当测量过程被打断时,应将试件保存在盛有试验液体的试验容器中。

8 试件的剥落物、吸水率、超声波相对传播时间和超声波

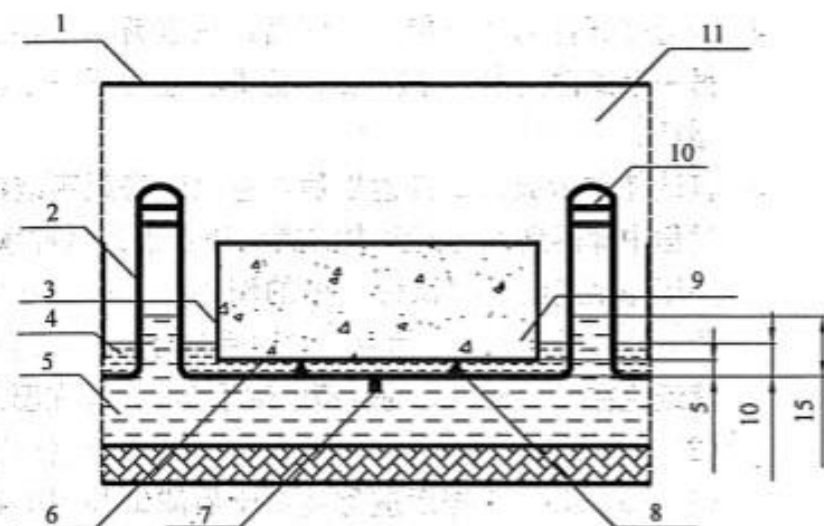


图 4.3.5 试件盒在单面冻融试验箱中的位置示意图(mm)

1—试验机盖；2—相邻试件盒；3—侧向密封层；4—试验液体；
5—制冷液体；6—测试面；7—测温度点(参考点)；8—垫条；
9—试件；10—托架；11—隔热空气层

相对动弹性模量的测量应按下列步骤进行：

- 1) 先将试件盒从单面冻融试验箱中取出，并放置到超声浴槽中，应使试件的测试面朝下，并应对浸泡在试验液体中的试件进行超声浴 3min。
- 2) 用超声浴方法处理完试件剥落物后，应立即将试件从试件盒中拿起，并垂直放置在一吸水物表面上。待测试面液体流尽后，应将试件放置在不锈钢盘中，且应使测试面向下。用干毛巾将试件侧面和上表面的水擦干净后，应将试件从钢盘中拿开，并将钢盘放置在天平上归零，再将试件放回到不锈钢盘中进行称量。应记录此时试件的质量 w_n ，精确至 0.1g。
- 3) 称量后应将试件与不锈钢盘一起放置在超声传播时间测量装置中，并按测量超声传播时间初始值相同的方法测定此时试件的超声传播时间 t_n ，精确至 0.1 μ s。

4) 测量完试件的超声传播时间后, 应重新将试件放入另一个试件盒中, 并按上述要求进行下一个冻融循环。

5) 将试件重新放入试件盒以后, 应及时将超声波测试过程中掉落到不锈钢盘中的剥落物收集到试件盒中, 并用滤纸过滤留在试件盒中的剥落物。过滤前应先称量滤纸的质量 μ_1 , 然后将过滤后含有全部剥落物的滤纸置在 $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的烘箱中烘干 24h, 并在温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 $(60 \pm 5)\%$ 的实验室中冷却 $(60 \pm 5)\text{min}$ 。冷却后应称量烘干后滤纸和剥落物的总质量 μ_b , 精确至 0.01g。

9 当冻融循环出现下列情况之一时, 可停止试验, 并应以经受的冻融循环次数或者单位表面面积剥落物总质量或超声波相对动弹性模量来表示混凝土抗冻性能:

- 1) 达到 28 次冻融循环时;
- 2) 试件单位表面面积剥落物总质量大于 $1500\text{g}/\text{m}^2$ 时;
- 3) 试件的超声波相对动弹性模量降低到 80% 时。

4.3.6 试验结果计算及处理应符合下列规定:

1 试件表面剥落物的质量 μ_s 应按下列式计算:

$$\mu_s = \mu_b - \mu_1 \quad (4.3.6-1)$$

式中: μ_s ——试件表面剥落物的质量(g), 精确至 0.01g;

μ_1 ——滤纸的质量(g), 精确至 0.01g;

μ_b ——干燥后滤纸与试件剥落物的总质量(g), 精确至 0.01g。

2 N 次冻融循环之后, 单个试件单位测试表面面积剥落物总质量应按下列式进行计算:

$$m_a = \frac{\sum \mu_s}{A} \times 10^6 \quad (4.3.6-2)$$

式中: m_n —— N 次冻融循环后, 单个试件单位测试表面面积剥落物总质量(g/m^2);

μ_s —— 每次测试间隙得到的试件剥落物质量(g), 精确至 0.01g ;

A —— 单个试件测试表面的表面积(mm^2)。

3 每组应取 5 个试件单位测试表面面积上剥落物总质量计算值的算术平均值作为该组试件单位测试表面面积上剥落物总质量测定值。

4 经 N 次冻融循环后试件相对质量增长 Δw_n (或吸水率) 应按下式计算:

$$\Delta w_n = (w_n - w_1 + \sum \mu_s) / w_0 \times 100 \quad (4.3.6-3)$$

式中: Δw_n —— 经 N 次冻融循环后, 每个试件的吸水率(%), 精确至 0.1 ;

μ_s —— 每次测试间隙得到的试件剥落物质量(g), 精确至 0.01g ;

w_0 —— 试件密封前干燥状态的净质量(不包括侧面密封物的质量)(g), 精确至 0.1g ;

w_n —— 经 N 次冻融循环后, 试件的质量(包括侧面密封物)(g), 精确至 0.1g ;

w_1 —— 密封后饱水之前试件的质量(包括侧面密封物)(g), 精确至 0.1g ;

5 每组应取 5 个试件吸水率计算值的算术平均值作为该组试件的吸水率测定值。

6 超声波相对传播时间和相对动弹性模量应按下列方法计算:

1) 超声波在耦合剂中的传播时间 t_c 应按下式计算:

$$t_c = l_c / v_c \quad (4.3.6-4)$$

式中: t_c —— 超声波在耦合剂中的传播时间(μs), 精确至 $0.1\mu\text{s}$;

l_c ——超声波在耦合剂中传播的长度 $(l_{c1} + l_{c2})\text{mm}$ 。 l_c 应由超声探头之间的距离和测试试件的长度的差值决定；

v_c ——超声波在耦合剂中传播的速度 km/s 。 v_c 可利用超声波在水中的传播速度来假定，在温度为 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 时，超声波在耦合剂中传播的速度为 1440m/s (或 1.440km/s)。

2) 经 N 次冻融循环之后，每个试件传播轴线上传播时间的相对变化 τ_n 应按下列式计算：

$$\tau_n = \frac{t_0 - t_c}{t_n - t_c} \times 100 \quad (4.3.6-5)$$

式中： τ_n ——试件的超声波相对传播时间(%)，精确至 0.1；

t_0 ——在预吸水后第一次冻融之前，超声波在试件和耦合剂中的总传播时间，即超声波传播时间初始值 (μs)；

t_n ——经 N 次冻融循环之后超声波在试件和耦合剂中的总传播时间 (μs)。

3) 在计算每个试件的超声波相对传播时间时，应以两个轴的超声波相对传播时间的算术平均值作为该试件的超声波相对传播时间测定值。每组应取 5 个试件超声波相对传播时间计算值的算术平均值作为该组试件超声波相对传播时间的测定值。

4) 经 N 次冻融循环之后，试件的超声波相对动弹性模量 $R_{u,n}$ 应按下列式计算：

$$R_{u,n} = \tau_n^2 \times 100 \quad (4.3.6-6)$$

式中： $R_{u,n}$ ——试件的超声波相对动弹性模量(%)，精确至 0.1。

5) 在计算每个试件的超声波相对动弹性模量时，应分别计算两个相互垂直的传播轴上的超声波相对动弹性模量，并应取两个轴的超声波相对动弹性模量

的算术平均值作为该试件的超声波相对动弹性模量测定值。每组应取 5 个试件超声波相对动弹性模量计算值的算术平均值作为该组试件的超声波相对动弹性模量值测定值。