

4 试件在制作和准备时应注意区分成型面、浇筑面。用不同高度的试件制作抗氯离子渗透试验用试件时,其与氯离子的暴露面有所不同。

5 试件加工后应打磨光滑,去除表面杂物,使试件表面平整和便于安装。

6 规定加工好的试件应继续在水中养护,以确保试件处于饱水状态。

7.1.5 本条规定了试件准备和安装方法。

1 首先测量试件尺寸。真空泵应能保证真空容器的绝对压力在几分钟内达到 $(1\sim 5)\text{kPa}$ 。选购真空泵时要注意其抽真空的能力。另外,能否达到规定的真空能力还与真空装置的密封性能有关,故安装真空装置时一定要保证密封,并采用专门的真空管与真空泵相连。

浸泡试件用的是饱和氢氧化钙溶液,这与电通量法使用蒸馏水或者去离子水作为浸泡溶液是不同的,操作时应注意这一点。

2 将试件表面清理干净以便安装到环箍中。

3 清理试验槽以便注入试验溶液。清洗试验槽用室温凉开水即可。

4 安装试件时密封很重要。紧固试件用的环箍可以自行加工。目前市场上也有专用的RCM测试仪可选用。

5 阴极溶液为 $10\%\text{NaCl}$,可采用 100g NaCl 和 900g 蒸馏水配制,接近 2mol/L 的摩尔浓度。

6 电源连线正确与否很重要。电源阴极连接到浸泡在 NaCl 溶液中的阴极板上,电源阳极连接到浸泡在 NaOH 溶液中的阳极板上。

7.1.6 本条规定了试件在试验槽安装完毕后的电迁移操作方法。

1 规定初始电流统一以 30V 电压为基础来确定。

2 根据初始电流调整电压,按照调整后的电压再记录新的初始电流。根据新初始电流决定试验持续时间。试验的持续时间与通过试件的电流有关。电流大,持续的时间短,电流小,持续

的时间就长。

3 记录阳极电解液（注意不是阴极电解液）中的初始温度，迁移系数的计算会用到此参数。

4 记录阳极电解液的最终温度，用于计算迁移系数。记录最终电流，观察电流变化情况用。

5 规定试验结束后应仔细清理试验设备和用具，以防生锈和便于保存等。

7.1.7 规定了氯离子渗透深度的测试方法。

1、2 拆卸试件是按照安装试件相反的顺序进行。可使用一个木制的圆棒协助将试件从橡胶套中取出来。

3、4 氯离子显色分界线对应的氯离子浓度约为 0.07mol/L 。不同的观察者测量氯离子渗透深度的结果可能有所差异，但其误差通常在可接受的范围内。

5~7 将劈开后的试件等分为 10 等份，为消除边界效应的影响，通常只需要测量内部 6 等份（7 个测点）的氯离子渗透深度即可。为了消除因不均匀饱水或者可能的渗漏引起的边缘效应，一般不测量试件边缘 10mm 以内的显色深度。

由于测量氯离子渗透深度只需要使用劈开后的试件一半。另外一半可根据研究需要，用来测量氯离子含量或浓度分布。测量氯离子含量或者浓度分布通常可采用钻取粉末，然后溶于酸或者蒸馏水中，采用化学滴定方法分别测量得到酸溶性氯离子含量（总氯离子含量）或者水溶性氯离子含量（自由氯离子含量）。

7.1.8 本条规定了试验结果的计算方法。

通常可以按照 7.1.8 的简化公式进行计算氯离子迁移系数。需要精确计算时，可以按照以下公式进行计算。

$$D_{\text{RCM}} = \frac{RT}{zFE} \cdot \frac{X_d - \alpha\sqrt{X_d}}{t} \quad (5)$$

$$E = \frac{U-2}{L} \quad (6)$$

$$\alpha = 2\sqrt{\frac{RT}{zFE}} \cdot \text{erf}^{-1} \left(1 - \frac{2c_d}{c_0} \right) \quad (7)$$

式中: D_{RCM} ——非稳态迁移系数, m^2/s ;

z ——离子化合价的绝对值, $z = 1$;

F ——法拉第常数, $F = 9.648 \times 10^4 J/(V \cdot mol)$;

U ——所用电压的绝对值, V ;

R ——气体常数, $R = 8.314 J/(K \cdot mol)$;

T ——阳极溶液的初始温度和结束温度的平均值, K ;

L ——试件厚度, m ;

X_d ——氯离子渗透深度的平均值, m ;

t ——试验持续时间, s ;

erf^{-1} ——误差函数的逆函数;

c_d ——氯离子颜色改变的浓度, 普通混凝土 $c_d \approx 0.07 \text{ mol/L}$;

c_c ——阴极溶液中氯离子浓度, $c_0 \approx 2 \text{ mol/L}$;

由于 $erf^{-1} \left(1 - \frac{2 \times 0.07}{2} \right) = 1.28$, 可得以下简化式:

$$D_{RCM} = \frac{0.0239 \times (273 + T)L}{(U - 2)t} \left(X_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(273 + T)LX_d}{U - 2}} \right) \quad (8)$$

计算氯离子迁移系数时, 应注意各参数的数量单位。

7.2 电通量法

7.2.1 本条规定了电通量法的试验目的和适用范围。

本试验方法是根据美国材料试验协会(ASTM)推荐的混凝土抗氯离子渗透性试验方法 ASTM C1202 修改而成, 该法也可叫直流电量法(或库仑电量法、导电量法), 是目前国际上应用最为广泛的混凝土抗氯离子渗透性的试验方法之一。国内外使用该方法积累了大量的宝贵数据和经验, 实践证明, 该方法对于大多数普通混凝土是适用的, 而且与其他电测法有较好的相关性, 在大多情况下, 相同混凝土配合比的电通量测试结果与氯离子浸泡试验方法(如 AASHTO T259)的测试结果之间具有很好相关性。

根据 ASTM C1202 的规定,对于已经利用本方法与长期氯离子浸泡试验方法之间已经建立相关性的各种混凝土,本试验方法均适用。

本试验方法用于有表面经过处理的混凝土时,例如采用渗入型密封剂处理的混凝土,应谨慎分析试验结果,因为本试验方法测试某些该类混凝土具有较低抗氯离子渗透性能,而采用 90d 氯离子浸泡试验方法测试对比混凝土板,却表现出较高抗氯离子渗透性能。

养护龄期对试验结果有重要影响,若大多数混凝土养护得当,随着龄期增加,其渗透性日益显著降低,因此分析试验结果时应考虑试验龄期的影响。

当混凝土中掺加亚硝酸钙时,本试验方法可能会导致错误结果。用本方法对掺加亚硝酸钙的混凝土和未掺加亚硝酸钙的对比混凝土测试,结果表明掺加亚硝酸钙的混凝土有更高库仑值,即具有更低的抗氯离子渗透性能。然而,长期氯离子浸泡试验表明掺加亚硝酸钙混凝土的抗氯离子渗透性能高于对比混凝土。

影响混凝土抗氯离子渗透性的因素有水灰比、外加剂、龄期、骨料种类、水化程度和养护方法等,采用本方法试验结果进行比较时,应注意这些因素的影响。

7.2.2 本条规定了试验采用的仪器、设备、试剂以及用具的有关要求。

1 实际采用的试验装置,在精度满足要求和符合本标准测试原理的情况下可自行设计。但宜采用自动测试电通量的装置,以减少和避免人为操作引起的误差。目前市场上已经有不同型号的商用产品,国家也已经制定了电通量测定仪的产品标准《混凝土氯离子电通量测定仪》JG/T 261。

2 主要的仪器设备和试剂与 ASTM C1202 基本相同。

1) 直流电源应能够稳定输出 60V 电压,精度达到 $\pm 0.1V$ 的要求。电流在 $(0 \sim 10)A$ 范围内,可与 RCM 法通用电源。

- 2) 试验槽或者电解槽一般采用耐热有机玻璃制作。其结构和尺寸应符合图 7.2.2-2 要求。由于电通量试验使用的标准试件直径为 100mm, 试验槽凹陷处最大直径应比试件直径大 1/8, 即凹陷处最大直径约为 112mm 比较合适。
- 3) 紫铜板用于固定铜网并提高导电性, 不能缺少。铜网作为可通过溶液的电极, 其孔数和尺寸应保证溶液能够与试件端面完全紧密结合。
- 4) 标准电阻用于检测通过试件的电流。实际检测的是标准电阻上的电压, 由于电阻为 1Ω , 所以试件上的电压与通过试件的电流的数值是相同的。
- 5)、6)、12) 组成抽真空装置。与 RCM 法的抽真空装置可以通用。
- 7) 阴极溶液为 3% NaCl 溶液, 这与 RCM 法不同。RCM 法阴极溶液为 10% NaCl 溶液。
- 8) 阳极溶液为 0.3mol/L NaOH 溶液, 与 RCM 法的阳极溶液相同。
- 9) 规定了用于密封试件侧面(圆柱面)的密封材料一般采用硅胶或者树脂, 一般能够达到密封效果。当然也可以采用其他更可靠的耐热耐腐蚀密封材料。
- 10) 原 ASTM C1202 采用三种密封方法, 前两种都是采用密封胶(分别为低黏度和高黏度)等材料对试件进行密封。采用低黏度密封材料对试件密封时, 需要将密封材料涂刷在铜垫片上, 将铜网上垫上滤纸, 以免铜网上粘上密封材料, 此时试件的端部只有部分与溶液接触(约 76.2mm 直径范围内与溶液接触)。采用高黏度密封材料时, 只密封试件的端部外表面与试验盒之间的部分(因有铜片存在, 实际上也是直径约 76.2mm 范围内与溶液接触); 第三种为采用外径 100mm、内径为 75mm 的硫化橡

胶垫（垫片方式），溶液与试件端部接触实际上只有直径为 75mm 范围内的部分。主要有铜片的缘故，三种方式得到的试件与溶液的接触面积基本相同。

由于密封胶方式操作比较复杂，时间长；而垫片方式操作简单，可操作性更强，因此本标准推荐了垫片方式供选择。本标准规定采用内径为 75mm 的硫化橡胶垫的密封方式。

11) 加工试件用切割设备，与 RCM 法相同。

13) 温度计精度要求与 RCM 法相同。

14) 电吹风用于清理试验槽。

7.2.3 本条规定了电通量法的试验步骤和程序。

1 ASTM C1202 允许的试件直径范围为(95~102)mm、厚度为 51mm，范围较大，考虑到我国混凝土试件的模具和操作方便，以及为了与 RCM 法能够通用模具，本标准规定试件直径为(99~101)mm，厚度为(48~52)mm 的范围。与美国 ASTM C1202 的规定基本一致。

本试验未规定制作试件时允许使用的最大骨料粒径，研究表明骨料的粒径在工程常用的范围内(5~31.5)mm，用同一批次混凝土制作的试样，其试验结果具有很好的可重复性。

试件在运输和搬动过程中应防止受冻或者损坏。试件的表面受到改动处理，比如做过粗糙处理、用了密封剂、养护剂或者别的表面处理等，必须经过特殊处理使试验结果不受这些改动的影响，可采取切除改动部分，以消除表面影响。

由于试验结果是试件电阻的函数，试件中的钢筋和植入的导电材料对试验结果有很大影响，要注意试件中是否含有这种导电材料。当试件中存在纵向钢筋时，因为在试件的两个端头搭接了一个连续的电路通道，可能损坏试验装置，这种试验结果应作废。

2 规定了试件侧面应密封好，以防止试件侧面失水和导

电等。

电通量试验一般在 28d 龄期进行。由于掺入掺合料较多的混凝土，在 28d 龄期时掺合料的作用不能得到充分反映，允许在 56d 龄期进行试验。设计有龄期规定时，应按设计要求的龄期进行试验。

3 真空饱水是保证各种试件处于相同或者基本相同条件的关键步骤。

4 试件安装后，可采用向试验槽灌入蒸馏水或者去离子水的方法来检查装置是否密封好。条件不具备时，也可以采用灌入冷开水来检查装置的密封情况。

5 灌注阴极和阳极溶液时应先在溶液槽或者试验槽上用防水笔做上标记，以免操作时出错，然后按照标记分别将有关电极连接到电源的正负极上。本标准规定配制氯化钠溶液和氢氧化钠溶液宜采用蒸馏水或者去离子水，如有困难，也可以采用可饮用水制作的凉开水配制溶液。

6、7 通过试件的电流是电通量方法测试的主要数据。如果采用电流表，可直接根据电流表显示的读数记录电流值。也可以采用万用表来检测电流值。采用自动采集电流数据时，需要注意数据的精度和准确性。

测试期间，电池盒（即试验槽）中溶液的温度不能高于 90°C ，以避免损坏电池盒和导致溶液沸腾。一般可在电池盒顶部的 3mm 通气孔安装热电偶，通过它可监测溶液的温度。只有高渗透性混凝土才会出现高温现象。如果因为高温而终止测试，报告应记录下来并写清时间，该混凝土归类为具有非常高的氯离子渗透性能。

8 洗涤试验用具宜用蒸馏水，如无蒸馏水时或者现场条件不具备时，也可以采用可饮用水制作的凉开水（冷却到室温）洗刷试验槽和浸泡试件。

9 规定试验环境温度为 $(20\sim 25)^{\circ}\text{C}$ ，一般具备恒温条件的试验室都能满足要求。

7.2.4 本条规定了试验结果计算和处理方法。

1 采用电流和时间曲线方式计算时，实际上是通过曲线进行积分或者按照梯形面积进行计算。

2、3 一般手工测量电流时，通常采用本标准规定的简化公式进行计算。其本质就是梯形面积积分。

需要注意的是，本标准建立时是以直径为 95mm 的试件为标准试件的，所有电通量数据必须换算成直径为 95mm 的标准试件的电通量数据才能进行相互比较。换算的依据是通过试件的电通量与其面积成正比。采用自动采集数据的测试装置时，都具备自动进行积分计算电通量值和对试件尺寸进行换算的功能。

4 取值规则是以中值为基础。

8 收缩试验

8.1 非接触法

8.1.1 本条规定了非接触法的适用范围和目的。

由于混凝土品种增多以及矿物掺合料、外加剂等广泛使用，导致某些混凝土的早期收缩明显增大。混凝土早龄期（如前 3d）的体积变形最为复杂，包括全部塑性沉降收缩，而自生收缩、水泥水化的化学收缩以及混凝土表面失水产生的干燥收缩在早龄期也占较大比例。因此若在试件标养 3d 后测量变形的的方法，只能测量从标准养护室移入恒温恒湿室开始，试件的长度变化，无法反映出早龄期 3d 之内，这个阶段的长度变化情况。

本次修订增加了对混凝土自初凝开始收缩变形的测试。此时混凝土尚没有足够强度，因此宜采用非接触的方法测试其收缩变形。混凝土自初凝开始至 GBJ 82-85 规定的开始测试时间之间的体积变形测试方法采用非接触法；其后的测试方法仍采用接触法。

非接触法收缩变形测量装置也可以用来测量自收缩。测量自收缩时要保证试件与外界无物质交换。

尽管采用非接触法收缩变形测量装置也可以测试混凝土后期收缩，但是由于非接触法收缩变形测量仪在测试过程中始终处于监测状态，如果采用此方法来测试后期收缩，则一对位移传感器在整个长期测试期内（例如 28d、180d），只能固定用于测试一个试件，难以做到一对位移传感器在短期内即可进行多个试件的测试，测试仪器利用效率很低，而位移传感器的价格往往较高，所以非接触法用于测试后期收缩很难被试验人员所接受，一般只用于混凝土的早期收缩测试。

8.1.2 本条规定了非接触法收缩试验所用的试件尺寸。试件断

面尺寸是根据混凝土中最大骨料粒径来选择。通常情况下, $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 515\text{mm}$ 的试件可以满足大多数试验需要, 因此规定 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 515\text{mm}$ 为标准试件, 与原标准一致。

8.1.3 本条规定了非接触法有关仪器设备的要求。

1 本标准给出了非接触法收缩变形测定仪器的尺寸和原理示意图以供参考, 也可自行设计, 只要达到测试精度要求即可。

由于混凝土早期收缩测试间隔时间短, 测试频繁, 为了保证测试数据记录的及时性和准确性, 减轻测试人员人工读数的负担, 本试验方法规定非接触法混凝土收缩变形测定仪的测试数据应采用计算机全自动采集、处理。

为了保证试验质量和水平, 非接触法收缩变形测定仪应设计成整机一体化装置, 且具备自动采集和处理数据的功能。试验期间为防止测试装置受到振动而影响试验结果, 应采用固定式实验台, 试件、传感器等都应采用可靠方式固定于试验台上, 例如采用磁力吸附装置固定于钢制实验台面上, 或采用螺栓形式紧固于实验台面上。

2 由于试模是试验测试装置的一部分, 因此试模的设计和加工质量非常重要, 尤其是对反射靶的连接方式、位移传感器的固定方式应非常可靠。而且试模的刚度和变形性能也对试验结果有影响。要求在本标准规定的试验条件下, 试模本身的刚度足够大, 其收缩变形值应可以忽略不计。

由于测量标距过短将使试件的收缩绝对值过小, 不易读数, 影响测试的准确度, 所以本标准限制试件的测试标距不得小于 400mm 。

3 非接触法所用的位移传感器有多种类型, 比如激光测长仪、声能传感器、电涡流传感器等, 传感器的安装方式也有多种, 反射靶构造也可以不拘泥于一种, 只要达到测试精度要求即可。

反射靶能否随着混凝土收缩而同步移动, 将决定着测试结果的真实性, 决定着该测试方法的合理性和可行性, 而反射靶能否

与混凝土同步工作取决于反射靶构造形式及埋设方式。本方法示意图中显示的仅是一种方式，实际应用过程中也可以采取其他方式。

8.1.4 本条规定了非接触法收缩变形测量的步骤和程序。

1 规定了非接触法收缩试验应在恒温恒湿环境下进行，恒温恒湿环境与接触式方法要求的环境相同。由于试模是试验装置的一部分，因此非接触法混凝土收缩试验要求带模进行测试。

2 由于试件能否在试模内自由变形决定了测试结果的可靠性，因此要求试件能够在试模内自由变形。保证试件处于自由变形的的方法有多种，本标准推荐了塑料薄膜和 PTFE 片两种方法。

3 因初始读数从混凝土初凝开始，因此进行非接触法收缩试验的同时，应对取自同一盘或者同一部位的相同配合比的混凝土初凝时间进行试验。初凝试验和收缩试验应在同一地点进行。目前非接触法收缩变形测量仪都可以做成自动检测仪，因此测定的时间间隔可以在程序中自由设定，但间隔时间不大于 1h，以便得到较光滑的变形曲线。

5 非接触法收缩变形测量装置也可以用来测量自收缩。测量自收缩时要保证试件与外界无物质交换。理论上，可以用质量变化来反映有无物质交换，但是由于非接触收缩仪在整个测试过程中需要始终处于监测状态，不宜搬动试模及试件，所以，往往无法通过测试质量变化来反映有无物质交换。实际操作中，通常是采用将浇筑后的试件以塑料薄膜等密封的方式来保证无物质交换。

8.1.5 本条规定了非接触法收缩测试结果计算方法。

因每个试件带两个测头，两个测头均应分别进行读数。试验结果应根据两个测头读数的之和来计算。以 3 个试件得到的收缩算术平均值作为混凝土早期收缩值。

由于本标准规定，非接触法主要用来测试 3d 以内的混凝土收缩值，3d 以后收缩值采用接触法进行测试，所以规定作为相对比较的混凝土早期收缩值以 3d 龄期测试得到的收缩值为准。

3d 龄期是以混凝土搅拌加水开始计算,但早期收缩从混凝土初凝开始进行测试。

8.2 接 触 法

8.2.1 本条规定了接触法的适用范围。本试验方法适合除外力和温度变化以外的因素所引起的试件长度变化。通常情况下收缩变形试验可用此方法。

本标准保留了原 GBJ 82-85 的收缩试验方法,也参考了国内外标准中的混凝土收缩测试方法,如中国交通部标准 JTJ 270-98,中国电力行业标准 DL/T 5150-2001,美国 ASTM C157/C157M-2003 和 ASTM C490-2007,英国 BS 标准 BS1881: Part5,欧洲 EN 标准草案 prEN 480-3,日本标准 JIS A 1129: 2001。

国内的 GBJ 82-85 以及交通部 JTJ 270-98、国家电力行业标准 DL/T 5150-2001 和水利行业标准 SL 352-2006 等采用的收缩仪基本都是卧式结构。美国 ASTM C 157,英国 BS1881 试验方法使用的比长仪属于立式结构。

GBJ 82-85 收缩试验方法中,采用混凝土卧式收缩仪,该仪器并非固定,在操作中,同一台收缩测试仪,对多个试件测试时,受到多次操作等影响,可能会造成误差,对操作人员的要求相对较高。但这种方法在我国已经使用多年,积累了大量的经验和数据,而且操作简单,可操作性强。只要严格按照操作程序进行试验,可以避免搬动操作造成的误差,故本标准保留了采用卧式混凝土收缩仪的试验方法。

8.2.2 本条规定了接触法收缩试验所用试件和测头要求。

1 接触法收缩试验所用试件与非接触法收缩试验所用试件尺寸等基本一样。所不同的是非接触法为带模测试,而接触法是脱模后测试。接触法混凝土收缩试验应以 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 515\text{mm}$ 的棱柱体为标准试件。根据骨料大小不同,也可以采用其他尺寸的试件。

2 采用卧式混凝土收缩仪时,测头有两种样式,一种适用

于预埋的测头，一种适用于后埋（粘贴）的测头。

3 采用立式混凝土收缩仪时，试件的测头与卧式有所不同，应注意区别。

4 采用接触式引伸仪时，测钉不是在试件两端，而是粘贴在试件两个侧面的轴线上，这与卧式收缩仪对测头的要求不同。

5 不同收缩测定仪，对测头位置等要求不同，因而对试模的开孔要求也不同。

6 无论是接触法和非接触法收缩试验均要求混凝土表面不得有严重的脱模剂污染（自收缩测量可例外），以免影响试件与外界的水分交换，影响收缩测试结果。本试验方法测量得到的实际上是干燥收缩和部分碳化收缩。这种收缩大小与试件内外水分交换方式有密切关系。而成型试件时采用的机油类憎水性脱模剂会影响试件与外界的水分交换，故本标准规定不得使用憎水性脱模剂。规定测试收缩前，试件的养护方式为标准养护。

8.2.3 本条规定了接触法收缩试验所用仪器设备的要求。

1 规定了收缩测定仪必须有校正用的标准杆，这是获得正确的收缩测量数据的重要条件。

2 目前专用的混凝土收缩测量仪一般只能测定标距为540mm的标准试件（试件本身长度为515mm，两个测头外露长度总计为25mm，所以总标距长为540mm），但在很多场合下还必须使用各种形式的非标准试件进行收缩测量，故本试验方法同时允许使用接触式引伸仪。接触法收缩变形测量装置通常指卧式收缩测定仪，本标准规定采用精度为0.001mm的千分表。其他形式的测量装置，其精度应达到 $\pm 0.001\text{mm}$ 。

8.2.4 本条规定了接触法收缩变形试验程序和步骤。

1 规定收缩试验的标准试验条件为：温度 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 $(60\pm 5)\%$ ，即要求恒温恒湿。要求放置试件的试件架本身不能吸水，试件的放置间距不能影响试件与空气的正常水分或湿度交换。

2 国外标准对收缩试验中测定初始长度读数的龄期规定得都比较早。如美国 ASTM C157 要求 (23 ± 0.5) h, 日本 JIS A1129 要求 24h 初测, 英国 BS 标准 BS1881: Part5 要求 24h。欧洲 EN 标准草案 prEN480-3 要求水中养护 3d 后拆模立即测定初始长度。由于 1d 时混凝土强度还非常低, 这些标准要求测定初始读数后仍然要将试件送回水池标准养护, 到 28d 移入恒温恒湿室。为了保证 24h 拆模时不损伤预埋测头, 还规定用特殊构造的试模及拆除端板的装置。

根据我国目前的情况, 以及考虑到有低强度等级的混凝土(现在混凝土都掺较多的掺合料, 早期强度通常不高)、预养温度不高以及有时候还需要后埋测头等情况, 故本标准规定一律在 3d 龄期测定初始长度读数。但混凝土拆模后必须在标准养护室养护到测定初始读数, 否则将会有一部分收缩变形在测定初始读数以前就已经出现, 影响试验的准确性。

由于我国收缩试验初始读数的龄期一直规定为 3d, 已经积累了大量数据, 考虑到标准连续性以及历史数据的可比性, 本标准规定初始读数的试验龄期为 3d。

本标准规定收缩试验测试时间间隔为 1d、3d、7d、14d、28d、45d、60d、90d、120d、150d、180d 及 360d。其中 360d 是本次修订新增加的规定。

3 测量其他条件下收缩值, 应按照相应的试验条件进行。非标准条件养护的试件在恒温室进行收缩试验前, 应先预置 4h, 再测试初始读数, 以保证试件温度与室温基本相同。试件温度与室温不同, 可能影响后续的收缩试验结果。对于从标准养护室取出来的试件, 因其温度与恒温室接近, 故不必进行预置, 可直接测量初始读数。

4 随时用标准杆校对仪表的零点, 对于获得正确的收缩试验结果非常重要。

5~7 收缩试验每次放置的位置和方向应一致, 以减小试件放置带来的误差和便于快速测量读数。

8.2.5 本条规定接触法收缩试验结果的计算方法在本质上与非接触法一样，但计算公式的形式不同。

计算收缩测量值时，应注意试件的测量标距的取值。测量标距应扣除测头长度，即为测头内侧的净距离。

本标准规定作为相互比较的收缩值，以 180d 龄期收缩值为准。由于一般混凝土试件在 360d 后，干燥收缩基本完成，故本标准规定可以 360d 的收缩率值作为终极收缩率值。

9 早期抗裂试验

9.0.1 本条规定了早期抗裂试验方法的适用范围和目的。

原国标 GBJ 82-85 的收缩试验方法属于测量混凝土自由收缩的方法，难以直接评价或反映出混凝土的抗裂性能。研究收缩率的意义通常并不在于收缩数值大小本身，而是为了确定混凝土收缩对混凝土开裂趋势的影响。约束收缩试验方法实际上是评价混凝土抗裂性能的试验方法，引入约束收缩试验方法，可以模拟工程中钢筋限制混凝土的状态，更加贴近工程现场的实际情况。

关于混凝土在约束状态下早期抗裂性能的试验方法，国内外的研究人员都作了一些研究工作，形成了一系列的方法，综合起来可以分为三大类：平板法、圆环法及棱柱体法。如美国混凝土协会 ACI-544 推荐的平板法，ICBO 推荐的平板法，美国道路工程师协会 AASHTO 推荐的圆环法，RILEM TC119-TCE 推荐的棱柱体法。本次修订在 ICBO 基础上，将其改进，经过试验验证后，形成了本标准的早期抗裂试验方法，本标准采用刀口诱导开裂，故可称其为刀口法。该方法操作简单、方便，对开裂敏感性好，容易达到试验目的。

9.0.2 本条规定了早期抗裂试验方法的装置以及对试件尺寸、每组试件个数、骨料最大粒径的要求。

1 试件为平板型。因抗裂试件使用的混凝土量较大，试模占地较多，经过验证试验表明，本方法可重复性好，故规定每组 2 个试件即可，当然也可用 2 个以上的试件进行试验。

2 试验装置可按照本标准规定的尺寸自行设计。市场上已有定型产品可供选择。加工抗裂试模或者装置，应保证其刚度和可拆卸性，以保证试验效果，并便于重复使用和维护。

3 试验用风扇以能够连续调节风速为宜。

4 本试验采用三种传感器：温度计、湿度计和风速计。市场上已有将三种传感器集成在一起的产品。

5~7 规定了裂缝宽度和长度的测量工具有关量程和精度要求。

9.0.3 本条规定了早期抗裂试验的步骤和程序。

1 规定试验宜在恒温恒湿室进行，以保证试验条件一致。条件不具备时，可在温度、湿度变化不大的大房间内进行试验。

2、3 试件成型制作时需注意混凝土密实性、平整度和试件厚度，试件太厚和太薄均影响试验结果。

4 实际操作时应注意风扇是否满足规定的风速要求。风速可采用手持式风速仪进行测定。同时应注意风向要求，以保证试验条件的一致性。

5、6 开始测读裂缝的时间统一规定为 24h。从混凝土搅拌加水开始计算时间，通常 24h 后裂缝即发展稳定，变化不大。

由于采用刀口诱导开裂，经过验证试验表明，裂缝基本上为直线，多数刀口上只有一条裂缝，个别刀口上有两条裂缝，一般情况下两条裂缝也基本上处于同一直线上，此时可将两条裂缝的长度分别测量后相加，折算成一条裂缝的长度。裂缝的宽度以最大宽度为准。

规定裂缝长度采用钢尺测量，裂缝宽度采用读数显微镜测量，显微镜放大倍数至少 40 倍。这种显微镜市场上容易采购，价格便宜，精度能够满足要求。

7 需要计算的开裂指标有 3 个，分别为：平均开裂面积、单位面积裂缝数目、单位面积总开裂面积。

9.0.4 本条规定了早期开裂试验结果计算及处理方法。

1 计算裂缝面积时，裂缝形状是近似按照三角形处理，故公式中有系数 $1/2$ 。

2、3 规定了单位面积裂缝条数和单位面积总开裂面积的计算公式。

4 一般采用单位面积上的总开裂面积来比较和评价混凝土的早期抗裂性能。

10 受压徐变试验

10.0.1 本条规定受压徐变试验的适用范围和目的。

10.0.2 本条规定了徐变试验仪器设备的有关要求。

1 规定了徐变仪的有关要求。

1) 徐变仪有多种形式。加载能力及稳定性是主要要求。

2) 国内外绝大多数采用弹簧持荷式徐变仪，经长期使用证明这种形式具有简单、可靠及占地少等优点，故在标准中予以采用。目前国内采用的弹簧持荷式徐变仪的具体结构、尺寸、层数有所不同，但只要构造及制作合理，测试的精度及准确性不会受明显影响。因此在本标准中不规定具体的构造形式和尺寸，只是对丝杆及弹簧做了一些规定。随着高强混凝土的应用，徐变仪的工作荷载范围要求提高。当需要测试高强度、大尺寸的试件时，徐变仪的工作荷载范围可能超过 800kN。

3) 对丝杆及弹簧所提出的要求是为了使徐变仪在整个试验过程中有较好的持荷及调整能力。为了减少徐变仪在试验过程中发生应力松弛，要求丝杆的工作应力尽可能低，弹簧的工作压力不应超过允许极限荷载的 80%。但也不得选用吨位过大的弹簧。如果加荷时弹簧的压缩变形太小（如 20mm 以内），则在试验过程中试件所产生的变形将会造成很大的应力损失。弹簧过硬，其调整能力就较差。

4) 规定了液压持荷部件的构成。

5) 国内一般最多串叠 2 个试件，ASTM 允许串叠 3~5 个试件。按照 5 个 300mm 高的试件串叠计算，并考

考虑上下两头的垫块高度，上下压板之间的总距离不得超过 1600mm。

2 规定了加荷装置的结构要求。加荷装置一般由加荷架、油压千斤顶、测力装置等组成。

3 规定了变形测量装置的要求。

变形测量一般以外装式（如带接长杆的千分表）或内埋式的量测装置为好。便携式的接触式引伸仪对仪器本身、测试人员的技术水平及测点的安装等都要求较高，使用时应予以注意。

变形测量装置的精度要求为 1.0×10^{-6} ，这比 ASTM、EN、JIS 草案提出的要求高，与水工混凝土试验规程的精度要求基本相同。原标准所提精度要求为 20×10^{-6} ，与 1985 年版 RILEM 的标准要求相同。随着应变测试仪器精度的提高，新的精度要求可以得到满足。

10.0.3 本条规定了受压徐变试验对试件的要求。

1 规定了试件的形状和尺寸。

1) 本标准中要求只采用棱柱体试件，这与 ASTM、EN、RILEM、JIS 和 DL/T 均要求或允许采用圆柱体试件有所不同。国内外标准中一般要求试件截面尺寸至少为粗骨料最大粒径的 3 倍，且不小于 100mm。建工行业一般采用 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 400\text{mm}$ 的试件。

2) 参考 ASTM C512 的规定，当试件叠放时，在每叠试件端头的试件和压板之间应加装一个辅助性混凝土垫块，以使得该叠试件的端部约束条件一致。

根据有关研究成果，棱柱体试件承压面约束区为距离端面 $a/2$ 的范围（ a 为试件边长），故规定试件长度应比测量标距长出一个截面边长。

2 规定了试件的数量要求。

1) 规定要同时制作至少 3 种试件：抗压试件、徐变试件、收缩试件，分别供确定荷载大小、测定徐变变

形和测定收缩变形之用。

- 2) 规定收缩试件应安装有与徐变试件相同的变形测量装置, 确保测量精度相同。
- 3 规定了制备试件的要求。
 - 1) 徐变试件受压面之间的平行度及受压面与纵向表面的垂直度对试件加载时的对中有明显影响, 为此需重视试模选择、成型、试件后处理等有关环节。
 - 2) 规定了角度公差。
 - 3) 规定了外装式应变测量装置对试件和试模的要求。
- 4 规定了试件养护和存放方式。
 - 1) 规定三种试件在相同条件下进行养护, 使三种试件条件一致。
 - 2) ~5) 原规程只规定了恒温恒湿(标准环境)这一种试件养护和存放方式, 国外标准一般给出 2~4 种方式, 《水工混凝土试验规程》(SL 352 和 DL/T 5150) 规定只采用基本徐变养护方式(绝湿徐变), 因为水工混凝土大多为大体积混凝土, 内部接近绝湿状态。本标准规定了四种养护和存放方式: 标准环境、绝湿环境、特定温度环境和其他条件。

对于在 3d 龄期加载的试件, 标养时间为 3d。对于在 7d 以上龄期加载的试件, 标养时间均为 7d, 其他时间都放在温度为 $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, 湿度为 $(60 \pm 5)\%$ 的环境中待试。

10.0.4 本条规定了受压徐变试验的程序和步骤。

1 规定了加荷龄期。

原标准中要求的加荷龄期为 7d、14d、28d、90d, ASTM 标准中要求的加荷龄期为 2d、7d、28d、90d 和 360d, 水工混凝土试验规程的要求与 ASTM 相近。由于近年来桥梁工程施加预应力的时间多为 (3~5) d, 建筑施工中拆模龄期也较 1980 年代时提前, 故宜增加一组早龄期加载的试件 (14d)。

2 规定了受压徐变试验的操作步骤和程序。

- 1)、2) 规定了徐变试件安装的准备工作。需要施加的徐变应力大小由棱柱体试件的抗压强度决定，故在徐变试件加载前，应先取得棱柱体抗压强度数据。
- 3) 原标准未要求覆盖参比用收缩试件的端部，本次修订参考 ASTM C512 - 2002 规定，增加了该项要求，以防止收缩试件端部失去水分。
- 4) 徐变试验加载过程中的荷载对中是整个试验过程的关键。如果对中所用时间太长或反复加卸荷的次数过多，都会使一部分徐变变形在测定初始变形值之前就发生，这对徐变变形的测值，尤其对早期徐变测值影响很大，还会导致徐变系数偏小。为了减少这部分变形损失，本标准在相当于棱柱体或圆柱体抗压强度的 8% 的低应力情况下对中，可将加载过程中产生的徐变变形控制在仪表的误差范围内。荷载到达徐变应力后虽然试件两个对侧的变形读数可能有差别，但其读数平均值基本不受两边受力不匀的影响。
- 5) 与国内外标准相比，原标准规定的观测频率最低，尤其是在第一周内和半年以后，其他标准一般要求第一周内每天读 1 次数，半年以后仍然每月至少读 1~2 次数。考虑到实际可操作性，保留了原标准规定的观测频次，但增加了 270d 龄期测量读数的要求。
- 6) 测量徐变试件变形时，应同时测读收缩试件的变形，计算徐变参数时需要用到收缩变形值。
- 7) 在进行试验设计和徐变仪选用时，应尽量考虑在整个试验过程中使荷载的损失小于规定的允许值。采用弹簧式徐变仪时，荷载的校核和补足可按以下步

骤进行：先记下螺母的初始位置，用千斤顶加荷至 75%徐变荷载，松开三个螺母，加荷到 100%徐变荷载，此时，如果左右两表读数之和与校核前测得的读数相差不超过规定数值，可把三个螺母拧回原位，使上压板保持原有的位置；如校核结果荷载有较大的变化，则应在千斤顶保持 100%徐变荷载的状态下，把三个螺母拧紧同样的角度，使上压板平衡向下压紧，松开千斤顶，检查千斤顶松开前后试件左右两表读数之和是否有显著差异，如差异过大，则应再次加压，调整螺母拧紧的程度。

随着现代混凝土强度等级的提高、徐变的减小，徐变试验过程中荷载的补足问题与以前相比没有那么麻烦，对于 C50 以上的混凝土，当徐变试验时间在一年左右时，一般不需要补足荷载。

10.0.5 规定了徐变试验结果计算及处理方法。

徐变试验通常会获得 3 个测试指标，徐变应变、徐变度和徐变系数。计算时应注意 3 个指标的数量单位。徐变应变、收缩率和初始应变等均精确到 0.001mm/m ，即 1.0×10^{-5} 。

11 碳化试验

11.0.1 本条规定了碳化试验方法的适用范围和目的。

混凝土抗碳化能力是耐久性的一个重要指标，尤其在评定大气条件下混凝土对钢筋的保护作用（混凝土的护筋性能）时起着关键作用。本标准规定的试验方法、步骤及参数是目前我国有关单位最常用的。

11.0.2 本条规定了碳化试验对试件的要求。

1 过去用立方体试件进行碳化试验，每个试件只能使用一次。现在不少单位都采用棱柱体试件。棱柱体试件碳化试验到一定龄期时从一端劈开试件测定碳化深度，然后用石蜡封头后还可以继续进行碳化试验。这样，由于在同一个试件上测量得到各龄期的碳化深度值，消除了因试件不同而形成的误差。

2 实际操作时立方体试件使用更方便，更容易得到，所以本标准规定也容许使用立方体试件，但因立方体试件只能使用一次，故其数量应该按照试验要求予以增加。

3 本标准规定，试件一般应在 28d 龄期进行碳化，但是掺粉煤灰等掺合料的混凝土水化比较慢，特别是大掺量掺合料混凝土水化更慢，如在 28d 就进行强制碳化，则混凝土掺合料后期的水化效果在很大程度上被排除，影响了对粉煤灰等掺合料的正确评价，在这种情况下，碳化试验宜在较长的养护期后进行。

4 碳化试验后混凝土断面上碳化层的界限是很不规则的，甚至是犬牙交错的，为了防止测量过程中人为因素的影响，标准规定在试验前即应画线，画线平行于试件长度方向，间距为 10mm，以定出测点位置，碳化到规定龄期破型后就按照预定的测点测量碳化深度。

11.0.3 碳化试验设备与原标准规定基本一致。目前市场上已经

有较成熟的碳化试验设备，而且我国已经有碳化试验设备的产品标准《混凝土碳化试验箱》JG/T247。

11.0.4 本条规定了碳化试验的步骤和程序。

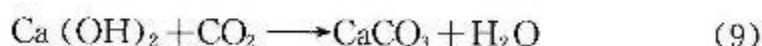
1 试件在碳化箱内放置应有一定间距，保证各试件的暴露面的碳化条件一致。

2 本标准采用在 $(20\pm3)\%$ 浓度的二氧化碳介质中进行快速碳化试验。其理由是：

1) 在 $(20\pm3)\%$ 浓度下混凝土的碳化速度，基本上保持自然碳化相同的规律，即 $x = \alpha\sqrt{t}$ 的关系。如浓度过高（如达到50%）则早期碳化速度很快，7d后速度明显减慢，碳化达到稳定。如浓度过低，如国外采用 $(1\sim4)\%$ 左右的浓度，这种情况与实际比较接近，但是碳化速度太慢，试验效率低。

2) 在 $(20\pm3)\%$ 浓度下碳化28d，大致相当于在自然环境中50年的碳化深度，与一般耐久性的要求相符合。

碳化试验时，湿度对碳化速度有直接影响。湿度太高，混凝土中部分毛细孔被自由水所充满，二氧化碳不易渗入，因此试验中采用比较低的湿度条件。但是，混凝土的碳化过程是一个析湿的过程：



尤其在碳化的前几天，析出的水分较多。因此要求试件在进入碳化箱前应在 60°C 下烘干48h，以利于前几天箱内的湿度控制。

本标准规定的碳化试验的温度条件为 $(20\pm2)^\circ\text{C}$ ，比原标准规定的 $(20\pm5)^\circ\text{C}$ 要严格。由于温度对混凝土碳化速度有很大影响，温度高，碳化速度快。目前的碳化试验设备可以满足该温度要求。

3 由于温度、湿度和二氧化碳的浓度条件对碳化结果影响很大，故本标准规定应经常监测碳化试验设备的温度、湿度和二

氧化碳浓度的变化情况。目前的碳化设备可自动调节温度和二氧化碳浓度等条件，但对湿度条件还应进行人工干预。目前一般采用硅胶做干燥剂来控制湿度，也可以采用其他更好的方式来控制湿度。

4 规定了不同形状和尺寸试件的碳化深度检查方法。碳化试验一般在碳化进行到 3d、7d、14d、28d 龄期时测量试件的碳化深度。试件破型可根据条件采用劈裂法和干锯法。

5 碳化深度一般采用 1% 酚酞酒精溶液做指示剂来测定。酚酞指示剂与未碳化的混凝土碱性孔溶液反应变成红色，测量靠近边缘不变色部分的深度即为碳化深度。

11.0.5 本条规定了碳化试验结果计算和处理方法。

1 碳化试验结果常用两个指标来表示，即平均碳化深度和碳化速度系数。碳化速度系数实际上只代表在该试验条件下的碳化速度与时间的平方根关系式中的系数，从数量上等于一天的碳化深度，由于这个系数实际使用价值不高，而且计算准确性也差，不如直接用 28d 的碳化深度来表示比较直观，因此，在本标准中只考虑一种表达形式，即碳化深度。

测量时一般可选取 8~9 个测点进行测量，取各测点碳化深度的平均值作为该试件碳化深度测定值。

2 规定以碳化进行到 28d 的碳化深度结果作为比较基准。以 3 个试件碳化深度平均值作为该组混凝土试件碳化深度的测定值，用于对比各种混凝土的抗碳化能力以及对钢筋的保护作用。

3 规定应按照国家不同龄期的碳化深度绘制碳化深度与时间的关系曲线，用于反映碳化的发展规律。

12 混凝土中钢筋锈蚀试验

12.0.1 本条规定了混凝土中钢筋锈蚀试验的适用范围和目的。

本标准只规定了一种测量混凝土中钢筋锈蚀的试验方法，即直接破型测量钢筋质量损失的方法。本试验方法适合于大气条件下钢筋的锈蚀试验，以对比不同混凝土对钢筋的保护作用。不适用于含氯离子等侵蚀性介质环境条件下钢筋锈蚀试验。

我国常用的钢筋锈蚀测量方法有两种：一是直接测量被检钢筋的锈蚀面积及失重情况；二是测量钢筋在电化学过程中的极化程度，并根据所测量得到的极化曲线来判别钢筋有无锈蚀情况。鉴于后者只适用于溶液及水泥砂浆（未硬化或已硬化）中钢筋锈蚀的定性检验。混凝土中钢筋锈蚀的极化试验虽然做过一些尝试，尚需要进一步完善和改进，故本标准只采用破型直接检验钢筋质量损失的试验方法。

12.0.2 本条规定了试件的制作和处理要求。

1 规定了钢筋锈蚀试验的试件尺寸和数量。

2 规定了钢筋锈蚀试验用钢筋的规格、尺寸、数量及处理方式。由于锈蚀产物的质量与钢筋本身质量相比较小，故称量时应非常小心，称量仪器的精度至少应达到 0.001g。

3 制作试件时钢筋的定位非常重要，钢筋定位不准确，则试验结果不准确，因此实际操作时应小心谨慎。同时保持钢筋干净不被污染也非常重要。钢筋一旦被污染，将影响锈蚀速率，得到的试验结果就不准确。

4 试件成型后一般经过三个步骤的处理：一是在成型室养护 24h 后拆模；二是拆模后在端部刷毛，涂上不小于 20mm 厚的保护层砂浆；三是涂上保护层砂浆后的试件要经过潮湿养护 24h 后再移入标准养护室继续养护至 28d 龄期。要求端部砂浆的

水灰比小于试件混凝土的水灰比，以保证其护筋和密封性能。

12.0.3 本条规定了混凝土中钢筋锈蚀试验有关设备和装置的要求。

1 由于本试验方法主要针对碳化引起的钢筋锈蚀，因此试件应先经过碳化。碳化所用的设备与混凝土碳化试验所用的设备完全相同。

2 规定了钢筋定位板的材质、尺寸等要求。

3 称量设备最好是电子秤，其操作较方便。

12.0.4 本条规定了混凝土中钢筋锈蚀试验的步骤和程序。

1 鉴于碳化是引起钢筋锈蚀的主要因素之一，一般混凝土在未碳化前能很好地保护钢筋。只有碳化达到钢筋表面以后，钢筋才开始锈蚀。为了在钢筋锈蚀试验中考虑这一重要影响，本标准规定钢筋锈蚀试件首先应经过 28d 碳化处理，也即大概相当于自然放置 50 年，再进行锈蚀试验。

2 钢筋锈蚀的加速锈蚀方法是一个比较关键的问题。我国曾经试验过多种加速钢筋锈蚀的方法，并认为用干湿循环法比较简单方便，但在近几年的实践中，发现干湿循环法也有不少缺点，其中：

- 1) 加热干燥时烘箱的损坏率太高，如采用常温干燥则周期太长；
- 2) 干湿循环本身对混凝土也是一个严峻的考验，有时候会出现顺钢筋位置的纵向裂缝，此时混凝土失去对钢筋的保护作用，试验只能作废；
- 3) 在浸泡过程中往往会使混凝土中一些易溶成分渗出（例如氯离子），这就影响了测试的准确性。

因此有些单位建议改用标准养护代替干湿循环，这样可以节省劳动力，并有利于保持试验条件的一致性。由于标准养护条件下钢筋锈蚀的发展比干湿循环的要慢（根据一些单位的反映试验周期需要延长一倍），因此本标准规定标养 56d 后破型查锈。由于混凝土在饱水情况下氧气不易渗入，钢筋锈蚀的速度反而会降

低，因此规定试件在标准养护室内应避免直接淋水，放置试件的格架应带有顶棚以阻挡养护水喷在试件上。

3 由于测量钢筋锈蚀程度采用酸洗的方法，而酸对未锈蚀的钢筋也会有一定破坏，为了避免酸洗本身带来的影响，本次修订时增加了用相同材质的未锈蚀钢筋来作为基准校正。

12.0.5 本条规定了试验结果的计算和处理方法。

钢筋锈蚀的试验结果有多种表示方法，本标准仅采用钢筋失重率作为表达指标。钢筋锈蚀面积表达法在锈蚀不大时很难分清锈蚀和未锈蚀的界限，而锈蚀严重时，却又不能反映它们程度上的差别，因此本标准未将锈蚀面积作为钢筋锈蚀的指标。

本标准对钢筋锈蚀失重率试验结果计算公式进行了修正。增加了测量基准校正钢筋质量的程序，以补偿因酸洗造成对钢筋未锈蚀部分的质量损失。

13 抗压疲劳变形试验

13.0.1 本条规定了抗压疲劳变形试验的适用范围和目的。

混凝土的抗压疲劳性能是混凝土的一项重要性质，但如何正确评价就成为一个难题。原有的疲劳试验方法（GBJ 82-85）采用混凝土的抗压疲劳强度来评价混凝土的疲劳性能。在中国铁道科学研究院等单位长期的试验过程中发现，该方法存在一定的缺陷，因此在此次修订时进行了改进。

在重复荷载作用下混凝土的纵向变形的变化规律可分为三个阶段，如图 1 所示。图中横坐标为重复荷载循环次数 N ，纵坐标为纵向应变 ϵ 。在第一阶段开始时，混凝土的纵向总应变发展较快，随后其增长速率逐渐降低，当纵向应变达到 $\epsilon'_{\max}$ 时，第一阶段结束。第一阶段大约占总疲劳寿命的 10% 左右。在第二阶段，混凝土的纵向总应变增长速率基本为一定值，混凝土的纵向总应

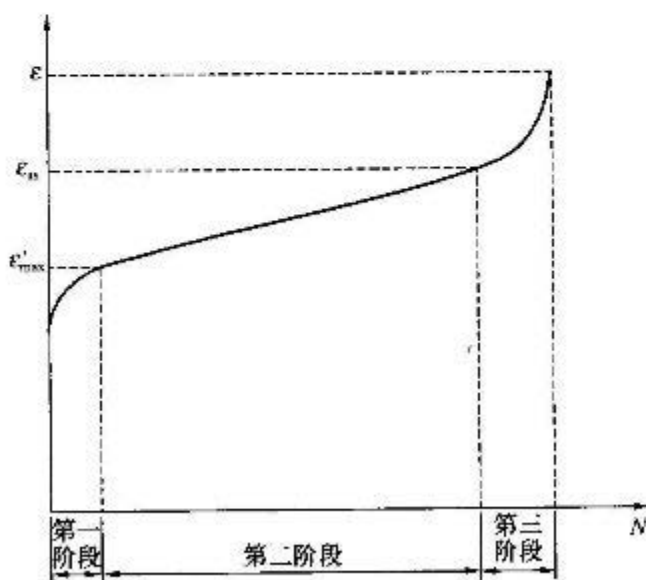


图 1 纵向应变随荷载重复次数的变化规律

变及纵向残余应变随荷载重复次数的增加基本呈线性规律变化，这一阶段占总疲劳寿命的 75% 左右。进入第三阶段后，混凝土的纵向总应变及残余应变发展很快，混凝土进入失稳破坏。我们称第三阶段开始时的混凝土纵向应变为混凝土失稳临界应变，以符号 ϵ_{us} 表示。这一阶段大约占混凝土总疲劳寿命的 15% 左右。

混凝土在重复荷载作用下，内部微裂缝和损伤的发展也可分为三个相应的阶段。第一阶段为混凝土内部微裂缝形成阶段。由于混凝土内部的薄弱环节存在，在这一阶段中，随着荷载重复次数的增加，在水泥和粗骨料结合处及水泥砂浆内部薄弱区迅速产生大量微裂缝，这表现在开始几周荷载重复时，混凝土的纵向残余变形和总变形发展较迅速，但随着重复次数的进一步增加，每周荷载循环形成的新裂缝的数目在逐渐减少，混凝土内部薄弱区域形成微裂缝的过程已趋近于完成。这些已形成的微裂缝由于遇到其他骨料和水泥石的约束，不能迅速发展，在宏观上表现为混凝土应变增长速率逐渐降低。当混凝土内部应力高度集中的薄弱区域和微裂缝形成基本完成后，混凝土的疲劳损伤进入占疲劳寿命绝大部分的损伤发展的第二阶段，即线性损伤随荷载重复次数的增加而线性增加。在此阶段，已形成的裂缝处于稳定扩展阶段。此时的线性累积损伤主要是在水泥砂浆中形成新的微裂缝中的累积。随损伤累积的增长，水泥砂浆的断裂韧度不断降低，当损伤达到一定程度后，这些微裂缝达到临界状态，从而导致裂缝的不稳定扩展，使疲劳损伤进入迅速增加的第三阶段。在这一损伤阶段，混凝土的超声波传播速度急剧降低，波幅急剧衰减，试件表面可以见到明显裂缝。

根据以上分析可知，混凝土的疲劳破坏是由于骨料和砂浆间的粘结裂缝和砂浆内部的微裂缝贯穿而形成连续的、不稳定的裂缝而引起的，这与混凝土的静载破坏机理是一致的。Wittmann 和 Zaitsea 认为，对于给定材料，当该材料内部的裂缝长度达到临界长度后，这一裂缝将发生不稳定扩展，而和所施加的荷载种类和荷载历程无关。根据这一观点，可以认为，对混凝土材料而

言，当混凝土内部裂缝发生不稳定扩展时，该裂缝的临界长度是一定的。这一临界长度取决于混凝土材料的性质。因此，当内部裂缝不稳定扩展时，由这些微裂缝导致的混凝土纵向应变是相同的，是混凝土的材料常数，和加载历史无关，即混凝土疲劳破坏时混凝土的纵向应变是相同的。混凝土疲劳破坏试验结果充分证明了这一结论的正确性。

由于混凝土内部裂缝失稳扩展时的裂缝临界长度及此时的混凝土纵向总应变和加载历史无关，对一次加载而言，超过裂缝临界长度和纵向总应变后，混凝土的纵向总应变迅速增加。对疲劳破坏而言，当超过这一数值后，随荷载作用次数的增加，混凝土纵向应变急剧增加，试件表面可见明显的沿加载方向的纵向裂缝，试件很快发生破坏，所以我们可以取裂缝失稳扩展时的临界裂缝长度或此时混凝土的纵向总应变作为判断混凝土破坏的疲劳破坏准则。由于裂缝失稳扩展时的临界裂缝长度较难确定，故取失稳扩展时混凝土的纵向总应变作为混凝土的疲劳破坏准则。这一结论和 Jan. Ove. Holmen 给出的“可以利用混凝土极限应变作为混凝土的疲劳破坏准则”是一致的。

基于上述论述，铁道科学研究院提出了以混凝土轴心受压重复应力下的混凝土纵向疲劳变形增量达到 $0.4f_c/E_c$ 作为混凝土疲劳失效的判据，其中 f_c 为混凝土的静载轴心抗压强度， E_c 为混凝土的原点切线弹性模量。

虽然可采用测量极限应变从而得到混凝土的极限疲劳性能，但由于疲劳变形增量限值的取值目前尚未有统一的认识，因此在本标准中不作规定，仅提供一种测量混凝土疲劳变形的办法，为今后进一步完善该方法提供数据。

13.0.2 本条规定了抗压疲劳变形试验的有关设备要求。

1、2 疲劳试验机与原标准规定相同。

3 由于本次修订后的疲劳试验从测试抗压疲劳强度改为测试抗压疲劳变形，因此，试验设备除了疲劳试验机外，增加了变形测量装置。变形测量装置要求在疲劳试验过程中具有较好的

精度。

13.0.3 本条规定了疲劳试验应采用 6 个试件为一组, 其中 3 个做变形试验, 另外 3 个做轴心抗压强度。原标准规定测试疲劳抗压强度时规定用 9 个试件, 其中 3 个做抗压强度试验, 另外 6 个做抗压疲劳试验。由于测试指标和测试方法已经改变, 试验过程已经不像抗压疲劳强度那样需要逐个进行初试, 所以试件数量也可减少了。

13.0.4 本条规定了抗压疲劳变形试验步骤和程序。

1 由于疲劳试验所持续的时间较长, 为了减少第一个进行试验的试件与最后一个进行试验的试件因试验开始时间不同引起试验误差, 标准规定试件应在室温(20 ± 5) $^{\circ}\text{C}$ 下存放 3 个月龄期才开始进行试验 (不要求在标准养护室继续存放)。

2 用 3 块试件先确定轴心抗压强度, 作为抗压疲劳变形试验确定荷载的基准。注意测轴心抗压强度时, 试件龄期为 3 个月。

3 疲劳变形试验的试件对中很重要, 实际操作时需仔细。因为疲劳试验与静力试验不同, 试件内部应力调整能力比较低, 因此在进行疲劳变形试验时要求对试件进行物理对中 (受力情况下进行对中)。原标准采用一次对中的方式, 本次修订改成两次对中, 以保证对中效果。

4 规定了抗压疲劳变形试验的脉冲频率、上下限应力。

在等幅应力循环次数为 2×10^6 时, 对于疲劳试验的上下限应力, 不同的国家和标准作出了不同的规定, 铁道科学研究院在其研究的基础上提出了相应的混凝土应力上下限水平, 如表 5 所示。

表 5 在应力下限不同时不同文献中对混凝土应力上限水平的规定

设计规范或文献	混凝土应力下限水平 ($\sigma_{\min}/f_c$)					
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
铁道科学研究院建议	0.62	0.66	0.70	0.73	0.77	0.81

续表 5

设计规范或文献	混凝土应力下限水平 ($\sigma_{\min}/f_c$)					
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
美国 ACI215 委员会建议	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.70
前苏联 СНиП2、05、03 规定	0.63	0.65	0.68	0.72	0.74	0.76
文献 1 (日本)	0.57	0.64	0.69	0.74	0.79	0.83
文献 2 (日本)	0.63	0.67	0.70	0.74	0.76	0.81
我国原 TJ 10-74 规定	0.55	0.56	0.62	0.68	0.74	0.79

从表可以看出,各设计规范和文献中提出的混凝土应力上下限水平差别并不大,本标准的修订采用了铁道科学研究院建议的值,即疲劳的上限应力取 $0.66f_c$,下限应力取 $0.1f_c$ 。(其中 f_c 表示混凝土的轴心抗压强度)。在有特殊要求时,上限应力和下限应力可根据要求按表选定。

5 为了简化试验,本标准取一种疲劳循环次数(200 万次)作为试验的基础。这与钢筋混凝土设计规范疲劳折减系数的取值原则基本上是一致的,也和目前钢材疲劳试验所采用的循环次数相同。

虽然 200 万次疲劳试验对混凝土来说可能没有达到稳定,且以后随着疲劳次数的增加其变形还会增加,但增加的幅度减慢了。虽然有些设计规范中还要求疲劳次数有更高的性能指标(如 700 万次),但要做一个 700 万次的疲劳试验需要试验机不断地运行 20d 左右,试验周期太长,不宜作为试验的基础。而 200 万次试验,大概需要试验机连续运行 6d 左右。

13.0.5 本条规定了抗压疲劳变形试验结果的计算和处理方法。

14 抗硫酸盐侵蚀试验

14.0.1 本条规定了抗硫酸盐侵蚀试验方法的适用范围、目的和评价指标。

混凝土在硫酸盐环境中，同时耦合干湿循环条件的实际环境经常遇到，硫酸盐侵蚀再耦合干湿循环条件对混凝土的损伤速度较快，故规定本试验方法适用于处于干湿循环环境中遭受硫酸盐侵蚀的混凝土抗硫酸盐侵蚀试验，尤其适用于强度等级较高的混凝土抗硫酸盐侵蚀试验。评价指标为抗硫酸盐等级（最大干湿循环次数），符号采用汉语拼音的首字母 KS 来表示。

14.0.2 本条规定了抗硫酸盐侵蚀试验所用的试件要求。

1 尺寸为 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的立方体混凝土试件可以测量抗压强度指标，尺寸为 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 400\text{mm}$ 的棱柱体试件可以测量抗折强度指标，虽然在硫酸盐侵蚀试验中，抗折强度指标比抗压强度指标敏感，但抗压强度指标对结构受力计算和设计更有意义，且抗折强度试验结果离散性大，试验误差大，设备要求较高，操作不便，故本标准规定采用尺寸为 $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的立方体混凝土试件来进行抗硫酸盐侵蚀试验。

2 规定了混凝土取样、试件的制作和养护要求。

3 试件的数量应根据设计的抗硫酸盐等级来选择。

14.0.3 本条规定了抗硫酸盐侵蚀试验设备和试剂的有关要求。

1 国内用于硫酸盐侵蚀试验的干湿循环试验设备已经开发成功，经过试验验证表明其性能稳定，能够节省人力，减轻劳动强度，试验结果可靠，故本标准规定优先采用能够自动进行干湿循环的设备。

2 考虑到有些单位进行抗硫酸盐侵蚀试验的试验量可能不

大，故本标准规定也可以采用一般的烘箱进行非自动干湿循环试验。27L 溶液一般可供 3 组试件试验。

3 规定了抗硫酸盐侵蚀试验需要的试剂的要求。

14.0.4 本条规定了抗硫酸盐侵蚀试验步骤和程序。

1 抗硫酸盐侵蚀试验的龄期规定为 28d。设计另有要求时按照设计规定龄期进行试验。由于混凝土掺入粉煤灰等掺合料后，混凝土抗硫酸盐侵蚀能力一般都会有所提高，而掺合料发挥作用通常需要较长龄期，因此对于掺入较大量掺合料的混凝土，其抗硫酸盐侵蚀试验的龄期可在 56d 进行。

因试件为标准养护，试件内含水率通常较高，需要先进行干燥才能进行抗硫酸盐侵蚀试验。干燥的时间规定为 48h。干燥温度以能够去除大部分毛细水分为原则。温度太高，则损伤试件或者去除了部分结合水，温度太低则速度慢、不能去除大部分毛细水分、且试验效率低。本标准规定干燥温度为 $(80 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 。

2 试件在干湿循环试验设备中应有一定间距，保证试件各表面能够有充足的溶液浸泡。

3、4 试件浸泡、放入溶液、排出溶液的总时间为 16h。本标准规定试验过程中应定期（一般为 15 个循环）测试一次溶液的 pH 值，始终维持溶液的 pH 值在 6~8 之间。这是因为刚开始试验时，试件中渗出物质较多，可能引起溶液 pH 值变化，影响试验结果。在后期，试件中的物质与溶液中物质处于平衡状态，溶液 pH 值变化较小，故试验初期应经常检查溶液的 pH 值，后期检查的间隔时间可以较长。溶液的 pH 值可以采用 1mol/L 的 H_2SO_4 溶液进行调节。

由于定期检测溶液的 pH 值操作比较麻烦，做相对比较试验时也可以不检测溶液的 pH 值，而是采取定期（通常为 1 个月）更换溶液的方法，保持溶液中的硫酸盐浓度维持基本不变。国内研究表明，这样做对试验结果影响不大。

5、6 规定了试件烘干温度为 $(80 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ ，烘干时间为 6h，冷却时间为 2h，烘干和冷却总时间共 8h。

7 一个干湿循环的总时间为 (24 ± 2) h。这样便于计算时间和安排试验。

8 规定应按照设计需要或者表 14.0.2 要求进行中间检查和测试。

9 规定了抗硫酸盐侵蚀试验结束的三个条件：抗压强度耐蚀系数达到 75%、干湿循环试验达到 150 次或者达到设计规定的指标。三个指标只要有一个达到即可结束试验。

大量试验研究结果表明，当抗压强度耐蚀系数低于 75%，混凝土遭受硫酸盐侵蚀损伤就比较严重了。当干湿循环次数达到 150 次时，如果各种指标均表明混凝土硫酸盐抗侵蚀能力较好，则可以停止试验。验证试验表明，混凝土在硫酸盐溶液中进行干湿循环试验时，多数情况下试件的质量是增加的，即使质量减少，也很难达到 5% 的质量损失率要求，因此本标准未采纳其他标准和资料中推荐的质量损失率和质量耐蚀系数指标。

14.0.5 本条规定了抗硫酸盐侵蚀试验结果的计算和处理方法。

15 碱-骨料反应试验

15.0.1 本条规定了碱-骨料反应试验方法目的和适用范围。

本方法主要参考加拿大《Test Method for Potential Expansive of Cement-aggregate Combination (Concrete Prism Expansion Method)》CAN/CSA-A23.2-14A:2004 方法编写而成。也参考了欧洲材料与结构试验联合会 (RILEM) 下属的碱-骨料反应与预防委员会 (TC 191 ARP) 提出的混凝土棱柱体试验法 (AAR-3), 适用于检测骨料的碱活性。试验中把混凝土棱柱体在温暖潮湿的环境中养护 12 个月, 以此种严酷条件激发骨料潜在的碱-骨料反应 (Alkali-Aggregate Reacting, AAR) 活性。我国《水工混凝土试验规程》SL 352-2006 中的碱-骨料反应 (混凝土棱柱体法) 也是根据相同的加拿大标准来制定的 (版本不同而已)。

鉴于碱-骨料反应病害对混凝土耐久性的深重影响, 以及《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》中为预防碱-骨料病害已列入“砂浆长度法”、“快速砂浆棒法”和“岩石柱法”等检测骨料碱活性的方法, 在《普通混凝土长期性能与耐久性试验方法标准》中有必要列入“混凝土棱柱体法”, 即用混凝土试件检测骨料碱活性的方法, 以进一步完善我国检测混凝土骨料碱活性的试验方法系列, 有利于更好地预防混凝土碱-骨料反应病害。

碱-骨料反应已给世界许多国家造成了重大损失, 经验教训告诉我们: 对付碱-骨料反应重在预防。若等工程结构出现 AAR 病害再去治理, 往往难以处理, 且花费巨大。

从国内各部门的标准中已看出, 从原来只有骨料活性的鉴定标准, 向前发展了一个层次, 出现了评价掺合料抑制碱-硅反应的试验方法标准, 这有非常现实的意义, 因我国活性骨料分布很

广，而工程建设量在很长一个时期内将保持世界第一的规模，将来不可避免地会把活性骨料（或潜在活性骨料）用于工程建设，如何评价抑制 AAR 的措施具有重要意义。目前我国结合一些重大工程刚开始这方面的工作。从国际水平看，应向更高一层的标准看齐，即着眼于建立预防 AAR 的综合体系，并制订相应的试验方法标准。

现在修订 GBJ 82-85，加入了有关碱-骨料反应的混凝土试验方法，以推动以下三方面的工作：

(1) 提高 AAR 试验水平。如前所述，过去我们的工作偏重于砂浆棒法试验（20 世纪末以前主要是 40℃ 的传统砂浆棒法，之后是 80℃ 的快速砂浆棒法），与工程实际情况中间差一环：混凝土棱柱体试验。目前我国用此方法做出的试验数据极少，仅在某些大工程，如三峡大坝检测骨料活性时应用了此方法与其他方法对比。而目前国际上的测长试验，首先看有没有混凝土试验数据，若没有再考虑砂浆棒试验法的结果，因为前者与工程实际最为接近。我国幅员辽阔，骨料情况复杂，理应尽快建立各地骨料的混凝土棱柱体膨胀数据，避免单纯使用砂浆棒法可能带来的不良后果，重蹈发达国家覆辙。

(2) 为建立预防 AAR 综合体系打好试验基础。从判断骨料碱活性的试验方法，到判断工程是否发生有害碱-骨料反应，都应使用混凝土棱柱体法，这是国外的一致趋势。我国目前一些评价掺合料抑制 AAR 的试验标准，多以快速砂浆棒法为主，还有小混凝土柱法，与国际上公认的棱柱体法缺乏可比性。况且抑制 AAR 的方法还有限制碱含量、使用特种外加剂等，若仅用快速砂浆棒法，不易科学评价其效果。今后无论检测骨料活性，还是判断某一工程是否存在 AAR 风险，除参照既有标准进行试验外，均应大量进行混凝土棱柱体试验。

(3) 完善我国混凝土长期性能和耐久性能的试验方法体系。作为长期性能和耐久性能试验，国外的混凝土棱柱体试验一般 1~2 年，有的长达 10 年以上，这些数据为工程决策提供了宝贵

参考依据。我国一些重大工程，如跨海公路桥梁、高速铁路桥梁、大坝等，已提出使用寿命 100 年的要求。若仅使用 2~4 周的砂浆棒试验评价 AAR 风险显然是不够的，必须针对实际工程的混凝土配合比，及早进行长期的混凝土试验，为评价长期的 AAR 风险提供可靠依据。

本次标准修订时引入的混凝土碱-骨料反应试验方法主要通过检测在规定的时间内、湿度和温度条件下，混凝土棱柱体由于碱-骨料反应引起的长度变化，该法可用来评价粗骨料或者细骨料或者粗细混合骨料的潜在膨胀活性。也可以用来评价辅助胶凝材料（即掺合料）或含锂掺合料对碱-硅反应的抑制效果（但需要进行为期 2 年的试验）。由于本试验方法采用的是混凝土试件，故将其归入混凝土耐久性试验方法。

使用本方法时，应注意区分碱-骨料反应引起的膨胀和其他原因引起的膨胀，这些原因可能有（但不限于）以下几种：

- 1 骨料中存在诸如黄铁矿、磁黄铁矿和白铁矿等，这些矿物可能会氧化并水化后伴随膨胀发生，或者同时产生硫酸盐，引发硫酸盐对水泥浆体或者混凝土的破坏。

- 2 骨料中存在诸如石膏的硫酸盐，引发硫酸盐对水泥浆体或者混凝土的破坏。

- 3 水泥或者骨料中存在游离氧化钙或者氧化镁，其可能不断水化或者碳化伴随发生膨胀，导致水泥浆或者混凝土的破坏。钢渣中存在游离氧化钙和氧化镁，其他骨料中也可能存在。

但使用本方法判断骨料具有潜在碱活性时，应进行其他补充试验以确定该膨胀确实由碱-骨料活性所致。补充试验可以在试验完毕后通过对混凝土试件进行岩相分析检测，以确定是否有已知的活性组分存在。

15.0.2 本条规定了混凝土碱-骨料反应试验需要的仪器设备。

- 1 规定了筛孔的公称直径。

- 2 规定了称量设备的要求。

- 3 原加拿大标准规定的试件长度可以在 (275~405) mm

之间变化，为简化和统一标准起见，本标准统一规定试件长度为 275mm。

4 加工的测头应采用不锈钢制作，以能重复使用，测头（埋钉）是重要部件，应与试模高度匹配。

5 规定了测长仪的量程和精度。

6 规定了养护盒的要求。市场上已经有将养护盒和养护箱做成一体的碱-骨料反应试验设备。这类设备可以满足本标准提出的有关试验要求。

15.0.3 本条规定了碱-骨料反应试验步骤和程序。

1 规定了制备试件所用原材料的要求。

1) 规定了所用水泥应是高碱水泥，我国北方地区许多水泥碱含量超过 0.6%，但不一定到 0.9%，可选取一些碱含量较高的厂家生产的水泥，并需用 NaOH 调整碱含量至 1.25%，主要目的是激发和加速可能的 AAR 反应，这并非针对现场情况。由于碱含量为 0.9% 的水泥不一定在每个地方都能够找到，故规定为“宜”采用碱含量为 0.9% 的水泥，允许有一定选择。

将水泥碱含量从 0.9% 调整到 1.25% 的计算实例如下：

因单方混凝土水泥用量为 $420\text{kg}/\text{m}^3$ ，则混凝土中的碱含量为 $420 \times 0.9\% = 3.78\text{kg}$ ；

混凝土中需要达到的碱含量为： $420 \times 1.25\% = 5.25\text{kg}$ ；

二者的差 1.47kg 即为应该加到拌合水中的碱含量（以当量计）。

将 Na_2O 转化为 NaOH 的因子计算： $\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH}$
分子量： $\text{Na}_2\text{O} = 61.98$ ， $\text{NaOH} = 39.997$ ；

则转换因子为 $2 \times 39.997 / 61.98 = 1.291$

需要增加的 NaOH 为 $1.47 \times 1.291 = 1.898\text{kg}/\text{m}^3$ 。

2) 原加拿大标准 CAN/CSA23.2-14A 规定试验用粗骨料由粒径为 (20 ~ 14) mm、(14 ~ 10) mm 和

(10~5)mm的骨料按照相同的质量比例组成。而我国水利标准《水工混凝土试验规程》SL 352-2006规定的筛孔直径分别为20mm、15mm、10mm、5mm。但根据新修订的《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52-2006,砂石筛已经由圆孔筛改成方孔筛,因此严格说来就没有“孔径”一词了。但为了保持标准延续性,修订的标准保留了筛孔的“公称直径”说法。砂筛的公称直径分别为5.00mm、2.50mm、1.25mm、630 μ m、315 μ m、160 μ m、80 μ m。石筛的公称直径分别为2.50mm、5.00mm、10.0mm、16.0mm、20.0mm、25.0mm、31.5mm、40.0mm、50.0mm、63.0mm、80.0mm、100mm等。因此本标准规定筛孔的公称直径分别为5.00mm、10.0mm、16.0mm、20.0mm,相当于方孔筛的边长分别为4.75mm、9.5mm、16mm、19mm。所以,无论从公称直径还是方孔筛边长来说,都已经没有水工标准列出的15mm档次,也没有加拿大标准列出的14mm档次。故本标准将粗骨料粒级调整为(20~16)mm、(16~10)mm和(10~5)mm三种粒级等量组成。

有关石筛筛孔和颗粒级配的规定可参考本标准中3.2节的条文说明。

如果20mm筛上的骨料质量分数(筛余)大于15%,则应将筛余部分破碎使其能够通过20mm筛。如果被试验的粗骨料最大公称粒径为16mm,则最后被试验的骨料由(16~10)mm、(10~5)mm组成。

- 3) 规定水灰比范围为0.42~0.45,水灰比允许在此范围内调整,目的是为了使混凝土获得足够的工作性以保证混凝土在模具内能够成型密实。水泥用量固定为 $(420\pm 10)\text{kg/m}^3$,以保证混凝土强度等指标基

本一致。

混凝土除了使用 NaOH 调整碱含量外，不得再使用其他外加剂，以控制碱含量在规定的范围内并避免其他因素对试验结果的干扰。

2 规定了试件的制作步骤和程序。

- 1) ~4) 与一般混凝土成型方法基本相同。因混凝土拌合物没有加其他外加剂，不同骨料组成的拌合物工作性可能有些差距，此时可通过适当调整水灰比（在本标准规定的范围内）来达到工作性要求。成型时应仔细，确保混凝土密实，表面平整。试件成型后的养护温度和湿度与等同采纳的标准略有区别，加拿大规定的温度为 $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ ，即 $(21 \sim 25)^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 100%。为适应我国试验条件，将养护温度改成 $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ ，即 $(18 \sim 22)^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 95% 以上。两种养护条件基本相同。

3 规定了试件的养护及测量步骤。

- 1) 因试件中埋有测头，拆模时需要特别小心，避免损坏测头与试件之间的粘结。初始长度测量要及时，防止试件干燥。
- 2) 规定了测量长度的操作应在恒温室进行。
- 3) 初始长度测量完成后，试件的养护条件就改变了。由标准养护变成为在 $(38 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的条件下养护，而且是放在养护盒中。
- 4) 由于养护盒的温度与恒温室的温度不同，每次将试件从养护盒中取出来测量长度时，应先在恒温室进行温度调制，即在恒温室放置 24h。每次测量完毕，应将试件掉头放入养护盒中，以便试件两端都处于基本相同条件。注意测量长度的龄期是以测量完基准长度开始计算。

- 5) 长度测试周期全部结束后,可以辅以岩相分析,以观察凝胶孔中物质、骨料粒子周边的反应环、水泥浆和骨料中微裂缝等,作为发生碱-骨料反应的判断指标。岩相分析也可以辨别岩石品种。

4 规定碱-骨料反应试验的结束条件。结束条件有两个,一是52周的膨胀率达到0.04%;二是试验时间达到52周。二者之一得到满足即可停止试验。

15.0.4 本条规定了试验结果的计算和处理方法。

1、2 计算试件膨胀率时,应注意标距是不含测头长度的。

3 试验精度分两种情况来规定。膨胀率较小时,规定膨胀率极差(单个试件膨胀率最大值与最小值之差)应小于0.008%。膨胀率较大时,规定膨胀率相对偏差不超过40%。

美国和加拿大,用一年膨胀率达到0.04%作为判断骨料是否具有潜在危害性反应活性的骨料。当混凝土试件在52周或者一年的膨胀率超过0.04%时,则判定为具有潜在碱活性的骨料;当混凝土试件在52周或者一年的膨胀率小于0.04%时,则判定为非活性的骨料。

试验时间达到52周以后,也可以根据研究需要或者其他试验目的,继续进行试验到设定龄期,如2年等。如要判断掺合料等对碱-骨料反应的抑制效果,通常需要进行2年以上的试验。



1 5 1 1 2 1 7 8 2 8

统一书号: 15112 · 17828
定 价: 28.00 元