

附录 A 混凝土氯离子扩散系数快速测定的 RCM 方法

根据德国 Aachen 工业大学建筑材料研究所 (IBAC, RWTH Aachen) 按照唐路平提出的快速氯离子迁移法 (RCM) 作局部修改后的试验方法——ibac test, 测定混凝土中氯离子非稳态快速迁移的扩散系数。

A.1 试验目的

定量评价混凝土抵抗氯离子扩散的能力, 为氯离子侵蚀环境中的混凝土结构耐久性设计与施工以及使用寿命的评估与预测提供基本参数。

A.2 适用范围

本试验方法适用于集料最大粒径不大于 25mm (一般不宜大于 20mm) 的试验室制作的或者从实体结构取芯获得的混凝土试件, 试验数据可以用于氯离子侵蚀环境耐久混凝土的配合比设计和混凝土质量检验的评定依据, 也可按 DuraCrete 提出的方法用于结构使用寿命的评估。

A.3 试验设备和化学试剂

- (1) RCM 测定仪 (图 A.3)。
- (2) 含 5% NaCl 的 0.2 mol/L KOH 溶液; 0.2 mol/L KOH 溶液。
- (3) 显色指示剂; 0.1 mol/L AgNO₃ 溶液。
- (4) 水砂纸 (200 号 ~ 600 号); 细锉刀; 游标卡尺 (精度 0.1mm)。
- (5) 超声浴池; 电吹风 (2000W); 万用表; 温度计 (精度 0.2℃)。
- (6) 扭矩扳手 (20 ~ 100N·m, 测量误差 ± 5%)。

A.4 试验步骤

(1) 试件准备

试件标准尺寸为: 直径 $\phi 100\text{mm} \pm 1\text{mm}$, 高度 $h = 50\text{mm} \pm 2\text{mm}$ 。

试件在试验室制作时, 一般可使用 $\phi 100\text{mm} \times 300\text{mm}$ 或 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 试模, 制作后立即用塑料薄膜覆盖并移至标准养护室, 24h 后拆模并浸没于标准养护室的水

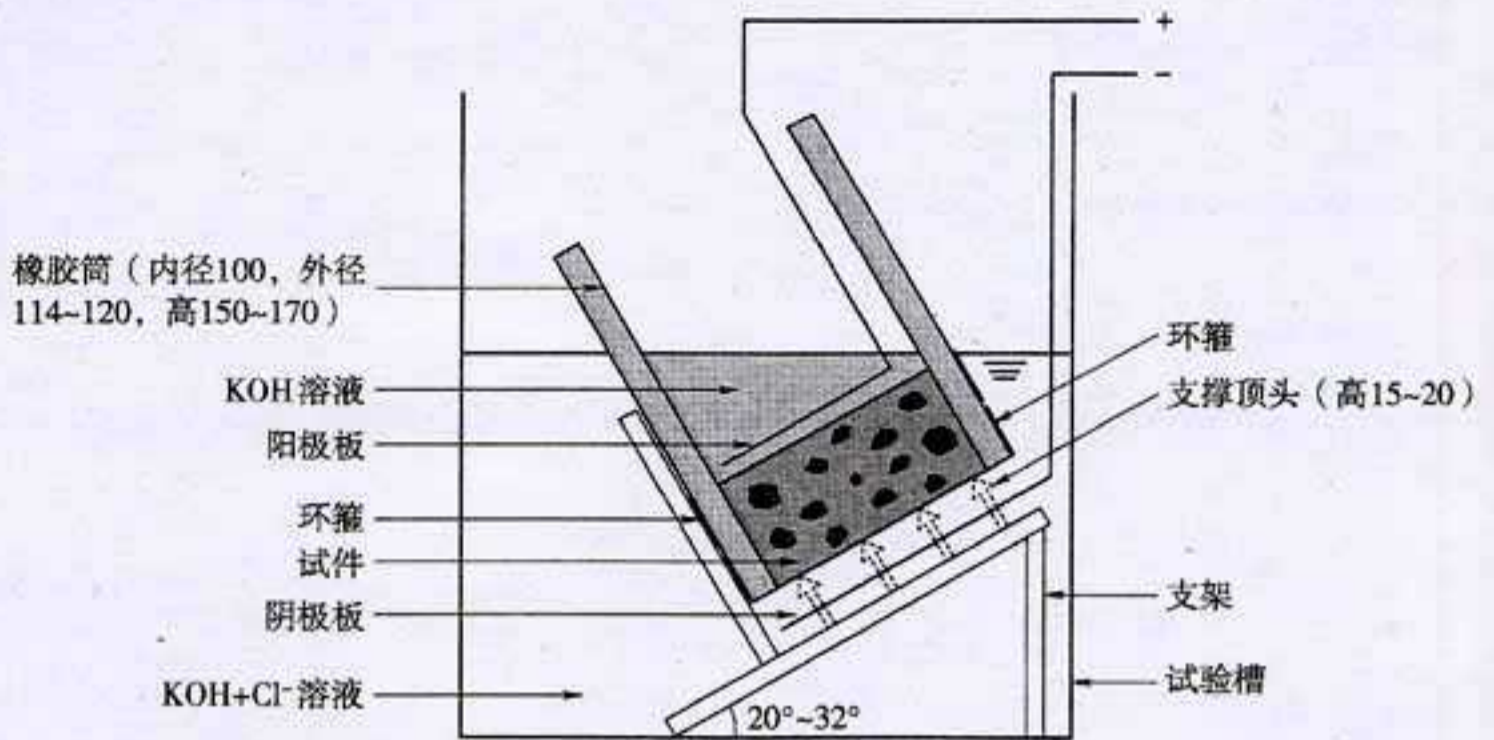


图 A.3 RCM 测定仪示意图(尺寸单位:mm)

池中。试验前 7d 加工成标准尺寸的试件^①,并用水砂纸(200 号 ~ 600 号)、细锉刀打磨光滑,然后继续浸没于水中养护至试验龄期。

试件在实体混凝土结构中钻取时,应先切割成标准试件尺寸^①,再在标准养护室水池中浸泡 4d,然后才可以进行试验。

(2) 试验准备

试验室温度控制在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。试件安装前需进行 $120\text{s} \pm 20\text{s}$ 超声浴处理,超声浴槽事先需用室温饮用水冲洗干净。

试件的直径和高度应该在试件安装前用游标卡尺测量(精度 0.1mm),并填入显色深度计算表(表 A.4-1)和试验原始记录表(表 A.4-2)。安装前的试件表面应该干净,无油污、灰砂和水珠。

表 A.4-1 显色深度(mm)计算表

试件 编号	直径 (mm)	高度 (mm)	显色深度(mm)												平均值	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																

① 试件加工时是否切除混凝土表层视实际结构情况和施工方法决定,并在试验报告中予以说明。

表 A.4-2 RCM 试验原始记录表

编号	试件制作时间	龄期	试验日期	试验时间	超声浴时间	无载电压	电压	电流	初始 KOH 溶液		初始 KOH + Cl ⁻ 溶液		试验持续时间		试件高度 h	显色深度 x _d	最终 KOH 溶液温度
									°C	mL	°C	mL	h	min			
—	—	d	—	—	min	V		mA	°C	mL	°C	mL	h	min	m		°C

RCM 测定仪的试验槽在试验前需用室温饮用水冲洗干净,然后把试件装入橡胶筒内,置于筒的底部(图 A.3)。与试件齐高(50mm)的橡胶筒体外侧处,安装两个环箍(每个箍高 25mm)并拧紧环箍(图 A.4-1)上的螺丝至扭矩 $30\text{N}\cdot\text{m} \pm 5\text{N}\cdot\text{m}$,使试件的侧面处于密封状态。若试件的柱状曲面具有可能会造成液体渗漏的缺陷,则要用密封剂保持其密封性。



图 A.4-1 不锈钢环箍

(3)电迁移试验过程

在无负荷状态下,将 40V/5A 的直流电源调到 $30V \pm 0.2V$,然后关闭电源。把装件的橡胶筒安装到试验槽中,安装好阳极板,然后在橡胶筒中注入约 300mL 的 0.2 mol/L 的 KOH 溶液,使阳极板和试件表面均浸没于溶液中。

在试验槽中注入含 5% NaCl 的 0.2 mol/L 的 KOH 溶液,直至与橡胶筒中的 KOH 的液面齐平。按图 A.4-2 连接电源、分配器和试验槽,阳极连至橡胶筒中阳极板,阴极连至试验槽的电解液中阴极板。

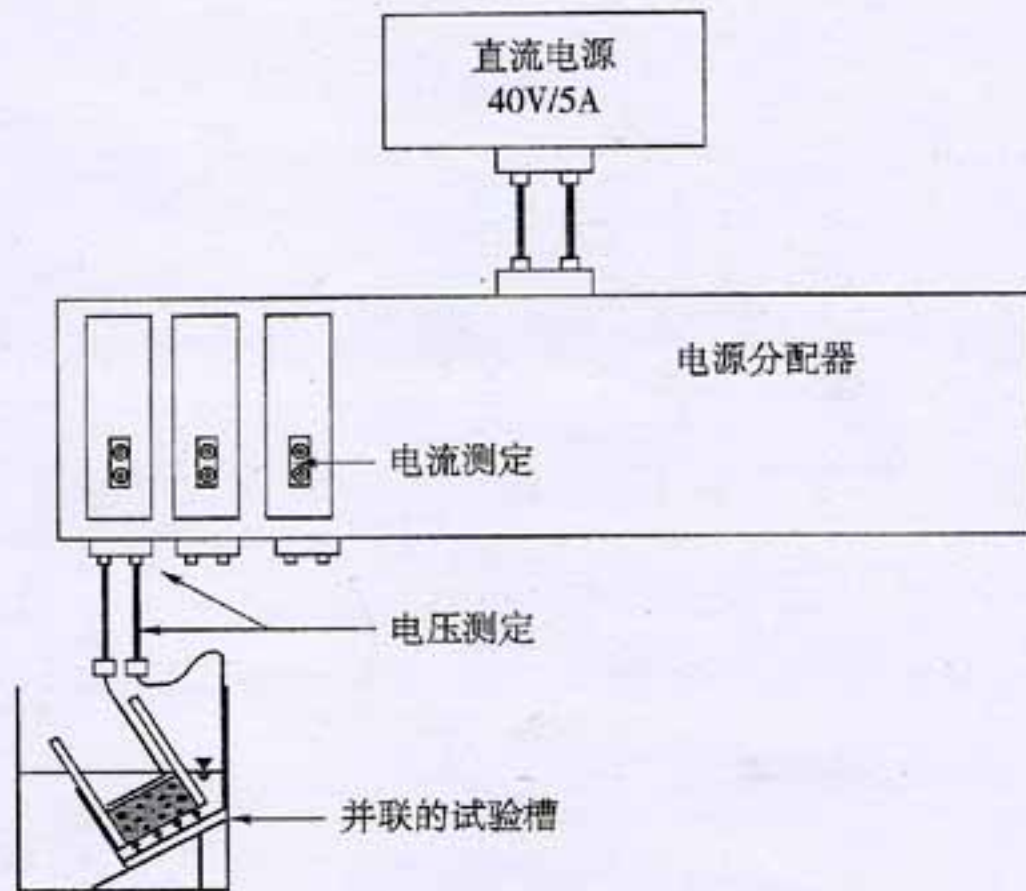


图 A.4-2 RCM 设备接线图

打开电源,记录时间,立即同步测定并联电压、串联电流和电解液初始温度。测压时,万用表调到 200V 挡,若电压偏离 $30V \pm 1V$,则断开连接,重调电源无荷电压;测流时,万用表调到 200mA 挡。溶液的温度测定应精确到 $0.2^{\circ}C$ 。

试验时间按测得的初始电流确定(表 A.4-3)。试验数据填入试验原始记录(表 A.4-2)。

表 A.4-3 初始电流与试验时间的关系

初始电流 I_0 (mA)	应选定的通电试验时间(h)	初始电流 I_0 (mA)	应选定的通电试验时间(h)
$I_0 < 5$	168	$30 \leq I_0 < 60$	24
$5 \leq I_0 < 10$	96	$60 \leq I_0 < 120$	8
$10 \leq I_0 < 30$	48	$120 \leq I_0$	4

试验结束时,先关闭电源,测定阳极电解液最终温度,断开连线,取出装有试件的橡胶筒,倒除 KOH 溶液,松开环箍螺丝,然后从上向下移出试件。

(4)氯离子扩散深度测定

试件从橡胶筒移出后,立即在压力试验机上劈成两半。在劈开的试件表面立即喷显色指示剂,混凝土表面一般变黄(实际颜色与混凝土颜色相关),其中含氯离子部分颜色较亮;表面稍干后(约 10 min)喷 0.1 mol/L $AgNO_3$ 溶液;然后将试件置于采光良好的地方。

室中,含氯离子部分不久(约 1d)即变成紫罗兰色(颜色可随混凝土原材料和指示剂的不同而变化),不含氯离子部分一般显灰色。若直接在劈开的试件表面喷涂 0.1 mol/L AgNO_3 溶液,则可在约 15min 后观察到白色硝酸银沉淀。

测量显色分界线离底面的距离,把如图 A.4-3 所示位置①的测定值(精确到 1mm)填入表 A.4-1,计算所得的平均值即为显色深度。

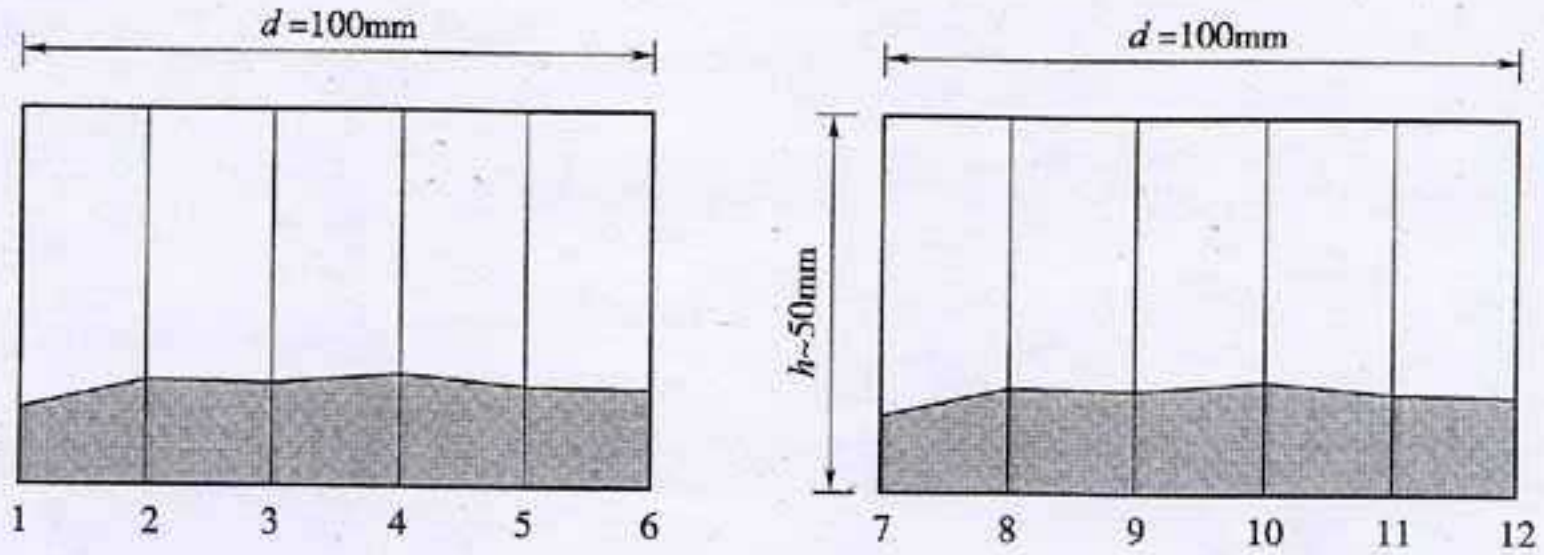


图 A.4.3 显色分界线位置编号

试验后排除试验溶液,结垢或沉淀物用黄铜刷清除,试验槽和橡胶筒仔细用饮用水和洗涤剂冲洗 60s 以上,最后用室温饮用水洗净并用电吹风(用冷风挡)吹干。

A.5 试验结果计算

混凝土氯离子扩散系数按下式计算(中间运算精确到四位有效数字,最后结果保留三位有效数字):

$$D_{\text{RCM},0} = 2.872 \times 10^{-6} \frac{T h (x_d - \alpha \sqrt{x_d})}{t} \quad (\text{A.5})$$

$$\alpha = 3.338 \times 10^{-3} \sqrt{Th}$$

式中: $D_{\text{RCM},0}$ ——RCM 法测定的混凝土氯离子扩散系数(m^2/s);

T ——阳极电解液初始和最终温度的平均值(K);

h ——试件高度(m);

x_d ——氯离子扩散深度(m);

t ——通电试验时间(s);

α ——辅助变量。

混凝土氯离子扩散系数为 3 个试样的算术平均值。如任一个测值与中值的差值超过中值的 15%,则取中值为测定值;如有两个测值与中值的差值都超过中值的 15%,则该组试验结果无效。

① 试验表明,测点位置没有必要考虑边缘效应和集料阻挡的情况,但对非常明显的集料阻挡情况,应在试验报告中注明。

A.6 说明

氯离子扩散系数快速测定的试验原理最早由唐路平等人在瑞典提出,北欧以此原理为基础发展了 CTH 法(NT Build 492—1999.11),同时德国亚琛工业大学土木工程研究所(IBAC, RWTH Aachen)也在 DuraCrete Document BE95-1347/R8—1999.03 研究报告和 DAfStb Heft 510—2000 中提出了 RCM 方法。RCM 方法是德国氯离子电迁移快速试验方法发展中的一种版本,而且已先后被瑞士 SIA 262/1—2003 标准和德国 BAW 标准草案(2004.05)采纳。CTH 法和 RCM 法试验原理相同,但在某些技术细节上有差别,如前者的试件在试验前要用饱和石灰水作真空饱水预处理,而后者则用超声浴;前者的试件置于试验槽内的倾角为 32° ,而后者为 22° ;且试验时采用的阴、阳极电解溶液也有所不同。这些差异对试验结果的影响尚待进一步研究。国外已有对比试验结果,认为两种方法无明显差别,特别当倾角在 $20^\circ \sim 32^\circ$ 时,该因素的影响可以忽略。国内的对比试验也验证了这个结论。