

文章编号: 1000-5013(2009)03-0315-06

在役混凝土构件耐久性的评判准则

张璐, 施养杭

(华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 针对在役混凝土结构的主要特征、损伤状况、破坏情形及其耐久性的基本特点, 将混凝土构件耐久性评定指标分为定性指标和定量指标两大类. 分析定性指标中的环境条件、钢筋锈蚀程度, 以及定量指标中混凝土碳化深度、混凝土保护层厚度、裂缝宽度、钢筋锈蚀量和构件承载力衰减等影响混凝土构件耐久性的因素, 设计各指标的评定方法, 并制定相应的评定标准. 建立在役混凝土构件耐久性的系统评判模型, 以供在役混凝土构件的损伤判别、耐久性失效评定.

关键词: 混凝土构件; 耐久性; 评判; 定性指标; 定量指标

中图分类号: TU 312⁺.3

文献标识码: A

国内外出现结构破坏的大量事例很少出自于混凝土的强度问题, 绝大多数是发生于耐久性失效. 目前, 在役混凝土结构均存在一定程度的损伤或损坏, 并随时间的延续而迅速积累, 加速结构耐久性失效, 大幅度缩短结构的使用寿命, 甚至导致结构突然倒塌. 因此, 在役结构的耐久性与工程安全已倍受关注. 据初步统计^[1], 我国在役的民用与工业建筑约有 60 % 亟待维修加固. 鉴于结构耐久性问题的复杂性, 对于现役混凝土结构的耐久性至今大都以经验进行评判, 缺乏可信度. 为此, 本文提出一套适合在役结构基本情况的耐久性评判准则, 对现役混凝土结构的耐久性进行合理、全面的评估.

1 耐久性评定指标的设定

混凝土结构耐久性评定的基础是构件的耐久性评定, 影响混凝土构件耐久性的因素很多, 包括在役结构所处的环境条件、钢筋锈蚀情况、材料劣化速度和构件承载力衰减、构件的变形, 以及表面裂缝的数量、长度、宽度和深度. 根据相关分析^[2], 耐久性的评定指标可分为定性指标和定量指标两大类. 定性指标主要根据现场观测到的性状和现象进行评定, 再确定其等级. 定量指标主要通过现场检测数据进行评定, 并根据一定的标准来确定其等级.

2 定性指标

2.1 环境条件

由于引起混凝土构件耐久性劣化的环境主要是气象环境, 而结构物中的气象环境主要指温度、湿度与通风条件. 对于同一结构物来说, 在特定的观察时间, 温度是基本稳定的, 因此可从湿度和通风两方面调查构件所处环境. 评定标准如表 1 所示.

2.2 钢筋锈蚀程度

钢筋锈蚀是影响钢筋混凝土结构耐久性的重要因素, 鉴别与评定钢筋锈蚀程度主要有直观检查法, 破损检测法, 非破损检测法. 直观检查法测定的钢筋锈蚀程度是定性指标. 其原理是根据钢筋锈蚀后引起的体积膨胀, 造成混凝土出现顺筋裂缝. 因此, 可以通过观察混凝土构件表面有无锈痕, 是否有顺筋裂

收稿日期: 2008-05-10

通信作者: 张璐(1981-), 女, 现为黎明职业大学土木建筑工程系(福建 泉州 362000)讲师, 主要从事结构耐久性、建筑的检测与评估的研究. E-mail: d. s666 @163. com.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50478120); 国家《混凝土结构设计规范》第六批科研项目(CB KY6001)

缝,以及顺筋裂缝的长度、宽度和深度,来反映钢筋的锈蚀程度.在构件中的钢筋有主筋和箍筋两种,对这两种钢筋分别检查,相应地作出评定标准,如表 1 所示.

表 1 构件环境和钢筋锈蚀的评定标准

| Tab. 1 The assessment standard of environment condition and reinforcement corrosion | | | | | |
|---|----|---------|-------|------|------|
| 评定等级 | 分值 | 构件环境 | | 钢筋锈蚀 | |
| | | 湿度 | 通风 | 主筋 | 箍筋 |
| A | 5 | 干燥 | 好 | 未锈 | 未锈 |
| B | 4 | 潮湿 | 好 | 未锈 | 轻微锈蚀 |
| C | 3 | 潮湿/ 比较湿 | 一般/ 好 | 轻微锈蚀 | 轻微锈蚀 |
| D | 2 | 比较湿/ 很湿 | 一般/ 好 | 轻微锈蚀 | 一般锈蚀 |
| E | 1 | 很湿 | 不好 | 一般锈蚀 | 一般锈蚀 |

3 定量指标

3.1 碳化深度

混凝土的碳化将导致钢筋表面的碱性钝化膜的破坏,致使钢筋产生锈蚀.锈蚀钢筋的体积膨胀,导致混凝土保护层胀裂,破坏了钢筋与混凝土的粘结,造成构件强度和刚度的降低.因此,混凝土保护层碳化是影响钢筋混凝土构件耐久性的一个重要因素.混凝土碳化深度的等级评定标准,如表 2 所示.表 2 中, C_0 为构件混凝土保护层厚度, d 为构件箍筋的直径.

3.2 保护层厚度

表 2 混凝土碳化深度与保护层等级评定

| Tab. 2 Assessment of concrete carbonization depth and cover thickness | | | |
|---|------------------------|----------------------|--|
| 评定等级 | 碳化深度 | 混凝土保护层厚度 | |
| A | $0.5 C_0$ | C_0 | |
| B | $< 0.5 C_0, 0.8 C_0$ | $< C_0, 0.9 C_0$ | |
| C | $< 0.8 C_0, C_0$ | $< 0.9 C_0, 0.8 C_0$ | |
| D | $< C_0, C_0 + d/2$ | $< 0.8 C_0, 0.7 C_0$ | |
| E | $< C_0 + d/2, C_0 + d$ | $< 0.7 C_0$ | |

混凝土保护层厚度是混凝土碳化耐久年限评定的重要参数^[3],是指混凝土表面与距其最近一层钢筋间的最小距离.检测方法采用直接量测法,即先用混凝土保护层测厚仪测出钢筋位置,然后在钢筋处打孔至钢筋表面,用游标卡尺测量保护层厚度(每孔测 2 次以上,取平均值,精确至 0.1 mm).混凝土保护层厚度的评定以设计值 C_0 为准则,而设计值由工程设计资料确定,其评定标准如表 2 所示.

3.3 裂缝宽度

钢筋混凝土构件的裂缝可分为两大类^[4]:一类是由于非腐蚀因素作用,在构件受力主筋处产生的横向和纵向裂缝;另一类是由于钢筋腐蚀产生的顺筋裂缝.由于使用条件和构件部位的不同,裂缝对构件的损伤也不同,例如在露天或高温、高湿环境中,裂缝更易使构件中的钢筋锈蚀.所以,裂缝宽度(b)的评定标准需考虑不同使用条件、不同构件,以及产生裂缝的原因,如表 3 所示.预应力混凝土结构或构件的裂缝宽度评定标准,可参照文[5-6]及相关文献另行制定.

表 3 混凝土构件裂缝宽度评定标准

| Tab.3 Assessment standard of crack width in concrete members | | | | | | | | |
|--|------|------------|-------|------|------|------|------|--------|
| 评估项目 | 分项项目 | | 评定等级 | | | | | |
| | | | A | B | C | D | E | |
| b/ mm | 受力 | 室内正常环境 | 一般构件 | 0.10 | 0.30 | 0.45 | 0.70 | > 0.70 |
| | | | 屋架、托梁 | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.50 | > 0.50 |
| | | | 吊车梁 | 0.10 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | > 0.50 |
| | | 露天或室内高湿度环境 | | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | > 0.40 |
| | | 非受力 | | 0.20 | 0.40 | 1.00 | 1.50 | > 2.00 |
| | | | | | | | | |

3.4 钢筋锈蚀量

对钢筋锈蚀程度的评定,主要通过钢筋锈蚀量的确定,一般采用破损检测和无损检测技术测定.破损检测法是敲掉构件的混凝土保护层,使钢筋露出,直接用游标卡尺测量锈层厚度、钢筋剩余直径、腐蚀坑的长度、深度;或者截取一段钢筋,随后在实验室进行量测.这种方法较为直接,但对构件有局

部损伤,一般适用于混凝土表面已经出现锈痕、顺筋裂缝或保护层已胀裂、剥落的情况。

钢筋锈蚀量的无损检测方法有分析法、物理法和电化学法 3 大类^[3]。分析法是根据现场实测的钢筋直径、保护层厚度、混凝土强度、有害离子侵入深度及其含量、纵向裂缝宽度等数据,综合考虑构件所处的环境情况,推断钢筋的锈蚀程度、截面损失等。物理方法主要是通过测定因钢筋锈蚀而引起电阻、电磁、热传导、声波传播等物理特性的变化来反映钢筋的锈蚀情况。电化学方法则通过测定钢筋混凝土腐蚀体系的电化学特性,来确定混凝土中钢筋锈蚀程度和速度。评定钢筋锈蚀量的主要指标有:钢筋截面损失率(钢筋锈蚀率) 和钢筋锈蚀速率 v 。

(1) 钢筋截面损失率(亦称钢筋锈蚀率)的表达式为

$$= (A_t / A_n) \times 100 \%$$

式中, A_t 为钢筋受腐蚀的面积, A_n 为钢筋的公称截面面积。

实验结果表明^[7-10],当钢筋锈蚀截面损失率大于 5 %时,钢筋性能和构件承载力均有很大幅度的降低,这时构件承载力的降低系数已达到耐久性正常使用极限状态。因此,以 5 %作为钢筋锈蚀截面损失率的限值,从而得到混凝土中钢筋锈蚀量的耐久性评定标准,如表 4 所示。

(2) 钢筋锈蚀速率,即单位时间的锈蚀量。锈蚀速率反映了混凝土中钢筋锈蚀的剧烈程度,因此可用于衡量钢筋混凝土构件中钢筋锈蚀程度。钢筋锈蚀速率采用线性极化法测定,以均匀锈蚀电流密度^[10]来表示,即

$$i_{cor} = I / A = I / dl.$$

式中, i_{cor} 为钢筋锈蚀电流密度, I 为钢筋锈蚀电流强度, d 和 l 分别为钢筋的直径和长度, A 为钢筋受腐蚀部分的表面积。研究表明^[11],锈蚀速率随构件劣化而提高,但当构件劣化到一定程度时,锈蚀速率将保持不变,并有所降低。根据钢筋锈蚀速率的研究成果,以每年 0.5 %作为钢筋锈蚀速率指标的上限,因而得出钢筋锈蚀速率的评定标准,如表 4 所示。

表 4 钢筋截面损失率和钢筋锈蚀速率评定标准

Tab. 4 Assessment standard of steel cross-section loss rate and corrosion rate

| 评定项目 | 评定等级 | | | | |
|---------|--------|--------------|--------------|--------------|------|
| | A | B | C | D | E |
| / % | < 1.0 | 1.0, < 2.0 | 2.0, < 3.5 | 3.5, < 5.0 | 5.0 |
| v / % | < 0.10 | 0.10, < 0.20 | 0.20, < 0.35 | 0.35, < 0.50 | 0.50 |

3.5 构件承载力衰减

(1) 构件承载力衰减系数 K 。从耐久性方面考虑,影响钢筋混凝土结构承载力的因素有冻融循环、侵蚀性化学腐蚀、构件磨损、钢筋锈蚀等^[12]。结构的破坏常常是几种物理和化学过程同时作用的结果。在上述因素中,钢筋锈蚀导致构件承载力不足,并引起结构使用年限缩短,是影响钢筋混凝土结构耐久性的最主要、最普遍的问题之一。

实验分析^[7-10]发现,钢筋锈蚀后,构件的承载力随着钢筋锈蚀程度的不同而呈不同程度的降低。对于钢筋锈蚀的受弯构件和受压构件,当采用正常构件的计算方法进行强度计算时,应根据锈蚀开裂情况和损伤程度的不同,考虑钢筋截面损失、屈服强度损失及混凝土粘结应力损失的影响。

混凝土结构和构件承载能力评定标准,可参照文[5-6]中对钢筋混凝土构件承载力等级的鉴定,如表 5 所示。表 5 中,一类构件为屋架、托架、屋面梁、主梁、柱、吊车梁等;二类构件为一般构件、楼盖、现浇板、梁等。承载能力评定等级为 $R / \gamma_0 S$, R 为结构或结构构件的承载力, S 为结构或结构构件上荷载的作用效应, γ_0 为结构的重要性系数。

当不考虑荷载作用效应,仅考虑因钢筋锈蚀开裂而引起的构件承载力衰减程度,可以用承载力衰减系数 K ^[13]来表示。即

$$K = \frac{\text{锈蚀后构件具有的承载力}}{\text{完好构件具有的承载力}} \times 100 \%$$

其中,完好构件具有的承载力可根据构件的设计承载力确定;而锈蚀后构件具有的承载力可在钢筋锈蚀量评定的基础上,分别按受弯、受压构件计算截面损伤和考虑粘结力损伤计算。

(2) 构件承载力衰减速率() . 构件承载力衰减速率 ,即单位时间内构件的承载力衰减程度 ,是在构件承载力衰减的基础上 ,考虑了结构的使用年限的时间因素 . 即

=
$$\frac{\text{测试时间段内构件的承载力衰减值}}{\text{完好构件具有承载力} \times \text{测试时间}} \times 100 \% .$$

钢筋混凝土构件的承载力衰减速度与钢筋锈蚀程度、混凝土强度、锈蚀构件中钢筋和混凝土协同工作能力等有关 . 研究表明^[14] ,在初期构件承载力随着时间的推移而增大 ,但增长速度会逐渐减慢 ;到后期 ,则随时间下降 . 根据研究成果^[15-18] ,以每年 1 %作为承载力衰减指标的上限 ,可得出构件承载力衰减速率的评定标准 ,如表 5 所示 .

表 5 混凝土构件承载力衰减评定标准

Tab. 5 Assessment standard of reduction of load carrying capacity

| 构件种类 | 评定等级 | | | | |
|------|------|---------------|---------------|---------------|--------|
| | A | B | C | D | E |
| 一类构件 | 1.00 | < 1.00 , 0.96 | < 0.96 , 0.92 | < 0.92 , 0.87 | < 0.87 |
| 二类构件 | 1.00 | < 1.00 , 0.95 | < 0.95 , 0.90 | < 0.90 , 0.85 | < 0.85 |

4 在役混凝土构件耐久性的系统评判

在对影响混凝土构件耐久性的各个因素的评判完成后 ,需运用适当的方法对影响构件耐久性的各因素进行综合分析 ,从而评判出构件耐久性的特征状态 . 传统的评判方法 ,是由人为直接给定或专家打分来确定各影响因素的权重系数 ,该方法给出的权重具有一定的主观性及局限性 . 根据属性识别理论的特点 ,采用其对混凝土构件的耐久性进行评定 .

4.1 测量数据矩阵的确定

如果假设有 n 个待评构件 ,且影响第 i 个待评构件耐久性的第 j 个评判因素的实测值为 $x_{i,j}$ ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$) . 因此 ,将第 i 个构件的量测结果表示为一个向量 $x_i = (x_{i,1}, \dots, x_{i,m})$, $1 \leq i \leq n$,则 n 个构件的测量数据矩阵为

$$X_{i,j} = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,m} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{2,m} \\ \dots & \dots & & \dots \\ x_{n,1} & x_{n,2} & \dots & x_{n,m} \end{bmatrix} .$$

4.2 分类标准矩阵的确定

设 m 个影响混凝土构件耐久性的因素 ,分别为构件外观状况、环境条件、钢筋锈蚀、连接节点损伤情况、碳化深度、混凝土强度、裂缝宽度、承载力衰减 ,等 . 将混凝土构件的耐久性分为 K 个评判等级 : C_1, C_2, \dots, C_K ,并确定第 k 级别中第 j 个评判因素的标准值为 $a_{j,k}$ ($j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, K$) ,由此确定分类标准矩阵为

$$a_{j,k} = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,K} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & a_{2,K} \\ \dots & \dots & & \dots \\ a_{m,1} & a_{m,2} & \dots & a_{m,K} \end{bmatrix} .$$

其中 , $a_{j,k}$ 满足 $a_{j,1} < a_{j,2} < \dots < a_{j,K}$ 或者 $a_{j,1} > a_{j,2} > \dots > a_{j,K}$. 通常结构耐久性能的好坏程度可分为 5 类 : C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 ,依次表示好、较好、一般、较差、差 . 一般认为耐久性越高 ,其耐久性越好 ,即有 $C_1 > C_2 > C_3 > C_4 > C_5$.

4.3 构件耐久性评判矩阵的建立

首先 ,来评定结构第 i 个构件的第 j 个影响因素 ,其具有属性 C_k 的属性测度 $\mu_{i,j,K} = \mu(x_{i,j}, C_k)$,

(1) 假设 $a_{j,k}$ 中某行排列顺序 $a_{j,1} \ a_{j,2} \ \dots \ a_{j,K}$. 当 $x_{i,j} = a_{j,1}$ 时 ,取 $\mu_{i,j,1} = 1, \mu_{i,j,2} = \dots = \mu_{i,j,K} = 0$;当 $x_{i,j} = a_{j,K}$ 时 ,取 $\mu_{i,j,K} = 1, \mu_{i,j,1} = \dots = \mu_{i,j,K-1} = 0$;而当 $a_{j,l} < x_{i,j} < a_{j,(l+1)}$ 时 ,则取

$$\mu_{i,j,l} = \frac{|x_{i,j} - a_{j,l+1}|}{|a_{i,j} - a_{j,l+1}|}, \quad \mu_{i,j,l+1} = \frac{|x_{i,j} - a_{j,l}|}{|a_{i,j} - a_{j,l+1}|}, \tag{1}$$

上式中, $\mu_{i,j,K} = 0, K < l$ 或 $K > l + 1$.

(2) 假设 $a_{j,k}$ 中某行排列顺序 $a_{j,1} \quad a_{j,2} \quad \dots \quad a_{j,K}$. 当 $x_{i,j} = a_{j,1}$ 时, 取 $\mu_{i,j,1} = 1, \mu_{i,j,2} = \dots = \mu_{i,j,K} = 0$; 当 $x_{i,j} = a_{j,l}$ 时, 取 $\mu_{i,j,K} = 1, \mu_{i,j,1} = \dots = \mu_{i,j,K-1} = 0$; 而当 $a_{j,l+1} < x_{i,j} < a_{j,l}$ 时, 则取

$$\mu_{i,j,l} = \frac{|x_{i,j} - a_{j,l+1}|}{|a_{i,j} - a_{j,l+1}|}, \quad \mu_{i,j,l+1} = \frac{|x_{i,j} - a_{j,l}|}{|a_{i,j} - a_{j,l+1}|}, \tag{2}$$

上式中, $\mu_{i,j,k} = 0, k < l$ 或 $k > l + 1$. 在知道第 i 个构件的耐久性各影响因素测量值的属性测度之后, 可由式(1)和式(2)确定单指标测度评判矩阵

$$\mu_{i,j,K} = \begin{bmatrix} \mu_{i,1,1} & \mu_{i,1,2} & \dots & \mu_{i,1,K} \\ \mu_{i,2,1} & \mu_{i,2,2} & \dots & \mu_{i,2,K} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_{i,m,1} & \mu_{i,m,2} & \dots & \mu_{i,m,K} \end{bmatrix}.$$

设第 j 个影响因素对第 i 个构件的耐久性影响权重系数为 $w_{i,j} (1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m)$, 由各待评构件中各评定因素对钢筋混凝土构件耐久性的贡献率确定, 即

$$w_{i,j} = \frac{x_{i,j}/x_j^*}{\sum_{j=1}^m (x_{i,j}/x_j^*)}.$$

由各影响因素的权重系数, 可得第 i 个待评构件对于第 k 级别的属性测度为

$$\mu_{i,k} = \mu(x_i, C_k) = \sum_{j=1}^m w_{i,j} \mu_{i,j,k}, \quad 1 \leq i \leq n, \quad 1 \leq k \leq K.$$

由此确定综合测度评判矩阵为

$$\mu_{i,j} = \begin{bmatrix} \mu_{1,1} & \mu_{1,2} & \dots & \mu_{1,K} \\ \mu_{2,1} & \mu_{2,2} & \dots & \mu_{2,K} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_{p,1} & \mu_{p,2} & \dots & \mu_{p,K} \end{bmatrix}, \quad 1 \leq i \leq n, \quad 1 \leq k \leq K, \quad 1 \leq j \leq m.$$

4.4 属性识别准则综合评判

基于上述的属性测度结果, 可以直接对混凝土构件的耐久性进行评判和分析比较. 对于置信度 $(0.5 \leq \alpha < 1)$, 当 $C_1 > C_2 > \dots > C_K$ 时, 可计算第 i 个待评构件的耐久性的评判等级为

$$k_i = \min\{k \mid \sum_{i=1}^k \mu_x(C_i) \geq \alpha, 1 \leq k \leq K\}.$$

第 i 个待评构件的耐久性的评判分数为

$$q_i = \sum_{k=1}^K \mu_k \mu_{i,k},$$

其中, $n_i = K + 1 - i, 1 \leq i \leq n, 1 \leq k \leq K$. 经分析比较^[19], 构件耐久性等级与综合评判分数之间的存在一定联系, 如表 6 所示. 由此, 可对在役混凝土构件耐久性做出系统评判.

表 6 构件各耐久性等级对应的分值区间

Tab.6 Value range for various durability grades of concrete member

| 等级 | | | | | |
|----|-----|-----------|-----------|-----------|------|
| 分值 | 4.5 | <4.5, 4.0 | <4.0, 3.0 | <3.0, 2.0 | <2.0 |

5 结束语

随着我国混凝土结构耐久性问题的日益凸现, 耐久性失效的界定原则、评定方法和结构残余寿命等研究已是工程界关注的热点. 本文在对现有混凝土构件耐久性研究的基础上, 总结环境条件、钢筋锈蚀程度、混凝土碳化深度、混凝土保护层厚度、裂缝宽度、钢筋锈蚀量和构件承载力衰减等影响混凝土构件耐久性各指标的评定方法, 并制定相应的评定标准. 这对耐久性日趋严重、面广量大的在役混凝土结构的“健康诊断”和“合理治疗”具有重要的工程意义和实用价值.

参考文献:

- [1] 张璐,施养杭. 钢筋锈蚀后砼耐久性的模糊可靠度分析[J]. 华侨大学学报:自然科学版,2007,28(1):71-74.
- [2] 卢木. 基于耐久性评定的钢筋混凝土结构的剩余寿命预测[J]. 建筑科学,1999,15(2):23-28.
- [3] 张伟平,张誉,刘亚芹. 混凝土中钢筋锈蚀的电化学检测方法[J]. 工业建筑,1998,28(12):21-25.
- [4] 李田,刘西拉. 混凝土结构耐久性设计方法的研究[J]. 建筑结构学报,1998,19(4):40-45.
- [5] 中华人民共和国冶金工业部. GB J144 - 1990 工业厂房可靠性鉴定标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1991.
- [6] 中华人民共和国建设部. GB 50292 - 1999 民用建筑可靠性鉴定标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [7] 惠云玲,李荣,林志伸,等. 混凝土基本构件钢筋锈蚀前后性能试验研究[J]. 工业建筑,1997,27(6):14-18.
- [8] 惠云玲,林志伸,李荣. 锈蚀钢筋性能试验研究分析[J]. 工业建筑,1997,27(6):10-14.
- [9] 惠云玲. 混凝土结构中钢筋锈蚀程度评估和预测试验研究[J]. 工业建筑,1997,27(6):6-9.
- [10] 惠云玲. 混凝土结构钢筋锈蚀耐久性损伤评估及寿命预测方法[J]. 工业建筑,1997,27(6):20-22.
- [11] 卢木,王濮信,卢金勇. 混凝土中钢筋锈蚀的研究现状[J]. 混凝土,2000,32(2):37-41.
- [12] MORNA GA S. Life prediction of reinforced concrete structures in hot and salt-laden environments[C] Walker M J. Concrete in Hot Climates: Proceedings of the Third International Conference. London:[s. n.], 1992:155-164.
- [13] 罗福午. 建筑结构缺陷事故的分析与防止[M]. 北京:清华大学出版社,1996.
- [14] 许丽萍,黄土元. 预测混凝土中碳化的数学模型[J]. 上海建材学院学报,1991,4(4):347-356.
- [15] 邸小坛,周燕. 混凝土碳化规律的研究[D]. 北京:中国建筑研究院结构所,1994.
- [16] 中华人民共和国建设部. GB 50010 - 2002 混凝土结构设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [17] 中华人民共和国建设部. GB 50204 - 2002 混凝土结构工程施工质量验收规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [18] 程乾生. 属性识别理论模型及其应用[J]. 北京大学学报:自然科学版,1997,33(1):12-20.
- [19] 张璐. 在役钢筋混凝土结构的耐久性评估与剩余寿命分析[D]. 泉州:华侨大学,2006:46-62.

Durability Assessment Method and Standard of Concrete Members

ZHANG Lu, SHI Yang-hang

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: According to the major characteristics, the damage and failure of concrete structures, the durability assessment indexes of concrete members can be classified into the qualitative indexes and quantitative indexes. Based on the analysis of indexes influencing the durability of concrete, including the qualitative indexes of environment condition, reinforcement corrosion, and the quantitative indexes of carbonization depth, cover thickness, crack width, steel corrosion rate and reduction of load carrying capacity, the assessment methods are proposed, and the corresponding model is established. The model can assess the damage and the durability of concrete members.

Keywords: concrete member; durability; assessment; qualitative index; quantitative index

(责任编辑: 鲁 斌 英文审校: 方德平)