

DB4405

汕头市地方标准

DB4405/T XXX-XXXX

既有建筑混凝土结构耐久性评估技术规范

Technical code for durability evaluation of existing concrete structures

(报批稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

汕头市市场监督管理局 发布

目 次

前言	I
引言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	3
5 使用环境和工程情况调查.....	4
6 耐久性检测	5
7 耐久性评估	7
8 混凝土中氯离子含量测定.....	9
附录 A 混凝土中氯离子含量测定	10
附录 B 汕头市沿海地区表面氯离子浓度和混凝土有效扩散系数建议值	13
附录 C 算例两则	14
附录 D 误差函数表	16

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由汕头市建设工程质量与安全中心提出。

本文件由汕头市住房和城乡建设局归口。

本文件起草单位：汕头市建设工程质量与安全中心、广东居安建筑工程检测有限公司、汕头大学、仲恺农业工程学院。

本文件主要起草人：方楚忠、袁继雄、陈岳青、刘金伟、黄良朋、杜光桂、蓝晓峰、陈永佳、欧阳为刚、李斌、叶加兵、谢鸿帆、沈加波、蔡斯迪。

本文件为首次发布。

引 言

本文件发布机构提请注意，本文件的部分内容涉及发明专利《沿海建筑物钢筋混凝土结构检测和修复方法》（专利号：ZL 2014 1 0326331.4）。

本文件的发布机构对该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该项专利持有人已向本文件的发布机构保证，他同意在公平、合理、无歧视基础上，免费许可任何组织或个人在实施《既有建筑混凝土结构耐久性评估技术规范》时，实施该发明专利。

专利持有人：汕头市建设工程质量监督检测站

地址：广东省汕头市中山路213号十楼 邮编：515041

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

既有建筑混凝土结构耐久性评估技术规范

1 范围

本规范适用于汕头市既有建(构)筑物普通混凝土结构受碳化和氯盐侵蚀情况下的耐久性检测评估。本规范不适用轻骨料混凝土、纤维混凝土等非普通混凝土结构耐久性评定。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 50010 混凝土结构设计规范

GB 50144 工业建筑可靠性鉴定标准

GB 50292 民用建筑可靠性鉴定标准

GB/T 50476 混凝土结构耐久性设计规范

GB/T 50784 混凝土结构现场检测技术标准

GB/T 51355 既有混凝土结构耐久性评定标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本规范。

3.1

既有混凝土结构 existing concrete structure

已经存在的混凝土结构。

[GB/T 51355-2019, 定义 2.1.1]

3.2

结构耐久性 structure durability

在设计规定的环境作用和正常维护、使用条件下,结构及构件在设计使用年限内保持其适用性和安全性的能力。

[GB/T 51355-2019, 定义 2.1.2]

3.3

耐久性评定 durability assessment

采用一定的方法和程序,对既有混凝土结构的耐久性能作出的评价和判定。

[GB/T 51355-2019, 定义 2.1.3]

3.4

耐久性损伤 durability damage

由环境作用造成的结构性能劣化。

[GB/T 51355-2019, 定义 2.1.4]

3.5

耐久性极限状态 durability limit state

由耐久性损伤造成结构或其构件的某项性能丧失而不能满足使用要求的临界状态。

[GB/T 51355-2019, 定义 2.1.5]

3.6

剩余使用年限 residual service life

在正常使用和正常维护条件下, 结构使用若干年后能继续保持其预定功能的时间。

[GB/T 51355-2019, 定义 2.1.7]

3.7

设计使用年限 design working life

设计规定的结构或结构构件不需进行大修即可按预定目的使用的年限。

[GB/T 50476-2019, 定义 2.1.9]

3.8

环境作用 environmental action

温度、湿度、二氧化碳、氧、酸、碱、盐等环境因素对结构的作用。

[GB/T 51355-2019, 定义 2.1.10]

3.9

维护 maintenance

为维持结构在使用年限内所需性能而采取的各种技术和管理活动。

[GB/T 51355-2019, 定义 2.1.11]

3.10

修复 repair

通过修补使受到损伤的结构恢复到满足正常使用功能所进行的活动。

[GB/T 51355-2019, 定义 2.1.12]

3.11

氯离子扩散系数 chloride diffusion coefficient

表示氯离子在混凝土中从高浓度区向低浓度区传输速率的参数。

[GB/T 50476-2019, 定义 2.1.10]

3.12

评定单元 assessment unit

可独立进行评定的一个或若干个构件的集合。

[GB/T 51355-2019, 定义 2.1.14]

3.13

钢筋的混凝土保护层 concrete cover to reinforcement

从混凝土表面到钢筋公称直径外边缘之间的最小距离; 对后张法预应力筋, 为套管或孔道外边缘到混凝土表面的距离。

[GB/T 50476-2019, 定义 2.1.22]

3.14

碳化深度 carbonization depth

大气中的二氧化碳渗透到混凝土内与其碱性物质发生化学反应, 使混凝土碱度降低的腐蚀深度。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 在下列情况下，应对既有建筑物进行耐久性检测与评估：

- a) 已达到或超过设计使用年限建筑物，拟继续使用；
- b) 钢筋或混凝土劣化导致结构出现一定程度的损坏；
- c) 对混凝土结构构件未进行防护，闲置 5 年以上，继续或者重新施工的建筑物。

4.1.2 混凝土结构耐久性应分构件、评定单元两个层次，按三个等级进行评定。

4.1.3 评定单元应根据结构所处环境条件、结构使用功能、结构布置等情况划分。

4.1.4 构件、评定单元的耐久性应按下列规定评定等级：

4.1.4.1 构件

a 级：在目标使用年限内，构件耐久性满足要求，可不采取修复、防护或其他提高耐久性的措施；

b 级：在目标使用年限内，构件耐久性基本满足要求，可不采取或部分采取修复、防护或其他提高耐久性的措施；

c 级：在目标使用年限内，构件耐久性不满足要求，应及时采取修复、防护或其他提高耐久性的措施。

4.1.4.2 评定单元

A 级：在目标使用年限内，评定单元耐久性满足要求，可不采取修复、防护或其他提高耐久性的措施；

B 级：在目标使用年限内，评定单元耐久性基本满足要求，可不采取或部分采取修复、防护或其他提高耐久性的措施；

C 级：在目标使用年限内，评定单元耐久性不满足要求，应及时采取修复、防护或其他提高耐久性的措施。

4.1.5 当结构受到多种类型环境作用时，应对每类环境单独作用下，分别进行耐久性评定，当出现多环境共同作用影响时，应综合考虑后进行耐久性评定。

4.1.6 在调查与检测过程中，若发现调查资料不足，应及时组织补充调查。

4.2 环境类别

结构所处环境类别应按表 1 确定。

表 1 环境类别

环境类别	环境类型	腐蚀机理
I	一般环境	混凝土碳化及其引起的钢筋锈蚀
II	冻融环境	反复冻融导致混凝土损伤
III	海洋氯化物环境	氯盐引起钢筋锈蚀
IV	除冰盐等其他氯化物环境	除冰盐引起混凝土表面剥落损伤以及氯盐引起钢筋锈蚀
V	化学腐蚀环境	硫酸盐等化学物质对混凝土的腐蚀

4.3 评定程序和工作内容

4.3.1 结构耐久性应按图 1 所示的工作程序评估。

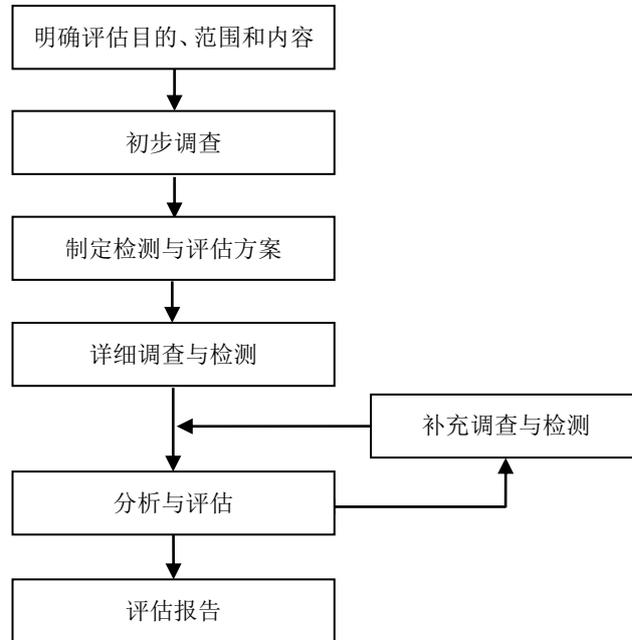


图 1 耐久性评估工作程序

4.3.2 评估调查内容应包括下列内容：

- a) 相关技术图纸资料；
- b) 结构类型、用途、使用年限、使用历史等；
- c) 结构设计、施工、维修加固、改扩建、受灾情况及其处理措施等；
- d) 结构的使用状况，实际使用条件和室内外环境；
- e) 制定调查计划和检测评估工作方案。

4.3.3 耐久性检测评估方案应包括下列内容：

- a) 耐久性评估概况；
- b) 调查与检测目的和要求；
- c) 调查与检测的范围、项目；
- d) 调查与检测的方法、构件数量；
- e) 人员构成和仪器设备情况；
- f) 工作进度计划；
- g) 相应的安全与环保措施。

4.3.4 混凝土结构耐久性评估应委托具备相应技术能力的专业技术机构进行。

5 使用环境和工程情况调查

5.1 一般规定

- 5.1.1 混凝土结构耐久性调查与检测的内容、范围和技术要求应满足结构耐久性评估的需要。
- 5.1.2 混凝土结构耐久性调查与检测应包括使用环境调查、工程情况调查和耐久性检测，并应根据结构实际状况选择耐久性检测项目和检测方法。
- 5.1.3 当同一个检测项目存在多种检测方法时，应尽量选择直观、明了、无损、经济的检测方法。

5.2 使用环境调查

结构所处环境调查应包括下列内容：

- a) 大气年平均温度、最高温度、最低温度等；
- b) 大气年平均相对湿度等；
- c) 构件所处工作环境的年平均温度、年平均湿度、温度、湿度变化以及干湿交替情况；
- d) 大气中二氧化碳、大气中氯离子的年平均浓度、最高浓度、最低浓度等；
- e) 沿海地区，海水中氯离子含量的年平均值、最高值、最低值等；
- f) 其它腐蚀性固体或液体。

5.3 工程情况调查

5.3.1 根据评估需要查阅建筑物下列全部或部分资料：

- a) 地质勘察报告：包括地下水位、土质及水质化学成分和含量等；
- b) 设计资料：包括设计图纸、生产工艺流程、废气及污水处理方式等；
- c) 施工资料：包括混凝土原材料、配合比、混凝土强度、施工工艺及钢筋种类等。

5.3.2 根据评估需要，应进行建筑物使用历史调查：

- a) 使用、管理、维护、加固情况；
- b) 用途改变、改建或扩建情况；
- c) 事故、灾害及处理情况；
- d) 其他异常情况。

6 耐久性检测

6.1 一般规定

6.1.1 结构耐久性检测应根据结构所处环境、耐久性评估所需参数进行，包括构件的几何尺寸、混凝土强度、混凝土保护层厚度、碳化深度、裂缝及缺陷、混凝土中氯离子含量分布、钢筋锈蚀状况和构件开裂状况。

表 2 耐久性现状检测项目

环境类别	常规检测	专项检测
I	构件的几何尺寸、保护层厚度、混凝土强度、裂缝及缺陷、钢筋锈蚀状况、构件开裂状况	碳化深度
III		混凝土中氯离子含量分布

6.1.2 结构耐久性现场检测可采取抽样检测或全数检测两种检测方式。抽样检测时，宜按同类环境、同类构件随机、均布抽取样本。当不具备随机抽样条件时，可按约定方法抽取样本。遇到下列情况时宜采

用全数检测的方式：

- a) 构件数少于 6 个；
- b) 检测项目的变异系数大于 0.2；
- c) 灾害发生后结构受损情况；
- d) 委托方要求全数检测。

6.1.3 当为下列情况时，检测对象可以是单个构件或部分构件，但检测结论不得扩大到未检测的构件或范围。

- a) 委托方指定检测对象或范围；
- b) 因环境侵蚀或人为因素等造成部分构件损伤时。

6.2 检测数量及检测方法

6.2.1 构件的几何尺寸

几何尺寸检测应按 GB/T 50784 的相关规定执行，检测抽样数量可参考 GB/T 50784 中对检测类别 B 的要求。

6.2.2 保护层厚度

混凝土保护层厚度检测方法应按 GB/T 50784 执行。保护层厚度应为同一测区最外层钢筋的混凝土保护层厚度的平均值，检测部位和测区数量应符合下列规定：

6.2.2.1 检测部位应包括：

- a) 主要构件或主要受力部位；
- b) 钢筋可能锈蚀的部位；
- c) 混凝土锈胀开裂的部位；
- d) 布置混凝土碳化测区的部位。

6.2.2.2 同类构件抽检数量宜按 10% 确定，且不应少于 6 个。同类构件数量少于 6 个时，应逐个测试。

6.2.2.3 每个检测构件的测区数不宜少于 6 个；构件角部钢筋应量测两侧的保护层厚度。

6.2.3 混凝土抗压强度

6.2.3.1 混凝土强度检测应按 GB/T 50784 的相关规定执行。混凝土强度应取混凝土强度推定值，检测抽样数量可参考 GB/T 50784 中对检测类别 B 的要求。

6.2.3.2 混凝土抗压强度可采用回弹法、超声-回弹综合法、后装拔出法、后锚固法等间接法进行检测。当具备钻芯条件时，宜采用钻芯法对间接法检测结果进行修正或验证；当不具备钻芯条件时，可根据 GB 50292 采用老龄期修正法进行修正。

6.2.4 外观缺陷与表面损伤

外观缺陷与表面损伤检测应按 GB/T 50784 的相关规定执行。对构件的外观缺陷或表面损伤宜全数检测。当不具备全数检测条件时，可根据约定抽样原则选择下列构件或部位进行检测：

- a) 重要的构件或部位；
- b) 外观缺陷与损伤严重的构件或部位。

6.2.5 碳化深度

6.2.5.1 混凝土碳化深度应采用浓度为 1%~2% 的酚酞酒精溶液进行测试，碳化深度应为同一测区受力

钢筋部位混凝土碳化深度的平均值，测区数量及布置应符合下列规定：

- a) 同环境、同类构件抽检数量宜按 10% 确定，且不应少于 6 个，同类构件数少于 6 个时，应逐个测试；
- b) 每个检测构件不应少于 3 个测区，测区应布置在构件的不同侧面，并宜布置在钢筋附近；对角部钢筋宜测试钢筋处构件两侧面混凝土碳化深度，碳化深度测量应精确至 0.1mm；
- c) 每一测区应布置 3 个测孔，孔距应大于 2 倍孔径，测区碳化深度为 3 个测孔碳化深度的平均值。

6.2.5.2 混凝土碳化深度检测时，应清除测孔中的粉末和碎屑，且不得用水擦洗。

6.2.6 混凝土中氯离子含量分布检测

混凝土中氯离子含量采用本规范附录 A 的方法进行检测，用每立方米混凝土中含有的氯离子质量表示 (kg/m^3)。

- a) 同环境、同类构件抽样构件数不少于 6 个(同类构件数少于 6 个时宜逐个取样)，取样时应注明取样部位；
- b) 使用直径 14mm 的冲击钻在混凝土构件表面钻孔，钻孔前应用保护层检测仪探测，避开钢筋位置；
- c) 钻孔位置应取构件受氯盐影响最不利的构件面，在构件的上、中、下部均匀钻取，自构件表面沿深度分 4 层收集，取样深度区间：5mm~10mm、10 mm~20mm、20 mm~30mm、30 mm~50mm，应保证各层混凝土粉末采集量不小于 20g；
- d) 各层混凝土粉末收集后，钻头及钻孔内壁应用毛刷和洗耳球将残留粉末清理干净，方能进行下一深度钻孔取样。

6.2.7 钢筋锈蚀

混凝土中钢筋锈蚀状况检测宜按 GB/T 50784 执行，检测抽样数量可参考 GB/T 50784 中对检测类别 B 的要求。

7 耐久性评估

7.1 一般规定

7.1.1 钢筋混凝土构件应分别进行大气环境和氯盐侵蚀环境时的耐久性评估。

7.1.2 钢筋混凝土构件耐久性应以钢筋开始锈蚀极限状态进行评估。

- a) 大气环境下，钢筋开始锈蚀极限状态应为混凝土中性化诱发钢筋脱钝的状态；
- b) 氯盐侵蚀环境时，钢筋开始锈蚀极限状态应为钢筋表面氯离子浓度达到钢筋脱钝临界氯离子浓度的状态。

7.2 大气环境下的耐久性评估

7.2.1 大气环境下，钢筋混凝土构件使用年限按式(1)计算：

$$t_1 = \left(\frac{x}{k} \right)^2 \dots \dots \dots (1)$$

式中：

t_1 ——大气环境下，钢筋混凝土构件计算使用年限 (a)；

X ——混凝土计算保护层厚度 (mm)，按实测数据，考虑一定的保证率取值；

k ——混凝土碳化系数 (mm/√a)，综合反映各影响因素对碳化速度的影响，包括环境条件和混凝土抗碳化能力。

7.2.2 碳化系数 k 应根据式(2)计算：

$$k = \frac{X_c}{\sqrt{t_0}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

X_c ——实测混凝土碳化深度 (mm)，按实测数据，考虑一定的保证率取值；

t_0 ——结构建成至检测时的时间 (a)。

7.2.3 剩余使用年限 t_{rel} 可按式(3)计算：

$$t_{rel} = t_1 - t_0 \dots\dots\dots (3)$$

式中：

t_{rel} ——剩余使用年限 (a)；

t_1 ——大气环境下，钢筋混凝土构件计算使用年限 (a)；

t_0 ——结构建成至检测时的时间 (a)。

7.3 氯盐侵蚀条件时的耐久性评估

7.3.1 氯盐侵蚀条件时，钢筋混凝土构件使用年限按式(4)计算：

$$t_2 = \left(\frac{X}{2\sqrt{D} \times \text{erf}^{-1} \left(1 - \frac{C_{cr} - C_i}{C_0 - C_i} \right)} \right)^2 \dots\dots\dots (4)$$

式中：

t_2 ——氯盐侵蚀条件时，钢筋混凝土构件计算使用年限 (a)；

D ——混凝土有效扩散系数 (mm²/a)，按 7.3.2 条确定；

erf ——误差函数 (可查附录 D)；

C_{cr} ——引起混凝土中钢筋锈蚀的氯离子临界浓度值，以占胶凝材料质量百分比 (%) 或在混凝土中的质量 (kg/m³) 计；

C_0 ——混凝土表面氯离子浓度值，以占胶凝材料质量百分比 (%) 或在混凝土中的质量 (kg/m³) 计，按 7.3.2 条确定；

C_i ——混凝土中的氯离子浓度值，以占胶凝材料质量百分比 (%) 或在混凝土中的质量 (kg/m³) 计。

7.3.2 混凝土表面氯离子浓度 C_0 ，混凝土有效扩散系数 D 应按式(5)，由现场实测数据拟合回归求得。当缺乏有效实测数据时，可参照附录 B 取用。

$$C = (C_0 - C_i) \times \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt_0}} \right) \right] + C_i \dots \dots \dots (5)$$

式中:

C —— t_0 时刻 x 深度处氯离子浓度值,以占胶凝材料质量百分比(%)或在混凝土中的质量(kg/m^3)计;

x ——距离混凝土表面,与 C 对应的深度值(mm);

t_0 ——指现场实测时,距离该结构(构件)混凝土成型的时间(a)。

7.3.3 氯离子临界浓度 c_{cr} 由混凝土类型、施工质量及工作环境等决定,当缺乏可靠资料时,可取为 $2.10\text{kg}/\text{m}^3$ 。

7.3.4 剩余使用年限 t_{re2} 可按式(6)计算:

$$t_{re2} = t_2 - t_0 \dots \dots \dots (6)$$

式中:

t_{re2} ——剩余使用年限(a)。

8 检测报告相关要求

8.1 检测评估报告应结论准确、用词规范、文字简练,对于委托方容易混淆的术语和概念可书面予以解释。

8.2 检测评估报告至少应包括以下内容:

- a) 委托单位名称;
- b) 建筑物工程概况;
- c) 检测评估目的、范围和内容;
- d) 检测项目、检测方法及依据的标准;
- e) 抽样方案及数量;
- f) 耐久性评估分析;
- g) 结论与建议。

8.3 对耐久性评估过程中所发现的相关安全性及使用性问题,应在评估报告中予以说明。

附录 A

(规范性)

混凝土中氯离子含量测定

A.0.1 硬化混凝土中氯离子的含量可按本附录规定的方法进行测定。

A.0.2 混凝土中氯离子含量的测定应具备下列仪器：

- a) 具有 0.1pH 单位或 10mV 精确度的酸度计或电位计；
- b) 银电极或氯电极；
- c) 饱和甘汞电极；
- d) 电磁搅拌器；
- e) 电振荡器；
- f) 50mL 滴定管；
- g) 10mL、25mL 及 50mL 移液管；
- h) 烧杯；
- i) 300mL 磨口三角瓶；
- j) 感量为 0.0001g 和感量为 0.1g 的天平；
- k) 最高使用温度不小于 1000℃ 的箱式电阻炉；
- l) 0.075mm 的方孔筛；
- m) 电热鼓风恒温干燥箱，温度控制范围 0℃～250℃；
- n) 磁铁；
- o) 快速滤纸；
- p) 干燥器。

A.0.3 混凝土中氯离子含量的测定应具备下列试剂：

- a) 二级以上试验用水；
- b) 1 个体积的硝酸加 3 个体积的试验用水配制的硝酸溶液(1+3)；
- c) 浓度为 10g/L 的酚酞指示剂；
- d) 浓度为 0.01mol/L 的硝酸银标准溶液；
- e) 浓度为 10g/L 的淀粉溶液；
- f) 氯化钠基准试剂；
- g) 硝酸银。

A.0.4 试样制备应符合下列规定：

- a) 混凝土粉末分缩至 20g，然后进行研磨，并通过 0.075mm 的方孔筛；
- b) 未过筛试样应进行再次研磨，直到全部通过 0.075mm 的方孔筛；
- c) 试样中的铁屑应采用磁铁吸出；
- d) 试样应置于 105℃～110℃ 电热鼓风恒温干燥箱中烘至恒重，取出后应放入干燥器中冷却至室温。

A.0.5 硝酸银标准溶液应按下列方法配制：

- a) 用感量为 0.0001g 的天平称取 1.7000g 硝酸银，放于烧杯中；
- b) 在烧杯中加入少量试验用水，待硝酸银溶解后，将溶液移入 1000mL 容量瓶中；
- c) 向容量瓶中加入试验用水稀释至 1000mL 刻度，摇匀，储存于棕色瓶中。

A.0.6 氯化钠标准溶液应按下列方法配制:

- 将氯化钠基准试剂放于温度为 500℃~600℃的箱式电阻炉中进行灼烧,灼烧至恒重;
- 用感量为 0.0001g 的天平称取灼烧后的氯化钠基准试剂 0.6000g,放于烧杯中;
- 在烧杯中加入少量试验用水,待氯化钠溶解后将溶液移入 1000mL 容量瓶中;
- 向容量瓶中加入试验用水,摇匀,稀释至 1000mL 刻度,储存于试剂瓶中。

A.0.7 硝酸银标准溶液应按下列规定进行标定:

- 使用 25mL 移液管分别吸取 25.00mL 氯化钠标准溶液和 25.00mL 试验用水置于 100mL 烧杯中;
- 在烧杯中加 10.0mL 浓度为 10g/L 的淀粉溶液;
- 将烧杯放置于电磁搅拌器上,以银电极或氯电极作指示电极,以饱和甘汞电极作参比电极,用配制好的硝酸银标准溶液滴定;
- 按 GB/T9725 的规定,以二级微商法确定所用硝酸银溶液的体积;
- 同时使用试验用水代替氯化钠标准溶液进行上述步骤的空白试验,确定空白试验所用硝酸银标准溶液的体积;
- 硝酸银标准溶液的浓度按式(A.1):

$$C(AgNO_3) = \frac{m(NaCl) \times 25.00 / 1000.00}{(V_1 - V_2) \times 0.05844} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

$C(AgNO_3)$ ——硝酸银标准溶液的浓度(mol/L);

$m(NaCl)$ ——氯化钠的质量(g);

V_1 ——滴定氯化钠标准溶液所用硝酸银标准溶液的体积(mL);

V_2 ——空白试验所用硝酸银标准溶液的体积(mL);

0.05844——氯化钠的毫摩尔质量(g/mmol)。

A.0.8 混凝土中氯离子含量应按下列方法测定:

A.0.8.1 混凝土试样应按下列步骤制备混凝土试样滤液:

- 用感量 0.0001g 的天平称取 5.0000g 试样,放入磨口三角瓶中;
- 在磨口三角瓶中加入 250.0mL 试验用水,盖紧瓶塞,剧烈摇动 3min~4min;
- 将盖紧瓶塞的磨口三角瓶放在电振荡器上振荡 6h 或静止放置 24h;
- 以快速定量滤纸过滤磨口三角瓶中的溶液于烧杯中,即成为混凝土试样滤液。

A.0.8.2 混凝土试样滤液应按下列步骤进行滴定:

- 用移液管吸取 50.00mL 滤液于烧杯中,滴加浓度为 10g/L 的酚酞指示剂 2 滴;
- 用配制的硝酸溶液滴至红色刚好褪去,再加 10.0mL 浓度为 10g/L 的淀粉溶液;
- 将烧杯放置于电磁搅拌器上,以银电极或氯电极作指示电极,饱和甘汞电极作参比电极,用配制好的硝酸银标准溶液滴定;
- 按 GB/T9725 的规定,以二级微商法确定所用硝酸银溶液的体积。

A.0.8.3 使用试验用水代替混凝土试样滤液按第 2 款的步骤同时进行试验用水的空白试验,确定空白试验所用硝酸银标准溶液的体积。

A.0.8.4 混凝土中氯离子含量按式(A.2)计算:

$$W_{Cl^-} = \frac{C(AgNO_3) \times (V_1 - V_2) \times 0.03545}{m_s \times 50.00 / 250.0} \times 2400. \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

W_{Cl^-} ——混凝土中氯离子含量(kg/m^3)；

$C(AgNO_3)$ ——硝酸银标准溶液的浓度(mol/L)；

V_1 ——滴定混凝土试样滤液所用硝酸银标准溶液的体积(mL)；

V_2 ——空白试验所用硝酸银标准溶液的体积(mL)；

0.03545——氯离子的毫摩尔质量($g/mmol$)；

m_s ——混凝土试样质量(g)；

2400——混凝土表观干密度 (kg/m^3)。

附录 B

(资料性)

汕头市沿海地区表面氯离子浓度和混凝土有效扩散系数建议值

B.0.1 混凝土表面氯离子浓度 C_0 ，混凝土有效扩散系数 D 由现场实测数据拟合回归求得，当实测数据有欠缺时，可以参考 B.0.2、B.0.3 综合确定。

B.0.2 混凝土表面氯离子浓度，根据离海岸线距离，可按表 B.1 取值。

表 B.1 混凝土表面氯离子浓度 C_0

离海岸线距离(m)	氯离子浓度(kg/m ³)	占混凝土质量的比值(%)	占胶凝材料质量的比值(%)
0~100	5.87~11.5	0.245~0.479	1.55~3.03
150~500	2.57~3.83	0.107~0.160	0.68~1.01
550~1000	1.28~1.52	0.053~0.063	0.34~0.40

注：混凝土表观干密度取 2400kg/m³，混凝土中胶凝材料用量取 380kg/m³。

根据离海岸线距离、所处区域取值。其中，距离小时，取高值；距离大时，取低值。离海岸线距离处于本表范围内的可用线性插值法。距离海岸超 1.0km 以上的建筑物，可选用表 B.1 中 1.0km 的数据。

B.0.3 混凝土有效扩散系数 D ，可按式(B.1)计算：

$$D = (7.08W / B - 1.846) \times (0.0447T - 0.052) \times 10^{-3} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

W/B——混凝土水胶比；

T——环境年平均温度（℃），取汕头市近 5 年平均温度 24.4℃。

附录 C
(资料性)
算例两则

C.0.1 算例 A

某滨海建筑群 A，位于汕头南部开发区，距外海岸线 1km，周边为普通多层民用建筑。该建筑群为 6~7 层框架结构，始建于 1992 年，于 1995 年建成后未使用，未进行有效维护，部分梁、柱、板有露筋、锈蚀现象，于 2014 年进行检测。

C.0.1.1 大气环境下的评估

滨海建筑 A，抽查了第 1、2 层约 20 根柱的碳化深度，按 JGJ/T23—2011 的要求测量。实测碳化深度最小值 5.5mm，最大值 20.0mm，平均值 10.5mm，标准差 3.60，因此具有 95% 保证率的碳化深度为 16.4 mm。利用钢筋位置探测仪对上述柱的保护层厚度进行测量，最小值 18.5mm，最大值 38mm，平均值 27.7mm，标准差 3.44，因此具有 95% 保证率的保护层厚度为 22mm，结构实际龄期为 19a。

依公式 (2)：

$$k = \frac{X_c}{\sqrt{t_0}} = \frac{16.4}{\sqrt{19}} = 3.76(\text{mm} / \sqrt{\text{a}})$$

依公式 (1)，预期使用年限：

$$t_1 = \left(\frac{x}{k}\right)^2 = \left(\frac{22}{3.76}\right)^2 = 34.2(\text{a})$$

剩余使用年限为 $t_{\text{rel}} = t_1 - t_0 = 34.2 - 19 = 15.2(\text{a})$

C.0.1.2 氯盐侵蚀条件时的评估

抽查了约 15 根柱的氯离子含量，按深度 0 mm~5mm、5mm~10mm、10 mm~20mm、20 mm~30mm、30 mm~50mm 钻取粉末，按 JTJ270—98 试验得到不同深度的氯离子含量。

依公式 (5) 求扩散系数和表面氯离子浓度，利用 5mm~10mm、10 mm~20mm、20 mm~30mm 的氯离子含量进行回归求解，将 30 mm~50mm 的氯离子含量作为 C_i 的参考值，经综合分析，取 $C_i=0.08\%$ (占胶凝材料用量)。

计算得到 $D = 3.73 \times 10^{-12}(\text{m}^2 / \text{s})$ ， $C_0 = 0.314\%$ (占胶凝材料用量)； C_0 的数值与表 1 离海岸线 1.0km 的数据比较接近。综合钢筋锈蚀测试和氯离子含量测试结果，取氯离子临界浓度为 0.28% (占胶凝材料用量)，保护层厚度为 22mm。

依公式 (4)，预期使用年限 $t_2 = 1.92 \times 10^9(\text{s}) = 60.9(\text{a})$

依公式 (6)，剩余使用年限为 $t_{\text{rel2}} = t_2 - t_0 = 60.9 - 19 = 41.9(\text{a})$

C.0.1.3 评估结果

根据大气环境、氯盐侵蚀条件时的评估，所实测的滨海建筑 A 基于耐久性的剩余使用年限为 15.2a。

C.0.2 算例 B

某酒店 B，位于市区繁华路段，距内海岸线 1.5 km，周边为普通多层民用建筑，该酒店为 25 层框架剪力墙结构，建于 1986 年，于 1988 年使用至今，因功能调整于 2012 年进行改扩建，2012 年进行检测。

C.0.2.1 大气环境下的评估

首层柱，具有 95% 保证率的碳化深度为 9.2mm，保护层厚度为 24mm。结构实际龄期为 25.5a。

依公式 (2)：

$$k = \frac{Xc}{\sqrt{t_0}} = \frac{9.2}{\sqrt{25.5}} = 1.83(\text{mm} / \sqrt{\text{a}})$$

依公式 (1), 预期使用年限:

$$t_1 = \left(\frac{x}{k}\right)^2 = \left(\frac{24}{1.83}\right)^2 = 172(\text{a})$$

剩余使用年限 $t_{rel} \geq 50(\text{a})$

C.0.2.2 氯盐侵蚀条件时的评估

分别对第 1、8 层柱进行检测, 保护层厚度均为 25mm, 取氯离子临界浓度为 0.4% (占胶凝材料用量)。

依公式 (5) 求扩散系数和表面氯离子浓度, 利用 5mm~10mm、10 mm~20mm、20 mm~30mm 的氯离子含量进行回归求解, 将 30 mm~50mm 的氯离子含量作为 C_i 的参考值, 经综合分析, 第 1 层取 $C_i=0.10\%$ (占胶凝材料用量), 第 8 层取 $C_i=0.08\%$ (占胶凝材料用量)。

计算得到第 1 层 $D = 1.5 \times 10^{-12}(\text{m}^2 / \text{s})$, $C_0 = 0.5\%$ (占胶凝材料用量)

依公式 (4), 预期使用年限 $t_2 = 2.06 \times 10^9(\text{s}) = 65.2(\text{a})$

依公式 (6), 剩余使用年限为 $t_{rel} = t_2 - t_0 = 65.2 - 25.5 = 39.7(\text{a})$

第 8 层 $D = 1.25 \times 10^{-12}(\text{m}^2 / \text{s})$, $C_0 = 0.48\%$ (占胶凝材料用量)

依公式 (4), 预期使用年限 $t_2 = 3.86 \times 10^9(\text{s}) = 122(\text{a})$

依公式 (6), 剩余使用年限为 $t_{rel} \geq 50(\text{a})$

表 C.1 某酒店检测评估结果

结构层(层)	1	8
初始浓度 C_i (%)	0.10	0.08
t ($\times 10^8 \text{s}$)	8.035	7.97
D ($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$)	1.5	1.25
表面氯离子浓度 C_0 (%)	0.5	0.48
预期使用年限 (a)	65.2	122
剩余使用年限 (a)	39.7	≥ 50

C.0.2.3 评估结果

根据大气环境、氯盐侵蚀条件时的评估, 所实测的某酒店 B 基于耐久性的剩余使用年限为 39.7a。

附录 D
(资料性)

误差函数表

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-y^2) dy$$

x	$\operatorname{erf}(x)$	x	$\operatorname{erf}(x)$	x	$\operatorname{erf}(x)$	x	$\operatorname{erf}(x)$
0.00	0.000000	0.42	0.447468	0.84	0.765143	1.26	0.925236
0.01	0.011283	0.43	0.456887	0.85	0.770668	1.27	0.927514
0.02	0.022565	0.44	0.466225	0.86	0.776190	1.28	0.929734
0.03	0.033841	0.45	0.475482	0.87	0.781440	1.29	0.931899
0.04	0.045111	0.46	0.484655	0.88	0.786687	1.30	0.934008
0.05	0.056372	0.47	0.493745	0.89	0.791843	1.31	0.936063
0.06	0.067622	0.48	0.502750	0.90	0.796908	1.32	0.938065
0.07	0.078858	0.49	0.511663	0.91	0.801883	1.33	0.940015
0.08	0.090078	0.50	0.520500	0.92	0.806768	1.34	0.941914
0.09	0.101281	0.51	0.529244	0.93	0.811564	1.35	0.943762
0.10	0.112463	0.52	0.537899	0.94	0.816271	1.36	0.945561
0.11	0.123623	0.53	0.546464	0.95	0.820891	1.37	0.947312
0.12	0.134758	0.54	0.554939	0.96	0.825424	1.38	0.949016
0.13	0.145867	0.55	0.563323	0.97	0.829870	1.39	0.950673
0.14	0.156947	0.56	0.571616	0.98	0.834232	1.40	0.952285
0.15	0.167996	0.57	0.579816	0.99	0.838508	1.41	0.953852
0.16	0.179012	0.58	0.587923	1.00	0.842701	1.42	0.955376
0.17	0.189992	0.59	0.595936	1.01	0.846810	1.43	0.956857
0.18	0.200936	0.60	0.603856	1.02	0.850838	1.44	0.958297
0.19	0.211840	0.61	0.611681	1.03	0.854784	1.45	0.959695
0.20	0.222703	0.62	0.619411	1.04	0.858650	1.46	0.961054
0.21	0.233522	0.63	0.627046	1.05	0.862436	1.47	0.962373
0.22	0.244296	0.64	0.634586	1.06	0.866144	1.48	0.963654
0.23	0.255023	0.65	0.642029	1.07	0.869773	1.49	0.964898
0.24	0.265700	0.66	0.649377	1.08	0.873326	1.50	0.966105
0.25	0.276326	0.67	0.656628	1.09	0.876803	1.51	0.967277
0.26	0.286900	0.68	0.663782	1.10	0.880205	1.52	0.968413
0.27	0.297418	0.69	0.670840	1.11	0.883533	1.53	0.969516
0.28	0.307880	0.70	0.677801	1.12	0.886788	1.54	0.970536
0.29	0.318283	0.71	0.684666	1.13	0.889971	1.55	0.971623
0.30	0.328627	0.72	0.691433	1.14	0.893082	1.56	0.972628
0.31	0.338908	0.73	0.698104	1.15	0.896124	1.57	0.973603
0.32	0.349126	0.74	0.704678	1.16	0.899096	1.58	0.974547
0.33	0.359279	0.75	0.711156	1.17	0.902000	1.59	0.975462

误差函数表（续表）

0.34	0.369365	0.76	0.717537	1.18	0.904837	1.60	0.976348
0.35	0.379382	0.77	0.723822	1.19	0.907608	1.61	0.977207
0.36	0.389330	0.78	0.730010	1.20	0.910314	1.62	0.978038
0.37	0.399206	0.79	0.736103	1.21	0.912956	1.63	0.978843
0.38	0.409009	0.80	0.742101	1.22	0.915534	1.64	0.979622
0.39	0.418739	0.81	0.748003	1.23	0.918050	1.65	0.980376
0.40	0.428392	0.82	0.753811	1.24	0.920505	1.66	0.981105
0.41	0.437969	0.83	0.759524	1.25	0.922900	1.67	0.981810
1.68	0.982493	2.14	0.997525	2.60	0.999764	3.06	0.99998492
1.69	0.983531	2.15	0.997639	2.61	0.999777	3.07	0.99998586
1.70	0.983790	2.16	0.997741	2.62	0.999789	3.08	0.99999674
1.71	0.984407	2.17	0.997851	2.63	0.999800	3.09	0.99998757
1.72	0.985003	2.18	0.997957	2.64	0.999811	3.10	0.99998835
1.73	0.985578	2.19	0.998046	2.65	0.999822	3.11	0.99998908
1.74	0.986135	2.20	0.998137	2.66	0.999831	3.12	0.99998977
1.75	0.986672	2.21	0.998224	2.67	0.999841	3.13	0.99999042
1.76	0.987190	2.22	0.998308	2.68	0.999849	3.14	0.99999108
1.77	0.987691	2.23	0.998388	2.69	0.999858	3.15	0.99999160
1.78	0.988174	2.24	0.998464	2.70	0.999866	3.16	0.99999214
1.79	0.988164	2.25	0.998537	2.71	0.999873	3.17	0.99999264
1.80	0.989091	2.26	0.998607	2.72	0.999880	3.18	0.99999311
1.81	0.989525	2.27	0.998674	2.73	0.999887	3.19	0.99999356
1.82	0.989943	2.28	0.998738	2.74	0.999893	3.20	0.99999397
1.83	0.990347	2.29	0.998799	2.75	0.999899	3.21	0.99999436
1.84	0.990736	2.30	0.998857	2.76	0.999905	3.22	0.99999478
1.85	0.991111	2.31	0.998912	2.77	0.999910	3.23	0.99999507
1.86	0.991472	2.32	0.998966	2.78	0.999916	3.24	0.99999540
1.87	0.991821	2.33	0.999016	2.79	0.999920	3.25	0.99999570
1.88	0.992156	2.34	0.999065	2.80	0.999925	3.26	0.99999598
1.89	0.992479	2.35	0.999111	2.81	0.999929	3.27	0.99999624
1.90	0.992790	2.36	0.999155	2.82	0.999933	3.28	0.99999649
1.91	0.993090	2.37	0.999197	2.83	0.999937	3.29	0.99999672
1.92	0.993378	2.38	0.999237	2.84	0.999941	3.30	0.99999694
1.93	0.993656	2.39	0.999275	2.85	0.999944	3.31	0.99999715
1.94	0.993923	2.40	0.999311	2.86	0.999948	3.32	0.99999734
1.95	0.994179	2.41	0.999346	2.87	0.999951	3.33	0.99999751
1.96	0.994426	2.42	0.999379	2.88	0.999954	3.34	0.99999768
1.97	0.994664	2.43	0.999411	2.89	0.999956	3.35	0.999997838

误差函数表（续表）

1.98 0.994892	2.44 0.999441	2.90 0.999959	3.36 0.999997983
1.99 0.995111	2.45 0.999469	2.91 0.999961	3.37 0.999998120
2.00 0.995322	2.46 0.999497	2.92 0.999964	3.38 0.999998247
2.01 0.995525	2.47 0.999523	2.93 0.999965	3.39 0.999998367
2.02 0.995719	2.48 0.999547	2.94 0.999968	3.40 0.999998478
2.03 0.995906	2.49 0.999571	2.95 0.999970	3.41 0.999998583
2.04 0.996086	2.50 0.999593	2.96 0.999972	3.42 0.999998679
2.05 0.996258	2.51 0.999614	2.97 0.999973	3.43 0.999998770
2.06 0.996423	2.52 0.999635	2.98 0.999975	3.44 0.999998855
2.07 0.996582	2.53 0.999654	2.99 0.999977	3.45 0.999998934
2.08 0.996734	2.54 0.999672	3.00 0.9999791	3.46 0.999999080
2.09 0.996880	2.55 0.999689	3.01 0.99997926	3.47 0.999999077
2.10 0.997021	2.56 0.999706	3.02 0.99998053	3.48 0.999999141
2.11 0.997155	2.57 0.999722	3.03 0.99998173	3.49 0.999999201
2.12 0.997284	2.58 0.999736	3.04 0.99998286	3.50 0.999999257
2.13 0.997407	2.59 0.999751	3.05 0.99998392	3.51 0.999999309
3.52 0.999999358	3.64 0.999999736	3.76 0.999999895	3.88 0.999999959
3.53 0.999999403	3.65 0.999999756	3.77 0.999999903	3.89 0.999999962
3.54 0.999999445	3.66 0.999999773	3.78 0.999999910	3.90 0.999999965
3.55 0.999999485	3.67 0.999999790	3.79 0.999999917	3.91 0.999999968
3.56 0.999999521	3.68 0.999999805	3.80 0.999999923	3.92 0.999999970
3.57 0.999999555	3.69 0.999999820	3.81 0.999999929	3.93 0.999999973
3.58 0.999999587	3.70 0.999999833	3.82 0.999999934	3.94 0.999999975
3.59 0.999999617	3.71 0.999999845	3.83 0.999999939	3.95 0.999999977
3.60 0.999999644	3.72 0.999999857	3.84 0.999999944	3.96 0.999999979
3.61 0.999999670	3.73 0.999999867	3.85 0.999999948	3.97 0.999999980
3.62 0.999999694	3.74 0.999999877	3.86 0.999999952	3.98 0.999999982
3.63 0.999999716	3.75 0.999999886	3.87 0.999999956	3.99 0.999999983