

文章编号:1005-9865(2017)04-0126-09

海洋混凝土结构表面自由氯离子含量 时变规律及其寿命影响

许泽启,麻海燕,余红发,许 梅,徐 彧,冯滔滔

(南京航空航天大学 航空宇航学院土木工程系,江苏 南京 210016)

摘 要:表面氯离子含量(C_s)是研究海洋环境条件下混凝土结构耐久性和服役寿命的氯离子扩散方程的边界条件,是海洋混凝土结构耐久性分析和定量设计的重要参数。依据国内外大量自然暴露试验与工程实测数据,通过采用 Excel、Origin 等数据分析软件进行数据统计和回归分析,确定了海洋混凝土结构表面自由氯离子含量(C_{sf})与表面总氯离子含量(C_{st})之间的相互关系,探讨了海洋混凝土结构的 C_{sf} 时变规律,建立了 C_{sf} 与暴露时间之间的关系表达式及其取值范围,并运用可靠度理论和修正氯离子扩散理论分析了 C_{sf} 时变性对海洋混凝土结构寿命的影响。结果表明: C_{sf} 与 C_{st} 线性相关,且 C_{sf} 随着暴露时间的延长呈指数或者幂函数的增长关系;采用不同的 C_{sf} 时变性规律,对海洋混凝土结构寿命具有重大的影响。

关键词:海洋环境;混凝土结构;氯离子扩散;表面自由氯离子含量;暴露时间;服役寿命

中图分类号:TU528.33 **文献标志码:**A **DOI:**10.16483/j.issn.1005-9865.2017.04.016

Time variation law of free chlorine ion content in the surface of marine concrete structure and its influence on life

XU Zeqi, MA Haiyan, YU Hongfa, XU Mei, XU Yu, FENG Taotao

(Department of Civil Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: The surface chloride content (C_s) is the boundary condition of the equation of concrete structure durability and service life of the chloride ion diffusion of the marine environment, and is one of the important parameters for marine concrete structure durability analysis and quantitative design. Based on a large number of domestic and international natural exposure tests and engineering data, by using Excel and Origin data analysis software for data statistics and regression analysis, the relationship between the surface chloride content of concrete in sea surface (C_{sf}) and total chloride content (C_{st}) is determined, the variation of marine concrete structures C_{sf} is analyzed, an expression for the relationship between C_{sf} and exposure time is given, and the effect of denaturation on life of marine concrete structures in C_{sf} is analyzed using the reliability theory and correction of chloride ion diffusion theory. The results show that C_{sf} and C_{st} is linearly correlated, and C_{sf} with increasing exposure time shows an exponential or power function increase; using different C_{sf} variation laws will have a great impact on the life of marine concrete structures.

Keywords: marine environment; concrete structure; chloride ion diffusion; surface free chlorine ion content; exposure time; service life

在海洋环境条件下,混凝土结构的耐久性问题主要表现为氯盐侵蚀引起的钢筋锈蚀。当钢筋表面的混凝土氯离子含量超过一定的限值时,钢筋表面钝化膜就会发生破坏,导致钢筋的锈蚀,从而影响混凝土结构

收稿日期:2016-12-06

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2015CB6551002);国家自然科学基金(51508272,51678304);高性能土木工程材料国家重点实验室重点基金项目(2015CEM001);江苏高校优势学科建设工程资金资助(PAPD)

作者简介:许泽启(1991-),男,湖北蕲春人,硕士研究生,研究方向为海洋混凝土。E-mail:752267320@qq.com

通信作者:麻海燕,女,博士,硕士生导师,从事海洋混凝土研究。E-mail:mahaiyan@nuaa.edu.cn

性能。但是并非所有的氯离子都会引起混凝土中钢筋的锈蚀,只有自由氯离子才能破坏钢筋表面的钝化膜,从而造成钢筋的锈蚀。所以研究海洋混凝土结构的自由氯离子含量(C_{sf})扩散规律时,其边界条件必须关注表面自由氯离子含量(C_{sf}),并建立 C_{sf} 与表面总氯离子含量(C_{st})的关系^[1]及 C_{sf} 的时变规律,对海洋环境下混凝土结构耐久性评估与寿命预测具有重要的意义。

长期以来,国内外的研究人员都是根据 Fick 第二定律^[2]来研究混凝土中氯离子的侵蚀过程,在 Fick 扩散方程的解析过程中都是将混凝土表面氯离子含量(C_s)假设为一个定值。然而大量研究^[3-5]表明,实际海洋环境中混凝土 C_s 值都是在变化的,先随暴露时间的延长而呈现不同的增长规律,达到一定的值之后趋于稳定,这种很明显的时变特性受到国内外学术界的广泛关注^[6-13]。其中,Amey 等^[6]研究了混凝土在不同暴露时间的 C_s 值,发现其值随着暴露时间(t)的增长而变化,继而提出了线性关系和幂函数关系的两种边界条件:

线性关系:

$$C_s = kt \tag{1}$$

幂函数关系:

$$C_s = kt^{1/2} \tag{2}$$

Kassir 等^[7]通过引用 Weyers 等^[8]跟踪实测一个 16 年混凝土桥梁结构的数据得到表面氯离子浓度与暴露时间之间符合指数关系:

$$C_s = C_{s0} + a(1 - e^{-kt}) \tag{3}$$

针对无限大体的氯离子扩散,余红发等^[9]考虑了混凝土氯离子扩散系数的时间依赖性的扩散问题,提出了混凝土表面自由氯离子含量时变性的两种幂函数模型:

$$C_s = C_{s0} + kt^{1-m} \tag{4}$$

$$C_s = C_{s0} + kt^{(1-m)/2} \tag{5}$$

式中: k 和 a 是边界条件常数, C_s 是混凝土表面的氯离子浓度, C_{s0} 是混凝土的初始氯离子浓度, t 是暴露时间, m 是氯离子扩散系数的时间依赖性常数。

欧洲 DuraCrete 项目^[10]根据野外调查数据,建立了 C_s 浓度与水胶比之间的线性关系模型。Petcherdchoo^[11]进一步建立了 C_s 浓度与水胶比之间的指数关系模型。Chalee 等^[12]根据暴露于泰国海湾潮汐区混凝土试件 2~5 年数据,拟合了 C_s 浓度与水胶比和暴露时间的关系模型。王晓舟等^[13]基于中国浙江乍浦港干湿交替区混凝土结构的现场数据,建立了 C_s 浓度与水胶比、温度、湿度等因素的经验模型。综上所述,混凝土 C_s 浓度与水胶比、暴露时间、湿度等多重因素有关,暴露时间是最关键的因素。其次,目前国内外学者对混凝土 C_s 计算模型的研究结果,更多地关注了 C_{st} ,较少重视 C_{sf} 的规律性,由于导致钢筋锈蚀的是自由氯离子,因此必须重点研究 C_{sf} 问题,考察 C_{sf} 与 C_{st} 的关系问题及 C_{sf} 含量随暴露时间的变化规律,才更有实际意义。

鉴于此,依据国内外的大量自然暴露试验数据^[14-30,36-40],针对海洋环境下的浪溅区、潮汐区和水下区 3 个区域的 C_{sf} 浓度开展研究工作。由于混凝土氯离子扩散规律的研究是一个长时间积累的过程,并且涉及到的影响因素很多,很难一一的分类研究,包括韩国研究者 Pack 等^[29]调研了 11 座服役 0.65~48.65 a 桥梁的数据,进行统计和回归分析得出其规律;韩国研究者 Song 等^[30]汇总分析了国际上服役 1~64 a 的不同工程混凝土结构构件,探索出水胶比对混凝土表面氯离子的影响规律;1998 年英国研究者 McGee 等^[31]在对澳大利亚塔斯马尼亚州 1 158 座建于 1931~1997 年桥梁进行现场检测后,探索出建筑物离海岸的距离对大气区混凝土表面氯离子浓度的影响规律;以及日本前田聪等^[32]统计调查 27 年以来发表的 1 500 组混凝土构造物的数据来,分析与确定了氯离子扩散各参数之间的相互联系。因此,这里也采用 Excel、Origin 等数据分析软件进行国内外大量数据统计和回归分析,确定海洋混凝土结构的 C_{sf} 含量与 C_{st} 含量之间的变化规律,分析海洋混凝土结构 C_{sf} 含量的时变规律,得到 C_{sf} 含量与暴露时间的关系表达式及其取值范围,并利用国内有关海洋工程的实测数据^[33-35]进行验证。最后,基于本课题组建立的可靠度理论和修正氯离子扩散理论模型以及不考虑 C_s 时变性的欧洲 DuraCrete 模型,通过算例对比研究了 C_s 时变性对海洋混凝土结构寿命的影响规律。

1 实验部分

1.1 工程验证实验——大连港混凝土结构的现场钻芯取样

对大连地区有关港口的混凝土结构进行了现场钻芯取样,包括:中交一航局第三工程有限公司的大连港滑道码头(2005)、沉箱预制场滑道码头(1966,1988)、3#码头(1998)、4821 码头(1976)、大连港客运码头(1934)等,取样区域包括大气区、浪溅区和潮汐区,不同码头的服役时间在 11~82 a 范围。图 1 是对应不同区域混凝土结构内部的 C_{sf} 含量分布规律。

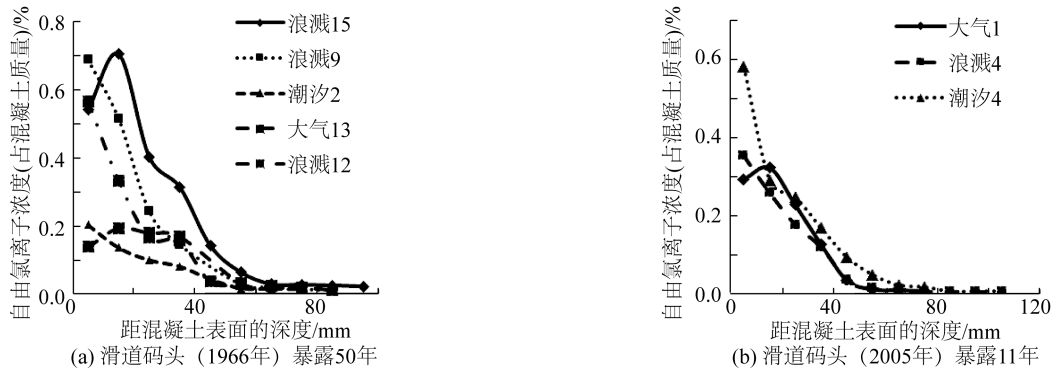


图 1 甘井子船厂滑道码头各区域 C_{sf} 含量分布

Fig. 1 The content of C_{sf} distribution in Ganjingzi shipyard dock

1.2 寿命分析算例实验——实验室高性能混凝土的暴露试验

采用大连水泥厂的 P·O 42.5 水泥,大连华能 I 级粉煤灰,大连金桥公司生产的 S95 级磨细矿渣、中砂,5~25 mm 连续级配的大连本地碎石,聚羧酸高性能减水剂,松香热聚物类引气剂及大连市自来水等为原材料,采用标准试验方法,在实验室制作 C-3 高性能混凝土的立方体试件(100 mm×100 mm×100 mm),经过 28 d 标准养护之后分别进行海洋现场暴露试验。现场暴露试验地点选在大连市甘井子区中交一航局第三工程有限公司预制场滑道,暴露时间为 8 个月左右,暴露环境分为大气区、浪溅区、潮汐区以及水下区,共 4 个区域。与此同时,在实验室内进行海水浸泡试验,海水取自大连湾。C50 高性能混凝土配合比为水泥 250 kg/m³;磨细矿渣 175 kg/m³;粉煤灰 75 kg/m³;沙子 630 kg/m³;石子 1 111 kg/m³;用水量 150 kg/m³;减水剂 5 kg/m³;引气剂 0.09 kg/m³。水胶比 0.3,坍落度 230 mm,含气量 4.4%,抗压强度 58.2 MPa。

1.3 测试方法

对于现场混凝土芯样或实验室混凝土立方体试件暴露一定时间之后,采用直径 6 mm 的合金钻头钻孔取样,采集 0~5 mm、5~10 mm、10~15 mm、15~20 mm、20~25 mm、25~30 mm、30~35 mm、35~40 mm、40~45 mm、45~50 mm 等深度的混凝土粉末。

对于采集的不同深度混凝土粉末样品,首先通过 0.16 mm 筛去粗颗粒。在实验室按照国家交通部标准 JTJ270-98《水运工程混凝土试验规程》进行总氯离子含量与自由氯离子含量的化学分析。有关氯离子扩散参数的计算方法,详见文献[36]。

1.4 寿命分析算例的计算方法

采用余红发^[1]提出的基于可靠度理论与修正氯离子扩散理论的混凝土结构寿命分析方法,运用一次二阶矩方法,研究 C_{sf} 时变性对大连海洋浪溅区混凝土结构寿命的影响。寿命分析计算氯离子扩散模型的边界条件是式(5),修正氯离子扩散模型公式^[1]:

$$C_f = C_0 + kt^{\frac{1-m}{2}} \left\{ \exp \left[-\frac{(1+R)(1-m)x^2}{4KD_0t_0^m t^{1-m}} \right] - \frac{x\sqrt{\pi}}{2\sqrt{\frac{KD_0t_0^m t^{1-m}}{(1+R)(1-m)}}} \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{\frac{KD_0t_0^m t^{1-m}}{(1+R)(1-m)}}} \right\} \quad (6)$$

式中: C_f 是混凝土在扩散深度为 x 的自由氯离子含量, C_0 是混凝土的初始自由氯离子含量, k 是边界条件常数, t 是扩散时间(暴露时间或服役时间), D_0 是暴露时间为 t_0 时混凝土的自由氯离子扩散系数, m 是氯离子扩散系数的时间依赖性常数, K 是混凝土的劣化效应系数, R 是混凝土的氯离子结合能力, erf 是误差函数,

$$erfu = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-t^2} dt。$$

在进行混凝土结构的服役寿命可靠度分析时,结构抗力是钢筋锈蚀的临界氯离子含量(C_{cr}),荷载效应是扩散作用导致钢筋表面(混凝土保护层厚度 x_0)的自由氯离子含量(C_f),建立功能函数 $Z = C_{cr} - C_f$ 。当混凝土内部钢筋表面(混凝土保护层厚度 x_0)的自由氯离子含量(C_f)达到临界氯离子含量(即 $C_{cr} \leq C_f$)时,导致混凝土结构失效的失效概率 $p_f = \Phi(-\beta)$ 。按照式(6),采用一次二阶矩方法,即可计算出可靠度指标。

2 海洋混凝土结构 C_{sf} 的时变性规律及其验证

2.1 C_{sf} 与 C_{st} 关系

通过整理余红发教授课题组^[36-40]以及国内其他课题组^[33-35]实测的 470 组不同混凝土在海水中长期室内浸泡和现场暴露试验样品的成对 C_{sf} 与 C_{st} 数据,拟合出了 C_{sf} 与 C_{st} 之间的关系式,结果如图 2 所示。由图可见,海洋环境下混凝土结构的 C_{sf} 与 C_{st} 之间具有非常显著的线性关系:

$$C_{sf} = 0.909\ 2C_{st} \tag{7}$$

式中: $n=470$,相关系数 $R=0.958\ 6$ 。

鉴于国内外已经发表了海洋混凝土结构的大量 C_{st} 数据,运用已经建立的式(7),就可将国外的大量 C_{st} 数据转换成 C_{sf} 数据,进而系统全面地研究海洋混凝土结构的 C_{sf} 时变规律。

2.2 C_{sf} 时变性规律

2.2.1 海洋浪溅区 C_{sf} 时变性规律

通过整理出国内外的大量暴露试验数据^[14-28],根据 Fick 第二定律拟合出 C_{st} 或者 C_{sf} ,再利用 C_{sf} 与 C_{st} 关系式得到 C_{sf} ,最后通过采用 Excel、Origin 等数据分析软件进行数据统计和回归分析,分析出了海洋混凝土结构 C_{sf} 含量随暴露时间的变化规律。图 3 是海洋浪溅区混凝土结构的 C_{sf} 含量与暴露时间之间的实测数据分布及其拟合的时变关系。图中,确定了实测数据的上下边界范围,并采用式(3)~(5)进行了回归分析(参数 $C_0=0$),式(3)的拟合参数值 $a=0.932\ 43$ 、 $k=0.072\ 36$,式(4)的拟合参数值 $k=0.207\ 03$,式(5)的拟合参数值 $k=0.401\ 62$ 。

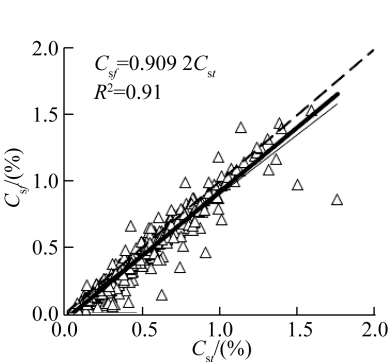


图 2 海洋混凝土的 C_{sf} 与 C_{st} 关系

Fig. 2 Relationship between C_{sf} and C_{st} of marine concrete

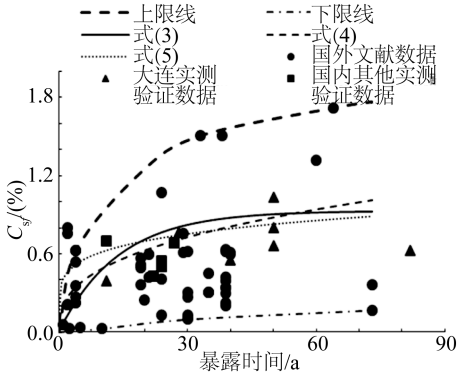


图 3 海洋浪溅区混凝土 C_{sf} 随暴露时间的时变性规律及工程验证

Fig. 3 Temporal variation of concrete C_{sf} with exposure time and engineering verification in marine splash zone

由图 3 可见,式(3)(指数) C_{sf} 含量会随着暴露时间缓慢的增长,达到 30 年以后趋于平稳;式(4)(幂函数) C_{sf} 含量会随着暴露时间一直缓慢的增长;式(5)(幂函数) C_{sf} 含量会随着暴露时间先急剧增长,5 年以后缓慢的增长。这三个公式拟合出的效果都很好,但是综合考虑后面的寿命计算结果,式(5)最实用。

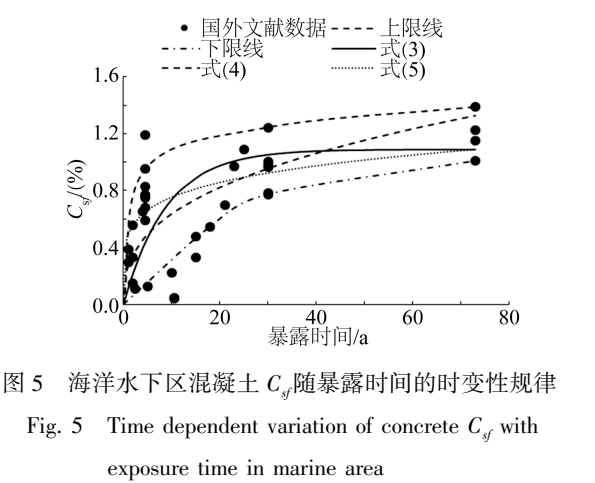
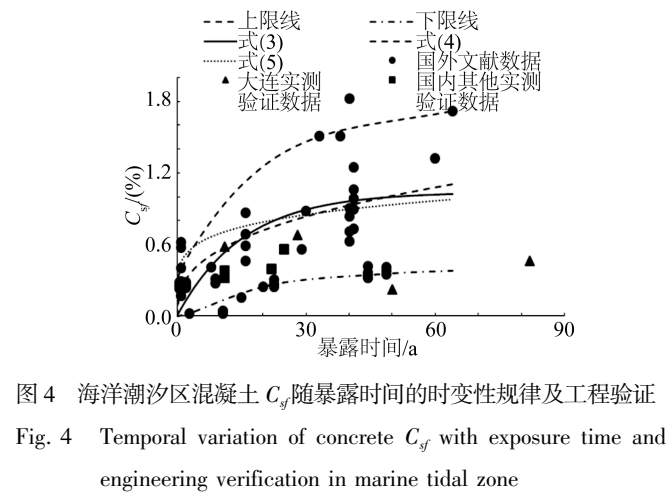
2.2.2 海洋潮汐区 C_{sf} 时变性规律

采用大量暴露试验数据^[14-28],经过整理得到海洋潮汐区混凝土结构的 C_{sf} 含量与暴露时间之间的实测数据分布及其拟合的时变关系,如图 4 所示。其中,拟合时参数 $C_0=0$,确定了海洋潮汐区混凝土 C_{sf} 含量上、下

边界范围,式(3)的拟合参数值是 $a=1.038\ 38$ 、 $k=0.065\ 39$,式(4)的拟合参数值是 $k=0.237\ 16$,式(5)的拟合参数值是 $k=0.454\ 32$ 。

2.2.3 海洋水下区 C_{sf} 时变性规律

图 5 是基于国内外大量暴露试验数据^[14-28],经过整理和回归分析,得到的水下区海洋混凝土结构 C_{sf} 含量随暴露时间的时变性规律。图中,拟合时参数 $C_0=0$,标出了上下边界范围和式(3)~(5)的拟合结果,式(3)、(4)、(5)的拟合参数值分别是 $a=1.086\ 43$ 、 $k=0.112\ 87$; $k=0.272\ 13$; $k=0.492\ 99$ 。



2.3 表面氯离子含量时变规律的工程验证

2.3.1 大连港码头的实测数据对比与验证

采用大连港不同年代码头混凝土结构的实测数据,用来对比与验证海洋浪溅区和潮汐区的上述 C_{sf} 时变性规律,如图 3 所示。结果表明,大连港服役 11~82 a 的实测 C_{sf} 数据点,完全在图 3 和图 4 所确定的 C_{sf} 上下限范围之内,并且大多数位于 3 条拟合曲线的附近,说明本文建立的海洋混凝土结构的 C_{sf} 时变性规律具有良好的适用性。

2.3.2 国内其它沿海工程的数据验证

分别整理归纳了天津港码头^[33],青岛市黄岛区海边防波堤^[34],浙江省舟山市岱山岛某海港码头服役 11~27 a 的实测数据^[35],进一步对比与验证海洋浪溅区和海洋潮汐区的 C_{sf} 时变性规律,如图 4 所示。结果表明,我国东南沿海地区混凝土结构的实测 C_{sf} 数据,也完全在图 3 与图 4 的 C_{sf} 上、下限范围之内,并接近 3 条公式拟合曲线,这证明文中运用大量国内外数据建立的 C_{sf} 时变性规律是有效的。

3 表面自由氯离子含量时变性对海洋混凝土结构服役寿命的影响算例

3.1 寿命计算模型参数

按照图 3 建立海洋浪溅区边界条件的时变性规律,分别选择 C_{sf} 的上限、下限与拟合式(5)作为寿命计算的边界条件,采用一次二阶矩方法,运用式(6)所示的寿命计算模型,计算了 C50 高性能混凝土(C-3)结构在海洋浪溅区的服役寿命。寿命计算时,采用的有关模型参数如表 1 所示,其中除基准暴露时间 t_0 为常量以外,其余参数均属于正态分布的随机变量。

3.2 海洋混凝土结构寿命计算结果与表面氯离子含量时变性的关系

本算例的海洋混凝土结构寿命计算的钢筋锈蚀概率与可靠度指标如图 6 所示。结果表明,采用 C-3 高性能混凝土结构,在海洋浪溅区与保护层厚度 7 cm 条件下,按照钢筋锈蚀概率分别为 5% 和 10% 的可靠性,当采用上限边界条件时,混凝土结构的服役寿命分别为 21.4 a 和 23.6 a;当采用下限边界条件时,则混凝土结构的服役寿命分别延长到 73 a 和 83 a,比上限边界条件延长了 2.4~2.5 倍。对于按照式(5)确定的中值边界条件进行寿命计算时,则混凝土结构的服役寿命分别达到 28.7 a 和 32.5 a,分别比上限边界条件延长了 34% 和 38%。

表 1 海洋环境下钢筋锈蚀模型分析参数

Tab. 1 Analysis parameters of steel corrosion model under marine environment

氯离子扩散的模型参数	平均值	分布类型	备注
初始自由氯离子含量 $C_0 / (%)$	0.01	$N(0.01,0.002)$	占混凝土质量的百分比
基准自由氯离子扩散系数 $D_0 / (\times 10^{-8} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	1.90	$N(1.90,0.38)$	
基准暴露时间 t_0 / d	28	常数	
氯离子结合能力 R	0.36	$N(0.36,0.07)$	
C_s 的依赖性参数 k	0.373 1	$N(0.373\ 1,0.042\ 8)$	
时间依赖性指数 m	0.63	$N(0.63,0.126)$	
劣化效应系数 K	2.83	$N(2.83,1.65)$	
临界自由氯离子含量 $C_{cr} / (%)$	0.05	$N(0.05,0.01)$	占混凝土质量的百分比
保护层厚度 x_0 / cm	7	$N(7,1.4)$	

图 6 同时列出了采用欧洲 DuraCrete 模型^[41]的固定边界条件对该混凝土结构的寿命计算结果。按照 DuraCrete 项目的规定,计算时采用固定边界条件 $C_s = 0.466\%$ (按掺加粉煤灰)~ 0.423% (按掺加磨细矿渣),其他参数不变。对于钢筋锈蚀概率分别为 5% 和 10% 的可靠性,按照欧洲 DuraCrete 模型的固定边界条件,混凝土结构的服役寿命分别为 104~112 a 和 129~139 a,分别比图 3 所示的上限边界条件计算寿命延长了 3.9~4.2 倍和 4.6~4.9 倍,甚至比图 4 所示的下边界条件计算寿命还分别延长了 42%~53% 和 55%~67%。可见,采用固定边界条件,有可能带来结构耐久性措施不能满足寿命设计的要求。

因此, C_{sf} 含量的时变性对海洋混凝土结构的服役寿命有重大的影响,在进行海洋工程混凝土结构的耐久性设计时,必须充分考虑 C_{sf} 含量的时变规律,这样才有利于提高混凝土结构耐久性设计的安全性与可靠性。

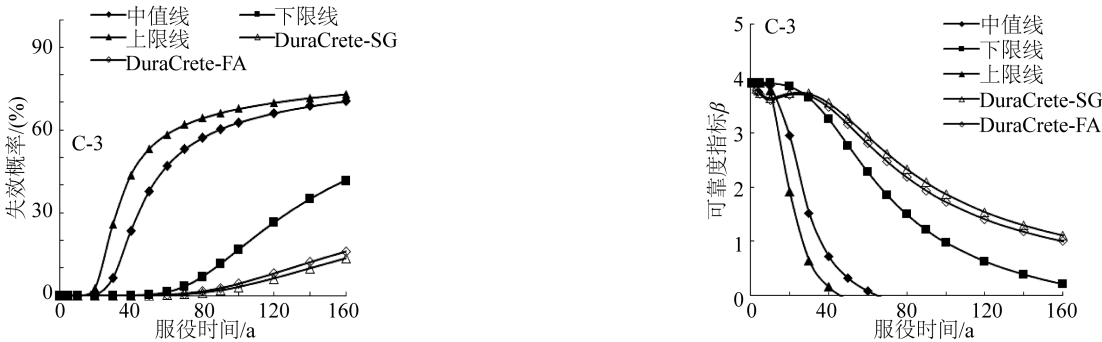


图 6 表面自由氯离子含量时变性对海洋混凝土结构服役寿命影响的计算结果

Fig. 6 The calculation results of the service life of marine concrete structures due to the change of free chlorine ion content

4 结 语

- 1) 经过统计国内外的 470 组实测数据,分析研究发现,海洋混凝土结构表面自由氯离子含量与总氯离子含量之间具有显著的线性关系。
- 2) 混凝土结构在海洋浪溅区、潮汐区及水下区的 C_{sf} 含量时变性规律是先在一定范围内,随着暴露时间增长,达到一定年限后趋于平稳或者缓慢的增长。经过统计来自英国、韩国、日本、美国、加拿大、沙特阿拉伯和国内等众多研究机构 1965 - 2015 年发表的大量实验室、现场暴露站和实际工程结构的 144 组混凝土表面氯离子含量数据,分析研究发现,Weyers 等建立的表面氯离子含量与时间的指数函数关系式以及本课题组

建立的含有氯离子扩散系数时间依赖性指数 m 的幂函数关系式,具有较好的适用性。

3) 海洋混凝土结构的 C_g 时变性,对海洋混凝土结构服役寿命设计具有重大的影响,采用幂函数边界条件,有利于提高混凝土结构耐久性设计的安全性与可靠性。

参考文献:

- [1] 余红发.盐湖地区高性能混凝土的耐久性、机理与使用寿命预测方法[D]. 南京:东南大学,2004:153-156. (YU Hong. Durability, mechanism and service life prediction of high performance concrete in Saline Lake area[D]. Nanjing: Southeast University, 2004:153-156. (in Chinese))
- [2] COLLEPARDI M, MARCIALIS A, TURRIZIANI R. Penetration of chloride ions into cement pastes and concretes[J]. Journal of the American Ceramic Society, 1972, 55(10):534-535.
- [3] SWAMY R N, HAMADA H, LAIW J C. A critical evaluation of chloride penetration into concrete in marine environment[C]// Proceedings of the International Conference Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete. England: University of Sheffield, 1994: 1404-419.
- [4] 薛焕,金祖权,王晓杰. 混凝土在海洋暴露过程中的氯离子渗透研究[J]. 海洋工程, 2015, 33(5): 60-65. (XUE Huan, JIN Zuquan, WANG Xiaojie. Chloride ion penetration into concrete exposed to marine environment for a long period[J]. The Ocean Engineering, 2015, 33(5): 60-65. (in Chinese))
- [5] JI Y S, YUAN Y S. Transport process of chloride in concrete under wet and dry cycle[J]. Industrial Construction, 2006, 36(12):16-19.
- [6] AMEY S L, JOHNSON D A, MILTENBERGER M A, et al. Predicting the service life of concrete marine structures: an environmental methodology[J]. ACI Struct J, 1998, 95(1): 27-36.
- [7] KASSIR M K, GHOSN M. Chloride-induced corrosion of reinforced concrete bridge decks[J]. Cem and Concr Res, 2002, 32(1): 139-143.
- [8] WEYERS R E, FITCH M G, LARSEN E P, et al. Concrete bridge protection and rehabilitation: chemical and physical techniques, service life estimates[R]. Washington D C: National Research Council, 1994: SHRP-S-668.
- [9] 余红发,孙伟,鄢良慧,等. 混凝土使用寿命预测方法的研究 I——理论模型[J]. 硅酸盐学报, 2002, 30(6): 686-690. (YU Hongfa, SUN Wei, YAN Lianghui, et al. Study on prediction of concrete service life model [J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2002, 30(6): 686-690. (in Chinese))
- [10] General guidelines for durability design and redesign[S]. The European Union-Brite EuRam III: Contract BRPR-CT95-0132, Project BE95-1347, 2000.
- [11] PETCHERDCHOO A. Time dependent models of apparent diffusion coefficient and surface chloride for chloride transport in fly ash concrete[J]. Construction and Building Materials, 2013, 38(1):497-507.
- [12] CHALEE W, JATUMPITAKKUL C, CHINDAPRASIRT P. Predicting the chloride penetration of fly ash concrete in seawater [J]. Marine Structures, 2009, 22(3):341-353.
- [13] 王晓舟,金伟良. 海港码头混凝土结构干湿交替区域氯离子侵蚀规律研究[J]. 海洋工程, 2010, 28(4):97-104. (WANG Xiaozhou, JIN Weiliang. Study on chloride ion erosion of concrete structure in wet and dry area of harbor wharf [J]. The Ocean Engineering, 2010, 28(4): 97-104. (in Chinese))
- [14] KIM H S, KIM C G, NA W B, et al. Chemical degradation characteristics of reinforced concrete reefs in South Korea[J]. Ocean Engineering, 2008, 35(8-9):738-748.
- [15] 谷口秀明,渡边博志,河野広隆,等. 塩害暴露試験による高強度コンクリートの塩分浸透性と鉄筋腐食の評価[J]. コンクリート工学年次論文集, 2004, 26(1):825-830. (TANIGUCHI Hidea, WATANABE Hiroshi, KAWANO Hirotaka, et al. Evaluation of steel corrosion and chloride penetration of high strength concrete by marine exposure test [J]. Proceedings of Concrete Engineering, 2004, 26(1):825-830. (in Japanese))
- [16] 室賀啓希,伊良波繁雄,富山潤,等. 沖縄県でのコンクリート構造物の耐久性調査と維持管理に関する研究[J]. コンクリート工学年次論文集, 2001, 23(1):1177-1182. (MUROKA Keiki, IRANAMI Shigerou, TOYAMA Run, et al. Investigation on durability of concrete structures in Okinawa County[J]. Proceedings of Concrete Engineering, 2001, 23(1): 1177-1182. (in Japanese))
- [17] 大城武,伊部博,近藤忠生,等. 塩害環境下におけるRC 構造物の劣化過程について[J]. コンクリート工学年次論文報告集, 1994, 16(1): 947-952. (AYUTTHAYA, YI Bo yi, KONDO Chuki, et al. On the degradation process of RC structure products in salt environment[J]. Annual Report on Concrete Engineering, 1994, 16(1): 947-952. (in Japanese))

- [18] TAREK UDDIN MOHAMMED, HIDENORI HAMAADA, et al. Marine durability of 30-year old concrete made with different cements[J]. Journal of Advanced Concrete Technology, 2002, 1(1): 63-75.
- [19] TAREK UDDIN MOHAMMED, TORU YAMAJI, et al. Chloride diffusion, microstructure, and mineralogy of concrete after 15 years of exposure in tidal environment[J]. ACI Materials Journal, 2002, 99(3): 256-263.
- [20] 山路徹, Tarek Uddin Mohammed, 等. 海洋コンクリートの耐久性に及ぼす暴露環境およびセメントの種類の影響[J]. コンクリート工学年次論文集, 2001, 23(2): 577-582. (MOUNTAIN Penetration, TAREK Uddin Mohammed, et al. The durability of marine concrete and its influence on the environment and cement types[J]. Proceedings of Concrete Engineering, 2001, 23(2): 577-582. (in Japanese))
- [21] 中村英佑, 渡辺博志, 古賀裕久, 等. コンクリートひび割れ部の塩分浸透性と鉄筋腐食に関する暴露試験[J]. コンクリート工学年次論文集, 2008, 30(1): 735-740. (NAKAMURA Youngwoo, WATANABE Hhroshi, KOGA Hiroku, et al. On the salt permeability of concrete cracking and exposure to cement corrosion[J]. Proceedings of Concrete Engineering, 2008, 30(1): 735-740. (in Japanese))
- [22] 加藤絵万, 堤知明, 岩波光保, 等. 海洋環境下の鉄筋コンクリート構造物に対する補修効果の定量評価手法の構築に関する検討[J]. Technical note of the Port and Airport Research Institute, 2006, 1133: 1-12. (KATO FROM MILLION, ZHI MING ZHI, IWABA HIKARUHO, et al. Discussion on the quantitative test method of the effect of building on the concrete structure in the marine environment[J]. Technical note of the Port and Airport Research Institute, 2006, 1133: 1-12. (in Japanese))
- [23] 福手勤, 大野皓一郎, 規田秀夫, 等. 大規模栈橋における塩害劣化の評価と補修工法の選択[J]. コンクリート工学年次論文報告集, 1998, 20(1): 269-274. (FU Hands, ONO Teruichiro, KITA Hideo, et al. The test of salt damage and the choice of maintenance technology for large scale dock[J]. Annual Report on Concrete Engineering, 1998, 20(1): 269-274. (in Japanese))
- [24] 桐山和也, 渡邊義規, 服部啓二, 等. 海岸線付近にあるコンクリート構造物の簡易法による塩分量調査[J]. コンクリート工学年次論文集, 2004, 26(1): 2007-2012. (TONG Shanhe, THE Little ferry yoshiniri, HATTORI Kei ji, et al. Investigation of simple salts of concrete structures near the coast[J]. Proceedings of Concrete Engineering, 2004, 26(1): 2007-2012. (in Japanese))
- [25] BADER M A. Performance of concrete in a coastal environment[J]. Cement and Concrete Composites, 2003, 25(4-5): 539-548.
- [26] BHUTTA M A R, MARUYA T, TSURUTA K. Use of polymer-impregnated concrete permanent form in marine environment; 10-year outdoor exposure in Saudi Arabia[J]. Construction and Building Materials, 2013, 43(3): 50-57.
- [27] MEDEIROS-JUNIOR R A D, LIMA M G D, BRITO P C D, et al. Chloride penetration into concrete in an offshore platform-analysis of exposure conditions [J]. Ocean Engineering, 2015, 103: 78-87.
- [28] KONDRATOVA I L, MONTES P, BREMNER T W. Natural marine exposure results for reinforced concrete slabs with corrosion inhibitors[J]. Cement and concrete composites, 2003, 25(4-5): 483-490.
- [29] PACK S W, JUNG M S, SONG H W, et al. Prediction of time dependent chloride transport in concrete structures exposed to a marine environment [J]. Cement and Concrete Research, 2010, 40(2): 302-312.
- [30] SONG H W, LEE C H, ANN K Y. Factors influencing chloride transport in concrete structures exposed to marine environments [J]. Cement and Concrete Composites, 2008, 30: 113-121.
- [31] MCGEE R. Modeling of durability performance of Tasmanian bridges[M]//ICASP8 Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering. 1999(1): 297-306.
- [32] 前田聡, 武若耕司, 山口明伸, 等. コンクリート中への塩化物浸透過程に関する既往調査の整理と分析.[J]. コンクリート工学年次論文集, 2002, 24(1): 795-800. (MAEDA Satoshi, TAKEWAKA Koji, YAMAGUCHI Akinobu, et al. In the past on the collation and analysis of the investigation process of salt penetration in concrete [J]. Proceedings of Concrete Engineering, 2002, 24(1): 795-800. (in Japanese))
- [33] 刘卫民, 竺存宏, 韩玉. 混凝土中氯离子扩散引起钢筋锈蚀过程的研究[J]. 水道港口, 1992(2): 30-38. (LIU Weimin, ZHU Cunhong, HAN Yu. Caused by steel corrosion process study of [J]. Port for Chloride Diffusion in Concrete, 1992(2): 30-38. (in Chinese))
- [34] 吕建福, 谭智军, 巴恒静. 长期暴露的海工混凝土性能与显微结构分析[J]. 中国矿业大学学报, 2010, 39(4): 528-533. (LV Jianfu, TAN Zhijun, BA Hengjing. The concrete properties and microstructure of long-term exposure analysis [J]. Journal of China University of Mining and Technology, 2010, 39(4): 528-533. (in Chinese))
- [35] 王成启, 谷坤鹏. 某海港码头结构耐久性调查与分析[J]. 水运工程, 2014(3): 114-118. (WANG Chengqi, GU Kunpeng.

- Investigation and analysis of structural durability of a harbor wharf [J]. Water Transport Engineering, 2014(3): 114-118. (in Chinese))
- [36] 胡蝶. 海水环境下混凝土氯离子扩散参数的规律性研究[D]. 南京:南京航空航天大学, 2009. (HU Die. Study on regularity of chloride diffusion parameters of concrete under seawater environment [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2009. (in Chinese))
- [37] 翁智财. 混凝土的氯离子结合能力及其非线性问题研究[D]. 沈阳:沈阳建筑大学, 2006. (WENG Zhicai. The chloride ion binding capacity and nonlinear problem research[D]. Shenyang: Shenyang Construction University, 2006. (in Chinese))
- [38] 窦雪梅, 余红发, 麻海燕, 等. 珊瑚混凝土在海洋环境中氯离子扩散实验[J]. 海洋工程, 2017, 35(1): 129-135. (DOU Xuemei, YU Hongfa, MA Haiyan, et al. Experiment on chloride diffusion coefficient of coral concrete exposed to marine environment[J]. The Ocean Engineering, 2017, 35(1): 129-135. (in Chinese))
- [39] 吴庆令. 海洋环境钢筋混凝土受弯构件的耐久性与寿命预测[D]. 南京:南京航空航天大学, 2010. (WU Qingling. Durability and life prediction of reinforced concrete flexural members in marine environment [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2010. (in Chinese))
- [40] 张云清. 氯化物盐冻作用下混凝土构件的耐久性评估与服役寿命设计方法[D]. 南京:南京航空航天大学, 2011. (ZHANG Yunqing. Durability evaluation and service life design of concrete members under chloride salt freezing [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2011. (in Chinese))
- [41] General guidelines for durability design and redesign[S]. The European Union-Brite Euram III, Document BE95-1347/R15, 2000.

书 讯

CNKI 推出《中国高被引图书年报》

日前,中国知网(CNKI)中国科学文献计量评价研究中心推出了一套《中国高被引图书年报》,该报告基于中国大陆建国以来出版的 422 万余本图书被近 3 年国内期刊、博硕、会议论文的引用频次,分学科、分时段遴选高被引优秀学术图书予以发布。据研制方介绍,他们统计并分析了 2013-2015 年中国学术期刊 813 万余篇、中国博硕士学位论文 101 万余篇、中国重要会议论文 39 万余篇,累计引文达 1 451 万条。根据统计数据,422 万本图书至少被引 1 次的图书达 72 万本。研制方根据中国图书馆分类法,将 72 万本图书划分为 105 个学科,分 1949-2009 年和 2010-2014 年两个时间段,分别遴选被引最高的 TOP 10% 图书,共计选出 70 911 本优秀图书收入《中国高被引图书年报》。统计数据显示,这 7 万本高被引优秀图书虽然只占全部图书的 1.68%,却获得 67.4% 的总被引频次,可见这些图书质量上乘,在同类图书中发挥了更加重要的作用。该报告还首次发布各学科“学科 h 指数”排名前 20 的出版单位的评价指标,对客观评价出版社的社会效益——特别是学术出版物的社会效益具有重要的参考价值。

该报告从图书被引用的角度出发,评价图书的学术影响力,弥补了以销量和借阅等指标无法准确评价学术图书的缺憾,科学、客观地评价了图书、图书作者以及出版单位对各学科发展的贡献。

《中国高被引图书年报》把建国以来出版图书全部纳入评价范围属国内首创,是全面、客观评价图书学术影响力的工具,填补了目前图书学术水平定量评价的空白,在帮助图书馆建设特色馆藏和提高服务水平、帮助出版管理部门了解我国学术出版物现状、帮助科研机构科研管理、帮助读者购买和阅读图书等方面,均具有较强的参考价值,也为出版社评估出版业绩、决策再版图书、策划学科选题提供有用的信息。

《中国高被引图书年报》由《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司出版。该产品的形式为光盘电子出版物,分为理学、工学、农学、医学、人文科学和社会科学 6 个分卷,随盘赠送图书,欢迎您咨询、订购。

咨询电话:010-82710850;82895056 转 8599。E-mail:aspt@cnki.net