

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI

ĐÀO VĂN DINH

**DỰ BÁO TUỔI THỌ SỬ DỤNG CỦA
CẦU BÊ TÔNG CỐT THÉP VEN BIỂN
VIỆT NAM DO XÂM NHẬP CLO**

CHUYÊN NGÀNH : KỸ THUẬT XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH ĐẶC BIỆT
MÃ SỐ : 62.58.02.06

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

- 1. GS.TS PHẠM DUY HỮU**
- 2. PGS.TS BÙI TRỌNG CẦU**

HÀ NỘI - 2014

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan luận án này là công trình nghiên cứu của cá nhân tôi. Các kết quả nêu trong luận văn là trung thực và chưa được công bố trong các công trình khác.

HÀ NỘI NGÀY 4 THÁNG 9 NĂM 2014
TÁC GIẢ

ĐÀO VĂN DINH

ii
LỜI CẢM ƠN

Luận án được thực hiện dưới sự hướng dẫn trực tiếp của GS.TS Phạm Duy Hữu và PGS.TS Bùi Trọng Cầu. Tôi xin chân thành cảm ơn các thầy hướng dẫn đã chỉ dẫn tận tình và đã đóng góp các ý kiến quý báu để giúp tôi thực hiện luận án này.

Tôi xin cảm ơn các quý thầy cô trong bộ môn Công Trình Giao Thông Thành Phố và Công trình Thủy, đặc biệt là GS.TS Nguyễn Viết Trung đã giúp đỡ tôi rất nhiều trong quá trình học tập nghiên cứu.

Tôi xin trân trọng cảm ơn PGS.TS Trần Quang Vinh đã đóng góp các ý kiến cho luận án.

Tôi xin trân trọng cảm ơn Phòng Đào tạo sau Đại học trường Đại học Giao Thông Vận tải đã tạo điều kiện thuận lợi cho tôi trong quá trình học tập nghiên cứu.

Tôi cũng xin trân trọng cảm ơn Ban Giám Hiệu trường Đại học Giao Thông Vận tải, lãnh đạo khoa Công Trình đã tạo điều kiện để tôi được học tập và nghiên cứu.

Cuối cùng tôi bày tỏ cảm ơn các đồng nghiệp, gia đình người thân đã giúp đỡ tôi trong quá trình học tập, nghiên cứu.

HÀ NỘI NGÀY 4 THÁNG 9 NĂM 2014
TÁC GIẢ

ĐÀO VĂN DINH

iii
MỤC LỤC

Lời cam đoan	i
Lời cảm ơn	ii
Mục lục.....	iii
Danh mục các bảng biểu	vi
Danh mục các hình vẽ	vii
Danh mục các chữ viết tắt, các ký hiệu	ix
MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN CÁC NGHIÊN CỨU VỀ TUỔI THỌ SỬ DỤNG CỦA CẦU BÊ TÔNG CỐT THÉP DO XÂM NHẬP CLO TRÊN THẾ GIỚI VÀ VIỆT NAM.....	6
1.1 Mở đầu.....	6
1.2 Các nghiên cứu về độ bền và tuổi thọ sử dụng trên thế giới	8
1.2.1 Các nghiên cứu về lý thuyết độ bền của bê tông	8
1.2.2 Các nghiên cứu về cơ chế xâm nhập clo vào trong bê tông.....	10
1.2.3 Các nghiên cứu cơ chế ăn mòn cốt thép.....	13
1.2.4 Các thí nghiệm về sức kháng xâm nhập clo của bê tông	21
1.2.5 Các nghiên cứu về hệ số khuếch tán	30
1.2.6 Các nghiên cứu về thời gian khởi đầu ăn mòn và thời gian lan truyền ăn mòn, tuổi thọ sử dụng.....	32
1.3 Các nghiên cứu trong nước.....	35
1.4 Nhận xét và hướng nghiên cứu của luận án	37
1.5 Mục tiêu của luận án.....	38
1.6 Nội dung và phương pháp nghiên cứu	38
1.6.1 Nội dung nghiên cứu	38
1.6.2 Phương pháp nghiên cứu.....	38
CHƯƠNG 2. NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH HỆ SỐ KHUẾCH TÁN CLO TRONG BÊ TÔNG	39
2.1 Giới thiệu chung	39
2.2 Thí nghiệm và xác định hệ số khuếch tán clo trong bê tông.....	40
2.2.1 Thí nghiệm thẩm nhanh clo ASTM C1202.....	40
2.2.2 Kết quả thí nghiệm thẩm nhanh clo ASTM C1202	48

2.2.3	Xây dựng công thức xác định hệ số khuếch tán clo từ kết quả thí nghiệm C1202.....	49
2.2.4	Áp dụng phương trình D_{C1202} tính hệ số khuếch tán clo từ kết quả thí nghiệm C1202.....	50
2.3	Tổng kết các kết quả dự báo hệ số khuếch tán trên thế giới.....	51
2.3.1	Dự báo hệ số khuếch tán (D_{28}) từ tỷ lệ nước trên xi măng.....	52
2.3.2	Ảnh hưởng của nhiệt độ đến hệ số khuếch tán.....	52
2.3.3	Ảnh hưởng của thời gian đến hệ số khuếch tán.....	53
2.3.4	Ảnh hưởng của muôi silic đến hệ số khuếch tán.....	55
2.3.5	Ảnh hưởng của độ ẩm đến hệ số khuếch tán.....	57
2.3.6	Ảnh hưởng của nứt đến hệ số khuếch tán.....	57
2.3.7	Hệ số khuếch tán biểu kiến.....	58
2.3.8	Tính hệ số khuếch tán theo dự báo và theo công thức kinh nghiệm.....	59
2.4	So sánh các kết quả tính toán và thảo luận.....	60
2.4.1	So sánh kết quả tính hệ số khuếch tán D.....	60
2.4.2	Phân tích, nhận xét kết quả tính hệ số khuếch tán D.....	63
2.5	Kết luận chương 2.....	63
CHƯƠNG 3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH DỰ BÁO TUỔI THỌ SỬ DỤNG CẦU BÊ TÔNG CỐT THÉP VEN BIỂN VIỆT NAM DO XÂM NHẬP CLO.....		65
3.1	Giới thiệu chung.....	65
3.1.1	Khái niệm tuổi thọ sử dụng.....	66
3.1.2	Tuổi thọ sử dụng theo tác động của sự xâm nhập clo trong môi trường biển.....	67
3.2	Xây dựng mô hình dự báo thời gian khởi đầu ăn mòn.....	71
3.2.1	Tổng quát.....	71
3.2.2	Các tham số của mô hình.....	71
3.2.3	Xây dựng mô hình dự báo thời gian khởi đầu ăn mòn.....	80
3.2.4	Xây dựng chương trình tính thời gian khởi đầu ăn mòn bằng Matlab.....	88
3.3	Xây dựng mô hình dự báo thời gian lan truyền ăn mòn.....	88
3.3.1	Các vấn đề chung.....	88
3.3.2	Xem xét các mô hình hiện có.....	89

3.3.3	Mô hình đề xuất.....	94
3.4	Sơ đồ thuật toán tính tuổi thọ sử dụng của cầu bê tông “LifeConBridge”.....	109
3.5	Kết quả tính và nhận xét.....	111
3.5.1	Kiểm chứng kết quả tính của mô hình đề xuất	111
3.5.2	Kết quả tính toán thí dụ.....	112
3.5.3	Nhận xét kết quả:.....	114
3.6	Dự báo tuổi thọ sử dụng của cầu bê tông cốt thép ven biển Việt Nam	115
3.6.1	Đặc điểm khí hậu vùng ven biển Việt Nam và biến đổi khí hậu ..	115
3.6.2	Dự báo tuổi thọ sử dụng của cầu bê tông cốt thép ven biển Việt Nam	118
3.7	Kết luận chương 3	120
CHƯƠNG 4. CÁC BIỆN PHÁP KÉO DÀI TUỔI THỌ SỬ DỤNG VÀ THÍ DỰ TÍNH TOÁN		122
4.1	Các biện pháp dài tuổi thọ sử dụng	122
4.1.1	Với các kết cấu mới.....	122
4.1.2	Với các kết cấu cũ	127
4.2	Thí dụ tính toán cho một số bộ phận cầu T.....	127
4.2.1	Các thông số tính tuổi thọ sử dụng của cầu T.....	127
4.2.2	Kết quả tính toán tuổi thọ sử dụng	129
4.2.3	Các kết luận rút ra từ thí dụ nghiên cứu.....	130
4.3	Kết luận chương 4	131
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ		132
1/	Kết luận	132
2/	Kiến nghị.....	134
3/	Hướng nghiên cứu tiếp theo	135
DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ.....		136
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....		137
PHỤ LỤC 1		145
PHỤ LỤC 2		155

Danh mục các bảng biểu

Bảng 1.1 Ảnh hưởng của các tham số khác nhau đối với quá trình ăn mòn ..	21
Bảng 1.2 Tổng kết các phương pháp thí nghiệm xâm nhập clo.....	30
Bảng 2.1. Thành phần bê tông của các tổ mẫu	42
Bảng 2.2. Mức độ thấm ion clo	45
Bảng 2.3 Kết quả thí nghiệm theo ASTM C1202.....	48
Bảng 2.4. Kết quả tính D_{C1202} từ thí nghiệm	51
Bảng 2.5 Các giá trị m cho các loại bê tông	54
Bảng 2.6 Kết quả D theo dự báo và các công thức kinh nghiệm.....	60
Bảng 2.7 D_{C1202} , D dự báo và các công thức kinh nghiệm	61
Bảng 2.8 So sánh kết quả tính hệ số D.....	62
Bảng 3.1 Tốc độ tích lũy và nồng độ lớn nhất của clo bề mặt	73
Bảng 3.2 Tóm tắt các tiêu chuẩn xác định giới hạn tối đa cho phép của clo trong vữa và bê tông dự ứng lực	78
Bảng 3.3 Ảnh hưởng của canxi nitrit (CNI) trên ngưỡng clo tới hạn	79
Bảng 3.4 Kết quả tính thời gian khởi đầu ăn mòn $H=100\%$	111
Bảng 3.5 Kết quả tính thời gian khởi đầu ăn mòn $H=75\%$	112
Bảng 3.6 Kết quả tính thời gian lan truyền ăn mòn theo nứt bê tông bảo vệ....	112
Bảng 3.7 Kết quả tính thời gian khởi đầu ăn mòn theo các tham số	113
Bảng 3.8 Kết quả tính thời gian lan truyền ăn mòn theo các tham số (quan điểm 1: nứt hoàn toàn bê tông bảo vệ).....	113
Bảng 3.9 Kết quả tính thời gian lan truyền ăn mòn theo các tham số (quan điểm 2: ăn mòn gây nguy hiểm)	114
Bảng 4.1 Kết quả tính tuổi thọ sử dụng, với các giải pháp kết hợp.....	126
Bảng 4.2 Thông số kết cấu và vật liệu	128
Bảng 4.3 Thông số môi trường	129
Bảng 4.4 Kết quả tính tuổi thọ sử dụng, bài toán 1D.....	129
Bảng 4.5 Kết quả tính tuổi thọ sử dụng, bài toán 2D.....	130
Bảng 4.6 Kết quả tính thời gian lan truyền ăn mòn \bar{t}_2	130

Danh mục các hình vẽ

Hình 1.1: Số lượng các hư hại quan sát được ở Nhật bản (nguồn dữ liệu Prof Hiroshi Mutsuyoshi 2001)	7
Hình 1.2: Biểu đồ Pourbaix quan hệ thế điện cực và độ pH của hệ Fe-H ₂ O..	15
Hình 1.3 Các phản ứng cực dương và cực âm (Beeby)	18
Hình 1.4 Thể tích tương đối của các sản phẩm ăn mòn sắt	20
Hình 1.5 Biểu đồ thể hiện các hư hại do ăn mòn gây ra nứt, vỡ, tách lớp	20
Hình 1.6 Sơ đồ thí nghiệm theo AASHTO T259 (salt ponding).....	21
Hình 1.7 Sơ đồ thí nghiệm khuếch tán khối- Bulk Diffusion Test (NordTest NTBuild 443)	22
Hình 1.8 Sơ đồ thí nghiệm AASHTO T277 (ASTM C1202).....	23
Hình 1.9 Sơ đồ thí nghiệm kỹ thuật điện di.....	25
Hình 1.10 Sơ đồ thí nghiệm điện di của Tang và Nilsson	26
Hình 1.11 Sơ đồ thí nghiệm điện di nhanh (NordTest NTBuild 492)	27
Hình 1.12 Thiết bị đo điện trở suất một chiều	29
Hình 1.13 Sơ đồ phương pháp 4 điểm đo của Wenner.....	29
Hình 1.14: Tuổi thọ sử dụng của kết cấu bê tông cốt thép: Mô hình hai giai đoạn của Tuuti 1980	33
Hình 2.1 Sơ đồ bơm hút chân không mẫu thử C1202	43
Hình 2.2 Sơ đồ đo điện tích.....	44
Hình 2.3 Các ảnh thí nghiệm thấm nhanh clo theo ASTM C1202.....	47
Hình 2.4 Ảnh hưởng của tỷ lệ W/C trên hệ số khuếch tán Clo trong bê tông ở nhiệt độ 20°C	52
Hình 2.5 Ảnh hưởng của tro bay và xỉ đối với hệ số khuếch tán	55
Hình 2.6 Ảnh hưởng của silica fume đối với hệ số khuếch tán.....	
Hình 2.7 Biểu đồ các kết quả tính D	62
Hình 3.1: Định nghĩa tuổi thọ sử dụng và kéo dài tuổi thọ sử dụng.....	67
Hình 3.2: Ảnh hưởng của màng và sơn phủ bề mặt	75
Hình 3.3: góc phân tư trong cột 2D.....	84
Hình 3.4: Các biến trong góc phân tư trong cột 2D.....	85
Hình 3.5: Áp lực trên bê tông do hình thành các sản phẩm ăn mòn (Mô hình của Liu).....	91

Hình 3.6: Lý tưởng hóa của bê tông bảo vệ như là một hình trụ thành dày: ..	95
Hình 3.7: Khoảng thời gian từ khởi đầu ăn mòn thép đến nứt hoàn toàn bê tông bảo vệ và tới nguy hiểm chịu lực.....	96
Hình 3.8: Sơ đồ ước lượng cho mất mát bán kính thép Δr_{s2}	102
Hình 3.9: Mối quan hệ giữa tốc độ ăn mòn và độ ẩm tương đối với bê tông tuổi 1 năm có hàm lượng ion Cl ⁻ là 1.8kg/m ³ ở nhiệt độ 23°C ...	105
Hình 3.10. Mật độ dòng ăn mòn với thời gian khi Ccl=1.25kg/m ³ , nhiệt độ 20°C, độ ẩm H=75% theo Liu và Weyers.....	107
Hình 3.11. Sơ đồ thuật toán tính tuổi thọ sử dụng do xâm nhập clo	110
Hình 3.12: Mức tăng nhiệt độ trung bình năm (°C) vào giữa thế kỷ 21 theo kịch bản phát thải trung bình	116
Hình 3.13: Mức tăng nhiệt độ trung bình năm (°C) vào cuối thế kỷ 21 theo kịch bản phát thải trung bình	117
Hình 3.14: Các vùng môi trường biển của trụ cầu bê tông	119
Hình 3.15: Định tính về phân bố nồng độ clo bề mặt.....	120
Hình 4.1: Quan hệ giữa chiều dày lớp bê tông bảo vệ với thời gian khởi đầu ăn mòn khi w/c=0.35, nhiệt độ 20°C, độ ẩm H=80% cho vùng khí quyển biển.....	123
Hình 4.2: Quan hệ giữa chiều dày lớp bê tông bảo vệ với thời gian từ khởi đầu ăn mòn đến nứt cho bê tông f ['] c=40MPa, đường kính cốt thép d=16mm, nhiệt độ 20°C, độ ẩm H=80% cho vùng khí quyển biển	123
Hình 4.3: Quan hệ giữa tỷ lệ nước trên xi măng w/c với thời gian khởi đầu ăn mòn (chiều dày lớp bê tông bảo vệ L=70mm, nhiệt độ 20°C, độ ẩm H=75% cho vùng khí quyển biển)	124
Hình 4.4: Quan hệ giữa tỷ lệ muội si líc (silica fume) với thời gian khởi đầu ăn mòn (chiều dày lớp bê tông bảo vệ L=75mm, nhiệt độ 25°C, độ ẩm H=75% cho vùng khí quyển biển)	125

Danh mục các chữ viết tắt, các ký hiệu

Δr_{s1}	Lượng giảm bán kính của cốt thép tại thời điểm bắt đầu nứt
Δr_{s2}	Lượng giảm bán kính của cốt thép do gỉ chèn vào vết nứt
E_{cef}	Mô đun đàn hồi có hiệu (xét đến từ biến);
ψ	Hệ số từ biến của bê tông;
δ_0	Chiều dày vùng xốp bao quanh cốt thép;
ν_c	Hệ số poisson của bê tông $\nu_c=0,18-0,20$;
δ_{con}	Chuyển vị hướng tâm của bê tông;
Δd	Sự thay đổi đường kính của cốt thép
ν_r	Hệ số poisson của gỉ sắt;
δ_{rust}	Chuyển vị nén hướng tâm của gỉ (các sản phẩm ăn mòn)
ΔT	là mức tăng nhiệt độ trong thí nghiệm C1202.
	“LifeConBridge”- Service Life of concrete Bridge- Tuổi thọ sử dụng của cầu bê tông.
A	Diện tích tiết diện mẫu thử
BTCT	Bê tông cốt thép
C	Nồng độ clo
$C(x,t)$	Nồng độ clo tại chiều sâu x và thời gian t
C_0	Nồng độ clo ban đầu trong bê tông
CNI	Canxi nitrit
C_s	Nồng độ clo tại bề mặt bê tông
$C_s(t)$	Nồng độ clo tại bề mặt bê tông tại thời điểm t
d	Đường kính cốt thép
D	Hệ số khuếch tán clo trong bê tông
$D(t)$	Hệ số khuếch tán clo trong bê tông ở thời điểm t
$D(T)$	Hệ số khuếch tán clo trong bê tông ở nhiệt độ T
D_{28}	Hệ số khuếch tán clo trong bê tông ở tuổi 28 ngày
D_{PC}	Hệ số khuếch tán clo trong bê tông thường
D_{SF}	Hệ số khuếch tán clo trong bê tông có muội silic (silica fume)
E	Điện thế áp dụng