

THI CÔNG BÊ TÔNG MÓNG ĐIỆN GIÓ BÀI HỌC KINH NGHIỆM Ở DỰ ÁN TẠI BÌNH THUẬN

CONCRETE CONSTRUCTION OF WIND POWER FOUNDATIONS - LESSONS LEARNED FROM THE PROJECT IN BINH THUAN

 TS. Tạ Thùy Trang¹

Tóm tắt: Bình Thuận là một trong những khu vực có tiềm năng gió hàng đầu tại Việt Nam, với điều kiện đáy biển lý tưởng cho việc lắp đặt móng tuabin gió cố định. Đồng thời, địa phương này còn có tiềm năng lớn để phát triển cảng biển và lưới điện quy mô lớn phục vụ khai thác năng lượng gió. Hiện nay, tỉnh Bình Thuận có 9 nhà máy điện gió đang hoạt động với tổng công suất 299,6 MW. Bên cạnh đó, còn có 3 dự án điện gió với tổng công suất khoảng 149,5 MW đã hoàn thiện xây dựng nhưng chưa chính thức vận hành phát điện thương mại. Chất lượng thi công bê tông khối lớn cho móng điện gió là yếu tố then chốt quyết định chất lượng xây dựng các nhà máy điện gió. Bài viết này trình bày tóm tắt các giai đoạn lập kế hoạch và triển khai đổ bê tông móng điện gió trong điều kiện thời tiết nắng nóng tại Bình Thuận, đồng thời phân tích và thảo luận về công nghệ thi công cũng như kiểm soát chất lượng bê tông khối lớn cho móng máy phát điện gió.

Từ khóa: Bê tông khối lớn, móng điện gió, quy trình thi công.

Abstract: *Binh Thuan is one of the areas with the leading wind potential in Vietnam, with ideal seabed conditions for the installation of fixed wind turbine foundations. At the same time, this locality also has great potential for developing sea ports and large-scale power grids to serve wind energy exploitation. Currently, Binh Thuan province has 9 wind power plants in operation with a total capacity of 299.6 MW. In addition, there are 3 wind power projects with a total capacity of about 149.5 MW that have been completed but have not yet officially put into commercial operation. The quality of mass concrete construction for wind power foundations is a key factor determining the quality of wind power plant construction. This paper summarizes the planning and implementation stages of pouring concrete for wind power plant foundations in hot weather conditions in Binh Thuan,*

and analyzes and discusses the construction technology as well as quality control of mass concrete for wind generator foundations.

Keywords: *Mass concrete, wind power foundation, construction process.*

Nhận bài ngày 12/8/2025, chỉnh sửa ngày 22/9/2025, chấp nhận đăng ngày 05/11/2025.

1. GIỚI THIỆU

Theo ACI 116R, bê tông khối lớn là khối bê tông có kích thước đủ lớn để cần áp dụng các biện pháp kiểm soát nhiệt sinh ra từ quá trình thủy hóa xi măng và sự thay đổi thể tích nhằm giảm nguy cơ nứt [1]. Thông thường, cấu kiện có kích thước nhỏ nhất trên 1,22 m thuộc loại này. Nhiệt lượng sinh ra từ quá trình thủy hóa xi măng ở giai đoạn đầu gây nhiệt độ cao trong khối bê tông, làm tăng nguy cơ phát sinh ứng suất nhiệt. Nếu chênh lệch nhiệt độ giữa lõi và bề mặt vượt ngưỡng, ứng suất nhiệt có thể gây ra các vết nứt nghiêm trọng, ảnh hưởng đến độ bền và tính toàn vẹn của kết cấu. Để đảm bảo an toàn, cần thực hiện các biện pháp kiểm soát nhiệt độ trong quá trình thi công. Bài viết này, dựa trên kinh nghiệm từ các dự án móng điện gió, trình bày các giải pháp như nâng cao chất lượng bê tông, kiểm soát nhiệt độ, và giám sát nhiệt chặt chẽ. Những giải pháp này không chỉ đảm bảo chất lượng công trình mà còn là tài liệu tham khảo hữu ích cho các dự án tương tự trong tương lai.

2. CÁC YÊU CẦU VÀ GIẢI PHÁP

Để giảm thiểu rủi ro nứt của bê tông khối lớn, các biện pháp phòng ngừa khác nhau có thể được thực hiện bao gồm (nhưng không giới hạn) việc sử dụng vật liệu xi măng bổ sung (SCM) để thay thế các bộ phận của xi măng, làm lạnh sơ bộ cốt liệu và nước trước khi trộn bê tông, sử dụng nước đóng băng hoặc

¹Khoa Kỹ thuật công trình, Trường Đại học Công nghệ Sài Gòn

²Kỹ sư vật liệu xây dựng

E-mail: ^{1a} trang.tathuy@stu.com.vn, ^{1b} anh.truongdinhthao@stu.edu.vn, ^{2c} ngocminh011084@gmail.com

nitor lỏng, sử dụng ống làm mát, màng bọc, chắn cách nhiệt... [2] [3]. Một vài nghiên cứu đã chỉ ra rằng việc thay thế các bộ phận của xi măng bằng SCM như tro bay, xỉ, muội silic, v.v., có thể làm giảm nhiệt thủy hóa một cách hiệu quả [4]. Cách nhiệt bề mặt hoặc ống làm mát có thể cần được lắp đặt để kiểm soát nhiệt độ dựa trên điều kiện thời tiết. Thông thường cần có sự kết hợp của nhiều phương pháp kiểm soát nhiệt độ khác nhau và được sử dụng trong các dự án một cách linh hoạt sau khi cân nhắc về tính khả thi, chi phí và chất lượng.

Khi so sánh các giải pháp giảm nhiệt bê tông khối lớn, Mohamed A-R và cộng sự [2] đã chỉ ra rằng sử dụng ống làm mát (cooling pipes) có hiệu quả với kết cấu kích thước lớn, tuy nhiên, giá thành cao và có thể xuất hiện các vết nứt nhiệt xung quanh ống làm mát. Trong khi sử dụng biện pháp làm mát nguyên vật liệu trộn hỗn hợp bê tông kết hợp với biện pháp cách nhiệt (màng bọc và chắn cách nhiệt) phù hợp với khối bê tông kích thước không quá lớn (<1.000m³) và cho chi phí tiết kiệm hơn. Ở Hình 1, nhóm tác giả tóm tắt các giải pháp giảm nhiệt bê tông khối lớn.

Trường hợp nghiên cứu trong bài báo này là thi công bê tông khối móng có thể tích khoảng 735m³ hình chóp cụt, bán kính nhỏ nhất: 5,5m; bán kính lớn nhất: 11,8m; chiều cao móng: 3,55m.

Yêu cầu: Thi công đổ bê tông móng trong thời gian từ 9÷10 tiếng. Nhiệt độ tâm móng không vượt quá 70°C trong suốt quá trình đổ bê tông và hóa rắn hoàn toàn, chênh lệch nhiệt độ giữa các điểm không quá 25°C.

Điều kiện thời tiết: Nắng nóng không mưa, nhiệt độ trung bình ban ngày 35-37°C, ban đêm 20°C.



Hình 1. Các giải pháp giảm nhiệt cho bê tông khối lớn [2]

Giải pháp chủ yếu:

- Dùng xi măng PCB cùng với tro bay (vật liệu xi măng bổ sung) với hàm lượng khoảng 30% tổng lượng xi măng và tro bay.

- Làm mát nguyên vật liệu: Dùng nước có nhiệt độ dưới 5°C trộn bê tông, cho thêm đá bi vào bê tông trong khi trộn. Cốt liệu được tưới bão hòa nước bằng nước lạnh 5°C, phủ bạt che cốt liệu vào ban ngày.

- Cốt liệu được tính toán phù hợp với nguồn cốt liệu địa phương.

- Thực hiện mẫu thí nghiệm, đo các chỉ tiêu cường độ, độ sụt, đặc biệt là nhiệt độ cao nhất ở tâm mẫu thí nghiệm. Mẫu kích thước 1,6mx1,6mx1,6m cho nhiệt độ cao nhất ở tâm là 67°C. Mẫu kích thước 3,2m x 3,2m x 3,2 m có nhiệt độ cao nhất ở tâm mẫu là 72°C (Với nhiệt độ hỗn hợp bê tông khi đổ là 30°C). Khi thi công đổ móng thực tế, giảm nhiệt độ hỗn hợp bê tông khi đổ là 25°C.

- Hỗn hợp bê tông đến công trường có nhiệt độ nhỏ hơn 25°C, độ sụt 14-16cm.

- Thi công vào ban đêm.

- Sau khi đổ bê tông, làm mặt xong, thực hiện biện pháp ủ (màng bọc và chắn cách nhiệt) để không thoát nhiệt, không thoát hơi nước trong quá trình bê tông ninh kết, hạn chế không cho khối móng tiếp xúc nhiều với điều kiện môi trường bên ngoài (Tạo điều kiện cách nhiệt tương đối với môi trường bên ngoài).

Kết quả đạt được:

Nhiệt độ bê tông trong móng lớn nhất là 70°C, chênh lệch nhiệt độ giữa các điểm không quá 25°C theo yêu cầu tính toán kỹ thuật bê tông khối lớn cho móng này. Các kết quả đo độ biến dạng nằm trong phạm vi cho phép. Theo thời gian quan sát (3 năm) tua bin gió hoạt động bình thường, khối móng không xuất hiện hư hại.

3. CẤP PHỐI BÊ TÔNG

Hỗn hợp bê tông ít tỏa nhiệt được chọn cho bê tông khối móng để giảm thiểu các vấn đề về nhiệt tiềm ẩn. Tro bay được sử dụng bổ sung xi măng để đạt được yêu cầu của dự án.

Tro bay là một phụ phẩm từ quá trình đốt than trong nhà máy nhiệt điện. Tro bay chứa các hạt mịn, thường có kích thước nhỏ hơn 10 micromet (µm), chứa khoáng chất silicat và alumina, có khả năng tương tác hóa học với xi măng giúp gia cố cấu trúc bê tông. Sử dụng tro bay trong bê tông cho phép giảm lượng xi măng Portland cần sử dụng đồng thời giúp làm giảm nhiệt độ bề mặt của bê tông trong điều kiện nhiệt đới, giúp bê tông chống nứt và giảm nguy cơ bong tróc. Tro bay giúp giảm tỷ lệ co ngót tự sinh (autogeneous shrinkage) của bê tông khi ninh kết và rắn chắc, làm cho bê tông hạn chế được vết nứt trong điều kiện thay đổi nhiệt độ [5].

Tro bay: Sử dụng vật liệu tro bay Vĩnh Tân. Kết quả thí nghiệm tính chất cơ lý của tro bay đạt yêu cầu theo TCVN1032: 2014 “Phụ gia khoáng hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây dựng và xi măng”.

Xi măng: Sử dụng Xi măng PCB40 Nghi Sơn đạt tiêu chuẩn xi măng pooc lăng hỗn hợp PCB40 theo TCVN 6260: 2009.

Cát được lấy từ mỏ cát Phan Rang, có các tính chất cơ lý đạt tiêu chuẩn dùng cho bê tông theo TCVN 7570-2006 Cốt liệu dùng cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật”.

Sử dụng đá dăm từ mỏ Tà Zôn. Đá dăm có các tính chất cơ lý đạt tiêu chuẩn dùng cho bê tông theo TCVN 7570-2006 “Cốt liệu dùng cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật”.

Phụ gia hóa học: Sử dụng phụ gia siêu dẻo giảm nước của hãng Grace (Mira 199) với mức giảm nước tiêu biểu trên 30%. Phụ gia này có khả năng phân tán mạnh các hạt xi măng trong hỗn hợp bê tông và không chứa clorua. Trọng lượng một lít phụ gia khoảng 1,06kg ÷ 1,12kg, được chế tạo phù hợp với tiêu chuẩn phụ gia hóa học sử dụng cho bê tông: ASTM C494 Loại F và G.

Nước: phù hợp tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 4560 : 2012, Nước trộn bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật.

Bảng 1. Cấp phối bê tông

Mã Cấp phối	Độ sụt Độ chảy (mm)	Phụ gia/ (l)		Xi măng (kg)	Tro bay (kg)	Cốt liệu thô (5-15mm) (kg)	Cát sông (0-5mm) (kg)	Cốt liệu thô (5-20mm) (kg)	Nước lạnh (kg)	Tỷ lệ W / C	Tỷ lệ S / A (%)	Khối lượng thể tích (kg/m ³)
		(1)	(2)									
		(l)	(kg)									
M450R28	140±20	5,18		324	126	303	775	705	160	0,36	43,5	2.398



Hình 2. Mẫu đo nhiệt độ tâm khối bê tông, kích thước mẫu 1,6m x 1,6m x 1,6m.

Mẫu thử để đo nhiệt độ tâm khối bê tông có kích thước 1,6m x 1,6m x 1,6m và kích thước 3,2m x 3,2m x 3,2m.

Kết quả mẫu kích thước 1,6mx1,6mx1,6m cho nhiệt độ cao nhất ở tâm là 67°C. Mẫu kích thước 3,2m x 3,2m x 3,2m có nhiệt độ cao nhất ở tâm mẫu là 72°C (Với nhiệt độ hỗn hợp bê tông khi đổ là 30°C).

4. VẬN CHUYỂN BÊ TÔNG

Trạm trộn cấp bê tông tươi cho dự án cách khá xa, gồm 2 trạm, 1 trạm cách 15km và 1 trạm cách vị trí công trường 40km. Khi vận chuyển bê tông cần lưu ý đủ phương tiện vận chuyển để đảm bảo quá trình đổ được liên tục; Đường vận chuyển được điều tra, khảo sát trước để đánh giá, cần kiểm tra xem bề rộng đường, độ dốc, khả năng chịu lực,... có đáp ứng yêu cầu vận chuyển hay không theo chiều rộng và tải trọng phương tiện vận chuyển. Nếu không thỏa mãn các yêu cầu trên thì phải thi công đường giao thông để đạt yêu cầu. Nền đắp yếu cần được xử lý bằng đầm nén thay sỏi và các biện pháp khác. Kế hoạch khẩn cấp được chuẩn bị nếu trời mưa. Số lượng xe bồn hợp lý được tính toán theo quãng đường vận chuyển, dung tích xe bồn vận chuyển và khả năng đỡ móng tuabin gió, từ đó đảm bảo đủ phương tiện vận chuyển. Đặt biển cảnh báo ở những khu vực nguy hiểm, chiếu sáng tốt khi thi công ban đêm. Mọi quan hệ của các bên nên được phối hợp để giải quyết trước các tranh chấp khác nhau, từ đó ngăn ngừa hiện tượng ngừng thi công trong quá trình đổ bê tông.

5. QUY TRÌNH THI CÔNG

Quy trình thi công móng điện gió chủ yếu bao gồm đào móng, chuẩn bị kho đổ, kiểm tra chất lượng và nghiệm thu kho, đổ bê tông, bảo dưỡng bê tông, v.v., quy trình thi công cụ thể được thể hiện như sau:

(1) Đào móng: Móng được chọn phải là đào đến tầng đá vôi sa thạch phong hóa trung gian, đảm bảo giá trị đặc trưng sức chịu tải của nền đường $\geq 800kPa$, mô đun biến dạng không nhỏ hơn 6,0GPa. Nền phải được làm sạch và loại bỏ cặn bã trước khi đổ đệm, hố móng phải được bảo vệ sau khi đào hố móng và trước khi đổ đệm, do đó đảm bảo rằng hố móng có thể đáp ứng các yêu cầu thi công của quy trình tiếp theo. (2) Gia cố nền: Chiều dày gia cố 1-2m, độ chặt yêu cầu K98. Thiết lập hệ thống lan can an toàn, đèn chiếu sáng. (3) Tạo rãnh lắp đặt hệ thống ống luồn dây điện, dây cáp. Tạo rãnh thu và thoát nước, thiết lập bơm để bơm nước ra ngoài khi nước trong rãnh thoát nước dâng cao. (4) Đổ bê tông lót. (5) Lắp đặt hệ lồng bu lông và vào thép lớp dưới. (6) Lắp đặt thép lớp trên. (7) Lắp đặt ván khuôn để móng. (8) Đổ bê tông móng: Bố trí 3 cần bơm, 3 đầm dùi (đầm dùi có năng suất 6-8m³/đầm/giờ) cho 1 cần bơm, và dự phòng 3 chiếc. Hướng đổ bê tông từ tâm ra ngoài, chiều dày đổ

1 lớp từ 20 đến 25cm. Cần thiết lập và chuẩn bị máy phát điện, đèn chiếu sáng, máy đánh mặt, bàn chải thép đánh mặt bê tông v.v... Xe bồn có dung tích 10m³/xe cần cấp bê tông liên tục cứ 3 phút mỗi trạm trộn xong 1 xe, đảm bảo 3 cần bơm liên tục, gián đoạn không quá 5 phút. Lấy mẫu thử lập phương và mẫu trụ, mẫu lập phương đạt Mác 450, mẫu trụ đường kính 15cm, cao 30cm, đạt C35. Lấy mẫu kiểm tra độ sụt của hỗn hợp bê tông đạt 14 ± 2cm. (9) Sau 1÷3 giờ đổ bê tông xong chuyển qua công tác làm mặt, tạo nhám phần cổ cột bằng bàn chải thép. (10) Phủ hợp chất bảo dưỡng gốc parafin được nhũ tương hóa (Sika Antisol E). Khi được phun lên bề mặt bê tông vừa mới đổ, hợp chất này làm thành một lớp mỏng cản lại sự bốc hơi nước sớm và không ảnh hưởng đến quá trình ninh kết thông thường của bê tông, giúp bề mặt bê tông giảm tỷ lệ nứt do co mêm, giảm sự co ngót và sự bám bụi. Sau khi phủ lớp bảo dưỡng, tiếp tục trải 1 lớp ni-lon mỏng, phủ xốp, liên kết xốp bằng băng dính, phủ bạt che kín.

Nhân công sử dụng cho 1 móng khoảng 18 người trong đó 3 người di chuyển máy bơm, dây điện đi kèm, 15 người làm phẳng mặt bê tông, cán cao độ, phủ xốp và căng bạt phủ (biện pháp cách nhiệt).

Cần nắm chắc các thông tin về thời tiết trước khi thi công đổ bê tông, từ đó tổ chức thi công hợp lý. Nhiệt độ bê tông cần phải được kiểm soát và các biện pháp bảo quản nhiệt cần được thực hiện tốt trong quá trình xây dựng.

Chế độ đổ phân tầng được áp dụng để đổ bê tông. Độ dày được giữ ở mức 20÷25cm. Ngoài ra, khoảng cách thời gian đổ bê tông lớp trên và lớp dưới không quá 1 giờ, chiều cao đổ bê tông tự do không được quá 150cm trong quá trình đổ bê tông. Bê tông phải được rung đủ trong quá trình thi công, rung trong lồng thép là cần thiết để đảm bảo đầm rung trong bê tông, hạn chế rung động bề mặt đơn thuần. Tiêu cự dao động khi không có cốt thép là 60cm, khi có cốt thép thì khoảng cách dao động là 40cm. Độ đồng nhất và độ chặt của bê tông phải được kiểm soát trong quá trình đổ.



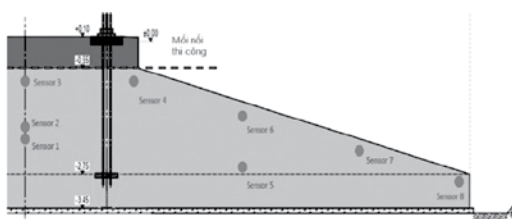
Hình 3. Mặt bằng bố trí thiết bị đổ bê tông móng





6. ĐO NHIỆT ĐỘ

- Sensor 1 & 2: Ở trung tâm khối móng
- Sensor 3 & 4: Ở bề mặt trên của móng (cách mỗi nối thi công 10cm)
- Sensor 6,7,8: Dọc theo mặt nghiêng của móng (Cách bề mặt 10cm)
- Sensor 5: Thẳng hàng với sensor 6 và ở vị trí giữa

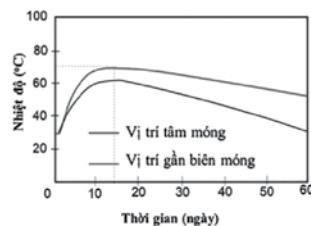


Hình 4. Sơ đồ lắp đặt sensor đo nhiệt độ trong khối móng

Nhiệt độ trong khối móng được theo dõi bằng sensor lắp đặt bên trong khối bê tông và liên kết với bảng điều khiển thực của nhiệt kế kỹ thuật số. Do móng được thiết kế đối xứng nên 8 điểm đo nhiệt độ đã được thiết lập để thu được dữ liệu toàn diện và hiệu quả như trong Hình 4. thể hiện cách bố trí các cặp sensor cho từng điểm đo.

Quan sát nhiệt độ khi thi công móng thực tế, nhiệt độ hỗn hợp bê tông khi đổ là 25°C, nhiệt độ khối móng trong 8 giờ đầu hầu như không đổi, khoảng 30°C, sau đó nhiệt độ tăng nhanh trong 7 ngày đầu do quá trình thủy hóa xi măng. Từ 7 đến 14 ngày, nhiệt

độ tiếp tục tăng với tốc độ chậm và đạt 70°C ở mốc 14 ngày. Sau 14 ngày, nhiệt độ giảm chậm, tâm khối móng sau 60 ngày nhiệt độ khoảng 60°C, gần biên móng nhiệt độ sau 60 ngày gần bằng nhiệt độ môi trường.



Hình 5. Minh họa kết quả đo nhiệt độ trong khối móng

6. BẢO DƯỠNG BÊ TÔNG

Kế hoạch bảo dưỡng bê tông khối lớn cần được đưa vào thiết kế tổ chức thi công, trong đó chủ yếu bao gồm đo nhiệt độ và bảo dưỡng giữ ẩm. Bê tông khối lớn nên được bảo trì bởi nhân viên đặc biệt để ngăn bê tông khối bị co ngót, nứt, hư hỏng bất thường và các hiện tượng tương tự. Màng ni-lon và xốp cách nhiệt được sử dụng để bảo dưỡng giữ nhiệt ẩm trên bề mặt bê tông sau khi đổ. Thực tế quan sát sau khi đổ bê tông trong 8 giờ đầu tiên hầu như chưa có hiện tượng tăng nhiệt độ. Đỉnh nhiệt tại tâm móng đạt 70°C sau 14 ngày. Cách nhiệt hiệu quả là cần thiết trong quá trình xây dựng. Khi chênh lệch nhiệt độ tâm móng và rìa móng thấp hơn 25 thì tiếp tục theo dõi, nếu chênh lệch 25 phải dùng các biện pháp ủ nhiệt cho rìa móng. Ủ nhiệt cho rìa móng bằng cách bơm khí nóng vào lớp ủ hoặc tưới ẩm bằng nước ấm vào lớp ủ. Nhiệt độ bên trong và bên ngoài bê tông nên được kiểm soát. Nên áp dụng quan sát liên tục để đảm bảo chế độ bảo dưỡng hợp lý.

7. KẾT LUẬN

Móng máy phát điện tuabin gió thuộc công trình bê tông khối lớn nên trong quá trình thi công rất dễ phát sinh vết nứt và các vấn đề về chất lượng khác. Do đó khi thi công móng điện gió, cần kiểm soát chặt chẽ để đảm bảo chất lượng và giảm thiệt hại kinh tế, bao gồm kiểm soát chất lượng vật liệu, quy trình đổ và công tác bảo dưỡng cuối cùng, từ đó đảm bảo chất lượng dự án.

Nguyễn Phúc (BT)

Tài liệu tham khảo:

1. ACI (American Concrete Institute), Cement and Concrete Terminology, ACI 116R, 2000.
2. Mohamed A-R, Ofsman Q, Melissa M, Yahaira, Dalinda, Sylvia (2018), Construction methods used for controlling temperature in mass concrete structures. Proceedings of the Creative Construction Conference, DOI 10.3311/CCC2018-019.
3. Gajda, J., & Vangeem, M.(2002), Controlling temperatures in mass concrete. Concrete international, 24(1), pp 58-62, 2002.
4. Ndahirwa D., Zmamou H., Lenormand H., Leblanc N.(2022), The role of supplementary cementitious materials in hydration, durability and shrinkage of cement-based materials, their environmental and economic benefits: A review. Cleaner Materials, 5, art. no. 100123.
5. Yoon, S., & Kim, J.-Y. (2013), Effect of fly ash on autogenous shrinkage and internal temperature rise of mass concrete. Construction and Building Materials, 47, 895-902.