

**TCVN**

**TIÊU CHUẨN QUỐC GIA**

**TCVN 13932:2024**

Xuất bản lần 1

**BÊ TÔNG – PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH ĐIỆN TRỞ SUẤT  
HOẶC ĐIỆN DẪN SUẤT**

*Concrete - Test Method for Determination of Bulk Electrical Resistivity or Bulk  
Conductivity*

HÀ NỘI – 2024

**Mục lục**

	Trang
Lời nói đầu.....	4
1 Phạm vi áp dụng.....	5
2 Tài liệu viện dẫn.....	5
3 Thuật ngữ và định nghĩa.....	5
4 Nguyên tắc.....	6
5 Thiết bị và dụng cụ.....	6
6 Vật liệu và hóa chất .....	8
7 Mẫu thử .....	8
8 Chuẩn bị và ổn định mẫu thử.....	9
9 Kiểm tra và hiệu chỉnh thiết bị.....	10
10 Cách tiến hành.....	10
11 Kết quả thí nghiệm.....	10
12 Báo cáo thử nghiệm.....	11
13 Độ chụm và độ chệch .....	11
Phụ lục A (Tham khảo) Hệ số cấu tạo .....	13
Phụ lục B (Tham khảo) Ý nghĩa và sử dụng .....	14
Phụ lục C (Tham khảo) Lưu ý khi sử dụng.....	15
Thư mục tài liệu tham khảo .....	16

## **Lời nói đầu**

**TCVN 13932:2024** được xây dựng dựa trên cơ sở tham khảo  
ASTM C1876-19 Standard Method for Bulk Electrical Resistivity or  
Conductivity of Concrete

**TCVN 13932:2024** do Viện Vật liệu xây dựng – Bộ Xây dựng biên soạn,  
Bộ Xây dựng đề nghị, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng thẩm  
định, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

## **Bê tông – Phương pháp xác định điện trở suất hoặc điện dẫn suất**

*Concrete – Test Method for Determination of Bulk Electrical Resistivity or Bulk Conductivity*

### **1 Phạm vi áp dụng**

Tiêu chuẩn này quy định phương pháp xác định điện trở suất hoặc điện dẫn suất của mẫu bê tông đúc hoặc mẫu khoan sau khi ngâm bão hòa trong dung dịch lỏng mô phỏng để đánh giá nhanh khả năng chống lại sự thâm nhập của chất lỏng và các ion xâm thực hòa tan.

Do kết quả thí nghiệm là một hàm của điện trở hoặc độ dẫn điện, sự có mặt của cốt thép, sợi kim loại hoặc các vật liệu dẫn điện khác sẽ làm kết quả độ dẫn điện cao hơn so với mẫu bê tông có chất lượng tương đương mà không chứa các vật liệu dẫn điện. Tiêu chuẩn này không áp dụng đối với các mẫu bê tông chứa cốt thép đặt dọc trục, cũng như mẫu chứa cốt sợi kim loại phân tán.

### **2 Tài liệu viện dẫn**

Các tài liệu viện dẫn sau là cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất, bao gồm cả các sửa đổi, bổ sung (nếu có).

TCVN 3105:2022 *Hỗn hợp bê tông và bê tông nặng. Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng mẫu thử*;

TCVN 9337:2012 *Bê tông nặng – Xác định độ thấm ion clo bằng phương pháp đo điện lượng*;

TCVN 9492:2012 (ASTM C1556-11) *Bê tông – Xác định hệ số khuếch tán clorua biểu kiến theo chiều sâu khuếch tán*.

TCVN 12252:2022 *Bê tông – Phương pháp xác định cường độ bê tông trên mẫu lấy từ kết cấu*

### **3 Thuật ngữ và định nghĩa**

Trong tiêu chuẩn này sử dụng các thuật ngữ và định nghĩa sau:

#### **3.1**

**Điện trở suất** (bulk electrical resistivity)

Tính chất của vật liệu cản trở dòng điện khi áp một điện trường bằng cách đặt các điện cực vào hai bề mặt đối diện của mẫu thử, đơn vị là Ohm-mét ( $\Omega \cdot m$ ).

## TCVN 13932:2024

### 3.2

#### Điện dẫn suất (bulk conductivity)

Tính chất của vật liệu cho dòng điện chạy qua khi áp một điện trường bằng cách đặt các điện cực vào hai bề mặt đối diện của mẫu thử, đơn vị là miliSimen trên mét (mS/m).

### 3.3

#### Dung dịch lỗ rỗng (pore solution)

Dung dịch kiềm có trong các lỗ rỗng mao quản trong bê tông, thông thường là dung dịch chứa NaOH, KOH hoặc  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  [1].

### 3.4

#### Dung dịch mô phỏng (simulated solution)

Dung dịch kiềm mô phỏng dung dịch nằm trong lỗ rỗng của bê tông.

## 4 Nguyên tắc

Điện trở và độ dẫn điện của bê tông được xác định trên các tổ mẫu đúc hoặc mẫu khoan, mỗi tổ gồm ít nhất hai mẫu. Bề mặt mẫu được làm phẳng, đo kích thước và ngâm mẫu ngập trong dung dịch lỗ rỗng mô phỏng ít nhất 6 ngày hoặc sau khi tháo khuôn đối với mẫu đúc. Trong khi ngâm mẫu trong dung dịch, kiểm tra thiết bị thí nghiệm điện trở hoặc độ dẫn điện trong khoảng điện trở hoặc độ dẫn điện dự kiến. Sau đó, lắp mẫu vào thiết bị thí nghiệm. Thiết bị thí nghiệm có thể hiển thị trực tiếp điện trở suất hoặc điện dẫn suất khi nhập kích thước mẫu hoặc chỉ hiển thị điện áp và dòng điện, từ đó tính ra giá trị điện trở suất và điện dẫn suất.

## 5 Thiết bị và dụng cụ

### 5.1 Thiết bị thí nghiệm điện trở suất hoặc điện dẫn suất

Có khả năng cung cấp một điện áp xoay chiều lên toàn bộ mặt cắt của mẫu thử, đo dòng điện truyền qua mẫu thử và đo độ sụt điện áp giữa hai mặt đối diện của mẫu thử chính xác đến ba chữ số. Thiết bị thí nghiệm phải đạt yêu cầu tại Điều 11.

CHÚ THÍCH 1: Các thiết bị thí nghiệm sẵn có trên thị trường nhưng điện thế, tần số và dạng sóng là khác nhau với mỗi thiết bị. Một số thiết bị có thể hiển thị trực tiếp điện trở suất và điện dẫn suất dựa trên kích thước hình học của mẫu thử trong khi một số thiết bị khác chỉ hiển thị điện trở của mẫu thử. Trong tiêu chuẩn này, các thiết bị sử dụng phải thỏa mãn yêu cầu ở Điều 11.

### 5.2 Tấm điện cực dẫn điện bằng thép không gỉ

Có kích thước lớn hơn hoặc bằng với đường kính mẫu và có độ dày từ 6 mm đến 8 mm. Các tấm điện cực phải được lắp các đầu nối cho phép kết nối với cáp điện. Thông thường, các tấm điện cực sẽ có kích thước lớn hơn đường kính mặt cắt ngang của mẫu thử.

CHÚ THÍCH 2: Nếu các mẫu có dạng không phải là hình trụ tròn, các tấm điện cực phải có kích thước không nhỏ hơn tiết diện mặt cắt ngang của mẫu

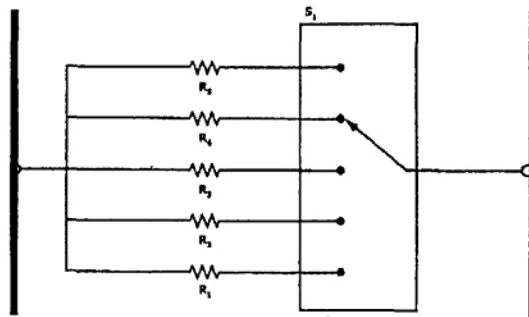
### 5.3 Cáp điện

Để kết nối các tấm điện cực với thiết bị đo. Có thể là dây đồng hai lõi 18 AWG được bọc cách điện có hai đầu có thể kết nối với các điện cực và thiết bị đo.

### 5.4 Dụng cụ để chuẩn

Bao gồm một ống rỗng đường kính 100 mm, chiều dài 200 mm làm từ vật liệu cứng không dẫn điện. Hai đầu được gắn với các tấm điện cực dẫn điện. Bên trong ống rỗng chứa ít nhất 5 điện trở chính xác với dung sai không quá  $\pm 0,1\%$  giá trị danh nghĩa, kết nối với hai điện cực và có công tắc để đảm bảo mỗi lần thử chỉ một điện trở được kết nối. Điện trở có giá trị từ 10  $\Omega$  đến 100 k $\Omega$  để có thể đo được toàn bộ dải điện trở thông thường của bê tông.

CHÚ THÍCH 3: Với mỗi bộ điện trở thập phân, ví dụ như 12  $\Omega$ , 120  $\Omega$ , 1,2 k $\Omega$ , 12 k $\Omega$  và 120 k $\Omega$  phải có ít nhất một điện trở chính xác hoặc sử dụng các điện trở khác bao phủ phạm vi dự kiến của bê tông thử nghiệm.



Hình 1: Sơ đồ mạch điện bên trong mẫu chuẩn. Điện trở chính xác được dán nhãn R1 đến R5. Công tắc được dán nhãn S1. Mạch được kết nối với các tấm điện cực ở mỗi đầu.

### 5.5 Mút xốp

Vật liệu hút nước kháng kiềm có kích thước lớn hơn hoặc bằng kích thước mặt cắt ngang của mẫu thử.

### 5.6 Giá đỡ mẫu để thí nghiệm theo chiều ngang

Giá đỡ phải đủ lớn để đỡ mẫu trụ trong suốt quá trình thí nghiệm. Giá đỡ được làm bằng nhựa cứng hoặc vật liệu tương tự không dẫn điện.

CHÚ THÍCH 4: Giá đỡ có thể được cấu tạo từ hai tấm để tạo thành hình chữ V dọc theo mẫu thử để đỡ mẫu.

### 5.7 Bề mặt không dẫn điện để đặt thiết bị thí nghiệm theo chiều dọc

Thiết bị thử được đặt trên tấm vật liệu hoặc nền không dẫn điện. Nền cao su hoặc tấm vật liệu không dẫn điện có chiều dày không nhỏ hơn 3 mm và diện tích mặt cắt ngang lớn hơn tấm điện cực.

### 5.8 Thước đo

Chiều dài 300 mm đến 380 mm có vạch chia nhỏ nhất đến 1 mm.

## **5.9 Máy cắt**

Để cắt bề mặt mẫu khoan mà không gây ra vết nứt hoặc vỡ cốt liệu trong bê tông.

## **6 Vật liệu và hóa chất**

### **6.1 Dung dịch mô phỏng**

Thêm 7,6 g NaOH khô; 10,64 g KOH khô và 2 g  $\text{Ca(OH)}_2$  khô vào bình chia độ 1 L và thêm nước khử ion vào đến vạch 1 L.

CHÚ THÍCH 5: Có thể pha đủ dung dịch vào thùng 18 L đến 20 L với tỉ lệ: 13 250 g nước cất; 102,6 g NaOH; 143,9 g KOH và 27 g  $\text{Ca(OH)}_2$ . Không điều chỉnh độ tinh khiết của thuốc thử.

CHÚ THÍCH 6: Sử dụng dung dịch lỏng rỗng mô phỏng nhằm mục đích giảm thiểu sự hòa tan kiềm và  $\text{Ca(OH)}_2$  từ mẫu thử để sự thay đổi độ dẫn điện của dung dịch lỏng rỗng là nhỏ nhất. Điện dẫn suất và điện trở suất của dung dịch lỏng rỗng này là 7874 mS/m và 0,127  $\Omega\text{m}$  tương ứng. Thành phần và độ dẫn điện của dung dịch sẽ thay đổi đối với các bê tông khác nhau và thời gian bảo dưỡng khác nhau. Nhưng việc chế tạo dung dịch lỏng rỗng để phù hợp với mỗi loại bê tông là không khả thi.

#### **6.1.1 Ổn định dung dịch lỏng rỗng mô phỏng đến nhiệt độ phòng trước khi sử dụng**

#### **6.1.2 Cảnh báo**

Trước khi sử dụng NaOH và KOH, cần lưu ý những vấn đề sau: (1) đảm bảo an toàn khi sử dụng NaOH và KOH; (2) sơ cứu vết bỏng; và (3) ứng phó khẩn cấp đối với sự cố tràn, như được mô tả trong Bảng dữ liệu an toàn vật liệu của nhà sản xuất hoặc tài liệu an toàn đáng tin cậy khác. NaOH và KOH cũng như các dung dịch chứa chúng có thể gây bỏng và tổn thương cho da và mắt nếu không được bảo vệ. Cần có thiết bị bảo hộ thích hợp khi pha chế dung dịch và khi đặt mẫu cũng như lấy mẫu khỏi dung dịch lỏng rỗng mô phỏng. Cần đeo khẩu trang hoặc mặt nạ và găng tay kháng kiềm. Găng tay phải được kiểm tra định kỳ để phát hiện lỗ thủng kịp thời.

### **6.2 Chất lỏng dẫn điện**

Được cho vào miếng mút xốp và mỗi tấm điện cực để đảm bảo kết nối điện với bề mặt mẫu bê tông. Làm theo hướng dẫn của nhà sản xuất thiết bị về thành phần và cách sử dụng chất lỏng dẫn điện.

CHÚ THÍCH 7: Có thể sử dụng nước bão hòa canxi hydroxyt làm chất lỏng dẫn điện cho miếng mút xốp. Ngoài ra, có thể lựa chọn dung dịch lỏng rỗng mô phỏng được quy định trong 8.1 hoặc chất lỏng dẫn điện được cấp bởi nhà sản xuất cho phù hợp với thiết bị. Không nên sử dụng nước cất hoặc nước khử ion do chúng có độ dẫn điện kém. Có thể sử dụng nước máy nếu xác định được nước máy có độ dẫn điện đáp ứng yêu cầu, tuy nhiên, không khuyến nghị sử dụng.

## **7 Mẫu thử**

Chuẩn bị và lựa chọn mẫu theo mục đích thí nghiệm. Để đánh giá vật liệu làm bê tông hoặc thành phần của chúng, mẫu thử có thể là mẫu đúc đường kính 100 mm, chiều cao 200 mm hoặc mẫu khoan có tỉ lệ chiều dài/đường kính không nhỏ hơn 1. Kích thước nhỏ nhất của mẫu gấp ba lần kích thước lớn nhất của cốt liệu. Sử dụng hai mẫu đúc hoặc mẫu khoan cho mỗi thí nghiệm.

**7.1** Nếu thí nghiệm mẫu đúc hình trụ, chuẩn bị mẫu theo TCVN 3105:2022.

Đưa mẫu đúc vẫn để trong khuôn đến phòng thí nghiệm, có thể đập nắp và niêm phong túi bọc mẫu. Nếu mẫu phải vận chuyển quãng đường dài, cần đảm bảo cho mẫu không bị phá hoại trong quá trình vận chuyển hoặc lưu trữ.

**7.2** Mẫu khoan được chuẩn bị theo TCVN 12252:2020.

Sau khi khoan lấy mẫu, để mẫu khoan trong túi nhựa riêng biệt hoặc thùng chứa không hút nước để đảm bảo không bị mất nước. Duy trì mẫu ở nhiệt độ môi trường xung quanh. Đưa mẫu đến phòng thí nghiệm càng sớm càng tốt.

## **8 Chuẩn bị và ổn định mẫu thử**

### **8.1 Chuẩn bị mẫu thử**

**8.1.1** Tháo mẫu ra khỏi khuôn hoặc túi nhựa nếu mẫu đúc tại hiện trường. Nếu cần thiết có thể cắt hai đầu sao cho mặt cắt vuông góc với trục dọc của mẫu.

**8.1.2** Lấy mẫu lõi ra khỏi túi nhựa và cắt hai đầu sao cho mặt cắt vuông góc với trục mẫu.

**8.1.3** Sau khi chuẩn bị xong, dùng thước đo và ghi lại đường kính mặt cắt mẫu, mỗi đầu ghi lại hai giá trị vuông góc với nhau. Chiều dài mẫu lấy 4 giá trị sao cho mỗi lần đo cách nhau  $90^\circ$ . Tính giá trị đường kính ( $D$ ) và chiều cao ( $L$ ) trung bình lấy chính xác đến 0,001 m. Tính và ghi lại diện tích ( $m^2$ ). Sử dụng đường kính trung bình để tính diện tích mặt cắt ngang, lấy chính xác đến 3 chữ số.

### **8.2 Ổn định mẫu thử**

**8.2.1** Sau khi đo kích thước, ngâm 2 mẫu đúc hoặc mẫu lõi vào thùng có dung tích 18 L đến 20 L với dung dịch lỏng rộng mô phỏng sao cho ngập bề mặt mẫu từ 35 đến 40 mm. Duy trì nhiệt độ dung dịch ở  $(27 \pm 2)^\circ C$ . Ngâm mẫu ít nhất 6 ngày cho đến khi thí nghiệm.

**8.2.2** Nếu có nhiều hơn 2 mẫu thử được chuẩn bị trong một thùng, duy trì thể tích dung dịch theo Điều

CHÚ THÍCH 8: Thể tích dung dịch lỏng rộng mô phỏng bao quanh mẫu thử khoảng từ hai đến ba lần thể tích các mẫu.

## **9 Kiểm tra và hiệu chỉnh thiết bị**

**9.1** Trước khi thí nghiệm mẫu 1 ngày, kiểm tra tính chính xác của thiết bị thí nghiệm với khoảng giá trị điện trở và độ dẫn điện như mô tả tại 7.4.

CHÚ THÍCH 9: Sử dụng điện trở chuẩn trình tự cho phép kiểm tra thiết bị điện trở suất cùng với các điện cực và mút xóp được bảo hòa chất lỏng dẫn điện.

**9.2** Đổ đầy chất lỏng dẫn điện vào miếng mút xóp ở các điện cực của thiết bị và kết nối với các tấm đáy của mẫu chuẩn để kiểm tra như đối với mẫu bê tông. Đo điện trở, tính giá trị điện trở suất hoặc độ dẫn điện trên từng điện trở trong số năm điện trở một cách tuần tự. Sai số của mỗi điện trở không được vượt quá 2% so với giá trị chuẩn của thiết bị trừ khi được cho phép tại 11.2.2.



## TCVN 13932:2024

**9.2.1** Nếu việc kiểm tra chưa đạt yêu cầu ban đầu, đổ thêm chất lỏng dẫn điện vào tấm mút xốp và kiểm tra lại theo hướng dẫn đi kèm của thiết bị. Nếu giá trị đọc được không nằm trong 2% giá trị điện trở chuẩn thì không được sử dụng trừ khi thỏa mãn điều kiện cho phép tại **11.2.2**.

**9.2.2** Trong trường hợp không phải tất cả năm giá trị kiểm tra nằm trong phạm vi 2 % giá trị điện trở chuẩn, thiết bị thử có thể được sử dụng nếu phạm vi giá trị thu được trên các mẫu thử nằm giữa hai giá trị của điện trở kiểm tra có sai số trong khoảng 2 % giá trị điện trở chuẩn.

## 10 Cách tiến hành

**10.1** Lấy mẫu thử ra khỏi thùng chứa dung dịch lỏng mô phỏng, lau sạch mẫu và đặt mẫu lên giá đỡ (xem 7.6) hoặc đặt vào thiết bị thí nghiệm có giá đỡ theo chiều dọc. Không để mẫu ngoài không khí quá 5 min trước khi tiến hành thí nghiệm để tránh khô mẫu.

**10.2** Làm bão hòa miếng mút xốp với chất lỏng dẫn điện và đặt giữa điện cực với bề mặt mẫu thử. Đặt miếng mút xốp và tấm điện cực vào đúng tâm của mặt cắt mẫu thử và ấn lên bề mặt mẫu theo hướng dẫn đi kèm thiết bị.

CHÚ THÍCH 10: Để có thể đo lại các phép thử, áp lực lên bề mặt mẫu phải đủ để giữ chặt được các tấm điện cực lên mẫu thử. Có thể sử dụng thiết bị kẹp, neo hoặc đặt lên bề mặt điện cực một vật nặng ít nhất 3 kg. Khối lượng của một viên mẫu bê tông (100 x 200) mm có thể đủ để làm vật nặng.

**10.3** Thực hiện phép đo trên mẫu theo hướng dẫn của nhà sản xuất.

**10.3.1** Đối với thiết bị thí nghiệm có khả năng đo dòng điện xoay chiều ở các tần số khác nhau, thực hiện thí nghiệm ở tần số 1 kHz, trừ khi có quy định khác.

**10.3.2** Nếu thiết bị được thiết kế để hiển thị điện trở hoặc độ dẫn điện, nhập kích thước trung bình của mẫu thử vào theo hướng dẫn của nhà sản xuất.

**10.4** Ghi lại giá trị sau khi ổn định khoảng từ 2 s đến 5 s. Đối với thiết bị có thể tính toán tự động, ghi lại giá trị điện trở suất hoặc điện dẫn suất. Đối với thiết bị hiển thị điện trở, ghi lại giá trị điện trở là  $\Omega$ . Đối với các thiết bị khác, ghi lại giá trị điện thế  $U$  (vôn), và dòng điện  $I$  (ampe). Tháo điện cực ra và lặp lại quy trình thử nghiệm như trên. Thực hiện ít nhất hai lần đo trên mỗi mẫu thử.

**10.4.1** Đối với thiết bị hiển thị điện dẫn suất, sai lệch giữa hai lần thử không được vượt quá 0,10 mS/m đối với giá trị lớn hơn hoặc bằng 10 mS/m và 0,05 mS/m đối với giá trị nhỏ hơn 10 mS/m.

**10.4.2** Đối với thiết bị hiển thị điện trở suất, sai lệch giữa hai lần thử không được vượt quá 0,5  $\Omega \cdot m$  đối với giá trị nhỏ hơn 100  $\Omega \cdot m$  và 1  $\Omega \cdot m$  đối với giá trị lớn hơn hoặc bằng 100  $\Omega \cdot m$ . Tính giá trị trung bình của hai lần thử.

**10.4.3** Nếu độ sai lệch giữa hai lần thử vượt quá quy định tại **12.4.1** và **12.4.2** thì thực hiện lại phép đo cho đến khi độ sai lệch giữa hai lần thử liên tiếp thỏa mãn quy định trên.

## 11 Kết quả thí nghiệm

11.1 Xác định điện trở suất theo từng loại thiết bị sử dụng:

11.1.1 Đối với thiết bị đo điện thế và dòng điện, điện trở suất  $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ ) được tính toán theo Công thức 1:

$$\rho = \frac{U}{I} \times \frac{A}{L} \quad (1)$$

Trong đó:

L là chiều cao mẫu trung bình, lấy chính xác đến 0,001 m (m);

A là diện tích mặt cắt ngang mẫu thử, lấy chính xác đến ba chữ số thập phân ( $m^2$ );

U là điện thế áp dụng (V);

I là cường độ dòng điện (A).

11.1.2 Đối với thiết bị hiển thị điện trở của mẫu, điện trở suất  $\rho$  ( $\Omega \cdot m$ ) được xác định theo Công thức 2.

$$\rho = R \times \frac{A}{L} \quad (2)$$

Trong đó:

R là điện trở của mẫu thử ( $\Omega$ );

A và L xem lại định nghĩa ở Công thức (1).

11.1.3 Đối với thiết bị có thể tự động tính toán điện trở suất trung bình theo Công thức 1 thì chỉ cần ghi lại giá trị đo được mà không cần tính toán gì thêm.

11.2 Tính giá trị trung bình của điện trở suất, lấy chính xác đến 0,1  $\Omega \cdot m$ .

11.3 Khi được yêu cầu, điện dẫn suất có thể được tính bằng cách lấy nghịch đảo của điện trở suất nhân với 1000, đơn vị là mS/m.

## 12 Báo cáo thử nghiệm

12.1 Báo cáo thử nghiệm phải bao gồm ít nhất các thông tin sau:

12.1.1 Nguồn gốc mẫu khoan, nếu lấy tại kết cấu thì phải ghi rõ vị trí lấy mẫu;

12.1.2 Kí hiệu mẫu;

12.1.3 Loại bê tông, bao gồm loại chất kết dính, tỉ lệ N/CKD, và các thông tin liên quan đến mẫu thử (nếu có);

12.1.4 Mô tả mẫu, bao gồm chiều cao và kích thước trung bình chính xác đến 0,001 m và diện tích mặt cắt ngang lấy chính xác đến 3 chữ số thập phân;

12.1.5 Điều kiện bảo dưỡng và tuổi thí nghiệm mẫu thử (nếu có);

## **TCVN 13932:2024**

**12.1.6** Nếu trung bình của hai hoặc nhiều hơn hai mẫu ở cùng tuổi bảo dưỡng, tính toán điện trở suất trung bình, lấy chính xác đến 0,1  $\Omega.m$ . Hoặc tính toán điện dẫn suất trung bình, lấy chính xác đến 0,01 mS/m;

**12.1.7** Loại thiết bị sử dụng, tần số hoạt động đối với các thiết bị có tần số thay đổi.

## **13 Độ chụm và độ chệch**

### **13.1 Độ chụm**

Một chương trình thử nghiệm được thực hiện ở 12 phòng thí nghiệm sử dụng cùng một loại thiết bị có sẵn trên thị trường. Thử nghiệm được thực hiện trên mẫu bê tông hình trụ (100 x 200) mm bảo dưỡng trong dung dịch nước vôi bão hòa. Thử nghiệm được thực hiện ở tuổi 28 ngày 56 ngày và 91 ngày với giá trị điện trở từ 66 đến 380  $\Omega.m$  [2].

CHÚ THÍCH 11: Dung dịch được sử dụng trong chương trình thử nghiệm liên phòng [2] không phải là dung dịch được sử dụng trong phương pháp thử này. Các giá trị độ chụm chưa được công bố với các phép thử được thực hiện với các dung dịch lỏng rỗng mô phỏng như quy định trong phương pháp này không bị ảnh hưởng nhiều. Giá trị độ chụm sẽ được sửa đổi khi các kết quả đó được công bố.

**13.1.1** Hệ số biến thiên một người thử nghiệm được tính toán là 4,3 %. Do đó, kết quả của hai thử nghiệm với cùng vật liệu bê tông và tuổi bảo dưỡng do cùng một người thực hiện không được lệch quá 12 % giá trị trung bình của chúng.

**13.1.2** Hệ số biến thiên liên phòng thử nghiệm được tính toán là 13,2 %. Do đó, kết quả của hai thử nghiệm với cùng vật liệu bê tông và tuổi bảo dưỡng của hai phòng thí nghiệm khác nhau không được lệch quá 37 % giá trị trung bình của chúng.

### **13.2 Độ chệch**

Chưa có tài liệu thông tin phù hợp để xác định độ chệch của tiêu chuẩn này, chưa có thông báo về độ chệch đã được xác định.

## Phụ lục A

(Tham khảo)

### Hệ số cấu tạo

**A.1** Các thí nghiệm điện của bê tông, bao gồm phương pháp thử ASTM C1202 và phương pháp thử ASTM C1760 cũng chịu ảnh hưởng bởi độ dẫn điện của dung dịch lỗ rỗng ngoài độ xốp và mức độ kết nối của các lỗ rỗng. Tuy nhiên, chỉ những yếu tố sau mới biểu thị khả năng chống thâm nhập chất lỏng của bê tông. Sự can thiệp này có thể được bỏ qua bằng cách sử dụng hệ số cấu tạo.

**A.2** Hệ số cấu tạo là một đặc tính của vật liệu liên quan đến hình dạng lỗ rỗng và khả năng kết nối. Hệ số cấu tạo có thể được tính là tỉ lệ giữa điện trở của toàn bộ thể tích vật liệu ( $\rho$ ) so với điện trở của dung dịch lỗ rỗng ( $\rho_0$ ) bên trong vật liệu đó  $F = \rho/\rho_0$ . Điện trở của dung dịch lỗ rỗng có thể được xác định bằng cách tính toán sử dụng các mô hình dựa trên (1) nhiệt động lực học, (2) mô hình toán học (xem A.3) dựa trên tỉ lệ hỗn hợp, (3) hàm lượng kiềm trong chất kết dính và mức độ thủy hóa được giả định, (4) chiết xuất dung dịch lỗ rỗng và đo độ dẫn điện, hoặc (5) đo trực tiếp độ dẫn điện với các sensor được gắn bên trong mẫu thử.

**A.3** Điện trở của dung dịch lỗ rỗng ( $\rho_0$ ) ( $\Omega.m$ ) tỉ lệ nghịch với độ dẫn điện của nó ( $S/m$ ). Dựa trên báo cáo của Snyder [3], độ dẫn điện của dung dịch lỗ rỗng có thể được ước tính bằng cách tính toán trực tuyến trên trang web: <https://www.nist.gov/el/materials-and-structural-systems-division-73100/inorganic-materials-group-73103/estimation-pore>.

**A.4** Khi tính toán hệ số cấu tạo, nếu điện trở đo được ở nhiệt độ khác với  $(27,0 \pm 2,0) ^\circ C$  thì điện trở của toàn bộ thể tích mẫu thử và điện trở của dung dịch lỗ rỗng phải được đo ở cùng một nhiệt độ như nhau.

**Phụ lục B**

(Tham khảo)

**Ý nghĩa và sử dụng**

**B.1** Điện trở suất của bê tông là khả năng chống lại sự dịch chuyển của các ion dưới tác dụng của một điện trường. Điện dẫn suất thể hiện khả năng dịch chuyển của các ion trong dung dịch lỗ rỗng qua bê tông dưới một điện trường (điện dẫn suất càng cao, tốc độ dịch chuyển của ion càng cao). Điện trở suất hay điện dẫn suất của vật liệu phụ thuộc vào thể tích lỗ rỗng, cấu trúc lỗ rỗng (kích thước và mức độ kết nối với nhau), thành phần dung dịch lỗ rỗng, mức độ bão hòa và nhiệt độ của mẫu thử. Các đặc tính của hỗn hợp bê tông ảnh hưởng đến điện trở suất, cũng như khả năng chống lại thâm nhập ion clo bao gồm tỉ lệ nước trên chất kết dính, pozzolan, xỉ lò cao nghiền mịn, sự có mặt của phụ gia polyme, hàm lượng bọt khí, loại và hàm lượng cốt liệu, mức độ đồng nhất, phương pháp bảo dưỡng và tuổi thí nghiệm.

**B.2** Điện trở suất của bê tông tỉ lệ nghịch với điện dẫn suất của nó.

**B.3** Mục đích việc ngâm mẫu trong dung dịch lỗ rỗng mô phỏng là đảm bảo các lỗ rỗng mao quản và lỗ rỗng gel của mẫu thử được bão hòa. Khi so sánh hai mẫu bê tông với nhau, cần sử dụng cùng một dung dịch ngâm mẫu, mức độ bão hòa càng gần nhau thì càng chính xác. Điều này đặc biệt đúng khi sử dụng điện trở suất hoặc điện dẫn suất đo được, kết hợp với các thông số khác để ước tính độ khuếch tán.

**B.4** Thông qua điện trở suất và điện dẫn suất của bê tông có thể đánh giá nhanh khả năng chống lại sự thâm nhập của ion clo và các chất lỏng khác. Kết quả đo điện trở suất và điện dẫn suất cho thấy mối liên hệ với phương pháp thử TCVN 9337:2012. Các kết quả điện trở suất của bê tông liên quan chặt chẽ với hệ số khuếch tán được xác định theo TCVN 9492:2012 (ASTM C1556-11).

## Phụ lục C

(Tham khảo)

### Lưu ý khi sử dụng

**C.1** Khi sử dụng phương pháp thử này để so sánh các hỗn hợp bê tông khác nhau, kết quả có thể không chính xác nếu trong thành phần phụ gia hóa học sử dụng cho một hỗn hợp bê tông có chứa các ion hòa tan trong nước như canxi nitrite ( $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ ) và canxi nitrate ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ). Phụ gia hóa học như canxi nitrite có thể làm giảm điện trở của bê tông do chúng làm tăng độ dẫn điện của dung dịch lỗ rỗng (Chú thích 1). Sự ảnh hưởng này có thể độc lập với chất lượng tổng thể của bê tông. Điều này đã được chỉ ra thông qua thử nghiệm khuếch tán dài ngày của bê tông có canxi nitrite cho tính năng tương đương với mẫu bê tông đối chứng không có phụ gia và độ dẫn điện thấp hơn.

CHÚ THÍCH 12: Tương tự, các loại phụ gia khác chứa thành phần ion hòa tan trong nước cũng ảnh hưởng đến kết quả của phương pháp này. Nếu nghi ngờ có sự ảnh hưởng của phụ gia thì khuyến nghị thực hiện thêm thí nghiệm khuếch tán ion clo dài ngày. Sự ảnh hưởng này có thể được giảm thiểu bằng việc mô tả kết quả thông qua hệ số cấu tạo.

**C.2** Sự rửa trôi các ion trong dung dịch lỗ rỗng của bê tông được cho là ảnh hưởng đến giá trị điện trở hoặc độ dẫn điện. Thậm chí việc ngâm mẫu trong dung dịch canxi hydroxyt bão hòa cũng có thể ảnh hưởng đến điện trở suất của dung dịch bên trong lỗ rỗng của bê tông như là sự rửa trôi kali hydroxyt và natri hydroxyt. Do vậy, mẫu bê tông phải được ngâm trong dung dịch lỗ rỗng mô phỏng ít nhất 6 ngày trước khi thí nghiệm.

**C.3** Mức độ bão hòa ảnh hưởng rất lớn đến điện trở suất hoặc điện dẫn suất của bê tông do dòng điện chủ yếu truyền qua các chất lỏng có trong lỗ rỗng của bê tông. Việc đạt được trạng thái hoàn toàn bão hòa rất khó, vì vậy, tiêu chuẩn này đưa ra một quy trình để đạt được độ bão hòa cao mà không bị rửa trôi hàm lượng kiềm quá mức cho phép.

**C.4** Do bê tông có chứa thành phần điện dung, phản ứng điện của nó là một hàm của tần số AC được đặc trưng bởi cường độ và độ lệch pha. Điều này có thể làm ảnh hưởng đến kết quả thí nghiệm. Đại lượng mong muốn là độ lớn của trở kháng được đo ở tần số có độ lệch pha nhỏ nhất giữa điện thế và dòng điện. Điều này có nghĩa là hệ thống hoạt động như một điện trở. Một số thiết bị trên thị trường chỉ hoạt động ở một tần số cố định, thông thường từ 10 Hz đến 1 kHz. Mức độ ảnh hưởng của một dải tần số giới hạn đến kết quả được cho là không lớn hơn 5 %.

**C.5** Điện trở hoặc độ dẫn điện phụ thuộc vào nhiệt độ, do đó, các thí nghiệm được thực hiện ở điều kiện cùng nhiệt độ, cho phép sai lệch trong khoảng  $\pm 2^\circ\text{C}$ .

**C.6** Miếng mút xốp mỏng bão hòa chất lỏng dẫn điện được gắn vào các điện cực có thể làm tăng nhẹ điện trở. Tuy nhiên, các điện cực được kẹp chặt vào mẫu thử nên mức độ ảnh hưởng là rất nhỏ và có thể được bỏ qua.

Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] Elsener, B., and Rossi, A., *"Passivation of Steel and Stainless Steel in Alkaline Media Simulating Concrete,"* Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering, pp. 365-375, 2018.
- [2] Spragg, R. P., Castro, J., Nantung, T. E., Paredes, M. A., and Wesis, J., *"Variability Analysis of the Uniaxial Resistivity Measured Using Concrete Cylinders,"* Advances in Civil Engineering Materials, Vol. 1, No. 1, 1-17, 2012.
- [3] Snyder, K.A., Feng, A., Keen, B.D., and Mason, T.O., *"Estimating the Electrical Conductivity of Cement Paste Pore Solutions from  $\text{OH}^-$ ,  $\text{K}^+$  và  $\text{Na}^+$  Concentrations."* Cement and Concrete Research, Vol. 33, No. 6, pp. 793-798, 2003.
- [4] ASTM C1202-19 Standard Testing Method for Electrical Indications of Resistance to the Penetration of Chloride Ion of Concrete.
- [5] ASTM C1760-12 Standard Testing Method for Bulk Electrical Conductivity of Hardened Concrete
-