

**TCVN**

**TIÊU CHUẨN QUỐC GIA**

**TCVN 13509:2022**

Xuất bản lần 1

**BÊ TÔNG PHUN TRONG CÔNG TRÌNH  
HẦM GIAO THÔNG  
YÊU CẦU KỸ THUẬT, THI CÔNG VÀ NGHIỆM THU**

*Shotcrete in **transportation** tunnels –  
Specification, Construction and Acceptance*

HÀ NỘI - 2021



## MỤC LỤC

1 Phạm vi áp dụng.....	5
2 Tài liệu viện dẫn .....	5
3 Thuật ngữ, định nghĩa .....	7
4 Yêu cầu kỹ thuật.....	8
4.1 Yêu cầu đối với vật liệu.....	8
4.2 Yêu cầu đối với hỗn hợp bê tông phun và bê tông phun.....	11
5 Thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông phun .....	14
5.1 Nguyên tắc thiết kế thành phần bê tông phun .....	14
5.2 Thiết kế cấp phối bê tông bằng cách trộn thử nghiệm .....	14
5.3 Điều chỉnh cấp phối bê tông phun ở hiện trường .....	15
6 Chế tạo bê tông phun.....	16
6.1 Chế tạo bê tông phun ướt.....	16
6.2 Chế tạo bê tông phun khô .....	16
7 Thi công phun bê tông.....	16
7.1 Bộ thiết bị thi công bê tông phun .....	16
7.2 Chuẩn bị bề mặt cần phun trước khi phun bê tông .....	18
7.3 Các mối nối thi công và khe co ngót.....	19
7.4 Phun bê tông .....	20
7.5 Kiểm soát chiều dày bê tông phun .....	22
7.6 Hoàn thiện .....	23
7.7 Bảo dưỡng bê tông phun.....	23
7.8 Sửa chữa khuyết tật .....	23
8 Công tác kiểm tra, nghiệm thu.....	24
8.1 Kiểm tra trước khi thi công.....	24
8.2 Kiểm tra trong quá trình phun bê tông .....	25
8.3 Nghiệm thu .....	26
9 An toàn lao động .....	27
9.1 Quy định chung.....	27
9.2 Các biện pháp đảm bảo an toàn thi công .....	27
Phụ lục A (Tham khảo) Một số yếu tố kỹ thuật khi thi công bê tông phun.....	29
Phụ lục B (Tham khảo) Bộ thiết bị thi công bê tông phun .....	40
Phụ lục C (Tham khảo) Ví dụ một số biểu mẫu.....	48

### Lời nói đầu

**TCVN 13509:2022** Được biên soạn trên cơ sở ACI 506.2-13(18), ACI 506.5R-09

**TCVN 13509:2022** do Viện Khoa học và Công nghệ Giao thông vận tải biên soạn, Bộ Giao thông Vận tải đề nghị, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng thẩm định, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

# Bê tông phun trong công trình hầm giao thông – Yêu cầu kỹ thuật, thi công và nghiệm thu

## *Shotcrete in **transportation** tunnel – Specification, Construction and Acceptance*

### 1 Phạm vi áp dụng

**1.1** Tiêu chuẩn này quy định những yêu cầu kỹ thuật, thi công và nghiệm thu bê tông phun sử dụng trong công trình hầm giao thông.

**1.2** Tiêu chuẩn này áp dụng cho bê tông phun khô, bê tông phun ướt dùng trong xây dựng và sửa chữa các công trình hầm giao thông.

**1.3** Tiêu chuẩn này có thể áp dụng trong xây dựng và sửa chữa các công trình ngầm khác, kết cấu bảo vệ mái dốc, kết cấu bảo vệ kênh mương cũng như các hạng mục công trình khác trong đó thiết kế kết cấu bê tông phun có các đặc điểm tương tự.

### 2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau đây là cần thiết để áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng 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 1651-1 : 2018, *Thép cốt bê tông – Phần 1: Thép thanh tròn trơn*;

TCVN 1651-2 : 2018, *Thép cốt bê tông – Phần 2: Thép **thanh** vằn*;

TCVN 1651-3 : 2008, *Thép cốt bê tông – Phần 3: Lưới thép hàn*;

**TCVN 2682 : 2020, Xi măng pooc lăng**;

TCVN 3106-1993, *Hỗn hợp bê tông nặng – Phương pháp thử độ sụt*

**TCVN 3111:1993, Hỗn hợp bê tông nặng – Phương pháp xác định hàm lượng bọt khí**;

TCVN 4506 : 2012, *Nước trộn bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật*;

**TCVN 6260 : 2020, Xi măng pooc lăng hỗn hợp**;

TCVN 6882 : **2016**, *Phụ gia khoáng cho xi măng*;

TCVN 7570 : 2006, *Cốt liệu cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật*;

TCVN 8826 : 2011, *Phụ gia hóa học cho bê tông*;

TCVN 8827 : 2011, *Phụ gia khoáng hoạt tính cao dùng cho bê tông và vữa – Silicafume và tro trấu nghiền mịn*;



## **TCVN 13509:2022**

TCVN 9338 : 2012, *Hỗn hợp bê tông nặng – Phương pháp xác định thời gian đông kết;*

TCVN 9391 : 2012, *Lưới thép hàn dùng trong kết cấu bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế, thi công lắp đặt và nghiệm thu;*

TCVN 9491 : 2012, *Bê tông – Xác định cường độ kéo bề mặt và cường độ bám dính bằng kéo trực tiếp (Phương pháp kéo đứt);*

TCVN 10302 : 2014, *Phụ gia khoáng hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây dựng và xi măng;*

TCVN 11586 : 2016, *Xỉ hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa;*

TCVN 12392-1 : 2018, *Sợi cho bê tông cốt sợi – Phần 1: Sợi thép;*

TCVN 12392-2 : 2018, *Sợi cho bê tông cốt sợi – Phần 2: Sợi Polyme;*

**TCVN 12393 : 2018, Bê tông cốt sợi – Yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử;**

ASTM C78/C78M-10e1, *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third Point Loading), (Phương pháp thử cường độ uốn của bê tông - sử dụng dầm với sơ đồ uốn ba điểm);*

ASTM C94/C94M-13a, *Standard Specification for Ready-Mixed Concrete (Yêu cầu kỹ thuật cho bê tông trộn sẵn);*

ASTM C136, *Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates (Phương pháp sàng phân tích thành phần hạt của cốt liệu mịn và cốt liệu thô);*

ASTM C171-07, *Standard Specification for Sheet Materials for Curing Concrete (Yêu cầu kỹ thuật về vật liệu dạng màng để dưỡng hộ bê tông);*

ASTM C309-11, *Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete (Yêu cầu kỹ thuật cho các hợp chất tạo màng lỏng dùng để bảo dưỡng bê tông);*

ASTM C403/C403M-16, *Standard Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance (Phương pháp thử thời gian đông kết của hỗn hợp bê tông);*

ASTM C642-13, *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete (Phương pháp thử khối lượng riêng, độ hấp thụ nước, độ rỗng của bê tông);*

ASTM C685/C685M-11, *Standard Specification for Concrete made by Volumetric Batching and Continuous Mixing (Yêu cầu kỹ thuật chế tạo bê tông theo phương pháp thể tích và trộn liên tục);*

ASTM A706/A706M-09b, *Standard Specification for Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement (Yêu cầu kỹ thuật về thép thanh hợp kim thấp gân và trơn cho bê tông);*

**ASTM C928/C928M-13, Standard Specification for Packaged, Dry, Rapid-Hardening Cementitious Materials for Concrete Repairs (Yêu cầu kỹ thuật về hỗn hợp vật liệu khô, đóng gói, đóng rắn nhanh sử dụng cho bê tông sửa chữa);**

ASTM C1064/C1064M-12, *Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic -Cement Concrete (Phương pháp thử nhiệt độ thủy hóa của hỗn hợp bê tông)*;

ASTM C1140/C1140M-11, *Standard Practice for Preparing and Testing Specimens from Shotcrete Test Panels (Tiêu chuẩn thực hành lấy mẫu và thử nghiệm bê tông phun từ thanh panel)*;

ASTM C1141/C1141M-08, *Standard Specification for Admixtures for Shotcrete (Yêu cầu kỹ thuật về phụ gia cho bê tông phun)*;

ASTM C1315-11, *Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds Having Special Properties for Curing and Sealing Concrete (Yêu cầu kỹ thuật về hỗn hợp tạo màng lỏng có các tính chất đặc biệt dùng để dưỡng hộ và chống thấm bê tông)*;

ASTM C1550-12a, *Standard Test Method for Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete (Using Centrally Loaded Round Panel) (Phương pháp thử độ dai khi uốn của bê tông cốt sợi (Sử dụng phương pháp gia tải trung tâm))*;

ASTM C1604/C1604M-05(2012), *Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores of Shotcrete (Phương pháp thử bê tông lõi khoan của bê tông phun)*;

ASTM C1609/C1609M-12, *Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam with Third-Point Loading) (Phương pháp thử khả năng chịu uốn của bê tông cốt sợi (sử dụng dầm với phương pháp gia tải 3 điểm))*.

ACI 506.2-13(18), *Specification for Shotcrete (Yêu cầu kỹ thuật cho bê tông phun)*.

ACI 506.3R, *Guide to certification of shotcrete nozzlemen (Hướng dẫn cấp chứng chỉ thợ phun bê tông phun)*.

ACI 506.5R-09, *Guide for Specifying Underground Shotcrete (Chỉ dẫn kỹ thuật cho bê tông phun công trình ngầm)*.

BS EN 14487-1:2005, *Sprayed concrete - Part 1: Definitions, specifications and conformity (Bê tông phun – Phần 1: Định nghĩa, yêu cầu kỹ thuật)*.

BS EN 14488-2:2006, *Testing sprayed concrete — Part 2: Compressive strength of young sprayed concrete (Thử nghiệm bê tông phun – Phần 2: Cường độ nén của bê tông phun ở tuổi sớm)*.

### **3 Thuật ngữ, định nghĩa**

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

#### **3.1**

**Công trình hầm giao thông (Transportation tunnel)**

Công trình nhân tạo nằm trong lòng đất được thiết kế dùng vào mục đích giao thông.

#### **3.2**

**NATM - Phương pháp đào hầm mới của Áo (New Austrian Tunnelling Method)**

Phương pháp đào hầm theo nguyên lý tận dụng tối đa khả năng mang tải của môi trường (đất đá xung quanh) tạo thành một vòm chống đỡ trong quá trình thi công và khai thác.

**3.3**

**Bê tông phun (Shotcrete, Sprayed Concrete)**

Một loại bê tông đặc biệt, được thi công bằng phun áp lực cao lên bề mặt thi công để tạo thành lớp bê tông ngấm và bám chặt vào khối đất đá mà không cần cốt pha hoặc ván khuôn.

**3.4**

**Bê tông phun khô (Dry-mix shotcrete)**

Hỗn hợp bê tông khô được trộn với nước tại đầu vòi phun trước khi được phun lên bề mặt thi công bằng khí nén.

**3.5**

**Bê tông phun ướt (Wet-mix shotcrete)**

Hỗn hợp bê tông ướt được vận chuyển đến vòi phun và phun lên bề mặt thi công bằng khí nén.

**3.6**

**Bê tông phun có sợi gia cường (Fiber-reinforced shotcrete - FRS)**

Bê tông phun có bổ sung các sợi gia cường. Để cải thiện tính chất của bê tông phun chống lại sự hư hỏng cục bộ và ngăn ngừa bê tông bị bong tróc, hỗn hợp bê tông phun có thể được trộn thêm sợi thép và các vật liệu dạng sợi (Sợi gia cường). Sợi gia cường có thể là sợi thép, sợi thủy tinh, sợi carbon, sợi dẻo... Sợi gia cường với chiều dài ngắn, tiết diện nhỏ, khi được sử dụng với hàm lượng hợp lý có khả năng trộn đều trong bê tông phun. Sợi gia cường nâng cao khả năng chịu kéo, chịu uốn, chịu nứt và một số đặc tính khác của bê tông phun.

**3.7**

**Bong, bật (rebound)**

Vật liệu bê tông phun, hoặc bê tông ướt nảy ra khỏi bề mặt mà trên đó bê tông phun đang được phun tới.

**4 Yêu cầu kỹ thuật**

**4.1 Yêu cầu đối với vật liệu**

**4.1.1 Xi măng**



Trường hợp không có quy định về xi măng sử dụng để chế tạo bê tông phun, sử dụng xi măng Poóc lăng hoặc xi măng Poóc lăng hỗn hợp để chế tạo bê tông phun. Các loại xi măng có phản ứng kém với phụ gia đông kết nhanh không được sử dụng cho bê tông phun.

Xi măng Poóc lăng sử dụng cho bê tông phun trong công trình hầm phải đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của **TCVN 2682-2020** hoặc tương đương.

Xi măng Poóc lăng hỗn hợp sử dụng cho bê tông phun trong công trình hầm phải đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của **TCVN 6260-2020** hoặc tương đương.

Ưu tiên chọn loại xi măng tương hợp với phụ gia đông kết nhanh.

**4.1.2 Cốt liệu**

Các chỉ tiêu cơ lý của cốt liệu dùng để chế tạo bê tông phun phải thỏa mãn các yêu cầu quy định của TCVN 7570:2006 hoặc tương đương.

Thành phần cấp phối hỗn hợp cốt liệu thí nghiệm theo ASTM C136 phải thỏa mãn các yêu cầu quy định tại Bảng 1.

**Bảng 1: Cấp phối hỗn hợp cốt liệu**

	<b>Cấp phối 1</b>	<b>Cấp phối 2</b>
<b>Cỡ sàng mắt vuông, mm</b>	<b>Lượng lọt qua sàng, % khối lượng</b>	
12,5	-	100
9,5	100	90 – 100
4,75	95 – 100	70 – 85
2,36	80 – 98	50 – 70
1,18	50 – 85	35 – 55
0,60	25 – 60	20 – 35
0,30	10 – 30	8 – 20
0,15	2 - 10	2 - 10

**4.1.3 Phụ gia khoáng**

Tro bay **phù hợp với** TCVN 10302:2014.

Muội silic hoặc tro trấu nghiền mịn **phù hợp với** TCVN 8827:2011.

Xi lò cao nghiền mịn **phù hợp với** TCVN 11586:2016.

Phụ gia khoáng khác **phù hợp với** TCVN 6882:2016.

**4.1.4 Nước**

## TCVN 13509:2022

Nước trộn và bảo dưỡng bê tông phun phải là nước sạch, không chứa dầu, axit, muối hoặc kiềm. Nước trộn và bảo dưỡng bê tông phun phải thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của TCVN 4506-2012 hoặc tương đương.

### 4.1.5 Phụ gia

Việc sử dụng phụ gia trong bê tông phun phải thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của ASTM C1141 hoặc tương đương, việc sử dụng phụ gia hóa học phải thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của TCVN 8826:2011 hoặc tương đương.

### 4.1.6 Sợi gia cường

Các loại sợi phải đáp ứng các yêu cầu sau

- Sợi thép phù hợp với TCVN 12392-1:2018 hoặc tương đương.
- Sợi polyme hợp với TCVN 12392-2:2018 hoặc tương đương.
- Các loại sợi khác phải **phù hợp với quy định hiện hành**.

### 4.1.7 Cốt thép, lưới sợi thép và lưới sợi gia cường khác trong hệ thống chống đỡ

Cốt thép, lưới sợi thép và lưới sợi gia cường khác trong hệ thống chống đỡ phải tuân theo các yêu cầu sau:

- Thép thanh tròn trơn và có gân phải thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của TCVN 1651-1,2:2018 hoặc tương đương;
- Sợi thép hàn gân và trơn phải thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của TCVN 1651-3:2008 hoặc tương đương;
- Thép hợp kim thấp phải thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của ASTM A706 hoặc tương đương.
- Lưới sợi thép phải thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của TCVN 9391:2012 hoặc tương đương.

### 4.1.8 Vật liệu bảo dưỡng cho bê tông phun

Không sử dụng hợp chất bảo dưỡng gây ra các vết ố trên bề mặt bê tông phun.

Khi sử dụng vật liệu bảo dưỡng cho bê tông phun phải tuân theo các yêu cầu sau:

- Với vật liệu bảo dưỡng dạng tấm: phải thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của ASTM C171 hoặc tương đương.
- Với hợp chất bảo dưỡng: phải thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của ASTM C309/C1315 hoặc tương đương.
- Nước bảo dưỡng bê tông phun: là nước sạch phù hợp với TCVN 4506:2012.

### 4.1.9 Đóng gói, vận chuyển và bảo quản

Phân phối, lưu trữ, và xử lý vật liệu cần đảm bảo ngăn ngừa ô nhiễm, phân tách, ăn mòn, hoặc hư hỏng. Lưu trữ và bảo vệ phụ gia dạng lỏng là cần thiết để ngăn ngừa bay hơi.

Đóng gói, vận chuyển và bảo quản theo quy cách của nhà sản xuất và các quy định hiện hành tùy thuộc loại vật liệu khác nhau.

#### 4.1.10 Vật liệu bê tông phun đóng gói sẵn

Khi được phép, hỗn hợp vật liệu khô đã được trộn sẵn, đóng gói phải thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của **ASTM C928/C928M** hoặc tương đương.

#### 4.1.11 Vật liệu bê tông phun cốt sợi

Vật liệu bê tông phun có cốt sợi phải **phù hợp với TCVN 12393 : 2018** hoặc tương đương.

### 4.2 Yêu cầu đối với hỗn hợp bê tông phun và bê tông phun

#### 4.2.1 Tỷ lệ nước – xi măng (N/X)

Khi lựa chọn tỷ lệ nước - xi măng (N/X) cần chú ý:

- Đối với bê tông phun ướt, tỷ lệ nước - xi măng (N/X) được lựa chọn phù hợp với điều kiện cụ thể của dự án xây dựng hầm, thường tỷ lệ N/X phải càng thấp càng tốt và được lấy theo Bảng 2.
- Đối với bê tông phun khô, thường rất khó xác định chính xác tỷ lệ nước - xi măng (N/X) trừ khi thực hiện các phép đo đặc biệt trên hỗn hợp bê tông phun ngay sau khi phun. Tỷ lệ nước - xi măng (N/X) cho bê tông phun khô được lựa chọn phù hợp với điều kiện cụ thể của dự án xây dựng hầm và được lấy theo Bảng 2.

#### 4.2.2 Hàm lượng bọt khí

Đối với bê tông phun ướt, hàm lượng bọt khí trong bê tông sau khi phun phải nằm trong giới hạn quy định tại Bảng 2.

CHÚ THÍCH: Có thể xác định hàm lượng bọt khí bằng cách bắn trực tiếp vào bình chứa của thiết bị đo hàm lượng bọt khí theo TCVN 3111-1993 hoặc tương đương, hoặc lấy bê tông phun từ các tấm panen thử nghiệm hay bê tông trên bề mặt phun và đầm lại nó trong bình chứa của thiết bị.

#### 4.2.3 Độ sụt cho bê tông phun ướt

Khi xem xét độ sụt cho bê tông phun ướt cần chú ý:

- Độ sụt của bê tông phun ướt phụ thuộc các yếu tố: (i) khoảng cách bơm bê tông phun ướt; (ii) nhiệt độ tại hiện trường xây dựng; (iii) độ cao phun; (iv) thời gian lưu giữ hỗn hợp bê tông phun ướt; và (v) một số các điều kiện phun khác.
- Trong quá trình phun bê tông phun ướt sẽ xảy ra hiệu ứng giảm độ sụt do hàm lượng không khí bị mất khi nén trên bề mặt phun. Hiệu ứng giảm độ sụt này làm giảm khả năng chảy xệ, bong tróc và rơi vãi bê tông phun.
- Độ sụt của bê tông phun ướt khi vận chuyển đến máy bơm được lấy theo Bảng 2.

#### 4.2.4 Độ hấp thụ nước

## TCVN 13509:2022

Khi xem xét độ hấp thụ nước tối đa của bê tông phun cần chú ý:

- Thử nghiệm độ hấp thụ nước tối đa của bê tông phun phải được tiến hành theo ASTM C642 hoặc tương đương. Độ hấp thụ nước tối đa lấy theo Bảng 2.
- Một số yếu tố có thể ảnh hưởng đến độ hấp thụ nước tối đa: (i) sử dụng phụ gia đông kết nhanh; (ii) quá trình và chất lượng bảo dưỡng; (iii) kỹ thuật phun không đúng quy định.... Các yếu tố này cần được xem xét điều chỉnh ở hiện trường.

### 4.2.5 Cường độ nén

Khi xem xét cường độ nén của bê tông phun cần chú ý:

- Cường độ nén tối thiểu cần thiết ở một độ tuổi cụ thể nào đó phụ thuộc vào yêu cầu làm việc của các lớp bê tông phun trong hệ thống chống đỡ của công trình hầm.
- Khi cần chịu lực ngay lập tức, quy định về cường độ nén của lớp bê tông phun ở độ tuổi **8 h** hoặc sớm hơn (cường độ sớm ở các độ tuổi) là rất quan trọng.
- Nếu không có yêu cầu cường độ sớm ở độ tuổi cụ thể nào, thì cường độ nén của bê tông phun được quy định ở độ tuổi **7 d** hoặc **28 d**.
- Để xem xét đặc tính phát triển cường độ nén của bê tông phun, cần nén mẫu ở các độ tuổi **8 h**, **1 d**, **3 d**, **7 d** và **28 d**. Việc thử nghiệm xác định cường độ nén của bê tông phun ở các độ tuổi phải được tiến hành theo ASTM C1604 hoặc tương đương. Cường độ nén tối thiểu ở các độ tuổi lấy theo Bảng 2.

### 4.2.6 Cường độ chịu uốn

Khi xem xét cường độ chịu uốn của bê tông phun cần chú ý:

- Cường độ chịu uốn thường không được quy định trừ khi sử dụng bê tông phun có sợi gia cường (FRS).
- Thử nghiệm để xác định cường độ uốn phải được tiến hành theo ASTM C1609/C1609M hoặc tương đương, thử nghiệm để xác định cường độ chịu uốn cuối cùng phải được tiến hành theo ASTM C78 hoặc tương đương. Cường độ chịu uốn tối thiểu lấy theo Bảng 2.

### 4.2.7 Cường độ ở tuổi sớm

Khi xem xét cường độ sớm ở các độ tuổi của bê tông phun cần chú ý:

- Đối với bê tông phun, phát triển cường độ sớm ở các độ tuổi thường được ưu tiên so với cường độ bê tông cuối cùng.
- Trong phòng thí nghiệm, để thử nghiệm cường độ sớm ở các độ tuổi **2 h**, **4 h**, **6 h**, **8 h** và **12 h**, hoặc ở các độ tuổi khác. Với các độ tuổi trước **4 h** có thể sử dụng xuyên kế (penetrometer), từ **4 h** đến **24 h** có thể sử dụng búa đinh. Từ độ tuổi **8 h** trở đi có thể dùng mẫu khoan để xác định cường độ nén như trong Điều 4.2.5.



- Cường độ ở tuổi sớm lấy theo Bảng 2, hoặc **phù hợp với quy định hiện hành**.
- Thử nghiệm để xác định cường độ ở tuổi sớm được tiến hành theo BS EN 14488-2:2006 hoặc tương đương.

#### 4.2.8 Cường độ dính bám với nền

Khi xem xét cường độ dính bám của bê tông phun cần chú ý:

- Trong trường hợp bề mặt đá của công trình hàm tương đối phẳng và rắn chắc, sau khi phun bê tông có thể khoan lấy mẫu và kiểm tra cường độ dính bám bằng thử nghiệm kéo trực tiếp. Cường độ dính bám giữa bề mặt đá và bê tông phun từ **1,0 MPa** đến **1,5 MPa** có thể coi là đạt yêu cầu. Lưu ý cường độ dính bám phụ thuộc vào việc lấy mẫu và độ chính xác của thử nghiệm, nhất là độ nghiêng của bề mặt lấy mẫu và trục lõi khoan.
- Trong trường hợp bề mặt đá của công trình hàm không phẳng, việc xác định cường độ dính bám có thể không chính xác.

#### 4.2.9 Các yêu cầu cơ bản của bê tông phun

**Bảng 2: Các yêu cầu cơ bản của bê tông phun**

Các chỉ tiêu	Quy định cho bê tông phun ướt	Quy định cho bê tông phun khô	Phương pháp thử
1. Tỷ lệ N/X	0,40 đến 0,45	0,35 đến 0,45	
2. Độ sụt khi vận chuyển đến máy bơm, cm, <sup>(1)</sup>	8 ± 3	-	TCVN 3106-1993
3. Hàm lượng khí, %, <sup>(1)</sup>	4 ± 1	-	TCVN 3111-1993
4. Độ hấp thụ nước, lớn nhất, %	8	8	ASTM C642
5. Cường độ nén tối thiểu, MPa <sup>(2)</sup>			
8 h	5	5	ASTM C1604/1604M
1 d	10	10	
3 d	20	20	
7 d	25	25	
28 d	30	30	
6. Cường độ chịu uốn tối thiểu, MPa, <sup>(3)</sup>	4,0 đến 4,5	4,0 đến 4,5	ASTM C1609/C1609M hoặc ASTM C78
7. Cường độ dính bám với nền, MPa <sup>(2)</sup>	1,0 đến 1,5	1,0 đến 1,5	TCVN 9491:2012
8. Thời gian đông kết, min <sup>(4)</sup>			TCVN 9338:2012



Các chỉ tiêu	Quy định cho bê tông phun ướt	Quy định cho bê tông phun khô	Phương pháp thử
Bắt đầu đông kết, <b>nhỏ nhất</b>		3	
Kết thúc đông kết, <b>lớn nhất</b>		9	
<p>(1) Chỉ yêu cầu cho bê tông phun ướt.</p> <p>(2) Tùy theo yêu cầu thiết kế, có thể quyết định giá trị khác phù hợp hơn.</p> <p>(3) Chỉ quy định nếu cốt sợi được thêm vào hỗn hợp bê tông phun.</p> <p>(4) Khi được chỉ định hoặc theo yêu cầu kỹ thuật của dự án.</p>			

CHÚ THÍCH 1: Các nội dung thể hiện trong tiêu chuẩn này là yêu cầu cho bê tông phun có cường độ chịu nén tối thiểu **28 d** đạt **30 MPa**. Bê tông phun yêu cầu cường độ chịu nén sau **28 d** trên **30 MPa**, các yêu cầu về vật liệu nêu trên chỉ mang tính tham khảo áp dụng.

## 5 Thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông phun

### 5.1 Nguyên tắc thiết kế thành phần bê tông phun

- Sử dụng hợp lý vật liệu địa phương.
- Thành phần bê tông được thiết kế có các tính chất phù hợp với công nghệ thi công (thiết bị thi công).
- Bê tông phun có các tính chất cơ lý đạt yêu cầu theo Thiết kế dự án công trình.

### 5.2 Thiết kế cấp phối **bê tông** bằng cách trộn thử nghiệm

Khi cấp phối của bê tông phun không được chỉ định trong hồ sơ thiết kế của dự án được các cấp có thẩm quyền phê duyệt hoặc không có dữ liệu cấp phối có sẵn có thể tiến hành thiết kế cấp phối bê tông phun bằng cách trộn thử nghiệm theo các bước: (i) lựa chọn thành phần hỗn hợp (thành phần hạt, xi măng, tỷ lệ nước - xi măng, độ ẩm cốt liệu, phụ gia, sợi gia cường...); (ii) trộn hỗn hợp, chế tạo mẫu thí nghiệm, bảo dưỡng và thử nghiệm mẫu để quyết định thành phần cấp phối **bê tông**.

#### 5.2.1 Lựa chọn thành phần hỗn hợp

##### 5.2.1.1 Thành phần hạt

Thành phần hạt mịn và hạt thô có thể lựa chọn vào khoảng từ 60 % đến 80 % **khối lượng** của cấp phối **bê tông**. Để tránh lượng bong bật cốt liệu và phù hợp với các thiết bị bơm nên ưu tiên các cỡ hạt lớn từ 5 mm đến 10 mm. Lượng hạt mịn qua sàng cỡ 0,125 mm tốt nhất nằm trong khoảng từ 4 % đến 9 % để tránh hiện tượng phân tầng.

##### 5.2.1.2 Xi măng

Hàm lượng xi măng có thể lựa chọn vào khoảng từ 8 % đến 15 % **khối lượng** của cấp phối **bê tông**. Lượng xi măng có thể lựa chọn trong hỗn hợp thường thiết kế từ 320 kg đến 460 kg trong 1 m<sup>3</sup> bê

tông. Để xác định lượng xi măng sử dụng trong bê tông phun, cần phải xem xét lượng bột trở lại khi phun.

#### 5.2.1.3 Tỷ lệ nước /xi măng (N/X)

Lượng nước có thể lựa chọn vào khoảng từ 10 % đến 20 % khối lượng của cấp phối bê tông tùy thuộc loại bê tông phun khô hoặc bê tông phun ướt. Tỷ lệ nước/xi măng (N/X) có thể tham khảo theo Điều 4.2.1

#### 5.2.1.4 Độ ẩm của cốt liệu

Độ ẩm tốt nhất của cốt liệu cho bê tông phun khô tốt nhất từ 3 % đến 6 %.

#### 5.2.1.5 Phụ gia

- Việc sử dụng phụ gia phải phù hợp với các quy định tại Điều 4.1.5.
- Lượng phụ gia sử dụng thường phụ thuộc hàm lượng xi măng được xác định trong thành phần cấp phối bê tông phun và được xác định bằng tỷ lệ xi măng/phụ gia. Lượng phụ gia sử dụng thường dựa trên khuyến cáo của các nhà cung cấp phụ gia.

#### 5.2.1.6 Sợi gia cường

- Việc sử dụng sợi gia cường phải phù hợp với các quy định tại Điều 4.1.6.
- Lượng sợi gia cường phụ thuộc loại sợi, yêu cầu thiết kế và dựa trên khuyến cáo của các nhà cung cấp sợi gia cường.

#### 5.2.2 Trộn, chế tạo mẫu, bảo dưỡng và thử nghiệm để quyết định thành phần cấp phối bê tông.

Thành phần cấp phối của bê tông phun đã được lựa chọn ở trên sẽ được trộn, chế tạo mẫu, bảo dưỡng, và thử nghiệm để quyết định thành phần cấp phối bê tông. Việc trộn, chế tạo mẫu, bảo dưỡng và việc thử nghiệm cường độ chịu nén của lõi khoan lấy từ các tấm thí nghiệm phải được tiến hành theo ASTM C1140/C1140M hoặc tương đương, các thử nghiệm xác định các thuộc tính đồng kết ban đầu và cuối cùng của hỗn hợp phải được tiến hành theo ASTM C403 hoặc tương đương.

### 5.3 Điều chỉnh cấp phối bê tông phun ở hiện trường

Việc điều chỉnh cấp phối bê tông phun ở hiện trường là yêu cầu bắt buộc trước khi thi công đại trà để lựa chọn được cấp phối bê tông phun đáp ứng các yêu cầu hoặc tính chất cụ thể của dự án xây dựng hầm.

Thành phần cấp phối của bê tông phun ở hiện trường có thể thay đổi đáng kể so với thành phần cấp phối bê tông đã được lựa chọn ở Điều 5.2, đặc biệt đối với bê tông phun khô. Việc điều chỉnh cấp phối bê tông có thể tham khảo trong Phụ lục A.

## 6 Chế tạo bê tông phun

### 6.1 Chế tạo bê tông phun ướt

Việc phối trộn và phân phối hỗn hợp bê tông phun ướt phải được tiến hành theo ASTM C94/C94M, ASTM C685/C685M, **TCVN 12393 : 2018** hoặc tương đương.

### 6.2 Chế tạo bê tông phun khô

Việc phối trộn và phân phối hỗn hợp bê tông phun khô phải được tiến hành theo ASTM C685/C685M, **TCVN 12393 : 2018** hoặc tương đương.

## 7 Thi công phun bê tông

### 7.1 Bộ thiết bị thi công bê tông phun

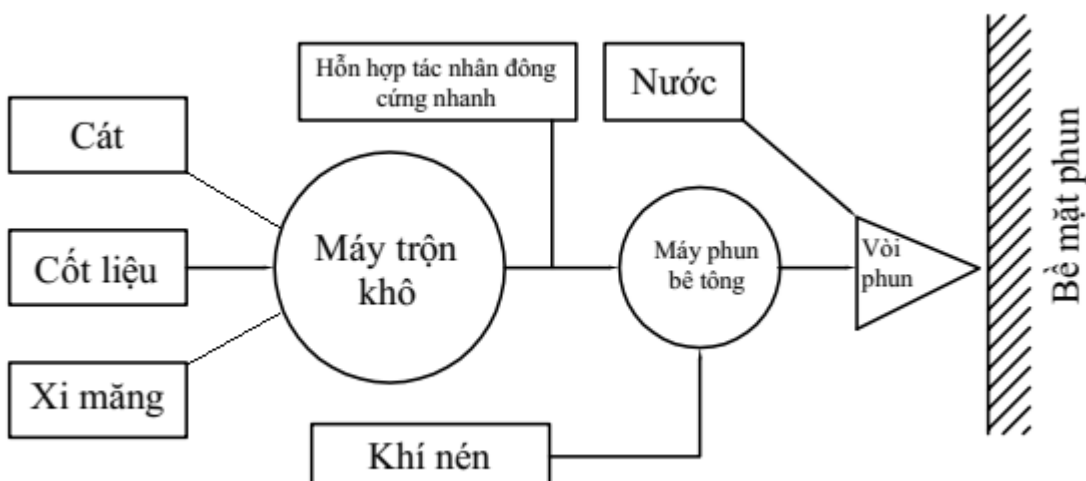
#### 7.1.1 Nguyên tắc lựa chọn bộ thiết bị thi công bê tông phun

Việc lựa chọn thiết bị bê tông phun phụ thuộc vào nhiều yếu tố, bao gồm: (i) đặc điểm kỹ thuật của dự án; (ii) loại kết cấu sử dụng bê tông phun; (iii) tốc độ thi công bê tông phun dự kiến; (iv) thời gian thi công; (v) loại bê tông phun (bê tông phun ướt hoặc bê tông phun khô); (vi) điều kiện của bề mặt tiếp nhận bê tông phun; (vii) chất lượng của vật liệu được cung cấp; và (viii) hệ thống vận chuyển, phân phối bê tông phun dự kiến.

Ưu tiên lựa chọn hệ thống thiết bị thi công bê tông phun đồng bộ.

#### 7.1.2 Máy và các thiết bị phụ trợ cơ bản trong bộ thiết bị thi công bê tông phun khô

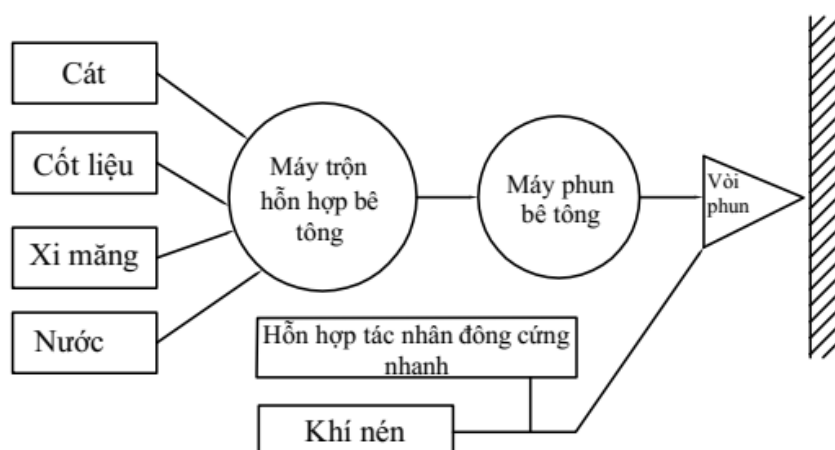
Bộ thiết bị thi công bê tông phun khô thường bao gồm các máy và thiết bị phụ trợ cơ bản sau: (i) hệ thống cấp vật liệu (cát, cốt liệu, xi măng); (ii) máy trộn hỗn hợp khô; (iii) hệ thống cung cấp khí nén; (iv) máy phun bê tông khô/robot phun bê tông khô; (v) hệ thống cung cấp hỗn hợp phụ gia đông kết nhanh; (vi) hệ thống ống phân phối và vòi phun. Giải đồ của bộ thiết bị thi công bê tông phun khô như trong Hình 1. Một số bộ thiết bị thi công bê tông phun khô có thể tham khảo trong Phụ lục B.



### Hình 1: Giản đồ bộ thiết bị thi công bê tông phun ướt

#### 7.1.3 Máy và các thiết bị phụ trợ cơ bản trong bộ thiết bị thi công bê tông phun ướt

Bộ thiết bị thi công bê tông phun ướt thường bao gồm các máy và thiết bị phụ trợ cơ bản sau: (i) hệ thống cấp vật liệu (cát, cốt liệu, xi măng, nước); (ii) máy trộn hỗn hợp bê tông; (iii) hệ thống cung cấp khí nén; (iv) máy phun bê tông ướt/robot phun bê tông ướt; (v) hệ thống cung cấp hỗn hợp phụ gia đông kết nhanh; (vi) hệ thống ống phân phối và vòi phun. Giản đồ của bộ thiết bị thi công bê tông phun ướt như trong Hình 2. Một số bộ thiết bị thi công bê tông phun ướt có thể tham khảo trong Phụ lục B.



Hình 2: Giản đồ của bộ thiết bị thi công bê tông phun ướt

#### 7.1.4 Lựa chọn hệ thống cấp vật liệu

Phải lựa chọn hệ thống cấp vật liệu thích hợp về thể tích bê tông phun, loại bê tông phun (bê tông phun ướt hoặc bê tông phun khô), thích hợp với máy trộn và máy phun bê tông. Chú ý đến điều kiện vận hành và vị trí đặt máy trộn. Chú ý lựa chọn các hệ thống cấp vật liệu tự động hoặc bán tự động.

#### 7.1.5 Lựa chọn máy trộn bê tông

Phải lựa chọn máy trộn bê tông thích hợp về thể tích bê tông phun, loại bê tông phun (bê tông phun ướt hoặc bê tông phun khô), thích hợp với hệ thống cấp vật liệu và máy phun bê tông. Chú ý đến điều kiện vận hành và vị trí đặt máy trộn.

#### 7.1.6 Lựa chọn hệ thống cung cấp khí nén

Phải lựa chọn hệ thống cung cấp khí nén thích hợp để cung cấp đủ áp lực khí nén và an toàn cho quá trình phun bê tông. Chú ý đến điều kiện vận hành và vị trí đặt hệ thống cung cấp khí nén.

#### 7.1.7 Lựa chọn máy phun bê tông/robot phun bê tông

Phải lựa chọn máy phun bê tông/robot phun bê tông thích hợp về thể tích bê tông phun, loại bê tông phun (bê tông phun ướt hoặc bê tông phun khô), thích hợp với máy trộn. Máy phun bê tông/robot phun bê tông phải là loại máy an toàn đối với áp lực do bê tông có thể bị kẹt trong hệ thống ống phân phối và vòi phun gây gia tăng áp lực tức thời. Máy phun bê tông/robot phun bê tông phải có khả năng phun vật



## **TCVN 13509:2022**

liệu với áp lực đồng đều và liên tục. Chú ý đến điều kiện vận hành và vị trí đặt máy phun bê tông/robot phun bê tông.

### **7.1.8 Lựa chọn hệ thống cung cấp hỗn hợp phụ gia đông kết nhanh**

Phải lựa chọn hệ thống cung cấp hỗn hợp phụ gia đông kết nhanh thích hợp, có khả năng điều chỉnh tự động và dễ dàng tỷ lệ của các phụ gia đông kết nhanh (dạng bột và dạng lỏng) và điều chỉnh máy phun bê tông/robot phun bê tông. Chú ý đến khả năng cung cấp liên tục một lượng định trước các phụ gia đông kết nhanh.

### **7.1.9 Lựa chọn hệ thống ống phân phối vật liệu và vòi phun**

Phải lựa chọn hệ thống ống phân phối vật liệu và vòi phun thích hợp. Ống phân phối vật liệu phải phù hợp với loại bê tông phun (bê tông phun ướt hay bê tông phun khô). Chú ý lựa chọn đường kính ống, chiều dài ống, kẹp ống...phù hợp với áp suất phun tối đa và tốc độ phun yêu cầu. Vòi phun phải có cấu tạo phù hợp với loại bê tông phun (bê tông phun ướt hay bê tông phun khô).

## **7.2 Chuẩn bị bề mặt cần phun trước khi phun bê tông**

### **7.2.1 Bề mặt cần phun là nền đất:**

Bề mặt cần phun là nền đất được tạo cấp theo chỉ dẫn trong thiết kế. Làm ẩm bề mặt ngay trước khi phun nhưng không được để nước đọng trên bề mặt.

### **7.2.2 Bề mặt cần phun là vữa hoặc bê tông đã phun trước đó**

Loại bỏ tất cả các vật liệu rời rạc, không chắc chắn hoặc các chất gây ô nhiễm ra khỏi bề mặt cần phun để bê tông phun bám dính tốt. Nếu trên bề mặt cần phun có những vị trí gồ gề có thể dẫn đến sự thay đổi đột ngột về chiều dày lớp bê tông sẽ phun thì cần được loại bỏ. Làm thô bề mặt cần phun để tạo nhám. Bề mặt cần phun phải được làm ẩm và để khô để không làm ảnh hưởng đến lượng nước tự do của hỗn hợp bê tông phun ngay trước khi phun bê tông phun lên.

### **7.2.3 Bề mặt cần phun là đá**

Loại bỏ các vật liệu rời, bùn, đất hoặc các loại vật liệu khác cản trở sự dính bám của bề mặt cần phun với bê tông phun. Làm sạch bề mặt trước khi phun bê tông. Làm ẩm bề mặt ngay trước khi phun nhưng không được để nước đọng trên bề mặt.

### **7.2.4 Bề mặt cần phun có lắp đặt cốt thép, lưới thép**

#### **7.2.4.1 Kiểm tra việc lắp đặt cốt thép, lưới thép theo thiết kế được duyệt**

Khoảng cách giữa các thanh cốt thép phải thỏa mãn: các thanh cốt thép không được tiếp xúc với nhau và phải cách xa nhau với khoảng cách ít nhất ba lần đường kính của thanh cốt thép lớn nhất, ba lần kích cỡ cốt liệu lớn nhất, hoặc 50 mm, tùy theo giá trị nào là nhỏ nhất.

Các thanh cốt thép có thể được liên kết với nhau bằng các vòng cốt thép đai không tiếp xúc ở các thanh chịu uốn, không được đặt cách nhau quá xa nhưng không nhỏ hơn so với 1/5 chiều dài mỗi nối



yêu cầu và 150 mm. Việc sử dụng các vòng cốt thép đai tiếp xúc để liên kết cốt thép cần **phù hợp với quy định hiện hành**. Các vòng cốt thép đai phải nằm trong cùng một mặt phẳng và song song với hướng phun bê tông và có thể liên kết bằng hàn.

Các lưới thép phải được liên kết chắc chắn vào bề mặt cần phun theo thiết kế được duyệt.

**7.2.4.2** Làm sạch bề mặt cốt thép, lưới thép: Bề mặt cốt thép, lưới thép phải được làm sạch trước khi phun theo các chỉ dẫn của thiết kế.

### 7.2.5 Bề mặt cần phun có nước ngầm

Sự có mặt của khối lượng lớn nước hoặc nước ở áp suất cao thường ảnh hưởng đến chất lượng bê tông phun, phải có các biện pháp cụ thể để khử nước như sử dụng vữa hoặc các biện pháp khác bao gồm cả việc sử dụng các kênh thoát nước, ống hoặc vòi thoát nước.

Bê tông phun có thể được áp dụng trong điều kiện gặp phải nước ngầm, trong trường hợp này cần điều chỉnh thành phần bê tông phun. Mức độ của những điều chỉnh này phụ thuộc vào bản chất của dòng nước ngầm.

Có thể giảm lượng nước trộn và tăng liều lượng chất đóng rắn trong bê tông phun khô hoặc tăng liều lượng chất đóng rắn trong bê tông phun ướt khi bề mặt có nước ngầm.

Nếu có nước chảy từ khe nứt hoặc mối nối, cách tốt nhất thường là phun một cách có hệ thống xung quanh dòng chảy để hạn chế nước chảy, đặt ống dẫn nước ra ngoài phạm vi thi công. Sau đó khoan một lỗ vào nguồn nước đến độ sâu từ 0,7 m đến 1,0 m. Đặt đường ống dẫn nước vào lỗ khoan để cho nước chảy qua ống và làm giảm bớt sự tích tụ áp lực nước cho đến khi hoàn thành công tác phun bê tông, tại đó có thể bơm vữa, và đường ống có thể được cắt bỏ.

Trong trường hợp xử lý được mô tả trên không kiểm soát được nước ngầm, nên xem xét các phương pháp bơm vữa gia cường đất đá xung quanh.

### 7.2.6 Ván khuôn chống dịch chuyển khi phun bê tông

Có thể sử dụng vật liệu có độ dày phù hợp làm ván khuôn chống dịch chuyển trong khi phun bê tông. Ván khuôn phải có độ cứng đủ lớn để giảm thiểu ảnh hưởng của tác động rung trong quá trình phun. Hình dạng ván khuôn phải cho phép thoát khí, thuận lợi khi tháo tác phun. Phải sử dụng vật liệu chống dính thích hợp để có thể tháo dỡ ván khuôn dễ dàng.

## 7.3 Các mối nối thi công và khe co ngót

### 7.3.1 Các mối nối thi công

Các mối nối thi công phải có góc nghiêng khoảng  $45^\circ$  so với bề mặt tiếp nhận bê tông phun mới. Tạo các mối nối thi công bằng cách cắt bê tông phun khi bê tông chưa đông cứng. Các mối nối tại các nút giao cắt phải được thực hiện ở góc  $90^\circ$ . Làm nhám bề mặt bê tông phun ở bề mặt mối nối trong khi nó chưa đông cứng.

### 7.3.2 Khe co ngót

## TCVN 13509:2022

Vị trí khe co ngót phải theo đúng hồ sơ thiết kế đã được các cấp thẩm quyền phê duyệt.

### 7.4 Phun bê tông

#### 7.4.1 Công tác chuẩn bị

**7.4.1.1** Thiết kế cấp phối bê tông phun và bộ thiết bị thi công bê tông phun phải được các cơ quan có thẩm quyền chấp thuận trước khi tiến hành phun đại trà ở hiện trường.

**7.4.1.2** Kiểm tra đà giáo, chiếu sáng và thông gió ở khu vực phun bê tông.

**7.4.1.3** Dùng các lớp che phủ tạm thời để bảo vệ các bề mặt liền kề khu vực phun bê tông để tránh ảnh hưởng của bê tông phun hoặc tác động của dòng vật liệu phun (nếu cần).

**7.4.1.4** Kiểm tra các điều kiện an toàn lao động theo quy định.

**7.4.1.5** Bề mặt cần phun bê tông phải được chuẩn bị theo quy định tại Điều 7.2.

**7.4.1.6** Chia ô phun: Khi diện tích phun bê tông lớn cần chia ra từng ô, nên chia ô có kích thước (2x2) m (diện tích ô khoảng 4 m<sup>2</sup> và không nên vượt quá 6 m<sup>2</sup>). Nên chia ô theo trình tự phun, hợp lý nhất là dưới trước trên sau, tường trước vòm/trần sau. Mục đích của việc chia ô này nhằm giảm thiểu lượng rơi vãi do bê tông bị tách ra khỏi các lớp bê tông và rơi xuống dưới tác dụng của trọng lực bê tông phun.

**7.4.1.7** Trình tự phun: Đầu tiên phun bê tông ở các góc, hốc và các khu vực nơi bê tông phun dễ bị bong bật hoặc nơi bê tông phun khó tiếp xúc tới. Mỗi lớp phun không nên quá dày hoặc quá mỏng, gây ảnh hưởng đến lực kết dính của các lớp bê tông. Chiều dày hoàn thiện của mỗi lớp phun đối với tường nên vào khoảng từ 7 cm đến 10 cm và với vòm/trần nên vào khoảng từ 5 cm đến 7 cm.

**7.4.1.8** Việc cung cấp vật liệu phun và áp suất không khí tại vòi phải ổn định, tạo ra dòng phun liên tục với tốc độ phun ổn định. Tính đồng nhất của hỗn hợp bê tông phun và tốc độ phun ổn định sẽ hạn chế sự rơi vãi và sự bong bật của cốt liệu.

**7.4.1.9** Vòi phun phải được đặt vuông góc với bề mặt cần phun. Khoảng cách từ đầu vòi phun đến bề mặt cần phun nên vào khoảng 0,8 m đến 1,2 m, khoảng cách hợp lý nhất là khoảng cách có sự rơi vãi và sự bong bật của cốt liệu là ít nhất. Hướng di chuyển của đầu vòi phun nên theo hình tròn hoặc elip. Minh họa vị trí đầu vòi phun và hướng di chuyển như trong Hình 3.

**7.4.1.10** Hỗn hợp bê tông phun khô phải được phun trong vòng 45 min sau khi trộn. Nếu hỗn hợp bê tông phun khô được cung cấp dưới dạng đóng gói sẵn, sau khi làm ẩm sơ bộ, phải phun trong thời gian do nhà cung cấp quy định, nếu không có quy định phải được phun trong vòng 45 min.

**7.4.1.11** Hỗn hợp bê tông phun ướt phải được phun trong giới hạn thời gian quy định theo ASTM C94/94M hoặc tương đương.

**7.4.1.12** Khi phun bê tông ở các góc, nên hướng đầu vòi phun chia đôi góc theo các hướng để hạn chế bong tróc hoặc sứt. Nếu có hiện tượng bong bật, có vật liệu rơi vãi vào các góc hoặc trong vùng có cốt thép phải sử dụng biện pháp làm sạch bằng khí nén.

**7.4.1.13** Tạm dừng thi công để che chắn khu vực phun nếu gió gây ra sự phân tách các thành phần của bê tông phun.

**7.4.1.14** Không sử dụng lại các vật liệu bị bong bật và rơi xuống trong khi thi công bê tông phun.

**7.4.1.15** Các vùng đã loại bỏ vữa xi măng từ các bề mặt bê tông phải được phun bổ sung.

**7.4.1.16** Không phun bê tông phun lên các bề mặt có nước đọng hoặc chảy.

**7.4.1.17** Vệ sinh loại bỏ các vật liệu rời (kể cả bê tông phun dính vào đã cứng) và làm sạch các bề mặt lân cận, nhất là ở phần cốt thép lộ ra.

**7.4.2** Khi phun nhiều hơn một lớp bê tông phun

**7.4.2.1** Khi phun nhiều hơn một lớp bê tông phun, phải vệ sinh loại bỏ ngay các vật liệu có thể làm ảnh hưởng đến liên kết của lớp bê tông phun tiếp theo. Việc vệ sinh được tiến hành ngay sau khi bê tông phun đạt đến thời gian ninh kết ban đầu bằng các thiết bị phù hợp để tránh ảnh hưởng đến lớp bê tông đã phun.

**7.4.2.2** Chỉ được phép phun lớp bê tông tiếp theo khi lớp bê tông đã phun trước đó đủ độ cứng. Làm ẩm bề mặt và chỉ phun lớp tiếp theo theo quy định tại Điều 7.2.2.

**7.4.3** Phun trên bề mặt có lắp cốt thép, lưới thép

**7.4.3.1** Chuẩn bị và kiểm tra bề mặt có lắp cốt thép, lưới thép theo Điều 7.2.4.

**7.4.3.2** Điều chỉnh khí nén, tốc độ phun và khoảng cách của đầu vòi phun để phun phủ cốt thép, lưới thép đạt hiệu quả nhất để hạn chế bong bật và rơi vãi cốt liệu. Ngoài ra chú ý để hạn chế lỗ rỗng trong bê tông phun do ảnh hưởng của cốt thép, lưới thép. Trong quá trình phun cần chú ý loại bỏ và làm sạch các vật liệu rời tồn đọng bằng khí nén hoặc thiết bị phù hợp.

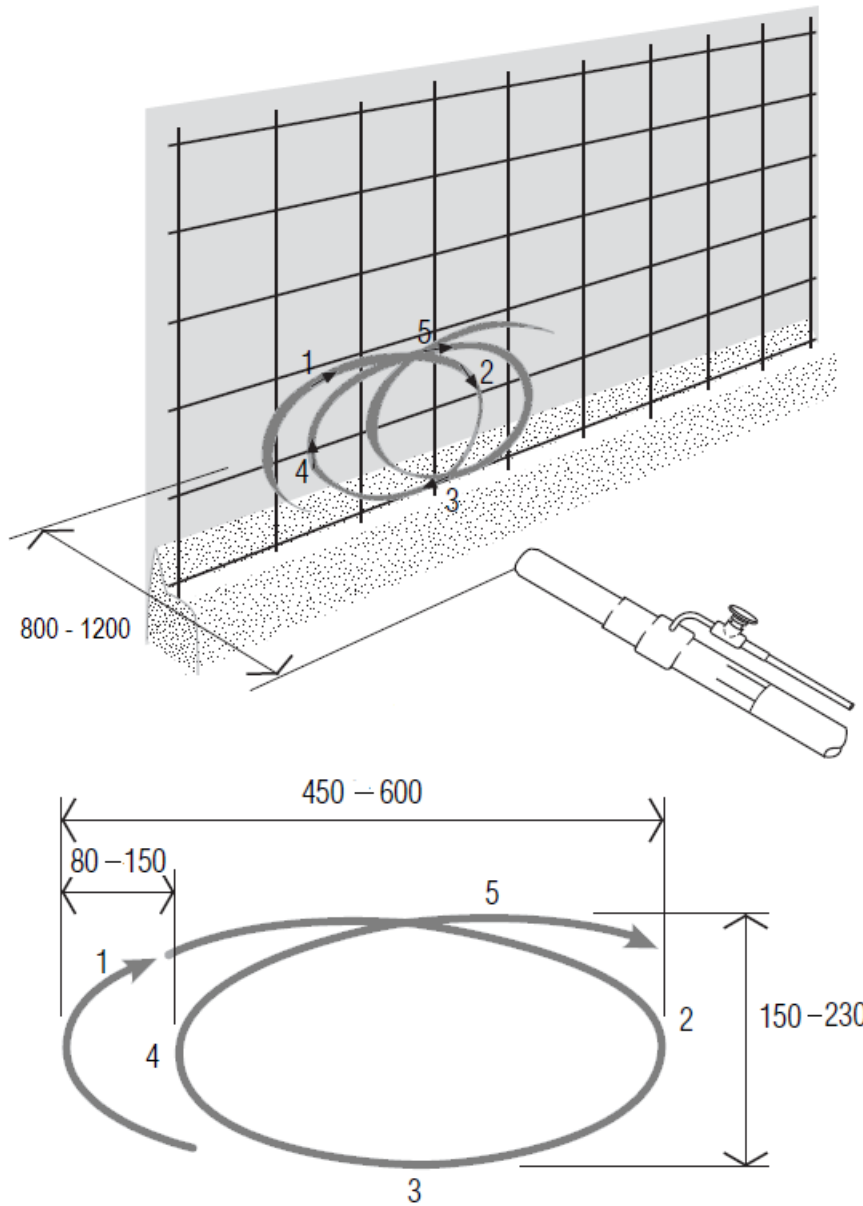
**7.4.3.3** Phun bê tông khu vực có khung chống đỡ bằng thép hình: Khi dùng bê tông phun kết hợp với hệ thống chống đỡ bằng khung thép phải phun bê tông cẩn thận sao cho mặt sau của hệ thống chống đỡ bằng khung thép không có chỗ hở. Nếu tồn tại các lỗ hở trên hệ thống chống đỡ bằng khung thép thì phải chèn kín chúng bằng vữa xi măng,....

**7.4.4** Xem xét ảnh hưởng của thời tiết khi phun bê tông

**7.4.4.1** Không thi công bê tông phun khi nhiệt độ khu vực phun trên  $35^{\circ}\text{C}$ . Nhiệt độ của cốt thép, lưới thép và bề mặt tiếp nhận bê tông phun phải dưới  $32^{\circ}\text{C}$  khi phun bê tông.

**7.4.4.2** Không thi công bê tông phun khi nhiệt độ trung bình khu vực phun dự báo dưới  $10^{\circ}\text{C}$  kéo dài trong 24 h sau khi phun. Nhiệt độ của hỗn hợp bê tông phun khi phun không được nhỏ hơn  $10^{\circ}\text{C}$ .

Kích thước tính bằng milimét



Hình 3: Hướng di chuyển của vòi phun

### 7.5 Kiểm soát chiều dày bê tông phun

Một số phương pháp có thể sử dụng trong việc kiểm soát chiều dày của lớp bê tông phun:

**7.5.1** Đinh hoặc ghim có thể được lắp đặt xen kẽ để đảm bảo độ dày tối thiểu. Bê tông phun được phun cho đến khi đinh hoặc ghim được bao phủ. Đối với công trình ngầm kích thước lớn, người vận hành có thể gặp khó khăn khi nhìn thấy đinh hoặc ghim trong khi đang phun, có thể kiểm tra chiều dày sau khi phun vào vị trí thi công; khi lưới thép hàn hoặc cốt thép được gắn vào tường hầm như một phần của vỏ hầm, nó có thể đóng vai trò là một hướng dẫn kiểm soát độ dày. Người vận hành bê tông phun có thể quan sát cốt thép hàn hoặc cốt thép được bao phủ. Các chốt dẫn hướng đóng vai trò như một phương tiện để xác định độ dày phù hợp của lớp phủ trên cốt thép hàn. Cốt thép hàn phải có các lỗ đủ lớn để đảm bảo rằng bê tông phun bao bọc cốt thép hàn, và không gây cản trở khi các lớp liên kết được phun vào tường hoặc bao quanh bất kỳ cốt thép nào. Dầm lưới hoặc khung thép cũng là



một dấu hiệu để nhận biết độ dày tối thiểu, nhưng các yếu tố này cũng yêu cầu các chốt dẫn hướng để đảm bảo độ dày phù hợp của lớp bê tông phun.

**7.5.2** Dây có độ bền kéo cao có thể được sử dụng khi độ dày cuối cùng được yêu cầu đến dung sai nhỏ. Phương pháp dây đo thường liên quan đến việc vượt quá độ dày và cắt hoặc cắt lại bê tông mới vào dây bằng thước thẳng (còn gọi là thanh cắt);

**7.5.3** Độ dày bê tông cuối cùng có thể được xác minh bằng cách sử dụng mẫu khoan để xác định bất kỳ khu vực nào có độ dày dưới hoặc quá dày để hiệu chỉnh.

**7.5.4** Dung sai phun cuối cùng cũng có thể được xác minh bằng các kỹ thuật khảo sát. Khảo sát ảnh và hệ thống laser đa hướng cũng có thể được sử dụng để đánh giá mặt cắt. Kỹ thuật đo nhiệt hoặc hồng ngoại có thể được sử dụng để xác định các khu vực nơi nước ngấm thấm qua vỏ hầm.

## 7.6 Hoàn thiện

**7.6.1** Bề mặt bê tông phun được hoàn thiện bằng các thiết bị cho phép trong thiết kế.

**7.6.2** Chỉ tiến hành công tác hoàn thiện khi bê tông phun đạt đến thời gian đông kết ban đầu.

## 7.7 Bảo dưỡng bê tông phun

**7.7.1** Khi nhiệt độ trung bình hàng ngày cao hơn **10 °C**, bê tông phun phải được bảo dưỡng liên tục trong **7 d** hoặc trong thời gian cần thiết để đạt được 70 % cường độ nén hoặc cường độ uốn đã được quy định, tùy theo thời gian nào ít hơn.

**7.7.2** Các biện pháp bảo dưỡng tự nhiên

Các biện pháp bảo dưỡng ẩm tự nhiên chỉ áp dụng khi độ ẩm tương đối của không khí tiếp xúc với bê tông phun duy trì ở mức lớn hơn hoặc bằng 85 % và phải được chấp thuận. Có thể bảo dưỡng ẩm tự nhiên bằng một trong các biện pháp sau:

**7.7.2.1** Tạo gờ giữ nước hoặc phun giữ ẩm liên tục trong thời gian bảo dưỡng;

**7.7.2.2** Che phủ bằng tấm/màng hoặc cát hấp thụ giữ được ẩm liên tục;

**7.7.2.3** Che phủ bằng tấm/màng vật liệu không thoát nước;

**7.7.2.4** Sử dụng các hợp chất bảo dưỡng bề mặt theo khuyến nghị của nhà sản xuất.

**7.7.3** Khi độ ẩm tương đối của không khí tiếp xúc với bê tông phun nhỏ hơn 85 % phải áp dụng các biện pháp bảo dưỡng **phù hợp với quy định hiện hành**.

## 7.8 Sửa chữa khuyết tật

**7.8.1** Sửa chữa các khuyết tật trong bê tông phun tuân theo quy trình được phê duyệt.

**7.8.2** Đối với các lỗ rỗng, bóng bóng, lớp chảy xệ: Loại bỏ các lỗ rỗng, bong bóng, lớp chảy xệ hoặc các khuyết tật khác trong bê tông phun đã cứng bằng cách sử dụng búa nhẹ (tối đa 8 kg) đập nhẹ, loại bỏ phần bê tông phun bị lỗi, sau đó là phun nước áp lực cao hoặc phun khí để làm sạch bề mặt đã đục để phun lớp tiếp theo hoặc phun hoàn thiện.



## TCVN 13509:2022

**7.8.3** Đối với các bề mặt lõi khoan lấy mẫu, các cạnh cắt mẫu...: làm nhám lỗ khoan mẫu hoặc bề mặt cắt và làm sạch trước khi sửa chữa và hoàn thiện.

**7.8.4** Bê tông phun dùng cho công tác hầm sẽ được phun với độ dày đã thể hiện trên các bản vẽ. Nếu không đạt cường độ sau **8 h**, thì độ dày theo lý thuyết “d” của bê tông sẽ tăng lên bằng độ dày  $d_1$  theo công thức sau:

$$d_1 = [(f/m) - 1] \times d \quad (1)$$

Trong đó:

f là cường độ theo yêu cầu tính bằng **MPa**

m là cường độ đo được tính bằng **MPa**

d là độ dày theo yêu cầu tính bằng cm

$d_1$  là độ dày bổ sung tính bằng cm

## 8 Công tác kiểm tra, nghiệm thu

### 8.1 Kiểm tra trước khi thi công

**8.1.1** Hoàn thành tất cả các thử nghiệm trước khi thi công.

**8.1.1.1** Việc thiết kế cấp phối **bê tông** trong phòng thí nghiệm và công tác thử nghiệm trước khi thi công được thực hiện bởi đơn vị thí nghiệm theo quy định.

**8.1.1.2** Việc chuẩn bị và thử nghiệm phải tiến hành theo ASTM C1140/C1140M hoặc tương đương.

**8.1.1.3** Xây dựng các kế hoạch thử nghiệm cho mỗi hỗn hợp bê tông phun được đề xuất, mỗi hướng phun, và mỗi công nghệ phun được đề xuất.

**8.1.1.4** Hoàn thành tất cả các thử nghiệm để xác định các đặc tính được chỉ định của vật liệu và bê tông phun theo các quy định **tại Điều 4**.

**8.1.1.5** Khi sử dụng bê tông phun có sợi gia cường (FRS), thử nghiệm cường độ uốn phải tiến hành theo ASTM C1609/C1609M hoặc tương đương, thử nghiệm độ dai phải tiến hành theo ASTM C1550 hoặc tương đương.

**8.1.1.6** Khi sử dụng cốt thép, lưới thép trong bê tông, phải chế tạo các tấm mẫu thử nghiệm bổ sung với các mật độ che phủ cốt thép, lưới thép như trong thiết kế. Việc khoan mẫu tiến hành theo ASTM C1140/C1140M hoặc tương đương. Mẫu khoan để kiểm tra phải có đường kính tối thiểu 95 mm và chiều cao bằng toàn bộ chiều dày của tấm mẫu thử nghiệm. Mẫu khoan có chứa cốt thép, lưới thép phải được cung cấp **phù hợp với quy định hiện hành**.

**8.1.1.7** Nếu mẫu thử nghiệm lần thứ nhất không được chấp thuận, chế tạo lại mẫu thử nghiệm lần thứ hai với cùng thiết kế cấp phối **bê tông** như chế tạo mẫu thử nghiệm lần thứ nhất. Nếu mẫu thử nghiệm lần hai được chấp thuận, có thể tiến hành các bước tiếp theo. Nếu mẫu thử nghiệm lần thứ hai không được chấp thuận, cần xem xét thay đổi và điều chỉnh: thiết kế cấp phối **bê tông**, quy trình phun, thiết bị

phun, người phun...và lặp lại các thử nghiệm cho đến khi **đáp ứng được các quy định hiện hành** mới được tiến hành các bước tiếp theo.

### 8.1.2 Kiểm tra hiện trường trước khi thi công

8.1.2.1 Kiểm tra các điều kiện thi công bê tông phun.

8.1.2.2 Kiểm tra bề mặt cần phun theo Điều 7.2. Kiểm tra các mối nối thi công và khe co ngót theo Điều 7.3.

8.1.2.3 Kiểm tra việc tập kết vật liệu, thiết bị thi công và nhân lực.

### 8.1.3 Kiểm tra trình độ người thực hiện

8.1.3.1 Những người thực hiện phun bê tông phải được chứng nhận **theo ACI 506.3R** (hoặc tiêu chí tương tự) **phù hợp với quy định hiện hành**.

8.1.3.2 Mỗi đội bơm bê tông sẽ thực hiện công việc theo yêu cầu, công nhận tay nghề dựa trên chất lượng thử nghiệm hiện trường trên các tấm panel thí nghiệm trước khi bắt đầu công việc.

## 8.2 Kiểm tra trong quá trình phun bê tông

### 8.2.1 Đảm bảo chất lượng.

8.2.1.1 Công tác thí nghiệm kiểm tra chất lượng phải được thực hiện đúng theo chỉ dẫn kỹ thuật và đề cương thí nghiệm được phê duyệt.

8.2.1.2 Nhà thầu phải đảm bảo chất lượng trước khi bắt đầu phun 2 ngày làm việc.

8.2.1.3 Việc lấy mẫu và thử nghiệm vật liệu và sản xuất bê tông phải tuân thủ **Điều 4.1** và **4.2** trong tiêu chuẩn này.

### 8.2.2 Thử nghiệm trong quá trình phun bê tông ở hiện trường

8.2.2.1 Trong quá trình phun bê tông ở hiện trường phải lấy mẫu thử nghiệm để xác định: (i) độ hấp thụ nước tối đa như **Điều 4.2.4**; (ii) cường độ nén ở **7 d** và **28 d** như Điều 4.2.5; (iii) cường độ uốn nếu là bê tông phun có cốt sợi gia cường như Điều 4.2.6; (iiii) cường độ sớm ở các độ tuổi như Điều 4.2.7.

8.2.2.2 Việc lấy mẫu thử nghiệm bê tông phun tại hiện trường phải tiến hành theo các quy định của các tiêu chuẩn viện dẫn đã nêu trong các Điều từ 4.2.4 đến 4.2.7. Với mỗi hỗn hợp bê tông phun việc lấy mẫu được tiến hành sau 1 ca làm việc hoặc cứ sau 50 m<sup>3</sup> bê tông phun tùy theo tiến độ thi công. Nhà thầu chịu trách nhiệm bảo dưỡng và bảo vệ các mẫu thử nghiệm trước thời gian chúng được vận chuyển đến phòng thí nghiệm của đơn vị thử nghiệm. Việc thử nghiệm và xử lý số liệu thử nghiệm phải tiến hành theo các tiêu chuẩn viện dẫn đã nêu trong các Điều từ 4.2.4 đến 4.2.7.

8.2.2.3 Thử nghiệm xác định độ sụt của hỗn hợp nếu là bê tông phun ướt như Điều 4.2.3;

8.2.2.5 Thử nghiệm xác định hàm lượng khí: khi có yêu cầu về thử nghiệm xác định hàm lượng khí, phải tiến hành theo TCVN 3111-1993 hoặc tương đương trước khi phun bê tông.

## TCVN 13509:2022

**8.2.2.6** Thử nghiệm độ hấp thụ nước trong bê tông phun đã đông cứng phải tiến hành theo ASTM C642 hoặc tương đương như trong Điều 4.2.4.

**8.2.2.7** Nhiệt độ của hỗn hợp bê tông phun: Việc lấy mẫu để xác định nhiệt độ của hỗn hợp đã trộn phải được tiến hành trước khi xả vào máy phun bê tông. Thử nghiệm phải được tiến hành theo ASTM C1064/C1064M hoặc tương đương.

**8.2.3** Thử nghiệm xác nhận chất lượng bê tông phun đã thi công

**8.2.3.1** Các thử nghiệm để xác nhận chất lượng bê tông phun đã thi công.

**8.2.3.2** Vị trí, số lượng mẫu thử bê tông phun được lấy tại vị trí được chỉ định. Việc lấy mẫu khoan phải tiến hành theo ASTM C1140/C1140M hoặc tương đương. Việc bảo dưỡng các mẫu thử phải tiến hành theo ASTM C1604/C1604M hoặc tương đương. Việc thử nghiệm và xử lý số liệu thử nghiệm phải tiến hành theo các tiêu chuẩn viện dẫn đã nêu trong các Điều từ 4.2.4 đến 4.2.7.

**8.2.3.3** Thử nghiệm đo cường độ dính bám giữa bê tông phun với bề mặt được phun (nếu được yêu cầu trong hồ sơ thiết kế): Thử nghiệm đo cường độ dính bám giữa bê tông phun với bề mặt được phun phải tiến hành theo TCVN 9491:2012 hoặc tương đương như Điều 4.2.8.

**8.2.4** Báo cáo kết quả thử nghiệm chất lượng trong các giai đoạn

Các kết quả thử nghiệm chất lượng trong các giai đoạn phải được lập theo quy định.

## 8.3 Nghiệm thu

**8.3.1** Bê tông phun đáp ứng yêu cầu kỹ thuật sẽ được nghiệm thu.

**8.3.3** Bê tông phun không đáp ứng một hoặc nhiều yêu cầu, nhưng đã được sửa chữa đảm bảo yêu cầu kỹ thuật sẽ được nghiệm thu.

**8.3.4** Bê tông phun không đáp ứng một hoặc nhiều yêu cầu kỹ thuật sẽ phải được loại bỏ. Bê tông phun bị rỗng hoặc có hốc cát, không đạt yêu cầu kỹ thuật và không thể sửa chữa được phải được loại bỏ.

**8.3.6** Nghiệm thu dựa trên các kết quả thử nghiệm

**8.3.6.1** Cường độ nén: cường độ nén được xem đạt nếu cường độ nén trung bình của ba lõi từ mẫu thử nghiệm lấy trong quá trình thi công hoặc của 3 mẫu khoan lấy từ bê tông phun đã thi công vượt quá 85 % cường độ nén yêu cầu và không có kết quả nào thấp hơn 75 % cường độ nén yêu cầu.

**8.3.6.2** Cường độ uốn (đối với bê tông phun có sợi gia cường): cường độ uốn được xem là đạt nếu cường độ uốn trung bình của một tổ ba dầm thử nghiệm chế từ một mẫu thử nghiệm lấy trong quá trình thi công không nhỏ hơn cường độ uốn yêu cầu.

**8.3.6.3** Độ hấp thụ nước (Khi có yêu cầu thử nghiệm): Giá trị trung bình của ba lõi từ mẫu thử nghiệm lấy trong quá trình thi công hoặc của 3 mẫu khoan lấy từ bê tông phun đã thi công, phải nhỏ hơn hoặc bằng độ hấp thụ nước yêu cầu mà không có mẫu đơn lẻ nào có giá trị độ hấp thụ nước lớn hơn độ hấp thụ nước yêu cầu quá 1 %.

8.3.6.5 Cường độ dính bám (Khi có yêu cầu thử nghiệm): Khi được yêu cầu, giá trị trung bình cường độ dính bám của các mẫu theo yêu cầu phải vượt quá cường độ tối thiểu yêu cầu mà không có mẫu đơn lẻ nào có cường độ dính bám nhỏ hơn 75 % cường độ **yêu cầu**.

## 9 An toàn lao động

### 9.1 Quy định chung

Các biện pháp đảm bảo an toàn lao động phải thực hiện theo các quy định hiện hành. Phải có hồ sơ kỹ thuật hướng dẫn trình tự thi công và các biện pháp chống đỡ an toàn, biện pháp chống nước ngầm, biện pháp bảo vệ các loại đường ống, đường dây liên lạc; Phải có các phương án triệt tiêu sự cố trong các công trình ngầm; các biện pháp thông gió, chiếu sáng, đo kiểm tra khí độc và bảo đảm vệ sinh trong suốt quá trình thi công.

Ngoài việc thực hiện theo các quy định trong quy phạm an toàn trong xây dựng, còn phải thực hiện đúng các quy định riêng phù hợp với điều kiện an toàn trong khi thi công trong hầm. Phải thành lập đội cấp cứu chuyên trách (hoặc bán chuyên trách) trang bị đầy đủ các phương tiện cấp cứu người bị nhiễm độc, cứu sập, chữa cháy... để kịp thời cấp cứu khi có sự cố bất ngờ. Trước khi thi công các cán bộ kỹ thuật thi công phải hướng dẫn công nhân học tập nắm vững các biện pháp an toàn và kiểm tra đạt yêu cầu mới bố trí làm việc.

### 9.2 Các biện pháp đảm bảo an toàn thi công

Công việc thi công ngầm nguy hiểm hơn so với thi công trên mặt đất. Vì thế, trước khi thi công phải nghiên cứu kỹ các điều kiện địa hình, hồ sơ địa chất, thủy văn cùng với cơ sở hạ tầng và công cụ có sẵn cho việc áp dụng, dự báo các diễn biến có thể xảy ra để có biện pháp dự phòng nhằm bảo vệ an toàn cho người, xe máy tài sản và phải có các biện pháp hạn chế tác động xấu đến môi trường.

Phải bảo đảm rằng tất cả những người thi công trên công trường đã học xong lớp “An toàn lao động” và có chứng chỉ về an toàn lao động.

#### 9.2.1 Thiết bị an toàn cá nhân cần thiết

Trang phục phù hợp nên bao gồm giày cao gót đế thép, giày cứng, găng tay, áo sơ mi dài tay và quần, kính an toàn và bảo vệ thính giác, mũ bảo hiểm cho tất cả các thành viên của đội thi công cũng như tất cả các công nhân, thanh tra viên, kỹ sư và khách đến công trường; trên quần áo nên có dải phản quang. Trong trường hợp đặc biệt, khách tham quan có thể không cần yêu cầu đeo găng tay nếu mức độ tiếp xúc với các mối nguy hiểm thấp.

Nên sử dụng khẩu trang chống bụi dùng một lần, mặt nạ lọc carbon nửa mặt hoặc mặt nạ phòng độc (thiết bị thở áp lực dương) cho công nhân xử lý xi măng, vật liệu kết dính bổ sung và phụ gia đóng rắn nhanh dạng bột khô và mặt nạ hoặc mặt nạ nửa mặt phải được sử dụng cho công nhân phun bê tông tại vị trí phun.

#### 9.2.2 Tầm nhìn



## TCVN 13509:2022

Một hệ thống chiếu sáng tốt giúp cải thiện tầm nhìn và cải thiện chất lượng phun bê tông, giúp công nhân dễ dàng nhận biết các mối nguy hiểm

Cấp điện, chiếu sáng cho thi công phải đảm bảo liên tục, đủ điện áp và tuân theo các quy định hiện hành.

Thông gió tốt cũng rất quan trọng, nó loại bỏ bụi và sương mù được tạo ra bởi quá trình phun, cho phép người phun và các công nhân nhìn rõ hơn vòi phun, bề mặt phun bê tông, bật lại và các nhân viên khác trong khu vực thi công

Thông gió nhân tạo cần duy trì trong suốt quá trình thi công hầm, thậm chí cả trong thời kì gián đoạn thi công. Khi thiết kế thông gió nhân tạo phải tính đến tác dụng của thông gió tự nhiên.

Lưu lượng gió cần đưa vào hầm phải đảm bảo hạ thấp tỉ lệ khí độc xuống dưới mức cho phép và tốc độ gió chuyển động trong hầm tuân theo quy định hiện hành.

Nước để rửa các thiết bị bảo vệ mắt phải có sẵn.

### 9.2.3 Đi lại và vận chuyển

Tại mỗi cửa ra vào công trình ngầm phải có nội quy quy định việc đi lại, vận chuyển an toàn trong đường hầm. Các lối rẽ phải có biển báo, mũi tên chỉ dẫn cụ thể. Những đoạn đường hầm không sử dụng, hoặc tạm thời không sử dụng phải rào kín, đặt biển báo hoặc đèn đỏ. Các hố rãnh sâu trên mặt bằng có người qua lại phải đặt chắn cẩn thận.

Vận chuyển trong đường hầm ngoài việc thực hiện đúng các quy định còn phải thực hiện các quy định sau: Tốc độ xe không được vượt quá **5 km/h**; Cấm mọi người ở trên thùng xe, ca bin xe; Phanh, còi, đèn chiếu sáng, đèn báo... của xe phải đủ và hoạt động tốt; Cấm đỗ xe để nghỉ ở trong hầm; Cấm dùng xe xăng chạy trong hầm.

### 9.2.4 Thông gió

Phải đảm bảo thông gió tốt bằng các thiết bị thông gió thích hợp. Các đường hầm sâu quá 10 m phải được thông gió cưỡng bức.

Việc thông gió phải luôn đảm bảo: Tỷ lệ ô xy trong không khí không dưới 25 % thể tích; Tỷ lệ các loại khí độc hại khác dưới giới hạn cho phép; Lượng không khí cần cho sự hô hấp của 1 người không dưới 4 m<sup>3</sup>/min; Nhiệt độ tối đa không quá 30 °C

### 9.2.5 Liên lạc

Hệ thống thông tin, liên lạc phải được trang bị và duy trì cả hai hệ thống liên lạc điện thoại không dây và có dây có khả năng cung cấp tín hiệu liên lạc ngắn gọn, rõ ràng giữa công việc bên trong hầm và bên ngoài cửa hầm. Hệ thống thông tin liên lạc cũng sẽ được trang bị để trao đổi các công việc trong hầm, **phù hợp với quy định hiện hành.**

Nhà thầu phải trang bị và duy trì hệ thống thông tin liên lạc cho đến khi hoàn thành và nghiệm thu toàn bộ công trình hầm, **phù hợp với quy định hiện hành.**



## Phụ lục A

(Tham khảo)

### Một số yếu tố kỹ thuật khi thi công bê tông phun

#### A.1 Cấp phối bê tông phun và điều chỉnh cấp phối khi thi công bê tông phun ở hiện trường

##### A.1.1 Cấp phối bê tông phun

##### A.1.1.1 Bê tông phun khô

Trong trường hợp bê tông phun khô, việc xác định chính xác lượng nước được thêm vào là khó khăn vì nó thường xuyên được điều chỉnh bởi người phun theo các điều kiện hiện trường. Tỷ lệ nước - xi măng  $N/X$  thường nằm trong khoảng từ 0,35 đến 0,45. Do tỷ lệ thành phần của vật liệu trong hỗn hợp

## TCVN 13509:2022

bê tông phun thường được biểu thị bằng phần trăm khối lượng của các thành phần khô. Nên khi đã lựa chọn 1 tỷ lệ nước - xi măng (N/X) nào đó, các thành phần vật liệu có thể tính tương tự như đối với bê tông thông thường.

Hỗn hợp bê tông phun khô thường được phối trộn với khoảng 20 % xi măng theo khối lượng vật liệu khô (tương đương  $420 \text{ kg/m}^3$ , khi giả định tỷ lệ nước - xi măng (N/X) là 0,40). Đối với bê tông phun khô sử dụng trong các công trình hầm, các cốt liệu thô và mịn thường được pha trộn để có được đường cong theo đường cấp phối hạt số 2 của Bảng 1 Điều 4.1.2. Do cốt liệu thô có xu hướng bong bật nhiều hơn so với cát, nên kích thước cốt liệu tối đa thường được giới hạn ở mức 10 % được giữ lại trên sàng 9,5 mm và 100 % qua sàng 12,5 mm. Các vật liệu được đóng gói, trộn sẵn, khô để sử dụng trong bê tông phun khô phải đáp ứng các yêu cầu của **ASTM C928/C928M** hoặc tương đương.

Silica fume thường được sử dụng trong bê tông phun khô để giảm bụi, hạn chế bong bật sợi gia cường (nếu có) và cốt liệu cũng như để tăng tính dính bám. Hàm lượng silica fume thường nằm trong khoảng từ 8 % đến 12 % khối lượng xi măng thay thế.

Khi đóng gói hỗn hợp vật liệu trộn khô, các phụ gia đông kết nhanh dạng bột có thể được thêm vào trong quá trình đóng gói. Liều lượng thông thường có thể thay đổi từ 2 % đến 5 % khối lượng xi măng tùy thuộc vào loại chất phụ gia đông kết nhanh và việc áp dụng. Liều lượng phụ gia đông kết nhanh cao hơn (lên đến 6 %) có thể được sử dụng cho các trường hợp khắc nghiệt như phun nền bề mặt đất không ổn định. Tuy nhiên, liều lượng cao hơn, đặc biệt là nếu lớn hơn 6 %, có ảnh hưởng xấu đến cường độ và độ bền cuối cùng.

Khi các phụ gia đông kết nhanh dạng bột được sử dụng, không nên sử dụng các phụ gia kéo dài thời gian ninh kết. Việc sử dụng vòi phun trộn nước là một giải pháp thay thế tốt cho việc làm ẩm trước, khi phụ gia đông kết nhanh dạng bột có mặt trong hỗn hợp bê tông phun. Những tiến bộ trong công nghệ phun hiện nay cũng tạo điều kiện để điều chỉnh liều lượng của phụ gia đông kết nhanh bằng cách bơm phụ gia đông kết nhanh trực tiếp vào vòi nước cấp vào vòi phun.

### A.1.1.2 Bê tông phun ướt

Đối với bê tông phun ướt, việc sửa đổi thành phần (tăng tỷ lệ vật liệu xi măng và giảm kích thước và tỷ lệ của cốt liệu thô) nhằm mục đích cải thiện khả năng bơm của hỗn hợp bê tông. Liều lượng của các phụ gia giảm nước, phụ gia siêu dẻo, hoặc cả hai, và phụ gia cuốn khí phải được điều chỉnh bằng các thử nghiệm và thử nghiệm tại hiện trường để có được độ sụt và hàm lượng không khí mong muốn trước khi bơm.

Tương tự như hỗn hợp bê tông phun khô, bê tông phun ướt cũng yêu cầu các cốt liệu được phối hợp để phù hợp theo đường cấp phối hạt số 2 của Bảng 1, Điều 4.1.2. Do tỷ lệ nước - xi măng (N/X) tối đa thường được lựa chọn ở mức xấp xỉ 0,45, nên độ sụt sẽ đạt khoảng từ 75 mm đến 125 mm với lượng xi măng khoảng  $400 \text{ kg/m}^3$  hoặc cao hơn. Khi muốn tăng thêm độ sụt cần thêm phụ gia siêu dẻo với tỷ lệ khoảng 0,5 % đến 1,0 % khối lượng xi măng. Các phụ gia kiểm soát thủy hóa cũng được sử dụng để đạt được các yêu cầu về độ sụt.

Tương tự như với bê tông phun khô, silica fume cũng thường được sử dụng trong bê tông phun ướt để hạn chế bong bọt sợi gia cường (nếu có) và cốt liệu và để tăng tính dính bám. Đối với bê tông phun ướt, hàm lượng silica fume thường nằm trong khoảng từ 7 % đến 15 % khối lượng xi măng thay thế.

Đối với các ứng dụng công trình hầm, phụ gia đông kết nhanh lỏng chủ yếu được sử dụng để phun trên cao để tăng độ dày dính bám và tăng tốc độ phát triển cường độ sớm. Phụ gia đông kết nhanh được thêm vào vòi phun và người phun có thể điều khiển liều lượng bằng van tùy thuộc vào điều kiện thi công. Những tiến bộ trong công nghệ phun hiện nay cũng tạo điều kiện để điều chỉnh liều lượng của phụ gia đông kết nhanh bằng cách bơm phụ gia đông kết nhanh trực tiếp vào vòi nước cấp vào vòi phun.

Trong trường hợp bê tông phun ướt, không khí cuốn vào sẽ tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình phun. Hàm lượng không khí trước khi vào đầu vòi phun nên thay đổi từ 7 % đến 10 %. Hàm lượng không khí của bê tông phun ướt tại bề mặt phun sẽ vào khoảng 3 % đến 5 %, tùy thuộc vào áp suất phun, chiều dài và hình dạng của vòi phun. Hàm lượng không khí của bê tông phun ướt tại bề mặt phun lớn (7 % đến 10 %) sẽ ảnh hưởng đến quá trình phun vì nó sẽ làm hỗn hợp phun bị rơi xuống trong ống cung cấp. Để hạn chế có thể sử dụng phụ gia cuốn khí.

#### **A.1.1.3 Bê tông phun có sợi gia cường**

Trong hệ thống chống đỡ, kết cấu bê tông phun có cốt thép, lưới thép tồn tại những nhược điểm sau:

- Quá trình lắp đặt lưới thép khó đảm bảo vị trí làm việc hiệu quả của cốt thép trong kết cấu bê tông cốt thép, thậm chí do bề mặt của biên công trình ngàm lồi lõm nên cốt thép bị đẩy sát trục trung hòa;
- Cốt thép (lưới thép) dễ bị các tác nhân xâm thực phá hoại trước khi được phủ kín bởi lớp bê tông phun, chính các tác nhân xâm thực này làm cốt thép bị gỉ, gây trương nở thể tích bê tông cốt thép và là một trong những nguyên nhân làm nứt lớp bê tông phun;
- Quá trình gia công, lắp đặt lưới thép như cắt, uốn cong, ghép, nối lưới thép rất khó khăn và mất nhiều thời gian;
- Các ô lưới thép thường có kích thước 10 cm x 10 cm hoặc 15 cm x 15 cm và thường khá cứng nên rất khó khăn khi phải phun lấp đầy phạm vi có chiều dày đào vượt quá thiết kế.
- Về nguyên tắc lưới thép phải được bố trí ở miền chịu kéo để đảm bảo hiệu quả làm việc cao nhất, vấn đề này đồng nghĩa với khoảng cách từ biên công trình ngàm (bề mặt phun) đến lưới thép là khá xa và làm chất lượng bê tông phun cũng bị ảnh hưởng do “hiệu ứng màn chắn”, các thành phần cốt liệu sẽ bị cản trở và phân tách trước khi tới bề mặt khối đá bởi lưới thép.
- Lưới thép thường khó có thể giữ ổn định, do đó dưới tác động của áp lực phun, lớp lưới thép sẽ bị rung động và làm khả năng dính kết của lớp bê tông phun với khối đá giảm đi, thậm chí lớp bê tông phun có thể bị bong tróc và rơi xuống nền công trình ngàm.

Do nhờ những ưu điểm nổi trội như khả năng chịu lực cao đặc biệt là khả năng chịu kéo, giá thành tương đối rẻ, nguồn vật liệu dồi dào, công nghệ và quá trình tổ chức thi công không quá phức tạp

## TCVN 13509:2022

(giống bê tông phun truyền thống) nên bê tông phun có cốt sợi gia cường (FRS), nhất là bê tông phun có cốt sợi thép được sử dụng rộng rãi.

Sợi thép có thể có các dạng khác nhau như: (i) sợi tròn, thẳng, có móc được sản xuất bằng cách cắt hoặc **chặt** dây thép, đường kính từ 0,25 mm đến 1 mm; (ii) các sợi dẹt, thẳng được sản xuất bằng cách cắt các lá thép hoặc làm dẹt sợi dây thép với chiều dày từ 0,15 mm đến 0,6 mm, chiều rộng từ 0,25 mm đến 2,0 mm; (iii) các sợi lượn sóng được sản xuất bằng cách uốn lượn sóng trên toàn chiều dài hoặc chỉ uốn cong hai đầu để tăng độ bám dính cơ học.

Các sợi được tập hợp thành từng bó bằng cách nhúng vào dung dịch keo để dễ dàng vận chuyển và trộn. Trong quá trình trộn keo sẽ bị hòa tan và bó sợi được tách ra thành từng sợi riêng rẽ, do đó với bê tông phun khô thường không sử dụng cốt sợi thép vì các sợi thép có nguy cơ bật nảy ra khỏi thùng trộn cao (> 50 %). Lượng sợi thép trộn vào bê tông phun vào khoảng từ 0,25 % đến 2 % thể tích (từ 20 kg/m<sup>3</sup> đến 157 kg/m<sup>3</sup>).

Một trong những thông số quan trọng khi lựa chọn sợi thép làm thành phần cốt cho bê tông phun là tỷ lệ giữa chiều dài và đường kính l/d, tỷ lệ càng cao thì cường độ chịu kéo của vật liệu càng tăng nhưng cũng càng khó khăn cho quá trình trộn và kiểm soát sự phân bố của cốt sợi thép trong bê tông phun (hiện tượng tích tụ sợi thép). Hầu hết các sợi thép được sản xuất cho bê tông phun có chiều dài từ (20 ÷ 40) mm và tỷ lệ nên được sử dụng hợp lý nhất là từ l/d = 40 ÷ 80.

Cốt sợi thép là thành phần cung cấp độ dẻo dai trong khối bê tông dòn, cải thiện đáng kể tính chất động lực của bê tông phun đồng thời tăng được các tính chất cơ học của kết cấu bê tông phun như độ dẻo dai, độ bền va đập, cường độ chịu uốn, cường độ mỏi do uốn, khả năng chống mài mòn; hơn nữa sự có mặt của sợi thép làm cho bê tông phun có thể tiếp tục chịu tải sau khi nứt. Bên cạnh đó, tính chất và tính năng của bê tông phun cốt sợi thép phụ thuộc vào: cường độ của bê tông nền; liều lượng sợi thép; khả năng bám dính giữa sợi thép và bê tông... Do đó, trong quá trình sử dụng cần phải chú ý một số vấn đề sau đây:

- Với chức năng mang tải của môi trường đất đá xung quanh, bê tông phun sợi thép sử dụng hiệu quả khi chiều dày lớp bê tông phun mỏng, mật độ vết nứt trên biên công trình ngầm lớn;
- Quá trình thi công (trộn) phải đảm bảo hàm lượng sợi thép được phân bố đều trên toàn bộ hỗn hợp bê tông, liều lượng trộn sợi thép phải phù hợp với chủng loại sợi được sử dụng, tỷ lệ l/d không nên quá cao (tốt nhất nằm trong khoảng từ 40 - 80);
- Khi sử dụng cốt sợi thép không nên áp dụng cho bê tông phun khô vì lượng hao hụt cốt sợi cao do quá trình bật nảy của các bó sợi;
- Đối với thành phần cốt liệu thô, khi thiết kế thành phần cấp phối **cốt liệu** nên tính toán và sử dụng với ít nhất 2 cỡ hạt có kích thước khác nhau để tăng cường độ cứng như khả năng lèn chặt của bê tông phun.
- Thiết kế thành phần cấp phối **bê tông** phải phân tích đầy đủ, chi tiết về điều kiện tổ chức thi công đặc



biệt là điều kiện nước ngầm.

**A.1.2** Điều chỉnh cấp phối **bê tông** khi thi công bê tông phun ở hiện trường

**A.1.2.1** Thành phần cấp phối của bê tông phun ở hiện trường có thể thay đổi đáng kể so với thành phần cấp phối **bê tông** đã được lựa chọn ở Điều 5.2, đặc biệt đối với bê tông phun khô.

**A.1.2.2** Khi không có các dữ liệu của các dự án, có thể tham khảo Bảng A.1 để điều chỉnh

**Bảng A.1 Điều chỉnh các thành phần vật liệu của bê tông phun**

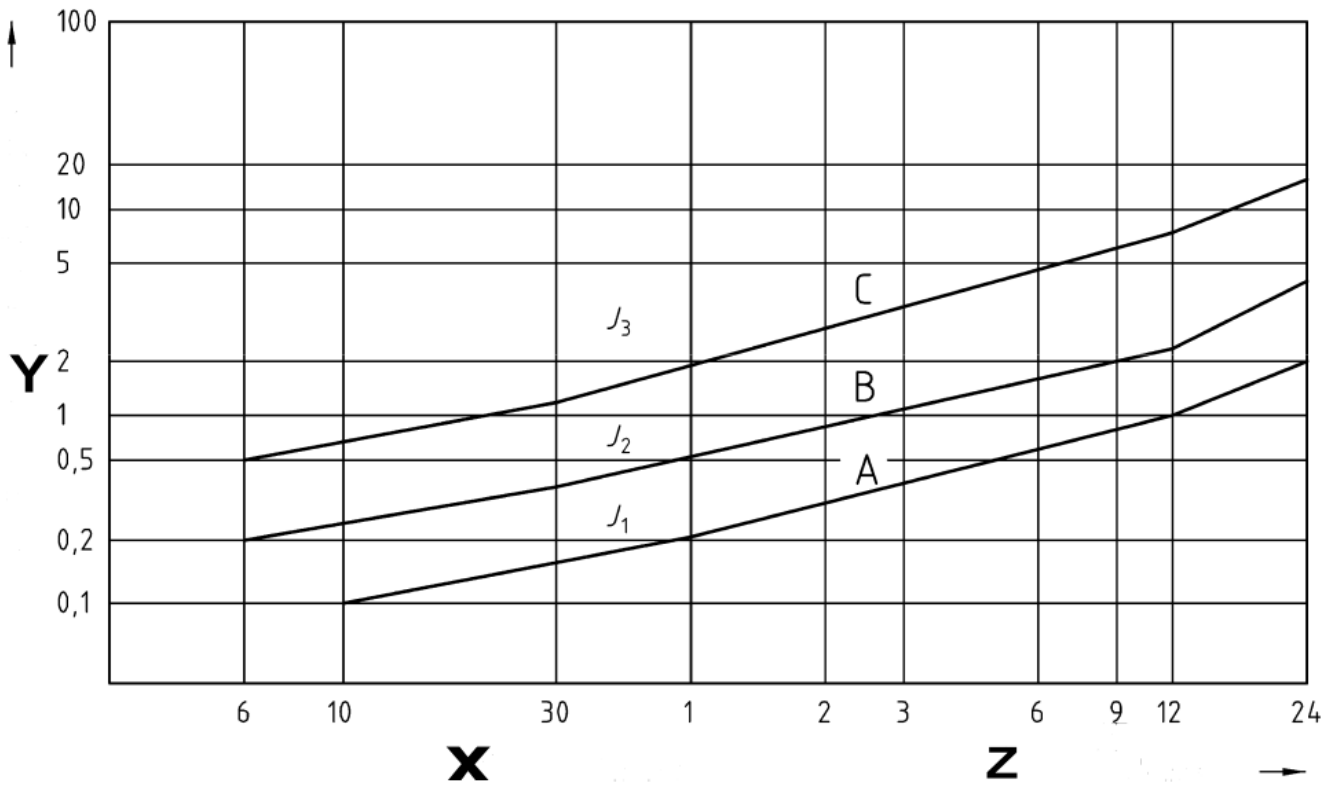
Thay đổi các điều kiện		Điều chỉnh tỷ lệ S/A (%)	Điều chỉnh lượng nước (kg)
1. Modul hạt mịn của cát	Tăng (hoặc giảm) 0,1	Tăng (hoặc giảm) 0,5 %	-
2. Độ sụt	Tăng (hoặc giảm) 1 cm	-	Tăng (hoặc giảm) 1,2 %
3. Không khí	Tăng (hoặc giảm) 1 %	Giảm (hoặc tăng) từ 0,5 % đến 1,0 %	Tăng (hoặc giảm) 3 %
4. Tỷ lệ N/X	Tăng (hoặc giảm) 5 %	Tăng (hoặc giảm) 1 %	-
5. Tỷ lệ S/A	Tăng (hoặc giảm) 1 %	-	Tăng (hoặc giảm) 1,5 kg
6. Nhiệt độ hỗn hợp	Tăng (hoặc giảm) 5 °C	-	Tăng (hoặc giảm) (2-3) kg

**A.2 Sự phát triển cường độ bê tông phun và các phương pháp xác định nhanh ở hiện trường**

**A.2.1** Sự phát triển cường độ bê tông phun theo thời gian

**A.2.1.1** Thiết kế cấp phối bê tông phun thường dựa trên cường độ sớm ở các độ tuổi chứ không phải dựa trên cường độ yêu cầu ở 28 d tuổi.

**A.2.1.2** Khi không có các số liệu và thông tin về sự phát triển cường độ bê tông phun theo thời gian có thể tham khảo theo biểu đồ trên Hình A.1. Trên Hình A.1 giữa đường A và B là bê tông phun cấp J1 (thường dùng cho mái dốc, cửa hầm), giữa đường B và C bê tông phun cấp J2 (thường dùng cho công trình hầm), trên đường C là bê tông phun cấp J3 (dùng khi có yêu cầu cao về cường độ).



X : Phút

Y : Cường độ nén, MPa

Z : Giờ

**Hình A.1 Biểu đồ phát triển cường độ bê tông theo thời gian (theo BS EN 14487-1:2005)**

**A.2.2 Các phương pháp xác định nhanh cường độ sớm ở các độ tuổi ở hiện trường**

Có thể tham khảo các phương pháp xác định nhanh cường độ sớm ở các độ tuổi trong Bảng A.2, chi tiết xem BS EN 14487-1:2005.

**Bảng A.2 Phạm vi áp dụng các phương pháp xác định nhanh cường độ sớm ở các độ tuổi**

Phương pháp thử	Giới hạn cường độ, MPa
Phương pháp A – Xuyên kế	0,2 đến 1,2
Phương pháp B – Bắn đinh	2 đến 16

**A.2.2.1 Dùng xuyên kế (penetrometer):** Có thể dùng xuyên kế để xác định nhanh cường độ sớm ở độ tuổi dưới 4 h, tốt nhất là ở độ tuổi dưới 2 h khi cường độ nén của bê tông phun vào khoảng 1,0 MPa. Có thể dùng công thức sau kinh nghiệm như A.1 để xác định cường độ nén.

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{500n} \quad (A.1)$$

Trong đó  $\sigma$  là cường độ nén tính bằng MPa,  $\varphi_i$  là số đọc lần xuyên thứ  $i$ ,  $n$  là số lần xuyên.



**Hình A.3 Dùng xuyên kế (penetrometer) để đo cường độ sớm của bê tông phun**

**A.2.2.2** Dùng súng bắn đinh: Có thể dùng súng bắn đinh (Hình A.4) để xác định nhanh cường độ sớm ở độ tuổi dưới 8 h, tốt nhất là ở độ tuổi dưới 6 h khi cường độ nén của bê tông phun đạt khoảng 4 MPa đến 5 MPa. Khi không có các số liệu thực tế có thể sử dụng bảng tra của thiết bị sử dụng.



**Hình A.4 Dùng súng bắn đinh để đo cường độ sớm của bê tông phun.**

### **A.3 Rơi vãi trong thi công bê tông phun**

**A.3.1** Lượng bê tông phun thi công hiệu quả và lượng bê tông phun bị rơi vãi

**A.3.1.1** Lượng bê tông phun sử dụng là tổng của lượng bê tông phun thi công hiệu quả và lượng bê tông phun hao hụt.

**A.3.1.2** Lượng bê tông hao hụt là tổng của lượng bê tông phun bị rơi vãi, lượng bê tông phun bù lẹm và lượng bê tông phun không được phun.

**A.3.2** Cách xác định lượng bê tông phun bị rơi vãi

**A.3.2.1** Tỷ lệ rơi vãi của bê tông phun phụ thuộc: (i) loại bê tông, bê tông phun khô tăng rơi vãi nhưng cường độ sớm cao; (ii) thành phần hạt, hàm lượng hạt thô cao thì rơi vãi lớn; (iii) hệ thống phun, áp lực

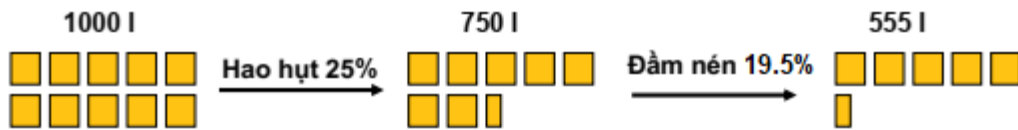
## TCVN 13509:2022

khí nén cao thì rơi vãi lớn; (iv) tính công tác của cấp phối bê tông, cấp phối dẻo thì ít rơi vãi; (v) chuẩn bị thiết bị; (vi) điều kiện bề mặt, vị trí phun; (vii) kỹ năng phun (khoảng cách, góc phun, điều chỉnh khí nén...); (viii) sử dụng phụ gia, quá liều thì rơi vãi cao, phụ gia không kiềm làm giảm tỷ lệ rơi vãi.

**A.3.2.2** Cách tốt nhất để xác định lượng bê tông phun thi công hiệu quả và lượng bê tông phun bị rơi vãi là tiến hành thực tế ở hiện trường qua công tác phun thử nghiệm khi điều chỉnh cấp phối bê tông phun.

**A.3.2.3** Dự kiến lượng bê tông phun thi công hiệu quả đối với bê tông phun khô

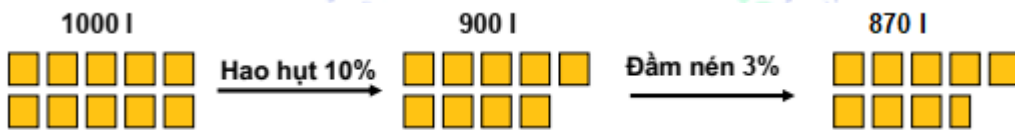
Đối với bê tông phun khô, có thể dự kiến như sau (Hình A.5):



**Hình A.5: Lượng bê tông phun thi công hiệu quả đối với bê tông phun khô**

**A.3.2.4** Dự kiến lượng bê tông phun thi công hiệu quả đối với bê tông phun ướt

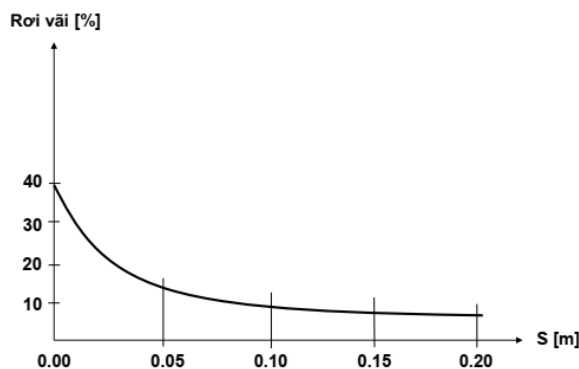
Đối với bê tông phun ướt, có thể dự kiến như sau (Hình A.6):



**Hình A.6: Lượng bê tông phun thi công hiệu quả đối với bê tông phun ướt**

**A.3.2.5** Tỷ lệ rơi vãi theo chiều dày lớp bê tông phun

Khi không có số liệu thực tế có thể tham khảo theo Hình A.7.

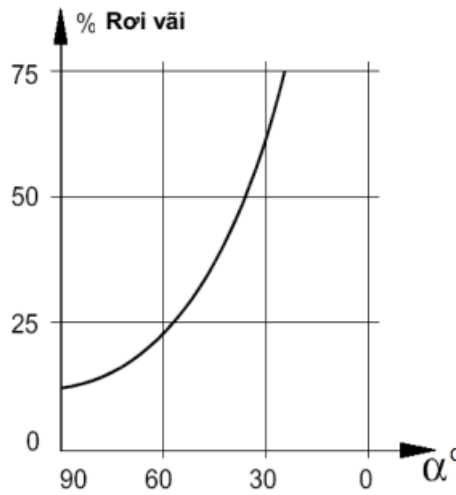


**Hình A.7 Tỷ lệ rơi vãi theo chiều dày lớp bê tông phun.**

**A.3.2.6** Tỷ lệ rơi vãi theo góc phun của đầu vòi phun

Khi không có số liệu thực tế có thể tham khảo theo Hình A.8, với  $\alpha$  là góc phun của đầu vòi phun.

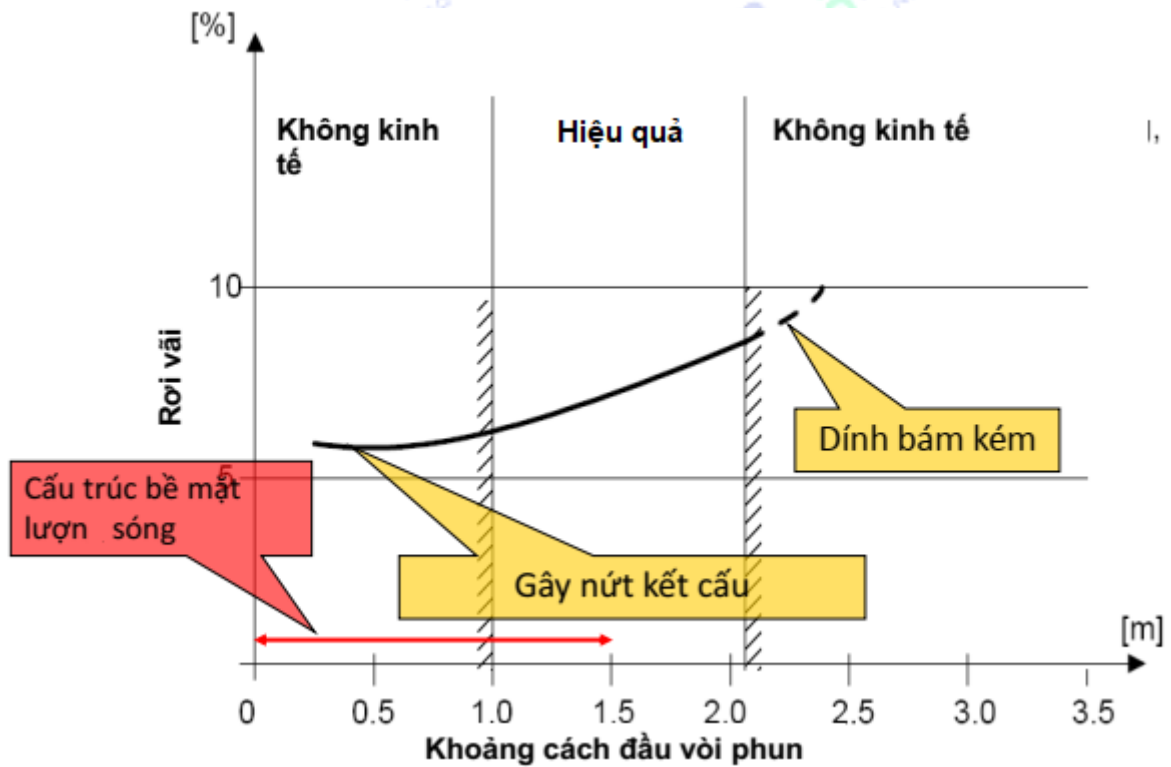




Hình A.8 Tỷ lệ rơi vãi theo góc phun của đầu vòi phun

**A.3.2.7 Tỷ lệ rơi vãi theo khoảng cách đầu vòi phun**

Khi không có số liệu thực tế có thể tham khảo theo Hình A.9.



Hình A.9 Tỷ lệ rơi vãi theo khoảng cách đầu vòi phun

**A.4 Giới thiệu một số cấp phối bê tông phun**

**Bảng A.3 Cấp phối bê tông phun ướt điển hình**

	<b>Vật liệu cho 1 m<sup>3</sup> bê tông</b>						
	Hầm Hải Vân	Hầm Đèo Cả	Hãng Sika	ACI 506.5	ACI 506.5	ACI 506.5	Australia
Xi măng	470 kg	510 kg	400 kg	400 kg	360 kg	260 kg	420 kg
Đá 0,5cm đến 1,0cm	666 kg	516 kg	460 kg	500 kg	500 kg	475 kg	450 kg
Cát	589 kg	971 kg	1100 kg	1250 kg	1250 kg	1250 kg	1160 kg
Bột đá	393 kg	-	-	-	-	-	-
Silicafume	-	-	40 kg	-	40 kg	40 kg	40 kg
Tro bay	-	-	-	-	-	-	60 kg
Nước	175 kg	204 kg	180 kg	180 kg	180 kg	180 kg	208 kg
Phụ gia đông kết nhanh	-	29,6 lít	12,0 lít	-	-	-	1 lít
Phụ gia giảm nước	-	6,63 lít	4,0 lít	1,5 lít	1,5 lít	1,5 lít	1 lít
Phụ gia cuốn khí	-	40,0 lít	1,2 lít	0,3 lít	0,3 lít	0,5 lít	-
Sợi thép						50 kg	(40-60) kg
Cường độ thiết kế	30 MPa	30 MPa	48 MPa				40 MPa

Bảng A.4 Cấp phối bê tông phun khô điển hình

	Vật liệu cho 1 m <sup>3</sup> bê tông	
	ACI 506.5	Australia
Xi măng	420 kg	420 kg
Đá 0,5cm đến 1,0cm	400 kg	350 kg
Cát	1200 kg	1800 kg
Bột đá		
Silica fume	50 kg	50 kg
Nước	188 kg	(150-200) kg
Phụ gia đông kết nhanh		20 lít
Phụ gia giảm nước		
Phụ gia cuốn khí		
Sợi thép	50 kg	(30-40) kg
Cường độ thiết kế		40 MPa

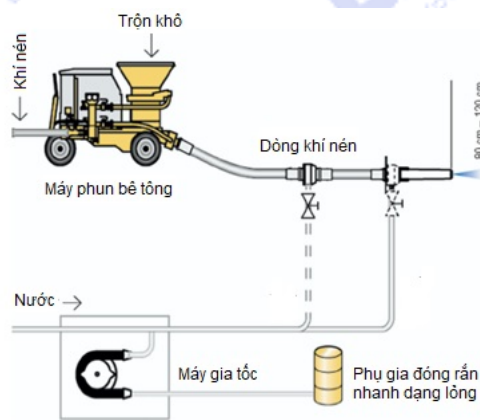
**Phụ lục B**  
**(Tham khảo)**

**Bộ thiết bị thi công bê tông phun**

**B.1** Sơ lược về bộ thiết bị thi công bê tông phun

**B.1.1** Máy và các thiết bị phụ trợ cơ bản trong bộ thiết bị thi công bê tông phun khô

Bộ thiết bị thi công bê tông phun khô thường bao gồm các máy và thiết bị phụ trợ cơ bản sau: (i) hệ thống cấp vật liệu (cát, cốt liệu, xi măng); (ii) máy trộn hỗn hợp khô; (iii) hệ thống cung cấp khí nén; (iv) máy phun bê tông khô/robot phun bê tông khô; (v) hệ thống cung cấp hỗn hợp phụ gia đông kết nhanh; (vi) hệ thống ống phân phối và vòi phun. Sơ đồ của bộ thiết bị thi công bê tông phun khô như trong **Hình 1**.

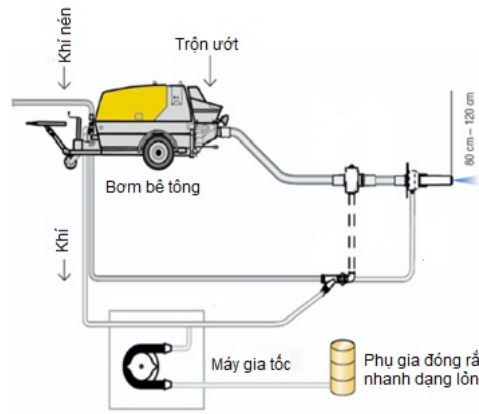


**Hình B.1: Sơ đồ của bộ thiết bị thi công bê tông phun khô**

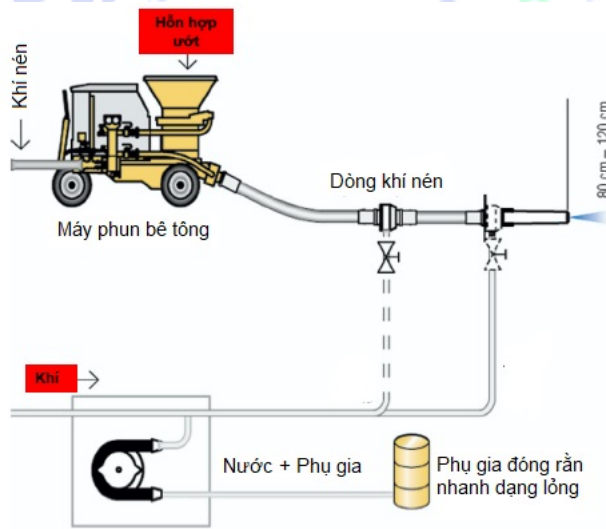
**B.1.2** Máy và các thiết bị phụ trợ cơ bản trong bộ thiết bị thi công bê tông phun ướt

Bộ thiết bị thi công bê tông phun ướt thường bao gồm các máy và thiết bị phụ trợ cơ bản sau: (i) hệ thống cấp vật liệu (cát, cốt liệu, xi măng, nước); (ii) máy trộn hỗn hợp bê tông; (iii) hệ thống cung cấp khí nén; (iv) máy phun bê tông ướt/robot phun bê tông ướt; (v) hệ thống cung cấp hỗn hợp phụ gia đông kết nhanh; (vi) hệ thống ống phân phối và vòi phun. Sơ đồ của bộ thiết bị thi công bê tông phun ướt như trong Hình 2. Bộ thiết bị thi công bê tông phun ướt có thể chia thành dòng lớn và dòng nhỏ. Sơ đồ của bộ thiết bị thi công bê tông phun ướt dòng lớn như trong Hình B.2. Sơ đồ của bộ thiết bị thi công bê tông phun ướt dòng nhỏ như trong Hình B.3.





Hình B.2: Sơ đồ của bộ thiết bị thi công bê tông phun ướt dòng lớn



Hình B.3: Sơ đồ của bộ thiết bị thi công bê tông phun ướt dòng nhỏ

**B.1.3** Lựa chọn bộ thiết bị thi công bê tông phun theo các phương pháp thi công

Khi thi công bê tông phun, thường sử dụng các phương pháp thi công: (i) với bê tông phun khô là phương pháp dòng nhỏ; (ii) với bê tông phun ướt gồm phương pháp dòng nhỏ và phương pháp dòng lớn. Mô tả và phạm vi áp dụng các phương pháp như trong Bảng B.1 và B.2.

**Bảng B.1** Mô tả các loại bê tông phun và phương pháp thi công

Sản phẩm	Điều kiện	Hệ thống vận chuyên	Phương tiện vận chuyên	Quy trình	Chất thêm vào
Vữa phun	khô	Rotor (khí nén)	Khí	Dòng nhỏ (Thổi)	Nước
Bê tông khô	Gần khô (<6%)	Rotor (khí nén)	Khí	Dòng nhỏ (Thổi)	Nước + Phụ gia
Bê tông	Ướt	Rotor (khí nén)	Khí	Thin stream (Thổi)	Khí + Phụ gia
Bê tông	Ướt	Bơm (thủy lực)	Bê tông	Dòng lớn (Đẩy)	Khí + Phụ gia

Bảng B.2 Các thông số cơ bản khi lựa chọn phương pháp thi công

Phương pháp Tiêu chuẩn	Dòng nhỏ, Bán khô	Dòng nhỏ Ướt	Dòng lớn
Công suất phun lý thuyết	14 m <sup>3</sup> /h	18 m <sup>3</sup> /h	25 m <sup>3</sup> /h
Công suất thực tế	8 m <sup>3</sup> /h	15 m <sup>3</sup> /h	21 m <sup>3</sup> /h
Rơi vãi	20-25%	10-15%	10-15%
Hệ số đầm nén	35%	3%	3%
Hàm lượng Bụi	Cao	Thấp	Thấp
Khí nén yêu cầu	2-15 m <sup>3</sup> /phút	10-16 m <sup>3</sup> /phút	7-12 m <sup>3</sup> /phút
Công suất máy	2-11 kW	5-11kW	30-50 kW
Khoảng cách phun tối đa	< 400 m	< 40 m	< 300 m
Cấp phối cơ bản	Độ ẩm tối đa 5-6%	Hàm lượng mịn < 450 kg/m <sup>3</sup>	Hàm lượng mịn 450-520 kg/m <sup>3</sup>
Vận hành	Dễ	Dễ	Phức tạp
Phụ gia thúc đẩy ninh kết	3-5%	4-6%	5-7%
Phụ gia siêu hóa dẻo	--	Đề xuất 0.8-1.0%	Bắt buộc 0.8-1.2%
Độ chày	--	550-650 mm	500-600 mm
Hàm lượng xi măng	> 280 kg/m <sup>3</sup>	> 380 kg/m <sup>3</sup>	> 400 kg/m <sup>3</sup>

**B.2 Hệ thống cấp vật liệu**

**B.2.1** Mục đích: Dùng để cấp vật liệu khi trộn hỗn hợp bê tông.

**B.2.2** Yêu cầu: Lựa chọn phụ thuộc vào loại bê tông phun khô hoặc trộn ướt và các yếu tố khác.

**B.3 Máy trộn hỗn hợp bê tông**

**B.3.1** Mục đích: Dùng để trộn hỗn hợp bê tông.

**B.3.2** Yêu cầu: Lựa chọn phụ thuộc vào loại bê tông phun khô hoặc trộn ướt và các yếu tố khác.

**B.4 Hệ thống cung cấp khí nén**

**B.4.1** Mục đích: Hệ thống cung cấp khí nén để cung cấp khí nén, sạch, khô và cần được duy trì tốt với áp suất và thể tích thích hợp để phun bê tông.

**B.4.2** Yêu cầu: Nguồn cung cấp phụ thuộc vào đặc điểm kỹ thuật thiết bị cụ thể, tình trạng của thiết bị, điều kiện vận hành tại chỗ, chiều dài và đường kính ống dẫn. Các yêu cầu về máy cấp không khí điển hình là:

**B.4.2.1** Đối với bê tông phun khô, mức tiêu thụ khí nén vào khoảng 15 m<sup>3</sup>/min ở áp suất vào khoảng (300 ÷ 600) kPa.

**B.4.2.2** Đối với bê tông phun ướt, mức tiêu thụ khí nén vào khoảng 12 m<sup>3</sup>/min ở áp suất vào khoảng (600 ÷ 700) kPa.

**B.5 Máy phun bê tông/robot phun bê tông**

**B.5.1** Mục đích: đẩy hỗn hợp bê tông phun ra ống phân phối và vòi phun

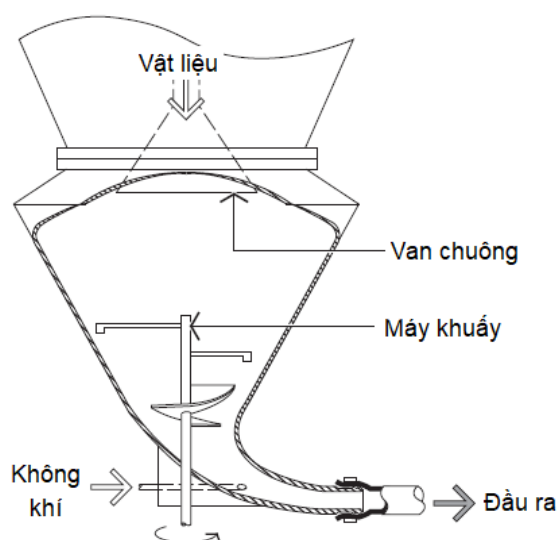
**B.5.2 Máy phun bê tông khô/robot phun bê tông khô**

Máy phun bê tông trộn khô có thể được chia thành hai loại riêng biệt: (i) máy phun một buồng và máy phun hai buồng; (ii) máy phun cấp liệu liên tục.

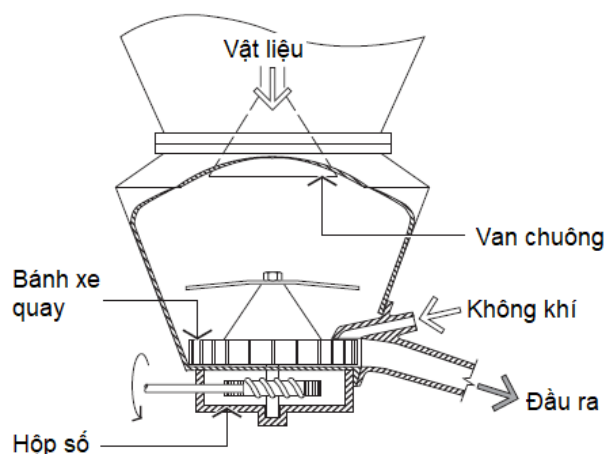
**B.5.2.1 Máy phun một buồng và máy phun hai buồng**

Máy phun một buồng cung cấp hoạt động gián đoạn bằng cách nạp vật liệu vào buồng và đóng lại, sau đó tạo áp suất không khí cho buồng, làm cho vật liệu được cấp vào ống hoặc ống phân phối. Khi buồng trống, nó được giảm áp suất và nạp đầy lại, thao tác này được lặp đi lặp lại (Hình B.4 và Hình B.5).

Máy phun hai buồng cho phép hoạt động liên tục hơn bằng cách sử dụng buồng trên làm khóa khí trong chu kỳ nạp nguyên liệu.



**Hình B.4: Chi tiết máy một buồng**

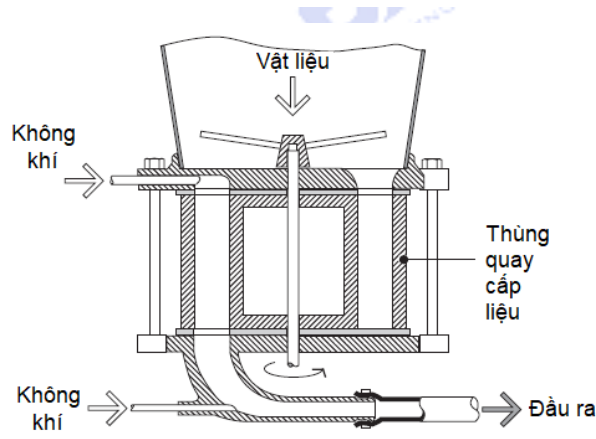


**Hình B.5: Chi tiết máy một buồng với bánh xe cấp liệu**

**B.5.2.2 Máy phun cấp liệu liên tục**

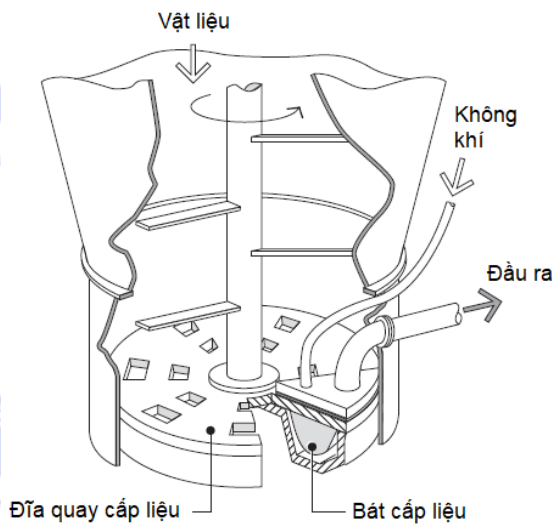
Máy phun cấp liệu liên tục còn được gọi là máy phun quay, thường có hai loại: (i) máy phun quay dạng thùng và máy phun quay dạng bát.

Máy phun quay dạng thùng (Hình B.6) sử dụng các miếng đệm ở trên và dưới của bộ phận quay. Vật liệu được đưa từ phễu vào các khoang của rotor trong một khu vực của mặt phẳng quay của nó và được xả xuống vị trí đối diện của mặt phẳng quay từ các khoang này với áp suất không khí. Không khí bổ sung được đưa vào cổ ống xả để cung cấp thể tích và áp suất thích hợp để cung cấp vật liệu xuống ống.



**Hình B.6: Sơ đồ máy phun quay dạng thùng**

Máy phun quay dạng bát (Hình B.7) sử dụng một bộ phận làm kín trên bề mặt trên của bộ phận quay. Vật liệu được đưa từ phễu trên cùng vào các khoang chữ U trong rotor và xả vào cửa ra khi đó một khoang đặc biệt được căn chỉnh dưới phần làm kín, không khí được bơm xuống một chân của khoang chữ U và đẩy vật liệu vào ống phun.



**Hình B.7: Sơ đồ máy phun quay dạng bát**

Hiện nay một số máy phun quay đã được cải tiến để sử dụng cho cả phun ướt và phun khô. Không cần các bộ chuyển đổi cũng như các phụ kiện khác.

**B.5.3 Máy phun bê tông ướt/robot phun bê tông ướt**

Máy phun bê tông trộn ướt có thể được chia thành các loại: (i) máy phun dùng piston cơ khí hoặc thủy lực; (ii) máy phun dùng bơm ép kiểu nhu động; (iii) máy phun dùng bơm kiểu trực vít. Các loại máy phun này đều đưa khí nén vào vòi phun để đẩy bê tông ra khỏi vòi phun.

**B.5.3.1** Máy phun dùng piston cơ khí hoặc thủy lực với nhiều loại van khóa và các thiết bị giảm xung (Hình B.8), là loại phun bê tông ướt được dùng phổ biến nhất hiện nay.



**B.5.3.2** Máy phun dùng bơm ép kiểu nhu động sử dụng con lăn cơ học để ép bê tông phun qua ống vào ống phân phối (Hình B.9).

**B.5.3.3** Máy phun dùng bơm kiểu trục vít sử dụng các cánh quạt lệch nhau ép hỗn hợp qua ống phân phối (Hình B.10).

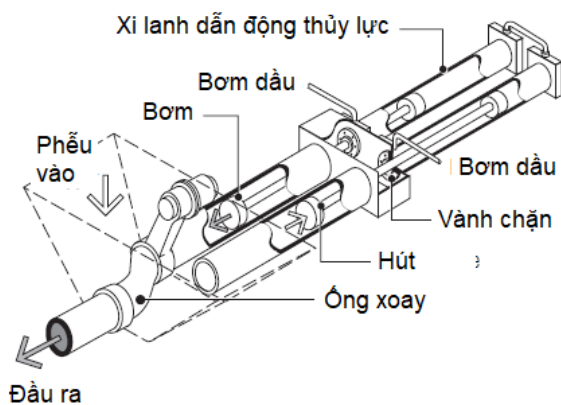
**B.6** Hệ thống cung cấp hỗn hợp phụ gia đồng kết nhanh

**B.6.1** Mục đích: Cung cấp kịp thời và chính xác phụ gia đồng kết nhanh cho hỗn hợp bê tông phun tại đầu vòi phun.

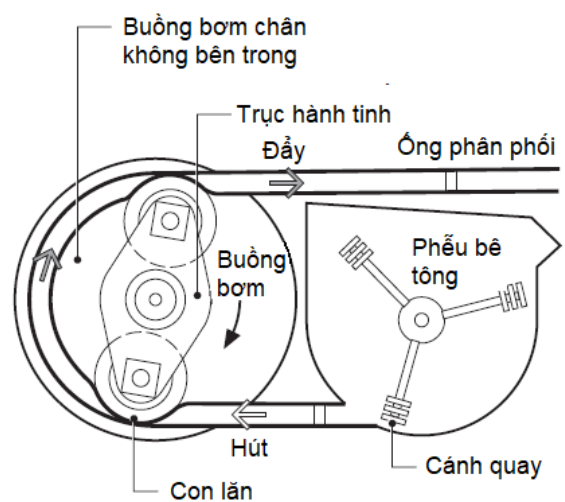
**B.6.2** Yêu cầu: Việc định lượng chính xác và cung cấp kịp thời các loại phụ gia nhất là phụ gia đồng kết nhanh là rất quan trọng. Hiện nay một số bộ thiết bị phun bê tông đã tích hợp hệ thống máy tính để kiểm soát và giám sát liều lượng phụ gia đồng kết nhanh. Các bộ phận này được kết hợp với hệ thống điều khiển thiết bị bê tông phun.

**B.7** Hệ thống ống phân phối và vòi phun

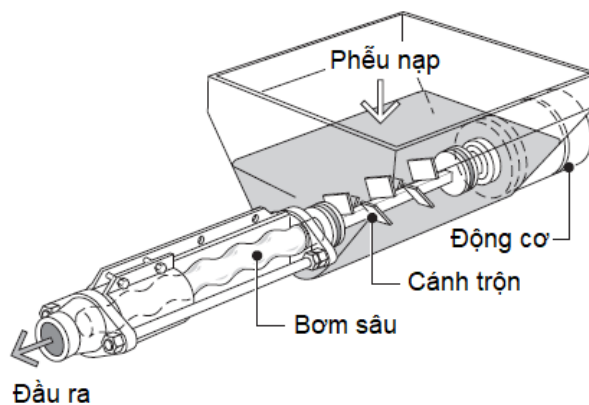
**B.7.1** Ống phân phối



Hình B.8: Chi tiết thiết bị trộn ướt kiểu piston dịch chuyển tích cực



Hình B.9: Chi tiết thiết bị trộn ướt kiểu nhu động (bơm ép)



Hình B.10: Chi tiết thiết bị trộn ướt kiểu trục vít

## TCVN 13509:2022

**B.7.1.1** Mục đích: Ống phân phối dùng để phân phối hỗn hợp đã trộn ra vòi phun.

**B.7.1.2** Yêu cầu: Ống cần phải phù hợp với loại bê tông phun khô hoặc trộn ướt. Cần phải xem xét các đặc tính của vật liệu chế tạo ống, công nghệ chế tạo ống, chiều dài của đường phân phối, áp suất làm việc và tốc độ phun yêu cầu... Đường kính ống bên trong tối thiểu phải bằng 4 lần kích thước của cỡ hạt cốt liệu lớn nhất trong hỗn hợp bê tông phun. Khi phun bê tông phun có sợi thép gia cường nên chọn chiều dài sợi gia cường không lớn hơn 70 % đường kính của ống. Đối với sợi tổng hợp, yêu cầu này có thể được nới lỏng tuy nhiên cần tiến hành các thử nghiệm để đảm bảo không xảy ra hiện tượng tắc nghẽn. Phần cuối cùng của ống trước khi đến vòi phun phải mềm dẻo, có phần chống mài mòn, có khả năng chống gấp khúc. Áp suất của ống phải luôn được kiểm tra và luôn phù hợp với các khuyến nghị của nhà sản xuất máy bơm. Tất cả các kết nối và khớp nối hoặc kẹp phải được lắp một cách chính xác và có dây hãm an toàn thích hợp để bảo vệ trong quá trình phun.

### B.7.2 Vòi phun

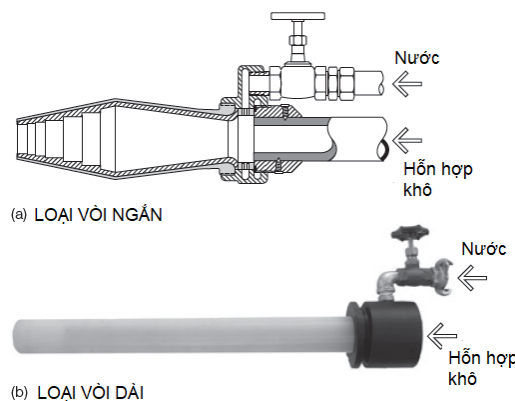
#### B.7.2.1 Mục đích và yêu cầu

Vòi phun là bộ phận quan trọng trong bộ thiết bị phun bê tông, là yếu tố quan trọng góp phần giảm lượng bật lại và rơi vãi, cải thiện độ dính bám và làm chặt, ảnh hưởng đến cường độ nén của bê tông phun, độ nảy trong quá trình phun và độ đặc của hỗn hợp khi phun.

Kiểu, kích thước và áp lực hoạt động của vòi phun phải được lựa chọn phù hợp với từng loại bê tông, các thiết bị khác và điều kiện thi công phun cụ thể.

#### B.7.2.2 Vòi phun bê tông trộn khô

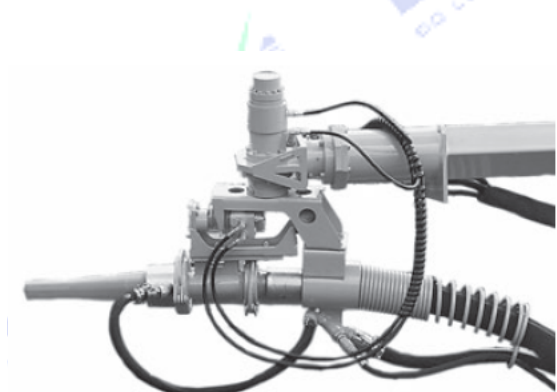
Đối với bê tông phun khô, vòi phun phải cung cấp chính xác lượng hỗn hợp vật liệu khô, phụ gia đồng kết nhanh, nước và không khí. Cấu tạo thường gồm: (i) vòi cấp khí; (ii) vòi cấp nước; (iii) vòi cấp vật liệu và (iii) miệng vòi. Vòi phun bê tông phun khô có thể điều khiển bằng tay hoặc điều khiển từ xa. Một vòi phun bê tông phun khô điều khiển bằng tay điển hình như Hình B.11.



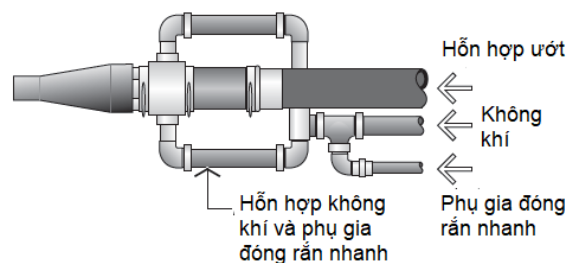
**Hình B.11: Vòi phun trộn khô cầm tay điển hình**

#### B.7.2.3 Vòi phun bê tông trộn ướt

Đối với bê tông phun ướt, vòi phun phải cung cấp chính xác lượng hỗn hợp bê tông ướt đã trộn, phụ gia đông kết nhanh và không khí. Cấu tạo thường gồm: (i) vòi cấp khí; (ii) vòi cấp hỗn hợp và (iii) vòi cấp phụ gia đông kết nhanh. Vòi phun bê tông phun ướt có thể điều khiển bằng tay hoặc điều khiển từ xa. Một vòi phun bê tông phun ướt điều khiển từ xa điển hình như Hình B.12 và Hình B.13.



Hình B.12 : Cụm vòi phun trộn ướt điển hình được điều khiển từ xa

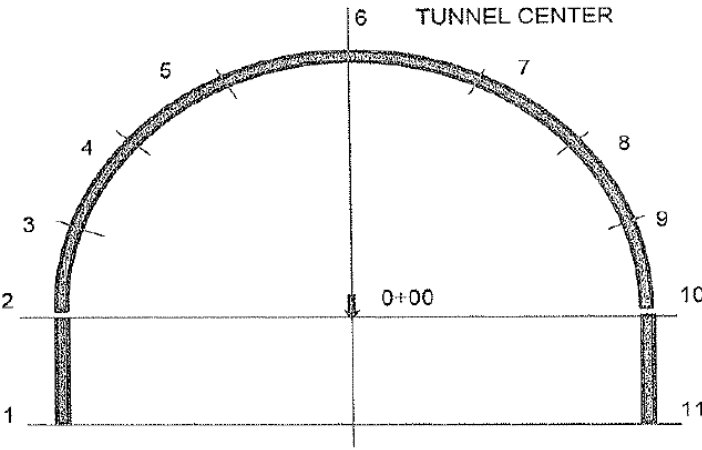


Hình B.13: Chi tiết về vòi phun trộn ướt điển hình được điều khiển từ xa

**Phụ lục C  
(Tham khảo)**

**Ví dụ một số biểu mẫu**

**C.1 Biên bản kiểm tra chiều dày bê tông phun**

<b>BIÊN BẢN KIỂM TRA CHIỀU DÀY BÊ TÔNG PHUN</b>																																																			
<b>Tên công trình:</b>																																																			
<b>Hạng mục:</b>																																																			
<b>Đơn vị thi công:</b>																																																			
<b>Thời gian thi công:</b>																																																			
<b>Phạm vi thi công:</b>																																																			
Lý trình:																																																			
<b>Loại kết cấu:</b>																																																			
PHƯƠNG PHÁP ĐO																																																			
<b>KHU VỰC CÓ KHUNG CHỐNG THÉP</b>																																																			
Kiểm tra bề mặt tương đối của bê tông phun giữa 2 khung chống thép																																																			
Chiều dày bê tông phun:                      mm																																																			
<b>KHU VỰC KHÔNG CÓ KHUNG CHỐNG THÉP</b>																																																			
Trước khi phun bê tông, đặt các thanh thép neo có chiều dài nhô ra tương ứng với chiều dày bê tông phun																																																			
Sau khi phun bê tông, kiểm tra các thanh neo bị bê tông phun lấp đầy																																																			
		<table border="1"><thead><tr><th>Vị trí</th><th>OK</th><th>NOT</th><th>Ghi chú</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>V</td><td></td><td></td></tr><tr><td>2</td><td>V</td><td></td><td></td></tr><tr><td>3</td><td>V</td><td></td><td></td></tr><tr><td>4</td><td>V</td><td></td><td></td></tr><tr><td>5</td><td>V</td><td></td><td></td></tr><tr><td>6</td><td>V</td><td></td><td></td></tr><tr><td>7</td><td>V</td><td></td><td></td></tr><tr><td>8</td><td>V</td><td></td><td></td></tr><tr><td>9</td><td>V</td><td></td><td></td></tr><tr><td>10</td><td>V</td><td></td><td></td></tr><tr><td>11</td><td>V</td><td></td><td></td></tr></tbody></table>		Vị trí	OK	NOT	Ghi chú	1	V			2	V			3	V			4	V			5	V			6	V			7	V			8	V			9	V			10	V			11	V		
Vị trí	OK	NOT	Ghi chú																																																
1	V																																																		
2	V																																																		
3	V																																																		
4	V																																																		
5	V																																																		
6	V																																																		
7	V																																																		
8	V																																																		
9	V																																																		
10	V																																																		
11	V																																																		
<b>Ghi chú</b>																																																			
.....																																																			
Đồng ý nghiệm thu <input type="checkbox"/>		Không đồng ý nghiệm thu <input type="checkbox"/>																																																	
<b>Tư vấn giám sát</b>		<b>Nhà thầu thi công</b>																																																	
(Chữ ký, họ tên)		(Chữ ký, họ tên)																																																	







## C.4 Biên bản kiểm tra thành phần bê tông phun ướt

<b>BIỂU GHI KẾT QUẢ KIỂM TRA THÀNH PHẦN CẤP PHỐI BÊ TÔNG TRỘN ƯỚT</b>							
<b>Công trình:</b>							
<b>Hạng mục:</b>							
<b>Đơn vị thi công:</b>							
<b>Thời gian thử nghiệm:</b>							
THÔNG TIN CHUNG							
<b>Cường độ yêu cầu:</b>		<b>daN/cm<sup>2</sup></b>		<b>Độ sụt yêu cầu:</b>		<b>cm</b>	
Cát:		g/cm <sup>3</sup>		Xi măng:		g/cm <sup>3</sup>	
- Khối lượng riêng:				- Khối lượng riêng:			
- Môđun độ mịn:				Đá:		g/cm <sup>3</sup>	
Phụ gia đông kết nhanh:				- Khối lượng riêng:			
Phụ gia giảm nước:							
THÀNH PHẦN CẤP PHỐI							
Ký hiệu	Tỷ lệ pha trộn theo trọng lượng  X : C : Đ : N	Vật liệu cho 1m <sup>3</sup> bê tông					
		Xi măng kg	Cát kg	Đá kg	Nước kg	Phụ gia đông kết nhanh lít	Phụ gia giảm nước lít
ĐỘ SỤT (cm)				THỜI GIAN NINH KẾT			
				Bắt đầu: (phút)		Kết thúc: (phút)	
HÀM LƯỢNG BỌT KHÍ (%)							
-							
CƯỜNG ĐỘ (daN/cm <sup>2</sup> )							
Phản tường				Phản trần			
1 ngày	3 ngày	7 ngày	28 ngày	1 ngày	3 ngày	7 ngày	28 ngày
<b>Người thực hiện:</b>				<b>Phòng thí nghiệm hợp chuẩn (Las-XD, Vilas)</b>			
<b>Nhà thầu</b>		<b>Tư vấn giám sát</b>			<b>Chủ đầu tư</b>		

C.5 Biên bản kiểm tra cường độ nén bê tông

BIỂU GHI KẾT QUẢ KIỂM TRA GIỚI HẠN BỀN NÉN CỦA BÊ TÔNG				
<p><b>Công trình:</b></p> <p><b>Hạng mục:</b></p> <p><b>Đơn vị thi công:</b></p> <p><b>Ngày đúc mẫu:</b> _____ <b>Ngày thí nghiệm:</b> _____</p> <p><b>Tiêu chuẩn áp dụng:</b></p> <p><b>Thiết bị:</b></p> <p><b>Kết quả:</b></p>				
CHỈ TIÊU THÍ NGHIỆM	ĐƠN VỊ	KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM		
Ký hiệu mẫu, hạng mục				
Ngày đúc mẫu	-			
Ngày ép mẫu	-			
Tuổi mẫu	ngày			
Mức thiết kế	daN/cm <sup>2</sup>			
Kích thước mẫu	mm			
Tô mẫu		#1	#2	#3
Lực ép mẫu	kN			
Cường độ nén của từng viên	daN/cm <sup>2</sup>			
Cường độ nén trung bình	daN/cm <sup>2</sup>			
<p><b>Ghi chú:</b></p> <p><b>Người thực hiện:</b> _____ <b>Phòng thí nghiệm hợp chuẩn (Las-XD, Vilas)</b></p>				
<b>Nhà thầu</b>	<b>Tư vấn giám sát</b>	<b>Chủ đầu tư</b>		



**Thư mục tài liệu tham khảo**

- [1] Bê tông phun khô – Chỉ dẫn kỹ thuật thi công và nghiệm thu, Nhà xuất bản xây dựng, 2008;
  - [2] Bê tông phun trong xây dựng hầm, GS.TS Nguyễn Việt Trung, TS. Trần Việt Hùng, ThS. Lê Huy Tuyển, Nhà xuất bản xây dựng, 2017;
  - [3] Thiết kế, thi công, giám sát công trình hầm giao thông, GS.TS Nguyễn Việt Trung, ThS. Trần Thu Hằng, Nhà xuất bản xây dựng, 2010’
  - [4] Shotcreting in Australia, Concrete Institute of Australia, 2010;
  - [5] EM 1110-2-2005, Standard Practice for Shotcrete, US Army Corps of Engineers, 1993;
  - [6] ASTM C42/C42M-13, Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete (Phương pháp lấy và thử nghiệm lõi khoan và dầm được cắt ra từ bê tông);
  - [7] ASTM C457/C457M-12, Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete (Phương pháp thử xác định hệ thống lỗ rỗng vi mô trong bê tông);
  - [8] ASTM C494, Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete (Chỉ dẫn kỹ thuật về phụ gia hóa học cho bê tông);
  - [9] ASTM C618, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete (Chỉ dẫn kỹ thuật về tro bay, than hoặc vật liệu Pozzolan sử dụng trong bê tông);
  - [10] ASTM C1240, Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures (Chỉ dẫn kỹ thuật về Silica Fume sử dụng trong hỗn hợp chất kết dính);
  - [11] ASTM C1385/C1385M-10, Standard Practice for Sampling Materials for Shotcrete (Chỉ dẫn kỹ thuật về lấy mẫu vật liệu bê tông phun)
  - [12] ASTM C1436-13, Standard Specification for Materials for Shotcrete (Yêu cầu kỹ thuật về vật liệu sử dụng cho bê tông phun).
  - [13] ASTM C1480/C1480M-12, Standard Specification for Packaged, Pre-Blended, Dry, Combined Materials for Use in Wet or Dry Shotcrete Application (Yêu cầu kỹ thuật về hỗn hợp vật liệu khô, đóng gói, trộn sẵn sử dụng cho bê tông phun theo phương pháp phun ướt);
-