

CÁCH XÁC ĐỊNH HỆ SỐ ỨNG XỬ q THEO TCVN 9386:2012

1.1 Ý nghĩa của hệ số ứng xử q

(TCVN 9386:2012 – Mục 3.2.5)

Trong **thiết kế công trình chịu động đất**, để tránh phải thực hiện phân tích trực tiếp trong miền phi tuyến – tức là **mô phỏng chi tiết ứng xử không đàn hồi** của kết cấu dưới tác động động đất – người ta sử dụng phương pháp phân tích đàn hồi tuyến tính nhưng có điều chỉnh.

Sự điều chỉnh này được thực hiện thông qua việc giảm phổ phản ứng đàn hồi bằng một hệ số gọi là hệ số ứng xử (q), nhằm phản ánh năng lực tiêu tán năng lượng của kết cấu thông qua biến dạng dẻo của các cấu kiện.

Vì vậy, phổ phản ứng sử dụng trong thiết kế thực tế được gọi là phổ thiết kế, là kết quả của việc chiết giảm phổ phản ứng đàn hồi bằng hệ số ứng xử (q).

Tóm lại:

- Hệ số ứng xử q thể hiện khả năng biến dạng dẻo và tiêu tán năng lượng của công trình khi chịu tác động động đất.
- Giá trị q càng lớn $\rightarrow$ khả năng tiêu tán năng lượng của kết cấu càng cao $\rightarrow$ lực thiết kế động đất được giảm.

1.2 Các yếu tố ảnh hưởng

Hệ số ứng xử q không phải là một giá trị cố định mà phụ thuộc vào nhiều yếu tố như:

- Loại hệ kết cấu (khung, vách cứng, hỗn hợp,...)
- Vật liệu sử dụng (bê tông cốt thép, thép,...)
- Cấp độ dẻo của công trình (thấp, trung bình, cao)
- Tính đều đặn của công trình theo chiều cao và mặt bằng
- Các chi tiết cấu tạo, đặc biệt là tại các vùng có khả năng hình thành khớp dẻo.

1.3 Các xác định hệ số ứng xử q

(TCVN 9386:2012 - Mục 5.2.2 – Áp dụng cho phổ ngang – Kết cấu bê tông cốt thép)

Hệ số ứng xử q của kết cấu bê tông cốt thép xác định theo biểu thức sau:

$$q = q_0 k_w \geq 1,5$$

Trong đó:

- q_0 là giá trị cơ bản của hệ số ứng xử, phụ thuộc vào loại hệ kết cấu và tính đều đặn của nó theo mặt đứng. Đối với các công trình nhà đều đặn theo mặt đứng, giá trị q_0 được xác định theo Bảng 1.
- k_w : hệ số phản ánh dạng phá hoại phổ biến trong hệ kết cấu có tường, theo bảng 4.

1.3.1 Các xác định q_0

Bảng 1 – Giá trị cơ bản của hệ số ứng xử q_0 , cho hệ có sự đều đặn theo mặt đứng

Loại kết cấu	Cấp dầm kết cấu trung bình	Cấp dầm kết cấu cao
Hệ khung, hệ hỗn hợp, hệ tường kép	$3,0\alpha_u/\alpha_1$	$4,5\alpha_u/\alpha_1$
Hệ không thuộc hệ tường kép	3,0	$4,0\alpha_u/\alpha_1$
Hệ dễ xoắn	2,0	3,0
Hệ con lắc ngược	1,5	2,0

Lưu ý xác định giá trị q_0

- Với loại nhà không đều đặn theo mặt đứng, giá trị q_0 cần được giảm xuống 20 %.
- Hệ kết cấu tường kích thước lớn ít cốt thép không thể dựa vào sự tiêu tán năng lượng trong các khớp dầm cho nên nó cần được thiết kế như kết cấu có cấp dầm kết cấu trung bình (DCM)
- Giá trị q_0 cho các hệ con lắc ngược có thể lấy tăng lên nếu chứng minh được hệ có khả năng tiêu tán năng lượng lớn.
- Nếu áp dụng kế hoạch đảm bảo chất lượng đặc biệt trong thiết kế, vật liệu, thi công và kiểm soát, có thể chọn q_0 lớn hơn nhưng không vượt quá 20% giá trị bảng 1.

1.3.2 Cách xác định α_0/α_1

Khi hệ số α_u/α_1 không được xác định rõ bằng tính toán đối với **loại nhà có tính đều đặn trong mặt bằng**, có thể được sử dụng các giá trị xấp xỉ sau đây của α_u/α_1 .

Bảng 2 – Giá trị α_u/α_1 - Hệ khung hoặc hệ kết cấu hỗn hợp tương đương khung

Hệ khung hoặc hệ kết cấu hỗn hợp tương đương khung	α_u/α_1
Nhà một tầng	1.1
Khung nhiều tầng	1.2
Khung nhiều tầng, nhiều nhịp hoặc kết cấu hỗn hợp tương đương khung	1.3

Bảng 3 – Giá trị α_u/α_1 - Hệ tường hoặc hệ kết cấu hỗn hợp tương đương với tường

Hệ tường hoặc hệ kết cấu hỗn hợp tương đương với tường	α_u/α_1
Hệ tường chỉ có hai tường không phải là tường kép theo từng phương ngang	1.0
Các hệ tường không phải là tường kép	1.1
Hệ kết cấu hỗn hợp tương đương tường, hoặc hệ tường kép	1.2

Lưu ý xác định giá trị α_u/α_1

- **Nếu nhà không đều trong mặt bằng:** Có thể lấy α_u/α_1 xấp xỉ bằng trung bình của: 1.0 và giá trị từ bảng 3.
- **Nếu phân tích tổng thể phi tuyến tính:** Có thể lấy α_u/α_1 lớn hơn, nhưng giá trị tối đa là 1.5.

1.3.3 Các xác định k_w
Bảng 4 - Các xác định k_w

Loại kết cấu	k_w
Hệ khung và hệ kết cấu hỗn hợp tương đương khung	1.0
Hệ tường, hệ kết cấu hỗn hợp tương đương tường và kết cấu dễ xoắn	$0.5 \leq (1 + \alpha_0) / 3 \leq 1.0$
Ghi chú: Nếu các tỷ số cạnh h_{wi}/l_{wi} (chiều cao/chiều dài) của tất cả các tường thứ i của một hệ kết cấu không khác nhau một cách đáng kể, thì α_0 có thể được xác định từ biểu thức sau đây: $\alpha_0 = \sum h_{wi} / \sum l_{wi}$	

1.4 Lưu ý xác định hệ số ứng xử q

Việc lựa chọn và áp dụng hệ số ứng xử q trong thiết kế công trình chịu động đất cần tuân thủ một số lưu ý kỹ thuật nhằm đảm bảo **tính chính xác, phù hợp với loại kết cấu, và an toàn thiết kế**. Dưới đây là các nguyên tắc quan trọng:

(1) Hệ số ứng xử q được xác định theo từng phương độc lập:

- Giá trị q có thể **khác nhau theo phương X và phương Y** của công trình do sự khác biệt về cấu hình kết cấu, tính liên tục, hoặc sơ đồ chịu lực.
- Do đó, cần xác định riêng q cho mỗi phương thay vì giả định một giá trị chung.

(2) Phân tích phi tuyến toàn phần là phương pháp chính xác nhất:

- Việc xác định q thông qua **mô hình phân tích phi tuyến** phản ánh đúng khả năng làm việc dẻo của công trình;
- Tuy nhiên, phương pháp này yêu cầu kỹ thuật tính toán cao và thường chỉ áp dụng trong các dự án có yêu cầu đặc biệt.

(3) Hệ số q tra theo Bảng 5.1 – TCVN 9386:2012 chỉ áp dụng trong điều kiện cụ thể:

- Các giá trị q quy định trong Bảng 5.1 **chỉ sử dụng cho công trình có tính đều đặn** cả trong mặt bằng và mặt đứng;
- Trong trường hợp công trình **không đều đặn**, cần giảm q hoặc thực hiện phân tích phi tuyến để kiểm chứng.

(4) Sử dụng $q = 1.5$ cho mục đích đơn giản hóa:

- Giá trị $q = 1.5$ có thể được sử dụng trong một số trường hợp để **xác định sơ bộ tác động động đất**, mà **không cần xét đến hệ kết cấu hoặc tính đều đặn theo phương đứng**;
- Tuy nhiên, đây là giá trị bảo thủ, dẫn đến nội lực thiết kế lớn hơn, chỉ nên áp dụng khi không có đủ dữ liệu để xác định q chính xác.

Hệ kết cấu hỗn hợp hoặc hệ tường không có độ cứng chịu xoắn tối thiểu (xem 5.2.2.1(4)P và (6)).

CHÚ THÍCH 1: Một ví dụ của loại này là một hệ kết cấu bao gồm các khung được kết hợp với tường tập trung ở gần tâm của nhà trên mặt bằng;

CHÚ THÍCH 2: Định nghĩa này không bao gồm hệ các tường có nhiều lỗ xung quanh lòng thang máy, hộp kỹ thuật. Với hệ thống như thế, việc xác định phù hợp nhất hình dáng kết cấu tổng thể tương ứng cần được lựa chọn trên cơ sở từng trường hợp cụ thể.

Hệ con lắc ngược

Hệ kết cấu mà trong đó ít nhất 50 % khối lượng nằm ở 1/3 chiều cao phía trên của kết cấu, hoặc trong đó sự tiêu tán năng lượng xảy ra chủ yếu tại chân đế của cấu kiện riêng lẻ.

CHÚ THÍCH: Khung một tầng có đỉnh cột được liên kết dọc theo cả hai phương chính của nhà và không nơi nào lực dọc thiết kế qui đổi của cột vượt quá 0,3 thì không thuộc vào loại này.

5.2 Quan niệm thiết kế

5.2.1 Khả năng tiêu tán năng lượng và các cấp dẻo kết cấu

(1)P Việc thiết kế kết cấu bê tông chịu động đất phải đảm bảo cho kết cấu có đủ khả năng làm tiêu tán năng lượng mà không gây ra sự suy giảm đáng kể về khả năng chịu toàn bộ các tải trọng ngang và thẳng đứng. Để làm được việc này, cần áp dụng những yêu cầu và tiêu chí trong chương 2. Trong tình huống thiết kế chịu động đất, phải đảm bảo đủ khả năng chịu tải của các bộ phận kết cấu, và những yêu cầu về biến dạng phi tuyến trong vùng tới hạn cần tương xứng với độ dẻo kết cấu tổng thể đã được giả thiết trong tính toán.

(2)P Kết cấu bê tông cũng có thể được thiết kế theo khả năng tiêu tán năng lượng thấp và độ dẻo kết cấu thấp, bằng cách chỉ áp dụng các điều khoản của EN 1992-1-1:2004 và bỏ qua các điều khoản cụ thể đã cho trong chương này, miễn là những yêu cầu trong 5.3 sau đây được thỏa mãn. Với những nhà không được cách chấn đáy (xem Chương 10), việc thiết kế theo cách này ở cấp dẻo kết cấu thấp, được khuyến nghị chỉ dùng cho trường hợp động đất yếu (xem 3.2.1(4)).

(3)P Loại kết cấu bê tông chịu động đất không phải những loại áp dụng (2)P của mục này, phải được thiết kế đảm bảo khả năng làm tiêu tán năng lượng và sự làm việc có độ dẻo kết cấu tổng thể. Sự làm việc có độ dẻo kết cấu tổng thể được bảo đảm nếu độ dẻo kết cấu đủ để làm cho phần lớn khối lượng của kết cấu được truyền sang các bộ phận khác và vị trí khác của tất cả các tầng. Để đạt được mục đích này, dạng phá hoại dẻo (ví dụ như uốn) cần xảy ra trước dạng phá hoại giòn (ví dụ như, cắt) với độ tin cậy đủ lớn.

(4)P Kết cấu bê tông được thiết kế theo (3)P của mục này, tùy theo khả năng tiêu tán năng lượng trở của chúng, được phân thành hai cấp dẻo kết cấu: cấp dẻo kết cấu trung bình và cấp dẻo kết cấu cao. Cả hai cấp dẻo kết cấu này tương ứng với nhà được thiết kế, chỉ định kích thước và cấu tạo theo những điều khoản kháng chấn cụ thể, cho phép kết cấu phát triển các cơ cấu ổn định cùng với sự làm tiêu tán lớn năng lượng trở khi chịu tải trọng có chu kỳ, mà không xảy ra phá hoại giòn.

(5)P Để có được độ dẻo kết cấu thích hợp trong các cấp dẻo kết cấu trung bình và cao, những điều khoản cụ thể cho tất cả các kết cấu chịu lực phải được thỏa mãn cho mỗi cấp (xem 5.4 đến 5.6).

Tương ứng với các cấp dầm kết cấu khác nhau trong hai cấp này, hệ số ứng xử q được lấy các giá trị khác nhau cho mỗi cấp (xem 5.2.2.2).

5.2.2 Loại kết cấu và hệ số ứng xử

5.2.2.1 Loại kết cấu

(1)P Kết cấu bê tông, tùy theo sự ứng xử của chúng dưới các tác động động đất theo phương ngang, được phân thành một trong những loại kết cấu sau đây (xem 5.1.2)

- Hệ khung;
- Hệ kết cấu hỗn hợp (tương đương khung hoặc tương đương tường);
- Hệ tường có tính dầm kết cấu (tường kép hoặc không phải tường kép);
- Hệ tường kích thước lớn ít cốt thép;
- Hệ con lắc ngược;
- Hệ dễ xoắn.

(2) Trừ những loại kết cấu được coi là hệ dễ xoắn kết cấu bê tông có thể được phân thành một loại kết cấu theo một phương ngang này và thành một loại hệ kết cấu khác theo một phương ngang khác.

(3)P Hệ tường được coi là hệ tường kích thước lớn ít cốt thép nếu, trong phương ngang đang xét có ít nhất hai tường với kích thước ngang không nhỏ hơn giá trị nhỏ nhất của hai giá trị 4 m và $2h_w/3$, mà khả năng chịu lực đồng thời của chúng ít nhất bằng 20 % tổng trọng lực từ bên trên trong tình huống thiết kế chịu động đất và có chu kỳ cơ bản T_1 nhỏ hơn hoặc bằng 0,5s, với giả thiết ngàm tại chân để dễ chống xoay. Trường hợp chỉ có một tường thỏa mãn điều kiện trên ở một trong hai phương cũng coi là đủ đạt tiêu chí này, miễn là: (a) giá trị cơ bản của hệ số ứng xử, q_0 , trong phương đó lấy theo các giá trị đã cho trong Bảng 5.1 được chia cho một hệ số bằng 1,5 và (b) có ít nhất hai tường thỏa mãn các điều kiện trên trong phương vuông góc.

(4)P Bốn loại hệ kết cấu đầu tiên (tức là khung, hệ kết cấu hỗn hợp, các hệ tường thuộc cả hai loại: tường có tính dầm kết cấu và tường kích thước lớn ít cốt thép) phải có độ cứng chống xoắn tối thiểu thỏa mãn biểu thức (4.1b) theo cả hai phương ngang.

(5) Với hệ khung hoặc hệ tường có các cấu kiện thẳng đứng được phân bố hợp lý trên mặt bằng, yêu cầu quy định trong (4)P của mục này có thể được xem như là thỏa mãn mà không cần tới sự kiểm tra bằng tính toán.

(6) Các hệ khung, hệ hỗn hợp hoặc hệ tường không có độ cứng chống xoắn tối thiểu theo (4)P của mục này cần được coi là hệ dễ xoắn.

(7) Nếu hệ kết cấu không đạt yêu cầu như hệ tường kích thước lớn ít cốt thép theo (3)P của mục này trên đây, thì tất cả các tường của nó cần được thiết kế và cấu tạo như là tường có tính dầm kết cấu.

5.2.2.2 Hệ số ứng xử đối với các tác động động đất theo phương nằm ngang

(1)P Giá trị giới hạn trên của hệ số ứng xử q , nêu trong mục 3.2.2.5(3) để tính đến khả năng làm tiêu tán năng lượng, phải được tính cho từng phương khi thiết kế như sau:

$$q = q_0 \cdot k_w \geq 1,5 \quad (5.1)$$

trong đó:

q_0 là giá trị cơ bản của hệ số ứng xử, phụ thuộc vào loại hệ kết cấu và tính đều đặn của nó theo mặt đứng (xem (2)P của điều này);

k_w là hệ số phản ánh dạng phá hoại phổ biến trong hệ kết cấu có tường (xem (11)P của điều này).

(2) Với loại nhà mà có sự đều đặn theo mặt đứng theo 4.2.3.3, giá trị cơ bản q_0 cho các loại kết cấu khác nhau được cho trong Bảng 5.1.

Bảng 5.1 - Giá trị cơ bản của hệ số ứng xử, q_0 , cho hệ có sự đều đặn theo mặt đứng

Loại kết cấu	Cấp dèo kết cấu trung bình	Cấp dèo kết cấu cao
Hệ khung, hệ hỗn hợp, hệ tường kép	$3,0\alpha_u/\alpha_1$	$4,5\alpha_u/\alpha_1$
Hệ không thuộc hệ tường kép	3,0	$4,0\alpha_u/\alpha_1$
Hệ dễ xoắn	2,0	3,0
Hệ con lắc ngược	1,5	2,0

(3) Với loại nhà không đều đặn theo mặt đứng, giá trị q_0 cần được giảm xuống 20 % (xem 4.2.3.1(7) và Bảng 4.1).

(4) Các tham số α_1 và α_u được định nghĩa như sau:

α_1 là giá trị để nhân vào giá trị thiết kế của tác động đất theo phương nằm ngang để trong mọi cấu kiện của kết cấu sẽ đạt giới hạn độ bền chịu uốn trước tiên, trong khi tất cả các tác động khác vẫn không đổi;

α_u là giá trị để nhân vào giá trị thiết kế của tác động đất theo phương nằm ngang sẽ làm cho khớp dèo hình thành trong một loạt tiết diện đủ để dẫn đến sự mất ổn định tổng thể kết cấu, trong khi tất cả các giá trị thiết kế của các tác động khác vẫn không đổi. Hệ số α_u có thể thu được từ phân tích phi tuyến tĩnh tổng thể.

(5) Khi hệ số α_u/α_1 không được xác định rõ bằng tính toán đối với loại nhà có tính đều đặn trong mặt bằng, có thể được sử dụng các giá trị xấp xỉ sau đây của α_u/α_1 .

a) Hệ khung hoặc hệ kết cấu hỗn hợp tương đương khung:

- nhà một tầng: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$;
- khung nhiều tầng, một nhịp: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$;
- khung nhiều tầng, nhiều nhịp hoặc kết cấu hỗn hợp tương đương khung: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$.

b) Hệ tường hoặc hệ kết cấu hỗn hợp tường đương với tường:

- hệ tường chỉ có hai tường không phải là tường kép theo từng phương ngang: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,0$;
- các hệ tường không phải là tường kép: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$;
- hệ kết cấu hỗn hợp tường đương tường, hoặc hệ tường kép: $\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$.

(6) Với loại nhà không có tính đều đặn trong mặt bằng (xem 4.2.3.2), khi không tính toán được giá trị của α_u/α_1 có thể sử dụng giá trị xấp xỉ của nó bằng trị số trung bình của (a) bằng 1,0 và của (b) đã cho trong (5) của điều này.

(7) Giá trị của α_u/α_1 lớn hơn những giá trị đã cho trong (5) và (6) của điều này có thể được sử dụng, miễn là chúng được xác định thông qua phân tích tổng thể phi tuyến tính.

(8) Giá trị tối đa của α_u/α_1 được sử dụng trong thiết kế có thể lấy bằng 1,5, kể cả khi việc phân tích theo (7) của điều này dẫn tới kết quả cao hơn.

(9) Giá trị của q_0 đã cho đối với hệ con lắc ngược có thể lấy tăng lên, nếu có thể chứng minh được rằng sự phân tán năng lượng tương ứng cao hơn là được bảo đảm trong vùng tới hạn của kết cấu.

(10) Cho phép tăng giá trị q_0 nếu có một kế hoạch đảm bảo chất lượng đặc biệt được áp dụng vào việc thiết kế, cung ứng vật tư và thi công ngoài các hệ thống kiểm soát chất lượng thông thường. Giá trị đã tăng lên này không được phép vượt quá 20 % so với các giá trị đã cho trong Bảng 5.1.

CHÚ THÍCH: Các giá trị được gán cho q_0 có thể được quy định trong từng dự án cụ thể, phụ thuộc vào Kế hoạch đảm bảo chất lượng.

(11)P Hệ số k_w phản ánh dạng phá hoại thường gặp trong hệ kết cấu có tường và được lấy như sau:

- 1,00 với hệ khung và hệ kết cấu hỗn hợp tường đương khung;
- $(1+\alpha_0)/3 \leq 1$, nhưng không nhỏ hơn 0,5 cho hệ tường, hệ kết cấu hỗn hợp tường đương tường và kết cấu dễ xoắn. (5.2)

trong đó: α_0 là tỷ số kích thước các tường trong hệ kết cấu.

(12) Nếu các tỷ số cạnh h_{wi}/l_{wi} của tất cả các tường thứ i của một hệ kết cấu không khác nhau một cách đáng kể, thì α_0 có thể được xác định từ biểu thức sau đây:

$$\alpha_0 = \sum h_{wi} / \sum l_{wi} \quad (5.3)$$

trong đó:

h_{wi} là chiều cao tường thứ i ;

l_{wi} là độ dài của tường thứ i .

(13) Hệ kết cấu tường kích thước lớn ít cốt thép không thể dựa vào sự tiêu tán năng lượng trong các khớp dẻo cho nên nó cần được thiết kế như kết cấu có cấp dẻo kết cấu trung bình.