



(12) **BẢN MÔ TẢ GIẢI PHÁP HỮU ÍCH THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN
GIẢI PHÁP HỮU ÍCH**

(19) **Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ**

(11)



2-0002722

(51)⁷ **G01H 1/00**

(13) **Y**

(21) 2-2017-00332

(22) 31/10/2017

(45) 25/10/2021 403

(43) 27/05/2019 374A

(73) Viện Cơ học - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (VN)
Số 264 Đội Cấn, quận Ba Đình, thành phố Hà Nội

(72) Nguyễn Việt Khoa (VN).

(54) QUY TRÌNH TỰ ĐỘNG GIÁM SÁT VÀ PHÁT HIỆN BẤT THƯỜNG CỦA KẾT CẤU
CẦU TỪ XA

(57) Sáng chế đề cập đến quy trình giám sát tự động và phát hiện bất thường của kết cấu cầu từ xa bao gồm các bước: chuẩn bị số liệu ban đầu của kết cấu cầu; chuẩn bị cảm biến đo dao động 3 chiều; đo đạc và truyền số liệu từ cảm biến về trung tâm; phát hiện bất thường, hư hỏng của kết cấu; và cảnh báo nguy hiểm.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Giải pháp hữu ích thuộc lĩnh vực xây dựng cầu, đường. Cụ thể, giải pháp hữu ích đề cập đến việc tự động giám sát và phát hiện bất thường của kết cấu cầu từ xa bằng phương pháp dao động.

Tình trạng kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Việc giám sát kết cấu nhằm phát hiện những hư hỏng nhỏ trong kết cấu là một vấn đề vô cùng quan trọng, đặc biệt đối với các kết cấu quan trọng như cầu đường, nhà cao tầng v.v..

Hiện nay, vấn đề giám sát sức khỏe của kết cấu đã và đang được nghiên cứu và ứng dụng khá nhiều trên thế giới. Các phương pháp giám sát sức khỏe chủ yếu trên thế giới hiện nay là:

- Phương pháp phá hủy: Phương pháp đòi hỏi phải dừng hoạt động của kết cấu để tháo dỡ các bộ phận, thành phần cấu thành của kết cấu để có thể khảo sát, phân tích các chi tiết bên trong của kết cấu. Thậm chí có thể phải phá hủy một phần nhỏ nào đó của kết cấu để đo đạc đánh giá hư hỏng.

Ưu điểm của phương pháp này là đánh giá được một cách trực tiếp hư hỏng, đo đạc được chính xác vị trí, mức độ và bản chất của hư hỏng. Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp này là phải dừng hoạt động của cấu trúc để tháo dỡ nên rất tốn kém về mặt thời gian dẫn đến tốn kém về mặt chi phí. Khi có hoạt động phá hủy một số thành phần của kết cấu thì thường đòi hỏi kèm theo là cần phải thay thế ngay thành phần đã bị phá hủy.

- Phương pháp không phá hủy, bao gồm phương pháp trực tiếp và gián tiếp.

Phương pháp trực tiếp là phương pháp quan sát trực tiếp bằng mắt thường, quay phim, chụp ảnh tại hiện trường để đánh giá hiện trạng kỹ thuật của kết cấu. Ưu điểm của phương pháp này là có thể phát hiện trực tiếp hư hỏng của kết cấu và đánh giá sơ bộ mức độ nghiêm trọng của hư hỏng. Nhược điểm là tốn nhiều công sức và tiền bạc đối với những kết cấu phức tạp. Chỉ phát hiện được các hư hỏng có kích thước lớn. Chỉ có thể quan sát được kết cấu tại những nơi có thể tiếp cận được. Chỉ có thể phát hiện được hư hỏng tại các thời gian thực hiện việc quan sát vì không thể thực hiện việc quan sát trực

quan một cách liên tục. Chỉ phát hiện hư hỏng có kích thước lớn là rất nguy hiểm cho kết cấu, có những trường hợp là quá muộn để khắc phục.

Phương pháp gián tiếp là phương pháp sử dụng việc đo đạc một số các tính chất của kết cấu để đánh giá tình trạng kỹ thuật của kết cấu mà không ảnh hưởng đến hoạt động cũng như cấu trúc của kết cấu. Các phương pháp này bao gồm: phương pháp siêu âm, phương pháp dòng điện xoáy, phương pháp từ, phương pháp dao động v.v.. Ưu điểm của phương pháp này là không phải dừng hoạt động của kết cấu, không phải phá hủy một thành phần nào của kết cấu nên sẽ tiết kiệm công sức và kinh phí. Hơn nữa, phương pháp này có thể phát hiện sớm các hư hỏng, có thể cảnh báo sớm các nguy cơ mất an toàn kết cấu giúp nhà quản lý có phương án gia cố, khắc phục sớm trước khi có những hậu quả nghiêm trọng.

Trong các phương pháp không phá hủy nói trên thì phương pháp dao động rất được quan tâm do các kỹ thuật đo đạc và phân tích dao động đã được phát triển rất mạnh và các giải pháp liên quan đến dao động của kết cấu là đơn giản và có kinh phí thấp. Các phương pháp dao động nhằm giám sát và phát hiện hư hỏng hiện nay chủ yếu chia thành 2 nhóm:

- Nhóm thứ nhất thực hiện việc giám sát online trực tiếp biên độ dao động của kết cấu để cảnh báo mức độ dao động. Nhóm này chủ yếu phát triển các loại cảm biến dao động chính xác để đo được sự thay đổi nhỏ của kết cấu. Tuy nhiên, việc này đòi hỏi phải tính toán và chọn chính xác các vị trí có thể có hư hỏng để đặt cảm biến mới thu được hiệu quả.

Ngoài ra, trong nhiều trường hợp, tín hiệu dao động được truyền liên tục về trung tâm nên việc ghi lại dữ liệu đòi hỏi bộ nhớ rất lớn. Việc xử lý một lượng lớn số liệu sẽ mất rất nhiều thời gian và công sức.

- Nhóm thứ hai chỉ thực hiện việc đo dao động tại hiện trường trước rồi sau đó mới xử lý số liệu sau.

Các hoạt động của nhóm thứ nhất chủ yếu là quan sát liên tục tín hiệu dao động của cầu và cung cấp thông tin về mức độ dao động của kết cấu. Tuy nhiên sẽ không trả lời được câu hỏi: Dao động như vậy có ảnh hưởng đến kết cấu hay không? Kết cấu có hư hỏng không?

Đối với nhóm thứ hai thì cần phải có chuyên gia thực hiện nhiều công đoạn tính toán mới có thể phát hiện ra hư hỏng trong kết cấu.

Tuy nhiên, đối với nhóm thứ hai, cần phải thực hiện việc đo đạc định kỳ và thực hiện các phân tích rất kỹ lưỡng mới có thể phát hiện được hư hỏng của kết cấu. Các phương pháp này hiện chủ yếu dựa vào kết quả đo đạc tần số riêng, dạng riêng của kết cấu tại từng thời điểm đo. Ngay cả khi phát hiện ra hư hỏng thì việc sử dụng tần số riêng và dạng riêng chỉ có thể cho biết có hư hỏng hay không nhưng không thể cho biết hư hỏng xảy ra lúc nào. Như vậy, hư hỏng chỉ có thể phát hiện sau khi kiểm tra theo định kỳ. Điều này sẽ gặp nguy hiểm khi hư hỏng xuất hiện đột ngột tại thời điểm tùy ý, thậm chí trước thời điểm kiểm tra định kỳ rất xa. Khi đó, hư hỏng có thể phát triển rất nhanh và nếu chịu các tải trọng lớn liên tục thì sẽ dẫn đến những hậu quả khôn lường trước cho kết cấu.

Như vậy, đối với các phương pháp giám sát của cả 2 nhóm nêu trên thì hạn chế rất lớn là cần đo đạc theo định kỳ một cách kỹ lưỡng, tốn nhiều công sức, cần có sự tham gia trực tiếp của các chuyên gia về phân tích hư hỏng kết cấu nhưng cũng không thể phát hiện tức thời hư hỏng xảy ra. Điều này có thể dẫn đến sự chậm trễ trong việc xử lý sự cố gây nguy hiểm cho kết cấu và gây thiệt hại về người và của.

Bản chất kỹ thuật của giải pháp hữu ích

Mục đích của giải pháp hữu ích là khắc phục những nhược điểm nêu trên.

Để đạt được mục đích đó, giải pháp hữu ích đề xuất quy trình tự động giám sát và phát hiện hư hỏng của kết cấu cầu từ xa, giúp đơn vị quản lý cầu biết để lên chiều án thực hiện công việc xử lý, gia cố, sửa chữa hư hỏng và cảnh báo về khả năng hoạt động của cầu, đồng thời lên các chiều án phòng chống hư hỏng tương tự trong tương lai.

Bản chất kỹ thuật của giải pháp hữu ích là ở chỗ xây dựng một quy trình tự động giám sát kết cấu liên tục theo thời gian đồng thời phân tích tín hiệu dao động này để đảm bảo phát hiện ngay khi hư hỏng xảy ra. Để làm được điều này, việc đầu tiên là chuẩn bị một cảm biến dao động theo 3 chiều để gắn lên kết cấu. Tín hiệu dao động sẽ truyền liên tục từ kết cấu về máy tính trung tâm theo đường truyền internet được điều khiển từ máy tính trung tâm. Tín hiệu dao động này sẽ được phân tích để tính toán tần số tức thời của dầm cầu. Trong thực tế, nếu dầm cầu khi có hư hỏng dạng vết nứt đóng mở thì tần số riêng của dầm cầu có thể sẽ thay đổi liên tục trong quá trình dao động tùy thuộc vào chế độ chịu tải của cầu. Do đó, ở đây chúng tôi sẽ sử dụng thuật ngữ tần số tức thời thay cho tần số riêng. Tần số tức thời của dầm cầu sẽ cho biết kết cấu có bị hư hỏng hay không và hư hỏng này xảy ra chính xác vào thời điểm nào. Dựa vào thời điểm hư hỏng xảy ra, có

thể trích xuất lại hoạt động của kết cấu vào thời điểm đó để xác định được nguyên nhân gây ra hư hỏng. Việc này có ý nghĩa rất quan trọng trong việc khoanh vùng được hư hỏng (ví dụ như cầu giao thông bị tàu thủy đâm gây hư hỏng), lên các phương án sửa chữa, gia cố và đề phòng các sự cố tương tự trong tương lai.

Quy trình theo giải pháp hữu ích bao gồm các bước sau:

- Chuẩn bị số liệu ban đầu của kết cấu:

Đo đạc và lưu các số liệu ban đầu về động lực học của kết cấu cầu cần giám sát để làm số liệu tham chiếu (tham số động lực học).

Tính toán trước các tham số động lực học của cầu khi có hư hỏng giả định. Khi kết cấu bị suy yếu hay có hư hỏng thì tham số động lực học của cầu sẽ bị suy giảm.

Thiết lập mối quan hệ giữa tham số động lực học và hư hỏng giả định để làm cơ sở đánh giá mức độ hư hỏng về sau.

- Chuẩn bị cảm biến đo dao động 3 chiều MEMS (MicroElectroMechanical System):

Cảm biến dao động này là cảm biến 3 chiều, có thể đo được dao động theo 3 chiều ngay tại 1 điểm đo. Cảm biến này được điều khiển từ xa để truyền dữ liệu liên tục về trung tâm qua mạng viễn thông 3G.

- Đo đạc và truyền số liệu từ cảm biến về trung tâm:

Cảm biến đo dao động 3 chiều được gắn lên kết cấu cầu tại vị trí thích hợp nhất để đo và truyền dữ liệu về máy tính trung tâm. Số liệu đo dao động sẽ được tự động truyền về theo yêu cầu của trung tâm.

- Phát hiện bất thường, hư hỏng của kết cấu:

Máy tính trung tâm sẽ tự động phân tích số liệu dao động được truyền về để phát hiện sự bất thường, sự suy yếu, hư hỏng của kết cấu, thời điểm xảy ra hư hỏng và nguyên nhân gây ra hư hỏng của kết cấu.

- Cảnh báo nguy hiểm:

Khi phát hiện ra sự bất thường, hệ thống sẽ ra cảnh báo và khuyến nghị kiểm tra chi tiết cầu để có kế hoạch sửa chữa, phòng ngừa sự cố.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1. Mối quan hệ giữa tần số - độ sâu vết nứt

Mô tả chi tiết giải pháp hữu ích

Sau đây, quy trình tự động giám sát và phát hiện bất thường của kết cấu từ xa bằng phương pháp dao động theo giải pháp hữu ích sẽ được mô tả chi tiết dưới đây. Theo đó, quy trình này bao gồm các bước sau:

- Chuẩn bị số liệu ban đầu của kết cấu:

Trước hết, đo đạc và khảo sát kết cấu để xác định các tham số ban đầu của kết cấu, bao gồm hình dạng, tần số tức thời của dầm cầu để có số liệu so sánh về sau.

Tính toán mô phỏng trước sự thay đổi các đặc trưng động lực học của cầu gây ra bởi các nguyên nhân như: hư hỏng do mỏi, hư hỏng do tác động của ngoại lực như xe quá tải trọng chạy qua, tàu bè đâm vào cầu, gió bão, động đất, lực nổ v.v..

Từ số liệu thực tế của cầu, mô phỏng và tính toán mức độ suy giảm của tần số khi có sự hư hỏng ở cầu.

Xây dựng mối liên hệ giữa sự suy giảm tần số và mức độ hư hỏng của kết cấu bằng đồ thị.

- Chuẩn bị cảm biến đo dao động 3 chiều MEMS:

Cốt lõi của cảm biến này bao gồm một cảm biến dao động 3 chiều MEMS và một bộ vi xử lý điều khiển hoạt động đo đạc và truyền số liệu. Cảm biến này có thể giao tiếp từ xa để đo và truyền dữ liệu theo yêu cầu từ trung tâm phân tích. Cảm biến sẽ giao tiếp và truyền tín hiệu dao động về máy tính trung tâm qua mạng truyền thông 3G.

- Đo đạc và truyền số liệu từ cảm biến về trung tâm:

Cảm biến sẽ được gắn vĩnh viễn lên kết cấu cầu tại nơi có dao động cần thiết nhất cho việc phân tích hư hỏng kết cấu dựa trên các tính toán ban đầu ở bước 1.

Hoạt động của cảm biến như sau: tín hiệu dao động khi vượt quá một ngưỡng đặt trước sẽ được truyền về máy tính trung tâm thông qua mạng viễn thông 3G. Các tín hiệu được truyền đến máy tính của trung tâm xử lý tín hiệu. Các tín hiệu này được truyền theo từng tệp, mỗi tệp chứa 1024 điểm đo để phục vụ việc xử lý tín hiệu tiếp theo. Thời gian đo số liệu truyền về trung tâm được xác định một cách chính xác: thời điểm đo số liệu sẽ được dùng để đặt tên tệp theo định dạng: năm/tháng/ngày/giờ/phút/giây.

Như vậy, bất cứ nơi nào được phủ sóng viễn thông 3G đều có thể áp dụng được giải pháp này. Dao động của cầu tại mọi thời điểm đều dễ dàng được xác định và truy xuất.

Dữ liệu sau khi được đọc từ máy chủ sẽ lưu sang ổ cứng của máy tính và sẽ bị xóa tại máy chủ nên có ưu điểm là sẽ không bị hạn chế bởi dung lượng của máy chủ trên internet, chỉ phụ thuộc vào dung lượng ổ cứng máy tính tại trung tâm.

Một ưu điểm của bước này là truyền dữ liệu không dây, không cần sự có mặt của con người tại hiện trường. Cảm biến chỉ truyền dữ liệu khi vượt quá ngưỡng đặt trước nên không phải phân tích và lưu trữ toàn bộ dao động của cầu trong toàn bộ thời gian hoạt động của cầu. Điều này làm giảm tối thiểu bộ nhớ để lưu trữ số liệu và không phải phân tích các số liệu vô nghĩa.

Tín hiệu dao động từ một cảm biến 3 chiều duy nhất được truyền về máy tính sẽ tự động được hiển thị biên độ dao động theo thời gian, giá trị biên độ lớn nhất và tần số tức thời của dầm cầu.

- Phát hiện bất thường, hư hỏng của kết cấu:

Tín hiệu dao động sẽ được tự động phân tích để kiểm tra biên độ dao động và tần số tức thời của dầm cầu. Các dao động bất thường hoặc hư hỏng sẽ được phân tích và phát hiện.

Khi có biên độ dao động lớn đột ngột: điều này có nghĩa là kết cấu chịu một ngoại lực rất lớn, cầu có khả năng xảy ra hư hỏng.

Khi có sự thay đổi tần số tức thời của dầm cầu: nếu có sự thay đổi tần số tức thời của dầm cầu trong thời gian diễn ra dao động lớn đột ngột thì cầu bị hư hỏng đột ngột do ngoại lực. Dựa vào mối liên hệ giữa tần số tức thời của dầm cầu-mức độ hư hỏng để xác định mức độ hư hỏng. Dựa trên các tín hiệu dao động đồng thời theo 3 chiều có thể xác định được nguyên nhân gây ra hư hỏng theo các chiều ngang (có thể do tàu bè đâm, bão lốc, lực nổ), chiều thẳng đứng (có thể do tải trọng xe quá lớn hoặc động đất) hoặc chiều dọc theo cầu (động đất).

Khi có sự thay đổi tần số tức thời của dầm cầu sau một thời gian dài hoạt động: cầu bị hư hỏng do suy yếu trong quá trình hoạt động. Dựa trên mối quan hệ tần số-mức độ hư hỏng để xác định mức độ hư hỏng.

- Cảnh báo nguy hiểm:

Khi có các bất thường hoặc phát hiện hư hỏng, cần đưa ra cảnh báo đối với nhà quản lý cầu phục vụ công tác gia cố, sửa chữa phòng ngừa các hư hỏng tương tự trong tương lai. Cụ thể như sau:

Khi có biên độ dao động lớn đột ngột: Cảnh báo kết cấu chịu một ngoại lực rất lớn, cầu có khả năng xảy ra hư hỏng. Cảnh báo nhà quản lý cần trích xuất các hệ thống monitoring khác nhằm kiểm tra và xác định nguyên nhân gây dao động lớn bất thường của cầu tại thời điểm có biên độ lớn đột ngột.

Khi có sự thay đổi tần số tức thời của dầm cầu một cách đột ngột ngay sau khi có biên độ dao động lớn bất thường: Cầu đã bị hư hỏng đột ngột do ngoại lực. Dựa vào mối liên hệ giữa tần số tức thời của dầm cầu-mức độ hư hỏng để xác định mức độ hư hỏng. Dựa trên các tín hiệu dao động đồng thời theo 3 chiều có thể xác định được nguyên nhân gây ra hư hỏng theo các chiều ngang (có thể do tàu bè đâm, bão lốc, lực nổ), chiều thẳng đứng (có thể do tải trọng xe quá lớn hoặc động đất) hoặc chiều dọc theo cầu (động đất).

Khi có sự thay đổi tần số tức thời của dầm cầu sau một thời gian dài hoạt động: Cảnh báo cầu đã bị hư hỏng. Cảnh báo mức độ hư hỏng dựa trên mối quan hệ giữa độ sâu vết nứt và tần số tức thời của dầm cầu.

Khi có hư hỏng: Cảnh báo khả năng mất an toàn, cần giảm tải trọng cho phép trên cầu. Cần kiểm tra để tìm chính xác vị trí hư hỏng, lên phương án gia cố sửa chữa.

Ví dụ thực hiện giải pháp hữu ích

Ví dụ được thực hiện tại Phòng Thí nghiệm động lực học công trình, Viện Cơ học, Viện Hàn lâm KH-CN Việt Nam. Trong ví dụ này, một cầu dầm đã có sẵn vết nứt được dùng làm thí nghiệm. 2 xung lực được tác động vào cầu, trong đó có một xung lực lớn vượt ngưỡng. Kết quả của thí nghiệm là cảnh báo có dao động vượt ngưỡng, cầu dầm có vết nứt và mức độ vết nứt. Trong thí nghiệm này không tạo vết nứt xảy ra đột ngột do xung lực vượt ngưỡng gây ra nên không có cảnh báo dầm bị nứt đột ngột và thời điểm xảy ra vết nứt.

Cụ thể, thí nghiệm được tiến hành như sau:

- Chuẩn bị số liệu ban đầu của kết cấu:

Chuẩn bị 1 kết cấu cầu đơn giản dạng dầm bằng thép, kích thước 20x20x1200mm, có vết nứt tại vị trí giữa dầm, độ sâu vết nứt là 20% độ cao của dầm.

Xây dựng mối liên hệ giữa tần số riêng và độ sâu vết nứt bằng đồ thị như trên Hình 1.

- Chuẩn bị cảm biến đo dao động 3 chiều MEMS:

Cảm biến này có thể giao tiếp từ xa và truyền tín hiệu dao động về máy tính trung tâm qua mạng truyền thông 3G.

Gắn cảm biến dao động lên cầu dầm.

- Đo đạc và truyền số liệu từ cảm biến về trung tâm:

Đặt ngưỡng cho biến là $0,1\text{m/s}^2$ để bắt đầu truyền số liệu về trung tâm. Đặt ngưỡng 50m/s^2 là ngưỡng có dao động lớn đột ngột.

Tác động xung lực để tạo dao động cho dầm với gia tốc lần lượt 10m/s^2 , 60 m/s^2 theo chiều thẳng đứng cho dầm.

Dao động vượt ngưỡng, truyền tín hiệu về máy tính qua 3G.

- Phát hiện bất thường, hư hỏng của kết cấu:

Hiển thị biểu đồ dao động theo thời gian.

Hiển thị gia tốc lớn nhất khi xảy ra xung lực là 10m/s^2 xảy ra vào lúc 10giờ:20phút:30giây và 60m/s^2 xảy ra vào lúc 10giờ:23phút:13giây.

Hiển thị tần số riêng tức thời của cầu theo chiều thẳng đứng là 72,3 Hz.

Khi xảy ra dao động với gia tốc 60m/s^2 : phát hiện có dao động lớn đột ngột theo chiều thẳng đứng, có khả năng gây hư hỏng cho kết cấu.

Tần số riêng tức thời của cầu theo chiều thẳng đứng là 72,3 Hz giảm so với dầm nguyên vẹn (máy tính tự động so sánh tần số riêng tức thời với mối quan hệ tần số - độ sâu vết nứt như trên Hình 1): phát hiện đã bị nứt gãy, độ sâu vết nứt là 20%.

- Cảnh báo nguy hiểm:

Khi xảy ra dao động với gia tốc 50m/s^2 : biên độ dao động dưới ngưỡng cảnh báo - Không cảnh báo.

Khi xảy ra dao động với gia tốc 60m/s^2 : cảnh báo có tác động lớn đột ngột theo chiều thẳng đứng đến kết cấu, cần kiểm tra nguyên nhân gây dao động theo chiều thẳng đứng vào 10giờ:23phút:13giây. Kiểm tra khả năng hư hỏng của kết cấu dựa trên nguyên nhân gây dao động.

Cảnh báo cầu đã bị nứt gãy, độ sâu vết nứt là 20%. Cảnh báo cầu đã có nguy cơ mất an toàn, cần giảm tải trọng cho phép di chuyển trên cầu trước khi có phương án gia cố sửa chữa.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Quy trình tự động giám sát và phát hiện bất thường của kết cấu cầu từ xa bao gồm các bước:

chuẩn bị số liệu ban đầu của kết cấu cầu:

đo đạc và khảo sát kết cấu để xác định các tham số ban đầu của kết cấu, bao gồm hình dạng, tần số tức thời của dầm cầu để có số liệu so sánh về sau,

tính toán, mô phỏng sự thay đổi các đặc trưng động lực học của cầu gây ra bởi các nguyên nhân như: hư hỏng do mỏi, hư hỏng do tác động của ngoại lực,

mô phỏng và tính toán mức độ suy giảm của tần số khi có sự hư hỏng ở cầu, và

xây dựng mối liên hệ giữa sự suy giảm tần số và mức độ hư hỏng của kết cấu bằng đồ thị;

chuẩn bị cảm biến đo dao động 3 chiều MEMS:

chuẩn bị cảm biến gồm một cảm biến dao động 3 chiều và một bộ vi xử lý điều khiển hoạt động đo đạc và truyền số liệu, cảm biến này giao tiếp và truyền tín hiệu dao động về máy tính trung tâm qua mạng truyền thông 3G,

cảm biến được gắn vĩnh viễn lên kết cấu cầu tại nơi có dao động cần thiết nhất cho việc phân tích hư hỏng của kết cấu;

đo đạc và truyền số liệu từ cảm biến về trung tâm:

tín hiệu dao động khi vượt quá một ngưỡng đặt trước được truyền về máy tính trung tâm thông qua mạng viễn thông 3G, truyền đến máy tính của trung tâm xử lý tín hiệu, theo từng tệp, mỗi tệp chứa 1024 điểm đo để phục vụ việc xử lý tín hiệu tiếp theo,

tín hiệu dao động từ một cảm biến 3 chiều duy nhất được truyền về máy tính hiển thị biên độ dao động theo thời gian, giá trị biên độ lớn nhất và tần số tức thời của dầm cầu;

phát hiện bất thường, hư hỏng của kết cấu:

tín hiệu dao động được tự động phân tích để kiểm tra biên độ dao động và tần số tức thời của dầm cầu, các dao động bất thường hoặc hư hỏng được phân tích và phát hiện, trong đó:

khi biên độ dao động lớn đột ngột: kết cấu chịu một ngoại lực rất lớn, cầu có khả năng xảy ra hư hỏng,

khi có sự thay đổi tần số tức thời của dầm cầu trong thời gian diễn ra dao động lớn đột ngột thì cầu bị hư hỏng đột ngột do ngoại lực, xác định mức độ hư hỏng dựa vào mối liên hệ giữa tần số tức thời của dầm cầu-mức độ hư hỏng, xác định nguyên nhân gây ra hư hỏng theo các chiều ngang, chiều thẳng đứng hoặc chiều dọc theo cầu dựa trên các tín hiệu dao động đồng thời theo 3 chiều,

khi có sự thay đổi tần số tức thời của dầm cầu sau một thời gian dài hoạt động thì cầu bị hư hỏng do suy yếu trong quá trình hoạt động, xác định mức độ hư hỏng dựa trên mối quan hệ tần số-mức độ hư hỏng;

cảnh báo nguy hiểm:

khi có biên độ dao động lớn đột ngột: cảnh báo kết cấu chịu một ngoại lực rất lớn, cầu có khả năng xảy ra hư hỏng,

khi có sự thay đổi tần số tức thời của dầm cầu một cách đột ngột: cầu đã bị hư hỏng đột ngột do ngoại lực, xác định mức độ hư hỏng dựa vào mối liên hệ giữa tần số tức thời của dầm cầu-mức độ hư hỏng, xác định được nguyên nhân gây ra hư hỏng theo các chiều ngang, chiều thẳng đứng hoặc chiều dọc theo cầu dựa trên các tín hiệu dao động đồng thời theo 3 chiều,

khi có sự thay đổi tần số tức thời của dầm cầu sau một thời gian dài hoạt động: cảnh báo cầu đã bị hư hỏng, mức độ hư hỏng, nguyên nhân suy yếu do mỏi hoặc do các yếu tố môi trường xung quanh,

khi có hư hỏng: cảnh báo khả năng mất an toàn, cần giảm tải trọng cho phép trên cầu, kiểm tra để tìm chính xác vị trí hư hỏng và lên phương án gia cố sửa chữa.

Hình 1