

NGUYỄN ĐÌNH CHIẾU (Chủ biên)
NGUYỄN TRỌNG - NGUYỄN ANH TUẤN

CƠ SỞ LÝ THUYẾT KỸ THUẬT RUNG TRONG XÂY DỰNG



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI - 2004

60 - 605

469 - 120 - 04

KHKT - 04

LỜI NÓI ĐẦU

Kỹ thuật rung đầu tiên được đưa vào các dụng cụ đo đạc; các thiết bị thí nghiệm: các máy, trong đó chủ yếu thực hiện các kích rung gây ra lực kích động có mục đích. Dần dần, người ta đã đưa kỹ thuật rung vào các máy và thiết bị thực hiện trong công nghệ sản xuất, xây dựng, khử rung và giảm rung, điều khiển rung...

Kỹ thuật rung, trước hết dựa trên cơ sở của lý thuyết dao động, đặc biệt là dao động của hệ phi tuyến. Trong lý thuyết, kỹ thuật rung đã sử dụng các thành tựu của toán học, cơ học giải tích, lý thuyết ổn định chuyển động, lý thuyết tự điều khiển và các lĩnh vực khoa học khác. Lý thuyết kỹ thuật rung liên quan chặt chẽ với động lực học máy và công trình, kỹ thuật điện, vô tuyến điện, siêu âm, địa chấn...

Các lĩnh vực áp dụng kỹ thuật rung ngày một tăng. Có thể liệt kê một số lĩnh vực quan trọng, đó là:

- Tạo hình sản phẩm bê tông cốt thép trên bàn rung hay trên các khung rung.
- Làm chặt hỗn hợp bê tông trong các công trình thủy công, xây dựng nhà, móng và trụ cầu bằng các máy rung mặt và các máy rung sâu.
- Làm chặt đất nền đường, làm chặt lớp áo mặt đường bằng bê tông áptphan, lớp phủ mặt đường bằng bê tông ximăng... nhờ các thiết bị rung khác nhau.
- Sử dụng búa rung và búa va rung khi khoan thăm dò địa chất.
- Phân loại vật liệu theo kích thước, mật độ, hình dạng, hệ số ma sát trên các thiết bị rung (lưới và sàng rung)...

Kỹ thuật rung và công nghệ rung là một lĩnh vực mới mẻ. Do đó còn nhiều vấn đề tồn tại cả về lý thuyết cũng như thực tế chưa được làm sáng tỏ. Để giải quyết nó và đảm bảo sự tiến bộ cần phải tiến hành nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm trong một phạm vi rộng. Hàng loạt các vấn đề và các bài toán được các tác giả trong và ngoài nước quan tâm, đó chính là:

- *Nhóm thứ nhất:* các vấn đề liên quan đến việc nghiên cứu các quá trình phát ra dao động cơ học, chẳng hạn: nghiên cứu các máy kích động như các bộ biến đổi năng lượng nguồn vào năng lượng cơ học, các máy phát dao động cơ học ngẫu nhiên...
- *Nhóm thứ hai:* các vấn đề dẫn tới giải quyết các bài toán động lực học của máy rung và va rung: nghiên cứu quá trình chuyển và tạo ra các phương pháp giảm công suất yêu cầu, giảm trọng lượng kết cấu dẫn động, giảm dao động mạnh khi chuyển qua cộng hưởng; nghiên cứu hiện tượng động lực của hệ có một và nhiều bậc tự do khi cộng hưởng và gần cộng hưởng; nghiên cứu động lực của hệ có tác dụng của nhiều lực điều hoà, của hệ với thông số phân bố và của hệ phức tạp; giải các bài toán khi có sự làm việc đồng thời của hai hay một số máy kích rung.
- *Nhóm thứ ba:* các vấn đề nghiên cứu tính chất của các môi trường khác nhau, trong đó có tác động của các máy rung làm việc:
 - Nghiên cứu động lực của môi trường có dạng hạt thô và hạt mịn được áp dụng khi giải các bài toán đối với các máy rung để phân loại vật liệu, máy dịch chuyển rung, máy làm chặt nhờ rung;
 - Nghiên cứu động lực của hỗn hợp bê tông áp dụng vào các bài toán dịch chuyển rung, vận chuyển rung, làm chặt và làm phẳng rung, tạo hình sản phẩm...;
 - Nghiên cứu động lực biến dạng dẻo của thép dưới tác dụng rung và va rung khi hạ các chi tiết bằng phương pháp đóng.

rèn đập và dất vật liệu; nghiên cứu động lực của bê tông átphan khi áp dụng làm chặt bằng rung động;

– Nghiên cứu các tính chất hóa lý và cơ lý do ảnh hưởng rung trong môi trường có chất lỏng...

- *Nhóm thứ tư:* các vấn đề nghiên cứu tương tác của các bộ phận làm việc của máy rung và va rung với môi trường, trong đó chú ý đặc biệt đến tương tác lực: giải các bài toán về sự phân bố lực và áp lực tác dụng lên máy công tác từ môi trường; nghiên cứu sự thay đổi tác dụng tương hỗ dưới ảnh hưởng của máy công tác và môi trường...
- *Nhóm thứ năm:* các vấn đề liên quan đến nghiên cứu năng lượng của máy rung, chu kỳ năng lượng và đặc trưng hao tán năng lượng của hệ phụ thuộc vào tình trạng máy rung và do tính chất nguồn năng lượng.
- *Nhóm thứ sáu:* các vấn đề về tìm kiếm và tạo ra phương pháp mới làm sáng tỏ các phương pháp của các hệ rung tự điều khiển, các hệ tự điều chỉnh rung và tự kiểm tra chất lượng phương tiện kỹ thuật rung.

Các phương pháp rung trong xây dựng là các phương pháp liên quan tới việc sử dụng các thiết bị rung (máy rung và búa rung) để hạ chìm vào đất hay kéo ra từ môi trường đất các kết cấu khác nhau (cọc, ống, cừ...): để khoan thăm dò; để làm chặt nền đất, các hỗn hợp bê tông và phá hoại cấu trúc đất nền...

Trên cơ sở kinh nghiệm, ý tưởng hạ chìm các kết cấu vào đất bằng thiết bị rung được các tác giả đưa ra vào những năm 34 - 40 của thế kỷ XX, nhưng phải chờ đến những năm 50 của thế kỷ XX mới được áp dụng rộng rãi. Các kết quả nghiên cứu và áp dụng trong nửa thế kỷ qua của các nhà nghiên cứu ở ngoài nước cũng như ở nước ta còn trình bày riêng lẻ và tản mạn trong các tài liệu hay tạp chí, đồng thời không được thường xuyên công bố một cách hệ thống. Vì vậy, mục đích chính của cuốn sách này nhằm trình bày

một số vấn đề cơ bản của lý thuyết dao động cơ học liên quan trực tiếp đến áp dụng kỹ thuật rung nói chung và một vài bài toán cơ bản cũng như các kết quả nghiên cứu của các tác giả trong và ngoài nước vào những năm gần đây, trong đó đặc biệt chú ý đến những mô hình bài toán áp dụng kỹ thuật rung trong xây dựng.

Các tác giả hy vọng cuốn sách sẽ có tác dụng đối với các sinh viên năm cuối của ngành máy và công trình; các kỹ sư và cán bộ kỹ thuật trực tiếp làm công tác sản xuất, thiết kế thi công các công trình nhà, thủy lợi, giao thông; đồng thời cũng có thể làm tài liệu tham khảo cho các học viên cao học, nghiên cứu sinh mà trong công việc có liên quan đến động lực học máy và công trình.

Cuốn sách mới được in lần đầu, nên không thể tránh được những khiếm khuyết. Chúng tôi rất mong được sự đóng góp xây dựng của độc giả để cuốn sách ngày càng hoàn chỉnh trong các lần xuất bản tiếp theo.

CÁC TÁC GIẢ

Chương 1

DAO ĐỘNG CƯỜNG BỨC CỦA HỆ TUYẾN TÍNH CÓ MỘT VÀ HAI BẬC TỰ DO

§1.1. PHƯƠNG PHÁP THIẾT LẬP PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CHUYỂN ĐỘNG CỦA HỆ DAO ĐỘNG

1.1.1. CÁC PHƯƠNG PHÁP THIẾT LẬP PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CHUYỂN ĐỘNG

Lựa chọn phương pháp thiết lập phương trình vi phân chuyển động dao động của hệ có nhiều bậc tự do phụ thuộc vào mô hình cơ học của hệ. Người ta thường sử dụng ba cách sau:

1.1.1.a. Dùng phương trình Lagrăng loại II

Hệ Hôlônôm có n chất điểm và s bậc tự do; được xác định bởi các tọa độ suy rộng độc lập q_i ($i = 1, 2, \dots, s$), phương trình Lagrăng loại II có dạng:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i \quad (i = 1, 2, \dots, s). \quad (1.1)$$

1.1.1.b. Sử dụng nguyên lý Đalămbe

Theo nguyên lý này, ở mỗi thời điểm các lực hoạt động tác dụng lên cơ hệ và các phản lực liên kết cân bằng với các lực quán tính. Ta có:

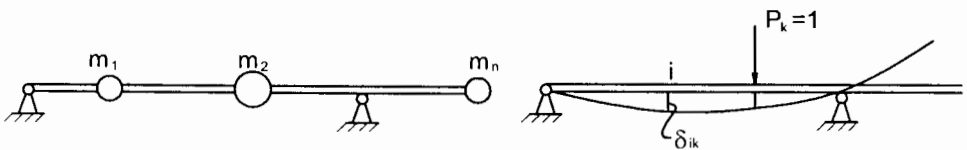
$$\begin{aligned} \sum_k \overrightarrow{F_k^a} + \sum_k \overrightarrow{N_k} + \sum_k \overrightarrow{F_k^{qt}} &= 0; \\ \sum_k \overrightarrow{m_o}(F_k^a) + \sum_k \overrightarrow{m_o}(N_k) + \sum_k \overrightarrow{m_o}(F_k^{qt}) &= 0, \end{aligned} \quad (1.2)$$

trong đó: $\overrightarrow{F_k^{qt}} = -m_k \overrightarrow{W_k}$.

1.1.1.c. Áp dụng phương pháp lực

Các dịch chuyển theo hướng i do lực đơn vị tác dụng theo hướng k gây ra gọi là dịch chuyển đơn vị, ký hiệu là δ_{ik} . Các δ_{ik} còn gọi là các hệ số ảnh hưởng (hình 1.1). Đối với hệ đàn hồi, theo hướng k chịu tác dụng của lực $\overrightarrow{P_k}$ thì dịch chuyển do nó gây ra theo hướng i sẽ tỷ lệ với lực, nghĩa là $y_i = P_k \delta_{ik}$. Do đó dưới tác dụng đồng thời của các lực $(\overrightarrow{P_1}, \overrightarrow{P_2}, \dots, \overrightarrow{P_n})$, dịch chuyển toàn phần xác định theo hệ thức:

$$y_i = \sum_k P_k \delta_{ik}. \quad (1.3)$$



Hình 1.1

Công thức (1.3) là cơ sở để thiết lập phương trình vi phân chuyển động dao động của hệ. Các hệ số δ_{ik} được xác định theo công thức Mohr hoặc phép nhân biểu đồ Vêrêsaghin. Theo định lý Mac-xoen ta có $\delta_{ik} = \delta_{ki}$.

1.1.2. PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN DAO ĐỘNG CỦA HỆ n CHẤT ĐIỂM CÓ s BẬC TỰ DO

Bây giờ ta áp dụng (1.1) để viết phương trình vi phân dao động cho hệ n chất điểm có s bậc tự do, chịu tác dụng của các lực có thể, các lực cản (nhớt) phụ thuộc bậc nhất vào vận tốc và các lực kích động

ngoài là hàm bất kỳ của thời gian t . Ta có lực suy rộng của các lực trên được biểu thị:

$$Q_i^\pi = -\frac{\partial \pi}{\partial q_i}; \quad Q_i^\phi = -\frac{\partial \phi}{\partial \dot{q}_i}; \quad Q_i^P = Q(t).$$

Xét dao động nhỏ thì:

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \dot{q}_i \dot{q}_j; \\ \pi &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} q_i q_j; \\ \phi &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij} \dot{q}_i \dot{q}_j. \end{aligned} \tag{1.4}$$

Các hệ số $a_{ij} = a_{ji}$; $b_{ij} = b_{ji}$; $c_{ij} = c_{ji}$ là các hằng số và thỏa mãn điều kiện **Сильвестр**. Thay (1.4) vào (1.1) ta nhận được phương trình vi phân dao động của hệ:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \ddot{q}_j + \sum_{j=1}^n b_{ij} \dot{q}_j + \sum_{j=1}^n c_{ij} q_j = Q_i(t), \quad (i = 1, 2, \dots, s). \tag{1.5}$$

Có thể viết (1.5) ở dạng:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{21} & \dots & a_{2n} \\ \dots & & & \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \\ \dots \\ \ddot{q}_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{21} & \dots & b_{2n} \\ \dots & & & \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dots \\ \dot{q}_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{21} & \dots & c_{2n} \\ \dots & & & \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \dots \\ q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \dots \\ Q_n \end{bmatrix} \tag{1.5a}$$

§1.2. DAO ĐỘNG CƯỜNG BỨC CỦA HỆ TUYẾN TÍNH CÓ MỘT BẬC TỰ DO

Dao động cưỡng bức xảy ra khi hệ có tác dụng của các kích động ngoài. Các kích động này có thể tuần hoàn hay va chạm.

Phương trình Lagrăng II trong trường hợp này có dạng:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} = -\frac{\partial \pi}{\partial q} - \frac{\partial \phi}{\partial \dot{q}} + Q^P.$$

Với dao động nhỏ: $T = \frac{1}{2} a \dot{q}^2$; $\pi = \frac{1}{2} c q^2$; $\phi = \frac{1}{2} b \dot{q}^2$.

Đặt $Q(t) = \frac{1}{a} Q^P$, thay vào phương trình trên, ta được:

$$\ddot{q} + 2n\dot{q} + k^2 q = Q(t), \quad (1.6)$$

trong đó: $2n = \frac{b}{a}$; $k^2 = \frac{c}{a}$.

Phương trình (1.6) là phương trình vi phân dao động cưỡng bức của hệ tuyến tính một bậc tự do. Trường hợp $n < k$, nghiệm tổng quát của nó là:

$$q = Ae^{-nt} \sin(k_1 t + \beta_1) + \bar{q}, \quad (1.7)$$

trong đó: $k_1^2 = k^2 - n^2$;

A, β_1 - được xác định từ điều kiện ban đầu;

\bar{q} - nghiệm riêng của phương trình (1.6).

Nghiệm riêng \bar{q} tìm dưới dạng:

$$\bar{q} = e^{-nt} Z(t). \quad (1.8)$$

Thay (1.8) vào (1.6), ta nhận được phương trình đối với hàm $Z(t)$:

$$\ddot{Z} + k_1^2 Z = Q(t)e^{nt}. \quad (1.9)$$

Nghiệm của (1.9) tìm được bằng phương pháp biến thiên hằng số Lagrăng:

$$Z(t) = \frac{1}{k_1} \int_0^t e^{n\tau} Q(\tau) \sin k_1 (t - \tau) d\tau. \quad (1.10)$$

Như vậy, nghiệm riêng \bar{q} của (1.6) xác định bằng biểu thức:

$$\bar{q} = \frac{1}{k_1} \int_0^t e^{-n(t-\tau)} Q(\tau) \sin k_1 (t - \tau) d\tau. \quad (1.11)$$