

Gs, Ts. LÊU THỌ TRÌNH

CƠ HỌC KẾT CẤU

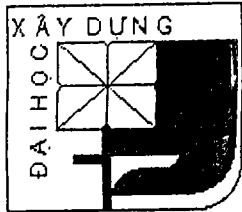
TẬP I

Hệ tĩnh định

Tái bản có sửa đổi và bổ sung

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

HÀ NỘI - 2006



50 NĂM ĐÀO TẠO 40 NĂM THÀNH LẬP

6 - 605

1288 - 12.1 - 06

KHKT - 06

Lời tựa

Cơ học kết cấu là một phần kiến thức cơ sở đối với kỹ sư thuộc các ngành xây dựng cơ bản, môn học được bố trí trong chương trình đào tạo của nhiều trường đại học như xây dựng, giao thông, thủy lợi, mỏ địa chất ...

Cơ học kết cấu trang bị cho kỹ sư và sinh viên những kiến thức cần thiết để giải quyết các bài toán thực tế có liên quan đến các khâu từ thiết kế, thẩm định đến thi công và để nghiên cứu các môn kỹ thuật khác của chuyên ngành.

Giáo trình **Cơ học kết cấu** được biên soạn nhằm giúp các kỹ sư và sinh viên nghiên cứu, luyện tập khả năng phân tích tính chất chịu lực của kết cấu và kỹ năng tính toán kết cấu chịu các nguyên nhân tác dụng thường gặp trong thực tế như tải trọng, sự thay đổi nhiệt độ, chuyển vị cưỡng bức của các liên kết, chế tạo các thanh không chính xác.

Về nội dung, giáo trình được biên soạn nhằm đáp ứng yêu cầu về học và dạy phù hợp với chương trình môn học hiện hành trong các trường đại học, không tham vọng trình bày được đầy đủ các khía cạnh phong phú, đa dạng của Cơ học kết cấu.

Trong lần tái bản này, tác giả đã:

Chỉnh sửa những sai sót trong cuốn Cơ học kết cấu xuất bản năm 2000.

Bổ sung một số nội dung nhằm mục đích nâng cao và phục vụ cho các môn học chuyên môn.

Tác giả chân thành cảm ơn các Cán bộ giảng dạy trong bộ môn Cơ học kết cấu và bộ môn Cầu Hầm đã có những ý kiến đóng góp quý báu cho cuốn Cơ học kết cấu xuất bản năm 2000, đặc biệt cảm ơn Ths. Lều Mộc Lan đã có những giúp đỡ cụ thể cho bản thảo trong lần tái bản.

Chúng tôi mong tiếp tục nhận được sự quan tâm và những ý kiến đóng góp của bạn đọc cùng các đồng nghiệp.

TÁC GIẢ

Ký hiệu các đại lượng

Hệ tọa độ

z	trục thanh;
x, y	hệ trục chính trung tâm của tiết diện;
ρ, θ	tọa độ cực.

Các đặc trưng vật liệu

E	môđun đàn hồi khi kéo hoặc nén (môđun Young);
μ	hệ số biến dạng ngang (hệ số Poisson);
G	môđun đàn hồi khi trượt;
α	hệ số dẫn nở dài vị nhiệt của vật liệu.

Các đặc trưng hình học

A	diện tích tiết diện;
S, I, W	mômen tĩnh, mômen quán tính và mômen chống uốn của tiết diện;
S_x, S_y	mômen tĩnh đối với trục x và đối với trục y ;
I_x, I_y	mômen quán tính đối với trục x và đối với trục y ;
I_{xy}	mômen quán tính ly tâm đối với hệ trục xy ;
W_x, W_y	mômen chống uốn của tiết diện trong mặt phẳng uốn yz và mặt phẳng uốn xz ;
$W_{x,d}$	mômen chống uốn dẻo của tiết diện trong mặt phẳng uốn yz ;
I_p	mômen quán tính cực (đối với gốc tọa độ).

Ngoại lực và phản lực

P	lực tập trung;
p	cường độ lực phân bố diện tích;
q	cường độ lực phân bố theo đường, vuông góc với trục thanh;
t	cường độ lực phân bố theo đường, tiếp tuyến với trục thanh;
M	mômen tập trung;
m	cường độ mômen phân bố;

R_{jm}	phản lực tại liên kết j do nguyên nhân m ;
\bar{R}_{jm}	phản lực tại liên kết j do nguyên nhân m bằng đơn vị;
r_{km}	phản lực đơn vị tại liên kết k do chuyển vị cưỡng bức tại liên kết m ;
\bar{r}_{km}	phản lực đơn vị tại liên kết k do lực P_m ;
P_{tc}	tải trọng tiêu chuẩn;
P_t	tải trọng tính toán.

Các ứng suất

ρ, σ, τ	ứng suất toàn phần, ứng suất pháp, ứng suất tiếp;
σ_{tl}	giới hạn tỷ lệ;
σ_{ch}	giới hạn chảy;
σ_b	giới hạn bền;
σ_o	ứng suất giới hạn;
$[\sigma]$	ứng suất cho phép;
R_{tc}	cường độ tiêu chuẩn, sức chịu tiêu chuẩn;
R_t	cường độ tính toán, sức chịu tính toán.

Nội lực

N, M, Q	các thành phần nội lực trong bài toán phẳng;
$\bar{N}, \bar{M}, \bar{Q}$	các thành phần nội lực do lực đơn vị gây ra;
N	lực dọc;
M_x	mômen uốn trong mặt phẳng yz (mômen uốn quanh trục x);
M_y	mômen uốn trong mặt phẳng xz (mômen uốn quanh trục y);
M_z	mômen xoắn (mômen xoắn quanh trục z);
Q_x, Q_y	lực cắt theo phương x và lực cắt theo phương y ;
M_{gh}	mômen uốn giới hạn;

Biến dạng và chuyển vị

ψ	biến dạng xoay tỷ đối (góc hợp giữa hai tiết diện của một phân tố thanh có chiều dài bằng đơn vị khi phân tố bị biến dạng);
ε	biến dạng dọc trục tỷ đối;
γ	biến dạng trượt tỷ đối;
Δl	biến dạng dài của đoạn thanh;

θ	góc xoắn tỷ đối của thanh;
Δ_{km}	chuyển vị tương ứng với vị trí và phương của lực P_k do nguyên nhân m ;
Z_{jm}	chuyển vị cưỡng bức tại liên kết j ở trạng thái m ;
γ, φ	độ võng và góc xoay của tiết diện thanh chịu uốn trong mặt phẳng yz.
δ_{km}	chuyển vị đơn vị tương ứng với vị trí và phương của lực P_k do lực P_m ;
δ_{km}	chuyển vị đơn vị tương ứng với vị trí và phương của lực P_k do chuyển vị cưỡng bức Z_m .

Các ký hiệu khác

ν	hệ số điều chỉnh, kể tới sự phân bố không đều của ứng suất tiếp;
S	đại lượng nghiên cứu S ;
\bar{S}	đại lượng nghiên cứu S do lực đơn vị gây ra;
(S)	biểu đồ của đại lượng S ;
(\bar{S})	biểu đồ của đại lượng nghiên cứu S do lực đơn vị gây ra;
T	công của ngoại lực;
A^*	công của nội lực;
U	thế năng biến dạng đàn hồi;
U_P	thế năng của ngoại lực;
t_{1m}, t_{2m}	độ biến thiên nhiệt độ ở thứ trên và thứ dưới thanh;
t_{cm}	độ biến thiên nhiệt độ ở trục thanh;
n	bậc siêu tĩnh, bậc siêu động, hệ số vượt tải (hệ số độ tin cậy về tải trọng);
k	hệ số an toàn;
γ	hệ số điều kiện làm việc;
γ_{cn}	hệ số độ tin cậy theo chức năng của kết cấu;
γ_{vl}	hệ số độ tin cậy của vật liệu (hệ số đồng chất của vật liệu).

Mở đầu

1. Đối tượng và nhiệm vụ của Cơ học kết cấu

Cơ học kết cấu là môn *khóa học thực nghiệm*, trình bày các phép tính để kiểm tra *độ bền, độ cứng và độ ổn định* của các công trình được chế tạo từ các vật thể biến dạng, chịu tác dụng của các nguyên nhân khác nhau như tải trọng, sự thay đổi nhiệt độ và hiện tượng lún.

Tính công trình về độ bền nhằm bảo đảm cho công trình có khả năng chịu tác dụng của tải trọng cũng như của các nguyên nhân khác mà không bị phá hoại.

Tính công trình về độ cứng nhằm bảo đảm cho công trình không có chuyển vị lớn và rung động lớn có thể làm cho công trình mất trạng thái làm việc bình thường ngay cả khi điều kiện bền vẫn bảo đảm.

Tính công trình về mặt ổn định là tìm hiểu khả năng bảo toàn vị trí và hình dạng ban đầu của công trình dưới dạng cân bằng trong trạng thái biến dạng.

Tuy nội dung nghiên cứu của Sức bền vật liệu và Cơ học kết cấu giống nhau nhưng phạm vi nghiên cứu có khác nhau. Sức bền vật liệu nghiên cứu cách tính độ bền, độ cứng và độ ổn định của từng cấu kiện riêng rẽ. Cơ học kết cấu nghiên cứu toàn bộ công trình gồm nhiều cấu kiện riêng rẽ liên kết với nhau tạo thành một kết cấu có khả năng chịu lực và nghiên cứu phương pháp tính toán các kết cấu đó. Đó là sự phân biệt để giảng dạy còn trong nghiên cứu cũng có nhiều vấn đề đồng thời cùng thuộc lĩnh vực của cả hai môn học.

Nhiệm vụ chủ yếu của Cơ học kết cấu là *xác định nội lực (còn gọi là ứng lực) và chuyển vị trong công trình*. Độ bền, độ cứng và độ ổn định của công trình có liên quan đến tính chất cơ học của vật liệu, hình dạng và kích thước của cấu kiện, nội lực phát sinh và phát triển trong công trình. Hơn nữa kích thước của cấu kiện lại phụ thuộc nội lực trong cấu kiện đó. Do đó công việc đầu tiên khi tính công trình là xác định trạng thái nội lực và biến dạng phân bố trong công trình dưới các tác động bên ngoài.

Trong thực tế thường gặp hai loại bài toán:

* *Bài toán kiểm tra*: Ta gặp bài toán này khi đã có sẵn công trình, tức là đã biết hình dạng, kích thước của công trình cũng như đã biết được các nguyên nhân tác động bên ngoài. Trong trường hợp này cần phải xác định trạng thái nội lực và biến dạng của hệ dưới các tác động bên ngoài có thể xảy ra để phán đoán xem công trình có bảo đảm đủ bền, đủ cứng và đủ ổn định hay không, công trình thiết kế có kinh tế hay không?

* *Bài toán thiết kế*: Ta gặp bài toán này khi cần thiết kế công trình, tức là cần xác định hình dạng, kích thước cụ thể của các cấu kiện trong công trình một cách hợp lý để cho công trình có khả năng thỏa mãn điều kiện bền, điều kiện cứng và điều kiện ổn định dưới tác động của các nguyên nhân bên ngoài đã biết. Để giải bài toán này người thiết kế thường phải dựa vào kinh nghiệm hoặc sử dụng các phương pháp thiết kế sơ bộ gần đúng để giả thiết trước hình dạng, kích thước của các cấu kiện trong công trình. Tiếp đó, tiến hành giải bài toán kiểm tra như đã nói ở trên để xem công trình vừa mới giả thiết có thỏa mãn các điều kiện bền, điều kiện cứng, điều kiện ổn định hay không, có bảo đảm tiết kiệm nguyên vật liệu hay không. Trên cơ sở đó người thiết kế hiệu chỉnh lại giả thiết ban đầu đã chọn.

Như vậy, trong cả hai loại bài toán kiểm tra và thiết kế ta đều phải biết cách xác định trạng thái nội lực và biến dạng phân bố trong công trình khi cho biết hình dạng kích thích thước của các cấu kiện trong công trình và các tác động bên ngoài.

Sau khi môn cơ học kết cấu đã giải quyết vấn đề nội lực và biến dạng của công trình, các môn kỹ thuật chuyên môn như Kết cấu thép, Kết cấu bê tông, Kết cấu gỗ, Kết cấu gạch đá sẽ căn cứ vào các kết quả tính nội lực đã tìm được đồng thời tùy theo tính năng của vật liệu do các môn đó nghiên cứu để tiếp tục hoàn thiện việc tính toán công trình. Do đó Cơ học kết cấu là môn kỹ thuật cơ sở, chuẩn bị phục vụ cho các môn học chuyên môn.

Ngoài ra, Cơ học kết cấu còn có nhiệm vụ nghiên cứu dạng hợp lý của các công trình bảo đảm yêu cầu tiết kiệm vật liệu nhất cũng như nghiên cứu các quy luật hình thành công trình bảo đảm cho công trình không bị thay đổi dạng hình học dưới tác động của các nguyên nhân bên ngoài.

Cơ học kết cấu là môn *khoa học thực nghiệm* do đó các khâu lý luận và

thực nghiệm có liên quan mật thiết với nhau. Thực nghiệm có thể tiến hành trước hoặc sau khi sáng tạo lý luận, đôi khi tiến hành cả trước lẫn sau. Thực nghiệm tiến hành trước khi sáng tạo lý luận nhằm phát hiện những nhân tố cơ bản trong đối tượng nghiên cứu, đồng thời cũng phát hiện những nhân tố thứ yếu có thể bỏ qua được để đơn giản hóa bước đúc kết lý luận. Thực nghiệm tiến hành sau khi sáng tạo lý luận nhằm kiểm tra kết quả tìm được bằng lý luận. Chỉ có những công trình nghiên cứu nào được thực nghiệm xác nhận mới xứng đáng được tin cậy.

Môn Cơ học kết cấu giữ một vai trò quan trọng đối với kỹ sư xây dựng làm công tác thiết kế cũng như thi công. Cơ học kết cấu trang bị cho kỹ sư thiết kế những tri thức giúp họ phát hiện được trạng thái phân bố nội lực và biến dạng trong công trình và do đó tìm được những hình dạng hợp lý của công trình, thể hiện được một cách đầy đủ và hợp lý những ý nghĩ sáng tạo của mình. Môn học này giúp những người làm công tác thi công có khả năng hiểu biết đúng đắn sự làm việc của công trình, loại trừ được những thiếu sót trong khi xây dựng, quyết định một cách đúng đắn về kích thước các đà giáo, các thiết bị lắp ráp và có khả năng quyết định thay thế cấu kiện này bằng cấu kiện khác tương đương...

2. Sơ đồ tính của công trình

Nói chung, khi xác định nội lực trong công trình, nếu xét đến một cách chính xác và đầy đủ tất cả các yếu tố hình học của các cấu kiện thì bài toán sẽ quá phức tạp. Do đó cũng như các môn khoa học khác, Cơ học kết cấu phải dùng phương pháp trừu tượng khoa học để thay thế công trình thực bằng sơ đồ tính của nó.

Sơ đồ tính của công trình là hình ảnh đơn giản hóa mà vẫn bảo đảm phản ánh được sát với sự làm việc thực của công trình.

Trong sơ đồ tính người ta lược bỏ các yếu tố không cơ bản và chỉ xét đến các yếu tố chủ yếu quyết định khả năng làm việc của công trình. Khi tính toán ta cần tìm cách thay thế công trình thực bằng sơ đồ tính hợp lý gọi là lựa chọn sơ đồ tính.

Lựa chọn sơ đồ tính là công việc khá phức tạp và đa dạng. Khó có thể nêu ra những quy tắc có tính chất tổng quát về vấn đề này. Việc chọn sơ đồ tính chẳng những tùy thuộc vào hình dạng kết cấu và tầm quan trọng của nó, tùy thuộc vào khả năng tính toán, tùy thuộc vào quan hệ tỷ lệ giữa độ cứng của các cấu kiện trong công trình mà còn tùy thuộc vào tải trọng và tính

chất tác dụng của tải trọng. Khi lựa chọn sơ đồ tính chẳng những phải xem xét các giả thiết đơn giản hóa có thể chấp nhận được không, chẳng những phải kiểm tra xem sơ đồ tính có đủ phản ánh sát thực tế về các điều kiện độ bền, độ cứng, ổn định mà còn phải chú ý khảo sát thêm các yêu cầu kinh tế, kỹ thuật khác nữa.

Trong thực tế, để chuyển công trình thực về sơ đồ tính tương ứng, thường cần thực hiện hai bước biến đổi sau:

* **Bước thứ nhất:** Chuyển công trình thực về sơ đồ của công trình. Bước này được thực hiện theo một số nguyên tắc thay thế gần đúng như sau:

- ◆ Thay các thanh bằng đường trung gian gọi là *trục*. Thay các bản hoặc vỏ bằng các *mặt trung gian*.
- ◆ Thay tiết diện bằng các đại lượng đặc trưng như diện tích A , mômen quán tính $I...$ của tiết diện.
- ◆ Thay các thiết bị tựa bằng các liên kết tựa lý tưởng (không ma sát).
- ◆ Đưa các tải trọng tác dụng trên mặt cấu kiện về trục của cấu kiện.

* **Bước thứ hai:** Chuyển sơ đồ của công trình về sơ đồ tính của công trình.

Ở bước này, nếu cần, ta bỏ qua thêm một số yếu tố giữ vai trò thứ yếu trong sự làm việc của công trình nhằm bảo đảm cho sơ đồ tính phù hợp với khả năng tính toán của người thiết kế.

Ví dụ, với công trình dàn van cung trên hình 1a, sau khi thực hiện các phép biến đổi trong bước thứ nhất, ta được sơ đồ của công trình như trên hình 1b. Nếu dùng sơ đồ này để tính toán với quan niệm mắt dãn (giao điểm của các thanh) được xem là nút cứng, nghĩa là xem chuyển vị (sự chuyển dời vị trí khi chịu lực) thẳng và chuyển vị góc của các đầu thanh quy tụ ở mỗi nút như nhau, thì bài toán sẽ rất phức tạp nếu không có sự trợ giúp của máy tính điện tử.

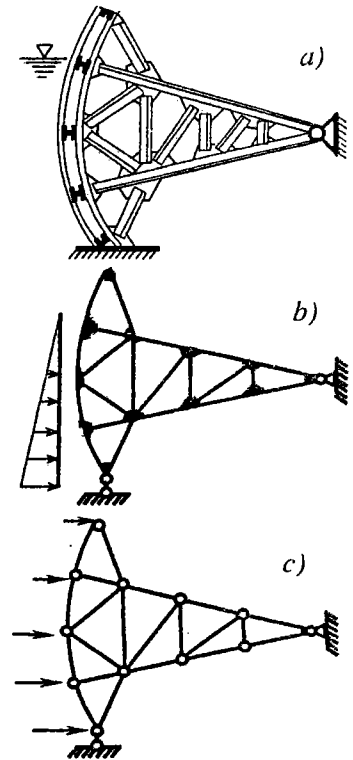
Trong thực tế, để đơn giản hóa cách tính dàn người ta thường quy đổi tải trọng về mắt dãn và giả thiết xem các mắt của dàn như các khớp lý tưởng, nghĩa là quan niệm các thanh quy tụ vào mắt có thể xoay tự do, không ma sát. Sau khi thực hiện cách đơn giản hóa đó, ta được hệ trên hình 1c, là sơ đồ tính của công trình.

Nếu sơ đồ của công trình đã phù hợp với khả năng và yêu cầu tính toán thì có thể chấp nhận làm sơ đồ tính mà không cần đơn giản hóa thêm nữa.

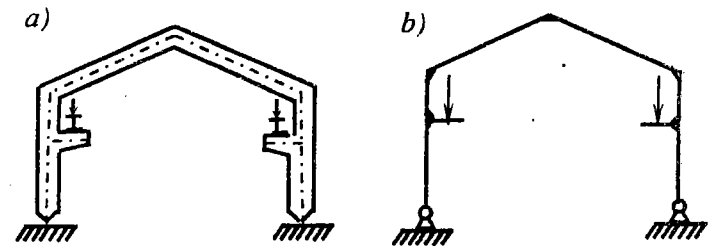
Ví dụ, với hệ khung cho trên hình 2a, sau khi thực hiện phép biến đổi ở bước thứ nhất ta có sơ đồ công trình như trên hình 2b. Sơ đồ này cũng là sơ đồ tính vì đã phù hợp với khả năng tính toán.

Như trên đã nói, cách chọn sơ đồ tính của công trình là một vấn đề phức tạp và quan trọng vì chất lượng kết quả tính toán phụ thuộc rất nhiều vào sơ đồ tính.

Cũng cần nhấn mạnh thêm rằng người thiết kế luôn luôn phải có trách nhiệm tự kiểm tra xem sơ đồ tính đã chọn có phù hợp với thực tế không, có phản ánh chính xác sự làm việc thực tế của công trình không. Nếu việc lựa chọn sơ đồ tính dựa trên nhiều giả thiết đơn giản hóa có thể dẫn đến sai lệch quá lớn so với sự làm việc thực tế của công trình thì người thiết kế phải tiến hành tính toán lại với sơ đồ tính mới đã được chính xác hóa thêm.



Hình 1



Hình 2

Đối với những phép tính sơ bộ, sơ đồ tính có thể đơn giản, thô sơ còn đối với những bước tính toán có tính chất quyết định thì sơ đồ tính phải hoàn thiện, chặt chẽ.

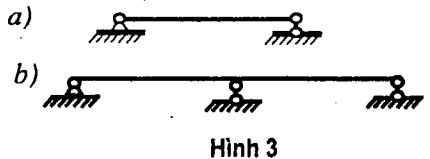
3. Phân loại công trình

Có nhiều cách phân loại công trình. Dưới đây ta sẽ tìm hiểu một vài cách phân loại thường được sử dụng.

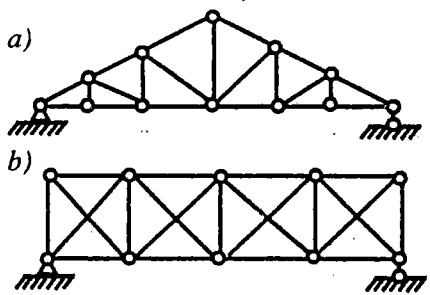
A. Phân loại theo sơ đồ tính

Theo cách này ta chia các công trình thành hai loại: *hệ phẳng* và *hệ không gian*.

1. Hệ phẳng: khi tất cả các cấu kiện của công trình đều nằm trong một mặt phẳng và tải trọng cũng chỉ tác dụng trong mặt phẳng đó.



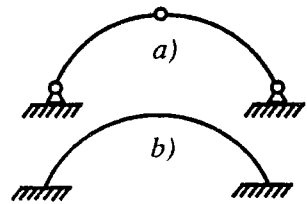
Hình 3



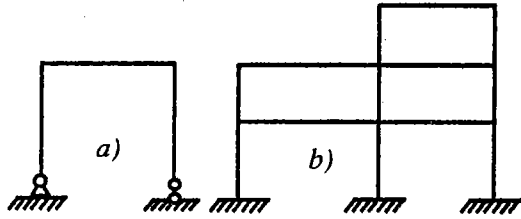
Hình 4

Trong hệ phẳng, dựa theo hình dạng của công trình người ta còn chia thành nhiều dạng kết cấu khác nhau:

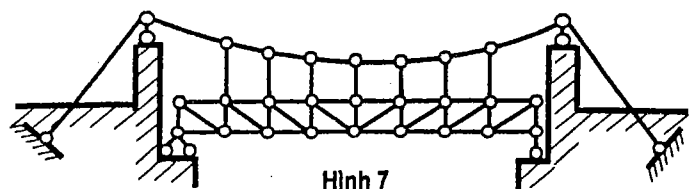
- ◆ dầm (hình 3a, b);
- ◆ dàn (hình 4a, b);
- ◆ vòm (hình 5a, b);
- ◆ khung (hình 6a, b);
- ◆ hệ liên hợp (hệ treo trên hình 7 là hệ liên hợp giữa dàn và dây xích).



Hình 5



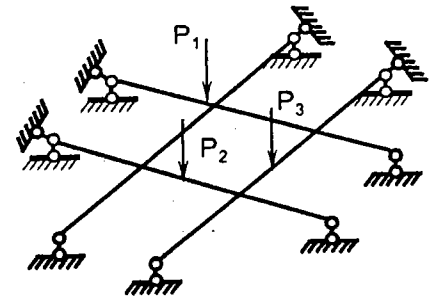
Hình 6



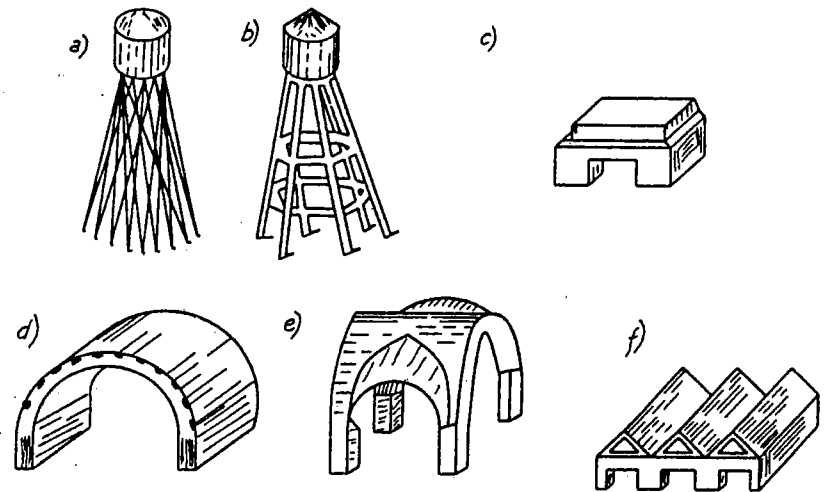
Hình 7

2. Hệ không gian: khi các cấu kiện của công trình không nằm trong cùng một mặt phẳng hoặc nằm trong cùng một mặt phẳng nhưng tải trọng tác dụng ngoài mặt phẳng của công trình. Những hệ không gian thường gặp là:

- ◆ dầm trục giao (hình 8);
- ◆ dàn không gian (phần dưới hình 9a);
- ◆ khung không gian (phần dưới hình 9b);
- ◆ bản (hình 9c);
- ◆ vỏ (hình 9d, e, f).



Hình 8



Hình 9

B. Phân loại theo cách tính công trình

Khi tính toán công trình, nói chung ta phải sử dụng các điều kiện sau:

- * Điều kiện cân bằng tĩnh học.
- * Điều kiện động học hay còn gọi là điều kiện hình học, điều kiện liên tục về biến dạng (biểu thị sự tương quan hình học giữa các điểm trên công trình; chẳng hạn điều kiện biểu thị chuyển vị tại hai tiết diện kề nhau trên công trình là như nhau hoặc khác nhau với một giá trị nào đó).

* Điều kiện vật lý biểu thị sự liên hệ giữa nội lực và biến dạng (sự biến đổi hình dạng) của công trình.

Tùy theo cách vận dụng các điều kiện nói trên trong một khâu tính toán nào đó, ta có thể phân loại công trình theo một trong hai cách sau:

1. Phân loại theo sự cần thiết hoặc không cần thiết phải sử dụng điều kiện động học khi xác định nội lực trong hệ

Theo cách này ta có hai loại hệ:

♦ Hệ tĩnh định là những hệ khi chịu tải trọng ta có thể xác định được nội lực trong hệ chỉ bằng các điều kiện cân bằng tĩnh học.

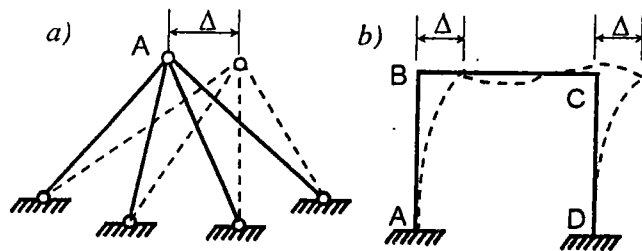
Ví dụ, các hệ trên hình 3a; 4a; 5a và 6a là tĩnh định.

♦ Hệ siêu tĩnh là những hệ khi chịu tải trọng, nếu chỉ sử dụng các điều kiện cân bằng tĩnh học không thôi thì chưa đủ để xác định nội lực trong hệ. Đối với các hệ này ngoài những điều kiện cân bằng tĩnh học ta còn phải sử dụng các điều kiện động học và các điều kiện vật lý.

Những hệ vẽ trên hình 3b; 4b; 5b; 6b và 7 là siêu tĩnh.

2. Phân loại theo sự cần thiết hoặc không cần thiết phải sử dụng điều kiện cân bằng khi xác định biến dạng của hệ

Theo cách này ta có hai loại hệ:



Hình 10

♦ Hệ xác định động là những hệ khi chịu chuyển vị cưỡng bức (sự chuyển dời vị trí cho biết tại một hoặc một số nơi nào đó trên công trình) ta có thể xác định được biến dạng của hệ chỉ bằng các điều kiện động học.

Trên hình 10a là một ví dụ về hệ xác định động. Khi mắt A của hệ chuyển vị ngang cưỡng bức là Δ , từ các điều kiện hình học ta dễ dàng xác định được sự thay đổi chiều dài của từng cấu kiện, tức là xác định được biến dạng của hệ.

♦ Hệ siêu động là những hệ khi chịu chuyển vị cưỡng bức, nếu chỉ dùng các điều kiện động học không thôi thì chưa đủ để xác định biến dạng của hệ. Lúc này ta cần phải bổ sung thêm các điều kiện cân bằng tĩnh học.

Hệ trên hình 10b là hệ siêu động. Thật vậy dưới tác dụng của chuyển vị cưỡng bức Δ , các cấu kiện trong hệ bị uốn cong và không thể xác định ngay được biến dạng trong các cấu kiện theo các điều kiện hình học đơn thuần.

Ngoài ra, người ta còn phân loại công trình theo nhiều cách khác như:

* Phân loại theo khả năng thay đổi hình dạng hình học của công trình (xem chương 1).

* Phân loại theo kích thước hình học tương đối của các cấu kiện. Tùy theo độ lớn của kích thước hình học của các cấu kiện người ta chia thành ba loại:

♦ Thanh (kích thước của cấu kiện có một chiều lớn so với hai chiều còn lại);

♦ Bản (kích thước của cấu kiện có hai chiều lớn so với chiều còn lại);

♦ Khối (kích thước của cấu kiện theo cả ba chiều gần bằng nhau).

4. Các nguyên nhân gây ra nội lực, biến dạng và chuyển vị

Có nhiều nguyên nhân gây ra nội lực, biến dạng và chuyển vị trong công trình. Dưới đây là các nguyên nhân thường gặp và ta sẽ nghiên cứu:

a. Tải trọng

Tải trọng gây ra nội lực, biến dạng và chuyển vị trong công trình và được phân loại như sau:

1. Phân loại theo thời gian tác dụng

♦ Tải trọng lâu dài là những tải trọng tác dụng trong suốt quá trình làm việc của công trình. Ví dụ: trọng lượng bản thân của công trình.

♦ Tải trọng tạm thời là những tải trọng chỉ tác dụng trên công trình trong từng thời gian ngắn so với toàn bộ thời gian làm việc của công trình. Ví dụ: tải trọng gió, tải trọng đoàn người...

2. Phân loại theo vị trí tác dụng

♦ Tải trọng bất động là những tải trọng có vị trí không thay đổi trong

quá trình làm việc của công trình. Ví dụ: trọng lượng bản thân, trọng lượng các thiết bị đặt trên công trình...

- ◆ **Tải trọng di động** là những tải trọng có vị trí thay đổi trên công trình. Ví dụ: tải trọng đoàn xe lửa, ô tô, đoàn người, cầu chạy...

3. Phân loại theo tính chất tác dụng

- ◆ **Tải trọng tác dụng tĩnh** là những tải trọng tác dụng một cách nhịp nhàng, từ từ, tăng dần lên tới giá trị cuối cùng của nó, trong quá trình tác dụng không gây ra lực quán tính.
- ◆ **Tải trọng tác dụng động** là những tải trọng khi tác dụng trên công trình có gây ra lực quán tính. Ví dụ: tải trọng tác dụng đột ngột cùng một lúc với toàn bộ giá trị của nó, tải trọng va chạm (trọng lượng búa trên cọc), tải trọng có giá trị thay đổi theo thời gian một cách tuần hoàn (động cơ điện có khối lượng lệch tâm quay trong khi làm việc), lực địa chấn (động đất)...

Ngoài ra, người ta còn phân loại theo hình thức của tải trọng như tải trọng tập trung, tải trọng phân bố (xem Sức bền vật liệu).

B. Sự thay đổi nhiệt độ

Sự thay đổi nhiệt độ gây ra biến dạng và chuyển vị trong tất cả các hệ, gây ra nội lực trong hệ siêu tĩnh nhưng không gây ra nội lực trong hệ tĩnh định (xem chi tiết trong các chương 4 và 5).

C. Sự chuyển vị cưỡng bức của các liên kết, sự chế tạo các cấu kiện không chính xác về kích thước hình học

Cũng như trường hợp thay đổi nhiệt độ, các nguyên nhân này gây ra biến dạng và chuyển vị trong tất cả các loại hệ; gây ra nội lực trong hệ siêu tĩnh nhưng không gây ra nội lực trong hệ tĩnh định (xem chi tiết trong các chương 4 và 5).

5. Các giả thiết - Nguyên lý cộng tác dụng

Để đơn giản hóa tính toán mà vẫn bảo đảm phản ánh được sát với sự làm việc thực tế của công trình, trong Cơ học kết cấu thường thừa nhận một số giả thiết cơ bản.

1. **Giả thiết vật liệu đàn hồi tuyệt đối và tuân theo định luật Hooke** nghĩa là giữa biến dạng và nội lực có sự liên hệ tuyến tính (xem Sức bền vật liệu).

Giả thiết này biểu thị điều kiện vật lý của bài toán.

Nếu chấp nhận giả thiết này thì bài toán được gọi là *đàn hồi tuyến tính*. Trong những trường hợp không cho phép chấp nhận giả thiết này thì bài toán được gọi là *đàn hồi phi tuyến hay phi tuyến vật lý*.

2. **Giả thiết biến dạng và chuyển vị trong hệ rất nhỏ**, nghĩa là dưới tác dụng của các nguyên nhân bên ngoài, hình dạng của công trình thay đổi rất ít, cho phép ta có thể sử dụng các liên hệ gần đúng giữa các đại lượng hình học. Chẳng hạn, nếu gọi θ là góc xoay của một tiết diện nào đó trên công trình trong quá trình biến dạng thì theo giả thiết này ta có thể viết: $\sin\theta \approx 0$; $\tan\theta \approx 0$; $\cos\theta \approx 1$.

Do đó, khi xác định nội lực ta có thể thực hiện theo *sơ đồ không biến dạng* của công trình. Nghĩa là mặc dù dưới tác dụng của tải trọng, công trình có thay đổi hình dạng nhưng khi tính nội lực ta vẫn dùng các kích thước hình học tương ứng với hình dạng ban đầu của công trình.

Đối với những trường hợp như bài toán uốn ngang đồng thời với uốn dọc trong Sức bền vật liệu chẳng hạn, nếu dùng giả thiết này thì có thể mắc phải những sai số thuộc về bản chất, do đó phải xác định nội lực theo trạng thái biến dạng.

Nếu chấp nhận giả thiết này thì bài toán được gọi là *tuyến tính hình học*. Khi không chấp nhận được giả thiết này thì bài toán được gọi là *phi tuyến hình học* và cách tính sẽ khá phức tạp vì cần được thực hiện theo *sơ đồ biến dạng* của công trình.

Nếu công trình nghiên cứu đáp ứng được các giả thiết 1 và 2 thì khi tính công trình đó ta được phép áp dụng một nguyên lý gọi là *nguyên lý cộng tác dụng*.

Nội dung nguyên lý cộng tác dụng:

Một đại lượng nghiên cứu nào đó (chẳng hạn phản lực, nội lực, chuyển vị...) do một số nguyên nhân (ngoại lực, sự thay đổi nhiệt độ...) đồng thời cùng tác dụng trên công trình gây ra được xem như tổng đại số hay tổng hình học những giá trị thành phần của đại lượng đó do từng nguyên nhân tác dụng riêng rẽ gây ra.

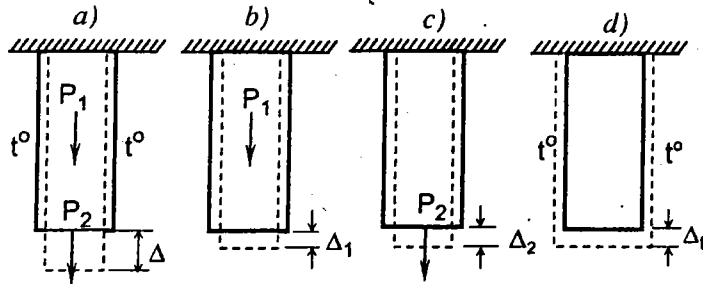
Lấy tổng đại số nếu đại lượng nghiên cứu là vô hướng còn lấy tổng vectơ nếu đại lượng nghiên cứu được biểu thị bằng các vectơ.

Ví dụ, cần xác định độ dãn của thanh chịu lực P_1, P_2 và sự thay đổi nhiệt độ (hình 11a). Nếu gọi Δl là độ dãn của thanh do riêng lực P_1 gây ra

(hình 11b), Δ_2 là độ dãn của thanh do riêng lực P_2 gây ra (hình 11c) và Δ_1 là độ dãn của thanh do riêng sự thay đổi nhiệt độ gây ra (hình 11d); theo nguyên lý cộng tác dụng ta có thể viết:

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_1.$$

Hình 11



Biểu hiện về mặt giải tích của nguyên lý cộng tác dụng như sau:

$$S = S_1 + S_2 + \dots + S_k + \dots + S_n + S_t \quad (1)$$

hay

$$S = \bar{S}_1 P_1 + \bar{S}_2 P_2 + \dots + \bar{S}_k P_k + \dots + \bar{S}_n P_n + S_t, \quad (2)$$

trong đó:

S - đại lượng nghiên cứu do các lực $P_1, P_2, \dots, P_k, \dots, P_n$ và sự thay đổi nhiệt độ hoặc các nguyên nhân khác đồng thời gây ra;

S_k - đại lượng nghiên cứu do riêng lực P_k gây ra;

\bar{S}_k - đại lượng nghiên cứu do riêng lực P_k có giá trị bằng đơn vị của lực gây ra,

$$S_k = \bar{S}_k P_k; \quad (3)$$

S_t - đại lượng nghiên cứu do riêng sự thay đổi nhiệt độ gây ra.

Từ biểu thức (2) ta thấy nguyên lý cộng tác dụng biểu thị sự liên hệ tuyến tính giữa đại lượng nghiên cứu S với tải trọng.

Nguyên lý cộng tác dụng hay còn gọi là *nguyên lý độc lập tác dụng của các tác động bên ngoài*, giữ một vai trò quan trọng trong Cơ học kết cấu. Với nguyên lý này ta có thể xây dựng được các thuật toán đơn giản nhưng vẫn thỏa mãn được yêu cầu chính xác trong thực tế. Cũng cần nhấn mạnh thêm là nguyên lý cộng tác dụng chỉ áp dụng được cho những bài toán tuyến tính về vật lý cũng như về hình học.

CÂU HỎI ÔN TẬP

1. Đối chiếu nhiệm vụ và đối tượng nghiên cứu của các môn học: Cơ học lý thuyết, Sức bền vật liệu và Cơ học kết cấu.
2. Ý nghĩa của sơ đồ tính công trình. Để chuyển công trình thực về sơ đồ tính, cần thực hiện như thế nào?
3. Phân biệt các loại hệ sau: hệ tĩnh định, hệ siêu tĩnh, hệ xác định động, hệ siêu động.
4. Phân biệt các loại tải trọng sau: tải trọng bất động, tải trọng di động, tải trọng tác dụng tĩnh và tải trọng tác dụng động.
5. Phát biểu nội dung nguyên lý cộng tác dụng và giải thích các điều kiện áp dụng.