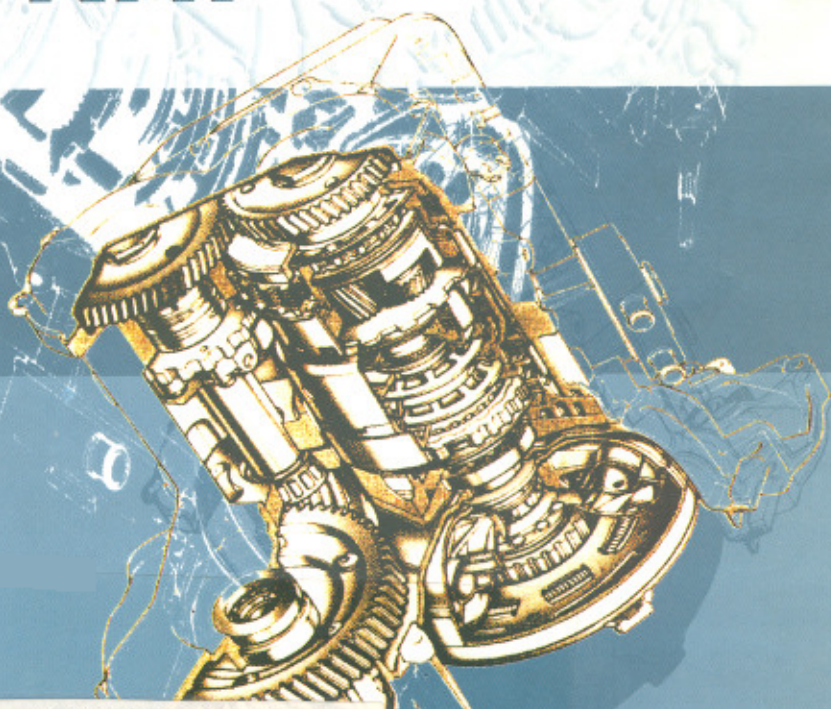


PGS, TS. TRỊNH CHẤT  
TS. TRỊNH ĐỒNG TÍNH

# TỰ ĐỘNG HÓA THIẾT KẾ CƠ KHÍ



Vt 961/2005



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

**PGS.TS. TRỊNH CHẤT – TS. TRỊNH ĐỒNG TÍNH**

# **TỰ ĐỘNG HOÁ THIẾT KẾ CƠ KHÍ**

*(In lần thứ nhất)*

**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT  
HÀ NỘI 2005**

## LỜI NÓI ĐẦU

*Thông qua công cụ tin học, “Tự động hoá thiết kế cơ khí” nhằm củng cố và hoàn thiện các kiến thức về kết cấu cơ khí, nâng cao kỹ năng lập trình thiết kế tối ưu các chi tiết máy và bộ phận máy có công dụng chung và bồi dưỡng khả năng tiến hành thiết kế tự động các bản vẽ kỹ thuật.*

*Thuật ngữ và ký hiệu trong cuốn sách dựa theo tiêu chuẩn nhà nước và phù hợp với thuật ngữ và ký hiệu quốc tế.*

*Sách dùng làm giáo trình cho sinh viên ngành cơ - tin học kỹ thuật, làm tài liệu thiết kế cho sinh viên các ngành cơ khí của các trường đại học kỹ thuật và cao đẳng, làm tài liệu tham khảo cho các kỹ sư làm việc trong lĩnh vực thiết kế máy cũng như cho học viên cao học ngành cơ học máy. Sách còn được dùng làm tài liệu học tập cho thí sinh tham gia các kỳ thi olympic quốc gia về tin học chi tiết máy.*

*Các tác giả tỏ lòng biết ơn Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội đã động viên và tạo điều kiện thuận lợi để tài liệu này sớm được hoàn thành và ra mắt bạn đọc. Chúng tôi chân thành cảm ơn đồng nghiệp và bạn đọc về những ý kiến đóng góp quý báu gửi về địa chỉ: Bộ môn Cơ sở Thiết kế máy và Rôbốt, khoa Cơ khí, trường Đại học Bách khoa Hà nội.*

**Các tác giả**

## Chương 1

# NHỮNG VẤN ĐỀ CƠ BẢN VỀ THIẾT KẾ TỰ ĐỘNG

## 1.1. MỤC TIÊU VÀ NỘI DUNG THIẾT KẾ TỰ ĐỘNG

Trong quá trình nghiên cứu về “Cơ khí đại cương”, “Chế tạo phôi”, “Vẽ kỹ thuật”, “Dung sai”, “Nguyên lý máy”, “Chi tiết máy”, “Công nghệ chế tạo máy”, “Máy cắt kim loại”, “Kỹ thuật điện” và đặc biệt là “Đồ án môn học Chi tiết máy”, các kiến thức về kết cấu cơ khí đã được hình thành và phát triển trong sinh viên. Thông qua các môn học này, người kỹ sư tương lai đã được bồi dưỡng khả năng phân tích, đánh giá các kết cấu cơ khí và thiết kế được những chi tiết máy, bộ phận máy, các cụm kết cấu và các thiết bị có kết cấu hợp lý, đáp ứng các yêu cầu kinh tế kỹ thuật. Các kết quả bước đầu này được tiếp tục bổ sung và phát triển thêm trong quá trình giải quyết các vấn đề liên quan đến thiết kế máy trong thực tế.

Đương nhiên với cùng một nội dung thiết kế luôn có nhiều giải pháp thực hiện và người thiết kế thường phải đề ra một số phương án tính toán, trên cơ sở đó tiến hành đánh giá, so sánh chúng với nhau nhằm xác định phương án có lợi nhất, đáp ứng tốt nhất các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật. Song do nhiều hạn chế về thời gian, về phương tiện và công cụ thực hiện, nội dung này trước đây chỉ được hoàn thành với một mức độ rất khiêm tốn. Ngày nay cùng với sự phát triển của khoa học kỹ thuật, đặc biệt là của công nghệ thông tin, những điều kiện thuận lợi để tiến hành lựa chọn tối ưu các thông số và kích thước cơ bản của chi tiết máy và tiến hành thiết kế tự động máy và kết cấu cơ khí nói chung đã được hình thành và phát triển rất nhanh, góp phần thúc đẩy sự phát triển mạnh mẽ lĩnh vực thiết kế cơ khí và toàn ngành cơ khí nói chung.

Tài liệu “Tự động hoá thiết kế cơ khí” được biên soạn nhằm đáp ứng các mục tiêu chính sau đây:

1) Củng cố, bổ sung và phát triển các kiến thức về kết cấu chi tiết máy, bộ phận máy có công dụng chung cũng như các kết cấu cơ khí khác thông qua công cụ tin học và các thành tựu mới về nghiên cứu thiết kế, chế tạo cơ khí.

2) Bồi dưỡng và nâng cao một bước kỹ năng lập trình đã được hình

thành và phát triển trong quá trình nghiên cứu về tin học đại cương và tin học chuyên ngành, nhờ đi sâu giải quyết các vấn đề về thiết kế tối ưu trong lĩnh vực tính toán thiết kế tự động các chi tiết máy, bộ phận máy và hệ dẫn động cơ khí.

3) Nâng cao chất lượng và hiệu quả thiết kế và rút ngắn thời gian thực hiện bản vẽ nhờ nắm vững và sử dụng thành thạo phần mềm AutoCAD để lập trình thiết kế tự động các bản vẽ cơ khí, bao gồm các bản vẽ chế tạo chi tiết, bản vẽ lắp các bộ phận máy và bản vẽ chung của toàn hệ thống cũng như thể hiện các kết cấu cơ khí khác.

Rõ ràng rằng các mục tiêu trên đây chỉ có thể được hoàn thành trên cơ sở:

a) Tìm hiểu, củng cố và trang bị thêm các kiến thức cơ bản về kết cấu và công nghệ cơ khí, nhờ đó có thể đề ra nhiều giải pháp và phương án khác nhau trong thiết kế và cuối cùng có thể lựa chọn một cách có căn cứ phương án tốt nhất để dùng.

b) Nắm vững và vận dụng có kết quả những ngôn ngữ lập trình sẽ được sử dụng ( Pascal , C<sup>++</sup>, Visual Basic, v.v...) để thực hiện các nội dung tính toán thiết kế tự động và lựa chọn tối ưu các thông số và kích thước cơ bản của chi tiết máy, bộ phận máy và hệ dẫn động cơ khí.

c) Nắm vững các lệnh vẽ đơn giản, tìm hiểu và nghiên cứu kỹ các lệnh vẽ nhanh và các lệnh hiệu chỉnh của AutoCAD cũng như ngôn ngữ AutoLISP để lập trình thiết kế tự động các bản vẽ kỹ thuật.

Để thực hiện các mục tiêu nêu trên, thiết kế tự động cơ khí bao gồm các nội dung chính sau đây:

1) Xây dựng cơ sở dữ liệu trong thiết kế cơ khí: dữ liệu thiết kế cơ khí bao gồm toàn bộ số liệu cần thiết cho tính toán thiết kế, từ bảng tra các hệ số tính toán, các thông số và kích thước tiêu chuẩn của chi tiết máy, bộ phận máy, bảng tra cơ tính của vật liệu chế tạo máy hoặc các giá trị cho phép của công suất, áp suất, v.v... (dùng làm căn cứ để tính toán chi tiết máy), bảng tra dung sai lắp ghép, nhám bề mặt, v.v... đến dữ liệu đầu vào, kết quả chuyển tiếp và số liệu đầu ra. Tất cả các dữ liệu này cần được tổ chức, sắp xếp một cách khoa học, phục vụ các bài toán thiết kế chi tiết máy và bộ phận máy cụ thể, đảm bảo độ chính xác của các số liệu được sử dụng cũng như khả năng lựa chọn tối ưu các thông số và kích thước, đồng thời góp phần tăng tốc độ tính toán.

2) Lập trình tính toán thiết kế các chi tiết máy, bộ phận máy có công dụng chung cũng như các cụm kết cấu cơ khí điển hình. Cơ sở thiết kế ở đây chính là các chỉ tiêu chủ yếu về khả năng làm việc của chi tiết máy và

bộ phận máy cũng như các quan hệ động học, quan hệ kết cấu và khả năng công nghệ của từng đối tượng được thiết kế cụ thể. Tất cả các nội dung này đã được trình bày trong các tài liệu [1,2,3,4] cũng như trong sổ tay thiết kế cơ khí. Mục tiêu cần đạt được của các phần mềm này là:

- *Tính chính xác* của chương trình, thể hiện ở việc lựa chọn đúng chỉ tiêu chủ yếu về khả năng làm việc của chi tiết máy và bộ phận máy dùng làm cơ sở tính toán, sử dụng đúng các công thức tính toán độ bền và các quan hệ động học cũng như các bảng tra ứng với các điều kiện tra bảng cụ thể.

- *Tính tổng quát* của chương trình, tức là khả năng sử dụng phần mềm đã được soạn thảo để thiết kế các chi tiết máy và bộ phận máy ứng với một phạm vi đủ rộng của các dữ liệu đầu vào cũng như của cơ tính vật liệu được sử dụng để thiết kế.

- *Tính hiệu quả* của chương trình, thể hiện ở chỗ trong phần mềm có nhiều giải pháp thiết kế, nhờ đó có thể lựa chọn được phương án tối ưu để dùng, liên kết được các phần tính toán với phần thiết kế bản vẽ, nhờ đó có thể đưa ra được những thay đổi và hiệu chỉnh cần thiết trước khi quyết định lần cuối về kết cấu. Tính hiệu quả còn thể hiện ở tốc độ tính toán nhanh nhằm tiết kiệm tối đa thời gian thiết kế cũng như khả năng kiểm tra các kết quả tính toán khi cần thiết.

3) Lập trình thiết kế tự động các bản vẽ kỹ thuật theo đúng các yêu cầu đặt ra cho các tài liệu thiết kế. Ở đây người thiết kế không đối thoại trực tiếp với máy tính để thực hiện các lệnh vẽ thông dụng, lệnh vẽ nhanh cũng như các lệnh hiệu chỉnh của AutoCAD mà tiến hành xây dựng các tập tin đáp bản (Script File) hoặc tập tin AutoLISP để máy tính tự động thực hiện các bản vẽ kỹ thuật theo đúng các quy định về biểu diễn bản vẽ (TCVN 3826-83) và về khổ giấy (TCVN 2-74). Bản vẽ được hoàn thành theo một trình tự hợp lý nhằm biểu diễn rõ ràng và chính xác các kết cấu phức tạp, phân biệt rõ ràng về đường nét, mặt cắt, phân biệt về độ lớn và nét của chữ số ghi kích thước liên kết, kích thước khuôn khổ, kích thước lắp ghép hoặc dung sai.

Phần mềm thiết kế bản vẽ có thể thực hiện dưới dạng một *Unit* thể hiện nhiều kết cấu khác nhau (bản vẽ chế tạo) thuộc chương trình tính toán thiết kế một chi tiết máy có công dụng chung, cũng có thể là một phần mềm riêng (bản vẽ lắp, bản vẽ chung) gắn với chương trình tính toán thiết kế một hệ dẫn động gồm nhiều chi tiết máy và bộ phận máy khác nhau. Khi máy tính thực hiện những phần mềm này, các bản vẽ được thể hiện trong không gian 2D.

Trong tài liệu này cũng giành một phần quan trọng để trình bày cách sử dụng ngôn ngữ AutoLISP, một ngôn ngữ lập trình được thực thi thuận lợi trong môi trường AutoCAD và đặc biệt thích hợp cho quá trình biểu diễn đồ họa, để lập trình thiết kế tự động các bản vẽ kết cấu cơ khí.

Để trình bày các ý tưởng, hướng dẫn thực hiện các nội dung tính toán thiết kế các chi tiết máy và hệ dẫn động cơ khí và cho các thí dụ cụ thể, tài liệu “Tự động hoá thiết kế cơ khí” sử dụng ngôn ngữ PASCAL, một phần mềm có cấu trúc rõ ràng, dễ sử dụng, thuận tiện trong việc kết nối phần tính toán thiết kế nhằm xác định các thông số và kích thước cơ bản của chi tiết máy và bộ phận máy với phần vẽ tự động được thực hiện trong môi trường AutoCAD. Nói cách khác, bằng cách kết hợp *tập tin văn bản* ghi kết quả tính toán thiết kế với *tập tin đáp bản* ghi các lệnh vẽ, có thể dùng ngôn ngữ PASCAL để lập trình vẽ tự động các bản vẽ phức tạp có dung lượng lớn bằng cách phân một chương trình lớn thành nhiều chương trình con rồi chuyển chúng thành các *Unit Overlay* và chỉ gọi đến khi cần thiết. Mặt khác, sử dụng cùng một ngôn ngữ lập trình để thực hiện cả phần tính và phần vẽ rõ ràng là rất thuận tiện trong việc phát hiện kịp thời các sai sót trên bản vẽ, từ đó có thể thay đổi hiệu chỉnh nhanh chóng làm cho sản phẩm có kết cấu hợp lý hơn.

Đương nhiên, dựa theo các ý tưởng cũng như các vấn đề về phương pháp và thuật giải được trình bày đối với PASCAL, bạn đọc cũng có thể sử dụng các ngôn ngữ khác để lập trình tính toán thiết kế chi tiết máy và bộ phận máy có công dụng chung cũng như vẽ tự động các bản vẽ cơ khí. Vấn đề quan trọng ở đây là bạn cần nắm vững và vận dụng có kết quả các ngôn ngữ này phục vụ các nội dung chính và các mục tiêu đề ra khi tiến hành tự động hoá thiết kế cơ khí.

Ngoài các gợi ý, hướng dẫn về phương pháp và những vấn đề cần lưu ý khi lập trình tính toán thiết kế và vẽ tự động các bản vẽ kỹ thuật, để thuận tiện cho người sử dụng, trong tài liệu này còn cung cấp các công thức dùng để tính toán động học và xác định các thông số và kích thước chi tiết máy, các công thức thiết kế và kiểm nghiệm khả năng tải của chi tiết máy. Các bảng tra cần cho thiết kế và vẽ tự động được lấy từ tài liệu [2].

Một vấn đề khác về phương pháp không kém phần quan trọng nhằm hoàn thành đúng hạn và có chất lượng nội dung tự động hoá thiết kế cơ khí, đó là việc rèn luyện tác phong làm việc chính xác, khoa học, thường xuyên kiểm tra để phát hiện các lỗi và sửa chữa kịp thời, hoàn thành dứt điểm từng phần công việc, đồng thời luôn chú ý rút ra những nhận xét cần thiết, góp phần hoàn thiện các phần mềm đã được phác thảo lúc đầu.

## 1.2. PHƯƠNG PHÁP LẬP TRÌNH THIẾT KẾ CƠ KHÍ

Các thiết bị cơ khí và các dây chuyền công nghệ thường bao gồm nhiều chi tiết máy và bộ phận máy có công dụng chung, nhiều chi tiết tiêu chuẩn và những cụm kết cấu điển hình. Vì các chi tiết máy và bộ phận máy có công dụng chung được sử dụng ở rất nhiều thiết bị cơ khí cho nên vấn đề xây dựng phần mềm tính toán thiết kế chi tiết máy, bộ phận máy và hệ dẫn động cơ khí chiếm một phần rất quan trọng trong lập trình thiết kế cơ khí. Khi soạn thảo các phần mềm này, một mặt phải xuất phát từ các chỉ tiêu chủ yếu về khả năng làm việc của chi tiết máy để thiết lập các môđun tính toán cơ bản, mặt khác phải biết vận dụng những ưu điểm của các ngôn ngữ lập trình bậc cao để đề ra những giải thuật hợp lý nhằm thực thi có hiệu quả các ý tưởng trong thiết kế, xây dựng được những chương trình có cấu trúc rõ ràng, dễ sử dụng, đáp ứng được các yêu cầu về tối ưu hóa và tự động hoá trong thiết kế cơ khí.

Dưới đây gợi ý một số vấn đề về phương pháp lập trình tính toán thiết kế chi tiết máy và bộ phận máy có công dụng chung.

### 1.2.1. Viết lưu đồ thuật giải

Trước khi viết chương trình, nhất là các chương trình phức tạp bao gồm nhiều chương trình con, các thủ tục và hàm, cần xây dựng các lưu đồ thuật giải thể hiện các bước và nội dung tính toán, các yêu cầu cần đạt được về độ chính xác, về sự hợp lý của các thông số được lựa chọn, v.v... Khi trình bày lưu đồ thuật giải cần lưu ý những điểm sau:

a) Sử dụng theo quy ước các hình phẳng (elip, hình thang, hình chữ nhật, hình thoi, v.v...), bên trong đặt nội dung hoặc yêu cầu tính toán cùng số thứ tự công thức, đồng thời sử dụng các sơ đồ và ký hiệu quy ước để biểu diễn quá trình tính toán từ lúc bắt đầu cho tới khi kết thúc (xem thí dụ về lưu đồ thuật giải thiết kế truyền động bánh răng côn trong chương 2, hình 2.3).

b) Sử dụng các biến điều khiển  $i, j, k, \dots$  kèm theo dấu và các hệ số với giá trị thích hợp để thực hiện các vòng lặp nhằm tăng hoặc giảm giá trị của các thông số thiết kế, nhờ đó đảm bảo được yêu cầu tối ưu trong tính toán hoặc lựa chọn các thông số.

c) Sắp xếp và bố trí các hình phẳng, các đường dẫn và mũi tên trên lưu đồ một cách khoa học, tương ứng với các bước tính toán thiết kế, tránh chồng chéo; kích thước (chiều dài và chiều rộng) các hình nên cố gắng chọn như nhau. Khi sử dụng hình thoi để thể hiện lệnh điều kiện (*If... then... else...* ) hoặc lệnh lựa chọn (*Case... of...* ) nhất thiết phải có



hai đường dẫn, một đường với ký hiệu Đ (đúng) đáp ứng điều kiện đặt ra dẫn đến bước tính tiếp theo, đường kia với ký hiệu S (sai) cần được xử lý trước khi thực hiện vòng lặp để thực hiện lại đoạn chương trình vừa qua.

d) Với các chương trình tính toán phức tạp, không thể biểu diễn trên một trang giấy có thể tách ra một số chương trình con để viết lưu đồ thuật giải riêng rồi gộp vào lưu đồ chung, khi đó trên các hình chữ nhật thể hiện các chương trình con hoặc một loạt các phương trình tính toán cần kẻ thêm hai gạch đứng (xem lưu đồ thuật giải chọn số răng - hình 2.4, 2.5 và lưu đồ thuật giải thiết kế truyền động bánh răng hành tinh trên hình 2.6).

Như vậy nhờ có lưu đồ thuật giải, các chương trình phần mềm sẽ có cấu trúc rõ ràng, tính toán được thực hiện một cách tuần tự, dễ phát hiện và sửa lỗi, khắc phục được các sai sót khi lập trình, đảm bảo được các yêu cầu đặt ra cho bài toán thiết kế.

### 1.2.2. Phép lặp và đặc điểm thiết kế chi tiết máy theo hai bước

Do điều kiện làm việc của chi tiết máy rất phức tạp, kết cấu chi tiết máy rất đa dạng nên thiết kế chi tiết máy thường được tiến hành theo hai bước: tính thiết kế và tính kiểm nghiệm. Ở đây các thông số và kích thước chi tiết máy được xác định sơ bộ trong bước tính thiết kế, sẽ được xử lý và thay đổi cho đến khi kiểm nghiệm đạt yêu cầu. Muốn vậy khi lập trình cần:

1. Sử dụng vòng lặp lồng nhau với các biến  $i, j, k, \dots$  có kèm dấu với yêu cầu sau một số vòng lặp nhất định tìm được các giá trị thích hợp nhất của các thông số và kích thước cần xác định.

2. Kết hợp vòng lặp với lệnh lựa chọn *Case* để tìm phương án thoả đáng trong trường hợp không đảm bảo chỉ tiêu tính toán. Chẳng hạn, khi thiết kế bộ truyền trục vít, với vật liệu đã chọn và ứng suất tiếp xúc đã được xác định, sau khi tính được khoảng cách trục  $a_w$  mà kiểm nghiệm không đảm bảo độ bền tiếp xúc, tức là tính ra  $\sigma_H > [\sigma_H]$  thì có thể thay đổi các thông số theo một trong các phương án sau đây:

- Thay đổi môđun (do đó  $a_w$  sẽ thay đổi theo).
- Thay đổi hệ số đường kính  $q$  (do đó  $a_w$  sẽ thay đổi theo).
- Thay đổi khoảng cách trục  $a_w$  (do đó  $m$  và  $q$  sẽ thay đổi theo).
- Thay đổi số răng bánh vít  $z_2$ .

Tất cả các giải pháp xử lý đều làm thay đổi các thông số ăn khớp. Giải pháp được chọn sẽ là phương án vừa đảm bảo độ bền tiếp xúc, vừa có kích thước gọn, có kết cấu hợp lý và ít làm thay đổi tỉ số truyền của bộ truyền trục vít.

3. Tạo ra các đoạn chương trình phù hợp để lựa chọn tối ưu các thông số thiết kế với yêu cầu vi phạm ít nhất các dữ liệu tính toán. Chẳng hạn khi thiết kế bộ truyền trục vít, sau khi xác định được khoảng cách trục  $a_w$ , môđun  $m$ , hệ số đường kính  $q$  và số răng bánh vít  $z_2$ , nếu tính ra hệ số dịch chỉnh không đảm bảo điều kiện  $-0,7 \leq x \leq 0,7$  thì cần thay đổi  $z_2$  từ 1 đến 2 răng sao cho sai lệch tỉ số truyền ít nhất. Có nhiều đáp án nhưng đáp án có tỉ số truyền thay đổi ít nhất phải được chọn trước (xem chương 2, mục 2.3.3).

4. Dựa theo các giải pháp thiết kế hoặc các cách phối hợp khác nhau khi lựa chọn vật liệu và các quan hệ kết cấu, tiến hành tính toán thiết kế chi tiết máy theo một số phương án xác định, cuối cùng cần tổng hợp và viết ra màn hình giá trị của các thông số và kích thước cơ bản của chi tiết máy tương ứng với các phương án thiết kế khác nhau, từ đó có thể tiến hành so sánh, cân nhắc và chọn được phương án ưu việt nhất để dùng.

### 1.2.3. Xác định chiều của tải trọng

Khi tính toán thiết kế máy hoặc chi tiết máy cần xác định phương, chiều và cường độ của tải trọng (lực hoặc mômen) tác dụng lên chi tiết máy (trục, ổ lăn, v.v...) hoặc bộ phận máy. Trị số và chiều của tải trọng được xác định theo đặc điểm liên kết và điều kiện làm việc cụ thể của từng chi tiết máy. Khi lập trình tính toán tải trọng, trị số của lực hoặc mômen dễ dàng được xác định theo các công thức tương ứng, nhưng chiều của tải trọng chỉ có thể được xác định trong hệ tọa độ Oxyz theo những quy ước thống nhất về dấu, phụ thuộc vào các yếu tố ảnh hưởng. Nói cách khác, để xác định chiều của một tải trọng bất kỳ, trước hết hãy tìm ra các yếu tố ảnh hưởng, định nghĩa các yếu tố này là những biến nguyên, có giá trị bằng 1 và quy ước dấu (+ hoặc -) cho chúng rồi đưa vào phương trình tính toán tải trọng đó.

Chẳng hạn, lực dọc trục từ các bộ truyền tác dụng lên trục phụ thuộc vào chiều quay (cq), hướng răng (hr) và chi tiết quay (bánh răng, bánh vít, trục vít) là chủ động hay bị động (cb). Do đó khi xác định chiều của các lực này tác dụng lên trục, cần nhân thêm vào công thức tính lực các biến cq, hr và cb kèm theo dấu [xem các công thức tính lực từ các chi tiết quay tác dụng lên trục ở chương 3, từ công thức (3.1) đến (3.9)]. Bằng phương pháp tương tự cũng sẽ xác định chiều của tổng lực dọc trục tác dụng lên các gối đỡ của ổ lăn đỡ - chặn và do đó xác định được lực dọc trục tác dụng lên mỗi ổ.

### 1.2.4. Tạo các phương pháp tra bảng cho chương trình

Khi tính toán thiết kế chi tiết máy hoặc bộ phận máy thường phải sử dụng rất nhiều bảng số được lập ra từ các kết quả nghiên cứu về lý thuyết