



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

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

(11)



1-0042172

(51)⁷ G06F 17/00; G09B 9/08; G01M 9/00

(13) B

(21) 1-2019-03459

(22) 28/06/2019

(45) 25/12/2024 441

(43) 25/10/2019 379A

(73) Tập đoàn Công nghiệp - Viễn thông Quân đội (VN)

Số 1 đường Trần Hữu Dực, phường Mỹ Đình 2, quận Nam Từ Liêm, thành phố Hà Nội

(72) Trần Quang Đức (VN); Phạm Ngọc Khánh (VN); Trần Tuấn Anh (VN).

(74) Công ty TNHH Tư vấn Quốc Dân (NACILAW)

(54) PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN KHÍ ĐỘNG CÁC HỆ SỐ ĐẠO HÀM ỔN ĐỊNH ĐỘNG CHO VẬT THỂ BAY

(57) Sáng chế đề xuất phương pháp tính toán khí động các hệ số đạo hàm ổn định động cho vật thể bay bao gồm các bước: bước 1: mô phỏng tính toán các tham số khí động tĩnh cho vật thể bay; bước 2: mô phỏng dao động điều hòa cưỡng bức, cụ thể: tạo quỹ đạo dao động điều hòa theo các kênh và lần lượt xác định được đạo hàm tổng theo kênh chúc góc, kênh lệch và kênh hướng cho tối thiểu 3 tần số góc khác nhau; bước 3: tính toán các đạo hàm ổn định động theo từng kênh, cụ thể: xây dựng mô hình toán mô tả vật lý dao động điều hòa cưỡng bức theo các kênh, xây dựng chương trình tối ưu nghiệm của hàm sai lệch và tính toán các tham số đạo hàm ổn định động.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến phương pháp tính toán khí động các hệ số đạo hàm ổn định động cho vật thể bay tốc độ cao (cận âm và siêu âm) được ứng dụng trong lĩnh vực hàng không.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Với nhu cầu ngày càng cao cả về dân dụng và quân sự trong lĩnh vực hàng không vũ trụ ngày càng phát triển. Nhiều loại phương tiện bay được ra đời, bao gồm cả vận tốc cận âm và siêu âm. Các tính năng kỹ thuật của vật thể bay ngày càng đòi hỏi khắt khe, một trong những đòi hỏi đó là đáp ứng các yêu cầu về đường bay cơ động phức tạp của vật thể bay.

Để đáp ứng được tính năng này đòi hỏi phải xây dựng được chính xác mô hình tính toán của vật thể bay trong quá trình thiết kế thiết bị bay và các hệ thống trên khoang đi kèm.

Hệ số đạo hàm ổn định thể hiện khả năng ổn định và mức độ phản ứng của vật thể bay đối với các nhiễu động khí động tác động trong quá trình hoạt động. Hệ số đạo hàm ổn định động có vai trò quan trọng trong điều khiển vật thể bay hoạt động chính xác, hiệu quả.

Trước đây, các hệ số đạo hàm ổn định động đặc biệt đòi hỏi cần được tính toán sử dụng hầm gió (buồng thổi khí động) với các cảm biến có độ chính xác cao, kéo theo chi phí cho quá trình thử nghiệm rất lớn. Nhờ sự phát triển của ngành công nghiệp mô phỏng nói chung và mô phỏng khí động nói riêng, sáng chế đề cập tới phương pháp tính toán các đạo hàm ổn định động theo các kênh điều khiển khác nhau cho vật thể bay.

Hiện nay, chưa có bất kỳ tài liệu nào được công bố về tính toán đạo hàm ổn định động cho các vật thể bay tốc độ cao đạt độ tin cậy cao.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của sáng chế là xác định được phương pháp tính toán khí động các hệ số đạo hàm ổn định động cho vật thể bay tốc độ cao. Để đạt được mục đích trên, sáng chế đề xuất phương pháp tính toán khí động các hệ số đạo hàm ổn định động cho vật thể bay bao gồm các bước:

Bước 1: mô phỏng tính toán các tham số khí động tĩnh cho vật thể bay; cụ thể cần tiến hành: thiết lập mô hình và xử lý hình học mô hình; tạo miền tính toán và chia lưới; thiết lập bộ giải và kiểm tra, đánh giá mô hình mô phỏng; tính toán các tham số khí động tĩnh.

Bước 2: mô phỏng dao động điều hòa cưỡng bức; cụ thể: tạo biên dạng dao động điều hòa theo các kênh và lần lượt xác định được đạo hàm tổng theo kênh chúc góc, kênh liệng và kênh hướng cho tối thiểu ba tần số góc khác nhau;

Bước 3: tính toán các đạo hàm ổn định động theo từng kênh; cụ thể: xây dựng mô hình toán mô tả vật lý dao động điều hòa cưỡng bức theo các kênh, xây dựng chương trình tối ưu nghiệm của hàm sai lệch và tính toán các tham số đạo hàm ổn định động.

Phương pháp tính toán khí động các hệ số đạo hàm ổn định động cho vật thể bay theo sáng chế đề xuất trong đó các bước thực hiện chia lưới tại bước 1 như sau: thiết lập chung cho mô hình chia lưới: tính chất vật lý của bài toán mô phỏng, tham số chia lưới, tham số tạo lớp biên,...; điều khiển các thiết lập chia lưới cho các các mặt, các cạnh, tham số lớp biên,...; xem trước, kiểm tra lưới bề mặt, lớp biên và thực hiện chia lưới thể tích; kiểm tra chất lượng lưới theo các tiêu chuẩn, phân tích biểu đồ chất lượng lưới.

Phương pháp tính toán khí động các hệ số đạo hàm ổn định động cho vật thể bay theo sáng chế đề xuất trong đó các bước thiết lập bộ giải và kiểm tra, đánh giá mô hình mô phỏng tại bước 1 được thực hiện: lựa chọn bộ giải; lựa chọn mô hình dòng chảy rối; thiết lập tham số đặc trưng không khí; thiết lập điều kiện biên; thiết lập phương pháp tính.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1: là sơ đồ thực hiện các bước của phương pháp;

Hình 2: là sơ đồ thực hiện mô phỏng, tính toán các tham số khí động tĩnh cho vật thể bay;

Hình 3: là lưới trên bề mặt, lưới tại lớp biên và lưới thể tích miền tính toán;

Hình 4: là biểu đồ phân bố chất lượng phần tử lưới theo tiêu chuẩn trực giao;

Hình 5: là biểu đồ phân bố chất lượng phần tử lưới theo độ bất đối xứng.

Mô tả chi tiết sáng chế

Tham chiếu Hình 1, sáng chế đề xuất phương pháp tính toán khí động các hệ số đạo hàm ổn định động cho vật thể bay với các bước tiến hành được thực hiện như sau:

Bước 1: mô phỏng tính toán các tham số khí động tĩnh cho vật thể bay.

Tham chiếu Hình 2, sơ đồ thực hiện mô phỏng, tính toán các tham số khí động tĩnh cho vật thể bay bao gồm các công đoạn sau đây:

a) Thiết lập mô hình và xử lý hình học mô hình.

Mô hình thiết kế 3D CAD (Computer-aided design) của vật thể bay sử dụng trong mô phỏng có thể được xây dựng bằng nhiều phần mềm thiết kế CAD chuyên dụng khác nhau (Inventor, Solidworks,...), sau đó xuất ra tệp có định dạng .x-t, .stp hoặc .igs,... để xử lý mô hình trong công cụ thiết kế chuyên dụng Ansys DesignModeler - là một ứng dụng trong phần mềm Ansys được thiết kế nhằm sử dụng như một công cụ xây dựng, chỉnh sửa mô hình hình học.

Mô hình 3D CAD cần đảm bảo yêu cầu thể hiện đầy đủ các đặc tính khí động lực học đặc trưng của mô hình, tuy nhiên cũng cần tối giản hóa hoặc loại bỏ các chi tiết không cần thiết, phù hợp với yêu cầu bài toán mô phỏng.

Xử lý mô hình trong công cụ thiết kế chuyên dụng bao gồm các quá trình: xử lý bề mặt, ghép các mặt cong, đường,... để loại bỏ các mặt, đường có kích thước nhỏ, các phần không cần thiết. Ngoài ra, mô hình cần được đưa về đúng hệ tọa độ quy ước, gốc tọa độ trùng với trọng tâm vật thể bay.

b) Tạo miền tính toán và chia lưới.

Sau khi xử lý mô hình, tiến hành tạo vùng tính toán cho miền chất lưu. Miền tính toán phải đảm bảo sao cho kết quả vùng tính toán xung quanh vật thể không bị ảnh hưởng bởi các điều kiện, kết quả tại biên tính toán. Kích thước tối thiểu miền tính toán phải đảm bảo theo điều kiện: kích thước theo các chiều tối thiểu gấp mười lần kích thước hình học đặc trưng của vật thể bay.

Tính toán các tham số khí động của vật thể bay sử dụng các phần mềm mô phỏng, được xây dựng trên phương pháp thể tích hữu hạn để giải các phương trình kiểm soát và phương trình bảo toàn trong miền tính toán. Do đó, miền tính toán phải được chia thành các thể tích nhỏ hơn là các ô lưới để tiến hành giải các phương trình trên từng ô lưới cụ thể. Chất lượng lưới ảnh hưởng rất lớn đến kết quả mô phỏng và tính toán. Lưới càng mịn (kích thước ô lưới càng nhỏ) thì cho kết quả càng chính xác đối với sự biến đổi đạo hàm các tham số vật lý và thể hiện chi tiết hơn mô hình hình học của đối tượng tính toán.

Có thể chia lưới bằng các phần mềm chuyên dụng (Gambit, ICEM CFD hoặc ANSYS Meshing). Tuy nhiên, đối với các vật thể bay có nhiều dạng kết cấu hình học phức tạp nên chia lưới trong Gambit hoặc ICEM CFD rất phức tạp, tốn nhiều thời gian và công sức và khó đạt được chất lượng chia lưới cao.

ANSYS Meshing là một môđun trong gói phần mềm ANSYS chuyên để chia lưới cho các loại bài toán khác nhau: bài toán kết cấu, bài toán va chạm, bài toán dòng chảy ngoài, bài toán dòng chảy trong,... Chia lưới sử dụng phần mềm ANSYS Meshing để tính toán mà không cần tốn quá nhiều thời gian, cũng như có thể đưa ra kết quả chính xác so với việc chia lưới bằng các phương pháp khác nếu chia lưới tốt (độ sai khác nhỏ hơn 1%).

Các bước thực hiện chia lưới được thực hiện trên phần mềm Ansys Meshing như sau:

- Thiết lập chung cho mô hình chia lưới: tính chất vật lý của bài toán mô phỏng, tham số chia lưới, tham số tạo lớp biên.

Đối với các bài toán mô phỏng khác nhau, tính chất vật lý của bài toán cũng khác nhau đòi hỏi việc lưới hóa miền tính toán cũng khác nhau để thể hiện được bản chất vật lý của đối tượng. Tính toán các tham số đạo hàm ổn định động của vật thể bay, bản chất vật lý của bài toán là mô phỏng dòng chảy bên ngoài của không khí tác động lên vật thể bay. Do đó lựa chọn yêu cầu vật lý cho việc chia lưới sẽ được chọn là mô phỏng chảy ngoài (external aerodynamic).

Tham số chia lưới chung cho toàn bộ miền tính toán cần được thiết lập dựa vào kích thước của vật thể, kích thước của miền tính toán. Tham số kích thước ô lưới nhỏ nhất và lớn nhất, phương pháp chia lưới bám theo cạnh hay bám theo đường cong, bám theo góc,... được thiết lập cho toàn bộ vùng tính toán dựa trên các phân tích về hình học của vật thể.

Tham số lớp biên được tính toán dựa trên điều kiện về vận tốc bay của vật thể, về kích thước đặc trưng, tính chất chất khí.

Dưới đây là bảng ví dụ thiết lập các tham số chung cho mô hình chia lưới và lớp biên của mô hình.

Các thông số	Tuyến tính
Kích thước	0,5 m
Dạng trích xuất	Tiêu chuẩn
Xem trước bề mặt trích xuất	không
Kích thước	
Sử dụng kích thước điều chỉnh	không

Tỉ lệ tăng trưởng	Mặc định (1,2)
Kích thước tối đa	1,0 m
Lưới mặc định	không
Kích thước	5,e-004m

Bảng 1: tham số chia lưới trong Meshing

Lớp biên	
Sử dụng lớp biên tự động	không
Lựa chọn biên	Lớp dày nhất đầu tiên
Chiều cao lớp đầu tiên	1,2e-005m
Số lớp tối đa	20
Tỉ lệ tăng trưởng	1,15
Thuật toán tạo biên	Trước
Xem lựa chọn nâng cao	không

Bảng 2: tham số tạo lớp biên

- Điều khiển các thiết lập chia lưới cho các các mặt, các cạnh, tham số lớp biên cụ thể.

Đối với vật thể bay nói chung, bao gồm phần thân chính, phần cánh nâng, phần cánh ổn định, cánh lái,...Tỉ lệ kích thước giữa các phần này là khác nhau (phần thân lớn hơn khá nhiều so với phần cánh), tuy nhiên đặc tính khí động lại thể hiện chủ yếu trên các cánh của vật thể. Do đó, cần chia lưới ở các vùng này đặc biệt nhỏ hơn để bắt được các hiện tượng của dòng chảy khi đi qua các phần này của vật thể bay.

- Xem trước, kiểm tra lưới bề mặt, lớp biên và thực hiện chia lưới thể tích.

Sau khi thiết lập các tham số chia lưới toàn cục và chia lưới cục bộ; tiến hành chia lưới bề mặt cho vật thể và kiểm tra lưới bề mặt của vật thể. Thực hiện trong ANSYS Meshing bằng lệnh “Kiểm tra lưới bề mặt”. Trên bề mặt vật thể bay thể hiện lưới bề mặt, người dùng có thể phân tích độ bám hình học của các ô lưới, chất lượng bám các chi tiết quan trọng để có thể điều chỉnh các tham số chia lưới ở bước trước.

Sau khi kiểm tra lưới bề mặt, tiến hành chia lưới thể tích bằng thực hiện lệnh “Thực thi lưới thể tích”.

- Kiểm tra chất lượng lưới theo các tiêu chuẩn, phân tích biểu đồ chất lượng lưới:

Sau khi thực hành chia lưới thể tích, cần kiểm tra các tiêu chuẩn cần đạt được của lưới đã chia của miền tính toán. Trong phần mềm ANSYS Meshing, thực hiện kiểm tra theo từng tiêu chuẩn trong mục “Tiêu chuẩn” và lựa chọn các tiêu chuẩn kiểm tra trong mục “Tiêu chuẩn lưới”. Đối với bài toán mô phỏng khí động dòng chảy ngoài của vật thể bay cận âm, các chỉ số chất lượng cần xét đến: chỉ số trực giao các phần tử, độ bất đối xứng, chỉ số đồng dạng. Cụ thể:

+ Chỉ số trực giao được thể hiện trên bảng dưới đây. Chất lượng tốt nhất khi chỉ số trực giao đạt giá trị bằng 1. Chất lượng lưới là đạt yêu cầu khi chỉ số trực giao từ 0,15 trở lên.

Không chấp nhận	Kém	Có thể chấp nhận	Tốt	Rất tốt	Tuyệt vời
0-0,001	0,001-0,14	0,15-0,20	0,20-0,69	0,70-0,95	0,95-1,00

Bảng 3: chỉ số trực giao

+ Chỉ số bất đối xứng tốt nhất bằng 0 thể hiện phần tử lưới đối xứng lý tưởng (đối với lưới bề mặt là tam giác đều, với lưới thể tích là tứ diện đều). Chất lượng lưới có thể chấp nhận khi chỉ số bất đối xứng nhỏ hơn 0,94. Bảng cụ thể đánh giá chất lượng lưới miền tính toán như sau:

Không chấp nhận	Kém	Có thể chấp nhận	Tốt	Rất tốt	Tuyệt vời
0-0,25	0,25-0,50	0,50-0,80	0,80-0,94	0,95-0,97	0,98-1,00

Bảng 4: chỉ số bất đối xứng

+ Chỉ số đồng dạng thể hiện tương đối giữa bán kính đường tròn ngoại tiếp và nội tiếp của các phần tử ô lưới. Chỉ số đồng dạng của lưới đạt yêu cầu khi nhỏ hơn 1000.

Ngoài ra, khi lựa chọn trong “Tiêu chuẩn lưới”, phần mềm ANSYS Meshing còn thể hiện cụ thể biểu đồ phân bố chất lượng phần tử theo tham chiếu tại Hình 4 và Hình 5. Dựa vào đó, có thể thấy rõ phần tử ở khu vực nào có chất lượng xấu hoặc không đạt yêu cầu để cần điều chỉnh các tham số chia lưới toàn cục và cục bộ.

c) Thiết lập bộ giải và kiểm tra, đánh giá mô hình mô phỏng.

Để mô phỏng các đặc tính khí động của vật thể bay, sử dụng phần mềm ANSYS Fluent. Đây là một trong các mô đun mạnh nhất trong việc mô phỏng khí động học. Kết quả kiểm chứng của chương trình đã được khẳng định qua nhiều bài báo khoa học, được sử dụng trong lĩnh vực Hàng không vũ trụ của nhiều công ty lớn trên thế giới. Độ tin cậy

của kết quả được chứng minh dựa trên sai khác nhỏ giữa kết quả mô phỏng và kết quả thực nghiệm trong buồng thổi khí động.

ANSYS Fluent cung cấp các khả năng mô hình hóa toàn diện đối với nhiều bài toán chất lưu khác nhau như dòng chảy nén được và không nén được, dòng chảy tầng và dòng chảy rối. Ngoài ra, các phân tích dòng chảy không phụ thuộc thời gian (steady) hoặc phụ thuộc thời gian (unsteady) có thể được thực hiện, cung cấp khả năng đánh giá một cách tổng quát các hiện tượng khí động lực học xảy ra khi vật thể bay hoạt động.

Các bước thực hiện mô phỏng, tính toán khí động học sử dụng phần mềm ANSYS Fluent như sau:

- Lựa chọn bộ giải:

Đặc tính của dòng chảy (nén được hay không nén được) được đặc trưng bởi tham số Mach (tỷ lệ giữa vận tốc bay và vận tốc âm thanh). Đối với các vật thể bay vận tốc cao (cận âm và siêu âm), dòng chảy là dòng nén được, do đó dạng bộ giải cần lựa chọn trên phương trình đối với hàm mật độ (density base).

Trong tính toán mô phỏng khí động, tùy thuộc vào yêu cầu bài toán đặt ra mà có thể thiết lập bộ giải tính toán kết quả phụ thuộc thời gian (unsteady) hoặc không phụ thuộc thời gian (steady). Ở bước này, tính toán các tham số khí động tĩnh, do đó lựa chọn bộ giải là tĩnh.

- Lựa chọn mô hình dòng chảy rối.

Trong các ứng dụng kỹ thuật, việc tính toán chính xác các nhiễu động rối là hoàn toàn không cần thiết. Các nhiễu động rối hoàn toàn có thể được mô hình hóa để có thể hiểu một cách tổng quát ảnh hưởng của rối tới mô hình nghiên cứu. Trong mô phỏng khí động của vật thể bay tốc độ cao, phương pháp sử dụng để mô hình hóa dòng rối là trung bình hóa hệ phương trình Navier-Stokes theo trung bình thời gian, sử dụng mô hình rối k- ω SST. Mô hình rối này sử dụng phương trình vận chuyển tốc độ tiêu tán riêng ω . Việc thiết lập yêu cầu cung cấp thông số đầu vào bao gồm các hằng số tính toán trong phương trình mô hình rối: α_{inf} , α_{inf} , β_{inf} , ζ^* :

- Thiết lập tham số đặc trưng không khí.

Đối với vật thể bay chuyển động với tốc độ cao, tính chất của không khí lúc này là được coi như khí lý tưởng. Các tham số thiết lập cho khí lý tưởng bao gồm: mật độ, hệ số trao đổi nhiệt, độ nhớt, nhiệt dung riêng,.... Sau đây cung cấp một ví dụ về việc thực hiện thiết lập đặc tính của dòng không khí.

- + Density (mật độ): mật độ đối với khí tiêu chuẩn
- + Cp: nhiệt dung riêng
- + Thermal Conductivity: hệ số truyền nhiệt
- + Viscosity: độ nhớt
- + Reference Viscosity: độ nhớt tham chiếu
- + Reference Temperature: Nhiệt độ tham chiếu
- + Effective Temperature: Nhiệt độ hiệu dụng
- Thiết lập điều kiện biên:

Đối với toàn bộ vùng tính toán, cần định nghĩa điều kiện biên cho bài toán mô phỏng. Đó là cần xác định: loại điều kiện biên (vật thể, vùng đối xứng, vùng đầu vào, vùng đầu ra,...), vị trí của điều kiện biên, mô hình vật lý của điều kiện biên.

Với bài toán mô phỏng khí động của vật thể bay, các điều kiện biên được áp dụng như sau:

- + Đầu vào: áp suất khí quyển và vận tốc của vật thể bay
- + Đầu ra: áp suất khí quyển đầu ra
- + Vật thể: toàn bộ vật thể bay (vận tốc trên vật là bằng 0)

Ví dụ thiết lập cho điều kiện đầu vào như bảng sau:

- +Gauge pressure: áp suất Gauge
- + Mach Number: số Mach (tỉ số giữa vận tốc vật thể bay và vận tốc âm thanh)
- +X,Y,Z-Component of Flow Direction: véc-tơ chỉ phương vận tốc của vật thể bay
- + Turbulent Intensity, Turbulent Viscosity Ratio: cường độ rối và tỉ số nhớt của chất lưu
- Thiết lập phương pháp tính.

Thiết lập phương pháp rời rạc hóa cho các điều kiện đối lưu cho mỗi phương trình của hệ phương trình Navier-Stokes. Các phương trình bảo toàn dòng chảy, bảo toàn năng lượng và phân tán dòng chảy rối được chọn đến bậc 2.

d) Tính toán các tham số khí động tĩnh.

Sau khi thực hiện xong các thiết lập ở bước c), tiến hành chạy bộ giải trên phần mềm Ansys Fluent. Kết quả thu được sau khi bộ giải tính toán được thể hiện ở dạng các ma trận các trường tính toán (áp suất, vận tốc, nhiệt độ,...). Ngoài ra các tham số khí động

tính của vật thể bay bao gồm 03 hệ số lực và 03 hệ số mô-men sẽ được xuất trực tiếp từ phần mềm. Tổng hợp kết quả có thể được trình bày dưới dạng bảng sau:

Kết quả tính toán lực và mô-men khí động

Góc tấn [°]	F _x [N]	F _y [N]	F _z [N]	M _x [Nm]	M _y [Nm]	M _z [Nm]
-2						
0						
2						

Các kết quả thu được sẽ được thể hiện dưới dạng các hệ số không thứ nguyên nhằm thuận tiện trong xử lý, tính toán.

Ngoài việc phân tích kết quả dưới dạng số liệu, kết quả còn có thể được thể hiện dưới dạng các hình vẽ phân bố áp suất, phân bố nhiệt độ, đường dòng,... nhằm đánh giá sơ bộ về đặc tính khí động của dòng chất lưu trong miền tính toán.

Bước 2: mô phỏng dao động điều hòa cưỡng bức.

Vật thể bay dao động điều hòa cưỡng bức quanh trục Y (trục dao động chúc góc) với tần số góc ω với biên độ nhỏ. Với giả thiết vật thể bay là cứng tuyệt đối và dao động điều hòa cưỡng bức theo hình sin được mô tả theo công thức sau:

$$\begin{cases} \theta = \theta_0 \sin(\omega t) \\ \dot{\theta} = \omega \theta_0 \cos(\omega t) = \omega_y \\ \ddot{\theta} = -\omega^2 \theta_0 \sin(\omega t) = \dot{\omega}_y \\ \Delta\alpha = \theta = \theta_0 \sin(\omega t) \\ \Delta\dot{\alpha} = \dot{\theta} = \omega \theta_0 \cos(\omega t) \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó:

θ – góc nghiêng quỹ đạo; ω_y – vận tốc chuyển động quanh trục y;

α – góc tấn; ω – tần số dao động

Thiết lập tập tin (file) dao động cho vật thể tuân theo quy luật dao động viết trên ngôn ngữ lập trình “C” và được đưa vào phần mềm mô phỏng dưới dạng “Hàm người dùng định nghĩa”.

Mô-men chúc góc phụ thuộc thời gian của vật thể bay được biểu diễn theo khai triển Taylor như sau:

$$M_y = M_{y0} + M_y^\alpha \Delta\alpha + M_y^{\dot{\alpha}} \Delta\dot{\alpha} + M_y^{\omega_y} \omega_y + M_y^{\dot{\omega}_y} \dot{\omega}_y + \hat{\Delta}(\Delta\alpha, \omega_y) \quad (2)$$

Trong đó:

M_{y0} – mô men chúc ngóc khi góc tấn và góc trượt cạnh bằng 0

$M_y^\alpha, M_y^{\dot{\alpha}}, M_y^{\omega_y}, M_y^{\dot{\omega}_y}$ – đạo hàm mô men chúc ngóc theo góc tấn α , đạo hàm góc tấn $\dot{\alpha}$, vận tốc góc ω_y , đạo hàm vận tốc góc $\dot{\omega}_y$

Δ – đạo hàm bậc cao hơn theo góc tấn và vận tốc góc ω_y

Kết hợp với phương trình (1) và (2) và bỏ qua các đạo hàm bậc cao, mô-men chúc ngóc của vật thể bay được đơn giản thành:

$$M_y = M_{y0} + (M_y^\alpha - \omega^2 M_y^{\dot{\omega}_y})\theta_0 \sin(\omega t) + (M_y^{\dot{\alpha}} + M_y^{\omega_y})\omega_y \theta_0 \cos(\omega t) \quad (3)$$

Khi $\omega t = 2n\pi$, ảnh hưởng ban đầu khi khởi tạo tính toán có thể được bỏ qua, mô-men phụ thuộc thời gian biến đổi theo chu kỳ, công thức (3) có thể được thể hiện như sau:

$$(M_y^{\dot{\alpha}} + M_y^{\omega_y}) = \frac{M_{y\omega t=2n\pi} - M_{y0}}{\omega \theta_0} \quad (4)$$

Sử dụng tần số giảm chấn $k = \omega l / 2V_*(V_* - \text{vận tốc vật thể bay}, l - \text{độ dài đặc trưng vật thể bay})$ để chuyển đổi công thức (4) biểu diễn dưới dạng không thứ nguyên, công thức cuối cùng để tính toán được đạo hàm chúc ngóc tổng với phương pháp dao động biên độ bé là:

$$C_{m\dot{\alpha}} + C_{mq} = \frac{C_{My\omega t=2n\pi} - C_{My0}}{k\theta_0} \quad (5)$$

Trong đó, $C_{m\dot{\alpha}}$ và C_{mq} là đạo hàm ổn định động theo kênh chúc ngóc cần tính toán. Ở bước này, công thức (5) cho phép tính được đạo hàm tổng đạo hàm ổn định động theo kênh chúc ngóc theo từng tần số góc ω . Kết quả tính toán đạo hàm tổng theo kênh chúc ngóc sẽ được tính toán cho tối thiểu ba tần số góc khác nhau để sử dụng ở bước tiếp theo nhằm tách riêng từng hệ số đạo hàm ổn định động.

Đạo hàm tổng theo các kênh liệng và kênh hướng cũng thực hiện tương tự như kênh chúc ngóc.

Bước 3: tính toán các đạo hàm ổn định động theo từng kênh.

Để tách riêng từng thành phần đạo hàm ổn định động trên từng kênh (ví dụ đối với kênh chúc ngóc là $C_{m\dot{\alpha}}$ và C_{mq}), sử dụng so sánh mô-men giữa mô hình toán học chuyển động dao động điều hòa với kết quả mô phỏng sử dụng phần mềm ANSYS Fluent.

Chuyển động của vật thể bay dao động cưỡng bức hệ số mô-men chúc ngóc được thể hiện theo công thức dưới đây:

$$m_y = m_{y_0} + m_y^\alpha \alpha + \Delta m_{y_{quay}} + \Delta m_{y_{động}} \quad (6)$$

Trong đó:

m_{y_0} – hệ số mô-men chúc ngóc tĩnh;

$\Delta m_{y_{quay}}, \Delta m_{y_{động}}$ – thành phần mô-men sinh ra do quay và thành phần mô-men động;

Thành phần mô-men sinh chuyển động quay kênh chúc ngóc $\Delta m_{y_{quay}}$ do vận tốc góc ω_y :

$$\Delta m_{y_{quay}} = m_y^{\bar{\omega}_y} \bar{\omega}_y + m_y^{\bar{\omega}_y} \bar{\omega}_y \quad (7)$$

Trong đó:

$m_y^{\bar{\omega}_y}, m_y^{\bar{\omega}_y}$ phụ thuộc vào góc tần α ;

$\bar{\omega}_y = \frac{\omega_y l}{2V}$ vận tốc góc không thứ nguyên;

l – sải cánh, V – vận tốc bay;

Thành phần mô-men động $\Delta m_{y_{động}}$ thỏa mãn phương trình vi phân bậc 1 sau:

$$T_r \Delta \dot{m}_{y_{động}} + \Delta m_{y_{động}} = a_r T_r \dot{\alpha} \quad (8)$$

Trong đó: T_r – hằng số thời gian, a_r – tham số đặc trưng tính động của hàm số.

Giả thiết vật thể bay thực hiện dao động cưỡng bức kênh chúc ngóc với tần số f , tần số góc $\omega_f = 2\pi f$, và tần số góc không thứ nguyên $\bar{\omega}_f = \frac{\omega_f l}{2V}$.

Góc tần trong chuyển động điều hòa cưỡng bức với biên độ α_A như sau:

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_A \sin \omega t \quad (7)$$

Đạo hàm góc tần:

$$\dot{\alpha} = \alpha_A \omega \cos \omega t \quad (8)$$

Khi đó công thức (4) sẽ trở thành:

$$m_y = m_{y_0} + \left(m_y^\alpha - \bar{\omega}^2 m_y^{\bar{\omega}_y} \right) \alpha_A \sin \omega t + \left(m_y^{\bar{\omega}_y} + m_y^{\bar{\alpha}} \right) \alpha_A \omega \cos \omega t + \Delta m_{y_{động}} \quad (9)$$

Kết hợp cùng với thành phần động, mô-men chúc ngóc theo mô hình toán đang xây dựng sẽ có dạng:

$$m_{yMAT} = \left[\left(m_{y_{tinh}}^{\alpha} + \frac{a_p \cdot T_p^2 \bar{\omega}^2}{1 + T_p^2 \bar{\omega}^2} \right) \cdot \sin \alpha \right] \cdot \alpha_A \cdot \sin \omega + \left[\left(m_y^q + \frac{a_p \cdot T_p}{1 + T_p^2 \bar{\omega}^2} \right) \cdot \cos \alpha \right] \cdot \alpha_A \cdot \omega \cdot \sin \omega \quad (10)$$

Mặt khác, khai triển Taylor của dao động điều hòa đối với mô-men theo công thức sau:

$$\Delta m_y = [(m_{y_{st}}^{\alpha} - \bar{\omega}^2 \cdot m_y^q)] \cdot \alpha_A \cdot \sin \omega + [(m_y^q + m_y^{\alpha})] \cdot \alpha_A \cdot \omega \cdot \sin \omega \quad (11)$$

Kết hợp phương trình (10) và (11), đồng nhất các thành phần theo thành phần sin và cos, nhận được:

$$\begin{aligned} \left[\left(m_{y_{st}}^{\alpha} + \frac{a_p \cdot T_p^2 \bar{\omega}^2}{1 + T_p^2 \bar{\omega}^2} \right) \cdot \sin \alpha \right] &= (m_{y_{st}}^{\alpha} - \bar{\omega}^2 \cdot m_y^q) \\ \left[\left(m_y^q + \frac{a_p \cdot T_p}{1 + T_p^2 \bar{\omega}^2} \right) \cdot \cos \alpha \right] &= (m_y^q + m_y^{\alpha}) \end{aligned} \quad (12)$$

Để tìm được đạo hàm ổn định động theo vận tốc góc, xây dựng hàm đánh giá (cost function) đối với sự khác nhau giữa mô hình toán học và mô hình vật lý dựa theo công thức (12) như sau:

$$J = \{[(m_y^q + m_y^{\alpha}) - m_y^q](1 + T_p^2 \bar{\omega}^2) - (a_p \cdot T_p) \cdot \cos \alpha\}^2 \quad (13)$$

Các tham số đối với hàm J là T_p , $(a_p \cdot T_p)$ và m_y^q (hay cmq). Giá trị hàm J được tính toán trên tối thiểu ba vận tốc góc được tính ở bước 2. Sử dụng các phương pháp tìm cực trị để tìm giá trị nhỏ nhất hàm J. Giá trị các biến làm cho hàm J nhỏ nhất sẽ là nghiệm tối ưu làm cho sai khác nhỏ nhất giữa mô hình mô phỏng và mô hình toán. Một trong các hệ số đó là hệ số mô-men theo vận tốc góc cmq . Kết hợp với công thức (5), ta sẽ tìm được thành phần còn lại của đạo hàm ổn định động – mô men chúc góc theo đạo hàm góc tấn ($cmad$).

Phương pháp được áp dụng để tính toán tương tự đối với kênh lệch và kênh hướng.

Yêu cầu bảo hộ

1. Phương pháp tính toán khí động các hệ số đạo hàm ổn định động cho vật thể bay bao gồm các bước được thực hiện bằng máy vi tính như sau:

bước 1: mô phỏng tính toán các tham số khí động tĩnh cho vật thể bay, cụ thể cần tiến hành:

thiết lập mô hình và xử lý hình học mô hình;

tạo miền tính toán và chia lưới, trong đó bước chia lưới được thực hiện như sau:

thiết lập chung cho mô hình chia lưới: tính chất vật lý của bài toán mô phỏng là mô phỏng chảy ngoài; tham số chia lưới cho toàn bộ miền tính toán cần được thiết lập dựa vào kích thước của vật thể, kích thước của miền tính toán, tham số kích thước ô lưới nhỏ nhất và lớn nhất, phương pháp chia lưới bám theo cạnh hay bám theo đường cong, bám theo góc,... được thiết lập cho toàn bộ vùng tính toán dựa trên các phân tích về hình học của vật thể; tham số tạo lớp biên được tính toán dựa trên điều kiện về vận tốc bay của vật thể, về kích thước đặc trưng, tính chất chất khí;

điều khiển các thiết lập chia lưới cho các mặt, các cạnh, tham số lớp biên; chia lưới ở các vùng này đặc biệt nhỏ hơn để bắt được các hiện tượng của dòng chảy khi đi qua các phần này của vật thể bay; xem trước, kiểm tra lưới bề mặt, lớp biên và thực hiện chia lưới thể tích; kiểm tra chất lượng lưới theo các tiêu chuẩn, phân tích biểu đồ chất lượng lưới, chỉ số trực giao tốt nhất khi chỉ số trực giao đạt giá trị bằng 1, chất lượng lưới là đạt yêu cầu khi chỉ số trực giao từ 0,15 trở lên; chỉ số bất đối xứng tốt nhất bằng 0 thể hiện phần tử lưới đối xứng lý tưởng (đối với lưới bề mặt là tam giác đều, với lưới thể tích là tứ diện đều), chất lượng lưới có thể chấp nhận khi chỉ số bất đối xứng nhỏ hơn 0,94; chỉ số đồng dạng thể hiện tương đối giữa bán kính đường tròn ngoại tiếp và nội tiếp của các phần tử ô lưới, chỉ số đồng dạng của lưới đạt yêu cầu khi nhỏ hơn 1000;

thiết lập bộ giải và kiểm tra, đánh giá mô hình mô phỏng, được thực hiện như sau:

lựa chọn bộ giải; dạng bộ giải cần lựa chọn trên phương trình đối với hàm mật độ, bộ giải là tĩnh;

lựa chọn mô hình dòng chảy rối;

thiết lập tham số đặc trưng không khí; các tham số thiết lập cho khí lý tưởng bao gồm: mật độ, hệ số trao đổi nhiệt, độ nhớt, nhiệt dung riêng;

thiết lập điều kiện biên, bao gồm:

đầu vào: áp suất khí quyển và vận tốc của vật thể bay;

đầu ra: áp suất khí quyển đầu ra;

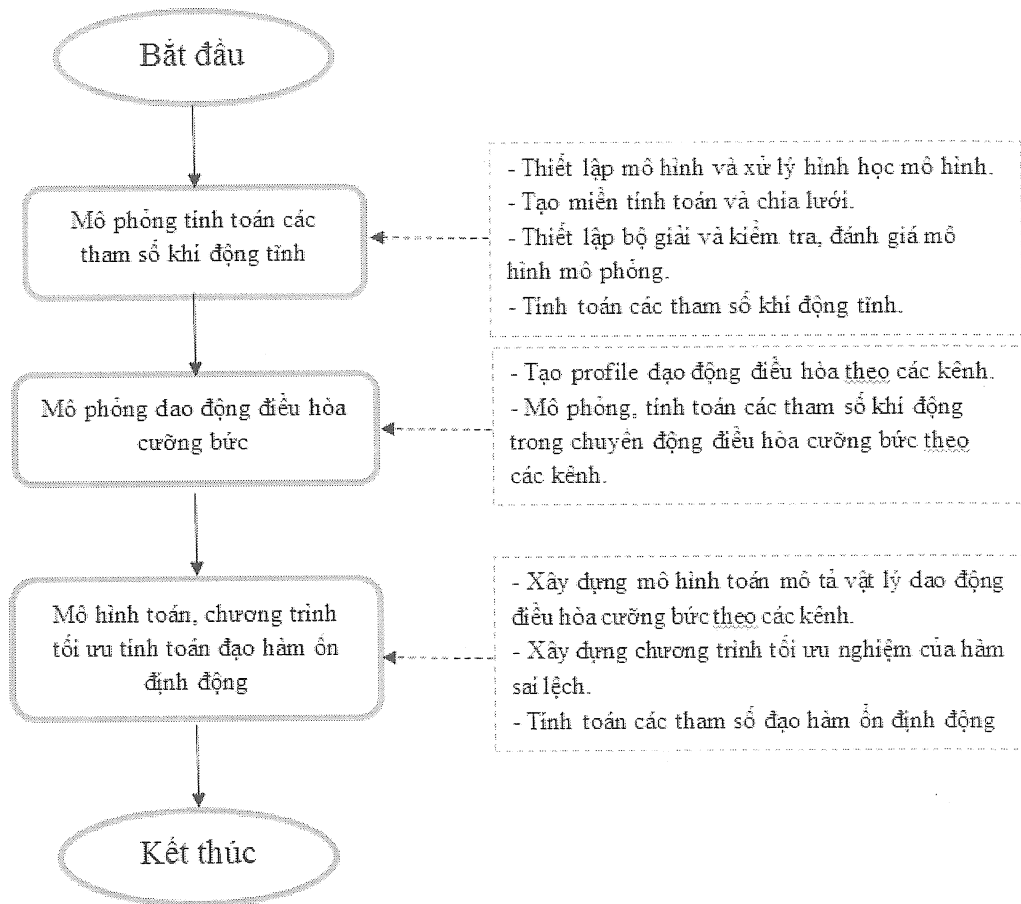
vật thể: toàn bộ vật thể bay (vận tốc trên vật là bằng 0);

thiết lập phương pháp tính, cụ thể thiết lập phương pháp rời rạc hóa cho các điều kiện đối lưu cho mỗi phương trình của hệ phương trình Navier-Stokes, các phương trình bảo toàn dòng chảy, bảo toàn năng lượng và phân tán dòng chảy rời được chọn đến bậc 2;

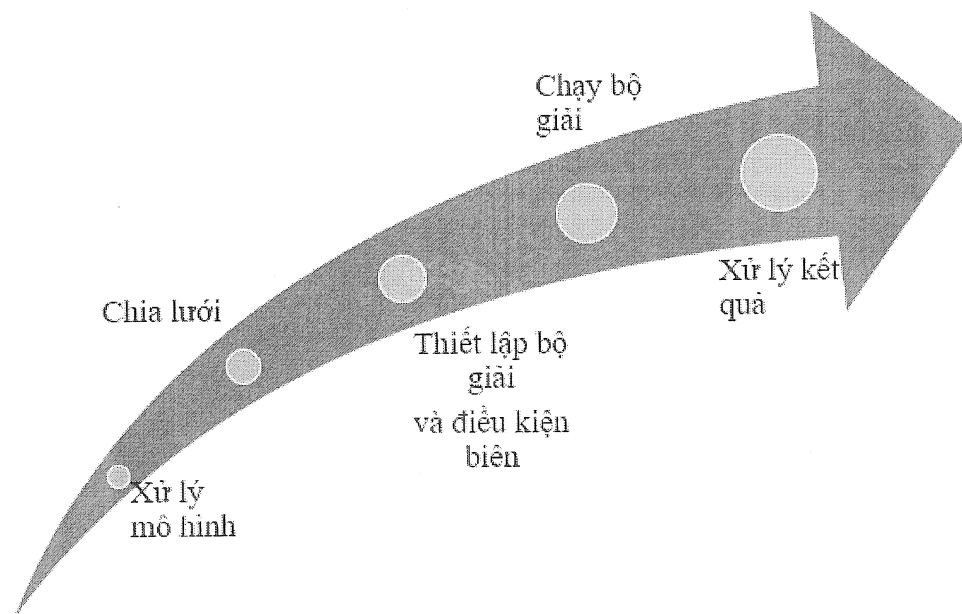
thực thi bộ giải mô hình mô phỏng khí động, thu thập dữ liệu khí động từ kết quả của mô hình mô phỏng, tính toán các tham số khí động tĩnh;

bước 2: mô phỏng dao động điều hòa cưỡng bức, cụ thể: dựa trên cơ sở mô hình mô phỏng khí động tĩnh tại bước 1, tạo quỹ đạo dao động điều hòa theo các kênh, thu nhận dữ liệu các thành phần lực và mô men khí động của vật thể bay thay đổi theo đặc tính của dòng chảy và sự chuyển động theo thời gian, lần lượt xác định được đạo hàm tổng theo kênh chúc góc, kênh liệng và kênh hướng cho tối thiểu 3 tần số góc khác nhau;

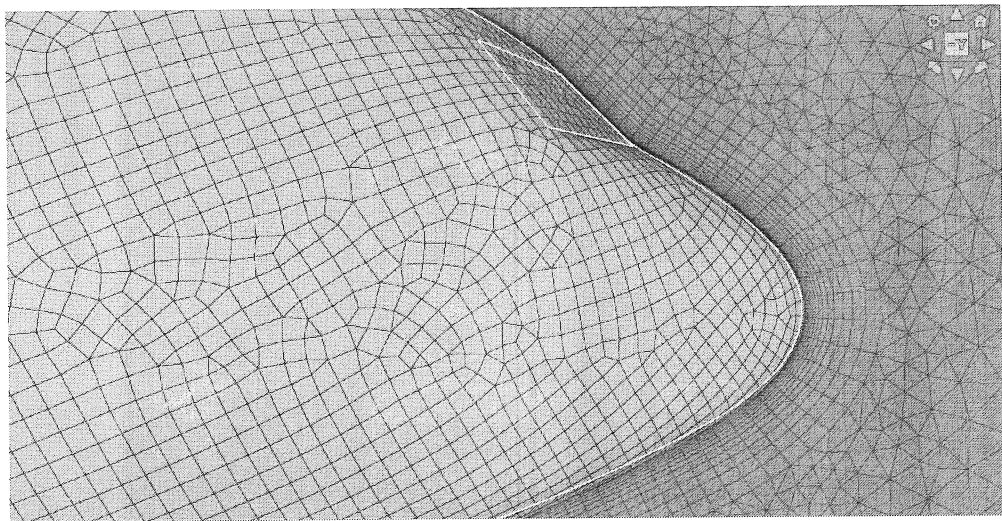
bước 3: tính toán các đạo hàm ổn định động theo từng kênh, cụ thể: xây dựng mô hình toán mô tả vật lý dao động điều hòa cưỡng bức theo các kênh, xây dựng chương trình tối ưu nghiệm của hàm sai lệch, áp dụng cho dữ liệu đạo hàm khí động tổng theo đặc tính của dòng chảy và sự chuyển động ở bước 2 để tính toán các thành phần đạo hàm ổn định động riêng lẻ cho từng kênh.



Hình 1



Hình 2



Hình 3