

# 基于 NASTRAN 节点载荷 批处理的编码技术

## Coding Technique About Bulk Data Based on the Node Force of NASTRAN Software

胡亮文 梁 勇 / Hu Liangwen Liang Yong

(中航通飞研究院有限公司, 珠海 519000)

(China Aviation General Aircraft Industry, Zhuhai 519000, China)

### 摘 要:

飞机载荷主要涉及气动载荷、地面载荷、惯性载荷等,载荷的工况也是琐碎繁多,如何将不同工况、不同部件、不同类型的载荷批量化生成利用 NASTRAN 进行有限元分析的接口文件,是飞机强度分析输入的关键技术。通过特定的载荷编码技术并结合 NASTRAN 载荷定义的卡片格式,将某型飞机 90 种严重工况下的气动节点载荷、地面节点载荷、惯性节点载荷按照一定编码批处理地导入 NASTRAN 的 bdf 文件中,分析和计算表明该方法具有良好的载荷识别性能和准确性以及较高的载荷输入效率。

**关键词:**节点载荷;批处理;NASTRAN 卡片;编码

**中图分类号:**V211.412

**文献标识码:**A

[Abstract] The Loads of aircraft involved air load, landing load, mass load and so on. Because of the load case is various, how to input different load cases and different component loads and various loads into interface bulk data with finite element analysis based on NASTRAN Software is pivotal technique. In this paper, according to special code, air load and landing load and mass load on the node force, which are from ninety serious load case in the design of some aircraft, are input BDF file of NASTRAN software. The analyzing and calculating show the method has more distinguished load and more efficient to input load.

[Key words] node force; bulk data; data cards of NASTRAN; coding

## 0 引言

载荷是飞机强度有限元分析的输入,对静强度分析具有重要的意义。载荷的输入正确与否关系到飞机的结构安全,是飞机设计中的关键技术。由于飞机载荷工况繁多,载荷类型也千差万别,如何能准确而快速地将不同工况、不同类型、不同部件上的载荷准确而快速地写入 NASTRAN 的 bdf 文件进行有限元分析是飞机载荷输入的关键。近年来国内专家和学者在基于 NASTRAN 的 PCL<sup>[1-3]</sup>以及 CATIA<sup>[4]</sup>的基础上提出了许多不同的载荷加载方法,开发出许多载荷输入模块。然而在载荷加载时,往往都需要人工交互对节点或单元进行逐个加载,影响了载荷施加的效率与质量。

本文基于 NASTRAN 节点载荷卡片的特点,将载荷按照不同工况、不同类别、不同部件进行分类编码,从而实现了载荷的批处理加载。

## 1 节点载荷的批处理流程

节点载荷的输入是按照 NASTRAN 载荷卡片的书写规则来进行编写<sup>[5-6]</sup>。NASTRAN 的集中载荷卡片有 FORCE 和 MOMENT 两种,其格式如表 1 所示。

表 1 节点载荷卡片格式

FORCE	SID	G	CID	F	N1	N2	N3
MOMENT	SID	G	CID	M	N1	N2	N3

首先将载荷划分类别。载荷类别主要有气动载荷、地面载荷、惯性载荷、发动机载荷、水动载荷

(水陆两栖飞机)。载荷类别划分以后,需要将飞机划分为6个主要部件,即机身、左机翼、右机翼、左平尾、右平尾以及垂尾。每个部件均有各自的ID编号。其中机身用1表示、左机翼用2表示、右机翼用3表示、左平尾用6表示、右平尾用7表示、垂尾用4表示。根据不同工况、不同类别、不同部件按照NASTRAN载荷卡片格式,写入bdf文件,其节点载荷批处理流程如图1所示。



图1 载荷批处理导入和后处理流程

## 2 节点载荷的编码规则

根据某型号飞机载荷的特点,将全机载荷共划分为5个类别即气动载荷、惯性载荷、水动载荷、地面载荷、发动机载荷。节点载荷按照6位阿拉伯数字进行编码,其编码格式为ABCDEF。其中A=1表示气动节点载荷,A=2表示惯性节点载荷,A=3表示水动节点载荷,A=4表示地面节点载荷,A=5表示发动机节点载荷(发动机载荷采用四位ADEF编码)。B只能用2个数字即0和1,其中B=0表示该点受到的载荷是力,B=1表示该点受到的是力矩。C表示飞机的部件ID,即C=1表示机身的载荷,C=2表示左机翼的载荷,C=3表示右机翼的载荷,C=4表示垂尾的载荷,C=6表示左平尾的载荷,C=7表示右平尾的载荷。DEF分别由3个阿拉伯数字构成,其数值由1到999且该数值表示工况的ID号码即最大允许工况个数为999种(注:也可根据工况个数增加编码位数)。例A=1、B=0、C=1、DEF=1,则FORCE,101001表示第一种工况下机身的气动载荷。

## 3 算例

### 3.1 计算情况

以某型水陆两栖飞机的全机90种严重工况作为计算情况,其中气动载荷78种,地面载荷5种,水动载荷7种。载荷的输入按照6位阿拉伯数字进行编码,工况和载荷的输入全部采用批处理形式写入。

### 3.2 载荷和工况的导入

首先将气动载荷、水动载荷、地面载荷、惯性载荷分类,然后将载荷的工况进行编码,最终写入全

机有限元模型的bdf文件中。90种严重工况下的载荷卡片和工况卡片如图2~图6所示。

```
FORCE, 5001,2012013, 0, -20302.82, 1.000, 0.000, 0.000
FORCE, 5001,3012013, 0, -20302.82, 1.000, 0.000, 0.000
FORCE, 5001,3022013, 0, -20302.82, 1.000, 0.000, 0.000
FORCE, 5001,2022013, 0, -20302.82, 1.000, 0.000, 0.000
FORCE, 5002,2012013, 0, -8801.56, 1.000, 0.000, 0.000
FORCE, 5002,3012013, 0, -8801.56, 1.000, 0.000, 0.000
FORCE, 5002,3022013, 0, -8801.56, 1.000, 0.000, 0.000
FORCE, 5002,2022013, 0, -8801.56, 1.000, 0.000, 0.000
.....
FORCE, 5089,2012013, 0, -20265.00, 1.000, 0.000, 0.000
FORCE, 5089,3012013, 0, -20265.00, 1.000, 0.000, 0.000
FORCE, 5089,3022013, 0, -20265.00, 1.000, 0.000, 0.000
FORCE, 5089,2022013, 0, -20265.00, 1.000, 0.000, 0.000
FORCE, 5090,3012013, 0, -7458, 1.000, 0.000, 0.000
FORCE, 5090,3022013, 0, -7458, 1.000, 0.000, 0.000
```

图2 发动机节点载荷卡片

```
FORCE,200001,1010001, 0, 1.49, -0.06966, -0.08506, 0.99394
FORCE,200001,1010013, 0, 3.03, 0.86943, 0.06144, 0.49021
FORCE,200001,1010101, 0, 1.47, -0.07730, -0.08543, 0.99334
FORCE,200001,1010102, 0, 1.46, -0.07626, -0.08451, 0.99350
.....
MOMENT,210090,2012014, 0, 1022894.312, -0.8268, 0.2923, -0.4805
FORCE,200090,2022014, 0, 48912.30, 0.02353, -0.14777, -0.98874
MOMENT,210090,2022014, 0, 732988.250, -0.4022, -0.8044, -0.4373
FORCE,200090,1112256, 0, 994.36, 0.11841, -0.57061, -0.81264
FORCE,200090,1112156, 0, 943.20, -0.79774, -0.60156, 0.04159
FORCE,200090,1132172, 0, 1578.76, -0.04084, -0.62667, -0.77821
FORCE,200090,1132272, 0, 2438.91, 0.33115, -0.40566, -0.85193
```

图3 惯性节点载荷卡片

```
$机翼气动载荷卡片
FORCE,103001,2030503, 0, 89.93,-.087156,0.000000,-.996195
FORCE,102001,3030503, 0, 89.93,-.087156,0.000000,-.996195
.....
$机身气动载荷卡片
FORCE,101001,1010001, 0, -97.71,0.000000,0.000000,1.000000
FORCE,101001,1010013, 0, -97.71,0.000000,0.000000,1.000000
.....
$平尾气动载荷卡片
FORCE,107001,6170012, 0, 0.2130.541, 0.0828,0.0000,0.9966
MOMENT,117001,6040012, 0,-466310.469,0.0000, 1.0000,0.0000
.....
FORCE,102090,3320705, 0, 43.80,-.087156,0.000000,-.996195
FORCE,103090,2320706, 0, 39.70,-.087156,0.000000,-.996195
FORCE,102090,3320706, 0, 39.70,-.087156,0.000000,-.996195
```

图4 气动节点载荷卡片

```
FORCE, 400018,1210013, 0, 1.200, 0.0000, 0.0000, 1.0000
FORCE, 400018,1210151, 0, 1.219, 0.0000, 0.1753, 0.9845
FORCE, 400018,1210152, 0, 1.274, 0.0000, 0.3354, 0.9421
FORCE, 400018,1210153, 0, 1.274, 0.0000, 0.3354, 0.9421
FORCE, 400018,1210154, 0, 1.274, 0.0000, 0.3351, 0.9422
FORCE, 400018,1210155, 0, 1.274, 0.0000, 0.3352, 0.9422
FORCE, 400018,1210156, 0, 1.274, 0.0000, 0.3355, 0.9421
FORCE, 400018,1210157, 0, 1.274, 0.0000, 0.3355, 0.9421
FORCE, 400018,1210158, 0, 1.274, 0.0000, 0.3355, 0.9421
FORCE, 400018,1210159, 0, 1.274, 0.0000, 0.3355, 0.9421
FORCE, 400018,1210160, 0, 1.266, 0.0000, 0.3178, 0.9482
```

图5 地面节点载荷卡片

```
SUBCASE 1
SUBTITLE=1-VG01000VD-E
LOAD= 101
DISPLACEMENT=ALL
STRESS=ALL
DISPLACEMENT (SORT1, REAL)=ALL
SPCFORCES (SORT1, REAL)=ALL
STRESS (SORT1, REAL, VONMISES, BILIN)=ALL
.....
SUBTITLE=90-LG0600041E
LOAD= 190
DISPLACEMENT=ALL
STRESS=ALL
DISPLACEMENT (SORT1, REAL)=ALL
SPCFORCES (SORT1, REAL)=ALL
STRESS (SORT1, REAL, VONMISES, BILIN)=ALL
BEGIN BULK $结束
```

图6 工况卡片

将各种载荷卡片和 90 种严重工况的工况卡片导入 PATRAN,如图 7 所示。



图 7 载荷和工况导入

### 3.3 载荷检查

将工况卡片以及各种载荷卡片导入 bdf 文件后,需要对导入的载荷进行检查。以机翼、平尾的气动载荷和全机的载荷配平为例,以左机翼作为考核对象,左机翼的气动载荷导入 PATRAN 后对原点求矩如图 8 所示。

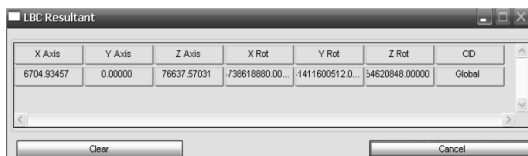


图 8 左机翼对原点的力和力矩

以原点为参考点,左机翼气动载荷对比如表 2 所示。

表 2 左机翼载荷的对比

	导入值	理论值	相对误差
$F_x(N)$	6.705E+03	6.705E+03	0.000E+00
$F_y(N)$	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
$F_z(N)$	7.664E+04	7.664E+04	1.044E-06
$M_x(N,m)$	-7.386E+05	-7.386E+05	6.769E-07
$M_y(N,m)$	-1.412E+06	-1.411E+06	2.145E-04
$M_z(N,m)$	-6.462E+04	-6.462E+04	4.642E-06

以原点为参考点,导入模型后左平尾载荷对原点的力和力矩如图 9 所示。

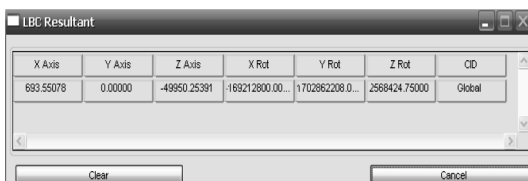


图 9 左平尾对原点的力和力矩

左平尾气动载荷对比如表 3 所示。

表 3 左平尾载荷的对比

	导入值	理论值	相对误差
$F_x(N)$	6.936E+02	6.933E+02	4.037E-04
$F_y(N)$	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
$F_z(N)$	-4.995E+04	-4.995E+04	4.605E-06
$M_x(N,m)$	-1.692E+05	-1.074E+05	3.654E-01
$M_y(N,m)$	1.703E+06	1.703E+06	3.112E-06
$M_z(N,m)$	-2.568E+03	-2.567E+03	3.893E-04

以原点作为参考点,全机载荷导入 PATRAN 的不平衡量如图 10 所示。



图 10 全机载荷的不平衡

全机载荷不平衡量的对比如表 4 所示。

表 4 全机载荷不平衡量对比

	导入值	理论值	误差
$F_x(N)$	0.375	0.020	-0.355
$F_y(N)$	-0.036	0.000	0.036
$F_z(N)$	2.194	0.043	-2.151
$M_x(N,m)$	-0.532	-2.133	-1.601
$M_y(N,m)$	71.38	0.966	-70.414
$M_z(N,m)$	0.915	0.043	-0.872

### 3.4 结果分析

全机载荷  $M_y$  的误差大约为  $70N \cdot m$ ,但是由于全机的俯仰力矩很大为  $10^5$  量级,因此对于全机载荷来说是个小量。通过载荷导入 bdf 文件前后的对比可以看出按照上述规则的编码能较快速地检查载荷的输入正确与否,同时也能检查全机载荷的配平情况。

## 4 结论

本文基于 NASTRAN 节点载荷卡片形式,采用了 6 位阿拉伯数字的载荷编码将不同工况、不同部件、不同类型的载荷快速地写入 bdf 文件调用 NASTRAN 进行求解计算,解决了飞机设计中载荷数据

量大、工况繁琐、类型多样的输入难题。通过实际工程算例可以得出以下结论:

(1)采用6位阿拉伯数字进行载荷编码能方便而快捷地实现载荷的准确输入

(2)节点载荷的批处理以及导入 NASTRAN 后的载荷检查,为静强度初步校核节约了输入时间提高了工作效率。

**参考文献:**

[1] 冯国庆,刘相春,任慧龙. 基于 PCL 语言的波浪压力自动加载方法[J]. 船舶力学,2006,10(5):107-112.

[2] 陈博,陈秀华,汪海. MSC. Patran 二次开发以其集成开发环境[J]. 机械设计与制造,2009,7:71-73.

[3] 唐友宏,陈宾康. 用 MSC. Patran 的 PCL 二次开发用户界面[J]. 船海工程,2002,3:20-22.

[4] 杨志斌. 应用 PCL 开发温度场分析前后处理系统[J]. 航空计算技术,2010,40(1):90-93.

[5] 周健斌. 基于 CATIA 二次开发的飞机质量特性批量提取方法[J]. 民用飞机设计与研究,2011,3:50-51.

[6] MSC. Patran User's Guide, Volume 4 Part 9: PCL and Customization[Z].

[7] MSC. Patran PCL Reference Manual, Volume 2: Code Example [Z].

(上接第44页)

**表2 某型民用飞机座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度测量试验点**

序号	试验点	高度/km
1	a	4.5
2	b	9.45
3	c	10.6

**表3 某型民用飞机座舱未满载时 CO<sub>2</sub> 气体浓度实测值与计算值**

序号	试验点	新鲜空气流量(kg/s)	CO <sub>2</sub> 浓度实测值(%)	CO <sub>2</sub> 浓度计算值(%)
1	a	0.577	0.045 4	0.053 5
2	b	0.317	0.050 3	0.056 4
3	c	0.467	0.049 1	0.054 3

注:表中的新鲜空气流量为实测数据。

由表3可以看出,各试验点计算分析的客舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度比实测值大,即计算方法可以用于座舱满载时 CO<sub>2</sub> 气体浓度计算,从而表明对第1.1节的适航条款的符合性。

**4.2 座舱满载时 CO<sub>2</sub> 气体浓度分析**

针对某型民用飞机在表1试验点下的座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度进行了计算分析,计算分析中的新鲜空气流量与表3中的一致,计算结果如表4所示。

**表4 某型民用飞机满载时座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度计算结果**

序号	试验点	CO <sub>2</sub> 浓度实测值(%)
1	a	0.152 1
2	b	0.235 9
3	c	0.176 1

由表4可以看出,各试验点计算分析的客舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度满足适航条款的相关要求。

**5 结论**

本文对民用飞机座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度进行了研究,得出如下结论:

(1)座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度计算模型可以用于座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度计算;

(2)经过计算分析,某型民用飞机座舱 CO<sub>2</sub> 气体浓度满足相关适航条款要求。

**参考文献:**

[1]中国民用航空总局. CCAR-25-R4 中国民用航空规章第25部:运输类飞机适航标准[S]. 北京:中国民用航空总局,2011

[2]ASHRAE 62-2007. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality [S].

[3]AC25-22. Certification of Transport Airplane Mechanical Systems [S]. FAA,2000.

[4]AC25-7A. Flight Test Guide for Flight Test Guide for Category Airplanes [S]. FAA,1998.

[5]Nadia Boschi1, Fariborz Haghghat. Aircraft Cabin Indoor Air Environment Requirements [J]. Hdb Env Chem Vol. 4, Part H (2005): 53-83.

[6]寿荣中,何慧珊. 飞行器环境控制[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2004:49-51.

[7]L. M. Mulloth, J. E. Finn. Air quality system for enclosed spaces Spacecraft Air [J]. Hdb Env Chem Vol. 4, Part H (2005): 383-404.