

第 二 部 分

结构分析程序 (SAP 5) 使用说明书

输入数据说明

SAP V 数据卡片的编组

对于不同问题重复

重 复
NELTYP 次

- 系统控制卡片
- 标题卡片 (I)
- 主控制卡片 (II)
- 节点卡片 (III)
- (可任何顺序, 但最后一张卡片必须是 NUMNP)。
- 单元控制卡片 (IV. 1, IV. 2 等等)
- 不同单元的有关输入
- 单元卡片 (必须依单元号次序, 但间隔可以生成)
- 集中力或集中质量 (V)
- (在最后总是使用一张空白卡片)
- 单元载荷因子, 对于每一结构载荷工况要一张卡片 (VI)
- 重量和重心参考点 (VII)
- (任选的, 倘若主控制卡上 IWTG=1 则提供)
- 除需要绘图外, 静力分析 (NDYN=1)
- 的结尾

NDYN=4

NDYN=1, 2, 3, 5

NDYN=2

- 强迫响应控制卡片(X·A)
- 随时间改变的节点力
(以空白卡片结尾)
- 基础运动(任选的)
- 到达时间卡片
- 时间函数控制卡片
- 时间函数定义
- 位移输出控制卡片
- 位移定义
(以空白卡片结尾)
- 应力输出控制卡片
- 应力输出定义
(以空白卡片结尾)
- 强迫响应的结尾
(NDYN=2·4)

- 本征值控制卡片(VII)
- 振型分析的结尾(NDYN=1)
- 绘图控制卡片(X)(任选的)
- 频率响应控制卡片(X·C)
- 频率输出要求
- 输入重力加速度级对频率的关系
- 粘性阻尼对频率的关系
- 位移输出控制卡片
- 位移定义(以空白卡片结尾)
- 应力输出控制卡片
- 应力输出定义(以空白卡片结尾)
- 频率响应的结尾(NDYN=5)
- 响应谱控制卡片(X·B)
- 谱标题
- 谱数据控制卡片
- 谱定义
- 谱分析的结尾(NDYN=3)

I、标题卡片(18A4)

注解	列号	变量名	填入内容
(1)	1-72	HED(18)	填写要随输出打印的标题信息

注解：

- (1) 每开始一个新的算题数据前需要有一新的标题卡片。

II、主控制卡片(9I5, 5I1, 4I5, F10.0)

注解	列号	变量	填 入 内 容
(1)	1-5	NU MNP	模型的节点总数
(2)	6-10	NELTYP	单元批数
(3)	11-15	LL	结构载荷工况数 ≥ 1 : 静力分析 $= 0$: 动力分析 $= 1$: 与几何刚度选择一起使用
(4)	16-20	NF	在本征值求解中所求的频率数; $= 0$: 静力分析 ≥ 0 : 动力分析 (包括几何刚度选择)
(5)	21-24		几何刚度标记 $= 0$: 不用几何刚度求解 $= 1$: 用几何刚度求解
(6)	25	NDYN	分析类型代码 $= 0$: 静力分析 $= 1$: 求解本征值或本征向量 $= 2$: 由振型迭加的强迫动力响应 $= 3$: 响应谱分析 $= 4$: 直接逐步积分 $= 5$: 利用振型迭加的频率 响应分析
(7)	26-30	MODEX	程序执行方式 $= 0$: 问题求解

注解	列号	变量	填 入 内 容
			=1:仅检查数据
(8)	31-35	NAD	为求本征值或本征向量,在子空间迭代中使用的向量总数,=0未填时置为(2 * NF与NF+8)的较小值。
(9)	36-40	KEQB	内存每分块中的自由度(方程)数。 =0:由程序自动计算
	41-45	NIOSV	把静力解记在文件10上的标记
	48	IPRT(3)	=0:把解记在文件10上 =1:把节点位移(静力)或本征向量(动力)穿卡片
	49	IPRT(4)	=1:打印总体矩阵 =2:打印总体矩阵并穿卡片。
	50	IPRT(5)	=1:打印单元矩阵 =2:打印单元矩阵并穿卡片
(10)	S1-55	IWTCG	重量与重心计算的标记 =1:进行重量与重心的计算
(11)	56-60	MINBND	带宽最小优化的标记 =0:不进行最小优化 =1:进行带宽最小优化
(12)	61-65	IPLT	结构给图标记 =1:11吋 CALCOMP 绘图仪 =2:30吋 CALCOMP 绘图仪

注解	列号	变 量	填 入 内 容
	66-70	NRSC*	=3 : SC-4020 绘图仪 响应谱分析的谱数 (隐含 1)
(13)	71-80	GRAV	重力常数 = 0 : 未填时置为 981 (英制填 386)

* 此处根据程序文本作了修订——校者

注 明 :

(1) 节点以整数标记, 范围从 1 到系统中的节点总数 “NUMNP” 若 NUMNP 是零, 则程序撤出, 但不输出判断的信息。于是在一次运算中算题最后数据终了时, 需要用两张空白卡片, 即一张空白的标题卡片 (第 I 节) 和本节的一张空白卡片。

(2) 对于每种不同的单元类型 (衍架、梁等), 需要规定新的一批单元, 批内的单元以整数标记, 范围是从 1 到本批单元的总数。各批单元在下面第四节内输入, 各批内单元编号必须从 “1” 开始。对于一种单元类型可能多于一批, 例如, 建筑的全部立柱 (垂直梁) 可认为是一批, 而梁 (水平梁) 可认为是另一批。

(3) 对于静力 (NDYN=0) 分析至少必须规定一种载荷条件。若算题数据是调几种动力分析之一 (NDYN 等于 1, 2, 3, 4 或 5) 则需要没有载荷的工况 (即 LL 以 0 输入)。程序总是要处理第 V 节 (集中载荷或集质量数据) 和第 VI 节 (单元载荷乘子), 并要求读某些数据。对于动力分析 (NDYN=1), 在第 V 节中只可输入质量系数。而在第 VI 节中则要求一张空白的单元载荷乘子卡片。

(4) 对于静力分析, $NF=0$, 若 $NDYN=1, 2, 3$ 或 5 , 则由程序确定几个最小的本征值。要注意的是在本征值求出以后, 动力解可以再起动力 (只要模型所求出的本征值解如附录 A 中介绍的存储在带上)。但对于原来运行和再起动力运算的 NF 必须是相同的。

(5) 当给出几何刚度标记时, 则做正常的静力解 (仅允许具有一种载荷工况), 然后计算载荷对刚度矩阵的影响。然后做本征值解, 并其后可作强迫响应, 响应谱或频率影响, 这随选择 $NDYN=1, 2, 3$ 或 5 而定, 但要注意仅梁和板单元 (类型 2 和 6) 有此能力, 其它的单元可包含有, 但并不包含它们的几何刚度。

(6) 若 $NDYN$ 是 $2, 3$, 或 5 , 程序首先解 NF 个本征值或本征向量, 然后进行强迫响应解 (或响应谱分析), 于是在读 XA, XB, XC 节中的数据以前程序要求读生成本征解的控制卡 (VIII 节), 对于 $NDYN=1$ 的情况, 程序解出 NF 个本征值或本征向量, 打印结果和进行下一算题。为了以后在自动再起动力使用, 本征值求解阶段 ($NDYN=1$) 的结果可被存储起来 (附录 A 列出作此存储操作所需要的控制卡), 即一个动力解不要重复求解振型与频率。而可以再起动力。若算题数据是再起动力操作, 则置 $NDYN=-2, -3$ 或 -5 , 要注意: 由于程序不破坏再起动力磁带的內容, 所以求解可以多次再起动力 (计算不同的载频或不同的时间有关的强迫函数)。若 $NDYN=4$, 程序用直接逐步积分法进行响应求解, 而不要提供求解本征值的控制卡。

(7) 在仅检查数据的方式中 ($MODEX=1$), 程序仅记在一个文件 $NT8$ 上, 这个文件可被存储用作输入专用目的程序如网格绘制等。 $NT8$ 装有完整地生成形成的全部输入数据。若 $MODEX=1$, 正常运行 ($MODEX=0$) 时所需的繁复计算都省略了。然而当求解一般的问题时, $NT8$ 是不记的。要注意: 当在执行 “仅检查数据” 的方式中, 对于负值的 $NDYN(-2, -3$ 或 $-5)$, 不使程序读包含有本征解信息的

再起动带，而是从此卡片直接地转移到 X, A, X, B, X, C 各节继续读和检查数据卡片，而不进行求解。

(8) 若程序是用子空间迭代法求解本征值时，31-35 列中的内容可用来改变迭代向量的总数。从未填时取 $2 * NF$ 或 $NF+8$ 两者的较小值到 “NAD”。从未填取的值增到 NAD 的作用是在计算 NF 个最低本征值时加速收敛。原则上 NAD 是一程序试验参数，通常应该是空着的。

(9) KEQB 是一程序试验参数，这参数允许用户使用小规模的问题数据情况试验方程的分块解，不然的话，应是只有一块的问题。通常 KEQB 是空着的。

(10) 计算重量和重心时要用到质量矩阵，此质量矩阵是在边界条件应用后建立的。其缺点是未包括位于约束点上的质量。包含整个结构质量的一个方法是多用几个自由度，而使用边界单元来形成约束。

(11) 使用 Cuthill-McKee 方法进行带宽的最优化，由于此方法有效，因此它被使用于每一个执行中，而不把新的节点顺序记在卡片上。全部结果用原来的节点号打印。

(12) 确定结构绘图仪作用的卡片将在以后读入。本参数是用来确定绘图装置的。要注意所在的计算机系统对于选择不论哪种绘图仪都要求有不同的执行控制卡。若 $IPLT=0$ ，将不进行绘图，也就不要给绘图仪以执行的控制卡。

Ⅲ节点数据(A1, I4, A1, I4, 5I5, 3F10.0, I5, F10.0)

注解	列号	变量	填 入 内 容
(1)	1	IT	描述本节点坐标系统的符号 =; (空白): 直角坐标(X, Y, Z) =C: 柱坐标(R, Y, θ) 按直角坐标生成 =D: 柱坐标(R, Y, θ), 按柱坐标生成。
(2)	2-5 6	N IPR	节点号 打印标记(仅出现在第一张节点卡片上) =: (空白): 正常打印 =A: 取消节点的第二次打印 =B: 取消ID数组的打印 =C: 兼边AB二者功能
(3)	7-10 11-15 16-20 21-25 26-30 31-35	ID(N, 1) ID(N, 2) ID(N, 3) ID(N, 4) ID(N, 5) ID(N, 6)	X—平移边界条件代码 Y—平移边界条件代码 Z—平移边界条件代码 X—转动边界条件代码 Y—转动边界条件代码 Z—转动边界条件代码 =0: 自由的(允许有载荷) 但生成的一系列卡片部分除外 =1: 固定的(不允许有载荷) =-1: 固定的(不允许有载荷)

续上表

			生成边界条件代码=1的一系节点 卡片的第一张卡片 >1 :主节点号(仅对于梁节点)
(4)	36-45	X(N)	X (或 R) 坐标
	46-55	Y(N)	Y 坐标
	56-65	Z(N)	Z (或 θ) 坐标
(5)	66-70	KN	节点号增量(从一系列的最后一张 卡片上取)
(6)	70-80	T(N)	节点温度

注解：

(1) 专门的柱坐标系允许作为节点位置的总体描述。若在卡片第一列填 C 或 D, 则 36-65 列所填的内容指的是总体坐标系 (R, Y, θ) 而不是指标准坐标系 (X, Y, Z), 程序把柱坐标转化为直角坐标所使用的公式：

$$X = R \sin \theta$$

$$Y = Y$$

$$Z = R \cos \theta$$

对于在标准坐标系 (X, Y, Z) 中设置节点时, 用柱坐标输入只是为了用户的方便, 而所应用的都不是指柱坐标的, 如边界条件说明, 输出位移分量等都是对于 (X, Y, Z) 坐标系的。

当使用 C 在直角坐标系中生成节点时, 即各节点将位于起始点和终止点的联结直线上, 当使用 D 时, 各生成的节点将位于按 θ 均匀分布的圆半径为 R 的圆周上。

(2) 必须对全部节点 (NUMNP) 确定节点数据, 节点数据可直接输入 (即每节点有它自己单独的卡片), 若适用时 (见如下注解 5) 也可以采用生成的方法。

允许的节点号范围是从 “1” 到节点总数 NUMNP。小于 0 或大于 NUMNP 的号是不许可的, 为了允许节点生成的灵活性, 节点可以任意的顺序输入, 但是最后的节点必须是等于 NUMNP, 即最大号数的节点必须在最后。

(3) 边界条件代码仅可指定为下列的值 ($M=1, 2, \dots, 6$)

$ID(N, M)=0$, 未给定 (自由) 的位移 (或转动) 分量

$ID(N, M)=1$, 删除 (固定) 的位移 (或转动) 分量

$ID(N, M)=-1$, 删除 (固定) 的位移 (或转动) 分量

用于边界条件代码 = 1 的生成

$ID(N, M)=K$, 节点号 K ($1 < K \leq \text{NUMNP}$, 且 $N \neq K$)

是主节点, 节点 N 的第 M 个自由度是从属于主节点的。

一个未给定 ($ID(N, M)=0$) 自由度在求解时可以平移或转动。集中力 (或力矩) 可加在这自由度上 (如下面第 V 节), 在模型中的每一未给定自由度要求系统的一个平衡方程。最多的平衡方程数总是不大于模型内节点数的六倍。

当一系列节点卡片在某一给定方向都固定时, 则使用边界情况代码的生成。例如位于 $x-y$ 平面内平板对于全部的节点有 $ID(N, 6)=1$ 仅在第一张节点卡片的 3 4 和 3 5 列上穿孔 “-1” 和在最后节点卡片 3 5 列穿 “1” 就可以了。而不用在全部卡片的 3 5 列上穿孔 “1”。程序将在全部的插入卡片上置 $ID(X, 6)=-1$, 代码 “-1” 是与 +1 同样解释的 (即固定的)。

删去的 ($ID(N, M) = \pm 1$) 自由度从最后的平衡方程组消去。删去的自由度是被固定的 (支反点)，程序不考虑加在这些自由度上的载荷。仅用作几何参考的节点 (即节点不属于任何单元)，必须删去全部六个自由度。具有不确定刚度的节点自由度 (如在纯架模型中的转动，二维平板模型中平面以外的分量等) 亦必须删去。删去后降低了要求求解方程组的规模，是有利的。如下表列出由各不同单元类型确定的自由度类型。表是假定单元在 (X, Y, Z) 空间里有一般的方位而制定的。

单元类型： 具有确定刚度的自由度

1、桁架单元	×××
2、梁单元	××××××
3、薄膜单元	×××
4、二维或四边形单元	×, ×
5、三维或块体单元	×××
6、平板或壳单元	××××××
7、边界单元	××××××
8、厚壳单元	×××
9、三维直管和弯管单元	××××××

因此，对于一切三维或块体模型，仅在节点确定 X, Y, Z 三个平移，由于删去每节点三个转动分量，将方程数去掉一半。若节点是两种或更多种单元类型公用的，则有效的自由度由组合得到，例如梁元和桁架所有六个分量在一个节点上公用是可能的，即因梁的影响。

“主从关系”的选择允许在系统中的模型节点刚性连接。对这种情况， $ID(N, M) = K$ 是指在节点 “ N ” 的第 M 个自由度是 “从属” (依靠) 于在节点 “ K ” 的同一 “第 M 个” 自由度；节点 “ K ” 是称

为主节点，而 N 是它的从属节点。要注意的是并不需要有一个从节点 K 到节点 N 的实际的梁，然而有如下的限制：

a、节点 1 不能是主节点，即 $K \neq 1$

b、节点 “ N ” 和 “ K ” 必须是纯梁节点，即不能有其它类型的单元在节点 N 或在 K 点连接。

c、一个节点 “ N ” 仅可从属于一个主节点 “ K ”，然而多个节点能从属于同一主节点。

d、若从 “ N ” 到 “ K ” 的梁是在 X, Y, Z 空间内任意方位的连接，则在节点 “ N ” 的六个自由度必须全部都从属于节点 “ K ”。

节点 “ N ” 的从属自由度的位移或转动分量在打印时不再重复印出。即对于从属自由度的输出为零。

(4) 当 IT (第一列) 是等于字符 “ C ” 或 “ D ” 时，在 3 6 - 6 5 列的输入值被看作为节点 “ N ” 的柱坐标 (R, Y, θ)。 Y 是对称轴。 R 是从节点到 Y 轴的距离， θ 角是顺着正 Y 方向看去，从正 Z 轴起顺时针方向度量的。要注意的是如果节点是柱坐标位的，边界条件代码也总是对于 (X, Y, Z) 系统的。

(5) 节点卡片不必按节点号顺序输入；然而，最后必须确定整数集合 (1—— $NUMNP$) 中的全部节点。对于一系列节点的节点数据

$$N, N+1 \times KN, N+2 \times KN, \dots, N,$$

可以从先后的两张卡片上已给出的信息生成

$$\text{卡片 1} / N, ID(N, 1) \dots ID(N, 6), X(N), \dots KN, T(N) /$$

$$\text{卡片 2} / N, ID(N, 1) \dots ID(N, 6), X(N), \dots KN, T(N) /$$

KN 是在第二张卡片上给出的网格生成参数，第一个生成的节点是 $N+1 \times KN$ ，第二个生成节点是 $N+2 \times KN$ ，等等，一直连续生

成直到确定了节点号为 $N_1 - KN_2$ ，要注意的是节点差 $N_1 - N_2$ 必须能被 KN_2 整除。 N_1 和 N_2 之间插入的节点位于沿两节点间直线的等间隔处。生成的数据边界条件代码取等于在第一张卡片上所给出的值。

节点温度是由 $T(N_1)$ 和 $T(N_2)$ 之间线性插值得到。IT=空白或“C”时，坐标生成是以 (X、Y、Z) 坐标进行的。若 KN_2 是零 (空白) 则不进行生成。当 IT=“D”时，生成是以 (R、Y、J) 坐标进行的。

(6) 节点温度描述结构中真实的 (实际的) 温度分布。从节点值确定的平均单元温度用来选择材料特性，以及计算模型的热应变 (仅用于静力分析)。

VI、单元数据

类型 1——三维桁架单元

桁架单元用数字 1 来标记。对每一单元算出轴向力和应力，均匀的温度变化和三个方向上的惯性载荷可看作是基本的单元载荷条件。桁架单元用如下顺序的卡片来描述。

A、控制卡片 (3I5)

列 号	填 入 内 容
1—5	数字 1
6—10	桁架单元总数
11—15	材料特性卡片数

B、材料控制卡片 (15, 5F10.0)

对于结构中每一单元如需要确定下述的特性，就需要有如下的卡片。

列 号	填 入 内 容
1—5	材料类别号
6—15	弹性模量
16—25	热膨胀系数
36—45	横截面面积
46—55	重量密度 (用于计算重力载荷，采用一个给定的重力常数后也用于计算质量矩阵)

C、单元载荷因子 (4F10.0) 四张卡片

三张卡片确定要加到每个单元载荷工况上去的重力比例数 (在沿三个总体坐标方向的每一方向)。

卡片 1 :在+ X 方向上重力载荷的乘子

列 号	填 入 内 容
1—10	单元载荷工况 A
11—20	“ B
21—30	“ C
31—40	“ D

卡片 2 :同上, 在+ Y 方向上的重力

卡片 3 :同上, 在+ Z 方向上的重力

卡片 4 :本卡片表明要加到每种单元载荷工况上去的热载荷的比例数。

D :单元数据卡片 (4 I 5, F 10 · 0, I 5)

从 “1 ” 开始按数目递增的顺序, 每个单元一张卡片。

列 号	填 入 内 容
1—5	单元
6—10	节点号 I
11—15	节点号 J
16—20	材料特性号
21—30	零应力时的参考温度
31—35	用于自动生成单元的选择参数 K (一系列中的第一张卡片)

注解：

(1) 如果有一系列的单元，每个单元号 N_i 比前一单元大 1 (即 $N_i = N_{i-1} + 1$)，并且节点号可由下式给出的话

$$I_i = I_{i-1} + K$$

$$J_i = J_{i-1} + K$$

那么只需要规定这系列中的第一个单元，生成单元的单元号和温度使之等于第一张卡片上的值。如果 K (由第一张卡片给出) 作为零输入，则由程序置为 1。

(2) 用于计算热载荷的单元温度增量 ΔT 由下式给出

$$\Delta T = (T_i + T_j) / 2.0 - T_r$$

式中 $(T_i + T_j) / 2.0$ 是在节点数据卡片上所给定的节点 i 和 j 的节点温度平均值。 T_r 是在单元卡片上所给定的零应力时的参考温度。对于桁架单元，一般说来，更方便的是令 $T_i = T_j = 0$ ，这就有 $\Delta T = -T_r$ (注意负号)。其它类型的单元载荷亦可用等效的 ΔT 来确定。如果一桁梁单元有一个量 d (过长为正) 的初始装配误差，那么 $\Delta T = \frac{d}{\alpha} L$ 。如果单元两端作用一个初始予应力 P (拉伸为正)，而这端点和结构的其余部分相连接时被“放松”了，于是 $\Delta T = -P / (\alpha A E)$ ，此公式中 A : 横截面面积， L = 单元长度，以及 α = 热膨胀系数。

类型 2 —— 三维梁单元

梁单元用数字 2 来标记, 对每一梁都要计算出梁在局部座标系统中的力 (轴向力和剪切力) 和力矩 (弯矩和扭矩)。沿每一座标方向的重力载荷和给定的固定端力形成基本的单元载荷条件。

用以下顺序的卡片来描述梁单元。

A. 控制卡片 (5I5)

列 号	填 入 内 容
1—5	数字 2
6—10	梁单元总数
11—15	单元特性卡片数
16—20	固定端力组数
21—25	材料特性卡片数

B. 材料特性卡片 (15, 4F10.0)

列 号	填 入 内 容
1—5	材料类别号
6—15	杨氏模量
16—25	泊松比
36—45	重量密度 (用于计算重力载荷, 采用一个给定的重力常数后也用于计算质量矩阵)

C. 单元特性卡片 (15, 6F10.0, 2F5.0)

列 号	填 入 内 容
1—5	几何特性号
6—15	轴向面积
16—25	沿局部座标 2 方向与剪切有关的剪切面积