

ASKA 程序使用入门

李瑞兴 王国仁 编著

兵器工业出版社

前 言

用位移有限元法进行结构分析,首先要将在复杂环境条件下工作的结构取出来作为一个独立的连续体,把结构与周围环境的相互作用理想化为载荷或位移的边界条件;然后根据结构和它的受力特性简化成力学模型,离散化成有限元分析网格,形成分析程序所要求的数据,把数据输入给分析程序,进行计算及结果的后处理。

本书的目的,就是在有限元离散化之后,用户如何准备 ASKA 程序的数据及按用户的要求制定 ASKA 程序运行控制,给从事结构分析的工程师提供一个使用 ASKA 程序的入门资料,使读者通过本书的介绍及例题练习,结合对其它 ASKA 用户手册的掌握,能逐渐达到灵活、熟练使用 ASKA 程序进行结构分析。

由于 ASKA 程序有众多的功能并可采用交互式批处理作业方式,因此给用户提供了非常方便、灵活工作的可能性。在一定意义上讲,使用 ASKA 程序进行结构分析,不只是一种技术,也可以说是根据个人的能力及基础而定的一种技巧。在深入掌握 ASKA 使用之后,将会带来其他结构分析程序所不能提供的技能。

学习本书要求读者具有结构力学,位移有限元方法及 FORTRAN 语言的基础知识。对从事现代结构分析的工程师来说,当然,这些都是非常熟悉的内容了。

本书第一、三、五篇由李瑞兴执笔,第二、四篇由王国仁执笔。

在编写本书过程中,周盘生、邱素环、赵东明等同志曾提供了有益的帮助,在此谨致谢意。

限于编者的水平,书中错误和不足之处在所难免,望读者批评指正。

目 录

第一篇 ASKA—I 线性静力分析

第一章	ASKA程序简介	(1)
第二章	ASKA程序的单元库	(5)
§1	单元数据	(5)
§2	单元库	(6)
第三章	ASKA程序的输入数据	(34)
§1	几个常用术语	(34)
§2	拓扑数据	(35)
§3	结构数据	(44)
第四章	ASKA程序的运行控制	(53)
§1	有限元方法	(53)
§2	ASKA 程序的处理程序(processor)	(56)
§3	单网例题	(61)
第五章	用户自编程序	(68)
§1	二进制数据的输入	(68)
§2	拓扑数据的二进制输入	(68)
§3	结构数据的二进制输入	(71)
§4	自编程序输入数据例题	(72)
第六章	子结构分析	(79)
§1	子结构公式	(79)
§2	子结构的处理程序	(80)
§3	子结构分析中的辅助处理程序	(83)
§4	子结构分析的例题	(84)
第七章	辅助的处理程序	(98)
§1	中断和再起功能	(98)
§2	辅助调试处理程序	(99)
§3	输入/输出处理程序	(101)
§4	数据册运算处理程序	(104)
§5	出错信息	(106)

第二篇 ASKA—II线性动力分析

第一章	结构动力分析概述	(109)
-----	----------	-------

§1	动力问题的基本特征	(109)
§2	动力方程的建立及其求解方法	(110)
§3	动力分析的预备知识	(111)
第二章	ASKA—II 程序功能概况	(119)
§1	程序适用范围及功能关系图	(119)
§2	实际结构边界条件的模拟	(121)
§3	约束的正确使用	(121)
第三章	特征值问题的求解	(123)
§1	三种求解方法的简单介绍	(123)
§2	广义特征值问题到标准特征值问题的转换	(123)
§3	三种求解方法的程序实现	(124)
第四章	动态分析中的静态凝聚方法(GUYAN'S REDUCTION)	
	——特征值节约子	(128)
§1	引言	(128)
§2	主自由度的选取	(128)
§3	静凝聚公式的推导	(129)
§4	静凝聚的程序段调用	(131)
第五章	动力计算中的刚体转换	(134)
§1	引言	(134)
§2	刚体解耦	(134)
§3	刚体运动的定义方法	(136)
§4	有关刚体程序调用一览表	(137)
第六章	动力响应分析	(139)
§1	引言	(139)
§2	阻尼矩阵	(140)
§3	激振力的定义	(142)
§4	振型叠加方法	(143)
§5	响应计算所用程序段一览表	(144)
§6	模态响应计算框图	(145)
§7	输入数据所用程序段	(146)
§8	输出数据所用程序段	(147)
第七章	动力分析考题选编	(149)

第三篇 ASKA—III—1 材料非线性分析

第一章	基本概念	(183)
§1	应力向量、应变向量和不变量	(183)
§2	弹塑性和塑性屈服条件	(184)
§3	弹塑性问题的求解过程	(185)

第二章 单元和处理程序	(188)
§1 单元	(188)
§2 输入数据	(189)
§3 处理程序	(189)
§4 用户函数	(193)
第三章 计算实例	(195)
§1 例1	(195)
§2 例2	(201)
§3 例3	(209)

第四篇 ASKA—III—2线性屈曲分析

第一章 屈曲问题简述	(216)
§1 引言	(216)
§2 平衡状态的形式	(216)
§3 分枝屈曲问题	(218)
第二章 线性屈曲问题的计算	(221)
§1 屈曲问题的有限元方程	(221)
§2 线性屈曲的特征值问题	(222)
§3 屈曲特征值问题的求解	(222)
第三章 静态凝聚	(224)
§1 静凝聚的公式	(224)
§2 凝聚后的屈曲问题	(224)
第四章 ASKA—II—2的处理子程序	(226)
§1 几何刚度方面的处理程序	(226)
§2 特征值方面的处理程序	(226)
§3 信息输出处理程序	(226)
§4 用于凝聚和子结构的处理程序	(227)
第五章 屈曲问题的作业组织	(228)
§1 单网计算的 APC 程序	(228)
§2 单网凝聚的 APC 程序	(229)
§3 使用子结构法和凝聚的 APC 程序	(229)

第五篇 ASKA—T热传导分析

第一章 热传导的基本概念	(233)
§1 物理问题的提出	(233)
§2 热传导方程	(234)
§3 热平衡方程的解	(235)

第二章 ASKA—T 的单元库	(238)
§1 实体单元	(238)
§2 边界面单元	(242)
§3 输入数据说明	(244)
第三章 处理程序及控制程序	(245)
§1 线性稳态问题	(245)
§2 线性瞬态问题	(248)
§3 非线性分析	(254)
第四章 热应力计算	(258)
§1 热应力分析过程	(258)
§2 热应力分析的处理程序	(258)
§3 热应力分析例题	(258)

第一篇 ASKA—I 线性静力分析

第一章 ASKA程序简介

ASKA 程序是在位移有限元方法的理论基础上发展起来的通用的商业化的结构分析程序,是在计算结构力学创始人之一 J.H.Argyris 教授领导下,由西德斯图加特大学的 ISD 专家从1967年开始,前后用了300多人年研制成功的。截止到1983年,世界范围内,包括德国、美国、原苏联、法国、英国、日本、中国、印度等20多个国家,60多个单位安装了 ASKA 程序。而且,ASKA 程序已广泛用于航空、航天、核工程、汽车、造船、建筑、机械工程等各项科研和工业部门,均取得了良好的效果。例如,在美国哥伦比亚航天飞机的研制过程中,美国宇航局通过分析比较,决定选用 ASKA 作为航天飞机的静力分析程序。为此,1982年哥伦比亚号航天飞机试飞成功后,总统卡特发电致意Argyris 教授,感谢 ASKA 程序在航天飞机研制成功中所做的贡献。

ASKA 程序系统包含有60多万条 FORTRAN 语句,共10个部分:

- ASKA I 线性静力分析;
- ASKA II 线性动力分析;
- ASKA III—1 材料非线性及蠕变;
- ASKA III—2 线性屈曲;
- ASKA—T 热传导分析;
- ASKA—HS 轴对称结构非轴对称载荷;
- ASKA—CA 接触问题;
- ASKA—PIPE 管系静动分析;
- ASKA—FM 弹塑性断裂力学;
- ASKA—CS 周期对称结构。

ASKA 程序为满足商用的广泛性、通用性,设计有丰富的单元库。在 ASKA I 中就有:

- 杆元 2 个
- 平面应力元 8 个
- 平面应变元 2 个
- 梁元 9 个
- 板元 9 个
- 壳元 4 个
- 三维实体元 14 个
- 过渡元 1 个
- 空单元接口 1 个

以及 ASKA III—1 材料非线性单元,ASKA III—2 屈曲分析单元,ASKA—T 热传导单元等。

在众多的单元中,单元节点数由最少 2 个节点,到最多 27 个节点。

节点自由度数,不同的单元也不相同。由 2 个自由度的轴对称单元, 3 个自由度的三维元, 6 个自由度的板壳元;以及一个节点 18 个自由度的壳元。

这些单元可以保证位移,斜率,曲率在节点上的连续。

单元可以描述的结构材料,除了一般的各向同性材料、各向异性材料外,还包括有空心板、夹心板及多层的复合材料。

ASKA 程序提供的单元可以描述实际工程中,可能遇到的各种各样的结构。用户可以根据自己问题的性质,选择满足精度要求的单元。在特殊情况下,也可以用空单元接口,自编单元程序,利用 ASKA 程序的算法及数据管理系统完成用户研究的新单元,实现结构计算。

ASKA 程序可以接受的载荷种类,也是多种多样的。

集中载荷:施加在节点上。可以是节点力,节点力矩,节点上的给定位移,节点的初应变。

分布载荷:施加在单元上。可以是单元上线载荷,面载荷,体载荷及单元初应变。

也可以处理多个载荷工况的线性叠加。

ASKA 程序可以处理的位移边界条件是约束,即节点位移等于零。对于与坐标轴成一定角度的斜面上的约束,可以利用旋转自由度方向的方法直接给定。

ASKA 程序的另一个重要特征,是具有完善、灵活、功能很强的子结构技术。

子结构之间耦合连接灵活。两个子结构对应节点的自由度,可以全部耦合在一起,也可以根据实际连接情况耦合部分自由度。不参加耦合的自由度各自独立变化。例如,铰接的梁或

板,只耦合线位移,转角允许独立变化。

两个物体搭接在一起,接合面上只耦合法向位移,切向位移允许独立变化。这样就给结构分析工程师提供了方便。无需采用其他技术处理,直接选用灵活的自由度耦合,模拟工程结构的实际连接情况。

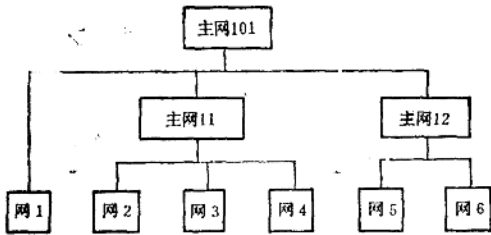


图 1.1.1

ASKA 程序子结构(NET)的连接,

不受结构布局的限制。最低级子结构可以连接到任何一级主网上 (MAINNET), 如图 1.1.1 所示。

网 1 直接连接在最后一级主网 101 上。这对实际设计分析是非常有利的。在型号设计分析中,把已经成熟不再修改的结构部分,划分成一些子结构。把一些局部还可能修改的部分划分成另一些子结构。需要修改的子结构直接连接到最后一级主网上。在第一次计算时保留各步的中间结果。到修改后复算时,没修改部分子结构的前消计算可以拷贝第一次计算的数据。只做修改部分子结构的前消计算,并组集主网求解及回代。这样可以节省大量机时。

ASKA 程序不要求整个结构必需采用同一个坐标系。每个子结构可以定义自己的坐标系。当每个子结构都定义相对自己结构特征方向的坐标系时,形成子结构的数据是非常方便的。相邻子结构有不同坐标系方向时,只要求耦合点自由度方向经旋转一致即可。

ASKA 程序对相同子结构提供了复制功能。当在进行结构分析时,有相同的结构部分存在。相同部分可以划分成相同的子结构。首先计算其中之一,其它相同的子结构都可以拷贝它的中间结果,如输入数据、单元刚度矩阵、结构刚度矩阵、分解后的结构刚度矩阵等等。

ASKA 程序还可以把各网的中间计算数据输出, 记带保存, 在以后的分析中相同结构部分, 划分成相同的网, 恢复使用保存的数据。这相当于把结构设计中的继承性引入到结构分析中, 为结构分析工作者提供了省时省力的可能。

在用 ASKA 程序计算结构问题时, 节点载荷(包括节点的给定位移)和约束边界条件可以安排在任意一级网内。这样为一些相同结构部分, 设置成相同的子结构提供了灵活性, 从而能达到相同子结构复制的目的。

ASKA 程序还有重多的服务处理程序, 打印输出用户需要了解的各种信息, 例如节点自由度情况、单元节点情况、分布载荷的合力、刚度矩阵对角上元素的最大值及最小值、主网、子网的连接情况等等, 用来检查作业中数据的准确性, 避免带错运行、浪费机时。

为了进行逐步调试作业、检查输出数据, ASKA 程序可以采用交互式批处理作业控制, 就是说在程序运行控制的任何一步, 都可以设置中断处理程序 BREAK, 以便暂停运行并可检查输出数据。如果有错误, 修改后在上次中断现场重新开始。如果没有错误, 在当前中断现场继续运行。中断和再起动了分段检查数据外, 还为大规模作业分段运行提供了可能。

除了上述的功能外, ASKA 程序还有一个完善的错误诊断系统, 可以判断、打印输出600多种错误信息。凡是用户引起的数据或控制程序的错误, 都可以打印输出错误性质代码, 对照手册找出错误性质及造成错误可能的原因。

使用 ASKA 程序也像使用其它结构分析程序一样, 首先要让程序认识被分析的结构模型, 也就是说, 把结构模型的数据以程序要求的形式输给 ASKA 程序; 其次是给程序输入要做什么工作的指令, 也就是一个控制程序。

简单问题(图1.1.2)ASKA 程序的输入数据及控制程序如下所示。

例 1

$F = 200$

$P = 5000$

$E = 2.1 \times 10^4$

输入数据:

TOPOLOGY

NET(1)(9)

FLA2(1)(8)(1,1)(2,1)

FLA2(1)(7)(1,1)(3,1)

SUPPRESS(3)(9)(1,1)

SUPPRESS(1,2)(1)(1)

SUPPRESS(2)(1)(9)

END

END TOPOLOGY

\$NPCO C = 2

1 0.0 0.0

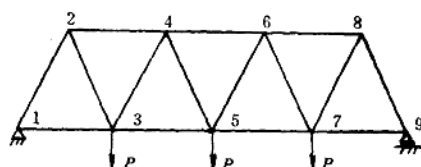


图1.1.2

```

2  1000.0  2000.0
3  2000.0    0.0
4  3000.0  2000.0
5  4000.0    0.0
6  5000.0  2000.0
7  6000.0    0.0
8  7000.0  2000.0
9  8000.0    0.0
$GEDA  C=2  G=1  E=A
        1  200.0  200.0
$EMOD  C=1  G=1  E=A
        1  2.1E4
$NPBR  C=1  S=2  L=1  P=3,7,2
        3  -5000.0

```

\$FIN

控制程序:

```

SUBROUTINE APC
CALL START(1,1)
CALL SA
CALL DATIN(0,4HFINI)
CALL ELCO
CALL TS
CALL SK
CALL BK
CALL BR
CALL SR
CALL USR
CALL DATEX(0,4HUSR)
CALL SP
CALL ST
CALL SIGEX(0,0)
CALL BP
CALL BRR
CALL REAK
CALL DATEX (0,4HREAK)
RETURN
END

```

通过输入上述的数据,ASKA 程序就能认识图1.1.2示的模型。输入控制程序,则能完成上述模型的位移、单元应力、支反力的计算与输出。

第二章 ASKA程序的单元库

ASKA 程序的理论基础是位移有限元方法。位移有限元法在许多著作中都有详细的介绍,用户可以选择任何一本著作作为学习有限元法知识的入门参考书。这里只给出 ASKA I 程序提供使用各种类型单元的简单说明。需要对某个单元深入了解和掌握时,请参考相应的手册及文献。

§1 单元数据

ASKA 程序通过下述几种信息来确认单元的类型,单元以及其特性。

单元类型 在 ASKA 单元库,每一个单元都有一个由字母和数字串组成的名字,以及由三位整型数给出单元类型代码,例如:

FLA2	104	2 节点杆元
QUAM4	110	4 节点膜元
HEXE27	142	27节点实体元

在分析作业中使用哪一种单元,用卡片输入时,要给出单元类型名字。用自编程序形成二进制输入数时,则需要在适当的位置上给出单元类型代码。程序通过单元类型名字或类型代码来识别单元是哪类单元。

单元 程序识别单元,则是通过单元节点号来决定。在有了节点坐标之后,单元节点编号顺序决定了单元的形状及位置。同时,单元节点编号顺序也决定了单元刚度矩阵的排列。不同的程序相同单元编号顺序可能不同。为了避免引起不必要的麻烦,在用 ASKA 程序进行结构分析时,应严格按单元库所给出单元节点编号顺序给出单元节点号。

单元特征 描述单元特征的数据,包括单元的几何数据,单元材料性能及单元载荷。

有些单元类型在给出单元节点后就能决定单元的形状及体积,如三维实体元、轴对称单元。有些单元给出单元节点后,还要给出一些几何数据才能确定单元特征,如杆元的截面面积、板壳元的厚度、梁元的截面面积、剪切面积、弯曲和扭转刚度等。这些都要按单元库里各类单元提出的要求形成输入数据。

单元材料 ASKA 程序允许的结构材料是各向同性材料及各向异性材料。各向同性材料要输入材料的弹性模量 E 及泊松比 μ 。各向异性材料输入材料的虎克矩阵。虎克矩阵各项排列顺序如下:

二维

$$(E_{11} E_{12} E_{22} E_{13} E_{23} E_{33})$$

三维

$$(E_{11} E_{12} E_{22} E_{13} E_{23} E_{33} E_{14} E_{24} E_{34} E_{44} E_{15} E_{25} E_{35} E_{45} E_{55} E_{16} E_{26} E_{36} E_{46} E_{56} E_{66})$$

当使用各向异性材料时,单元描述的单元节点号后面,需要加上各向异性材料标识 (ANIS)。如果各向异性材料的主轴方向与网坐标轴的方向不同时,还要通过 ESYS 数据定义

材料方向主轴的局部坐标系。

单元载荷 包括单元分布载荷及单元初应变。并不是 ASKA 单元库里所有的单元都能接受单元载荷。施加单元载荷应参考单元库里单元说明及 UM 205 用户手册。单元初应变通过 ETAE 单元初应变及 ETAG 单元组初应变给出。单元分布载荷通过 BQIN 给出。

ASKA 程序对静力问题的计算结果,有节点位移、单元位移、单元应力、节点应力及单元应变,这些都可输出。但是,有些单元节点平均应力没有实际意义,程序不接受计算节点平均应力的处理。因此,在选用单元时要注意应力输出形式。

§2 单元库

单元库中所有的单元,都需要输入网节点的坐标,数据类型 NPCO。它给出各节点的坐标值 x, y, z 。一般情况下,计算得出的节点位移 USR 也是必须输出的。它对应节点相关单元的节点自由度向量。其它一些输入、输出数据,则与单元类型有关,在单元说明中给出。

§2.1 杆元

FLA2

二节点杆元(图1.2.1)

自由度: u, v, w 。

必须的输入数据:

GEOA 两端点,杆元剖面面积。

EMOD 杆元材料弹性模量 E 。

选择的输入数据:

NPBR 对应自由度方向的节点力。

USRP 对应自由度方向的给定位移。

ETAE 两端点,杆元轴向初应变。

ETAG 以单元组形式给出,两端点,杆元轴向初应变。

BQIN 两端点,坐标方向单位体积力分量。

输出数据:

SIG 两端点,杆元轴向正应力。

EPS 两端点,杆元轴向正应变。

NPST 节点平均应力。无。

FLA3

三节点杆元(图1.2.2)

自由度: u, v, w 。

必须的输入数据:

GEDA 三个节点处,杆元剖面面积。

EMOD 杆元材料弹性模量 E 。

选择的输入数据:

NPBR 对应自由度方向的节点力。

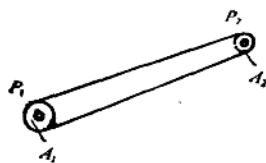


图1.2.1

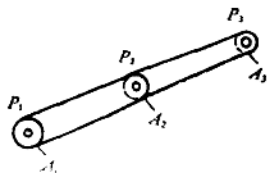


图1.2.2

USRP 对应自由度方向的给定位移。

ETAE 两端点, 杆元轴向初应变。

ETAG 以单元组形式给出, 两端点, 杆元轴向初应变。

输出数据

SIG 两端点, 杆元轴向正应力。

EPS 两端点, 杆元轴向正应变。

NPST 无。

§2.2 梁元

BECOC

三维等剖面实心或闭合薄壁梁元(图1.2.3)

自由度: $u, v, w, \phi_x, \phi_y, \phi_z$ 。

必须的输入数据:

GEDA 见表2.1。

EMOD 梁元材料的弹性模量 E , 泊松比 μ 。

选择的输入数据:

NPBR 对应节点自由度的节点力。

USRP 对应节点自由度的给定位移。

ETAE 单元初应变, $(\delta\bar{\phi}_{x'}, \bar{\phi}_{x'2}, \bar{\phi}_{y'1}, \bar{\phi}_{y'2}, \bar{\theta})$ 对应

梁固有位移向量。参看 UM206。

ETAE 以单元组形式给出的初应变。

BQIN 两端点, 坐标方向单位体积力分量。

输出数据:

SIG 两端点, 剖面参照单元坐标方向的应力合力, N, S_x, S_y, M_x, M_y, T 。

EPS 无。

NPST 无。

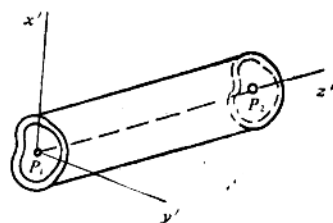


图1.2.3

BECOCX

连接偏心节点三维等剖面实心或闭合薄壁

梁元(图1.2.4)

几何数据 GEDA 见表 2.1, 其它与 BECOC 相同。

BECOP

三维等开剖面薄壁梁元(图1.2.5)

自由度: $u, v, w, \phi_x, \phi_y, \phi_z, \theta$ 。

必须的输入数据:

GEDA 见表2.1。

EMOD 材料弹性模量 E , 泊松比 μ 。

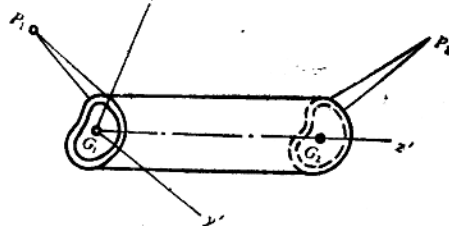


图1.2.4

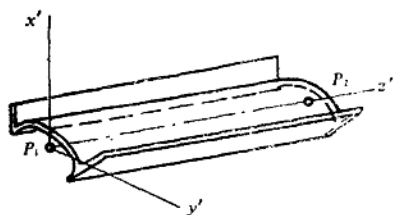


图1.2.5

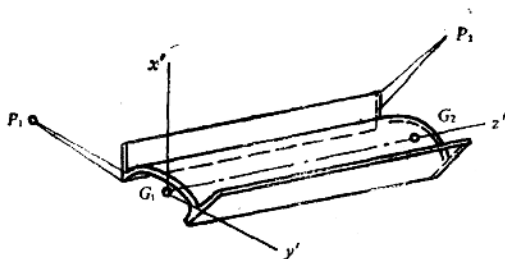


图1.2.6

选择的输入数据:

NPBR 对应自由度的节点力。

USRP 对应自由度的给定节点位移。

ETA E 单元初应变, $(\delta\bar{\phi}_{x1}, \bar{\phi}_{x2}, \bar{\phi}_{y1}, \bar{\phi}_{y2}, \bar{\theta}\bar{\theta}_1, \bar{\theta}_2)$ 对应单元固有位移向量。参看 UM206。

ETAG 单元组形式给出初应变。

BQIN 无。

输出数据:

SIG 两端点剖面参照单元坐标方向的应力合力。 $N, S_x, S_y, M_x, M_y, T, B$ 。

EPS 无。

NPST 无。

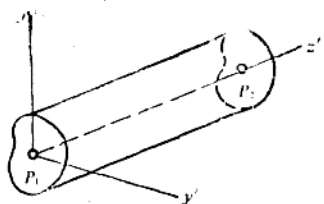
BECOPX

连接偏心节点三维等剖面薄壁梁元(图1.2.6)

GEDA 见表2.1, 其它与 BECOP 梁元相同。

BECOS

三维等剖面实心梁元, 不考虑弯曲中的剪切效应 (图



1.2.7)

自由度: $u, v, w, \phi_x, \phi_y, \phi_z$ 。

必须的输入数据:

GEDA 见表2.1。

EMOD 弹性模量 E , 泊松比 μ 。

选择的输入数据:

NPBR 对应节点自由度的节点力。

USRP 对应节点自由度的给定位移。

ETA E 单元初应变, $(\delta\bar{\phi}_{x1}, \bar{\phi}_{x2}, \bar{\phi}_{y1}, \bar{\phi}_{y2}, \bar{\theta})$ 对应单元固有位移向量, 参看 UM206。

ETAG 以单元组形式给出的初应变。

BQIN 在两端点, 总体坐标方向单位体积力分量。

输出数据:

SIG 两端点剖面参照单元坐标方向的应力合力, N, S_x, S_y, M_x, M_y, T 。

EPS 无。

NPST 无。

BECOSX

连接偏心节点三维等剖面实心梁元, 不考虑弯曲中的剪切效应(图1.2.8)

GEDA 见表2.1, 其它与 BECOS 梁元相同。

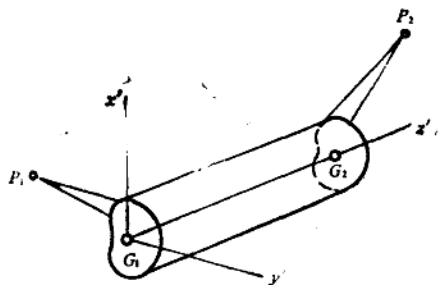


图1.2.8

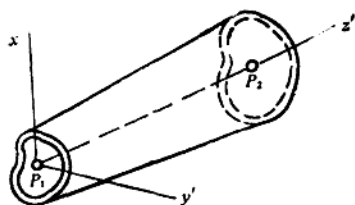


图1.2.9

BETAC

三维变剖面实心或闭合薄壁梁元, 不考虑弯曲中的剪切效应(图1.2.9)

自由度: $u, v, w, \phi_x, \phi_y, \phi_z$ 。

必须的输入数据:

GEDA 见表2.1。

EMOD 弹性模量 E , 泊松比 μ 。

选择的输入数据:

NPBR 对应节点自由度的节点力。

USRP 对应节点自由度的给定位移。

ETAE 单元初应变, $(\delta\phi_{x,1}, \delta\phi_{x,2}, \delta\phi_{y,1}, \delta\phi_{y,2}, \delta\theta)$ 对应单元固有位移向量, 参看 UM206。

ETAG 以单元组形式给出的初应变。

BQIN 在两端点, 总体坐标方向单位体积力分量。

输出数据:

SIG 两端点剖面, 参照单元坐标方向的应力合力, N, S_x, S_y, M_x, M_y, T 。

BETACX

连接偏心节点, 三维变剖面实心或闭合薄壁梁元(图1.2.10)

GEDA 见表2.1, 其它与 BETAC 单元相同。

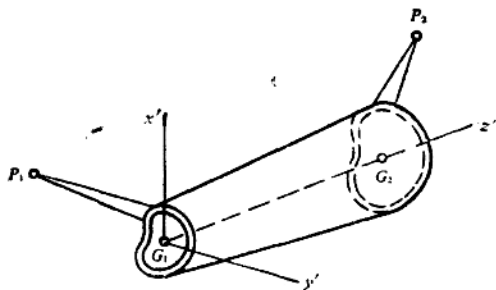


图1.2.10

BECOPL

三层等剖面, 在 $x'z'$ 平面内纯弯曲梁元(图1.2.11)

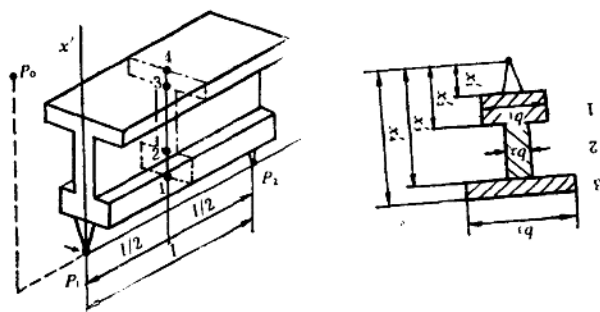


图1.2.11

自由度: $u, v, w, \phi_x, \phi_y, \phi_z$ 。

必须的输入数据:

GEDA 定义层高数据 x'_1, x'_2, x'_3, x'_4 。层宽数据 b_1, b_2, b_3 。单元坐标参考点 P_0 的坐标 x_0, y_0, z_0 。

EMOD 弹性模量 E 。

选择的输入数据:

NPBR 对应节点自由度的节点力。

USRP 对应节点自由度的给定位移。

ETAE 单元轴向初应变, $\eta_{x,1}, \eta_{x,2}, \eta_{x,3}, \eta_{x,4}$ 。

ETAG 以单元组形式给出的初应变。

BQIN 无。

输出数据:

SIG 对应 x'_1, x'_2, x'_3, x'_4 的四个点单元轴向应力。

EPS 无。

NPST 无。

GBEAMX

连接偏心节点, 可包含10段变剖面闭合薄壁梁元, 考虑弯曲中的剪切效应(图1.2.12)

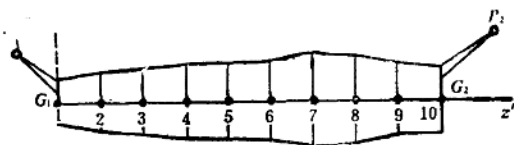


图1.2.12

自由度: $u, v, w, \phi_x, \phi_y, \phi_z$ 。

必须的输入数据:

GEDA 对应10段的十个剖面面 A 。十个惯性矩 I_x, I_y, I_{xy} 。十个剪切面 A'_x, A'_y 的平均值。单元坐标参考点 P_0 的坐标。在两端点剪切中心坐标 $x'_{E1}, y'_{E2}, x'_{E2}, y'_{E2}$ 。刚臂值 $e_{x1}, e_{y1}, e_{x2}, e_{y2}, e_{x2}, e_{y2}$ 。

EMOD 弹性模量 E , 泊松比 μ 。

选择的输入数据:

NPBR 对应节点自由度的节点力。

表1.2.1

单元类型名	BECOS	BECOC	BECOP	BECOSX	BECOCX	BECOPX	BETAC 节点1节点2		BETACX 节点1节点2		
数据总数	8	13	11	14	19	17	20		26		
剖面面积 A	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	
惯性矩	I_x	2	2	2	2	2	3	4	3	4	
	I_y	3	3	3	3	3	5	6	5	6	
	I_{xy}	4	4	4	4	4	7	8	7	8	
扭转常数 J	5	5	5	5	5	5	9	10	9	10	
弯扭常数 Γ			6			6					
$A_x'^{-1}$		6			6		11		11		
剪切面积倒数 $A_y'^{-1}$		7			7		12		12		
$A_{xy}'^{-1}$		8			8		13		13		
参考点 P_0 坐标 y_0	x_0	6	9	7	6	9	14		14		
	y_0	7	10	8	7	10	15		15		
	z_0	8	11	9	8	11	16		16		
剪心坐标	x'_s		12	10		12	10	17	19	17	19
	y'_s		13	11		13	11	18	20	18	20
刚臂坐标	e_x			节点1 9	节点2 12	节点1 14	节点2 17	节点1 12	节点2 15		21 24
	e_y			10	13	15	18	13	16		22 25
	e_z			11	14	16	19	14	17		23 26

USRPR 对应节点自由度的给定位移。

ETAE 单元初应变, $(\delta\bar{\phi}_{x1}, \bar{\phi}_{x2}, \bar{\phi}_{y1}, \bar{\phi}_{y2}, \bar{\theta})$ 。对应梁固有位移向量。参看 UM206。

ETAG 以单元组形式给出的初应变。

BQIN 无。

输出数据:

SIG 两端点剖面, 参照单元坐标的应力合力 N, S_x, S_y, M_x, M_y, T 。

EPS 无。

NPST 无。

上面给出各种梁元类型, 输入, 输出数据(见表1.2.1)。对一些剖面形式的梁元(圆形, 矩