

VISCOELASTIC STRUCTURES

LI Junbao WANG Dajun

(Dept. of Mechanics and Engineering Science,
Peking University, Beijing 100871, China)

YING Huaiqiao

(China Orient Institute of Noise and Vibration,
Beijing 100085, China)

Abstract In structural vibration analyses, vibration damping of viscoelastic structures is equivalently reduced to a visco-damping model by the well-known energy equivalent principle. The approach of energy equivalent principle is at first introduced in

this paper, and a new method based on the equivalent eigenvalues of the system is also suggested to reduce viscoelastic damping to a visco-damping model. The detailed discussion and comparison of the two methods are conducted for the obtained equivalent systems. It is also pointed out that the results obtained by the energy method are identical to those by the equivalent frequency response functions of the two systems, and the other method means the equivalent amplitudes of frequency response functions.

Key words viscoelastic damping, visco-damping, energy equivalent, eigenvalue equivalent, vibration analysis

杆件撤除对平面刚架影响的实用算法

江爱民 汪小超 沈晓安

(浙江工业大学浙西分校, 衢州 324006)

摘要 基于矩阵位移法, 提出了用于分析杆件撤除对平面刚架结构影响的简化计算方法. 与以往不同, 本法仅将杆件撤除视为在原结构上增加荷载工况, 因此无需重建总体刚度矩阵即可用于分析杆件撤除对结构的影响. 本方法的计算速度比矩阵位移法快很多, 算例表明, 两种方法的计算结果一致.

关键词 杆件, 平面刚架结构, 工况, 关联系数

文献 [1] 介绍了一种分析杆件撤除对空间网格结构影响的计算方法, 针对网格结构中各杆件为轴力杆的受力情况, 将杆件的撤除视为在原结构上增加一种荷载工况. 本文将文献 [1] 的思想方法推广应用到平面刚架结构中任意一根杆件被撤除对整体结构的受力影响研究, 提出一种简化方法: 在矩阵位移法基础上建立并分解原刚架结构的总体刚度矩阵, 而将杆件的撤除仅视为在原结构上增加四种工况, 从而无需重建和分解总体刚度, 即能快速、有效、实用地计算分析任一根杆件撤除对整体刚架结构的影响.

1 基本思路

1.1 荷载工况

在结构坐标系中单元 e 的杆端内力如图 1(b) 所示.

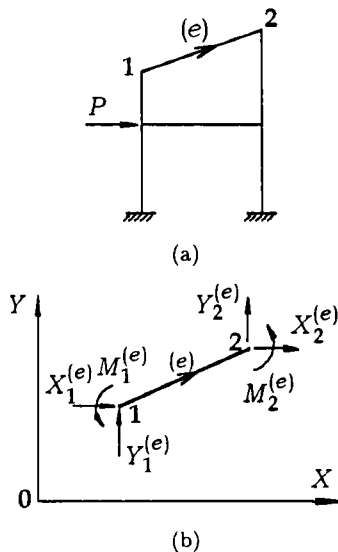


图 1

为分析图 2 中撤除杆件 j 对平面刚架的影响, 本文将其视为在原结构上增加 4 种受力状况, 因此可定

义 5 种 荷 载 工 况:

工 况 0: 结 构 承 受 实 际 荷 载 (图 2(a)).

工 况 1: 在 待 撤 除 杆 件 的 两 端 点 施 加 一 对 x 轴 向 关 联 荷 载 α_1 (图 2(b)). 其 中 在 起 点 1 处 沿 x 正 向, 在 终 点 2 处 沿 x 负 向.

工 况 2: 在 待 撤 除 杆 件 的 两 端 点 施 加 一 对 y 轴 向 关 联 荷 载 α_2 (图 2(c)). 其 中 在 起 点 1 处 沿 y 正 向, 在 终 点 2 处 沿 y 负 向.

工 况 3: 在 待 撤 除 杆 件 起 点 1 处 加 一 个 关 联 外 力 偶 α_3 (图 2(d)). 其 中 外 力 偶 以 逆 时 针 向 为 正.

工 况 4: 在 待 撤 除 杆 件 终 点 2 处 加 一 个 关 联 外 力 偶 α_4 (图 2(e)). 其 中 外 力 偶 以 逆 时 针 向 为 正.

在 工 况 0 中 任 一 杆 件 (e) 的 杆 端 力 记 为 $X_{10}^{(e)}, Y_{10}^{(e)}, M_{10}^{(e)}, X_{20}^{(e)}, Y_{20}^{(e)}$ 和 $M_{20}^{(e)}$, 在 工 况 i ($i = 1 \sim 4$) 中 当 $\alpha_i = 1$ 时 杆 件 (e) 的 杆 端 力 记 为 $\bar{X}_{1i}^{(e)}, \bar{Y}_{1i}^{(e)}, \bar{M}_{1i}^{(e)}, \bar{X}_{2i}^{(e)}, \bar{Y}_{2i}^{(e)}$ 和 $\bar{M}_{2i}^{(e)}$ ($i = 1 \sim 4$).

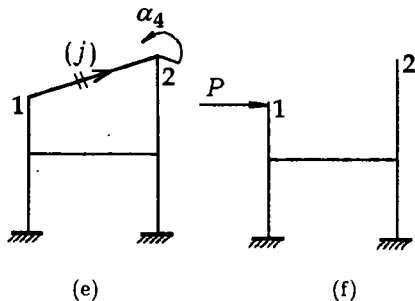
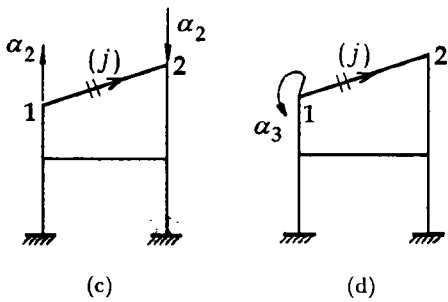
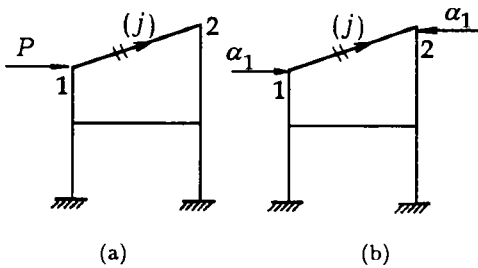


图 2

设 结 构 的 所 有 杆 件 皆 参 与 工 作 且 已 按 边 界 约 束 条 件 修 改 后 的 总 刚 是 $[K]$, 总 体 结 点 位 移 向 量 是 $\{D\}$, 则 总 体 刚 度 方 程 为

$$[K]\{D\} = \left\{ \begin{array}{c} \text{I\&R0} \\ \text{I\&R1} \\ \text{I\&R2} \\ \text{I\&R3} \\ \text{I\&R4} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{c} P_0 \\ P_{11} \cdots P_{1m} \\ P_{21} \cdots P_{2m} \\ P_{31} \cdots P_{3m} \\ P_{41} \cdots P_{4m} \end{array} \right\} \quad (1)$$

其 中 $P_0 = [P_{01}, \dots, P_{0n}]^T$ 为 实 际 荷 载 组 成 的 结 点 力 列 向 量, n 是 引 入 边 界 条 件 后 的 结 构 未 知 结 点 位 移 总 数; 而 $P_{ij} = [P_{ij1}, \dots, P_{ijn}]^T$ ($i = 1 \sim 4, j = 1 \sim m$) 是 由 单 位 关 联 荷 载 $\alpha_i = 1$ 导 致 的 结 点 力 列 向 量, m 是 结 构 中 将 被 分 别 撤 除 的 杆 件 单 元 总 数.

对 式 (1) 右 边 每 一 列 力 向 量 求 解 相 应 的 位 移 向 量 $\{D\}_r$ ($r = 0, 11, \dots, 1m, 41, \dots, 4m$), 然 后 由 $\{D\}_r$ 求 出 对 应 工 况 的 各 杆 件 内 力. 总 计 需 要 求 解 $4m+1$ 次 位 移 列 向 量, 但 在 整 个 求 解 过 程 中, 刚 度 矩 阵 $[K]$ 始 终 保 持 不 变.

1.3 杆 件 撤 除 后 结 构 存 留 杆 件 的 内 力 计 算

若 杆 件 j 待 撤 除, 在 不 考 虑 其 自 重 且 无 任 何 荷 载 作 用 在 其 域 内 时, 我 们 由 线 性 代 数 方 程 组

$$\begin{bmatrix} \bar{X}_{11}^{(j)} - 1 & \bar{X}_{12}^{(j)} & \bar{X}_{13}^{(j)} & \bar{X}_{14}^{(j)} \\ \bar{Y}_{11}^{(j)} & \bar{Y}_{12}^{(j)} - 1 & \bar{Y}_{13}^{(j)} & \bar{Y}_{14}^{(j)} \\ \bar{M}_{11}^{(j)} & \bar{M}_{12}^{(j)} & \bar{M}_{13}^{(j)} - 1 & \bar{Y}_{14}^{(j)} \\ \bar{M}_{21}^{(j)} & \bar{M}_{22}^{(j)} & \bar{M}_{23}^{(j)} & \bar{M}_{24}^{(j)} - 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -X_{10}^{(j)} \\ -Y_{10}^{(j)} \\ -M_{10}^{(j)} \\ -M_{20}^{(j)} \end{pmatrix} \quad (2)$$

求 解 出 关 联 系 数 $\alpha_1 \sim \alpha_4$, 那 么 用 结 构 力 学 位 移 计 算 方 法 容 易 验 证: 对 各 结 点 的 相 应 位 移 分 量 而 言: $a + b + c + d + e = f$; 从 而 使 结 构 中 各 存 留 杆 件 的 内 力 与 5 种 工 况 中 该 杆 件 内 力 也 满 足 这 一 叠 加 关 系. 因 此, 当 杆 件 j 被 撤 除 后 刚 架 结 构 中 任 意 一 根 存 留 杆 件

1.2 总 体 刚 度 方 程 及 求 解

e 的局部坐标系下杆端的内力可表示为

$$\left. \begin{aligned} N_i^{(e)} &= N_{i0}^{(e)} + \alpha_1 \bar{N}_{i1}^{(e)} + \alpha_2 \bar{N}_{i2}^{(e)} + \alpha_3 \bar{N}_{i3}^{(e)} + \alpha_4 \bar{N}_{i4}^{(e)} \\ Q_i^{(e)} &= Q_{i0}^{(e)} + \alpha_1 \bar{Q}_{i1}^{(e)} + \alpha_2 \bar{Q}_{i2}^{(e)} + \alpha_3 \bar{Q}_{i3}^{(e)} + \alpha_4 \bar{Q}_{i4}^{(e)} \\ M_i^{(e)} &= M_{i0}^{(e)} + \alpha_1 \bar{M}_{i1}^{(e)} + \alpha_2 \bar{M}_{i2}^{(e)} + \alpha_3 \bar{M}_{i3}^{(e)} + \alpha_4 \bar{M}_{i4}^{(e)} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$(i = 1, 2; e \neq j)$

2 数值计算

例 两层三跨刚架承受荷载如图 3 所示, 所用混凝土为 c30, 弹性模量 $E = 3 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$. 各梁、柱单元的惯性矩 I 和横截面积 A 见表 1. 考虑先后撤除梁单元 5 和柱单元 13, 计算结果见表 2、表 3. (集中力均作用在梁的中点、1/3 处或结点处)

$$\begin{aligned} (P_1 = 101.7 \text{ kN}, P_2 = 117.9 \text{ kN}, P_3 = 33.2 \text{ kN}, \\ P_4 = 28.8 \text{ kN}, P_5 = 82.5 \text{ kN}, \\ q_1 = 6.8 \text{ kN/m}, q_2 = 3.6 \text{ kN/m}) \end{aligned}$$

表 1 杆件惯性矩 I 和横截面积 A

e	梁单元				柱单元
	1、5	2、6	3、7	4、8	9~16
$I(\text{m}^4)$	2.6578×10^{-3}	1.0×10^{-2}	2.6578×10^{-3}	1.6×10^{-3}	2.1333×10^{-3}
$A(\text{m}^2)$	0.1575	0.2450	0.1575	0.1200	0.1600

表 2 结点位移分量及比较

被撤除杆件号	关联系数 α	结点号	本文方法计算结果			矩阵位移法计算结果			
			U/mm	V/mm	$\varphi/\text{弧度}$	U/mm	V/mm	$\varphi/\text{弧度}$	
5	α_1	-1805.013	7	+0.824 78	-0.813 86	-0.001 01	+0.823 87	-0.813 85	-0.001 01
	α_2	-18.189 6	8	+0.846 31	-0.701 92	+0.000 75	+0.845 41	-0.701 92	+0.000 75
	α_3	-22.930 76	9	+0.839 78	-0.176 39	-0.000 28	+0.838 88	-0.176 39	-0.000 28
	α_4	-58.922 41							
13	α_1	-40.232	4	-8.892 86	-0.169 91	+0.000 62	-8.892 97	-0.169 91	+0.000 62
	α_2	19 432.76	5	-8.892 86	+0.085 13	-0.000 11	-8.892 97	+0.085 14	-0.000 11
	α_3	0	6	-1.957 08	-24.290 95	+0.000 44	-1.957 14	-24.291 24	+0.000 44
	α_4	167.892 3							

表 3 杆件内力计算结果及比较

被撤除杆件号	关联系数 α	杆件内力符号	本文方法计算结果	矩阵位移法计算结果	未撤除杆件时计算结果 (即工况 0)	
5	α_1	-1805.013	$N_1^{(9)}/\text{kN}$	-194.515 2	-194.521 6	-198.145 7
	α_2	-18.189 6	$Q_1^{(9)}/\text{kN}$	-3.115 29	-3.127 07	-9.047 79
			$M_1^{(9)}/\text{kNm}$	-9.366 73	-9.336 78	+4.517 05 (*)
	α_3	-22.930 76	$N_2^{(13)}/\text{kN}$	-223.314 9	-223.321 6	-217.278 2
13			$Q_2^{(13)}/\text{kN}$	-3.136 62	-3.127 07	+2.244 9 (*)
	α_4	-58.922 41	$M_2^{(13)}/\text{kNm}$	+9.366 9	+9.336 77	-8.567 14 (*)
	α_1	-40.232	$N_1^{(5)}/\text{kN}$	-82.359 09	-82.360 34	+11.292 75 (*)
	α_2	19 432.76	$Q_1^{(5)}/\text{kN}$	-119.781 1	-119.782 6	-9.667 19
			$M_1^{(5)}/\text{kNm}$	+204.484 1	+204.487 1	+4.050 0
	α_3	0	$N_1^{(9)}/\text{kN}$	-90.988 9	-90.982 9	-198.145 7
			$Q_1^{(9)}/\text{kN}$	+82.359 3	+82.360 5	-9.047 8 (*)
	α_4	167.892 3	$M_1^{(9)}/\text{kNm}$	-204.484	-204.487	+4.517 05 (*)

注：当某杆件撤除时，凡标有“*”的行，表示对应内力变号。

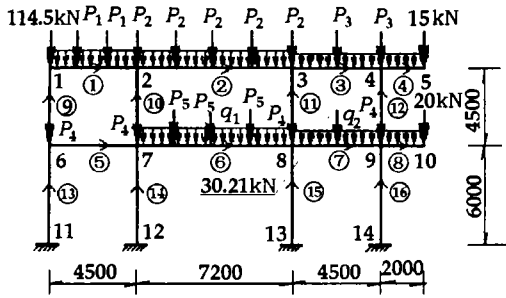


图 3

用矩阵位移法进行结构计算, 主要工作量体现在总刚的建立和三角分解上. 若需考虑 m 根杆件分别撤除后对整体结构内力重分布的影响, 其计算过程的主要耗时与矩阵位移法相比, 本文方法的耗时消耗低, 当用于计算大型平面刚架时, 本文方法具有较大优势.

3 结 论

(1) 用本方法可以快速、简洁地研究分析杆件撤除后平面刚架内力和位移变化的规律.

(2) 当需研究多根杆件分别撤除时对整体结构的影响时, 本方法显示出较大优势.

(3) 从计算结果中可以清楚地看出本方法计算结果与矩阵位移法的一致, 而且发现某些杆件的受力状态发生变化, 如由拉力变压力、受拉侧变成受压侧, 应特别引起注意.

参 考 文 献

- 1 周岱, 董石麟, 赵阳. 杆件撤除对空间网格结构影响的实

用算法. 建筑结构学报, 1997, 18(1)

- 2 杨弗康主编. 结构力学. 北京: 高等教育出版社, 1983

A SIMPLIFIED CALCULATION OF INTERNAL FORCE REDISTRIBUTION IN PLANE FRAME STRUCTURES DUE TO THE REMOVAL OF A MEMBER

JIANG Aimin WANG Xiaochao

SHEN Xiaoran

(West Branch of Zhejiang University of Technology, Quzhou 324006, China)

Abstract Based on the matrix displacement method, a simplified method is presented in this paper. This method can be used to calculate the internal force distribution in plane frame structures due to the removal of a member. In this method, such removal is treated as applying four kinds of load cases to the original structures, and the internal force redistribution can be calculated without modifying the global stiffness matrix. The computation by this method is time-saving as compared with the traditional method. Numerical examples show that the results of the two methods are almost the same.

Key words member, plane frame structures, load case, relative coefficient

δ -Al₂O₃ 短纤维增强 Al 合金复合材料的拉伸力学行为研究¹⁾

康国政

(西南交通大学应用力学与工程系, 成都 610031)

摘要 利用宏观、微观实验和三维弹塑性有限元分析方法 (FEM), 对 δ -Al₂O₃ 短纤维增强 Al 合金复合材料的弹性模量和应力-应变曲线进行预测, 同时讨论该类材料的断裂特征. 研究了纤维位向的变化并引入了实测的短纤维位向分布规律. 研究表明, 本文对该类复合材料的弹性模量和应力-应变曲线的预测是较

为准确的.

关键词 金属基复合材料, 短纤维, 弹性模量, 应力应变曲线, 有限元分析

1 引 言

短纤维增强金属基复合材料在汽车、车辆以及运

1) 四川省应用基础基金项目资助.

1999-06-08 收到第 1 稿, 2000-02-24 收到修改稿.