

文章编号: 1005—0523(2005)04—0010—04

多层住宅轻钢结构静力计算程序设计

吴 迪, 徐海燕

(华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 3300131)

摘要: 本文重点介绍了多层住宅轻钢结构的受力特点、截面形式和静力计算理论; 提出了将普通钢结构程序修改为多层住宅轻钢结构程序的具体流程. 为多层住宅轻钢结构程序的进一步发展提供参考.

关 键 词: 轻钢结构; 开口薄壁构件; 约束扭转; 程序设计

中图分类号: TU392.5

文献标识码: A

1 引 言

目前国内常用的轻钢结构承重体系包括: 焊接门式刚架结构体系、冷弯薄壁型钢结构体系、多层房屋轻钢结构体系、金属拱型波纹屋盖体系等. 多层房屋轻钢结构体系主要采用冷弯薄壁型钢, 它主要由 $0.5 \sim 3.5 \text{ mm}$ 厚的普通钢板或镀锌钢板经冷压或冷弯而成, 基本形状为 C 形、 Z 形和方管(矩形), 并可形成各种折皱和卷边、拼成 I 形或 T 形, 以提高截面刚度和承载力^[1]. 因为冷弯薄壁型钢的杆件截面符合薄壁构件截面的特点($\delta/b \leq 0.1$ 且 $b/l \leq 0.1 \sim 0.2$, 其中 δ —为壁厚; b —为截面最大宽度或高度; l —为杆长;), 并且由一块钢板经冷轧或冷弯处理而得. 因为多层住宅轻钢框架结构具有以上特点, 它在进行程序设计和有限元软件受力分析时应该按照开口薄壁杆件来建立计算模型进行分析. 本文建立了轻钢结构的单元刚度矩阵, 并且编制了程序设计流程图, 可将普通的钢结构设计计算软件修改为轻钢结构设计计算软件.

2 轻钢结构的构件受力分析

开口薄壁构件受扭时, 其横向截面的纵向翘曲受到约束, 这类扭转称为约束扭转. 首先, 设开口薄壁构件 z 处的考虑约束扭转时的截面总扭矩为 $L(z)$, 分布扭矩为 $m(z)$, 扭转角为 $\theta(z)$. 由于

$$L(z) = M_w(z) + X(z) \quad (1)$$

其中 $X(z)$ 为自由扭转剪应力产生的自由扭转扭矩; $M_w(z)$ 为约束扭转剪应力产生的弯扭力矩; 对于开口壁构件其自由扭转扭矩为: $X(z) = GJ_d \theta'(z)$; 约束扭转剪应力产生的弯扭力矩为: $M_w(z) = -E_1 J_w \theta''(z)$. 所以有方程: $E_1 J_w \theta''(z) - GJ_d \theta'(z) = -L(z)$ 将方程左右两边对 z 求导并由 $m = -dL/dz$ 得 $E_1 J_w \theta'''(z) - GJ_d \theta''(z) = m(z)$ 其中 $E_1 J_w$ 为截面的约束扭转刚度, GJ_d 为截面的自由扭转刚度. 再将方程左右两边同除 $E_1 J_d$, 并且令 $\sqrt{GJ_d l^2 / EJ_w}$, 则方程变为:

$$\theta'''(z) - k^2/l^2 \theta''(z) = m(z)/E_1 J_w \quad (2)$$

这个四阶常系数微分方程的通解是: $\theta(z) = A_1 + A_2 z + A_3 \sin(\frac{k}{l} z) + A_4 \cos(\frac{k}{l} z) + \theta^*(z)$ 其中 A_1 ,

收稿日期: 2005—01—18

作者简介: 吴 迪(1978—), 男, 江西南昌人, 结构工程, 硕士研究生.

中国知网 <https://www.cnki.net>

A_2, A_3, A_4 为四个待定常数, 设 $\theta^*(z)$ 为满足方程的特解. 于是得出了构件在 z 处的广义力和广义位移为:

$$\left. \begin{aligned} \theta(z) &= A_1 + A_2 z + A_3 \sinh\left(\frac{k}{l} z\right) + A_4 \cosh\left(\frac{k}{l} z\right) + \theta(z) \\ \theta'(z) &= A_2 + \frac{k}{l} \cosh\left(\frac{k}{l} z\right) + A_4 + \frac{k}{l} \sinh\left(\frac{k}{l} z\right) + \theta^{*'}(z) \\ B(z) &= -GJ_d \left[A_3 \sinh\left(\frac{k}{l} z\right) + A_4 \cosh\left(\frac{k}{l} z\right) + \frac{l^2}{k^2} \theta^{*''}(z) \right] \\ L(z) &= GJ_d \left[A_2 + \theta^{*'}(z) - \frac{l^2}{k^2} \theta^{*'''}(z) \right] \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

当杆件无分布扭矩时($m(z) = 0$), 则方程中 $\theta^*(z) = \theta^{*'}(z) = \theta^{*'''} = 0$. 设 $z = 0$ (杆端 a) 的扭转角 θ_a 和翘曲 θ_a' 已知; 当 $Z = l$ (杆端 b) 固定时, 即 $\theta_b = 0, \theta_b' = 0$; 将以上边界条件代入式(3), 即得薄壁杆件一端有扭转角 θ_a 和翘曲 θ_a' 并且另一端固定时杆端截面上的广义力为:

$$\left\{ \begin{aligned} L_a &= \frac{2EJ_w}{l^2} (\alpha + \beta) \theta_a' + \frac{2EJ_w}{l^3} \gamma \theta_a \\ B_a &= \frac{2EJ_w}{l^2} \alpha \theta_a' + \frac{2EJ_w}{l^2} (\alpha + \beta) \theta_a \\ L_b &= -L_a \\ B_b &= \frac{2EJ_w}{l} \beta \theta_a' + \frac{2EJ_w}{l^2} (\alpha + \beta) \theta_a \end{aligned} \right. \quad (4)$$

其中 α, β, γ 为参数; 进一步得, 如只有 a 端有单位转角 $\theta_a = 1$ 时得式(5); 如只有 a 端有单位转角 $\theta_a' = 1$ 得式(6);

$$\left. \begin{aligned} L_a &= \frac{2EJ_w}{l^3} \gamma \\ B_a &= \frac{2EJ_w}{l^2} (\alpha + \beta) \\ L_b &= -\frac{2EJ_w}{l^3} \gamma \\ B_b &= \frac{2EJ_w}{l^2} (\alpha + \beta) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} L_a &= \frac{2EJ_w}{l^2}(\alpha + \beta) \\ B_a &= \frac{2EJ_w}{l}\alpha \\ L_b &= -\frac{2EJ_w}{l^2}(\alpha + \beta) \\ B_b &= \frac{2EJ_w}{l}\beta \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

由互等定理可推出, 当 b 端有单位转角 $\theta_b = 1$ 时和当 b 端有单位转角 $\theta_b' = 1$ 并且另一端固定时杆端的广义力, 略:

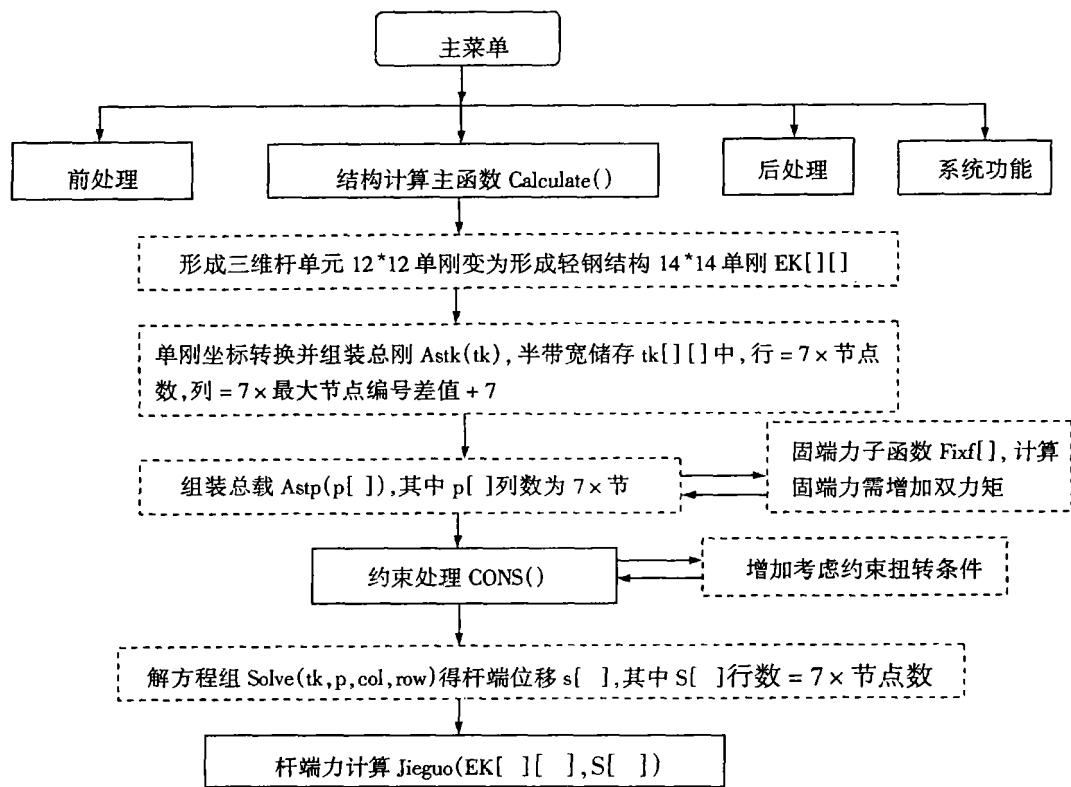
由以上广义力可将三维钢结构杆系单元刚度矩阵扩充为轻钢薄壁结构杆件的单元刚度矩阵^[2].

$$k = \begin{bmatrix} EF/l & & & -EF/l \\ & 12 i_z / l^2 & & 6 i_z / l & & -12 i_z / l^2 & & 6 i_z / l \\ & & 12 i_y / l^2 & -6 i_y / l & & -12 i_y / l^2 & & -6 i_z / l \\ & & & 2 \gamma_{iw} / l^2 & & 2(\alpha + \beta) i_w / l & & -2 \gamma_{iw} / l^2 & & (2\alpha + \beta) i_w / l \\ & & & & 4 i_y & & 6 i_y / l & & 4 i_y & \\ & & & & & 4 i_z & & -6 i_z / l & & 2 i_z \\ & & & & & & 2 \alpha_{iw} & & 2(\alpha + \beta) i_w / l & & 2 \beta_w \\ & & & & & & & EF/l & & \\ & & & & & & & & 12 i_z / l^2 & & -6 i_z / l \\ & & & & & & & & & 12 i_y / l^2 & & 6 i_z / l \\ & & & & & & & & & & 2 \gamma_{iw} / l^2 & & -2(\alpha + \beta) i_w / l \\ & & & & & & & & & & & 4 i_y & \\ & & & & & & & & & & & & 4 i_z & & 2 \alpha_{iw} \end{bmatrix} \quad (7)$$

3 轻钢结构程序编制

在文献[3]提出一般空间钢结构程序的基础上

考虑轻钢结构的特殊性,可按以下流程图的虚线部分做相应的修改;



4 算例分析

按照以上流程图作者设计程序 SFC(轻钢框架可视结构计算程序), 对某算例进行分析如下: 某五层住宅轻钢框架结构层高均为 3.9 m;Y 方向为三跨, 跨度均为 6 m;X 方向为一跨, 跨度均为 3.0m;各节点均为固结;轻型工字钢截面属性为: $I_w = 1.35 \times 10^{12} \text{ mm}^6$, $I_d = 1.955 \times 10^6 \text{ mm}^4$, $I_z = 2.172 \times 10^8$

mm^4 , $I_y = 8.386 \times 10^8 \text{ mm}^4$, $E = 2.09 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$, $G = 0.799895 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$;如图 1 在 2,17,25,33,41 节点沿 Y 方向正向作用节点力均为 100KN. 程序计算 4 个支座反力计算结果如表 1(表格中力为 N, 力矩为 N * mm, 双力矩为 N * mm * mm);计算结果与 ANSYS 等有限元分析软件考虑约束扭转后结果完全吻合. 表明本文计算方法正确, 所选的计算模型合理, 计算结果可靠.

表 1

NO	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	B
1	-45361.7	-64371.2	-18514.3	27253.1	4.936e+7	-1.412e+8	0
3	-235850	-51065.7	-18514.3	27253	4.936e+7	-1.132e+8	0
13	48761.1	-60811	16908.8	20013.6	-4.546e+7	-1.338e+8	0
15	231302	-51017.2	16908.8	20013.6	-4.546e+7	-1.131e+8	0

5 结论和建议

通过本文的分析, 说明将考虑约束扭转的开口薄壁构件作为多层住宅冷轧或冷弯轻钢结构构件的计算模型是合理的. 在对多层住宅轻钢结构进行受力分析时, 可以通过考虑约束扭转将一般的空间

杆单元 12×12 单刚矩阵扩充为空间开口薄壁结构杆单元 14×14 单刚矩阵, 再按照本文总结的流程图修改方案就可以直接将普通钢结构程序修改为考虑约束扭转的多层住宅轻钢结构程序. 经过计算符合多层住宅轻钢结构的力学特点.

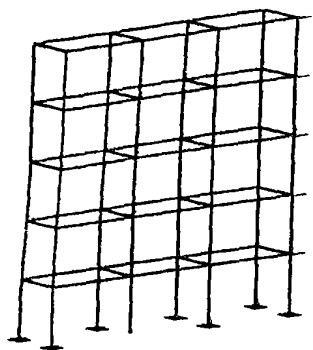


图 1

参考文献:

- [1] 王元清,石永久,陈宏,张勇,李少甫. 现代轻钢结构建筑及其在我国的应用[J]. 建筑结构学报,2002;23(1):4.
- [2] 包世华,周坚. 薄壁杆件结构力学[M]. 中国建筑工业出版社,1990.
- [3] 俞铭华,吴剑国,王林. 有限元法与C程序设计[M]. 科学出版社,1995.

Quest for Program of Light-weight Steel Structure

WU Di, XU Hai-yan

(EAST JIAOTONG University construction institute JIANGXI NANCHANG 330013)

Abstract : This paper is mainly about the traits of strength, the section forms and the theory of how to analyze structure in light-weight steel structure. It introduces the method of how to turn normal steel structure program into light-weight steel structure program. It gives us some ideas of how to analyze light-weight steel structure by using the limited unite analysis.

Key words: light-weight steel structure; thin thickness structure; warping; program design