

H型截面轴心受压构件稳定试验

钢结构精品课程实验教学团队
同济大学建筑工程系
2017.10

1. 理论知识

- 1.1 轴心受压构件整体稳定性
- **轴心受压构件**-轴压力通过形心。
 - **整体失稳破坏**-轴压构件的主要破坏形式。
 - **失稳机理**
 - **失稳过程**



1. 理论知识

- 1.2 理想压杆和实际压杆
- **理想压杆**—无缺陷构件。
 - **实际压杆**—有缺陷构件。
 - **缺陷:**
 - 初弯曲 (对压杆承载力有何影响?)
 - 初偏心 (对压杆承载力有何影响?)
 - 残余应力 (对压杆承载力有何影响?)
 - **初始弯曲和初始偏心可以正弦曲线表达**

1. 理论知识

- 1.3 弹性微分方程和失稳形式
- **思考**—微分方程的本质是什么
- $$EI_x (v^{IV} - v_0^{IV}) + Nv'' - Nx_0 \theta'' = 0$$
- $$EI_y (u^{IV} - u_0^{IV}) + Nu'' + Ny_0 \theta'' = 0$$
- $$EI_\omega (\theta^{IV} - \theta_0^{IV}) - GI_t (\theta'' - \theta_0'') - Nx_0 v'' + Ny_0 u'' + r_0^2 N \theta'' - \bar{R} \theta'' = 0$$
- **弯曲失稳**
 - **扭转失稳**
 - **弯扭失稳**

1. 理论知识

1.4 H型截面压杆的失稳形式

■ H型截面为双轴对称截面

$$\begin{aligned} x_0 = y_0 = 0 \\ EI_x (v^{IV} - v_0^{IV}) + Nv'' = 0 \\ EI_y (u^{IV} - u_0^{IV}) + Nu'' = 0 \\ EI_\omega (\theta^{IV} - \theta_0^{IV}) - GI_t (\theta'' - \theta_0'') + r_0^2 N\theta'' - \bar{R}\theta'' = 0 \end{aligned}$$

➢ 3个微分方程相互独立

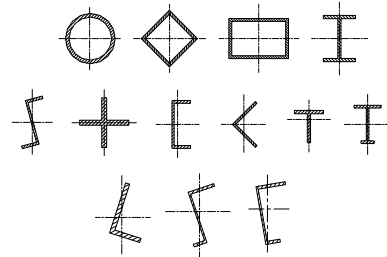
➢ 只可能单独发生x弯曲失稳，或绕y轴弯曲失稳，或绕杆轴扭转失稳。

➢ 哪个长细比大，则发生那种失稳

1. 理论知识

1.4 H型截面压杆的失稳形式

■ 思考：以下各类截面的压杆将发生什么失稳？



1. 理论知识

1.5 H型截面压杆的欧拉荷载

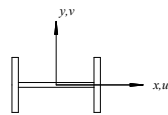
$$N_{Ex} = \frac{\pi^2 EI_x}{l_{ox}^2} \quad N_{Ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{l_{oy}^2} \quad N_{E\omega} = \left(\frac{\pi^2 EI_\omega}{l_{\omega 0}^2} + GI_t + \bar{R} \right) \frac{1}{r_0^2}$$

➢ 计算长度 l_{ox}

➢ 长细比

$$N_{Ex} = \frac{\pi^2 EA}{\lambda_x^2}$$

$$\lambda_x = \frac{l_{ox}}{i_x}$$



➢ 正则化长细比

$$\sigma_{Ex} = \pi^2 E / \lambda_x^2 = f_y / \bar{\lambda}^2 \quad \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

1. 理论知识

1.6 H型截面压杆的稳定承载力

➢ 采用极限承载力准则判定的承载力

➢ 采用边缘纤维屈服准则判定的承载力 (Perry公式)

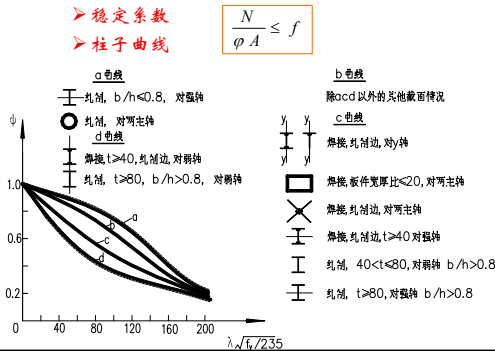
$$\sigma_{cr} = \frac{f_y + (1 + \varepsilon_0)\sigma_{Ex}}{2} - \sqrt{\left[\frac{f_y + (1 + \varepsilon_0)\sigma_{Ex}}{2} \right]^2 - f_y \sigma_{Ex}}$$

初偏心率——等效缺陷

$$\varepsilon_0 = \frac{AA_0}{W_x}$$

1. 理论知识

1.7 H型截面压杆极限承载力的规范计算公式



2. 试验目的

- 通过试验掌握钢构件的试验方法, 包括试件设计、加载装置设计、测点布置、试验结果整理等方法。
- 通过试验观察工字形截面轴心受压柱的失稳过程和失稳模式。
- 将理论极限承载力和实测承载力进行对比, 加深对轴心受压构件稳定系数计算公式的理解。

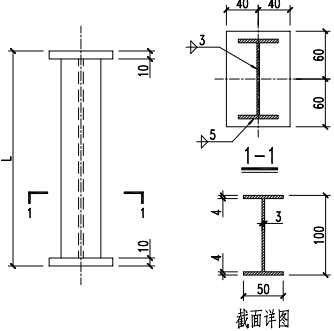
3. 试验设计

3.1 试件设计

- 试件截面 (工字形截面)
- $h \times b \times t_w \times t_f = 100 \times 50 \times 3.0 \times 4.0 \text{mm}$;
- 试件长度: $L = 1000 \sim 1300 \text{mm}$;
- 钢材牌号: Q235B;

3. 试验设计

3.1 试件设计



3. 试验设计

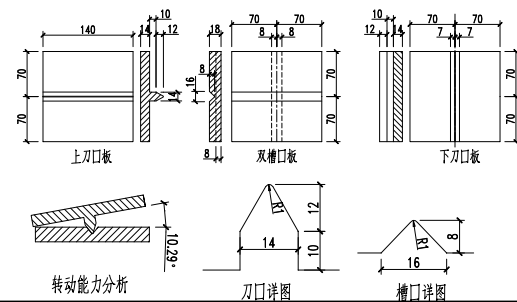
3.2 支座设计

- 实现双向可转动
- 双刀口支座
- 刀口摆放位置和计算长度。
- 试件端板对承载力有什么影响？

3. 试验设计

3.2 支座设计

➤ 双刀口支座



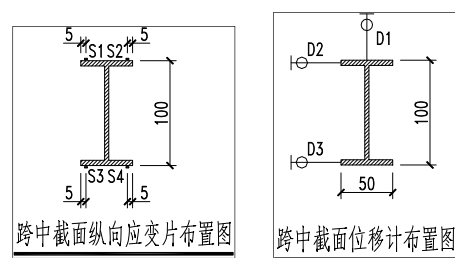
3. 试验设计

3.3 测点布置

- 需要测试那些数据？
 - 荷载、应变、变形、转角
- 测点数量合理。
- 测点的布置方便控制试验过程。
- 数据之间可以相互印证。

3. 试验设计

3.3 测点布置



3. 试验设计

3.4 承载力估算

➤根据**欧拉公式** $\varphi = 1/\bar{\lambda}^2$

➤根据《**钢结构设计规范**》

$$\bar{\lambda} \leq 0.215 \quad \varphi = \frac{\sigma_{cr}}{f_y} = 1 - \alpha_1 \bar{\lambda}^2$$

$$\bar{\lambda} > 0.215 \quad \varphi = \frac{\sigma_{cr}}{f_y} = \frac{1}{2\bar{\lambda}^2} \left[\left(\alpha_2 + \alpha_3 \bar{\lambda} + \bar{\lambda}^2 \right) - \sqrt{\left(\alpha_2 + \alpha_3 \bar{\lambda} + \bar{\lambda}^2 \right)^2 - 4\bar{\lambda}^2} \right]$$

➤采用**有限元分析**

3. 试验设计

3.4 承载力估算

➤思考：

欧拉荷载，实测荷载，规范c曲线荷载之间会有什么关系？为什么？

3. 试验设计

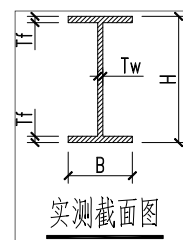
3.5 制定加载制度

- 单调加载
- 加载初期：分级加载
 - 每级荷载约10%*Pu
 - 时间间隔约2分钟
- 接近破坏：连续加载
 - 合理控制加载速率
 - 连续采集数据
- 卸载阶段：缓慢卸载

4. 试验准备

4.1 试件截面实测

- 名义截面和实际截面之间有差别
- $h \times b \times t_w \times t_f$
- 实测3个~5个截面



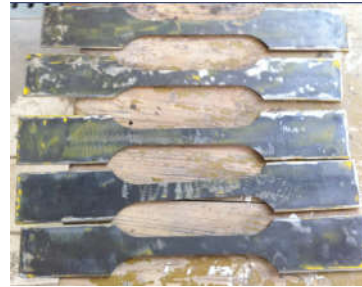
4. 试验准备

4.2 材料拉伸试验

- 试验前已经准备好
- 弹性模量E
- 屈服强度 f_y
- 抗拉强度 f_u

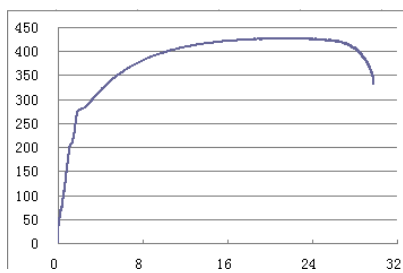
4. 试验准备

4.2 材料拉伸试验



4. 试验准备

4.2 材料拉伸试验



4. 试验准备

4.2 材料拉伸试验

试件编号	屈服力	极限力	屈服强度	抗拉强度	延伸率
1	12.20	17.93	292.57	429.98	26.00%
2	12.00	17.94	285.71	427.21	28.00%
3	14.00	19.54	321.84	449.26	24.00%
4	14.00	18.93	333.33	450.67	22.00%
5	12.00	17.94	285.71	427.14	27.00%
6	13.50	17.79	321.43	423.57	20.00%
平均值			306.77	434.64	24.50%

4. 试验准备

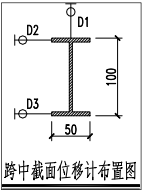
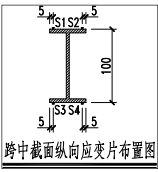
4.3 设备标定

- 已经准备好了
- 需要标定的设备有
 - 千斤顶
 - 油压传感器
 - 位移计
 - 应变片
 - 数据采集板

4. 试验准备

4.4 检查测点

- 逐个检查测点是否工作正常



4. 试验准备

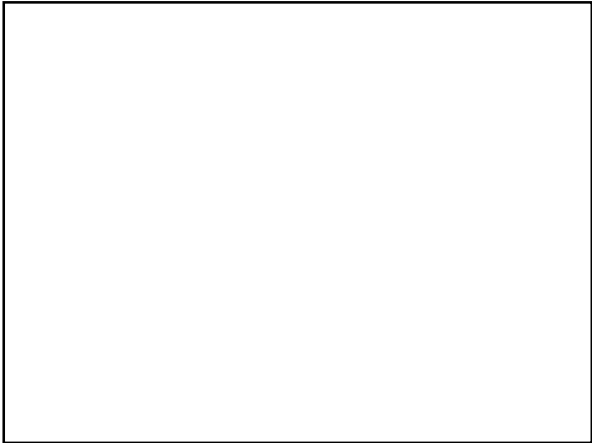
4.5 采用实测截面和实测材料特性估算承载力

- 根据欧拉公式 $\varphi = 1/\bar{\lambda}^2$
- 根据《钢结构设计规范》
$$\bar{\lambda} \leq 0.215 \quad \varphi = \frac{\sigma_{cr}}{f_y} = 1 - \alpha_1 \bar{\lambda}^2$$
$$\bar{\lambda} > 0.215 \quad \varphi = \frac{\sigma_{cr}}{f_y} = \frac{1}{2\bar{\lambda}^2} \left[(\alpha_2 + \alpha_3 \bar{\lambda} + \bar{\lambda}^2) - \sqrt{(\alpha_2 + \alpha_3 \bar{\lambda} + \bar{\lambda}^2)^2 - 4\bar{\lambda}^2} \right]$$
- 采用有限元分析

4. 试验准备

4.6 试件对中

- 竖向放置
- 轴心受压
- 几何对中
- 应变对中



$$\bar{\varepsilon} = \sum_{i=1}^4 \varepsilon_i / 4 \qquad N = EA\bar{\varepsilon}$$
$$\phi_x = [(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / 2 - (\varepsilon_3 + \varepsilon_4) / 2] / H$$
$$M_x = EA\phi_x$$
$$e_x = M_x / N$$
$$\phi_y = [(\varepsilon_2 + \varepsilon_3) / 2 - (\varepsilon_1 + \varepsilon_4) / 2] / B$$
$$M_y = EA\phi_y$$
$$e_y = M_y / N$$

4. 试验准备

4.7 预加载

- 检测设备是否正常工作
- 检测应变片和位移计
- 压紧试件，消除空隙
- 预加载荷载一般为极限承载力的30%

5. 开始试验

5.1 正式加载

- 先分级加载
- 后连续加载
- 绘制 荷载-位移 实时曲线
- 绘制 荷载-应变 实时曲线

5. 开始试验

5.2 判断极限承载力

承载力极限状态确定方法

- 荷载不继续增加，而试件的变形明显增大
- 荷载位移曲线越过水平段，开始出现下降
- 拍照

5. 开始试验

5.3 卸载

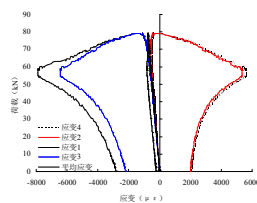
试件破坏后开始卸载

- 绘制卸载曲线
 - 卸载越缓慢，曲线越饱满
- 卸载完成后
- 观察残余变形
 - 观察残余应变

6. 试验结果分析

6.1 数据处理

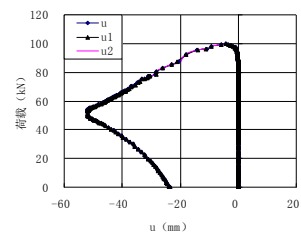
- 获取试验数据
- 绘制荷载-应变曲线



6. 试验结果分析

6.1 数据处理

- 绘制荷载-位移曲线



6. 试验结果分析

6.2 实测极限承载力分析

- 和欧拉公式比较
- 和钢结构设计规范比较
- 和有限元分析结果比较

6. 试验结果分析

6.3 思考：

稳定破坏和强度破坏在**性质、表现特征、计算方法**上有何不同？

6. 试验结果分析

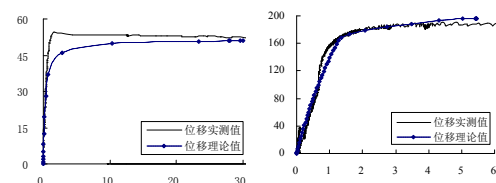
6.4 试件的缺陷分析

- 方法：根据实测应变反推缺陷
- 原理：荷载较小时，试件处于弹性阶段
- 假设：试件的缺陷用正弦初始弯曲来等效。
- 公式：
$$\psi = \frac{-v_0}{1 - P/P_E} \cdot \frac{P}{EI}$$

6. 试验结果分析

6.5 荷载-位移曲线跟踪分析

- 采用实测截面、实测材料参数
- 采用实测等效缺陷
- 进行有限元分析
- 考虑几何非线性



6. 试验结果分析

6.6 撰写试验报告

- 参考标准格式
- 试验数据会上传公共邮箱
- 提交电子版doc文件和xls文件