

# General Performance Analysis of Finite Element Simulation of I-Shaped Steel Beam Members

Hongxian Li, Dianzhong Liu

College of Civil Engineering, Jilin University of Architecture, Changchun Jilin  
Email: 2062903454@qq.com

Received: Oct. 24<sup>th</sup>, 2019; accepted: Nov. 8<sup>th</sup>, 2019; published: Nov. 15<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

Taking the simply supported I-shaped steel beam as an example, the general stress characteristics of the I-shaped steel beam under ABAQUS finite element simulation software are introduced. One is the relationship between stress-strain and the change with time under external load relationship. The other is the relationship between deflection and displacement with time under external load to comprehensively determine the force change and deformation development of the steel beam under uniform load.

## Keywords

I-Shaped Steel Beam, Finite Element Simulation Analysis, Stress-Strain Relationship, Displacement, Force, Deformation

---

# 工字形钢梁构件有限元模拟一般性能分析研究

李红现, 刘殿忠

吉林建筑大学土木工程学院, 吉林 长春  
Email: 2062903454@qq.com

收稿日期: 2019年10月24日; 录用日期: 2019年11月8日; 发布日期: 2019年11月15日

---

## 摘要

以简支工字形钢梁为例, 主要介绍在ABAQUS有限元模拟软件分析下工字形钢梁的一般受力特性, 一个是, 在外荷载作用下应力 - 应变之间的关系以及随时间变化的关系。另一个是, 在外荷载作用下挠度、位移随时间变化的关系, 来综合测定钢梁在均布荷载作用下, 钢梁的受力变化及变形发展情况。

## 关键词

工字形钢梁, 有限元模拟分析, 应力 - 应变关系, 位移, 受力, 变形

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 概述

工字形钢一般也称为型钢梁(英文名又称为: Universal Beam) [1], 如图 1 所示截面为工字形状的钢梁, 工字形钢大致可以分为热轧工字钢和轻型工字钢, 是截面形状为工字形的钢材种类, 由于其自身的优点, 截面形状合理, 受力性能好, 充分发挥了钢材的优势, 所以被广泛地应用到钢结构以及钢 - 混凝土组合结构住宅、工业建筑与厂房当中[1]。另外, 其它常用的型钢有 H 型钢、冷弯薄壁型钢、压型钢板等钢材。

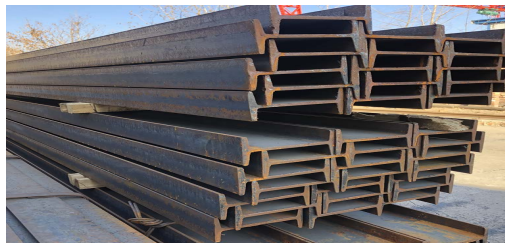


Figure 1. Schematic diagram of I-beam steel beam

图 1. 工字形钢梁成品示意图

## 2. 有限元分析模型

### 2.1. 有限元建模设计

该构件模型为一根普通工字形简支钢梁[2], 两端支撑形式为铰接, 跨度  $L = 10\text{ m}$ , 上翼缘承受  $2.5 \times 10^5\text{ N/m}^2$  的均布荷载, 材料特性: 弹性模量  $E = 2.1 \times 10^{11}\text{ N/m}^2$ , 泊松比为  $\mu = 0.3$ , 屈服强度  $f_y = 3.45 \times 10^8\text{ N/m}^2$ 。截面尺寸如图 2 所示。

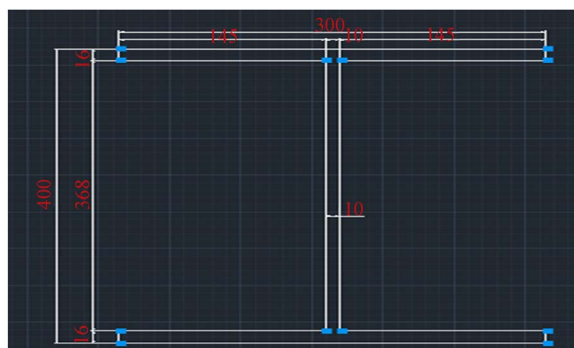


Figure 2. Schematic diagram of cross-section dimensions of I-shaped steel beams

图 2. 工字形钢梁截面尺寸示意图

## 2.2. 有限元建模分析过程

计算模型采用实体单元进行建模, 分析建完模型之后结果如图 3 所示, 然后对该两端简支工字形钢梁上翼缘表面施加均布荷载, 得到如图 4 所示的变形受力图[2], 由图 4 可知, 对钢梁施加荷载, 最大变形发生在简支钢梁跨中截面处, 跨中处挠度、转角位移最大, 这一结果也在图 5 所示的应力变形图云图模拟实验结果中得以验证, 在图 5 中, 红色部分所受弯曲应力比较大, 应变变形也比较大, 图 6 所示与未变形梁相比变形之后的梁发生了弯曲变形, 这就要求钢梁自身的弯曲刚度要满足均布荷载作用下承载力的要求[3]。对于两端简支的工字形钢梁来说在均布荷载作用下其跨中最大挠度可以参照下列公式计算。

$$\text{对于均布荷载等截面简支梁: } \frac{v}{l} = \frac{5}{384} \frac{q_k l^3}{EI} = \frac{5}{48} \frac{M_k l}{EI}$$

$$\text{对均布荷载变截面简支梁: } \frac{v}{l} = \frac{5}{384} \frac{q_k l^3}{EI} \eta = \frac{5}{48} \frac{M_k l}{EI} \eta$$

$\eta$  值一般取在 1.05 以内, 刚度不够是可以调整工字形钢梁的截面尺寸, 例如: 可以增加截面的有效高度[4]。

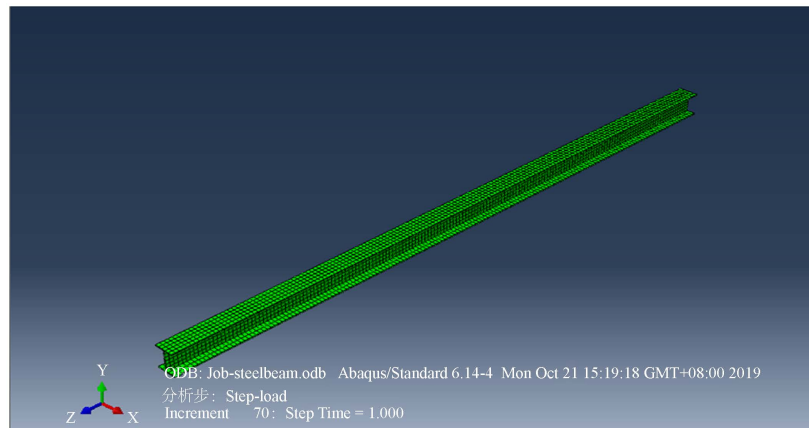


Figure 3. Finite element simulation undeformed graph

图 3. 有限元模拟未变形图

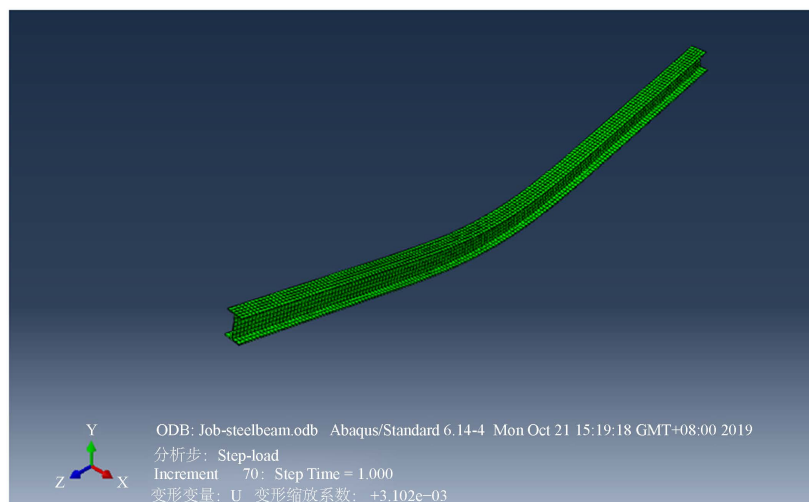


Figure 4. Finite element simulation deformation map

图 4. 有限元模拟变形图

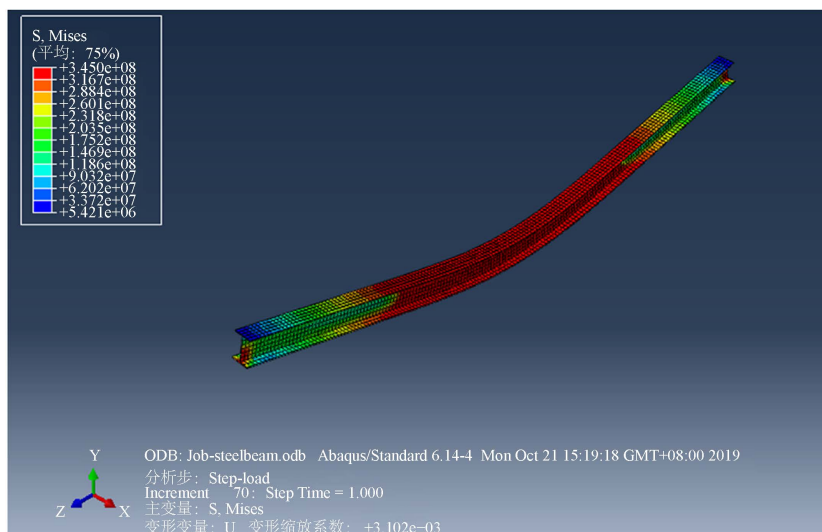


Figure 5. Deformation map

图 5. 变形图云图

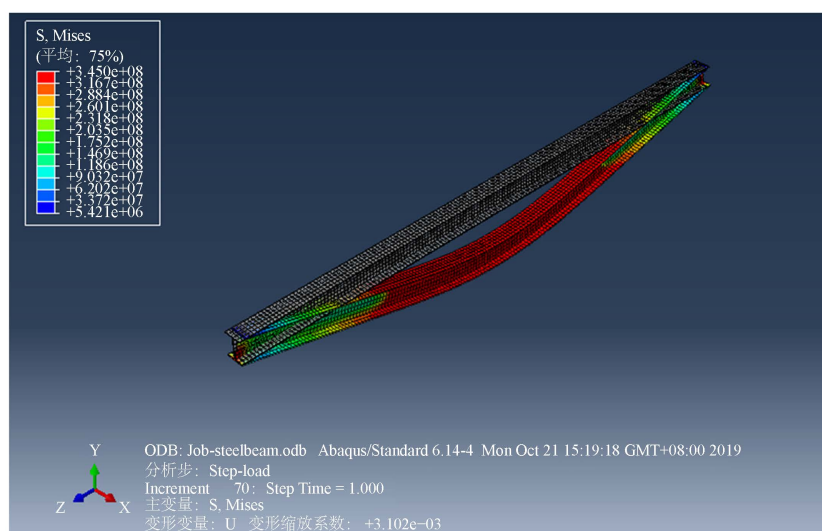


Figure 6. Unbalanced and deformed graphs comparing stress clouds

图 6. 未变形图与变形图比较应力云图

通过图 7 与图 8 所示有限元模拟分析 Mises 应力云图相比较, 发现对于两端铰接简支的普通工字形钢梁, 在均布荷载作用下, 其最不利位置在钢梁跨中处, 在均布荷载作用下, 钢梁跨中处出现最大弯矩, 也就是会产生较大的挠曲变形, 其变形变量、主变量、变形收缩系数达到最大[4]。这就要求我们在实际施工和应用当中去考虑钢梁跨中受力弯曲变形比较大的问题, 采取一定的措施减小钢梁跨中, 在荷载作用下跨中最大弯矩值, 防止钢梁的屈曲失稳(整体失稳和局部失稳现象) [4]。

整体失稳可参照如下公式:

$$\sigma_{cr} = \frac{M_{cr}}{W_x}, \quad \varphi_b = \frac{\sigma_{cr}}{f_y} = \frac{M_{cr}}{W_x f_y}$$

其中钢梁的稳定系数  $\varphi_b$  与轴对称截面形式有关, 具体如下:

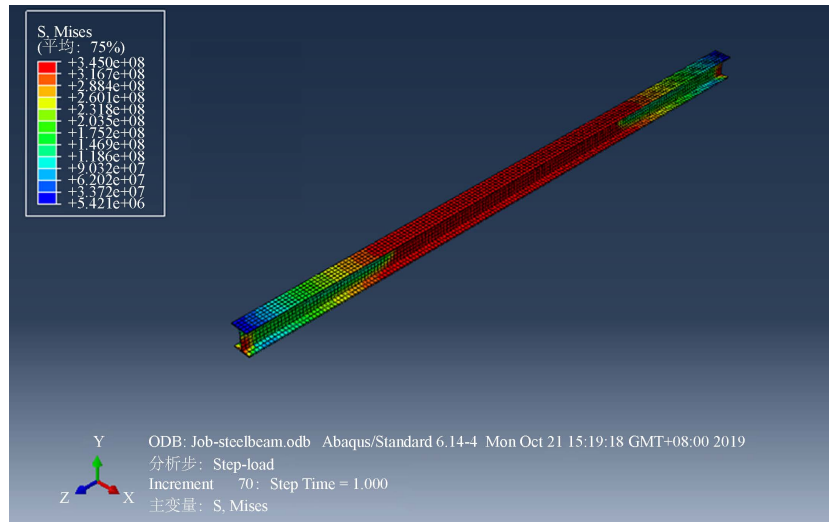


Figure 7. Stress cloud on undeformed graph  
图 7. 在未变形图上应力云图

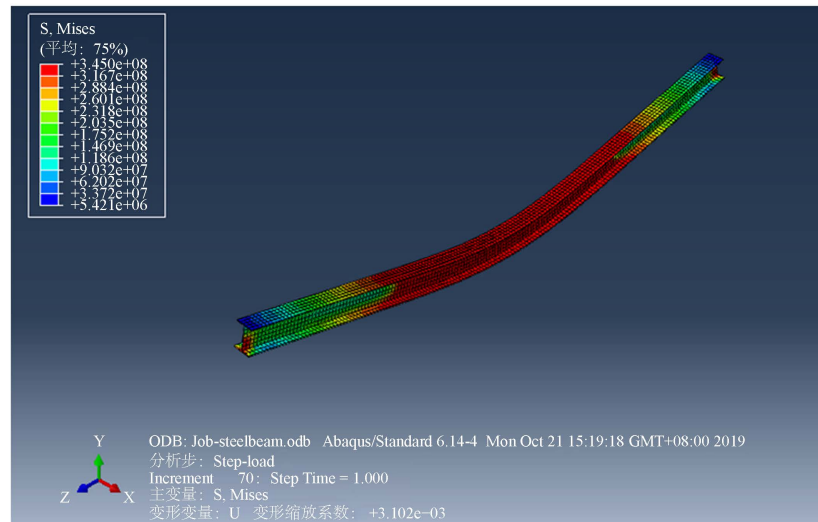


Figure 8. Drawing a stress cloud on a deformed graph  
图 8. 在变形图上绘制应力云图

单轴对称工字形截面简支梁: 
$$\varphi_b = \frac{\pi^2 EI_y}{W_x f_y l^2} \sqrt{\frac{I_w \left( 1 + \frac{l^2 GI_t}{\pi^2 EI_w} \right)}{I_y}}$$

纯弯曲的双轴对称工字形截面简支梁: 
$$\varphi_b = \frac{4320 Ah}{\lambda_y^2 W_x} \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{\lambda_y t_1}{4.4h} \right)^2} \right] \frac{235}{f_y}$$

对于一般的受横向荷载或者不等端弯矩作用下的工字形截面钢梁(包括单轴与双轴对称工字形截面)应按式计算整体稳定系数  $\varphi_b$  :

$$\varphi_b = \beta_b \frac{4320 Ah}{\lambda_y^2 W_x} \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{\lambda_y t_1}{4.4h} \right)^2} + \eta_b \right] \frac{235}{f_y}$$

对于均匀弯曲的受力钢梁构件, 当  $\lambda_y \leq 120 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$  时, 其整体稳定系数可按下式进行近似计算:

$$\text{单轴对称时: } \varphi_b = 1.07 - \frac{W_x}{(2\alpha_b + 0.1)Ah} \times \frac{\lambda_y^2}{14000} \times \frac{f_y}{235}$$

$$\text{双轴对称时: } \varphi_b = 1.07 - \frac{\lambda_y^2}{44000} \times \frac{f_y}{235}$$

局部失稳可以分为钢梁翼缘的局部失稳和腹板的局部失稳, 其中翼缘和腹板的局部失稳可以通过构造措施来实现, 例如, 翼缘可以控制翼缘的宽厚比来防止局部失稳,  $\frac{b}{t} \leq 13 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ ;

同样腹板也可以按构造措施要求设置加劲肋来防止局部屈曲失稳, 其具体计算公式不在一一列出[5]。

### 2.3. 有限元建模结果分析

通过对有限元模拟模型进行可视化之后, 所形成的应力云图, 可以得到关于应力随时间变化的曲线, 本次模拟所设时间长度为 1, 由图 9 所示可知在均布荷载作用下, 在时间 0.775 s 之前钢梁应力随时间呈现线性增长, 应力与时间呈现正比例线性关系, 在时间达到 0.775 s 之后, 应力达到峰值, 达到峰值之后应力时间关系曲线进入水平段, 应力不随时间的变化而继续增长, 这就说明在这一时间段之内工字形钢梁, 屈服强度达到极限屈服强度从而进入塑性阶段, 应力不再变化[6]。同样, 由图 10 位移随时间变化曲线可知, 钢梁结点处的变形位移在均布荷载作用下, 在 0.8 s 之前没有明显变化, 基本没有发生较为明显的变形, 在 0.8 秒之后, 随着加载时间的持续进行, 发生了显著的位移变化, 也就意味着, 此时钢梁开始加快变形发展速度并且急剧增加, 在经过一段时间的变形后, 钢梁的变形达到极限状态, 此时钢梁的变形将不再随着时间发生变化[6] [7]。结点的位移时间变化关系曲线, 大概可以分为这样三个阶段, 第一阶段弹性阶段此时钢梁尚未进入屈服状态, 位移增长速度缓慢; 第二阶段, 工字形钢梁部分进入塑性状态达到屈服强度, 此时截面位移增长速度较快; 第三阶段, 整个工字形钢梁全面进入塑性状态, 工字形钢梁截面位移快速增加[7]。

由图 11、图 12 所示, 应力 - 应变随时间变化关系可知, 钢梁在均布荷载作用下, 在时间为 0.775 s 之前, 在荷载作用下, 应力随时间增长比较快, 0.775 s 之后应力基本达到最大值[8], 继续加载应力将会缓慢增长并逐渐趋于稳定, 同样由图我们还可以得出, 在 0.8 s 之后应变才逐渐增长扩展, 在 0.8 s 之前钢

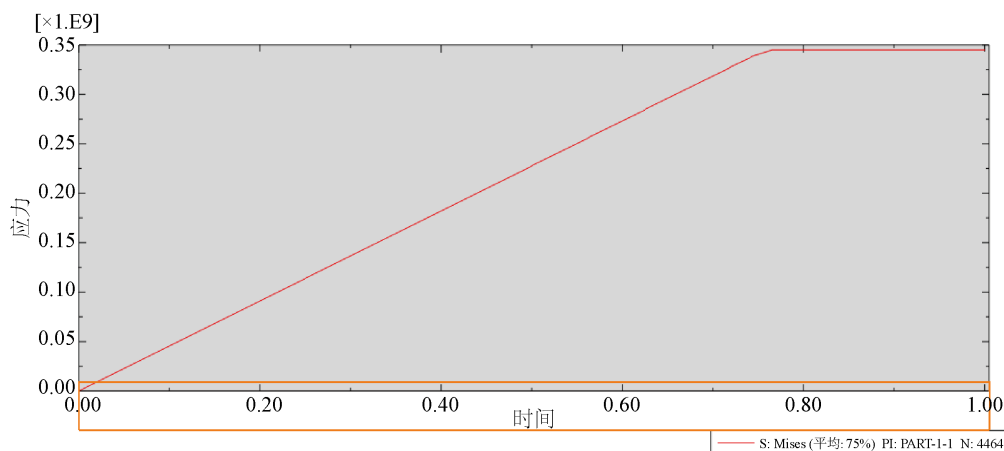


Figure 9. Stress versus time curve

图 9. 应力随时间变化曲线

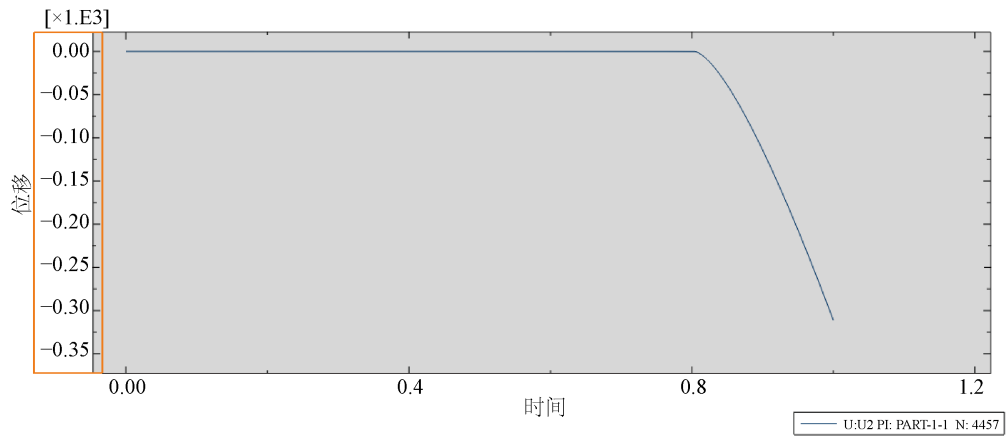


Figure 10. Displacement versus time curve  
图 10. 位移随时间变化曲线

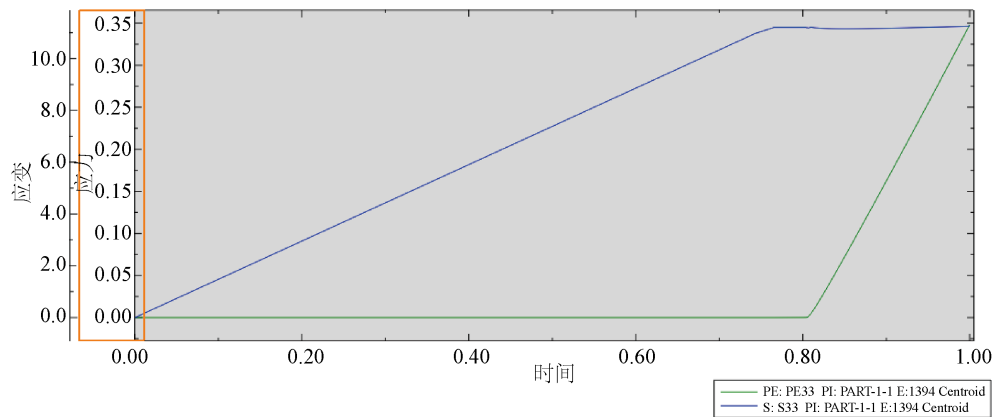


Figure 11. Stress-strain versus time curve  
图 11. 应力 - 应变随时间变化曲线

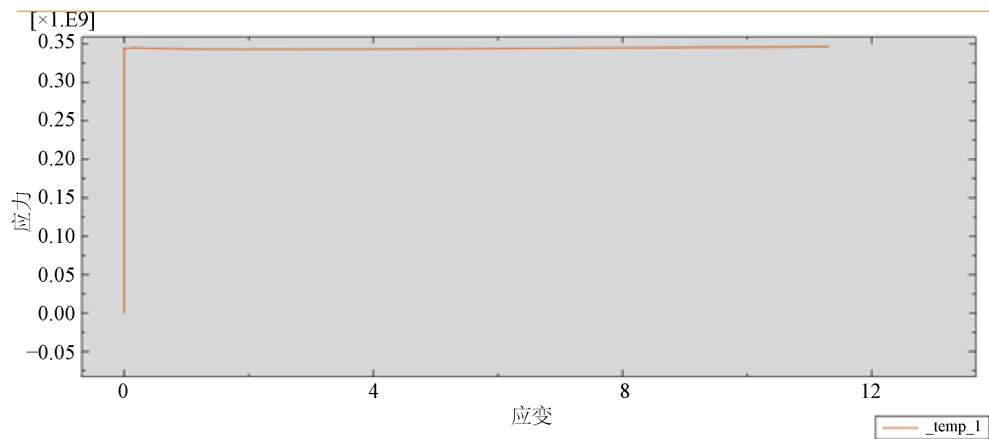


Figure 12. Stress-strain relationship curve  
图 12. 应力 - 应变关系曲线

梁基本上不会产生应变, 且由图 12 所示当应力增加到一定数值的时候, 应变将不再发生变化, 一般按照如下公式计算应力与应变的关系:  $\sigma = E \cdot \varepsilon$ , 此公式在弹性范围内使用[8]。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 钢结构设计规范 GB50017-2017 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.
- [2] 王言磊, 李芦钰, 侯吉林, 安永辉. 土木工程常用软件与应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [3] 赵根田, 孙德发. 钢结构[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [4] 曹平周, 朱召全. 钢结构[M]. 北京: 中国电力出版社, 2015.
- [5] 牛秀艳, 刘伟. 钢结构基本原理[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2018.
- [6] 沈祖炎, 陈扬骥, 陈以一. 钢结构基本原理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 型钢轧钢工程设计规范 GB50410-2014 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 小型型钢轧钢工艺设计规范 GB50410-2007 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2007.