

# 中美钢结构稳定设计方法比较

周 瑞

(上海中森建筑工程审图有限公司, 上海 200062)

**摘 要:** 依据美国和中国的钢结构设计标准,对钢结构稳定设计的方法进行了详细介绍。两个标准对于钢结构稳定计算均给出了多种设计方法,相互间既有类似也有很大不同。为了加深对直接设计法的理解,推动直接设计法在实际工程中进一步应用,重点对直接设计法进行全面比较。对比显示:两者在 $P-\Delta$ 和 $P-\delta$ 效应处理时,采用的方法有较大不同,美国钢标更具有实际操作的便捷性,但在一些方面理论依据不足;中国钢标的直接设计法虽然有较强的理论支持,但是实际操作层面有时较为繁琐,部分细节尚未明确。最后,通过一个算例对两种标准的直接设计法进行简单对比,显示两者在内力计算方面差异不大,在水平位移方面,美国钢标的结果大于中国钢标。

**关键词:** 钢结构稳定设计;美国标准;中国标准;直接设计法;二阶分析

## 1 概 述

GB 50017—2017《钢结构设计标准》<sup>[1]</sup>(简称 17 钢标)于 2017 年正式颁布实施,这是继 2003 年钢结构设计规范后的一次重大更新。此次更新引入了一种全新的钢结构稳定设计方法——直接设计法(Direct Analysis Method of Design)。钢结构受压失稳的本质是由于结构缺陷导致的附加应力致使构件侧向变形不收敛。因此直接设计法摒弃了传统的计算长度系数,将构件各种初始缺陷和非线性行为在分析阶段就予以考虑,从而将稳定问题直接转换为强度问题,具有理论依据明确、适用性广等多种优势,是钢结构稳定设计方法的重大革新和发展方向。目前 17 钢标已经施行 7 年多,但直接设计法尚未被广大设计人员接受,实际操作方案和计算程序的支持度均不够,是影响直接设计法推广应用的主要原因。

直接设计法是美国建筑钢结构标准中提出的稳定设计方法,至少可以追溯到 2005 年的 AISC 360-05<sup>[2]</sup>,附录中给出了直接设计法。从 AISC 360-10<sup>[3]</sup>开始,直接设计法就列入正文,成为了推荐的钢结构稳定设计方法。为了深入理解直接设计法的原理、了解国外直接设计法的应用现状,现以美国钢结构标准 AISC 360-16 *Specification for Structural*

*Steel Buildings*<sup>[4]</sup>(简称美国钢标)为基础,对钢结构稳定设计方法进行全面的介绍和梳理,并与 17 钢标进行对比分析,以期为我国直接设计法的推广和应用提供借鉴。

## 2 美国钢标稳定设计方法

美国钢标 AISC 360-16<sup>[4]</sup>关于稳定设计的内容主要载于第 C 章,并将直接设计法作为正文唯一的方法进行介绍。其他可用的稳定设计方法还有有效长度法(Effective Length Method)、一阶分析法(First-order Analysis Method)、近似二阶分析法(Approximate Second-order Analysis),这些方法均在附录中予以介绍。可见美国钢标已经将直接设计法作为钢结构稳定设计的首选方法<sup>[4]</sup>。下文对这些设计方法进行介绍,限于篇幅,对于一些常规或者设计人员熟知的内容予以省略。

### 2.1 稳定设计的一般要求

稳定分析应考虑以下 5 个因素:

1) 受弯、受剪和受轴力的构件变形,以及其他

作者:周瑞,高级工程师,一级注册结构工程师,从事结构设计审图工作。

Email:zhou Rui@zsa.com.cn

收稿日期:2024-05-28

对结构位移有影响的构件和连接的变形。

2) 构件的二阶效应,包括  $P-\Delta$  和  $P-\delta$  效应。

3) 几何缺陷。

4) 进入弹塑性阶段的刚度降低,包括局部屈服和残余应力导致的刚度降低。

5) 体系、构件、连接强度和刚度的不确定性。

按照美国钢标的要求,所有全面考虑了上述因素的稳定分析模式都是允许的。在不同的设计方法中,以上因素不一定是逐一考虑的,可以综合考虑,也可以在满足一定的条件下忽略某些因素。

## 2.2 直接设计法

直接设计法可以用于所有的结构,并且可以基于弹性或者弹塑性分析。鉴于考虑二阶效应的弹塑性分析在学术界和工程界尚有争议<sup>[1]</sup>,故后文仅基于弹性分析进行探讨。采用其他稳定设计方法时,无特殊说明一般也是基于弹性分析。

直接设计法的主要设计步骤,首先是通过分析得出构件的设计内力(Require Strengths),然后根据美国钢标其他章节计算出构件的设计强度(Available Strengths)。最后以构件的设计内力不大于设计强度为判定准则确定构件是否满足强度要求。由于关于构件设计强度计算的内容不是本文讨论的重点,因此后文主要关注通过结构分析得出构件的设计内力。

直接设计法的基本要求是必须基于二阶分析进行结构计算,同时考虑初始缺陷和刚度调整。该方法的一个最重要的特征是,受压构件稳定计算时,不考虑长度系数影响(或者说长度系数取 1.0)。

### 2.2.1 初始缺陷

初始缺陷一般是通过考虑  $P-\Delta$  和  $P-\delta$  效应来计算的。 $P-\Delta$  效应对应的是结构整体缺陷, $P-\delta$  效应则是构件缺陷。当满足以下条件时,可以忽略  $P-\delta$  效应:

1) 结构主要通过柱、墙、框架等传递重力荷载。此项一般的建筑结构均可以满足。

2) 所有楼层最大的二阶位移不大于最大一阶位移的 1.7 倍。位移应按荷载设计值计算,并考虑刚度调整。

3) 框架结构的柱承担不超过全部重力荷载的 1/3。

结构整体缺陷虽然允许通过建立符合实际情况的模型来考虑,但实际操作中难度很大,因此一般都是通过施加假想水平力(National Load)来考虑整体缺陷。假想水平力施加于每个楼层,大小

见式(1):

$$N_i = 0.002Y_i = Y_i/500 \quad (1)$$

式中: $N_i$ 为第  $i$  层的假想水平力; $Y_i$ 为第  $i$  层重力荷载设计值。

假想水平力是以建筑物整体垂直度为 1/500 为基准来考虑结构的整体缺陷,施加于结构最不利的方向。一般操作时在两个主轴方向分别施加,存在非主轴最不利方向时应增加该方向假想水平力。

根据 2.2.1 节的条件 3),多数建筑物不能满足,因此一般尚应考虑构件层面缺陷的  $P-\delta$  效应。美国钢标的直接设计法通过对所有构件进行刚度折减来考虑  $P-\delta$  效应(具体详见 2.2.2 节),也允许通过近似二阶分析法中的放大系数  $B_1$  来考虑。

### 2.2.2 刚度调整

$P-\delta$  效应、几何缺陷、弹塑性阶段的刚度降低(包括局部屈服和残余应力导致的)、强度和刚度的不确定性,这些因素都在直接设计法的刚度调整中统一考虑。无特殊情况下,所有构件都要采用  $0.8\tau_b$  的刚度折减系数。 $\tau_b$  的计算见式(2):

$$\tau_b = 1.0 \quad P_r/P_{ns} \leq 0.5 \quad (2a)$$

$$\tau_b = 4(P_r/P_{ns})[1 - (P_r/P_{ns})] \quad P_r/P_{ns} > 0.5 \quad (2b)$$

式中: $P_r$ 为构件内力设计值; $P_{ns}$ 为构件轴心受压强度承载力。

$\tau_b$  也允许统一采用 1.0,此时应满足每层施加了至少  $0.001Y_i$  的假想水平力,且其与所有荷载(不仅是重力荷载)进行了组合。

由上述可见,美国钢标的直接设计法要求对所有构件的刚度乘以至少 0.8 的折减系数,包括构件的轴向刚度和抗弯刚度。

### 2.3 有效长度法

有效长度法载于美国钢标附录 7,是美国钢标传统的稳定设计方法之一。有效长度法也必须基于二阶分析,其适用条件如下:

1) 结构主要通过柱、墙、框架等传递重力荷载。此项一般的建筑结构均可以满足。

2) 所有楼层最大的二阶位移不大于最大一阶位移的 1.5 倍。位移应按荷载设计值计算,但不考虑刚度调整。

有效长度法采用直接分析法一样的假想水平力施加于每个楼层来考虑  $P-\Delta$  效应; $P-\delta$  效应、几何缺陷、刚度降低、强度和刚度的不确定性等因素,通过大于 1.0 的长度系数,在设计阶段予以考虑。因此,不需要像直接设计法那样对构件刚度进行折减。有效长度系数计算与 17 钢标类似,广大设计人

员都比较熟悉,限于篇幅这里不再详述。

需要重点说明的是,美国钢标有效长度法本质上是二阶分析方法,并考虑整体缺陷。而我国常用的长度系数设计方法是一阶分析法且不考虑整体缺陷,两者不能混淆。

#### 2.4 一阶分析法

一阶分析法载于美国钢标附录7,也是美国钢标传统的稳定设计方法之一。一阶分析法不需要进行二阶分析,其适用条件如下:

1)结构主要通过柱、墙、框架等传递重力荷载。

2)所有楼层最大的二阶位移( $\Delta_{2nd}$ )不大于最大一阶位移 $\Delta_{1st}$ 的1.5倍。位移应按荷载设计值计算,但不考虑刚度调整。

3)所有结构构件应满足式(3)。

$$P_r \leq 0.5P_{ns} \quad (3)$$

一阶分析法采用假想水平力施加于每个楼层来考虑 $P-\Delta$ 效应,计算式见式(4)。

$$N_i = 2.1(\Delta/L)Y_i \quad (4a)$$

$$N_i = 0.0042Y_i = Y_i/238 \quad (4b)$$

式中: $\Delta$ 为楼层水平位移; $L$ 为层高。

$P-\delta$ 效应、几何缺陷、刚度降低、强度和刚度的不确定性等因素,通过近似二阶分析法中的放大系数 $B_1$ 来考虑。同时,不需要像直接设计法那样对构件刚度进行折减。

#### 2.5 近似二阶分析法

近似二阶分析法载于美国钢标附录8,用来代替常规精确的二阶分析,适用于主要通过柱、墙、框架等传递重力荷载的结构。

近似二阶分析法只需要进行一阶分析,并对一阶分析得出的弯矩和轴力,乘以放大系数 $B_1$ 和 $B_2$ 来近似考虑二阶效应的影响,计算式见式(5)。

$$M_r = B_1 M_m + B_2 M_n \quad (5a)$$

$$P_r = P_m + B_2 P_n \quad (5b)$$

式中: $B_1$ 为考虑 $P-\delta$ 效应的放大系数; $B_2$ 为考虑 $P-\Delta$ 效应的放大系数; $M_m$ 为不允许结构发生侧移时一阶分析得出的弯矩设计值; $M_n$ 为结构在水平力作用下一阶分析得出的弯矩设计值; $P_m$ 为不允许结构发生侧移时一阶分析得出的轴力设计值; $P_n$ 为结构在水平力作用下一阶分析得出的轴力设计值; $M_r$ 为最终弯矩设计值; $P_r$ 为最终轴力设计值。

由上式可见,近似二阶分析法通过放大系数 $B_2$ 近似考虑 $P-\Delta$ 效应,通过放大系数 $B_1$ 近似考虑 $P-\delta$ 效应。 $B_1$ 计算见式(6)。

$$B_1 = C_m / (1 - \frac{P_r}{P_{e1}}) \geq 1.0 \quad (6)$$

其中  $C_m = 0.6 - 0.4M_1/M_2$

式中: $P_{e1}$ 为按两端无位移计算的欧拉临界压力; $M_1/M_2$ 为杆两端较小和较大的弯矩比值。

式(6)使用时需注意以下几点:

1) $P_r$ 按式(5b)计算,此时 $B_2$ 取1.0。

2) $M_1/M_2$ 反向弯曲时取正值,单向弯曲时取负值。

3)计算 $P_{e1}$ 时,构件有效长度取最大无支长度;抗弯刚度按照2.2~2.4节中不同的计算方法考虑折减。

$B_2$ 计算见式(7)。

$$B_2 = 1 / (1 - \frac{P_{e\text{story}}}{P_{e\text{story}}}) \geq 1.0 \quad (7)$$

其中  $P_{e\text{story}} = R_M (HL/\Delta_H)$ ,  $R_M = 1 - 0.15(P_m/P_{e\text{story}})$

式中: $P_{e\text{story}}$ 为楼层的全部竖向荷载; $P_m$ 为楼层框架柱承担的全部竖向荷载; $H$ 为楼层总剪力; $L$ 为层高; $\Delta_H$ 为层间位移。

式(7)使用时需注意以下几点:

1) $P_{e\text{story}}$ 为楼层临界压力,也可以通过侧移屈曲分析得到。

2)对于有支撑框架, $P_m$ 取为0。

3)计算 $\Delta_H$ 时,抗弯刚度按照2.2~2.4节中不同的计算方法考虑折减。

#### 2.6 美国钢标稳定设计方法比较

综上所述,美国钢标稳定设计方法主要有直接设计法、有效长度法、一阶分析法。需说明的是,本文2.5节介绍的近似二阶分析方法与上述3种方法并不是平行关系。二阶分析是3种稳定分析方法中的一部分,精确的二阶分析需要通过多步迭代来求解,近似二阶分析法作为替代精确二阶分析的一种方法,均可应用于3种稳定分析方法中。3种稳定分析方法的简单对比<sup>[5]</sup>见表1。

### 3 17钢标稳定设计方法

17钢标的稳定性设计较多地参考了欧洲标准<sup>[6]</sup>,并在欧洲标准基础上增加了其没有的多种稳定设计方法包括直接设计法。17钢标对于稳定设计给出了3种方法:直接设计法、二阶 $P-\Delta$ 弹性设计法、一阶弹性设计法。

#### 3.1 直接设计法

17钢标的直接设计法要求基于二阶分析,和美国钢标比较接近,只是两者的一些具体计算要求

表 1 美国钢标稳定分析方法比较

Table 1 Comparisons of stability analysis methods from the U. S. specification

分析内容	直接分析法	有效长度法	一阶分析法
适用范围	无限制	$\Delta_{2nd}/\Delta_{1st} \leq 1.5$	$\Delta_{2nd}/\Delta_{1st} \leq 1.5$ $P_t/P_{ns} \leq 0.5$
分析类型	二阶分析	二阶分析	一阶分析
几何变形	不考虑	不考虑	不考虑
假想水平力	0.2% 楼层重力荷载	0.2% 楼层重力荷载	层间位移角 2.1 倍的楼层重力荷载,且不小于 0.42% 楼层重力荷载
刚度折减	考虑	不考虑	不考虑
受压构件长度系数	不考虑	纯框架考虑,其他不考虑	不考虑

不同。

### 3.1.1 整体缺陷

整体缺陷一般是通过计算  $P-\Delta$  效应来考虑的,具体方法是按楼层施加假想水平位移或者假想水平力来实现,详见式(8)。

$$\Delta_i = \frac{1}{250} h_i \sqrt{0.2 + 1/n_s} \quad (8a)$$

$$H_{mi} = \frac{1}{250} G_i \sqrt{0.2 + 1/n_s} \quad (8b)$$

式中: $\Delta_i$ 为第*i*层的假想水平位移; $H_{mi}$ 为第*i*层的假想水平力; $h_i$ 为第*i*层层高; $G_i$ 为第*i*层总重力荷载设计值; $n_s$ 为结构总层数,同时应注意满足  $2/3 \leq \sqrt{0.2 + 1/n_s} \leq 1.0$ 。

由式(8)可见,17钢标的整体缺陷是基于 1/250 的结构整体水平偏差考虑的,美国钢标则是 1/500。另外,17钢标对于整体缺陷考虑了楼层数的修正。

### 3.1.2 构件缺陷

构件缺陷一般是指  $P-\delta$  效应,17钢标通过对构件施加初始变形或等效分布荷载来考虑,详见式(9)。

$$\delta_0 = e_0 \sin(\pi x/l) \quad (9a)$$

$$q_0 = 8N_k e_0 / l^2 \quad (9b)$$

式中: $\delta_0$ 为构件离端部  $x$  处的初始变形; $e_0$ 为构件中点的初始变形; $q_0$ 为构件等效分布荷载; $N_k$ 为构件轴力标准值; $l$ 为构件总长度。

17钢标在考虑构件缺陷时,对其初始几何缺陷形状采用正弦波模拟,中点最大初始变形  $e_0$  取  $(1/400 \sim 1/250)l$ 。关于这些具体内容详见 17钢标,本文不再赘述。

美国钢标对构件缺陷是通过刚度折减来考虑的,这与 17钢标具有很大的不同。

### 3.2 二阶 $P-\Delta$ 弹性设计法

二阶  $P-\Delta$  弹性设计法也要求基于二阶分析,但

仅仅考虑整体缺陷(方法同 3.1.1 节),而不考虑构件缺陷。

另外,二阶分析可以采用放大系数法代替精确的二阶分析,这与美国钢标类似。但 17钢标放大系数法只放大弯矩中水平力作用产生的部分,其值小于美国钢标。放大系数法详见 17钢标,这里不再详述。

### 3.3 一阶弹性设计法

一阶弹性设计法沿用 GB50017—2003《钢结构设计规范》的内容,在我国工程界使用多年,为广大设计人员所熟悉。

一阶弹性设计法不考虑整体缺陷,构件缺陷等因素通过引入计算长度系数综合考虑。

### 3.4 17钢标与美国钢标比较

综上所述,中美两国钢结构稳定设计方法既有相似的部分,也有很大的不同。17钢标引入的直接设计法,较大程度上参考了美国钢标,并在相关研究成果的基础上又加以调整和改进。由于两国稳定设计方法并不一一对应,现将两国标准的直接设计法做简单对比,详见表 2。

同时尚应注意以下几点:

1) 17钢标考虑的假想水平力是美国钢标的 1.33~2.00 倍,但并不能就此得出 17钢标更严。由于美国钢标对全部构件刚度至少折减了 80%,这导致水平力作用下的结构侧移更大。二阶分析是非线性迭代分析,结构侧移的增大对结构的不利影响将大幅度放大。

2) 二阶效应系数是 1.0 减去一阶分析与二阶分析侧移的比值。美国钢标对忽略  $P-\delta$  效应的限制较松,如果在忽略刚度折减的情况下比较,美国钢标的二阶效应系数限值大约为 0.33,仍较 17钢标放松。但美国钢标忽略  $P-\delta$  效应尚有其他限制,详见本文 2.2.1 节。

表2 中美两国直接设计法比较

Table 2 Comparisons of direct analysis methods from Chinese and U. S. specifications

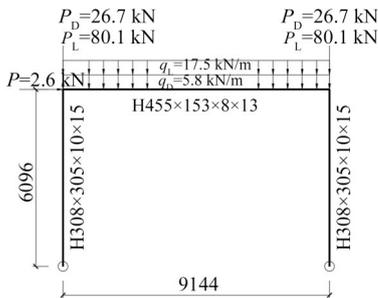
内容	17钢标	美国钢标	说明
适用范围	无限制	无限制	
分析类型	二阶分析	二阶分析	
$P-\Delta$ 效应	(1/375~1/250)整体水平偏差	1/500整体水平偏差	均可按假想水平力考虑整体缺陷
$P-\delta$ 效应	施加(1/400~1/250)最大构件偏差	通过刚度折减考虑	其他各种缺陷因素均在此考虑
忽略 $P-\delta$ 效应条件	$\theta_i^{\text{II}} \leq 0.25$	$\theta_i^{\text{II}} \leq 0.42$	$\theta_i^{\text{II}}$ 为二阶效应系数
受压构件长度系数	不考虑	不考虑	

## 4 简单算例

### 4.1 模型概况

为对比中美直接设计法的差异,现通过一个简单的算例进行比较。该算例以美国钢标官方发布的设计例题手册<sup>[7]</sup>第C章内容为基础,对算例进行适当的精简,且其单位均转化为国际单位制。需要说明的是,限于资料收集原因,此算例是针对10版美国钢标的,但16版美国钢标在直接设计法部分与10版差异很小,其结果可以参考使用。

基本模型为一层单跨框架,柱底铰接,梁柱节点刚接,具体见图1。钢材材料为美标ASTM-A992,钢材截面为美标型材:W18×40的截面尺寸大致为H455×153×8×13,W12×65的截面尺寸大致为H308×305×10×15。



注: $P_D$ 为恒载; $P_L$ 为活载; $P$ 为假想水平力; $q_D$ 、 $q_L$ 分别为均布恒载、均布活载。

图1 模型1计算简图 mm

Fig. 1 Calculation diagram of Model 1

建立3种模型:

1) 计算程序比对模型(简称模型1)。采用MIDAS/Gen 2023(V1.1)有限元计算程序,由于版本限制,该软件不能直接选择16版美标进行分析,故建立此比对模型,按照美国钢标的要求逐步建模并计算,将计算结果与文献<sup>[7]</sup>提供的算例结果比较,以验证计算程序的正确性。

2) 施加正常水平力的美国钢标模型(简称模型2)。由于文献<sup>[7]</sup>提供的算例未考虑实际水平力

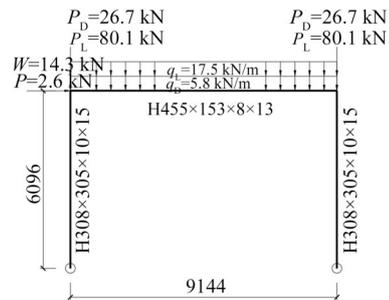
(如风荷载、地震作用等),仅考虑了假想水平力,导致二阶效应不明显,不方便对比。因此模型2增加风荷载输入,并按照美国钢标的要求采用直接分析法计算。基本风压取0.6 kPa,体型系数1.3,高度系数1.0,受荷面积按8(排架间距8 m)×6.1/2=24.4 m<sup>2</sup>,柱顶风荷载标准值为14.3 kN。

3) 以模型2为基础按17钢标直接设计法计算的模型(简称模型3)。最终主要是模型2和模型3的对比。

### 4.2 计算结果

模型1的计算简图见图1。支座竖向反力程序计算结果分别为318、322 kN,文献<sup>[7]</sup>算例结果分别为317、323 kN,两者几乎一致。柱顶水平位移程序计算结果为5.75 mm,文献<sup>[7]</sup>算例结果为5.51 mm,两者误差4.3%。故本计算程序采用美国钢标验算时,结果可信。

模型2、3的计算简图见图2、3。

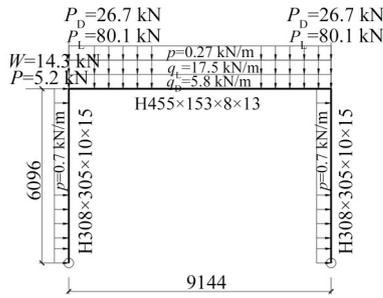


注: $W$ 为风荷载。

图2 模型2计算简图 mm

Fig. 2 Calculation diagram of Model 2

模型3中施加了考虑构件缺陷的假想均布荷载(型钢按a类截面考虑1/400的缺陷),为抵消其对整体的影响,在构件端点施加节点力平衡构件的假想均布荷载(图3中未表示)。另外,美国标准对于荷载尤其是风荷载的分项系数与中国标准差异较大<sup>[8]</sup>,为避免两个标准荷载组合系数不同给计算对



注:  $p$  为构件缺陷假想力。

图3 模型3计算简图 mm

Fig. 3 Calculation diagram of Model 3

比带来误差,模型2荷载组合采用国标要求,即:

1.  $3P_D+1.5P_L+0.9W+1.0P$  和  $1.3P_D+1.05P_L+1.5W+1.0P$  两种组合。经计算,风荷载为控制荷载。图4、5给出了控制荷载作用下的计算结果简图。

### 4.3 对比结果

模型2和模型3主要计算结果对比列于表3。

由计算结果可知,模型2的位移和二阶效应系

数均大于模型3,主要是因为按照美国钢标对构件刚度进行了折减。但是构件的最大弯矩、最大轴力的主要力学指标比较接近,表明按中美两种标准进行直接设计法差异不大。

### 4.4 荷载组合和材料分项系数的影响

前文主要是针对结构荷载效应的对比。最终结构设计结果尚受到荷载组合、材料分项系数、承载力计算等多种因素的影响。针对本算例,从荷载组合和材料分项系数方面做简单对比。由于承载力计算属于结构抗力计算,内容较多且复杂,限于篇幅本文不再进行对比。

美国钢标不考虑地震时荷载组合为  $1.0P_D+1.6P_L+1.0P$  和  $1.0P_D+1.0P_L+1.35W+1.0P$ ,需要说明的是,美国钢标风载组合系数为1.0,但其基本风压采用的是重现期700 a、测量时距3 s的瞬时风速。根据相关资料<sup>[9]</sup>,换算后其基本风压最大约为我国标准的1.35倍,风载的组合系数为1.35。

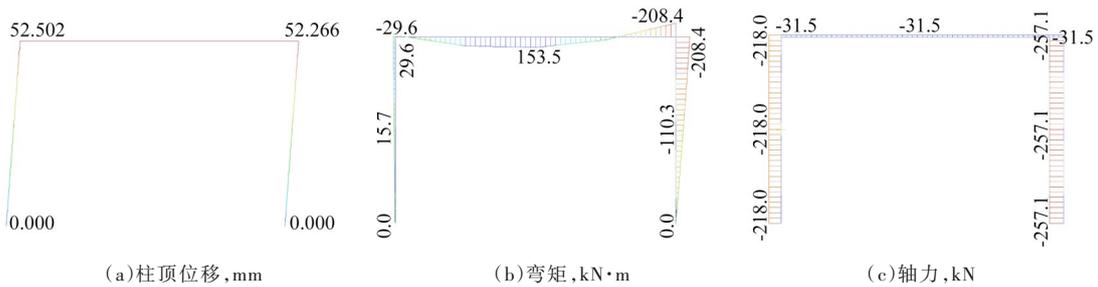


图4 模型2计算结果

Fig. 4 Calculation results of Model 2

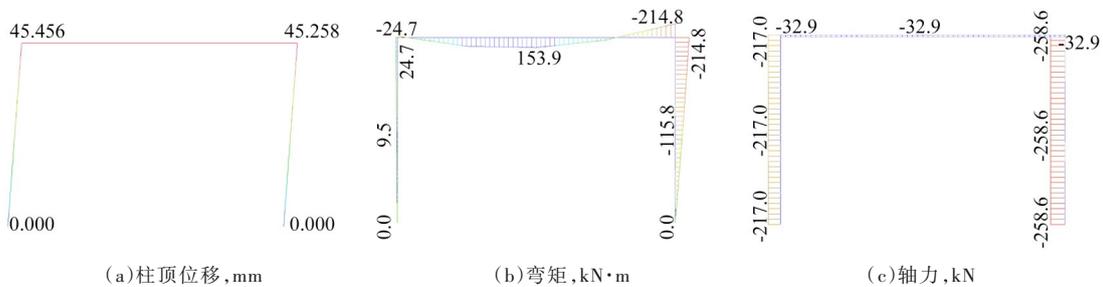


图5 模型3计算结果

Fig. 5 Calculation results of Model 3

表3 模型2,3计算结果对比

Table 3 Comparisons of calculation results between Model 2 and Model 3

模型	二阶位移/ mm	最大弯矩/ (kN·m)	最大轴 力/kN	二阶效 应系数
模型2	52.5	208	257	0.192
模型3	45.5	215	259	0.154
模型2/模型3	1.15	0.97	0.99	1.25

17钢标不考虑地震时荷载组合为  $1.0P_D+1.5P_L+0.9W+1.0P$  和  $1.0P_D+1.05P_L+1.5W+1.0P$ ,以模型2算例的铰接柱脚反力为例,考虑材料分项系数后,美国钢标与17钢标的计算结果的安全度对比列于表4。可见,两个标准在受压计算方面安全度基本一致,受剪方面17钢标安全度更大一些。

表4 安全度对比  
Table 4 Safety level comparison

标准	轴力/kN	剪力/kN	材料分项系数 $\gamma_R$	抗剪分项系数 $\gamma_V$	柱底反力标准值 $F_S$ /kN	安全度[内力/ $(\gamma_R\gamma_V F_S)$ ]
美国钢标	322	—	0.9	1.0	225	1.59
	—	29.5	0.9	0.6	26.1	2.09
17钢标	320	—	0.889	1.0	225	1.60
	—	33.3	0.889	0.577	26.1	2.49

## 5 结束语

美国钢标直接设计法已经施行多年,具有一定的工程应用经验。17钢标的直接设计法虽然已经发布一定时间,但目前工程应用尚不广泛。两者的主要差异如下:

1)美国钢标考虑的整体缺陷远小于17钢标。

2)美国钢标采用刚度折减统一考虑构件缺陷。17钢标采用假想均布荷载(或初始变形)考虑构件缺陷。

3)虽然美国钢标的假想水平力小于17钢标,但由于刚度折减导致二阶效应放大,因此两者计算结果可能差异并不大。

4)美国钢标在二阶效应系数小于0.33时,可以不采用直接设计法,17钢标则是二阶效应系数小于0.25时才允许不采用直接设计法。虽然美国钢标较为放松,但其仍然要求施加假想水平力。

综上所述,17钢标与美国钢标的直接设计法大致类似,但在具体应用上还存在一定的不同,尤其是关于构件缺陷的处理有较大不同。美国钢标对构件缺陷采用刚度折减,操作简便,但经验成分偏多;17钢标采用假想均布荷载或者初始变形考虑构件缺陷,具有切实的理论依据,但实际执行时存在以下难度和问题:

1)构件缺陷的加载方向要求是不利方向,实际工程中,每根构件的不利方向难以一一确定;构件缺陷的加载是单向还是双向也不明确,建议一个方向加载100%,垂直方向加载85%。

2)直接设计法对于门式刚架等轻型钢结构是否适用暂无定论,美国标准并未将直接设计法应用于轻型钢结构。

3)地震作用在直接设计法中如何组合尚无定论。由于直接设计法应采用荷载直接组合,而不能采用荷载效应的组合,因此考虑地震作用时应进行动力弹塑性时程分析,大大增加直接设计法的分析难度,影响推广应用。可以考虑将地震作用效应和其他荷载效应组合后再进行荷载组合。

这些具体问题需要进一步研究并加以明确,方能推动直接设计法在我国工程界的进一步发展。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 钢结构设计标准:GB 50017—2017[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2018.
- [2] American Institute of Steel Construction (AISC). Specification for structural steel buildings: AISC 360-05 [S]. Chicago: AISC, 2005.
- [3] American Institute of Steel Construction (AISC). Specification for structural steel buildings: AISC 360-10 [S]. Chicago: AISC, 2010.
- [4] American Institute of Steel Construction (AISC). Specification for structural steel buildings: AISC 360-16 [S]. Chicago: AISC, 2016.
- [5] American Institute of Steel Construction (AISC). Steel construction manual[M]. 14th ed. Chicago: AISC, 2011.
- [6] European Committee for Standardization (ECS). Eurocode 3: design of steel structures: part 1-1: general rules and rules for buildings: EN1993-1-1:2005[S]. Brussels: ECS, 2005.
- [7] American Institute of Steel Construction (AISC). Design examples [M]. 14th ed. Chicago: AISC, 2011.
- [8] American Society of Civil Engineers (ASCE). Minimum design loads for buildings and other structures: ASCE 7-10[S]. Reston: ASCE, 2010.
- [9] 周瑞. 中美房屋建筑风荷载计算对比分析[J]. 建筑结构, 2023, 53(增刊1): 258-262.

## A Comparison of Stability Design Between Chinese and American Specifications for Structural Steel

Rui Zhou

(Shanghai Johnson Construction Engineering Consulting Co., Ltd., Shanghai 200062, China)

### Abstract:

According to the specifications of American and Chinese design for structural steel, a detailed introduction is provided on the methods for structural steel stability design. There are some design methods in the two specifications, with similarities and differences between them. In order to deepen understanding of the direct analysis method and promote its further application in practical engineering, this study focused on a comprehensive comparison of the direct analysis method between the two specifications. The comparison showed significant differences in the methods used to address the  $P-\Delta$  and  $P-\delta$  effects. The American specification offers more practical convenience in application but lacks sufficient theoretical basis in some aspects. Although the Chinese specification has strong theoretical support, its practical application is sometimes cumbersome, and some details are not yet clear. Meanwhile, a simple comparison was conducted between the direct analysis methods of the two specifications through a calculation example. The results showed little difference in internal force calculations between the two methods. However, in terms of horizontal drift, the results obtained using the American specification were greater than those from the Chinese specification.

**Keywords:** structural steel stability design; American specification; Chinese standard; direct analysis method; second-order analysis