

## 钢结构檩条墙梁设计常见问题解析（一）

# 钢结构檩条墙梁设计常见问题解析（一）

吴海楠

（中国建筑科学研究院有限公司 北京构力科技有限公司深圳分公司 北京100013）

[摘要] 钢结构中的屋面檩条和墙面墙梁作为屋面墙面系统中的受力和传力构件，一般不在整体模型中建立和分析（门式刚架三维中也是独立分析和计算），而是采用工具箱进行独立分析和计算，在应用工具箱进行檩条和墙梁设计时，设计人员常常会对一些工具箱中的参数究竟如何考虑以及影响不清楚，本系列文章将对这些问题进行解析。

[关键词] 檩条；墙梁；工具箱；稳定；

### 1 钢结构檩条、墙梁工具箱中“屋面板能阻止檩条上翼缘侧向失稳”、“墙板能阻止墙梁外翼缘侧向失稳”的选项何时可以勾选？

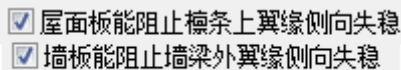


图1 参数

首先勾选了“屋面板能阻止檩条上翼缘侧向失稳”、“墙板能阻止墙梁外翼缘侧向失稳”这个选项之后，程序不会进行檩条、墙梁在上翼缘、外翼缘受压时的整体稳定验算。

根据《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB50018-2002（以下简称薄钢规）中的要求：只有屋面板材与檩条有牢固的连接，即用自攻螺钉、螺栓、拉铆钉和射钉等与檩条牢固连接，且屋面板材有足够的刚度（例如压型钢板），才可认为能阻止檩条侧向失稳和扭转，可不验算其稳定性。此时可以勾选“屋面板能阻止檩条上翼缘侧向失稳”“墙板能阻止墙梁外翼缘侧向失稳”选项，不验算该稳定应力。

对塑料瓦材料等刚度较弱的瓦材或屋面板材与檩条未牢固连接的情况，例如卡固在檩条支架上的压型钢板（扣板），板材在使用状态下可自由滑动，即屋面板材与檩条未牢固连接，如下图[2]所示的连接片连接时，连接片是可滑移的，扭转刚度没有保证，不能阻止檩条侧向失稳和扭转，应按公式8.1.1-2验算檩条的稳定性，此时不能勾选该选项。墙板能约束墙梁外翼缘与屋面板的要求类似。

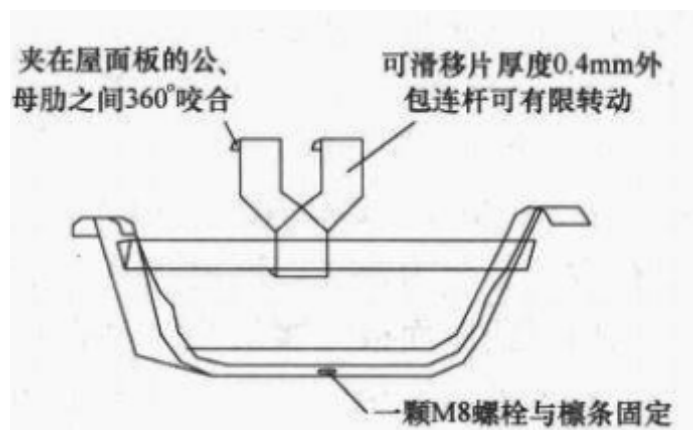


图2

## 2 钢结构檩条工具箱中的“构造保证下翼缘风吸力作用稳定性”何时勾选？

檩条在风吸力作用下处于下翼缘受压的状态，此时需要进行风吸力组合下的稳定。

应按照薄钢规进行验算，而在勾选了“构造保证下翼缘风吸力作用稳定性”后，程序将不再验算风吸力作用下的稳定应力。根据门式刚架规范中的9.1.5-3条“当受压下翼缘有内衬板约束且能防止檩条扭转时，整体稳定性可不计算”，也就是说在檩条下翼缘位置布置有内衬板，且内衬板与檩条之间是可靠连接时，可以考虑此项。

同时有人提出当设置下层拉条，且拉力位于距离下翼缘1/3腹板高度范围内时，也可以认为构造保证下翼缘稳定，事实是不是这样的呢？笔者认为设置下层拉条后不能保证下翼缘的稳定就不用计算了，此时下翼缘稳定仍然需要进行验算，门式刚架规范中对于内衬板对于檩条下翼缘的约束已经做出了解释，在9.1.5条文说明中提到“当有内衬板固定在檩条下翼缘时，相当于有密集的小拉条在侧向约束下翼缘，故无需考虑整体稳定性”。考虑到拉条对于檩条的约束只是在拉条拉结位置的点约束，而拉条又不能布置很密集，一般的拉条间距大约为2m~3m，还远达不到密集的程度，因此下层拉条对下翼缘的约束还达不到不需要验算稳定的条件。

## 3 拉条作用中的约束檩条上翼缘、约束檩条下翼缘、约束檩条上、下翼缘的参数应该如何选择？设置后会如何影响计算结果？

拉条作为檩条的侧向支撑点，主要限制檩条的扭转和侧向变形，对于拉结在距离上翼缘1/3腹板高度范围内时，可以认为其作为上翼缘扭转变形的支撑点，此时拉条左右为约束檩条上翼缘，同理对于拉结在距离下翼缘1/3腹板高度范围内时，可以认为其作为下翼缘扭转变形的支撑点，此时拉条左右为约束檩条下翼缘，当设置双层拉条，其上下两层各分布于距离上下翼缘各1/3腹板高度范围内时，拉条的作用为约束上下翼缘。

设置拉条作用后程序根据拉条设置的道数和檩条跨度确定出拉条间距，按照此间距确定拉条约束位置，即檩条上下翼缘稳定验算时的檩条面外计算长度，进而影响对应位置的檩条稳定验算结果

## 4 如下图：檩条设计工具箱提供了两本规范选项“薄钢规范GB50018”“门规GB51022-2015”，两本规范有何差异？

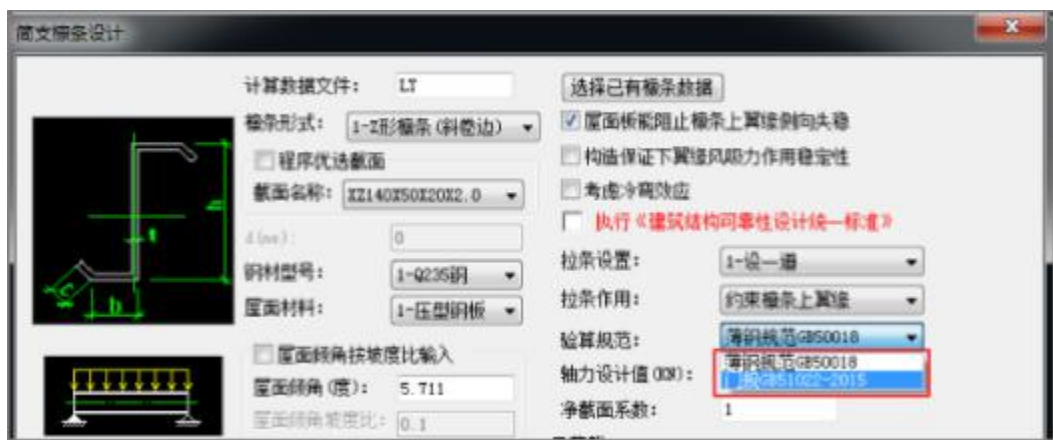


图3 工具箱中两个规范的选择

《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》GB51022-2015（以下简称门式刚架规范）修订以来，新门式刚架规范对于檩条计算进行了较为详细的规定，同时结合薄钢规对于采用冷弯薄壁截面的檩条，两本规范的差异主要有以下四点：

1) 门式刚架规范9.1.4对于实腹式卷边檩条的宽厚比不大于13，卷边宽度与翼缘宽度之比不宜小于0.25，不宜大于0.326进行控制。这一条薄钢规是没有要求的。

2) 门式刚架规范9.1.5-1条规定还要根据公式9.2.5-2验算薄壁截面的腹板剪应力，而薄壁型钢规范没有相关要求。

3) 门式刚架规范9.1.5-1条还规定在验算檩条强度时，采用平行轴有效截面模量进行验算，而薄钢规规范规定强度和稳定验算始终采用主轴截面模量进行验算。虽然主轴有效截面模量比平行轴有效截面模量要大，但是对于檩条强度等计算，门式刚架规范按照单向受弯构件或单向压弯、拉弯构件计算其强度和稳定，薄钢规则会按照双向受弯、拉弯或压弯验算其强度和稳定，所以在水平向存在弯矩的情况下，薄钢规的计算结果很可能要比门刚规范的计算结果大。

4) 门式刚架规范中对于压型钢板屋面的檩条挠度按照1/150控制，薄钢规对于压型钢板屋面的檩条按照1/200控制。

## 5 钢结构墙面中的墙梁采用C型截面时，是口朝上有利还是口朝下有利？

首先我们要了解一下C型截面的特性，对于C型截面来说，它是一种单轴对称截面，其相对X轴是轴对称的，相对于Y轴是非对称的，因此相对于Y轴其两侧的抵抗矩是不同的，如下图，截面中位于Y轴左侧部分对于Y轴的抵抗矩记为 $W_1$ ，位于Y轴右侧部分对于Y轴的抵抗矩记为 $W_2$ ， $W_1 > W_2$ ，且一般 $W_1$ 是 $W_2$ 的三倍左右。

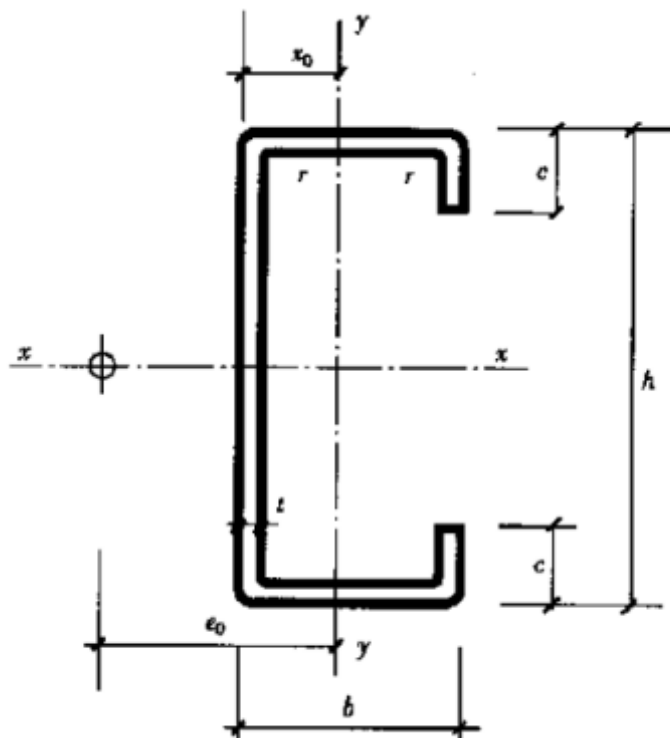


图4 C型截面

C型截面多用于简支墙梁，下面针对于简支墙梁从墙梁承受的荷载作用和檩条来去进行分类讨论：当墙梁只承担墙面传来的墙面风荷载墙板竖向荷载自承重时，口朝上与口朝下对风荷载作用下的强度和稳定没有影响，竖向荷载只考虑墙梁本身自重，口朝上和口朝下计算结果也是基本一致的。

当墙梁既承担墙面传来的墙面风荷载，墙板非自承重，墙梁又要承载竖向荷载时，对于简支墙梁，其在竖向荷载作用下墙梁截面下部受拉，上部受压。了解了C型截面的性质，我们接着来分析一下具体截面的应力情况，如果C型截面口朝上放置，其截面Y轴右侧部分受压，计算稳定应力时，W2参与计算，根据上面的截面性质 $W1 > W2$ ，所以口朝上的稳定应力要大于口朝下时的稳定应力，因此对于这种情况下，当截面是稳定应力控制时，其截面口朝下更能充分利用截面刚度和承载力。

## 6 钢结构檩条工具箱中的简支檩条计算结果输出了“檩条能够承受的最大轴力设计值为(KN)”，如何理解？

考虑到檩条有时候会兼做屋面的刚性系杆，程序在按照常规檩条的按照受弯构件计算强度和稳定的同时，如果按受弯构件计算的强度和稳定应力都满足要求的情况下，程序就根据压弯构件的计算公式，反算出檩条还能够承担的最大轴力值，予以输出。如果在参数中的“轴力设计值”输入一定的数值，程序则直接按照压弯或拉弯构件进行檩条验算。

## 7 连续檩条工具箱中“边跨檩条间距减少一半”有何作用？对计算结果有何影响？

由于山墙榑刚架一般要设置抗风柱、有的还要设置墙架柱，造成边榑的竖向刚度较相邻中间榑大很多，在竖向荷载作用下，山墙榑与相邻中间榑之间的竖向变形差较大，可能会引起屋面板局部变形，甚至塌陷，引发漏水等情况，因此有部分钢结构厂家习惯在檩条边跨时减小檩条间距，以此增强边榑与中间榑的连接，减小竖向变形差异，同时一定程度的增大了屋面刚度。如图：红色箭头所示位置会增加简支檩条。

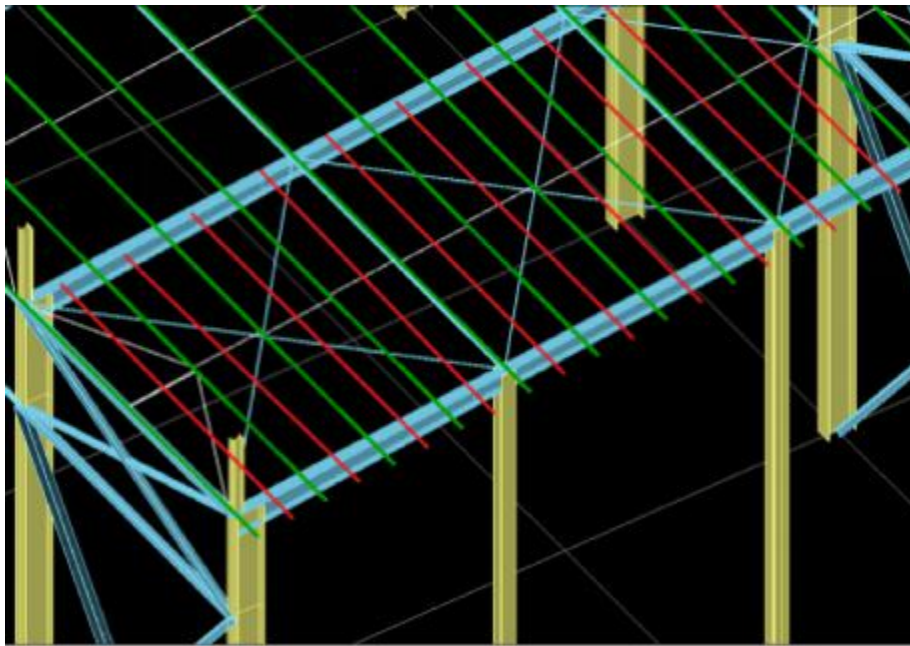


图5“边跨檩条间距减少一半”的效果

增加简支檩条后，边跨檩条的导荷面积将减少一半，进而影响强度和稳定应力的计算结果，如下图所示。。



图6

参考文献

- [1] GB51022-2015门式刚架轻型房屋钢结构技术规范[S].北京：中国建筑工业出版社，2016
- [2] GB50018-2012冷弯薄壁型钢结构技术规范[S].北京：中国建筑工业出版社，2003.
- [3] 陈友泉.魏潮文.门式刚架轻型房屋钢结构设计与施工疑难问题释义[M].北京：中国建筑工业出版社，2009
- [4] STS技术条件[4] 钢结构设计手册[M].北京：中国建筑工业出版社，2004
- [5] STS技术条件

## 冷弯薄壁结构墙体钢构件防火设计方法探究

# 冷弯薄壁结构墙体钢构件防火设计方法探究

许天祎

(中国建筑科学研究院有限公司 北京构力科技有限公司 100013)

**[摘要]** 防火设计在欧美国家已经受到广泛的重视，在国内也不断吸引更多的关注。不受控制的火灾会导致人员伤亡和经济损失等重大问题，因此提供一种防火设计的方法在工程实践中具有重要意义。本文中的这项研究将集中在建筑物的墙体中的冷弯薄壁构件的防火设计，通过对研究欧美规范中相关内容的分析，总结更好的防火设计方法。冷弯薄壁构件具有许多优点，包括制造生产工艺简便，安装简单，易运输和搬运，质量均匀，并且它们可以作为承重构件，这种墙体通常用于低层住宅建筑。目前，对于不均匀温度下的直接强度法还是欠缺的，本文提出了一种方法，目的使这种方法应用于生产实践中。

**[关键词]** 水池；超长；优化设计

## 0 前言

防火设计在欧美国家已经受到广泛的重视，在国内也不断吸引更多的关注。不受控制的火灾会导致人员伤亡和经济损失等重大问题，因此提供一种防火设计的方法在工程实践中具有重要意义。

本文中的这项研究将集中在建筑物的墙体中的冷弯薄壁构件的防火设计，通过研究欧美规范中的相应内容的分析，总结更好的防火设计方法。冷弯薄壁构件具有许多优点，包括制造生产工艺简便，安装简单，易运输和搬运，质量均匀，并且它们可以作为承重构件，这种墙体通常用于低层住宅建筑。图1所示为一个典型该种墙体的结构，包括螺旋钢立柱，石膏板和绝缘层。冷弯薄壁墙体和螺旋钢柱的两侧由石膏板覆盖，这些石膏板不承受垂直荷载，但是它们为螺旋钢柱提供侧向刚度和耐火特性，在内部有绝缘层，这样做也是通常用于改善墙体的保温隔热性能。

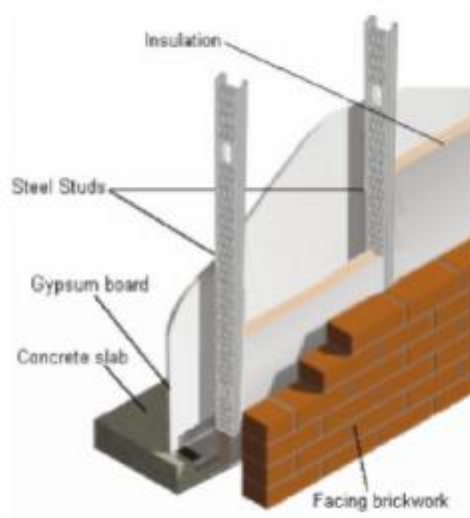


图1 墙体结构图

冷弯薄壁构件被广泛用作低层房屋建筑中的承重构件，这种构件的设计应考虑环境温度和耐火程度等因素。对于环境温度设计，传统方法是有效宽度方法。现在有越来越多采用直接强度法取代有效宽度法，因为后者在处理具有多个加强件的部分时具有优势。对于耐火性计算，由于横截面中的温度分布不均匀，直接强度法有可能比有效宽度法更有优势，从而有效地将环境温度下具有均匀机械性能的横截面转变为与火灾中的机械性能不均匀。

一般来说，结构的防火设计计算需要传热分析来获得结构温度，并进行结构分析来获得结构阻力。虽然现在所有的热分析和结构分析都可以通过使用商业上可用的通用有限元软件（如ABAQUS）来完成，但这种计算在实际应用中非常耗时。这个项目的目的是开发简化的计算方法，可以在实际设计中采用。特别是对于结构分析，本研究将考察直接强度法是否适用于计算非均匀高温的冷弯薄壁型钢的抗压强度。当使用直接强度法时，需要两个量作为输入：临界弹性屈曲载荷（局部，变形和整体）和塑性抗压强度。还有必要结合这两个数量来获得结构的强度。

## 1 常温下的直接强度法

直接强度法（AISI, 2004）适用常温下冷弯型钢的计算。轴向受压构件的强度是取整体稳定验算、畸变屈曲验算和局部屈曲验算的最小值（AISI, 2004）：

I 弯曲，扭转或扭转屈曲（整体屈曲）：

当 $\lambda_c \leq 1.5$ 时，

$$P_{ne} = (0.658^{\lambda_c^2}) P_y$$

当 $\lambda_c > 1.5$ 时，

$$P_{ne} = \left( \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) P_y$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{P_y}{P_{cre}}}$$

I 局部屈曲：

当 $\lambda \leq 0.776$ 时，

$$P_{nl} = P_{ne}$$

当 $\lambda > 0.776$ 时，

$$P_{nl} = \left( 1 - 0.15 \left( \frac{P_{crl}}{P_{ne}} \right)^{0.4} \right) \left( \frac{P_{crl}}{P_{ne}} \right)^{0.4} P_{ne}$$

$$\lambda_l = \sqrt{\frac{P_{ne}}{P_{crl}}}$$

I 畸变屈曲:

当 $\lambda_d \leq 0.561$ 时,

$$P_{nd} = P_y$$

当 $\lambda_d > 0.561$ 时,

$$P_{nd} = \left(1 - 0.25 \left(\frac{P_{crl}}{P_y}\right)^{0.6}\right) \left(\frac{P_{crl}}{P_y}\right)^{0.6} P_y$$

$$\lambda_d = \sqrt{\frac{P_y}{P_{crl}}}$$

注: 荷载取欧拉的临界弹性屈曲载荷, 局部屈曲和畸变屈曲

Rusch和Lindner (2001) 评论说, 如果直接强度法是一个普遍的设计概念, 在某些情况下, 当质心发生变化时, 直接强度法将不适用。Schafer (2002b) 报道了直接强度法的进展。他提到交互公式可能用于扩展梁柱的直接强度法, 如下所示:

$$\frac{P}{P_n} + \frac{M_x}{M_{nx}} + \frac{M_y}{M_{ny}} \leq 1.0$$

Schafer (2008b) 注意到“在Schafer (2002b, 2003) 中提出了应用梁柱直接强度法的基本方法和使用Schafer (2006) 中提供的这种方法的完整设计实例”。基本和以前一样, 但不同之处在于, 在梁柱中, P和M的组合导致第一屈服和弹性屈曲。但是, 直到现在, 他们并没有发表关于梁柱的工作。在这项研究中, 作者在直接强度法计算强度时使用了一些考虑因素, 将在后续中进行解释。

### 1.1 高温下的直接强度法

到目前为止, Ranawaka和Mahendran (2009) 在高温条件下对直接强度法进行的唯一研究工作是收集了超过150次冷成型钢压缩构件的试验研究, 这些试件在环境温度和均匀高温下受到畸变屈曲 (20摄氏度到800摄氏度)。这些研究考虑了三种不同厚度的板材 (0.6mm, 0.8mm和0.95mm)。这些报告中, 直接强度法在常温下结构具有良好的收敛性。然而, 对于高温, 他们提到, 即使他们使用钢的机械性能降低, 仍然需要进一步改进。他们修改了畸变屈曲的直接强度基本方程。他们提到直接强度在高温下比AS / NZS 4600的预测更不安全, 并得出结论认为这



些修改后的方程式需要对高温进一步改进。然而，他们可以保守地使用考虑折减因子0.75来降低产能。Mahendran和Ranawaka（2007）检查了他们修正后的畸变屈曲方程以进行更多的试验，并与ABAQUS的有限元模型进行了比较，他们开发了修正后的方程，使其在高温下更精确，如下所示：

当 $\lambda d \leq 0.43$ 时，

$$P_{nT} = Af_{nT} = Af_{yT}$$

当 $\lambda d > 0.43$ 时，

$$P_{nT} = Af_{nT} = Af_{yT} \left( 1 - 0.37 \left( \frac{f_{0dT}}{f_{yT}} \right)^{0.31} \right) \left( \frac{f_{0dT}}{f_{yT}} \right)^{0.58}$$

本研究将对非均匀温度下冷弯薄壁结构设计提供帮助。因此，AISI（2004）的直接强度法基本方程将用于计算高温下的强度。

## 2 改进的直接强度法

在本研究中，临界弹性屈曲荷载已通过使用有限条法（比较弹性屈曲曲线法）和有限元法（ABAQUS）来确定。本章将使用比较弹性屈曲曲线法呈现结果。图2为研究截面大小为下图所示（100\*54\*15\*1.2）：

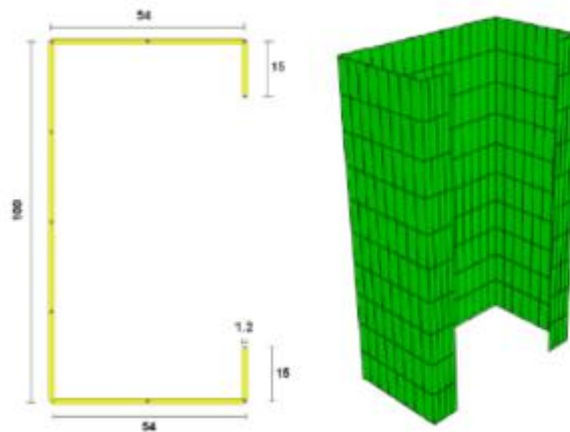


图2 截面尺寸 图3 ABAQUS模型

图4比较了有限条方法（比较弹性屈曲曲线法）和有限元方法模拟之间的弹性屈曲曲线和屈曲形状。其吻合度很好，ABAQUS产生局部屈曲的结果略低。根据前面的弹性临界载荷，塑性阻力以及直接强度法的修改建议，来确定变温条件下的强度。

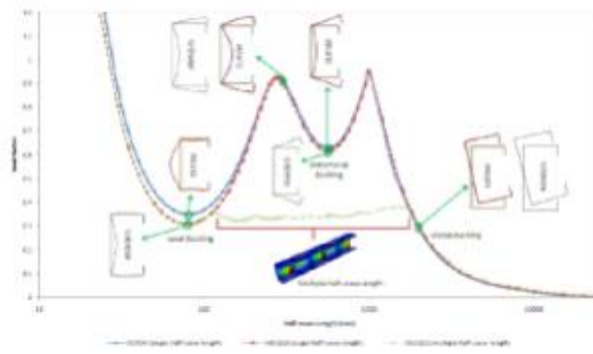


图4比较施加96中荷载情况下弹性屈曲曲线法和ABAQUS程序结果对比

在本节中，使用比较弹性屈曲曲线法程序，通过有限条带法确定的临界弹性屈曲载荷，在96个模型（不同施加载荷）的总弹性屈曲载荷下被确定为直接强度法的输入，以确定在升高温度，ABAQUS结果进行比较。利用ABAQUS程序对的非均匀温度下的弹性屈曲曲线进行了确定，并将结果与比较弹性屈曲曲线法进行了比较，结果表明吻合良好。由于更快的模拟和更少的运行时间来计算使用的比较弹性屈曲曲线法的弹性屈曲载荷。另外，发现由热弯曲和质心位移引起的弯矩对荷载分布有明显的影响。

### 3 结论

通过对常温下和高温下冷成型薄壁钢构件的直接强度法的研究。可以提出了一种改进直接强度法，补充了冷弯薄壁结构在不均匀温度下的防火设计。根据迄今为止所做的工作和采用的方法，主要结论如下：改进方法与有限元分析结果吻合度很大，但是构件类型较为单一，需要对大量不同截面类型的构件进行测试验算，来确定此种方法是否可以运用到实际工程中。

#### 参考文献

- [1] AISI, 直接强度法在冷弯薄壁钢结构中的应用[S].华盛顿: 美国钢铁协会, 2004.
- [2] Rusch, A. & Lindner, J.直接强度法的说明[J].薄壁结构,2001, 39(9).
- [3] Schafer, B. W. 墙弹性屈曲的有限元分析[J].薄壁结构,2008, 16(2).
- [4] Schafer, B. W. 冷弯薄壁结构中的局部屈曲, 畸变屈曲和欧拉屈曲,[J]结构工程,2002, 128(3).
- [5] Mahendran, M. & Ranawaka, T. 轻型钢结构中构件在高温下的结构性能,[J]钢结构改进, 2007, 763 (9) .
- [6] Ranawaka, T. & Mahendran, M. 高温下冷弯型钢压弯构件的失稳屈曲试验,[J]建筑钢结构研究,2009, 65 (5) .