

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。

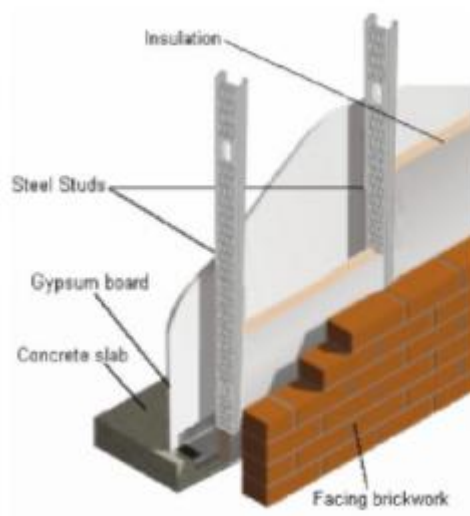


图1 墙体结构图

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）：

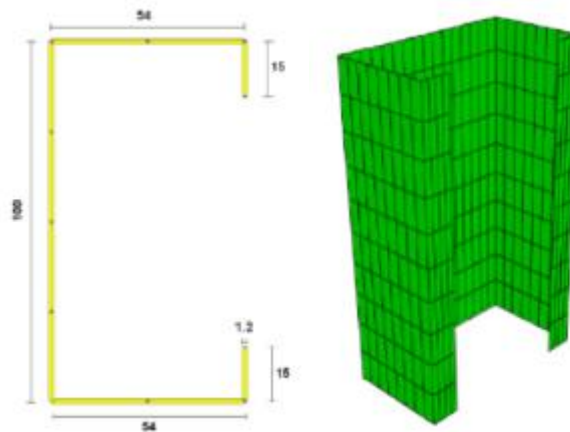


图2 截面尺寸 图3 ABAQUS模型

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。

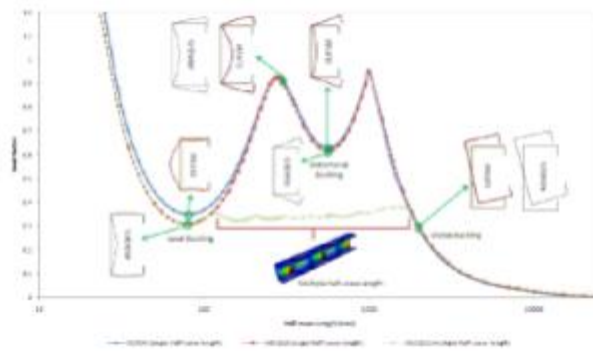


图4比较施加96中荷载情况下弹性屈曲曲线法和ABAQUS程序结果对比

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) .