

厂房三类受弯构件的弯扭失稳

童根树

(浙江大学高性能结构研究所, 杭州 310058)

摘要:介绍了工业厂房中遇到的三种钢梁:托梁、上翼缘有檩条的刚架梁和钢梁下翼缘与檩条之间设置了隅撑的钢梁,给出了它们的弯扭失稳临界弯矩公式,指出了它们的区别,特别指出隅撑-檩条支撑是门式刚架横梁的弹性扭转支撑,其刚度由檩条的抗弯刚度决定,按照弹性地基梁计算弯扭失稳临界弯矩,不再有计算长度的概念。

关键词:弯扭失稳;钢梁;隅撑;檩条

1 托梁

图1是工业厂房抽柱部位的托梁。托梁可以是变截面。这种梁可以用于柱距很大,但又希望采用普通冷弯Z型钢做檩条的厂房,例如芜湖奇瑞汽车一期厂房是纵向柱距15m的多跨厂房,檩条跨度为5m,从而形成如图1所示的托梁^[1]。

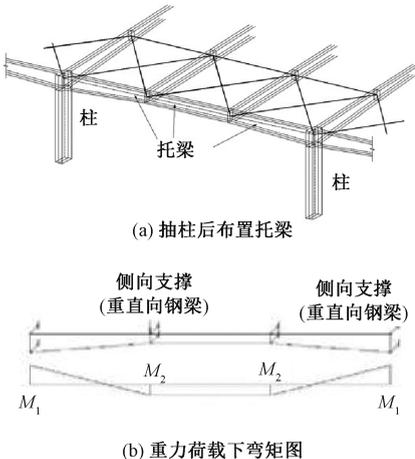


图1 变截面托梁

Fig. 1 Traditional steel beam of variable cross-section

等截面梁是钢结构教材中介绍过的梁,也是GB 50017—2017《钢结构设计标准》中给出规定的梁。除侧向支承点外,上下翼缘可自由出现平面外变形。弯扭失稳计算长度是侧向支撑点间的距离(图1是3片钢梁的间距)。这种钢梁截面双轴对称、无跨间

荷载时的临界弯矩为:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_y \left(GJ + \frac{\pi^2 EI_{\omega}}{L^2} \right)} \quad (1)$$

式中: I_y, J, I_{ω} 分别为截面绕弱轴惯性矩、自由扭转常数、扇性惯性矩; E, G 分别为钢材的弹性模量和剪切模量; L 为侧向无支撑长度; C_1 为弯矩非均布式相对于均布弯矩时的临界弯矩增大系数。

2 绕定点扭转的梁

第2种钢梁是仅在一个上翼缘有檩条和压型钢板屋面作为侧向支撑的门式刚架梁,如图2所示。这种梁发生绕定点的扭转失稳。这是GB 51022—2015《门式刚架轻型房屋结构技术规范》^[2]中给出规定的梁,是工业厂房特有的,因为有檩条-屋面体系,上翼缘没有侧向位移。这种钢梁的临界弯矩为:

$$M_{cr} = \frac{GJ}{2e_1} + \frac{\pi^2 (EI_y e_1^2 + EI_{\omega})}{2e_1 L^2} \quad (2)$$

式中: e_1 为钢梁剪切中心到檩条形心的距离。

3 檩条-隅撑支撑的钢梁

第3种钢梁是在第2种钢梁基础上,在钢梁两

作者:童根树,教授,主要从事钢结构稳定和抗震研究。

Email: Tonggs@zju.edu.cn

收稿日期: 2023-09-20

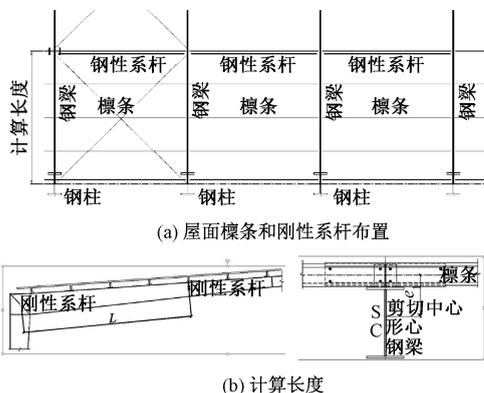


图2 绕定点扭转失稳的梁

Fig. 2 Beam buckling about a fixed point

侧的每一个檩条上都布置了隅撑,如图3所示。此时钢梁仍然发生绕定点的扭转失稳,但是隅撑带动了檩条的弯曲,使得钢梁不太容易发生扭转屈曲。

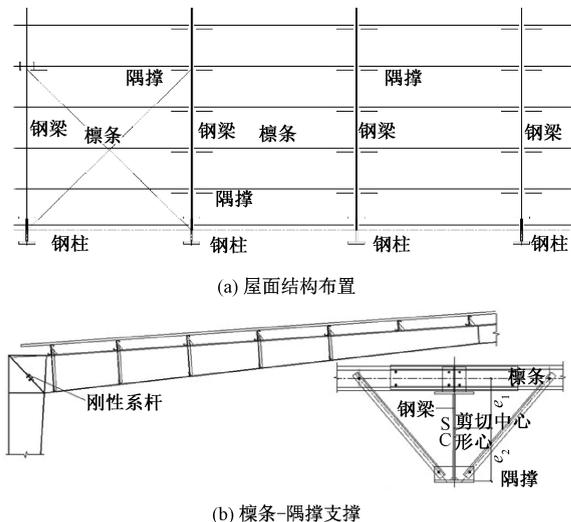


图3 设置了檩条-隅撑支撑的屋面

Fig. 3 Roof structure with purlin-fly brace

这种设置了檩条-隅撑支撑的钢梁,是一种弹性地基梁,是弹性扭转地基上的钢梁。

这种钢梁的临界弯矩为:

$$M_{cr} = \frac{GJ + 2e\sqrt{k_b}(EI_y e_1^2 + EI_\omega)}{2e_1} \quad (3)$$

其中 $k_b = \frac{1}{l_{kk}} \cdot \frac{2i_p}{e l_{yc}(1 - 1.333\beta) \tan \alpha}$

$$\beta = l_{yc} / l_p$$

$$e = e_1 + e_2$$

式中: l_{yc} 为隅撑在檩条上的支点到檩条支座的距离; e 为檩条形心到钢梁下翼缘中面的距离; e_2 为钢梁剪切中心到钢梁下翼缘中面的距离; i_p 为檩条的线刚度; l_{kk} 为隅撑的间距; l_p 为檩条跨度; α 为隅撑与水平线的夹角。

檩条-隅撑支撑体系中对钢梁下翼缘(受压翼缘)提供侧向支撑的是檩条,隅撑仅仅起到传递这种支撑的作用,并且在传递过程中支撑作用还有少量损失。

因为檩条是受弯构件,自身抗弯刚度不高,因此隅撑对钢梁下翼缘的侧向支撑作用是有限的,设计中一定要注意。

式(3)成立的前提是:每道檩条处设置双侧隅撑。根据式(3)计算临界弯矩时,则不再有计算长度的说法。

如果一定要与计算长度联系,那么门式刚架跨度应不大于21 m,在每一道檩条都设置隅撑的情况下,隅撑-檩条支撑体系才能够使得钢梁的计算长度减小到3 m。

4 3种临界弯矩的不同点

由式(1)~(3)可见,3种梁的弹性屈曲临界弯矩计算都不一样:

1)式(1)是传统钢梁,临界弯矩与长度的关系处于 $1/L \sim 1/L^2$ 之间;

2)式(2)的临界弯矩计算中,等式右边第2项与计算长度的平方成反比,类似于压杆;

3)式(3)与长度没有关系,因为它是一种弹性地基梁。

文献[3]清楚地论述了隅撑作用:

多年的经验表明,在合理的跨度下,UB(英国的梁式热轧H型钢)构件与轻钢墙檩和檩条的组合性能完全令人满意。设计人员应警惕跨度较大的情况,因为在跨度较大的情况下,梁柱截面与墙檩和檩条截面相对大小超出了一定的比例。大跨度产生大的弯矩,这就需要大的构件,翼缘中的压缩力较大。然而,如果门式刚架的柱距仍然是常规的间距,檩条和墙檩截面就与中小跨度门式刚架结构中的一样。容易设想这样一种情况:次构件的刚度不足以提供必须的“U形框架”作用,框架主梁发生图4所示的屈曲,这在门式刚架跨度大的情况下是一种风险,而在中小跨度的门式刚架中不会发生。

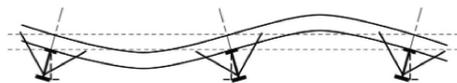


图4 檩条-隅撑支撑的钢梁的屈曲

Fig. 4 Buckling of steel beams braced by purlin-fly braces

5 结束语

介绍了门式刚架结构中 3 种钢梁侧向失稳形式和临界弯矩计算公式,分别为传统的钢梁弯扭失稳、上翼缘有檩条和压型钢板屋面的钢梁绕定点扭转失稳及上翼缘有檩条-隅撑和压型钢板屋面的钢梁绕定点的失稳,特别指出,对有隅撑支撑的钢梁,不再有计算长度的概念,而是直接计算临界弯矩。

参考文献

- [1] 童根树. 钢结构的平面外稳定[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 门式刚架轻型房屋钢结构技术规范: GB 51022—2015[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [3] David B, Martin H. Designing portal frames, new steel construction [EB/OL]. [2005-05-01]. <https://www.newsteelconstruction.com/wp/designing-portal-frames/>.

Three Types of Flexural-Torsional Buckling of Beams in Industrial Buildings

Genshu Tong

(*Institute of High Performance Structures, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China*)

Abstract:

Three types of flexural-torsional buckling of beams in industrial buildings are introduced, they are girders supporting main beams, beams with purlins on their top flange and beams with fly braces between the lower flange of the steel beam and the purlin. Their elastic buckling moments are given, the differences between them are pointed out, special emphasis is put on the purlin-fly brace and pointing out that it is a type of elastic torsional spring depending on the bending stiffness of the purlins, the buckling moment is directly related to the stiffness of the purlins and thus the traditional concept of lateral braced length is waived.

Key words: flexural-torsional buckling; beam; fly brace; purlin