

# 连续檩条设计中的搭接长度分析

张 伟

**摘 要** 从理论计算模型分析和实际工程计算结果两个方面,分析了连续檩条设计假定情况下檩条最佳搭接长度,结合美国及中国工程师多年设计经验,给出了实践中经济有效的檩条搭接设计方法。  
**关键词** 连续檩条设计 有效搭接 腹板屈曲

## ANALYSIS OF LAP LENGTH IN DESIGN OF CONTINUOUS SPAN PURLIN

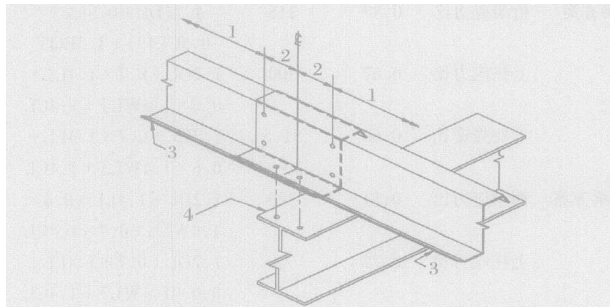
Zhang Wei  
(Bluescope Building Butler Co. Ltd. Shanghai 201613)

**ABSTRACT** Through the analysis of the continuous span purlin moment figure and calculation of some models in common use, and according to the American and Chinese engineers' design experience of many years, it is explained and introduced the principle of how to decide the economic lap length of continuous span purlin.

**KEY WORDS** continuous purlin design method effective lap web buckling

### 1 连续檩条的有效搭接长度

连续檩条搭接长度的合理设计可以大幅度减小檩条支座及跨中的弯矩,降低檩条的用量,从而取得良好的经济效益。目前连续檩条在轻型屋面的设计中得到广泛的应用。通常屋面檩条采用冷弯薄壁 Z 型构件,檩条的连续通过在支座处的搭接来实现,即两根 Z 型檩条先嵌套在一起,再通过螺栓互相连接并固定于支座上,如图 1 所示。显然,这种做法存在两个问题,一是这种连接方式能否提供足够的刚度以确保弯矩的连续传递;另一个是搭接长度应该设定为多少。前者关系到结构的安全性,而后者则直接影响到设计的经济性。



1- 中间跨;2- 搭接段;3- 檩条(连续跨);4- 屋面梁

图 1 标准檩条连接节点

#### 1.1 合理的搭接长度

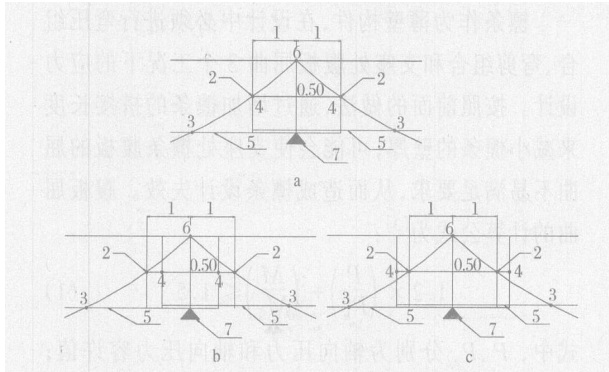
如何确定合理的搭接长度。显然,檩条搭接越长,嵌套作用就越强。根据美国巴特勒公司的试验数据,檩条搭接长度必须大于 1.5 倍的檩条截面高

度,才能确保连续檩条的共同工作。在设计时,认为支座处两根檩条共同工作,那么它们所能承担的弯矩及剪力都应该是单根檩条的两倍,显然要使所有截面充分发挥作用,搭接长度应该一直延伸到支座处负弯矩下降到峰值一半的时候,这样的搭接称其为有效搭接,如图 2a 所示。需要说明的是,两根檩条搭接时还应该满足以下 4 个条件才可以满足共同工作的假设<sup>[1]</sup>:1) 搭接的端部必须采用直径不小于 12mm 的螺栓相互连接;2) 两根檩条的下翼缘与支座连接时必须采用直径不小于 12mm 的螺栓;3) 两根檩条的腹板必须紧密贴合;4) 两根檩条的构件壁厚比不应超过 1.3。

#### 1.2 不合理的搭接长度

如果檩条搭接长度设计得不合理,就会造成檩条用量的浪费,甚至不能体现连续檩条原来的设计意图。图 2b、图 2c 中也指出了搭接长度过长和过短两种不合理的搭接情况,搭接长度超过了有效搭接之后,虽然檩条的承载力仍然在增加,但此时弯矩及剪力值都已经下降到单根檩条即可承担的水平,搭接段除了增加材料的用量以外对檩条受力已经没有任何帮助了;而搭接长度短于有效搭接时,由于弯矩没有下降到一半的位置檩条已成为单根受力状态,造成檩条必须采用较大的截面才能抵抗相应的

弯矩,同样会造成檩条用量的显著增加。



a - 有效搭接;b - 搭接过短;c - 搭接过长

1 - 有效搭接长度;2 - 支座负弯矩下降至一半位置;3 - 反弯点;  
4 - 搭接位置;5 - 檩条;6 - 支座负弯矩峰值点;7 - 支座

图2 檩条搭接长度示意

1.3 基本设计原则

国外对于檩条的经济搭接长度并没有明确的规定,主要的依据是足尺寸的檩条试验,设计程序一般也是基于这些准确的试验数据,设计师可以根据自己的经验选用不同的试验结论。2003年《全国民用建筑工程设计技术措施》中对檩条的搭接长度有了明确的规定<sup>[2]</sup>,即要求不小于跨度的1/10。这个规定基本反映了经济可靠的原则,但是它只参考了影响檩条有效搭接长度的跨度变量,而没有考虑荷载变量,在一定的情况下,可能仍会产生搭接长度过长的情况。多年的设计实践表明,檩条有效搭接长度的确定应由设计人员根据具体的设计条件试算确定,基本原则是调整搭接长度使得同等条件下可以

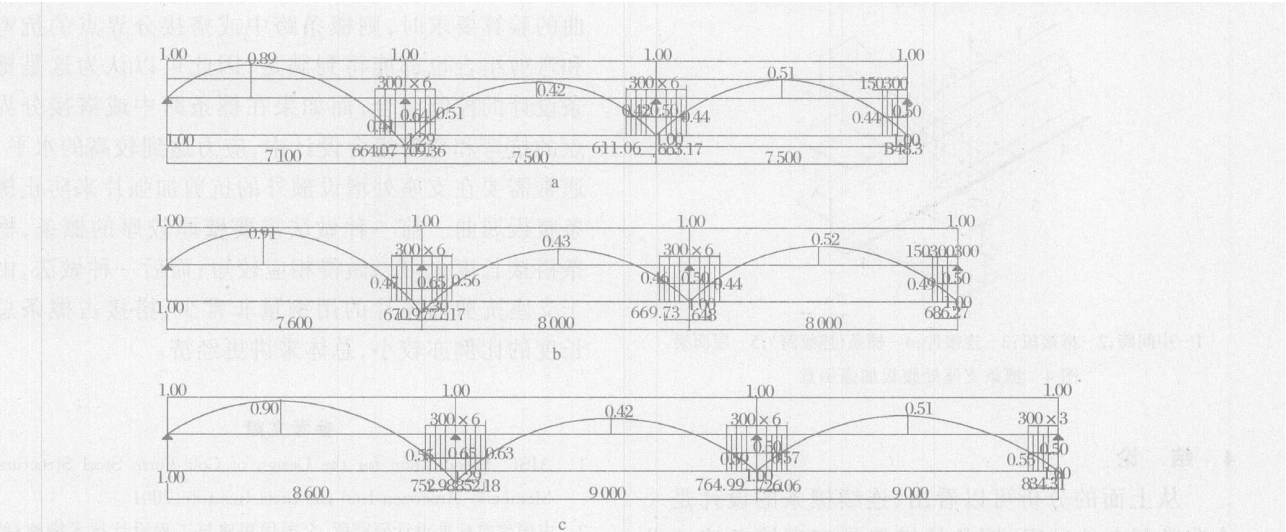
选用壁厚较薄的檩条构件。这是因为檩条搭接部分的长度远小于跨度,即使选用了较长的搭接长度,只要能使单根檩条的设计重量下降,整体檩条用钢量也可减少。

2 有效搭接长度的计算及分析

有了基本设计原则后如何具体实施?设计人员需要迅速找到合理的搭接范围,另外,工厂化的檩条生产,高效批量的檩条生产线和檩条上的预冲孔工序也不允许檩条的搭接长度五花八门,因此制定合理的搭接长度标准及范围成为取得设计经济性的前提条件。

2.1 搭接长度随跨度的变化

图3显示了在同样荷载条件下,搭接长度随弯矩的变化曲线。可以看出,随着跨度的增加,有效搭接长度也不断增加,一般变化范围为跨度的0.08倍~0.10倍,由于第一跨支座处弯矩为其他支座的1.2倍~1.3倍,要求的搭接长度也需要相应增加,约为中跨的1.2倍。这样就可以基本确定有效的搭接长度为檩条跨度的1/12~1/10,有条件的话,第一跨的搭接长度还应该略长一些。考虑到工厂化生产的要求,檩条搭接的标准可以制定为300、450、600、750、900mm等5个标准化等级,供设计者试算或者选用。需要说明的是,在檩条跨度较小而且檩条所承担的悬挂荷载也很小时,有效搭接长度与跨度的比可能比本文分析的更小一些,如对于200mm高度的檩条来讲,当柱距小于7.5m,悬挂荷载小于0.3kN/m<sup>2</sup>时,



a - 跨度 7.5m;b - 跨度 8.0m;c - 跨度 9.0m

图3 在静载(0.15kN/m<sup>2</sup>) + 风载(1.16kN/m<sup>2</sup>) 工况下  
连续檩条的弯矩及搭接长度示意

采用最小的搭接长度 (300mm) 就可以满足设计要求。若采用更长的搭接长度 ,只会导致用钢量增加。

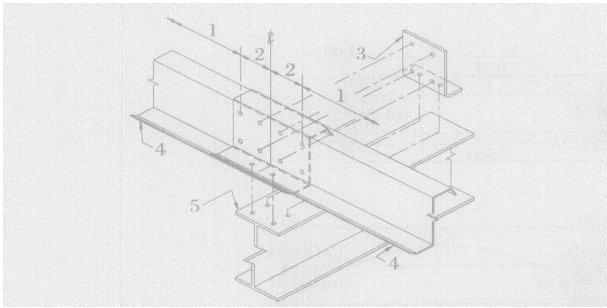
2.2 搭接长度随荷载的变化

檩条承受的荷载越大 ,则需要的搭接长度越长。从图 3 的弯矩分布可以看出 ,对应的单根檩条设计弯矩随着搭接长度的增加而逐渐变小 ,从而使得壁厚较薄的檩条就可以满足承载力的要求 ,达到节省用钢量的目的。表 1 所列数据是采用巴特勒专用软件 COLDFORM 计算的结果 ,从这些数据可以看出 ,悬挂荷载为 0.3kN/ m<sup>2</sup> 时 ,7.5m 柱距下调整搭接长度反而会增加檩条的用钢量 ,因为檩条的厚度已经不能再减小了 ;当悬挂荷载达到 0.5kN/ m<sup>2</sup> 时 ,增加搭接长度的经济效益就非常明显。

表 1 不同悬挂荷载、不同搭接长度下的用量差异

悬挂荷载/ (kN · m <sup>-2</sup> )	檩条 跨度/ m	不同搭接长度下的单排檩条质量/ kg				质量差/ kg	占原重百分比/ %
		300	450	750	900		
0.3	7.5	444.7	471			- 26.3	- 5.91
		(Z200 ×1.5)	(Z200 ×1.5)				
	8.0	564		543.8		20.2	3.71
		(Z200 ×1.8)		(Z200 ×1.5)			
	9.0		700	649.7		50.3	7.74
			(Z240 ×1.8)	(Z240 ×1.8)			
0.5	7.5	530.9		486	501	44.9	9.24
		(Z200 ×1.8)		(Z200 ×1.5)	(Z200 ×1.5)		
	8.0	625.2		531.7		93.5	17.59
		(Z200 ×1.8)		(Z200 ×1.5)			
	9.0		757.8	751.2		6.6	0.88
			(Z240 ×2.1)	(Z240 ×1.8)			

注 :檩条跨数为 12 跨 ;表中括号内所示为檩条规格。



1 - 中间跨 ;2 - 搭接段 ;3 - 连接件 ;4 - 檩条 (连续跨) ;5 - 屋面梁

图 4 檩条支座处腹板加强示意

4 结 论

从上面的分析可以看出 ,连续檩条的设计是一个非常复杂的过程 ,檩条的搭接是实现檩条连续设计的关键环节 ,搭接长度对檩条的用钢量有直接影响 ,采用有效的搭接长度可以避免不必要的浪费。值得一提的是 ,通常如设计满足支座处檩条腹板屈

3 檩条腹板屈曲问题

檩条作为薄壁构件 ,在设计中必须进行弯压组合、弯剪组合和支座处腹板屈曲 3 个工况下的应力设计。按照前面的做法 ,通过增加檩条的搭接长度来减小檩条的壁厚 ,可能会使支座处檩条腹板的屈曲不易满足要求 ,从而造成檩条设计失效。腹板屈曲的计算公式为<sup>[3]</sup> :

$$1.2 \times \left( \frac{P}{P_a} \right) + \left( \frac{M}{M_a} \right) \leq 1.5 \tag{1}$$

式中 ,  $P$ 、 $P_a$  分别为轴向压力和轴向压力容许值 ; $M$ 、 $M_a$  分别为平面内弯矩和平面内弯矩容许值。

解决的办法是在支座处增加腹板加强片来承担全部的剪力 ,而檩条则承担全部的弯矩 ,这样的组合设计同样可以满足节点的设计要求 ,如图 4 所示。

曲的验算要求时 ,则檩条跨中或搭接分界点的抗弯和弯剪组合也都能得到满足 ,因此可以认为这是檩条设计的控制组合 ;而如果在檩条跨中或搭接分界点的抗弯和弯剪组合设计中 ,应力达到较高的水平 ,通常需要在支座处增设额外的抗剪加强片来防止檩条腹板屈曲。前一种做法需要壁厚较厚的檩条 ,檩条搭接长度也可以做得相应较短 ;而后一种做法 ,由于支座抗剪加强片的用钢量非常少 ,搭接占檩条总长度的比例亦较小 ,总体来讲更经济。

参考文献

1 AISI. Specification for the Design of Cold-Form Steel Structural Members. American Iron and Steel Institute ,2001  
2 中国建筑标准设计研究所.全国民用建筑工程设计技术措施·结构.北京 :中国建筑标准设计研究所 , 2003  
3 Butler Manufacturing Company. Design Practice , Letter Butler Manufacturing Company Building Division. Butler Manufacturing Company ,1990