

谈门式刚架梁隅撑设计技术探讨

许亚男

河北天艺建筑设计有限公司, 河北 石家庄 050000

[摘要]在门式刚架结构体系中,隅撑是保障刚架梁平面外稳定、规避结构安全隐患的关键构造构件,其设计合理性直接决定整体结构的可靠性。门式刚架梁多采用热轧或焊接H型钢截面,常规竖向荷载下,跨中正弯矩区呈现上翼缘受压、下翼缘受拉的特征,上翼缘可依托屋面檩条与面板获得可靠侧向约束,而下翼缘在风吸力、地震作用、吊车制动力等不利荷载组合下,会出现弯矩反向、由拉转压的情况。由于下翼缘缺乏天然侧向支撑,自由长度较大,极易发生侧向弯扭失稳,而隅撑通过连接梁下翼缘与屋面檩条,可有效解决这一问题。

[关键词]门式;刚架梁隅撑设计;技术探讨

DOI: 10.33142/ec.v9i6.19824

中图分类号: TU312

文献标识码: A

Discussion on the Design Technology of Corner Braces for Portal Frame Beams

XU Yanan

Hebei Tianyi Architectural Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract: In the portal frame structure system, corner braces are key structural components that ensure the out of plane stability of the frame beams and avoid structural safety hazards. Their design rationality directly determines the reliability of the overall structure. Portal frame beams often use hot-rolled or welded H-shaped steel sections. Under conventional vertical loads, the mid span positive bending moment zone exhibits the characteristics of upper flange compression and lower flange tension. The upper flange can rely on roof purlins and panels to obtain reliable lateral restraint, while the lower flange may experience reverse bending moment and transition from tension to compression under unfavorable load combinations such as wind suction, earthquake action, and crane braking force. Due to the lack of natural lateral support and large free length of the lower flange, it is prone to lateral bending and instability. However, corner braces can effectively solve this problem by connecting the lower flange of the beam to the roof purlin.

Keywords: gate style; design of corner braces for rigid frame beams; technical exploration

引言

当前工程设计中,设计人员对隅撑的认知与设计存在诸多误区,导致隅撑无法充分发挥作用,主要表现为:忽视不利工况下隅撑的必要性,随意简化或取消正弯矩区隅撑;利用隅撑与檩条作为侧向支撑时,未考虑火灾工况下的失效风险;适配高强钢材时沿用传统构件与螺栓规格,导致连接承载力不足;角钢截面与螺栓布置不匹配,引发构造不合理、施工困难等问题。基于此,本文以隅撑为核心,系统梳理其受力机理、设计要点、防火要求、构件选型及工程优化措施,为门式刚架梁隅撑设计提供理论参考与工程实践指导。

1 门式刚架梁隅撑的受力机理与核心作用

1.1 隅撑的受力机理

隅撑的核心受力逻辑是为刚架梁受压翼缘提供侧向约束,打破“受压翼缘无支撑易失稳”的困境。常规工况下,刚架梁跨中正弯矩区下翼缘受拉,无需额外支撑;但不利荷载组合引发弯矩反向后,下翼缘转为受压,此时隅撑与屋面檩条形成三角支撑体系,将下翼缘的平面外自由长度缩短至隅撑间距,有效抑制压力与扭转耦合作用下的侧向弯扭失稳,确保钢梁受力稳定。应注意此时隅撑的上支撑点的位置不低于檩条形心线。见下图:

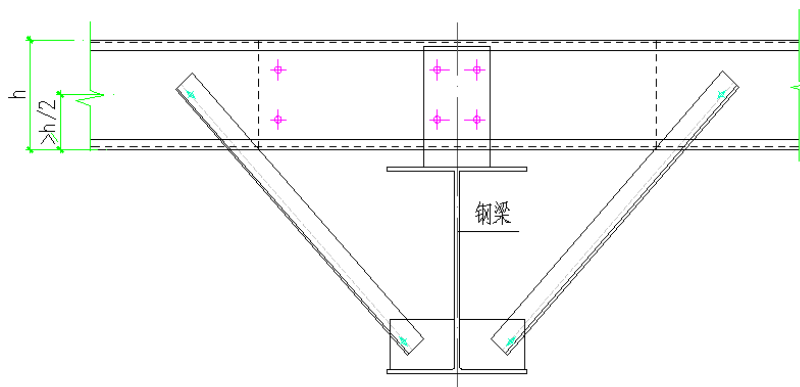


图1 屋面斜梁的隅撑

1.2 隅撑的核心功能

隅撑并非单一的辅助构造,而是门式刚架空间支撑体系的重要组成部分,与屋面檩条、刚性系杆、横向支撑、柱间支撑协同工作,共同构成结构空间稳定体系,核心功能集中在侧向约束、扭转限制、空间传力三大维度,三者相辅相成,共同保障结构安全稳定。

第一,约束侧向位移,提升钢梁平面外稳定承载力,这是隅撑最核心、最基础的功能。遵照现行《钢结构设计标准》GB 50017-2017 相关控制条款,钢梁受压翼缘平面外计算长度、构件长细比以及板件宽厚比均需满足条文限定指标,是构件稳定验算的前置条件。设置隅撑后,可根据隅撑与檩条对钢梁的约束,使钢梁受压翼缘受力状态满足规范限值。尤其对于大跨度、薄腹板、窄翼缘的轻型 H 型钢钢梁,自身平面外刚度储备极低,隅撑的约束作用是其正常承载的必要条件,可彻底规避受压翼缘局部屈曲、整体弯扭失稳等破坏形式。

第二,限制截面扭转,优化钢梁整体受力状态。H 型钢钢梁的截面特性决定其抗扭刚度远低于平面内弯曲刚度,在侧向风荷载、地震作用、偏心荷载作用下,钢梁极易产生绕纵向轴线的扭转变形。截面扭转会导致钢梁翼缘、腹板受力不均,受压翼缘侧向位移持续增大,进一步加剧失稳风险,形成“扭转—位移—失稳”的恶性循环。在刚架梁腹板两侧对称布置隅撑,可形成双向对称约束体系,从两侧限制钢梁的扭转变形,强制钢梁以平面内弯曲受力为主,保证截面受力均匀,消除扭转附加内力,大幅提升钢梁受力稳定性与安全储备。

第三,参与空间传力,完善结构整体受力体系。门式刚架结构并非平面受力体系,而是整体协同的空间受力结构。隅撑作为钢梁与屋面支撑体系的连接枢纽,承担着侧向荷载传递的重要作用。风荷载、水平地震作用等侧向力

作用于钢梁时,可通过隅撑快速传递至屋面檩条,再经由刚性系杆、屋面横向水平支撑传递至刚架柱、柱间支撑,最终传导至基础,实现侧向荷载的有序消散。同时,该协同受力体系可有效提升屋面整体刚度,减小结构侧向变形、降低位移差值,避免局部构件应力集中,全面提升门式刚架的整体空间稳定性。

1.3 隅撑的合理布置原则

隅撑布置需严格遵循“分区适配、对称均衡、安全优先、兼顾经济”的核心原则。门式刚架梁的弯矩分布具有明显的分区特征,不同区域受力状态差异极大,隅撑布置形式需针对性差异化设计。

梁柱节点附近为负弯矩控制区,该区域在所有荷载工况下,钢梁下翼缘均处于持续受压状态,无受拉工况,因此,负弯矩区隅撑必须连续布置,每一道檩条对应位置均需设置双侧隅撑,全程为受压下翼缘提供可靠侧向约束,杜绝任何失稳隐患。跨中区域为正弯矩控制区,常规竖向荷载下下翼缘受拉,仅在不利荷载组合下短暂受压,受力风险具有临时性、偶然性,可采用间隔布置方式,每隔 1~2 道檩条设置一组隅撑,在保障安全的前提下,减少构件用量,控制工程造价。

除分区布置外,隅撑布置需严格遵守以下构造硬性要求,保障传力效率与结构可靠性。一是双侧对称布置原则,隅撑必须在刚架梁腹板左右两侧同步设置,严禁单侧布置。单侧约束会产生偏心扭矩,打破钢梁受力平衡,引发梁体扭曲变形,反而加剧失稳风险。二是夹角控制原则,隅撑与屋面檩条的夹角需严格控制在 $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 区间,该角度下隅撑轴心受压受力最优,传力效率最高;夹角过大会导致隅撑竖向分力偏大,产生附加剪力;夹角过小会导致水平约束分力不足,无法有效限制侧向位移,同时易引发隅撑自身屈曲。三是无偏心传力原则,隅撑与檩条的连接

节点需尽量与檩条形心线平齐,不得低于形心线,最大限度减小连接偏心产生的附加扭转应力,保证传力均匀直接。四是区域差异化加密原则,对于高风压地区、强震设防区域、大跨度门式刚架、带吊车厂房等不利工况建筑,需提升安全储备,正弯矩区隅撑不得随意简化,需加密布置间距,缩小支撑跨度,强化结构抗风、抗震、抗失稳能力。同时,布置过程中需兼顾施工可行性,预留充足的螺栓安装、焊接操作空间,避免后期施工无法落地。

2 隅撑设计的关键要点:防火、承载力与构造匹配

2.1 隅撑与檩条协同工作的防火设计

当隅撑与檩条共同作为钢梁侧向支撑时,二者均属于关键受力构件,其防火性能直接影响火灾工况下的结构安全。高温火灾工况会造成钢材力学性能劣化,尤其对于隅撑与冷弯檩条这种小型截面其蓄热能力弱、温升速率快,未做防火防护时耐火极限一般 0.25h,很难匹配常规厂房屋面 1h 耐火设计标准要求,一旦支撑构件先行破坏,主梁受压翼缘将丧失侧向支承,诱发整体弯扭失稳坍塌。

但隅撑对于屋面斜梁的作用取决于受压翼缘的大小,当受压翼缘较大时,隅撑-檩条体系不一定能构成完全的支撑条件,这取决于隅撑-檩条体系和被支撑的屋盖斜梁受压翼缘之间的相对刚度的大小。受檩条的抗弯刚度较大,与隅撑的间距成反比。当主梁的尺寸很大,受压翼缘的面积较大时,隅撑加冷弯薄壁型钢檩条体系难以构成主梁的侧向支撑条件。此时需另行考虑主梁的稳定设计或按与屋面水平支撑体系相连的系杆确定主梁的平面外计算长度。

防火设计需遵循“支撑体系耐火极限不低于被支撑构件”的原则,具体要求:一是明确关键檩条范围,凡参与隅撑支撑、协助钢梁稳定的檩条,需与主梁采用相同耐火极限;二是选择合理的防火方案,可采用薄涂型膨胀防火

涂料全段涂刷(隅撑节点、焊缝需加强处理)当隅撑檩条的防火造价应该远大于设置刚性系杆时,最好通过加密刚性系杆替代隅撑防火处理(需经严格稳定验算);三是杜绝“仅重视主梁防火、忽视隅撑与关键檩条防火”的误区。

2.2 隅撑的承载力计算与构件选型

隅撑的承载力设计需与钢梁钢材强度、受压翼缘面积匹配,根据规范公式:

$$N = \frac{Af}{60(\cos\theta)}$$

上式中隅撑的计算轴力取决于被支撑构件即门刚梁构件的面积以及强度,要点如下:

(1) 钢材强度:隅撑钢号与主梁钢号匹配,均选用 Q235B 或均采用 Q355B 级钢材,强度协调。

(2) 螺栓选择:隅撑受力受钢梁强度增大而增大,当主梁采用 Q355 钢材时,螺栓直径小于 M14 的话,计算很难满足要求,传统选用的 M12 螺栓容易发生连接剪切、承压破坏。

(3) 角钢截面:角钢选择需同时满足承载力与构造布置要求,角钢面积与螺栓匹配。若按 L56×4 角钢选用 M14 螺栓时(肢宽不足,无法满足螺栓边距、操作空间要求),易引发肢尖撕裂、安装困难等问题,需适当加大角钢截面规格。

2.3 隅撑的构造匹配要求

隅撑设计既要满足受力性能要求又需要施工安装操作可行。体现在以下两点:一是隅撑与檩条的连接匹配,轻型屋面檩条(厚度 2.0~2.5mm)较薄,隅撑轴力易导致连接节点局部破坏,需在连接位置增加设置贴板,提升节点承载力;二是角钢与螺栓的布置匹配,螺栓布置需满足孔边距、端距、螺母操作空间等规范要求,使角钢肢宽与螺栓尺寸协调,避免构造冲突。见下图:

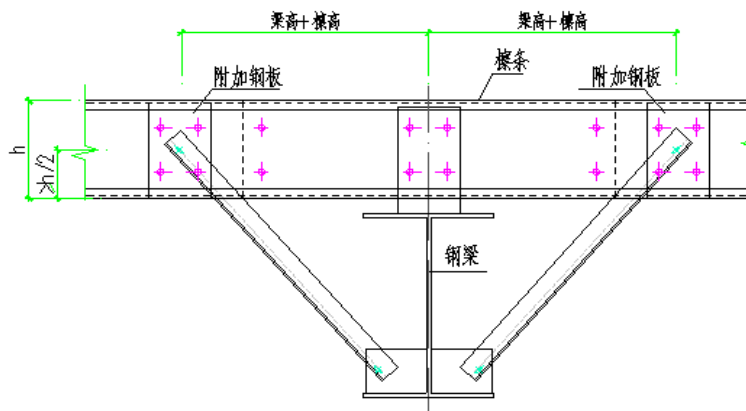


图 2 梁隅撑与檩条连接点

3 隅撑设计工程常见问题与解决措施

结合工程实践,隅撑设计中主要存在的布置、选型、防火三大方面问题,提出针对性建议,措施如下:

(1) 布置不合理:工程中常出现跨中正弯矩区段隅撑随意删减间距增大、风压较大地区支撑间距未加密的设计疏漏,以致存在下翼缘受压失稳隐患;设计需依照现行规范风荷载分区规定布设考虑,在高风压、高抗震设防地区缩小隅撑布设间距。

(2) 承载力不足:严格按强度实际取值。Q355 钢梁仍按 Q235 钢材计算隅撑,螺栓、角钢规格偏小,连接节点薄弱。需要措施:按主梁实际钢材强度验算隅撑轴力,增大螺栓直径(不小于 M14)与角钢截面,增设檩条连接加劲贴板;

(3) 构造不匹配:根据隅撑型号合理选用相应螺栓。避免发生小肢宽角钢搭配 M14 螺栓,引发边距不足、安装困难等问题。建议:更换大肢宽角钢,提前校核螺栓布置尺寸,确保构造合理;

(4) 防火缺失:提供钢梁面外支撑的檩条、隅撑未做防火处理,火灾下提前失效。建议:明确构件范围,提高耐火极限要求,全面涂刷防火涂料,重点加强节点防护;

(5) 布置不对称:单侧设置隅撑,引发钢梁附加扭转。建议:严格采用双侧对称布置,同步施工安装,避免扭矩产生。按规范要求端部钢架的屋面斜梁与檩条之间,除在规范规定的抗风柱位置外,不宜设置隅撑,避免单面设置。

4 结论

门式刚架梁隅撑是保障钢梁平面外稳定、抵御不利荷载风险的重要构造构件,其设计需围绕受力、构造、防火三大核心,得出下列结论:

(1) 隅撑的主要作用是解决恒、活、风、地震等不利荷载组合下刚架梁下翼缘由拉转压的问题,通过提供侧向约束、限制截面扭转、实现空间传力,规避侧向弯扭失稳隐患,实现结构安全要求;

(2) 隅撑布置需根据钢梁受力区分正、负弯矩区段,正弯矩区可间隔布置、负弯矩区需每个檩条间距均匀布置,

不可随意取消或漏设,且构造上满足对称布置、角度合理等要求;

(3) 隅撑与檩条协同作为侧向支撑时,二者协同受力,需与主梁采用相同耐火极限,通过采取合理的防火措施,避免火灾下支撑提前失效失去作用;

(4) 隅撑的构件选型与连接设计需与主梁钢材强度匹配,强度与直径协调,角钢截面满足承载力与构造布置双重要求,杜绝规格偏小、构造不匹配问题;

(5) 工程设计中需规避隅撑布置、选型、防火等误区,结合实际工况优化构造布置细节,在保障结构安全的前提下,实现造价经济与施工方便,为门式刚架梁稳定提供可靠保障。

文章内容要点:本文以隅撑作用为主线,结合现行相关规范,阐述了门式刚架梁隅撑的受力机理与核心作用,明确隅撑的布置原则、防火设计要求、构件选型与构造匹配要点,针对工程设计中隅撑漏设、承载力不足、构造不合理、防火缺失等常见问题,提出针对性优化措施,最终总结提出隅撑设计的几条结论,为工程实践中隅撑的合理设计提供参考,解决门式刚架梁平面外稳定控制难题,避免结构安全隐患。

[参考文献]

[1]GB 51022-2015.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,2016:55-61.

[2]童根树.钢结构的平面外稳定[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.

[3]陈绍蕃.钢结构稳定设计指南(第二版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2004.

[4]陈友泉,魏潮文.轻钢结构支撑体系内力计算及设计问题的探讨[J].建筑结构,2003,33(7):13-15.

[5]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.

作者简介:许亚男(1977—),女,汉族,河北辛集人,高级工程师,河北建筑科技学院毕业,现就职于河北天艺建筑设计有限公司,从事结构设计工作。