

# 实腹门形刚架柱间支撑在钢结构厂房项目中的应用

刘洋

中铁现代勘察设计院有限公司 吉林 长春 130000

**[摘要]** 本文介绍实腹门形刚架支撑在门式刚架厂房中的应用, 并提出了一种能够快速估算实腹门形刚架支撑合理截面的计算方法。

**[关键词]** 实腹; 门形支撑; 截面估算; 门式刚架; 厂房; 柱间支撑; 抗侧刚度; 抗侧效率

**【DOI】** 10.12252/j.issn.2096-6288.2020.02.2072

轻型门式刚架结构作为一种传统的结构形式, 凭着其优越的经济性, 在工业建筑中有着广泛的应用。一般传统的门式刚架结构, 横向采用刚架的形式, 纵向采用柱间支撑保证其侧向稳定, 而纵向柱间支撑多采用交叉支撑等抗侧效率较高的形式, 要占用一定的空间, 伴随着自动化与智能化工业的发展, 一些项目的生产线的对工艺空间的要求越来越高, 传统的柱间交叉支撑影响了工艺生产线的布置, 为了解决以上问题, 一部分门式刚架厂房采用了纵向框架的抗侧体系, 这对于一些无吊车且纵向长度较大的项目, 纵向刚度较大, 纵向柱顶侧移存在较多的冗余度, 造成了一定的浪费, 失去了门式刚架结构的经济指标的优越性。对于这部分无吊车, 或吊车吨位较小 (一般不宜大于5吨) 的厂房, 我们尝试采用对空间影响较小的门形刚架柱间支撑或门形框架柱间支撑, 布置及形式如图1和图2所示, 门形刚架柱间支撑和门形框架柱间支撑的区别在于支撑柱脚的连接方式, 柱脚铰接时称为门形刚架柱间支撑, 柱脚刚接时称为门形框架柱间支撑, 门形框架柱间支撑的抗侧效率要比门形刚架柱间支撑高一些, 为了便于柱脚设计的统一性, 一般柱脚采用铰接时采用门形刚架柱间支撑, 当柱脚为刚接时采用门式框架柱间支撑。因大

部分无吊车的厂房, 柱脚多采用铰接, 所以本文主要讨论纵向实腹门形刚架柱间支撑的截面估算方法与应用。

根据结构力学相关公式<sup>①</sup>, 刚架的侧移刚度可采用下式进行计算

$$S = \frac{12EI_c}{h^3(2 + I_cL/I_bh)} \quad (1)$$

其中,

$I_c, I_b$  ——分别为刚架柱和刚架梁的惯性矩

$h, L$  ——分别为刚架的高度和跨度

$E$  ——钢材的弹性模量

由公式 (1) 可知, 刚架的侧移刚度与刚架柱和刚架梁的线刚度相关, 可以建立起以柱刚度为基准, 引入柱、梁线刚度比的计算公式:

令柱、梁线刚度比  $\xi_t = I_cL/I_bh$ , 则

$$S = \frac{12EI_c}{h^3(2 + \xi_t)} \quad (2)$$

由公式 (2) 可知, 当梁线刚度为0时, 刚架侧移刚度为0, 当梁线刚度无限大时, 刚架侧移刚度为

$$S = 6EI_c/h^3 \quad (3)$$

这就是理想刚架的侧移刚度计算公式, 此时, 影响刚架侧移刚度的因素主要为刚架柱的线刚度。而实际的刚架梁线刚度不可能达到无限大, 所以梁刚度太小或太大均是不合理的, 太小时刚架无法提供足够的抗侧刚度, 随着梁线刚度的增大, 其对刚架抗侧刚度所起的贡献越来越小, 而过大的梁截面对工程实际使用需求可能会产生影响, 这与采用刚架支撑抗侧的初衷相背。所以寻求抗侧刚架柱和梁截面高度的一个合适比例, 对实际工程应用有着重要意义。

由公式 (2) 可知, 柱截面一定时, 柱与梁的线刚度比值越小, 刚架的侧移刚度也越大。实际工程中, 往往房屋高度较小时, 对于空间高度的需求更大, 采用刚架抗侧时, 不宜出现较高的横梁, 而对于房屋高度较大的项目, 柱间支撑处, 吊车梁高度以上部分, 除了可能穿越部分管线外, 其他空间结构设计一般是可以利用的, 不会影响工艺布置及地面

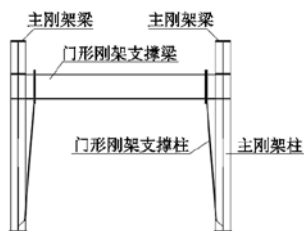


图1 实腹门形刚架柱间支撑示意

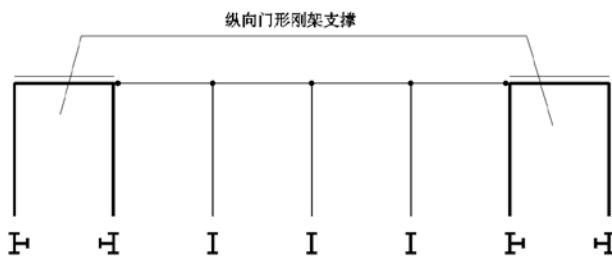


图2 门形刚架柱间支撑布置示意

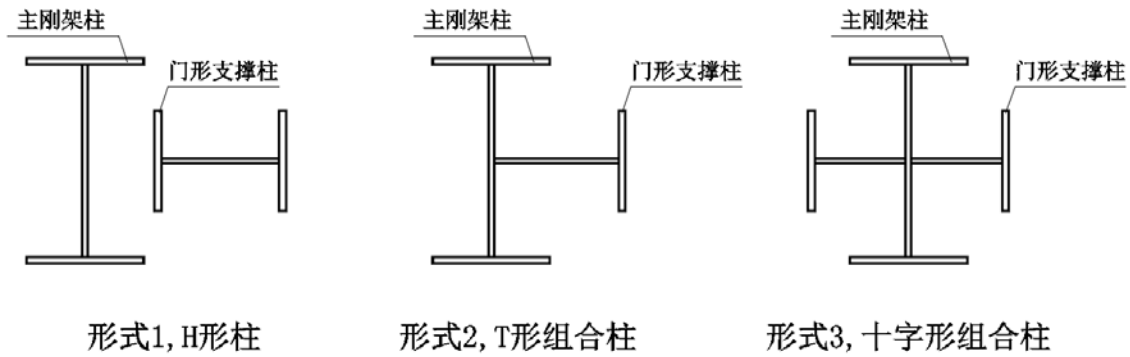


图3 门形支撑柱截面示意

交通。所以，具体设计时，对于房屋高度较小的项目，适当增加柱子刚度，对于房屋高度较大的项目可适当增加梁的刚度。具体实施时，可以门形刚架支撑的跨高比为指标进行控制，在跨高比大于1时，适当增加柱子线刚度贡献，在跨高比小于1时，适当提高梁的线刚度贡献。

笔者经过分析，在初步设计时，当采用柱底铰接的楔形截面柱抗侧刚架时，柱大端截面高度 $h_c$ 可采用以下公式估算：

$$h_c = \alpha \beta h/8 \quad (4)$$

$\alpha$  —— 柱顶横向荷载系数， $\alpha = 0.365\sqrt[3]{H}$ ，其中， $H$ 为单榀抗侧刚架柱顶分担的水平荷载，可按下式计算：

$$H = 0.64A\omega_k/n。$$

$\beta$  —— 抗侧刚架柱类型系数，H型柱取1，T型组合柱取0.8，十字形组合柱取0.9。刚架支撑柱类型如图3所示。

作用于柱顶的横向荷载，主要为山墙传来的风荷载，其与主刚架跨度、高度及风荷载标准值有关，风荷载标准值可根据《建筑结构荷载规范》GB5009-2012公式8.1.1-1计算<sup>③</sup>，风荷载体型系数、高度变化系数、风振系数等参数根据具体工程的建筑体型及建设地点进行确定。每个纵向柱间支撑所分担的横向荷载 $H$ ，与同一柱列布置的柱间支撑数量 $n$ 有关，一般可认为作用的每个柱列上总的水平荷载由本柱列所有柱间支撑平均分担。

需要注意的是，纵向采用门式刚架支撑时，主刚架柱面外稳定计算时，应按有侧移结构计算，正常使用极限状态下的纵向柱顶位移宜控制到柱高的1/360以内<sup>④</sup>。

在实际工程的初步设计阶段，根据公式（3）对纵向实腹门形柱间支撑进行了截面估算，经与采用PKPM软件STS模块进行分析的结果对比，估算截面均能达到所需的抗侧刚度要求。如某汽车厂的新建焊装车间，采用四跨多坡屋面门式

刚架，刚架跨度24米，柱距12米，纵向156米，檐口高度10米，厂房内有多条横向运输通道，工艺布置要求生产区域横向也要联通，无法布置交叉柱间支撑，采用了实腹门式刚架支撑，支撑梁底净高要求不小于7.5米，风荷载作用下，纵向柱顶位移控制到1/400，抗侧刚架梁高取900高，抗侧柱与刚架柱采用十字组合截面（形式3），截面沿纵向大端高度取1200mm，经软件计算抗侧刚度为1111，与公式（2）的计算结果基本吻合。某特种车辆车库工程中，结构为26米单跨门式刚架，柱距5.6至6.2米不等，车库沿两侧纵墙，每个柱间均为车库门，无法设置交叉支撑，檐口高度7米，要求门净高不小于6.5米，净宽要求5至5.6米，即门单侧仅有300mm的空间可利用，设计采用抗侧刚架梁高400mm，抗侧柱采用形式2，抗侧方向柱高 $h_1$ 为300mm，按每45米布置柱间支撑，对应纵向较长的车库，能够布置三榀及以上抗侧刚架时，风荷载作用下，柱顶位移角不大于1/360，对于纵向长度较短，仅能布置2到三榀抗侧刚架的厂房，柱顶位移较大，抗侧柱改用形式3，抗侧柱截面高采用550mm，经计算柱顶位移由原1/124提高至1/378，三榀抗侧刚架时，由1/178提高至1/436，取得了良好的效果。经比较，采用铰接柱脚的实腹门形刚架柱间支撑比采用刚接柱脚的纵向弱轴框架抗侧体系节约钢材约15%，取得了良好的经济效益。

参考文献

[1]龙奴球 包世华 [M]结构力学教程 I 高等教育出版社 2000.07  
 [2]GB510222-2015, 门式刚架轻型房屋钢结构技术规范 [S]  
 [3]GB50009-2012, 建筑结构荷载规范 [S]  
 [4]Buick Davison & Graham W.Owens [M]STEEL DESIGNERS' MAUAL (7TH ENDITION) Wiley-Blackwell 2016.01