

门式刚架设计问题探讨

黄 贤

中冶华天南京工程技术有限公司, 江苏 南京 210000

[摘要]《工程结构通用规范》于2022年1月1日实施,其中,对不上人屋面活荷载的规定相对《建筑结构荷载规范》GB5009-2012第5.3.1条有所变动,以实际案例分析本条修改对门式刚架设计的影响。《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》(GB 51022—2015)(简称新门规)于2016年8月1日开始实施,《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》(CECS 102:2002)(简称旧门规)同时作废,门刚新规范在原有规程基础上作出了较大改动,因此对有关问题进行探讨,以实际案例为例,分析新规范对门式刚架设计的影响。

[关键词] 门式刚架; 活载取值; 风荷载; 雪荷载

DOI: 10.33142/ec.v5i7.6346

中图分类号: TU392.5

文献标识码: A

Discussion on Design of Portal Frame

HUANG Xian

MCC Huatian Nanjing Engineering & Technology Corporation, Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract: The “General Code for Engineering Structures” was implemented on January 1, 2022, in which the provisions on the live load of inaccessible roof are changed compared with Article 5.3.1 of the “Load Code for Building Structures” GB5009-2012. The impact of this modification on the design of portal frame is analyzed with practical cases. “The Technical Code for Steel Structures of Light-weight Buildings with Gabled Frames” (GB51022-2015) (hereinafter referred to as the new door code) was implemented on August 1, 2016, and the “Technical Code for Steel Structures of Light-weight Buildings with Gabled Frames” (CECS 102:2002) (hereinafter referred to as the old door code) was invalidated at the same time. The new door code has made great changes on the basis of the original regulations. Therefore, relevant problems are discussed, taking actual cases as examples, the influence of the new code on the design of portal frame is analyzed.

Keywords: portal frame; live load value; wind load; snow load

引言

工程结构通用规范 GB 55001-2022^[1](简称《通用规范》)对不上人屋面活荷载的取值有了新规定,很多设计人员对此处取值有疑问,对此问题进行探讨,分析此处修改对门刚设计的影响。《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》(GB 51022—2015)^[2](简称《新门规》)对基本风压和雪压的取值,檩条计算风荷载调整系数,钢结构抗风柱与钢梁连接形式均作出了新的规定,本文针对规范的改动要点,结合适合实际案例,进行探讨分析。

1 屋面活荷载取值问题

《通用规范》4.2.8条对不上人屋面均布活荷载标准值规定为 0.5kN/m^2 ,删去了同类型结构根据相关规范,不得低于 0.3kN/m^2 的规定,同时《建筑结构荷载规范》GB5009-2012^[2]第5.3.1条废止。《新门规》4.1.3条规定,对承受荷载水平投影面积大于 60m^2 的刚架构件,屋面竖向均布活荷载标准值可取不小于 0.3kN/m^2 的前提已不存在,后续门刚设计中,屋面竖向均布活荷载标准值的下限只能取为 0.5kN/m^2 。

对跨度24m底部铰接门架结构,7度 $0.10g$,按照《新门规》屋面活荷载可取值 0.3kN/m^2 ,雪荷载 0.40kN/m^2 ,

风荷载 0.5kN/m^2 ,风荷载调整系数 $\beta=1.1$,该门式刚架截面选择焊接H截面 $650*220*6*10$ 可满足规范的验算要求。

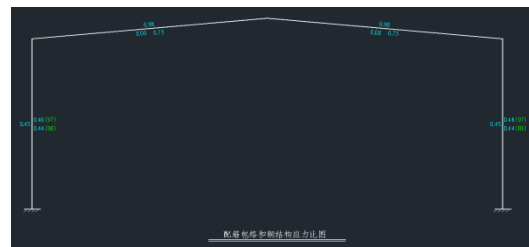


图1 门架活荷载取 0.3kN/m^2 验算结果

查看梁构件的验算结果,该门架梁的应力结果由恒+活荷载组合控制,控制组合号1组合为 $1.3\text{恒}+1.5\text{活}$,该梁强度和稳定验算结果均满足规范要求。

		梁的弯矩包络						
梁下部受拉:		1	2	3	4	5	6	7
数值		-141.31	-88.96	-79.81	-138.54	-195.35	-209.77	-276.12
梁上部受拉:		1	2	3	4	5	6	7
数值		436.62	102.20	40.48	39.89	39.22	36.40	31.50
强度计算应力比 = 0.984								
抗剪强度计算应力比 = 0.418								
平面外稳定计算最大应力对应组合号: 20, N=		436.62, N=	53.49, N=	242.31, N=	-40.84			
临界弯矩 M_{cr} (kNm) = 3569.55								
平面外稳定计算最大应力比 = 0.729								
强度计算应力比 = 0.984 < 1.0								
抗剪强度计算应力比 = 0.418 < 1.0								
平面外稳定计算最大应力比 = 0.729 < 1.0								
檩条高厚比 $H_0/T=105.00 < [H_0/T]=250.00$ (GB51022-2015)								
翼缘宽厚比 $B/T=10.70 < [B/T]=12.38$								

图2 门架活荷载取 0.3kN/m^2 构件信息

如果按照《通用规范》的要求进行设计，屋面的活荷载取值 0.5kN/m^2 ，风荷载调整系数 $\beta=1.2$ ，该门架梁截面仍然选择焊接 H 截面 $650*220*6*10$ ，计算完发现该梁的计算结果已经不满足规范的要求，并且超出规范限值 17%以上，需要进行截面调整。

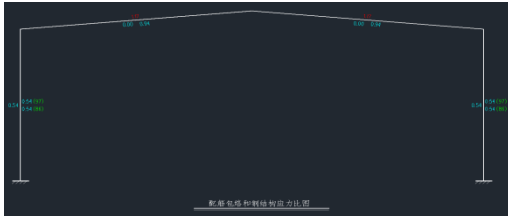


图3 门架活荷载取 0.5kN/m^2 验算结果

柱构件虽然强度应力比没有超限，但是荷载从 0.3kN/m^2 增加到 0.5kN/m^2 ，风荷载调整系数由 1.1 改为 1.2，其应力比也增加 20%。将该门架结构中的焊接 H 型截面梁的截面从 $650*220*6*10$ 调整到 $700*240*6*10$ ，门架梁的验算满足规范要求。

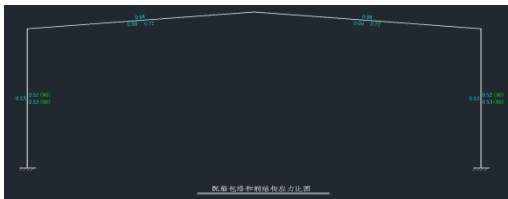


图4 门架活荷载取 0.5kN/m^2 ，钢梁调整后验算结果

以上案例为对比，仅仅对该门架构件梁的用钢量对比，在 0.3kN/m^2 时，满足承载力验算要求下的梁的自重为 64.21kg/m ，当荷载调整为 0.5kN/m^2 时，在满足承载力验算要求下的梁的自重为 69.7kg/m ，用钢量增加接近 11%。屋面活荷载的变化对门架结构设计有一定影响。

2 檩条设计恒载取值问题

《新门规》4.2.1 条规定，计算檩条时，风荷载调整系数 $\beta=1.5$ ，典型双坡屋面风荷载系数（从属面积大于 10），以角部为例，风吸力为 -1.28 ，风压力为 $+0.38$ 。檩条设计主要受两种荷载组合控制，第一种荷载组合： 1.3 恒载+ 1.5 （活载+ 0.9 积灰+ 0.6 风载（压力））组合，第二种荷载组合： 1.0 恒载+ 1.5 风载（吸力）组合。

以 8m 跨度，檩条间距 1.5m ， $\text{C}280\text{X}70\text{X}20\text{X}2.5$ 为例，屋面板能阻止檩条侧向失稳，构造不能保证风吸力作用下翼缘受压的稳定性，设置两道拉条。当拉条作用约束檩条上、下翼缘时，即上下翼缘均只需要考虑强度验算，不需要进行受压稳定性验算，验算结果如图 5，可见檩条截面主要受第一种组合控制，此时恒载为不利作用，取值越大越不利。

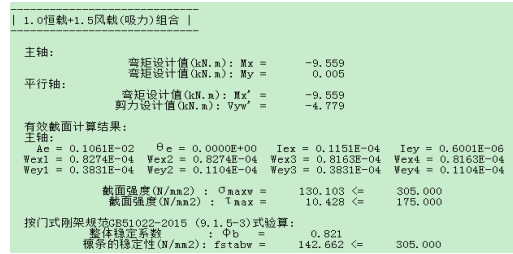
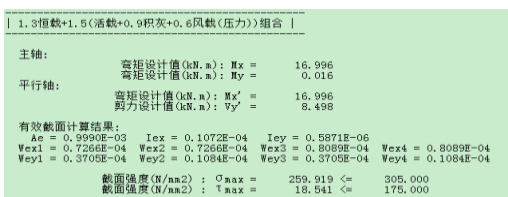


图5 上下翼缘均受约束时验算结果

当拉条作用只能约束檩条上时，即下翼缘需要进行受压稳定性验算，验算结果如图 6。

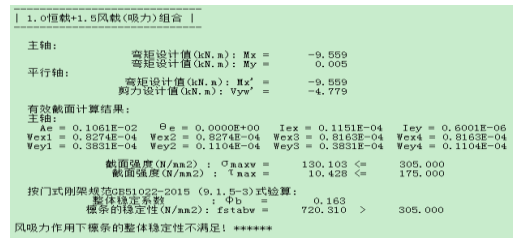


图6 仅上翼缘受约束时验算结果

檩条稳定性验算不通过，此时若将屋面恒载由 0.3kN/m^2 改为 0.5kN/m^2 ，则得到稳定性验算结果，檩条的稳定性： $fstabw = 493.082 > 305.000\text{ (N/mm}^2)$ ，虽然稳定性验算仍不满足，但是数值超限减小，根据此趋势，可总结，当檩条由第二种荷载组合控制时，恒载取值越大，越容易验算通过，若恒载取值远大于实际情况，则偏不安全，从荷载组合系数也能推断，此时恒载对此组合为有利作用，系数为 1.0。根《新门规》9.1.5 条验算公式也可看出，分子是弯矩，与风荷载和恒荷载有关，在分母有梁的整体稳定性系数，与上下翼缘支撑情况有关。

3 钢结构抗风柱与钢梁连接

《新门规》7.2.1 条规定，对屋面材料能够适应较大变形的钢架，抗风柱柱顶可以采用固定连接，作为屋面斜梁的中间竖向铰支座。如图 7 节点一，该连接方式适合端榫钢架单独截面设计，由于给斜梁提供了竖向支点，减小了斜梁弯矩，节省了主钢架用钢量，但由于水平风荷载传递给钢梁下翼缘，刚性系杆可视为不动铰支座，钢架向山墙外扭转，导致端部屋面彩钢板连接节点容易变形损坏，不持久，情况甚至引起屋面漏水。

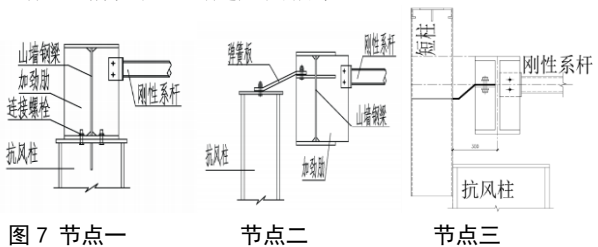


图7 节点一 节点二 节点三

如图 7 节点二，该连接方式为重工业厂房较为常见的做法，抗风柱的水平风荷载作用在刚性系杆对应位置（一

般靠近屋架上弦即钢梁上翼缘), 传力直接, 山墙水平力由刚性系杆传递给纵向柱列, 再传递给柱间支撑, 该节点钢梁竖向可自由变形, 但抗风柱必须在钢梁外侧, 或者通过抗风柱外侧补焊短钢柱, 来解决抗风柱外偏问题, 当构造较为复杂, 如图节点三。

根据笔者在实际工程中应用反馈发现, 应用节点一普遍反应由于端部钢架挠度小, 不适合采用自攻螺丝与檩条连接的彩钢板屋面, 后期变容易导致螺丝拉坏或变形, 从而导致漏水。节点二传力路径明确, 在变通成节点三的情况下, 在普通门钢设计中依然有很大的应用价值。

4 风荷载

《新门规》4.2.1 条规定, “基本风压按现行国家标准《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)^[3] (以下简称荷载规范) 的规定值采用”。按荷载规范第 8.1.2 条, 基本风压应采用 50 年重现期的风压。

$$W_k = \beta \mu_w \mu_z W_0$$

β 为系数, 计算主钢架是取 $\beta=1.1$; 计算檩条、墙梁、屋面板和墙面板及其连接时, 取 $\beta=1.5$ 。

《通用规范》4.6.5 条规定, 当采用风荷载放大系数的方法考虑风荷载脉动的增大效应时, 主要受力结构的风荷载放大系数应根据地形特征、脉动风特性、结构周期、阻尼比等因素确定, 其值不应小于 1.2。《新门规》此处的系数 β 在通用规范执行后, 在设计中应改为按不小于 1.2 取值。《新门规》4.2.1 条文说明中, 对此作出了解释, 此处取 1.1 是对荷载规范, 对风荷载比较敏感的结构, 基本风压适当提高的体现。而计算檩条、墙梁、屋面板和墙面板及其连接时, 取 1.5, 是考虑阵风作用的体现。所以在计算主刚架时, 取 $\beta=1.2$, 才能满足《通用规范》要求, 最新的门刚主流设计软件 PKPM2021 V12 此参数已经更新为默认 1.2。

《新门规》 μ_w 称为风荷载系数, 而荷载规范 μ_s 称为风荷载体现系数, 二者是有区别的, 下面根据实际案例进行对比。

以常规的双坡屋面 (角度小于 5°) 图 8, 主刚架中间区域横向风荷载为例,

《新门规》4.2.2 条规定, 风压力工况: 1 区为 +0.22, 2 区为 -0.87, 3 区为 -0.55, 4 区为 -0.47。风吸力工况: 1 区为 +0.58, 2 区为 -0.51, 3 区为 -0.19, 4 区为 -0.11。

荷载规范表 8.3.1 规定封闭式双坡屋面 (角度小于 15°), : 1 区为 +0.8, 2 区为 -0.6, 3 区为 -0.5, 4 区为 -0.5。

1 区 4 区累加可得出横向作用系数, 前者为 0.7 左右, 考虑增大系数 $\beta=1.1$, $0.7 \times 1.1=0.77$, 后者为 1.3, 可见对于主刚架横向荷载, 荷载规范取值远大于《新门规》, 但《新门规》对应用范围做出了明确限制, 房屋高度不大于 18m, 且高宽比小于 1。从规范应用范围上也可理解, 荷载规范是针对所有类型, 而门刚主要针对低矮房屋。

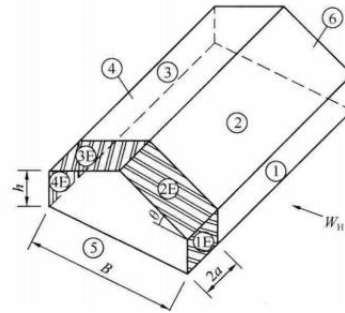


图 8 双坡屋面风荷载系数分区编号 (主刚架)

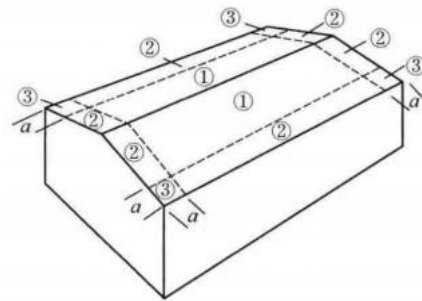


图 9 双坡屋面风荷载系数分区编号 (围护结构)

以常规的双坡屋面 (角度小于 5°) 图 9, 围护结构中间区域风荷载 ($A < 1$) 为例,

《新门规》4.2.2 条规定, 风压力工况: 1 区 2 区为 +0.48, 风吸力工况: 1 区为 -1.18, 2 区为 -1.98。

荷载规范表 8.3.3 规定封闭式双坡屋面 (角度小于 5°), 风压力工况: 1 区 2 区为 0, 风吸力工况: 1 区为 -1.2, 2 区为 -1.8。

《新门规》的风吸力需要乘以增大系数 $\beta=1.5$, 而荷载规范的风吸力需要乘以阵风系数, 以粗糙度 B 类, 高度 10 米为例, 阵风系数取值为 1.7。二者在乘以各自放大系数之后, 大小不易比较, 且以上仅针对 ($A < 1$) 为例。《新门规》在计算屋面围护风荷载的取值要求比荷载规范更为细致, 引入了有效风荷载面积 (A) 的参数, 门式刚架低矮房屋屋面风吸力较大, 这是新门钢规范和现行荷载规范最大的不同点。

5 雪荷载

《新门规》4.3.1 条规定: “基本雪压按现行荷载规范规定的 100 年重现期的雪压采用。”

此条已明确, 门式钢架所有结构构件的雪荷载计算, 基本雪压均按 100 年重现期取值, 平时习惯其他结构设计的人员应注意此条和荷载规范的区别。门式刚架屋面较轻, 属于对雪荷载敏感的结构。

对于屋面板和檩条, 《新门规》4.3.5 条第 1 款规定: “屋面板及檩条按积雪不均匀分布的最不利情况采用”。因此, 屋面板和檩条应考虑门刚规范第 4.3.1 条和第 4.3.2 条, 即应按门刚规范“表 4.3.2”中“不均匀分布情况”中“最不利”者考虑; 同时还应考虑门刚规范第

4.3.3 条的雪堆积和漂移。

对于刚架斜梁,门刚规范第4.3.5条第2款规定:“刚架斜梁按全跨积雪的均匀分布、不均匀分布和半跨积雪的均匀分布,按最不利情况采用”。也就是说,钢梁设计应考虑刚规范第4.3.1条和第4.3.2条,即应按门刚规范“表4.3.2”中“均匀分布情况”、“不均匀分布情况”和半跨积雪的“均匀分布情况”中“最不利”者考虑。结合现行的主流门刚设计软件,以PKPM2021 V12为例,在二维门式钢架设计中,软件提供了一键布置雪荷载,自动考虑均匀分布,和不均匀分布情况,但是半跨积雪均匀分布情况在软件中并不能自动布置,往往在设计中被忽略,需要手动增加一组互斥活荷载,输入半跨积雪荷载,根据笔者经验,半跨雪荷载一般不起控制作用。

对于刚架柱,可按全跨积雪的均匀分布采用,《新门规》条文说明中也进行了解释,实际是一种简化计算方法。

6 钢柱和钢梁平面外计算长度取值

钢柱平面外计算长度,《新门规》7.1.5条规定钢柱平面外计算长度取纵向柱间支撑点间的距离,对于直接与柱间支撑相连的钢柱,L取纵向柱间支撑点间的距离;对于其他钢柱,是否只有在柱间支撑节点设置通长系杆时,才能取纵向柱间支撑点间的距离,此问题值得讨论。因为在轻钢带吊车厂房中,牛腿顶面一般为上柱柱间支撑和下柱柱间支撑的分界面,在一些工程中,非柱间支撑开间,利用吊车梁跟钢柱的连接作用,代替刚性系杆作用,从而只在有柱间支撑的开间设置刚性系杆,也就是说刚性系杆不用沿厂房纵向通长设置。这种做法在10T以下吊车厂房中经常见到,吊车梁上翼缘通过板件和高强螺栓跟钢柱内翼缘连接,在实际工作中,对钢柱内外翼缘确实存在约束作用,在吊车吨位不大,厂房高度不高的情况下,不失为一种节省用钢量的方法,且牛腿标高处的通长系杆,大大减小了钢结构加工量。

钢梁平面外计算长度,《新门规》7.1.5条7.2.2条规定,山墙钢梁除《新门规》第7.2.3条规定的抗风柱位置外,不宜设隅撑,因此,设计时山墙钢梁不布置隅撑,其他开间钢梁布置隅撑。按《新门规》第7.1.4条及条文说明,山墙钢梁平面外计算长度L取侧向支撑(即横向支撑,或者叫水平支撑)间的距离;当端部横向支撑设在第二开间时,第一开间抗风柱顶部及屋脊对应位置设刚性系杆,此时L取刚性系杆之间的距离。与钢柱设刚性系杆减小平面外计算长度情况一样,刚性系杆与钢梁加劲肋之间也必须采用高强螺栓连接,且适当加大两个高强螺栓

之间的距离。由于刚性系杆一般只在屋脊和柱顶处通长设置,因此,山墙以外的其他开间钢梁下翼缘(受压)平面外的稳定性,应由隅撑保证,按《新门规》第7.1.6条第4款,当隅撑满足一定条件时,下翼缘受压的钢梁平面外计算长度可考虑隅撑的作用。需注意的是,这里的“可考虑隅撑的作用”并不是说钢梁平面外计算长度可以取隅撑间距。《新门规》第7.1.6条条文明指出:“隅撑不能作为梁的固定的侧向支撑。根据理论分析,隅撑支撑的梁的计算长度不小于2倍隅撑间距,梁下翼缘面积越大,则隅撑作用相对越弱,计算长度就越大。”利用程序计算时,只需输入隅撑信息,由程序自动计算钢梁平面外计算长度。例如,采用PKPM程序计算时,只需勾选“梁平面外支撑为隅撑”,然后输入隅撑信息,程序即可自动完成钢梁平面外计算长度的计算。

7 结语

门式钢架由于自重较轻,受风荷载,活荷载,雪荷载,恒载取值影响较大,《通用规范》的执行,提高了门式钢架风荷载和活荷载要求,增加了门式钢架的单位面积用钢量,提高了结构安全储备,也是我国综合国力和结构设计冗余度提高的体现。

檩条设计时,恒载应按实际取值,不应随意人为加大,否则有可能偏于不安全。

钢结构抗风柱与钢梁连接有三种连接方式,均满足规范要求,根据《新门规》解读,节点一适应于屋面材料能适应较大变形的钢架,节点二、三普遍适合大部分门式钢架,钢结构加工较为复杂。

钢梁钢柱的平面外计算长度,和隅撑设置息息相关,隅撑相对主体结构的刚度成为平面外计算长度取值的关键,目前主流电算软件已经可以考虑该影响。

[参考文献]

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 工程结构通用规范:GB 55001-2021. [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021: 21-22.
- [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, 2016: 20-23.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑结构荷载规范:GB 50009—2012. [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012: 30-32.

作者简介: 黄贤(1990-)男,安徽桐城人,工程师,一级注册结构工程师。