

门式刚架设计中雪荷载的确定和实现

门式刚架设计中雪荷载的确定和实现

吴海楠

(中国建筑科学研究院有限公司北京构力科技有限公司 北京 100013)

[摘要] 屋盖积雪荷载是位于寒带和温带地区的门式刚架这种轻型厂房中常见的荷载类型之一，而且由于门式刚架跨度较大、构件多数为轻型、板件厚度较薄的特点，属于对雪荷载敏感的结构，因此雪荷载的确定和实现成为设计人员很关心的问题，本文结合规范与软件详细阐述在模型中雪荷载应如何确定，如何布置才能满足规范对于雪荷载的相关要求。

[关键词] 门式刚架；雪荷载；活荷载；互斥荷载；

0 前言

门式刚架雪荷载的确定一般分为均匀分布情况和不均匀分布情况，其中不均匀分布情况比较复杂，尤其是屋盖体型比较复杂的情况下，如高低跨时的雪堆积与雪漂移。雪荷载与屋面活荷载的关系，下面结合软件中的功能逐一阐述雪荷载的确定过程以及应该如何处理与屋面活荷载的关系。

1 规范背景

1.1 屋面雪荷载标准值确定的相关条文

《建筑结构荷载规范》GB50009-2012（以下简称荷载规范）和《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》GB51022-2015（以下简称门式刚架规范）都对雪荷载的确定进行了规定：

荷载规范7.1.1条和门式刚架规范4.3.1条均给出了屋面水平投影面上的雪荷载标准值应按下式计算：

$$S_x = \mu_r S_0$$

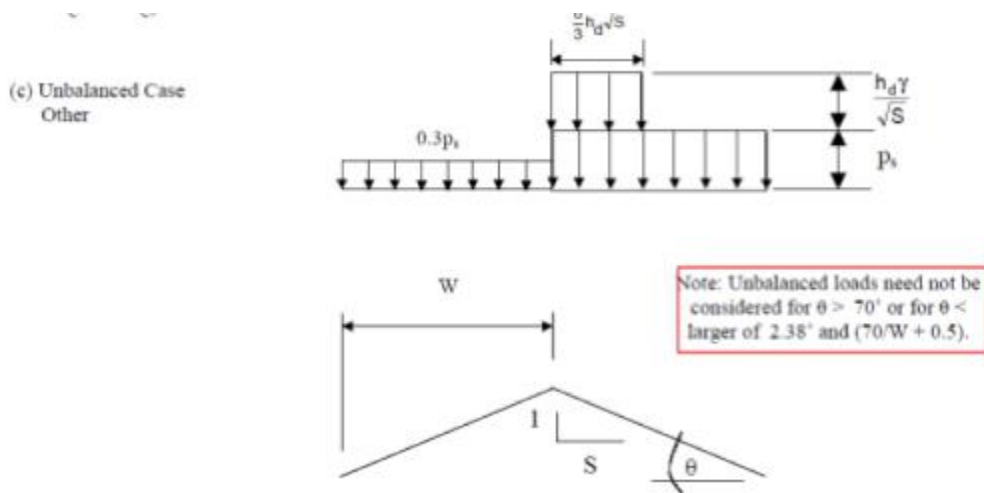
我们可以看到规范对于雪荷载作用标准值由基本雪压和屋面积雪分布系数的乘积得到，荷载规范给出了全国不同地区不同重现期的基本雪压值 S_0 ，像门式刚架这样采用轻型屋盖的结构形式，对于雪荷载比较敏感，荷载规范规定对于雪荷载比较敏感的结构应采用100年重现期的基本雪压，门式刚架规范更是直接规定了要采用100年重现期的基本雪压。荷载规范表7.2.1以及门式刚架规范表4.3.2均规定了不同屋面体型下的雪荷载均匀分布以及不均匀分布的雪荷载分布类型及屋面积雪分布系数的取值。门式刚架规范对于满足某些条件下的高低跨屋面还要考虑雪堆积和雪漂移的分布。

荷载规范7.2.2和门式刚架规范4.3.5均规定了不同构件设计时采用的积雪分布情况，两本规范的规定是基本一致的，门式刚架规范4.3.5对于雪荷载的不同情况应如何考虑也做了规范，以刚架斜梁为例，考虑其积雪分布时，需要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的最不利情况采用。如下表所示：

屋面形式	荷载取值	门式刚架取值
悬挑梁和檩条	积雪不均匀分布最不利情况	积雪不均匀分布最不利情况
屋架和拱壳	全跨积雪均匀分布、不均匀分布和半跨积雪的均匀分布最不利情况	—
刚架斜梁	—	全跨积雪均匀分布、不均匀分布和半跨积雪的均匀分布最不利情况
檩条和柱	按全跨积雪的均匀分布情况	—
刚架柱	—	按全跨积雪的均匀分布情况

1.2 荷载规范与门式刚架规范对于雪荷载分布的差异

对于单跨双坡屋面的雪荷载分布情况，荷载规范和门式刚架规范都有规定，且两本规范规定的积雪均匀分布情况和不均匀分布情况下的雪荷载分布系数是一致的，但对于不均匀分布情况的适用范围两者是存在差异的，荷载规范表7.2.1下的注释规定“单跨双坡屋面仅当坡度在 20° — 30° 范围时，可采用不均匀分布情况”，而门式刚架规范没有该限制条件，因此门式刚架规范要更加严格一些。有些设计人员可能会比较困惑，认为是否可以按照荷载规范来进行考虑，门式刚架规范中雪荷载分布与美国规范MBMA手册较为接近，参照该手册进行雪荷载的结构在雪灾中表现良好，我们可以看看这本手册中是如何规定的，如下图所示：



我们可以看到该手册中对于单跨双坡屋面的雪荷载考虑不均匀分布的情况对于屋面倾角大于70度时，以及屋面倾角小于2.38度等情况下可以不考虑不均匀分布情况的，所以笔者认为可以参考该手册以及荷载规范中要求来决定是否去考虑不均匀分布的情况，这样在确保安全的前提，满足规范的要求。

1.3 屋面活荷载与雪荷载关系的相关条文及理解

1.3.1 屋面活荷载与雪荷载关系的相关条文

荷载规范5.3.3条中规定“不上人的屋面均布活荷载，可不与雪荷载和风荷载同时组合”

门式刚架规范4.5.1条中提出“屋面均布活荷载不与雪荷载同时考虑，应取两者中的较大值。”

1.3.2 对条文的理解

荷载规范中此条规定基本已达成共识,此条指的是屋面均布活荷载、雪荷载、风荷载可不同时出现在同一组合中，也就是依照荷载规范进行荷载组合时，需要考虑屋面活荷载+雪荷载，屋面雪荷载+风荷载这样类型的组合。此条在SATWE参数中的工况信息中得到体现，如下图所示：



图1 SATWE工况信息

门式刚架规范中对于此条的理解并不应仅在字面中进行理解，需要结合荷载组合和工程实际进行理解，首先“屋面均布活荷载不与雪荷载同时考虑”这句话可以理解为屋面均布活荷载和雪荷载不同时作用在屋面上，二者的关系是互斥的，不会出现在同一个组合中。“应取两者中的较大值”就不能简单的取两者代数上的较大值，原因是此条出现在荷载效应组合当中，在各种荷载组合中不仅有恒活荷载组合，还有恒活风组合，如果简单的取二者的大值和风荷载去组合，对于主要承受垂直于屋面向上作用的风吸力，会抵消掉一大部分效应，最终得到效应值并不是最不利的，因此需要从荷载组合效应产生的效应来看，取这些荷载组合效应中的最不利的组合才是我们所追求的。根据以上理解我们来进一步掌握程序是如何实现屋面活荷载与雪荷载的关系的。

2 程序实现

2.1 屋面雪荷载的确定

屋面雪荷载的荷载分布形式分为均匀分布形式，不均匀分布形式，对于高低跨屋面中的低跨部位还要考虑雪堆积，当高跨屋面坡度 θ 大于10度时，还要考虑雪漂移对于低跨屋面雪荷载的作用，下面以一个高低跨门式刚架为例，说明雪荷载不同分布形式的确定过程：

如下图所示的高低跨门式刚架，高跨部分高度为11米，檐口高度10.45米，跨度22米，低跨高度6.85米，跨度9米，受荷宽度为8米，基本雪压为0.5kN/m²

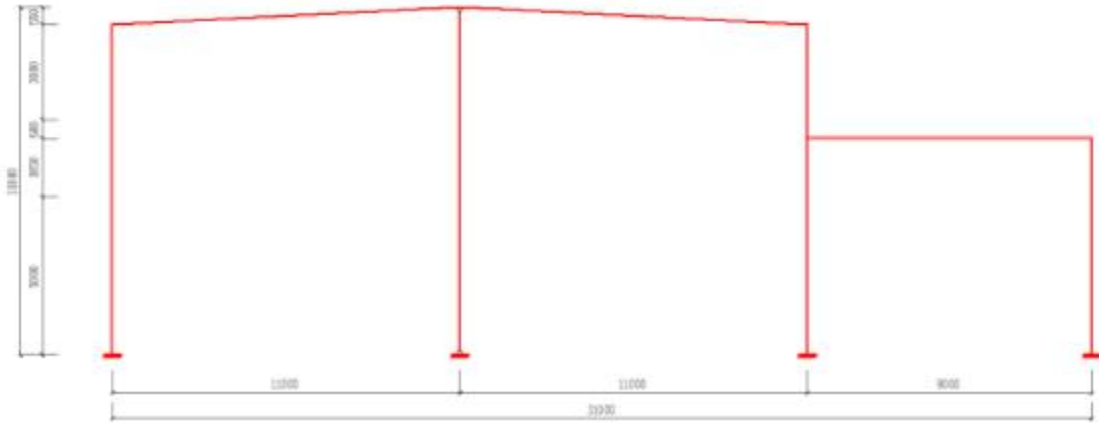


图2 门式刚架立面简图

根据荷载规范确定高低跨位置的不均匀分布情况1和不均匀分布情况2，根据门式刚架规范确定低跨部位雪堆积的情况。

1) 不均匀分布情况1、不均匀分布情况2确定过程：

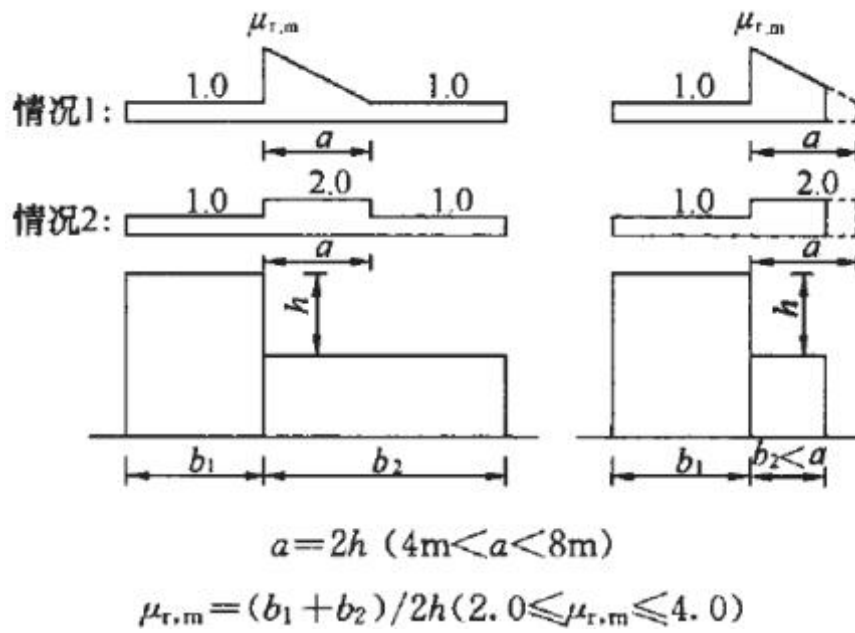


图3 荷载规范中高低屋面雪荷载分布系数规定

$$a = 2h = 2(10.45 - 6.85) = 7.2m \quad (2.1.1-1)$$

$$\mu_{r,m} = \frac{b_1 + b_2}{2h} = \frac{22 + 9}{2 \times 3.6} = 4.305 \quad (2.1.1-2)$$

$$\because \mu_{r,m} > 4$$

$$\therefore \mu_{r,m} \text{取 } 4$$

所以低跨部位高点雪荷载

$$S_k = \mu_{r,m} S_0 = 4 \times 0.5 = 2 \text{ kN/m}^2 \quad (2.1.1-3)$$

刚架上低跨部位线荷载高点值为 $S_k L = 2 \times 8 = 16 \text{ kN/m}$ ，低点值为 $S_0 L = 0.5 \times 8 = 4 \text{ kN/m}$

不均匀分布情况2高点雪荷载值为 $2 \times 0.5 \times 8 = 8 \text{ kN/m}$

不均匀分布情况的作用范围a值为7.2米。

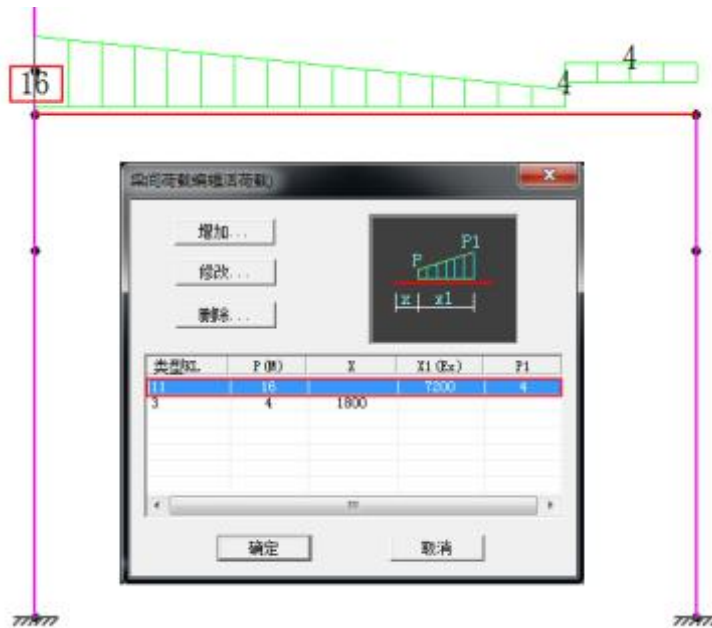


图3 不均匀分布1下程序确定的雪荷载

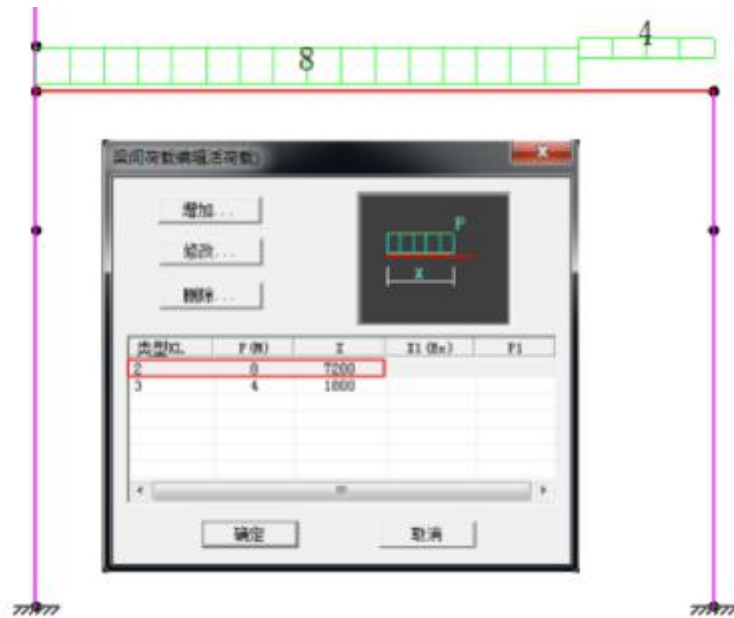


图4 不均匀分布荷载下程序确定的雪荷载

以上是程序确定的雪荷载，与上面手工核算结果是一致的。

2) 根据门式刚架规范4.3.3条确定雪堆积情况下雪荷载分布

① 根据公式4.3.3-1和4.3.3-2确定积雪堆积高度

积雪平均密度 ρ 取 160kg/m^3

$$h_b = \frac{S_0}{\rho} = \frac{0.5}{1.6} = 0.3125\text{m} \quad (2.1.1-4)$$

$$h_r - h_b = 3.6 - 0.3125 = 3.2875\text{m} \quad (2.1.1-5)$$

$$h_{d1} = 0.413 \sqrt[3]{W_{b1}^4} \sqrt{S_0 + 0.479} - 0.457 \quad (2.1.1-6)$$

$$= 0.413 \sqrt[3]{22^4} \sqrt{0.5 + 0.479} - 0.457 = 0.702\text{m}$$

$$h_{d2} = 0.208 \sqrt[3]{W_{b2}^4} \sqrt{S_0 + 0.479} - 0.457 \quad (2.1.1-7)$$

$$= 0.208 \sqrt[3]{9^4} \sqrt{0.5 + 0.479} - 0.457 = -0.0267\text{m}$$

$$h_d = \max(h_{d1}, h_{d2}) = 0.702\text{m} < h_r - h_b \quad (2.1.1-8)$$

此时堆积雪荷载最高点荷载值为 $S_{\text{max}} = h_d \times \rho = 0.702 \times 1.6 = 1.1232 \text{ kN/m}^2$

刚架上低跨部位线荷载高点值为 $S_{\text{max}} \times L = 1.1232 \times 8 = 8.99 \text{ kN/m}$

因为 $h_d < h_r - h_b$, 其积雪堆积长度 $w_d = 4 h_d = 4 \times 0.702 = 2.808 \text{ m}$

以下是程序确定的雪荷载，与上面手工核算结果是一致的。

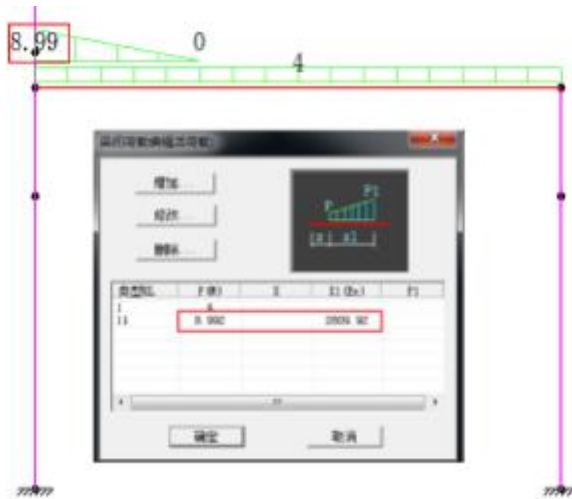


图5 雪堆积情况下程序确定的雪荷载

2.2 屋面活荷载和雪荷载以及雪荷载不同分布情况之间关系的实现

STS二维设计中，从v4版本开始增加了“一键雪荷”功能，使得能够自动的完成雪荷载各种分布的确定和布置，如下图所示：

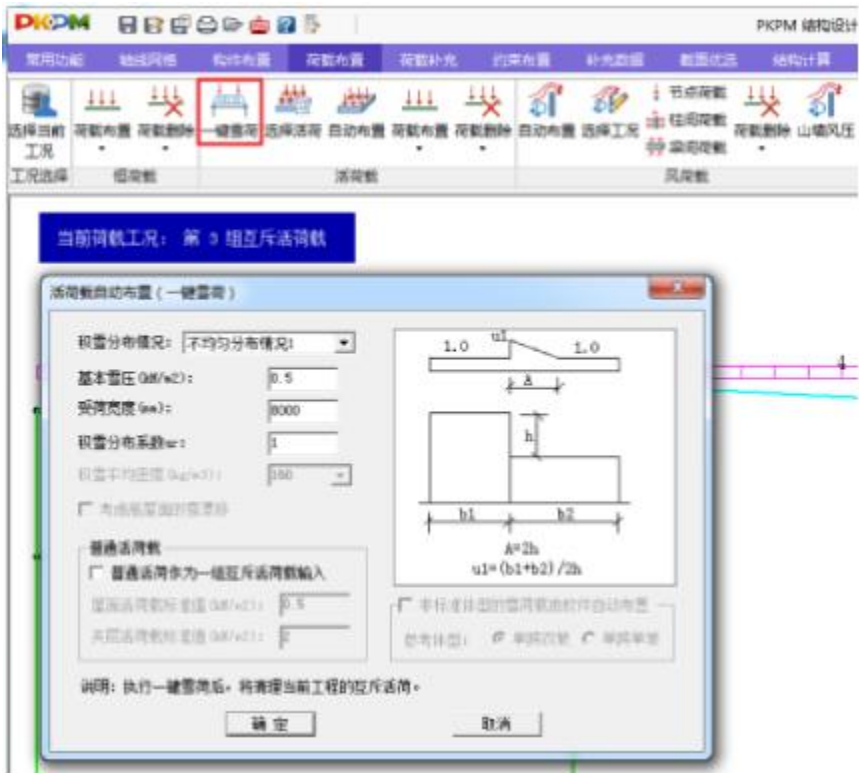


图6 一键雪荷对话框

一键雪荷载除了确定雪荷载分布形式，荷载大小之外，还可以实现雪荷载与屋面活荷载的关系，雪荷载的各种分布情况之间的关系，那么程序是如何实现它们之间的关系呢？下面要引入两个程序中的对于活载的定义，相容活载和互斥活载：

相容活载：能够同时作用在结构上的几组活荷载，我们称为相容活载。这些活载能够同时出现在同一个组合中。相对应地，互斥活载是不能够同时作用在结构上的几组活荷载，我们称为互斥活载。上面提到的根据门式刚架规范的要求，一般的屋面活荷载与雪荷载是互斥的关系，二者是不同时出现的，而雪荷载各个分布形式下的荷载也是不会同时出现，因此它们之间的关系均为互斥活载的关系，要实现这样一种关系，在程序中如何实现呢？

下面以上节中提到的门式刚架为例，给大家介绍一下，这些荷载的关系程序是如何体现的。

首先我们来看一下活荷载的工况选择，我们通过一键雪荷功能并勾选了“普通活荷载作为一组互斥活载输入”之后，程序的荷载选择列表中默认会有一组相容活荷载，同时根据模型对应的规范规定增加几组互斥活载，这个模型中程序自动增加五组互斥活荷载。如下图所示。

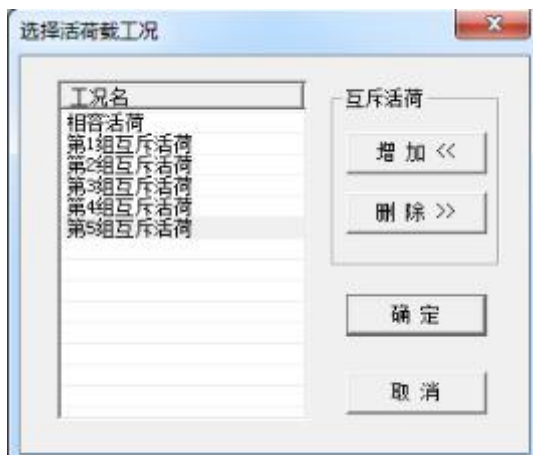


图7 一键雪荷载生成的活荷载工况列表

除了程序默认的相容活载之外，其他五组互斥活载是程序自动添加的，其各组互斥活载与实际荷载分布形式对应关系如下表：

互斥活载对应工况 表2

第1组互斥活载	普通屋面活荷载
第2组互斥活载	均匀分布情况
第3组互斥活载	不均匀分布情况1
第4组互斥活载	不均匀分布情况2
第5组互斥活载	雪堆积分布情况

这里的一组相容活荷载的含义体现在它本身是和程序自动生成或者我们增加的其他所有互斥活荷载的关系，也就是这组默认的相容活荷载和其他所有互斥活荷载组之间是相容活荷载的关系，各组互斥活载之间互为互斥活载，由于模型中的屋面活荷载和雪荷载各荷载分布情况均为互斥的关系，所以我们不需要在相容荷载中布置荷载，需要特别强调的，如果模型是采用快速建模的方式生成的，相容活载中会依据快速建模参数生成活荷载，这些活荷载会和互斥荷载相组合，一般情况下需要切换到该工况下，将这些荷载删除。

最后我们可以到计算简图中查看我们布置的活荷载和雪荷载取值情况。

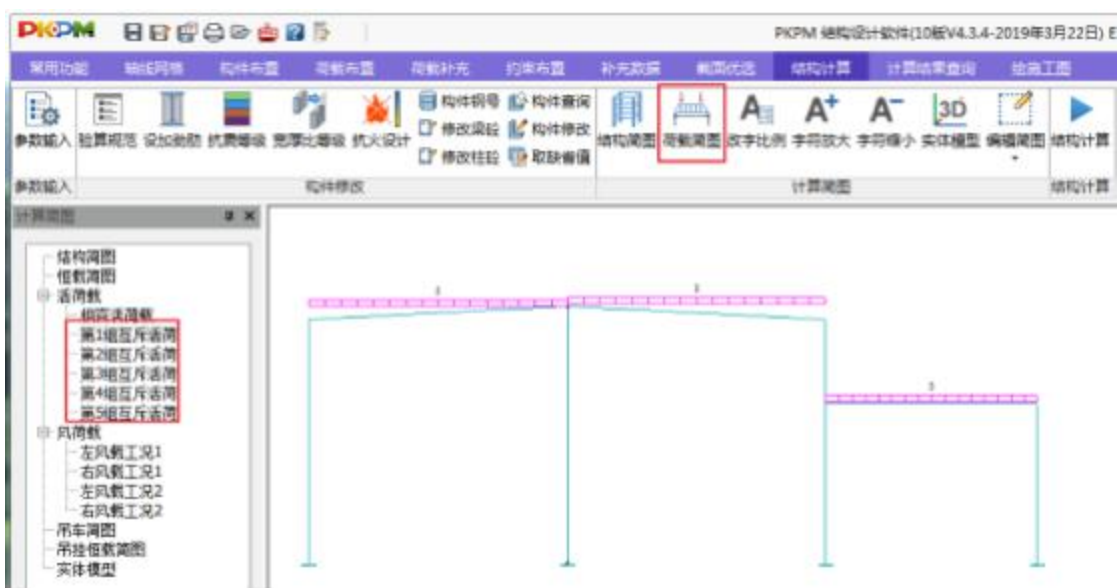


图8 荷载简图的查看

按照上述情况生成的互斥活载，其在荷载组合中会体现出互斥活荷载与其他荷载分别组合的情况，而不会出现两组互斥活荷载，以可变荷载控制的荷载组合为例（执行新可靠度规范），在设计中出现的荷载组合为： $1.3恒+1.5第1组互斥活载$ ， $1.3恒+1.5第2组互斥活载$ ， $1.3恒+1.5第3组互斥活载$ ， $1.3恒+1.5第4组互斥活载$ ， $1.3恒+1.5第5组互斥活载$ ，其他活荷载参与的组合与之类似。

至此我们通过程序中的互斥活载功能成功的实现了屋面活荷载和雪荷载以及雪荷载不同分布情况之间的关系。

3 总结

通过本文的对于门式刚架设计时雪荷载的确定和与其他荷载关系的介绍，在设计位于寒带和温带的轻钢房屋时，其雪荷载的各种分布情况是如何确定的，以及一键雪荷载功能通过多组互斥活载实现了了屋面活荷载和雪荷载以及雪荷载不同分布情况之间的关系，希望能够为设计人员正确应用软件解决实际问题提供帮助。

参考文献

- [1] GB51022-2015, 门式刚架轻型房屋钢结构设计规范[S].北京: 中国建筑工业出版社, 2016
- [2] GB50009-2012, 建筑结构荷载规范[S].北京: 中国计划出版社, 2012
- [3] CECS102:2002, 门式刚架轻型房屋钢结构设计规程[S].北京: 中国计划出版社, 2012
- [4] 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
- [5] STS用户手册.