

门式刚架规范的适用范围探究

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] 门式刚架结构是钢结构厂房所采用的最为常见的结构形式之一，这种结构形式主要的设计依据规范标准为《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》(GB51022-2015)，该规范针对于门式刚架规定了它的适用范围，当某些厂房结构超出了应用本规范的一些条件时，设计人员常常会无所适从，不知道设计依据该如何选取，盲目的采用其他规范等可能不适合结构自身条件做法，本文围绕门式刚架规范的适用范围对于一些厂房结构的设计中的常见问题进行剖析。

[关键词] 门式刚架；风荷载系数；高宽比；吊车工作制

1 规范背景

《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) 中对于规范的适用范围给出详细的条件，具体条文如下：

总则1.0.2 本规范适用于房屋高度不大于18m，房屋高宽比小于1，承重结构为单跨或多跨实腹门式刚架、具有轻型屋盖、无桥式吊车或有起重量不大于20t的A1~A5工作级别桥式吊车或3t悬挂式起重机的单层钢结构房屋。本规范不适用于按现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB50046规定的对钢结构具有强腐蚀介质作用的房屋。

2 门规适用范围的深层原因

上述规范的限制条件中除了与其使用功能相关的“不适用于具有强腐蚀介质作用的房屋”外，与结构设计相关的限制条件可以归纳为以下四类：

- 1) 房屋高度和高宽比
- 2) 构件截面形式
- 3) 屋盖种类
- 4) 吊车吨位与工作级别

2.1 房屋高度和高宽比

首先门式刚架规范为什么要规定房屋的适用高度和高宽比？我们可以从门式刚架规范条文说明中进行探寻，寻找该类规定的合理依据。总则条文说明中提到：“房屋高度不大于18m，高宽比小于1，主要是针对本规范的风荷载系数的要求而规定的。本规范的风荷载系数主要是美国金属房屋制造商协会 (MBMA) 低矮房屋的风压系数借鉴而来。MBMA的《金属房屋系统手册2006》中的系数就是对高度不大于18m，高宽比小于1的单层房屋经风洞试验的结果”。通过上面的表述我们可以明确门式刚架规范之所以规定了钢结构房屋的高度和高宽比要求，就是与其引用的风荷载系数（荷载规范中称为风荷载体型系数）的限制条件有关，国外相关规范中对于轻型钢结构房屋的风洞实验条件即是规范中的要求，接下来我们来看看国外规范中的条件是什么，我们找到了门式刚架规范条文说明中提到的《金属房屋系统手册2006》即《Metal Building Systems Manual》，该手册中的1.3节给出的风荷载系数即是门式刚架规范中的直接引用源，如下图所示

Table 1.3.4.5(a)
Main Framing Coefficients $[(GC_{pe}) - (GC_{pi})]$ for Transverse Direction
(See Figure 1.3.4.5(a) or (b) for Zone Locations)

Building Type	Roof Angle θ	Load Case ¹	End Zone Coefficients				Interior Zone Coefficients				End Walls 5 & 6
			1 E	2 E	3 E	4 E	1	2	3	4	
Enclosed Building (ASCE 7)	$0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ$	+i	+0.43	-1.25	-0.71	-0.61	+0.22	-0.87	-0.55	-0.47	-0.63
		-i	+0.79	-0.89	-0.35	-0.25	+0.58	-0.51	-0.19	-0.11	-0.27
	2:12	+i	+0.49	-1.25	-0.76	-0.67	+0.26	-0.87	-0.58	-0.51	-0.63
		-i	+0.85	-0.89	-0.40	-0.31	+0.62	-0.51	-0.22	-0.15	-0.27
	3:12	+i	+0.54	-1.25	-0.81	-0.74	+0.30	-0.87	-0.62	-0.55	-0.63
		-i	+0.90	-0.89	-0.45	-0.38	+0.66	-0.51	-0.26	-0.19	-0.27
	$\theta = 20^\circ$	+i	+0.62	-1.25	-0.87	-0.82	+0.35	-0.87	-0.66	-0.61	-0.63
		-i	+0.98	-0.89	-0.51	-0.46	+0.71	-0.51	-0.30	-0.25	-0.27
	$30^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$	+i	+0.51	+0.09	-0.71	-0.66	+0.38	+0.03	-0.61	-0.55	-0.63
		-i	+0.87	+0.45	-0.35	-0.30	+0.74	+0.39	-0.25	-0.19	-0.27
	$\theta = 90^\circ$	+i	+0.51	+0.51	-0.66	-0.66	+0.38	+0.38	-0.55	-0.55	-0.63
		-i	+0.87	+0.87	-0.30	-0.30	+0.74	+0.74	-0.19	-0.19	-0.27
Partially Enclosed (ASCE 7)	$0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ$	+i	+0.06	-1.62	-1.08	-0.98	-0.15	-1.24	-0.92	-0.84	-1.00
		-i	+1.16	-0.52	+0.02	+0.12	+0.95	-0.14	+0.18	+0.26	+0.10
	2:12	+i	+0.12	-1.62	-1.13	-1.04	-0.11	-1.24	-0.95	-0.88	-1.00
		-i	+1.22	-0.52	-0.03	+0.06	+0.99	-0.14	+0.15	+0.22	+0.10
	3:12	+i	+0.17	-1.62	-1.20	-1.11	+0.07	-1.24	-0.99	-0.92	-1.00
		-i	+1.27	-0.52	-0.10	-0.01	+1.03	-0.14	+0.11	+0.18	+0.10
	$\theta = 20^\circ$	+i	+0.25	-1.62	-1.24	-1.19	-0.02	-1.24	-1.03	-0.98	-1.00
		-i	+1.35	-0.52	-0.14	-0.09	+1.08	-0.14	+0.07	+0.12	+0.10
	$30^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$	+i	+0.14	-0.28	-1.08	-1.03	+0.01	-0.34	-0.98	-0.92	-1.00
		-i	+1.24	+0.82	+0.02	+0.07	+1.11	+0.76	+0.12	+0.18	+0.10
	$\theta = 90^\circ$	+i	+0.14	+0.14	-1.03	-1.03	+0.01	+0.01	-0.92	-0.92	-1.00
		-i	+1.24	+1.24	+0.07	+0.07	+1.11	+1.11	+0.18	+0.18	+0.10
Open (MBMA)	$0^\circ \leq \theta \leq 10^\circ$	1	+0.75	-0.50	-0.50	-0.75	+0.75	-0.50	-0.50	-0.75	-0.75
		2	+0.75	-0.20	-0.60	-0.75	+0.75	-0.20	-0.60	-0.75	-0.75
	$10^\circ \leq \theta \leq 25^\circ$	1	+0.75	-0.50	-0.50	-0.75	+0.75	-0.50	-0.50	-0.75	-0.75
		2	+0.75	+0.50	-0.50	-0.75	+0.75	+0.50	-0.50	-0.75	-0.75
		3	+0.75	+0.15	-0.65	-0.75	+0.75	+0.15	-0.65	-0.75	-0.75
	$25^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$	1	+0.75	-0.50	-0.50	-0.75	+0.75	-0.50	-0.50	-0.75	-0.75
		2	+0.75	+1.40	+0.20	-0.75	+0.75	+1.40	+0.20	-0.75	-0.75

Notes:

1. Load Case refers to negative internal pressure (-i) and positive internal pressure (+i). See Figure 6.5, ASCE 7-05 for the values used for GC_{pe} . For the MBMA recommendation for open buildings, load cases are provided for balanced and unbalanced uplift cases.

图1 MBMA手册中的风荷载系数

《金属房屋系统手册2006》中的风荷载系数的取值来自ASCE（全称The American Society of Civil Engineers，美国土木工程师学会）中的数据，具体类目为ASCE 7-05以及ASCE 7-10中的规定，其中ASCE7-10 28章提到，用于低层建筑物风荷载设计的包络法（Envelope Procedure）中的风荷载系数，这种方法确定的风荷载系数要按照ASCE 7-05的规定确定，如下图所示，建筑墙面和屋面风荷载系数的高度限制条件为60ft（英尺），1英尺=0.3048m，60英尺=18.288米，因此门式刚架规范中将房屋高度限制定为18米。

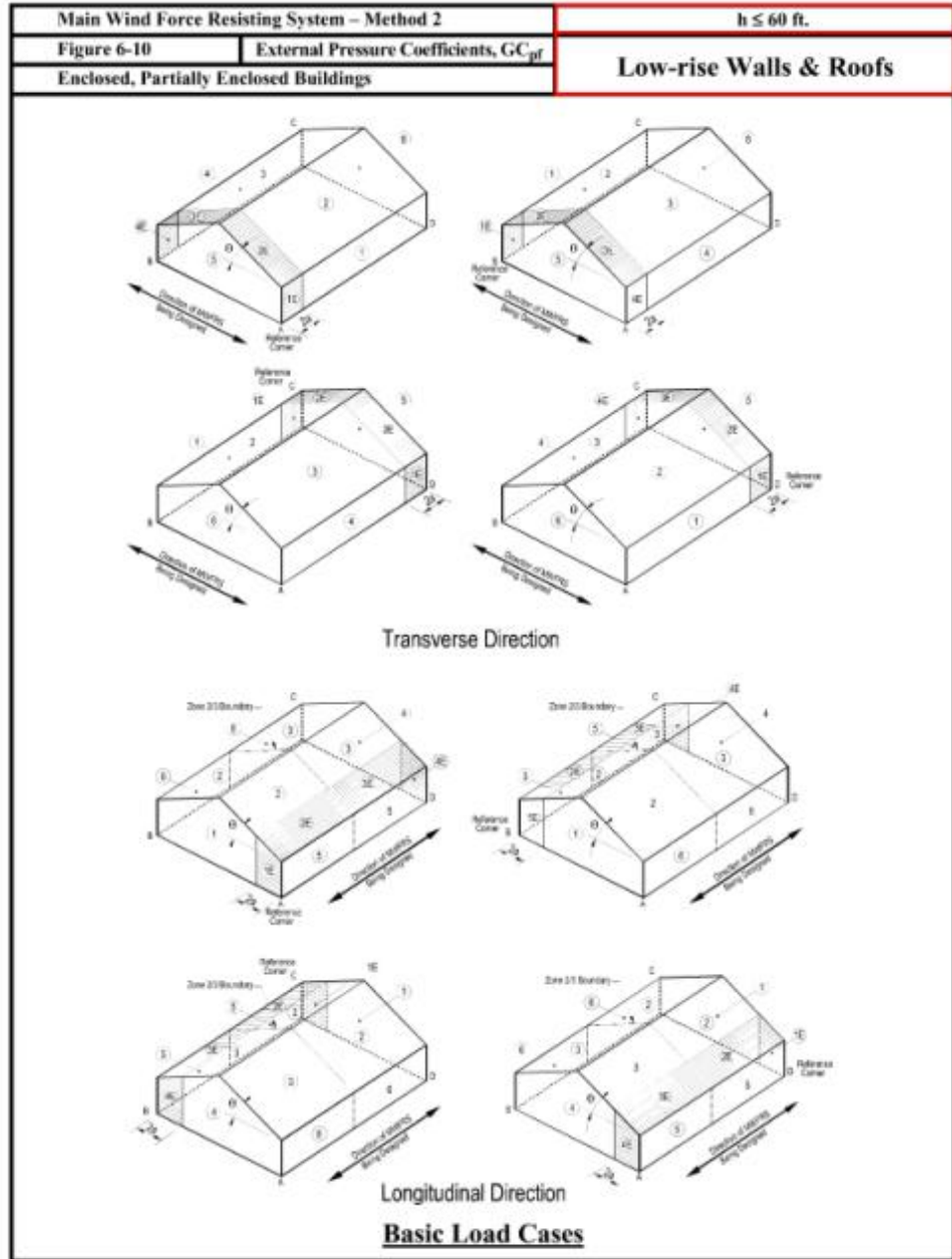


图2 ASCE 7-05中的低矮房屋风荷载分区

同时ASCE7-05中对于低矮房屋风荷载系数的还有 h/L ，即高宽比的适用条件，如下图所示：

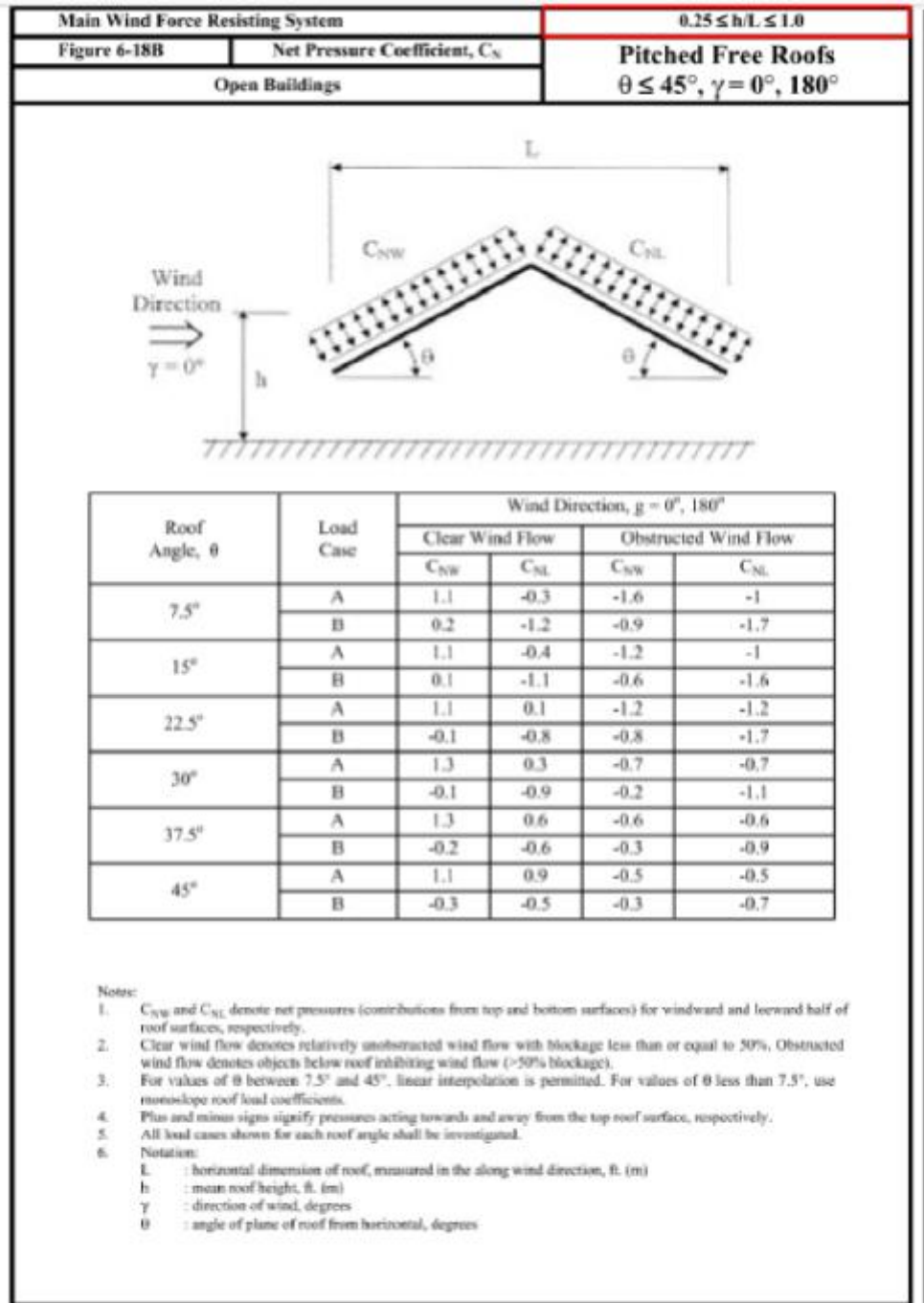


图3 ASCE 7-05中的低矮房屋屋面风荷载系数

综上所述，门式刚架规范规定房屋高度不大于18米，房屋高宽比不大于1时，该适用范围主要根据美国金属制造商协会MBMA以及美国土木工程师学会ASCE标准对于低矮房屋风荷载系数而定的，如果门式刚架超过了这个高度和高宽比范围可按《建筑结构荷载规范》(GB50019-2012)确定风荷载体型系数(门式刚架规范称风荷载系数)，同时总则条文说明中明确了“房屋高度超过18m的类似建筑，构件的强度和稳定性可参照本规范”，所以在进行门式刚架设计时，其他要求仍然可以按照门式刚架规范来考虑和控制。

2.2 构件截面

门式刚架作为一种带有主要受力方向的结构体系，其以主要受力方向是刚架平面内，平面外的受力主要依靠支撑系统来承担，门式刚架规范中规定的构件截面验算公式和节点设计的依据主要针对以强轴受力为主的工字形/H形截面构件，因此在一般的门式刚架结构设计选型时柱、梁构件多采用工字形/H形截面，这样将强轴放在门式刚架平面内，弱轴放在平面外，在门式刚架分析时，主要针对平面内受力进行分析，才能应用门式刚架规范公式进行单向受力状态下构件的验算和节点设计，如果结构布置和构件截面的选择使得结构带有明显的双向受力特征，再完全依据门式刚架规范进行设计就会存在问题。

对于这些结构的梁构件而言，梁截面往往采用实腹式截面，其受力状态仍然是以纯弯和单向压弯、拉弯为主，如果整个结构不符合门式刚架规范的其他条件，而出于经济性考虑，钢梁采用变截面工字形梁，此时该如何进行梁构件验算呢？我们知道《钢结构设计规范》GB50017或新版的《钢结构设计标准》中对于构件截面验算时，并未涉及变截面构件的内容，而从验算公式，尤其是稳定验算公式及稳定系数的确定可以看出，钢标的验算公式很难适用于变截面构件，而且生拉硬套钢标公式的计算结果不一定相较门规公式是保守的，以下工程模型中的①~④号变截面梁为例，分别采用门式刚架规范和钢结构设计规范分别计算，对比其结果

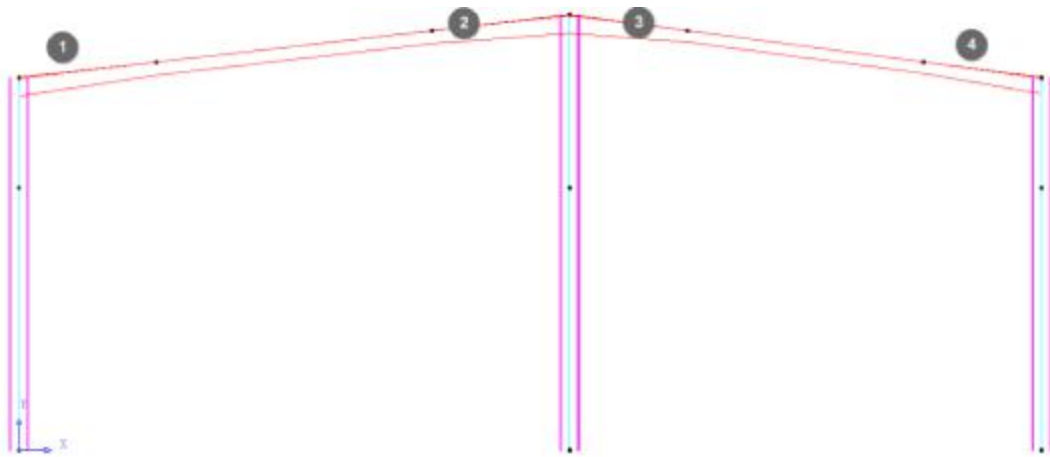


图4 刚架立面

不同规范的钢梁应力比结果 表1

构件号		1	2	3	4
门式刚架规范	强度应力比	0.62	0.91	0.86	0.63
	面外稳定应力比	0.42	0.72	0.68	0.44
钢结构设计标准	强度应力比	0.58	0.85	0.81	0.59
	整体稳定应力比	—	—	—	—

注：由于钢结构设计标准中受弯构件整体稳定计算不适用于变截面构件，所以钢结构设计标准对应的计算结果没有整体稳定的输出结果

由上表我们可以看出，门式刚架规范对于变截面梁进行验算时，强度应力比是比钢结构设计标准计算要大的，并不是在许多设计师印象中钢标要严，在不满足门式刚架规范的适用范围情况下，笔者认为变截面工字形梁应该考虑采用门式刚架规范对构件进行验算，对于板件的宽厚比以及整体指标则按照钢结构设计标准以及抗震设计规范控制，在二维设计软件中可以将变截面梁的验算规范定义为门式刚架规范，实现上述验算要求，定义界面如下图所示：

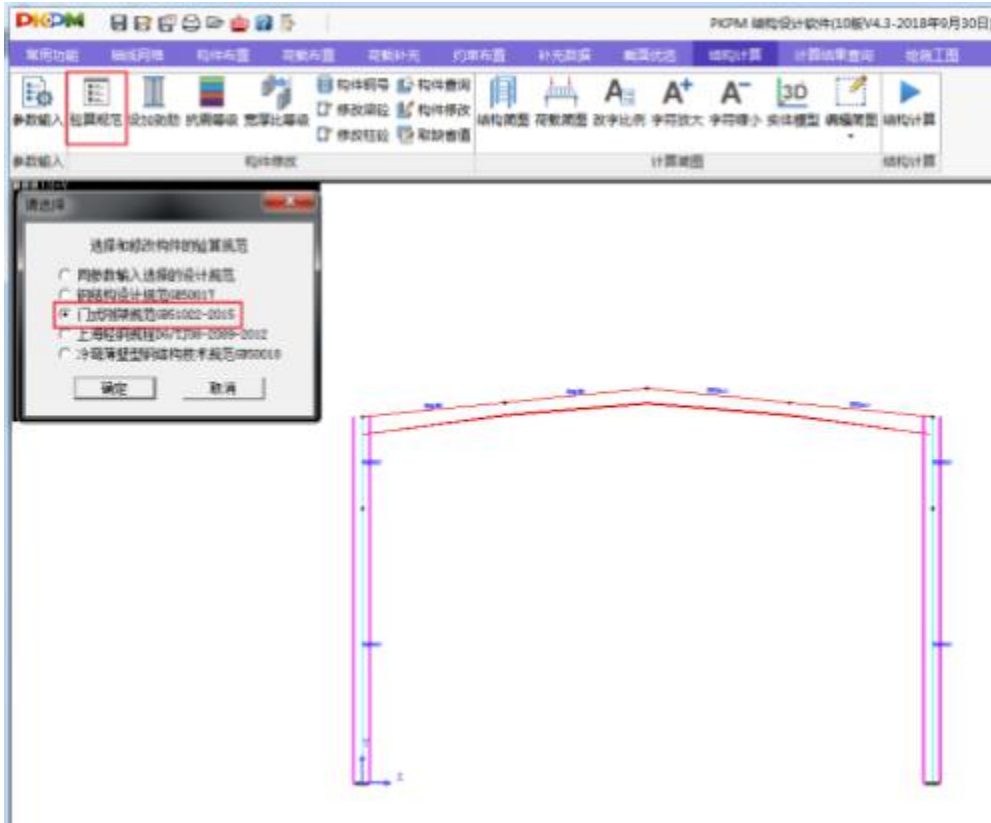


图5 二维设计构件的“验算规范”修改

在SATWE等三维分析软件中可对于变截面梁的验算默认执行钢标或钢规，需要在特殊梁中将变截面梁指定为门式钢梁，这样才能按照门规对于梁进行验算，如下图所示：

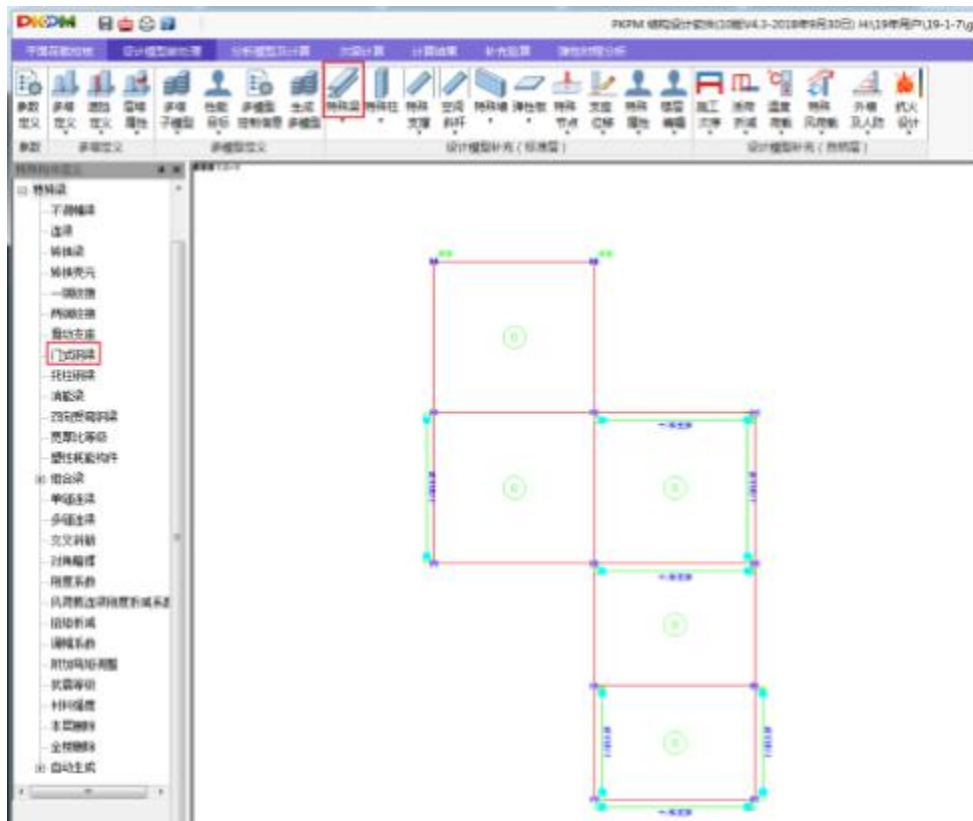


图6 SATWE中门式钢梁的定义

2.3 屋盖种类

门式刚架与普通钢结构相比，柱长细比和板件宽厚比较大，结构刚度较柔，尤其是其屋盖采用轻屋盖，结构整体自重会比较轻，整个结构的地震作用效应水平就会比较低，在8度（0.2g）及更低设防裂度的地区，即使按照设防地震作用进行弹性计算，也就是多遇地震的2.85倍左右时，也可能出现非地震作用组合控制厂房受力的情况。

如果采用了如图7的轻型屋面，是符合门式刚架规范的要求，如果采用了如图8的桁架式屋盖，它基本属于一种重型屋盖，不符合门式刚架的要求，从结构形式上它应该被判定为单层钢结构厂房，此时应该执行钢标、《建筑抗震设计规范》GB50011-2010中的相关要求，尤其是长细比、板件宽厚比等延性要求。

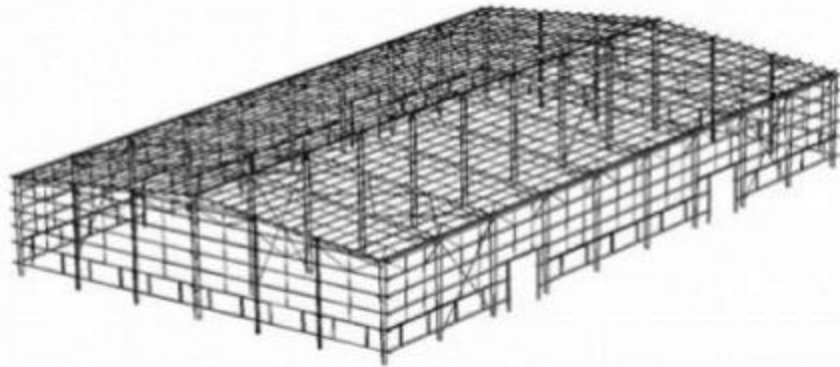


图7 轻型屋面门式刚架示意

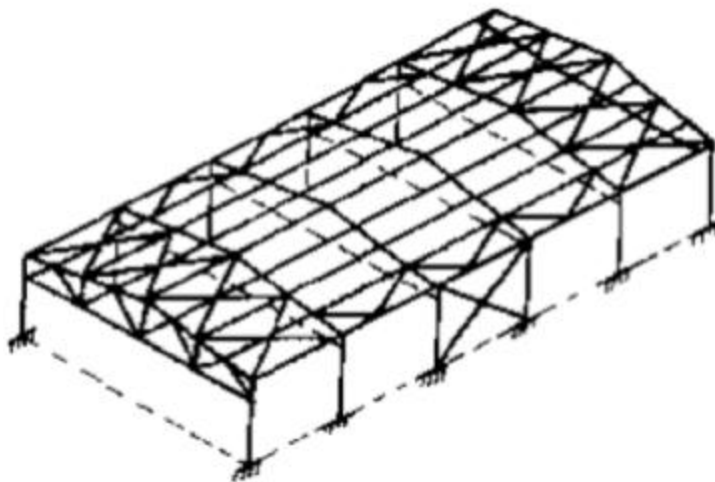


图8 桁架屋面示意

2.4 吊车吨位与工作级别

门式刚架规范中的适用范围中对于吊车吨位和工作级别做出了限制，桥式吊车工作制为A1到A5之间的吨位小于20吨的桥式吊车，和悬挂吊车小于3吨的可按门式刚架控制，为什么有这样的限值呢？主要从两方面考虑，一方面是桥式吊车的吊车梁搁置于刚架柱伸出的牛腿上，因此桥式吊车的起重量不宜过大，吊车吨位超过20t时，不宜采用柱上牛腿支承吊车梁，宜由肩梁支承吊车梁，而肩梁一般需要柱截面为格构式截面时才能形成，因此桥式吊车吨位限制在20t以内，但有的文献提到了放宽的建议，如在文献2中提到“当然如果吊车桥架的跨度不大于15m、牛腿面标高不大于12m，适当放宽吊车起重量的吨位亦未尝不可。”，笔者认为此处的适当放宽吊车起重量的吨位较为模糊，不适于在设计中的把握。另一方面门式刚架规范对于吊车的工作级别也做出了要求，工作级别决定了吊车工

作时的载荷状态和繁忙程度，工作级别越高，吊车工作时实际起升载荷与最大的载荷的百分比越大，工作越繁忙，对于A1-A5的轻中级吊车一般不需要进行疲劳验算，同时轻中级吊车所在的结构对于其位移要求也不是很高，而重级及以上的吊车由于要频繁使用，其位移要求就非常高，此时轻型结构刚度难以控制这么高的要求，同时设计中为了满足这些要求，则需要采用格构式组合截面来增加结构刚度和满足节点设计要求。所以门式刚架规范中对于吊车的工作级别进行了限制。

3 总结

门式刚架规范对于规范适用范围做了明确规定，各个限制条件所限制的内容有所区别，最大高度和高宽比主要限制风荷载的确定依据，构件截面形式决定了构件的受力状态和验算公式的选取，屋盖种类基本决定了控制组合及抗震要求，吊车吨位及工作级别，则与结构刚度和节点支承吊车梁的方式有关，明确了这些条件背后的意义，我们才能正确利用规范解决一些在设计上的复杂问题，希望本文能够对您有所帮助。

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] 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
- [3] GB50017-2017 钢结构设计标准[S].北京: 中国建筑工业出版社, 2018
- [4] GB50017-2003 钢结构设计规范[S].北京: 中国建筑工业出版社, 2003
- [5] Metal Building Systems Manual 2006 Table 1.3.4.5 p29-30
- [6] ASCE 7-05 p67