

建筑结构设计实战丛书

JIANZHU JIEGOU SHEJI
SHIZHAN CONGSHU



门式刚架结构 实战设计

朗筑结构◎编

- ➡ 按照《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》GB 51022-2015编写
- ➡ 应用新版PKPM V3.1
- ➡ 手把手视频操作演示

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

门式刚架结构实战设计/朗筑结构编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 6
(建筑设计实战丛书)
ISBN 978-7-112-20618-6

I. ①门… II. ①朗… III. ①刚架结构-结构设计
IV. ①TU328. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 064457 号

本书根据《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》(GB 51022—2015) 等最新国家标准编写而成, 全书共分为 12 章, 包括: 如何设计一套正确的钢结构施工图、厂房结构方案确定、门式刚架综论、钢结构基础知识、主结构建模及计算分析、围护系统施工图、支撑系统施工图、独立基础施工图、柱脚锚栓平面布置图、吊车梁施工图、钢结构防护, 钢结构的制作、运输、安装与验收。本书简明实用, 可读性和可操作性强, 可供钢结构设计人员及相关专业在校师生参考使用。

责任编辑: 王砾瑶 范业庶

责任设计: 李志立

责任校对: 焦 乐 李欣慰

建筑设计实战丛书 门式刚架结构实战设计 朗筑结构 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)
各地新华书店、建筑书店经销
霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版
北京市书林印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 11½ 字数: 278 千字
2017 年 7 月第一版 2018 年 2 月第二次印刷

定价: 33.00 元

ISBN 978-7-112-20618-6
(30267)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书编委会

主任：张俊

委员：王仁杰 方凡 徐家云 胡泳 张烨 朱胜美

前 言

《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》(GB 51022—2015)于2016年8月1日执行,相较于上一版《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》(CECS 102—2002),既有与《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)及《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)等现行国家规范接轨的相关内容,同时充分考虑了门式刚架自身的特点,并充分吸收了这些年技术进步带来的变化。此外,新规范特别强调并且纠正了门式刚架设计中的一些常见错误。从总体来说,由规程演变成规范在某些关键地方变化很大,如果掌握不好会造成重大设计事故,给国民经济和人民生活财产造成重大损失。

本书的特点是简明实用,可读性和可操作性强,既有设计概念、设计要点和受力分析,也有实际施工图绘制,有助于从事钢结构设计的人员参考使用,提高设计质量和效率,也可供建筑结构施工图文件审查人员以及土木工程专业师生参考。

编者按《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》(GB 51022—2015)及PKPM V3.1.5的内容进行编写,确保读者学到的是最新的知识,并以一个实际的完整案例进行从头到尾的设计,完全模拟实际设计院的流程。包括从确定结构方案开始,力的传递分析,建模计算分析及合理性判断,再到施工图绘制,让读者能够从整体了解并掌握钢结构设计内容的方法。在这个过程中,指出一些常见问题,让读者能够避免一些常识性甚至是原则性的错误。

本书共分为12章。第1章总结钢结构设计存在的主要问题,提出了钢结构设计正确方法;第2章是在建筑图的基础上提出确定结构方案的一般性方法,并且要兼顾经济性,为建模计算分析定下行之有效的结构类型;第3章主要是指出了门式刚架的种类及适用范围,并对一些常见的问题进行了解析;第4章总结了钢结构设计新手需要掌握的一些钢结构基础知识,包括一些常见的专业术语、焊缝符号及常见钢结构构件;第5章以一个实际项目为例,模仿设计院实战流程。从主体结构方案确定到建模计算分析,再到合理性判断及如何出施工图。此外,还进行了很多拓展,让读者在实战设计中更深刻体会结构力学、材料力学及钢结构设计原理对于设计优化的指导作用;第6章、第7章以实际案例对于围护结构及支撑体系的构件进行了计算分析;第8章、第9章对于独立基础及柱脚锚栓进行了设计分析;第10章对于吊车梁的设计进行了拓展;第11章、第12章对于钢结构的防护、制作、运输、安装与验收进行了介绍。

由于作者理论水平和实践经验有限,书中难免存在不足甚至谬误之处,恳请读者批评指正,作者将不胜感激。对于书中的问题,读者可以发邮件至 topyidu@163.com 或 1098226564@qq.com。

本书编委会

目 录

1 如何设计一套正确的钢结构施工图	1
1.1 钢结构设计的现状以及存在的问题	1
1.2 钢结构施工图设计的正确方法和流程	2
2 确定厂房结构方案	4
2.1 厂房建筑示意图	4
2.2 厂房结构方案确定	5
2.2.1 确定厂房结构类型	5
2.2.2 确定刚架方向与厂房纵横向关系	5
2.2.3 确定厂房经济柱距	5
2.2.4 估算钢梁、钢柱截面	8
2.3 门式刚架按三维还是二维计算	8
2.4 门式刚架如何传递横向和纵向水平力	10
2.5 门式刚架施工图图纸目录	12
3 门式刚架综论	14
3.1 门式刚架分类	14
3.2 门式刚架组成	14
3.3 《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》的适用范围	14
3.4 门式刚架常见问题	15
4 钢结构基础知识	19
4.1 门式刚架设计术语	19
4.2 门式刚架中常见基本构件	22
4.3 门式刚架中常用焊接符号	24
4.4 门式刚架中常用螺栓及栓孔符号	25
5 主结构建模及计算分析	26
5.1 厂房技术条件	26
5.2 厂房柱距方案比较	26
5.3 刚架快速建模	27
5.4 计算参数设置	35
5.5 STS 刚架计算控制指标判别	40

5.6	优化分析思考题	44
5.7	STS 绘制施工图	45
5.8	力学知识	52
5.9	设计理论	53
5.10	图集构造	53
5.11	规范条文链接	54
5.12	绘图软件	59
6	围护系统施工图	60
6.1	分析软件	64
6.1.1	檩条设计	64
6.1.2	墙梁设计	75
6.1.3	隅撑设计	79
6.2	设计小软件	83
6.3	优化分析思考题	83
6.4	图集构造	84
6.5	规范条文链接	89
6.6	设计理论	90
6.7	力学知识	91
6.8	绘图软件	92
7	支撑系统施工图	93
7.1	分析软件	94
7.1.1	屋面水平支撑计算	94
7.1.2	柱间支撑计算	97
7.2	优化分析	98
7.3	优化分析思考题	99
7.4	图集构造	99
7.5	规范条文链接	100
7.6	设计理论	102
7.7	力学知识	105
7.8	绘图软件	105
8	独立基础施工图	106
8.1	设计小软件	107
8.2	优化分析	113
8.3	图集构造	114
8.4	力学知识链接	119
8.5	设计理论链接	119

8.6	规范条文链接	120
8.7	绘图软件	124
9	柱脚锚栓平面布置图	126
9.1	设计小软件	128
9.2	优化分析	131
9.3	图集构造	131
9.4	力学知识	134
9.5	设计理论链接	134
9.5.1	铰接柱脚设计原理	135
9.5.2	刚接柱脚设计原理	137
9.6	规范条文链接	142
9.7	绘图软件	145
10	吊车梁施工图	146
10.1	分析软件	147
10.2	其他软件或设计小软件	153
10.3	优化分析思考题	153
10.4	图集构造	153
10.5	规范条文链接	154
10.6	绘图软件	158
10.7	设计理论	158
10.7.1	吊车梁系统的组成	158
10.7.2	实腹式焊接吊车梁的内力计算	159
10.7.3	吊车梁的截面选择	160
10.7.4	吊车梁的强度计算	162
10.7.5	吊车梁的稳定计算	163
10.7.6	吊车梁的挠度计算	164
10.8	吊车梁的连接和构造要求	164
10.9	其他注意事项	166
11	钢结构防护	167
11.1	一般规定	167
11.2	钢结构的防火设计	167
11.3	钢结构的防腐蚀设计	168
12	钢结构的制作、运输、安装与验收	170
12.1	钢结构的制作	170
12.2	钢结构的运输、安装与验收	171
	参考文献	176

1 如何设计一套正确的钢结构施工图

1.1 钢结构设计的现状以及存在的问题

在我们将近十年的培训教学以及和学员交流的过程中,很多结构设计新人都会问钢结构设计是不是会用 PKPM 或者 3D3S 就可以了,这也是我国现在大多数钢结构设计的现状,普遍是重软件操作而轻设计中的力学分析和基本设计原理,甚至认为钢结构设计就是软件操作,不求甚解“拍脑袋”,以至于对软件自动生成的施工图无法鉴别对错,无法判断合理性,更谈不上优化分析,这样不仅浪费材料,有时候甚至威胁到结构的安全。

鉴于很多新人或者老手对于钢结构设计的误区,在这里列举几个常见的盲区或者误区来说明正确的钢结构设计是什么。

(1) 钢结构设计中的体系是否稳定,这其实是和结构力学紧密相关的,但是很多新人要不就是师傅怎么做我就怎么做,对于稍做变化的结构体系不明所以拍脑袋就敢做,其实如果体系不稳定构件再怎么设计都是不安全的。如果侥幸稳定性过关了,但在具体设计中,有的地方怎么都计算不过,可能就不仅仅是局部的问题,应该从整个体系中考虑是否仅有此处为多余约束而导致的,还有大家常说的什么时候刚接什么时候铰接,实际上就是和结构的稳定性有关。

(2) 钢结构构件的稳定性也是钢结构设计中的重要内容。其实钢结构设计中很多时候都是构件的稳定性在控制而不是强度在控制,这和混凝土设计很不相同,因此钢结构新手或者只会混凝土设计的结构工程师在做钢结构设计的时候对于规范中构造做法以及图集中的一些做法不是很了解,其实就是对于构件的稳定性认识不足,或者说干脆就没有注意到。

(3) 在钢结构设计的计算调整分析时,不知道究竟是调整梁高呢还是调整翼缘的宽度或者是厚度,也不知道是否要调整腹板厚度。因为他们根本不知道材料力学里的截面特性以及和截面特性有关的抗弯模量等因素对于调整的重要性,或者说根本就不知道究竟是强度超限还是稳定性超限,其结果是胡乱加大截面,安全可能没有问题,可是用钢量却比别人大很多。

(4) 认为任何构件只要截面越大越好,其实这里有两个很大的误区:

1) 不能追求某个构件绝对得大,也就是不能把主体结构的某个构件做得刚度太大,比如有的人在做单跨门式刚架设计时,一味地加大梁截面,这就造成梁和柱的刚接效果达不到,有时甚至出现简支梁的受力特点,这和门式刚架的原则是背道而驰的。简单点说钢梁和钢柱的刚度是相对合理而不是某个构件绝对大。

2) 忽视抗震的概念,在钢框架中尤为明显。很多设计师为了省钱,把梁做得很大,

可是柱子很小，形成典型的强梁弱柱结构，这种结构在地震区是有致命缺陷的，整个体系根本无法完成耗能，一震就倒，设计之大忌。

(5) 对于规范的一些规定直接无视，有的是理解不到位。比如，对于雪荷载的大小，荷载规范里明确规定了什么情况下要考虑不均匀系数，可是有的钢结构工程师完全无视或者是忽视了它的性质，这就造成了只要一下大雪有的加油站、雨篷、高低跨厂房就被雪压垮了，有些地方甚至还在用 50 年一遇的雪荷载取值，完全没有搞明白规范的意图。

(6) 不注重设计理论的研究。比如，对于门式刚架中比较重要的支撑体系不关心、不了解，认为有些地方有没有支撑无所谓，从思想上就不重视支撑的作用。其实风荷载或者说地震作用是怎么从屋面传递到基础的，这个问题不搞清楚就不可能知道支撑的重要性，也不可能准确地设计出相应的截面大小。也都导致了在门式刚架的施工中或者使用时出现大风时整个厂房的倒塌。

(7) 只重视大的计算分析软件不重视小的计算软件或者手算的技能。对于很多软件不能考虑的情况或者施工现场经常出现的变更或者解决施工中出现的错误，不经过手算或者小软件计算校核就拍脑袋行还是不行，这主要是没有搞清楚计算分析软件的局限性，也没有搞清楚自己当初设计此构件的前提是什么，对于现场的实际情况根本无心也无力解决，这就导致解决了旧问题又出现了新问题，这也是忽视受力分析只相信软件操作的严重弊端。

现行市场上的钢结构设计方面的图书林林总总，但要不就是纯谈理论，让人不知所云，让新人觉得钢结构太难了；要不就是纯操作，对于设计中的力学知识、设计原理以及规范要求根本不提，新手们在学习过程中很容易被误导成钢结构设计就是软件操作，觉得钢结构设计不过尔尔，太容易了，这对于钢结构设计新手的成长或者说对于中国的钢结构设计发展都是极其不利的。

笔者根据多年的教学经验首创钢结构设计=钢结构力学知识+钢结构相关设计理论+钢结构相关规范+钢结构相关图集+软件操作+计算分析+施工图设计的课程教学体系，如图 1-1 所示，让新人从一开始就接受正确的设计思维，形成良好的分析问题解决问题的习惯。

1.2 钢结构施工图设计的正确方法和流程

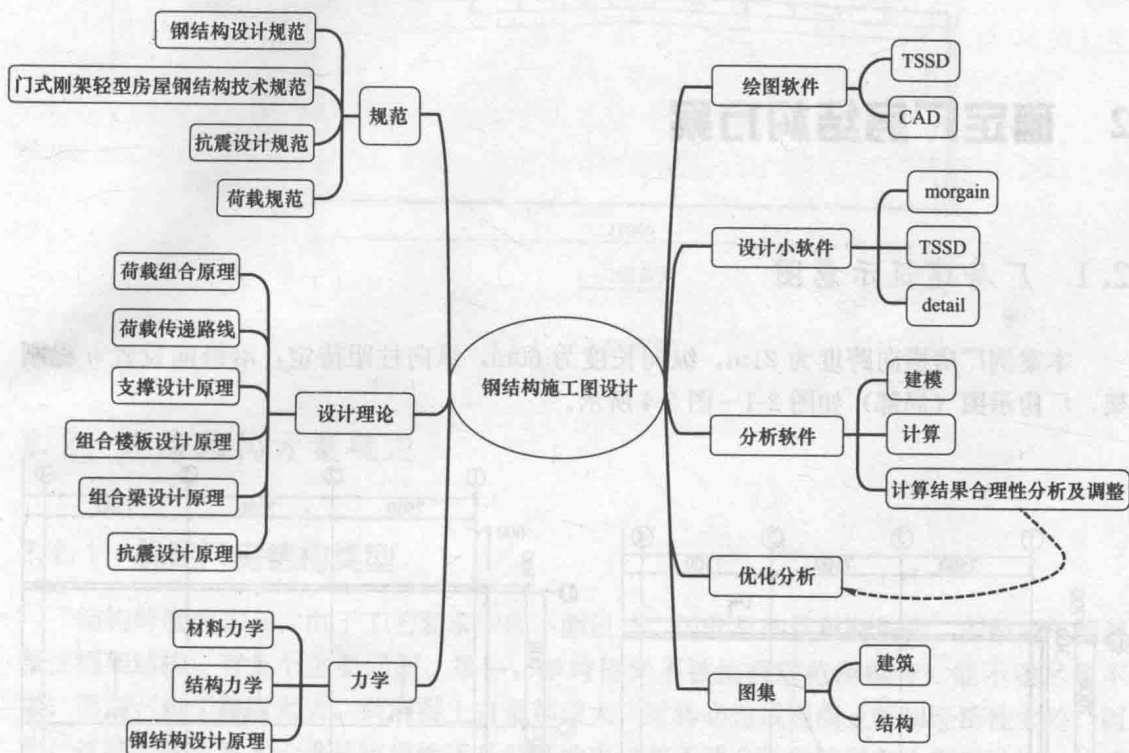


图 1-1 钢结构施工图的设计流程

2 确定厂房结构方案

2.1 厂房建筑示意图

本案例厂房横向跨度为 21m，纵向长度为 60m，纵向柱距待定，沿纵向设置 n 榀刚架，厂房示图（局部）如图 2-1~图 2-4 所示。

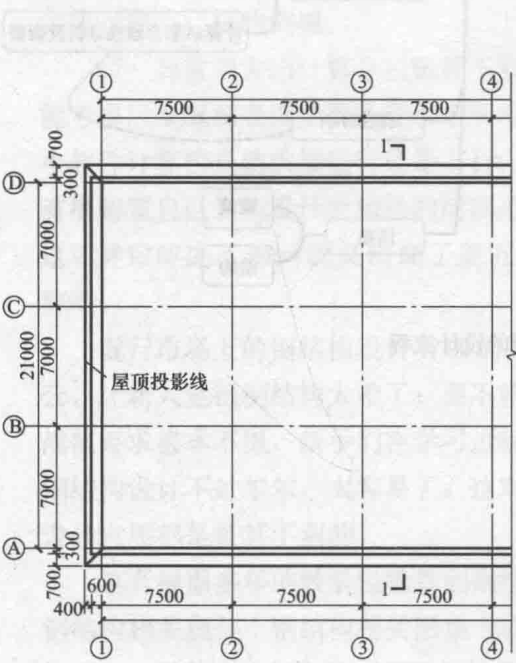


图 2-1 首层平面图（局部）

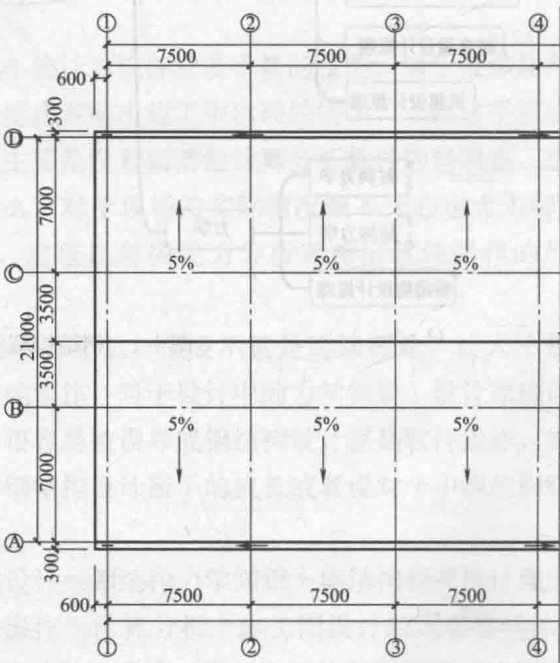


图 2-2 屋面层平面图（局部）

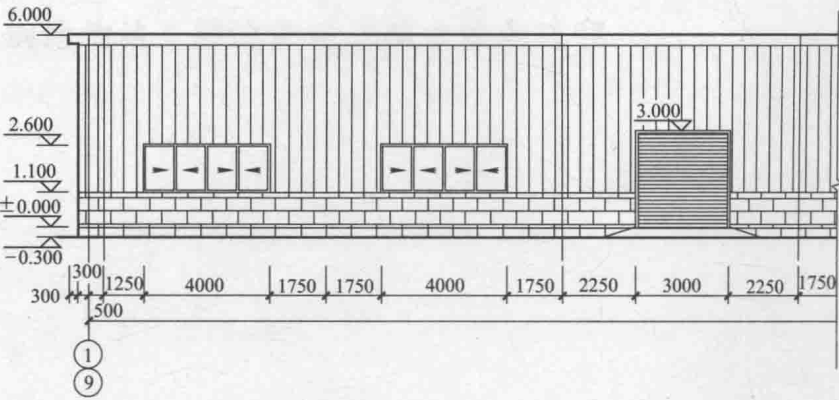


图 2-3 立面图（局部）

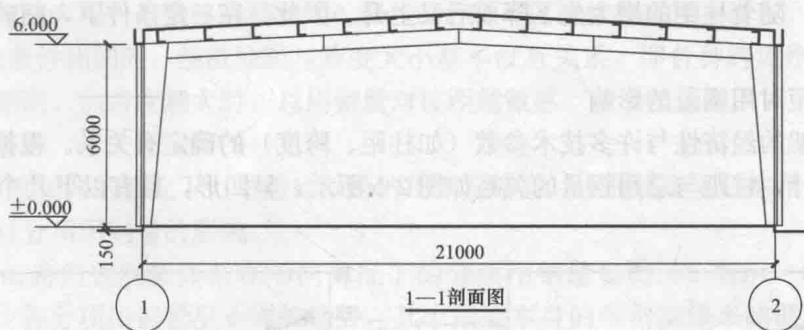


图 2-4 1-1 剖面图

2.2 厂房结构方案确定

2.2.1 确定厂房结构类型

结构跨度为 21m，由于工艺要求中间不能设柱，因此只能是单跨结构。若做成单跨混凝土框架结构，有几个主要问题。第一，单跨框架不被抗震规范所推荐，能不做尽量不做；第二，由于跨度太大，而混凝土自重都很大，这势必造成混凝土框架经济性太差。因此，这种结构方案无论是从抗震性还是经济性来说都不适合做单跨混凝土框架结构，故采用钢结构方案更适合一些。

此外，钢结构方案采用标准化、自动化生产构件，现场装配，施工进度快；其可回收的优势符合环保及可持续发展原则。

确定结构方案采用钢结构类型之后，而钢结构类型也有很多种形式，比如门式刚架、桁架、网架等。在跨度不是很大，钢梁高度能够控制在 1m 以内时，做成门式刚架肯定要比其他结构形式更省钱。

2.2.2 确定刚架方向与厂房纵横向关系

一般来说，在确定刚架方向时应遵循长度大于宽度的原则，也就是刚架方向沿着厂房横向设置，纵向采用支撑体系。这样既能减轻刚架用钢量，同时也能减少柱间支撑的风荷载，从而降低支撑系统的用钢量。

例如：建筑物尺寸为 60m×21m，则在布置厂房时应将 60m 作为长度方向，也即是我们常说的厂房纵向；21m 作为门式刚架跨度方向，也就是我们常说的厂房横向。即：60(L)×21(W)，而不是 21(L)×60(W)。

2.2.3 确定厂房经济柱距

《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》(GB 51022—2015，以下简称“《门规》”)规定，刚架柱距宜为 6m、7.5m、9m。经过大量计算发现，随着柱距的增大，刚架的用钢量是逐渐下降的，但当柱距增大到一定数值后，刚架用钢量随着柱距的增大下降的幅度较为平缓，而其他如檩条、吊车梁、墙梁的用钢量则会随着柱距的增大而增大，就房屋的总

用钢量而言，随着柱距的增大先下降而后又上升。因此，在一定条件下，门式刚架存在着最优柱距。

(1) 柱距对用钢量的影响

门式刚架的经济性与许多技术参数（如柱距、跨度）的确定有关系。根据多项门式刚架工程的统计，柱距与总用钢量的关系如图 2-5 所示，呈凹形，且有以下几个特点：

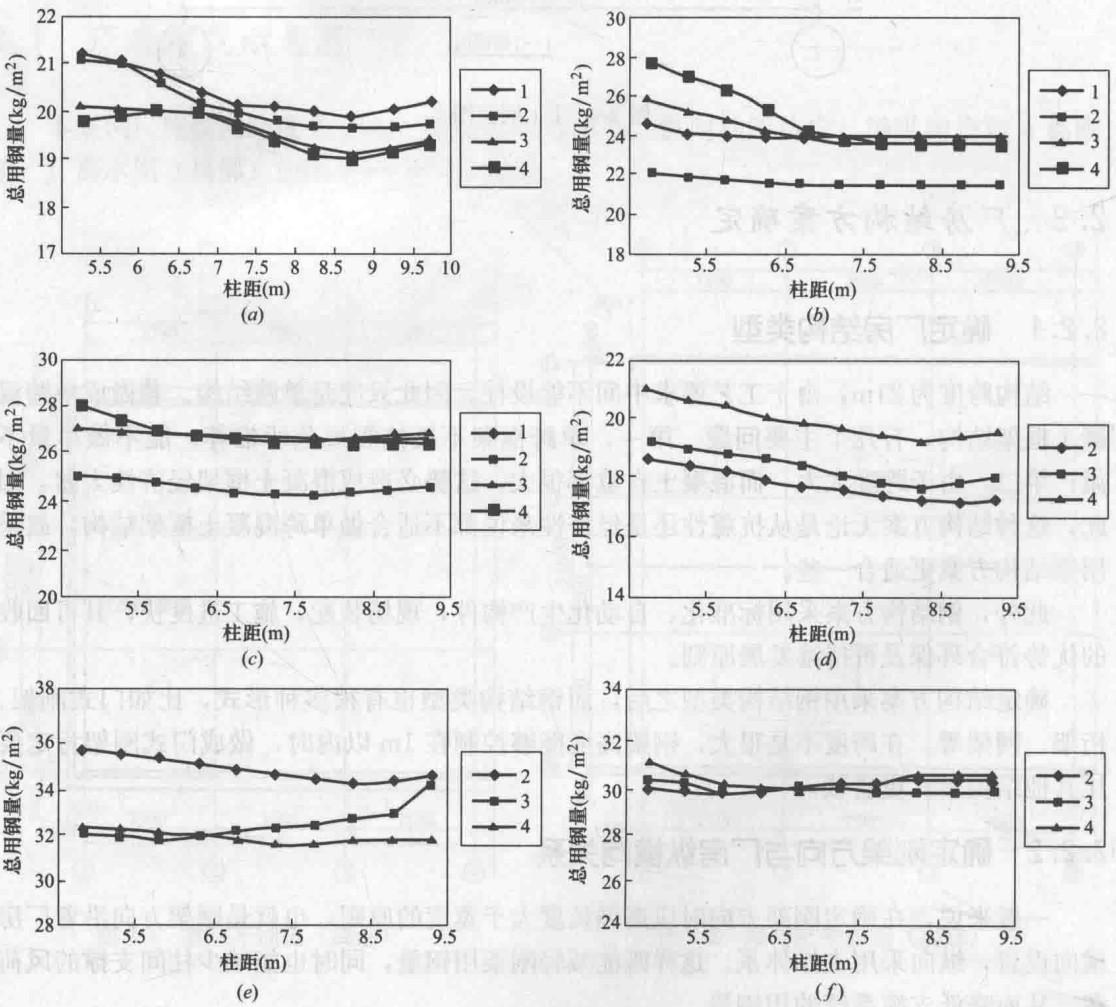


图 2-5 总用钢量与柱距的关系

(a) 单跨，无吊车，檐高 6m；(b) 双跨，无吊车，檐高 6m；(c) 单跨，3t 葫芦，檐高 6m；(d) 双跨，3t 葫芦，檐高 6m；(e) 单跨，10t 吊车，檐高 9m；(f) 双跨，10t 吊车，檐高 9m
1—跨度 15m (Q235)；2—跨度 18m (Q345)；3—跨度 24m (Q345)；4—跨度 30m (Q345)

1) 柱距小于 7m 时，总用钢量随柱距的增大普遍呈降低趋势，降幅随跨度的增大而增大；柱距 7~9m 内，曲线基本趋于平缓，即柱距的影响很小；柱距超过 9m 后，曲线逐步上升，主要是由于檩条、支撑、吊车梁等构件的用钢量大幅上升造成的。

2) 竖向荷载（如屋面荷载、吊顶荷载、吊车荷载等）是影响经济柱距的主要因素，荷载大时经济柱距减小，荷载小时经济柱距增大。

如何判断荷载大呢？当最终活荷载 $>0.5\text{kN/m}^2$ 时可以看作荷载较大。

3) 当荷载条件相同时，经济柱距与跨度大小基本没有关系，即各种跨度刚架体系的经济柱距基本相同，但跨度越大时，总用钢量对柱距越敏感，波动范围越大，采用经济柱距的效益越显著。

4) 单跨跨度相同的情况下，单跨比双跨的用钢量略高，但曲线走势基本相同。

(2) 柱距对分项用钢量的影响

18m 和 30m 跨门式刚架体系在不同情况下的分项用钢量如图 2-6 所示，可以看出，随柱距的增加，各分项用钢量呈不同的趋势，其中刚架本身的用钢量越来越低，而檩条、支撑和吊车梁的用钢量逐步上升。如 18m 跨门式刚架体系在柱距达到 10m 时，刚架与檩条及支撑的用钢量基本持平，若柱距增大，刚架用钢量必将由第一位降至第二位；有 10t 吊车的 30m 跨刚架体系的情况也类似，吊车梁的用钢量与檩条、支撑的用钢量和发展趋势也基本相同。

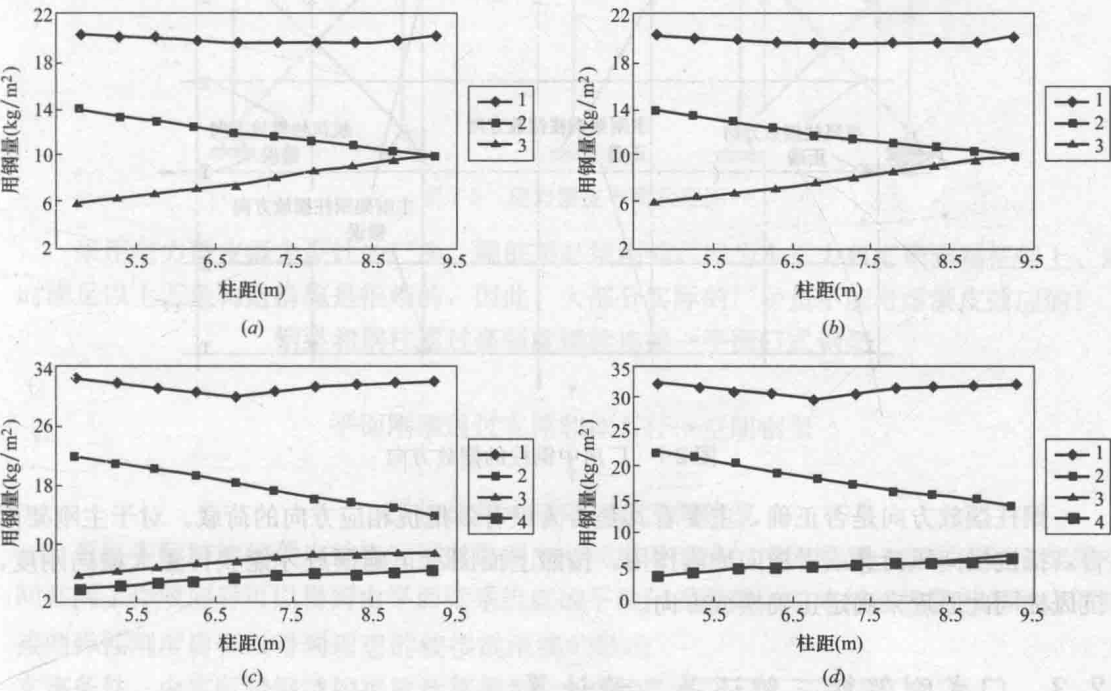


图 2-6 分项用钢量与柱距的关系

(a) 18m 单跨，无吊车，檐高 6m；(b) 18m 双跨，无吊车，檐高 6m；

(c) 30m 单跨，10t 吊车，檐高 9m；(d) 30m 双跨，10t 吊车，檐高 9m

1—总用钢量；2—刚架用钢量；3—檩条，支撑用钢量；4—吊车梁用钢量

在布置柱距时，如需采用不等柱距时，应尽量将端跨柱距布置得比中间跨小，这是由于端跨风荷载要比中间跨大，另外在采用连续檩条设计时，端跨的挠度及跨中弯矩总是比其他跨要大。采用较小的端跨能使屋面檩条及墙面檩条设计更方便节省。

例 1：建筑物长度=72m

经济柱距可取：1@6+8@7.5+1@6 或者 12@6

例 2：建筑物长度=132m，行车 10t

经济柱距可取：1@6+16@7.5+1@6 或者 22@6

2.2.4 估算钢梁、钢柱截面

(1) 钢梁高度：一般可按照 $(1/45 \sim 1/30)L$ 来估算截面，当跨度 L 较大或者荷载较大时取大值，反之，取小值。

如何判断跨度较大呢？当跨度 $L > 24\text{m}$ 时可以看作跨度较大。

如何判断荷载较大呢？当最终活荷载 $> 0.5\text{kN/m}^2$ 时可以看作荷载较大。

(2) 钢柱截面高度：对于柱脚铰接的钢柱一般采取变截面来适应弯矩的变化，其变截面大头一般可取与之相连的钢梁高度相同。

(3) 厂房钢柱截面正确摆放位置（图 2-7）：

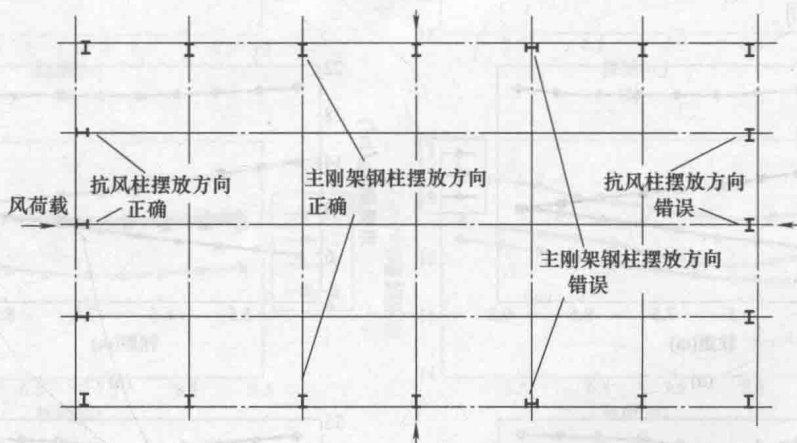


图 2-7 厂房中钢柱的摆放方向

钢柱摆放方向是否正确，主要看其是否为最有效抵抗相应方向的荷载。对于主刚架而言，抵抗横向风荷载或者横向地震作用，按照上面图示正确摆放才能获得更大横向刚度，抗风柱同此原理来确定正确摆放方向。

2.3 门式刚架按三维还是二维计算

《门规》第 6.1.2 条：门式刚架不宜考虑应力蒙皮效应，可按平面结构分析内力。

解读：

应力蒙皮效应是指通过屋面板的面内刚度，将分摊到屋面的水平力传递到山墙结构的一种效应。应力蒙皮效应可以减小门式刚架梁柱受力，减小梁柱截面，从而节省用钢量（图 2-8）。但是，应力蒙皮效应的实现需要满足一定的构造措施：

(1) 自攻螺钉连接屋面板与檩条；

(2) 传力途径不要中断，即屋面不得大开口（条形坡度方向的采光带）；

(3) 屋面与屋面梁之间要增设剪力传递件（剪力传递件是与檩条相同截面的短的 C 型或 Z 型钢，安装在屋面梁上，顺坡方向，上翼缘与屋面板采用自攻螺钉连接，下翼缘

- 与屋面梁采用螺栓连接或焊接)；
- (4) 厂房的总长度不大于总跨度的 2 倍；
 - (5) 强大的端框架：山墙结构增设柱间支撑以传递应力蒙皮效应传递来的水平力至基础。

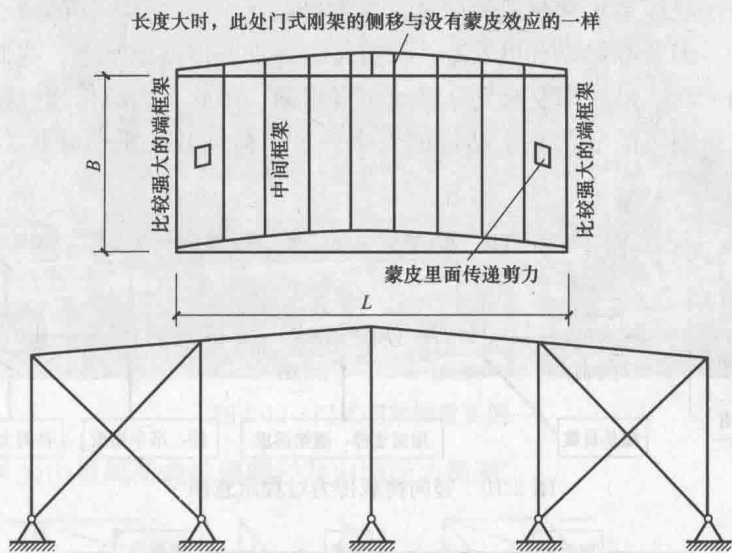


图 2-8 应力蒙皮导荷示意图

采用应力蒙皮概念设计的厂房，端框架必须刚强，因为水平力要汇聚到端框架上，同时满足以上五条构造措施是很难的，因此，大部分实际的厂房是不能考虑蒙皮效应的！

钢梁和钢柱通过高强度螺栓连接→平面门式钢架



平面刚架通过支撑和体系杆→空间钢架



围护材料+基础→轻型钢建筑

忽略实际结构的蒙皮效应后可以得到由空间梁系组成的空间刚架，忽略空间刚架的空间共同工作效应后可以得到由平面梁系组成的平面门式刚架。忽略结构柱脚与基础之间连接的弹性刚度后可以得到理想的铰接或刚接的结构支座条件。由实际轻钢结构提取计算模型的过程如图 2-9 所示。

因此，门式刚架采用二维建模计算和设计是符合规范设计要求的。门式刚架体系的整体性依靠檩条、墙梁及隅撑来保证，从而减少了屋盖支撑的数量。支撑多用张紧的圆钢做成，很轻便。梁、柱多采用变截面，截面与弯矩成正比；腹板宽厚比较大（腹板厚度较薄），在设计时利用其屈曲后强度，以节省材料。当然，由于变截面门式刚架达到极限承载力时，可能会在多个截面处形成塑性铰而使刚架瞬间形成机动体系，因此塑性设计不再适用。

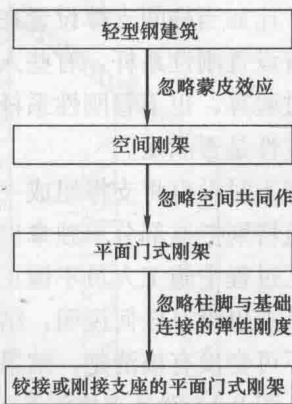


图 2-9 轻钢结构的计算模型建立