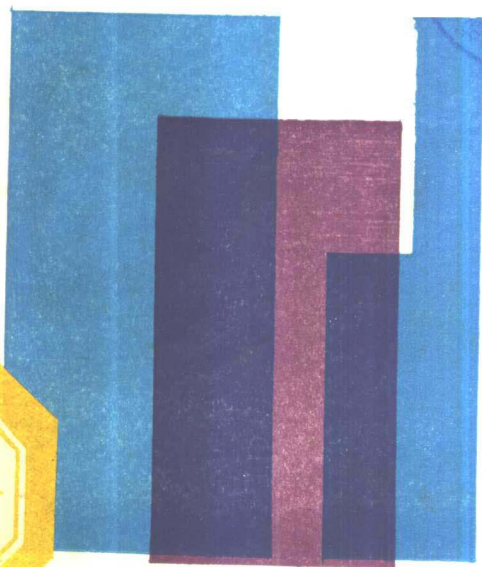


高等学校试用教材

大跨房屋 钢结构

哈尔滨建筑工程学院 编



中国建筑工业出版社

5 6 5 4

828989

61318

高等学校试用教材

大跨房屋钢结构

哈尔滨建筑工程学院 编

中国建筑工业出版社

本书是参照1982年5月在哈尔滨制订的工业与民用建筑专业选修课“大跨房屋钢结构”教学大纲编写的。主要篇幅用于阐述网架结构和悬索结构两部分内容。对平面结构主要介绍结构的型式、特点和应用范围，并介绍预应力钢结构的基本概念及其在大跨结构中的应用。各部分内容是按下列参考学时数编写的：平面结构8学时，网架结构20学时，悬索结构20学时。由于这是一门选修课，使用本教材时可按具体要求和学时选择部分章节作为授课内容。

本书除作为教学用书外，也可供土建工程技术人员在实际工作中参考。

高等学校试用教材

大跨房屋钢结构

哈尔滨建筑工程学院 编

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

河北保定安基印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：9 1/4 字数：234千字

1985年11月第一版 1987年12月第二次印刷

印数：20,101—27,160册 定价：1.70元

统一书号：15040·4795

前 言

自建国以来,由于生产和人民生活的需要,我国修建了相当数量的大跨度建筑,其中有一些属于水平较高的空间结构。近十多年来,在平板网架结构的理论和实践方面,不但投入了较大的力量,取得了显著的进展,而且用以兴建了不少体育馆及援外的大跨度建筑。

随着生产发展和人民生活提高,建筑事业在不断发展。为了适应我国新形势的需要,一些高等院校从1979年以来先后开设了“网架结构”选修课,并在毕业设计中设置了网架结构专题。我院和个别兄弟院校则开设了“大跨房屋钢结构”选修课,主要讲授网架结构和悬索结构,在毕业设计中还增加了悬索结构专题。各院校近几年的经验证明,在高等院校开设一些有关大跨和空间结构方面的课程,让学生了解国内外新型结构的发展,扩大知识领域,对我国今后大跨建筑的发展是十分有益的。

有鉴于此,1981年10月原国家建筑工程总局在重庆召开的工业与民用建筑专业教学计划讨论会上,确定设置“大跨结构”选修课,并委托我院主持1982年5月在哈尔滨召开该课程的教学大纲修订会。修订会鉴于“大跨结构”含义太广,内容太多,建议改为两门选修课,即“大跨房屋钢结构”和“钢筋混凝土薄壳结构”,并制订了相应的教学大纲。根据“少而精”的原则,会议确定“大跨房屋钢结构”课包括平面结构、网架结构和悬索结构三部分内容,而以网架结构和悬索结构为重点。

我们按照新订教学大纲要求编写了讲义,在工民建78和79两届学生中试用,觉得基本适用。因此,在该讲义的基础上,根据这两年的使用经验及有关兄弟院校的宝贵意见进行修改,写成这本教材。

根据大纲的要求,教材的主要篇幅用于网架结构和悬索结构,对平面结构主要介绍梁式、框架式和拱式结构的型式、特点和应用范围,以及预应力钢结构的基本概念及其在大跨结构中的应用。

在网架结构部分,除了介绍平板网架的各种结构型式和特点外,首先介绍作为一般解法的矩阵位移法,然后结合交叉梁系平板网架讲解差分法,结合斜放四角锥网架讲解假想弯矩法,最后讨论网架结构的设计原则以及构造和施工要点。

悬索结构具有经济指标低、施工快、便于建筑造型等优点,特别适用于各类大跨建筑,在国外应用很广,而我国则在实践和理论研究上均相对落后,为此,在内容安排上悬索结构部分所占的比例稍大。其中,在介绍主要结构型式和工作特点以后,以较多篇幅阐述单索计算理论,以及双层悬索体系(包括圆形车辐式屋盖体系)和鞍形索网的计算方法。阐述中力求做到理论的完整和统一,并着重分析各种因素(包括温度变化和支承结构位移)对悬索体系工作的影响。此外介绍了基于离散理论的节点位移法,并简单探讨了矩阵位移方程的各种迭代解法。最后,讨论悬索屋盖的设计和施工要点。本章部分内容,如平面双层索系的计算理论、非双曲抛物面索网的实用计算公式等,由于缺乏现成资料,是

由编写者自行推导的。

在网架结构和悬索结构两部分中，均附有相当数量的例题，以帮助读者加深对理论的理解。

本教材概述及第一、二章由钟善桐编写，第三章由沈世钊编写。谢贝琳同志协助进行平板网架矩阵位移法例题的计算机运算，梁志宏、徐崇宝同志仔细阅读原稿并提出了宝贵意见。

城乡建设环境保护部建筑结构类教材编审委员会于1984年4月对这本教材进行了评审，同时委托重庆建筑工程学院魏明钟同志担任本书主审，最后推荐出版。

编者 于哈尔滨建筑工程学院
1984年

目 录

概述	1
第一章 平面结构	3
第一节 梁式体系的特点和用途	3
第二节 框架式体系的特点和用途	5
第三节 拱式体系的特点和用途	11
第四节 预应力钢结构在大跨结构中的应用	15
第二章 网架结构	29
第一节 网架结构的特点和适用范围	29
第二节 平板网架结构的形式、种类和特点	32
第三节 平板网架的内力分析	37
第四节 矩阵位移法求解网架内力	38
第五节 差分法解交叉梁系平板网架	43
第六节 假想弯矩法解斜放四角锥网架	54
第七节 网架在地震、温度及安装荷载作用下的计算原则	65
第八节 杆件选择和节点构造	67
第九节 平板网架的构造和安装	75
第三章 悬索结构	79
第一节 悬索结构的形式和特点	79
第二节 单索计算理论	85
第三节 双层索系的计算	98
第四节 鞍形索网的计算	115
第五节 悬索体系的离散理论	134
第六节 悬索屋盖的构造和施工要点	142

概 述

大跨房屋结构首先是为了满足人类社会生活的需要而产生的。例如：人们为了集会而需要建造大会堂，为了不断丰富文化生活，而需要建造各种展览馆、大剧院和体育馆等建筑物。

1959年建成的首都人民大会堂，钢屋架的跨度达六十米，可容纳万人集会，是我国人民主要的政治活动场所。此后，随着我国国民经济的不断发展，人民生活水平的不断提高，全国各地陆续兴建了不少展览馆、体育馆和剧院会场等建筑物，规模越来越大。比较著名的有：北京工人体育馆，1961年建成，屋盖采用了圆形双层悬索结构，直径达94米，容纳一万五千观众。1967年建成的首都体育馆，屋盖采用了平板网架结构，跨度达99米，可容纳一万五千观众。1973年建成的上海体育馆，屋盖采用了圆形平板网架结构，直径达110米等。

在经济建设中，随着工业建设的不断发展，特别是在造船工业和航空工业中，大跨度厂房结构也得到了采用，例如造船厂的船体结构车间，飞机制造厂的总装车间以及飞机库和一些大型停车场等建筑物。

在大跨度屋盖结构中，几乎采用了所有的结构体系，如梁式体系、框架式体系和拱式体系。

梁式体系属于静定结构体系，计算、构造和施工都比较简便，但只适用于跨度不太大的建筑物。当跨度过大时，经济效果就很低。

框架式体系是大跨度工业厂房中采用最多的一种结构型式，它比梁式体系经济，可以做到较大的跨度。国外也有做到150米左右跨度的实例。

采用梁式或框架式体系时，建筑物内部形成矩形空间，因而特别适用于工业厂房。

拱式体系受力比较合理（ $L \geq 80$ 米），因而经济效果较上述两种体系好。不过，建筑物内部不能形成矩形空间，这对工业厂房来说并不合适，只在一些成品仓库中采用，如大型化肥厂的成品转运仓库等。这种结构体系主要用在公共建筑物中，例如五十年代建造的一些体育馆。

上述梁式、框架式和拱式屋盖体系都属于平面结构体系，各个平面结构由一些强度不大的纵向构件连接起来，如檩条或大型屋面板等。屋面上的荷载经这些屋面构件层层传递到主要承重结构（横梁、框架及拱）上。这类结构体系显然是不够经济的，因为屋盖结构中的构件只起了重复传递荷载的作用，不能分担主要承重结构所受的荷载。如果采用空间结构，就能克服上述缺点。

所谓空间结构体系，就是加强结构中的纵向连系，使它和横向构件组成一个屋盖结构整体，几个方向的构件在屋面荷载作用下共同受力。既取消了不必要的荷载层层重复传递，又能使内力在屋盖结构中比较均匀。因此，这类结构体系不但经济性好，而且整体刚度大，抗震性能也很好。

在大跨房屋钢结构中,采用最普遍的空间结构是悬索结构和平板网架结构。在悬索结构中,由于主要承重构件采用了高强度钢丝束或钢绞线,可以达到很大的跨度,而结构自重却最轻。平板网架结构是由很多杆件从两个或几个方向有规律地组成的空间结构体系,可以承受来自各个方向的荷载。不论悬索结构和平板网架结构,都很易做成各种所需的平面形状,充分满足使用及建筑造型的要求。由于这些结构体系受力合理,比梁式、框架式和拱式等平面结构体系优点多,因而用途更为广泛。不过,空间结构体系都属于高次超静定结构,计算极为繁琐,在计算机技术尚未出现之前,只能采用粗糙的近似计算方法进行设计。这就限制了它们的推广和向大跨度的领域发展。近年来,由于计算机技术的显著成就,计算的困难迎刃而解,因而也就为大跨度空间结构体系的迅速推广采用创造了条件。在我国到目前止,悬索结构采用得虽还不多,但网架结构却得到了极为广泛的应用,已建成的各种网架屋盖的建筑物已不下二三百个。而且,不但在各种公共民用建筑物的屋盖中应用,还开始在一些中小型工业厂房中应用。可以预期,空间结构体系是大跨房屋钢结构的发展方向。应该不断地创造新的更合理的结构形式,进一步完善其结构体系、设计方法、构造方法和施工方法等,从而促使这类结构向更新的领域发展。

大跨结构的主要问题是减轻结构自重,因而最宜采用钢结构。

采用高强度钢材以及采用预应力钢结构,都是减轻结构自重、节约钢材的有效方法,设计时应根据具体情况进行处理。

为了节约钢材,在大跨屋盖中,应尽量采用各种轻屋面材料,如泡沫混凝土板、压型钢板或铝合金板等,保护层亦应采用轻质高效能材料。

第一章 平面结构

第一节 梁式体系的特点和用途

一、梁式屋盖的布置

在大跨度屋盖结构中,梁式体系都采用简支桁架的形式,它的优点是对支座没有横推力。

当屋盖支承在周围的墙上时,根据跨度的大小不同,梁式屋盖的布置分简单式和复杂式两种(图1-1 a 及 b)。因为梁的跨度较大时,作用于其上的荷载也应较大,才能取得经济合理的结果。

简单式的屋盖布置由屋架和檩条组成(图1-1 a)。梁式大跨度屋盖的跨度总在40米以上,因而屋架间距以大于6米才比较合理,檩条也都应采用格构式的或下撑式的。

当屋架跨度超过50~60米时,屋架间距比上述更应加大些。而且,桁架的高度一般应取跨度的 $1/6 \sim 1/8$,这时将使桁架的节间较大,不能适应屋面和吊顶结构的要求。因此,宜采用复杂式布置,由屋架、主檩条和檩条组成(图1-1 b)。主檩条宜采用格构式的,檩条则可采用槽钢檩,使制造和安装较为方便。

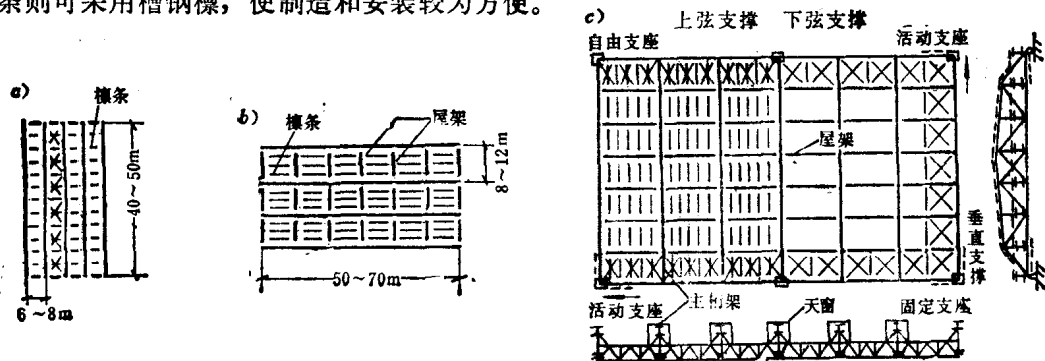


图 1-1

当屋盖支承在相距较远的柱上时,屋盖布置应采用复杂式布置原则,由托架(屋架梁)、主桁架、屋架及檩条组成(或直接铺大型屋面板)。托架支承着主桁架,主桁架支承着屋架,而屋架承受檩条传来的屋面荷载,如图1-1 c 所示。

为了解决采光问题,可以把屋面设在比主桁架上弦低的位置,利用主桁架露出的上弦部分设置天窗。

由于支承点少,这种屋盖结构应特别重视整体刚度,应在下弦平面内沿周边设置支撑,形成一个封闭形的刚性盘体。同时,为了防止由于温度变化时,屋盖对柱产生不利的推力起见,四角支座只能有一个做成固定支座,位于固定支座垂直方向的两个角支座做成定向活动支座,处于对角位置的第四个角支座及中间支座都应做成自由支座,如图1-1 c 所示。

二、屋架形式

在大跨度梁式屋盖中,采用实腹梁是不经济的,最常采用的是梯形屋架(图1-2a)。当采用陡坡屋面时,宜将下弦也向上升,以免屋架跨中高度太大,浪费材料,也不便于运输和施工(图1-2b)。图中c示下弦做成弧形的情况,这是适应屋内吊天棚装饰的需要。后两种形式的屋架对支座都将产生推力,如能加设一根下弦拉杆将是合理的。

当跨度较大时,这类普通屋架将显得很经济了。图1-3表示大跨度钢屋架采用预应力的情况。在屋架高度范围内,配置了高强度预应力构件(图1-3a),张拉后可使屋架获得与荷载引起的内力相反的内力,从而提高了屋架的承载力,减轻了结构自重。图1-3b表示屋架的跨度大,间距也应相应加大为24~30m,因此采用了带天窗的纵向桁架以代替普通的檩条构件。

近年来,在梁式大跨屋盖中,出现了一种空间桁架结构,采用两根上弦杆和一根下弦杆组成了三角形截面。由于上弦扩大了宽度,提高了稳定性,因而取得了良好的经济效果。广西南宁邕江体育馆的屋盖结构就采用了这类空间桁架,跨度为54m。北京部队某部礼堂也采用了这种结构,跨度50m。在国外,澳大利亚曾用在跨度为70m的屋盖结构中,南斯拉夫用到91m跨度,美国还用到96m跨度。可见这种结构具有较大的优越性,不但制造安装简便,而且也还经济合理。图1-3中的屋架就是采用三根钢管组成的这种空间桁架。

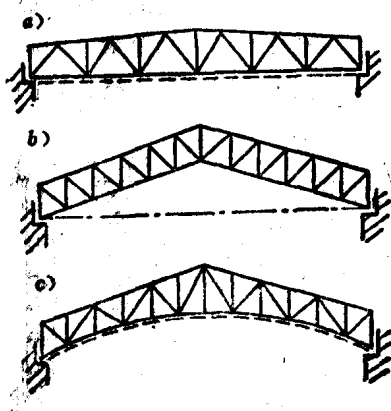


图 1-2

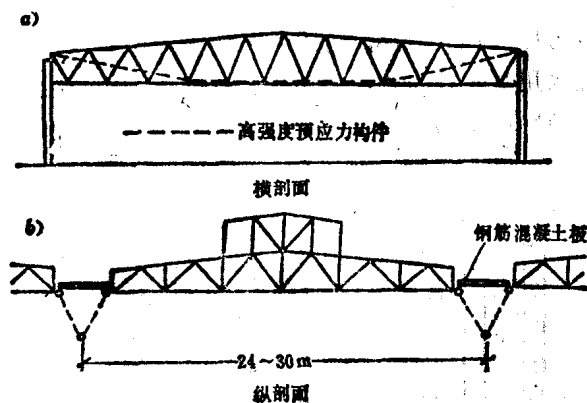


图 1-3

图1-4表示哈尔滨市建筑设计院设计、1982年建成的哈尔滨滑冰馆采用的空间桁架结构,跨度66m,高度5.5m,约为跨度的十一分之一。荷载 $q=250\text{kg/m}^2$ (2.5kN/m^2) (包括结构自重)。上弦找坡4.7%。设计荷载时,

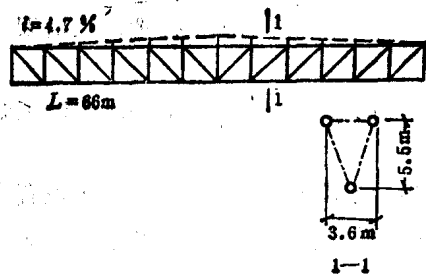


图 1-4

跨中挠度约 $\frac{1}{450}L$ 。一个桁架约重25t。采用这种结构的优点是:屋盖刚度大,节省支撑,构件小,吊装稳定,钢材用量不大。此桁架吊装前进行了加载试验,试验荷载达设计荷载的1.4倍,结构属弹性工作,安全可靠。

在大跨度工业厂房结构中,经常设有悬挂式吊车。这类吊车的吊车梁(轨道)都连接在屋架的下

弦节点处。图1-5表示悬挂吊车的吊车梁和屋架下弦节点连接的情况。吊车梁沿车间纵向布置。其连接构造是将屋架下弦节点板向下伸长，在节点板上焊有倒T形板，吊车梁用螺栓和T形板相连。

大跨度屋架和支座的连接，应该允许由于屋架挠曲而产生的位移；否则，屋架在荷载作用下及温度变化时都会对支座产生很大的水平力，这对支座很不利。因此，屋架一端可以采用通常的平板式支座，而另一端应该采用滚轴式支座，允许支座顺屋架方向产生滑移，如图1-6所示。在图1-1的屋盖体系中，固定支座采用一般的平板式支座，用锚栓固定；活动支座即滚轴式支座，允许节点顺指定方向滑动；而其它支座都采用球形支座，允许节点向任意方向滑动。

当采用滚轴式支座时，滚轴尺寸应按式计算：

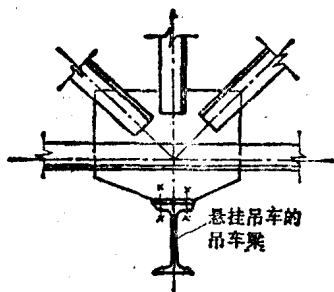


图 1-5

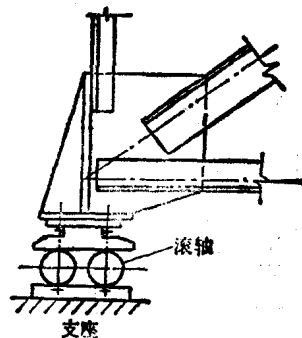


图 1-6

$$\sigma = \frac{25V}{ndl} < f \quad (1-1)$$

式中 V —— 支座反力，
 n —— 滚轴数，
 d —— 滚轴直径，
 l —— 滚轴受力部分的长度，
 f —— 材料的抗压设计强度。

三、用途

梁式体系可用于跨度为40到60m左右的工业和民用建筑物中，更大的跨度由于耗钢量过大而不经济。近年来出现了空间桁架结构，使用范围才得以扩大。

第二节 框架式体系的特点和用途

一、框架式屋盖的用途和布置

和梁式体系相比，框架式体系比较经济，且横梁高度较小，刚度也较大。这种体系主要用于工业建筑物中。

在框架式屋盖体系中可以采用不同的布置方法，有横向框架、纵向框架和纵横双向框架等三种。

1. 横向框架布置

和一般厂房结构类似，采用横向平面框架做主要承重结构，上面设檩条(图1-7b)

但当跨度大于60m时,为了使框架受力合理,应把框架间距增大,这时屋盖结构变成了复杂式布置,由纵、横向双层檩条构成(图1-7 c)。也有采用成对框架的布置方法,一对相距6~8m的框架,设置了支撑体系组成较刚强的整体;而把每对框架之间的距离加大,如图1-7 d所示。这种布置方法便于在纵墙设置大门。

2. 纵向框架布置

当建筑物比较短时,采用纵向框架显得特别有利。纵向框架都为多跨连续框架,各跨的跨度都较小,因而很经济。以纵向连续框架为主要承重结构,向一侧或两侧设置悬伸屋盖结构,如图1-8所示。

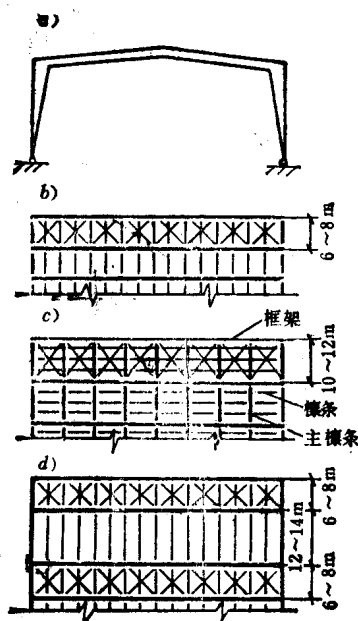


图 1-7

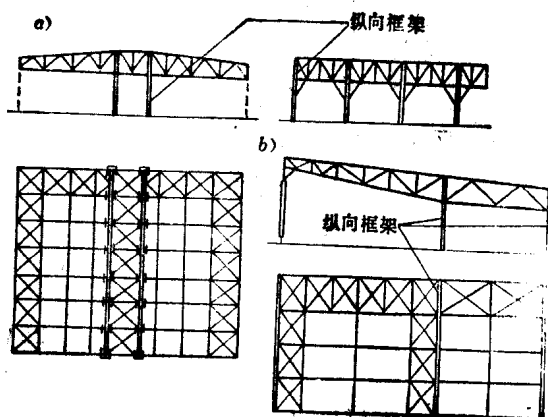


图 1-8

这种布置方法特别适用于飞机库和汽车库,因一侧或两侧都可以敞开,且没有柱子,便于飞机(汽车)的存放和进出。在两排纵向框架之间,可以设置一些辅助车间或设施。

这种布置的缺点是,悬伸屋盖结构的刚度比较小,设计时应予重视。特别是当纵向墙处需设置连续大门时,更应加强悬臂结构的刚度,减小悬臂端的挠度,以免压挤大门,妨碍大门启闭。

3. 双向框架布置

框架间距常由建筑物的用途决定,有时根据建筑物使用的要求定得足够大时,可采用在支座平面内布置横向和纵向框架的双向框架方案。这时,屋盖结构属于复杂式布置,由主檩条和檩条组成,如图1-9所示。

这种布置方法的优点是,建筑物纵向和横向的刚度都较大,便于在任何方向设大门。缺点是构造比较复杂。因而,用得并不多。

二、框架的型式

框架分实腹式和格构式两种。前者用于跨度不很大

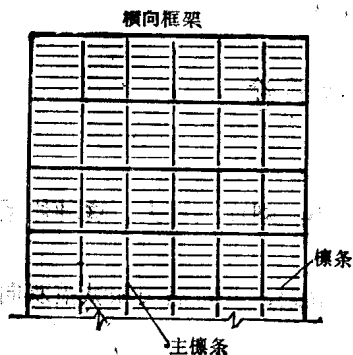


图 1-9

($L=50\sim60\text{m}$) 的车站、展览馆及车库中, 结构外露, 比较美观, 且制造和安装也比较简便。实腹式框架常设计成双铰的, 虽然支座的铰接性增加了安装的困难, 但却大大减轻了基础的负担, 简化了支座结构。

横梁高度一般取 $L/12\sim L/20$, 这显得太大, 费材料, 且也给运输带来困难。因而, 应设法减小横梁的跨中弯矩。通常都在支座铰的水平面内设置拉杆, 并施加预应力, 对框架横梁产生卸荷力矩, 从而可以降低横梁的高度 (可取 $L/30\sim L/40$); 由于拉杆承受了框架的横推力, 对支座和基础有利, 如图1-10所示。也可在横梁位置设置高强度构件, 施加预应力, 以减小横梁的跨中弯矩, 如图1-11所示。

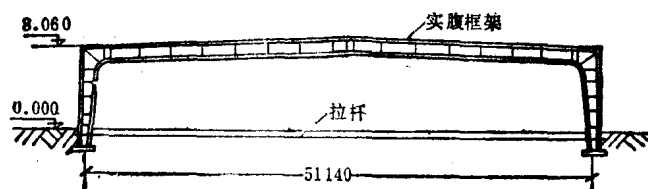


图 1-10



图 1-11

实腹式框架设置天窗也比较方便, 可以采用纵向天窗, 也可以采用横向天窗。

当跨度较大时, 实腹式框架显得不经济, 这时应采用格构式框架。格构式框架常用双铰式, 如图1-12 a; 但当跨度超过一百米时, 宜采用无铰式框架 (图1-12 b)。

采用双铰式框架时, 也可在支座水平面内设置拉杆, 起卸荷作用。无铰式框架虽然支座和基础较复杂, 但横梁的跨中弯矩却大为减小, 刚度也较大, 因而特别适宜于跨度大的建筑物。不过必须考虑温度应力。

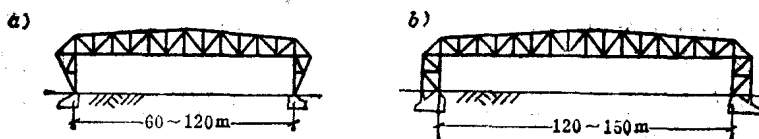


图 1-12

格构式框架支柱宽度一般与横梁的节间相同 ($5\sim7\text{m}$), 可以较多地对横梁起卸荷作用。

为了简化静力计算, 当格构式框架的跨度不大时, 可以取换算刚度, 把格构式框架当作实腹式框架求解内力。但当跨度较大时, 宜按杆件体系的多次超静定体系求解内力。关于横梁挠度的计算。只须计算活荷载引起的挠度, 因为恒载引起的挠度, 可采取起拱的办法来消除。对于跨度超过50m而高度又不大的无铰式框架 ($H<10\sim15\text{m}$), 应计算温度应力。

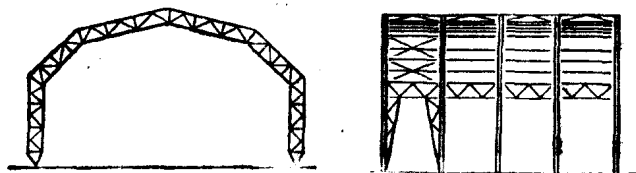


图 1-13

图1-13示一种折线弓形框架, 这种框架的特点是高度相对地较大, 接近于拱式结构, 可用于展览馆、车站或商场等建筑物中 ($L=40\sim 50\text{m}$, 而 $H=15\sim 20\text{m}$)。由于高度相对较大, 因而风荷载是主要的。这类框架属于轻型桁架体系, 横梁高度和柱子宽度皆取 $L/15\sim L/25$, 因而可以做成标准段拼装而成, 利于制造和安装。

三、构造特点

在双铰框架结构中, 为了减小横梁中部的弯矩, 除在支座铰处设置水平拉杆外, 可把纵向墙挂在框架柱的外肢处, 利用墙身重量起卸荷作用, 如图1-14 a 所示。还可以把铰支座做成偏心, 使垂直支反力形成卸荷力矩, 如图1-14 b 所示。

框架体系的支撑布置原则和厂房结构中一样。但应注意负弯矩处框架部分的稳定问题, 通常都利用檩条, 加设斜撑, 以保证框架下弦的平面外稳定 (图1-15)。即使采用实腹式框架时, 也应采用这种构造方法来保证实腹梁的平面外稳定。

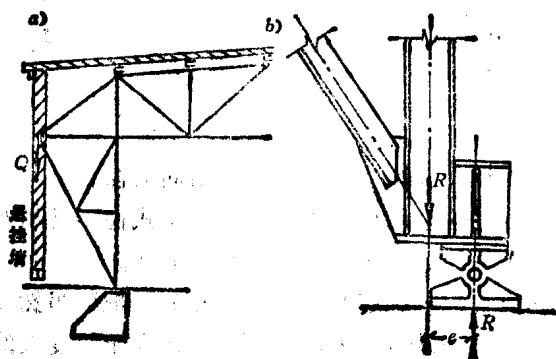


图 1-14

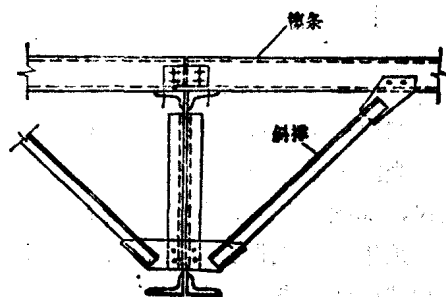


图 1-15

实腹式框架的构件常采用焊接工字形截面, 属于压弯构件。当系双铰式框架时, 柱应为变截面, 向着支座方向逐渐减小截面高度, 以适应内力的变化。在这类框架中, 在横梁和柱的过渡处, 因负弯矩很大, 应特别注意受压翼缘的平面外稳定和腹板的局部稳定。除按上述加设支撑外, 还应设置必要的加劲肋或做成圆弧过渡 (图1-16)。后者的做法是: 将横梁的翼缘弯成圆弧, 直接过渡为柱的翼缘, 以减小应力集中。

转角处的内力比较复杂, 在弯矩和压力作用下, 处于复杂应力状态。存在着径向应力 σ_r 和切向应力 σ_t , 径向应力将使内翼缘板受弯曲, 因而必须设置一定数量的加劲肋, 如图1-16a 中所示。距中和轴为 y 处的切向应力 (正应力) 按下式确定:

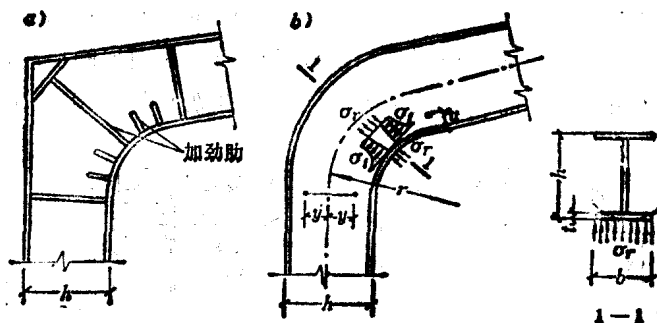


图 1-16

$$\sigma_t = \frac{N}{A} + \frac{M}{Ar} + \frac{M}{Z} y \left(\frac{r}{r+y} \right) \quad (1-2)$$

式中 N 和 M ——分别是框架转角处的轴向力和弯矩,

r ——转角半径,

A ——剖面 I-I 的截面面积,

$Z = \int_A \frac{ry^2}{r+y} dA$ ——曲线段的惯性矩。

径向应力为,

$$\sigma_r = \int_0^u \frac{\sigma_t}{r} du \quad (1-3)$$

式中 u ——节点内缘到计算处的距离。

此径向应力作用于内翼缘板的整个宽度 b 上, 在内翼缘板与腹板连接处引起的弯矩为,

$$M_1 = \frac{\sigma_r b^2}{8} = \frac{\sigma_t}{r} t \frac{b^2}{8},$$

由此得内翼缘板与腹板连接处的径向应力,

$$\sigma_r = \frac{6M_1}{t^2} = \frac{3}{4} \cdot \frac{\sigma_t}{r} \cdot \frac{b^2}{t} \quad (1-4)$$

该处的剪应力为: $\tau = 1.5 \sigma_t \frac{b}{r}$ (1-5)

因此, 对内翼缘板与腹板连接处应验算折算应力:

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_r^2 - \sigma_t \sigma_r + 3\tau^2} \leq \beta f \quad (1-6)$$

式中 f ——钢材的设计强度,

β ——系数。当 σ_t 与 σ_r 异号时, 取 1.2; 当 σ_t 与 σ_r 同号时, 取 1.1。

图 1-17 表示格构式框架中横梁和柱连接处的构造。比较合理的构造是在转角范围内作成实腹式并加加劲杆, 内侧弦杆做成曲线过渡, 如图 1-17b 所示。安装节点宜设在转角节点的范围以外 (图 1-17a) 接近于弯矩为零处。

框架支座铰的形式取决于支座反力的大小。当支反力不大 ($100t [980kN]$) 时, 宜设计成板式铰, 如图 1-18 所示。而当支反力较大, 超过 $100t(980kN)$ 时, 则应采用白式铰

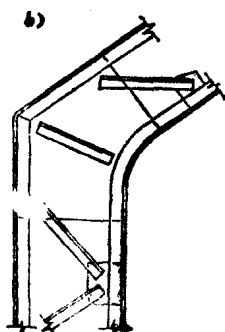
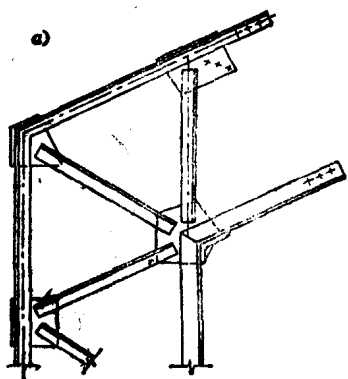


图 1-17

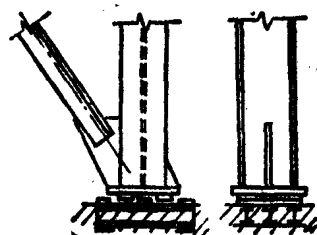


图 1-18

或平衡式铰，如图1-19所示，显然它们的构造都比板式铰复杂些，但受力性能好些。

在板式铰中（图1-18），带弧形的支座板应按下式计算强度：

$$\sigma = \frac{25V}{2rl} \leq f \quad (1-7)$$

式中 V ——全部支反力；

r ——弧形板凸面的半径；

l ——弧形板的长度；

f ——钢材的抗压设计强度。

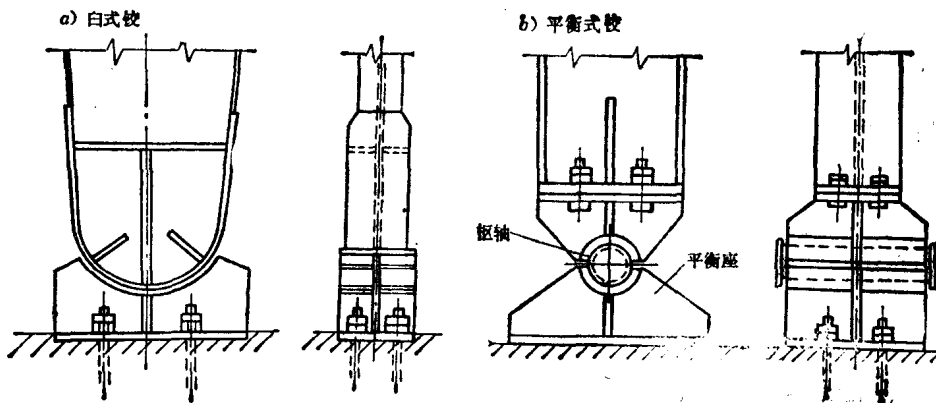


图 1-19

在平衡式铰支座中，框架的全部支反力 V 经由圆柱形枢轴、平衡座传给基础。

平衡座的受力状态如图1-20a所示，假设基础反力均匀分布，按悬臂梁受弯计算：

$$M = \frac{V}{2} \cdot \frac{a}{4} = \frac{Va}{8},$$

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq f \quad (1-8)$$

式中 a ——平衡座的长度；

W ——平衡座中部截面的抵抗矩；

f ——钢材的抗弯设计强度，当采用钢铸件时，为钢铸件的抗弯设计强度。

圆柱形枢轴的受力状态如图1-20b所示。假设平衡座的挤压反力在 $\pi/4$ 的范围内非均匀分布，由平衡条件：

$$V = 2l \int_0^{\pi/4} \sigma \cos^2 \phi r d\phi$$

由此得：

$$\sigma_{\max} = \frac{1.6V}{ld} \leq \frac{f}{1.25},$$

$$\sigma_{\max} = \frac{2V}{ld} \leq f$$

(1-9)

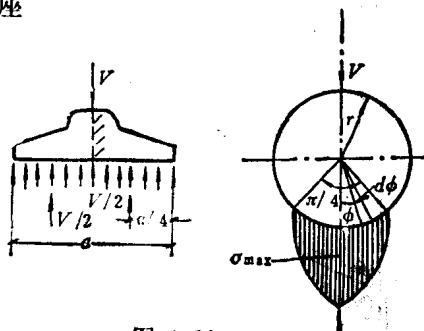


图 1-20

式中 l ——枢轴受挤压的长度；

d ——枢轴的直径；

f ——钢材的抗压设计强度；式中1.25是钢材受挤压时，和抗压强度的换算系数。

第三节 拱式体系的特点和用途

一、拱式屋盖的用途和布置

拱式屋盖，因外形比较美观，主要用在一些民用公共建筑物中，如展览馆、体育馆、商场等，但有时也用在飞机库和一些仓库建筑中。

拱式屋盖受力合理，比梁式屋盖和框架式屋盖经济，当跨度超过 80~100m 时，经济效果尤为显著。

拱式屋盖由主要承重构件（拱）和一些纵向构件组成，布置原则和框架式体系相似。

当跨度为 40~60m 时，拱的间距可取 6~10m。这时，可采用型钢檩，有时也可采用无檩设计。

拱的弦杆主要受压，因而必须设置横向支撑来保证稳定。横向支撑都设在上弦杆的平面内，对于下弦杆的稳定可以由檩条上加设斜撑来保证（图 1-15），也可采用和拱等高的桁架式檩条来保证（图 1-22）。为了增加结构的纵向刚度，并传递作用于端墙上的风荷载，还应设置纵向支撑，将横向支撑连系起来，如图 1-21 所示。

为了提高拱的稳定性、简化安装工作并减小横向支撑的尺寸起见，当拱的跨度达 100m 左右或更大时，宜采用相距 3~6m 的成对拱用支撑连成一刚性的区段。每对拱的间距取 9~15m 左右，如图 1-22 所示。

当需要设置天窗进行采光时，应设在拱的侧部较陡的部分，但这种窗户难以开启，且易于积灰，需经常洗刷。当采用成对拱时，也可把檩条设置在拱的下弦处，构成横向天窗，利用拱的高度范围进行采光，如图 1-23 所示。

二、拱的形式和计算特点

拱的形式分双铰拱、三铰拱和无铰拱等。应用最普遍的是双铰拱，优点是安装和制造简单，用料较经济，在温度变化时，由于铰处可以转动，因而温度应力也较低（图 1-24 a）。

三铰拱用得并不广泛，主要是由于跨中存在拱铰，造成拱及

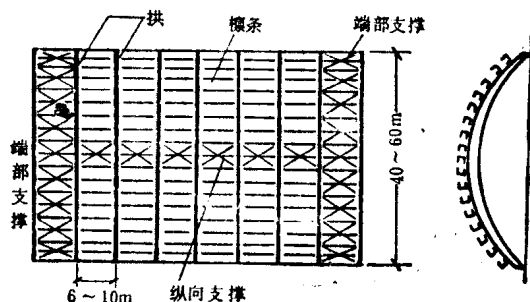


图 1-21

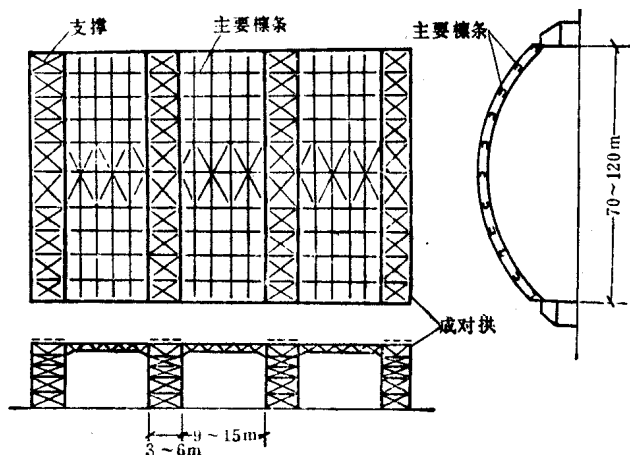


图 1-22