

空间钢结构设计与施工

张荣山 编著

中国石化出版社

空间钢结构设计与施工

张荣山 编著



中国石化出版社

内 容 提 要

笔者根据多年的设计工作经验,从我国的国情出发,并吸收了国内外的一些最新技术成果,详细地介绍了折式钢屋架、钢管空间梭形屋架、人字形折式钢屋架、带式输送机栈桥轻钢空间结构和三角形截面钢管空间桁架的设计与施工问题,对每种结构都有工程实例,并编制有选用图表。

本书可供从事工业与民用建筑的建筑结构工程设计、施工、基建、科研等人员,以及有关高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

空间钢结构设计与施工/张荣山编著.
—北京:中国石化出版社,2001
ISBN 7-80164-141-8

I. 空… II. 张… III. ①钢结构—结构设计
②钢结构—工程施工 IV. TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 067279 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84289972

<http://press.sinopec.com.cn>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 32 开本 6 印张 3 插页 138 千字 印 1—3000

2001 年 10 月第 1 版 2001 年 10 月第 1 次印刷

定价:12.00 元

前 言

在我国改革开放二十多年来,笔者与同仁们一起,先后设计了一些新型的空间结构体系。这些结构已广泛地应用于石油化工、机械加工等工业建筑,影剧院、农贸市场、大会议厅等公共建筑和其他一些构筑物的工程中,收到了良好的社会和经济效益。其中有的成果获得了部级科技进步奖和建设部的重要科技成果推广项目。这些结构在多年的实践过程中,在设计和施工等方面都不断地得到改进和发展。为了满足广大工程技术人员的要求,促进工程技术的交流,在吸收了国内外的一些最新技术成果基础上,对这些新结构体系进行了系统的总结和提高,编写了本书。本书的出版,必将使这些结构得到进一步的发展和推广应用,而且对推动空间结构的发展也必将起到一定的作用。

空间结构具有杆件受力合理,整体性和稳定性好,空间刚度大,抗震性能好,造型美观等优点。然而,空间结构一般来说,制作、安装、连接等方面比平面结构体系要复杂得多,工程造价高。就一般平板网架结构而言,比平面钢屋架体系造价高出 70% 左右,其中制作(包括材质)费用高 40% 左右,安装和拼装费用高 30% 左右。由此可见,对设计工作者来说,所设计的空间结构体系,如何保持和发展空间结构体系的优点,克服它的缺点,对空间结构的推广使用,取得良好的效益具有重要意义。本书所介绍的空间结构体系,发扬了空间结构体系的突出优点,而对它的弊病进行了革除,使得制

做、连接简单化，安装和拼装灵活方便，因此减少了用钢量，降低了造价。

钢管包括无缝钢管和焊接钢管。钢管截面刚度大，受力性能好，易于防腐，耐久性能好。把钢管用作受力杆件比较合理，尤其是近年来，钢材焊接技术有了迅速的发展，特别是自动切割机的应用，使钢管节点可以直接焊接而不需要节点板，同时节点强度计算理论和方法在国内外日趋成熟。本书所介绍的空间结构杆件，除一部分采用普通角钢外，大部分采用了钢管，充分利用受力性能好的管材，大大降低了用钢量。例如，一个屋盖为 24.0m 跨度的钢管空间梭形屋架体系，用钢量仅 10kg/m^2 左右(包括构造系杆)。而且就一般钢结构来说，可以采用焊接钢管，焊接钢管与普通角钢的价格相差不大，如采用焊接钢管它的经济效益就更明显了。

本书对每种空间结构，都有工程实例，使读者更好的掌握设计的全过程。同时编制了一些结构造型图表，可使设计工作者省去主要计算工作量以及提供了结构的布置图，并参照工程实例很快就能完成施工图。

在编写本书过程中，徐至钧总工程师给予了指导和帮助，王冬和李佩林工程师帮助完成了计算工作，在此一并致谢。

限于作者技术水平，书中不妥甚至错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

第一章 折式钢屋架的设计、试验与施工·····	(1)
第一节 设计·····	(3)
第二节 试验·····	(10)
第三节 吊装方法·····	(14)
第四节 工程实例·····	(17)
第五节 折式钢屋架杆件内力计算和选用图表 ···	(32)
第二章 钢管空间梭形屋架的设计·····	(43)
第一节 钢管梭形屋架外形尺寸的确定原则·····	(44)
第二节 构造要点·····	(47)
第三节 简化计算方法·····	(56)
第四节 工程实例·····	(64)
第五节 钢管梭形屋架杆件内力选用图表·····	(73)
第三章 人字形折式钢屋架的设计与施工·····	(86)
第一节 设计·····	(87)
第二节 施工·····	(94)
第三节 工程实例·····	(96)
第四章 带式输送机栈桥轻钢空间结构设计·····	(107)
第一节 钢管空间桁架设计·····	(108)
第二节 钢管组合柱设计·····	(115)
第三节 通廊设计·····	(126)
第四节 工程实例·····	(129)
第五章 三角形截面钢管空间桁架设计·····	(140)

第一节 三角形截面钢管空间跨越桁架设计	(140)
第二节 三角形截面钢管空间屋架设计	(154)
参考文献	(165)
附录一 钢管的规格及截面特性	(166)
一、热轧无缝钢管的规格及截面特性	(166)
二、电焊钢管的规格及截面特性	(176)

第一章 折式钢屋架的设计、 试验与施工

所谓折式钢屋架是用型钢(角钢、钢管)做成的一种外形像折板的钢屋架(见示意图 1-1)。实际上它是把正放四角锥网架取消一个方向的上下弦(即取消网架长向的上下弦)而形成的一种空间结构。大家都知道,当屋盖长向与短向之比足够大时(例如之比大于或等于 2),网架在长向的上下弦受

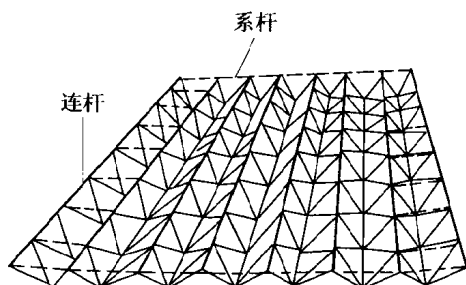


图 1-1 折式钢屋架示意图

力很小,此时这些杆件有时几乎成为多余杆件,在工程中,不管上下弦杆件受力大小,因压拉杆都要受容许长细比的限制,其截面又不能太小,因此必然造成一定的浪费。把正放四角锥网架一个方向的上下弦取消后形成的结构,不仅是减少了一些杆件,而且在杆件连接、制作和吊装等等方面发生了很大的变化,将比一般空间结构简便灵活的多。它的杆件

排列整齐、轻巧、新颖和美观。这种结构同样改变了一般平面桁架的受力体系，所以杆件既是受力构件又能互相起支撑作用，能承受各个方向的荷载。综合经济指标良好。例如某工程 24m 跨度的折式钢屋架，屋面标准荷载为 2.2kN/m^2 ，用钢量仅 16kg/m^2 （钢材是一般的角钢），与国家标准图平面结构体系相比，节约钢材 20%，屋面板平均厚度 37mm/m^2 ，节约砼 30%，钢筋用量 3.82kg/m^2 ，节约钢筋 14%，可见有明显的经济效益。这种结构体系为建设部 1992 年科技成果重点推广项目。

这种新型的空间结构问世以来，在石油化工厂生产厂房屋盖、仓库屋盖，一些会议室、俱乐部、展览厅等公共建筑的屋盖都得到了广泛的应用，图 1-2 为某厂房屋盖的内部。

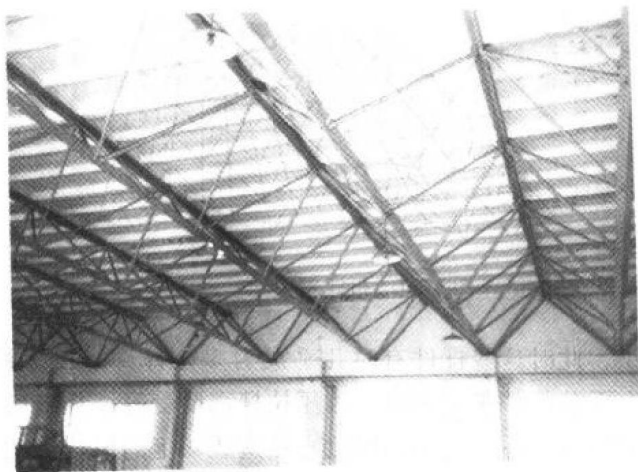


图 1-2 厂房屋盖内部

仅天津乙烯工程的控制室、原料设备库、餐厅、汽车库等就应用了 1.3 万多平方米。它的应用,为选择狭长矩形平面屋盖的合理结构形式提供了一个途径。

第一节 设 计

一、外形尺寸的确定

图 1-3 为一般的折式钢屋架布置图,屋架高度 h 可根据房屋跨度大小、屋面材料、悬挂荷载状况和建筑功能等诸多因素综合确定,对有保温层的钢筋砼槽形板和卷材防水的屋盖而言,可取 $h/L = 1/12 \sim 1/16$,例如乙烯工程一些房屋为钢筋砼屋面,高跨比多为 $1/13 \sim 1/14$,而某农贸市场 24m 跨度钢筋砼屋面板和玻璃采光带各一半,屋面荷载相对较小,取了 $h/L = 1/15$ 。如果采用压型钢板等轻型屋面材料,可取 $h/L = 1/15 \sim 1/20$ 。两端支承在柱顶的连系梁上或在墙体顶圈梁上,波宽 B_1 与厂房纵向柱网尺寸、上下弦与腹杆的连接方式等有关系,当厂房纵向长度确定后,通常取 $\alpha = 35^\circ \sim 55^\circ$,经排列就可确定出 B_1 的尺寸。在横向节间距离 B_2 ,一般取 $B_2 \approx B_1$ 。在边单元的半个波宽 B_3 一般可不是 $B_1/2$,要根据具体工程而定。

在折式钢屋架边单元(包括伸缩缝处)的上弦(沿横向)设置水平连杆(压杆),以保证整体的稳定性,在上弦的两端沿纵向各增设一道系杆(见图 1-1 和图 1-3),屋架上弦与预制钢筋砼屋面板焊接后更加强了整个屋盖的整体性和稳定性,空间刚度大,能很好地传递各个方向的荷载。

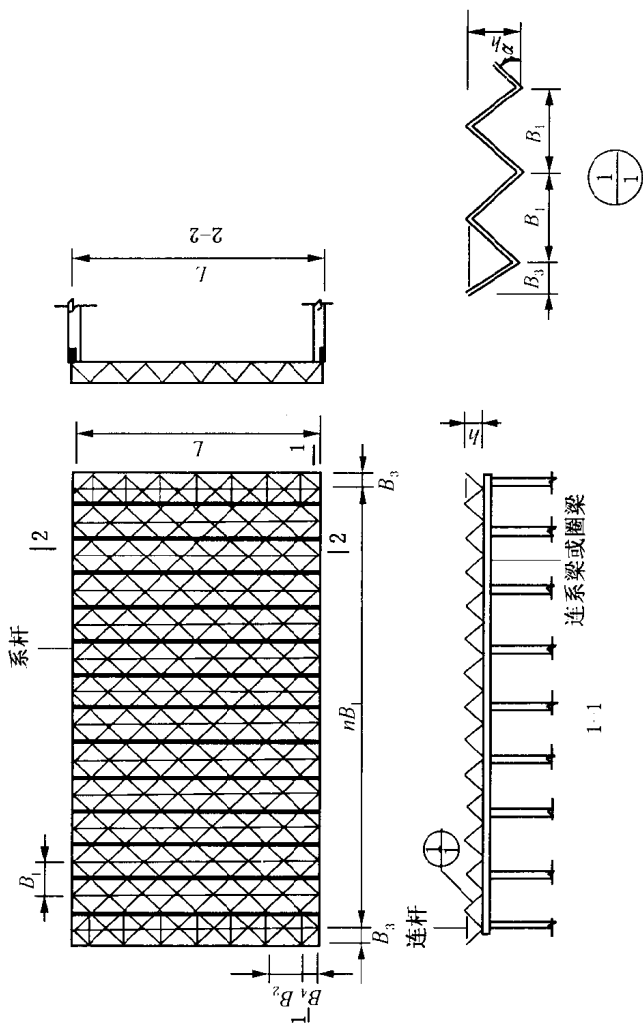


图 1-3 折式钢屋架布置图

二、杆件材料选型和主要构造特点

杆件材料选型和腹杆与弦杆的连接主要有以下五种形式：

(1) 上下弦为角钢，腹杆为钢管。钢管两端先用钢板焊接封死，再切口插入上下弦角钢的肢上焊接，如图1-4和图1-5所示，这样勿需连接板，既简化了节点连接，又节省了钢材。上弦连接板仅在节点处设置，上弦也可用通长的钢筋连接(详见后面的工程实例)。下弦连接板(也可用短钢筋)在节点处和节点之间各设置一个。上弦两角钢之间的拼接如图1-6所示，在节点处用钢板连接，节点之间焊 $\phi 10$ 钢筋(间断焊)，而后灌 C25 细石砼，这样做一则使两个上弦角钢能更好地协同工作和浇灌砼时避免漏浆，二则上弦两角钢的上部浇灌满砼防止了这部分的锈蚀，如果不灌砼，屋面板安装后，这部分将无法再刷防腐漆。上弦设置节点板，一是用于连接屋面板，二是为了连接吊装时的临时支撑。

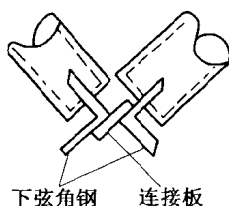
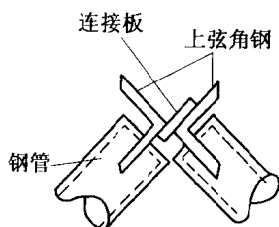


图 1-4 钢管腹杆与上弦连接图 图 1-5 钢管腹杆与下弦连接图

(2) 上弦为双角钢，腹杆为钢管，下弦是单角钢。腹杆钢管与上弦杆的连接完全同图1-4和图1-6，不同的是下弦为单角钢，构造更简单，见图1-7，下弦单角钢用于跨度较小的屋架，此时 $\alpha = 45^\circ$ 。

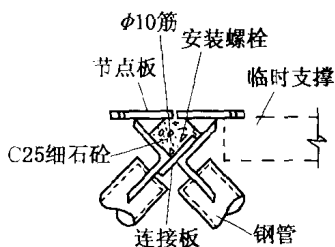


图 1-6 拼装连接图

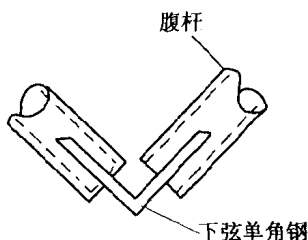


图 1-7 钢管腹杆与下弦单角钢连接图

(3) 上弦和腹杆为钢管，下弦为双角钢。腹杆钢管与上弦钢管直接焊接，不需要节点板，腹杆与下弦的连接同图 1-5。这种形式连接也简单，上弦受力更合理，用钢量更少连接图见图 1-8，在节点上焊槽钢 [10]，用以连接屋面板。这种上弦连接方法的节点强度计算和构造要点等，参照第二章详细的介绍。

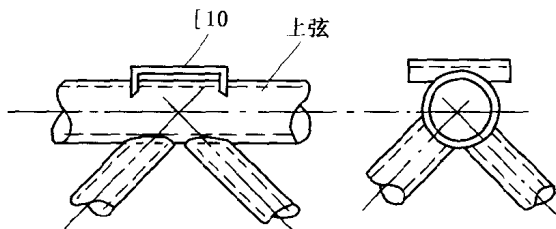


图 1-8 钢管腹杆与钢管上弦连接图

(4) 弦杆与腹杆皆为角钢。一般受压腹杆用双角钢，受拉腹杆为单角钢，腹杆也直接焊在上下弦角钢的肢上，也省去了节点板。某农贸市场 24m 跨度的折式钢屋架是采用全

角钢的形式。

(5) 下弦与腹杆为钢管，上弦为双角钢。腹杆钢管与上弦角钢的连接同图 1-4 和 1-6，腹杆与下弦钢管的连接参照图 1-8。

综合上述五种形式，第 1, 2 两种形式目前采用的最多，而第 4 种形式连接较麻烦，抗腐蚀性能和一般钢屋架差不多，因此用之较少，不过，由于所用材料全是普通角钢，其造价较低。

钢结构构件和杆件形式，对结构或杆件的腐蚀速度有重大影响。普通钢屋架用两个角钢组成的截面，由于两角钢之间的缝隙无法进行防腐维护，因此抗腐蚀性能很差。而折式钢屋架由两个角钢组成的 $><$ 形截面不存在无法进行防护和腐蚀集中点的缝隙，因此抗腐蚀性能较好。

在节点处如发生腹杆钢管壁之间缝隙过小或相碰时，需要在钢管端做成坡度小于 1:4 的缩径，见图 1-9。由于屋架端部弦杆受力较小，选择的角钢相对的小(角钢肢短)，而腹杆受力又较大，选择的钢管直径相对的大，因此，钢管需要缩径处理多在屋架端部节点处。

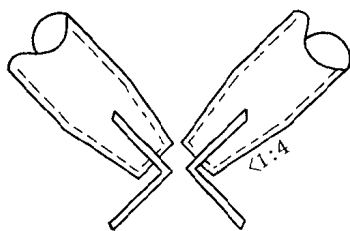


图 1-9 钢管端部缩径图

三、简化计算方法

1. 屋架内力简化计算

折式钢屋架是一种静定的空间结构，可以把节点上各个方向的荷载分解在平面桁架上进行分析，取出一个单元计算

内力和挠度，如图 1-10 所示。下弦节点荷载 p_1 分解为作用桁架平面内的两个分力 p_1' ，上弦节点荷载 p_2 分解为两个分力 p_2' ，取出一个高度为 H 的平面桁架在节点荷载 p_1' 和 p_2' 作用下计算杆件内力，见 A-A 面图。

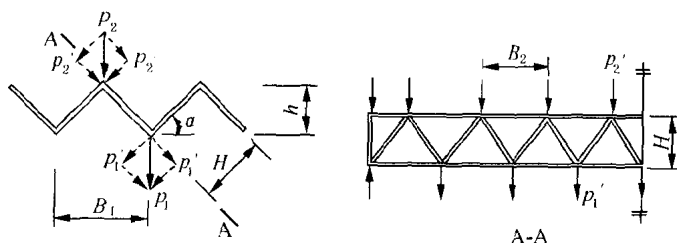


图 1-10 计算简图

$$p_2' = \frac{p_2}{2\sin\alpha} = \frac{p_2}{2} \times \frac{H}{h} \quad (1-1)$$

$$p_1' = \frac{p_1}{2} \times \frac{H}{h}$$

按通常的公式 $f = \sum \frac{\overline{N_K N_P}}{EA} l$ 来计算挠度。无特殊要求时，一般不必进行挠度计算，但当跨度大于或等于 24m 时，宜起拱，拱度约为跨度的 1/500。需要指出的是，按 A-A 图计算的上下弦内力和挠度值要乘以 2 才是上下弦真实的内力和挠度值。

2. 钢管与角钢肢连接焊缝简化计算

焊缝连接和一般钢结构基本相同。但钢管直接插入弦杆的肢上，角钢肢与钢管的连接焊缝为四条侧焊缝，如图 1-11 所示，其焊缝形式既不是直角角焊缝也不是斜角角焊缝，

而是一边为直角另一边为圆弧的角焊缝(图 1-12), 为简化计算起见, 可按直角角焊缝。钢管端部的焊缝(构造焊缝)通常不考虑参加工作。

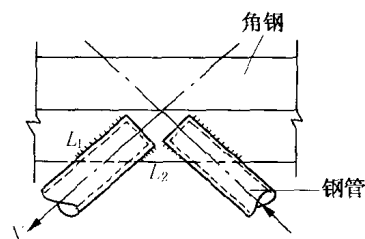


图 1-11 钢管与角钢
焊缝连接图

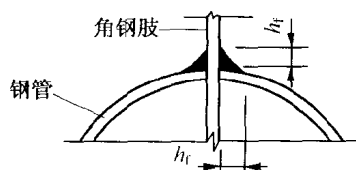


图 1-12 角钢肢与钢管连接
焊缝形式图

一旦钢管下料后, 钢管需要开口的长度就确定了, L_1 和 L_2 为焊缝长度, 开口长度分别为 $L_1 + 5$ 和 $L_2 + 5$ (单位 mm)。为使 L_1 和 L_2 焊缝的受力合力和钢管内力中心线相重合, 必须使 L_1 和 L_2 的焊缝受力相等, 为此 L_1 和 L_2 需要采取不同的焊脚尺寸, 而不是改变 L_1 或 L_2 的长度。于是

$$h_{1e} L_{1W} f_f^w = h_{2e} L_{2W} f_f^w \geq \frac{N}{4} \quad (1-2)$$

所以 L_1 和 L_2 的角焊缝有效厚度 h_{1e} 和 h_{2e} 分别为

$$h_{1e} \geq \frac{N}{L_{1W} f_f^w \times 4} \quad (1-3)$$

$$h_{2e} \geq \frac{N}{L_{2W} f_f^w \times 4} \quad (1-4)$$

式中 L_{1W} , L_{2W} ——分别为 L_1 和 L_2 角焊缝的计算长度,
 $L_{1W} = L_1 - 10$, $L_{2W} = L_2 - 10$, 单位为

mm。 L_1 和 L_2 的焊脚尺寸分别为

$$h_{1f} = \frac{h_{1e}}{0.7} \text{ 和 } h_{2f} = \frac{h_{2e}}{0.7};$$

f_t^w ——角焊缝的强度设计值。

如果需要加大焊脚尺寸时，也要根据两边焊缝受力相等
的原则(见式(1-2)) 满足下式(1-5)：

$$\frac{h_{2f}}{h_{1f}} = \frac{L_{1w}}{L_{2w}} \quad (1-5)$$

第二节 试 验^①

折式钢屋架是一种新型的空间结构，为了验证其简化计算方法的适用性，内力分布规律、整体刚度以及在制作安装中将会发生什么问题等，在现场对原型结构在均布竖向荷载作用下进行了试验。该原型结构为某农贸市场折式钢屋架，试验情况如下。

一、工程概况

该农贸市场中间大厅屋盖为 24m × 49.4m，采用折式钢屋架，屋架下弦高度 7m，跨度 24m，屋架高度 $h = 1.6\text{m}$ ， $B_1 = B_2 = 2.4\text{m}$ ， $H = 2.0\text{m}$ ，所有杆件全为角钢，屋面板为钢筋砼槽形板和钢丝玻璃(采光带)各一半，活荷载加永久荷载(标准值并包括屋架自重)为 2.20kN/m^2 。

二、试验方案和加荷方式

折式钢屋架可以说是由很多片平面桁架组成，试验时至

^① 本文试验是在河北工业大学魏文湘教授指导下完成的，参加试验的有郝春森、曲英华、王春明等工程师。