



钢结构设计系列丛书

轻型门式刚架

张其林 主编

山东科学技术出版社

www.lkj.com.cn

钢结构设计系列丛书

轻型门式刚架

张其林 主编



山东科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

轻型门式刚架/张其林主编. —济南: 山东科学技术出版社, 2004. 5

(钢结构设计系列丛书)

ISBN 7-5331-3615-2

I. 轻... II. 张... III. 门式框架-轻型钢结构-结构设计 IV. TU392.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 104516 号

钢结构设计系列丛书

轻型门式刚架

张其林 主编

出版者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路 16 号

邮编: 250002 电话: (0531)2065109

网址: www.lkj.com.cn

电子邮件: sdkj@jn-public.sd.cninfo.net

发行者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市玉函路 16 号

邮编: 250002 电话: (0531)2020432

印刷者: 山东新华印刷厂潍坊厂

地址: 潍坊市潍州路 753 号

邮编: 261041 电话: (0536)2116928

开本: 787mm × 1092mm 1/16

印张: 20.75

插页: 3

字数: 479 千

版次: 2004 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

印数: 1 - 4000

ISBN 7-5331-3615-2

TU·155

定价: 38.00 元

主 编：张其林
副主编：刘沈如
成 员：龚 铭
刘振华
于贵景

黄明鑫
罗晓群
吴 杰

钱卫军
张 莉
王忠全

前 言

现代钢结构体系由热轧截面、焊接截面和冷弯薄壁型钢截面构件组成。人们往往将钢结构划分为普通钢结构和轻型钢结构两大类。但是,究竟如何定义或区分这两类结构,却存在着很多不同的标准,例如,结构跨度的标准、结构层数的标准、结构用途的标准、吊车吨位的标准等,这些标准都有一定的合理性,但都是建立在结构体系外在因素或特征基础上的。事实上,轻型钢结构体系的本质是“轻”,实现这一本质的条件是截面板件要“薄”,设计时必然要考虑板件局部失稳后的极限强度。所以,从结构工作机理和设计计算原理的角度出发,轻型钢结构体系是指“结构构件采用较薄板件,设计时考虑板件局部失稳后的后继强度的钢结构体系”。

门式刚架是典型的轻型钢结构,也是目前国内应用最为广泛的轻型钢结构。近几年来,已有若干轻型门式刚架结构及薄壁型钢结构的设计规程规范编写出版^{[1]~[6]},有的经数年的应用和实践正在或已完成修订,也有一些轻型钢结构的设计手册及专著出版发表^{[7]~[15]}。但是,现有的轻型钢结构方面的出版物还不能满足广大设计人员的需求。本书力求通俗易懂地阐述轻型门式刚架各组成部分的受力特点、计算理论、设计原理、连接节点和构造细节。本书的特点之一是简明扼要地叙述了轻型钢结构计算和设计的理论及原理,而不是仅仅满足于向读者简单地描述公式和方法;特点之二是结合近年来国内工程的实践经验,对于支撑、檩条和屋面板材采用3D3S软件进行了参数化分析,给出了可供用户直接选用的表格和规格;特点之三是给出了轻型门式刚架的各个组成部分的典型设计和计算实例,并在全书最后给出了整体结构完整的设计实例和相应的设计施工图,可供读者参考使用。

本书第一章、第五章和第七章由黄明鑫、钱卫军、张莉撰写,第二章由张其林、吴杰、于贵景撰写,第三章由龚铭、刘沈如、刘振华撰写,第四章由罗晓群、刘沈如、王忠全撰写,第六章、第八章、第九章由刘沈如、刘振华、于贵景、王忠全撰写。杨冰、姜峰、程立新、周骥、秦雅菲等参与了本书例题的计算和整理。全书由张其林修改审定。本书可供设计单位、钢结构工程公司设计人员、大专院校学生和研究生作为工程设计和教学学习参考用书。

编 者

目 录

第一章 轻型钢结构加工制造的基本知识	(1)
第一节 H型钢的制作及其设备	(1)
第二节 围护系统的制作及其设备	(9)
第三节 钢结构的防腐处理	(14)
第四节 钢结构的防火处理	(24)
第二章 轻型门式刚架设计的基本理论	(34)
第一节 结构布置和材料选用	(34)
第二节 结构设计的一般原则	(37)
第三节 计算模型和计算理论	(40)
第四节 稳定设计的基本知识	(46)
第五节 优化设计的基本知识	(54)
第三章 主结构及其支撑体系	(62)
第一节 主刚架的设计和构造	(62)
第二节 山墙刚架的设计和构造	(76)
第三节 伸缩缝处刚架的构造	(80)
第四节 托梁及屋面单梁设计	(81)
第五节 结构支撑体系	(85)
第六节 楼面结构	(92)
第七节 主刚架工程设计实例	(103)
第四章 次结构及其连接构造	(133)
第一节 冷弯薄壁型钢的一般特点	(133)
第二节 有效宽度法的基本概念	(134)
第三节 屋面檩条的构造和计算	(138)
第四节 墙面檩条的构造和计算	(147)
第五节 檩条设计中的若干问题	(149)
第六节 檩条设计计算实例	(158)
第五章 辅助结构系统	(187)
第一节 雨篷和挑檐	(187)
第二节 吊车梁和牛腿	(190)
第三节 楼梯和栏杆	(209)
第四节 检修平台和女儿墙	(215)
第五节 屋面通风气楼	(223)
第六章 围护材料及其连接构造	(231)

轻型门式刚架

第一节	金属屋面的主要类型	(231)
第二节	压型钢板的构造和规格	(234)
第三节	复合保温板的构造和规格	(238)
第四节	金属屋面板的连接	(241)
第五节	金属屋面板的设计	(248)
第六节	加气砼屋面 ALC 板	(260)
第七节	墙面板	(262)
第八节	保温隔热	(269)
第九节	门窗	(269)
第十节	采光和通风	(270)
第七章	连接件和密封材料	(271)
第一节	螺栓	(271)
第二节	锚栓	(273)
第三节	自攻螺丝	(278)
第四节	密封带条和密封膏	(279)
第八章	柱脚和基础设计	(282)
第一节	基础设计的特点	(282)
第二节	柱脚的构造与设计	(284)
第三节	基础设计与构造	(293)
第四节	基础设计实例	(298)
第九章	应用实例	(303)
	参考文献	(322)

第一章 轻型钢结构加工制造的基本知识

轻型钢结构工程是一个系统工程,它包括设计、加工制造和施工安装三个过程,包含的具体内容有主结构系统、次结构系统和围护系统三大方面。了解轻型钢结构各个组成部分的加工制造过程,对于有关技术人员而言是十分必要的。

主结构系统包括主刚架和支撑体系。支撑体系包括水平支撑、柱间支撑和刚性系杆等部分。支撑体系采用的构件大多为圆钢、角钢和钢管等,构件简单,制作方便,且支撑体系节点多为标准节点,因此这部分产品大多为各公司的标准产品。

本章仅从轻型钢结构的主刚架和围护系统两方面介绍轻型钢结构的加工制造,同时介绍钢结构的防腐处理和防火处理的相关知识。

第一节 H型钢的制作及其设备

轻型钢结构的主刚架包括门式刚架和山墙抗风柱等部分。主刚架作为建筑结构的骨架,支承着整个建筑结构系统,承受和传递着各类荷载。根据跨度、高度及荷载的不同,门式刚架的梁、柱一般采用变截面或等截面的实腹式焊接 H 形截面或轧制 H 形截面。变截面构件通常改变腹板的高度做成楔形形状,必要时也可改变腹板的厚度。结构构件在运输单元内一般不改变翼缘截面,邻接的运输单元可采用不同厚度和宽度的翼缘截面。因受加工设备的限制,H 形截面高度一般不能超过 2m。下面将按焊接 H 型钢生产工艺流程(图 1-1)的顺序介绍焊接 H 型钢的制作机器设备。

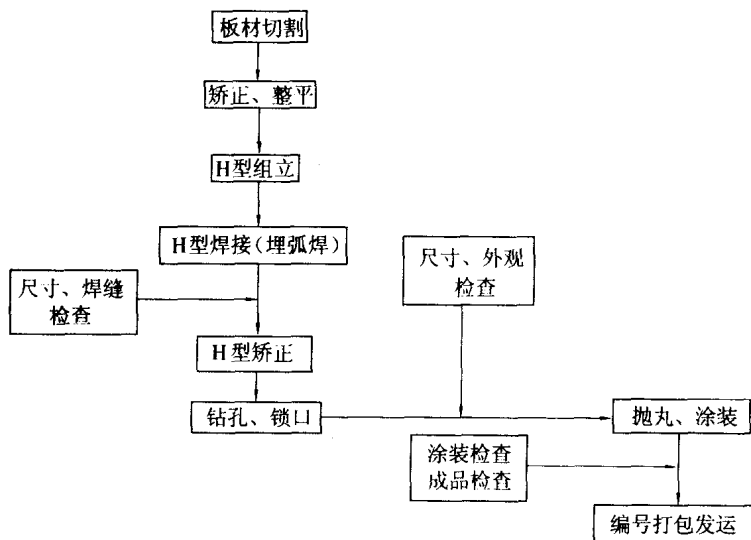


图 1-1 焊接 H 型钢的生产流程

一、板材下料切割

板材下料切割的方法有机械切割法、气割法和等离子切割法等。

1. 机械切割法

所谓机械切割法,主要是利用剪刀的相对运动原理、锯片的切削运动原理、锯片与工件之间摩擦发热使金属熔化而被切断的原理等,对板材、型钢等工作件进行加工的切割方法。根据其切割原理,切割机械可分为以下四类:

(1)剪切切割:此类机械切割是利用剪刀的相对运动来切断钢材。其优点是剪切速度快、效率高,能剪切厚度小于30mm的钢板;但是其切口略粗糙、下端有毛刺,必须打磨光洁,并且剪切后有弯扭变形,必须进行矫正。剪切过程中,切口附近的金属因受剪力而发生挤压和弯曲,从而引起硬度提高、材料变脆的冷作硬化现象,因此重要的结构构件和焊缝的接口位置,一定要用铣、刨或者砂轮磨削的方法将硬化表面加工清除^[14]。常用的剪切切割机械有剪板机、联合冲剪机和型钢冲剪机等。

(2)锯切切割:此类机械切割是利用锯片的切削运动把钢材分离。其优点是切割精度高,主要用于切割角钢、圆钢和各类型钢等。常用的锯切切割机械有弓锯床、带锯床和圆盘锯床等。

(3)摩擦锯和砂轮锯切割:此类机械切割是利用锯片与工件间的摩擦发热使金属熔化而被切断。摩擦锯的优点是锯割的速度快,效率高;缺点是切口不光洁,噪音大。摩擦锯只适用于锯切精度要求较低的构件,或者下料时留有余量,最后尚需进行精加工的构件;砂轮锯只适用于锯切薄壁型钢及小型钢管。

(4)冲压:利用冲压设备可落料、冲口、冲长圆孔,槽钢和T型钢的切断、角钢切肢、圆管压扁亦可采用冲压方法。

2. 气割法

气割法是利用氧气与可燃气体混合产生的预热火焰加热金属表面到燃烧温度,并使金属发生剧烈氧化,放出大量热量促使下层金属也自行燃烧,同时通以高压氧气射流,将氧化物吹除而产生一条狭小而整齐的割缝,随着割缝嘴的移动,连续地切割出所需的形状。

气割法多用于带曲线的零件和厚钢板的切割。气割能切割各种厚度的钢材,其设备灵活、费用低、切割精度较高,是目前使用最广泛的切割方法。气割按切割设备可分为手工气割、半自动气割、仿型气割、多头气割、数控气割和光电跟踪气割。

焊接H型钢生产线的下料设备一般配备数控多头切割机或直条多头切割机,此类切割设备是高效率的板条切割设备,纵向割矩可根据要求配置,可一次同时加工多块板条(图1-2)。

3. 等离子切割法

等离子切割法是利用高温高速的等离子焰流,将切口处金属及其氧化物熔化并吹掉来完成切割。

等离子切割法主要用于熔点较高的不锈钢材料及有色金属的切割。

二、板材的矫正整平

H型钢在组立焊接之前,先要对原材料(钢板)进行矫正、整平。常用的机械设备有板

条矫平机(图 1-3)。

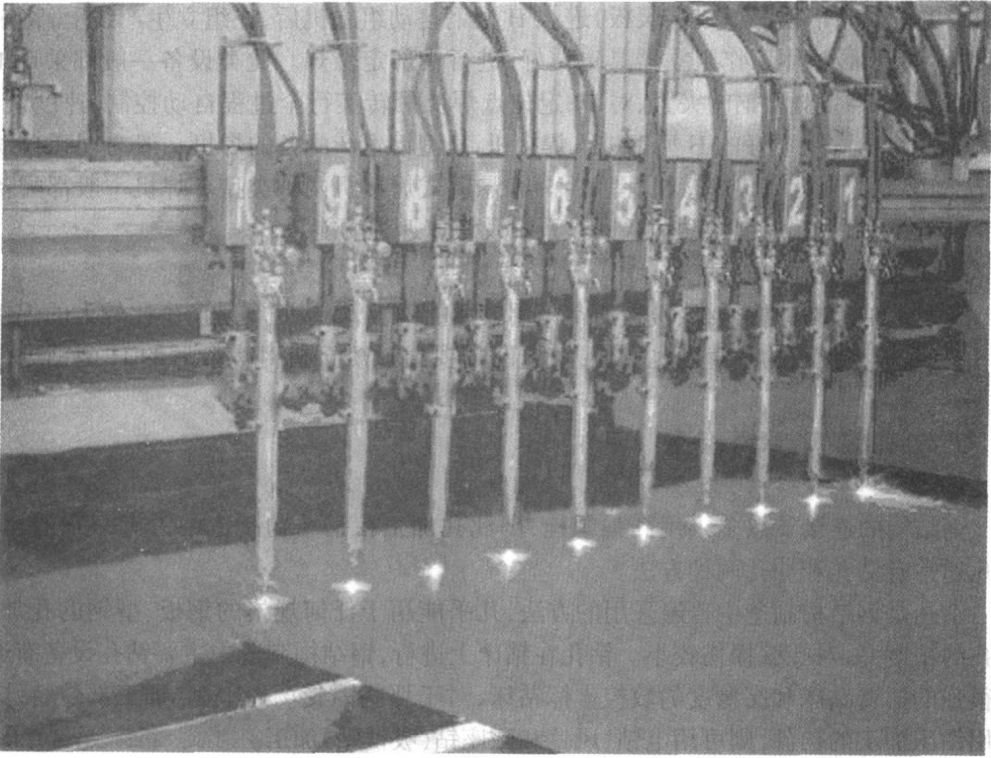


图 1-2 ESAB 6m 数控切割机

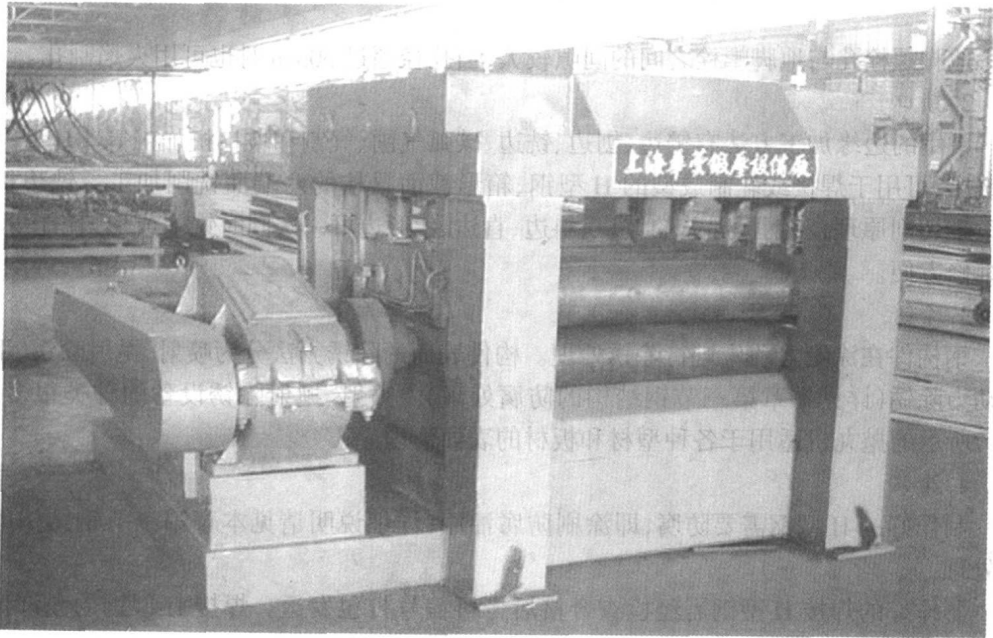


图 1-3 W43-24×1000 板条矫平机

三、H 型钢的组立和焊接

矫正整平的钢板(翼缘板、腹板)进入 H 型钢自动组立机后,在组立生产线上,将未焊接的翼缘板和腹板用工作组立器具定位好,进行头部定位焊。此类设备一般都采用 PLC 可编程序控制器,对型钢的夹紧、对中、定位点焊及翻转实行全过程自动控制,速度快、效率高(图 1-4)。组立好的 H 型钢进入焊接机,H 型钢生产配备的焊机一般为埋弧自动焊机,从类型上可分为门式焊接机(图 1-5)和悬臂式焊接机两种类型。焊机一般都配备有焊缝自动跟踪系统、焊剂自动输送回收系统及快速返程功能。

四、H 型钢的矫正

轻型钢结构构件的翼缘、腹板通常采用较薄的钢板,焊接时容易产生比较大的焊接变形,且翼缘板与腹板的垂直度也有偏差,这时需要通过矫正机对焊接后的 H 型钢进行矫正(图 1-6)。

五、制孔、锁口、除锈、涂装

1. 制孔

钢结构的连接节点多采用高强螺栓,因此孔加工在钢结构制造中占有一定的比重。制孔通常有钻孔和冲孔两种方法。

钻孔是钢结构制造中普遍采用的方法,几乎能用于任何规格的钢板、型钢的孔加工。钻孔的精度高,对孔壁损伤较小。钻孔在钻床上进行,钢结构制造中主要钻孔设备有通用性很强的摇臂钻床和高精度的数控坐标钻床,对于那些因受场地限制、加工部位特殊、不便用钻床加工的构件,则可用电钻、风钻和磁座钻(吸铁钻)加工。

冲孔一般只用于较薄钢板和孔径不小于钢材厚度的非圆孔的加工。冲孔生产效率虽高,但由于孔的周围产生冷作硬化、孔壁质量差等原因,通常只用于檩条、墙梁端部长圆孔的制备。

地脚螺栓孔与地脚螺栓之间的间隙较大,当孔径超过 50mm 时也可用火焰割孔。

2. 锁口

常用的边缘加工方法有铲边、刨边、铣边、碳弧气刨、气割和坡口机加工等。H 型钢端面铣床,可用于焊接或轧制成型的 H 型钢、箱形截面梁柱的两端面铣削加工。铣边机利用滚铣切削原理,对钢板焊前的坡口、斜边、直边、U 形边可一次同时铣削成形,耗能少,操作维修方便。

3. 除锈

钢构件在涂刷之前应进行除锈处理。构件表面的除锈方法分为喷射、抛射除锈、手工或动力除锈(详见本章第三节钢结构的防腐处理)。喷射、抛射除锈设备的种类很多,图 1-7 所示的抛丸机适用于各种型材和板材的表面清理。

4. 涂装

制作好的 H 型钢需要防腐,即涂刷防腐油漆,详细说明请见本章第三节钢结构的防腐处理。

制作好的焊接 H 型钢需经检查合格后方可编号打包发运。焊接 H 型钢的允许偏差见表 1-1。



图 1-4 HG-1500 组立焊

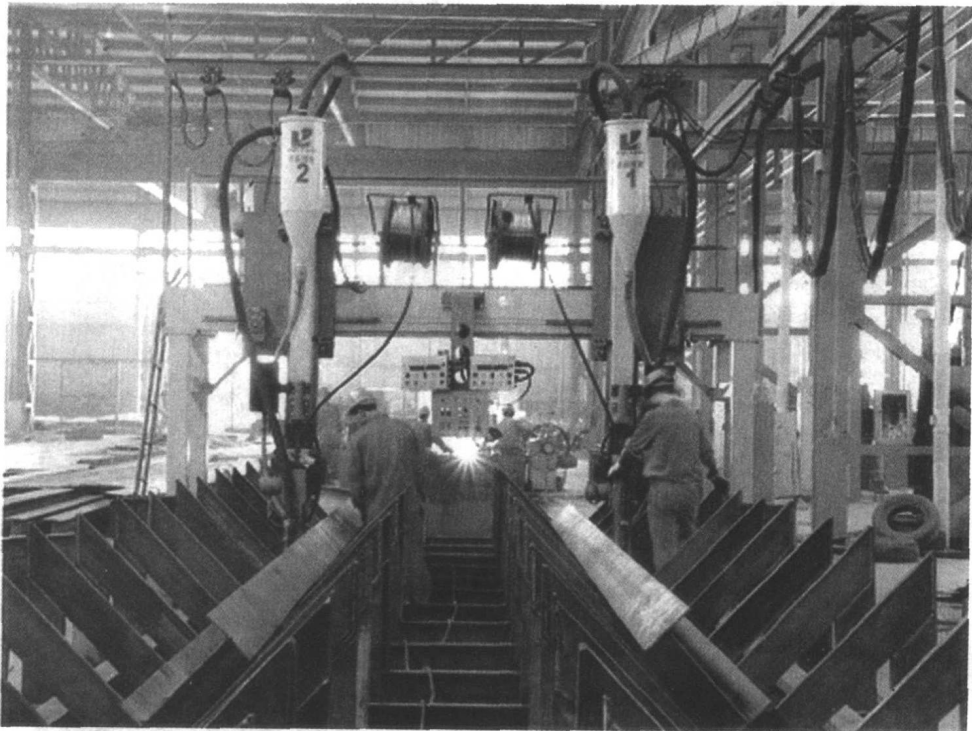


图 1-5 ME-1-1000 门型自动埋弧焊

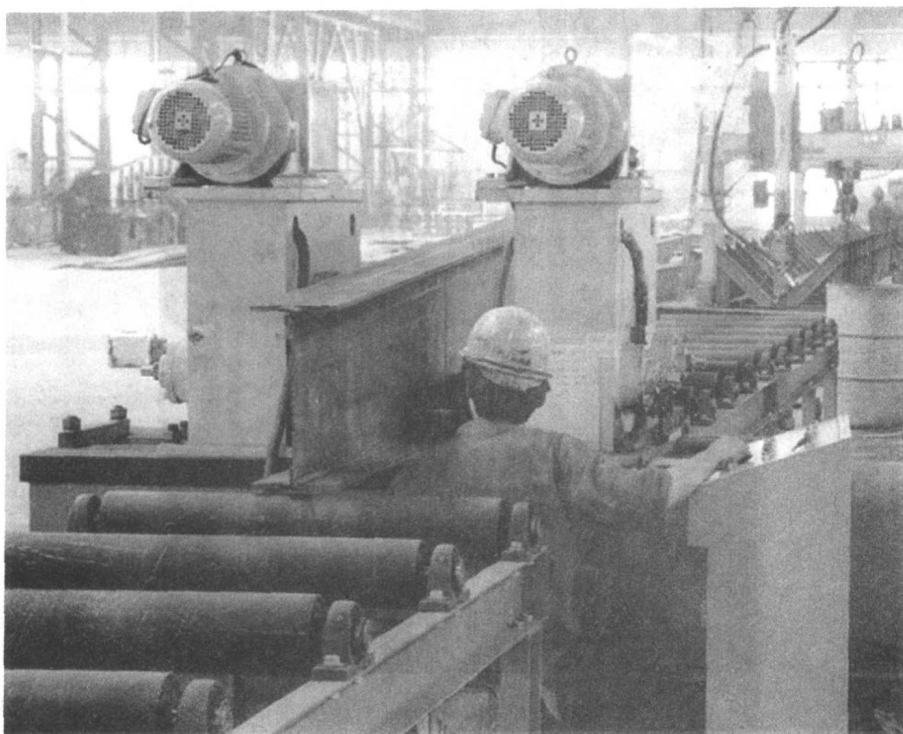
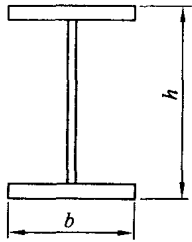
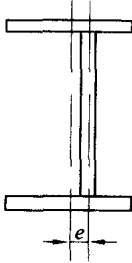
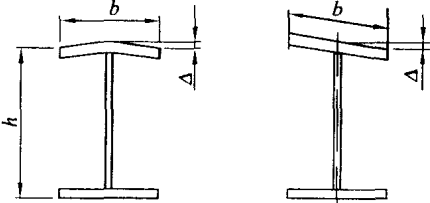
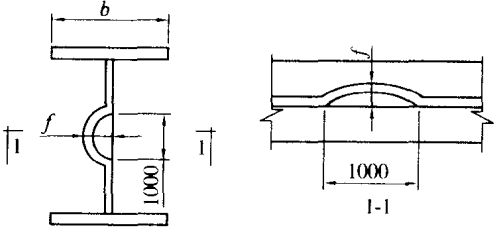


图 1-6 精工 - III 型矫正机



图 1-7 美国潘邦八抛头抛丸机

表 1-1 焊接 H 型钢的允许偏差

项 目		允许偏差 (mm)	图 例
截面高度 (mm) (h)	$h < 500$	± 2.0	
	$500 \leq h \leq 1000$	± 3.0	
	$h > 1000$	± 4.0	
截面宽度(mm) (b)		± 3.0	
腹板中心偏移(e)		2.0	
翼缘板垂直度(Δ)		$b/100$ 3.0	
弯曲矢高 (受压构件除外)		1/1000 10.0	
扭曲		$h/250$ 5.0	
腹板局部 平面度(f)	$t < 14$	3.0	
	$t \geq 14$	2.0	

六、H 型钢制作生产线

在 H 型钢的制作过程中,板材切割下料,矫正整平,拼装点焊,焊接及焊后翼缘矫正,按常规工艺是由多台设备来完成的。将以上工序集于一身的 H 型钢生产线具有结构紧凑、占地少、生产效率高等优点。下面介绍两条生产线:单面焊生产线(图 1-8)和通用 H 型钢生产线。

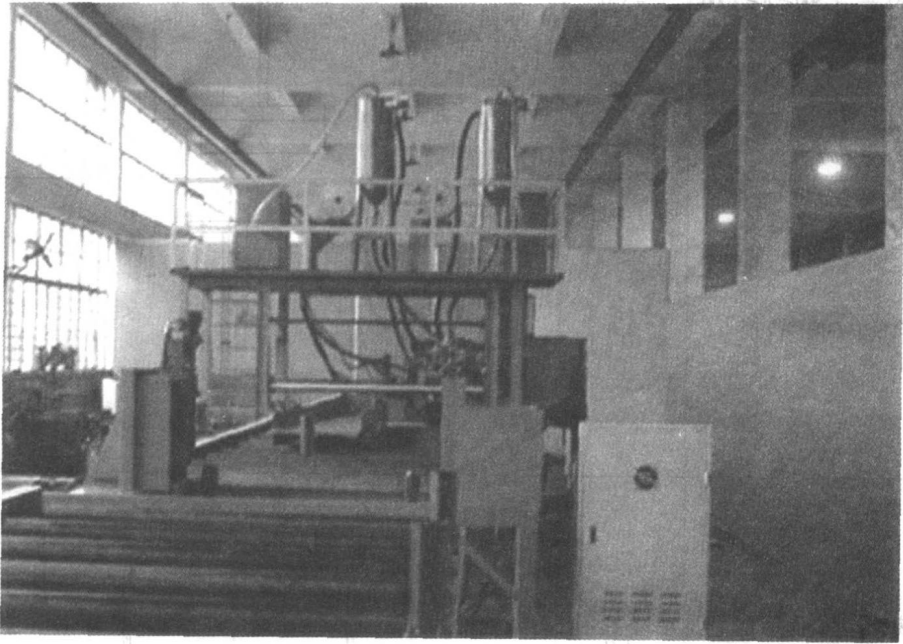


图 1-8 美国林肯单面焊生产线

1. 单面焊 H 型钢生产线

单面焊 H 型钢生产线采用低合金高强度钢板,以卧式焊接机单面焊接,采用美国林肯公司的单弧双自动埋弧焊机。该生产线包含目前钢结构行业中规格最大的 $12\text{m} \times 8\text{m}$ 大型剪板机。H 型钢的腹板和翼缘板可用此剪板机一次性剪切下料,超过 12mm 厚的钢板采用等离子切割机进行切割。对于平整度不符合要求的钢板,用 9 辊矫平机整平。整平后的翼缘板进入翼缘板生产线,经过对接、冲孔、切断而成为翼缘板半成品,进入焊接生产线。半成品经组立及头部定位焊后进入卧式焊接机,一次性焊接完成。

2. 通用 H 型钢生产线

通用 H 型钢生产线由直条火焰切割机和 $12\text{m} \times 8\text{m}$ 剪板机将钢板切割下料成腹板和翼缘板,经组立机到门型自动埋弧焊机焊接,再经翼缘矫正机矫正后成为焊接 H 型钢。矫正后的 H 型钢通过抛丸除锈处理后,涂底漆、编号发运。

在钢结构的主刚架制作加工中,工作量最大的是节点的加工制作,包括节点处的开孔、端板的定位焊接、加劲板的定位焊接等工作。对梁柱上四个面都有加劲板的情况,梁柱还需要翻转焊接。构件的翻转需要采用特殊的翻转设备。翻转机如图 1-9 所示。

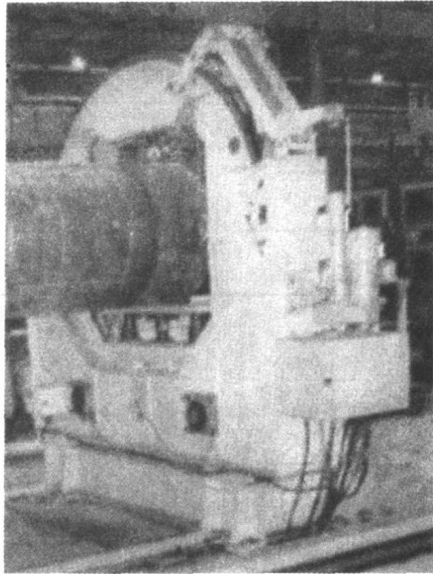


图 1-9 钢结构节点加工用的翻转机

第二节 围护系统的制作及其设备

轻型钢结构的围护系统包括檩条、墙梁、墙面及屋面彩板、楼面板、通风采光系统、排水系统和收边系统等。围护系统的制造是轻型钢结构加工制造中技术含量最高的一部分,它直接决定了整个建筑的产品质量。下面通过相关设备来介绍围护系统的加工制造过程。

一、冷弯薄壁型钢檩条的加工制造

在轻型门式刚架结构中,檩条和墙梁通常采用卷边槽形(或称 C 形)和带斜卷边的 Z 形冷弯薄壁型钢。冷弯薄壁型钢一般由薄钢板通过檩条机冷弯辊压成型。对 Z 形、C 形冷弯薄壁型钢,钢板厚度一般为 1.5~3mm,材质为 Q235 钢板、Q345 钢板或 G450 高张力连续热浸镀锌钢板三种。檩条上的孔可采用冲孔。冷弯薄壁型钢檩条的制作偏差应符合表 1-2 的标准。表中符号的含义如图 1-10 所示。图 1-11 为众多檩条机中的一种。

表 1-2 檩条尺寸的允许偏差

项目	符号	允许偏差 (mm)	项目	符号	允许偏差 (mm)
截面高度	h	± 5	翼缘孔中心至腹板外缘距离	a_5	± 3
翼缘高度	b	± 5 -2	腹板横向孔中心线距离	s_1	± 1.5
斜卷边或直卷边长度	a_1	$+6$ -3	腹板纵向孔中心线距离	s_2	± 1.5
翼缘不平度	θ_1	$\pm 3^\circ$	两端螺栓群中心距离	s_3	± 3
斜卷边角度	θ_2	$\pm 5^\circ$	檩条构件的长度	l	± 3

(续表)

项目	符号	允许偏差 (mm)	项目	符号	允许偏差 (mm)
腹板孔中心至构件边缘距离	a_2	± 3	弯曲矢高	c	$l/500$
腹板孔中心至构件端部距离	a_3	± 3	最小厚度	t	设计值 t 的 0.95 倍
翼缘孔中心至构件端部距离	a_4	± 3			

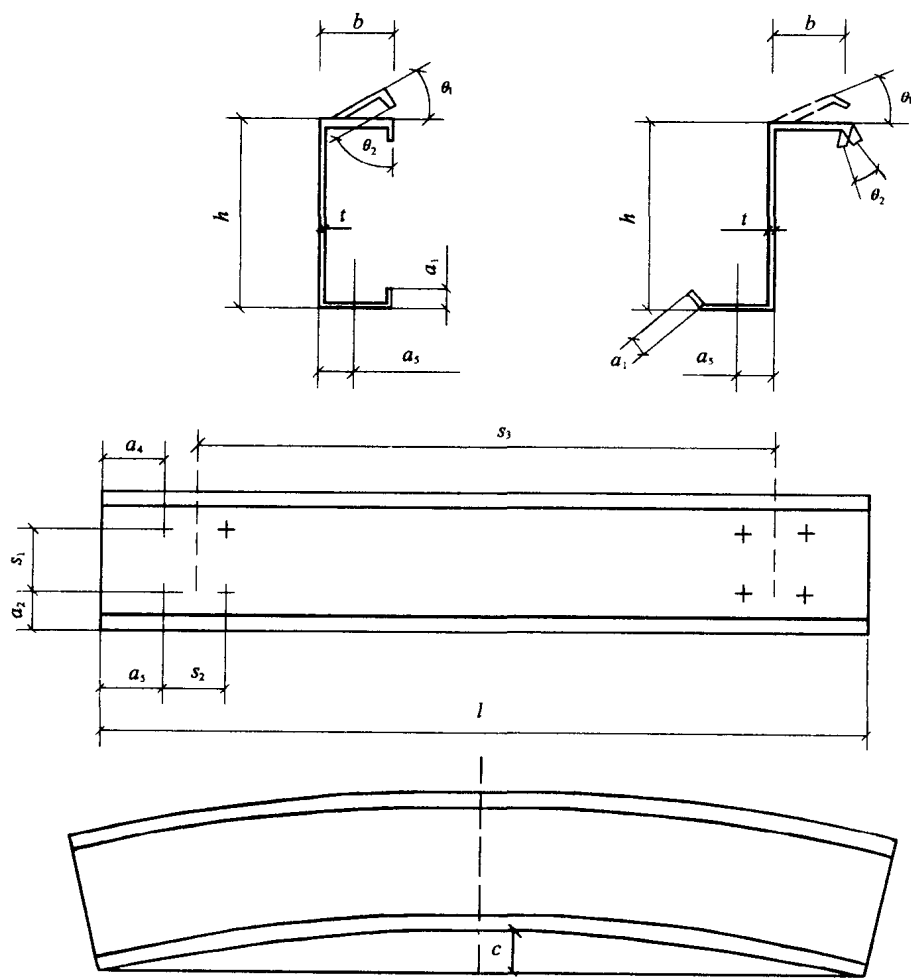


图 1-10 檩条的尺寸偏差