

化工设备设计全书

# 钢架

《化工设备设计全书》编辑委员会  
夏颂祺 丁伯民 等编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

化工设备设计全书

# 钢 架

《化工设备设计全书》编辑委员会  
夏颂祺 丁伯民 等编

化学工业出版社  
工业装备与信息工程出版中心  
·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

钢架/夏颂祺, 丁伯民等编. —北京: 化学工业出版社, 2004.3

(化工设备设计全书)

ISBN 7-5025-5374-6

I. 钢… II. ①夏…②丁… III. 化工设备-钢结构  
IV. TQ050.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 029345 号

---

化工设备设计全书

钢 架

《化工设备设计全书》编辑委员会

夏颂祺 丁伯民 等编

责任编辑: 张兴辉

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 蒋艳君

\*

化学工业出版社 出版发行  
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

http: www.cip.com.cn

\*

新华书店北京发行所经销

北京管庄永胜印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 16 1/4 字数 508 千字

2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5374-6/TQ·1959

定 价: 38.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

## 《化工设备设计全书》编辑委员会

主任委员 袁 纽 中国石油和化工勘察设计协会

副主任委员 华 峰 中国石化集团上海医药工业设计院  
洪德晓 全国化工设备设计技术中心站

委 员 叶文邦 钱小燕 黄正林 汪 扬 金国森  
应道宴 魏兆灿 秦叔经 虞 军 曹文辉

# 前 言

《化工设备设计全书》第一版由原化学工业部化工设备设计技术中心站组织全国高校、科研、设计、制造近百家单位参与编写。

《化工设备设计全书》以结构设计、强度计算为主，从基础理论、设计方法、结构分析、标准规范、计算实例等方面进行了系统的阐述，并对相应的化工原理作简介。《全书》在重视结构设计、强度计算的同时，结合化工过程的要求去研究改进设备的设计，提高设备的效率，降低设备的成本，以求实现化工单元操作的最佳化，并力求反映当前国内及国际的先进技术。《全书》自 20 世纪 80 年代出版发行后，因其内容的实用性，得到化工、石化、医药、轻工等相关行业的设备专业人员欢迎。

近十余年来，我国化工装置的设计，化工设备的研究、开发、制造和标准化工作有了较大的发展，建造设备用的结构材料也有了新的进展，有必要对《全书》的内容加以更新、补充，以适应现代工程建设要求，满足广大工程技术人员，特别是年青一代工程技术人员的需要。中国石油和化工勘察设计协会、中国石化集团上海医药工业设计院、全国化工设备设计技术中心站组成了《化工设备设计全书》编辑委员会，负责《全书》的修订工作。《全书》的修订原则是“推陈出新”，以符合现代工程建设要求。

《化工设备设计全书》计划出版 15 种，计有：《化工设备用钢》、《化工容器》、《高压容器》、《超高压容器》、《换热器》、《塔设备》、《搅拌设备》、《球罐和大型储罐》、《废热锅炉》、《干燥设备》、《除尘设备》、《铝制化工设备》、《钛制化工设备》、《石墨制化工设备》和《钢架》等。

本书为《钢架》，共十一章。前五章为理论部分，第一、二章是材料、载荷及设计原理；第三、四章是梁、柱的设计计算；第五章是构件连接构造及计算。第六章至第八章是实用的构造部分，分别为设备支架、操作平台及塔平台的详细介绍；第九、十章是承受动载荷和地震载荷的钢架设计及构造；第十一章是防腐及防火。有关钢架的制作施工技术要求 and 验收规定，详见国家的有关规范、规定，本书对此不再赘述。

本书原编写者有：居文明，徐惠倩，王松年，杨俊安，石慧珍，张志良，秦振纲。现修订者：中国石化集团上海工程有限公司夏颂祺（第一、二、三、四、五、八、九章）；王松年（第六、七章）；杨俊安（第十、十一章）。由华东理工大学丁伯民；中国石化兰州设计院王者相；全国化工设备设计技术中心站洪德晓负责校审。

由于化工生产发展迅速，我们掌握情况有限，本书的内容还会有不足和错误之处，热忱希望广大读者提出宝贵意见，以便再版时补充改正。

在本书编写、修订和校审的过程中，得到了很多单位和个人的大力协助和指导，在此致以深切的谢意。

《化工设备设计全书》编辑委员会

2003 年 12 月

# 目 录

绪 论 .....	1	第五节 混合式设备支架 .....	143
<b>第一章 钢架材料及载荷</b> .....	2	第六节 其他类型的设备支架 .....	145
第一节 钢材基本知识 .....	2	<b>第七章 操作平台</b> .....	155
第二节 我国钢材的编号 .....	4	第一节 操作平台的类型 .....	155
第三节 钢材的选择 .....	5	第二节 钢平台的计算 .....	160
第四节 连接材料 .....	19	第三节 钢平台的构造 .....	166
第五节 载荷 .....	20	第四节 钢平台的附件 .....	167
<b>第二章 钢架设计原理</b> .....	28	第五节 活动操作平台 .....	178
第一节 钢架设计的主要内容 .....	28	第六节 钢栈桥 .....	180
第二节 结构计算原理 .....	28	<b>第八章 塔平台</b> .....	185
<b>第三章 梁设计</b> .....	32	第一节 塔平台分类 .....	185
第一节 梁的分类 .....	32	第二节 塔体平台 .....	185
第二节 梁的内力计算 .....	32	第三节 梁式塔平台 .....	191
第三节 梁的设计要点 .....	39	第四节 构架式塔平台 .....	193
第四节 双向弯曲梁的计算 .....	54	第五节 塔平台的计算及安装 .....	197
第五节 梁的受扭计算 .....	54	第六节 钢搭板(加强板)及筒体局部 应力计算 .....	200
第六节 梁截面的合理选择 .....	61	<b>第九章 动载荷作用下的钢架设计</b> .....	203
<b>第四章 柱的设计</b> .....	67	第一节 概述 .....	203
第一节 柱的分类 .....	67	第二节 不平衡惯性力 .....	204
第二节 轴心受压实腹柱 .....	67	第三节 钢架的自由振动 .....	208
第三节 偏心受压实腹柱 .....	79	第四节 钢架的强迫振动 .....	215
第四节 格构式柱 .....	81	第五节 钢架在动载荷作用下的承载 能力计算及其构造 .....	226
<b>第五章 构件连接构造及计算</b> .....	95	<b>第十章 钢架抗震设计</b> .....	234
第一节 连接的合理设计 .....	95	第一节 地震及烈度 .....	234
第二节 梁格布置 .....	95	第二节 钢架的地震力 .....	235
第三节 铺板 .....	96	第三节 抗震钢架设计 .....	242
第四节 梁的连接构造及计算 .....	98	<b>第十一章 钢架的防腐与防火</b> .....	246
第五节 柱的连接构造 .....	106	第一节 钢架的腐蚀特性 .....	246
第六节 柱脚构造及计算 .....	107	第二节 耐腐蚀涂料 .....	246
第七节 连接计算 .....	113	第三节 构件的合理截面及其构造 .....	248
<b>第六章 设备支架</b> .....	129	第四节 钢架在火灾中的特性 .....	249
第一节 柱脚式设备支架 .....	129	第五节 钢架的防火构造 .....	250
第二节 悬臂架 .....	133		
第三节 吊架 .....	136		
第四节 自承式设备支架 .....	137		

# 绪 论

化学工业和石油化工的生产车间大多使用由许多不同类型的容器设备及机械设备,按照一定的工艺流程要求相互衔接构成的生产线,这些化工设备有不同的高低位差,即需要设计一定形式的设备支架予以支承,从而达到一定的标高。另外,为了便于工人操作和对设备进行维修保养,也需要设计一定形式的操作平台之类的钢架。化工设备支架,操作平台等所采用的材料有混凝土、砖石、木材和钢材等。而化工厂中的设备支架,操作平台则是以钢材为主。随着工业现代化的发展,设备钢架将更广泛地被应用于化学工业中。

化工厂中的钢架所采用的材料有:钢板、角钢、槽钢、工字钢、钢管和圆钢等热轧型钢。钢制结构同其他各种材料的结构相比具有以下几个特点。

1. 钢材的强度高,塑性和冲击韧性好 钢材和其他材料(混凝土、砖石、木材等)相比有较高的强度,当承受同一载荷时,钢构件的截面要小得多,故它适用于大跨度或大载荷的结构;由于钢材塑性好,在意外的超载作用下不会发生突然断裂,有一定抢修时间,避免发生事故;钢材冲击韧性好,最适合用于制造承受动力载荷的设备支架。

2. 钢材是理想的弹塑性材料 钢材的内部组织最接近于多向同性系统,质地比较均匀,有较大的弹性模量,可认为是较理想的弹塑性材料。因此,钢架结构与其他材料的同样结构相比,可靠性更高。

3. 钢架结构便于施工 虽然钢的密度比其他材料大,但当承受同样大小的载荷时,所需的截面积却要小得多,总的来讲还是轻的,这就便于运输和安装。钢架所选用的材料主要是多类型钢,它的连接方法简单可靠。可以由制造厂制作,现场拼装,也可以现场就地制作、安装,灵活性较大,故与其他材料的结构相比,不但施工周期短,而且构造的精确度也较高。

4. 钢材耐腐蚀及耐火性能差 钢材耐腐蚀性能较差,经常性的维修费用较大,不过钢架经防腐处理并加以定期维护,一般的腐蚀并不会产生严重问题(详见第十一章)。普通钢材不耐高温,当温度上升至 $150^{\circ}\text{C}$ 以上时,其强度将骤然下降。因此,对某些有特殊防火要求的钢架,必须考虑采用较好的耐火材料加以保护。

设计设备钢架及钢操作平台,应满足下列基本要求。

(1) 满足工艺要求,便于操作和设备维修。

(2) 结构必须安全可靠,并有良好的耐腐蚀措施。

(3) 尽可能地节约钢材,要求钢材的塑性性能充分利用,要合理布置梁格及合理选用构件截面和构件连接方法。

(4) 便于制作和安装,缩短施工周期。

(5) 在满足实用、经济的前提下,尽可能地照顾美观。

随着我国钢产量和质量的不断提高,钢结构的应用也会相应地有很大发展,但钢结构的设计还有待进一步提高。主要有以下几个方面。

1. 高强度钢材的应用 选用高强度钢材,可以大量节省钢材。目前,设备钢架用的高强度钢材一般是16锰低合金钢。今后还将出现性能更好的新钢种。

2. 理论计算工作上的探讨 计算方法愈能反映实际,就愈能合理地使用材料,如钢材塑性的充分利用,动力载荷(包括地震力等)的影响,残余应力的计算,薄壁屈曲的承载能力以及结构安全性等问题都需要进一步作大量的试验探索和理论上的研究。

3. 钢结构防腐等的研究 近年来我国对化工厂中的钢架防腐问题已开始重视,并在研究工作方面取得了较大的成果,已生产出防腐性能好,价格便宜的涂料。但对设备钢架、操作平台如何适应化工车间的防火、防爆等条件,其构造及保护措施等都有待进一步研究和总结。

# 第一章 钢架材料及载荷

## 第一节 钢材基本知识

设备钢架常用的钢材有普通低合金钢和普通碳素钢两种。

作为设备钢架（以下简称钢架）的钢材需具有下列特点：较高的抗拉强度 $\sigma_b$ 和屈服强度 $\sigma_s$ ；较好的塑性、韧性及耐疲劳性能；有良好的冷、热加工性能和焊接工艺性能。而这些性能同钢材的化学组成及钢材的冶炼、成型加工等因素有着直接关系。

### 一、钢材的化学成分

普通碳素钢是由纯铁、碳及微量元素组成的（见表1-1）。其中纯铁约占99%，碳及微量元素仅占约1%。低合金钢中，除了上述元素外，还含有合金元素，含量通常低于5%。碳和其他元素虽含量不高，但对钢材的力学性能却起着决定性的作用。

**碳：**随着含碳量的提高，钢的强度逐渐提高，而它的塑性、冲击韧性却下降了，冷弯性能、焊接性能和抗腐蚀性能等也都变劣。所以，碳在低碳钢钢材中的含量一般不允许超过0.22%。

**硫：**硫对钢材的力学性能极其有害。它能使钢材产生热脆性，降低钢材的冲击韧性、疲劳强度和抗腐蚀性能。所以对它的含量应加以严格控制，一般不允许超过0.05%。

**磷：**磷可提高钢材的强度和抗腐蚀能力，但会使钢材的冷脆性增加，冷弯性能、焊接性能、

塑性、冲击韧性也有所降低。所以磷的含量同样要严加控制，一般不允许超过0.045%。

**锰：**锰可提高钢材的强度，消除硫对钢的热脆影响，在一定程度上消除钢的冷脆现象，但其含量过高时，钢材的焊接性能要变劣。一般它的含量不允许超过0.8%。

**硅：**加入少量的硅可以使钢材的强度提高，而此时钢材的塑性、冲击韧性并无显著下降，钢材的冷弯性能及焊接性能也无显著变劣。一般镇静钢中的含硅量为0.12%~0.30%。

**铜：**铜可以显著地提高钢材的抗腐蚀性能，也可提高钢材的强度，但对焊接性能有不利的影响。

上述的主要化学元素对普通碳素钢及普通低合金钢的力学性能的影响见表1-2。

### 二、钢材的冶炼和成型加工

#### （一）钢材的冶炼方法

常用的炼钢炉有三种形式：转炉、平炉、电炉。根据各种炉子的炉衬材料的不同，用酸性材料（如硅砂）或碱性材料（如镁砂和白云石）的上述炉种，分别称为酸性转炉、酸性平炉、酸性电炉或碱性转炉、碱性平炉、碱性电炉。

空气低吹转炉生产的钢质量很差，国内已不再生产。空气侧吹转炉钢的各项性能不如氧气顶吹转炉钢，近年来产量已不多，且多是钢筋。平炉钢、电炉钢的成本较高，故应在满足使用条件及加工工艺的情况下，尽可能采用顶吹氧气转炉钢。

表 1-1 钢材的化学成分

钢 号		熔 炼 化 学 成 分,%					
		C	Si	Mn	P	S	V
Q235	沸腾钢	0.14~0.22	≤0.07	0.30~0.60	0.045	0.050	—
	镇静钢		0.12~0.30	0.35~0.65			
16Mn		0.12~0.20	0.20~0.60	1.20~1.60	0.045	0.050	—
15MnV		0.12~0.18	0.20~0.60	1.20~1.60	0.045	0.050	0.04~0.12
16Mnq		0.12~0.20	0.20~0.60	1.20~1.60	0.040	0.045	—
15MnVq		0.10~0.18	0.20~0.60	1.20~1.60	0.040	0.045	0.04~0.12



## (二) 钢的分类

钢按脱氧程度的不同，分为镇静钢、半镇静钢、沸腾钢。脱氧程度取决于脱氧剂的数量和种类。一般的脱氧剂有锰、硅、钛、铝等，硅较常用。仅用脱氧能力很强的锰（Mn）进行脱氧，由于未能充分脱氧，氧、氮和一氧化碳等气体从钢中逸出，形成钢的沸腾现象，称为沸腾钢。镇静钢用锰和适量的硅作脱氧剂，脱氧充分，浇注时钢锭模内液面平静。半镇静钢介于沸腾钢和镇静钢之间。

镇静钢的屈服强度比沸腾钢高，并具有较高的强度极限和常温冲击韧性、较小的冷脆性及时效敏感性、较好的焊接性能及抗大气腐蚀性等。但它的成本也较沸腾钢高，钢材的表面质量也不如沸腾钢。

## (三) 钢的成型加工

成型加工（热轧钢）不仅改变了钢锭的形状和尺寸，而且显著地改变了钢的显微组织和性能。因为型钢的轧制是在 1150~1300℃ 高温和一定的压力作用下进行的，钢锭中原有的小气泡、裂纹、疏松等缺陷在此过程中减小或消除，所以轧制钢要比铸钢具有更好的力学性能，强度较高，塑性及冲击韧性也较好。

## 三、钢材的主要性能

钢材是较理想的弹塑性材料，图 1-1 为钢材一次拉伸应力-应变曲线图。由图可见，钢材在屈服点  $f_y$  之前是完全弹性的，屈服点之后，材料进入塑性流动状态，塑性流动终止，材料即开始进入

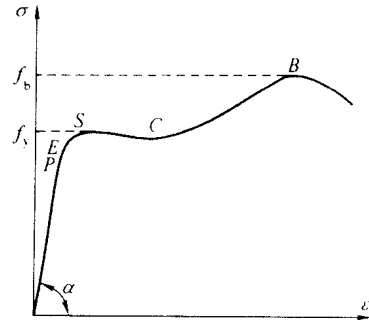


图 1-1 钢材的应力-应变曲线

应变硬化过程，应力-应变呈曲线过程，直至曲线达到最高点，此时的  $f_b$  被认为是最大承载能力。

塑性流动范围和弹塑性范围中的应变都包括弹性应变和塑性应变两部分，前者在卸荷后即可消失，后者则成为残余应变而保留下来（由于比例极限  $f_p$  与屈服强度  $f_y$  比较接近，且屈服点前的应变很小，约为 0.15% 左右，为了简化计算，通常假定屈服点前的材料为完全弹性体）。由此可见，钢结构按弹性设计是以屈服强度  $f_y$  作为强度计算的极限值；若按塑性设计，则是根据钢材的弹塑性特点，考虑钢材的塑性变形的发展趋势，以求达到节省钢材的目的。

普通碳素钢及 16Mn 等低合金钢的力学性能见表 1-2。由于钢材经热轧加工，较薄的型钢因辊轧次数多，晶粒致密，故它的强度比较厚的钢材为高，因此国家标准是以厚度来划分钢材的，钢材与钢铸件的力学性能见表 1-3。

表 1-2 钢材的力学性能（一）

钢号	组别	钢材厚度或直径, mm	拉力试验				180°冷弯试验 ( $d$ 为弯心直径, $a$ 为试样厚度)		
			屈服强度 $f_y$ ≥ MPa	抗拉强度 $f_b$ MPa	伸长率, %		型钢	钢板	
					$\delta_5$	$\delta_{10}$			
Q235	沸腾钢	第 1 组	—	235	370~460	26	22	$d=0.5a$	$d=1.5a$
		第 2 组	—	215					
		第 3 组	—	205					
	镇静钢	第 1 组	—	235	370~460	26	22	$d=0.5a$	$d=1.5a$
		第 2 组	—	225					
		第 3 组	—	215					
16Mn	—	≤16	—	345	≥510	21	—	$d=2a$	
		17~25	—	325	≥490	19	—	$d=3a$	
		26~36	—	315	≥470	19	—	$d=3a$	
		38~50	—	295	≥470	19	—	$d=3a$	
		55~100	—	275	≥470	19	—	$d=3a$	
		方圆钢	—	—	—	—	—	—	$d=3a$

续表

钢号	组别	钢材厚度或直径, mm	拉力试验				180°冷弯试验 ( $d$ 为弯心直径, $a$ 为试样厚度)	
			屈服强度 $f_y$ ≥MPa	抗拉强度 $f_u$ MPa	伸长率, %		型钢	钢板
					$\delta_5$	$\delta_{10}$		
15MnV	—	≤5	410	≥550	19	—	$d=2a$	
		6~16	390	≥530	18	—	$d=3a$	
		17~25	370	≥510	17	—	$d=3a$	
		26~36	355	≥490	17	—	$d=3a$	
16Mnq	—	≤16	345	≥510	21	—	$d=2a$	
		17~25	325	≥490	19	—	$d=3a$	
		26~36	305	≥470	19	—	$d=3a$	
15MnVq	—	≤16	390	≥530	18	—	$d=3a$	
		17~25	370	≥510	17	—	$d=3a$	
		26~36	355	≥490	17	—	$d=3a$	

表 1-3 钢材的力学性能 (二)

钢号	钢材种类	钢材直径或厚度, mm	取样方向	试样状态	冲击值 $a_k$ J/cm <sup>2</sup> ≥
Q235	钢板	12~25	横着轧制方向 (钢板)顺着轧制 方向(型钢)	常温	69
	型钢	15~25			98
	钢板、型钢	>25			双方协议
Q235 镇静钢	钢板	12~20		-10℃	29
				10℃	双方协议
		>20		应变时效后	
				-10℃	
16Mn	钢板、型钢	双方协议		常温	59
				-20℃	29
15MnV	钢板、型钢	双方协议		常温	59
				-10℃	29
16Mnq	钢板	>12		-20℃	29
			应变时效后	29	
			-10℃	29	
15MnVq	钢板	>12	应变时效后	29	

## 第二节 我国钢材的编号

按《钢结构设计规范》规定,普通碳素钢按其保证的工艺条件可分为三类:

甲类钢:按力学性能供应。出厂的钢材抗拉强度,伸长率均需符合国家规定的标准;硫、磷

含量符合相同钢号乙类钢的规定。

乙类钢:按化学成分供应。出厂的钢材中碳、硅、锰、硫、磷等元素含量必须符合国家标准。乙类钢由于没有力学性能方面的保证,不能用于承重结构。

特类钢:按化学成分及力学性能供应。特类钢因价格较高,应尽量少用。

表 1-4 普通碳素钢的表示方法

表示方法	钢 类			浇 注 方 法		
	甲类钢	乙类钢	特类钢	沸腾钢	镇静钢	半镇静钢
汉 字	甲	乙	特	沸	—	半
采用代号	A	B	C	F	—	b

普通碳素钢按含碳量的大小, 分成 1~7 号, 在钢架设计中, 一般采用 Q235。普通碳素钢的代号按钢类以 MPa 表示的屈服强度、脱氧方法的次序, 用汉字或符号来表示 (见表 1-4)。例如, 屈服强度约为 235MPa 的甲类镇静钢标为 Q235-A (即原来的 A3 钢), 沸腾钢标为 Q235-AF (即原来的 A3F 钢)。

普通低合金钢的钢号以平均含碳量的万分数来表示, 钢号后标明合金元素, 当其平均含量小于 1.5 时, 不标出其含量; 大于 1.5 时, 在合金元素名称后用分数的整数标明其含量; 如在钢中有意加入钒、钛、铌等元素。虽其含量低, 也需在钢号中标出。例如: 16Mn, 表示含碳量为 0.016%, 合金元素 Mn 的平均含量小于 1.5。

### 第三节 钢材的选择

合理选用钢材不仅是一个经济问题, 而且关系到结构的安全和使用寿命。选定材料时应考虑以下几个因素:

- (1) 结构的类型及重要性;
- (2) 载荷的性质;
- (3) 连接方法;

(4) 结构的工作温度;

(5) 构件的受力性质。

一般地说, 所选用的钢材既要具有一定的强度, 又要具有一定的塑性和韧性, 因此钢号不宜过高。最常用的是 Q235-AF, 它不仅具有较适宜的强度, 而且具有较好的制造加工、焊接等工艺性能。Q235-A 与 16Mn 虽具有较好的力学性能, 主要用于承受较大的动载荷、工作温度在  $-10 \sim -20^\circ\text{C}$  的焊接结构及其他重要结构。当结构件的截面由强度控制时, 宜采用 16Mn 钢。16Mn 钢与 Q235 钢相比, 屈服强度可提高 45% 左右, 以致在相同载荷作用下的构件, 可节约钢材 15%~25%。侧吹碱性转炉镇静钢只用于工作温度高于  $-10^\circ\text{C}$ , 并承受静载荷或间接承受动载荷的焊接结构中, 钢材的选用可参照表 1-5。

设备钢架所用的型材基本上都是热轧型钢和钢板。热轧型钢有等边角钢、不等边角钢, 槽钢、工字钢及钢管等; 热轧钢板有普通钢板和花纹钢板及再加工的钢板网。

钢架所用的热轧型钢的规格及其几何特性见表 1-6~表 1-10; 花纹钢板及钢板网的规格见表 1-11、表 1-12。

表 1-5 钢材的选用

项次	结构类型和构件名称		计算温度	焊 接 结 构		非焊接结构	
				采用钢材	保证项目	采用钢材	保证项目
1	非承重结构	由构造决定的构件; 支撑、检修和通道平台结构、梯子、栏杆及类似的不受力构件	—	Q225-A、 Q225-AF、 Q235-AF、 Q235-BF	碳、硫、磷极限含量	Q225-A、 Q225-AF、 Q235-AF、 Q235-BF	硫、磷的极限含量
2				Q235-AF Q235-CF		1. 抗拉强度 2. 伸长率	
3	承受静力载荷或间接承受动力载荷的结构	一般的屋架、托架、柱子、天窗架、挡风架、檩条、支架、支撑、端架、操作平台及类似的受力构件	$\leq -10^\circ\text{C}$	Q235-A、 Q235-C、 15Mn、15MnV	3. 屈服强度 4. 碳、硫、磷的极限含量	Q235-AF、 Q235-CF	3. 屈服强度 4. 硫、磷的极限含量
4			$> -5^\circ\text{C}$	Q235-AF、 Q235-CF、 16Mn、15MnV		1. 抗拉强度 2. 伸长率 3. 屈服强度 4. 冷弯	Q235-AF、 Q235-CF
5		设有 $\geq 50\text{kN}$ 锻锤或与此相当的振动设备、厂房屋架、托架和柱; 跨度 $> 24\text{m}$ 的托架、跨度 $> 12\text{m}$ 的屋架; 皮带运输机桁架、平炉或转炉主要操作平台、储仓构件及类似的结构	$\leq -10^\circ\text{C}$	Q235-A、 Q235-C、 16Mn、15MnV	5. 碳、硫、磷的极限含量	Q235-AF、 Q235-CF	5. 硫、磷的极限含量

续表

项次	结构类型和构件名称	计算温度	焊接结构		非焊接结构	
			采用钢材	保证项目	采用钢材	保证项目
6	轻级工作制及起重量 < 500kN 的中级工作制吊车梁、单轨吊车梁或其他类似结构	$\geq -10^{\circ}\text{C}$	Q235-AF、 Q235-CF	1. 抗拉强度 2. 伸长率 3. 屈服强度 4. 冷弯 5. 碳、硫、磷的 极限含量	Q235-AF	1. 抗拉强度 2. 伸长率 3. 屈服强度 4. 冷弯 5. 硫、磷的极限 含量
7		$\leq -10^{\circ}\text{C}$	Q235-A、 Q235-C、 16Mn、15MnV	1. 抗拉强度 2. 伸长率 3. 屈服强度 4. 冷弯 5. 常温冲击韧性 6. 碳、硫、磷的 极限含量	Q235-AF、 Q235-CF	
8		起重量 > 500kN 的中级工作制吊车梁及类似结构	$> -5^{\circ}\text{C}$	Q235-AF、 Q235-CF、 16Mn、15MnV	1. 抗拉强度 2. 伸长率 3. 屈服强度 4. 冷弯 5. 常温冲击韧性 6. 碳、硫、磷的 极限含量	Q235-AF
9	起重量 > 500kN 的中级工作制吊车梁及类似结构	$\leq -5^{\circ}\text{C}$	Q235-A、 Q235-C、 16Mn、15MnV	1. 抗拉强度 2. 伸长率 3. 屈服强度 4. 冷弯 5. 常温冲击韧性 6. 负温冲击韧性 7. 碳、硫、磷的 极限含量	Q235-AF、 Q235-CF、 16Mn、15MnV	1. 抗拉强度 2. 伸长率 3. 屈服强度 4. 冷弯 5. 常温冲击韧性 6. 硫、磷的极限 含量
10	重级工作制吊车梁及类似结构	$> -5^{\circ}\text{C}$	Q235-A、 Q235-C、 16Mn、15MnV	1. 抗拉强度 2. 伸长率 3. 屈服强度 4. 冷弯 5. 常温冲击韧性 6. 碳、硫、磷的 极限含量	Q235-AF、 Q235-CF	1. 抗拉强度 2. 伸长率 3. 屈服强度 4. 冷弯 5. 常温冲击韧性 6. 硫、磷的极限 含量
11		$\leq -5^{\circ}\text{C}$	Q235-A、 Q235-C、 16Mn、15MnV、 10q、16Mnq、 15MnVq	1. 抗拉强度 2. 伸长率 3. 屈服强度 4. 冷弯 5. 常温冲击韧性 6. 负温冲击韧性 7. 碳、硫、磷的 极限含量	Q235-A、 Q235-C、 16Mn、15MnV	1. 抗拉强度 2. 伸长率 3. 屈服强度 4. 冷弯 5. 常温冲击韧性 6. 硫、磷的极限 含量
12	对于冶金工厂的夹钳或刚性料耙式吊车梁及其他类似的结构	$\leq -10^{\circ}\text{C}$	16Mn、16Mnq、 15MnV、 15MnVq、16q	1. 抗拉强度 2. 伸长率 3. 屈服强度 4. 冷弯 5. 常温冲击韧性 6. 负温冲击韧性 7. 时效冲击韧性 8. 碳、硫、磷的 极限含量	Q235-A、 Q235-C、 16q、16Mn、 16MnV、 16Mnq、 15MnVq	1. 抗拉强度 2. 伸长率 3. 屈服强度 4. 冷弯 5. 常温冲击韧性 6. 负温冲击韧性 7. 硫、磷的极限 含量

注：1. 计算温度应按现行《工业企业采暖通风和空气调节设计规范》中的冬季空气调节室外计算温度确定。对采暖房屋内的结构可按该数值提高  $10^{\circ}\text{C}$  采用。

2. 表中“负温冲击韧性”指对于 Q235 钢应具有  $-20^{\circ}\text{C}$  冲击韧性的保证；对于低合金钢尚应具有  $-40^{\circ}\text{C}$  冲击韧性的保证。

3. 低温地区的露天（或类似露天）焊接结构采用沸腾钢时，板厚不宜大于 25mm。

$$r_1 = \frac{1}{5}d$$

$$r_2 = 0$$

$$r_0 = 0$$

- $b$ ——边宽  
 $R$ ——内圆弧半径  
 $r_2$ ——边缘外弧半径  
 $I$ ——惯性矩  
 $W$ ——截面系数  
 $a$ ——质心至顶端距离  
 $d$ ——边厚  
 $r_1$ ——边缘内弧半径  
 $r_0$ ——顶端圆弧半径  
 $r$ ——惯性半径  
 $Z_0$ ——质心距离  
 $I_K$ ——抗扭惯性矩

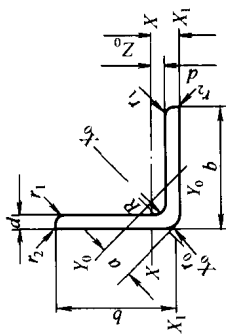


表 1-6 等边角钢截面特性

角钢号数	尺寸, mm		截面积 cm <sup>2</sup>	理论质量 kg/m	外表面积 m <sup>2</sup> /m	参 考 数 值														
						X-X			X <sub>0</sub> -X <sub>0</sub>			Y <sub>0</sub> -Y <sub>0</sub>			X <sub>1</sub> -X <sub>1</sub>					
						I <sub>X</sub> cm <sup>4</sup>	r <sub>X</sub> cm	W <sub>max</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>X0</sub> cm <sup>4</sup>	r <sub>X0</sub> cm	W <sub>X0</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>Y0</sub> cm <sup>4</sup>	r <sub>Y0</sub> cm	W <sub>min</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>max</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>X1</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>K</sub> cm <sup>4</sup>			
2	20	3*	1.132	0.889	0.078	0.40	0.59	0.29	0.67	0.63	0.75	0.45	0.17	0.39	0.20	0.30	0.81	0.04	0.85	0.60
		4 <sup>△</sup>	1.459	1.145	0.077	0.50	0.58	0.36	0.78	0.73	0.55	0.22	0.38	0.24	0.43	1.09	0.09	0.90	0.64	
2.5	25	3 <sup>△</sup>	1.432	1.124	0.098	0.82	0.76	0.46	1.12	1.29	0.95	0.73	0.34	0.49	0.33	0.46	1.57	0.04	1.03	0.73
		4*	1.859	1.459	0.097	1.03	0.74	0.59	1.36	1.62	0.93	0.92	0.43	0.48	0.40	0.62	2.11	0.11	1.07	0.76
3.0	30	3 <sup>△</sup>	1.749	1.373	0.117	1.46	0.91	0.68	1.72	2.31	1.15	1.09	0.61	0.59	0.51	0.66	2.71	0.66	1.20	0.85
		4*	2.276	1.786	0.117	1.84	0.90	0.87	2.07	2.92	1.13	1.37	0.77	0.58	0.62	0.89	3.63	0.13	1.26	0.89
3.6	36	3	2.109	1.656	0.141	2.53	1.11	0.99	2.58	4.09	1.39	1.61	1.07	0.71	0.76	0.95	4.68	0.06	1.41	1.00
		4	2.756	2.163	0.141	3.29	1.09	1.28	3.16	5.22	1.33	2.05	1.37	0.70	0.93	1.27	6.25	0.15	1.47	1.04
4	40	5	3.382	2.654	0.141	3.95	1.08	1.56	3.69	6.24	1.36	2.45	1.65	0.70	1.09	1.60	7.84	0.30	1.51	1.07
		3 <sup>△</sup>	2.359	1.852	0.157	3.59	1.23	1.23	3.29	5.69	1.55	2.01	1.49	0.79	0.96	1.16	6.41	0.07	1.54	1.09
4	40	4*	3.086	2.422	0.157	4.60	1.22	1.60	4.07	7.29	1.54	2.58	1.91	0.79	1.19	1.55	8.56	0.17	1.60	1.13
		5	3.791	2.976	0.156	5.53	1.21	1.96	4.73	8.76	1.52	3.10	2.30	0.78	1.39	1.95	10.74	0.33	1.65	1.17

角 钢 号 数	尺寸, mm		截面面积 cm <sup>2</sup>	理论质量 kg/m	外表面积 m <sup>2</sup> /m	参 考 数 值												a cm	Z <sub>0</sub> cm	
						X - X				X <sub>0</sub> - X <sub>0</sub>				Y <sub>0</sub> - Y <sub>0</sub>						I <sub>K</sub> cm <sup>4</sup>
						I <sub>X</sub> cm <sup>4</sup>	r <sub>X</sub> cm	W <sub>min</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>max</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>X0</sub> cm <sup>4</sup>	r <sub>X0</sub> cm	W <sub>X0</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>Y0</sub> cm <sup>4</sup>	r <sub>Y0</sub> cm	W <sub>min</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>max</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>X1</sub> cm <sup>4</sup>			
4.5	45	3	2.659	2.088	0.177	5.17	1.40	1.58	4.24	8.20	1.76	2.58	2.14	0.90	1.24	1.47	9.12	0.08	1.72	1.22
						6.65	1.38	2.05	5.28	10.56	1.74	3.32	2.75	0.89	1.54	1.96	12.18	0.19	1.78	1.26
						8.04	1.37	2.51	6.18	12.74	1.72	4.00	3.33	0.88	1.81	2.48	15.25	0.38	1.84	1.30
	50	3	9.33	1.36	2.95	7.02	14.76	1.70	4.64	3.89	0.88	2.06	2.99	18.36	0.65	1.88	1.33			
			7.18	1.55	1.96	5.36	11.37	1.96	3.22	2.98	1.00	1.57	1.82	12.50	0.09	1.89	1.34			
			9.26	1.54	2.56	6.71	14.70	1.94	4.16	3.82	0.99	1.96	2.41	16.69	0.21	1.95	1.38			
5.6	56	4	4.803	3.770	0.196	11.21	1.53	3.13	7.89	17.79	1.92	5.03	4.64	0.98	2.31	3.04	20.90	0.42	2.01	1.42
			13.05	1.52	3.68	8.94	20.68	1.91	5.85	5.42	0.98	2.63	3.69	25.14	0.72	2.06	1.46			
			10.19	1.75	2.48	6.89	16.14	2.20	4.08	4.24	1.13	2.02	2.27	17.56	0.10	2.09	1.48			
	56	4	13.18	3.446	0.220	13.18	1.73	3.24	8.61	20.92	2.18	5.28	5.46	1.11	2.52	3.04	23.43	0.24	2.16	1.53
			16.02	4.251	0.220	16.02	1.72	3.97	10.20	25.42	2.17	6.42	6.61	1.10	2.98	3.80	29.33	0.47	2.22	1.57
			23.63	6.568	0.219	23.63	1.68	6.03	14.07	37.37	2.11	9.44	9.89	1.09	4.16	6.24	47.24	1.91	2.38	1.68
6.3	63	4	4.978	3.907	0.248	19.03	1.96	4.13	11.19	30.17	2.46	6.78	7.89	1.26	3.29	3.85	33.35	0.27	2.40	1.70
			6.143	4.822	0.248	23.17	1.94	5.08	13.32	36.77	2.45	8.25	9.57	1.25	3.90	4.80	41.73	0.53	2.46	1.71
			7.288	5.721	0.247	27.12	1.93	6.00	15.24	43.03	2.43	9.66	11.20	1.24	4.46	5.78	50.14	0.91	2.52	1.78
	63	6	34.46	7.469	0.247	34.46	1.90	7.75	18.63	54.56	2.40	12.25	14.33	1.23	5.47	7.79	67.11	2.15	2.62	1.85
			41.09	9.151	0.246	41.09	1.88	9.39	21.29	64.85	2.36	14.56	17.33	1.22	6.36	10.04	84.31	4.20	2.73	1.93
			26.39	4.372	0.275	26.39	2.18	5.14	14.19	41.80	2.74	8.44	10.99	1.40	4.17	4.74	45.74	0.30	2.63	1.86
70	5	32.21	5.397	0.275	32.21	2.16	6.32	16.86	51.08	2.73	10.32	13.34	1.39	4.95	5.93	57.21	0.58	2.70	1.91	
		7.48	6.106	0.275	37.77	2.15	7.48	19.37	59.98	2.71	12.11	15.61	1.38	5.67	7.12	68.73	1.01	2.76	1.95	
		37.77	6.106	0.275	37.77	2.15	7.48	19.37	59.98	2.71	12.11	15.61	1.38	5.67	7.12	68.73	1.01	2.76	1.95	

续表

角 钢 号 数	尺寸, mm		截面面积 cm <sup>2</sup>	理论质量 kg/m	外表面积 m <sup>2</sup> /m	参 考 数 值												a cm	Z <sub>0</sub> cm		
						X-X				X <sub>0</sub> -X <sub>0</sub>				Y <sub>0</sub> -Y <sub>0</sub>						X <sub>1</sub> -X <sub>1</sub>	
						I <sub>X</sub> cm <sup>4</sup>	r <sub>X</sub> cm	W <sub>min</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>max</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>X0</sub> cm <sup>4</sup>	r <sub>X0</sub> cm	W <sub>X0</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>Y0</sub> cm <sup>4</sup>	r <sub>Y0</sub> cm	W <sub>min</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>max</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>X1</sub> cm <sup>4</sup>			I <sub>K</sub> cm <sup>4</sup>	
7	70	7*	9.424	7.398	0.275	43.09	2.14	8.59	21.65	68.35	2.69	13.81	17.82	1.38	6.34	8.34	80.29	1.60	2.81	1.99	
		8	10.667	8.373	0.274	48.17	2.12	9.68	23.73	76.37	2.68	15.43	19.98	1.37	6.98	9.61	91.92	2.39	2.87	2.03	
(7.5)	75	5	7.367	5.818	0.295	39.97	2.33	7.32	19.59	68.30	2.92	11.94	16.63	1.50	5.77	6.88	70.56	0.63	2.88	2.04	
		6	8.797	6.905	0.294	46.95	2.31	8.64	22.69	74.38	2.90	14.02	19.51	1.49	6.67	8.21	84.55	1.08	2.93	2.07	
		7△	10.160	7.976	0.294	53.57	2.30	9.93	25.39	84.96	2.89	16.02	22.18	1.48	7.44	9.56	98.71	1.71	2.98	2.11	
		8*	11.503	9.030	0.294	59.96	2.28	11.20	27.89	95.07	2.88	17.93	24.86	1.47	8.19	10.99	112.97	2.56	3.04	2.15	
8	80	10	14.126	11.089	0.293	71.98	2.26	13.64	32.42	113.92	2.84	21.48	30.05	1.46	9.56	13.89	141.71	5.00	3.14	2.22	
		5	7.912	6.211	0.315	48.79	2.48	8.34	22.69	77.33	3.13	13.67	20.25	1.60	6.66	7.74	85.36	0.67	3.04	2.15	
		6	9.397	7.376	0.314	57.35	2.47	9.87	26.19	99.98	3.11	16.08	23.72	1.59	7.65	9.27	102.50	1.15	3.10	2.19	
		7△	10.860	8.525	0.314	65.58	2.46	11.37	29.41	104.07	3.10	18.40	27.09	1.58	8.58	10.82	119.70	1.83	3.15	2.23	
9	90	8*	12.303	9.658	0.314	73.49	2.44	12.83	32.37	116.60	3.08	20.61	30.39	1.57	9.46	12.42	136.97	2.73	3.21	2.27	
		10	15.126	11.874	0.313	88.43	2.42	15.64	37.63	140.09	3.04	24.76	36.77	1.56	11.08	15.76	171.74	5.33	3.32	2.35	
		6	10.637	8.350	0.354	82.77	2.79	12.61	33.02	131.26	3.51	20.63	34.28	1.80	9.95	11.77	145.87	1.30	3.45	2.44	
		7	12.301	9.656	0.354	94.83	2.78	14.54	38.24	150.47	3.50	23.64	39.18	1.78	11.09	13.72	170.30	2.06	3.51	2.48	
10	100	8*	13.944	10.946	0.353	106.47	2.76	16.42	42.25	168.97	3.48	26.55	43.97	1.78	12.35	15.70	194.80	3.07	3.56	2.52	
		10△	17.167	13.476	0.353	128.58	2.74	20.07	49.64	203.90	3.45	32.04	53.26	1.76	14.52	19.72	244.07	6.00	3.66	2.59	
		12	20.306	15.940	0.352	149.22	2.71	23.57	55.89	236.21	3.41	37.12	62.22	1.75	16.49	24.04	293.76	10.37	3.78	2.67	
		6	11.932	9.366	0.393	114.95	3.10	15.68	43.05	181.89	3.90	25.74	47.92	2.00	12.69	14.54	200.07	1.44	3.78	2.67	
10	100	7	13.796	10.830	0.393	131.86	3.09	18.10	48.66	208.97	3.89	29.55	54.74	1.99	14.26	16.00	233.54	2.29	3.83	2.71	
		8*	15.638	12.276	0.393	148.24	3.08	20.47	53.71	235.07	3.88	33.24	61.41	1.98	15.75	19.39	267.09	3.41	3.90	2.76	

角钢号数	尺寸, mm		截面积 cm <sup>2</sup>	理论质量 kg/m	外表面积 m <sup>2</sup> /m	参考数值																		a cm	Z <sub>0</sub> cm	
						X-X						X <sub>0</sub> -X <sub>0</sub>						Y <sub>0</sub> -Y <sub>0</sub>								X <sub>1</sub> -X <sub>1</sub>
						I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	r <sub>x</sub> cm	W <sub>max</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>min</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>x0</sub> cm <sup>4</sup>	r <sub>x0</sub> cm	W <sub>x0</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>y0</sub> cm <sup>4</sup>	r <sub>y0</sub> cm	W <sub>min</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>max</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>x1</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>k</sub> cm <sup>4</sup>								
10	100	10°	19.261	15.120	0.392	179.51	3.05	25.06	63.21	284.68	3.84	40.26	74.35	1.96	18.54	24.34	334.48	6.67	4.02	2.84						
		12°	22.800	17.898	0.391	208.90	3.03	29.48	71.79	330.95	3.81	46.80	86.84	1.95	21.08	29.38	402.34	11.52	4.11	2.91						
		14	26.256	20.611	0.391	236.53	3.00	33.73	79.11	374.06	3.77	52.90	99.00	1.94	23.44	34.83	470.75	18.29	4.23	2.99						
		16	29.627	23.257	0.390	262.53	2.98	37.82	85.79	414.16	3.74	58.57	110.89	1.94	25.63	40.42	539.80	27.31	4.33	3.06						
11	110	7	15.196	11.928	0.433	177.16	3.41	22.05	59.85	280.94	4.30	36.12	73.38	2.20	17.51	20.43	310.64	2.52	4.19	2.96						
		8	17.238	13.532	0.433	199.46	3.40	24.95	66.27	316.49	4.28	40.69	82.42	2.19	19.30	23.41	355.20	3.75	4.26	3.01						
		10	21.261	16.690	0.432	242.19	3.38	30.60	78.38	384.39	4.25	49.42	99.98	2.17	22.91	29.33	444.65	7.33	4.37	3.09						
		12	25.200	19.782	0.431	282.55	3.35	36.05	89.41	448.17	4.22	57.62	116.93	2.15	26.15	35.33	534.60	12.67	4.47	3.16						
12.5	125	14	29.053	22.809	0.431	320.71	3.32	41.31	98.98	508.01	4.18	65.31	133.40	2.14	29.14	41.74	625.16	20.12	4.58	3.24						
		8	19.750	15.504	0.492	297.03	3.88	32.52	88.14	470.89	4.88	53.28	123.16	2.50	25.86	30.48	521.01	4.27	4.77	3.37						
		10°	24.376	19.133	0.491	361.67	3.85	39.97	104.83	573.89	4.85	64.93	149.46	2.48	30.62	37.74	651.93	8.33	4.88	3.45						
		12°	28.912	22.696	0.491	423.16	3.83	41.17	119.88	671.44	4.82	75.96	174.88	2.46	35.03	45.46	783.42	14.40	4.99	3.53						
14	140	14	33.367	26.193	0.490	481.65	3.80	54.16	133.42	763.73	4.78	86.41	199.57	2.45	39.13	53.45	915.61	22.87	5.10	3.61						
		10△	27.373	21.488	0.551	514.65	4.34	50.58	134.73	817.27	5.46	82.56	212.04	2.78	39.20	47.15	915.11	9.33	5.40	3.82						
		12°	32.512	25.522	0.551	603.68	4.31	59.80	154.79	958.79	5.43	96.85	248.57	2.76	45.02	56.70	1099.3	16.13	5.51	3.90						
		14	37.567	29.490	0.550	688.81	4.28	68.75	173.07	1093.6	5.40	110.47	284.06	2.75	50.45	66.51	1284.2	25.61	5.63	3.98						
16	160	16	42.539	33.393	0.549	770.24	4.26	77.46	189.71	1221.8	5.36	123.42	318.67	2.74	55.55	76.64	1470.1	38.23	5.74	4.06						
		10	31.502	24.729	0.630	779.53	4.98	66.70	180.87	1237.3	6.27	109.36	321.76	3.20	52.76	61.66	1365.3	10.67	6.09	4.31						
		12△	37.441	29.391	0.630	916.58	4.95	78.98	208.79	1455.7	6.24	128.67	377.49	3.18	60.74	73.94	1639.6	18.43	6.21	4.39						
		14*	43.296	33.987	0.629	1048.4	4.92	90.95	234.53	1665.0	6.20	147.17	431.70	3.16	68.24	86.48	1914.7	29.27	6.32	4.47						

注: 上表所列角钢材料为 Q235A、Q235-AF 钢。d 项中有“△”“\*”符号者为普通低合金钢 Q235A、Q235-AF 钢都具有的规格, 其中有“\*”者, 为常用规格(下同)。



