

研究生教学用书

教育部研究生工作办公室推荐

普通高等教育“九五”国家级重点教材

# 钢结构设计原理

*Principles of Steel Structure Design*

(第四版)

陈绍蕃 著



科学出版社

**主 教 学 用 书**

教育部研究生工作办公室推荐

普通高等教育“九五”国家级重点教材

# 钢结构设计原理

Principles of Steel Structure Design

(第四版)

陈绍蕃 著

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

本书比较深入地讨论了钢结构的性能和钢结构设计中所考虑的有关问题,并尽可能地反映国内外在这方面的新成果。本书共十二章,前四章属于钢结构性能和设计的总论;第五至八章为各种构件的分论;第九和十章论述连接和构造设计;第十一章介绍冷弯薄壁型钢结构的特点;第十二章介绍塑性设计、受扭构件和加固设计等特殊问题。

本书可供高等院校结构工程专业的研究生学习,亦可供有关科研和工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计原理/陈绍蕃著. —4版. —北京:科学出版社,2016  
(普通高等教育“九五”国家级重点教材)

ISBN 978-7-03-048508-3

I. 钢… II. 陈… III. 钢结构—结构设计—高等学校—教材

IV. ①TU391.04

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第123212号

责任编辑:童安齐 / 责任校对:王万红

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

三河市骏杰印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2005年4月第 三 版 开本: B5(720×1000)

2016年6月第 四 版 印张: 31 1/2

2016年6月第十次印刷 字数: 616 000

定价: 66.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(骏杰))

销售部门电话 010-62136230 编辑部电话 010-62137154(HA08)

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

## 第四版序

本书的第四版和第三版相隔时间超过 10 年,首要任务自然是与时俱进,更新内容。本版在吸收国际上新进展方面,增加了疲劳计算的热点法、波纹腹板梁和有关防曲支撑应用的新问题等内容。近年来国内钢结构研究成果日益丰盛,本版也适当吸收,其中不乏著者本人的成果,如平板柱脚压杆的计算长度、不等边单角钢压杆的简化稳定计算和压弯构件的等效弯矩系数的改进等。钢结构抗火研究成果累累,本版如加以吸收则篇幅过大,又考虑到著者主编的相关的本科教材已增加了钢结构抗火的基本知识,因此决定把原第十二章 12.7 节删去。

为了适应创新型人才培养的需要,这次修订注意了开拓读者的思路和建立质疑的思路,如在第六章中提出交叉斜杆压杆屈曲后的承载能力问题,还提出生产残余应力分布有利的热轧型钢的设想,都是这方面的尝试。针对高强度螺栓撬力计算等内容本版指出现行规范、规程存在的缺点,提出相应的改进方案,这均会对读者有所启发。本版在每章后增加一段“本章提示”,目的在于帮助读者加深这章内容的理解,或许也能起一点开阔思路的作用。

第九章 9.1.5 小节焊缝极限承载力算例有错误,这次得到改正。

著者因年迈并患有疾病,无力承担这次修订的全部任务。为此邀请同事杨应华教授参与这项工作。新增加的 4.3 节、7.7 节和防曲支撑框架等新增内容,都由他完成,其他章节也有不少他的贡献。著者谨在这里记录他的成就,并表示深切的谢意。

陈绍蕃

2016.2.2 于西安

时年 97 岁

## 第三版序

随着时光流逝和事物的发展,本书又到了修订的时刻。推出第三版的直接原因是有关设计和施工规范、规程的修订,包括《钢结构设计规范》、《冷弯薄壁型钢结构技术规范》、《建筑抗震设计规范》、《钢结构工程施工质量验收规范》、《建筑钢结构焊接技术规程》和《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》的修订。然而,更基本的原因则是学科进展的新成就和钢材生产领域的新成果。规范和规程的新版本在一定范围内体现了这些新成就,而本书的修订面则更为广泛。

具体修改和补充的主要内容有:

- (1) 连铸技术,高性能钢材,热矫正、热成型及火灾的影响;
- (2) 轴心压杆的弯扭屈曲计算,柱段屈曲的相关作用;
- (3) 受弯构件端部加劲肋对整体稳定计算长度的影响,腹板受弯、受剪屈曲后强度的简化计算;
- (4) 框架有侧移失稳和无侧移失稳的判据,框架柱计算长度的调整和精度分析,框架简化的二阶弹塑性稳定分析和二阶弹性分析,半刚性框架;
- (5) 高强螺栓承压型连接,半刚性和刚性连接的分界,螺栓端板连接的刚度;
- (6) 板件相关屈曲和畸变屈曲,开口截面的直接承载力法,方管桁架的节点承载力;
- (7) 框架节点的抗震设计,防曲支撑框架;
- (8) 钢结构防火设计。

著者希望在快速发展的新形势下,这本第三版能够继续体现本书的初衷,在造就钢结构专业人才方面发挥有益的作用。

## 第二版序

本书问世以来,已经经历了 10 年时间。在这 10 年中,钢结构作为一门学科取得了不小的进展,改革开放政策又使钢结构在我国的应用日趋广泛。为顺应这一喜人的形势,本书再版就提到日程上来了。

这次再版修订工作,重点在内容更新,包括增加新阶段,在原有基础上适当扩展和以新的资料取代陈旧的内容。主要有:第一章增加快速加荷和循环加荷对钢材和结构的影响;第二章增加稳定设计的几项原则;第三章对防止脆断的选材方法做了补充;第四章增加变幅疲劳的计数方法;第六章增加厚壁柱的残余应力和稳定系数,并对支撑设计进行了以新代旧和扩展;第七章梁的支撑设计也是既有更新又有扩展,还充实了腹板屈曲后强度利用的设计方法;第八章增强了框架弹塑性二阶分析;第九章增加焊缝群的极限承载力计算和螺栓连接的剪拉联合破坏计算;第十章增加箱形截面柱和梁连接的构造,并更新和扩充了桁架节点设计的内容;第十一章增加冷弯型钢的残余应力分布,并用新的方管桁架设计的完整资料取代原有比较杂乱的内容;第十二章增加了抗震钢结构的特点部分,并对“设计中的试验工作”一节做了更新。

在修订过程中较多地吸收了 10 年来我国在钢结构研究方面取得的成果,同时也参考了国外的研究成果和 20 世纪 90 年代新的设计规范(欧洲的 EC3-ENV-1993 和美国的 AISC-LRFD-1993)。本书第一版脱稿时我国的现行规范 GBJ17-88 和 GBJ18-87 都还未最后定稿和实施,而后来的正式颁行本和当初的草案之间存在着少量差别;本版都据之做了订正。在研究生教学过程中发现第一版存在的缺点和错误,本版也都做了相应修改。

本书几年来为我国多所高等学校用作结构工程研究生教材,并于 1996 年经高校建筑工程学科专业指导委员会审定为重点教材。作者希望经过这次修订后本书能够更好地符合研究生培养工作的要求,并为从事钢结构工作的广大工程技术人员提供有益的较新参考资料。本版的修订也会存在新的不足或谬误,希望读者发现后不吝指正。

# 第一版序

对钢结构性能的全面了解,是从事钢结构设计的人员所必须具备的条件。所谓“性能”,是指结构在各种不同的荷载作用和环境条件下的反应。对性能的了解包括对各种钢材的特点、制造和安装的各工序对构件产生的影响、结构所处环境的影响、各类荷载作用的效应、结构形式和构造细节可能引起的后果等的了解。此外,设计工作者还必须了解如何满足施工的要求,以使设计能顺利实现并获得优良的工程质量。工程设计是复杂的综合性问题,只有掌握上述这些知识,才能对工程实践中出现的各种情况应付裕如。目前国内钢结构方面的出版物很少,很不适应钢结构工程迅速发展的需要。作者不揣鄙陋编写这本《钢结构设计原理》作为应急之需,希望它能够在造就钢结构专业人才方面起一点微薄的作用。

本书的读者对象是已经学过大学本科钢结构课程的人员,包括研究生和科研、设计及施工的技术人员。因此,本书的内容是在钢结构初步知识的基础上加深提高。前四章属于钢结构性能的总论。对于钢结构承载能力的极限状态,除了强度和过度变形不能继续承载外,丧失稳定、疲劳破损和脆性断裂都占有重要位置。本书第二至四章分别对后三个问题集中地做了一般性的论述。第五至八章是构件的分论,分别论述拉杆、压杆、受弯构件和压弯构件的承载能力,其中稳定问题占较大分量。作者在选材时注意避免重复一般教科书中有关稳定理论的内容,尽量把稳定计算公式和构造紧密联系起来,把理论和实际设计联系起来。第九、十两章论述连接和构造。正确确定构造细节是钢结构设计的重要组成部分,但有时不为人们所重视。这里单辟一章讲构造设计,不仅意在强调其重要性,并且还由于集中论述而使得构造设计的原则更容易为读者所掌握。作为一本研究生教材和工程技术人员更新知识的读物,本书的内容力求反映近年来国内外的新成就。除了在第一至十章中尽量这样做外,又写了第十一和第十二章,论述冷弯薄壁型钢结构的设计特点,塑性设计和箱形梁等新结构和新设计方法。第十二章还纳入一些特殊问题如钢结构的加固等。

本书的第一至十章承蒙清华大学王国周教授和浙江大学夏志斌教授详细审阅并提出改进意见,谨致谢意。我在西安冶金建筑学院钢木结构教研室的同事陈骥、郭在田、蒋焕南、赵挥琴、何保康和研究生童根树、顾强等同志也对初稿的许多章节提出了不少好意见,一并在这里致谢。

# 目 录

第四版序

第三版序

第二版序

第一版序

第一章 钢结构的基本性能	1
1.1 钢材的生产及其对材性的影响	1
1.2 钢结构的建造过程及其对构件性能的影响	11
1.3 外界作用对钢结构性能的影响	19
参考文献	24
第二章 钢结构稳定问题概述	25
2.1 钢结构的失稳破坏	25
2.2 失稳的类别	27
2.3 结构稳定问题的特点	30
2.4 稳定计算中的整体观点	32
2.5 稳定设计的几项原则	36
参考文献	37
第三章 钢结构的断裂	38
3.1 钢结构脆性破坏及其原因	38
3.2 断裂力学的观点	40
3.3 防止脆性断裂	44
3.4 应力腐蚀开裂	55
参考文献	57
第四章 疲劳破坏	58
4.1 影响疲劳破坏的因素	58
4.2 疲劳设计的准则	67
4.3 热点应力法	77
4.4 疲劳试验和检验	79
4.5 提高疲劳性能的工艺措施	82
参考文献	84



<b>第五章 拉杆</b> .....	85
5.1 拉杆的极限状态 .....	85
5.2 净截面的效率 .....	87
5.3 角钢拉杆 .....	90
5.4 螺纹拉杆 .....	94
参考文献 .....	95
<b>第六章 压杆</b> .....	96
6.1 压杆的极限状态 .....	96
6.2 压杆的稳定计算 .....	107
6.3 压杆的计算长度 .....	114
6.4 格构式压杆 .....	131
6.5 压杆的截面尺寸 .....	142
6.6 压杆的支撑 .....	149
参考文献 .....	158
<b>第七章 受弯构件</b> .....	160
7.1 受弯构件的截面强度 .....	160
7.2 梁的过度塑性变形 .....	167
7.3 梁的整体稳定 .....	173
7.4 薄腹板梁的承载能力 .....	200
7.5 多钢种混用梁 .....	210
7.6 梁的截面尺寸 .....	213
7.7 波纹腹板钢梁 .....	217
参考文献 .....	223
<b>第八章 压弯构件和框架</b> .....	225
8.1 压弯构件的强度和平面内稳定 .....	225
8.2 压弯构件的空间失稳 .....	238
8.3 杆端约束和杆计算长度 .....	246
8.4 框架 .....	267
8.5 压弯构件的截面尺寸 .....	277
参考文献 .....	280
<b>第九章 连接</b> .....	283
9.1 角焊缝的性能和计算 .....	283
9.2 抗剪螺栓连接 .....	295
9.3 抗拉螺栓连接 .....	306

---

9.4 兼承剪力和拉力的螺栓连接 .....	316
9.5 承受重复荷载的螺栓连接 .....	318
9.6 混合连接 .....	321
参考文献 .....	324
<b>第十章 构造设计 .....</b>	<b>325</b>
10.1 构件的拼接 .....	325
10.2 梁与梁的连接 .....	333
10.3 梁与柱连接的分类 .....	335
10.4 梁与柱连接的构造 .....	337
10.5 柱脚 .....	351
10.6 桁架节点 .....	356
10.7 抵抗疲劳的构造 .....	364
10.8 抵抗脆性断裂的构造 .....	370
参考文献 .....	374
<b>第十一章 冷弯薄壁型钢结构的特点 .....</b>	<b>376</b>
11.1 冷弯薄壁构件的一般特点 .....	376
11.2 屈曲后强度和有效截面 .....	384
11.3 屈曲中的相关作用 .....	398
11.4 方管、矩形管桁架节点 .....	407
参考文献 .....	422
<b>第十二章 钢结构设计的其他问题 .....</b>	<b>424</b>
12.1 钢结构的塑性设计 .....	424
12.2 抗震钢结构的特点 .....	436
12.3 箱形梁 .....	452
12.4 受扭构件 .....	464
12.5 设计中的试验工作 .....	472
12.6 钢结构加固设计 .....	474
参考文献 .....	482
<b>索引 .....</b>	<b>485</b>

## 第一章 钢结构的基本性能<sup>[1.1-1.27]</sup>

钢结构的内在特性是由它所用的原材料和所经受的一系列加工过程决定的。外界的作用,包括各类荷载和气象环境对它的性能也有不可忽视的影响。

建筑工程中,钢结构所用的钢材都是塑性比较好的材料,在拉力作用下,应力-应变曲线在超过弹性后有明显的屈服点和一段屈服平台,然后进入强化阶段。传统的钢结构设计,以屈服点作为钢材强度的极限,并把局部屈服作为承载能力的准则。但是,钢材的塑性性能在一定条件下是可以利用的:简支梁可以允许塑性在弯矩最大截面上发展;连续梁和框架的塑性设计方法,允许在结构中出现塑性铰以及继之而来的内力重分布。这种利用塑性的设计方法已经提到日程上来了。

钢材和其他建筑结构材料相比,强度要高得多。在同样的荷载条件下,钢结构构件截面小,截面组成部分的厚度也小。因此,稳定问题在钢结构设计中是一个突出的问题。只要构件及其局部有受压的可能,在设计时就应考虑如何防止失稳。有时,局部性的失稳还不是构件承载能力的极限,则可以不加防止,并对屈服后强度加以利用。

建筑结构钢材有较好的韧性。因此,有动力作用的重要结构经常用钢来做。但设计这类钢结构,还必须正确选用钢材,当荷载多次重复时,还应从计算、构造和施工几个方面来考虑疲劳问题。

钢材的韧性并不是一成不变的。材质、板厚、受力状态、温度等都会对它有所影响。钢结构曾经有过脆性断裂的事故,从焊接结构开始推广的年代起,脆断一直成为一个引人注目的问题。

深入了解钢结构的特性,必须从钢材开始。本章着重论述材料和施工过程对钢结构的影响。第二至第四章简要论述钢结构在稳定、脆断和疲劳方面的特性。

### 1.1 钢材的生产及其对材性的影响

建筑结构所用的钢材包括两大类:一类是热轧型钢和钢板(图 1.1);另一类是冷成型(冷弯、冷冲、冷轧)的薄壁型钢和压型钢板(图 1.2)。

钢在熔炼炉中炼成后,先浇注成钢锭,然后经过多次辗轧才形成钢材。冶炼、脱氧、辗轧等环节都对钢材的性能有很大影响。

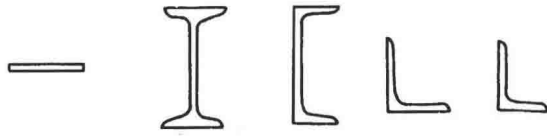


图 1.1 热轧钢材



图 1.2 冷弯型钢

### 1.1.1 钢的熔炼

冶炼按需要生产的钢号进行,它决定钢材的主要化学成分。各种化学元素对钢材性能的影响,一般钢结构教材都有所阐述,这里不作讨论。冶炼的炉种不同,所得钢材也有差异。目前我国大量生产的是平炉钢和氧气转炉钢,二者质量不相上下。早期生产的转炉钢都用空气吹炼,所含有害杂质多,尤其是含氮较多,使钢易脆,并对时效敏感。转炉钢改用氧气吹炼,大大改善了质量。如果吹入的氧气纯度高于 99.5%,则钢材的综合性能优于平炉钢:含氮量低,冲击韧性高 20%~30%<sup>[1.1]</sup>。氧气转炉钢具有投资少、建厂快、生产效率高、原料适应性强等优点,已成为炼钢工业发展的主要方向。我国曾经一度生产侧吹碱性转炉钢(空气转炉钢),轧成小角钢和圆钢,用于承受静力荷载的结构,目前已逐步为氧气转炉钢所代替。

### 1.1.2 钢的脱氧

钢的熔炼是把铁水中过多的碳和有害元素硫、磷加以氧化而脱去。在这一过程中,不免有少量的铁也氧化,形成氧化铁(FeO)。为此,需要进行脱氧。脱氧的手段是在钢液中加入和氧的亲合力比铁高的锰、硅或铝。脱氧的程度对钢材质量颇有影响。锰是一种弱脱氧剂,如果只在钢液中加些锰铁,则脱氧很不充分。钢液中还含有较多的 FeO,浇注时 FeO 和碳相互作用,形成 CO 气体逸出,引起钢液的剧烈沸腾;这样的钢称之为沸腾钢。沸腾钢在钢锭模中冷却很快,气体只能逸出一部分。因此,它夹杂有较多的 FeO,冷却后并有许多气泡[图 1.3(a)]<sup>[1.2]</sup>。硅是较强的脱氧剂,在熔炼炉或盛钢桶中加入适量的硅(硅铁),脱氧即比较充分。硅在还原氧化铁的过程中放出热量,使钢液冷却缓慢,气体大多可以逸出,所得钢锭称为镇静钢[图 1.3(b)]。这种钢锭在缓慢冷却和凝固过程中出现的晶核多,晶粒较细。冷却后因体积收缩而在上部形成较大缩孔,缩孔的孔壁有些氧化,在轧制时不能焊合,必须先把钢锭头部切去。切头后实得钢材仅为钢锭的 80%~85%。

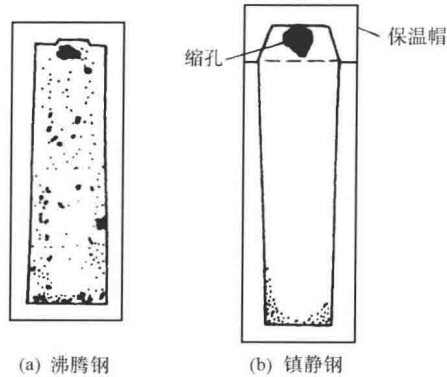


图 1.3 钢锭剖面

沸腾钢的质量不如镇静钢,它的杂质多而组织欠均匀,气泡周围容易集中硫化物,形成硫的偏析,组织也不够致密。但沸腾钢生产周期短,消耗脱氧剂少,轧钢时切头很小,成品率高,因此成本低廉。

镇静钢的性能优于沸腾钢,主要表现在容易保证必要的冲击韧性,包括低温冲击和时效冲击。在静力作用下,屈服点也比沸腾钢稍高。由于成本高,过去我国镇静钢只用于承受动力荷载或处于低温的结构,而沸腾钢则用得比较普遍。上面谈到沸腾钢容易存在硫的偏析,而在焊接结构中硫的偏析可能引起热裂纹。因此欧洲一些国家规定:当不能避免在偏析区施焊时,不应采用非镇静钢。GB 50017—2003规范规定沸腾钢不能用于下列焊接结构:①需要验算疲劳者;②处于 $-30^{\circ}\text{C}$ 和更低温度者;③工作温度低于 $-20^{\circ}\text{C}$ 并直接承受动力荷载(但不需验算疲劳)者。鉴别沸腾钢和镇静钢,可以通过硅的含量来进行。按我国的国家标准《碳素结构钢》(GB 700—88)的规定:沸腾钢含硅量不超过 $0.07\%$ ,实际上常低于 $0.03\%\sim 0.07\%$ ;镇静钢的含硅量为 $0.12\%\sim 0.30\%$ ,实际下限常在 $0.15\%\sim 0.17\%$ ;半镇静钢含硅量在上述二者之间,不超过 $0.17\%$ ,实际常不低于 $0.10\%\sim 0.12\%$ <sup>[1.4]</sup>。GB 700—88还规定,Q235钢分为A,B,C,D四级。前二级可以是沸腾钢、半镇静钢或镇静钢,C级必须是镇静钢。

对冲击韧性(尤其是低温冲击韧性)要求高的重要结构,如寒冷地区的露天结构,钢材宜用以硅脱氧后再用铝补充脱氧的特殊镇静钢。GB 700—88所规定的Q235D钢,即属于特殊镇静钢,要求含有酸溶铝不少于 $0.015\%$ (或全铝不少于 $0.020\%$ )。低合金结构钢要求 $-20^{\circ}\text{C}$ 或 $-40^{\circ}\text{C}$ 冲击韧性者,也有类似要求。用铝进行补充脱氧,不仅进一步减少钢中的有害氧化物,而且能够细化晶粒。这种钢比一般镇静钢具有更高的室温冲击韧性和更低的冷脆倾向性和时效倾向性。冶金工厂承载运转特别繁重的硬钩吊车的吊车梁,采用这种钢材也比较合适。当然,用铝脱氧也使钢材成本进一步提高。图 1.4 给出化学成分(除硅外)十分接近的镇静钢板和沸腾钢板冲击韧性值 $a_k$ 随温度变化的曲线。钢的含碳

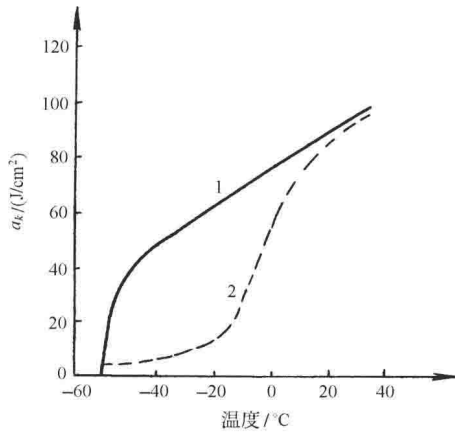


图 1.4 镇静钢和沸腾钢的冲击韧性  
1. 镇静钢; 2. 沸腾钢

量为 0.20% (钢液化验的数字, 钢板化验为 0.23%)。曲线 1 的钢板厚 10mm, 为铝补充脱氧的镇静钢, 脆性转变温度低达 -60°C。曲线 2 的钢板厚 18mm, 为沸腾钢, 它的冲击韧性在室温下并不比镇静钢低多少, 但在负温度下就相差悬殊, 脆性转变温度为 -10°C。

目前, 我国大部分钢厂已经采用连铸技术取代传统的钢锭模浇铸方法。连续浇铸的过程不再出现沸腾状态, 产品属于镇静钢。由于没有缩孔和切头造成的损失, 其价格并不高于传统的沸腾钢<sup>[1,3]</sup>。连铸钢坯化学成分分布比较均匀, 只有轻微的偏析现象。因此, 沸腾钢正逐渐从市场上消失。图 1.5 给出连铸机的示意图。

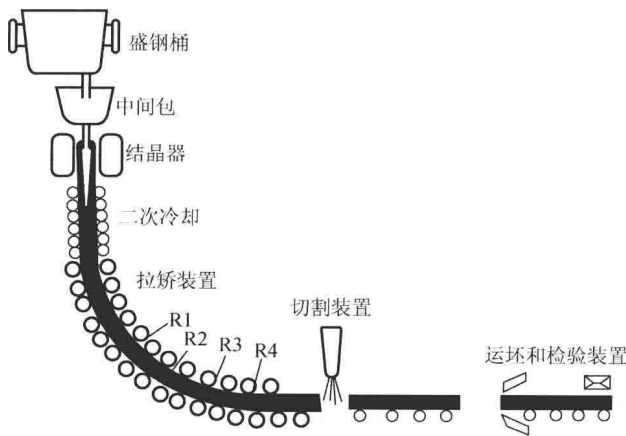


图 1.5 多半径弧形连铸机

高强度低合金钢一般都是镇静钢, 我国过去的普通低合金结构钢系列中也有半镇静钢, 即 18 铌半<sup>[1,5]</sup>, 但 GB 1591—88 中已改为 18 铌。

### 1.1.3 钢的轧制

辊轧是型钢和钢板成型的工序,它给这些钢材的组织 and 性能以很大影响。辊轧有热轧和冷轧之分,以前者为主。冷轧只用于生产小号型钢和薄板。

热轧可以破坏钢锭的铸造组织,细化钢材的晶粒(图 1.6),并消除显微组织的缺陷。浇注时形成的气泡、裂纹和疏松,可在高温和压力作用下焊合。经过热轧后,钢材组织密实,力学性能得到改善。这种改善主要体现在沿轧制方向上,从而使钢材在一定程度上不再是各向同性体。经过轧制之后,钢材内部的非金属夹杂物(主要是硫化物和氧化物,还有硅酸盐)被压成薄片,出现分层(夹层)现象。分层使钢材沿厚度方向受拉的性能大大恶化,并且有可能在焊缝收缩时出现层间撕裂(图 1.7)。焊缝收缩诱发的局部应变时常达到屈服点应变的数倍,比荷载引起的应变大得多。

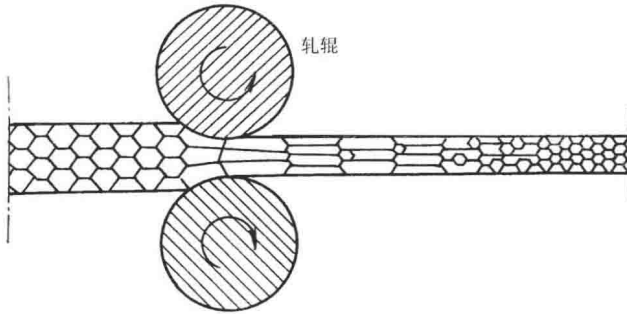


图 1.6 钢的轧制使晶粒细化

对于型钢和扁钢来说,轧制形成的非各向同性并不引起什么问题,因为它们总是沿辊轧方向受力的,对钢板则有所不同,下料切成小块后有可能垂直于辊轧方向受力,大块的板也可能处于平面应力状态。因此钢板拉力试验的试样应垂直于轧制方向切取(图 1.8)。按照钢材标准冲击试验取纵向试样。

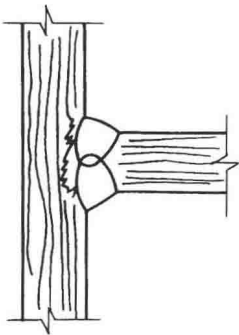


图 1.7 层间撕裂

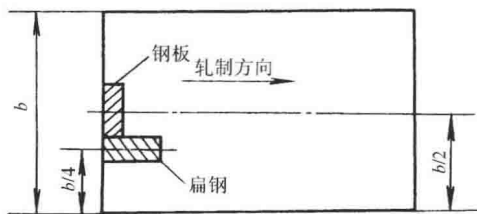


图 1.8 钢板和扁钢试件取样

实践表明,热轧钢材厚度小者强度高于厚度大者,而且塑性及冲击韧性也比较好。因此钢材的机械性能要按厚度分级,如 Q235 钢只是在厚度不超过 16mm 时屈服点为 235N/mm<sup>2</sup>。超过 16mm 时要按厚度的递增而逐步减小。薄钢材性能好的原因,是辊轧次数多,轧制的压缩比大。厚度很大的钢材,压缩比过小,内部组织不如压缩比大的钢材,机械性能较差,尤其是冲击韧性差别最为显著。

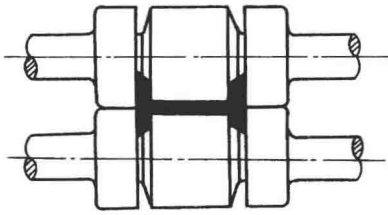


图 1.9 工字钢轧辊

同一根热轧型钢的不同部分,因压轧条件不同,机械性能也会有差别。轧制普通工字钢的轧机只有两个水平轧辊(图 1.9)。辊轧成型时,腹板所受压力大于翼缘,翼缘所受压力和它内侧的斜度有关。压力不同,其结果是翼缘和腹板在组织上有差别,机械性能随之也有差别:腹板的性能优于翼缘。但是,工字钢用作受弯构件时,翼缘的应力

大于腹板,承载能力主要取决于翼缘的性能。因此,拉力试样如能在翼缘上取样,将更为合理,但翼缘内侧有坡度,不便做试样。因此,我国目前规定<sup>[1.6]</sup>,各类型钢拉力试验和冲击试验的样坯都从翼缘上切取,如图 1.10(b~e)所示。不过,槽钢和工字钢拉伸试件也可以在腹板取样[图 1.10(b,c)],试样部位见图。

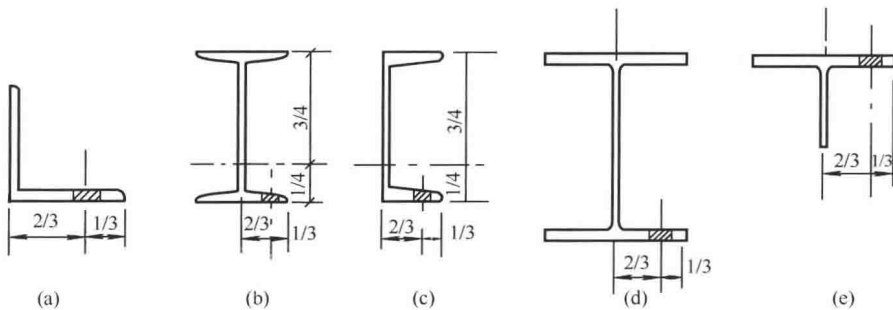


图 1.10 型钢试件取样

宽翼缘工字钢(H 形钢)的翼缘内侧没有坡度,用两个水平轧辊和两个竖向轧辊同时辊压(图 1.11),翼缘也直接受到压力,情况要比普通工字钢好得多。但由于厚度不同,翼缘和腹板的性能还会有差别。差别的幅度,不同的试验报告有一些出入。B.W.Young 所得的结果是:翼缘的屈服点变动在腹板屈服点的 76%~98%<sup>[1.7]</sup>。D.J.L.Kennedy 和 M.G.Aly 在分析宽翼缘工字钢的统计参数时取翼缘屈服点为腹板的 0.95<sup>[1.8]</sup>。屈服点变动情况可参看图 6.9(a)。

热轧的另一后果,是不均匀冷却造成的残余应力。以图 1.12(a)的钢板而言,板的两边和空气接触的面积大,冷却得快,中部则相反,在边部已经完全冷却



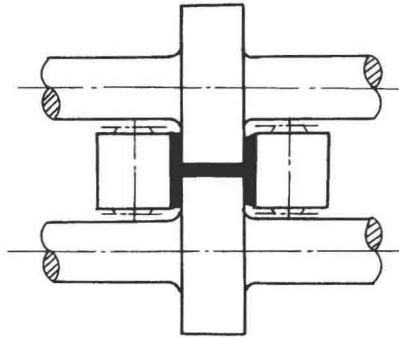


图 1.11 宽翼缘工字钢轧辊

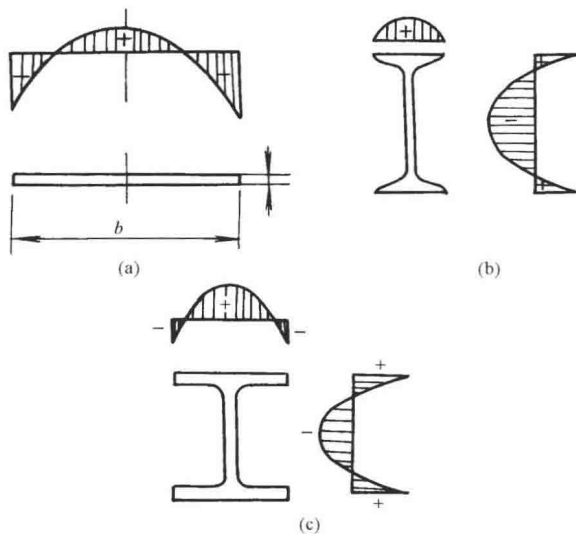


图 1.12 热轧钢材的残余应力

后还保持一定温度。这时,中部的收缩受到边部的约束,形成拉应力,而边部则有与之相平衡的压应力。板的尺寸越大,冷却后的应力也越大。这种在没有外力作用下内部自相平衡的应力叫做残余应力。各种截面的热轧型钢都有这类残余应力,不过随截面形式和尺寸不同,残余应力的分布有所区别。普通工字钢翼缘厚而窄,冷却得慢,最后呈现残余拉应力,而腹板大部分是残余压应力[图 1.12(b)]。宽翼缘工字钢翼缘和腹板交接处材料最厚,冷却最慢,其翼缘残余应力分布和板类似,但腹板两边受拉,分布图形和普通工字钢相似[图 1.12(c)]。一般地说,截面尺寸越大,残余应力也越大。残余应力虽然是自相平衡的,对钢构件在外力作用下的性能还是有一定影响。如对变形、稳定性、抗疲劳等方面都可能产生不利的作用。热轧钢材残余应力的绝对值和屈服点无关,因此对屈服