



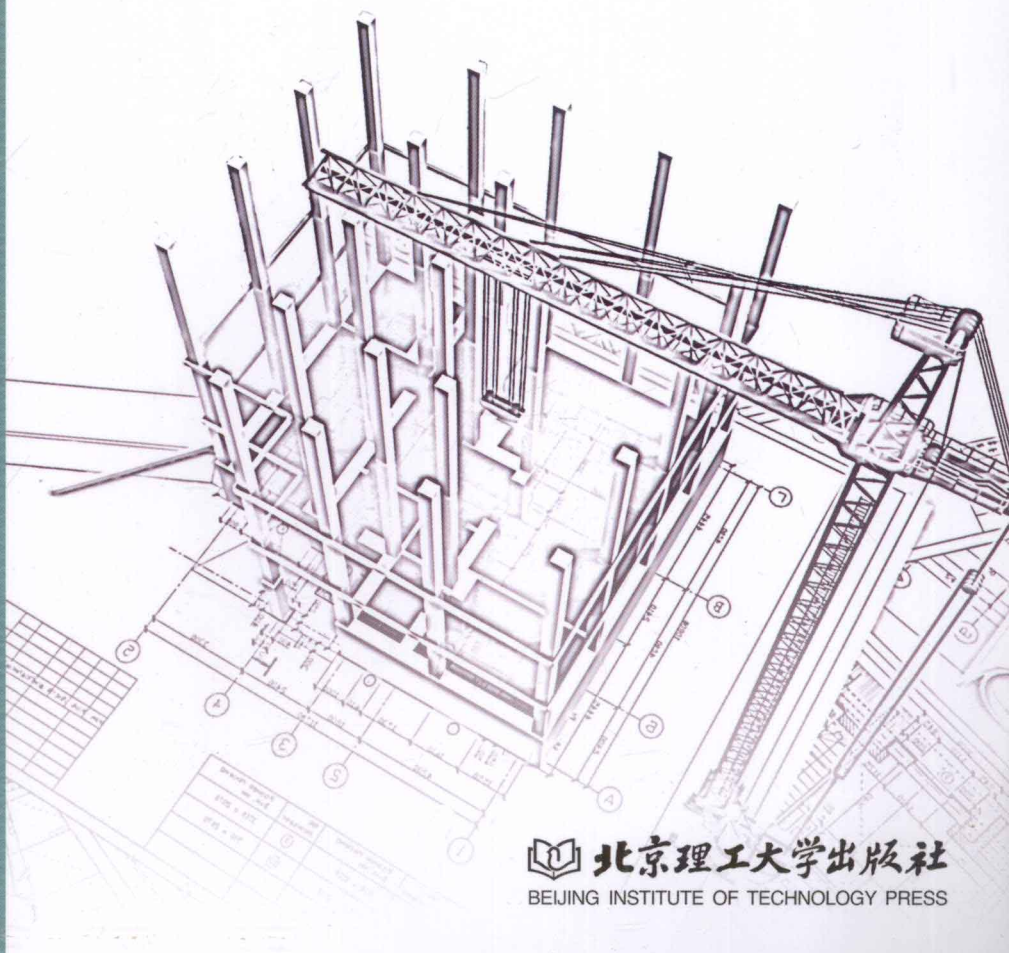
“十二五” 高等教育规划教材

G

ANGJIEGOU SHIGONG

钢结构施工

主编 赵 鑫



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

“十二五” 高等教育规划教材

钢结构施工

主 编 赵 鑫

副主编 曹丽萍 王军芳

参 编 任 媛 李卫文 杜雷鸣 赵富田

主 审 雷宏刚

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书以现阶段高等教育课程特征为出发点、以工作过程为导向,依据钢结构施工技术岗位能力需求,围绕技术能力培养、以提出“任务”、分析“任务”、完成“任务”为主线的方式安排学习内容。全书共分四个学习情境:钢结构平台施工、钢结构门式刚架施工、钢结构多层框架施工、钢网架施工。

本书适用于高等院校建筑工程技术、建筑经济管理、建筑工程管理、建筑工程造价和建筑工程监理等专业学生,以及建筑施工一线工作人员使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

钢结构施工 / 赵鑫主编. —北京:北京理工大学出版社, 2011. 8

ISBN 978 - 7 - 5640 - 4935 - 5

I. ①钢… II. ①赵… III. ①钢结构 - 工程施工 - 高等学校 - 教材
IV. ①TU758. 11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 161466 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京泽宇印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 16.5

字 数 / 383 千字

版 次 / 2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 1500 册

定 价 / 39.00 元

责任编辑 / 陆世立

张慧峰

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

本书以现阶段高等教育课程特征为出发点、以工作过程为导向，依据钢结构施工技术岗位能力需求，彻底改变以“知识”为基础设计课程的传统，以典型工作任务为载体设计学习情境；围绕技术能力培养、以提出“任务”、分析“任务”、完成“任务”为主线的方式安排学习内容。本着结构立意要新、内容重技能实用、理论以够用为度的原则，根据《钢结构设计规范》（GB 50017—2003）以及行业其他标准、规范和规程等为依据编写了本书。本书适用于高等院校建筑工程技术、建筑经济管理、建筑工程管理、建筑工程造价和建筑工程监理等专业学生，以及建筑施工一线工作人员使用。

钢结构施工是高等院校建筑工程技术专业的核心学习领域，通过学习与实训掌握钢结构的材料性能，具有识读钢结构施工图的能力，并能进行简单钢结构基本构件的承载力计算，掌握钢结构制作、安装、涂装的基本技术，掌握施工方案的编制方法、施工质量的验收方法及施工中的安全技术要求，为毕业后从事与钢结构建筑施工有关的工作打下一定的基础。

该学习领域以钢结构施工过程为导向，以钢结构施工能力需求为主线，以钢结构施工对象为载体，设置了四个学习情境：钢结构平台施工、钢结构门式刚架施工、钢结构多层框架施工、钢网架施工。其中，每个学习情境设有若干典型工作任务，教学与学习过程中还可增设其他任务，作为补充。

内容详实具体，便于在学习和实际工作应用时加以参考。

本书由赵鑫担任主编，曹丽萍、王军芳任副主编，任媛、李卫文、杜雷鸣、赵富田参加编写。全书由赵鑫统稿，曹丽萍校对，雷宏刚教授主审。

在本书编写过程中，得到了中冶天工建设有限公司石永胜、山西泰立建设有限公司韩东宏高级工程师的大力支持和帮助，在此一并感谢。本书参考了书后所附参考文献的部分资料，在此向所有参考文献的作者表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促，编者水平有限，书中难免存在不妥和疏漏之处，恳请读者在使用过程中给予批评指正，并提出宝贵意见。

编 者

目 录

学习情境1 钢结构平台施工	1
学习单元1.1 钢结构平台的制作	1
1.1.1 任务描述	1
1.1.2 案例示范	2
1.1.3 知识链接	10
学习单元1.2 钢结构平台的安装	110
1.2.1 任务描述	110
1.2.2 案例示范	111
1.2.3 知识链接	115
学习单元1.3 钢结构平台的涂装	141
1.3.1 任务描述	141
1.3.2 案例示范	142
1.3.3 知识链接	143
学习情境2 钢结构门式刚架施工	148
学习单元2.1 钢结构门式刚架的制作	148
2.1.1 任务描述	148
2.1.2 案例示范	149
2.1.3 知识链接	155
学习单元2.2 轻型门式刚架安装	169
2.2.1 任务描述	169
2.2.2 案例示范	169
2.2.3 知识链接	171
学习情境3 钢结构多层框架施工	177
学习单元3.1 框架的制作	177
3.1.1 任务描述	177
3.1.2 案例示范	177
3.1.3 知识链接	182
学习单元3.2 多层框架的安装	192
3.2.1 任务描述	192
3.2.2 案例示范	192
3.2.3 知识链接	196

学习情境4 钢网架施工	201
学习单元4.1 钢网架的制作	201
4.1.1 任务描述	201
4.1.2 案例示范	201
4.1.3 知识链接	203
学习单元4.2 钢网架的安装	209
4.2.1 任务描述	209
4.2.2 案例示范	209
4.2.3 知识链接	210
附录	215
附录1 材料性能表	215
附录2 计算系数用表	218
附录3 型钢规格表	225
附录4 材料检验项目要求表	251
参考文献	256



学习情境 1

钢结构平台施工

能力描述

按照钢结构平台施工图和施工组织设计要求，合理组织人、材、机，科学地进行钢结构平台施工中的制作、安装和涂装。

目标描述

1. 会选用平台的材料，进行钢材的报检；
2. 会进行平台型钢梁、柱的验算；
3. 会进行平台铰接连接的验算；
4. 能绘制钢结构平台的施工详图；
5. 会编制平台制作方案，能进行图纸会审、技术交底和材料统计；
6. 熟悉钢结构平台的施工工艺与流程，能进行平台构件制作的放样、号料；
7. 能进行平台安装的组织、安全、技术交底和验收；
8. 能进行钢柱、钢梁、钢板涂装验收与评定；
9. 在团队合作与学习过程中，提高专业能力，锻炼社会能力。

学习单元 1.1 钢结构平台的制作

1.1.1 任务描述

一、工作任务

4.2 m×2.0 m，高 2.0 m，工字形型钢截面平台制作。

具体任务如下：

1. 解读工作任务，选用平台构件的材料，进行钢材的报检；
2. 选用平台构件的型号；
3. 选用连接形式；
4. 绘制钢结构平台的施工详图；

- 5. 统计构件钢材用量；
- 6. 钢材进场、报检；
- 7. 号料，写出号料尺寸的确定依据；
- 8. 确定构件下料方案，正确选用下料工具；
- 9. 安全生产注意事项；
- 10. 对照钢结构施工质量验收规范，检查构件的施工质量，并给出自己的评定意见；
- 11. 根据检查结果制定构件的矫正措施，并实施构件校正。

二、可选工作手段

计算器，五金手册，钢结构施工规范，安全施工条例，钢结构施工质量验收规范，氧气切割（手工切割）机，端面铣床，手工交直流焊机，焊条烘干箱，钢卷尺，游标卡尺，划针，焊缝检验尺，检查锤，绘图工具。

1.1.2 案例示范

一、案例描述

1. 工作任务

制作一单层平台梁，如图 1.1 和图 1.2 所示，4.2 m×2.0 m，高 2.0 m，工字形钢截面，上铺刚性板，活荷载 2.0 kN/m²，安全等级为二级，-20℃以上工作温度。

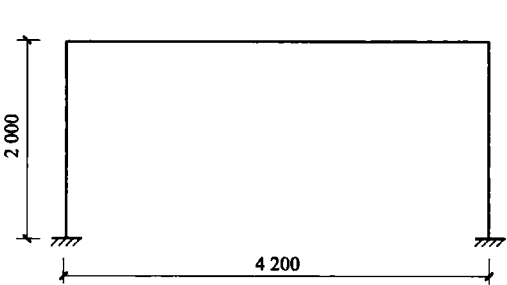


图 1.1 钢结构平台立面布置图

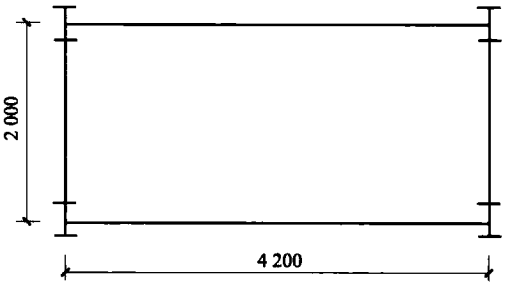


图 1.2 钢结构平台平面布置图

2. 具体任务

(1) 解读工作任务，选用平台构件的材料牌号，填制化学成分及力学性能指标表，见表 1.1。

表 1.1 平台构件材料化学成分及力学性能指标表

化学成分/% GB/T 700—2006					脱氧 方法	屈服强度/ MPa≥	抗拉强度/ MPa≥	断后伸长 率/% ≥	冲击 试验≥	冷弯试验 B = 2a, 180°
C	Mn	Si≤	S≤	P≤		钢材厚 度≤16	钢材厚 度≤16	钢材厚 度≤16	(纵向) / J 20℃	钢材厚度 60

(2) 选用平台梁、柱的型号。

- (3) 选用连接形式。
- (4) 绘制钢结构平台的施工详图。
- (5) 统计构件钢材用量见表 1.2。

表 1.2 构件钢材用量

编号	规格	单根长/m	根数	重量/kg

- (6) 钢材进场、报检。
- (7) 号料，写出号料尺寸的确定依据。
- (8) 确定构件下料方案，正确选用下料工具。
- (9) 安全生产注意事项。
- (10) 对照钢结构施工质量验收规范，检查构件的施工质量，并给出自己的评定意见。
- (11) 根据检查结果制定构件的矫正措施，并实施构件校正。

二、案例分析与实施

1. 解读工作任务，选用平台构件的材料

选用钢材 Q235 - B，强度适中，有良好的承载性，并具有良好的塑性、韧性、焊接性和可加工性能，是钢结构常用的牌号，化学成分及力学性能指标见表 1.3。

表 1.3 Q235 - B 化学成分及力学性能指标

化学成分/% GB/T 700—2006					脱氧 方法	屈服强度/ MPa ≥	抗拉强度/ MPa ≥	断后伸长 率/% ≥	冲击试 验 ≥	冷弯试验 B = 2a, 180°
C	Mn	Si ≤	S ≤	P ≤		钢材厚 度 ≤ 16	钢材厚 度 ≤ 16	钢材厚 度 ≤ 16	纵向/ J 20 ℃	钢材厚度 60
0.20	1.40	0.35	0.045	0.045	F、Z	235	370 ~ 500	26	20	纵向 a 横向 1.5a

2. 选用平台梁、柱的型号

(1) 设计工字形型钢截面梁，上铺刚性钢板 16 mm。

梁按简支梁设计，由附表 1-1 查得 $f = 215 \text{ N/mm}^2$

荷载标准值 $q_k = (78.5 \times 0.016 + 2.0) \times 1.0 = 3.26 \text{ kN/m}$

荷载设计值 $q_d = (78.5 \times 0.016 \times 1.2 + 2.0 \times 1.4) \times 1.0 = 4.31 \text{ kN/m}$

最大设计弯矩 $M = \frac{1}{8} \times 4.31 \times 4.2^2 = 9.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$

梁所需截面抵抗矩

$$W_n = \frac{M}{\gamma_x \cdot f} = \frac{9.5 \times 10^6}{1.05 \times 215} = 42\,082.0 \text{ mm}^3 = 42.08 \text{ cm}^3$$

查附表 3-3 选用 I14，质量 16.9 kg/m， $I_x = 712 \text{ cm}^4$ ， $W_x = 102 \text{ cm}^3$ ，最大内力设计值

$$M_{\max} = \left(9.5 + \frac{1}{8} \times 1.2 \times 16.9 \times 10.0 \times 4.2^2 \times 10^{-3} \right) = 9.95 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

1) 抗弯强度验算

$$\sigma = \frac{M}{\gamma_x W_x} = \frac{9.95 \times 10^6}{1.05 \times 102 \times 10^3} = 92.9 \text{ N/mm}^2 < f = 215 \text{ N/mm}^2$$

满足要求。

2) 型钢梁抗剪强度、支座处局部受压强度满足要求。

3) 刚度验算

$$q_k = 3.26 + 16.9 \times 10 \times 10^{-3} = 3.43 \text{ kN/m}$$

$$v = \frac{5}{384} \times \frac{q_k l^4}{EI} = \frac{5}{384} \times \frac{3.43 \times 4200^4}{206000 \times 712 \times 10^4} = 9.48 \text{ mm}$$

$$< [v] = \frac{l}{400} = \frac{4200}{400} = 10.5 \text{ mm}$$

满足要求。

4) 因梁与刚性面板连接牢固，可不验算整体稳定性。

因此，所选截面 I14 满足要求，可作为梁的设计截面。

(2) 设计工字形型钢截面柱子。

1) 初选截面尺寸

柱子的内力设计值：

$$N = \frac{1}{2} \times 4.31 \times 4.2 = 9.05 \text{ kN}$$

假定长细比 $\lambda = 140$ ，对 x 轴按 a 类截面，对 y 轴按 b 类截面，查附表 2-3、附表 2-4 得 $\varphi_x = 0.383$ ， $\varphi_y = 0.345$ ，由附表 1-1 得 $f = 215 \text{ N/mm}^2$ ，则

$$A_T = \frac{N}{\varphi f} = \frac{9.05 \times 10^3}{0.345 \times 215} = 1.22 \text{ cm}^2$$

$$i_{xT} = \frac{l_{0x}}{\lambda} = \frac{200}{140} = 1.43 \text{ cm}$$

$$i_{yT} = \frac{l_{0y}}{\lambda} = \frac{200}{140} = 1.43 \text{ cm}$$

根据 A_T 、 i_{xT} 、 i_{yT} 查附表选 I14， $A = 21.5 \text{ cm}^2$ ， $i_x = 5.8 \text{ cm}$ ， $i_y = 1.73 \text{ cm}$ ， $h = 140 \text{ mm}$ ， $b = 80 \text{ mm}$ 。

2) 验算

$$\lambda_x = \frac{l_{0x}}{i_x} = \frac{200}{5.8} = 34.48$$

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} = \frac{200}{1.73} = 115.6 < [\lambda] = 150$$

$$b/h = \frac{80}{140} = 0.57 < 0.8$$

由附表 2-1 截面分类可知，该截面 x 轴对应 a 类截面， y 轴对应 b 类截面，查附表 2-3、附表 2-4 得： $\varphi_x = 0.9526$ ， $\varphi_y = 0.4604$ ，则

$$\frac{N}{\varphi_y A} = \frac{9.05 \times 10^3}{0.4604 \times 21.5 \times 10^2} = 9.14 \text{ N/mm}^2 < f = 215 \text{ N/mm}^2$$

I14 满足要求。

平台梁、柱型号的具体参数如表 1.4 所示。

表 1.4 梁、柱的选用

构件 编号	标准值 q (kN/m)	设计值 q (kN/m)	设计值 M (kN·m)	设计值 N (kN)	A (mm ²)	W_x (mm ³)
梁	3.26	4.31	9.03	—	—	102 000
柱	—	—	—	9.05	2 150	—
构件 编号	$\sigma = \frac{M}{\gamma_x W_x} \text{ N/mm}^2$	$\nu \leq [\nu] \text{ mm}$	$\lambda \leq [\lambda]$	φ	$\sigma = \frac{N}{\varphi A} \text{ N/mm}^2$	$f \text{ N/mm}^2$
梁	84.3	7.8 < 10	—	—	—	215
柱	—	—	132 < 150	0.378	16.63	215

3. 选用连接形式，绘制钢结构平台的施工详图

梁与柱子的连接为侧面铰接，柱子与连接板 -12 mm 角缝连接、梁与连接板 C 级普通螺栓连接。

角焊缝的强度设计值查附表 1-3 得： $f_t^w = 160 \text{ N/mm}^2$

设： $h_f = 6 \text{ mm} > 1.5 \sqrt{t_{\max}} = 1.5 \sqrt{12} = 5.2 \text{ mm}$
 $< 1.2 t_{\min} = 1.2 \times 8.4 = 10.08 \text{ mm}$

设计值： $N = \frac{1}{2} \times 4.31 \times 4.2 = 9.05 \text{ kN}$

$$\sum l_w = \frac{N}{h_e f_t^w} = \frac{9.05 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 6 \times 160} = 6.73 \text{ mm}, \text{ 取 } 100 \text{ mm} > 8 h_f = 8 \times 6 = 48 \text{ mm}$$

由附表 1-4 查得 $f_v^b = 140 \text{ N/mm}^2$, $f_c^b = 305 \text{ N/mm}^2$

单个 M12 螺栓受剪承载力设计值：

$$N_v^b = n_v \frac{\pi d^2}{4} f_v^b = 2 \times \frac{\pi \times 12^2}{4} \times 140 = 31\,667 \text{ N}$$

单个螺栓承压承载力设计值：

$$N_c^b = d \sum t f_c^b = 16 \times 12 \times 305 = 58\,560 \text{ N}$$

则连一侧所需螺栓数目为：

$$n = \frac{N}{N_{\min}^b} = \frac{9.05 \times 10^3}{31\,667} = 0.286, \text{ 取 } n = 4, \text{ 双行双列布置}$$

取螺栓孔径 $d_0 = 18 \text{ mm}$ ，连接钢板的 $f = 215 \text{ N/mm}^2$

$$A_n = (b - n_1 d_0) t = (100 - 2 \times 18) \times 12 = 768 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{N}{A_n} = \frac{9.05 \times 10^3}{768} = 11.78 \text{ N/mm}^2 < f = 215 \text{ N/mm}^2 \text{ (满足)}$$

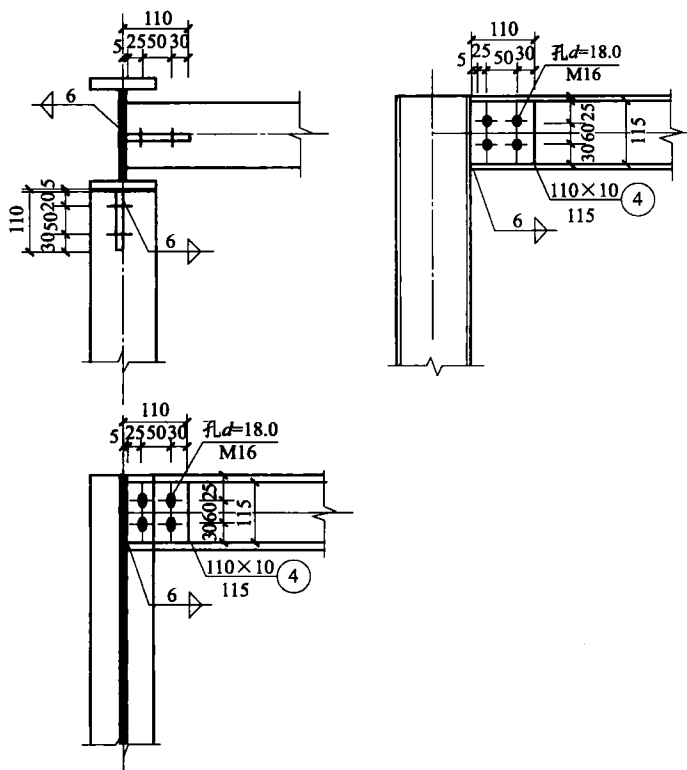


图 1.8 梁柱连接节点详图

4. 统计构件钢材用量, 填制表 1.5

表 1.5 钢材用量表

编号	规格	单根长/m	根数	重量/kg
①	I14	4.185	2	$2 \times 4.185 \times 16.9 = 141.453$
②	I14	1.850	2	$2 \times 1.850 \times 16.9 = 62.530$
③	I14	2.000	4	$4 \times 2.000 \times 16.9 = 135.200$
④	-110 × 10	0.115	8	$8 \times 0.10 \times 0.115 \times 0.010 \times 7\,850 = 7.222$
⑤	-250 × 16	0.25	4	$4 \times 0.016 \times 0.25 \times 0.25 \times 7\,850 = 31.400$
⑥	-60 × 10	0.06	8	$8 \times 0.010 \times 0.060 \times 0.060 \times 7\,850 = 2.261$
⑦	-45 × 6	0.09	8	$8 \times 0.045 \times 0.006 \times 0.090 \times 7\,850 = 1.526$
			合计	381.592 kg

5. 钢材进场、报检

钢材进场、报检应达到以下要求:

- (1) 钢材的品种和数量是否与订货单一致。
- (2) 钢材的质量保证书是否与钢材上打印的记号相符。
- (3) 核对钢材的规格尺寸, 测量钢材尺寸是否符合标准规定, 尤其是钢板厚度的偏差。
- (4) 钢材表面质量检验, 表面不允许有结疤、裂纹、折叠和分层等缺陷, 钢材表面的锈

蚀深度不得超过其厚度负偏差值的一半。有以上问题的钢材，应另行堆放，以便研究处理。

6. 号料，确定构件下料方案

采用手工气割。手工切割又称火焰切割，它既能切成直线，也能切成曲线，还可以直接切出 V 形、X 形的焊缝坡口。手工切割，质量较差，只适用于小零件，对外边缘应预留 2 ~ 3 mm 的加工余量，进行修磨平整。

操作要点：

① 首先，点燃割炬，随即调整火焰；② 开始切割时，打开切割氧阀门，观察切割氧流线的形状；若为笔直而清晰的圆柱体，并有适当的长度，即可正常切割；③ 发现嘴头产生鸣爆并发生回火现象，可能因嘴头过热或堵住，或者乙炔供应不及时，此时需立即处理；④ 临近终点时，嘴头应向前进的反方向倾斜，以利于下部提前割透，使收尾时割缝整齐；⑤ 当切割结束时，应迅速关闭切割氧气阀门，并将割炬抬起，再关闭乙炔阀门，最后关闭预热氧阀门。

7. 安全生产管理、安全隐患调查

(1) 进入施工现场的操作者和生产管理人员，均应穿戴好劳动防护用品，按规程要求操作。

(2) 对操作人员进行安全学习和安全教育，特殊工种必须持证上岗。

(3) 为了便于钢结构的制作和操作者的操作活动，构件宜在一定高度上测量。装配组装胎架、焊接胎架、各种搁置架等，均应与地面离开 0.4 ~ 1.2 m。

(4) 构件的堆放、搁置应十分稳固，必要时应设置支撑或定位。构件堆垛不得超过两层。

(5) 索具、吊具要定时检查，不得超过额定荷载。正常磨损的钢丝绳应按规定更换。

(6) 所有钢结构制作中各种胎具的制造和安装，均应进行强度计算，不能仅凭经验估算。

(7) 生产过程中所使用的氧气、乙炔、丙烷、电源等，必须有安全防护措施，并定期检测泄漏和接地情况。

(8) 对施工现场的危险源，应做出相应的标志、信号、警戒等，操作人员必须严格遵守各岗位的安全操作规程，以避免意外伤害。

(9) 构件起吊应听从一个人的指挥。构件移动时，移动区域内不得有人滞留和通过。

(10) 所有制作场地的安全通道必须畅通。

将安全隐患的检查结果，填制进表 1.6。

表 1.6 安全隐患调查表

检查内容	检 查 结 果
手工焊接	
起吊	
自动焊接	
半自动焊接	
个人防护	

8. 对照钢结构施工质量验收规范，检查构件的施工质量，并给出自己的评定意见和纠正措施

(1) 切割的质量检验包括：

① 主控项目

钢材切割面或剪切面应无裂纹、灰渣、分层和大于 1 mm 的缺棱。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察或用放大镜及百分尺检查，有疑义时作渗透、磁粉或超声波探伤检查。

② 一般项目

气割的允许偏差应符合表 1.7 的规定。

检查数量：按切割面数抽查 10%，且不应少于 3 个。

检验方法：观察检查或用钢尺、塞尺检查。

将检查结果，填制进表 1.7。

表 1.7 切割的允许偏差

项 目	允许偏差/mm	实际检查结果/mm
零件宽度、长度	± 3.0	
切割面平面度	$0.05t$ ，且不应大于 2.0	
割纹深度	0.3	
局部缺口深度	1.0	

注： t 为切割面厚度。

(2) 矫正措施采用冷矫正和冷弯曲成型。

在常温下采用机械矫正或自制夹具矫正即为冷矫正。当钢板和型钢需要弯曲成某一角度或圆弧时，在常温下采用机械方法进行弯曲，即为冷弯曲成型。钢板、型钢可在专门的辊弯机上进行加工。由于钢材在低温状态下，其塑性、韧性将相应降低，为避免钢材在冷加工时发生脆裂，《钢结构设计规范》GB 50017—2003 规定：碳素结构钢在环境温度低于 $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时及低合金结构钢在环境温度低于 $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，不应进行冷矫正和冷弯曲。

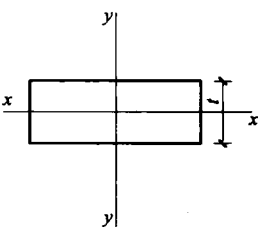
矫正后的钢材表面，不应有明显的凹面或损伤，划痕深度不得大于 0.5 mm，且不应大于该钢材厚度允许偏差的 1/2。

检查数量：按冷矫正和冷弯曲的件数抽查 10%，且不应少于 3 个。

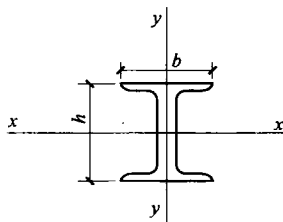
检验方法：观察检查和实测检查。

冷矫正和冷弯曲的最小曲率半径和最大弯曲矢高应符合表 1.8 的规定。

表 1.8 冷矫正和冷弯曲的最小曲率半径和最大弯曲矢高

钢材类别	图 例	对应轴	矫 正		弯 曲	
			r	f	r	f
钢板 扁钢		$x-x$	$50t$	$\frac{l^2}{400t}$	$25t$	$\frac{l^2}{200t}$
		$y-y$ (仅对扁钢轴线)	$100b$	$\frac{l^2}{800b}$	$50b$	$\frac{l^2}{400b}$

续表

钢材类别	图 例	对应轴	矫 正		弯 曲	
			r	f	r	f
工字钢		$x-x$	$50h$	$\frac{l^2}{400h}$	$25h$	$\frac{l^2}{200h}$
		$y-y$	$50b$	$\frac{l^2}{400b}$	$25b$	$\frac{l^2}{200b}$
注: r 为曲率半径; f 为弯曲矢高; l 为弯曲弦长; t 为钢板厚度。						

1.1.3 知识链接

一、钢结构的材料

概述: 钢结构材料的机械性能、种类、规格、材料检验、化学成分等对钢材性能的影响, 以及钢结构材料的选用。

1. 钢材的性能

(1) 强度和塑性

建筑钢材的强度和塑性一般由常温静载下单向拉伸试验曲线表明, 该试验是将钢材的标准试件安装在拉伸试验机上, 在常温下按规定的加荷速度逐渐施加拉力荷载, 使试件逐渐伸长, 直至拉断破坏; 然后, 根据加载过程中所测得的数据画出其应力—应变曲线 (即 $\sigma-\varepsilon$ 曲线)。图 1.9 是低碳钢在常温静载下的单向拉伸 $\sigma-\varepsilon$ 曲线。



图 1.9 低碳钢在常温静载下的单向拉伸 $\sigma-\varepsilon$ 曲线

从这条曲线中可以看出, 钢材在单向受拉过程中有下列五个阶段:

① 弹性阶段 (曲线的 OA 段): 应力很小, 不超过 A 点。这时如果试件卸荷, $\sigma-\varepsilon$ 曲线将沿着原来的曲线下降, 至应力为 0 时, 应变也为 0, 即没有残余的永久变形, 这时钢材处于弹性工作阶段, A 点的应力称为钢材的弹性极限 f_e , 所发生的变形 (应变) 称为弹性变

形(应变)。该阶段的应变随应力增加成比例地增长,即应力—应变关系符合虎克定律,直线的斜率 $E = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon$,称为钢材的弹性模量,《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)取各类建筑钢材的弹性模量 $E = 2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 。

② 弹塑性阶段(曲线的AB段)。在这一阶段应力与应变不再保持直线变化而呈曲线关系。弹性模量亦由A点处的 $E = 2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 逐渐下降,至B点趋于0。B点应力称为钢材的屈服点(或称屈服应力、屈服强度) f_y 。这时,如果卸荷, $\sigma - \varepsilon$ 曲线将从卸荷点开始沿着与OA平行的方向下降,至应力为0时,应变将保持一定数值($\varepsilon_y = 0.15\%$),称为塑性应变或残余应变。在这一阶段,试件既包括弹性变形(应变),也包括塑性变形(应变),因此AB段称为弹塑性阶段。其中,弹性变形在卸荷后可以恢复,塑性变形在卸荷后仍旧保留,故塑性变形又称为永久变形。

③ 屈服阶段(曲线的BC段)。低碳钢在应力达到屈服点 f_y 后,压力不再增加,应变却可以继续增加,应变由B点开始屈服时 $\varepsilon_y = 0.15\%$,增加到屈服终了C时, $\varepsilon = 2.5\%$ 左右。这一阶段曲线保持水平,故又称为屈服台阶。在这一阶段,钢材处于完全的塑性状态。对于材料厚度(直径)不大于16 mm的Q235钢, $f_y \approx 235 \text{ N/mm}^2$ 。

④ 应变硬化阶段(曲线的CD段)。钢材在屈服阶段经过很大的塑性变形,达到C点以后又恢复继续承载的能力, $\sigma - \varepsilon$ 曲线又开始上升,直到应力达到D点的最大值,即抗拉强度 f_u ,这一阶段(CD段)称为应变硬化阶段。对于Q235号钢, $f_u \approx 375 \sim 460 \text{ N/mm}^2$ 。

⑤ 颈缩阶段(曲线的DE段)。试件应力达到抗拉强度 f_u 时,试件中部截面变细,形成颈缩现象。随后 $\sigma - \varepsilon$ 曲线下降直到试件拉断(E点),曲线的DE段称为颈缩阶段。试件拉断后的残余应变称为伸长率 δ ,见式(1-1)。对于材料厚度(直径)不大于16 mm的Q235钢, $\delta \geq 26\%$ 。

$$\delta = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 L_0 ——试件原标距长度;

L_1 ——试件拉断后的标距长度。

钢材拉伸试验所得的屈服点 f_y 、抗拉强度 f_u 和伸长率 δ ,是钢结构设计对钢材机械性能要求的三项重要指标。 f_y 、 f_u 反映钢材强度,其值愈大,承载力愈高。钢结构设计中,常把钢材应力达到屈服点 f_y ,作为评价钢结构承载能力(抗拉、抗压、抗弯强度)极限状态的标志,即取 f_y 作为钢材的标准强度。设计时还将 $\sigma - \varepsilon$ 曲线简化为如图1.10所示的理想弹塑性材料的 $\sigma - \varepsilon$ 曲线。根据这条曲线,认为钢材应力小于 f_y 时是完全弹性的,应力超过 f_y 后则是完全塑性的。设计中以 f_y 作为极限,是因为超过 f_y 钢材就进入应变硬化阶段,材料性能发生改变,使基本的计算假定(理想弹塑性材料)无效。另外,钢材从开始屈服到破坏,塑性区变形范围很大($\varepsilon = 0.15\% \sim 2.5\%$),约为弹性区变形的200倍。同时,抗拉强度 f_u 又比屈服点 f_y 高出很多,因此取屈服点 f_y 作为钢材设计应力极限,可以使钢结构有相当大的强度安全储备。

钢材的伸长率 δ 是反映钢材塑性(或延性)的指标之一。其值愈大,钢材破坏吸收的应变能愈多,塑

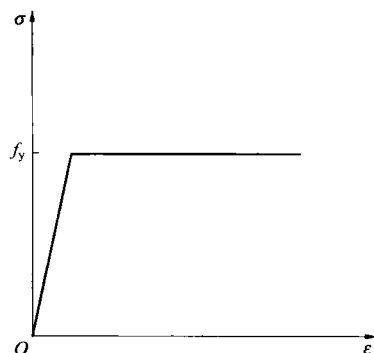


图 1.10 理想弹塑性材料的 $\sigma - \varepsilon$ 曲线