



土木与建筑类专业创新型一体化教材

钢结构工程施工

主 编 赵春荣

钢结构工程施工

主 编 赵春荣

北京出版集团
北京出版社



扫描二维码
共享立体资源

北京出版集团
北京出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钢结构工程施工 / 赵春荣主编. — 北京: 北京出版社, 2013.12 (2023 重印)
ISBN 978-7-200-10339-7

I. ①钢… II. ①赵… III. ①钢结构—建筑工程—工程施工—高等职业教育—教材 IV. ① TU758.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 294405 号

钢结构工程施工

GANGJIEGOU GONGCHENG SHIGONG

主 编: 赵春荣

出 版: 北京出版集团
北京出版社

地 址: 北京北三环中路 6 号

邮 编: 100120

网 址: www.bph.com.cn

总发行: 北京出版集团

经 销: 新华书店

印 刷: 定州市新华印刷有限公司

版印次: 2013 年 12 月第 1 版 2023 年 8 月修订 2023 年 8 月第 5 次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张: 18.5

字 数: 384 千字

书 号: ISBN 978-7-200-10339-7

定 价: 49.00 元

教材意见建议接收方式: 010-58572162 邮箱: jiaocai@bphg.com.cn

如有印装质量问题, 由本社负责调换

质量监督电话: 010-82685218 010-58572162 010-58572393

绪论 钢结构技术总览	1
单元一 钢结构构件加工制作	5
学习任务 1 钢结构施工图纸识读与基本准备	6
学习任务 2 材料采购与进场检验	33
学习任务 3 钢结构零件及部件加工制作	59
学习任务 4 钢结构焊接	87
学习任务 5 钢结构涂装	105
学习任务 6 钢结构成品检验、包装、贮存与运输	128
单元二 钢结构现场安装	147
学习任务 1 钢结构安装施工准备工作	148
学习任务 2 钢结构单层门式刚架安装施工	173
学习任务 3 多、高层钢结构安装施工	210
学习任务 4 钢网架结构安装施工	227
单元三 简单受力钢结构连接设计	254
学习任务 1 焊接连接设计	255
学习任务 2 螺栓连接设计	262

附录 规范 GB 50017—2017 中有关表格摘录	272
参考答案	276
参考文献	285

北京出版社

绪论 | 钢结构技术总览

单元描述

本单元内容将着重阐述钢结构建筑的特点、应用、设计方法及当前钢结构的发展概况，使读者能够对钢结构建筑技术有一个总体的了解。

一、钢结构的特点

钢结构是指用钢板和热轧、冷弯或焊接型材通过连接件连接而成的能承受和传递荷载的结构形式。



钢结构的特点与应用

1. 钢结构的优点

与其他建筑结构形式相比，建筑钢结构具有以下优点：

- (1) 承载能力强，自重轻。建筑钢结构材质本身具有较高的抗拉、抗压、抗剪等承载能力，相同荷载作用下，建筑钢结构自重较轻。
- (2) 延展性较好，抗震能力佳。钢材具有较好的塑性和韧性，延展性较好，在地震区，使用钢结构建筑更为有利。
- (3) 结构占用面积小。钢材能有效提高建筑本身使用面积，这一特点在高层钢结构建筑中尤为突出。
- (4) 材质均匀，设计可靠性高。钢材自身材质受冶炼方法的影响，内部材质均匀性较混凝土材料、砌体材料、木材等常用建筑材料更为均匀，在力学计算时与假想的设计准则吻合度更高，有效地保证了设计的可靠度。
- (5) 施工周期短，环保性好。建筑钢结构构件通常采用焊接、螺栓连接的方式在工厂加工制作，现场安装也基本不受冬季施工影响，因此较易实现流水化生产与施工，施工周期得以缩短，同时易于今后的改造、分割、移动等二次改动。
- (6) 密闭性好。焊接钢结构密闭性好，可以满足气密性、水密性要求较高的建筑类型，如气罐、油罐等密闭钢结构容器。

2. 钢结构的缺点

- (1) 耐腐蚀性能差。钢结构建筑如果长期暴露于空气或潮湿的环境中而未加有效防护时，表面就会锈蚀。锈蚀能引起应力集中，促使结构早期破坏。因此钢结构建筑需要定期进行涂装处理，使用过程中的维护费用较高。
- (2) 耐火性能差。一般钢结构构件在温度高于 200℃ 时承载能力会随温度升高而迅速下降，在使用过程中，构件一般用防火涂料或混凝土覆盖起来。
- (3) 建筑本身易产生噪声。在动荷载作用下，某些钢结构容易因震动而产生噪声，对环境有要求的场所需采用必要的消声措。

二、钢结构的应用

目前，用于我国民用与工业建筑中的钢结构主要有以下应用范围。

1. 承受大跨度、大荷载的建筑

跨度越大，自重越大，减轻自重就会带来更为明显的经济效益，钢材强度高、结构轻的特点正好适用于大跨度、大荷载的建筑，所采用的结构形式有空间桁架、网架、网壳、悬索（包括斜拉体系）、实腹或格构式拱架和框架等。我国的国家体育馆、中央电视台新址、国家大剧院等标志性钢结构建筑都属于以上类型。

2. 重型工业厂房承重体系

重型工业厂房中常存在较大的动荷载，用承载能力较高和延展性较好的钢结构建筑

尤为适合，所采用的结构形式多为由钢屋架和变截面柱组成的门式刚架或排架，也有采用网架做屋盖的结构形式。

3. 多层、高层及超高层建筑

由于钢结构的综合效益指标优良，近些年来多层框架、框架—支撑结构、框筒、悬挂、巨型框架等结构形式多有应用。

4. 经常拆装及移动的建筑

如建筑工地、油田和需野外作业的生产和生活用房的骨架等。钢筋混凝土结构施工用的模板和支架，以及建筑施工用的脚手架等也大量采用钢材制作。

5. 轻型厂房

可形成大空间的建筑场所，所采用的结构形式主要为实腹式变截面门式刚架。

6. 塔桅结构建筑

利用其易于形成高耸结构建造如电视塔、通讯塔建筑。

7. 密闭容器及其他构筑物

如工业企业中常用的油罐、气罐等，企业生产中的管道支架、采油平台等也大都采用钢结构。

三、钢结构的设计方法

目前，我国在结构设计领域，普遍采用概率极限状态设计法。根据钢结构设计规范的要求，结构由各种荷载所产生的效应（内力和变形）不大于结构（包括连接）由材料性能和几何因素等所决定的抗力或规定限制，此方法在钢结构设计中有两个方面的体现。

1. 承载能力极限状态

对应于结构或构件达到最大承载能力或达到不适于继续承载的最大塑性变形。当结构或构件出现以下状态之一时，即认为超过承载能力极限状态：

- (1) 整个结构或结构的一部分作为钢体失去平衡，如发生倾覆。
- (2) 结构构件或连接因材料强度被超过而破坏，或因过度的塑性变形而不适于继续承载。
- (3) 结构转变为机动体系。
- (4) 结构或结构构件丧失稳定，如发生压屈等。

2. 正常使用极限状态

当结构或构件出现以下状态之一时，即认为超过正常使用极限状态：

- (1) 影响正常使用或外观的变形。
- (2) 影响正常使用或耐久性的局部损坏（包括裂缝）。
- (3) 影响正常使用的振动。
- (4) 影响正常使用的其他特定状态。

使用概率极限状态设计方法进行钢结构建筑的设计，能够在保证建筑安全适用的前

前提下，达到经济合理、技术先进的目标。因此钢结构设计规范中规定，除疲劳计算外，钢结构建筑均采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，用分项系数的设计表达式进行计算。

四、钢结构发展概况

从建筑用钢的发展历史来看，我国钢结构起步较晚，但随着国家经济实力的增强和社会发展的需要，近几十年来，钢结构建筑取得了长足发展。我国的钢结构技术及其应用发展大致可分为三个时期：

(1) 20 世纪 50 年代为第一时期。受到政治原因的影响，苏联在这一时期对我国进行的援建工程项目中，大部分为重型钢结构类型。

(2) 20 世纪六七十年代为第二时期，即限制利用时期。当时由于我国钢产量有限，加之备战，因此国家规定凡是可用其他材料代替的，均不用钢结构建造。

(3) 20 世纪 80 年代以后为第三时期。此时钢产量连年攀升，国家才开始大力鼓励建筑用钢材，建筑用钢材的品种和数量均有较大提高，钢结构受到有关方面的关注，并被广泛应用。轻型钢结构、民用钢结构住宅建筑、高层钢结构建筑、大跨钢结构建筑是目前钢结构在我国建筑领域应用最多的结构类型。

今后我国建筑用钢结构钢材将呈现以下四大发展趋势：

- (1) 中厚板成为应用的主导品种。
- (2) 热轧 H 型钢及冷弯型、薄壁型钢等经济型钢材供需会增加。
- (3) 大中型角钢用量减少。
- (4) 热轧工字钢、槽钢的应用呈减少趋势。

人生启迪

“十四五”期间，装配式建筑政策利好不断增大，钢结构行业将得到快速发展，钢结构建筑或将成为建造装配式建筑的主流选择。学习本门课程，青年学生应在学习中培养责任感与使命感，培养严谨、细致、认真的态度以及精益求精的工匠精神，努力在平凡岗位上干出不平凡的业绩。

职业技能知识点考核

1. 钢结构有哪些优缺点？
2. 试分析国家大剧院、国家体育场“鸟巢”和五棵松体育馆的钢结构分别属于哪种形式。
3. 请查阅近 5 年来世界范围内五座最具典型性的钢结构建筑，并简要介绍其结构及基本特点。

单元一 | 钢结构构件加工制作

单元描述

钢结构板材通过切割，采用焊接或螺栓连接等方式形成钢结构构件，其形成过程较易实现流水化生产，因此大多数钢结构构件的加工制作在钢结构加工厂完成。本单元中将通过钢结构施工图纸识读与基本准备，材料采购与进场检验，钢结构零件及部件加工制作，钢结构焊接，钢结构涂装，钢结构成品检验、包装、贮存与运输 6 个任务详细介绍钢结构构件的形成过程。

学习任务 1 | 钢结构施工图纸识读与基本准备

■ 任务目标

1. 熟悉钢结构施工图的基本组成和内容。
2. 掌握钢结构施工图中符号表达方式。
3. 掌握钢结构图纸识读方法和步骤。
4. 图纸识读和准备工作是开展钢结构项目质量与安全的第一步，培养学生养成踏实严谨的学习意识和工作作风。

知识链接

钢结构施工图是说明钢结构建筑基础和主题部分的结构构造及设计要求的图纸，是设计结果通过图形、文字和表格的体现，也是制造厂加工制造构件、施工单位现场结构安装的主要依据。一般有基础图、上部结构布置图、结构详图等图样。学生在任务中通过识读本套钢结构设计施工图（详见本任务末尾），形成图纸识读记录单，逐步培养钢结构图纸识读能力。

一、图纸会审

收到施工图审查中心审查合格的施工图设计文件后，一般由监理单位来负责组织施工单位、设计单位、建设单位、材料、设备供货等相关单位，在施工前进行全面熟悉和会同审查施工图纸的活动。这里的施工图设计文件不但包括施工图纸，还包括审查时变更的联系单。

1. 钢结构图纸会审内容

- (1) 设计文件是否齐全，设计文件包括设计图、施工图、图纸说明和设计变更通知单等；
- (2) 构件的几何尺寸是否齐全；
- (3) 相关构件的尺寸是否正确；
- (4) 节点是否清楚，是否符合国家标准；
- (5) 标题栏内构件的数量是否符合工程总数；
- (6) 构件之间的连接形式是否合理；
- (7) 加工符号、焊接符号是否齐全；
- (8) 结合本单位的设备和技术条件考虑，能否满足图纸上的技术要求；
- (9) 图纸的标准化是否符合国家规定等。

2. 钢结构图纸会审程序

图纸会审应在开工（构件加工制作）前进行。如果施工图纸在开工前未全部到齐，

可先进行分部工程图纸会审。

图纸会审的一般程序是：业主或监理方主持人发言→设计方图纸交底→施工方、监理方代表提问题→逐条研究→形成会审记录文件→签字、盖章后生效。

3. 钢结构图纸会审后的延续工作

图纸会审后，对构件的结构不合理处或施工有困难的，要与需方或者设计单位做好变更签证手续。钢结构加工制作公司应对会审后图纸进行深化，以使后期构件加工制作顺利开展。

二、钢结构图纸深化与识读

1. 钢结构图纸深化简介

钢结构设计中，最终的图纸不是结构图，而是深化设计。钢结构不像混凝土、砌体这些结构，在施工中钢结构图纸必须先进行深化设计，然后在钢构厂中按图进行加工，运往现场，才能拼接。二次深化的图纸一般是由具有钢结构专项设计资质的加工制作企业或委托具有该项资质的设计单位完成的，有时制造厂或施工单位也会进行施工图的二次深化，这样设计出来的图纸被称为钢结构施工详图或加工制作详图。

可见，钢结构施工详图的编制依据是钢结构设计图，其设计深度应遵照《钢结构设计规范》，按便于加工制作的原则，对构件的构造予以完善，根据需要按钢结构设计图提供的内力进行焊缝计算或螺栓连接计算，确定杆件长度和连接板尺寸，并考虑运输和安装的能力以确定构件的分段。

绘制钢结构施工详图关键在于“详”。图纸是直接下料的依据，是实际尺寸划线、剪切、坡口加工、制孔、弯制、拼装、焊接、涂装、产品检查、堆放、发送等各项作业的指示书，故尺寸标注要详细准确。

2. 钢结构施工详图的标注方法

钢结构图纸设计过程中遵照《建筑制图标准》《房屋建筑制图统一标准》《建筑结构设计制图标准》和《钢结构设计制图深度和表示方法》，但由于其构件构造的独特性，因此在图纸表现形式上，钢结构施工详图有自己独特的内容。

(1) 型钢的标注方法，详见表 1-1-1 所示。

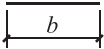
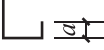
表 1-1-1 型钢标注方法

序号	名称	截面	标注	说明
1	等边角钢		$\angle b \times t$	b 为肢宽 t 为肢厚
2	不等边角钢		$\angle B \times b \times t$	B 为长肢宽 b 为短肢宽 t 为肢厚
3	工字钢		I_N QI_N	轻型工字钢加注 Q 字 N 为工字钢的型号



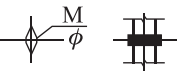
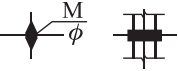
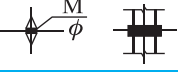
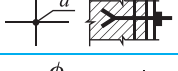
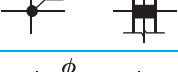
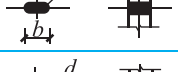
了解建筑施工图

续表

序号	名称	截面	标注	说明
4	槽钢		$[N \quad Q[N$	轻型槽钢加注 Q 字 N 为槽钢的型号
5	方钢		$\square b$	
6	扁钢		$\text{—} b \times t$	
7	钢板		$\frac{-b \times t}{l}$	$\frac{\text{宽} \times \text{厚}}{\text{板长}}$
8	圆钢		ϕd	
9	钢管		$DN \times \times$ $\phi d \times t$	内径 d 外径 $\times t$ 壁厚
10	薄壁方钢管		$B \square b \times t$	薄壁型钢加注 B 字 t 为壁厚
11	薄壁等肢角钢		$B \angle b \times t$	
12	薄壁等肢卷边角钢		$B \angle b \times a \times t$	
13	薄壁槽钢		$B [h \times b \times t$	
14	薄壁卷边槽钢		$B [h \times b \times a \times t$	
15	薄壁卷边 Z 型钢		$B \text{Z} h \times b \times a \times t$	
16	T 型钢		$TW \times \times$ $TM \times \times$ $TN \times \times$	TW 为宽翼缘 T 型钢 TM 为中翼缘 T 型钢 TN 为窄翼缘 T 型钢
17	H 型钢		$HW \times \times$ $HM \times \times$ $HN \times \times$	HW 为宽翼缘 H 型钢 HM 为中翼缘 H 型钢 HN 为窄翼缘 H 型钢
18	起重机钢轨		$\text{I} QU \times \times$	详细说明产品规格型号
19	轻轨及钢轨		$\text{I} \times \times \text{kg/m 钢轨}$	

(2) 螺栓、孔、电焊铆钉的表示方法，详见表 1-1-2。

表 1-1-2 螺栓、孔、电焊铆钉标注方法

序号	名称	图例	说明
1	永久螺栓		1. 细“+”线表示定位线 2. M 表示螺栓型号 3. ϕ 表示螺栓孔直径 4. d 表示膨胀螺栓、电焊铆钉直径 5. 采用引出线标注螺栓时，横线上标注螺栓规格，横线下标注螺栓孔直径
2	高强螺栓		
3	安装螺栓		
4	胀锚螺栓		
5	圆形螺栓孔		
6	长圆形螺栓孔		
7	电焊铆钉		

(3) 焊缝横截面形状符号的表示方法相对复杂，需要由焊缝图形符号、焊缝辅助符号和焊缝接头符号共同表示，如图 1-1-1 所示。各种类型常用符号如表 1-1-3 ~ 表 1-1-8 所示，其余内容详见《焊缝符号表示法》(GB 324—2008)中的相关规定。



图 1-1-1 钢结构焊缝表示方法

表 1-1-3 钢结构焊缝图形符号

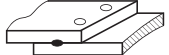
焊缝名称	焊缝形式	符号	焊缝名称	焊缝形式	符号
V 形			I 形		
单边 V 形			点焊		
带钝边 V 形			角焊		
U 形			堆焊		

表 1-1-4 焊缝的辅助符号

序号	名称	示意图	符号	标注位置	说明
1	平面符号		—	$\overline{\nabla}$	焊缝表面齐平（一般通过打磨或加工）
2	凹面符号		⌒	$\nabla \swarrow$	焊缝表面凹陷
3	凸面符号		⌒	$\nabla \searrow$	焊缝表面凸起

表 1-1-5 焊缝的补充符号

序号	名称	示意图	符号	说明
1	带垫板符号			表示焊缝底部有垫板
2	三面焊缝符号			表示三面带有焊缝
3	周围焊缝符号			表示环绕工件周围焊缝
4	现场符号	—		表示在现场或工地上进行焊接
5	尾部符号	—		可以参照 GB 5185 标注焊接工艺方法等内容

表 1-1-6 常用焊缝尺寸符号

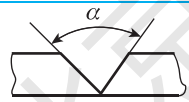
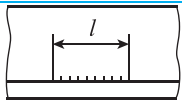
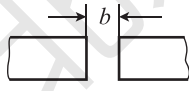
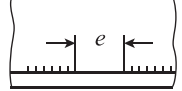
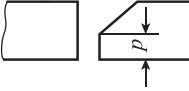
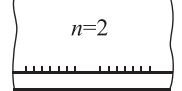
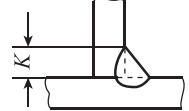
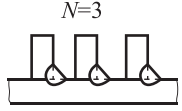
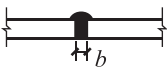
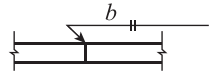
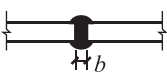
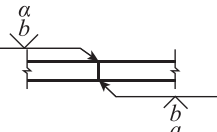
符号	名称	示意图	符号	名称	示意图
α	坡口角度		l	焊缝长度	
b	根部间隙		e	焊缝间距	
p	钝边		n	焊缝段数	
K	焊脚尺寸		N	相同焊缝数量符号	

表 1-1-7 常用焊缝接头的焊缝代号标志方法

名称	焊缝形式	标志方法
对接 I 形焊缝		
对接 V 双焊缝		

名称	焊缝形式	标志方法
对接单边 V 形焊缝		
对接 V 形管根焊缝		
搭接周边焊缝		
贴角焊接		
T 形接头		

表 1-1-8 压型钢板表示方法

名称	截面形状	表示方法	举例说明
压型钢板		YX H-S-B	YX 表示压型汉字拼音首字母 H 指压型钢板波高 S 指压型钢板波距 B 指压型钢板有效覆盖厚度 t 指压型钢板厚度 如 YX 130-300-600 表示压型钢板的波高为 130mm，波距为 300mm，有效覆盖厚度为 600mm

3. 钢结构施工图纸内容

由于钢结构图纸在其构件加工制作过程中的重要性和钢结构图纸的表现内容与普通混凝土结构的不同，钢结构图纸的识读就显得稍微困难一些。

钢结构施工详图的图纸内容包括：

- (1) 图纸目录。
- (2) 施工详图总说明：主要包括设计依据、荷载资料、项目类别、工程概况、材料选用及材质要求、设计要求等内容。
- (3) 锚栓布置图或基础平面详图：主要表达钢柱与下部混凝土构件的连接构造详图。
- (4) 构件布置图：主要表达构件的定位关系、标高、位置及编号、节点详图索引等，有些还会体现檩条、墙梁布置图和关键剖面图。
- (5) 安装节点图。
- (6) 构件详图：又称加工图或放样图，钢结构专项设计公司根据设计图编制组成结构构件的每个零件的放大图，标准细部尺寸、材质要求、加工精度、工艺流程要求、焊

缝质量等级等，并考虑运输和安装能力以确定构件的分段和拼装节点。
每一部分的具体内容详见《钢结构设计制图深度和表示方法》中的规定。

4. 钢结构施工图纸识读技法

- 钢结构的形式多样，因此施工图纸内容也各不相同，但在识读技法上存在共性。
- (1) 从整体到局部看。先对工程概况有大致了解后再针对局部位置细看。
 - (2) 从上至下，从左向右看。施工图左边或上边一般是构件正面图、立面图或平面图，结合右侧和下面的剖面图或详图整体识读。
 - (3) 从外向里看。
 - (4) 图样说明对照看。结合图样看说明，了解图纸中的共性问题。
 - (5) 各专业图纸联系看。建施和结施结合看，必要时参照设施看，才能准确理解图纸要表达的意思，避免偏颇。

三、各项准备工作

1. 备料与核对准备

图纸深化完成后，钢结构加工制作单位会根据深化设计图纸算出各种材质、规格的材料净用量，并根据构件的不同类型和供货条件，增加一定的损耗率（一般为实际所需量的 10%）提出材料预算计划。钢材的实际损耗率可根据表 1-1-9 中的数据进行一定程度的调整。

表 1-1-9 钢板、角钢、工字钢、槽钢损耗率

编号	材料名称	规格 (mm)	损耗率 (%)	编号	材料名称	规格 (mm)	损耗率 (%)
1	钢板	1 ~ 5	2.00	9	工字钢	14a 以下	3.20
2		6 ~ 12	4.50	10		24a 以下	4.50
3		13 ~ 25	6.50	11		36a 以下	5.30
4		26 ~ 60	11.00	12		60a 以下	6.00
			平均: 6.00				平均: 4.75
5	角钢	75 × 75 以下	2.20	13	槽钢	14a 以下	3.00
6		80 × 80 ~ 100 × 100	3.50	14		24a 以下	4.20
7		120 × 120 ~ 150 × 150	4.30	15		36a 以下	4.80
8		180 × 180 ~ 200 × 200	4.80	16		40a 以下	5.20
			平均: 3.70				平均: 4.30

注：不等边角钢按长边计，其损耗率与等边角钢同。

目前国际上采用根据构件规格尺寸增加加工余量的方法，不考虑损耗；国内也已开始实行由钢厂按构件表加工余量直接供料的方式。

对拼接位置有严格要求的吊车梁翼缘和腹板等，配料时要与桁架的连接板搭配使用，即优先考虑翼缘板和腹板，将配下的余料作小块连接板。小块连接板不能采用整块钢板切割，否则计划需用的整块钢板就可能不够应用，而翼缘和腹板割下的余料则没有用处。

当进行实际加工制作前，还应核对来料的规格、尺寸和重量，并仔细核对材质，如进行材料代用，必须经过设计单位同意，并进行相应修改。

2. 工艺规程的编制准备

编制工艺规程的原则是以最快的速度、最少的劳动量和最低的费用，可靠地加工出符合设计要求的产品。

编制工艺规程的依据是：

- (1) 结构件的总图、部件图和零件图。
- (2) 结构件的设计说明和技术条件。
- (3) 结构件的批量及单件的重量和外形尺寸。
- (4) 车间的作业面积，动力、起重和加工设备的能力。
- (5) 车间劳动者的数量、工种及技术等级等。

工艺规程的内容应包括：

- (1) 分出单个构件的加工工艺流程单。
- (2) 由流程单设计排出装配、焊接顺序的方案。
- (3) 进行工艺、经济的可靠性论证，分析比较得出合理的装配、焊接顺序。
- (4) 填写装配、焊接工艺卡片。
- (5) 提出各工序所需的设备、工艺装备检测工具等的清单及填写专用工艺装备或设备的设计任务书。
- (6) 填写材料消耗定额表和材料汇总单。
- (7) 填写各工序工时定额单。
- (8) 必要时，列出使用钢材排料切割单。

工艺规程是生产经验和技术的结晶，也是钢结构制造中主要的、根本性的指导性技术文件，亦是制作中最可靠的质量保证措施。因此，工艺规程一经制订，必须严格执行，不得随意更改。在施工过程中应通过一定手续才能进行修订。

3. 工艺装备和机具的准备

完成了备料、工艺规程编制后，还需进行工艺装备和机具的准备工作，这些准备工作包括：

- (1) 从施工图中摘出零件，编制工艺流程表。工艺流程表是反映零件加工顺序的工艺文件。一般应包括零件名称、件号、材料牌号、规格、件数、工序顺序号、工序名称和内容、加工设备等内容。
- (2) 根据用料要求和来料尺寸统筹安排、合理配料，确定拼装位置。
- (3) 根据工艺和图纸要求，准备必要的工艺装备（胎、夹、模具）。
- (4) 确定各工序的精度要求和质量要求，并绘制加工卡片。
- (5) 根据构件的加工需要，调拨或添置必要的设备和工具，此项工作也应提前做好准备。

4. 技术交底准备

构件进行加工制作前，应做好各项工作的技术交底工作，在零件下料制作前的技术交底研讨会由构件加工制作厂组织，要求制作单位的技术、质量负责人，技术部门和质检部门的技术人员和质检人员，生产部门的负责人、施工员及相关工序代表共同参加。

技术交底的内容应包括：

- (1) 工程概况。
- (2) 工程结构件的类型和数量。
- (3) 图纸中关键部位的说明和要求。
- (4) 设计图纸的节点情况介绍。
- (5) 对钢材、辅料的要求及原材料对接的质量要求。
- (6) 工程验收的技术标准说明。
- (7) 交货期限、交货方式的说明。
- (8) 构件包装和运输要求。
- (9) 涂层质量要求。
- (10) 工艺方案与规程。
- (11) 施工要点说明。
- (12) 主要工序的控制方法、检查方法。
- (13) 其他需要说明的技术要求。

四、范例图纸识读

此处按图号分张填写图纸识读记录单。

图纸识读记录单

图号	J01	图纸内容	施工说明、图纸目录、门窗表、卫生间大样
内容： 1. 本部分内容为本工程项目建筑设计部分的说明，包括设计依据、项目概况、设计标高、地面工程、墙体工程、屋面工程、门窗工程、外装修工程、内装修工程、油漆涂料工程、室外工程、其他施工注意事项、选用标准图集目录等 13 项内容。 2. 图纸目录显示本套建筑图纸共计 4 张。 3. 其他信息详见图纸			

图纸识读记录单

图号	J02	图纸内容	一层平面图
内容： 1. 由标题栏和图名可知本张图纸内容为一层平面图，绘图比例为 1：200。 2. 由图样显示可知该厂房平面整体呈矩形平面，厂房纵向轴线长度为 83m，横向轴线宽度为 120m。 3. 轴线间距显示厂房纵向柱距为 20m，布置断面为 H 型钢架柱，厂房横向柱距为 9.2m，布置断面为 H 型钢柱。 4. 室内地面相对标高为 ±0.000 米。 5. 平面四角各布置套间式男、女卫生间一个，局部层高为 3.6m。④轴位置处外墙处各布置配电间 1 处，局部层高 3.0m			

续表

图号	J02	图纸内容	一层平面图
6. 由指北针可知, 平面南北两向于第二轴线区间各布置外开 M-1 型门两处, 东西两向每定位轴线间布置外开 M-1 门 6 处。⑩轴位置处外墙布置外开 M-2 门 1 处。门口均设宽度 2m 的坡道 (配电间处坡道为 1.62m)。 7. 共有 2 种类型窗户。 8. ⑩轴与⑩轴、①轴处索引显示结构此处设伸缩缝, 伸缩缝宽 70mm, 采用沥青麻丝或沥青木丝板填缝。 9. 图样显示本结构采用内排水方式, 雨水管采用 D100 镀锌钢管, 布置于各轴线交叉位置处。 10. 结构平面布置灭火器若干, 每个配置点保护范围 25m, 每个配置点设 3kg 手提式磷酸铵盐干粉灭火器 2 具, 顶部离地高度 1.4m			

图纸识读记录单

图号	J03	图纸内容	02—屋顶平面图
内容: 1. 由标题栏和图名可知本张图纸内容为屋顶平面图, 绘图比例为 1:200。 2. 屋面为多坡型式, 坡度 1:12, 高坡处标高为 9.433m (9.423m), 低坡处标高 8.600m。对应下部雨水管位置设雨水斗, 纵向轴线处设 1% 流水坡度, 坡向雨水斗方向。 3. 由图样显示屋面纵横轴线区间设波形采光板, 具体做法详见 01J925-1 图样, 由专业生产厂家制作。上每隔 12m 间距布置条带状采光板 (FRP1.2, 760 型), 采光板宽度为 760mm, 延伸长度为 25160mm。 4. 各门口位置处上方均设雨篷, 雨篷板端加高, 挑出 1.2m, 顶面标高为 5.4m (配电间局部 2.4m), 设 2 个流水分区, 沿长度方向设 1% 坡度, 端部设直径 50mm 白色 PVC 出水管, 外伸 80mm (配电间处为 1 处)。 5. G 轴与 10 轴外墙处设屋面检修梯 1 处, 做法参见 01J925 第 43 页。 6. 图中显示详图索引 6 处, 具体图样见 J04			

图纸识读记录单

图号	J04	图纸内容	①~⑥立面图、⑥~①立面图、①~⑩立面图、⑩~①立面图、①-①剖面图、节点详图
内容: 1. 立面及剖面绘图比例为 1:200, 立面图显示结构四个方向的立面内容, 因建筑形式的对称性, 只用 2 个图样表达。剖面图对应剖切位置为 ②~③轴位置。其余详图比例为 1:20。 2. 由图例可知外墙采用黄色面砖、红色面砖和白色涂料装饰, 具体位置见图样。 3. 各立面图均显示结构沿高度方向布置单层中悬窗, 局部对应卫生间处另设推拉式低窗各一个。大门上设外开单扇小门, 供大门闭合时行人出入。 4. 由旁侧标高标注可知室外地坪标高为 -0.150m, 室内地面标高为 ±0.000m, 底层窗户自身高度为 1.5m; 雨篷底面标高 5.1m (配电间局部 2.2m); 外墙顶面标高 10.3m。 5. 1-1 剖面图显示刚架结构大梁最高处标高为 9.433m (9.423m), 檐口位置处标高为 8.600m, 同屋顶平面图。 6. 局部标高 3.6m 和 3.0m 同一层平面图呼应, 但缺失 ⑦~⑧轴线处 3.6m 标高表达。 7. ①号索引详图为屋面女儿墙详图, 图样显示外墙为砖墙, 顶部有钢筋混凝土压顶, 屋面檩条与屋面压型钢板采用自攻螺钉连接, 下垫通长密封胶带; 檩条间采用拉铆钉与压型钢板连接; 屋面檩条边缘距外墙内皮 50mm, 顶部沿外墙与屋面板设泛水板, 泛水板沿外墙内皮水平向深入屋面 200mm, 竖向向上延伸 250mm。外墙外做 1:3 水泥砂浆抹面, 与泛水板交界位置处填充密封胶, 膨胀螺栓钉入			

续表

图号	J04	图纸内容	①~⑦立面图、⑧~④立面图、①~⑩立面图、⑩~①立面图、①-①剖面图、节点详图
8. ②号索引详图为屋面女儿墙内天沟详图，天沟宽度为 500mm，天沟整个区域采用 3mm 厚钢板，内外刷防腐涂料；雨水口采用钢板材料，与天沟采用焊接连接；屋面板端部采用 C 型钢檩加强，采用自攻螺钉连接，并用泡沫堵头，向天沟方向延伸 150mm，屋面板下方设屋面封檐板，采用拉铆钉连接。外墙抹面处理同 1 号索引详图。 9. ③号索引详图为屋面内天沟详图，其做法参见 2 号索引详图，由于位于中部，做法两侧对称。 10. ④号索引详图为屋面双坡屋脊详图，两个端部均设檩条，采用自攻螺钉与屋面压型钢板连接，后退 100mm 位置处设挡水板，采用泡沫堵头；中部缝隙处设屋脊盖板，覆盖宽度共 500mm，采用拉铆钉每间距 100mm 与屋面板连接，外露部分满打密封胶。 11. ⑤号索引详图为混凝土雨篷做法详图，此处为配电间对应门口上部雨篷。雨篷为悬挑式钢筋混凝土板，墙体内部雨篷梁底面标高 2.1m，雨篷底面标高 2.2m，端部上翻，上翻端部标高 2.4m，板顶面做法详见图示。 12. ⑥号索引详图为混凝土雨篷做法详图，此处为主要出入口上部雨篷。雨篷为悬挑式钢筋混凝土板，墙体内部雨篷梁自板底向下延伸 500mm，雨篷底面标高 5.1m，端部上翻 300mm，板顶面做法详见图示。门洞上方预埋钢板，外墙面用钢板和槽钢处理门口上方结构			

图纸识读记录单

序号	G01	图纸图号	结构设计总说明、图纸目录
内容： 1. 本部分内容为本工程项目结构设计部分的说明，包括设计总则、材料、地基及基础、墙柱连接构造要求、钢筋混凝土构件、钢结构构造及制作安装要求、钢结构除锈及涂层其他事项等 8 项内容。 2. 图纸目录显示本套结构图纸共计 7 张。 3. 另有小型图样若干，详见图纸			

图纸识读记录单

序号	G02	图纸图号	基础平面布置图、配电间、厕所顶板配筋图
内容： 1. 基础平面布置图显示结构外墙及卫生间下部采用条形基础，刚架柱下采用独立基础。 2. 条形基础大样图显示基础做一次放脚，基础底面标高为 -1.3m，-0.6m 处墙体内部设地梁，高度为 240mm，基础局部加宽加厚，尺寸详见图。 3. 由于图幅原因，J-1、J-2 图样位于 J07。J-1 基础底板标高 -1.2m，双向配筋，具体见图。J-1 中钢柱预埋螺栓伸入底板，钢柱底板标高 -0.2，采用双螺母紧固，钢底板上水平加劲板采用对称角焊缝，焊脚尺寸为 6mm，底板下焊接一段长度为 100 的槽钢，高度为 120mm。底板下部采用 40mm 厚 C25 细石混凝土找平，上部采用 C20 素混凝土包裹柱脚，混凝土顶面浇筑到 0.15m 处位置。基础柱内配筋详见断面图样。 4. J-2 构造及配筋与 J-1 类同，详见图样。 5. 抗风柱下独立基础为 J-3，构造及配筋与 J-1 类同，详见图样 (G03)			

图纸识读记录单

图号	G03	图纸内容	GJ-1
内容： 1. 采用对称绘图方式显示 GJ-1 的立面信息。图样显示每一纵向轴线位置为屋架低坡处，两相邻轴线跨中为屋脊高坡处。 2. 每一跨内屋面大梁分 4 段制作，连接处加设端板，采用高强螺栓连接，工字型大梁采用对称角焊缝与端板焊接连接。每一跨内设 2 根抗风柱。 3. 梁柱连接位置加设端板和横向加劲板，局部位置钢板厚度有调整，详见索引详图 1。 4. 7-7 和 8-8 分别为边柱和中柱柱脚详图，图样显示钢柱下部与底板采用单边 V 型对接施焊，底板下部抗剪键采用单边 V 型施焊方式用槽钢与底板连接。翼缘内共有柱脚螺栓 2 个，一个为 M24，孔 29；另一个为 M24，孔 26，并在现场加焊厚 20mm，边长 80mm 的钢板紧固。其余尺寸信息详见图样。 5. 9-9 为抗风柱柱脚详图，抗风柱翼缘采用单边 V 型焊缝与底板连接，腹板采用对称角焊缝与底板连接。柱脚位置处共有螺栓 8 个，均为 M24，孔 26，上部均有小钢板现场角焊缝施焊紧固。翼缘延伸方向有竖向加劲肋，采用对接施焊与翼缘连接			

图纸识读记录单

图号	G04	图纸内容	刚架和支撑平面布置图
内容： 1. 本张图纸为屋面刚性檩条 (GLT)、隅撑 (YC)、水平支撑 (SC)、系杆 (XG) 和柱间支撑 (ZC) 的布置图样，具体布置位置详见图样。 2. 各详图图样显示：檩条为 C 型钢檩与上部 100 位置处开拉条孔。檩条通过檩托搁置于钢梁之上，檩托之后加设加劲肋板，端檩采用 2 个螺栓，中部檩条采用 4 个螺栓。 3. 隅撑采用等边角钢，在端部设置。 4. 刚性檩条采用 2 个 C 型钢肢背点焊相接			

图纸识读记录单

图号	G05	图纸内容	檩条布置图
内容： 1. 该图采用对称方式绘制，显示檩条、直拉条、斜拉条、撑杆、刚性檩条的布置情况，具体位置见图。 2. 檩条及拉条安装节点详图显示具体安装位置			

图纸识读记录单

图号	G06	图纸内容	XG1 详图、ZC1、2 详图、水平支撑安装节点
内容： 1. 水平支撑安装位置在梁顶面向下 100mm 处，加设水平安装板，与水平支撑端板采用 M20 粗制螺栓连接。端板及水平板处均为对称角焊缝。 2. 系杆采用直径 127mm，壁厚 4mm 钢管制作，系杆端部与端板中心对齐，角焊缝连接。端板与梁加劲肋板连接时采用对称角焊缝现场施焊。 3. 柱间支撑采用钢管交叉型式，为符合力学无附加扭矩的受力特点，制作时一根钢管通常，另一根通过加设板材在交叉处断开设置，具体板材信息见图			

图纸识读记录单

图号	G07	图纸内容	构件立面图
内容: 1. 本张图样为结构纵横两个方向立面混凝土梁体构件布置图样。 2. 圈梁 QL-1 (1a) 在标高 3.7m 的 ④、⑥轴位置布置, 门洞位置处用附加圈梁代替过梁。QL-4 (4a) 位于 ①、⑩轴立面, 标高位置为 3.5m。 3. 雨篷梁 YPL-1 配筋信息详见详图图样。圈梁 QL-2、QL-3、QL-4 布置在 7.9m 到 10.3m 范围内, 外墙面上连续布置。 4. 墙面设构造柱 (GZ) 若干, 位置见图, 标高 7.9m ~ 10.3m 范围有 GZa, 位置见图。 5. ①、⑩轴墙面 2 处位置设宽度 2m 的通高加强带, ④、⑥轴墙面设一处加强带			

【特别提示】

(1) 在识读图纸前, 应做好相应规范准备, 包括《钢结构设计制图深度和表示方法》(03G 102);《建筑结构制图标准》(GB/T 50105—2010);《焊缝符号表示方法》(GB 324—2008)。

(2) 由于钢结构构件断面形式的特殊性, 某一方向板材在图纸中体现的是厚度方向线条, 在图纸比例较小时, 线条距离较近, 应在熟悉常见构件截面形式的基础上, 通过多个视图的对照识读正确判断构件所处的空间位置。

(3) 钢结构施工图纸中的符号和标注样式繁多, 特别是节点详图, 识读过程中务必全面识读, 结合节点立面图、平面图和侧面图, 了解节点位置的构造; 注意识读出详图中连接件(螺栓、铆钉、焊缝)和辅助件(拼接板、节点板、垫块等)的型号、尺寸和位置的标注; 对于螺栓或铆钉在节点详图上还应识读出其数量、型号、大小和排列; 对于焊缝要识读出其类型、尺寸和位置; 拼接板要识读出其尺寸和放置位置。

拓展阅读

钢结构柱脚形式多样, 除范例中的外露式铰接柱脚外, 还包括外包式刚性柱脚和埋入式刚性柱脚两种, 这种柱脚可以承担一定的弯矩, 结构尺寸一般较大。

1. 外包式刚性柱脚

外包式刚性柱脚是将钢柱柱底板搁置在混凝土基础顶面, 再由基础深处钢筋混凝土短柱, 将钢柱包住的一种连接方式, 如图 1-1-2 所示。

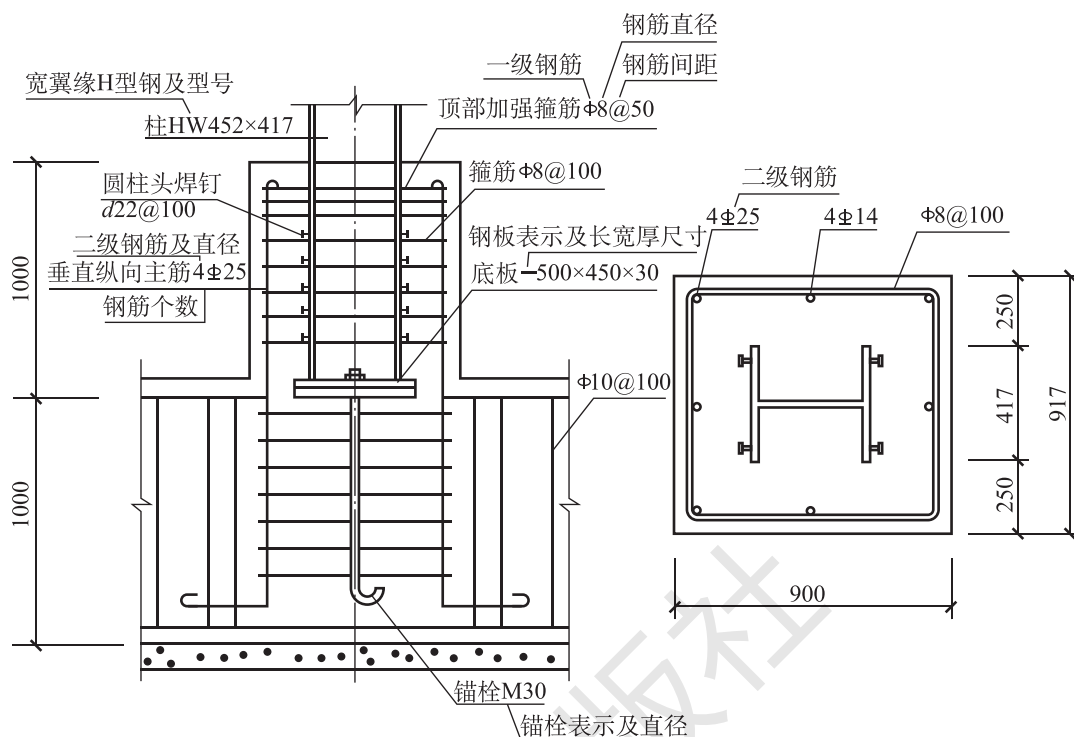


图 1-1-2 外包式刚性柱脚详图

从该图样可以识读出以下内容:

(1) 该钢柱为热轧宽翼缘 H 型钢, 规格为 452×417 (截面高度为 452mm, 截面宽度为 417mm)。

(2) 柱底埋入深度为 1 000mm, 柱翼缘上设置直径为 22mm 的圆柱头焊钉, 间距为 100mm。

(3) 柱底板规格为 -500×450×30, 即长度为 500mm, 宽度为 450mm, 厚度为 30mm。与柱底板连接的锚栓埋入深度为 1 000mm 厚的基础内, 混凝土柱台截面为 917mm×900mm, 纵向四角设置 4 根直径为 25mm 的主筋和纵向四边设置 4 根直径为 14mm 的构造筋, 均为二级钢筋。箍筋为一级钢筋, 直径为 8mm, 间距为 100mm。

(4) 柱台顶部加密区箍筋间距为 50mm, 混凝土箍筋直径为 8mm 的一级钢筋, 间距为 100mm。

2. 埋入式刚性柱脚

埋入式刚性柱脚是将钢柱底端直接埋入混凝土基础 (梁) 或地下室墙体内的一种柱脚, 如图 1-1-3 所示。

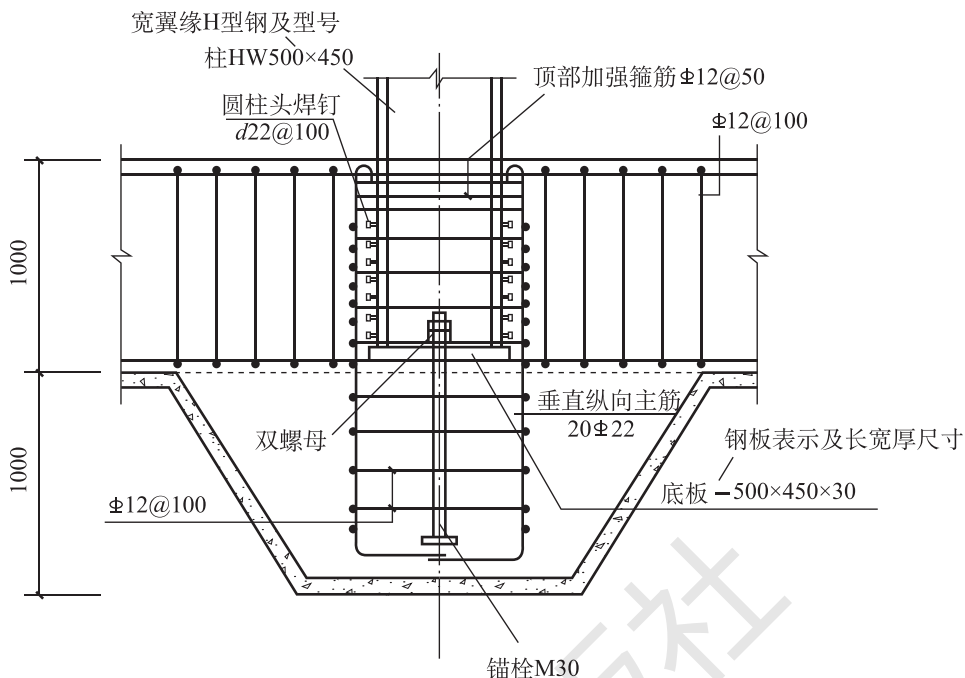


图 1-1-3 埋入式刚性柱脚详图

从该图样可以识读出以下内容：

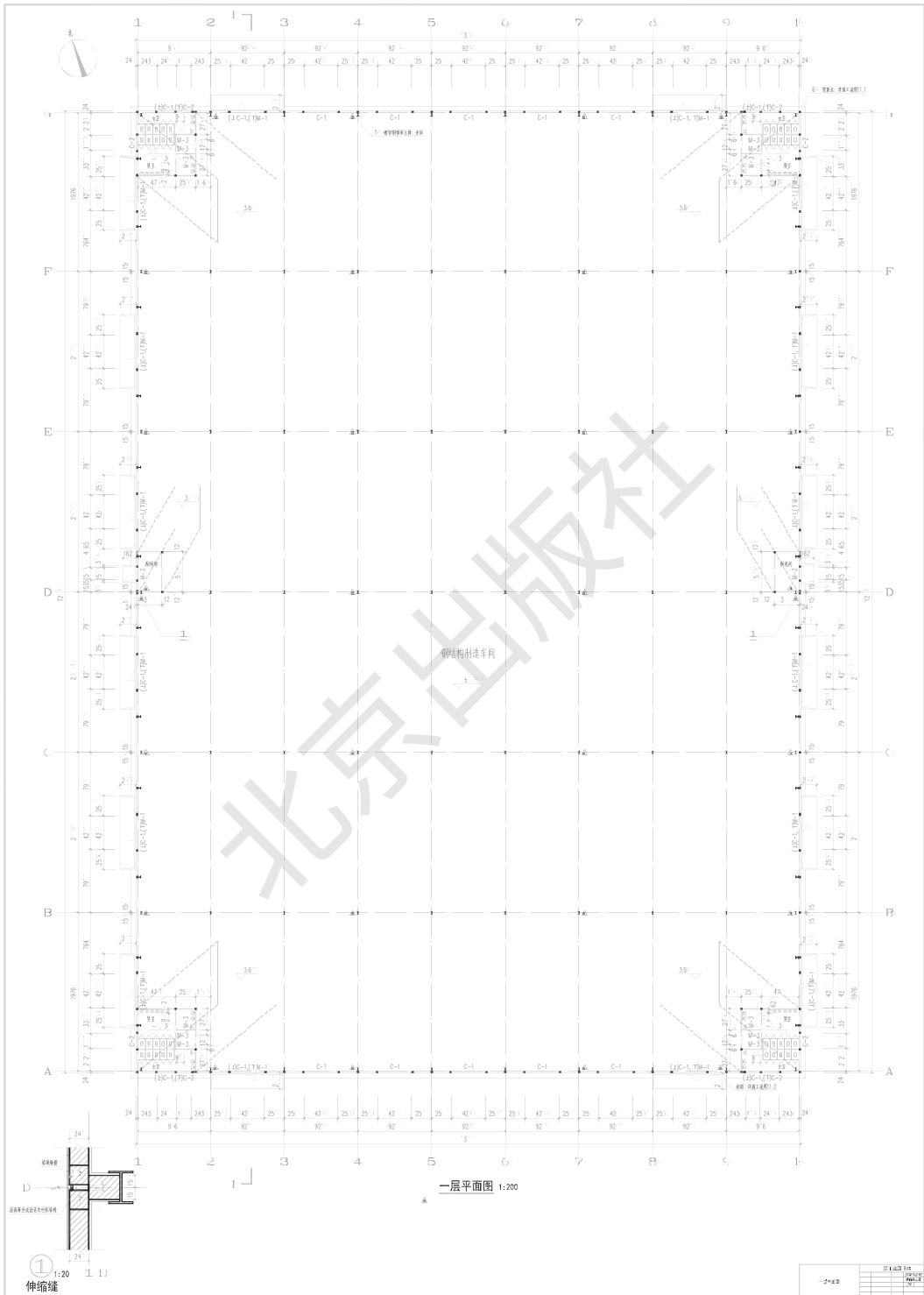
- (1) 该钢柱为热轧宽翼缘 H 型钢，规格为 500×450（截面高度为 500mm，截面宽度为 450mm）。
- (2) 柱底直接埋入基础中，并在埋入部分柱翼缘上设置直径为 22mm 的圆柱头焊钉，间距为 100mm。
- (3) 柱底板规格为 -500×450×30，即长度为 500mm，宽度为 450mm，厚度为 30mm，锚栓埋入深度为 1 000mm，钢柱柱脚外围埋入部分的外围配置 20 根竖向二级钢筋，直径为 22mm。箍筋也为二级钢筋，直径为 12mm，间距为 100mm。

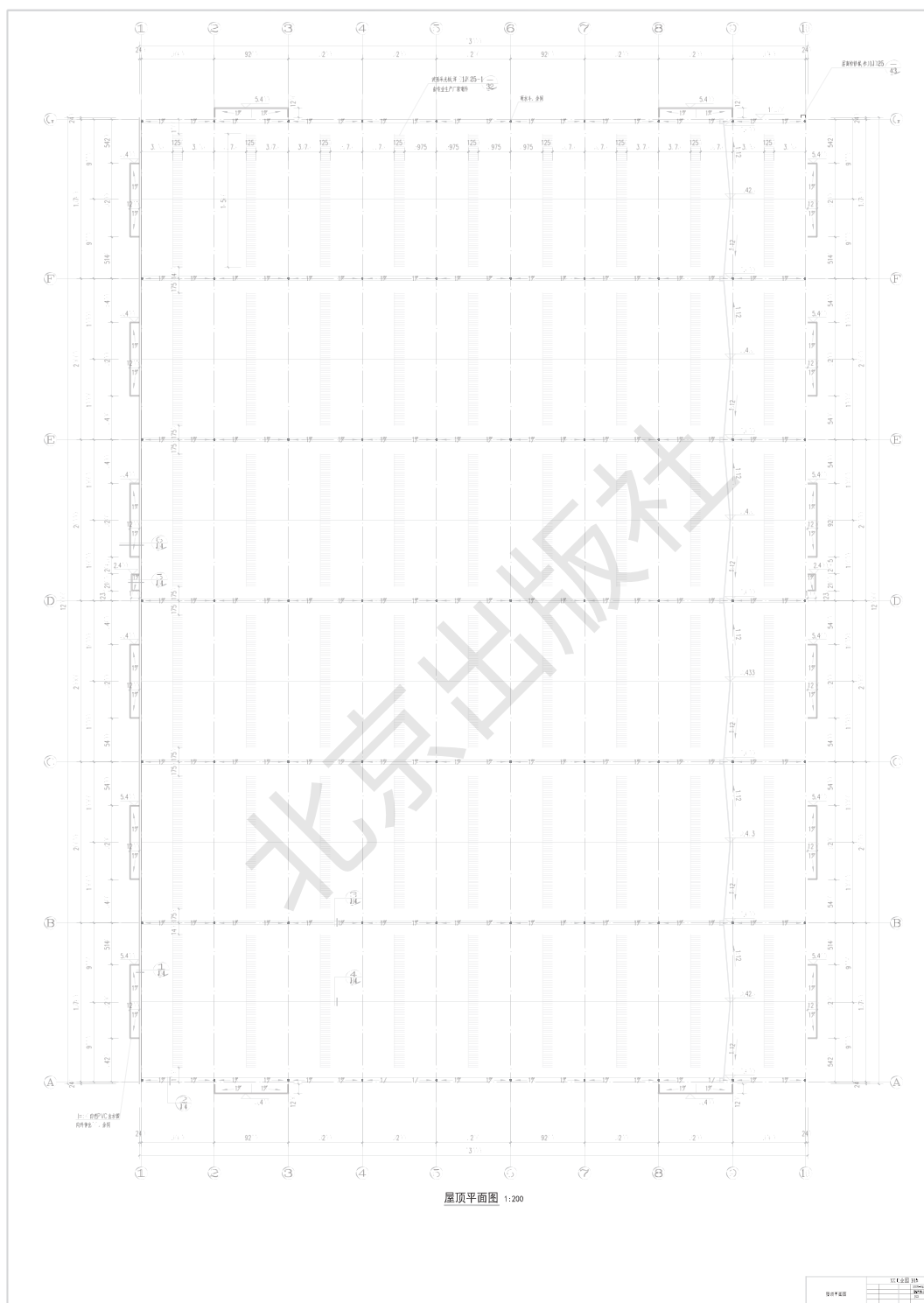
人生启迪

看钢结构施工图之前除了具备投影知识和形体表达方法外，还应熟知施工图中焊接连接所表达的加工符号，由于钢结构构件体自身截面特征，在图纸中线条间隔密集，连接节点构造复杂，因此培养学生开始看图时必须要有耐心，认真细致。

卫生间大样 1:50

施仁醫院 仁愛堂	圖林區 仁生同安堂	XX 仁愛堂	2019-2020 2020-2021 2021-2022
-------------	--------------	--------	-------------------------------------







结构设计总说明

六、钢结构构造及制作安装要求

图纸目录

图别	序号	图 纸 名 称	图号	图幅
结				
构				
施				
工				
图				

一、设计总则

三. 地基及基础

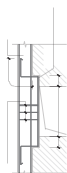
四、墙、柱连接构造要求及过梁

五. 钢筋砼构件

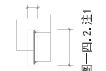
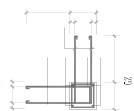
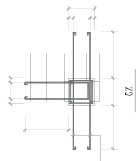
[illegible]

八. 其它事项

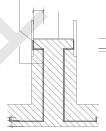
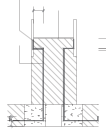
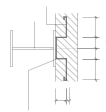
七. 钢结构除锈及涂层



烧窑深过梁与圈



图一四.2.注1

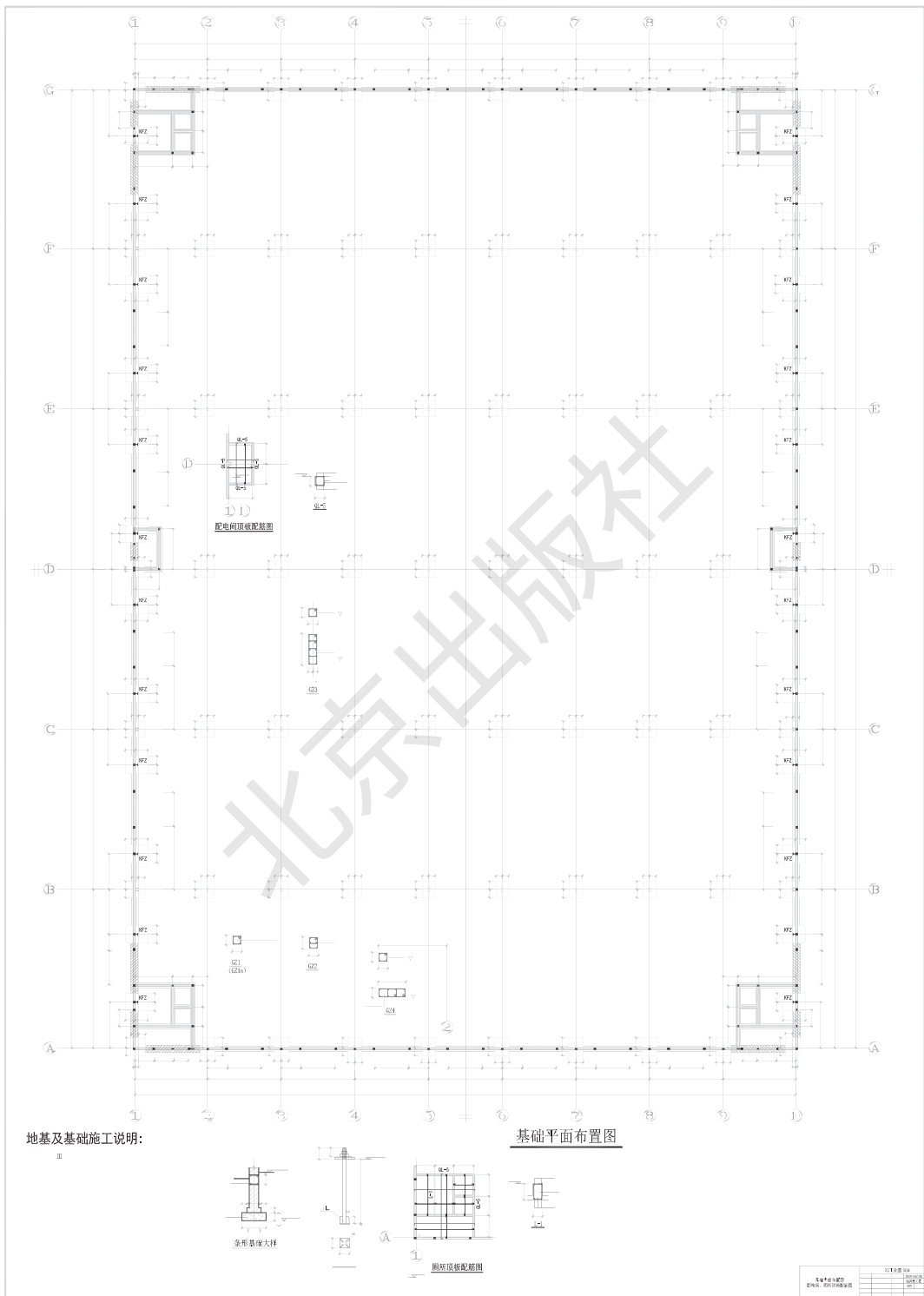


图一四.1.注1

[illegible]

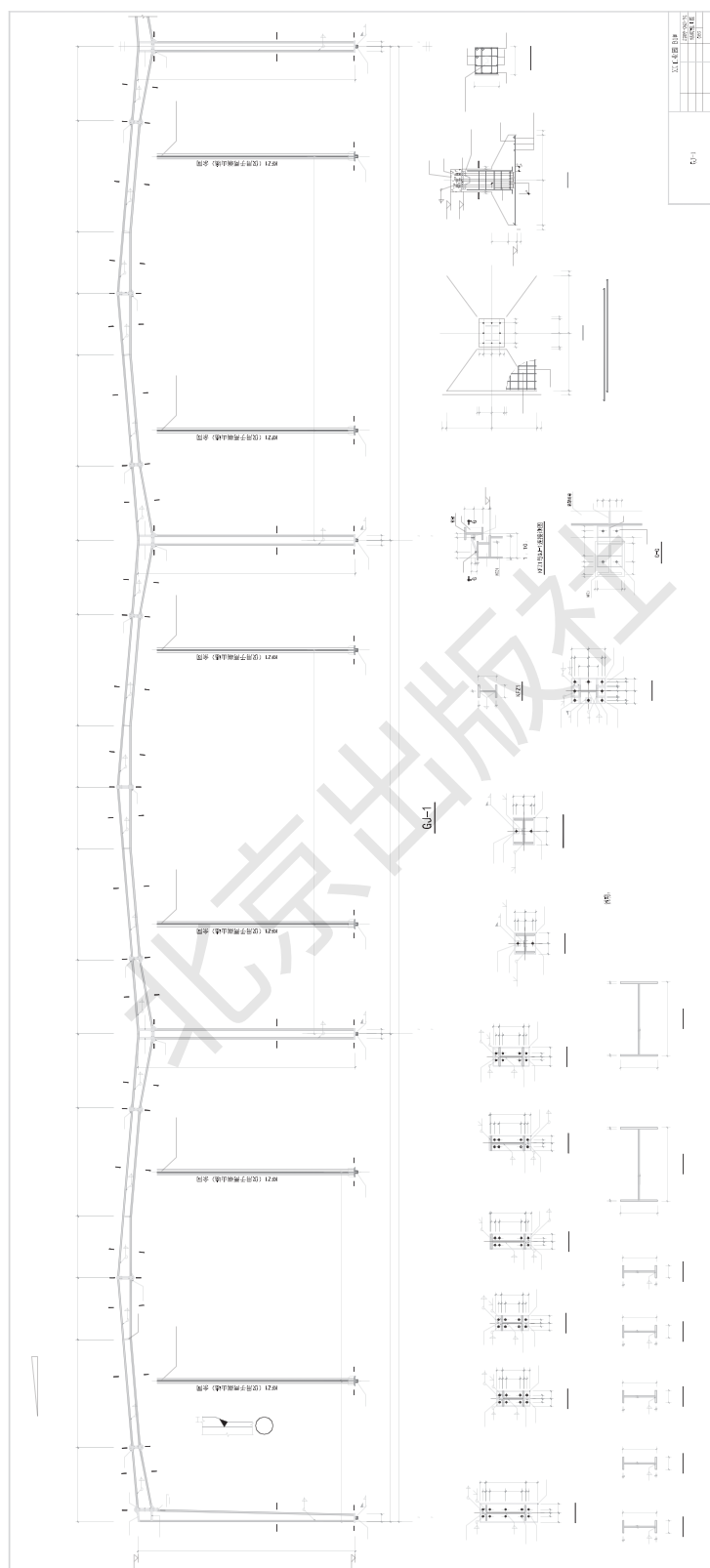
二. 材料

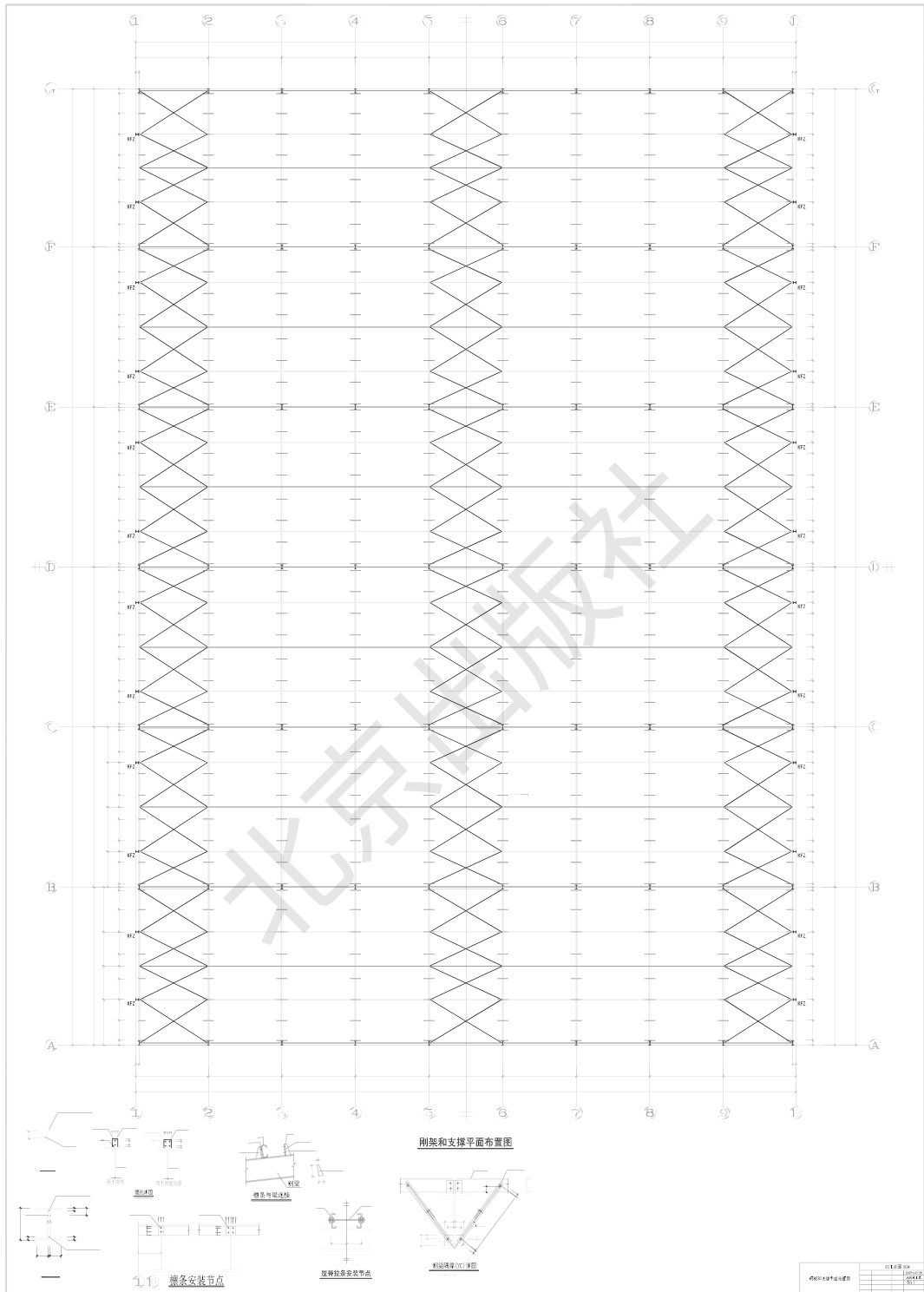
结构设计与说明 图录目录	XX L 位置 B1#		
			2009-05-01
			结构图 [E]
			201

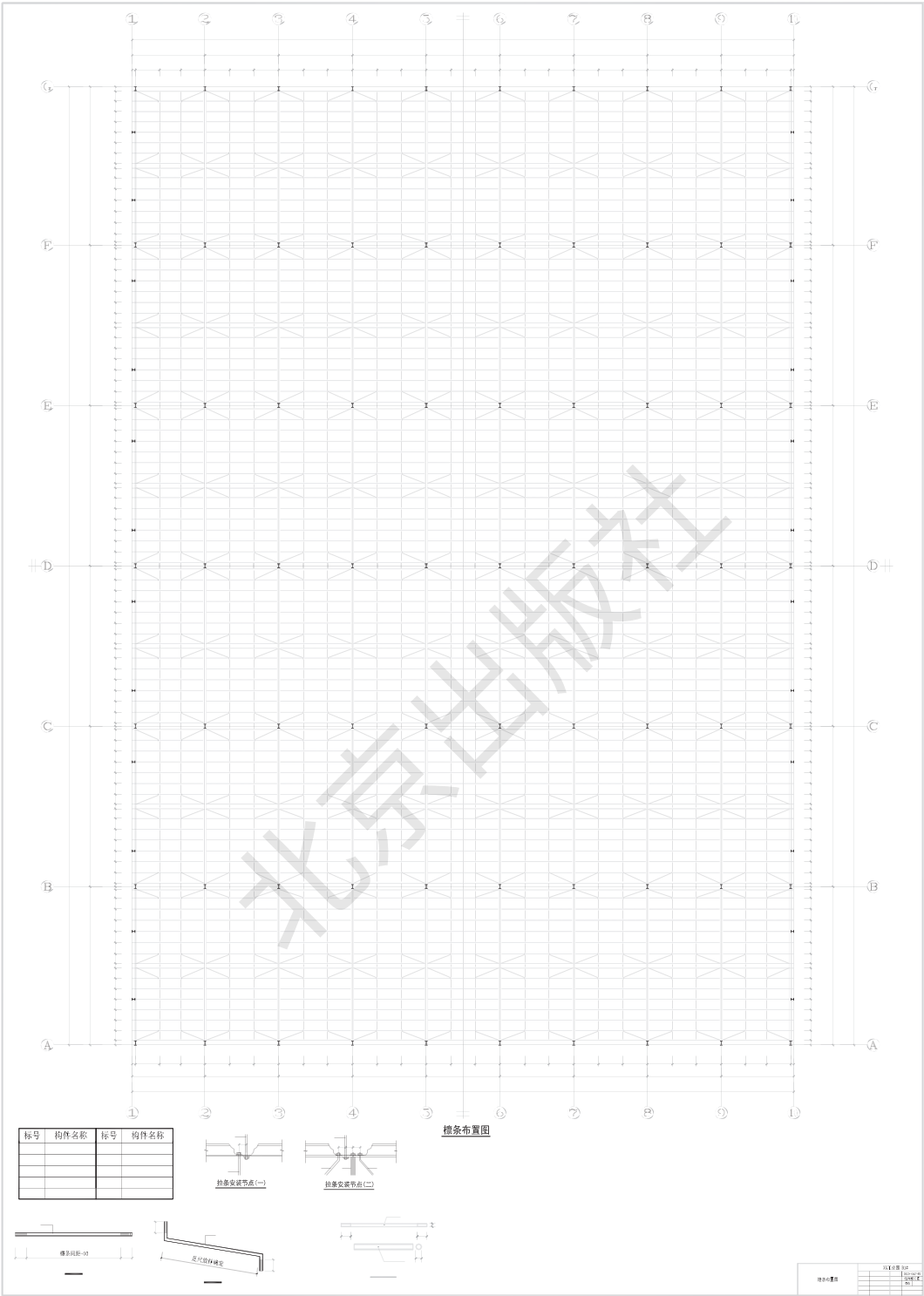


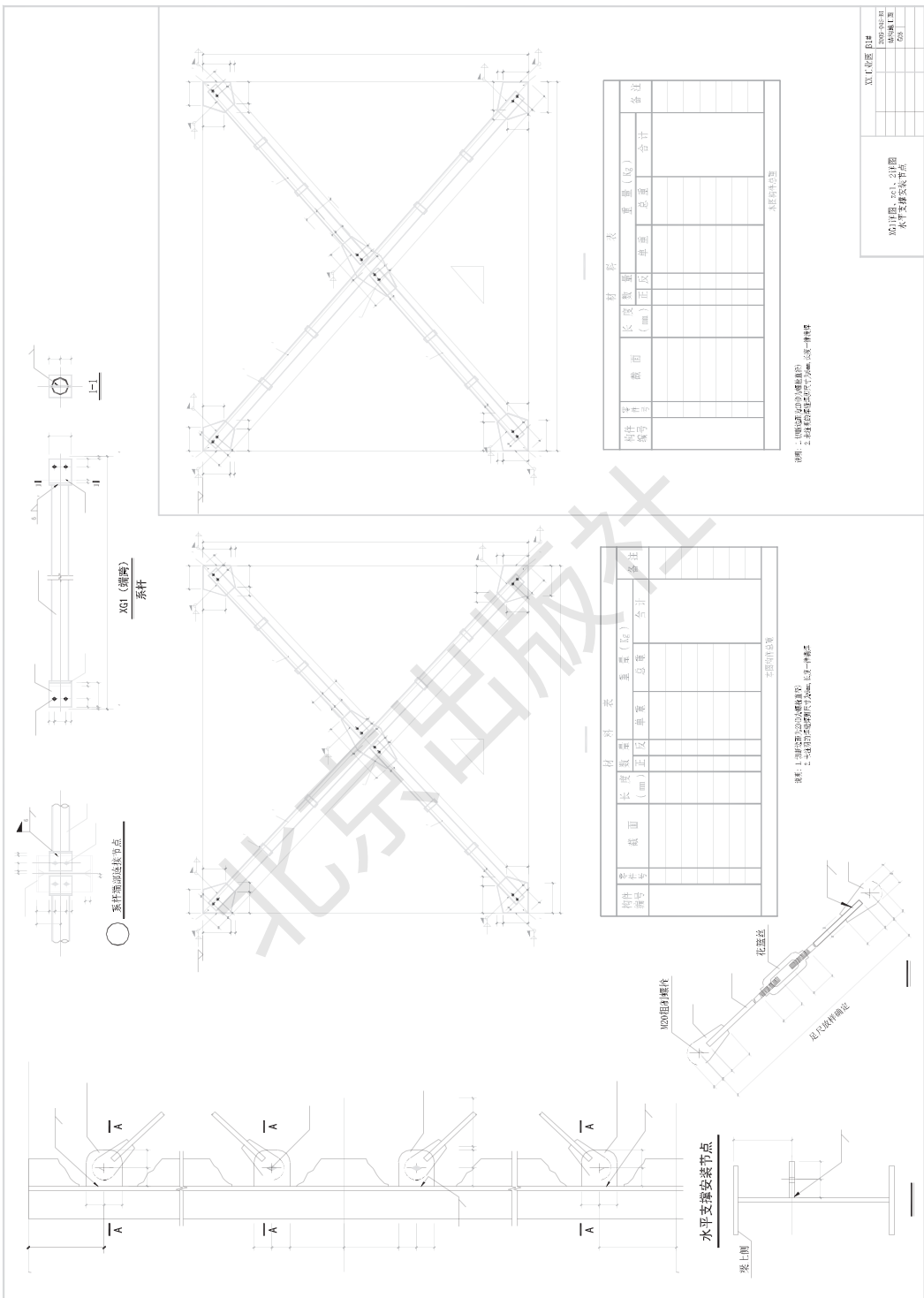
地基及基础施工说明:

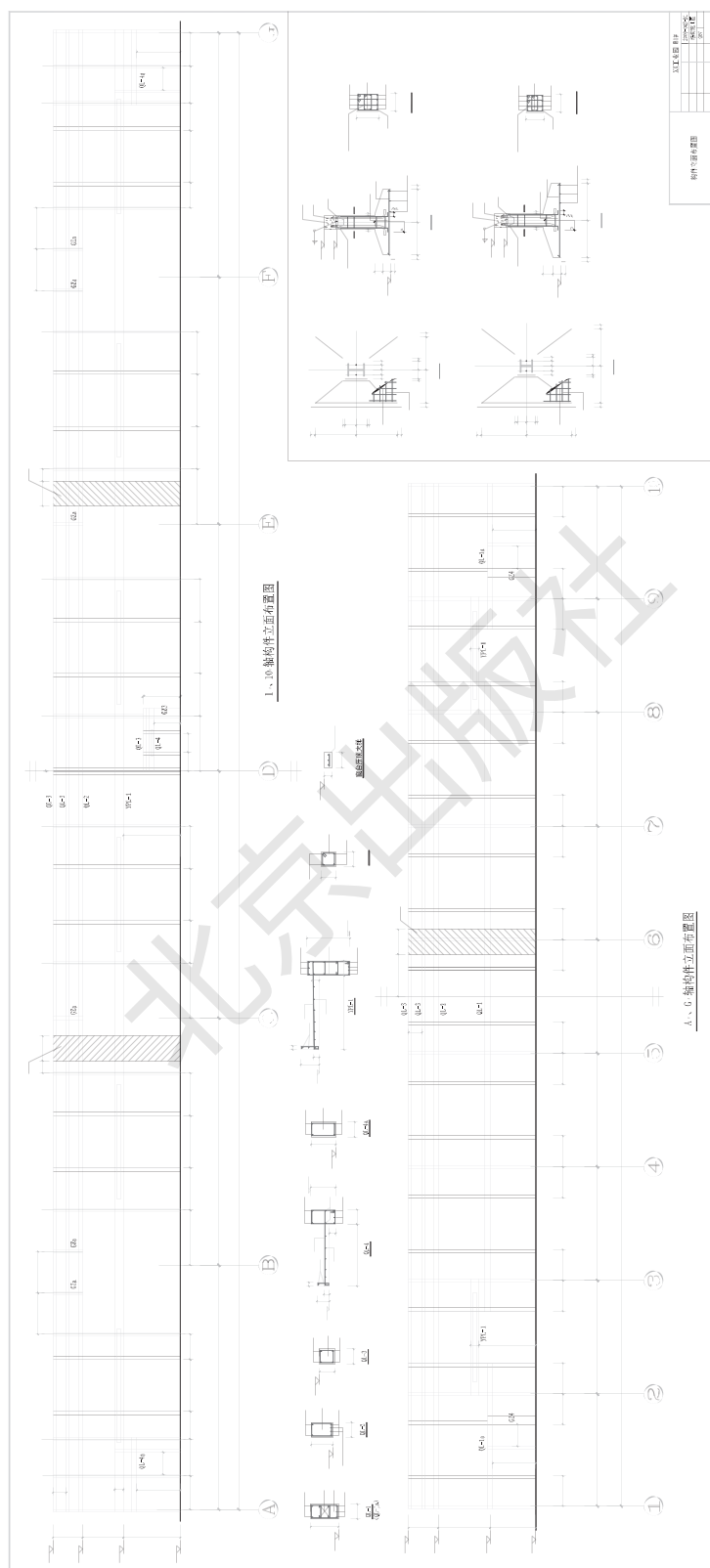
基础平面布置图











学习任务 2 | 材料采购与进场检验

■ 任务目标

1. 了解钢材的分类、品种及规格。
2. 熟悉钢材的性能及影响钢材力学性能的因素。
3. 根据工程项目自身特点，以安全、适用、经济合理的原则进行钢材的选用，按照规范的要求实施材料的进场验收。

知识链接

由于钢结构材料的质量直接关乎形成构件或产品的质量优良性，加之钢结构材料种类的多样性，因此熟悉和掌握钢结构材料的特点、性能和检验检测方法对于后期使用的安全性至关重要。完成本学习任务后，学生能够开展常规钢结构材料的进场检验和验收工作，正确填写各种原材料进场质量合格证明文件检查记录单、外观质量检查记录单、成品包装质量抽查记录单、进场检验报告等检查记录单，逐步培养钢结构材料进场检验能力。



钢材种类及分类

一、钢材的品种

钢是含碳量在 0.02% ~ 2.11% 之间的铁碳合金，建筑用钢材主要有碳素结构钢和合金高强度结构钢。

为用简单方法表达钢种的具体特性，人们采用钢的牌号表示法，是由“Q+ 数字 + 质量等级符号 + 脱氧方法”组成。

Q——钢材屈服点“屈”字汉语拼音首位字母；

数字——钢材屈服强度，单位为 N/mm^2 ；

质量等级——分为 A、B、C、D 四级或 A、B、C、D、E 五级；

脱氧方法——钢材有镇静钢、半镇静钢和沸腾钢之分，此外还有用铝补充脱氧的特殊镇静钢，分别用 Z、b、F 和 TZ 表示，其中 Z 和 TZ 可省略。

1. 碳素结构钢

碳素结构钢是碳素钢的一种，含碳量约 0.05% ~ 0.70%。广泛应用于各类建筑工程，制造承受静载荷的各种金属构件及不重要或不需要热处理的机械零件和一般焊接件。

根据《碳素结构钢》(GB/T 700—2006)，碳素结构钢的牌号有 Q195，Q215A、B，Q235A、B、C、D 和 Q275A、B、C、D。其中 Q235 钢为一般焊接结构优先选用。

碳素结构钢质量等级中 A 级对冲击韧性不作要求，冷弯性能只在需方有要求时才进行试验，B、C、D 级分别保证 20℃、0℃、-20℃ 时的冲击韧性满足要求，并且都要求冷弯性能合格。

2. 低合金高强度结构钢

低合金高强度结构钢是在含碳量 $\leq 0.20\%$ 的碳素结构钢基础上，加入少量的合金元素发展起来的，韧性高于碳素结构钢，同时具有良好的焊接性能、冷热压力加工性能和耐腐蚀性，部分钢种还具有较低的脆性转变温度。

《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591—2018)规定，钢号采用与碳素结构钢相同的表示方法，分为Q345、Q390、Q420、Q460等，其中Q345、Q390和Q420是钢结构设计规范推荐采用的钢种。

低合金高强度结构钢牌号质量等级分为A、B、C、D、E五级，不同质量等级是按对冲击韧性的要求区分的。A级无冲击功要求；B级要求提供 20°C 冲击功 $A_k \geq 34\text{J}$ （纵向）；C级要求提供 0°C 冲击功 $A_k \geq 34\text{J}$ （纵向）；D级要求提供 -20°C 冲击功 $A_k \geq 34\text{J}$ （纵向）；E级要求提供 -40°C 冲击功 $A_k \geq 27\text{J}$ （纵向）。不同质量等级对碳、硫、磷、铝的要求也有区别。

低合金高强度结构钢的A、B级属于镇静钢，C、D、E级属于特殊镇静钢，因此钢的牌号中不需注明脱氧方法。

二、钢材的分类与规格

钢结构所用钢材按外形可分为钢板、普通型材、热轧H型钢、冷弯型钢和压型钢板、结构用钢管几类。

1. 钢板（钢带）

建筑钢结构使用的钢板（钢带）按轧制方法有冷轧板和热轧板之分。热轧钢板是建筑钢结构应用最多的钢材之一。钢板和钢带的不同在于成品形状，钢板是矩形平板状的钢材，可直接轧制或由宽钢带剪切而成；钢带是指成卷交货，宽度大于或等于600mm的钢板。

钢板按厚度可分为薄钢板、厚钢板、特厚板。其中：

薄钢板：厚度 $0.35 \sim 4\text{mm}$ ，宽度 $500 \sim 1\,500\text{mm}$ ，长度 $0.5 \sim 4\text{m}$ ；

厚钢板：厚度 $4 \sim 60\text{mm}$ ，宽度 $600 \sim 3\,000\text{mm}$ ，长度 $4 \sim 12\text{m}$ ；

特厚板：厚度大于 60mm 。

热轧钢板的表示方法为：“—厚度 $\times$ 宽度 $\times$ 长度”，单位为mm。如“ $-10 \times 750 \times 1\,500$ ”表示厚度为10mm、宽度为750mm、长度为1500mm的钢板。

2. 普通型材

(1) 工字钢。

工字钢因其横截面为工字形而得名，分为普通工字钢和轻型工字钢两类。

按规格表示为：腰高 $h \times$ 腿宽 $b \times$ 腰厚 d ，单位为mm；按型号表示为：腰高（截面高度）的厘米数。

对于20号以上的普通工字钢，根据腹板厚度和翼缘宽度不同，又分为a、b、c三种，其中a类腹板最薄、最窄，b、c类依次增厚、增宽。

(2) 槽钢。

槽钢的截面为凹槽形，由于斜度比工字钢平缓，紧固连接比较容易。槽钢分为热轧

普通槽钢和轻型槽钢两种。

按型号表示为：截面高度的厘米数。有 a、b、c 规格之分，其不同点是腹板和翼缘的宽度。

(3) 角钢。

角钢是两边互相垂直成直角形的长条钢材，有等边角钢和不等边角钢两大类。

按型号角钢表示为：其长肢的厘米数；按规格表示：等边角钢以肢宽 × 肢厚的 mm 数表示，不等边角钢以长肢宽 × 短肢宽 × 肢厚的 mm 数表示。如 $\angle 100 \times 10$ 表示肢长为 100，厚度为 10mm 的等边角钢， $\angle 100 \times 80 \times 8$ 表示长肢长为 100mm，短肢长为 80mm，厚度为 8mm 的不等边角钢。

3. 热轧 H 型钢

H 型钢是由工字钢发展而来的，其截面性能优于普通型材，在现今的钢结构工程中得到了广泛的应用。

依据《热轧 H 型钢和剖分 T 型钢》(GB/T 11263—2017)，热轧 H 型钢分为宽翼缘 H 型钢、中翼缘 H 型钢、窄翼缘 H 型钢和薄壁 H 型钢，代号分别为 HW、HM、HN 和 HT，型号采用高度 × 宽度来表示，如 HW400×400、HM500×300、HN700×300。

4. 冷弯型钢和压型钢板

冷弯型钢常用 1.5 ~ 5mm 厚度的薄钢板或钢带经冷轧（弯）或模压而成，因此也称为冷弯薄壁型钢。压型钢板是冷弯型钢的另一种形式，是用 0.4 ~ 2mm 厚度的钢板、镀锌钢板、彩色涂层钢板经冷轧（压）而成的各种波形板材，在现今的轻钢结构建筑中应用广泛。

5. 结构用钢管

结构用钢管有热轧无缝钢管和焊接钢管两大类，用“外径 × 壁厚”表示，单位为 mm。焊接钢管由钢带卷焊而成，依据管径大小，又可分为直缝焊和螺旋焊两种。

按国家标准《结构用无缝钢管》(GB/T 8162—2018) 规定，结构用无缝钢管分热轧和冷拔两种，冷拔管只限于小管径，热轧无缝钢管外径为 32 ~ 630mm，壁厚为 2.5 ~ 75mm。

三、钢结构对钢材性能的要求

钢结构大多承受较大荷载的作用，受力状况复杂，所以对材料性能的要求是多方面的。设计者必须全面了解钢结构的各项要求和钢材的性能，并考虑影响钢材性能的各项因素，慎重、合理地选择钢材。

钢材性能的要求主要有：强度、塑性、韧性、冷弯性、耐久性、可焊性、Z 向伸缩率。

1. 强度性能

强度是材料受力时抵抗破坏的能力。说明钢材强度性能的指标有弹性模量、比例极限、屈服点和抗拉强度等。这些指标可以根据钢材标准试件一次单向拉伸试验确定，钢材在单向拉伸试验中的应力—应变曲线如图 1-2-1 所示。

根据钢材单向拉伸性能曲线，工程应用中，钢材的性能按理想弹塑性考虑，应力—

应变曲线分为六个阶段。

(1) 弹性阶段 (oa)。

此阶段力与伸长成直线关系, 变形完全可逆, 即加力时产生变形, 卸力后变形完全恢复。 oa 线段的 a 点是应力—应变呈直线关系的最高点, 这点的应力叫理论比例极限。

(2) 滞弹性阶段 (ab)。

应力—应变出现非直线关系。其特点是力到 b 点时然后卸除力, 应变仍可回到原点, 但不是沿原曲线轨迹返回, 在不同程度上滞后于应力回到原点。

(3) 微塑性应变阶段 (bc)。

材料在加力过程中屈服前的微塑性变形部分, 变形量很小, 不可恢复。

(4) 屈服阶段 (cde)。

这个阶段是不连续屈服阶段, 其现象是力加至 c 点时, 突然产生塑性变形, 曲线在此阶段表现出力不同程度的下降, 而试样塑性变形急剧增加, 直至达到 e 点结束。 C 点是拉伸试验一个重要的性能判据点, d 为上屈服点, e 为下屈服点。

(5) 塑性应变硬化阶段 (ef)。

屈服阶段结束后, 试样在塑性变形下产生应变硬化, 在 e 点应力不断上升, 在这个阶段内试样的变形是均匀和连续的, 直至 f 点。

(6) 缩颈变形阶段 (fg)。

力施加至 f 点时, 试验材料的应变硬化与几何形状导致的软化达到平衡, 此时力不再增加, 试样最薄弱部分产生缩颈变形, 试件达到 g 点试样完全断裂。

设计中为了简化计算, 将钢材简化为理想弹塑性体, 其应力—应变曲线如图 1-2-2 所示。

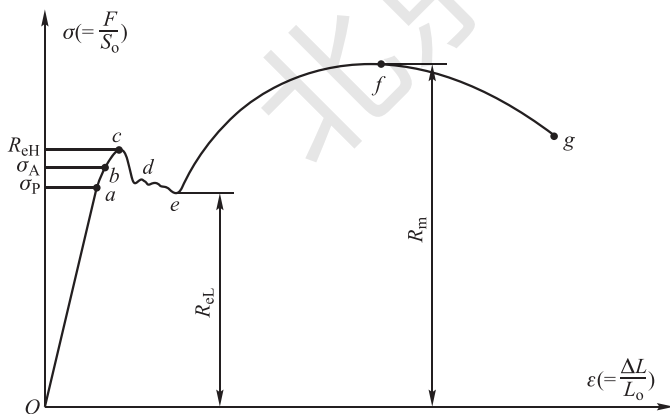


图 1-2-1 钢材单向拉伸应力—应变曲线

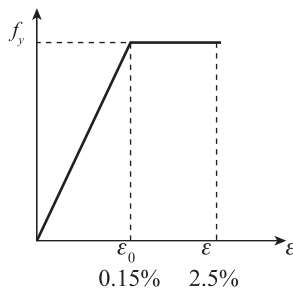


图 1-2-2 简化的钢材应力—应变曲线

2. 塑性性能

钢材的塑性为当应力超过屈服点后, 能产生显著的残余变形 (塑性变形) 而不立即断裂的性质。塑性好坏可用伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 衡量, 二者能通过静力拉伸试验得

到。根据试件原标距长度与试件中间部分的直径 d_0 的比值不同 (为 10 或 5) 而分为 δ_{10} 或 δ_5 。

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中: l_1 ——试件拉断后标距间长度;

l_0 ——试件原长度。

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中: A_0 ——试件原来的断面面积;

A_1 ——试件拉断后颈缩区的断面面积。

断面收缩率尽管能比较真实地反映破坏时的伸长,但因测量可能造成误差较大,因此,钢材的塑性指标往往只用伸长率而不用断面收缩率。

3. 冲击韧性

钢材在冲击荷载下断裂过程中吸收机械能量的能力称为冲击韧性,是衡量钢材抵抗因低温、应力集中、冲击荷载等作用而导致的脆性断裂能力的一项机械性能。如图 1-2-3 所示,钢材韧性通过 V 型缺口的恰贝试验测得,其值为冲断试件所耗费的冲击功,符号表示为 A_k 。

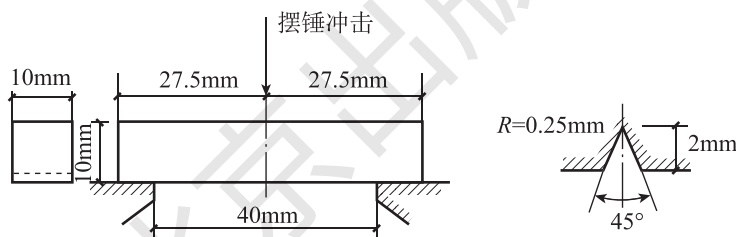


图 1-2-3 冲击韧性试验示意图

A_k 值随温度变化很大,为此,规范对钢材的冲击韧性 A_k 规定有 -40°C 、 -20°C 、 0°C 、 20°C 的指标。选用钢材时,应根据结构的使用情况和要求提出相应温度的冲击韧性指标要求。

工程中常用的 Q235、Q345 和 Q390 等级的钢材机械性能见表 1-2-1 和表 1-2-2。

表 1-2-1 Q235 钢的机械性能

钢材牌号		钢材厚度 或直径 (mm)	强度设计值			屈服 强度 f_y	抗拉 强度 f_u
			抗拉、抗压、 抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压 (刨平顶紧) f_{ce}		
碳素结 构钢	Q235	≤ 16	215	125	320	235	370
		$> 16, \leq 40$	205	120		225	
		$> 40, \leq 100$	200	115		215	

表 1-2-2 Q345 及 Q390 钢的机械性能

钢材牌号		钢材厚度 或直径 (mm)	强度设计值			屈服 强度 f_y	抗拉 强度 f_u
			抗拉、抗压、 抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压 (刨平顶紧) f_{ce}		
低合金 高强度 结构钢	Q345	≤ 16	305	175	400	345	470
		$> 16, \leq 40$	295	170		335	
		$> 40, \leq 100$	290	165		325	
		$> 63, \leq 80$	280	160		315	
		$> 80, \leq 100$	270	155		305	
	Q390	≤ 16	345	200	415	390	490
		$> 16, \leq 40$	330	190		370	
		$> 40, \leq 63$	310	180		350	
		$> 63, \leq 100$	295	170		330	

4. 冷弯性能

冷弯性能是指钢材在冷加工（常温下加工）产生塑性变形时，对产生裂缝的抵抗能力，由冷弯试验确定。冷弯性能是塑性指标之一，同时也是衡量钢材质量的一个综合性指标。

用试验方法来检验钢材承受规定弯曲程度的弯曲变形性能，检查试件弯曲部分的外面、里面和侧面是否有裂纹、裂断和分层，其试验方法是在材料试验机上，通过冷弯冲头加压，将厚度为 a 、宽度为 b 的板材按规定的弯心直径 d 弯曲 180° ，以弯曲处无裂纹、不起层为合格，示意图如图 1-2-4 所示。

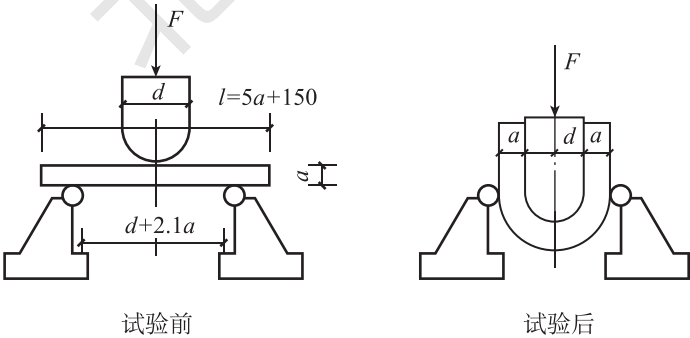


图 1-2-4 冷弯试验示意图

5. 耐久性

耐久性需要考虑的有耐腐蚀性“时效”现象、疲劳现象等。

耐腐蚀性：钢材在潮湿或腐蚀性环境中工作，需要注意防锈涂装。

时效：随着时间的延长，钢材的力学性能有所改变称作时效。

疲劳：钢材在多次循环反复荷载作用下，即使应力低于屈服点 f_y 也可能发生破坏的现象称为疲劳破坏。

6. 可焊性

钢材的可焊性是指在一定工艺和结构条件下，钢材经过焊接能够获得良好的焊接接头的性能。可焊性分为施工上的可焊性和使用性能上的可焊性。施工上的可焊性指对产生裂纹的敏感性，使用性能上的可焊性是指焊接构件在焊接后的力学性能是否低于母材。

7. Z 向伸缩性

高层和超高层建筑中，当钢材较厚（ $t \geq 40\text{mm}$ ），承受沿厚度方向的拉力时，为避免层状撕裂，常需要采用抗层状撕裂的钢材，即“Z 向钢”。Z 向钢截面收缩率在 15% 以上。

四、影响钢材力学性能的因素

影响钢材力学性能的因素有：化学成分、生产过程、冷作硬化和时效、硬化、温度、应力集中和残余应力、复杂应力状态。

1. 化学成分

钢的基本元素为铁（Fe），普通碳素钢中占 99%，此外还有碳（C）、硅（Si）、锰（Mn）等有利元素，及硫（S）、磷（P）等有害元素，虽然这些总含量约 1%，但对钢材力学性能却有很大影响。

碳（C）：碳是除铁以外最主要的元素。碳含量增加，使钢材强度提高，塑性、韧性，特别是低温冲击韧性下降，同时耐腐蚀性、疲劳强度和冷弯性能也显著下降，恶化钢材可焊性，增加低温脆断的危险性。一般建筑用钢要求碳含量在 0.22% 以下，焊接结构中应限制在 0.20% 以下。

硅（Si）：硅是作为脱氧剂加入普通碳素钢的。适量的硅可提高钢材的强度，而对塑性、冲击韧性、冷弯性能及可焊性无显著的不良影响。一般镇静钢的含硅量为 0.10% ~ 0.30%，含量过高（达 1%）会降低钢材塑性、冲击韧性、抗锈性和可焊性。

锰（Mn）：锰是一种弱脱氧剂。适量的锰可有效提高钢材强度，消除硫、氧对钢材的热脆影响，改善钢材热加工性能，并改善钢材的冷脆倾向，同时不显著降低钢材的塑性、冲击韧性。普通碳素钢中锰的含量约为 0.3% ~ 0.8%。含量过高（达 1.0% ~ 1.5% 以上）会使钢材变脆变硬，并降低钢材的抗锈性和可焊性。

硫（S）：硫属于有害元素。硫能引起钢材热脆，降低钢材的塑性、冲击韧性、疲劳强度和抗锈性等。一般建筑用钢含硫量要求不超过 0.055%，在焊接结构中应不超过 0.050%。

磷（P）：磷属于有害元素。磷虽可提高强度、抗锈性，但严重降低塑性、冲击韧性、冷弯性能和可焊性，尤其低温时发生冷脆。含量需严格控制，一般不超过 0.050%，焊接结构中不超过 0.045%。

为改善钢材力学性能，可适量增加锰、硅含量，还可掺入一定数量的铬、镍、铜、钒、钛、铌等合金元素，炼成合金钢。钢结构常用合金钢中合金元素含量较少，属于低合金钢。

2. 生产过程

(1) 冶炼炉种的影响：主要有三种冶炼方法，形成电炉钢、平炉钢和氧气转炉钢。电炉钢质量最好，但成本高，一般不采用；平炉钢和氧气转炉钢二者质量大体相当，所以已无必要强调炉种的影响。

(2) 浇铸过程的脱氧程度：钢液中残留的氧气会导致钢材晶粒粗细不匀并导致热脆，所以铸锭过程中需要脱氧，按脱氧程度的不同，可分为沸腾钢、半镇静钢、镇静钢和特殊镇静钢。

(3) 轧制和热处理：采用高温加压方式进行钢材轧制，使钢材组织密实，减少冶金缺陷。热处理则是先对钢材淬火，再高温回火，以提高钢材的强度，同时保持良好的塑性和韧性。

3. 冷作硬化和时效硬化

钢材在冷加工过程中由于产生塑性变形，从而提高钢材强度，同时降低塑性和韧性的现象称为冷作硬化。

随着时间的增长，纯铁体中残留的碳、氧固溶物质逐步析出，形成自由的碳化物或氧化物微粒，约束纯铁体的塑性变形，此为时效。时效将提高钢材的强度，降低塑性、韧性。时效的过程可从几天到几十年。

4. 温度

钢材性能随温度变化而变化，总体趋势是：温度升高，钢材强度降低，应变增大；温度降低，强度略有增加，塑性、韧性降低，当下降到一定值时，钢材的冲击韧性急剧下降，试件断口属脆性破坏，这种现象称为冷脆现象。图 1-2-5 和图 1-2-6 分别为钢材在高温和低温时的应力变化曲线。

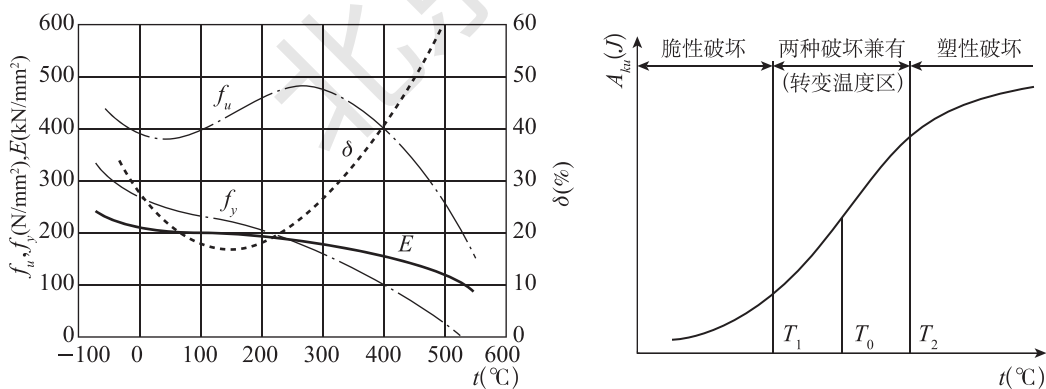


图 1-2-5 高温区间钢材强度、弹模变化示意图 图 1-2-6 低温区间钢材强度变化示意图

其中，温度达 250℃ 附近时，钢材抗拉强度略有提高，塑性、韧性均下降，有“蓝脆现象”；温度超过 300℃ 以后，屈服点和极限强度明显下降；达到 600℃ 时强度几乎等于零。

5. 应力集中和残余应力

钢结构构件中存在的孔洞、槽口、凹角、裂缝、厚度变化、形状变化、内部缺陷等使一些区域产生局部高峰应力，此为应力集中现象。应力集中越严重，钢材塑性越差。

残余应力为钢材在冶炼、轧制、焊接、冷加工等过程中，由于不均匀的冷却、组织构造的变化而在钢材内部产生的不均匀的应力。残余应力在构件内部自相平衡，与外力无关，其存在易使钢材发生脆性破坏。

人生启迪

一个小隐患、一处小漏洞，如果得不到及时纠正，往往就会引发大事故。引起应力集中现象的原因往往造成构件的质量缺陷，应及时检查，防微杜渐。

6. 复杂应力状态

钢材在单向应力作用下，当应力达到屈服点 f_y 时，钢材屈服而进入塑性状态。当钢材处于双向或三向同号应力状态，并且各应力数值接近时，材料不易屈服，处于脆性状态。

五、钢材的破坏形式

钢材的破坏形式分为塑性破坏和脆性破坏两种。

塑性破坏：塑性变形很大、经历时间又较长的破坏称为塑性破坏。断裂时断口与作用力方向呈 45° ，且呈纤维状，色泽发暗。

脆性破坏：几乎不出现塑性变形的突然破坏称为脆性破坏。断裂时断口平齐，呈有光泽的晶粒状。脆性破坏危险性大，必须加以重视。

导致脆性破坏的因素：化学成分、冶金缺陷（偏析、非金属夹杂、裂纹、起层）、温度（热脆、低温冷脆）、冷作硬化和时效硬化、应力集中、同号三向主应力状态。

六、钢材的选用原则

选用钢材的原则是：既能使结构安全可靠地满足使用上的要求，又要尽最大可能节约材料，降低造价，同时选择时还应符合图纸设计要求的规定，表 1-2-3 为一般选择原则。

表 1-2-3 结构钢材的选择

项次	结构类型			计算温度	选用牌号
1	焊接结构	直接承受动力荷载的结构	重级工作制吊车梁或类似结构	—	Q235 镇静钢或 Q345 钢
2				等于或低于 -20℃	同 1 项
3		轻、中级工作制吊车梁或类似结构	高于 -20℃	Q235 沸腾钢	
4			等于或低于 -30℃	同 1 项	
5			承受静力荷载或间接承受动力荷载的结构		高于 -30℃
6	非焊接结构	直接承受动力荷载的结构	重级工作制吊车梁或类似结构	等于或低于 -20℃	同 1 项
7					
8		轻、中级工作制吊车梁或类似结构	高于 -20℃		同 3 项
9			承受静力荷载或间接承受动力荷载的结构		—
				—	同 3 项

注：1. 冶金工厂的夹钳或刚性料、焊接吊车梁，当计算温度等于或低于 -20°C 时，宜用 16Mn 钢。

2. 低温地区露天（或类似露天）的焊接结构，用沸腾钢时，板厚不宜过大。

3. 计算温度按《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》（GB 50736—2012）中的冬季空气调节室外计算温度确定。

选用钢材时需要考虑的结构特点是：结构的类型及重要性、荷载的性质、连接方法、结构的工作温度、构件的受力性质。

承重结构的钢材，应保证抗拉强度 (f_u)、伸长率 (δ_5 、 δ_{10})、屈服点 (f_y) 和硫 (S)、磷 (P) 的极限含量。焊接结构应保证碳 (C) 的极限含量，必要时还应有冷弯试验的合格证。

对重级工作制和吊车起重量等于或大于 50t 的中级工作制焊接吊车梁或类似结构的钢材，应有常温冲击韧性的保证。计算温度等于或低于 -20°C 时，Q235 钢应具有 -20°C 下冲击韧性的保证。Q345 钢应具有 -40°C 下冲击韧性的保证。

重级工作制的非焊接吊车梁，必要时其钢材也应具有冲击韧性的保证。

根据《钢结构设计标准》(GB 50017—2017) 的规定，对于高层建筑钢结构的钢材，宜采用牌号 Q235 中 B、C、D 等级的碳素结构钢和牌号 Q345 中 B、C、D 等级的低合金结构钢。承重结构的钢材一般应保证抗拉强度、伸长率、屈服点、冷弯试验，冲击韧性合格和硫、磷含量的极限值，对焊接结构应保证碳含量的极限值。对构件节点约束较强，以及板厚等于或大于 50mm、并承受沿板厚方向拉力作用的焊接结构，应对板厚方向的断面收缩率加以控制。

七、钢材检验

1. 一般说明

钢结构工程所用的钢材，均应具有质量证明文件，当对钢材质量存疑时，应按国家现行标准进行抽样检验。钢材产品通用检验项目、取样数量和试验方法按表 1-2-4 规定执行。检验规则明确产品由供方技术监督部门检查和验收，需方有权进行验证。钢材应成批验收，每批由同一牌号、同一炉号、同一质量等级、同一品种、同一尺寸、同一交货状态的钢材组成，每批钢材重量不得大于 60t，个别情况按规范执行。

表 1-2-4 钢材的检验项目、取样数量和试验方法

序号	检验项目	取样数量 / 个	取样方法	试验方法
1	化学分析	1 (每炉号)	GB/T 20066	GB 223、GB/T 4336、GB/T 20125
2	拉伸	1	GB/T 2975	GB 228、GB/T 6397
3	弯曲	1		GB 232
4	冲击	3		GB/T 229
5	厚度方向性能	3	GB/T 5313	GB/T 5313
6	超声波检验	逐张	—	GB/T 2970
7	表面质量	逐张 (根)	—	目视及测量
8	尺寸、外形	逐张 (根)	—	合适的量具

对属于下列情况之一的钢材应进行抽样复验，其复验结果应符合现行国家产品标准和设计要求。

- (1) 国外进口钢材。
- (2) 钢材混批。

- (3) 板厚等于或大于 40mm 且设计有 Z 向性能要求的厚板。
- (4) 建筑结构安全等级为一级大跨度钢结构中主要受力构件所采用的钢材。
- (5) 设计有复验要求的钢材。
- (6) 对质量有疑义的钢材。

2. 钢材性能复验内容

钢材复验分化学成分分析和力学性能试验两部分。

(1) 钢材化学成分分析。

主要采用试样取样法，取样和制样应符合国家标准《钢和铁 化学成分测定用试样取样和制样方法》(GB/T 20066) 规定。复验属于成品分析，其试样必须在钢材具有代表性的部位采取，并满足试样均匀、数量足够的要求。

(2) 钢材力学性能试验机试样取样。

钢材力学性能试验包括拉伸试验、冲击韧性试验和弯曲试验三部分。

拉伸试验试样的制备、形状和尺寸应符合国家标准《金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法》(GB/T 228.1—2010) 的规定，在误差符合要求的各种类型试验机上对试样进行拉伸，直到断裂为止，并用图解法等多种方法测定各项力学指标。

弯曲试验应遵循国家标准《金属材料 弯曲试验方法》(GB/T 232) 的规定。该标准适用于检验金属材料承受规定弯曲角度的弯曲变形性能，试验结果按“完好、微裂纹、裂纹、裂缝、裂断”五级评定，钢结构用钢材弯曲试验合格的要求为达到完好标准。

冲击试验应遵循国家标准《金属材料 夏比摆锤冲击试验方法》(GB/T 229) 的规定。

3. 碳素结构钢

普通碳素结构钢应成批验收，每批由同一牌号、同一炉罐号、同一等级、同一品种、同一尺寸、同一交货状态的钢材组成。每批重量不得大于 60t。

用公称容量不大于 30t 的炼钢炉冶炼的钢或连铸坯轧成的钢材，允许由同一牌号的 A 级或 B 级钢，同一冶炼和浇注方法，不同炉罐号组成混合批。但每批不多于 6 个炉罐号，各炉罐号含碳量之差不得大于 0.02%，含锰量之差不得大于 0.15%。

普通碳素结构钢每批钢材规定的检验项目有：化学分析、拉伸、冷弯、常温冲击和低温冲击等五个项目。

4. 低合金高强度结构钢

低合金结构钢钢材应成批验收。每批由同一牌号、同一炉罐、同一品种、同一尺寸、同一热处理制度（指按热处理状态供应）的钢材组成。每批重量不得大于 60t。

公称容量不大于 30t 的炼钢炉冶炼的连铸坯轧成的钢材，允许由同一牌号、同一冶炼方法，不同炉罐号组成混合批。但每批不得多于 6 个罐号，各炉罐号含碳量之差不得大于 0.02%，含锰量之差不得大于 0.15%。

5. 优质碳素结构钢

优质碳素钢每批钢材检验的取样部位与取样数量应遵守如下规定：

- (1) 化学成分：每批钢材取样数量为 1 件，按 GB/T 222—2006 标准取样。
- (2) 低倍组织：在相当于钢锭头部的不同根钢坯或钢材，每批取样 2 根。

- (3) 断口：每批钢材中不同根钢材中取样 2 件。
- (4) 硬度：每批钢材中不同根钢材中取样 3 件。
- (5) 拉伸试验：每批钢材中不同根钢材中取样 2 件。
- (6) 冲击试验：每批钢材中不同根钢材中取样 2 件。
- (7) 脱碳：每批钢材中不同根钢材中取样 2 件。
- (8) 晶粒度：每批钢材中任一根钢材上取样 1 件。
- (9) 非金属夹杂物：每批钢材中不同根钢材中取样 2 件。
- (10) 显微组织：每批钢材中不同根钢材中取样 2 件。
- (11) 预锻试验：每批钢材中不同根钢材中取样 3 件。
- (12) 尺寸：每批钢材逐根检验。
- (13) 表面：每批钢材逐根检验。

6. 耐大气腐蚀用钢

根据国家标准《耐候结构钢》（GB/T 4171—2008）的规定，耐候结构钢产品通常在交货状态下使用。

7. 钢板（钢带）

钢板的外观用肉眼检查，钢板的尺寸和外形应用合适的测量工具检查。

钢板包装的标志应清晰。通常情况下钢板以单张交货，每张钢板应喷印或刻印有供方商标、标准号、牌号、交货状态、特殊要求符号（如探伤标志等）、炉号、尺寸、钢板号等标志。

每批交货的钢板必须开具质量证明书，质量证明书中按需要应注明：供方名称及商标、订货及收货单位、合同号、产品名称、标准号及牌号、交货状态、尺寸规格、炉号、钢板号、交货重量、标准中规定的各项试验结果、交货日期、质量管理部门负责人签字等。

(1) 尺寸偏差。

切边钢板厚度测量部位为距钢板横边或纵边 15mm 以上的任意点。对不切边钢板，测量部位应在订货时商定。规范标准要求见表 1-2-5 ～表 1-2-8。

表 1-2-5 钢板厚度偏差表（mm）

公称厚度	负偏差	下列宽度的厚度允许正偏差											
		> 1 000	> 1 200	> 1 500	> 1 700	> 1 800	> 2 000	> 2 300	> 2 500	> 2 600	> 2 800	> 3 000	> 3 400
		~ 1 200	~ 1 500	~ 1 700	~ 1 800	~ 2 000	~ 2 300	~ 2 500	~ 2 600	~ 2 800	~ 3 000	~ 3 400	~ 3 800
> 13 ~ 25	0.8	0.2	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	0.8	1.0	1.1	1.2	—	—
> 25 ~ 30	0.9	0.2	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	—	—
> 30 ~ 34	1.0	0.2	0.3	0.3	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	—	—
> 34 ~ 40	1.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.1	1.3	1.4	—	—
> 40 ~ 50	1.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	—	—
> 50 ~ 60	1.3	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.5	—	—

续表

公称厚度	负偏差	下列宽度的厚度允许正偏差											
		> 1 000	> 1 200	> 1 500	> 1 700	> 1 800	> 2 000	> 2 300	> 2 500	> 2 600	> 2 800	> 3 000	> 3 400
		~ 1 200	~ 1 500	~ 1 700	~ 1 800	~ 2 000	~ 2 300	~ 2 500	~ 2 600	~ 2 800	~ 3 000	~ 3 400	~ 3 800
> 60 ~ 80	1.8	—	—	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4
> 80 ~ 100	2.0	—	—	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4
> 100 ~ 150	2.2	—	—	1.3	1.3	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6
> 150 ~ 200	2.6	—	—	1.5	1.5	1.5	1.6	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8

表 1-2-6 钢板厚度偏差表 (mm)

公称厚度	下列宽度的厚度允许正偏差							
	1 000 ~ 1 500		1 500 ~ 2 000		2 000 ~ 2 300		2 300 ~ 2 700	
	较高 轧制精度	普通 轧制精度	较高 轧制精度	普通 轧制精度	较高 轧制精度	普通 轧制精度	较高 轧制精度	普通 轧制精度
> 4.00 ~ 5.50	+0.10 -0.40	+0.30 -0.50	+0.20 -0.40	+0.40 -0.50	+0.25 -0.40	+0.45 -0.50	—	—
> 5.50 ~ 7.50	+0.10 -0.50	+0.25 -0.60	+0.20 -0.50	+0.40 -0.60	+0.25 -0.60	+0.45 -0.60	—	—
> 7.50 ~ 10.00	+0.20 -0.70	+0.30 -0.80	+0.20 -0.70	+0.35 -0.80	+0.25 -0.70	+0.45 -0.80	+0.60 -0.80	—
> 10.00 ~ 13.00	+0.20 -0.70	+0.30 -0.80	+0.30 -0.70	+0.40 -0.80	+0.35 -0.70	+0.50 -0.80	+0.70 -0.80	+1.00 -0.80

表 1-2-7 切边钢板宽度允许偏差表 (mm)

公称厚度	宽度	宽度允许偏差
≤ 4	≤ 800	+6
	> 800	+10
> 4 ~ 16	$\leq 1 500$	+10
	> 1 500	+15
> 16 ~ 60	所有宽度	+30
> 60	所有宽度	+35

表 1-2-8 钢板长度允许偏差表 (mm)

公称厚度	长度	长度允许偏差
≤ 4	$\leq 1 500$	+10
	> 1 500	+15
> 4 ~ 16	$\leq 2 000$	+10
	> 2 000 ~ 6 000	+25
	> 6 000	+30

续表

公称厚度	长度	长度允许偏差
> 16 ~ 60	≤ 2 000	+15
	> 2 000 ~ 6 000	+30
	> 6 000	+40
> 60	所有长度	+35

(2) 外形要求。
具体要求见表 1-2-9。

表 1-2-9 钢板不平度允许偏差表 (mm)

公称厚度	测量单位长度	不平度
4	1 000	12
> 4 ~ 10		10
> 10 ~ 25		8
> 25		7

注：此表规定的不平度只适用于屈服点下限不超过 460N/mm² 的钢板，屈服点超过的以及进行调质的钢板，其不平度的最大值为表 1-2-9 的 1.5 倍。

切边钢板应剪切成直角，斜切和镰刀弯不得使钢板的长度和宽度小于公称尺寸，并须保证订货公称尺寸的最小矩形。

镰刀弯的测量是钢板纵向侧边与连接测量部分两端点的直线之间的最大距离，它在产品呈凹形的一侧测量，如图 1-2-7 所示。对于长度 < 10 000mm 的钢板，钢板的测量长度为实际长度；对于长度 ≥ 10 000mm 的钢板，钢板的测量长度为 10 000mm。

脱方度的测量是钢板的宽度在轧制方向边部的垂直投影长度，如图 1-2-7 所示。

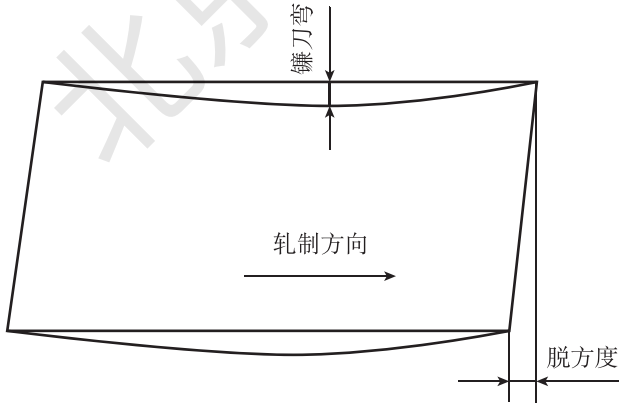


图 1-2-7 镰刀弯的测量

(3) 尺寸测量。

钢板厚度：在距离边部不小于 40mm 处测量。

钢板的不平度：将钢板自由放在平台上，除钢板的本身重量外不施加任何压力，用直尺进行测量，测量钢板与直尺之间的最大距离。

另外，钢板验收时应按批进行验收，组批规则应符合相应产品标准的规定。当试验

结果有一项不符合标准要求时,可进行复验或将整批判为不合格。复验时,应从同一批中再任取双倍数量的试样进行该不合格项目的复验。复验结果(包括该项目试验所要求的所有指标)合格,则整批合格。复验结果(包括该项目试验所要求的所有指标)即使有一个指标不合格,则整批不合格。

8. 普通型材

(1) 热轧工字钢。

热轧工字钢在尺寸、外形、重量方面都应在允许偏差内。

工字钢理论重量应符合表 1-2-10、表 1-2-11 的规定。

表 1-2-10 热轧普通工字钢的截面尺寸、理论重量

型号	尺寸 (mm)					截面面积 (cm ²)	理论重量 (kg/m)
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>t</i>	<i>r</i> ₁		
10	100	68	4.5	7.6	3.3	14.3	11.2
12.6	126	74	5	8.4	3.5	18.1	14.2
14	140	80	5.5	9.1	3.8	21.5	16.9
16	160	88	6	9.9	4	26.1	20.5
18	180	94	6.5	10.7	4.3	30.6	24.1
20a	200	100	7	11.4	4.5	35.5	27.9
20b	200	102	9	11.4	4.5	39.5	31.1
22a	220	110	7.5	12.3	4.8	42	33
22b	220	112	9.5	12.3	4.8	46.4	36.4
25a	250	116	8	13	5	48.5	38.1
25b	250	118	10	13	5	53.5	42
28a	280	122	8.5	13.7	5.3	55.45	43.4
28b	280	124	10.5	13.7	5.3	61.05	47.9
32a	320	130	9.5	15	5.8	67.05	52.7
32b	320	132	11.5	15	5.8	73.45	57.7
32c	320	134	13.5	15	5.8	79.95	62.8
36a	360	136	10	15.8	6	76.3	59.9
36b	360	138	12	15.8	6	83.5	65.6
36c	360	140	14	15.8	6	90.7	71.2
40a	400	142	10.5	16.5	6.3	86.1	67.6
40b	400	144	12.5	16.5	6.3	94.1	73.8
40c	400	146	14.5	16.5	6.3	102	80.1
45a	450	150	11.5	18	6.8	102	80.4
45b	450	152	13.5	18	6.8	111	87.4
45c	450	154	15.5	18	6.8	120	94.5
50a	500	158	12	20	7	119	93.6
50b	500	160	14	20	7	129	101
50c	500	162	16	20	7	139	109

续表

型号	尺寸 (mm)					截面面积 (cm ²)	理论重量 (kg/m)
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>t</i>	<i>r</i> ₁		
56a	560	166	12.5	21	7.3	135.25	106.2
56b	560	168	14.5	21	7.3	146.45	115
56c	560	170	16.5	21	7.3	157.85	123.9
63a	630	176	13	22	7.5	154.9	121.6
63b	630	178	15	22	7.5	167.5	131.5
63c	630	180	17	22	7.5	180.1	141

表 1-2-11 热轧轻型工字钢的截面尺寸、理论重量

型 号	尺寸 (mm)				截面面积 (cm ²)	理论重量 (kg/m)	型 号	尺寸 (mm)				截面面积 (cm ²)	理论重量 (kg/m)
	<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>t</i>				<i>h</i>	<i>b</i>	<i>d</i>	<i>t</i>		
10	100	55	4.5	7.2	12.0	9.46	18	180	90	5.1	8.1	23.4	18.4
12	120	64	4.8	7.3	14.7	11.5	18a	180	100	5.1	8.3	25.4	19.9
14	140	73	4.9	7.5	17.4	13.7	20	200	100	5.2	8.4	26.8	21.0
16	160	81	5.0	7.8	20.2	15	20a	200	110	5.2	8.6	28.9	22.7
22	220	110	5.4	8.7	30.6	24.0	40	400	155	8.0	13.0	71.4	56.1
22a	220	120	5.4	8.9	32.8	25.8	45	450	160	8.6	14.2	83.0	65.2
24	240	115	5.6	9.5	34.8	27.3	50	500	170	9.5	15.2	97.8	76.8
24a	240	125	5.6	9.8	37.5	29.4	55	550	180	10.3	16.5	114	89.8
27	270	125	6.0	9.8	40.2	31.5	60	600	190	11.1	17.8	132	104
27a	270	135	6.0	10.2	43.2	33.9	65	650	200	12	19.2	153	120
30	300	135	6.5	10.2	46.5	36.5	70	700	210	13	20.8	176	138
30a	300	145	6.5	10.7	49.9	39.2	70a	700	210	15	24.0	202	158
33	330	140	7.0	11.2	53.8	42.2	70b	700	210	17.5	28.2	234	184
36	360	145	7.5	12.3	61.9	48.6							

工字钢的高度、腿宽度、腰厚度尺寸偏差应符合表 1-2-12 的规定。

表 1-2-12 工字钢的高度、腿宽度、腰厚度尺寸允许偏差

型号	允许偏差 (mm)		
	高度 <i>h</i>	腿宽度 <i>b</i>	腰厚度 <i>d</i>
≤ 14	± 2.0	± 2.0	± 0.5
> 14 ~ 18		± 2.5	
> 18 ~ 30	± 3.0	± 3.0	± 0.7
> 30 ~ 40		± 3.5	± 0.8
> 40 ~ 63	± 4.0	± 4.0	± 0.9

另外，工字钢平均腿厚度的允许偏差为 ±0.06*t*；弯腰挠度不应超过 0.15 *d*；外缘斜度，单腿不大于 1.5% *b*，双腿不大于 2.5% *b*；腿端、肩钝化不得使直径等于 0.18 *t* 的圆棒通过。

工字钢的通常长度应符合表 1-2-13 的规定。

表 1-2-13 工字钢的通常长度

型号	长度 (m)
10 ~ 18	5 ~ 19
20 ~ 63	6 ~ 19

工字钢按定尺或倍尺长度交货时，应在合同中注明。其长度允许偏差应符合表 1-2-14 的规定。

表 1-2-14 工字钢的长度允许偏差

定尺、倍尺长度	允许偏差 (mm)
≤ 8	+40
	0
> 8	+80
	0

工字钢每米弯曲度不大于 2mm，总弯曲度不大于总长度的 0.2%。

工字钢重量按理论重量或实际重量交货，根据双方协议，每米重量允许偏差不得超过 $-5\% \sim +3\%$ 。

工字钢检查高度以腰的厚度为准。其弯腰挠度与腿外缘斜度应在距端头不小于 750mm 处进行检查，其中弯腰挠度测量时用直尺和塞尺，腿的外缘斜度按图 1-2-8 用样板测量 P 和 Q 、 M 和 N 之差的绝对值，并不超过表 1-2-12 中的规定。其腿端钝化按图 1-2-9 用样板和圆棒测量，测量时不得使直径等于 $0.18t$ 的圆棒通过腿端钝化部位。工字钢长度测量用直尺或卷尺。

(2) 热轧槽钢。

热轧槽钢的进场检验和检验工具与方法的选择应遵守《热轧型钢》(GB/T 706—2016) 的规定。

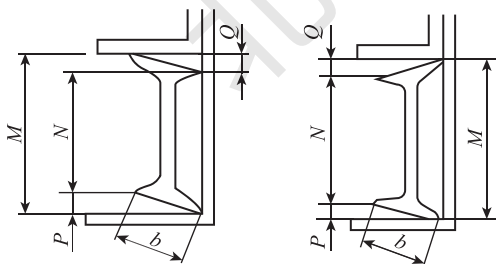


图 1-2-8 检查腿的外缘斜度示意图

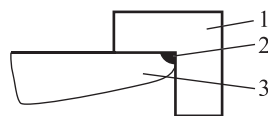


图 1-2-9 检查腿端钝化示意图

1—矩形样板；2—检查圆棒；3—工字钢

(3) 角钢。

角钢的进场检验和检验工具与方法的选择应遵守《热轧型钢》(GB/T 706—2016)。

9. 冷弯型钢和压型钢板

压型钢板的材质应在合同中注明。建筑钢结构中应用的压型钢板遵守《建筑用压型钢板》(GB/T 12755—2008) 中的相关规定。

压型钢板应按批验收，每批由同一板材牌号、同一规格的压型钢板组成，每批重量不大于 30t。

八、钢结构焊接材料

钢结构加工过程中涉及大量的焊接作业，其常用的焊接材料有焊条、焊丝和焊剂。

1. 焊条

(1) 焊条的组成。

焊条是涂有药皮的供气焊或电弧焊时熔化填充在焊接工件的接合处的金属条。焊条由焊芯和药皮两部分构成，如图 1-2-10 所示。焊条直径指的是焊芯直径，共有 $\phi 1.6 \sim \phi 8$ 八种规格，应用最多的是 $\phi 3.2\text{mm}$ 、 $\phi 4\text{mm}$ 和 $\phi 5\text{mm}$ 三种，长度分别为 350mm、400mm 和 450mm。

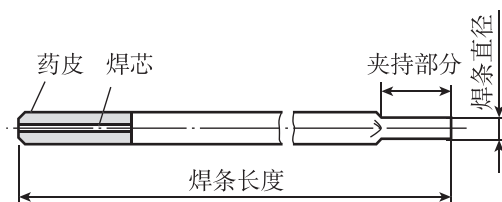


图 1-2-10 电焊条的结构

焊条中被药皮包覆的金属芯称为焊芯，作为电极导电，同时它也是形成焊缝金属的主要材料，因此焊芯的质量直接影响焊缝的性能，所以焊芯中的有害元素（如硫、磷等）要尽量少，其材料都是特制的优质钢。

焊芯用的钢丝都单独规定了它的牌号与成分。如果用于埋弧自动焊、电渣焊、气体保护焊、气焊等熔焊方法作填充金属时，则称为焊丝，分实心焊丝和药芯焊丝两种，具体分类见本学习任务焊丝内容。

药皮是压涂在焊条芯表面上的涂料层，焊接时形成熔渣及气体，保持电弧稳定燃烧，改善焊接工艺，保证焊接质量。

(2) 焊条分类。

根据不同情况，电焊条有三种分类方法：按焊条用途分类、按药皮的主要化学成分分类、按药皮熔化后熔渣的特性分类。

按照焊条的用途，有两种表达形式，一为原机械工业部编制的，可以将电焊条分为：结构钢焊条、耐热钢焊条、不锈钢焊条、堆焊焊条、低温钢焊条、铸铁焊条、镍及镍合金焊条、铜及铜合金焊条、铝及铝合金焊条以及特殊用途焊条；二为国家标准规定的，可以分碳钢焊条、低合金焊条、不锈钢焊条、堆焊焊条、铸铁焊条、镍及镍合金焊条、铜及铜合金焊条、铝及铝合金焊条。二者没有根本区别，前者用商业牌号表示，后者用型号表示。

如果按照焊条药皮的主要化学成分来分类，可以将电焊条分为：氧化钛型焊条、氧化钛钙型焊条、钛铁矿型焊条、氧化铁型焊条、纤维素型焊条、低氢型焊条、石墨型焊条及盐基型焊条。

如果按照焊条药皮熔化后熔渣的特性来分类，可将电焊条分为酸性焊条和碱性焊条。酸性焊条药皮的主要成分为酸性氧化物，如二氧化硅、二氧化钛、三氧化二铁等；碱性焊条药皮的主要成分为碱性氧化物，如大理石、萤石等。

酸性焊条焊接时电弧稳定、飞溅少、脱渣性好。因此重要的焊接结构构件选用碱性焊条，而一般结构件都选用酸性焊条。

(3) 焊条型号与牌号。

按《非合金钢及细晶粒钢焊条》(GB/T 5117—2012)、《热强钢焊条》(GB/T 5118—2012)规定,碳钢焊条型号根据熔敷金属的抗拉强度、药皮类型、焊接位置和焊接电流种类划分,以字母“E”后加四位数字表示,这里以图 1-2-11 某焊条说明焊条型号中数字的含义。

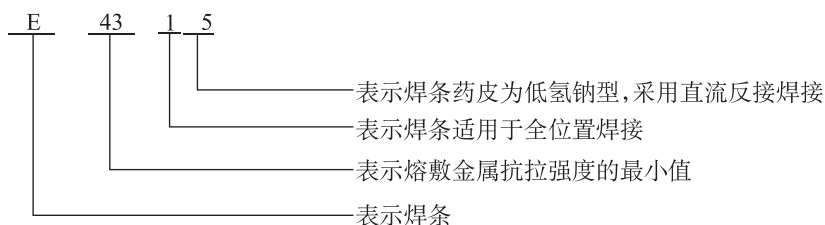


图 1-2-11 完整焊条型号范例

焊条牌号是焊条生产厂家按有关部门命名的,因此编排方式多样,结构钢焊条是品种最多、应用最广的一类焊条,其牌号表示方法为:以汉语拼音字母“J”+三位数字表示,其中前两位数字表示焊缝金属抗拉强度等级,最后一位数字代表药皮类型和焊接电流要求。

(4) 焊条选用原则。

①等强度原则。选择满足接头力学性能要求的焊条。特殊情况下,根据母材的焊接性,选用不等强度(高强度匹配或低强度匹配)而韧性好的焊条,但需通过改变焊缝结构形式,以满足设计强度和刚度的要求。

②等性能原则。考虑焊件材料的物理性能、力学性能和化学成分,应使熔敷金属的合金成分符合或接近母材。

③等条件原则。考虑焊件的工作条件和使用性能选择焊条。如对强度、塑性、韧性有较高要求的焊件,应选用低氢型、钛钙型或氧化铁型焊条;焊件在腐蚀介质中工作时,应选择不锈钢焊条;焊件在受磨损条件下工作时,应选择合适的堆焊焊条。

除此以外,还应考虑焊件的复杂程度和结构特点、焊接接头形式、焊缝的空间位置、焊工作业条件和人身健康、焊接的经济性、焊接的效率等因素综合选用焊条。

正确选择焊材是保证焊接质量最重要,也是最基本的条件,工程所采用的焊接材料一般要求在设计文件中作出规定。



【特别提示】 ◆ ...

- (1) 施工单位自选的焊材最终仍应报请设计人员同意。
- (2) 焊条选择是否合理不完全由焊接工艺评定所决定。

2. 焊丝

(1) 焊丝分类。

焊丝是焊接时作为填充金属或同时作为导电用的金属丝焊接材料。

按被焊材料性质分类:碳钢焊丝、低合金钢焊丝、不锈钢焊丝、铸铁焊丝和有色金

属焊丝等。

按焊接工艺分类：埋弧焊用焊丝、气体保护焊用焊丝、电渣焊用焊丝、堆焊用焊丝和气焊用焊丝等。

按制造方法分类：实心焊丝和药芯焊丝两类。这里重点介绍应用广泛的实心焊丝的型号、牌号的表示方法。

(2) 焊丝型号与牌号。

实心焊丝牌号以字母“H”开头（或汉字“焊”）+ 后面的一位或两位数字表示含碳量的万分之几 + 化学元素符号及其后面数字表示该元素大致的百分含量数值 + 尾部标有“A”或“E”（“A”表示优质品，“E”表示高级优质品，未标表示普通焊丝）。

实心焊丝的牌号举例如图 1-2-12 所示。

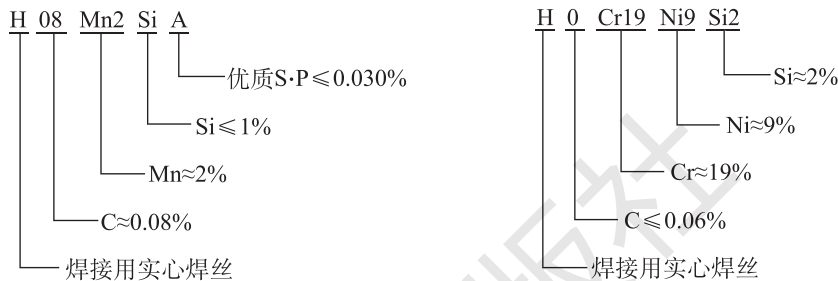


图 1-2-12 完整实心焊丝牌号范例

药芯焊丝牌号以字母“Y”开头 + 字母“J”（表示结构钢）+ 两位数字表示熔敷金属抗拉强度等级 + 第三位数字表示药芯类型和焊接电源种类 + “-”后数字表示焊接时的保护方法 + 起主要作用的元素字母（有特殊性能和用途时加注）。

药芯焊丝的牌号举例如图 1-2-13 所示。

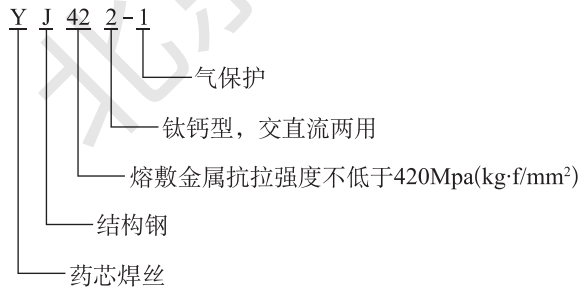


图 1-2-13 完整药芯焊丝牌号范例

(3) 焊丝选用原则。

前述的焊条选用原则基本适合于焊丝。

3. 焊剂

(1) 焊丝—焊剂组合分类。

焊剂是焊接时能够熔化形成熔渣和气体，对熔化金属起保护和冶金处理作用的一种物质。常见焊剂的分类方法如图 1-2-14 所示。

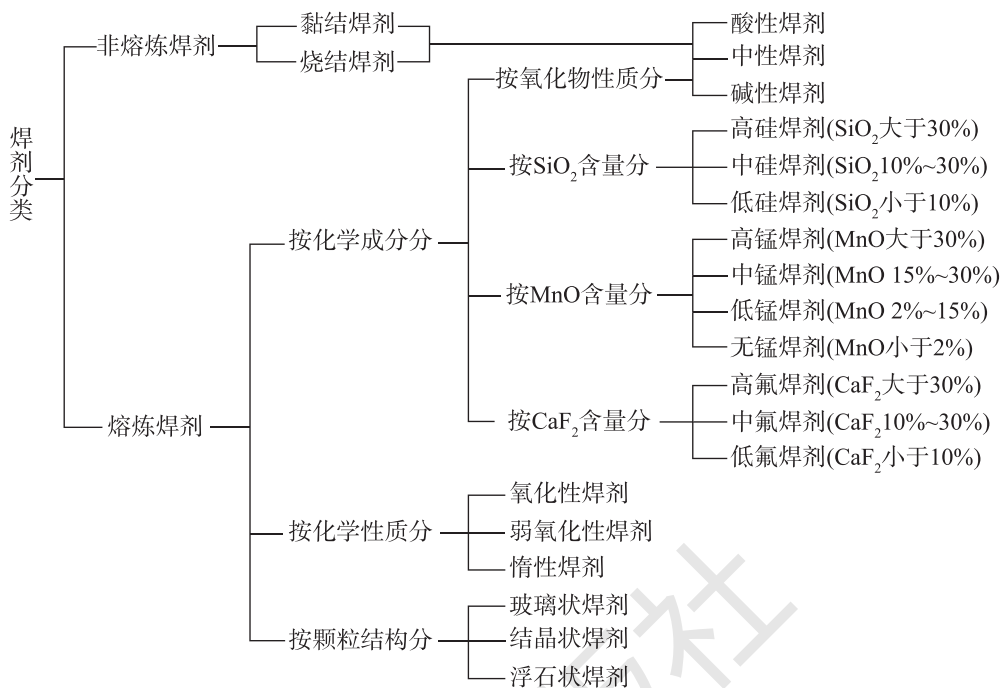


图 1-2-14 焊剂的分类

(2) 焊剂型号。

按照《埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝—焊剂组合分类要求》(GB/T 5293—2018) 标准, 焊丝—焊剂型号的表示方法如图 1-2-15 所示。

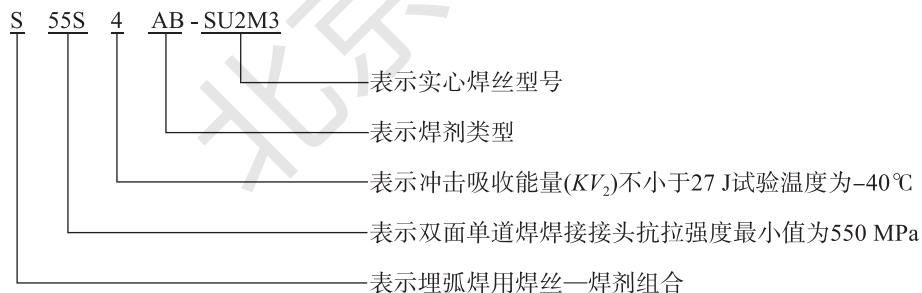


图 1-2-15 碳素钢埋弧焊用焊剂的表示方法

按照《埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝—焊剂组合分类要求》(GB/T 12470—2018) 标准, 焊丝—焊剂型号的表示方法如图 1-2-16 所示。

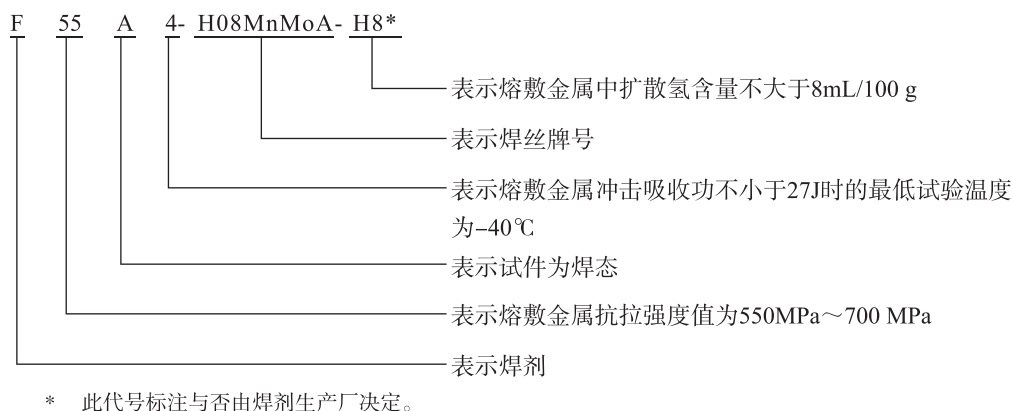


图 1-2-16 低合金钢埋弧焊用焊剂的表示方法

(3) 焊剂牌号。

焊剂牌号是焊剂的商品代号，表示的是焊剂中的主要化学成分，表示方法多样，应用较为广泛的熔炼焊剂牌号和烧结焊剂牌号分别如图 1-2-17 和图 1-2-18 所示。

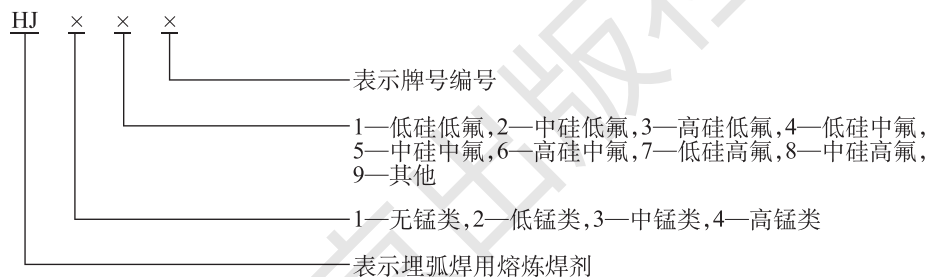


图 1-2-17 熔炼焊剂牌号表示方法

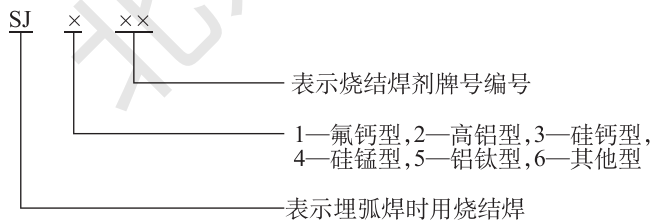


图 1-2-18 烧结焊剂牌号表示方法

九、钢结构焊接材料检验

1. 一般说明

钢结构需要检验的焊接材料通常有焊条、焊丝和焊剂，它们均应具有质量证明书。当对焊接材料质量存疑时，应该按照国家现行标准进行抽样检验。

(1) 焊条检验。

成品焊条由制造厂质量检验部门按批检验。每批焊条由同一批号焊芯、同一批号主要涂料原料，以同样涂料配方及制造工艺制成。EXX 01、EXX 03 及 E 4313 型焊条的每批最

高量为 100t，其他型号焊条的每批最高量为 50t。焊条检验项目按表 1-2-15 规定执行。

表 1-2-15 焊条检验项目

序号	检验项目	取样数量 / 个	验收标准
1	角焊缝	3	GB 5117、GB 5118
2	熔敷金属化学成分		
3	熔敷金属力学性能		
4	焊缝射线探伤	3	
5	药皮含水量 / 扩散氢含量		

注：直径不大于 3.2mm 焊条一般不进行角焊缝、力学性能及射线探伤。其性能可根据直径 4.0mm 焊条的检验结果判定。

(2) 气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝检验。

成品焊丝由制造厂质量检验部门按批检验。每批焊丝由同一炉号、同一形状、同一尺寸、同一交货状态的焊丝组成。ER 50-X、RE 49-1 型焊丝每批最高量为 200t，其他型号焊丝的每批最高量为 30t。

取样时每批任选一盘（卷、桶），直条焊丝任选一最小包装单位，进行焊丝化学成分、熔敷金属力学性能、熔敷金属射线探伤、尺寸和表面质量的检验。焊丝检验项目按表 1-2-16 规定执行。

表 1-2-16 焊丝检验验收项目

序号	检验项目	气体保护电弧焊	
		取样数量 / 盘（卷、桶）	验收标准
1	化学成分	1	GB 8110
2	熔敷金属力学性能		
3	射线探伤		
4	扩散氢含量		

(3) 埋弧焊用碳钢、低合金钢焊丝检验。

成品焊丝由制造厂质量检验部门按批检验。每批焊丝由同一炉号、同一形状、同一尺寸、同一交货状态的焊丝组成。

取样时要从每批焊丝中抽取 3%，但不少于 2 盘（卷、桶），进行化学成分、尺寸和表面质量检验。

(4) 焊剂检验。

成品焊剂由制造厂质量检验部门按批检验。每批焊剂由同一批原材料，以同一配方及制造工艺制成。每批焊剂最多不超过 60t。

焊剂取样时，若焊剂散放，每批焊剂抽样不少于 6 处；若从包装的焊剂中取样，每批焊剂至少抽取 6 袋，从每袋中抽取一定量的焊剂，总量不少于 10kg。把抽取的焊剂混合均匀，用四分法取出 5kg 焊剂，供焊接试件用，剩余的 5kg 用于其他项目检验。

焊剂的质量检验内容涉及颗粒度检验、含水量检验、机械夹杂检验和焊接工艺性能检验四方面。

2. 焊剂材料熔敷金属性能试验

试验用母材应采用与熔敷金属化学成分性能相当的钢材。若采用其他母材，应采用试验焊丝在坡口面和垫板面焊接隔离层，隔离层的厚度加工后不小于 3mm。熔敷金属力学性能试验试件应按国家现行规范要求施焊。

十、钢结构紧固件

钢结构紧固件是将两个或两个以上零件（或构件）紧固连接成为一件整体时采用的一类机械零件的总称，主要包括普通螺栓、高强度螺栓连接副、铆钉、射钉、自攻螺丝和焊钉等。

1. 螺栓的等级与分类

钢结构连接用螺栓性能等级分 3.6、4.6、4.8、5.6、6.8、8.8、9.8、10.9、12.9 等 10 余个等级，其中 8.8 级及以上螺栓为高强度螺栓，其余为普通螺栓。螺栓性能等级标号由两部分数字组成，分别表示螺栓材料的公称抗拉强度值和屈服比值。例如：性能等级 4.6 级的螺栓，其含义是：螺栓材质公称抗拉强度达 400MPa 级，螺栓材质的屈服比值为 0.6，螺栓材质的公称屈服强度达 $400 \times 0.6 = 240\text{MPa}$ 级。

2. 螺栓的制作精度等级

螺栓的制作精度等级分为 A、B、C 三个等级，螺栓孔分为 I 类孔和 II 类孔，常用螺栓级别特点如表 1-2-17 所示。

表 1-2-17 螺栓级别与应用特点

分类	钢材	强度等级	孔径 d_0 与栓径 d 之差 (mm)	加工	受力特点	安装	应用
C 级粗制螺栓	普通碳素钢 Q235	4.6 4.8	1.0 ~ 1.5	粗糙 尺寸不准 成本低	抗剪差 抗拉好	方便	承拉应用多 临时固定
A 级 B 级精制螺栓	优质碳素钢 45 号钢 35 号钢	8.8	0.3 ~ 0.5	精度高 尺寸准确 成本高	抗剪抗拉均好	精度要求高	目前应用减少

A 级、B 级的区别：仅尺寸不同，A 级 $d \leq 24$ ， $L \leq 150\text{mm}$ ；B 级 $d > 24$ ， $L > 150\text{mm}$ 。

I 类孔：孔壁粗糙度小，孔径偏差允许 $+0.25\text{mm}$ ，对应 A、B 级螺栓；

II 类孔：孔壁粗糙度大，孔径偏差允许 $+1\text{mm}$ ，对应 C 级螺栓。

常用螺栓分类方法如图 1-2-19 所示。

3. 高强度螺栓

高强度螺栓属于一种标准件，完整的叫法应为高强度螺栓连接副，有一整套的含义，包括高强螺杆、配套螺母

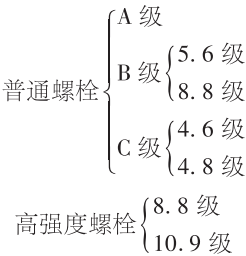


图 1-2-19 螺栓分类方法

和垫圈。按材质分类如表 1-2-18 所示。

表 1-2-18 高强度螺栓强度等级分类

螺栓强度等级	螺栓采用钢材
8.8 级	45 号钢, 40B 钢
10.9 级	20MnTiB 钢, 35VB 钢

按外形和受力特点分为大六角高强度螺栓、扭剪型高强度螺栓、钢网架螺栓球节点用高强度螺栓三类。

(1) 大六角高强度螺栓连接副。

大六角高强度螺栓连接副含一个螺栓、一个螺母、两个垫圈(螺头和螺母两侧各一个垫圈), 且性能等级需匹配。

(2) 扭剪型高强度螺栓连接副。

扭剪型高强度螺栓连接副含一个螺栓、一个螺母、一个垫圈, 国内只有 10.9 级一个性能等级, 是大六角高强度螺栓的改进型。

人生启迪

小小螺栓也有大作用! 螺栓连接是钢结构的一种重要连接方式。正是有了这不起眼的螺栓的存在, 才有了未来大型的构件和建筑物。可见再小事物, 也有它存在的价值。希望每一位学生都不要妄自菲薄, 要努力成才。

拓展阅读

钢结构材料种类繁多, 除了广泛应用的钢板、钢带、型材、结构用钢管外, 其他建筑钢结构制品主要有花纹钢板、钢格栅板和网架球节点等。

1. 花纹钢板

用碳素结构钢、船体用结构钢、耐候结构钢热轧成菱形、扁豆形或圆豆形的花纹形状的制品。其力学性能不作保证, 以热轧状态交货, 表面质量分普通精度和较高精度两级。

2. 钢格栅板

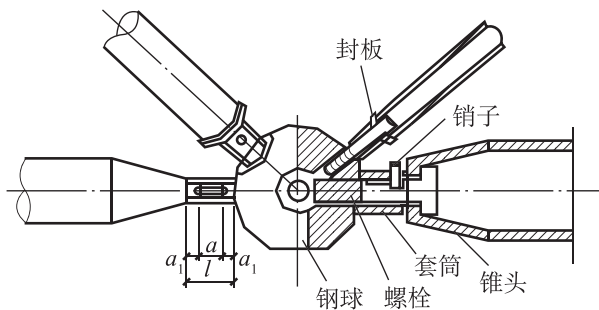
由纵条、横条和四周的包边及挡边板形成的网格状制品。纵条采用扁钢, 是主要的承力构件; 横条采用扭纹方钢, 压焊在纵条上, 适用于工业平台、地板、天桥、栈道的铺板、楼梯踏板、内盖板及栅栏等场所。

3. 网架球节点

钢网架结构中的节点位置。应用最为广泛的有螺栓球节点和焊接空心球节点。

螺栓球节点通过高强度螺栓与杆件相连, 其构造形式如图 1-2-20 所示, 连接方式

属于机械连接，要求具有较好的机械加工性能和力学性能，因此一般采用 45 号钢制造，封板或锥头的材料应与连接钢管相同，套筒材料一般为 Q235、Q345 或 45 号钢。



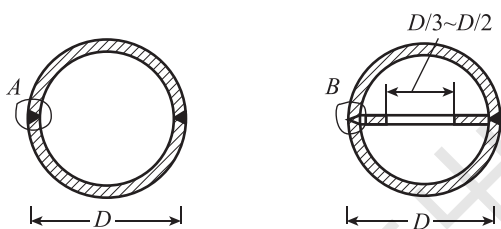
(a) 螺栓球节点构造示意图



(b) 螺栓球节点实例图片

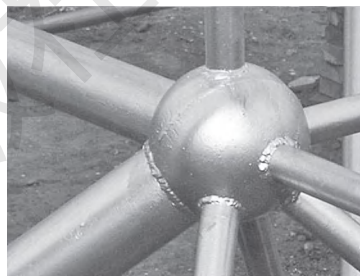
图 1-2-20 螺栓球节点

焊接空心球由两个半球焊接而成，通过焊接与杆件相连，其构造形式如图 1-2-21 所示，一般选用可焊性良好的 Q235 或 Q345 钢材质。



(a) 加肋焊接球节点构造

(b) 不加肋焊接球节点构造



(c) 焊接球节点实例图片

图 1-2-21 焊接球节点

职业技能知识点考核

1. 钢材的品种有哪些？
2. 影响钢材力学性能的因素有哪些？
3. 钢材的选用原则是什么？
4. 钢结构焊接材料有哪些种类？
5. 性能等级为 10.9 级的螺栓含义是什么？
6. 温度对钢材性能有什么影响？
7. 钢材性能复验的主要内容有哪些？
8. 高强度螺栓分为哪几种类型？

学习任务 3 | 钢结构零件及部件加工制作

■ 任务目标

1. 熟悉钢结构制作流程及相关工序。
2. 了解各工序机加工设备性能和特点。
3. 根据构件加工任务，对工序流程安排、施工控制要点及质量检验制定合理的施工方案，符合相应的规范要求，保证其具有较高的科学性、针对性和可操作性。

知识链接

从钢结构原材料加工制作成用于现场安装施工的成品构件需历经放样、号料、切割下料、边缘加工、弯曲、制孔、组装与焊接、矫正、端部加工等多种加工方法，这些方法总体上可以概括为冷加工和热加工。

冷加工指在低于再结晶温度下使钢材产生塑性变形的加工工艺。冷加工后，由于冷作硬化的影响，钢材的强度提高，塑性、脆性增加，所以必要时需对加工区域采取退火和回火处理。

热加工指高于钢材再结晶温度下使钢材产生塑性变形的加工工艺。为避开蓝脆现象，钢材的最低加热温度应大于 500°C ，最高温度应比钢材熔点低 200°C （一般为 $1\,000^{\circ}\text{C} \sim 1\,100^{\circ}\text{C}$ ）。

完成本学习任务后，学生能够开展常规钢结构材料的进场检验和验收工作，正确填写各种原材料进场质量合格证明文件检查记录单、外观质量检查记录单、成品包装质量抽查记录单、进场检验报告等检查记录单，逐步培养钢结构材料进场检验能力。

一、加工制作的准备工作

1. 材料准备

(1) 钢材准备。

①备料。

根据施工详图中的材料清单算出各种材质、规格的材料净用量，加上一定数量的损耗，提出材料采购计划。实际损耗率应根据工程的结构形式、特点和技术要求等综合考虑，一般可按实际用量增加 10% 进行备料。

②入库。

◆ 核对。

仔细核对采购材料的规格、重量和材质是否与质量保证书上所述的一致，核对钢材尺寸是否与标准容许偏差符合。

◆ 验收、标识。

钢材在入库前必须严格执行检验制度，经检验合格的钢材方可办理入库手续。检验

内容包括钢材的数量、品种是否与订货相符；质量保证书是否与钢材上的打印记号符合；表面质量是否符合要求。

检验中对于数据不清、不全，标记模糊，质量、外观尺寸不符合要求时，应视情况重新进行复验鉴定，复验合格方可入库，不合格应另作处理。

入库后钢材端部应竖立标牌，标明钢材的规格、钢号、数量和材质验收证明书与编号，钢材端部涂以不同颜色的油漆以表示钢号。

◆ 储存、堆放。

钢材的储存可露天堆放，也可堆放在有顶棚的仓库里。露天堆放时，场地要平整，并应高于周围地面，四周留有排水沟；堆放时要尽量使钢材截面的背面向上或向外，以免积雪、积水，两端应有高差，以利排水。

仓库既是储存货物的地点，也是进行收、发、管作业的场所。为便于这些工作的顺利进行，必须有合理的布局。

仓库内布局要保证收、发、管作业的连续性和互不干扰。充分利用仓库面积，合理安排并尽量扩大货物储存面积，但要留出通道，收发作业以及办公地点等非储存面积。经常收发的货物和体大笨重的货物安排在离库门较近的地方，以缩短运距和减轻工作量。

对库内布局做出总的规划后，将料区和料位划定下来。所划定的料区就是按型钢、钢板、钢管、金属制品等分类方法，将钢材储存在划定的区域，定出料位，立牌标志，注明钢材的类别、品种、规格及编号等。

钢材的堆放要尽量减少钢材的变形和锈蚀；钢材堆放时每隔 5～6 层放置楞木，其间距以不引起钢材明显的弯曲变形为宜，楞木要上下对齐，在同一垂直面内；材料堆放之间要留有一定宽度的通道以便运输。

为增加堆放钢材的稳定性，可使钢材互相勾连，或采取其他措施。这样，钢材的堆放高度可达到所堆宽度的两倍；否则，钢材堆放的高度不应大于其宽度。

一堆上、下相邻的钢材须前后错开，以便在其端部固定标牌和编号。标牌应标明钢材的规格、钢号、数量和材质验收证明书号，并在钢材端部根据其钢号涂以不同颜色的油漆。钢材的标牌应定期检查。选用钢材时，要按顺序寻找，不准乱翻。

在钢材保管过程中，主要应该注意避免钢材受机械性损伤，防止产生锈蚀现象，因此要采取相应的保管措施来加以预防。

◆ 领料。

钢材发料时要仔细核对工程名称、钢材牌号、规格、型号、数量等。

(2) 焊材准备。

① 选购。

采购人员需具备相应焊接材料的基本知识，采购部门应根据焊材型号、牌号、规格、数量编制采购计划，并经有关部门批准，按照择优、定点选购的原则进行焊材的选购。

② 管理。

◆ 验收。

详见学习任务 2 中“钢结构焊接材料检验”这一任务。

◆ 保管。

焊材保管的好坏直接影响焊接质量，因此必须妥善保管，具体要求如下：

a) 焊材必须存放在干燥、通风良好的室内库房，库房不允许有腐蚀性介质和有害气体，并应保持整洁。

b) 焊条、焊丝、焊剂应摆放在架子上，架子离地面高度应 $\geq 300\text{mm}$ ，离墙壁距离 $\geq 300\text{mm}$ 。有条件时可以在货架下放置干燥剂。

c) 焊材应按种类、牌号、入库时间、规格分类堆放，并应有明确标记，避免混乱、发错。

d) 库房应建立完善的管理制度和账目，做到账、物、卡相符。

e) 定期检查库存焊材有无受潮、污损等质量问题，有问题的要及时报告处理。

◆ 烘干、发放和回收。

焊条、焊剂、药芯焊丝施焊前按工艺要求进行烘焙，低氢焊条和烧结焊剂烘焙后需放置于 100°C 保温箱保存，随用随取。

2. 技术准备

(1) 施工图审查。

为满足加工制作要求，审查设计的安全性、合理性、经济性及能否满足施工图的要求，进行全面的施工图纸的审查。

(2) 施工详图设计。

图纸审查合格后需进行详图设计，为更好地结合工厂的加工条件，一般由加工单位负责。

(3) 工艺规程设计。

遵循技术先进、经济合理、安全可靠的原则，按照施工图的要求编制出完整的制作工艺规程，其内容包括：

①成品技术要求；

②关键零件加工方法、精度要求、检查方法和检查工具；

③主要构件的工艺流程、工序质量标准、工艺措施；

④采用的加工设备和工艺装备。

钢结构制作工序多，因此应合理安排，避免或减少工件倒流。由于制作厂家设备能力和构件的不同，生产工艺流程略有不同，图 1-3-1 为大流水作业生产的一般工艺流程示意图。

(4) 技术交底会。

为保证钢结构零件及部件加工制作质量，贯彻国家标准，要求加工制作单位在施工开始前必须开展技术交底会，以便对工程技术要求进行全面交底，研讨技术难题，解决生产中的具体问题。

(5) 工艺装备制作。

钢结构工艺装备制造是保证钢结构产品质量的重要环节，应根据工艺要求提前准备。钢结构制作过程涉及原材料加工过程中所需的工艺装备和拼装焊接所需的工艺装备，前者主要保证构件符合图纸的尺寸要求，后者主要保证构件的整体几何尺寸和减少变形量。

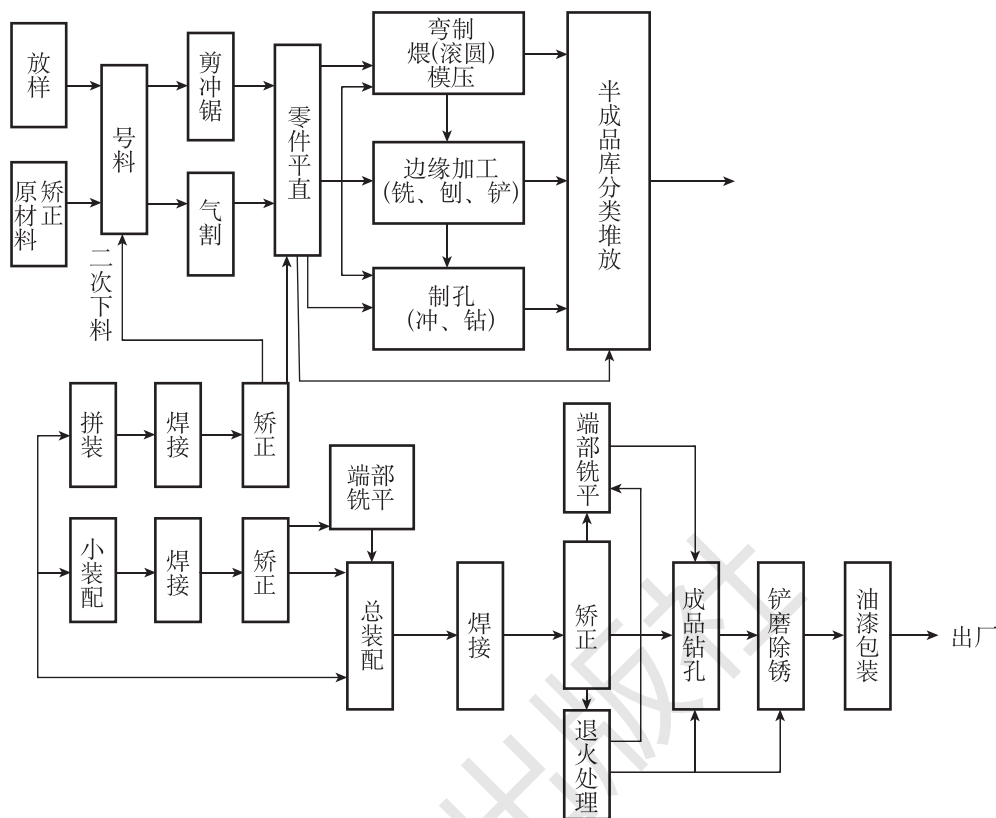


图 1-3-1 大流水作业生产工艺流程

3. 机具准备

(1) 设备、仪器仪表准备。

钢结构生产前，需进行生产设备的准备，按流水顺序安排生产，牵涉到仪器仪表在批量生产前，需进行检修、调试。

(2) 工装夹具准备。

钢结构构件生产中的组立、拼装等加工工序均需在通用或专用工装胎架上完成，生产之前应按加工构件的特点和生产工艺文件的要求，准备好加工所需夹具。

(3) 检验、测量仪器准备。

检验、测量仪器主要用于钢结构生产作业的度量、产品检验和其他辅助工作，为保证检验测量结果的准确性，需保证仪器均完好并在有效使用期内。

人生启迪

磨刀不误砍柴工。建立未来的能见度，确保施工顺利、有序进行；排除影响工期进度的各种因素。学生在学习过程中也要秉持有计划、有安排的方式，做好课前的预习和课后的复习工作。

二、放样

1. 概念

放样, 是根据已审核过的施工样图, 按照产品的结构特点、施工要求等条件, 按一定比例 (通常为 1:1) 准确绘制出结构的全部或部分投影图, 并进行结构的工艺处理, 有时需要展开计算, 最后获得施工所需要的数据、样杆、样板和草图。

2. 放样内容

(1) 复核施工详图。

详细复核施工详图所表现出来的构件各部分的投影关系、尺寸及外部轮廓形状是否正确并符合设计要求。

(2) 结构处理。

结构处理是解决因所用材料、设备能力和生产条件等因素影响而出现的结构问题, 一般由经验丰富的放样者开展。

(3) 算料与展开。

利用放样图, 求出构件用料的真实形状和尺寸, 有时还需画出与之相连接的构件位置线。

(4) 设计胎膜。

依据构件加工要求, 利用放样图样的形状和尺寸, 设计所需胎膜的形状和尺寸。

(5) 为后续工序准备。

包括绘制供货料、画线用的草图, 制作各类加工样板、样杆和样箱。

3. 放样方法

常用方法有实尺放样、光学放样、计算机放样。

放样应在放样平台上进行, 平台必须平整稳固。放样平台严禁受外力冲击, 以免影响平台的水平度。

放样应以施工图的实际尺寸 1:1 的大样放出有关的节点、连接尺寸, 作为控制号料、弯制、剪切、铣刨、钻孔和组装等的依据, 当部件、零件较大, 难以制作样杆、样板时, 可绘制下料图。先以钢架底面的水平和垂直线为基准, 弹出十字线, 两线必须垂直。然后依据此十字线逐一画出其他各个点交线, 并在节点旁注上尺寸, 以备复查及自检。交接点处用划针划上连接线并用尖锐的样冲轻轻地将点敲出, 加以保护。放样过程中碰到技术上的问题, 要及时与技术部门联系解决。因尺寸的变更、材料的代用而产生与原图不相符处, 要及时在图纸上作好更改。放样结束, 对照图纸进行自检, 并报专职检验人员检验。

4. 放样工具和设备

常用的工具有划针、直尺、角尺、游标卡尺、圆规、地规、粉线、墨线、样冲、手锤等。

(1) 划针。

划针是在板材表面刻划线条的工具, 常采用直径 4 ~ 6mm, 长度 200 ~ 300mm 的

弹簧钢丝或高速钢制成。针尖经淬火变得耐磨锋利。图 1-3-2 为常用划针实物。

(2) 直尺、角尺、游标卡尺。

直尺是用于长度度量的工具，常采用不锈钢板条制成。常用规格为 200mm、300mm、500mm 和 1 000mm 等，如图 1-3-3 所示。

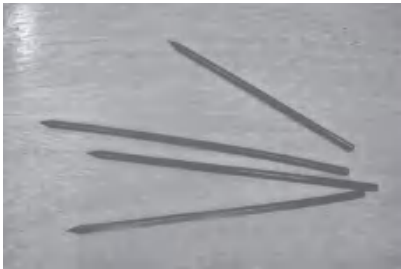


图 1-3-2 划针实物图



图 1-3-3 直尺实物图

角尺是用于刻划直线及检验装配角度的工具，常采用不锈钢板制成，如图 1-3-4 所示。



图 1-3-4 角尺实物图

游标卡尺是一种测量长度、内外径、深度的量具，由主尺和附在主尺上能滑动的游标两部分构成，其构造组成如图 1-3-5 所示。常用游标卡尺按其精度可分为 3 种：即 0.1mm、0.05mm 和 0.02mm。

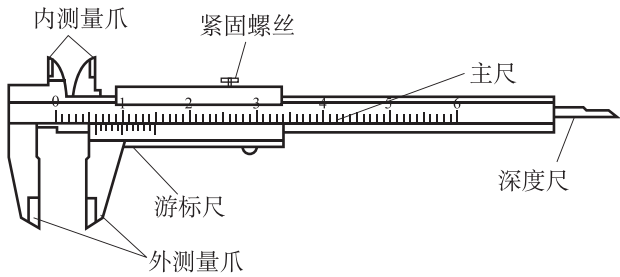


图 1-3-5 游标卡尺示意图



游标卡尺使用说明

(3) 划规、地规。

划规是用于划圆弧、圆或分量线段长度的工具，其规尖需经淬火处理，使用时在板材上用样冲所冲的坑作为一个腿的支点，按所需半径叉开另一腿划线。

地规用于划较大的圆或圆弧，可以通过调整制动螺栓调节半径，如图 1-3-6 所示。

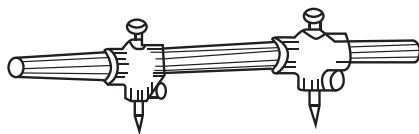


图 1-3-6 地规实物图

(4) 粉线、墨线。

当刻划较长直线时，为实现一次完成刻划，减少累积误差，应采用粉线或墨线工作，现常采用成品粉线盒或墨线盒，如图 1-3-7 所示。



图 1-3-7 粉线盒（墨线盒）实物图

(5) 样冲、手锤。

样冲是在钢板上冲打标记的定位标准工具，其目的是将已经刻划好的线条在钢板上清晰地保留下来，用于后期生产或检查。样冲尖端需经淬火并磨成角度 $45^\circ \sim 60^\circ$ 的圆锥形，常采用弹簧钢或工具钢制成。常见样冲如图 1-3-8 所示。



图 1-3-8 样冲实物图

手锤是配合样冲使用的工具，一般采用小磅量规格，除此外，手锤还可以调整样板平整度，常见手锤样式如图 1-3-9 所示。



图 1-3-9 手锤实物图

(6) 电脑放样。

电脑放样指把电子版形式的单一零件图纸在电脑上模拟放样，通过数控编程软件将排版图转化为数控切割程序，再以某种传输设备将数控程序加载到数控切割机上，完成数控下料的过程。采用电脑放样可以有效地解决传统放样工作效率低、加工精度低、切割下料误差大的问题，目前在大中型建筑钢结构加工制作企业中被广泛使用。

5. 样板和样杆

(1) 分类。

按用途可分为号料样板、成型样板和定位样板三类。号料样板是供号料、号孔的样板；成型样板是用于检验成型加工零件的形状、角度、曲率半径及尺寸的样板；定位样

板用于确定构件之间的相对位置（如装配线、角度、斜角）和各种孔口的位置与形状。

放样样板制作：样板采用厚度 0.3mm 的薄铁皮制作，应考虑切割、焊接、铣、刨及火煨等加工余量。制作时，应按施工图和构件加工要求，作出各种加工符号、基准线、眼孔中心等印记，并按工艺要求预放各种加工余量，然后号上冲印等印记，用磁漆（或其他材料）在样杆、样板上写出工程、部件及零件编号、零件规格孔径、数量及标注有关符号。样板和样杆应妥善保管，直至工程结束以后方可销毁。样板的精度要求如表 1-3-1 所示。

表 1-3-1 放样样板允许偏差

项目	允许偏差
平行线距离和分段尺寸	±0.5 mm
样板长度	±0.5 mm
样板宽度	±0.5 mm
样板对角线差	1.0 mm
样杆长度	±1.0 mm
样板的角度	±20′

- (2) 样杆。
主要用于定位，有时也用于简单零件的号料，常用于钢管、型钢工件的下料。
- (3) 样箱。
在组装工序中常用样箱作为组装样板。

三、号料

1. 概念

号料也称划线，即根据图样或利用样板、样杆等直接在材料上划出构件形状和加工界线的过程。传统的号料采用手工进行，但随着数控技术的应用，数控号料已成为新的趋势。图 1-3-10 为程控自动划线机在进行号料。

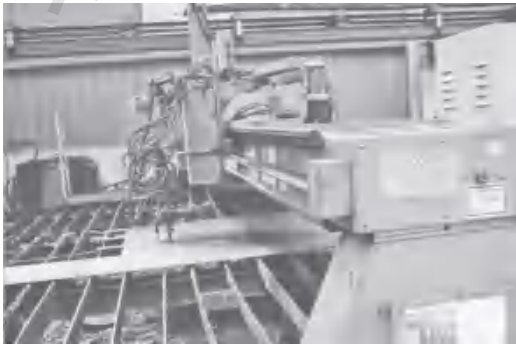


图 1-3-10 程控自动划线机号料

2. 号料内容

- (1) 检查核对材料，包括材料牌号、规格、炉批号等。
- (2) 材料上画出切割、铣、刨、弯曲、钻孔等加工位置。

- (3) 打样冲孔。
- (4) 标识零件编号。

3. 号料方法

按组织方法,可分为集中号料法、套料法、统计计算法和余料统一号料法。

- (1) 集中号料法。

把同等厚度的钢板零件和相同规格的型钢零件集中在一起的号料称为集中号料法。这种方法可以减少原材料浪费,提高生产效率。

- (2) 套料法。

号料时,把同厚度的各种不同形状的零件和同一形状的零件进行套料,这种方法称为套料法。

- (3) 统计计算法。

统计计算法是在型钢下料时采用的一种方法。号料时应将所有同规格型钢零件的长度归纳在一起,先将较长的排出来,再算出余料的长度,然后把和余料长度相同或略短的零件排上,直至整根料被充分利用为止。这种先进行统计安排再号料的方法,称为统计计算法。

- (4) 余料统一号料法。

将号料后剩下的余料按厚度、规格与基本相同的集中在一起,把较小的零件放在余料上进行号料,此法称为余料统一号料法。

4. 号料要点

号料时应注意以下事项:

- (1) 准备好下料时所使用的各种工具,如手锤、样冲、划规、划针、铁剪等。
- (2) 熟悉施工图纸,检查样板是否符合图纸要求,根据图纸直接在板料和型钢上号料时,应检查尺寸是否正确,以防产生错误,造成废品。
- (3) 如材料上有裂缝、夹层及厚度不足等现象时,应及时研究处理。
- (4) 钢材如有较大弯曲、凹凸不平的,应先进行矫正。
- (5) 号料时,不要把材料放在人行道和运输道上,对于较大型钢划线多的面应平放,以防止发生安全事故。
- (6) 号料工作完成后,在零件的加工线和接缝线上,以及孔中心位置,应视具体情况打上样冲眼,同时应根据样板上的加工符号、孔位等,在零件上用白铅油标注清楚,为下道工序提供方便。
- (7) 号料时应注意个别零件对材料轧制方向的要求。
- (8) 需要剪切的零部件,号料时应考虑剪切线是否合理,避免发生不适于剪切操作的情况。
- (9) 相同规格较多、形状规则的零件可用定位靠模下料。使用定位靠模下料时,必须随时检查定位靠模和下料件的准确性。号料的允许偏差如表 1-3-2 所示。

表 1-3-2 号料允许偏差

项目	允许偏差 (mm)
零件外形尺寸	± 1.0
孔距	± 0.5

四、切割下料

1. 概念

将放样和号料的零件形状从原材料上进行分离称为切割下料。具体采用哪种切割方法，需考虑切割能力、切割精度、切割面的质量及经济性，可参照表 1-3-3 所示采用。

表 1-3-3 切割方法与工具选择参考表

切割方法	切割工具	构件类型
机械切断法	剪床、锯床、砂轮机、角铁切断机	薄钢板（厚度不得超过 12mm） 型钢类（角钢、槽钢……）
火焰切割法	多火嘴门式切割机 半自动切割机 手工切割机	中厚钢板

2. 切割方法

常用的切割方法按切割原理可分为机械切割、气割和等离子切割三种方法。切割前应清除切割区域表面的油污、铁锈和潮气，严格按划线下料的标注进行切割。切割后，断口处不得有裂纹和大于 1.0mm 的缺棱，并要及时清除边缘的熔瘤和飞溅物，否则严禁向下道工序传递。

(1) 机械切割。

机械切割按切割原理不同有剪切、锯切和冲压下料三种类型。

① 剪切。

通过机械设备的上下刀头相对运动产生的剪切力实现板材的切割。此法剪切速度快、效率高，适用于厚度小于 30mm 的钢材，但其切口粗糙，且存在弯扭变形，需进行板材的变形矫正和切口处的打磨处理。常用的剪切设备有剪板机、联合冲剪机、型钢冲剪机等，如图 1-3-11 所示。



图 1-3-11 机械剪板机

②锯切。

可分为带锯机床、砂轮锯两类。带锯机床利用锯片的切削把钢材切断，其切割精度高、效率高，适用于切断型钢及型钢构件；砂轮锯利用锯片与钢材间的高速摩擦产生的热量熔化金属使钢材切断，其切割速度快、噪声大、精度低，适用于精度要求低的薄壁型钢及小型钢管的切割。

③冲压下料。

利用冲模在压力机上把板料的一部分与另一部分分离的加工方法，对成批生产的零件或定型产品可采用这种方法提高效率。

(2) 气割。

气割是以气体火焰燃烧时产生的高温来熔化钢材，并借喷射压力将熔渣吹去，造成割缝实现切割金属的方法。常用氧—乙炔焰作为气体火焰，12mm 以上钢板的直线或曲线切割多采用气割，但熔点高于火焰温度或难于氧化的材料，则不宜采用。常用的气割工具箱设备有：低压切割器、半自动气割机、仿形气割机、数控气割机等。图 1-3-12 为半自动气割机在进行小板下料，图 1-3-13 为数控多头气割机在进行长直板料下料。



图 1-3-12 半自动气割机下料小板



图 1-3-13 数控多头气割机下料长直板料

H 型钢结构以气割为主，连接件采用剪切法下料。板材采用多头直条火焰切割机 and 半自动割刀下料，切割时随时调整导轨间距，保证割缝直线度。其切割允许偏差如表 1-3-4 所示。

表 1-3-4 气割允许偏差

项目	允许偏差 (mm)
零件宽度、长度	± 3.0
切割面平面度	$0.05t$ ，且不大于 1.0
割纹深度	0.3
局部切口深度	1.0

板材采用半自动切割时应控制切割工艺参数，如表 1-3-5 所示。

表 1-3-5 半自动切割时应控制的切割工艺参数

割嘴号码	板厚 (mm)	氧气压力 (MPa)	气割速度 (mm/min)
1	4 ~ 10	0.69 ~ 0.78	650 ~ 450
2	10 ~ 20	0.69 ~ 0.78	500 ~ 350

注：板厚小于 8mm 的加劲板、零件板可采用剪板机剪切。

板材切割宜采用多头直条切割，型材可用手工切割或剪切，坡口加工采用数控切割机或刨边机加工。如采用半自动切割机进行切割要采取防变形措施。

(3) 等离子切割。

等离子切割是利用高温等离子电弧的热量使工件切口处的金属局部熔化，并借高速等离子的动量排除熔融金属以形成切口的一种加工方法。其具有切割温度高、冲刷力大、切割边质量好、变形小、成本较低、可以切割任何高熔点金属等特点，适用于不锈钢、铝、铜及其合金等。图 1-3-14、图 1-3-15 分别为常见的数控水下等离子切割机和数控等离子切割机。



图 1-3-14 数控水下等离子切割机

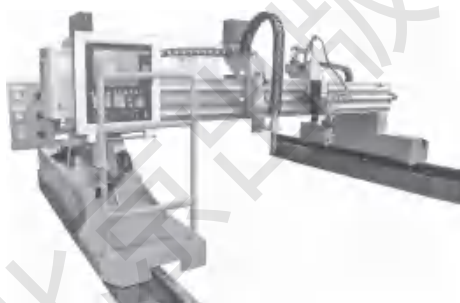


图 1-3-15 数控等离子切割机

五、边缘加工和端部加工

1. 概念

涉及边缘的切割、开焊接坡口、构件的自由边、孔的磨光加工等作业均属于边缘加工。涉及构件端部支撑面铣平操作的加工属于端部加工。两者均属于对局部位置的精细加工。

2. 边缘及端部加工部位

- (1) 吊车梁翼缘板。
- (2) 支座支承面。
- (3) 焊接坡口。
- (4) 尺寸要求严格的加劲板、隔板、腹板和有孔眼的节点板等。
- (5) 有配合要求的部位。

(6) 设计有要求的部位。

边缘加工的允许偏差如表 1-3-6 所示。

表 1-3-6 半自动切割时应控制切割工艺参数

项目	允许偏差
零件宽度、长度	$\pm 1.0\text{mm}$
加工边直线度	$l/3\ 000$ ，且不大于 2.0mm
相邻两边夹角	$\pm 6'$
加工面垂直度	$0.025t$ ，且不大于 0.5mm
加工面表面粗糙度	$Ra \leq 50\mu\text{m}$

注： t —构件厚度； l —构件长度。

3. 边缘及端部加工方法

(1) 铲边：有手工铲边（手锤、手铲）、机械铲边（风动铲头）两种。适用于加工要求不高、工作量不大的边缘加工。

(2) 刨边：采用刨边机加工（图 1-3-16）。分为刨直边和刨斜边两种，一般的刨边加工余量为 $2 \sim 4\text{mm}$ 。

(3) 铣边：采用铣边机加工（图 1-3-17）。工效高，能耗少。



图 1-3-16 刨边机



图 1-3-17 铣边机



图 1-3-18 碳弧气刨枪

(4) 碳弧气刨：采用气刨枪加工（图 1-3-18）。效率高，无噪声，灵活方便。

(5) 坡口加工：一般为气体加工和机械加工，特殊时采用手动气体切割的方法，坡口加工一般都使用坡口加工专用机。坡口机效率高、精度高，能满足开 V 型、X 型坡口的需要，但切割后需清理干净氧化残渣。图 1-3-19 为气割坡口时割嘴位置示意图。

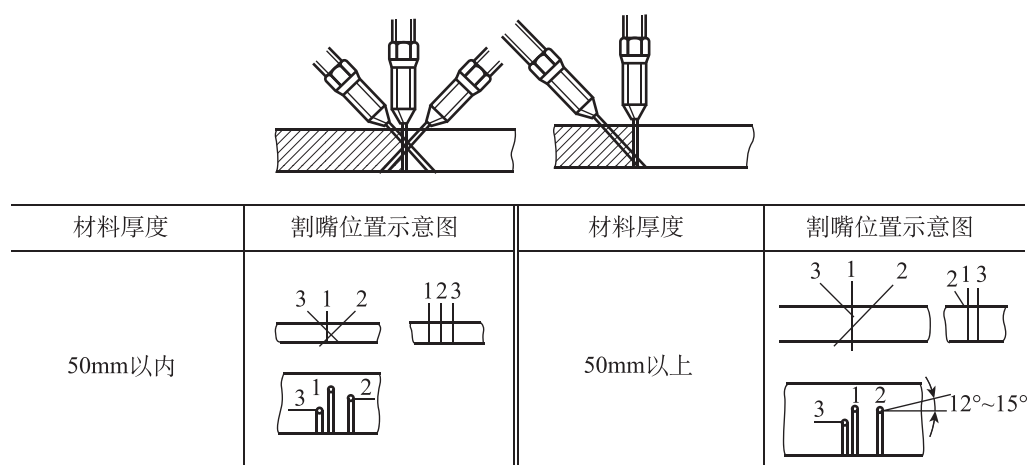


图 1-3-19 气割机切割坡口时割嘴位置示意图

边缘及端部加工的允许偏差如表 1-3-7、表 1-3-8 所示。

表 1-3-7 边缘加工允许偏差

项目	允许偏差
零件宽度、长度	± 1.0mm
加工边直线度	$l/3\ 000$ ，且不应大于 2.0mm
相邻两边夹角	± 6′
加工面垂直度	$0.025t$ ，且不应大于 0.5mm
加工面表面粗糙度	$Ra \leq 50\mu m$

表 1-3-8 端部加工允许偏差

项目	允许偏差
两端铣平时构件长度	± 2.0mm
两端铣平时零件长度	± 0.5mm
铣平面的平面度	0.30mm
铣平面的倾斜度	不大于 $l/1\ 500$ ，且不大于 0.5mm
表面粗糙度	0.03mm

六、弯曲成型

1. 概念

弯曲成型是根据构件形状需要，利用加工设备和一定的工具、模具，把板材或型钢弯制成一定形状的工艺方法。

2. 弯曲成型方法

按照弯曲外力的形态可分为压弯成型、滚弯成型和拉弯成型三种类型。

(1) 压弯成型：适用于一般直角弯曲（V 型件）、双直角弯曲（U 型件），以及其他适宜弯曲的构件。常用压弯机如图 1-3-20 所示。

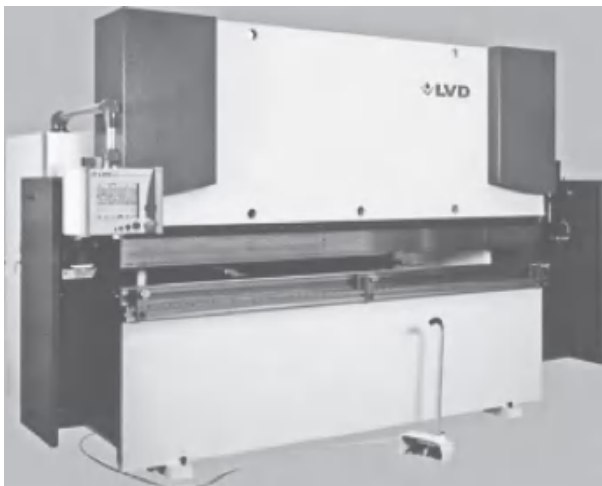


图 1-3-20 常用压弯机

②滚弯成型：采用机械、液压和数控方式实现板材的弯曲成型。常用滚弯机及其工作原理分别如图 1-3-21 和图 1-3-22 所示。



图 1-3-21 常用滚弯机



滚弯机展示

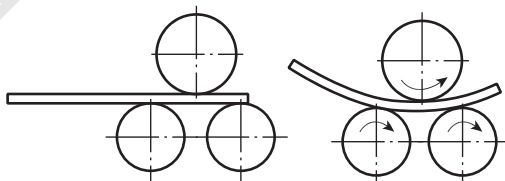


图 1-3-22 滚弯机工作原理示意图

③拉弯成型：适用于长条板材拉弯成弧形构件。常用拉弯机如图 1-3-23 所示。

以上弯曲成型均属于冷加工方式，其变形抗力大，在使金属成型的同时，通过加工硬化提高工件的硬度和强度，但同时降低了金属塑性。一般适于加工截面尺寸小、加工尺寸和表面粗糙度要求较高的金属零件。

除此以外，弯曲成型还可以采用热加工方式，常见的是凝固成型（铸造）、连接技术（焊接）和塑性成型（锻压和冲压）。在热加工成型过程中，模具起着极其重要的作用。采用模压成型是在压力设备上利用模具使钢材成型的一种工艺方法，钢构件成型好坏与精度完全取决于模具的形状尺寸和制造质量。



图 1-3-23 常用拉弯机

七、制孔

1. 概念

用孔加工机械或机具在实体材料（如钢板、型钢等）上加工孔的作业称为钢结构制孔。

2. 制孔方法

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，靠切削而成，其制孔精度高，对孔壁损伤较小；冲孔是靠冲孔设备的冲裁力产生的孔，冲孔生产效率高，但孔壁质量较差，因此钢结构制造中已较少采用该方法。所有制孔的质量应符合《钢结构工程施工质量验收标准》（GB 50205—2020）的规定。

除钻孔和冲孔外，还有扩孔、铰孔、铰孔等制孔方法。扩孔是将已有孔眼扩大到需要的直径，铰孔是将已钻好的孔上表面加工成一定形状的孔，铰孔是将已经粗加工的孔进行精加工以提高孔的光洁度和精度。

3. 钻孔方法

常用的钻孔方法有：划线钻孔、钻模钻孔、数控钻孔。

（1）划线钻孔：在构件加工时预先划上孔位，待拼装、焊接及变形矫正完成后，再划线确认进行打孔加工的钻孔方法。为提高效率，可将不超过 50mm 总厚度的数块钢板相叠同时钻孔；用厚板和板叠钻孔时要检查平台水平度，防止孔的中心倾斜。工厂中常见划线钻孔设备是摇臂机床，如图 1-3-24 所示。

（2）钻模钻孔：当钻孔数量大、精度要求高时可采用钻模钻孔。钻模板上下两平面应平行，其偏差不得大于 0.2mm，钻孔套中心与钻模板平面应保持垂直，其偏差不得大于 0.15mm，整体钻模制作允许偏差须符合有关规定。

（3）数控钻孔：近年来数控钻孔的发展更新了传统的钻孔方法，无须在工件上划线，打样冲眼，整个加工过程自动进行，高速数控定位，钻头行程数字控制，钻孔效率高、精度高。现今广泛采用的数控多轴钻床（图 1-3-25）要比机床效率提高几十倍，可以与钻床等设备形成生产线，是未来钢结构加工设备的发展方向。



图 1-3-24 摇臂机床



图 1-3-25 数控三向多轴钻床

4. 钻孔工序

(1) 按施工图纸要求选择钻头直径。

(2) 钻孔前，钻模要用固定的专用卡具，紧固好后才能钻孔，钻床钻孔前必须用水平仪找平，钻孔时要控制同心度；对好钻模后，为防止孔的蹿动，除了用卡兰紧堵外，还要在腹板上孔的对角线处钻穿销子；将构件放平、垫稳、固牢，防止钻偏钻斜，严禁套钻。

(3) 螺栓孔的允许偏差如表 1-3-9 所示。

表 1-3-9 螺栓孔允许偏差表

项目	允许偏差 (mm)
直径	+1.0
圆度	2.0
垂直度	0.03 t 且不大于 2.0

(4) 钻孔完毕应及时清除毛边、飞刺，并用量规检查，不合格品须经技术人员同意方可扩钻，或用与母材匹配的焊条补焊后重新钻孔，严禁用钢块填塞。

(5) 加工车间应将加工完的半成品按规格分类，并标明订货号、零件号及数量，填好工序交接卡后方可转交装配车间。

5. 制孔注意事项

(1) 孔径、孔位、孔间距须符合图纸规定并达到质量要求。

(2) 板厚超过 12mm 的构件，不得用冲孔机制孔。

(3) 制孔若有错误不得用火焰割孔，只可用铰刀扩孔。

(4) 高强螺栓孔的贯通率及阻塞率须符合表 1-3-10 的要求。

表 1-3-10 高强螺栓孔的贯通率及阻塞率要求表

接合方法	螺栓规格 (mm)	贯通样规 (mm)	贯通率 (%)	阻塞样规 (mm)	阻塞率 (%)
摩擦接合	D	D+1.0	100	D+3.0	80 以上
支承接合	D	D+0.7	100	D+0.8	100

八、组立

1. 概念

亦称拼装、装配、组装，是把加工完成的半成品和零件按图纸规定的运输单元，装配成构件或者部件的工序过程，是钢结构加工制作中的重要工序之一。

2. 组立方法

钢结构组立的方法包括地样法、仿形复制装配法、立装法、卧装法、胎模装配法等。其装配方法和适用范围如表 1-3-11 所示。

表 1-3-11 钢构件组立方法及适用范围

名称	装配方法	适用范围
地样法	用 1：1 的比例在装配平台上放出构件实样，然后根据零件在实样上的位置，分别组装起来成为构件	桁架、构架等小批量结构的组装
仿形复制装配法	先用地样法组装成单面（单片）的结构，然后定位点焊牢固，将其翻身，作为复制胎模，在其上面装配另一单面结构，往返两次组装	横断面互为对称的桁架结构
立装法	根据构件的特点及其零件的稳定位置，选择自上而下或自下而上的顺序装配	放置平稳、高度不大的结构或者大直径的圆筒
卧装法	将构件放置于卧的位置进行的装配	断面不大但长度较大的细长构件
胎模装配法	把构件的零件用胎膜定位在其装配位置上的组装方法	批量大、精度高的构件

3. 组立机具

(1) 铁楔或卡兰夹紧器：用于把两个零件夹紧在一起定位，进行搭焊或焊接（图 1-3-26）。

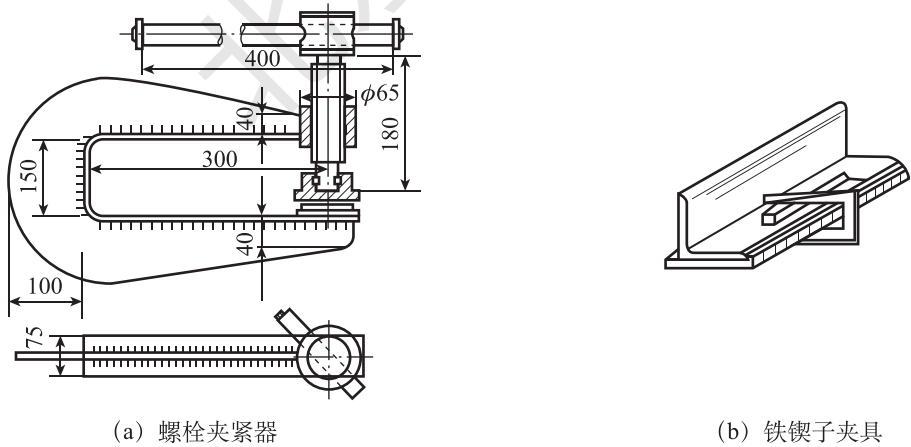


图 1-3-26 铁楔、卡兰夹紧器示意图

- (2) 槽钢夹紧器：用于装配钢板结构对接接头。
- (3) 拉紧器：用于调整两个零件之间的缝隙。
- (4) 杠杆夹具：用于工件的夹紧、矫正、翻转（图 1-3-27）。

(5) 花篮螺丝：又称为花兰螺丝、索具、紧线扣，用来捆绑紧固钢丝绳等。花篮螺丝用于拉紧钢丝绳，并起调节松紧作用（图 1-3-28）。

(6) 正反丝扣推撑器：用于在装配圆筒体时调整焊缝间隙和矫正筒体形状（图 1-3-29）。

(7) 头：用于钢结构定位、矫平、敲字码符号（图 1-3-30）。常用规格有 0.5 磅、2 磅。

(8) 千斤顶：一种用钢性顶举件作为工作装置，通过顶部托座或底部托爪在行程内顶升重物的轻小起重设备。主要用于厂矿、交通运输等部门作为车辆修理及其他起重、支撑等工作。其结构轻巧坚固、灵活可靠，一人即可携带和操作，主要有机械式（图 1-3-31）和液压式（图 1-3-32）两种。



图 1-3-27 杠杆夹具



图 1-3-28 花篮螺丝

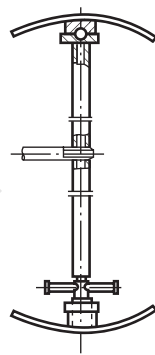


图 1-3-29 正反丝扣推撑器



图 1-3-30 榔头



图 1-3-31 机械式千斤顶



图 1-3-32 液压式千斤顶

(9) 组立机：用于定位钢板位置、提供焊接操作台面的大型设备。目前应用最为广泛的为 H 型钢组立机（图 1-3-33）。

除此以外，常用工机具还有铣床、钻床、电钻、电焊、气焊、钢板尺、角尺、塞尺、手工扳手、锤子、钢丝刷等。

4. 组立工艺流程

工艺历经“作业准备→小件拼装→构件组装→连接后检查验收”，完成构件的组立。



图 1-3-33 H 型钢组立机



H 型钢组立机展示

5. 组立胎具形式与要求

针对表现形状比较复杂的钢构件，或不便于定位、夹紧、大批量生产的焊接结构，加工制作过程中需要采用组立胎具。胎具的使用简化了零件的定位工作，改善了焊接工作条件，提高了组立效率与组装质量。

组立胎具按结构可分为固定式、活动式；按适用范围可分为专用胎、通用胎，应符合下列要求：

- (1) 具有足够的强度和刚度。
- (2) 便于工件的装、卸、定位等装配操作。
- (3) 胎具上应划出中心线、位置线、边缘线等基准线，便于矫正和检验。
- (4) 较大尺寸胎具应安置在坚固的基础上，避免胎具变形。

6. 组立工作台形式

组立工作台一般采用平台形式，主要有以下形式：

- (1) 铸铁平台。
- (2) 钢结构平台。
- (3) 导轨平台。
- (4) 水泥平台。
- (5) 电磁平台。

7. 组立工艺

组立工艺流程如下：组立前准备→选择组立方式（正装、倒装、卧装）→选择构件支撑形式（组立平台支承、组立胎架支承）→零件定位（划线定位、样板定位、定位元件定位）→构件夹紧→组立定位焊。

(1) 组立前准备。

①钢结构组立前，应按施工图、施工方案及其下料单，清点和检查加工件的材质、规格、数量和加工质量，不合格不得组装。

②组立前，认真清除接口表面 30 ~ 80mm 范围内的铁锈、油污等杂质，打磨干净，并认真检查腹板平整度。

③组立前，完成工量具、夹具和吊具的准备。

④组立场地应保证平整、清洁，便于安置工作台或装配胎具；场地周围应合理布置工机具，便于生产。

(2) 组立方式选择。

①正装：指构件在组装中所处的位置与其使用时的位置相同。

②倒装：指构件在组装中所处的位置与其使用时的位置相反。

③卧装：指构件按其使用位置垂直旋转 90°。

(3) 构件夹紧。

构件夹紧通过夹具实现，因此夹具类型、数量、作用位置、夹紧方式是选择的关键。

(4) 组立定位焊。

定位焊是用于固定各零件间的相对位置，以保证整个结构件正确的几何形状和尺寸的焊接。

组立时严禁强制成型，组立平台及拼装模具应经测平，组立平台平面高低差不应超过 4mm，并加以固定。组立时的点固焊缝长度宜大于 40mm，间距宜为 500 ~ 600mm，点固焊缝高度不宜超过设计焊缝高度的 2/3。构件的组立应在部件组装、焊接、矫正后进行，以保证构件组装的精度。

当采用点焊组立时，应满足下列要求：

①焊接前须将焊接面及其临近位置的黑皮、铁锈、油漆、油脂等杂物彻底清除干净。

②焊接材料须与主焊道保持一致。

③点焊道长度、间距须符合相关作业标准，如表 1-3-12 所示。

表 1-3-12 点焊道长度、间距作业标准

板厚	焊道长	焊道间距	组立缝间隙
不超过 25mm	10 ~ 20mm	300 ~ 400mm	不超过 1mm
超过 25mm	30 ~ 50mm	300 ~ 400mm	不超过 1mm

④点焊完成后，必须将焊渣及飞溅渣清除干净。

8. 组立检查

(1) 必须按工艺要求的次序进行，当有隐蔽焊缝时，必须先予施焊，经检验合格后方可覆盖。为减少变形，尽量采用小件组焊，经矫正后再大件组装。

(2) 组立的零件、部件应经检查合格，零件、部件连接接触面和沿焊缝边缘约 30 ~ 50mm 范围内的铁锈、毛刺、污垢、冰雪、油迹等应清除干净。

(3) 布置拼装胎具时，其定位必须考虑要预放出焊接收缩量及加工余量。

(4) 为减少大件组装焊接的变形，一般应先采取小件组焊，经矫正后，再组立大部件。胎具及组装的首件必须经过检验方可大批进行组装。

(5) 板材、型材的拼接应在组装前进行；构件的组立应在部件组装、焊接、矫正后进行，以便减少构件的残余应力，保证产品的制作质量。构件的隐蔽部位应提前进行涂装。

(6) 组立时要求磨光顶紧的部位，其顶紧接触面应有 75% 以上的面积紧贴。

(7) 组立好的构件应立即用油漆在明显部位编号，写明图号、构件号、件数等，以便查找。

钢构件组立的允许偏差应符合《钢结构工程施工质量验收标准》(GB 50205—2020) 的有关规定。应严格控制的偏差如下：

(1) 局部间隙 $\leq 1.0\text{mm}$ ；

(2) 磨光顶紧接触部位 $\geq 75\%$ ，边缘最大间隙 $\leq 0.8\text{mm}$ 。

九、焊接

构件组立完毕经检验合格后，需进行焊接施工，焊接施工工艺要求应按施工详图和焊接工艺文件规定执行。

由于焊接是钢结构零件及部件加工制作过程中非常重要的工序，其施工质量的好坏直接影响构件的使用功能，对这一重要的工序，本书在学习任务 4 中另有详细介绍。

十、矫正

在钢结构制作过程中，原材料自身变形、切割变形、焊接变形、运输变形等造成的构件变形若超过技术设计允许的变形范围，应设法进行矫正，使其达到符合产品质量的要求。

1. 矫正形式

主要形式有矫直、矫平和矫形三种。

(1) 矫直：消除材料或构件的弯曲的矫正形式。

(2) 矫平：消除材料或构件的翘曲或凹凸不平的矫正形式。

(3) 矫形：消除材料或构件几何形状变形的矫正形式。

其矫正原理都是利用钢材塑性、热胀冷缩的特性，采用某种方式设法造成新的变形来抵消已经发生的变形。

2. 矫正方法

普遍应用的矫正方法主要有手工矫正、机械矫正和火焰矫正。

(1) 手工矫正。

手工矫正是采用锤击的方法，以使部位较紧的金属得到延伸扩展，最终使各纤维长度趋于一致，来达到矫正的目的。其是最简单易行的矫正方法之一，适合于自动割刀切割下的小型板材和各种小规格型钢。

① 薄板的手工矫正。

板料变形情况有中部凸起、边缘呈波浪形、弯曲变形等。

薄板中间凸起矫正时，由凸起处的边缘开始向四周边呈放射状锤击，越向外锤击密度越大，锤击力加大，使由里向外各部分金属得到不同程度的延伸，凸起变形在锤击过

程中逐渐消失,如图 1-3-34 所示。

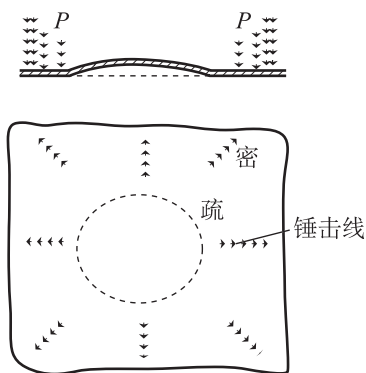


图 1-3-34 中间凸起薄板矫正

边缘波浪形矫正时,由外向内锤击,锤的密度逐渐增加,板材中部的较大延展使四周波浪变形得到矫正,如图 1-3-35 所示。

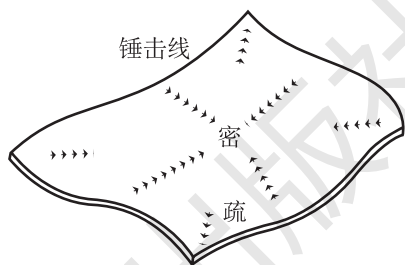


图 1-3-35 边缘波浪形薄板矫正

弯曲变形矫正时,沿变形小的方向锤击,将板材的短向方向纤维延伸,如图 1-3-36 所示。



图 1-3-36 弯曲变形薄板矫正

人生启迪

有时候换一个思路,用不同的视角看待事物才是解决问题的关键。

②厚板的手工矫正。

由于厚板刚性大,可采用直接锤击凸起部位的方式矫正。

③扁钢的手工矫正。

扁钢的变形有弯曲和扭曲两种。当扁钢在厚度方向弯曲时,应锤击凸起处;当宽度方向弯曲时,应锤击扩散凹面,如图 1-3-37 所示。

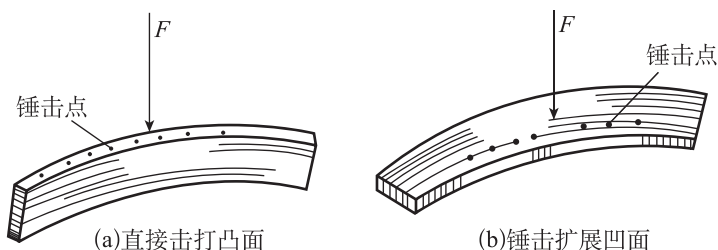


图 1-3-37 扁钢的矫正

④角钢的手工矫正。

角钢的变形有外弯、内弯、扭曲和角变形等多种形式。角钢弯曲时，可用钢圈当作平台，直击凸处，如图 1-3-38 所示；矫正角钢扭曲时，将角钢背面朝一端用虎钳夹持，用扳手夹持另一端并作反方向扭转。待扭曲变形消除后，再用锤击进行修整，如图 1-3-39 所示。

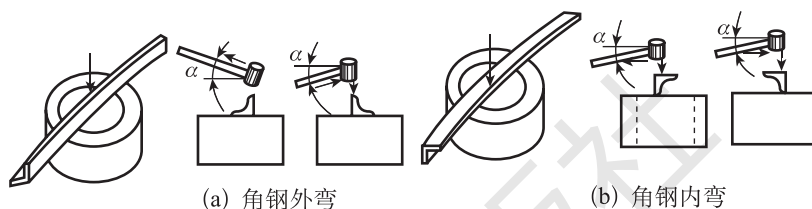


图 1-3-38 角钢的弯曲矫正

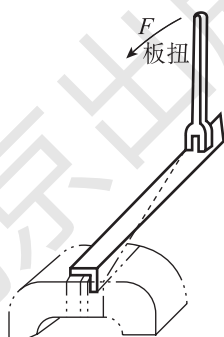


图 1-3-39 角钢的扭曲矫正

⑤槽钢的手工矫正。

槽钢的刚性要比角钢大，因此一般矫正规格比较小的槽钢。槽钢变形有立弯、旁弯和扭曲等几种，均需在平台上悬空操作，如图 1-3-40 所示。

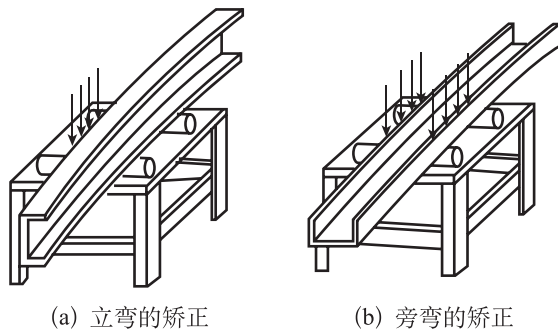


图 1-3-40 槽钢的矫正

(2) 机械矫正。

机械矫正是在矫正机上进行的，使用时根据矫正机的技术性能和实际使用情况进行选择。现在广泛使用的有多种规格的 H 型钢矫正机（图 1-3-41），其矫正原理如图 1-3-42 所示。

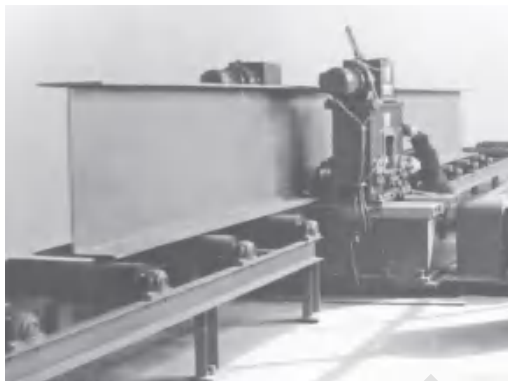


图 1-3-41 H 型钢矫正机图

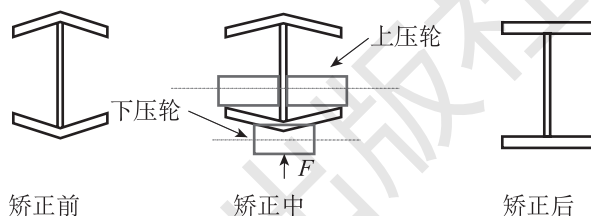


图 1-3-42 H 型钢矫正机工作原理示意图

(3) 火焰矫正。

火焰矫正法是利用氧—乙炔混合气体燃烧放出的热量对焊接构件进行反方向的加热，使火焰加热产生的收缩变形抵消焊接过程中产生的收缩变形。因此，火焰矫正变形既可以减少焊接残余变形，又可以减少焊接残余应力，但火焰矫正控制不当又会产生新的变形。

火焰矫正主要针对钢材的塑性变形，分为全加热矫正和局部加热矫正。加热区形状分点状加热、线状加热、三角形加热三种，选在应力集中的部位，将工件的两端支起，借工件的自重提高矫正效果，火焰矫正的加热温度一般为 $600^{\circ}\text{C} \sim 800^{\circ}\text{C}$ ，过高会引起金属变脆，影响冲击韧性，降低矫正效果。

以上的矫正方式往往是共同进行的，为达到良好的矫正效果，应尽量采用机械矫正。

十一、高强度螺栓摩擦面加工

高强度螺栓摩擦面的处理方法对高强度螺栓的承载能力有着很大的影响，因此施工中要高度重视，常用的摩擦面处理方式有：

1. 喷砂或抛丸处理

用 $0.3 \sim 0.4\text{N/mm}^2$ 的压缩空气，通过砂罐、喷枪，把直径 $0.2 \sim 2.5\text{mm}$ 的天然石

英砂、金刚砂或铁丸均匀喷到钢材表面，使钢材呈浅灰色的毛糙面。这种方法的摩擦系数可达到 $0.6 \sim 0.8$ 。

喷砂过程采用喷砂机，它以压缩空气为动力，以形成高速喷射束将喷料（喷丸玻璃珠、钢丸、钢砂、石英砂、金刚砂、铁砂、海砂）高速喷射到被处理工件表面，使工件外表面的机械性能发生变化（图 1-3-43）。



图 1-3-43 喷砂机

2. 喷砂后生赤锈处理

主要是指用喷砂方法处理后的摩擦面，让其生锈成赤锈面，安装时用软棉麻织物拭去表面浮锈而形成粗糙面的方法。此法处理效果较好，且经济实惠。其处理后抗滑移系数可达到 $0.6 \sim 0.8$ 。

3. 抛丸后摩擦面涂装处理

这是一种不带锈涂装的方法，是在喷砂处理后再在摩擦面上涂刷涂装材料的工艺，方法主要有涂无机富锌漆、热镀锌等，其目的是对摩擦面进行防腐处理。这种工艺一般在露天结构如桥梁工程中应用较多，高层建筑钢结构中用的较少。

4. 砂轮打磨处理

砂轮打磨处理是指用金刚砂轮按构件受力方向的垂直方向打磨，使构件呈银灰色的毛糙面，其摩擦系数可以达到 $0.6 \sim 0.8$ 。

5. 钢丝刷处理

使用钢丝刷将钢材表面的氧化铁皮等污物清理干净。该处理比较简便，仅用于全面地覆盖着氧化皮或有轻微浮锈的钢材表面，并且抗滑移系数要求不高的摩擦面。

6. 酸洗处理

酸洗处理是以弱酸为基底的化学除锈剂，效果虽然良好，但残存的酸性液体将不可避免地存在，继续腐蚀摩擦面，因此使用此法需要慎重。

拓展阅读

钢结构零件及部件加工过程中经常出现违反国家工程技术规范、标准的一些错误做法。表 1-3-13 将常见的禁忌条目列出并加以分析, 保证加工工序的规范性。

表 1-3-13 加工制作禁忌项目与防治措施一览表

序号	禁忌项目	危害性	防治措施
1	放样不在平整的钢平台上进行	放出的实样, 水平面弯曲不平, 使样板、样杆上的较大尺寸出现较大偏差, 影响构件尺寸、精度	放样应在专门钢平台或平板上进行, 平台应平整, 不得翘曲; 平台尺寸应满足构件尺度要求
2	号料、下料时不注意留足切割余量、加工余量和收缩余量等	由于切割、加工、焊接收缩都会引起工件尺寸变化, 不留足余量将会使工件组装后不符合制作尺寸要求, 导致返工、返修, 甚至报废, 增加成本, 影响工期	号料前仔细审图, 核对尺寸、方向, 熟悉制作工艺。对需切割、刨、铣、边缘加工的工件, 应根据工件尺寸的长短留足余量。对焊接量大、尺寸精度要求高的工件, 应根据焊缝多少及尺寸, 留出焊接收缩余量。对有起拱要求的构件的腹板, 要考虑采用何种起拱方式留出起拱量
3	吊车梁、吊车桁架放样不按要求起拱	下料后将会漏掉起拱, 拼装时难以再起拱。在安装就位和使用后, 会产生较大挠度, 降低吊车梁和吊车桁架的承载力, 影响结构稳定	放样时按设计和规范起拱。当设计无要求时, 应按跨度的尺寸比例或按经验值起拱。12m 钢吊车梁腹板放样下料拼接时, 经验起拱值为 5 ~ 10mm, 24m 起拱值为 15 ~ 20mm, 三角形桁架跨度大于 15m, 梯形桁架跨度大于 24m, 可按跨度的 1/500 起拱, 小于以上跨度的, 少量起拱
4	钢材切割面或剪切面出现裂纹、夹渣、分层等缺陷	影响钢结构连接的力学性能和工程质量, 尤其是承受动荷载的结构存在裂纹、夹渣、分层缺陷, 将会造成质量安全事故, 影响使用寿命	钢材经气割或机械切割后, 应全数用观察或用放大镜及百分尺检查切割面或剪切面。对有特殊要求的气割面或剪切面, 或对外观检查有疑义时, 应作渗透、磁粉或超声波探伤检查
5	切割长料时不一次连续切割完成	多次切割的零件变形较大, 收缩不均匀, 从而造成增加矫正工作量	应一次切割完成。对窄而薄的板料, 可采用两台多头切割机从两侧同时切割; 当无多头切割机时, 可采取切割 1 ~ 2m 长时预留 50 ~ 100mm 段不切割, 待全部切割后再切割预留部分
6	低温条件下进行弯曲或矫正工作	低温下, 钢材受外力作用会造成冷脆断裂或冷裂纹, 降低力学性能, 影响构件耐火性	根据环境温度对钢材的影响程度, 严格控制构件加工的温度环境。碳素结构钢在温度低于 -16℃、低合金结构钢在温度低于 -12℃时, 不得进行冷弯曲和冷矫正
7	矫正不按主次顺序进行	可能会产生先矫正的变形在后续矫正完成后, 又产生新的变形, 达不到矫正的预期效果	构件存在多种变形, 应分清主次, 选择变形较严重的一种先进行矫正, 或选择构件的主要变形先进行矫正

续表

序号	禁忌项目	危害性	防治措施
8	热矫正不根据矫正原理选择正确加热部位	矫正时根据金属热胀冷缩和约束原理实现构件的矫正，如不按原理正确选择加热部位和加热点大小，将达不到预期矫正效果	矫正加热区位置要选择在“长纤维”处，即构件变形的拱度处
9	钻削高精度螺栓孔或板叠层数多、长排连接、多排连接群孔不借助钻模夹具	制孔时钻头易于受震动滑动，钻孔间距和孔的尺寸的精度难以保证，造成螺栓安装困难，影响安装质量和受力性能	应采用钻模控制孔间距、尺寸和精度

职业技能知识点考核

- 1. 钢结构加工制作前的准备工作有哪些？
- 2. 编制加工制作工艺规程需依据哪些内容？
- 3. 大流水作业钢结构构件加工制作主要有哪些流程？
- 4. 号料的作用是什么？有哪些方法？
- 5. 制孔方法有哪些？各有什么特点？
- 6. 构件组装方法有哪些？试用范围分别是什么？
- 7. 高强度螺栓摩擦面的处理方法有哪些？哪种应用最为普遍，经济性较好？

学习任务 4 | 钢结构焊接

任务目标

1. 熟悉钢结构焊接方法的工艺过程。
2. 掌握钢结构焊接接头形式、坡口形式、焊接位置要求。
3. 焊接质量的好坏对钢结构构件质量优劣影响重大，应重视钢结构焊接过程的施工监控和质量检验，防止不良的焊接质量缺陷产生。

知识链接

焊接是钢结构制作安装采用的重要工艺方法之一，是通过局部加热、加压、填充金属等手段，使焊件达到原子层面结合成一体的连接方法。它具有不削弱构件截面、设计施工易行、节约钢材等优点。但焊接结构受外界因素影响较大，易出现各种质量缺陷，因此需严格按设计规范标准要求施工和检验。

完成本学习任务后，学生能够开展常规钢结构焊接方法工艺文件的编制工作，正确选择焊接设备型号，具有填写焊接施工涉及的各种材料检查记录单、焊接施工检验记录单的能力。



五色草造型焊接

一、焊接方法概述

1. 焊接方法的特点

焊接方法连接的优点是钢材可采用任何方位、角度、形状相连接，无须在板材上开孔，不削弱截面，构造简单，节省钢材，制造方便，易于实现机械化操作，生产效率高。

但焊缝附近钢材受到高温影响，材质会有变脆的趋势，容易产生焊接残余应力和残余变形，影响结构的疲劳强度。因此相较螺栓连接和铆钉连接而言，焊接连接塑性和韧性较差，容易出现质量缺陷。

2. 焊接方法的分类

根据焊接工艺的特点，可将其分为熔化焊接、固相焊接和钎焊三大类。材料结合时的状态为液相的焊接为熔化焊接；材料结合时状态为固相的焊接为固相焊接；材料结合状态时为固相兼液相的焊接为钎焊。熔化焊接在钢结构中常用的有各种类型电弧焊（如焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护焊、栓钉焊等）、气焊和电阻焊（包括点焊、缝焊、对焊、电渣焊等）。

3. 接头形式

按被连接的构件间的相对位置，可以将接头分为对接接头、搭接接头、T型接头、

角型接头四种，如图 1-4-1 所示。

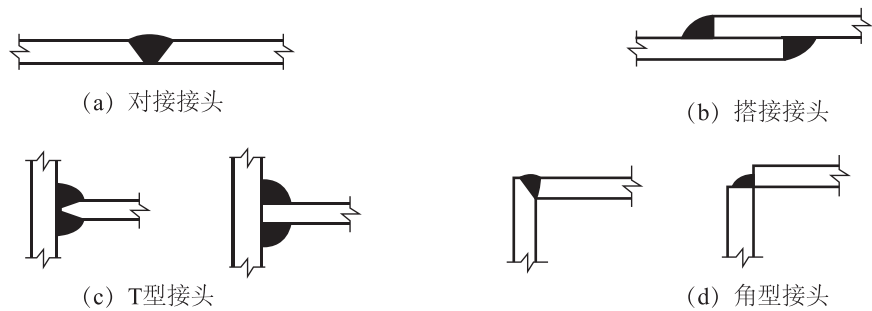


图 1-4-1 焊接接头形式

4. 焊缝类型

焊缝按构造可分为对接焊缝和角焊缝两种类型。对接焊缝用料经济、传力平稳、动力性能好，但较厚的板材需要开坡口，如图 1-4-2 (a)、(b) 所示。角焊缝施工简便，但存在传力不均、应力集中严重和用料不经济的缺点，如图 1-4-2 (c)、(d) 所示。

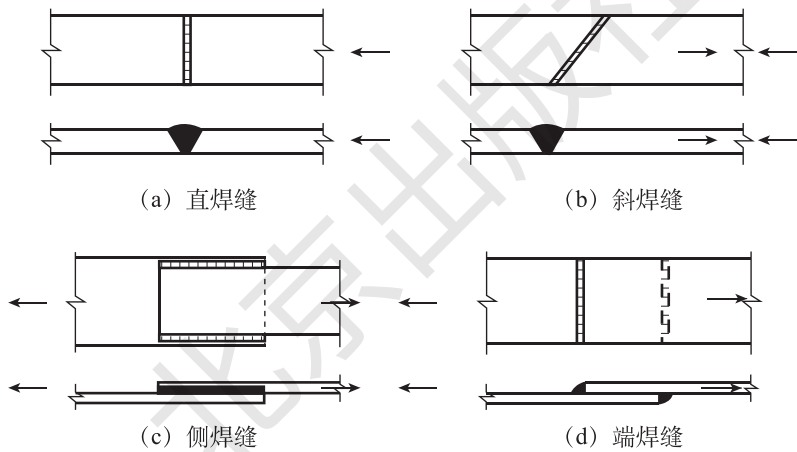


图 1-4-2 对接焊缝类型

5. 施焊位置

焊接时，焊件接缝所处的空间位置有平焊、立焊、横焊和仰焊四种。

(1) 平焊。

平焊时，熔滴依靠自身重力自然垂落至熔池，熔池结晶位置处于水平，结晶条件良好，焊缝成型美观，是所有焊接位置中最适宜于操作的位置，熔池金属不会流失。生产中，应尽量采用各种变位机械将其他各种焊接位置转变为平焊位置，以便于操作，如图 1-4-3 (a) 所示。

(2) 立焊。

立焊时，熔池金属和熔滴因受重力作用具有下坠趋势，和焊件分开，所以容易产生焊瘤。但由于熔渣的熔点低、流动性强，熔池金属和熔渣容易分离，不容易产生夹渣。但由于熔池部分脱离熔渣的保护，所以如果操作或运条角度不当时，容易产生气孔，如

图 1-4-3 (b) 所示。

(3) 横焊。

横焊时，熔池金属受重力作用而下淌至下侧坡口上，容易造成未熔合和夹渣。因此，应采用较小直径的焊条和短弧施焊。采用多层多道焊，能比较容易地防止铁水下淌，但外观不易整齐。操作时应在坡口上边缘稍作停留，并以选定的焊接速度焊至坡口下边缘，做微小的横拉稳弧动作，然后迅速带至上坡口，匀速进行，如图 1-4-3 (c) 所示。

(4) 仰焊。

仰焊基本与立焊、横焊相同，熔滴靠电弧吹力和熔化金属的表面张力过渡于熔池，熔滴的重力阻碍熔滴过渡，熔池金属也受自身重力作用产生下坠。由于熔池金属温度越高，表面张力越小，因此仰焊时极易在焊道背面产生凹陷、正面出现焊瘤，宜用小电流、短弧焊接，如图 1-4-3 (d) 所示。

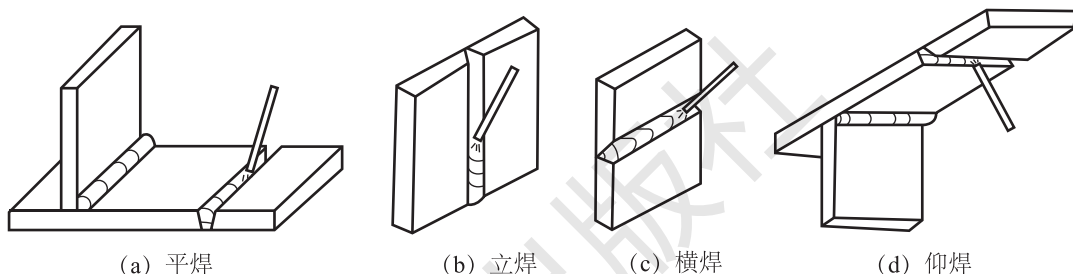


图 1-4-3 焊接位置示意图

6. 焊接质量等级

建筑钢结构中，一般将焊缝分为一级、二级、三级三个质量等级，应按照《钢结构设计标准》(GB 50017—2017) 的规定选择合理的质量等级标准对焊缝质量进行检验验收。

二、常用焊接方法

1. 焊条电弧焊

(1) 概念与原理。

焊条电弧焊也称手工电弧焊，是一种使用手工操作焊条进行焊接的电弧焊方法。手工电弧焊的原理是利用焊条与工件间产生的电弧热将金属熔化进行焊接。焊接过程中焊条药皮熔化，形成气体、熔渣和金属熔池，气体和熔渣对熔池起保护作用，排除周围空气的有害影响，高温熔池金属与熔渣间起冶金反应，还原与净化金属，熔池凝固后成为焊缝，固态焊渣覆盖于焊缝金属表面，如图 1-4-4 所示。



电弧焊

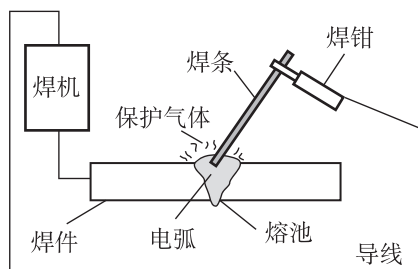


图 1-4-4 焊条电弧焊示意图

(2) 优点与缺点。

焊条电弧焊可用交流弧焊机或直流弧焊机进行焊接，设备简单、维护方便，这也是它应用广泛的原因之一。另外，实现空间任意位置的焊接和焊件金属类型的广泛性也是其主要的优点。

但焊条电弧焊的焊接质量，除与焊条、焊接参数及焊接设备有关外，还取决于焊工的操作技术和经验保证，人为因素影响大。焊条电弧焊主要靠人工操作，劳动条件差，且生产效率较低。

(3) 主要机具。

常用机具包括焊接电源、交（直）流电焊机、焊条烘干机、焊钳、焊接电缆、焊条保温箱等。

(4) 工艺要求。

①焊前准备。包括坡口制备、焊件清理、焊条烘焙、预热等。准备工作直接影响焊接质量，因此需重视焊接前的准备工作。

②坡口制备。根据焊件尺寸、形状、加工工厂的设备条件综合选择，目前常用的有气割、刨边、气刨等方法。

③焊件清理。主要指对待焊部位的清理，彻底清除上面的水分、铁锈、油污、氧化皮等杂物，可采用钢丝刷刷、砂轮磨或抛丸等方法。

④焊条烘焙。按说明书要求进行焊条烘焙和保温，遵循用多少烘焙多少，随烘随用的原则。

⑤焊前预热。在焊接开始前对全部或局部焊件进行预热，达到降低焊接接头冷却速度、减少应力、防止焊接缺陷的目的。

做好了焊前准备，还需要进行焊接参数的选择，具体参数如下：

①焊接电源。采用直流电源焊接时，工件接直流电源正极，焊条接负极时，称为正接，反之称为反接。具体选择何种极性电源，主要从电弧稳定燃烧考虑，一般焊条按说明书选择。用交流弧焊机时，极性不断变化，无须考虑电源极性。

②焊条直径。根据焊件厚度、焊接位置、接头形式、焊接层数等进行选择。为提高效率，宜选择直径较大的焊条，同时考虑焊接位置；但焊件较薄时，应选择直径较小的焊条，焊条直径与焊件厚度关系如表 1-4-1 所示。

表 1-4-1 焊条直径与焊件厚度关系

焊件厚度 /mm	2	3	4 ~ 5	6 ~ 12	> 13
焊条直径 /mm	2	3.2	3.2 ~ 4	4 ~ 5	4 ~ 6

③电弧电压。主要由弧长决定，电弧长，电压高；反之则低。一般情况下，电弧长度等于焊条直径的 0.5 ~ 1 倍为宜，相应的电弧电压为 16 ~ 25V。

④焊接电流。焊接电流越大，熔深越大，焊接效率越高，但电流过大，飞溅大、易产生咬边、焊瘤、烧穿等缺陷。选择焊接电流时应考虑焊条尺寸、类型、焊件厚度、接头形式、焊缝位置等因素。本着优选大的原则进行选择，一般情况下，焊接电流选择如表 1-4-2 所示。

表 1-4-2 焊接电流选择表

焊条直径 (mm)	2.5	3.2	4.0	5.0
电流 (A)	50 ~ 80	100 ~ 130	160 ~ 210	200 ~ 270

⑤焊接速度。速度过快，焊缝窄，易产生夹渣、气孔、裂纹等缺陷；速度过慢，母材易脆，焊缝过宽，一般应与焊接电流配合选择。

⑥焊接层数。厚板焊接时，必须采用多层焊，多层次焊接时，后焊道对前一条焊道起热处理，改善组织和力学性能。

2. 埋弧自动焊

(1) 概念与原理。

电弧在焊剂层下燃烧进行焊接的方法，称为埋弧焊。埋弧焊的焊接过程与焊条电弧焊的基本一样，热源也是电弧，但把焊丝上的药皮改变成了颗粒状的焊剂。焊接时，焊丝与焊件之间的电弧掩埋在 $40 \sim 60\text{mm}$ 厚焊剂层下燃烧，图 1-4-5 所示为焊缝成型示意图。当上述过程中的焊丝送进和焊丝沿焊缝向前移动两种操作均由焊机自动完成时，就是埋弧自动焊，其焊接过程如图 1-4-6 所示。

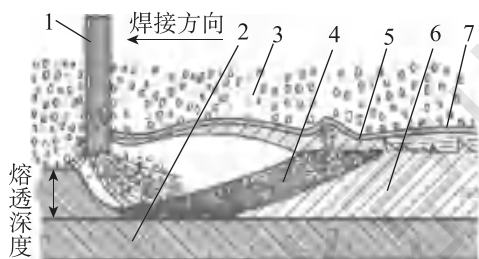


图 1-4-5 埋弧焊时焊缝的形成

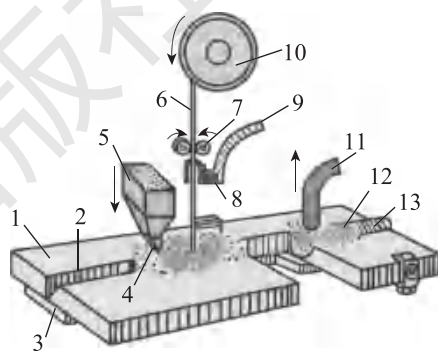


图 1-4-6 埋弧自动焊的焊接过程

- 1—焊丝；2—焊件；3—焊剂；4—液态金属；
5—液态焊剂；6—焊缝；7—焊渣
- 1—焊件；2—V型坡口；3—垫板；4—焊剂；
5—焊剂斗；6—焊丝；7—送丝轮；8—导体；
9—电缆；10—焊丝盘；11—焊剂回收器；
12—焊渣；13—焊缝

(2) 优点与缺点。

埋弧自动焊具有如下优点：

- ①生产效率高。电流大，熔深大，一次不开坡口可焊 20mm ，且熔渣去除容易。
- ②焊接质量好。对焊接熔池保护较完善，焊缝金属中杂质较少，只要焊接工艺选择恰当，较易获得稳定高质量的焊缝。
- ③劳动条件好。除了减轻手工操作的劳动强度外，焊接过程几乎没有烟尘和弧光，通过全自动焊接方式，降低焊工劳动强度。

但埋弧自动焊只能用于平焊和横焊，机动性差；工件边缘准备和装配质量要求较高，费工时；单层大电流焊接焊缝金属晶粒粗大，韧性较差。

(3) 主要机具。

常用机具包括焊接电源、埋弧焊机（图 1-4-7）、焊机回收设备、焊剂烘干设备等。

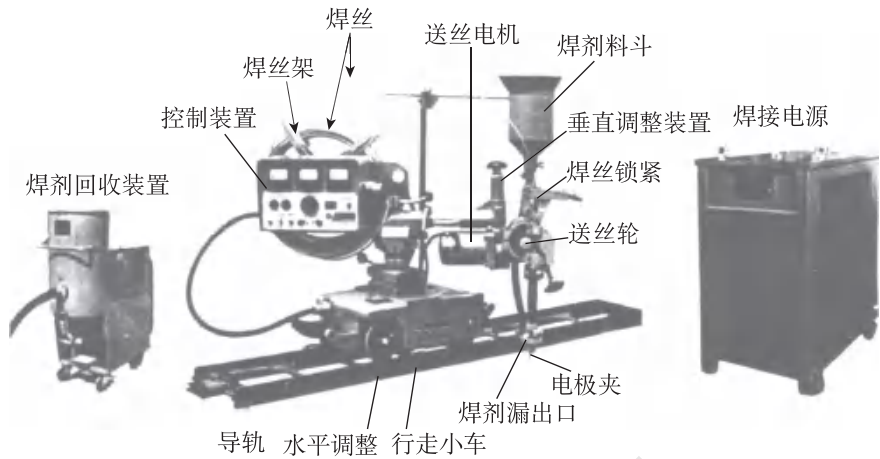


图 1-4-7 埋弧焊装置构成

(4) 工艺要求。

①坡口形式和尺寸。厚度 $< 12\text{mm}$ 的板件可不开坡口，而采用双面焊接达到全焊透要求；厚度在 $12 \sim 20\text{mm}$ 的板材，可单面焊后，背部清根再进行焊接；厚度 $> 20\text{mm}$ 的板材应开坡口后再焊接。坡口形式与焊条电弧焊基本相同，为防止焊穿采用较厚钝边。

②焊接电流。影响熔深的主要因素，通过采用较大电流能提高生产率，但过大后易产生焊瘤等质量缺陷。

③焊接电压。影响熔宽的主要因素，电压过大熔剂熔化快，电弧不稳，易产生咬边、气孔等缺陷。

④焊接速度。影响熔深和熔宽，一般与其成反比。速度过快，易产生咬边、未焊透、气孔等缺陷；速度过慢，焊缝表面易产生满溢、焊瘤、烧穿等缺陷。

⑤焊丝直径与伸出长度。焊接电流不变时，减少焊丝直径，熔深增大，应按表 1-4-3 要求选择。焊丝伸出长度增加，熔敷速度和金属增加。

表 1-4-3 焊丝焊接电流选择表

焊丝直径/mm	2	3	4	5	6
电流密度/(A/mm)	63 ~ 125	50 ~ 85	40 ~ 63	35 ~ 50	28 ~ 42
焊接电流/A	200 ~ 400	350 ~ 600	500 ~ 800	500 ~ 800	800 ~ 1 200

⑥焊丝倾角。单丝焊采用焊丝与工件垂直位置；薄板焊接采用前倾角度。

⑦焊剂层厚度。一般堆放高度为 $25 \sim 50\text{mm}$ ，保证电弧掩埋在焊剂下。焊剂层厚度越大，焊缝余高越大，熔深越浅。厚度过薄时，电弧保护不好，易产生气孔或裂纹；但过厚时，焊缝变窄，易产生表面成型不良的缺陷。

⑧焊剂粒度。焊剂粒度大，熔宽大，熔深略有减小。一般电流大时选择细粒度焊剂，电流小时选择粗粒度焊剂。

⑨焊剂回收次数。为降低成本，将焊剂回收后循环使用，但应清除内部渣粒、杂物

等，反复使用多次的焊剂应与新焊剂混合使用，以减少焊接质量缺陷。

⑩焊丝数目。焊丝数目增加可加大熔宽，提高生产率，在条件满足时，应优先选用双焊丝。

3. CO₂ 气体保护焊

(1) 概念与原理。

CO₂ 气体保护焊属于熔化极气体保护焊。它是利用 CO₂ 气体保护电弧，使电弧与空气隔离，电弧在焊丝和工件之间燃烧，焊丝自动送进，融化了的焊丝和母材形成焊缝，如图 1-4-8 所示。

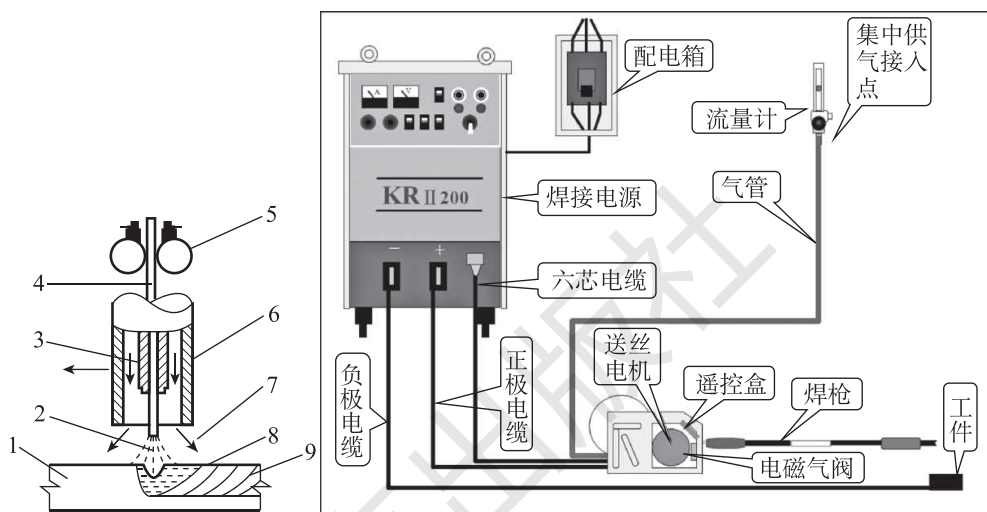


图 1-4-8 CO₂ 气体保护焊焊接示意图

1—母材；2—电弧；3—导电嘴；4—焊丝；5—送丝轮；

6—喷嘴；7—保护气体 CO₂；8—熔池；9—焊缝金属

(2) 优点与缺点。

CO₂ 气体保护焊是应用最广泛的一种熔化极气体保护电弧焊方法，主要有以下优点：

①焊接生产率高。由于焊丝自动送进，焊接时的焊接电流密度大，焊丝的熔化效率高，所以熔敷速度快。焊接生产率比手弧焊高 2 ~ 3 倍。

②焊接范围广。适用于低碳钢、高强度钢、普通铸钢的全位置焊接。

③引弧性能好。能量集中，引弧容易，连续送丝电弧不中断。

④焊接质量好。对铁锈不敏感，焊缝含氢量低，抗裂性能好，受热变形小。

⑤焊接成本低。CO₂ 气体是酿造厂和化工厂的副产品，价格低、来源广，其焊接成本约为焊条电弧焊和埋弧焊的 40% ~ 50%。

但是 CO₂ 气体保护焊也有一些缺点：

①与焊条电弧焊相比设备较复杂。

②抗风能力差，给室外焊接作业带来一定困难。

③与焊条电弧焊和埋弧焊相比，焊缝成型不够美观，焊接飞溅较大。

- ④弧光较强，必须注意劳动保护。
- (3) 工艺要求。
- ①焊前准备。包括坡口制备、焊件清理等。
- ②坡口制备。一般 CO₂ 保护焊电弧较大，熔深较深，因此坡口宜小，钝边宜大，对接间隙不能超过 2mm。板厚 12mm 以下的板块应开 I 型坡口，大于 12mm 的板材开小坡口。
- ③焊件清理。要求坡口正反面周围 20mm 范围内清除上部水分、铁锈、油污、氧化皮等杂物，可采用钢丝刷刷、砂轮磨或抛丸、有机溶剂脱脂等方法。
- 做好了焊前准备，还需要进行焊接参数的选择，具体参数如下：
- ①焊接电流和电压。焊接电流大，则焊丝熔敷速度快，生产效率高。采用恒压电源等速送丝时，一般规律为送丝速度快则焊接电流大，熔敷速度快。焊接电流选择应根据板厚、焊丝直径、施焊位置及要求的熔滴过渡形式。常见焊接电流选择如表 1-4-4 所示。

表 1-4-4 焊接电流选择表

焊丝直径/mm	焊接电流/A	
	细颗粒过渡（电弧电压 30 ~ 45V）	短路过渡（电弧电压 16 ~ 22V）
0.8	150 ~ 250	60 ~ 160
1.2	200 ~ 300	100 ~ 175
1.6	350 ~ 500	120 ~ 180
2.4	600 ~ 750	150 ~ 200

- ②电源极性。采用反接，电弧稳定；反之则不稳定。
- ③焊接速度。根据焊件厚度、接头形式、坡口形式、焊缝位置等对焊接电流和电弧电压进行调整，达到电弧稳定燃烧的效果，然后考虑焊道截面大小，选择焊接速度。其焊接速度的影响与焊条电弧焊相同。
- ④ CO₂ 气体纯度。气体中的水分和碳氢化合物等杂质，对厚板多层焊易产生裂纹，应按照《焊接用二氧化碳》(HG/T 2537) 中的规定要求选择。
- ⑤焊丝伸出长度。焊丝伸出长度是焊丝进入电弧前的通电长度，对焊丝起到预热作用，一般应为焊丝直径的 10 ~ 12 倍。
- ⑥焊枪倾角。焊枪与焊件成前倾角时，焊缝宽、余高小、熔深较浅、焊缝成型好，应优先选用。

三、焊接质量缺陷

1. 分类

根据《金属熔化焊接头缺欠分类及说明》(GB/T 6417.1—2005)，将焊缝缺陷按存在位置和状态分为六类，包括裂纹、孔穴、固体夹杂、未熔合及未焊透、形状和尺寸不良（咬边、焊瘤、烧穿和下塌、错边和角变形、焊缝尺寸不合要求）及上述以外的其他缺欠（电弧擦伤、严重飞溅、母材表面撕裂、磨凿痕、打磨过量等），如图 1-4-9 所示。

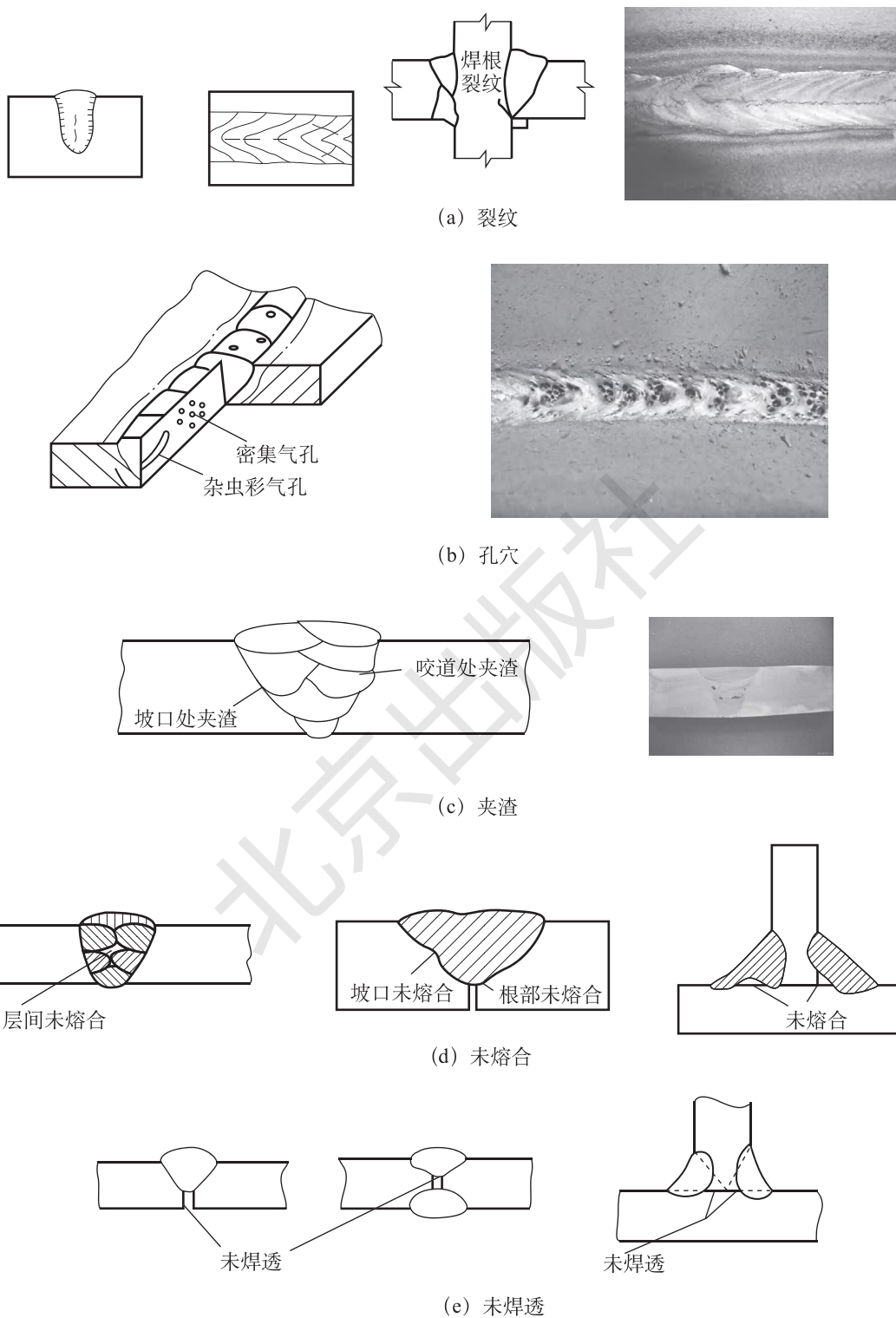


图 1-4-9 焊接质量缺陷

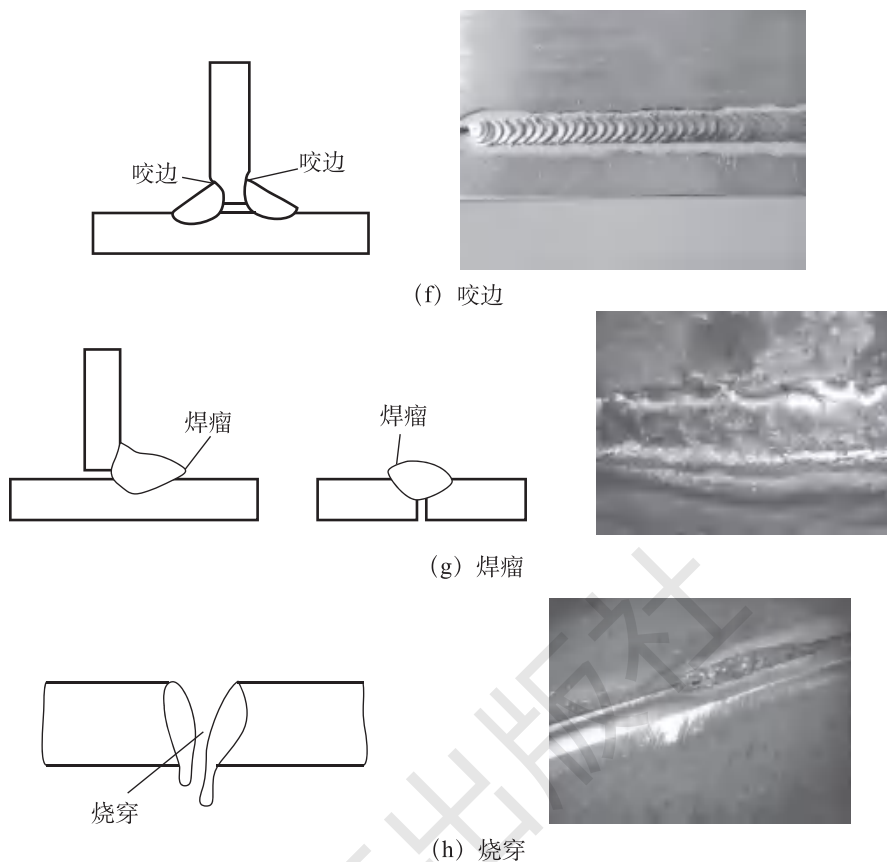


图 1-4-9 焊接质量缺陷 (续)

2. 缺陷对质量的影响

焊接缺陷一般会引起应力集中, 因此对结构的强度、耐久性能均有不利影响, 具体影响如下:

(1) 引起应力集中。

应力集中的大小与缺陷的形状和相对荷载的方位有关。扁平状裂纹平面若与加载方向垂直, 则应力集中严重; 未焊透或条状夹渣缺陷应力集中现象也较为明显; 气孔周围应力集中一般不严重。

(2) 影响结构强度。

缺陷中的咬边、气孔、裂纹、未焊透、未熔合等都会减少结构焊缝位置处有效受力面积, 产生应力集中, 降低接头强度, 易发生脆性断裂。

(3) 降低疲劳强度。

缺陷严重影响结构的疲劳强度, 位于材料近表面的缺陷比内部深度的缺陷对疲劳强度的影响更大, 如裂纹、未熔合、未焊透、咬边等缺陷比球状夹渣、气孔的影响要严重得多。

(4) 降低耐久性。

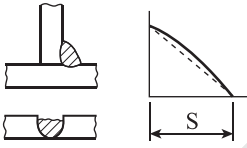
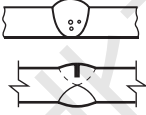
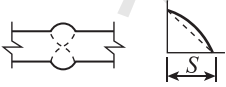
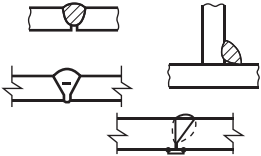
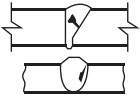
钢结构具有易被腐蚀的特点，通常从裂纹、缝隙、缺口位置发生，会减少结构的使用寿命，降低耐久性。

由于焊接变形处往往存在内应力，是构件发生破坏的主要位置。为减小焊接变形，可采用如下措施：

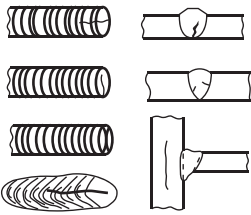
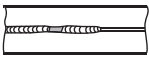
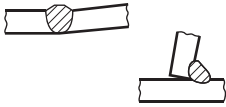
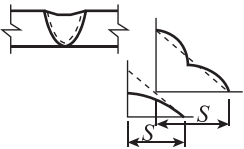
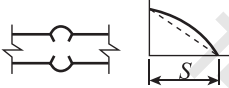
- ①焊接时尽量使焊缝能自由变形，钢构件的焊接要从中间向四周对称进行。
- ②收缩量大的焊缝先焊接。
- ③对称布置的焊缝由成双数焊工同时焊接。
- ④长焊缝焊接可采用分中逐步退焊法或间断焊接。
- ⑤反变形法：在焊接前，预先将焊件在变形相反的方向加以弯曲或倾斜，以消除焊后产生的变形，从而获得正常形状的构件。
- ⑥刚性固定法：用夹具夹紧被焊零件能显著减少焊件残余变形及翘曲。
- ⑦锤击法：锤击焊缝及其周围区域，可以减少收缩应力及变形。

表 1-4-5 为常见焊接缺陷及其改善方法。

表 1-4-5 焊接缺陷及其改善方法

焊接缺陷	图示	改善方法	修补措施
咬边		使用较小电流 减慢焊接速度 使用短弧焊 保持正确的焊条角度 选用合适焊条	补焊后打磨平整
气孔 (凹孔)		使用适当电流 彻底清除干净焊接部位的油污及锈蚀 焊条充分干燥 使用低氢焊条 使用短弧焊	补焊后打磨平整
未熔合		调高焊接电流 调整焊接速度 使用合适的焊条	打磨后补焊
未焊透		加大开槽角度 选择适当直径的焊条 降低焊接速度 调高焊接电流	清根后补焊
夹渣		每层焊道的焊渣彻底清理干净 使用适当的焊接参数，避免焊渣先行卷入 适当加大开槽的根部间隙	用开槽器去除不良部分后补焊

续表

焊接缺陷	图示	改善方法	修补措施
裂纹		母材预热 使用低氢焊条 焊条充分干燥 使用含硫、磷较少的母材(母材须复验合格)	用开槽器去除不良部分, 查明裂纹发生原因、改善施工细则后再行补焊
焊穿		减小拼装间隙 降低焊接电流 提高焊接速度 使用短弧焊	用开槽器去除不良部分后补焊
变形		调整焊接顺序 选择适当的焊接参数 根据设计要求进行预变形 充分使用拘束力, 但应注意是否会产生裂纹	机械矫正 加热矫正
焊缝厚度不足		使用正确的焊条 选择适当的焊接参数 加强管理	清洁后补焊并打磨平整
焊缝余高过大		降低焊接电流 提高焊接速度 使用正确的焊条	用砂轮机磨平

3. 焊接质量检验

焊接质量检验应贯通焊接的全过程, 包括焊前检查、施焊过程检查和焊后检验。焊前检查主要针对母材、焊材、设备、工装、坡口制备、焊工水平和技术文件, 对施焊前的准备工作进行检查; 施焊过程检查主要是检查焊接及相关工艺的执行情况、设备运转情况、结构与焊缝尺寸等; 而焊后检验则是保证合格产品的重要措施, 主要包括外观检查、无损探伤检测和力学性能测试等方面的内容。

焊缝检验时应根据《钢结构工程施工质量验收标准》(GB 50205—2020) 的要求进行抽样检验。抽样检验时, 焊缝长度 $\leq 1\,000\text{mm}$, 记为 1 条焊缝, 焊缝长度 $\geq 1\,000\text{mm}$ 时, 将其划分为每 300mm 为 1 处, 现场安装焊缝每条焊缝为 1 处。对不合格焊接部位应按焊缝缺陷返修规定予以返修, 直至检查合格为止。

(1) 外观检查。

外观检查主要是检查焊缝成型情况, 一般以肉眼观察为主, 有时也借助仪器观察。通过外观检查, 可发现焊缝表面缺陷, 如咬边、焊瘤、表面裂纹、气孔、夹渣及焊穿等缺陷。焊缝的外形尺寸还可采用焊口检测器或样板进行测量。

①由于裂纹的产生阶段从焊接开始至焊后冷却一段时间都有可能, 因此焊缝应以

24h 后的检查结果作为验收依据。

②裂纹检查除采用目测外，还需用 5 倍放大镜在合适光照下检查，必要时可采用无损探伤进行检测，尺寸的测量应使用量具、卡规等工具。

③二级、三级焊缝外观质量标准应符合表 1-4-6 的规定。

表 1-4-6 二级、三级焊缝外观质量标准

焊缝质量等级 检验项目	一级	二级	三级
裂纹	不允许		
未焊满	不允许		$\leq 0.2\text{mm}+0.02t$ 且 $\leq 1\text{mm}$ ，每 100mm 长度焊缝内未焊满累积长度 $\leq 25\text{mm}$
根部收缩	不允许		$\leq 0.2\text{mm}+0.02t$ 且 $\leq 1\text{mm}$ ，长度不限
咬边	不允许	深度 $\leq 0.05t$ 且 $\leq 0.3\text{mm}$ ，连续长度 $\leq 100\text{mm}$ ，且焊缝两侧咬边总长 $\leq 10\%$ 焊缝全长	深度 $\leq 0.1t$ 且 $\leq 0.5\text{mm}$ ，长度不限
电弧擦伤	不允许		允许存在个别电弧擦伤
接头不良	不允许		缺口深度 $\leq 0.05t$ 且 $\leq 0.5\text{mm}$ ，每 1000mm 长度焊缝内不得超过 1 处
表面气孔	不允许		直径小于 1.0mm，每米不多于 3 个，间距不小于 20mm
表面夹渣	不允许		深 $\leq 0.2t$ ，长 $\leq 0.5t$ 且 $\leq 20\text{mm}$

注：表内 t 为连接处较薄的板厚。

④电渣焊、气电立焊接头的焊缝外观应光滑，不得有裂纹、夹渣、焊瘤、未熔合等缺陷；当板厚 $\leq 30\text{mm}$ 时，压痕、咬边深度不得大于 0.5mm；板厚 $\geq 30\text{mm}$ 时，压痕、咬边深度不得大于 1.0mm。

⑤焊缝外观尺寸要求见表 1-4-7 的规定。

表 1-4-7 焊缝外观尺寸要求 (mm)

项目	焊缝种类	允许偏差
焊脚尺寸	主要角焊缝 ^a (包括对接与角接组合焊缝)	$h_f^{+2.0}_0$
	其他角焊缝	$h_f^{+2.0b}_{-1.0}$
焊缝高低差	角焊缝	任意 25mm 范围高低差 $\leq 2.0\text{mm}$
余高	对接焊缝	焊缝宽度 $b \leq 20\text{mm}$ 时 $\leq 2.0\text{mm}$ 焊缝宽度 $b > 20\text{mm}$ 时 $\leq 3.0\text{mm}$
余高铲磨后	横向对接焊缝	高于母材表面不大于 0.5mm 低于母材表面不大于 0.3mm
		不大于 $50\mu\text{m}$

(2) 无损检测。

对焊缝内部的夹渣、气孔、裂纹等缺陷的检验，通常进行无损检测。目前使用最普遍的是采用 X 射线、超声波探伤和磁粉检测三种方式。无损检测应在外观检查合格后进行。

① X 射线检测。X 射线检测是利用 X 射线对焊缝照相，根据底片影像来判断内部有无缺陷、缺陷多少和缺陷类型，再根据产品技术要求评定焊缝是否合格。如图 1-4-10 所示为某钢板对接焊缝 X 射线照相底片，通过检测此处存在密集气孔的内部缺陷。

② 超声波检测。超声波检测是利用材料及其缺陷的声学性能差异，对超声波传播波形反射情况和穿透时间的能量变化来检验材料内部缺陷的无损检测方法。通过反射波与正常波的比较、鉴别，就可以确定缺陷的大小及位置。超声波探伤比 X 射线检测简便易行，因而得到广泛应用。检测前需要在待检部位涂刷耦合剂，图 1-4-11 所示为工人在工厂的自检。



图 1-4-10 X 射线检测底片



图 1-4-11 超声波检测现场

③ 磁粉检测。磁粉检测是利用铁磁性材料和工件被磁化后，如内部存在缺陷，工件表面和近表面的磁力线会发生局部畸变而产生漏磁，吸附施加在工件表面的磁粉，形成磁痕，从而显示出不连续性的位置、形状和大小的检测方法，如图 1-4-12 所示。

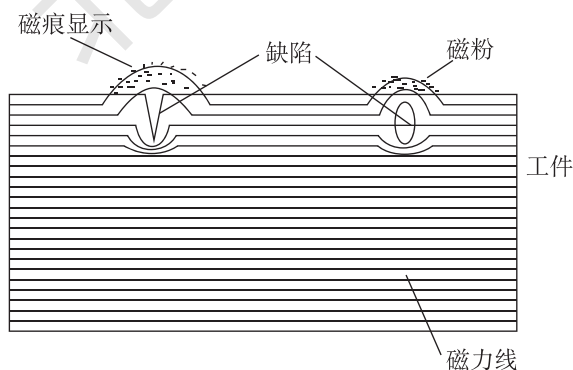


图 1-4-12 磁粉检测原理

(3) 力学性能测试。

根据焊缝级别要求，按设计规定对焊后产品进行力学性能测试，如拉伸、冲击、弯曲试验等，这类试验均属于破坏性试验。

人生启迪

焊缝质量的分层次质量检验是焊接工序质量管理的重要手段，对质量影响重大的工序，务必做到全方位、各层次的质量监督。学生在学习中也应培养自己拥有严谨、认真的工匠精神。

拓展阅读

H 型钢有轧制和焊接两种，目前国内还不能生产大规格 H 型钢，因此常采用焊接 H 型钢，如我们在本单元学习任务 1 中识读图纸中的刚架柱，下柱截面为 BH480×200×6×10，柱长为 7m，材质为 Q345A。H 型钢的加工制作流程如图 1-4-13 所示。

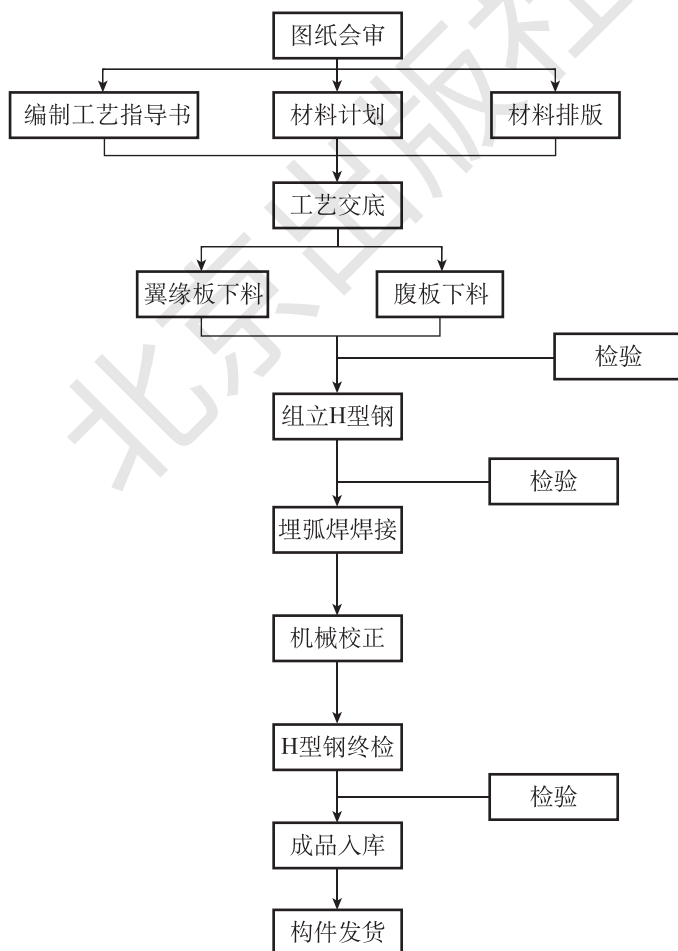


图 1-4-13 H 型钢加工制作流程

一、工艺要求

1. 放样和号料

H 型钢的腹板、翼缘板均在工厂进行切割加工，切割效率和质量直接影响钢柱质量，因此需要采用如下措施：

(1) 放样前熟悉图纸，核对图纸各部分尺寸有无不符之处，与土建和其他安装工程有无矛盾，核对无误后方可按施工图纸上的几何尺寸、技术要求，按照 1:1 的比例画出构件相互之间的尺寸及真实图形。

(2) 样板制出后，必须在上注明图号、零件名称、件数、位置、材料牌号、规格及加工符号等内容，以便使下料工作不发生混乱，同时必须妥善保管样板，防止折叠和锈蚀，以便进行校核。

(3) 为了保证产品质量，防止由于下料不当造成废品，样板应注意适当预放增加余量，腹板、翼缘宽度方向不留余量，长度方向应根据贴角焊缝大小不同，按 0.3% ~ 0.8% 加放余量，具体余量要求见表 1-4-8 的规定。

表 1-4-8 加工余量要求 (mm)

序号	项目	余量要求
1	自动气割	3
2	人工气割	4
3	气割后铣端或刨边	4 ~ 5
4	剪切后无须铣端或刨边	0

(4) 放样、号料满足表 1-3-1 和表 1-3-2 允许偏差的要求。

2. 下料切割 (含坡口处理)

钢板下料采用 CNC 数控切割机切割，具有切割温度高、冲刷力大、切割边质量好、变形小及切割厚钢板的特点，保证了切割出板材的质量要求。具体要求如下：

(1) 检查拼板与下料工程项目、构件号的规格尺寸是否与图纸相符。

(2) 按下料图要求制作角度样板，经检查无误后方可使用。

(3) 切割时应考虑割切、焊接的收缩余量及组装误差，长度一般应放 20 ~ 30mm，切割宽度误差 $\pm 1\text{mm}$ 。

(4) 起吊拼板上平台时，应保证拼板边缘与切割轨道的平行。

(5) 编程后，切割机应空机运行，记录运行轨迹是否与下料尺寸相符，无误后即可切割。

(6) 切割时，根据板厚随时调节火焰大小、氧气压力、切割速度，确保切口光顺平滑。

(7) 切割后，铲除氧化铁，注明工程项目、构件号，核对数量，并堆码整齐，转入组立工序。

3. 组立

组立机床易于工人操作焊接，保证施工质量，因此在大中型钢构加工厂中广泛采用。

组立前事先对已下料构件尺寸进行核查检验，主要是板的尺寸、平直度及坡口处理等方面，合格后方可组立焊接。组立时，注意拼装尺寸，控制腹板与翼缘板的垂直度。定位焊接要确保焊接牢靠，间距不宜过大，保证运至下道工序的安全可靠性。具体要求如下：

- (1) 检查腹板、翼板下料尺寸是否与图纸符合。
- (2) 翼腹板有对接焊缝时，组立时应注意翼腹板焊缝错开 200mm 以上。
- (3) 组立前，将上下翼缘的定位中线和装配边线划出，打上样冲眼记号，并在边线两侧和腹板上下各 30mm 左右范围内用磨光机把铁锈、毛刺等打磨干净。组立时确保腹板对翼板的中心线垂直度偏差为 $b/100$ 且 $\leq 2\text{mm}$ 、中心线偏移 $\leq 1\text{mm}$ 、翼腹板间隙应 $\leq 0.8\text{mm}$ ，以满足埋弧焊的需要。
- (4) 拼装时用手弧焊点焊定位，点焊长度为 50mm 左右，定位焊间距一般为 200 ~ 400mm，焊缝高度不超过设计缝厚度的三分之二，焊条型号应与构件材质相匹配。

4. 组立埋弧自动焊接

具体要求详见本单元任务 3 “八、组立”和《钢结构工程施工质量验收标准》(GB 50205—2020) 的有关规定。应严格控制的偏差如：翼缘板对腹板的垂直度： $\Delta \leq b/100$ ，且不大于 2.0mm。

5. 矫正

- (1) 钢材切割或焊接成型后，均应按实际情况进行平直矫正。
- (2) 好的零件在加热矫正时，加热温度应根据 Q345A 性能选定，不得超过 900℃。
- (3) 翼板的角变形，可用火焰在焊缝外侧用线加热法进行矫正，加热宽度为翼缘板厚度的 2 ~ 3 倍，加热温度为 600℃ ~ 700℃。
- (4) 钢结构在加热矫正后应缓慢冷却，不能用水冷却。
- (5) 矫正的钢材表面，不应有明显的裂缝或损伤。
- (6) 待检查构件表面的氧化铁、焊瘤等清理干净，工程项目、构件号及数量标示准确后，经质检部人员检验合格后方可进入二次制作车间。

二、资源投入

应根据加工板材和设计精度要求，结合加工厂内人员和工机具的条件，合理安排资源。本例中的人员及设备配置如下：

1. 加工人员配置 (表 1-4-9)

表 1-4-9 加工人员配置

工种	人数
铆工	4
CNC 操作工	4
组立机操作工	6
焊工	4
埋弧焊机操作工	6
矫正机操作工	3
其他辅助操作工	5
合计	32

2. 加工设备配置 (表 1-4-10)

表 1-4-10 加工设备配置

序号	设备名称	数量
1	多头直条切割机	1
2	半自动切割机	2
3	H 型组立机	1
4	H 型钢自动埋弧焊机	1
5	矫正机	1
6	龙门式埋弧自动焊机	1
7	焊机	6
8	打磨机	2

职业技能知识点考核

1. 钢结构常用的焊接方法有哪些？其适用范围是什么？
2. 焊接接头的类型有哪些？
3. 焊缝位置有哪几种？哪种质量最不容易得到保证？
4. 常见焊接的缺陷有哪几种？有哪些危害？
5. 如何减少焊接变形？
6. 焊接残余应力是如何产生的？又如何减少？

学习任务 5 | 钢结构涂装

任务目标

1. 了解钢结构锈蚀原理。
2. 熟悉钢结构除锈方法。
3. 熟悉钢结构防腐涂装材料选用。
4. 掌握钢结构涂装施工工艺。
5. 根据工程项目自身特点,按规范要求开展过程监控和质量验收,保证措施可行,兼具科学性和针对性。

知识链接

钢结构最突出的缺点是容易锈蚀,且耐火能力差。如何通过设计施工提高钢结构的耐腐蚀性能和耐火能力是进一步推广钢结构建筑应用的关键。

钢结构涂装是通过将涂料附着于钢结构板材表面与环境隔离,利用涂料性能达到防腐和防火的目的,是目前国内外普遍采用的钢结构防腐和防火施工方式。通过钢结构涂装,可以达到节省材料、延长结构使用寿命、节约资金、保证安全生产、减少环境污染的目的。

钢结构防腐与防火涂装的目的,是防止钢结构锈蚀,延长其使用寿命,达到规定的耐火极限要求。而涂层作用如何取决于涂层的质量,涂层质量的好坏又取决于涂装设计、涂装施工和涂装管理。

涂装设计的内容主要包括:钢材表面处理、除锈方法的选择和除锈质量等级的确定、涂料品种的选择、涂层结构和涂层厚度的设计等。涂装设计是涂装施工和涂装管理的依据和基础,是决定涂层质量的重要因素。

一、钢结构表面处理

1. 表面处理的意义和对象

为了获得合适的表面粗糙度和良好的涂层性能,针对钢结构表面出现的加工缺陷、锈蚀、氧化皮、盐分、油脂、灰尘、旧涂层等问题,需要对钢材进行表面处理。

(1) 铁锈。铁锈的主要成分是铁的多种氧化物的水合物,含有水分、氧和可溶性盐分等,其松散地附着于钢材表面,对漆膜的附着力有影响,可以用打磨和喷砂的方法去除,如图 1-5-1 (a) 所示。

(2) 氧化皮。氧化皮本身是复杂的结构,在受到外界温度变化、机械作用时会发生剥落,对裸钢而言,氧化皮是阴极,这使得钢铁作为阳极会首先被腐蚀,如图 1-5-1 (b)



钢结构表面处理的
目的及要求

所示。

(3) 灰尘和砂粒。表面处理后的灰尘、磨料和其他杂物会引起漆膜附着力差，钢材会发生过早返锈，涂装前必须彻底清除。

(4) 锌盐。锌盐也被称为白锈，是富锌底漆表面的易产物，若在漆膜下面，在高湿度环境下会溶胀而使涂层失去附着力，如图 1-5-1 (c) 所示。



图 1-5-1 常见除锈对象

(5) 油污。大多数涂料与油脂有着排斥力，钢材表面的油污会引起涂料缩孔、附着力差等问题，可采用溶剂进行清理。

除此以外，旧有涂层、钢结构加工过程中产生的飞溅、粗糙焊缝等因素均是影响钢结构涂装材料附着的不利因素，应在涂装前去除，如图 1-5-2 (a)、图 1-5-2 (b) 所示。

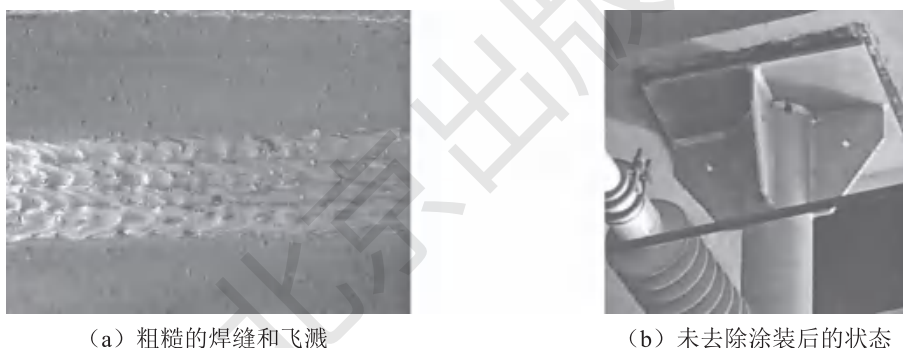


图 1-5-2 飞溅及粗糙焊缝对涂层的影响

2. 除锈方法

(1) 手动工具除锈。

①除锈工具。主要有钢丝刷、刮擦工具、凿刀、小刀、铲锤等，如图 1-5-3 所示。

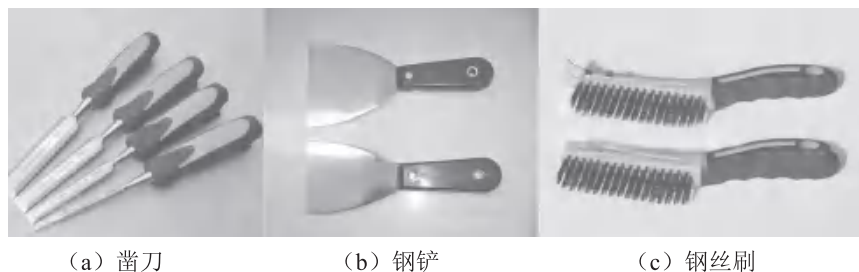


图 1-5-3 手动除锈工具

②特点。采用手动工具除锈，具有便于携带、不需提供能源的优点，非常适合小面

积施工或无法进行打磨喷砂清理的地方；但这种方法速度慢、劳动强度大、人工费用高、质量差，不可能去除所有锈蚀和氧化皮。因此在没有动力设备，或动力工具不能进入的部位，或在进行涂层维修时可以采用此种方法。

(2) 动力工具除锈。

①除锈工机具。主要有旋转钢丝刷、气动砂轮机、冲击工具、铲锤、针铲、活塞铲、旋转铲、直柄砂轮机等，如图 1-5-4 所示。

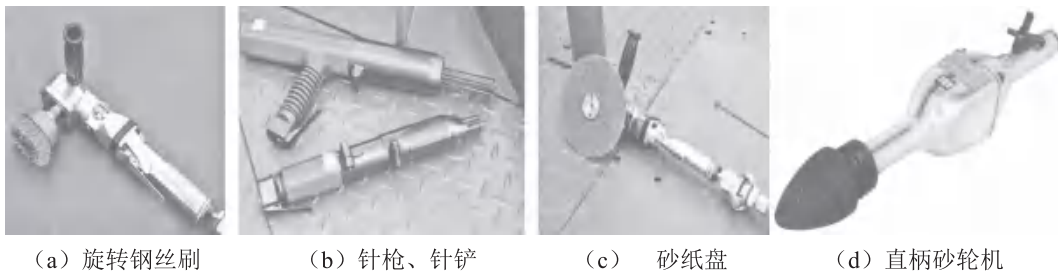


图 1-5-4 动力除锈工具

②特点。动力工具除锈比手动除锈效率高、质量好，但比喷射或抛射除锈效率低、质量差，是一般涂装要求中常用的除锈方法。

(3) 抛丸、喷砂除锈。

抛丸或喷砂除锈方法即采用高速度向待清理表面喷射高浓度的小磨料粒子，除去铁锈、氧化皮或其他表面污物，并获得合适粗糙度表面的一种除锈方法。

①除锈工机具。主要有油水分离器、开放式喷砂清理机、通过式抛丸清理机、吸尘器 etc，如图 1-5-5 所示。



图 1-5-5 抛丸、喷砂除锈设备

磨料是抛丸或喷砂除锈用的主要原料；钢砂具有切割作用，能产生很好的表面粗糙度；钢丸的切割作用较小，不但可以延长设备使用寿命，还可以硬化金属表面，减少应力腐蚀的发生，但价格偏高。

②特点。采用抛丸或喷砂处理钢材表面时，铁锈、氧化皮和旧油漆与一些底材金属一起除去，是最为彻底的一种除锈方式，能获得不同要求的表面粗糙度；但设备复杂，需要一定的操作技术，劳动强度高、费用高。若磨料选择不当，则容易造成构件变形。

③除锈后的工作。除锈后的钢材表面必须用干燥清洁的压缩空气吹扫或用干净的毛刷清扫表面（禁止用布类织物清扫，防止表面留下纤维），推荐采用吸尘器吸扫。对于一般防腐要求的钢材表面，按《涂装油漆和有关产品前钢材预处理》（ISO 8503—2）规定，一般在3级以内，采用压敏胶带法进行表面清洁度灰尘量评定。除锈验收合格的钢材，在厂房内存放的应于24小时内涂完底漆；在厂房外存放的应于当班涂完底漆。

（4）酸洗除锈。

酸洗除锈亦称化学除锈，其原理是利用酸洗液中的酸与金属氧化物进行化学反应，使金属氧化物溶解，生成金属盐并溶于酸液中，而除去钢材表面上的氧化物及锈。酸洗除锈后，应立即冲洗并进行钝化，防止再次返锈。其除锈效率高、质量较好、费用较低，但污染环境、产生的废液不易处理、工艺要求较严格。

3. 钢材表面锈蚀和除锈等级标准

（1）锈蚀等级。

根据国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定》（GB/T 8923.1—2011）对钢材表面分成A、B、C、D四个锈蚀等级，如图1-5-6所示。

A级：全面地覆盖着氧化皮，而几乎没有铁锈；

B级：已发生锈蚀，并有部分氧化皮剥落；

C级：氧化皮因锈蚀而剥落，或者可以刮除，并在正常视力观察下可见轻微点蚀；

D级：氧化皮因锈蚀而剥落，并在正常视力观察下可见普通发生点蚀。

（2）除锈等级。

除锈等级分成喷射或抛射除锈、手工和动力工具除锈、火焰除锈三种类型。

①手工和动力工具除锈。用“St”表示，分为“St2”“St3”两个等级，其文字叙述如下：

St2：彻底的手工和动力工具除锈。钢材表面无可见的油脂和污垢，没有附着不牢的氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物。

St3：非常彻底的手工和动力工具除锈。钢材表面无可见的油脂和污垢，并且没有附着不牢的氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物。除锈比St2更为彻底，底材显露部分的表面具有金属光泽。

②喷射或抛射除锈。用字母“Sa”表示，分为“Sa1”“Sa2”“Sa2 $\frac{1}{2}$ ”“Sa3”四个等级，其文字叙述如下：

Sa1：轻度的喷射或抛射除锈。钢材表面无可见的油脂或污垢，没有附着不牢的氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物。

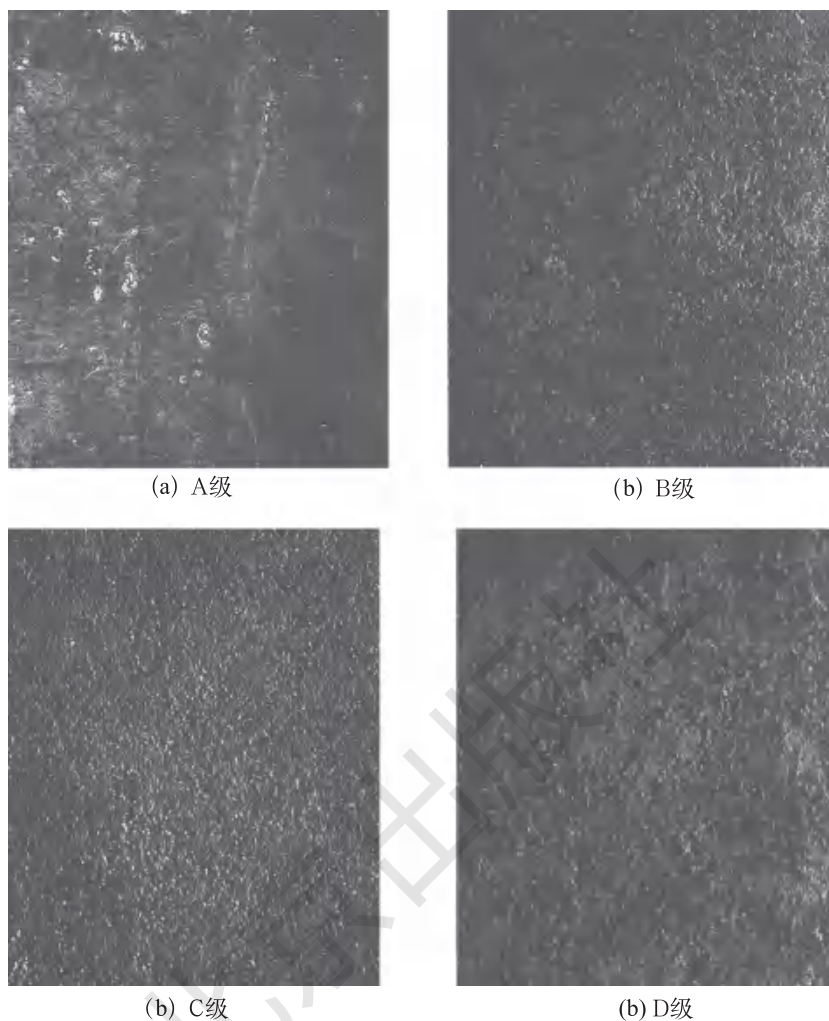


图 1-5-6 锈蚀等级

Sa2: 彻底的喷射或抛射除锈。钢材表面无可见的油脂和污垢, 氧化皮、铁锈等附着物已基本清除, 其残留物应是牢固附着的。

Sa2 $\frac{1}{2}$: 非常彻底的喷射或抛射除锈。钢材表面无可见的油脂、污垢、氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物, 任何残留的痕迹应仅是点状或条状的轻微色斑。

Sa3: 使钢材表面洁净的喷射或抛射除锈。钢材表面无可见的油脂、污垢、氧化皮、铁锈和油漆等附着物, 表面显示为均匀的金属光泽。

③火焰除锈。用字母“F1”表示, 它包括在火焰加热作业后, 以动力钢丝刷清除加热后附着在钢材表面的污物, 只有一个等级, 其文字叙述如下:

F1: 钢材表面无氧化皮、铁锈和油漆层等附着物, 任何残留的痕迹仅为表面变色(不同颜色的暗影)。

评定钢材表面锈蚀等级和除锈等级, 应在良好的散射日光下或在照度良好的人工照明条件下进行。检查人员应具有正常的视力, 把待检查的钢材表面与相应的照片进行

目视比较。评定锈蚀等级时，以相应锈蚀较严重的等级照片所标示的锈蚀等级作为评定结果；评定除锈等级时，以与钢材表面外观最接近的照片所标示的除锈等级作为评定结果。

二、钢结构防腐涂装

1. 防腐涂装的意义与种类

钢结构的腐蚀不仅要造成自身的经济损失，还要直接关系到生产和安全，造成不可估量的影响，因此，做好钢结构的防腐工作具有重要的经济和社会意义。

采用防护层把金属与腐蚀介质隔离开来防止腐蚀原电池的形成而达到防腐目的是目前应用得最多的方法。常用的保护层有金属保护层、化学保护层、非金属保护层等，目前国内外多采用非金属涂装方式进行钢结构防腐。

2. 涂装涂料分类

根据国家标准《涂料产品分类和命名》（GB/T 2705—2003），涂料产品的分类有两种方法：

第一种以涂料的用途来划分，将涂料分成三个主要类别：建筑涂料、工业涂料和通用涂料及辅助材料，详见表 1-5-1。

第二种以涂料产品的主要成膜物质为主线，并适当辅以产品主要用途来划分类别，详见表 1-5-2。

表 1-5-1 涂料的分类方法 1

主要产品类别			主要成膜物类型
建筑涂料	墙面涂料	合成树脂乳液内墙涂料 合成树脂乳液外墙涂料 溶剂型外墙涂料 其他墙面涂料	丙烯酸酯类及其改性共聚乳液；醋酸乙烯及其改性共聚乳液；聚氨酯、氟碳等树脂；无机黏合剂等
	防水涂料	溶剂型树脂防水涂料 聚合物乳液防水涂料 其他防水涂料	EVA、丙烯酸酯类乳液；聚氨酯、沥青、PVC 胶泥或油膏、聚丁二烯等树脂
	地坪涂料	水泥基等非木质地面用涂料	聚氨酯、环氧等树脂
	功能性建筑涂料	防火涂料 防霉（藻）涂料 保温隔热涂料 其他功能性建筑涂料	聚氨酯、环氧、丙烯酸酯类、乙烯类、氟碳等树脂
	汽车涂料（含摩托车涂料）	汽车底漆（电泳漆） 汽车中涂漆 汽车面漆 汽车罩光漆 汽车修补漆 其他汽车专用漆	丙烯酸酯类、聚酯、聚氨酯、醇酸、环氧、氨基、硝基、PVC 等树脂

续表

主要产品类别			主要成膜物类型
工业涂料	木器涂料	溶剂型木器涂料 水性木器涂料 光固化木器涂料 其他木器涂料	聚酯、聚氨酯、丙烯酸酯类、醇酸、硝基、氨基、酚醛、虫胶等树脂
	铁路、公路涂料	铁路车辆涂料 道路标志涂料 其他铁路、公路设施专用涂料	丙烯酸酯类、聚氨酯、环氧、醇酸、乙烯类等树脂
	轻工涂料	自行车涂料 家用电器涂料 仪器、仪表涂料 塑料涂料 纸张涂料 其他轻工专用涂料	聚氨酯、聚酯、醇酸、丙烯酸酯类、环氧、酚醛、氨基、乙烯等树脂
	船舶涂料	船壳及上层建筑物漆 船底防锈漆 船底防污漆 水线漆 甲板漆 其他船舶漆	聚氨酯、醇酸、丙烯酸酯类、环氧、酚醛、氯化橡胶、沥青等树脂
	防腐涂料	桥梁涂料 集装箱涂料 专用埋地管道及设施涂料 耐高温涂料 其他防腐涂料	聚氨酯、丙烯酸酯类、环氧、醇酸、氯化橡胶、乙烯类、沥青、有机硅、氟碳等树脂
	其他专用涂料	卷材涂料 绝缘涂料 机床、农机、工程机械等涂料 航空、航天涂料 军用器械涂料 电子元器件涂料 以上未涵盖的其他专用涂料	聚酯、聚氨酯、环氧、丙烯酸酯类、醇酸、乙烯类、氨基、有机硅、氟碳、酚醛、硝基等树脂
	调和漆 清漆 磁漆 底漆	以上未涵盖的无明确应用领域的涂料产品	改性油脂、天然树脂、酚醛、醇酸等树脂

续表

主要产品类别			主要成膜物类型
工业 涂 料	腻子		
	稀释剂 防潮剂 催干剂 脱漆剂 固化剂 其他通用 涂料及辅助 材料		

注：主要成膜物类型中的树脂类型包括水性、溶剂型、无溶剂型、固体粉末等。

表 1-5-2 涂料的分类方法 2

主要成膜物类型		主要产品类型
油脂漆类	天然植物油、动物油（脂）、合成油等	清油、厚漆、调和漆、防锈漆、其他油脂漆
天然树脂漆类	松香、虫胶、乳酪素、动物胶及其衍生物等	清漆、调和漆、磁漆、底漆、绝缘漆、生漆、其他天然树脂漆
酚醛树脂漆类	酚醛树脂、改性酚醛树脂等	清漆、调和漆、磁漆、底漆、绝缘漆、船舶漆、防锈漆、耐热漆、黑板漆、防腐漆、其他酚醛树脂漆
沥青漆类	天然沥青、（煤）焦油沥青、石油沥青等	清漆、磁漆、底漆、绝缘漆、防污漆、船舶漆、耐酸漆、防腐漆、锅炉漆、其他沥青漆
醇酸树脂漆类	甘油醇酸树脂、季戊四醇醇酸树脂、其他醇类的醇酸树脂、改性醇酸树脂等	清漆、调和漆、磁漆、底漆、绝缘漆、船舶漆、防锈漆、汽车漆、木器漆、其他醇酸树脂漆
氨基树脂漆类	三聚氰胺甲醛树脂、脲（甲）醛树脂及其改性树脂等	清漆、磁漆、绝缘漆、美术漆、闪光漆、汽车漆、其他氨基树脂漆
硝基漆类	硝基纤维素（酯）等	清漆、磁漆、铅笔漆、木器漆、汽车修补漆、其他硝基漆
过氯乙烯树脂漆类	过氯乙烯树脂等	清漆、磁漆、机床漆、防腐漆、可剥漆、胶液、其他过氯乙烯树脂漆
烯类树脂漆类	聚二乙烯乙炔树脂、聚多烯树脂、氯乙烯醋酸乙烯共聚物、聚乙烯醇缩醛树脂、聚苯乙烯树脂、含氟树脂、氯化聚丙烯树脂、石油树脂等	聚乙烯醇缩醛树脂漆、氯化聚烯烃树脂漆、其他烯类树脂漆

3. 涂装设备

涂装设备主要分为涂漆设备、涂膜干燥和固化设备、机械化输送设备、无尘恒温恒湿供风设备及其他附属设备等。

(1) 涂漆设备。

涂漆设备的作用是将喷过的漆雾限制在一定的区域内并经过过滤处理，使操作者得到符合卫生条件、安全规范的工作环境。此外，还应提供具有一定温度、湿度、洁净度的施工条件。常见喷漆室主要有以下类型：

①干式喷漆室：干式喷漆室的优点是结构简单、通风量和风压均匀、涂料损耗小、涂覆效率高，由于不使用水，不必进行废水处理，运行费用低，是目前国际上公认的技术上最完备的喷漆室之一，适用于小批量工件的喷漆。

②水幕喷漆室：水幕喷漆室为湿法处理设备，其设备安全易用、结构简单、运行费用小，适用于中等工件的喷漆。

③水旋式喷漆室：水旋式喷漆室是以水作为介质，采用上送风下抽风的方式，使漆雾与水在喷漆室下部充分混合的漆雾处理设备。其喷漆室平面可大可小，适合于大中型工件的高级喷涂。



干式喷漆室展示

各类喷漆生产设备如图 1-5-7 所示。



(a) 干式喷漆室



(b) 水幕喷漆室



(c) 水旋式喷漆室

图 1-5-7 常用涂漆设备

(2) 浸漆设备。

浸漆设备是将工件浸没于漆液内，利用漆液的黏附性使工件表面黏附一层涂料的钢结构处理设备。按浸漆原理主要分为静电喷涂设备、电泳涂漆设备、粉末静电喷涂设备。

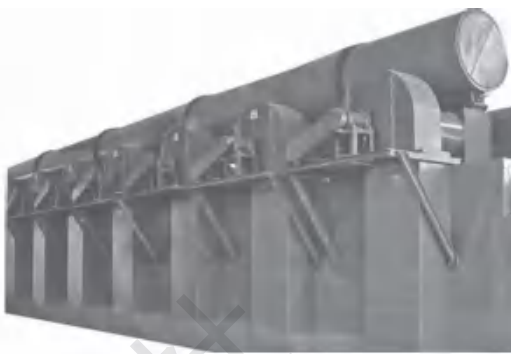
(3) 烘干设备。

烘干设备是应用对流传热的原理，以热空气为载体，通过对流的方式将热量传递于工件使工件加热或利用远红外辐射电加热使工件加热，从而达到涂膜固化、水分烘干的目的。烘干设备的结构主要有：烘干室室体、进出口端、热交换系统、排废（湿）系统、温度控制系统、测温系统、电气控制系统等部分。

常用各类烘干设备如图 1-5-8 所示。



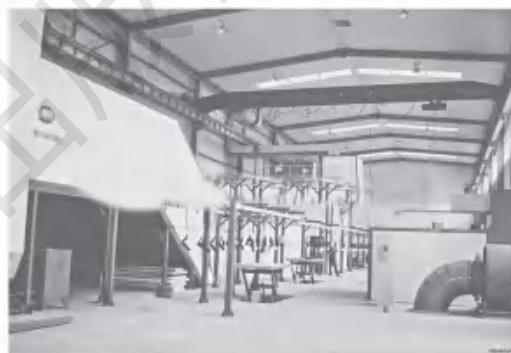
(a) 铸件涂装烘干线



(b) 电加热辅助风箱循环烘箱烘干设备



(c) 客车远红外电加热烘干室烘干设备



(d) 桥式烘干室烘干设备



(e) 双行程桥式烘干室烘干设备



(f) 远红外灯烤漆室烘干设备

图 1-5-8 常用烘干设备

(4) 机械化运输设备。

钢结构涂装过程中需要对零件及构件进行搬运，搬运中使用机械化设备。机械化设备在整个涂装生产线中起着组织协调作用。运输设备主要分为空中输送和地面输送两大类。

空中输送设备有：普通悬挂输送机、双链式悬挂输送机、轻型悬挂输送机、积放式悬挂输送机、自行葫芦输送机等。

地面输送设备有：反向积放式输送机、滑橇输送机、坦克链式输送机、普通地面输送机等。

4. 涂料选用

(1) 涂料品种的选用。

钢结构涂装涂料是一种含油或不含油的胶体溶液，通过涂料与钢材的紧密涂敷形成漆膜，达到钢结构构件防腐的目的。由于涂料品种繁多，对涂料的选择是决定钢结构涂装工程质量好坏的重要因素之一，可根据《工业建筑防腐蚀设计标准》(GB 50046—2018) 规定，并考虑以下因素进行防腐涂料的选用。

- ①考虑涂料用途，是打底还是罩面用。
- ②考虑钢结构使用场合和环境，如潮湿环境、腐蚀气体作用等。
- ③考虑涂料的匹配，使底层涂料与面层涂料之间有良好的黏结力。
- ④考虑技术条件，施工过程中能否满足和良好实现。
- ⑤考虑工程的使用年限、质量要求、耐久性等因素。
- ⑥考虑经济性的要求。

此外，除锈方法、除锈等级和施工方法也影响涂料的选用，如表 1-5-3 ~ 表 1-5-5 所示。

表 1-5-3 同一底漆不同除锈方法的防护效果（年）

除锈方法	红丹、铁红各两道	两道铁红
手工	2 ~ 3	1
A 级不处理	8	3
酸洗	9	5
喷射或抛射	10	6

表 1-5-4 各种底漆与相适应的除锈等级

各种底漆	喷射或抛射除锈		手工除锈		酸洗除锈	
	Sa3	Sa2 $\frac{1}{2}$	Sa2	St3	St2	SP-8
油基漆	A	A	A	B	C	A
酚醛漆	A	A	A	B	C	A
醇酸漆	A	A	A	B	C	A
磷化底漆	A	A	A	B	D	A

续表

各种底漆	喷射或抛射除锈		手工除锈		酸洗除锈	
	Sa3	Sa2 1/2	Sa2	St3	St2	SP-8
沥青漆	A	A	A	B	C	A
聚氨酯漆	A	A	B	C	D	B
氯化橡胶漆	A	A	B	C	D	B
氯磺化聚乙烯漆	A	A	B	C	D	B
环氧漆	A	A	A	B	C	A
环氧煤焦油	A	A	A	B	C	A
有机富锌漆	A	A	B	C	D	C
无机富锌漆	A	A	B	D	D	D
无机硅底漆	A	B	C	D	D	B

注：A—好；B—较好；C—一般；D—不适合。

表 1-5-5 不同施工方法适应的涂料类型

涂料 种类 施工 方法	酯 胶 漆	油性 调和 漆	醇酸 调和 漆	酚 酸 漆	醇 酸 漆	沥 青 漆	硝 基 漆	聚 氨 酯 漆	丙 烯 酸 漆	环 氧 树 脂 漆	过 氯 乙 烯 漆	氯 化 橡 胶 漆	氯 磺 化 聚 乙 烯 漆	聚 酯 漆	乳 胶 漆
刷涂	A	A	A	A	B	B	D	D	D	C	D	C	B	B	A
滚涂	B	A	A	B	B	C	E	C	C	C	E	C	C	B	B
空气喷涂	B	C	B	B	A	B	A	A	A	B	A	A	A	B	B
无气喷涂	B	C	B	B	A	C	A	A	A	B	A	A	A	B	B

注：A—优；B—良；C—中；D—差；E—劣。

(2) 涂层厚度的确定。

涂层厚度一般由基本涂层厚度、防护涂层厚度和附加涂层厚度组成。基本涂层厚度是指涂料在钢材表面上形成均匀、致密、连续的膜所需的厚度。过厚，虽然可增强防护能力，但附着力和机械性能都要降低，而且要增加费用；过薄易产生肉眼看不见的针孔和其他缺陷，起不到隔离环境的作用，施工时可参照表 1-5-6。

表 1-5-6 钢结构涂层厚度参考值（μm）

	基本涂层和防护涂层					
	城镇大气	工业大气	海洋大气	化工大气	高温大气	附加涂层
醇酸漆	100 ~ 150	125 ~ 175				25 ~ 50
沥青漆			180 ~ 240	150 ~ 210		30 ~ 60
环氧漆			175 ~ 225	150 ~ 200	150 ~ 200	25 ~ 50
过氯乙烯漆				160 ~ 200		20 ~ 40

续表

	基本涂层和防护涂层					
	城镇大气	工业大气	海洋大气	化工大气	高温大气	附加涂层
丙烯酸漆		100 ~ 140	140 ~ 180	120 ~ 160		20 ~ 40
聚氨酯漆		100 ~ 140	140 ~ 180	120 ~ 160		20 ~ 40
氯化橡胶漆		120 ~ 160	160 ~ 200	140 ~ 180		20 ~ 40
氯磺化聚乙烯漆		120 ~ 160	160 ~ 200	140 ~ 180	120 ~ 160	20 ~ 40
有机硅漆					100 ~ 140	20 ~ 40

5. 防腐涂装工艺

合理的施工方法的选择,对保证涂装质量、施工进度、经济成本等有很大作用,应根据涂料性质、待涂装构件特点、施工机具条件、施工环境等因素综合考虑确定,常见的涂装方法如表 1-5-7 所示。

表 1-5-7 常用涂料的涂装方法

涂装方法	适用涂料的特性			被涂物	使用工具或设备	主要优、缺点
	干燥速度	黏度	品种			
刷涂法	干性较慢	塑性小	油性漆 酚醛漆 醇酸漆等	一般构件及建筑物,各种设备和管道等	各种毛刷	优点:投资少,涂装方法简单,适用于各种形状及大小面积的涂装 缺点:均匀性较差,表面装饰性较差,涂装效率低
滚涂法	干性较慢	塑性小	油性漆 酚醛漆 醇酸漆等	一般大型平面的构件和管道等	滚子	优点:投资少,涂装方法简单,适用于大面积涂装 缺点:均匀性较差,表面装饰性较差,涂装效率低
浸涂法	干性适当、流平性好、干燥速度适中	触变性好	各种合成树脂涂料	小型零件、设备和机械部件	浸漆槽、离心及真空设备	优点:设备投资较少,施工方法简单,涂料损失少,适用于构造复杂的构件 缺点:有流挂现象,污染现场,溶剂易挥发
空气喷涂法	挥发快,干燥适宜	黏度小	各种硝基漆、橡胶漆、建筑乙烯漆、聚氨酯漆等	各种大型构件及设备和管道	喷枪、空气压缩机、油水分离器等	优点:设备投资较小,涂装效率较刷涂法高,表面光洁 缺点:涂装方法较复杂,消耗溶剂量大,环境污染较严重,易引起火灾
无气喷涂法	具有高沸点溶剂的涂料	高不挥发性,有触变性	厚浆型涂料和不挥发性涂料	各种大型钢结构、桥梁、管道、车辆和船舶等	高压无气喷枪、空气压缩机等	优点:效率比空气喷涂法高,能获得厚涂层 缺点:设备投资较大,涂装方法较复杂,涂料有一定损失,表面装饰性较差

6. 防腐涂装施工要求

涂装施工应在规定的温度和湿度环境下进行,施工前要做好各项准备工作,包括技术资料的准备、设备和工具的准备、进行表面除锈质量的检查等。

(1) 涂装环境要求。

①环境温度要求。施工环境温度过高,溶剂易挥发,漆膜流平性不好;温度过低,漆膜干燥时间长而影响质量。根据《钢结构工程施工规范》(GB 50755—2012)环境温度宜为 $5^{\circ}\text{C}\sim 38^{\circ}\text{C}$,具体温度范围应按照涂料产品说明书的规定执行。

②环境湿度要求。涂装环境的湿度,一般宜在相对湿度小于85%的条件下进行,具体湿度要求根据涂料种类会有所不同。

③钢材表面温度与露点温度要求。根据《钢结构工程施工规范》(GB 50755—2012)的规定,钢材表面的温度必须高于空气露点温度 3°C 以上,方能进行施工。

④涂装环境需采取防护措施。严禁在雨、雾、雪、风沙和烈日下的室外进行涂装施工;在涂层可能受到油污、腐蚀介质、盐分等污染的环境下涂装;在没有安全措施和防火、防爆工具条件下涂装时均需有可靠的防护措施。

⑤施涂油性涂料4h内严禁受雨淋、风吹,或粘上沙砾、尘土、油污等。

(2) 涂装材料要求。

涂料及辅助材料(溶剂、稀释剂等)一般属于化学易燃危险品,应按规定在进厂后,检查产品合格证和质量检验报告单。

涂料及辅助材料不允许露天存放,严禁用敞口容器贮存和运输。必须贮存在通风良好,温度为 $5^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ 的干燥、无直射日光和远离火源的仓库内。运输时,还应符合交通部门的有关规定。

(3) 施工工艺要求。

涂装前应按“开桶→搅拌→配比→熟化→稀释→过滤”的程序操作,然后才能施涂。

在完成钢构件涂装预处理后,可进行涂装施工。涂装施工最基本的工艺流程可表示为:预热→上件→清洗→干燥→喷漆→流平→预热→烘干→缓温→下件。

采用涂刷法施工时,首先选择合适的涂层,选择时要考虑周围环境,并保证底漆和面漆彼此相容。充分搅拌均匀后,先涂刷第一层底漆,涂刷时方向一致,接槎整齐,采用勤沾、短刷的原则,防止流坠。待第一遍底漆刷完干燥后,再刷第二遍底漆,第二遍涂刷方向应与第一遍涂刷方向垂直,这样会使漆膜厚度均匀一致,一般4~8h后底漆才能达到表面干燥,表面干燥前不应涂装面漆。

一般建筑钢结构底漆涂装与面漆涂装时间间隔较长。钢构件涂装防锈漆后送到工地去组装,组装结束后才统一涂装面漆。这样在涂装面漆前需对钢结构表面进行清理,清除安装焊缝焊药,对烧去或碰去漆的构件还应事先补漆。面漆调制时应颜色完全一致,确保稀料合适,面漆使用前应充分搅拌,保持色泽均匀。其工作黏度、稠度应保证涂装时不流坠,不显刷纹。面漆在使用过程中应不断搅和,涂刷的方法和方向与底漆工艺相同。涂装后4h之内不得淋雨。涂层一般做4~5遍。

若采用喷涂施工时,应注意通风、防潮、防火。工作环境及喷漆工具应保持清洁。

在进行大型工件喷涂时可采用电动喷漆枪或静电喷漆。用于喷漆的一切油漆必须掺加配套的稀释剂，掺量以顺利喷出雾状为准。采用喷涂时，一般涂层厚度较薄，故应多喷几遍，每层喷涂时应待上层漆膜已经干燥时再进行。

涂装后应进行必要的检测，检测应特别注意是否有因搬运所造成的撞伤、碰伤及变形而损伤油漆涂膜的现象。

(4) 涂漆部位要求。

钢结构工程有一些部位是禁止涂漆的，如地脚螺栓和底板、高强度螺栓接合面、与混凝土紧贴或埋入的部位等。为防止误涂，涂装前必须用胶带纸等遮蔽保护。

构件上的标记应保护好，涂装时可用胶带纸等遮蔽保护。

(5) 修补涂装要求。

安装之前，仍应对涂装质量进行检查，查漏补缺。整个工程安装完后，除需要进行修补外，还应对以下部位进行补漆：

- ①接合部的外露部位和紧固件等。
- ②安装时焊接及烧损的部位。
- ③标记和漏涂的部位。
- ④运输和组装时损坏的部位。

三、钢结构防火涂装

1. 防火涂装的意义

钢结构是不燃体，但其对温度变化敏感，在温度达到 250℃ 以上后，钢材的强度开始迅速下降；达到 600℃ 时，其承载力几乎为零。实例表明，不加保护的钢构件的耐火极限仅为 10 ~ 20min。没有做防火措施的钢结构建筑一旦遭受火灾，将会对人民的生命和财产造成严重危害，因此，对钢结构建筑进行防火处理是非常重要的。

钢结构防火措施主要有涂料防火和构造防火两类。采用涂料施涂于建筑物及构筑的钢结构表面，形成耐火隔热保护层以提高钢结构耐火极限的方法称为涂料防火。

2. 防火涂料的分类

按涂层厚度及性能特点，钢结构防火涂料可分为：超薄膨胀型、薄涂膨胀型和厚涂型防火涂料。

超薄膨胀型（代号 CB）和薄涂膨胀型（代号 B）钢结构防火涂料主要以有机材料为主，如以特殊结构的聚甲基丙烯酸酯等作为基料黏合剂，附以高聚合度聚磷酸铵、三聚氰胺等为防火阻燃体系，或以水性聚合物作基料，配以阻燃剂复合体系、防火添加剂、耐火纤维等组成。其防火隔热原理是防火涂料层在受火时膨胀发泡，形成的泡沫层隔绝氧气，并延滞热量传向被保护基材的速率；涂层膨胀发泡过程因为体积扩大而呈现吸热反应，消耗了燃烧时的热量，有利于降低体系的温度。这几个方面的作用，使防火涂料产生了显著的防火隔热效果。

厚涂型防火涂料（代号 H）以无机胶结料（如水玻璃、硅溶胶等），再配以无机轻质绝热骨料材料（如膨胀珍珠岩、膨胀蛭石、粉煤灰等）、防火添加剂、化学药剂和增强材料（如硅酸铝纤维、岩棉、陶瓷纤维、玻璃纤维等）及填料等混合配制而成。其防火原

理是涂料的涂层本身是不燃的，对钢构件起屏障和防止热辐射的作用，避免了火焰和高温直接进攻钢构件；涂料中的有些组分遇火相互反应而生成不燃气体的过程是吸热反应，也消耗了大量的热，有利于降低体系温度，故防火效果显著。

3. 防火涂料的选用

民用建筑及大型公共建筑的承重钢结构应采用防火涂料进行防火。一般由建筑师与结构工程师按建筑物耐火等级及构件耐火时限确定防火涂料要求，施工单位根据中国工程建设标准化协会标准《钢结构防火涂料应用技术规程》(T/CECS 24—2020) 的规定，按要求进行施工。

各类防火涂料的特性及适用范围如表 1-5-8 所示，选用时应优先选用薄涂膨胀型防火涂料。选用厚涂型防火涂料时，外表面需要做装饰面隔护。装饰要求较高的部位可以选用超薄膨胀型防火涂料。

表 1-5-8 防火涂料的特性及适用范围

防火涂料类别	特性	厚度 /mm	耐火极限 /h	适用范围
超薄膨胀型防火涂料	附着力强，干燥快，可以配色，有装饰效果，一般不需要外保护层	≤ 3	2.0	工业与民用建筑梁、柱等钢结构
薄涂膨胀型防火涂料	附着力强，可以配色，一般不需要外保护层	3 ~ 7	2.0	工业与民用建筑楼盖与屋盖钢结构
厚涂型防火涂料	喷涂施工，密度小，物理强度和附着力低，需要装饰面层隔护	8 ~ 45	3.0	有装饰面层的建筑钢结构柱、梁等
露天防火涂料	喷涂施工，有良好的耐火性	薄涂 3 ~ 7 厚涂 8 ~ 45	2.0 3.0	露天环境中的框架、构架等钢结构

防火涂料本身的不燃性和阻隔延缓火势蔓延的性能，能够较好地保护基材，由此也可看出防火涂料是影响耐火极限的重要因素，因此应根据以下原则和方法确定防火涂料的厚度。

(1) 按照规范对钢结构构件和部位的耐火极限要求(表 1-5-9)，根据标准耐火试验数据设计相应的涂层厚度。

表 1-5-9 防火涂料的特性及适用范围

构件名称		一般工业与民用建筑				高层民用建筑	
		耐火等级					
		一级	二级	三级	四级	一级	二级
		耐火极限 (h)					
柱	支承多层的柱	3.00	2.50	2.50	0.50	3.00	2.50
	支撑单层的柱	2.50	2.00	2.00			
梁		2.00	1.50	1.00	0.50	2.00	1.50
楼板		1.50	1.00	0.50	0.25	1.50	1.00
屋顶承重构件		1.50	0.50				
疏散楼梯		1.50	1.00	1.00			

(2) 防火涂料的涂层厚度应采用实际构件耐火试验时的厚度。当构件的截面尺寸或

形状与试验标准构件不同时,应按以下公式计算所需要的防火涂层厚度。

$$T_1 = \frac{W_2/D_2}{W_1/D_1} \times T_2 \times K$$

式中: T_1 ——待喷防火涂层厚度 (mm);

T_2 ——标准试验时的涂层厚度 (mm);

W_1 ——待喷构件重量 (kg/m);

W_2 ——标准试验时的构件重量 (kg/m);

D_1 ——待喷构件防火涂层接触面周长 (mm);

D_2 ——标准试验时构件防火涂层接触面周长 (mm);

K ——系数。对钢梁, $K=1$; 对钢柱, $K=1.25$ 。

公式的限定条件: $W/D \geq 22$, $T \geq 9\text{mm}$, 耐火极限 $t \geq 1\text{h}$ 。

4. 防火涂装施工的一般要求

(1) 钢结构防火涂料的生产厂家、检验机构、涂装施工单位均应具有相应资质, 并通过公安消防部门的认证。

(2) 钢结构涂料涂装前, 构件应安装完毕并验收合格。如若提前施工, 应考虑施工后补喷。

(3) 钢结构喷涂前, 应进行除锈, 除锈方法和除锈等级根据设计和使用要求确定。对于大多数钢结构, 在喷涂防火涂料前都需要涂防锈底漆, 防锈底漆与防火涂料应有良好的相容性。如防火涂料本身有一定的防锈作用, 此时可直接喷涂防火涂料。

(4) 钢结构表面灰尘、油污、杂物应清理干净, 其连接处的缝隙应用防火涂料或其他材料填平后方可施工。

(5) 喷涂前应检查防火涂料的品名、质量是否满足要求, 是否有厂方的合格证、检测机构的耐火性能检测报告和理化性能检测报告。

(6) 喷涂钢结构防火涂料应在室内装饰之前和不被后期工程所损坏的条件下进行。喷涂时, 对不需作防火保护的墙面、门窗、机器设备和其他构件应采用塑料布遮挡保护。刚喷好的涂层应防止雨淋、脏液污染和机械撞击。

(7) 涂料施工过程中, 环境温度宜在 $5^{\circ}\text{C} \sim 38^{\circ}\text{C}$ 之间, 相对湿度不应大于 85%, 空气应流动, 作业时风速不应大于 5m/s , 涂装时构件表面不应有结露, 涂装后 4h 内应免受雨淋。

(8) 防火涂装施工工艺流程遵循“施工准备→调配涂料→涂装施工→检查验收”四个步骤来进行。

5. 薄涂膨胀型防火涂料施工工艺及要求

(1) 施工方法与机具。

薄涂膨胀型防火涂料进行底层涂料施工时, 应采用喷涂方法。面层装饰涂料, 可以采用刷涂、喷涂或滚涂等方法, 一般采用喷涂施工。局部修补或小面积施工, 或不具备喷涂条件时, 可采用抹灰刀等工具进行手工抹涂方法。

一般采用重力式喷枪, 并配置能自动调压的 $0.6 \sim 0.9\text{m}^3/\text{min}$ 的空压机。喷涂底层及主涂层时, 喷嘴直径为 $4 \sim 6\text{mm}$, 空气压力为 $0.4 \sim 0.6\text{MPa}$ 。如采用喷底层涂料的

喷枪，应将喷嘴直径换为 1 ~ 2mm，空气压力调为 0.4MPa 左右。

(2) 涂料配制。

①单组份涂料，现场采用便携式搅拌器搅拌均匀；双组份涂料，按产品说明书规定的配比混合搅拌。

②防火涂料配制搅拌，应边配边用，当天配制的涂料必须在说明书规定的时间内用完。

③搅拌和调配涂料时，应使之均匀一致，且稠度应适宜，既能在输送管道中畅通流动，又能在喷涂后不会产生流淌和下坠现象。

(3) 喷涂施工操作要点。

薄涂膨胀型涂料施工分底层涂装施工和面层涂装施工，对底层施工有如下施工操作与质量要求：

①底涂层一般应喷 2 ~ 3 遍，待前遍基本干燥后再喷后一遍。头遍喷涂盖住基底面 70% 即可，第二、三遍喷涂以每遍厚度不超过 2.5mm 为宜。

②喷涂保护方式、喷涂层数和涂层厚度应根据防火设计要求来确定。

③喷涂时，操作工手握喷枪要稳，运行速度保持稳定，喷枪要垂直于被喷涂钢构件表面，喷距为 6 ~ 10mm。

④施工过程中，操作者应随时采用测厚针检测涂层厚度，确保各部位涂层达到设计规定的厚度要求。

⑤喷涂后，喷涂形成的涂层是粒状表面，当设计要求涂层表面平整光滑时，待喷完最后一遍应采用抹灰刀等工具进行抹平处理，以确保涂层表面均匀平整。

薄涂膨胀型涂料面层施工操作与质量要求为：

①当底层厚度符合设计规定并基本干燥后，进行面层涂料喷涂。

②面层涂料一般涂饰 1 ~ 2 遍。如第一遍是从左至右喷，第二遍则应从右至左喷，以确保全部覆盖住底层。面涂用料为 0.5 ~ 1.0kg/m²。

③面层施工应确保各部分颜色均匀一致，接搓平整。

6. 厚涂型防火涂料施工工艺及要求

(1) 施工方法与机具。

厚涂型防火涂料一般采用压送式喷涂机喷涂，配备能够自动调压的空压机，空气压力为 0.4 ~ 0.6MPa，喷枪口直径为 6 ~ 10mm。厚涂型涂料配料时应严格按配合比加料或加稀释剂，并使稠度适当，使喷涂后不会流淌和下坠，并注意边配边用。局部修补和小面积构件采用抹灰刀等工具手工抹涂方法来施工。

施工时应分遍完成，每遍喷涂厚度一般为 5 ~ 10mm，必须在前一遍基本干燥或固化后，再喷涂第二遍。喷涂保护方式、喷涂遍数与涂层厚度应根据施工工艺要求确定。操作者应用测厚针随时检测涂层厚度，80% 及以上面积的涂层总厚度应符合有关耐火极限的设计要求，且最薄处厚度不应低于设计要求的 85%。喷涂后的涂层，应剔除乳突，表面应均匀平整。当出现下列情况之一时，应铲除涂层重新喷涂：

①涂层干燥固化不好。

②黏结不牢或粉化、空鼓、脱落。

③钢结构的接头、转角处的涂层有明显凹陷。

④涂层表面有浮浆或裂缝宽度大于 1.0mm 等。

(2) 涂料配制。

①由工厂制造好的单组份湿涂料，现场应采用便携式搅拌器搅拌均匀。

②由工厂提供的干粉料，现场加水或其他稀释剂调配，应按涂料说明书规定配比混合搅拌。

③由工厂提供的双组份涂料，按配制涂料说明书规定的配比混合搅拌。特别是化学固化干燥的涂料，配制的涂料必须在规定的时间内用完。

④防火涂料配制搅拌，应边配边用，当天配制的涂料必须在说明书规定的时间内使用完。

⑤搅拌和调配涂料时，应使其均匀一致，且稠度适宜，既能在输送管道中畅通流动，又在喷涂后不会产生流淌和下坠现象。

(3) 喷涂施工操作要点。

①喷涂一般分若干次完成，第一次喷涂基本盖住钢材基面或底漆即可，以后每次喷涂厚度为 5 ~ 10mm，一般为 7mm 左右为宜。必须在前一次涂层基本干燥或固化后再接着喷，通常情况下，每天喷一遍即可。

②喷涂保护方式、喷涂次数与涂层厚度应根据防火设计要求来确定。当耐火极限为 0.5 ~ 3h 时，涂层厚度为 8 ~ 45mm，一般需喷 1 ~ 6 次。

③喷涂时，操作者应紧握喷枪，保持喷枪与构件表面垂直，喷距为 6 ~ 10mm，喷涂气压保持在 0.4 ~ 0.6MPa。喷枪运行速度要保持稳定，不要在同一位置久留，避免造成涂料堆积流淌。喷涂过程中，配料及往喷涂机内加料均要连续进行，不得停顿。

④喷涂过程中，操作者应采用测厚针随时检测涂层厚度，直至符合设计厚度方可停止喷涂。

⑤喷涂后，对明显凹凸不平处，涂层应适当采用抹灰刀等工具剔除和补涂处理，以确保涂层表面均匀。

7. 防火涂料涂装工程验收

(1) 防火涂料涂装前钢材表面除锈及防锈底漆涂装应符合规定。按构件数抽查 10% 且同类构件不应少于 3 件。表面除锈用铲刀检查和用图片对照观察检查；底漆涂装用干漆膜测厚仪检查，每个构件检测 5 处。

测针（厚度测量仪），由针杆和可滑动的圆盘组成，圆盘始终保持与针杆垂直，并在其上装有固定装置，圆盘直径不大于 30mm，以保持完全接触被测试件的表面。当厚度测量仪不易插入被测试件中，也可使用其他适宜的方法测试。测试时，将测厚探针垂直插入防火涂层直至钢材表面上，然后记录标尺读数，如图 1-5-9 所示。

(2) 防火涂料不应有误涂、漏涂，涂层应闭合，无脱层、空鼓、明显凹陷、粉化松散和浮浆等外观缺陷，应剔除乳突。

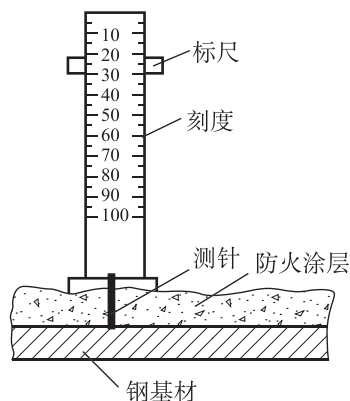


图 1-5-9 防火涂料测试位置

(3) 薄涂膨胀型防火涂料涂层表面裂纹宽度不应大于 0.5mm，厚涂型防火涂料涂层表面裂纹宽度不应大于 1mm。按同类构件数抽查 10%，均不应少于 3 件。

(4) 薄涂膨胀型防火涂料涂层厚度应符合设计要求。厚涂型防火涂料涂层的厚度，80% 及以上面积应符合设计要求，且最薄处厚度不应低于设计要求的 85%。用涂层厚度测试仪、测针和钢尺检查，应符合下列规定：

①测点选定。楼板和防火墙的防火涂层厚度测定，可选两相邻纵、横轴线相交中的面积为单元，在其对角线上每米选一点；全钢框架结构的梁、柱以及桁架结构的上下弦的防火涂层厚度测定，在构件长度上每隔 3m 取一截面，按图 1-5-10 所示位置测试；桁架结构其他腹杆每根取一截面检测。

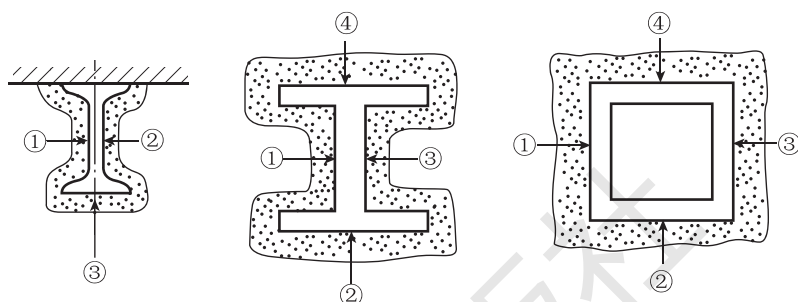


图 1-5-10 防火涂料测试位置

②测量结果。对于楼板和墙面在所选择面积中至少测 5 点；对于梁、柱在所选位置中分别测出 6 个和 8 个点，分别计算出它们的平均值，精确到 0.5mm。

8. 防火涂装成品保护

- (1) 钢构件涂装后，应加以临时围护隔离，防止踏踩，损伤涂层。
- (2) 钢构件涂装后，在 24h 之内如遇大风或下雨时，应加以覆盖，防止沾染灰尘或水汽，避免影响涂层附着力。
- (3) 涂装后的钢构件应注意防止磕碰，防止涂层损坏。
- (4) 涂装前，对其他半成品应做好遮蔽保护，防止污染。
- (5) 做好防火涂料涂层的维护与维修工作。如遇剧烈震动、机械碰撞或暴雨袭击等，应检查涂层有无受损，并及时对涂层受损部位进行修理或采取其他处理措施。

9. 安全环保措施

- (1) 安全生产和劳动保护是全面质量控制的重要保证，在施工过程中应严格执行国家和企业有关安全和劳动保护法规。
- (2) 高空作业必须系安全带，防止高空坠落等事故发生。
- (3) 溶剂型防火涂料施工时，必须在现场配备灭火器材等消防器材，严禁现场有明火，并设置明显的禁止烟火的警示标志。
- (4) 施工人员进入施工现场应戴安全帽、口罩、手套和防尘眼镜等个人防护用品。
- (5) 防火涂料应储存在阴凉的仓库里，仓库内温度不宜高于 35℃，不应低于 5℃，严禁露天存放或日晒雨淋。
- (6) 涂装施工前，应做好对周围环境和半成品的遮蔽保护工作，防止污染环境。

拓展阅读

防火涂料的应用介绍

在前面的学习中,我们已经了解到钢结构防火涂料的三个种类分别是超薄膨胀型涂料、薄涂膨胀型涂料和厚涂型涂料(图 1-5-11)。下面向大家介绍一下这几个种类涂料的具体性能和实际应用情况。



图 1-5-11 钢结构防火涂料品种

(1) 超薄膨胀型钢结构防火涂料(CB类)。

指防火涂层厚度在3mm以下,主要以溶剂型为主,具有很好的装饰和理化性能。它在受火时膨胀发泡形成致密、强度高的防火隔离层,该防火隔离层极大地延缓了被保护钢材的升温,提高了钢结构构件的耐火极限。常见的应用品种如图 1-5-12 所示。



图 1-5-12 常用超薄膨胀型钢结构防火涂料品种

近年来,轻钢结构在工厂中的应用备受青睐,各种轻钢梁、网架等也可用该类型防火涂料进行保护。由于该类防火涂料涂层超薄,工程中使用量较厚型、薄型钢结构防火涂料大大减少,从而降低了工程总费用,又使钢结构得到了有效的防火保护,是目前消防部门大力推广的品种,其用量约占钢结构防火涂料的70%。图 1-5-13 为超薄膨胀型防火涂料的应用领域。



图 1-5-13 超薄膨胀型钢结构防火涂料应用范围

(2) 薄涂膨胀型钢结构防火涂料 (B 类)。

指防火涂层厚度为 $3 \sim 7\text{mm}$ ，高温时膨胀增厚。这类钢结构防火涂料一般是用合适的水性聚合物做基料，再配以阻燃剂复合体系、防火添加剂、耐火纤维等组成，其防火原理同超薄膨胀型。其装饰性优于厚涂型防火涂料，稍差于超薄膨胀型钢结构防火涂料。常用在耐火极限在 2h 以内的钢结构防火保护工程中，通常采用喷涂施工。如可对高层民用建筑中的梁、一般工业与民用建筑中支承单层的柱、梁、楼板以及屋顶承重构件中的钢结构进行防火保护。图 1-5-14 所示为薄涂膨胀型防火涂料的常见应用领域。

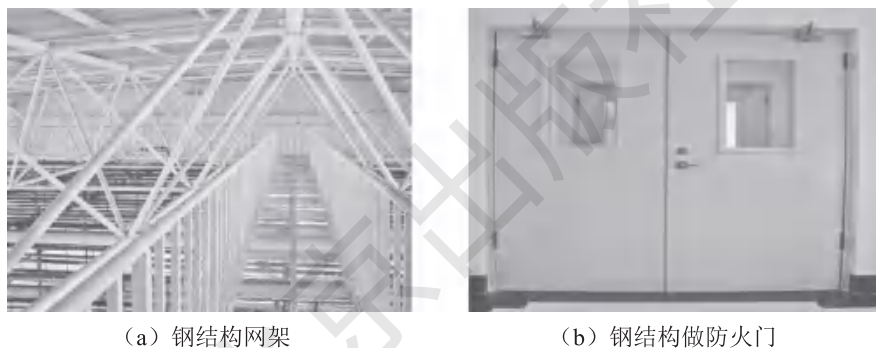


图 1-5-14 薄涂膨胀型钢结构防火涂料的应用范围

(3) 厚涂型钢结构防火涂料 (H 类)。

指防火涂层厚度在 $8 \sim 50\text{mm}$ 之间，其在火灾中利用材料的不燃性、低导热性或涂层中材料的吸热性，延缓钢材的温升，保护钢材。施工常采用喷涂或抹涂，一般用在耐火极限 $\geq 2\text{h}$ 的钢结构防火保护中。如高层民用建筑的柱、一般工业与民用建筑中的支承多层的柱的耐火极限均应达到 3h ，需采用该厚涂型防火涂料保护，其应用普遍性仅次于超薄膨胀型防火涂料，约占 20% 。图 1-5-15 所示为厚涂型防火涂料的常见应用领域。



图 1-5-15 厚涂型钢结构防火涂料的应用范围

人生启迪

任何时候，安全始终是人们需要考虑的第一要素。防火性能成为建筑设计中的重要考量因素。无论是美丽建筑还是美好生活，都承受不起“付之一炬”的伤害。钢结构建筑防火涂装就是防患于未“燃”的一种重要措施。我们在学习中要时刻把建筑防火安全放在心上。

职业技能知识点考核

1. 钢结构防腐涂装刷涂法的施工操作有哪些要求？
2. 空气喷涂法和无气喷涂法有什么区别？
3. 钢结构防火涂料的分类有哪几种？
4. 除锈等级分成哪几类？有什么特点？

学习任务 6 | 钢结构成品检验、包装、贮存与运输

■ 任务目标

1. 了解钢结构构件检验内容。
2. 熟悉构件制作允许偏差的规范要求。
3. 熟悉焊缝质量检验要求。
4. 掌握验收工具和仪器的使用方法。
5. 针对项目特点，设计包装、贮存和运输方案。

知识链接

钢结构成品检验指对加工工厂制作完成的钢结构产品，如柱、梁、桁架、支撑、吊车梁、杆件、节点等进行规范要求的检验项目中的性能进行测量、检查、试验等，并将结果与标准规定进行比较，以确定每项性能是否合格所进行的活动，是保证钢结构成品构件在现场顺利安装施工的前提。

检验合格的成品构件需要通过运输进入施工现场，因此需根据工程地理位置和构件规格尺寸及重量选择合适的运输方式和运输线路，同时通过设计良好的包装措施防止构件变形，涂层损伤。

一、钢结构成品检验

1. 基本知识

钢结构成品质量主要指的是工厂加工完成的各类构件的内在质量和外观质量。内在质量主要包括焊缝质量和构件尺寸，外观质量主要是观感质量，其具体质量要求应符合国家标准《钢结构工程施工质量验收标准》(GB 50205—2020)的要求以及设计或合同文件的要求。

《钢结构工程施工质量验收标准》中规定构件的质量检验项目分为主控项目和一般项目。主控项目是指建筑工程中对安全、卫生、环境保护和公众利益起决定性作用的项目；一般项目是指除主控项目以外的检验项目。主控项目必须符合规范合格质量标准的要求，一般项目其检验结果应有 80% 及以上的检查点（值）符合规范合格质量标准的要求，且最大值不应超过其允许偏差值的 1.2 倍。

2. 成品构件检验内容

无论是施工方的自检还是施工方与业主方的交接检查，对构件的检验内容与检验标准都是相同的，因此以下检验对两者都有效。根据常用的钢结构建筑类型，钢结构成品检验主要分为普通钢结构构件成品检验与钢网架成品检验，其检验内容主要包括以下几个方面：

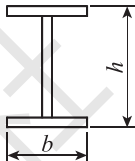
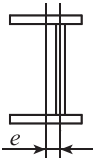
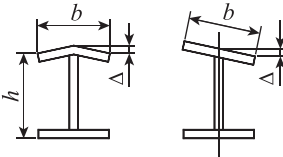
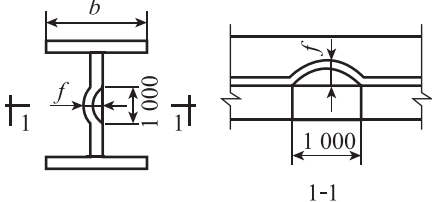
焊接 H 型钢构件制作几何尺寸检查、箱形构件尺寸检查、十字形构件尺寸检查、单层钢柱制作几何尺寸检查、多节钢柱制作几何尺寸检查、焊接实腹梁、钢梁制作外形几何尺寸检查、钢桁架制作外形尺寸检查、钢管件制作外形几何尺寸检查、墙架、檩条、支撑系统构件制作外形尺寸检查、焊接空心球加工尺寸检查、螺栓球加工尺寸检查等内容。

3. 成品构件检验标准

《钢结构工程施工质量验收标准》(GB 50205—2020) 中规定钢构件外形尺寸主控项目的允许偏差如表 1-6-1 至表 1-6-15 所示。

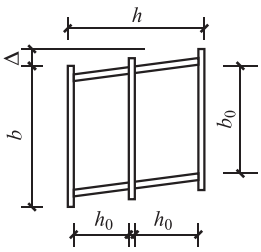
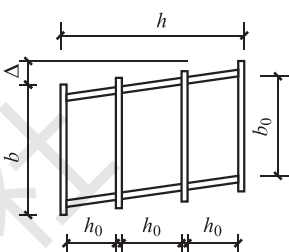
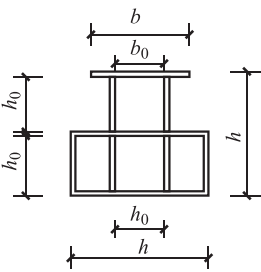
构件的焊缝质量要求见本单元学习任务 4 中的内容。

表 1-6-1 焊接 H 型钢尺寸的允许偏差 (mm)

项目		允许偏差	图例
截面高度 h	$h < 500$	± 2.0	
	$500 \leq h \leq 1\,000$	± 3.0	
	$h > 1\,000$	± 4.0	
截面高度 b		± 3.0	
腹板中心偏移 e		2.0	
翼缘板垂直度 Δ		$b/100$, 且不大于 3.0	
弯曲矢高		$L/1\,000$, 且不大于 10.0	—
扭曲		$h/250$, 且不大于 5.0	—
腹板局部平面度 f	$t \leq 6$	4.0	
	$6 < t < 14$	3.0	
	$t \geq 14$	2.0	

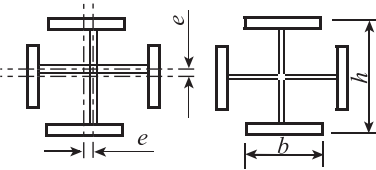
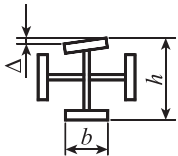
注: L 为焊接 H 型钢长度。

表 1-6-2 箱形构件尺寸的允许偏差（mm）

项目		允许偏差		图例
双箱体	箱形截面高度 h	连接处	± 4.0	
		非连接处	$+8.0$ -4.0	
	翼板宽度 b	± 2.0		
	腹板间距 b_0	± 3.0		
	翼板间距 h_0	± 3.0		
	垂直度 Δ	$h/150$, 且 不大于 6.0		
三箱体	箱形截面尺寸 h	连接处	± 4.0	
		非连接处	$+8.0$ -4.0	
	翼板宽度 b	± 2.0		
	腹板间距 b_0	± 3.0		
	翼板间距 h_0	± 3.0		
	垂直度 Δ	不大于 6.0		
特殊箱体	箱形截面尺寸 h	连接处	± 5.0	
		非连接处	$+12.0$ -5.00	
	腹板间距 b_0	± 3.0		
	翼板间距 h_0	± 3.0		
	垂直度 Δ	$h/150$, 且 不大于 5.0		
	箱形截面尺寸 b	± 2.0		

注: L 为箱形构件长度。

表 1-6-3 十字形构件尺寸的允许偏差（mm）

项目			允许偏差	检验方法	图例
截面 尺寸	$h(b) \leq 500$		± 2.0	用钢尺 检查	
	$500 < h(b) \leq 1000$		± 3.0		
	$h(b) > 1000$	连接处	± 3.0		
		其他处	± 4.0		
中心偏移 (e)			2.0		
柱身板 垂直度 (Δ)	连接处		1.5	用直角尺 和钢尺检 查	
	其他处		$b/150$, 且不应大于 5.0		

续表

项目		允许偏差	检验方法	图例
弯曲矢高		$L/1\,000$, 且不应大于 10.0	用拉线、 吊线和钢 尺检查	/
扭曲	连接处	$h/250$, 且不 应大于 3.0	用拉线、 吊线和钢 尺检查	/
	其他处	$h/250$, 且不 应大于 5.0		

注: L 为十字形构件长度。

表 1-6-4 焊接连接制作组装的允许偏差 (mm)

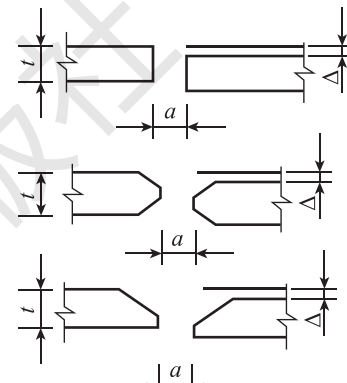
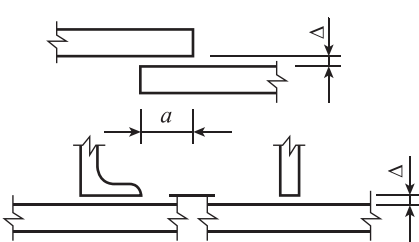
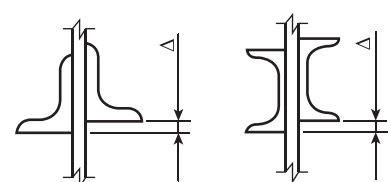
项目		允许偏差	检验方法	图例
对口错边 (Δ)		$t/10$, 且不应大于 3.0	用焊缝量规 检查	
间隙 (a)		± 1.0		
搭接长度 (a)		± 5.0	用钢尺检查	
缝隙 (Δ)		1.5	用塞尺检查	
型钢错位 (Δ)	连接处	1.0	用焊缝量规 检查	
	其他处	2.0		

表 1-6-5 钢构件外形尺寸主控项目的允许偏差（mm）

项目	允许偏差
单层柱、梁、桁架受力支托（支承面）表面至第一个安装孔距离	±1.0
多节柱铰平面至第一个安装孔距离	±1.0
实腹梁两端最外侧安装孔距离	±3.0
构件连接处的截面几何尺寸	±3.0
柱、梁连接处的腹板中心线偏移	2.0
受压构件（杆件）弯曲矢高	$l/1\,000$ ，且不应大于 10.0

表 1-6-6 单层钢柱外形尺寸的允许偏差（mm）

项目		允许偏差	检验方法	图例
柱底面到柱端与桁架连接的最上一个安装孔距离 (l)		$\pm l/1\ 500 \pm 15.0$	用钢尺检查	
柱底面到牛腿支承面距离 (l_1)		$\pm l_1/2\ 000 \pm 8.0$		
牛腿面的翘曲 Δ		2.0	用拉线、直角尺和钢尺检查	
柱身弯曲矢高		$H/1\ 200$, 且不应大于 12.0		
柱身扭曲	牛腿处	3.0	用拉线、吊线和钢尺检查	
	其他处	8.0		
柱截面几何尺寸	连接处	± 3.0	用钢尺检查	
	非连接处	± 4.0		
翼缘对腹板的垂直度	连接处	1.5	用直角尺和钢尺检查	
	其他处	$b/100$, 且不应大于 5.0		
柱脚底板平面度		5.0	用 1m 直尺和塞尺检查	
柱脚螺栓孔中心对柱轴线的距离		3.0	用钢尺检查	

表 1-6-7 多节钢柱外形尺寸的允许偏差 (mm)

项目		允许偏差	检验方法	图例
一节柱高度 (H)		± 3.0	用钢尺 检查	
两端最外侧安装孔距离 (l_3)		± 2.0		
铣平面到第一个安装孔距离 (a)		± 1.0		
柱身弯曲矢高		$H/1500$, 且不应大于 5.0	用拉线和 钢尺检查	
一节柱的柱身扭曲		$H/250$, 且不应大于 5.0	用拉线、 吊线和钢 尺检查	
牛腿端孔到柱轴线距离 (l_2)		± 3.0	用钢尺 检查	
牛腿的翘曲或 扭曲 (Δ)	$l_2 \leq 1000\text{mm}$	2.0	用尺和钢 尺检查	
	$l_2 > 1000\text{mm}$	3.0		
柱脚底板平面度		5.0	用直尺和 塞尺检查	
翼缘板对腹板 的垂直度	连接处	1.5	用直尺和 钢尺检查	
	其他处	$b/100$, 且不应大于 5.0		
柱脚螺栓孔对柱轴线的距离 (a)		3.0	用钢尺 检查	
箱形截面连接处对角线差		3.0		
箱形柱身板垂直度		$h(b)/150$, 且不应大于 5.0	用直尺和 钢尺检查	

表 1-6-8 焊接实腹钢梁外形尺寸的允许偏差 (mm)

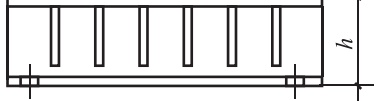
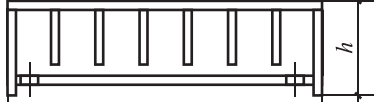
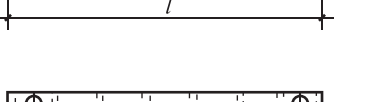
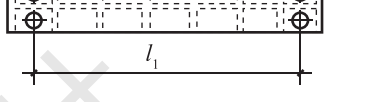
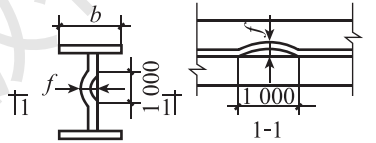
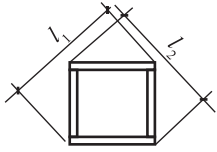
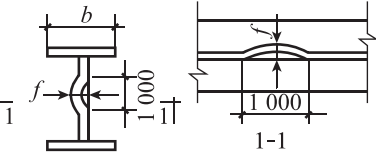
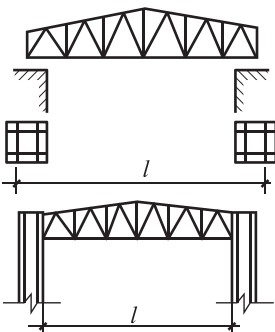
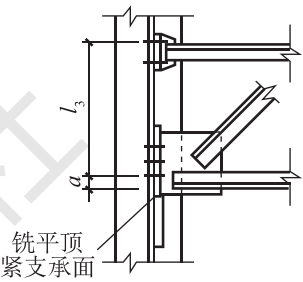
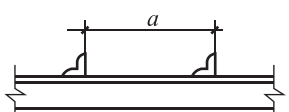
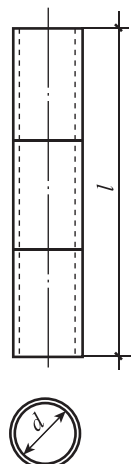
项目		允许偏差	检验方法	图例
梁长度 (l)	端部有凸缘支座板	0 -5.0	用钢尺检查	
	其他形式	$\pm l/2\ 500 \pm 5.0$		
端部高度	$h \leq 2\ 000\text{mm}$	± 2.0	用拉线和钢尺检查	
	$h > 2\ 000\text{mm}$	± 3.0		
拱度	设计要求起拱	$\pm l/5\ 000$	用拉线和钢尺检查	
	设计未要求起拱	10.0 -5.0		
侧弯矢高		$l/2\ 000$, 且不应大于 10.0	用拉线、吊线和钢尺检查	
扭曲		$h/250$, 且不应大于 10.0		
腹板局部平整度	$t \leq 6\text{mm}$	5.0	用 1m 直尺和塞尺检查	
	$6 < t < 14\text{mm}$	4.0		
	$t \geq 14\text{mm}$	3.0		
翼缘板对腹板的垂直度		$b/100$, 且不应大于 3.0	用直角尺和钢尺检查	/
吊车梁上翼缘与轨道接触面平整度		1.0	用 200m、1m 直尺和塞尺检查	/
箱形截面对角线差		5.0	用钢尺检查	
箱形截面连接处对角线差		3.0		
箱形截面两腹板至翼缘板中心线距离	连接处	1.0		
	其他处	1.5		
梁端板的平面度		$h/500$, 且不应大于 2.0	用直角尺和钢尺检查	/
梁端板与腹板的垂直度		$h/500$, 且不应大于 2.0	用直角尺和钢尺检查	/

表 1-6-9 钢屋架（桁架）外形尺寸的允许偏差（mm）

项目		允许偏差	检验方法	图例
桁架最外端两个孔或两端支承面最外侧距离	$l \leq 24\text{mm}$	± 3.0 -7.0	用钢尺检查	
	$l > 24\text{mm}$	± 5.0 -10.0		
桁架跨中高度		± 10.0		
桁架跨中拱度	设计要求起拱	$\pm l/5\ 000$		
	设计未要求起拱	10.0 -5.0		
相邻节间弦杆弯曲（受压除外）		$l/1\ 000$		
支承面到第一个安装孔距离 a		± 1.0	用钢尺检查	
檩条连接支座间距		± 3.0		

注：吊车桁架严禁下挠。

表 1-6-10 钢管构件外形尺寸的允许偏差（mm）

项目	允许偏差	检验方法	图例
直径 (d)	$\pm d/250$ ± 5.0	用钢尺检查	
构件长度 (z)	± 3.0		
管口圆度	$d/250$, 且不应大于 5.0	用焊缝量规检查	
管面对管轴的垂直度	$d/500$, 且不应大于 3.0		
弯曲矢高	$d/1\ 500$, 且不应大于 5.0	用拉线、吊线和钢尺检查	
对口错边	$t/10$, 且不应大于 3.0	用拉线和钢尺检查	

注：对矩形管， d 为长边尺寸。

表 1-6-11 墙架、檩条、支撑系统钢构件外形尺寸的允许偏差（mm）

项目	允许偏差	检验方法
构件长度 (l)	± 4.0	用钢尺检查
构件两端最外侧安装孔距离 (l_1)	± 3.0	
构件弯曲矢高	$l/1\,000$ ，且不应大于 10.0	用拉线和钢尺检查
截面尺寸	$+5.0$ -2.0	用钢尺检查

表 1-6-12 钢平台、钢梯和防护钢栏杆外形尺寸的允许偏差（mm）

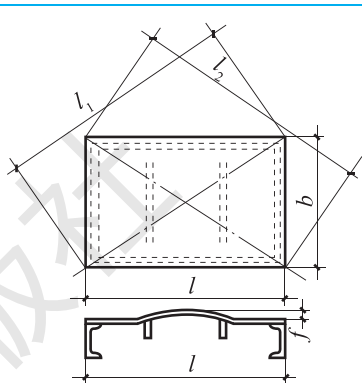
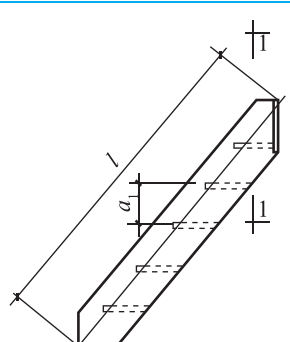
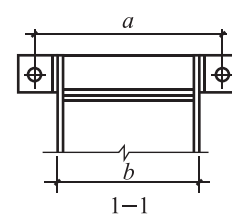
项目	允许偏差	检验方法	图例
平台长度和宽度	± 5.0	用钢尺检查	
平台两对角线差 $ l_1 - l_2 $	6.0		
平台支柱高度	± 3.0		
平台支柱弯曲矢高	5.0	用拉线和钢尺检查	
平台表面平面度 (1m 范围内)	6.0	用 1m 直尺和塞尺检查	
梯梁长度 (l)	± 5.0	用钢尺检查	
梯梁宽度 (b)	± 5.0		
梯梁安装孔距离 (a)	± 3.0		

表 1-6-13 焊接空心球加工允许偏差 (mm)

项目	规格	允许偏差	检验方法
直径	$D \leq 300$	± 1.5	用卡尺和游标卡尺检查
	$300 < D \leq 500$	± 2.5	
	$500 < D \leq 800$	± 3.5	
	$D > 800$	± 4.0	
圆度	$D \leq 300$	1.5	用卡尺和游标卡尺检查
	$300 < D \leq 500$	2.5	
	$500 < D \leq 800$	3.5	
	$D > 800$	4.0	
壁厚减薄量	$t \leq 10$	$\leq 18\%t$, 且不应大于 1.5	用卡尺和测厚仪检查
	$10 < t \leq 16$	$\leq 15\%t$, 且不应大于 2.0	
	$16 < t \leq 22$	$\leq 12\%t$, 且不应大于 2.5	
	$22 < t \leq 45$	$\leq 11\%t$, 且不应大于 3.5	
	$t > 45$	$\leq 8\%t$, 且不应大于 4.0	
对口错边量	$t \leq 20$	$\leq 10\%t$, 且不应大于 1.0	用套模和游标卡尺检查
	$20 < t \leq 40$	2.0	
	$t > 40$	3.0	
焊缝余高	/	0 ~ 1.5	用焊缝量规检查

注: D 为焊接空心球的外径, t 为焊接空心球的壁厚。

表 1-6-14 螺栓球加工允许偏差 (mm)

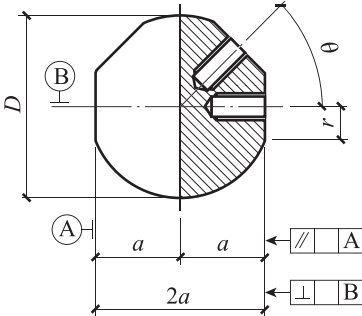
项目		允许偏差	检验方法	图例
毛坯球直径	$D \leq 120$	+2.0 -1.0	用卡尺和游标卡尺检查	
	$D > 120$	+3.0 -1.5		
球的圆度	$D \leq 120$	1.5	用卡尺和游标卡尺检查	
	$120 < D \leq 250$	2.5		
	$D > 250$	3.0		
同一轴线上两铣平面平行度	$D \leq 120$	0.2	用百分表 V 形块检查	
	$D > 120$	0.3		
铣平面距球中心距离 (a)		± 0.2	用游标卡尺检查	
相邻两螺纹孔夹角 (θ)		$\pm 30'$	用分度头检查	
两铣平面与螺栓孔轴线垂直度		$0.5\%r$	用百分表检查	

表 1-6-15 钢网架 (桁架) 用钢管杆件加工允许偏差 (mm)

项目	允许偏差	检验方法
长度	± 1.0	用钢尺和百分表检查
端面对管轴的垂直度	$0.5\%r$	用百分表 V 形块检查
管口曲线	1.0	用套模和游标卡尺检查

注: r 为钢管半径。

4. 成品构件检查工具和仪器

钢结构成品验收时，必须采用经计量检定、校准合格的计量器具。主要器具如表 1-6-16 所示。

表 1-6-16 钢结构成品检验工具

名称	规格、型号	说明
焊缝检验尺	SK	用来测量焊接件坡口角度和焊缝宽度、高度，焊接间隙的一种专用量具
磁粉探伤仪	DA-400S	固定的 DC 磁场用于表面缺陷的检测，无电弧
游标卡尺	0 ~ 300mm	用于测量内外尺寸、深度、台阶尺寸，并用于找圆心、平行线等划线工作
钢卷尺	50m 30m	测量
塞尺	100 ~ 300mm	测量两平面间间隙的量具。根据国家标准编组它是由多种不同厚度组装而成的成套量具

5. 验收资料内容

钢结构制作工厂在成品出厂时应提供钢结构出厂合格证书及技术文件，其中应包括：

- (1) 设计图、施工详图和设计变更文件，设计变更的内容应在施工图中的相应部位注明。
- (2) 制作中相关技术问题处理的协议文件。
- (3) 钢材、连接材料和涂装材料的质量证明书和试验报告。
- (4) 焊接工艺评定报告。
- (5) 高强度螺栓摩擦面抗滑移系数试验报告、焊缝无损检验报告及涂层检测资料。
- (6) 主要构件验收记录。
- (7) 预拼装记录（需预拼装时）。
- (8) 构件发运和包装清单。

二、成品包装

1. 包装编号要求

在包装前，必须将生产过程中（下料、制作、涂装、验收等）使用的各种符号转换为设计图纸所规定或项目统一的构件编号，用记号笔、油漆或粘贴纸标在构件的规定部位或明显部位，便于包装、交付和安装时识别。

编制包装方案或设计时应根据构件特点、运输车辆大小和运输路线的特点，明确规定包装材料、包装方法、防护材料、标识等防护措施。

2. 包装条件要求

- (1) 涂层干燥后才能开展包装工作，并应注意保护构件涂层不受损伤。
- (2) 每个包装重量一般不超过 3 ~ 5t，包装方式应满足运输要求，包装的外形尺寸

则根据货运能力而定。采用汽车运输方式时,长度一般不超过 12m,最长不超过 18m,宽度不超过 2.5m,高度不超过 3.5m。对于超过尺寸限值的情况应特殊处理。

- (3) 包装应保证零件及构件不变形、不损伤、不散失,同时降低运输费用。
- (4) 钢结构的加工面、轴孔和螺纹,均应涂上润滑脂和贴上油纸,螺孔用木楔塞住。
- (5) 包装时应填写包装清单,包装清单应与实物一致,经专检确认后签字。

3. 包装方法

钢结构的一般包装方法有:裸装、捆扎、密闭箱及格栅、密封罐四种类型,最常见的为裸装、捆扎,如图 1-6-1 所示。

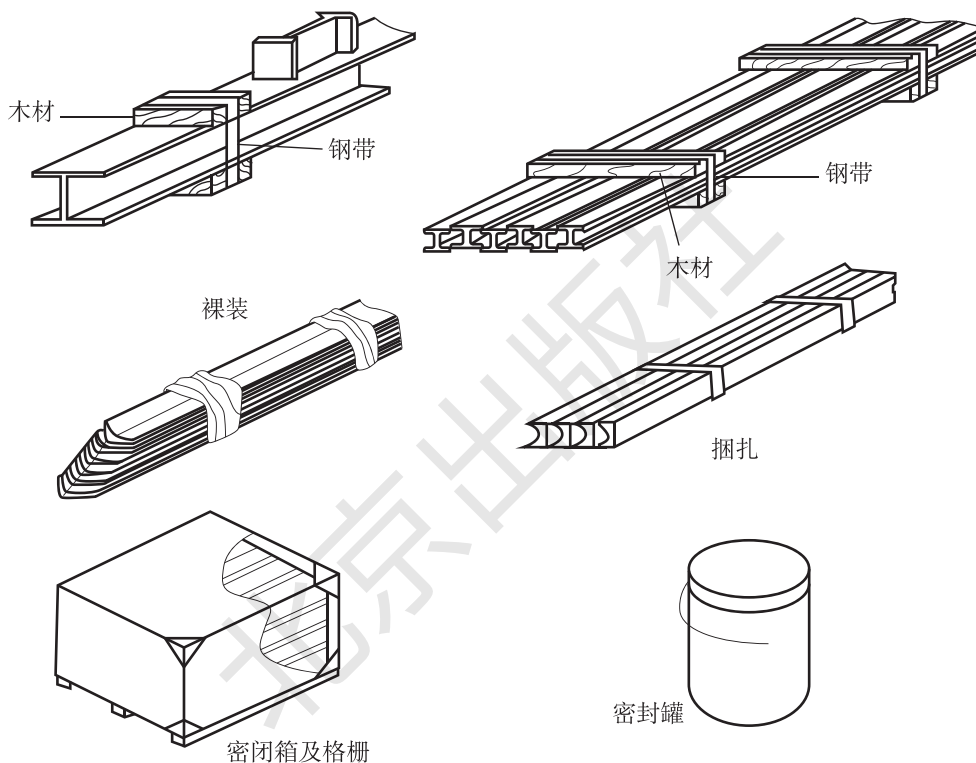


图 1-6-1 钢结构的一般包装方法

- (1) 对重量超过 1.5t 单件单独运输时,应用垫木作外部包裹。
- (2) 细长构件可打捆发运,一般用小槽钢在外侧用长螺丝夹紧,其空隙处填以木条。
- (3) 有孔的板形零件,可穿长螺栓,或用铁丝打捆。
- (4) 较小零件应装箱,根据零件涂装情况和施工现场情况考虑是否采取防水措施。
- (5) 平运容易变形的片状构件,一般可将几片构件装成近似框架形。用活络拖斗车运输时,装夹包装的宽度应控制在 1.6m 和 2.2m 之间,太窄容易失稳,装夹件一般是同一规格的构件。
- (6) 需海运的构件,除大型构件外,均需打捆或装箱。螺栓、螺纹杆以及连接板要用防水材料外套封装。

4. 包装标识

每个包装箱、裸装件及捆装件的两边都要有标识，表明物件所属工程名称、工程编号、图纸号、构件号及数量、重量、外形尺寸、重心、吊点、制造工厂或公司、收货单位、地点、运输号码等内容，可采用粘贴纸或其他方式。其中，重心用鲜红色油漆标出，再加上一个向下箭头，如图 1-6-2 所示；在通常情况下，吊点的位置标注是由等强连接在构件上的吊耳来实现的。

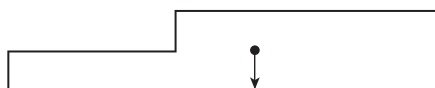


图 1-6-2 构件的重心标示

三、成品贮存

1. 成品贮存要求

钢材的贮存可露天堆放，也可堆放在有顶棚的仓库里。露天堆放时，场地要平整，并应高于周围地面，四周留有排水沟；堆放时要尽量使钢材截面的背面向上或向外，以免积雪、积水，两端应有高差，以利排水。

仓库既是贮存货物的地点，也是进行收、发、管作业的场所。为便于这些工作的顺利进行，必须有合理的布局。

仓库内布局要保证收、发、管作业的连续性和互不干扰。充分利用仓库面积，合理安排并尽量扩大货物储存面积，但要留出通道，收、发作业以及办公地点等非储存面积。经常收、发的货物和体大笨重的货物安排在离库门较近的地方，以缩短运距和减轻工作量。

对库内布局做出总的规划后，将料区和料位划定下来。所划定的料区就是按型钢、钢板、钢管、金属制品等分类方法，将钢材储存在划定的区域，定出料位，立牌标志，注明钢材类别、品种、规格及编号等。

2. 成品堆放要求

堆放要尽量减少钢材的变形和锈蚀；堆放时每隔 5～6 层放置一根楞木，其间距以不引起钢材明显的弯曲变形为宜，楞木要上下对齐，保证在同一垂直面内；考虑材料堆放之间留有一定宽度的通道以便运输。

为增加堆放钢材的稳定性，可使钢材互相勾连或采取其他措施。这样，钢材的堆放高度可达到所堆宽度的两倍；否则，钢材堆放的高度不应大于其宽度。

一堆上下相邻的钢材须前后错开，以便在其端部固定标牌和编号。标牌应标明钢材的规格、钢号、数量和材质验收证明书号，并在钢材端部根据其钢号涂以不同颜色的油漆。钢材的标牌应定期检查。选用钢材时，要顺序寻找，不准乱翻。

在钢材保管过程中，主要应该注意避免钢材遭受机械性损伤，防止产生锈蚀现象，因此要采取相应的措施来加以预防。

四、成品运输

1. 成品装车

因为钢结构的包装方法不同，所以其在装车时也有所不同。裸装或捆扎时，应采取以下保护措施：

- (1) 根据现场场地的大小和单件（捆扎）钢结构的重量选用相宜的吊机。
- (2) 裸装的钢结构在吊装时需要采用吊装带进行吊装，或在钢丝绳与结构接触位置铺垫橡胶垫，保护钢结构的涂层损伤。
- (3) 装车前，在运输车辆的厢板上摆放道木或橡胶垫，道木或橡胶垫的距离根据钢结构的大小而定，待道木或橡胶垫铺设好后，将钢结构放于道木上部。在每一层钢结构之间也需要铺设道木，防止运输过程中的摩擦磨损钢结构的涂层。
- (4) 待结构装好后，需要对结构进行绑捆牢固，采取保护措施防止构件变形，避免涂层损伤，如图 1-6-3 所示。

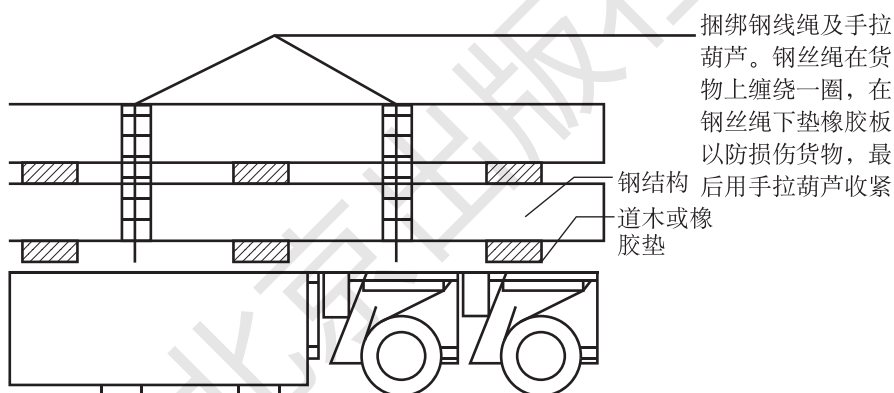


图 1-6-3 钢结构成品装车措施示意图

2. 成品运输

运输前要事先勘察道路，选择运输车辆型号，按照车辆保养进行牵引车和拖挂车的全面检查。对运输不便的构件，采用现场拼装的方式。

采用公路运输时，运输车辆应根据所承载构件的尺寸及重量进行选择，由于钢结构单体构件一般重量较大，尺寸单方向较宽，故一般需要不同型号车辆配套工作完成运输任务，主要采用各种吨位的吊装机械设备或车辆及平板运输车。常见的运输及吊装车辆如图 1-6-4 所示。



(a) 单桥吊运车



(b) 双桥吊运车



(d) 小型平板运输车



(e) 大型平板运输车

图 1-6-4 常见的运输及吊装车辆

公路运输的高度极限为 4.5m，如需通过隧道时，高度极限为 4m，且构件长出车身不应超过 2m。

在装运过程中，装运构件的装车方向、各构件的支承位置、运输道路、运输顺序、卸车位置都需经专人设计计算，以免构件在施工前发生大弯曲乃至破坏。

拓展阅读

针对本项目对应图纸中出现的各类构件，可采用如下的成品构件包装运输方案（假定需要采用海运运输方式）。

一、设备配备（基本）

1. 25t 起重机 1 台；
2. 10t 叉车 1 台；
3. 打包器。

二、人员配置

1. 技术员 1 人（负责物料的配重，打包、装箱过程的技术指导）；
2. 起重工 1 人；
3. 辅助工 2 人；
4. 起重机、叉车司机各 1 人；
5. 木工 1 人。

三、包装材料

1. 熏蒸木、复合板；
2. 打包带；
3. 气垫膜。

四、包装要求

1. 使用的熏蒸木料必须满足本箱构件的承重能力，确保海运过程中不要因木料的承重能力导致构件损坏。
2. 绑带应符合打包张紧能力，其中手动绑带的张紧力应大于 3t，自动绑带应大于 5t。
3. 合理安排构件，确保每箱货物重量的最大化。
4. 构件之间应用软材料或熏蒸木料加气垫膜进行隔开，防止构件之间的直接接触或隔离不合理导致的构件表面损伤。
5. 在固定绑带时，绑带与构件接触处应用软材料进行隔离，确保构件表面油漆不损伤。
6. 对成品构件进行编号标识（图 1-6-5）。



图 1-6-5 成品构件包装

五、打包装箱过程

实际打包过程如图 1-6-6 ~ 图 1-6-15 所示。

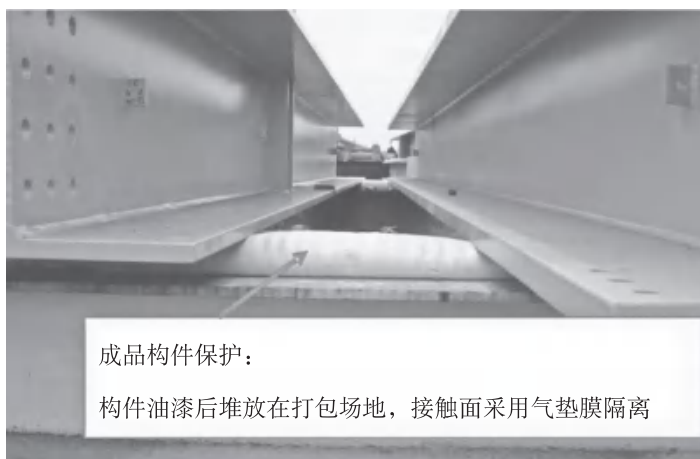


图 1-6-6 打包装箱过程——油漆构件包装保护



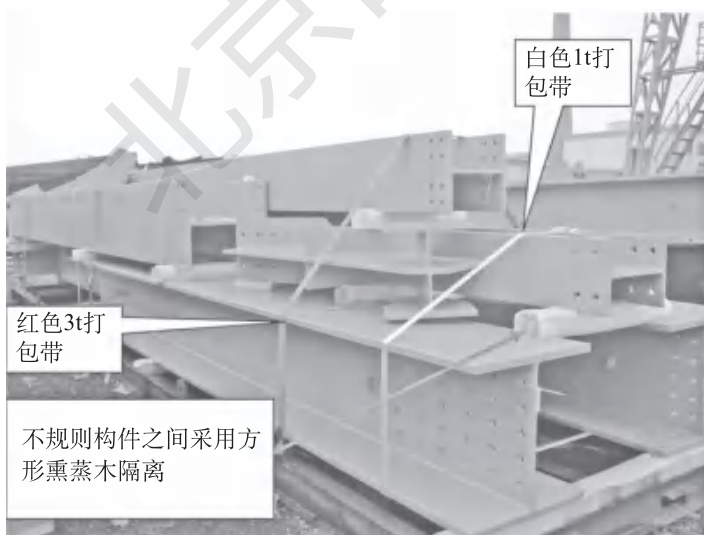
置于地盘与构件之间的熏蒸木

图 1-6-7 打包装箱过程——熏蒸木保护



规整构件间采用复合板隔离，降低高度，一方面确保构件的稳定性，另一方面节约运输成本

图 1-6-8 打包装箱过程——规整构件复合板保护

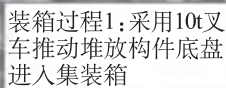


白色1t打包带

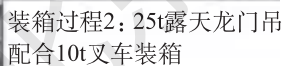
红色3t打包带

不规则构件之间采用方形熏蒸木隔离

图 1-6-9 打包装箱过程——不规则构件方形熏蒸木保护



底盘



装箱过程3:装箱后箱内检查

装箱过程3:装箱后箱内检查

图 1-6-13 装箱过程 4



图 1-6-14 装箱过程 5



图 1-6-15 装箱过程 6

职业技能知识点考核

1. 钢结构的包装原则有哪些?
2. 钢结构构件在标记时, 通常需要注明哪些内容?
3. 钢结构成品堆放最重要的两个原则是什么?